



# 研究活動

北海道大学電子科学研究所

平成15年度—平成18年度

— 点検評価報告書 —

Research Activities

Research Institute for Electronic Science  
Hokkaido University

2003—2006

平成20年発行



## はじめに

「物理・化学・生物」、「理論・実験」、「有機・無機・半導体・生体」といった研究領域の縦割りの壁を越え、分野横断的な新しいフィールドを切り拓く、このことは、基礎研究・応用研究を問わず、新しい世代の科学技術を進展していく上で、極めて重要な課題と認識されつつある。

電子科学研究所の前身の超短波研究所は、65年前に、医学と工学の共同研究としてマイクロウェーブの人体への影響を研究するために発足され、当初から物理、化学、生物、さらには数学も含めた幅広い分野の研究者を集結して、新しい学際的研究領域を開拓してきた。その伝統は、応用電気研究所、電子科学研究所と改組しながらも受け継がれ、現在では、光に関する科学、分子に関する科学、生命に関する科学の3つを融合した「複合領域ナノサイエンス」の創出を目指している。また、国内外の研究者や産業界との接点として、附属ナノテクノロジー研究センター（平成14年発足）、寄附部門ニコンバイオイメージングセンター（平成17年発足）を擁して、多次元空間に広がる研究領域をカバーしながら、さらに高い次元に新しい独創的な複合領域研究のベクトルを張り出すべく努力している。平成19年度からは、大阪大学産業科学研究所、東北大学多元物質科学研究所、東京工業大学資源化学研究所と連携を組んで、附置研究所間連携（ポストシリコン物質・デバイス創製基盤技術アライアンス）の事業を開始している。

教育面でも、理学院、情報科学研究科、医学研究科、環境科学院に協力して大学院教育を行うとともに、3つの北大21世紀COEプログラム「バイオとナノを融合する新生命科学拠点」「特異性から見た非線形構造の数学」「トポロジー理工学の創成」、2つの北大グローバルCOEプログラム「触媒が先導する物質科学イノベーション」「知の創出を支える知識情報科学の新展開」に参画して人材育成に努めている。法人化後、大学組織の改革が進む中、大学における附置研究所の役割をしっかりと考えながら、電子科学研究所全体が一丸となって「複合領域ナノサイエンス」の独創的な研究を推進している。本冊子は平成15年度から平成18年度までの研究活動をまとめたものである。光・生命・分子の3つの柱を軸にそれらを融合した「複合領域ナノサイエンス」の研究成果の一端を紹介したい。

関係各位には忌憚のない批判をお寄せ下さるようお願いいたします。

平成19年11月

北海道大学電子科学研究所長

笹木敬司



# 目 次

## 組織図

### I. 研究成果・活動

#### 電子材料物性部門

光電子物性研究分野	4
相転移物性研究分野	18
有機電子材料研究分野	27
ナノ光高機能材料研究分野（光材料から名称変更 H17. 10～）	45

#### 電子機能素子部門

量子機能素子研究分野	64
分子認識素子研究分野	74
超分子分光研究分野	86
細胞機能素子研究分野	96

#### 電子計測制御部門

光システム計測研究分野	106
量子計測研究分野	129
自律調節研究分野（～H19. 9）	144
ナノシステム生理学研究分野（H17. 4～）	155

#### 電子情報処理部門

情報数理研究分野	164
神経情報研究分野	180
極限フォトンプロセス研究分野（信号処理から名称変更 H17. 10～）	194
計算論的生命科学研究分野（H17. 10～）	208
並列分散処理研究分野（客員研究分野）	213

#### 寄附研究部門

ニコンバイオイメージングセンター（H17. 10～）	222
----------------------------	-----

#### ナノテクノロジー研究センター

ナノ材料研究分野	226
ナノデバイス研究分野	240
ナノ理論研究分野	254

### II. 予算

II-1. 研究成果公表に関する各種の統計表	271
II-2. 予算	273
II-3. 外国人研究者の受入状況	274
II-4. 修士学位及び博士学位の取得状況	275

### III. 研究支援体制

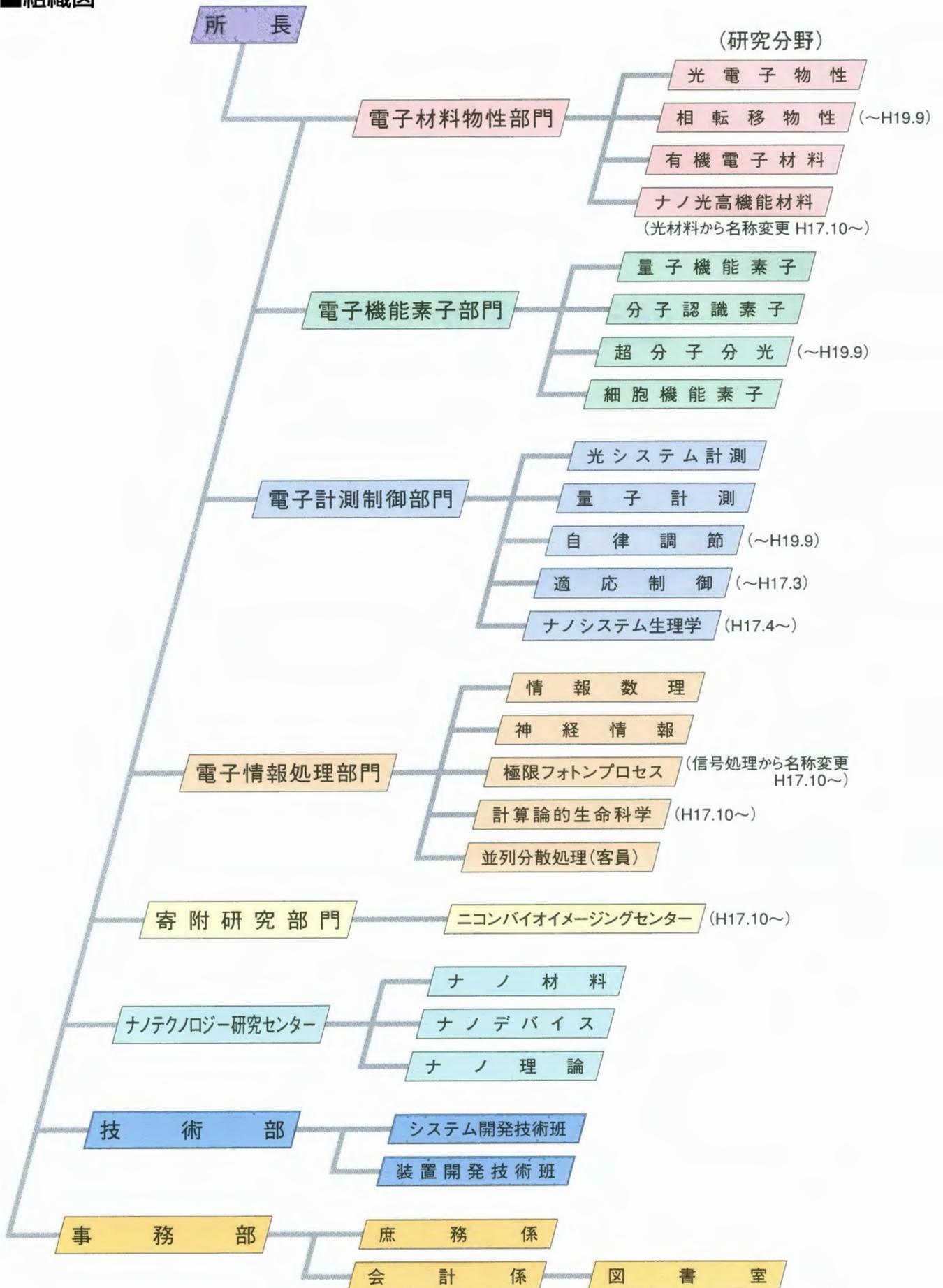
III-1. 技術部	279
III-2. 事務部	279
III-3. 学術情報	280

### IV. 資料

IV-1. 沿革	283
IV-2. 建物	285
IV-3. 現員	285
IV-4. 教員の異動状況	286
IV-5. 構成員	287



■組織図





# I. 研究成果・活動



## 電子材料物性部門

### 研究目的

電子材料を構成する原子、分子、分子集合体、半導体、誘電体及びそれらの物質が示す光・電子相互作用などの物理・物性を明らかにすることを通じて、電子科学を支える次世代電子材料の開発を目指している。



## 光電子物性研究分野

教授 太田信廣（東北大院、理博、1998.10～）  
 准教授 中林孝和（東大院、理博、2002.7～）  
 助教 飯森俊文（京大院、理博、2003.6～）  
 非常勤研究員 岩城裕司（2003.6～2003.9）、牛坂 健  
 （2004.4～）、Bo Wu（2004.10～2005.9）、Mohan S. Mehata  
 （2004.11～2005.3）、Wang Hui-Ping（2005.10～2007.3）  
 院 生  
 ・平成15—18年度  
 博士課程  
 吉沢友和、Md. Wahadoszamen、Ara Anjue Mane、Kamlesh  
 Awasthi、Rahima Khaton  
 修士課程  
 小原裕樹、森川武弘、柏木慎一郎、田山純平、菊地隼  
 人、大島瑠利子

### 1. 研究目標

分子や分子集合体に光を照射した時に電子励起状態への遷移に伴って起こるダイナミクスが外部からの電場や磁場の作用に対してどのような変化を示すのか、光励起に伴う分子構造や電子構造の変化はどうか、また光誘起導電性、電界発光の出現など電気、磁気特性と光学特性の関係はどうかを明らかにする。これらの結果に基づいて、『光励起ダイナミクス』、『光励起分子の構造』、『光機能物性』が互いにどのように関係するかを明らかにすると共に、例えば光誘起超伝導といった光に関係する全く新しい機能物性の発現を探索する。生体内のダイナミクスと機能についても、生体内の「場」に着目しながら調べる。

### 2. 研究成果

・平成15年度

(a) 光誘起電子移動反応系における光ダイナミクスへの電場効果

ポルフィリンと  $C_{60}$  の連結化合物ではポルフィリンを光励起すると  $C_{60}$  への電子移動が起こり、蛍光消光を示すことが知られている。また、ポルフィリンの蛍光は電場によ

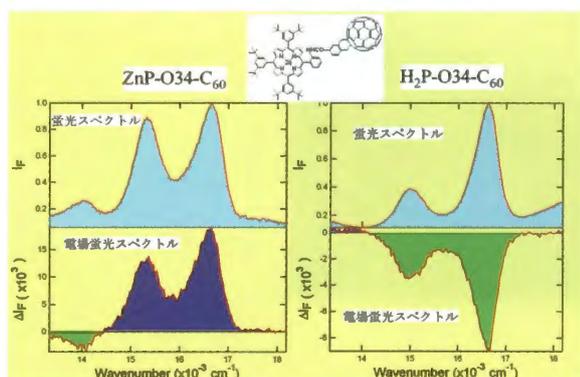


図1. 亜鉛ポルフィリンと  $C_{60}$  (左) およびフリーベースポルフィリンと  $C_{60}$  (右) 連結分子の蛍光スペクトルおよび  $1.0 \text{ MVcm}^{-1}$  で得られた電場蛍光スペクトル

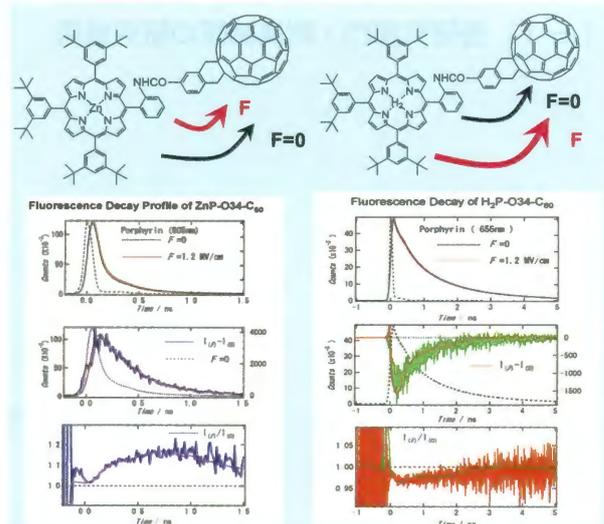


図2. (a) PMMA 中にドーブした  $ZnP-O34-C_{60}$  (左)、 $H_2P-O34-C_{60}$  (右) のゼロ電場 (実線) および  $1.2 \text{ MVcm}^{-1}$  (点線) における蛍光減衰曲線、(b)  $1.2 \text{ MVcm}^{-1}$  およびゼロ電場で測定した蛍光減衰曲線の差、(c)  $1.2 \text{ MVcm}^{-1}$  およびゼロ電場で測定した蛍光減衰曲線の比。

り変化し、亜鉛ポルフィリン ( $ZnP-O34-C_{60}$ ) の場合は蛍光が電場により増加するのに対し、フリーベースポルフィリン ( $H_2P-O34-C_{60}$ ) では逆に電場による蛍光消光が起こることを見つけた (図1)。開発したピコ秒時間分解電場蛍光スペクトル測定装置を用いて、蛍光減衰曲線への電場効果を調べた。両者の結果を図2に示す。図2aには  $1.2 \text{ MVcm}^{-1}$  とゼロ電場で観測した蛍光減衰をレーザーの散乱光の観測結果と共に示してある。 $ZnP-O34-C_{60}$  では  $1.2 \text{ MVcm}^{-1}$  印加で測定した蛍光減衰曲線とゼロ電場で測定した曲線の比  $I_f(1.2 \text{ MVcm}^{-1})/I_f(0)$  ( $I_f(F)$  は、電場  $F$  を印加したときの蛍光強度を表す) は時間初期ではほぼ1であるが、時間と共に正の値になっており、電場によって寿命が長くなることを示している。蛍光減衰曲線は、分子内 D-A 間距離の異なる複数の異性体の存在により多少複雑であるが3つの指数関数の和を考慮することにより再現することができる。蛍光寿命の平均値はゼロ電場の  $91 \text{ ps}$  から  $1.2 \text{ MVcm}^{-1}$  印加で  $97 \text{ ps}$  と、電場印加により長くなる。したがって定常光励起の実験において観測されたポルフィリン蛍光の電場による増加を、ポルフィリンの励起状態から  $C_{60}$  への分子内光誘起電子移動反応速度の電場による減少に帰することができた。一方、 $H_2P-O34-C_{60}$  の場合は、時間初期には  $I_f(1.2 \text{ MVcm}^{-1})/I_f(0)$  はほぼ1であるが、時間の経過と共に減少し、分子内電子移動速度は  $ZnP-O34-C_{60}$  とは逆に電場により増加することがわかる。これら電子移動速度に対する電場効果の違いは、反応が起こるための活性化エネルギーに大きな違いがあるためであることを示した。

$ZnP-O34-C_{60}$  の時間分解蛍光スペクトル (図3の左側) は、時間初期ではポルフィリンからの蛍光が支配的であり、時間の経過とともに、 $714 \text{ nm}$  にピークをもつ  $C_{60}$  からの蛍光が相対的に強くなることを示している。 $C_{60}$  からの蛍光は、ポルフィリンの励起状態から  $C_{60}$  へエネルギー移動が起こり  $C_{60}$  の蛍光状態が生成することを示している。時間分解

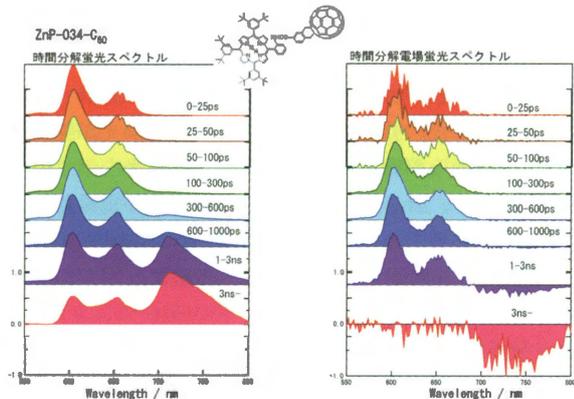


図3. PMMA中にドーブしたZnP-034-C<sub>60</sub>の時間分解蛍光スペクトル(左)および1.0MVcm<sup>-1</sup>で測定した時間分解電場蛍光スペクトル(右)。

電場蛍光スペクトル(図3の右側)では、C<sub>60</sub>蛍光の電場による消光とポルフィリン蛍光の電場による増強を示している。ポルフィリン蛍光の増強は、電場によってポルフィリンの励起状態からC<sub>60</sub>への電子移動速度が減少したことによることは上で述べた通りである。一方、C<sub>60</sub>からの蛍光が電場により減少するのは、ポリマー中ではC<sub>60</sub>の励起状態からポルフィリンへ電子移動が起こり、この速度は電場により促進することを示している。

(b) ポルフィリン連結化合物における吸収の電場効果と光誘起電子移動反応

図4に示すようなメソ位で連結されたポルフィリンオリゴマーの吸収スペクトルは、図5に示すように単体のものとは大きく異なる。Soret帯の吸収は二つのバンドに分裂し、短波長側のバンドはポルフィリンの数を増やしてもほとんどシフトしない。一方、長波長側のバンドはポルフィリンの数が増すにつれて長波長側にシフトする。これは双極子-双極子相互作用によると考えられる。すなわち、お互いのポルフィリンはその平面が直交するように並んでいると考えられるが、長波長側のバンドは遷移モーメントの方向が結合軸の方向であり、お互いの分子間の双極子-双極

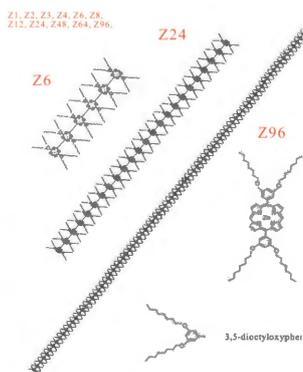


図4. ポルフィリンアレイの分子構造

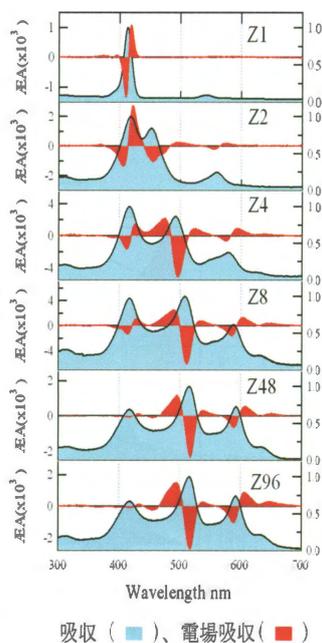


図5. ポルフィレンアレイの吸収スペクトルと電場吸収スペクトル(0.75 MVcm<sup>-1</sup>)

子相互作用により長波長シフトする。一方、短波長吸収帯の遷移モーメントの方向は結合軸と垂直な方向であり、お互いの分子面が直交している結果として、双極子-双極子相互作用は存在せずシフトしない。これらの分子に関する電場吸収スペクトルの測定を行った(図5)。いずれのオリゴマーでも Soret 帯の短波長側のバンドの電場吸収の形状は、単体の場合と同様吸収スペクトルの一次微分とよく似ており、電場効果は励起状態と基底状態間の分子分極率の違いによるシュタルクシフトに起因する。一方 Soret 帯の長波長側のバンドの電場吸収スペクトルは吸収スペクトルの二次微分の形状に非常に似ており、この電場効果は励起状態と基底状態間の電気双極子モーメントの違いを反映したシュタルクシフトによるものであることがわかる。このことは Soret 帯の長波長側のバンド励起に伴って電気双極子モーメントが生じること、すなわち結合軸方向に沿って電荷移動が起こることを示している。この電荷移動の大きさはポルフィリンの数(n)が2~10まではnの増加と共に電荷移動量が増加するが、それ以上のnに関しては光励起後の電荷移動量はほとんど変化しないことがわかる。

(c) CdS ナノクラスターの光学特性の光照射効果

半導体ナノクラスターであるCdS粒子をポリマー中に分散させると、鋭い吸収帯から発するシャープなバンドギャップ発光と、それよりも長波長側に観測されるブロードなトラップ発光を示す。今回これらの発光強度が大気存在下で顕著な光照射効果を示すことを見つけた。その結果を図6に示す。試料作成直後の発光スペクトルにはバンドギャップ発光は非常に弱く、真空中で光を照射してもほとんど変化しない。次に測定セルを開放して大気で満たし、引き続き光を照射するとバンドギャップ発光が出現し、同時にトラップ発光の強度も増加する。光照射を続けていくと発光強度増加は飽和するようになる。次に、この試料を真空にして光を照射し続けると今度は双方の発光とも強度が減少する。再度大気で満たし、光照射を行うと、再び双方の発光強度とも増加するようになる。大気中および真空中での光照射によるスペクトル変化は可逆的であり、酸素もしくは水との光反応によりCdSクラスター表面の物性が大きく変化することを示している。

• 平成16年度

(a) PL 発光特性への電場効果と EL 発光

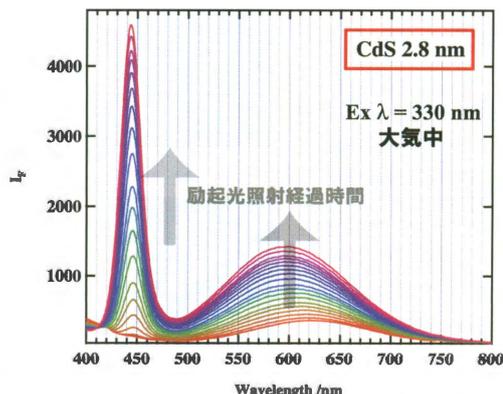


図6. CdS ナノクラスターの蛍光スペクトルの光照射効果



図7. 自作のEL発光素子作製装置

液晶ディスプレイやプラズマディスプレイの次の世代のカラーディスプレイとして、また通常の蛍光灯や白熱灯の代わりとなる光源として、エレクトロルミネッセンス(EL)分子素子の開発が世界的に進められている。私達は、光の三原色に照準を合わせたEL素子だけではなく、紫外光を取り出すことのできるEL素子の開発を目指しており、そのために、EL発光の発現機構を明らかにすると共に、光照射により生じる蛍光や燐光(フォトルミネッセンス、PL)との関係を明らかにしながら、発光素子の開発を進めている。また、EL素子の安定性を検証するためには、EL発光状態が電場印加に対してどのような影響を受けるかを理解する必要があり、そのために種々の定常光源やレーザーを用いて、PL発光の強度や寿命、および励起ダイナミクスが電場印加によりどのような影響を受けるかを調べている。具体的には、図7に示す装置を用いてEL発光素子を作製し、発光特性を調べている。ちなみに、この装置を用いて得られたルブレンのEL素子および発光が図8に示してある。

PL発光への外部電場効果を調べるために、ITO透明電極の上に発光色素をドーブしたポリマー薄膜をスピコーティング法により塗布し、その上にアルミニウム(Al)を真空蒸着した試料を作成する。色素に紫外光を照射しながら、ITOとAlの間に電場を印加し、発する蛍光や燐光への電場効果を、自作の電場吸収・電場発光測定装置、および高速時間分解電場発光測定装置を用いて行っている。

代表的な芳香族化合物であるピレン分子もその連結化合物(Py-Py、図8参照)

もポリマー中ではモノマー蛍光とサンドイッチ構造を有するエキシマーからの蛍光を示し、どちらの発光も電場により消光する。但し、Py-Pyのエキシマー蛍光のみが、電場強度の4乗に比例する非常に効率の良い電場消光を示す。また、Py-Pyをドーブしたポリマー薄

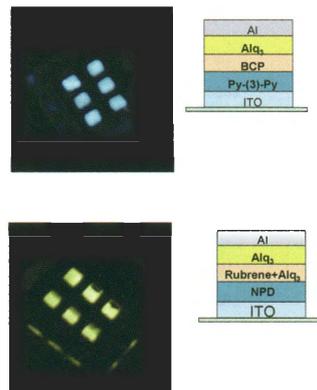


図8. EL発光素子の層構造と得られたEL発光画像

膜では、ピレン自身の場合とは異なり、EL発光が比較的強く観測される。そこで、図8に示すような層構造を有するEL素子を作成した所、図に示すように非常に強い青いEL発光が得られた。すなわち、PL発光の電場消光が特に大きな発光成分のみが非常に効率の良いEL発光を示すことが明らかとなり、EL発光の効率とPL発光への電場効果に大きな相関があること、すなわち、EL発光効率を調べるのに、PL発光への外部電場効果の実験が非常に有用であることがわかった。

(b) 分子間光誘起電子移動反応への外部電場効果

PMMAにドーブしたエチルカルバゾール(ECZ)とテレフタル酸ジメチル(DMTP)の蛍光スペクトルに対する外部電場効果を調べた。定常光を用いた電場蛍光スペクトルから、DMTPを高濃度にドーブした場合には、ECZのモノマー蛍光は電場により消光を示すことがわかる。また、光誘起電子移動反応により生じるエキサイプレックス(EX)蛍光は、電場により強度が変化する。これらの電場効果の機構を明らかにするために、自作の時間分解電場蛍光分光測定装置を用いて、外部電場による蛍光寿命の変化を調べた。

石英/ITO/PMMA+ECZ+DMTP/アルミの積層構造を有する固体膜を作成し、フェムト秒パルスチタンサファイアレーザーの3倍波で光励起し、外部電場がオンのときとオフのときの蛍光減衰曲線を時間相関単一光子計数法を用いて測定した。観測する蛍光波長を変えながら蛍光減衰曲線の測定を行うことで、電場オンとオフの時の差として時間分解電場蛍光スペクトルを得た。

ECZを1mol%、DMTPを10mol%均一分散させた膜について、時間分解蛍光スペクトルおよび時間分解電場蛍光スペクトルを測定した結果を図9に示す。時間分解蛍光スペクトルには、ECZのモノマー蛍光が350nm近辺に観測され、EX蛍光は430nmにピークを持つブロードな発光として観測される。時間初期には、モノマー蛍光が強く観測され、時間の経過と共にEX蛍光が強くなっており、ECZのモノマー励起状態からの電子移動反応によってEXが生成することを示している。時間分解電場蛍光スペクトルは、短波長側のモノマー蛍光はどの時間領域でも電場消光を示し、

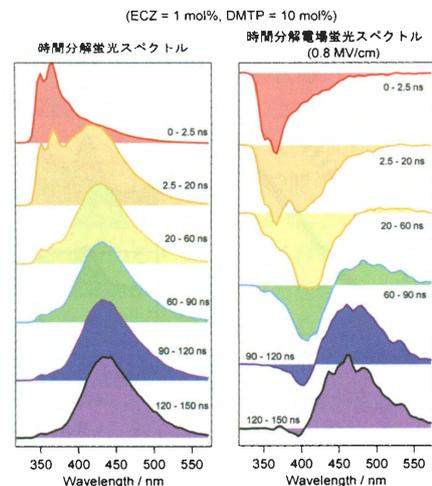


図9. ECZ + DMTPの時間分解蛍光スペクトル(左)と時間分解電場蛍光スペクトル(右)。

電子移動反応が電場により促進されることを示している。一方、EX 蛍光は、光励起直後は電場によって強度が減少するが、時間の経過とともに電場消光の大きさが減少し、80ns 以降は、電場による蛍光強度の増加へと転ずることが明らかになった。ラジカルイオン対の解離が電場によって促進されることで EX の濃度は減少するが、EX 蛍光寿命が電場によって長くなるために、全体として電場による蛍光強度の増大として観測されることが明らかになった。

(c) ポリエン分子の分子内電荷移動および異性化反応への外部電場効果

ポリエン誘導体は大きな非線形感受率を持ち、生体系の異性化反応、高分子の光導電機構のモデル、そして置換基に応じて光誘起分子内電荷移動を起こすことなどが知られている。このようなポリエンの光学応答を外部電場によって制御することを目的として、様々なジフェニルポリエン分子の電荷移動および異性化反応の外部電場効果を調べた。

ジフェニルポリエン分子の一つであるジメチルアミノニトロスチルベン(DNS)の電場吸収スペクトルと電場蛍光スペクトルを図10に示す。電場吸収スペクトルは吸収スペクトルの二次微分の形を示し、光励起に伴う双極子モーメントの変化の寄与が大きいことがわかる。一方、電場蛍光スペクトルは、蛍光強度の減少が主に観測されており、電場によって蛍光が消光されることがわかる。この消光の原因を明らかにするために、蛍光減衰曲線の外部電場効果の測定を行った(図11)。外部電場が存在するときの減衰曲線が

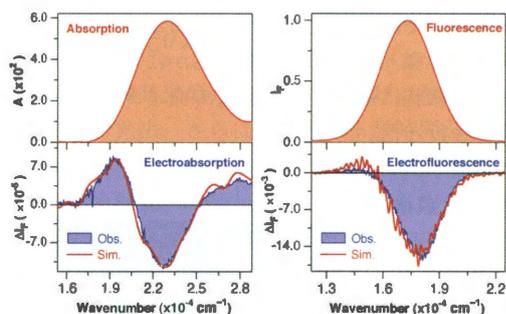


図10. DNSの吸収および電場吸収スペクトル(左)、蛍光および電場蛍光スペクトル(右)。

ら存在しないときの減衰を引いた強度差( $\Delta I_f(t)$ )は、全時間領域において負の値を示した。DNSの蛍光減衰と $\Delta I_f(t)$ の時定数は異なり、電場によって減衰が速くなることわかる。電場オンとオフの時の蛍光減衰曲線の強度比が、時間と共に減少することからも、電場による減衰速度

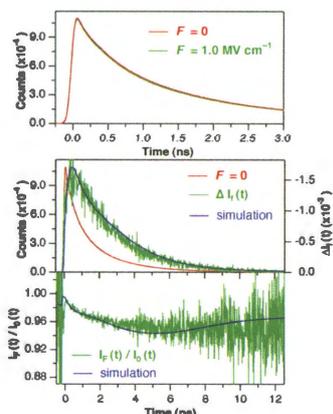


図11. DNSのゼロ電場(赤)および1.0MV  $\text{cm}^{-1}$ (緑)における蛍光減衰曲線(上)、二つの蛍光減衰曲線の差(中)および比(下)。

の増加がわかる。この結果は、電場によって蛍光状態からの無輻射緩和の速度が増加することを示している。DNSは蛍光状態から分子内電荷分離(CT)状態へ無輻射緩和することが知られており、蛍光状態からCT状態への分子内電荷移動が、電場によって促進されていると考えられる。

・平成17-18年度

(a) 電場吸収・電場発光スペクトルの低温測定装置の開発  
吸収スペクトルや発光スペクトルに対する外部電場効果の研究は、光機能性分子材料の研究、および光励起状態ダイナミクスの研究を行う上で非常に重要な情報を与える。今回我々は、室温から約40Kにわたる広い温度範囲において電場吸収・電場発光スペクトル測定を行うことができる装置を新たに開発した。温度を低下させると、分子の熱運動が抑制され、分子の動きやすさや励起状態ダイナミクスに大きな影響を与えると予測される。スペクトルの温度変化を追跡することにより、常温の測定のみでは得難い情報が得られる。

図12は、コールドヘッドと試料ホルダー部分の断面図である。試料ホルダーには、真鍮製のブロックを使用し、光の入射角度を変化させる場合や発光検出を行うために、一軸回転の角度が調節可能になっている。4面光学窓(合成石英)によって試料に光を導入し、試料ホルダーの周囲は、熱シールドのための銅製の筒で覆った。断熱性を高めるために、ターボ真空ポンプを用いて高真空下で実験を行う。波長のスキャンと同時に温度もモニターし、スペクトル測定中の温度変化についても知ることができるようになっている。また信号線として、14ピンコネクタを介してケーブルを導入できるようになっている。今回それらの一部を外部電場を印加するために用い、接触端子を用いて試料基板と接続した。

本装置を用いることで、任意の設定温度において温度制御を行いながら電場吸収・発光スペクトルの測定が可能となった。実際の実験においては、典型値として、設定温度 $\pm 5\text{K}$ の範囲で温度が変動することが避けられなかった。この温度のふらつきは、ヒーターの容量や位置、クライオスタットの冷却能力、および試料基板の熱伝導性の間のバランスにより生じていると考えられ、これらの要因を改良することで改善できると考えられる。

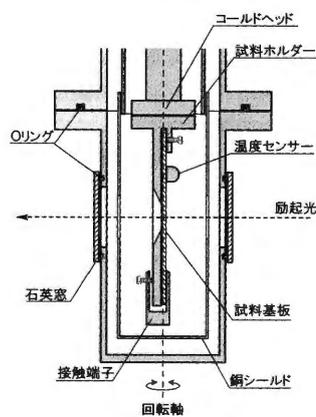


図12. 低温電場吸収・電場発光スペクトル測定装置の試料ホルダー一部分図。

(b) 電場吸収・電場発光スペクトルの温度依存性による分子の電場配向およびエキシマー蛍光状態の研究  
新たに開発した電場吸収・電場発光スペクトルの低温測定装置を用いて、ポリマー中にドーブした分子の微視的環

境と分子の電場配向運動の間における相関、およびエキシマー蛍光状態に対する電場効果の温度依存性について研究を行った。図13は、6-ヒドロキシキノリン(6HQ)をPMMAにドープした場合の電場吸収スペクトルおよびその温度依存性である。6HQは、分子内にOH基と窒素原子といった2個の水素結合サイトを有し、励起状態プロトン移動反応を起こす分子として広く分光学的な研究が行われてきた分子である。 $T=57\text{K}$ において測定した電場吸収スペクトル(図13(d))は、吸収バンドの2次微分形(図13(c))とほぼ似たような形状を示している。この結果は、光

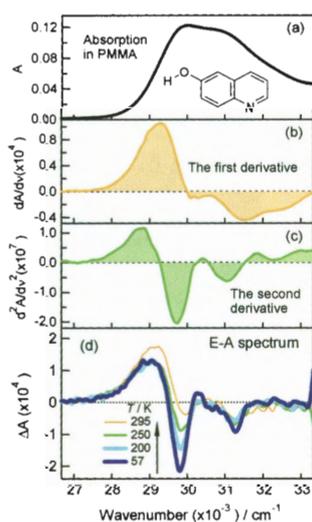


図13. PMMAにドープした6HQの(a)吸収スペクトル、(b)吸収スペクトルの1次微分形および(c)2次微分形、(d)電場吸収スペクトルの温度依存性。印加電場強度は0.7 MV/cm。

吸収にともなう双極子モーメントの変化に起因したシフトが顕著に現れていることを示している。 $T=100\text{K}$ から $295\text{K}$ の温度範囲においては、温度の上昇にともない電場吸収スペクトルの形状の変化が観測された。この温度変化に関して、吸収スペクトルの0次微分形の寄与が温度の上昇とともに増大することが原因であることが分かった。この結果は、電場方向への分子再配向運動がPMMA中で起きていること、およびその大きさが温度によって変化することを示している。デバイの理論によれば、温度の上昇とともに電場配向および0次微分成分の大きさは減少する。しかし、実際にはこの予想とは逆の温度依存性が観測され、ポリマー中の運動が非常に抑制された状況では、周囲のマトリックスからの影響が、電場による分子の再配向運動において重要な因子となることを示している。

図14は、ピレンを高濃度(10 mol%)でPMMAにドープした場合の蛍光スペクトルと外部電場による変化のスペクトル(電場蛍光スペクトル)の温度依存性を示す。室温( $293\text{K}$ )の蛍光スペクトルには、 $380\text{nm}$ 周辺にモノマー(MN)蛍光、

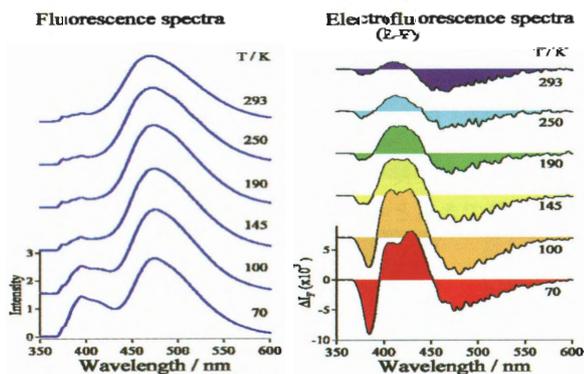


図14. PMMAにドープしたピレンの蛍光スペクトル(左)および電場蛍光スペクトル(右)の温度依存性。印加電場強度は0.8MV/cm。

$470\text{nm}$ にブロードなサンドイッチ型エキシマー(EX1)蛍光が出現している。電場蛍光スペクトルには、MN蛍光とEX1蛍光バンドが、負の強度を持った0次微分形として現れており、外部電場によりこれらの蛍光が消光されることを示している。また、電場蛍光スペクトルに現れる $\sim 415\text{nm}$ のピークは、それらの蛍光バンド以外の成分が蛍光スペクトル中に存在することを示している。この成分は、部分的な重なりを持つエキシマー蛍光(EX2)に帰属され、その蛍光強度が電場により増大していると考えられる。温度の低下にともない、蛍光スペクトルは $400\text{nm}$ 付近の強度を著しく増大させる一方で、MN蛍光やEX1蛍光は比較的变化がない。低温における電場蛍光スペクトルには、 $395\text{nm}$ から $450\text{nm}$ の領域に構造をもった正のバンドが出現し、 $384\text{nm}$ には鋭い負のピークがあらわれる。 $T=70\text{K}$ における電場蛍光スペクトルのシミュレーションより、部分的な重なりを持つエキシマーには、EX2蛍光状態を含めて少なくとも3種類の異なった状態が存在し、それらに対する電場効果も互いに全く異なっていることが初めて明らかになった。(c) 蛍光寿命イメージングシステムの製作と生体試料への応用

蛍光による単一細胞のイメージングにおいて、蛍光強度ではなく、蛍光寿命をイメージングする手法が提案されている。蛍光強度は蛍光分子の濃度や励起光強度に依存するのに対し、蛍光寿命は分子固有の値であり、光退色による濃度変化や励起光強度に依存しない。さらに時間分解測定から細胞内の光励起ダイナミクスを直接測定することができる。本研究では、蛍光寿命という新たなパラメータから、細胞内の様々な生理現象を明らかにすることを目的として、単一細胞に適用可能な蛍光寿命イメージングシステムの製作を行った。

蛍光寿命イメージングシステムはフェムト秒レーザーと共焦点光学顕微鏡を用い、マッピングの各点において光子計数検出による

蛍光減衰曲線の測定を行う構成とした。画像取得は、スキャニングミラーを用いて光軸を移動させる方法で行っている。蛍光減衰曲線を4分割し、分割された値から単一指数関数を仮定して蛍光寿命を計算する時間ゲート法を用いている。時間ゲート法によって、蛍光タンパク質が発現した生細胞や細胞標本スラ

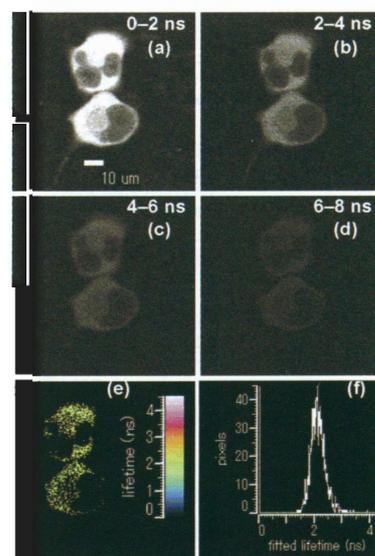


図15. (a)-(d) GFPが発現したHeLa細胞の時間分解共焦点蛍光画像。遅延時間: 0-2 ns (a)、2-4 ns (b)、4-6 ns (c)、6-8 ns (d)、励起波長:  $410\text{nm}$ 。(e) 蛍光寿命イメージング、(f) 蛍光寿命ヒストグラム。

イドの蛍光寿命イメージングを数分で行うことができる。時間ゲート法の欠点を補うために、約60psの装置関数を持つ時間相関光子計数システムを組合せ、共焦点光学顕微鏡によって形態像をとらえた後、特定の地点における蛍光減衰曲線を測定できる構成とした。時間ゲート法による蛍光寿命イメージングによって、蛍光寿命の定性的な値とその空間分布を得ることができ、特定の地点における定量的な蛍光寿命の値は、ピコ秒時間相関光子計数システムから得ることができる。

生細胞の時間分解共焦点蛍光画像の例を図15(a)-(d)に示す。試料はHeLa細胞に緑色蛍光タンパク質(GFP)を発現させたものであり、GFPからの蛍光を観測している。時間ゲートは2nsごとになるように調整し、4枚の画像は蛍光信号とトリガーパルスとの間の遅延時間が0-2ns、2-4ns、4-6ns、6-8nsの間の画像となっている。ピクセルごとのレーザー照射時間を50 $\mu$ s、平均化は10回であり、約2分の測定時間で時間分解共焦点蛍光画像を得ることができる。得られた蛍光寿命イメージングを図15(e)に示す。GFPの蛍光寿命は細胞の位置によらずほぼ一定であることがわかる。蛍光寿命のヒストグラム(図15(f))から、GFPの蛍光寿命は、2.1nsを中心として半値全幅がおよそ0.5nsの分布を持っていることがわかる。生細胞に応用するためには、測定を短時間で終了しなければならない。本システムはGFPの蛍光寿命イメージングを数分で終了することができ、様々な系に対して応用できることがわかる。

### 3. 今後の研究の展望

電場・磁場変調発光分光法、ナノ秒、ピコ秒時間分解電場・磁場発光分光法、さらにはフェムト秒時間分解超高速発光分光法を適用することにより、光誘起電子移動反応、励起エネルギー移動、光誘起プロトン移動反応、励起錯体形成といった諸々の光化学反応への電場、磁場効果を種々の有機分子系、無機分子系、有機・無機ハイブリッド系、さらには細胞を対象として調べ、自然界における光化学反応と外場との関係を明らかにする。また、光誘起電子移動反応を示すドナー・アクセプター系を始めとする諸々の光化学反応系を対象に、電気・磁気的光機能物性を調べ、光反応への電場、磁場効果との関係を明らかにする。具体的には広い温度領域にわたる光電流測定や伝導度の照射効果などを調べ、光化学ダイナミクスと光導電性発現との関係やEL電界発光発現との関係を調べる。特に、単なる光伝導性ということではなく、究極の光機能物性というべき光誘起超伝導発現の可能性を探る。また、固体膜だけではなく、分子が比較的自由に動くことのできる溶液系や生体試料にも実験を発展させ、光と電場を組み合わせる分子の回転運動のコントロールや配向分子系の構築、および蛍光寿命イメージング測定に基づいて生体系における反応機構の解明を行なう。

## 4. 資料

### 4.1 学術論文等

- 1) M. Mizoguchi and N. Ohta: "Fluorescence of an Electron Donor-Acceptor System in a Polymer Film under the Simultaneous Application of Electric Field and Magnetic Field", *Chem. Phys. Lett.*, 372: 66-72 (2003)
- 2) C. Okabe, T. Nakabayashi, N. Nishi, T. Fukaminato, T. Kawai, M. Irie and H. Sekiya: "Picosecond Time-Resolved Stokes and Anti-Stokes Raman Studies on the Photochromic Reactions of Diarylethene Derivatives", *J. Phys. Chem. A*, 107(28): 5384-5390 (2003)
- 3) D. Kim, J. Sung, H. M. Cheong, C. N. Wang, Y. Ouchi, T. Iimori, N. Matsuie, K. Seki: "Polymer surfaces studied by sum-frequency vibrational spectroscopy", *Journal of the Korean Vacuum Science & Technology*, 12(S1): 70-73 (2003)
- 4) A. Kawai, H. Tanaka, Y. Nakajima, T. Iimori, K. Tsuji, K. Obi and K. Shibuya: "Protonation and multi-hydrogenation of benzophenone (BP) in BP/toluene and BP/ethanol binary cation clusters", *Chem. Phys. Lett.*, 381(3-4): 354-361 (2003)
- 5) M. Wahadoszamen, T. Nakabayashi and N. Ohta: "Electric Field Effects on Photoisomerization Process of Diphenylpolyenes Doped in a Polymer Film as Revealed by a Field-Induced Change in Fluorescence Spectrum", *Chem. Phys. Lett.*, 387(1-3): 124-129 (2004)
- 6) M. Tsushima and N. Ohta: "Electric field effects on photoinduced electron transfer processes of methylene-linked compounds of pyrene and N,N-dimethylaniline in a polymer film", *J. Chem. Phys.*, 120(13): 6238-6245 (2004)
- 7) M. Tsushima, T. Ushizaka and N. Ohta: "Time-resolved measurement system of electrofluorescence spectra", *Rev. Sci. Instrum.*, 75: 479-485 (2004)
- 8) T. Nakabayashi, T. Morikawa and N. Ohta: "Direct measurements of the electric-field-induced change in fluorescence decay profile of pyrene doped in a polymer film", *Chem. Phys. Lett.*, 395: 346-350 (2004)
- 9) T. Yoshizawa, Y. Iwaki, N. Osaka, T. Nakabayashi, K. A. Zachariasse and N. Ohta: "External electric field effects on absorption, fluorescence and phosphorescence spectra of 4-(dimethylamino) benzonitrile in a polymer film", *J. Phys. Chem. B*, 108: 19132-19139 (2004)
- 10) T. Iimori, T. Iwahashi, H. Ishii, K. Seki, Y. Ouchi, R. Ozawa, H. Hamaguchi and D. Kim: "Orientational ordering of alkyl chain at the air/liquid interface of ionic liquids studied by sum frequency vibrational spectroscopy", *Chem. Phys. Lett.*, 389: 321-326 (2004)
- 11) E. Jalviste and N. Ohta: "Stark absorption spectroscopy of indole and 3-methylindole", *J. Chem. Phys.*, 121(10): 4730-4739 (2004)

- 12) C. Okabe, T. Nakabayashi, Y. Inokuchi, N. Nishi and H. Sekiya: "Ultrafast excited-state dynamics in photochromic N-salicylideneaniline studied by femtosecond time-resolved REMPI spectroscopy", *J. Chem. Phys.*, 121 (19): 9436-9442 (2004)
- 13) 飯森俊文、大内幸雄、関一彦:「赤外-可視和周波発生分光法を用いたイオン液体 [BMIM]+X-の気/液界面構造に関する研究」、*真空*, 47(7): 516-521 (2004)
- 14) N. Ohta, T. Nakabayashi, T. Iimori, T. Yoshizawa and T. Morikawa: "A Relation between External Electric Field Effect on Photoluminescence and Generation Efficiency of Electroluminescence: Methylene-Linked Compounds of Pyrene doped in a Polymer Film", *Electroluminescence Conference 2004 Conference Proceedings*, 358-366 (2004)
- 15) T. Iimori, A. M. Ara, T. Yoshizawa, T. Nakabayashi and N. Ohta: "Remarkable temperature dependence of the electrofluorescence spectra of pyrene doped in a polymer film", *Chem. Phys. Lett.*, 402: 206-211 (2005)
- 16) Y. Matsuzaki, A. Nogami, Y. Iwaki, N. Ohta, Y. Yoshida, N. Aratani, A. Osuka and K. Tanaka: "Quantum-chemical Investigation of the electroabsorption spectra of directly meso-meso-linked porphyrin arrays: Essential role of charge-transfer excited states accidentally overlapping with Soret bands", *J. Phys. Chem., A*, 109(4): 703-713 (2005)
- 17) T. Nakabayashi, M. Wahadoszamen and N. Ohta: "External Electric Field Effects on State Energy and Photo-excitation Dynamics of Diphenylpolyenes", *J. Am. Chem. Soc.*, 127(19): 7041-7052 (2005)
- 18) T. Iimori, T. Yoshizawa, T. Nakabayashi and N. Ohta: "Time-resolved measurements of the external electric field effects on fluorescence in electron donor and acceptor pairs of N-ethylcarbazole and dimethyl terephthalate doped in a polymer film", *Chem. Phys.*, 319: 101-110 (2005)
- 19) E. Jalviste and N. Ohta: "Electric field induced reorientation of polar molecules in a poly(methyl methacrylate) film studied by electroabsorption spectroscopy", *Proc.SPIE*, 5946: 160-171 (2005)
- 20) T. Nakabayashi and N. Ohta: "Electric Field Effects on IR Absorption of  $\alpha$ -Helical Polypeptide", *Chem. Lett.*, 34(8): 1194-1195 (2005)
- 21) N. Kitamura, E. Sakuda, T. Iimori, T. Yoshizawa and N. Ohta: "Spectroscopic and Excited-State Properties of Tri-9-anthrylborane II: Electroabsorption and Electrofluorescence Spectra", *J. Phys. Chem. A*, 109: 7435-7441 (2005)
- 22) Y. Ohara, T. Nakabayashi, K. Iwasaki, T. Torimoto, B. Ohtani and N. Ohta: "Photo-switching behavior of CdS nanoparticles doped in a polymer film", *C. R. Chimie*, 9: 742-749 (2006)
- 23) M. Wahadoszamen, T. Nakabayashi and N. Ohta: "Electroabsorption spectra of a complex between tetraphenylporphyrin and fullerene in a polymer film", *J. Photochem. Photobiol. A*, 178(2-3): 177-184 (2006)
- 24) T. Nakabayashi, B. Wu, T. Morikawa, T. Iimori, M. B. Rubin, S. Speiser and N. Ohta: "External Electric Field Effects on Absorption and Fluorescence of Anthracene-(CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>-Naphthalene Bichromophoric Molecules Doped in a Polymer Film", *J. Photochem. Photobiol. A*, 178(2-3): 236-241 (2006)
- 25) T. Yoshizawa, M. Mizoguchi, T. Iimori, T. Nakabayashi and N. Ohta: "Effects of electric and magnetic field on fluorescence in electron donor and acceptor pairs of pyrene and N-methylphthalimide doped in a polymer film", *Chem. Phys.*, 324: 26-39 (2006)
- 26) M. Wahadoszamen, T. Nakabayashi and N. Ohta: "External Electric Field Effects on Emission of a Mixture of Tetraphenylporphyrin and Fullerene Doped in a Polymer Film", *J. Chin. Chem. Soc.*, 53(1): 85-92 (2006)
- 27) E. S. Medvedev, M. Mizoguchi and N. Ohta: "The magnetic field effect in the presence of the electric field on fluorescence of a methylene-linked compound of pyrene and N,N-dimethylaniline doped in a polymer film", *J. Phys. Chem. B*, 110(9): 3938-3941 (2006)
- 28) A. M. Ara, T. Iimori, T. Yoshizawa, T. Nakabayashi and N. Ohta: "External electric field effects on fluorescence of perylene doped in a polymer film", *Chem. Phys. Lett.*, 427: 322-328 (2006)
- 29) M. S. Mehata, T. Iimori, T. Yoshizawa and N. Ohta: "Electroabsorption spectroscopy of 6-hydroxyquinoline doped in polymer films: Stark shifts and orientation effects", *J. Phys. Chem. A*, 110(38): 10985-10991 (2006)
- 30) M. Wahadoszamen, T. Nakabayashi, S. Kang, H. Imahori and N. Ohta: "External Electric Field Effects on Absorption and Fluorescence Spectra of a Fullerene Derivative and its Mixture with Zinc-Tetraphenylporphyrin Doped in a PMMA film", *J. Phys. Chem. B*, 110(41): 20354-20361 (2006)
- 31) Y. Ohara, T. Nakabayashi, K. Iwasaki, T. Torimoto, O. Bunsho, T. Hiratani, K. Konishi and N. Ohta: "Electric-Field-Induced Changes in Absorption and Emission Spectra of CdS Nanoparticles Doped in a Polymer Film", *J. Phys. Chem. B*, 110(42): 20927-20936 (2006)
- 32) A. M. Ara, T. Iimori, T. Yoshizawa, T. Nakabayashi and N. Ohta: "External electric field effects on fluorescence of pyrene butyric acid doped in a polymer film: Concentration and temperature dependences", *J. Phys. Chem. B*, 110: 23669-23677 (2006)
- 33) T. Nakabayashi, H. Wang, K. Tsujimoto, S. Miyauchi, K. Kamo and N. Ohta: "A Correlation between pH and Fluorescence Lifetime of BCECF in Vivo and in Vitro", *Chem. Lett.*, 36: 206-207 (2007)

- 34) T. Iimori, T. Naito and N. Ohta: "A Memory Effect Controlled by a Pulsed Voltage in Photoinduced Conductivity Switching in an Organic Charge-Transfer Salt", *J. Am. Chem. Soc.*, 129(12): 3486-3487 (2007)

#### 4.2 総説・解説・評論等

- 1) 中林孝和:「液体アルコール分子の分子内振動エネルギー移動の実時間観測」、*化学と工業*, 56: 1147 (2003)
- 2) 中林孝和:「水のクラスター構造 —基本的な考え方と応用の可能性—」、*食品膜技術懇談会誌*, 29: 35-40 (2003)
- 3) 津島稔、牛坂健、太田信廣:「時間相関単一光子計数法と変調電場を組み合わせた時間分解電場蛍光スペクトル測定装置の製作」、*分光研究*, 53(2): 93-101 (2004)
- 4) 中林孝和、飯森俊文、金城政孝、太田信廣:「蛍光寿命イメージングシステムの製作と生体試料および高分子試料への応用」、*分光研究*, 55(1): 31-39 (2006)
- 5) 中林孝和:「蛍光寿命イメージングによる単一細胞内の生体分子間の相互作用の観察」、*分光研究*, 54(4): 256-257 (2005)
- 6) 飯森俊文、太田信廣:「電場吸収・電場発光スペクトルの低温測定装置の開発と分子の電場配向およびエキシマー蛍光状態の研究」、*光化学*, 37(3): 181-188 (2006)

#### 4.3 著書

- 1) 太田信廣:「多原子分子の発光スペクトルと発光寿命」、*化学便覧 基礎編 改訂5版*(岩澤康裕編)、丸善、2: 743-761 (2004)
- 2) Y. Iwaki, N. Ohta, A. Nakano and A. Osuka: "Electric field effects on absorption and emission spectra of end-phenylethynylated meso-meso linked porphyrin arrays in a polymer film", *Advanced Molecular and Supramolecular Materials and Processes*, Kluwer Academic, 125-137 (2003)\*
- 3) 太田信廣:「電場・磁場効果の光計測」、*光科学研究の最前線*、「*光科学研究の最前線*」編集委員会: 100-101 (2005)

#### 4.4 その他

- 1) 太田信廣:「電場印加による発光特性変化のリアルタイム観測装置の開発」、*月刊マテリアルステージ*9月号, 42: 124-129 (2004)
- 2) 太田信廣:「蛍光分光」、*新実験化学講座・物質の構造 I*、*分光*(上)(分担執筆): 327-362 (2005)
- 3) 太田信廣、中林孝和、飯森俊文、下川原康之:「可視・紫外発光有機 EL 素子の開発」、*2004年度研究成果報告書*: 157-160 (2005)
- 4) N. Ohta, S. Sato, N. Tamai and H. Masuhara: "Preface", *J. Photochem. Photobiol. A*, 178: 113-114 (2006)

#### 4.5 講演

##### a. 招請講演

- 1) N. Ohta: "Electric field effects on excimer fluorescence of pyrene and generation of electroluminescence in a polymer film", XXI st International Conference on Photochemistry, Nara, Japan (2003-07)
- 2) 中林孝和:「時間分解ラマン分光法からみた溶液中の振動緩和過程の描像と他の超高速現象との関係」、*単純系から複雑系にわたる凝集系振動緩和とダイナミクス研究の現状と展望*、岡崎 (2003-06)
- 3) 太田信廣:「ポルフィリンアレイの光励起電子移動ダイナミクスおよび電場効果」、*第19回化学反応討論会サテライト研究会*、仙台 (2003-06)
- 4) 中林孝和:「ポリエン類の光励起ダイナミクスに対する外部電場効果」、*生体関連分子の水素結合とダイナミクスの新展開*、岡崎 (2003-07)
- 5) 太田信廣:「固体膜中における光誘起電子移動反応への電場効果と時間分解蛍光測定」、*2003年 CIST/MAT コロキウム*、千歳 (2003-10)
- 6) N. Ohta: "Electric field effects on photochemical reactions and photofunction of materials", *Second 21st Century COE "Towards Creating New Industries Based on Inter-Nanoscience" and 7th Sanken International Symposium on Hybridization of Chemistry, Biology and Material Science-Perspective in Nanoscience-*, Osaka (2004-01)
- 7) T. Nakabayashi: "Ultrafast relaxation dynamics in liquid systems", *The 6th RIES-Hokudai Symposium*, 札幌 (2004-12)
- 8) 太田信廣:「高分子薄膜にドーピングされた色素分子 PL への外部電界効果と EL 特性」、*光電相互変換第125委員会及び EL 分科会第29回研究会*、東京 (2004-12)
- 9) 太田信廣:「固体膜中における光化学反応への電場効果」、*平成16年度日本分光学会秋季講演会・シンポジウム「分光学の最前線*」、仙台 (2004-11)
- 10) N. Ohta: "Electric Field Effects on Emission and Photofunction of Materials", *カーネギーメロン大学化学教室セミナー*, Pittsburgh, USA (2004-09)
- 11) 太田信廣:「シュタルク発光分光による光反応および光機能物性研究」、*日本分光学会・北海道支部設立記念講演会「新しい分子スペクトロスコープの展開*」、札幌 (2004-08)
- 12) N. Ohta: "Acceleration and Deceleration of Photochemical Processes by an External Electric Field", *The 4th Asian Photochemistry Conference*, Taipei, Taiwan (2005-01)
- 13) 太田信廣:「凝集系における吸収・発光シュタルク分光」、*分子研研究会 生体分光と分子イメージングの最前線*、岡崎 (2005-01)
- 14) 中林孝和:「光イオン化に伴う芳香族イオンと取り囲む溶媒分子の超高速ダイナミクス」、*第22回ライラックセミナー・第11回若手研究者交流会*、北海道 (2005-06)
- 15) 太田信廣:「吸収と発光の電場効果によるポルフィリン錯体の励起状態の構造とダイナミクス」、*第18回配位化*

- 合物の光化学討論会、宮城県松島町 (2005-08)
- 16) N. Ohta: "Electric Field Effects on Photoexcitation Dynamics in a Polymer Film", XXII International Conference on Photochemistry 2005, Cairns, Australia (2005-07)
  - 17) N. Ohta: "External Electric Field Effects on Photoinduced Electron Transfer Processes and Time-resolved Electrofluorescence Measurements", 2-Day Symposium to Commemorate the 80th Birthday of Professor Noel Hush, Sydney, Australia (2005-07)
  - 18) 中林孝和: 「蛍光寿命イメージングによる細胞内微視的環境の観測」、日本分光学会北海道支部シンポジウム「イメージング分光の生体および材料研究への応用」、札幌 (2006-02)
  - 19) N. Ohta: "Electric field effects on photoluminescence and photofunction of materials", International Symposium on Molecular Photonics devoted to the memory of Acad. A.N.Terenin St.Petersburg, Russia, St.Petersburg, Russia (2006-06)
  - 20) N. Ohta: "Electric field effects on fluorescence and the relation to dynamics in molecular system and in biological system", Invited seminar, Hsinchu, Taiwan (2006-11)
  - 21) T. Nakabayashi and N. Ohta: "Control of Emission Intensities of CdS Nanoparticles Using External Electric Fields", International Symposium on Nanocluster Chemistry and Life Science, Sapporo (2007-01)
  - 22) H. Wang, T. Nakabayashi, K. Tsujimoto, S. Miyauchi, N. Kamo and N. Ohta: "Intracellular pH measurement of a single halobacterium by fluorescence lifetime imaging microscopy", International Symposium on Nanocluster Chemistry and Life Science, Sapporo (2007-01)
  - 23) 太田信廣、中林孝和、飯森俊文、金城政孝: 「単一細胞内反応ダイナミクスにおけるシュタルク効果の計測」、第7回公開シンポジウム 分子系の極微構造反応の計測とダイナミクス、東京都 (2007-01)
- b. 一般講演**
- i) 学会**
- 1) 飯森俊文、吉沢友和、中林孝和、太田信廣: 「80K から室温までの温度変化にともなうピレンの電場蛍光スペクトルの変化」、日本化学会第84回春季年会、神戸 (2004-03)
  - 2) 溝口美和子、太田信廣: 「電場と磁場の同時作用下における光誘起電子移動ダイナミクス」、光化学討論会、島根 (2003-11)
  - 3) 松崎洋市、野上敦嗣、岩城裕司、太田信廣、吉田直哉、荒谷直樹、大須賀篤弘、田中一義: 「meso, meso 連結ポルフィリンアレイの電子励起状態と電場吸収スペクトルに関する理論的研究」、光化学討論会、島根 (2003-11)
  - 4) 小原祐樹、中林孝和、岩崎健太郎、鳥本司、大谷文章、平谷卓之、小西克明、太田信廣: 「CdS ナノクラスターの吸収及び蛍光への電場効果」、光化学討論会、松江 (2003-11)
  - 5) 森川武弘、中林孝和、太田信廣: 「ピレン連結化合物の蛍光寿命に対する外部電場効果と EL 発光の発生」、光化学討論会、松江 (2003-11)
  - 6) 中林孝和、M. Wahadoszamen、太田信廣: 「ジフェニルポリエン分子の trans-cis 光異性化反応の外部電場依存性」、光化学討論会、松江 (2003-11)
  - 7) 吉沢友和、岩城裕司、中林孝和、太田信廣: 「ポリマー中における4-ジメチルアミノベンゾニトリルの蛍光減衰の外部電場効果」、光化学討論会、松江 (2003-11)
  - 8) 太田信廣、中林孝和、津島稔、今堀博、玉木浩一、坂田祥光、福住俊一: 「光誘起電子移動反応ダイナミクスへの電場効果と時間分解電場蛍光スペクトル測定」、光化学討論会、松江 (2003-11)
  - 9) 中林孝和、M. Wahadoszamen、太田信廣: 「時間分解電場蛍光分光法による Push-Pull 型ジフェニルポリエン誘導体の分子内電荷移動過程の研究」、光化学討論会、松江 (2003-11)
  - 10) 飯森俊文、岩橋崇、大内幸雄、西寿朗、金井要、関一彦、石井久夫、濱口宏夫、D. Kim: 「和周波混合振動分光を用いたイオン液体の気/液界面における配向の解析」、2003分子構造総合討論会、京都 (2003-09)
  - 11) 岡部智絵、中林孝和、井口佳哉、西信之、関谷博: 「N-サリチリデンアニリンの高速ダイナミクス—励起状態分子内プロトン移動反応と内部転換の競合—」、分子構造総合討論会、京都 (2003-09)
  - 12) 中林孝和、M. Wahadoszamen、太田信廣: 「ジフェニルポリエン分子の光励起ダイナミクスに対する外部電場効果—時間分解電場蛍光分光法による研究—」、分子構造総合討論会、京都 (2003-09)
  - 13) 森川武弘、中林孝和、太田信廣: 「ピレン連結化合物の光励起ダイナミクスに対する外部電場効果と電界発光の観測」、分子構造総合討論会、京都 (2003-09)
  - 14) 竹下幸一、太田信廣: 「S0-S1遷移に伴う電気双極子の変化」、2003分子構造総合討論会、京都 (2003-09)
  - 15) 岩城裕司、太田信廣、大須賀篤弘: 「ポルフィリン連結分子の電場吸収スペクトルと非線形光学特性」、2003分子構造総合討論会、京都 (2003-09)
  - 16) T. Nakabayashi, M. Wahadoszamen, M. Tsushima and N. Ohta: "External electric field effects on photoinduced charge transfer and isomerization reactions of polyene molecules", XXI st International Conference on Photochemistry, Nara, Japan (2003-07)
  - 17) A. Ara, 飯森俊文、中林孝和、太田信廣: 「Temperature dependence of electric field effects on fluorescence spectra of pyrene butyric acid doped in a polymer film」、日本化学会北海道支部2004年夏季研究発表会、苫小牧 (2003-07)
  - 18) 森川武弘、中林孝和、太田信廣: 「ピレン連結化合物のエキシマー蛍光における電場効果とポリマー膜中での電界発光の形成」、日本化学会北海道支部2003年夏季研究発表会、北見 (2003-07)
  - 19) 小原祐樹、中林孝和、太田信廣、岩崎健太郎、鳥本司、大谷文章: 「CdS ナノクラスター粒子の電場吸収スペク

- トル」、日本化学会北海道支部2003年夏季研究発表会、北見 (2003-07)
- 20) 岩城裕司、Z. A. Klaas、中林孝和、太田信廣：「ジメチルアミノベンゾニトリルの吸収および蛍光への電場効果」、日本化学会北海道支部2003年夏季研究発表会、北見 (2003-07)
- 21) A. M. Ara、森川武弘、中林孝和、太田信廣：「Electric field effect on excimer fluorescence of pyrene」、日本化学会北海道支部2003年夏季研究発表会、北見 (2003-07)
- 22) 中林孝和、M. Wahadoszamen、太田信廣：「ポリエチレン誘導体の光誘起分子内電荷移動反応における外部電場効果」、日本化学会北海道支部2003年夏季研究発表会、北見 (2003-07)
- 23) M. Wahadoszamen、中林孝和、太田信廣：「External electric field effects on photoisomerization dynamics of polyenes」、日本化学会北海道支部2003年夏季研究発表会、北見 (2003-07)
- 24) 中林孝和、津島稔、太田信廣：「ポリエチレン分子の分子内電荷移動および異性化反応に対する外部電場効果」、第19回化学反応討論会、仙台 (2003-06)
- 25) J. Erko、太田信廣：「Stark spectroscopy of indole and 3-methylindole」、第19回化学反応討論会、仙台 (2003-06)
- 26) 太田信廣、津島稔、牛坂健：「光誘起電子移動反応への電場効果と時間分解電場蛍光測定」、第19回化学反応討論会、仙台 (2003-06)
- 27) 松家 則孝、飯森俊文、大内幸雄、関一彦、D. Kim：「和周波発生法によるポリイミド/基板界面構造の基板依存性の研究」、2004年春期応用物理学会学術講演会、東京 (2004-03)
- 28) 中林孝和、森川武弘、太田信廣：「時間分解電場蛍光分光によるピレン連結化合物の光励起ダイナミックスの外部電場依存性」、日本化学会第84回春季年会、神戸 (2004-03)
- 29) 中林孝和、太田信廣：「ポリペプチドの赤外吸収スペクトルの外部電場効果」、日本化学会第85春季年会、横浜 (2005-03)
- 30) 飯森俊文、吉沢友和、中林孝和、太田信廣：「ピコ秒時間分解電場蛍光分光法を用いたエチルカルバゾール/テレフタル酸ジメチルにおける光誘起電子移動反応への外部電場効果の研究」、2004年 光化学討論会、筑波 (2004-11)
- 31) 森川武弘、中林孝和、飯森俊文、吉沢友和、太田信廣：「極低温下におけるピレン連結化合物の電界発光と発光スペクトルの外部電場効果」、光化学討論会、筑波 (2004-11)
- 32) M. Ara、飯森俊文、吉沢友和、中林孝和、太田信廣：「Temperature dependence of electric field effects on fluorescence spectra of pyrene and its derivative doped in a polymer film」、光化学討論会、筑波 (2004-11)
- 33) M. Wahadoszamen、中林孝和、太田信廣：「External electric field effects on the absorption and fluorescence spectra of the mixtures of tetraphenylporphyrin [MTPP] (M=H<sub>2</sub>, Zn, Cu, Ni and Co) and fullerene doped in a PMMA film」、光化学討論会、筑波 (2004-11)
- 34) 中林孝和、森川武弘、太田信廣：「外部電場によるピレンおよびピレン連結化合物の光励起ダイナミックスの変化—時間分解電場蛍光分光による研究—」、分子構造総合討論会、広島 (2004-09)
- 35) 岡部智絵、中林孝和、井口佳哉、西信之、関谷博：「N-サリチリデンアニリンのイオン検出フェムト秒時間分解分光—フォトリソミック反応における高速内部転換の重要性—」、分子構造総合討論会、広島 (2004-09)
- 36) 大内幸雄、遠山達哉、岩橋崇、飯森俊文、金井要、関一彦、浜口宏夫、D. Kim：「赤外—可視和周波混合分光法を用いたイオン液体[BMIM]BF<sub>4</sub>-水混合系の気/液界面構造に関する研究」、分子構造総合討論会 2004、広島 (2004-09)
- 37) 吉沢友和、太田信廣：「ポリマー中におけるアズレン電場吸収、電場発光スペクトルの特異的な温度依存性」、分子構造総合討論会2004、広島 (2004-09)
- 38) N. Ohta, T. Nakabayashi, T. Iimori, T. Yoshizawa and T. Morikawa: "A relation between external electric field effect on photoluminescence and generation efficiency of electroluminescence: methylene-linked compounds of pyrene doped in a polymer film", Electroluminescence Conference 2004 Light and Colour from Solids, Tronto, Canada (2004-09)
- 39) 中林孝和、森川武弘、太田信廣：「ピレンの光励起ダイナミックスの外部電場効果—ピコ秒時間分解電場蛍光分光による研究—」、日本化学会北海道支部2004年夏季研究発表会、苫小牧 (2004-07)
- 40) 吉沢友和、太田信廣、鈴鹿敢：「アズレンの電場吸収スペクトルにおける温度依存性」、日本化学会北海道支部2004年夏季研究発表会、苫小牧 (2004-07)
- 41) 飯森俊文、吉沢友和、中林孝和、太田信廣：「エチルカルバゾール/テレフタル酸ジメチル系における光誘起電子移動反応への外部電場効果の実時間測定」、日本化学会北海道支部2004年夏季研究発表会、苫小牧 (2004-07)
- 42) M. Wahadoszamen、中林孝和、太田信廣：「External electric field effects on absorption spectra of tetraphenylporphyrin and fullerene doped in a PMMA film」、日本化学会北海道支部2004年夏季研究発表会、苫小牧 (2004-07)
- 43) A. Ara、飯森俊文、中林孝和、太田信廣：「Temperature dependence of electric field effects on fluorescence spectra of pyrene butyric acid doped in a polymer film」、日本化学会北海道支部2004年夏季研究発表会、苫小牧 (2004-07)
- 44) N. Ohta, Y. Ohara, T. Nakabayashi, K. Iwasaki, T. Torimoto and B. Ohtani: "Electric field effects on absorption and emission spectra of CdS nanoparticles in a polymer film", 15th International Conference on Photochemical Conversion and Storage of Solar Energy, Paris, France

- (2004-07)
- 45) 飯森俊文、吉沢友和、中林孝和、太田信廣：「光誘起電子移動反応への外部電場効果の実時間測定：エチルカルバゾール/テレフタル酸ジメチル」、第20回化学反応討論会、東京 (2004-06)
  - 46) 小原祐樹、中林孝和、岩崎健太郎、鳥本司、大谷文章、平谷卓之、小西克明、太田信廣：「CdS ナノクラスターの光反応と光学特性の外部電場効果」、第20回化学反応討論会、東京 (2004-06)
  - 47) 中林孝和、金城政孝、太田信廣：「蛍光寿命イメージングシステムの製作と生体試料への応用」、日本化学会第86春季年会、東京 (2006-03)
  - 48) 中林孝和、金城政孝、太田信廣：「蛍光性タンパク質から色素への励起エネルギー移動の実時間観測」、日本化学会第86春季年会、東京 (2006-03)
  - 49) 飯森俊文、内藤俊雄、太田信廣：「 $\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub>の金属-絶縁体相転移に対する光照射効果」、日本化学会第86春季年会、船橋 (2006-03)
  - 50) 中林孝和、小原祐樹、岩崎健太郎、鳥本司、大谷文章、平谷卓之、小西克明、太田信廣：「CdS ナノ粒子の発光制御-外部電場効果・光照射効果-」、日本化学会北海道支部2006年冬季研究発表会、札幌 (2006-01)
  - 51) Ara Mane、吉沢友和、飯森俊文、中林孝和、太田信廣：「Temperature dependence of a field-induced change in fluorescence spectra of pyrene and perylene doped in a polymer film」、日本化学会北海道支部2006年冬季研究発表会、札幌 (2006-01)
  - 52) 中林孝和、太田信廣：「水素結合系の赤外吸収スペクトルの外部電場効果」、分子構造総合討論会、東京 (2005-09)
  - 53) 飯森俊文、内藤俊雄、太田信廣：「分子性導体 BEDT-TTF 塩の電気伝導度に対する光照射効果」、分子構造総合討論会2005、東京 (2005-09)
  - 54) Jalviste Erko、太田信廣：「ポリマー中における分子の電場配向と電場吸収スペクトル」、分子構造総合討論会2005、東京 (2005-09)
  - 55) 柏木慎一郎、飯森俊文、太田信廣：「ヨウ化銀及び超イオン伝導ガラスの電気伝導度に対する光照射効果」、分子構造総合討論会2005、東京 (2005-09)
  - 56) 中林孝和、飯森俊文、高橋保夫、金城政孝、太田信廣：「細胞内光励起ダイナミクスを観測するための蛍光寿命イメージングおよび時間分解蛍光スペクトル測定システムの開発」、2005年光化学討論会、福岡 (2005-09)
  - 57) 中林孝和、小原祐樹、岩崎健太郎、鳥本司、大谷文章、平谷卓之、小西克明、太田信廣：「CdS ナノ粒子の外部電場による消光現象-時間分解電場蛍光分光による研究-」、2005年光化学討論会、福岡 (2005-09)
  - 58) Ara Anjue Mane、吉沢友和、飯森俊文、中林孝和、太田信廣：「Temperature dependence of field-induced change in fluorescence spectra of perylene doped in a polymer film」、2005年光化学討論会、福岡 (2005-09)
  - 59) 吉沢友和、飯森俊文、中林孝和、太田信廣：「ピレン/フタルイミド系における光誘起電子移動反応への外部電場効果」、2005年光化学討論会、福岡 (2005-09)
  - 60) Md. Wahadoszanen、中林孝和、太田信廣：「Effects of external electric field on the excitation dynamics of diphenylpolyenes and diphenylpolyynes」、2005年光化学討論会、福岡 (2005-09)
  - 61) 飯森俊文、呉 波、吉沢友和、中林孝和、太田信廣：「フェナントレン/フタルイミドの光誘起電子移動反応における外部電場効果-メチレン鎖連結による影響-」、2005年光化学討論会、福岡 (2005-09)
  - 62) 吉沢友和、飯森俊文、太田信廣、新留康郎、山田淳：「金ナノロッドの電場吸収スペクトル」、2005年光化学討論会、福岡 (2005-09)
  - 63) 吉沢友和、太田信廣：「エレクトロロミネッセンスにおける電場磁場効果」、2005年 光化学討論会、福岡 (2005-09)
  - 64) 太田信廣、中林孝和、飯森俊文、金城政孝：「Stark Spectroscopy and Reaction Dynamics in a Single Cell」、第5回特定領域研究シンポジウム、埼玉市 (2005-06)
  - 65) 飯森俊文、吉沢友和、中林孝和、太田信廣：「光誘起電子移動反応への電場効果：エチルカルバゾール/テレフタル酸ジメチル系における時間分解スペクトル測定」、第21回化学反応討論会、吹田 (2005-06)
  - 66) 中林孝和、森川武弘、太田信廣：「時間分解電場蛍光分光によるピレンエキシマーの生成・消滅反応の外部電場効果」、第21回化学反応討論会、吹田 (2005-06)
  - 67) 中林孝和、長尾 一生、王会平、金城政孝、太田信廣：「蛍光寿命イメージングによる単一細胞内の微視的環境変化の計測」、分子構造総合討論会、静岡 (2006-09)
  - 68) 田山純平、飯森俊文、中林孝和、太田信廣：「溶液中における紫外・可視領域電場変調吸収スペクトルの測定」、分子構造総合討論会、静岡市 (2006-09)
  - 69) 柏木慎一郎、飯森俊文、太田信廣：「ヨウ化銀及び超イオン伝導ガラスの電気伝導度に対する光照射効果(II)」、分子構造総合討論会2006、静岡 (2006-09)
  - 70) 飯森俊文、内藤俊雄、太田信廣：「有機電荷移動錯体の電流双安定性 -光ヒステリシスと電場制御-」、分子構造総合討論会2006、静岡 (2006-09)
  - 71) アラ マン アンジュ、飯森俊文、中林孝和、前多肇、水野一彦、太田信廣：「A remarkable field-induced change in fluorescence spectra of organosilicon compounds of pyrene doped in a PMMA film: substituent effect, concentration effect, temperature effect」、光化学討論会、仙台市 (2006-09)
  - 72) カムレシュ アワステイ、飯森俊文、メハタ モハンシン、太田信廣：「Electric field effects on absorption spectra of hydroxyquinolines doped in polymer film: Stark shift and molecular motion」、光化学討論会、仙台市 (2006-09)
  - 73) 王会平、中林孝和、辻本和雄、宮内正二、加茂直樹、太田信廣：「Intracellular pH Measurements of a Single Bacterium by Fluorescence Lifetime Imaging Microscopy」、光化学討論会、仙台市 (2006-09)

- 74) 中林孝和、長尾一生、王会平、金城政孝、太田信廣：「蛍光寿命イメージングによる単一細胞内の微視的環境変化の計測」、光化学討論会、仙台（2006-09）
- 75) 飯森俊文、内藤俊雄、太田信廣：「有機電荷移動錯体における光誘起電流スイッチング現象とその電場制御」、光化学討論会、仙台市（2006-09）
- 76) M. Wahadoszamen、浜田辰夫、飯森俊文、中林孝和、太田信廣：External Electric Field Effects on Absorption, Fluorescence and Phosphorescence Spectra of Diphenylpolyynes Doped in a PMMA Film」、光化学討論会、仙台（2006-09）
- 77) 中林孝和、呉 波、森川武弘、飯森俊文、太田信廣：「ナフタレン-アントラセンの連結化合物の吸収および蛍光スペクトルの外部電場効果」、光化学討論会、仙台（2006-09）
- 78) T. Iimori, T. Yoshizawa, T. Nakabayashi and N. Ohta: "Time-resolved measurements of external electric field effects on fluorescence of electron donor-acceptor pairs: N-ethylcarbazole and dimethylterephthalate doped in a polymer film", XXIst IUPAC symposium on photochemistry, 京都（2006-04）
- 79) T. Nakabayashi, Y. Ohara, K. Iwasaki, T. Torimoto, B. Ohtani, T. Hiratani, K. Konishi and N. Ohta: "Time-Resolved Electroemission Studies on Photoexcitation Dynamics of CdS Nanoparticles in a Polymer Film", XXXst IUPAC Symposium on Photochemistry, Kyoto（2006-04）
- 80) N. Ohta, T. Nakabayashi, T. Iimori and T. Yoshizawa: "External Electric Field Effects on Photoluminescence of Pyrene in Relation with the Electroluminescence Efficiency", XXXst IUPAC Symposium on Photochemistry, Kyoto（2006-04）
- 81) 中林孝和、王会平、長尾一生、金城政孝、太田信廣：「蛍光寿命イメージングによる単一細胞計測」、日本化学会第86春季年会、大阪（2007-03）
- 82) 田山純平、飯森俊文、中林孝和、太田 信廣：「Coumarin 153の様々な溶媒中における紫外・可視電場吸収スペクトルの測定」、日本化学会第86春季年会、大阪（2007-03）
- 83) 飯森俊文、内藤俊雄、太田信廣：「分子性導体の光誘起絶縁体-金属相転移とパルス電場制御メモリー効果」、日本化学会第87春季年会、大阪（2007-03）
- 84) 飯森俊文、呉 波、吉沢友和、中林孝和、太田信廣：「分子内光誘起電子移動反応系における蛍光スペクトルへの外部電場効果と反応自由エネルギー変化の評価」、日本化学会第87春季年会、大阪（2007-03）
- 85) 中林孝和、長尾一生、王会平、金城政孝、太田信廣：「蛍光寿命イメージングによるストレスによって引き起こされる細胞内の環境変化の計測」、日本化学会北海道支部2007年冬季研究発表会、札幌（2007-02）
- 86) 田山純平、飯森俊文、中林孝和、太田信廣：「Coumarinの溶液中における紫外・可視電場変調吸収スペクトルの測定」、日本化学会北海道支部2007年冬季研究発表会、札幌（2007-02）
- 87) 菊地隼人、吉沢友和、浜田辰夫、飯森俊文、中林孝和、太田信廣：「電界発光と蛍光スペクトルへの外部電場効果の間の相関」、日本化学会北海道支部2007年冬季研究発表会、札幌（2007-02）
- 88) 大島瑠利子、浜田辰夫、飯森俊文、中林孝和、太田信廣：「量子サイズ効果を有する金ナノクラスターの発光特性と電場効果」、日本化学会北海道支部2007年冬季研究発表会、札幌（2007-02）
- 89) 飯森俊文、内藤俊雄、太田信廣：「有機電荷移動錯体の電流双安定性における光ヒステリシスとメモリー効果およびその電場制御」、日本化学会北海道支部2007年冬季研究発表会、札幌（2007-02）
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) 太田信廣：「単一細胞内反応ダイナミクスにおけるシュタルク効果の計測」、文部科学省科学研究費補助金「特定領域研究」分子系の極微構造反応の計測とダイナミクス、吹田市（2005-02）
- 2) 太田信廣、中林孝和、飯森俊文：「時間分解蛍光シュタルク分光測定装置および空間分解蛍光寿命測定装置の開発」、文部科学省科学研究費補助金「特定領域研究」分子系の極微構造反応の計測とダイナミクス、吹田市（2005-02）
- 3) N. Ohta, T. Nakabayashi, M. Tsushima and T. Ushizaka: "Time-resolved measurements of electric field effects on photoinduced electron transfer", IUPAC Symposium on Photochemistry, Granada, Spain（2004-07）
- 4) 太田信廣、中林孝和、飯森俊文 and 金城政孝："Stark Spectroscopy and Reaction Dynamics in a Single Cell", 第5回特定領域研究シンポジウム、埼玉市（2006-06）
- 5) 太田信廣、中林孝和、飯森俊文、金城政孝：「Stark Spectroscopy and Reaction Dynamics in a Single Cell」、第5回特定領域研究シンポジウム、埼玉市（2005-06）
- 6) 太田信廣、中林孝和、飯森俊文、金城政孝：「単一細胞内反応ダイナミクスにおけるシュタルク効果の計測」、第6回公開シンポジウム 分子系の極微構造反応の計測とダイナミクス、福岡市（2006-10）

#### 4.6 シンポジウムの開催

##### a. 国際シンポジウム

- 1) 太田信廣："International Symposium for the Promotion of Academic Exchange"（北海道大学電子科学研究所2階講堂（札幌市））（2007年3月22日）
- 2) 太田信廣："International Symposium on "Nanocluster Chemistry and Life Science""（北海道大学創成科学研究棟（札幌市））（2007年1月29日—30日）

##### b. 一般のシンポジウム（組織者名、部門名、シンポジウム名、参加人数、開催場所、開催期間）

- 1) 太田信廣："シンポジウム「分光学の新たな展開—物質科学・生命科学への挑戦」"（北海道大学学術交流会館（札幌市））（2003年12月10日）

#### 4.7 予算獲得状況

##### a. 科学研究費補助金 (研究代表者、分類名、研究課題、期間)

- 1) 中林孝和、若手研究 A、赤外シュタルク分光法を用いた巨大分子の構造-機能相関の解明(2003~2005年度)
- 2) 中林孝和、萌芽研究、超高速時間分解電場変調分光法の開発と電荷移動反応への応用(2003~2004年度)
- 3) 太田信廣、基盤研究 A (2)、光、電場、磁場を摂動とする構造-反応-機能相関の研究(2003~2005年度)
- 4) 太田信廣、特定領域研究 (2)、電磁場制御環境下における光化学反応の研究(2003~2004年度)
- 5) 太田信廣、特定領域研究 (2)、単一細胞内反応ダイナミクスにおけるシュタルク効果の計測(2004~2006年度)
- 6) 中林孝和、若手研究A、時間分解顕微吸収イメージングシステムによる非蛍光性の生体試料の画像観測(2006~2008年度)
- 7) 飯森俊文、若手研究 (B)、シュタルク非線形分光法の開発と有機/金属界面構造研究への応用(2005~2006年度)
- 8) 飯森俊文、特定領域研究、電場吸収・発光分光法によるイオン液体の分子配向と溶媒溶質相互作用の研究(2006~2007年度)

##### d. 奨学寄付金 (研究担当者、機関名、研究課題、研究期間、総経費、研究内容)

- 1) 太田信廣、光科学技術研究振興財団、時間分解発光シュタルク分光法の開発と光誘起ダイナミクスへの電場効果に関する研究、2003年度
- 2) 太田信廣、ノーステック財団、可視・紫外発光有機EL素子の開発、2003年度
- 3) 中林孝和 (財団法人住友財団): 「フェムト時間分解電場蛍光測定システムの開発と光機能性分子への応用」、2004~2005年度

#### 4.10 社会教育活動

##### a. 公的機関の委員

- 1) 太田信廣: Editor, Asian Journal of Spectroscopy (1997年1月1日~現在)
- 2) 太田信廣: 分子科学研究所運営協議委員 (人事委員) (2001年5月1日~2004年3月31日)
- 3) 太田信廣: 科学研究費委員会専門委員 (2003年1月1日~2003年9月30日)
- 4) 太田信廣: 特別研究員等審査会専門委員 (2002年8月1日~2004年7月31日)
- 5) 太田信廣: 分子科学研究所学会等連絡会議構成員 (2002年4月1日~2004年3月31日)
- 6) 太田信廣: 分子科学研究所学会等連絡会議構成員 (2004年8月16日~2005年3月31日)
- 7) 太田信廣: 分子科学研究所学会等連絡会議構成員 (2005年4月1日~2007年3月31日)
- 8) 太田信廣: 科学研究費委員会専門委員 (2004年1月1日~2004年12月31日)

- 9) 太田信廣: 分子科学研究所運営会議委員 (人事委員) (2004年4月1日~2006年3月31日)
- 10) 太田信廣: 分子科学研究所、運営会議委員 (2004年4月1日~2006年3月31日)
- 11) 太田信廣: 分子科学研究所、人事選考委員 (2004年4月1日~2006年3月31日)
- 12) 太田信廣: 科学研究費委員会専門委員 (2006年6月23日~2006年12月31日) (第三部会 数物系科学・化学小委員会)

##### b. 国内外の学会の役職

- 1) 太田信廣: 日本化学会北海道支部代議員 (2002年11月1日~2003年10月31日)
- 2) 太田信廣: 光化学協会理事 (2004年1月1日~2005年12月31日)
- 3) 太田信廣: 第16期分子科学研究会委員 (2002~2004年度)
- 4) 太田信廣: 日本分光学会代議員 (2005年1月20日~現在)
- 5) 太田信廣: 分子構造総合討論会運営委員会委員 (2002年10月2日~2006年10月31日)
- 6) 太田信廣: 日本分光学会北海道支部長 (2005年5月1日~2007年11月30日)
- 7) 太田信廣: 日本化学会北海道支部役員 (幹事) (平成18年度) (2006年3月1日~2007年2月28日)
- 8) 太田信廣: 平成18年度日本化学会北海道支部学会賞、学術賞等推薦委員 (2006年6月22日~2006年7月11日)
- 9) 太田信廣: 分子科学会運営委員会委員 (2006年10月1日~2008年8月31日)
- 10) 太田信廣: 分子科学会幹事 (2006年10月1日~2008年8月31日)
- 11) 中林孝和: 日本分光学会編集委員会委員 (2005年2月18日~2007年5月31日)
- 12) 中林孝和: 日本化学会北海道支部夏季研究発表会プログラム編成委員 (2006年5月9日~2006年7月23日)

##### c. 新聞・テレビ等の報道

- 1) 太田信廣: 日本工業新聞、「発光素子をリアルタイム観測 原理究明へ新装置」、2004年1月29日

##### d. 修士学位及び博士学位の取得状況

###### ・修士学位

- 1) 小原祐樹: ポリマー薄膜中における CdS ナノ粒子の吸収および発光特性への外部電場効果 (2003)
- 2) 森川武弘: 高分子薄膜中における連結芳香族化合物の蛍光への外部電場効果 (2003)
- 3) 柏木慎一郎: ヨウ化銀及び超イオン伝導ガラスの電気伝導度への光励起効果 (2005)
- 4) 菊地隼人: 蛍光スペクトルへの電場効果と電界発光の相関 (2006)
- 5) 田山純平: 溶液の紫外可視電場変調吸収スペクトルの測定 (2006)

###### ・博士学位

- 1) 吉沢友和: 固体膜中における光誘起電子移動反応への外部電場効果と高速時間分解発光測定 (2003)
- 2) M. Wahadoszamen: Study of Excited State Dynamics and

Electronic Structure with Electric Field Modulation Spectroscopy in Some Photoinduced Electron Transfer Systems (2005)

- 3) Ara Anju Mane: Study of Electric Field Effects on Excimer Fluorescence of Some Aromatic Compounds in a Polymer Film (2006)

**e. 大学院担当講義科目**

- 1) 分子環境学特論 II (2003)
- 2) 光物理化学特論 I (2003)
- 3) 光分子化学実習 (2003~2004)
- 4) 物質環境科学論文購読 I (2003~2004)
- 5) 物質環境科学論文購読 II (2003~2004)
- 6) 光分子化学研究 (2003~2004)
- 7) 光分子化学特別研究 (2003~2004)
- 8) 物質科学特論 II (2003~2004)
- 9) 大気環境科学特論 II (2004)
- 10) ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論 II (2006)
- 11) 環境物質科学基礎論 II (2005~2006)
- 12) 光分子化学特論 (2005~2006)
- 13) 環境物質科学実習 I (2005~2006)
- 14) 環境物質科学実習 II (2005~2006)
- 15) 環境物質科学論文購読 I (2005~2006)
- 16) 環境物質科学特別研究 I (2005~2006)
- 17) 環境物質科学論文購読 II (2005~2006)
- 18) 環境物質科学特別研究 II (2005~2006)

**h. 北大以外での非常勤講師**

- 1) 太田信廣：非常勤講師 東京工業大学理工学部、2003年5月1日~2003年9月30日
- 2) 太田信廣：非常勤講師 東北大学多元物質科学研究所、2004年11月1日~2004年11月30日

## 相転移物性研究分野

教授 八木駿郎 (北大院、理博、1988.12~2006.3.31)

助教授 辻見裕史 (北大院、理博、1993.3~)

助手 武貞正樹 (2001.8.1~2004.3.31)

科学研究支援員 野田菜摘子 (2003.6.1~2005.3.31)

Dekola Tatsiana (2004.7.20~2006.3.31)

COE 研究員 譚明秋 (2003.7.16~2004.7.16)

院 生 (平成15-18年度)

博士課程

狩野旬、谷口裕樹

修士課程

渡邊一雄、中田洋平、福永正則、真野恵亮

### 1. 研究目標

相転移物性研究分野では物質が相転移を起こすときに観測される顕著な物性変化を手がかりにして、新しい未知の物性の探求およびその発現機構の解明を研究目標としている。従来の物性研究は安定に存在している状態に関するものであるが、相転移現象では、物質が新しい相に転移しようとして示す不安定過程において大きな非線形性などまったく新しい性質が発現する。当研究分野では相転移現象においてこれらの新しい物性を探求し、電子科学材料物性の基本的解明を目指す。

### 2. 研究成果

#### (a) KDP の強誘電性 $B_2$ ソフトモードの励起初期過程

KDP の強誘電体の構造相転移に本質的にかかわる  $B_2$  ソフトモードの形成機構 (励起初期過程) の全時間依存性を求めるために、従来の ISRS 実験法に光学ヘテロダイン検波方式を導入した OHD-ISRS 方式を新たに構築した。この新方式で、電子応答の信号とソフトモード信号間にある位相差を利用する事により、見かけ上電子応答の信号を消去し、図1に示すようにソフトモードの全時間依存性を時間原点から観測することに成功した。そして、初期過程の時間依存性はガウス型関数的であり、その振舞いは熱的揺らぎに影響を受けない力学的な過程であると結論づけた。

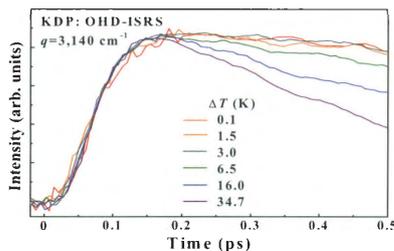


図1. KDP の  $B_2$  モードの励起初期過程

#### (b) 高分解能・広帯域光散乱法による高分子ゲルのダイナミクスの研究

無秩序・複雑系である高分子ゲルの高分子ゲルネットワーク構造に起因した規則性のある動的階層構造を明らかに

した。実験はポリ-2-アクリルアミド-2-メチルプロパンスルホン酸 (PAMPS) ゲルの光散乱で、セントラルピーク (CP) スペクトルを観測した。その結果、図2に示すように三層の動的階層性があることが明らかになった。その緩和ダイナミクスをあらわす CP を半値半幅の大きい順に 1stCP、2ndCP、3rdCP としたとき、3rdCP が緩和時間 ( $\sim 10^{-8}$ sec) を持つ高次の大スケール粗密構造のスローな揺らぎを反映していると考えられる。

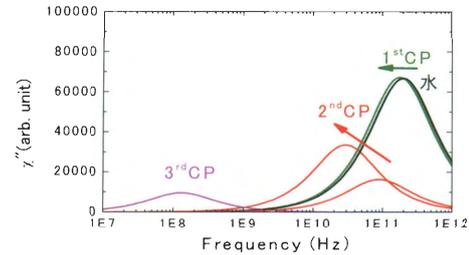


図2. PAMPS ゲルにおける3段階の緩和構造。矢印は架橋度が増加したときの緩和時間の変化を示す。

#### (c) 電解質高分子ゲルのゲルダイナミクスの対イオン効果

電解質ゲルでは、高分子イオンに結合する対イオンの存在がゲルを構成する高分子ネットワークの平衡構造の形成に重要な役割を担っている。本研究では、平衡状態における系の揺らぎと対イオン濃度の関係を光散乱法で調べている。スペクトルはセントラル成分を持ち、水の動的振舞いに起因する緩和 ( $\sim 150$ GHz、 $\sim 10$ GHz) と考えられ、イオンとの水和または高分子によって影響を受ける。高分子に起因する更に遅い緩和も観測された。また、ブリルアンピークはイオン濃度増加と共に顕著に変化し(図3)、高分子ネットワークの収縮による粘弾性の変化を表している。

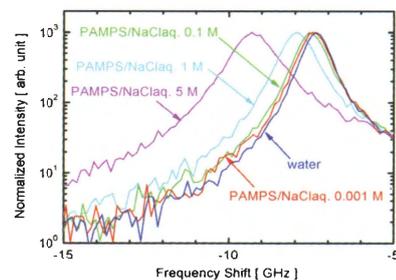


図3. 異なる濃度の NaCl 水溶液中の PAMPS ゲルのブリルアンピーク

#### (d) $\text{SrTi}^{18}\text{O}_3$ の強誘電性相転移での誘電率異方性

強誘電体  $\text{SrTi}^{18}\text{O}_{0.78}\text{O}_{0.22}$  (STO18-78) の強誘電性  $E_u$  ソフトモードは、相転移転点以下で縮退が解け2つに ( $E_{u1}$ 、 $E_{u2}$ ) 分かれることを見いだした (図4)。これらのモードの起源を探るために自発分極  $P_s$  の方向を外部電場の印加によって定め、それに垂直と平行な分極揺らぎによる誘電率の測定に成功した (図5)。その結果、転移点でピークを持つものと、持たないものが得られ、これらは前述の2つの揺らぎに対応する。これは光学モード周波数と誘電率とを関係づける LST 関係を満たしており、誘電率、フォノン測定の結果が一致したことを意味している。

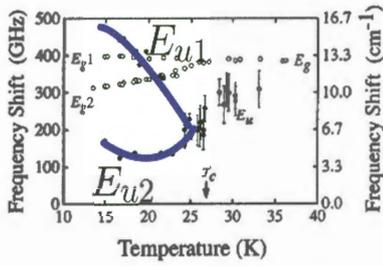


図4. STO18-78のソフトモード

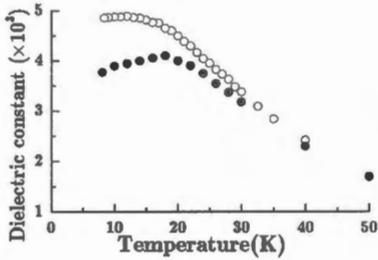


図5. STO18-78の誘電率

(e) 量子揺らぎダイナミクス

物質中の“揺らぎ”を調べることは、相転移機構を解明する為の重要な手段である。これまで、誘電体の相転移物性は“熱揺らぎ”を用いて記述されてきた。しかし、近年発見された量子常誘電体と呼ばれる一連の物質は、極低温領域において“量子揺らぎ”が主要な役割を担っていると考えられる性質を示す。極低温光学測定用に特別に設計された<sup>3</sup>He冷凍光学セルを用いて、100mW レーザー光入射の下で mK 領域の極低温におけるスペクトルをを世界で初めて観測した (図6)。この光学セルを用いて“熱揺らぎ”を極限まで抑制し、量子常誘電体における“量子揺らぎ”を光散乱スペクトルとして直接的に観測することで、“量子揺らぎ”のダイナミクスを解明する。

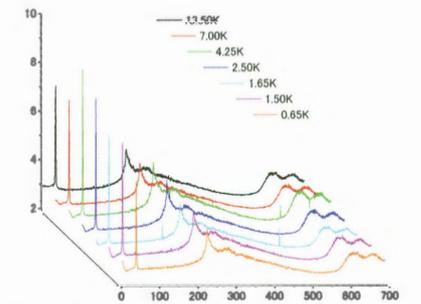


Fig.1 : The Raman spectra of the SrTi<sup>18</sup>O<sub>3</sub>(1-x)18O<sub>3x</sub> (x=0.21) in the low temperature region.

図6. mK 領域における STO18-21 ラマン散乱スペクトラム

(f) Raman scattering study of the super-ionic conductor

Lithium tetraborate crystals Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> (LB4) are promising material for applications in laser techniques with high ionic conductivity at low temperatures. Four Raman active (TO) modes coupled with the Li-ion motion are newly observed in the temperature range between 4.2 K and room temperature.(Fig.7) The peak frequencies of them at 4.2 K are 262, 353, 378 and 423 cm<sup>-1</sup>.

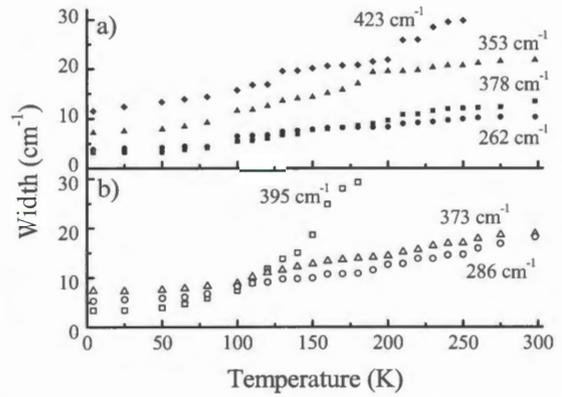


Fig.7. Temperature dependence of the super-ionic related (a) LO and (b) TO modes.

For all the investigated acoustic waves the changes of slopes of elastic constants are observed near 200–250 K. (Fig.8) The temperature behavior of the elastic constants for LB4 reflects a thermally activated process of Li ions motion on elastic properties and confirms the results observed by Raman scattering. Furthermore, the evolution of Raman and Brillouin spectra with temperature in the high temperature region indicates precursory the onset of the super-ionic conduction in the temperature range 200–250 K.

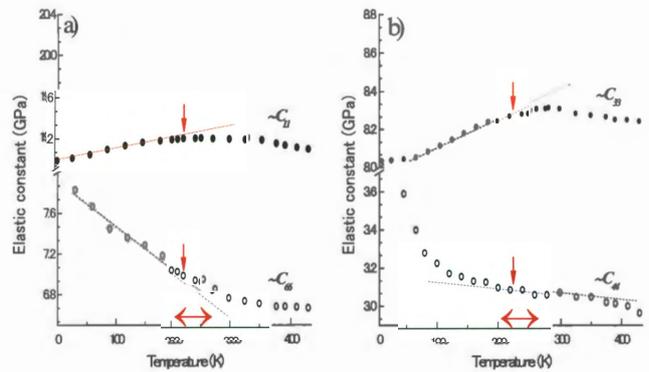


Fig.8. Temperature dependence of elastic constants of LB4.

(g) 強誘電性ソフトモード不均一ソフト化機構の解明

物質の相転移は“揺らぎ”によって支配されている。従って、“揺らぎ”のダイナミクスの研究は、相転移現象の解明において極めて本質的なアプローチである。本研究では、極低温での SrTiO<sub>3</sub> が示す、酸素同位体置換による量子強誘電性相転移に着目し、光散乱を用いて相転移物性を司る未知の“量子揺らぎ”のダイナミクスを明らかにすることを目的としている。光散乱は“揺らぎ”のダイナミクスを直接的に観測することが出来る非常に強力な手法であるが、“量子揺らぎ”が主要な役割を担う極低温での測定はこれまで技術的に不可能であった。そこで本研究では、<sup>3</sup>He 蒸発冷凍を用いた極低温光学セルを特別に設計し、600mK にまで達する極低温領域の光散乱測定を実現した。その結果、極低温領域での SrTiO<sub>3</sub> の光散乱スペクトルにおける劇的な同位体置換効果を発見した。さらに、弱く同位体置換した試料における精密なスペクトル測定により、SrTiO<sub>3</sub> の強誘

電性誘起初期過程において、相転移の直接的な起源であるソフトモードが不均一に不安定化することを見出した (Fig.9)。その結果、極低温における“量子揺らぎ”のダイナミクスにおいて空間的な非一様性が重要な役割を担うことを明らかにした。

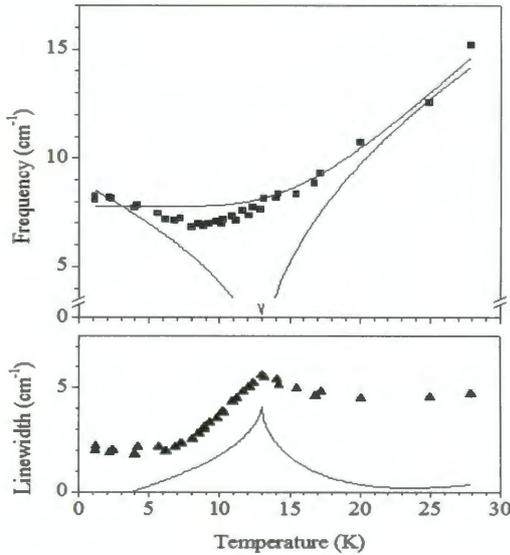


Fig. 9. STO18-32 のソフトモードダイナミクス

(h) ラマン不活性ソフトモードの非線形励起効果の観測  
フェムト秒パルスレーザーの高強度 2Beam 励起により 2 次ラマンバンドからの誘導放射とそれに伴う高次 CARS シグナルが観測される [Fig.10]。この高次光は約  $370\text{cm}^{-1}$  の変調を持ち、次数が上がるにつれて低波長側へとシフトしていく [Fig.11]。2本のピーク強度変化させ、変調構造が励起光強度に対しどのように変化するかを詳細に検討する。



Fig.10. 中心波長 800nm のフェムト秒パルス光による高次 CARS シグナル

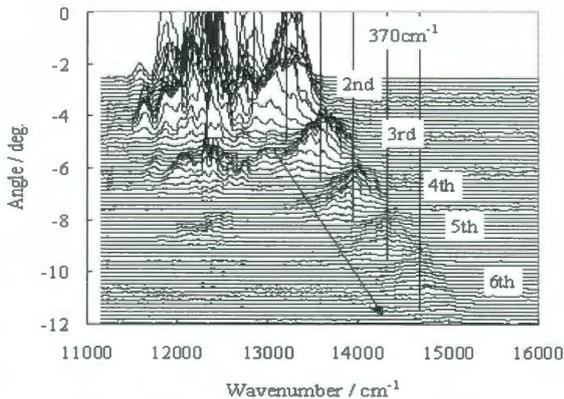


Fig.11. 発生した高次光の波数依存性

(i) リラクサー強誘電体やこれに強誘電体を加えた固溶体であるリラクサーベース強誘電体は広い温度範囲で数万にも及ぶ巨大な誘電率を有し、例えば超小型コンデンサーとして実用化されている。この高誘電率の起源は誘電分散実験等により、nm サイズの極性領域 (PNR) にあり、誘電率が最大値をとる温度  $T_m$  で  $10^{-2}$  秒の時間のスケールをもつと報告されている。一方、これら物質群の光散乱を行うと、周波数がゼロの位置を中心とした幅広いピーク (セントラルピーク) が観測される。このピークの時間スケールは  $T_m$  で  $10^{-11} \sim 10^{-12}$  秒であるとの結果を得ているにも関わらず、その物理的起源は PNR のダイナミクスであると主張されて来たが、誰も証明できないでいた。そこで、リラクサーベース強誘電体  $89\% \text{Pb}(\text{n}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 - 11\% \text{PbTiO}_3$  (PZN-11%PT) にて約  $10^{-9}$  秒まで時間スケールを拡大した高精密光散乱を行い、Vogel-Fulcher 則 ( $T_{VF} \sim 390\text{K}$ ) で誘電分散の結果につながるデータを得ることに成功し、初めて、ピークの起源は PNR ダイナミクスであることを実証した。また、結果として本研究で約 100GHz までの PNR ダイナミクスが明らかになった。

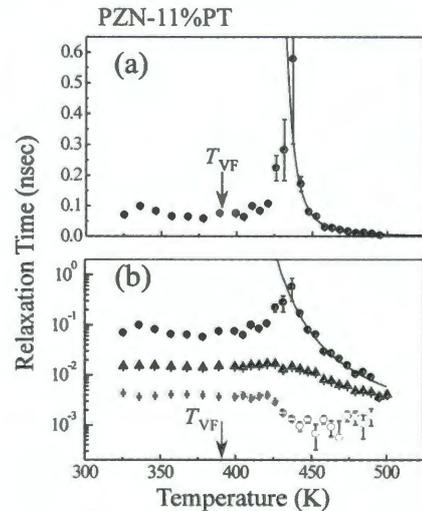


図12. (a) 緩和時間 (時間スケール) の温度依存性  
(b) 対数プロットによる緩和時間の温度依存性 : 図 1 (a) と同じデータ (●)、低精度光散乱の結果 (▲) 図中の曲線は Vogel-Fulcher 則

(以下辻見関係分のみ)

(j)  $\text{SrTi}^{16}\text{O}_3$  (STO16 : チタン酸ストロンチウム) は、量子ゆらぎ (零点振動) が原因となり 0K 近傍でも電気分極が揃った状態 (強誘電状態) を実現できず、電気分極がバラバラな状態 (常誘電状態) のままである“量子常誘電体”と呼ばれる特異な物質である。量子常誘電状態では、多くの奇妙な現象が報告されているが、それが物理的に意味あるものなのかは別問題である。例えば、光誘起巨大誘電率が報告され、センセーションを引き起こしたけれども [M. Takesada, T. Yagi, M. Itho, and S. Koshihara: JPSJ 72 (2003) 37]、これも本来の意味での誘電率をきちんと測定していない結果であるとの強い疑義がだされている。光誘起巨大損失はすでに報告があり、損失が大きければ LCR メータで測定した見かけ上の誘電率が大きく見えるからである。他の

特異現象として、ブロード・ダブルレット (BD: broad doublet) の存在がある。BD は音響フォノンの周波数よりも低い周波数領域で現れ、量子常誘電状態に特有な新素励起であると期待されてきた。しかし、本研究では、STO16の BD と同位体<sup>18</sup>O 置換物質である SrTi<sup>18</sup>O<sub>3</sub> (STO18:置換率99%) の強誘電相での横波音響フォノンとの比較 (図13: スペクトル、図14: 周波数の温度依存性等の比較) 等から、BD が新素励起ではなく、STO16内の局部的誘電体領域を伝わる横波音響フォノンであるとの結果を得ている。

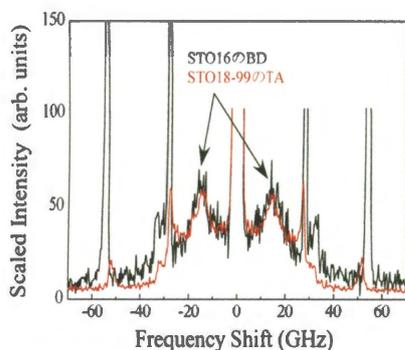


図13. 約20Kにおける STO16 (黒) と STO18 (赤) の光散乱スペクトル。周波数が約17 GHzのところにある幅の広いピークが、STO16では BD、STO18ではソフト化した横波音響フォノン (BD ではない)

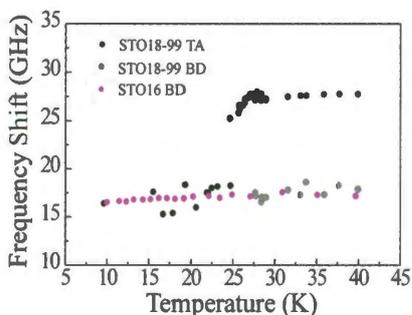


図14. STO16では BD(桃)、STO18では BD(灰)と TA(黒)の周波数の温度依存性

(k) SrTi<sup>18</sup>O<sub>3</sub> (STO18:置換率99%) の強誘電性相転移に伴い縦波音響フォノンが部分的にソフト化することを初めて見いだした。図15の黒四角が、このフォノンの周波数の温度依存性である。最近、強誘電性 Eu ソフトモードが完全にソフト化する (転移温度で周波数が完全に零になる) という報告がなされている[M. Takesada, M. Itoh, and T. Yagi: PRL 96 (2006) 227602]。しかし、これが正しいすると、Eu ソフトモードと縦波音響フォノンは転移温度以下の強誘電相で双一次結合をしなければいけない。すると、モード反発が必ずあり、Eu ソフトモードはソフト化がとまり (不完全なソフト化)、縦波音響フォノンが完全にソフト化しなければいけない。図15はこれ (縦波音響フォノンの完全ソフト化) を否定している。つまり、Eu ソフトモードの完全ソフト化は無いと結論できる。さらに最新の論文に依れば、上記の論文でのモードアサイメントは実験事実に基づかないものと批判され、Eu ソフトモードの完全ソフト化は現在否定されている[T. Shigenari *et. al.*: PRB74 (2006) 174121]。

さらに、図16は縦波音響フォノンの周波数と寿命から見積もった、強誘電性相転移が規則・不規則型であると仮定した場合の緩和時間の温度依存性である。緩和時間が極めて短く強誘電性相転移が規則・不規則型のものではないと結論した。

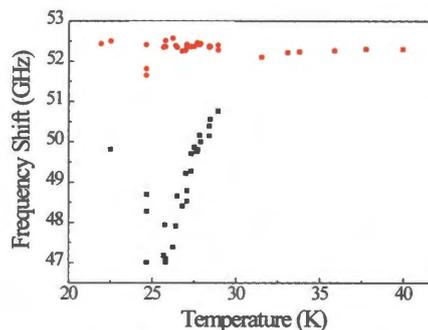


図15. 縦波音響フォノン周波数の温度依存性 (■)

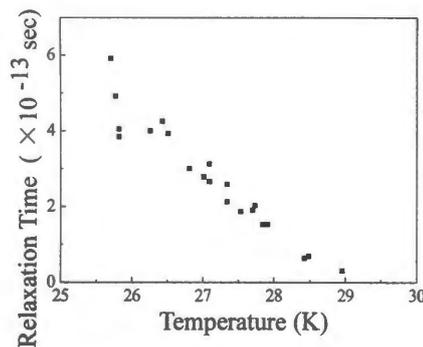


図16. 強誘電性相転移が規則・不規則型であると仮定した場合の分極緩和時間の温度依存性 (■)

(1) Nb をドーブした STO16 試料で、初めてプラズモンを発見した。これまで発見されていなかったのは、プラズモン周波数が低すぎて、通常の Raman 散乱では周波数分解能限界のため測定できなかったためである。図17は低周波帯域後方光散乱実験で測定した0.02w%Nb-STO16におけるブ

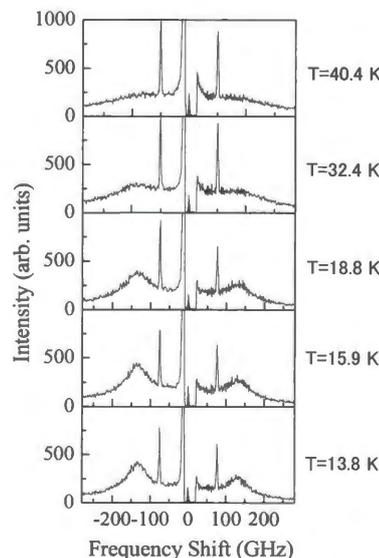


図17. 周波数と寿命の比の温度依存性 プラズモン(■)、BD(O)

ラズモンのスペクトルの温度依存性である。プラズモンの周波数をその寿命で割った値を求めると、STO16のブロード・ダブルレット (BD) の値とほぼ同じで、さらに図18に示すようにほぼ同じ温度依存性を示すことを見いだした。これは、STO16に存在すると考えられる局所的誘電体領域の大きさによりプラズモンや BD の平均自由行程 (約100nmのオーダー) が制限を受けている結果であると現在考えている。

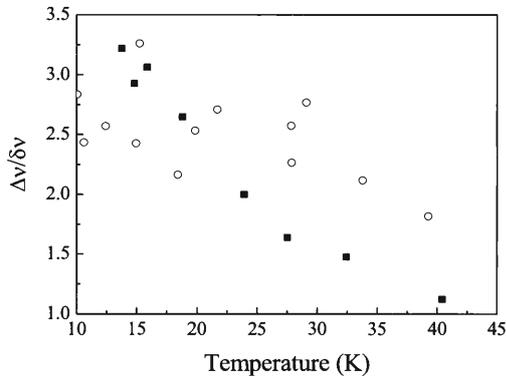


図18. プラズモン・スペクトラムの温度依存性

### 3. 今後の研究の展望

今後はさらに研究対象とする相転移を結晶からソフトマテリアルまで拡大し、当研究グループの特徴である実時間分解分光法をさらに発展させ、高感度化とともに操作の簡便性の向上も工夫していきたい。すでに光学位相マスクとヘテロダイン検波法の組み合わせで顕著な効果があることが明らかにされている。この測定法の改良により、相転移ダイナミクスの解明が大きく進展することが期待される。

### 4. 資料

#### 4.1 学術論文等

- 1) M. Takesada, T. Yagi, M. Itoh, T. Ishikawa and S. Koshihara: "Photoinduced Phenomena in Quantum Paraelectric Oxides by Ultraviolet Laser Irradiation", *Ferroelectrics* (2003), to be published\*
- 2) M. Kasahara and T. Yagi: "Raman scattering study of  $Rb_3D_xH_{1-x}(SO_4)_2$ ", *J. Korean Phys. Soc.*, 42: S1287- S1289 (2003)\*
- 3) Y. Gorouya, Y. Tsujimi, M. Iwata and T. Yagi: "Brillouin scattering study on relaxor ferroelectric  $Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ ", *Appl.Phys.Lett.*, 83: 1358-1360 (2003)\*
- 4) T. Yagi, J. Kano, T. Watanuki, Y. Tsujimi and K. A. Nelson: "Femtosecond time-resolved spectroscopic study of the slow dynamics in the structural phase transition", *J. Korean Phys. Soc.*, 42: S1012-S1016 (2003)\*
- 5) Y. Minaki, M. Kobayashi, Y. Tsujimi, T. Yagi, M. Nakanishi, R. Wang and M. Itoh: "Hyper-Raman scattering of  $SrTi^{18}O_3$ ", *J. Korean Phys. Soc.*, 42: S1290-S1293 (2003)\*
- 6) T. Ishikawa, M. Itoh, M. Kurita, H. Shimoda, M. Takesada, T. Yagi and S. Koshihara: "Giant Photoconductivity in Quantum Paraelectric Oxides I", *Ferroelectrics* (2003), to be published\*
- 7) M. Takesada, T. Yagi, M. Itoh and S. Koshihara: "A Gigantic Photoinduced Dielectric Constant of Quantum Paraelectric Perovskite Oxides Observed under a Weak DC Electric Field", *J. Phys. Soc. Jpn.*, 72: 1-4 (2003)\*
- 8) T. Azuhara, M. Takesada, T. Yagi, A. Shikanai, S. Chichibu, K. Torii, A. Nakamura, T. Sota, G. Cantwell, B. D. Eason and C. W. Litton: "Brillouin Scattering Study of  $ZnO$ ", *J. Appl. Phys.*, 94(2): 968-972 (2003)\*
- 9) M. Takesada, M. Itoh, T. Yagi and S. Koshihara: "Dielectric Enhancement in Quantum Paraelectric  $SrTiO_3$  by UV Laser Irradiation under DC Electric Field", *Ferroelectrics*, 286: 725-730 (2003)\*
- 10) T. Ishikawa, M. Itoh, M. Kurita, H. Shimoda, M. Takesada, T. Yagi and S. Koshihara: "Giant Photoconductivity in Quantum Paraelectric Oxides II", *Ferroelectrics* (2003), to be published\*
- 11) H. Hasebe, Y. Tsujimi, R. Wang, M. Itoh and T. Yagi: "Dynamical mechanism of the ferroelectric phase transition of  $SrTiO_3$  studied by light scattering", *Phys. Rev. B*, 68: 014109 (2003)\*
- 12) T. Watanuki, Y. Tsujimi, R. Wang, M. Itoh and T. Yagi: "Impulsive stimulated Raman scattering of  $SrTi^{18}O_x^{16}O_{1-x}O_3$ ", *Ferroelectrics*, 285: 33-39 (2003)\*
- 13) H. Hasebe, Y. Tsujimi, R. Wang, M. Itoh and T. Yagi: "Light scattering study in ferroelectric  $SrTi^{18}O_3$ ", *Ferroelectrics*, 285: 27-31 (2003)\*
- 14) T. Yagi, J. Kano, T. Watanuki, Y. Tsujimi and K. A. Nelson: "Phase transition dynamics studied by coherent phonon excitation with ultra-short laser pulses", *Ferroelectrics*, 285: 3-13 (2003)\*
- 15) T. Watanuki, Y. Tsujimi, R. Wang, M. Itoh and T. Yagi: "Phonon-polariton dispersion relation of  $SrTi^{18}O_x^{16}O_{1-x}O_3$ ", *Ferroelectrics* (2003), to be published\*
- 16) J. Kano, T. Watanuki, Y. Tsujimi, K. A. Nelson and T. Yagi: "The extremely early stage of the ferroelectric  $B_{2\text{soft}}$  mode of KDP studied by the impulsive stimulated Raman scattering", *Ferroelectrics*, 285: 59-66 (2003)\*
- 17) M. Tan, Y. Tsujimi and T. Yagi: "Broad Doublet Spectra in  $SrTiO_3$ ", *J. Korean Phys. Soc.*, 46(2005): 97-99 (2005)
- 18) H. Taniguchi, T. Yagi, M. Takesada and M. Itoh: "Growth of Ferroelectric Micro Region in  $SrTiO_3$  and  $SrTi(18O_0.2316O_0.77)O_3$  Studied by Raman Scattering", *J. Korean Phys. Soc.*, 46(2005): 195-197 (2005)
- 19) Y. Nakata, Y. Tsujimi, M. Kobayashi, R. Wang, M. Itoh and T. Yagi: "Soft Modes in  $SrTi^{18}O_3$  Studied by Light Scattering and Dielectric Measurements", *J. Korean Phys. Soc.*, 46(2005): 93-96 (2005)
- 20) H. Taniguchi, T. Yagi, M. Takesada and M. Itoh: "Effect of the Oxygen Isotope Exchange on Ferroelectric Mi-

- cro-Region in SrTiO<sub>3</sub> studied by Raman Scattering”, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 73(12): 3262–3265 (2004)
- 21) T. Ishikawa, M. Itoh, M. Kurita, H. Shimoda, M. Takesada, T. Yagi and S. Koshihara: “Giant Photoconductivity in Quantum Paraelectric Oxides”, *Ferroelectrics*, 298: 141–143 (2004)
  - 22) T. Ishikawa, M. Itoh, M. Kurita, H. Shimoda, M. Takesada, T. Yagi and S. Koshihara: “Giant Photoconductivity in Quantum Paraelectric Oxides”, *Ferroelectrics*, 298(2004): 141–143 (2004)
  - 23) J. Kano, Y. Tsujimi, K. A. Nelson and T. Yagi: “Initial Excitation Process of Ferroelectric B<sub>2</sub> Soft Mode in KD<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>”, *Ferroelectrics*, 308: 17–21 (2004)
  - 24) M. Itoh, T. Yagi, Y. Uesu, W. Kleeman and R. Blinc: “Phase Transition and Random-Field Induced Domain Wall Response in Quantum Ferroelectrics SrTi<sub>18</sub>O<sub>3</sub>: Review and Perspective”, *Science and Technology of Advanced Materials*, 5(2004): 417–423 (2004)
  - 25) T. Watanuki, Y. Tsujimi, R. Wang, M. Itoh and T. Yagi: “Phonon-polariton dispersion relation of SrTi(<sup>18</sup>O<sub>x<sup>16</sup>O<sub>1-x</sub>)<sub>3</sub>”, *Ferroelectrics*, 304(2004): 63–70 (2004)</sub>
  - 26) M. Takesada, T. Yagi, M. Itoh, T. Ishikawa and S. Koshihara: “Photoinduced Phenomena in Quantum Paraelectric Oxides by Ultraviolet Laser Irradiation”, *Ferroelectrics*, 298: 317–323 (2004)
  - 27) M. Takesada, T. Yagi, M. Itoh, T. Ishikawa and S. Koshihara: “Photoinduced Phenomena in Quantum Paraelectric Oxides by Ultraviolet Laser Irradiation”, *Ferroelectrics*, 298(2004): 317–323 (2004)
  - 28) H. Taniguchi, T. Yagi, M. Takesada and M. Itoh: “Isotope effect on the soft-mode dynamics of SrTiO<sub>3</sub> studied by Raman scattering”, *Phys. Rev. B*, 72: 64111–64118 (2005)
  - 29) Y. Tsujimi, H. Hasebe, R. Wang and M. Itoh: “Central Peak in SrTi<sup>18</sup>O<sub>3</sub> Studied by Light Scattering”, *Ferroelectrics*, 314: 79–83 (2005)
  - 30) M. Tan, Y. Tsujimi and T. Yagi: “Broad Doublet Spectra in SrTiO<sub>3</sub>”, *J. Korean Phys. Soc.*, 46: 97–99 (2005)

#### 4.2 総説、解説、評論等

- 1) 武貞正樹、八木駿郎、伊藤満、石川忠彦、腰原伸也: 「ペロフスカイト型量子常誘電性酸化物の巨大な光誘起効果」、*固定物理*, 40(2): 113–120 (2005)
- 2) M. Kobayashi, Y. Tsujimi and T. Yagi: “Relaxation dynamics in supercooled liquids studied by time-resolved spectroscopy”, *Proc. 3rd Int. Symp. “Slow Dynamics in Complex System”*, 673–774 (2004)

#### 4.3 著書

- 1) T. Yagi, Y. Shiozaki, E. Nakamura and T. Mitsui: “Ferroelectrics and Related Substances, Oxides: Oxides other than Perovskite-type and LiNbO<sub>3</sub> family”, *Landolt-Bornstein III/36A2*, Springer, 36: (2003)\*

- 2) Y. Nakata, Y. Tsujimi, K. Katsuraya, M. Iwata and T. Yagi: “Dynamical slowing down of polar nanoregion in relaxor-based ferroelectric 0.89Pb(Zn<sub>2/3</sub>Nb<sub>1/3</sub>)O<sub>3</sub>-0.11PbTiO<sub>3</sub>”, *Appl. Phys. Lett.*, 89: 022903-1–022903-3 (2006)
- 3) Y. Nakata, Y. Tsujimi, Y. Gorouya, K. Katsuraya, M. Iwata and T. Yagi: “Light Scattering Study in Relaxor-based ferroelectric (1-x)Pb(Zn<sub>2/3</sub>Nb<sub>1/3</sub>)O<sub>3</sub>-xPbTiO<sub>3</sub>”, *Ferroelectrics in Press* (2006)

#### 4.5 講演

##### i) 学会

- 1) 武貞正樹、谷口博基、八木駿郎、伊藤満、腰原伸也: 「量子常誘電体 SrTiO<sub>3</sub>における光-電場誘起巨大誘電応答の分散関係」、日本物理学会第59回年次大会、九州 (2004-03)
- 2) 譚明秋、辻見裕史、王 瑞、伊藤満、八木駿郎: 「SrTiO<sub>3</sub>のダブルレット光散乱スペクトル」、日本物理学会第59回年次大会、九州 (2004-03)
- 3) 綿貫丈雄、足立智、笹倉弘理、辻見裕史、八木駿郎、武藤俊一: 「4光波混合法による量子井戸・量子ドットのスピン緩和の観測」、日本物理学会第59回年次大会、九州 (2004-03)
- 4) 野田菜摘子、武貞正樹、羅亮皓、J. Gong、長田義仁、八木駿郎: 「光散乱による塩含有電解質ゲルのダイナミクス」、日本物理学会第59回年次大会、九州 (2004-03)
- 5) 福永正則、武貞正樹、羅亮皓、J. Gong、長田義仁、八木駿郎: 「高分子ゲルのパルス誘導光散乱」、日本物理学会2003年秋期大会、岡山大学 (2003-09)
- 6) 小豆畑敬、武貞正樹、八木駿郎、鹿内周、秩父重英、鳥井康介、中村厚、宗田孝之、G. Cantwell、D. B. Eason、C. W. Litton: 「ZnOにおけるブリルアン散乱」、日本物理学会2003年秋期大会、岡山大学 (2003-09)
- 7) 狩野旬、辻見裕史、K. A. Nelson、八木駿郎: 「KDPの強誘電性ソフト B<sub>2</sub>モードの初期過程 III」、日本物理学会2003年秋期大会、岡山大学 (2003-09)
- 8) 中田洋平、辻見裕史、王端平、伊藤満、八木駿郎: 「SrTi(<sup>18</sup>O<sub>x<sup>16</sup>O<sub>1-x</sub>)<sub>3</sub>の誘電異常と光散乱」、日本物理学会2003年秋期大会、岡山大学 (2003-09)</sub>
- 9) K. Watanabe, M. Takesada, T. Miyazaki, J. Gong, Y. Osada and T. Yagi: “Central Peak in the Light Scattering Spectra of Polymer Gels”, *The 10th European Meeting on Ferroelectricity (EMF2003)*, Cambridge, UK (2003-08)
- 10) J. Kano, Y. Tsujimi, K. A. Nelson and T. Yagi: “Initial Excitation Process of Ferroelectric B<sub>2</sub> Soft Mode in KD<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>”, *The 10th European Meeting on Ferroelectricity (EMF2003)*, Cambridge, UK (2003-08)
- 11) Y. Tsujimi, M. Kobayashi, Y. Minaki, M. Nakanishi, R. Wang, M. Itoh and T. Yagi: “Light scattering studies of soft mode in SrTi<sup>18</sup>O<sub>3</sub>”, *The 10th European Meeting on Ferroelectricity (EMF2003)*, Cambridge, UK (2003-08)

- 12) T. Watanuki, Y. Tsujimi, R. Wang, M. Itoh and T. Yagi: "Phonon-Polariton Dispersion Relation of SrTi( $^{18}\text{O}_x^{16}\text{O}_{1-x}$ ) $_3$ ", The 10th European Meeting on Ferroelectricity (EMF2003), Cambridge, UK (2003-08)
- 13) 武貞正樹、八木駿郎、伊藤満、腰原伸也:「光は量子揺らぎを制御できるか?」、日本物理学会2003年秋期大会、岡山大学 (2003-09)
- 14) T. Yagi: "Light scattering studies of relaxors (1) Central mode", The 60th Annual Meeting of JPS, 東京理科大学 (2005-03)
- 15) 武貞正樹、須藤幸太、八木駿郎、伊藤満、腰原伸也、小野寺彰:「量子常誘電性酸化物 SrTiO $_3$ における光-電場誘起ブリルアン散乱」、日本物理学会2005年日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学 (2005-03)
- 16) 谷口博基、武貞正樹、伊藤満、八木駿郎:「量子常誘電性 STO18における局所対称性の前駆的低下とソフトモード」、日本物理学会2005年日本物理学会第60回年次大会、東京 (2005-03)
- 17) 野田菜摘子、武貞正樹、羅 亮、襲剣萍、長田義仁、八木駿郎:「電解質ゲルの光散乱スペクトルの対イオン濃度依存性」、日本物理学会2005年日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学 (2005-03)
- 18) 高橋淳一、真野恵亮、八木駿郎:「高強度 ISRS による SrTiO $_3$ におけるラマン禁制フォノンの検出」、日本物理学会2005年日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学 (2005-03)
- 19) 中田洋平、辻見裕史、鬘谷浩平、岩田真、八木駿郎:「PZN/xPT 系リラクサー強誘電体における極性ナノ領域ダイナミクス」、日本物理学会2005年日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学 (2005-03)
- 20) デコラ タチアナ、武貞正樹、谷口博基、関根一郎、八木駿郎:「Low-frequency modes in Li2B4O7 crystals studied by Raman scattering」、日本物理学会2005年日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学 (2005-03)
- 21) 福永正則、武貞正樹、松尾剛、辻井薫、八木駿郎:「異方性ゲル DGI の階層的ダイナミクス」、日本物理学会2005年日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学 (2005-03)
- 22) 武貞正樹、八木駿郎、伊藤満、腰原伸也、小野寺彰:「量子常誘電体 SrTiO $_3$ における光-電場誘起光散乱」、日本物理学会2004年秋期大会、青森大学 (2004-09)
- 23) 譚 明、辻見裕史、王 瑞、伊藤満、八木駿郎:「SrTiO $_3$  のダブルレット光散乱スペクトル II」、日本物理学会2004年秋期大会、青森大学 (2004-09)
- 24) 谷口博基、武貞正樹、伊藤満、八木駿郎:「SrTiO $_3$ における強誘電性マイクロ領域の同位元素置換効果」、日本物理学会2004年秋期大会、青森大学 (2004-09)
- 25) 中田洋平、辻見裕史、鬘谷浩平、岩田真、八木駿郎:「PZN/xPT 系リラクサー強誘電体の光散乱」、日本物理学会2004年秋期大会、青森大学 (2004-09)
- 26) 狩野旬、八木駿郎:「Debye モデルの初期立ち上がり過程を記述する新しいモデル」、日本物理学会2004年秋期大会、青森大学 (2004-09)
- 27) H. Taniguchi, T. Yagi, M. Takesada and M. Itoh: "Growth of Ferroelectric Micro Region in SrTiO $_3$  and SrTi( $^{18}\text{O}_{0.23}^{16}\text{O}_{0.77}$ ) $_3$  Studied by Raman Scattering", The 5th Korean-Japan Conference on Ferroelectricity, Seoul, Korea (2004-08)
- 28) Y. Nakata, Y. Tsujimi, M. Kobayashi, R. Wang, M. Itoh and T. Yagi: "Soft Modes in SrTi $^{18}\text{O}_3$  Studied by Light Scattering and Dielectric Measurements", The 5th Korean-Japan Conference on Ferroelectricity, Seoul, Korea (2004-08)
- 29) M. Tan, Y. Tsujimi and T. Yagi: "Broad Doublet Spectra in SrTiO $_3$ ", The 5th Korean-Japan Conference on Ferroelectricity, Seoul, Korea (2004-08)
- 30) 辻見裕史、伊藤満:「STO18の音響フォノンとブロードダブルレット II」
- 31) Y. Tsujimi and M. Itoh "Broad doublet and acoustic mode in SrTi $^{16}\text{O}_3$  and SrTi $^{18}\text{O}_3$ " "The 9<sup>th</sup> International Symposium on Ferroic Domains and Micro-to Nanoscopic Structures (September 3-7, 2006, Noda, JAPAN)
- 32) Y. Tsujimi and M. Itoh: "Broad Doublet Spectra Observed in Strontium Titanate" Proceedings of The 6<sup>th</sup> Japan-Korea Conference on Ferroelectrics (August 17-20, 2006, Sendai, JAPAN)
- 33) Y. Tsujimi and M. Itoh: "Broad Doublet and partially Soften Acoustic Mode in SrTi $^{18}\text{O}_3$ " The 5<sup>th</sup> Asian Meeting on Ferroelectrics (September 3-7, 2006, Noda, JAPAN)
- 34) 辻見裕史、伊藤満:「ペロフスカイト系酸化物におけるブロードダブルレット」、領域10、領域5合同シンポジウム日本物理学会2006年秋季大会 (千葉大学、2006年9月23-26日)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) J. Kano, Y. Tsujimi, K. A. Nelson and T. Yagi: "How KDP gets the ferroelectric phase?", The 5th RIES-Hokudai Symposium, Advanced Nanoscience "織", Sapporo, Japan (2003-12)
- 2) M. Takesada, N. Noda, K. Watanabe, M. Fukunaga and T. Yagi: "Light scattering study of Dynamics in Polymer Gels", The 5th RIES-Hokudai Symposium, Advanced Nanoscience "織", Sapporo, Japan (2003-12)
- 3) M. Kobayashi, Y. Tsujimi and T. Yagi: "Relaxation dynamics in glass-forming liquids studied by impulsive stimulated thermal scattering", The 3rd International Symposium on New Trend of Physics, Sapporo, Japan (2003-11)
- 4) N. Noda, K. Watanabe, M. Fukunaga, M. Takesada, Y. Na, J. Gong, Y. Osada and T. Yagi: "Study of dynamics in polyelectrolyte gels by light scattering spectroscopy", The 3rd International Symposium on New Trend of Physics, Sapporo, Japan (2003-11)
- 5) M. Kobayashi, Y. Tsujimi and T. Yagi: "Relaxation dynamics in supercooled liquids studied by time-resolved

spectroscopy”, The 3rd International Symposium on Slow Dynamics in Complex Systems, Sapporo, Japan (2003-11)

- 6) T. Ishikawa, M. Itoh, M. Kurita, H. Shimoda, M. Takesada, T. Yagi and S. Koshihara: “Giant Photoconductivity in Quantum Paraelectric Oxides”, The NATO Advanced Research Workshop on the Disordered Ferroelectrics, Kiev, Puschcha-Vodista, UKRAINE (2003-05)
  - 7) M. Takesada, S. Koshihara, M. Itoh, T. Ishikawa and T. Yagi: “PHOTOINDUCED PHENOMENA IN QUANTUM PARAELECTRIC OXIDES BY ULTRAVIOLET LASER IRRADIATION”, The NATO Advanced Research Workshop on the Disordered Ferroelectrics, Kiev, Puschcha-Vodista, UKRAINE (2003-05)
  - 8) H. Taniguchi, M. Takesada, M. Itoh and T. Yagi: “Isotope Effect on Local Symmetry Breaking in Quantum Paraelectric SrTiO<sub>3</sub> Studied by Raman scattering”, 2005 Workshop on Fundamental Physics of Ferroelectrics, Williamsburg, USA (2005-02)
  - 9) Y. Tsujimi and M. Itoh: “Broad doublet and acoustic mode in SrTi<sup>16</sup>O<sub>3</sub> and SrTi<sup>18</sup>O<sub>3</sub> Proceedings of The 9<sup>th</sup> International Symposium on Ferroic Domains and Micro to Nanoscopic Structures (June 26-30, 2006, Dresden, Germany)
  - 10) Y. Tsujimi and M. Itoh: “Broad doublet Spectra Observed in Strontium Titanate” Proceedings of The 6<sup>th</sup> Japan-Korea Conference on Ferroelectrics (August 17-20, 2006, Sendai, Japan)
  - 11) Y. Tsujimi and M. Itoh: “Broad doublet and Partially Soften Acoustic Mode in SrTiO<sub>3</sub>” Proceedings of The 5<sup>th</sup> Asian Meeting on Ferroelectrics (September 3-7, 2006, Noda, Japan)
- iii) コロキウム・セミナー等・その他
- 1) T. Yagi: “Soft-mode Dynamics in Ferroelectric STO18”, Meeting of Ferroelectricity and Related Phenomena in Oxides, Yokohama, Japan (2005-02)
  - 2) T. Yagi: “Soft-mode Dynamics in the Isotopically Induced Ferroelectric Phase Transition of Strontium Titanate (STO18)”, Special Seminar in Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, USA (2005-02)

#### 4.7 予算獲得状況

- a. 科学研究費補助金 (研究代表者、分類名、研究課題、期間)
- 1) 辻見裕史、基盤研究 B 一般 (2)、同位体元素置換により誘起された強誘電性の動的発現機構の解明 (2002~2003年度)
  - 2) 武貞正樹、若手研究 A (2)、量子揺らぎにおける非平衡光誘起協力現象の機構解明 (2002~2004年度)
  - 3) 八木駿郎、基盤研究 A 一般 (2)、コヒーレントフォノン励起法による量子ゆらぎダイナミクスの研究 (2002~2004年度)
  - 4) 八木駿郎、学術創成研究費、“ソフト&ウエット型人工

筋肉の創出と生体代替運動システムへの応用” (2002~2006年度)

- 5) 八木駿郎、基盤研究 A 一般 (2)、コヒーレントフォノン励起法による量子ゆらぎダイナミクスの研究、2002~2004年度
- 6) 武貞正樹、若手研究 A (2)、量子揺らぎにおける非平衡光誘起協力現象の機構解明、2002~2004年度
- 7) 八木駿郎、学術創成研究費、ソフト&ウエット型人工筋肉の創出と生体代替運動システムへの応用、2002~2006年度
- 8) 八木駿郎、基盤研究 S、強誘電性長距離秩序形成と競合するコヒーレント量子ゆらぎダイナミクスの研究、2005~2009年度
- 9) 辻見裕史、基盤研究 C 一般 (2)、圧力誘起量子常誘電状態の動的出現機構の統一的解明、2005~2006年度
- 10) 八木駿郎、学術創成研究費、“ソフト&ウエット型人工筋肉の創出と生体代替運動システムへの応用”、2002~2006年度

#### 4.8 共同研究

- a. 所内共同研究 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 辻井薫、松尾剛、巖虎、八木駿郎、武貞正樹 (電子科学研究所): 「異方性ヒドロゲルの創製とそのネットワークゆらぎ解析」、未定、2003~2005年度、ナノデバイス研究分野の辻井らが、世界で初めて開発した二分子膜固定化ゲルは、重合直前にシエアをかける等の方法によって異方性を付与することが出来る。この異方性ゲルのキャラクタリゼーションを、相転移物性分野の光散乱の手法を使って行う。

#### 4.10 社会教育活動

- a. 公的機関の委員
- 1) 八木駿郎: 学術審議会専門委員 (2001年9月1日~2003年8月31日)
  - 2) 八木駿郎: 高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所日英中性子散乱研究協力事業研究計画委員会委員 (2001年9月1日~2003年8月31日)
  - 3) 八木駿郎: 高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所中性子共同利用実験審査委員会委員 (2001年9月1日~2003年8月31日)
  - 4) 八木駿郎: 日本学術振興会 (2001年9月1日~2003年8月31日)
  - 5) 八木駿郎: 奨励研究員等審査員 (2001年9月1日~2003年8月31日)
- b. 国内外の学会の主要役職
- 1) 八木駿郎: 日本物理学会代議員 (2001年9月1日~2003年8月31日)
  - 2) 八木駿郎: 日本分光学会平成16年度代議員 (2005年1月20日~2004年5月31日)
  - 3) 八木駿郎: The 5th Korean-Japan Conference on Ferroelectricity 組織委員 (2004年8月18日~2004年8月21日)

- 4) 八木駿郎：The 5th Korean-Japan Conference on Ferroelectricity International Advisory Committee 委員（2004年8月18日～2004年8月21日）
- 5) 八木駿郎：日本物理学会代議員（2003年9月1日～2005年8月31日）

**d. 修士学位及び博士学位の取得状況**

・修士課程（3名）

福永正則、中田洋平、渡邊一雄、真野恵亮

・修士論文

- 1) 渡邊一雄：高分解能・高帯域光散乱方による高分子ゲルのダイナミクスの研究
- 2) 中田洋平：ペロフスカイト系酸化物における相転移ダイナミクス
- 3) 福永正則：高分子ゲルの階層的ダイナミクスの研究
- 4) 真野恵亮：SrTiO<sub>3</sub>のコヒーレントラマン散乱及びブリルアン散乱

・博士後期課程（2名）

谷口博基、狩野旬

・博士論文

- 1) 狩野旬：Initial Process of the Ferroelectric Relaxation Mode Excitation Studied by Time-resolved Spectroscopy（時間分解分光法による強誘電性緩和モード励起の初期過程の研究）

**g. 北大での担当授業科目（対象、講義名、担当者、期間）**

- 1) 歯学部、物理学リメディアル I、八木駿郎、2004年4月1日～2004年9月30日
- 2) 医学部、物理学リメディアル I、八木駿郎、2004年4月1日～2004年9月30日
- 3) 薬学部、物理学リメディアル I、八木駿郎、2004年4月1日～2004年9月30日

**h. 北大以外での非常勤講師**

- 1) 八木駿郎、北海道東海大学理工学研究科、物質工学特論 II、2004年4月1日～2004年9月30日

**i. ポスドク・客員研究員など**

・ポスドク（1名）

野田菜摘子（北海道大学大学院理学研究科）

・客員研究員（1名）

DEKOLA TATSIANA（北海道大学電子科学研究所電子材料物性部門相転移物性研究分野）

・その他（1名）

譚 明秋（COE）

## 有機電子材料研究分野

教授 中村貴義 (東大院、理博、1997.4~)  
 准教授 芥川智行 (京大院、理博、2003.5~)  
 助教 野呂真一郎 (京大院、工博、2004.7~)  
 博士研究員 加藤恵一 (H14.4-H16.3)  
 武田啓司 (H14.4-H17.3)  
 Ren Xiao Ming (H14.4-H16.3)  
 藤縄祐 (H16.4-6)  
 Jayanty Subbalakshmi (H15.4-H17.1)  
 今井裕之 (H16.4-H17.6)

院 生 西原偵文、帯刀陽子、高橋幸裕、松浦憲政、  
 若原圭佑、綱島 亮、佐藤大介、遠藤大五郎、  
 元木沢勇、山階維騎、梶原鉄平、神 玲奈、  
 野田祐樹、遠藤格

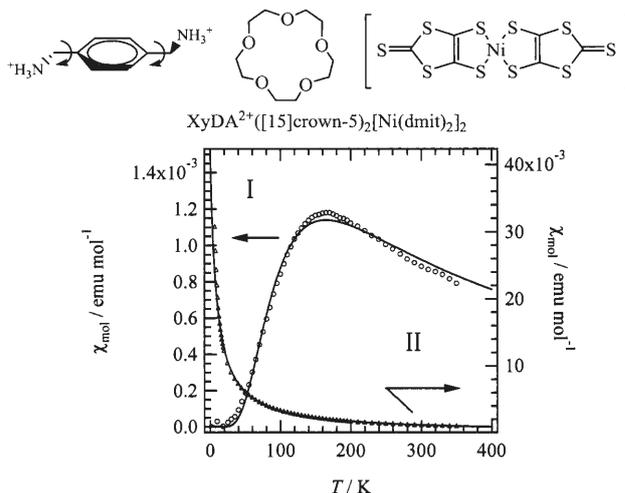


図 1.  $(\text{XyDA}^{2+})_2([\text{15}]\text{crown-5})_2[\text{Ni}(\text{dmit})_2]_2$  結晶多形 I と II の磁化率の温度依存性。

### 1. 研究目標

単一分子の持つ機能を利用して、既存のコンピュータの処理能力、集積度を遙かに凌駕したシステムの実現を目指した、分子エレクトロニクスに関する研究が活発に行われている。一方、単一分子ではなく、生体における情報処理を模倣し、生体分子を利用して新たなシステムを構築するバイオコンピューティングの研究も平行して進行している。本研究分野では、単一分子やバイオ分子を直接用いるのではなく、分子が集合体を作る性質（自己集積化能）を利用して、ナノサイズの機能性ユニットを創製し、それを複合化・集積化することで、分子ナノデバイスの構築を進めている。人工の分子集合体における協同現象を積極的に利用し、単分子では達成できない分子集合体デバイスとしての機能を開拓し、次世代のコンピューティングの基盤としての、集積型分子エレクトロニクスを目指している。

### 2. 研究成果

#### (a) 分子磁性体の組織化構造の制御に関する研究

磁性機能を有する  $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$  結晶内に存在するカウンターカチオン構造に注目し、カウンターカチオン部分を超分子化学の観点から設計した。これは、 $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$  分子の精密な配列制御を実現し、それに伴う磁性機能の制御を可能とする。柔軟な構造形態を有する有機アンモニウムとクラウンエーテルから形成される超分子カチオン構造に着目して、新規な磁性機能を有する  $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$  錯体の作製を目標に研究を行った。結果、Xylylenediammonium ( $\text{XyDA}^{2+}$ ) 及び Cyclohexanediammonium<sup>2+</sup> カチオンと種々のクラウンエーテル分子が複合化したカチオン構造を含む、12種類の新規  $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$  塩を作製する事に成功した。これらの超分子カチオン構造では、カチオンコンフォメーションの僅かな違いを反映して、結晶内での  $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$  配列及び磁性物性の異なる結晶多形が観測された (図 1 : I と II)。本成果は、カチオン構造の精密設計が、 $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$  分子の配列及び磁性制御に対して、有効な手段である事を示している。

#### (b) $f-\pi$ 分子磁性体に関する研究

$f$ -電子系のスピンを有するランタノイドイオン ( $\text{Gd}^{3+}$ ) を超分子カチオン内に導入した  $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$  塩を作製した。2 個の  $\text{Gd}^{3+}$  スピン ( $S = 7/2$ ) は、2 個の  $\text{OH}^-$  により架橋され、 $\text{Gd}_2([\text{18}]\text{crown-6})_2(\text{OH})_2(\text{CH}_3\text{CN})_2$  超分子構造を形成していた。これを、 $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$  アニオン ( $S = 1/2$ ) と共存させた新規な  $f-\pi$  スピン系を作製した。結晶構造は、 $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$  分子間の S~S 接触によるネットワーク構造と孤立した超分子カチオン構造から構築されていた。磁化率の温度依存性は、 $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$  の  $\pi$  スピンからの寄与に加えて、 $\text{Gd}^{3+}$  イオン間に働く反強磁性的な超交換相互作用が 120 K 以下で観測された (図 2)。  $\text{Gd}^{3+}$  イオンの大きなスピン量子数の総和を反映して、150 K 付近での  $\chi T_{\text{mol}}$  値は、 $\sim 8.1 \text{ emu K mol}^{-1}$  に達し、200 K 以上で  $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$  ダイマー間の singlet - triplet 熱励起に相当する磁性が観測された。現在、 $f-\pi$  スピン系が互いに強く相互作用する錯体に関する検討を進めている。

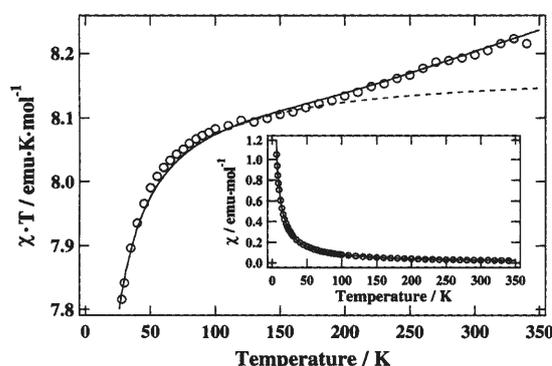


図 2.  $\text{Gd}_2([\text{18}]\text{crown-6})_2(\text{OH})_2(\text{CH}_3\text{CN})_2 [\text{Ni}(\text{dmit})_2]_3$  塩の磁化率の温度依存性。

#### (c) D-A 型超薄膜の電子状態制御に関する研究

電子供与体(D)と電子受容体(A)から形成される電荷移動錯体では、D分子のイオン化ポテンシャル( $I_p$ )とA分子の電子親和力( $E_A$ )に依存した多様な電子状態を創成する事が可能である。本研究では、次世代の分子エレクトロニクス素子への展開を考慮し、D-A型の電荷移動錯体をLangmuir-

Blodgett (LB) 法を用いる事でナノスケールの薄膜材料とし、その電子状態制御に関する研究を行った。

両親媒性の観点から新たに設計・合成したピロール TTF 誘導体 (1) を用い、アクセプター分子の  $E_A$  を調整する事で、電荷移動錯体 LB 膜の作製を行った (図 3)。作製した LB 膜の電子状態、基板上での分子配向・表面構造に関する評価を試みた。

TCNQ 誘導体に導入した置換基に依存して、形成する LB 膜の電子状態の変化が観測された。電子スペクトル及び振動スペクトル測定の結果、D と A 分子が完全にイオン化した ( $D^+$ )( $A^-$ ) 型の基底状態から ( $D^0$ )( $A^0$ ) 型の中性の基底状態に至る、6 種類の有機超薄膜構造を作製する事が可能であった。また、偏光スペクトル測定より、親水性基板上での LB 膜中の分子配向が図 4 のように決定された。(1)(TCNQ) 及び (1)(decyl-TCNQ) 錯体は、中性-イオン性転移の境界領域の電子状態を有する電荷移動錯体である事から、これらの薄膜を利用し、電荷移動状態の変化に基づくナノスケールのスイッチング材料への展開について検討している。

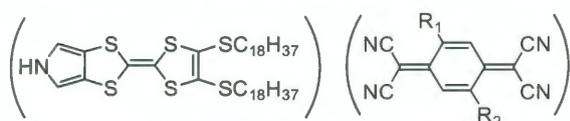


図 3. 両親媒性ピロール TTF 誘導体(1)と TCNQ 誘導体が形成する電荷移動錯体

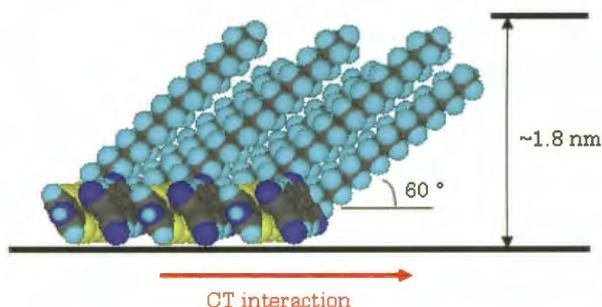


図 4. 親水性基板上での(ピロール TTF 誘導体)(TCNQ)が形成する単分子膜の分子配向モデル。

(d) プロトンスイッチを有する分子性導体に関する研究  
分子性固体中に、“動的内部構造”と呼ぶ、超分子化学の手法から設計された機能ユニットを導入し、新規な電子物性の制御系を開発する事を研究目的とした。導電性を有する分子性固体の中に、電子と比べてはるかに質量の大きなプロトンの並進に関する運動自由度が許容されたシステムを設計した。“動的内部構造”と“ $\pi$ -電子系”を共存させた新規な電子-プロトン連動系の構築に関する研究成果を紹介する。

1 次元 N-H-N 型の水素結合鎖内でプロトン運動の自由度が付加された (HDABCO) $_2$ (TCNQ) $_3$  錯体では、水素結合鎖内のプロトン運動の自由度と連動した誘電相転移が観測された。100 K における結晶構造から (図 5)、HDABCO $^+$  分子は、 $-a+b$  軸方向に [N-H...N] 型の 1 次元水素結合鎖を形成していた。一方、TCNQ 分子は 3 量体を形成し、 $-a+b$  軸方向に 1 次元の導電性カラムを形成していた。誘電率

(100 kHz)には、顕著な異方性が観測され、1 次元水素結合鎖の方向と一致する  $-a+b$  軸方向において、306 K にピークが観測された。

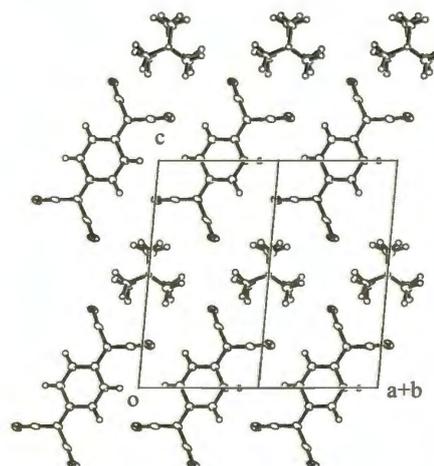


図 5. 1 次元水素結合鎖を含む(HDABCO) $_2$ (TCNQ) $_3$  錯体の結晶構造。

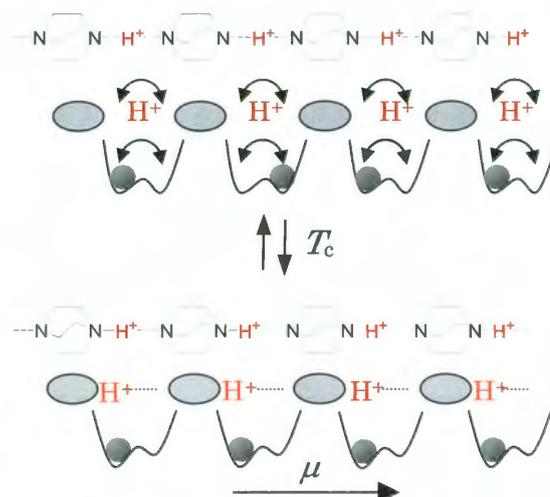


図 6. 水素結合内の温度によるプロトンダイナミクスの変化と誘電相転移。

これは、水素結合内のプロトン配置が、高温相では2つの窒素原子サイトに由来する2極小ポテンシャル間を揺らいだ [N-H-N] 型を取るのに対して、低温相では一方の極小ポテンシャルにプロトンが固定された [N-H...N] 型に変化する事に起因する (図 6)。また、プロトンを重水素置換する事で、70 K に及ぶ誘電相転移の重水素置換効果が観測された。結晶構造・誘電率・固体 NMR の温度変化から、水素結合中のプロトン運動の詳細を明らかとした。水素結合に起因した分極反転ユニットの存在は、電場による分極構造の変化が可能な新しい有機強誘電体の開発を可能とする。

(e) 分子性導体のナノスケール化に関する研究

導電性や磁性を有する分子性導体に超分子化学と界面化学の手法を適用する事で、分子の自己組織化能を利用した分子集合体ナノ構造の構築を行った。本研究では、両親媒

性マクロサイクリック bis-TTF 分子 (図7) を設計し、ナノドット・ナノワイヤ・ナノリング・2次元ドメイン構造など種々の低次元ナノ構造を、ウエット法を用いて作製した。電荷移動錯体から構成される分子性導体を、簡便なウエット法を用いて、特異な低次元分子集合体ナノ構造に変換する手法を開発した。

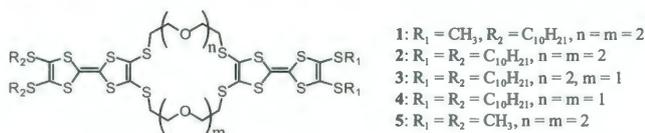


図7. 分子集合体ナノ構造の形成を可能とする両親媒性 bis-TTF macrocycle 誘導体

有機半導体としての性質を示すナノドットやナノワイヤ構造は、基板と分子との間の親和性を制御する事で、その配向性・サイズ・形状を制御する事が可能であった (図8)。また、化学的手法を用いたキャリアドーピングに関する検討を行い、導電性 AFM を用いたナノスケールでの伝導物性を評価した。導電性 HOPG 基板上にキャリア注入したナノドット構造及びキャリアが注入されていないワイヤ構造を固定化し、その電気特性の評価を試みた。真空下での電流-電圧特性の測定では、ナノドットのコンダクタンスが約100 nS 程度であるのに対し、ワイヤ構造では0.001 nSであった。キャリアドーピングを行ったナノドット構造が良好な伝導特性を有する事が判明し、分子性導体を出発点とするナノ構造が、そのデバイス化に際しての高い潜在能力を有している事が明らかとなった。

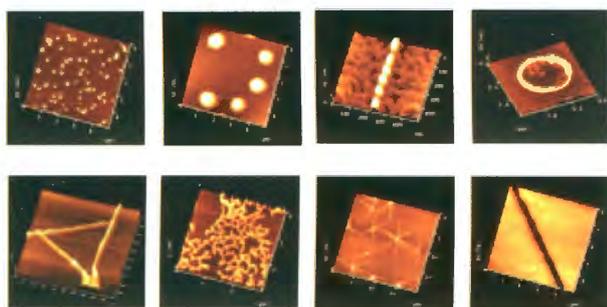


図8. 両親媒性マクロサイクリック bis-TTF 誘導体が形成する多様な低次元ナノ構造。

(f) 4鎖型 bis-TTF annulated macrocycles が形成するドメイン構造に関する研究

成膜分子の自己組織化能を、分子の両親媒性と構造の柔軟性の観点から設計する事で、LB法を用いた膜面内のドメイン構造の制御を目標に研究を行った。4鎖型 bis-TTF annulated macrocycle 分子2-3 (図7) を新たに合成し、その  $F_4\text{-TCNQ}$  との電荷移動錯体が形成するLB膜のドメイン構造に関する研究を行った。

分子の中央に位置するクラウンエーテル環のサイズを [18]crown-6 から段階的に、[21]crown-7 及び [24]crown-8 へと変化させる事で、分子の酸化還元特性及び分子構造の柔軟性が大きく変化した。マイカ基板上に一層累積を行ったLB膜の表面構造では、環サイズの変化による効果が顕著に

見られた (図9)。クラウンエーテルの環サイズを小さくすると、数ミクロン領域にわたる均一なドメイン構造の形成 (図9a) から1ミクロン以下の木の葉状のドメイン構造 (図9c) への変化が観測された。さらに、(2)( $F_4\text{-TCNQ}$ )<sub>2</sub> 錯体の結晶構造解析及び光学測定から、膜ドメイン内での分子配向を明らかとした。単結晶X線結晶構造解析の結果から、膜内では、分子2はZ型の分子内ダイマーを形成し、 $F_4\text{-TCNQ}$  と交互積層型の分子配列を取っていると考えられた。また、電荷移動層とアルキル鎖層が交互に膜の累積方向に積み重なった層状構造が形成していた。

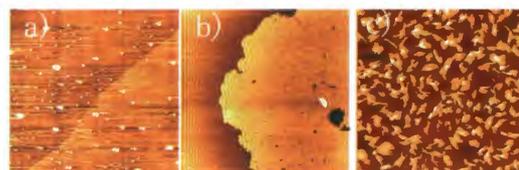


図9. 4鎖型 bis-TTF annulated macrocycle 2-4 と  $F_4\text{-TCNQ}$  が形成する電荷移動錯体 LB 膜の表面構造。

(g) 超分子ローター構造を含む分子磁性体に関する研究

超分子化学の手法を用いる事で、磁性や伝導性を有する機能性分子集合体の構造制御や物性の複合化が可能である。各種のカチオンとクラウンエーテルが非共有結合性の分子間相互作用から形成する超分子集合体カチオン構造に着目し、生体分子系で見られる分子モーター構造を模倣した新規な分子ローター構造の設計とその分子磁性体への導入を試みた。

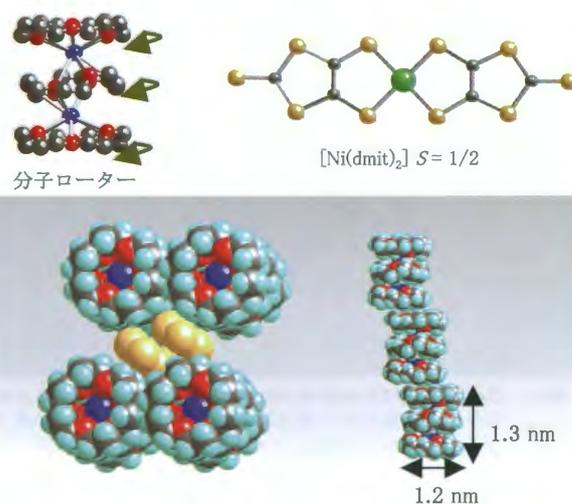


図10. 磁性スピンを有する [Ni(dmit)<sub>2</sub>] 塩の中に作製した Cs<sub>2</sub>([18]crown-6)<sub>3</sub> 超分子ローター構造。

新規に開発した Cs<sub>2</sub>([18]crown-6)<sub>3</sub>[Ni(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub> 塩 (1) では (図10)、固体中での [18]crown-6 分子の回転運動が、温度可変 X 線結晶構造解析、固体 NMR、比熱などの測定から確認された。室温に於ける回転速度は、数 kHz であり、約200K で、その回転運動が凍結する。固体中での回転運動は、数分子程度の範囲で互いに相関した協同的なものであった。さらに、[18]crown-6 分子の回転運動に応答した、[Ni(dmit)<sub>2</sub>]<sup>-</sup> アニオン分子の磁化率の変化が観測され、錯体1は、分子回転-磁性連動型の新規な分子性固体である事が判明した。

また、分子回転は、圧力印加により制御する事が可能であった。現在、キラルな分子の導入などにより、非対称な回転ポテンシャルを実現する為の分子設計を行っており、一方向回転が可能な固体分子モーターの構築を目指した研究を行っている。

また、(Anilinium)([18]crown-6)[Ni(dmit)<sub>2</sub>]塩中で、[18]crown-6分子平面に垂直に配置した anilinium カチオンが(図11)、固体中で180度フリップフロップ運動を行っている事を、固体<sup>2</sup>H-NMRの温度変化から確認した。同時に、[18]crown-6分子の回転運動の存在が<sup>1</sup>H-NMRの測定から示された。室温におけるベンゼン環のフリップフロップおよび[18]crown-6分子の回転速度は、それぞれ~6MHzと数十kHzと見積もられ、固体中で2種類の異なる回転モードが共存する二重回転分子ローターを構築した(図11)。回転モードの精密な制御を行う為に、高対称性でスムーズな回転運動の存在が期待されるアダマンタン基に着目し、(Adamantylammonium)([18]crown-6)[Ni(dmit)<sub>2</sub>]塩を作製した。アダマンチル塩では、[18]crown-6分子の回転に加えて、アダマンタン基の回転運動が100 K以下の温度領域でも実現している事が判明した。

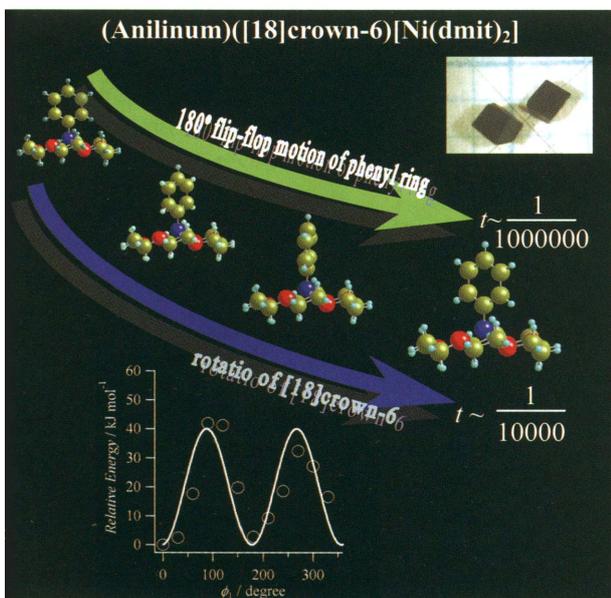
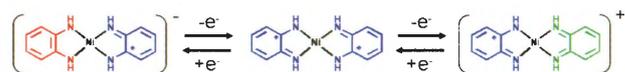


図11. (Anilinium)([18]crown-6)[Ni(dmit)<sub>2</sub>]塩で観測されるタイムスケールの異なる二重回転運動(ベンゼン環の180度フリップフロップ運動と[18]crown-6の回転運動)。

#### (h) 金属錯体 TFT (Thin-Film Transistor) に関する研究

金属錯体の研究は、これまで主に結晶・溶液状態で行われてきた。一方、薄膜状態における集積構造及びその物性研究はこれまで特定の錯体分子(金属フタロシアニン、ルテニウム錯体など)に限られており、未開拓の領域である。本研究では、酸化還元両性配位子である *o*-ジイミノベンゼンセミキノネート配位子が配位した平面型ニッケル錯体の薄膜化を試み、その構造及び TFT 特性について検討を行った。近年、有機 TFT デバイスの開発が精力的に行われているが、金属錯体を半導体層として用いた例は非常に限られている。ニッケル錯体は狭い HOMO-LUMO ギャップ (~ 1eV) を有しているため、電子及びホールキャリアの注入が容易に

行える。また金属錯体は金属イオンおよび有機配位子部位の修飾により、HOMO-LUMO レベルや分子集積構造を多様に制御できることから、系統的な研究展開が可能となる。



薄膜は真空蒸着法によって作製した。薄膜内において、ニッケル錯体は分子の長軸方向を基板の法線に対して約20度傾けて配列した1軸配向構造を形成し(図12)、集積構造はペンタセンと類似のヘリングボーン型であった。グレインのサイズは約100nmであった。ニッケル錯体薄膜の TFT 特性について評価を行ったところ(室温・大気圧下) p 型半導体特性を示し、その易動度は飽和領域において約0.038 cm<sup>2</sup>/Vsであった。この易動度の値は、これまで報告されてきた各種フタロシアニン半導体を用いた薄膜 TFT デバイスよりも大きく、新規半導体材料として期待が持たれる。更に、デバイス構造の最適化(絶縁膜、電極)を行うことでアンバイポーラー半導体特性が観測された。

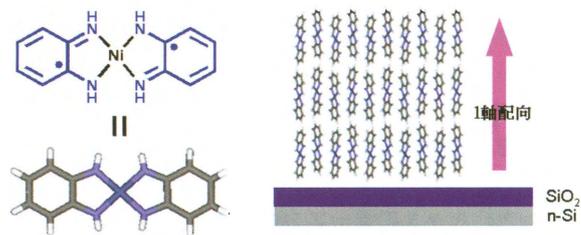


図12. ニッケル錯体の薄膜構造

#### (i) ポリオキサメタレート多核クラスターのスピンドイナミクスと材料化に関する研究

ポリオキサメタレート(POM)は、モリブデンやタングステンオキソ酸が縮合して形成するクラスター分子であり、[PMo<sub>12</sub>O<sub>40</sub>]の組成を有するケギン構造から、[Mo<sub>132</sub>]球状クラスターや[Mo<sub>154</sub>]リング状クラスターに至る、多彩な組織構造が知られている。また、電子的に活性な POM 錯体は、酸触媒として工業プロセスに利用される一方で、数多くの電子をクラスター内に貯蔵可能な電子貯蔵クラスターとしても興味を持たれている。これらの POM クラスター分子は、クラスター内における電子・スピンの動的挙動に興味を持たれている。本研究では、還元型の[XMo<sub>12</sub>O<sub>40</sub>] (X = P or Si) 構造に着目し、その結晶構造・電子状態・スピンドイナミクスに関する検討を行った。

(PPD)<sub>3</sub>[PMo<sub>12</sub>O<sub>40</sub>](CH<sub>3</sub>CN)<sub>6</sub>及び(2,3,5,6-tetramethyl-PPD)<sub>6</sub>[SiMo<sub>12</sub>O<sub>40</sub>](CH<sub>3</sub>CN)<sub>6</sub>錯体の結晶構造は、空間群 *R*-3 及び *R*-3/*c* の高い対称性を有していた。前者の錯体では、1つの [PMo<sub>12</sub>O<sub>40</sub>] クラスターと6つの PPD 分子間に N-H~O 水素結合の形成が観測された(図13a)。個々の [PMo<sub>12</sub>O<sub>40</sub>] クラスターは、*ab*-面内で PPD 分子との水素結合によりヘキサゴナルに配列し、*c*-軸方向に規則的に積層していた(図13b)。また、(PPD)<sub>3</sub>[PMo<sub>12</sub>O<sub>40</sub>]ヘキサゴナル格子の間隙には、*c*-軸方向に沿ったチャンネルが存在し、CH<sub>3</sub>CN 分子が占有していた。また、[12]crown-4を結晶中に含む錯体では、結

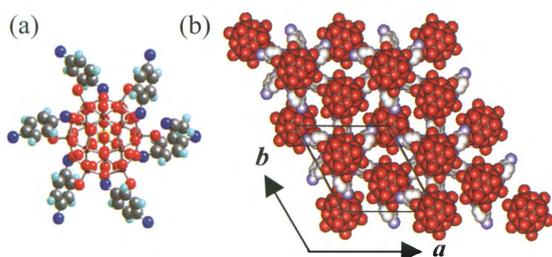


図13. (PPD)<sub>3</sub>[PMo<sub>12</sub>O<sub>40</sub>](CH<sub>3</sub>CN)<sub>6</sub>の結晶構造。(a) PPDと[PMo<sub>12</sub>O<sub>40</sub>]間の水素結合様式。(b) ユニットセル(c-軸投影図)。

晶対称性の低下が観測された。*p*-PPD分子のプロトン化された2つの-NH<sub>3</sub><sup>+</sup>基が、2つのクラウンエーテルとNH<sub>3</sub><sup>+</sup> ~ O水素結合相互作用による超分子カチオン構造を形成していた。一方、[15]crown-5を含む塩では、*p*-PPD分子と[15]crown-5分子は、1:1で相互作用する事で超分子カチオン構造を形成していた。錯体では、サイズの大きな超分子カチオン構造の存在により、[PMo<sub>12</sub>O<sub>40</sub>]<sup>4-</sup>クラスター間の分子間相互作用が阻害され、個々のクラスターが孤立する結果となっている。さらに、クラスター内のスピンドイナミクスの評価を、電子スピン共鳴の温度依存性の測定から検討した。約60 K以上で、Mo<sup>V</sup>のスピンの依存するスペクトルの線幅が急激に増加した。これは、クラスター内のスピンの熱的に励起され、運動を始める事に対応する。POMクラスターでは、クラスター内部に導入したスピンの運動自由度が存在し、クラスター構造や温度に依存したスピンドイナミクスが存在する。

(j) 低分子ゲル化剤を用いた Langmuir-Blodgett 法による1次元構造の形成に関する研究

低分子ゲル化合物は、分子の自己組織化によりファイバ状の1次元構造を形成する。このファイバ状のモルホロジーを利用した基板でのナノワイヤ構築と配向性の制御に関する研究を行った。ゲル形成物質に Langmuir-Blodgett (LB) 法を適用する事で基板上にナノファイバを構築することができた。得られたナノファイバ(図14)は高さが1 nm程度、長さが数マイクロメートルであり、用いたマイカ基板表面の結晶構造を反映して60°または120°に配向していた。LM-FFMを用いた表面摩擦力測定の結果、ファイバの表面には親水基が配向し、得られた摩擦力に異方性があったことからファイバ中で分子が規則的に配列した結晶性の高い分子集合体である事が示された。

次に、これらの基板のナノファイバに電子活性を付与する事を試みた。ナノファイバの表面配向基を-NH<sub>3</sub><sup>+</sup>基に置換した分子を用い、ファイバ表面に金微粒子を配列させた。LB法により単分子膜をマイカ基板上に作製し、同様なナノファイバを形成させ、金コロイド溶液をキャストしたところ、ファイバのパターンを維持したまま金微粒子を配列できる事が判明した(図14:左下)。また、フラーレンを結合した機能性ゲル化合物を新たに合成し、電子活性の付与を検討した。

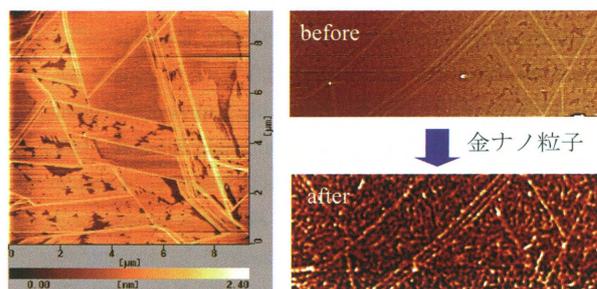
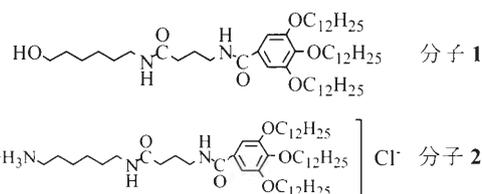


図14. オルガノゲル形成分子(1)とそのアミン誘導体(2)の分子構造。分子1がマイカ基板上で形成するナノファイバ構造(左下)。ナノファイバを鋳型とした金ナノ粒子の1次元配列構造の作製(右下)

### 3. 今後の研究の展望

我々は、機能性の分子集合体(分子性導体・磁性体)を用いて、分子デバイス構築に不可欠な材料創製を行っている。単一分子エレクトロニクス研究が隆盛を極めている状況で、これらの研究は特徴的であると言える。しかし、これらの二つのアプローチの区別は、本質的でないと考えられ、むしろユニット間のフロンティア軌道の重なりからの設計から、ナノスケールでの機能性の発現を理解するべきである。一方、分子集合体を積極的に利用することで様々な利点が生まれる。最大の利点は、単一分子では達成できない分子間の相互作用や、多数の分子による協同現象に基づく機能を利用できる点である。さらに分子集合体の柔らかさ、すなわち共有結合で機能ユニットが繋がっていないために、ある程度分子間の相互作用を時空間的に制御できることを利用したデバイス動作の道も拓けてくる。これらの研究を進捗することで、分子エレクトロニクス科学の確立に寄与したいと考えている。

## 4. 資料

### 4.1 学術論文等

- 1) T. Akutagawa, T. Uchimari, K. Sakai, T. Hasegawa and T. Nakamura: "Bidentated Hydrogen Bond from [O-H...N-N...H-O] to [O<sup>-</sup>...<sup>+</sup>H-N-N-H<sup>+</sup>...<sup>-</sup>O] Structures in Solids", *J. Phys. Chem. B*, 107: 6248- 6251 (2003)
- 2) S. Nishihara, T. Akutagawa, T. Hasegawa and T. Nakamura: "Crystal Structure and Magnetic Properties of Gd<sub>2</sub> ([18]crown-6)<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>CN)<sub>2</sub>[Ni(dmit)<sub>2</sub>]<sub>4</sub>Complex Having f- and π-spins", *Inorg. Chem.*, 42: 2480-2482 (2003)
- 3) S. Takeda, G. Maruta, T. Akutagawa, T. Hasegawa and T. Nakamura: "Dynamic behavior of ammonium ion in the crown ether cavity within Ni(dmit)<sub>2</sub> salt as studied by solid-state NMR", *Synth. Met.*, 133-134: 427-429 (2003)
- 4) T. Naito, T. Inabe, T. Akutagawa, T. Hasegawa and T.

- Nakamura: "ET<sub>3</sub>(MnCl<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(EtOH)<sub>2</sub>: A New Organic Conductor with a Perovskite Structure", *Synth. Met.*, 133-134: 445-447 (2003)
- 5) H. Miyata, Y. Tatewaki, T. Akutagawa, T. Ohta, T. Hasegawa, T. Nakamura, C. A. Christensen and J. Becher: "Langmuir-Blodgett Films of Bis-Tetrathiafulvalene Substituted Macrocycle and TCNQ Derivatives", *Thin Solid Films*, 438-439: 1-6 (2003)
  - 6) K. Ikegami, T. P. Majumder, M. Lan and T. Nakamura: "Molecular Orientation of Langmuir-Blodgett Films of AlkylDCNQI-Cu and AlkylTCNQ-Cu Complexes", *Transactions of the Materials Research Society of Japan*, 28: 51-54 (2003)
  - 7) T. Hasegawa, T. Akutagawa and T. Nakamura: "Novel Magnet-Lattice Transition in the Mixed-Stack Charge-Transfer Complexes with Inter-Columner Networks", *Synth. Met.*, 133-134: 623-625 (2003)
  - 8) T. Naito, T. Inabe, T. Akutagawa, T. Hasegawa, T. Nakamura, Y. Hosokoshi and K. Inoue: "Physical Properties of (ET)<sub>3</sub>(MnCl<sub>4</sub>)(TCE) and the Related Salts", *Synth. Met.*, 135-136: 613-614 (2003)
  - 9) Y. Tatewaki, T. Akutagawa, T. Hasegawa, T. Nakamura and J. Becher: "Structural Modification of Molecular Nanowires Composed of DialkylmacrocylicbisTTF-F<sub>4</sub>TCNQ Complex", *Synth. Met.*, 137: 933-934 (2003)
  - 10) A. Akutsu-Sato, H. Akutsu, S. S. Turner, D. L. Pevelen, P. Day, M. E. Light, M. B. Hursthouse, T. Akutagawa and T. Nakamura: "Structures and Physical Properties of BEDT-TTF Salts Containing Channels of Protons", *Synth. Met.*, 135-136: 597-598 (2003)
  - 11) T. Akutagawa, A. Hashimoto, S. Nishihara, T. Hasegawa and T. Nakamura: "Structures of Flexible Supramolecular Cations (1,4-Cyclohexanediammonium<sup>2+</sup>)(Crown Ethers)<sub>2</sub> in [Ni(dmit)<sub>2</sub>]<sup>-</sup> Salts", *J. Supramol. Chem.*, 2: 175-186 (2003)
  - 12) K. Sakai, T. Akutagawa, T. Hasegawa and T. Nakamura: "The d-L( $\pi$ )- $\pi$  Type of Charge-Transfer Salt [Cu(Me-tri)<sub>2</sub>][Ni(dmit)<sub>2</sub>]: Correlation between Copper(II) d- and Ni(dmit)<sub>2</sub>  $\pi$ -Electrons via  $\pi$ -conjugated Macrocylic Ligands", *PhysChemChemPhys*, 5: 2469-2475 (2003)
  - 13) H. Sakamoto, K. Mizoguchi and T. Hasegawa: "ESR studies of mixed-stack charge-transfer compounds of (BEDT-TTF) analogs under pressure", *Synth. Met.*, 135-136(4): 611-612 (2003)
  - 14) T. Naito, T. Inabe, T. Akutagawa, T. Hasegawa and T. Nakamura: "ET<sub>3</sub>(MnCl<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(EtOH)<sub>2</sub>: a new organic conductor with a perovskite structure", *Synth. Met.*, 133-134: 445-447 (2003)
  - 15) S. Nishihara, T. Akutagawa, T. Hasegawa, T. Nakamura, S. Fujiyama and T. Nakamura: "Magnetic and <sup>1</sup>H-NMR Spectroscopic Studies of [Ph(NH<sub>2</sub>)](18-crown-6) [Ni(dmit)<sub>2</sub>] Having Molecular Spin Ladder Structure", *Synth. Met.*, 137(1-3): 1279-1280 (2003)
  - 16) K. Miyagawa, K. Kanoda, A. Kawamoto and T. Hasegawa: "Site-selective NMR Study of Neutral-Ionic Transition in (BEDT-TTF)(Cl,MeTCNQ)", *Synth. Met.*, 135-136(4): 619-620 (2003)
  - 17) T. Sato, T. Hasegawa, T. Akutagawa, T. Nakamura and R. Kondo: "2k<sub>F</sub> transitions in a series of (DMET)<sub>2</sub>(X<sub>1</sub>X<sub>2</sub>TCNQ)(X<sub>1</sub>,X<sub>2</sub>=Br, Cl, F, CH<sub>3</sub>, H): Subsidiary lattice effect by anion radicals", *Phys. Rev. B*, 69: 075103 (2004)
  - 18) Y. Takahashi, T. Hasegawa, T. Akutagawa and T. Nakamura: "Enhanced dielectric response in (BEDT-TTF)(ClMeTCNQ) at the neutral-ionic phase transitions", *J. de Physique IV*, 114: 137-139 (2004)
  - 19) T. Akutagawa, K. Kakiuchi, T. Hasegawa, T. Nakamura, C. A. Christensen and J. Becher: "Langmuir-Blodgett Films of Amphiphilic Bis(tetrathiafulvalene) Macrocycles with Four Alkyl Chains", *Langmuir*, 20: 4187-4195 (2004)
  - 20) T. Akutagawa, S. Takeada, T. Hasegawa and T. Nakamura: "Proton Transfer and a Dielectric Phase Transition in the Molecular Conductor (HDABCO<sup>+</sup>)<sub>2</sub>(TCNQ)<sub>3</sub>", *J. Am. Chem. Soc.*, 126: 291-294 (2004)
  - 21) Y. Tatewaki, T. Akutagawa, T. Hasegawa, T. Nakamura, C. A. Christensen and J. Becher: "Structural Change in Langmuir-Blodgett Films of Bis-tetrathiafulvalene Annealed Macrocycle-Tetrafluorotetracyanoquinodimethane Charge Transfer Complex", *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 424: 17-23 (2004)
  - 22) A. Akutsu-Sato, H. Akutsu, S. S. Turner, P. Day, M. R. Probert, J. A. Howard, T. Akutagawa, S. Takeda, T. Nakamura and T. Mori: "The First Proton-Conducting Metallic Ion-Radical Salts", *Angew. Chem. Int. Ed.*, 44: 292-295 (2005)
  - 23) S. Noro, S. Kitagawa, T. Nakamura and T. Wada: "Synthesis and Crystallographic Characterization of Low-dimensional and Porous Coordination Compounds Capable of Supramolecular Aromatic Interaction Using the 4,4'-Azobispyridine Ligand", *Inorg. Chem.*, 44: 3960-3971 (2005)
  - 24) T. Akutagawa, K. Shitagami, S. Nishihara, S. Takeda, T. Hasegawa, T. Nakamura, Y. Hosokoshi, K. Inoue, S. Ikeuchi, Y. Miyazaki and K. Saito: "Molecular Rotor of Cs<sub>2</sub>[[18]crown-6]<sub>3</sub> in the Solid State Coupled with the Magnetism of [Ni(dmit)<sub>2</sub>]", *J. Am. Chem. Soc.*, 127: 4397-4402 (2005)
  - 25) X. Ren, T. Akutagawa, S. Nishihara and T. Nakamura: "Strong Antiferromagnetic Exchange Interactions in Quasi-One-Dimensional(Quasi-1D) Compounds based on [Pd(mnt)<sub>2</sub>]. Anions: Crystal Structures, Magnetic Properties, and Spin Dimer Analyses", *Synth. Met.*, 150: 57-61 (2005)
  - 26) S. Nishihara, X. Ren, T. Akutagawa and T. Nakamura: "Crystal Structures and Magnetic Properties of

- [Ni(dmit)<sub>2</sub>]<sup>-</sup> Salts Including (4-fluoroanilinium) ([18]crown-6) and (4-methylanilinium) ([18]crown-6) Supramolecular Cations”, *Polyhedron*, 24: 2844–2848 (2005)
- 27) T. Nakamura, Y. Tatewaki, T. Ohta, K. Wakahara, T. Akutagawa, T. Hasegawa, H. Tachibana, R. Azumi, M. Matsumoto, C. A. Christen and J. Becher: “Langmuir Layers and Langmuir–Blodgett Films of Bis-tetrathiafulvalene Annulated Macrocycle”, *Bull. Chem. Soc. Jpn*, 78: 247–254 (2005)
- 28) S. Noro, H. Chang, T. Takenobu, Y. Murayama, T. Kanbara, T. Aoyama, T. Sassa, T. Wada, D. Tanaka, S. Kitagawa, Y. Iwasa, T. Akutagawa and T. Nakamura: “Metal–Organic Thin–Film Transistor (MOTFT) Based on a Bis(*o*-diiminobenzosemiquinonate) Nickel(II) Complex”, *J. Am. Chem. Soc.*, 127: 10012–10013 (2005)
- 29) T. Akutagawa, K. Matsuura, A. Hashimoto and T. Nakamura: “Magnetism of [Ni(dmit)<sub>2</sub>] Salts with [Meso and (1*S*, 2*S*)-Diphenyl-1,2-Ethanediammonium] ([18]crown-6)<sub>2</sub> Supramolecular Cations”, *Inorg. Chem.*, 44: 4454–4456 (2005)
- 30) M. S. Chandra, M. G. Krishna, H. Mimata, J. Kawamata, T. Nakamura and T. P. Radhakrishnan: “Laser Induced SHG Decay in a Langmuir–Blodgett Film: Arresting by Polyelectrolyte Templating”, *Adv. Mater.*, 17: 1937–1941 (2005)
- 31) S. Ikeuchi, Y. Miyazaki, S. Takeda, T. Akutagawa, S. Nishihara, T. Nakamura and K. Saito: “Cooperativity of dynamics of 18-crown-6 molecule forming one-dimensional chain in Cs<sub>2</sub>(18-crown-6)<sub>3</sub>[Ni(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub>”, *J. Chem. Phys.*, 123: 044514 (2005)
- 32) X. Ren, T. Akutagawa, S. Nishihara, T. Nakamura, W. Fujita and K. Awaga: “Structural Phase Transition Driven by Spin–Lattice Interaction in a Quasi-one-dimensional Spin System of [1-(4-iodobenzyl)pyridinium][Ni(mnt)<sub>2</sub>]<sup>-</sup>”, *J. Phys. Chem. B*, 109: 16610–16615 (2005)
- 33) T. Akutagawa, K. Kakiuchi, T. Hasegawa, S. Noro, T. Nakamura, H. Hasegawa, S. Mashiko and J. Becher: “Molecular Assembly Nanostructures of a Redox-Active Organogelator”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 44: 7283–7287 (2005)
- 34) X. Ren, S. Nishihara, T. Akutagawa, T. Nakamura, J. L. Xie and Q. J. Meng: “Two-dimensional Molecular Magnets based on [Pt(mnt)<sub>2</sub>]<sup>-</sup> Ions: Structures and Magnetic Properties”, *Polyhedron*, 24: 2160–2164 (2005)
- 35) T. Akutagawa, K. Matsuura, S. Nishihara, S. Noro and T. Nakamura: “Supramolecular Cations of (*S*)-, (*R*)-, and (*RS*)-indane-1-aminium(dibenzo[18]crown-6) in Magnetic [Ni(dmit)<sub>2</sub>]<sup>-</sup> Salts”, *Eur. J. Inorg. Chem.*, 2005: 3271–3276 (2005)
- 36) K. Katoh, T. Akutagawa and T. Nakamura: “Molecular design, synthesis and functions of amphiphilic bis-TTF annulated macrocycles forming molecular assembly nanostructures”, *Journal of Synthetic Organic Chemistry of Japan*, 63: 960–969 (2005)
- 37) X. Ren, S. Nishihara, T. Akutagawa, S. Noro and T. Nakamura: “Design of a Magnetic Bistability Molecular System Constructed by H-Bonding and  $\pi$ - $\pi$  Stacking Interactions”, *Inorg. Chem.*, 45: 2229–2234 (2005)
- 38) Y. Tatewaki, T. Akutagawa, T. Nakamura, H. Hasegawa, S. Mashiko, C. A. Christensen, J. Becher, Molecular-assembly nanostructures of 1:1 mixed Langmuir–Blodgett films of amphiphilic bis-TTF macrocycle and F<sub>4</sub>-TCNQ, *Colloids and Surfaces A*, 284–285: 631–634 (2006).
- 39) T. Akutagawa and T. Nakamura, Crystal and Electronic Structures of Hydrogen-bonded 2,5-Diamino-3,6-dihydroxy-*p*-benzoquinone, *Crystal Growth and Design*, 6: 70–74 (2006).
- 40) T. Akutagawa, T. Motokizawa, K. Matsuura, S. Nishihara, S. Noro, T. Nakamura, Structural Phase Transition of Magnetic [Ni(dmit)<sub>2</sub>]<sup>-</sup> Salts Induced by Supramolecular Cation Structures of (M<sup>+</sup>)([12]crown-4)<sub>2</sub>, *J. Phys. Chem. B*, 110: 5897–5904 (2006).
- 41) X. M. Ren, S. Nishihara, T. Akutagawa, S. Noro, T. Nakamura, W. Fujita, and K. Awaga, Novel spin transition observed in two quasi-one-dimensional spin system based on [M(mnt)<sub>2</sub>] monoanion compounds (M = Ni or Pt; mnt<sup>2-</sup> = maleonitriledithiolate), *Chem. Phys. Lett.*, 418: 423–427 (2006).
- 42) T. Akutagawa, T. Nakamura, and J. Becher, Organic Nanodots of a Cation Radical Salt of Amphiphilic Bis-TTF Annulated Macrocycle; *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 455: 71–74 (2006).
- 43) X. M. Ren, S. Nishihara, T. Akutagawa, S. Noro, T. Nakamura, Design of a Magnetic Bistability Molecular System Constructed by H-Bonding and  $\pi$ - $\pi$  Stacking Interactions, *Inorg. Chem.* 45: 2249–2234 (2006).
- 44) X. M. Ren, T. Akutagawa, S. Noro, S. Nishihara, T. Nakamura, Y. Yoshida, K. Inoue, Structural and Magnetic Investigations for the Doping Effect of Nonmagnetic Impurity on the Spin–Peierls-like Transition in a Quasi-One-Dimensional Magnet: 1-(4'-Nitrobenzyl)pyridinium Bis(maleonitriledithiolato) nickelate, *J. Phys. Chem. B*, 110: 7671–7677 (2006).
- 45) X. M. Ren, S. Nishihara, T. Akutagawa, S. Noro, T. Nakamura, W. Fujita, K. Awaga, Z. P. Ni, J. L. Xie, Q. J. Meng, R. K. Kremer, Quasi-one-dimensional molecular magnets based on derivatives of (fluorobenzyl) pyridinium with the [M(mnt)<sub>2</sub>] monoanion (M = Ni, Pd or Pt; mnt<sup>2-</sup> = maleonitriledithiolate): Syntheses, crystal structures and magnetic properties, *Dalton. Transaction* 16: 1988–1994 (2006).
- 46) T. Akutagawa, D. Endo, H. Imai, S. Noro, L. Cronin, and T. Nakamura: Formation of *p*-Phenylenediamine-Crown Ether-[PMo<sub>12</sub>O<sub>40</sub>]<sup>4-</sup> Salts, *Inorg. Chem.* 45: 8626–8637

(2006).

- 47) T. Nakamura, H. Miyata, K. Wakahara, T. Akutagawa, T. Hasegawa, H. Hasegawa, S. Mashiko, C. A. Christensen, J. Becher, Surface pressure induced charge transfer between fullerene and tetrathiafulvalene derivative in Langmuir-Blodgett films: *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 6: 1833-1837 (2006).
- 48) S. Noro, S. Horike, D. Tanaka, S. Kitagawa, T. Akutagawa, and T. Nakamura, Flexible and Shape-Selective Guest Binding at Cu<sup>II</sup> Axial Sites in 1-Dimensional Cu<sup>II</sup>-1,2-Bis(4-pyridyl)ethane Coordination Polymers, *Inorg. Chem.* 45: 9290-9300 (2006).
- 49) S. Noro, R. Kitaura, S. Kitagawa, T. Akutagawa, and T. Nakamura, Functionalities of One-Dimensional Dynamic Ultramicropores in Nickel(II) Coordination Polymers, *Inorg. Chem.* 45: 8990-8997 (2006).
- 50) M. Hiraoka, T. Hasegawa, Y. Abe, T. Yamada, Y. Tokura, H. Yamochi, G. Saito, T. Akutagawa, T. Nakamura, Ink-jet printing of organic metal electrodes using charge-transfer compounds, *Applied Physics Letter* 89: 173504 (2006).
- 51) X. M. Ren, Z. P. Ni, S. Noro, T. Akutagawa, S. Nishihara, T. Nakamura, Y. X. Sui, and Y. Song, Diversities of Coordination Geometry at Cu<sup>2+</sup> Center in the Bis(maleonitriledithiolato)cuprate Complexes: Syntheses, Magnetic Properties, X-ray Crystal Structural Analyses, and DFT Calculations, *Crystal Growth & Design*, 6: 2530-2537 (2006).
- 52) D. Sato, T. Akutagawa, S. Takeda, S. Noro, T. Nakamura, Supramolecular Rotor of Adamantylammonium([18]crown-6) in [Ni(dmit)<sub>2</sub>]<sup>-</sup> Salt, *Inorg. Chem.* 46: 363-365 (2007).
- 53) R. Tsunashima, S. Noro, T. Akutagawa, T. Nakamura, T. Karasawa, H. Kawakami, K. Toma, One-dimensional array of Au nanoparticles fixed on nanofibers of organogelators by the Langmuir-Blodgett method, *J. Phys. Chem. C*. 111: 901-907 (2007).
- 54) S. Noro, T. Akutagawa, T. Nakamura, Formation of Strong OH<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>C Hydrogen Bonds in a Trinuclear Core-Based Nickel 1,3,5-Benzenetricarboxylate Coordination Polymer, *Crystal Growth & Design* 7, 1205-1208 (2007).
- 55) X. M. Ren, S. Nishihara, T. Akutagawa, S. Noro, T. Nakamura, W. Fujita, K. Awaga: Pressure effect on spin-Peierls-like transition in quasi-1D spin systems [RBzPy][Ni(mnt)<sub>2</sub>]; *Chem. Phys. Lett.* 439: 318-322 (2007).

#### 4.3 総説・解説・評論等

- 1) 芥川智行、中村貴義：表面科学の基礎と応用：日本表面科学会 1218-1220 (2004)
- 2) Tomoyuki Akutagawa, Takayoshi Nakamura, Jan Becher, Molecular Assembly Nanowire, Encyclopedia of NanoScience and Technology, MerceL Dekker 2004, p2019-2029.
- 3) 芥川智行、中村貴義：現代化学 夢の分子機械～超分子

モーター 413(8), 25-33 (2005)

- 4) 芥川智行、中村貴義：進化する有機半導体、分子性ナノワイヤの構築；NTS, 450-455 (2006).
- 5) 芥川智行、中村貴義：分子性半導体から得られる低次元ナノ構造；表面科学, 27(3), 145-150 (2006)
- 6) 芥川智行、中村貴義：ジチオレン錯体を用いた分子機能材料の開発；化学工業, Vol. 57 No. 7. pp. 559-567 (2006)
- 7) 芥川智行、中村貴義：分子性半導体のナノスケール化と分子素子への展開；学術月報, 11, 830-834 (2006)

#### 4.4 著書

- 1) 中村貴義：「第5章 有機デバイスの開発状況とその将来性 第6節 分子エレクトロニクス素子」、有機トランジスタの動作性向上技術[材料開発、作製法、素子設計]、技術情報協会、309-321 (2003)
- 2) 中村貴義：「分子性ナノワイヤの構築」、化学のフロンティア：分子ナノテクノロジー、化学同人、101-113 (2003)
- 3) 芥川智行：実験化学講座7 第5版 電気物性、磁気物性：丸善 (2004)
- 4) 芥川智行、中村貴義：超微細パターンニング技術—次世代のナノ・マイクロパターンニングプロセス—分子性半導体の自己組織化ナノパターンニング；サイエンス&テクノロジー, pp. 306-309 (2006)

#### 4.6 特許

- 1) 芥川智行、中村貴義：低分子オルガノゲル化剤およびこれを用いた低分子オルガノゲル：特許出願番号：特願 2003-274290
- 2) 芥川智行、中村貴義：ドット作製材料、有機半導体ドット構造体および有機半導体ドットの作製方法：特許出願番号：特願 2003-276273
- 3) 芥川智行、中村貴義：有機半導体薄膜作製材料、有機半導体薄膜構造体および有機半導体薄膜の作製方法：特許出願番号：特願 2003-276375
- 4) 網島亮、川上弘子、芥川智行、中村貴義、戸間潤一：ナノワイヤおよびその製造方法ならびに機能素子およびその製造方法：特許出願番号：特願 2004-342581
- 5) 網島亮、川上弘子、芥川智行、中村貴義、戸間潤一：フラーレン縮合ゲル化剤：特許出願番号：特願 2006-065096

#### 4.7 講演

##### i) 学会

- 1) S. Nishihara, T. Akutagawa, T. Hasegawa, T. Nakamura, Y. Hosokoshi, K. Inoue and S. Takeda: "Electrical Resistivity of Carrier Doped Molecular Spin Ladder, [Ph(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>][18]crown-6[Ni(dmit)<sub>2</sub>]", International Conference on Magnetism, Rome, Italy (2003-07)
- 2) T. Nakamura, K. Shitagami, S. Nishihara, T. Akutagawa and T. Hasegawa: "Magnetic Solids of [Ni(dmit)<sub>2</sub>]<sup>-</sup> with

- Cations Having Rotational Degree of Freedom”, International Conference on Magnetism, Rome, Italy (2003-07)
- 3) S. Nishihara, T. Akutagawa, T. Hasegawa, T. Nakamura, Y. Hosokoshi, K. Inoue and S. Takeda: “Diluted Molecular Spin Ladder,  $[\text{Ph}(\text{NH}_3)([18]\text{crown-6})[\text{Ni}(\text{dmit})_2]_{1-x}[\text{Au}(\text{dmit})_2]_x$ ”, International Conference on Theoretical Trends in Low Dimensional Magnetism, Firenze, Italy (2003-07)
  - 4) 武田啓司、中村貴義、川口洋平、栗城眞也: 「高温超伝導 DC マイクロ SQUID 磁束計の試作」、日本物理学会第59回年次大会、福岡 (2004-03)
  - 5) 西原禎文、芥川智行、中村貴義、大平聖子: 「磁気希釈した分子性スピンラダー  $[\text{Ph}(\text{NH}_3)]([18]\text{crown-6})[\text{Ni}(\text{dmit})_2]_{1-x}[\text{Au}(\text{dmit})_2]_x$  の磁気物性」、日本化学会第84春季年会、西宮 (2004-03)
  - 6) 加藤恵一、芥川智行、中村貴義: 「BO 型マクロサイクリック TTF の合成及び  $\text{F}_4\text{TCNQ}$  錯体の LB 膜構造」、日本化学会第84回春季年会、西宮 (2004-03)
  - 7) 芥川智行、中村貴義、J. Becher: 「マクロサイクリック TTF 誘導体が形成するナノドット構造」、日本化学会第84春季年会、西宮 (2004-03)
  - 8) 帯刀陽子、芥川智行、中村貴義、長谷川裕之、益子信郎、J. Becher: 「分子集合体ナノワイヤー金微粒子複合構造の光、電気物性」、日本化学会第84春季年会、西宮 (2004-03)
  - 9) 帯刀陽子、芥川智行、中村貴義、J. Becher: 「2 鎖型マクロサイクリック TTF- $\text{F}_4\text{TCNQ}$  錯体からなるナノワイヤー金コロイド複合構造の作成」、日本化学会北海道支部2004年冬季研究発表会、札幌 (2004-02)
  - 10) K. Katoh, T. Akutagawa, T. Nakamura and J. Becher: “LANGMUIR BLODGETT FILMS OF AMPHIPHILIC bis-(TETRATHIAFULVALENE)-ANNULATED MACROCYCLES WITH BO UNIT”, The 6th International Conference on Nano-Molecular Electronics, Kobe (2004-12)
  - 11) Y. Tawewaki, T. Akutagawa, T. Nakamura, H. Hasegawa, S. Mashiko and J. Becher: “MOLECULAR NANOWIRS Au NANOPARTICLE HYBRID NETWORK STRUCTURES: EFFECT OF NANOPARTICLE CONCENTRATION AND SIZE ON STRUCTURE AND ELECTRICAL PROPERTIES”, The 6th International Conference on Nano-Molecular Electronics, Kobe (2004-12)
  - 12) X. Ren, T. Akutagawa and T. Nakamura: “Infrared Spectra Investigation for a Molecular Cluster With Spin Switch Feature”, AsiaNANO 2004 (Asian Conference on Nanoscience & Nanotechnology), Beijing, China (2004-11)
  - 13) T. Akutagawa and T. Nakamura: “Electrically Conducting Nanostructures Based on Molecular Conductors”, AsiaNANO 2004 (Asian Conference on Nanoscience & Nanotechnology), Beijing, China (2004-11)
  - 14) T. Nakamura and T. Akutagawa: “Nano-Mechanical Devices in Molecular Magnets”, AsiaNANO 2004 (Asian Conference on Nanoscience & Nanotechnology), Beijing, China (2004-11)
  - 15) T. Nakamura and T. Akutagawa: “Nano-Mechanical Devices in  $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$  based Magnetic Materials”, Post-Conference of ICMM2004 (International Conference on Molecule-based Magnets) on Application of Molecular Spin: from Nanomagnets to Biological Spin Systems, Tsukuba (2004-10)
  - 16) K. Takeda, T. Nakamura, Y. Kawaguchi and S. Kuriki: “Characteristics of  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dc SQUID with Bicrystal Grain-Boundary Junctions”, ICMM 2004 (International Conference on Molecule-based Magnets), Tsukuba, Japan (2004-10)
  - 17) T. Motokizawa, K. Matsuura, T. Akutagawa and T. Nakamura: “Crystal Structures and Magnetic Properties of  $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$  Salts Incorporating Alkali Metal Cation/ $[12]\text{crown-4}$  Supramolecules”, ICMM 2004 (International Conference on Molecule-based Magnets), Tsukuba, Japan (2004-10)
  - 18) T. Akutagawa and T. Nakamura: “Supramolecular Cation Approaches for  $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$  based Molecular Magnets”, ICMM 2004 (International Conference on Molecule-based Magnets), Tsukuba, Japan (2004-10)
  - 19) X. Ren, S. Nishihara, T. Akutagawa and T. Nakamura: “Quasi-1D Molecular Magnets with Unusual Spin-Peierls-Transition-like Based on  $[\text{M}(\text{mnt})_2]$  Ions: Structures and Magnetic Properties”, ICMM 2004 International Conference on Molecule-based Magnets, Tsukuba, Japan (2004-10)
  - 20) T. Nakamura, T. Akutagawa, K. Shitagami, S. Nishihara and S. Takeda: “Molecular Rotation in  $\text{Ni}(\text{dmit})_2$  Magnetic Solids-Toward Molecular Motors”, ICMM2004 (International Conference on Molecule-based Magnets), Tsukuba (2004-10)
  - 21) 加藤恵一、芥川智行、中村貴義、J. Becher: 「新規マクロサイクリック TTF 三量体の合成および薄膜構造の評価」、分子構造総合討論会2004、広島 (2004-09)
  - 22) 網島亮、芥川智行、中村貴義、唐沢知博、川上宏子、戸潤一孔: 「低分子有機ゲル形成物質を用いた LB 法によるナノワイヤの作製」、分子構造総合討論会2004、広島 (2004-09)
  - 23) 芥川智行、遠藤大五郎、中村貴義: 「フェニレンジアミン-ケギン型ポリオキシメタレート錯体の結晶構造と磁性」、分子構造総合討論会2004、広島 (2004-09)
  - 24) 梶原鉄平、加藤恵一、芥川智行、中村貴義、J. Becher: 「マクロサイクリックトリス TTF 誘導体の合成とその電荷移動錯体からなる LB 膜の作製」、分子構造総合討論会2004、広島 (2004-09)
  - 25) 山階維騎、内潟昌則、芥川智行、中村貴義、J. Becher: 「Pyrrolo-TTF・TCNQ 誘導体 LB 膜の構造と導電性」、分子構造総合討論会2004、広島 (2004-09)
  - 26) 任小明、西原禎文、芥川智行、中村貴義: 「Quasi-one-dimensional Molecular Magnets Based on  $[\text{M}(\text{mnt})_2]$  (M=Ni or Pt) Architectural Blocks: Structures and Magnets

- Properties」、分子構造総合討論会2004、広島 (2004-09)
- 27) 遠藤大五郎、芥川智行、中村貴義：「(Phenylenediamine) (Crown ether) を含む Keggin 錯体の構造と磁性」、第54回錯体化学討論会、熊本 (2004-09)
  - 28) 元木沢勇、松浦憲政、芥川智行、中村貴義：「アルカリ金属イオン/[12] crown-4 超分子を含む [Ni(dmit)<sub>2</sub>] 塩の構造と磁性」、第54回錯体化学討論会、熊本 (2004-09)
  - 29) 芥川智行、遠藤大五郎、中村貴義：「(Phenylenediamine) (Keggin) 錯体の構造と物性」、第54回錯体化学討論会、熊本 (2004-09)
  - 30) 佐藤大介、下神耕造、西原禎文、武田定、細越裕子、井上克也、池内賢朗、宮崎裕司、斉藤一弥、芥川智行、中村貴義：「[18] crown-6 分子ローター構造を有する [Ni(dmit)<sub>2</sub>] 塩」、第54回錯体化学討論会、熊本 (2004-09)
  - 31) 野呂真一郎、佐々高史、青山哲也、張浩徹、田中大輔、竹延大志、北川進、岩佐義宏、和田達夫：「1軸配向性金属-ジイミン錯体蒸着膜の作成およびその構造・物性」、第54回錯体化学討論会、熊本 (2004-09)
  - 32) 武田啓司、中村貴義、川口洋平、栗城眞也：「高温超伝導体 DC マイクロ SQUID 磁束計の試作 II」、日本物理学会2004年秋季大会、青森 (2004-09)
  - 33) 芥川智行：「分子性固体における動的内部構造の構築とその機能化」、日本物理学会2004年秋季大会、青森 (2004-09)
  - 34) 帯刀陽子、芥川智行、中村貴義、長谷川裕之、益子信郎、J. Becher：「金微粒子-分子集合体ナノワイヤ複合ネットワーク構造における粒子径依存性」、第57回コロイドおよび界面化学討論会、山口 (2004-09)
  - 35) T. Nakamura and T. Akutagawa: "Supramolecular Rotors in Molecular Magnets of [Ni(dmit)<sub>2</sub>]", The International Conference on Synthetic Metals (ICSM04), New South Wales, Australia (2004-06)
  - 36) T. Nakamura: "Supramolecular Systems of Molecular Conductors and Magnets Toward Nanodevices", Dynamic Energy Landscapes and Functional Systems, Santa Fe, New Mexico, USA (2004-03)
  - 37) 唐沢知博、川上宏子、佐藤玲子、戸潤一孔、綱島亮、芥川智行、中村貴義：「様々な官能基を持つジアミド型人工脂質のゲル形成能」、日本化学会第85春季年会、横浜 (2005-03)
  - 38) 芥川智行、遠藤大五郎、野呂真一郎、L. Cronin、中村貴義：「[PM<sub>012</sub>O<sub>40</sub>] クラスターのスピンの配列制御」、日本化学会第85年会、横浜 (2005-03)
  - 39) 遠藤大五郎、芥川智行、野呂真一郎、L. Cronin、中村貴義：「クラウンエーテルを含む(Phenylenediamine) (PM<sub>012</sub>O<sub>40</sub>) 錯体の構造と物性」、日本化学会第85春季年会、横浜 (2005-03)
  - 40) 梶原鉄平、加藤恵一、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義、J. Becher：「エチレンジチオ型マクロサイクリックビス TTF の合成と物性」、エチレンジチオ型マクロサイクリックビスの合成と物性、横浜 (2005-03)
  - 41) 加藤恵一、芥川智行、中村貴義：「新規マクロサイクリック TTF 誘導体の合成および物性評価」、日本化学会第85春季年会、横浜 (2005-03)
  - 42) 綱島亮、芥川智行、中村貴義、唐沢知博、川上宏子、戸潤一孔：「低分子ゲル化剤が形成するナノファイバ上への金微粒子の吸着」、日本化学会第85春季年会、横浜 (2005-03)
  - 43) 帯刀陽子、芥川智行、中村貴義、長谷川裕之、益子信郎、J. Becher：「金-2鎖型マクロサイクリック TTF-F<sub>4</sub>TCNQ ナノワイヤ接合の電気物性評価」、日本化学会第85春季年会、横浜 (2005-03)
  - 44) 加藤恵一、芥川智行、中村貴義：「マクロサイクリック TTF 三量体-C<sub>60</sub>電荷移動型錯体の薄膜構造」、日本化学会第85春季年会、横浜 (2005-03)
  - 45) 山階維騎、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義、J. Becher：「両親媒性マクロサイクリック TTF 誘導体を用いた有機半導体ナノドットの配列制御」、日本化学会第85春季年会、横浜 (2005-03)
  - 46) 野呂真一郎、張浩徹、竹延大志、芥川智行、中村貴義、北川進、岩佐義宏：「ニッケル-ジイミン金属錯体の固気界面上における集積構造制御及びその電気物性」、日本化学会第85春季年会、横浜 (2005-03)
  - 47) 武田啓司、中村貴義、中村貫人、栗城眞也：「高温超伝導 DC マイクロ SQUID の素子特性と磁束計の試作」、日本物理学会第60回年次大会、東京 (2005-03)
  - 48) T. Nakamura: "Supramolecular Cation Salts of Polyoxyometalate with Electronic and Magnetic Functions", Pacificchem 2005, Honolulu, Hawaii, USA (2005-12)
  - 49) R. Tsunashima, T. Akutagawa, T. Nakamura, T. Karasawa, H. Kawakami and K. Toma: "Properties of the Nanofibers of Gelators with Au Nanoparticle Adsorption Sites", Pacificchem 2005, Honolulu, Hawaii, USA (2005-12)
  - 50) T. Motokizawa, K. Matsuura, T. Akutagawa and T. Nakamura: "Structural Phase Transition of (M') ([12]crown-4)<sub>2</sub>[Ni(dmit)<sub>2</sub>] Salts Coupled with Magnetic Properties", Pacificchem 2005, Honolulu, Hawaii, USA (2005-12)
  - 51) K. Takeda, K. Awaga, S. Ohira and I. Watanabe: "Long time scale  $\mu$  SR study of [Mn<sub>12</sub>O<sub>12</sub>(O<sub>2</sub>CC<sub>6</sub>H<sub>5</sub>)<sub>16</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>4</sub>] · 2C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CO<sub>2</sub>H", Pacificchem 2005, Honolulu, Hawaii, USA (2005-12)
  - 52) D. Sato, K. Shitagami, S. Nishihara, S. Takeda, T. Akutagawa and T. Nakamura: "Formations of Supramolecular Rotor Structures of Crown Ethers in Magnetic [Ni(dmit)<sub>2</sub>] Salts", Pacificchem 2005, Honolulu, Hawaii, USA (2005-12)
  - 53) T. Kajiwara, K. Kato, S. Noro, T. Akutagawa, T. Nakamura and J. Becher: "Synthesis of bis- and tris-(Tetrathiafulvalene) Annulated Macrocycles with Ethylenedithio Groups", Pacificchem 2005, Honolulu, Hawaii, USA (2005-12)
  - 54) T. Yamashina, S. Noro, T. Akutagawa, T. Nakamura and J. Becher: "Formations and Electrical Properties of Organic

- Semiconductor Nanodots of an Amphiphilic Bis-TTF Macrocycle”, Pacificchem 2005, Honolulu, Hawaii, USA (2005-12)
- 55) S. Noro, H. Chang, T. Takenobu, T. Akutagawa, T. Nakamura, S. Kitagawa and Y. Iwasa: “Metal-organic thin-film transistor (MOTFT) based on Ni<sup>II</sup>-*o*-diiminobenzosemiquinonate complex”, Pacificchem 2005, Honolulu, Hawaii, USA (2005-12)
- 56) S. Noro, H. Chang, T. Takenobu, T. Akutagawa, T. Nakamura, S. Kitagawa and Y. Iwasa: “Fabrication, structure, and properties of vapor deposition films of M<sup>II</sup>-*o*-diiminobenzosemiquinonate metal complexes(M=Ni, Pt, Pd)”, Pacificchem 2005, Honolulu, Hawaii, USA (2005-12)
- 57) Y. Tawewaki, T. Akutagawa, T. Hasegawa, T. Nakamura, H. Hasegawa, S. Mashiko and J. Becher: “Formation and Electrical Properties of Composite Nanostructures Composed of [Amphiphilic Bis-TTF Macrocycle-(F4-TCNQ)]/Au Nanoparticles”, Pacificchem 2005, Honolulu, Hawaii, USA (2005-12)
- 58) D. Endo, T. Akutagawa, S. Noro, H. Imai, L. Cronin and T. Nakamura: “Crystal Structures and Magnetic Properties of [PMo<sub>12</sub>O<sub>40</sub>]<sup>4-</sup> Salts with Supramolecular Cations”, Pacificchem 2005, Honolulu, Hawaii, USA (2005-12)
- 59) T. Nakamura: “Nanostructures of conducting and magnetic molecular materials”, Pacific Polymer Conference IX, Polymer Microelectronics and Photonics, Maui Westin, Hawaii, USA (2005-12)
- 60) T. Motokizawa, K. Matsuura, T. Akutagawa and T. Nakamura: “Phase Transition and Magnetic Properties of (M<sup>+</sup>)[12crown-4]<sub>2</sub>[Ni(dmit)<sub>2</sub>](M=Li,Na,K,Rb)”, First International Conference on Chemistry of Coordination Space, Okazaki, Aichi (2005-11)
- 61) D. Endo, T. Akutagawa, S. Noro, H. Imai, L. Cronin and T. Nakamura: “Porous Structures and Physical Properties of Keggin/Supramolecular Cation Salts”, First International Conference on Chemistry of Coordination Space, Okazaki, Aichi (2005-11)
- 62) D. Sato, T. Akutagawa, K. Shitagami, S. Nishihara, S. Takeda and T. Nakamura: “Rotor Structures of 18-crown-6 Based Supramolecular Cations in [Ni(dmit)<sub>2</sub>] Salts”, First International Conference on Chemistry of Coordination Space, Okazaki, Aichi (2005-11)
- 63) 野呂真一郎、張浩徹、竹延大志、芥川智行、中村貴義、北川進、岩佐義宏:「酸化還元両性セミキノ配位子を有する金属錯体 FET の開発」、分子構造総合討論会 2005、東京 (2005-09)
- 64) 山階維騎、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義、Jan Becher:「イソペンタンを側鎖に有する Pyrrolo-TTF 誘導体の電荷移動錯体 LB 膜」、分子構造総合討論会 2005、東京 (2005-09)
- 65) 梶原鉄平、加藤恵一、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義、Jan Becher:「チオメチル基を有するマクロサイクリックトリス TTF と TCNQ 誘導体からなる LB 膜」、分子構造総合討論会 2005、東京 (2005-09)
- 66) 芥川智行、今井宏之、遠藤大五郎、野呂真一郎、Cronin Leroy、中村貴義:「ケギン型 Mo<sub>12</sub> 及び巨大 Mo<sub>154</sub> ポリオキサメタレート (POM) 錯体の結晶構造と電子状態」、分子構造総合討論会、東京 (2005-09)
- 67) 神玲奈、今井宏之、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義、Leroy Cronin:「巨大リング状 Mo クラスタへの両親媒性の付加と LB 膜の作製」、分子構造総合討論会、東京 (2005-09)
- 68) 野呂真一郎、芥川智行、中村貴義:「混合原子価ポリオキサメタレート-メタロセン錯体の構造と性質」、第55回錯体化学討論会、新潟 (2005-09)
- 69) 佐藤大介、西原 禎文、芥川智行、中村貴義:「*o*-,*m*-,*p*-置換アニリニウム/クラウンエーテル超分子構造を導入した [Ni(dmit)<sub>2</sub>] 塩の作製」、第55回錯体化学討論会、新潟 (2005-09)
- 70) 今井宏之、芥川智行、中村貴義、稲辺保:「磁性金属イオンを導入したポリオキサモリブデート巨大分子錯体塩の作製」、第55回錯体化学討論会、新潟 (2005-09)
- 71) 遠藤大五郎、芥川智行、野呂真一郎、今井宏之、Leroy Cronin、中村貴義:「クラウンエーテル/フェニレンジアミン超分子カチオンによる [PMo<sub>12</sub>O<sub>40</sub>] クラスタの配列制御」、第55回錯体化学討論会、新潟 (2005-09)
- 72) 元木沢勇、松浦憲政、芥川智行、中村貴義:「(M<sup>+</sup>)[12crown-4]<sub>2</sub>[Ni(dmit)<sub>2</sub>] 錯体の構造転移と磁性」、第55回錯体化学討論会、新潟 (2005-09)
- 73) 平岡牧、長谷川達生、阿部恭、山田寿一、堀内左智雄、十倉好紀、齊藤軍治、芥川智行、中村貴義:「インクジェット有機金属電極を利用する有機薄膜トランジスタの動作特性」、日本物理学会 2005 年度秋季大会、京都 (2005-09)
- 74) 武田啓司、中村貴義、栗城眞也:「微小磁性体計測用高温超伝導 dc マイクロ SQUID 磁束計の試作」、日本物理学会 2005 年度秋季大会、京都 (2005-09)
- 75) 中村貴義:「金属錯体を用いた導電性・磁性材料の構築とデバイス化」、日本物理学会 2005 年度秋季大会、京都 (2005-09)
- 76) 野呂真一郎、張浩徹、竹延大志、芥川智行、中村貴義、北川進、岩佐義宏:「ジイミノベンゾセミキノネート配位子を用いた Metal-Organic TFT (MOTFT) の開発」、2005 年秋季第 66 回応用物理学会学術講演会、徳島 (2005-09)
- 77) 帯刀陽子、芥川智行、中村貴義、長谷川裕之、益子信郎、Jan Becher:「分子集合体ナノワイヤーナノ粒子複合構造を用いた新規電子材料の開拓」、第 66 回応用物理学会学術講演会、徳島 (2005-09)
- 78) 綱島亮、芥川智行、中村貴義、唐沢 智博、川上宏子、戸潤一孔:「低分子ゲル化剤ナノファイバを鋳型とした金微粒子の配列」、第 66 回応用物理学会学術講演会、徳島 (2005-09)

- 79) 山階維騎、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義、Becher Jan : 「両親媒性 Pyrrolo-TTF/TCNQ 誘導体 LB 膜の構造物性評価」、日本化学会北海道支部2005年夏季研究発表会、函館 (2005-07)
- 80) 綱島亮、芥川智行、中村貴義、吉富太一、川上宏子、戸澗一孔 : 「金微粒子の吸着能を持つゲル化剤を用いたナノファイバ作製」、日本化学会北海道支部2005年夏季研究発表会、函館 (2005-07)
- 81) T. Akutagawa, T. Nakamura and J. Becher: "Electrically Active Low-Dimensional Nanostructures of Amphiphilic Bis(tetrathiafulvalene)-Macrocycles", The 11th International Conference on Organized Molecular Films(LB11), Sapporo (2005-06)
- 82) T. Kajiwara, K. Kato, S. Noro, T. Akutagawa, T. Nakamura and J. Becher: "Synthesis of Bis- and Tris- (Tetrathiafulvalene) Annulated Macrocycles for Langmuir-Blodgett Films", The 11th International Conference on Organized Molecular Films(LB11), Sapporo (2005-06)
- 83) T. Yamashina, S. Noro, T. Akutagawa, T. Nakamura and J. Becher: "Formation of Organic Semiconductor Nanodots of an Amphiphilic Bis-TTF Macrocycle", The 11th International Conference on Organized Molecular Films(LB11), Sapporo (2005-06)
- 84) Y. Tatewaki, T. Akutagawa, T. Nakamura, H. Hasegawa, S. Mashiko and J. Becher: "Electrically Conducting Hybrid Nanostructures of Molecular-Assembly Nanowire and Au Particles", The 11th International Conference on Organized Molecular Films(LB11), Sapporo (2005-06)
- 85) Y. Tatewaki, T. Akutagawa, T. Nakamura, H. Hasegawa, S. Mashiko and J. Becher: "Surface Nanostructures in 1:1 Mixed Langmuir-Blodgett Films of Amphiphilic Bis-TTF Macrocycle and F<sub>4</sub>-TCNQ", The 11th International Conference on Organized Molecular Films(LB11), Sapporo (2005-06)
- 86) R. Tsunashima, T. Akutagawa, T. Nakamura, T. Karasawa, H. Kawakami and K. Toma: "Preparation of Au Nanoparticle Array on the Nanofiber of Gelators", The 11th International Conference on Organized Molecular Films (LB11), Sapporo (2005-06)
- 87) 遠藤大五郎、芥川智行、野呂真一郎、今井宏之、リロイ クローニン、中村貴義 : 「(M<sup>+</sup>) (crown ether) によるヘテロポリアニオンの配列制御」、日本化学会第86春季年会、船橋 (2006-03)
- 88) 佐藤大介、芥川智行、中村貴義 : 「[Ni(dmit)<sub>2</sub>]単結晶中への[18]crown-6/置換アニリニウムからなる分子ローター構造導入の試み」、日本化学会第86春季年会、船橋 (2006-03)
- 89) 野呂真一郎、芥川智行、中村貴義 : 「ケギン型ポリオキソメタレートフェロセニウム電荷移動錯体の合成と磁気的性質」、日本化学会第86春季年会、船橋 (2006-03)
- 90) 綱島亮、芥川智行、中村貴義、吉富太一、川上宏子、戸澗一孔 : 「低分子ゲル化剤を用いた LB 法による電子活性なナノファイバの作製」、日本化学会第86春季年会、船橋 (2006-03)
- 91) 今井宏之、芥川智行、中村貴義、伊藤光宏、吉川文隆、尾関智二、内藤俊雄、稲辺保 : 「磁性金属イオンを導入した大環状ポリオキソモリブデート錯体塩の作製」、日本化学会第86春季年会、船橋 (2006-03)
- 92) 吉富太一、川上宏子、戸澗一孔、綱島亮、中村貴義、古幡 昌彦、米谷 芳枝 : 「オリゴエチレングリコールが結合した3, 4, 5-トリス (ドデシルオキシ) ベンズアミド誘導体の水中での挙動」、日本化学会第86春季年会、船橋市 (2006-03)
- 93) 帯刀陽子、芥川智行、中村貴義、長谷川裕之、益子信郎、Jan Becher : 「金微粒子-分子集合体ナノワイヤネットワーク構造の伝導メカニズム」、第53回応用物理学会関係連合講演会、東京 (2006-03)
- 94) 芥川智行 : 「超分子化学・界面化学の手法を用いた分子機能材料の開発」、北海道支部2006年冬季研究発表会、札幌市 (2006-01)
- 95) 元木沢勇、松浦憲政、芥川智行、中村貴義 : 「サンドイッチ型超分子カチオンを含む [Ni(dmit)<sub>2</sub>] 塩の物性評価」、北海道支部2006年冬季研究発表会、札幌市 (2006-01)
- 96) 遠藤大五郎、芥川智行、中村貴義 : 超分子カチオン-ポリオキソメタレートからなる有機-無機複合結晶の構造及び物性 : 日本化学北海道支部2006夏季年会 : 室蘭工業大学 (2006.7.22-23)
- 97) 綱島亮、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義、吉富太一、川上宏子、戸澗一孔 : 低分子ゲル化剤を用いて LB 法により作製したナノファイバの機能化 : 日本化学北海道支部2006夏季年会 : 室蘭工業大学 (2006.7.22-23)
- 98) 神玲奈、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義、Leroy Cronin : 巨大リング状 Mo クラスタ LB 膜の作製と構造評価 : 第59回コロイドおよび界面化学討論会 : 北海道大学 (2006.9.13-15)
- 99) 綱島亮、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義、吉富太一、川上宏子、戸澗一孔 : 機能性低分子ゲル化剤からなるナノ分子集合体の LB 法による作製 : 第59回コロイドおよび界面化学討論会 : 北海道大学 (2006.9.13-15)
- 100) 野呂真一郎、芥川智行、中村貴義、北川進 : 動的ウルトラマイクロ孔を有する金属錯体の構造と表面特性 : 第59回コロイドおよび界面化学討論会 : 北海道大学 (2006.9.13-15)
- 101) 遠藤大五郎、芥川智行、野呂信一郎・Leroy Cronin・中村貴義 : (Phenylenediamine)(crown ether)[PM12O40]錯体(M=Mo, W)の結晶構造及び物性 : 第56回錯体化学討論会 : 広島大学 (2006.9.16-18)
- 102) 佐藤大介、芥川智行、中村貴義 : アダマンタン/クラウンエーテル超分子構造を有する[Ni(dmit)<sub>2</sub>]錯体を用いた分子ローターモデルの構築 : 第56回錯体化学討論会 : 広島大学 (2006.9.16-18)
- 103) 野呂真一郎、竹延大志、張浩徹、芥川智行、中村貴義、

- 北川進、岩佐義宏: 酸化還元両性配位子を有する金属錯体薄膜の物理的・化学的ドーピング: 第56回錯体化学討論会: 広島大学 (2006.9.16-18)
- 104) 神奈奈、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義、Leroy Cronin: ウェット法を用いた巨大リング状 Mo154 核クラスターの薄膜化と構造評価: 第56回錯体化学討論会: 広島大学 (2006.9.16-18)
- 105) 佐藤大介、芥川智行、中村貴義: アダマンタン超分子カチオンを用いた分子ローターモデルの構築: 分子構造討論会2006: 静岡グランシップ (2006.9.20-23)
- 106) 綱島亮、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義、吉富太一、川上宏子、戸潤一孔: 低分子ゲル化剤の自己組織化を利用した基板上へのナノファイバの作製と機能化: 分子構造討論会2006: 静岡グランシップ (2006.9.20-23)
- 107) 野呂真一郎、芥川智行、中村貴義、竹延大志、岩佐義宏、張浩徹、北川進: 金属錯体半導体を用いたアンバイポーラーTFTの構築: 分子構造討論会2006: 静岡グランシップ (2006.9.20-23)
- 108) 遠藤格、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義: Ethylenedithio型マクロサイクリック bis-TTFとTCNQ誘導体からなる電荷移動錯体ナノ構造の構築: 分子構造討論会2006: 静岡グランシップ (2006.9.20-23)
- 109) 野田祐樹、帯刀陽子、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義、長谷川裕之、益子信郎、BECHER Jan: 分子集合体ナノワイヤー-金微粒子複合 LB 膜の電気伝導メカニズム: 分子構造討論会2006: 静岡グランシップ (2006.9.20-23)
- 110) Tomoyuki Akutagawa, Takayoshi Nakamura: Crystal Structures and Magnetic Properties of Electron-Rich Polyoxometalates with Hydrogen-Bonding Cations: ICSM2006: 2006. 7.2-6 (Dublin Ireland)
- 111) Tomoyuki Akutagawa, Takayoshi Nakamura: Conduction Mechanism of Network Structures between Molecular-Assembly Nanowires and Nanoparticles: ICSM2006: 2006. 7.2-6 (Dublin Ireland)
- 112) Daigoro Endo, Tomoyuki Akutagawa, Hiroyuki Imai, Takayoshi Nakamura, Leroy Cronin: Crystal Structures and magnetic properties of Reduced Polyoxometalate-Supramolecular Cation Complexes: ICSM2006: 2006. 7.2-6 (Dublin Ireland)
- 113) Reina Jin, Shin-ichiro Noro, Tomoyuki Akutagawa, Takayoshi Nakamura, Leroy Cronin: Thin Films of Ring-Shaped Polyoxomolybdate Cluster: ICSM2006: 2006. 7.2-6 (Dublin Ireland)
- 114) Shin-ichiro Noro, Tomoyuki Akutagawa, Takayoshi Nakamura: Development of Ambipolar Metal-Organic Thin-Film Transistors (MOTFTs): ICSM2006: 2006. 7.2-6 (Dublin Ireland)
- 115) Daisuke Sato, Tomoyuki Akutagawa, Takayoshi Nakamura, Sadamu Takeda: Rotor Structures of Allylammonium - ([18]crown-6) based Supramolecular Cations: ICSM2006: 2006. 7.2-6 (Dublin Ireland)
- 116) Ryo Tsunashima, Shin-ichiro Noro, Tomoyuki Akutagawa, Takayoshi Nakamura: Structure of the LB Films of a Fullerene Linked Low-Molecular-Weight Organogelator: ICSM2006: 2006. 7.2-6 (Dublin Ireland)
- 117) Takayoshi Nakamura, Tomoyuki Akutagawa: Artificial Molecular Rotors in Magnetic and Conducting Crystals: ICSM2006: 2006. 7.2-6 (Dublin Ireland)
- 118) 遠藤格、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義: Ethylenedithio型マクロサイクリック TTF と TCNQ 誘導体からなる LB 膜の物性評価: 日本化学会北海道支部2007年冬季研究発表会: 北海道大学 (2007.2.6-7)
- 119) 野田祐樹、帯刀陽子、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義、長谷川裕之、益子信郎、Jan Becher: 電荷移動型ナノワイヤー-金微粒子複合 LB 膜の電気伝導性: 日本化学会北海道支部2007年冬季研究発表会: 北海道大学 (2007.2.6-7)
- 120) 遠藤大五郎、芥川智行、野呂真一郎、今井宏之、リロイ・クローニン、中村貴義: ポリオキソアニオン-超分子カチオンからなる錯体の結晶構造解析: 日本化学会第87春季年会: 関西大学 (2007. 3.25-28)
- 121) 野田祐樹、帯刀陽子、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義、長谷川裕之、益子信郎、BECHER, Jan: 電荷移動錯体と金ナノ粒子から形成する複合構造の電気伝導挙動: 日本化学会第87春季年会: 関西大学 (2007. 3.25-28)
- 122) 遠藤格、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義: Ethylenedithio型 bis-TTFマクロサイクルとTCNQ誘導体からなる電荷移動錯体 LB 膜の電気伝導: 日本化学会第87春季年会: 関西大学 (2007.3.25-28)
- 123) 野呂真一郎、堀毛悟史、田中大輔、坂本裕俊、北川進、芥川智行、中村貴義: 柔軟性銅(II)配位高分子の結晶構造及びゲスト分子選択性: 日本化学会第87春季年会: 関西大学 (2007.3.25-28)
- 124) 坂井賢一、伊藤嘉規、今久保達郎、芥川智行、中村貴義、市川結、谷口彬雄: 配位子内に水素結合をもつ亜鉛(II)錯体の構造と発光特性: 日本化学会第87春季年会: 関西大学 (2007. 3.25-28)
- 125) 越中裕之、佐藤大介、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義: 有機アンモニウム-ジベンゾ[18]crown-6超分子カチオンを含む[Ni(dmit)<sub>2</sub>]塩の構造と磁性: 日本化学会第87春季年会: 関西大学 (2007.3.25-28)
- 126) 芥川智行、野田祐樹、帯刀陽子、中村貴義: 分子集合体ナノワイヤー-金ナノ粒子連結系の電気伝導性: 日本物理学会2007春季大会: 鹿児島大学 (2007.3.18-21)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) K. Matsuura, S. Nishihara, T. Akutagawa and T. Nakamura: "Structures and Magnetic Properties of [Ni(dmit)<sub>2</sub>] Salts with Chiral Ammonium Cation", International Symposium on Crystalline Organic Metals Superconductors and Magnets (ISCOM), Port-Bourgenay, France (2003-09)
- 2) S. Nishihara, T. Akutagawa and T. Nakamura: "Magnetic Studies of Diluted Molecular Spin Ladder, [Ph(NH<sub>3</sub>)([18]crown-6)[Ni(dmit)<sub>2</sub>]<sub>1-x</sub>[Au(dmit)<sub>2</sub>]<sub>x</sub>", Inter-

- national Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets, ISCOM2003, Port-Bourgenay, France (2003-09)
- 3) Y. Tatewaki, T. Akutagawa, T. Nakamura and J. Becher: "Hybrid Structures between Molecular Nanowires of bis(TTF)macrocycle-F<sub>4</sub>TCNQ Complex and Au Nanoparticles", International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets.(ISCOM2003), Nante, France (2003-09)
  - 4) T. Nakamura, S. Nishihara, K. Shitagami, T. Akutagawa and S. Takeda: "Supramolecular Rotor Structure in [Ni(dmit)<sub>2</sub>] Magnetic Crystals", Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets, ISCOM 2003, Port-Bourgenay, France (2003-09)
  - 5) T. Nakamura, T. Akutagawa and J. Becher: "Nanostructures of Molecular Conductors", Korea Japan Joint Forum 2003 "Organic Materials for Electronics and Photonics", Busan, Korea (2003-09)
  - 6) T. Nakamura, S. Nishihara, K. Shitagami, T. Akutagawa and S. Takeda: "Large Amplitude Molecular Rotation in [Ni(dmit)<sub>2</sub>] Magnetic Crystals: Towards Supramolecular Motor", UK-Japan Meeting on Molecular Electronics: Putting Molecules in Their Place, Killin, Loch Tay, Scotland (2003-09)
  - 7) 中村貴義:「分子集合体からのアプローチ」、JST-CREST「電極問題」ワークショップ、東京 (2003-12)
  - 8) 中村貴義、芥川智行:「超分子カチオンを含む導電性・磁性物質の構造と機能」、第11回日本化学会有機結晶部会シンポジウム、仙台 (2003-11)
  - 9) T. Nakamura: "Molecular Systems of Conductors and Magnets; toward the Realization of Nano-Molecular Electronics", NATO Advanced Study Institute "Organic Conductors, Superconductors and Magnets: From Synthesis to Molecular Electronics, Corfu, Greece (2003-04)
  - 10) K. Wakahara, H. Miyata, Y. Tatewaki, T. Akutagawa, T. Nakamura and J. Becher: "LANGMUIR-BLODGETT FILMS OF C<sub>60</sub>-MACROCYCLIC TTF", Frontiers of Physical Chemistry on Molecular Materials, 名古屋 (2004-01)
  - 11) 若原圭佑、宮田英人、帯刀陽子、芥川智行、中村貴義、J. Becher:「C<sub>60</sub>-マクロサイクリック TTF 誘導体 LB 膜における表面圧誘起電荷移動」、第26回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、岡崎 (2004-01)
  - 12) 芥川智行:「両親媒性 TTF 誘導体が形成する多様な表面ナノ構造」、第5回研究会イン沖縄 (2003) 機能性分子の設計・合成戦略と計測技術の現在そして未来、那覇 (2003-04)
  - 13) T. Nakamura: "Supramolecular Assemblies of Conductors and Magnets", Indo-Japan seminar on Molecular and Supramolecular materials, Bangalore, India (2004-03)
  - 14) T. Nakamura: "Supramolecular Systems of Molecular Conductors and Magnets Toward Nanodevices", Dynamic Energy Landscapes and Functional Systmes, Santa Fe, New Mexico, USA (2004-03)
  - 15) T. Nakamura: "Fabrications of Molecular Nanowires and Molecular Mechanical Devices", International Symposium on Construction of Nanostructured Molecular Assemblies with Novel Electronic Functions, Osaka, Japan (2004-12)
  - 16) T. Nakamura: "Molecular Systems for Nanodevices: Molecular Rotors and Molecular Wires", Sanken International Symposium on Scientific and Industrial Nanotechnology 2004, Osaka (2004-12)
  - 17) 中村貴義:「電子機能性分子システムを利用した分子モーター構築の試み」、特定領域研究「分子性導体」物質開発ミニシンポジウム、広島 (2004-11)
  - 18) T. Nakamura: "Molecular systems for novel molecular devices", The 8th Japan-China Joint Symposium on Conduction and Photo-conduction in Organic Solids and Related Phenomena, Okazaki, Japan (2004-11)
  - 19) T. Nakamura: "Molecular System Based on Conductors and Magnets", Japan-Singapore Symposium on Nanoscience and Nanotechnology, Singapore, Singapore (2004-11)
  - 20) T. Nakamura and T. Akutagawa: "Supramolecular Assemblies in Molecular Conductors and Magnets for Energy Conversion", New Zealand ICSM2004 Satellite Research Symposium, Queenstown, New Zealand (2004-06)
  - 21) T. Nakamura: "Supramolecular Assemblies in Ni(dmit)<sub>2</sub> Based Conductors and Magnets", Japan-France Workshop on New Types of Functionality Materials Based on Organic-Inorganic Hybrid Compounds, Tokyo, Japan (2004-04)
  - 22) T. Nakamura: "Supramolecular Assemblies in Ni(dmit)<sub>2</sub> Based Conductors and Magnets", Japan-France Workshop on New Types of Functionality Materials Based on Organic-Inorganic Hybrid Compounds, Tokyo (2004-04)
  - 23) 中村貴義:「分子性導体の自己組織化ナノバターンニング」、分子研研究会「分子スケールエレクトロニクス研究会」、岡崎 (2004-04)
  - 24) 芥川智行:「Mo<sub>12</sub>核及び Mo<sub>136</sub>核ポリオキサメタレート錯体の結晶構造とスピン状態」、第6回 研究会イン沖縄、那覇市 (2004-10)
  - 25) T. Nakamura: "Molecular Systems for Nanodevices: Molecular Rotors and Molecular Wires", Sanken International Symposium on Scientific and Industrial Nanotechnology 2004, Osaka (2004-12)
  - 26) T. Nakamura: "Structure and Magnetic Properties of Polyoxometalate Salts with Supramolecular Cations", ISCOM2005 Sixth International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors, and Ferromagnets, Key West, Florida, USA (2005-09)
  - 27) T. Akutagawa: "Nanostructures of Molecular Conductors", ISCOM2005 Sixth International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors, and Ferromagnets, Key

West, Florida, USA (2005-09)

- 28) T. Akutagawa, T. Yamashina, S. Noro and T. Nakamura: "Size-controllable Nanodot Structures of Molecular Conductors", International Symposium on Molecular Conductors, Hayama (2005-07)
- 29) S. Noro, H. Chang, T. Takenobu, T. Akutagawa, T. Nakamura, S. Kitagawa and Y. Iwasa: "The Film Structures and FET Properties of Metal-Organic Complexes with Radical o-Diiminobenzosemiquinonate Ligands", The 54th Fujiwara Seminar, Tomakomai (2005-08)
- 30) Y. Tatewaki, T. Akutagawa, T. Nakamura, H. Hasegawa, S. Mashiko and J. Becher: "Conducting Mechanism of Hybrid Nanostructures of Molecular-Assembly Nanowires and Au Particles", The 54th Fujiwara Seminar, Tomakomai (2005-08)
- 31) 芥川智行: 「分子性導体・磁性体における動的内部構造の構築とその機能化」、高分子サマユニバーシティ、札幌 (2005-08)
- 32) S. Noro, H. Chang, T. Takenobu, T. Akutagawa, T. Nakamura, S. Kitagawa and Y. Iwasa: "Metal-Organic Thin-Film Transistor (MOTFT) Based on Metal(II)-o-Diiminobenzosemiquinonate Complexes", International Symposium on Molecular Scale Electronics, Tsukuba (2005-12)
- 33) T. Nakamura, S. Nishihara, K. Shitagami, D. Sato, D. Endo, H. Imai, S. Noro, S. Takeda and T. Akutagawa: "Molecular Mechanical Devices of Crown Ether Supramolecules Developed in  $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$  based Magnetic Materials", International Symposium on Molecular Scale Electronics, Tsukuba (2005-12)
- 34) D. Sato, T. Akutagawa, K. Shitagami, S. Nishihara, S. Takeda and T. Nakamura: " $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$  salts with [18]crown-6 molecular rotor", The International 21st century COE Chemistry Symposium of BINDEC Chemistry Network (BINDEC 2005), Osaka (2005-10)

#### 4.9 共同研究

##### a. 所内共同研究 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

- 1) 石橋晃、徳本洋志、末宗幾夫、中村貴義、近藤憲治 (電子科学研究所): 「極微細接合素過程に対する次元・空間配位の影響の研究」、2003~2004年度、未定、次元数表記で3-0-3、3-2-0-2-3などの従来行われてきた接合構造・配置に対し、特に3-2-0-R2-3 (R2は相対的に回転した2次元面であることを示す)の極微細接合について理論的に考察するとともに、この構造(ユニット)を作るための要素技術を確立する。
- 2) 中村貴義、長谷川達生、芥川智行 (電子科学研究所): 「超分子化学から分子エレクトロニクスへのアプローチ」、2002~2005年度、分子機能に立脚した『集積分子エレクトロニクスデバイス』の構築を目標に研究を行う。超分子化学の観点から、多種類の分子からなる分

子システムを構築し、1分子では達成し得ない機能を実現することで、分子エレクトロニクスの新たな領域を開拓する。これまで進めてきた、英国、デンマークグループとの共同研究をさらに発展させ、NEDO 国際共同研究プロジェクトなどへの提案を目指す。

- 3) 芥川智行 (電子科学研究所 若手国際共同研究): 「キラルポーラス錯体の非線形特性に関する研究」、2007年度、キラルポーラス錯体の合成に関する研究で実績のある南京大学錯体化学研究所を海外における共同研究機関とすることで、電子科学研究所の若手研究者との研究交流の場を提供し、キラルポーラス錯体の物性評価および材料化に関するアジアにおける研究拠点づくりを目指す。

##### b. 民間等との共同研究 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

- 1) 中村貴義 (㈱富士通研究所): 「分子エレクトロニクス材料の研究」、2001~2003年度、3,000千円、本研究においては、機能性分子を自己集積させることにより、分子デバイス等の基本となる複雑なアーキテクチャーを容易に構築する方法を確立し、さらにその高度に秩序だった組織体における、分子あるいは分子集合体間の協同的な相互作用に基づく複合的な機能を開拓することを目的に、有機導電性・磁性物質の分子集合体の構築と機能評価について研究を行う。

##### c. 受託研究 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、研究内容)

- 1) 中村貴義、芥川智行 (独立行政法人 通信総合研究所): 「ウエット法による有機ナノ構造構築技術の調査研究」、2003-2005年度、22,000千円、固-液界面での分子の自己組織化により、ナノスケールデバイス、システムを構築する可能性を検討する。Langmuir-Blodgett(LB)法などのウエット手法を用いて有機物(誘導体、半導体)などのナノメートルサイズの構造の形成を行い、分子デバイス構築の新しい基盤技術として可能性を調査する。
- 2) 中村貴義、芥川智行、松本睦良、中村徹、武井文雄、真鍋敏夫 (独立行政法人 科学技術振興機構): 「新規な電子機能を持つ分子ナノ構造体の構築 (分子性物質の材料化・システム化)」、2002~2007年度、76,000千円、将来の集積分子エレクトロニクス実現のため、分子性物質の材料化を研究する。そのために分子性物質のナノ材料化を行うとともに、それらを用いてデバイスプロトタイプを作製することを目指す。また、超分子構造と分子性導体・磁性体を分子レベルでシステム化することにより、デバイスアクションに繋がるような新しい機能を開拓する。具体的には、分子性導体・磁性体のナノ材料化を通じて、分子性ナノワイヤの構築とデバイス展開および表面3次元ナノ構造の構築とデバイス展開を目指す。また、分子集合体の分子システム化を通じて、分子ハイブリッドシステムの構築と機能開拓および金属錯体ナノワイヤに基づく超分子デバイスの構築を目指す。

#### d. 国際共同研究

- 1) 芥川智行、中村貴義、斉藤軍治「日本ーロシア二国間国際交流事業」、日本学術振興会：2006-2007年度
- 2) 芥川智行、中村貴義、川俣純「日本ーインド二国間国際交流事業」、日本学術振興会：2006-2007年度

#### 4.10 予算獲得状況

##### a. 科学研究費補助金（研究代表者、分類名、研究課題、期間）

- 1) 中村貴義、萌芽研究、固相での分子モーターの構築、2002～2003年度
- 2) 芥川智行、若手研究 A、電荷移動型ナノドメインの設計、2003～2005年度
- 3) 任小明、特別研究員奨励費、金属ジチオレン錯体を用いた分子磁性体の機能開拓、2003～2005年度
- 4) 中村貴義、基盤研究 A、分子性ナノワイヤの構築と機能開拓、2002～2004年度
- 5) 中村貴義、基盤研究 B 一般、二次元有機半導体による圧力下中性一イオン性転移、2001～2003年度
- 6) 芥川智行、特定領域研究 (2)、両親媒性分子性導体を用いた超薄膜構造の作製、2004～2005年度
- 7) 中村貴義、特定領域研究 (2)、動的超分子構造と電子系を結合したエネルギー操作空間の構築と機能、2004～2007年度
- 8) 中村貴義、特別研究員奨励費、多価イオンポリマーをテンプレートとして用いた新規分子性材料の開発、2004～2005年度
- 9) 野呂真一郎、若手研究 B、ラジカル配位子を有する金属錯体薄膜を用いた FET デバイスの創出、2005～2006年度

##### e. COE 関係（研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容）

- 1) 中村貴義、川端和重 (21世紀 COE)：「チューブリンを用いたナノデバイス構築技術」、2002～2003年度、2,000千円、生体内に存在するチューブリンは、自己組織化によりチューブ構造を形成する。この分子を用いることにより、ナノワイヤのワイヤリングがより容易に行える可能性がある。そこで、マイカ基板等にチューブリン組織体を構築し、AFMにより構造評価を行うことを目的に研究を行う。さらに、コルヒチンやタキソールを用いてチューブリン組織体の形成を制御し、ネットワーク構造などの高次構造を実現する等を将来的に目指す。

##### f. その他（研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、研究内容）

- 1) 野呂真一郎（ノーステック財団）：「混合原子価ポリオキソメタレートを用いたナノ電子空間場の創製」、2005年度、400千円、混合原子価 POM を用いて多孔性材料を構築し、POM 上の対電子が誘起する特異ナノ電子空間場におけるホストゲスト分子相互作用について探求する。
- 2) 野呂真一郎（東北大学 金属材料研究所 研究部共同

研究費）：「ラジカル配位子を含む平面型金属錯体を用いた高移動度 FET デバイスの創製」、2005年度、300千円、ラジカル有機配位子が配位した平面型金属錯体を用いて高移動度 FET デバイスの構築をめざす

- 3) 野呂真一郎（マツダ財団）：「混合原子価ポリオキソメタレートアニオンによるナノ電子ポテンシャル空間の創製および多孔性材料への応用」、2005～2006年度、1,000千円、本研究では、金属錯体をベースとした多孔性物質が作り出すナノ空間に動的電子ポテンシャル場を付与することで得られる新規ナノ電子ポテンシャル空間を構築し、ナノ空間において表面一電子複合ポテンシャル場がゲスト分子に及ぼす効果、表面一電子複合ポテンシャルを用いた高機能・新機能多孔性材料の開発について検討することを目的とする。
- 4) 野呂真一郎（三菱化学研究奨励基金）：「混合原子価金属クラスターによるナノ電子空間の創製」、2005年度、950千円、本研究は、表面ポテンシャル場に電子ポテンシャル場を摂動として付与することで得られるナノ電子空間場におけるゲスト分子状態及びホストゲスト相互作用について探求し、新たな「配位ナノ空間科学」を展開する。
- 5) 芥川智行（泉科学技術振興財団 研究助成金）：「両親媒性巨大 POM クラスターの材料化に関する研究」、2006年度、1,000千円、両親媒性巨大ポリオキサメタレート (POM) クラスターを作製し、その新規材料の作製について検討する。

#### 4.11 受賞

- 1) 芥川智行：日本化学会北海道支部奨励賞：「超分子化学・界面化学の手法を用いた分子機能材料の開発」：2005.

#### 4.12 社会教育活動

##### a. 公的機関の委員

- 1) 中村貴義：日本学術振興会システム研究センター 非常勤研究員 (2004-2005年度)

##### g. 北大での担当授業（対象、講義名、担当者、期間）

- 1) 地球環境科学研究科、大気環境特論 I、中村貴義、2003年10月1日～2004年3月31日
- 2) 全学部共通、一般教育演習「分子エレクトロニクス」、中村貴義、2003年4月1日～2004年3月31日
- 3) 全学部共通、総合講義「先端の化学」、中村貴義、2003年4月1日～2004年3月31日
- 4) 地球環境科学研究科、光分子化学研究、中村貴義、2003年4月1日～2004年3月31日
- 5) 地球環境科学研究科、光分子化学実習、中村貴義、2003年4月1日～2004年3月31日
- 6) 地球環境科学研究科、光分子化学特別研究、中村貴義、2003年4月1日～2004年3月31日
- 7) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読 I、中村貴義、22003年4月1日～2004年3月31日
- 8) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読 II、中村

- 貴義、2003年4月1日～2004年3月31日
- 9) 地球環境科学研究科、光分子化学研究、芥川智行、2003年4月1日～2004年3月31日
  - 10) 地球環境科学研究科、光分子化学特別研究、芥川智行、2003年4月1日～2004年3月31日
  - 11) 地球環境科学研究科、光分子化学実習、芥川智行、2003年4月1日～2004年3月31日
  - 12) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読Ⅰ、芥川智行、2003年4月1日～2004年3月31日
  - 13) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読Ⅱ、芥川智行、2003年4月1日～2004年3月31日
  - 14) 全学部共通、一般教育演習「分子エレクトロニクス」、中村貴義、2004年10月1日～2005年3月31日2004年度
  - 15) 全学部共通、総合講義「先端の化学」、中村貴義、2004年度
  - 16) 地球環境科学研究科、光物理化学特論Ⅱ、中村貴義、2004年10月1日～2005年3月31日
  - 17) 地球環境科学研究科、物質化学特論Ⅲ、中村貴義、2004年10月1日～2005年3月31日
  - 18) 地球環境科学研究科、光分子化学研究、中村貴義、2004年4月1日～2005年3月31日
  - 19) 地球環境科学研究科、光分子化学特別研究、中村貴義、2004年4月1日～2005年3月31日
  - 20) 地球環境科学研究科、光分子化学実習、中村貴義、2004年4月1日～2005年3月31日
  - 21) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読Ⅰ、中村貴義、2004年4月1日～2005年3月31日
  - 22) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読Ⅱ、中村貴義、2004年4月1日～2005年3月31日
  - 23) 地球環境科学研究科、物質化学特論Ⅲ、中村貴義、2004年10月1日～2005年3月31日
  - 24) 全学部共通、化学Ⅰ、芥川智行、2004年4月1日～2004年9月30日
  - 25) 地球環境科学研究科、光物理化学特論Ⅱ、芥川智行、2004年10月1日～2005年3月31日
  - 26) 地球環境科学研究科、物質化学特論Ⅲ、芥川智行、2004年10月1日～2005年3月31日
  - 27) 地球環境科学研究科、分子環境学特論Ⅲ、芥川智行、2004年10月1日～2005年3月31日
  - 28) 地球環境科学研究科、光分子化学研究、芥川智行、2004年4月1日～2005年3月31日
  - 29) 地球環境科学研究科、光分子化学特別研究、芥川智行、2004年4月1日～2005年3月31日
  - 30) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読Ⅱ、芥川智行、2004年4月1日～2005年3月31日
  - 31) 地球環境科学研究科、光分子化学実習、芥川智行、2004年4月1日～2005年3月31日
  - 32) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読Ⅰ、芥川智行、2004年4月1日～2005年3月31日
  - 33) 地球環境科学研究科、光分子化学特論Ⅱ、中村貴義、2005年10月1日～2006年3月31日
  - 34) 地球環境科学研究科、物質化学特論Ⅲ、中村貴義、2005年4月1日～2006年3月31日
  - 35) 地球環境科学研究科、分子環境学特論Ⅲ、中村貴義、2005年4月1日～2006年3月31日
  - 36) 地球環境科学研究科、光分子化学研究、中村貴義、2005年4月1日～2006年3月31日
  - 37) 地球環境科学研究科、光分子化学実習、中村貴義、2005年4月1日～2006年3月31日
  - 38) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読Ⅰ、中村貴義、2005年4月1日～2006年3月31日
  - 39) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読Ⅱ、中村貴義、2005年4月1日～2006年3月31日
  - 40) 地球環境科学研究科、光分子化学特別研究、中村貴義、2005年4月1日～2006年3月31日
  - 41) 地球環境科学研究科、光物理化学特論Ⅱ、芥川智行、2005年4月1日～2006年3月31日
  - 42) 地球環境科学研究科、物質化学特論Ⅲ、芥川智行、2005年4月1日～2006年3月31日
  - 43) 地球環境科学研究科、分子環境学特論Ⅲ、芥川智行、2005年4月1日～2006年3月31日
  - 44) 地球環境科学研究科、光分子化学研究、芥川智行、2005年4月1日～2006年3月31日
  - 45) 地球環境科学研究科、光分子化学特別研究、芥川智行、2005年4月1日～2006年3月31日
  - 46) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読Ⅱ、芥川智行、2005年4月1日～2006年3月31日
  - 47) 地球環境科学研究科、光分子化学実習、芥川智行、2005年4月1日～2006年3月31日
  - 48) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読Ⅰ、芥川智行、2005年4月1日～2006年3月31日
  - 49) 全学教育科目 「環境と人間」次世代産業革命の旗手＝ナノテクノロジー全学部共通、化学Ⅰ、芥川智行、2005年度
  - 50) 環境科学院、電子材料科学特論、中村貴義、2006年10月1日～2007年3月31日
  - 51) 環境科学院、環境物質科学研究、中村貴義、2006年4月1日～2007年3月31日
  - 52) 環境科学院、環境物質科学実習、中村貴義、2006年4月1日～2007年3月31日
  - 53) 環境科学院、環境物質科学論文購読Ⅰ、中村貴義、2006年4月1日～2007年3月31日
  - 54) 環境科学院、環境物質科学論文購読Ⅱ、中村貴義、2006年4月1日～2007年3月31日
  - 55) 環境科学院、環境物質科学特別研究、中村貴義、2006年4月1日～2007年3月31日
  - 56) 全学教育科目、「環境と人間」光・バイオ・分子で拓くナノテクノロジー、芥川智行、2006年度
  - 57) 大学院共通講義、「ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論Ⅰ」、芥川智行、2006年度42)
  - 58) 環境科学院、電子材料科学特論、芥川智行、2006年10月1日～2007年3月31日
  - 59) 環境科学院、環境物質科学研究、芥川智行、2006年4月1日～2007年3月31日

- 60) 環境科学院、環境物質科学実習、芥川智行、2006年4月1日～2007年3月31日
- 61) 環境科学院、環境物質科学特別研究、芥川智行、2006年4月1日～2007年3月31日
- 62) 環境科学院、環境物質科学論文購読Ⅰ、芥川智行、2006年4月1日～2007年3月31日
- 63) 環境科学院、環境物質科学論文購読Ⅱ、芥川智行、2006年4月1日～2007年3月31日

**i. ポスドク・客員研究員など**

- ・ポスドク (3名)
  - 武田啓司 (H14.4-H17.3 科学技術振興事業団)
  - 今井裕之 (H16.4-H17.6 科学技術振興事業団)
  - 加藤恵一 (H14.4-H16.3 電子科学研究所研究員)
- ・客員研究員 (2名)
  - Jayant Subbalakshmi (H16.4-H17.6 電子科学研究所)
  - Ren Xiao Ming (H15.4-H17.3 電子科学研究所)
- ・その他 (1名)
  - 藤縄 祐 (H16.4-6 電子科学研究所)

**j. 修士学位及び博士学位の取得状況**

- ・修士課程 (7名)
  - 若原圭佑、松浦憲政、遠藤大五郎、梶原鉄平、元木沢勇、山階維騎、神玲奈
- ・博士後期課程 (5名)
  - 佐藤大介、綱島亮、帯刀陽子、高橋 幸裕、西原禎文
- ・修士論文
  - 1) 若原圭佑：TTF 誘導体からなる LB 膜の作製および構造評価 (H15年3月)
  - 2) 松浦 憲政：キラルアンモニウムカチオンを導入した  $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$  錯体の構造と磁性 (H15年3月)
  - 3) 遠藤大五郎：超分子構造を導入したポリオキシメタレート塩の構造と物性 (H17年3月)
  - 4) 梶原鉄平：新規マクロサイクリック TTF 誘導体の合成及びそれをを用いたナノ構造の作製・評価 (H17年3月)
  - 5) 元木沢勇：アルカリ金属とクラウンエーテルからなる超分子カチオンを有する  $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$  塩の構造と物性研究 (H17年3月)
  - 6) 山階維騎：有機半導体ナノ構造の作製とデバイス応用 (H17年3月)
  - 7) 神玲奈：両親媒性リング状 Mo クラスターの薄膜化と構造評価 (H18年3月)
- ・博士論文
  - 1) 西原禎文：超分子カチオンを利用した分子性スピンドラーの作製と物性 (H15年3月)
  - 2) 帯刀陽子：分子集合体ナノワイヤおよびその金微粒子複合体の作製と物性評価 (H17年3月)
  - 3) 高橋幸裕：有機金属電極による有機トランジスタの P 型/N 型動作制御 (H17年3月)
  - 4) 綱島亮：低分子ゲル化剤を用いた Langmuir-Blodgett 法による 1 次元構造形成に関する研究 (H18年3月)
  - 5) 佐藤大介：超分子ローターカチオンを有する  $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$  塩の構造と物性 (H18年3月)

# ナノ光高機能材料研究分野

教授 末宗幾夫 (東工大院、工博、1993.4~)

准教授 熊野英和 (北大院、理修、1997.4~)

博士研究員 定 昌史、井筒康洋、林雄二郎

院 生 ・平成15-18年度

中屋大佑、豊田啓貴、寺田一教、木村聡、宮本和幸、  
藤井政弘、平川徹、海老原正人、小林創

## 1. 研究目標

本研究分野では、(I)量子ドットなどナノ構造作製による電子状態ならびに発光波長の制御、(II)ナノテク技術を用いた単一量子ドット状態の作製と評価、(III)3次元微小光共振器による3次元光場制御、(IV)量子ドットと組み合わせる光子生成過程を制御する光高機能材料の実現と、これを用いた量子情報処理への応用を目指している。

## 2. 研究成果

・平成15年度

(a) III-V-N 窒化物半導体を用いた InAs 量子ドットのひずみ補償による発光波長の長波長化と発光量子効率の大幅向上

昨年度の研究で、引っ張りひずみを持つ GaAsN 層で InAs 量子ドットを埋め込み、ドット内部に発生した圧縮ひずみを保障することにより、発光波長を長波長化することが出来る見通しを得た。GaAsN 埋め込み層の窒素組成を変化することにより、図1に示すように系統的に光ファイバー通信波長1.55 $\mu\text{m}$ (光子エネルギー0.8eV)まで長波長化できることを示すことが出来た。またその発光強度は、GaAsN の N 組成1.5%まで増大し、GaAs で埋め込んだ場合に比べて最大5倍まで発光強度(効率)の増大が観測された。これまでの他の研究では、GaAsN の N 組成が増大すると発光強度が大幅に低下することが知られており、窒素組成の増大による図1の発光強度の増大は特筆される。

この発光波長の長波長化の主要因を、InAs 膜厚方向の量子閉じ込め、膜中のひずみ、ヘテロ構造境界におけるポテンシャル不連続、等を考慮する簡単な理論計算で検討した。その主な結論として、InAs 量子ドットにおけるひずみは、InAs における圧縮ひずみと GaAsN における引っ張りひず

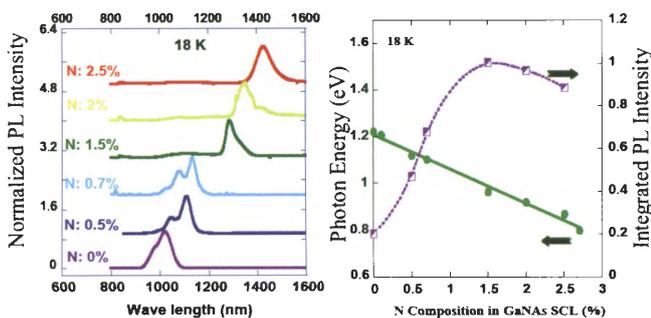


図1. InAs 量子ドットを埋め込む GaAsN 層の N 組成による発光波長の長波長化と発光強度の N 組成依存性。

みの体積比を考慮した平均ひずみに応じて減少すると仮定して説明できる。また発光効率の増大は系の平均ひずみの減少と対応し、最大の発光効率はほぼ平均ひずみが零となった N 組成で観測されている。

(b) InAs 量子ドットを内包したマイクロディスクレーザの室温発振

量子ドットは離散的なエネルギー準位を持つため、これを特定の共振器モードと結合させることにより、従来より極めて効率の良いレーザができる可能性がある。特に上述の検討から GaAsN ひずみ補償層を持つ InAs 量子ドットは、従来の量子ドットよりは高い発光量子効率を持ち、室温でもより高い発光効率を維持する可能性がある。そこで InAs 量子ドット/GaAsN を埋め込んだマイクロディスク微小光共振器を作製し、その発光波長の温度安定性の検討を進め、マイクロディスクレーザの開発を進めた。GaAs 基板の上に  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  を0.5 $\mu\text{m}$  成長した後、GaAsN で埋め込んだ InAs 量子ドット2スタックを上下から90nm 厚さの GaAs 層ではさんだ構造となっている。この表面にレジストと電子ビーム露光により円形のマスクを作製し、 $\text{NH}_3\text{OH}:\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O} = 2:1:10$  等のスーパーオキソル系のエッチング液で GaAs 層をエッチングした後、下の  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  層を HF で横方向にサイドエッチしてマイクロディスクができあがる。

この構造を表面から Ar レーザ励起したときに観測された鋭い発光ピークを図2に示す。このときの測定温度は80K、その発光線幅から見積もられる Q 値は約5400と比較的大きな値が観測され、ディスク周辺での全反射を繰り返すウィスパーギャラリーモードと InAs 量子ドットの準位が共鳴していると思われる。発光ピーク波長は通常の量子ドットに比べてかなり少ない温度依存性を示し、共振器の効果が現れている。室温でのレーザ発振特性を図2に示す。これまで同様の構造で室温でのレーザ発振を観測した例は少なく、量子ドットのひずみ補償による発光効率の向上が発振特性に寄与していると考えられる。

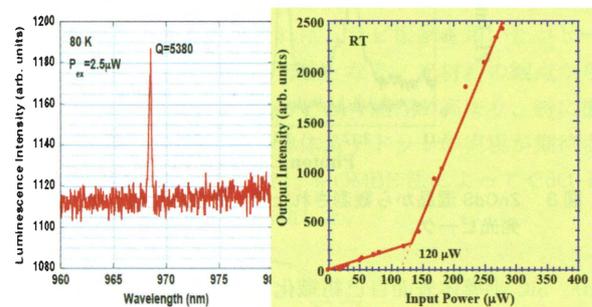


図2. GaAsN 埋め込み層でひずみ補償した InAs 量子ドットを埋め込んだマイクロディスク共振器からの発光スペクトルと室温レーザ発振特性。

(c) ZnCdS 単一局在状態からの鋭いスペクトルの観測

今後量子情報処理を進めるために量子位相ゲートが主要な役割を果たす。量子通信とも適合性の良い光子を用いた処理では、光と電子の結合を強くしてより大きな光非線形性を実現する必要があり、振動子強度の大きいワイドギャ

ップ半導体が有望である。この方向へさらに研究を進めるには、ワイドギャップ半導体単一量子ドットの実現と、微小なモード体積と大きな共振 Q 値を持つ微小光共振器と組み合わせることが必要である。

これまで ZnS 系のピラミッド構造微小光共振器で5000近い高い共振 Q 値を観測しており、この共振器材料と適合性の良い ZnCdS/MgS 短周期超格子を微小領域 (~0.5 $\mu\text{m}$  角) に選択成長し、その発光特性を検討した。その結果、図3に示すシャープな発光を観測した。この場合の ZnCdS 井戸幅は0.8nm、MgS バリア厚は0.7nm で有り、計算でも隣接する井戸間でトンネルする確率が大きい構造である。これに対して ZnCdS 井戸幅が2.0nm、MgS バリア厚が1.0nm とより層厚の厚い構造で、計算でのトンネル確率が低く実験的にもキャリアの輸送効率が低い構造では、このようなシャープな発光ピークは観測されなかった。通常 ZnCdS 等の混晶半導体では空間的なポテンシャル揺らぎによって局在準位が多数形成され、それらの発光の積分はブロードな発光として観測されるが、特にバリアを通してトンネルする確率が高い場合には、高いエネルギーを持つ局在状態からトンネリングによって隣接するよりエネルギーの低い局在状態にキャリアが移っていき、発光センターとして生き残るのは特に深いエネルギー準位を持つ少数の局在状態だけとなり、図3のような鋭い単一局在状態の発光が観測されると思われる。

このような ZnCdS 混晶による単一局在状態は、Cd 組成を変えれば単一局在状態のエネルギー位置を変えることができ、共振器における共振モードと共鳴させる際により大きな自由度をうることができる。

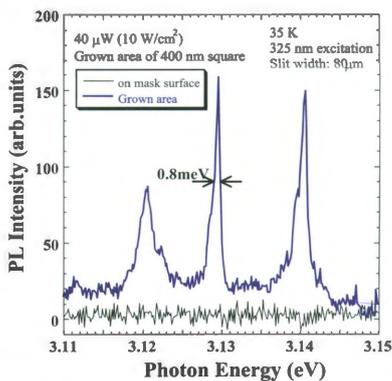


図3. ZnCdS 混晶から観測された単一局在準位のシャープな発光ピーク。

(d) SiC 半導体表面自己組織化現象の解明に関する研究

次世代高温・高周波電子デバイスとして非常に有望な SiC 化合物半導体表面には、高温のガスエッチングにより非常に周期性の高いナノファセットが自己組織的に発現することが今までの研究で明らかになっている。今年度は、その現象のメカニズムに対して更なる理解を深めるために、実験パラメータ (エッチング温度、ガス分圧比、圧力、流量) 及び基板パラメータ (ポリタイプ、オフ角度、方向、面極性) とナノファセット構造との相関を調べた。特に、応用上重要であるより完全性の高い構造を得るためのパラ

メータに関する知見を得た。より周期性が高くかつステップ端が直線的なナノファセット構造は、エッチング前の基板平坦度およびエッチング温度依存性が大きいことがわかった。図4に基板平坦性依存性を示す。エッチング処理前に CMP 処理を行った基板と通常の基板との比較を行った。CMP 処理によりミクロンオーダーの凹凸が減少し、それにより直線的なステップ端が実現したことによる。

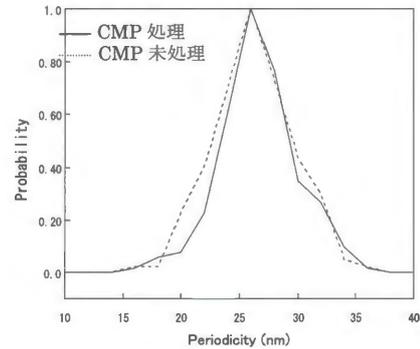


図4. SiC ナノファセット周期性の基板平坦度依存性

(e) SiC ナノ表面上のヘテロ構造制御に関する研究

上述の SiC 表面の周期的ナノファセット構造を利用し、ヘテロ材料との融合化を目指した研究を行っている。本年度は III 族窒化物半導体である GaN のナノ選択成長を試みた。Ga の SiC ナノ表面上におけるナノファセット間での脱離過程の活性化エネルギーの違いを利用することにより、一方のナノファセットのみに Ga を吸着させた状態を制御して作ることが可能であることがわかった。ここでそれぞれナノファセットの吸着・脱離過程は in-situ の高速電子線回折(RHEED)により独立にモニターできる手法を開発した。Ga 選択吸着状態をプラズマ窒化することによって GaN 核を形成し、更に GaN 選択成長を促すことによって GaN 量子細線構造を形成することに成功した。図5に GaN 量子細線の AFM 像を示す。高さ1.5nm 幅~10nm 程度の細線構造が選択的に形成されていることがわかる。

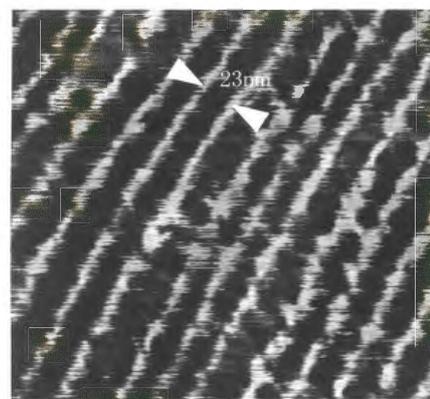


図5. SiC ナノファセット上の GaN 量子細線の AFM 像

・平成16年度

(a) InAlAs 単一量子ドットの時間分解分光

半導体量子ドットは、レーザ、光増幅器の高性能化だけでなく、高速で光子数制御された単一光子ダイオード光源

としても期待されている。現在進められている量子暗号通信の研究では、光検出器が通信特性の律則要因となっている。そのため、今のところ最も良好な特性を示すシリコン単一光子検出器が、高い量子効率を示す波長700nm帯で発光する単一光子光源が実現すれば、総体として高い量子効率を持つ量子情報処理システムの実現が期待される。しかしこれまでこの波長帯で発光する量子ドットの研究はほとんど未開拓であった。

そこで当該グループでは700nm帯で発光するInAlAs系量子ドットの研究を進めた。MBE成長した $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ バリア層に埋め込まれたInAlAs量子ドットを、直径 $\sim 150\text{nm}$ 程度の領域を残してメサエッチングし、単一量子ドットの時間分解分光を行った。図1にストリークカメラで測定した発光スペクトルとその発光強度の時間減衰を示す。鋭い発光線が複数観測されているが、その発光寿命の検討、励起強度依存性、偏光特性の検討等から1が中性励起子発光、2が中性励起子分子発光であることが特定され、さらに図に示す5つの発光がすべて、単一の量子ドットから発生していることを確認した。

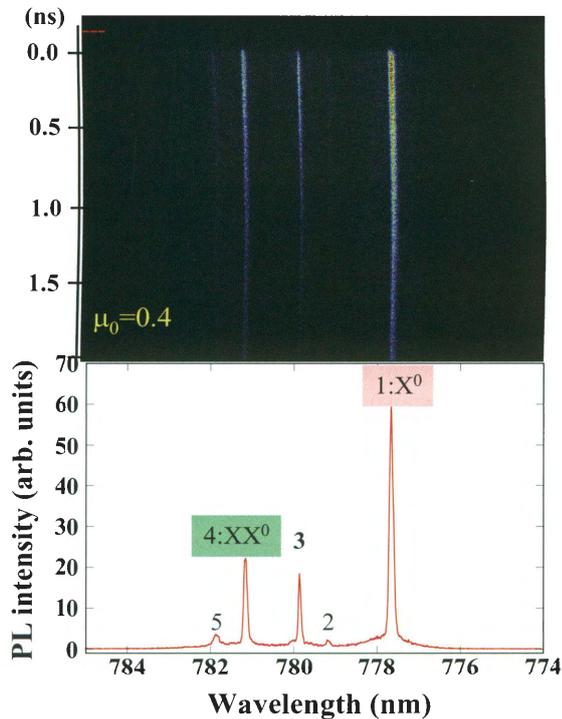


図1. InAlAs 単一量子ドットから観測されるシャープな発光ピークとストリークカメラで測定される時間減衰特性。

(b) InAlAs 単一量子ドットにおける光子相関測定と光子アンチバンチング特性の確認

量子ドットは原子と同様な離散的なエネルギー準位を持つため、パウリの排他律によってスピンも考慮すると各準位に分布する電子数は一つに限られる。そこで700nm帯で発光するInAlAs系単一量子ドットを用いて、一度にただ一つの光子を発生できる可能性を検証した。まず連続光で光子相関測定をおこなった。この測定では量子ドットの発光寿命、励起状態などの物性値が求められる特徴がある。これによって明瞭な光子アンチバンチング特性を確認し、こ

の波長帯では初めて単一光子放出を確認した。

実際にこうした特性を実際に応用するには、パルス励起で必要なタイミングに単一光子を発生する On Demand な単一光子発生を確認する必要がある。測定にはビームスプリッターを用い、一方の光路に到達した光子を検出したらカウンターをスタート、他方の光路で光子を検出したらストップさせて1カウントとする測定を繰り返す。中性励起子発光に関する測定結果を図2に示す。測定した各ピーク間の時間間隔はモードロック励起レーザの繰り返し12nsに相当する。遅延時間ゼロのところでは残留ノイズを除いてカウントが確認できないが、これは一度に単一の光子しかビームスプリッターに入射しないためであり、パルス励起でも明瞭な光子アンチバンチング特性が確認された。これは励起子発光に限れば、パルス励起ごとに単一の光子を発生する On Demand 光源実現の可能性を示している。

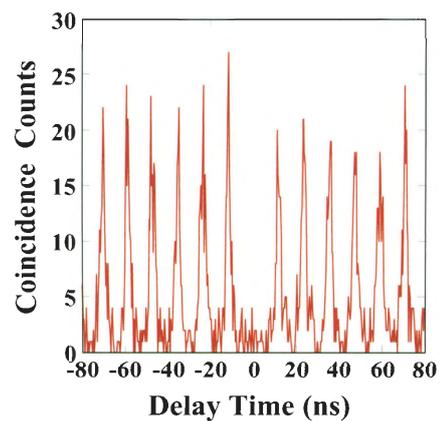


図2. InAlAs 単一量子ドットのパルスレーザ励起による光子相関測定。

(c) CdO 量子ドットの作製

量子ドットからの発光は出射方向が制御されず、そのままでは光子を外部へ取り出す効率は大きくできない。そのため量子ドットと結合する光場を微小共振器を用いて制御する必要がある。またその際に量子ドットと微小共振器の結合を強くすることができれば、ラビ振動を用いたコヒーレントな超高速状態制御が可能となる。光材料の観点からは振動子強度を大きくするとその可能性が高まり、特に振動子強度が大きい酸化半導体量子ドットの実現が期待される。今回図3に示すように、MOMBE法によってCdOドット構造の作製に初めて成功した。

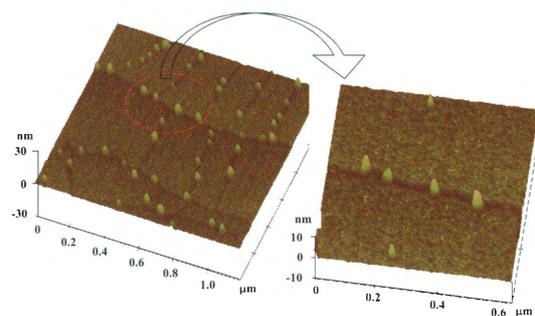


図3. (0001)ZnO基板上に成長したCdOドット。ZnOテラス原子ステップに沿って整列したドットが形成される。

(d) SiC 半導体表面自己組織化現象の解明に関する研究

次世代高温・高周波電子デバイスとして有望な SiC 化合物半導体表面には、高温のガスエッチングにより非常に周期性の高いオーダリングナノファセットが自己組織的に発現することが今までの研究で明らかになっている。これはポリタイプを有する SiC 結晶特有に生じる量子化ステップバンチングとナノ表面相分離の結果である。前年度までにエッチングパラメータ（特に温度、時間）と表面ナノファセット構造との関係を明らかにした。今年度は、更に基板パラメータである（ポリタイプ、オフ角度）に特に注目し、ナノ表面構造との相関を調べた。基板オフ角度を大きくすると通常はオフ角度に比例しナノ構造のオーダリング周期が小さくなると考えられるが、実際にはオフ角度依存性はほとんど見られず、一定の周期（特性距離）でオーダリングしていることがわかった。(図) また、周期の統計的解析により、周期性のゆらぎは特定のオフ角度において小さくなるという結果を得た。この角度は量子化ステップバンチングを仮定し周期性を与える曲線（図：ユニバーサルカーブ）と特性距離との交点で与えられるオフ角度（5.8度）と一致しており、量子化ステップバンチングと特性距離が物理的な起源であることがわかった。特性距離は弾性論を仮定したファセット間相互作用および分子動力学計算により検討した。更に、この特異なオフ角度は SiC-MOSFET の界面準位にも大きな影響を及ぼすと考えられ、定量的な検討を行った。

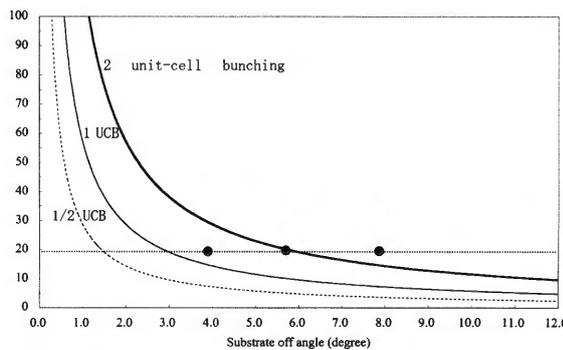


図 4. SiC 基板オフ角度とオーダリング距離 (ユニバーサルカーブ)

(e) SiC ナノ表面上のヘテロ構造制御に関する研究

上述の SiC 表面の周期的ナノファセット構造を利用し、ヘテロ材料との融合を目指した研究を行っている。本年度は、前年度に引き続きナノ選択成長による GaN 量子細線の成長とカーボンナノチューブ及び自己形成 SiO<sub>2</sub> ナノマスクを用いた Au ドット・細線の形成を試みた。ヘテロナノ構造の形成法としては、

- ① ナノファセットである(0001)面と(11-2n)面の表面構造（即ち、電子状態や化学状態）の違いを利用し、成長カイネティクスであるそれら表面における原子の吸着・拡散・脱離過程を制御することによって、選択的にかつ自己組織的にヘテロ構造を形成する手法。
- ② ①により選択的にマスク材料である SiO<sub>2</sub> を形成し、ヘテロ材料の選択成長を行う手法。

③その他

の3つを検討した。①により GaN 量子細線を形成し、②により金ドットを形成した。この手法はマスクを用いるということからヘテロ材料系を選ばないため今後種々の材料への応用が可能となる。また、③では、SiC ナノファセットの表面熱分解を利用し、カーボンナノチューブ(CNT)の配列を実現した。トンネル顕微鏡による原子像の観察により(図)、CNT の形成機構を明らかにした。CNT は基板オフ方向と平行に形成されることがわかり、これによりカイラリティ制御の可能性を示唆した。

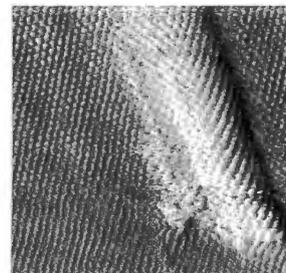


図 5. SiC 熱分解法により形成した CNT の STM 像。表面のグラフェンと隆起によって形成した CNT の原子像が観察される。

・平成17年度

(a) InAlAs 単一量子ドットからの強い相関を持った光子対の生成

近年、量子力学の重ねあわせの原理を用いた量子計算や量子暗号通信によって、従来より飛躍的に高速な計算や究極的に安全な通信方式を実現するための研究が活発化している。高効率・高速な量子鍵配送を行うためには、単一の光子キュービットを高い繰返しで効率よく生成できるダイオード光子源が必要である。昨年度、現在最も良好な特性を示すシリコン光子検出器が高い量子効率を示す700nm 波長帯で、InAlAs 系量子ドットを用いて、必要なタイミング（オン・デマンド）に同期して単一光子を発生させることに成功した。

今後量子鍵配送の通信距離を長距離化するには、量子リピータなどの中継技術を開発する必要がある。そのためにはもつれ合った光子対を生成するダイオード光源の開発が必要とされている。その有力候補として、単一量子ドットのエネルギー準位を占有する2つの電子・正孔対から生じ

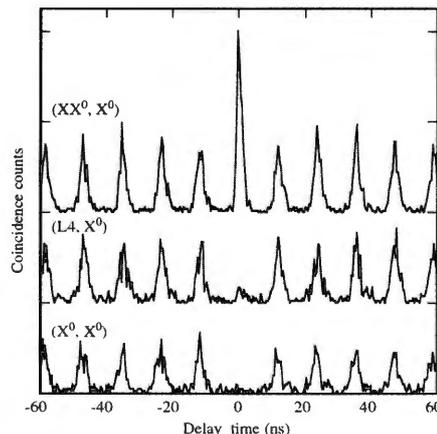


図 1. InAlAs 単一量子ドットから発光する中性励起子分子( $XX^0$ )、中性励起子( $X^0$ )、L4 と名付けられた発光ピークに関する光子相関測定の測定結果。

る励起子分子発光とそれに続く励起子発光がある。そこで、 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$  バリア層に埋め込まれた  $\text{InAlAs}$  量子ドットをエッチングした単一量子ドットについて、2次の強度相関  $g^{(2)}(\tau)$  の測定を行った。中性励起子分子発光 ( $XX^0$ ) と中性励起子発光 ( $X^0$ ) に関する、 $g^{(2)}(\tau)$  に比例する同時計数ヒストグラムの測定結果を図1の ( $XX^0$ ,  $X^0$ ) に示す。各同時計数ピークの時間差 $\sim 12\text{ns}$  は、光励起に用いたチタンサファイアレーザのパルス繰り返し周期に対応している。遅延時間が零のところ、同時計数カウント数が明瞭に増大している。これは光子バンチングと呼ばれ、二つの光子が強い相関を持って生成していることを示している。遅延時間零の部分を拡大してみると、非対称に  $1\text{ns}$  程度の裾野を持っており、中性励起子分子発光が生じた後、引き続き  $1\text{ns}$  程度の発光寿命を持つ中性励起子発光が高い確率で生じていることを示している。なおこの場合の中性励起子発光は図1の ( $X^0$ ,  $X^0$ ) に示すように、遅延時間零での同時計数確率が零で、一度にただ一つの光子を発生している。中性励起子分子発光 ( $XX^0$ ) に関しても同様に、単一光子発光の特性が確認されている。これは、量子ドットのエネルギー準位を占有する電子・正孔対が、パウリの排他律によって2つに制限されるためであり、再結合する前に励起をやめる短パルス励起によって、一度に一对の光子対を、励起に同期して発生できることを実証している。

(b) 光子相関測定による  $\text{InAlAs}$  単一量子ドット発光起源の同定

上記のメサエッチングによって単一の量子ドットを選び出して計測していると思われる状態でも、複数の発光ピークが観測される。励起子分子発光は励起強度の2乗、励起子発光は励起強度の1乗に比例すること、また発光寿命も前者は後者の半分程度の短い寿命を示すこと等で区別することができる。しかし実際の測定では、同じ励起子発光の特性を示す複数の発光ピークが観測されることがある。仮にそのピークを L4 と名付けて中性励起子発光との光子相関測定を行った結果を図1に示す。零遅延時間における同時計数確率は低く抑えられており、二つの励起子発光が互いに排他的に生起していることを示している。これは両者が同じ量子ドットから発生していることを示しており、その他の追加実験から L4 はイオン化励起子発光と同定された。このように、光子相関測定は発光起源の特定にも有力な測定手法になることが確認された。

(c) 励起光波長の選択による  $\text{InAlAs}$  単一量子ドットからの光子生成過程の制御

上記の例に見られるように、単一の量子ドットにおいても、複数の異なる励起子発光が観測されることが多い。しかし実際の応用では量子ドットから単一の発光線を生成することが望ましい。中性励起子発光とイオン化励起子発光の違いは、量子ドットのエネルギー準位に励起される電子・正孔数のばらつきによる。そこで、励起エネルギーの調整による発光起源の制御について検討した。図2にその

例を示す。量子ドットの作製時に生じるぬれ層 (WL) を励起すると、今着目している中性励起子以外のイオン化励起子が生成してしまうが、量子ドットを囲むバリア層を励起した場合には中性励起子発光だけの純粋な発光線を生成することができる。その物理機構の詳細はさらに検討を続けているが、この結果は励起方法を選択することによって励起子発光起源の制御が可能であることを示している。より制御性のよい光子源を実現するためには、単一量子ドットを選び出すだけでなく、その励起方法の制御が重要であることを示唆している。

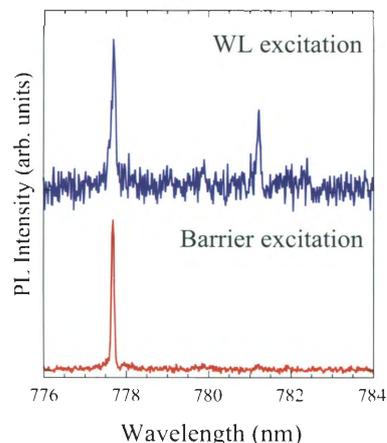


図2.  $\text{InAlAs}$  単一量子ドットの励起エネルギーによる発光スペクトルの変化。量子ドットに付随する量子井戸層 (WL) を励起すると  $781\text{nm}$  付近にイオン化励起子発光が現れるが、 $\text{AlGaAs}$  バリア層を励起すると中性励起子発光だけの純粋な発光スペクトルが観測される。

(d) RBS 法による  $\text{InAs}$  量子ドットに対する  $\text{GaAsN}$  ひずみ補償効果の直接評価

半導体量子ドットを光ファイバーを用いた量子鍵配送用光源に応用するためには、発光波長を光ファイバー通信波長帯にチューニングする必要がある。我々はこれまで  $\text{InAs}$  量子ドットをひずみ補償する  $\text{GaAsN}$  埋め込み構造について研究を進めており、特定の  $\text{InAs}$  量子ドット作製条件下では波長  $1.55\mu\text{m}$  まで長波長化できることを示した。このような  $\text{InAs}$  量子ドットを  $\text{GaAsN}$  で埋め込んだ場合の結晶格子の変形を、ラザフォード後方散乱法 (RBS) におけるイオンチャネリング効果を用いて評価した。セン亜鉛鉱構造結晶では  $\langle 001 \rangle$ ,  $\langle 110 \rangle$  結晶軸方向で原子配列が周期的となりチャネリング効果が顕著となる。格子変形等があるとチャネリングするイオンが後方散乱され、その最小散乱率  $\chi_{\text{min}}$  によって格子変形を評価することができる。具体的な検討は  $400^\circ\text{C}$  成長した量子ドットについて行った。

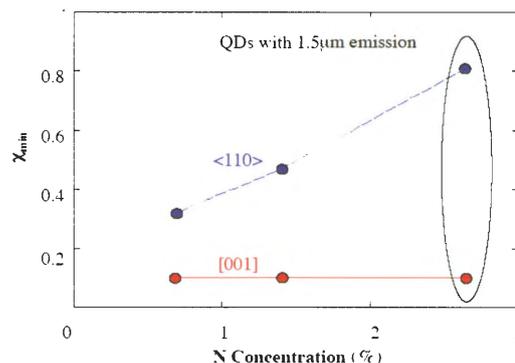


図3.  $\text{InAs}$  量子ドットからのイオンチャネリング最小散乱率の測定結果と、 $\text{GaAsN}$  層でドットを埋めた場合の  $N$  組成依存性。

N組成の異なるGaAsNで埋め込んだ3種類のInAsドットについての測定結果を図3に示す。通常GaAs基板等を測定した場合には<001>方向より<110>方向の $\chi_{\min}$ が低くなるが、図3では逆転している。これはInAs/GaAsN系の格子変形を反映していると考えられる。特にN組成の増大とともに<110>方向の $\chi_{\min}$ が急激に増大し、一方表面に垂直な[001]成長方向の $\chi_{\min}$ がほとんど変わらない特性は、この系が図4の模式図のようにコヒーレントな格子変形を起こしていることを示しており、小さめのドットではドット内の圧縮歪みを埋め込み層の引っ張り歪みでひずみ補償する期待通りの効果が生じていると考えられる。

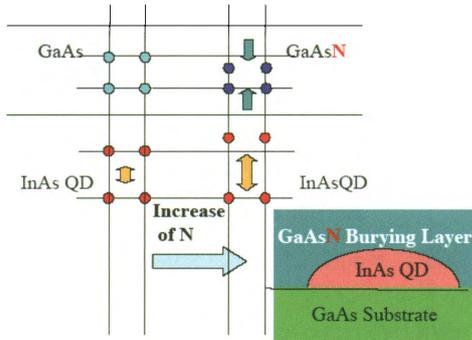


図4. InAs量子ドットをGaAsN層で埋めた場合の結晶格子とN組成を増やした場合の格子変形の模式図。

(e) InAs量子ドット表面窒化の効果

以上のようにInAs量子ドットをGaAsNで埋め込む際、N原子が界面特性にどのような影響を与えるか確認することも構造の制御性を高める上で重要である。そこで、ドットを埋め込む前にドット表面にN原子を供給する原料(MMHy)を送り、さらに状況を単純化するため埋め込み層は通常のGaAsとして検討を行った。この場合のドットは400°Cで成長した。ドット表面に供給するMMHyを増していくと、量子ドットの発光波長は150meV程度長波長化した。

これに対して量子ドット基底準位間の遷移エネルギー、励起準位とのエネルギー差のモデル計算と測定結果の比較を行った。その結果、ドット表面にNを供給したことによる発光波長の長波長化は、InAsドットへの(GaAs埋め込み時の)Ga取り込み量の減少によるとの示唆が得られた。

そこでInAsドット表面をN原子で終端しGaAsで埋め込んだ場合について、Valence-force field model計算した。具体的には底面72ML x 72ML、高さ24MLのピラミッド形InAsをGaAsが取り囲んだ80ML x 80ML x 72MLのsupercellについて、ピラミッド斜面にN原子が終端する効果を検討した。N原子を含まないInAs-GaAs界面ではIn原子に働く歪みはInAsドットからGaAs埋め込み層の方向に向いており、In偏析とそれに関連したInAsへのGaの取り込みを示唆する。一方InAs表面をNが終端した場合には、In原子に働く歪みの方向がドット内部に反転しており、N終端がIn偏析を抑える働きをすることがわかり、実験結果を支持している。

・平成18年度

(a) 準共鳴励起によるInAlAs単一量子ドットの単一起源からの光子生成

単一の量子ドットにおいても、複数の異なる励起子発光が観測されることが多い。H17年度には、量子ドットの作製時に生じるぬれ層(WL)を励起すると、複数の起源を持つ励起子が生成してしまうが、量子ドットを囲むバリア層を励起した場合には中性励起子発光だけの純粋な発光線を生成することができた。しかしその物理機構の詳細は明らかではなく、また量子ドットの異なる試料では異なった特性を示すことがわかった。そこで図1に示すように励起フォトルミネッセンス測定を行った。その結果、発光波長に近い光エネルギー(今の場合、1光学フォノンエネルギーだけ上のエネルギーや、量子ドット励起状態)で量子ドットを励起すると、純粋な単一起源の励起子発光が得られることがわかった。

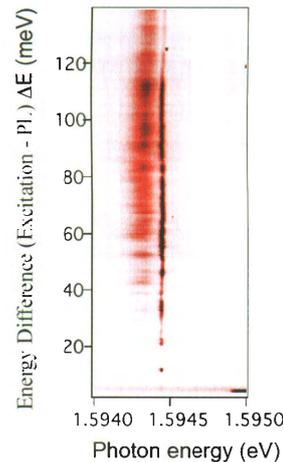


図1. InAlAs単一量子ドットの励起光エネルギーによる発光スペクトルの変化を、イオン化励起子(1.5944eV)からのエネルギー差でプロットした励起フォトルミネッセンススペクトル。

(b) InAlAs単一量子ドットから発生する光子偏光状態制御

将来の量子情報通信系を具体的に構成するためには、光子を使った量子情報通信系と、電子スピンを使った量子情報処理系をつなぐ量子情報変換技術の研究開発が重要である。その重要なステップの一つに、光子の偏光状態を電子スピンの状態に変換し、さらに保存した電子スピンを光子の偏光状態に変換する制御技術の確立が必要である。これまでも外部磁場を印加した状態では高い効率でそのような変換が可能であることが報告されている。しかし磁場を印加すると、励起子のスピン状態の縮退が解け、励起子スピンのもつれあい状態を維持することができなくなる課題があった。そこで、磁場を印加しない状態で光子円偏光と電子スピン変換の検討を行った。

単一の量子ドットにおける荷電励起子(X<sup>\*</sup>)を1光学フォノンだけ上のエネルギーで共鳴励起することにより、発光線幅20μeVの非常に鋭い単一のX<sup>\*</sup>発光線を観測した。その際にX<sup>\*</sup>を右円偏光(σ<sup>+</sup>)励起すると、それに対応する電子スピン状態が形成され、さらに発光寿命時間の後にσ<sup>+</sup>発光が発生する。この光子偏光-電子スピン-光子偏光の各変換過程で通常は量子状態の散乱が起こる。今回の測定では図2に示すように、左円偏光(σ<sup>-</sup>)へ反転して発光する強度比は20%程度に抑えられている。磁場印加のない状態で、このような高い偏光保存率を持つ純粋な発光を単一の量子ドットから観測したのは今回が初めてであり、光子-電子間の量子情報変換を実現する重要なステップとなる。これが

達成できた要因は、共鳴励起とともに、スピン状態の縮退が保持される荷電励起子状態を用いたことであり、通常の中性励起子状態では光子偏光はほとんど保存されない。

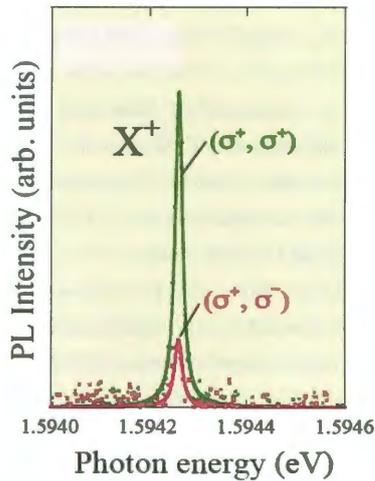


図2. 荷電励起子( $X^+$ )を右円偏光( $\sigma^+$ )励起した際の、 $\sigma^+$ 発光( $\sigma^+$ ,  $\sigma^+$ )と左円偏光( $\sigma^-$ )発光スペクトル( $\sigma^+$ ,  $\sigma^-$ )。 $X^+$ 発光線より1光学フォノンだけ上のエネルギーを励起することにより、線幅20 $\mu$ eVの純粋でかつ高い確率で励起偏光を保存した発光が得られた。このような高い偏光保存率を持つ純粋な発光を単一の量子ドットから観測したのは、今回が初めてである。

(c) 偏光子相関測定による励起子状態スピンフリップ時間の検討

前年度までに、InAlAs 単一量子ドットに関する光子相関測定により、中性励起子発光によって生じる光子のアンチバンチングの観測による単一光子発生の確認、中性励起子-中性励起子発光の時系列発光によって生じる光子対のバンチング観測による光子対間の強い相関関係の確認、中性励起子と荷電励起子発光に関する光子のアンチバンチング等を確認し、単一量子ドットからの光子生成過程の制御に関する研究を進めてきた。その際、前項で議論した光子の偏光状態制御とも関係するが、光子を生成する前の電子スピン状態の安定化、スピンの反転する可能性について、詳細に検討する目的で、偏光子相関測定を行った。これは通常的光子相関測定に加えて、相関を測定する2光路それぞれに偏光子で偏光状態を確定しておいて相関測定を行う。

図3に中性励起子分子発光と中性励起子発光対( $XX^0$ ,  $X^0$ )を、ともに同じ縦偏光(V, V)として測定した同時計数カウント数と、横偏光と縦偏光の組み合わせ(H, V)として測定した結果を示す。(V, V)の組み合わせでは光子バンチング特性を、(H, V)の組み合わせではアンチバンチング特性を示している。これは( $XX^0$ ,  $X^0$ )が同じ直線偏光の光子対を出す選択則を示している。このときの(V, V)のバンチング特性と(H, V)のアンチバンチング特性から、定量的に励起子スピン反転時間を見積もることができる。図3の例では、スピンフリップ時間が3.6nsと見積もられ、励起子発光寿命の1ns(測定値)よりかなり長いことがわかった。現在、前項で扱った光子偏光を高い確率で保存する荷電励起子についてもスピンフリップ時間の検討を行っている。

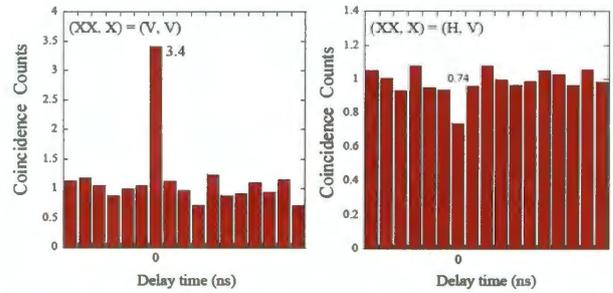


図3. 中性励起子分子と中性励起子に関する縦共偏光(V, V)と横・縦相互偏光(H, V)それぞれの場合に光子相関測定した同時計数カウント数。

(d) クーパー対を用いたもつれあい光子対発生法の提案

現在量子情報処理ネットワークに関する研究が活発に進められており、固体量子ビットの一つの有力候補が超伝導量子ビットである。しかしこれまで超伝導と情報伝送媒体としてのフォトニクスをつなぐ境界領域の科学的、技術的な基盤はほとんど構築されていない。そこで本研究では、電子クーパー対の大きなコヒーレント体積による振動子強度の増強(超放射効果)と、クーパー対の関与した発光再結合による「もつれあい光子対」の発生、さらに半導体量子ドットの離散準位に対するパウリの排他律に基づいた、クーパー対と発光再結合する準粒子対の個数状態制御による、On demandで一度に単一の量子もつれ合い光子対を発生するダイオード光源を提案した。図4にその模式図を示す。この超伝導発光ダイオードともいうべき光子発生器の研究は、超伝導とフォトニクスをつなぐ基盤技術の開発につながり、超伝導とフォトニクスの境界領域にまたがる新しい学問分野・技術分野の開拓を進めることが出来ると期待される。

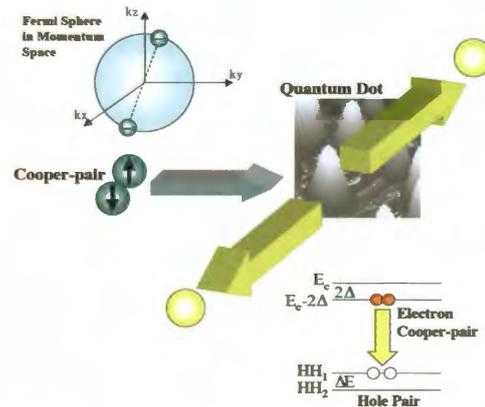


図4. 量子ドットへ電子クーパー対を注入し、量子ドットの量子準位に存在する準粒子としての正孔対と再結合させて、もつれあい光子対を発生させることを説明する模式図。発生する光子対の個数状態は、正孔に対する量子準位のパウリの排他律により、一度に一对に制限される。

(e) 超伝導近接効果と半導体への電子クーパー対注入実験

前項の提案を実現する準備として、半導体へ電子クーパー対を注入する実験を行った。高濃度にn型にドーピングしたInGaAsからなる厚さ $\sim$ 100nmの半導体薄膜の表裏表面にNb金属膜を形成する。Nbは臨界温度約9K以下で超伝

導特性を示す。この試料を臨界温度よりも低い0.7Kに冷却して電流-電圧特性を測定したところ、電圧零で電流が流れるジョセフソン接合特性が観測された。これは超伝導電極から電子クーパー対が InGaAs 半導体層にしみこむ、いわゆる近接効果と、それによるトンネル電流が検知されたことを意味し、クーパー対の半導体への注入が可能であることを確認できた。

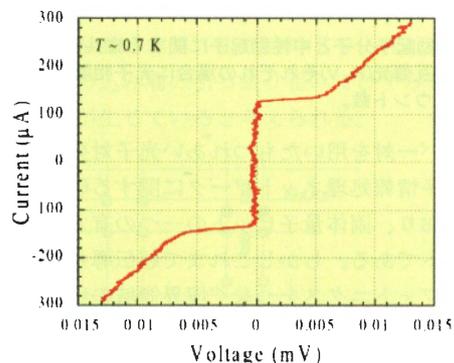


図5. Nb/InGaAs/Nb 接合によって観測されたジョセフソン接合特性。

### 3. 今後の研究の展望

このような半導体量子ドットからの光子生成過程の制御、発光波長の制御などとともに、光子を高い量子効率で外部に取り出すためのフォトニック結晶など3次元微小光共振器の検討、表面プラズモンの活用に関する研究を平行して進めつつあり、一度に一つの光子を発生するダイオード光源の開発を進めるとともに、新たに提案した超伝導効果によるもつれあい光子対発光ダイオードの基盤技術を確立して、量子情報処理へ応用可能な光高機能材料・デバイス構造の実現へと研究を進めていく予定である。現在次第にクーパー対による発光プロセスの増大効果等、顕著な効果が観測されつつある。

## 4. 資料

### 4.1 学術論文等

- 1) S. Ganapathy, T. Periyasamy, M. Kurimoto, H. Kumano, K. Uesugi, I. Suemune, H. Machida and N. Shimoyama: "Observation of reflection high-energy electron diffraction oscillation during MOMBE growth of AlAs and related modulated semiconductor structures", *Physica E*, 21: 756-760 (2004)\*
- 2) W. Zhou, K. Uesugi and I. Suemune: "1.6- $\mu$ m Emission from GaInNAs with Indium-induced Increase of N Composition", *Appl. Phys. Lett.*, 83(10): 1992-1994 (2003)\*
- 3) S. Tanaka, L. J-S., P. Ramvall and H. Okagawa: "A UV light-emitting diodes incorporating GaN quantum dots", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2: (2003)\*
- 4) H. Kumano, Y. Hitaka and I. Suemune: "Emissions from Single Localized States Observed from ZnCdS Ternary Alloy Mesa Structures", *Appl. Phys. Lett.*, 82(24): 4277-4279 (2003)\*
- 5) S. Ganapathy, X. Q. Zhang, I. Suemune, K. Uesugi, k. J. Bong and T. Y. Seong: "GaNaAs as strain compensating layers for 1.55  $\mu$ m light emission from InAs Quantum Dots", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 42(9A Part1): 5598-5601 (2003)\*
- 6) X. Zhang, S. Ganapathy, I. Suemune, H. Kumano, K. Uesugi, Y. Nabetani and T. Matsumoto: "Improvement of InAs Quantum-dots Optical Properties by Strain Compensation with GaNaAs Capping Layers", *Appl. Phys. Lett.*, 83(22): 4524-4526 (2003)\*
- 7) S. Ganapathy, M. Kurimoto, T. Periyasamy, K. Uesugi, I. Suemune, H. Machida and N. Shimoyama: "Observation of reflection high-energy electron diffraction oscillation during metalorganic-molecular-beam epitaxy of AlAs and control of carbon incorporation", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 94(8): 4871-4875 (2003)\*
- 8) H. Nakagawa, S. Tanaka and I. Suemune: "Self-ordering of Nanofacets on Vicinal SiC Surfaces", *Phys. Rev. Lett.*, 91(22): 226107 (2003)\*
- 9) J. Kato, S. Tanaka, S. Yamada and I. Suemune: "Structural Anisotropy in GaN Films Grown on Vicinal 4H-SiC Surfaces by Metalorganic Molecular-beam Epitaxy", *Appl. Phys. Lett.*, 83(8): 1569-1571 (2003)\*
- 10) B. J. Kim, Y. W. Ok, T. Y. Seong, A. A. Ashrafi, H. Kumano and I. Suemune: "Structural Properties of CdO Layers Grown on GaAs(001) Substrate by Metalorganic Molecular-beam Epitaxy", *J. Cryst. Growth*, 252: 219-225 (2003)
- 11) 青柳克信、田中悟: 「72. ナノテクノロジーと深紫外発光素子の開発」、*個体物理*, 5(39(No459)): (2004)
- 12) H. Kumano, Y. Hitaka and I. Suemune: "Dynamical properties of atom-like emissions from single localized states in ZnCdS ternary mesa-shaped structures", *Phys. Status Solidi B*, 241(3): 503-506 (2004)
- 13) I. Suemune, A. A. Ashrafi, M. Ebihara, M. Kurimoto, H. Kumano, T. Y. Seong, B. J. Kim and W. O. Young: "Epitaxial ZnO Growth and p-Type Doping with MOMBE", *Phys. Status Solidi B*, 241(3): 640-647 (2004)
- 14) M. Kurimoto, A. A. Ashrafi, M. Ebihara, K. Uesugi, H. Kumano and I. Suemune: "Formation of ohmic contacts to p-type ZnO", *Phys. Status Solidi B*, 241(3): 635-639 (2004)
- 15) 田中悟、李定植、ラムバルピーター、岡川広明: 「GaN量子ドット紫外線LEDの作製と光学特性」、*レーザー研究*, 32(6): (2004)
- 16) K. Uesugi, M. Kurimoto, I. Suemune, M. Yamamoto, T. Uemura, H. Machida and N. Shimoyama: "Observation of Clear Negative Differential Resistance Characteristics in GaAsNSe/GaAs and GaAsNSb/GaAs Multiple Quantum Wells at Room Temperature", *Physica E*, 21: 727-731 (2004)

- 17) S. Tanaka, H. Nakagawa and I. Suemune: "SiC surface nanostructures induced by self-ordering of nano-facets", *Materials Science Forum*, 457-460 (2004)
  - 18) D. Nakaya, Y. Hitaka, S. Kimura, H. Kumano and I. Suemune: "Study of Optimal Coupling of ZnS Pyramidal Microcavities with Distributed Bragg Reflectors", *Phys. stat. sol. (c)*, 1(4): 1034-1037 (2004)
  - 19) K. Hayashi, S. Mizuno, S. Tanaka, H. Toyoda, H. Tochi-hara and I. Suemune: "Nucleation stages of carbon nano-tubes on SiC(0001) by surface decomposition", *Jpn. J. Appl. Phys. Express Letter*, 44(25): L803-L805 (2005)
  - 20) Y. Nabetani, T. Matsumoto, S. Ganapathy, X. Q. Zhang and I. Suemune: "Theoretical Studies of Strain States in InAs Quantum Dots and Dependence on Their Capping Layers", *J. Appl. Phys.*, 98(6): 063502-1~7 (2005)
  - 21) S. Kimura, H. Kumano, M. Endo, I. Suemune, T. Yokoi, H. Sasakura, S. Adachi, S. Muto, Z. S. Hai, S. Hirose and T. Usuki: "Photon Antibunching Observed from an InAlAs Single Quantum Dot", *Jpn.J.Appl.Phys.Express Lett.*, 44(25): L793-L796 (2005)
  - 22) S. Kimura, H. Kumano, M. Endo, I. Suemune, T. Y., H. Sasakura, S. Adachi, S. Muto, H. Song, S. Hirose and T. Usuki: "Single-Photon Generation from InAlAs Single Quantum Dot", *Phys. Status Solidi, (c)*: 3833-3837 (2005)
  - 23) S. Adachi, T. Y., H. Sasakura, S. Muto, H. Kumano and I. Suemune: "Dynamic nuclear polarization in a self-assembled InAlAs quantum dot", *Phys. Status Solidi, (c)*2: 3838-3842 (2005)
  - 24) S. Muto, S. Adachi, T. Yokoi, S. Kayamori, H. Sasakura and I. Suemune: "Photon-spin Qubit-conversion Based on Overhauser Shift of Zeeman Energies in Quantum Dots", *Appl. Phys. Lett.*, 87(11): 112506-1~3 (2005)
  - 25) S. Ganapathy, I. Suemune, T. Periyasamy, H. Kumano, K. Uesugi, Y. Nabetani, T. Matsumoto and H. Machida: "Structural and Luminescence Properties of InAs Quantum Dots: Effect of Nitrogen Exposure on Dot Surfaces", *Jpn. J. Appl. Phys. Lett.*, 44(50): L1512-L1515 (2005)
  - 26) Hidekazu Kumano, Satoshi Kimura, Michiaki Endo, Hiro-taka Sasakura, Satoru Adachi, Shunichi Muto, and Ikuo Suemune: "Deterministic Single-photon and Polariza-tion-correlated Photon-pair Generations from a Single InAlAs Quantum Dot" *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics* Vol. 1 (2006) pp. 39-51.
  - 27) H. Kumano, S. Kimura, M. Endo, I. Suemune, H. Sasakura, S. Adachi, S. Muto, H. Z. Song, S. Hirose, and T. Usuki: "Triggered Single Photon Emission and Cross-correlation Properties in InAlAs Quantum Dot" *Physica E: Low-Dimensional Systems & Nano-Structures* Vol. 32 (2006) pp. 144-147.
  - 28) N. Matsumura, S. Muto, S. Ganapathy, I. Suemune, K. Numata, and K. Yabuta: "Anisotropic Lattice Deformation of InAs Self-assembled Quantum Dots Embedded in Ga-NAs Strain Compensating Layers" *Jpn. J. Appl. Phys. Lett.* Vol. 45, No. 2 (2006) pp. L57-L59.
  - 29) I. Suemune, G. Sasikala, H. Kumano, K. Uesugi, Y. Na-betani, T. Matsumoto, J.-T. Maeng, and T.-Y. Seong: "Role of a Nitrogen Precursor Supplied on InAs Quantum Dots Surfaces in Their Emission Wavelengths" *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 45, No. 21 (2006) pp. L529-L532.
  - 30) W. Zhang, K. Uesugi, and I. Suemune: "Application of InGaAs/GaAsN Strain-compensated Superlattice to InAs Quantum Dots" *J. Appl. Phys.* Vol. 99, No.10 (2006) pp. 103103 1-7.
  - 31) M. Ebihara, I. Suemune, H. Kumano, T. Nakashita, and H. Machida: "Formation of CdO Dots on Atomically Flat ZnO Surfaces" *phys. stat. sol. (c)* Vol. 3, No. 4 (2006) pp. 933-937.
  - 32) I. Suemune, H. Kumano, S. Kimura, H. Sasakura, S. Adachi, S. Muto, H. Z. Song, S. Hirose, and T. Usui: "Origin of Asymmetric Splitting of a Neutral Exciton in a Single Semiconductor Quantum Dot" *phys. stat. sol. (c)* 3, No. 11 (2006) pp. 3908-3911
  - 33) I. Suemune, T. Akazaki, K. Tanaka, M. Jo, K. Uesugi, M. Endo, H. Kumano, E. Hanamura, H. Takayanagi, M. Ya-manishi, and H. Kan: "Superconductor-based Quan-tum-dot Light-emitting Diodes (SQ-LED): Role of Cooper-pairs to Generate Entangled Photon Pairs" *Japan. J. Appl. Phys.* Vol. 45, No. 12 (2006) pp. 9264-9271.
  - 34) T. Mukumoto, R. Kaji, H. Sasakura, S. Adachi, H. Ku-mano, S. Muto, and I. Suemune: "Overhauser Shift in Photoluminescence of Excitons with Fine Structure from a Single Self-assembled InAlAs Quantum Dot" *phys. stat. sol. (c)* Vol. 3, No. 12 (2006) pp. 4372-4375
  - 35) H. Nishida, S. Kayamori, H. Sasakura, S. Adachi, S. Muto, and I. Suemune: "Time-resolved Photoluminescence in Annealed Self-assembled InAs Quantum Dots" *phys. stat. sol. (c)* Vol. 3, No. 12 (2006) pp. 4299-4302
- 4.3 著書**
- 1) 田中悟、青柳 克信:「ナノ構造の作製技術」、ナノテクノロジーハンドブック、オーム社 (2003)
  - 2) I. Suemune, K. Uesugi, and S. Ganapathy: "Dilute Nitride Semiconductors" Edited by M. Henini, 2005 Elsevier Ltd. Chapt. 4. pp. 137-156.
  - 3) 田中悟:「自己組織化」、電子材料ハンドブック (2005)
  - 4) 末宗幾夫:「ワイドギャップ半導体 光・電子デバイス」森北出版 高橋清監修、2006年3月(分担執筆)421ページ。  
第2章 ワイドギャップ半導体の基本特性 pp. 79-84.
- 4.5 講演**
- a. 招待講演**
- 1) I. Suemune, S. Ganapathy, K. Uesugi and H. Kumano:

- “Low-energy-gap III-V-N Semiconductors and Related Quantum Nanostructures for Optical-fiber Communications”, International Conference on Optoelectronics Technology (ICOT-2004), Jalgaon (Maharashtra), India (2004-01) (**Key Note Address of the Conference**)
- 2) H. Kumano and I. Suemune: “Pyramidal-shaped Optical Microcavities and Preparation of Atom-like States”, Pre-Conference of IEEE International Semiconductor Laser Conference 2004 (IEICE LQE/OPE Technical Meeting), Kobe, Japan (2003-12)
  - 3) I. Suemune, K. Uesugi, S. Ganapathy, M. Kurimoto, W. Zhou and T. Periyasamy: “MOMBE Growth of III-V-N-based Quantum Wells and Quantum Dots Emitting above 1.3 $\mu$ m”, The 16th Annual Meeting of the IEEE Lasers & Electro-Optics Society (LEOS 2003), Tucson, USA (2003-10)
  - 4) I. Suemune, A. A. Ashrafi, M. Ebihara, M. Kurimoto, H. Kumano, T. Y. Seong, K. J. Bong and W. O. Young: “Epitaxial ZnO Growth and p-Type Doping with MOMBE”, 11th II-VI International Conference on II-VI Compounds, Niagara Falls, USA (2003-09)
  - 5) 末宗幾夫、植杉克弘、ガナパシー サシカラ: 「III-V-N系窒化物混晶半導体の光物性」、秋季第64回応用物理学関係連合講演会 半導体 B 分科内招待講演、福岡 (2003-08)
  - 6) I. Suemune and H. Kumano: “II-VI Quantum Dots: Physics and Applications”, the 12th International Workshop on the Physics of Semiconductor Devices, Chennai, India (2003-12) (**Plenary Talk**)
  - 7) I. Suemune, M. Kurimoto, A. A. Ashrafi, M. Ebihara and H. Kumano: “Growth of p-Type ZnO by MOMBE and Study of Ohmic Contacts”, International Symposium on Scientific and Industrial Nanotechnology 2003 (IS-SIN-2003), Osaka, Japan (2003-12)
  - 8) I. Suemune, S. Ganapathy, K. Uesugi and T. Periyasamy: “Quantum Dots: Self-organization and Strain-issue”, RIES-Symposium, Sapporo, Japan (2003-12)
  - 9) I. Suemune: “Growth of p-Type ZnO by MOMBE and Formation of Ohmic Contacts” Topical Seminar on Oxides Materials, Gwangju Institute of Science and Technology, November 4, 2004, Gwangju, Korea.
  - 10) I. Suemune, K. Uesugi, and H. Kumano: “Coupling of Quantum Dots and Microcavities: Towards Quantum Information Communications and Processing” RCIQE International Seminar, February 8-10, 2005, Sapporo, pp. 30-35.
  - 11) 熊野英和、末宗幾夫: 「単一量子ドットから発生する単一光子対の光子相関特性の評価」、秋季第66回応用物理学関係連合講演会シンポジウム「新世代光通信へのイノベーション2」、徳島大学 (2005-09)
  - 12) S. Tanaka: “Fabrication of surface nanostructures on self-ordered SiC nanofacets”, 2005 International Conference on Nanoscience and Nanotechnology, Gwangju, Korea (2005-11)
  - 13) H. Kumano, S. Kimura, M. Endo and I. Suemune: “Single-photon and Correlated-photon-pair Generations Based on Semiconductor Quantum Dots for Quantum Information Devices” the 13th International Workshop on the Physics of Semiconductor Devices, (New Delhi, India, Dec. 13-17, 2005).
  - 14) I. Suemune: “Prospects of Superconducting Photonics” Ninth International Symposium on Contemporary Photonics Technology (Tokyo, January 11-13, 2006) D-1, pp. 39-42.
  - 15) I. Suemune, H. Kumano, and K. Uesugi: “Control of Photon Wavelength and Correlations Emitted from Single Quantum Dots” 4<sup>th</sup> NIMS Conference (March 8-10, 2006, Tsukuba).
- b. 一般講演**
- i) 学会**
- 1) 熊野英和、飛高功明、末宗幾夫: 「顕微 TRPL による ZnCdS 混晶中離散化局在中心への励起子分布」、2004年春季第51回応用物理学関係連合講演会講演予稿集、東京 (2004-03)
  - 2) 海老原正人、栗本誠、熊野英和、飛高功明、末宗幾夫: 「MOMBE 法による ZnO の ALE 成長」、2004年春季第51回応用物理学関係連合講演会講演予稿集、東京 (2004-03)
  - 3) 栗本誠、海老原正人、飛高功明、熊野英和、植杉克弘、末宗幾夫: 「窒素ドーピング ZnO の電子線照射処理効果」、2004年春季第51回応用物理学関係連合講演会講演予稿集、東京 (2004-03)
  - 4) 松村直樹、武藤俊一、ガナパシー サシカラ、末宗幾夫、沼田乾、藪田湖納美: 「GaNAs 歪み補償層によって埋め込まれた InAs 自己集合量子ドットの歪み異方性」、2004年春季第51回応用物理学関係連合講演会講演予稿集、東京 (2004-03)
  - 5) 木村聡、熊野英和、栗本誠、末宗幾夫: 「微小光共振器との結合を目指した Solid Immersion Lens(SIL)の基礎研究」、第39回応用物理学学会北海道支部学術講演会講演予稿集、札幌 (2004-01)
  - 6) 海老原正人、栗本誠、熊野英和、末宗幾夫: 「MOMBE 法により成長した ZnO における N ドーピングと As ドーピングの比較」、第39回応用物理学学会北海道支部学術講演会講演予稿集、札幌 (2004-01)
  - 7) ガナパシー サシカラ、ペリヤサミ ティラカン、熊野英和、末宗幾夫: 「Control of Inhomogeneous Broadening in InAs Quantum Dots Using Nitrogen Purge Technique」、2003年秋季第64回応用物理学学会学術講演会予稿集、福岡 (2003-08)
  - 8) 栗本誠、海老原正人、木村聡、熊野英和、植杉克弘、末宗幾夫: 「窒素ドーピング ZnO の紫外線照射下オゾン処理効果」、2003年秋季第64回応用物理学学会学術講演会予稿集、福岡 (2003-08)

- 9) 宮本知幸、田中悟、中川啓志、ペリヤサミ ティラカン、末宗幾夫：「SiC ナノファセット上の GaN 核生成過程」、2003年秋季第64回応用物理学会学術講演会予稿集、福岡 (2003-08)
- 10) ペリヤサミ ティラカン、ガナバシー サシカラ、熊野英和、末宗幾夫：「Room Temperature Observation of Whispering Gallery Modes from a Microdisk Embedded with InAs Quantum Dots」、2003年秋季第64回応用物理学会学術講演会予稿集、福岡 (2003-08)
- 11) 飛高功明、木村 聡、熊野英和、末宗幾夫：「MOMBE 成長による ZnS ピラミッド型フォトニックドットの構造制御性の向上」、2003年秋季第64回応用物理学会学術講演会予稿集、福岡 (2003-08)
- 12) 熊野英和、飛高功明、末宗幾夫：「ZnCdS 混晶メサ構造における離散化局在準位の発光機構」、2003年秋季第64回応用物理学会学術講演会予稿集、福岡 (2003-08)
- 13) 中川啓志、田中悟、末宗幾夫：「微傾斜 SiC(0001)表面ナノファセット構造のポリタイプ・傾斜角依存性」、2003年秋季第64回応用物理学会学術講演会予稿集、福岡 (2003-08)
- 14) 豊田啓貴、田中悟、中川啓志、末宗幾夫：「陽極酸化 SiC 表面上のナノホール配列制御」、2003年秋季第64回応用物理学会学術講演会予稿集、福岡 (2003-08)
- 15) 中屋大佑、飛高功明、熊野英和、末宗幾夫：「分布ブラッグ反射鏡と ZnS ピラミッド形構造の光学的な結合の最適化についての研究」、2003年秋季第64回応用物理学会学術講演会予稿集、福岡 (2003-08)
- 16) 植杉克弘、栗本誠、末宗幾夫、町田英明、下山紀男：「広いバンド幅を持つ GaAsNSe 系発光ダイオードの作製」、2003年秋季第64回応用物理学会学術講演会予稿集、福岡 (2003-08)
- 17) 飛高功明、中屋大佑、河口弘樹、熊野英和、末宗幾夫：「低屈折率膜上への ZnS 光共振器構造の作製と評価に関する研究」、2004年秋季第65回応用物理学会学術講演会予稿集、東北学院大学 (2004-09)
- 18) 宮本知幸、田中悟、藤井政弘、寺田一教、末宗幾夫：「自己組織化による GaN ナノ構造 III: ドット間相互作用による配列制御」、2004年秋季第65回応用物理学会学術講演会予稿集、仙台 (2004-09)
- 19) 藤井政弘、田中悟、寺田一教、末宗幾夫：「傾斜 SiC(0001) 表面における自己組織化ナノファセット構造：面極性依存性について」、2004年秋季第65回応用物理学会学術講演会予稿集、仙台 (2004-09)
- 20) 植杉克弘、末宗幾夫：「GaAsNSe 混晶を用いた長波長広帯域発光ダイオードの作製」、電子情報通信学会技術研究報告 機構デバイス EMD2004-39、札幌 (2004-08)
- 21) 末宗幾夫、植杉克弘、熊野英和：「ひずみ補償 InAs 量子ドットを用いた高次機能光子源の研究」、春季第52回応用物理学会関係連合講演会シンポジウム「新世代光通信へのイノベーション」、埼玉大学 (2005-03)
- 22) 熊野英和、木村聡、遠藤礼暁、末宗幾夫、横井伴紀、笹倉弘理、足立智、武藤俊一、栄海智、廣瀬真一、臼杵達哉：「nAlAs 単一量子ドットの顕微 PL 分光と単一光子発生」、2005年春季応用物理学会、埼玉大学 (2005-03)
- 23) 熊野英和、末宗幾夫：「InAlAs 単一量子ドットの顕微分光と単一光子発生の検証」、第44回精研シンポジウム、東京工業大学 (2005-03)
- 24) 熊野英和、末宗幾夫：「高効率量子鍵配送に向けた半導体単一光子光源の作製」、電子情報通信学会レーザ・量子エレクトロニクス研究会技術報告、札幌 (2005-08)
- 25) 横井伴紀、足立智、笹倉弘理、椋元崇、武藤俊一、栄海智、廣瀬真一、臼杵達哉、熊野英和、末宗幾夫：「自己集合量子ドットでのオーバーハウザーシフトの観測」、秋季第66回応用物理学関係連合講演会、徳島大学 (2005-09)
- 26) 谷津 直樹、笹倉弘理、足立智、武藤俊一、熊野英和、末宗幾夫、廣瀬真一、臼杵達哉：「単一 InAlAs 量子ドットの発光寿命の温度依存性」、秋季第66回応用物理学関係連合講演会、徳島大学 (2005-09)
- 27) 海老原正人、植杉克弘、定昌史、熊野英和、末宗幾夫、中下 T：「酸素源として H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> を用いた平坦な表面を持つ ZnO の成長の検討」、秋季第66回応用物理学関係連合講演会、徳島大学 (2005-09)
- 28) 木村聡、熊野英和、遠藤礼暁、末宗幾夫、横井伴紀、笹倉弘理、足立智、武藤俊一、栄海智、廣瀬真一、臼杵達哉：「単一量子ドットからの単一光子発生に関する多励起子効果の影響」、秋季第66回応用物理学関係連合講演会、徳島大学 (2005-09)
- 29) 熊野英和、木村聡、遠藤礼暁、末宗幾夫、横井伴紀、笹倉弘理、足立智、武藤俊一、栄海智、廣瀬真一、臼杵達哉：「光子相関測定を用いた量子ドットにおける荷電励起子発光の同定」、秋季第66回応用物理学関係連合講演会、徳島大学 (2005-09)
- 30) 藤井政弘、田中悟、末宗幾夫、塩見弘、木下博之：「ファセット間相互作用による傾斜 SiC(0001) 表面ナノ周期構造」、秋季第66回応用物理学関係連合講演会、徳島大学 (2005-09)
- 31) 寺田一教、田中悟、末宗幾夫：「SiC ナノファセット表面における SiO<sub>2</sub> 成長初期過程にナノマスクの応用」、秋季第66回応用物理学関係連合講演会、徳島大学 (2005-09)
- 32) 宮本知幸、寺田一教、田中悟、末宗幾夫：「ナノファセット SiC 表面における選択 SiO<sub>2</sub> ナノマスクを用いたヘテロ構造の作製」、秋季第66回応用物理学関係連合講演会、徳島大学 (2005-09)
- 33) 遠藤礼暁、植杉克弘、熊野英和、定昌史、末宗幾夫：「近赤外-可視光領域量子ドット形成基板へのナノ微細加工」、第53回応用物理学会関係連合講演会、東京、武蔵工大 (2006-03)
- 34) 藤井政弘、田中悟、寺田一教、末宗幾夫、塩見弘、木下博之：「傾斜 SiC(0001) 基板表面に見られる自己形成周期的ナノファセット構造」、春季第53回応用物理学関

- 係連合講演会、武蔵工業大学 (2006-03)
- 35) 宮本知幸、田中悟、末宗幾夫：「自己形成 SiC ナノファセット上の GaN 核形成」、春季第53回応用物理学関係連合講演会、武蔵工業大学 (2006-03)
  - 36) 赤崎達志、丸山達郎、定昌史、植杉克弘、末宗幾夫：「GaAsNSe オーミックコンタクト層を用いた Nb/GaAs/Nb 超伝導接合」、春季第53回応用物理学関係連合講演会、武蔵工業大学 (2006-03)
  - 37) 定昌史、遠藤礼暁、熊野英和、末宗幾夫：「ZnSe 中の ZnTe 量子ドットからの蛍光」、春季第53回応用物理学関係連合講演会、武蔵工業大学 (2006-03)
  - 38) 植杉克弘、末宗幾夫、町田英明：「GaSb/GaAs 量子ドットへの窒素供給の効果」、春季第53回応用物理学関係連合講演会、武蔵工業大学 (2006-03)
  - 39) 木村聡、熊野英和、遠藤礼暁、末宗幾夫、横井伴紀、笹倉弘理、足立智、武藤俊一、宋海智、廣瀬真一、高津求：「単一 InAlAs 量子ドットのドットサイズと面内異方性に関する検討」、春季第53回応用物理学関係連合講演会、武蔵工業大学 (2006-03)
  - 40) 熊野英和、木村聡、遠藤礼暁、末宗幾夫、笹倉弘理、足立智、武藤俊一、宋海智、廣瀬真一、高津求：「単一量子ドットによる偏光相関光子対発生」、春季第53回応用物理学関係連合講演会、武蔵工業大学 (2006-03)
  - 41) 鍛冶玲奈、椋元元崇、笹倉弘理、足立智、武藤俊一、熊野英和、末宗幾夫：「励起子微細構造を持つ単一 InAlAs 量子ドットでの核スピン偏極」、秋季第67回応用物理学関係連合講演会、立命館大学 (2006-08)
  - 42) 植杉克弘、福田永、井筒康洋、末宗幾夫：「GaSb 量子ドット表面の GaAs 埋め込み層成長過程の評価」、秋季第67回応用物理学関係連合講演会、立命館大学 (2006-08)
  - 43) 林雄二郎、遠藤礼暁、小林創、定昌史、熊野英和、末宗幾夫：「近赤外領域 2 次元フォトニック結晶による発光強度増強効果」、秋季第67回応用物理学関係連合講演会、立命館大学 (2006-08)
  - 44) 小林創、熊野英和、遠藤礼暁、末宗幾夫、笹倉弘理、足立智、武藤俊一：「単一量子ドットにおける中性励起子発光のスピン分裂」、秋季第67回応用物理学関係連合講演会、立命館大学 (2006-08)
  - 45) 定昌史、遠藤礼暁、熊野英和、末宗幾夫：「ZnSe 中における極微量 Te 等電子中心からの蛍光線」、秋季第67回応用物理学関係連合講演会、立命館大学 (2006-08)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) S. Ganapathy, T. Periyasamy, H. Kumano, K. Uesugi, I. Suemune, Y. Nabetani and T. Matsumoto: "Control of InAs/GaAs Heterointerfaces in InAs Quantum Dots Using Nitrogen Purge Technique", Atomically Controlled Surfaces and Interfaces of Nanostructures (ACSIN-7), Nara, Japan (2003-11)
  - 2) 植杉克弘、熊野英和、末宗幾夫：「ZnCdS および GaAsN 系混晶を用いた可視・赤外波長域での多波長同時発光デバイスの研究」、文部科学省 特定領域研究(A)波長集積・操作フォトニクス 平成15年度第3回研究会、札幌 (2003-09)
  - 3) 末宗幾夫、熊野英和：「自己形成ピラミッド光共振器による電子・光子相互作用の制御」、科学研究費企画調査シンポジウム「固体中の光学過程による量子計算の可能性」、つくば (2003-08)
  - 4) 末宗幾夫、熊野英和：「自己形成ピラミッドの光共振器への応用とナノフォトニクスへの展開」、旭硝子財団研究助成成果発表会、東京 (2003-07)
  - 5) 鍋谷暢一、松本俊、ガナパシー サシカラ、末宗幾夫：「Cap Layer Dependence of Strain in InAs QD」、第23回電子材料シンポジウム(EMS23)、伊豆 (2003-07)
  - 6) 中川啓志、田中悟、末宗幾夫：「Self-ordering of Nano-facets on Vicinal 4H, 6H-SiC (0001) Surfaces」、22nd Electronic Materials Symposium (EMS03), Biwako (2003-07)
  - 7) 豊田啓貴、田中悟、中川啓志、末宗幾夫：「Nano-hole Ordering on SiC (0001) by Surface Anodization」、22nd Electronic Materials Symposium (EMS03), Biwako (2003-07)
  - 8) 植杉克弘、栗本誠、末宗幾夫、植村哲也、山本眞史、町田英明、下山紀男：「Characterization of GaAsNSb/GaAs Superlattice Diode with Large Negative Differential Resistance at Room Temperature」、22nd Electronic Materials Symposium (EMS03), Biwako (2003-07)
  - 9) L. J.-S., S. Tanaka, P. Ramvall and H. Okagawa: "GaN quantum dot UV light-emitting diode", 2003 MRS Fall Meeting, Boston, USA (2003-12)
  - 10) S. Tanaka, H. Nakagawa and I. Suemune: "SiC surface nanostructures induced by self-ordering of nanofacets", International Conference on SiC and Related Materials 2003 (ICSCRM 2003), Lyon, France (2003-10)
  - 11) M. Kurimoto, A. A. Ashrafi, M. Ebihara, H. Kumano and I. Suemune: "Formation of ohmic contacts to p-type ZnO", 11th II-VI International Conference on II-VI Compounds, Niagara Falls, USA (2003-09)
  - 12) D. Nakaya, Y. Hitaka, S. Kimura, H. Kumano and I. Suemune: "Study of Optimal Coupling of ZnS Pyramidal Microcavities with Distributed Bragg Reflectors", 11th II-VI International Conference on II-VI Compounds, Niagara Falls, USA (2003-09)
  - 13) H. Kumano, Y. Hitaka and I. Suemune: "Sharp and Discrete Emission Lines from Single Localized States in Selectively Grown ZnCdS Compound Semiconductors", 11th II-VI International Conference on II-VI Compounds, Niagara Falls, USA (2003-09)
  - 14) K. Uesugi, M. Kurimoto, I. Suemune, T. Uemura, M. Yamamoto, H. Machida and N. Shimoyama: "Observation of Large Room-temperature Negative Differential Resistance in GaAsNSe/GaAs and GaAsNSb/GaAs Superlattices Grown on (001) GaAs", The 11th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS11), Nara, Japan (2003-07)

- 15) S. Ganapathy, M. Kurimoto, T. Periyasamy, K. Uesugi, H. Machida, N. Shimoyama and I. Suemune: "Observation of reflection high-energy electron diffraction oscillation during MOMBE of AlAs and related modulated semiconductor structures", The 11th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS11), Nara, Japan (2003-07)
- 16) W. Zhou, K. Uesugi and I. Suemune: "Emission Extended into 1.55  $\mu\text{m}$  Range from GaInNAs/GaAs MQW by Indium-induced Increase of N composition", The 11th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS11), Nara, Japan (2003-07)
- 17) X. Q. Zhang, S. Ganapathy, I. Suemune, H. Kumano, K. Uesugi, k. J. Bong and T. Y. Seong: "Dependence of InAs Quantum Dots Optical Properties on Capping Materials: GaNAs Strain Compensating Layers (SCL) and GaAs Layers", 2003 TMS Electronic Materials Conference, Salt Lake City, USA (2003-06)
- 18) S. Tanaka, L. J-S., P. Ramvall and H. Okagawa: "GaN quantum dot UV-LED using antisurfactant", 5th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS5), Nara, Japan (2003-05)
- 19) J. Brault, E. Amalric, S. Tanaka, E. Sarigiannidou, ぼ ぼ Rouvieu, L. Dang, G. Feuillet and D. Bruno: "Characteristics of AlN growth on vicinal SiC(0001) substrates by molecular beam epitaxy", 5th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS5), Nara, Japan (2003-05)
- 20) T. Periyasamy, S. Ganapathy, H. Kumano and I. Suemune: "Room Temperature Emission from InAs QDs/GaNAs (SCL) Active Region Embedded in GaAs Microdisk Cavity", 7th International Symposium on Contemporary Photonics Technology, Tokyo, Japan (2004-01)
- 21) I. Suemune, S. Ganapathy, H. Kumano, K. Uesugi, Y. Nabetani and T. Matsumoto: "Improved Luminescence Efficiency of InAs Quantum Dots by Nitrogen-induced Strain Compensation with GaNAs Burying Layers", 16th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM'04), Kagoshima, Japan (2004-05)
- 22) T. Periyasamy, S. Ganapathy, H. Kumano and I. Suemune: "Improved Optical Quality in GaAsN-strain-compensated InAs Quantum Dots and Room Temperature Stimulated Emission from InAs QDs Embedded in a GaAs Microdisk Cavity", the 5th International Conference in Low Dimensional Structures and Devices (LDSD2004), Cancun, Mexico (2004-12)
- 23) S. Tanaka, T. Miyamoto, K. Terada, M. Hujii and I. Suemune: "Self-ordering of Nanofacets on Vicinal SiC(0001) Surfaces and Its Application to Heterogeneous Nanostructures", 2004 MRS Fall Meeting, Boston, USA (2004-11)
- 24) I. Suemune, S. Ganapathy, T. Periyasamy, K. Uesugi and H. Kumano: "III-V-N-Related Semiconductor Quantum Nanostructures for Optical-fiber Communications", 2nd Asia-Pacific Conference of Transducers and Micro-Nano Technology, Sapporo, Japan (2004-07)
- 25) S. Kimura, H. Kumano and I. Suemune: "Study of Enhancement of Photon Extraction Efficiency from Single Microsphere", Sixth RIES-Hokudai Symposium, Sapporo, Japan (2004-12)
- 26) M. Ebihara, H. Kumano and I. Suemune: "Growth of CdO Quantum Dots on Zn-polar ZnO Substrates", Sixth RIES-Hokudai Symposium, Sapporo, Japan (2004-12)
- 27) T. Miyamoto, S. Tanaka and I. Suemune: "Self-Ordering of GaN nanostructures on vicinal SiC surfaces  $\epsilon$ ", 206th Meeting of The Electrochemical Society, Honolulu, USA (2004-10)
- 28) S. Tanaka, T. Miyamoto, K. Terada and I. Suemune: "Site-selective GaN growth on self-ordered SiC nanofacets", International Workshop on Nitride Semiconductors 2004, Pittsburgh, USA (2004-07)
- 29) S. Tanaka, H. Toyoda, K. Hayahi, S. Mizuno, H. T. and I. Suemune: "Chirality Control of Carbon Nanotubes on Self-ordered SiC Nanofacets", Sixth International Conference on the Science and Application of Nanotubes (NT05), Gothenburg, Sweden (2005-06)
- 30) N. Matsumura, S. Muto, S. Ganapathy, I. Suemune and K. Numata: "Anisotropic Lattice Deformation of InAs Self-assembled Quantum Dots Strain Compensated with GaAsN Burying Layers", 47th TMS 2005 Electronic Materials Conference, University of California Santa Barbara., USA (2005-06)
- 31) W. Zhang, K. Uesugi, N. Matsumura and I. Suemune: "Strain-compensation of InAs Quantum Dots: Dot Size Dependence", International Conference on Quantum Electronics 2005 and the Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (IQEC/CLEO-PR 2005), Tokyo (2005-07)
- 32) H. Kumano, S. Kimura, M. Endo, I. Suemune, H. Sasakura, S. Adachi, S. Muto, H. Song, S. Hirose and T. Usuki: "Correlations and anti-bunching of a charged exciton state and exciton and biexciton states in a single quantum dot", 12th International conference on Modulated Semiconductor Structures, Albuquerque, USA (2005-07)
- 33) H. Kumano, S. Kimura, M. Endo, I. Suemune, H. Sasakura, S. Adachi, S. Muto, H. Song, S. Hirose and T. Usuki: "Single photon emission from a single InAlAs Quantum dot", International conference on Nanoelectronics, Nanostructures and Carrier Interactions, Atsugi, Japan (2005-01)
- 34) H. Kumano and I. Suemune: "Formation of single localized states in ZnCdS alloy semiconductor and their time-resolved properties", First International symposium on Nanometer-scale Quantum Physics, Tokyo, Japan (2005-01)

- 35) S. Ganapathy, I. Suemune, H. Kumano, K. Uesugi, Y. Nabetani and T. Matsumoto: "Improved Structural Homogeneities and Luminescence Efficiencies of InAs Quantum Dots with Nitridation on Dots Surfaces", 8th International Symposium on Contemporary Photonics Technology, Tokyo, Japan (2005-01)
- 36) I. Suemune, S. Ganapathy, K. Uesugi, N. Matsumura, Y. Nabetani and T. Matsumoto: "Role of Nitrogen on Emission Wavelength of InAs Quantum Dots: InAs/GaAs Interfaces and Strain-compensating GaAsN Burying Layers", APS March Meeting Symposium on Dilute Nitride Semiconductors: from Atoms to Devices, LA, USA (2005-03)
- 37) I. Suemune, S. Ganapathy, K. Uesugi, N. Matsumura, Y. Nabetani and T. Matsumoto: "Role of Nitrogen on Emission Wavelength of InAs Quantum Dots: InAs/GaAs Interfaces and Strain-compensating GaAsN Burying Layers", APS March Meeting Symposium on Dilute Nitride Semiconductors: from Atoms to Devices, LA, USA (2005-03)
- 38) 田中悟、豊田啓貴、林賢次郎、水野清義、末宗幾夫、柄原浩:「SiC 表面自己組織化ナノファセット上のカーボンナノチューブの生成ーカイラリティー制御に向けてー」、ナノ学会第3回大会、仙台市民会館 (2005-05)
- 39) 木村聡、熊野英和、遠藤礼暁、末宗幾夫、横井伴紀:「単一量子ドット発光による光子相関測定での同時計数確率と光子 antibunching の励起光強度依存性, Excitation power dependence of coincidence count probabilities in correlation measurements and antibunching of photons emitted from single quantum dots」, 12回量子情報技術研究会 QIT12、NTT 厚木研究開発センター (2005-05)
- 40) S. Kimura, H. Kumano, M. Endo, I. Suemune, T. Yokoi, H. Sasakura, S. Adachi and S. Muto: "Highly Pure Single Photon Generation from Single Quantum Dot", 5th International Conference on Physics of Light-Matter Coupling in Nanostructures, Glasgow, Scotland (2005-06)
- 41) 熊野英和、末宗幾夫:「InAlAs 単一量子ドットの形成と単一光子および光子対発生の検証」、次世代ナノ技術に関する研究専門委員会第4回研究会、東京 (2005-06)
- 42) 海老原正人、熊野英和、末宗幾夫、中下 T、町田英明:「Control of Crystalline Structure of CdO in ZnO/CdO Periodic Structures」, 24th Electronic Materials Symposium, Matsuyama (2005-07)
- 43) K. Uesugi, W. Zhang and I. Suemune: "Bright Luminescence from InAs/GaAs Open Quantum Dots at Room Temperature: Dependence on GaAs Surface Reconstructions", The 23rd International Conference on Defects in Semiconductors (ICDS-23), Awaji Island (2005-07)
- 44) T. Yokoi, S. Adachi, H. Sasakura, S. Muto, H. Kumano and I. Suemune: "Overhauser Shift in a Self-assembled Quantum Dot", Spintech III, Awaji Island (2005-08)
- 45) M. Ebihara, I. Suemune, H. Kumano, T. Nakashita and H. Machida: "Formation of CdO Dots on Atomically Flat ZnO Surfaces", 12th International Conference on II-VI Compounds, Warsaw, Poland (2005-09)
- 46) H. Kumano, S. Kimura, M. Endo, I. Suemune, H. Sasakura, S. Adachi, S. Muto, Z. S. Hai, S. Hirose and T. Usuki: "Relations of Neutral and Charged Excitons in a Single Quantum Dot Studied with Dynamic and Photon Correlation Measurements", 9th Optics of Excitons in Confined Systems and 2nd International Conference on Spontaneous Coherence in Excitonic Systems, Southampton, UK (2005-09)
- 47) M. Fujii, S. Tanaka and I. Suemune: "Ordered Nanofacets on Vicinal SiC Surfaces Induced by Facet-facet Interactions - An Implication to Substrate Off-angles  $\zeta$ ", International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2005, Pittsburgh, USA (2005-09)
- 48) 末宗幾夫、熊野英和、植杉克弘:「単一量子ドットから発生する単一光子起源の同定と制御された単一光子源の実現」、文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「新世代光通信へのイノベーション」第一回公開シンポジウム、東京 (2006-01)
- 49) I. Suemune, H. Kumano, S. Kimura, H. Sasakura, S. Adachi, S. Muto, H. Z. Song, S. Hirose, and T. Usuki: "Origin of Asymmetric Splitting of a Neutral Exciton in a Single Semiconductor Quantum Dot" 4<sup>th</sup> International Conference on Quantum Dots, May 1-5, 2006, Chamonix-Mont Blanc, France.
- 50) Wei Zhang, Katsuhiko Uesugi, and Ikuo Suemune: "Influence of Strain Modulations in Capping Layers of InAs Quantum Dots with Compressive-InGaAs and Tensile-GaAsN Layer Structures" TMS 2006 Electronic Materials Conference, June 28-30, 2006, Pennsylvania State University, PA, USA.
- 51) M. Jo, M. Endo, H. Kumano, and I. Suemune: "Discrimination of isoelectronic centers and type-II quantum dots with ZnTe embedded in ZnSe" TMS 2006 Electronic Materials Conference, June 28-30, 2006, Pennsylvania State University, PA, USA.
- 52) H. Kumano, S. Kimura, M. Endo, S. Adachi, H. Sasakura, S. Muto, and I. Suemune: "Polarization Preservation between Photon Pairs from a Biexciton-Exciton Cascaded Decay Process in a Single InAlAs Quantum Dots" 28th International Conference on the Physics of Semiconductors, Vienna, Austria, July 24-28, 2006.
- 53) T. Mukumoto, T. Yokoi, S. Adachi, H. Sasakura, H. Kumano, S. Muto and I. Suemune: "Optically Pumped Nuclear Spin Polarization in a Self-assembled Quantum Dot" 4th International Conference on Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS-IV), August 15-18, 2006, Sendai.
- 54) H. Nishida, S. Kayamori, H. Sasakura, S. Adachi, S. Muto, and I. Suemune: "Time-resolved Photoluminescence in

Annealed Self-assembled InAs Quantum Dots” 4th International Conference on Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS-IV), August 15-18, 2006, Sendai.

- 55) M. Jo, M. Endo, H. Kumano, and I. Suemune: “Luminescence Study on Evolution from Te Isoelectronic Centers to Type-II ZnTe Quantum Dots Grown by Metalorganic Molecular-beam Epitaxy” 14<sup>th</sup> International Conference on Molecular Beam Epitaxy, Waseda University, Tokyo, Japan, 3-8 September, 2006
- 56) I. Suemune: “Superconductor-based Quantum-dot Light Emitting Diodes (SQLED) - Role of Cooper-pairs in the Recombination Processes in Quantum Dots” Workshop on Photon and Spins: Their Generation, Manipulation, and Detection, December 12-13, 2006, Sapporo.
- 57) M. Fujii, S. Tanaka, and I. Suemune: “Self-organized Nanofacets on Vicinal 4H-SiC (0001) Surfaces” The 8th RIES-Hokudai International Symposium, December 11-12, 2006, Sapporo.
- 58) H. Kobayashi, H. Kumano, M. Endo, I. Suemune, H. Sasakura, S. Adachi, and S. Muto: “Spin Splitting of Neutral Exciton Emission from A Single Quantum Dot” The 8th RIES-Hokudai International Symposium, December 11-12, 2006, Sapporo

#### 4.6 シンポジウムの開催 (組織者名、シンポジウム名、参加人数、開催場所、開催期間)

- 1) 熊野英和、末宗幾夫、II-VI workshop 2005、30名、第一滝本館 (北海道登別市)、2005年3月3日～2005年3月4日
- 2) Ikuo Suemune: Workshop on Photons and Spins - Their Generation, Manipulation, and Detection- (2006.12.12-13, 70名, Hokkaido University)

#### 4.7 予算獲得状況

- a. 科学研究費補助金 (研究代表者、分類名、研究課題、期間)
  - 1) 末宗幾夫、萌芽研究、半導体3次元微小光共振器を用いた単一光子による量子位相変調の研究 (2003～2004年度)
  - 2) 熊野英和、若手研究 B、自己形成メサ上に作製した単一量子ドット中の多重励起子からの相関光子対発生 (2003～2004年度)
  - 3) 末宗幾夫、基盤研究 B 一般 (2)、3次元微小光共振器における巨大プーセル効果の検証 (2002～2003年度)
  - 4) 田中悟、基盤研究 A 一般 (2)、原子レベル表面状態制御による低欠陥窒化物半導体のヘテロエピタキシー (2002～2004年度)
  - 5) 末宗幾夫、特定領域研究 (2)、可視・赤外波長域での多波長同時発光デバイスとその集積化の研究 (2001～2003年度)
  - 6) 植杉克弘、若手研究 B、新しい GaNAsSe 半導体混晶に

よるブロードバンド光通信用光源の開発 (2003～2005年度)

- 7) 末宗幾夫、基盤研究 S、ピラミッド微小光共振器を用いた量子ドット励起子状態のコヒーレント制御に関する研究、2004～2008年度
- 8) 末宗幾夫、特定領域研究、光ファイバー通信波長帯量子ドットを用いた高次機能光子源の研究、2005～2008年度
- 9) 熊野英和、若手研究 A (2006～2008年度) 高効率量子ドット量子光源の作製と空間伝送量子暗号通信への応用に関する研究

#### 4.8 共同研究

##### a. 所内共同研究 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

- 1) 石橋晃、徳本洋志、末宗幾夫、中村貴義、近藤憲治 (電子科学研究所)、極微細接合素過程に対する次元・空間配位の影響の研究、2003～2004年度、次元数表記で 3-0-3、3-2-0-2-3などの従来行われてきた接合構造・配置に対し、特に3-2-0-R2-3(R2は相対的に回転した2次元面であることを示す)の極微細接合について理論的に考察するとともに、この構造(ユニット)を作るための要素技術を確立する。

##### b. 大型プロジェクト・受託研究 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

- 1) 末宗幾夫、植杉克弘、熊野英和 (通信放送機構)、高い温度安定性と光学利得を持つ III-V-N 系長波長半導体レーザの研究、1999～2003年度、127,570千円、III-V-N 窒化物混晶半導体の新物性の解明と高性能レーザへの応用
- 2) 武藤俊一、末宗幾夫、熊野英和、植杉克弘 (科学技術振興機構): 「量子情報処理ネットワーク要素技術」、2002～2006年度、59,680千円、量子ドットの電子スピンを用いた量子演算の実験的検証を行うとともに、その光量子情報通信との整合性を検証し、量子情報処理ネットワークの要素技術を開発する

- 3) 末宗幾夫、熊野英和、植杉克弘、田中和典、菅博文、山西正道、赤崎達志、高柳英明 (科学技術振興機構): 「超伝導フォトニクス創成とその応用」、2005～2010年度、157,500千円、これまで遊離していた超伝導領域とフォトニクスをつなぐ基幹デバイスを開発する。

##### c. その他 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

- 1) 熊野英和 (電子科学研究所プロジェクト研究(B)): 「半導体単一光子発生源に向けた量子ドット-光共振器結合の研究」、2003～2004年度、1,700千円、半導体単一光子発生源に向けた量子ドット-光共振器結合の研究

#### 4.9 受賞

- 1) 横井伴紀、足立智、笹倉弘理、椋元崇、武藤俊一、宋海智、廣瀬真一、臼杵達哉、熊野英和、末宗幾夫: 講

演奨励賞受賞「自己集合量子ドットでのオーバーハウザーシフトの観測」(応用物理学会) 2005年9月

#### 4.10 社会教育活動

##### a. 公的機関の委員

- 1) 末宗幾夫: 電子情報通信学会 次世代ナノ技術に関する次元研究専門委員会専門委員 (2004年3月1日~2006年2月28日)
- 2) 末宗幾夫: JJAP 編集委員 (2003年4月1日~現在)
- 3) 末宗幾夫: 独立行政法人 物質・材料研究機構 研究課題「電子・光極微応答の解明と半導体機能の発現に関する研究」中間評価委員 (2003年度)
- 4) 末宗幾夫: ナノ物質材料微細構造支援事業解析支援事業プロジェクト運営委員会委員 (2002年10月1日~2006年3月31日)
- 5) 末宗幾夫: 日本学術振興会平成14年度特別研究員等審査会専門委員 (2002年8月1日~2004年7月31日)
- 6) 末宗幾夫: 日本学術振興会ワイドギャップ半導体光・電子デバイス第162委員会委員 (2001年4月1日~現在)
- 7) 末宗幾夫: 日本学術振興会光電相互変換第125委員会委員 (2001年4月1日~現在)
- 8) 熊野英和: 日本学術振興会光電相互変換第125委員会委員 (2001年4月1日~現在)
- 9) 末宗幾夫: 独立行政法人 物質・材料研究機構 平成16年度実施プロジェクト研究4課題 (ナノテクグループ) の事前評価委員 (2004年度)

##### b. 国内外の学会の主要役職

- 1) 末宗幾夫: 11th International Conference on II-VI Compounds, Program Committee (2003年9月22日~2003年9月26日)
- 2) 田中悟: ICNS5実行委員, 論文委員 (2003年1月1日~2003年5月1日)
- 3) 末宗幾夫: 16th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM'04), Program Committee (2004年5月31日~2004年6月4日)
- 4) 末宗幾夫: program committee of the Second International Symposium on Point Defects and Nonstoichiometry (ISPN-2) (2005年10月3日~2005年10月5日)
- 5) 末宗幾夫: 2006年9月, 分子線エピタキシー国際会議 (MBE-2006) プログラム委員会 <III-V, II-VI, IV Materials Area> III-V materials, II-VI materials, SiGe and SiC related materials 領域委員長
- 6) 末宗幾夫: 19th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM'07) May 14-18, 2007, Matsue, プログラム委員会 Epitaxy 領域委員長

##### c. 修士学位及び博士学位の取得状況

###### ・修士学位

- 1) 飛高功明: 低屈折率膜上への ZnS メサ型光共振器構造の作製と評価に関する研究 (平成16年6月)
- 2) 中屋大佑: ZnS 三次元光共振器の構成方法とその評価に関する研究 (平成17年3月)
- 3) 中川啓志: 周期的 SiC ナノ表面構造に関する研究 (平成

17年3月)

- 4) 木村 聡: InAlAs 単一量子ドットを用いた単一光子発生 (平成18年3月)
  - 5) 豊田啓貴: SiC 熱分解法によるカーボンナノチューブの生成機構 (平成18年3月)
  - 6) 宮本知幸: SiC ナノファセット上における GaN ナノ構造に関する研究 (平成18年3月)
  - 7) 寺田一教: SiC ナノファセット構造を利用した SiO<sub>2</sub> / SiC 界面特性向上に関する研究 (平成18年3月)
  - 8) 藤井 政弘: 傾斜 SiC (0001) 表面におけるナノファセットの形成と周期化機構に関する研究 (平成19年2月)
- ・博士学位 (課程博士)
- 1) 海老原正人: 表面構造制御された基板におけるワイドギャップ半導体の結晶成長に関する研究 (平成19年6月)
- ・博士学位 (論文博士)
- 1) 吉本直人: 「半導体光スイッチの偏波無依存化ならびにスポットサイズ変換機能集積化に関する研究」 (平成15年6月)
  - 2) 熊野英和: 「ワイドバンド半導体量子構造における励起子効果の増大と原子様離散化準位の形成に関する研究」 (平成16年3月)

##### d. 担当授業科目 (対象、講義名、担当者、期間)

- 1) 工学部、応用数学2、末宗幾夫、2003年10月1日~2004年2月18日
- 2) 全学部共通、ナノテクノロジー入門、末宗幾夫、2003年10月1日~2004年3月31日
- 3) 工学研究科、光電子物性工学特論、末宗幾夫、田中悟、2003年4月1日~2003年9月30日
- 4) 工学部、統計力学、田中悟、2003年4月1日~2003年9月30日
- 5) 工学研究科、光電子物性学特論、末宗幾夫、田中悟、2004年4月1日~2004年9月30日
- 6) 全学部共通、21世紀を拓くナノ・光科学、末宗幾夫、2004年4月1日~2004年9月30日 (分担)
- 7) 工学研究科、応用数学2、末宗幾夫、2005年10月1日~2006年3月31日
- 8) 工学研究科、光電子物性学特論、末宗幾夫、田中悟、2005年4月1日~2005年9月30日
- 9) 全研究科共通、ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論I (ナノ材料の科学) 末宗幾夫、2006年7月1日~2006年7月31日 (分担)
- 10) 情報科学部、応用数学II演習、熊野英和、2006年4月1日~2007年3月31日
- 11) 全科目共通、環境と人間、次世代産業革命の旗手=ナノテクノロジー、末宗幾夫、2006年4月1日~2006年9月30日 (分担)
- 12) 工学部、電子デバイス工学、末宗幾夫、2006年4月1日~2006年9月30日
- 13) 工学研究科、光電子物性学特論、末宗幾夫、田中悟、2006年4月1日~2006年9月30日

#### f. ポスドク・客員研究員など

H15年

- ・ポスドク（1名）  
栗本誠（北海道大学電子科学研究所電子材料物性部門光材料研究分野）
- ・客員研究員（2名）  
Periyasamy Thilakan（北海道大学電子科学研究所電子材料物性部門光材料研究分野）、Ganapathy Sasikala（北海道大学電子科学研究所電子材料物性部門光材料研究分野）

H16年

- ・ポスドク（3名）  
ウェイ ジャン（北海道大学電子科学研究所電子材料物性部門光材料研究分野）、  
遠藤礼暁（電子科学研究所電子材料物性部門光材料研究分野）、  
栗本誠（北海道大学電子科学研究所電子材料物性部門光材料研究分野）
- ・客員研究員（2名）  
Periyasamy Thilakan（北海道大学電子科学研究所電子材料物性部門光材料研究分野）  
Ganapathy Sasikala（北海道大学電子科学研究所電子材料物性部門光材料研究分野）

H17年

- ・ポスドク（4名）  
定昌史（北海道大学電子科学研究所電子材料物性部門光材料研究分野）、ウェイ ジャン（北海道大学電子科学研究所電子材料物性部門光材料研究分野）、遠藤礼暁（電子科学研究所電子材料物性部門光材料研究分野）、栗本誠（北海道大学電子科学研究所電子材料物性部門光材料研究分野）
- ・客員研究員（2名）  
Periyasamy Thilakan（北海道大学電子科学研究所電子材料物性部門光材料研究分野）、Ganapathy Sasikala（北海道大学電子科学研究所電子材料物性部門光材料研究分野）

H18年

- ・ポスドク（4名）  
定昌史（日本学術振興会）、遠藤礼暁（電子科学研究所ナノ光高機能材料研究分野）、林雄二郎（電子科学研究所ナノ光高機能材料研究分野）、井筒康洋（電子科学研究所ナノ光高機能材料研究分野）



# 電子機能素子部門

## 研究目的

物質や生物が有する階層的な構造性と各階層に特徴的な機能発現の解明に基づいて、電子科学を支える機能素子の設計と開発に関わる基礎的研究を行うことを目的としている。



## 量子機能素子研究分野

教授 石橋 晃 (東大院、理博、2003. 01～)

講師 近藤憲治 (早大院、工修、2003. 04～)

助手 海住英生 (慶大院、工博、2004. 09～)

院生

・H15-18年度

博士課程

Md. Dalilur Rahaman、川口敦吉、山形整功

修士課程

川口敦吉、山形整功、五味田こず枝、小野明人

### 1. 研究目標

ムーアの法則に代表されるロードマップに沿った展開を示しつつも遂に限界が指摘され始めた Si ベースの LSI は、その構造が外在的ルールで決まるトップダウン型のシステムの代表格であるが、素子サイズ上、動作パワー上、及び製造設備投資上の限界がいわれて久しい。トップダウン系に対するアンチテーゼとして最近その重要性が認識されてきたもう一つの流れは、自律分散型相互作用など内在的ルールにより構造が決まっていくボトムアップ系である。バイオ系に代表される自律立分散系の他、たとえば半導体量子ドットなど無機物のセルフアセンブル系を含め、広くボトムアップ系に期待が集まっている。しかしながら、両系は未だに専ら独立で、トップダウン、ボトムアップ両系の間に橋渡しすること(究極的には統合・融合すること)は極めて重要にも係らず、未だ実現されていない。従来の「ボトムアップとトップダウンの統合」が両者のいいとこ取りでナノ構造を作るといふもの(積集合)であったのと異なり、我々は両者の相互乗り入れを可能とする(和集合)の観点から取組んでいる。両者の構成原理が大きく異なるため、勿論容易ではないが、もしトップダウン-ボトムアップの両系を繋ぐことができれば、今後ナノテク・ナノサイエンス分野で得られる新しい効果や機能を既存の Si ベースの IT インフラ構造と接続し相乗効果を引出しつつナノとマクロを結合することができる。当研究室では、このような立場から、局所的かつ個別的にアドレスすることの可能なナノ構造体を大局的サイズで得、さらに新しい量子機能を創出することを目指した基礎研究を進めている。

### 2. 研究成果

・平成15-16年度

(a) トップダウン系とボトムアップ系の接続の基礎

半導体レーザーや LED は LSI 同様、光リソグラフィを用いて作製されるという意味でトップダウン系デバイスのひとつである。ボトムアップ系とトップダウン系との接続を目指したまず最初のステップとして、我々は、室温連続発振の達成と長寿命化の試みを通じて物性を良く知っている II-VI 族レーザーの劣化に着目した。ZnSe 系レーザーの劣化した 2 次元活性層にはフラクタル次元 1.5 の転位ネットワーク

というボトムアップ構造が発生していること、同レーザの劣化は自己組織化臨界現象のひとつであること等に基づき、我々は積層欠陥の導入位置の制御、及び電子-ホールペアの非発光再結合量の調節により、ボトムアップ構造の始点と拡がり方を制御し、その終点をトップダウン構造と連結する可能性を示した。まだ primitive な段階ではあるが、トップダウン系とボトムアップ系との接続の概念を実際の物質を通じて implement する可能性を示した。

(b) 2 次元電子系の電子相関の研究

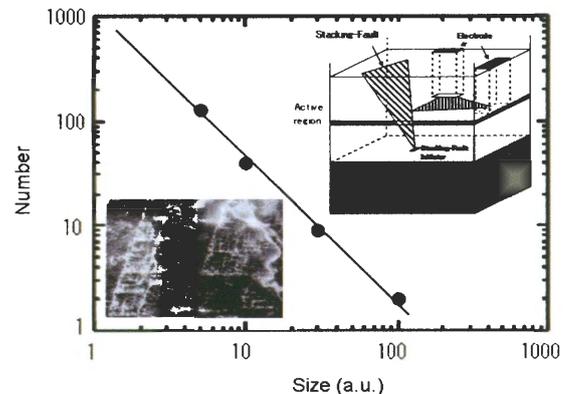


図 1. 劣化した ZnSe 系レーザーの活性層に発生した転位網の透過電子顕微鏡写真 (左下内挿図) に見られる自己相似的な V 字構造のサイズと個数のプロット。傾き 1.5 のべき乗則を示すボトムアップ構造となっている。右上内挿図に示すように、始点と終点をトップダウン構造に繋ぐことができる。

薄膜金属リボンエッジ対向交差構造系の理論解析に向けて、まずその構成要素である薄膜金属リボンのモデルとして 2 次元電子ガス系を取りその解析を進めている。この 2 次元電子ガス系に対して乱雑位相近似を超えて、GW 近似という電子間クーロン斥力の遮蔽を取り入れた近似を用いて、2 次元電子ガス系の準粒子のエネルギースペクトルを求める事が出来た。具体的には  $r_s=1.5$  の 2 次元電子ガスにおいて、電子の自己エネルギーを図 2 のように求めることが出来た。図 2 は電子の自己エネルギーの実部と虚部のエネルギー依存性を示してある。自己エネルギーの実部はエネルギーの繰り込み量を示し、虚部はその準粒子の寿命の逆数である。これから準粒子のエネルギーは、式 (1) を使って求められる

$$E + \mu = \xi(p) + \text{Re}(\Sigma(p, E)) \quad (1)$$

図 3 はそのときの 1 電子スペクトラム関数である。これらのピークの位置が式 (1) の解に相当する。

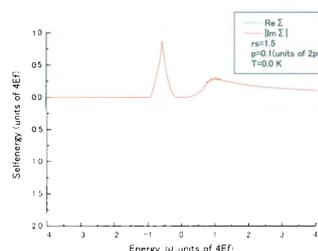


図 2. 自己エネルギーのエネルギー依存性

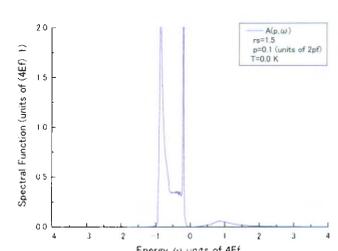


図 3. 1 電子スペクトラム関数

また一方、2次元において、任意のポテンシャルに閉じ込められた電子のエネルギー準位を1電子近似を超えて、交換・相関エネルギーを取り込んで計算する事が出来るようになった。具体的には密度汎関数法(DFT)によって局所密度近似によって交換・相関効果を取り入れ、Kohn-sham方程式をセルフコンシステントに解くことによって、任意ポテンシャルに閉じ込められた電子の基底状態を得ることが出来た。今後ポテンシャルの対称性が電子の基底状態や交換・相関効果に及ぼす影響を調査する。図4は調和振動子型ポテンシャルに電子を32個詰めた場合の基底状態の電子密度分布のコンターマップである。図4を見ると判るが電子が規則正しく、ポテンシャルの中で配置して、回転対称性のある調和振動子の中で人工原子のように電子が配置しているのがわかる。

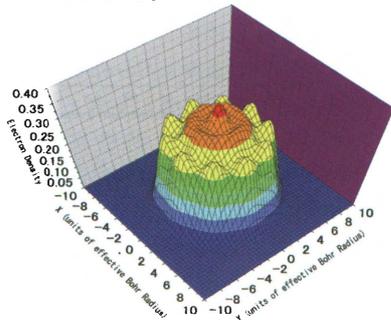


図4. 交換・相関効果を考慮した調和型ポテンシャル中の電子の基底状態

(c) コンパクトクリーンユニットシステムの開発

従来は巨大なクリーン空間を必要とし、コンパクトな生産システムとすることが出来なかったが、トップダウン・ボトムアップ両系の融合をその実験プラットフォームでも支えるべく、通常実験室環境に直置きしてもクラス10の高清浄度を持つクリーンボックス連結システムの要素技術を開発しつつある。大規模なクリーンルームでは、試みることの難しいリスクの大きいプロセス開発を、クリーン度を落とすことなく可能とするために、基本的なクリーンユニットを従来と異なり3方向に接続可能なシステムを考案した。かかるユニットを多重に連結した、簡便かつ安価なシステムにて高度のクリーン環境(端的にはクラス10)が可能か、実現するためには何が必要かの検証を進めた。従来タイプのクリーンルームでは、外気を一定割合で取り込むので、ダスト密度を  $n(t)$ 、クリーン空間の体積を  $V_0$ 、その空間の内面積を  $S$ 、単位面積・単位時間当たりのダスト微粒子の脱離レートを  $\sigma$ 、クリーン空間の設置環境(即ち外気)のダスト密度を  $N_0$ 、 $\gamma \cdot V$  を HEPA フィルターのダスト捕集率及び風量とすると、ダスト密度の時間変化は

$$V_0 \frac{dn(t)}{dt} = S\sigma - n(t)V + N_0V(1-\gamma)^2$$

なる微分方程式で記述される(実情に合わせ、フィルターは2重に配置しているとした)。このとき、ダストの濃度は

$$n(t) = \left\{ \frac{S\sigma}{V} + (1-\gamma)^2 N_0 \right\} + \left\{ \gamma(2-\gamma)N_0 - \frac{S\sigma}{V} \right\} e^{-\beta t}$$

となり、十分時間がたってもダスト濃度  $n(t)$  は、外気の

ダスト密度の一次の関数となってしまふ。つまり設置環境に大きく左右されてしまふ。

そこで、一種のターボシステム化して、排気を再び inlet に戻してやることを考える。このとき(フィルターも一つに簡略化できて)ダスト密度の満たす微分方程式は

$$V_0 \frac{dn(t)}{dt} = S\sigma - n(t)V + n(t)V(1-\gamma) = S\sigma - \gamma V n(t)$$

となる。ダスト微粒子密度は

$$n(t) = \frac{S\sigma}{\gamma V} + \left( N_0 - \frac{S\sigma}{\gamma V} \right) e^{-\beta t}$$

と求まり、時間が十分たてば(第2項は急速にゼロに近づき)外気のダスト密度を含まない第1項のみが残る。即ち、本クリーンボックス結合システムは、その設置環境によらず、究極の清浄度が得られる。実際、通常の実験室環境に設置したにも係らず、図5(青丸)に示すように、クラス10の清浄度を達成することができた。

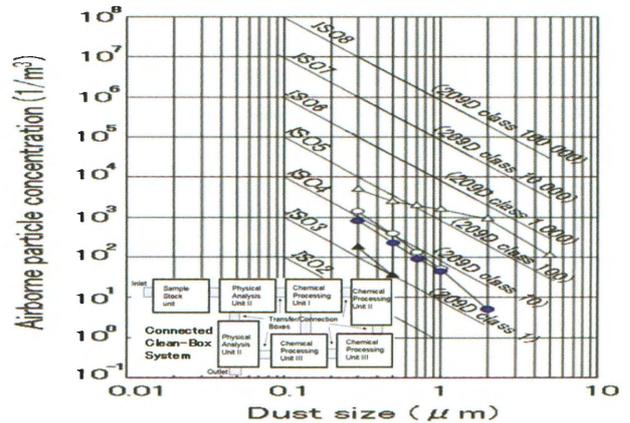


図5. 内挿図に示すクリーンボックス連結システムを構成する物理解析ボックス(内挿図左下角のユニット)における清浄度のプロット(青丸)。白三角(黒三角)は高性能クリーンルームにおける通常領域(高度クリーン領域)における清浄度を示す。本連結システムは、通常環境直置きにも係らず白三角と黒三角の中間の値を示した。

・平成16-17年度

(a) トップダウン系とボトムアップの接続の基礎、及び量子十字構造

フレキシブルなテープ上に金属薄膜を蒸着した後に巻き上げるによりスパイラルヘテロ構造体を作製し、真空蒸着法を持つ原子層オーダーの制御性を利用して図1に示すように1nm~10nmの金属層と0.1~10μmの絶縁層より成るバウムクーヘン様の構造体の作製を目指している。

この金属/絶縁体スパイラルヘテロ構造体から切り出した1cm角の薄片を2枚交差させて張り合わせることで、リソグラフィでは極めて難しい極小断面積の、超多重並列配置の対向電極群を形成する。即ち、従来のリソグラフィによる十字構造(クロスバー構造)が金属配線(リボン)の面と面の交差つまり face-to-face の配置であったのに対し、本研究課題が可能とする十字交差は図6に示すように金属/絶縁体ナノバウムクーヘンの薄片の2枚重ねであるので、金属層(リボン)の縁と縁の交差つまり edge-to-edge の配置となる。

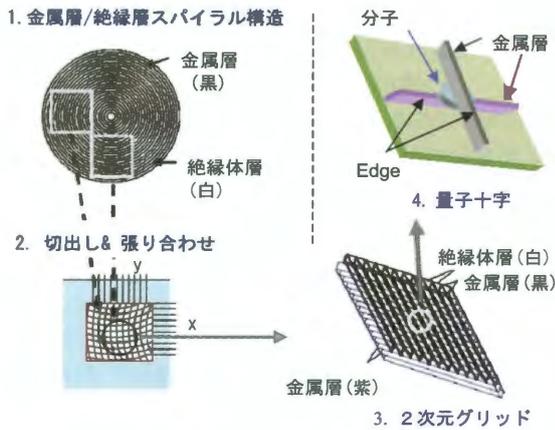


図6. ナノバウムクーヘン作製と2枚重ね

エッジ対向させた極薄膜金属リボン(量子十字構造)では、従来の対向針状電極等の対称的電位と大きく異なり図7に示すような $D_{2d}$ 対称性をもつ電極配置となる。この配置の下では、図7に示すように、金属リボンに蓄える電荷量と極性によって、十字接合部のポテンシャルの形状と対称性を、下に凸の4回対称の $C_{4v}$ (図7右)からサドルポイント状の $D_{2d}$ の対称性(図2左)へと大きく変えることができる。これは従来のSi MOSデバイスは勿論、従来の分子素子電極でも見られない全く新しい状況であり、ポテンシャル対称性変調素子が実現できると期待される。

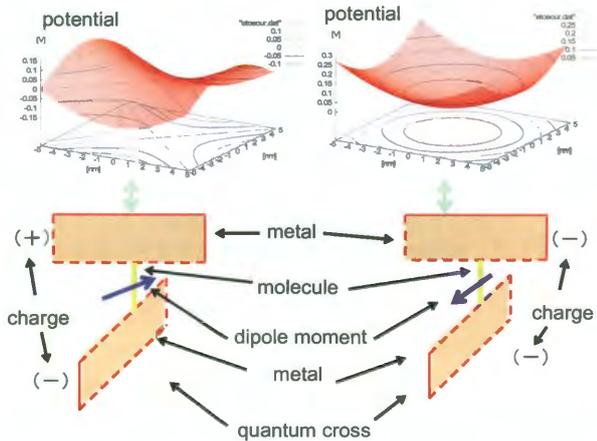


図7. 量子十字構造における両金属リボンの中間(の両対向リボンエッジに平行な)平面に於けるポテンシャル分布

(b) ナノ構造体の理論的検討

2次元電子液体に対して乱雑位相近似を超えて、GW近似という電子間クーロン斥力の遮蔽を動的に取り入れた近似を用いて、2次元電子液体の準粒子の運動量分布を求める事が出来た。具体的には $r_s=1$ の2次元電子液体において、準粒子の運動量分布を図8aのように求めることが出来た。図8aは相互作用がなければ、フェルミ運動量が0になるFermi-Dirac分布のはずであるが、相互作用の導入によって繰り込みが起きて、変化しているのがわかる。図8bは比較のため3次元電子液体で $r_s=1$ の密度で計算した結果である。2次元の方が電子間相互作用の影響が大きいことがわかる。

図8. a) 準粒子の運動量分布 (2次元電子)

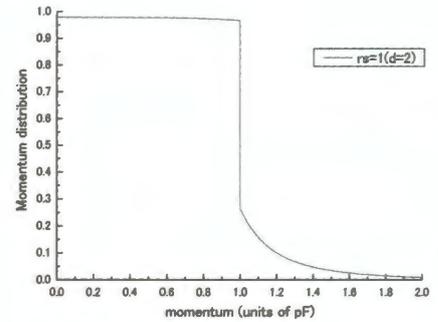
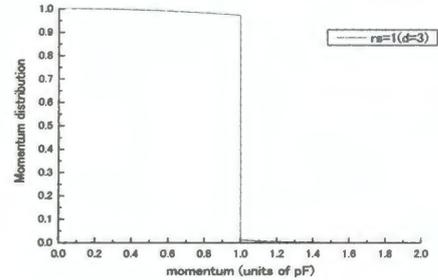


図8. b) 準粒子の運動量分布 (3次元電子)



任意のポテンシャルに閉じ込められた電子のエネルギー準位を1電子近似を超えて、交換・相関エネルギーを取り込んで計算する事が前年度出来るようになった。今年度はそれを具体的な問題に応用した。具体的には量子ドットに閉じ込められた電子系の付加エネルギーを求めると共に量子ドットに不純物が混じったときの付加エネルギーの変化を、量子ドットを調和振動子型のポテンシャルで近似し、かつ不純物を量子ドットの中心に円筒型のポテンシャルを置くことで近似して求めた。図9aに不純物があるときのポテンシャルと付加エネルギーの説明を示してある。付加エネルギー(Addition Energy)は密度汎関数理論を用いて全電子エネルギーを求め、そこから図9a中の式から求めた。その結果を図9bに示す。円柱ポテンシャルの高さは無限大とし、かつ半径は0.2有効ボーア半径とした。量子ドットの半径は10有効ボーア半径である。図からわかるように2%ほどのポテンシャルが入るだけで大きな変化があり、これは量子リングの付加エネルギーと相似であることもわかった。

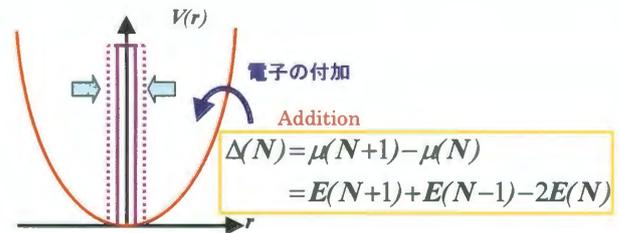


図9. a) 円柱型ポテンシャルを内包した調和振動子型ポテンシャル

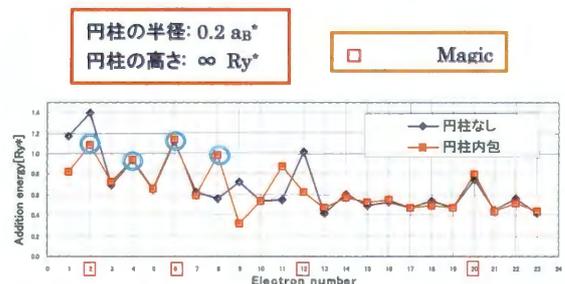


図9. b) Addition Energy Spectrum

・平成17-18年度

(a) 量子十字構造におけるトランスポート理論計算

量子十字構造は金属層の縁と縁の間に絶縁膜が挟まれた Edge-to-Edge 構造で構成されている。図10aに作製方法を示す。真空蒸着装置により金属層/絶縁膜スパイラルヘテロ構造を作製する。互いに90度対向した金属層/絶縁膜の多層膜薄片を切り出し、極薄絶縁膜を挟んで貼り合わせる。これにより多重配列の量子十字構造ができる。金属層/絶縁膜の成膜方向の分解能が原子層レベルであることから、接合面積を極めて小さくすることができるので、単一分子や少数分子のキャラクタリゼーションが可能となる。また、高密度メモリ、対称性変調素子、高感度磁気センサーへの新機能デバイス応用も期待できる。現在までに分子エレクトロニクスデバイスやスピントンネルデバイス等の Face-to-Face 構造のトランスポートに関しては明らかになっているが、Edge-to-Edge 構造については明らかになっていない。そこで、我々は量子十字構造のトランスポートに関して理論計算を行った。図10a(右上段)に示す Edge-to-Edge 構造において、自由電子モデル、及び、WKB 近似を適用し理論式を導いた。金属リボンのフェルミエネルギーは5.51 eV (for gold)、温度は300Kとした。金原子の場合、Sharvin's formula を用いるとコンタクトサイズ径が2-3 nm 以下にて量子化コンダクタンスが起きる。本計算ではその効果を除外するため、金属リボン幅を2-3 nm 以上とした。図1bに電流電圧特性の計算結果を示す。印加電圧の上昇に伴い電流密度が増加する。これは Face-to-Face 構造で見られるトンネル効果と同様の現象である。興味深い結果は2次元金属リボン幅が薄くなるに従い電流密度が小さくなることである。これは従来の Face-to-Face 構造には見られない新しい現象であり、上部電極の z 方向の量子化と

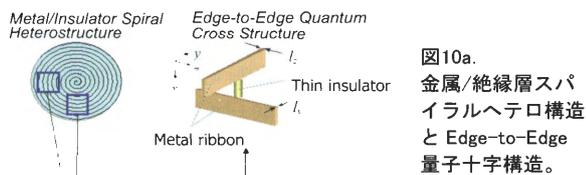


図10a. 金属/絶縁層スパイラルヘテロ構造と Edge-to-Edge 量子十字構造。

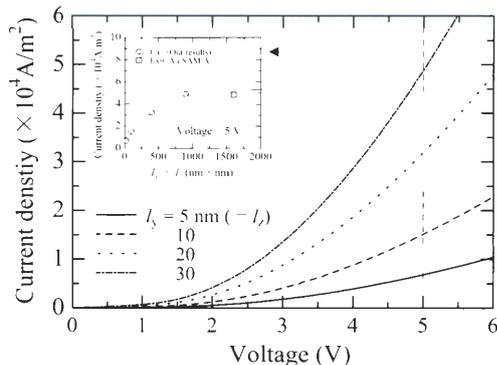


図10b. 量子十字構造の電流電圧特性の計算結果。金属リボン幅  $l_y$  ( $=l_x$ ) は 5, 10, 20, 30 nm である。フェルミエネルギーは 5.51 eV (for gold)、温度は300 K である。絶縁層バリア膜厚は 0.5 nm、バリア高さは 1.0 eV である。

下部電極の y 方向の量子化に起因する。また、本理論計算を用いれば、実験結果とのフィッティングにより金属リボン間の薄膜絶縁層の膜厚及びバリア高さを求めることができる。以上より、本計算結果は単一分子や少数原子のキャラクタリゼーション及び高密度メモリ等への応用に大きな寄与を示すと期待できる。

(b) 量子十字構造の作製

図10a に示す量子十字構造の作製には巻取式真空蒸着装置を用いている。図11にPEN膜上のAu膜厚の蒸着時間依存性を示す。25 nm 以上の膜厚測定には触針振動型膜厚計による機械的方法を用い、25 nm 以下の膜厚測定にはレーザー透過光強度測定による光学的手法を用いた。これにより0.44 nm/min のリニアな膜厚レートを得ることができ、5, 10, 15, 20 nm の薄膜制御が可能となった。今後、ラッピング技術、及び、ペースト技術を構築し、量子十字構造を作製する。これにより、単一分子・少数分子のキャラクタリゼーション、及び、高密度メモリ、対称性変調素子、高感度磁気センサー等の新機能デバイスの創成を目指す。

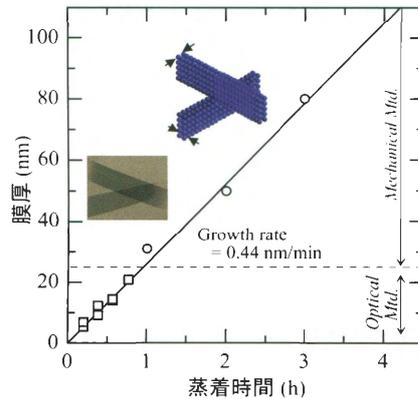


図11. PEN膜上のAu膜厚の蒸着時間依存性

(c) ナノ構造体の理論的検討

密度汎関数法による現実的な系の電子状態の計算を行った。考察した系は図12のような3個の同心円上の量子リングにおける電子状態を交換・相関を考慮して計算を行った。

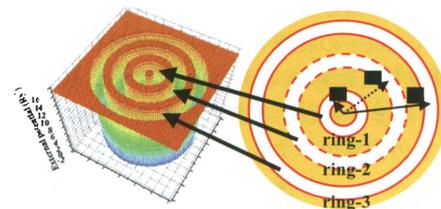


図12. 同心円状の量子リングの半径と閉じ込めエネルギー

量子リングは高さ15 Ry\*のエネルギーを持ち、リング1とリング12の半径をそれぞれ2.4  $a_B^*$  と12  $a_B^*$  に固定し、リング2の半径をこの間で変化させながら電子状態の計算を行った。

図13が計算結果である。図4の横軸はリング2の位置をリング1とリング3の間の相対位置で表現してある。すなわち、0.5の時がちょうどリング2がリング1とリング3の真ん中にあるときである。直感に反して、最低エネルギーは真ん中ではなくリング2がリング1に近づいた時である事がこの計算から確認された。またこの計算から、内側のリングであるほど電子は少ない事、Bonding state を形成す

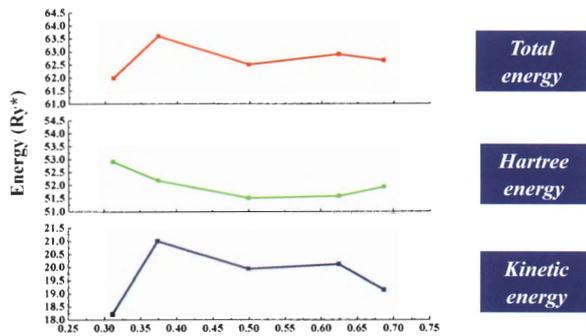


図 13. 同心円状の量子リングの全エネルギーと各エネルギーの関係

ることで、よりエネルギーの低い状態を実現することが出来る事、その場合、外側のリングと bonding state を形成するよりも、内側のリングと形成したほうがよりエネルギーの低い状態を形成することが出来る事が判明した。

今年度はまた電子状態を近接場光学を用いて観察することを視野において、回折光学系のシミュレーションも行った。具体的にはランド・グループディスクにおけるフォーカスエラー信号のシミュレーションを行った。その結果、フォーカスエラー信号にオフセットの生じる原因を特定する事が出来た。

(d) コンパクトクリーンユニットシステムの開発

トップダウンとボトムアップの融合・統合をプラットフォームベースで実現するため、ISO クラス-1 の高潔浄度を持つクリーンユニットシステムプラットフォームの要素技術を開発した。ダスト密度を  $n(t)$ 、クリーン空間の体積を  $V$ 、空間内表面積を  $S$ 、単位面積・単位時間当たりのダスト粒子の脱離レートを  $\sigma$ 、設置環境のダスト密度を  $N_0$ 、フィルターのダスト捕集効率を  $\gamma$  とすると、ダスト粒子密度は

$$n(t) = \frac{S\sigma}{\gamma F} + (N_0 - \frac{S\sigma}{\gamma F})e^{-\frac{\gamma F}{V}t}$$

で表すことができる。時間が十分経てば、第2項は急速にゼロに近づくので、外気のダスト密度を含まない第1項のみが残る。すなわち、本クリーンユニットシステムは、その設置環境によらず、究極の清浄度が得られる。単位面積・単位時間当たりのダスト粒子の脱離レート  $\sigma$  を低減した結果、通常実験環境に設置したにも係らず図14に示すように、ISOクラス-1の高潔浄度を達成することができた。本技術は量子十字構造作製のためのコアテクノロジーとなると同時に、ナノテクノロジー、バイオテクノロジー、次世代植物作製技術の異種研究分野の融合・統合を可能にするプラットフォームベーステクノロジーとしても期待できる。

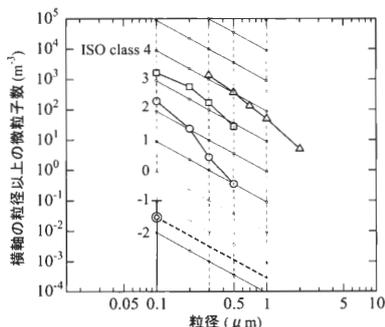


図14. 清浄度の実測値。△、□、○はHEPAフィルタを用いたときの値、◎は自己発塵のないフィルタを用いたときの値。これによりISO-1～-2級の極限高潔浄度を得た。

### 3. 今後の研究の展望

次のステップとして、2次元ボトムアップ構造への局所アドレッシングを可能とすることにより、2次元ボトムアップ系とトップダウン系との接続を実現することを目指している。従来、トップダウン系をなす半導体集積回路などでは一括露光等によるパターンニングが用いられ、実質的な配線幅は数十 nm であったが、本研究ではサブナノメートルの膜厚制御せいをもつ真空蒸着の特性を活かし、且つ成長速度が遅いという弱点を克服することにより、丁度鳴門かまぼこの如く金属と絶縁体が巻き込まれたスパイラル状円盤を形成し、そこから一角を切出すことにより得られる金属/絶縁体交互多層膜薄片を金属層がクロスするように重ねた構造(ダブルナノバウムクーヘン構造)を創ることを試みる。この構造中には、多重平行金属リボン群によるエッジ対向した交差構造(Quantum Cross)が  $N \times N$  個形成されることで、ナノサイズの分解能とバルクサイズの拡がりやを両立した  $x y$  グリッドが実現する。両薄片に挟まれた2次元ボトムアップ構造に対し原子層の分解能でボトムアップ構造の各部分へ個別アクセスが可能である。しかも本構造は主要部分がリソグラフィフリーで形成できる。

また、本研究の目指すダブルナノバウムクーヘン構造は、既存の素子の特性を飛躍的に向上させる可能性も持っている。リボンの厚みと巾を独立制御できることにより、例えば、分子素子では従来の Break Junction 電極(Reed, 1997)や 40nm 程度の粗大な Cross-bar 構造(Williams, 2002)と異なり、配線抵抗は小さく抑えながらも、対向2電極のクロスセクションを極めて小さく押さえ真に少数の分子系を挟む事ができるのみならず、原子層オーダーで急峻な  $D_{2d}$  対称性もつサドルポイント状のナノスケール電極配置の創成と同電極に挟まれた活性エレメントの物性評価を行うことができる。2次元電子液体において、さらに厳密な解を得るために、バーテックス補正を取り入れた  $GW\Gamma$  法を開発し、適用する。密度汎関数法の基礎に関わる交換・相関カーネルについて新しいカーネルの提案を行う。またすでに結果が得られつつあるが、ナノコンタクトにおけるコンタクト物質の次元性とコンダクタンスについての関係を明らかにする。また磁気記録応用でも超高密度化の可能性が期待できる。ダブルナノバウムクーヘン構造により得られる多重並列エッジ対向金属リボン交差構造により(2次元的な)ナノとマクロの世界とをつなぎ、トップダウン-ボトムアップ両系の統合に端緒をつける可能性が出てくる。またスパイラルヘテロ構造を用いた新型太陽電池の応用も期待される。

### 4. 資料

#### 4.1 学術論文等

- 1) A. Ishibashi and K. Kondo: "Current-injection induced dislocation networks in II-VI laser diodes: bottom-up structures emerging in top-down system", *Electron. Lett.*, 40(20): 1268-1269 (2004)
- 2) H. Kaiju, K. Saisho and K. Shiiki: "High sensitive magntic

sensing method using magnetoresistance devices”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 43(8A): 5600-5603 (2004)

- 3) N. Hirabayashi, H. Kaiju and K. Shiiki: “Radio frequency magneto-impedance effect in spin tunneling junctions”, *Rev. of Sci. Instrum.*, 75(6): 2061-2064 (2004)
- 4) H. Kaiju, N. Kawaguchi and A. Ishibashi: “Study of very low airborne particle count in clean-unit system platform”, *Rev. Sci. Instrum.*, 76: 085111-085113 (2005)
- 5) H. Kaiju and K. Shiiki: “Oscillation controlled magnetic sensing by using spintronics devices”, *Comp. Comm. Cont. Tech. Proc.*, 2: 31-34 (2005)
- 6) A. Ishibashi, H. Kaiju, Y. Yamagata and N. Kawaguchi: “Connected box-units-based compact highly clean environment for cross-disciplinary experiments platform”, *Electron. Lett.*, 41(13): 1268-1269 (2005)
- 7) K. Kondo: “Analysis of Origin of Offset Seen in Astigma Method when We Read Land-Groove Disk”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 46, PT.1(No. 1): 229-231 (2007)
- 8) N. Kawaguchi, M. Rahaman, H. Kaiju and A. Ishibashi: “Physical Analysis of Connected Clean Units in Clean-Unit System Platform”, *Japanese Journal of Applied Physics*, 45(8A): 6481-6483 (2006)
- 9) H. Kaiju, Y. Otaka and K. Shiiki: “Influence of thermal annealing on oxidation states of Al-oxide in spin tunneling junctions”, *J. Magn. Magn. Mater.*, 303: 256-260 (2006)
- 10) H. Kaiju, M. Nishiyama, Y. Otaka, N. Sakaguchi and K. Shiiki: “Aluminum thickness dependence of resistance change in spin tunneling junctions Co/Al-oxide/Co”, *J. Magn. Magn. Mater.*, 306: 161-165 (2006)
- 11) K. Shiiki, N. Sakaguchi and H. Kaiju: “Effect of unoxidized residual Al at the boundary of Co/Al-oxide/Co junction on TMR estimated by LMTO band calculation”, *Thin Solid Films*, 505: 64-66 (2006)
- 12) K. Kondo and A. Ishibashi: “Energy Spectrum of Two-Dimensional Electron Gas to be Used in Quantum Cross Structures”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, PT.1, Vol. 45(No. 12): 9137-9139 (2006)

#### 4.2 総説・解説・評論等

- 1) 石橋晃:「ナノテク時代のキルビー特許を目指して(For possible “Kilby’s patent”-equivalent in Nano-science & Technology Era)」、研究開発リーダー、2(4): 58-66 (2006)

#### 4.3 国際会議議事録等に掲載された論文

- 1) Y. Otaka, H. Kaiju, M. Nishiyama, N. Sakaguchi and K. Shiiki: “Evaluation of AlOx in Co/AlOx/Co spin tunneling junctions”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, 811: E3.7.1-E3.7.6 (2004)

#### 4.4 著書

- 1) 石橋晃:「ナノ半導体 概要」、ナノマテリアルハンドブック, NTS, 343-351 (2005)

#### 4.6 特許 (発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

##### ・国内特許

- 1) 石橋晃: 2003-174648、クリーンユニット、クリーンユニットシステム、材料加工方法、および素子製造方法、2003年6月19日
- 2) 石橋晃: 2003-124480、機能素子およびその製造方法並びに機能システムならびに機能材料、2003年4月28日
- 3) 川口敦吉、石橋晃: 特願2004-377301、クリーンユニットプロセス装置融合システム、クリーンユニットシステム、クリーンユニットおよびポータブルクリーンユニット、2004年12月27日
- 4) 石橋晃: 2004-375089、機能素子、記憶素子、磁気記録素子、太陽電池、光電変換素子、発光素子、触媒反応装置およびクリーンユニット、2004年12月24日
- 5) 石橋晃、川口敦吉: 2004-271106、薄膜積層構造体の製造方法、薄膜積層構造体、機能素子、機能素子の製造方法、薄膜積層構造体の製造装置およびヘテロ構造体、2004年9月17日
- 6) 石橋晃: 2004-262040、記憶素子、磁気記録素子、太陽電池および触媒反応装置、2004年9月9日
- 7) 石橋晃、海住英生: 特願2006-080998、クリーンユニット、連結クリーンユニット、クリーンユニットの運転方法、およびクリーン作業室、2006年3月23日
- 8) 石橋晃: 特願2006-64180、バルクサイズのナノ構造体発光素子、高効率光検出装置、光電エネルギー変換装置(高電圧出力太陽電池)、およびその製造方法、2006年3月9日
- 9) 石橋晃: 特願2006-062880、光電変換装置、2006年3月8日
- 10) 石橋晃、徳本洋志、下村政嗣、川口敦吉、山形整功: 特願2006-022144、バイオ機能測定装置、培養/成長装置、バイオ機能素子および機能素子、2006年1月31日
- 11) 石橋晃、海住英生: 特願2005-358521、クリーンユニットプロセス装置融合システム、クリーンユニットシステム、クリーンユニット運転方法、連結クリーンユニットおよびポータブルクリーンユニット、2005年12月13日
- 12) 海住英生、川口敦吉、石橋晃: 特願2006-349014、クリーンユニットプロセス装置融合システム、クリーンユニットシステム、クリーンユニット、連結クリーンユニット、ポータブルクリーンユニット、および、プロセス方法、2006年12月26日
- 13) 石橋晃、海住英生、特願2006-349015、クリーンユニット、連結クリーンユニット、クリーンユニット運転方法、およびクリーン作業室、2006年12月26日
- 14) 石橋晃: 特願2006-201798、クリーンユニット、2006年7月25日
- 15) 石橋晃: 特願2006-119227、施策・意思決定支援システム、2006年4月24日

##### ・国際特許

- 1) A. Ishibashi: PCT 出願、PCT/JP2004/004260、機能素子及びその製造方法ならびに機能システムならびに機

能材料、2004年3月26日

- 2) A. Ishibashi : PCT 出願、PCT/JP2004/008842、クリーンユニット、クリーンユニットシステム、機能ユニット、機能ユニットシステム、材料処理方法、素子製造方法、細胞系育成方法および植物体育成方法、2004年6月19日3
- 3) A. Ishibashi : PCT 出願、PCT/JP2005/017003、機能素子、記憶素子、磁気記録素子、太陽電池、光電変換装置、発光装置、触媒反応装置及びクリーンユニット、2005年9月8日

#### 4.7 講演

##### a. 招待講演

- 1) 石橋晃 : 「トップダウンとボトムアップの統合 (Bridging) 並びにそのためのサイエンスと要素技術の確立」、北海道大学 電子科学研究所・創成科学研究機構 ジョイントフォーラム、北海道札幌市 (2004-03)
- 2) A. Ishibashi and K. Kondo: “A Crossroad where Top-down meets Bottom-up”, The 5th RIES-Hokudai Symposium on Advanced Nanoscience “Shoku”, Sapporo, Hokkaido, Japan (2003-12)
- 3) A. Ishibashi: “Possibility of Uniting Bottom-up Structures with Top-down System”, Int. Symp. on Nano Science and Technology, Tainan, Taiwan (2004-11)
- 4) A. Ishibashi, H. Kaiju and N. Kawaguchi: “Physics of Enabling High Cleanliness with Compact Connected Box-Units System”, The 25th Conf. Solid State Phys. and Mat. Sci., & Workshop on Photonic Materials and Optoelectronic Devices II, Luxor, Egypt (2005-03)
- 5) A. Ishibashi: “Self-similar Dislocation Network in Degraded ZnMgSSe-based Laser Diodes and Uniting Bottom-up Structures with Top-down Systems”, The 25th Conf. Solid State Phys. and Mat. Sci., & Workshop on Photonic Materials and Optoelectronic Devices II, Luxor, Egypt (2005-03)
- 6) A. Ishibashi: “Potential interest in using alternating hetero-layers for modulating phonons and for converting blackbody radiation into electricity”, 6th International Workshop on Future Information Processing Technologies, Asheville, NC, USA (2005-08)

##### b. 一般講演

###### i) 学会

- 1) 石橋晃、近藤憲治 : 「トップダウン構造に於けるボトムアップ系としての aged 半導体光素子内転位網」、日本物理学会第59回年次大会、福岡県福岡市 (2004-03)
- 2) 山形整功、石橋晃、近藤憲治 : 「円柱型ポテンシャルを内包した調和振動子型ポテンシャルにおける電子の付加エネルギー」、2005年春季応用物理学会、埼玉県 (2005-03)
- 3) 川口敦吉、山形整功、海住英生、近藤憲治、石橋晃 : 「量子十字構造作製のための高度清浄環境の実現に向けての考察と実験」、日本物理学会 第60回年次大会、東京

理科大学 (2005-03)

- 4) 荒川信行、大高悠毅、海住英生、椎木一夫 : 「トンネル確率の数値計算による障壁高さ・膜厚の評価」、日本物理学会 第60回年次大会、東京理科大学 (2005-03)
- 5) 大高悠毅、海住英生、西山真生、原田慎也、椎木一夫 : 「XPS を用いた Co/AlOx/Co スピントネル素子の絶縁層の評価(IV)」、日本物理学会 第60回年次大会、東京理科大学 (2005-03)
- 6) 五十嵐一也、原田慎也、海住英生、椎木一夫 : 「反応性スパッタ法による絶縁層 AlN の研究 II」、日本物理学会 第60回年次大会、東京理科大学 (2005-03)
- 7) H. Kaiju, N. Kawaguchi and A. Ishibashi: “Unification for Bottom-up (BU) and Top-down (TD) systems”, Nano tech 2005 International Nanotechnology Exhibition & Conference, Tokyo, Japan (2005-02)
- 8) 税所和也、海住英生、椎木一夫 : 「発振制御型磁気センシング法の応答特性」、第28回日本応用磁気学会、琉球大学 (2004-09)
- 9) 石橋晃、山形整功、川口敦吉、近藤憲治 : 「ナノバイオ融合プラットフォーム用クリーンボックス連結ユニット」、2004年秋季代65回応用物理学会学術講演会、宮城県仙台市 (2004-09)
- 10) 海住英生、川口敦吉、石橋晃 : 「Dust & Germ-free を実現するクリーンユニットシステムの極限高清浄度」、日本物理学会 第61回年次大会、愛媛大学 (2006-03)
- 11) 川口敦吉、海住英生、近藤憲治、石橋晃 : 「量子十字構造による対称性変調素子の可能性」、日本物理学会 第61回年次大会、愛媛大学 (2006-03)
- 12) H. Kaiju, N. Kawaguchi and A. Ishibashi: “Unification for Bottom-up and Top-down systems”, Nano tech 2006 International Nanotechnology Exhibition & Conference, Tokyo (2006-02)
- 13) 税所和也、海住英生、椎木一夫 : 「発振制御型磁気センシング法の応答特性」、第29回日本応用磁気学会、信州大学 (2005-09)
- 14) 川口敦吉、海住英生、石橋晃 : 「量子十字構造作製のための循環型クリーンユニットによる高度清浄環境の研究」、日本物理学会 秋季大会、同志社大学 (2005-09)
- 15) H. Kaiju, K. Shiiki and A. Ishibashi: “Oscillation controlled magnetic sensing by using spinel devices”, The 3rd International Conference on Computing, Communication and Control Technologies, Austin, Texas, USA (2005-07)
- 16) K. Shiiki, N. Sakaguchi and H. Kaiju: “Effect of Unoxidized Residual Al at Boundary of Co/Al-oxide/Co Junction on TMR Estimated by LMTO Band Calculation”, The International Union of Materials Research Societies’ 9th International Conference on Advanced Materials, Singapore, Singapore (2005-07)
- 17) Ishibashi Akira, Kaiju Hideo: 「クリーンユニットシステムプラットフォーム～トップダウンとボトムアップの融合・統合にむけて」、第4回産学官連携推進会議、国

立京都国際会館 (2005-06)

- 18) 山形整巧、石橋晃、近藤憲治:「円柱型ポテンシャルを内包した調和振動子型ポテンシャルにおける電子の付加エネルギー」、2005年春季応用物理学会、埼玉県 (2005-03)
  - 19) H. Kaiju, K. Kondo and A. Ishibashi: “Quantum-Cross Tunneling Junction for High Density Memory”, 2006 Materials Research Society Fall Meeting, Boston, MA, USA (2006-11)
  - 20) 海住英生、川口敦吉、石橋晃:「CUSP 中の高清浄環境におけるダスト数のサイズ依存性」、日本物理学会 2006年秋季大会、千葉大学 (2006-09)
  - 21) 山形整功、近藤憲治:「多重量子リングの電子状態に関する研究」、2006年第67回応用物理学会学術講演会、滋賀県草津市 (2006-08)
  - 22) 五味田こずえ、モハメド ダリル ラハマン、川口敦吉、海住英生、石橋晃:「スパイラルヘテロ構造を用いた高効率光電変換素子の可能性」、日本物理学会 2007年春季大会、鹿児島大学 (2007-03)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) 石橋晃:「Extra な classifier の導入による(二律背反)現象の統合」、北海道大学電子科学研究所交流会、北海道札幌市 (2003-04)
  - 2) 近藤憲治:「多体振動論による電子相関の計算」、北海道大学電子科学研究所交流会、北海道札幌市(2003-04)
  - 3) K. Kondo and A. Ishibashi: “THE ENERGY SPECTRUM OF TWO-DIMENSIONAL ELECTRON GAS IN QUANTUM STRUCTURES”, The 6th RIES-Hokudai SYMPOSIUM, Sapporo, Japan (2004-12)
  - 4) H. Kaiju, K. Shiiki, K. Kondo and A. Ishibashi: “Study of high density memory with spin tunneling junctions”, The 6th RIES-Hokudai Symposium, Sapporo, Japan (2004-12)
  - 5) H. Kaiju, K. Shiiki and A. Ishibashi: “Possibility of high density memory with quantum crossed spin tunneling junctions”, Nano-processing and measurement workshop in spin electronics, Tokyo, Japan (2005-01)
  - 6) N. Kawaguchi, H. Kaiju and A. Ishibashi: “Enabling nano-scale edge-to-edge configuration with quantum cross structures”, Multi-Institutional International Symposium on Mei, Hokkaido University (2005-12)
  - 7) H. Kaiju and A. Ishibashi: “クリーンユニットシステムプラットフォーム(CUSP)”, SEMICON Japan 2005, 幕張メッセ (2005-12)
  - 8) Y. Yamagata, K. Kondo and A. Ishibashi: “The Electronic Structure Calculation of Concentric Annular Rings”, Multi-Institutional International Symposium, Sapporo (2005-12)
  - 9) 近藤憲治:「量子井戸や量子細線などのナノ空間での電子相関の理論的解明」、電子科学研究所研究交流会、札幌 (2006-01)
  - 10) 長田 幸男、石橋晃:「クリーンユニットシステムプラットフォーム(CUSP)」、テクニカルショー横浜 2006、パシフィコ横浜 (2006-02)
- 11) A. Ishibashi: “Potential interest in spiral hetrostructure and its applications”, 2nd UK-Japan Symposium on Promotion of Nanotechnology Development, New Castle, UK (2006-03)
  - 12) A. Ishibashi and H. Kaiju: “Clean Unit System Platform (CUSP)による極限高清浄度 ISO クラス-1の実現”, 第5回国際バイオフォーラム&国際バイオ EXPO、東京ビッグサイト (2006-05)
  - 13) Ishibashi Akira, Kaiju Hideo:「装置内包クリーンユニットシステムプラットフォーム(CUSP)」、オルガテクノ 2006、パシフィコ横浜 (2006-07)
  - 14) Rahaman Dalilur Md, 川口敦吉、五味田こずえ、小野明人、海住英生、石橋晃:「極限高清浄度実験・生産プラットフォーム(CUSP)」、CEATEC Japan、幕張メッセ (2006-10)
  - 15) 川口敦吉、大橋美久、海住英生、石橋晃:「無塵・無菌究極清浄環境生産プラットフォーム(CUSP)」、諏訪圏工業メッセ、諏訪湖イベントホール (2006-10)
  - 16) Rahaman Dalilur Md., 大橋美久、海住英生、石橋晃:「極限高清浄環境を提供するクリーンユニットシステムのビジネス開発」、ビジネス EXPO、アクセスサッポロ (2006-11)
  - 17) 川口敦吉、Rahaman Dalilur Md., 大橋美久、石橋晃:「無塵・無菌究極清浄環境生産プラットフォーム(CUSP)」、全日本科学機器展、東京ビッグサイト (2006-11)
  - 18) M. D. Rahaman, H. Kaiju, N. Kawaguchi, K. Gomita, A. Ono and A. Ishibashi: “Ultra-high Cleanliness of ISO Class -1 in Clean-Unit System Platform for Nano-Biotechnology”, The 8th RIES-Hokudai Symposium on “Bi”, Sapporo, Hokkaido (2006-12)
  - 19) ラハマン ダリルア ムハマド、海住英生、大橋美久、石橋晃:「ISO クラス マイナス1極限高清浄度の実現」、北海道・札幌 IT&Bio ビジネスマッチング in 大阪/神戸、大阪、神戸 (2007-02)
  - 20) 川口敦吉、海住英生、大橋美久、石橋晃:「無塵・無菌の極限高清浄環境を提供する CUSP」、第11回おおた工業フェア、大田区産業プラザ (2007-02)
  - 21) 山形整功、海住英生、大橋美久、石橋晃:「無塵・無菌を実現した極限高清浄環境 CUSP」、ナノバイオ EXPO2007、東京ビッグサイト (2007-02)
  - 22) H. Kaiju and A. Ishibashi: “Quantum-Cross device based upon Spiral Hetero Structure”, The 3rd Japan - UK Symposium, Sapporo (2007-03)
- iii) コロキウム・セミナー等・その他
- 1) 石橋晃:「LD・LED の製造技術と劣化機構の解析から見る未来の一隅」、GaN 系電子・発光デバイスの開発と LD・LED の製造技術および劣化解析、東京都品川区五反田 (2003-11)
  - 2) 石橋晃:「特許論 I ～ 研究成果の特許化について～」、ニセコ オータムスクール 2003 第3回北大ビジネス入門コース、北海道虻田郡ニセコ町 (2003-11)

- 3) 石橋晃：「知的財産論II」、ニセコ オータムスクール 2004 第4回北大ビジネス入門コース、北海道虻田郡ニセコ町 (2004-11)
- 4) 石橋晃：「知的財産論」、ニセコ オータムスクール 2005 (2005-9)
- 5) 石橋晃：「知的財産論」、ニセコ オータムスクール 2006 (2006-10)

#### 4.9 共同研究

- a. 所内共同研究 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
  - 1) 石橋晃、徳本洋志、末宗幾夫、中村貴義、近藤憲治 (電子科学研究所)、極微細接合素過程に対する次元・空間配位の影響の研究、2003～2004年度、4800千円、次元数表記で3-0-3、3-2-0-2-3などの従来行われてきた接合構造・配置に対し、特に3-2-0-R2-3 (R2は相対的に回転した2次元面であることを示す)の極微細接合について理論的に考察するとともに、この構造(ユニット)を作るための要素技術を確立する。

#### 4.10 予算獲得状況

- a. 科学研究費補助金
  - 1) 海住英生、特別研究員奨励費、磁気トンネル効果の高周波インピーダンス特性に関する研究、2002～2004年度
  - 2) 海住英生、若手研究 B、スピン量子十字構造を用いた超高密度メモリの作製とその評価、2006～2007年度
- b. 所内若手育成研究
  - 1) 近藤憲治：「量子井戸や電子細線などのナノ空間での電子相関の理論的解明 2003-2004年度」
- f. その他 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、研究内容)
  - 1) 石橋晃、北海道ティー・エル・オー株式会社、クリーンミニファブシステムの調査、2003年度100千円、(研究目的)トップダウンとボトムアップの統合のためのサイエンスと要素技術の確立の一環として、従来産業インフラの低固定資産運営への新しい可能性、あるいは所謂地面に縛られない全く新しい農業を切り開く可能性を秘めるクリーンユニットの性能と新規性の証明を確かめる。
  - 2) 石橋晃、独立行政法人科学技術振興機構、研究成果実用化検討「機能素子およびその製造方法並びに機能システムならびに機能材料」、2004年度、3,000千円、ナノスケールの素子を形成するための、あるいはこれらの素子を搭載するためのプラットフォームとしての機能性材料およびその製造方法が開発される。また、その機能性材料を適用した高密度メモリーが開発される。
  - 3) 石橋晃、北大リサーチ&ビジネスパーク構想推進協議会、極限高 cleanliness 環境を提供するクリーンユニットシステムのビジネス開発、9000千円、2006～2007年度 21世紀に花開くと期待されるナノ・バイオテクノロジーに広く資する共通基盤技術・環境としての極限高 cleanliness

cleanliness 環境装置を社会へ供給する。クリーンユニット システムプラットフォームによる世界最高レベルの cleanliness 空間 (完全無塵・無菌空間) を低価格で提供するシステムの事業化を目指す。

- 4) 石橋晃、札幌市、クリーンシステムプラットフォームによる極限高 cleanliness 環境、7000千円、2006～2007年度 ロケーションフリーで無塵・無菌環境を実現するクリーンシステムプラットフォームの高性能化を行う。これまでの cleanliness 環境提供法を質・量ともに一変させ、必要な性能を、必要なだけ、必要なときに、必要な場所へ、低コストで提供することができる。

#### 4.11 受賞

- 1) 石橋晃：第一回北海道理系向けビジネスプランコンテスト 審査員特別賞 (CUSP 開発) 2006年4月
- 2) 海住英生：松本・羽鳥奨学賞 (北海道大学電子科学研究所) 2007年3月

#### 4.12 社会教育活動

##### e. 新聞・テレビ等の報道

- ・新聞
  - 1) 石橋晃：日刊工業新聞 2006年2月3日「クリーンユニットシステムプラットフォームの high cleanliness ISO クラス1～2について」
  - 2) 石橋晃：北海道新聞 2006年4月25日「クリーンユニットシステムプラットフォームの審査委員等別賞受賞」
  - 3) 石橋晃：北海道新聞 2006年5月12日「クリーンユニットシステムプラットフォーム (CUSP) の high cleanliness 環境について」
  - 4) 石橋晃：日本経済新聞 2006年10月20日「クリーンユニットシステムプラットフォーム (CUSP) の high cleanliness 環境と今後の展開」

##### ・雑誌

- 1) 石橋晃：日経ナノテクノロジー 2005年7月11日「日経ナノテクノロジー PDF plus、No. 44、2004/07/11、pp. 15-17」
- 2) 日経BP 2006年10月11日「クリーンユニットシステムプラットフォーム (CUSP) の high cleanliness 環境クラス -1」
- 3) 石橋晃：日経ナノビジネス 2006年6月1日「クリーンユニットシステムプラットフォーム (CUSP) の high cleanliness 環境クラス -1」

##### g. 北大での担当授業科目 (対象、講義名、担当者、期間)

- 1) 全研究科共通、大学院共通授業 「ナノテクノロジー・ナノサイエンス」(分担)、石橋晃、2003年7月29日～2003年7月31日
- 2) 全学部共通、複合科目 環境と人間 「21世紀を拓くナノ・光科学」(分担)、石橋晃、2004年4月1日～2004年9月30日
- 3) 全研究科共通、UFJC 起業家育成公開講座 (MOT) コース (分担)、石橋晃、2004年4月1日～2004年9月30日
- 4) 全学部共通、物理学Ⅲ、石橋晃、2004年10月1日～2005年3月31日

- 5) 理学研究科、電子物性物理学 I、石橋晃、2004年10月1日～2005年3月31日
- 6) 全研究科共通、ニセコオータムスクール 第4回北大ビジネス入門コース (分担)、石橋晃、2004年10月1日～2005年3月31日
- 7) 全研究科共通、MOT 特別講義 (分担)、石橋晃、2005年4月1日～2005年9月30日
- 8) 全学科共通、複合科目 環境と人間「次世代産業革命の旗手＝ナノテクノロジー」(分担)、石橋晃、2005年4月1日～2005年9月30日
- 9) 全学科共通、複合科目 環境と人間「現代物理学入門」(分担)、石橋晃、2005年4月1日～2005年9月30日
- 10) 全学科共通、物理学Ⅲ (電磁気学)、近藤憲治、2005年10月1日～2006年3月31日
- 11) 理学研究科、先端科学特別講義、石橋晃、2005年10月1日～2006年3月31日
- 12) 全学科共通、基礎物理学 I、石橋晃、2006年4月1日～2006年9月30日
- 13) 理学研究科、現代物理学特別講義 (分担)、石橋晃、2006年4月1日～2006年9月30日
- 14) 理学研究科、半導体物理学、石橋晃、2006年10月1日～2007年3月31日
- 15) 全学科共通、基礎物理学Ⅱ、近藤憲治、2006年10月1日～2007年3月31日
- 16) 全学科共通、自然科学実験、海住英生、2006年10月1日～2007年3月31日
- 17) 理学研究科、量子デバイス物理学、近藤憲治、2006年10月1日～2007年3月31日

**i. ポスドク・客員研究員など**

- ・その他 (1名)  
RAHAMAN MD. DALILUR (電子科学研究所 量子機能素子研究分野)

**j. 修士学位及び博士学位の取得状況**

- ・修士論文
  - 1) 川口敦吉：量子十字構造とその多重配列化システムに向けた基礎的な考察と実験
  - 2) 山形整功：密度汎関数法を用いた量子ドット中での電子状態の研究
  - 3) 五味田こず枝：スパイラルヘテロ構造に基づいた高効率光電変換素子の可能性

**その他**

- 1) 石橋晃：サイエンスエキスポ2006 こども未来博、夢・みらい塾 講師 (2006年8月10日在)

## 分子認識素子研究分野

教授 居城邦治（東工大、工博、2004.3～）  
助教授 田中賢（北大院、理博、2000.9～2004.3）  
新倉謙一（東工大、工博、2005.1～）  
助手 松尾保孝（北大院、工博、2003.10～）  
博士研究員 橋本裕一（2007.4～2007.11）  
科学研究支援員 春菜ゆかり（2004.10～）  
院 生

・平成15—18年度

博士課程

角南寛、橋本裕一、藪浩、鶴間章典、治田修、  
田中あや、神谷亮介、門間太志

修士課程

竹林允史、伊土直子、小幡法章、樋口剛志、田村仁志、  
大里大輔、石塚範子、佐藤壮人、西尾崇

学部生

・平成18年度

永川桂大

### 1. 研究の目的

生物は高度な分子認識と自己集合・自己組織化によって組織化された分子集合体システムを駆使して、効率の良いエネルギー変換や物質生産、情報変換を達成している。本研究分野ではこのような生物の持つ機能とナノテクノロジーとを融合することで、電子デバイスからバイオに至る幅広い分野をターゲットとした分子素子や機能性材料の構築を目指して研究を行っている。タンパク質、核酸、脂質、糖といった生物の主要分子を駆使することで高度な機能を持った素子を作製できると期待される。例えば、分析手法や分子素子の開発のために、生命活動の中心にある DNA 分子に着目している。DNA の持つ分子メモリー機能、分子認識、自己会合性を利用することで分子配列を塩基配列情報で制御し、一分子の DNA の塩基配列を位置情報に変換するシステム構築や DNA 分子の情報を転写した分子ナノ組織体の構築を目指している。また、細胞内に核酸を高効率で導入するウィルスのタンパク質だけを使った再構築ウイルスカプセルによる薬剤の細胞内への高効率導入法の開発や生体分子を提示したナノ粒子の細胞内動態の観察による細胞内の新しい認識の発見を目指している。これらの研究を通じてバイオ・ナノサイエンス研究の新展開を目指す。

### 2. 研究成果

・平成15年度

(a) 単一 DNA 分子の特異的塩基配列の空間的読み出しに関する研究

DNA は、相補的な水素結合によって形成された塩基対が一次元にスタックした特異な二重らせん構造を有し、また重合度、モノマーシーケンスが厳密に制御された高分子でもある。DNA の特異的な塩基配列を機能性分子の空間的な

配列制御に利用することができれば、デザインされた新規な機能性材料を簡便に作製できる可能性がある。そこで、単一 DNA 分子の特異的塩基配列を空間的に読み出すために、気水界面単分子膜を用いた DNA 伸長固定化法の開発と走査型プローブ顕微鏡を用いた単一 DNA 分子の特異的塩基配列部位計測を行った。気水界面にカチオン性の両親媒性化合物を展開し、静電的相互作用により形成した DNA 分子とのポリオン複合膜を Langmuir-Blodgett (LB) 法を用いて、単分子膜に流動性を持たせた状態で固体基板上に移し取ると、溶液中ではランダムコイル形状であった DNA 分子が伸長して固定化されることを見いだした(図1)。伸長・固定化された個々の DNA 分子は長さ解析の結果、単一分子であることが明らかとなった。このとき、DNA の特異的な塩基配列を認識する蛍光修飾タンパク質を DNA に結合させた後に伸長固定化し、近接場光学顕微鏡(SNOM)を用いて観察を行うことで、高精度な塩基配列の空間情報を得られることがわかった(図2)。

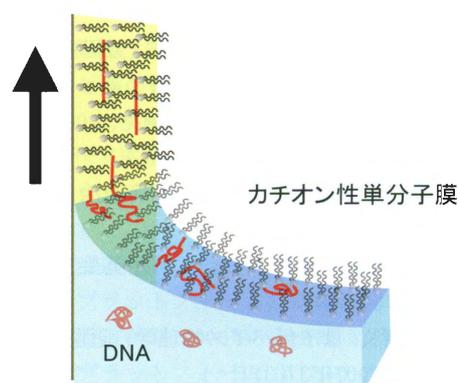


図1. LB法による単一 DNA 分子の伸長固定化

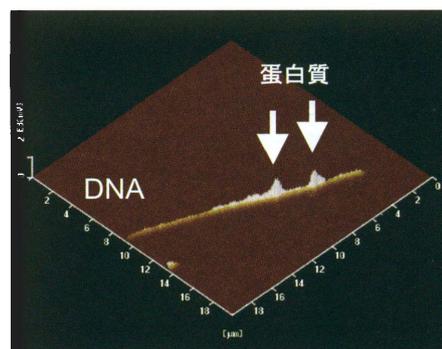


図2. 伸長固定化された単一 DNA 分子と DNA 結合性蛋白質の SNOM 像

(b) ナノ材料作製への展開：DNA を鋳型高分子材料として用いたナノ分子デバイスに関する研究

本研究では DNA 自身を機能性材料として用いるのではなく、分子認識能を利用することにより機能性材料を構築する鋳型高分子として用いる。DNA を鋳型高分子として用いる利点は塩基配列を制御した合成 DNA を利用することが容易で塩基配列による構造制御が可能なが挙げられる。これまでの研究では核酸塩基を有する両親媒性化合物と溶液中の鋳型 DNA が気水界面上において Watson-Crick 型の塩基対を形成することを見いだしてきた。これらは

DNA-mimetics として会合数・配列を制御した機能性材料の創成が可能であることを示している。これをさらに発展させることで複雑な分子集合体の形成も可能である。その一つとして人工光合成システムがある。光合成アンテナ系は色素分子が環状に配列することで高効率な光エネルギー捕集を実現している。そこで環状オリゴヌクレオチドを鋳型としアゾベンゼンを有する核酸塩基単分子膜を鋳型上に配列させることに成功した(図3)。また鋳型上のアゾベンゼン分子が特有の会合状態を形成することで相互作用していることを見だし、形態と機能の両面から光捕集アンテナ系の模倣が可能であることを示した。

一方、現在の半導体技術では作製が困難であると考えられる数ナノメートルの領域にデバイスを作製する研究を進めている。これは DNA のサイズが幅約2nmであることを利用し、金属ナノ微粒子配列や金属ナノ細線を作製する技術である。LB法により伸長固定化したDNAに触媒核を吸着させ、無電解メッキを用いて銀を析出、数十ナノメートル幅の細線構造の作製に成功している(図4)。導電性AFMを用いることで銀ナノ細線が十分な導通を持つことを確認し、ナノ金属細線としての応用が期待される。系統的に実験を行うことでより微細な構造の作製、あるいは半導体や異種金属混合のデバイスを創造することが可能となった。

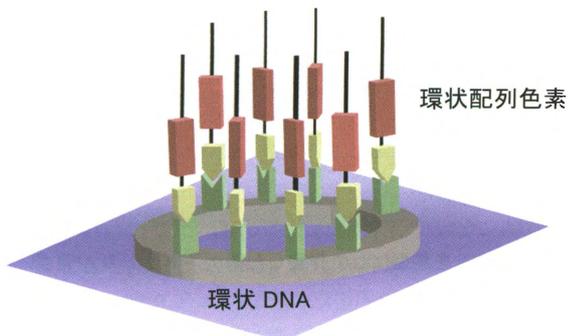


図3. 環状 DNA を鋳型とした人工光アンテナ系

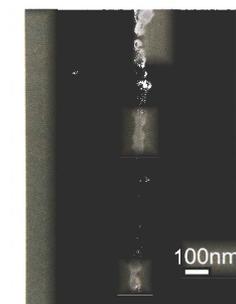
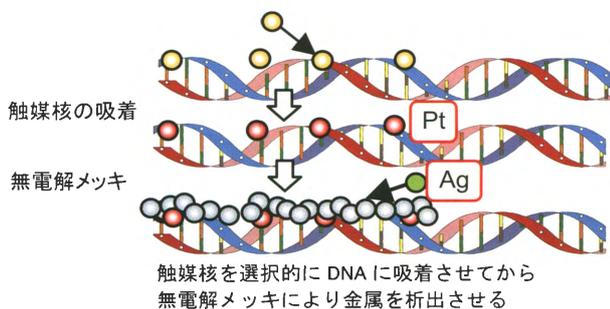


図4. DNA を鋳型にした金属細線作製プロセスと作製された銀ナノ細線

(c) 微細構造を有する生体適合材料による細胞の高機能化に関する研究

正常な細胞組織の維持のためには、細胞・増殖因子・足場のバランスが重要である。とりわけ細胞組織を形成する足場である細胞外マトリックスは、細胞の増殖や分化、細胞間の情報伝達場としての役割を担っている。本研究では加湿条件下で高分子の希薄溶液を固体基板上にキャストすることで得られる微細な規則的パターン(多孔質薄膜)を足場材に適用し、細胞の接着・機能制御について調べた。多孔質薄膜の形成過程は、溶媒の蒸発と溶媒表面への水の凝縮により、濃度、温度、粘度など様々な物理パラメーターが経時的に変化する複雑な非平衡系である。そこで多孔質薄膜の孔径、膜厚、孔貫通・非貫通、孔の3次元構造の制御を行うために膜の構造制御パラメーターについて調べた。その結果、孔径の均一性、構造制御の技術を確立し、階層的な3次元構造を有する新しい高分子フィルムの創製が可能になった。多孔質薄膜上で神経細胞の培養を行ったところ、平膜の培養とは異なった凝集形態を取ることがわかった(図5)。これにより、培養基材表面の構造で細胞の組織化を制御できることがわかった。

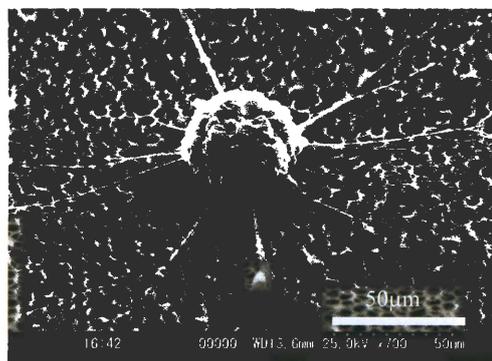


図5. 多孔質薄膜上で培養した神経細胞

・平成16年度

(a) 単一 DNA 分子の自己組織化的配列固定化に関する研究

DNA は、塩基の配列に基づいてタンパク質のアミノ酸配列をコードした遺伝を保持する高分子であるだけでなく、その二重らせん構造内ではπ電子に富んだ塩基がスタッキングしていることから電子材料として期待されており、また分子や粒子の配列のための鋳型となることからボトムアップ型ナノテクノロジー材料としても注目されている。これまで当研究分野では、単一 DNA 分子に着目して、1分子レベルでの塩基配列の読み出しや電子素子を作製するために DNA の伸長固定化についての研究が行われてきた。気水界面にカチオン性の両親媒性化合物を展開し、静電的相互作用により形成した DNA 分子とのポリイオン複合膜を Langmuir-Blodgett (LB) 法(図1)を用いて、単分子膜に流動性を持たせた状態で固体基板上に移し取ると、溶液中ではランダムコイル形状であった DNA 分子を伸長して固定化できることを見い出してきた。このとき DNA は伸長されるもののその間隔はランダムであった。しかし、単一 DNA 分子の塩基配列の精密な読み出しや電子デバイス

材料として集積化するためには、伸長された DNA の基板上の固定位置の制御が不可欠である。そこで我々は長鎖 DNA の代わりに短鎖 DNA やオリゴヌクレオチドを下水相に添加し、LB 法によってそのポリイオン複合膜を固体基板に移し取ることで短鎖 DNA やオリゴヌクレオチドがストライプ状に固定化されることを見出した (図6)。ストライプの幅や間隔は固体基板の引き上げ速度や引き上げ時に表面圧に依存することがわかった。このようなストライプ構造の形成は引き上げ時のマランゴニー対流のような散逸構造によるものと考えている。そして、短鎖 DNA やオリゴヌクレオチドに長鎖 DNA を混合して、同様に LB 法によって固体基板に固定したところ、長鎖 DNA は短鎖 DNA やオリゴヌクレオチドが形成するストライプ構造に沿って伸長固定化されることがわかった (図7)。このことにより自己組織化的な手法を用いても長鎖 DNA の伸長固定化の空間制御が可能であることが示された。

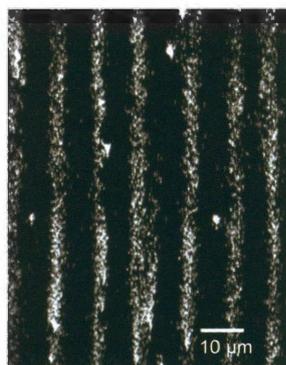


図6. LB 法によってストライプ状に固定された短鎖 DNA の蛍光像

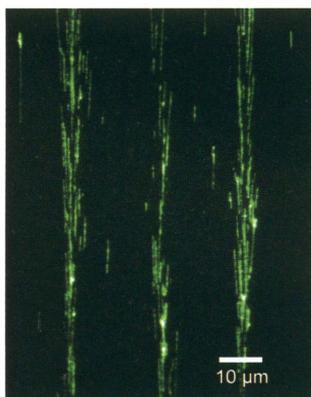


図7. パターン状に伸長固定化された DNA 分子の蛍光像

(b) DNA を鋳型とした金属ナノネットの構築に関する研究

オリゴヌクレオチドや DNA を鋳型とすることで、塩基配列や分子の形などの情報を転写した新しい機能性材料の開発をめざしている。DNA を鋳型高分子として用いる利点は塩基配列が制御された合成 DNA を利用することが容易で、塩基配列による構造制御が可能であることが挙げられる。これまで我々は現在の半導体技術では作製が困難であると考えられる数ナノメートルの領域でのデバイス作製をめざして、DNA 分子を選択的無電解メッキによる金属ナノ細線の作製技術の開発を行ってきた。この手法を用いて透明電極作製を試みた。透明電極は液晶ディスプレイをはじめ様々なディスプレイの電極として使われている。現在透明電極は

主に ITO ガラスが用いられているが、その原料一つのインジウムが世界的に枯渇しており、その代替電極の開発が盛んに行われている。光の波長より細い電線でネットワークを作製できれば、光の散乱や干渉を抑えることができ、透過性に優れた透明電極を作製できると期待される。DNA 希薄水溶液を平滑な基板にキャストすることで線幅数10nm で数100nm の孔を持ったネット状構造を形成できることが知られている。そこでこれを選択的無電解メッキすることで金属ナノネットを作製できると考えた。DNA と DNA に結合するプラチナ化合物の混合水溶液を雲母基板にスピコートしネット構造を作製した。これを還元してプラチナを析出させた後に銅メッキ溶液に浸漬して選択的無電解メッキを行ったところ、線幅約10nm で孔の大きさが約100nm の銅ナノネット構造を作製することができた (図8)。また同様な手法で DNA を鋳型として銀のナノネットも作製した。これは数 mm の領域で導電性を有していることがわかった。

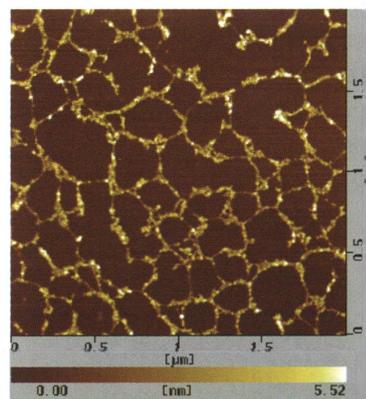


図8. DNA を鋳型にして作製した銅ナノネットの AFM 像

・平成17-18年度

(a) 単一 DNA 分子の塩基選択的金属化に関する研究

近年、自己組織化や自己集合を利用したボトムアップ型ナノテクノロジーに注目が集まっている。DNA はその高い分子認識性や構造の多様性を持つため、ナノ構造体を作製するためのビルディングブロックとして注目されている。これまで我々は長鎖二本鎖 DNA を鋳型とした選択的無電解メッキにより金属ナノワイヤーを作製してきた。塩基配列に選択的なメッキが可能になれば、PN 接合などのナノデバイスの作製が期待される。そのためには塩基配列がデザインされた DNA、特にブロック型の DNA が必要である。そこで、このような DNA の作製方法として、DNA ポリメラーゼによる DNA の重合反応に着目した。DNA ポリメラーゼの一種である Klenow fragment exo- (KF-) による DNA の合成反応を利用することでブロック型の DNA から長鎖 DNA を作製できることがわかった。そして、作製した DNA にシスプラチンを結合して、水溶液中で還元した後に LB 法によって伸長固定化した結果、シスプラチンが選択的に結合した G-C ブロックにのみプラチナを析出させ、塩基配列に選択的なプラチナナノワイヤーの作製に成功した (図9)。

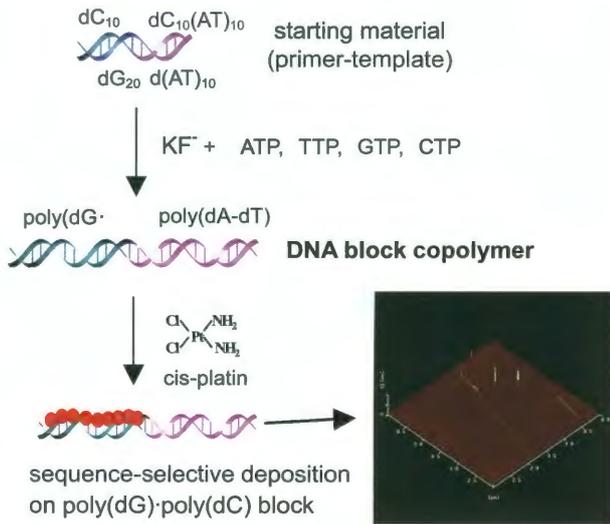


図9. DNAブロックコポリマー合成の模式図とプラチナが析出したDNAのAFM像

(b) DNAを分散剤とした銀ナノ粒子の作製に関する研究  
 金属ナノ粒子はバルクの性質とは異なり、光学的・電気的・磁氣的性質を示すようになるため、様々な分野において注目されている。しかしながら、ナノ粒子単体では分散安定性は悪く凝集しやすいために、粒子を孤立させた状態で維持するのは難しい。そこで、我々はDNAの金属イオンとの特異的な結合性およびリン酸の水溶性に着目し、DNAの分散剤への応用について検討した。種々のDNA存在下で硝酸銀水溶液に紫外線を照射することで銀イオンを還元した。その結果、アデニン、グアニンからなるDNAを用いると比較的単分散な粒径十数nmの銀ナノ粒子ができることがわかった(図10)。それに対してチミンやシトシンからなるDNAでは100nm程度の非球状の粒子が形成した。アデニンやグアニンなどのプリン塩基が銀イオンならびに金属銀と塩基選択的に結合するためと考えられる。また、得られた銀ナノ粒子の蛍光顕微鏡観察により、blinkingしながら発光することがわかった(図11)。長時間観察し続けても消光しないため、Q-dotに代わる発光プローブとしての応用が期待される。

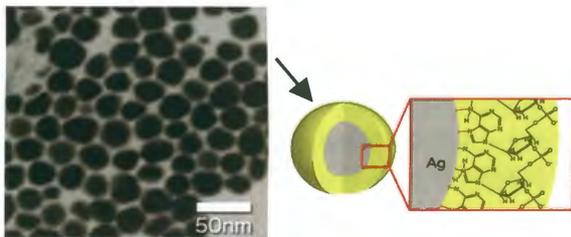


図10. dA20から作製した銀ナノ粒子の電子顕微鏡像と模式図

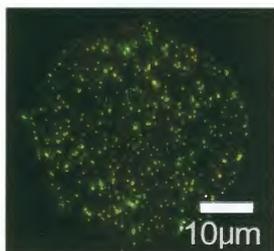


図11. dA20から作製した銀ナノ粒子の蛍光顕微鏡像(励起波長約480nm)

(c) ウイルスを鋳型とした金属ナノデバイスの構築

タンパク質の自己組織化によって形成される精密な3次元構造体を持つウイルスは超分子化学の材料として大変魅力的である。最も単純なウイルス粒子は、ゲノム核酸とその遺伝子を取り囲むカプシドタンパクのみから構成される。その殻はカプシドと呼ばれ、ユニットタンパク質が規則的に正二十面体あるいはらせん対称に配列して形成されている。JCポリオーマウイルスのタンパク質(VP1)は内包する核酸が無くてもVP1タンパク質の5量体が72個自己集合して内部に空洞を持つウイルス様微粒子を形成することが知られている。我々は北海道大学人獣共通感染センターの澤教授らと共同で、このウイルス様微粒子を用いた3次元金属ナノデバイスの構築を目指している。VP1タンパク質を大腸菌で発現させると、大腸菌内で自己集合し自然にウイルス様微粒子が形成された。それらウイルス様微粒子を超遠心処理により回収することで精製できることを、電子顕微鏡などにより確認した(図12)。今後はVP1タンパク質のシアル酸(糖鎖)に対する結合能を利用して、金微粒子を特異的にウイルス表層に結合配列化することを試みる。



図12. 精製したウイルスナノ微粒子の電子顕微鏡像

(d) 細胞ストレスを可視化するための糖鎖ナノツール開発

細胞が高熱、有害物質への暴露およびガン化等のストレスにさらされると各種ストレス応答を示す。生きた細胞のストレス応答の簡便な検出法はまだ確立されていないが、ガン化などの細胞異常を早期に検出できる可能性があるため重要な意味を持っている。近年、熱ショックタンパク質等のストレスタンパク質が細胞内において糖鎖分子と相互作用することが報告されている。そこで、それら糖鎖によ



図13. O-GlcNAc 提示 CdTe の細胞内特異的取り込み

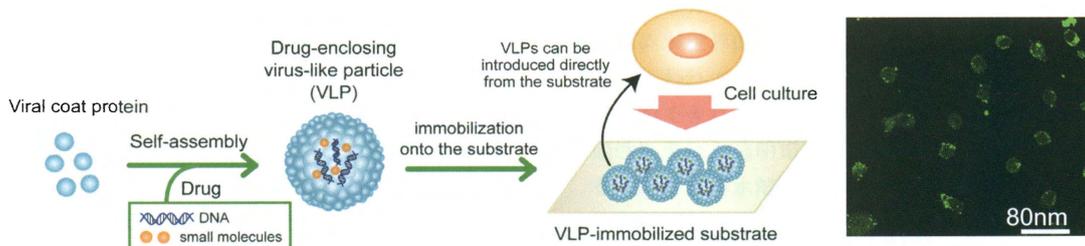


図14. ウィルスナノカプセルを用いた細胞導入アレイの模式図と実際の細胞への導入(蛍光標識カプセルを利用)

ってストレスセンシングを行うことを目的として、量子ドット (quantum dot; QDs) に糖を提示させた糖鎖提示量子ドットを合成した。量子ドットは強い蛍光を発することからバイオイメージング材料として有望視されている。N-acetylglucosamine (GlcNAc)を提示させた CdTe 量子ドットでは、ATP 存在下において核周辺から強い蛍光が観察された (図13)。しかし、その他の糖鎖を提示した量子ドットでは ATP の存在にかかわらず結合は見られなかった。GlcNAc はストレスタンパク質である HSP70 (シャペロン) と相互作用することが示唆されており、糖鎖提示量子ドットは細胞ストレスの可視化を可能にする重要なツールになりうるということがわかった。

#### (e) ウィルスナノカプセル固定化基板による細胞導入アレイ

ウィルスをナノカプセルととらえ、多様な分子を内包させることで細胞導入アレイを作製することを目的に研究を進めている。通常基板への固定化が困難な低分子をウィルスナノカプセルに内包させ、それらを基板上に固定化することで低分子にまで応用を広げた新たな細胞導入アレイの作製が可能となる。北海道大学人獣共通感染センターの澤教授らとの共同研究として、ポリオーマウィルスのコートタンパク質 VP1を自己集合させたウィルスカプセルを作製した。このカプセルは内部に直径30nm の空間があるため、様々な分子を内包できる。基板への固定化は VP1タンパク質の糖鎖(シアル酸)認識を利用した。フローサイトメトリーを用いて、基板上のカプセルの細胞導入と、定法である溶液からの細胞導入の2つの方法を比較した。その結果、明確に基板からの細胞導入効率が勝っていることを見いだした (図14)。我々はこの固体基板を介在させるウィルスカプセルの細胞内導入法を用いて、高い効率で低分子を細胞内へ導入できるアレイを現在作製している。

### 3. 今後の研究の展望・将来計画

原子・分子からマイクロメートルに至るスケールにおける機能性材料の構築に関する研究は高分子合成や結晶成長、半導体微細加工といった技術が中心に進められてきた。一方、ナノテクノロジーのひとつである自己組織化法を駆使することで、複雑な構造体をより簡便に作製する研究が注目されている。生物をお手本にするだけでなく、DNA や細胞が持つ自己組織化能と表面・界面化学、電気化学的な手

法を組み合わせることによりこれまでに実現できなかった機能性分子素子を構築することができるようになると期待される。具体的には以下の項目に重点を置く。

#### (1) DNA の分子認識を利用したナノサーキット作製法の開発

従来のフォトリソグラフィーに代表されるトップダウン的なナノ構造作製に替わる、自己組織化によるボトムアップ法の開発を目指して、DNA分子を鋳型とした金属のナノ構造の作製を行う。DNAの塩基配列の分子認識による無電解メッキを利用することで、導電性高分子を用いた単一分子トランジスターの作製を目指す (図15)。

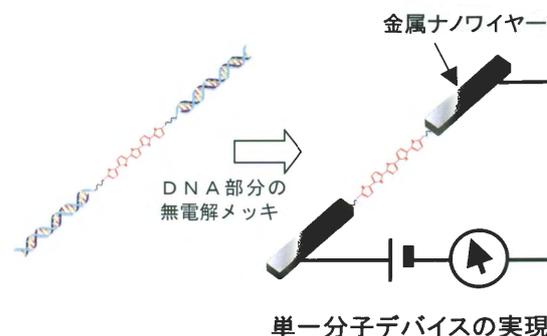


図15. DNA を鋳型とした単一導電性高分子デバイスの模式図

#### (2) ナノ金属-有機物間での新奇な光-電子相互作用の解明

核酸の存在下、銀イオンの光還元により得られた銀のナノ粒子は、光照射によって蛍光のような光を放射することがわかった。また、発光性銀ナノ粒子の中には、単一蛍光分子の発光に見られるブリンキング現象も観察された。このような発光現象は核酸だけでも、一般的な手法で作製された銀ナノ粒子でも観察されていないことから、核酸が銀ナノ粒子間で何らかの相互作用に基づくものと考えられる (図16)。このような金属ナノ粒子-有機物間の相互作用が光-電子相互作用に及ぼす効果は新奇な現象であり、大変興味深いので、今後この発光機能の解明に努め、さらに量子ドットに代わる新素材として注目していきたい。

#### (3) ウィルス微粒子や半導体量子ドット上での分子認識を利用した生体認識のセンシング

これまでウィルス微粒子を鋳型とした金属ナノ粒子の規則的配列制御や細胞内への薬物送達システムの開発を行ってきた (図17)。また、リガンド分子修飾半導体量子ドット

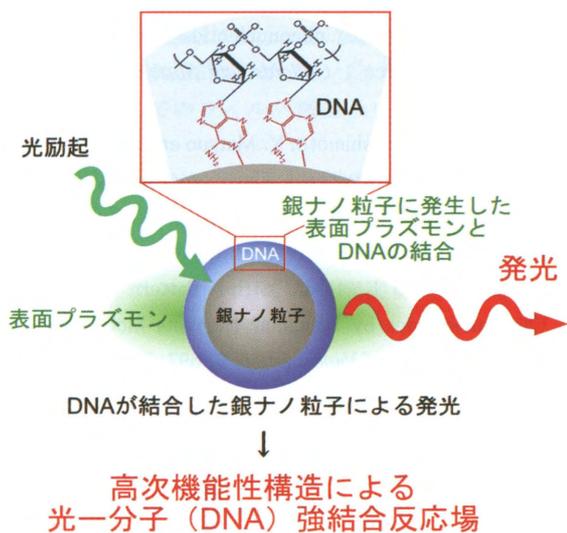


図16. DNA被覆銀ナノ粒子からの発光メカニズムの仮説

による細胞ストレスの検出など、バイオとナノテクノロジーを融合したバイオ探索の新手法を提案してきた。これらの研究は始まったばかりであるので、今後、その精度を高めるとともに適用範囲の拡大を目指した研究展開を行う。さらに、細胞を粒子と見立て細胞表面を分子認識リガンドで修飾することで、粒子の操作と同様に細胞を空間的に操作できる技術の開発に努め、細胞工学の発展に寄与することをめざす。

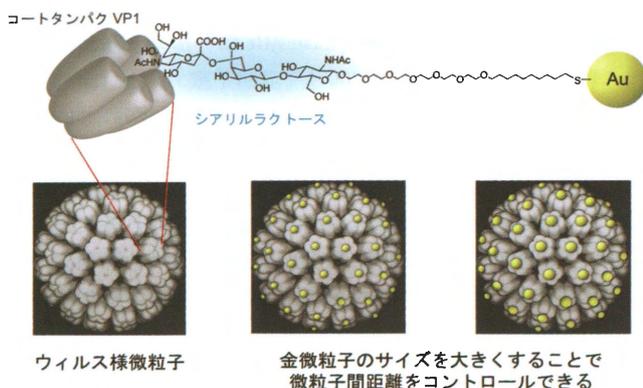


図17. ウイルスタンパク質の分子認識を利用した金ナノ粒子の3次元配列

これらの研究を通じて、今後も引き続き機能性検証に必要なナノテクノロジーを用いた解析手法をさらに取り入れることにより、新たなバイオ・ナノサイエンスを開拓する。

## 4. 資料

### 4.1 学術論文等

- 1) M. Shimomura, R. Mitamura, J. Matsumoto and K. Ijro: "DNA-mimetics: towards novel molecular devices having molecular information", *Synthetic Metals*, 133-134, 473-475 (2003)
- 2) H. Yabu, M. Tanaka, K. Ijro and M. Shimomura: "Preparation of Honeycomb-Patterned Polyimide Films by

Self-Organization", *Langmuir*, 19, 6297-6300 (2003)

- 3) K. Ijro, Y. Matsuo and M. Shimomura: "Stretching of single DNA molecules by LB technique for restriction site mapping", *Nucleic Acids Research Supplement*, 3, 47-48 (2003)
- 4) K. Ijro, Y. Matsuo, and M. Shimomura: "DNA-Based Molecular Handling in Self-Organized Monolayers", *Interface 2003*, 79-82 (2003)
- 5) M. Tanaka, M. Takebayashi, K. Sato, M. Shimomura, "Fabrication of Self-organized Porous Films with Highly Uniform Pores for Tissue Engineering and Biomedical Devices", *Int. J. Artif. Organs*, 26, 666 (2003).
- 6) A. Tsuruma, M. Tanaka, N. Fukushima, M. Shimomura, "Neural Networking and Morphological Change of Neurons on Self-organized Honeycomb Films", *Int. J. Artif. Organs*, 26, 665 (2003)
- 7) M. Ide, T. Mori, K. Ichikawa, H. Kitano, M. Tanaka, A. Mochizuki, H. Oshiyama, W. Mizuno, "Structure of Water Sorbed into Poly(MEA-co-HEMA) Films As Examined by ATR-IR Spectroscopy", *Langmuir*, 19, 429-435 (2003)
- 8) Y. Miwa, M. Tanaka, H. Oshiyama, "A. Mochizuki, Study on Structure of Water in poly(2-methoxyethylacrylate) (PMEA) and poly(2-hydroxyethylmethacrylate) (PHEMA) by 2H Solid -state NMR", *J. Jpn. Soc. Biomater*, 21, 143-149 (2003)
- 9) S. Ye, S. Morita, G. Li, H. Noda, M. Tanaka, K. Uosaki, M. Osawa, "Interfacial Molecular Structure Changes in Poly(2-methoxyethyl acrylate) Thin Films Induced by Absorption of Bisphenol A. An Infrared and Sum Frequency Generation (SFG) Study", *Macromolecules*, 36, 5694-5703 (2003)
- 10) M. Tanaka, "Blood Compatibility of Poly(2-methoxyethyl acrylate) - Design of Novel BioInterfaces, *Koubunshi Ronbunshuu*", 60, 415-427 (2003)
- 11) M. Tanaka, A. Mochizuki, "Effect of Water Structure on Blood Compatibility - Thermal Analysis of Water in poly(meth)acrylate", *J. Biomed. Mater. Res.*, 68A, 684-695 (2004)
- 12) M. Tanaka, "Design of Novel BioInterfaces (I) -Blood Compatibility of poly(2-methoxyethyl acrylate)", *Bio-Medical Materials and Engineering*, 14, 427-438 (2004)
- 13) M. Tanaka, M. Takebayashi, M. Miyama, J. Nishida, M. Shimomura, "Design of Novel BioInterfaces (II) -Fabrication of Self-organized Porous Polymer Film with Highly Uniform Pores", *Bio-Medical Materials and Engineering*, 14, 439-446 (2004)
- 14) G. Li, S. Morita, S. Ye, M. Tanaka, M. Osawa, "Bisphenol QCM and IRRAS Characterization of Bisphenol A Absorption in the Poly(acrylate) Thin Films", *Anal. Chem.*, 76, 788-795 (2004)
- 15) Y. Matsuo, K. Ijro, and M. Shimomura, "Stretching of single DNA molecules complexed with restriction endonu-

- clease by Langmuir–Blodgett method”, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, **40**, 123–126 (2005)
- 16) Y. Hashimoto, Y. Matsuo, and K. Ijro, “Fabrication of Silver Nanowires by Selective Electroless Plating of DNA Stretched Using the LB Method”, *Chem. Lett.*, **34**, 112–113 (2005)
- 17) K. Ijro, Y. Matsuo, and Y. Hashimoto, “Fabrication of Metal Nanowires by Electroless Plating of DNA”, *e-J. Surf. Sci. Nanotech.*, **3**, 82–85 (2005)
- 18) S. Abe, H. Moriyama, K. Niikura, F. Feng, K. Monde and S-I. Nishimura, “Versatile Synthesis of Oligosaccharide-Containing Fullerenes”, *Tetrahedron: Asymmetry*, **16**, 15–19 (2005)
- 19) T. Furuike, R. Sadamoto, K. Niikura, K. Monde, N. Sakairi and S-I. Nishimura, “Chemical and Enzymatic Synthesis of Glycocluster Having Seven Sialyl Lewis X Arrays Using  $\beta$ -Cyclodextrin as a Key Scaffold Material”, *Tetrahedron*, **61**, 1737–1742 (2005)
- 20) K. Niikura, R. Kamitani, M. Kuroguchi, R. Uematsu, Y. Shinohara, H. Nakagawa, K. Deguchi K. Monde, H. Kondo, S-I. Nishimura, “Versatile Glycoblotting Nanoparticles for High Throughput Protein Glycomics”, *Chemistry–A European Journal*, **11**, 3825–3835 (2005)
- 21) S.-I. Nishimura, K. Niikura, M. Kuroguchi, T. Matsushita, M. Fumoto, H. Hinou, R. Kamitani, H. Nakagawa, K. Deguchi, N. Miura, K. Monde, H. Kondo, “High throughput protein glycomics: Combined use of chemoselective glycoblotting and MALDI-TOF/TOF mass spectrometry”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **44**, 91–96 (2005)
- 22) Y. Hashimoto, Y. Matsuo and K. Ijro: “Fabrication of Silver Nanowires based on DNA stretched by the LB Method”, *Transactions of the Materials Research Society of Japan*, **30**, 671–674 (2005)
- 23) H. Yabu, T. Higuchi, K. Ijro and M. Shimomura: “Spontaneous Formation of Polymer Nanoparticles by Good-solvent Evaporation as Non-equilibrium Process”, *Chaos*, **15**, 047505 (2005)
- 24) N. Matsubara, K. Oiwa, T. Hohsaka, R. Sadamoto, K. Niikura, N. Fukuhara, A. Takimoto, K. Kondo and S. Nishimura: “Molecular Design of Glycoprotein Mimetics: Glycoblotting by Engineered Proteins Having an Oxyl-amino-Functionalized Amino Acid Residue”, *Chemistry–A European Journal*, **11**, 6974–6981 (2005)
- 25) K. Ijro, Y. Matsuo and Y. Hashimoto: “DNA-Based Silver Nanowires Fabricated By Electroless Plating”, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **445**, 207(497)–211(501) (2006)
- 26) A. Tanaka, Y. Matsuo and K. Ijro: “Immobilizing and stretching of poly(dG)–poly(dC) synthesized by Klenow fragment exo- on substrates by LB method”, *Colloids and Surfaces A*, **284–285**, 246–249 (2006)
- 27) O. Haruta, J. Nishida and K. Ijro: “Circular arrangement of nucleoamphiphile containing azobenzene by using base pairing with cyclic oligonucleotide template at the air–water interface”, *Colloids and Surfaces A*, **284–285**, 326–330 (2006)
- 28) N. Ishizuka, Y. Hashimoto, Y. Matsuo and K. Ijro: “Highly expansive DNA hydrogel films prepared with photo-crosslinkable poly(vinyl alcohol)”, *Colloids and Surfaces A*, **284–285**, 440–443 (2006)
- 29) Y. Matsuo and K. Ijro: “Stripe Pattern Formation of Oligonucleotides by Langmuir–Blodgett Method”, *International Journal of Nanoscience*, **5**, 697–701 (2006)
- 30) T. Onodera, K. Niikura, N. Iwasaki, N. Nagahori, H. Shimaoka, R. Kamitani, T. Majima, A. Minami, S.-I. Nishimura: “Specific cell behavior of human fibroblast onto carbohydrate surface detected by glycoblotting films”, *Biomacromolecules*, **7**, 2949–2955 (2006)
- 31) O. Haruta and K. Ijro: “Application of Oligonucleotide as a Template for the Assembly of Nucleoamphiphile Bearing Azobenzene at the Air–Water Interface”, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, **7**, 734–737 (2007)
- 32) K. Niikura, T. Nishio, H. Akita, Y. Matsuo, R. Kamitani, K. Kogure, H. Harashima and K. Ijro: “Accumulation of O-GlcNAc-displaying CdTe Quantum Dots in Cells in the presence of ATP”, *ChemBioChem*, **8**, 379–384 (2007)
- 33) Y. Tsuboi, M. Nishino, Y. Matsuo, K. Ijro and N. Kitamura: “Phase Separation of Aqueous Poly(vinyl methyl ether) Solutions Induced by the Photon Pressure of a Focused Near-Infrared Laser Beam”, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **80**, 1926–1931 (2007)
- 34) T. Masuda, H. Akita, T. Nishio, K. Niikura, K. Kogure, K. Ijro and H. Harashima: “Development of lipid particles targeted via sugar–lipid conjugates as novel nuclear gene delivery system”, *Biomaterials*, in press (2007)
- 35) N. Otake, K. Niikura, T. Suzuki, K. Nagakawa, H. Sawa and K. Ijro: “Enhanced Cellular Uptake of Virus-Like Particles through Immobilization on a Sialic Acid-Displaying Solid Surface”, *Bioconjugate Chemistry*, in press (2007)

#### 4.2 総説、解説、評論等

- 1) 田中賢、竹林允史、下村政嗣:「自己組織化によるナノマテリアル」、*M&E*, **30**(8): 190–195 (2003)\*
- 2) 松下通明、蒲池浩文、大久保尚、松本秀一郎、森田恒彦、小林智、佐藤雄久、田中賢、下村政嗣、藤堂省:「tissue engineering による肝組織再構成」、*Sugery Frontier*, **10**(3): 21–24 (2003)\*
- 3) 田中賢:「抗血栓性高分子表面と水の構造」、*高分子*, **53**(3): 157 (2004)
- 4) 田中賢:「次世代医療を切り拓くバイオメディカルインターフェイス」、*化学工業*, **55**(1): 56–61 (2004)
- 5) 居城邦治:「分子配列制御を目指した水面単分子膜の分子認識」、*表面科学*, **25**(3): 124–130 (2004)
- 6) 居城邦治:「DNA–金属ハイブリッドからなるナノ細

線の作製」、*Japan Nanonet Bulletin*, 49 (2004)

- 7) 新倉謙一、居城邦治：「ナノとバイオの接点－超分子ナノ材料としてのウイルス微粒子」、*化学*, 61 : 70-71 (2006)
- 8) 藪 浩、居城邦治、下村政嗣：「核酸ナノ微粒子の作製」、*化学工業*, 57(11) : 37-41 (2006)
- 9) 松尾保孝、居城邦治：「高分子と金属の複合化と高機能創製－ナノスケールでの研究展開－」、*高分子*, 56(10) : 845-849 (2007)

#### 4.3 著書

- 1) 居城邦治：「DNA を用いたナノ材料」、*超分子化学-ナノ材料創製に向けて-*、編集：中嶋直敏、化学同人、123-130 (2004)
- 2) 田中賢、下村政嗣：「ハニカム構造フィルムのバイオメディカル応用」、自己組織化によるナノマテリアルの創成と応用、発行日：2004/2/9、編集：有限会社ブッカーズ、NTS 出版、275-294 (2004)
- 3) 田中賢、下村政嗣：「自己組織化パターン表面の創成と機能」、*ナノバイオエンジニアリングマテリアル*、監修：石原一彦、発行日：2004/3、(株)フロンティア出版、72-103 (2004)
- 4) 居城邦治：「DNA の金属化」、*ソフトナノテクノロジー-バイオマテリアル革命-*、監修：田中順三、下村政嗣、第1編 第2章：151-155 (2005)
- 5) 居城邦治：「DNA を用いたボトムアップ型ナノ配線技術」、*進化する有機半導体 有機エレクトロニクス創成へ向けた光・電子機能デバイスへの応用最前線*, 8(2) : 441-449 (2006)
- 6) 居城邦治、松尾保孝：「LB (Langmuir-Blodgett) 膜」、*ナノバイオ大事典* : 98-100 (2007)
- 7) 国武豊喜、下村政嗣、山口智彦、居城邦治、亀井信一、高野潤一郎：「座談会 自己組織化ナノマテリアルと生産技術の革新」、*自己組織化ナノマテリアル* : 379-392 (2007)
- 8) 居城邦治：「1次元 DNA ナノマテリアル」、*自己組織化ナノマテリアル -フロントランナー85人が語るナノテクノロジーの新潮流-*、9 : 124-130 (2007)
- 9) 居城邦治：「DNA を鋳型として用いたボトムアップ型ナノテクノロジー」、*バイオとナノの融合II-新生命科学の応用-*、3(11) : 163-172 (2007)
- 10) 新倉謙一、居城邦治：「細胞ストレスのイメージングを目指した糖鎖修飾量子ドットの作製」、*量子ドットの生命科学領域への応用 -Application of Quantum Dot in Life Science-*、第18章 : 195-203 (2007)

#### 4.4 特許 (発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

- 1) 福平由佳子、兼子博章、鷹見芳彦、下村政嗣、田中賢：特願2003-106186、癒着防止材、その製造方法およびその利用方法、2003年4月10日
- 2) 田中賢、石井直樹：特願2003-157758、医療用具、2003年5月19日

- 3) 福平由佳子、兼子博章、下村政嗣、田中賢：特願2003-288573、ハニカム構造フィルム、2003年7月11日
- 4) 田中賢、伊土直子、下村政嗣：特願2003-327180、生体適合性と温度応答性を併せ持つ高分子、2003年9月19日
- 5) 田中賢、下村政嗣、藪 浩：特願2003-330722、多孔質膜を鋳型とした微粒子の作製法、2003年9月22日
- 6) 藪 浩、田中賢、下村政嗣：特願2003-330722、微粒子の製造方法、2003年9月22日
- 7) 居城邦治、橋本裕一、下村政嗣：特願2003-358959、DNA の無電解メッキによる金属細線構造の構築、2003年10月20日
- 8) 田中賢、下村政嗣、石井直樹、石山晴生：特願2003-390386、カバードステント、2003年11月26日
- 9) 田中賢、竹林允史、下村政嗣：特願2003-555064、微細突起構造体及びその製造方法、2003年11月27日
- 10) 村上敦嗣、村田朋美、下村政嗣、田中賢、松永直樹：特願2003-398246、浮遊微粒子捕集用フィルタ及びそれを用いた浮遊微粒子捕集方法、浮遊微粒子分析方法、ならびに浮遊微粒子捕集装置、2003年11月27日
- 11) 田中賢、下村政嗣、豊川秀英：特願2003-399197、消化器系ステント、2003年11月28日
- 12) 田中賢、下村政嗣、豊川秀英：特願2003-399195、細胞増殖抑制フィルムおよび医療用具、2003年11月28日
- 13) 高木斗志彦、福田和幸、下村政嗣、居城邦治、藪 浩：特願2003-424865、光記録媒体及び光多重記録方法、2003年12月22日
- 14) 田中賢、竹林允史、下村政嗣：特願2003-040550、3次元ハニカム構造体ならびにその製造方法、2004年2月17日
- 15) 小幡法章、藪 浩、田中賢、下村政嗣：特願2004-081570、高品位ハニカム構造フィルムの製造方法、2004年3月19日
- 16) 田中賢、下村政嗣、藪 浩：特願2004-083768、マイクロリングおよびドット構造とその製造方法、2004年3月19日
- 17) 藪 浩、田中賢、下村政嗣：特願2004-083728、マイクロリングあるいはマイクロドットを呈した微細パターンの製造方法、2004年3月22日
- 18) 松田輝、澤芳樹、宮川繁、下村政嗣、田中賢、新井景子：特願2004-093545、ハニカムフィルムを用いた機能的人工組織の生産、2004年3月26日
- 19) 別所久美、佐藤秀之、下村政嗣、田中賢、藪 浩：特願2004-097411、異方性導電膜、2004年3月30日
- 20) 別所久美、佐藤秀之、下村政嗣、田中賢、藪 浩：特願2004-097384、異方性導電膜およびその製造方法、2004年3月30日
- 21) 居城邦治、石塚範子、松尾保孝：特願2005-024527、生体適合性および高体積変化能を有する組織体ならびにその作製方法、2005年1月31日
- 22) 居城邦治、佐藤壮人、松尾保孝：特願2005-024545、DNA を用いた透明電極の作製方法、2005年1月31日

- 23) 居城邦治、石塚範子、松尾保孝：特願2005-024527、生体適合性および高体積変化能を有する組織体ならびにその作製方法、2005年1月31日
- 24) 藪 浩、下村政嗣、居城邦治、松尾保孝、山本貞明、田中賢：特願2005-309601、パターンニングされた物質の製造方法、2005年10月25日
- 25) 白谷俊史、相京浩幸、山本昌樹、遠田淳、下村政嗣、山本貞明、居城邦治、土方健二、藪 浩、松尾保孝、田中賢：特願2006-317609、炭素構造体の製造方法及び炭素構造体、並びに炭素構造体の集合体及び分散体、2006年11月24日
- 26) 居城邦治、松尾保孝、佐藤壮人：特願2007-059748、銀微粒子と核酸の複合体及びその製造方法、2007年3月9日
- #### 4.5 招待講演
- 1) M. Tanaka and M. Shimomura: “Blood compatibility of poly(2-methoxyethyl acrylate) - Design of novel bio-interfaces -”, Second International Conference on New Biomedical Materials: Basic and Applied Studies (Cardiff, UK), 2003.4.5-8
- 2) 田中賢：「自己組織化による再生医療材料の作製」、第一回大阪大学医学部未来医療センター講演会(大阪)、2003.4.24
- 3) K. Ijro, J. Matsumoto, J. Nishida, M. Morisue, Y. Matsuo and M. Shimomura: “DNA-Based Molecular Handling in Self-Organized Monolayers”, ICBN 2003 TOKYO (Tokyo), 2003.5.19-24
- 4) 田中賢：「バイオ界面における水分子の役割」、第一回鶴田フォーラム(東京)、2003.5.24
- 5) 居城邦治：「DNA からつくるナノ材料」、第20回ライラックセミナー・第9回若手研究者交流会(北海道)、2003.6.14-15
- 6) 田中賢：「自己組織化による構造規則性薄膜の作製と応用」、宇部興産高分子研究所講演会(千葉)、2003.6.17
- 7) 田中賢：「自己組織化による高分子の微細加工とその応用-バイオメディカルアプリケーションを中心に-」、テルモ株式会社研究開発センター(神奈川)、2003.7.2
- 8) 居城邦治：「自己組織化による DNA の配列制御」、21世紀 COE 若手研究者ネットワークシンポジウム-全国7拠点ポリマー関連研究との融合- (札幌)、2003.7.4
- 9) 田中賢：「バイオマテリアルと水」、第2回鶴田フォーラム(東京)、2003.7.26
- 10) M. Shimomura, J. Matsumoto, J. Nishida, M. Morisue and K. Ijro: “Aggregation Behavior and Photoisomerization of Azobenzene DNA-Mimetics Formed at the Air-Water Interface”, ICP21(Nara), 2003.7.26-31
- 11) 田中賢、下村政嗣：「ハニカム構造フィルムのバイオメディカル応用」、自己組織化講演会(東京)、2003.8.21
- 12) 田中賢：「自己組織化材料によるバイオメディカルインターフェイス」、第3回 COE 講演会(北海道)、2003.8.25
- 13) 居城邦治：「シングル DNA のナノ材料化」、日本学術振興会第174委員会(東京)、2003.10.20
- 14) M. Shimomura, N. Ido and M. Tanaka: “Mesoscopic patterning of polymer gel by self-organization and its theoretical application”, 2nd France-Japan workshop (Bordeaux, France), 2003.11.4-8
- 15) 田中賢、下村政嗣：「自己組織化による高分子のマイクロ・ナノ加工とナノ微粒子の集積」、第65回千葉地域活動高分子研究交流講演会(千葉)、2003.11.12
- 16) 田中賢：「タンパク質吸着の測定とマテリアル設計」、第21回医用高分子研究会講座(東京)、2003.12.4
- 17) 居城邦治：「DNA の分子認識を利用した機能性ナノ材料の作成」、みらいせんい展 IT シイベントシンポジウム「DNA/バイオフィバーのエレクトロニクス/メカトロニクスへの応用」(東京)、2004.7.23
- 18) 居城邦治：「DNA の分子認識を利用した機能性ナノ材料の作製」、2004みらいせんい展(東京)、2004.8.10
- 19) 居城邦治：「機能性材料としての DNA のボトムアップ型ナノテクノロジーへの展開」、有機ナノテクノロジー国際会議2005(東京)、2005.7.5
- 20) 居城邦治：「DNA を鋳型としたナノ配線技術の開発」、2005年応用物理学会有機分子・バイオエレクトロニクス分科会研究会「M&BE 関連分野を支えるナノサイエンス&ナノテクノロジー-自己組織化によるナノファブリケーション-」(札幌)、2005.7.15
- 21) K. Ijro: “DNA-assisted Bottom-up Nanotechnology”, Workshop on Organized Macromolecular Systems -Satellite Meeting for IPC2005- (Fukuoka), 2005.7.29
- 22) 居城邦治：「ナノテクノロジー材料としてのDNA」、特定領域研究「分子プログラミング」夏季セミナー(札幌)、2005.8.3
- 23) K. Ijro: “DNA-assisted Bottom-up Nanotechnology”, Japan-UK Symposium on Promotion of Regional Partnerships on Nanotechnology Development (Sapporo), 2005.10.3-5
- 24) 藪 浩、樋口剛志、居城邦治、下村政嗣：「DNA ナノ微粒子の作製」、公開シンポジウム 高機能化DNAによる情報通信技術の開発(千歳)、2006.2.27
- 25) 居城邦治：「DNA 細線の作製とエレクトロニクス応用」、文部科学省産学官共同研究の効果的な推進プロジェクト「高機能化DNAによる情報通信技術の開発」公開シンポジウム(千歳)、2006.2.27
- 26) K. Ijro, Y. Hashimoto, Y. Matsuo: “DNA-templated Fabrication of Nanostructure”, The Sixth France-Japan Workshop on Nanomaterials (Sapporo), 2006.3.6-8
- 27) K. Ijro, Y. Hashimoto and Y. Matsuo: “DNA-Assisted Nanofabrication of Metal Wire”, 2nd UK-Japan Symposium on Promotion of Regional Partnerships on Nanotechnology Development (Newcastle, U.K.), 2006.3.20-23
- 28) 居城邦治：「ナノマテリアルDNA」、マリンバイオマテリアル(第9回マリンバイオテクノロジー学会)(東京)、2006.5.27
- 29) 居城邦治：「DNA の単一分子操作とナノマテリアルへ

の応用」、生命分子の集合原理に基づく分子情報の科学研究ネットワーク拠点スクーリング(札幌)、2006.6.27-28

- 30) K. Ijio: "DNA-assisted Fabrication of Nanostructures", Japan-China Joint Symposium on Modern Chemistry (2nd Hokkaido University Nanjing University Joint Symposium) (Sapporo), 2006.11.10-11
- 31) 新倉謙一:「糖鎖による基板表面修飾法とナノ材料への応用」、トポロジカル物性連携強化シンポジウム(札幌)、2006.11.24
- 32) K. Ijio: "DNA-Assisted Nanofabrication of Functional Metal Structure", 9th Hokkaido University+Seoul National University JOINT SYMPOSIUM (Sapporo), 2007.1.24-26
- 33) 新倉謙一:「ナノ材料としての糖鎖基板・微粒子の作製」、理研シンポジウム第10回 生体分子の化学(和光)、2007.1.26
- 34) K. Niikura: "Sugar-Displaying CdTe Quantum Dots as a Tool to Detect the Heat-Shock Protein in Cells", International Symposium on 「Nanocluster Chemistry and Life Science」 (Sapporo), 2007.1.29-30
- 35) K. Ijio: "DNA-metal hybrid nanomaterials", International Symposium on Nanospace and Materials (Kumamoto), 2007.3.15
- 36) K. Ijio: "DNA-Metal Hybrid Fine Structures", International Symposium for the Promotion of Academic Exchange (Sapporo), 2007.3.22

#### 4.6 シンポジウムの開催(組織者、シンポジウム名、参加人数、開催場所、開催期間)

##### a. 国際シンポジウム

- 1) K. Ijio: Asian Conference on Nanoscience & Nanotechnology (AsiaNANO 2004), Peking Univ.(Beijing, China), 2004.11.24-27
- 2) K. Ijio: International Symposium on Soft-Nanotechnology 2005 (ISSN2005), Hokkaido Univ.(Sapporo), 2005.6.20-21
- 3) K. Ijio: The 11th International Conference on Organized Molecular Films (LB11), Sapporo, 2005.6.26-30
- 4) K. Ijio: Japan-UK Symposium on Promotion of Regional Partnerships on Nanotechnology Development, Hokkaido Univ.(Sapporo), 2005.10.3-5
- 5) K. Ijio: The International 21st Century COE Symposium of BINDEC Chemistry Network (BINDEC 2005), Toyonaka (Osaka), 2005.10.11-13
- 6) K. Ijio: Multi-Institutional International Symposium on "命" [mei] (電子研国際シンポジウム), Hokkaido Univ.(Sapporo), 2005.12.5-7
- 7) K. Ijio: The Sixth France-Japan Workshop on Nanomaterials, Gateaux Kingdom SAPPORO, 2006.3.6-8
- 8) K. Ijio: Asian Conference on Nanoscience & Nanotechnology (AsiaNANO 2006), Busan, Korea, 2006.11.1-4

##### b. 一般のシンポジウム

- 1) 居城邦治: 第53回高分子討論会、北海道大学(札幌)、

2004.9.15-17

- 2) 居城邦治: 第59回コロイドおよび界面化学討論会、北海道大学(札幌)、2006.9.13-15

#### 4.7 予算獲得状況(氏名、研究種目、区分、研究課題、決定額)

##### a. 科学研究費補助金

- 1) 田中賢、萌芽、新規に分子設計した生体適合性高分子の合成とバイオメディカルインターフェイスの構築、3,200千円(2003~2004)
- 2) 居城邦治、基盤B(2)、DNAを鋳型とした半導体ナノ微粒子の自己組織化によるナノデバイスの作製、14,400千円(2002~2003)
- 3) 田中賢、基盤B(2)、3次元微細光ファブリケーションによる組織工学材料の設計・開発、12,200千円(2001~2003)
- 4) 居城邦治、基盤B(2)、伸長固定したDNAを足場とした階層型DNAナノアレイの作製、15,500千円(2004~2005)
- 5) 松尾保孝、特別研究員奨励費、新規非線形光学応答素子を目指した伸長・配向制御高分子薄膜の作製と光学特性評価、1,200千円(2004)
- 6) 居城邦治、特定領域、メニスカスにおけるDNAの伸長ダイナミクスの解明、4,400千円(2005~2006)
- 7) 新倉謙一、若手A、プロテオグリカン様糖鎖ディスプレイによる細胞分化誘導フィルムの創製、20,470千円(2005~2006)
- 8) 新倉謙一、萌芽、生体組織再生を目指した糖鎖リソグラフィの開発、2,100千円(2005~2006)

#### 4.8 共同研究(研究者、部門名、研究課題、成果・内容、期間)

##### a. 所内共同研究

- 1) 青沼仁志、丹羽光一、中島崇行、田中賢、西野浩史:「昆虫の神経細胞を用いた培養系による神経回路網の再構築」(2002~2004)
- 2) 田中賢、青沼仁志、堀田純一:「自己組織化極微パターン上の神経細胞の光による配列制御と機能再生」(2003)
- 3) 岡嶋孝治、田中賢、石井勝弘:「高感度液中AFMによる細胞の構造・機能同時解析法の開発」、プロジェクト研究C(分野ないし部門横断型実質的共同研究)、(2000~2004)

##### b. 民間等との共同研究

- 1) 居城邦治、本望修(札幌医科大学)、佐々木経世(NCメディカルリサーチ株):「骨髄由来の細胞を用いた新規な再生医療法の開発」、(2006.10.1~現在)

##### c. 大型プロジェクト・受託研究

- 1) 田中賢(科学技術振興事業団さきがけ研究21):「バイオインターフェイスにおいて組織化された水分子の機能」、32,000千円(2001~2003年度)
- 2) 居城邦治(科学技術振興事業団さきがけ研究21):「環

状 DNA を用いた人工光合成系の構築」、90,000千円 (2000～2003年度)

- 3) 居城邦治、田中賢、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業 (研究代表者: 下村政嗣): 「高分子の階層的自己組織化による再生医療用ナノ構造材料の創製」。250,000千円 (2002～2007年度)
- 4) 岡嶋孝治、田中賢、新倉謙一、石井勝弘、NEDO 産業技術研究助成事業: 「単一細胞表層の全方向ナノダイナミクス計測技術の開発」、(2006～2009年度)

#### e. 科学技術振興調整費

- 1) 田中賢: 21世紀 COE バイオとナノを融合する新生命科学拠点共同研究プロジェクト: 「高秩序自己組織化薄膜による細胞の分化機能制御」、4,240千円 (2002～2003年度)

#### 4.9 受賞

- 1) 藪 浩、田中賢、下村政嗣: 2004春季第51回応用物理学会 第16回応用物理学会「講演奨励賞」「自己組織化によるナノリング構造の作製」(応用物理学会) 2004年3月
- 2) 田中賢、高山あい子、下村政嗣: 第3回日本再生医療学会総会、「優秀演題」「自己組織化による血管系組織再生用スキャフォールドの作製」(日本再生医療学会) 2004年3月
- 3) O. Haruta and K. Ijro: Poster Award for Young Researcher, Korea-Japan Joint Forum (KJF) 2005 「Molecular Recognition-Assisted Azobenzene Assembly in Nucleobase Monolayer at the Air-Water Interface」(Korea Japan Joint Forum) 2005年10月
- 4) N. Ishizuka, K. Niikura, K. Ijro: Best Poster Award, The 23rd International Carbohydrate Symposium (ICS2006) 「Preparation of Sugar-Recognizing Artificial Virus having Cargo Function」Whistler, BC Canada (国際糖質学会) 2006年7月
- 5) 西尾崇、新倉健一、松尾保孝、秋田英万、小暮健太郎、原島秀吉、居城邦治: 21th Summer University in Hokkaido & 2006年度北海道高分子若手研究会 優秀ポスター賞「糖鎖提示量子ドットの作製とその細胞内挙動観察」(高分子学会) 2006年8月
- 6) 石塚範子、新倉謙一、居城邦治: 21th Summer University in Hokkaido & 2006年度北海道高分子若手研究会 優秀ポスター賞「薬剤運搬機能を持った糖鎖認識人工ウイルスの創製」(高分子学会) 2006年8月
- 7) A. Tanaka, Y. Matsuo and K. Ijro: Outstanding research award 「SINGLE MOLECULE OBSERVATION OF DNA BLOCK COPOLYMER SYNTHESIZED BY DNA POLYMERASE(DNA ポリメラーゼによって合成した DNA ブロックコポリマーの単一分子観察)」(AsiaNANO 2006) 2006年11月

#### 4.10 社会教育活動

##### b. 国内外の学会の主要役職

- 1) 田中賢: 高分子学会北海道支部若手会 (2000年9月1

日～2004年3月31日)

- 2) 田中賢: 日本化学会生体機能関連化学部会 若手の会幹事 (2001年4月1日～2004年3月31日)
- 3) 田中賢: 日本化学会生体機能関連化学部会若手の会サマーセミナー (2002年1月1日～2004年3月31日)
- 4) 居城邦治: 高分子学会バイオ・高分子研究会運営委員 (2002年4月～現在)
- 5) 田中賢: 応用物理学会有機バイオ分子分科会幹事 (2003年12月1日～2004年3月31日)
- 6) 田中賢: 医用高分子研究会委員 (2004年1月1日～2004年3月31日)
- 7) Kuniharu Ijro: Asian Conference on Nanoscience & Nanotechnology (AsiaNANO), Steering Committee (2004年度～現在)
- 8) 居城邦治: 高分子学会北海道支部幹事 (2004年4月～現在)
- 9) 新倉謙一: 第59回 コロイドおよび界面化学検討会 実行委員 (2006年4月1日～2007年3月31日)
- 10) 松尾保孝: 第59回 コロイドおよび界面化学検討会 総務委員 (2005年10月～2006年9月)
- 11) 松尾保孝: 日本化学会・生体機能関連化学部会若手の会幹事 (2005年～現在)
- 12) 松尾保孝: 応用物理学会・有機分子バイオエレクトロニクス分科会 平幹事 (2005年～2006年)

##### c. 併任・兼業

- 1) 田中賢: 科学技術振興事業団 研究員 (2001年12月1日～2004年11月30日)
- 2) 居城邦治: 科学技術振興事業団 研究員 (2000年10月1日～2003年9月30日)
- 3) 居城邦治: 社) 日本化学会「欧文誌」編集委員会 編集委員 (2006年3月1日～現在)
- 4) 居城邦治: 独) 理化学研究所 客員研究員 (2006年4月1日～2007年3月31日)
- 5) 居城邦治: 財) 北海道科学技術総合振興センター 「研究開発助成事業審査委員会」 審査委員 (2006年7月12日～2007年3月31日)
- 6) 居城邦治: 独) 科学技術振興機構 科学技術・学術審議会研究評価部会 評価ワーキンググループ委員 (2006年9月7日～2007年1月31日)
- 7) 居城邦治: 独) 日本学術振興会 科学研究費委員会専門委員 (2007年1月1日～2007年12月31日)
- 8) 居城邦治: 独) 科学技術振興機構 領域アドバイザー (2006年6月19日～2008年6月18日)

##### c. 新聞・テレビ等の報道

###### ・新聞等

- 1) 下村政嗣、田中賢: 科学工業日報 2001年10月22日～現在「科学技術 自己組織化で多孔質膜」
- 2) 居城邦治: 日経ナノテクノロジー 2005年2月22日「北大、ナノデバイス実現の可能性を示す DNA を鋳型にした銀ナノ細線開発」
- 3) 居城邦治: 日経ナノテクノロジーPDF 2005年2月22日「北大、ナノデバイス実現の可能性を示す DNA を鋳型

にした銀ナノ細線開発」

- 4) 居城邦治：日経産業新聞 2004年6月25日「DNA を芯に極細導線」
- 5) 居城邦治：日経産業新聞 2006年5月29日「ナノバイオ微細構造に生物利用」
- 6) 居城邦治：日本経済新聞 2006年5月22日「DNA で有機EL 素子 ディスプレー安価で簡単に DNA 情報処理など応用幅広く」

#### d. 修士学位及び博士学位の取得状況

##### ・修士学位

- 1) 竹林允史：自己組織化による高分子の微細加工(2003年)
- 2) 伊土直子：温度応答性と血液適合性を併せ持つ新規ポリマーの合成と機能評価(2004年)
- 3) 治田修：オリゴヌクレオチドを鋳型とした気液界面における両親媒性核酸塩基化合物の組織化(2004年)
- 4) 樋口剛志：自己組織化を用いた機能性材料からの微粒子作製(2004年)
- 5) 田中あや：塩基配列がデザインされた長鎖DNAの作製および構造制御(2005年)
- 6) 田村仁志：自己組織化ハニカムフィルムによる小肝細胞の形態・機能制御 (2005年)
- 7) 門間太志：光ピンセットを用いた神経細胞の配列制御 (2005年)
- 8) 大里大輔：自己組織化析出法による薬剤担持ナノ微粒子の作製および物性評価 (2005年)
- 9) 神谷亮介：生体組織再生を目指したグラフト型糖鎖基材の創製(2005年)
- 10) 小幡法章：自己組織化による高分子・ナノ粒子のパターン形成(2005年)
- 11) 児島美季：自己組織化による機能性材料を目指したハニカム構造 (2006年)
- 12) 佐藤壮人：核酸を利用した金属ナノ構造体の構築(2006年)
- 13) 石塚範子：ウイルス様ナノ微粒子を使用した基板から細胞内への薬剤導入法の開発(2006年)

##### ・博士学位

- 1) 角南寛：Chemical Force Microscopic Observation of Self-Assembled Monolayers having Nucleobase(2003年)
- 2) 橋本裕一：Nano Fabrication of Functional Thin Film Based on DNA-amphiphile Polyion Complex Monolayer (2004年)
- 3) 藪 浩：Fabrication of Mesoscale Polymer Structures by Self-Organization(2004年)
- 4) 鶴間章典：Regulation of neural cell morphologies and differentiation by patterned polymer films(2005年)

#### e. 大学院講義科目

- 1) 超分子化学特論Ⅱ (2003-2004)
- 2) 論文講読Ⅰ (2003-2006)
- 3) 論文講読Ⅱ (2004-2006)
- 4) 論文講読Ⅲ (2005-2006)
- 5) 論文講読Ⅳ (2003、2006)

- 6) 論文講読Ⅴ (2003-2004)
- 7) 特別研究Ⅰ (2003-2006)
- 8) 特別研究Ⅱ (2004-2006)
- 9) 特別研究Ⅲ (2005-2006)
- 10) 特別研究Ⅳ (2003、2006)
- 11) 特別研究Ⅴ (2003-2004)
- 12) 環境と人間 (2005-2006)
- 13) 物理化学特別講義Ⅰ (分子組織化学) (2006)
- 14) ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論Ⅰ (2006)
- 15) 先端の化学 (2006)
- 16) 超分子化学 (2006)

#### g. ポスドク・客員研究員など

##### ・ポスドク

松尾保孝 (科学技術振興事業団) (2003-2005)

#### h. 外国人研究者の招聘 (氏名、国名、期間)

- 1) Michel Laguerre, France、2004年2月26日～2004年3月7日
- 2) Ivan Huc, France、2004年2月26日～2004年3月7日
- 3) Reiko Oda, France、2004年2月26日～2004年3月7日

## 超分子分光研究分野

教授 田村 守 (北大院、理博、1987.12~2006.3)  
 助教授 金城政孝 (自治医大、医博、1997.4~2007.5)  
 助手 西村吾朗 (阪大院、理博、1989.7~)

ポストドク

白 燦基 H15-H17  
 齋藤健太 H16-H17  
 黄田育宏 H16  
 長尾一生 H17  
 志賀葉月 H17  
 武藤秀樹 H18-

大学院

齊藤健太、矢部芳治、伊藤隆志、三國新太郎、  
 紀伊宏昭、高木卓也  
 大杉 友、永山裕貴、佐々木章、坂田啓司、孫 凡  
 堀田晋也、小野智彦、齋藤有香、木谷亮太

### 1. 研究目標

生体組織が営む多彩な機能を、蛋白質や核酸などの分子レベルから単一細胞や組織、そして個体レベルまで階層性を中心に解析する。このため、特に生体組織を生きのまま単一分子レベルで追跡可能な種々の光学技術の開発も行う。具体的目標は、

- I) 光学計測を中心とした脳、神経系の機能発現の解析
- II) 単一分子診断法による細胞内情報伝達系の生きた丸ごとでの解析
- III) 光診断学の基礎研究と医学・生物学への応用
- IV) 生体分光学の確立
- V) 機能画像を利用した人高次脳機能の解明

などである。これらを中心として、広く光技術と遺伝子工学・細胞工学を結びつけ生命機能の解明を目指す。

### 2. 研究成果

・平成15年

1) 細胞内のタンパク質の機能解析のために蛍光相関分光法を用い、単一分子レベルで、時間的、空間的变化を考慮した解析方法を研究している。これまでに、細胞外からの刺激を受けとり、タンパク質 (PKC) が細胞質から細胞膜へとブラウン運動により移動する過程や酵素反応の解析を行った (図1)。

2) 医用光学の提案と光CTによる脳機能解明

我々が見出し発展させてきた近赤外分光法による、脳機能解明の有効な武器となる光CTにより脳の活動部位の可視化を行なった (図2)。

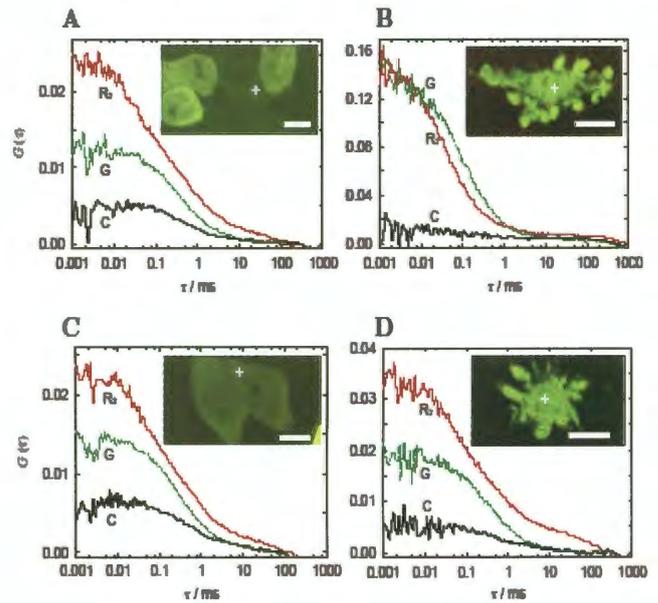


図1. 蛍光性タンパク質 GFP と RFP を利用した蛍光相互相関分光による細胞内酵素反応 (Caspase3) の測定。A、Cは活性化前、B、Dは活性化後。A、Bは認識サイトを含む融合タンパク質。C、Dはコントロール実験。曲線 R、G は自己相関曲線を示し、曲線 C は相互相関曲線を示す。アポトーシスを起こした細胞 (B) では相互相関曲線が消失した。

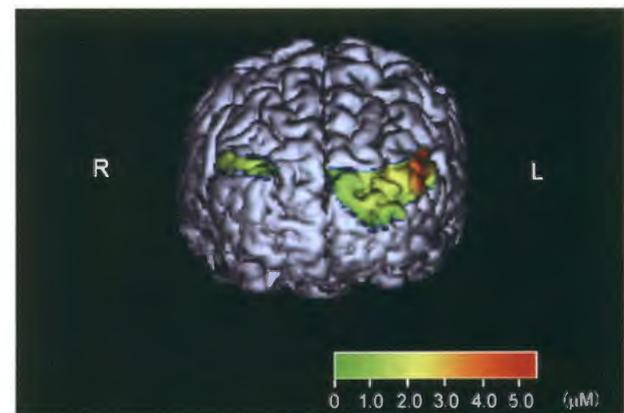
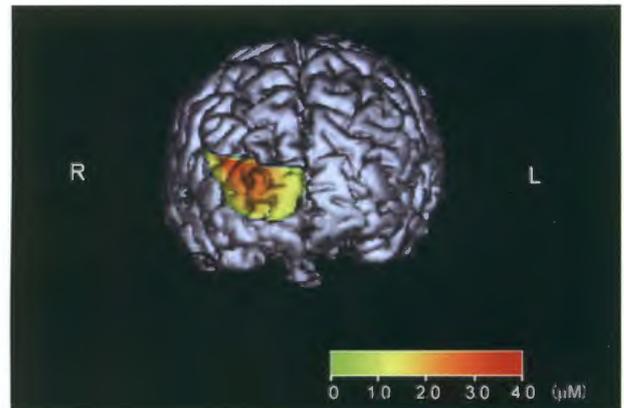


図2. 人のワーキングメモリーの光画像 (上),(下)異なるボランティアでの結果

・平成16年

1) 昨年に引き続き細胞内のタンパク質の機能解析のために蛍光相関分光法を用い、単一分子レベルで、時間的、空間的変化を考慮した解析方法を研究している。これまでに、細胞外からの刺激を受けとり、タンパク質 (PKC) が細胞質から細胞膜へとブラウン運動により移動する過程の1分子観察を実証した (図3)。

2) 医用光学の提案と光 CT による脳機能解明

我々が提唱し発展させてきた近赤外分光法による、脳機能解明の有力な武器となる光 CT により脳の活動部位の可視化を行なった。

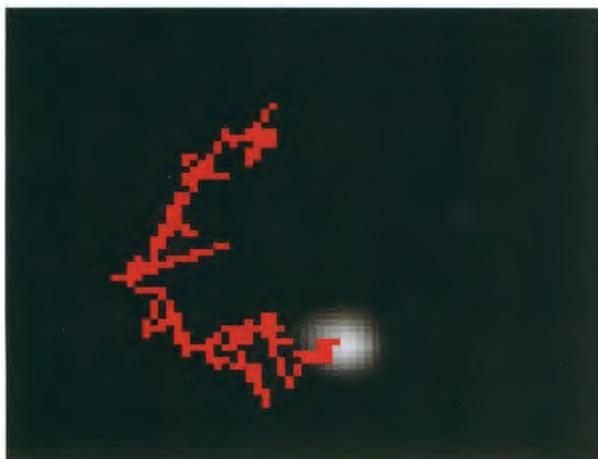


図3. 全反射蛍光顕微鏡を用いて生きた細胞の生体膜上の Protein Kinase C と EGFP 融合タンパク質 (PKC EGFP) を1分子観察し、その軌跡から拡散定数を算出した。  
スケールバー:  $1\mu\text{m}$   
観察時間: 2 sec (30frame/sec の早さで合計 60frame の画像を取得した。)

・平成17年

1) 細胞膜表面の1分子検出と動態の解析

細胞の一番外に存在する生体膜は細胞にとって重要な物質の受容や情報の流入、変換などたいへん重要な働きをしている。

我々は、全反射型蛍光相関分光装置を構築して、1分子追跡法とあわせて世界で始めて生体膜表面のタンパク質の動態の解析に成功した(図4)。今後さらに様々な生体分子相互作用を直接解析することにより、タンパク質や生体高分子の複合体形成や凝集と細胞機能や生体の病態との関連を明らかにしたいと考えている。

2) 医用光学の提案と光 CT による脳機能解明

我々が提唱し発展させてきた近赤外分光法による、脳機能解明の有力な武器となる光 CT により脳の活動部位の可視化を行なった。

3) カップリング機構の解明

光学計測可能な各種動物モデルによる神経興奮 - 代謝変動のカップリング機構の解明を行った(図5)。

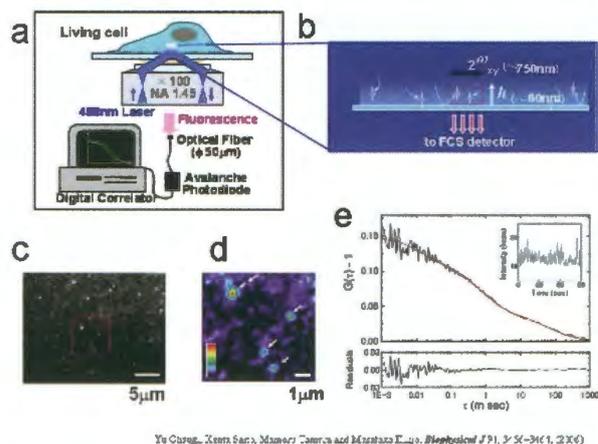


図4. 生きた細胞における膜結合タンパク質の一分子動態解析  
(a) 全反射型蛍光相関分光装置 (TIR-FCS) の概略  
(b) 全反射照明による微小観察領域  
(c) 膜結合型蛍光タンパク質の一分子画像  
(d) c の画像の枠内 (赤) の拡大  
(e) TIR-FCS の測定結果。自己相関関数 (黒) とモデル (赤) 内挿図と下図はそれぞれ蛍光強度と測定残渣

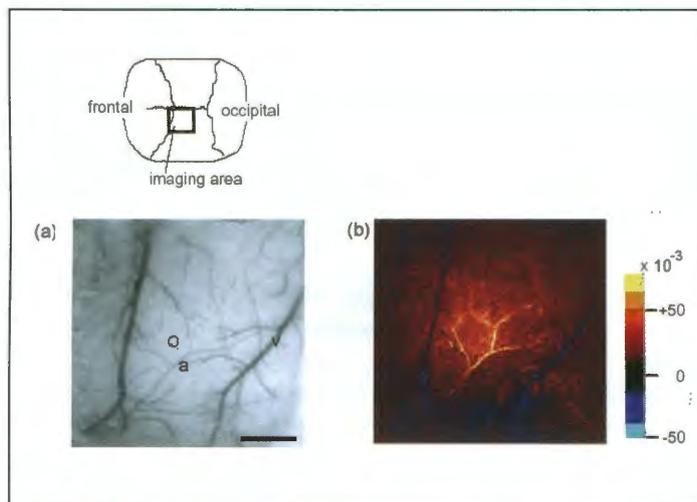


図5. 光学窓を装着したラット頭部脳表における運動野領域の光学計測。波長580nm における酸素化ヘモグロビンの反射光強度マップ  
(a) 白色画像  
(b) 刺激後3秒の580nmの反射光強度マップ

・平成18年度

1) 昨年に引き続き蛍光のゆらぎを利用した蛍光相関分光法を用いて単一分子診断の可能性を検証し、新たな遺伝子診断法の確立を目指した。本手法が広く蛋白質相互作用の研究や細胞や組織への応用が可能であることを一細胞測定法と組み合わせた(図6)。

2) 1分子検出を用いた臓器代謝研究への展開

臓器灌流法及び蛍光性タンパク質発現小動物を用いて、生きた丸ごとの系における生体分光イメージング法を開拓し、特に蛍光相関法により単一分子の挙動を生体組織で直接解析を試みた。

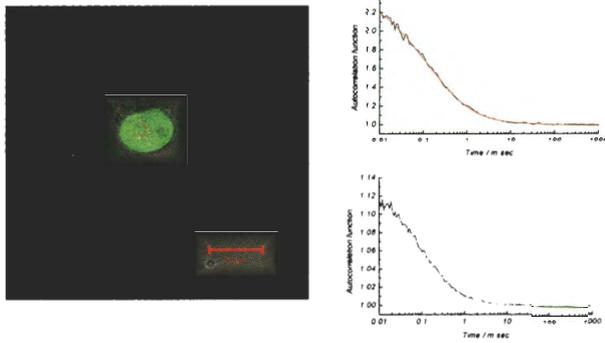


図6. マイクロウェルによる単1細胞トラップと分子数測定  
シリコンチップで作成した $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ の微小空間にGFP発現Hela細胞を1細胞だけトラップした。蛍光相関分光法を利用することで与えたDNA1分子数あたり発現したGFPタンパク数が決定された。  
スケールバーは $20\mu\text{m}$

3) 新しい波長域 $1\mu\text{m}$ 台波長域を用いた生体分光学的確立  
 $1\mu\text{m}$ 波長域は生体組織の水やグルコースなどの吸収が含まれる波長域であり、極めて有用である。時間分解計測法を応用し、生きた人組織の水分計測を初めて行った(図7)。

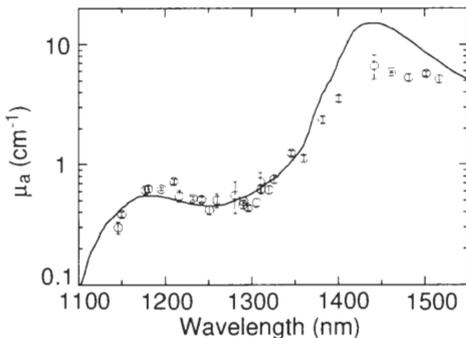


図7. 人前腕の吸収スペクトルと水のスペクトル  
時間分解計測により成人男性の腕の吸収係数を決めた。水の吸収スペクトルとの比較から水分量約50%が求まりMRIで決めたものと良い一致を示した。

4) 強度相関を用いた測定法の拡張

強度相関法を用いて、寿命計測が可能であることを示した。特に細胞内に取り込ませたPdポルフィリンの燐光の寿命測定に応用し、細胞内の酸素濃度検出を行った(図8)。

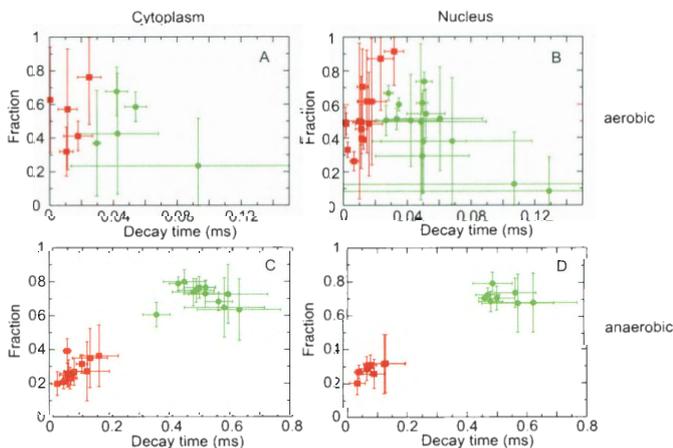


図8. HeLa細胞内に取り込ませたPdポルフィリンの寿命  
好気状態、嫌気状態ともに寿命成分は2成分であった。寿命は酸素濃度変化と対応し変化した。

## 4. 資料

### 4.1 学術論文等

- 1) G. Nishimura and M. Kinjo: "Visible Emission of a Photo-product from Tryptophan Solution Induced by Multiphoton Excitation: An Investigation by Intensity Fluctuation Analysis", *J.Phys.Chem. B*, 107: 6012-6017 (2003)
- 2) M. Tarumi, M. Shimada, T. Murakami, M. Tamura, M. Shimada, H. Arimoto and Y. Yamada: "Simulation Study of In Vitro Glucose Measurement by NIR Spectroscopy and a Method of Error Reduction", *Phys. Med. Biol.*, 48: 2373-2390 (2003)
- 3) G. Nishimura and M. Tamura: "Simple setup for nano-second time-resolved spectroscopic measurements by a digital storage oscilloscope", *Phys. Med. Biol.*, 48: N283-N290 (2003)
- 4) N. Tokuriki, M. Kinjo, S. Negi, M. Hoshino, Y. Goto, I. Urabe and T. Yomo: "Protein Folding by the Effects of Macromolecular Crowding", *Protein Science*, 13: 125-133 (2003)
- 5) K. Maruo, M. Tsurugi, J. Chin, T. Ota, H. Arimoto, Y. Yamada, M. Tamura, M. Ishii and Y. Ozaki: "Noninvasive Blood Glucose Assay Using a Newly Developed Near-Infrared System", *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 9(2): 322-330 (2003)
- 6) S. Oya, H. Inoue, T. Nakade, A. Ogata, M. Tamura and S. Kato: "Near-infrared Spectroscopy Evaluated as a Technique for Estimating Udder Haemodynamics in the Lactating Cow", *J. Vet. Med. A*, 50: 230-234 (2003)
- 7) G. Nishimura and M. Kinjo: "Multi-photon fluorescence correlation spectroscopy: a quantification of tryptophan methylester solutions by visible emission", *Optical Review*, 10: 588-591 (2003)
- 8) F. Fujii and M. Tamura: "Light Scattering Changes in Isolated Brain Mitochondria during Anoxia - Magnesium Effect on Morphological Changes and Respiration-", *Optical Review*, 10(5): 440-443 (2003)
- 9) K. Saito, E. Ito, Y. Takakuwa, M. Tamura and M. Kinjo: "In situ observation of mobility and anchoring of PKC $\zeta$  in plasma membrane", *FEBS Letters*, 541: 126-131 (2003)
- 10) Y. Takahashi, N. Bark, M. Kinjo and R. Rigler: "Fluorescence Correlation Spectroscopy (FCS) Analysis of Human Red Blood Cell System", *OPTICAL REVIEW*, 10(6): 596-599 (2003)
- 11) Z. Foldes-Papp, M. Kinjo, K. Saito, H. Kii, T. Takagi, M. Tamura, J. M. Costa, E. Birch-Hirschfeld, U. Demel, P. Thyberg and G. P. Tilz: "C677T Single Nucleotide Polymorphisms of the Human Methylene Tetrahydrofolate Reductase and Specific Identification A Novel Strategy Using Two-Color Cross-Correlation Fluorescence Spectroscopy", *Molecular Diagnosis*, 7(1): 99-111 (2003)
- 12) K. Maruo, M. Tsurugi, M. Tamura and Y. Ozaki: "In Vivo

- Noninvasive Measurement of Blood Glucose by Near-Infrared Diffuse-Reflectance Spectroscopy”, *Applied Spectroscopy*, 57(10): 1236-1244 (2003)
- 13) G. Nishimura and M. Kinjo: “Systematic Error in Fluorescence Correlation Measurements Identified by a Simple Saturation Model of Fluorescence”, *Analytical Chemistry*, 76: 1963-1970 (2004)
  - 14) F. Fujii, Y. Nodasaka, G. Nishimura and M. Tamura: “Anoxia Induces Matrix Shrinkage Accompanied by an Increase in Light Scattering in Isolated Brain Mitochondria”, *Brain. Res.*, 999: 29-39 (2004)
  - 15) Z. Foldes-Papp, J. M. Costa, U. Demel, G. P. Tilz, M. Kinjo, K. Saito, H. Kii, T. Takagi, M. Tamura, P. Thyberg and E. Birch-Hirschfeld: “Specifically associated PCR products probed by coincident detection of two-color cross-correlated fluorescence intensities in human gene polymorphisms of methylene tetrahydrofolate reductase at site C677T: a novel measurement approach without follow-up mathematical analysis”, *Exp. Mol. Pathol.*, 76(3): 212-218 (2004)
  - 16) A. Kamada, H. Nagaya, T. Tamura, M. Kinjo, H. Jin, T. Yamashita, K. Jimbow, H. Kanoh and I. Wada: “Regulation of immature protein dynamics in the endoplasmic reticulum”, *J. Biol. Chem*, 279: 21533-21542 (2004)
  - 17) Y. Nomura and M. Kinjo: “Real-time monitoring of in vitro transcriptional RNA using fluorescence correlation spectroscopy”, *Chem. Bio. Chem.*, 5: 1701-1703 (2004)
  - 18) K. Watanabe, K. Saito, M. Kinjo, T. Matsuda, M. Tamura, S. Kon, T. Ueda and T. Miyazaki: “Molecular dynamics of STAT3 on IL-6 signaling pathway in living cells”, *Biochem. Biophys. Res. Comm*, 324: 1264-1273 (2004)
  - 19) H. Shichinohe, S. Kuroda, J. Lee, G. Nishimura, S. Yano, T. Seki, J. Ikeda, M. Tamura and Y. Iwasaki: “In vivo tracking of bone marrow stromal cells transplanted into mice cerebral infarct by fluorescence optical imaging”, *Brain Research Protocols*, 13: 166-175 (2004)
  - 20) A. Masuda, K. Ushida, G. Nishimura, M. Kinjo, M. Tamura, H. Koshino, K. Yamashita and T. Kluge: “Experimental evidence of distance-dependent diffusion coefficients of a globular protein observed in polymer aqueous solution forming a network structure on nanometer scale”, *J. Chem. Phys.*, 121: 10787-10793 (2004)
  - 21) I. Kida, P. K. Maciejewski and F. Hyder: “Dynamic imaging of perfusion and oxygenation by fMRI.”, *J Cereb Blood Flow Metab*, 24(12): 1369-1381 (2004)
  - 22) K. Saito, I. Wada, M. Tamura and M. Kinjo: “Direct detection of caspase-3 activation in single live cells by cross-correlation analysis”, *Biochem. Biophys. Res. Comm*, 324(2): 849-859 (2004)
  - 23) T. Takagi, H. Kii and M. Kinjo: “DNA Measurements by Using Fluorescence Correlation Spectroscopy and Two-Color Fluorescence Crosscorrelation Spectroscopy”, *Current. Pharm. Biotec.*, 5: 199-204 (2004)
  - 24) T. Yamamoto, Y. Nagayama and M. Tamura: “A Blood-oxygenation-dependent Increase in Blood Viscosity due to a Static Magnetic Field”, *Phys. Med. Biol.*, 49: 3267-3277 (2004)
  - 25) G. Nishimura and M. Tamura: “Simple peak shift analysis of time-of-flight data with a slow instrumental response function”, *J. Biomed.Opt.*, 10: 014016 (2005)
  - 26) G. Nishimura and M. Tamura: “Artefacts in the analysis of temporal response functions measured by photon counting”, *Phys.Med.Biol.*, 50: 1327-1342 (2005)
  - 27) M. Hirose, H. Tohda, Y. Giga-Hama, R. T sushima, T. Zako, R. Iizuka, C. Back, M. Kinjo, N. Ishii and M. Yohda: “Interaction of a small heat shock protein of the fission yeast, *Schizosaccharomyces pombe*, with a denatured protein at elevated temperature”, *J. Biol. Chem.*, 280: 32586-32593 (2005)
  - 28) T. Jin, F. Fujii, H. Sakata, M. Tamura and M. Kinjo: “Amphiphilic p-sulfonatocalix[4]arene-coated CdSe/ZnS quantum dots for the optical detection of the neurotransmitter acetylcholine”, *Chemical Communications*: 4300-4302 (2005)
  - 29) T. Jin, F. Fuji, H. Sakata, M. Tamura and M. Kinjo: “Calixarene-coated water-soluble CdSe-ZnS semiconductor quantum dots that are highly fluorescent and stable in aqueous solution”, *Chemical Communications*: 2829-2831 (2005)
  - 30) Z. P. Foldes, M. Tamura, E. B. Hirschfeld, U. Demel and G. Tilz: “A New Ultrasensitive Way to Circumvent PCR-based Allele Distinction: Direct Probing of Unamplified Genomic DNA by Solution-phase Hybridization Using Two-color Fluorescence Cross-correlation Spectroscopy”, *Expe. Mol. Pathol.*, 78: 177-189 (2005)
  - 31) S. Yano, S. Kuroda, J. Lee, H. Shichinohe, T. Seki, J. Ikeda, G. Nishimura, K. Hida, M. Tamura and Y. Iwasaki: “In vivo fluorescence tracking of bone marrow stromal cells transplanted into a pneumatic injury model of rat spinal cord”, *J.Neurotrauma*, 22: 907-918 (2005)
  - 32) Y. Takahashi, R. Sawada, K. Ishibashi, S. Mikuni and M. Kinjo: “Analysis of Cellular Functions by Multipoint Fluorescence Correlation Spectroscopy”, *Curr. Pharm. Biotech.*, 6: 156-159 (2005)
  - 33) G. Nishimura and M. Kinjo: “Dead-time distortion in fluorescence correlation measurements”, *Applied Optics*, 44: 3458-3467 (2005)
  - 34) Y. Nomura, H. Fuchigami, H. Kii, Z. Feng, T. Nakamura and M. Kinjo: “Detection of oxidative stress-induced mitochondrial DNA damage using fluorescence correlation spectroscopy”, *Anal. Biochem.*, 350: 196-201 (2006)
  - 35) C. Back, K. Saito, M. Tamura and M. Kinjo: “Microenvironment and effect of energy depletion in the nucleus analyzed by mobility of multiple oligomeric EGFPs.”, *Biophys J.*

- 91: 3921-3936 (2006)
- 36) Y. Ohsugi and M. Kinjo: "Analysis of membrane-binding protein mobility in living cells using total internal reflection fluorescence correlation spectroscopy", *Biophysical Review and Letters*, 1(3): 293-299 (2006)
- 37) R. Oyama, H. Takahashi, M. Yonezawa, N. Doi, E. Miyamoto-Sato, M. Kinjo and H. Yanagawa: "Protein-protein interaction analysis by C-terminally specific fluorescence labeling and fluorescence cross-correlation spectroscopy", *Nucleic Acids Research*, 34(14): e102 (2006)
- 38) H. Konno, T. Murakami, F. Fujii, F. Koyama, H. Ueoka-Nakanishi, C. Back, M. Kinjo and T. Hisabori: "The regulator of the F1 motor: Inhibition of rotation of cyanobacterial F1-ATPase by the  $\epsilon$  subunit.", *EMBO J*: 4596-4604 (2006)
- 39) A. Kitamura, H. Kubota, C. Back, G. Matsumoto, S. Hirayama, Y. Takahashi, H. Kimura, M. Kinjo, R. Morimoto and K. Nagata: "Cytosolic chaperonin prevents polyglutamine toxicity with altering the aggregation state", *Nature Cell Biology*, 8(10): 1163-1169 (2006)
- 40) S. Kawai-Noda, S. Ayano, C. Back, M. Kinjo, M. Yoshida, K. Yasuda and H. Taguchi: "Dynamics of yeast prion aggregates in single living cells.", *Genes to Cells*, 11: 1085-1096 (2006)
- 41) T. Jin, F. Fujii, E. Yamada, Y. Nodasaka and M. Kinjo: "Control of the optical properties of quantum dots by surface coating with calix[n]arene carboxylic acids", *J. American Chemical Society*, 128(29): 9288-9289 (2006)
- 42) Y. Ohsugi, K. Saito, M. Tamura and M. Kinjo: "Lateral Mobility of Membrane-Binding Proteins in Living Cells Measured by Total Internal Reflection Fluorescence Correlation Spectroscopy.", *Biophys J.*, 91(9): 3456-3464 (2006)
- 43) H. Muto, N. Issei, T. Demura, H. Fukuda, M. Kinjo and K. Yamamoto: "Fluorescence cross-correlation analyses of molecular interaction between an Aux/IAA protein, MSG2/IAA19, and protein-protein interaction domains of auxin response factors of Arabidopsis expressed in HeLa cells", *Plant Cell Physiol.*, 47: 1095-1101 (2006)
- 44) T. Kogure, S. Karasawa, T. Araki, K. Saito, M. Kinjo and A. Miyawaki: "A fluorescent variant of a protein from the stony coral *Montipora* facilitates dual-color single-laser fluorescence cross-correlation spectroscopy.", *Nat Biotechnol*, 30: 577-581 (2006)
- 45) Y. Nomura, H. Fuchigami, H. Kii, Z. Feng, T. Nakamura and M. Kinjo: "Quantification of size distribution of restriction fragments in mitochondrial genome using fluorescence correlation spectroscopy", *Experimental and Molecular Pathology*, 80(3): 275-278 (2006)
- 46) G. Nishimura, I. Kida and M. Tamura: "Characterization of optical parameters with a human forearm at the region from 1.15 to 1.52  $\mu$  m using diffuse reflectance measurements", *Phys.Med.Biol.*, 51: 2997-3011 (2006)
- 47) Y. Araki, T. Kawano, H. Taru, Y. Saito, S. Wada, K. Miyamoto, H. Kobayashi, H. Ishikawa, Y. Ohsugi, T. Yamamoto, K. Matsuno, M. Kinjo and T. Suzuki: "The novel cargo Alcadin induces vesicle association of kinesin-1 motor components and activates axonal transport.", *EMBO J*, 26: 1475-1486 (2007)
- 48) S. Mikuni, M. Tamura and M. Kinjo: "Analysis of intranuclear binding process of glucocorticoid receptor using fluorescence correlation spectroscopy.", *FEBS Letters*, 581: 389-393 (2007)
- 49) H. Kii, T. Takagi, A. Sasaki, T. Okajima and M. Kinjo: "DNA Microstructure Based on Self-Assembly of 4-Sticky-End Holiday Junctions in Aqueous Solution.", *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 7: 726-729 (2007)
- 50) G. Nishimura, C. Pack and M. Tamura: "Phosphorescence decay 40) time measurements using intensity correlation spectroscopy", *Exp. Mol. Pathol.*, 82: 175-183 (2007)
- 51) Fujii F, Horiuchi M, Ueno M, Sakata H, Nagao I, Tamura M, Kinjo M.: "Detection of prion protein immune complex for bovine spongiform encephalopathy diagnosis using fluorescence correlation spectroscopy and fluorescence cross-correlation spectroscopy." *Anal Biochem*, 370, 131-141 (2007)
- 52) Takahashi Y, Okamoto Y, Popiel HA, Fujikake N, Toda T, Kinjo M, Nagai Y.: "Detection of polyglutamine protein oligomers in cells by fluorescence correlation spectroscopy." *J Biol Chem*, 282, 24039-24048 (2007)
- 53) Kabayama K, Sato T, Saito K, Loberto N, Prinetti A, Sonnino S, Kinjo M, Igarashi Y, Inokuchi J.: "Dissociation of the insulin receptor and caveolin-1 complex by ganglioside GM3 in the state of insulin resistance." *Proc Natl Acad Sci U S A*, 104(34), 13678-13683. (2007)
- 54) Masafumi Shimizu, Satoshi Sasaki and Masataka Kinjo.: "Triplet Fraction Buildup Effect of the DNA-YOYO Complex Studied with Fluorescence Correlation Spectroscopy." *Analytical Biochem*, 366, 87-92(2007)
- 55) Shintaro Mikuni, Changi Pack, Mamoru Tamura and Masataka Kinjo.: "Diffusion analysis of glucocorticoid receptor and antagonist effect in living cell nucleus." *Experimental and Molecular Pathology*, 82, 163-168(2007)

#### 4.2 総説・解説・評論等

- 1) 田村守：「光診断の現状と未来」、*医学のあゆみ*、206(3)：927-928 (2003)
- 2) 田村守：「近赤外分光法-現状と展望」、*BME*、17(4)：15-22 (2003)
- 3) 田村守：「近赤外線による酸素代謝異常の検出」、*臨床医*、29(3)：372-374 (2003)
- 4) 田村守：「近赤外光を用いた脳機能計測 -その基礎および光CTの可能性-」、*計測と制御*、42(5)：396-401

(2003)

- 5) 田村守:「機能的近赤外分光法— f NIRS」、神経研究の進歩、47(6): 891-901 (2003)
  - 6) 田村守:「機能的近赤外分光法 ( f NIRS) の現状とその未来」、Equilibrium Res., 62(3): 260-267 (2003)
  - 7) 田村守:「無侵襲血糖値測定法の現状と課題」、光学、33(7): 380-386 (2004)
  - 8) 田村守:「分子イメージングと光診断」、アニムス、36: 31-36 (2004)
  - 9) 田村守:「光と医療の最前線」、光技術コンタクト、42(17): 5-14 (2004)
  - 10) 坂田啓司、藤井文彦、金城政孝、田村守:「蛍光相関分光法 (FCS) を用いた抗原抗体反応解析および検体検出」、月間バイオインダストリー、21(4): 52-59 (2004)
  - 11) 金城政孝:「蛍光顕微鏡」、蛋白質核酸酵素、49: 1576-1583 (2004)
  - 12) 田村守:「近赤外光を用いた脳機能計測—その基礎と臨床応用—」、神経内科、61(5): 434-444 (2004)
  - 13) 齋藤健太、高橋保夫、金城政孝:「拡散測定による細胞内生体高分子の動態解析 (II)」、日本バイオレオロジー学会誌、18(2): 71-79 (2004)
  - 14) 齋藤健太、金城政孝:「拡散測定による細胞内生体高分子の動態解析 (I)」、日本バイオレオロジー学会誌、18(1): 37-43 (2004)
  - 15) 田村守:「多チャンネル光イメージング法の臨床応用」、臨床検査、49(2): 1547-1555 (2005)
  - 16) 小田元樹、垣花泰之、山下豊、大前悦子、鈴木俊彦、松永明、上村裕一、田村守:「近赤外時間分解分光法を用いた体外循環時の脳血液動態の測定」、脳管学、45(2): 75-80 (2005)
  - 17) 田村守:「光による分子イメージングの現状と将来」、光学、35(2): 66-71 (2006)
  - 18) 中林孝和、飯森俊文、金城政孝、太田信廣:「蛍光寿命イメージングシステムの作成と生体試料および高分子試料への応用」、分光研究、55: 31-39(2006)
  - 19) 三國新太郎、金城政孝:「細胞生物学における蛍光相関分光法と蛍光相互相関分光法」、蛋白質核酸酵素、51: 1998-2005(2006)
  - 20) 金城政孝、白 燦基:「蛍光相関分光法と分子ものさしを用いた細胞内微環境の解析」、北海道大学出版会、73-85 (2007)
  - 21) 金城政孝:「蛍光相関分光法による生体1分子解析」、化学 別冊「分子イメージング」、72-76 (2007)
  - 22) 三國新太郎、金城政孝:「FCSによる解析法」、実験医学 別冊「分子間相互相互作用解析ハンドブック」、85-89 (2007)
  - 23) 三國新太郎、小暮貴子、宮脇敦史、金城政孝:「FCCSによるタンパク質相互作用解析」、別冊「分子間相互相互作用解析ハンドブック」、95-95 (2007)
  - 24) 金城政孝:「相互作用の定量化:イメージングと蛍光相関分光法」、化学と生物45: 570-756 (2007)
- ### 4.3 著書
- 1) I. Kida and F. Hyder: “Physiology of fMRI: Energetics and function.”, Magnetic Resonance Imaging: Methods and Biological Applications, Chapter 7, Prasad PV, Ed., The Humana Press Inc (2004)
  - 2) 金城政孝:「細胞の中のロジスティック」、一分子生物学, 合原一幸、岡田康志 編、83-100 (2004)
  - 3) 田村守:「光とバイオ、光と医療の新時代」、光科学研究の最前線: 390-391 (2005)
  - 4) 金城政孝、西村吾朗:「蛍光相関分光法.」、『日本分光学会測定法シリーズ42 蛍光分光とイメージングの手法、御橋 廣真編』、学会出版センター、134-160(2006)
- ### 4.4 特許
- 1) 金城政孝、田村守、藤井文彦、坂田啓司、堀内基広、上野雅由、柳谷孝幸: 特願2004-275675、「蛍光相関分光法による抗原の迅速検出及び/又は測定法」、2004年6月3日
  - 2) 神 隆、金城政孝、田村守、藤井文彦、坂田啓司: 2004-275675、「水溶性蛍光材料およびその製造方法」、2004年9月22日
  - 3) 金城政孝、田村守、齋藤健太、藤井文彦 and 坂田啓司、アメリカ、カナダ、オーストラリア、中国、韓国、台湾、イギリス、フランス、ドイツ、スウェーデン、特願2005-264394、「蛍光相関分光法又は蛍光相互相関分光法を用いた抗原の迅速検出法。」、2005年9月12日
  - 4) 金城政孝、鈴木明美、特願2005-279986、「光信号解析装置」、2005年9月27日
  - 5) 神 隆、金城政孝、田村守、藤井文彦、坂田啓司:「水溶性蛍光材料およびその製造方法」、特願2004-275675 (2006.9.22)
  - 6) 高橋保夫、金城政孝、田村守: 特許「膜構造を有する生体構造物の膜機能を解析する方法」、特許出願 2004-50214(P2004-50214) (2006.2.25)
  - 7) 金城政孝、堀内基広、藤井文彦、坂田啓司、田村守、上野雅由、柳谷孝幸: 特許「蛍光相関分光法による抗原の迅速検出及び/又は測定法」(2006.6.3)
- ### 4.5 講演
- 1) Changi Pack and Masataka Kinjo: “Studying dynamics of tandem GFPs at nucleus in living cell by fluorescence correlation spectroscopy.” Prague Post Genome Technology Workshop (PPGT), Prague, Czech Republic (June 2005)
  - 2) Masataka Kinjo: “Study of Protein Dynamics in Living Cell Using Fluorescence Cross Correlation Spectroscopy.” International Symposium on Molecular Nanotechnology. Nara, Japan (November 2005)
  - 3) 金城政孝:「蛍光相互相関法を用いた細胞内のタンパク質相互作用解析」、第6回日本蛋白質科学会年会、京都 (2006-4)
  - 4) Masataka Kinjo: “Bio-molecular Interaction in Living Cell

studied by Fluorescence Correlation Spectroscopy.” Protein Function through Post-translational Modifications: New Technologies and Application to Biomedical Systems. Sapporo, Japan (May 2006)

- 5) Masataka Kinjo: “Analysis of Microenvironment of Nucleus Using Fluorescence Correlation Spectroscopy.” The Second NIBB-EMBL Symposium “Frontiers in Bioimaging. Okazaki, Japan (May 2006)
- 6) Masataka Kinjo: “Analysis of biomolecular function in living cells using fluorescence correlation spectroscopy.” The first international conference on Approaches to Single-Cell Analysis. Uppsala, Sweden (June 2006)
- 7) Masataka Kinjo and Yu Ohsugi: “Lateral Diffusion of Membrane-Binding Proteins in Living Cells Analyzed by Total Internal Reflection Fluorescence Correlation Spectroscopy.” Asia-Pacific Workshop on Biological Physics. Singapore (July 2006)
- 8) Masataka Kinjo: “Studies of protein dynamics in the cell nucleus with fluorescence correlation spectroscopy.” A one-day workshop: Cellular and Molecular Imaging. Center for Molecular Medicine. Stockholm, Sweden (September 2006)
- 9) 西村吾朗、黄田育宏、田村守: 「1 $\mu$ m を越える波長域での生体組織分光 — 課題と可能性」日本光学会(OPJ2006)、東京 (2006-11)
- 10) Masataka Kinjo: “Analysis of protein dynamics in the cell nucleus with fluorescence correlation spectroscopy.” The 9th Carl Zeiss sponsored workshop on FCS and related methods. Stockholm, Sweden (December 2006)
- 11) Masataka Kinjo: “Dynamics and interaction of protein in living cell analysis by FCS.” EMBO Practical Course: Imaging in 3D and the F-techniques:FRET, FCS, FLIM and FRAP. Singapore (June 2007)
- 12) 金城政孝: 「光相関分光法を用いた細胞内微環境の解析」、第53回高分子夏季大学、北海道 (2007-7)
- 13) 金城政孝: 「次世代バイオイメージングとしての蛍光相関分光法: 「分子間相互作用の解析による新たな医学研究の発展.」、産学官連携を指向した最前線セミナー、東京 (2007-7)
- 14) 金城政孝: 「蛍光相関分光法.」、日本分光学会第43回夏期セミナー、千葉 (2007-8)

#### 4.6 シンポジウムの開催

- 1) 田村守、星詳子、高橋秀嗣、山口佳寿博、小林弘祐、桑平一郎、伊藤俊之: 「第9回酸素ダイナミクス研究会」、50名、北海道大学 電子科学研究所 (札幌市) (2004年9月11日)
- 2) 金城政孝、松岡一郎: 「第4回細胞生物学ワークショップ」、100名、北海道大学 創成科学研究機構 (札幌市) (2004年11月15日~2004年11月20日)
- 3) 田村守、北川禎三: 「分子科学研究所研究会 生体分光学と分子イメージングの最前線」、100名、岡崎市コン

ファレンスセンター (岡崎市) (2005年1月17日~2005年1月18日)

- 4) 田村守、岩井俊昭、山田幸生、伊藤雅秀、河野澄夫、津村徳道、藤田克昌: 「講演会 光と食・農」、150名、みらいCANホール(日本科学未来館7F) (東京都) (2005年2月22日~2005年2月23日)
- 5) 田村守、星詳子、高橋秀嗣、山口佳寿博、小林弘祐、桑平一郎、伊藤俊之: 「第10回酸素ダイナミクス研究会 (10周年記念大会)」、50名、島津製作所マルチホール (大阪市)、2005年9月17日
- 6) 金城政孝、永井健治: 「第6回細胞生物学ワークショップ」、100名、北海道大学 電子科学研究所 (札幌市)、2006年1月15日~2006年1月20日
- 7) 田村守、岩井俊昭、山田幸生、伊藤雅秀、津村徳道、藤田克昌、Amir H Gandjbakhche: 「講演会 21世紀のバイオメディカルフォトンクス 分子イメージング」、200名、みらいCANホール (日本科学未来館7F) (東京都)、2006年3月8日~2006年3月9日

#### 4.7 予算獲得状況

##### a. 科学研究費補助金 (氏名、研究種目、研究課題、決定額、年度)

- 1) 金城政孝、基盤研究 B 一般 (2)、多点同時測定蛍光相関分光装置の試作と細胞内分子間相互作用の解析、15,300千円、2003~2005年度
- 2) 田村守、基盤研究 B 一般 (2)、MRI の磁場による血流変化: 作用機序の解明とその応用、2004~2006年度
- 3) 金城政孝、萌芽研究、分布関数を用いた細胞核内の微環境の解析と新しい細胞像の構築、3,000千円、2005~2007年度
- 4) 金城政孝、特定領域研究、蛍光相関分光法を用いた細胞核内ダイナミクスの解析、7,200千円、2005~2007年度
- 5) 金城政孝、基盤研究 (A)、全反射型蛍光相関分光測定による生体膜結合性分子複合体の研究、36,500千円、2006~2008年度
- 6) 金城政孝、特定領域研究、相関分光法を用いた凝集体タンパク質の品質評価の確立、71,000千円、2007~2011年度
- 7) 金城政孝、特定領域研究、時空間相互相関法を用いた細胞核内ダイナミクスの解析、8,900千円、2007~2008年度
- 8) 金城政孝、特定領域研究、相互相関分光法を利用した細胞内分子間相互作用の解析、4,700千円、2007~2008年度
- 9) 金城政孝、特別研究員奨励費 (研究員: 白燦基)、『分子ものさし』を用いた核内微環境の定量的解析手法の構築と細胞生物学への応用、2,400千円、2005~2007年度
- 10) 金城政孝、厚生労働科学研究費補助金、蛍光相関法による抗体探索とリアルタイム測定、8,500千円、2004~2006年度

11) 金城政孝、厚生労働科学研究費補助金、蛍光相関分光法によるプリオン蛋白の超高感度蛋白検出法の開発、2005～2008年度

b. 奨学寄附金 (氏名、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

1) 田村守、オリンパス光学工業株式会社 医療事業光学開発部、奨学寄付金、2003年度、500千円、電子化学研究のため

2) 田村守 (株式会社システムブレイン) : 「奨学寄付金」、2004年度、2,090千円、超分子分光研究分野における光診断の研究

3) 西村吾朗、日立製作所基礎研究所、近赤外 1-1.5ミクロン帯応用を目指した基礎的研究、2006年度、480千円、1μm 台近赤外波長域の応用への調査

4) 西村吾朗、黒田敏、黄田育弘、福田記念医療技術振興財団、1μm を越えた近赤外光を用いた脳浮腫モニタリング手法の開発、2006年度、2000千円、脳浮腫モニタリングのための光学技術の開発

#### 4.8 共同研究

b. 民間等との共同研究 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

1) 金城政孝、高橋保夫 (オリンパス光学工業株式会社) : 「FCS を用いた蛋白質相互作用の解析とその応用研究に関する共同研究」、2003～2005年度、FCS による生細胞内分子相互作用計測技術、および検出データ解析技術の研究開発を行う

2) 田村守、金城政孝、藤井文彦、坂田啓司、萩野倫子 (科学技術振興機構 研究成果活用プラザ北海道) : 「病原性変異蛋白質のウルトラハイスループット検査法の確立 -BSE スクリーニングを目指して-」、2003～2004年度、蛍光ゆらぎを利用して、分子1個からの検出が可能な蛍光相関分光法 (FCS) を用いて、BSE 検体を全自動で迅速に検査できる検査法の実用化を目指す。

3) 田村守、小林邦彦、中山憲司 (北海道立衛生研究所) : 「先天性銅代謝異常症 (ウィルソン病) の包括的医療システムの構築-3歳児健診を利用したウィルソン病スクリーニングの導入-」、2003年度、639千円、ウィルソン病のヘム代謝異常に関する研究及び蛍光相関分光法による尿中セルロプラスミンの超高感度検出法の開発

4) 田村守、石井正孝 (医療法人社団翔嶺館 新札幌聖陵ホスピタル) : 「光学的血糖測定システムの開発」、2003年度、500千円、糖尿病患者の健康管理のため、近赤外光を用いた非侵襲的血糖測定機を開発する

5) 金城政孝、長谷川寛 (浜松ホトニクス株式会社) : 「一分子蛍光計測装置の開発」、2002～2003年度、1,000千円、現行の一分子計測装置は大型でかつ高価である。これを小型で操作性が簡便で、かつ安価な装置を開発することにより、遺伝子解析や蛋白質相互作用の研究を促進する

6) 田村守、金城政孝、藤井文彦、坂田啓司、萩野倫子 (科

学技術振興機構 研究成果活用プラザ北海道) : 「病原性変異蛋白質のウルトラハイスループット検査法の確立 -BSE スクリーニングを目指して-」、2004年度、蛍光ゆらぎを利用して、分子1個からの検出が可能な蛍光相関分光法 (FCS) を用いて、BSE 検体を全自動で迅速に検査できる検査法の実用化を目指す

7) 田村守、西村吾朗、高岡秀行、中岡正哉、雙木満 (オリンパス株式会社) : 「生体自家蛍光の分光学的研究」、2004～2006年度、生体自家蛍光を用いた内視鏡下での診断手法を開発する

8) 金城政孝、長尾一生 ((社)バイオ産業情報化コンソーシアム) : 「機能性 RNA を in vivo で計測するシステムの開発」、2005～2007年度、機能性 RNA の発現状態を蛍光相関分光法により in vivo で計測する技術を開発し、機能性 RNA の細胞の状態などと実時間で同時計測する技術を開発する

9) 金城政孝、奥川久 (株式会社ニコンインストルメンツカンパニー) : 「蛍光相関分光装置に関する研究」、2005～2006年度、HTS を目指した蛍光相関分光装置に対応可能な光学系と解析方法を確立することを目的とする

10) 金城政孝、浜松ホトニクス株式会社、1分子蛍光計測装置の開発、2002～2004年度

11) 金城政孝、株式会社ニコンインストルメンツカンパニー、蛍光相関分光装置に関する研究、2007年度

12) 金城政孝、独立行政法人沖縄科学技術研究基盤整備機構、生体膜結合性複合分子のダイナミックスの研究、2007年度

13) 金城政孝、クミアイ化学工業株式会社、FCS を用いたオーキシシグナル伝達系作動薬の評価に関する研究、2007年度

c. 大型プロジェクト・受託研究 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

1) 金城政孝 (オリンパス光学工業株式会社) : 「細胞内2光子励起 FCS/FCCS の測定技術に関する研究」、2003年度、10,000千円、細胞内 FCS/FCCS の測定技術の確立を目指した基礎研究を行う

2) 田村守、丸尾勝彦、鶴来充啓、中川武大 (松下電工(株)) : 「光学式血糖値測定システムの開発」、2003年度、1,500千円、近赤外光を利用した非侵襲血糖計測システムを開発する

3) 金城政孝、科学技術振興機構、糖鎖の生物機能の解明と利用技術、2003年度、糖鎖の生物機能の解明と利用技術の開発

4) 金城政孝、オリンパス株式会社、生細胞2光子励起 FCS/FCCS の測定技術に関する研究、2003～2005年度

5) 金城政孝、社団法人バイオ産業情報化コンソーシアム、化合物等の探索技術の開発(スクリーニング技術開発)、2006～2010年度 (予定)

f. 科学技術振興調整費 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

1) 金城政孝 (文部科学省) : 「蛍光相関分光法を利用した高感度分子間相互作用検出装置の開発」、1999～2003

年度、72,781千円、極微小領域からの蛍光発光をとらえる手法を利用して大規模未知遺伝子翻訳産物を対象した分子間相互作用解析システム（蛍光相関分光法）の開発を行う

- g. その他（研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容）
- 1) 金城政孝、本間さと、白川哲夫（RR2002）：「RR2002 先端計測研究」、2003～2004年度、未定、ヒトー動物ー組織ー細胞ー分子を研究対象とし、北海道大学が子の方面でもつポテンシャルに基づき異なるモダリティーの先端計測技術を開発する。さらに、それらの計測法を駆使して学内外の異分野の研究者が協同しながら個々の階層がもつ機能を追及する。1) 磁気イメージング、2) 光イメージング、3) 高次機能と行動観察、3) 細胞・分子計測に関する研究を展開する。
  - 2) 佐多徹太郎、田村守、堀内基広、品川森一、小野寺節、山河芳夫、堂浦克美、高橋秀宗、松田治男、千葉丈、菊地裕、松田潤一郎、石黒直隆、吉岡秀文、三好一郎、森清一、寺尾恵治、佐々木裕之（厚生科学研究費補助金）：「牛異常プリオン検出技術の高度化及び牛海面状脳症の感染メカニズム」、2003～2004年度、未定、プリオンの検出、あるいは疾病に付随する蛋白を検出して診断・摘発する方法の改良と、高感度化及び実用化
  - 3) 田村守、金城政孝、岩井俊昭、品川森一、堀内基広、田村正秀、澤田幸治、池田徹也（科学技術振興機構 研究成果活用プラザ北海道）：「病原性変異蛋白質のウルトラハイスループット検査法の確立 -BSE スクリーニングを目指して-」、2002～2005年度、145,000千円、蛍光ゆらぎ(分子の運動)を利用して蛍光分子1～数個の検出が可能な超高感度検出システムを開発し、遺伝子診断や蛋白質相互作用の検出へ応用するもの。従来の蛍光強度を測定する手法と異なり、微量の検体を液相で測定できるため、牛海綿状脳症(BSE)のような膨大な数のサンプルを対象とする検査を全自動で超高精度、迅速に行うことができる。本技術では、ウイルスン病、糖尿病、クロイツフェルト・ヤコブ病、C型肝炎等の病態の早期診断などが可能となるが、当面の目標をBSEの検査システムの構築に置き、現在、熟練者の人手による検査を全自動化し、現行の食用肉は勿論、今後の課題とされる加工食品や牛の生前診断への道を拓く。
  - 4) 井上芳郎、栗城真也、本間研一、大森隆司、渡邊雅彦、吉岡充弘、阿部純一、室橋春光、福島菊郎、本間さと、郷原一壽、田村守（文部科学省）：RR2002ライフサイエンス技術開発「発達期における脳機能分化と認知・行動の相互作用に関する包括的研究」、2002～2006年度、未定、「発達脳科学」に関する研究教育を目的として、北大のなかに研究科横断型の大学院教育組織（バーチャル専攻）を構築し、文理融合型の教育を行う。ポスドク研究員の採用と併せて、脳科学に関する若手研究者の育成を図る。
  - 5) 金城政孝、厚生労働省、アミロスフェロイド仮説によ

るアルツハイマー病病態解明と臨床応用に関する研究—高等動物モデル構築と生体リアルタイム観測法開発によるアプローチ、2004～2006年度、目標1,2の蛍光相関法による抗体探索とリアルタイム測定

- 6) 金城政孝、厚生労働省、食品を介するBSEリスクの解明等に関する研究、2005～2007年度、蛍光相関分光法を用いて、BSE解明への道を探る

#### 4.10 社会教育活動

##### 併任・兼業

- 1) 田村守：伊藤医薬学術交流財団 選考委員（2002年4月1日～）
- 2) 田村守：NEDO 技術開発機構「ホームヘルスケアのための高性能健康測定機器開発事業」に係る機器開発ワーキンググループ 委員（2004年11月18日～2005年3月20日）
- 3) 田村守：分子イメージング画像化技術開発分科会 委員長（2004年11月11日～2005年5月31日）
- 4) 田村守：光産業技術振興協会 生体医用光学ブレークスルー技術委員会 委員（2004年度）
- 5) 田村守：National Institutes of Health (NIH) Visiting Professor（2005年2月1日～2008年3月31日）

##### c. 新聞・テレビ等の報道

###### ・放送

- 1) 田村守：NHK 2002年2月2日～現在「サイエンスアイ につぼん名物研究室 光の科学2:光CTで脳の機能に迫る」

##### d. 修士学位及び博士学位の取得状況

###### ・修士学位

- 1) 高木卓也：蛍光相関分光法における DNA 鎖長と一分子蛍光強度との関係（2004）
- 2) 紀伊宏昭：DNA で構成された微細構造物の FCS 測定（2004）
- 3) 永山裕貴：静磁場下血液物性の特異的酸素飽和度依存性（2004）
- 4) 堀田晋也：ラット脳における Cytochrome P450が触媒する薬物代謝機構の解明（2005）
- 5) 佐々木章：蛍光相関分光法を用いた細胞内における外来遺伝子配送の解析（2005）
- 6) 齊藤有香：臓器レベルでの細胞内1分子検出系の確立（2006）
- 7) 小野智彦：時間分解計測法を用いた近赤外光生体イメージングの改善（2006）

###### ・博士学位

- 1) 藤井文彦（2003）
- 2) 齊藤健太（2003）
- 3) 伊藤隆志（2003）
- 4) 矢部芳治（2004）
- 5) 三國新太郎（2006）

##### e. 担当授業科目（対象、講義名、担当者、期間）

- 1) 全研究科共通、脳科学研究の展開Ⅲ 脳機能イメージング 非侵襲脳機能解決法(2) 近赤外法、田村守、2003

- 年12月19日
- 2) 全学部共通、一般教育演習「生命分子化学」光で探る生命の不思議、田村守、2003年11月20日
  - 3) 理学研究科、生物量子化学概論、田村守、2003年10月1日～2004年3月31日
  - 4) 工学部、化学 II、金城政孝、2003年10月1日～2004年3月31日
  - 5) 全研究科共通、分子生物学と生物物理学、田村守、2003年10月1日～2004年3月31日
  - 6) 全学部共通、環境と人間「21世紀を拓く光化学」光で一分子の重さを量る、金城政孝、2003年7月17日～2003年7月22日
  - 7) 全学部共通、環境と人間「21世紀を拓く光化学」光で脳の働きを量る、田村守、2003年7月8日～2003年7月15日
  - 8) 理学部、分子生理学、田村守、2003年4月1日～2003年9月30日
  - 9) 全学部共通、環境と人間(先端の化学)、田村守、2003年4月1日～2003年9月30日
  - 10) 理学研究科、生体超分子化学概論、田村守、2004年4月1日～2004年9月30日
  - 11) 全学部共通、先端の科学、田村守、2004年7月2日
  - 12) 全研究科共通、脳の分子生物学と生物物理学、田村守、2004年10月1日～2005年3月31日
  - 13) 理学部、分子生理学、田村守、2004年10月1日～2005年3月31日
  - 14) 理学研究科、生物量子化学概論、田村守、2004年10月1日～2005年3月31日
  - 15) 理学研究科、生体超分子化学特論 I、田村守、2005年4月1日～2005年9月30日
  - 16) 全学科共通、先端の科学、田村守、2005年4月1日～2006年3月31日
  - 17) 理学研究科、生体超分子化学概論、田村守、2005年4月1日～2005年9月30日
  - 18) 全研究科共通、脳の分子生物学と生物物理学、田村守、2005年10月1日～2006年3月31日
  - 19) 理学研究科、生体超分子化学特論 II、田村守、2005年10月1日～2006年3月31日
  - 20) 全研究科共通、脳科学研究の展開 III 脳機能イメージング 非侵襲脳機能解決法 (2) NIRS、田村守、2005年10月7日～2006年2月3日
  - 21) 全研究科共通、ナノテクノロジー・サイエンス概論 II - ナノデバイスの科学 -、田村守、2007年2月2日～2007年2月3日

**g. ポスドク・客員研究員など**

・ポスドク・研究員

白燦基、長尾一生、黄田育宏、大橋功治、志賀葉月

**h. 外国人研究者の招聘 (氏名、国名、期間)**

- 1) Zeno Foldes Papp, Austria、2004年3月5日～2004年3月26日
- 2) Bong-Kiun Kaang Ph. D., Korea、2004年1月29日～2004年2月1日

- 3) Thorsten Pieper, Germany、2006年1月11日～2006年8月21日

## 細胞機能素子研究分野

教授 上田哲男 (北大院、薬博、1998.2~)  
 助教授 中垣俊之 (名大院、学博、2000.11~)  
 助手 神 隆 (北大院、理博、1988.7~)  
 助手 高木清二 (名大院、学博、2003.9~)  
 講師 高橋賢吾 (東工大院、理博、2003.4~2004.8)  
 (研究機関研究員)  
 博士研究員 三枝 徹 (北里大院、医博、2005.4~)  
 博士研究員 手老篤史 (北大院、理博、2006.4~)  
 院 生 鈴木宏一 (M2)、伊藤穂菜美 (M1)  
 学部学生 若生公一 (B4)

### 1. 研究目標

細胞は、生物学的には全ての生物の構成素子であり、物理・化学的には分子という機能素子が高度に自己組織化したダイナミカルな体系である。このような認識に基づいて、細胞という機能体の構築原理を解明することが、本研究分野の目標である。特に細胞原形質がしめす高度な情報処理機能、細胞インテリジェンスの探求およびそのメカニズムの解明をめざす。多核のアメーバ様単細胞(図1)である真性粘菌変形体の特徴を利用して、変形体の原形質が示す情報統合や判断という脳的機能を、非線形ダイナミクスに基づいて解明する。

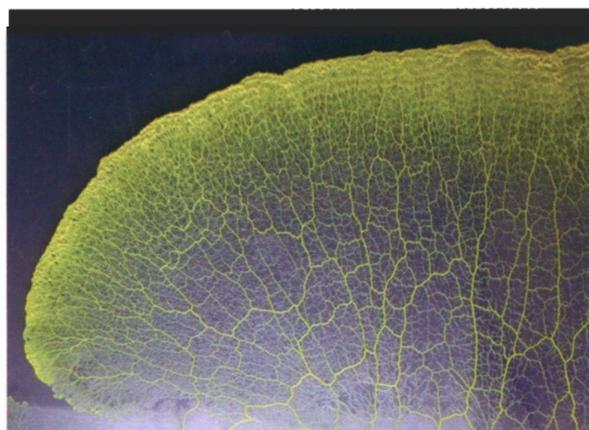


図1. 寒天上を這う粘菌変形体。

### 2. 研究成果

#### (a) 誘因・忌避情報の統合機構

粘菌を誘因・忌避物質で同時刺激し、細胞応答を測定する事により細胞内での情報統合機構を調べた。その結果、忌避物質に対する受容膜電位は誘引物質の濃度に依存せず、単独刺激と同じ濃度領域で変化したが、一方、行動レベルでは2桁高い誘引物質が存在すると、忌避物質に対する応答は2桁高くなった(図2a)。これらの事は受容膜レベルではなく細胞内での情報統合システムの存在を示唆している。この細胞内での統合機構は、誘因・忌避刺激に対する細胞内セカンドメッセンジャー分子の細胞行動制御物質へ

の競合的分子結合モデルで半定量的に説明でき、細胞が誘因・忌避刺激情報を加算的に統合する事を明らかにした(図2b)。

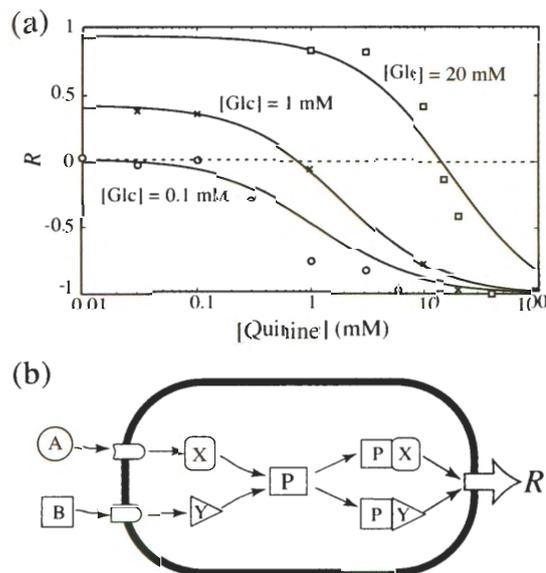


図2. a) 誘引物質(グルコース)共存下での忌避物質(キニーネ)に対する走化性応答。b) 情報統合モデルの模式図。

#### (b) 粘菌変形体の示す多様な振動パターン

一般的に拡散結合による2次元結合振動子系はターゲットパターンや回転ラセン波、時空間カオスなど多様な振動パターンを示すことが知られているが、これと同様な系と見なされている粘菌変形体ではこれらのパターンは発見されておらず、粘菌は細胞全体で同相同期した収縮弛緩リズムを示すことが、永くその典型的な特徴とされてきた。

変形体は特異な性質を有しており、細胞の内質ゾルを抽出し湿った場所に置くと、10分程度で収縮弛緩振動を開始し、数時間で移動するようになる。つまり変形体の内質は変形体となる能力を有す。この取り出した原形質の発展過程を、実体顕微鏡下で透過光照明により観察することで、厚み振動の時空間パターンを測定した。内質液滴は時間経過とともに順次A)定在波型、B)時空間カオス的、C)回転ラセン波、D)同相同期型と特徴的な振動パターンを示した(図3)。この系で特徴的な現象は、外部からの刺激や環境の制御なしに自発的に様々なパターン間がより秩序だった方向へ遷移することである。特に、Bの状態からCの状態への遷移は興味深く、ある部分で振動の位相ベクトルがそろい始めると、波の伝搬速度の上昇を伴いさらにベクトルのそろった領域が広がり、最終的に単一の回転波が系を支配する。一般的にBZ反応や心筋組織では図3Bのような複数の位相特異点が発生した状態に陥ると自発的により秩序だった状態へ遷移することはない。このような秩序化は単細胞生物の粘菌特有のダイナミクスである。

また這い回る状態の粘菌でも、Bの時空間カオス的なパターンの発生が見られた。複雑で不規則な振動パターンが誘起されるとともに徐々に管構造が壊れ始め、複数のラセ

ン波が数回転するうちに管構造が消滅した。その後、同相同期した領域が急激に広がり、再び細胞全体で同相同期した状態となった。空間的に対称性の低い管構造を壊し、対称性の高い均質な状態にする機能は、環境変化に柔軟に対応するために不可欠である。

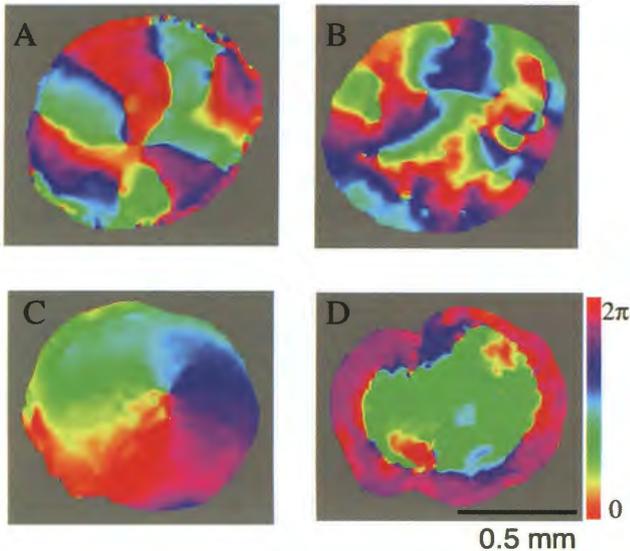


図3. 変形体の示す多様な振動パターン。透過光強度変化のフーリエ解析により決定した振動の位相を示す。A) 定在波型、B) 時空間カオス的、C) 回転ラセン波、D) 同相同期型。

#### (c) 細胞の行動とその分子的基盤の観察

先にも述べたように、粘菌は環境情報を受容して行動判断をし、より良い環境を求めて移動し、環境に応じて適切な形態をとる。このような行動は我々のような高等動物のそれと同じである。この細胞行動原理を理解するため、粘菌の移動および行動判断機構を解明する様々な実験を行っている。

粘菌行動の基礎となる粘菌の移動機構に関しては次のような知見を得た。粘菌を一方向に一次的に進むように実験系を設計し、原形質の量と移動速度との関係を調べた。移動速度は、原形質量の1/3乗に比例して増大する、というアロメトリ則を発見した。また、細胞手術により粘菌を切断し、進行端から1mm程度までは切断前と同じ移動速度で振動運動を示さず進行すること、また嫌気的条件下におくと流動リズムは持続するが移動は停止することが分かった。これは従来信じられてきた、圧力差によって原形質ゾルを押し出すことによって進行すると言う仮説を否定する。また移動極性の発現原理を解明するため、NADPH-diaphorase 組織化学染色法により粘菌に多量に含まれるNOS（一酸化窒素合成酵素）の分布を調べ、光学顕微鏡レベルで、細胞骨格系と類似のメッシュワーク構造をとる非細胞骨格系タンパク NOS の細胞内分布を見出している。

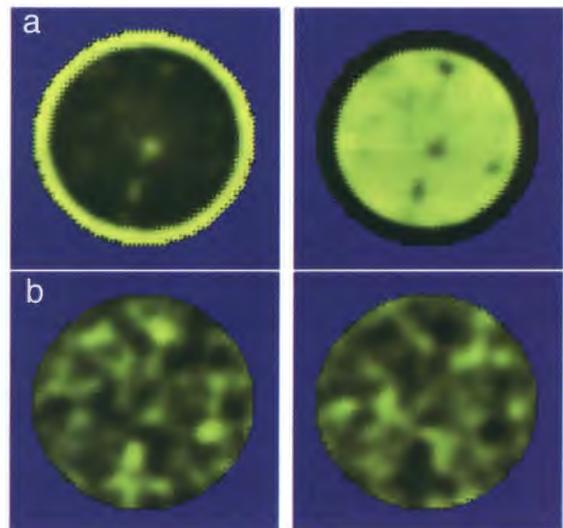


図4. 結合振動子系による粘菌シミュレーション。(a) 周辺部分を柔らかくした場合。コヒーレントな振動パターンが見られる。(b) 全体が同一の固さを持つ場合。振動パターンは乱れており、局所的に位相の揃ったドメインに分かれる。

#### (d) 粘菌の細胞運動モデル

粘菌行動の数値モデリングは、物理的実体をそれほど問わないという立場で行っているため、やや抽象的なレベルでの記述にとどまっている。粘菌のアメーバ運動は、物理的には原形質という粘弾性体のおりなすダイナミックな過程である。この視点からの記述も平行して取り組んでいる。手始めに、細胞変形を弾性的変化として捉えるモデルを構成した。生化学過程に基づく周期的な張力発生は、バネの自然長の周期的変化として表現し、このような張力が細胞の任意の部分で発生し、互いに押し合いへし合いしている状態を想定した。そこに、変形すればするほどバネ係数が低下するような仕組みを取り入れて、その効果を調べた。このようなモデル（モデルバージョン2）により、粘菌がアメーバ運動時に見せる最も標準的な変形パターン（図4）、ならびにマウンド形成などが再現できた（図5）。この次には、粘菌の持つ管の構造を取り込んだモデルを構成し、走化性を再現する予定である（モデルバージョン4）。

細胞運動では、収縮リズムがその駆動力源として本質的に重要な役割を担っている。生化学的な収縮振動体は、典型的なリミットサイクル振動子なので、いわゆる結合振動子系の枠組みでのモデリングも有用である。ただし、通常扱われているような拡散結合だけでなく、能動的な原形質流動による結合もあるところが、特徴的である。流れによる、押し合いへし合い効果を加味した結合振動子モデルを構成した。粘菌質量が一定であるという効果、保存量の効果が粘菌の変形ダイナミクスに重要な役割を持つことを示した。

一般的に、結合振動子モデルは、位相縮約の方法を利用して解析することが可能である。セルフコンシステントな移流項を含むような結合振動子モデルを提案し、その位相波の分散関係を調べた。移流項により、位相波の伝播速度が速まることが示された。これは、現実の粘菌に見られる性質、原形質流動の流速が低下すると変形の位相波伝播速

度が低下するという性質と一致する。粘菌は位相波を用いて、細胞内情報伝達を行っているという説があり、位相波を調節する可能な機構として興味深い。

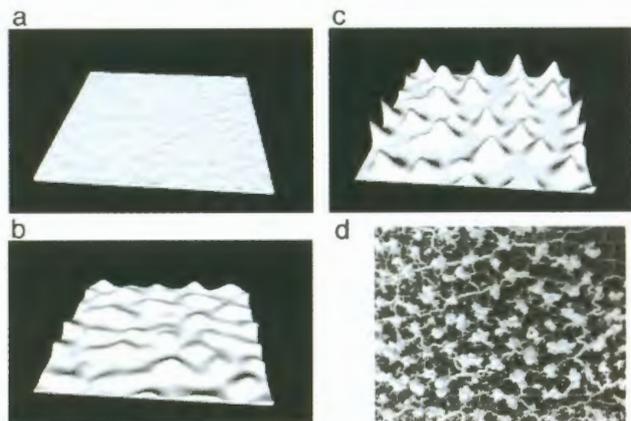


図5. 細胞運動モデル（バージョン2）による粘菌マウンド形成のシミュレーション。(a-c)シミュレーションの時間経過。(d)実際の粘菌。マウンドの直径は約3ミリメートル。

#### (e) 粘菌ネットワークモデル

粘菌の輸送ネットワークにおける適応的ダイナミクスの数理モデルを構成した。このモデルは、迷路の最短経路探索を再現した。粘菌を迷路の中に閉じ込めておき、その中の二つの場所に餌を置くと、粘菌は餌場所に集合しながら二つの餌場所を最短経路でつなぐ太い管を作り出す。この過程は、管形成の生理機構、すなわちよく流れる管はより太くなるという性質によっている。この知見は、実験により得られたものであるが、定性的なものであって、定量的な詳細まではわかっていない。そこで、数学的に一般性の高い記述を試みた。我々のモデルは、流れと管の太さとの間のフィードバック効果の強さを表す一つのキーパラメータを持っている。このパラメータの影響を調べ、粘菌ネットワークの示す適応的最適化の仕組みを提案した。このモデルを、ここでは基本モデルと呼ぶ。

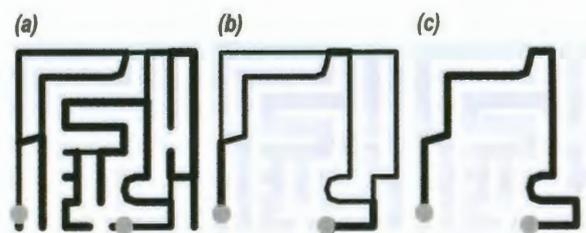


図6. 適応的ネットワークモデル（基本モデル）による迷路解法の時間経過シミュレーション。

管ネットワークの適応性は、与えられた餌の量にも依存する。二つの餌場所を結ぶ経路がたくさんあるとき、粘菌の大きさが一定ならば、餌量が増えるに連れて残る管の数が減っていく。十分多いと、二つの餌場所を繋ぐ管は一本もなく、二つの個体に分離する。この現象は、養分を吸収するという利得と、一つの大きな個体サイズを維持するというコストのトレードオフという側面を持つ。基本モデルを拡張して、餌量依存性の実験結果を再現することに成功

した（餌量依存モデル）。それに基づいて、トレードオフ機構を提案した。

基本モデルの数学的性質を検討することによって、一般的な経路探索アルゴリズムとしての使用可能性を追求した。具体例として、複雑な道路地図上でのカーナビゲーション問題に適用してみた。本法をフィザルム（粘菌）ソルバーと命名した。現行の経路探索手法は、ダイクストラのアルゴリズムという組み合わせ最適化手法の一つであるため、計算量の爆発という困難を本質的に背負っているが、フィザルムソルバーはその点でより優れている。もとより、パターン形成（もしくは自己組織化）として時間発展方程式を解くことによって経路を発見するという発想はこれまでのカーナビシステムにはなかったので、斬新な手法として業界からの問い合わせがすこしばかりだが来ている。

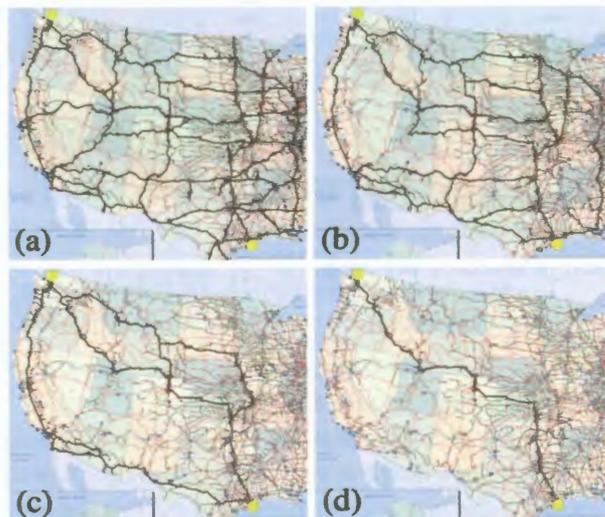


図7. フィザルムソルバーによる経路探索シミュレーション。米国インターステートハイウェイネットワークにおいてシアトルーヒューストン間の最短経路をナビゲートする。

#### (f) 大規模ネットワークの最適化問題。

粘菌の管のネットワークは、巨大な細胞において化学信号の伝達、栄養分の伝搬を素早く広範囲に行うための物質輸送経路である。這って移動するには数時間以上かかる距離でも管を通して移動すると数十分で移動することができる。このように粘菌の形成する管が物流ネットワークであることから、人間社会における大規模な物質輸送網である鉄道網を粘菌にデザインさせた。

粘菌の作り出した管ネットワーク（図8a）と実際のJR鉄道網を、ネットワーク（図8b）の全長（最小全域木で規格化）、任意の二つのノード（餌場、駅）の連絡性、ランダムに発生する事故によるエッジ（管、線路）の断線に対するネットワーク補償性を評価する事により比較した。結果はいずれの指標もJR、粘菌共に非常に近い値を示し、いずれかが突出すること無く良いバランスを保っている。つまり、鉄道網と粘菌の管ネットワークの共通点は、どこかが断線されても迂回路があり、ノード間の連絡性が良いネットワークを、全長をできるだけ短くするという条件の下で設計することである。無駄を減らして、効率性を上げるという現代社会に求められる情報処理能力を粘菌は有している。

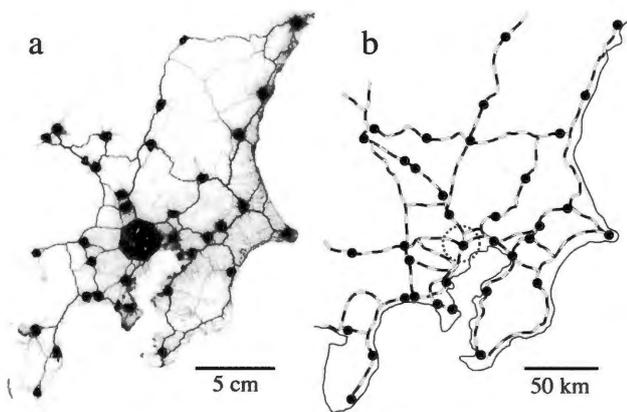


図8. a) 粘菌の管形成による関東平野の鉄道網のデザイン。  
b) 実際のJR路線図。

粘菌がどのような方法でこのような多機能的なネットワークを設計しているかが、次に取り組むべき興味深い問題となる。先に述べた、流れる交通流に対して適応的に太さを変える管ネットワークモデルが、ここでも有効であった。適当なパラメタをとると、粘菌同様な多機能ネットワークを再現できた。管の一本一本はそこを流れる流量にだけ依存するというローカルなダイナミクスで発展するにもかかわらず、大域的な機能性が生み出されるしくみとして興味深い。この方法を拡張して、NP 困難な組合わせ最適化問題であるスタイナー問題の全く新しい近似解法が考案できそうである。プロトタイプを提案している。

### 3. 今後の研究の展望

生物情報処理機構の解明は、脳科学の華やかな国家プロジェクトを見るまでもなく、現在、最もチャレンジングなテーマの一つである。粘菌変形体は、脳や神経系を持たないにもかかわらず予想以上の情報処理能力を持っていることが我々の研究により明らかとなってきた。粘菌のような比較的単純な生物を用いることは、この分野に対する脳科学とは異なる有力な手法となるであろう

粘菌変形体は複合刺激情報を統合判断し適切な行動をとるという刺激情報の統合演算だけでなく、効率的な流路ネットワークをデザインするという空間情報の計算など、多彩な情報処理能力を持つことを明らかにしてきた。さらに、これらの能力はリズム場の示すグローバルな動的パターン形成と関係しているようだ。われわれが独自に見いだしたこれらの現象を糸口にして、バイオコンピューティングの原理を解明していく。

## 4. 資料

### 4.1 学術論文等

1) T. Jin: "A new fluorometric method for the detection of the neurotransmitter acetylcholine in water using dansylcholine complex with p-sulfonated calix[8]arene", *J. Inclu. Phen.*, 45: 195-201 (2003)\*

2) T. Nakagaki, H. Yamada and M. Hara: "Smart network solutions in an amoeboid organism", *Biophys. Chem.*, 107: 1-5 (2004)\*

3) S. Takagi, A. Pumir, D. Pazo, I. Efimov, V. Nikolski and V. Krinsky: "A Physical approach to remove anatomical reentries: a bidomain study", *J. Theor. Biol.*, 230(4): 489-497 (2004)

4) T. Nakagaki, R. Kobayashi, T. Ueda and Y. Nishiura: "Obtaining multiple separate food sources: Behavioural intelligence in the Physarum plasmodium", *Proc. R. Soc. Lond. B*, 271: 2305-2310 (2004)

5) H. Yamada, R. Tanaka and T. Nakagaki: "Sequences of symmetry-breaking in phyllotactic transitions", *Bullet. Math. Biol.*, 66: 779-789 (2004)

6) S. Takagi, P. Alain, P. Diego, E. Igor, N. Vladimir and K. Valentin: "Unpinning and removal of a rotating wave in cardiac muscle", *Phys. Rev. Lett.*, 93: 058101 (2004)

7) H. Haga, C. Irahara, R. Kobayashi, T. Nakagaki and K. Kawabata: "Collective movement of epithelial cells on a collagen gel substrate", *Biophysical Journal*, 88: 1-7 (2005)

8) A. Tero, R. Kobayashi and T. Nakagaki: "A coupled-oscillator model with a conservation law for the rhythmic amoeboid movements of plasmodial slime molds", *Physica D*, 205: 125-135 (2005)

9) T. Jin, F. Fuji, H. Sakata, M. Tamura and M. Kinjo: "Calixarene-coated water-soluble CdSe-ZnS semiconductor quantum dots that are highly fluorescent and stable in aqueous solution", *Chemical Communications*: 2829- 2831 (2005)

10) T. Jin, F. Fujii, H. Sakata, M. Tamura and M. Kinjo: "Amphiphilic p-sulfonatocalix[4]arene-coated CdSe/ZnS quantum dots for the optical detection of the neurotransmitter acetylcholine", *Chemical Communications*: 4300- 4302 (2005)

11) T. Ueda: An intelligent slime mold: a self-organizing system of cell shape and in formation. In "Networks of Interacting Machines: production organization in complex industrial systems and biological cells", eds. D. Armbruster, K. Kaneko, A. Mikhailov. World Scientific Publishing Co., pp. 221-256 (2005)

12) H. Yan, H. Shiga, E. Ito, T. Nakagaki, S. Takagi, T. Ueda and K. Tsujii: "Super Water-Repellent Surfaces with Fractal Structures and Their Potential Application to Biological Studies", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 284-285: 490-494 (2006)

13) A. Tero, R. Kobayashi and T. Nakagaki: "Physarum solver: -a biologically inspired method of road-network navigation-", *Physica A*, 363: 115-119 (2006)

14) R. Kobayashi, A. Tero and T. Nakagaki: "Mathematical model for rhythmic protoplasmic movement in the true

- slime mold”, *J. Math. Biol.*, 53: 273-286 (2006)
- 15) Y. Kakiuchi and T. Ueda: “Multiple oscillations in changing cell shape by the plasmodium of *Physarum polycephalum*: general formula governing oscillatory phenomena by the *Physarum plasmodium*.”, *Biological Rhythm Research*, 37(2): 137-146 (2006)
  - 16) T. Jin, F. Fujii, E. Yamada, Y. Nodasaka and M. Kinjo: “Control of the optical properties of quantum dots by surface coating with calix[n]arene carboxylic acids”, *J. American Chemical Society*, 128(29): 9288-9289 (2006)
  - 17) Hiroyasu Yamada, T. Nakagaki, Ruth E. Baker, Philip K. Maini: “Dispersion relation in oscillatory reaction-diffusion systems with self-consistent flow in true slime mold”, *Journal of Mathematical Biology*, Vol. 54, 745-760 (2007)
  - 18) Atsushi Tero, Ryo Kobayashi and T. Nakagaki: “Mathematical model for adaptive transport network in path finding by true slime mold”, *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 244, 553-564 (2007)

#### 4.2 総説、解説、評論等

- 1) 中垣俊之 “あるアメーバ様生物が作るコミュニケーションネットワークの形と機能”計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会資料集 (2003)
- 2) 上田哲男: 生物のパターン形成と情報機能: 反応拡散カップリング、「生物物理学ハンドブック」(石渡信一、桐野豊、桂 勲、美宅成樹 編) 朝倉書店、pp. 584-586 (2005)
- 3) 上田哲男: 「粘菌のインテリジェンス: 巨大アメーバ細胞を活用した計算原理と情報統合機構の研究」、化学と生物、43(7): 445-446 (2005)
- 4) 中垣俊之: 「あるアメーバ様生物の行動に見る賢さー粘菌変形体のリズム性運動と編目体形ー」、科学、75: 1393-1395 (2005)
- 5) 中垣俊之、手老篤史、小林亮: 「粘菌の作る輸送ネットワークのダイナミクス」、第21回生体・生理工学シンポジウム論文集: 97-100 (2006)
- 6) 手老篤史、小林亮、中垣俊之: 「真正粘菌変形体による最適ネットワーク」、数理解析研究所講究録、1499: 159-166 (2006)

#### 4.3 国際会議事録等に掲載された論文

- 1) H. Yamada and T. Nakagaki: “Oscillation patterns in cytoplasmic networks of the *Physarum plasmodium*”, *Traffic and Granular Flow '01*, 563-568 (2003)\*
- 2) T. Nakagaki: “How does an amoeba tackle some geometrical puzzles?”, *Proceedings for SICE annual conference 2005*: 3537-3542 (2005)

#### 4.4 著書

- 1) 中垣俊之: 「真正粘菌」、かたちの事典、高木隆司編、丸善、386-387 (2003)

- 2) 中垣俊之: 「アメーバ細胞の形と機能」、形の科学百科事典、朝倉書店 (2004)
- 3) 中垣俊之、山田裕康: 「粘菌変形体の形と機能」、形の科学百科事典、朝倉書店 (2004)

#### 訳書

- 1) 田中玲子、山田裕康、高松敦子、中垣俊之: ゴルビツキー/スチュアート 対称性の破れとパターン形成の数理、1-562 (2003)
- 2) 中垣俊之、原正彦、山田裕康、元池N 育子、野村M 慎一郎、立川正志、櫻沢繁、高木清二、相原良一: キーナー/スネイド著 数理生理学 下巻 システム生理学、1-419 (2005)
- 3) 中垣俊之、原正彦、山田裕康、元池N 育子、野村M 慎一郎、立川正志、櫻沢繁、高木清二、相原良一: キーナー/スネイド著 数理生理学 上巻 細胞生理学、1-408 (2005)

#### 4.6 特許 (発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

- 1) 神 隆、金城政孝、田村守、藤井文彦、坂田啓司、2004-275675、水溶性蛍光材料およびその製造方法、2004年9月22日

#### 4.5 講演

##### a. 招待講演

- 1) 中垣俊之、小林亮: 「結合振動子系としてみた真正粘菌の行動」、日本物理学会 秋季大会、岡山大学(2003-09)
- 2) R. Kobayashi, T. Nakagaki and A. Tero: “Modeling Approach to the Dynamics of Plasmodium of *Physarum Polycephalum*”, *Mathematical understanding of invasion processes in Life Sciences*, CIRM, Marseille, France (2004-03)
- 3) 中垣俊之: 「不思議なアメーバ様生物粘菌に学ぶ賢い計算法」、北海道大学創成科学研究機構開所記念シンポジウム、北海道大学 (2004-01)
- 4) 中垣俊之: 「あるアメーバ様細胞の賢さを探る」、JST 異分野研究者交流フォーラム「無駄の効用?揺らぎと遊びー」、片山津温泉 (2004-01)
- 5) T. Ueda: “Intelligent slime mold: a self-organizing system of shape and information”, *Networks of Interacting Machines: Industrial Production Systems and Biological Cells*, Berlin, Harnack-Haus, Germany (2003-12)
- 6) 小林亮、中垣俊之、手老篤史: 「真性粘菌変形体の運動と形態形成の数理モデル」、第13回「非線形反応と協同現象」研究会、京都大学 (2003-12)
- 7) T. Jin: “An photoreponsive lipid bilayer membrane: Control Na<sup>+</sup> Transport by visible light”, *International Symposium on New Horizons in Molecular Science and Systems: An Integrated Approach*, Okinawa, Japan (2003-10)
- 8) 小林亮、中垣俊之、手老篤史: 「真性粘菌変形体の運動の数理モデル」、数理解析研究所研究集会「反応拡散系

- におけるパターン形成と漸近的幾何構造の研究」、京都大学 (2003-10)
- 9) 小林亮、手老篤史、中垣俊之:「真性粘菌変形体の運動と形態形成の数理モデル」、INSAM セミナー、広島大学 (2004-03)
  - 10) 中垣俊之 and 小林亮: “Physiology of communication network in true slime mold”, Prof. P. Maini’s lab Seminar, University of Oxford, UK (2004-02)
  - 11) 小林亮、中垣俊之、手老篤史:「真性粘菌変形体の運動と形態形成のモデリングについて」、北海道大学数学教室談話会、北海道大学 (2003-07)
  - 12) 小林亮、中垣俊之、手老篤史:「真性粘菌変形体の運動の数理モデル」、津田研・西浦研合同セミナー、北海道大学 (2003-06)
  - 13) 小林亮、手老篤史、中垣俊之:「真正粘菌変形体の振動の位相ダイナミクスに関する実験とモデリング」、第42回生物物理学学会 シンポジウム「生物時空間構造のダイナミクス:階層を越えたアプローチ」、京都国際会館 (2004-12)
  - 14) 中垣俊之、小林亮、手老篤史:「粘菌による幾何学的パズル問題の解法」、INSAM シンポジウム2004「粘菌:実験と理論からのアプローチ」、広島大学 (2005-03)
  - 15) 手老篤史、中垣俊之、小林亮:「真正粘菌変形体の管ネットワークの再現による最短経路問題の解法」、第2回「非線形科学の深化と情報科学への応用」、山口大学 (2005-03)
  - 16) R. Kobayashi, A. Tero and T. Nakagaki: “Searching for the vivid description of the motion of true slime mold”, International Workshop on Mathematical Biology and Cell Dynamics, Hokkaido University, Japan (2005-02)
  - 17) S. Takagi: “Behavioral decision making by the true slime mold under conflicting stimuli”, International Workshop on Mathematical Biology and Cell Dynamics, 北海道大学創成 (2005-02)
  - 18) T. Ueda: “Chemotaxis by the Physarum plasmodium in historical perspective”, International Workshop on Mathematical Biology and Cell Dynamics, 北海道大学創成 (2005-02)
  - 19) 中垣俊之、小林亮、手老篤史:「あるアメーバ様生物による輸送路ネットワークのデザイン」、名古屋大学「21世紀 COE 計算科学フロンティア」研究会「生物集団の運動の数理と応用」、名古屋大学 (2005-02)
  - 20) R. Kobayashi, A. Tero and T. Nakagaki: “Experimental and Modeling Study of the Dynamics of True Slime Mold”, MEDYFINOL’04, La Serena, Chile (2004-12)
  - 21) 中垣俊之、小林亮、手老篤史:「あるアメーバ様生物による輸送路ネットワークのデザイン」、理化学研究所 BMC フォーラム、名古屋 (2005-03)
  - 22) T. Ueda: “An intelligent slime mold: a self-organizing system of cell shape and information”, Interdisciplinary Colloquium Systems Theory in Life and Geo Sciences, Bonn, Germany (2005-01)
  - 23) 中垣俊之:「身近な生物材料粘菌:キラリと光る素朴な実験」、金沢大学 大学教育開発支援センター第一回専門分野別教育開発セミナー「実験科学教育のフロンティア 研究と教育の接点を探る」、金沢大学 (2004-11)
  - 24) 小林亮、手老篤史、中垣俊之:「真正粘菌変形体の運動の数理モデル」、現象数理セミナー、九州大学 (2004-11)
  - 25) T. Nakagaki and R. Kobayashi: “True slime mold: a coupled oscillator system”, Physiology group Seminar in Math Dep, University of Utah, Salt Lake City, USA (2004-11)
  - 26) T. Nakagaki and R. Kobayashi: “Interaction of sol flow and gel force in true slime mold”, Fluid group Seminar in Math Dep, University of Utah, Salt Lake City, USA (2004-10)
  - 27) T. Nakagaki and R. Kobayashi: “How does an amoeba solve some geometrical puzzles?”, Math Bio Seminar in Math Dep, University of Utah, Salt Lake City, USA (2004-10)
  - 28) 中垣俊之 and 小林亮: “How does an amoeba tackle some geometrical puzzles ? “, Complex Agent-based dynamical Network Workshop, Keble College, University of Oxford, UK (2004-07)
  - 29) 小林亮、手老篤史、中垣俊之:「真正粘菌変形体のモデル、いろいろ」、吉川研セミナー、京都大学 (2004-05)
  - 30) T. Nakagaki and R. Kobayashi: “How does an amoeba of true slime mould tackle some geometrical puzzles?---smartness emerged from pattern formation of cellular rhythms ---”, Centre for Mathematics and Physics in the Life Sciences and EXperimental Biology (CoMPLEX) Seminar, University College London, UK (2004-05)
  - 31) 中垣俊之 and 小林亮: “How does an amoeba tackle some geometrical puzzles ? --- smartness based on pattern formation of cellular rhythms ---”, Oxford CMB Mathematical Biology and Ecology Series, Mathematical Institute, University of Oxford, UK (2004-05)
  - 32) T. Nakagaki: “Physiology of adaptive network in an real amoeba”, 20th annual meeting of association for science, art and technology of fluctuations, Tokyo (2005-09)
  - 33) 小林亮、手老篤史、中垣俊之:「真正粘菌変形体の運動と情報処理のモデル」、第35回結晶成長国内会議、広島大学 (2005-08)
  - 34) T. Nakagaki, R. Kobayashi and A. Tero: “How does an amoeba tackle some geometrical puzzles ?”, The society of instrument and control engineers (SICE) annual conference 2005, Okayama (2005-08)
  - 35) T. Nakagaki, R. Kobayashi and A. Tero: “How does an amoeba imitate Snell’s law ?”, European conference on mathematical and theoretical biology 2005, Dresden, Germany (2005-07)
  - 36) R. Kobayashi, A. Tero and T. Nakagaki: “Mathematical model of the motion and the information processing of true slime mold”, Mathematical Logics Behind Animal Markings, Nagoya (2006-02)

- 37) T. Nakagaki, A. Tero and R. Kobayashi: "Morphology and physiology of vein network in slime mould", *Mathematical Logics Behind Animal Markings*, Nagoya (2006-02)
- 38) T. Saigusa and T. Nakagaki: "Capacity of forecasting the periodic environmental changes in an amoeba", *International Symposium on Topological Aspects of Critical Systems and Networks*, Sapporo (2006-02)
- 39) T. Nakagaki, A. Tero, T. Saigusa, M. Iima, R. Kobayashi, T. Ueda and Y. Nishiura: "How did an amoeba find the optimum path in an inhomogeneous field of environmental risk?", *International Symposium on Topological Aspects of Critical Systems and Networks*, Sapporo (2006-02)
- 40) T. Nakagaki, A. Tero, T. Saigusa, M. Iima, R. Kobayashi, T. Ueda and Y. Nishiura: "How did an amoeba find the risk-minimum path?", *Multi-Institutional International Symposium on Mei*, Hokkaido University, Sapporo (2005-12)
- 41) T. Nakagaki, R. Kobayashi, A. Tero and S. Takagi: "Physiology and dynamics of transport network in a real amoeba", *Complex Dynamics of Networks of Oscillators: From Basic Research to Novel Therapy*, Sapporo (2005-11)
- 42) R. Kobayashi, A. Tero and T. Nakagaki: "Mathematical model of the motion and the information processing of true slime mold", *Complex Dynamics of Networks of Oscillators: From Basic Research to Novel Therapy*, Sapporo (2005-11)
- 43) R. Kobayashi, A. Tero and T. Nakagaki: "Modeling of the motion and the information processing of true slime mold", *Mathematical analysis of complex phenomena in life sciences*, Tokyo (2005-10)
- 44) T. Nakagaki, R. Kobayashi and A. Tero: "Information processing by an amoeboid organism", *Second open workshop on the fusion of bio-, nano- and semiconductor-technologies*, Osaka (2005-10)
- 45) T. Nakagaki, R. Kobayashi and A. Tero: "How does an amoeba tackle some geometrical puzzles?", *German-Japanese workshop on bio-mimetics and nature-inspired technologies*, Nagoya (2005-10)
- 46) 中垣俊之: 「あるアメーバによるコミュニケーションネットワークのデザイン」、*ノンリニアサイエンスワークショップ* — ネットワーク・相互作用・同期・自己組織化 —、函館 (2005-09)
- 47) 中垣俊之: 「あるアメーバ様生物の行動生理学」、*生物物理若手の会夏の学校*、瀬戸 (2005-08)
- 48) T. Nakagaki, R. Kobayashi and A. Tero: "How does an amoeba mimic Snell's law?", *Summer school on design and control of self-organization in physical, chemical and biological systems*, Miramare-Trieste, Italy (2005-07)
- 49) T. Nakagaki, R. Kobayashi, A. Tero and S. Takagi: "Design of communication network by an amoeboid organism of true slime mold", *EU Thematic institute: Information and Material Flows in Complex Networks*, Goldrain, Italy (2005-06)
- 50) 中垣俊之: 「Communication network designed by an amoeba」、*分子通信ワークショップ*、神戸 (2005-06)
- 51) A. Tero, R. Kobayashi and T. Nakagaki: "A Coupled-Oscillator Model with a Conservation Law for the Rhythmic Amoeboid Movements", *SIAM Conference On Application Of Dynamical Systems*, Snowbird, Utah, USA (2005-05)
- 52) T. Nakagaki, R. Kobayashi, A. Tero, T. Ueda and Y. Nishiura: "Functions and Formation of Circulation Network in An Amoeboid Organism", *SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems*, Snowbird, Saltlake City, USA (2005-05)
- 53) T. Nakagaki, R. Kobayashi and A. Tero: "Minisymposium "Cellular waves and rhythms in true slime mold: experiments and dynamics" Introduction: past key findings and present directions", *SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems*, Snowbird, Saltlake City, USA (2005-05)
- 54) 中垣俊之: 「粘菌行動の賢さとそのしくみ」、*非平衡複雑系科学セミナー* — 行動・経済・社会の理学 —、九州大学 (2006-03)
- 55) 中垣俊之、手老篤史、小林亮: 「粘菌の行動に見る賢さ」、*大阪大学生命機能研究科セミナー*、大阪大学 (2005-12)
- 56) 中垣俊之: 「単細胞アメーバの情報処理」、*生物物理学会市民講演会* 「世界物理年にあたり、生命を新しい視点から解き明かす」、札幌 (2005-11)
- 57) 中垣俊之: 「不思議なアメーバ様生物粘菌に学ぶ賢い計算法
- 機能的ネットワークのデザイナー」、*創成科学共同研究機構流動部門中間評価発表会*、北海道大学 (2005-11)
- 58) 中垣俊之: 「パズルを解くアメーバ
- 意外に賢い単細胞生物」、*北海道大学21世紀 COE プログラム「トポロジー理工学の創成」市民カレッジ*、札幌 (2005-11)
- 59) 中垣俊之: 「単細胞アメーバの賢さを探る」、*北海道大学21世紀 COE プログラム「バイオとナノを融合する新生命科学拠点」市民キャンパス*、札幌 (2005-10)
- 60) 小林亮、中垣俊之、手老篤史: 「真正粘菌変形体の運動と情報処理の数理モデル」、*吉川研究室セミナー*、京都大学 (2005-06)
- 61) 中垣俊之、小林亮、手老篤史: 「あるアメーバ様生物による輸送路ネットワークのデザイン」、*システム情報工学科山本研究室セミナー*、筑波大学 (2005-04)
- 62) 中垣俊之、小林亮、手老篤史: 「あるアメーバ様生物による輸送路ネットワークのデザイン」、*創成科学セミナー*、北海道大学 (2005-04)
- b. 一般講演**
- i) 学会**
- 1) 神 隆、金城政孝: 「蛍光相関分光法によるホスト-ゲスト錯形成の1分子レベルでの観測」、*日本化学会第84*

春季年会、関西学院大学 (2004-03)

- 2) 中垣俊之、上田哲男:「アメーバ様生物による輸送ネットワークの効率的な設計」、第41回日本生物物理学会年会、新潟市 (2003-09)
- 3) R. Kobayashi, A. Tero and T. Nakagaki: “Modeling of the Motion of the Plasmodium of Physarum Polycephalum”, International Conference on Mathematical Biology 2003, Dundee, UK (2003-08)
- 4) T. Nakagaki and R. Kobayashi: “Cell dynamics of network formation in a large amoeboid organism of Physarum”, International Conference on Mathematical Biology 2003, Dundee, UK (2003-08)
- 5) T. Nakagaki and R. Kobayashi: “Cellular computation by adaptive changes in body shape of an amoeba-like organism”, SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems, Snowbird, Utah, USA (2003-05)

#### ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) 神 隆:「可視光による脂質二分子膜を介したイオンフラックスの光制御」、第1回生体関連化学、バイオテクノロジー合同シンポジウム、熊本 (2003-10)
- 2) 手老篤史、小林亮、中垣俊之:「非線型結合振動子系による細胞行動のシミュレーション」、第13回数理生物学シンポジウム、奈良女子大学 (2003-09)
- 3) 手老篤史、小林亮、中垣俊之:「非線型結合振動子系による細胞行動のシミュレーション」、第8回 NLPM サマナーセミナー、岡山厚生年金休暇センター (2003-09)
- 4) 手老篤史、小林亮、中垣俊之:「非線型結合振動子系による細胞行動のシミュレーション」、第1回北海道大学 COE 合宿、大雪少年自然の家 (2003-08)
- 5) T. Nakagaki and T. Ueda: “Cellular computation in an amoeba-like organism”, The second international symposium on molecular synchronization for design of new materials system, Yokohama, Japan (2003-07)

#### 4.8 シンポジウムの開催 (組織者名、シンポジウム名、参加人数、開催場所、開催期間)

- 1) T. Ueda, T. Nakagaki and S. Takagi: “International Workshop on Mathematical Biology and Cell Dynamics”、30名、北海道大学創成 (札幌) (2005年2月21日～2005年2月22日)
- 2) K. Yakubo, H. Amitsuka, G. Ishikawa, N. Kichiji, K. Machino, T. Nakagaki and H. Yamada: “International Symposium on Topological Aspects of Critical Systems and Networks”、100名、2006年2月13日～2006年2月14日、Hokkaido University (Sapporo)
- 3) T. Nakagaki: “International Workshop on Network Flow in Micro-organisms and Related Theoretical Topics”、10名、Hokkaido University (Sapporo)、2005年9月15日

#### 4.7 予算獲得状況

- a. 科学研究費補助金 (研究代表者、分類名、研究課題、期間)

- 1) 中垣俊之、基盤研究 B 一般 (2)、単細胞生物粘菌による幾何学的パズル問題の解決法と細胞内計算アルゴリズム、2003年度
- 2) 神 隆、基盤研究 C 一般 (2)、可視光による脂質二分子膜を介したイオン輸送の光制御、2003～2005年度
- 3) 上田哲男、基盤研究 B、単細胞生物粘菌による幾何学的パズル問題の解決法と細胞内計算アルゴリズム、2003～2006年度

- 4) 高木清二、若手研究 B、化学パターンダイナミクスに基づく粘菌バイオコンピューティング、2004～2005年度

- b. 奨学寄附金 (氏名、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

- 1) 上田哲男、電子科学研究所、電子科学研究のため、2003年度、1,920千円、粘菌を用いた細胞インテリジェンス研究を推進する

- e. COE関係 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

- 1) 中垣俊之 (文部科学省21COE プログラム「トポロジー理工学の創成 (代表 丹田聡)」): 生物トポロジーの研究、2004～2006年度、21COE プログラム「トポロジー理工学の創成 (代表 丹田聡)」のサブリーダーとして参加

- f. その他 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、研究内容)

- 1) 中垣俊之 (北海道大学創成科学研究機構流動研究部門): 「原生物粘菌に学ぶ最適化情報ネットワークの自己組織化」、2002～2004年度、13,750千円、粘菌が環境に適応的に作るコミュニケーションネットワークの機能性を評価し、その形成機構を数理モデル化を通じて解明する。

#### 4.8 共同研究

- a. 所内共同研究 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

- 1) 西浦廉政、小林亮、上田哲男、中垣俊之 (電子科学研究所): 「非線形化学ダイナミクスに基づく細胞インテリジェンスの発現」、2001～2003年度、未定、非線形化学ダイナミクスに基づく細胞インテリジェンスの発現

#### 4.10 社会教育活動

- b. 国内外の学会の主要役職

- 1) 上田哲男: 生物物理学会・運営委員 (2001年4月1日～現在)
- 2) 中垣俊之: 電気学会ナチュラコンピュテーション協同研究委員会委員 (2001年4月1日～現在)

- c. 併任・兼業

- 1) 中垣俊之: 大阪大学 生命機能研究科 客員助教授 (2002年4月1日～現在)
- 2) 中垣俊之: 理化学研究所非常勤研究員 (2000年11月20日～現在)
- 3) 中垣俊之: 大阪大学 生命機能研究科 客員助教授

(2002年4月1日～現在)

- 4) 中垣俊之：理化学研究所非常勤研究員 (2000年11月20日～現在)

**d. その他**

- 1) 中垣俊之：日本ゆらぎ現象研究会 運営委員 (2002年11月28日～現在)

**e. 新聞・テレビ等の報道**

・新聞

- 1) T. Nakagaki: The Times Higher Education Supplement 2004年6月11日、“The headline is: Could problem-solving mould revive decaying UK transport? This article has one picture and one cartoon, written by Steve Farrar”
- 2) 中垣俊之：北海道新聞 2004年4月23日「北キャンパス 発 研究者達：粘菌から生物の「思考」を解析」
- 3) 中垣俊之、小林亮、西浦廉政：朝日新聞 (夕刊) 2005年4月19日「新科論 最適ルート粘菌に学ぶ」

・雑誌

- 1) T. Nakagaki: natur + kosmos 2004年10月1日、“This is the German popular science magazine, delivered in Austria, Luxemburg, Italy and Swiss. My research results were introduced in one -page long description as a part of special article on true slime mold.”

・放送

- 1) T. Nakagaki: German TV channel 1 (ARD) 2003年4月1日 “Like Nothing On Earth -The Incredible Life of Slime Moulds- (Color/43Min.)、粘菌という生物に関する一般向けの科学啓蒙番組。この中で10分ほど我々の研究が紹介された。”
- 2) T. Nakagaki: ARTE: a special French-German cultural TV-Channel 2002年7月1日、“Like Nothing On Earth -The Incredible Life of Slime Moulds- (Color/ 43min.)、このなかで10分ほど我々の研究が紹介された。”

**f. 外国人研究者の招聘 (氏名、国名、期間)**

- 1) Chiu Fan Lee、UK、2005年2月18日～2005年2月25日
- 2) Robert Guy、USA、2005年2月12日～2005年3月4日
- 3) Milos Marek、Czech Republic、2006年2月12日～2006年2月18日
- 4) Serge Bielawski、France、2005年12月13日～2005年12月15日
- 5) Robert Guy、USA、2005年11月19日～2005年12月14日
- 6) Mark D. Fricker、UK、2005年9月10日～2005年9月21日

**g. 北大での担当授業科目 (対象、講義名、担当者、期間)**

- 1) 医学部、基礎特別演習、高木清二、2005年2月1日～2005年2月10日
- 2) 医学部、基礎特別演習、中垣俊之、2004年10月1日～2005年3月31日
- 3) 全学部共通、一般教育演習、上田哲男、2004年4月1日～2004年9月30日
- 4) 全研究科共通、トポロジー理工学特別講義、中垣俊之、2005年10月1日～2006年3月31日
- 5) 理学部、生体高分子物性論、上田哲男、2006年10月1日～

**g. ポスドク・客員研究員など**

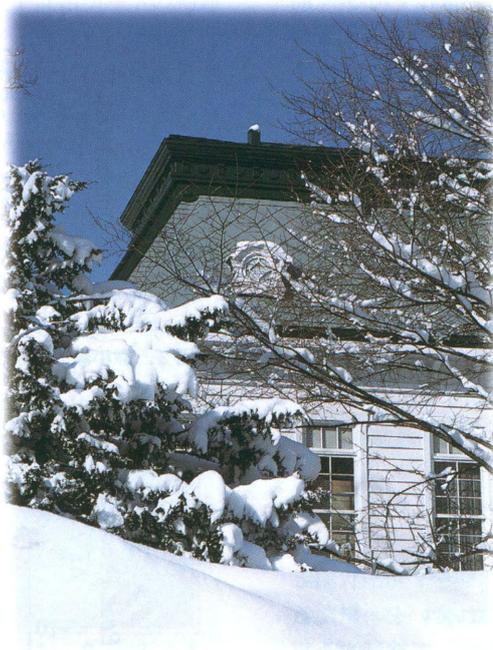
・ポスドク (1名)

高橋 賢吾 (電子科学研究所機関研究員)

# 電子計測制御部門

## 研究目的

電子計測を基盤とする計測と制御に関する研究を中心課題とし、光や電子の特性を利用した高速、高感度、高精度計測法に基づき、生体のような柔軟性と適応性をもつ新しい制御システムについて研究することを目的としている。



## 光システム計測研究分野

教授 笹木敬司 (阪大院、工博、1997.11～)  
 助教授 竹内繁樹 (京大院、理博、1999.10～)  
 助手 堀田純一 (阪大院、工博、1998.4～2005.5)  
 藤原英樹 (北大院、工博、2005.7～)  
 ポスドク 藤原英樹 (北大院、工博、2000.4～2002.3  
 研究機関研究員、2002.4～2005.6)  
 ホフマン・ホルガ (Stuttgart Univ., Ph.D.,  
 2001.6～2004.4)  
 大橋弘明 (北陸先端大・材料科学博、  
 2002.4～2005.3)  
 ソージャエフ・アレクサンドレ (Franche  
 Comte Univ., Ph.D., 2003.10～)  
 小島邦裕 (北大院、工博、2004.4～2004.11)  
 岡本 亮 (北大院、工博、2006.4～)

院 生

・H15-18年度

博士課程

小島邦裕、辻野賢治、岡寿樹、千葉明人、岡本亮、  
 千葉孝志、川瀬大輔、川辺喜雄、高島秀聡

修士課程

川瀬大輔、川辺喜雄、高島秀聡、西村和哉、百瀬義剛、  
 高橋亮一、竹ヶ原伸一郎、由水哲也、田村祥、  
 永田智久、小西秀典、浜端洋介

## 1. 研究目標

本研究分野では、光テクノロジーの究極を目指して、光の量子性・波動性をフルに活用した新しい概念に基づく光情報処理、光計測制御など、新しい世代の光科学の研究に取り組んでいる。具体的には、単一光子制御デバイスや高効率レーザーの開発を目指して、微小球やランダム媒質等の微細構造体における光子閉じ込めの解析や発光ダイナミクス制御の研究を進めている。また、量子コンピュータや量子暗号通信の実現に向けて、量子力学的なもつれ合いをもつ光子対の発生や制御、高効率な光子検出装置の開発、光子情報処理システムのプロトタイプ構築に取り組んでいる。さらに、ナノ空間の光計測技術やレーザーマニピュレーションを利用した極微弱な力の解析、単一光子源の開発に向けた単一分子・単一ナノ微粒子の分光計測システムの開発を目指している。

## 2. 研究成果

・平成15年度

(a) 2光子状態間のもつれ合いの検証実験

1つの時空間に光子が2つ局在した状態を2光子状態と呼ぶ。その2光子状態同士の間でもつれ合いを、単なる2つの「もつれ合い光子対」状態から区別して検証する実験に世界で初めて成功、今後の多量子間もつれ合い研究に道を開いた。超短パルス励起光を非線形結晶に入射した時

に、まれに放出される2つの光子対を、4つの光子検出器によって検出した。その結果、経路Aで水平/垂直偏光基底で検出した際に、経路Bで右回り/左回り基底で検出される率が、同じ基底で検出される率の半分を下回った。この結果は、単なる「2つのもつれ合い光子対」からは説明できず、「2光子状態同士のもつれ」の発生を示唆している。

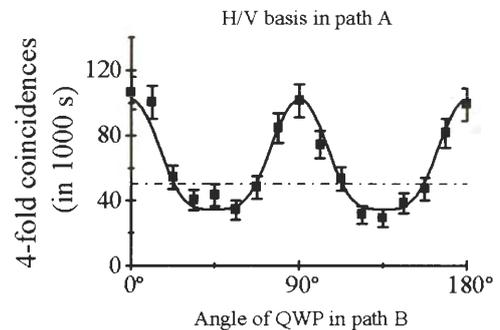


図1. H/VとR/L偏光基底で検出した4光子同時計数率

(b) 微小球光共振器のモード解析と共鳴周波数制御

光子一個でもう一個の光子の位相を反転させる単一光子制御デバイス(量子位相ゲート)の開発には、高いQ値と小さいモード体積を有する微小光共振器が不可欠である。我々は、シンプルな構造でありながら特性の優れた微小球に注目してデバイス開発を進めている。狭帯域波長可変レーザーをフォアフィールド光学系で微小球に照射して微小球の共鳴スペクトルを計測するシステムを構築し、数十マイクロメートルのガラス微小球のQ値解析やMie散乱理論に基づく共鳴モードの同定を可能とした。また、共鳴周波数を自在に制御することを目的として、微小球の共鳴周波

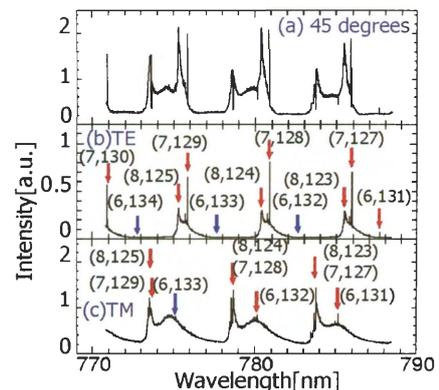


図2. 微小球のフォアフィールド光散乱スペクトル計測と共鳴

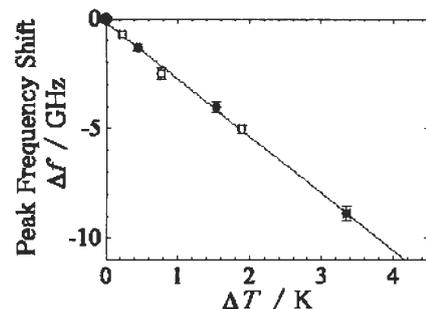


図3. ガラス微小球における共鳴周波数の温度特性

数の温度依存性について詳細な実験的解析を行い、数度の温度コントロールでGHz帯のチューニングが可能であることを示した。

(c) パラメトリック蛍光光子対を用いた単一光子発生装置の開発

パルス内に単一の光子が含まれる状態の生成（単一光子源）は、光子を用いた量子情報通信に不可欠なデバイスである。しかし、これまでに報告されていた単一光子源は、光子が1個含まれる確率（P(1)）が10%以下と小さく、実用上問題となっていた。今回我々は、独自に見出した「光子対ビーム発生法」を応用し、単一光子発生装置の開発を行った。その結果、光子が1個含まれる確率が約40%（50kHzの連続パルス繰り返し）と、これまでの光源に比べて4倍以上明るい光源の開発に成功した。

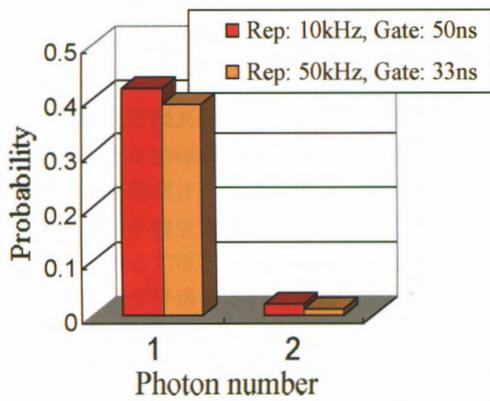


図4. 開発した単一光子源からの光子数分布

(d) 単一原子を用いた量子位相ゲートの理論構築と動作解析

単一原子の吸収飽和を原理とする量子位相ゲートの初期的な実験は、1995年にカルフォルニア工科大学によって行われている。しかし、そのような量子位相ゲートに入力された光子波動関数に対して、どのような応答が期待されるかについての理論的な研究はこれまでなされていなかった。そこで我々は、量子位相ゲートを入出力場をも含めて全量子力学的に取り扱う理論を構築し、その応答について研究した。その結果、原子からの応答は、入力される波動関数の広がり方によって大きく変化すること、その広がりが原子のたて緩和時間程度の時に、もっともよく位相シフトが生じることがわかった。

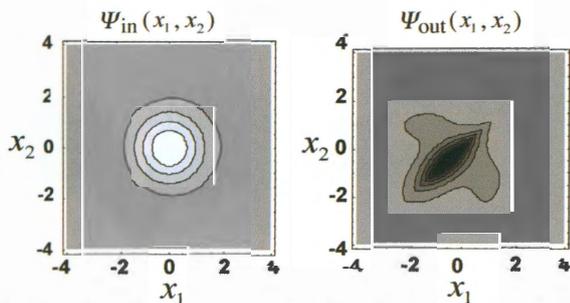


図5. 2光子波動関数に対する量子位相ゲートの応答。左側が入力、右側が出力

(e) ランダム媒質における光閉じ込め効果の数理解析

波長オーダーのサイズの微粒子が高密度かつ不規則に配置された系（ランダム媒質）では光閉じ込め現象が誘起され局所的に極めて強い光相互作用が生じる可能性が指摘されているが、ランダム媒質によってどのくらいのQ値やモード体積の光局在が得られるかは明らかにされていない。我々は、時間領域差分法を用いた計算機シミュレーションによりランダム媒質の光共鳴特性について解析を行った。その結果、波長オーダーの空間領域に $10^6$ を超える高いQ値で光閉じ込めを実現できることが示された。また、ランダム媒質のサイズによって共鳴のQ値が大きく変化するという知見が得られた。

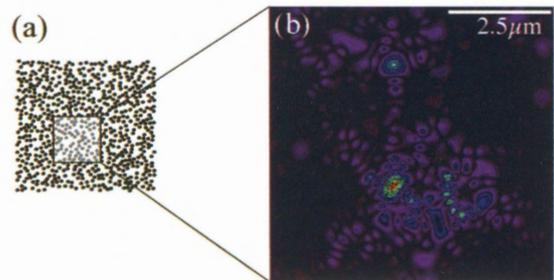


図6. ランダム媒質の光局在シミュレーション

(f) 単一分子・単一量子ドットの発光特性解析

単一分子や単一ナノ微粒子の発光挙動を観測することを目的とした共焦点ダイナミック顕微分光システムを構築した。本システムを用いて、CdSe 半導体量子ドット1個の発光スペクトルの測定を行うとともに、発光強度の時間変化からプリンキング現象が確認された。また、単一分子・単一量子ドットによる単一光子源の開発に向けて、アンチバンチング現象等の観測が可能な光子相関解析装置を組み込んだシステムを開発している。

・平成16年度

(a) 光子の軌道角運動量もつれ合いに関する研究

円偏光の光子がスピン角運動量を持つと同様に、ラグールガウスモードを伝搬する光子が軌道角運動量を持つことが90年代初頭に明らかにされた。偏光が原理的に2つの直交基底しか取りえないのに対して、ラグールガウスモードの基底は原理的に無限大まで取ることができる。このような多くの直交基底から構成されるヒルベルト空間中の、量子もつれ合いは物理学的にも量子情報学的にも興味深い。我々の研究室では、東京電機通信大学と共同で、光子の軌道角運動量間のもつれ合いの精密な検証実験に取り組んでいる。しかし、そのような実験において、もつれあった光子対の「光軸」の特定が、困難な課題であった。

我々は、ラグールガウスモードの次数を変換するために用いるホログラムを、2次元的に走査して得られた同時計数率を解析することにより、光子対の光軸を特定する方法を開発することに成功し、またより視覚的に角運動量もつれ合いを実証することができた。

(b) 微小球結合テーパファイバーにおけるファノ共鳴

テーパファイバーの多モード分散を利用して、微小球の単一共鳴モードに結合する導波モードと、結合せずに透過するモード間に位相差を誘起し、それらの干渉効果によって透過光強度にファノ効果が現れる事を示した。また、微小球の単一共鳴モードに対して、複数の導波モードが結合するため、透過光強度に現れるファノ共鳴ディップ形状が微小球とテーパファイバーの結合位置に依存して変化する事を理論・実験の両面から明らかにした。この様な効果により、微小球結合テーパファイバーの共鳴スペクトル形状を任意に制御できるので、単一光子制御デバイス（量子位相ゲート）の開発に向けた重要な基礎技術として利用できると考えている。

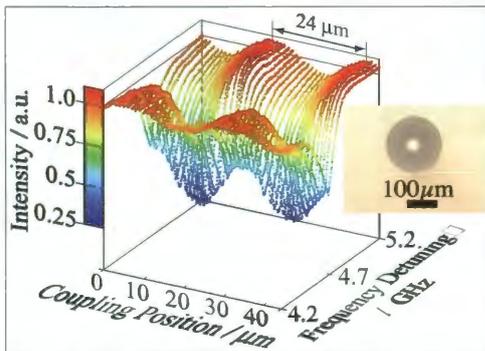


図1. 微小球・テーパファイバーの透過スペクトルの結合位置依存性。図中の写真は微小球共振器結合テーパファイバーの顕微鏡像。

(c) 1.55μm 帯パルス励起伝令付き単一光子源の開発

パルス内に単一の光子が含まれる状態の生成（単一光子源）は、光子を用いた量子情報通信に不可欠なデバイスである。特に長距離光通信で用いられる波長である1.55μm帯の開発は重要である。なかでも、パラメトリック蛍光対の一方の検出信号を伝令（タグ）として用いる伝令付き光子源は、室温動作や波長可変性に優れており有望である。しかしこれまででは、同期に不可欠なパルス励起による伝令付き単一光子源は実現していなかった。

今回我々は、非縮退型のパラメトリック下方変換をフェムト秒レーザーパルス励起により発生する方法で、1.55μm帯パルス励起伝令付き単一光子源の開発に成功した。これは知る限り初めての成果である。

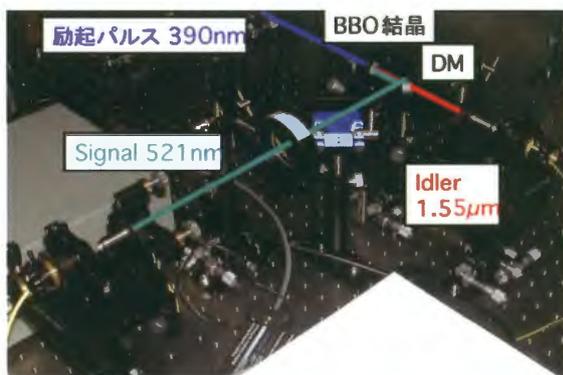


図2. 1.55μm 帯パルス励起伝令付き単一光子源。

(d) 単一原子を用いた量子位相ゲートの動作解析

単一原子の吸収飽和を原理とする量子位相ゲートの初期的な実験は、1995年にカルフォルニア工科大学によって行われている。我々のグループでは、そのような量子位相ゲートに入力された光子波動関数に対して、どのような応答が期待されるかについて、全量子力学的な解析などを行ってきた。しかし、それらは、単一原子の位相緩和の影響が無視でき、かつ、キャビティの光閉じこめが完全で、単一原子はキャビティ内部のモードにのみ光子を出力するなどの理想条件下の物であった。

そこで我々は、単一原子の位相緩和の影響ならびにキャビティの光閉じこめの不完全さを、半古典的な手法により解析した。その結果、たとえば、光閉じこめが十分になされている場合、位相緩和時間が自然放出時間より長ければ、180度の位相シフトが得られること、などを見いだした。

(e) ランダム媒質における光双安定性の観測

波長オーダーのサイズの微粒子が高密度かつ不規則に配置された系（ランダム媒質）では光閉じ込め現象が誘起され局所的に極めて強い光相互作用が生じる可能性が指摘されている。我々は、室温においても励起子に依存した発光を示すことで注目されている酸化亜鉛半導体粉末を用いて、ランダム媒質を作製し、媒質中における発光特性について調べた。その結果、観測される青色発光強度の励起光強度に対する双安定性を初めて観測した。解析の結果、最適な励起条件において、励起光がランダム媒質によって局所的に増強されることにより、光双安定性が観測されている事を明らかにした。

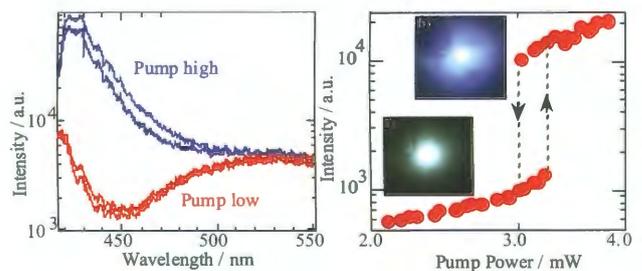


図3. 左図：しきい値以上、以下に対する発光スペクトル、右図：青色(430nm)発光強度の励起光強度依存性。挿入図はしきい値(a)以下、(b)以上の発光画像

(f) 室温での量子ドット単一光子源

単一分子や単一ナノ微粒子の発光挙動を観測することを目的とした共焦点ダイナミック顕微分光システムを構築し

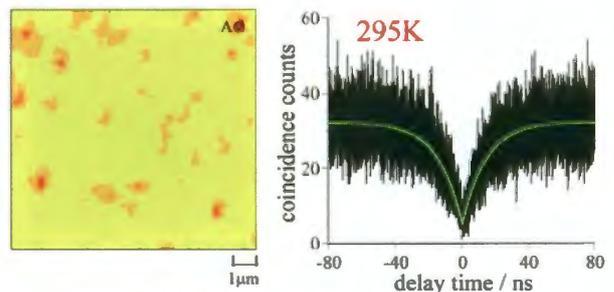


図4. 左図：発光強度分布、右図：発光スポットAにおいて測定した2次相関関数（室温下）。

た。本システムを用いて、CdSe 半導体量子ドット 1 個の発光スペクトルの測定を行った結果、室温下でその 2 次相関関数  $g_2(0)=0.17$  と、明瞭なアンチバンチングの観測に成功した。

・平成17年度

(a) 経路干渉を不要とした光量子制御ノットゲート

光量子制御ノットゲートは量子計算の基本ゲートの一つである。光量子制御ノットゲートを実現する有力な方法の一つに、線形光学素子と光子検出を用いたものがある。この場合、非線形性は光子の検出によって与えられる。これまで、この方法によりいくつかの実験がなされてきたが、ナノメートルオーダーでの部品位置等の調整の必要な経路干渉を含んでいるという問題があった。今回我々は、偏光ごとに反射率の異なる部分偏光ビームスプリッタを用いることで、経路干渉のない安定かつコンパクトな光量子制御ノットゲートを実現した。同内容の研究が偶然同時かつ独立にクイーンズランド大（オーストラリア）、マックスプランク量子光学研究所（ドイツ）から発表され、また本研究は広く一般紙や The Japan Journal (外務省外郭) 等でも報道された。

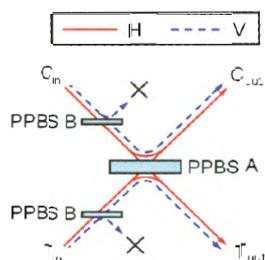


図 1. 経路干渉を不要とした光量子制御ノットゲートの概念図。  
PPBS: 部分偏光ビームスプリッタ

(b) 位相分散による 2 光子干渉の制御

ビームスプリッタの両側から 1 光子ずつ同時に入射すると、光子のボソンの性質により、出力光子はビームスプリッタの出力ポートのどちらか一方にのみ固まって現れる。このような現象を 2 光子干渉と呼ぶ。我々は、このような 2 光子干渉の入力光子に周波数ごとに異なる位相のズレ（位相分散）が与えられた場合についての理論を構築し、そ

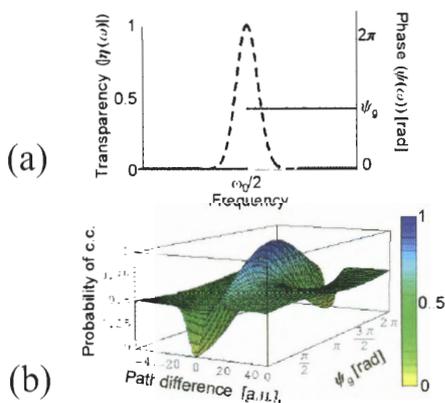


図 2. (a): 高次の項を含む位相分散  
(b): (a) の位相分散を与えたときの 2 光子干渉結果。

の解析を行った。その結果、位相分散の高次の項が 2 光子干渉の結果に大きな影響を与えることが分かった。近年、この 2 光子干渉現象は光子を用いた量子情報処理で中心的な役割を担っているが、本研究はその発見から 20 年にして初めて位相分散の効果を完全に解明した研究である。

(c) 1.55μm 帯パルス励起伝令付き単一光子源の高効率化

パルス内に単一の光子が含まれる状態の生成（単一光子源）は、光子を用いた量子情報通信に不可欠なデバイスである。我々は昨年、パラメトリック蛍光対の一方の検出信号を伝令（タグ）として用いる伝令付き光子源を、通信波長帯パルス励起型としては実現に初めて成功した。今年度はこの光源から光子が 1 個射出される確率  $P(1)$  の増大に取り組んだ結果、 $P(1)=40\%$  を達成した。本単一光子源での有用性を実証するために、現在、三菱電機株式会社と共同で、本単一光子源を用いた量子鍵配布システム実験に取り組んでいる。

(d) パラメトリック蛍光対空間伝搬特性の数値解析

様々な量子光学の分野では、非線形結晶から発生するパラメトリック蛍光対がもつれ合い光子源として広く用いられているが、もつれ合い光子の生成効率や光学系への結合効率を向上させるためには個々の光子の振る舞いでは予測する事はできず、光子対としての空間伝搬特性を把握する事が重要となる。今回我々は、非線形結晶から発生するパラメトリック蛍光対の空間伝搬特性について実験を行うとともに、汎用性の高い数値解析的な手法（Tuning Curve Filtering 法）の提案を行った。本手法を用いると、実験条件を決定すればフィッティングパラメーター無しに光子対の伝搬特性を定量的・定性的に実験結果を再現する事が可能となった。

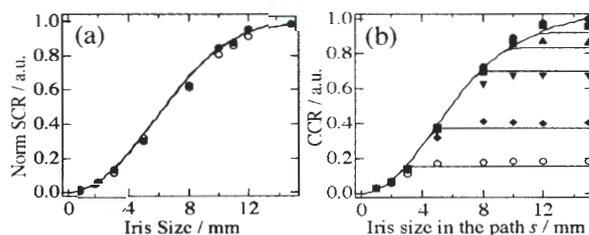


図 3. (a) 一光子計数率および (b) 同時計数率の開口径依存性。  
実線は計算結果を示す。

(e) テーパーファイバ結合微小球共振器における共鳴スペクトルの偏光分離

テーパーファイバ結合微小球共振器は高い Q 値と空間選択性を持つ光共振器として研究が行われている。しかしテーパーファイバ内の偏光保持が困難であるため、TE・TM モードを分離した共鳴スペクトルの取得は困難であった。今回我々は、直線偏光を保持できるテーパーファイバの作製に成功し、これを用いて TE・TM モードを分離したテーパーファイバ結合微小球共振器の透過スペクトル測定に成功した。入射偏光を  $\theta=0^\circ$  あるいは  $\theta=90^\circ$  として測定した場合、TE あるいは TM モードのみがスペクトル中に現れ、 $\theta=45^\circ$  で

は、TE、TM の両方の共鳴モードを観測した。この成果は、単一光子制御デバイス（量子位相ゲート）の位相変化測定のための重要な基礎技術として利用できると考えている。

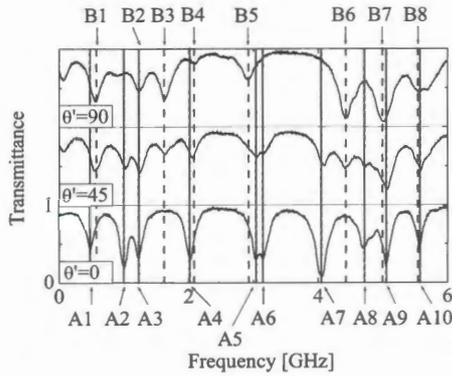


図4. 異なる入射偏光角度における微小球共振器の共鳴スペクトル。θ'は入射偏光角度を示す。

(f) テーパーファイバーに結合したEr イオンドープゾルゲル薄膜コート微小球におけるレーザー発振

これまでの Er<sup>3+</sup> ドープ層のコート方法では、濃度消光を防ぎつつ利得を稼ぐ為に、低濃度の Er<sup>3+</sup> を数μm 程度の厚さにコートした微小球を用いたレーザー発振の観測が行われてきた。本研究では、薄膜中に P を添加し、Er<sup>3+</sup> の分散性を改善する事により Er<sup>3+</sup> の濃度消光を抑制した結果、僅か200 nm の Er<sup>3+</sup> ドープ P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> 薄膜を表面にコートしたガラス微小球において単一モードレーザー発振に成功した。この結果は、利得層の位置の最適化により微小球共振器内の共鳴モード分布とゲイン層の結合効率を改善する事により、デバイスの低しきい値化や高効率化等に応用可能な有用な技術であると考えている。

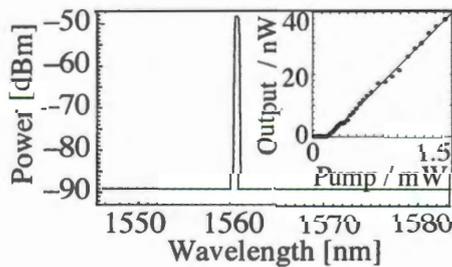


図5. テーパーファイバー結合したEr ドープゾルゲル薄膜コート微小球におけるレーザー発振スペクトル。挿入図は1560nm 付近の発光ピーク強度の励起光強度依存性。

・平成18年度

(a) 4光子NOON状態を用いた古典限界を超える位相測定  
干渉計を用いた位相測定は、重力波検出から、光ジャイロ、天体観測に至るまで非常に広範に渡って用いられている。このような位相測定は量子的な状態を用いることで、その測定感度を飛躍的に向上できることが分かっている。そのような量子的な状態の代表的なものに NOON 状態がある。NOON 状態とは、N 光子が光路でもつれ合った状態である。我々は、一対の2光子状態を用意し、ビームスプリッターで量子干渉させることで、4光子NOON状態を含む

状態を発生させた(図1(a))。その状態をもう一度ビームスプリッターに入力し、出力部分で4光子NOON状態を選択的に測定することで、4光子NOON状態の干渉を得た。図1(b)に4光子NOON状態の干渉結果を示した。その結果、干渉計の位相感度が古典限界を超えることを確認した。

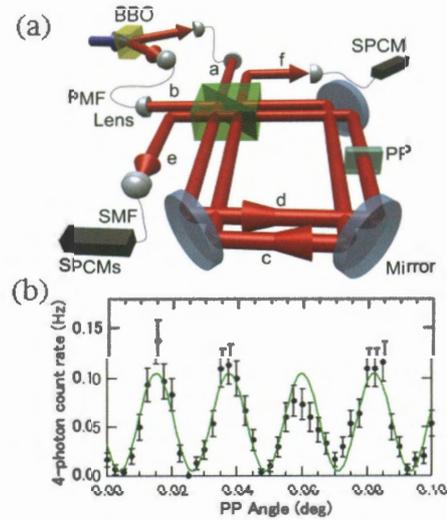


図1. (a) 実験系：a,b から2光子状態を対で入力。出力の一方eで3光子検出、もう一方fで1光子検出することで4光子NOON状態を測定。(b) 実験結果：干渉計内の位相差を走査しながら、出力の同時計数率を測定。

(b) 1.55μm 帯パルス励起伝令付き単一光子源を用いた量子鍵配布実験

我々は、三菱電機株式会社と共同で、40kmの伝送距離での通信波長帯パルス励起伝令付き単一光子源を用い、量子鍵配布実験に成功、理論による無条件安全性を確認した(Opt.Exp.2007)。実験では、主に我々の開発したパラメトリック蛍光対の一方の検出信号を伝令(タグ)として用いる伝令付き光子源を、主に三菱電機の開発した平面光回路(PLC)干渉計を組み込んだ、一方向光子伝送型鍵配布システムと組み合わせ、実験・安全性解析は共同して行った。また、同光源を用いた80kmの1光子干渉実験(世界最長)にも成功し、一般紙等で報道された。パルス状単一光子源を用いた、将来の量子リピータ、量子リレイへと発展が期待される成果である。

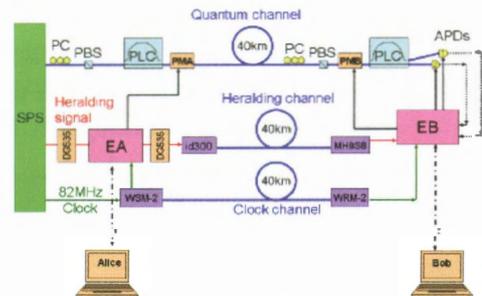


図2. 伝令付き単一光子源を用いた量子鍵配布実験のスキーム。

(c) テーパーファイバー結合微小球共振器における自然放出結合係数の制御

共振器中の発光体が放出する自然放出光のうち共振器モードに結合する割合として定義される自然放出結合係数

( $\beta$ )の制御は、単一光子源や量子位相ゲートなどの量子情報デバイスを実現する上で重要である。そこで我々は、ファイバー結合微小球において、微小球にコートする超薄膜利得層の位置制御により $\beta$ の改善を試みた。実験には、Er, Al, P を含有したゾルゲルガラスを利得層とするテーパファイバーと結合した微小球を用い、レーザー発振の入出力特性から $\beta$ を推定した。その結果、微小球表面に利得層がある場合3%の $\beta$ であったが、利得層をモードのピーク位置に配置することで、図のように19%の $\beta$ の観測に成功した。

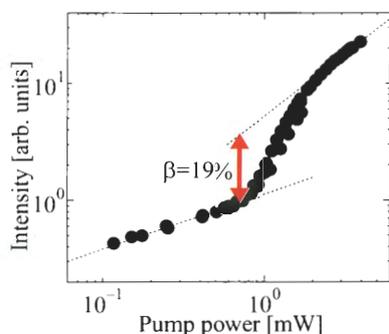


図3. ゲイン層を微小球の共鳴モード分布のピークに配置した場合の入出力特性.

(d) 室温動作プリンキングフリー量子ドット単一光子源の開発

単一 CdSe/ZnS 量子ドットではオージェ過程により励起分子状態からの発光が抑制されるため、室温で動作可能な単一光子源として注目されている。しかし、この過程の副産物としてプリンキング（発光明滅）現象が観測され、単一光子生成レートを低下させる原因となっている。本研究では、2004年に Hohng らが提案した還元剤（2-Mercaptoethanol、化学式  $C_2H_6OS$ 、以下：2-ME）によるプリンキング現象の抑制方法に注目し、還元剤の存在下において CdSe 量子ドットが室温でプリンキングフリーの単一光子源として動作する事を初めて確認する事に成功した。

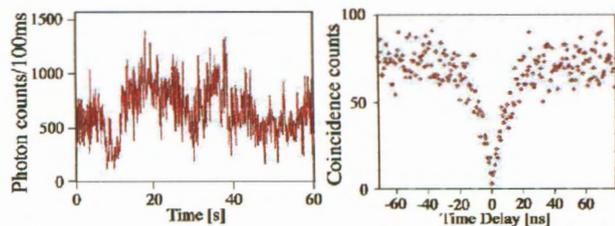


図4. 還元剤の存在下での単一 CdSe 量子ドットからの発光カウント数の時間変化（左図）とその2光子相関測定（右図）。測定は室温下で行っている。還元剤の影響により、プリンキングが抑制され、尚かつ、単一光子源として動作している事が分かる。

(e) ポリマーフィルム中単一分子の三重項状態寿命の時間応答解析

分子の三重項状態寿命は、一般的に一重項状態の寿命より長く、分子のおかれた局所的な環境に対して敏感に変化する。これまでのプリンキング現象の解析方法では、発光収率の高い分子を用いても、長い測定時間や多くのサンプル点数を必要とするため、ダイナミックな三重項状態寿命

の測定は困難である。そこで我々は、Martynski らのグループが理論的に提案している検出時間間隔ヒストグラムを用いた三重項状態寿命解析方法を実際実験に適用し、ダイナミックな三重項状態寿命の時間変化の観測を試みた。その結果、酸素濃度の時間的な低下に伴い、PMMA フィルム中の単一 DiI 分子の三重項状態寿命が長くなる様子を観測し、単一 DiI 分子が PMMA フィルム中の微小領域の酸素センサとして利用可能であることを示した。

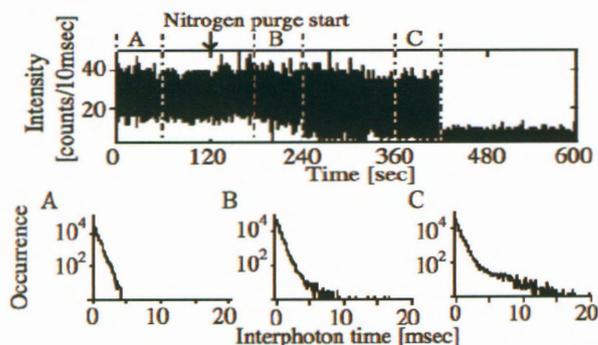


図5. 単一 DiI 分子からの発光カウント数の時間変化（上図）と同時に測定した1分毎の各時間領域（A~C）における検出時間間隔ヒストグラム（下図）。窒素ガスを測定開始2分後よりパージしている。酸素濃度の低下とともに三重項状態の寿命を表す遅い減衰成分が現れている。

(f) 欠陥領域を用いたランダム構造内局在モードの制御  
波長オーダーの散乱体が無秩序に分布するランダム構造では、特徴である無秩序さのため構造内部に誘起される局在モードの周波数と入出力を制御する事は一般的に困難である。我々は、ランダム構造の周波数特性にマッチした導波路構造を内部に配置した構造を提案し、その共鳴特性について数値解析を行った。その結果、反射特性に現れる共鳴波長において、導波路構造部に束縛された光局在モードを実現できる事を示し、無秩序なランダム構造内部に制御された局在モードを簡便に実現できる方法を提案した。

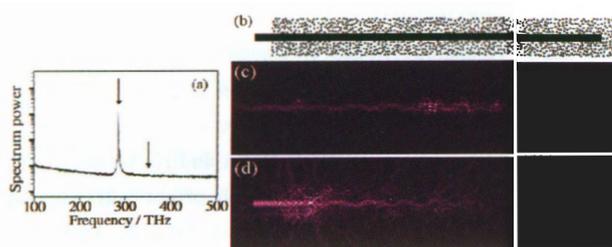


図6. ランダム構造中の導波路構造による局在モードの数値解析結果。(a)反射スペクトル、(b)数値解析モデル、(c)共鳴波長および(d)非共鳴波長（図(a)中の矢印）での強度分布。

### 3. 今後の研究の展望

本研究分野では現在、総務省戦略的情報通信研究開発推進制度、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業のプロジェクトとして「光子間の高効率固体量子位相ゲートの実現に関する研究」、「多光子量子演算ゲートの研究」の研究を実施している。また、科学研究費課題として、「放射圧を利用した非破壊光子検出法の開発」、「空中フォトニック結

晶ファイバを用いた、光子の量子位相ゲートに関する研究、「パラメトリック蛍光対を用いた、2光子干渉における光子のアンチバンチングの実現」の研究を遂行中である。これらのプロジェクトの展開として、(a) 光子を用いた線形量子計算の実現、(b) テーパーファイバー結合微小球を用いた単一光子制御デバイスの開発、(c) パラメトリック蛍光対を用いた光子数状態の制御、(d) 輻射場を制御した単一分子の分光計測、(e) 高量子効率光子数検出器の開発と特性解析、(f) もつれ合い光子を用いた量子リソグラフィ要素技術開発、(g) 単一光子制御デバイスの作製と特性解析、(h) ナノ構造体による光制御技術の開発、(i) 光ナノ計測を用いた微粒子間相互作用力測定、等の研究テーマを遂行する予定である。

## 4. 資料

### 4.1 学術論文等

#### a. 学術論文

- 1) H. F. Hofmann, K. Kojima, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Entanglement and four wave mixing effects in the dissipation free nonlinear interaction of two photons at a single atom", *Phys. Rev. A*, 68: 043813/1-043813/7 (2003)\*
- 2) K. Kojima, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Nonlinear interaction of two photons at a one-dimensional atom: spatiotemporal quantum coherence in the emitted field", *Phys. Rev. A*, 68(1): 013803/ 1-013803/13 (2003)\*
- 3) H. F. Hofmann, K. Kojima, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Optimized phase switching using a single atom nonlinearity", *Journal of Optics B: Quantum and semiclassical optics*, 5: 218-221 (2003)\*
- 4) H. F. Hofmann and S. Takeuchi: "Violation of local uncertainty relations as a signature of entanglement", *Phys. Rev. A*, 68: 032103/1-032103/6 (2003)\*
- 5) H. F. Hofmann: "Bound entangled states violate a non-symmetric local uncertainty relation", *Phys. Rev. A*, 68: 034307/1-034307/4 (2003)\*
- 6) H. Fujiwara, H. Takasaki, J. Hotta and K. Sasaki: "Observation of the discrete transition of optically trapped particle position in the vicinity of an interface", *Appl. Phys. Lett.*, 84(1): 13-15 (2004)\*
- 7) K. Tsujino, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Distinguishing genuine entangled two-photon-polarization states from independently generated pairs of entangled photons", *Physical Review Letters*, 92(15): 153602/ 1-153602/4 (2004)
- 8) H. Oka, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Effects of decoherence on the nonlinear optical phase shift obtained from a one-dimensional atom", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 43(11A): 7495-7500 (2004)
- 9) K. Kojima, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Efficiencies for the single-mode operation of a quantum optical nonlinear shift gate", *Phys. Rev. A*, 70: 013810/ 1-013810/6 (2004)
- 10) S. Takeuchi, R. Okamoto and K. Sasaki: "High-yield single-photon source using gated spontaneous parametric downconversion", *Appl. Opt.*, 43(30): 5708-5711 (2004)
- 11) H. Fujiwara and K. Sasaki: "Observation of upconversion lasing within a thulium-ion-doped glass powder film containing titanium dioxide particles", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 43 (10B): L1337-L1339 (2004)
- 12) H. F. Hofmann and S. Takeuchi: "Quantum-state tomography for spin-1 systems", *Phys. Rev. A*, 69: 042108/ 1-042108/8 (2004)
- 13) A. Chiba, H. Fujiwara, J. Hotta, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Resonant frequency control of a microspherical cavity by temperature adjustment", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 43 (9A): 6138-6141 (2004)
- 14) K. Kojima, H. F. Hofmann, S. Takeuchi, and K. Sasaki: "A Study on the Shape of two-photon wavefunctions after the nonlinear interaction with a one-dimensional atom", *Nonlinear Optics, Quantum Optics*, 32: 221-245 (2005).
- 15) H. Yan, H. Fujiwara, K. Sasaki and K. Tsujii: "Rapid Swelling/Collapsing Behaviors of Thermo-Responsive Poly(N-isopropylacrylamide)Gel Containing Poly(2-(methacryloyloxy)decylphosphate) Surfactant", *Angew. Chem. Int. Ed.*, 44: 1951-1954 (2005)
- 16) A. Chiba, H. Fujiwara, J. Hotta, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Fano resonance in a multimode tapered fiber coupled with a microspherical cavity", *Appl. Phys. Lett.*, 86(26): 261106/1-261106/3 (2005)
- 17) H. Oka, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Optical response of two-level atoms with reflection geometry as a model of a quantum phase gate", *Phys. Rev. A*, 72: 013816/1- 013816/7 (2005)
- 18) H. Fujiwara, K. Sasaki and H. Masuhara: "Enhancement of Förster energy transfer within a microspherical cavity", *ChemPhysChem*, 6(11): 2410-2416 (2005)
- 19) R. Okamoto, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Detailed analysis of a single-photon source using gated spontaneous parametric downconversion", *Journal of the Optical Society of America B*, 22(11): 2393-2401 (2005)
- 20) R. Okamoto, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Demonstration of an optical quantum controlled-NOT gate without path interference", *Physical Review Letters*, 95(21): 210506/1-210506/4 (2005)
- 21) K. Ueno, V. Mizeikis, S. Juodkakis, K. Sasaki and H. Misawa: "Optical Properties of Nano-Engineered Gold Blocks", *Opt.Lett.*, 30(16): 2158-2160 (2005)
- 22) R. Okamoto, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Tailoring two-photon interference with phase dispersion", *Phys. Rev. A*, 74: 011801/1-011801/4 (2006)
- 23) H. Fujiwara and K. Sasaki: "Observation of optical bistability in a ZnO powder random medium", *Appl. Phys. Lett.*,

89: 071115/1-071115/3 (2006)

- 24) H. Takashima, H. Fujiwara, J. Hotta, S. Takeuchi, K. Sasaki, S. Murakami, T. Torimoto and B. Ohtani: "Analysis of quantum dot fluorescence coupled with a microsphere resonator", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 45(9A): 6917-6921 (2006)
- 25) H. Konishi, H. Fujiwara, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Polarization-discriminated spectra of a fiber-microsphere system", *Appl. Phys. Lett.*, 89(12): 121107/1-121107/3 (2006)
- 26) K. Ueno, S. Juodkakis, V. Mizeikis, K. Sasaki and H. Misawa: "Spectrally-Resolved Atomic-Scale Length Variations of Gold Nanorods", *J. Am. Chem. Soc.*, 128(44): 14226-14227 (2006)
- 27) H. F. Hofmann, R. Okamoto and S. Takeuchi: "Analysis of an experimental quantum logic gate by complementary classical operations", *M. Phys. Lett. A*, 21(24): 1837-1850 (2006)
- 28) A. Soujaeff, S. Takeuchi, K. Sasaki, T. Hasegawa and M. Matsui: "Heralded single photon source at 1550 nm from pulsed parametric down conversion", *J. Mod. Opt.*, 54(2&3): 467-475 (2007)
- 29) A. Soujaeff, T. Nishioka, T. Hasegawa, S. Takeuchi, T. Tsurumaru, K. Sasaki and M. Matsui: "Quantum key distribution at 1550 nm using a pulse heralded single photon source", *Opt. Exp.*, 15(2): 726-734 (2007)
- 30) H. Fujiwara, Y. Kawabe, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Numerical analysis of spatial propagation of parametric fluorescence photon-pairs using the tuning curve filtering method", *Phys. Rev. A*, 75: 023802/1-023802/8 (2007)
- 31) H. Takashima, H. Fujiwara, S. Takeuchi, K. Sasaki and M. Takahashi: "Fiber-microsphere laser with a submicrometer sol-gel silica glass layer codoped with erbium, aluminum, and phosphorus", *Appl. Phys. Lett.*, 90(1): 053709/1-053709/3 (2007)

#### b. 国際会議議事録等に掲載された論文

- 1) S. Takeuchi, R. Okamoto and K. Sasaki: "Single photon source using parametric down conversion", *Proc. of the 48th SPIE International Conference, Quantum Communications and Quantum Imaging*, 5161: 101-108 (2004)
- 2) S. Takeuchi, K. Tsujino, H. F. Hofmann and K. Sasaki: "Distinguishing genuine entangled two-photon polarization states from independently generated pairs of entangled photons", *Proc. of the 49th SPIE International Conference, Quantum Communications and Quantum Imaging*, 5551: 87-93 (2005)

#### 4.2 総説・解説・評論等

- 1) 竹内繁樹: 「II 量子計算と量子情報理論 量子計算の実験」、別冊・数理科学 量子情報科学とその展開 量子コンピュータ・暗号・情報通信、57-63 (2003)
- 2) 竹内繁樹: 「V 量子情報通信 量子計算・量子情報通

信の未来と展望」、別冊・数理科学 量子情報科学とその展開 量子コンピュータ・暗号・情報通信、191-198 (2003)

- 3) 竹内繁樹: 「特集: 光技術の極限をめざして 量子コンピュータ - 光の量子的な性質の究極の応用 -」、*Optics Plus E*, 26(1): 53-57 (2004)
- 4) 竹内繁樹: 「線形光学素子を用いた量子コンピューティング」、*光学*, 33(5): 284(22)-290(28) (2004)
- 5) 竹内繁樹: 「実用的な量子コンピュータ実現への道程 - 横たわるボトルネックと、光子を用いる方法の現状 -」、*応用物理 特集「応用物理における計算科学の現状と将来展望」*, 74(8): 1069-1074 (2005)
- 6) 竹内繁樹: 「光子量子回路の実現に向けて: 量子ゲート素子と光子数検出器」、*オプトロニクス (OPTRONICS)*, 24(285): 154-157 (2005)
- 7) 藤原英樹、笹木敬司: 「微小球におけるエネルギー移動過程の増強効果」、*光化学*, 36(2): 167-169 (2005)
- 8) 竹内繁樹: 「2005年光学界の進展「6. 量子光学・非線形光学」」、*光学*, 35(4): 187-188 (2006)
- 9) 藤原英樹、笹木敬司: 「ランダム媒質のレーザー発振および局在モードの数値解析」、*光学*, 35(7): 364(26)-366 (28) (2006)
- 10) 岡本亮: 「経路干渉を不用とした光量子制御ノットゲート」、*応用物理*, 75(11): 1340-1344 (2006)
- 11) 竹内繁樹: 「量子コンピュータ - その本質と、最近の研究展開」、*情報処理*, 47(12): 1311-1316 (2006)

#### 4.3 著書

- 1) 竹内繁樹: 「4.15 量子コンピュータ」、*ナノテクノロジー大辞典*、川合知二監修、工業調査会、505-513 (2003)
- 2) 竹内繁樹: 「量子コンピュータ 超並列計算のからくり」、*BLUE BACKS*、講談社 (2005)
- 3) 竹内繁樹: 「IV 3-5 光子の発生・検出と光子量子回路への応用」、*光科学研究の最前線 (Frontiers in Optical Science)*、強光子場科学研究懇談会、278-279 (2005)
- 4) 笹木敬司、藤原英樹: 「第2章 フォトンフォース計測とナノフォトニック操作」、*バイオとナノの融合 I ~ 新生命科学の基礎*、北海道大学出版会、1: 17-30 (2006)
- 5) 竹内繁樹: 「第3部 第1章 光子を用いた量子回路へに向けて - 量子ゲート素子、単一光子源、光子数検出器 -」、*量子情報通信*、オプトロニクス社、219-237 (2006)

#### 4.4 特許

##### a. 国内特許

- 1) 竹内繁樹、岡本亮: 「光学特性測定装置、光学特性測定方法、並びに、それに用いるプログラムおよび記録媒体」、特開2006-242771 (2005年3月3日)

##### b. 国際特許

- 1) S. Takeuchi: "Quantum Cipher Communication System" 特開 EP1383267 (2004)

#### 4.5 講演

##### a. 国際会議招待講演

- 1) K. Sasaki: "Photon dynamics in micro- and nano-structures", CREST&QNN03 Joint International Workshop, Awaji Yumebutai International Conference Center (2003-07)
- 2) S. Takeuchi, R. Okamoto and K. Sasaki: "Single photon source using parametric down conversion", SPIE Annual Meeting 2003, San Diego Convention Center, USA (2003-08)
- 3) S. Takeuchi: "A high efficient single photon source and quantum phase gates for photonic qubits", ERATO Conference on Quantum Information Science 2003, Doshisha University, Nijima-kaikan (2003-09)
- 4) K. Sasaki: "Photon localization dynamics in nano-random media", The Australasian Conference on Optics, Lasers and Spectroscopy 2003 (ACOLS03), University of Melbourne, Australia (2003-12)
- 5) S. Takeuchi: "Quantum information processing using photons", The 6th Japanese-American Frontiers of Science Symposium (第6回日米先端科学技術 (JAFoS) シンポジウム), Shonan Village Center (湘南国際村センター) (2003-12)
- 6) S. Takeuchi: "Distinguishing genuine entangled two-photon-polarization states", Japan-Germany Colloquium 2004 on Quantum Optics (organised by JSPS and MPG), Wildbad Kreuth, Germany (2004-02)
- 7) S. Takeuchi: "Distinguishing entangled two-photon states and a highly efficient single photon source", The International Symposium on Quantum Info-Communications and Related Quantum Nanodevices 量子情報通信と量子ナノデバイスに関する国際シンポジウム, Mita Kaigisho (Conference Hall) (三田共用会議所) (2004-03)
- 8) S. Takeuchi, K. Tsujino, H. F. Hofmann and K. Sasaki: "Distinguishing genuine entangled two-photon-polarization states from independently generated pairs of entangled photons", SPIE Annual Meeting 2004 Optical Science and Technology, Colorado Convention Center, USA (2004-08)
- 9) S. Takeuchi: "Quantum information technologies using photons", KIAS-KAIST 2004 Workshop on Quantum Information Science, KIAS International Conference Hall, Korea (2004-08)
- 10) S. Takeuchi: "Single photon sources using parametric fluorescence for quantum info-communication", 14th International Laser Physics Workshop, Keihanna Plaza (けいはんなプラザ) (2005-07)
- 11) S. Takeuchi: "Single photon / Twin photon sources using parametric fluorescence and its application to quantum information processing", International Conference on Quantum Electronics 2005 and the Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (IQEC/CLEO-PR 2005), The Nippon Toshi Center Kaikan (都市センターホテル) (2005-07)
- 12) S. Takeuchi: "Quantum phase gate using single-atom nonlinearity", SPIE 50th Annual Meeting Optics & Photonics 2005, San Diego Convention Center, USA (2005-07)
- 13) H. Fujiwara, Y. Momose, R. Takahashi and K. Sasaki: "Photon localized modes within a defect region of a random medium", The Sixth Japan-Finland Joint Symposium on Optics in Engineering (OIE05), International Conference Hall, Hokkai-Gakuen University (北海学園大学国際会議場) (2005-09)
- 14) S. Takeuchi: "Realization of quantum gates for photonic qubits", 357. Wilhelm und Else Heraeus-Seminar The Photon: Generation, Detection, and Application, Physikzentrum Bad Honnef, Germany (2005-11)
- 15) K. Sasaki, H. Fujiwara and S. Takeuchi: "Photon manipulation with micro- and nano- structures", The 2nd UK-Japan Symposium on Promotion of Regional Partnerships on Nanotechnology Development, The Research Beehive, The University of Newcastle, UK (2006-03)
- 16) S. Takeuchi: "Toward the realization of optical quantum circuits", The 1st International Workshop on Linear Optical Quantum Information Processing (LOQIP 2006), Cook Hotel Conference Center at Louisiana State University, USA (2006-04)
- 17) R. Okamoto, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Tailoring two-photon interference with phase dispersion", Advances in Foundations of Quantum Mechanics and Quantum Information with atoms and photons (Quantum2006), I. N. R.I. M., Steada delle Casse 91, Turin, Italy (2006-05)
- 18) S. Takeuchi, R. Okamoto and K. Sasaki: "Tailoring two-photon interference with phase dispersion", 15th International Laser Physics Workshop (LPHYS 06), L'Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (EPFL), Switzerland (2006-07)
- 19) S. Takeuchi: "Quantum Optics", 2006 US-Japan Workshop on Quantum Information Science, The Wailea Beach Marriott Resort and Spa, USA (2006-10)
- 20) K. Sasaki: "Nanophotonics and Nanobiology", Nano Systems Seminar Series: 2006 Fall Quarter, La Kretz Hall 110, UCLA, USA (2006-11)
- 21) H. Fujiwara: "Nonlinear phenomena induced in a random structure", The 8th RIES-Hokudai International Symposium (RIES 国際シンポ), Hokkaido University Conference Hall (2006-12)
- 22) S. Takeuchi: "The Status and Prospects of Optical Quantum Circuits", The 7th International Conference on Nano-Molecular Electronics (ICNME2006), International Conference Center Kobe (2006-12)
- 23) K. Sasaki: "Photon manipulation with microspherical cavity", International Symposium on Organized Nanomaterials

and Nanostructures Related to Photoscience, Center of Nanoscience and nanotechnology, National Chung Hsing University, Taiwan, Taiwan (2007-03)

#### b. 国内会議招待講演

- 1) 竹内繁樹:「光子数状態の生成と制御」、計測自動制御学会第3回制御部門大会、神戸市産業振興センター (2003-05)
- 2) 笹木敬司、藤原英樹:「ナノ微粒子における光局在ダイナミクス」、第11回有機結晶部会シンポジウム、東北学院同窓会館 (2003-11)
- 3) 笹木敬司:「光と高分子微粒子が織りなす不思議な世界」、高分子学会北海道支部会「光と高分子」、千歳科学技術大学 (2003-12)
- 4) 竹内繁樹:「光子を用いた量子計算」、レーザー学会創立30周年記念学術講演会 第24回年次大会、仙台国際センター (2004-01)
- 5) 笹木敬司:「フォトンマニピュレーションの展開」、ナノオプティクス研究グループ (旧近接場光学研究グループ) 第13回研究討論会、北海道大学学術交流会館小講堂 (札幌市北区) (2004-07)
- 6) 竹内繁樹:「光量子ビット」、第42回 茅コンファレンス「量子情報処理の物理と技術」、宮城蔵王ロイヤルホテル (2004-08)
- 7) 竹内繁樹:「光子を用いた量子計算」、電子情報通信学会2004ソサイエティ大会、徳島大学 常三島キャンパス (2004-09)
- 8) 竹内繁樹:「光子を用いた量子情報通信・処理」、国立大学附置研究所・センターシンポジウム 研究所・センターが開く未来の世界'宇宙環境から量子技術まで、北海道大学学術交流会館 (2004-11)
- 9) 竹内繁樹:「光子を用いた量子情報実験」、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業 (CREST) 量子情報処理シンポジウム、一橋記念講堂 (2004-12)
- 10) 竹内繁樹:「光子を用いた量子情報実験」、ナノエレクトロニクス連携研究センター (NCRC) 第24回プロジェクト研究推進会議、東京大学生産技術研究所 (2005-02)
- 11) 竹内繁樹、岡本亮、ソージャエフ アレクサンドレ、大橋弘明、堀田純一、笹木敬司:「単一光子源の研究現状-パラメトリック蛍光対利用を中心に」、第52回応用物理学関係連合講演会、埼玉大学 (2005-03)
- 12) 竹内繁樹:「光子を操る-複数光子の量子状態制御と計測」、第7回 分子ダイナミック分光ワークショップ「生物における光情報伝達と光・量子ドットの情報物理」、アクトシティ浜松コンgresセンター4階 (2005-07)
- 13) 笹木敬司:「中村収教授の修士論文から:非負拘束による超解像化」、平成17年度日本分光学会顕微分光部会シンポジウム 中村収教授追悼シンポジウム「超解像・光CTからナノ・バイオフォトニクスへ」、大阪大学コンベンションセンター (2005-09)
- 14) 竹内繁樹:「光子どうしの相関を操る」、京大物理21世紀 COE「物理学の多様性と普遍性の探求拠点」シンポジウム「光と物理学」、京都大学百周年時計台記念館 (2006-02)
- 15) 藤原英樹:「ランダム構造を用いた光反応増強場の創製と制御」、電子科学研究所学術講演会 第3回光-分子強結合反応場研究会講演会、北海道大学 創成科学研究棟 (4F 会議室) (2006-02)
- 16) 藤原英樹、笹木敬司:「フォトン局在分光イメージング」、日本分光学会北海道支部シンポジウム「イメージング分光の生体および材料研究への応用」、北海道大学電子科学研究所 (2階講堂) (2006-02)
- 17) 竹内繁樹:「光子数検出器と線形光学量子回路」、第53回応用物理学関係連合講演会 (合同 G 分科内総合講演「光子数識別技術の現状と将来展望」、武蔵工業大学世田谷キャンパス (2006-03)
- 18) 竹内繁樹:「パラメトリック蛍光対の動的制御による単一光子源の実現」、第53回応用物理学関係連合講演会 (光学論文賞受賞記念講演)、武蔵工業大学世田谷キャンパス (2006-03)
- 19) 竹内繁樹:「光子量子回路用量子ゲート」、日本学術振興会 光エレクトロニクス第130委員会 第247回研究会、東京理科大学 森戸記念館 (2006-05)
- 20) 藤原英樹:「微小構造を用いた光閉じ込め効果の光反応過程への応用」、第22回分析化学緑陰セミナー (日本分析化学会北海道支部主催)、小樽市 小樽自然の村 (2006-06)
- 21) 笹木敬司:「光ファイバー結合型微小球共振器の光特性」、2006年光化学討論会 異分野交流プログラム「光強結合構造の作製と応用」、東北大学川内キャンパス (2006-09)
- 22) 竹内繁樹:「光量子回路の現状と展望」、日本光学会年次学術講演会・日本分光学会秋季講演会 (Optics & Photonics Japan 2006)、学術総合センター (一橋記念講堂) (2006-11)
- 23) ソージャエフ アレクサンドレ、西岡毅、竹内繁樹、長谷川俊夫、笹木敬司、松井充:「Single photon source for quantum key distribution at 1550nm」、Journée Scientifique Francophone 2006(JSF2006)、東京大学・武田ホール (2006-12)
- 24) 竹内繁樹:「光量子回路の現状と展望」、CREST「光電場のナノ空間構造による新機能デバイスの創製」シンポジウム、淡路夢舞台国際会議場 (2007-02)

#### c. 国際会議一般講演

- 1) A. Chiba, H. Fujiwara, J. Hotta, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Fine frequency tuning of a microspherical cavity by temperature control", CLEO EUROPE EQEC 2003, Munich ICM, Germany (2003-06)
- 2) H. F. Hofmann, S. Takeuchi, K. Kojima and K. Sasaki: "Generation of spatiotemporal two photon entanglement by an atom-cavity nonlinearity", CLEO EUROPE EQEC 2003, Munich ICM, Germany (2003-06)
- 3) K. Kojima, S. Takeuchi, K. Sasaki and H. F. Hofmann: "A fully quantum mechanical approach to the nonlinear in-

- teraction in two photon pulses at an atom-cavity system”, CLEO EUROPE EQEC 2003, Munich ICM, Germany (2003-06)
- 4) S. Takeuchi, R. Okamoto and K. Sasaki: “A single photon source using parametric down conversion”, CLEO EUROPE EQEC 2003, Munich ICM, Germany (2003-06)
  - 5) H. F. Hofmann, S. Takeuchi, K. Kojima and K. Sasaki: “Spatiotemporal coherence in the interaction of a two photon input pulse with an atom-cavity system”, 16th International Conference on Laser Spectroscopy, Novotel Palm Cove Resort, Australia (2003-07)
  - 6) H. Fujiwara, Y. Kawabe, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Spatial propagation properties of beam-like type-II parametric fluorescence photon pairs”, 16th International Conference on Laser Spectroscopy, Novotel Palm Cove Resort, Australia (2003-07)
  - 7) H. Fujiwara, M. Sarashina, Y. Momose and K. Sasaki: “Approach to control of localized modes in random media”, 16th International Conference on Laser Spectroscopy, Novotel Palm Cove Resort, Australia (2003-07)
  - 8) K. Tsujino, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Generation of entanglement between a pair of two photon polarization states using type-II parametric down-conversion”, 16th International Conference on Laser Spectroscopy, Novotel Palm Cove Resort, Australia (2003-07)
  - 9) R. Okamoto, S. Takeuchi and K. Sasaki: “A single photon source using parametric down conversion”, 16th International Conference on Laser Spectroscopy, Novotel Palm Cove Resort, Australia (2003-07)
  - 10) H. Fujiwara, Y. Momose and K. Sasaki: “Spectral change of amplified spontaneous emission induced by an optical Kerr effect in a random medium”, CREST&QNN03 Joint International Workshop, Awaji Yumebutai International Conference Center (2003-07)
  - 11) Y. Kawabe, S. Takeuchi, K. Sasaki and H. Fujiwara: “Observation of spatial properties of beam-like type-II spontaneous parametric down-conversion”, CREST&QNN03 Joint International Workshop, Awaji Yumebutai International Conference Center (2003-07)
  - 12) S. Takeuchi: “Quantum information processing using photons”, CREST&QNN03 Joint International Workshop, Awaji Yumebutai International Conference Center (2003-07)
  - 13) J. Hotta, H. Takashima, A. Chiba, H. Fujiwara, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Scattering analysis of a microsphere at the tip of an optical fiber”, The XXIst International Conference on Photochemistry, Nara-ken New Public Hall (2003-07)
  - 14) H. F. Hofmann and S. Takeuchi: “Violation of local uncertainty relations by entangled N-level systems”, Non-locality of Quantum Mechanics and Statistical Inference (A Satellite Workshop to EQIS'03), Kyoto Sangyo University (2003-09)
  - 15) H. Ohashi, J. Hotta, S. Takeuchi, K. Sasaki, S. Murakami, T. Torimoto and B. Ohtani: “Photoluminescence measurement of single CdSe nanoparticles”, The 5th RIES-Hokkaido Symposium on Advanced Nanoscience shoku [織], Hokkaido University Conference Hall (北海道大学学術交流会館) (2003-12)
  - 16) H. Oka, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Nonlinear phase shift obtained from a single atom embedded in a one-sided solid-state microcavity”, The 5th RIES-Hokkaido Symposium on Advanced Nanoscience shoku [織], Hokkaido University Conference Hall (北海道大学学術交流会館) (2003-12)
  - 17) K. Kojima, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Fully quantum analysis of nonlinear response of an atom-cavity system to two photon pulses”, The International Symposium on Quantum Info-Communications and Related Quantum Nanodevices 量子情報通信と量子ナノデバイスに関する国際シンポジウム, Mita Kaigisho (Conference Hall) (三田共用会議所) (2004-03)
  - 18) S. Takeuchi, J. Hotta and K. Sasaki: “A quantum phase gate for photonic qubit using micro-sphere resonator”, The International Symposium on Quantum Info-Communications and Related Quantum Nanodevices 量子情報通信と量子ナノデバイスに関する国際シンポジウム, Mita Kaigisho (Conference Hall) (三田共用会議所) (2004-03)
  - 19) A. Chiba, H. Takashima, H. Fujiwara, J. Hotta, S. Takeuchi and K. Sasaki: “A microspherical cavity coupled with a tapered fiber-nano-optical device for quantum phase gate-”, The International Symposium on Quantum Info-Communications and Related Quantum Nanodevices 量子情報通信と量子ナノデバイスに関する国際シンポジウム, Mita Kaigisho (Conference Hall) (三田共用会議所) (2004-03)
  - 20) H. Fujiwara, Y. Momose and K. Sasaki: “Numerical analysis of resonant modes within a two-dimensional random medium”, 2004 ICO International Conference Optics & Photonics in Technology Frontier (ICO '04), Makuhari Messe (幕張メッセ) (Chiba) (2004-07)
  - 21) H. Takashima, A. Chiba, H. Fujiwara, J. Hotta, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Characterization of a microspherical cavity with a stem by observing resonantly scattered far-field incident light”, Nonlinear Optics: Materials, Fundamentals and Applications (NLO '04), Waikoloa Beach Marriott, An Outrigger Resort Waikoloa, Hawaii, USA (2004-08)
  - 22) H. Oka, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Effects of dephasing on the nonlinear phase shift obtained from a one-dimensional atom”, Nonlinear Optics: Materials, Fundamentals and Applications (NLO '04), 69-275

- Waikoloa Beach Drive, Waikoloa, Hawaii, 96738-5711, USA (2004-08)
- 23) Y. Kawabe, H. Fujiwara, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Evaluation of the coupling efficiencies of parametric fluorescence for quantum lithography", 1st International Workshop 'Imaging at the limits', Cargese Institute of Scientific Studies, France (2004-09)
  - 24) R. Okamoto, H. F. Hofmann and S. Takeuchi: "A simple quantum phase gate using linear optics and phase dispersion effect on photon bunching", 「電子・光子等の機能制御」2004シンポジウム, コクヨホール (2004-09)
  - 25) D. Kawase, K. Tsujino, K. Sasaki, S. Takeuchi, W. Atsushi, O. Hiroyuki, T. Mitsuo and M. Yoko: "Entanglement of orbital angular momentum of photons and quantum information processing", 「電子・光子等の機能制御」2004シンポジウム, コクヨホール (2004-09)
  - 26) H. Fujiwara and K. Sasaki: "Observation of optical bistability in a ZnO powder random medium", VIII International Conference on Optics within Life Science (OWLS8), Eden on the Park Hotel, Australia (2004-11)
  - 27) J. Hotta, A. Chiba, H. Takashima, H. Fujiwara, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Manipulation of optical coupling to whispering-gallery modes of microspherical cavity", VIII International Conference on Optics within Life Science (OWLS8), Eden on the Park Hotel, Australia (2004-11)
  - 28) H. Fujiwara and K. Sasaki: "Optical bistability of blue emission in a ZnO powder random medium", The 6th RIES-Hokudai Symposium "超(chou)", Hokkaido University Conference Hall (2004-12)
  - 29) J. Hotta, A. Chiba, H. Takashima, H. Fujiwara, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Control of optical coupling to microspherical cavity", The 6th RIES-Hokudai Symposium "超(chou)", Hokkaido University Conference Hall (2004-12)
  - 30) H. Fujiwara, A. Masuhara, H. Kasai, H. Nakanishi and K. Sasaki: "Control of localized modes in random media with nonlinear nanoparticles", Third International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE3) (第3回有機分子・バイオエレクトロニクスに関する国際会議), National Center of Sciences (国立情報学研究所(学術総合センター)) (2005-03)
  - 31) R. Okamoto, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Quantum computing using linear optics", The International Conference on "Topology in Orderd Phases" (TOP2005), Sapporo Grand Hotel (札幌グランドホテル) (2005-03)
  - 32) D. Kawase, S. Takeuchi, K. Sasaki, A. Wada, Y. Miyamoto and M. Takeda: "Verification of measurement basis in experiment of entanglement in orbital angular momentum of photons", The International Conference on "Topology in Orderd Phases" (TOP2005), Sapporo Grand Hotel (札幌グランドホテル) (2005-03)
  - 33) S. Takeuchi: "Entanglement of the optical angular momentum of photons", The International Conference on "Topology in Orderd Phases" (TOP2005), Sapporo Grand Hotel (札幌グランドホテル) (2005-03)
  - 34) A. Soujaeff, S. Takeuchi, K. Sasaki, T. Hasegawa and M. Matsui: "Heralded single photon source for quantum cryptography at 1550 nm", CLEO-Europe/EQEC2005, Munich International Congress Centre, Germany (2005-06)
  - 35) S. Takeuchi, H. F. Hofmann, K. Kojima, H. Oka, A. Chiba, H. Takashima, J. Hotta and K. Sasaki: "Quantum phase gate using single atom nonlinearity", 17th International Conference on Laser Spectroscopy, Coylumbride Hilton Hotel, UK (2005-06)
  - 36) D. Kawase, S. Takeuchi, K. Sasaki, A. Wada, Y. Miyamoto and M. Takeda: "Verification of measurement basis in experiment of entanglement in orbital angular momentum of photons", 17th International Conference on Laser Spectroscopy, Coylumbride Hilton Hotel, UK (2005-06)
  - 37) H. F. Hofmann, R. Okamoto and S. Takeuchi: "Efficient characterization of an experimental two photon quantum gate", 17th International Conference on Laser Spectroscopy, Coylumbride Hilton Hotel, UK (2005-06)
  - 38) H. Fujiwara, Y. Kawabe, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Numerical analysis of propagation properties of parametric fluorescence photon-pairs by use of a tuning curve filtering method", International Conference on Quantum Electronics 2005 and the Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (IQEC/CLEO-PR 2005), The Nippon Toshi Center Kaikan (都市センターホテル) (2005-07)
  - 39) Y. Kawabe, H. Fujiwara, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Experimental analysis of spatial propagation properties of beam-like parametric fluorescence by use of a tuning curve filtering method", International Conference on Quantum Electronics 2005 and the Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (IQEC/CLEO-PR 2005), The Nippon Toshi Center Kaikan (都市センターホテル) (2005-07)
  - 40) D. Kawase, S. Takeuchi, K. Sasaki, A. Wada, Y. Miyamoto and M. Takeda: "Verification of hologram position in experiment of entanglement in orbital angular momentum of photons", International Conference on Quantum Electronics 2005 and the Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (IQEC/CLEO-PR 2005), The Nippon Toshi Center Kaikan (都市センターホテル) (2005-07)
  - 41) R. Okamoto, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Demonstration of controlled-NOT gate using linear optics", International Conference on Quantum Electronics 2005 and the Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (IQEC/CLEO-PR 2005), The Nippon Toshi Center Kaikan (都市センターホテル) (2005-07)

- 42) A. Chiba, H. Fujiwara, J. Hotta, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Change of asymmetric lineshape in transmission spectra of a tapered fiber coupled with a microspherical cavity", International Conference on Quantum Electronics 2005 and the Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (IQEC/CLEO-PR 2005), The Nippon Toshi Center Kaikan (都市センターホテル) (2005-07)
- 43) H. Takashima, A. Chiba, H. Fujiwara, J. Hotta, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Analysis of whispering-gallery modes of CdSe/ZnS quantum dots-bound microspheres with a stem", International Conference on Quantum Electronics 2005 and the Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (IQEC/CLEO-PR 2005), The Nippon Toshi Center Kaikan (都市センターホテル) (2005-07)
- 44) K. Ueno, V. Mizeikis, S. Juodkazis, K. Sasaki and H. Misawa: "Two-photon excited fluorescence enhancement using nano-engineered gold particles", International Conference on Quantum Electronics 2005 and the Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005, 千代田区 (2005-07)
- 45) K. Ueno, V. Mizeikis, S. Juodkazis, K. Sasaki and H. Misawa: "Two-photon excited fluorescence enhancement using nano-engineered gold particles", Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (CLEO-PR2005), 東京 都市センターホテル (2005-07)
- 46) H. Fujiwara, R. Takahashi and K. Sasaki: "Analysis of enhanced local fields within a defect of a random medium", XXII International Conference on Photochemistry (ICP), Cairns Convention Centre, Australia (2005-07)
- 47) K. Ueno, V. Mizeikis, S. Juodkazis, K. Sasaki and H. Misawa: "Two-photon excited fluorescence enhancement using gold nanogap structures", XXII International Conference on Photochemistry (ICP2005), Cairns, Australia (2005-07)
- 48) K. Ueno, V. Mizeikis, S. Juodkazis, K. Sasaki and H. Misawa: "Two-photon excited fluorescence enhancement using gold nanogap structures", The 21st International Conference on Photochemistry, Cairns, Australia (2005-07)
- 49) K. Sasaki, H. Fujiwara, H. Takasaki and J. Hotta: "Discrete transition in trapped particle position by interference effects", SPIE 50th Annual Meeting Optics & Photonics 2005, San Diego Convention Center, USA (2005-07)
- 50) H. F. Hofmann, R. Okamoto and S. Takeuchi: "Necessary and sufficient conditions for the successful implementation of multi-qubit quantum gates", The 8th International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology (ISQM-Tokyo 05), Advanced Research Laboratory, Hitachi, Ltd. (日立製作所基礎研究所) (2005-08)
- 51) H. Fujiwara and K. Sasaki: "Nonlinear optical input-output characteristics of blue emission intensity of a ZnO powder random medium", The 12th International Conference on Unconventional Photoactive Systems (UPS12), 仙台エクセレントホテル東急 (2005-10)
- 52) K. Sasaki, H. Fujiwara and H. Masuhara: "Enhancement of Förster energy transfer in a microspherical cavity", The 12th International Conference on Unconventional Photoactive Systems (UPS12), 仙台エクセレントホテル東急 (2005-10)
- 53) K. Ueno, V. Mizeikis, S. Juodkazis, K. Sasaki and H. Misawa: "A Study on Electromagnetic Field Enhancement of Nano-Engineered Structures Estimated by Two-Photon Excited Photoluminescence", UPS-12, 仙台市 (2005-10)
- 54) R. Okamoto, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Demonstration of an optical quantum controlled-NOT gate without path interference", 357. Wilhelm und Else Heraeus-Seminar The Photon: Generation, Detection, and Application, Physikzentrum Bad Honnef, Germany (2005-11)
- 55) A. Soujaeff, S. Takeuchi, K. Sasaki, T. Hasegawa and M. Matsui: "Heralded single photon source at 1550 nm from pulsed parametric down conversion", Multi-Institutional International Symposium on "命(me)", Hokkaido University Conference Hall (2005-12)
- 56) R. Okamoto, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Demonstration of controlled-NOT gate using linear optics", Multi-Institutional International Symposium on "命(me)", Hokkaido University Conference Hall (2005-12)
- 57) F. Monma, A. Tsuruma, Y. Matsuo, J. Hotta, A. Tanaka, S. Yamamoto, K. Sasaki, K. Ijiro, H. Nakamura and M. Shimomura: "Control of neuron alignment with optical tweezers", SPIE International Symposium Microelectronics, MEMS, and Nanotechnology, Brisbane, Australia (2005-12)
- 58) H. Fujiwara, A. Chiba, J. Hotta, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Fano resonance in transmission spectra of a tapered optical fiber coupled with a microsphere", SPIE Photonics West, LASE 2006 (lasers and applications in science and engineering), San Jose convention center, USA (2006-01)
- 59) K. Ueno, V. Mizeikis, S. Juodkazis, K. Sasaki and H. Misawa: "Spectral Properties of Plasmonic Molecular Devices", XXIst IUPAC Symposium on Photochemistry, 京都市 (2006-04)
- 60) A. Soujaeff, S. Takeuchi, K. Sasaki, T. Hasegawa and M. Matsui: "Characterization of 1550nm heralded single photon source", 15th International Laser Physics Workshop (LPHYS 06), L'Ecole Polytechnique Federale de Lausanne(EPFL), Switzerland (2006-07)
- 61) S. Takeuchi, T. Nagata, R. Okamoto, K. Sasaki and J. O'Brien: "Four photon NOON state interferometer", The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing(The 8th QCMC), Tsu-

- kuba International Congress Center (2006-11)
- 62) R. Okamoto, S. Takeuchi and K. Sasaki: "The effect of phase dispersion for two photon interference", The 8th International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computing(The 8th QCMC), Tsukuba International Congress Center (2006-11)
  - 63) K. Ueno, S. Juodkazis, V. Mizeikis, K. Sasaki and H. Misawa: "Plasmonic optical characterization of gold nanostructures defined with sub-nanometer precision", International Workshop on Plasmonics and Applications in Nanotechnologies 2006, Singapore, Singapore (2006-12)
  - 64) T. Nagata, R. Okamoto, S. Takeuchi, K. Sasaki and J. O'Brien: "Four photon NOON state interferometer", The 8th RIES-Hokudai International Symposium(RIES 国際シンポ), Hokkaido University Conference Hall (2006-12)
  - 65) T. Chiba, H. Fujiwara, J. Hotta, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Triplet Lifetime Analysis of Single Molecules for Sensing Local Oxygen Concentration", The 8th RIES-Hokudai International Symposium(RIES 国際シンポ), Hokkaido University Conference Hall (2006-12)
  - 66) A. Soujaeff, T. Nishioka, S. Takeuchi, T. Tsurumaru, T. Hasegawa, K. Sasaki and M. Matsui: "Quantum cryptography with a heralded single photon source", The 8th RIES-Hokudai International Symposium(RIES 国際シンポ), Hokkaido University Conference Hall (2006-12)
  - 67) T. Chiba, H. Fujiwara, J. Hotta, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Triplet Lifetime Analysis of Single Molecules for Sensing Local Oxygen Concentration", The 1st European Topical Meeting on Nanophotonics and Metamaterials (NANOMETA 2007), Olympia Sport and Kongresszentrum Seefeld-Tirol GmbH, Austria (2007-01)
  - 68) S. Takeuchi, H. Konishi, H. Takashima, H. Fujiwara and K. Sasaki: "Polarization-discriminating spectra of a fiber-microsphere system", SPIE Photonics West 2007, San Jose Convention Center, USA (2007-01)
  - 69) H. Fujiwara and K. Sasaki: "Analysis of enhanced local fields within a defect region of a random medium", SPIE Photonics West 2007, San Jose Convention Center, USA (2007-01)
- d. 国内会議口頭発表**
- 1) 竹内繁樹:「光子を用いた量子情報通信処理」、電子科学研究所研究交流会2003、北海道大学学術交流会館(2003-04)
  - 2) 岡寿樹、ホフマン F. ホルガ、竹内繁樹、笹木敬司:「単一原子ドープ片側固体共振器を用いた非線形位相シフトの実現」、第8回量子情報技術研究会、北海道大学学術交流会館(2003-06)
  - 3) 川瀬大輔、辻野賢治、竹内繁樹、笹木敬司、和田篤、大湊寛之、西原昇、宮本洋子:「ホログラムおよびファイバー干渉系を用いた光子の軌道角運動量重ね合わせ状態の観測」、第8回量子情報技術研究会、北海道大学学術交流会館(2003-06)
  - 4) 川辺喜雄、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司:「ビーム状に発生する Type-II パラメトリック蛍光対の空間伝播特性」、第8回量子情報技術研究会、北海道大学学術交流会館(2003-06)
  - 5) 高島秀聡、千葉明人、藤原英樹、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司:「枝付き微小球共振器の共鳴モード解析」、第8回量子情報技術研究会、北海道大学学術交流会館(2003-06)
  - 6) 辻野賢治、ホフマン F. ホルガ、竹内繁樹、笹木敬司:「パラメトリック下方変換を用いた2モード内4光子発生の検証実験」、第8回量子情報技術研究会、北海道大学学術交流会館(2003-06)
  - 7) 西村和哉、竹内繁樹、笹木敬司:「パラメトリック下方変換によるもつれ合い光子対のビーム状発生方法」、第8回量子情報技術研究会、北海道大学学術交流会館(2003-06)
  - 8) 百瀬義剛、藤原英樹、笹木敬司:「ランダム媒質微小光共振器の共鳴モード解析」、第8回量子情報技術研究会、北海道大学学術交流会館(2003-06)
  - 9) ホフマン F. ホルガ、竹内繁樹:「Characterization of entanglement using sum uncertainty relations for N-level systems」、第8回量子情報技術研究会、北海道大学学術交流会館(2003-06)
  - 10) 藤原英樹、笹木敬司、三澤弘明:「量子相関光子のナノ加工への展開」、次世代リソグラフィワークショップ 2003 (NGL2003)、日本科学未来館(2003-07)
  - 11) 竹内繁樹:「Quantum information processing using photonic qubits」、文部科学省科学研究費補助金企画調査シンポジウム -固体中の光学過程による量子計算の可能性-、独立行政法人物質・材料研究機構(2003-08)
  - 12) 大橋弘明、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司、村上伸也、鳥本司、大谷文章:「単一 CdSe 量子ドットの光学特性」、日本物理学会2003年秋季大会、岡山大学津島キャンパス(2003-09)
  - 13) 岡寿樹、ホフマン F. ホルガ、竹内繁樹、笹木敬司:「単一原子ドープ固体共振器における入出力微弱光の非線形位相シフト」、日本物理学会2003年秋季大会、岡山大学津島キャンパス(2003-09)
  - 14) 岡本亮、竹内繁樹、笹木敬司:「パラメトリック蛍光対を用いた単一光子源の実現」、日本物理学会2003年秋季大会、岡山大学津島キャンパス(2003-09)
  - 15) 岡本 亮、辻野賢治、竹内繁樹、笹木敬司、和田篤、大湊寛之、西原昇、宮本洋子:「ホログラムとファイバー干渉計を用いた光子の軌道角運動量もつれ合い状態検証実験」、日本物理学会2003年秋季大会、岡山大学津島キャンパス(2003-09)
  - 16) 川辺喜雄、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司:「BBO 結晶から発生するパラメトリック蛍光対の空間伝播特性」、日本物理学会2003年秋季大会、岡山大学津島キャンパス(2003-09)
  - 17) 高島秀聡、千葉明人、藤原英樹、堀田純一、竹内繁樹、

- 笹木敬司:「ファーフィールド観察による枝付き微小球共振器の共鳴モード同定」、日本物理学会2003年秋季大会、岡山大学津島キャンパス (2003-09)
- 18) 千葉 孝志、大橋弘明、藤原英樹、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司:「単一 DiI 分子の遷移ダイナミクスの蛍光解析」、日本物理学会2003年秋季大会、岡山大学津島キャンパス (2003-09)
- 19) 西村和哉、竹内繁樹、笹木敬司:「パラメトリック下方変換によるビーム状もつれ合い光子対の評価」、日本物理学会2003年秋季大会、岡山大学津島キャンパス (2003-09)
- 20) ホフマン F. ホルガ、竹内繁樹:「Uncertainty characteristics of entangled photons」、日本物理学会2003年秋季大会、岡山大学津島キャンパス (2003-09)
- 21) 辻野賢治、川瀬 大輔、西村和哉、ホフマン F. ホルガ、竹内繁樹:「A study of multi-photon entangled states toward quantum computation using photons」、「電子・光子等の機能制御」H10年度課題終了/H11・12年度課題領域シンポジウム、コクヨホール (2003-10)
- 22) 百瀬義剛、藤原英樹、笹木敬司:「ランダム媒質のサイズに依存した局在モードの数値解析」、日本光学会年次学術講演会 Optics Japan 2003、アクトシティ浜松コンgresセンター (2003-12)
- 23) 堀田純一、笹木敬司、Gong Jian Ping、角五彰、浦剛博、岸本有里、長田義仁:「筋肉蛋白ゲルフィラメントのナノメートル位置検出法の開発」、第39回応用物理学会北海道支部学術講演、北海道大学 学術交流会館 (2004-01)
- 24) 堀田純一:「光の放射圧を利用した微弱力測定・分子集合構造制御」、北海道大学早稲田大学研究交流会 ナノテクノロジーとバイオテクノロジー、北海道大学エンレイソウ (2004-03)
- 25) 川辺喜雄、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司:「Type-I パラメトリック蛍光対の空間伝播特性」、日本物理学会第59回年次大会、九州大学箱崎キャンパス (2004-03)
- 26) 千葉明人、藤原英樹、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司:「微小球共振器近接時のテーパファイバの透過率特性」、(2004年春季) 第51回応用物理学関係連合講演会、東京工科大学 (2004-03)
- 27) 川瀬大輔、辻野賢治、竹内繁樹、笹木敬司、和田篤、大湊寛之、西原昇、宮本洋子:「光子対における軌道角運動量もつれ合いのホログラム位置スキャンによる確認実験」、第10回量子情報技術研究会(QIT10)、学習院大学百周年記念会館 (東京都豊島区) (2004-05)
- 28) 巖 虎、藤原英樹、笹木敬司、辻井薫:「ドラッグデリバリーシステムを目指した高速刺激応答性 NIPA-PMDP ゲル」、第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
- 29) 川瀬大輔、辻野賢治、竹内繁樹、笹木敬司、和田篤、大湊寛之、宮本洋子、武田光夫:「光子の軌道角運動量もつれ合い実験における測定基底の検証」、第42回 茅コンファレンス 「量子情報処理の物理と技術」、宮城蔵王ロイヤルホテル (2004-08)
- 30) 藤原英樹、笹木敬司:「酸化亜鉛粉末ランダム媒質中における青色発光の光双安定性」、第65回応用物理学会学術講演会、東北学院大学 泉キャンパス (2004-09)
- 31) 川瀬 大輔、辻野賢治、竹内繁樹、笹木敬司、和田篤、大湊寛之、宮本洋子、武田光夫:「光子の軌道角運動量もつれ合い実験における測定基底の検証」、日本物理学会2004年秋季大会、青森大学 (2004-09)
- 32) 岡本亮、竹内繁樹、笹木敬司:「マンデルディップに見られた異常形状に関する考察」、日本物理学会2004年秋季大会、青森大学 (2004-09)
- 33) 岡寿樹、ホフマン F. ホルガ、竹内繁樹、笹木敬司:「1次元原子の非線形光学応答に対するデコヒーレンスの影響」、日本物理学会2004年秋季大会、青森大学 (2004-09)
- 34) 千葉明人、藤原英樹、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司:「テーパファイバと結合した微小球の光共鳴特性の評価」、日本物理学会2004年秋季大会、青森大学 (2004-09)
- 35) 大橋弘明、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司、村上伸也、鳥本司、大谷文章:「単一 CdSe 量子ドットからの発光の光子統計」、日本物理学会2004年秋季大会、青森大学 (2004-09)
- 36) 小島邦裕、ホフマン F. ホルガ、竹内繁樹、笹木敬司:「一次元原子との非線形相互作用による2光子波束形状変化についての理論解析」、日本物理学会2004年秋季大会、青森大学 (2004-09)
- 37) 巖 虎、藤原英樹、笹木敬司、辻井薫:「高速刺激応答性 NIPA-PMDP ミクロゲルのアクチュエーティング機能」、第53回高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
- 38) 門間太志、田中賢、鶴間章典、堀田純一、笹木敬司、山本貞明、下村政嗣:「自己組織化パターン上での神経細胞の光による配列制御」、第53回(2004年)高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
- 39) 竹内繁樹:「Quantum Computation using photons」、「電子・光子等の機能制御」2004シンポジウム、コクヨホール (2004-09)
- 40) 藤原英樹、川辺喜雄、竹内繁樹、笹木敬司:「ナノリソグラフィの実現に向けた量子相関光子ビーム源の評価」、「新しい物理現象や動作原理に基づくナノデバイス・システムの創製」研究領域第一回領域シンポジウム、アルカディア市ヶ谷 (2004-10)
- 41) 千葉孝志、大橋弘明、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司:「ポリマーブレンド中における単一分子の蛍光解析」、日本光学会年次学術講演会 (Optics Japan 2004)、大阪大学コンベンションセンター (2004-11)
- 42) 堀田純一、千葉 孝志、大橋弘明、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司:「ポリマー薄膜に分散させた蛍光色素の単一分子分光」、電子科学研究所研究交流会2004、北海道大学学術交流会館 (2005-01)
- 43) 高橋亮一、藤原英樹、笹木敬司:「レート方程式を導入した時間領域差分法によるランダムレーザー発振特性

- の解析」、レーザー学会学術講演会第25回年次大会、けいはんなプラザ (2005-01)
- 44) 藤原英樹、笹木敬司:「ランダム構造を用いた光局所場の増強」、科研費特定領域研究「極微構造反応」第2回公開シンポジウム、大阪大学吹田キャンパス銀杏会館 (2005-02)
- 45) 堀田純一、津田正史、山本隆晴:「光放射圧と量子ドットを利用した酵母の物質取り込み・増殖過程の解析」、科研費特定領域研究「極微構造反応」第2回公開シンポジウム、大阪大学吹田キャンパス銀杏会館 (2005-02)
- 46) 門間太志、鶴間章典、松尾保孝、堀田純一、田中賢、山本貞明、笹木敬司、居城邦治、中村博、下村政嗣:「自己組織化パターン上での光ピンセットを用いた神経細胞の配列制御」、第4回日本再生医療学会総会、大阪国際会議場 (2005-03)
- 47) 千葉明人、藤原英樹、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司:「テーパファイバと結合した微小球共振器におけるファノ効果」、日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学野田キャンパス (2005-03)
- 48) 岡本亮、竹内繁樹、笹木敬司:「パラメトリック蛍光対による2光子干渉を用いた新しい位相分散測定法の提案」、日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学野田キャンパス (2005-03)
- 49) 岡寿樹、竹内繁樹、笹木敬司:「FDTDを用いた一次元原子の非線形光学応答の解析」、日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学野田キャンパス (2005-03)
- 50) 大橋弘明、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司、村上伸也、鳥本司、大谷文章:「光子反集群における単一CdSe量子ドットのコート材料の効果」、日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学野田キャンパス (2005-03)
- 51) 藤原英樹、高橋亮一、笹木敬司:「ランダム構造内欠陥構造における局在モード特性の数値解析」、第52回応用物理学関係連合講演会、埼玉大学 (2005-03)
- 52) 門間太志、鶴間章典、松尾保孝、堀田純一、田中賢、山本貞明、笹木敬司、居城邦治、中村博、下村政嗣:「光ピンセットを用いた神経細胞の配列制御」、平成17年(2005年)春季第52回応用物理学関係連合講演会、埼玉大学 (2005-03)
- 53) 上野貢生、ミゼイクス ビガンタス、ヨードカジス サウリウス、笹木敬司、三澤弘明:「局在プラズモン共鳴による電場増強場の構築」、2005年春季 第52回応用物理学関係連合講演会、さいたま市 (2005-03)
- 54) 上野貢生、ミゼイクス ビガンタス、笹木敬司、三澤弘明:「ナノギャップ構造による2光子蛍光増強場の構築」、第66回分析化学討論会、北見 (2005-05)
- 55) 門間太志、鶴間章典、松尾保孝、堀田純一、田中賢、山本貞明、笹木敬司、居城邦治、中村博、下村政嗣:「自己組織化パターン上での神経細胞の光ピンセットを用いた配列制御」、第54回高分子学会年次大会、パシフィコ横浜 (2005-05)
- 56) 門間太志、鶴間章典、松尾保孝、堀田純一、田中賢、山本貞明、笹木敬司、居城邦治、下村政嗣:「自己組織化パターン上での神経細胞の光ピンセットを用いた配列制御」、第54回高分子学会年次大会、パシフィコ横浜 (2005-05)
- 57) 笹木敬司:「フォトンフォース計測技術を用いた細胞系ダイナミック分析法の開発」、文部科学省科学研究費補助金「特定領域研究」(平成16-18年度)略称「極微構造反応」領域番号「432」分子系の極微構造反応の計測とダイナミクス (Molecular Nano Dynamics) 第3回シンポジウム、北海道大学大学院理学研究科 (2005-07)
- 58) 川辺喜雄、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司:「ビーム状に発生するパラメトリック蛍光対の空間伝播特性の解析」、第7回分子ダイナミック分光ワークショップ「生物における光情報伝達と光・量子ドットの情報物理」、アクトシティ浜松コンgresセンター4階 (2005-07)
- 59) 小西秀典、千葉明人、藤原英樹、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司:「テーパファイバの形状による導波モード制御」、第66回応用物理学学会学術講演会、徳島大学 常三島キャンパス (2005-09)
- 60) 門間太志、鶴間章典、松尾保孝、堀田純一、田中賢、山本貞明、笹木敬司、居城邦治、中村博、下村政嗣:「光ピンセットを用いた神経細胞の配列制御」、2005年秋季第66回応用物理学学会学術講演会、徳島大学 (2005-09)
- 61) 門間太志、鶴間章典、堀田純一、松尾保孝、田中賢、山本貞明、笹木敬司、居城邦治、中村博、下村政嗣:「光ピンセットを用いた神経細胞の配列制御」、2005年光化学討論会、アクロス福岡 (2005-09)
- 62) 上野貢生、ミゼイクス ビガンタス、ヨードカジス サウリウス、笹木敬司、三澤弘明:「2光子励起発光による金属ナノ周期構造の電場増強効果の検討」、2005年光化学討論会、福岡市 (2005-09)
- 63) Oka Hisaki, Takeuchi Shigeki, Sasaki Keiji: 「Nonlinear optical response of an atom-cavity system with reflection geometry: theoretical and FDTD analyses」、第8回量子情報通信技術研究代表者会議、キャピトル東急ホテル (2005-10)
- 64) Takashima Hideaki, Konishi Hidenori, Chiba Akito, Fujiwara Hideki, Hotta Jun-ichi, Takeuchi Shigeki, Sasaki Keiji: 「Toward the realization of nonlinear optical response using a tapered-fiber-coupled microsphere resonator with quantum dots」、第8回量子情報通信技術研究代表者会議、キャピトル東急ホテル (2005-10)
- 65) 竹内繁樹、笹木敬司、堀田純一、藤原英樹:「微小球共振器を用いた量子位相ゲートの実現に関する研究」、第8回量子情報通信技術研究代表者会議、キャピトル東急ホテル (2005-10)
- 66) 藤原英樹:「フォトンフォース計測技術を用いた細胞系ダイナミック分析法の開発」、文部科学省科学研究費補助金「特定領域研究」(平成16-18年度)略称「極微構造反応」領域 A01班班会議、東京工業大学大岡山キャン

- ンパス本館3階第二会議室 (2005-11)
- 67) ソージャエフ アレクサンドレ、竹内繁樹、笹木敬司、長谷川俊夫、松井充：「Heralded single photon source at 1550 nm from pulsed parametric down conversion」、第13回量子情報技術研究会 (QIT13)、東北大学電気通信研究所ナノ・スピン総合研究棟 (2005-11)
  - 68) 川辺喜雄、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司：「チューングカーブフィルタリング法を用いたビーム状パラメトリック蛍光対の空間伝播特性の解析」、第13回量子情報技術研究会 (QIT13)、東北大学電気通信研究所ナノ・スピン総合研究棟 (2005-11)
  - 69) 上野貢生、ミゼイクス ビガンタス、ヨードカジス サウリウス、笹木敬司、三澤弘明：「Plasmonics: Control of Optical Properties and Fields Enhancement」、Multi-Institutional International Symposium 'mei」、札幌市 (2005-12)
  - 70) 岡寿樹、竹内繁樹、笹木敬司：「反射構造を持つ原子-共振器系の非線形光学応答の理論解析」、第16回光物性研究会、大阪市立大学 学術情報総合センター (2005-12)
  - 71) ソージャエフ アレクサンドレ、竹内繁樹、笹木敬司、長谷川俊夫、松井充：「Heralded single photon source at 1550 nm from pulsed parametric down conversion」、CREST 量子情報ワークショップ、リゾーピア箱根 (2005-12)
  - 72) 岡本亮、ホフマン F. ホルガ、竹内繁樹、笹木敬司：「Demonstration of an optical quantum controlled-NOT gate without path interference」、CREST 量子情報ワークショップ、リゾーピア箱根 (2005-12)
  - 73) 竹内繁樹：「複数光子を用いた量子回路の実現にむけて」、CREST 量子情報ワークショップ、リゾーピア箱根 (2005-12)
  - 74) 竹内繁樹：「光子を用いた量子情報通信処理の実現にむけて」、さきがけライブ2005、東京国際フォーラム (2005-12)
  - 75) 藤原英樹：「ランダム構造中の光局在効果の解析と応用」、電子科学研究所研究交流会2005、北海道大学学術交流会館 (2006-01)
  - 76) 竹内繁樹：「コンパクトで安定な光量子ゲートの実現」、電子科学研究所研究交流会2005、北海道大学学術交流会館 (2006-01)
  - 77) 由水哲也、藤原英樹、笹木敬司：「微粒子表面反射光を利用した光放射圧測定法」、レーザー学会学術講演会第26回年次大会、大宮ソニックシティ (2006-02)
  - 78) 笹木敬司：「超狭帯域レーザー顕微分光イメージングによる光局在場の解析」、第1回 光-分子強結合反応場シンポジウム、日本科学未来館 (会議室) (2006-03)
  - 79) 上野貢生、ミゼイクス ビガンタス、ヨードカジス サウリウス、笹木敬司、三澤弘明：「金ナノチェーン構造によるプラズモン光学特性の検討」、2006年春期第53回応用物理学会関連講演会、世田谷区 (2006-03)
  - 80) ソージャエフ アレクサンドレ、竹内繁樹、笹木敬司、長谷川俊夫、松井充：「1550nm 帯伝令付き単一光子源の光子数分布」、第53回応用物理学関係連合講演会 (合同セッション G「量子情報の基礎と応用」、武蔵工業大学世田谷キャンパス (2006-03)
  - 81) 上野貢生、ミゼイクス ビガンタス、ヨードカジス サウリウス、笹木敬司、三澤弘明：「金二光子励起発光の分光特性 -近接場による増強効果の検討-」、第67回分析化学討論会、秋田市 (2006-05)
  - 82) 岡本亮、ホフマン F. ホルガ、竹内繁樹、笹木敬司：「光路干渉を必要としない、光子量子制御ノットゲート」、第14回量子情報技術研究会 (QIT-14)、東京工業大学大岡山キャンパス (2006-05)
  - 83) 永田智久、岡本亮、竹内繁樹、笹木敬司、オブライエ ジェレミィ：「4光子を用いた超解像度位相測定」、第14回量子情報技術研究会 (QIT-14)、東京工業大学大岡山キャンパス (2006-05)
  - 84) 川瀬大輔、竹内繁樹、笹木敬司、和田篤、宮本洋子、武田光夫：「位相ホログラムおよび経路干渉計を用いた光子対の軌道角運動量もつれ合いの検証実験」、第14回量子情報技術研究会 (QIT-14)、東京工業大学大岡山キャンパス (2006-05)
  - 85) 笹木敬司：「Dynamic analysis of cell systems using photon force measurement」、文部科学省科学研究費補助金「特定領域研究」(平成16-18年度)略称「極微構造反応」領域番号「432」分子系の極微構造反応の計測とダイナミクス (Molecular Nano Dynamics) 第5回シンポジウム、大阪大学コンベンションセンター (2006-06)
  - 86) 藤原英樹、上野貢生：「高効率量子相関光子ビーム源の開発と多光子反応増強場の創製」、ナノテクノロジー分野別バーチャルラボ成果報告会「ナノテクは進化する」-最前線100人の研究者が語るナノテク・ナノサイエンスのフロンティア、東京国際フォーラム (2006-07)
  - 87) ソージャエフ アレクサンドレ、西岡毅、長谷川俊夫、鶴丸豊広、竹内繁樹、笹木敬司、松井充：「パルス状伝令付き単一光子源を用いた量子鍵配布の実現」、第67回応用物理学会学術講演会、立命館大学びわこ・くさつキャンパス (2006-08)
  - 88) 千葉 孝志、藤原英樹、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司：「ポリマーフィルム中単一分子の発光ダイナミクスの時間応答解析」、第67回応用物理学会学術講演会、立命館大学びわこ・くさつキャンパス (2006-08)
  - 89) 小西秀典、高島秀聡、千葉明人、藤原英樹、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司：「テーパーファイバ結合微小球共振器における偏光分離された共鳴スペクトルの観測」、第67回応用物理学会学術講演会、立命館大学びわこ・くさつキャンパス (2006-08)
  - 90) 上野貢生、岡田陽平、三野雅弘、ミゼイクス ビガンタス、ヨードカジス サウリウス、笹木敬司、三澤弘明：「金属ナノブロック構造のシングルナノメートル制御と均一性の評価」、第67回応用物理学会学術講演会、草津市 (2006-08)
  - 91) 竹内繁樹：「光子数状態の生成と制御:その後の展開」、

- 第10回「光と制御」領域会議、北海道千歳市幌美内 丸駒 (2006-09)
- 92) 藤原英樹、笹木敬司:「ランダム構造を用いた光反応場への応用」、第59回コロイドおよび界面化学討論会、北海道大学 高等教育機能開発総合センター (2006-09)
- 93) 田村祥、竹内繁樹、笹木敬司、鳥本司:「2-Merchптоethanol が単一 CdSe/ZnS 量子ドットの蛍光特性に与える影響」、日本物理学会2006年秋季大会、千葉大学 西千葉地区 (2006-09)
- 94) 川辺喜雄、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司:「回折限界を超えた量子リソグラフィの実証実験」、日本物理学会2006年秋季大会、千葉大学 西千葉地区 (2006-09)
- 95) 永田智久、岡本亮、竹内繁樹、笹木敬司、オブライエン ジェレミィ:「4光子を用いた超解像度位相測定」、日本物理学会2006年秋季大会、千葉大学 西千葉地区 (2006-09)
- 96) 岡本亮、竹内繁樹、笹木敬司:「周波数もつれ合いの Hong-Ou-Mandel 干渉への影響」、日本物理学会2006年秋季大会、千葉大学 西千葉地区 (2006-09)
- 97) 川瀬大輔、竹内繁樹、笹木敬司、和田篤、宮本洋子、武田光夫:「経路干渉計を用いた LG モード量子もつれ合いの検証実験」、日本物理学会2006年秋季大会、千葉大学 西千葉地区 (2006-09)
- 98) 高島秀聡、藤原英樹、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司、村上伸也、鳥本司、大谷文章:「微小球共振器に結合した CdSe/ZnS 量子ドットの蛍光解析」、日本物理学会2006年秋季大会、千葉大学 西千葉地区 (2006-09)
- 99) 笹木敬司:「フォトンフォース計測技術を用いたダイナミック分析法の開発」、文部科学省科学研究費補助金「特定領域研究」(平成16-18年度) 略称「極微構造反応」領域番号「432」分子系の極微構造反応の計測とダイナミクス (Molecular Nano Dynamics) 第6回シンポジウム、九州大学医学部百年講堂 (馬出キャンパス) (2006-10)
- 100) 藤原英樹、笹木敬司:「酸化亜鉛粉末フィルムにおける光双安定性の観測」、日本光学会年次学術講演会・日本分光学会秋季講演会 (Optics & Photonics Japan 2006)、学術総合センター (一橋記念講堂) (2006-11)
- 101) ホフマン ホルガ、岡本亮、竹内繁樹:「相補的な古典操作によるノイズのある量子チャンネルの評価」、第15回量子情報技術研究会 (QIT-15)、キャンパスプラザ京都 (2006-11)
- 102) ソージャエフ アレクサンドレ、竹内繁樹、笹木敬司、西岡毅、長谷川俊夫、鶴丸豊広、松井充:「1550nm 帯伝令付き単一光子源を用いた40Km のファイバによる量子鍵配布」、JST/CREST 量子情報ワークショップ、リゾーピア箱根 シンプロン (2006-12)
- 103) 竹内繁樹:「複数光子を用いた量子回路の実現に向けて」、JST/CREST 量子情報ワークショップ、リゾーピア箱根 シンプロン (2006-12)
- 104) 岡本亮、永田智久、オブライエン ジェレミィ、竹内繁樹:「4光子 NOON 状態干渉」、JST/CREST 量子情報ワークショップ、リゾーピア箱根 シンプロン (2006-12)
- 105) 笹木敬司:「光システム計測研究分野の近況」、電子科学研究所研究交流会2006年、北海道大学 創成科学研究棟 (2007-01)
- 106) 高島秀聡、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司:「ファイバ結合微小球における発光体の自然放出の制御」、分光学会北海道支部学生シンポジウム、北海道大学大学院工学研究科材料科学系実験棟 (2007-02)
- 107) 永田智久、岡本亮、オブライエン ジェレミィ、竹内繁樹、笹木敬司:「Hong-Ou-Mandel 型干渉による2光子状態のモード同一度測定」、日本物理学会2007年春季大会、鹿児島大学郡元キャンパス (2007-03)
- 108) 川辺喜雄、岡本亮、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司:「回折限界を超えた量子リソグラフィの実証実験Ⅱ」、日本物理学会2007年春季大会、鹿児島大学郡元キャンパス (2007-03)
- 109) 田村祥、竹内繁樹、笹木敬司、鳥本司:「単一 CdSe/ZnS 量子ドットの消光状態からの回復レートと還元剤の効果」、日本物理学会2007年春季大会、鹿児島大学郡元キャンパス (2007-03)
- 110) 高島秀聡、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司、高橋 雅英:「Er, Al, P 含有ゾルゲルガラスでコートしたテーパーファイバ結合微小球レーザーの発振特性」、日本物理学会2007年春季大会、鹿児島大学郡元キャンパス (2007-03)
- 111) 岡本亮、永田智久、オブライエン ジェレミィ、竹内繁樹、笹木敬司:「多光子干渉を用いた位相測定と標準量子限界」、日本物理学会2007年春季大会、鹿児島大学郡元キャンパス (2007-03)
- 112) 小西秀典、高島秀聡、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司:「テーパーファイバ結合微小球共振器における偏光分離された共鳴スペクトルの観測(II)」、2007年春季第54回応用物理学関係連合講演会、青山学院大学相模原キャンパス (2007-03)

#### 4.6 予算獲得状況

##### a. 科学研究費補助金

- 1) 笹木敬司: 基盤研究 A「光圧誘起キャピラリー波を利用した分子弾性応答解析」、(2003-2005)
- 2) 笹木敬司: 特定領域研究「フォトンフォース計測技術を用いた細胞系ダイナミック分析法の開発」、(2005~2006)
- 3) 竹内繁樹: 若手研究 A「空中フォトリソニック結晶ファイバを用いた、光子の量子位相ゲートに関する研究」、(2005-2007)
- 4) 竹内繁樹: 萌芽研究「パラメトリック蛍光対を用いた、2光子干渉における光子のアンチバンチングの実現」、(2006-2007)
- 5) 笹木敬司: 基盤研究 A「放射圧を利用した非破壊光子検出法の開発」、(2006-2009)

#### 4.7 共同研究

##### a. 所内共同研究

- 1) 竹内繁樹 (電子計測制御部門): 「量子暗号通信技術の基盤技術開発とシステム化」、(2002-2003)

##### b. 民間等との共同研究

- 1) 竹内繁樹: 三菱電機株式会社、「量子暗号通信技術の基盤技術開発とシステム化」、28,000千円 (2000-2006)

##### c. 大型プロジェクト・受託研究

- 1) 竹内繁樹、ホフマン F. ホルガ: 科学技術振興事業団 戦略的創造研究推進事業 「電子・光子等の機能制御」、「光量子コンピュータ」、7,603千円 (1999-2004)
- 2) 笹木敬司、竹内繁樹、堀田純一、藤原英樹: 科学技術振興事業団 戦略的創造研究推進事業 「新しい物理現象や動作原理に基づくナノデバイス・システムの創製」、「量子相関光子ナノ加工の理論的解析」、12,350千円 (2001-2006)
- 3) 竹内繁樹、大橋弘明、ホフマン F. ホルガ、ソージャエフ アレクサンドレ: 科学技術振興事業団 戦略的創造研究推進事業 「光と制御」、「光子数状態の生成と制御-光子数マニピュレーションの実現」、(2001-2004)
- 4) 竹内繁樹、笹木敬司、堀田純一: 総務省 戦略的情報通信研究開発推進制度、「微小球共振器を用いた量子位相ゲートの実現に関する研究」(2003-2005)
- 5) 竹内繁樹、ホフマン F. ホルガ、ソージャエフ アレクサンドレ、岡本亮: 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 「量子情報処理システムの実現を目指した新技術の創出」、「多光子量子演算ゲートの研究」、(2003-2006)
- 6) 竹内繁樹、笹木敬司、藤原英樹、ホフマン F. ホルガ: 平成18年度戦略的情報通信研究開発制度 (SCOPE) 特定領域重点型研究開発 (情報通信新技術・デバイス技術)、「光子間の高効率固体量子位相ゲート素子の実現に関する研究」、(2006)

##### g. その他

- 1) 竹内繁樹、ホフマン F. ホルガ: 科学技術振興事業団 戦略的創造研究推進事業 「電子・光子等の機能制御」、「光量子コンピュータ」、69,500千円 (1999-2004)
- 2) 笹木敬司、竹内繁樹、堀田純一、藤原英樹: 科学技術振興事業団 戦略的創造研究推進事業 「新しい物理現象や動作原理に基づくナノデバイス・システムの創製」、「量子相関光子ナノ加工の理論的解析」、166,243千円 (2001-2006)
- 3) 竹内繁樹、大橋弘明、ホフマン F. ホルガ、ソージャエフ アレクサンドレ: 科学技術振興事業団 戦略的創造研究推進事業 「光と制御」、「光子数状態の生成と制御-光子数マニピュレーションの実現」、(2001-200)
- 4) 竹内繁樹、ホフマン F. ホルガ、ソージャエフ アレクサンドレ、岡本亮: 科学技術振興事業団 戦略的創造研究推進事業 「量子情報処理システムの実現を目指した新技術の創出」、「多光子量子演算ゲートの研究」、(2003-2006)

#### 4.8 受賞

- 1) 竹内繁樹: 平成17年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞 「応用物理学分野における光子を用いた量子情報通信処理の研究」(文部科学省) (2005.4)
- 2) 竹内繁樹: 応用物理学学会 (日本光学会) 光学論文賞 「パラメトリック蛍光対の動的制御による単一光子源の実現」(応用物理学学会 (日本光学会)) (2006.3)
- 3) K. Ueno, S. Juodkakis, V. Mizeikis, K. Sasaki and H. Misawa: Best Poster Awards "Plasmonic optical characterization of gold nanostructures defined with sub-nanometer precision" (International Workshop on Plasmonics and Applications in Nanotechnologies) (2006.12)
- 4) 岡本亮: 第23回井上研究奨励賞 (2007.2)
- 5) 岡本亮: 電子科学研究所松本・鳥羽奨学賞 (2007.3)

#### 4.9 社会教育活動

- 1) 竹内繁樹: 文部科学省科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター専門調査員 (2001.3.22~2006.3.31)
  - 2) 竹内繁樹: 総務省 戦略的情報通信研究開発推進制度 専門評価委員 (2002.7.11~)
  - 3) 笹木敬司: 日本学術振興会 「フォトリック情報システム」に関する先導的研究開発委員会委員 (2002.12.16~2005.10.31)
  - 4) 笹木敬司: 総務省量子情報通信研究推進会議戦略専門委員会委員 (2002.12.19~2003.7.17)
  - 5) 竹内繁樹: 通信・放送機構 委託研究評価委員会 専門委員 (2003.8.22~2004.3.31)
  - 6) 竹内繁樹: (独) 情報通信研究機構 (前 通信・放送機構) 委託研究評価委員会専門委員 (2004.4.1~2008.3.31)
  - 7) 笹木敬司: 総務省21世紀ネットワーク基盤技術研究推進会議量子情報通信ワーキンググループメンバー (2004.10.22~2005.7.28)
  - 8) 笹木敬司: ノーステック財団 「研究開発助成事業」 審査委員会 (2005.6.6~2008.3.31)
  - 9) 笹木敬司: 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 領域アドバイザー (2005.6.9~2009.6.8)
  - 10) 笹木敬司: 日本学術振興会 科学研究費委員会 専門委員 (2006.1.1~2007.12.31)
  - 11) 笹木敬司: 日本学術振興会 産学協力研究委員会 「フォトリック情報システム第179委員会」 委員 (2006.4.1~2008.3.31)
- ##### b. 国内外の学会の役職
- 1) 竹内繁樹: 電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ第2種時限専門委員会 委員 (1998.11.1~現在)
  - 2) 竹内繁樹: 量子情報技術研究会 委員 (1998.11.1~現在)
  - 3) 笹木敬司: 応用物理学学会 代議員 (2002.2.1~2006.1.31)
  - 4) 堀田純一: 応用物理学学会北海道支部 会計幹事 (2004.4.1~2006.3.31)
  - 5) 竹内繁樹: Program Subcommittee/Chair person (IQEC/CLEO-PR2005) (2005.7.11~2005.7.15)

- 6) 竹内繁樹: Program Committee (SPIE 50th Annual Meeting Optics & Photonics) (2005.7.31~2005.8.4)
- 7) 笹木敬司: 日本光学会 (応用物理学会) 幹事 (2006.4.1~2008.3.31)
- c. 併任・兼業**
- 1) 竹内繁樹: 科学技術振興事業団 若手個人研究推進事業 (さきがけ研究21)「光と制御」委嘱研究員 (2001.12.1~2005.3.31)
- 2) 竹内繁樹: 科学技術振興機構 領域アドバイザー (2003.7.24~2009.3.31)
- 3) 笹木敬司: Swinburne University of Technology, Visiting Professor (2005.11.1~2006.4.30)
- d. その他**
- 1) 笹木敬司: 「応用物理」編集委員会委員 (2002.4.1~2004.3.31)
- 2) 笹木敬司: Japanese Journal of Applied Physics 編集委員 (2003.4.1~2008.3.31)
- 3) 竹内繁樹: Nonlinear Optics, Quantum Optics 編集委員 (2003.4.1~現在)
- e. 新聞・テレビ等の報道**
- ・新聞
- 1) 竹内繁樹: 「量子コンピューター実現へ一歩」読売新聞 (2005.10.13)
- 2) 竹内繁樹: 「小型光量子ゲート素子 北大など動作検証 量子計算機実現に前進」日刊工業新聞 (2005.10.13)
- 3) 竹内繁樹: 「光量子ゲート素子開発 北大グループ回路形成が可能に」化学工業新聞 (2005.10.17)
- 4) 竹内繁樹: 「光量子回路実現へ前進 コンパクトで安定実現 竹内北大助教授らゲート素子を開発」科学新聞 (2005.10.21)
- 5) 竹内繁樹: 「未来のコンピューターへ一歩 「光量子ゲート」開発に成功」毎日新聞 (2005.10.26)
- 6) 竹内繁樹: 「量子コンピューター 夢の計算機へ接近」中日新聞 (2005.11.1)
- 7) 竹内繁樹: 「量子コンピューター 夢の計算機へ接近」東京新聞 (2005.11.1)
- 8) 竹内繁樹: 「総務省の戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE)の2006年度の助成対象に「盗聴不可能な量子暗号通信の長距離化を目指す光子量子スイッチの開発研究」が採択され、北海道総合通信局で通知書の交付式が行われた。」北海道新聞 (2006.4.26)
- 9) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久: 「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 予言を超えて浸透 「恐竜」から「怪物」へ」沖縄タイムス (2006.5.6)
- 10) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久: 「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 「恐竜」から「怪物」へ」琉球新聞 (2006.5.6)
- 11) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久: 「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 進化を続ける「怪物」」徳島新聞 (2006.5.6)
- 12) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久: 「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 進化を続ける「怪物」 計り知れないポテンシャル」大分合同新聞 (2006.5.6)
- 13) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久: 「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 「恐竜」から「怪物」へ 予言を超え急成長へ」福島民友 (2006.5.7)
- 14) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久: 「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 予言を超え成長 「怪物」生むか」秋田さきがけ (2006.5.8)
- 15) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久: 「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 予言を裏切る急浸透 広大な可能性へ進出続く」四国新聞 (2006.5.8)
- 16) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久: 「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 予想を超え社会に浸透 量子用い「怪物」開発中」高知新聞 (2006.5.9)
- 17) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久: 「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 予想覆し社会に浸透」福井新聞 (2006.5.9)
- 18) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久: 「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 未知なる「量子」の域へ」河北新報 (2006.5.10)
- 19) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久: 「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 予言を裏切り急激に浸透」山梨日日新聞 (2006.5.11)
- 20) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久: 「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 「恐竜」から「怪物」へ 予言を裏切り急激成長」日本海新聞 (2006.5.12)
- 21) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久: 「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 予言を超え「怪物」目指す」北日本新聞 (2006.5.12)
- 22) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久: 「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 予言を超え急激に成長」山陰中央新報 (2006.5.15.)
- 23) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久: 「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 「恐竜」から「怪物」へ 予言を超え進化 家庭にも浸透」山口新聞 (2006.5.15)
- 24) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久: 「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 予言を超え、急激に成長」熊本日日新聞 (2006.5.15)
- 25) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久: 「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 予言を超え隅々まで浸透」山陽新聞 (2006.5.15)
- 26) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久: 「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 「恐竜」から「怪物」へ 着実に進化 計り知れぬ可能性」山形新聞 (2006.5.16)
- 27) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久: 「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 予言を超え続ける進化 社会の隅々に浸透した機械」信濃毎日新聞 (2006.5.16)
- 28) 竹内繁樹、岡本亮 and 永田智久: “Computers yet to make quantum leap / Progress so far calculated by down-sizing process but next frontier unknown” The Japan Times (2006.5.17)
- 29) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久: 「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 予言を超え「怪物」目指す」岐阜新聞

(2006.5.17)

- 30) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久:「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 「怪物」今も進化の途上」中国新聞 (2006.5.18)
- 31) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久:「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 「怪物」の出現待つ次世代 「並行世界」を操る量子 1千億年の計算、数日で」京都新聞 (2006.5.19)
- 32) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久:「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 進化に無限の可能性 スパコンを超える怪物も」奈良新聞 (2006.5.19)
- 33) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久:「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 「恐竜」から「怪物」へ 予言を超えて驚異的に成長」宮崎日日新聞 (2006.5.20)
- 34) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久:「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 予想もつかぬ「怪物」へ 急激な成長 可能性無限」新潟日報 (2006.5.20)
- 35) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久:「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 「恐竜」から「怪物」へ 予言を超え、急成長」伊勢新聞 (2006.5.21)
- 36) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久:「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 予言覆し社会に浸透」上毛新聞 (2006.5.21)
- 37) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久:「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 予言超えて急激成長」神戸新聞 (2006.5.27)
- 38) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久:「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 「恐竜」から「怪物」へ 予言を超え、急激に成長」佐賀新聞 (2006.5.29)
- 39) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久:「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 予言裏切り急激に成長」静岡新聞 (2006.6.2)
- 40) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久:「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 「予言」超え急激に成長」岩手日報 (2006.6.9)
- 41) 竹内繁樹、岡本亮、永田智久:「夢見たものは今 団塊世代のアイコン / 「恐竜」から「怪物」へ 予言を超え、急激に成長」千葉日報 (2006.7.2)
- 42) 竹内繁樹:「量子暗号通信 80kmの原理検証に成功北大と三菱電 単一光子源で安全強化」日刊工業新聞 (2007.1.16)
- 43) 竹内繁樹:「量子暗号の発信器 室温で安定動作 北大と三菱電機 長距離通信に道」日経産業新聞 (2007.1.16)
- 44) 竹内繁樹:「盗聴に強い通信装置本学と三菱電機 光源改良し開発」北大学生新聞 (2007.1.21)
- 45) 竹内繁樹:「盗聴もうできない? 夢の通信「量子暗号」究極の弱い光を使用 盗めばすぐに発覚」東京新聞 (2007.2.6)
- 46) 竹内繁樹:「盗聴もうできない? 夢の通信「量子暗号」究極の弱い光を使用 盗めばすぐに発覚」中日新聞 (2007.2.6)

・雑誌

- 1) 竹内繁樹:「光子を使った量子計算」日経バイト (2004.5.22)
- 2) M. Shimomura, T. Shimozawa, K. Sasaki, N. Wright, E. Wright and S. Goon:「北海道大学と英ニューカッスル大学、部局間協定を締結」週間ナノテク (2005.10.31)
- 3) 竹内繁樹:「問題3「次の200桁の数字を素因数分解するとどうなるか、□内を0.1秒以内で埋めなさい。」」MeSci Magazine (ミーサイマガジン)/計算のロマン! おはじきから量子コンピュータまで (2005.12.20)
- 4) 竹内繁樹:「Making the switch to quantum computing」The Japan Journal (2006.4.10)
- 5) 竹内繁樹:「三菱電機と北大、単一光子源量子暗号システムで80km 原理検証実験に成功」Laser Focus World Japan (2007.2.13)

・放送

- 1) 竹内繁樹、今井浩:「「夢を語る研究者たち」(3) 竹内繁樹」JST サイエンスチャンネル (2004.4.1~2005.3.31)

・その他

- 1) 竹内繁樹:「量子暗号通信、光素子の開発盛ん」日経先端技術37 (2003.5.12)
- 2) 竹内繁樹:「世界一明るい、単一光子源を開発」JNNB (Japan Nano Net Bulletin) (2003.11.1)
- 3) 竹内繁樹:「量子理論を実証! 量子コンピュータの実現に向けて」科学者になる方法 -第一戦の研究者が語る (2005.1.31)
- 4) 竹内繁樹:「JST がコンパクトな光量子ゲート素子を考案」Laser Focus World JAPAN (2005.10.13)
- 5) 竹内繁樹: 科学技術動向 2005年11月30日「[5]コンパクトで安定性に優れた光量子コンピュータ用ゲート素子」

f. 外国人研究者の招聘 (氏名、国名、期間)

- 1) Oliver Benson, Germany (2003.7.24~2003.7.26)
- 2) Anton Zeilinger, Austria (2003.11.4~2003.11.6)
- 3) Anton Zeilinger, Austria (2003.11.4~2003.11.6)
- 4) Gregor Weihs, Japan (2004.1.10~2004.1.13)
- 5) Jozef Gruska, Slovakia (2004.4.2~2004.4.4)
- 6) Holger F. Hofmann, Japan (2004.9.20~2004.9.25)
- 7) Johan Hofkens, Belgium (2004.12.18~2004.12.22)
- 8) Holger F. Hofmann, Japan (2005.3.3~2005.3.4)
- 9) XuBo Zou, Germany (2005.4.19~2005.4.23)
- 10) Jeremy Lloyd O'brien, Australia (2005.6.5~2005.6.9)
- 11) Jeremy Lloyd O'brien, Australia (2005.11.13~2005.12.10)
- 12) Jeremy Lloyd O'brien, Australia (2006.1.30~2006.2.10)
- 13) Jeremy Lloyd O'brien, Australia (2006.6.18~2006.6.26)
- 14) Holger F. Hofmann, Japan (2006.7.10~2006.7.12)
- 15) Shimon Weiss, USA (2006.7.19~2006.7.21)
- 16) Alan D. Bross, USA (2006.8.8~2006.8.10)
- 17) Holger F. Hofmann, Japan (2006.9.4~2006.9.6)
- 18) Jeremy Lloyd O'brien, Australia (2006.9.5~2006.9.11)
- 19) Jeremy Lloyd O'brien, Australia (2006.11.11~2006.11.19)

- 20) Min Gu, Australia (2006.12.2~2006.12.5)
- 21) Holger f. Hofmann, Japan (2007.1.12~2007.1.13)
- 22) Jeremy Lloyd O'brien, Australia (2007.1.17~2007.1.23)
- 23) Daniel Day, Australia (2007.3.13~2007.3.18)
- 24) Jing Wu, Australia (2007.3.13~2007.3.18)
- 25) Holger f. Hofmann, Japan (2007.3.26~2007.3.27)
- g. 北大での担当授業科目** (対象、講義名、担当者、期間)
- 1) 笹木敬司: 工学研究科、「電子情報エレクトロニクス特別研究第二」 2003年4月1日~2004年3月31日
- 2) 笹木敬司: 工学研究科、「電子情報エレクトロニクス特別研究第一」 2003年4月1日~2004年3月31日
- 3) 笹木敬司: 工学研究科、「電子情報エレクトロニクス特別演習」 2003年4月1日~2004年3月31日
- 4) 笹木敬司: 工学部、「統計力学」 2003年4月1日~2003年9月30日
- 5) 笹木敬司: 全学科共通、「物理学Ⅲ」 2003年4月1日~2003年9月30日
- 6) 竹内繁樹: 工学研究科、「電子情報エレクトロニクス特別演習」 2003年4月1日~2004年3月31日
- 7) 竹内繁樹: 工学研究科、「電子情報エレクトロニクス特別研究第一」 2003年4月1日~2004年3月31日
- 8) 竹内繁樹: 工学研究科、「電子情報エレクトロニクス特別研究第二」 2003年4月1日~2004年3月31日
- 9) 竹内繁樹: 工学部、「統計力学」 2003年4月1日~2003年9月30日
- 10) 竹内繁樹: 全学科共通、「21世紀を拓く光科学」 2003年4月1日~2003年9月30日
- 11) 堀田純一: 工学研究科、「電子情報エレクトロニクス特別研究第二」 2003年4月1日~2004年3月31日
- 12) 堀田純一: 工学研究科、「電子情報エレクトロニクス特別演習」 2003年4月1日~2004年3月31日
- 13) 笹木敬司: 全学科共通、「21世紀を拓く光科学」 2003年4月1日~2003年9月30日
- 14) 笹木敬司: 全研究科共通、「北海道大学大学院共通授業「ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論Ⅰ」」 2003年7月30日~2003年8月1日
- 15) 笹木敬司: 工学研究科、「光情報エレクトロニクス特論」 2003年10月1日~2004年3月31日
- 16) 笹木敬司: 工学部、「応用数学Ⅱ」 2003年10月1日~2004年3月31日
- 17) 笹木敬司: 全学科共通、「ナノテクノロジー入門」 2003年10月1日~2004年3月31日
- 18) 竹内繁樹: 全学科共通、「ナノテクノロジー入門」 2003年10月1日~2004年3月31日
- 19) 堀田純一: 工学部、「応用数学演習Ⅱ」 2003年10月1日~2004年3月31日
- 20) 竹内繁樹: 工学研究科、「光情報エレクトロニクス特論」 2003年10月1日~2004年3月31日
- 21) 笹木敬司: 情報科学研究科、「情報エレクトロニクス特別研究第二」 2004年4月1日~2005年3月31日
- 22) 堀田純一: 情報科学研究科、「情報エレクトロニクス特別演習」 2004年4月1日~2005年3月31日
- 23) 堀田純一: 情報科学研究科、「情報エレクトロニクス特別研究第二」 2004年4月1日~2005年3月31日
- 24) 竹内繁樹: 情報科学研究科、「情報エレクトロニクス特別演習」 2004年4月1日~2005年3月31日
- 25) 竹内繁樹: 情報科学研究科、「情報エレクトロニクス特別研究第一」 2004年4月1日~2005年3月31日
- 26) 竹内繁樹: 情報科学研究科、「情報エレクトロニクス特別研究第二」 2004年4月1日~2005年3月31日
- 27) 竹内繁樹: 工学部、「統計力学」 2004年4月1日~2004年9月30日
- 28) 竹内繁樹: 全学科共通、「21世紀を拓くナノ・光科学」 2004年4月1日~2004年9月30日
- 29) 笹木敬司: 情報科学研究科、「情報エレクトロニクス特別演習」 2004年4月1日~2005年3月31日
- 30) 笹木敬司: 情報科学研究科、「情報エレクトロニクス特別研究第一」 2004年4月1日~2005年3月31日
- 31) 笹木敬司: 全研究科共通、「北海道大学大学院共通授業「ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論Ⅰ」」 2004年7月28日~2004年7月30日
- 32) 竹内繁樹: 情報科学研究科、「光情報システム学特論」 2004年10月1日~2005年3月31日
- 33) 笹木敬司: 情報科学研究科、「光情報システム学特論」 2004年10月1日~2005年3月31日
- 34) 笹木敬司: 工学部、「応用数学Ⅱ」 2004年10月1日~2005年3月31日
- 35) 竹内繁樹: 全研究科共通、「北海道大学大学院共通授業「ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論Ⅱ」」 2005年1月26日~2005年1月28日
- 36) 笹木敬司: 全学科共通、「次世代産業革命の旗手=ナノテクノロジー」 2005年4月1日~2005年9月30日
- 37) 笹木敬司: 情報科学研究科、「情報エレクトロニクス特別演習」 2005年4月1日~2006年3月31日
- 38) 笹木敬司: 情報科学研究科、「情報エレクトロニクス特別研究第一」 2005年4月1日~2006年3月31日
- 39) 笹木敬司: 情報科学研究科、「情報エレクトロニクス特別研究第二」 2005年4月1日~2006年3月31日
- 40) 竹内繁樹: 情報科学研究科、「情報エレクトロニクス特別演習」 2005年4月1日~2006年3月31日
- 41) 竹内繁樹: 情報科学研究科、「情報エレクトロニクス特別研究第一」 2005年4月1日~2006年3月31日
- 42) 竹内繁樹: 情報科学研究科、「情報エレクトロニクス特別研究第二」 2005年4月1日~2006年3月31日
- 43) 竹内繁樹: 工学部、「統計力学」 2005年4月1日~2005年9月30日
- 44) 竹内繁樹: 全学科共通、「次世代産業革命の旗手=ナノテクノロジー」 2005年4月1日~2005年9月30日
- 45) 笹木敬司: 全研究科共通、「北海道大学大学院共通授業「ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論Ⅰ」」 2005年9月29日~2005年9月30日
- 46) 笹木敬司: 工学部、「応用数学Ⅱ」 2005年10月1日~2006年3月31日
- 47) 笹木敬司: 情報科学研究科、「光情報システム学特論」

2005年10月1日～2006年3月31日

- 48) 竹内繁樹：情報科学研究科、「光情報システム学特論」  
2005年10月1日～2006年3月31日
- 49) 竹内繁樹：全研究科共通、「北海道大学大学院共通授業  
「ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論Ⅱ」」 2006  
年2月2日～2006年2月3日
- 50) 竹内繁樹：情報科学研究科、「情報エレクトロニクス特  
別研究第二」 2006年4月1日～2007年3月31日
- 51) 笹木敬司：情報科学研究科、「情報エレクトロニクス特  
別演習」 2006年4月1日～2007年3月31日
- 52) 笹木敬司：情報科学研究科、「情報エレクトロニクス特  
別研究第一」 2006年4月1日～2007年3月31日
- 53) 竹内繁樹：情報科学研究科、「情報エレクトロニクス特  
別演習」 2006年4月1日～2007年3月31日
- 54) 竹内繁樹：情報科学研究科、「情報エレクトロニクス特  
別研究第一」 2006年4月1日～2007年3月31日
- 55) 竹内繁樹：全学科共通、「光・バイオ・分子で拓くナノ  
テクノロジー」 2006年4月1日～2006年9月30日
- 56) 笹木敬司：情報科学研究科、「情報エレクトロニクス特  
別研究第二」 2006年4月1日～2007年3月31日
- 57) 竹内繁樹：工学部、「統計力学」 2006年4月1日～2006  
年9月30日
- 58) 笹木敬司：全研究科共通、「北海道大学大学院共通授業  
「ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論Ⅰ」」 2006  
年7月25日～2006年7月27日
- 59) 笹木敬司：情報科学研究科、「光情報システム学特論」  
2006年10月1日～2007年3月31日
- 60) 竹内繁樹：情報科学研究科、「光情報システム学特論」  
2006年10月1日～2007年3月31日
- 61) 竹内繁樹：工学部、「電磁気学」[担当者]：2006年10月  
1日～2007年3月31日
- 62) 竹内繁樹：全研究科共通、「北海道大学大学院共通授業  
「ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論Ⅱ」」 2006  
年10月1日～2007年3月31日

#### i. ポスドク・客員研究員など

・ポスドク（7名）

- 1) 大橋弘明（科学技術振興事業団 戦略的創造研究推進事  
業「光と制御」研究領域・研究員）
- 2) 藤原英樹（科学技術振興事業団 戦略的創造研究推進事  
業「新しい物理現象や動作原理に基づくナノデバイ  
ス・システムの創製」研究領域・研究員）
- 3) Hofmann Friedrich Holger（科学技術振興事業団 戦略的  
創造研究推進事業「光と制御」研究領域・研究員）
- 4) Soujaeff Alexandre（科学技術振興事業団 戦略的創造研  
究推進事業「光と制御」研究領域・研究員）
- 5) Soujaeff Alexandre（科学技術振興機構 戦略的創造研究  
推進事業「量子情報処理システムの実現を目指した新  
技術の創出」研究領域・研究員）
- 6) 小島 邦裕（H16年度工学部知識メディアラボラトリー  
（略称：VBL））
- 7) 岡本亮（科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業  
「量子情報処理システムの実現を目指した新技術の創

出」研究領域・研究員）

#### j. 修士学位及び博士学位の取得状況

・修士課程（10名）

- 1) 川瀬大輔：ホログラムおよびファイバー干渉計を用いた  
光子の軌道角運動量もつれ合い状態検証実験（2004.3）
- 2) 川辺喜雄：ビーム状パラメトリック蛍光対の空間伝播  
特性解析（2004.3）
- 3) 高島秀聡：枝付きシリカ微小球共振器の共鳴モード同  
定とエルビウムイオン含有ガラス薄膜の作製（2004.3）
- 4) 西村和哉：もつれ合い光子対のビーム状発生方法に関  
する研究（2004.3）
- 5) 百瀬義剛：時間領域差分法を用いたランダム媒質微小  
光共振器の局在モード解析（2004.3）
- 6) 高橋亮一：時間領域差分法を用いたランダムレーザー  
発振特性解析（2005.3）
- 7) 由水哲也：微粒子表面反射光を利用したフォトンフォ  
ース計測システムの開発（Development of a photon force  
measurement system using surface reflected light from  
trapped microparticles）（2006.3）
- 8) 田村 祥：単一 CdSe/ZnS 量子ドットの発光の光子統計  
とその制御に関する研究（2007.3）
- 9) 小西秀典：減偏光のないテーパファイバの実現とファ  
イバ結合微小球共振器の偏光依存共鳴特性に関する研  
究（2007.3）
- 10) 永田智久：2光子フォック状態対の生成とその量子干  
渉に関する研究（2007.3）

・博士後期課程（6名）

- 1) 辻野賢治：もつれ合い光子対の複数対発生に関する基  
礎的研究（A detailed analysis of the fidelity of quantum  
teleportation using photons: Considering real experimental  
parameters）（2004.3）
- 2) 小島邦裕：Fully quantum-mechanical analysis of the  
nonlinear response of a one-dimensional atom to photon  
pulses and application to an optical quantum phase gate  
（2004.3）
- 3) 岡寿樹：Study of the nonlinear optical response of a  
one-dimensional atom and its application to an optical  
quantum phase gate（一次元原子の非線形光学応答と光  
量子位相ゲートへの応用に関する研究）（2005.9）
- 4) 千葉明人：テーパファイバ結合微小球共振器の光共鳴  
特性制御に関する研究（Resonant mode control of mi  
crospherical cavities coupled with tapered optical fibers）  
（2005.9）
- 5) 岡本亮：パラメトリック下方変換を用いた光子状態の  
制御と測定（Control and measurement of photonic states  
using parametric downconversion）（2006.3）
- 6) 高島秀聡：微小球およびファイバ結合微小球における  
発光体の自然放出と制御（Control of spontaneous  
emission from light emitters by a fiber-coupled micro  
sphere and spontaneous emission process of light emitters  
in the microsphere）（2007.3）

## 量子計測研究分野

教授 栗城眞也 (北大院、工博、1991.8～)  
助教授 小林哲生 (北大院、工博、1994.2～2004.3)  
准教授 小山幸子 (阪大院、博士(人間科学)、2004.3～)  
助手 平田恵啓 (北大院、工博、1993.4～2007.3)  
竹内文也 (北大院、工博、1995.12～2004.3)  
博士研究員 中村和歌子 (阪大院、工博、2004.4～2005.3)  
JST 博士研究員 豊村 暁  
(北大院、博士(工学)、2005.7～)  
小川昭利 (北大院、博士(工学)、  
2005.10～2006.3)  
研究機関研究員 鄭 址旭 (1998.4～1998.9.30)  
外国人客員研究員 顧 星 (2003.7～2003.12.31)  
JST 技術補佐員  
豊澤悠子(北大、臨床検査技師、2005.1～)  
在原百合子(苫・高専、2006.2～)  
日本学術振興会 論博プログラム研究員  
Kwon Hyutchan (2003.1～2003.3)  
院 生 (平成15～18年度)  
丸山雅紀、林周、白井直仁、大塚明香、川口洋平、  
神田聡、時田祥子、林 幹彦、渡辺直輝、太田圭介、  
徐以中、高松亮介、山本条太郎、山本郁恵、玉城祐二、  
鷲尾大輔、大上和哉

### 1. 研究目標

量子計測研究分野は、北海道大学・電子科学研究所の電子計測制御部門に所属し、量子効果に基づいた高感度電磁気計測の基礎と応用に関して研究を行っている。また、情報科学研究科・生命人間情報科学専攻の協力講座の研究室として大学院教育に関わっており、修士・博士課程の大学院生を主体とした研究教育を行っている。

本研究分野では高感度な磁気センサであり、ジョセフソン効果によりその機能を発現する SQUID (Superconducting Quantum Interference Device) を中心とし、

- ・ SQUID を用いた生体磁気計測法の研究
- ・ MEG (脳磁界) 計測と解析によるニューロイメージング
- ・ 高次機能を支える脳活動の解明
- ・ 言語環境が聴覚野の発達に及ぼす影響
- ・ 聴覚フィードバック効果と学習への応用
- ・ 自発成分の抽出と位相解析・wavelet 解析
- ・ 内因性の要因による脳活動の変調
- ・ 音楽の構造認知に関わる脳磁界活動の計測を主要な研究としている。

### 2. 研究成果

#### ・平成15年度

(a) 高温超伝導体薄膜への磁束侵入の観察  
高温超伝導 SQUID を構成する超伝導薄膜への磁束侵入は SQUID の低周波雑音の原因となり、生体磁気信号の計測

には大きな障害となる。本研究では磁場中動作時の遮蔽電流の効果を模擬するため、SQUID ループを構成する超伝導薄膜細線に直流電流を印加し、SQUID に鎖交する磁束のゆらぎを計測することで磁束侵入の定量的な評価を行った。

測定の結果、印加電流が閾値を越えると低周波雑音が増加しその後電流をゼロに戻すと元の低い値に戻る可逆的な磁束雑音が観測された。更に印加電流を増やすとある閾値以上で磁束が変動し、電流除去後には元の低い値にまで戻らない不可逆的な低周波雑音が観測された (図1.1)。電流印加中の磁束の変動からこの電流において超伝導薄膜細線が磁束クリープもしくは磁束フロー状態になっていることが分かった。さらに、超伝導薄膜細線のエッジ部を一部薄くした試料を作製し測定した結果、可逆的な低周波雑音増加が起こる閾値電流は減少したが、不可逆的な低周波雑音が残る電流閾値はほとんど変化が無かった。

これらの実験結果より、細線エッジ部での表面バリアが可逆的な磁束侵入と雑音発生に関与し、一方、薄膜内部での磁束ピンングが不可逆的な磁束トラップと雑音特性を支配していると推察された。

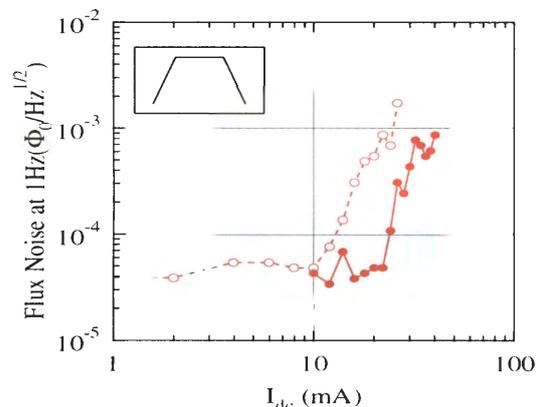


図1.1. YBCO 薄膜細線に印加した電流と1 Hz における低周波磁束雑音の関係 白丸は電流印加時、黒丸は印加電流除去後の雑音

#### (b) 楽音により誘発される長潜時聴覚 MEG 反応

音刺激後約100 ms に側頭葉の聴覚野に生じる長潜時反応は、脳電位 N1や脳磁図 N1m 信号として観測され、その神経活動が周波数やタイミングの解析に関与しているとされている。これに対し、N1(m)に続き160 ms以降に生じるP2(m)反応の神経活動の役割はほとんど明らかにされていない。P2(m)活動が関与する階層的に上位の音響処理として、波形(音色)や複合音(倍音構造や和音)の解析を仮定し、楽音(楽器音)に対する MEG 反応を計測した。

種々の音程からなるピアノの同一単音または長三和音が5音連続する音を刺激として作成した。連続音刺激をランダムな順序で被験者の両耳に呈示し、全頭型 SQUID により和音聴取と単音聴取に対し MEG 測定を別個に行った。被験者は、7歳までにピアノ訓練を開始し15年以上楽器演奏を続けているグループ(経験者)と特別な楽器訓練の経験のないグループ(非経験者)である。反応振幅が最大となる26チャンネルを選択し、それらの RMS 値を計算して MEG 信号の強度とした。

被験者間平均の検討の結果、第1音に対する反応は振幅が大きいが2音目以降の反応は減衰 (adaptation) して一定の振幅となることが分かった (図1.2)。さらに、adaptation による減衰の効果は N1m と P2m で端的に異なり、その結果、2音目以降では P2m の振幅が N1m より大きな振幅で残存した。経験者と非経験者のグループ間では P2m 振幅に有意な差が見られ、第1音、2音目以降いずれも経験者が大きな反応を示した (図1.3)。この有意差は単音、和音の両方の刺激音で認められた。左右脳半球の反応では、右半球のみならず、左半球でも経験者-非経験者、単音-和音間に同様な差異が観測された。

以上の結果は、P2m 潜時での脳活動が複数の周波数構造をもつ楽音の性質 (音色や和音など) の処理に関わっていることを示している。さらに、経験者と非経験者間の反応振幅の差異は、これまで N1m 反応で音楽家に見られたピアノ音 (単音) に対する振幅の増大より明確であることから、P2m 反応が楽音処理に優先的 (選択的) に関わっており、聴覚皮質の可塑性を強く反映していることを示唆している。

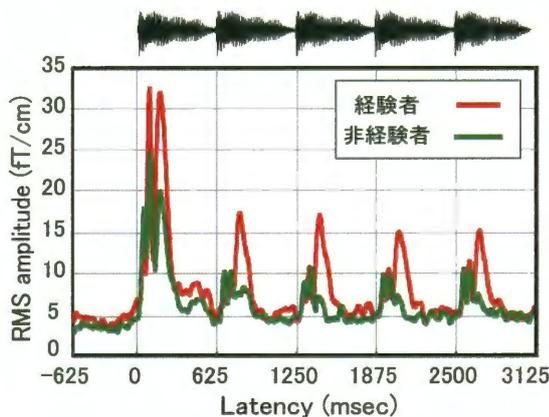


図1.2. 連続音波形 (上図) と和音に対する MEG 反応

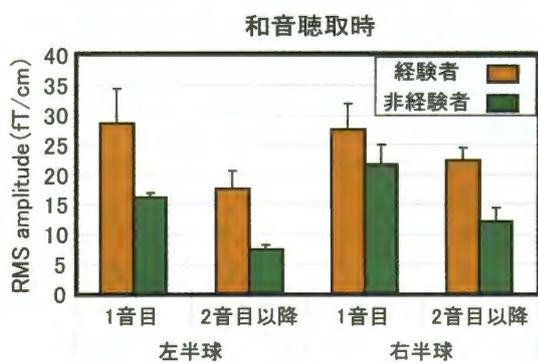


図1.3. P2m 反応振幅の被験者間平均波形。  
左右脳半球から計測したものを被験者間で平均

(c) 運動性多義図形の知覚交替に関わる脳活動の計測

網膜に投影される視覚入力が物理的に変化しないにも拘わらず、多義的な解釈が可能のため知覚の交替が生じるような図形がある。このような多義図形を知覚している時の脳血流を fMRI により計測し、内因的な知覚交替に関わる脳

活動を推定した。

視覚刺激は、菱形図形の横軸の長さが一定の周期で連続的に変化し、被験者には右ないし左に回転する菱形や辺の開閉運動の知覚を与える運動性多義図形(a)である。刺激の解釈は一通りに留まることはなく、知覚の交替が生ずる。対照刺激は、多義図形と形状、動作は同じであるが、左右の辺に輝度の差を与えることで奥行き手掛かりがあり、一方向にのみ回転する知覚が生じる運動性安定図形(b)、および静止した図形(c)である。

運動性多義図形観測時と安定運動図形観測時の脳活動 ((a)-(b))の差をグループ解析し、統計的に BOLD 信号が有意に大きい部位 ( $p < 0.001$ , uncorrected) を求めた結果を図1.4に示す。頭頂間溝近傍 (Brodmann's Area (BA) 7/40)、前頭前野 (BA 6/8, 44,46)、第5次視覚野 (V5/MT) において信号の有意な上昇が見られる。前頭前野での活動は、(a)-(c)刺激では見られ、(b)-(c)刺激では見られなかった。一方、頭頂間溝での活動は(a)-(c)、(b)-(c)刺激に共通して見られるが(a)-(b)刺激でも活動が見られるため、運動性曖昧図形の観測時に、より強く活動したと考えられ、特異的である可能性がある。

以上の結果は、多義図形の知覚交替には、頭頂連合野、前頭連合野を含めた脳内の複数の部位が関与していることを示唆している。

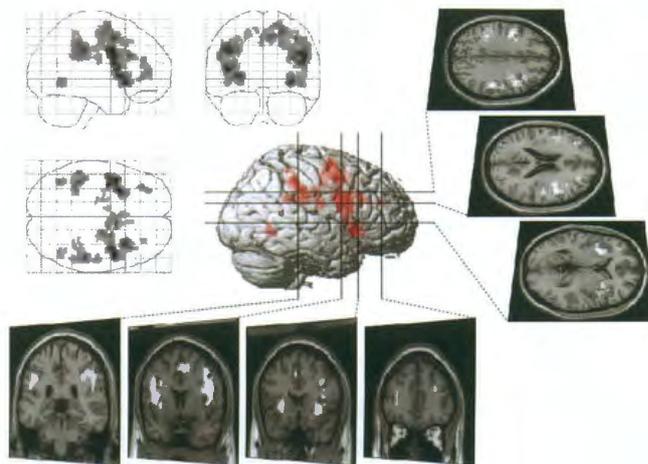


図1.4. 運動性多義図形と安定運動図形観測時の脳活動の差をグループ解析し統計的に BOLD 信号の有意差 ( $p < 0.001$ , uncorrected) が認められた脳部位

・平成16年度

(a) MEG データからの複数信号源推定

高次脳機能の MEG 計測では脳内に複数の信号源が発生し、脳内の活動を1つの信号源で仮定する単一等価電流双極子法では十分な解が得られない場合がある。その解決法の1つとして電流分布解析がある。本研究では、L1ノルム解析法による信号現推定のシミュレーションを行い、解析結果の精度について検討した。

脳活動が起こるとされる、MRI 画像 (健康な成人男性) の灰白質上に約5000点のノードを設定し、その上に信号源を置いた。前頭、側頭、後頭に1個ずつの電流双極子を設

定し、モーメントと方向を変化させ、さらにランダムノイズを加えてL1ノルム法により電流分布計算を行った。L1ノルム法は計測磁場を説明できる電流分布の中から、電流の総和が最も小さくなる組み合わせを求める方法であり、局在した信号源が求められる。

図2.1に示すように、計算された双極子群はオリジナル信号源の周囲に分散した結果となった。そこで双極子モーメントの累積与率70%までに計算結果を限定することで、散らばったモーメントを除去した。さらに、モーメント群の重心と分散を下記のように計算することで中心位置と広がりを評価した。ここで、 $P_i$ は推定結果の座標位置、 $P_g$ は重心の座標位置、 $Q_i$ はモーメント、 $n$ は推定信号源の個数を表す。

$$\langle P \rangle = \frac{\sum_i^n P_i Q_i}{\sum_i^n Q_i}$$

$$\sigma = \frac{\left\{ \frac{1}{n-1} \sum_i^n \{(P_i - \langle P \rangle) Q_i\}^2 \right\}^{1/2}}{\langle Q \rangle}$$

その結果、重心位置は約10mm以内、標準偏差は15mm程度が得られ、複数信号源を脳の領域内に推定できることが分かった。

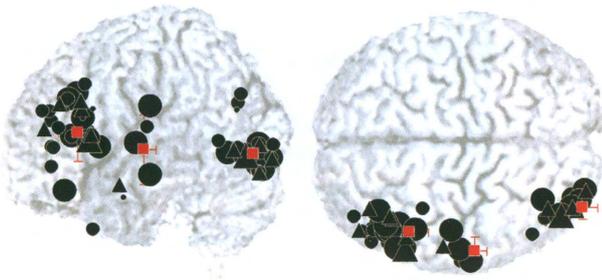


図2.1. 推定信号源位置とそれらの重心および標準誤差。

(b) 電流分布推定におけるなめらかさの評価関数

MEGデータから的大脑皮質上の電流分布推定は、データの次元よりも推定する変数の次元が大きい不良設定問題である。電流分布の空間的な連続性を仮定してこの不良設定性を解決する解析法として、電流分布の空間的な差分のL1ノルムを評価関数として用いる手法を提案する。差分のL1ノルムを最小化することで、値が大きく変化する変化点を許容しつつ、大部分で均一な分布を推定することができる。

いくつかの人工的に生成したデータについて、提案した差分のL1ノルムの最小化、および、電流分布のL2ノルムの最小化、L1ノルムの最小化、LORETAを改良したSLORETA、の各従来法について結果を比較した。まず、MRI画像をもとに、解析のときに電流双極子を置くための皮質上の点のセットを定義し、(A)この点のセットの中の1点でのみ、電流双極子が活動するもの(B)同じ点のセットの中から隣り合う数点を選び、それらでのみ電流双極子が活動するもの(C)解析に使う点のセットとは関係なく、よ

り細かく配置された連続的な電流双極子の集合を信号源として用いるものについて解析を行った。

L1ノルムの最小化による推定では、1点のみで活動がある場合の推定結果が良く、L2ノルムの最小化では、隣り合う数点の活動や広がりを持つ活動範囲の場合の推定結果が良かった。しかし、L1ノルムは活動が広がりを持つ場合も局在した活動を与える傾向があり、またL2ノルムは、活動が非常に局在していても、広がりを持つ分布を与える傾向がある。提案した差分のL1ノルムの最小化は、どちらのデータについても正解に近い結果を推定することができた。

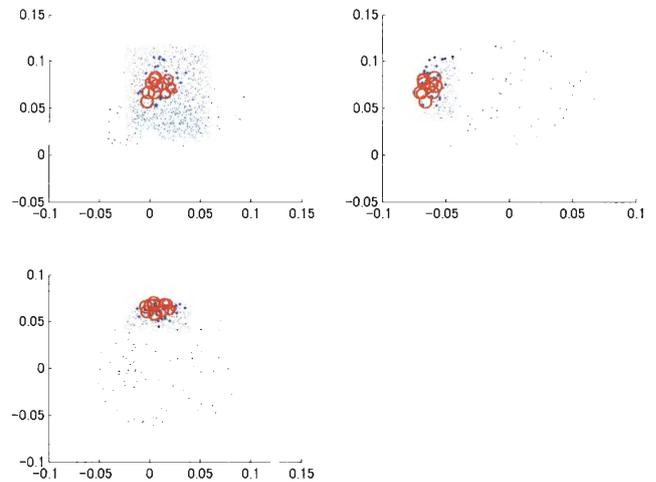


図2.2. 差分のL1ノルム最小化による電流分布推定の結果。

(c) 口唇部局所失調症患者の体性感覚脳磁界

音楽家が行うハードな練習は演奏の向上をもたらす一方、楽器をコントロールしている身体部位に局所性ジストニアを生じさせる可能性を持つ。金管楽器奏者は顔面筋の緊張をコントロールして口唇の振動により音を作り出すことから、顔面筋の異常な収縮が起きるジストニアを示す患者では体性感覚皮質上の顔部に症状と関連した変化が生じていると仮定し脳磁界計測を試みた。

被験者は金管楽器演奏を職業とし、長期間にわたり一日平均6時間の練習を行っていた8名の男性患者（楽器を演奏位置に構えると、意図せずに唇がマウスピースに被さったり、下あごに震えが生じたりする症状を呈す）と、コントロールとして音楽経験を持たない8名の男性健常者とした。

空気圧駆動の触覚刺激装置を上下唇と手指の指先(親指:D1~小指:D5)に固定し、計7部位をランダムに刺激した。BTi社製37チャンネル磁束計を用い、誘発脳磁界を刺激部位と反対側の頭部から記録した。計測後、刺激部位ごとに加算平均、フィルタ処理を行い、潜時25-60msについて単一電流双極子(ECD)を仮定した信号源解析を行い、その位置を頭頂から外側方向への角度として求めた。また円筒状プラスチックの端面に溝が連続的に刻まれたドームを用いて、唇の皮膚感度を測定した。

皮質上で各部位の位置は、d5からd1へと徐々に角度が増加し、唇で大きく増加した(図2.3)。これは体性感覚

のホモンキュラスの順に一致し( $F(6,84) = 170, P < 0.0001$ ), post-hoc テストでは患者とコントロールの親指(d1)の角度が有意に異なった( $p < 0.009$ )。そこで上下唇間の角度で規格化した d1 と唇間の確度を被験者毎に計算した、その結果、唇と親指の相対角度は患者平均17%とコントロールの23%よりも減少し、グループ間で有意な差が得られた( $F(1,14)=5.5, P < 0.04$ )。また溝の検出閾値では、患者の上唇は下唇に対して有意に大きな閾値を示した( $p=0.0097$ )。

d1 と唇間の角度の減少は皮質上での指の位置が外側にシフトしたことを意味するが、これは顔面ジストニアの罹患によって脳の機能マップに変化が生じたことを示唆している。また上唇の感度悪化はジストニア症状の発現に加え、金管楽器の演奏時には上唇が過大な圧力を受けるという双方の要因が影響していることが考えられる。

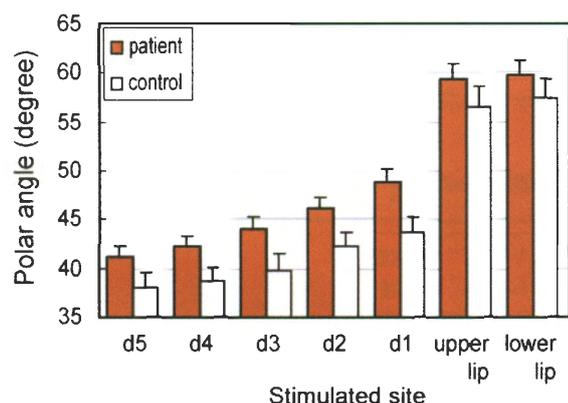


図2.3. 口唇部ジストニア患者とコントロールの手指及び上下唇の頭頂からの平均角度

### ・平成17年度

#### (a) 聴覚発声フィードバック制御の神経基盤の検討

円滑な発話の遂行には聴覚フィードバックが重要である。また、幼児期の発語獲得や成人後の第二言語獲得には聴覚フィードバックが重要な役割を果たす。加えて、吃音等の発声障害の原因として、聴覚フィードバックの異常が推定されている。現在まで主に変換聴覚フィードバック (Transformed Auditory Feedback; TAF) を用いた行動実験により、聴覚フィードバック制御の性質が明らかになってきた。しかし、その神経機構は明らかでない。本研究ではフィードバック制御の神経機構を明らかにすることを目的に健常者を対象に機能MRIを計測した。

被験者は右利きの日本語話者12名(女性2名)。マイク付きヘッドフォン(HITACHI アドバンスシステムズ製)を装着した状態でMRI装置(Signa Echo-Speed 1.5 T system、GE、USA)内に横臥し、視覚指示に従ってピッチ調整課題中にfMRIを記録した(Fig.1)。TR3秒、空白6秒のSparseサンプリングを行い、空白時に約5秒の持続発話「あ」を行った。ピッチの高さは特に指定しなかった。条件はピッチが変換されてフィードバックされる「変換条件」と、変換なしでそのままフィードバックされる「無変換条件」の2条件である。変換条件では、5秒の発話の間にフィードバック音声のピッチが、被験者の「あ」のピッチから上下2半

音以内でランダムに2、3回変えた。その状況で、被験者にはフィードバック音声のピッチが変わった時、変わった方向とは反対方向へ高さを変えることで、フィードバック音声のピッチをなるべく一定に保つよう教示した。無変換条件では被験者には単に「あ」を発声するよう教示した。その際ピッチ変換を行わず、そのままフィードバックした。いずれの条件においても、骨伝道の影響を除くために、約65dBのピンクノイズをフィードバック音声に混ぜた。変換条件が無変換条件よりもピッチのフィードバック制御が強く働くことから、変換条件—無変換条件の比較により、ピッチの聴覚フィードバック制御に関する部位が抽出できると考えた。スライス厚5mm、スライス間隔2.5mmの9枚で、下から2スライス目がAC-PCラインに合わせた。MRIデータの解析にはSPM99を用いた。

変換条件—無変換条件の比較で優位に活性化された部位を図3.1に示す( $p < 0.00001$ )。島は右前部の活性が得られた。その他活性部位は、右大脳半球では縁上回、前頭部のBA9野、上側頭部、頭頂間溝、左大脳半球では運動前野のみが有意に活性化した。この結果はピッチの聴覚フィードバックが主に右大脳半球のネットワークで制御されていると推定した。



図3.1. 音声聴覚フィードバック制御に関連する脳部位

#### (b) 楽音と母音による聴覚誘発MEG応答

なぜある音を聞いたときに、それをヒトの声や楽器の音だと思えるのか。聴取した音を意味のある情報として受け取る、さらに会話や音楽として認知するために、脳はどのような処理を行っているのだろうか。本研究では、楽音という高調波を含む周波数的に複雑な音刺激と、楽音同様にフォルマント構造と呼ばれる複雑な周波数構造を持った音声刺激に対する脳活動を検討することを目的として、楽音(ピアノ単音A3)、言語音(日本語母音/a/)、コントロールとして純音の連続提示を聴覚刺激に用い、MEG計測を行った。

加算平均波形からは、各刺激音について潜時約100msにN1m、約180msにP2mの聴覚誘発応答を観測し、右半球において、ピアノ音の応答が純音に対して有意に大きい結果を得た。刺激音3音を連続提示したことにより、N1m、P2m応答の振幅は、2、3音目の振幅が1音目に対し有意に減衰した。1音目の振幅で規格化した減衰特性を比較すると、右半球のP2mにおいて、ピアノ音と母音/a/がそれぞれ純音に対し有意に減衰の程度が小さかった。また部分空間投影を用いたダイポールモーメントの比較からも、減衰特

性において同様の結果を得た。これは、単一の周波数である純音に比べ、複雑な周波数構造を持つ楽音や言語音に対して P2m 応答を生じる聴覚野の活動に特異性があることを示唆している。

以上の右半球の減衰特性から、日常的に繰り返される会話や音楽の聴取のような複雑で連続的な音の処理について、右大脳半球が優勢的に関与しているのではないかと考えられる。

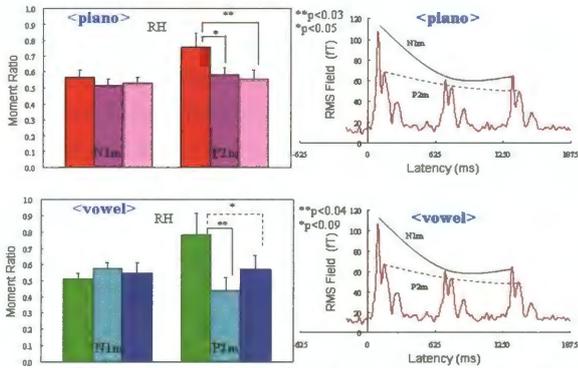


図3.2. ピアノ音と母音の3音連続刺激による聴覚誘発 MEG 応答の減衰特性 (右脳半球)

(c) 音符を読む際の自発脳活動の解析

音楽家が楽譜を黙読する際の脳活動のうち、誘発活動は後頭部の視覚野から側頭部へと推移することが報告されている。一方、視覚刺激によって音高をイメージする課題を遂行中の脳活動の内、振動性成分は位相揺らぎのために通常の加算平均ではその変化を観測することが難しい。そこで音符を読む際の振動成分が脳の各部位で時間と共にどのように変化しているのかを wavelet による周波数解析を用いて調べた。

被験者は音楽を専攻する右利きの女子大学生10名(18-24歳)であった。そのうち5名が絶対音感保持者(50問の聴音テストで90%以上の正答)と分類された。視覚刺激はCRT モニタ上に提示した。脳磁界計測装置に Neuromag 製 204チャンネル全頭型 SQUID 磁束計システムを用い、サンプリング周波数600.6Hz で記録した。独立成分分析(ICA)を用い、刺激に非同期な0.5-1Hz の外来雑音由来の1-3成分と瞬きの成分を同定・除去した。視覚刺激のトリガの前後(-1.0~2.0s)の磁界データを用い、チャンネル毎に加算平均して誘発データを作成した。次に、各エポックから誘発データを引き算し、7-45Hz の帯域について1Hz 毎に複素 morlet wavelet を用いた連続 wavelet 変換による周波数解析を行い、その結果を加算平均することで事象関連自発脳磁界の周波数別エネルギー分布を得た。

β 波帯域の脱同期の様子は個人差が大きいが、生じる部位は側頭葉上部、中心溝付近、頭頂葉後部、前頭葉と多岐に渡っている。この活動は概して左右半球で同時に生じる。また、コントロール課題よりも音高想起課題で大きな脱同期が観測された。β 波帯域の脱同期は運動の準備に伴って体性感覚野で生じることが知られているが、脳表へのマッピングからは体性感覚野に加えて聴覚野や前頭の後方にも広がっているように見える。2つのセッションに共通して

観測されることから、視覚刺激と認知によって生じた脱同期であると考えられる。一方、相対音感の被験者の頭頂部脱同期は確立した音高記憶を有しないために、音符の位置情報を強く処理しようとする結果と見ることができるかもしれない。

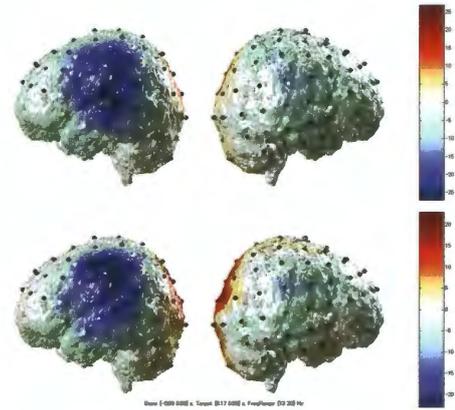


図3.3. 自発脳磁界(β帯域)変動率の脳表投影の例

・平成18年度

(a) 先行音階にプライミングされた和音に対する脳磁界活動

Carol Krumhansl の提唱した probe-tone method という心理実験の手法を参考に、2オクターブの上昇長調/短調音階により調性的・旋法的にプライミングされた主和音と関係調和音に対する音楽家の聴覚性誘発脳磁界反応を計測した。主和音は安定、関係調和音は不安定に聞こえると弁別された。聴覚野を起源とする脳磁界反応 N1m のモーメントは、長調音階にプライミングされた和音に対して「主和音<関係調和音」の有意差を示した。しかし、短調音階によるプライミング、また、和音が単独で提示された時には差異がなかった。これらの結果は、西洋音楽の調性と旋法は、聴

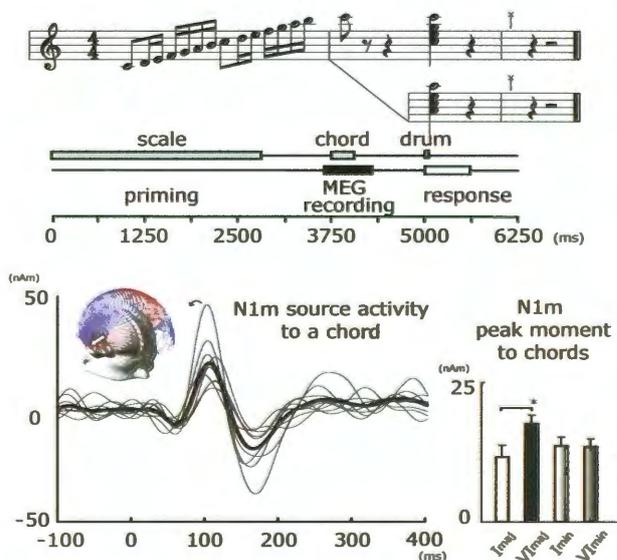


図4.1. (上段) プライミング音階と和音からなる刺激列、(中段) MEG 記録の時間経過、(下段) 和音に対する N1m 活動源の時間変化(左)、種々の音階でプライムされた和音に対する N1m ピークモーメント(右)

者が感じる知覚的な安定度及び聴覚野の神経活動に影響を与える事を示す。主和音と関係調和音に対する活動の有意差は、選択的注意に関連するトップダウン機構に関係があると考えられる。調性・旋法的プライミングにより主和音（ハ長調の場合、ドミソ）がテンプレートとなり、テンプレート以外を入力音はテンプレート音との相対関係において分析・処理されると仮定すると、和音の知覚的安定度の弁別という課題は、注意を向ける対象を「テンプレート音以外」とした方が容易に遂行できる。テンプレート音である主和音に対する末梢におけるフィルタリングと、テンプレートから逸脱する関係調和音に対する gating の重畳効果で、聴覚野の活動に有意な変調が生じた可能性が指摘される。短調コンテキストにおける和音の知覚的安定度は、長調に比べ不明瞭である事が報告されている。短調コンテキストでは、主和音のテンプレートとしての確立が劣っていた為に、テンプレート以外に対して喚起される注意の効果が弱く、聴覚野の活動に差異が生じなかったのではないかと考えられる。

(b) 自己音声に対する神経活動

発声時には、常に自己音声をモニタリングする聴覚フィードバックが働いている。遅延聴覚フィードバック時には健康者でも擬似吃音が発生するが、聴覚フィードバックを他人の声に変換することにより、その効果が抑制される (Toyomura and Omori, 2005)。このことから、自己の発声特徴に対して選択的に反応する神経機構が存在するのではないかと推測し、MRI 実験を行った。実験では予め録音した被験者・知人・他人の各音声に高品質音声分析合成系 (STRAIGHT; Kawahara 1998) を用いてモーフィング加工 (自己一他者等) を施し、MRI スキャン中に加工音声を被験者 (n=19) に提示した。このうち、自己音声に対しては録音音声を自分の知覚音声に近づけるフィルタ処理を施した。被験者は聞こえてくる音声は自分/知人/他人のいずれに聞こえるかをボタン押しで反応した。ボタン押しの反応の結果から脳画像を分類し、事象関連デザインとして解析を行った。結果は知人の声・他人の声に比べ、特に自己の声に対して前頭部を中心に広域な活性を示した (図4.2)。この結果は神経系が自分の声に対して特異的な反応を有するこ

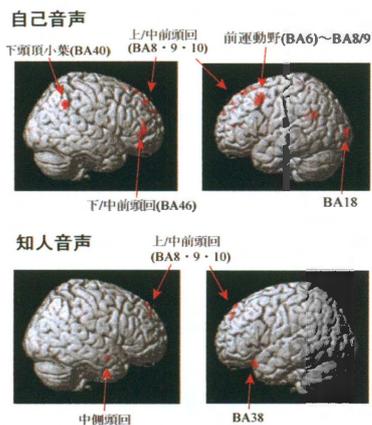


図4.2. 自己音声 (上) と知人音声 (下) に対して活性化した脳領域 (p<0.003, uncorrected, k>10)

とを示唆している。本研究は H16年度 JST「脳科学と教育」のプロジェクトの一部として遂行された、玉川大学、青山学院大学との共同研究である。

(c) 脳波を用いた談話理解のリアルタイム可視化技術の開発  
意味理解の研究では、時間解像度を活かした誘発脳電位や脳磁場の測定がこれまで多くの成果をもたらしてきた。しかしながら、刺激にタイムロックした加算平均を行う方法は時間的に広がりのある談話のような刺激を用いることが難しく、また多くの繰り返しを要するので計測に時間がかかるという問題点がある。これらの問題を解決するためにm系列変調法を開発した。m系列は情報通信の分野で信号の符号化に用いられる2値（1と0の）擬似乱数系列である。本方法では、m系列で決められるタイミングで刺激談話の一部を無音区間（ギャップ）に置き換え、代わりにギャップが挿入されたきれぎれの劣化音声を作成した。50%の情報が欠落した音声であっても、被験者にとって母語であれば内容の理解に大きな支障はない。この方法は、(1)連続刺激に適用でき、(2)短時間（談話理解では1分程度）で多くの誘発反応を収集できるため効率が高く、(3)ギャップの挿入タイミングの時定数が体動などの生体アーチファクトの時定数と大きく異なるため、アーチファクトに対する耐性が大きい、という特徴を備える。日本語とおよび日本語と音韻的に類似しているスペイン語談話をm系列で変調し、8名の日本語話者から劣化音声聴取時（各条件刺激提示時間約1分）に脳波を記録した。変調に用いたm系列と脳波の循環相互相関を求め独立成分分析意味理解特異成分を中心頭頂部優位の成分を潜時400ms以降に得た。また、fMRIの計測も行い、劣化音声聴取時の活動部位についても検討を行っている。本研究は H16年度 JST「脳科学と教育」のプロジェクトの一部として遂行された、理化学研究所、東京大学との共同研究である。

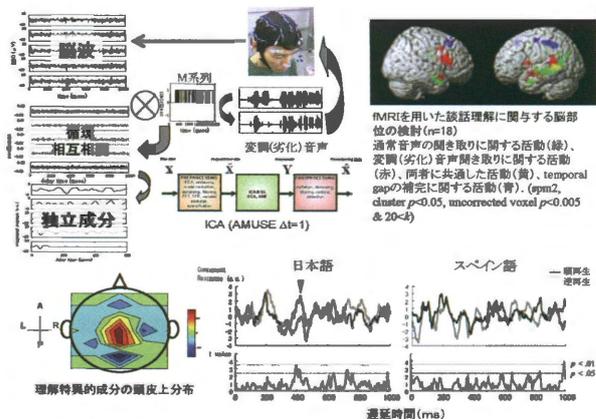


図 4.3.

3. 今後の研究の展望

脳科学研究教育センターに設置された球面型生体磁気計測装置を用いた MEG 計測が研究の中心になる。センターの教員や大学院生の研究、教育を促進するために、実習や

共同実験を行って異分野研究者との融合を測る。

高次機能に関する研究は、これまでの成果の上に、的を絞った計測を行う。具体的には、音の周波数、時間構造と誘起される MEG 反応の関係や、音楽的な要素により生じる知覚・認知とそれらのベースとなる脳活動を明らかにしていく。

言語環境と聴覚野の発達の関係は語学教育、とくに第2国語の教育法へのフィードバックを視野に入れながら MEG だけではなく EEG や語学的テストなどの行動解析を取り入れて、日本語環境にはない音と聴覚野の反応の関係を明らかにしていく。聴覚フィードバックは、発話機構の解明とともにいろいろな応用性をもっている。音声認知プロセスやヒヤリング学習に対する効果などを解析する予定である。

以上のように、量子計測研究分野では、SQUID による MEG 計測を中心として、ひとの脳科学を志向している。

## 4. 資料

### 4.1 学術論文等

- 1) M. Maruyama, T. Kobayashi, T. Karura and S. Kuriki: "Early behavior of optokinetic responses elicited by transparent motion stimuli during depth-based attention", *Exp. Brain Res.*, 151: 411-419 (2003)\*
- 2) M. Maruyama, T. Kobayashi, T. Karura and S. Kuriki: "Event-related potentials in a target discrimination task based on texture cue", *Systems and Computers in Japan*, 34: 34-43 (2003)\*
- 3) M. Matsuda, T. Otowa, T. Matuura, S. Kuriki, Y. Kawaguchi and K. Takahashi: "Fabrication and characterization of high-Tc SQUID magnetometer with damping resistance", *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 13: 853-856 (2003)\*
- 4) H. Aoyama, K. Kamada, H. Shirato, F. Takeuchi, S. Kuriki, Y. Iwasaki, K.: "Visualization of the corticospinal tract pathway using magnetic resonance axonography and magnetoencephalography for stereotactic irradiation planning of arteriovenous malformations", *Radiotherapy and Oncology*, 68: 27-32 (2003)\*
- 5) 松田瑞史、高橋篤司、栗城眞也: 「収束イオンビームを用いた YBCO 薄膜の超伝導制御」、電子情報通信学会技術研究報告, SCE2003-16: 15-18 (2003)
- 6) 川口洋平、栗城眞也、植杉克弘、徳本洋志、三上春樹、松田瑞史: 「高温超伝導薄膜への磁束侵入と SQUID のノイズ特性」、電子情報通信学会技術研究報告, SCE2003-22: 21-26 (2003)
- 7) 時田祥子、小林哲生、二川裕之、鄭址旭: 「fMRI による運動性多義図形の知覚交替に関わる脳活動の検討」、第18回生体・生理工学シンポジウム論文集、261-262 (2003)
- 8) 鄭址旭、小林哲生、栗城眞也: 「視覚的ターゲット認知課題遂行時におけるガンマ律動」、電子情報通信学会技術研究報告、HIP2003-81: 25-30 (2003)
- 9) 平田恵啓、M. Schulz, E. Altenmüller, T. Elbert, C. Pantev: 「顔面筋のジストニアを患う金管楽器奏者の触覚刺激に対する脳磁界反応」、電子情報通信学会技術報告, MBE2003: 33-37 (2003)
- 10) K. Kamada, Y. Sawamura, F. Takeuchi, K. Houkin, H. Kawaguchi, Y. Iwasaki and S. Kuriki: "Gradual recovery from dyslexia and related serial magnetoencephalographic changes in the Lexicosemantic centers afters after resection of a mesial temporal astrocytoma", *J. Neurosurg.*, 100: 1101-11067 (2004)\*
- 11) S. Kuriki, A. Hayashi, Y. Hirata, T. Naiki and K. Kawahara: "High-Tc SQUID magnetometer for measurements of heart-rate signal of small animals", *Chin. J. Phys.*, 42: 501-507 (2004)\*
- 12) S. Kuriki, Y. Kawaguchi, K. Takahashi and M. Matsuda: "Low-frequency flux noise in current-carrying high critical temperature superconducting films", *J. Appl. Phys.*, 96: 2768-2772 (2004)\*
- 13) 平田恵啓, M. Schulz, E. Altenmüller, T. Elbert and C. Pantev: "Sensory mapping of lip representation in brass musicians with embouchure dystonia", *Neuroreport*, 15: 815-818 (2004)\*
- 14) S. Kuriki, N. Isahai and A. Otsuka: "Spatiotemporal characteristics of the neural activities processing consonant/dissonant tones in melody", *Exp. Brain Res.*, 162: 46-55 (2004)\*
- 15) 平田恵啓、栗城眞也: 「音楽的刺激で生じる脳活動の MEG 計測」、電気学会マグネティックス研究会資料、MAG-04-136: 101-104 (2004)
- 16) 神田聡、太田圭亮、平田恵啓、栗城眞也: 「連続する楽音による聴覚誘発 MEG: 音楽経験との関係」、電子情報通信学会技術研究報告、MBE-4-104: 13-16 (2004)
- 17) K. Kamada, Y. Sawamura, F. Takeuchi, H. Kawaguchi, S. Kuriki, T. Todo, A. Morita, Y. Masutani, S. Aoki and T. Kirino: "Functional identification of the primary motor area by corticospinal tractography", *Operative Neurosurg*, 56: 98-109 (2005)\*
- 18) H. Kwon, S. Kuriki, J. Kim, Y. Lee, K. Kim, Y. Park and K. Nam: "MEG study on neural activities associated with syntactic and semantic violations in spoken Korean sentences", *Neurosci. Res.*, 51: 347-357 (2005)\*
- 19) A. Toyomura and T. Omori: "Auditory feedback control during a sentence-reading task: Effect of other's voice", *Acous. Sci. Technol.*, 26(4): 358-361 (2005)\*
- 20) 林 周、平田恵啓、栗城眞也: 「コイル型磁気遮蔽と電子差分を組み合わせた磁気ノイズ低減方法の提案」、日本応用磁気学会誌、29(4): 477-481 (2005)\*
- 21) 渡邊直輝、竹内文也、栗城眞也、萩原裕子: 「転位の起こる文を読解する時の MEG による脳活動解析」、電子情報通信学会技術研究報告、19: 33-36 (2005)
- 22) C. H. Im, C. L. Lee, H. K. Jung, Y. H. Lee and S. Kuriki:

“Magnetoencephalography cortical source imaging using spherical mapping”, *IEEE Trans. Magnetincs*, 41: 1984-1987 (2005)\*

- 23) S. Kuriki, S. Kanda and Y. Hirata: “Effects of musical experience on different components of MEG responses elicited by sequential piano-tones and chords.”, *J. Neurosci.*, 26(15): 4046-4053 (2006)\*
- 26) 大塚明香、長谷川寿一、栗城眞也: 「音楽の構造的聴取にかかわる脳磁界反応」, *行動科学*, 45(1): 9-19 (2006)\*
- 25) 竹内文也、鎌田恭輔、栗城眞也: 「視覚言語課題遂行に伴う脳磁界信号の時間-周波数解析」, *生体医工学*, 44(4) (2006)\*
- 26) 渡邊直輝、竹内文也、栗城眞也、萩原裕子: 「日本語複文読解時における統語処理のMEG計測」, *生体医工学*, 43: 631-637 (2006)\*
- 27) K. Kamada, F. Takeuchi, S. Kuriki, T. Todo, A. Morita and Y. Sawamura: “Dissociated expressive and receptive language functions on magneto-encephalography, functional magnetic resonance imaging, and amobarbital studies.”, *J. Neurosurg.*, 104(4): 598-607 (2006)\*
- 28) 大塚明香、鷲尾大輔、玉城祐二、栗城眞也、長谷川寿一: 「単一和音の連続聴取と和音進行列の聴取による聴覚性誘発脳磁界反応」, *日本生体磁気学会誌*, 19: 45-53 (2006)\*
- 29) 玉城 祐二、大塚明香、栗城眞也: 「調性システムに基づく和音進行列の聴取における終止感の評価」, 第21回生体生理工学シンポジウム論文集: 487-490 (2006)
- 30) H. Takeichi, S. Koyama, A. Matani and A. Cichocki: “Speech comprehension assessed by electroencephalography: a new method using m-sequence modulation”, *Neurosci. Res.*, 57(2): 314-318 (2007)\*
- 31) S. Kuriki, K. Ohta and S. Koyama: “Persistent Responsiveness of Long-Latency Auditory Cortical Activities in Response to Repeated Stimuli of Musical Timbre and Vowel Sounds.”, *Cerebral Cortex*, 2(8): 2725-2732 (2007)\*
- 32) K. Kamada, Y. Sawamura, F. Takeuchi, S. Kuriki, K. Kawai, A. Morita and T. Todo: “Expressive and receptive language areas determined by a non-invasive reliable method co-utilizing fMRI and MEG.”, *J. Neurosurgery*, 60(2): 296-306 (2007)\*
- 34) Toyomura A., Koyama S., Miyamaoto T., Terao A., Omori T., Murohashi H., Kuriki S.: “Neural correlates of auditory feedback control in human.”, *Neuroscience*, 146: 499-503 (2007).

#### 4.2 総説、解説、評論等

- 1) 栗城眞也、竹内文也: 「MEGによる高次脳機能解析」, 計測と制御, 42(5): 385-390 (2003)
- 2) 平田恵啓: 「MEG計測からみた音楽の聴覚皮質に与える効果」, 臨床神経生理学, 33(3): 107-113 (2005)
- 3) 栗城眞也、平田恵啓、竹内文也: 「MEGによる脳活動

の観測—時間窓を解した視聴覚高次機能の解析—」, 人工知能学会誌, 20: 322-330 (2005)

- 4) 小山幸子、軍司敦子、栗城眞也: 「言語音に対する脳磁場反応: 日米話者比較」, *TELECOM FRONTIER*, 45: 27-34 (2004)
- 5) 小山幸子、石井良平、竹市博臣、竹内文也、栗城眞也: 「言語活動と脳磁場: 事象関連脳磁場、空間フィルタ、Brain Computer Interface」, 日本生体磁気学会誌, 19: 1-21 (2006).
- 6) 関口貴裕、小山幸子: 「脳磁図 (MEG) による読みの脳内機構の探求」, 生理心理学と精神生理学, 23: 39-51 (2005).

#### 4.3 国際会議事録等に掲載された論文

- 1) S. Kanda, Y. Hirata and S. Kuriki: “Enhanced P2m Responses to Musical Tones in Musicians”, *Biomag 2004 Proceedings of the 14th International Conference on Biomagnetism*, 509-510 (2004)
- 2) S. Kuriki, Y. Kawaguchi, K. Takahashi and M. Matsuda: “Flux penetration into a narrow strip of high-Tc superconducting film”, *Proceedings of the EUCAS 2003 Conference*, 3182-3188 (2004)
- 3) M. Matsuda, A. Takahashi, H. Mikami and S. Kuriki: “Modification of superconductivity for YBCO films by ion bombardment process”, *Proceedings of the EUCAS 2003 Conference*, 3099-3105 (2004)
- 4) S. Kuriki, N. Watanabe, F. Takeuchi, H. Hagiwara and S. T. T: “Multi-Language Area Activities in Sentence Reading”, *Biomag 2004 Proceedings of the 14th International Conference on Biomagnetism*, 286-287 (2004)
- 5) H. Kwon, S. Kuriki, J. Kim, Y. Lee, K. Kim, Y. Park and K. Nam: “Parallel processing of syntax and semantics in distinct cortical regions during auditory sentence comprehension revealed by MEG”, *Proceedings of KIT International Symposium on Brain and Language 2004*, 25-26 (2004)
- 6) S. Kuriki, N. Watanabe and S. Kanda: “Estimation of multiple current dipoles of MEG responses using L1-norm method”, *Proc. 6th Asian-Pacific Conference on Medical and Biological Engineering*, 8: 3-85 (2005)
- 7) S. Kuriki, F. Takeuchi, Y. Hirata, S. Koyama and W. Nakamura: “Study of Magnetic field responses from brain using SQUIDS”, *Proceedings of 205 Japan-Taiwan Symposium on Superconducting Electronics*: 75-77 (2005)
- 8) W. Nakamura, S. Koyama, S. Kuriki and Y. Inoue: “Smoothness constraint for the estimation of current distribution from EEG/MEG data.”, *Proceedings of 2006 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2: 1072-1075 (2006)
- 9) W. Nakamura, S. Koyama, S. Kuriki and Y. Inoue: “Estimation of current density distributions from EEG/MEG data by maximizing sparseness of spatial difference.”,

#### 4.4 著書

- 1) S. Kuriki, S. Hirano, A. Maeda and T. Kiss: "Vortices in High-Tc Superconductors", Topics in Applied Physics Vol. 91, *Vortex Electronics*, edited T. Kobayashi, H. Hayakawa and M. Tonouchi (Springer, Tokyo 2003) pp. 5-51.
- 2) K. Enpuku, S. Kuriki and S. Tanaka: "High-Tc SQUIDs", Topics in Applied Physics Vol. 91, *Vortex Electronics*, edited T. Kobayashi, H. Hayakawa and M. Tonouchi (Springer, Tokyo 2003) pp. 141-182.

#### 4.7 講演

##### i) 学会

- 1) 栗城眞也: 「MEG 高次脳機能解析一言語機能探索のための実験方法-」、日本生体磁気学会第18回大会、池田 (2003-05)
- 2) 栗城眞也: 「MEG 高次脳機能解析一言語機能探索のための実験方法-」、日本生体磁気学会第18回大会、池田 (2003-05)
- 3) 林 周、平田恵啓、栗城眞也: 「誘導コイルを用いた磁気遮蔽方法」、第18回日本生体磁気学会大会、池田 (2003-05)
- 4) 栗城眞也、竹内文也: 「MEG イメージングにおける脳活動分布解析」、日本エム・イー学会大会 OS4オーガナイズドセッション、札幌 (2003-06)
- 5) 神田聡、平田恵啓、栗城眞也: 「音楽による聴覚 MEG 反応: 音楽経験との関係」、第42回日本エム・イー学会大会、札幌 (2003-06)
- 6) 栗城眞也、竹内文也: 「MEG イメージングにおける脳活動分布解析」、日本エム・イー学会大会 OS4オーガナイズドセッション、札幌 (2003-06)
- 7) 鄭址旭、小林哲生、二川 裕之、栗城眞也: 「テクスチャーに基づく標的の認知に関わる脳活動の fMRI による検討」、日本エム・イー学会大会、札幌 (2003-06)
- 8) 竹内文也、栗城眞也: 「文章理解に関連した脳磁界応答の電流分布解析」、日本エム・イー学会大会、札幌 (2003-06)
- 9) S. Kuriki, T. Mishima, F. Takeuchi, H. Hagiwara and K. Aiji: "MEG study of brain areas involved in syntactic processing of Japanese complex sentences", 6th IBRO World Congress of Neuroscience, Praha, Czechoslovakia (2003-07)
- 10) K. Kamada, F. Takeuchi, S. Takikawa and S. Kuriki: "Swift identification of the primary motor area using magnetic resonance axonography", 6th IBRO World Congress of Neuroscience, Praha, Czechoslovakia (2003-07)
- 11) F. Takeuchi and S. Kuriki: "MEG responses for semantic and Grammatical processing of Japanese sentences", 6th IBRO World Congress of Neuroscience, Praha, Che-

koslovakia (2003-07)

- 12) 林 周、平田恵啓、内貴猛、河原剛一、栗城眞也: 「小動物用 MCG 計測システムを用いた自律神経活動の解析」、電子情報通信学会ソサイエティ大会、新潟 (2003-09)
- 13) 神田聡、平田恵啓、栗城眞也: 「連続する楽音によって誘発される脳磁界の長潜時成分」、日本エム・イー学会北海道支部大会、札幌 (2003-10)
- 14) 川口洋平、三上春樹、中村貫人、栗城眞也、松田瑞史: 「非弱結合フラックスダムをもつ直結型 SQUID の動作解析」、応用物理学会大会、東京 (2004-03)
- 15) 武田啓司、中村貴義、川口洋平、栗城眞也: 「高温超伝導 DC マイクロ SQUID 磁束計の試作」、日本物理学会第59回年次大会、福岡 (2004-03)
- 16) 神田聡、平田恵啓、栗城眞也: 「音楽経験者における聴覚神経活動」、ヒト脳機能マッピング学会、東京 (2004-03)
- 17) 鄭址旭、小林哲生、時田祥子、栗城眞也: 「視覚的群化タスク遂行に関わる脳内プロセスの事象関連 fMRI による検討」、ヒト脳機能マッピング学会、東京 (2004-03)
- 18) S. Koyama: "The Remains of Infant Days: Auditory Cortex Responses to Aural Speech in Proficient Late English Learners." Cognitive Neuroscience Annual Meeting, San Francisco, USA (2004-04)
- 19) 小山幸子: 「語音に対する聴覚野の反応: 脳磁場を用いた日米比較」、日本エムイー学会北海道支部第25回 ME 研究会、旭川 (2004-4)
- 20) S. Koyama: "Cortical Magnetic Responses for Native and Non-Native Speech Sounds: MMNm induced by English/r/ and /l/", The 18th International Congress on Acoustics, Symposium, Kyoto, Japan (2004-04)
- 21) 竹内文也、鎌田恭輔、栗城眞也、川口秀明: 「側頭葉病変に伴う slow Auditory Evoked Field の周波数解析」、第43回日本 ME 学会、金沢 (2004-05)
- 22) H. Kwon, J. M. Kim, K. Kim, Y. H. Lee, Y. Park and S. Kuriki: 「Grand average of MEG data measured at different sensor positions」、第19回日本生体磁気学会大会、徳島、Japan (2004-06)
- 23) 神田聡、平田恵啓、栗城眞也: 「楽音による誘発される長潜時聴覚 MEG 反応」、第19回日本生体磁気学会大会、徳島 (2004-06)
- 24) 竹内文也、鎌田恭輔、栗城眞也、川口秀明: 「全頭型 SQUID 磁束計におけるうつぶせ姿勢による MEG 計測」、第19回日本生体磁気学会大会、徳島 (2004-06)
- 25) 鎌田恭輔、竹内文也、栗城眞也、森田明夫、桐野高明: 「脳磁図と機能磁気共鳴画像による言語分布の評価」、第19回日本生体磁気学会大会、徳島 (2004-06)
- 26) 時田祥子、小林哲生、鄭址旭、栗城眞也: 「運動錯視図形観察時における内因的知覚交替に関わる脳活動の fMRI 計測」、第9回認知神経科学学会、東京 (2004-07)
- 27) S. Kanda, Y. Hirata and S. Kuriki: "Enhanced P2m Re-

- sponses to Musical Tones in Musicians”, Biomag 2004, Boston, USA (2004-08)
- 28) H. Kwon, J. Kim, Y. Lee, K. Kim, Y. Park, K. Nam and S. Kuriki: “Auditory evoked field responses in the left hemisphere to morphosyntactic violation in Korean sentence”, Biomag 2004, Boston, USA (2004-08)
- 29) S. Kuriki, N. Watanabe, F. Takeuchi, H. Hagiwara and T. S.: “Multi Language Area Activities in Sentence Reading”, Biomag 2004, Boston, USA (2004-08)
- 30) L. Chany, I. Chang-Hwan, J. Hyun-Kyo, L. Yong-Ho and S. Kuriki: “Source Space Reduction for MEG Source Imaging Using Cortical Surface Inflation”, Biomag 2004, Boston, USA (2004-08)
- 31) K. Kamada, F. Takeuchi, S. Kuriki, A. Morita and T. Kirino: “Identification of the eloquent motor cortex using magnetic resonance axonography, MEG and fMRI”, Biomag 2004, Boston, USA (2004-08)
- 32) F. Takeuchi, K. Kamada, S. Kuriki and H. Kawaguchi: “MEG responses from the frontal regions using a whole head SQUID system”, Biomag 2004, Boston, USA (2004-08)
- 33) 小山幸子, 山田玲子, Roberts T., Houde J, Merzenich M.: 「語音によって誘発された脳磁場反応に対する幼少時の言語環境の影響」、第27回日本神経科学大会、大阪 (2004-09)
- 34) 林 周、平田恵啓、栗城眞也: 「複合型磁気ノイズ低減方法の提案」、第28回日本応用磁気学会学術講演会、沖縄 (2004-09)
- 35) 武田啓司、中村貴義、川口洋平、栗城眞也: 「高温超伝導体 DC マイクロ SQUID 磁束計の試作 II」、日本物理学会2004年秋季大会、青森 (2004-09)
- 36) 渡邊直輝、小山幸子、竹内文也、栗城眞也、萩原裕子: 「文法処理に関わる脳活動の解析」、日本エム・イー学会北海道支部大会、札幌 (2004-09)
- 37) 栗城眞也、神田聡、平田恵啓、小山幸子: 「楽音に対する大脳皮質応答: 音楽経験との関係」、第27回日本神経科学大会、大阪 (2004-09)
- 38) 中村貫人、三上春樹、松田瑞史、栗城眞也: 「高温超伝導量子干渉素子のアレイ化に関する検討」、電気関係学会北海道支部連合大会、函館 (2004-10)
- 39) 太田圭亮、神田聡、平田恵啓、栗城眞也: 「楽音により誘発される MEG 聴覚応答の信号源解析」、電気関係学会北海道支部連合大会、函館 (2004-10)
- 40) 渡邊直輝、竹内文也、栗城眞也、小山幸子、萩原裕子: 「語順を変えた文章を解釈するときの脳活動の解析」、電気関係学会北海道支部連合大会、函館 (2004-10)
- 41) 林幹彦、栗城眞也: 「モバイル SQUID の試作」、電気関係学会北海道支部連合大会、函館 (2004-10)
- 42) K. Takeda, T. Nakamura, Y. Kawaguchi and S. Kuriki: “Characteristics of  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  dc SQUID with Bicrystal Grain-Boundary Junctions”, ICMM 2004 (International Conference on Molecule-based Magnets), Tsukuba, Japan (2004-10)
- 43) M. Matsuda, K. Nakamura, H. Mikami and S. Kuriki: “Fabrication of magnetometers with multiple-SQUID arrays”, Applied Superconductivity Conference, Jacksonville, USA (2004-10)
- 44) 松田瑞史、中村貫人、三上春樹、栗城眞也: 「高温超伝導量子干渉素子のアレイ化に関する検討」、2004秋季応用物理学会学術講演会、仙台 (2004-10)
- 45) 平田恵啓: 「MEG 計測からみた音楽の聴覚皮質に与える効果」、第34回日本臨床神経生理学学会学術大会、東京都 (2004-11)
- 46) 小山幸子: 「語音に対する聴覚野の誘発脳磁場: 日米比較 “Psychologist のための ERP セミナー”」、第34回日本臨床神経生理学学会学術大会、東京 (2004-11)
- 47) 武田啓司、中村貴義、中村貫人、栗城眞也: 「高温超伝導 DC マイクロ SQUID の素子特性と磁束計の試作」、日本物理学会第60回年次大会、東京 (2005-03)
- 48) 渡邊直輝、神田聡、栗城眞也: 「高次脳機能計測における複数信号源推定」、第7回日本ヒト脳機能マッピング学会、東京 (2005-03)
- 49) 中村和歌子、小山幸子、栗城眞也: 「脳磁図からの電流分布推定におけるなめらかさの評価関数」、第7回日本ヒト脳機能マッピング学会、東京 (2005-03)
- 50) 小山幸子: 「言語音(/ra/ vs. /la/)によって誘発された聴覚誘発脳磁場: 日米話者比較」、第44回日本生体医工学会大会、つくば (2005-04)
- 51) S. Kuriki, N. Watanabe and S. Kanda: “Estimation of multiple current dipoles of MEG responses using L1-norm method”, 6th Asian-Pacific Conference on Medical and Biological Engineering, Tsukuba (2005-04)
- 52) 渡邊直輝、神田聡、栗城眞也: 「L1ノルム法による MEG データからの複数信号源推定」、第20回日本生体磁気学会、豊中 (2005-07)
- 53) 小山幸子: 「脳磁場で探る音声知覚の神経基盤」、第20回日本生体磁気学会大会、大阪 (2005-07)
- 54) 渡邊直輝、神田聡、栗城眞也: 「L1ノルム法による MEG データからの複数信号源推定」、第20回日本生体磁気学会、豊中 (2005-07)
- 55) 豊村暁、大森隆司、小山幸子: 「変換聴覚フィードバックを用いた発話制御と聴覚の相互作用の分析」、日本音響学会2005年秋季研究発表会、仙台 (2005-09)
- 56) 武田啓司、中村貴義、栗城眞也: 「微小磁性体計側用高温超伝導 dc マイクロ SQUID 磁束計の試作」、日本物理学会2005年度秋季大会、京都 (2005-09)
- 57) 小山幸子: 「脳波・脳磁場を用いた知覚・認知過程の検討」、日本心理学会第69回大会、東京 (2005-09)
- 58) 小山幸子: 「音声刺激に対する事象関連脳磁場・電位: /l/r/と長母音」、第35回日本臨床神経生理学学会学術大会、福岡 (2005-11)
- 59) H. Takeichi and S. Koyama: “The effect of three-dimensional surface curvature on visual completion”, Society for Neuroscience 35th Annual meeting, Washington DC, USA

- (2005-11)
- 60) 豊村暁、宮本環、寺尾敦、大森隆司、室橋春光、小山幸子、栗城眞也：「ピッチの聴覚フィードバック制御機構の検討」、第8回日本ヒト脳機能マッピング学会、岡崎 (2006-03)
- 61) S. Koyama, A. Toyomaki, H. Matsumoto, M. Matsui, H. Takeichi and T. Morotomi: “Auditory Event-related Brain Potentials Elicited By Short Gaps Embedded In A Continuous Sound And By Brief Tones: A Developmental Study”, Cognitive Neuroscience Society 2006 Annual Meeting , San Francisco , USA (2006-04)
- 62) A. Gunji, S. Koyama, A. Senju, T. Sekiguchi, Y. Tojo and M. Kaga: “Auditory Feedback In Children With Autism: A reduced Lombard Effect”, Cognitive Neuroscience Society 2006 Annual Meeting , San Francisco , USA (2006-04)
- 63) H. Takeichi and S. Koyama: “A Study Of Scene Perception And Perceptual Interaction by Multiple Bistability: Shading-Lighting”, Cognitive Neuroscience Society 2006 Annual Meeting , San Francisco, USA (2006-04)
- 64) A. Toyomura, S. Koyama, T. Omori and S. Kuriki: “Frequency Altered Feedback Effects In Non-stutters”, Cognitive Neuroscience Society 2006 Annual Meeting , San Francisco, USA (2006-04)
- 65) W. Nakamura, S. Koyama, S. Kuriki and Y. Inouye: “Estimation of current density distributions from EEG/MEG data by maximizing sparseness of spatial difference”, 2006 IEEE International Symposium on Circuits and Systems , Island of Kos , Greece (2006-05)
- 66) 松本秀彦、諸富隆、豊巻敦人、小山幸子、竹市博臣：「連続音呈示中における無音部に対する聴覚処理過程 —小学生と成人との比較—」、第24回日本生理心理学会大会、広島 (2006-05)
- 67) 太田圭亮、小山幸子、栗城眞也：「連続音呈示に対する長潜時聴覚誘発 MEG 反応の刺激音依存性」、第45回日本生体医工学会大会、福岡 (2006-05)
- 68) N. Watanabe, F. Takeuchi, S. Kuriki and H. Hagiwara: “Analysis of brain activities by MEG during reading of complex sentences”, 12th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, Florence , Italy (2006-06)
- 69) 平田恵啓、栗城眞也：「音高想起に伴う MEG 活動の周波数解析」、第21回日本生体磁気学会大会、東京都 (2006-06)
- 70) 大塚明香、長谷川寿一、栗城眞也：「音楽の構造的聴取にかかわる脳磁界反応」、生体磁気学会大会、東京 (2006-06)
- 71) 高松亮介、栗城眞也：「マグネトメータ型 MEG 装置における50Hz 環境ノイズの除去」、第21回日本生体磁気学会大会、東京 (2006-06)
- 72) 小川昭利、小山幸子、大森隆司、諸富隆：「ナイーブベイズ法による聴覚誘発電位からの刺激時間の識別」、第29回日本神経科学大会、京都 (2006-07)
- 73) H. Takeichi, S. Koyama, A. Matani, C. Andrzej: “An independent component analysis of EEG response to spoken sentence modulated by m-sequence”, 第29回日本神経科学大会、京都 (2006-07)
- 74) A. Gunji, S. Koyama, A. Senju, T. Sekiguchi, Y. Tojo, M. Kaga: “Auditory Feedback in Children with Autism: A Reduced Lombard Effect”, 第29回日本神経科学大会、京都 (2006-07)
- 75) A. Toyomura, T. Miyamoto, A. Terao, S. Koyama, T. Omori, H. Murohashi, S. Kuriki: “An fMRI study on pitch control of voice using transformed auditory feedback method”, 第29回日本神経科学大会、京都 (2006-07)
- 76) S. Koyama, Y. Toyosawa, F. Takeuchi, M. Matsui, S. Kuriki: “A magneto encephalographic study on vowel processing in Japanese speakers”, 第29回日本神経科学大会、京都 (2006-07)
- 77) Ogawa Akitoshi, Koyama Sachiko, Omori Takashi, Morotomi Takashi: “Auditory ERPs can be identified as corresponding stimuli by classifier with Naive Bayes method”, 第29回日本神経科学大会、京都 (2006-07)
- 78) W. Nakamura, S. Koyama, S. Kuriki and Y. Inouye: “Smoothness constraint for the estimation of current distribution from EEG/MEG data.”, 2006 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing , Toulouse, France (2006-05)
- 79) A. Toyomura, S. Koyama, T. Miyamoto, T. Omori, H. Murohashi and S. Kuriki: “A functional MRI study on auditory feedback control of pitch”, 4th Joint Meeting Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, Hawaii, USA (2006-11)
- 80) S. Kuriki, K. Ohta and S. Koyama: “Responsiveness of the auditory cortex to repeated stimuli of musical timbre and speech sounds”, 15th International Conference on Biomagnetism, Vancouver , USA (2006-08)
- 81) S. Koyama, Y. Toyosawa, F. Tekeuchi, M. Matsui and S. Kuriki: “An Inter-Stimulus Interval Effect on an Early part of slow Field Differed between Native and non-Native Vowels in Japanese Speakers”, Biomag 2006 - 15th International Conference on Biomagnetism, Vancouver, Canada (2006-08)
- 82) F. Takeuchi, K. Kamada and S. Kuriki: “Time-frequency analysis of magnetoencephalographic signals during a visual language task”, 15th International Conference on Biomagnetism, Vancouver, Canada (2006-08)
- 83) N. Watanabe, F. Takeuchi, S. Kuriki and H. Hagiwara: “Brain activities involved in syntactic processing of Japanese sentences”, 15th International Conference on Biomagnetism, Vancouver, Canada (2006-08)
- 84) S. Hirano, Y. Inada, H. Kuroyanagi, K. Shibata, E. Matsumoto, A. Saito, K. Aizawa, M. Matsuda, S. Kuriki and S. Oshima: “SQUID nondestructive testing system with vibrating normal pick-up coil.”, 2006 Applied Supercon-

- ductivity Conference, Seattle, USA (2006-08)
- 85) M. Matsuda, T. Kataishi and S. Kuriki: "SQUID operation at a constant voltage." 2006 Applied Superconductivity Conference, Seattle, USA (2006-08)
- 86) A. Toyomura, S. Koyama, T. Miyamoto, A. Terao, T. Omori and S. Kuriki: "Neural Correlates of Audio-Vocal Feedback in Human", International Conference on the Auditory Cortex, Grantham, UK (2006-09)
- 87) Xu Yizhong, 豊村暁、小山幸子、栗城眞也: 「Speech dysfluency under frequency modulated feedback in tone (Chinese) and non-tone (Japanese) language」、日本音響学会 2006年 秋季研究発表会、金沢 (2006-09)
- 88) 豊村暁、小山幸子、宮本環、寺尾敦、大森隆司、栗城眞也: 「聴覚フィードバック制御時の島皮質の活動」、日本音響学会 2006 秋季研究発表会、金沢(2006-09)
- 89) 竹市博臣、Cichocki Andrzej、小山幸子、眞溪歩: 「Speech comprehension assessed by electroencephalography with m-sequence technique」、BrainIT 2006、北九州 (2006-09)
- 90) A. Ogawa, S. Koyama, A. Terao, A. Toyomaki, H. Takeichi and T. Omori: "A new analysis technique for event-related brain potential waveforms using Naïve Bayes method", NEUROSCIENCE2006, Atlanta, USA (2006-10)
- 91) S. Koyama, H. Takeichi, A. Matani and A. Cichocki: "Speech comprehension assessed by electroencephalography: a new method using m-sequence modulation", NEUROSCIENCE 2006, Atlanta, USA (2006-10)
- 92) H. Takeichi, S. Koyama, M. Kimura, H. Matsumoto, T. Morotomi, Y. Inoue and M. Kitazaki: "Visually evoked brain potentials associated with volumetric completion", NEUROSCIENCE 2006, Atlanta, USA (2006-10)
- 93) 松本秀彦、諸富隆、竹市博臣、豊巻敦人、小山幸子: 「音の持続呈示中の無音部に対する中枢聴覚処理の発達的特徴」、第36回日本臨床神経生理学学会・学術大会、横浜 (2006-11)
- 94) 豊巻敦人、豊澤悠子、竹内文也、竹市博臣、小山幸子、栗城眞也: 「純音に挿入された時間的 gap に対する聴覚誘発反応」、第36回日本臨床神経生理学学会・学術大会、横浜 (2006-11)
- 95) 松本秀彦、諸富隆、竹市博臣、豊巻敦人、小山幸子: 「連続音中の短い無音部に対する中枢聴覚処理-ERP を用いた発達的变化の検討」、日本心理学会第70回大会、福岡 (2006-11)
- 96) 竹市博臣、小山幸子、木村元洋、松本秀彦、井上康之、北崎充晃、諸富隆: 「視覚誘発電位を用いた三次元補完の検討」、日本心理学会第70回大会、福岡 (2006-11)
- 97) 大上和哉、向館健、片石智之、松田瑞史、栗城眞也: 「生体・バイオ計測用モバイル SQUID の作製」、春季 第54 回応用物理学関係連合講演会、神奈川 (2007-03)
- 98) 高松亮介、平田恵啓、栗城眞也: 「言語性課題遂行時における自発脳磁界の解析」、第9回日本ヒト脳機能マッピング学会大会、秋田 (2007-03)
- 99) 豊村暁、小山幸子、栗城眞也、宮本環、寺尾敦: 「聴覚における自己と他者、知人:fMRI 研究」、日本音響学会 2007年春季研究発表会、東京 (2007-03)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) S. Kuriki: "Magnetoencephalography in Brain Research -Toward Higher Functions-", MEG (Magnetoencephalogram) Symposium, Seoul, Korea (2003-05)
- 2) 平田恵啓、M. Schulz, E. Altenmüller, T. Elbert, C. Pantev: 「顔面筋のジストニアを患う金管楽器奏者の触覚刺激に対する脳磁界反応」、電子情報通信学会 ME とサイバネティックス研究会、札幌 (2003-06)
- 3) 栗城眞也: 「SQUID 磁束計の開発と生体磁気計測」、岩手県地域結集型共同研究事業「SQUID 研究会」、盛岡 (2003-06)
- 4) 小林哲生: 「視覚の脳機能イメージングから意識へ」、作業療法関連科学研究会学会特別講演、金沢 (2003-06)
- 5) 松田瑞史、高橋篤志、栗城眞也: 「集積イオンビームを用いた YBCO 薄膜の超伝導制御」、電子情報通信学会超伝導エレクトロニクス研究会、松島 (2003-07)
- 6) 川口洋平、栗城眞也、植杉克弘、徳本洋志、三上春樹、松田瑞史: 「高温超伝導薄膜への磁束侵入と SQUID のノイズ特性」、電子情報通信学会超伝導エレクトロニクス研究会、神戸 (2003-10)
- 7) 鄭址旭、小林哲生、栗城眞也: 「視覚的ターゲット認知課題遂行時におけるガンマ律動」、電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会、仙台 (2003-12)
- 8) A. Hayashi, Y. Hirata, S. Kuriki, T. Naiki and K. Kawahara: "A SQUID Magnetometer for small animal experiment", The 5th RIES-Hokudai Symposium on Advanced Nanoscience, Sapporo, Japan (2003-12)
- 9) 平田恵啓、栗城眞也: 「音楽的刺激で生じる脳活動の MEG 計測」、電気学会マグネティックス研究会、狛江 (2004-07)
- 10) 中村和歌子: 「脳磁図からの電流分布推定における活動領域の広がりへの推定」、日本学術振興会超伝導エレクトロニクス第146委員会高性能 SQUID システム分科会第60回研究会、東京 (2004-10)
- 11) 中村和歌子: 「脳磁図からの電流分布推定におけるなめらかさの評価関数」、21世紀の診断工学とその周辺、東京 (2004-10)
- 12) 神田聡、太田圭亮、平田恵啓、栗城眞也: 「連続する楽音による聴覚誘発 MEG: 音楽経験との関係」、ME とバイオサイバネティックス研究会、仙台 (2004-11)
- 13) H. Kwon, S. Kuriki, J. Kim, Y. Lee, K. Kim, Y. Park and K. Nam: "Parallel processing of syntax and semantics in distinct cortical regions during auditory sentence comprehension revealed by MEG", KIT International Symposium on Brain and Language, 金沢, Japan (2004-12)
- 14) S. Kuriki, F. Takeuchi, Y. Hirata, S. Koyama and W. Nakamura: "Study of magnetic field responses from brain using SQUIDS: system Development and MEG measure-

- ments”, 205 Japan-Taiwan Symposium on Superconducting Electronics, 札幌, Japan (2005-02)
- 15) 渡邊直輝、竹内文也、栗城眞也、萩原裕子：「転位の起こる文を読解する時のMEGによる脳活動の解析」、MEとバイオサイバネティクス研究会、札幌 (2005-06)
  - 16) 平田恵啓：「音楽家の感覚野と脳磁界計測」、第20回生体・生理工学シンポジウム、東京都 (2005-09)
  - 17) 渡邊直輝、竹内文也、栗城眞也、萩原裕子：「日本語複文読解時における統語処理のMEG計測」、生体医工学シンポジウム、吹田 (2005-09)
  - 18) S. Kuriki, N. Watanabe, H. Kwon and Y. H. Lee: “Estimation of current dipole of MEG responses”, International Workshop on Bio-magnetism, Taipei, 台湾 (2005-10)
  - 19) 平田恵啓、栗城眞也：「音高想起課題遂行時の脳磁界の時空間解析」、第1回 複合医工学シンポジウム、京都市 (2006-05)
  - 20) 平田恵啓、栗城眞也：「音高想起課題遂行時の脳磁界の時空間解析」、第1回複合医工学シンポジウム、京都 (2006-05)
  - 21) 小山幸子：「声のピッチ(高さ)のフィードバック制御機構の検討」、北海道大学大学院文学研究科 魅力ある大学院教育イニシアティブ 人間の統合的理解のための教育拠点 第8回ワークショップ 音楽と言語：普遍性と文化固有性、札幌 (2006-09)
  - 22) 平田恵啓、栗城眞也：「音符刺激によって生じる脳活動」、生体医工学シンポジウム2006、新潟 (2006-09)
  - 23) 栗城眞也：「読文時の統語処理を反映する脳活動の探索：MEGによる時空間解析」、シンポジウム「言語学と脳科学の実りある連携にむけて」、東京 (2006-09)
  - 24) 栗城眞也：「音楽や声を聴く脳のはたらき：ニューロイメージング研究」、東京電機大学研究所合同研究発表会、鳩山 (2006-10)
  - 25) 玉城祐二、大塚明香、栗城眞也：「調性システムに基づく和音進行列の聴取における終止感の評価」、生体生理工学シンポジウム、鹿児島 (2006-11)
  - 26) 高松亮介、平田恵啓、川勝真喜、栗城眞也：「言語性課題遂行時における自発脳磁界の解析」、第7回脳磁場ニューロイメージング研究会、岡崎 (2006-12)
  - 27) 鷺尾大輔、栗城眞也：「聴覚誘発MEG応答の刺激依存性 - 刺激音の周期的構造による影響」、第7回脳磁場ニューロイメージング研究会、岡崎 (2006-12)
  - 28) 栗城眞也：「言語脳活動の計測と解析法」、第7回脳磁場ニューロイメージング研究会、岡崎 (2006-12)
  - 29) 竹市博臣、Cichocki Andrzej、小山幸子、松本秀彦、諸富隆：「Assessment of Speech Comprehension: Applications of M-Sequence Modulation and Independent Component Analysis to Electroencephalography」, 10th Tamagawa-Riken Dynamic Brain Forum -DBF2007-, 白馬 (2007-03)
  - 30) 豊村暁、小山幸子、宮本環、寺尾敦、大森隆司、栗城眞也：「Neural Bases of Audio-Vocal Feedback in Human」, 10th Tamagawa-Riken Dynamic Brain Forum -DBF2007-, 白馬 (2007-03)
- iii) **コロキウム・セミナー等・その他**
- 1) 栗城眞也：「磁場でみる脳のはたらき 超伝導と脳科学」、世界脳週間「高校生のための脳科学」、札幌 (2003-04)
  - 2) 栗城眞也：「磁場で観察する脳の活動」、札幌北高校SSH事業 授業シリーズ「生命と情報」、札幌 (2003-07)
- 4.8 シンポジウムの開催** (組織者名、シンポジウム名、参加人数、開催場所、開催期間)
- 1) 赤澤堅造、栗城眞也：生体医工学シンポジウム 2003 (100名、北海道大学 (札幌)、2003年9月5日～2003年9月6日)
  - 2) S. Kuriki: “2005Japan-Taiwan Symposium on Superconductive Electronics”、50名、Tenjin-yama House Conference Hall, Hokkaido University (Sapporo) (2005年2月9日～2005年2月11日)
  - 3) 赤澤堅造、栗城眞也：「生体医工学シンポジウム2004」、100名、北海道大学 (札幌) (2004年9月5日～2004年9月6日)
  - 4) 栗城眞也：超伝導技術シンポジウム、東京コンファレンスセンター飯田橋 (東京)、100名、2006年4月21日
  - 5) 栗城眞也：第4回北海道大学脳科学研究教育センターシンポジウム「脳可塑性の最前線」、120名、北海道大学 (札幌) 2006年12月12日
  - 6) 栗城眞也、太田信廣：International Symposium for the Promotion of Academic Exchange、50名、北海道大学 (札幌) 2007年3月22日
- 4.9 共同研究** (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- a. 所内共同研究**
- 1) 栗城眞也、笹木敬司、徳本洋志、三澤弘明 (電子科学研究所)「国際連携締結のためのプロジェクト研究」2006～2007年度：本研究所はすでにヨーロッパの大学と部局間協定を結んでいる。今後の発展のためには、近隣アジア諸国でポテンシャルの高い部局との連携を強めていく必要がある。また、研究所が標榜する研究領域と関係する研究内容に関連した連携が最適である。以上の背景のもとに、このプロジェクトでは国立台湾師範大学の光電科技研究所との研究所間協定の締結を目的とする。
- c. 民間等との共同研究**
- 1) 栗城眞也、平田恵啓、竹内文也、北飯圭 (NEC ソフト株式会社)「生体計測の基礎的研究」2003年度：人間工学に基づいたマンマシンインタフェースを構築するため、生体計測の基礎的研究および、脳磁界計測システム、心臓磁界計測システム等の周辺技術の開発研究を行う
- e. その他**
- 1) 栗城眞也、神谷温之、室橋晴光、渡辺雅彦、南雅文、山内康一郎 (北海道大学重点配分経費)「脳の可塑性を中心とする脳科学研究教育基盤の構築」2006年度：脳

の可塑性に起因する広範囲な問題にアプローチするため、脳科学研究教育センターの関連する教員を中心にネットワークを形成し、分子、細胞、脳、個体レベルの多方面から脳科学研究と大学院教育を推進する基盤を構築する。

#### 4.10 予算獲得状況

##### a. 科学研究費補助金（研究代表者、分類名、研究課題、期間）

- 1) 栗城眞也、基盤研究 B(1)、脳内活動源解析ツールの開発と階層的言語情報処理機構の探索、2003～2005年度
- 2) 竹内文也、文部科学省科学研究費補助金 基盤研究 C(2)、磁気的脳機能イメージングにみられるヒト前頭における言語機能、2003～2004年度
- 3) 小山幸子、基盤研究 C (2)、脳磁場を指標とした言語音に対する聴覚野の活動の検討、2004～2005年
- 4) 小山幸子、特定領域研究「脳の高次機能学」、聴覚野におけるリアルタイム音声言語（談話）処理の脳磁場を用いた検討、2005年度

##### f. その他（研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、研究内容）

- 1) 小山幸子、JST（社会技術研究機構）：社会技術研究システム・公募型プログラム 研究領域「脳科学と教育」タイプ I 「音声言語知覚機構の解明と英語教育法への展開」 2004～2007年

#### 4.11 受賞

- 1) 渡邊直輝、竹内文也、栗城眞也、萩原裕子：生体医工学シンポジウムベストリサーチアワード「日本語複文読解時における統語処理の MEG 計測」（日本生体医工学会）2006年9月
- 2) 栗城眞也：電子情報通信学会フェロー「超伝導センサの開発と磁気計測応用に関する先駆的研究」（電子情報通信学会）2006年9月

#### 4.12 社会教育活動

##### a. 公的機関の委員

- 1) 栗城眞也：日本学術振興会第146委員会運営委員会運営委員（2003年5月1日～現在）
- 2) 栗城眞也：日本学術振興会第146委員会委員長（2005年4月1日～現在）

##### b. 国内外の学会の役職

- 1) 栗城眞也：日本エムイー（生体医工）学会教育技術委員会委員（2003年4月1日～現在）
- 2) 栗城眞也：日本エムイー（生体医工）学会評議委員（2003年4月1日～現在）
- 3) 栗城眞也：電気学会論文委員会委員（2003年4月1日～現在）
- 4) 小林哲生：日本エムイー学会第42回大会実行委員（2002年10月1日～2003年6月5日）
- 5) 小林哲生：日本人間工学会評議員（2003年4月1日～現在）

6) 小林哲生：日本人間工学会支部幹事（2003年4月1日～現在）

7) 小林哲生：日本脳電磁図トポグラフィ研究会評議員（2003年4月1日～現在）

8) 小林哲生：第2回釧路ニューロサイエンスワークショップ実行会委員（2003年4月1日～2003年7月5日）

9) 小山幸子：日本臨床神経生理学会評議員（2003年7月10日～現在）

10) 平田恵啓：日本エム・イー学会北海道支部幹事（2003年4月1日～現在）

11) 平田恵啓：生体医工学シンポジウム2003 組織委員（2003年4月1日～2004年3月31日）

12) 栗城眞也：電子情報通信学会超伝導エレクトロニクス研究専門委員会・委員長（2003年5月1日～2005年4月30日）

13) 栗城眞也：日本エムイー学北海道支部・支部長（2003年4月1日～2005年3月31日）

14) 栗城眞也：日本生体磁気学会、会長，理事（2003年6月1日～2005年5月31日）

15) 栗城眞也：日本生体磁気学会，理事（2005年6月1日～現在）

16) 平田恵啓：生体医工学シンポジウム2004 組織委員（2004年4月1日～2005年3月31日）

17) 平田 恵啓：生体医工学シンポジウム2006 プログラム委員（2006年6月1日～2006年9月24日）

18) 小山幸子：日本生体磁気学会評議員（2005年4月1日～現在）

##### c. 併任・兼業

1) 栗城眞也：ニューロイメージング PF 委員会委員（2006年4月1日～現在）

##### g. 北大での担当授業科目（対象、講義名、担当者、期間）

1) 全学部共通、脳科学：分子から高次機能発現、小林哲生、2003年10月1日～2004年3月31日

2) 全学部共通、物理学 III、栗城眞也、2003年10月1日～2004年3月31日

3) 工学部、生体工学概論、小林哲生、栗城眞也 2003年10月1日～2004年3月31日

4) 工学部、応用数学演習、平田恵啓、竹内文也、2003年10月1日～2004年3月31日

5) 工学部、応用数学 II 演習、平田恵啓、2004年10月1日～2006年3月31日

6) 工学部、電気回路、栗城眞也、2004年10月1日～現在

7) 工学部、システム情報工学演習、平田 恵啓、2006年10月1日～2007年3月31日

8) 工学研究科、脳機能工学特論、栗城眞也、2003年10月1日～2004年3月31日

9) 情報科学研究科、脳機能工学特論、栗城眞也、小山幸子2005年4月1日～現在

10) 工学研究科、人間情報工学特論、小林哲生、2003年10月1日～2004年3月31日

11) 工学研究科、生体情報工学特別演習、栗城眞也、小林哲生、平田恵啓、竹内文也、2003年10月1日～2004年3

月31日

- 12) 工学研究科、生体情報工学特別研究第一、栗城眞也、小林哲生、平田恵啓、竹内文也、2003年10月1日～2004年3月31日
- 13) 工学研究科、生体情報工学特別研究第二、栗城眞也、小林哲生、平田恵啓、竹内文也、2003年10月1日～2004年3月31日
- 14) 情報科学研究科、生命人間情報科学特別演習、栗城眞也、小山幸子、平田恵啓、2005年4月1日～2006年3月31日
- 15) 情報科学研究科、生命人間情報科学特別研究第一、栗城眞也、小山幸子、平田恵啓、2005年4月1日～2006年3月31日
- 16) 情報科学研究科、生命人間情報科学特別研究第二、栗城眞也、小山幸子、平田恵啓、2005年4月1日～2006年3月31日

**h. 外国人研究者の招聘（氏名、国名、期間）**

- 1) Hyutchan Kwon, Korea、2004年1月11日～2004年2月22日
- 2) 顧 星、China、2003年7月1日～2003年12月25日
- 3) Xu Yizhong, China、2005年10月5日～2006年10月5日

**i. ポスドク・客員研究員など**

- ・ポスドク  
鄭址旭（電子科学研究所）
- ・客員研究員  
顧 星（電子科学研究所）
- ・博士研究員  
豊村 暁（JST）  
小川昭利（JST）

**j. 修士学位および博士学位の取得状況**

- ・修士課程（9名）  
川口洋平、神田 聡、時田祥子、林 幹彦、太田圭亮、渡邊直輝、高松亮介、山本条太郎、山本郁恵
- ・博士課程（3名）  
Kwon Hyutchan、丸山雅紀、林 周

## 自律調節研究分野

教授 狩野 猛 (McGill 大院, Ph.D., 1991.11~2007.3)

助教授 Korobeinikov Andrei

(Auckland 大院, Ph.D., 2004.10~2007.3)

助手 丹羽光一 (北大院, 獣医博, 1997.10~2005.3)

科学研究支援員

何 小明 (千葉大院, Ph.D., 2004.7~2007.3)

石坂高英 (2004.4~2007.3)

佐藤淳一 (2005.4~2007.3)

COE 研究員

Fan Lijie (浙江大院, 歯学博, 2004.9~2006.9)

事務補助員

笹木瑠美子 (2003.4~2005.3)

伊藤樹里 (2005.4~2007.3)

院生・平成15-18年度

中田直哉, 坂井滋郎

### 1. 研究目標

生体における血管は、血流速度の変化に対して適応的にその内径および管壁の構造を変えるという自律調節機能を持っている。しかし、どのような機構により内径が調節されているのか、また、血管壁が再構築されるのかは、まだ良くわかっていない。我々の研究目標は、このような血管の流速変化に対する生理的調節機構および調節可能な範囲を逸脱することにより起こる内膜肥厚、動脈硬化、および脳動脈瘤形成などの血管病の病変発生並びに局在化の機構を解明し、これらの血管病の予防および治療に役立てるとともに、内膜肥厚を起こさない、又は内膜肥厚が起こってもそれを最小に留めるような人工血管の開発および最適血行再建術の確立に寄与することである。

### 2. 研究成果

動脈硬化症、脳動脈瘤形成、および吻合部内膜肥厚など、ヒトに起こる血管病の局在化機構に関して、世界中のほとんどの研究者が血流によって血管内皮細胞に負荷されるせん断応力によるものであるとの考えを示している。しかしながら、このせん断応力説によって動脈硬化症の危険因子として挙げられているコレステロール濃度や血圧の影響を説明することはできない。我々は、上記のような血管壁の再構築を伴う血管病の発病および局在化は、せん断応力によるものではなく、血管壁構成細胞にとって重要な栄養素の一つであるコレステロールの血液より血管壁への物質移動によって支配されるものであり、血管壁の水透過性によって起こる血管内壁表面上におけるコレステロールの担体であるところの低密度リポ蛋白 (LDL) の流速依存性濃縮・枯渇現象によるものであるという全く新しい考えに基づいて理論および実験の両面より研究を展開している。

#### ・平成15-16年度

我々が提唱している上記の仮説を実証するために、先ず最初に、これまで用いて来た内皮細胞単層よりも更に生体血管に近い血管壁のモデルとして、そして生体血管に代わるものとして、多孔質膜又は ePTFE 人工血管にウシ大動脈より採取した平滑筋細胞(SMC)および内皮細胞(EC)を直接重層播種・共培養することにより、図1に示したように生体に移植された人工血管に形成される偽内膜と同じ組織構造を有する血管壁モデル(EC-SMC 共培養系)およびハイブリッド人工血管を作製した。そして、これらを用いて流れおよび物質移動実験を行い、以下の事項に関して検討を行った。

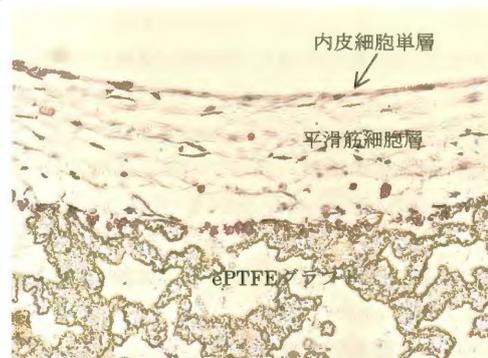


図1. 細胞培養により作製したハイブリッド人工血管の横断面の写真

[1] 血管内皮細胞-平滑筋細胞共培養系による LDL の取込みおよび構成細胞の増殖に及ぼす LDL 濃度の影響

動脈硬化症および吻合部内膜肥厚が血中コレステロール濃度の高い人に起こりやすいということに関して、本当に血漿中のコレステロール濃度が高いほど血管壁に多く取り込まれるのか、また、取り込まれる量が多ければ多いほど血管壁の内膜が厚くなるのかどうかを上述の方法で作製した血管壁モデルおよび蛍光物質で標識したコレステロールの担体である低密度リポ蛋白(LDL)およびウシ胎児血清を用いて検討した。その結果、図2に示したように LDL の濃度が高いほど血管壁モデルの細胞層内に取り込まれる量も多く、時間の経過と共にその量が增大する事が判った。また、図3に示したように LDL を含んでいるところの血清の濃度が高いほど、血管壁モデルの細胞層が厚くなることも判った。これらの結果は、血中におけるコレステロール濃度が高いほど内膜肥厚や動脈硬化症になりやすいという臨床的、病理学的知見を支持するものである。

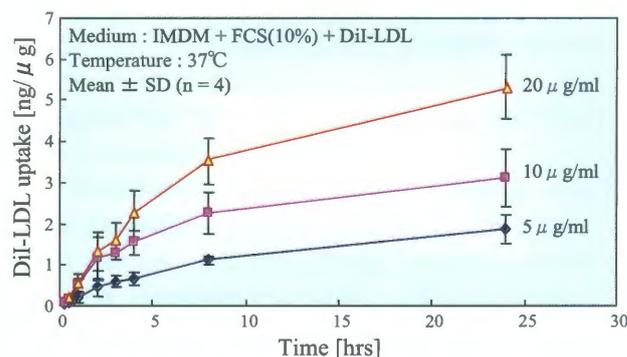


図2. 血管壁モデルによる LDL の取込みの経時変化

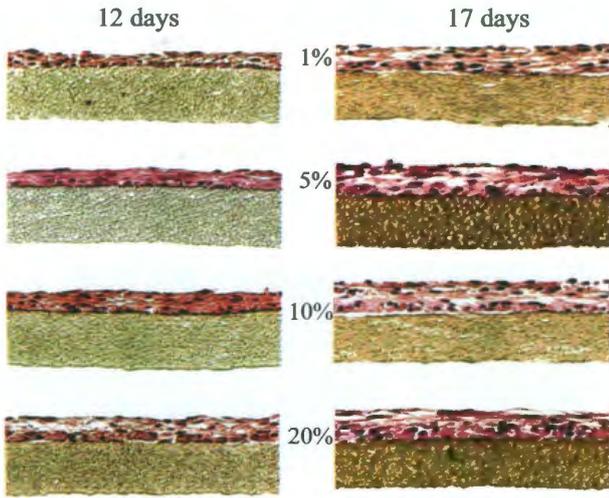


図3. 血管壁モデルの細胞層の厚さに及ぼす血清濃度の影響

[2] 血管壁モデル表面上における LDL の濃度および細胞層による LDL の取込みに及ぼす流れおよび水透過の影響

多孔質膜上にウシ大動脈由来平滑筋細胞および内皮細胞を重層播種共培養して作製した血管壁モデルを平行平板型流路の一部になるように装着し、これを循環灌流システムに組み込み、蛍光物質で標識した LDL を含んだ培養液を定

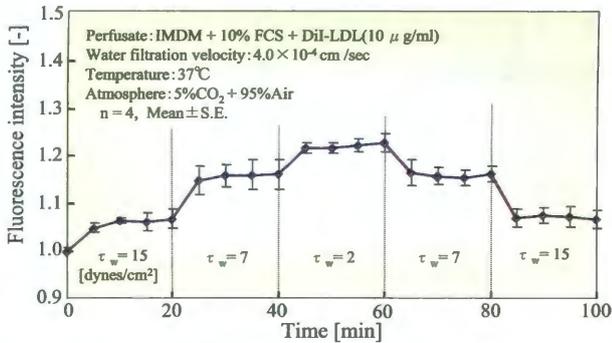


図4. LDL の壁面濃度に及ぼす流れの影響

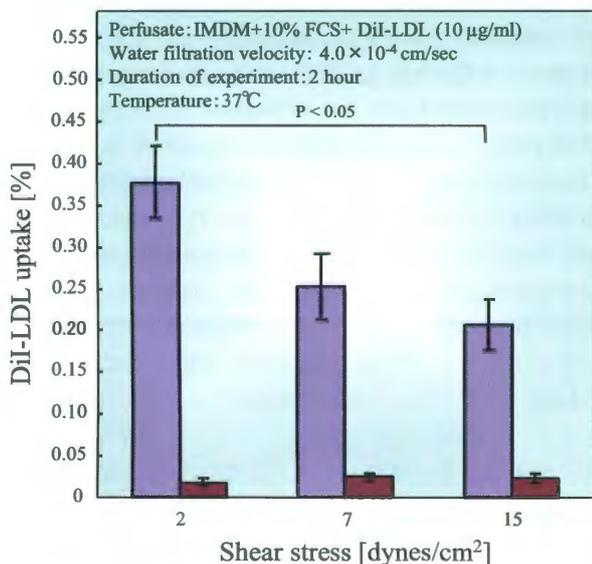


図5. LDL の取込みに及ぼす流れおよび水透過の影響

常流の条件下で循環して血管壁モデルの内腔面を一層に覆っている内皮細胞の表面における LDL の濃度(壁面濃度)および細胞層に取り込まれる LDL の量に及ぼすせん断流れおよび細胞層における水透過速度の影響について検討した。その結果、図4に示したように、水透過のある場合には、LDL の壁面濃度は理論通りに流速の増減によって変化し、流速(壁せん断応力)が小さくなるほど高くなることが判った。また、図5に示したように LDL の壁面濃度が高いほど細胞層に取り込まれる量も多く、水透過のある場合の方が濃縮現象により壁面濃度が高くなるので、ない場合に比べて遥かに多く取り込まれることも判った。

[3] ハイブリッド人工血管の細胞層の厚さに及ぼす静水圧の影響

動脈硬化症や内膜肥厚が血圧の高い人に起こりやすいということに関して、本当にそのような影響があるのかどうかを調べるために、ハイブリッド人工血管を作製する際にヘッドタンクシステムを用いて異なった静水圧を負荷した状態で細胞培養を行った。図6は、水透過がない(濃縮現象が起こらない)という条件下で7日間培養して得られた細胞層の断面写真である。生体の血管における血圧に相当する静水圧が高いほど細胞層が厚くなるが、あまり高くなると逆効果になるという事を示している。なお、この実験から、細胞層が厚いほどコラーゲンの産生量も多くなっていることも判った。

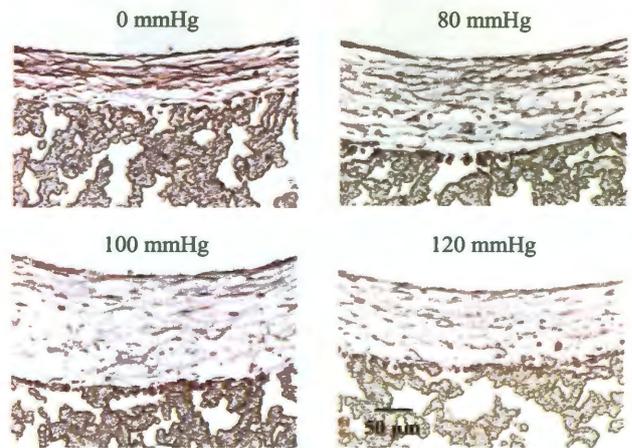


図6. ハイブリッド人工血管における細胞の増殖に及ぼす静水圧の影響

・平成16-17年度

[1] ハイブリッド人工血管の細胞層の厚さに及ぼすせん断流れおよび水透過の影響

これまで行ってきた研究により、流れおよび水透過速度の大小により血管内壁表面上の LDL の濃度および血管壁構成細胞による LDL の取り込みが変化することが判った。しかしながら、そのことによって血管壁構成細胞の増殖または衰退がどう影響されるかはまだ判っていない。そこで本研究では、当研究分野で開発した上述の方法により水透過を与えられるハイブリッド人工血管を作製し、それを体外循環培養システムに装着して生体血管におけると同等の水透過速度を与えた場合および与えない場合について、3

つの異なった流速(壁せん断応力)の条件下で4週間細胞を培養した。その後、それらの血管の組織標本を作製し、細胞層の組織構造の観察および厚さを測定した。その結果、図7および図8に示したように、流れが遅い(せん断応力の値が小さい)ほど細胞層が厚く、かつ、同せん断応力で比較すると、水透過がある(LDLの濃縮現象が起こる)場合の方がない場合より細胞層が厚くなること判った。

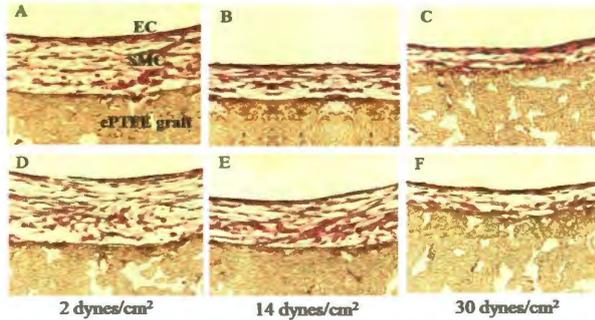


図7. せん断流れを负荷して28日間循環培養したハイブリッド人工血管の横断面の顕微鏡写真(水透過速度 ABC:  $V_w=0$  cm/s; DEF:  $V_w=6 \times 10^{-6}$  cm/s)

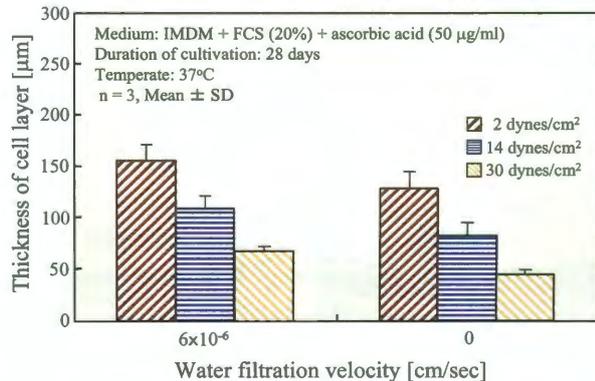


図8. 28日間循環培養したハイブリッド人工血管の細胞層の厚さに及ぼすせん断流れおよび水透過の影響

[2] 移植した人工血管に形成される偽内膜の厚さとその血管の移植前後における水透過速度との関係

前述の実験によりハイブリッド人工血管の細胞層の厚さが水透過速度によって影響されることが判った。そこで同様のことが生体血管でも起こるか否かを動物実験により検討した。方法は、まず、雑種成犬の総頸動脈に内径3mmで、水透過速度が大きく異なる3種類の人工血管、即ち、組織固定して作製した犬の総頸動脈(GAグラフト)、市販のePTFEグラフト、自作のポリエステル布製グラフト(PEグラフト)を端端吻合により間置移植した。それらを1週から13ヶ月後に採取し、培養液を用いて100mmHg、37°Cの条件下で管壁における水透過速度を測定し、同圧下で組織固定した後、組織標本を作製し、走査電顕による内表面の観察および細胞層の厚さの測定を行った。その結果、図9に示したように、GAグラフトの内面は、12ヶ月後でもフィブリン膜で覆われており、内皮細胞は全く見られなかった。ePTFEグラフトに関しては、6ヶ月後ではフィブリン膜の部分と内皮細胞で覆われている部分が混在していたが、13ヶ月では全面が不規則な形状をした内皮細胞の単層で覆

われていた。PEグラフトは、2ヶ月後でも整った形状の内皮細胞の単層で覆われていた。人工血管に形成された偽内膜の厚さに関しては、図10に示したように、移植前における水透過速度が生体血管のそれに最も近い値を示したGAグラフトで最も薄く(2μm程度)、水透過速度が最も大きかったPEグラフトで最も厚く、術後2ヶ月のものでも126μmになっていた。

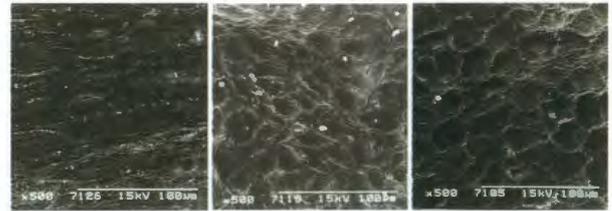


図9. 移植された人工血管の内表面の走査電顕写真  
左: GAグラフト(12ヶ月)、中央: ePTFEグラフト(13ヶ月)、右: PEグラフト(2ヶ月)

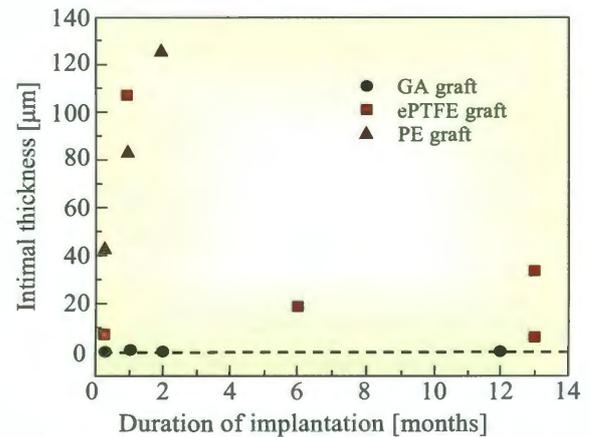


図10. 人工血管の移植期間と形成された偽内膜の厚さとの関係

・平成17-18年度

[1] ハイブリッド人工血管の構成細胞の増殖・衰退に及ぼす渦流れの影響

動脈硬化や内膜肥厚がなぜ流れの遅いところに局所的に起こるのかを解明するために、ウシ大動脈の内皮細胞および平滑筋細胞を共培養して作製したハイブリッド人工血管を用いて内径が0.92mmから3.00mmに急激に拡大するような流路を作成し、これを体外循環培養システムに装着して図11に示したような渦流れのある条件下で7日間培養してハイブリッド人工血管の構成細胞の増殖・衰退に及ぼす渦流れの影響について検討を行った。図12および図13は、それぞれ、拡大部より0.3, 1.0, 2.0, 3.0, および3.8cm

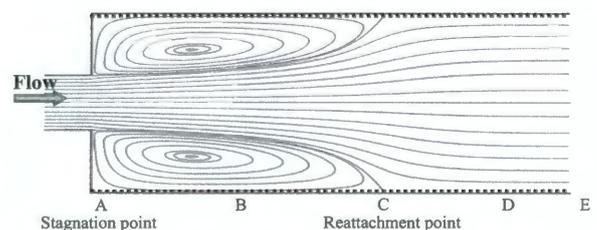


図11. 内径0.92mmの円管と0.30mmのハイブリッド人工血管により作製した急激な拡大管の下流に形成された環状渦の模式図

下流における細胞層の断面写真および実測した細胞層の厚さを示したものである。これらより、細胞層の厚さは、流れが遅い（壁せん断応力が小さい）拡大管の基始部（A）および環状渦の最先端に当たる剥離した流れの再付着点（C）で厚く、流れが最も速くなっている（壁せん断応力が大きい）渦の中心部近傍（B）で最も薄くなっていることがわかった。

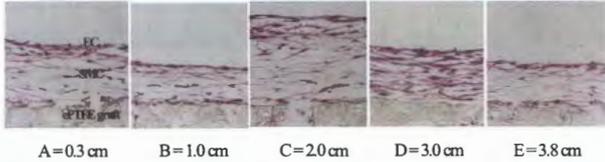


図12. ハイブリッド人工血管の拡大部からの各位置における細胞層の断面写真 EC: 血管内皮細胞、SMC: 平滑筋細胞

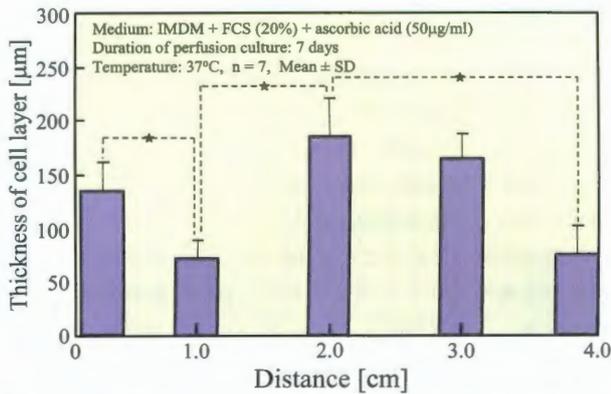


図13. ハイブリッド人工血管の拡大部からの各位置における細胞層の厚さの実測値 \* $p < 0.05$

[2] ハイブリッド人工血管への単核細胞の付着に及ぼす流れの局所的な乱れの影響

単核細胞の内皮細胞への付着・浸潤は、動脈硬化発症の初期的現象の一つであることが示されている。従って、それは、血流が乱れる部位に選択的に起こる動脈硬化の病変発生および局在化に重要な役割を果たしていると考えられる。しかしながら、血流が乱れる部位に単核細胞が付着することにより動脈硬化が起こるのか、あるいは動脈硬化が起こったから付着するのかはよく分かっていない。そこで、単核細胞の内皮細胞への付着・浸潤に及ぼす流れの局所的な乱れの影響について検討を行った。実験方法は、まず、動脈のモデルとして使用したハイブリッド人工血管と内径0.92 mm、外径3.0 mm のステンレスパイプを組み合わせ、内径が0.92 mm から3.0 mm に急激に変化する拡大管を作製し、それを体外循環培養システムに装着して蛍光色素で標識したヒト単核細胞（THP-1細胞）を加えた培養液を毎分14 ml の速度で1時間循環し、図11に示したような環状渦の存在下で THP-1細胞が拡大管のハイブリッド人工血管の内面を構成している内皮細胞と接触できるようにした。流れの実験終了後、グラフトを管軸に沿って切開し、グラフトの内表面に付着している THP-1細胞の蛍光強度をグラフト全体について測定した。また、内皮細胞に付着した THP-1細胞が、さらに平滑筋細胞層に浸潤するかどうかを調べるため、循環培養システムで環状渦の存在下で1週間

培養したグラフトを用いて上記と同様の流れの実験も行った。その後、これらのグラフトの組織標本を作製し、THP-1細胞をヘマトキシリンおよび免疫組織化学的染色により褐色に染色して計数し、単位断面積あたりの細胞数を求め、拡大部からの距離の関数として表示した。

図14および図15は、それぞれ、拡大部より0.3, 1.0, 2.0, 3.0, および3.8 cm 下流における THP-1細胞の内皮細胞への付着および平滑筋層への浸潤の様子を示したものである。図14より、THP-1細胞の内皮細胞への付着は、流れの遅い（壁せん断応力が小さい）拡大管の基始部（A）および環状渦の最先端にあたる剥離した流れの再付着点（C）で多く、流れが最も速くなっている（壁せん断応力が大きい）渦の中心部近傍（B）で最も少なくなっていることがわかった。また、図15より、内皮細胞へ付着した THP-1細胞の大多数が平滑筋層へ深く浸潤して行っており、その数が付着した数にほぼ比例した値になっていることがわかった。

図16は、内皮細胞へ付着した THP-1細胞と平滑筋層へ浸潤した THP-1細胞の単位断面積あたりの細胞数を拡大部よりの距離の関数として表したものである。図より明らかのように、THP-1細胞の内皮細胞への付着・浸潤は、渦流れ（disturbed flow）により大きな影響を受け、流れが遅く、壁せん断応力の小さい、環状渦の最先端に当たる再付着点（C）で最も多く、流れが最も速くなっている（壁せん断応力が大きい）渦の中心部近傍（B）で最も少なくなっていることがわかった。また、LDLと同サイズのポリスチレン微粒子を用いた実験および短時間の流れの実験でも同様の分布が得られることから、せん断応力の大小よりも、LDLや単核細胞と内皮細胞との接触時間の方が、これらの

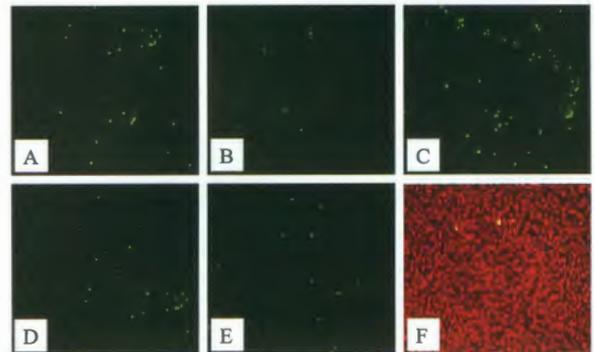


図14. 渦流れに1時間晒されたハイブリッド人工血管の表面に付着した蛍光色素で標識されたヒト単核細胞（A～E）および蛍光色素で標識されたAc-LDLで染色された内皮細胞（F）の蛍光顕微鏡写真 A～Eは、それぞれ拡大部から0.3, 1.0, 2.0, 3.0, および 3.8 cm 下流の位置に相当する。

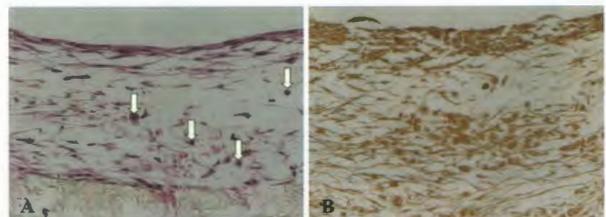


図15. 渦流れに4時間晒されたハイブリッド人工血管の断面組織標本の顕微鏡写真 無数の単核細胞（THP-1細胞）が内皮下に浸潤しているのが見える。A: ヘマトキシリン・エオシン染色、B: 免疫組織化学的染色

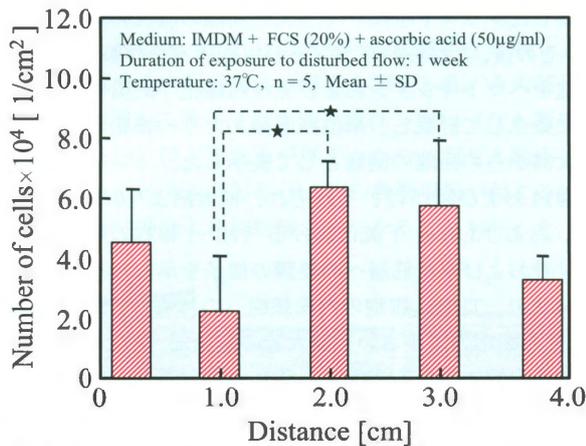


図16. 渦流れに7日間晒されたハイブリッド人工血管の内皮細胞へ付着した THP-1細胞と平滑筋層へ浸潤した THP-1細胞の単位断面積あたりの細胞数と拡大部からの距離との関係

物質の内皮細胞への付着および内皮細胞による取り込みに重要な役割を果たしているものと考えられた。

・平成18-19年度

前年度に行ったハイブリッド人工血管の構成細胞の増殖・衰退に及ぼす渦流れの影響に関する実験により、渦が存在する場合には、流れが淀み、壁せん断応力がゼロとなる流れの剥離点および再付着点近傍で細胞層の肥厚が起こることが示された。そこで、同様の現象が生体血管でも起こるか否かをイヌを用いた動物実験により検討を行った。実験方法は、雑種成犬の大腿動脈(f.a)に、血管内径の急激な変化により渦が形成されるように、それよりも直径の小さい大腿静脈(s.v)および直径の大きい頸静脈(j.v)を端端吻合により間置移植し、それを3ヵ月後に採取して生理圧下で組織固定、脱水、透明化した後、トレーサ粒子を用いて

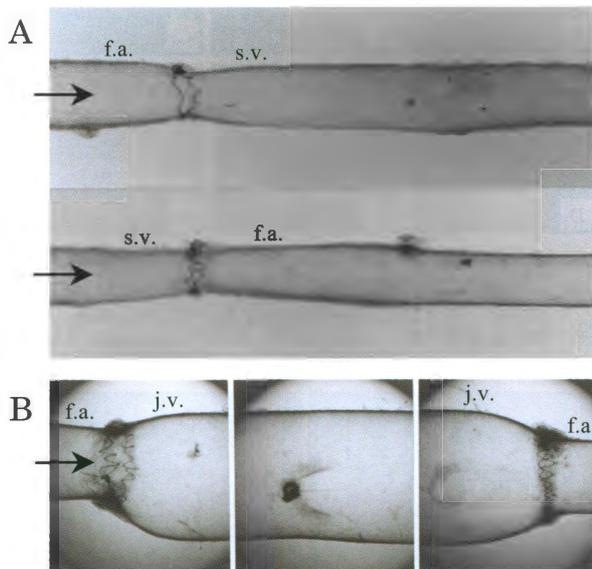


図17. 大腿静脈(s.v)および頸静脈(j.v)を端端吻合により間置移植したイヌ大腿動脈(f.a)の透明化後の写真  
矢印は流れの方向を示している。  
A: 大腿静脈(s.v)を移植 (上: 上流側吻合部、下: 下流側吻合部) B: 頸静脈(j.v)を移植

流れの可視化観察および16mmシネカメラによる高速度撮影を行い、それを一コマコマ解析した。図17は、3ヵ月後に採取して透明化した吻合血管の写真である。移植時に大腿動脈(f.a)の2/3程度だった大腿静脈(s.v)の内径が、動脈系に移植され、高い血圧に晒された結果、3ヵ月後にはホスト動脈のそれとほぼ等しくなっていた。しかしながら、図に見られるように吻合部だけは吻合系の存在により拡張されず、狭窄が生じており、その直下流において内膜が肥厚していることが判った。直径の大きい頸静脈(j.v)を移植したものは、血管径が急激に拡大する上流側の吻合部の直下流で内膜肥厚が観察された。

図18は、それぞれ図17A(下図)およびBに示した血管内のフローパターン(上図)および速度分布(下図)を示したものである。いずれの場合にも、血管径のミスマッチにより流路が拡大しているところで渦が発生し、流れが遅く、壁せん断応力の値が極端に小さくなっていることを示している。このような透明化した吻合血管について、血管の周方向に6箇所まで血管壁の厚さを測定し、流れとの関係について検討した。その結果、図19に示したように、いずれの場合にも血管径が急激に拡大し渦の形成により流れが遅く、壁せん断応力の値が極端に小さくなっている吻合部直下流で内膜が肥厚していることが判った。以上の結果より、体外循環培養によりハイブリッド人工血管で観察されたと同様の現象が生体血管でも起こっているものと推察された。

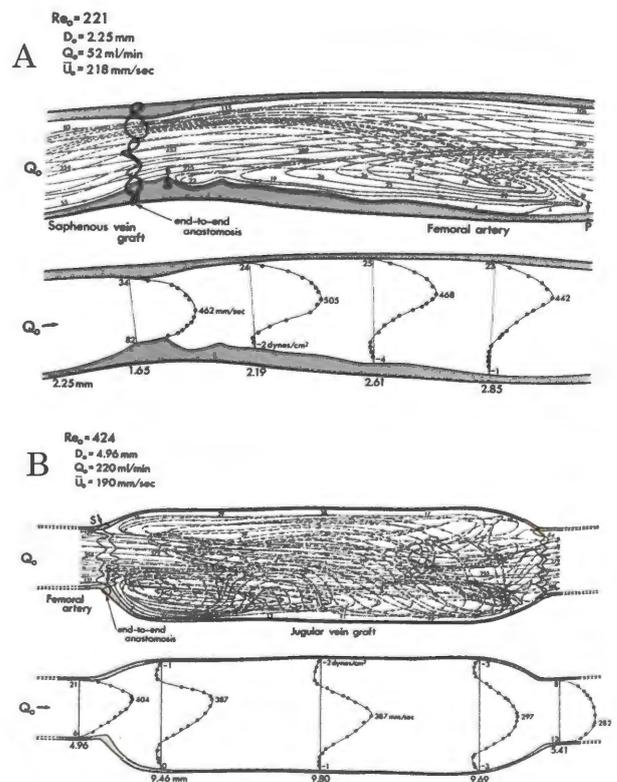


図18. 吻合血管内のフローパターン(上図)および速度分布(下図)  
A: 大腿静脈を移植(下流側吻合部) B: 頸静脈を移植

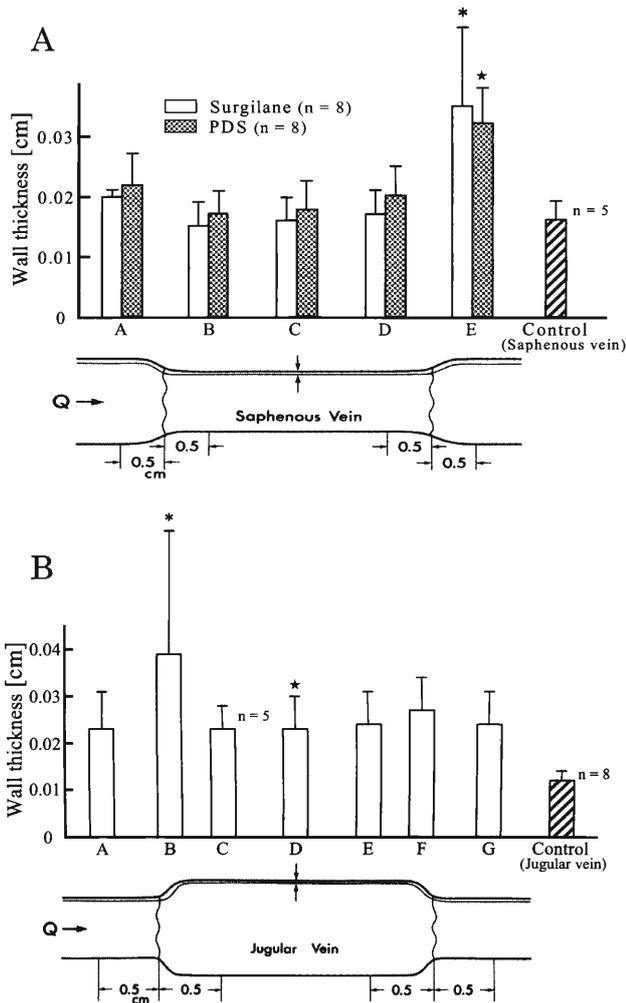


図19. 吻合血管の各部における局所的な壁の厚さ  
 A : 大腿静脈を移植、B : 頸静脈を移植  
 Surgilane : ポリプロピレン吻合糸、ODS : 吸収糸

## おわりに

過去15年間にわたり自立調節研究分野で行ってきた血管病の局在化機構に関する研究は、これを以って終結する。血管病の発病ならびに局在化機構として我々が提唱し、培養血管細胞および実験動物を用いて実験的に立証することを試みてきたところの、コンピュータ・シミュレーションによる結果に基づいた理論的仮説、即ち、「血管内壁表面上におけるリポ蛋白の流速依存性濃度分極説」、他に優る点は、血流の影響は勿論のことながら、この理論によって、どうして血管内壁表面上におけるリポ蛋白の濃度が動脈硬化の危険因子とされている二大因子、即ち、血中におけるコレステロールの濃度および血圧、によって変わるのかを説明することができるということである。

幸いにも、我々がこれまで行って来た理論解析および実験的検討の結果は、全て、我々の仮説を支持するものであった。しかしながら、不透明な血管内の、しかもごく壁近傍の流れの場で動的平衡状態において起こっているこの流速に依存したリポ蛋白の濃縮・枯渇現象を直接血管内の流れおよびリポ蛋白の濃度を計測して実証することは難しく、

この研究を完成するまでには行かなかった。しかしながら、近い将来に、もしも首尾良くこの現象が生体の血管内で起こっていることが実証されるならば、これは血管現象に関する重大な発見となり、以下のような点で展望が広がるものと思われる。

- (1) 血管径の恒久的な変化および血管壁の再構築を伴うほとんどの血管現象を栄養（コレステロール）供給の過不足によるものとして理論的に説明できる。
- (2) 薬物投与や外科的手法により血管壁における水透過性を局所的に変え、血管内壁表面上におけるリポ蛋白の濃度をコントロールすることにより、内膜肥厚や動脈硬化を予防および治療することができるようになる。
- (3) 移植後の水透過速度が生体血管における値と同じになり、内膜肥厚の起こらないような人工血管を作製できる。

この研究が、今後、他の研究者によって受け継がれ、さらに発展することを切望するものである。

## 4. 資料

### 4.1 学術論文等

- 1) M. Nakamura, S. Wada, T. Mikami, A. Kitabatake and T. Karino: "Computational study on the evolution of an intraventricular vortical flow during early diastole for the interpretation of color M-mode Doppler echocardiograms", *Biomechanics and Modelings in Mechanobiology*, 2: 59-72 (2003)\*
- 2) K. Niwa, O. Inanami, T. Yamamori, T. Ohta, T. Hamasu and M. Kuwabara: "Redox regulation of PI3K/Akt and p53 in bovine endothelial cells exposed to hydrogen peroxide", *Antioxidants & Redox Signaling*, 5(6): 713-722 (2003)\*
- 3) S. Endo, H. L. Goldsmith and T. Karino: "Flow patterns in the dog descending aorta under a steady flow condition simulating mid-systole", *JSME International Journal Series C*, 47(4): 1000-1009 (2004)\*
- 4) H. Aonuma and K. Niwa: "Nitric oxide regulates the levels of cGMP accumulation in the cricket brain", *Act. Biol. Hung.*, 55(1-4): 65-70 (2004)\*
- 5) K. Niwa, T. Kado, J. Sakai and T. Karino: "The effects of a shear flow on the uptake of LDL and acetylated LDL by an EC monoculture and an EC-SMC coculture", *Ann. Bio-med. Eng.*, 32(4): 537-543 (2004)\*
- 6) K. Niwa and T. Karino: "The effect of a shear flow on the uptake of LDL and Ac-LDL by cultured vascular endothelial cells", *JSME International Journal Series C*, 48(4): 436-443 (2005)\*
- 7) M. Nakamura, S. Wada, T. Karino and T. Yamaguchi: "Effects of a ventricular untwisting on intraventricular diastolic flow and color M-mode Doppler echocardiograms", *Technology and Health Care*, 13: 269-280 (2005)\*
- 8) K. Niwa, J. Sakai, T. Karino, H. Aonuma, T. Ohshima, O. Inanami and M. Kuwabara: "Reactive oxygen species

mediate shear stress-induced fluid-phase endocytosis in vascular endothelial cells”, *Free Radic Res.*, 40(2): 167-174 (2006)\*

- 9) K. Niwa, J. Sakai, T. Watanabe, T. Ohyama and T. Karino: “Improved arterial model by co-culturing vascular endothelial and smooth muscle cells”, *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Animal*, 43: 17-20 (2007)\*
- 10) M. Sunamura, H. Ishibashi and T. Karino: “Flow patterns and preferred sites of intimal thickening in diameter-mismatched vein graft-interposed arteries”, *Surgery*, 141: 764-776 (2007)\*

#### 4.3 国際会議議事録等に掲載された論文

- 1) T. Karino, S. Wada, T. Naiki, K. Niwa and J. Sakai: “Flow-dependent concentration polarization of lipoproteins as a localizing mechanism of vascular diseases”, *Proceedings of the International Bio-Fluid Mechanics Symposium and Workshop*, 15-17 (2003)\*
- 2) N. Kudo, K. Okada, K. Niwa and k. Yamamoto: “Study on the mechanism of cell damage caused by microbubbles exposed to ultrasound”, *Proceedings of 8th European Symposium on Ultrasound Contrast Imaging*, 62-63 (2003)
- 3) N. Kudo, K. Okada, K. Niwa and k. Yamamoto: “Study on the mechanisms of sonoporation caused by microbubbles exposed to ultrasound”, *Proceedings of 8th Ultrasound Contrast Research Symposium in Radiology*, 17 (2003)
- 4) K. Niwa, T. Kado and T. Karino: “The effects of a shear flow on the uptake of lipoproteins by an EC-SMC coculture”, *Proceedings of XIII International Conference on Mechanics in Medicine and Biology*, 37-38 (2003)\*
- 5) Y. Kitamura, H. Aonuma, K. Niwa, K. Mizutani, H. Ogawa and K. Oka: “NO-cGMP signaling in non-associative learning of the earthworm”, *NITRIC OXIDE-BIOLOGY AND CHEMISTRY*, 11(1): 106-107 (2004)
- 6) H. Aonuma, M. Iwasaki and K. Niwa: “Role of NO signaling in switching mechanisms in the nervous system of insect”, *Proceeding of SICE Annual Conference*, 2004: 2477-2482 (2004)
- 7) L. Sun, K. Niwa and T. Karino: “The effect of hydrostatic pressure on the growth of the cell layer of a hybrid vascular graft prepared by co-culturing bovine aortic ECs and SMCs on an ePTFE graft”, *Proceedings of Shanghai International Conference on Physiological Biophysics*, 134 (2004)
- 8) J. Sakai, K. Niwa and T. Karino: “The effects of a shear flow and water filtration on the transport of LDL from flowing fluid to an EC-SMC co-culture”, *Proceedings of Shanghai International Conference on Physiological Biophysics*, 104 (2004)
- 9) K. Niwa and T. Karino: “The roles of reactive oxygen species and protein kinase C in shear stress-induced activation of pinocytosis in vascular endothelial cells”, *Proceedings of Shanghai International Conference on Physiological Biophysics*, 101 (2004)
- 10) T. Karino, T. Yasuda and K. Niwa: “The effects of a shear flow and water filtration on the structure of cell layers in a hybrid vascular graft—An in vitro study”, *Proceedings of the First Asian Pacific Conference on Biomechanics*, 237-238 (2004)\*
- 11) T. Karino, J. Sakai, H. Xiaoming and K. Niwa: “Effects of a shear flow and water filtration on transport of LDL and proliferation of cells in a model of an artery”, *Proceedings of The Second Japan-Switzerland Workshop on Biomechanics*: 56 (2005)
- 12) L. Sun, K. Niwa and T. Karino: “Effect of hydrostatic pressure on proliferation of the cells forming a hybrid vascular graft”, *Proceedings of the Second Japan-Switzerland Workshop on Biomechanics*: 130 (2005)
- 13) J. Sakai, K. Niwa and T. Karino: “Effects of a shear flow and water filtration on LDL transport from a flowing fluid to a model of an artery”, *Proceedings of the 12th International Conference on Biomedical Engineering*: 158 (2005)
- 14) X. He and T. Karino: “Effects of a shear flow and water filtration on the proliferation of the cells of a hybrid vascular graft”, *Proceedings of the 12th International Conference on Biomedical Engineering*: 192 (2005)
- 15) T. Karino, L. Fan and X. He: “Effects of laminar and disturbed flows on proliferation of the cells of a hybrid vascular graft in vitro”, *Journal of Biomechanics*, 39 (Suppl 1): S224 (2006)
- 16) T. Karino, L. Sun and K. Niwa: “Effect of hydrostatic pressure on proliferation of the cells of a hybrid vascular graft”, *Journal of Biomechanics*, 39 (Suppl 1): S314 (2006)
- 17) T. Karino, X. He and J. Sakai: “Effects of a shear flow and water filtration on transport of LDL from flowing fluid to and proliferation of the cells of a model of an arterial wall”, *Journal of Biomechanics*, 39 (Suppl 1): S376 (2006)
- 18) L. Fan and T. Karino: “Effects of a disturbed flow on proliferation of the cells of a hybrid vascular graft—An in vitro study”, *Proceedings of the XVth International Conference on Mechanics in Medicine and Biology*: 65-66 (2006)
- 19) X. He and T. Karino: “Effect of hydrostatic pressure on wound healing—An in vitro study with cultured EC monolayer—”, *Proceedings of the XVth International Conference on Mechanics in Medicine and Biology*: 67-68 (2006)

#### 4.4 著書

- 1) T. Karino, S. Wada and T. Naiki: “A new theory on the localization of vascular diseases”. In: H. Wada (ed.) *Bio-mechanics at Micro- and Nanoscale Levels* Vol. I, World Scientific Publishing Co., Singapore, pp. 100-112 (2005)

- 2) T. Karino, M. Kaichi and T. Ishizaka: "Interrelationship between water filtration velocity and the thickness of pseudointima formed at the wall of artificial vascular grafts implanted in the dog common carotid artery". In: H. Wada (ed.) *Biomechanics at Micro- and Nanoscale Levels* Vol. II, World Scientific Publishing Co., Singapore, pp. 96-107 (2006)
- 3) S. Wada, M. Nakamura and T. Karino: "Rule-based simulation of arterial wall thickening induced by low wall shear stress". In: H. Wada (ed.) *Biomechanics at Micro- and Nanoscale Levels* Vol. III, World Scientific Publishing Co., Singapore, pp. 157-165 (2006)
- 4) X. He and T. Karino: "Effects of a shear flow and water filtration on the cell layer of a hybrid vascular graft.", In: H. Wada (ed.) *Biomechanics at Micro- and Nanoscale Levels* Vol. IV, World Scientific Publishing Co., Singapore, pp. 96-106 (2007)

#### 4.5 その他

- 1) 坂井滋郎、丹羽光一、狩野猛:「せん断流れおよび水透過速度が血管内皮細胞—平滑筋細胞共培養系による微粒子の取込みに及ぼす影響」、第23回日本エム・イー学会甲信越支部大会講演論文集(電子論文集)、1-2 (2003)
- 2) 岡田健吾、工藤信樹、丹羽光一、山本克之:「パルス超音波照射下での sonoporation に関する基礎的検討」、電子情報通信学会技術研究報告、103 : 49-54 (2003)
- 3) 坂井滋郎、丹羽光一、狩野猛:「血管内皮細胞—平滑筋細胞共培養系による巨大分子の取込みに及ぼすせん断流れおよび水透過速度の影響」、日本機械学会第14回バイオフロンティア講演会講演論文集、03 (19) : 5-6 (2003)
- 4) 狩野猛、安田哲也:「血管内皮細胞—平滑筋細胞共培養系の組織構造に及ぼす流れおよび水透過の影響」、第23回日本エム・イー学会甲信越支部大会講演論文集(電子論文集)、3-4 (2003)
- 5) 丹羽光一、中田直哉、南山真裕子、狩野猛:「血管内皮細胞—平滑筋細胞共培養系の LDL の取り込みおよび構成細胞の増殖特性」、日本機械学会第16回 バイオエンジニアリング講演会講演論文集、03(38) : 35-36 (2004)
- 6) 坂井滋郎、丹羽光一、狩野猛:「血管内皮細胞—平滑筋細胞共培養系の表面上における LDL 濃度および細胞による LDL の取込みに及ぼすせん断流れおよび水透過速度の影響」、日本機械学会第16回 バイオエンジニアリング講演会講演論文集、03(38) : 35-36 (2004)
- 7) 中田直哉、南山真裕子、丹羽光一、狩野猛:「血管内皮細胞—平滑筋細胞共培養系の LDL 取込みおよび細胞増殖特性」、電子情報通信学会技術研究報告、104(129): 13-15 (2004)
- 8) 坂井滋郎、丹羽光一、狩野猛:「血管壁モデルによる巨大分子の取込みに及ぼすせん断流れおよび水透過の影響」、電子情報通信学会技術研究報告、104(129): 17-20 (2004)
- 9) 丹羽光一、狩野猛:「ずり応力による血管内皮細胞のピノサイトーシス活性化は細胞内活性酸素とプロテインキナーゼCによって調節されている」、日本機械学会第17回バイオエンジニアリング講演会講演論文集、04(48) : 257-258 (2005)
- 10) 孫 雷、丹羽光一、狩野猛:「組織工学的手法によりハイブリッド人工血管を作成した場合の負荷した静水圧と細胞層の厚さとの関係」、電子情報通信学会技術研究報告、105(122) : 29-32 (2005)
- 11) 何小明、狩野猛:「組織工学的手法により作製したハイブリッド人工血管の細胞層の厚さに及ぼす流れおよび水透過の影響」、第18回バイオエンジニアリング講演会講演論文集、05-66 : 11-12 (2006)
- 12) L. Fan and T. Karino: "Effects of a disturbed flow on proliferation of the cells of a hybrid vascular graft", *生体医工学*, 4 (特別号) : 467 (2006)
- 13) ファン・リジエ、狩野猛:「単核細胞の血管壁への付着・侵入に及ぼす渦流れの影響」、第38回日本動脈硬化学会総会・学術集会プログラム・抄録集 : 270 (2006)
- 14) 何小明、狩野猛:「Effects of a shear flow and water filtration on proliferation of the cells of a hybrid vascular graft」、第38回日本動脈硬化学会総会・学術集会プログラム・抄録集 : 272 (2006)
- 15) 狩野猛:「血管病の局在化に関する物質移動論的検討」、第19回バイオエンジニアリング講演会講演論文集 : 252-253 (2007)
- 16) Fan Lijie, 狩野猛:「ハイブリッド人工血管への単核細胞の付着に及ぼす流れの局所的な乱れの影響」、第19回バイオエンジニアリング講演会講演論文集:264-265 (2007)
- 17) 何小明、狩野猛:「培養血管内皮細胞単層における引掻き傷の修復に及ぼす静水圧の影響」、第19回バイオエンジニアリング講演会講演論文集 : 304-305 (2007)
- 18) 坂井滋郎、Fan Lijie, 狩野猛:「LDL およびモデル微粒子の血管壁への物質移動に及ぼすせん断流れの影響」、第19回バイオエンジニアリング講演会講演論文集 : 254-255 (2007)
- 19) 中村匡徳、和田成生、山口隆美、狩野猛:「左心室および大動脈内血流の数値解析と MR 計測」、第19回バイオエンジニアリング講演会講演論文集 : 260-261 (2007)

#### 4.7 講演

##### a. 招待講演

- 1) T. Karino, T. Yasuda and K. Niwa: "The effects of a shear flow and water filtration on the structure of cell layers in a hybrid vascular graft—An in vitro study", First Asian Pacific Conference on Biomechanics, Osaka, Japan (2004-03)
- 2) T. Karino, S. Wada, T. Naiki, K. Niwa and J. Sakai: "Flow-dependent concentration polarization of lipoproteins as a localizing mechanism of vascular diseases", International Bio-Fluid Mechanics Symposium and Workshop, Pasadena, California, USA (2003-12)

b. 一般講演

i) 学会

- 1) 丹羽光一、角竜憲、狩野猛：「血管内皮細胞による LDL およびアセチル化 LDL の取り込みに及ぼすせん断応力の影響」、第135回日本獣医学会学術集会、東京都 (2003-03)
- 2) 岡田健吾、工藤信樹、丹羽光一、山本克之：「微小気泡存在下での Sonoporation に関する基礎的研究—細胞への作用と音圧の関係—」、日本エム・イー学会第42回全国大会、札幌市 (2003-06)
- 3) 坂井滋郎、丹羽光一、狩野猛：「せん断流れおよび水透過速度が血管内皮細胞—平滑筋細胞共培養系による微粒子の取込みに及ぼす影響」、第23回日本エム・イー学会甲信越支部大会、長岡市 (2003-08)
- 4) 狩野猛、安田哲也：「血管内皮細胞—平滑筋細胞共培養系の組織構造に及ぼす流れおよび水透過の影響」、第23回日本エム・イー学会甲信越支部大会、長岡市 (2003-08)
- 5) 坂井滋郎、丹羽光一、狩野猛：「血管内皮細胞—平滑筋細胞共培養系による巨大分子の取込みに及ぼすせん断流れおよび水透過速度の影響」、日本機械学会第14回バイオフロンティア講演会、宮城県蔵王町 (2003-09)
- 6) 青沼仁志、丹羽光一：「酵素抗体測定法によるコオロギ脳内の NO 誘導性 cGMP 量の計測」、日本動物学会 第74回大会、函館 (2003-09)
- 7) 青沼仁志、丹羽光一：「昆虫の脳内における NO-cGMP シグナル」、第83回日本生理学会北海道地方会、札幌 (2003-09)
- 8) 丹羽光一、狩野猛：「血管内皮細胞のエンドサイトーシスに及ぼすせん断応力の影響」、第83回日本生理学会北海道地方会、札幌市 (2003-09)
- 9) K. Niwa, T. Kado and T. Karino: “The effects of a shear flow on the uptake of lipoproteins by an EC-SMC coculture”, XIII International Conference on Mechanics in Medicine and Biology, Tainan, Taiwan (2003-11)
- 10) 坂井滋郎、丹羽光一、狩野猛：「血管内皮細胞—平滑筋細胞共培養系の表面上における LDL 濃度および細胞による LDL の取込みに及ぼすせん断流れおよび水透過速度の影響」、日本機械学会第16回バイオエンジニアリング講演会、北九州市 (2004-01)
- 11) 丹羽光一、中田直哉、南山真裕子、狩野猛：「血管内皮細胞—平滑筋細胞共培養系の LDL の取り込みおよび構成細胞の増殖特性」、日本機械学会第16回バイオエンジニアリング講演会、北九州市 (2004-01)
- 12) Y. Kitamura, H. Aonuma, K. Niwa, K. Mizutani, H. Ogawa and K. Oka: “NO-cGMP signaling in non-associative learning of the earthworm”, The 3rd International Conference on the Biology, Chemistry, and Therapeutic Applications of Nitric Oxide / The 4th annual Scientific meeting of the Nitric Oxide Society of Japan, Nara, Japan (2004-05)
- 13) 丹羽光一、稲波修、山盛徹、太田利男、浜州拓、狩野猛、桑原幹典：「酸化ストレスによる血管内皮細胞のアポトーシスシグナルと生存シグナル活性化における細胞内カルシウムの役割」、第26回日本フリーラジカル学会学術集会、山形市 (2004-06)
- 14) H. Aonuma, M. Iwasaki and K. Niwa: “Role of NO signaling in switching mechanisms in the nervous system of insect”, SICE Annual Conference 2004, Sapporo (2004-08)
- 15) 北村美一郎、青沼仁志、丹羽光一、水谷賢史、小川宏人、岡浩太郎：「ミミズ非連合学習における NO-cGMP 経路の効果」、Neuro 2004 (第27回日本神経科学大会・第47回日本神経化学学会大会合同大会)、大阪 (2004-09)
- 16) 丹羽光一、狩野猛：「ずり応力による血管内皮細胞の液相エンドサイトーシス調節機構における活性酸素の役割」、第138回日本獣医学会学術集会、札幌 (2004-09)
- 17) 丹羽光一、青沼仁志、狩野猛：「シエラストレスによる血管内皮細胞のピノサイトーシス活性化における細胞内活性酸素の役割」、第84回日本生理学会北海道地方会、旭川 (2004-09)
- 18) L. Sun, K. Niwa and T. Karino: “The effect of hydrostatic pressure on the growth of the cell layer of a hybrid vascular graft prepared by co-culturing bovine aortic ECs and SMCs on ePTFE Graft”, Shanghai International Conference on Physiological Biophysics, Shanghai, China (2004-11)
- 19) J. Sakai, K. Niwa and T. Karino: “The effects of a shear flow and water filtration on the transport of LDL from flowing fluid to an EC-SMC co-culture”, Shanghai International Conference on Physiological Biophysics, Shanghai, China (2004-11)
- 20) K. Niwa and T. Karino: “The roles of reactive oxygen species and protein kinase C in shear stress-induced activation of pinocytosis in vascular endothelial cells”, Shanghai International Conference on Physiological Biophysics, Shanghai, China (2004-11)
- 21) 丹羽光一、狩野猛：「ずり応力による血管内皮細胞のピノサイトーシス活性化は細胞内活性酸素とプロテインキナーゼCによって調節されている」、日本機械学会第17回バイオエンジニアリング講演会、名古屋市 (2005-01)
- 22) 何小明、狩野猛：「ハイブリッド人工血管の細胞層の厚さに及ぼす流れおよび水透過の影響」、第44回日本生体医工学会北海道支部大会、札幌 (2005-10)
- 23) T. Karino, J. Sakai, X. He and K. Niwa: “Effects of a shear flow and water filtration on the transport of LDL and proliferation of cells in a model of an artery”, 3rd European Medical & Biological Engineering Conference, Prague, Czech Republic (2005-11)
- 24) S. Wada, Y. Feng, T. Yamaguchi and T. Karino: “The role of blood flow in the localization of vascular diseases: speculation-based computer simulation”, 3rd European Medical & Biological Engineering Conference, Prague, Czech Republic (2005-11)

- 25) J. Sakai, K. Niwa and T. Karino: "Effects of a shear flow and water filtration on LDL transport from a flowing fluid to a model of an arterial wall", 12th International Conference on BioMedical Engineering, Singapore, Singapore (2005-12)
- 26) X. He and T. Karino: "Effects of a shear flow and water filtration on the proliferation of the cells of a hybrid vascular graft", 12th International Conference on BioMedical Engineering, Singapore, Singapore (2005-12)
- 27) Fan Lijie, Karino Takeshi: 「Effects of a disturbed flow on proliferation of the cells of a hybrid vascular graft」, 第45回日本生体医工学会大会, 福岡市 (2006-05)
- 28) T. Karino, L. Fan and X. He: "Effects of laminar and disturbed flows on proliferation of the cells of a hybrid vascular graft in vitro", 5th World Congress of Biomechanics, Munich, Germany (2006-07)
- 29) T. Karino, L. Sun and K. Niwa: "Effect of hydrostatic pressure on proliferation of the cells of a hybrid vascular graft", 5th World Congress of Biomechanics, Munich, Germany (2006-07)
- 30) T. Karino, X. He and J. Sakai: "Effects of a shear flow and water filtration on transport of LDL from flowing fluid to and proliferation of the cells of a model of an arterial wall", 5th World Congress of Biomechanics, Munich, Germany (2006-07)
- 31) ファン・リジエ, 狩野猛: 「単核細胞の血管壁への付着・侵入に及ぼす渦流れの影響」, 第38回日本動脈硬化学会総会, 東京 (2006-07)
- 32) 何小明, 狩野猛: 「ハイブリッド人工血管の細胞層の厚さに及ぼす流れおよび水透過の影響」, 第38回日本動脈硬化学会総会, 東京 (2006-07)
- 33) 何小明, 狩野猛: 「培養血管内皮細胞単層における引掻き傷の修復に及ぼす静水圧の影響」, 第86回北海道医学会大会生体医工学分科会・第45回日本生体医工学会北海道支部大会, 札幌市 (2006-10)
- 34) L. Fan and T. Karino: "Effects of a disturbed flow on proliferation of the cells of a hybrid vascular graft-An in vitro study", XVth International Conference on Mechanics in Medicine and Biology, Singapore, Singapore (2006-12)
- 35) X. He and T. Karino: "Effect of hydrostatic pressure on wound healing-An in vitro study with cultured EC monolayer-", XVth International Conference on Mechanics in Medicine and Biology, Singapore, Singapore (2006-12)
- 36) 狩野猛: 「血管病の局在化に関する物質移動論的検討」, 第19回バイオエンジニアリング講演会, 仙台市 (2007-01)
- 37) 坂井滋郎, ファン・リジエ, 狩野猛: 「LDL およびモデル微粒子の血管壁への物質移動に及ぼすせん断流れの影響」, 第19回バイオエンジニアリング講演会, 仙台市 (2007-01)
- 38) Fan Lijie, 狩野猛: 「ハイブリッド人工血管への単核細胞の付着に及ぼす流れの局所的な乱れの影響」, 第19回バイオエンジニアリング講演会, 仙台市 (2007-01)
- 39) 何小明, 狩野猛: 「培養血管内皮細胞単層における引掻き傷の修復に及ぼす静水圧の影響」, 第19回バイオエンジニアリング講演会, 仙台市 (2007-01)
- 40) 和田成生, 狩野猛: 「血管壁の水透過性を考慮した血管内皮細胞表面上の物質輸送」, 第19回バイオエンジニアリング講演会, 仙台市 (2007-01)
- 41) 中村匡徳, 和田成生, 山口隆美, 狩野猛: 「左心室および大動脈内血流の数値解析とMR計測」, 第19回バイオエンジニアリング講演会, 仙台市 (2007-01)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) 丹羽光一, 稲波修, 山盛徹, 太田利男, 浜州拓, 狩野猛, 桑原幹典: 「酸化ストレスによる血管内皮細胞のp53とPI3K/Akt活性化における細胞内カルシウムの役割」, 第9回北海道活性酸素・フリーラジカル研究会, 札幌市 (2003-06)
- 2) 岡田健吾, 工藤信樹, 丹羽光一, 和田成生, 山本克之: 「パルス超音波照射下での sonoporation に関する基礎的検討」, ME とバイオサイバネティクス研究会, 札幌市 (2003-06)
- 3) 丹羽光一, 狩野猛: 「内皮細胞のずり応力誘発性ピノサイトーシスにおける細胞内活性酸素の役割」, 第10回北海道活性酸素・フリーラジカル研究会, 札幌市 (2004-07)
- 4) 中田直哉, 南山真裕子, 丹羽光一, 狩野猛: 「血管内皮細胞-平滑筋細胞共培養系の LDL 取込みおよび細胞増殖特性」, ME とバイオサイバネティクス研究会, 札幌市 (2004-06)
- 5) 坂井滋郎, 丹羽光一, 狩野猛: 「血管壁モデルによる巨大分子の取込みに及ぼすせん断流れおよび水透過の影響」, ME とバイオサイバネティクス研究会, 札幌市 (2004-06)
- 6) H. Aonuma, Y. Matsumoto, K. Niwa, A. Delago, S. R. Ott, M. R. Elphick and M. Mizunami: "NO-cGMP signaling mediates long-term memory in the cricket", 10th symposium on invertebrate neurobiology, Tihany, Hungary (2003-07)
- 7) 孫 雷, 丹羽光一, 狩野猛: 「組織工学的手法によりハイブリッド人工血管を作成した場合の負荷した静水圧と細胞層の厚さとの関係」, ME とバイオサイバネティクス研究会, 札幌 (2005-06)
- 8) T. Karino, J. Sakai, X. He and K. Niwa: "Effects of a shear flow and water filtration on transport of LDL and proliferation of cells in a model of an artery", The Second Japan-Switzerland Workshop on Biomechanics, Kyoto (2005-09)
- 9) L. Sun, K. Niwa and T. Karino: "Effect of hydrostatic pressure on proliferation of the cells forming a hybrid vascular graft", The Second Japan-Switzerland Workshop on Biomechanics, Kyoto (2005-09)

#### 4.9 共同研究

##### a. 所内共同研究 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

- 1) 青沼仁志、丹羽光一、中島崇行、田中賢、西野浩史 (電子科学研究所): 「昆虫の神経細胞を用いた培養系による神経回路網の再構築と」、2002～2004年度、未定、NO-cGMP系は学習や記憶の基盤となる神経の可塑性に深く関与する。これまでに節足動物を用いた電気生理学・行動学・組織化学的研究から NO-cGMP系が神経伝達の修飾に関与する事、匂いの連合学習に重要な事などを示した。NOは標的細胞のグアニル酸シクラーゼを活性化し細胞内cGMP合成を促進するが、cGMPがどのような生理機構で神経の可塑性に関与するか不明である。本プロジェクトは培養細胞系を従来の研究に取り入れ、細胞内の遺伝子発現、酵素活性を観察する事でcGMPの下流にあるシグナル伝達系を解明する。従来のin vivoの実験と本プロジェクトのin vitroの実験を組み合わせる事で、実験材料に昆虫を使う利点を最大限に活用し、脊椎動物では困難な思い切った実験を可能にする。

#### 4.9 受賞

- 1) 和田成生、糺屋 睦、狩野猛: 2002年度(平成14年度)日本機械学会賞 (論文) 「The effect of creating a moderate stenosis on the localization of intimal thickening in the common carotid artery of the rabbit fed on a cholesterol-rich diet」(日本機械学会) 2003年4月

#### 4.10 予算獲得状況

##### a. 科学研究費補助金 (研究代表者、分類名、研究課題、期間)

- 1) 丹羽光一、若手研究 B、ずり応力による血管内皮細胞の活性酸素産生とアテローム性動脈硬化発症の関連、2003～2004年度
- 2) 狩野猛、特定領域研究 A 一般 (2)、細胞培養により作製したハイブリッド人工血管の組織構造に及ぼす流体力学的因子の影響、2003～2006年度
- 3) 狩野猛、基盤研究 B 一般 (2)、肥厚性血管病の発病並びに局在化に及ぼすせん断流れおよび水透過速度の影響、2003～2005年度

#### 4.12 社会教育活動

##### b. 国内外の学会の役職

- 1) 狩野猛: Biorheology 編集委員 (2005年4月1日～現在)
- 2) 狩野猛: 日本バイオレオロジー学会理事 (2003年1月1日～現在)

##### c. 併任・兼業

- 1) 丹羽光一: 農業生物資源研究所 招聘研究員 (2004年6月29日～2005年3月31日)

##### e. 新聞・テレビ等の報道

- 1) 狩野猛: 北海道医療新聞 2006年10月13日 「血管病発症解明に力」

##### f. 外国人研究者の招聘 (氏名、国名、期間)

- 1) Sun Lei, China, 2003年7月17日～2004年7月15日
- 2) Fan Lijie, China, 2004年9月15日～2004年9月14日

##### g. 北大での担当授業科目 (対象、講義名、担当者、期間)

- 1) 情報科学研究科、生体工学概論、狩野猛、2003～2005年度
- 2) 全学部共通、バイオメカニクス (生体力学) 入門、狩野猛、2004年度
- 3) 工学部、力学 II、狩野猛、2003～2006年度
- 4) 情報科学研究科、バイオメカニクス特論、狩野猛、2003～2006年度
- 5) 情報科学研究科、生命人間情報科学特別演習、狩野猛、2003～2005年度
- 6) 情報科学研究科、生命人間情報科学特別研究第一、狩野猛、2003～2006年度
- 7) 情報科学研究科、生命人間情報科学特別研究第二、狩野猛、2003～2006年度

##### j. 修士学位および博士学位の取得状況

###### ・修士論文

- 1) 坂井滋郎: 血管内皮細胞・平滑筋細胞共培養系の表面上における LDL 濃度および共培養系による LDL の取込みに及ぼすせん断流れおよび水透過速度の影響
- 2) 中田直哉: 血管内皮細胞・平滑筋細胞共培養系の細胞増殖に及ぼす血清濃度の影響

## ナノシステム生理学研究分野

教授 永井健治 (東大院、医博、2005.1~)  
助教授 谷 知己 (東大院、理博、2005.3~)  
助手 後藤デレック (北大院、農博、2005.7~)  
非常勤研究員 松田知己  
学振特別研究員 竹本 研  
さがけ研究員 小寺一平  
学振外国人特別研究員 Sang-Yeob Kim  
DC2 倉元陽造  
MC1 友杉 亘  
MC1 岩崎卓也  
BC4 植松利亮

### 1. 研究目標

ひとつの受精卵が分裂と分化を経て、多様な細胞が機能的につながりあう多細胞個体を形成する。1個体を構成する様々な細胞が相互に連絡をとりあうことによって、個体としての刺激応答をおこなう。分子間、そして細胞間を相互に結びつけるつながりの仕組みを明らかにすることが、このような生命のしくみを解き明かす鍵であろう。ナノシステム生理学分野では、生体分子、細胞レベルの生命現象を研究対象として、遺伝子工学技術に基づく生体分子可視化技術を駆使して、個体の発生や刺激受容と応答に関わる分子間・細胞間相互作用を明らかにすることを大きな研究目標に掲げている。

### 2. 研究成果

#### (a) 新規蛍光タンパク質の開発

GFP (緑色蛍光タンパク質) にアミノ酸変異を導入することにより、これまで報告されているどの波長変異体とも異なる波長特性を持った GFP 変異体を得ることができた (図1)。この新規蛍光タンパク質の吸収ピークは、355nm であり、UV-A のほぼ全域に吸収特性を示す。そして、蛍光ピークは BFP の蛍光ピーク (445nm) よりさらに短波長側の424であった。これはこれまで報告されている蛍光タンパク質の中で最も短波長である。この変異体の特徴として pH3~pH9 の条件下で一定の強度の蛍光を発することが挙げられる。これにより、今まで蛍光による可視化が困難とされた強い酸性 pH 条件下でもイメージングが可能になると考えられる。さらに UV-A 域の光を吸収し可視光域の蛍光を発する性質を利用して日焼け止め等、化粧品として使うことができるかもしれない。

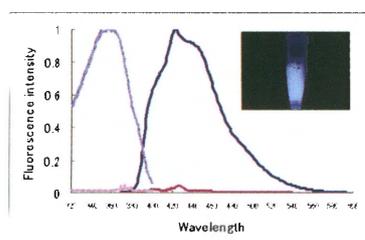


図1. 新規蛍光タンパク質の吸収・発光スペクトル

#### (b) 新規色変換タンパク質の開発とその応用

CFP(水色蛍光タンパク質)と PA-GFP (光活性化型緑色蛍光タンパク質)を FRET 効率が最大になるように連結することで、新規の色変換蛋白質 Phamret を開発した。Phamret は UV 光照射により、不可逆的にその蛍光色が水色から黄緑色に変化する。Phamret を HeLa 細胞内で発現させ Acceptor photo bleaching 法により、光刺激による色変換が FRET によるものであることを確認した。Phamret をターゲティングシグナル配列と融合させて HeLa 細胞内の核、核小体、ミトコンドリア、ペルオキシソーム、ゴルジ体、アクチン繊維に局在化させることに成功した。さらに、局在化した場所において光刺激による色変換を起こすことができた。部位特異的に色変換させた局在化 Phamret のタイムラプス測定によりミトコンドリアの融合とそれに伴うマトリックス間の物質の移動 (図2、細胞分裂の際のクロマチンの分配を観察することができた。以上の結果から、Phamret は汎用性の高い色変換タンパク質であることが示された。

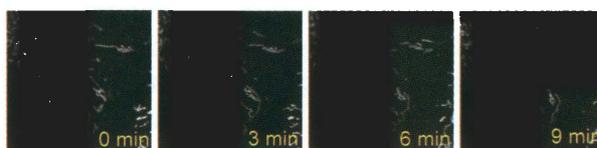


図2. Phamret によるミトコンドリア融合の観察

#### (c) 生きた細胞内で機能するタンパク質1分子の構造変化を実時間で観察する技術開発

タンパク質の機能は、タンパク質内部にいくつか存在するドメイン間の相互作用によって調節されている。すなわち、ドメイン間にはたらく構造変化をみることで、タンパク質の動作原理を読み解くかぎとなる。ドメイン間の位置関係を生きたタンパク質1分子でモニターするために、蛍光タンパク質がその双極子モーメントがパラレルになるように直鎖状に並べた構造をもつ、新しい蛍光タンパク質クラスターをデザインした。また、光学顕微鏡を用いた蛍光1分子観察の結果、この蛍光タンパク質クラスターは、通常の蛍光タンパク質のほぼ2倍の明るさを持つことを確認した (図3)。このことは、一分子観察をおこなう上で有利と考えられる。さらに、ドメイン間の位置関係をタンパク質1分子のなかでモニターするための方法として、ドメインに挿入した蛍光タンパク質クラスターの向きを見る技術の開発に着手した。蛍光色素の遷移双極子モーメントの向

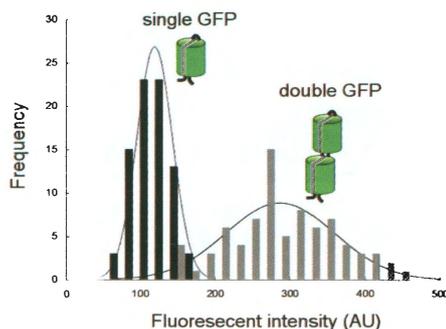


図3. 蛍光タンパク質クラスター1分子の蛍光強度ヒストグラム

きが、サブミクロン程度焦点面からはずれたボケ像から検出できることを利用して、この蛍光タンパク質クラスターの遷移双極子モーメントを、1分子単位、10Hzの時間分解能で観察することに成功した(図4)。

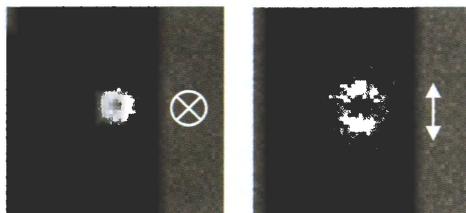


図4. 蛍光タンパク質クラスターの分子配向

(d) 立体構造情報を利用した蛍光イメージング用バイオセンサー設計法の開発

ratiometric-pericam の cpYFP 領域のみの結晶に関する X 線回折データを解析した。分子置換により位相決定したモデルについて、さらにモデル構築ソフト Wincoot (Emsley P, Cowtan K., 2004) X 線構造精密化ソフト crystallography and NMR system program (CNS) (Brünger, A. T. et al. 1998) を用いてリファインメントを行い分解能2.4 Åの最終構造を得た。この構造情報から、円順列変異によりタンパク質内の N 末端と C 末端の位置をずらし、元の N 末端と C 末端をリンカー配列でつないだのにも関わらず、ratiometric-pericam の cpYFP 部分の主鎖の全体構造は元の YFP の構造からほとんど変化していないことが分かった。決定した立体構造を分子置換の際に用いて ratiometric-pericam 全長の立体構造を決定する。

(e) 水銀アークランプを光源とするリアルタイム共焦点顕微鏡の開発

水銀アークランプをマルチモードファイバでスクランブルし CSU10に導入する事で、これをレーザーの代わりに光源として利用することに成功した。蛍光ビーズの点像分布関数(PSF)をレーザーの場合と水銀アークランプの場合で XY, XZ 方向に関して観察した所、その半値幅は同程度であった。この光源を用いて HeLa 細胞の蛍光イメージングを行った。リアルタイム共焦点顕微鏡 (CSU10) は通常はレーザーを光源とするが、多波長での使用やコスト面において不利であった。今回、我々は水銀アークランプを光源とした場合もレーザーを光源とした場合と同程度の画像が得られる事が明らかになった(図5)。

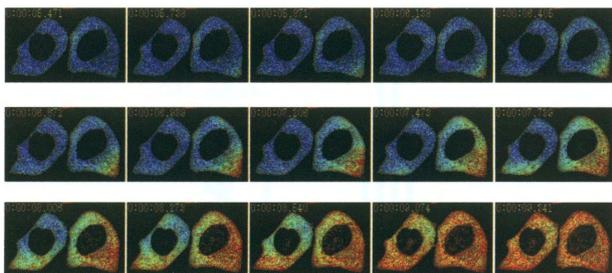


図5. 水銀ランプ共焦点顕微鏡で捉えた細胞内カルシウムイオン濃度の変化

(f) 遺伝子にコードされた RNA 指示薬の開発

従来、個体レベルで遺伝子発現量の定量を行うには、ノザン法や in situ ハイブリダイゼーションなどが用いられてきた。これらの手法では時空間的情報に乏しく、遺伝子発現のダイナミクスを詳細に解析することは不可能であった。また、これまで用いられてきた核酸とペプチド双方を利用した指示体内で定量的遺伝子発現解析を非侵襲的に行う技術基盤の確立するために、標準RNA (nut RNA) と結合するペプチドを ECFP と Venus でサンドイッチし、RNA 結合に伴うペプチドの立体構造変化を FRET の変化として検出する指示薬の開発を行った(図6)。その結果、In vitro にて nut RNA に対する FRET の変化率を測定したところ、ECFP と Venus 全長配列を持つものが140%以上の高い変化率を示した。本指示薬を用いて nut RNA に対する特異性を検討したところ、一塩基置換の変異体 nut RNA にはまったく変化せず、高い特異性を有することが明らかとなった。これまで報告された RNA 指示薬はほとんどが遺伝子でコードされておらず、生体レベルで RNA の定量を行うことは不可能であった。開発した指示薬は、高い変化率と特異性を有しており、生体レベルでの RNA の定量的動態解析に道を開くものと期待される。

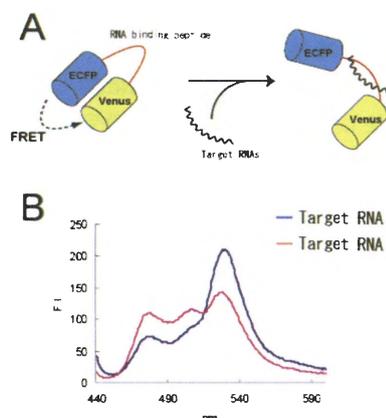


図6. RNA センサーの原理(A)とその RNA 結合に伴うスペクトル変化(B)

(g) 光照射による生体機能操作法の開発

個体レベルでの生体機能を光照射依存的に操作(破壊)する遺伝子工学技術の開発を行うために、遺伝子でコードされた光増感物質 (KillerRed) の改変を試みた。KillerRed は二量体であり、破壊対象となるタンパク質によっては、機能しないことが示唆される。また、現在のところ KillerRed は文字通り赤色のみであるが、GFP のように多色化が進めば、イメージングと操作の技術を組み合わせた技術が大きく発展するものと期待できる。本研究では、KillerRed を遺伝子改変スクリーニングにより、モノマー化と多色化を進め、生体レベルでの操作技術の確立を目指した。ランダム変異導入により、従来の KillerRed とはまったく異なる黄色を呈したコロニーを一つ得た。本コロニーを培養し、本変異体タンパク質を精製したところ、447nm に吸収波長ピークを持ち、蛍光波長ピークは531nm を示す新しい変異体であることが分かった。また、Native-PAGE による解析では、

現在までのところ完全にモノマー化を示した変異体は得られていない。最近、KillerRed の立体構造予測により、二量体形成に参与しているアミノ酸部位が推定することに成功している。現在本領域に変異を挿入した KillerRed の構築を行っている。

(h) 高性能化学発光タンパク質の開発

励起光が深部まで届かない個体レベルの観察や自家蛍光が極めて強い植物個体を高感度に観察するためには、高輝度な化学発光タンパク質が必須である。そこで、発光に ATP のエネルギーを必要としないため、細胞内で安定に発光するウミシイタケ由来シフェラーゼ (RLUC) の高性能化を目指した。in silico で RLUC の structure 解析をし、targeted structural modifications を導入する部位を決定し、8 種類の RLUC 変異体を作製した。そのうちの 1 つは発光活性が 30 倍も増加した (図 7)。

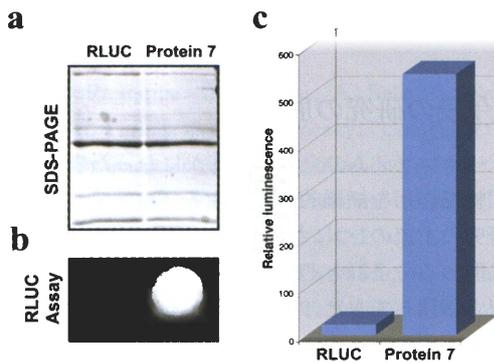


図 7. 高輝度化学発光タンパク質

(i) 生物発光および BRET による生理機能のリアルタイム可視化

化学発光に ATP のエネルギーを必要としない発光基質としてセレンテラジンを持つウミシイタケ由来の化学発光タンパク質 (Renilla luciferase、以下 Rluc) を GFP の黄色発光変異体 Venus の様々な円順列変異体と CaM-M13 のリンカーでつなぎ、BRET を利用したカルシウム指示薬の開発を行った。これらの蛋白質を大腸菌で合成しカルシウム有り無しで BRET の変化が大きいものをセレクションした。これを HeLa 細胞に発現させ、露光時間 5 s で観察し BRET による細胞内カルシウムイメージングに成功した。化学発光タンパク質から蛍光タンパク質へのエネルギー移動を利用した生理機能指示薬は幾つか報告されているが、その何れもがダイナミックレンジが小さく、実用上問題があった。今回 BRET を利用したカルシウム指示薬の実験を通して得られた結果は、大きなダイナミックレンジを有する機能指示薬開発に大きな道筋を与える方法になるものと期待される。

(j) ストレス下における植物個体内の情報伝達をリアルタイムに可視化する技術の開発

植物は人間や動物と違って生育に不利な環境にさらされても別の場所に移動することはできない。従って、少ない栄養状態、異なる光や温度条件下などで生き残るために

高度な適応力が必要である。環境変化は作物の収穫量や年間の作付け期間に大きく影響するため、この適応力をコントロールすることは農業において非常に重要である。遺伝子への変異導入や蛋白質発現の解析を通して、植物が生育に不利な環境に適応する際にどの遺伝子が関わっているのかを知ることができるようになってきた。様々な蛋白質の量的な変化に加えて、多くのシグナル伝達は蛋白質の活性の変化に依存的して起こる。しかし、一般にそのようなシグナル伝達を植物に関して研究することは難しいとされている。そこで、本研究では環境変化に応答して植物体内で起こる、カルシウム量の変化や蛋白質リン酸化などのシグナル伝達現象を実際に生細胞内でリアルタイムにイメージングする技術を開発することを目的とした。この技術によって、特定のシグナル伝達現象の時間的、空間的な相互作用を観測することができるようになるだけでなく、様々な遺伝子の手法と組み合わせることにより、個々の適応応答にどのシグナル伝達がどのように関わっているかを明らかにすると期待される。このような目的を遂行するため、我々は全てのゲノム配列が解明され、遺伝学的なアプローチが可能なシロイヌナズナに平成 18 年に開発した Venus-Rluc タンパク質や Ca<sup>2+</sup>をはじめとする様々な蛍光機能指示薬を安定的に発現した遺伝子導入植物を作成し (図 8)、生物機能をリアルタイムに観察する技術の確立を行なった。

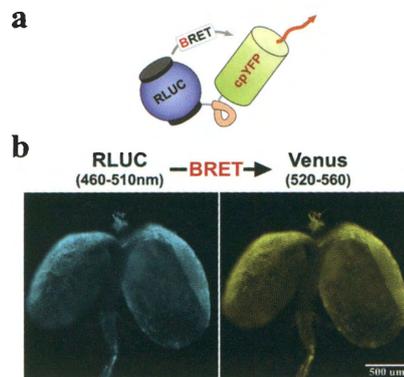


図 8. BRET の原理と BRET 指示薬を発現する遺伝子導入植物

(k) 生物の情報検知原理に関する研究

細胞性粘菌は飢餓状態になると cAMP を放出し、それに対する走化性運動を行う (図 9 A)。この過程では細胞性粘菌は cAMP の濃度勾配を検出するわけであるが、これまでの研究からおおよそ 100 個の cAMP が 1 細胞あたりに分布する濃度を細胞性粘菌は検出し、しかも細胞の前後での僅か 2 分子の差を見分けることができることが知られている。100 個という分子数には 10 個程度の統計的ゆらぎが存在するため、細胞性粘菌は 100 ± 10 個の情報の中で、100 ± 2 個の濃度勾配を見分ける仕組みを持っていることになる。このようなゆらぎと同じレベルの濃度勾配の中で、その勾配の方向を的確に認識し、運動する方向を決定する仕組みは全く分かっていない。この仕組みを解明するためには生きた細胞内での情報伝達の変化をリアルタイムで解析する必要がある。今までの生化学的手法を用いた研究では、走化性刺激時における二次メッセンジャーの濃度変化が示されてい

るが、個々の生きた細胞内でのシグナル分子の活性化・不活性化は示されていない。そのため走化性刺激時における生きた細胞内でのシグナルタンパク質の活性化やシグナル分子の濃度変化を FRET を用いたイメージング技術で解析した。今回、走化性刺激時の二次メッセンジャーとして働いていると考えられている Ca イオンの濃度変化を粘菌細胞内で可視化するため、粘菌内に Ca イオンの indicator である cameleon YC3.60 を発現させ、イメージングを行うことにした。YC3.60 はこれまでに様々な生物で利用されているが、粘菌に用いた報告はない。また、粘菌で FRET を用いたイメージングはほとんど行われていない。まず、粘菌において FRET ベースのイメージングが可能であるか検証した。その結果、粘菌細胞で初めて cameleon YC3.60 を発現させ、走化性運動時の Ca イオン濃度変化をイメージングすることができた(図9B)。粘菌細胞は左下のピペット先端の方へ移動している。結果は現在解析中である。

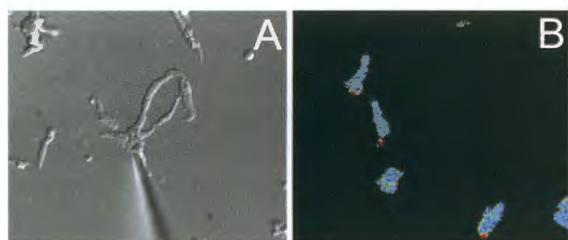


図9. 細胞性粘菌の cAMP に対する走化性とカルシウムイメージング

#### (1) ゲノム DNA の超迅速な塩基配列決定法の開発

DNA 塩基配列の解読は、1970年代にサンガー法やマクサム・ギルバート法の発明により実現化し、現在でもこれらを改良した方法が用いられている。しかし、こうした方式は技術的な飽和状態を迎えつつあり、従来型技術の改良だけでは、ヒトゲノムを短時間で解読し、テーラーメイド医療などに発展させることが困難である。

我々が実現化を目指す新規 DNA 解読法は、DNA 1 分子の塩基配列を超並列的に解析する方法であるため、理論的には数十万から数百万塩基を1時間程度で解読できる計算である。さらに本技術は、対象 DNA を細胞から抽出して直接解析するため、従来のゲノム解析において膨大な労力を要した DNA のクローニング作業が不必要である。またこのような装置は、光学顕微鏡と同等の装置であることから、原理的に小型で安価に製造することが可能であり、臨床現場に広く普及する可能性がある。

本技術では、生体組織から取り出した DNA 断片を直接ガラス基盤上に固定する。ここに4種類の蛍光 DNA プローブを加え、制限酵素と DNA 連結酵素を作用させると蛍光プローブの連結と切断が交互に起こる。蛍光 DNA プローブと制限酵素の位置関係を適切に設計することで、1塩基ずつ DNA を削除する連鎖反応が生じる。この連鎖反応において DNA の末端に順次取り込まれていく蛍光プローブを1分子レベルで観察することにより、1分子 DNA の塩基配列を順次決定する。現在の1分子観察技術では数千から数万程度の分子を同時に観察することができるため、DNA

解読の分子レベルでの超並列化が可能である。

現在までに、ガラス表面上に固定したオリゴ DNA に対して、4種類の蛍光プローブと各酵素を加えて反応させ、DNA の連鎖削除反応を持続させることに成功した(図10)。また、全反射照明と高速フィルターチェンジャー、EM-CCD カメラを組み入れた装置で、この連鎖反応を1分子レベルで捉えることができた。この1連の実験結果から、連鎖反応の速度は  $1 \text{ base} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{molecule}^{-1}$  と推定され、これは1万分子を同時に観察した場合、1万塩基/分の性能に相当する。このことから、全く新しい原理に基づく塩基配列決定法が既存の技術の効率を大幅に超えることを示唆する結果を得たと考える

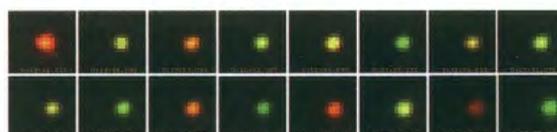


図10. 1分子DNA連鎖削除反応の可視化

### 3. 今後の研究の展開

ヒューマングノムの全貌が明らかになった現在、タンパク質間相互作用を網羅的に解析するプロテオーム解析が生物学研究の主流の1つになっている。その結果、細胞内分子反応に関わる分子群とそれらの相互作用に関する莫大な量の情報が蓄積してきた。しかしながら、個々の生理現象に潜む一般原理の理解には至っていない。それはひとえに細胞内の様々な事象に関与する分子と分子を矢印で結んだ“静的”理解に留まっているからである。そのようなデータのほとんどが百万個以上の細胞をすりつぶして調製した試料を生化学的に調べるという方法から得られるものであるが、このような方法は生理現象の時空間的スケールを全く無視している。より包括的・根源的な理解のためには個々の生理反応がいつ、どこで、どの程度起こるのか、つまり時空間的な“動的”情報を得る必要があるであろう。また、細胞レベルだけでなく、個体レベルでの情報も得なければならない。その為には生理機能を可視化する技術、個体レベルのイメージング技術、そしてリアルタイムに観察しながら生理機能を“いじくる”技術の開発が必要不可欠である。当研究室では、新しい技術を用いた解析による新しい現象の発見を目指して、機能指示薬開発、生理機能操作技術開発、顕微鏡技術開発、生理現象解析の4位1体型研究を今後も展開していくことで、生命の謎に迫りたい。

### 4. 資料

#### 4.1 学術論文等

- 1) AA. Kazuno, K. Munakata, T. Nagai, S. Shimozono, M. Tanaka, M. Yoneda, N. Kato, A. Miyawaki, T. Kato. Identification of mitochondrial DNA polymorphisms that alter mitochondrial matrix pH and intracellular calcium dynamics. *PLoS Genet.* 2: e128 (2006)
- 2) Han YW, Tani T, Hayashi M, Hishida T, Iwasaki H, Shi-

- nagawa H, Harada Y, Direct observation of DNA rotation during branch migration of Holliday junction DNA by Escherichia coli RuvA-RuvB protein complex. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 103, 11544-8 (2006)
- 3) Irvine DV, Zaratiegui M, Tolia NH, Goto DB, Chitwood DH, Vaughn MW, Joshua-Tor L, Martienssen RA, Argonate slicing is required for heterochromatic silencing and spreading. *Science* 313, 1134-1137 (2006)
  - 4) J. Kohyama, A. Tokunaga, Y. Fujita, H. Miyoshi, T. Nagai, A. Miyawaki, K. Nakao, Y. Matsuzaki, H. Okano: "Visualization of spatiotemporal activation of Notch signaling: Live monitoring and significance in neural development", *Dev. Biol.* 286 : 311-325 (2005)
  - 5) K. Takao, K. Okamoto, T. Nakagawa, R.L. Neve, T. Nagai, A. Miyawaki, T. Hashikawa, S. Kobayashi and Y. Hyashi: "Visualization of synaptic Ca<sup>2+</sup> /calmodulin-dependent protein kinase II activity in living neurons" *J. Neurosci.* 25 : 3107-3112 (2005)
  - 6) X. Lin, P. Varnai, G. Csordas, A. Balla, T. Nagai, A. Miyawaki, T. Balla and G. Hajnoczky: "Control of Calcium Signal Propagation to the Mitochondria by Inositol 1,4,5-Trisphosphate-binding Proteins" *J. Biol Chem.* 280 : 12820-12832 (2005)
  - 7) M. Ikeda, M. Ikeda-Sagara, T. Okada, P. Clement, Y. Urade, T. Nagai, T. Sugiyama, T. Yoshioka, K. Honda and S. Iou: "Brain oxidation is an initial process in sleep induction" *Neuroscience* 130 : 1029-1040 (2005)
  - 8) Y. Sasuga, T. Tani, M. Hayashi, H. Yamakawa, O. Ohara and Y. Harada: "Development of a microscopic platform for real-time monitoring of biomolecular interactions", *Genome Research*. In press (2005)
  - 9) T. Hirano, S. Shibata, K. Ohnishi, T. Tani. and S-I. Aizawa: "N-terminal signal region of FliK is dispensable for length control of the flagellar hook", *Mol. Microbiol.* 56 : 346-360 (2005)
  - 10) T. Tani, Y. Miyamoto, KE. Fujimori, T. Taguchi, T. Yanagida, Y. Sako and Y. Harada: "Trafficking of ligand-receptor complex on the growth cones as an essential step for the uptake of nerve growth factor at the distal end of axon: a single-molecule analysis", *J. Neurosci.* 25 : 2181-2191 (2005)
  - 11) H. Kato, D.B. Goto, R.A.Martienssen, T. Urano, K. Furukawa and Y. Murakami: "RNA polymerase II is required for RNAi-dependent heterochromatin assembly", *Science*, 309 : 467-469 (2005)
  - 12) T. Saiwaki, I. Kotera, M. Sasaki, M. Takagi and Y. Yoneda: "In vivo dynamics and kinetics of pKi-67: transition from a mobile to an immobile form at the onset of anaphase", *Exp. Cell Res.*, 308 : 123-134 (2005)
  - 13) I. Kotera, T. Sekimoto, Y. Miyamoto, T. Saiwaki, E. Nagoshi, H. Sakagami, H. Kondo and Y. Yoneda: "Importin alpha transports CAMKIV to the nucleus without utilizing imortin beta", *EMBO J.*, 24 : 942-951 (2005)
- #### 4.2 総説、解説、評論等
- 1) 永井健治「今、蛍光タンパク質で何ができるか？」生化学 78: 519-523 (2006)
  - 2) 永井健治「生細胞内で働く分子を可視化する」Bionics 2006年7月号 30-35 (2006)
  - 3) 永井健治「序：組織・個体レベルでの機能イメージングに向けて」細胞工学 25: 1010-1013 (2006)
  - 4) 永井健治「電顕に期待するもの」細胞工学 25: 1192-1193 (2006)
  - 5) 永井健治「HaloTag テクノロジーが拓くさまざまな蛍光イメージングの可能性」バイオテクノロジー 6: 745-750 (2006)
  - 6) 永井健治「FRET の上手な使い方」蛋白質核酸酵素(別冊)細胞核の世界—ダイナミクスから病態まで 51: 1989-1997 (2006)
  - 7) A. Miyawaki, T. Nagai and H. Mizuno: "Engineering fluorescent proteins" *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol* 95: 1-15 (2005)
  - 8) 谷知己、原田慶恵:「神経細胞の軸索伸長反応を引き起こす神経成長因子のふるまい:その1分子解析」、生物物理、45(6)、320-323 (2005)
  - 9) R.A. Martienssen, M. Zaratiegui and D.B. Goto : "RNA interference and heterochromatin in the fission yeast *Schizosaccharomyces pombe*", *Trends in Genetics*, 21: 450-456 (2005)
- #### 4.3 著書
- 1) 永井健治「円順列 GFP 変異体を利用した機能プローブの作製法と2波長励起1波長取得レーザー共焦点イメージング」実験医学(別冊)染色体・バイオイメージング実験ハンドブック 210-215 (2006)
  - 2) A. Miyawaki, T. Nagai and H. Mizuno: "Genetic Probes for Calcium Dynamics", Yuste et al. eds. *Imaging Neurons-A Laboratory Manual-*, CSHL PRESS (2005)
  - 3) 永井健治、宮脇敦史「GFP を利用した蛍光バイオセンサーの作成法と生体機能の可視化」遺伝子医学 Mook 別冊/分子生物学実験シリーズ 図・写真で観るタンパク質構造・機能解析実験実践ガイド、メディカル ドゥ、173-182 (2005)
- #### 4.5 講演
- ##### a. 招待講演
- i) 学会
  - 1) T. Nagai: "Realtime imaging and manipulation of biological functions by fluorescent proteins" 20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology, Kyoto, Japan (2006-7)
  - 2) 永井健治「蛍光・発光タンパク質を利用した生理機能センサーの開発とライブイメージング」第96回日本病理学会、大阪国際会議場、大阪 (2007-3)

- 3) T. Nagai: "Imaging biological functions by using genetically-encoded indicators & a spinning disc confocal system with a mercury arc lamp as a light source" Fifth East Asian Biophysics Symposium & Forty-Fourth Annual Meeting of the Biophysical Society of Japan, Okinawa Convention Center, Okinawa, Japan (2006-11)
  - 4) 永井健治 「近未来的バイオイメージング技術の展望」第15回バイオイメージング学術集会、岩手医科大学60周年記念館 (2006-11)
  - 5) T. Nagai: "Development of FRET- and BRET-based functional indicators with expanded dynamic range" The 2nd Sapporo Conference, Hokkaido University, Sapporo, Japan (2006-10)
  - 6) 永井健治 「蛍光・化学発光タンパク質を利用した生理機能イメージング」分子構造討論会2006、グランシップ、静岡 (2006-9)
  - 7) 永井健治 「蛍光分子を利用して生体機能と情報をはかる」生化学会近畿支部、大阪大学コンベンションセンター、大阪 (2006-9)
  - 8) T. Nagai: "Development of FRET- and BRET-based functional indicators with expanded dynamic range" 16th International Microscopy Congress, Sapporo Convention Center, Sapporo, Japan (2006-9)
  - 9) T. Nagai: "Vivid visualization of biological functions by using DNA-encodable indicators- Toward multifunctional imaging- 7th Joint Meeting of The Histochemical Society & The Japan Society of Histochemistry and Cytochemistry, Hilton Waikoloa Village, Big Island of Hawaii, USA (2006-8)
  - 10) T. Nagai: "Realtime imaging and manipulation of biological functions by fluorescent proteins" 20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology, Kyoto, Japan (2006-7)
  - 11) 永井健治: 「バイオイメージング技術の現状と展望」、日本生体医工学会北海道支部第28回 ME 研究会、北海道大学、札幌 (2005-6)
  - 12) T. Nagai: "Molecular and cellular imaging of living organisms" 63rd KSBMB Annual Meeting, COEX, Seoul, Korea (2006-5)
  - 13) 永井健治 「蛍光・化学発光タンパク質を利用した生細胞内のリアルタイム機能イメージング」第127回日本薬理学会、ヴォルフオートとやまホール、富山 (2007-3)
  - 14) 永井健治: 「蛍光タンパク質を用いた生体機能イメージングの現状と展望」、日本病理学会、パシフィコ横浜、横浜 (2005-4)
  - 15) 永井健治: 「蛍光タンパク質を利用した生体機能のライブイメージング」、日本顕微鏡学会、エポカルつくば、つくば (2005-6)
  - 16) 永井健治: 「ニポウ式共焦点による FRET イメージング」、日本顕微鏡学会、エポカルつくば、つくば (2005-6)
  - 17) T. Nagai: "Engineering green fluorescent proteins to visualize biological functions", Symposium on New Frontier in Live Cell Imaging", Yang Ming University, Taipei (2006-7)
  - 18) T. Nagai: "Engineering green fluorescent proteins to visualize and manipulate biological functions", Microscopy workshop, National Cheng Kung University, Tainan (2006-7)
  - 19) 永井健治: 「Engineering green fluorescent proteins to visualize and manipulate biological functions」、浜松医科大学 COE 国際シンポジウム、浜松医科大学、浜松 (2005-8)
  - 20) T. Nagai: "Real-time detection of signal transduction pathway in living cells", American Academy of Nanomedicine First Annual Meeting, Johns Hopkins University, USA (2005-8)
  - 21) T. Nagai: "Functional imaging of living cells by the GFP-based indicators", LSM CLUB 2005, China (2005-9)
  - 22) T. Nagai: "Application of GFP-based indicators to visualize biological functions", The TRF & Microscopy Workshop, Yang Ming University, Taipei (2005-10)
  - 23) T. Nagai: "Application of GFP-based indicators to visualize biological functions", Japan-UK Symposium on Promotion of Regional Partnership on Nanotechnology Development, Hokkaido University, Sapporo (2005-10)
  - 24) T. Nagai: "Introduction of Nikon imaging center at Hokkaido University" Luncheon seminar of the 7<sup>th</sup> RIES international symposium on 命, Hokkaido University, Sapporo (2006-12)
  - 25) 永井健治: 「形態形成原理の解明を目指して-バイオイメージングによるアプローチ」、第28回日本分子生物学会バイオテクノロジーセミナー、JAL リゾートシーホークホテル福岡、福岡 (2005-12)
  - 26) 永井健治: 「個体レベルの機能イメージングを目指して」第79回日本薬理学会シンポジウム、パシフィコ横浜、横浜 (2006-3)
  - 27) 永井健治: 「個体レベルの機能イメージングを目指して」第111回日本解剖学会層階シンポジウム、北里大学、相模原 (2006-3)
  - 28) 谷知己: 「神経成長円錐における軸索伸長の情報処理」、43回日本生物物理学会シンポジウム、札幌コンベンションセンター、札幌 (2005-11)
- ii) 研究会
- 1) 永井健治 「蛍光・発光タンパク質を利用した生理機能イメージング」通研共同プロジェクト研究会、「フォトリック結晶の光産業技術への展開」、東北大学ナノスピコン総合研究棟、仙台 (2006-12)
  - 2) 永井健治 「個体レベルでのニューロン・グリア機能解析に資するイメージング法の開発」第18回生理研研究会 Neuro-glio-vascular interaction におけるプリン作動性シグナリングの病態生理的機能、岡崎 (2006-9)
  - 3) 永井健治 「蛍光分子を利用して生体機能と情報をはかる」生命をはかる研究会、日本コンベンションセンタ

- 一、幕張 (2006-8)
- 4) 永井健治:「近未来的バイオイメージングの展望」、特定領域研究2 領域合同公開シンポジウム、細胞内のダイナミックネットワーク: 前進するオルガネラ研究、千里ライフサイエンスセンター、大阪 (2006-6)
  - 5) 永井健治:「生理機能イメージング技術とその医学応用」、ナノメディスン研究会、岡崎 (2006-2)
  - 6) 永井健治:「個体レベルの機能イメージングを目指して」岡崎統合バイオサイエンスセンター創設5周年シンポジウム、岡崎カンファレンスセンター、岡崎 (2006-2)
  - 7) 永井健治:「化学発光を用いた機能イメージング法の開発」、発光イメージング研究会、基礎生物学研究所、岡崎 (2005-7)
- iii) コロキウム・セミナー等・その他
- 1) 永井健治「蛍光・発光タンパク質を用いたバイオセンサーの開発と生理機能のライブイメージング」第4回分野横断スクール「ナノバイオスクール」ー生体細胞の形態・機能観察から動的診断、都市センターホテル、東京 (2006-12)
  - 2) 永井健治「生きた細胞の中の生理反応をリアルタイムに可視化する技術の開発」大阪大学蛋白質研究所セミナー“ケミカルバイオロジーの進展と生命科学研究の新たな展開”、大阪大学蛋白質研究所、大阪 (2006-11)
  - 3) 永井健治:「発光性タンパク質を利用した生理機能の可視化と操作~医療応用を目指して~」臨床応用を目指した産学連携セミナー3 分子細胞イメージングと疾患・創薬研究~ライブセルから in vivo への展開、コクヨホール、東京 (2006-5)
  - 4) 永井健治:「生体機能イメージングの現状と展望」、三共㈱セミナー、東京(2005-3)
  - 5) 永井健治:「蛍光タンパク質が拓く光観察・操作技術」、慶応大学医学部セミナー、東京(2005-5)
  - 6) 永井健治:「蛍光タンパク質が拓く光観察・操作技術」、浜松医科大学セミナー、浜松(2005-5)
  - 7) 永井健治:「Engineering green fluorescent proteins to visualize and manipulate biological functions」、第82回ニューロサイエンス談話会、北海道大学、札幌 (2005-7)
  - 8) 永井健治:「細胞内の現象を見る・いじる」、浜松医科大学 Medical Photonics Course、浜松医科大学、浜松 (2005-8)
  - 9) 永井健治:「FRET の基礎」、第5回細胞生物学ワークショップ、情報通信総合研究所、神戸 (2005-8)
  - 10) 永井健治:「GFP と FRET-遺伝子にコードされた機能指示役の作成とバイオイメージング」、顕微鏡講習会、産業技術総合研究所、つくば (2005-10)
  - 11) 永井健治:「生命の原理に迫るには?」、第5回先端研究交流セミナー、順天堂大学、東京(2005-11)
  - 12) 永井健治:「蛍光および発光タンパク質を利用した機能指示薬の作成法」第6回細胞生物学ワークショップ、北海道大学、札幌 (2006-1)
  - 13) 谷知己:「やわらかなバイオ素材:細胞膜の物理的特性とその生理機能に学ぶ」、医工共同開催講義、東北大学、仙台 (2005-7)
  - 14) T. Tani: “Single-molecule analyses of the interactions of nerve growth factor and the receptors on the membrane of dorsal root ganglion growth cones”, Indiana University, Bloomington, USA (2005-2)
  - 15) T. Tani: “Signal input of nerve growth factor into the growth cone visualized by the use of single-molecule imaging”, Indiana University, Bloomington, USA (2005-2)
  - 16) T. Tani: “Signal input of nerve growth factor into the growth cone visualized by the use of single-molecule imaging”, The 3rd RECBS-Hokudai Symposium, Hokkaido University, Sapporo (2005-11)
- b. 一般講演
- i) 学会
- 1) T. Matsuda, A. Miyawaki, T. Nagai: “Phamret: An efficient highlighter protein based on photoconversion-mediated FRET for cell biological studies” International Symposium on Functional Organization of the Nucleus, Awaji Yumebutai International Conference Center, Awaji, Japan (2007-1)
  - 2) T. Tani, K Saito, T. Nagai: “Single molecule imaging of nerve growth factor receptor trkA expressed in the growth cones of dorsal root ganglion explants” Fifth East Asian Biophysics Symposium & Forty-Fourth Annual Meeting of the Biophysical Society of Japan, Okinawa Convention Center, Okinawa, Japan (2006-11)
  - 3) K. Takemoto, T. Nagai: “A genetically-encoded indicator for RNA in living cells” Fifth East Asian Biophysics Symposium & Forty-Fourth Annual Meeting of the Biophysical Society of Japan, Okinawa Convention Center, Okinawa, Japan (2006-11)
  - 4) T. Matsuda, A. Miyawaki, T. Nagai: “Phamret: An efficient highlighter protein based on photoconversion-mediated FRET for cell biological studies” Fifth East Asian Biophysics Symposium & Forty-Fourth Annual Meeting of the Biophysical Society of Japan, Okinawa Convention Center, Okinawa, Japan (2006-11)
  - 5) K. Saito, T. Nagai: “Ca<sup>2+</sup> imaging of single living cell with bioluminescence resonance energy transfer (BRET)” Fifth East Asian Biophysics Symposium & Forty-Fourth Annual Meeting of the Biophysical Society of Japan, Okinawa Convention Center, Okinawa, Japan (2006-11)
  - 6) T. Tani: “Signal input of nerve growth factor into the growth cone visualized by the use of single-molecule imaging”, 49th Biophysical Society Meeting,, Long Beach, USA (2005-2)
  - 7) 齋藤健太、永井健治:「シロイヌナズナにおける重力情報伝達のリアルタイム可視化解析」、第43回日本生物物理学会、札幌コンベンションセンター、札幌 (2005-11)

#### 4.7 予算獲得状況

- a. 科学研究費補助金（研究代表者、分類名、研究課題、期間）
- 1) 永井健治、若手研究A、少数分子による自己組織化過程の生体機能シグナル可視化による解析、06～08年度
  - 2) 後藤デレック、特定領域公募班、植物の栄養感知に関わるシグナル伝達のリアルタイム可視化、06～07年度
  - 3) 松田知己、若手B、立体構造情報を利用した蛍光イメージング用バイオセンサー設計法の開発、06～07年度
  - 4) 永井健治、萌芽研究、吸収位相差顕微鏡の開発、05～06年度
  - 5) 谷知己、萌芽研究、機能蛍光リガンドによる選択的神経細胞標識：in vivo 神経回路形成観察への応用、05～06年度
- c. 大型プロジェクト・受託研究
- 1) 谷知己、科学技術振興機構、戦略的創造研究推進事業 さきがけ研究21、タンパク質1分子モーションキャプチャー技術の開発、2006～2009年度
  - 2) 永井健治、厚生労働省、萌芽の先端医療技術推進事業、ナノレベルイメージングによる分子の機能および構造解析、2005～2006年度
  - 3) 小寺一平、科学技術振興機構、戦略的創造研究推進事業 さきがけ研究21、超迅速なゲノム配列決定法の開発、2005～2008年度

#### 4.8 共同研究

- a. 所内共同研究（研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容）
- 1) 永井健治、後藤デレック、綿引雅昭、田中亮介（北海道大学若手研究者支援プログラム）：「環境ストレス体制植物の超高効率作出に資する分子システム論的研究」、2005年度、低温ストレス下における植物体内の情報伝達をリアルタイムに可視化する技術の開発を通じて、遺伝学・分子生物学等の研究では不可能なストレス応答現象のシステム論的理解に迫ることを目的とし、低温ストレスを含む様々な環境ストレス耐性植物を迅速に作出する技術の開発に結びつける。
- b. 民間との共同研究
- 1) 永井健治（ニコン・インストルメンツカンパニー）：「機能指示タンパク質を効率よく観察するための顕微鏡開発」、2005～2006年度、これまでに開発されてきた、或いは今後開発される遺伝子にコードされた機能指示薬のシグナル変化を顕微鏡下で効率よく取得するための顕微光学システムを開発する。
- e. COE関係（研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容）
- 1) 永井健治、綿引雅昭、山本興太郎（北海道大学21世紀COE「バイオとナノを融合する新生命科学拠点」）：「重力による植物屈曲反応のリアルタイム可視化解析」、2005～2006年度、植物は重力屈性、つまり自らの体に対する重力の相対的な方向を感知し、屈曲反応を起こす性質を持つ。重力屈性反応はまず重力刺激の感知に

始まり、細胞内シグナルへの変換及び応答組織・器官へのシグナル伝達を経て、器官の偏差成長という最終的な応答反応に至る。これまでの研究から、重力屈性反応に関わる植物ホルモンや組織構造などに関する知見が積み重ねられてきたが、刺激から応答までの経路にある分子メカニズムはほとんどブラックボックス状態である。近年になりようやくシロイヌナズナ等を用いた分子遺伝学的解析や細胞生物学的解析から幾つかの重力屈性に異常のある変異体とその遺伝子が明らかになってきた。本研究では遺伝学的解析の点で優れたシロイヌナズナを実験材料とし、生きた植物個体内での重力感知動態を可視化する実験系を開発すると共に、重力に対する生物応答の原理を解明するための研究を行う。

#### 4.10 社会教育活動

##### a. 担当授業科目

- 1) 理学院生命理学専攻「発生進化学特論」永井健治
- 2) 全学教育「基礎化学Ⅰ」永井健治
- 3) 大学院共通講義「ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論Ⅰ」永井健治、2006年7月25日から2006年7月26日
- 4) 理学院共通科目群生命理学概論、永井健治、2006年7月12日
- 5) 理学院共通科目群生命理学概論、谷知己、2006年7月12日
- 6) 全学教育科「光・バイオ・分子で拓くナノテクノロジー」、永井健治、2006年6月16日
- 7) 全研究科共通、北海道大学大学院共通授業「ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論Ⅱ」、永井健治、2006年2月2日から2006年2月3日
- 8) 全研究科共通、北海道大学大学院共通授業「ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論Ⅱ」、谷知己、2006年2月2日から2006年2月3日

##### f. 北大以外での非常勤講師（担当者、教育機関、講義名、機関）

- 1) 永井健治、京都大学再生医学研究所、2006年2月16日～2006年2月17日

##### g. ポスドク・客員研究員など

- ・ポスドク（3名）
  - Sang-Yeob Kim（日本学術振興会外国人特別研究員）
  - 竹本研（日本学術振興会特別研究員）
  - 小寺一平（科学技術振興機構、戦略的創造研究推進事業「構造機能と計測分析」研究領域・研究者

##### h. 外国人研究者の招聘

- 1) Sang-Yeob Kim, Korea, 2006年1月10日～2006年2月8日

# 電子情報処理部門

## 研究目的

情報処理論と生体情報学を基礎にして、状況に応じて推論し判断する生体機能を解明し、人間の脳のように柔軟性のある電子情報処理システムの構築を目的としている。



## 情報数理研究分野

教授 西浦廉政 (京大理院、理博、1995.4~)

助教授 小林 亮 (京大理院、数理科学博、  
1995.4~2004.2)

早瀬友美乃 (お茶大、理博、2004.10~2005.11)

助手 柳田達雄 (総研大、学術博、1995.6~)

飯間 信 (京大理院、理博、1999.4~)

事務補佐員 リー雅子 (2003.4~2003.9)、酒井美和  
(2003.10~2004.9)、黒川みずき (2004.10~2005.11)、  
井上祐子 (2005.11~2007.8)

VBL 研究員 上田肇一、寺本敬、井古田亮、一宮尚志、  
永幡幸生、婁本 東、宮本安人、大下承民、袁曉輝

COE 研究員 郡 宏

学振 PD 平岡裕章

院 生

・博士課程

齊藤宗孝、手老篤史、大山義仁、袁曉輝、伊藤賢太郎

・修士課程

鈴木俊行、早坂靖士、菅原真紀子、鈴木啓太、

高井北斗、田中一慶

## 1. 研究目標

人間を含めた自然の営みを理解する方法は様々であるが、本研究分野は計算機の中に小自然を作り、その数理的構造を明らかにすることにより、その本質を解明することを目指す。いわば数理の実験工房とでもいべきものである。対象は一般に複雑かつ大自由度であるが、具体的な実体に基づきつつも、それにとらわれない普遍的構造を取り出すを試みる。平成15年度は散逸系における粒子解の散乱現象、真正粘菌変形体の運動の数理モデル、周期的刺激入力による1次元神経モデルの応答、有限時間の遅れが内在する系の解析、平成16年度は空間2次元散逸系における粒子解の散乱現象、自然界におけるノイズの影響、結合ニューロン・モデルの発火パターン、遅延フィードバック制御による分水嶺解の構成、平成17年度においては、Computational Homology の手法によるブロック共重合ポリマー系の形態遷移の特徴付け、散逸系における空間局在構造、結合興奮性ファイバーのパターン・ダイナミクス、流体中での渦を用いた推進機構の分岐解析、平成18年度は不安定解からみるパターンダイナミクス、マルコフ連鎖モンテカルロ法による力学系の解析、回転流体における大規模表面変形パターンの動的遷移等を主目標においた。

## 2. 研究成果

・平成15年度

(a) 散逸系における粒子解の散乱現象

散逸系における基本的なパターンとして、空間的に局在した粒子解とよばれるクラスがある。古典的には神経パルスの伝播を記述する FitzHugh-南雲方程式の1次元パルス

が有名であるが、この波は2次元以上では帯状、あるいはスパイラル状となり、空間局在した波とはならない。真の意味で一定速度、一定形状を保って進行する粒子解が存在するためにはモデル方程式は3変数以上必要であると予想されている。実際、ガス放電系、白金触媒上での一酸化炭素の酸化現象等の実験においてそのような粒子解が見つかったが、対応するモデル方程式はすべて3変数以上となっている。このような粒子解の相互作用で最も重要かつ困難な問題は衝突問題すなわち散乱現象の解明である。本年度は1次元系における進行パルスの散乱における入出力関係を、Gray-Scott モデル、ガス放電系モデル等について調べた。それらの散乱過程のダイナミクスを支配する普遍的機構として、分水嶺解と呼ばれる不安定な定常解または周期解が存在することを発見した、その近傍の局所ダイナミクスと、解軌道の空間的な位置関係により、様々な入出力関係が形成されることを明らかにした。

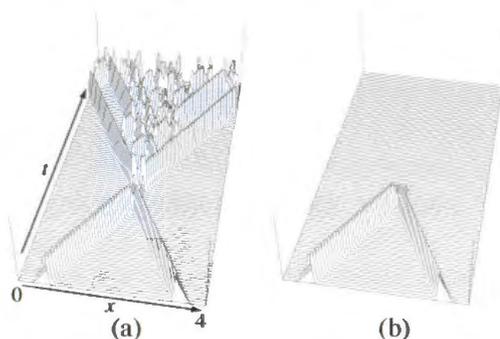


図1. Gray-Scott モデル系における1次元パルスの散乱過程：反応パラメータをわずかに変化させるだけで、同じ1次元パルスの衝突の入出力関係が(a)時空カオスあるいは(b)対消滅と変化する。

(b) 真正粘菌変形体の運動の数理モデル

真正粘菌 *Physarum polycephalum* の変形体は、巨大な多核の単細胞生物であり、マクロなスケールで見ると、ほぼ一様な構造を持っている。変形体の各部分が自励振動することで、細胞内のゾルが往復流動を起し、これによってこの生物は運動や情報処理を行っていると考えられている。共同研究者である中垣は、変形体の融合実験と変形体の部分的分離実験という2つの実験を行い、いずれの場合にも2通りの位相反転（周辺部反転と弱結合部反転）が起こることを確かめた。我々は、これらの実験結果を再現できるような数理モデルを提案した。このモデルの特徴は、保存量を持つ結合振動子系を表現していることである。この保存量は細胞の中を流動するゾルの総量に対応している。このモデルを用いて、上記の実験結果を再現することができた。

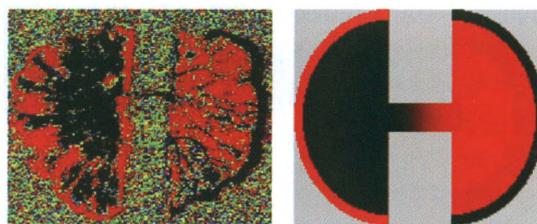


図2. 真正粘菌変形体の運動の数理モデル：部分分離実験とそのシミュレーション：2種類の反位相振動が再現されている。

(c) 周期的刺激入力による1次元神経モデルの応答

神経細胞は通常の細胞と異なり興奮と静止という二つの異なる状態をとる。神経細胞は普段は静止状態にあるが、刺激が加えられると、それが一定の臨界値(閾値)を越えると、しばらくの間、興奮状態となる。外部からの刺激によって細胞体あるいは神経繊維の一部が興奮すると、その興奮はパルス上の信号となって繊維上を伝播して行く。以上の本質的な性質を備えた簡単な数理モデルとして1次元FitzHugh-南雲モデルを考え、周期的な刺激に対する時空間応答の数値解析を行った。入力周期の変化により、引き込み現象やカオス的なパルスの生成が見られ、特にパルスが持つ固有の周期刺激が加わると、パルスが空間を伝わらなくなる伝播不全を起こす現象を発見した、これは神経軸索という空間自由度を考慮した結果として生じるパルス・パルス間の強い相互作用によるものである。

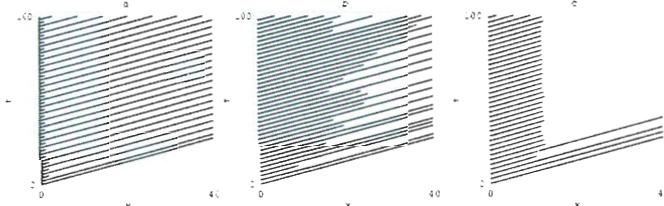


図3. 周期的刺激による1次元FitzHugh-南雲モデルの時空間パターン: 入力周波数に応じて(a)入力数と出力数の比が有理数となる引き込み現象(b)パルスのカオス的な生成(c)特定の入力周波数によってパルスは有限距離しか伝わらない伝播不全現象。

(d) 有限時間の遅れが内在する系の解析

有限時間遅れの効果は、数理生態学(生物が生殖可能年齢に達するまでの時間)、疫学(潜伏期間)、制御問題(信号の入力から出力までの時間)等、普遍的に見られる。この効果は、数学的には支配方程式の自由度が無限大になる事を意味するため、有限時間遅れが無い場合に比べ、一般に解析は非常に困難となる。ここでは現象論的解析手法を提案し、あるモデル方程式を用いて検証することで、特に周期解の定性的振る舞いを良く説明できることを示した。また、時間遅れの効果に時間的な幅を持たせる事により系の振る舞いが安定化するという最近のThielら(2003)の報告に対する簡単な解釈を与えた。

・平成16年度

(a) 空間2次元散逸系における粒子解の散乱現象

今年度は2次元系における進行スポットの散乱における入出力関係および脈動解とよばれる時間的に振動する進行波解の散乱現象を、Gray-Scottモデル、ガス放電系モデル、外力項をもつGinzburg-Landau方程式等について調べた。それらの散乱過程のダイナミクスを支配する普遍的機構として、1次元の定常パルス時と同様に分水嶺解と呼ばれる不安定な定常解または周期解が存在することを発見した。2次元の場合には例えば瓢箪の形状に似た不安定解が衝突前後の入出力関係を支配しており、その近傍における局所ダイナミクスの構造が大変形を伴う散乱現象の全体を説明することが明らかにされた。また脈動解の場合には衝突時の位相により、出力が変わることが理論的に証明された。

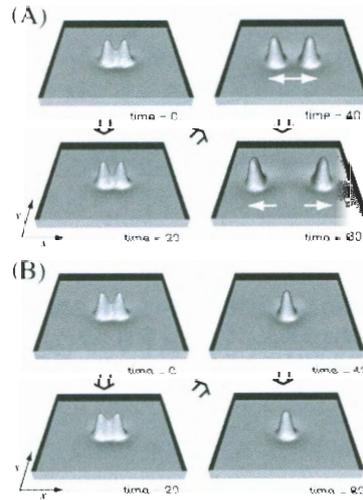


図7. 分水嶺解(瓢箪解)に微小な正の摂動(B)あるいは負の摂動(A)を加えたときの解の振る舞い。これは衝突時の解の振る舞いと一致する。

(b) 自然界におけるノイズの影響

自然現象を理解しようとする際、ノイズの影響を切り離して考えることはできない。特にパターン形成などをともなう自然現象の多くは非平衡下にあり、多自由度系のノイズの影響についての研究はこれまでにあまりおこなわれてこなかった。我々は、化学反応を引き起こす物質が空間的に広がり、それが拡散的に相互作用する「反応拡散系」についてノイズのパターン形成にたいする影響をしらべた。その結果、「時空間パターンのリエントラント転移」という特徴的な現象を明らかにした。これは、時空間的に乱れた系が、ノイズを加えることにより、時空間的乱れを解消し空間一様状態+ノイズを実現し、さらにノイズ強度を上げることにより、また時空間カオスに復帰するという現象である。

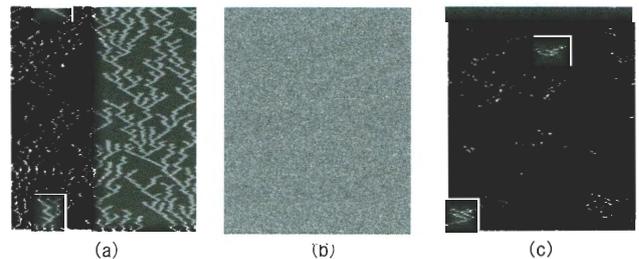


図6. 時空間パターンのリエントラント転移の例。反応拡散系のモデルのひとつであるGray-Scottモデルにノイズを加えることにより、時空間カオス状態(a)が、空間一様状態+ノイズ(b)へと転移し、さらにノイズを強めることにより、また、時空間カオス状態(c)に復帰する様子。それぞれ、縦軸が時間、横軸が空間。

(c) 結合ニューロン・モデルの発火パターン

神経細胞は通常の細胞と異なり興奮と静止という二つの異なる状態をとる。神経細胞は普段は静止状態にあるが、刺激が加えられると、それが一定の臨界値(閾値)を越えると、しばらくの間、興奮状態となる。以上の本質的な性質を備えたFitzHugh-南雲素子を拡散的に結合した系を考えた。単一の興奮素子は外部からの刺激がなければ静止状態が大域安定であるが、負の拡散結合が閾値を超えると、多様な周期的発火を示す。また、周期的発火パターンの他にもカオス領域が存在し、これらの分岐ダイアグラムを得た。

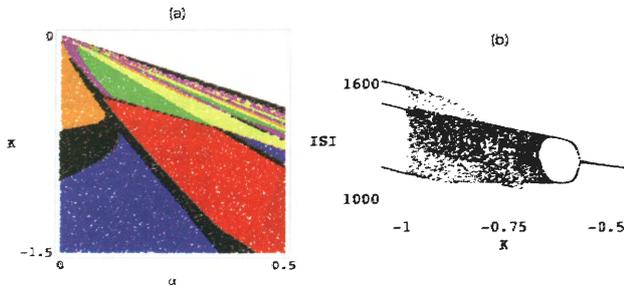


図4. 結合ニューロン・モデルの多様な発火パターン(a)結合強度  $K$  と素子の興奮閾値  $\alpha$  空間における発火パターン。発火パターンを分類し、色彩表示した。(b)発火間隔による発火パターン。周期発火の間にカオスの発火領域が存在する。

(d) 遅延フィードバック制御による分水嶺解の構成

前年度までの研究成果により、粒子解の相互作用が分水嶺解と呼ばれる特殊な解により支配されることが解明されてきた。本年度はより具体的な問題として、2種混合流体における局在対流セル同士の衝突を解析した。この問題はKolodnerによる実験が知られているが、衝突の数理的構造はわかっていない。我々は振幅方程式の分水嶺解を求めることで、衝突の数理的構造を明らかにすることを試みた。この系における分水嶺解は不安定周期解であり、しかも空間スケールが大きいので、従来用いられてきた方法では構成が難しい。そこでカオス制御に用いられる遅延フィードバック制御を応用することで、分水嶺解を構成することに成功した。

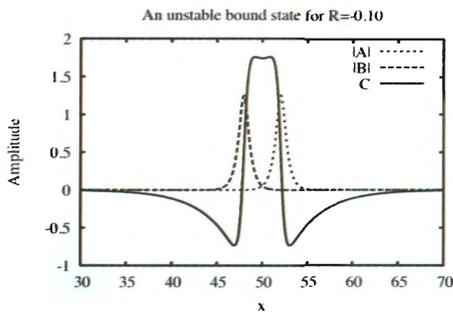


図5. 遅延フィードバック制御を用いて構成した分水嶺解の一例。系は空間自由度をもつ2つの複素関数と1つの実関数の相互作用で表される。ここでは振幅のみを表示している。

・平成17年度

(a) Computational Homology の手法によるブロック共重合ポリマー系の形態遷移の特徴付け

ひとつの分子鎖のなかに、水と油の成分を併せ持つブロック共重合体という高分子の混合系は、多様な空間3次元周期秩序モルフォロジーを成す。その空間周期の大きさは10~100nm程度であるためにマイクロ相分離モルフォロジーと呼ぶ。その数理モデルとして、あるリャプノフ汎関数が定式化され、その勾配流がダイナミクスを支配し、多様な空間周期構造はその極小状態であることが示される。これらは与えられた体積分率比について界面領域が最小になるように形成された平均曲率一定の界面モルフォロジーといえる。この微分幾何的クラスに含まれるダブルジャイロイドのような複雑なモルフォロジーもブロック共重合体の混合系で実際に観測され、上記の数理モデルを用いて説明さ

れることが明らかとなってきた。今年度はモルフォロジー転移ダイナミクスの数値シミュレーション結果に対してのトポロジー解析の有効性について調べた。あるモルフォロジーから次のモルフォロジーへ大変形する間に垣間見える複雑モルフォロジーを、ドメイン数や穴の数など、位相的に不変なホモロジー量によって特徴付けることが可能となり、対称性やエネルギーに関する情報だけでは困難であった形態同定問題に対し、新たな数理的測定法を提唱した。

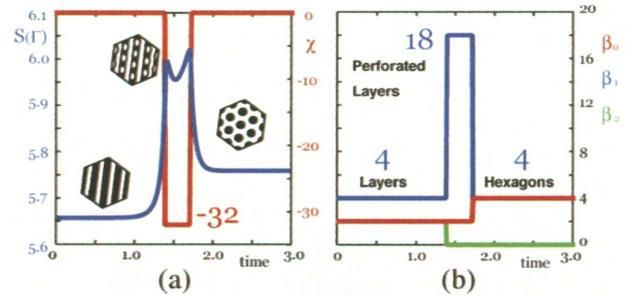


図10. ブロック共重合系においてラメラ(層状構造)からヘキサゴンへの形態転移に伴う(a)オイラー数 および(b)3つのベッチ数の時間変化をプロットしたもの。明らかに途中においてプラトー状態が存在する。これはそのトポロジー量から穴あきラメラ状態であることがわかる。

(b) 散逸系における空間局在構造

散逸系に見られる代表的なパターンに局在構造、言い換えると、粒子解とよばれるものがある。反応拡散方程式においては、伝播するパルス解や、チューリングパターンなど、一方、複素ギンツブルグランダウ方程式では、パーティクル解やホール解などが有名である。我々は、反応拡散系において、複素ギンツブルグランダウ方程式と類似の性質をもつパーティクル解やホール解の存在を、簡単なモデル方程式を用いて示した。安定なリミットサイクルと不安定なリミットサイクルおよび安定解をもつシンプルな双安定反応拡散方程式系を提案し、系がパーティクル解と二つの異なるホール解を持つ事を数値的に示した。さらにそれら3つがあるパラメタ領域で共存する事を発見した。また、パーティクル解の分岐構造について、周期倍化やカオスにいたる過程を見いだした。

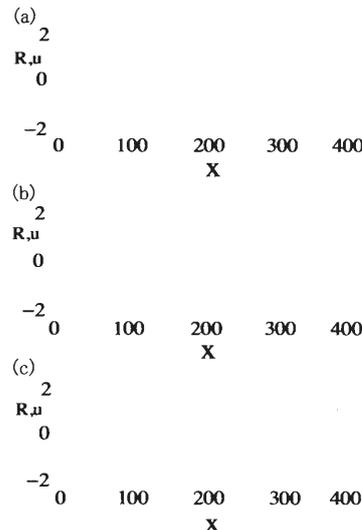


図8. 2変数  $(u, v)$  の双安定反応拡散方程式にみられる局在構造。(a)パーティクル解と(b)(c)二つの異なるホール解のスナップショット。横軸は空間、点線は変数  $u$ 、実線は  $R=(u^2+v^2)^{1/2}$  を示す。

(c) 結合興奮性ファイバーのパターン・ダイナミクス

神経細胞間の情報伝達は樹状突起や軸索内の電気信号によって担われており、パルス波として安定に伝播することが知られている。一方、神経軸索が高密度に結合した場合には軸索を伝播するパルス間の相互作用を考慮する必要があり、パルスの伝播に影響を及ぼすことが指摘されている。このような状況の数理モデルとして興奮繊維の本質的な性質を備えた FitzHugh-南雲方程式が結合した系を考えた。数値解析によりソリトンの衝突解・追い抜き解・時空カオス解などの単独興奮繊維にはないパルス・ダイナミクスを見いだした。

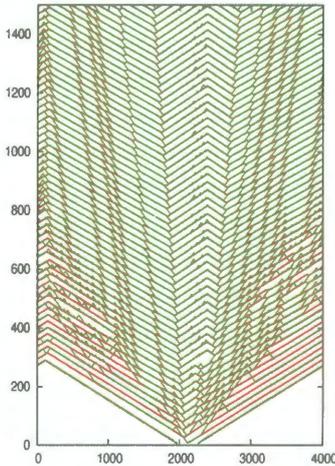


図9. 結合興奮繊維系に見られるカオスの時空間プロット。赤が緑はそれぞれ異なる繊維を伝播するパルスの位置である。これら異なる繊維を伝播するパルスの相互作用により時空カオスが生まれ出されている。

(d) 流体中での渦を用いた推進機構の分岐解析

昆虫などの飛翔機構では、翼などの移動器官の運動が流体の渦運動を引き起こし、それに伴う非定常力を活用する事で効率よい運動を実現していると考えられる。このような運動は渦運動が主要な役割を果たすために非線形性が強く、これまで個別の事例解析等が主で、飛翔機構をどのように特徴付けるのかという問題はあまり考えられていない。ここでは重心運動を考慮した2次元対称はばたきモデルの解析を行い、重心運動の安定性という観点から分岐解析を行った。分岐構造の特異点に注目し、その特異点の遷移を調べる事で複数の飛翔機構の特徴付けとそれらの分離に成功した。

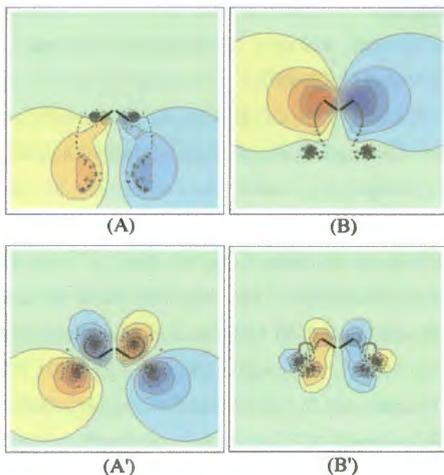


図11. 外力の元での2次元対称はばたきモデル。(A)(B)外力が小さい場合。(A')(B')外力が大きい場合。渦対と翼が相互作用している。

・平成18年度

(a) 不安定解からみるパターンダイナミクス

一般に不安定解は実験やシミュレーションにおいては観察されず、その役割を明確に位置づけることはたやすくなかった。しかしある状態から別の状態に遷移することを考えればすぐわかるように、不安定状態を経由せずに「変化」はありえない。これを逆手に取れば、不安定状態を明確に特徴付けることができるならば、変化の仕方や予測が逆に可能になると考えられる。このような視点がこれまで困難と思われてきたいくつかの問題に光を与えることとなった。例えば放電系や化学反応系あるいは2相対流系における動的対流セルなど空間局在進行波解（粒子解）が複数存在する場合の衝突過程においては解の大変形や衝突後のダイナミクスが大きく変化することが多い。その変形プロセスにおいて不安定解が陰で交通整理をしていることが明らかになった。さらにそれらの不安定解の集合がネットワークを成し、実質的にダイナミクスを統御していることも明らかになってきた。また不均一場での粒子解の運動の解析においてもこの視点が有効であることが示された。

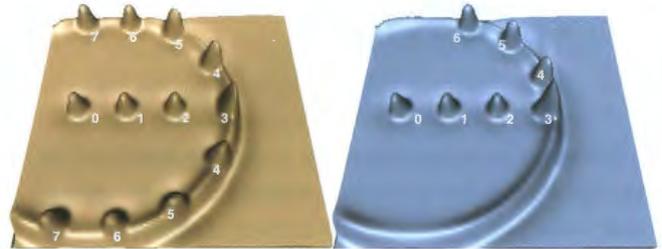


図13. ガス放電系モデルのスポットが媒質の不均一性（ジャンプ）に衝突した時、その曲率に応じて、分裂したり、しなかったりする様子のシミュレーション。

(b) マルコフ連鎖モンテカルロ法による力学系の解析

決定論的力学系の初期値をサンプリングし直接的数値計算では得ることが難しい「珍しい現象」を求めた。ここで、珍しい現象とは不安定な極限集合に収斂する軌道である。サンプリングを初期値空間とパラメータ空間の直積空間へ拡張することにより、大域分岐構造の解明に向けての応用を試みる。これらはシステムの数理的な理解に役立ち、また、システムが正しく同定されているという条件のもとでは、少ない確率でおこる異常な出来事を予測するのにも役立つ可能性を秘めている。

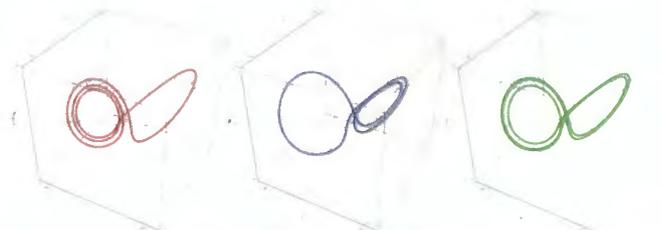


図14. マルコフ連鎖モンテカルロ法により初期値サンプルする事によってえられたカオス力学系である Lorenz 系の不安定軌道。色は異なる不安定周期軌道を表し、通常の数値時間発展では求めることはできない。

(c) 回転流体における大規模表面変形パターンの遷移

表面の大変形を伴う流れは日常よく目にするが、解析は

非常に難しく研究はあまり多くはない。ここでは流れの乱流-層流遷移と表面変形パターンの動的遷移を調べるため、回転流体の実験的研究を行った。実験系は円筒容器内に入れた水を底のみの回転で駆動したとき表面変形である。我々はある回転数領域において新しい動的な表面変形パターンを発見した。その変形パターンは底の回転軸に対して軸対称なパターンと、非軸対称なパターンの間を交互に非周期的に遷移するものである。またこのパターンと層流-乱流遷移の関係を示唆するデータを得た。しかしその詳細は今後の課題である。

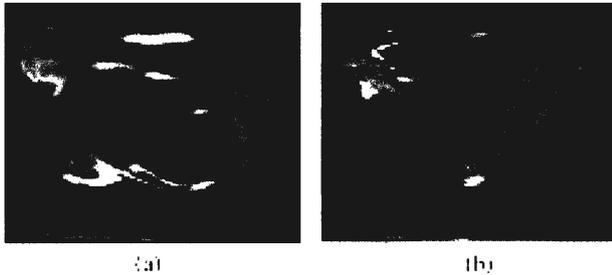


図12. 大規模表面変形パターンの写真。以下の(a)(b)を非周期的に繰り返す。(a) 非軸対称な表面変形パターン。水平断面は槽口に近い。(b) 軸対称な表面変形パターン。

### 3. 今後の研究の展望

時間的、空間的な階層構造、異なるスケールの共存は複雑な系を取り扱うときには常に考慮せねばならない重要な要素である。具体的には、異なる階層あるいは異なるダイナミクスの領域へ転移するきっかけは何であろうか？ またどのような数理的機構がそれを駆動しているのであろうか？ などが直ちに自然な疑問として出てくる。これらに统一的に答える枠組みはまだできていないが、不安定な解の集合から成るネットワークの構造の解明はひとつの鍵を与えていると思われる。単純化された、しかし本質を捉えたいくつかの数理モデルにおいて具体的に検証を積み重ね、大きな枠組みの基盤作りが今後の重要な課題となる。

1. 散逸系における動的かつ複雑なパターンダイナミクスを取り扱う上で「不安定解の全体が成すネットワーク構造からの視点」という視点は今後重要な役割を果たすと思われる。これは、いわば見えないものから見えるものの振る舞いを捉えようとする立場であり、一見不自然に思われるかもしれないが、衝突により多様な出力が生み出されるためには、その出自においてはアトラクターではなく、不安定次元が高い状態を経由しているはずであると考えれば納得が行く。これは観測にかかるもののみが意味をもつという実験家の立場とは反対の極にあるが、表現型の多様性の裏にある普遍の数理構造こそが、全体を統御するという視点は将来実験家にとっても重要な指針となると思われる。また乱流を理解する上で不安定周期解の立場から見直すことで新たな視野が開けるとい最近の結果もこの立脚点の有用性を支持するものである。
2. 3次元空間における複雑モルフォロジーの形態同定問題はブロック共重合体の遷移モルフォロジーにとどま

らず、材料力学はじめ、生命科学、医学などの階層的に複雑形態を有する問題においてとりわけ重要となる。ホモロジーのベッチ数による形態分類情報は、従来の実験的、統計的測定量とは質的に異なる大域的情報を与えるものとして期待されている。さらに経済、通信を含む様々なネットワークポロジの解析においても大きな役割を果たすものと考えられる。

3. 興奮繊維結合系において多様なパルス・ダイナミクスを見出した。これらのダイナミクスの詳細な数理解析によるメカニズムを解明する。実際のニューロン系では繊維が結合している。今後は複数繊維結合系について解析を進める。興奮繊維結合に伴う異常なパルス・ダイナミクスと実験や神経病理との関連づけを行う。マルコフ連鎖モンテカルロ法により不安定な極限集合に収斂する軌道の解析が可能となりつつある。サンプリングを初期値空間とパラメータ空間の直積空間へ拡張することにより、大域分岐構造の解明に向けての応用の可能性を示唆する。これらはシステムの数理的な理解に役立ち、少ない確率でおこる異常な出来事を予測するのにも役立つ可能性がある。特に、直積空間でのサンプリングは前例がなく、前人未踏の課題への挑戦となる。
4. 流れの遷移は混合などとも関係する重要な問題である。ここでは表面変形に注目する事で、流れの遷移がじかに見える事を実験的に明らかにした点が重要である。また、表面変動を数値化する事で、表面変動に流れの特性が表れる事も示した。今後このような実験データを用いて遷移ダイナミクスを解析し、より詳細な過程を明らかにしたい。

### 4. 資料

#### 4.1 学術論文等

- 1) M. Henry, D. Hilhorst and Y. Nishiura: "Singular limits of a second order nonlocal parabolic equation of conservative type arising in the micro-phase separation of diblock copolymer", *HMJ*, XXXII(No.3): (2003)\*
- 2) Y. Nishiura, T. Teramoto and K. Ueda: "Dynamic transitions through scatters in dissipative systems", *Chaos*, 13(3): 962-972 (2003)\*
- 3) J. A. Warren, R. Kobayashi, A. E. Lobkovsky and W. C. Carter: "Extending phase field models of solidification to polycrystalline materials", *Acta Materialia*, 51: 6035-6058 (2003)\*
- 4) T. Nishikawa, M. Nonomura, K. Arai, J. Hayashi, T. Sawadaishi, Y. Nishiura, M. Hara and M. Shimomura: "Micropatterns Based on Deformation of a Viscoelastic Honeycomb Mesh", *Langmuir*, 19(15): 6193-6201 (2003)\*
- 5) T. Onozaki and T. Yanagita: "Monopoly, Oligopoly and Invisible Hand", *Chaos, Solitons & Fractals*, 18: 537-547 (2003)\*
- 6) Y. Giga and R. Kobayashi: "On Constrained Equations

- with Singular Diffusivity”, *Methods and Applications of Analysis*, 10(2): 253–278 (2003)\*
- 7) M. Nonomura, R. Kobayashi, Y. Nishiura and M. Shimomura: “Oscillating precipitations during the roplet evaporation on a substrate”, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 72: 2468–2471 (2003)\*
  - 8) Y. Nishiura, T. Teramoto and K. Ueda: “Scattering and separators in dissipative systems”, *Phys. Rev. E*, 67: 056210 (2003)
  - 9) T. Ichinomiya: “Temperature and Interaction Dependence of the Electron Spectrum in a 2D Attractive Hubbard Model”, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 73: 643–648 (2004)\*
  - 10) T. Ichinomiya: “Frequency synchronization in a random oscillator network”, *Phys. Rev. E*, 70: 026116 (2004)
  - 11) B. Lou: “Asymptotic behavior of spatially inhomogeneous anisotropic flows”, *JJIAM*, 21(3): (2004), to be published
  - 12) Y. Hayase, O. Descalzi and H. R. Brand: “Coexistence of stable particle and hole solutions for fixed parameter values in a simple reaction diffusion system”, *Phys. Rev. E*, 69: 065201 (2004)
  - 13) A. Doelman, D. Iron and Y. Nishiura: “Destabilization of Fronts in a Class of Bistable Systems”, *SIAM J. Math. Anal.*, 35(6): 1420–1450 (2004)
  - 14) S. Wehner, Y. Hayase, H. R. Brand and J. Kueppers: “Multiplicative Temperature Noise Applied to a Bistable Surface Reaction: Experiment and Theory”, *J. Chem. Phys. B*, 108: 14452 (2004)
  - 15) Y. Hayase and H. R. Brand: “Noise-induced re-entrant spatio-temporal intermittency”, *Europhys. Lett.*, 66: 881–887 (2004)
  - 16) M. Iima and K. Suzuki: “Numerical analysis of a tag model in circle”, *RIMS Kokyuroku*, 1372: 24–31 (2004)
  - 17) T. Nakagaki, R. Kobayashi, T. Ueda and Y. Nishiura: “Obtaining multiple separate food sources: Behavioural intelligence in the *Physarum plasmodium*”, *Proc. R. Soc. Lond. B*, 271: 2305–2310 (2004)
  - 18) Y. Miyamoto: “On connecting orbit of semilinear parabolic equations on  $S^1$ ”, *Documenta, Math.*, 9: 435–469 (2004)
  - 19) T. Teramoto, K. Ueda and Y. Nishiura: “Phase-dependent output of scattering process for traveling breathers”, *Phys. Rev. E*, 69(4): 056224 (2004)
  - 20) D. Fathi, L. Elisabeth and Y. Nishiura: “Some analytical results on the Gray Scott model”, *Asymptotic Analysis*, 39(3–4): 225–261 (2004)
  - 21) H. Mahara, N. J. Suematsu, T. Yamaguchi, K. Ohgane, Y. Nishiura and M. Shimomura: “Three-variable reversible Gray–Scott model”, *J. Chem. Phys.*, 121(8): 8968–8971 (2004)
  - 22) T. Ichinomiya: “Bifurcation Study of Kuramoto Transition in Random Oscillator Networks”, *Progress of Theoretical Physics*, 113: 1–14 (2005)
  - 23) Y. Nishiura and H. Suzuki: “Higher dimensional SLEP equation and applications to morphological stability”, *SIAM J. Math. Anal.*, 36(3): 916–966 (2005)
  - 24) M. Iima and T. Yanagita: “Asymmetric motion of a two-dimensional symmetric flapping model”, *Fluid Dyn. Res.*, 36: 407–425 (2005)
  - 25) A. Tero, R. Kobayashi and T. Nakagaki: “A coupled-oscillator model with a conservation law for the rhythmic amoeboid movements of plasmodial slime molds”, *Physica D*, 205: 125–135 (2005)
  - 26) T. Yanagita, Y. Nishiura and R. Kobayashi: “Signal propagation and failure in one-dimensional FitzHugh–Nagumo equations with periodic stimuli”, *Phys. Rev. E*, 71(3): 6226–6230 (2005)
  - 27) T. Ichinomiya: “Path-integral approach to dynamics in a sparse random network”, *Phys. Rev. E*, 72: 16109–1–16109–9 (2005)
  - 28) T. Yanagita, T. Ichinomiya and Y. Oyama: “A pair of excitable FitzHugh–Nagumo elements: Synchronization, Multistability and Chaos”, *Phys. Rev. E*, 72: 56218–56224 (2005)
  - 29) T. Iwashita, Y. Hayase and H. Nakanishi: “Phase Field Model for Dynamics of Sweeping Interface”, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 74: 1657–1660 (2005)
  - 30) Y. Hayase, S. Wehner, J. Kueppers and H. R. Brand: “The role of sampling time in measurements on the  $\text{CO}_2$  kinetics of the bistable reaction  $\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$  on Ir(111) surfaces”, *Physica D*, 205: 15–24 (2005)
  - 31) Y. Nishiura, D. Ueyama and T. Yanagita: “Chaotic pulses for discrete reaction diffusion systems”, *SIADS*, 4(3): 733–754 (2005)
  - 32) 寺本敬、西浦廉政: 「マイクロ相分離のモルフオロジとダイナミクス」、*応用数理*, 15(3): 16–27 (2005)
  - 33) Y. Nishiura, T. Teramoto and K. Ueda: “Scattering of traveling spots in dissipative systems”, *Chaos*, 15: 047509–047519 (2005)
  - 34) K. Ueda, T. Teramoto and Y. Nishiura: “Scattering of particle-like patterns in reaction–diffusion systems”, *GAKUTO International Series, Mathematical Sciences and Applications*, 22: 205–215 (2005)
  - 35) M. Iima and Y. Nishiura: “Collision of localized traveling-wave convection cells in binary fluid”, *GAKUTO International Series, Mathematical Sciences and Applications*, 22: 289–303 (2005)
  - 36) T. Yanagita, Y. Nishiura and R. Kobayashi: “Resonance and the formation of death-spot in one-dimensional Fitz–Hugh–Nagumo equations”, *Progress of Theoretical Physics*, 161: 393–396 (2006)
  - 37) Y. Oyama, T. Yanagita and T. Ichinomiya: “Neumerical Analysis of FitzHugh–Nagumo neurons on random networks”, *Progress of Theoretical Physics*, 161: 389–392 (2006)
  - 38) T. Ichinomiya: “Power-law distribution in Japanese race-

- track betting”, *Physica A*, 368: 207–213 (2006)
- 39) R. Kobayashi, A. Tero and T. Nakagaki: “Mathematical model for rhythmic protoplasmic movement in the true slime mold”, *J. Math. Biol.*, 53: 273–286 (2006)
- 40) H. Kori and A. S. Mikhailov: “Strong effects of network architecture in the entrainment of coupled oscillator systems”, *Phys. Rev. E*, 74: 066115 (2006)
- 41) M. Iima and T. Yanagita: “A transition from ascending flight to vertical hovering: a study of a symmetric flapping mode”, *Europhys. Lett.*, 74(1): 55–61 (2006)
- 42) T. Suzuki, M. Iima and Y. Hayase: “Surface switching of rotating fluid in a cylinder”, *Physics of Fluids*, 18(10): 101701-1–101701-4 (2006)
- 43) T. Teramoto, K-I. Ueda, Y. Nishiura: “Breathing Scatters in Dissipative Systems”, *Progress of Theoretical Physics Supplement*, 161: 364–367(2006)
- #### 4.2 総説・解説・評論等
- 1) 西浦廉政: 「散逸系における粒子パターンの複製・崩壊・散乱のダイナミクス」、*数学*, 55(2): 113–127 (2003)
- 2) 飯間信: 「昆虫のはばたき飛翔機構の解明への数理解析アプローチ」、*日本ロボット学会誌*, 23(1): 101–105 (2005)
- 3) 飯間信、西浦廉政: 「二種混合流体における局在対流の衝突 — 振幅方程式に基づくアプローチ —」、*数理解析研究所講究録*, 1454: 21–35 (2005)
- 4) 郡 宏: 「振動子ネットワークの引き込みと体内時計」、*数理科学*, 522: 62–68 (2006)
- 5) 郡 宏、蔵本由紀: 「複雑ネットワークと非線形科学」、*数理科学*, 521: 62–69 (2006)
- 6) 鈴木俊行、飯間信、早瀬友美乃: 「洗濯機内の流れが示す遷移現象の実験的研究」、*数理解析研究所講究録*, 1472: 175–184 (2006)
- #### 4.3 国際会議議事録等に掲載された論文
- 1) 柳田達雄、飯間信: 「羽ばたき運動の安定性とエナジエティクス」、*数理解析研究所講究録*, 1305: 34–38 (2003)
- 2) 柳田達雄、西森拓、小西哲郎: 「河川の形態とダイナミクスの関係」、*数理解析研究所講究録*, 1305: 193–202 (2003)
- 3) Y. Giga and R. Kobayashi: “Total variation flow with value constraints”, *RIMS Kokyuroku*, 1323: 84–104 (2003)
- 4) M. Iima and T. Yanagita: “Unstabilization of Symmetric Motion of a Two-Dimensional Symmetric Flapping Model”, *RIMS Kokyuroku*, 1326: 44–56 (2003)
- 5) 飯間信: 「平板弾性翼による wake deflection の抑制」、*日本流体力学会年会2004講演論文集*, 23: 526–527 (2004)
- 6) Y. Nishiura: “Scattering Phenomena for Traveling Breathers”, *RIMS Kokyuroku*, 1368: 111–118 (2004)
- 7) A. D. Doelman and Y. Nishiura: “Edge bifurcations in singularly perturbed reaction-diffusion equations; a case of study”, *EQUADIFF 2003 Proceedings of the International Conference on Differential Equations*: 783–788 (2005)
- 8) 飯間信、柳田達雄: 「2次元はばたきモデルの空中停止における渦-翅相互作用の役割」、*日本流体力学会年会2005講演論文集*, 24: AM05-17-003 (2005)
- 9) 飯間信、西浦廉政: 「二種混合流体における局在対流セルの衝突の解析」、*日本流体力学会年会2005講演論文集*, 24: AM05-10-006 (2005)
- 10) M. Saito and Y. Oyama: “ECONOMY-LIKE REWARD DISTRIBUTION FOR DIVISION OF LABOR”, *Proceedings of the 24th IASTED International Multi-Conference ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND APPLICATIONS* (2006)
- 11) T. Ichinomiya: “Bifurcation Study of Kuramoto Transition of Random Oscillator Network”, *Progress of Theoretical Physics, Supplement*, 161: 208–211 (2006)
- 12) Iima: “Stability and Selection of Flight Mechanisms in Insects’ Free-flight”, *Proceedings of ISABMEC 2006* (2006)
- 13) 飯間信、伊藤賢太郎、田坂裕司: 「円筒容器内の回転流れにおける自由表面の switching と層流-乱流遷移」、*日本流体力学会年会2006講演論文集*, 24: AM06-11-004 (2006)
- 14) 飯間信: 「はばたき飛行の2つのモード: 2重渦列による空中停止飛行とランダム渦によるさまよい飛行の共存」、*日本流体力学会年会2006講演論文集*, 24: AM06-28-007 (2006)
- 15) 飯間信: 「飛翔の数理 — 蝶のはばたきの秘密と拡張された Blasius の公式 —」、*日本数学会応用数学分科会アブストラクト集* (2006)
- #### 4.4 著書
- 1) 小林亮、高橋大輔: *ベクトル解析入門*、東京大学出版会 (2003)
- 2) 上山大信、西浦廉政: 「自己触媒系に現れる自己複製パターンと時空カオス」、*パターン形成とダイナミクス、非線形・非平衡現象の数理*: 21–62 (2006)
- 3) 西浦廉政: 「生まれるパターン・広がるパターン・ぶつかるパターン」、*プラントミメティクス 植物に学ぶ*: 68–80 (2006)
- #### 4.5 その他
- 1) 上坂美花、小林亮、山口智彦: 「アスコルビン酸の結晶化におけるパターン形成」、*数理解析研究所講究録*, 1313: 25–35 (2003)
- 2) 西浦廉政: 「反応拡散系におけるパターン形成のエントロピー生成」、*盛岡応用数学小研究集会報告集*: 47–61 (2006)
- #### 4.7 講演
- ##### i) 学会
- 1) 中垣俊之、小林亮: 「結合振動子系としてみた真正粘菌の行動」、*日本物理学会 秋季大会*、岡山大学

- (2003-09)
- 2) R. Kobayashi: "Modeling of the Grain Structure Evolution and Singular Diffusivity", 5th International Congress on Industrial and Applied Mathematics, Sydney, Australia (2003-07)
  - 3) Y. Nishiura: "Scattering of Moving Spots in Dissipative Systems" Dynamics of Particle-like Solutions in Dissipative Systems", ICIAM 2003--5th International Congress on Industrial and Applied Mathematics, Sydney, Australia (2003-07)
  - 4) Y. Nishiura: "Scattering of spiky patterns in dissipative systems, Spike patterns in Physical Systems", ICIAM 2003--5th International Congress on Industrial and Applied Mathematics, Sydney, Australia (2003-07)
  - 5) Y. Nishiura: "Stripe-Splitting Dynamics on a Growing Domain: Reduction to Simple ODE Dynamics, Developmental Biology: the Role of Domain Growth", ICIAM 2003--5th International Congress on Industrial and Applied Mathematics, Sydney, Australia (2003-07)
  - 6) R. Kobayashi, T. Nakagaki and A. Tero: "Modeling Approach to the Dynamics of Plasmodium of Physarum Polycephalum", Mathematical understanding of invasion processes in Life Sciences, CIRM, Marseille, France (2004-03)
  - 7) Y. Nishiura: "Spontaneous Arrangement of Moving Particles in Dissipative Systems", Japan-US Symposium on Directed Self-Assembly and Self-Organization, University of California Santa Barbara, USA (2004-01)
  - 8) Y. Nishiura: "Transient Dynamics of Particle-like Patterns in Dissipative Systems", An International Conference In Honor of Professor Shui-Nee Chow, New Directions in Dynamics of Evolution Equations, Hunan University, Changsha, China (2003-12)
  - 9) 小林亮、中垣俊之、手老篤史:「真性粘菌変形体の運動と形態形成の数理モデル」、第13回「非線形反応と協同現象」研究会、京都大学 (2003-12)
  - 10) 小林亮:「自己組織化現象の数学」、北海道大学公開講演会、北海道大学 (2003-12)
  - 11) 小林亮、中垣俊之、手老篤史:「真性粘菌変形体の運動の数理モデル」、数理解析研究所研究集会「反応拡散系におけるパターン形成と漸近的幾何構造の研究」、京都大学 (2003-10)
  - 12) 小林亮:「Introduction to Phase Field Model」、今話題の結晶成長テーマ」研究会、東京 (2003-09)
  - 13) 小林亮:「結晶粒と粒界のモデリングについて」、基盤B「材料科学におけるパターン形成の数理」、広島大学 (2003-08)
  - 14) 柳田達雄:「結合格子写像を用いたシミュレーション技術」、軽井沢複雑系市場、日本大学軽井沢研修所 (2003-08)
  - 15) Y. Nishiura: "Toward the Understanding of Strong Interaction Among Localized Patterns", BIRS workshops: Defects and their Dynamics and Localization Behavior in Reaction-Diffusion Systems and Applications to the Natural Sciences, Banff, Canada (2003-08)
  - 16) Y. Nishiura: "Scattering in Dissipative Systems", BIRS workshops: Defects and their Dynamics and Localization Behavior in Reaction-Diffusion Systems and Applications to the Natural Sciences, Banff, Canada (2003-08)
  - 17) 小林亮:「生物における管のネットワークのダイナミクスについて」、龍谷数理科学セミナー、大津市 (2004-02)
  - 18) 中垣俊之、小林亮: "Physiology of communication network in true slime mold", Prof. P. Maini's lab Seminar, University of Oxford, UK (2004-02)
  - 19) 小林亮:「真性粘菌変形体の運動と形態形成の数理モデル」、数理分子生命学セミナー、広島大学 (2003-11)
  - 20) R. Kobayashi: "Brief Introduction to Phase Field Model", Defense of Irina Loginova in KTH, Stockholm, Sweden (2003-10)
  - 21) R. Kobayashi: "A Modeling of Grain Structure Evolution and Singular Diffusivity", Seminar in Division of Material Science in KTH, Stockholm, Sweden (2003-10)
  - 22) 小林亮、中垣俊之、手老篤史:「真性粘菌変形体の運動と形態形成のモデリングについて」、北海道大学数学教室談話会、北海道大学 (2003-07)
  - 23) 小林亮、中垣俊之、手老篤史:「真性粘菌変形体の運動の数理モデル」、津田研・西浦研合同セミナー、北海道大学 (2003-06)
  - 24) 宮本安人:「 $S^1$ 上の半線形放物型方程式のヘテロクリニック軌道について」、日本数学会、日本大学理工学部 (2005-03)
  - 25) 飯間信、鈴木啓太:「円周上における追跡問題に対する有限時間遅れを含むモデルの解析」、日本物理学会第60回年次大会、野田 (2005-03)
  - 26) 一宮尚志:「ランダムネットワーク上の振動子のダイナミクス」、日本物理学会第60回年会、東京理科大学野田キャンパス (2005-03)
  - 27) 柳田達雄、一宮尚志、大山義仁:「FitzHugh-Nagumo興奮素子結合系における周期解とカオス」、日本物理学会 第60回年次大会、東京理科大学 (野田) (2005-03)
  - 28) 早瀬友美乃、H. R. Brand:「反応拡散系におけるノイズによる時空間パタンのリエントラント転移」、日本物理学会第60回年次大会、千葉 (2005-03)
  - 29) M. Iima: "Retardant effect of the occurrence of wake deflection by elasticity", 57th Annual Meeting of the Division of Fluid Dynamics (APS meeting), Seattle, USA (2004-11)
  - 30) 一宮尚志:「振動子ネットワークにおける引き込み現象の解析」、日本物理学会 2004年秋季大会、青森大学 (2004-09)
  - 31) 飯間信:「平板弾性翼による wake deflection の抑制」、日本流体力学会年会2004、名古屋 (2004-08)
  - 32) 柳田達雄、一宮尚志:「ランダムに結合した FitzHugh-

- Nagumo 素子のダイナミクス」、日本物理学会 第61回  
年次大会、愛媛大学 (2006-03)
- 33) 飯間信：「2次元 Normal Hovering における渦列の役割」、日本物理学会2006年春季大会、松山 (2006-03)
- 34) 一宮尚志：「複雑ネットワーク上の SIS モデルにおける予防接種戦略」、日本物理学会第61回年会、松山大学・愛媛大学 (2006-03)
- 35) 末谷大道、柳田達雄、合原一幸：「結合興奮場におけるパルスダイナミクス」、日本物理学会 第61回年次大会、愛媛大学 (2006-03)
- 36) M. Iima and T. Yanagita: “Vertical hovering of a symmetric flapping model”, APS March Meeting, Baltimore, USA (2006-03)
- 37) 柳田達雄：「円周上を走るパルス列の分岐構造」、日本物理学会 2005年秋季大会、同志社大学 (2005-09)
- 38) 大山義仁、柳田達雄、一宮尚志：「ランダム結合したエキサイタブル FitzHugh-Nagumo 素子の振舞い」、日本物理学会 2005年秋季大会、同志社大学 (2005-09)
- 39) 柳田達雄、早瀬友美乃：「一定速度で進む刺激に対する興奮系の応答 ～職人センサー～」、日本物理学会 2005年秋季大会、同志社大学 (2005-09)
- 40) 一宮尚志：「ギャンブルにおける巾乗則」、日本物理学会 2005年秋季大会、同志社大学京田辺キャンパス (2005-09)
- 41) 上田肇一、寺本敬、西浦廉政：「複合分岐点近傍におけるパルスの反射と対消滅」、2005秋季総合分科会、岡山大学 (2005-09)
- 42) 飯間信、柳田達雄：「はばたき飛行による空中停止の実現と渦の役割」、日本物理学会2005年秋季大会、京都 (2005-09)
- 43) 鈴木俊行、早瀬友美乃、飯間信、辻欣子：「高速回転する液体表面に見られるパターン形成」、日本物理学会 2005年秋季大会、京都 (2005-09)
- 44) 宮本安人：「Gierer-Meinhardt 系のグローバルアトラクターの存在と特異パラメータに関するその上半連続性について」、日本数学会、岡山大学 (2005-09)
- 45) 飯間信、西浦廉政：「2種混合液体における局在対流セルの衝突の解析」、日本流体力学会年会2005、東京 (2005-09)
- 46) 飯間信、柳田達雄：「2次元はばたきモデルの空中停止における渦-翅相互作用の役割」、日本流体力学会年会 2005、東京 (2005-09)
- 47) 大山義仁、佐々木宏、岩崎弘利、西浦廉政： “Data-dissemination dynamics in mobile P2P network”, The Fifth IASTED International Conference on MODELLING, SIMULATION, AND OPTIMIZATION (MSO 2005), Oranjestad, Aruba (2005-08)
- 48) 小林亮、手老篤史、中垣俊之：「真正粘菌変形体の運動と情報処理のモデル」、第35回結晶成長国内会議、広島大学 (2005-08)
- 49) T. Nakagaki, R. Kobayashi and A. Tero: “How does an amoeba tackle some geometrical puzzles?”, The society of instrument and control engineers (SICE) annual conference 2005, Okayama (2005-08)
- 50) T. Nakagaki, R. Kobayashi and A. Tero: “How does an amoeba imitate Snell’s law?”, European conference on mathematical and theoretical biology 2005, Dresden, Germany (2005-07)
- 51) Y. Nishiura: “Dynamics of Particle Patterns in Dissipative Systems”, SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems, Snowbird, UT, USA, USA (2005-05)
- 52) 西浦廉政：「不均一媒質における粒子解ダイナミクス」、日本数学会年会、埼玉大学 (2007-03)
- 53) 上田肇一、寺本敬、袁曉輝、西浦廉政：「空間非一様場におけるパルスダイナミクス」、日本数学会年会、埼玉大学 (2007-03)
- 54) 西浦廉政：「Dynamics of localized structures in heterogeneous media」、領域11シンポジウム「パターン形成とダイナミクス：生命現象から新たな地平へ」日本物理学会春季大会、鹿児島大学 (2007-03)
- 55) 飯間信：「複数の飛翔機構における空中停止飛行の実現可能性の比較」、日本物理学会2007年春季大会、鹿児島 (2007-03)
- 56) 飯間信：「昆虫の自由飛翔モデルにおける2つの飛翔モードの共存」、第56回理論応用力学講演会、東京 (2007-03)
- 57) M. Iima: “Coexistence of two types of flight, hovering, and the stability in the insect’s free flight”, 59th Annual Meeting of the Division of Fluid Dynamics (APS meeting), Tampa, USA (2006-11)
- 58) 柳田達雄：「分岐点をもつ興奮性ケーブル上を伝播するパルスの時空ダイナミクス」、日本物理学会 2006年秋季大会、千葉大学 (2006-09)
- 59) 柳田達雄、伊庭幸人：「拡張アンサンブル法によるカオスサドルのサンプリング」、日本物理学会 2006年秋季大会、千葉大学 (2006-09)
- 60) 柳田達雄、伊庭幸人：「拡張アンサンブルモンテカルロによる力学系の特別な初期値探索」、日本物理学会 2006年秋季大会、千葉大学 (2006-09)
- 61) 一宮尚志：「複雑ネットワーク上で相互作用する振動子の同期現象」、日本物理学会 2006年秋季大会、千葉大学西千葉キャンパス (2006-09)
- 62) 伊藤賢太郎、田坂裕司、飯間信：「回転流体における自由界面変形の遷移現象の解析」、日本物理学会2006年秋季大会、千葉 (2006-09)
- 63) 飯間信：「はばたき飛行の数理 — 拡張された Blasius の公式を巡って —」、日本数学会秋季総合分科会、大阪 (2006-09)
- 64) 飯間信、伊藤賢太郎、田坂裕司：「円筒容器内の回転流れにおける自由表面の switching と層流-乱流遷移」、日本流体力学会年会2006、福岡 (2006-09)
- 65) M. Iima and Y. Nishiura: “Dynamics of the Localized Binary Fluid Convection Cells”, SIAM Conference on Nonlinear Waves and Coherent Structures, Seattle, USA

(2006-09)

- 66) Y. Nishiura, T. Teramoto and K. Ueda: "Scattering Dynamics of Particle Patterns in Dissipative Systems", SIAM Conference on Nonlinear Waves and Coherent Structures, Washington, USA (2006-09)
- ii) **研究会・シンポジウム・ワークショップ**
- 1) 西浦廉政: 「Unstable objects control the scattering process of moving particles in dissipative systems」、Analysis of natural and social phenomena: Data Science and System Reduction, Cherry Bud Workshop 慶應義塾大学21世紀 COE プログラム「統合数理科学: 現象解明を通じた数学の発展」、慶應義塾大学、東京 (2004-03)
- 2) T. Yanagita and R. Kobayashi: "FitzHugh-Nagumo equations on a simple network", International Symposium on Dynamical Systems Theory and Applications to Biology and Environmental Sciences, Shizuoka Univ. (2004-03)
- 3) 柳田達雄、西森拓、小西哲郎: 「河川の流れ形態変化のシミュレーション」、第53回理論応用力学講演会、日本学術会議 (東京) (2004-01)
- 4) 鈴木啓太、飯間信: 「時間遅れを含む円周上追跡問題の数値的研究」、2003年 応用数学合同研究集会、滋賀 (2003-12)
- 5) 永幡幸生: 「Regularity of the diffusion coefficient matrix for generalized exclusion process」、確率過程とその周辺、金沢大学サテライト・プラザ (2003-12)
- 6) 柳田達雄、西森拓、小西哲郎: 「河川の形態形成の数理モデル」、動力学視点からの地形進化の研究、京都大学基礎物理学研究所 (2003-12)
- 7) M. Iima and T. Yanagita: "Vortex patterns interacting with body motions", The 5th RIES-Hokudai Symposium on Advanced Nanoscience "shoku", Sapporo (2003-12)
- 8) 永幡幸生: 「Regularity of the diffusion coefficient matrix for generalized exclusion process」、無限粒子系、パーコレーション、量子ランダムウォークとその周辺、岡山大学 (2003-11)
- 9) 飯間信、鈴木啓太: 「円周上における追跡問題の数値的研究」、京都大学数理解析研究所短期共同研究集会 数理モデルと関数方程式の解のダイナミクス、京都 (2003-11)
- 10) 永幡幸生: 「Regularity of the diffusion coefficient matrix for generalized exclusion process」、大規模相互作用系の確率解析、湘南国際村センター (2003-10)
- 11) 西浦廉政: 「Role of Transient Dynamics in Pattern Formation Problem」、数理生物学シンポジウム 企画シンポジウム「Recent Topics on Mathematical Methods to Biological Systems」、奈良女子大学理学部 (2003-09)
- 12) 手老篤史、小林亮、中垣俊之: 「非線型結合振動子系による細胞行動のシミュレーション」、第13回数理生物学シンポジウム、奈良女子大学 (2003-09)
- 13) 手老篤史、小林亮、中垣俊之: 「非線型結合振動子系による細胞行動のシミュレーション」、第8回 NLPM サマ
- ーセミナー、岡山厚生年金休暇センター (2003-09)
- 14) 手老篤史、小林亮、中垣俊之: 「非線型結合振動子系による細胞行動のシミュレーション」、第1回北海道大学 COE 合宿、大雪少年自然の家 (2003-08)
- 15) 西浦廉政: 「散逸系における粒子パターンのダイナミクス」、未来研究ラボ「非線形ダイナミクス」研究会、大阪大学基礎工学部 (2003-04)
- 16) 辻欣子、早瀬友美乃、飯間信: 「回転流体の表面に現れる結晶的パターン」、界面運動と関わる非線型ダイナミクスの解析、札幌 (2005-02)
- 17) K. Ueda and Y. Nishiura: "Scattering of particle-like patterns in reaction diffusion systems", The Fifth East Asia PDE Conference, Osaka (2005-01)
- 18) Y. Nishiura, K. Ueda and T. Teramoto: "Dynamics and singularities in dissipative systems", The Fifth East Asia PDE Conference, Osaka (2005-01)
- 19) M. Iima and Y. Nishiura: "Collisions of localized traveling-wave convection cells in binary fluid", The Fifth East Asia PDE Conference, Osaka, Japan (2005-01)
- 20) K. Tsuji, Y. Hayase and M. Iima: "Pattern formation in water", 40th Jubilee winter seminar: Biophysical chemistry, molecular biology and cybernetics of cell functions, Klosterters, Switzerland (2005-01)
- 21) Y. Hayase, S. Wehner, J. Kueppers and H. R. Brand: "External noise applied to a bistable surface reaction", The 6th RIES-Hokudai Symposium -Chou-, 札幌 (2004-12)
- 22) Y. Hayase and H. R. Brand: "Noise-induced re-entrant spatio-temporal intermittency", Reaction-Diffusion Systems: Theory and Experiments, Easter Island, Chile (2004-12)
- 23) T. Ichinomiya: "Frequency Synchronization on Complex Network", International Symposium on Oscillation, Chaos and Network Dynamics in Nonlinear Science, Kyoto University, Japan (2004-11)
- 24) Y. Nishiura: "Weak interaction can lead to annihilation?", Autonomous Formation of Spatial Structures in Parabolic Equations, 仙台 (2004-11)
- 25) M. Iima: "Symmetry Breaking and Symmetry Recovery Caused by Vortex-Body Interaction", First International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan (2004-11)
- 26) 柳田達雄、小林亮、西浦廉政: 「FitzHugh・南雲方程式系に見られる奇妙な振る舞いー伝播不全/共鳴/多重安定軌道」、非線形解析学的手法による数理物理学の研究、東北大学 (2004-09)
- 27) T. Yanagita, H. Nishimori and T. Konishi: "A Numerical study for the pattern formation of meandering and braided river", Statistical mechanics chaos and condensed matter theory, Roma, Italy (2004-09)
- 28) M. Iima: "Symmetry-breaking of wake pattern made by oscillating rigid/elastic plate in uniform flow", Dynamics Days 2004, Mallorca, Spain (2004-09)

- 29) T. Yanagita, H. Nishimori and T. Konishi: "Modeling and Characteristics for Meandering River", Dynamics Days 2004, Mallorca, Spain (2004-09)
- 30) T. Yanagita, Y. Nishiura and R. Kobayashi: "Resonance and propagation failure in one-dimensional Fitz-Hugh-Nagumo Equations with periodic stimulus", Dynamics Days 2004, Mallorca, Spain (2004-09)
- 31) B. Lou, H. Matano and K. Nakamura: "Periodic traveling waves in an undulating band domain and their homogenization limit", The 2nd HU and SNU Symposium on Mathematics, 北海道大学, Japan and Korea (2004-07)
- 32) M. Iima: "Symmetry breaking and symmetry recovery in the models of insects flight", 2nd HU and SNU Symposium on Mathematics, 札幌 (2004-07)
- 33) Y. Nishiura: "Scattering among particle-like patterns in dissipative systems", International Conference on Nonlinear Dynamics and Evolution Equations, Canada, Canada (2004-07)
- 34) M. Iima and T. Yanagita: "Asymmetric motion of a two-dimensional symmetric flapping model", Dynamics Days Asia Pacific 3 2004, Singapore, Singapore (2004-06)
- 35) T. Yanagita, R. Kobayashi and Y. Nishiura: "Resonance and stable pulse train stands on the ruin of solitary traveling pulse solution in FitzHugh-Nagumo equations", Dynamics Days Asia-Pacific 2004, National Univ. of Singapore, Singapore (2004-06)
- 36) Y. Nishiura: "Dynamics of particle-like patterns in dissipative systems", Third International Symposium Engineering of Chemical Complexity, Berlin, Germany (2004-05)
- 37) 飯間信:「渦を飼いならず一魚や昆虫の運動とそのモデル」、第1回LSW研究会シンポジウム、札幌 (2006-03)
- 38) R. Kobayashi, A. Tero and T. Nakagaki: "Mathematical model of the motion and the information processing of true slime mold", Mathematical Logics Behind Animal Markings, Nagoya (2006-02)
- 39) T. Nakagaki, A. Tero and R. Kobayashi: "Morphology and physiology of vein network in slime mould", Mathematical Logics Behind Animal Markings, Nagoya (2006-02)
- 40) M. Iima, T. Suzuki and Y. Hayase: "Temporal switching of the large surface deformation of water in a cylinder driven by rotating disc", One-day Workshop on Nonlinear Dynamics and Hierarchical Self-organization Process, Sapporo (2006-02)
- 41) T. Suzuki, M. Iima and Y. Hayase: "Aperiodic switching between axisymmetric state and non-axisymmetric state of water-air interface", Topological aspects of critical systems and networks, Sapporo (2006-02)
- 42) T. Ichinomiya: "Analysis of the Susceptible-Infected-Susceptible Model on Complex Network", International Symposium on "Topological Aspects of Critical Systems and Networks", Hokkaido University, Sapporo, Japan (2006-02)
- 43) T. Nakagaki, A. Tero, T. Saigusa, M. Iima, R. Kobayashi, T. Ueda and Y. Nishiura: "How did an amoeba find the optimum path in an inhomogeneous field of environmental risk?", International Symposium on Topological Aspects of Critical Systems and Networks, Sapporo (2006-02)
- 44) T. Yanagita, H. Suetani and K. Aihara: "Propagating Pulses in A System of Two Laterally Coupled Excitable Fibers: Crossing, Overtaking, and Spatio-Temporal Chaos", Japan-Germany Symposium on Computational Neuroscience, RIKEN Brain Science Institute, Japan (2006-02)
- 45) 飯間信:「渦構造を用いた昆虫の自由飛翔の機構: 飛翔機構の自発的変化および空中停止の実現」、第55回理論応用力学講演会、京都 (2006-01)
- 46) T. Ichinomiya: "Strategy for Immunization in Susceptible-Infected-Susceptible Model on Complex network", International Symposium on Transmission Models for Infectious Diseases, National Institute of Infectious Diseases (2006-01)
- 47) H. Suetani, T. Yanagita and K. Aihara: "Crossing and overtaking of excitable pulses in two laterally coupled FitzHugh-Nagumo fibers", Dynamics Days, Bethesda Maryland, USA, USA (2006-01)
- 48) 柳田達雄、西浦廉政:「周期的刺激によって生成されるパルス列の時空間挙動と分岐構造」、応用数学合同研究集会、京都 (2005-12)
- 49) 鈴木俊行、飯間信、早瀬友美乃:「円盤により駆動される円筒容器内の流れが示す遷移現象の実験的研究」、応用数学合同研究集会、瀬田 (2005-12)
- 50) 飯間信、西浦廉政:「2種類混合流体における局在対流セルの衝突」、応用数学合同研究集会、瀬田 (2005-12)
- 51) T. Yanagita, H. Suetani and K. Aihara: "Pair annihilation, Crossing and Passing of Pulses in Two Laterally Coupled Fibers", Multi-Institutional International Symposium, Sapporo (2005-12)
- 52) M. Iima and Y. Nishiura: "Collisions of localized convection cells in binary fluid: analysis by embedded unstable periodic solutions", The 3rd RECBS-Hokudai Symposium, 札幌 (2005-12)
- 53) T. Nakagaki, A. Tero, T. Saigusa, M. Iima, R. Kobayashi, T. Ueda and Y. Nishiura: "How did an amoeba find the risk-minimum path?", Multi-Institutional International Symposium on Mei, Hokkaido University, Sapporo (2005-12)
- 54) 一宮尚志:「ギャンブル市場のメカニズム」、経済物理学II、京都大学基礎物理学研究所 (2005-12)
- 55) 鈴木俊行、飯間信、早瀬友美乃:「洗濯機内の流れが示す遷移現象の実験的研究」、複雑流体の数理とその応用、京都 (2005-11)
- 56) T. Nakagaki, R. Kobayashi, A. Tero and S. Takagi: "Physiology and dynamics of transport network in a real

- amoeba”, Complex Dynamics of Networks of Oscillators: From Basic Research to Novel Therapy, Sapporo (2005-11)
- 57) R. Kobayashi, A. Tero and T. Nakagaki: “Mathematical model of the motion and the information processing of true slime mold”, Complex Dynamics of Networks of Oscillators: From Basic Research to Novel Therapy, Sapporo (2005-11)
- 58) R. Kobayashi, A. Tero and T. Nakagaki: “Modeling of the motion and the information processing of true slime mold”, Mathematical analysis of complex phenomena in life sciences, Tokyo (2005-10)
- 59) 飯間信: 「蝶の飛翔モデルの解析」、第5回 HSS セミナー、札幌 (2005-10)
- 60) T. Nakagaki, R. Kobayashi and A. Tero: “Information processing by an amoeboid organism”, Second open workshop on the fusion of bio-, nano- and semiconductor-technologies, Osaka (2005-10)
- 61) H. Suetani, T. Yanagita and K. Aihara: “Pattern Dynamics in Reaction-Diffusion Systems with Two Laterally Coupled Fibers”, International Symposium on Physics of Non-Equilibrium Systems, Kyoto (2005-10)
- 62) T. Nakagaki, R. Kobayashi and A. Tero: “How does an amoeba tackle some geometrical puzzles?”, German-Japanese workshop on bio-mimetics and nature-inspired technologies, Nagoya (2005-10)
- 63) T. Suzuki, M. Iima and Y. Hayase: “Experimental study of the flow in a cylinder driven by a rotating disc”, The joint meeting on Nonlinear Pattern Dynamics in Complex and Reactive Fluids far from Equilibrium, Kyoto (2005-09)
- 64) 西浦廉政: 「つぶつぶ解の相互作用と外界感受性-散逸系粒子解の多様なダイナミクス-」、第43回茅コンファレンス、山梨県北杜市 (2005-08)
- 65) M. Iima and Y. Nishiura: “Collision of counter-propagating localized convection cells in binary fluid mixture”, Third Pacific Rim Conference on Mathematics, 上海, 中国 (2005-08)
- 66) Y. Nishiura: “Scattering Among Particle-Like Patterns in Dissipative Systems”, Third Pacific Rim Conference on Mathematics, 上海, 中国 (2005-08)
- 67) 西浦廉政、一宮尚志: 「ネットワークにおける伝播ダイナミクス」、感染症アウトブレイクの脅威に対処するための数理モデリングに関するワークショップ、東京 (2005-08)
- 68) Y. Nishiura: “Scattering of Particle-Like Patterns in Dissipative Systems”, Summer School on Design and Control of Self-Organization in Physical, Chemical, and Biological Systems, Trieste, Italy (2005-07)
- 69) M. Iima and T. Yanagita: “Vertical hovering of symmetric flapping model”, XXV Dynamics Days Europe, Berlin, Germany (2005-07)
- 70) M. Iima and Y. Nishiura: “Collisions of localized convection cells in binary fluid mixture”, XXV Dynamics Days Europe, Berlin, Germany (2005-07)
- 71) M. Iima and T. Yanagita: “Flight mechanisms of a two-dimensional symmetric flapping model”, Design and Control of Self-Organization in Physical, Chemical and Biological Systems, Trieste, Italy (2005-07)
- 72) T. Nakagaki, R. Kobayashi and A. Tero: “How does an amoeba mimic Snell’s law?”, Summer school on design and control of self-organization in physical, chemical and biological systems, Miramare-Trieste, Italy (2005-07)
- 73) T. Yanagita: “Spatiotemporal behaviors and bifurcations of coupled excitable elements”, Summer School on Design and Control of Self-Organization in Physics, Chemical and Biological Systems, Trieste, Italy (2005-07)
- 74) T. Yanagita: “Bifurcation Structure of Traveling Pulses on a Circle”, Dynamics Days 2005, Berlin, Germany (2005-07)
- 75) 飯間信、西浦廉政: 「二種混合流体における局在対流の衝突 -- 振幅方程式に基づくアプローチ --」、数理解析研究所研究会 「流れの遷移と乱流のスケルトン」、京都 (2005-07)
- 76) 飯間信: 「2次元対称はばたきモデル: 蝶の飛行メカニズムを理解する」、第35回自律分散システム部会研究会、東京 (2005-07)
- 77) T. Nakagaki, R. Kobayashi, A. Tero and S. Takagi: “Design of communication network by an amoeboid organism of true slime mold”, EU Thematic institute: Information and Material Flows in Complex Networks, Goldrain, Italy (2005-06)
- 78) A. Tero, R. Kobayashi and T. Nakagaki: “A Coupled-Oscillator Model with a Conservation Law for the Rhythmic Amoeboid Movements”, SIAM Conference On Application Of Dynamical Systems, Snowbird, Utah, USA (2005-05)
- 79) T. Nakagaki, R. Kobayashi, A. Tero, T. ueda and Y. Nishiura: “Functions and Formation of Circulation Network in An Amoeboid Organism”, SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems, Snowbird, Saltlake City, USA (2005-05)
- 80) T. Nakagaki, R. Kobayashi and A. Tero: Minisymposium “Cellular waves and rhythms in true slime mold: experiments and dynamics” Introduction: past key findings and present directions “, SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems, Snowbird, Saltlake City, USA (2005-05)
- 81) Y. Nishiura: Minisymposium 15 Dynamics of Localized Patterns in Reaction-Diffusion Systems “Can Weak Interaction Cause Annihilation?”, SIAM Conference of Applications of Dynamical Systems, Snowbird, Utah, USA (2005-05)
- 82) 小野崎保、柳田達雄、海蔵寺大成、鳥谷部和孝: 「予想を通じての地域景気循環の同期化」、進化経済学会第11

- 回大会, 京都大学吉田キャンパス (2007-03)
- 83) 小野崎保、柳田達雄、鳥谷部和孝、海蔵寺大成: 「地域景気循環の同期化について」、統数研究所研究会「経済物理とその周辺」、統計数理研究所 (2007-03)
- 84) 柳田達雄: 「興奮系におけるパルスダイナミクス」、非線形科学と統計科学の周辺 ミニワークショップ, 京都大学 (2007-02)
- 85) 西浦廉政: 「Dynamics of traveling pulses in heterogeneous media」、2006年度龍谷大学科技研プロジェクト研究会--Topological and Computational Approaches to Dynamical Systems and Applications--、龍谷大学 (2007-02)
- 86) 飯間信、伊藤賢太郎、田坂裕司: 「円筒容器内における表面大変形を伴う回転流れの実験的研究」、乱流と輸送現象: コーヒーカップから宇宙まで、京都 (2007-01)
- 87) 袁曉輝、寺本敬、西浦廉政: 「Inhomogeneity-induced defects and pulse dynamics arising in a three-component reaction diffusion system」、応用数学合同研究集会、龍谷大学 (2006-12)
- 88) T. Ichinomiya, Y. Nishiura, H. Geng, M. Itakura and M. Kinoshita: "Trial to formulate Kinetic Monte-Carlo code for fission Irradiation Damage", New Cross-over Project Workshop-3, Toranomon-Pastoral, Tokyo (2006-12)
- 89) M. Kinoshita, Y. Chen, Y. Kaneta, M. Itakura and T. Ichinomiya: "Trial to formulate a MD code to study Emerging Structures induced by Fission Irradiation", New Cross-over Project Workshop-3, Toranomon-Pastoral, Tokyo (2006-12)
- 90) 西浦廉政: 「散逸系における粒子解の環境感受性」、第2回「生物数学の理論とその応用」、京都大学数理解析研究所 (2006-11)
- 91) 柳田達雄: 「パターン・ダイナミクスの数理モデリングとシミュレーション」、非線形波動現象における基礎理論、数値計算および実験のクロスオーバー、九州大学 (2006-11)
- 92) 柳田達雄、一宮尚志: 「興奮性ニューラルネットワークにおける自発発火と刺激応答」、生命リズムと振動子ネットワーク、北海道大学 (2006-10)
- 93) 一宮尚志: 「複雑ネットワーク上の位相振動子の同期現象」、生命リズムと振動子ネットワーク、北海道大学 (2006-10)
- 94) 飯間信: 「流体力学における自由境界問題」、NSC12周年: 非線形数理の現状と発展、札幌 (2006-10)
- 95) Y. Nishiura: "Dynamics of particle patterns in heterogeneous media", Reaction-Diffusion Processes in Biological and Biomimetic Systems: From Experiments to Mathematical Modeling and Analysis, Bordeaux, France (2006-10)
- 96) H. Suetani, T. Yanagita and K. Aihara: "Pulse Dynamics in a Model of Coupled Excitable Fibers", International Workshop on Synchronization, Tokyo (2006-10)
- 97) Y. Nishiura, T. Teramoto, X. Yuan and K. Ueda: "Dynamics of spatially localized nonlinear waves in heterogeneous media", Oscillations & Dynamic Instabilities in Chemical Systems, Oxford, UK (2006-07)
- 98) M. Iima: "Stability and Selection of Flight Mechanisms in Insects' Free-flight", The Third International Symposium on Aero Aqua Bio-mechanics, 沖縄 (2006-07)
- 99) Y. Nishiura: "Entropy and sensitivity of particle patterns in dissipative systems", Engineering of Chemical Complexity, Berlin, Germany (2006-06)
- 100) Y. Nishiura: "Application of the computational homology to complex morphology", Dynamics, Topology and Computations, Poznan, Poland (2006-06)
- 101) Y. Nishiura: "Complex dynamics of particle patterns in dissipative systems", International Conference on Chaos and Dynamical Complexity, National Chiao Tung University, 台湾 (2006-05)
- 102) M. Iima: "Hovering as a critical state for flapping flight", Frontiers in Dynamics: physical and biological systems, 東京 (2006-05)
- 103) Y. Nishiura: "Dynamics of traveling waves in heterogeneous media", Dynamics of Nonlinear Waves, Groningen University, Netherland (2006-04)
- iii) コロキウム・セミナー等・その他
- 1) 永幡幸生: 「Regularity of the diffusion coefficient matrix for generalized exclusion process」、広島確率論・力学系セミナー、広島大学 (2003-11)
- 2) 永幡幸生: 「Regularity of the diffusion coefficient matrix for generalized exclusion process」、九州確率論セミナー、九州大学 (2003-10)
- 3) 西浦廉政: 「Toward the understanding of strong interactions among localized patterns in dissipative systems」、Sapporo Guest House Symposium on Mathematics 14, 語ろう「数理解析」第11~14回セミナー北海道、札幌 (2003-08)
- 4) 永幡幸生: 「Regularity of the diffusion coefficient matrix for generalized exclusion process」、関西確率論セミナー、京都大学 (2003-07)
- 5) 永幡幸生: 「格子気体の流体力学極限について (symmetric simple exclusion process の場合)」、札幌 NSC セミナー、北海道大学 (2003-06)
- 6) M. Iima, Y. Nishiura: 「2種混合液体における局在対流の衝突の解析」、数理解析セミナー (大阪大学大学院基礎工学研究科数理教室)、大阪 (2005-03)
- 7) 宮本安人: 「 $S^1$ 上の半線形放物型方程式へのヘテロクリニック軌道について」、広島大学 HMA セミナー、広島大学 (2004-12)
- 8) 宮本安人: 「 $S^1$ 上の半線形放物型方程式へのヘテロクリニック軌道について」、北海道大学 PDE セミナー、北海道大学 (2004-10)
- 9) 柳田達雄: 「流体现象に対するパターン形成現象の解析」、第12回複雑現象工学講演会、産業技術総合研究所 (2004-07)
- 10) 宮本安人: 「一次元単独反応拡散方程式のグローバルア

トラクターと解析手法」、NSC セミナー、北海道大学 (2004-05)

- 11) 中垣俊之、手老篤史、小林亮:「粘菌の行動に見る賢さ」、大阪大学生命機能研究科セミナー、大阪大学 (2005-12)
- 12) 柳田達雄:「非線形非平衡系におけるパターン・ダイナミクスの数理モデリング」、ERATO 複雑数理モデルプロジェクト セミナー、東京大学生産技術研究所 (2005-12)
- 13) 宮本安人:「2次元円盤領域上の活性・抑制系の定常解が不安定になるための一般的な判定法について」、NSC セミナー、北海道大学 (2005-09)
- 14) 早瀬友美乃:「ノイズに支配される非平衡系のパターン動力学」、第43回物性談話会、札幌 (2005-07)
- 15) 飯間信:「はばたき運動による力の生成と対称性の破れ」、土井研セミナー (東京大学工学部)、東京 (2005-07)
- 16) 飯間信:「2次元はばたきモデルの空中停止飛行」、NSC セミナー (北大電子研情報数理研究室)、札幌 (2005-07)
- 17) 小林亮、中垣俊之、手老篤史:「真正粘菌変形体の運動と情報処理の数理モデル」、吉川研究室セミナー、京都大学 (2005-06)
- 18) 宮本安人:「S<sup>1</sup>上の半線形放物型方程式のヘテロクリニック軌道について」、NSC セミナー、北海道大学 (2005-05)
- 19) 中垣俊之、小林亮、手老篤史:「あるアメーバ様生物による輸送路ネットワークのデザイン」、システム情報工学科山本研究室セミナー、筑波大学 (2005-04)
- 20) 中垣俊之、小林亮、手老篤史:「あるアメーバ様生物による輸送路ネットワークのデザイン」、創成科学セミナー、北海道大学 (2005-04)
- 21) 飯間信:「昆虫飛翔のモデルとその解析」、PDE セミナー、札幌 (2006-10)
- 22) 飯間信:「円筒容器内の回転流れにおける自由表面の非周期的切り替わり」、Fluid Mechanical Engineering Colloquium、札幌 (2006-05)

#### 4.8 シンポジウムの開催 (組織者名、シンポジウム名、参加人数、開催場所、開催期間)

##### ・国際シンポジウム

- 1) O. Descalzi, H. R. Brand and Y. Hayase: “Reaction-Diffusion Systems: Theory and Experiments”, 20名、Hotel Radisson (Easter Island) (2004年12月2日~2004年12月4日)
- 2) 大本亨、飯間信: 第7回ソウル大~北大ジョイントシンポジウム「2nd HUI and SNU Symposium on Mathematics」、30名、北海道大学 (札幌) (2004年7月9日)
- 3) 西浦廉政、早瀬友美乃、寺本敬: 材料科学における不安定性と微細構造、30名、北海道大学電子科学研究所 (札幌) (2005年3月16日~2005年3月18日)
- 4) 西浦廉政、飯間信: 界面運動と関わる非線型ダイナミ

クスの解析、25名、北海道大学電子科学研究所 (札幌) (2005年2月23日)

- 5) 西浦廉政、飯間信: Coupled-Oscillator Day 2004、15名、北海道大学電子科学研究所 (札幌) (2004年9月17日)
- 6) T. Ohta, H. Hayakawa, S. Ishiwata, S. Kai, M. Murase, M. Sano, T. Shibata, K. Yoshikawa, M. Matsushita, Y. Nishimura, A. Onuki, H. Tanaka, T. Yamaguchi and H. Yokoyama: 「第20回西宮湯川記念理論物理学シンポジウム」、120名、2005年10月3日~2005年10月4日、西宮市立夙川公民館 (西宮市) [シンポジウム名]: 生命リズムと振動子ネットワーク
- 7) 蔵本由紀、郡 宏: 2006年10月18日~2006年10月20日: 北大 クラーク会館 (札幌): 70名: 数理分子生命理学専攻第2回公開シンポジウム「生命科学と数理科学の融合」

#### 4.9 共同研究

##### a. 所内共同研究 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

- 1) 西浦廉政、小林亮、上田哲男、中垣俊之 (電子科学研究所): 「非線形化学ダイナミクスに基づく細胞インテリジェンスの発現」、2001~2003年度、未定、非線形化学ダイナミクスに基づく細胞インテリジェンスの発現

#### 4.10 予算獲得状況

##### a. 科学研究費補助金 (研究代表者、分類名、研究課題、期間)

- 1) 飯間信、若手研究 B、流体と相互作用する弾性体の運動の研究、2003~2004年度
  - 2) 柳田達雄、若手研究 B、非線形・非平衡パターン形成現象に対する構成的な動力学手法の確立、2002~2004年度
  - 3) 西浦廉政、萌芽研究、逐次分岐によるロバストな形態形成ダイナミクスの解明、2002~2004年度
  - 4) 小林亮、基盤研究 C 一般 (2)、再結晶過程のフェーズフィールドモデルに関する研究、2001~2003年度
  - 5) 西浦廉政、基盤研究 B 一般 (2)、散逸系における大域分岐構造の幾何学と複雑時空間パターン、2001~2003年度
  - 6) 西浦廉政、基盤研究 A 一般 (2)、散逸系における粒子解ダイナミクスの新展開、2004~2007年度
  - 7) 早瀬友美乃、若手研究 B、反応拡散系にみられる時空間フラクタル構造の解明、2003~2005年度
  - 8) 飯間信、若手研究 B、渦を使った飛翔機構により運動する物体の動力学に関する研究、2005~2006年度
  - 9) 早瀬友美乃、若手研究 B、反応拡散系にみられる時空間フラクタル構造の解明、2003~2005年度
  - 10) 飯間信: 若手研究 B: 渦を使った飛翔機構により運動する物体の動力学に関する研究: 2005~2006年度
  - 11) 西浦廉政: 基盤研究 A 一般 (2): 散逸系における粒子解ダイナミクスの新展開: 2004~2007年度
- ##### b. 民間等との共同研究 (研究担当者、機関名、研究題目、

研究期間、研究内容)

- 1) 大山義仁、西浦廉政、柳田達雄、飯間信、猪俣敦夫(ノーステック財団):「光ファイバにおける偏波モード分散の温度特性に関する理論的解明」、2003年度、400千円
- 2) 飯間信(財団法人 住友財団):「柔らかい物体が流体と相互作用をを起こして運動する系の研究」2002~2003年度、300千円
- 3) 西浦廉政(理化学研究所):「非平衡ダイナミクスに基づく散逸構造形成制御法の確立」、2000~2003年度、未定、非線形ダイナミクスによる散逸構造の制御法の確立
- 4) 西浦廉政、Irina Loginova、一宮尚志(日本原子力研究所):「原子燃料細粒化プロセスの縮約的な解析理論に関する研究」、2004年度 4,400千円、2005年度 4,000千円、2006年度 4,242千円
- 5) 西浦廉政、大山義人、岩崎弘利、佐々木宏(デンソーIT):「ダイナミックに変化する情報伝達ネットワークに関する研究」及び「情報伝達信頼モデルに関する研究」、2004~2005年度、3,000千円
- 6) 西浦廉政(三菱レイヨン(株)):「光重合誘起相分離による自己組織化現象のメカニズム解明に関する研究」、2006年度、1,000千円

#### 科学技術振興調整費

- 1) 柳田達雄、西浦廉政、津田一郎、末谷大道、合原一幸(文部科学省):「パターンダイナミクス・シミュレータに関する研究、2006~2007年度、未定

e. COE 関係(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

- 1) 芳賀永、小林亮、中垣俊之(21世紀 COE プログラム「バイオとナノを融合する新生命科学拠点」):「ナノ力学走査型プローブ顕微鏡を用いた細胞システム挙動の実験的・理論的解析」、2002~2003年度、4,000千円、

f. その他(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、研究内容)

- 1) 居城邦治、田中賢、藪 浩、西浦廉政(独立行政法人科学技術振興機構):「高分子の階層的自己組織化による再生医療用ナノ構造材料の創製」、2002~2006年度、未定、戦略的創造研究推進事業「医療に向けた自己組織化等の分子配列制御による機能性材料・システムの創製」領域研究課題「高分子の階層的自己組織化による再生医療用ナノ構造材料の創製」[機関名]:独立行政法人科学技術振興機構

#### 4.12 社会教育活動

##### a. 公的機関の委員

- 1) 西浦廉政:科学研究費委員会専門委員(2003年1月1日~2003年9月30日)
- 2) 西浦廉政:Physica D, Editor(2002年4月1日~現在)
- 3) 飯間信:雑誌「物性研究」編集委員(2001年4月1日~現在)
- 4) 西浦廉政:Japan Journal of Industrial and Applied

Mathematics, Associate Editor(1997年4月1日~現在)

- 5) 西浦廉政:Hokkaido Mathematical Journal, Editor(1995年4月1日~現在)
- 6) 西浦廉政:日本学術振興会科学研究費委員会専門委員(2003年1月1日~2004年12月31日)
- 7) 西浦廉政:日本数学会科研費問題専門委員(2005年7月1日~2007年6月30日)
- 8) 西浦廉政:European Journal of Applied Mathematics, Associate Editor(2005年1月1日~現在)
- 9) 西浦廉政:日本学術会議連携委員(2006年8月20日~現在)

##### b. 国内外の学会の役職

- 1) 西浦廉政:応用数学科分会委員会委員(2002~2003年度)
- 2) 西浦廉政:日本数学会評議員(2006年3月1日~現在)
- 3) 西浦廉政:日本応用数理学会評議員(2006年4月1日~現在)

##### c. 併任・兼業

- 1) 西浦廉政:九州大学 客員教授(2005年4月1日~2006年3月31日)

##### d. その他

- 1) 郡 宏:手稲高校「キャリア探求学習」の講師(2007年2月15日)

##### e. 新聞・テレビ等の報道

・新聞

- 1) 中垣俊之、小林亮、西浦廉政:朝日新聞(夕刊) 2005年4月19日「新科論 最適ルート粘菌に学ぶ」
- 2) 郡 宏、そのほか 数人:北海道新聞 2007年2月16日「手稲高校で行われた「キャリア探求学習」での取組が報道

##### f. 外国人研究者の招聘(氏名、国名、期間)

- 1) Thomas Wanner, USA, 2004年3月6日~2004年3月19日
- 2) Angela Stevens, Germany, 2004年2月15日~2004年3月12日
- 3) Peter William Bates, USA, 2003年11月15日~2003年11月23日
- 4) J. A. Warren, USA, 2005年1月29日~2005年2月5日
- 5) Peter Bates, USA, 2004年10月9日~2004年10月23日
- 6) Peter Bates, USA, 2005年10月2日~2005年10月8日
- 7) Alexander S. Mikhailov, Germany, 2006年8月5日~2006年8月9日

##### g. 北大での担当授業科目(対象、講義名、担当者、期間)

- 1) 理学研究科、数理科学講義2、小林亮、2003年10月1日~2004年3月31日
- 2) 理学部、応用数学特論2、小林亮、2003年10月1日~2004年3月31日
- 3) 理学部、計算数学4、西浦廉政、2003年10月1日~2004年3月31日
- 4) 全学科共通、一般教育演習、西浦廉政、早瀬友美乃、2005年10月1日~2006年3月31日
- 5) 理学部、計算数学4、西浦廉政、早瀬友美乃、柳田達雄、2005年10月1日~2006年3月31日

- 6) 理学部、数学購読、飯間信、2005年10月1日～2006年3月31日
- 7) 理学部、計算数学4、西浦廉政、2006年10月1日～2007年3月31日
- 8) 理学部、数学購読、飯間信、2006年10月1日～2007年3月31日
- 9) 理学部、数学購読、柳田達雄、2006年4月1日～2007年3月31日
- 10) 理学部、数学購読、飯間信、2006年4月1日～2006年9月30日

**h. 北大以外での非常勤講師（担当者、教育機関、講義名、期間）**

- 1) 小林亮、広島大学理学研究科、非平衡系の数理モデル入門、2003年11月10日～2003年11月13日
- 2) 小林亮、中央大学理工学研究科、応用解析特別講義第二、2003年10月1日～2004年3月31日
- 3) 小林亮、中央大学理工学部、応用統計学4、2003年10月1日～2004年3月31日

**i. ポスドク・客員研究員など**

- ・ポスドク(12名)  
永幡幸生(北海道大学VBL)、井古田亮(北海道大学VBL)、一宮尚志(北海道大学VBL)、寺本敬(北海道大学VBL)、上田肇一(北海道大学VBL)、婁本東(北海道大学VBL)、宮本安人(北海道大学VBL)、一宮尚志(電子科学研究所)、宮口智成(工学部VBL)、齋藤宗孝(工学部VBL)、郡 宏(理学部COE)、平岡裕章(学振PD)

**j. 修士学位及び博士学位の取得状況**

- ・修士課程（4名）  
伊藤賢太郎、早坂靖士、鈴木啓太、鈴木俊行
- ・博士後期課程（4名）  
手老篤史、大山義仁、袁曉輝、齋藤宗孝
- ・論文博士（1名）  
Petteri Kettunen

## 神経情報研究分野

教授 下澤楯夫 (北大院、理博、1988.10~2007.3)  
助教授 青沼仁志 (北大院、理博、2001.1~)  
助手 西野浩史 (岡山大院、学博、2000.10~)  
講師 (研究機関研究員) 岩崎正純  
(岡山大院、学博、2003.4~2005.3)  
JSPS 特別研究員 平口鉄太郎 (北大院、理博、  
2004.4~2007.3)  
外国人客員研究員 DELAGO, Antonia (Queen Mary,  
University of London、JSPS Fellow., PhD, 2004.9~2006.8)  
博士研究員 佐倉 緑 (北大院、工博、2005.10~)  
技官 土田義和  
院生 余野央行 (D3)  
菊地美香 (M1)  
頼経篤史 (M1)

### 1. 研究目標

神経細胞が相互に信号をやり取りする神経回路網は、どのようにして感覚信号の中から情報を抽出し、記憶と照合し、運動系を制御する信号を生成するのであろうか？本研究分野では、神経細胞から脳を組み立てる設計原理を明らかにするため、神経細胞の数が少なく構造も簡単な昆虫の神経系について、神経生理学及び情報工学・システム工学的手法を用いて神経細胞レベルにおける信号の流れと回路網を調べている。

### 2. 研究成果

#### ・平成15-16年度

a) Maxwell の魔物の喩えは、情報が「ただ」では得られない事を示している。いかなる観測器も、1ビットの情報を得るには代償として最低 $0.7k_B T$ の散逸を支払わなければならない(情報の負エントロピー原理：観測の不可逆性)。感覚細胞も、応答つまり観測に際し、エントロピー(温度  $T$  を掛ければエネルギー)を対象から奪って情報に変換している。コオロギの気流感覚細胞は単一分子の熱揺動エネルギー $k_B T$ 程度を検出でき、自分の分子の熱運動にさえ揺すられて時折神経パルスを発射してしまう。この細胞が神経パルス列に載せて送る情報の伝送速度は約400ビット/秒で、パルス頻度が150パルス/秒程であるから、パルス1発は約3ビットの情報を担っていた。この細胞は、刺激から数 $k_B T$ のエネルギーを吸収してパルス1発を出すから、約 $1k_B$ のエントロピーから1ビットの情報を生成する理論限界に近い観測器である。これ等の測定結果から以下のことを考察した。すなわち、感覚細胞の熱雑音感受性は進化がもたらした結果ではなく生命の起源に遡る拘束である。その根拠は、かつて低かった感度を上げて検出限界を熱揺動領域にまで近づいたのなら、熱雑音による不規則な応答で観測装置としての情報性能を下げたことになるからである。生命誕生前の原始のスープと生命誕生直後の違いは、

情報の有無にある。原始のスープで利用可能なエネルギーは、熱平衡の揺らぎ幅 $k_B T$ のレベルである。この $k_B T$ 程度のエネルギーを観測して情報(秩序構造としての負のエントロピー)に変換しているのが生命である。この、生きていくがゆえに逃れることの出来ない熱雑音感受性が、神経細胞の情報伝送性能を低く制限する。気流感覚細胞は観測装置であるにもかかわらず、熱雑音のため、その信号対雑音比は0.1と極めて悪い。非正常な環境への適応は情報伝送性能増大の向きの淘汰圧として働く。熱雑音感受性への拘束の下でのこの淘汰圧は、生物の多細胞化(加算平均による信号対雑音比の改善)を促し、神経系では並列伝送による加算平均化が進化した。

b) 昆虫のフェロモン行動は、一般的に定型的なものが多いが、経験により修飾されることも知られている。このようなフェロモン行動をモデル系とし、動物の状況に応じた行動切り替えや発現にかかわる神経機構、学習や記憶、可塑性の神経機構を解明する事を目指している。

コオロギの喧嘩行動(図1)は、雄コオロギに見られるフェロモン行動で、触角で他個体の体表を触り、相手の体表物質(フェロモン)を検出すると解発される。多くの場合、雄は他の雄に出遭うと、激しい喧嘩をはじめ。雄は喧嘩に負けると、その後、もう一度同じ雄に出遭ったとき喧嘩ではなく回避行動をとるようになる。即ち、負けた経験により行動パターンが切り替わったといえる。このような行動履歴に伴う行動の修飾や行動切り替えの神経機構については未だ解明されていない。



図1. 雄コオロギ同士の喧嘩

行動学的実験から、喧嘩に負けた経験は短期的な記憶となり、次の行動選択に関与することが示された。これまでの研究から、コオロギの匂い学習や記憶の成立過程には一酸化窒素(NO)シグナルが関与すること、脳内ではNOが合成され、標的細胞の可溶性グアニル酸シクラーゼ(sGC)を活性化しcGMP量を増加させる(図2)ことを示してきた。NOが如何にして経験による行動の切替えに関与するのかを解明するため、薬理的に予め脳内のNO合成酵素あるいはsGCを阻害し、喧嘩に負けた雄の行動パターンの変化を評価したところ、NO/cGMPカスケードがフェロモン行動の発現や修飾において機能的な役割を担うことが示唆された。さらに、フェロモン情報処理の一次中枢である触角葉(図3)に局在する神経細胞におけるNOの修飾効果を電気生理学的な方法で解析中である。

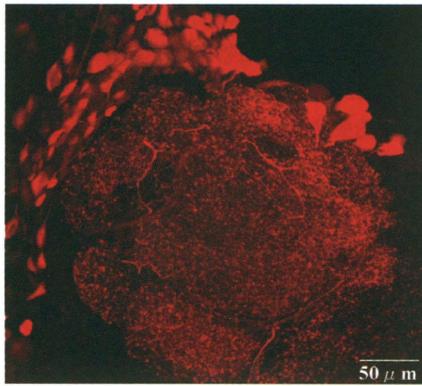


図2. コオロギ触角葉におけるNO誘導性cGMP免疫陽性細胞

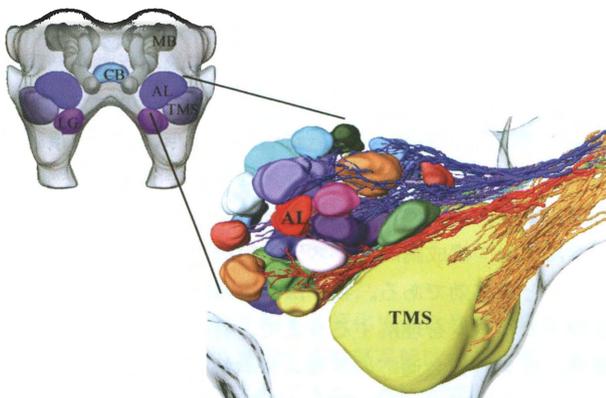


図3. コオロギ脳の3次元再構築モデルと触角葉の3次元再構築モデル

また、匂い情報の識別に関わる神経機構を解明するため、コオロギやゴキブリの神経系をモデルに、匂い情報が高次中枢のキノコ体でどのように処理されているのか電気生理学的方法で解析を進めている。ゴキブリでは、キノコ体に入力する神経細胞は全ての匂いに対して潜時の短い単純な匂い応答を示すものと特定の匂いに対して長い潜時の複雑な匂い応答を示すものに分けられ、これら2つの経路によって並列処理された匂い情報がキノコ体の出力ニューロンの匂い応答の時系列上で順番に読み出されることがわかり、昆虫のキノコ体はまず、匂いの濃度、それから質の分析を行うことが示唆された。

・平成16-17年度

a) なぜ神経系は束なのか？脳神経系が多数の細胞からなるのは多細胞生物として当然の帰結なのか？ならば単細胞から多細胞生物への進化はなぜ起こったのか？これらの素朴な疑問を、感覚細胞の情報伝送速度の計測に基づいて、情報論的に考察した。統計熱力学のマクスウェルの魔物は、情報を「ただ」で手に入れることは出来ないことを戒める喩えである。いかなる観測器も、1ビットの情報を得るには代償として最低でも $0.7 k_B T$ の散逸を支払わなければならない(情報の負エントロピー原理または観測の不可逆性と呼ばれる)。

感覚細胞も、刺激への応答つまり観測に際し、エントロピー(温度  $T$  を掛ければエネルギー)を対象から奪って情報に変換している。コオロギの気流感覚細胞は単一分子の熱

揺動エネルギー $k_B T$ 程度を検出でき、自分の分子の熱運動にさえ揺すられて時折神経パルスを発射してしまう。この細胞が神経パルス列に載せて送る情報の伝送速度を計測したところ、約400ビット/秒で、パルス頻度は150パルス/秒程であった。したがって、神経パルス1発は約3ビットの情報を持っていることが分かる。この細胞は、刺激から数 $k_B T$ のエネルギーを吸収してパルス1発を出すから、約 $1 k_B T$ のエントロピーから1ビットの情報を生成する理論限界に近い観測器である。

これ等の計測結果から以下のことを考察した。すなわち、感覚細胞の熱雑音感受性は進化がもたらした結果ではなく生命の起源に遡る拘束である。その根拠は、かつて低かった感度を上げて検出限界を熱揺動領域にまで近づいたのなら、熱雑音による不規則な応答で観測装置としての情報性能を下げたことになるからである。

生命誕生前の原始のスープと生命誕生直後の違いは、情報の有無にある。原始のスープで利用可能なエネルギーは、熱平衡の揺らぎ幅 $k_B T$ のレベルである。この $k_B T$ 程度のエネルギーを観測して情報(秩序構造としての負のエントロピー)に変換しているのが生命である。この、生きているがゆえに逃れることの出来ない熱雑音感受性が、神経細胞の情報伝送性能を低く制限する。気流感覚細胞は観測装置であるにもかかわらず、熱雑音のため、その信号対雑音比は0.1と極めて悪い。非正常な環境への適応は情報伝送性能増大の向きの淘汰圧として働く。熱雑音感受性への拘束の下でのこの淘汰圧は、生物の多細胞化(加算平均による信号対雑音比の改善)を促し、神経系では並列伝送による加算平均化が進化したのである。

b) 昆虫のフェロモン行動は、一般的に定型的なものが多いが、社会的な経験により修飾されることが知られている。フェロモン行動をモデル系とし、動物が状況に応じて行動を切り替える神経機構を中心に、学習や記憶、神経可塑性などの高次脳機能を解明する事を目指している。

コオロギの喧嘩行動は、雄コオロギに見られるフェロモン行動で、触角で他個体の体表を触り、相手の体表物質(フェロモン)を検出すると解発される。多くの場合、雄は他の雄に出遭うと、激しい喧嘩をはじめ。雄は喧嘩に負けると、その後、もう一度同じ雄に出遭ったとき喧嘩ではなく回避行動をとるようになる。即ち、負けた経験により行動パターンが切り替わったといえる。この様な行動履歴に伴う行動の修飾や行動切り替えの神経機構については未だ解明されていない。

行動学的実験から、喧嘩に負けた経験は短期的な記憶となり、次の行動選択に関与することが示された。これまでの研究から、コオロギの匂い学習や記憶の成立過程には一酸化窒素(NO)シグナルが関与すること、脳内ではNOが合成され、標的細胞の可溶性グアニル酸シクラーゼ(sGC)を活性化しcGMP量を増加させることを示してきた。NOが如何にして経験による行動の切替えに関与するのかを解明するため、薬理的に予め脳内のNO合成酵素あるいはsGCを阻害し、喧嘩に負けた雄の行動パターンの変化を評価したところ、NO/cGMPカスケードがフェロモン行動の発現や

修飾において機能的な役割を担うことが示唆された。さらに、コオロギの脳を3次元再構築し、個々の神経細胞を同定(図4)してデータベース化し、構成論的な解析を加えることで中枢神経系の動作原理を理解しようとしている。

c) 多くの動物にとって味覚(接触化学感覚)は食べ物の選択、種・性差識別にきわめて重要な役割を担っている。これまで触角上に味覚受容細胞があることは数多くの昆虫で示されてきたが、味覚情報が中枢のどこで処理されているのかについては全く知られていなかった。本研究ではゴキブリの触角表面に遍在する約6500個の機械・味覚受容感覚子のうち、任意の1個の感覚子に色素を注入することで、単一味覚受容細胞の軸索の詳細な形態を昆虫で初めて明らかにした。味覚受容細胞の投射領域は中大脳背側葉と食道下神経節の2領域にあり、嗅覚中枢や機械感覚中枢に近接しているが、空間的に隔てられていた(図3)。興味深いことに、一次味覚中枢は処理する味のカテゴリーに応じて、3つのコンパートメントに分かれていた(図5)。各コンパートメント中で軸索終末は細胞体の3次元的位置を反映してさらに細かく組織化されていた。このことは、味の種類と位置に関する情報は標識された経路(labeled line)によって中枢内に正確にマッピングされることを示唆している。嗅覚中枢が位置よりも質の情報処理に特化した構造(糸球体構造)を示すことを考慮して、味覚情報の処理様式は匂いよりもむしろ機械感覚の処理様式に近いと結論づけた。

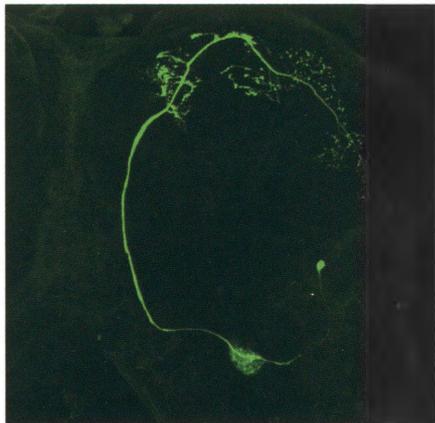


図4. コオロギの脳の投射ニューロン

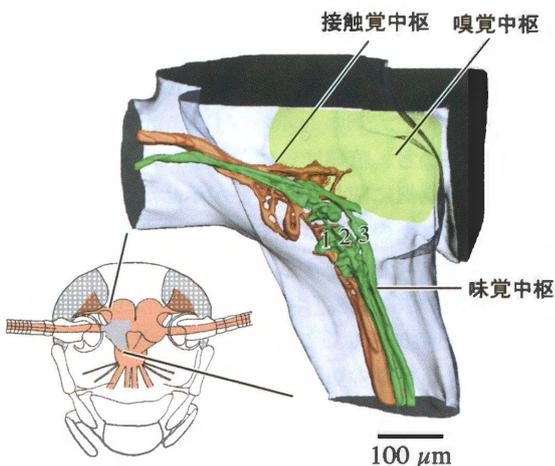


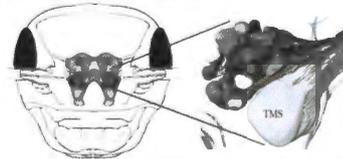
図5. ゴキブリ脳内一次感覚中枢の3次元マップ

・平成17-18年度

a) 生命の誕生以来、生物は、ダイナミックに変化する環境のなかで淘汰され、適応機構のひとつとして神経系を手に入れた。昆虫は、わずか数ミリから数センチ程の小さな体であるにもかかわらず、優れた感覚受容機構、情報処理機構、運動発現機構により刻々とかわる環境に適応している。昆虫のこのような適応機構は、わずか $10^6$ 個程度の細胞からなる神経系によって制御されている。ヒトをはじめとした哺乳類の脳は $10^{12}$ 個もの神経細胞からなり、「巨大脳」と呼ばれているのに対して、昆虫の脳は、サイズも小さく、細胞数も少ないことから「微小脳」とも呼ばれている。我々は、昆虫の神経系の設計原理を解明し、行動プログラムの実時間選択の神経機構を明らかにすることで、動物がいかにして環境の変化に対して適応的な行動を発現するのかを研究してきた。動物の学習・記憶・知能をはじめ、動機づけによる行動の修飾、階層的ルールに基づく行動選択や決定など、高次行動制御の神経生理学的機序を解明するためには、従来の行動観察や細胞レベルでの生理学的な解析に加え、構成論的・システム論的アプローチを取り入れることが有効である。我々は、実時間における適応行動発現メカニズムを理解するうえで、特に、社会をひとつの環境と捉え、社会適応のメカニズム解明に挑んでいる。そこで、「社会適応」を、個体が他個体との相互作用(経験)により発現行動を柔軟に切り替えることのできる適応機構として、その神経機構の解明をめざしている。

動物は、他の個体と相互に作用しあいながら集団という環境の中でも適応的に行動できる機能を有している(図6)。すなわち、動物は、程度の差こそあれ他個体との相互作用により社会を形成し、協調・競合しながら生存している。このような社会への適応機能を生み出すメカニズムを解明するため、動物の個体認識・個体間相互作用・コミュニケーション・社会性形成などの高次行動の発現にかかわる神経生理機構について研究した。

Neuronal elements



Interactions among individuals



Organization of a society



図6. 細胞レベルにおけるネットワーク構造の解明、個体間相互作用と行動切り替えによる振る舞いパターン生成のメカニズム、社会性の形成メカニズムの解明。

コオロギのフェロモン行動の発現や切り替えにかかわる神経生理機構の解明を進めてきた。特に、他個体との接触経験がいかんして引き続き起こる行動を切り替えるのかを調査している。コオロギを使った研究では、オス同士の喧嘩行動がフェロモン行動であることを示し、さらに、以前の喧嘩で負けた経験がある個体では、他のオス個体との接触で解発される行動が切り替わることを示した。また、フェロモン情報処理機構や喧嘩経験の記憶の神経機構には一酸化窒素シグナルや生体アミンが重要な役割を担うことがわかってきた。生物学実験の結果を基に、オスコオロギの振る舞いについての動的行動モデルと、神経生理モデルの構築、その計算機シミュレーションを行い、構成論的な解析を続けている。また、シミュレーションの結果、新たに出た仮説を生物学的実験により検証している。

b) 動物の一次嗅覚中枢には $10^2 \sim 10^3$ 個のオーダーの糸球体が存在する。同じ匂い受容体を発現する感覚細胞群の軸索終末は特定の糸球体に収束し、そこで2次ニューロンとシナプスを形成する。したがって、個々の糸球体は特定の匂い物質を処理するための機能モジュールとして振る舞う。

匂いの空間分布は時々刻々と変化するため、従来匂いの位置や方向を直接的に表現する神経基盤は存在せず、また持つ必要もないと想定されてきた。本研究ではゴキブリの触角の前表面由来の感覚細胞と後表面由来の感覚細胞の軸索がそれぞれ前側神経と後側神経を形成すること(図7左)に注目し、両神経束への色素注入による触角葉内投射マップの作成を行った。その結果、一般臭を処理する常糸球体において、腹側の小さい糸球体群は触角前表面に由来する感覚細胞からの入力を数の上で優先的に受け、背側の大きい糸球体群は後表面からの入力を優先的に受けること、性フェロモンを処理する大糸球体において触角前/後表面の感覚細胞の軸索終末は腹側/背側に分かれて分布していることを発見した(図7右)。これらの知見は触角前後のフェロモン位置の検出は大糸球体単体で可能であるのに対し、一般臭では少なくとも複数の糸球体によって可能になることを示唆している。以上、一次嗅覚中枢中に匂いの位置情報を表現する神経基盤が存在することが明らかとなった。

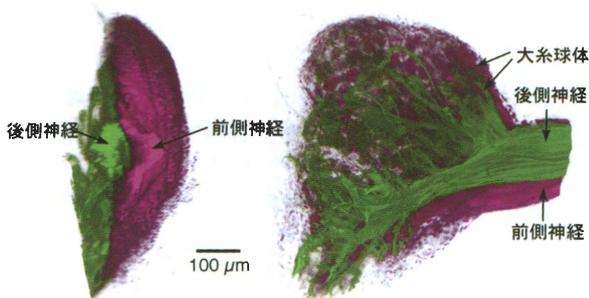


図7. ゴキブリ触角葉の受容野依存的マップ

### 3. 今後の研究の展望

神経系の構造と動作には、熱揺動が深く関わっている事が明らかになってきた。この事は神経系が、なぜ学習や可塑性など柔らかい動作が出来るのか、なぜ進化の上でかくも多様な神経系が可能であったのか、といった極めて生物学的な現象の基本的理解へと導いてくれる。すべては300Kの熱平衡に近い非平衡系という細胞及び生命の起源にまつわる熱雑音に曝されて存続し続けた計測・通信系として理解すべきである。熱雑音に満ちたこの世界が作り上げた情報通信系の設計原理を物理的な実測に基づいて議論を進めるには光を用いたナノメートル領域の計測や、情報や信号の確率論的考察など、所内外の他研究分野との共同研究を強める必要があり、また、小型高密度化の進む次世代電子情報デバイスの開発に熱揺動を手なづけた生物系の原理を応用する学際的研究を展開すべきことを示している。

生物学的研究に、システム工学の方法論を導入し、適応機構としての神経系の仕組みを系統的に理解する新しい方法論を構築した。得られた生物学の知見をもとに、動的な行動モデルや神経生理モデルを構築し、そのモデルの動作と実際の動物の行動発現や神経回路の動作を比較しながら、繰り返し検証することで、適応行動の発現に関わる神経系の設計原理が理解できる。将来的には、動物の個体認識や個体認識など個体間相互作用、コミュニケーションや社会適応にかかわる神経系の設計原理を理解することができ、新しい情報処理システムの構築につながることを期待できる。

### 4. 資料

#### 4.1 学術論文等

- 1) T. Watanabe, M. Kikuchi, D. Hatakeyama, T. Shiga, T. Yamamoto, H. Aonuma, M. Takahata, N. Suzuki and E. Ito: "Gaseous neuromodulator-related genes expressed in the brain of honeybee *Apis mellifera*", *Developmental Neurobiology*, 67: 456-473 (2007)
- 2) S. R. Ott, H. Aonuma, P. L. Newland and M. R. Elphick: "Nitric oxide synthase in crayfish walking leg ganglia: segmental differences in chemo-tactile centers argue against a generic role in sensory integration", *J. Comp. Neurol.*, 501: 381-399 (2007)
- 3) A. Delago and H. Aonuma: "Experience based agonistic behavior in female crickets, *Gryllus bimaculatus*", *Zool. Sci.*, 23(23): 775-783 (2006)
- 4) A. Wagatsuma, S. Azami, M. Sakura, D. Hatakeyama, H. Aonuma and E. Ito: "De novo Synthesis of CREB in a Presynaptic Neuron is Required for Synaptic Enhancement Involved in Memory Consolidation", *J. Neurosci. Res.*, 84: 954-960 (2006)
- 5) N. Yamagata, H. Nishino and M. Mizunami: "Pheromone-sensitive glomeruli in the primary olfactory centre of ants", *Proc. R. Soc. B*, 273: 2219-2225 (2006)

- 6) H. Nishino and M. Mizunami: "Termination profiles of insect chemosensory afferents in the antennal lobe are dependent on their origin on the flagellum", *NeuroReport*, 17(12): 1303-1307 (2006)
- 7) M. Iwasaki, A. Delago, H. Nishino and H. Aonuma: "Effects of previous experiences on the agonistic behavior of male crickets *Gryllus bimaculatus*", *Zool. Sci.*, 23: 863-872 (2006)
- 8) Y. Matsumoto, S. Unoki, H. Aonuma and M. Mizunami: "Nitric oxide-cGMP signaling is critical for cAMP-dependent long-term memory formation", *Learning & Memory*, 13(1): 35-44 (2006)
- 9) K. Niwa, J. Sakai, T. Karino, H. Aonuma, T. Watanabe, T. Ohyama, O. Inanami and M. Kuwabara: "Reactive oxygen species mediate shear stress-induced fluid-phase endocytosis in vascular endothelial cells", *Free Radical Research*, 40(2): 167-174 (2006)
- 10) J. Murakami, T. Kidachi, M. Haseyama and T. Shimozawa: "Sample Size Dependence of Estimation Error of Information Carried by Neuronal Spike Train", *Systems and Computers in Japan*, 36(7): 84-95 (2005)
- 11) T. Shimozawa: "Biological Insight into Future Technology-What Living Cells Tell Us", *Proceedings of the 3rd Annual International IEEE EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine and Biology, Kahuku, Oahu, Hawaii 12-15 May 2005*: 174 (2005)
- 12) H. Nishino, M. Nishikawa, F. Yokohari and M. Mizunami: "Dual, multi-layered somatosensory maps formed by antennal tactile and contact chemosensory afferents in an insect brain", *J. Comp. Neurol.*, 493: 291-308 (2005)
- 13) J. Nagamoto, H. Aonuma and M. Hisada: "Discrimination of conspecific individuals via cuticular pheromones by males of the cricket *Gryllus bimaculatus*", *Zool. Sci.*, 22: 1079-1088 (2005)
- 14) Y. Seki, H. Aonuma and R. Kanzaki: "Pheromone processing center in the protocerebrum of *Bombyx mori*", *J. Comp. Neurol.*, 481: 340-351 (2005)
- 15) T. Nagayama, K. Kimura, M. Araki, H. Aonuma and P. L. Newland: "Distribution of glutamatergic immunoreactive neurons in the terminal abdominal ganglion of the crayfish", *J. Comp. Neurol.*, 474(1): 123-135 (2004)
- 16) H. Nishino: "Motor output characterizing thanatosis in the cricket *Gryllus bimaculatus*", *J. Exp. Biol.*, 207: 3899-3915 (2004)
- 17) H. Aonuma and K. Niwa: "Nitric oxide regulates the levels of cGMP accumulation in the cricket brain", *Act. Biol. Hung.*, 55(1-4): 65-70 (2004)
- 18) 下澤楯夫:「節足動物の神経系から見た頭足類の特徴」、日本水産学会誌、70(5): 777-778 (2004)
- 19) 中山由佳子、河原剛一、青沼仁志、山内芳子、中島崇行、鉢呂健:「培養心筋細胞内 Ca<sup>2+</sup>振動の細胞間同期とそのメカニズムの解析」、電子情報通信学会技術研究報告、MBE2004-62: 41-44 (2004)
- 20) S. Hisayo, H. Sato, S. Kobayashi, J. Murakami, H. Aonuma, H. Ando, Y. Fujito, K. Hamano, M. Awaji, K. Lukowiak, A. Urano and E. Ito: "CREB in the pond snail *Lymnaea stagnalis* -Cloning, gene expression and function in identifiable neurons of the central nervous system-", *J. Neurobiol.*, 58(4): 455-466 (2004)
- 21) H. Schuppe, M. Araki, H. Aonuma, T. Nagayama and P. L. Newland: "Effects of nitric oxide on proprioceptive signaling", *Zool. Sci.*, 21(1): 1-5 (2004)
- 22) H. Nishino: "Local Innervation Patterns of the Metathoracic Flexor and Extensor Tibiae Motor Neurons in the Cricket *Gryllus bimaculatus*", *Zool. Sci.*, 20: 697-707 (2003)
- 23) H. Nishino: "Somatotopic Mapping of Chordotonal Organ Neurons in a Primitive Insect, the New Zealand Tree Weta *Hemideina femorata*. I. Femoral chordotonal organ.", *J. Comp. Neurol.*, 464: 312-326 (2003)
- 24) H. Nishino and L. H. Field: "Somatotopic Mapping of Chordotonal Organ Neurons in a Primitive Insect, the New Zealand Tree Weta *Hemideina femorata*. II. Complex Tibial Organ.", *J. Comp. Neurol.*, 465: 327-342 (2003)

#### 4.2 総説、解説、評論等

- 1) 西野浩史:「昆虫の聴覚器官—その進化—」、比較生理生化学、23(2): 84-95 (2006)
- 2) 下澤楯夫:「連載解説:生物学のための情報論—情報とは何か? 情報量とは何か? 生命現象との関係は何か?—第5回」、比較生理生化学、23(2): 38-43 (2006)
- 3) 下澤楯夫:「連載解説:生物学のための情報論—情報とは何か? 情報量とは何か? 生命現象との関係は何か?—第6回」、比較生理生化学、23(3): 153-164 (2006)
- 4) 下澤楯夫:「神経系はなぜ束なのか—神経系の基本構造に関する情報論的考察—」、日本機械学会誌、109(1049): 257-260 (2006)
- 5) 下澤楯夫:「連載解説:生物学のための情報論—情報とは何か? 情報量とは何か? 生命現象との関係は何か?—第4回」、比較生理生化学、23(1): 32-36 (2006)
- 6) 藤木智久、足利昌俊、川端 邦明、太田順、青沼仁志、浅間一:「適応的行動選択を実現する昆虫の神経回路モデルに関する研究—複数個体環境下における行動選択モデルの検証—」、第7回(社)計測自動制御学会・システムインテグレーション部門・講演論文集、06 SY 0013: 878-879 (2006)
- 7) 足利昌俊、平口鉄太郎、佐倉緑、菊地美香、青沼仁志、太田順:「コロロギ群の喧嘩行動をモデルとした動的環境下における移動ロボット群の採餌作業」、第7回(社)計測自動制御学会・システムインテグレーション部門・講演論文集、06 SY 0013: 876-877 (2006)
- 8) 頼経篤史、佐倉緑、青沼仁志:「コロロギの社会的経験による攻撃行動と回避行動の切り換え」、第7回(社)計測自動制御学会・システムインテグレーション

部門・講演論文集、06 SY 0013: 874-875 (2006)

- 9) 足利昌俊、菊地美香、平口鉄太郎、佐倉緑、青沼仁志、太田順:「コロロギ群の喧嘩行動を規範とした移動ロボット群の探餌行動」、第16回インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集、2006: 17-22 (2006)
- 10) 足利昌俊、平口鉄太郎、佐倉緑、青沼仁志、太田順:「コロロギ集団における多様の振るまいのモデル化」、自律分散シンポジウム資料、06 SY 0001 : 189-194 (2006)
- 11) 青沼仁志:「昆虫に見る行動の動的選択機構」、計測と制御、44(9): 621-627 (2005)
- 12) 下澤楯夫:「連載解説:生物学のための情報論—情報とは何か? 情報量とは何か? 生命現象との関係は何か?—第2回」、比較生理生化学、22(2): 85-89 (2005)
- 13) 下澤楯夫:「連載解説:生物学のための情報論—情報とは何か? 情報量とは何か? 生命現象との関係は何か?—」、比較生理生化学、22(1): 32-37 (2005)
- 14) 下澤楯夫:「連載解説:生物学のための情報論—情報とは何か? 情報量とは何か? 生命現象との関係は何か?—第3回」、比較生理生化学、22(3,4): 149-154 (2005)
- 15) 青沼仁志:「昆虫の行動決定にかかわる神経機構」、日本ロボット学会誌、23(1): 6-10 (2005)
- 16) 西野浩史:「昆虫の死にまね行動—その特徴的な運動出力—」、比較生理生化学、21(3): 117-127 (2004)
- 17) 西野浩史:「昆虫の死にまね行動—その誘発のメカニズム—」、比較生理生化学、21(2): 67-79 (2004)
- 18) 西野浩史:「技術ノート古典的手法の再検討—よりよい逆行性染色技術—」、比較生理生化学、20(2): 108-111(2003)
- 19) 下澤楯夫:「昆虫感覚細胞の熱雑音感受性と神経系の基本構造」、日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集 (2003.9.19-20) WS2-6 (2003)

#### 4.3 国際会議議事録等に掲載された論文

- 1) Y. Kitamura, H. Aonuma, K. Oka and H. Ogawa: “Acetylcholine enhances nitric oxide production in the terminal abdominal ganglion of the cricket, *Gryllus bimaculatus*”, *Society for Neuroscience*, 2006(351): 16/X11 (2006)
- 2) M. Suzuki, T. Kimura, H. Ogawa, H. Aonuma, Y. Kitamura, K. Hotta and K. Oka: “Peripheral nervous plexuses control squid chromatophore organs”, *Society for Neuroscience*, 2006(353): 4/W5 (2006)
- 3) D. Hatakeyama, E. Ito, H. Aonuma and K. Elekes: “Distribution of glutamate-like immunoreactive neurons in the adult and developing nervous system of gastropod molluscs (*Lymnaea stagnalis* L.)”, *Clin Neurosci*, 58(S1): 39 (2005)
- 4) K. Elekes, D. Hatakeyama, H. Aonuma and E. Ito: “Distribution of putative glutamatergic neurons in the adult and developing nervous system of the snail *Lymnaea stagnalis* (L.)”, *Society for Neuroscience*, 2005(31): 10 (2005)
- 5) Y. Kitamura, H. Aonuma, K. Oka and H. Ogawa: “Nitric oxide production in the terminal abdominal ganglion of

the cricket, *Gryllus bimaculatus*”, *Society for Neuroscience*, 2005(296): 11 (2005)

- 6) S. R. Ott, H. Aonuma, P. L. Newland and M. R. Elphick: “Analysis of nitric oxide synthase expression in the thoracic nerve cord of crayfish”, *Neuroforum*, CD-ROM(ISSN 0947-0875): 266B (2005)
- 7) H. Aonuma, M. Iwasaki, C. Katagiri and A. Delago: “Role of NO/cGMP signaling during formation of social hierarchy in the cricket”, *Neuroforum*, CD-ROM(ISSN 0947-0875): 248B (2005)
- 8) T. Shimozawa: “Biological Insight into Future Technology—What Living Cells Tell Us”, *Proceedings of the 3rd Annual International IEEE EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine and Biology, Kahuku, Oahu, Hawaii 12-15 May 2005*: 174 (2005)
- 9) T. Shimozawa: “Biological Insight into Future Technology—What Living Cells Tell Us”, *Proceedings of ICEE2004-APCOTMNT*, 31-36 (2004)
- 10) Y. Kitamura, H. Aonuma, K. Mizutani, H. Ogawa and K. Oka: “Effect of NO-cGMP signaling in non-associative learning of the earthworm, *Eisenia fetida*”, *Society for Neuroscience*, 2004. Online.: Program No. 730.8. (2004)
- 11) Y. Kitamura, H. Aonuma, K. Niwa, K. Mizutani, H. Ogawa and K. Oka: “NO-cGMP signaling in non-associative learning of the earthworm”, *NITRIC OXIDE-BIOLOGY AND CHEMISTRY*, 11(1): 106-107 (2004)
- 12) H. Aonuma and M. Iwasaki: “NO/cGMP signaling regulates short-term memory in the cricket”, *NITRIC OXIDE-BIOLOGY AND CHEMISTRY*, 11(1): 107 (2004)
- 13) H. Aonuma, M. Iwasaki and K. Niwa: “Role of NO signaling in switching mechanisms in the nervous system of insect”, *Proceeding of SICE Annual Conference*, 2004: 2477-2482 (2004)
- 14) T. Shimozawa: “Why nerves are bundles of fibers?—Thermal noise sensitivity of neuron and parallel structures of the nervous system”, *Neuroscience Research*, 50(Supplement): S25 (2004)
- 15) Y. Kitamura, H. Hashii, K. Mizutani, H. Aonuma and K. Oka: “Effect of NO-cGMP signaling on neural activity of the ventral nerve cord of the earthworm, *Eisenia fetida*”, *Society for Neuroscience*, 2003. Online.: Program No. 270.3 (2003)

#### 4.7 講演

##### i) 学会

- 1) A. Delago and H. Aonuma: “Beware hungry females—experience based agonistic behaviour in crickets”, The Annual Meeting of the Israel Society for Neuroscience (ISFN), Eilat, Israel (2006-12)
- 2) H. Ogawa, Y. Kitamura, H. Aonuma and K. Oka: “Acetylcholine-induced calcium-NO signaling in the cricket terminal abdominal ganglion”, 第44回生物物理学会年会,

- 第5回東アジア生物物理学シンポジウム合同会議、沖縄 (2006-11)
- 3) M. Suzuki, T. Kimura, H. Ogawa, H. Aonuma, Y. Kitamura, K. Hotta and K. Oka: "Nervous plexuses controlled squid chromatophore organs exist in the peripheral area", 36th Annual Meeting of Society for Neuroscience, Atlanta, USA (2006-10)
  - 4) Y. Kitamura, H. Aonuma, K. Oka and H. Ogawa: "Acetylcholine enhances nitric oxide production in the terminal abdominal ganglion of the cricket, *Gryllus bimaculatus*", 36th Annual Meeting of Society for Neuroscience, Atlanta, USA (2006-10)
  - 5) 足利昌俊、菊地美香、平口鉄太郎、佐倉緑、青沼仁志、太田順:「コロロギ群の喧嘩行動を規範とした移動ロボット群の採餌行動」、第16回インテリジェント・システム・シンポジウム (FAN シンポジウム)、柏 (2006-09)
  - 6) 藤木智久、川端邦明、池本有助、青沼仁志、浅間一:「昆虫の適応的行動選択を実現する神経回路モデルに関する研究 -NO/cGMP カスケードによる適応的行動選択のモデル化-」、第16回インテリジェント・システム・シンポジウム (FAN シンポジウム)、柏 (2006-09)
  - 7) 佐倉緑、頼経篤史、青沼仁志:「コロロギの体表物質に対するオスの攻撃行動の発現と経験による変化」、日本動物学会 第77回大会、松江 (2006-09)
  - 8) 村上準、青沼仁志、長尾隆司:「コロロギの闘争行動における NO シグナル達系と脳内アミンレベルの連関」、日本動物学会 第77回大会、松江 (2006-09)
  - 9) 平口鉄太郎、足利昌俊、佐倉緑、菊地美香、太田順、青沼仁志:「オスコロギの集団における行動発現のモデル化」、日本動物学会 第77回大会、松江 (2006-09)
  - 10) 鈴木真美子、木村哲也、小川宏人、青沼仁志、北村美一郎、堀田耕司、岡浩太郎:「イカ色素胞における神経制御メカニズム」、日本動物学会 第77回大会、松江 (2006-09)
  - 11) 池野英利、神崎亮平、青沼仁志、高畑雅一、水波誠、松井伸之、泰山浩司、横張文男、臼井支朗:「無脊椎動物プラットフォーム Invertebrate Brain Platform」、第16回日本神経回路学会、名古屋 (2006-09)
  - 12) 船戸徹郎、倉林大輔、奈良維仁、青沼仁志:「振動子網を用いた行動制御モデルの考察」、第24回日本ロボット学会学術講演会、岡山 (2006-09)
  - 13) 下澤楯夫:「神経系はなぜ束なのか? -神経系の基本構造に関する情報論的考察」、日本化学会第59回コロイドおよび界面化学討論会、総合講演、札幌 (2006-09)
  - 14) 佐倉緑、平口鉄太郎、青沼仁志:「ヤマトアシナガアリ脳内における NO/cGMP シグナル系の作用領域」、日本比較生理生化学会 第27回大会、浜松 (2006-07)
  - 15) Y. Kitamura, H. Aonuma, K. Oka and H. Ogawa: "Physiological role of NO production in invertebrate nervous system", Symposium for young neurobiologists -Neuroethology in Invertebrates-日本比較生理生化学会第27回大会、浜松 (2006-07)
  - 16) 西野浩史、西川道子、横張文男:「ゴキブリ触角および口器感覚ニューロンの投射地図」、日本比較生理生化学会第28回大会、浜松 (2006-07)
  - 17) 藍浩之、西野浩史、伊藤綱男:「ミツバチ脳後傾斜におけるジョンストン器官感覚線維の投射様式」、日本比較生理生化学会第28回大会、浜松 (2006-07)
  - 18) 西川道子、西野浩史、辻衣里子、三坂優子、久保田麻衣子、里路裕司、尾崎まみこ、横張文男:「クロオオアリ触角葉糸球体のカースト多形」、日本比較生理生化学会第28回大会、浜松 (2006-07)
  - 19) T. Hiraguchi and H. Aonuma: "Modulatory effects of nitric oxide on the neuronal activities in the antennal lobe of the cricket", FENS Forum 2006, Vienna, Austria (2006-07)
  - 20) A. Delago and H. Aonuma: "Female fighting - a model system for understanding social interactions in crickets", FENS Forum 2006, Vienna, Austria (2006-07)
  - 21) M. Ashikaga, T. Hiraguchi, M. Sakura, H. Aonuma and J. Ota: "Modeling of adaptive behaviors in crickets", FENS Forum 2006, Vienna, Austria (2006-07)
  - 22) J. Murakami, H. Aonuma and T. Nagao: "Nitric oxide mediated biogenic amine system in the agonistic behavior of cricket", KIT International Symposium on Brain and Language 2005, 東京 (2006-03)
  - 23) Y. Kitamura, H. Aonuma, K. Oka and H. Ogawa: "Nitric oxide production in the terminal abdominal ganglion of the cricket, *Gryllus bimaculatus*", 35th Annual Meeting of Society for Neuroscience, Washington, DC, USA (2005-11)
  - 24) K. Elekes, D. Hatakeyama, H. Aonuma and E. Ito: "Distribution of putative glutamatergic neurons in the adult and developing nervous system of the snail *Lymnaea stagnalis* (L.)", 35th Annual Meeting of Society for Neuroscience, Washington, DC, USA (2005-11)
  - 25) 青沼仁志、北村美一郎、小川宏人、岡浩太郎:「コロロギの最終腹部神経節における NO/cGMP シグナル伝達系」、日本動物学会 第76回大会、つくば (2005-10)
  - 26) デラゴ アントニア、青沼仁志:「Different stages of memory formation in female cricket fighting」、日本動物学会 第76回大会、つくば (2005-10)
  - 27) 鈴木真美子、木村哲也、青沼仁志、北村美一郎、小川宏人、堀田耕司、岡浩太郎:「イカ色素胞を制御する末梢神経ネットワークの解析」、日本動物学会 第76回大会、つくば (2005-10)
  - 28) 平口鉄太郎、青沼仁志:「フェロモン情報処理系における NO 修飾作用」、日本動物学会 第76回大会、つくば (2005-10)
  - 29) 村上準、青沼仁志、長尾隆司:「コロロギの攻撃行動にかかわる NO シグナル系と脳内アミンレベル」、日本動物学会 第76回大会、つくば (2005-10)
  - 30) 西野浩史:「匂いの位置情報の脳内表現」、日本動物学会第76回大会、つくば国際会議場 (2005-10)
  - 31) 平口鉄太郎、青沼仁志:「昆虫の脳におけるフェロモン

- 情報処理に関わる NO/cGMP の作用」、第85回北海道医学大会生理系分科会、札幌医科大学 (2005-09)
- 32) 西野浩史:「聴覚の収斂進化-昆虫の聴覚器官が教えてくれること-」、第7回日本進化学会、仙台 (2005-08)
- 33) デラゴ アントニア、青沼仁志:「Stages of memory formation in cricket agonistic encounters」、(社)日本植物学会北海道支部第51回大会 (社)日本動物学会北海道支部第51回大会 合同大会、北海道大学 (2005-08)
- 34) 下澤樞夫:「神経系はなぜ束なのか? -神経系の基本構造に関する情報論的考察」、日本動物学会北海道支部第51回大会、札幌 (2005-08)
- 35) 濱徳行、高畑雅一、青沼仁志:「ココロギ脳内における一酸化窒素産生細胞と生体アミン含有細胞の分布」、日本比較生理生化学会 第27回大会、電気通信大学 (2005-08)
- 36) 平口鉄太郎、青沼仁志:「ココロギ脳内のフェロモン情報処理に関する NO の修飾効果」、日本比較生理生化学会 第27回大会、電気通信大学 (2005-08)
- 37) 西川道子、辻衣里子、青沼仁志、横張文男:「クロコオアリ脳内ニューロパイルにおけるセロトニン様免疫陽性ニューロンの局在」、日本比較生理生化学会 第27回大会、電気通信大学 (2005-08)
- 38) 渡邊崇之、菊池美香、青沼仁志、鈴木範男、伊藤悦朗:「セイヨウミツバチ *Apis mellifera* 脳におけるガス神経伝達物質合成・受容酵素の遺伝子クローニングとその発現解析」、日本比較生理生化学会 第27回大会、電気通信大学 (2005-08)
- 39) 西野浩史:「ゴキブリ嗅受容細胞の投射は触角内の位置をどう反映するか?」、第27回日本比較生理生化学会、電気通信大学 (2005-08)
- 40) 松本幸久、宇ノ木佐会、青沼仁志、水波誠:「フタホシココロギの長期記憶形成における NO-cGMP 系と cAMP-PKA 系役割」、第28回 日本神経科学大会、横浜 (2005-07)
- 41) 辻衣里子、青沼仁志、西川道子、横張文男:「セロトニン様免疫陽性ニューロンと脳内ニューロパイルの領域性」、日本動物学会九州支部 (第58回)・日本植物学会九州支部 (第55回) 日本生態学会九州地区 (第50回)・沖縄生物学会 (第42回) 合同沖縄大会、琉球大学 (2005-05)
- 42) T. Shimozawa: “Biological Insight into Future Technology-What Living Cells Tell Us”, 3rd Annual International IEEE EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine and Biology, Kahuku, Oahu, Hawaii (2005-05)
- 43) 平口鉄太郎、北村美一郎、岡浩太郎、青沼仁志:「昆虫の脳における匂い情報処理に関わる NO/cGMP の作用」、日本 NO 学会学術集会、札幌 (2005-04)
- 44) 渡邊崇之、青沼仁志、鈴木範男、伊藤悦朗:「ミツバチ脳における NOS、alpha-1、beta-1/-3サブユニットの遺伝子クローニングと分子系統樹作成」、日本 NO 学会学術集会、札幌 (2005-04)
- 45) H. Aonuma, M. Iwasaki, C. Katagiri and A. Delago: “Role of NO/cGMP signaling during formation of social hierarchy in the cricket”, 30th Göttingen Neurobiology Conference, Göttingen, Germany (2005-02)
- 46) S. R. Ott, H. Aonuma, P. L. Newland and M. R. Elphick: “Analysis of nitric oxide synthase expression in the thoracic nerve cord of crayfish”, 30th Göttingen Neurobiology Conference, Göttingen, Germany (2005-02)
- 47) D. Hatakeyama, E. Ito, H. Aonuma and K. Elekes: “Distribution of glutamate-like immunoreactive neurons in the adult and developing nervous system of gastropod molluscs (*Lymnaea stagnalis* L.)”, MITT 2005 A Magyar Idegudományi Tarsaság 11. Kongresszusa, Pecs, Hungary (2005-01)
- 48) Y. Kitamura, H. Aonuma, K. Mizutani, H. Ogawa and K. Oka: “Effect of NO-cGMP Signaling in non-associative learning of the earth worm, *Eisenia fetida*”, Society for Neuroscience, 2004, Sun Diego, USA (2004-10)
- 49) T. Shimozawa: “Why nerves are bundles of fibers? -Thermal noise sensitivity of neuron and parallel structures of the nervous system”, Neuro2004 第27回日本神経科学大会 第47回日本神経化学会大会 合同大会、大阪 (2004-09)
- 50) 北村美一郎、青沼仁志、丹羽光一、水谷賢史、小川宏人、岡浩太郎:「ミミズ非連合学習における NO-cGMP 経路の効果」、Neuro 2004 (第27回日本神経科学大会・第47回日本神経化学会大会合同大会)、大阪 (2004-09)
- 51) 西野浩史、西川道子、横張文男:「ゴキブリ触角上の剛毛感覚子の軸索地図」、日本動物学会第75回大会、神戸 (2004-09)
- 52) 西川道子、西野浩史、横張文男:「ゴキブリ触角・小脳鬚感覚情報の中樞投射」、日本動物学会第75回大会、神戸 (2004-09)
- 53) 青沼仁志、岩崎正純:「クロコオロギのフェロモン行動の切替えに関与する一酸化窒素の役割」、日本動物学会第75回大会、神戸 (2004-09)
- 54) 岩崎正純、片桐千俣、青沼仁志:「雄ココロギに配偶、闘争行動を発現させる体表フェロモンの分離と行動解析による評価」、日本動物学会 第75回大会、神戸 (2004-09)
- 55) 平口鉄太郎、北村美一郎、岡浩太郎、青沼仁志:「クロコオロギ脳内触角葉ニューロンの自発的活動に及ぼす NO の効果」、日本動物学会 第75回大会、神戸 (2004-09)
- 56) 丹羽光一、青沼仁志、狩野猛:「シェアストレスによる血管内皮細胞のピノサイトーシス活性化における細胞内活性酸素の役割」、第84回日本生理学会北海道地方会、旭川 (2004-09)
- 57) 平口鉄太郎、北村美一郎、岡浩太郎、青沼仁志:「クロコオロギの脳における NO 産生と触角葉における NO の神経修飾効果」、動物学会北海道支部 第50回大会、北海道 厚岸 (2004-08)

- 58) H. Aonuma and M. Iwasaki: "NO/cGMP signaling during the formation of pheromonal learning and memory in the cricket", 7th International Congress of Neuroethology, Nyborg, Denmark (2004-08)
- 59) M. Iwasaki, C. Katagiri and H. Aonuma: "Behaviors evoked by saturated and unsaturated cuticular-hydrocarbons in male cricket", 7th International Congress of Neuroethology, Nyborg, Denmark (2004-08)
- 60) H. Nishino, M. Nishikawa, S. Yamashita, Y. Yamazaki, M. Mizunami and F. Yokohari: "Insects smell humidity and temperature", The 7th Congress of the International Society for Neuroethology, Nyborg, Denmark (2004-08)
- 61) H. Nishino, H. Hongo and M. Mizunami: "Olfactory signal processing in the lateral protocerebrum of the cockroach brain", The 7th Congress of the International Society for Neuroethology, Nyborg, Denmark (2004-08)
- 62) Y. Matsumoto, M. Mizunami and H. Aonuma: "Nitric oxide-cGMP pathway is critical for cAMP-dependent long-term memory", 7th International Congress of Neuroethology, Nyborg, Denmark (2004-08)
- 63) H. Aonuma, M. Iwasaki and K. Niwa: "Role of NO signaling in switching mechanisms in the nervous system of insect", SICE Annual Conference 2004, Sapporo (2004-08)
- 64) 下澤楯夫:「神経系はなぜ束なのか?—神経系の基本構造に関する情報論的考察」、日本比較生理生化学会大会 吉田記念受賞講演、神戸 (2004-07)
- 65) 高原里佳、西野浩史、西川道子、横張文男:「コロロギ触角感覚情報の中枢処理経路」、第26回日本比較生理生化学会、神戸大学 (2004-07)
- 66) 辻衣里子、青沼仁志、西川道子、横張文男:「コロロギアリ触角葉・キノコ体におけるセロトニン様免疫陽性ニューロン」、第26回日本比較生理生化学会大会、神戸 (2004-07)
- 67) 青沼仁志、岩崎正純:「コロロギのフェロモン行動発現に關与する一酸化窒素の役割」、第26回日本比較生理生化学会大会、神戸 (2004-07)
- 68) 岩崎正純、片桐千俣、青沼仁志:「生化学的分析によるコロロギ体表物質の分離と行動解析による評価」、第26回日本比較生理生化学会大会、神戸 (2004-07)
- 69) T. Shimozawa: "Biological Insight into Future Technology—What Living Cells Tell Us", ICEE2004-APCOTMNT 2004, Sapporo, Japan (2004-07)
- 70) H. Aonuma and M. Iwasaki: "NO/cGMP signaling regulates short term memory in the cricket", The 3rd International Conference on the Biology, Chemistry, and Therapeutic Applications of Nitric Oxide / The 4th Annual Scientific Meeting of the Nitric Oxide Society of Japan, 奈良 (2004-05)
- 71) Y. Kitamura, H. Aonuma, K. Niwa, K. Mizutani, H. Ogawa and K. Oka: "NO-cGMP signaling in non-associative learning of the earthworm", The 3rd International Conference on the Biology, Chemistry, and Therapeutic Applications of Nitric Oxide / The 4th annual Scientific meeting of the Nitric Oxide Society of Japan, 奈良, Japan (2004-05)
- 72) 辻衣里子、青沼仁志、西川道子、横張文男:「コロロギアリ脳におけるセロトニン様免疫陽性ニューロン」、動物学会九州支部 第57回大会、九州大学 (2004-05)
- 73) 西野浩史:「コロロギ死にまね行動の神経機構」、日本比較生理生化学会第25回大会、仙台(2003-07)
- 74) Y. Kitamura, H. Hashii, K. Mizutani, H. Aonuma, H. Ogawa and K. Oka: "Effect of NO-cGMP signaling on neural activity of the ventral nerve cord of the earthworm, *Eisenia fetida*", Society for Neuroscience 2003, New Orleans, LA, USA (2003-11)
- 75) 西野浩史、本郷秀紀、水波誠:「ゴキブリ高次嗅覚情報処理ニューロンの生理学的性質」、日本動物学会第74回大会、函館大学(2003-09)
- 76) 岩崎正純、青沼仁志:「コロロギ脳内でコロロギ体表物質に応答する神経活動」、日本動物学会第74回大会、函館(2003-09)
- 77) 関洋一、青沼仁志、神崎亮平:「雄カイコガのフェロモンおよび一般臭情報処理系の前大脳における投射地図」、日本動物学会第74回大会、函館(2003-09)
- 78) 青沼仁志、丹羽光一:「酵素抗体測定法によるコロロギ脳内の NO 誘導性 cGMP 量の計測」、日本動物学会第74回大会、函館(2003-09)
- 79) 小川宏人、北村美一郎、橋井秀明、水谷賢史、青沼仁志、岡浩太郎:「ミミズ神経系における NO-cGMP 経路とその生理作用」、日本動物学会第74回大会、函館(2003-09)
- 80) 下澤楯夫:「神経系の並列構造の起源に関する熱雑音仮説」、日本動物学会大会、函館(2003-09)
- 81) 青沼仁志、丹羽光一:「昆虫の脳内における NO-cGMP シグナル」、第83回日本生理学会北海道地方会、札幌(2003-09)
- 82) 岩崎正純:「甲殻類の胸部に存在する伸張受容器の比較生理学的・形態学的研究」、第83回北海道医学大会生理系分科会、札幌(2003-09)
- 83) 西野浩史:「ウエタ聴覚器官の機能解剖」、日本比較生理生化学会第25回大会、仙台(2003-07)
- 84) 下澤楯夫:「神経系はなぜ束なのか?—神経細胞の熱雑音感受性と神経系の基本構造」、日本比較生理生化学会大会、仙台(2003-07)
- 85) 北村美一郎、橋井秀明、水谷賢史、青沼仁志、小川宏人、岡浩太郎:「無脊椎動物神経系における NO-cGMP 経路の神経活動に与える効果」、第3回 NO 学会学術集会、熊本(2003-05)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) 青沼仁志:「コロロギの喧嘩経験と行動切り換え」、ワークショップ「昆虫の炭化水素とコミュニケーション行動」、京都 (2007-03)
- 2) 藤木智久、足利昌俊、川端邦明、太田順、青沼仁志、浅間一:「適応的行動選択を実現する昆虫の神経回路モ

- デルに関する研究—複数個体環境下における行動選択モデルの検証—」、第7回（社）計測自動制御学会・システムインテグレーション部門講演会、札幌（2006-12）
- 3) 足利昌俊、平口鉄太郎、佐倉緑、菊地美香、青沼仁志、太田順:「コオロギ群の喧嘩行動をモデルとした動的環境下における移動ロボット群の採餌作業」、第7回（社）計測自動制御学会・システムインテグレーション部門講演会、札幌（2006-12）
  - 4) 頼経篤史、佐倉緑、青沼仁志:「クロコオロギの社会的経験による攻撃行動と回避行動の切り換え」、第7回（社）計測自動制御学会・システムインテグレーション部門講演会、札幌（2006-12）
  - 5) 青沼仁志:「神経生物学とナノテク」、第31回日本比較内分泌学会大会シンポジウム、札幌（2006-11）
  - 6) 船戸徹郎、倉林大輔、奈良維仁、青沼仁志:「振動子網を用いた行動遷移メカニズムの考察」、生命リズムと振動子ネットワーク、北海道大学（2006-10）
  - 7) 下澤楯夫:「神経系はなぜ束なのか?—神経系の基本構造に関する情報論的考察」、バイオとナノテクノロジーの融合研究、文部科学省リーディングプロジェクトワークショップ、京都リサーチパーク（2006-10）
  - 8) M. Ashikaga, T. Hiraguchi, M. Sakura, M. Kikuchi, H. Aonuma and J. Ota: “Modeling of fighting behaviors in crickets”, The 2nd International Workshop by Research Group of Invertebrate Nervous System of Japan, Shodo shima (2006-08)
  - 9) T. Fujiki, K. Kawabata, H. Aonuma and H. Asama: “A Computational Model of the Adaptive Action Selection in Cricket Fighting Behavior by NO/cGMP Cascade”, The 2nd International Workshop by Research Group of Invertebrate Nervous System of Japan, Shodo shima (2006-08)
  - 10) T. Funato, H. Aonuma, D. Kurabayashi and H. Nara: “Development of oscillator network model for behavioral processing”, The 2nd International Workshop by Research Group of Invertebrate Nervous System of Japan, Shodo shima (2006-08)
  - 11) 下澤楯夫:「神経系はなぜ束なのか?—神経系の基本構造に関する情報論的考察」、第12回創発システム・シンポジウム「創発夏の学校」、計測自動制御学会システム・情報部門、富山（2006-08）
  - 12) 青沼仁志:「コオロギの社会的経験と行動変容」、社会的知能発生学研究会、札幌（2006-06）
  - 13) 下澤楯夫:「神経系はなぜ束なのか?—神経系の基本構造に関する情報論的考察」、第1回移動知シンポジウム、洞爺（2006-06）
  - 14) 青沼仁志:「社会適応のメカニズム解明にむけた構成論的アプローチ」、移動知シンポジウム、洞爺（2006-06）
  - 15) T. Shimozaawa: “Why nerves are bundles of fibers?—Information theoretic study on the basic structure of the nervous system”, The 2nd UK-Japan Symposium on Promotion of Regional Partnerships on Nanotechnology Development, Newcastle upon Tyne UK, UK (2006-03)
  - 16) 青沼仁志:「昆虫の神経生物学基礎」、「移動知」工学系研究者のための生物学チュートリアル、札幌、旭川（2006-03）
  - 17) 足利昌俊、平口鉄太郎、佐倉緑、青沼仁志、太田順:「コオロギ集団における多様の振るまいのモデル化」、自律分散システム OS、福井県国際交流会館（2006-01）
  - 18) 下澤楯夫:「神経系はなぜ束なのか?—神経細胞の熱雑音感受性と神経系の基本構造」、大阪大学産業科学研究所—北海道大学電子科学研究所交流会、吹田（2005-12）
  - 19) H. Aonuma: “Mechanism whereby animals adapt to society”, The 1st International Symposium on Mobiligence, 北海道大学 学術交流会館（2005-12）
  - 20) T. Shimozaawa: “Making the Research & Business Park on Hokkaido University, its History and On-going Programs”, Japan-UK Symposium on Promotion of Regional Partnerships on Nanotechnology Development, Sapporo (2005-10)
  - 21) T. Shimozaawa: “Achievements and On-going Programs of Hokkaido University for the Research and Business Park”, Hokkaido University - University of Oulu Joint Symposium, Oulu, Finland, Finland (2005-09)
  - 22) 青沼仁志:「コオロギの闘争行動における NO/cGMP カスケードの役割」、無脊椎動物神経科学研究会、御殿場（2005-08）
  - 23) 青沼仁志:「Formation of social hierarchy in the cricket - a role of NO/cGMP cascade in fighting behavior」、第28回 日本神経科学大会、横浜（2005-07）
  - 24) 下澤楯夫:「Biological Insight into Future Technology -What Living Cells Tell Us」、移動知—生物学と工学の連携—研究会、札幌（2005-06）
  - 25) V. Lingela, T. Shimozaawa, A. Buysc and H. Odagiri: “The Contribution of Innovation Actors to Economic Performance in Japanese and South African Regions: Northern Cape, Gauteng, Tokyo and Hokkaido”, SARIMA Conference on Managing Research and Innovation for Development, Bloemfontein, South Africa, South Africa (2005-05)
  - 26) H. Aonuma: “Functional role of the NO/cGMP cascade in pheromonal behavior of insects; a lack of NO makes super confident crickets”, The 6th RIES-Hokudai Symposium, Sapporo (2004-12)
  - 27) 中山由佳子、河原剛一、青沼仁志、山内芳子、中島崇行、鉢呂健:「培養心筋細胞内 Ca<sup>2+</sup>振動の細胞間同期とそのメカニズムの解析」、電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究会、仙台（2004-11）
  - 28) A. Wagatsuma, H. Aonuma and E. Ito: “Dynamics and regulatory role of CREB in long-termsynaptic plasticity in *Lymnaea stagnalis*”, 10th Anniversary Meeting of Workshop of Invertebrate Neuroscience, Hawaii, USA (2004-09)
  - 29) T. Hiraguchi, Y. Kitamura, K. Oka, S. R. Ott, M. R.

- Elphick and H. Aonuma: "The neuronal activities were regulated by nitric oxide in the antennal lobe of the cricket brain.", 10th Anniversary Meeting of Workshop of Invertebrate Neuroscience, Hawaii, USA (2004-09)
- 30) H. Aonuma: "Role of NO/cGMP signaling in the pheromonal behavior of the cricket", International Symposium on Chemical Senses and Insect, Kyoto, Japan (2004-07)
- 31) Y. Seki, H. Aonuma and R. Kanzaki: "NO-induced cGMP immunohistochemistry reveals the pheromone processing center in the protocerebrum of *Bombyx mori*", International Symposium on Chemical Senses and Insect, Kyoto, Japan (2004-07)
- 32) Y. Seki, H. Aonuma and R. Kanzaki: "Identification of a pheromone processing center in the protocerebrum from subdivisions of the antennal lobe macroglomerular complex of *Bombyx mori*", The 14 th International Symposium on Olfaction and Taste (ISOT), Kyoto, Japan (2004-07)
- 33) 松本幸久、青沼仁志、水波誠:「一酸化窒素-環状 GMP シグナル伝達系が長期記憶形成に果たす役割」、バイオサイエンスシンポジウム、東北大学 (2004-05)
- 34) 下澤楯夫:「節足動物の神経系から見た頭足類の特徴」、2004年日本水産学会ミニシンポジウム「頭足類学の胎動-分子解析から資源変動まで」、鹿児島 (2004-04)
- 35) 青沼仁志:「昆虫の実時間行動選択機構のシステムの理解」、移動知研究会、東北大学電気通信研究所(2004-03)
- 36) 青沼仁志:「昆虫の行動制御機構にかかわる一酸化窒素カスケードの役割」、第16回自立分散システム・シンポジウム、京都(2004-01)
- 37) 浅間一、矢野雅文、土屋和雄、伊藤宏司、高草木薫、神崎亮平、青沼仁志、大田順、石黒章夫:「移動知発現のシステム原理 (生物学と工学の相互連携)」、第16回自立分散システム・シンポジウム、京都(2004-01)
- 38) 下澤楯夫:「神経系はなぜ束なのか? -神経細胞の熱雑音感受性と神経系の基本構造」、第26回日本分子生物学会年会シンポジウム「情報伝達の1分子ダイナミクス」、神戸 (2003-12)
- 39) 下澤楯夫:「昆虫感覚細胞の熱雑音感受性と神経系の基本構造」、第81期日本機械学会流体工学部門講演会ワークショップ「生物ミメティックマシン」、吹田(2003-09)
- 40) 青沼仁志:「昆虫の脳における NO-cGMP シグナル」、無脊椎動物神経研究会、箱根(2003-08)
- 41) 岩崎正純:「甲殻類の胸部体節に存在する伸張受容器の比較研究」、無脊椎動物神経研究会、箱根(2003-08)
- 42) H. Aonuma, Y. Matsumoto, K. Niwa, A. Delago, S. R. Ott, M. R. Elphick and M. Mizunami: "NO-cGMP signaling mediates long-term memory in the cricket", 10th symposium on invertebrate neurobiology, Tihany, Hungary (2003-07)
- iii) コロキウム・セミナー等・その他
- 1) T. Hiraguchi: "Is That the Sense Organ? (Or only the Flight Organ?)", Nuerobiologie Seminar, University of Vienna, Austria (2007-01)
- 2) 下澤楯夫:「ケータイ電話は蛙のおかげ? -生物と科学技術」、電子科学研究所一般公開、サイエンストーク、札幌 (2006-06)
- 3) 青沼仁志:「コオロギの闘争行動の発現にかかわる NO/cGMP シグナル伝達系と生体アミン」、東京大学先端研神崎研究室セミナー、東京大学駒場キャンパス (2006-05)
- 4) 青沼仁志:「環境に適応するための高次行動を制御する神経生理機構のシステムの理解、特定領域「移動知」C班 班会議、札幌 (2006-05)
- 5) H. Aonuma: "NO/cGMP signaling in the formation of social hierarchy in cricket", Sussex Centre for Neuroscience, School of Life Sciences, University of Sussex, University of Sussex, UK (2005-02)
- 6) H. Aonuma: "NO/cGMP system in the formation of social hierarchy in cricket", Fachbereich Biologie, Tierphysiologie, Universitaet Marburg, Universitaet Marburg, Germany (2005-02)
- 7) 青沼仁志:「コオロギからみたナノテク」、北海道大学大学院共通授業、創成科学研究棟 5階大会議室 (2005-01)
- 8) H. Aonuma: "Role of NO/cGMP signaling in aggressive and avoidance behavior of the cricket", Seminar in Prof. Wehner's lab, Zoological Institute, University of Zurich, Switzerland (2004-08)
- 9) 下澤楯夫:「神経系の情報伝送速度は何ビット/秒か? どうやって測るか? 何が分かるか?」、電子情報通信学会北海道支部学生会主催講演会、北見 (2004-07)
- 10) 青沼仁志:「フェロモン行動の修飾に関与する一酸化窒素の役割」、福岡大学理学部地球圏科学科 生物学研究室セミナー、福岡 (2004-07)
- 11) 青沼仁志:「昆虫の社会的順位の形成と NO/cGMP シグナル」、金沢工業大大学院人間情報研究所長尾研究室セミナー、石川県白山市 (2006-01)
- 12) 下澤楯夫:「ケータイ電話は蛙のおかげ? -生物と科学技術」、旭川市科学館サイパル、科学講演会、旭川 (2005-11)
- 4.8 シンポジウムの開催 (組織者名、シンポジウム名、参加人数、開催場所、開催期間)
- ・国際シンポジウム
- 1) H. Asama, J. Ota and H. Aonuma: "The 1st International Symposium on Mobiligence", 80名、北海道大学 学術交流会館 (札幌) (2005年12月4日)
- 2) H. Aonuma: Symposium on invertebrate neurobiology in RIES Hokkaido University (25名、北海道大学電子科学研究所(札幌)、2004年3月24日)
- ・一般のシンポジウム
- 1) H. Aonuma: 「比較生理化学会 若手国際シンポジウム」、80名、電気通信大学 (東京) (2005年8月5日)
- 2) 青沼仁志: 移動知セミナー「ネットワーク構造と社会性」、9名、北海道大学電子科学研究所 (札幌) (2006年2

月23日)

- 3) 青沼仁志:「社会性昆虫セミナー」、20名、宜野湾セミナーハウス(宜野湾市)(2006年1月31日)
- 4) 青沼仁志:「自律分散システム OS」、福井県国際交流会館(福井市)(2006年1月27日)
- 5) 青沼仁志:「第4回移動知研究会」、30名、北海道大学電子科学研究所(札幌)(2005年6月1日)

#### 4.9 共同研究

##### b. 所内共同研究(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

- 1) 青沼仁志、丹羽光一、中島崇行、田中賢、西野浩史(電子科学研究所):「昆虫の神経細胞を用いた培養系による神経回路網の再構築と」、2002~2004年度、NO-cGMP系は学習や記憶の基盤となる神経の可塑性に深く関与する。これまでに節足動物を用いた電気生理学・行動学・組織化学的研究から NO-cGMP 系が神経伝達の修飾に関与する事、匂いの連合学習に重要な事などを示した。NO は標的細胞のグアニル酸シクラーゼを活性化し細胞内 cGMP 合成を促進するが、cGMP がどのような生理機構で神経の可塑性に関与するか不明である。本プロジェクトは培養細胞系を従来の研究に取り入れ、細胞内の遺伝子発現、酵素活性を観察する事で cGMP の下流にあるシグナル伝達系を解明する。従来の *in vivo* の実験と本プロジェクトの *in vitro* の実験を組み合わせる事で、実験材料に昆虫を使う利点を最大限に活用し、脊椎動物では困難な思い切った実験を可能にする。
- 2) 岩崎正純(電子科学研究所):「クロコオロギが雌雄を識別する時に働く神経回路の生理学的、形態学的解析」、2003年度、昆虫のクロコオロギの雄は、同じ種類の雌と出会うと交尾行動を起こす。一方、出会った相手が雄だった場合は、相手を威嚇し喧嘩をはじめ。このように、クロコオロギの雄は、出会った相手の雌雄を識別し、それぞれ場合に依じて適切な行動を発現させる。これらの行動の時、雄コオロギは相手の体を触角で触れることによって雌雄を確認している。この雌雄を識別する機構は、生物が”子孫を残し、種を存続させていく”という、本能行動に関連する重要な仕組みであるが、その神経機構についてはあまり研究が進んでいない。そこで、電気生理学的、形態学的手法を用いて、クロコオロギの雄が触角を使って、相手の雌雄を識別している時に活動しているニューロンを調べる。そしてこの研究を行うことによって、クロコオロギが状況に合わせて適切な行動を発現するための神経機構を解明することができるはずである。

##### d. 受託研究(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、研究内容)

- 1) 白井支朗、池野英利、R. Kanzaki, M. Mizunami, H. Aonuma and M. Takahata(理化学研究所):「無脊椎動物脳プラットフォームの開発と運用」、2005-2007年度、2200千円、無脊椎動物を対象とする神経生理、化学、

行動学に関連する情報を共有するシステムの開発、構築を進めるもので、NIJC におけるプラットフォームの一貫として運用を進めていく計画である。

#### 4.10 予算獲得状況

##### a. 科学研究費補助金(研究代表者、分類名、研究課題、期間)

- 1) 青沼仁志、特定領域研究(総括班)、身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現-移動知の構成論的理解 2005~2009年度
- 2) 青沼仁志、特定領域研究(計画研究) 環境に適応するための高次行動を制御する神経生理機構のシステムの理解 2005~2009年度
- 3) 下澤楯夫、萌芽研究、多細胞化の直接的生存価に関する熱雑音仮説、2005~2006年度
- 4) 西野浩史、若手研究 A、昆虫最高次中枢のシステム論的解析、2005~2007年度
- 5) 平口鉄太郎、特別研究員奨励費(2)、コオロギ逃避行動解発を制御する脳内神経機構、2004~2006年度
- 6) 青沼仁志、特別研究員奨励費、昆虫の行動発現の神経生理機構に関わる NO/cGMP シグナルの役割、2004~2006年度
- 7) 青沼仁志、若手研究 A、節足動物中枢神経系における行動制御機構にかかわる一酸化窒素の役割、2002~2004年度
- 8) 下澤楯夫、基盤研究 B(2)、神経系はなぜ束なのか-並列構造の起源に関する実験的検証、2003~2005年度
- 9) 西野浩史、若手研究 B、ゴキブリ高次嗅覚情報処理ニューロンに学ぶ匂い識別・学習のしくみ、2003~2004年度
- 10) 下澤楯夫、萌芽研究、神経系の基本構造の起源に関する熱雑音仮説、2002~2003年度

##### b. 奨学寄附金(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

- 1) 青沼仁志、秋山記念生命科学振興財団、適応行動の発現機構に関わる中枢神経系における NO-cGMP カスケードの役割、2003年度、1,000千円、我々ヒトを含め、すべての動物は状況に応じて適切な行動をすることで様々な環境に適応し進化してきた。「動物がいかにして状況に応じた適切な行動を発現するのか」、その神経生理機構の解明を目指す。

##### e. COE関係(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、研究内容)

- 1) 青沼仁志、高畑 雅一、岩崎正純、平口鉄太郎(COE21 ナノとバイオの融合):ナノデバイスとしての昆虫の脳における情報処理機構の解明、2004年度、4,000千円、「動物は状況に応じた行動の切替えをどのような神経機構で行うか」を解明することで、体の小さな昆虫が採用してきた運動機能と発現行動の神経機構を理解する。
- 2) 西野浩史、高畑雅一(21世紀 COE”バイオとナノを融合する新生命科学拠点”事業)、昆虫のひずみ受容セン

サー”ナノスケールの感度を生み出す秘密を探る、2002～2003年度、昆虫の体節内部に存在する弦音器官は生物界最高の感度を持つひずみ受容センサーである。センサーの本体である感覚ニューロンは大きくゆっくりとした変位に応じるものから振動、音に応じるものまで広い機能的分化を示す。本研究ではこれらの機能的分化をひとつの感覚ニューロンの集団中にみいだすことのできる腿節内弦音器官をモデルとし、感覚ニューロンの周波数特性や感度の違いが何に起因するのかを探ることを目的とする。本年度は刺激伝達部位である attachment cell や刺激受容部位である感覚ニューロンの樹状突起の微細形態を電子顕微鏡で観察することで構造、材料面での知見を得る。

- 3) 青沼仁志、高畑雅一、岩崎正純 (COE 21)、行動制御機構に関する中枢神経系での NO-cGMP シグナル伝達系の役割、2002～2003年度、「動物は状況に応じた行動の切換えをどのような神経機構で行うか」を解明するのが研究目的である。行動を切換える際、神経系で一酸化窒素 (NO) がいかに機能しているか、節足動物の同定神経回路網で生理学、薬理学、組織化学的に解析する。(1)行動薬理的に、NO が動物の行動の切換えにどう関与しているか学習行動に注目して観察する。(2)組織化学的方法により一酸化窒素産生細胞と一酸化窒素の標的細胞の局在を明らかにする。(3)電気生理学的方法と NO の光学的イメージングにより細胞を電気刺激した際の NO 放出量を計測する。(4)NO 産生細胞と標的細胞の両方から細胞の活動記録し、薬理学的方法で一酸化窒素の修飾効果を計測する。NO は神経伝達の修飾、修飾物質放出の修飾を行っており、中枢における NO の役割を詳細に解析することで、動物の行動制御、行動切換え、環境適応の神経機構を解明して行く。

#### 4.11 受賞

- 1) 足利昌俊、菊地美香、平口鉄太郎、佐倉緑、青沼仁志、太田順 SI2006優秀講演賞受賞 ((社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門) 2006年12月
- 2) 平口鉄太郎：松本・羽鳥奨学賞 (北海道大学電子科学研究所) 2006年3月
- 3) 下澤楯夫：吉田記念賞「神経系はなぜ束なのか？—神経系の基本構造に関する情報論的考察」(日本比較生理生化学会)2004年7月
- 4) 西野浩史：吉田奨励賞「コオロギ死にまね行動の神経機構」(日本比較生理生化学会) 2003年7月

#### 4.12 社会教育活動

##### b. 国内外の学会の役職

- 1) 青沼仁志：計測自動制御学会自立分散システム部会運営委員 (2007年1月1日～2008年12月31日)
- 2) 青沼仁志：計測制御学会誌 「計測と制御」 特集号ゲストエディタ (2007年1月1日～2007年12月31日)
- 3) 青沼仁志：日本比較生理生化学会 将来計画委員会委

員 (2006年4月1日～2008年3月31日)

- 4) 青沼仁志：日本動物学会北海道支部 会計幹事 (2005年1月1日～2006年12月31日)
- 5) 青沼仁志：日本比較生理生化学会 評議委員 (2004年1月1日～2007年12月31日)
- 6) 下澤楯夫：ME とバイオサイバネティクス研究専門委員会専門委員 (1999年5月22日～2005年5月31日)
- 7) 青沼仁志：日本動物学会北海道支部 会計幹事 (2005年1月1日～2006年12月31日)
- 8) 青沼仁志：日本比較生理生化学会 評議委員 (2004年1月1日～2005年12月31日)
- 9) 青沼仁志：日本動物学会北海道支部 役員 (2003年1月1日～2004年12月31日)
- 10) 青沼仁志：日本動物学会北海道支部 庶務幹事 (2003年1月1日～2006年12月31日)
- 11) 下澤楯夫：社団法人日本エム・イー学会評議員 (2001年5月10日～現在)

##### c. 併任・兼業

- 1) 青沼仁志：理化学研究所 客員研究員 (2006年11月1日～現在)
- 2) 下澤楯夫：金沢工業大学人間情報システム研究所評価委員 (2006年2月1日～2008年1月31日)
- 3) 下澤楯夫：東北大学電気通信研究所運営協議会委員 (2002年4月～2004年3月)

##### e. 新聞・テレビ等の報道・放送

- 1) 青沼仁志：三角山放送局 2006年3月11日「ラジオ番組「かがく探検隊コーステップ」研究室に行ってみよう」

##### f. 外国人研究者の招聘 (氏名、国名、期間)

- 1) Tiaza Bem-Sojka, Poland 2006年12月8日
- 2) Pierre Mayrand, France, 2006年12月8日
- 3) Ken Lukowiak, Canada, 2006年2月22日
- 4) Miriam Henze, Switzerland, 2006年1月10日～2006年3月30日
- 5) Sten Grillner, Sweden, 2005年12月3日～2005年12月5日
- 6) Rolf Pfeifer, Switzerland, 2005年12月3日～2005年12月5日
- 7) Avis C. Cohen, USA, 2005年12月3日～2005年12月5日
- 8) Thangima Zannat, Germany, 2005年4月1日～2005年6月30日
- 9) Frederic Libersat, Israel, 2004年12月11日～2004年12月15日
- 10) Uli Mueller, Germany, 2004年9月29日
- 11) Antonia Delago, Austria, 2004年9月1日～2005年8月31日
- 12) Laurence. H. Field, New Zealand, 2004年6月12日～2004年7月18日
- 13) Karoly Elekes, Hungary, 2004年5月18日～2004年5月19日
- 14) Swidbert R. Ott, UK, 2004年3月19日～2004年3月28日
- 15) Serfozo Zoltan, Hungary, 2004年3月18日～2004年3月30日

- 16) Paul Benjamin、UK、2003年11月27日～2004年12月2日
- g. 北大での担当授業科目** (対象、講義名、担当者、期間)
- 1) 全学科共通、生物学(多様性) 下澤楯夫、2006年10月6日～2007年1月26日
  - 2) 工学部、生体情報工学、下澤楯夫、2006年10月4日～2007年1月17日
  - 3) 全研究科共通、脳科学、下澤楯夫、2007年1月19日
  - 4) 全学科共通 「複合科目. 健康と社会. 脳科学: 分子から高次機能発現まで」 青沼仁志 2006年10月28日
  - 5) 全学科共通 科学技術の世界 「ナノバイオサイエンス - バイオとナノの融合」 青沼仁志 2006年5月31日
  - 6) 全学科共通 基礎生物学 I 青沼仁志 2006年4月1日～2006年9月30日
  - 7) 全学科共通 英語演習「レポートの書き方-Why foreign languages in university」 下澤楯夫 2006年4月1日～2006年9月30日
  - 8) 生命科学学院、生体制御科学概論、下澤楯夫、2006年4月24日
  - 9) 生命科学学院、行動システム制御学特論、下澤楯夫、2006年6月19日～6月22日
  - 10) 生命科学研究所 生命科学論文講読 青沼仁志 2006年4月1日～2007年3月31日
  - 11) 生命科学研究所 行動システム制御科学特論 青沼仁志 2006年4月1日～2006年9月30日
  - 12) 生命科学研究所 生命システム科学基礎論 青沼仁志 2006年4月1日～2006年9月30日
  - 13) 生命科学研究所 生命科学実習 青沼仁志 2006年4月1日～2007年3月31日
  - 14) 全学科共通、「複合科目. 健康と社会. 脳科学: 分子から高次機能発現まで」、青沼仁志、2005年10月28日
  - 15) 情報科学研究科、神経情報工学特論、青沼仁志、2005年10月1日～2006年3月31日
  - 16) 工学部、生体情報工学、下澤楯夫、2005年10月1日～2006年3月31日
  - 17) 全学科共通、生物学Ⅱ、下澤楯夫、2005年10月1日～2006年3月31日
  - 18) 全学科共通、基礎生物学Ⅱ、青沼仁志、2005年10月1日～2006年3月31日
  - 19) 全研究科共通、脳科学、下澤楯夫、2005年10月1日～2006年3月31日
  - 20) 全学科共通、科学技術の世界「ナノバイオサイエンス - バイオとナノの融合」、青沼仁志、2005年5月31日
  - 21) 全学部共通、「複合科目. 健康と社会. 脳科学: 分子から高次機能発現まで」、青沼仁志、2004年10月22日
  - 22) 工学部、生体工学概論、青沼仁志、2004年10月1日～2005年3月31日
  - 23) 全学部共通、基礎生物学Ⅱ、青沼仁志、2004年10月1日～2005年3月31日
  - 24) 工学研究科、神経情報工学特論、青沼仁志、2004年10月1日～2005年3月31日
  - 25) 全研究科共通、脳科学、下澤楯夫、2004年10月1日～2005年3月31日
  - 26) 工学部、生体情報工学、下澤楯夫、2004年10月1日～2005年3月31日
  - 27) 全学部共通、生物学Ⅰ、下澤楯夫、2004年4月1日～2004年9月30日
  - 28) 工学部、生体工学概論、青沼仁志、2003年10月1日～2004年3月31日
  - 29) 全研究科共通、脳科学、下澤楯夫、2003年10月1日～2004年3月31日
  - 30) 工学研究科、神経情報工学特論、下澤楯夫、2003年4月1日～2003年9月30日
  - 31) 全学部共通、生物学Ⅰ、下澤楯夫、2003年度
- i. ポスドク・客員研究員など**
- ・ポスドク (3名)  
佐倉緑 (神経情報)、平口鉄太郎 (神経情報)、岩崎正純 (神経情報)
  - ・客員研究員 (1名)  
DELAGO ANTONIA (神経情報)
  - ・大学院生・学位取得  
修士課程 (2名)  
菊地美香(M1)、頼経篤史(M1)  
博士後期課程 (1名)  
余野央行

## 極限フォトンプロセス研究分野

教授 三澤弘明 (筑波院、理博、2003.5~)

助教授 ヨードカジス・サウリウス

(Ph.D at Vilnius Univ., Lyon-I Univ., 2004.4~)

助手 棚村好彦 (東北大院、博(理)、2003.10~2006.3)

上野貢生 (北大院、博(理)、2006.4~)

院 生 (平成15年~18年度)

博士課程

近藤敏明、林田雅行、スイット コックケン、

村澤尚樹、西島喜明

修士課程

澁谷俊志、高橋友美、西村公一、横田幸恵

### 1. 研究目標

量子力学や材料科学の発展と相まって、光をエネルギー源・駆動源とした様々な化学反応の研究が20世紀の後半に著しい発展を遂げてきた。一方、近年では、フォトニック結晶のような光閉じ込め機能や光の群速度を制御できる周期構造、さらに金属ナノ微粒子・ナノ構造体への光照射によって誘起される局在表面プラズモンを利用した光の局在化や光電場増強など、光を微小空間に束縛し、閉じ込める機能を有する種々のナノ・マイクロ構造体が見出されている。本研究グループでは、これらのナノ・マイクロ構造体をフェムト秒レーザー加工や半導体加工技術を用いたトップダウン技術により作製するとともに、それらの光学的性質の詳細な検討や光化学反応場としての有用性を明らかにし、光化学の新たな開拓や、光科学技術のブレークスルーを創出するためのシーズを創出することを目指して研究を進めている。

### 2. 研究成果

2.1 集光フェムト秒レーザーによる物質の多光子吸収過程を利用した3次元フォトニック結晶の作製に関する研究

フォトニック結晶は周期的な屈折率の変調を持った人工結晶であり、それが示す光学的性質の中で最も重要なのは、フォトニック結晶中においてある波長領域の光の伝播を禁止することである。そのような波長領域をストップバンドと呼び、特にあらゆる方向・偏光で禁止する波長領域をフォトニックバンドギャップと呼ぶ。フォトニック結晶の研究は既存の半導体加工技術が適用しやすい2次元系が中心だが、新しい加工技術の導入により3次元結晶についても研究がいくつか行われている。しかし、半導体加工技術を基礎とした3次元フォトニック結晶作製においては、ナノメートルオーダーの位置決めなどの多くの複雑な工程が必要であり、現状ではその生産性は低いと言わざるを得ない。

本研究における集光ビームによる多光子3次元ナノ加工は、3次元のフォトニック結晶を作製する上で極めて優れた方法であることが明らかになった。一例として、集光ビ

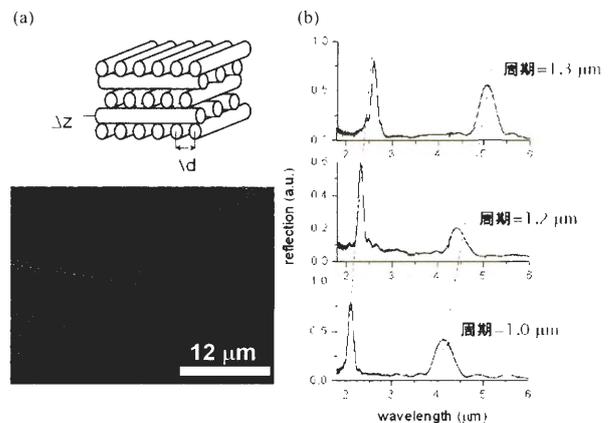


図1. ログパイルフォトニック結晶構造の電子顕微鏡(SEM)像(a)、およびその光学特性(b)

ームによる物質の多光子吸収を利用して作製した、ログパイル構造、およびスパイラル構造を持つ3次元フォトニック結晶についての結果を示す。ログパイル構造は、図1(a)に示すように第1層目の等間隔に配列させた直線的な棒状構造と直交するように第2層目の棒状構造を配置し、第3層目は、第1層目と同じ方向ではあるが、半周期構造を移動して配置させ、微細な棒状構造をあたかもキャンブファイアの薪のように配列させた構造である。図1(a)、および図1(b)に作製したログパイルフォトニック結晶構造の電子顕微鏡(SEM)像とその光学特性を示す。図1(a)に示されるように、作製したログパイル構造は規則的な周期構造を有しているが、ログパイル構造を構成する各棒状構造は、完全な円柱ではなく光軸方向の直径が少し伸びた楕円柱となっている。これは、フェムト秒レーザーの焦点形状が光軸方向に伸びているためであり、その形状が加工に反映されている。本フォトニック結晶の反射および透過スペクトルを顕微FT-IR測定装置を用いて測定したところ、図1(b)に示されるように波長2.3 μmと4.4 μm付近に反射率と透過率がそれぞれ増大および低下するバンドが観測された。さらに、ログパイルの周期を長くした構造を作製し、それらの反射、および透過スペクトルを測定したところ、観測されるバンドの波長域がそれぞれ長波長側にシフトすることが確認され(図1(b)参照)、これらのバンドがフォトニック結晶由来のストップバンドであることが示された(透過スペクトルにおいて波長3.4 μm付近に観測されるバンドは、周期には関係なく、用いたネガ型レジスト材料のSU-8の吸収帯である)。

上述したログパイル構造を有するフォトニック結晶は、3次元フォトニック結晶ではあるものの、2次元的に加工した層を積層していく、いわゆる“layer-by-layer”といった方法論で作製することが可能であり、完全な3次元加工法を必要としない。一方、3次元フォトニック結晶として最近注目されているスパイラル構造フォトニック結晶は、このような“layer-by-layer”によって作製することはできない。スパイラル構造を有するフォトニック結晶に関しては、円形スパイラル構造に関するフォトニック結晶については1998年にNodaらのグループにより、また、四方スパイラ

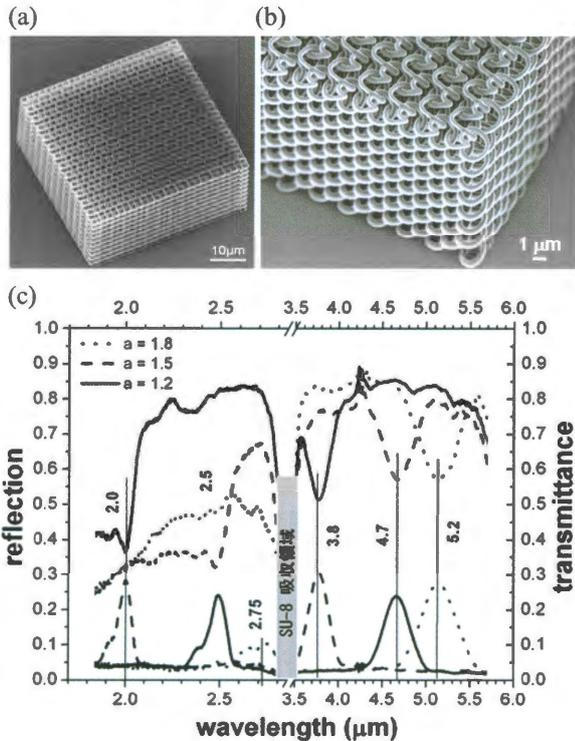


図2. 四方スパイラル構造 (a)、円形スパイラル構造 (b) の SEM 像、および四方スパイラル構造の光学特性 (c)

ル構造については2001年に John らのグループによって報告されている。John らのシミュレーションによると四方スパイラルフォトニック結晶は、ダイヤモンド構造フォトニック結晶と同様、完全なフォトニックバンドギャップが形成されることが示されている。しかしながら、スパイラル構造を有する3次元フォトニック結晶を半導体加工技術により作製することは極めて困難である。そこで、本研究では集光フェムト秒レーザーを用いた加工法により、図2(a)に示すような四方スパイラル構造や、図2(b)に示すような円形スパイラル構造を有するフォトニック結晶の作製に成功し、それらの光学特性も明らかにした(図2(c))。図2(c)中に示した  $a$  は、四方スパイラル構造フォトニック結晶の格子間隔を示しており、 $a$  の値が  $1.2 \mu\text{m}$ 、 $1.5 \mu\text{m}$ 、 $1.8 \mu\text{m}$  と増大すると、ログパイル構造の場合と同様に、透過スペクトル、および反射スペクトルに現れるピークのパアの波長が  $3.8 \mu\text{m}$ 、 $4.7 \mu\text{m}$ 、 $5.2 \mu\text{m}$  と長波長側にシフトし、観測されたバンドがフォトニックストップバンドであることが示された。また、 $a$  の増大に伴い、波長  $2.0 \mu\text{m}$ 、 $2.5 \mu\text{m}$ 、 $2.75 \mu\text{m}$  に観測されるそれぞれのピークは、本フォトニック結晶の高次のモードであることがフォトニックバンドダイアグラムのシミュレーションより明らかとなった。図2(a)に示したフォトニック結晶構造を構成する各スパイラルカラムは、試料を装着したピエゾステージに正方形を描かせながら光軸方向に上下させて一筆書きの要領で作製しており、それらのスパイラルカラムを集積化することによりフォトニック結晶構造を形成させた完全な3次元加工法により作製したものである。

より短波長、例えば本研究の作製に使用したレーザー光を閉じ込めるような、波長  $800 \text{nm}$  帯にストップバンドを有

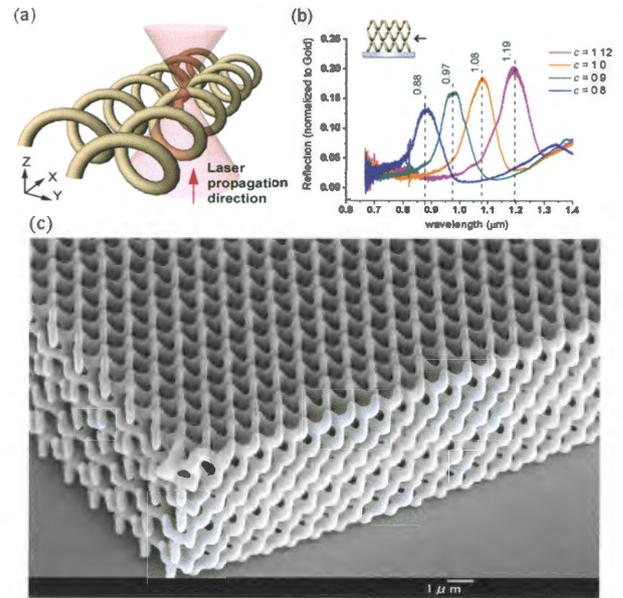


図3. 横型スパイラルの略図(a)、横型スパイラル構造の光学特性 (b)、および電子顕微鏡写真(c)

するフォトニック結晶を作製するためには、構造の周期を小さくする必要がある。本研究では、図3(a)の略図に示すように、スパイラルカラムを光軸に対して垂直に、つまり横型に設計することにより、構造の周期を小さくしストップバンドの短波長化を試みた。図3(c)に作製した横型スパイラル構造の電子顕微鏡写真を、図3(b)にその光学特性を示す。周期を  $1.12 \mu\text{m}$  から  $0.8 \mu\text{m}$  まで約  $100 \text{nm}$  ずつ小さく設計して作製を行い、光学特性について検討してみたところ、周期が一番小さい  $0.8 \mu\text{m}$  でストップバンドの高次のバンドのピーク波長が  $880 \text{nm}$  と短波長化に成功し、今まで困難だった可視領域にストップバンドを有するフォトニック結晶を作製することができることを明らかにした。

## 2.2 多光子多光束干渉露光法による3次元フォトニック結晶の作製技術の開発に関する研究

多光束干渉による3次元ナノ構造体を作製するための光学系を構築した。図4に示すように再生増幅された1光束フェムト秒パルス(波長  $800 \text{nm}$  ; パルス幅  $150 \text{fs}$  ; 繰り返し周波数  $1 \text{kHz}$ )を回折光学素子によって複数のビームに分割した後、アクロマティックレンズにより全てのビームを主光軸に対して平行にし、ビーム選択板を用いて干渉に用いる任意のビームを選択した。CCDカメラにより干渉パターンを観察しながら、ビームの位相遅れを位相制御板で調整し、対物レンズを用いて各ビームを交差させた。交差した領域には3次元的な空間の広がりを持つ干渉パターンが形成されており、そこにネガ型フォトレジスト(SU-8、化薬マイクロケム社)を製膜したガラス基板を置くことによってパターンの転写露光を行った。作製したナノ構造体を電子顕微鏡により観察し、シミュレーション結果と比較検討することにより評価を行った。本実験では、パターン形成が、ネガ型フォトレジストの多光子吸収に基づいているため、光電場強度分布の強い領域のみ光重合反応が進行する。つまり、得られる構造パターンは、空間的

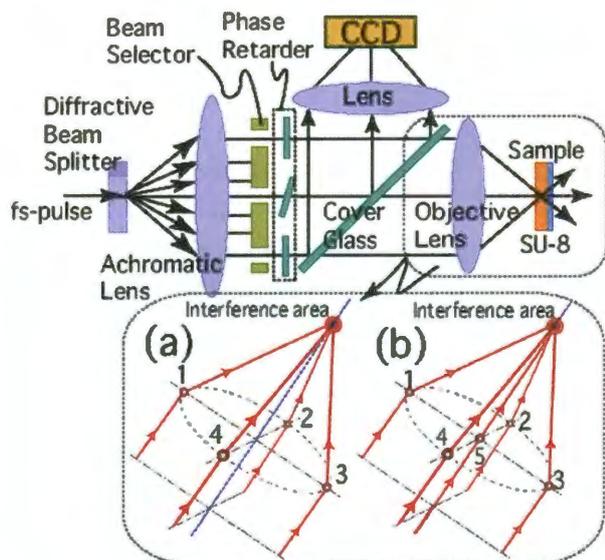


図4. 多光子多光束干渉露光に用いた光学系；4光束干渉(a)、5光束干渉(b)

光電場強度を反映しているものとなる。したがって、2光束干渉により作製された構造体は、1方向に周期性を持つ1次元周期構造、4光束干渉では2次元周期構造、5光束干渉では光軸方向にも周期性を持つ3次元周期構造の形成が理論どおり作製できることを明らかにした。また、多光束干渉により作製した構造体は、干渉させるビーム数の他に、光の位相を制御することによっても構造パターンを制御できることを明らかにした。代表的な例として5光束干渉露光によるビーム位相制御によって得られた結果について説明する。5光束干渉(図4(b)参照)の中心以外のビームの位相が全て同じ場合と(1, 3)と(2, 4)のビームの位相差が $\pi/2$ となるように調整して転写露光を行った場合の作製した構造体の電子顕微鏡写真と空間的電場強度分布のシミュレーション結果を図5(a)(d)に示す。5光束干渉では、3次元構造の作製が期待されるが、図5(a)(d)に示すようにビームの位相制御を行わない場合は体心立方構造を、位相制御を行った場合はダイヤモンド構造を示すことが空間的電場強度分布のシミュレーション結果から予想される。実際に、作製された構造体はビームプロファイルが垂直方向に伸張しているため、位相制御していない構造では体心立方構造(体心格子)、また位相制御した5光束干渉法ではログパイル構造(ダイヤモンド格子)が形成されることが明らかになったが、これらの結果は電場強度分布のシミュレーション結果と良い一致を示し、本加工システムの有用性を明らかにした。さらに、わずか数分の照射で直径500  $\mu\text{m}$ の照射領域に3次元構造を作製することが可能であり、作製した周期構造の光学的な性質を検討したところフォトニック結晶として動作していることを確認し、多光子多光束干渉露光法の有用性を明らかにした。

### 2.3 金属ナノ構造による多光子反応増強場の創出

金や銀などの貴金属のナノ微粒子は、ある特有の色を呈することが知られている。この光学的性質は、金属ナノ微粒子に局在する表面プラズモンと、ある特定の波長の光が

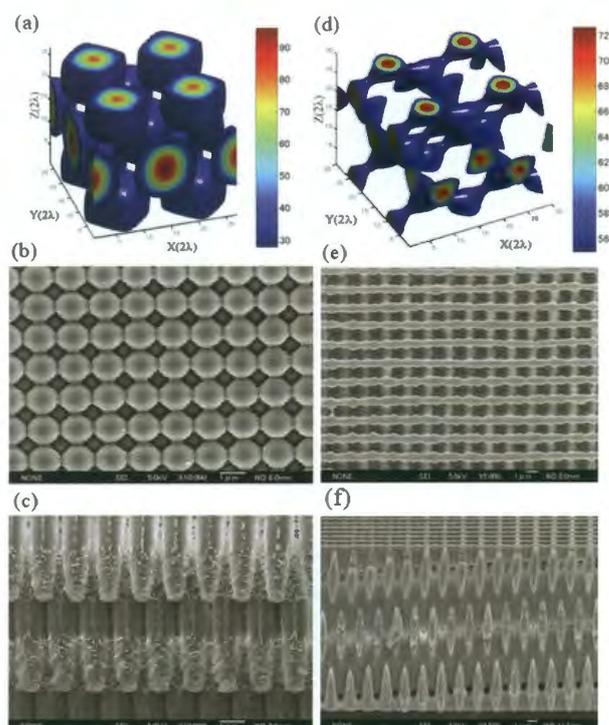


図5. 5光束干渉露光によるビーム位相制御無しの場合の空間的電場強度分布のシミュレーション結果(a)、電子顕微鏡像上面図(b)、断面図(c)、および位相制御した場合の電場強度分布(d)、電子顕微鏡像上面図(e)、断面図(f)

共鳴することに基づいている。近年、ナノサイエンス・テクノロジーの発展に伴い、様々なサイズ・形状を有する金属ナノ微粒子が化学的に合成され、その光学的性質を利用してバイオセンシングなどへの応用を目的とした研究が注目を集めている。これらの微粒子は、化学的に大量、かつ安価に合成可能で様々な応用への展開が期待されている。しかし、表面プラズモンと光の共鳴現象に基づいた金属ナノ構造体の光学特性は、構造体のサイズ・形状・配列や密度などに大きく依存するため、化学的に合成された金属ナノ微粒子により、これらのパラメータを精密に制御することは困難であった。さらに、2つ以上の金属ナノ構造体がナノメートルオーダーの構造間距離で近接した場合、金属構造体間において著しく光電場増強が誘起される現象が見出されているが、従来までの金属微粒子やボトムアップ的手法では、相互作用の物理・化学的描像や構造間距離に強く依存する共鳴現象の本質を定量的に議論することが困難であり、その詳細な原理は未だ解明されていないものが多い。本研究グループは、半導体微細加工技術を駆使して精密に設計されたナノメートルオーダーの加工分解能を有する金属ナノ構造体を作製することに成功した。また、作製した構造体の光学特性について検討するとともに、構造設計に基づく光電場増強効果について明らかにすることに成功した。

金属ナノ構造体は、ガラス基板上に100 kVの加速電圧を有する電子ビーム露光装置を用いたリソグラフィーと金属スパッタリング/リフトオフにより作製を行った。図6(a)に作製した金ナノ構造体の電子顕微鏡写真を示す。図6(a)は、40 x 360 x 60 nmの金ナノブロック構造体が200 nm間隔

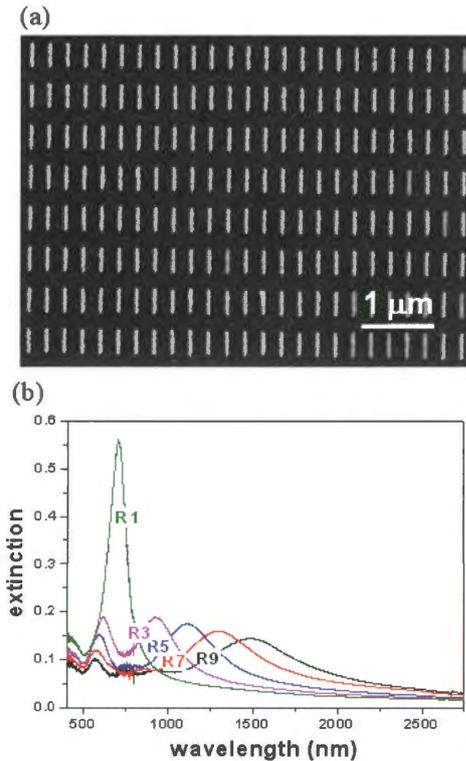


図6. 金属ナノブロック構造の電子顕微鏡写真；40 x 360 x 60 nm (a)、およびその光学特性 (b)

で配置されている。図6(a)に金ナノブロック構造体の体積を一定として、複数の縦と横の長さの比 (アスペクト比, R) における透過吸収スペクトルを示す。図6(a)のスペクトルのアスペクト比が1以外の構造体においては、金ナノロッドのコロイド分散液の光学特性に関する研究で報告されているように、分極の縦モードと横モードの2つのバンドが観測されている。縦モードは、アスペクト比が大きくなると長波長シフトし、近赤外の900 nm~1500 nm 付近にピークを持つ。一方、横モードにおいては、アスペクト比の増大に伴い短波長シフトしており、可視域に共鳴周波数を有している。このように、構造体のアスペクト比 (形状) により、可視から近赤外領域の幅広い波長域にプラズモン共鳴バンドを制御することが可能であることを明らかにした。

上記の結果から示されるように、構造のサイズや形状の微妙な変化で、プラズモン共鳴バンドは著しく変化する。したがって、加工分解能の高さとその評価は極めて重要である。図7(a)の電子顕微鏡写真に示すような金属ナノブロックアレイ構造 (横の設計サイズ120 nm、縦360 nm) を作製し、横の長さは一定とし、縦の長さを0.625 nm (電子線描画装置の最小設計値) ずつ増加させて、プラズモン共鳴バンドの変化について検討を行った。はじめに、電子顕微鏡によるサイズ分布の統計を計測すると、横方向では平均が143 nm でばらつきが±3 nm 程度存在した。これは、電子顕微鏡観察の際に電子ビームによるチャージアップを防ぐために、Pt/Pd をコートしているため、サイズの増加とばらつきが起こる可能性があるが、構造体のサイズは設計サイズに比べて若干大きくなること、そして±3 nm 程度のばらつきがあることがわかった。また、縦方向は平均が372 nm

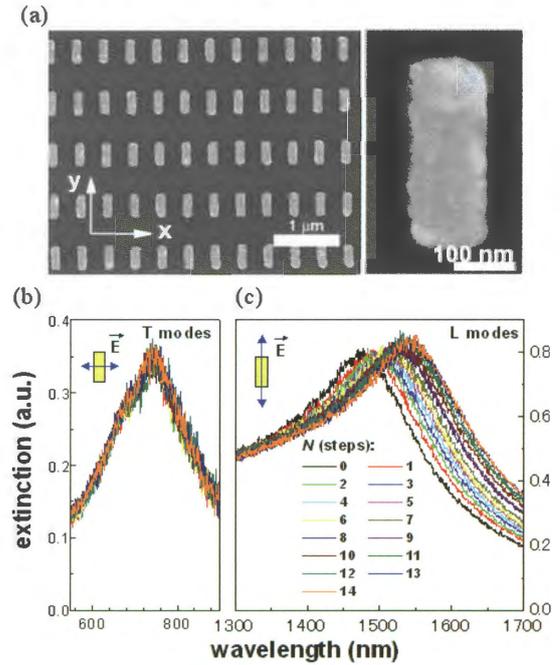


図7. 加工分解能評価に用いた金ナノブロック構造の電子顕微鏡写真 (a)、及び吸収スペクトル；横モード (b)、縦モード (c)

でばらつきについては横方向と同様に±3 nm 程度であった。図7(b)(c)に、0.6 nm ステップ (電子顕微鏡による統計では1.9 nm) で縦方向のサイズを変化させたときの横モード、および縦モードそれぞれのプラズモン共鳴スペクトルを示す。横モードにおいては、縦の長さが変化しても、スペクトルはシフトしないほぼ一定であるのに対し、縦モードのプラズモンバンドは、構造体サイズ0.6~1.9 nm の変化で徐々に長波長シフトすることがわかった。このことから、構造体のサイズがわずか1 nm の変化でプラズモンバンドは、3~8 nm シフトすることとなり、4層から12層の金原子層の変化を分光学的に計測することが可能であることを明らかにした。したがって、本研究に用いた金属ナノ構造体の加工分解能は、シングルナノメートルであることが見積もられた。

前述したように金属ナノ構造体は、個々の構造体が示す光電場増強よりも、二つ以上の金属ナノメートルの間隔で近接した構造体の方がギャップ間において著しい光電場増強を示すことが時間領域差分法などの数値シミュレーション結果などから予測されている。そこで、本研究ではナノギャップ構造を有する金属構造体の作製と光電場増強効果について金の2光子励起発光増強により検討を行った。金ナノ構造は、フェムト秒レーザー (センター波長、800 nm) を集光照射すると2光子吸収過程を介して発光することが知られている。本研究では、図8(a)の電子顕微鏡写真に示すように、様々なギャップサイズを有するチェッカーボード型の金属構造 (1つのブロックのサイズが100 x 100 x 36 nm<sup>3</sup>) を作製し、300 nm の空間分解能で発光強度マッピング測定を行った。図8(b)の発光強度マッピング測定結果から、2光子励起発光強度は構造間距離が小さくなるにしたがって増大することを実験的に明らかにすることに成功した。また、非線形光学効果の増強は10 nm 以下のギャップで顕著に現れることを明らかにした。

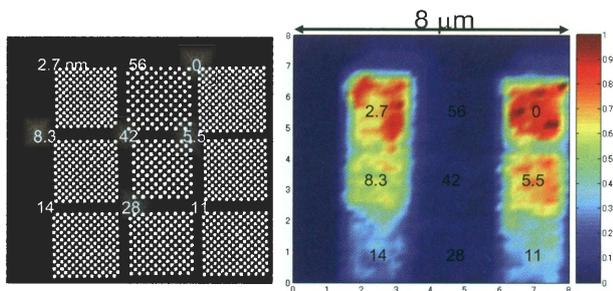


図8. 様々なギャップサイズを有するチェッカーボード構造の電子顕微鏡写真(a)、発光強度マッピング測定結果(b)

### 3. 今後の研究の展望・将来計画

以上の述べたように、フェムト秒レーザー加工技術や半導体加工技術によって作製されたフォトニック結晶や金属ナノ構造体は、光をある特定の空間に閉じ込めたり、局在化させたりすることが可能であることを実証した。当研究グループでは、これらの特徴を利用して、作製した構造体を局所場における光化学反応誘起や極めて弱い光で非線形現象を誘起することが可能な光化学反応場に応用していくことを目的とする。従来の光化学の研究では、光と分子の相互作用を大きくすることは限界に近づいており、極めて少ない光子によって高効率に分子を励起するプロセスを実現することは難しい。これをブレイクスルーし、高効率励起プロセスを実現させるためには、光と分子を強く相互作用させる光化学反応場を構築することが必要不可欠である。本研究グループでは、光子を捕捉・局在化させる機能を有する金属ナノ構造、フォトニック結晶などのナノ・マイクロ構造を設計・構築して光化学反応場として応用するとともに、本反応場において新たに出現する光子と分子/物質系の極めて強いエネルギー・空間選択的な相互作用に関する学理の探求とその応用技術への展開を目的とする。ナノ・マイクロ構造反応場に内在する本質的な光学、および量子力学的特性を活かし、光子一つ一つの有するエネルギーや情報を極限的な効率にて自在に変換する場を高度に集積化して構築すれば、高い量子収量に加えて、高選択的な光反応を必要とする光エネルギー変換、光センシング、光情報通信、などの科学技術に対しても全く新しいブレイクスルーをもたらすことが期待される。

## 4. 資料

### 4.1 学術論文

- 1) S. Juodkazis, I. Hasegawa, N. Murazawa, S. Matsuo and H. Misawa, “High-Efficiency Optical Transfer of Torque to a Nematic Liquid Crystal Droplet”, *Appl. Phys. Lett.*, 82: 4657-4659 (2003)
- 2) E. Vanagas, V. Jarutis, S. Juodkazis, V. Mizeikis, I. Kudryashov, S. Matsuo, H. Misawa and R. Tomasiunas: “Laser-Assisted Microfabrication by Using Gauss-Bessel: The Evidence of Self-action”, *Lithuanian Journal of Physics*, 143: 243-250 (2003)
- 3) S. Juodkazis, A. V. Rode, E. G. Gamaly, S. Matsuo and H. Misawa: “Recording and reading of three-dimensional optical memory in glasses”, *Appl. Phys. B*, 77: 361-368 (2003)
- 4) K. Yamazaki, S. Juodkazis, S. Matsuo and H. Misawa: “Three-Dimensional Micro-Channels in Polymers One Step Fabrication”, *Appl. Phys. Lett.*, 77: 371-373 (2003)
- 5) T. Kondo, K. Yamazaki, S. Juodkazis, S. Matsuo, V. Mizeikis and H. Misawa: “Three-dimensional microfabrication by femtosecond pulses in dielectrics”, *Thin Solid Films*, 121: 550-556 (2003)
- 6) H. Takagi, K. Okano, S. Juodkazis, S. Matsuo and H. Misawa: “Two-directional TiNi Shape Memory Alloy Film”, *Advanced Engineering Materials*, 5: 732-735 (2003)
- 7) K. Sun, Z. Li, S. Matsuo and H. Misawa: “A Transparent Microchannel Chip for Quantitative PCR”, *Transactions of the Materials Research of Society of Japan*, 29: 339-342 (2004)
- 8) H. Liu, A. Yamaguchi, M. Hayashida, S. Matsuo and H. Misawa: “Construction of DNA-Au Nanoparticles Multi-layer and Its Application for Detection of DNA Hybridization”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 43: 2767-2770 (2004)
- 9) S. Juodkazis, K. Yamasaki, V. Mizeikis, S. Matsuo, and H. Misawa, “Formation of Embedded Patterns in Glasses Using femtosecond Irradiation”, *Appl. Phys. A*, 79: 1549-1553 (2004).
- 10) E. Vanagas, V. Jarutis, S. Juodkazis, V. Mizeikis, I. Kudryashov, S. Matsuo, H. Misawa and R. Tomasiunas: “Glass Cutting by Femtosecond Pulsed Irradiation”, *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*, 3: 358-363 (2004)
- 11) S. Juodkazis, K. Yamasaki, S. Matsuo, and H. Misawa, “Glass Transition-Assisted Microstructuring in Polystyrene”, *Appl. Phys. Lett.*, 84: 514-516 (2004)
- 12) S. Juodkazis, H. Okuno, N. Kujime, S. Matsuo and H. Misawa, “Hole Drilling in Stainless Steel and Silicon by Femtosecond Pulses at Low Pressure”, *Appl. Phys. A*, 79: 4-6, 1555-1559 (2004)
- 13) V. Mizeikis, I. Mikulskas, R. Tomasiunas, S. Juodkazis, S. Matsuo and H. Misawa: “Optical Characteristics of Two-Dimensional Photonic Crystals in Anodic Aluminum Oxide Films”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 43: 3643-3647 (2004)
- 14) M. Hayashida, H. Liu, A. Yamaguchi, S. Matsuo and H. Misawa: “Surface Plasmon Resonance Imaging detection of DNA Hybridization Using Colloidal Au Attached Probe DNA”, *Transactions of the Materials Research of Society of Japan*, 29: 335-337 (2004)
- 15) S. Juodkazis and H. Misawa: “Controlled through-hole Ablation of Polymer Microspheres”, *J. Micrometh. Microeng.*, 14: 1244-1248 (2004)
- 16) H. Segawa, S. Matsuo and H. Misawa: “Fabrication of Fine-Pitch TiO<sub>2</sub>-organic Hybrid dot Arrays Using

- Multi-Photon Absorption of Femtosecond Pulses”, *Apply. Phys. A.*, 79: 407–409 (2004)
- 17) S. Juodkazis, K. Yamasaki, V. Mizeikis, S. Matsuo and H. Misawa: “Formation of Embedded Patterns in Glasses Using Femtosecond Irradiation”, *App. Phys. A.*, 79: 1549–1559 (2004)
  - 18) E. Vanagas, A. Mizuyama, S. Koshihara, S. Juodkazis and H. Misawa: “Glass Cutting by Femtosecond Pulsed Irradiation”, *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*, 3: 358–363 (2004)
  - 19) S. Juodkazis, K. Yamasaki, S. Matsuo and H. Misawa: “Glass Transition-Assisted Microstructuring in Polystyrene”, *Appl. Phys. Lett.*, 84: 514–516 (2004)
  - 20) S. Juodkazis, H. Okuno, N. Kujime, S. Matsuo and H. Misawa: “Hole Drilling in Stainless steel and Silicon by Femtosecond Pulses at Low Pressure”, *Appl. Phys. A.*, 79: 1555–1559 (2004)
  - 21) O. Efimov, S. Juodkazis and H. Misawa: “Intrinsic Single and Multiple Pulse Laser-induced Damage in Silicate Glasses in the Femtosecond-to-nanosecond Region”, *Phys. Rev. A*, 143: 3643–3647 (2004)
  - 22) A. Takita, M. Watanabe, H. Yamamoto, S. Matsuo, H. Misawa, Y. Hasakaki and N. Nishida: “Optical Bit Recording in a Human Fingernail”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 143: 168–171 (2004)
  - 23) M. Sumitani, S. Takagi, Y. Tanamura and H. Inoue: “Oxygen Indicator Composed of an Organic/Inorganic Hybrid Compound of Methylene Blue, Reductant, Surfactant and Saponite”, *Anal. Sci.*, 20: 1153–1157 (2004)
  - 24) Y. Hayasaki, H. Takagi, A. Takita, H. Yamamoto, N. Nishida and H. Misawa: “Processing Structures on Human Fingernail Surfaces Using a Focused Near-Infrared Femtosecond Laser Pulse”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 43: 8089–8093 (2004)
  - 25) A. Yamaguchi, F. Uejo, T. Yoda, T. Uchida, Y. Tanamura, T. Yamashita and N. Teramae: “Self Assembly of Silica-Surfactant Nanocomposite in Porous Alumina Membrane”, *Nature Mater.*, 3: 337–341 (2004)
  - 26) J. Ye, S. Matsuo, V. Mizeikis and H. Misawa: “Silicon-based Honeycomb Photonic Crystal Structures with Complete Photonic Band Gap at 1.5  $\mu$  m Wavelength”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 96: 6934–6936 (2004)
  - 27) S. Juodkazis, I. Maksimov and H. Misawa: “Thermal Accumulation Effect in Three-Dimensional Recording by Picosecond Pulses”, *Appl. Phys. Lett.*, 85: 5239–5241 (2004)
  - 28) V. Mizeikis, K. K. Seet, S. Juodkazis and H. Misawa: “Three-dimensional Woodpile Photonic Crystals Templates for Infrared Spectral Range”, *Opt. Lett.*, 29: 2061–2063 (2004)
  - 29) K. Ueno, M. Hayashida, J. Ye and H. Misawa: “Fabrication and Electrochemical Characterization of Interdigitated Nanoelectrode Arrays”, *Electrochemistry Communications*, 7: 161–165 (2005)
  - 30) S. Matsuo, S. Juodkazis and H. Misawa: “Femtosecond Laser Microfabrication of Periodic Structures using a Microlens Array”, *Applied Physics A*, A80: 683–685 (2005)
  - 31) H. Segawa, J. Tabuchi, K. Yoshida, T. Kondo, S. Matsuo and H. Misawa: “Periodic Structures of Organic-Titanium Hybrid Materials Recorded by Multi-Beam Laser Interference Technique”, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 32: 287–291 (2005)
  - 32) V. Jarutis, S. Juodkazis, V. Mizeikis, K. Sasaki and H. Misawa: “Ultra-Bright Femtosecond Source of Bi-Photons Based on Spatial Mode Inverter”, *Opt. Lett.*, 30(3): 317–319 (2005)
  - 33) K. K. Seet, V. Mizeikis, S. Matsuo, S. Juodkazis and H. Misawa: “Three-Dimensional Spiral Architecture Photonic Crystals Obtained by Direct Laser Writing”, *Advanced Materials*, 17(5): 541–545 (2005)
  - 34) E. Vanagas, J. Ye, M. Li, M. Miwa, S. Juodkazis and H. Misawa: “Analysis of Stress Induced by a Three-dimensional Recording in Glass”, *Applied Physics A*: 725–727 (2005)
  - 35) V. V. Datsyuk, S. Juodkazis and H. Misawa: “Properties of a Laser Based on Evanescent-wave”, *JOSA B*, 22(7): 1471–1478 (2005)
  - 36) S. Juodkazis, V. Mizeikis, K. Seet, M. Miwa and H. Misawa: “Two-photon Lithography of Nanorods in SU-8 Photoresist”, *Nanotechnology*, 16: 846–849 (2005)
  - 37) N. Murazawa, S. Juodkazis and H. Misawa: “Characterization of Bipolar and Radial Nematic Liquid Crystal Droplets using Laser-tweezers”, *J. Appl. Phys.*, 38: 2923–2927 (2005)
  - 38) K. Ueno, V. Mizeikis, S. Juodkazis, K. Sasaki and H. Misawa: “Optical Properties of Nano-engineered Gold Blocks”, *Opt. Lett.*, 30: 2158–2160 (2005)
  - 39) A. Takita, H. Yamamoto, Y. Hayasaki, N. Nishida and H. Misawa: “Three-dimensional Optical Memory Using a Human Fingernail”, *Optical Express*, 13: 4560–4567 (2005)
  - 40) V. V. Datsyuk, S. Juodkazis and H. Misawa: “Comparison of the Classical Rate and the Einstein Coefficient for Spontaneous Emission in a Light-absorbing Cavity”, *Physical Review A*, 72: 025803 (2005)
  - 41) T. Kondo, S. Juodkazis and H. Misawa: “Reduction of Capillary Force for High-Aspect Ratio Nanofabrication”, *Applied Physics A*, 81: 1583–1586 (2005)
  - 42) M. Sumitani, Y. Tanamura, T. Hiratani, T. Ohmachi and H. Inoue: “Adsorption of Gaseous Molecule within Polyfluorinated Surfactant/Saponite Hybrid Compound”, *J. Phys. Chem. Solids*, 66: 1228–1233 (2005)
  - 43) N. Murazawa, S. Juodkazis, S. Matsuo and H. Misawa: “Control of the Molecular Alignment Inside Liquid Crystals Droplets by Use of Laser Tweezers”, *Small*, 1:

- 656–661 (2005)
- 44) T. Mizuno, K. Yamasaki and H. Misawa: “Three-Dimensional Optical Memory in a Photoacid-Induced Recording Medium”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 44: 6593–6595 (2005)
  - 45) M. Hayashida, A. Yamaguchi and H. Misawa: “High Sensitivity and Large Dynamic Range Surface Plasmon Resonance Sensing for DNA Hybridization using Au-Nanoparticle-Attached Probe DNA”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 44: 1544–1546 (2005)
  - 46) N. Murazawa, S. Juodkazis, V. Jarutis, T. Yoshihiko and H. Misawa: “Viscosity Measurement Using a Rotating Laser-Trapped Microsphere of Liquid Crystal”, *Europhysics Lett.*, 73: 800–805 (2006)
  - 47) S. Juodkazis, E. Gaizauskas, V. Jarutis, J. Reif, S. Matsuo and H. Misawa: “Optical Third Harmonic Generation during Femtosecond Pulse Diffraction in a Bragg Grating”, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 39: 50–53 (2006)
  - 48) T. Mizuno, Y. Tanamura, K. Yamasaki and H. Misawa: “Three-Dimensional Optical Recording in tert-Butoxycarbonyl-Protected Quinizarin Methacrylate Polymers”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 45: 1640–1647 (2006)
  - 49) N. Murazawa, S. Juodkazis and H. Misawa: “Laser Manipulation based on a Light-induced Molecular Reordering”, *Opt. Exp.*, 14: 2481–2486 (2006)
  - 50) T. Masuda, A. Yamaguchi, F. Oi, S. Matuo and H. Misawa: “Visualization of DNA Hybridization on Gold Thin Film by Utilizing the Resistance Effect of DNA Monolayer”, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 105: 556–561 (2005)
  - 51) N. Murazawa, S. Juodkazis, Y. Tanamura and H. Misawa: “Rheology Measurement at Liquid-Crystal Water Interface using Laser Tweezers”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 45: 977–982 (2006)
  - 52) E. Gaizauskas, E. Vanagas, V. Jarutis, S. Juodkazis, V. Mizeikis, and H. Misawa: “Discrete Damage Traces from Filamentation of Bessel-Gauss Pulses”, *Opt. Lett.*, 30: 80–82 (2006).
  - 53) K. K. Seet, V. Mizeikis, S. Juodkazis and H. Misawa: “Spiral Three-Dimensional Photonic Crystals for Telecommunications Spectral Range”, *Appl. Phys. A*, 82: 683–688 (2006).
  - 54) T. Hashimoto, S. Juodkazis and H. Misawa: “Void Recording in Silica”, *Appl. Phys. A*, 83: 337–340 (2006).
  - 55) S. Juodkazis, K. Nishimura, H. Misawa, T. Ebisui, R. Waki, S. Matsuo and T. Okada: “Control over the Crystalline State of Sapphire”, *Adv. Mater.*, 18: 1361–1364 (2006).
  - 56) H. Segawa, S. Yamaguchi, Y. Yamazaki, T. Yano, S. Shibata, and H. Misawa: “Top-gathering Pillar Array of Hybrid Organic-Inorganic Material by means of Self-organization”, *Appl. Phys. A*, 83: 447–451 (2006).
  - 57) Juodkazis, K. Nishimura, S. Tanaka, H. Misawa, E. G. Gamaly, B. Luther-Davies, L. Hallo, P. Nicolai and V. T. Tikhonchuk: “Laser-Induced Microexplosion Confined in the Bulk of a Sapphire Crystal: Evidence of Multimegabar Pressures”, *Phys. Rev. Lett.*, 96: 166101 (2006).
  - 58) S. Juodkazis, H. Misawa, T. Hashimoto, E. G. Gamaly and B. Luther-Davies: “Laser-induced Micro-explosion Confined in a Bulk of Silica: Formation of Nano-voids”, *Appl. Phys. Lett.*, 88: 1909 (2006).
  - 59) S. Matsuo, Y. Tabuchi, T. Okada, S. Juodkazis and H. Misawa: “Femtosecond Laser Assisted Etching of Quartz: Microstructuring from Inside”, *Appl. Phys. A* 84: 99–102 (2006).
  - 60) K. K. Seet, V. Mizeikis, S. Juodkazis and H. Misawa: “Three-dimensional Circular Spiral Photonic Crystal Structures Recorded by Femtosecond Pulses”, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 352: 2390–2394 (2006).
  - 61) K. K. Seet, V. Mizeikis, S. Juodkazis and H. Misawa: “Three-dimensional Horizontal Circular Spiral Photonic Crystals with Stop Gaps below 1  $\mu\text{m}$ ”, *Appl. Phys. Lett.*, 88: 221101 (2006).
  - 62) E. G. Gamaly, S. Juodkazis, K. Nishimura, H. Misawa, B. L-Davies, L. Hallo, P. Nicolai and V. Tikhonchuk: “Laser-matter Interaction in the Bulk of a Transparent Solid: Confined Microexplosion and Void Formation”, *Phys. Rev. B*, 73: 214101 (2006).
  - 63) S. Juodkazis, M. Sudzius, V. Mizeikis, E. G. Gamaly, Y. Liu, O. A. Louchev, K. Kitamura and H. Misawa: “Three-dimensional Recording by Tightly Focused Femtosecond Pulses in  $\text{LiNbO}_3$ ”, *Appl. Phys. Lett.*, 89: 062903 (2006).
  - 64) T. Kondo, S. Juodkazis, V. Mizeikis, S. Matsuo and H. Misawa: “Holographic Lithography of Periodic Two- and Three-Dimensional Microstructures in Photoresist SU-8”, *Opt. Exp.*, 14: 7943–7953 (2006).
  - 65) S. Juodkazis, T. Kondo, A. Rode, M. Samoc, B. Luther-Davies and H. Misawa: “Photo-Structuring of  $\text{As}_2\text{S}_3$  Glass by Femtosecond Irradiation”, *Opt. Exp.*, 14: 7751–7756 (2006).
  - 66) N. Murazawa, S. Juodkazis and H. Misawa: “Laser Manipulation of a Smectic Liquid-Crystal Droplet”, *Eur. Phys. J. E.*, (2006).
  - 67) S. Juodkazis, H. Misawa, O. A. Louchev and K. Kitamura: “Femtosecond Laser Ablation of Chalcogenide Glass: Explosive Formation of Nano-Fibres against Thermo-capillary Growth of Micro-Spheres”, *Nanotechnology*, 17: 4802–4805 (2006).
  - 68) M. Mazilu, S. Juodkazis, T. Ebisui, S. Matsuo and H. Misawa: “Structural Characterization of Shock-Affected Sapphire”, *Appl. Phys. A*, 3732–8 (2006).
  - 69) T. Kondo, S. Juodkazis, V. Mizeikis, S. Matsuo and H. Misawa: “Fabrication of Three-Dimensional Periodic Microstructures in Photoresist SU-8 by Phase-Controlled Holographic Lithography”, *New J. Phys.*, 8, 250, (2006).

- 70) K. Ueno, S. Juodkazis, V. Mizeikis, K. Sasaki and H. Misawa: "Spectrally-Resolved Atomic-Scale Length Variations of Gold Nanorods", *J. Am. Chem. Soc.*, 128: 14226-14227 (2006).
- 71) T. Araki, K. Ueno, H. Misawa and N. Kitamura: "Raman Microspectroscopy / Imaging Study on Phase-Vanishing Processes of Fluorous Biphasic Systems in Microchannel - Microheater Chips", *Anal. Sci.*, 22: 1283-1289 (2006).
- 72) K. K. Seet, S. Juodkazis, V. Jarutis and H. Misawa: "Feature-size Reduction of Photopolymerized Structures by Femtosecond Optical Curing of SU-8", *Appl. Phys. Lett.*, 89: 024106 (2006).
- 73) S. Juodkazis, H. Misawa, E. Vanagas and M. Li: "Simulation of Light Interaction with Metallic Nanoparticles", *J. Laser Micro/Nanoengineering*, 1: 253-257 (2006).
- 74) K. Sun, Z. Li, K. Ueno, S. Juodkazis, S. Noji and H. Misawa: "Electrophoretic Chip for High-Fidelity Fractionation of Double-Stranded DNA", *Electrophoresis*, 28: 1572-1578 (2007).
- 75) S. Juodkazis, N. Murazawa, H. Wakatsuki and H. Misawa: "Laser Irradiation Induced Disintegration of a Bubble in a Glass Melt", *Appl. Phys. A.*, 87: 41-45 (2007).
- 76) K. Ueno, S. Juodkazis, M. Mino, V. Mizeikis and H. Misawa: "Spectral Sensitivity of Uniform Arrays of Gold Nanorods to Dielectric Environment", *J. Phys. Chem. C*, 111: 4180-4184 (2007).
- 77) S. Juodkazis, K. Nishimura and H. Misawa: "In-bulk and Surface Structuring of Sapphire by Femtosecond Pulses", *Appl. Surf. Sci.*, 253: 6539-6544 (2007).
- 4.2 総説・解説・評論等**
- 1) 松尾繁樹、三澤弘明:「光によるナノエンジニアリング - 3次元フォトニック結晶の作製を目指して -」、*未来材料*, 3(8): 8-13 (2003)
- 2) 三澤弘明:「光圧による分子マニピュレーション」、*応用物理*, 72(6): 716-720 (2003)
- 3) 松尾繁樹、三澤弘明:「透明材料のフォトニック結晶の作製とフォトニックデバイス」、*マテリアルインテグレーション*, 16(6): 18-23 (2003)
- 4) 田北啓洋、山本裕紹、早崎芳夫、西田信夫、三澤弘明:「ヒトの爪をメディアとする3次元メモリー」、*信学技報*, 01: 45-48 (2004)
- 5) 高木速人、田北啓洋、山本裕紹、早崎芳夫、西田信夫、三澤弘明:「フェムト秒パルスレーザーによって加工された爪の表面形状観測」、*信学技報*, 01: 49-52 (2004)
- 6) 三澤弘明:「フェムト秒パルスレーザー加工」、*OPTRONICS*, 4: 131-136 (2004)
- 7) 三澤弘明、瀬川浩代:「フェムト秒レーザーを用いた材料の微細加工」、*NEW GLASS*, 33(11): 645-650 (2004)
- 8) 松尾繁樹、三澤弘明:「フェムト秒レーザーを用いた微細加工」、*高温学会誌*, 30(2): (2004)
- 9) 三澤弘明:「レーザー光による分子マニピュレーション」、*レーザー加工学会誌*, 11(1): 7-11 (2004)
- 10) 三澤弘明:「光ナノプロセス」、*光学*, 33(11): 645-650 (2004)
- 11) 松尾繁樹、三澤弘明:「集光フェムト秒レーザーによる透明材料のナノ加工と次世代生体マイクロチップの開発」、*レーザー研究*, 32(2): 105-109 (2004)
- 12) 三澤弘明、坪井泰之:「第7回日米先端科学シンポジウム」、*科学*, 75(5): 547-552 (2005)
- 13) 三澤弘明:「フェムト秒レーザープロセスによるフォトニック結晶の作製」、*レーザー加工学会誌*, 12(2): 8-11 (2005)
- 14) 三澤弘明:「フェムト秒超加工技術」、*光技術応用システムのフィージビリティ調査報告書*: 1-5 (2005)
- 15) 三澤弘明:「レーザーによる光圧を利用した微小物質の回転およびナノ構造の構築」、*真空*, 48(9) (2005)
- 16) 三澤弘明:「フェムト秒レーザー加工」、*ナノテクノロジー技術動向調査*: 35-37 (2005)
- 17) 棚村好彦:「大きな2光子吸収断面積を有する金属イオン認識蛍光プローブ」、*ぶんせき*: 514 (2005)
- 18) 三澤弘明:「北大発ベンチャー 株式会社レーザーシステム」、*レーザー研究*, 33(10): 692-693 (2005)
- 19) 三澤弘明:「フェムト秒レーザーによる3次元微細周期構造の作製と光機能性発現」、*表面技術*, 56(12): 807-811 (2005)
- 20) 上野貢生、三澤弘明:「光-分子強結合場の創製とその光学特性の評価」、*光化学*, 36(2): 128-134 (2005)
- 21) 上野貢生:「金属ナノ構造体表面での局在プラズモン共鳴と増強ラマン散乱を用いたセンシング」、*ぶんせき*, 153-154 (2005)
- 22) 三澤弘明:「パルスレーザーによる透明材料の3次元加工 - バイオマテリアルなどのナノ加工も視野に -」、*Semiconductor FPD World*, (5): 82-85 (2006)
- 23) 三澤弘明:「3次元有機フォトニック結晶の新展開」、*レーザー研究*, 34(5): 341-345 (2006)
- 24) 三澤弘明:「北大発ベンチャー 株式会社レーザーシステム」、*SEMI News*, 22 (4): 18-19 (2006)
- 25) 三澤弘明:「フェムト秒レーザーによるサファイア基板の3次元加工」、*レーザー加工学会誌*, 14(1): 42-44 (2007)
- 4.4 著書**
- 1) 棚村好彦、三澤弘明:「次世代遺伝子解析マイクロアレイの開発」、*バイオチップの最新技術と応用*、監修: 松永是、シーエムシー出版: 121-126 (2004)
- 2) 三澤弘明:「3次元フォトニック結晶」、*ナノ粒子・マイクロ粒子の最先端技術*、シーエムシー、第2編第5章: 270-276 (2004)
- 3) 三澤弘明:「透明材料の3次元加工」、*レーザー マイクロ・ナノ プロセッシング*、III編2章6.2、シーエムシー: 250-257 (2004)
- 4) 三澤弘明:「フェムト秒ナノ加工」、*光科学研究の最前線*、強光子場科学研究懇談会、V2-4: 300-301 (2005)
- 5) 三澤弘明、山口央: *レーザーハンドブック (第2版)*、

IX 編 バイオフォトリクス 40章 : 995-1002 (2005)

- 6) 三澤弘明 : 「フォトリック結晶」、レーザープロセッシング応用便覧」、NGT 出版 : 468-474 (2006)
- 7) 三澤弘明 : 「有機フォトリック結晶」、ナノオプティクス・ナノフォトリクスのすべて、フロンティア出版 : 223-233 (2006)
- 8) 三澤弘明、上野貢生 : 「電子ビームリソグラフィを用いる金属ナノ規則構造の設計・製作とその光学特性」、プラズモンナノ材料の設計と応用技術、シーエムシー出版 : 103-112 (2006)
- 9) 三澤弘明、松尾繁樹 : 「材料を加工する光化学」、光化学の驚異」、講談社 BLUE BACKS : 145-169 (2006)
- 10) 三澤弘明 : 「三次元有機フォトリック結晶」、光機能性有機・高分子材料、シーエムシー出版 : 225-234 (2007)

#### 4.6 特許 (発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

##### ・国内特許

- 1) 三澤弘明、上野貢生、谷村敏博、特願2007-078828、発光シグナルの増幅方法、2007年3月26日
- 2) 三澤弘明、上野貢生、谷村敏博、特願2007-056102、3次元フォトリック結晶の製造方法、2007年3月6日
- 3) 三澤弘明、上野貢生、谷村敏博、特願2007-055565、バイオセンサー、2007年3月6日
- 4) 三澤弘明、野地澄晴、特願2006-273377、電気泳動分取チップ、2006年10月4日
- 5) 三澤弘明、上野貢生、谷村敏博、特願2006-195124、フォトリック結晶を利用した透過型表示装置用カラーフィルター、2006年7月18日
- 6) 坪井泰之、三澤弘明、サウリウス・ヨードカジス、大嶋茂樹、小山芳一、特願2006-190630、レーザー照射型外来物質導入デバイス、2006年7月11日
- 7) 上野貢生、三澤弘明、坪井泰之、笹木敬司、サウリウス・ヨードカジス、ピガンタス・ミゼイクス、特願2006-182637、金属構造体、2006年6月30日
- 8) 三澤弘明、上野貢生、谷村敏博、特願2006-176193、3次元フォトリック結晶の製造方法、2006年6月27日
- 9) 三澤弘明、上野貢生、谷村敏博、特願2006-176461、フォトリック結晶を利用した表示装置、2006年6月27日
- 10) 三澤弘明、上野貢生、谷村敏博、特願2006-119927、バイオセンサーチップ、2006年4月24日
- 11) 三澤弘明、上野貢生、谷村敏博、バイオセンサーアレイ、特願2006-073649、2006年3月17日
- 12) 三澤弘明、上野貢生、谷村敏博、特願2006-061976、バイオセンサー、2006年3月8日
- 13) 三澤弘明、上野貢生、谷村敏博、特願2006-061951、3次元フォトリック結晶の製造方法、2006年3月8日
- 14) 三澤弘明、サウリウス・ヨードカジス、坪井泰之、特願2006-061912、レーザー加工装置及びレーザー加工方法、2006年3月7日
- 15) 三澤弘明、上野貢生、坪井泰之、特願2005-258364、センシング方法およびセンシング装置、2005年9月6日
- 16) 三澤弘明、橋本智弘、特願2005-235710、構造体及びその製造方法、2005年8月16日
- 17) 三澤弘明、上野貢生、特願2005-122735、フォトリック結晶集積型分離・計測デバイス、2005年4月20日
- 18) 上野貢生、三澤弘明、笹木敬司、坪井泰之、特願2005-080579、センシングデバイス、センシング装置およびセンシング方法、2005年3月18日
- 19) 上野貢生、三澤弘明、笹木敬司、坪井泰之、特願2005-040227、金属構造体およびその製造方法、2004年2月17日
- 20) ヨルティス・ピガンダス、ミゼイクス・ピガンタス、サウリウス・ヨードカジス、三澤弘明、特願2004-290709、高輝度量子相関光子ビーム源装置、2004年10月1日
- 21) 三澤弘明、サウリウス・ヨードカジス、ミゼイクス・ピガンタス、スイット・コックケン、坪井泰之、特開2006-106227、レーザー加工方法および装置、北海道大学、2006年4月20日
- 22) エフィモフ・オレグ、三澤弘明、サウリウス・ヨードカジス、坪井泰之、特願2004-156768、レーザー加工方法および装置、2004年5月26日
- 23) 三澤弘明、坪井泰之、特願2005-287419、レーザインジェクション方法および装置、2005年10月20日
- 24) 三澤弘明、サウリウス・ヨードカジス、坪井泰之、松尾繁樹、レーザー加工方法および装置、特願2005-293735、2005年10月20日
- 25) 三澤弘明、サウリウス・ヨードカジス、坪井泰之、特願2005-288501、レーザー加工方法、2005年10月20日
- 26) 三澤弘明、サウリウス・ヨードカジス、特願2004-009904、微細加工方法、2004年1月16日
- 27) 三澤弘明、サウリウス・ヨードカジス、松尾繁樹、近藤敏明、特開2004-126312、三次元ホログラフィック記録方法および三次元ホログラフィック記録装置、2004年4月22日
- 28) 笹木敬司、三澤弘明、堀田純一、DNA-金属微粒子系の共振周波数解析方法および共振周波数解析システム、特願2004-3598301、2004年9月17日

##### ・国際特許

- 1) Hiroaki Misawa, Saulius Juodkasis, Shigeki Matsuo, Toshiaki Kondo, PCT/JP2003/12344, 3-D holographic recording method and 3-D holographic recording system, 2003/09/26
- 2) Hiroaki Misawa, Saulius Juodkasis, PCT/JP2005/00798, Laser fine processing method using glass transition temperature, 2005/01/17
- 3) Saulius Juodkasis, Oleg Efimov, Hiroaki Misawa, Yasyuki, Tsuboi, PCT/JP2005/007403, Laser processing method and equipment, 2005/04/18
- 4) Vygandas Jarutis, Vygantas Mizeikis, Saulius Juodkasis, Hiroaki Misawa, PCT2005/018585, High-luminance quantum correlation photon beam generator, 2005/09/30
- 5) Hiroaki Misawa, Kosei Ueno, Yasuyuki Tsuboi, Keiji Sasaki, PCT/JP2006/302765, Metal structure and its preparation, 2006/02/16

- 6) Hiroaki Misawa, Kosei Ueno, Yasuyuki Tsuboi, Keiji Sasaki, PCT/JP2006/305447, Sensing device, sensing apparatus, and sensing method, 2006/03/17
- 7) Tomohiro Hashimoto, Hiroaki Misawa, PCT/JP2005/305447, Use of pulse laser irradiation in manufacture of glass structures with arrays of cavities and applications, 2005/1/17

#### 4.7 講演

##### i) 学会

- 1) 上野貢生、岡田陽平、三野雅弘、ミゼイクス ビガンタス、ヨードカジス サウリウス、笹木敬司、三澤弘明：「金属ナノブロック構造のシングルナノメートル制御と均一性の評価」、第67回応用物理学会学術講演会、草津市 (2006-08)
- 2) N. Murazawa, S. Juodkazis and H. Misawa: "Laser manipulation and characterization of liquid crystal droplets", Optics & Photonics 2006, San Diego, USA (2006-08)
- 3) 上野貢生、ミゼイクス ビガンタス、ヨードカジス サウリウス、笹木敬司、三澤弘明：「金二光子励起発光の分光特性 -近接場による増強効果の検討-」、第67回分析化学討論会、秋田市 (2006-05)
- 4) K. Ueno, V. Mizeikis, S. Juodkazis, K. Sasaki and H. Misawa: "Spectral Properties of Plasmonic Molecular Devices", XXIst IUPAC Symposium on Photochemistry, 京都市 (2006-04)
- 5) N. Murazawa, S. Juodkazis, Y. Tanamura and H. Misawa: "Micro-Viscosity at the Liquid/Liquid- Crystal Boundary by Use of Laser Tweezers", XXIst IUPAC SYMPOSIUM ON PHOTOCHEMISTRY, Kyoto (2006-04)
- 6) 孫 凱：「DNA シークエンス用電気泳動チップの設計と開発-II」、2006年春期第53回応用物理学会関連講演会、武蔵工業大学 (2006-03)
- 7) 上野貢生：「金ナノチェイン構造によるプラズモン光学特性の検討」、2006年春期第53回応用物理学会関連講演会、武蔵工業大学 (2006-03)
- 8) ミゼイクス ビガンタス, Juodkazis Saulius, Vygandas Jarutis, Misawa Hiroaki : 「Laser-microfabricated low index-contrast photonic crystal structures for optical sensing applications」、2006年春期第53回応用物理学会関連講演会、武蔵工業大学 (2006-03)
- 9) 三澤弘明：「材料科学からのフォトニック結晶作製へのアプローチ」、高分子学会、印刷・情報記録・表示研究会、千里ライフサイエンスセンター (2005-12)
- 10) H. Misawa: "Three-Dimensional Photonic Crystal Structures Recorded by Femtosecond Laser Pulses", First Conference on Advanced in Optical Materials, Tucson, Arizona, USA (2005-10)
- 11) K. Ueno, V. Mizeikis, S. Juodkazis, 笹木敬司 and H. Misawa: "A Study on Electromagnetic Field Enhancement of Nano-Engineered Structures Estimated by Two-Photon Excited Photoluminescence", UPS-12, 仙台エクセルホテル東急 (2005-10)
- 12) 上野貢生、三野雅弘、林田雅行、横田幸恵、ミゼイクス ビガンタス、ヨードカジス サウリウス、三澤弘明：「金属ナノ周期構造による DNA ハイブリダイゼーションの光センシング」、日本分析化学会第54年会、名古屋大学 (2005-09)
- 13) 棚村好彦、鎌田賢司、太田浩二、三澤弘明：「有機/無機ナノ層状複合化膜を用いた高効率2光子吸収材料の開発」、2005年秋季第66回応用物理学会学術講演会、徳島大学 (2005-09)
- 14) ミゼイクス ビガンタス, Seet Kock Khuen, Juodkazis Saulius, Jarutis Vygandas, Misawa Hiroaki : 「Laser Lithography of 3D Photonic Crystal Templates with Structural Defects in Photoresist SU-8」、2005年秋季第66回応用物理学会学術講演会、徳島大学 (2005-09)
- 15) ヨルティス ビガンダス, Juodkazis Saulius, Vygantas Mizeikis, Misawa Hiroaki : 「Mixed Versus Pure Ensembles of Photon Pairs in Spontaneous Parametric Down Conversion」、2005年秋季第66回応用物理学会学術講演会、徳島大学 (2005-09)
- 16) 上野貢生：「局在プラズモン共鳴による DNA チップの開発」、2005年秋季第66回応用物理学会学術講演会、徳島大学 (2005-09)
- 17) ヨードカジス サウリウス：「Viscosimetry by a Laser Trapped Liquid Crystal Droplet」、2005年秋季第66回応用物理学会学術講演会、徳島 (2005-09)
- 18) 棚村好彦、鎌田賢司、太田浩二、三澤弘明：「有機/無機ナノ層状複合化膜を用いた高効率2光子吸収材料の開発」、2005年秋季第66回応用物理学会学術講演会、徳島大学 (2005-09)
- 19) 三澤弘明：「レーザーとナノテクノロジー」、レーザー学会、レーザー普及セミナー、千里ライフサイエンスセンター (2005-07)
- 20) K. Ueno, V. Mizeikis, S. Juodkazis, K. Sasaki and H. Misawa: "Two-photon excited fluorescence enhancement using gold nanogap structures", The 21st International Conference on Photochemistry, Cairns, Australia (2005-07)
- 21) Y. Tanamura, K. Kamada and H. Misawa: "Photophysical Characterization of Two-photon Absorption Dye/Nanolayered Silicate Hybrids", The 22nd International Conference on Photochemistry, Cairns, Australia (2005-07)
- 22) V. Jarutis: "High Efficiency Femtosecond Source of Entangled Photons", Pacific Rim Conference on lasers and Electro-Optics 2005(CLEO-PR2005), Tokyo (2005-07)
- 23) V. Mizeikis: "High Efficiency Femtosecond Source of Entangled Photons", Pacific Rim Conference on Laser and Electro-Optics 2005(CLEO-PR2005), Tokyo (2005-07)
- 24) K. Ueno, V. Mizeikis, S. Juodkazis, K. Sasaki and H. Misawa: "Two-Photon excited fluorescence enhancement using nano-engineered gold particles", Pacific Rim Con-

- ference on Lasers and Electro-Optics 2005 (CLEO-PR2005), 東京 都市センターホテル (2005-07)
- 25) S. Juodkazis: "High-Aspect Ratio Nanofabrication by Femtosecond Irradiation", Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (CLEO-PR2005), Tokyo (2005-07)
- 26) Y. Tanamura, K. Kamada and H. Misawa: "Development of Highly Efficient Two-Photon Absorption Materials: Organic Dye-Inorganic Nanolayered Silicate Hybrid Systems", International Quantum Electronics Conference 2005 and the Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (IQEC/CLEO-PR 2005), Tokyo (2005-07)
- 27) 上野貢生、ミゼイクス ビガンタス、笹木敬司、三澤弘明:「ナノギャップ構造による2光子蛍光増強場の構築」、第66回分析化学討論会、北見 (2005-05)
- 28) 三澤弘明:「Fabrication of 3D photonics structures by fs-pulses」, ICONO/LAT2005, St.Petersburg, Russia (2005-05)
- 29) S. Juodkazis: "Studies of Femtosecond pulse filamentation in Glasses", ICONO/LAT2005, St.Petersburg, Russia (2005-05)
- 30) H. Misawa: "Fabrication of 3D Photonics Structures by Fs-Pulses", ICONO/LAT2005, St.Petersburg, Russia (2005-05)
- 31) 三澤弘明:「Femtosecond laser fabrication of 3D photonic crystal structure」, LPM2005, Williamsburg, USA (2005-04)
- 32) ヨルティス ビガンダス:「Ultrabright Source of Entangled Photon Pairs」、第52回応用物理学関連連合講演会、埼玉 (2005-03)
- 33) 棚村好彦、鎌田賢司、三澤弘明:「二光子吸収色素/ナノ層状シリケート複合体の光学特性評価」、2004年光化学討論会、つくば市 (2004-11)
- 34) V. Jarutis: "Ultra Bright Femtosecond Source of Biphotons", CREST interim Symposium, アルカディア市ヶ谷、Japan (2004-10)
- 35) 三澤弘明:「フェムト秒レーザーパルスによる3次元加工」、日本学術振興会 未踏・ナノデバイステクノロジー第151委員会、北海道 富良野市 (2004-07)
- 36) 三澤弘明:「新規 DNA ハイブリダイゼーション検出技術の開発」、日本機械学会 2003年度年次大会 先端技術フォーラム レーザー精密微細加工の現状と将来技術、徳島大学工学部 (2003-08)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) K. Ueno, S. Juodkazis, V. Mizeikis, K. Sasaki and H. Misawa: "Plasmonic optical characterization of gold nanostructures defined with sub-nanometer precision", International Workshop on Plasmonics and Applications in Nanotechnologies 2006, Singapore, Singapore (2006-12)
- 2) 三澤弘明:「材料科学からのフォトニック結晶作製へのアプローチ」、高分子学会、印刷・情報記録・表示研究会、大阪 (2005-12)
- 3) 上野貢生、ミゼイクス ビガンタス、ヨードカジス サウリウス、笹木敬司、三澤弘明:「Plasmonics: Control of Optical Properties and Fields Enhancement」、Multi-Institutional International Symposium 'mei'、北海道大学 (2005-12)
- 4) 三澤弘明:「加工技術としてのフェムト病レーザ、応用としてのフォトニクス」、高分子学会、光反応・電子用材料研究会、大阪、松下電器、松心会館 (2005-11)
- 5) ヨードカジス サウリウス、村澤 尚樹、棚村好彦、三澤弘明:「Viscosimetry by a laser trapped Liquid crystal droplet」、2005年秋季第66回応用物理学学会学術講演会、徳島大学 (2005-09)
- 6) H. Misawa: "Holographic and direct laser writing of photonic crystal structures", ISG/ICG 2005, Shanghai, China (2005-04)
- 7) H. Misawa: "Femtosecond Laser Fabrication of 3D Photonic Crystal Structures", The 6th International Symposium on Laser Precision Microfabrication, Williamsburg, USA (2005-04)
- 8) H. Misawa: "3D Photonic Crystal Structures Recorded by Femtosecond Laser Irradiation", The 2nd International Symposium on Mechanical Science based on Nanotechnology、仙台国際センター、Japan (2005-02)
- 9) 三澤弘明:「量子相関光子ビームによるナノ加工技術の確立を目指して」、北海道大学電子科学研究所研究交流会、札幌市 (2005-01)
- 10) H. Misawa, V. Mizeikis, S. Juodkazis, S. Matsuo, T. Kondo and K. S.K.: "Femtosecond Laser Fabrication of Photonic Crystal Structures", 7th Annual Symposium on JAFos, LA, USA, USA (2004-12)
- 11) V. Mizeikis: "Photonic Crystal Templates Obtained by Two-Photon Laser Lithography in Photoresist SU-8", 7th Annual Symposium on JAFos, Boston, USA (2004-12)
- 12) H. Misawa: "Femtosecond Laser Fabrication of Photonic Crystal Structures", International Workshop on Photonic-crystal Devices and Their Applications, Taipei, Taiwan, Taiwan (2004-10)
- 13) 三澤弘明:「北大発ベンチャー企業 株レーザーシステムの立ち上げと最近の研究成果の紹介」、平成16年度第2回フェムト秒超加工研究会、東京 (2004-09)
- 14) 三澤弘明:「高分子材料を用いたナノ・マイクロ周期構造作製技術の開発」、2003年度印刷・情報記録・表示研究会講座 (高分子学会主催)、発明会館ホール 東京 (2004-02)
- 15) 棚村好彦:「含アゾベンゼン多フッ素化界面活性剤/粘土ナノ層状複合体の光機能」、第7回機能構造と分析化学シンポジウム、宮城県仙台市 (2003-11)
- 16) 三澤弘明:「フェムト秒レーザーによる3次元超加工技術の現状」、第2回フェムト秒レーザー加工技術研究会、北九州テクノセンター (2003-10)
- 17) 三澤弘明:「フェムト秒レーザー加工とそのフォトニク

ク結晶作製への展開」、日本学術振興会・光エレクトロニクス第130回委員会 第235回研究会、森戸記念館 東京 (2003-10)

- 18) H. Misawa, T. Kondo, K. Yamasaki, S. Juodkazis, V. Mizeikis and S. Matsuo: "Holographic and direct recording by Femtosecond Pulses", IUMRS-ICAM2003 Pacifico Yokoyama, Pacifico, Japan (2003-10)
- 19) 三澤弘明:「高分子材料を用いた3次元フォトニック結晶の作製」、電子情報通信学会ソサイアティ OPE/LQE 合同シンポジウム「SC-1フォトニック結晶の最近の動向:基礎から応用まで」、新潟大学 (2003-09)
- 20) 三澤弘明:「フェムト秒レーザー加工の新展開」、先端レーザー加工技術研究会、信濃川テクノポリス機構 (2003-09)
- 21) 三澤弘明:「フェムト秒多光束干渉による3次元ナノ構造の作製」、2003年 秋季第64回応用物理学関係連合講演会 フェムト秒レーザーを用いたマテリアルプロセスングの新展開、福岡大学 (2003-08)
- 22) H. Misawa: "Three-dimensional Recording by femtosecond Pulses in Polymer Materials", 第20回フォトポリマーコンファレンス 国際シンポジウム2003 マイクロリソグラフィティとナノテクノロジー材料とプロセスの最前線、千葉大学 (2003-06)
- 23) H. Misawa: "Towards novel techniques of optical nano-processing", CREST&QNN'03 Joint international Workshop, Awaji Yumebutai International Conference Center (2003-06)
- 24) H. Misawa, T. Kondo, S. Matsuo, S. Juodkazis and V. Mizeikis: "Three-dimensional microfabrication by femtosecond pulses in dielectrics", E-MRS 2003 Spring Meeting, Strasbourg, France (2003-06)
- 25) 三澤弘明:「2光子励起による透明材料の加工」、03-1 光反応・電子用材料研究会、東京工業大学 (2003-05)

### iii) コロキウム・セミナー等・その他

- 1) 上野貢生、三澤弘明:「金属ナノ構造が示す光電場の局在」、アライアンス分科会仙台シンポジウム-新機能ナノエレクトロニクス-、仙台市 (2006-10)
- 2) 三澤弘明:「表面プラズモンによる微量生体分子計測法の開発」、LASER EXPO 2006、パシフィコ横浜 (2006-04)
- 3) 三澤弘明:「レーザーとナノテクノロジー」、未来社会に貢献するレーザー技術、千里ライフサイエンスセンター、大阪府 (2005-07)
- 4) 上野貢生:「金属ナノ構造体が拓く分析化学」、第21回緑陰セミナー、小樽 (2005-06)
- 5) 横田幸恵、上野貢生、Vyantas Mizeikis、Saulius Juokazis、笹木敬司、三澤弘明:「金属ナノ構造体による光電場増強場の創製-バイオセンサーの構築に向けて-」、2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会、武蔵工業大学 (2006-3)
- 6) 高橋友美、上野貢生、ミゼイクス ビガンタス、ヨード

カジス サウリウス、三澤弘明、谷村敏博、前田浩平:「遠心分離を利用した微粒子集積フォトニック結晶の構造制御」、2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会、武蔵工業大学 (2006-3)

- 7) 上野貢生、ミゼイクス ビガンタス、ヨードカジス サウリウス、笹木敬司、三澤弘明:「2光子励起発光による金属ナノ周期構造の電場増強効果の検討」、2005年光化学討論会、アクロス福岡 (2005-9)
- 8) 横田幸恵、上野貢生、ミゼイクス ビガンタス、ヨードカジス サウリウス、笹木敬司、三澤弘明:「ナノギャップ金属ナノ構造体が示すスペクトル特性の制御」、2005年 光化学討論会、アクロス福岡 (2005-9)
- 9) 三野雅弘、上野貢生、林田雅行、横田幸恵、ミゼイクス ビガンタス、ヨードカジス サウリウス、三澤弘明:「局在プラズモンによる DNA ハイブリダイゼーションの光検出」、2005年光化学討論会、アクロス福岡 (2005-9)
- 10) 横田幸恵、上野貢生、ミゼイクス ビガンタス、ヨードカジス サウリウス、笹木敬司、三澤弘明:「ナノギャップ金属ナノ周期構造体が示す光学特性の制御」、秋季第66回応用物理学学会学術講演会、徳島大学 (2005-9)
- 11) 上野貢生、三澤弘明:「局在プラズモンによる金属ナノ構造の光電場増強イメージング」、日本分光学会北海道支部シンポジウム、北海道大学 (2006-2)
- 12) 上野貢生:「微細加工技術による金属ナノ微粒子間のナノメートル制御と光電場増強場の創製」、第2回光一分子強結合反応場研究会講演会、北海道大学 (2006-1)
- 13) 三澤弘明:「フェムト秒加工のナノバイオ分野への応用」、産総研ナノバイオ分野人材養成ユニット講義、産総研関西センター 大阪 (2004-03)
- 14) 棚村好彦:「新しい原理に基づいた DNA ハイブリダイゼーション検出法の開発」、北海道バイオ産業クラスター・フォーラム 研究シーズ公開会、札幌市中央区 (2004-03)
- 15) 三澤弘明:「フェムト秒レーザーを用いた3次元加工技術」、Sony Institute of Technology 講座、SONY (2003-11)
- 16) 三澤弘明:「フェムト秒レーザーとそのマイクロ・ナノテクノロジーへの展開」、長岡技術科学大学匠綾講演会、長岡技術科学大学 (2003-09)
- 17) 三澤弘明:「マイクロ・ナノ加工による新しい機能性材料の創出」、第88回講習会「マイクロ・ナノ構造時代の材料加工と創製」、愛媛大学工学部 (2003-09)
- 18) 三澤弘明:「光が拓くナノテクノロジー」、北海道大学院共通授業「ナノテクノロジー・ナノサイエンスの展開 I」、北海道大学 (2003-08)

## 4.8 シンポジウムの開催

a. 国際シンポジウム (組織者名、部門名、シンポジウム名、参加人数、開催場所、開催期間)

- 1) 梶村皓二、H. Misawa, 小森和弘 and 石原一: "Crest & QNN03 Joint International Workshop" (120名、兵庫県 (淡

路夢舞台)、2003年7月21日～2003年7月23日)

#### 4.9 共同研究

- c. 民間等との共同研究(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 三澤弘明(ローム株式会社):「局在プラズモンを用いた受光素子」、2006～2007年度、テラヘルツと呼ばれる帯域の電磁波を検出する簡便なデバイスを構築するために、局在プラズモン技術を用いて新規の検出素子を研究開発する。
  - 2) 三澤弘明(三洋化成):「微粒子配列制御技術に関する研究」、2005～2007年度、単分散高分子微粒子を用いて新規な微粒子組織化制御技術を開発する。その技術を用いたデバイスの開発を進める。
  - 3) 三澤弘明(株式会社 オハラ):「ガラス材料のレーザー微細加工に関する研究」、2005年度、フェムト秒レーザーを用いたガラス材料の微細加工により、機能性構造体を作製し、その特性評価を行う。
  - 4) 三澤弘明(レーザーシステム):「微細加工機の研究」、2004～2007年度、微細加工機の基礎技術の研究及び応用分野の調査

#### 4.10 予算獲得状況

- a. 科学研究費補助金(研究代表者、分類名、研究課題、期間)
- 1) 三澤弘明、基盤研究 B 一般(2)、金属ナノ周期構造を用いた高感度 DNA アレイチップ開発、2005～2007年度(15,300千円)
  - 2) 棚村好彦、若手研究 B、二光子励起蛍光プローブ/無機ナノシート複合体による高感度センシングシステムの開発、2005～2006年度(2,200千円)
  - 3) 上野貢生、特別研究員奨励費、集積化マイクロチャンネルチップを用いた新規分析システムの構築、2004～2006年度(2,300千円)
  - 4) 村澤尚樹、特別研究員奨励費、レーザー捕捉を利用した微少界面におけるトライボロジーの研究、2004～2006年度(2,800千円)
  - 5) 上野貢生、科学研究費補助金(若手研究(スタートアップ))、ナノギャップ金属構造が示す光電場増強機構の解明、2006～2007年度(2,620千円)
- b. 受託研究(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、研究内容)
- 1) 三澤弘明(独)科学技術振興機構:「量子相関光子ビームナノ加工」、2003～2006年度(311,000千円)、新しい光物理現象である「量子相関を有するもつれ合い光子」の特異な振る舞いを利用して、高いスループットを達成しつつ、光の回折限界をはるかに超えるナノメートルスケールの加工分解能を実現する多光子ナノ加工技術の開発を目指します。このナノ加工技術の開発を目指します。このナノ加工技術により、可視・紫外3次元フォトニック結晶等の高機能フォトニックデバイスの作製が可能となり、単一光子・光子スイッチをはじ

めとする量子通信・量子情報処理技術の開発が期待されます。

- 2) 三澤弘明(財)とくしま産業振興機構:「Lab-On-a-Chip 法とナノ計測法による自動ゲノム診断法の開発(知的創造による地域産学官連携強化プログラム「知的クラスター創成事業」に係る研究)」、2003～2005年度(33,000千円)、(研究目的)マイクロピラー構造を有する電気泳動チップの開発(研究内容)シリコンのナノ加工によって形成したマイクロピラーを用いて DNA を効率よく分離する新しいシステムを開発するために、ピラー界面を化学修飾することにより、マイクロピラーと DNA との化学的相互作用を用いて高効率に分離する手法を開発する。
- 3) 上野貢生、((独)科学技術振興機構):「金ナノチェーン構造によるテラヘルツ受光素子の開発」、2006-2007年度(6,000千円)、金ナノチェーン構造が示す特異的なプラズモン共鳴スペクトルを利用して、分光機能を有するテラヘルツ帯の受光素子をローム株式会社と共に研究開発する。

c. 奨学寄付金(研究担当者、機関名、研究課題、研究期間、総経費、研究内容)

- 1) 三澤弘明(三洋化成工業株式会社):「精密ビーズ配列技術の開発への研究助成」、2005年度(4,000千円)、精密ビーズ配列技術の開発への研究助成
- 2) ヨードカジス サウリウス(旭硝子株式会社中央研究所):「電子科学研究のため」、2005年度～現在(1,000千円)、電子科学研究のため

#### 4.11 受賞

- 1) 近藤敏明、S. Juodkasis、V. Mizeikis、松尾繁樹、三澤弘明:第5回生産加工・工作機械部門講演会優秀講演論文表彰「多光束レーザ干渉法による微細周期構造物作製手法の開発」(日本機械学会)2004年11月
- 2) 上野貢生:松本・羽鳥奨学賞(北海道大学電子科学研究所)2005年3月
- 3) 三澤弘明:2005年度光化学協会賞受賞「超高強度レーザー光による個体の光反応制御」(光化学協会)2005年9月
- 4) 瀬川浩代、矢野哲司、柴田修一、三澤弘明:第31回学術写真賞最優秀賞(日本セラミック協会)2006年3月
- 5) 上野貢生:Best Poster Awards「Plasmonic optical characterization of gold nanostructures defined with sub-nanometer precision」(International Workshop on Plasmonics and Applications in Nanotechnologies)2006年12月
- 6) 三澤弘明:日本化学会学術賞「超高密度フォトン束による固体の光反応制御」(日本化学会)2007年3月
- 7) 上野貢生:日本分析化学会奨励賞「マイクロ・ナノ構造の創製と構造特異的物性を利用した分析システム」(日本分析化学会)2007年9月

#### 4.12 社会教育活動

##### a. 公的機関の委員

- 1) 三澤弘明: 三菱総合研究所 NEDO ナノテクノロジーロードマップ「ナノインプリント・精密ビーム加工」WG主査 (2006年12月1日～2007年3月31日)
- 2) 三澤弘明: 文部科学省 科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター 専門調査委員 (2006年4月1日～現在)
- 3) 三澤弘明: 日本学術振興会 先端科学(FoS) シンポジウム事業委員会 専門委員 (2006年3月1日～2007年2月28日)
- 4) 三澤弘明: 古河テクノロジーサーチ NEDO 平成17年度委託事業 有識者委員会 委員 (2006年1月17日～2006年3月31日)
- 5) 三澤弘明: 科学研究費委員会専門委員 (2006年1月1日～2006年12月31日)

##### b. 国内外の学会の役職

- 1) 三澤弘明: Associate Editor, TNANO (IEEE Transactions on Nanotechnology) (2007年3月23日～現在)
- 2) 三澤弘明: 電子情報通信学会 超高速光エレクトロニクス研究専門委員会 専門委員 (2007年3月12日～現在)
- 3) 三澤弘明: 光化学協会 常任理事 (2006年1月1日～現在)
- 4) 三澤弘明: CLEO/Pacific Rim 2005 Sub-session chair (2005年7月11日～2005年7月15日)
- 5) 三澤弘明: The 6th International Symposium on Laser Precision Microfabrication Sub-Session Chair (2005年4月4日～2005年4月7日)
- 6) 三澤弘明: 日本学術振興会 先端科学(FoS)シンポジウム 事業委員会 専門委員 (2005年3月1日～2006年2月28日)
- 7) 三澤弘明: 財団法人光産業技術振興協会 平成16年度フェムト秒超加工技術フォービリティ調査委員 (2004年7月1日～2005年3月31日)
- 8) 三澤弘明: 日本学術振興会「第7回日米先端科学(JAFoS)シンポジウム2004」Planning Group Member 主査 (2004年4月1日～現在)
- 9) 三澤弘明: 社団法人高温学会レーザー加工学会誌査読委員 (2004年度)
- 10) 三澤弘明: 財団法人光産業技術振興協会 平成16年フェムト秒超加工研究会 幹事 (2004年度)
- 11) 三澤弘明: LPM2004組織委員 (2003年10月20日～2004年8月31日)
- 12) 三澤弘明: 日本学術振興会「第6回日米先端科学(JAFoS)シンポジウム2003」Planning Group Member (2003年4月1日～現在)

##### c. 併任・兼業

- 1) 三澤弘明: 浙江大学客員教授 (2005年11月1日～現在)
- 2) 三澤弘明: 株式会社レーザーシステム 取締役 (2004年6月1日～現在)

##### f. 外国人研究者の招聘 (氏名、国名、期間)

- 1) 邱建榮、China、2006年2月10日～2006年2月12日
- 2) Thomas Lippert、Switzerland、2005年7月11日～2005年7月12日
- 3) Sajeev John、Canada、2005年4月18日～2005年4月20日
- 4) Gamaly Eugene、Australia、2005年12月6日～2005年12月14日
- 5) Mazilu Michael、UK、2004年11月15日～2004年12月15日
- 6) Markas Suzius、Lithuania、2004年9月1日～2004年11月30日

##### g. 北大での担当授業科目 (対象、講義名、担当者、期間)

- 1) 工学研究科、バイオオプティクス特論、三澤弘明、2004年10月1日～現在
- 2) 工学研究科、バイオオプティクス特論、ヨードカジス サウリウス、2004年10月1日～現在
- 3) 学科共通、化学I、三澤弘明、2005年4月1日～2005年9月30日
- 4) 工学部、電気回路、三澤弘明、2003年10月1日～現在

##### h. 新聞掲載記事

- 1) 北海道大学知的財産本部 HP、「フェムト秒レーザーが広げる新しい加工技術の可能性
- 2) 2006年5月16日、日経産業新聞、「サファイアに微小空洞」
- 3) 2005年8月3日 日経 BP 「レーザーシステム、フェムト秒レーザー利用の加工装置などを受託開発」
- 4) 2004 北の交差点 秋冬号、「光が創り出す新しいフロンティアに挑む」
- 5) 2003年8月1日、日経産業新聞、「微小球状物質を回転
- 6) 2003年7月15日、日経産業新聞、「フォトニック結晶を簡単に」

## 計算論的生命科学研究分野

教授 津田一郎 (京都大学理院、理博、2005.10～)  
准教授 佐藤 讓 (東京大学、博士(学術)、2006.4～)  
COE 研究員  
田所 智 (北海道大学理院、理博、2003.9～)  
島山元彦 (北海道大学、修士(理学)、2003.9～)  
黒田 茂 (北海道大学、修士(理学)、2005.4～)  
研究生 安岡卓男 (愛媛大学医、MD、2001.4～)  
玉井信也 (東京大学、修士(学術)、2006.4～)  
事務補佐員 渡辺厚子 (2003.9～)  
院 生 山口 裕(D3)、伊藤孝男(D3)、前田真秀(D3)、  
松本和宏(D3)、渡部大志(D3)、森 秀夫(D3)、  
黒田 拓(D1)、越坂部恭史(M2)、島山仁雄(M2)、  
林 竜(M2)、岩澤和子(M1)、岸本匡広(M1)、  
清水明士(M1)

### 1. 研究目標

計算論的生命科学は、電子科学研究所と理学院数学専攻との共同事業の一環として構築された。分子、細胞、システムにまでわたる生命現象の複雑さを数理的に解明するとともに、新しい生命システム論の構築をめざしている。複雑系としての生命システムの機構を解明することを目指し、新しい複雑システム論を構築する。特に、記憶、思考・推論の脳神経機構および認知機構の解明のための数理的アプローチを確立するとともに、非線形大自由度力学系の理論の構築を目標とする。具体的には次の研究を行なう。すでに構築した海馬 CA1 の生理学的モデルを実験に照らして詳細に研究する、特にカントルコーディングの理論を精密化する (a)、ラット海馬スライスでのカントルコーディングの実証を玉川大学工学部塚田研究室と協力して行う (b)、ニホンザルを使った思考・推論の実験を玉川大学脳科学研究所にて引き続き行なう (c)、海馬 CA3 で現れると期待される複雑な遷移現象のひとつとしてのカオスの遍歴の神経系における雛形モデルの構築 (d)、カオスネットワークにおける情報伝播 (e)、エンジンカオスの制御 (f)、実験の形式化の試み (g)、エージェントモデルによる学習理論 (h)、noise-induced order の再検討 (i) を主目標においた。

### 2. 研究成果

(a) エピソード記憶形成が如何に行われるかを理解するために、海馬のニューラルネットワークをモデル化し、海馬の役割に関する計算論的な研究を行った。海馬 CA3 と CA1 のネットワーク構造を調べ数学的な取り扱いが簡単な離散時間・連続状態モデルをつくりそのダイナミクスを調べた。その結果、モデル CA3 では事象記憶の列が生成され、各事象記憶間を連結する軌道はカオス軌道であり、いわゆるカオスの遍歴が生じることが分かった。また、モデル CA1 ではモデル CA3 で生成された時系列情報がモデル CA1 のニューロンの膜電位に生じるカントル集合にコードされ得る

ことが分かった。これが生物学的に意味のあるコーディングかどうかを調べる目的で、CA1 ニューロンを神経生理学的な Pinsky-Rinzel の 2-コンパートメントモデルでモデル化し、ランダム時系列入力に対する CA1 ニューロンネットワークの活動度を調べた。その結果、約 50msec—150msec 間隔のランダムパルス入力において、時系列の履歴が膜電位空間にカントル集合 (フラクタルパタン的一种) として表現されることが分かった。また、その生成規則であるアフィン変換を一次元写像の形で抜き出すことができた。さらに、膜電位分布を求め、双山型の分布を得た。しかも極小値はニューロンの閾値に対応することから、膜電位にカントルコードされた情報は出力パルス列にデコードされる可能性があることが分かった。そこで、どの程度の情報が残っているかを調べた結果、8割—9割の情報がパルス列に残ることが判明した。これは CA1 ニューロンの出力パルス列によってカントルデコードが可能であることを示すものである。(山口、黒田、津田)

(b) 玉川大学工学部塚田稔研究室との共同研究として、ラット海馬スライスでのカントルコーディングの有無を調べる実験を行なった。さまざまな入力時系列に対して、CA1 の膜電位に入力時系列を表現する階層的なパターンが現れることが分かった。また、この階層パターンの生成規則を時系列解析で求めたところ、理論モデルが予測する複数のアフィン変換が得られた。これらの実験結果は、ラット海馬がカントルコーディングを行なっている可能性を強く示唆する結果である。(黒田、山口、津田)

(c) サル(ニホンザル)を使った思考・推論実験を玉川大学脳科学研究所と共同で行っている。12年前から共同実験のための議論を開始し、現在のサルに対して3年間実験を繰り返す、ようやく最初の結果が得られた。タスクは2回の連続する連想にもとづくカテゴリー形成とそのメンバーの推論を行うように工夫された。行動実験においてサルは推移、反射を駆使した推論を行えるという結果を得た。さらに、対応するニューロン活動が前頭前野外側部から得られ、少なくとも3種類の区別されるニューロンが見つかった。2頭目のサルで同じ実験を行い、ほとんどの実験タスクで同様の結果が確認されたが、最後のタスクはサルの死亡により中断せざるを得なかった。(津田)

(d) 脳神経系におけるカオスの遍歴の雛形モデルを得る目的で I 型ニューロンのギャップジャンクション結合系に着目した。I 型ニューロンの備えるべき十分条件を明らかにし、それを数学的に表現し、得られたサブクラスを I\* 型と呼んだ。この条件をみたく数学モデルを構築し、 $\mu$  モデルと呼んだ。これは二変数常微分方程式で与えられ、ホップ分岐とともにサドル・ノード分岐を起こす。 $\mu$  モデルは適当な座標変換でヒンドマーシュ・ローズモデルと等価になることが分かっている。これは、II 型のホジキン・ハックスレーモデルの縮約版であるフィッツヒュー・南雲モデルと同様に、I 型のカノーモデルの縮約版であり、その意味でフィッツヒュー・南雲モデルと対応する。II 型は、サブクリティカル・ホップ分岐を典型的に引き起こす。この分岐の違いがそれぞれの結合系における動的挙動に大きな

違いをもたらす。 $\mu$  モデルのギャップジャンクション結合系は同期・非同期の不規則遷移を典型的に示す。この遷移現象を以前に詳しく解析したが、今回はさらにその微細構造を解析した。On-off intermittency, in-out intermittency との関係調べ、その機構を明らかにした。特に、擬似アトラクターへの滞在とそこから脱出時間の分布などに関して、結合定数とニューロン個数の間のスケーリング則がなりたつ事がわかった。この研究は京都産業大学工学部の藤井宏教授との共同研究である。(田所、山口、津田)

(e) 情報混合を許す型の一次元カオス写像のランダムネットワーク系における情報伝播の様子を調べた。シグモイド型の入出力関数をもつ興奮性ニューロンと抑制性ニューロンの結合系は上記の一次元写像で単峰写像の典型であるBZ反応のモデルと類似した写像になる。一様なパラメータ値の場合にはそれは単峰にすなる。これらのランダム結合系においても、入力されたパルスやカオスの動的な保持と伝播が可能であるという数値実験の結果を得た。ただし、パラメータは微妙なので、今後は進化アルゴリズムを使ってネットワークを進化させて調べる予定である。(伊藤、渡部、津田)

(f) エンジン出力に広く見られる不規則変化の原因の究明とハーネシングを目的として、エンジン出力のカオス解析を行なった。ヤマハ発動機製エンジンを用いた。決定論的カオスの存在を以前に発見したので、今回は制御可能性を調べた。エンジンの内部構造は複雑を極めるため、何が本質的なパラメータかの判別は難しい。そこで、カオス軌道を与えられた周期を持つ内在する周期軌道への引き込みが容易なピラガス法を採用し、これをデータに津田一田原一

岩永の方法を使って直接適用した。その結果、カオス軌道は消滅し、与えられた周期をもつ周期軌道が得られた。さらに、実機のヤマハエンジンに直接この制御方式を適用し、制御可能性を実証しようとしている。オンライン制御はかなり不安定であることが分かった。(松本、津田)

(g) 動物の認知活動を解明するための行動実験、生理実験の枠組みを合理的に構築し得られた結果の合理的な解釈を行うための理論の構築を目指して、実験の理論的研究を行った。坂上一筒井によるサルを使った認知実験を一例として取り上げ、この実験系の数学的定式化をブール束を使って行った。動物の三種の注意機構に応じて、三種の高階関数が得られた。またこれらは実験で見つかった幾つかのニューロンを適当に組み合わせることで表現が可能であることが分かった。この枠組みを使うことで実験結果はより合理的に説明され、実験で見つかったいなかったニューロンの存在が予見された。実際、予想したニューロンは見つかった。論文は専門誌に受理され、この研究は第一段階が終了した。(畠山、津田)

(h) 神経回路網、細胞集団、動物集団、社会システムなどの集団的な学習機構を解明するために、相互適応系を結合ゲームダイナミクスでモデル化し、適応系の集団が導く大域的な学習、記憶構造を研究した。巡回的な相互作用構造を持つ少数自由度の結合学習系はハミルトンカオス、散逸カオス、間欠性、ヘテロクリニックサイクルといった多様な振る舞いを示し、大集団においては乱流的振る舞いが観察された。さらに各適応系をマルコフ系に拡張し、学習を情報の流入と流出によって生じる動的な構造形成と捉えることにより、情報理論的な解析を行った。(佐藤)

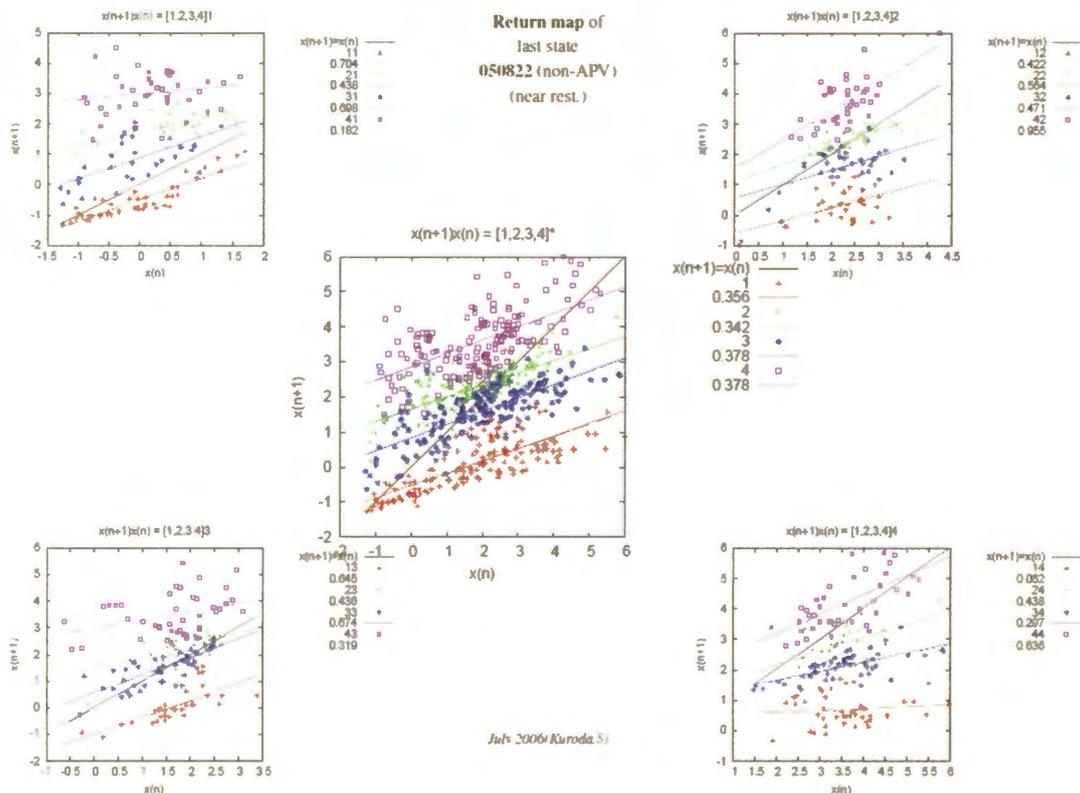
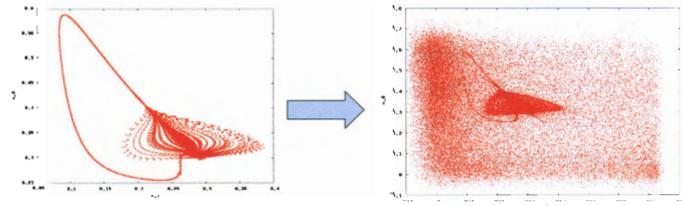
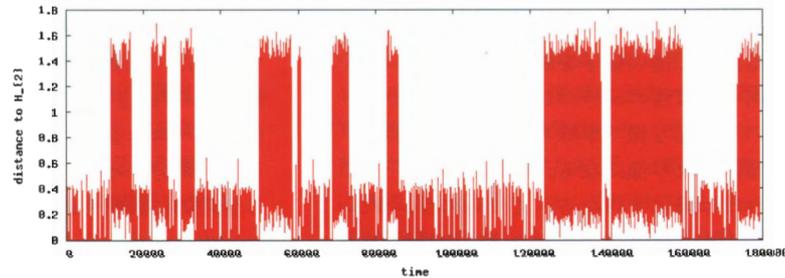


図1. ラット海馬 CA1ニューロンに見られるアフィン変換群 (黒田茂によるデータ解析結果)

## Chaotic Itinerancy



distance from invariant subspace



## Random transition between on-off intermittency and fully developed chaos

図2.  $\mu$ モデルのギャップジャンクション結合系(拡散型結合)に典型的に見られるカオスの遍歴(田所智の数値計算結果)。上の左図は on-off 間欠性である。上の右図はそこから転移したカオスの遍歴。下の図はその時系列である。

(i) ノイズの存在下でのカオスの力学系の振る舞いは、最も単純な次元写像系についてすら未解明なことが多い。とくに松本-津田の発見したBZ写像の雑音誘起秩序を数値実験により再追試し、確率的ダイナミクスのKSエントロピーとリアプノフ数、大域的な測度論的分岐、高次元系への拡張、連続流れでの同様な現象例、擬軌道追跡性との関連、などについて議論・検討した。

この研究は出版準備中である。(佐藤、津田)

### 3. 今後の研究の展望

脳神経系の数理モデルによる研究は、理論の予測と実験による検証の段階に入った。これによって、数理モデルの結果の検証を引き続き行う。さらに、モデルと実験系を共に海馬全体、さらには海馬と新皮質相互作用系へと発展させ、将来的にはラットの行動実験に伴う in vivo 計測によって、理論の予測するエピソード記憶に対するカオスの遍歴とコントロールコーディングの実証を行っていきたい。サルを使った思考推論実験に関しては、将来的には、さらに高度な推論実験、思考の実験タスクを考えたい。サルの実験はリスクが大きいので、ラットの行動実験も視野に入れている。脳のダイナミクス、生命活動に対する正しい解釈を与えるための枠組みとして大自由度力学系、ゲーム理論、進化ダイナミクスに関する理論を提供したい。特に、遍歴の機構の解明と抽象化された雛形モデルの構築を目指す。また、進化・発生におけるダイナミクスの機構の解明のための数理的な方法論の確立を目指す。

### 4. 資料

#### 4.1 学術論文等

- 1) Yuzuru Sato and Nihat Ay: "Adaptive dynamics for interacting Markovian process," arxiv:nlin.AO/0611032, (2006). (submitted)

#### 4.2 総説・解説・評論等

- 1) 津田一郎:「脳の中のカオス」、数学通信、11(1): 6-14 (2006)

#### 4.4 著書

- 1) 津田一郎(監訳)、星野高志、松本和宏、黒田拓、阿部巨仁(訳):カオス力学系入門 第1巻1-227ページ(アリグッド、サウアー、ヨーク著)(シュプリンガー東京、2006年)
- 2) 津田一郎(監訳)、星野高志、松本和宏、黒田拓、阿部巨仁(訳):カオス力学系入門 第2巻1-227ページ(アリグッド、サウアー、ヨーク著)(シュプリンガー東京、2006年)
- 3) 佐藤謙、津田一郎(訳):水滴系のカオス、1-102ページ(ロブ・ショー著)(岩波書店、2006年)

#### 4.7 講演

##### i) 学会

- 1) I. Tsuda: "Nonlinear dynamics and creative logic of the brain", Organized session on Towards a new paradigm of understanding in International Conference on Biophysics (EABS & BSJ 2006), Okinawa Convention Center

(2006-11)

- 2) I. Tsuda, Y. Yamaguchi, S. Kuroda, Y. Fukushima and M. Tsukada: "Cantor coding by means of hippocampal CA1 network model with 2-compartment model neurons", Oral presentation at The 29th Annual Meeting of The Japan Neuroscience Society, Kyoto International Conference Hall (2006-07)

#### ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) I. Tsuda: "Chaotic dynamics reality in brain dynamics.", International Conference in honor of Y. Pesin and Y. Takahashi on their 60th birthdays "Dynamics of Complex Systems" -- mathematical modelling, method and prediction --, Hokkaido University, Sapporo (2007-03)
- 2) I. Tsuda: "Chaotic dynamics reality in brain dynamics", Dynamic Brain Forum 07 (DBF'07), Hakuba (2007-03)
- 3) Y. Yamaguchi and I. Tsuda: "A mathematical model for the hippocampus: Toward the understanding of episodic memory", The 8th RIES-Hokudai International Symposium on [bi], 北海道大学学術交流会館 (2006-12)
- 4) K. Matsumoto and I. Tsuda: "Controlling engine data: Nonperiodic fluctuations in a spark ignition engine of motorcycle and its stabilization", The 8th RIES-Hokudai International Symposium on [bi], 北海道大学学術交流会館 (2006-12)
- 5) S. Tadokoro, Y. Yamaguchi, I. Tsuda and H. Fujii: "Chaotic itinerancy in gap junction-coupled class I\* neurons", The 8th RIES-Hokudai International Symposium on [bi], 北海道大学学術交流会館 (2006-12)
- 6) I. Tsuda, Y. Yamaguchi and S. Kuroda: "Episodic memory: A mathematical model for", Symposium on Synchronization Phenomena and Analysis, Institute of Industrial Science University of Tokyo (2006-10)
- 7) 津田一郎: 「On the mathematical model for episodic memory」, Seminar talk in Mathematical Science Seminar in Tokyo Institute of Technology, Tokyo Institute of Technology (2006-07)
- 8) Y. Sato: "Nanodynamics", Workshop "Nanodynamics" Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, USA (2006-05)

#### iii) コロキウム・セミナー等・その他

- 1) I. Tsuda: "Episodic memory: A mathematical model for the hippocampus", Fritz-Haber-Institute of Max-Planck Society, Berlin, Germany (2006-11)
- 2) I. Tsuda: "Episodic memory: A mathematical model for the hippocampus", Max-Planck Institute/Mathematics in the Sciences, Leipzig, Germany (2006-10)
- 3) I. Tsuda: "Episodic memory: A mathematical model for the hippocampus", Bernstein Center for Computational Neuroscience in Max-Planck Institute, Goettingen, Germany (2006-10)
- 4) Y. Sato: "Stability and Diversity in Collective Adaptation", Max Planck Institute, Dynamics and Self-organization, Goettingen, Germany (2006-10)

- 5) Y. Sato: "Stability and Diversity in Collective Adaptation", Department of Physical Chemistry Fritz Haber Institute, Berlin, Germany (2006-10)

- 6) Y. Sato: "Adaptive Dynamics for Interacting Markovian Processes", Max Planck Institute, Mathematics for the Sciences, Leipzig, Germany (2006-09)

#### 4.8 シンポジウムの開催 (組織者名、シンポジウム名、参加人数、開催場所、開催期間)

- 1) M. Yuri, I. Tsuda, T. Namiki and Y. Sato: "Y. Pesin 氏-高橋陽一郎氏還暦祝賀記念国際研究集会 DYNAMICS OF COMPLEX SYSTEMS - mathematical modeling, method and prediction -", 50名、北海道大学、学術交流会館 (札幌) (2006年3月19日~2006年3月20日)
- 2) 甘利俊一、丹治順、川人光男、山川烈、Walter Freeman、塚田稔、津田一郎、坂上雅道、奈良重俊他: 10th Tamagawa-Riken Dynamic Brain Forum -DBF2007-, 100名、長野県、白馬東急ホテル (2007年3月4日~2007年3月9日)
- 3) Y. Sato: Workshop "New Aspects of High-dimensional Nonlinear Dynamics", 20名、Hokkaido University (2006年6月27日~2006年6月30日)
- 4) Y. Sato: Workshop "Complex systems: Towards Theoretical Biology", 50名、Hokkaido University (2006年11月30日~2006年12月1日)
- 5) Y. Sato: RIES World Visitor Center Project: Inviting junior researchers, 20人、RIES (2006年9月1日~2007年3月31日)
- 6) Y. Sato: Workshop "Nanodynamics" Los Alamos National Laboratory, 50人、Los Alamos, USA (2006年5月20日~2006年5月24日)

#### 4.10 予算獲得状況

- a. 科学研究費補助金 (研究代表者、分類名、研究課題、期間)
  - 1) 津田一郎、特定領域研究、海馬 CA1 のコントロールコーディングの数理モデルと実証実験、2006~2007年度
  - 2) 津田一郎、特定領域研究、移動知における大脳辺縁系の役割、2006~2007年度
  - 3) 津田一郎、基盤研究 B (一般)、カオスの遍歴のシナリオに関する研究、2006~2009年度
  - 4) 津田一郎、萌芽研究、結合神経ベクトル場のカオスの遍歴とその情報処理への応用、2005~2007年度
- d. 奨学寄附金 (研究担当者、機関名、研究課題、研究期間、総経費、研究内容)
  - 1) 津田一郎 (ヤマハ発動機株式会社): 「エンジン実験データの複雑系数学的解析」、2006年度、50万円、エンジンにおけるダイナミクスの研究
- e. COE関係 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
  - 1) 津田一郎 (21世紀 COE プログラム): 「特異性から見た非線形構造の数学」、2003年度~現在、非線形構造と

いろいろな分野に共通の重要課題について数学的基礎を築くとともに、他分野との連携を一層進展させる。

#### 4.12 社会教育活動

##### C. 併任・兼業

- 1) 津田一郎、東北大学電気通信研究所、外部評価委員 (2006年4月1日～2007年3月31日)
- 2) 津田一郎、北陸先端科学技術大学院大学研究科、アカデミックアドバイザー (2006年4月1日～2007年3月31日)
- 3) 津田一郎、玉川大学術研究所、非常勤特別研究員客員教授 (2006年4月1日～2007年3月31日)
- 4) 津田一郎、財団法人 国際高等研究所、企画委員 (2006年4月1日～2007年3月31日)
- 5) 津田一郎、財団法人 国際高等研究所、「ダイナミクスからみた生命的システムの進化と意義」研究プロジェクト研究代表者 (2006年4月1日～2007年3月31日)
- 6) 津田一郎、財団法人 国際高等研究所、「認識と運動における主体性の数理脳科学」研究プロジェクトメンバー (2006年4月1日～2007年3月31日)
- 7) 佐藤譲、財団法人 国際高等研究所、「ダイナミクスからみた生命的システムの進化と意義」研究プロジェクトメンバー (2006年4月1日～2007年3月31日)
- 8) 津田一郎、科学技術動向研究センター、専門調査員 (2006年4月1日～2007年3月31日)
- 9) 津田一郎、京都大学数理解析研究所、専門委員 (2006年4月1日～2007年3月31日)

##### f. 外国人研究者の招聘 (氏名、国名、期間)

- 1) James Wright, New Zealand, 2007年3月21日～2007年3月23日
- 2) David J. Alberts, USA, 2007年3月17日～2007年3月31日、2006年9月3日～2006年9月20日
- 3) John Alberts, USA, 2007年3月17日～2007年3月31日
- 4) William Ott, USA, 2007年3月10日～2007年3月21日
- 5) Peter Erdi, Hungary, 2007年3月3日～2007年3月17日
- 6) Luis Moyano, Brazil, 2006年11月20日～2006年12月10日
- 7) Constantino Tsallis, 2006年11月19日～2006年11月22日
- 8) Miguel Fuentes, Argentina, 2006年11月18日～2006年12月4日
- 9) James A. Yorke, USA, 2006年7月11日～2006年7月16日
- 10) Alexander S. Mikhailov, Germany, 2006年4月10日～2006年4月13日)

##### g. 北大での担当授業科目 (対象、講義名、担当者、期間)

- 1) 理学研究科、コンピュータ2、津田一郎、2006年10月1日～2007年3月31日
- 2) 理学研究科、計算数学特論3、津田一郎、2006年4月1日～2006年9月30日
- 3) 理学研究科、コンピュータ1、津田一郎、2006年4月1日～2006年9月30日
- 4) 理学部、微分積分学1、津田一郎、2006年4月1日～2006

年9月30日

- 5) 理学部、微分積分学3、津田一郎、2006年4月1日～2006年9月30日

- 6) 医学研究科、脳科学研究の展開IV「脳科学研究パラダイム」カオス理論、2006年10月1日～2007年3月31日

- 7) 工学研究科、数理科学と情報科学の基礎、2006年4月1日～2006年9月30日

##### h. 北大以外での非常勤講師 (担当者、教育機関、講義名、期間)

- 1) 津田一郎、大阪大学工学部部、知能・機能創成工学に関する研究と教育について、2006年4月1日～2007年3月31日

##### i. ポスドク・客員研究員など

###### ・その他 (4名)

黒田 茂 (北海道大学大学院理学研究科数学 COE)

田所 智 (北海道大学大学院理学研究科数学 COE)

畠山元彦 (北海道大学大学院理学研究科数学 COE)

安岡卓男 (北海道大学大学院理学研究科数学専攻)

玉井信也 (北海道大学大学院理学研究科数学専攻)

##### j. 修士学位及び博士学位の取得状況

###### ・修士課程 (6名)

越坂部恭史、畠山仁雄、林 竜、岩澤和子、岸本匡広、清水明士

###### ・博士後期課程 (6名)

山口裕、伊藤孝男、前田真秀、松本和宏、渡部大志、

黒田拓

###### ・修士論文

- 1) 越坂部恭史: Couillet-Kramer モデルのノイズによるパターン分類

- 2) 畠山仁雄: Lorenz 方程式におけるトランジェントカオスの時間分布

- 3) 林 竜: カオスとカオスアトラクタ

## 並列分散処理研究分野(客員研究分野)

教授 石川 正道(三菱総研、工博、2003.4~2004.3)

### 1. 研究目標

ナノテクノロジーと社会の係わりに関して、様々な視点から考察し、今後のナノテクノロジーが関連他分野技術と融合して発展する兆しを見せているのに伴って、両者とその係わりが、どのようにイノベーションを創出するかを論じる。また、持続的な経済社会の発展を維持するためには、ナノテクノロジーのような先端科学技術と社会がどう対峙すべきかを考察し、今後取り組むべき研究課題を明確にする。

### 2. 研究成果

#### (a) ナノマテリアルの自己集積と核形成問題

ナノテクノロジーには、マクロスケールのものを小さく加工するトップダウン型技術と、ナノスケールあるいはそれ以下のサイズのものを組み上げてマクロスケールにするボトムアップ技術とがある。物体の表面上にリソグラフィによってパターンを転写、エッチングするなどして微細構造を直接形成するプロセスが、トップダウン型技術である。これに対して、ボトムアップ型技術は、ナノスケールで物質を物理的あるいは化学的に制御して、有用な構造へと自己集積(Self-assembling)させ、機能を発現させるところに特徴がある。

ボトムアップ型技術は、微細加工装置を必要とせず、実験室でフラスコを振るような程度の操作(Beaker chemistry)でナノパターンを形成することも可能である。しかしながら、トップダウン型は、極めて精密なパターンを任意に作製することができるのに対して、加工限界は使用する光の波長によって定まり、50nm以下とするには大きな困難を伴う。一方、ボトムアップ型は、加工限界は用いるナノマテリアルによって定まり、ほとんどあらゆるスケールのナノマテリアルの利用が可能一方で、自己集積の結果できあがるパターンがあいまいであり、意図する構造を実現する手法としては程遠いのが現実である。

ボトムアップ型のナノテクノロジーが発展するためには、精密なパターン形成を可能とするモノ作り(Exact manufacturing)の技法が見出される必要がある。ボトムアップ型の技法を、操作型プローブ顕微鏡(Scanning Probe Microscope, SPM)を用いる方法、自己集積作用および自己組織化を利用する方法に大別した。これらのうち、SPMを用いる手法は、加工の精密さは非常に高いが要素をなす粒子一つ一つを操作する方法であり、実用上のスケールにいたるまでに多数の粒子を取り扱わねばならずその加工速度に問題がある。この問題を回避するには、少数の粒子からなる鋳型を作製し、このパターンを自己複製する方法を同時に開発して組み合わせる用いることが必要となる。これに対して自己集積および自己組織化は、要素をなす粒子の

自発的な集積により多様なナノマテリアルを創出することが可能な手法として注目されている。

本研究では、これらボトムアップ型ナノテクノロジーの手法のうち、自己集積化の方法について理論的体系化を行った。特に、自己集積作用をさらに2つに区分して、単一同種類の要素が自発的に秩序化する「一様自己集積」とあらかじめプログラムされた複数種類の要素が自己集積する「プログラム自己集積」と呼ぶことにした。これらの方法はそれぞれモノ作りの技法として実現性が高く、引き続きモデルの実証研究と、さらにはモノ作りへの応用が有望であることが明らかとなった。

#### (b) 生命に学ぶ科学技術

現代の科学技術は、生命科学の進歩に大きな影響を受けている。生命の優れた機能を工学に生かそうとする発想がその根本にある。構造生物学の進展によって、生命の物質レベルでの巧妙な仕組みが解明され、その優れた特性は、大きく次のメカニズムに分類されることが分かった。1) 太陽エネルギーの利用、2) プロトン(水素イオン)エネルギー、3) 共通エネルギー通貨(アデノシントリリン酸)、4) 濃度差化学エネルギーの変換、5) 分子機械、6) 自己組織化システム。ナノテクノロジーを使えば、このような生命の仕組みに学んだ新たな工学体系を発展させることが可能となると考え、以下の工学原理を中心にナノテクノロジーとバイオテクノロジーの融合技術の可能性を検討した。

①プロトン回路：生命のエネルギー変換は、膜を隔てたプロトンの濃度勾配によって行われる。ミッチェル(英ノーベル賞科学者)はこれをプロトン駆動力と呼び、光合成の研究に大きな進展をもたらした。エレクトロンをベースにするエネルギー変換技術とは全く異なる仕組みをもち、水素エネルギー技術のあり方に大きな示唆を与えることが分かった。

②分子機械：分子機械には、べん毛モーターや人の筋肉を構成するミオシン-アクチンがよく知られている。これら分子機械の動作効率を理論的に導き出すために、ラチェット(爪歯車)モデルが提出され、メカニズム研究に大きな進展があった。分子ラチェットは、人工的に作ることも可能であり、それを外部エネルギーを用いて作動させる実験が既に行われるようになっている。分子機械の工学モデルの実現は、最も実現性の高い分野と考えられる。

③アルゴリズム自己集積：プログラム自己集積の概念を過去にたどると、そのアイデアは1930年代のチューリングの計算可能性の研究に行き着く。フォン・ノイマンは、チューリングの計算理論に大変刺激され、あらゆる空間パターンをつくる仮想的な機械は、チューリング計算機と同等であるとして、計算万能なチューリング機械を空間構造万能建設機というアイデアに発展させ、現在セルオートマトンとして知られている。DNAなどの分子認識機能を活用すれば、ナノスケールでのセルオートマトンを構築することが可能であることが予想され、材料プロセスの革新的な手法として応用できることが分かった。

### 3. 今後の研究の展望

日本の製造業は、その8割が研究開発成果である技術が製品化されないという、いわゆる「デスバレー（死の谷）」現象を感じているという。過去日本の強みと言われた微細加工技術に端を発したナノテクノロジーは、米国の国家ナノテクノロジー戦略によって世界に喧伝され、さらに米国は、「21世紀国家ナノテクノロジー研究開発法」を2003年12月に制定し、一丸となって磐石なる国家戦略を推進しつつある。ナノテクノロジーは、技術移転型の性格をもち、基礎研究からの素早い起業、大企業でさえも一社だけではカバーできない異分野融合、結果としてオープンな技術取り引きを行わざるを得ない研究開発の新たな状況を生み出しつつある。今後は、ナノテクノロジーが社会に応用されるプロセスを見極め、さらにダイナミックな科学技術と社会の相互作用を実現する方策について明確にしていきたい。

### 4. 資料

#### 4.1 学術論文

- 1) 石川正道:「ナノマテリアルの自己集積と核形成問題: ナノテクノロジーにおけるモノ作り技法」、表面、41(8): 265-273 (2003)

#### 4.2 総説、解説、評論等

- 1) 石川正道:「次世代宇宙ミッションと化学-宇宙開発をナノテクノロジーで」、先端化学シリーズ-理論・計算化学、クラスター、スペースケミストリー、IV: 206-214 (2003)
- 2) 石川正道:「主流になりつつあるボトムアップ型ナノテクノロジー」、月刊 OHM、90(6): 14-15 (2003)
- 3) 石川正道:「新たなスペースケミストリーの開拓の試み-化学の世界の新しい窓を開く」、先端化学シリーズ-理論・計算化学、クラスター、スペースケミストリー、IV: 183-190 (2003)

国際会議議事録等に掲載された論文

- 1) M. Ishikawa: "Nanotechnology networking in Japanese industry", *The 8th IUMRS International Conference on Advanced Materials*, Symposium-A: 123-125 (2003)

#### 4.10 社会教育活動

##### a. 公的機関の委員

- 1) 石川正道: ナノメディシン評価委員、厚生労働省 (2003年5月1日~2004年3月31日)
- 2) 東倉洋一: 文部科学省「革新技術活性化委員会」審議フォローアップ部会委員 (2002~2003年度)
- 3) 東倉洋一: 総務省情報通信政策局量子情報通信研究会議構成員 (2001~2005年度)
- 4) 東倉洋一: 文部科学省科学技術・学術審議会「情報科学技術委員会」専門委員 (2001~2003年度)
- 5) 東倉洋一: 文部科学省科学技術政策研究所「科学技術動

向研究センター」専門調査員 (2001年4月1日~現在)

- 6) 東倉洋一: 文部科学省科学技術・学術審議会「科学技術振興調整費審査部会」委員 (2001年4月1日~現在)
- 7) 東倉洋一: 日本学術会議情報基礎専門委員会委員 (2001年4月1日~現在)
- 8) 東倉洋一: 総務省情報通信政策局「情報通信ブレイクスルー基礎研究21推進会議」構成員 (2000年4月1日~現在)
- 9) 東倉洋一: 文部科学省科学技術・学術審議会「特定領域研究 (A) メディア教育利用」専門委員 (1999年4月1日~現在)
- 10) 東倉洋一: 関西市民情報文化研究会副会長 (1997年4月1日~現在)

##### b. 国内外の学会の主要役職

- 1) 東倉洋一: 日本学術振興会「21世紀 COE プログラム委員会」委員 (2002~2004年度)
- 2) 東倉洋一: 科学技術振興事業団「戦略的創造研究推進事業『シュミレーション技術の革新と実用化基盤の構築』」領域アドバイザー (2002~2004年度)
- 3) 東倉洋一: 奈良先端科学技術大学院大学「情報科学研究科アドバイザー委員会」委員 (2002~2004年度)
- 4) 東倉洋一: 新世代研究所評議員 (2001~2003年度)
- 5) 東倉洋一: 独立行政法人産業技術総合研究所研究ユニットレビューボード委員 (2001~2003年度)
- 6) 東倉洋一: 理化学研究所脳科学総合研究センターアドバイザーカウンシル (2001~2006年度)
- 7) 東倉洋一: 電子情報通信学会評議員 (2000年4月1日~現在)
- 8) 東倉洋一: 日本ソフトウェア科学会評議員 (2000年4月1日~現在)
- 9) 東倉洋一: 第18回国際音響学会議組織委員会委員 (2000~2003年度)
- 10) 東倉洋一: 科学技術振興事業団「戦略的創造研究推進事業『協調と制御』」領域アドバイザー (2000~2003年度)
- 11) 東倉洋一: 日本能率協会「RD&E マネジメント革新センター」企画委員会委員 (2000年4月1日~現在)
- 12) 東倉洋一: 科学技術振興事業団「地域振興事業評価委員会」(2000~2004年度)
- 13) 東倉洋一: 半導体研究振興会評議員 (2000~2005年度)
- 14) 東倉洋一: 技術組合新情報処理開発機構運営会議委員 (2000~2003年度)
- 15) 東倉洋一: 神戸大学運営諮問会議委員 (2000~2003年度)
- 16) 東倉洋一: 電子情報通信学会フェロー (2000年4月1日~現在)
- 17) 東倉洋一: IEEE Tokyo Section, 理事 (1999年4月1日~現在)
- 18) 東倉洋一: IEEE Tokyo Section, Fellow Nominations Committee Vice Chair & Chair (1999年4月1日~現在)
- 19) 東倉洋一: アメリカ音響学会 (ASA) Fellow (1998年4月1日~現在)
- 20) 東倉洋一: IEEE Fellow (1998年4月1日~現在)

- 21) 東倉洋一：日本バーチャルリアリティ学会理事監事・評議員（1997年4月1日～現在）
  - 22) 東倉洋一：Elsevier Science 社 Speech Communication 編集委員（1997～2004年度）
  - 23) 東倉洋一：日本音響学会正会員（1996年4月1日～現在）
  - 24) 東倉洋一：日本ソフトウェア科学会会員（1996年4月1日～現在）
  - 25) 東倉洋一：日本バーチャルリアリティ学会会員（1996年4月1日～現在）
  - 26) 東倉洋一：日本音響学会評議員・代議員（1996年4月1日～現在）
  - 27) 東倉洋一：Academic Press 社 Journal of Phonetics 編集委員（1996年4月1日～現在）
- f. 北大以外での非常勤講師（担当者、教育機関、講義名、期間）
- 1) 石川正道、東京工業大学フロンティア創造共同研究センター研究科、研究戦略室、2003年4月1日～2004年3月31日

## 並列分散処理研究分野(客員研究分野)

米山 満 (三菱化学科学技術研究センター)

### 1. 研究目標

本研究では、生体リズムの非侵襲的計測と非線形ダイナミクスによる解析をもとに、複雑な系の状態(ホリスティックな“健康”状態など)に関する隠れた情報を抽出するための新しい手法の構築を目指す。

生体の発するリズムは通常、複雑なゆらぎを伴う。そしてこのようなゆらぎは単純な雑音ではなく、系のダイナミクスを反映した特徴的な構造を持つことが多い。すなわち1/f ゆらぎに代表されるようなスケール不変性を示す。したがって、非線形ダイナミクスを駆使した解析により、生体リズムのスケールリング性やフラクタル性を定量化することで、その背後に潜む様々な性質(系を構成する要素間の相互作用やフィードバックの形態など)を明らかにすることができる。本年度は具体的な対象として、心筋細胞の拍動リズムと人間の歩行リズムに着目した。

### 2. 研究成果

#### (a) 新生ラット培養心筋細胞系

適応制御研究分野・河原剛一教授のグループの研究により、新生ラットの心筋細胞結合系において以下の結果が実験的に見出されている。

- (i) 培養日数の増加に伴い、拍動リズムのピーク間隔(以下 IBI と略す)、およびそのゆらぎの大きさは減少する。
- (ii) 二つの隣接する細胞の示す拍動リズムは、培養7日目で完全に同期する。
- (iii) Bonhoeffer-van der Pol(BVP)振動子を組み合わせた結合振動子モデルのシミュレーションから、以上の実験結果は細胞間の結合強度の増加によるものと結論できる。

今回、拍動リズムの実験データについて、DFA(Detrended Fluctuation Analysis)によるゆらぎ解析など、更に詳細な解析を施したところ、新たに以下の特徴が見出された。

- (i) 培養7日目以降の IBI には、拍動リズムの周期2倍化に起因する強い反相関性(anti-correlation)、双安定性、周期的なスパイク構造などの非線形性が現れる。
- (ii) IBI ゆらぎのスケールリング指数( $\alpha$ )は培養初期には大きく( $\alpha > 0.5$ )、強い正の相関性を示すが、培養7日目に急激に減少し( $\alpha < 0.5$ )、負の相関性へと相転移する。
- (iii) 以上の特徴は隣接する二つのセルについて、培養日数を問わず共通して見られる。

以上のふるまいを理解するため、BVPモデルによるシミュレーションを行った。細胞間の結合様式については、従来よく検討されている拡散タイプではなく、Nomuraらによって最近提案されたレセプタータイプを採用した。個々の細胞はランダムな雑音( $\alpha = 0.5$ )に支配された BVP 方程式に

従うとし、三つの細胞間の結合強度を増加させて培養日数に対応する拍動リズムの変化の様子を求めた。その結果、これまでの実験で観測されたすべての特徴を再現することができた。特に、培養の進展に伴う IBI の減少や、様々な非線形性の出現、ゆらぎのスケールリング指数の減少などは拡散タイプの結合振動子ではシミュレートできないものであり、今回のメカニズム(レセプタータイプの結合)が実際の系でも作用していることが強く示唆される。

#### (b) 人間の歩行リズム

人間の歩行リズムが持つゆらぎの特性を調べるため、小型のデータロガーを健康な被験者の腰部に装着し、自然な歩行に伴う加速度変化を時系列データとして測定した。被験者は計7名、歩行時間は約1時間である。得られた上下方向の加速度波形からピーク間隔を抽出し、歩行のステップ間隔の時系列データを求めた。以上のデータについて、ボストン大学 Stanley 研究室の協力のもと、DFA およびマルチフラクタル法による解析を行った。DFA から得られた平均のスケールリング指数は $\alpha = 0.9$ であり、歩行リズムが典型的な1/f ゆらぎに従うことを示している。ところがマルチフラクタル解析からは、そのゆらぎがかなりモノフラクタルに近いふるまいをしていることがわかった。

ボストン大学を中心とするこれまでの研究から、健康な人間の心臓リズムはマルチフラクタル的なゆらぎを有することがわかっている。心臓と歩行という、いずれも脳神経系の制御を受けているリズム系で、しかも双方ともに1/f ゆらぎを示すという共通点を持ちながら、一方はマルチフラクタル的、他方はモノフラクタル的という、ダイナミクスの複雑性に差が見られる点は、生体ゆらぎのメカニズムを理解する上で大変興味深い現象である。

### 3. 今後の研究の展望

培養心筋細胞系については、拍動リズムのゆらぎとフラクタル性という観点からさらに実験データの解析を進めるとともに、BVPモデルの妥当性について検討を深めていく。

歩行リズムについては、ゆらぎのフラクタル性が被験者への刺激(音楽、映像など)や、同伴者の存在によって大きく影響を受けることが実験的にわかっている。これは外場の下での結合振動子という観点から理論的に解釈することが可能である。ゆらぎを伴う結合振動子を基盤として、歩行リズムの特徴を再現できるモデル化とシミュレーションを試みる

## 並列分散処理研究分野(客員研究分野)

米山 満(株式会社三菱化学科学技術研究センター)

### 1. 研究目標

本研究では、生体リズムの非侵襲的計測と非線形ダイナミクスによる解析をもとに、複雑な系の状態(ホリスティックな“健康”状態など)に関する隠れた情報を抽出するための新しい手法の構築を目指す。

生体の発するリズムは通常、複雑なゆらぎを伴う。そしてこのようなゆらぎは単純な雑音ではなく、系のダイナミクスを反映した特徴的な構造を持つことが多い。すなわち $1/f$ ゆらぎに代表されるようなスケーリング特性を示す。したがって、非線形ダイナミクスを駆使した解析により、生体リズムのスケーリングやフラクタル性を定量化することで、その背後に潜む様々な性質(系を構成する要素間の相互作用やフィードバックの形態など)を明らかにすることができる。本年度も引き続き、心筋細胞が自発的に示すリズムに着目した。

### 2. 研究成果

#### (a) 新生ラット培養心筋細胞系

河原剛一教授のグループの研究により、新生ラットの培養心筋細胞系において以下の結果が実験的に見出されている。

(i) 培養4日目から心筋細胞は自律的な拍動を開始するが、それに同期して細胞内 $Ca^{2+}$ の濃度も振動する。

(ii) 他の電気化学的特性に影響を与えず、拍動のみを可逆的に停止させる薬物であるBDM(2,3-butanedione monoxime)で処理すると、拍動停止後も $Ca^{2+}$ 振動は持続する。ただし、振動周期は長くなる。

(iii) 心筋細胞結合系では、gap junctionで直接連結されていない細胞間でも $Ca^{2+}$ 振動の同期が見られ、BDM処理後も崩れない。

今回、 $Ca^{2+}$ 振動の実験データについて、DFA(Detrended Fluctuation Analysis)によるゆらぎ解析など、更に詳細な解析を施したところ、新たに以下の特徴が見出された。

(i) BDM処理により、振動周期のみならず波形のピーク間隔(以下PPIと略記)時系列のゆらぎも増大する(図1a)。

(ii) PPIゆらぎのスケーリング指数はBDM処理前には顕著なスケール依存性を持たないが、BDM処理後は短いスケールで0.5以上(正の相関)、長いスケールで0.5以下(負の相関)という相転移を示す(図1c)。

(iii) BDM処理による振動周期の増加は、振動が一時的に抑制されることに起因する(図2b、矢印)。

以上のふるまいを理解するため、Bonhoeffer-van der Pol(BVP)振動子モデルを3変数に拡張し、拍動および $Ca^{2+}$ 振動双方を記述できる微分方程式系を新たに構築した。このモ

デルを用いて筋収縮と $Ca^{2+}$ 濃度とのカップリング(E-Cカップリング)の強度を変化させてシミュレーションを行った。カップリングが強い場合、周期的な拍動と $Ca^{2+}$ 振動は完全に同期した。一方、カップリング強度をゼロにすると、拍動は消失したが、 $Ca^{2+}$ 振動は保持された。しかも、BDM処理後の実験結果(図1)に見られるような、周期とPPIゆらぎの増大、スケーリング特性の変化などを全て再現した。シミュレーションによる $Ca^{2+}$ 振動の波形には、所々振動が抑制される箇所があり(図2a、矢印)、この特徴も実験結果とよく一致した。

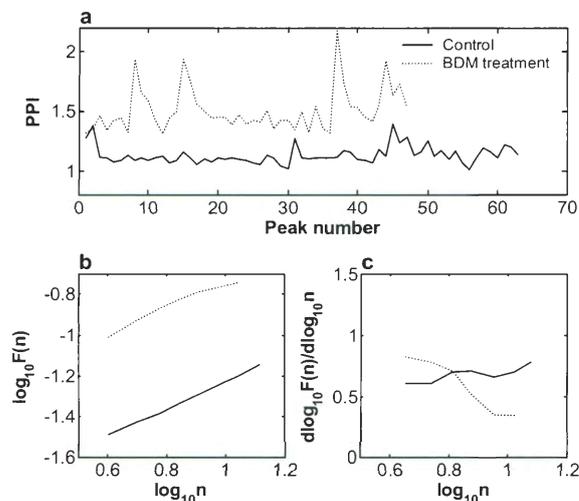


図1. 心筋細胞内 $Ca^{2+}$ 振動についてのゆらぎ解析

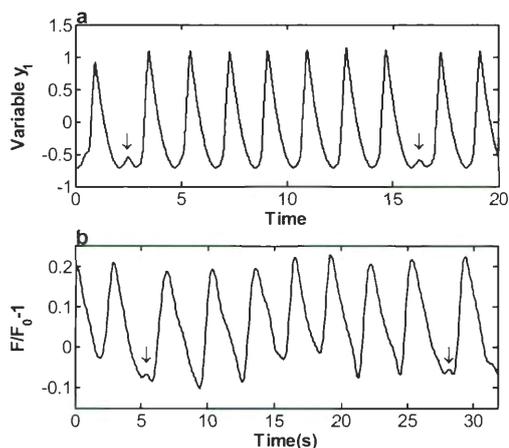


図2. BDM効果に関するシミュレーションと実験の比較

### 3. 今後の研究の展望

心筋細胞結合系で見出された $Ca^{2+}$ 振動の同期現象(実験結果iii)について、昨年度検討した結合振動子モデルを適用して解析を進めていく予定である。また今回考案した3変数系のBVP振動子を空間に配置した反応拡散モデルは、パラメータに依存して様々な興味深い時空間パターン構造を示す。これについても検討を深める予定である。

## 4. 資料

### 4.2 総説、解説、評論等

- 1) M. Ishikawa, H. Kobayashi and T. Takenouchi: "Japanese programs of fundamental physics and chemistry in space", *J. Jpn. Soc. Microgravity Appl.*, 21: 154-158 (2004)
- 2) 石川正道:「製造業の研究開発-10年後を見据えたビジョン&アクション-」、NEXT・ING、5(4): 7-13 (2004)
- 3) 石川正道:「中国有人飛行プロジェクト-「神舟」の打ち上げはいかにして成功したのか-」、オーம்பレテン、40(春号): 1 (2004)
- 4) 柗元宏、石川正道:「日本の研究開発の展望」、NEXT・ING、5(4): 2-6 (2004)、掲載予定
- 5) 石川正道:「微小重力下における基礎物理学および基礎科学」、日本機会学会誌、107(1025): 38-40 (2004)
- 6) Mitsuru Yoneyama and Koichi Kawahara: "Coupled oscillator systems of cultured cardiac myocytes: Fluctuation and scaling properties" *Phys.Rev.E* 70, 021904, 1-9 (2004)

### 4.12 社会教育活動

#### a. 公的機関の委員

- 1) 東倉洋一: 総務省情報通信政策局量子情報通信研究会議構成員 (2001~2005年度)
- 2) 東倉洋一: 文部科学省科学技術政策研究所「科学技術動向研究センター」専門調査員 (2001年4月1日~現在)
- 3) 東倉洋一: 文部科学省科学技術・学術審議会「科学技術振興調整費審査部会」委員 (2001年4月1日~現在)
- 4) 東倉洋一: 日本学術会議情報基礎専門委員会委員 (2001年4月1日~現在)
- 5) 東倉洋一: 総務省情報通信政策局「情報通信ブレイクスルー基礎研究21推進会議」構成員 (2000年4月1日~現在)
- 6) 東倉洋一: 文部科学省科学技術・学術審議会「特定領域研究 (A) メディア教育利用」専門委員 (1999年4月1日~現在)
- 7) 東倉洋一: 関西市民情報文化研究会副会長 (1997年4月1日~現在)

#### b. 国内外の学会の役職

- 1) 東倉洋一: 日本学術振興会「21世紀 COE プログラム委員会」委員 (2002~2004年度)
- 2) 東倉洋一: 科学技術振興事業団「戦略的創造研究推進事業『シュミレーション技術の革新と実用化基盤の構築』」領域アドバイザー (2002~2004年度)
- 3) 東倉洋一: 奈良先端科学技術大学院大学「情報科学研究科アドバイザー委員会」委員 (2002~2004年度)
- 4) 東倉洋一: 理化学研究所脳科学総合研究センターアドバイザー・カウンセラー (2001~2006年度)
- 5) 東倉洋一: 電子情報通信学会評議員 (2000年4月1日~現在)
- 6) 東倉洋一: 日本ソフトウェア科学会評議員 (2000年4月1日~現在)

- 7) 東倉洋一: 日本能率協会「RD&E マネジメント革新センター」企画委員会委員 (2000年4月1日~現在)
- 8) 東倉洋一: 科学技術振興事業団「地域振興事業評価委員会」(2000~2004年度)
- 9) 東倉洋一: 半導体研究振興会評議員 (2000~2005年度)
- 10) 東倉洋一: 電子情報通信学会フェロー (2000年4月1日~現在)
- 11) 東倉洋一: IEEE Tokyo Section、理事 (1999年4月1日~現在)
- 12) 東倉洋一: IEEE Tokyo Section, Fellow Nominations Committee Vice Chair & Chair (1999年4月1日~現在)
- 13) 東倉洋一: アメリカ音響学会 (ASA) Fellow (1998年4月1日~現在)
- 14) 東倉洋一: IEEE Fellow (1998年4月1日~現在)
- 15) 東倉洋一: 日本バーチャルリアリティ学会理事・評議員 (1997年4月1日~現在)
- 16) 東倉洋一: Elsevier Science 社 Speech Communication 編集委員 (1997~2004年度)
- 17) 東倉洋一: 日本音響学会正会員 (1996年4月1日~現在)
- 18) 東倉洋一: 日本ソフトウェア科学会会員 (1996年4月1日~現在)
- 19) 東倉洋一: 日本バーチャルリアリティ学会会員 (1996年4月1日~現在)
- 20) 東倉洋一: 日本音響学会評議員・代議員 (1996年4月1日~現在)
- 21) 東倉洋一: Academic Press 社 Journal of Phonetics 編集委員 (1996年4月1日~現在)

## 並列分散処理研究分野 (客員研究分野)

教授 川上 伸昭 (特殊法人日本原子力研究所)  
助教授 埜田 友也 (株式会社ニコンコアテクノロジーセンター)

### 1. 研究目標

本研究では、生体試料の観察の自由度を増すため微弱な吸収分布を高感度に計測する手法を考案し、吸収分布増感対物レンズの開発を目指した。

従来より顕微鏡下での光学像観察には吸収・蛍光・位相差等の観察手法が用いられている。吸収 (励起) 波長または発光 (蛍光) 波長を選択することにより観察対象を識別できる。選択性を制御するため染色して観察する場合も多い。得られた光学像から吸光度または発光輝度を求めることにより定量計測が可能となる。

吸収分布計測に用いる照明光強度は一般的に蛍光分布計測時よりも低く、試料に対する侵襲性を抑えた観測ができる。多くの場合吸収量は微量であり、吸収分布を高感度に計測する手法を実現することは、観測対象・機会の拡大に有意義である。非染色での観測の可能性も出てくる。

### 2. 研究成果

吸収分布を高感度に計測するには、試料の吸光度を増幅して観測すれば良い。吸光度の増幅には大きく分けて、後処理にて電氣的に増幅する手法と、リアルタイムに光学的に増幅する手法が考えられる。

今回、観測系に工夫を加え光学的に増幅する手法を考案した。詳細は後述するが本手法を用いれば吸光度が増幅された光学像が得られる。検出に伴う雑音とは無関係に吸光度を増幅した観測ができる。後処理にてさらに増幅することも可能である。光学的に並列処理するため直接増幅像を目視にて観察することも可能である。

光学的に増幅する原理を説明する。考案した光学系では、結像光学系中の瞳上に一部の光束を減光するフィルタ (吸収板) を配置する。照明光学系の瞳上に前述の吸収板と共役な位置のみに光源を制限する絞りを配置する。提案光学系は、位相差結像系と類似の光学系である。位相差光学系では、透過する光束の位相を一定量遅らせる (または進ませる) 位相板が吸収板の代わりに配置されている。

アッペの理論によると弱吸収・弱位相物体を照明した場合、照明光は物体の影響を受けずに透過した非回折成分と、物体により回折した成分に分かれる。各々が結像光学系を通して観測面に到達する。これらの成分が互いに干渉し光学像を形成する。

瞳面上に配置した位相板または吸収板は上記二成分のうち非回折光が透過する領域に存在し、透過光の位相または強度を調整する。位相差観察法では、位相板を透過する光の位相を  $1/4$  波長遅らせる (または進ませる) ことにより、

位相差像を形成する。試料の複素振幅透過率分布を  $u(x, y)$  としたとき、弱吸収・弱位相近似以下では吸収分布を  $a(x, y)$  位相分布を  $b(x, y)$  で表現すると、

$$u(x, y) = 1 - a(x, y) + ib(x, y)$$

となる。得られる光学像は、次式で表現できる。

$$I(x, y) = |u(x, y) - 1 + i|^2 \cong 1 + 2b(x, y)$$

位相分布に応じた光強度分布を示す。

本提案手法では、吸収板を透過する光の強度を  $\alpha$  倍に弱めることにより、増幅像が得られる。

$$I(x, y) = |u(x, y) - 1 + \alpha|^2 \cong \alpha(\alpha + 2a(x, y))$$

元々の吸収分布が  $1/\alpha$  倍に増幅された光強度分布を示す。

生物試料を単純化したモデルを想定し、吸収分布と位相分布をもつ円柱状の試料を設定した。厚さ  $0.005 \mu\text{m}$  の膜で包まれた直径  $0.25 \mu\text{m}$  の組織を表現し、膜のみが吸収分布をもつと仮定した。

シミュレーションの結果、合焦位置では期待した通り、吸収分布が増幅されている。位相分布の影響も若干認められる。デフォーカス時には、特に位相分布の影響が大きく現れる。合焦位置を正しく把握する必要がある。

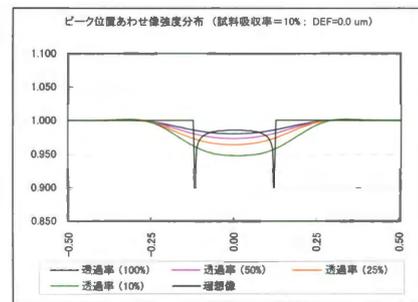


図1. 吸収膜の透過率と像コントラスト (合焦位置)

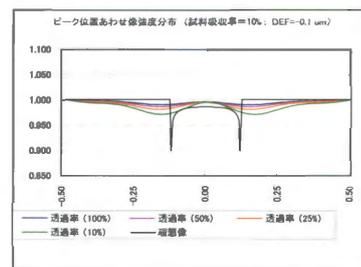
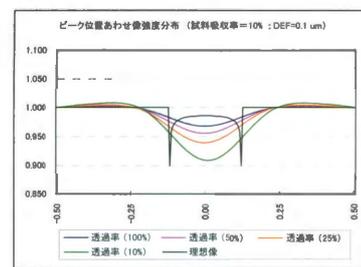


図2. デフォーカスと像コントラスト

### 3. 今後の研究の展望

提案手法では、吸収分布を増幅して観測することが可能となったが位相分布が重畳して観測されてしまう。位相分布を分離して観測する手法の開発が望まれる。

今回、吸収分布と位相分布の間でデフォーカスに対する応答が異なることが確認できた。この特性を利用すれば、吸収分布のみを抽出して観測することが可能と考えられる。奥行き方向の情報が必要となる為、試料の厚みに対する取り扱いに注意する必要がある。実現できれば三次元再構成への展望が見込まれる。

## 寄附研究部門

### 研究目的

バイオイメーjing技術に関する更なる技術改良、或いは新技術開発およびその生物学研究への応用を推進し、本学と顕微観察技術関連企業との連携強化ならびに本学における教育研究の豊富化、活性化や国際的な交流を目的としている。



## ニコンバイオイメージングセンター

教授 永井健治 (東大院、博士(医学)、2005.10～)  
 教授 上田哲男 (北大院、博士(薬学)、2005.10～)  
 特任准教授 堀川一樹  
 (京大院、博士(理学)、2006.12～)  
 特任助教 齊藤健太  
 (北大院、博士(理学)、2005.10～)  
 技術職員 小林健太郎  
 (北大院、博士(理学)、2005.10～)

### 1. 研究目標

近年、蛍光バイオイメージング技術の需要が増大し、その需要に呼応して遺伝子導入技術、蛍光タンパク質をはじめとする分子マーキング技術や機能指示薬作成技術が向上した。また、顕微鏡やカメラなどの機器の性能も飛躍的に向上してきている。しかしながら、これらの最新技術・機器を用いれば最新のデータがすぐさま得られる訳ではない所にバイオイメージング技術の難しさがある。

本研究部門は、最新の生物顕微鏡を利用できる環境を北海道大学のみならず日本全国の研究者に提供するための施設として(株)ニコンインステックの協力により設立され、多数の協賛企業の援助を受けて活動している。研究者と企業の双方と緊密な連絡を取り合うことによってニーズとシーズを結びつけ、利用者の要望を速やかに反映させたバイオイメージングに関する更なる技術改良や新技術開発、およびその生物学研究への応用を推進し、そして本学と顕微観察技術関連企業との連携強化ならびに本学における教育研究の量と質の充実や活性化、国際的な交流を目指している。

以上の目的を達成するため、以下に掲げる項目に沿った活動を行っている。

1. 最先端の顕微鏡とイメージング関連機器を設置し、基礎研究の環境を提供する。
2. 顕微鏡に馴染みのない研究者からハイエンドユーザーまで様々なレベルに合わせて顕微観察法のトレーニングコースを行う。
3. イメージング操作について専属スタッフが指導を行う。
4. 顕微鏡ユーザーのアイデアを反映した新型顕微技術の開発を行う。

### 2. 研究成果

#### (a) 利用実績 (平成17年11月～平成19年3月)

開設以来の延べ利用人数・利用時間は、573人・3854時間にのぼる。研究者の所属の内訳は、北海道大学学内では所内はもちろんのこと、遺制研・低温研・創成科学共同研究機構・医学部・薬学部・歯学部・理学部・情報科学研究科、北大病院などが挙げられる(図1)。学外では、札幌医科大学、酪農学園大学、筑波大学、群馬大学、大阪大学、九州工業大学の研究者の利用があり、一般企業からも問い合わせ

せや利用が数件あった。

開設当初の一ヶ月の総利用人数・時間は20人・100時間程度にとどまっていたものの、研究者間での広がりやポスターなどで学内外へ活動をアピールすることにより、50人・350時間(平成18年11月)以上へ拡大した(図2)。

平成18年12月から、利用による電力消費や消耗品の補充費用として利用料金課金制度を開始した。利用者からの理解も得られ、現在に至るまで特に混乱もなく実施されている。またこの課金制度は、研究者の側も利用の意義を自らが常に検討し、より優れた試料作成方法や観察方法を探索するようになったことにも寄与し得たと考えられる。

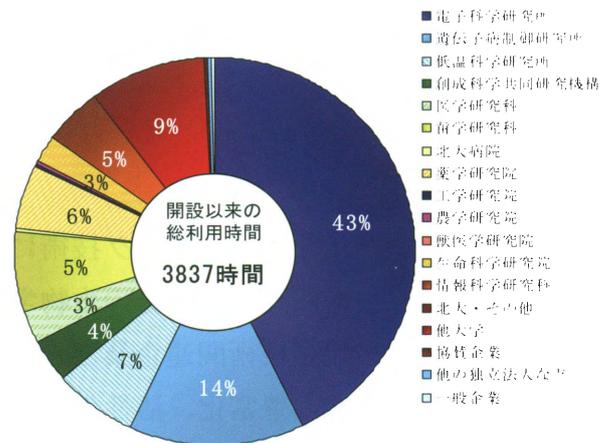


図1. イメージングセンター利用者の所属内訳

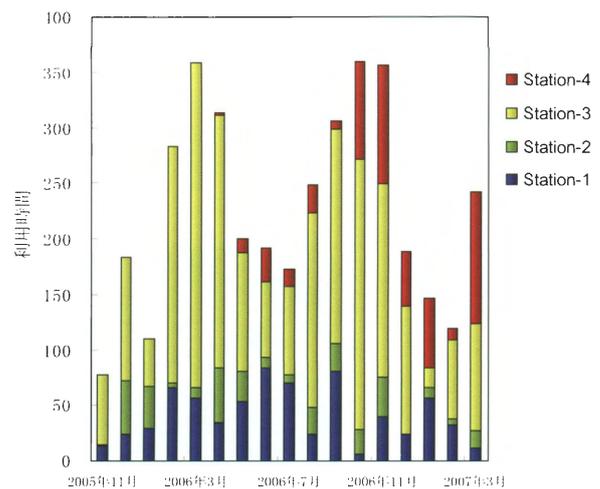


図2. イメージングセンター利用の推移

#### (b) バイオイメージング技術と知識の普及

利用を希望する研究者には機器の利用方法の指導を行っている。また初心者にはイメージングや蛍光色素に関する相談も受けつけている。これらを通じて顕微鏡やその関連技術、細胞生物学に関する知識や技術の普及に努めている。特に2006年1月と2007年1月に北海道大学と大阪大学のCOEが開催した細胞生物学ワークショップでは、一週間にわたって人員、機材、試料提供において協力を行った。

### (c) 顕微鏡技術の開発

マイクロレンズ付きニポウディスク走査方式の共焦点スキャナユニット(CSU10, CSU22、横河電機)は、多点同時走査により高速観察とサンプルへの光毒性軽減を可能とする。当センターではCSUシリーズをより安価に利用するために、CSUの光源として従来用いられてきたレーザーに変え水銀アークランプを用いて画像取得する事を試みた。レーザーと水銀アークランプを光源とした場合で比較したところ空間分解能には差がなかった。照射強度の均一性に関してはレーザーを光源とした場合よりも水銀アークランプを光源とした場合の方が高かった。また、多色蛍光画像を取得する場合において、レーザーであれば基本的には蛍光色素の数だけ光源が必要となるが水銀ランプであれば蛍光波長選択フィルタにより波長を自由に選択できる。このように安価で拡張性の高いシステムが構築できバイオイメーキング分野における今後の利用が期待される。

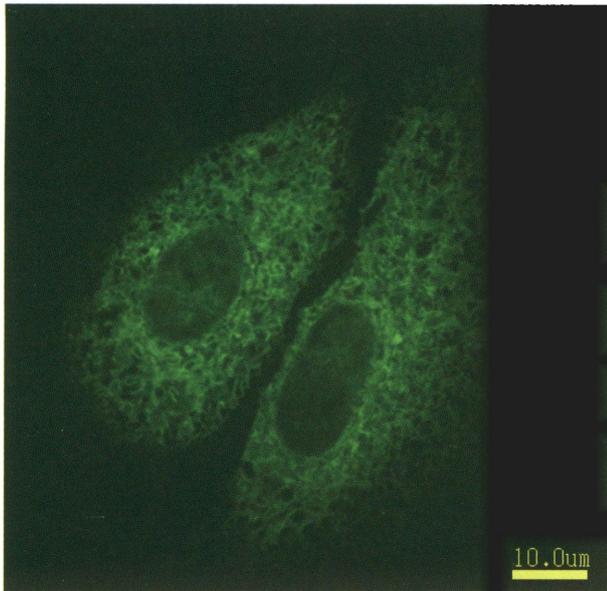


図3. 水銀アークランプを利用したCSU共焦点システムで観察したHeLa細胞小胞体のイメージング。

## 3. 今後の研究の展望

引き続き、蛍光バイオイメーキング機材の提供およびイメージングの指導・トレーニングを行う。また、協賛企業と協力して新型顕微鏡の開発を行う。

## 4. 資料

### 4.1 学術論文等

- 1) T. Kogure, S. Karasawa, T. Araki, K. Saito, M. Kinjo and A. Miyawaki: "A fluorescent variant of a protein from the stony coral *Montipora facilitates dual-color single-laser fluorescence cross-correlation spectroscopy*", *Nat. Biotechnol.*, 24: 577-581(2006)
- 2) C. G. Pack, K. Saito, M. Tamura and M. Kinjo: "Micro-environment and effect of energy depletion in the nucleus

analyzed by mobility of multiple oligomeric EGFPs", *Biophys. J.*, 91: 3921-3936 (2006)

- 3) Y. Ohsugi, K. Saito, M. Tamura and M. Kinjo: "Lateral Mobility of Membrane-Binding Proteins in Living Cells Measured by Total Internal Reflection Fluorescence Correlation Spectroscopy", *Biophys. J.*, 91: 3456-3464 (2006)

### 4.8 シンポジウムの開催(組織者名、シンポジウム名、参加人数、開催場所、開催期間)

#### ・一般のシンポジウム

- 1) 永井健治:「ニコイメーキングセンター開設記念式典」、200名、2005年11月1日、北海道大学 学術交流会館(札幌市)
- 2) 齊藤健太、金城政孝、永井健治:「第6回細胞生物学ワークショップ」、100名、2006年1月15日~2006年1月20日、北海道大学 電子科学研究所(札幌市)
- 3) 永井健治:「ニコイメーキングセンター開設一周年記念合同シンポジウム(共催:四研究所間アライアンス会議)」、80名、2006年10月27日、北海道大学 創成研究棟大会議室(札幌市)
- 4) 齊藤健太、金城政孝、永井健治:「第8回細胞生物学ワークショップ」、100名、2007年1月21日~2007年1月26日、北海道大学 電子科学研究所(札幌市)

### 4.10 予算獲得状況

#### a. 科学研究費補助金(研究代表者、分類名、研究課題、期間)

- 1) 堀川一樹、若手研究スタートアップ、2006~2007年度

#### c. 大型プロジェクト・受託研究

- 1) 堀川一樹、科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業「生命システムの動作原理と基盤技術」領域、2006-2009年度

#### d. 奨学寄附金(研究担当者、機関名、研究課題、研究期間、総経費、研究内容)

- 1) 堀川一樹(住友財団基礎科学研究助成金):「遺伝子ネットワーク内に生じるノイズの生体内計測」、2006年度、1,400千円
- 2) 堀川一樹(上原記念生命科学財団研究奨励金):「遺伝子ネットワークの動的振る舞いを脅かす遺伝子発現のノイズとその緩和機構の研究」、2006年度、2,000千円

### 4.11 受賞

- 1) 堀川一樹:文部科学大臣表彰 科学技術者賞(若手科学者賞)、「多細胞システムが遺伝子発現のノイズを解消する機構の研究」2006年度

### 4.12. 社会教育活動

#### a. 併任・兼業

- 1) 堀川一樹:科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業「生命システムの動作原理と基盤技術」領域 研究員

#### c. 新聞・テレビ等の報道

#### ・新聞

- 1) 上田哲男、永井健治、齊藤健太、小林健太郎：北海道医療新聞、2005年11月25日、「イメージングセンター開設に関して」
- 2) 永井健治：北海道新聞、2006年12月10日、「北大の顕微鏡施設 開設1年」
- 3) 永井健治：東京新聞、2007年2月25日、「バイオイメージング研究最前線」

# ナノテクノロジー研究センター

## 研究目的

ナノテクノロジーは半導体技術、材料技術、バイオテクノロジー、情報技術、環境技術などを支える基盤技術であり、次世代産業創成のキーテクノロジーである。本センターは、分野横断・領域融合的な研究組織により、分子・原子の自己組織化によるボトムアップ戦略を基軸として半導体テクノロジーにおけるトップダウン戦略を融合した新しいナノサイエンス領域を創成するとともにわが国におけるナノテクノロジーネットワークの一翼を担う研究施設である。



## ナノ材料研究分野

教授 下村政嗣 (九州大院、工博、2002.4~2007.3)  
 助教授 岩井俊昭 (北大院、工博、2002.4~2006.3)  
 助教授 田中 賢 (北大院、理博、2006.4~2007.3)  
 助手 石井勝弘 (北大院、工博、2002.4~2005.3)  
 助手 藪 浩 (北大院、理博、2004.7~2007.3)  
 事務補助員 曾我和実 (2004.3~2006.3)  
 理研研究員 澤田石哲郎 (北大院、地球環境博、2004.4~)  
 博士研究員 賈若琨 (ジア ルオクン)  
 (吉林大学院、工博、2005.8~2006.9)  
 研究生 Varshney Kumar Shailendra (ワシュネイ  
 クマール シャレンドラ) (2002.10~2004.3)

院 生

・博士課程

藪 浩、橋本裕一、夏 輝 (シャ フィ)、鶴間章典、  
 樋口剛志

・修士課程

白井瑞之、上野智史、中川拓也、中村真一、遠山恭平、  
 三上直樹、鶴間章典、夏 輝 (シャ フィ)、樋口剛志、  
 田村仁志、小幡法章、大里大輔、門間太志、山本郁恵、  
 山本条太郎、児島美季

学部生 平井悠司、吉澤恵子

### 1. 研究目標

本研究分野の目標は、材料のナノ加工に非平衡・開放形における散逸構造等の自己組織化現象や、光マニピュレーション技術を利用して、電子工学、光科学、およびバイオテクノロジーに利用可能な新規の機能性材料を創製することにある。分子の自己組織化を用いて分子配列や配向を規制し、ナノメートルスケールで構造が高度に制御された分子組織体を作製する。非線形、非平衡ダイナミクスを利用した自己組織化プロセスにより分子組織体の高次元組織化を図り、生物に見られるような階層的な構造化を特徴とする新たな機能性材料を創製する。

### 2. 研究成果

(a) 自己組織化によるポリマーナノ構造の作製

ポリマーを良溶媒に溶解させ、貧溶媒を加えた後、良溶媒を蒸発させることにより、数十 nm~数十 $\mu$ m のポリマーの微粒子が形成されることを見いだしている (自己組織化析出法)。本手法は、①良溶媒と貧溶媒がよく混和すること、②良溶媒の沸点が貧溶媒の沸点よりも低いこと、という条件を満たせば、様々な材料に適用できる手法である。本手法を用いて、ブロックコポリマーやポリマーブレンドからなる微粒子の作製を行ったところ、内部に多様な相分離構造が形成されることが明らかとなった。ポリスチレンとポリイソプレンの1:1ブロックコポリマー (PSt-b-PI) をテトラヒドロフラン (THF) に溶解させ、貧溶媒として水を加えて、THF を蒸発させて微粒子を作製した場合、走査型透過

電子顕微鏡 (STEM) 観察から、内部に一軸配向したラメラ構造が形成されていることが観察された (図 1 (a))。一方ポリイソプレンの割合が約 3 割の PSt-b-PI を用いて同様に微粒子を作製した場合、内部にヘキサゴナルに配列したシリンドラー構造が観察された (図 1 (b))。ポリスチレン (PSt) とポリイソプレン (PI) からなるポリマーブレンド微粒子の内部構造を観察したところ、PSt と PI が粒子内で 2 相に分離した、ヤヌス微粒子が形成されていることが見いだされた (図 1 (c))。さらに PI とポリメチルメタクリレート (PMMA) からなる微粒子の場合、コア-シェル状の内部構造が形成されていた (図 1 (d))。このように微粒子の内部構造がポリマーの相分離によって制御可能であることが示された。

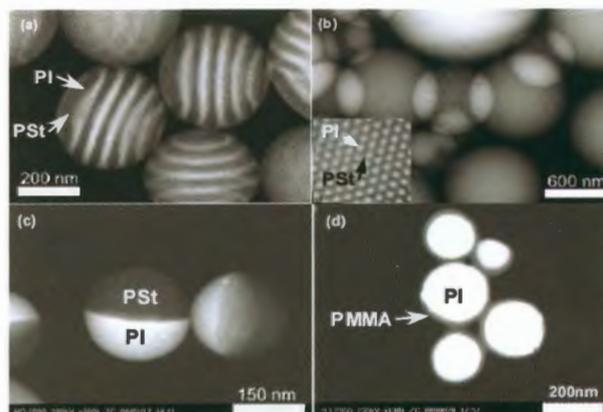


図 1. ラメラ相(a)およびシンダー相(b)を示す PSt-b-PI からなる微粒子、および PSt と PI(c)、PI と PMMA(d)ポリマーブレンド微粒子の STEM 像

STEM 観察の際にポリイソプレンの二重結合部位を染色・架橋する。一方ポリスチレン部位は非架橋である。そこで、形成した微粒子を再び THF 中に再分散し、超音波を加えたところ、ラメラ状およびシリンドラー状のマイクロ相分離が形成されたブロックコポリマー微粒子から、架橋された PI 部位を非架橋の PSt が取り囲んだ、ナノディスク構造 (図 2 (a)) およびナノワイヤー構造 (図 2 (b)) が形成されていることを見いだした。さらに、ヤヌス微粒子を THF 中に再分散させたところ、PSt 部位が溶出し、半球状の PI 微粒子が形成されることを見いだした (図 2 (c))。以上の様に微粒子の内部構造を利用して、新たなナノ構造が形成できることを見いだした。

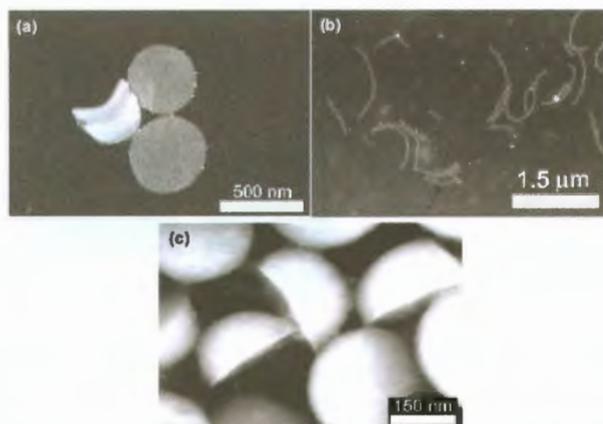


図 2. ナノディスク構造(a)、ナノワイヤー構造(b)および半球状微粒子(c)の STEM 像。

(b) ハニカムフィルムによる細胞機能制御

高分子を溶液から製膜する過程で起こる結露現象を利用して形成される、均一な細孔（数百 nm～数十  $\mu\text{m}$ ）が規則的に配列したハニカムフィルムとその3次元構造体の作製を行った。生体適合性高分子や生分解性高分子など多様な高分子から作製できた。孔径を変化させたハニカムフィルムは、神経系、血管系、皮膚系、消化器系、循環器系、硬組織系などの正常細胞の接着形態、増殖、分化、浸潤性、骨格タンパク質の構造、細胞外マトリックス産生能などに大きな影響を及ぼすことを見出した。

具体的には、ハニカムフィルムは、神経組織再生において重要な課題になっている神経細胞の突起伸展のガイドと神経幹細胞/前駆細胞 (NSC) の増殖と分化に大きな影響を及ぼした。ハニカムフィルム上では、増殖因子や分化誘導因子などのサイトカインを添加しない培養条件下で、胎生14日目のマウス大脳皮質から調製した神経細胞の突起伸長方向、長さ、太さが、孔径によって制御できた (図1)。平膜上では NSC は神経細胞に分化し、神経突起がランダムな神経回路網を形成した。また、孔径1.5、5、8、10  $\mu\text{m}$  のハニカムフィルム上では、神経幹細胞は平膜上と同様に神経細胞に分化するが、その形態や突起伸展は、孔径に依存することがわかった。孔径10  $\mu\text{m}$  のハニカム膜上では NSC は神経細胞に分化し、突起をハニカム膜の幹に沿って伸展し神経回路網を形成した。カルシウム伝播機能が向上することもわかった。一方、孔径3  $\mu\text{m}$  のハニカム膜上においては、直径約30～90  $\mu\text{m}$  の球状の凝集体 (スフェロイド様凝集体) が形成された。抗体染色の結果から、NSC が未分化維持したまま増殖することがわかった。特別なサイトカインを添加しない基本培地での培養で NSC の未分化維持増殖や神経細胞への分化を行えることから、足場の微細構造による幹細胞の増殖・分化制御技術への展開が期待できる。

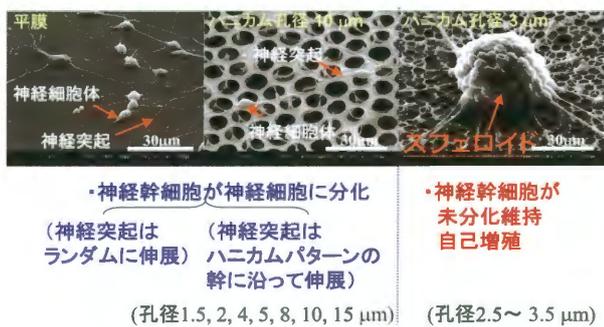


図3. 平膜およびハニカムフィルム上の細胞の接着形態 (培養5日)

(c) オンディマンド型光ツイーザシステムの開発

細胞成長プロセスを解析するためには、神経細胞などを正確にアレイ状に配列する必要がある。しかしながら、複数の細胞を従来の光ツイーザシステムで配列すると、細胞を配列に固定しながら、同時に細胞を運搬することが困難である。そこで、液晶空間光変調器を用いて、配列用ビームスポットアレイと運搬用とラッピングビームを時分割入力することで、同時に発生させることが可能なオンディマンド型の光ツイーザシステムを開発した。

レーザービームを拡大平行化し、反射型空間光変調器に入射する。空間光変調器に入力された計算機位相ホログラムによって位相変調された反射光は、顕微鏡の対物レンズに導波され、その焦点面に所望の光強度場を形成させる。所望の強度場に対する位相ホログラムは、Gerchberg-Saxton アルゴリズムによって計算機ホログラムとして再構成される。細胞の熱的な損傷を最小限にするためには、運搬と配列を実時間で進行させる必要がある。そのため、運搬用ビーム生成用の位相ホログラムにビーム移動の始点から終点まで移送推移ホログラムを加算し合成ホログラムを生成する。これにより、運搬ビームの実時間移動が可能となる。一方、配列用ビーム配列を生成するための位相ホログラムは実験の前に生成しておく。これら運搬ビーム用と配列用のホログラムを交互に空間光変調器に入力することによって、運搬ビームと配列ビームを同時に発生させる (図4)。

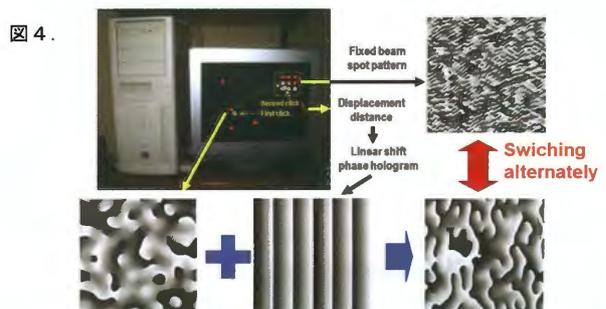
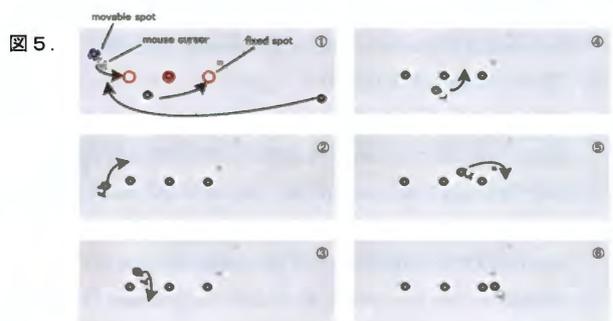


図5に、固定された3つのビームスポット列に運搬用ビームスポットを用いて、微粒子を運搬し並べる。その並べた3つの微粒子の間を運搬用ビームスポットでトラップした4番目の微粒子をスラロームさせることに成功した。



複数の細胞を実時間で熱損傷なく配列させるための光ツイーザ技術を開発した。本手法では、液晶空間光変調器の高速スイッチングを利用して、運搬ビームならびに配列ビームの同時実時間形成を実現した。さらに、顕微鏡対物レンズ視野内において、配列パラメータを自在に制御可能であることを実証した。

### 3. 今後の研究の展望・将来計画

高分子のキャスト過程でおこる動的なパターン形成を利用した自己組織化的なマイクロ加工は、その汎用性と経済性から応用性の高い技術になると期待される。平成16年度経済産業省地域新生コンソーシアム研究開発事業において、作製の再現性と大面積化のための装置開発に着手し、作製

条件の検討により A4サイズの基板にパターンを作製する事が可能となった。また、ナノスケール(100ナノメートル以下)への微細化、細孔配列のモノドメイン化。最近、細孔径サブミクロンのハニカムフィルムの作製に成功し、透明なフィルムを得ている。科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業「医療に向けた自己組織化等の分子配列制御による機能性材料・システムの創製」においては、ナノ構造を有する高分子微粒子ならびに高分子薄膜を作製し、さらにそれらを複合化することで階層構造を特徴とする医療材料を作製しようとしている。また、ハニカム膜の医療応用を国内の医療機関と連携して検討を行っている。

さらには、細胞を配列させる新しい光ツイザーの開発を行い、配列用ビームスポット列と運搬用ビームスポットの同時発生が可能となり、正確な位置に細胞を配列させることが可能になり、細胞の配列の際の熱損傷を最小限に制御できる。

## 4. 資料

### 4.1 学術論文等

- 1) M. Shimomura, R. Mitamura, J. Matsumoto and K. Ijro: "DNA-mimetics:towards novel molecular devices having molecular information", *Synthetic Metals*, 133-134: 473-475 (2003)\*
- 2) K. Ishii and T. Iwai: "Numerical analysis on a path-length-resolved spectrum of dynamically scattered light", *CLEO2003* (2003)\*
- 3) M. Nonomura, R. Kobayashi, Y. Nishiura and M. Shimomura: "Periodic precipitation during the droplet evaporation on a substrate", *2003 The Physical Society of Japan*, 72(10): 2468-2471 (2003)\*
- 4) H. Yabu, M. Tanaka, K. Ijro and M. Shimomura: "Preparation of Honeycomb-Patterned Polyimide Films by Self-Organization", *Langmuir*, 19(15): 6297-6300 (2003)\*
- 5) K. Ijro, Y. Matsuo and M. Shimomura: "Stretching of single DNA molecules by LB technique for restriction site mapping", *Nucleic Acids Research Supplement*, 3: 47-48 (2003)\*
- 6) T. Nishikawa, M. Nonomura, K. Arai, J. Hayashi, T. Sawadaishi, Y. Nishiura, M. Hara, M. Shimomura : "Micropatterns Based on Deformation of a Viscoelastic Honeycomb Mesh", *Langmuir*, 19(15): 6193-6201 (2003)
- 7) T. Sawadaishi, M. Shimomura: "PREPARATION OF MESOSCOPIC PATTERNS OF NANOPARTICLES BY SELF-ORGANIZATION", *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 406: 159[353]-162/[356] (2003) \*
- 8) K. Ijro, Y. Matsuo, M. Shimomura: "DNA-Based Molecular Handling in Self-Organized Monolayers", *Interface2003*, 79-82 (2003)
- 9) S. I. Matsushita and M. Shimomura: "Flexible Two-Dimensional Fine-Particle Arrays and Their Photonic Characters", *Mol.Cryst.Liq.Cryst*, 406: 111-118 (2003)
- 10) T. Ohzono and M. Shimomura: "Ordering of microwrinkle patterns by compressive strain", *PHYSICAL REVIEW B*, 69: 132202 (2004)
- 11) 鶴間章典、田中賢、福島伸之、下村政嗣:「高分子の自己組織化パターンによる神経細胞の形態変化」、*高分子論文集*, 61(12) : 628-633 (2004)
- 12) 松下通明、蒲池浩文、松本秀一郎、森田恒彦、小林智、田村仁志、大久保尚、佐藤雄久、田中賢、下村政嗣、藤堂省:「肝細胞工学における肝組織再構成」、*Low Temp. Med. (低温医学)*, 30(2) : 37-40 (2004)
- 13) H. Mahara, N. J. Suematsu, T. Yamaguchi, K. Ohgane, Y. Nishiura and M. Shimomura: "Three-variable reversible Gray-Scott model", *J.Chem.Phys.*, 121(18): 8968-8972 (2004)
- 14) H. Xia, K. Ishii and T. Iwai: "Particle sizing for turbid suspensions using low-coherence dynamic light scattering", *Proc. OPC2004* (2004)
- 15) S. Nakamura, K. Ishii and T. Iwai: "Numerical analysis on a path-length-resolved spectrum of dynamically scattered light", *Tech. Digest of ICO 2004* (2004)
- 16) H. Xia, K. Ishii and T. Iwai: "Nano-particle measurement using the low-coherence dynamic light scattering", *Tech. Digest of ICO 2004* (2004)
- 17) S. I. Matsushita and M. Shimomura: "Hierarchical honeycomb structures utilized a dissipative process.", *Synth. Met.*, 147(1-3): 237-240(2004)
- 18) M. Tanaka, m. Takebayashi, M. Miyama, J. Nishida and M. Shimomura: "Design of novel biointerfaces (II). Fabrication of self-organized porous polymer film with highly uniform pores", *Bio-Medical Materials and Engineering*, 14: 439-446 (2004)
- 19) L. Wang, K. Ishii and T. Iwai: "Analysis of diffuse back-scattering from dense media", *Proc. OPC2004* (2004)
- 20) T. Ohzono, T. Nishikawa, M. Shimomura: "One-step fabrication of polymer thin films with lithographic bas-relief micro-pattern and self-organized micro-porous structure", *JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE*, 39: 2243-2247 (2004)
- 21) S. I. Matsushita and M. Shimomura: "Influence of Substrate on Self-assembled Photonic Crystal", *Chemical Communication*, 5: 506-507 (2004)
- 22) T. Sawadaishi and M. Shimomura: "Two-dimensional patterns of ultra-fine particles prepared by self-organization", *Colloids Surf., A*, 257-258: 71-74(2005)
- 23) Y. Matsuo, K. Ijro and M. Shimomura: "Stretching of Single DNA Molecules Complexed with Restriction Endonuclease by Langmuir-Blodgett Method", *Colloids Surf., B*, 40(4): 123-126 (2005)
- 24) H. Yabu and M. Shimomura: "Simple Fabrication of Micro Lens Arrays", *Langmuir*, 21(5): 1709-1711 (2005)
- 25) H. Yabu and M. Shimomura: "Preparation of Self-organized Mesoscale Polymer Patterns on Solid Substrate

- Continuous Pattern Formation from Receding Meniscus-", *Adv. Func. Mater.*, 15(4): 575-581 (2005)
- 26) S. I. Matsushita, N. Fukuda and M. Shimomura: "Photochemically functional photonic crystals prepared by using a two-dimensional particle-array template", *Colloids Surf., A*, 257-258: 15-17 (2005)
- 27) H. Yabu, T. Higuchi, K. Ijro and M. Shimomura: "Spontaneous Formation of Polymer Nanoparticles by Good-solvent Evaporation as Non-equilibrium Process", *Chaos*, 15(4): 047505 (2005)
- 28) T. Ohzono and M. Shimomura: "Effect of thermal annealing and compression on the stability of microwrinkle patterns", *PHYSICAL REVIEW E*, 72: 025203 (2005)
- 29) T. Ohzono and M. Shimomura: "Geometry-Dependent Stripe Rearrangement Processes Induced by Strain on Preordered Microwrinkle Patterns", *Langmuir*, 21(16): 7230-7237 (2005)
- 30) T. Ohzono, S. I. Matsushita and M. Shimomura: "Coupling of wrinkle patterns to microsphere-array lithographic patterns", *Soft Matter*, 1(3): 227-230 (2005)
- 31) A. Tsuruma, M. Tanaka, N. Fukushima and M. Shimomura: "Morphological changes in neurons by self-organized patterned films", *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology*, 3: 159-164 (2005)
- 32) T. Ohzono and M. Shimomura: "Simulation of Strain-Induced Microwrinkle Pattern Dynamics with Memory Effect", *Japanese Journal of Applied Physics*, 44(2): 1055-1061 (2005)
- 33) H. Yabu and M. Shimomura: "Single-Step Fabrication of Transparent Superhydrophobic Porous Polymer Films", *Chemistry of Materials*, 17(21): 5231-5234 (2005)
- 34) H. Xia, K. Ishii and T. Iwai: "Hydrodynamic radius sizing of nanoparticles in dense polydisperse media by low-coherence dynamic light scattering", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 44(8): 6261-6264 (2005)
- 35) K. Ishii, R. Yoshida and T. Iwai: "Single-scattering spectroscopy for extremely dense colloidal suspensions by use of a low-coherence interferometer", *Opt. Lett.*, 30(5): 555-557 (2005)
- 36) T. Iwai and M. Shirai: "Laser beam manipulation of particles using dynamic holograms", *Optics & Photonics(SPIE)* (2005)
- 37) T. Iwai and N. Mikami: "Diffusing light topography (DLT) for mapping blood vessels", *Proc SPIE* (2005)
- 38) J. Nemoto, Y. Uraki, T. Kishimoto, Y. Sano, R. Funada, N. Obata, H. Yabu, M. Tanaka and M. Shimomura: "Production of mesoscopically patterned cellulose film", *Biore-source Technology*, 96(17): 1955-1958 (2005)
- 39) H. Yabu, T. Higuchi and M. Shimomura: "Unique Micro Phase Separation Structures on Block-copolymer Nanoparticles", *Adv. Mater.*, 17(17): 2062-2065 (2005)
- 40) H. Yabu, M. Takebayashi, M. Tanaka and M. Shimomura: "Superhydrophobic and Lipophobic Properties of Self-organized Honeycomb and Pincushion Structures", *Langmuir*, 21(8): 3235-3237 (2005)
- 41) H. Yabu and M. Shimomura: "Mesoscale Pincushions, Microrings, and Microdots Prepared by Heating and Peeling of Self-Organized Honeycomb-Patterned Films Deposited on a Solid Substrate", *Langmuir*, 22(11): 4992-4997 (2006)
- 42) 下村政嗣、鶴間章典、田中賢、角南寛、山本貞明:「自己組織化によってパターン化された高分子のバイオメディカル応用」、*表面科学*, 27(3): 170-175 (2006)
- 43) H. Yabu and M. Shimomura: "Surface Properties of Self-Organized Honeycomb-Patterned Films", *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 445: 125-129 (2006)
- 44) Y. Fukuhira, E. Kitazono, T. Hayashi, H. Kaneko, M. Tanaka, M. Shimomura and Y. Sumi: "Biodegradable honeycomb-patterned film composed of poly(lactic acid) and dioleoylphosphatidylethanolamine", *Biomaterials*, 27(9): 1797-1802 (2006)
- 45) 角南寛、伊藤絵美子、高山あい子、田中賢、山本貞明、下村政嗣:「ハニカムフィルムを用いた蛋白質吸着および細胞接着の制御」、*再生医療*, 5(1): 96-101 (2006)
- 46) T. Higuchi, H. Yabu and M. Shimomura: "Simple Preparation of Hemispherical Polystyrene Nanoparticles", *Colloids Surf., A*, 284-285: 250-253 (2006)
- 47) H. Yabu, M. Kojima, M. Tsubouchi, S. Onoue, M. Sugitani and M. Shimomura: "Fabrication of Photo Cross-Linked Honeycomb-patterned Films", *Colloids Surf., A*, 284-285: 254-256 (2006)
- 48) H. Yabu, K. Inoue and M. Shimomura: "Multiple-periodic Structures of Self-organized Honeycomb-patterned Films and Polymer Nanoparticles Hybrids", *Colloids Surf., A*, 284-285: 301-304 (2006)
- 49) S. I. Matsushita and M. Shimomura: "Light-propagation patterns in freestanding two-dimensional colloidal crystals", *Colloids Surf., A*, 284-285: 315-319 (2006)
- 50) K. Tamaki, H. Yabu, T. Isoshima, M. Hara and M. Shimomura: "Fabrication of luminescent polymeric nanoparticles doped with a lanthanide complex by self-organization process", *Colloids Surf., A*, 284-285: 355-358 (2006)
- 51) M. Tanaka, K. Nishikawa, H. Okubo, H. Kamachi, T. Kawai, M. Mastusita, S. Todo and M. Shimomura: "Control of hepatocyte adhesion and function on self-organized honeycomb-patterned polymer film", *Colloids Surf., A*, 284-285: 464-469 (2006)
- 52) A. Tsuruma, M. Tanaka, S. Yamamoto, N. Fukushima, H. Yabu and M. Shimomura: "Topological Control of Neurites Extension on Stripe-patterned Polymer Films", *Colloids Surf., A*, 284-285: 470-474 (2006)
- 53) T. Ohzono and M. Shimomura: "Simple fabrication of ring-like microwrinkle patterns", *Colloids Surf., A*,

- 284-285: 505-508 (2006)
- 54) H. Sunami, E. Ito, M. Tanaka, S. Yamamoto and M. Shimomura: "Effect of honeycomb film on protein adsorption, cell adhesion and proliferation", *Colloids Surf., A*, 284-285: 548-551 (2006)
- 55) T. Ohzono and M. Shimomura: "Defect-mediated stripe reordering in wrinkles upon gradual changes in compression direction", *Physical Review E*, 73(4): 04061 (2006)
- 56) 大園拓哉, 下村政嗣: 「微小な皺パターンの応力応答挙動におけるヒステリシス」、*表面科学*, 27(7): 374-379 (2006)
- 57) 山本貞明, 田中賢, 角南寛, 新井景子, 高山あい子, 山下慈京子, 森田有香, 下村政嗣: 「ハニカム構造フィルム上におけるフィブロネクチンの吸着構造と細胞接着」、*表面科学*, 27(9): 502-510 (2006)
- 58) S. Yamamoto, M. Tanaka, H. Sunami, K. Arai, A. Takayama, S. Yamashita, Y. Morita and M. Shimomura: "Relationship between adsorbed fibronectin and cell adhesion on a honeycomb-patterned film", *Surface Science*, 600: 3785-3791 (2006)
- 59) H. Yabu, T. Higuchi and M. Shimomura: "Preparation of hollow nanoparticles of amphiphilic block-copolymers", *International Journal of Nanoscience*, 5(2-3): 195-198 (2006)
- 60) H. Yabu, Y. Hirai and M. Shimomura: "Electroless Plating of Honeycomb and Pincushion Polymer Films Prepared by Self-Organization", *Langmuir*, 22: 9760-9764 (2006)
- 61) M. Tanaka, A. Takayama, E. Ito, H. Sunami, S. Yamamoto and M. Shimomura: "Effect of Pore Size of Self-Organized Honeycomb-Patterned Polymer Films on Spreading, Focal Adhesion, Proliferation, and Function of Endothelial Cells", *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 7: 763-772 (2007)
- 62) 下村政嗣: 「自己組織化ハニカム多孔質膜と再生医療への応用」、*工業材料*, 55(3):51-55 (2007)
- 63) 下村政嗣, 藪 浩: 「自己組織化による有機-無機ハイブリッド材料の創成と展望」、*高分子*, 56(3):125-128 (2007)
- 64) T. Okajima, M. Tanaka, S. Tsukiyama, T. Kadowaki, S. Yamamoto, M. Shimomura and H. Tokumoto: "Stress relaxation of HepG2 cells measured by atomic force microscopy", *Nanotechnology*, 18(8):084010 (2007)
- 65) T. Higuchi, H. Yabu and M. Shimomura: "Differences of Internal Structures Between Amphiphilic and Hydrophobic Block-Copolymer Nanoparticles", *International Journal of Nanoscience*, 7(3): 856-858 (2007)
- 66) 樋口剛志, 藪 浩, 下村政嗣: 「ブロックコポリマーナノ粒子中における不可逆的相変化」、*高分子論文集*, 64(3): 177-180 (2007)
- 67) S. Morita, M. Tanaka, and Y. Ozaki: "Time-Resolved In Situ ATR-IR Observations of the Process of Sorption of Water into a Poly(2-methoxyethyl acrylate) Film", *Langmuir*, 23(7): 3750-3761 (2007)
- 68) T. Sawadaishi, M. Shimomura: "Control of Structures of Two-dimensional Patterns of Nanoparticles by Dissipative Process", *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 464(1): 227-231 (2007)

#### 4.2 総説、解説、評論等

- 1) 松下通明, 蒲池浩文, 大久保尚, 松本秀一郎, 森田恒彦, 小林智, 佐藤雄久, 田中賢, 下村政嗣, 藤堂省: 「tissue engineering による肝組織再構成」、*Surgery Frontier*, 10(3): 21-24 (2003)
- 2) 下村政嗣: 「高分子材料の自己組織化によるナノ・メゾホール構造の形成と機能化」、*機能材料*, 23(10): 18-26 (2003)
- 3) 田中賢, 竹林允史, 下村政嗣: 「自己組織化によるナノマテリアル」、*M&E*, 30(8): 190-195 (2003)
- 4) 下村政嗣: 「自己組織化によるパターン化フィルムの作成 自然にゆだねたボトムアップ手法を用いて」、*JNNB*, 1(4): 6-7 (2003)
- 5) 下村政嗣: 「自己組織化によるパターン形成とマイクロ加工技術への展開」、*までりあ*, 42(6): 457-460 (2003)
- 6) 下村政嗣: 「自己組織化による高分子材料のメゾ構造形成」、*応用物理*, 72(10): 1276-1279 (2003)
- 7) K. Ijio, J. Matsumoto, J. Nishida, M. Morisue, Y. Matsuo, M. Shimomura: "DNA-based Molecular Handling in Self-Organized Monolayers", *INTERFACE NEWS LETTER 2003* (2003)
- 8) 岩井俊昭: 「光拡散トポグラフィ-生体医用光学研究の現状と将来展望(生体医用光学ブレイクスルー技術)」、*(財) 光産業技術振興協会*, 85-94 (2004)
- 9) 下村政嗣: 「私の生物学と国語は人脈の賜物」、*化学*, 59(4): 33 (2004)
- 10) 下村政嗣, 藪 浩: 「自己組織化とナノ・マイクロファブリケーション技術」、*表面技術*, 55(12): 770-774 (2004)
- 11) 山本貞明, 田中賢, 角南寛, 鶴間章典, 下村政嗣: 「自己組織化によるポリマー微細加工とナノバイオインターフェース」、*M&BE*, 16(2): 69-76 (2005)
- 12) 田中賢, 下村政嗣: 「新規高分子多孔質薄膜を用いた消化器系細胞の機能制御」、*Journal of Gastrointestinal Research*, 13(4): 263-270 (2005)
- 13) 下村政嗣: 「有機材料を支える自己組織化ナノテクノロジー」、*学術月報*, 7月号: 523-527 (2005)
- 14) 藪 浩, 下村政嗣: 「高分子ナノ微粒子の新規作製法の開発とその特徴」、*金属*, 75(5): 49-52 (2005)
- 15) 藪 浩, 下村政嗣: 「新規高分子ナノ微粒子作製法とその特徴」、*金属*, 75(5): 453-456 (2005)
- 16) 藪 浩: 「DNA ナノ構造を用いた分子リソグラフィ」、*化学と工業*, 58(5): 592 (2005)
- 17) 下村政嗣, 藪 浩, 樋口剛志: 「自己組織化によるナノ階層構造材料の創製」、*応用物理*, 75(3): 338-341 (2006)
- 18) 森脇雅也, 桑原孝助, 根本雅文, 宮内昭浩, 鶴間章典, 山本貞明, 田中賢, 藪 浩, 下村政嗣, 野村しのぶ, 大藪淑美, 植村寿公: 「ナノインプリント技術を応用し

- た研究用ナノピラー細胞培養シート」、*BIOINDUSTRY*、23(2) : 5-8 (2006)
- 19) 山本貞明、田中賢、角南寛、鶴間章典、藪 浩、下村政嗣:「自己組織化マイクロパターン高分子膜の開発と高度再生医療への応用」、*化学工業*、57 : 27-35 (2006)
  - 20) 下村政嗣:「微細多孔ハニカム状高分子フィルム/ハニカム・コンソ」、*高分子*、55(1) : 28 (2006)
  - 21) 田中賢、鶴間章典、角南寛、山本貞明、下村政嗣:「ハニカムフィルムを用いた組織再生 高分子の自己組織化による再生医療用材料の創成」、*バイオマテリアル*、24(3) : 152-161 (2006)
  - 22) 鶴間章典、田中賢、福嶋伸之、山本貞明、下村政嗣:「ハニカム構造を有するポリマーフィルム上での神経幹細胞の分化と増殖制御」、*再生医療*、5(3) : 50-56 (2006)
  - 23) 藪 浩、居城邦治、下村政嗣:「核酸ナノ微粒子の作製」、*化学工業*、57(11) : 37-41 (2006)
  - 24) 下村政嗣、藪 浩、樋口剛志:「自己組織化による高分子ナノ粒子の形成とその構造」、*日本結晶成長学会誌*、33(5): 395-399 (2006)
  - 25) 田中賢:「自己組織化によるナノバイオインターフェイスの設計と創製」、*JNVB*、3: 12 (2006)
- #### 4.3 国際会議議事録等に掲載された論文
- 1) H. Yabu and M. Shimomura: “Thermally and Chemically Stable Honeycomb-patterned Films”, *Fusion of Nanotechnology and Organic Semiconductor*, 83 (2004)
  - 2) T. Iwai and M. Shirai: “Laser beam manipulation of particles using dynamic holograms,” *Optics & Photonics 2005*, Proc SPIE, Vol. 5930, 59302D1-7(2005-7)
  - 3) T. Iwai and N. Mikami: “Diffusing light topography (DLT) for mapping blood vessels,” *International Congress on Optics and Optoelectronics*, Proc SPIE, 5959: 59590 E1-8 (2005-8).
  - 4) S. Nakamura, K. Ishii and T. Iwa: “Numerical simulation of scattering point distribution of path-length-resolved scattered light,” *Technical Digest of The Sixth Japan-Finland Joint Symposium on Optics in Engineering (OIE'05)*, 65-66 (2005-9)
  - 5) H. Xia, K. Ishii, and T. Iwai: “Low-coherence dynamic light scattering measurements of constrained particles diffusion in concentrated and interacting colloidal suspensions,” *The Sixth Japan-Finland Joint Symposium on Optics in Engineering (OIE'05)*, 63-64 (2005-9)
- #### 4.4 著書
- 1) 下村政嗣:「ソフトマテリアルの自己組織化 自己組織化による高分子薄膜のパターン化」、21世紀版 薄膜作製応用ハンドブック、(株)エヌ・ティー・エス:550-554 (2003)
  - 2) 田中賢、下村政嗣:「自己組織化パターン表面の創成と機能」、*ナノバイオエンジニアリングマテリアル*、(株)フロンティア出版 : 72-103 (2004)
  - 3) 田中賢、下村政嗣:「ハニカム構造フィルムのバイオメディカル応用」、自己組織化によるナノマテリアルの創成と応用、(株)エヌ・ティー・エス : 275-294 (2004)
  - 4) 下村政嗣:「非平衡ナノ材料」、*ナノ材料科学 ナノテクノロジー基礎シリーズ*、6(2) : 212-226 (2004)
  - 5) 下村政嗣:「二分子膜の固定化とナノ材料」、*超分子科学—ナノ材料創製に向けて—*、Ⅲ部(18章) : 183-191 (2004)
  - 6) 下村政嗣:「自己組織化によるナノマテリアルの創成と応用展望」、自己組織化によるナノマテリアルの創成と応用、(株)エヌ・ティー・エス : 243-274 (2004)
  - 7) 下村政嗣:「自己組織化と分子ナノテクノロジー」、*先端化学シリーズVI界面・コロイド/ナノテクノロジー/分子エレクトロニクス/ナノ分析*、2-1 : 84-93 (2004)
  - 8) H. Yabu, M. Shimomura: “Thermally and Chemically Stable Honeycomb-patterned Films”, *Fusion of Nanotechnology and organic Semiconductor*, edited by Olaf Karthaus, Chihaya Adachi, Hiroyuki Sasabe, 8: 83-88 (2004)
  - 9) 下村政嗣:「ナノマテリアルと自己組織化」、*ナノマテリアルハンドブック*、第1章(第1節) : 3-9 (2005)
  - 10) 岩井俊昭:「6.6 光波の単散乱, 6.7 光波の多重散乱」、*レーザーハンドブック*、II編 光学の基礎 : 79-91(2005)
  - 11) 岩井俊昭:「ランバート・ベールの法則」、*光技術総合辞典* : 418-419 (2005)
  - 12) 岩井俊昭:「散乱」、*光技術総合辞典* : 145-146 (2005)
  - 13) 田中賢、山本貞明、下村政嗣:「ナノマイクロテクノロジー」、*先端医療シリーズ37*、人工臓器・再生医療の最先端、17(3) : 292-295 (2005)
  - 14) 下村政嗣、田中賢:「細胞培養基材 : パターン化高分子フィルム」、*ソフトナノテクノロジー—バイオマテリアル革命—* : 165-174 (2005)
  - 15) M. Shimomura: “Dissipative Structures and Dynamic Processes for Mesoscopic Polymer Patterning”, *Nanocrystals Forming Mesoscopic Structures*, Wiley-VCH: 157-171 (2006)
  - 16) 藪 浩、田中賢、下村政嗣:「ハニカム構造高分子フィルムの形成と細胞接着」、*新材料シリーズ 機能物質の集積膜と応用展開* : 219-226 (2006)
  - 17) 国武豊喜、下村政嗣、山口智彦、居城邦治、亀井信一、高野潤一郎:「座談会 自己組織化ナノマテリアルと生産技術の革新」、自己組織化ナノマテリアル フロンティアテクノシリーズ No.9 -フロンランナー 8 5人が語るナノテクノロジーの新潮流-、379-392 (2007)
  - 18) 藪 浩、下村政嗣:「非平衡プロセスによる高分子ナノ微粒子の作製」、自己組織化ナノマテリアル フロンティアテクノシリーズ No.9 -フロンランナー-85人が語るナノテクノロジーの新潮流- : 54-58 (2007)
  - 19) 田中賢、下村政嗣:「ハニカム構造高分子膜」、自己組織化ナノマテリアル フロンティアテクノシリーズ No.9 -フロンランナー-85人が語るナノテクノロジーの新潮流- : 186-191 (2007)

- 20) 田中賢、鶴間章典、下村政嗣、山本貞明：「自己組織化多孔質薄膜による細胞の増殖・分化・機能制御」、バイオとナノの融合Ⅱ-新生命科学の応用-：201-213 (2007)

#### 4.5 その他

- 1) 岩井俊昭：「巻頭言 光散乱現象の研究 —ほたるの群れの明滅のように—」、光学、「進展する光散乱現象の研究」、34(11)：1(861) (2005)
- 2) 岩井俊昭：「ブラウン粒子からの光散乱と低コヒーレンス動的散乱法」、光学、「アインシュタインから100年」、34(12)：657-659 (2005)

#### 4.6 特許 (発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

- 1) 福平由佳子、兼子博章、鷺見芳彦、下村政嗣、田中賢：特願2003-106186、癒着防止材、その製造方法およびその利用方法、2003年4月10日
- 2) 下村政嗣、藪 浩、小幡法章、大園拓也：特願2003-127150、ハニカム構造体を鋳型としたメゾ構造体の作製、2003年5月2日
- 3) 大園拓哉、西川雄大、下村政嗣：特願2003-128897、凹凸を有するハニカム構造体フィルム、2003年5月7日
- 4) 下村政嗣、藪 浩、山本博嗣、海田由里子：特願2003-187159、撥水撥油性薄膜およびその製造法、2003年6月30日
- 5) 福平由佳子、兼子博章、下村政嗣、田中賢：特願2003-288573、ハニカム構造フィルム、2003年7月11日
- 6) 下村政嗣、松下祥子、福田伸子：特願2003-303979、光電変換素子及びこれを用いた太陽電池、2003年8月28日
- 7) 田中賢、伊土直子、下村政嗣：特願2003-327180、生体適合性と温度応答性を併せ持つ高分子、2003年9月19日
- 8) 田中賢、下村政嗣、藪 浩：特願2003-330722、多孔質膜を鋳型とした微粒子の作製法、2003年9月22日
- 9) 藪 浩、田中賢、下村政嗣：特願2003-330722、微粒子の製造方法、2003年9月22日
- 10) 田中賢、竹林允史、下村政嗣：特願2003-356881、異方性微細突起(ピラー)構造体およびその製造方法、2003年10月16日
- 11) 下村政嗣、田中賢、藪 浩、竹林允史：特願2003-356881、微細突起構造体及びその製造方法、2003年10月16日
- 12) 居城邦治、橋本裕一、下村政嗣：特願2003-358959、DNAの無電解メッキによる金属細線構造の構築、2003年10月20日
- 13) 福平由佳子、伊東雅弥、兼子博章、鷺見芳彦、下村政嗣、田中賢：特願2003-390394、軟骨組織再生用基材および軟骨細胞との複合体とその製造方法、2003年11月20日
- 14) 田中賢、下村政嗣、石井直樹、石山晴生：特願2003-390386、カバードステント、2003年11月26日
- 15) 野上敦嗣、村田朋美、下村政嗣、田中賢、松永直樹：特願2003-398246、浮遊微粒子捕集用フィルタ及びそれを用いた浮遊微粒子捕集方法、浮遊微粒子分析方法、ならびに浮遊微粒子捕集装置、2003年11月27日
- 16) 田中賢、下村政嗣、豊川秀英：特願2003-399197、消化器系ステント、2003年11月28日
- 17) 田中賢、下村政嗣、豊川秀英：特願2003-399195、細胞増殖抑制フィルムおよび医療用具、2003年11月28日
- 18) 高木斗志彦、福田和幸、下村政嗣、居城邦治、藪 浩：特願2004-369759、光記録媒体及び光多重記録方法、2003年12月21日
- 19) 下村政嗣、居城邦治、藪 浩、高木斗志彦：特願2003-424865、ポリマー着色パターン微粒子のパターン化による光記録材料、2003年12月22日
- 20) 田中賢、竹林允史、下村政嗣：特願2004-040550、3次元多孔質構造体とその製造方法、2004年2月17日
- 21) 田中賢、下村政嗣、藪 浩：特願2004-083768、マイクロリングおよびドット構造とその製造方法、2004年3月19日
- 22) 小幡法章、藪 浩、田中賢、下村政嗣：特願2004-081570、高品質ハニカム構造フィルムの製造方法、2004年3月19日
- 23) 下村政嗣、田中賢、藪 浩：特願2004-083728、マイクロリングあるいはマイクロドット構造を有するフィルムの製造法、2004年3月22日
- 24) 松田暉、澤芳樹、竹谷哲、宮川繁、下村政嗣、田中賢、新井景子：特願2004-093545、ハニカムフィルムを用いた機能的人工組織の生産、2004年3月26日
- 25) 別所久美、佐藤秀之、下村政嗣、田中賢、藪 浩：特願2004-097384、異方性導電膜およびその製造方法、2004年3月30日
- 26) 別所久美、佐藤秀之、下村政嗣、田中賢、藪 浩：特願2004-097411、異方性導電膜、2004年3月30日
- 27) 下村政嗣、藪 浩：2004-247852、サブミクロンハニカムフィルムの製造方法、2004年8月27日
- 28) 下村政嗣、藪 浩、樋口剛志：特願2004-260844、高分子微粒子の製造方法、2004年9月8日
- 29) T. Iwai and K. Ishii：(申請国 Germany) German Patent Application 10 2004 051 141.1、Dynamic Light Scattering Measurement Apparatus Using Phase Modulation Interference Method、2004年10月20日
- 30) T. Iwai and K. Ishii：(申請国 USA) US Patent Application 1066-1、Dynamic Light Scattering Measurement Apparatus Using Phase Modulation Interference Method、2004年10月20日
- 31) T. Iwai and K. Ishii：(申請国 UK) UK Patent Application 423282.3、Dynamic Light Scattering Measurement Apparatus Using Phase Modulation Interference Method、2004年10月20日
- 32) 藪 浩、下村政嗣、児島美季、尾上慎弥、壺内幹彦：特願2005-020259、ハニカム構造体の製造方法、2005年1月27日
- 33) 桑原孝介、宮内昭浩、下村政嗣、田中賢、藪 浩、鶴間章典：特願2005-041381、神経細胞の培養方法、神経細胞培養基材、神経細胞、神経細胞システムおよび神経細胞システムの製造方法、2005年2月17日

- 34) 藪 浩、田中賢、下村政嗣、別所久美、佐藤秀之：特願2005-049883、異方導電膜の製造方法、2005年2月25日
- 35) 藪 浩、田中賢、下村政嗣：特願2005-052009、孔の孤立したハニカム構造体の製造方法、2005年2月25日
- 36) 田中賢、鶴間章典、山本貞明、下村政嗣：特願2005-058236、細胞の分化／増殖を制御するための基材、2005年3月2日
- 37) 下村政嗣、田中賢、藪 浩：特願2005-115623、ハニカム状多孔質体の製造方法、2005年4月13日
- 38) 下村政嗣、田中賢、藪 浩、樋口剛志、大里大輔：特願2005-122401、高分子微粒子の製造法、2005年4月20日
- 39) 田中賢、浜田淳一、豊川秀英、山本貞明、下村政嗣：特願2005-133320、腫瘍細胞転移抑制材料および腫瘍細胞増殖抑制材料、並びに医療器具、2005年4月28日
- 40) 田中賢、森田有香、山本貞明、下村政嗣：特願2005-143162、間葉系幹細胞から軟骨細胞を調整する方法、2005年5月16日
- 41) 田中賢、築山周作、山本貞明、下村政嗣、成瀬英明、山崎英数：特願2006-149284、セルチップ、2005年5月30日
- 42) 浦木康光、生方信、藪 浩、田中賢、下村政嗣：特願2005-156882、微生物セルロースからなるハニカム状多孔質体とその製造方法、2005年5月30日
- 43) 田中賢、山本貞明、下村政嗣、豊川秀英：特願2005-162044、細胞増殖抑制フィルムおよび医療用具、2005年6月1日
- 44) 田中賢、山本貞明、下村政嗣、豊川秀英：特願2005-162043、積層フィルムおよび医療用具、2005年6月1日
- 45) マクミラン ロバート ジェイムズ、田中賢、山本貞明、清水宏、下村政嗣：特願2005-188948、皮膚再生用の細胞シートを作製するための構造体およびその利用、2005年6月28日
- 46) 伊藤晃寿、下村政嗣、田中賢、藪 浩：特願2005-222107、フィルムの製造方法、2005年7月29日
- 47) 田中賢、大里大輔、樋口剛志、藪 浩、山本貞明、下村政嗣：特願2005-222471、高分子微粒子の製造法、2005年8月1日
- 48) 下村政嗣、藪 浩、串野光雄、藤田隆晴：特願2005-232972、自己組織化によるハニカム構造膜を用いた表示装置用シート、その製造方法および表示装置、2005年8月11日
- 49) 田中賢、大里大輔、樋口剛志、藪 浩、山本貞明、下村政嗣：特願2005-266439、新規複合体とその製造方法、2005年9月14日
- 50) 米田修敏、小島伸俊、赤崎秀一、岩井俊昭：特願2004-278499、皮膚の光学的性状の計測装置、2005年9月24日
- 51) 田中賢、高山あい子、下村政嗣：特願2005-281268、人工血管、2005年9月28日
- 52) 下村政嗣、藪 浩、田中賢：特願2005-303898、パターン化ハニカム状多孔質体の製造方法、2005年10月19日
- 53) 藪 浩、下村政嗣、居城邦治、松尾保孝、山本貞明、田中賢：特願2005-309601、パターンニングされた物質の製造方法、2005年10月25日
- 54) 桑原孝助、宮内昭浩、下村政嗣、藪 浩、樋口剛志：特願2005-321717、微細構造体および微細構造体の製造方法、2005年11月7日
- 55) 下村政嗣、藪 浩、山崎英数：特願2006-016377、金属製薄膜とその製造方法、2006年1月25日
- 56) 田中賢、吉澤恵子、鶴間章典、山本貞明、下村政嗣：特願2006-018260、硬組織再生治療に用い得るハニカム状多孔質体、2006年1月26日
- 57) 石橋晃、徳本洋志、下村政嗣、川口敦吉、山形整功：特願2006-022144、バイオ機能測定装置、培養／成長装置、バイオ機能素子および機能素子、2006年1月31日
- 58) 福平由佳子、北菌英一、兼子博章、鷺見芳彦、下村政嗣、田中賢：特願2006-022365、ハニカム構造を有する生分解性フィルムの製造方法、2006年1月31日
- 59) 藪 浩、樋口剛志、下村政嗣：特願2006-026944、ブロック共重合体からなるナノディスク、2006年2月3日
- 60) 桑原孝介、宮内昭浩、下村政嗣、田中賢、藪 浩：特願2006-057335、生体組織再生用材料、2006年3月3日
- 61) 藪 浩、下村政嗣、三木康史、山崎英数、特願2006-088613、多孔フィルムの製造方法、2006年3月28日
- 62) 田中賢、下村政嗣、境野佳樹、伊藤敏古、寺島薫：特願2006-109576、血液濾過膜の製造方法および濾過方法、2006年4月22日
- 63) 陳咏梅、田中賢、グン チェンピン、安田和則、山本貞明、下村政嗣、長田義仁：特願2006-141838、人工血管用材料、2006年5月22日
- 64) 田中賢、山本貞明、下村政嗣、榊昭雄：特願2006-141093、浮遊系細胞の培養に好適な材料、2006年5月22日
- 65) 田中賢、鶴間章典、山本貞明、下村政嗣：特願2006-237680、非スフェロイド化幹細胞の調整方法、2006年9月1日
- 66) K. Kuwabara, A. Miyauchi, M. Shimomura, M. Tanaka, H. Yabu, A Tsuruma: Patent Number:GB2423774, Method of culturing neurons, neuron culture substrate, neurons, neuron system, and method for manufacturing neuron system, 2007.3.14
- 67) 下村政嗣、藪 浩、三木康史、山崎英数、伊藤晃寿：特願2007-081832、多孔フィルムの製造方法、2007年3月27日

#### 4.7 招待講演

- 1) M. Tanaka and M. Shimomura: "Blood compatibility of poly(2-methoxyethyl acrylate) - Design of novel bio-interfaces -", Second International Conference on New Biomedical Materials: Basic and Applied Studies (Cardiff, UK), 2003.4.5-8
- 2) M. Shimomura: "Novel Biointerfaces Prepared by Self-Organization", ICBN 2003 TOKYO (Tokyo), 2003.5.19-24
- 3) K. Ijiro, J. Matsumoto, J. Nishida, M. Morisue, Y. Matsuo, M. Shimomura: "DNA-Based Molecular Handling in

- Self-Organized Monolayers”, ICBN 2003 TOKYO (Tokyo), 2003.5.19-24
- 4) M. Shimomura, J. Matsumoto, J. Nishida, M. Morisue and K. Ijro: “Aggregation Behavior and Photoisomerization of Azobenzene DNA-Mimetics Formed at the Air-Water Interface”, ICP21 (Nara), 2003.7.26-31
  - 5) M. Shimomura: “Hierarchic structuring of nanomaterials based on self-organization”, SPIE Annual Meeting 2003 (San Diego, California USA), 2003.8.3-8
  - 6) 下村政嗣:「自己組織化によるナノマテリアルの創成と応用展望」、N T S 自己組織化講演会 先駆者達に聞く! 自己組織化による超分子の創成と応用—工業化促進のために—(東京)、2003.8.20-21
  - 7) 田中賢、下村政嗣:「ハニカム構造フィルムのパイオメディカル応用」、自己組織化講演会(東京)、2003.8.21
  - 8) 下村政嗣:「自己組織化によるナノマテリアルの創成と応用展望」、自己組織化講演会(東京)、2003.8.21
  - 9) 松尾保孝、居城邦治、下村政嗣:「LB 法による DNA のパターン形成」、第64回応用物理学会(福岡)、2003.8.30-9.2
  - 10) 下村政嗣:「自己組織化による表面加工」、2003年電気化学秋季大会(札幌)、2003.9.11-12
  - 11) S. Matsusita, N. Fukuda and M. Shimomura: “PHOTO-CHEMICALLY-FUNCTIONAL PHOTONIC CRYSTALS PREPARED BY USING A TWO-DIMENSIONAL PARTICLE-ARRAY TEMPLATE”, LB10 (Beijing, CHINA), 2003.10.5-10
  - 12) M. Shimomura: “A Nobel Microfabrication Process of Polymer Materials and Nanoparticles Based on Self-Organization”, MHS 2003 (Nagoya), 2003.10.20-22
  - 13) M. Shimomura, N. Ido and M. Tanaka: “Mesoscopic patterning of polymer gel by self-organization and its theoretical application”, 2nd France-Japan workshop (Bordeaux, France), 2003.11.4-8
  - 14) 田中賢、下村政嗣:「自己組織化による高分子のマイクロ・ナノ加工とナノ微粒子の集積」、第65回千葉地域活動高分子研究交流講演会 (千葉)、2003.11.12
  - 15) 下村政嗣:「自己組織化とナノ・マイクロファブリケーション技術」、第19回京都賞記念ワークショップ「先端技術部門」シンポジウム「有機分子の自己組織化とナノ技術の新たな展開」(京都)、2003.11.12
  - 16) M. Shimomura: “Novel Nano-and Micro-Fabrication Processes Based on Self-Organization: Towards Spatio-Temporal Functional Materials”, Japan-US Symposium on Directed Self-Assembly and Self-Organization (Santa Barbara, USA), 2004.1.12-14
  - 17) 下村政嗣:「自己組織化とナノテクノロジー」、宇宙材料フォーラム 大阪講演会 (大阪)、2004.2.5
  - 18) 下村政嗣:「高分子が作り出す様々なナノ構造—自己組織化による新しい高分子のマイクロ・ナノ加工—」、高分子夏季大学「大島をひとのみにして高分子」(大島)、2004.7.12-14
  - 19) M. Shimomura: “Self-organized Polymer Materials for Biomedical Application”, First Annual Meeting on the Fusion of Biotechnology, Nanotechnology and Semiconductor technology (Kyoto), 2004.10.7-8
  - 20) M. Shimomura: “Novel micro and nano fabrication technology based on self-organisation.”, The 5th France-Japan Workshop on Nanomaterials (Bordeaux, France), 2004.10.11-13
  - 21) M. Shimomura: “Nanotechnology Research in Hokkaido University. -Bottom-up Strategy and Self-organization-”, 2004 International Symposium on Nano Science and Technology (Taiwan), 2004.11.20-21
  - 22) 下村政嗣:「再生医療を支える新規高分子材料」、第4回日本再生医療学会総会 (大阪)、2005.3.1-2
  - 23) 下村政嗣:「階層的自己組織化による再生医療用ナノ構造材料」、平成17年(2005年)春季第52回応用物理学関係連合講演会 (埼玉)、2005.3.29-4.1
  - 24) 下村政嗣:「高分子溶液塗布プロセスで形成される規則構造とナノ・マイクロ加工への応用」、SURTECH & Coating Japan 2005 (東京)、2005.4.26-28
  - 25) T. Higuchi, H. Yabu, M. Shimomura: “Nano-particles with phase separation structures based on the self-assembly of block copolymers”, International Symposium on Soft-Nanotechnology 2005 (ISSN2005) (Sapporo), 2005.6.20-21
  - 26) H. Yabu, M. Tanaka, M. Shimomura: “Patterned Polymer Thin Films for Tissue Engineering”, LB11 (Sapporo), 2005.6.26-30
  - 27) 下村政嗣:「自己組織化プロセスで作製した規則構造を有する高分子フィルムのバイオメディカル応用」、科研費特定領域「極微構造反応」第3回シンポジウム (札幌)、2005.7.1-2
  - 28) 山本貞明、田中賢、角南寛、鶴間章典、下村政嗣:「自己組織化によるポリマー微細加工とナノバイオインターフェース」、2005年応用物理学会有機分子・バイオエレクトロニクス分科会研究会 (札幌)、2005.7.15
  - 29) 田中賢、山本貞明、下村政嗣:「自己組織化によるナノバイオインターフェイスの創製」、2005年秋季 第66回応用物理学会学術講演会 (徳島)、2005.9.7-11
  - 30) H. Yabu, M. Tanaka, M. Shimomura: “A Novel Micro and Nano Fabrication Technology of Polymer Materials based on Self-Organization”, MATNON'05 (Kyoto), 2005.9.28-30
  - 31) H. Yabu, T. Higuchi, M. Shimomura: “Unique Phase Separation Structure of Block-copolymer Nanoparticles Prepared by Self-Organization”, International Symposium on Organic, Inorganic, and Hybridized Nanomaterials (Sendai), 2005.10.2
  - 32) M. Shimomura: “Bottom-up Strategy and Self-Organization”, Japan-UK Symposium on Promotion of Regional Partnerships on Nanotechnology, (Sapporo), 2005.10.3-5
  - 33) M. Shimomura, H. Yabu, M. Tanaka: “Biomedical Application of Patterned Polymer Films Prepared by Self-organization”, The International 21st Century COE Sym-

- posium of BINDEC Chemistry Network (BINDEC 2005) (Osaka), 2005.10.11-13
- 34) 下村政嗣:「自己組織化による高分子のマイクロ・ナノ加工とそのバイオ・メディカル応用」、ヒューマンライフサイエンスフォーラム2005 (大阪)、2005.10.20
- 35) 田中賢、角南寛、山本貞明、下村政嗣:「自然現象「結露」を利用して再生医療用材料を創る:ハニカム構造フィルム」、第43回日本人工臓器学会大会 (東京)、2005.11.30-12.2
- 36) 下村政嗣、田中賢、山本貞明、鶴間章典:「自己組織化によってパターン化された高分子薄膜のバイオ・メディカル応用/Biomedical Application of Patterned Polymer Films Prepared by Self-organization」、第16回日本MRS 学術シンポジウム (東京)、2005.12.9-11
- 37) 下村政嗣:「自己組織化による高分子の加工と医療材料への応用」、第7回阪大医療組織工学フォーラム(大阪)、2005.12.14
- 38) 下村政嗣:「有機材料を支える自己組織化ナノテクノロジー」、顕微鏡学会関東支部第30回講演会 (東京)、2006.3.4
- 39) H. Yabu, T. Higuchi, M. Shimomura: “Self-organization of Polymeric Materials in Nanoparticles”, The Sixth France-Japan Workshop on Nanomaterials (Sapporo), 2006.3.6-8
- 40) M. Tanaka, H. Sunami, S. Yamamoto and M. Shimomura: “Novel Nano- and Micro- Fabrication Technique of Polymer Materials Based on Self-Organization”, 2nd UK-Japan Symposium on Promotion of Regional Partnerships on Nanotechnology Development (Newcastle, U. K.), 2006.3.20-23
- 41) M. Tanaka, H. Sunami, S. Yamamoto and M. Shimomura: “Design of microporous polymer film “Self-organizaed Honeycomb Patterned Film” as advanced biomaterials and tissue engineering”, 2nd UK-Japan Symposium on Promotion of Regional Partnerships on Nanotechnology Development (Newcastle, U. K.), 2006.3.20-23
- 42) 藪 浩、樋口剛志、下村政嗣:「自己組織化による高分子微粒子の作製と階層的構造制御」、2006年 (平成18年) 春季第53回応用物理学関係連合講演会(東京)、2006.3.22-26
- 43) 下村政嗣:「規則的に配列したナノ・マイクロ細孔を有する高分子フィルムの単一工程作製と応用」、日本化学会第86春季年会 (2006) アドバンスト・テクノロジー・プログラム (東京)、2006.3.27-28
- 44) H. Yabu, T. Higuchi, M. Shimomura: “Spontaneous Formation of Polymer Nanoparticles in Non-Equilibrium Process”, ELOPTO-2006 (Kyoto), 2006.5.22-25
- 45) 下村政嗣、藪 浩、田中賢:「自己組織化による高分子のマイクロ・ナノ加工-形がもたらす機能-」、第55回高分子学会年次大会 (名古屋)、2006.5.24-26
- 46) 下村政嗣、藪 浩、田中賢:「自己組織化マテリアルの作製とバイオメディカル応用」、平成18年度第37回繊維学会夏季セミナー (札幌)、2006.9.9-11
- 47) 下村政嗣:「自己組織化による高分子のナノ・マイクロ加工」、第50回日本学術会議材料工学連合講演会 (京都)、2006.12.13-15

#### 4.8 シンポジウムの開催

- a. 国際シンポジウム (組織者名、部門名、シンポジウム名、参加人数、開催場所、開催期間)
- 1) M. Shimomura: “MEXT/NSF ジョイントシンポジウム”、30名、UCSB (サンタバーバラ) (2004年1月11日～2004年1月14日)
  - 2) M. Shimomura: “Self-organization-Initiative Nano-Engineering (SINE)”、100名、理化学研究所 大河内記念ホール (埼玉県和光市) (2005年1月17日～2005年1月18日)
  - 3) M. Shimomura: “International Symposium on Soft-Nanotechnology 2005”、100名、北海道大学 (札幌) (2005年6月20日～2005年6月21日)
  - 4) M. Shimomura: “the Eleventh International Conference on Organized Molecular Films (LB11)”、300名、ガトーキングダム (札幌) (2005年6月26日～2005年6月30日)
  - 5) M. Shimomura: “Japan-UK Symposium Regional Partnerships (ナノテクノロジー地域連携に関する日英シンポジウム-北海道と北東イングランド間の共同研究開発及び新産業創出に向けて-)”、100名、北海道大学創成科学共同研究機構棟 (札幌市) (2005年10月3日～2005年10月5日)
  - 6) M. Shimomura: “The 7th RIES-Hokudai International Symposium on “命” [Mei]”、北海道大学 (札幌市) (2005年12月5日～2005年12月7日)
  - 7) M. Shimomura: “第6回日仏ナノマテリアルワークショップ”、50名、ガトーキングダム (札幌市) (2006年3月6日～2006年3月8日)
  - 8) M. Shimomura: “The second UK-Japan Symposium on Promotion of Regional Partnerships”、50名、The University of Newcastle upon Tyne (Newcastle) (2006年3月20日～2006年3月23日)
  - 9) M. Shimomura: “The 3th Japan-UK Symposium on Promotion of Regional Partnerships (第3回ナノテクノロジー地域連携に関する日英シンポジウム-北海道と北東イングランド間の共同研究開発及び新産業創出に向けて-)”、100名、北海道大学創成科学共同研究機構棟 (札幌市) (2007年3月20日～2007年3月22日)
- b. 一般のシンポジウム (組織者名、部門名、シンポジウム名、参加人数、開催場所、開催期間)
- 1) 田村守:「光とバイオ、光と医療」講演会実行委員会、光とバイオ、光と医療、182名、みらいCANホール (日本科学未来館7F) (東京都) (2003年9月25～26日)
  - 2) 下村政嗣:「JST CREST 下村研究チームフォーラムー日本における産官学連携活動を考えるー」(30名、北海道大学電子科学研究所附属ナノテクノロジー研究センター (北海道札幌市) (2003年12月5日)
  - 3) 岩井俊昭、岡和彦:「生命系トポロジー理工学研究プロ

ジェクト」シンポジウム 「生体計測の最前線」、40名、京王プラザホテル（札幌）（2004年10月1日）

- 4) 田村守、岩井俊昭、山田幸生、伊藤雅秀、河野澄夫、津村徳道、藤田克昌：「講演会 光と食・農」、150名、みらい CAN ホール（日本科学未来館7F）（東京都）（2005年2月22日～2005年2月23日）
- 5) 下村政嗣：「第54回高分子学会討論会 特定テーマセッションオーガナイザー ナノ・マイクロテクノロジーを支える高分子」、山形大学（山形県山形市）（2005年9月20日～2005年9月22日）
- 6) 田村守、岩井俊昭、山田幸生、伊藤雅秀、津村徳道、藤田克昌、Amir H Gandjibakhche：「講演会 21世紀のバイオメディカルフォトリクス 分子イメージング」、200名、みらい CAN ホール（日本科学未来館7F）（東京都）（2006年3月8日～2006年3月9日）

#### 4.9 共同研究

b. 所内共同研究（研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容）

- 1) 岡嶋孝治、田中賢、石井勝弘（電子科学研究所）：「高感度液中 AFM による細胞の構造・機能同時解析法の開発」、2003年度～現在、プロジェクト研究C（分野ないし部門横断型実質的共同研究）。原子間力顕微鏡の高い時間空間分解能を用いて、細胞表面の構造と機能とを計測するための新規技術の開発を目的とする。

c. 民間等との共同研究（研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容）

- 1) 下村政嗣（㈱クラレ）：「散逸多孔膜を用いた光学部材（拡散板）に関する研究」、2005年度～現在
- 2) 下村政嗣（㈱日立製作所）：「ナノピラー技術の基盤研究」、2005年度～現在
- 3) 下村政嗣（トヨタ自動車㈱）：「3D制御ナノ構造薄膜の摩擦特性研究」、2005年度～現在
- 4) 下村政嗣（三井化学㈱）：「薄膜の自発的構造形成制御技術に関する技術開発」、2005年度～現在

d. 受託研究（研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、研究内容）

- 1) 下村政嗣（東海ゴム工業㈱）：「散逸構造のエレクトロニクス部材への応用研究」、2003年度、630千円
- 2) 下村政嗣（古河電気工業㈱）：「散逸構造を利用したメゾスコピックパターンの研究」、2003年度、1,000千円
- 3) 下村政嗣（トヨタ自動車㈱）：「自己組織化によるナノコーティング加工研究」、2003年度、1,800千円
- 4) 下村政嗣（テルモ㈱）：「微小水滴を鋳型とする多孔質薄膜のステントへの応用に関する共同研究」、2003年度、1,000千円
- 5) 下村政嗣（東海ゴム工業㈱）：「散逸構造のエレクトロニクス異方導電部材への応用研究」、2004～2005年度、2,450千円
- 6) 下村政嗣（㈱日立製作所）：「ナノ構造体のバイオ応用」、2004年度、10,000千円
- 7) 下村政嗣（三井化学㈱）：「炭素ナノ粒子の集合配列お

よびバイオメディカル分野への応用に関する研究」、2004年度、1,790千円

- 8) 下村政嗣（㈱クラレ）：「散逸多孔膜を用いた異方性拡散板およびフィルムに関する研究」、2005年度、3,000千円
- 9) 下村政嗣（㈱日立製作所）：「ナノピラー技術の基盤研究」、2005年度、10,000千円
- 10) 下村政嗣（トヨタ自動車㈱）：「3D制御ナノ構造薄膜の摩擦特性研究」、2005～2006年度、10,000千円
- 11) 下村政嗣（三井化学㈱）：「薄膜の自発的構造形成制御技術に関する技術開発」、2005～2006年度、7,336千円
- 12) 下村政嗣（三菱化学㈱）：「炭素ナノ粒子の集合配列およびバイオメディカル分野への応用に関する研究」、2006年度、2,000千円
- 13) 下村政嗣（東海ゴム工業㈱）：「散逸構造の異方導電部材への応用研究と実用化」、2006年度、1,400千円
- 14) 下村政嗣（富士写真フイルム㈱）：「細胞培養デバイス用微細孔径ハニカム膜の用途開発」、2006年度、2,000千円

e. 奨学寄附金（研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、研究内容）

- 1) 下村政嗣（電子科学研究所）：電子科学研究のため、2003年度、6,600千円、電子科学研究のため
- 2) 岩井俊昭（大塚電子㈱）：濃厚媒質の粒質計測法、2003年度、1,000千円、濃厚媒質の粒子径ならびに粒子径分布を計測するシステムの提案と開発
- 3) 岩井俊昭（花王㈱）：ヒト肌色の光学定数の計測、1,200千円、肌色のデータベース化を目指して、肌の光学定数を光学的に計測するシステムの構築を目指す。
- 4) 岩井俊昭（神栄㈱）：花粉センサの開発、2002～2003年度、スギ花粉からの散乱光の偏光特性を利用して、スギ花粉の識別を簡便に行うシステムの開発を目指す。
- 5) 下村政嗣（電子科学研究所）：電子科学研究のため、2004年度、2,945千円、電子科学研究のため

#### 4.10 予算獲得状況

a. 科学研究費補助金（研究代表者、分類名、研究課題、期間）

- 1) 石井勝弘、若手研究 B、低コヒーレンス干渉計を用いたスペクトル測定システムの構築と散乱計測への応用、2002～2004年度
- 2) 下村政嗣、基盤研究 A (2)、非平衡現象に基づく自己組織化を利用した高分子面状デバイスの開発、2002～2004年度
- 3) 藪 浩、特別研究員奨励費、散逸構造を用いた機能性高分子のメゾスコピックパターン形成に関する研究、2002～2004年度
- 4) 下村政嗣、萌芽研究、自己組織化ハニカム構造体を用いた電界放出素子の開発、2004～2005年度
- 5) 藪 浩、若手研究 A、ブロック共重合体を用いたウィルス状ナノ微粒子の作製と制御、2005～2007年度

- 6) 田中賢、若手研究 A、自己組織化ナノパターン構造薄膜による3次元配列制御された生体組織形成、2005～2007年度
- 7) 下村政嗣、基盤研究 A、自己組織化ハニカム構造によるフォトニック結晶導波路のラピッドプロトタイピング、2006～2008年度
- f. その他（研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、研究内容）
  - 1) 下村政嗣（JST 研究成果活用プラザ北海道）：「自己組織化法を用いた細胞増殖制御機能を有する医療デバイスの開発」、2004～2006年度、51,000千円
  - 2) 下村政嗣（地域新生コンソーシアム研究開発事業）：「細胞培養デバイス用微細孔径ハニカム膜の単一工程製造技術の開発」、2004～2005年度、124,550千円
  - 3) 下村政嗣（科学技術振興機構 CREST）：「高分子の階層的自己組織化による再生医療用ナノ構造材料の創製」、2002～2006年度、132,187千円
  - 4) 岡嶋孝治、田中賢、新倉謙一、石井勝弘（産業技術研究助成事業）：「単一細胞表層の全方向ナノダイナミクス計測技術の開発」、2006～2009年度、未定
  - 5) 下村政嗣（農水省 食品総合研究所）：「生物機能の革新的利用のためのナノテクノロジー・材料技術の開発」、2002～2005年度、17,927千円
  - 6) 下村政嗣（北海道立工業試験場）：「自己組織化による微細多孔質高分子膜の評価技術に関する研究」2005～2006年度、1,800千円

#### 4.11 受賞

- 1) 藪 浩、田中賢、下村政嗣：2004春季第51回応用物理学会 第16回応用物理学会「講演奨励賞」「自己組織化によるマイクロリング構造の作製」（応用物理学会）2004年3月
- 2) 田中賢、高山あい子、下村政嗣：第3回日本再生医療学会総会、「優秀演題」「自己組織化による血管系組織再生用スキャフォールドの作製」（日本再生医療学会）2004年3月
- 3) 藪 浩：第16回応用物理学会講演奨励賞「自己組織化によるマイクロリング構造の作製」（応用物理学会）2004年9月
- 4) H. Yabu and M. Shimomura: poster award for young researchers 「Novel Fabrication of Subwavelength Polymer Structures」(KJF Organizing Committee) 2004年11月
- 5) 藪 浩：松本・羽鳥奨学賞（北海道大学電子科学研究所）2005年3月
- 6) 樋口剛志、藪 浩、下村政嗣：第59回コロイドおよび界面化学討論会 ポスター賞「ホモポリマー添加によるブロックコポリマー微粒子中の相分離構造の制御」（(社)日本化学会 コロイドおよび界面化学部会）2006年9月
- 7) 築山周作、松下通明、田中賢、田村仁志、藤堂省、山本貞明、下村政嗣：第44回日本人工臓器学会大会 オリジナル賞「ハニカムパターン化フィルムによる成熟

- 肝細胞・小肝細胞の接着形態および生存性の評価」（日本人工臓器学会）2006年11月
- 8) M. Kojima, H. Yabu and M. Shimomura : AsiaNANO2006 Outstanding research award 「Preparation of Photo-Crosslinked Honeycomb and Microdot Structures by Using Water Droplets as Templates」(AsiaNANO2006) 2006年11月
  - 9) 樋口剛志、藪 浩、下村政嗣：平成18年度高分子学会東北支部研究発表会 若手優秀発表賞「ブロック共重合体微粒子の作製」（高分子学会）2006年11月
  - 10) 下村政嗣：nano tech 2007 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議 nano tech 大賞 バイオテクノロジー部門「細胞培養デバイス用ハニカム膜の単一工程製造技術の開発」（nano tech 2007 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議）2007年2月

#### 4.12 社会教育活動

##### b. 国内外の学会の主要役職

- 1) 岩井俊昭：日本光学会光学奨励賞選考委員会委員（2001年4月1日～2004年3月31日）
- 2) 岩井俊昭：日本光学会学術論文誌 Optcal Review (Vol. 10, No.5, ～平成15年12月31日 6)”Special Feature Section “Biomedical Optics and Photomedicine” Guest Editor（2003年1月1日～2003年12月31日）
- 3) 岩井俊昭：International Comission for Optics (ICO, 国際光学学会) Topical Meeting in Japan における Biomedical Optics Session 責任者ならびにプログラム委員（2003年1月1日～2004年8月31日）
- 4) 岩井俊昭：日本光学会常任幹事（2002～2003年度）
- 5) 岩井俊昭：日本光学会「光学」編集委員長（2002年4月1日～2004年3月31日）
- 6) 岩井俊昭：応用物理学会北海道支部会計幹事（2002～2003年度）
- 7) 岩井俊昭：日本光学会光学奨励賞選考委員会委員長（2003年度）
- 8) 岩井俊昭：応用物理学会学術講演会企画運営委員会委員（2005年4月1日～2007年3月31日）
- 9) 岩井俊昭：応用物理学会学術講演会「生体・医用光学」プログラム編成会議世話人代表（2005年4月1日～2007年3月31日）
- 10) 岩井俊昭：The Sixth Japan-Finland Joint Symposium on Optics in Engineering 現地実行委員（2005年4月1日～2006年3月31日）
- 11) 岩井俊昭：5th International Conference on Optics-Photonics Design & Fabrication プログラム委員 (Bio-Medical Optics Session 責任者) (2005年4月1日～2007年3月31日)
- 12) 下村政嗣：日本表面科学会 2005年度評議員（2005年4月1日～2006年3月31日）
- 13) 下村政嗣：日本バイオマテリアル学会 評議員（2005年4月1日～現在）
- 14) 下村政嗣：高分子学会 北海道支部長、理事（2004年5

- 月31日～2006年5月31日)
- 15) 岩井俊昭：日本光学会 (OSJ) 「Optical Review」 Associate Editor (2004年4月1日～2006年3月31日)
  - 16) 岩井俊昭：日本光学会幹事 (2004年4月1日～2005年3月31日)
  - 17) 岩井俊昭：日本光学会将来構想委員会委員長 (2004年4月1日～2005年3月31日)
  - 18) 岩井俊昭：日本光学会産学連携検討委員会「医療・福祉」ワーキング委員会委員 (2004年4月1日～2005年3月31日)
  - 19) 岩井俊昭：応用物理学会学術講演会「生体・医用光学」プログラム編成会議世話人 (2004年4月1日～2005年3月31日)
- c. 併任・兼業**
- 1) 下村政嗣：特定非営利活動法人ホトニクスワールドコンソーシアム 理事 (2003年6月3日～2005年6月3日)
  - 2) 岩井俊昭：(財)光産業技術振興協会生体医用光学ブレークスルー委員会委員ならびに光技術動向調査委員会委員
  - 3) 下村政嗣：青森県ナノテクステアリング会議 委員 (2005年4月1日～現在)
  - 4) 下村政嗣：JST 科学技術連携施策群ナノバイオテクノロジータスクフォース委員 (2005年4月1日～2006年3月31日)
  - 5) 下村政嗣：NEDO「ナノ粒子」及び「ナノカーボン」に係る「ナノ材料知識基盤」プラットフォーム構築に関する調査委員会委員長 (2005年4月1日～現在)
  - 6) 下村政嗣：ナノテクノロジー技術開発促進調査委員会委員長 (2004年4月1日～2006年3月31日)
- e. 新聞・テレビ等の報道**
- ・新聞
- 1) 下村政嗣：北海道新聞 2003年9月8日「極小世界と生命の謎自然に学ぶナノテクノロジー環境にやさしい技術開発」
  - 2) 下村政嗣：北海道新聞 2003年11月14日「北キャンパス発 研究者たち」
  - 3) 下村政嗣：日本経済新聞(夕刊) 2004年2月25日「産学連携 大学走る下東京で狙うチャンス週1回ペースで情報収集」
  - 4) 下村政嗣：日経産業新聞 2004年12月22日「高分子とナノ粒子北大・JST 水と有機溶媒で簡単・安価に製造」
  - 5) 下村政嗣、山本貞明、武笠幸一、土方健二：北海道シンブン 2005年4月7日「「北大リサーチ&ビジネス」2年医療、感染症、食の3分野最先端研究 事業化へ道」
  - 6) 下村政嗣：日刊工業新聞 2005年7月19日「機能性フィルム事業 来年4月に会社設立 北大の産学官コンソーシアム」
  - 7) M. Shimomura: 朝日新聞 2005年10月4日「ナノテク研究で連携北大電子研と英の大学」
  - 8) M. Shimomura: 北海道新聞 2005年10月4日「ナノテクで新産業創出北大と英ニューカッスル大が協定」
  - 9) M. Shimomura: 毎日新聞 2005年10月4日「「ナノ」共同研究で協定北大と英・ニューカッスル大」
  - 10) 下村政嗣：日刊工業新聞 2006年2月27日「神経細胞の増殖・分化制御孔径3マイクロメートル境に変化北大が培養基板フィルム開発」
  - 11) 下村政嗣：科学新聞 2006年3月17日「神経細胞 増殖・分化制御」
  - 12) 下村政嗣：日刊工業新聞 2006年12月19日「独創研究集団 理研の最前線8 新規ナノマテリアル開発へ良溶媒蒸発させ形成 DDS などへの応用期待」
  - 13) 下村政嗣、山本貞明、田中賢：日経産業新聞 2006年12月21日「神経幹細胞の成長制御微細空洞の樹脂シート活用北大 再生医療の質向上」
  - 14) 下村政嗣：北海道新聞 2007年3月8日「多孔フィルム大型化に成功北大開発 手術時に患部保護」
  - 15) 下村政嗣：日経産業新聞 2007年3月13日「知の開拓者 東北大教授に3回目の転職異分野融合 手腕に期待」
- ・雑誌
- 1) 下村政嗣：LOOP 2003年7月1日「自然現象を利用したナノテクの旗手」
  - 2) 下村政嗣、田中賢：日経先端技術 2004年6月14日「北大の下村教授G ハニカム材料で細胞分離に成功。2次加工技術も新たに確立、電池隔膜や記録材料にも応用可能」
  - 3) 下村政嗣：週刊ナノテク 2004年9月27日「ナノテクキーパーソンインタビュー真の自己組織化の実現には“人為性”と“自発性”の両立が不可欠だ」
  - 4) 下村政嗣：Bionics 2005年9月号 2005年9月1日「連載ルポ先端人 第7回下村政嗣自己組織化を活用して作り出したナノマテリアルで細胞培養を制御する」
  - 5) M. Shimomura, T. Shimozawa, K. Sasaki, N. Wright, E. Wright and S. Goon: 週間ナノテク 2005年10月31日「北海道大学と英ニューカッスル大学、部局間協定を締結」
  - 6) 下村政嗣：日経ナノビジネス 2005年11月14日「自己組織化をキーワードに創造的研究を推進」
  - 7) 下村政嗣：日経バイオテクビジネスレビュー 2006年7月17日「低コストでなな構造を作成 細胞の培養状態を制御」
- ・その他
- 1) 下村政嗣：日経ナノテクノロジーPlus 2004年9月6日「ナノテクによる産業活性化を促進する調査事業、初めて北海道で始まる」
  - 2) 茅幸二、藤田誠、川合知二、芝清隆、伊藤耕三、永山国昭、下村政嗣、林崎良英、岡野光夫：日経ナノテクノロジーPDFplus 2005年2月14日「スペシャルフィーチャー 解説・技術トレンド自己組織化 最新の研究成果をみる (2005.2.IJST 茅領域公開シンポ)」
  - 3) 下村政嗣：日経ナノテクノロジーPDFplus 2005年2月15日「北大の下村教授、自己組織化を利用する極めてシンプルなナノ・マイクロ構造の創製法を解説」
  - 4) 下村政嗣：本の監修「ソフトナノテクノロジー バイオマテリアル革命」(2005年5月1日～2005年5月31日)
- f. 外国人研究者の招聘 (氏名、国名、期間)**
- 1) Yang Bai, China、2004年2月1日～2004年2月14日

- 2) Stephen John Bull, UK, 2005年10月1日～2005年10月7日
  - 3) Mark Andrew Birch, UK, 2005年10月1日～2005年10月7日
  - 4) Nicholas Wright, UK, 2005年10月1日～2005年10月7日
  - 5) Barry Gallaher, UK, 2005年10月1日～2005年10月7日
  - 6) Andrew Houlton, UK, 2005年10月1日～2005年10月7日
  - 7) John Hedley, UK, 2005年10月1日～2005年10月7日
  - 8) Andrew Pike, UK, 2005年10月1日～2005年10月7日
  - 9) Neil Keegan, UK, 2005年10月1日～2005年10月7日
- g. 北大での担当授業科目** (対象、講義名、担当者、期間)
- 1) 全研究科共通、ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論Ⅱ、下村政嗣、2003年10月1日～2004年3月31日
  - 2) 理学部、超分子化学、下村政嗣、2003年10月1日～2004年3月31日
  - 3) 理学研究科、超分子化学特論Ⅰ、下村政嗣、2003年10月1日～2004年3月31日
  - 4) 全研究科共通、ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論Ⅰ、下村政嗣、2003年4月1日～2003年9月30日
  - 5) 理学研究科、論文講読Ⅰ、下村政嗣、2003～2005年度
  - 6) 理学研究科、論文講読Ⅳ、下村政嗣、2003年度
  - 7) 理学研究科、論文講読Ⅴ、下村政嗣、2003～2004年度
  - 8) 理学研究科、特別研究Ⅰ、下村政嗣、2003～2005年度
  - 9) 理学研究科、特別研究Ⅳ、下村政嗣、2003年度
  - 10) 理学研究科、特別研究Ⅴ、下村政嗣、2003～2004年度
  - 11) 理学研究科、超分子化学概論、下村政嗣、2003年4月1日～2003年9月30日
  - 12) 全学部共通、環境と人間(先端の化学)、下村政嗣、2003年4月1日～2003年9月30日
  - 13) 工学研究科、光物理学特論、2003年4月1日～2003年9月30日
  - 14) 工学研究科、電子情報エレクトロニクス特別演習、岩井俊昭、2003年度
  - 15) 工学研究科、電子情報エレクトロニクス特別研究第一、岩井俊昭、2003年度
  - 16) 工学研究科、電子情報エレクトロニクス特別研究第二、岩井俊昭、2003年度
  - 17) 工学研究科、バイオオプティクス特論、岩井俊昭、2004年10月1日～2005年3月31日
  - 18) 理学部、超分子化学、下村政嗣、2004年10月1日～2005年3月31日
  - 19) 全学部共通、環境と人間(先端の化学)、下村政嗣、2004年4月1日～2004年9月30日
  - 20) 理学研究科、特別研究Ⅱ、下村政嗣、2004～2005年度
  - 21) 理学研究科、論文講読Ⅱ、下村政嗣、2004～2005年度
  - 22) 理学部、文献講読、下村政嗣、2004年度
  - 23) 理学部、研究実験、下村政嗣、2004年度
  - 24) 理学研究科、超分子化学特論Ⅰ、下村政嗣、2005年10月1日～2006年3月31日
  - 25) 理学部、超分子化学、下村政嗣、2005年10月1日～2006年3月31日
  - 26) 理学研究科、超分子化学概論、下村政嗣、2005年4月1日～2005年9月30日
  - 27) 全学科共通、「複合科目」 先端の化学、下村政嗣、2005

年4月1日～2005年9月30日

- 28) 理学研究科、論文講読Ⅲ、下村政嗣、2005年度
- 29) 理学研究科、特別研究Ⅲ、下村政嗣、2005年度
- 30) 理学研究科、「総合講義」ナノテクノロジーと超分子化学、下村政嗣、2005年4月1日～2005年9月30日
- 31) 全学科共通、複合科目(環境と人間)、下村政嗣、2006年4月1日～2006年9月30日

**i. ポスドク・客員研究員など**

・ポスドク(2名)

- 1) 賈若琨(ジア ルオクン)、(電子科学研究所)
- 2) 澤田石哲郎(理化学研究所)

・その他(1名)

- 1) Varshney Kumar Shailendra(ワシユネイ クマール シ ャレンドラ)(文部科学省)

**j. 修士学位及び博士学位の取得状況**

・修士課程(16名)

白井瑞之、上野智史、中川拓也、中村真一、遠山恭平、三上直樹、鶴間章典、夏 輝(シヤ フィ)、樋口剛志、田村仁志、小幡法章、大里大輔、門間太志、山本郁恵、山本条太郎、児島美季

・博士後期課程(5名)

藪 浩、橋本裕一、夏 輝(シヤ フィ)、鶴間章典、樋口剛志

・修士論文

- 1) 三上直樹：拡散光血管造影法の高性能化の検討(2004)
- 2) 上野智史：拡散反射法による強散乱媒質の光学的特性評価(2004)
- 3) 中川拓也：光花粉センサの基礎的検討(2004)
- 4) 中村真一：動的多重散乱光の光路長分割解析(2004)
- 5) 白井瑞之：動的ホログラムによるレーザ微粒子配列(2004)
- 6) 樋口剛志：自己組織化を用いた機能性材料からの微粒子作製(2004)
- 7) 田村仁志：自己組織化ハニカムフィルムによる小肝細胞の形態・機能制御(2005年)
- 8) 門間太志：光ピンセットを用いた神経細胞の配列制御(2005年)
- 9) 大里大輔：自己組織化析出法による薬剤担持ナノ微粒子の作製および物性評価(2005)
- 10) 小幡法章：自己組織化による高分子・ナノ粒子のパターン形成(2005)
- 11) 児島美季：自己組織化による機能性材料を目指したハニカム構造(2006)

・博士論文

- 1) 橋本裕一：Nano Fabrication of Functional Thin Film Based on DNA-amphiphile Polyion Complex Monolayer(2004)
- 2) 藪 浩：Fabrication of Mesoscale Polymer Structures by Self-Organization(2004)
- 3) 夏 輝：Low-Coherence Dynamic Light Scattering from Dense Media(2005)
- 4) 鶴間章典：Regulation of neural cell morphologies and differentiation by patterned polymer films(2005)

## ナノデバイス研究分野

教授 辻井 薫 (阪大院、理博、2003.3~)  
助教 眞山博幸 (北大院、博(工)、2003.5~)  
助教 松尾 剛 (慶大院、博(工)、2003.7~2007.9)  
学術研究員 巖 虎 (東大院、工博、2003.4~2006.2)  
COE 研究員 方 文軍  
(中国浙江大学教授、2005.10~2006.9)  
院 生 (平成15-18年度)

- ・博士課程  
陳 新江
- ・修士課程  
小澤 純 (薬学研究科)、黒木一誠、石原敬基、  
小野祐輔、南 貴之 (理学研究科)

### 1. 研究目標

ボトムアップ・ナノテクノロジーの手法を用い、エレクトロニクス、フォトニクス、バイオニクス等のデバイス開発を行う。その際、自己組織化、メソスコピック、フラクタル、超分子等の概念を、開発の指導原理として活用する。次の二つの研究テーマを柱とする。

#### 1) フラクタル・ナノテクノロジーの開拓

数学の概念であるフラクタルを、機能性材料開発の指導原理として利用する。ナノサイズのフラクタル構造を現実の物質に実現し、それを特徴的な物性の発現に結びつける。更に、発現した特徴的な物性を応用する開発研究まで展開する。フラクタル表面は、純数学的には無限大の表面積を有する。現実の物理世界において、無限大の表面積はあり得ないが、フラクタル表面は大変大きな実表面積を持つことを意味する。この大きな実表面積が、例えば濡れの現象に応用された時、超撥水/超撥油表面を実現する。この様に、ナノサイズのフラクタル構造を現実の物質に実現し、様々な機能性デバイスを開拓する。

#### 2) ナノ分子組織体を固定化したヒドロゲル

ヒドロゲルは、薬剤送達システム、アクチュエーター等としての応用が期待され、大変活発に研究されている。一方、界面活性剤や脂質分子が形成するナノ分子組織体(二分子膜、ベシクル、リポソーム、ミセル、液晶等)も、多くの研究と実用化の実績がある。これら二つのソフトマテリアルを組み合わせ、ハイブリッド材料にすることによって、特徴的な機能性材料を開拓する。例えば、二分子膜がサブミクロンの距離を隔てて規則的に配列し、それが可視光を回折することによって発色する現象が知られているが、その発色構造をゲル中に固定化することが出来る。また、この系に流動のシエアをかけて、二分子膜を配向させてから重合することにより、異方性のヒドロゲルが得られる。各種のナノ分子組織体をゲル中に固定化し、特徴的な機能を有するデバイスを構築する。

## 2. 研究成果

### 1) フラクタル・ナノテクノロジーの開拓

#### (a) フラクタル構造による超撥水/超撥油表面の開発と応用

フラクタル表面は、大きな凹凸の中に小さな凹凸があり、小さな凹凸の中に更に小さな凹凸があるといった、入れ子(自己相似)構造を有している。従って、その実表面積は見掛けの表面積に比べて著しく大きくなる。一方、固体表面の濡れは、実表面積の増大によって強調される。濡れる(接触角が90°より小さな)表面はより濡れる様になり、はじく(90°より大きな)表面はよりはじく様になる。濡れのこの性質により、フラクタル表面は完全に濡れる超親水表面や、完全にはじく超撥水表面になる。更に、フッ素系の化合物を表面に配列させることにより、油をもはじく超撥油表面を得ることが出来る。

図1に、アルキルケテンダイマーというある種のワックスの、フラクタル表面上の水滴の写真を示す。接触角は174°である。この表面の電子顕微鏡写真を図2に示す。大きなアジサイの花様の凹凸の中に、鱗片状の結晶がぎっしりつまっており、フラクタル的な入れ子構造であることが分かる。この表面が、0.2-34 $\mu\text{m}$ の範囲でフラクタル(自己相似)構造であること、そのフラクタル次元が2.29であること等が、解析の結果分かった。

アルキルケテンダイマーは、接触角が174°の超撥水表面を形成するが、残念ながらその性能に耐久性がなく、実用化への障害になっている。図3は、電解酸化重合法で合成されたポリアルキルピロール表面の電子顕微鏡像と、その上に置かれた水滴の写真である。この表面もフラクタルであり、接触角154°の超撥水性を示す。更に、少なくとも耐熱性と耐溶剤性に関しては、大変優れた耐久性を示すことが判明した。

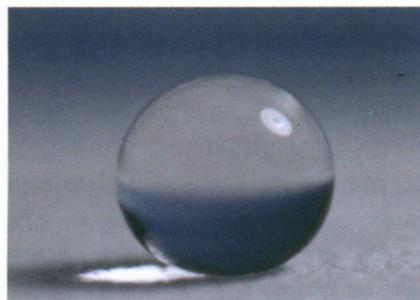


図1. 超撥水フラクタル表面上の水滴。材料はアルキルケテンダイマーで、接触角は174°

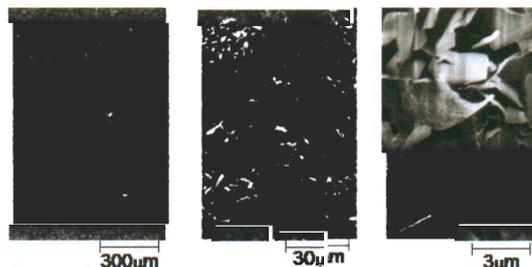


図2. フラクタル表面の電子顕微鏡像。凹凸の入れ子構造が見取れる



図3. 耐久性を有するポリアルキルピロールの超撥水表面の電子顕微鏡写真と、その上に置かれた水滴。スケールバーは、電子顕微鏡写真の場合は15  $\mu\text{m}$ 、水滴の写真では500  $\mu\text{m}$  である

(b) ワックス表面における自己組織的フラクタル構造形成のメカニズム

先のアルキルケテンダイマー・ワックスは、自己組織的(自発的)にフラクタル表面を形成する。この自発的フラクタル表面形成のメカニズムを解明することは、フラクタル構造を自在に作製して利用したり、フラクタル次元の制御等に有効であると考えられる。そこで、各種のワックスの融液を固化することによって表面を作製し、その撥水性、表面構造、相挙動を研究した。その結果、ワックスが融液から固化する際に、一度準安定な結晶相になり、その後熱力学的に最も安定な結晶相に転移する過程が、フラクタル表面形成に必須であることが判明した。その様な準安定相を有するワックスがフラクタル表面を形成し、直接安定相に固化するワックスは平滑な表面となり、超撥水性も示さないことが、少なくとも研究に用いた15種のワックスに関しては、例外なく確かめられた。

(c) フラクタル立体の創製

フラクタル表面の実現と応用だけではなく、フラクタル立体の創製にも取り組んできた。フラクタル立体は、純数学的には体積が0で、表面積が無限度の物体である。実世界でフラクタル立体を実現すれば、大変体積が小さく表面積の大きな物体が出来るはずである。当研究室では、上記の自己組織的にフラクタル構造を形成するアルキルケテンダイマー・ワックスを利用し、表面にフラクタル構造を有する微粒子を鋳型として用いることによって、その合成に成功した。具体的には、アルキルケテンダイマーの微粒子を噴霧法で作製し、その表面がフラクタル構造になってから寄せ集め、その集積微粒子間をテトラメチルオルトシリケート溶液で満たし、ゾル/ゲル法で固化してから、鋳型の微粒子を焼成することによって除去した。得られたシリカのフラクタル立体を、図4に示す。この立体のフラクタル次元、空隙率等の測定結果は、Menger sponge と呼ばれる数学モデルとよく一致することが分かった。また、内部に50 nm から30  $\mu\text{m}$  まで連続的に大きさの異なる孔が存在することも確認された。この新規な材料の特徴的な性質の開拓を、現在研究中である。

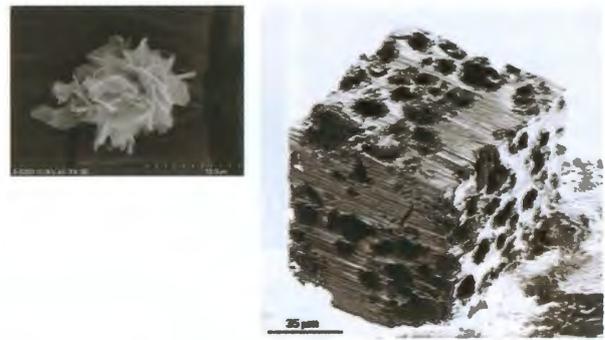


図4. シリカのフラクタル立体(右)と、その合成に鋳型として利用された、アルキルケテンダイマーのフラクタル微粒子の電子顕微鏡写真(左)。

2) ナノ分子組織体を固定化したヒドロゲル

(a) 二分子膜固定化ゲルの合成と応用

ある種の重合性界面活性剤の二分子膜が、サブミクロンの距離を隔てて規則的に配列し、その回折現象によって発色するという面白い現象がある。この発色性ラメラ液晶中の界面活性剤分子は、紫外線によって光重合が可能であり、さらにアクリルアミドや *N*-イソプロピルアクリルアミドと共重合して、発色構造を保持したままヒドロゲル中に固定化できる。このゲルは、図5に示す様に、膨潤/収縮によって色を変える等の面白い性質を示す。

二分子膜固定化ゲルは、他にも引っ張り強度が大きくなる、世界一速く収縮する NIPA ゲルを作成できる、シェア下で配向させた後に重合することによって異方性ゲルを作製できる等の、幾つもの興味深い性質を示す。二分子膜が何枚も筒状に重なったミエリン構造は、その大きな表面積のために不安定で、球形のベシクルに変化してしまう。重合性界面活性剤を利用することにより、このミエリン構造をゲル中に重合固定化して安定化することにも成功した(図6)。

(b) 高分子界面活性剤ミセルを封入したヒドロゲル

二分子膜以外にも、高分子界面活性剤ミセルを固定化したヒドロゲルも開発し、次の様な興味深い現象を発見した; i) NIPA ゲルの相転移速度が著しく速くなる、ii) 相

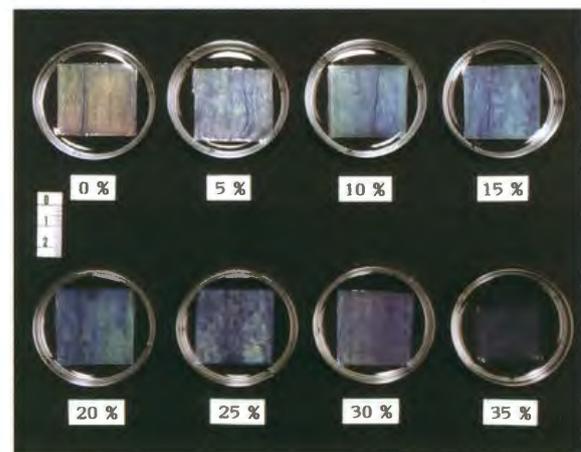


図5. 二分子膜の規則構造を固定化した発色性ヒドロゲル。ゲルの膨潤/収縮によって色が変わる

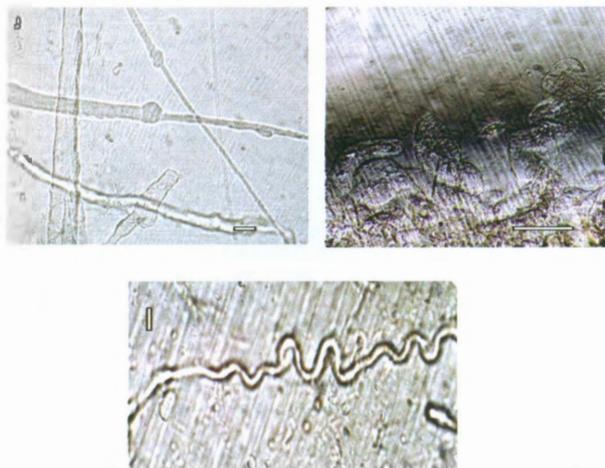


図6. ゲル中に固定化されることによって安定化されたミエリン構造。この構造は、少なくとも半年以上全く変化しない。スケールバーは、50  $\mu\text{m}$

転移速度の上昇によって、ゲルにレーザー光を照射すると水が噴出する、iii) 電気泳動の手法を利用して高分子界面活性剤をゲル中で偏析させると、bimorph 構造のゲルが出来る等である。

### 3. 今後の研究の展望

フラクタル・ナノテクノロジーの研究では、先ず超撥水/超撥油表面の実用化を目指す。そのために必要なことは、超撥水/超撥油性能の耐久性向上である。既にかなり改良は進んでいるが、機械的耐久性の改善、撥油性能の向上が、更なる課題である。耐久性の超撥水/超撥油表面を実現し、汚れない表面を作ることが最終ターゲットである。フラクタル立体については、現在合成に成功した段階で、今後は特異な物性/機能を見出すことが重要である。現在その研究が進行中である。

二分子膜固定化ヒドロゲルについては、異方性ゲルの創製を行う。上記の重合性界面活性剤を含むモノマーの液晶混合物を重合セル中に吸い込み、流動のずりをかけた直後に UV 照射して重合することにより、異方性ゲルを調製することが出来る。それは、流動のずりによって二分子膜が巨視的に配向し、その配向構造がゲル中に固定化されるためである。この様にして得られた異方性ゲルは、エタノール/水混合溶媒中に浸すと、異方的に膨潤/収縮する。しかし、現在得られているゲルの異方性は完全なものではない。この異方性をより完全なものにすることと、異方性ゲルの応用を見出すことが今後の課題である。更に、二分子膜固定化ゲルの応用として、ゲル電気泳動基材としての検討を行った。水溶性蛋白質は泳動するが、膜蛋白質はゲルに入った途端に動かなくなることが判明した。この結果は、水溶性蛋白質と膜蛋白質の分離に使えることを示唆している。ゲル電気泳動法の開発を更に検討するとともに、新たな応用も見出したい。

## 4. 資料

### 4.1 学術論文等

- 1) H. Yan, K. Tomizawa, H. Ohno and N. Toshima: "All-solid Actuator Consisting of Polyaniline Film and Solid Polymer Electrolyte", *Macromol. Mater. Eng.*, 288(7): 578-584 (2003).
- 2) K. Kawamura, H. Hinou, G. Matsuo and T. Nakata: "Efficient strategy for convergent synthesis of trans-fused polycyclic ethers based on an intramolecular SmI<sub>2</sub>-promoted cyclization of iodo ester", *Tetrahedron Lett.*, 44: 5259-5261 (2003).
- 3) H. Yan, M. Inokuchi, S. Ariyoshi, M. Kinoshita and N. Toshima: "Microtubes Produced during Electrolysis of Pyrrole", *Synth. Met.*, 135-136: 269-270 (2003)
- 4) Y. Nonomura, K. Fukuda, S. Komura and K. Tsujii: "Self-Assembly of Surface-Active Powder at the Interface of Selective Liquids. 2: Behavior of an Organic-Crystalline Powder", *Langmuir*, 19(24): 10152-10156 (2003).
- 5) H. Yan, H. Fujiwara, K. Sasaki and K. Tsujii: "Rapid Swelling/Collapsing Behaviors of Thermo-Responsive Poly(N-isopropylacrylamide)Gel Containing Poly(2-(methacryloyloxy)decylphosphate) Surfactant", *Angew. Chem. Int. Ed.*, 44: 1951-1954 (2005).
- 6) H. Yan, M. Inokuchi, M. Kinoshita and N. Toshima: "Spontaneously Formed Polypyrrole Microtubes: Incandescence and Graphitization", *Synth. Met.*, 148: 93-98 (2005).
- 7) Y. Nonomura, S. Komura and K. Tsujii: "Adsorption of Disk-Shaped Janus Beads at Liquid-Liquid Interfaces", *Langmuir*, 20(26): 11821-11823 (2004)
- 8) Y. Nonomura, S. Komura and K. Tsujii: "Adsorption of Rod-Shaped Surface-Active Particles at Liquid-Liquid Interfaces", *J. Oleo Sci.*, 53(12): 607-610 (2004)
- 9) R. G. Alargova and K. Tsujii: "Behavior of colloids in supercritical water: an attempt to study diffusion coefficients using dynamic light scattering", *Progress in Colloid and Polymer Science*, 126: 134-138 (2004)
- 10) G. Matsuo, K. Kawamura, N. Hori, H. Matsukura and T. Nakata: "Total Synthesis of Brevetoxin-B", *J. Am. Chem. Soc.*, 126(44): 14374-14376 (2004)
- 11) T. Sakai, Y. Kaneko and K. Tsujii: "Premicellar Aggregation of Fatty Acid N-Methylethanolamides in Aqueous Solutions", *Langmuir*, 22(5): 2039-2044 (2006)
- 12) H. Yan, K. Kurogi, H. Mayama and K. Tsujii: "Environmentally Stable Super Water-Repellent Poly(alkylpyrrole) Films", *Angew. Chem. Int. Ed.*, 44: 3453-3456 (2005)
- 13) N. Toshima, K. Eguchi, M. Inokuchi, M. Ueda, N. Ohno and H. Yan: "Self-Forming Microtubes of Polypyrrole: Reaction Conditions and Physical Properties", *Synth. Met.*, 152: 145-148 (2005)
- 14) S. Mitsuzawa, S. Deguchi, K. Takai, K. Tsujii and K.

- Horikoshi: "Flow-type apparatus for studying thermotolerance of hyperthermophiles under conditions simulating hydrothermal vent circulation", *Deep-Sea Research I*, 52: 1085-1092 (2005)
- 15) H. Yan, M. Nishino, Y. Tsuboi, N. Kitamura and K. Tsujii: "Template-Guided Synthesis and Individual Characterization of Poly(N-isopropylacrylamide)-Based Microgels", *Langmuir*, 21(16): 7076-7079 (2005)
- 16) H. Yan and K. Tsujii: "Novel Bimorph-Structured Hydrogel Containing Segregated Polymer Surfactant", *Polymer Journal*, 37(11): 858-861 (2005)
- 17) H. Ikagawa, M. Yoneda, M. Iwaki, Z. Isogai, K. Tsujii, R. Yamazaki, T. Kamiya and M. Zako: "Chemical Toxicity of Indocyanine Green Damages Retinal Pigment Epithelium", *Investigative Ophthalmology & Visual Sci.*, 46(7): 2531-2539 (2005)
- 18) H. Yan and K. Tsujii: "Potential Application of Poly(N-isopropylacrylamide) Gel Containing Polymeric Micelles to Drug Delivery Systems", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 46: 142-146 (2005)
- 19) Y. Nonomura, S. Komura and K. Tsujii: "Surface-Active Particles with Microstructured Surfaces", *Langmuir*, 21(21): 9409-9411 (2005)
- 20) H. Yan, K. Kurogi and K. Tsujii: "High Oil-Repellent Poly(alkylpyrrole) Films Coated with Fluorinated Alkylsilane by a Facile Way", *Colloids Surfaces A*, 292: 27-31 (2007)
- 21) X. Chen, H. Mayama, G. Matsuo, T. Torimoto, B. Ohtani and K. Tsujii: "Effect of Ionic Surfactant on the Iridescent Color in Lamellar Liquid Crystalline Phase of a Nonionic Surfactant", *J. Colloid Interface Sci.*, 305: 308-314 (2007)
- 22) W. Fang, H. Mayama and K. Tsujii: "Spontaneous Formation of Fractal Structures on Triglyceride Surfaces with Reference to Their Super Water-Repellent Properties", *J. Phys. Chem. B*, 111: 564-571 (2007)
- 23) H. Yan, H. Shiga, E. Ito and K. Tsujii: "Cell Cultures on a Super Water-Repellent Alkylketene Dimer Surface", *Int. J. Nanosci.*, 5(6): 871-876 (2006)
- 24) H. Yan, H. Shiga, E. Ito, T. Nakagaki, S. Takagi, T. Ueda and K. Tsujii: "Super Water-Repellent Surfaces with Fractal Structures and Their Potential Application to Biological Studies", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 284-285: 490-494 (2006)
- 25) S. Mukai, S. Deguchi and K. Tsujii: "A High-Temperature and -Pressure Microscope Cell to Observe Colloidal Behaviors in Subcritical and Supercritical Water: Brownian Motion of Colloids near the Wall", *Colloids Surfaces A*, 282-283: 483-488 (2006)
- 26) Y. Nonomura, S. Komura and K. Tsujii: "Adsorption of Microstructured Particles at Liquid-Liquid Interfaces", *J. Phys. Chem. B*, 110: 13124-13129 (2006)
- 27) S. Deguchi, K. Tsujii and K. Horikoshi: "Cooking cellulose in hot and compressed water", *Chem. Commun.*: 3293-3295 (2006)
- 28) S. Deguchi, S. K. Ghosh, R. G. Alargova and K. Tsujii: "Viscosity Measurements of Water at High Temperatures and Pressures Using Dynamic Light Scattering", *J. Phys. Chem. B*, 110: 18358-18362 (2006)
- 29) J. Ozawa, G. Matsuo, N. Kamo and K. Tsujii: "Separated Organized-Polymerization of an Amphiphilic Monomer and Acrylamide in One-Pot Reaction", *Macromolecules*, 39(23): 7998-8002 (2006)
- 30) H. Mayama and K. Tsujii: "Menger sponge-like fractal body created with a novel template method", *The Journal of Chemical Physics*, 125: 124706-1-124706-9 (2006)
- 31) S. K. Ghosh, R. G. Alargova, S. Deguchi and K. Tsujii: "Dispersion Stability of Colloids in Sub- and Supercritical Water", *J. Phys. Chem. B*, 110(51): 25901-25907 (2006)
- 32) X. Chen and K. Tsujii: "A Novel Hydrogel Showing Super-Rapid Shrinking but Slow Swelling Behavior", *Macromolecules*, 39(25): 8550-8552 (2006)
- 国際会議議事録等に掲載された論文**
- 33) 眞山博幸、辻井薫: 「Menger sponge-like fractal body created with a designed template method」、the Proceedings of "Topological Aspects of Critical Systems and Networks": 195-201 (2006).

#### 4.2 総説、解説、評論等

- 1) 辻井薫: 「札幌での一年」、*News Letter* (日本化学会・コロイドおよび界面化学部会誌)、29(1): 1 (2004)
- 2) 辻井薫: 「洗浄と界面活性剤の話」、*花王 ハイジーンソリューション*、6: 14-15 (2004)
- 3) 辻井薫: 「産・官・学を経験中」、*近畿化学工業界*、55(11): 21-22 (2003)
- 4) 辻井薫: 「二分子膜の規則構造を固定化したヒドロゲル」、*膜*、28(3): 128-134 (2003)
- 5) H. Yan and K. Tsujii: "Hybrid Materials of Polymer Gels with Surfactants", *Journal of Capital University of Medical Sciences (China)*, 26(1): 21-32 (2005)
- 6) 出口茂、向井貞篤、辻井薫: 「臨界点および超臨界流体中で化学はどう変わるか?」、*化学*、60: 70-71 (2005)
- 7) 辻井薫: 「温かい人の厳密な科学」、*前田悠教授・退官記念誌*、68-70 (2004)
- 8) 辻井薫: 「フラクタル構造を利用した耐久性超撥水プラスチック膜」、*日本機械学会誌*、109(1047): 120 (2006)
- 9) 巖 虎、辻井薫: 「超撥水材料研究の最近の進展」、*機能材料*、25(11): 43-55 (2005)
- 10) 巖 虎、辻井薫: 「高分子ヒドロゲルと界面活性剤の相互作用」、*表面*、43(6): 9-23 (2005)
- 11) 辻井薫: 「フラクタル構造による超撥水/超撥油表面」、*M&E*、32(13): 216-218 (2005)
- 12) 辻井薫: 「フラクタル構造を利用した耐久性超撥水膜の開発」、*コンバーテック*、2005年(12): 47-49 (2005)

- 13) K. Tsujii: "Origin of Originality and Soft Matter", *Soft Matter*, 1(6): 405 (2005)
- 14) 辻井薫:「フラクタル構造による濡れの制御」、*伝熱*, 46(194): 40-45 (2007)
- 15) 辻井薫:「フラクタル構造による超撥水表面」、*未来材料*, 7(2): 7-9 (2007)
- 16) 辻井薫:「微細フラクタル構造による超撥水性の発現」、*砥粒加工学会誌*, 50(4): 185-188 (2006)
- 17) 辻井薫、高橋浩:「産学連携 in 北海道」、*化学と工業*, 59(4): 482-483 (2006)
- 18) 辻井薫:「美しくなる高分子考」、*高分子*, 55(10): 797 (2006)
- 19) 辻井薫:「リオトロピック液晶を固定化したヒドロゲル」、*日本液晶学会誌*, 10(3): 251-259 (2006)
- 20) 辻井薫:「「コロイドおよび界面化学討論会」に思う」、*News Letter (日本化学会・コロイドおよび界面化学部会誌)*, 31(3): 1 (2006)
- 21) 向井貞篤、出口茂、辻井薫:「超臨界流体中におけるコロイド科学」、*日本マイクログラフィティ応用学会誌 (JASMA)*, 23(3): 145-149 (2006)
- 4.3 著書
- 1) 辻井薫:「はじめに—コロイド・界面化学はナノテクを先導する—」、*先端化学シリーズ VI*、日本化学会編、丸善、1-5 (2004)
- 2) 辻井薫:「表面張力とぬれ」、改定5版 *化学便覧・基礎編 II*、日本化学会編、辻井も編集委員のメンバー、丸善、90-99 (2004)
- 3) 辻井薫:「(超) はっ水／(超) 親水表面」、21世紀版 *薄膜作製応用ハンドブック*、(株)エヌ・ティー・エス、224-230 (2003)
- 4) 辻井薫:「フラクタル表面—超撥水／撥油材料への展開—」、*機能性超分子*、緒方直哉、寺野稔、由井伸彦監修、シーエムシー出版、126-136 (2003)
- 5) 辻井薫:「ミセル・エマルジョン (液体ナノ粒子)」、*ナノマテリアルハンドブック*、(株)エヌ・ティー・エス、633-637 (2005)
- 6) 辻井薫:「第1章第4節 泡膜内の流体力学的性質 第5節 破泡と消泡」、*泡のエンジニアリング*、辻井は編集委員のメンバー、(株)テクノシステム、63,-68,(2005)
- 7) 辻井薫:「第3編 第9章第1節 コロイド材料概論；第3節3-1 サスペンション材料の設計・作製および評価；第4節4-1 分子集合体材料の設計・作製および評価」、*新訂版・表面科学の基礎と応用*、日本表面科学会編、(株)エヌ・ティー・エス、1488; 1500;-1489; 1501; (2004)
- 8) 大野尚典、巖 虎、戸嶋直樹:「熱電変換機能」、*導電性高分子の最新応用技術*、監修:小林征男、シーエムシー社 (2004)
- 9) 辻井薫:「接触角、表面張力、フラクタル表面」、*高分子辞典 (第3版)*、朝倉書店 (2005)
- 10) 辻井薫:「第1編・第4章・第1節 リポソームの基本的物性—両親媒性化合物水溶液の観点から—；第3編・第8章・第6節 二分子膜固定化ゲルとその性質」、*リポソーム応用の新展開—人工細胞の開発に向けて—*、辻井は監修者の一人、(株)エヌ・ティー・エス: 124、425-129、431 (2005)
- 11) 辻井薫:「フラクタル表面—超撥水／撥油材料への応用—」、*自己組織化ポリマー表面の設計*、シーエムシー出版: 193-203 (2005)
- 12) 辻井薫:「第3篇 第2章 泡と起泡」、*翻訳 応用界面・コロイド化学ハンドブック*: 567-586 (2006)
- 13) 辻井薫:「13章2節 「表面張力 (表面エネルギー)」」、*表面物性工学ハンドブック 第2版*、(株)丸善: 540-546 (2007)
- 14) 辻井薫:「表面フラクタル材料」、*自己組織化ナノマテリアル*、(株)フロンティア出版: 297-301 (2007)
- 15) 辻井薫、巖 虎:「超撥水フラクタル表面上における細胞の挙動」、*バイオとナノの融合 I 新生命科学の基礎*、北海道大学出版会: 45-54 (2007)
- 16) 辻井薫:「超撥水／撥油性の付与」、*高分子の表面改質・解析の新展開*、(株)シーエムシー出版: 203-213 (2007)
- 17) 辻井薫:「第5章 今後の課題と展望—自己組織化ナノテクノロジーへの期待—」、*撥水・親水・防汚剤の開発とコーティングおよびぬれ性の制御*、(株)情報機構: 359-371 (2006)
- 18) 辻井薫:「砂本順三先生のご逝去を悼む」、*News Letter (日本化学会・コロイドおよび界面化学部会誌)*、31(1): 4-6 (2006)
- 4.4 特許
- ・国内特許 (発明者、特許番号、特許名、出願年月日)
- 1) 巖 虎、辻井薫:2004-104780、感温性ゲル複合物、2004年3月31日
- 2) 益井宣明、出口茂、辻井薫:2004-048144、地殻コア試料の採取方法および地殻コア試料採取用の流動性被覆材、2004年2月24日
- 3) 益井宣明、出口茂、辻井薫、北里洋:2003-384681、清浄化剤塗布機構付きコア試料採取装置およびコア試料の採取方法、2003年11月14日
- 4) 眞山博幸、辻井薫:2005-73718、微細多孔構造の形成方法およびその利用、2005年3月15日
- 5) 巖 虎、辻井薫:特願2004-378147、微細凹凸構造の形成方法及びその利用、2004年12月27日
- 6) 辻井薫、松尾剛、小澤純、加茂直樹:特願2004-239904、親水性化合物／疎水性化合物分離用ゲル、キラリティー分離用ゲル、ゲルを用いた分析システムおよびゲルを用いた分析方法、2004年8月19日
- 7) 巖 虎、黒木一誠、辻井薫、特願2006-014149、撥水性および撥油性表面を有する物品およびその製造方法、2006年1月23日
- 8) 辻井薫、黒木一誠、門出 健次、特願2007-022552、撥水性および撥油性表面を有する物品およびその製造方法、2007年2月1日

・国際特許（発明者、特許番号、申請国、特許名、出願年月日）

- 1) N. Masui, S. Deguchi, K. Tsujii and H. Kitazato : 米国、10/771983、Core Sample Collector Equipped with Sterilizing Agent—Applying Mechanism and Method of Taking Core Sample、2003年11月14日

#### 4.5 講演

##### a. 招待講演

- 1) K. Tsujii, R. G. Alargova, S. Deguchi and K. Horikoshi: “Colloidal Dispersions in Supercritical Water”, The 8th International Conference on Advanced Materials, Pacifico Yokohama, Yokohama (2003-10)
- 2) 巖 虎 : 「導電性高分子の機能の新展開」、第52回高分子討論会、山口大学吉田キャンパス (2003-09)
- 3) K. Tsujii: “Fractal surface and super water-repellency”, The 11th International Symposium on Advanced Materials—Frontier of Nano-Materials and Colloid Chemistry—, 都市センターホテル (東京) (2004-03)
- 4) 辻井薫 : 「オイルゲル—ヒドロゲルとの対比に於いて—」、化学技術戦略推進機構・高分子オイルゲル研究会、化学技術戦略推進機構 (東京・御茶ノ水) (2003-12)
- 5) 辻井薫 : 「二分子膜固定化ゲルの液/液界面機能」、液液界面ナノ領域の化学 第5回公開シンポジウム、大阪国際会議場 (大阪・中之島) (2003-12)
- 6) 辻井薫 : 「自己組織化ナノテクで新素材を創る」、新化学発展協会・新素材部会研究会、新化学発展協会 (東京・神田) (2003-11)
- 7) S. Deguchi, R. G. Alargova, K. Tsujii and K. Horikoshi: “Stable Dispersions of Fullerenes, C60 and C70, in Water: Preparation and Characterization”, Nanotec03, University of Sussex at Brighton, Falmer, UK (2003-08)
- 8) 辻井薫 : 「超臨界流体中の化学過程」、基礎化学・化学物理合同ワークショップ、日本科学未来館 (東京) (2003-08)
- 9) K. Tsujii, G. Matsuo, J. Ozawa and N. Kamo: “Synthesis, Properties and Applications of Polymer Hydro-Gels Containing Immobilized-Bilayer-Membranes”, Asian Conference on Nanoscience & Nanotechnology (AsiaNANO 2004), Beijing, 中国 (2004-11).
- 10) 巖 虎、黒木一誠、眞山博幸、辻井薫 : 「フラクタル構造を持つポリアルキルピロール膜の超撥水性と高耐久性」、第54回高分子討論会、山形大学小白川キャンパス (2005-09).
- 11) K. Tsujii: “Formation of Fractal Structures and Their Functional Properties”, 20th Conference of the European Colloid and Interface Society, Budapest, Hungary, Hungary (2006-09).
- 12) G. Matsuo and K. Tsujii: “A Novel Hybrid Material of Polymer Gels and Bilayer Membranes”, The 6th RIES-Hokudai SYMPOSIUM, Sapporo, Japan (2004-12).
- 13) G. Matsuo: “A Hybrid Material: Hydrogels Containing

Bilayer Membranes”, 2004高分子若手研究会&サマユニバーシティ合同研究会、北海道 (2004-08).

- 14) K. Tsujii: “Formation of Fractal Structures and Their Functional Properties—Cell Culture on the Fractal Surfaces—”, The 2nd UK-Japan Symposium on Promotion of Regional Partnerships on Nanotechnology Development, The University of Newcastle upon Tyne, UK, UK (2006-03).
  - 15) 辻井薫 : 「フラクタル構造を応用した超撥水性膜」、05-1 高分子表面研究会、東京工業大学百年記念館 (東京・大岡山) (2005-10).
  - 16) K. Tsujii: “Super Water- and Oil-Repellent Surfaces Resulting from Fractal Structures”, The 2nd LSW Symposium on Soft and Wet Matter, Hokkaido University (Sapporo) (2007-01).
  - 17) H. Mayama: “Menger sponge-like fractal body created with a novel template method”, The 8th RIES-Hokudai International Symposium on “微” [bi], Hokkaido University, Conference Hall (2006-12).
  - 18) 辻井薫 : 「ナノ分子組織体を固定化したヒドロゲル」、ゲルワークショップ イン 知多、知多 料理旅館 紅葉屋 (2006-08).
  - 19) K. Tsujii: “Hydrogels Containing Immobilized Nano-Molecular-Assemblies”, 16th International Symposium on Surfactants in Solution (SIS 2006), Seoul, Korea, Korea (2006-06).
  - 20) 辻井薫 : 「フラクタル構造による超撥水/撥油表面」、第38回北海道粉体技術研究会、北海道立工業試験場 (札幌) (2006-05).
- ##### b. 一般講演
- ###### i) 学会
- 1) 益井宣明、出口茂、矢野裕亮、井上朝哉、和田一育、黒木一志、齊藤昌勝、許正憲、辻井薫 : 「微生物汚染を防止した地殻試料の採取に用いる抗菌性ゲルの開発」、日本農芸化学会2004年度大会、広島大学・東広島キャンパス (広島県東広島市) (2004-03)
  - 2) 津留美紀子、出口茂、沈一紅、辻井薫、伊藤進、掘越弘毅 : 「結晶性セルロースゲルを用いた新規微生物培養法」、農芸化学会2004年度大会、広島大学・東広島キャンパス (2004-03)
  - 3) 向井貞篤、S. K. Ghosh、出口茂、辻井薫、掘越弘毅 : 「極限環境下におけるコロイドの直接観察」、日本物理学会 第59回年次大会、九州大学 (2004-03)
  - 4) 出口茂、津留美紀子、沈一紅、辻井薫、伊藤進、掘越弘毅 : 「多孔質セルロースを用いた新規微生物培養法」、日本化学会第84春季年会、関西学院大学 (兵庫県西宮市) (2004-03)
  - 5) 巖 虎、辻井薫 : 「高速刺激応答性 NIPA-PMDP ミクロゲルの新規合成およびレーザー補足・顕微ラマン法による単一ミクロゲルのキャラクタリゼーション」、第16回高分子ゲル研究討論会、東京大学 (2004-01)
  - 6) 益井宣明、出口茂、辻井薫、北里洋 : 「抗菌性高分子塗

- 布機構付きピストンコアラーの実用性の検討」、極限環境微生物学会2003年度年会、理化学研究所（埼玉県和光市）（2003-12）
- 7) S. Deguchi, K. Tsujii and K. Horikoshi: "In situ Microscopic Study of Polymers in Supercritical Water", The 8th International Conference on Advanced Materials, Pacifico Yokohama, Yokohama (2003-10)
  - 8) 巖 虎、有吉哲、井口眞、戸嶋直樹:「自己生成したポリピロールの多様なマイクロ形状」、第52回高分子討論会、山口大学吉田キャンパス (2003-09)
  - 9) S. K. Ghosh, R. G. Alargova, 向井貞篤、出口茂、辻井薫、掘越弘毅:「Behavior of Colloids in Supercritical Water」、第52回高分子討論会、山口大学 吉田キャンパス (2003-09)
  - 10) 光澤茂信、出口茂、高井研、辻井薫、掘越弘毅:「超高温短時間での超好熱菌の熱死滅測定」、日本生物物理学会第41回年会、朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター（新潟）(2003-09)
  - 11) S. Deguchi, R. G. Alargova, K. Tsujii and K. Horikoshi: "Supercritical Water as a Medium for Colloid Science", XVII Conference of the European Colloid and Interface Society, Convitto della Calza, Florence, Italy (2003-09)
  - 12) 向井貞篤、S. K. Ghosh、出口茂、辻井薫、掘越弘毅:「超臨界水中におけるコロイド分散液の挙動」、日本物理学会2003年秋季大会、岡山大学津島キャンパス（岡山）(2003-09)
  - 13) 出口茂、R. G. Alargova, S. K. Ghosh、向井貞篤、辻井薫、掘越弘毅:「超臨界水中でのコロイド分散液の挙動」、第56回コロイドおよび界面化学討論会、徳島大学常三島キャンパス (2003-09)
  - 14) 野々村美宗、菅原享、榎本明生、福田啓一、堀田肇、辻井薫:「界面活性粉体の自己組織化 (1)」、第56回コロイドおよび界面化学討論会、徳島大学 常三島キャンパス (2003-09)
  - 15) 巖 虎、井口眞、戸嶋直樹:「自己生成ポリピロール・マイクロチューブの黒鉛化」、第52回高分子学会年次大会、名古屋 (2003-05)
  - 16) 益井宣明、出口茂、矢野裕亮、井上朝哉、和田一育、黒木一志、許正憲、辻井薫:「微生物汚染のない地殻試料採取に用いる抗菌性ゲルの実用性の検討」、日本農芸化学会2005年度大会、札幌コンベンションセンター(札幌) (2005-03)
  - 17) 野々村美宗、好村滋行、辻井薫:「棒状粉体の界面吸着と自己組織化」、日本化学会・第85回春季年会 (2005)、神奈川大学 (横浜) (2005-03)
  - 18) 富永大輝、加々田剛、古川英光、眞山博幸、辻井薫、龔劍萍、長田義仁:「ソフト&ウェットマターの摩擦4:ゲルの摩擦界面における流体潤滑の効果」、日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学野田キャンパス (2005-03)
  - 19) 巖 虎、辻井薫:「高速刺激応答性 NIPA-PMDP ミクロゲルの新規合成およびレーザー補足・顕微ラマン法による単一マイクロゲルのキャラクタリゼーション」、第16回高分子ゲル研究討論会、東京大学 (2005-01)
  - 20) 出口茂、光澤茂信、辻井薫、掘越弘毅:「極限環境の水の中での生体由来物質の挙動」、第45回高圧討論会、立命館大学びわこ・くさつキャンパス (2004-10)
  - 21) 大野尚典、江口和輝、巖 虎、井口眞、戸嶋直樹:「電解重合により自己生成するポリピロール・マイクロチューブ」、第53回高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
  - 22) 巖 虎、藤原英樹、笹木敬司、辻井薫:「高速刺激応答性 NIPA-PMDP ミクロゲルのアクチュエーティング機能」、第53回高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
  - 23) 巖 虎、西野正行、坪井泰之、喜多村昇、辻井薫:「ドラッグデリバリーシステムを目指した高速刺激応答性 NIPA-PMDP ゲル (Part II) - ミクロゲルの合成とその同定および物性」、第53回高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
  - 24) 小澤純、松尾剛、加茂直樹、辻井薫:「重合性界面活性剤とアクリルアミドとの独立した組織化重合」、第53回高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
  - 25) 松尾剛、辻井薫:「キラル二分子膜固定化ゲルの合成と物性 [II]」、第53回高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
  - 26) 向井貞篤、出口茂、辻井薫、掘越弘毅:「臨界点付近におけるコロイドの拡散異常について」、日本物理学会2004年秋季大会、青森大学 (2004-09)
  - 27) 江口和輝、巖 虎、大野尚典、籾内一博、井口眞、戸嶋直樹:「ピロールの電解重合により自己生成するマイクロチューブの電気特性と生成機構の検討」、第57回コロイドおよび界面化学討論会、山口東京理科大学 (山口県小野田市) (2004-09)
  - 28) 巖 虎、辻井薫:「高速刺激応答性 NIPA-PMDP ミクロゲルの新規合成とその機能」、第57回コロイドおよび界面化学討論会、山口東京理科大学 (山口県小野田市) (2004-09)
  - 29) 小澤純、松尾剛、加茂直樹、辻井薫:「重合性界面活性剤とアクリルアミドとの独立した組織化重合」、第57回コロイドおよび界面化学討論会、山口東京理科大学 (山口県小野田市) (2004-09)
  - 30) 眞山博幸、辻井薫:「超撥水フラクタル表面形成過程の解析」、第57回コロイドおよび界面化学討論会、山口東京理科大学 (小野田市) (2004-09)
  - 31) 松尾剛、辻井薫:「キラル二分子膜固定化ゲルの物性」、第57回コロイドおよび界面化学討論会、山口東京理科大学 (山口県小野田市) (2004-09)
  - 32) S. Deguchi, M. Tsudome, Y. Schen, K. Tsujii, S. Ito and K. Horikoshi: "Porous Cellulose as a New Solid Plate for Bacterial Culture", The 2nd International Congress on Biocatalysis 2004, Technical University Hamburg-Hurzburg, Hamburg, Germany (2004-08)
  - 33) 浅井真一、巖 虎、戸嶋直樹:「ポリチオフェン系導電性高分子 PEDOT および無機半導体とのハイブリッド材料の熱電特性に関する研究」、第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)

- 34) 巖 虎、藤原英樹、笹木敬司、辻井薫：「ドラッグデリバリーシステムを目指した高速刺激応答性 NIPA-PMDP ゲル」、第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
- 35) 出口茂、辻井薫、掘越弘毅：「極限環境下の水中における生体高分子 —高温・高圧顕微鏡を用いたその場観察—」、第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
- 36) S. K. Ghosh、向井貞篤、出口茂、辻井薫、掘越弘毅：「Stability of Colloids in Sub- and Supercritical Water」、第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
- 37) 松尾剛、辻井薫：「キラル二分子膜固定化ゲルの合成と物性」、第53回高分子学会年次大会、神戸 (2004-05)
- 38) 江口和輝、巖 虎、大野尚典、戸嶋直樹：「電解重合により自己生成するポリピロロール・マイクロチューブの生成の条件と機構についての検討」、第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
- 39) 眞山博幸、辻井薫：「フラクタル立体の制御」、日本物理学会第61回年次大会、愛媛大学・松山大学 (2006-03)
- 40) 巖 虎、辻井薫：「高分子界面活性剤のミセルを内包した NIPA-PMDP ゲルの合成とその機能」、高分子学会第40回北海道支部冬季研究発表会、札幌 (2006-01)
- 41) 黒木一誠、巖 虎、辻井薫：「フッ素化合物をコーティングした高撥油性ポリアルキルピロロール膜」、高分子学会第40回北海道支部冬季研究発表会、札幌 (2006-01)
- 42) S. Deguchi, S. K. Ghosh, R. G. Alargova, K. Tsujii and K. Horikoshi: "Colloidal Stability in Hot and Compressed Aqueous Environments", Pacificchem 2005, Royal Hawaiian, Honolulu, USA (2005-12)
- 43) H. Yan and K. Tsujii: "Synthesis and Functions of Poly(N-isopropylacrylamide) Gel Trapping Polymeric Micelles", 8th Japan-Australia Colloid and Interface Science Gakkai, Terrigal, New South Wales, Australia (2005-11)
- 44) H. Mayama and K. Tsujii: "Fractal Body Created with a Designed Template", 8th Japan-Australia Colloid and Interface Science Gakkai, Crowne Plaza Hotel, Terrigal, NSW, Australia, Australia (2005-11)
- 45) 巖 虎、長尾道弘、柴山充弘、辻井薫：「高分子界面活性剤のミセルを内包する新機能性 NIPA-PMDP ゲル」、第54回高分子討論会、山形大学小白川キャンパス (2005-09)
- 46) 眞山博幸、辻井薫：「フラクタル立体の創製」、日本物理学会 2005年秋季大会、同志社大学 (京田辺キャンパス) (2005-09)
- 47) J. Ozawa, G. Matsuo, N. Kamo and K. Tsujii: "Separated Organized Polymerization of an Amphiphilic Monomer and Acrylamide in One-Pot Reaction", 19th Conference of the European Colloid and Interface Society, Geilo, Norway, ノルウェー (2005-09)
- 48) K. Kurogi, H. Yan, H. Mayama and K. Tsujii: "Environmentally-Durable Super Water-Repellent Surfaces Made of Poly(alkylpyrrole) Films", 19th Conference of the European Colloid and Interface Society, Geilo, Norway, ノルウェー (2005-09)
- 49) S. Deguchi, S. K. Ghosh, R. G. Alargova, K. Tsujii and K. Horikoshi: "Colloidal stability in hot and compressed aqueous environments", 19th Conference of the European Colloid and Interface Society, Geilo, Norway, Norway (2005-09)
- 50) 巖 虎、辻井薫：「新機能性 NIPA-PMDP ゲルの合成とキャラクター化およびその機能」、第58回コロイドおよび界面化学討論会、宇都宮大学陽東キャンパス (2005-09)
- 51) 黒木一誠、巖 虎、眞山博幸、辻井薫：「超撥水ポリピロロール膜の電気化学的合成」、第58回コロイドおよび界面化学討論会、宇都宮大学陽東キャンパス (2005-09)
- 52) 眞山博幸、辻井薫：「フラクタル立体の創製」、第58回コロイドおよび界面化学討論会、宇都宮大学工学部 (陽東キャンパス) (2005-09)
- 53) 石原敬基、小澤純、辻井薫：「二分子膜固定化ゲルを用いた電気泳動」、第58回コロイドおよび界面化学討論会、宇都宮大学工学部 (宇都宮) (2005-09)
- 54) 出口茂、Alargova G. Rossitza、辻井薫、掘越弘毅：「フラーレン水分散液の調製と基礎的物性」、第58回コロイドおよび界面化学討論会、宇都宮大学工学部 (宇都宮) (2005-09)
- 55) 出口茂、向井貞篤、Ghosh K. Swapan、辻井薫、掘越弘毅：「臨界点近くでのコロイドの挙動」、第58回コロイドおよび界面化学討論会、宇都宮大学工学部 (宇都宮) (2005-09)
- 56) Ghosh K. Swapan、出口茂、掘越弘毅、辻井薫：「Flocculation of Colloids in Sub- and Supercritical Water」、第58回コロイドおよび界面化学討論会、宇都宮大学工学部 (宇都宮) (2005-09)
- 57) 出口茂、津留美紀子、辻井薫、伊藤進、掘越弘毅：「極限環境微生物の培養担体としての多孔質セルロース」、第58回コロイドおよび界面化学討論会、宇都宮大学工学部 (宇都宮) (2005-09)
- 58) Ghosh K. Swapan、出口茂、辻井薫、掘越弘毅：「Why Do Colloids Flocculate in Sub- and/or Supercritical Water?」、第58回コロイドおよび界面化学討論会、宇都宮大学 (宇都宮) (2005-09)
- 59) S. Deguchi, M. Tsudome, K. Tsujii, S. Ito and K. Horikoshi: "Mesoporous Cellulose Plate as a New Matrix for Bacterial Culture", The 8th SPSJ International Polymer Conference, Fukuoka Convention Center (2005-07)
- 60) S. K. Ghosh, S. Deguchi, K. Tsujii and K. Horikoshi: "Stability of Colloids in Sub- and Supercritical Water: An Attempt to Explain by DLVO Forces", The 8th SPSJ International Polymer Conference, Fukuoka Convention Center (2005-07)
- 61) 巖 虎、辻井薫：「高速刺激応答性 PNIPA-PMDP ゲルの機能開発」、日本化学会北海道支部 2005年夏季研究発表会、公立はこだて未来大学 (函館市) (2005-07)

- 62) 黒木一誠、巖 虎、眞山博幸、辻井薫：「超撥水性ポリアルキルピロール膜の優れた耐久性」、日本化学会北海道支部 2005年夏季研究発表会、公立ほこだて未来大学（函館市）（2005-07）
- 63) 小澤純、松尾剛、加茂直樹、辻井薫：「重合性界面活性剤とアクリルアミドとの独立した組織化重合」、日本化学会・北海道支部・2005年夏季研究発表会、公立ほこだて未来大学（函館）（2005-07）
- 64) 陳新江、松尾剛、眞山博幸、鳥本司、大谷文章、辻井薫：「Effect of Ionic Surfactant on the Iridescent Color of Periodic Structure of Bilayer Membranes」、日本化学会・北海道支部・2005年夏季研究発表会、公立ほこだて未来大学（函館）（2005-07）
- 65) S. Mukai, S. Deguchi, K. Tsujii and K. Horikoshi: “Direct Observation of Colloids in Supercritical Fluids”, 6th Liquid Matter Conference, Utrecht, Netherland (2005-07)
- 66) S. K. Ghosh, S. Deguchi, K. Tsujii and K. Horikoshi: “Flocculation of Colloids in Sub- and/or Supercritical Water - an Attempt to Explain by DLVO Forces”, 6th Liquid Matter Conference, Utrecht University, Netherland (2005-07)
- 67) H. Yan, H. Shiga, E. Ito and K. Tsujii: “Cell Cultures on Self-Organized Fractal Surfaces”, The 11st International Conference on Organized Molecular Films, Sapporo (2005-06)
- 68) K. Kurogi, H. Yan, H. Mayama and K. Tsujii: “Super Water-Repellency and Environmentally Stability of Self-Organized Poly(alkylpyrrole) Films”, The 11st International Conference on Organized Molecular Films, Sapporo (2005-06)
- 69) J. Ozawa, G. Matsuo, N. Kamo and K. Tsujii: “Separated Organized Polymerization of an Amphiphilic Monomer and Acrylamide in One-Pot Reaction”, The 11th International Conference on Organized Molecular Films (LB11), ガトーキングダム・サッポロ（札幌）（2005-06）
- 70) J. Ozawa, G. Matsuo, N. Kamo and K. Tsujii: “Synthesis, Properties and Applications of Polymer Hydro-Gels Containing Immobilized-Bilayer-Membranes”, The 11th International Conference on Organized Molecular Films (LB11), Sapporo, Japan (2005-06)
- 71) S. Deguchi, M. Tsudome, K. Tsujii, S. Ito and K. Horikoshi: “Mesoscopic Cellulose Plate as a New Matrix for Bacterial Culture”, The 11th International Conference on Organized Molecular Films (LB11), Sapporo, Japan (2005-06)
- 72) X. Chen, G. Matsuo, H. Mayama, T. Torimoto, B. Ohtani and K. Tsujii: “Effect of Ionic Surfactant on the Iridescent Color of Periodic Structure of Bilayer Membranes”, The 11th International Conference on Organized Molecular Films (LB11), Sapporo, Japan (2005-06)
- 73) H. Mayama and K. Tsujii: “Creation of a Fractal Body”, The 11th International Conference on Organized Molecular Films, Sapporo (2005-06)
- 74) 巖 虎、辻井薫：「高分子界面活性剤のミセルを封入した NIPA-PMDDP ゲル系」、第54回高分子学会年次大会、パシフィコ横浜（2005-05）
- 75) 黒木一誠、巖 虎、眞山博幸、辻井薫：「高耐久性の超撥水性ポリアルキルピロール膜の電気化学的合成」、第54回高分子学会年次大会、パシフィコ横浜（2005-05）
- 76) 江口和輝、巖 虎、大野尚典、戸嶋直樹：「電解重合により自己生成するポリピロール・マイクロチューブの生成機構に関する研究」、第54回高分子学会年次大会、パシフィコ横浜（2005-05）
- 77) 眞山博幸、山口大輔、小泉智、橋本竹治、辻井薫：「小角・超小角中性子散乱実験からみたフラクタル立体の次元性」、日本物理学会2007年春季大会、鹿児島大学（2007-03）
- 78) 陳新江、松尾剛、大谷文章、辻井薫：「Polymerization Behavior of an Amphiphilic Monomer in Organized Bilayer Membranes of a Lamellar Liquid Crystalline Phase」、第41回高分子学会北海道支部研究発表会、北海道大学学術交流会館（2007-02）
- 79) H. Ishihara, J. Ozawa, G. Matsuo and K. Tsujii: “Gel Electrophoresis with a Bilayer-Membranes-Immobilized Acrylamide Gel”, The 8th RIES-Hokudai International Symposium, Hokkaido University (Sapporo) (2006-12)
- 80) 眞山博幸、陳新江、長尾道弘、瀬戸秀紀、辻井薫：「中性子スピネコー法による発色 DGI 二分子膜のダイナミクスと曲げ弾性率測定」、日本中性子学会第6回年回、茨城県民文化センター（水戸）（2006-12）
- 81) H. Mayama and K. Tsujii: “Creation of Menger Sponge-Like Fractal Bodies with Different Fractal Dimensions”, AsiaNANO 2006, Busan, Korea, Korea (2006-11)
- 82) K. Tsujii, S. Mukai, R. G. Alargova and S. Deguchi: “Colloidal Behaviors in Near- and Supercritical Water”, Asian Conference on Nanoscience & Nanotechnology (AsiaNANO 2006), Busan, Korea (2006-11)
- 83) K. Kurogi, H. Yan and K. Tsujii: “Super Water-Repellent Surfaces of Polyalkylpyrrol with Good Durability”, Asian Conference on Nanoscience & Nanotechnology (AsiaNANO 2006), Busan, Korea (2006-11)
- 84) X. Chen and K. Tsujii: “A novel hydrogel showing super-rapid shrinking but slow swelling behavior”, Asian Conference on Nanoscience & Nanotechnology (AsiaNANO 2006), Busan, Korea (2006-11)
- 85) G. Matsuo and K. Tsujii: “Effect of Chirality in Bilayer Membranes”, Asia Nano 2006, Busan, Korea (2006-11)
- 86) 眞山博幸、中井唱、澤岬英正、辻井薫、吉川研一：「DNA ゲルと DNA 単分子鎖の1次相転移」、日本物理学会2006年秋季大会、千葉大学西千葉キャンパス（2006-09）
- 87) 眞山博幸、陳新江、長尾道弘、瀬戸秀紀、辻井薫：「中性子スピネコー法による発色性 DGI 二分子膜の曲げ

- 弾性率測定」、日本物理学会2006年秋季大会、千葉大学西千葉キャンパス (2006-09)
- 88) 巖 虎、黒木一誠、眞山博幸、辻井薫：「フッ素化アルキルシランコートポリアルキルピロール膜の超撥水性と高撥油性」、第55回高分子討論会、富山大学 (2006-09)
- 89) K. Tsujii: “HYDROGELS CONTAINING IMMOBILIZED NANO-MOLECULAR-ASSEMBLIES”, 20th Conference of the European Colloid and Interface Society, Budapest, Hungary, Hungary (2006-09)
- 90) S. K. Ghosh, S. Deguchi, K. Tsujii and K. Horikoshi: “Dispersion Stability of Silica Colloids in Supercritical Ethano”, 20th Conference of the European Colloid and Interface Society, Budapest, Hungary, Hungary (2006-09)
- 91) S. Mukai, S. Deguchi, K. Tsujii and K. Horikoshi: “Direct Observation of Colloids in Water at High Temperatures and Pressures”, 20th Conference of the European Colloid and Interface Society, Budapest, Hungary, Hungary (2006-09)
- 92) 向井貞篤、出口茂、辻井薫、掘越弘毅：「高温・高圧顕微鏡セルを用いたコロイドの直接観察」、第59回コロイドおよび界面化学討論会、北海道大学 (札幌) (2006-09)
- 93) 坂井隆也、宮木正廣、田島準、清水真規、辻井薫：「弱酸性水溶液中でのモノドデシルリン酸Kの会合挙動」、第59回コロイドおよび界面化学討論会、北海道大学 (札幌) (2006-09)
- 94) 黒木一誠、巖 虎、辻井薫：「高撥油性ポリアリキルピロール膜の優れた耐久性」、第59回コロイドおよび界面化学討論会、北海道大学 (札幌) (2006-09)
- 95) 野々村美宗、好村滋行、辻井薫：「凸凹な表面を有する界面活性粒子」、第59回コロイドおよび界面化学討論会、北海道大学 (札幌) (2006-09)
- 96) Ghosh K. Swapan, 出口茂、辻井薫、掘越弘毅：「Dispersion Stability of Colloids in Supercritical Fluid」、第59回コロイドおよび界面化学討論会、北海道大学 (札幌) (2006-09)
- 97) 方文軍、眞山博幸、辻井薫：「Spontaneous formation of fractal structures on a wax surface and its super water-repellency」、第59回コロイドおよび界面化学討論会、北海道大学 (札幌) (2006-09)
- 98) 陳新江、辻井薫：「Synthetic Myelin Structures Immobilized by Polymer Gel」、第59回コロイドおよび界面化学討論会、北海道大学 (札幌) (2006-09)
- 99) 眞山博幸、陳新江、長尾道弘、瀬戸秀紀、辻井薫：「発色性DGI二分子膜の中性子スピネコー法による曲げ弾性率測定」、第59回コロイドおよび界面化学討論会、北海道大学 高等教育機能開発総合センター (2006-09)
- 100) 眞山博幸、辻井薫：「Fractality controlled porous silica with a designed template method」、第59回コロイドおよび界面化学討論会、北海道大学 高等教育機能開発総合センター (2006-09)
- 101) 松尾剛、辻井薫：「二分子膜形成におけるキララ分子効果」、第59回コロイドおよび界面化学討論会、北海道大学 (2006-09)
- 102) 石原敬基、小澤純、松尾剛、辻井薫：「二分子膜固定化ゲルを用いた新規なゲル電気泳動法の開発」、第59回コロイドおよび界面化学討論会、北海道大学 (2006-09)
- 103) 向井貞篤、出口茂、辻井薫：「高温／高圧水中におけるコロイドの拡散一特に壁の効果について」、日本化学会・北海道支部・2006年夏季研究発表会、室蘭工業大学 (2006-07)
- 104) 黒木一誠、巖 虎、辻井薫：「フッ素化合物をコーティングした高撥油性ポリアルキルピロール膜」、日本化学会・北海道支部・2006年夏季研究発表会、室蘭工業大学 (2006-07)
- 105) 陳新江、辻井薫：「A novel hydrogel showing super-rapid shrinking but slow swelling behavior」、日本化学会・北海道支部・2006年夏季研究発表会、室蘭工業大学 (2006-07)
- 106) 方文軍、眞山博幸、辻井薫：「Themally induced formation of super water-repellent surface with fractal structures」、日本化学会・北海道支部・2006年夏季研究発表会、室蘭工業大学 (2006-07)
- 107) 松尾剛、辻井薫：「二分子膜形成におけるキラリティー」、日本化学会・北海道支部・2006年夏季研究発表会、室蘭工業大学 (室蘭) (2006-07)
- 108) 石原敬基、松尾剛、辻井薫：「二分子膜固定化ゲルを用いた新規なゲル電気泳動法の開発」、日本化学会・北海道支部・2006年夏季研究発表会、室蘭工業大学 (室蘭) (2006-07)
- 109) H. Mayama, X. Chen, M. Nagao, H. Seto and K. Tsujii: “NSE studies on Dynamics of Bilayer Membrane in DGI/SDS/D2O System”, XIII International Conference on Small-angle Scattering (SAS2006 Kyoto), Kyoto International Conference Hall, Kyoto (2006-07)
- 110) 巖 虎、胡薇薇、浦野明央、辻井薫：「超撥水性表面の生物学的応用」、第55回高分子学会年次大会、名古屋国際会議場 (2006-05)
- 111) 黒木一誠、巖 虎、辻井薫：「フッ素化合物をコーティングした高撥油性ポリアルキルピロール膜」、第55回高分子学会年次大会、名古屋国際会議場 (2006-05)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) S. Mitsuzawa, S. Deguchi, K. Takai, K. Tsujii and K. Horikoshi: “Thermal Death of Hyperthermophiles at Ultra High Temperature”, Gordon Research Conference on Archia: Ecology, Metabolism & Molecular Biology, Proctor Academy, Andover NH, USA (2003-08)
- 2) 光澤茂信、出口茂、高井研、辻井薫、掘越弘毅：「熱水噴出孔の模擬環境における超好熱菌の耐熱性」、日本アーキア研究会 第16回講演会、海洋科学技術センター (横須賀) (2003-06)
- 3) 巖 虎、辻井薫：「高速刺激応答性NIPA-PMDP ミクロゲルの新規合成と単一ミクロゲルの分析」、第38回北海道支部冬季研究発表会、北海道大学 (2005-02)

- 4) 松尾剛、辻井薫:「キラル二分子膜固定化ゲルの合成」、第16回高分子ゲル研究討論会、東京大学 (2005-01)
- 5) 小澤純、松尾剛、加茂直樹、辻井薫:「二分子膜固定化ゲル中の化学結合構造」、第16回高分子ゲル研究討論会、東京大学 (2005-01)
- 6) H. Mayama and K. Tsujii: “Spontaneous formation of fractal surface”, 第6回電子科学研究所国際シンポジウム「超」、学術交流会館、北海道大学 (2004-12)
- 7) H. Yan and K. Tsujii: “1. Studies on Behaviors of Biological Cells on Super Water-repellent Surfaces; 2. Studies on Synthesis of Rapid Thermo-responsive Hydrogels”, The 6th RIES-Hokudai Symposium, Sapporo (2004-12)
- 8) S. Mukai, S. Deguchi, K. Tsujii and K. Horikoshi: “Direct Observation of Colloids under the Extreme Conditions”, International Workshop on Physics of Soft Matter Complexes, Tokyo Metropolitan University (Tokyo), Japan (2004-11)
- 9) H. Yan and K. Tsujii: “Stimuli-responsive NIPA-PMDP microgels”, Asian Conference on Nanoscience & Nanotechnology, Beijing, China (2004-11)
- 10) H. Yan, H. Shiga, E. Ito and K. Tsujii: “Cell cultures on a super water-repellent AKD surface”, Asian Conference on Nanoscience & Nanotechnology, Beijing, China (2004-11)
- 11) 出口茂、津留美紀子、沈一紅、辻井薫、伊藤進、掘越弘毅:「有用微生物探索のためのメソポーラスセルロース材料」、第13回ポリマー材料フォーラム、名古屋国際会議場 (名古屋) (2004-11)
- 12) N. Toshima, K. Eguchi, M. Inokuchi, M. Ueda, N. Ohno and H. Yan: “Self-forming microtubes of polypyrrole: Reaction conditions and physical properties”, The International Conference on Synthetic Metals (ICSM) 2004, University of Wollongong main campus, Australia (2004-06)
- 13) S. K. Ghosh, S. Mukai, S. Deguchi, K. Tsujii and K. Horikoshi: “STABILITY OF COLLOIDS IN SUB- AND SUPERCRITICAL WATER”, Surfactants in Solution Symposium, Fortaleza, Brazil (2004-06)
- 14) H. Mayama and K. Tsujii: “Menger sponge-like fractal body created with a designed template method”, International Symposium on Topological Aspects of Critical Systems and Networks (presented by Hokkaido University The 21st Century COE Program), Hokkaido University (2006-02)
- 15) 辻井薫:「ナノテクで世界一水をはじく表面をつくる」、北大セミナー in とかち2005、北海道帯広柏葉高等学校 (2005-12)
- 16) H. Yan and K. Tsujii: “Super Water-repellent Surfaces and Rapid Stimuli-Responsive Hydrogels”, Multi-Institutional International Symposium on “命”[mei], Sapporo (2005-12)
- 17) S. Deguchi, S. Mitsuzawa, M. Tsudome, S. K. Ghosh, S. Mukai, K. Tsujii, S. Ito and K. Horikoshi: “Extremophiles for Chemistry and Physics”, International Symposium on Extremophiles and Their Applications, Toyo University, Tokyo (2005-11)
- 18) S. Mukai, S. Deguchi, K. Tsujii and K. Horikoshi: “Direct Observation of Colloids under Extreme Conditions”, International Symposium on Extremophiles and Their Applications, Toyo University, Tokyo (2005-11)
- 19) S. K. Ghosh, S. Deguchi, K. Tsujii and K. Horikoshi: “Coagulation of colloids in sub- and supercritical water: an attempt to understand the mechanism by DLVO forces”, International Symposium on Extremophiles and Their Applications, Toyo University, Tokyo (2005-11)
- 20) N. Masui, S. Deguchi, Y. Yano, T. Inoue, K. Wada, K. Kuroki, M. Kyo and K. Tsujii: “Evaluation of Antimicrobial Polymer Gel for Obtaining the Subsurface Core Sample without Microbial Contamination”, International Symposium on Extremophiles and Their Applications, Toyo University, Tokyo (2005-11)
- 21) M. Tsudome, S. Deguchi, K. Tsujii, S. Ito and K. Horikoshi: “New Solid Media for Extremophiles Using Cellulose Gel”, International Symposium on Extremophiles and Their Applications, Toyo University, Tokyo (2005-11)
- 22) H. Yan and K. Tsujii: “Super Water-repellent Polymer Films and Rapid Stimuli-Responsive Polymer Gels”, 8th Korea-Japan Young Scientist Symposium on Polymers, Sapporo (2005-11)
- 23) S. K. Ghosh, S. Deguchi, K. Tsujii and K. Horikoshi: “Flocculation of Colloids in Sub- and/or Supercritical Water”, International Symposium on Surface Science and Nanotechnology, Ohmiya Sonic City, Saitama (2005-11)
- 24) H. Yan and K. Tsujii: “Rapid Stimuli-Responsive Poly(N-isopropylacrylamide) Gel Containing Polymer Surfactant”, Polymer Gels: Fundamentals and Bio-science (GelSympo 2005), Sapporo (2005-10)
- 25) H. Ishihara, J. Ozawa, G. Matsuo and K. Tsujii: “Gel Electrophoresis with a Bilayer-Membranes-Immobilized Acrylamide Gel”, GelSympo 2005, Hokkaido University (Sapporo) (2005-10)
- 26) H. Mayama, E. Takushi, K. Tsujii and K. Yoshikawa: “First-Order Phase Transition in DNA gel and Individual DNA Molecular Chains”, GelSympo2005, Hokkaido University, Conference Hall, Sapporo, Japan (2005-10)
- 27) G. Matsuo, S. Olle and K. Tsujii: “Synthesis and Properties of Hybrid Gels Containing Polymerizable surfactants”, GelSympo 2005, Hokkaido University (Sapporo) (2005-10)
- 28) 辻井薫:「討論会: Don Pettit 氏の宇宙での実験」、第58回コロイドおよび界面化学討論会、宇都宮大学工学部 (宇都宮) (2005-09)
- 29) 眞山博幸、辻井薫:「フラクタル立体の創製」、日本化学会北海道支部2005年夏季研究発表会、公立はこだて未来大学 (函館市) (2005-07)
- 30) G. Matsuo and K. Tsujii: “Synthesis and Properties of Chiral Bilayer Membranes-Immobilized Polymer Gels”,

Trends in organic chemistry “Synthetic Receptors”, Lund University, Sweden (2005-06)

- 31) G. Matsuo, K. Koji, H. Nobuyuki, M. Hiroko and N. Tashashi: “Total Synthesis of Brevetoxin B”, Trends in organic chemistry “Synthetic Receptors”, Lund University, Sweden (2005-06)
  - 32) H. Mayama, P. Wang, W. Fang, T. Onuma, N. Birukawa, J. Li, A. Urano and K. Tsujii: “C6 Glioma Cells on Fractal Surfaces”, The 3rd Japan-UK Symposium on Promotion of Regional Partnerships on Nanotechnology Development, CRIS, Hokkaido University (2007-03)
  - 33) 陳新江、辻井薫:「Synthetic Myelin Figures Immobilized in Polymer Gels」、第18回高分子ゲル研究討論会、東京大学山上会館 (2007-01)
  - 34) 辻井薫、石川正道:「メゾスコピック系の微小重力化学」、第23回宇宙利用シンポジウム、日本学術会議 (東京) (2007-01)
  - 35) H. Mayama, W. Fang and K. Tsujii: “Formation mechanism of super water-repellent surfaces of alkylketene dimer and triglycerides I”, The 8th RIES-Hokudai International Symposium on “微” [bi], Hokkaido University, Conference Hall (2006-12)
  - 36) X. Chen and K. Tsujii: “A novel hydrogel showing super-rapid shrinking but slow swelling behavior”, The 8th RIES-Hokudai International Symposium on “微” [bi], Hokkaido University (Sapporo) (2006-12)
  - 37) 眞山博幸、辻井薫:「ナノ多孔質体:フラクタル立体の幾何学的性質の制御」、日本化学会北海道支部2006年夏季研究発表会、室蘭工業大学 (2006-07)
  - 38) H. Mayama and K. Tsujii: “Menger sponge-like fractal body created with a novel template method”, YITP Workshop “Structures and Dynamics in Soft Matter”-Beyond Self-Organization and Hierarchical Structures-, Yukawa Institute for Theoretical Physics (YITP), Kyoto University (2006-07)
- iii) コロキウム・セミナー等・その他
- 1) H. Yan: “NIPA-PMDP gel systems - Potential applications to drug delivery systems”、首都医科大学薬学部講演会、北京、中国 (2004-11)
  - 2) H. Yan: “NIPA-PMDP gel systems - Potential applications to drug delivery systems”、北京大学薬学部講演会、北京、中国 (2004-11)
  - 3) 辻井薫:「ナノテクで世界一水をはじく表面を作る」、電子研一般公開・サイエンストーク、電子研2F 講堂 (2004-06)
  - 4) 辻井薫:「ナノテクで作る新機能性材料-超撥水/撥油材料とゲル」、第9回北キャンサロン、北大・創成科学研究棟 (2004-04)
  - 5) 辻井薫:「フラクタル構造による超撥水高分子膜の開発」、高分子同友会 勉強会、高分子学会 (東京) (2005-11)
  - 6) 辻井薫:「ナノテクで世界一水をはじく表面をつくる」、

北海道大学21世紀 COE 平成17年度市民キャンパス、北海道新聞社・会議室 (札幌) (2005-10)

- 7) 辻井薫:「世界一水をはじく表面のはなし」、キッズ・サイエンス・パーク、サッポロ・ファロリー (札幌) (2005-08)
- 8) 辻井薫:「フラクタル構造による超撥水/撥油表面」、機能性フィルム研究会夏季セミナー、北海道大学創成科学共同研究機構リエゾン部 (2006-07)

#### 4.6 シンポジウムの開催

a. 国際シンポジウム (組織者名、部門名、シンポジウム名、参加人数、開催場所、開催期間)

- 1) K. Tsujii: “電子研セミナー” (50名、北大・創成科学研究棟4階セミナー室 (04-213号室) (札幌)、2003年11月28日)

b. 一般のシンポジウム (組織者名、部門名、シンポジウム名、参加人数、開催場所、開催期間)

- 1) 辻井薫: “電子研セミナー” (30名、創成科学研究棟4階セミナー室 (04-213号室) (札幌)、2004年3月11日)
- 2) 辻井薫、石川正道:「第57回コロイドおよび界面化学討論会・一般シンポジウム S-2「微小重力下のコロイド・界面科学」、100名、山口東京理科大学・基礎工学部 (山口県小野田市) (2004年9月11日)
- 3) 辻井薫:「電子研セミナー」、30名、創成科学研究棟4階セミナー室 (04-213号室) (札幌) (2005年12月15日)
- 4) 辻井薫: “電子研セミナー” (40名、創成科学研究棟5階大会議室 (05-213号室) (札幌)、2007年3月15日)

#### 4.7 予算獲得状況

a. 科学研究費補助金 (研究代表者、分類名、研究課題、期間)

- 1) 辻井薫、基盤研究 B 一般 (2)、フラクタル・ナノ材料の開発と応用、2004~2006年度
- 2) 辻井薫、萌芽研究、二分子膜固定化ゲルの生体分子分析法への応用、2005~2006年度
- 3) 眞山博幸、若手研究 B、ナノ多孔質体:フラクタル立体の制御と機能探索、2006~2007年度
- 4) 松尾剛、若手研究 B、二分子膜含有ポリマーゲルの創製と生体分子との活性相関、2006~2007年度

b. 奨学寄附金 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

- 1) 松尾剛 (島津科学技術振興財団):「光学活性ナノ構造制御ゲルの創製と新規分析法への応用」、2003年度、700千円、光学活性 DGI を合成し、それを用いて二分子膜固定化ゲルを作製し、光学分割ゲル電気泳動法の開発研究に取り組む。
- 2) 松尾剛 (有機合成化学協会):「アポトーシス誘導を指向した糖鎖を有する抗がん活性物質の創製」、2003~2004年度、500千円、アポトーシス誘導活性を有する糖及び糖鎖を組み込んだハイブリッド型新規抗がん活性化合物を合成すると同時に、糖の有用性を示す
- 3) 松尾剛 (資生堂サイエンス研究グラント):「光学活性

ナノ構造制御ゲルを用いた生体分子分析法の開発」、2004～2005年度、1,000千円、界面活性剤 DGI を用いた二分子膜固定化ゲルを作製する。そのゲルを電気泳動に用い、膜タンパク等の生体分子分析法の開発研究に取り組む。

c. 受託研究 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、研究内容)

- 1) 辻井薫、眞山博幸、松尾剛、巖 虎、方文軍 (科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (CREST)): 「自己組織化フラクタル表面の解析と設計」、2004～2007年度、ナノ領域で機能を示す表面の中でも、特異な存在であるフラクタル表面の生成メカニズムを解明する。
- 2) 眞山博幸 (ノーステック財団 研究開発助成事業 基盤的研究育成事業 (若手研究補助金)): 「フラクタル立体の創製」、平成16年度、全く新規な材料であるフラクタル立体を創製し、新しい機能を開拓する。

d. COE関係 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

- 1) 巖 虎、辻井薫、川端和重、芳賀永 (21世紀 COE 「バイオとナノを融合する新生命科学拠点」特別研究員): 「ナノ構造制御された表面上での細胞の運動/増殖挙動に関する研究」、2003～2004年度、本研究は、ナノデバイス研究分野の辻井らが開発した、ナノ構造制御された表面を、共同研究者らが有する細胞接着、力学的張力の解析技術 (ナノ力学測定用走査型プローブ顕微鏡など) と組み合わせ、細胞運動/増殖の機構解明に活用しようとするものである。具体的には、1) フラクタル構造を有する表面を用い、濡れと細胞接着の相関を解析する 2) 発色性二分子膜固定化ゲルを用い、細胞が及ぼす力をゲルの色変化として検出する 3) 力学的異方性ゲルを用い、細胞の運動方向との相関を解析する。
- 2) 辻井薫、加茂直樹、松尾剛 (21世紀 COE 「バイオとナノを融合する新生命科学拠点」共同研究プロジェクト): 「ナノ構造制御ゲルの新規生体分子分析法への応用」、2004年度、ナノデバイス分野の辻井と松尾らが創製した (キラル) 二分子膜固定化ゲルを、ゲル電気泳動法に応用し、加茂らが要求する有用な生体分子の分析に適用する。

#### 4.8 共同研究

a. 所内共同研究 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

- 1) 眞山博幸、辻井薫、松尾剛、巖 虎 (電子科学研究所): 「フラクタル立体の構築と機能」、2003～2004年度、自然界にはフラクタルパターン (例えば、海岸線、樹木、河川にみられる自己相似性パターン) が普遍的に存在しているが、そのフラクタル性を積極的に機能性のデザインに取り込んでいる研究例は超撥水/超撥油表面 (フラクタル表面) の研究を除いて皆無であり、フラクタル性を利用した機能性材料開発の研究は全くの手付

かずである。フラクタル表面の研究では、理論的に表面積無限大の表面を作ることができる点 (液滴と点で接触している状況でも平面上の大きな面積と接触していることと等価) を利用して、超撥水/超撥油表面の性質を発現させている。それでは次元の1つ高い3次元のフラクタル立体-内部にフラクタル表面を内在した多孔質状の立体 (有限の空間サイズ、理論的に無限小の体積と無限大の表面積を内在している) -ではどのような現象が発現するであろうか? 殆んど空間が占める立体であるため、断熱性が高いことは期待されるが、その他の現象、例えば、液体との相互作用等については大変関心がもたれるところである。しかしながら、類似した研究は皆無であり、その挙動は全くわかっていない。本研究はフラクタル立体の構築とその機能の解明を通じ、フラクタル性を積極的に利用した新しい機能性材料開発の分野を切り拓くことを目的としている。

- 2) 辻井薫、松尾剛、巖 虎、八木駿郎、武貞正樹 (電子科学研究所): 「異方性ヒドロゲルの創製とそのネットワークゆらぎ解析」、2003～2005年度、ナノデバイス研究分野の辻井らが、世界で初めて開発した二分子膜固定化ゲルは、重合直前にシアをかける等の方法によって異方性を付与することが出来る。この異方性ゲルのキャラクタリゼーションを、相転移物性分野の光散乱の手法を使って行う。

#### 4.10 社会教育活動

a. 公的機関の委員

- 1) 辻井薫: 東洋大学バイオ・ナノエレクトロニクス研究センター外部評価委員 (2004年2月23日～2004年3月31日)
- 2) 辻井薫: 独立行政法人・産業技術総合研究所・レビューボード委員 (2003年11月1日～2005年3月31日)
- 3) 辻井薫: 統合国際深海掘削計画・科学計画方針監理委員会 委員 (IODP・SPPOC 委員) (2003年10月1日～2006年3月31日)
- 4) 辻井薫: 宇宙環境利用検討委員会・基礎科学WG委員 (2002年9月1日～2003年8月31日)
- 5) 辻井薫: 宇宙環境を利用する基礎科学検討会・基礎化学検討分科会委員 (2001年4月1日～2003年9月30日)
- 6) 辻井薫: 深海調査研究委員会 委員 (2001～2003年度)
- 7) 辻井薫: 文部科学省・科学技術政策研究所 科学技術専門家ネットワーク 委員 (2000年4月1日～現在)
- 8) 辻井薫: 科学技術振興調整費総合研究「海底熱水系における生物・地質相互作用の解明に関する国際共同研究」運営委員会 委員 (2000～2004年度)
- 9) 辻井薫: 東洋大学バイオ・ナノエレクトロニクス研究センター外部評価委員 (2004年8月24日～2006年3月31日)
- 10) 辻井薫: 宇宙環境利用科学委員会・委員 (2005年5月10日～2007年3月31日)
- 11) 辻井薫: 東洋大学バイオ・ナノエレクトロニクス研究

- センター外部評価委員 (2006年4月1日～2008年3月31日)
- 12) 辻井薫: 日本学術会議連携会員 (2006年8月20日～2011年9月30日)
- 13) 辻井薫: 宇宙環境利用科学委員会・委員 (2005年5月10日～2008年3月31日)
- b. 国内外の学会の主要役職**
- 1) 辻井薫: 極限環境微生物学会・評議員 (2003年12月1日～現在)
- 2) 辻井薫: 日本化学会・コロイドおよび界面化学部会 監査 (2001年3月1日～2005年2月28日)
- 3) 辻井薫: 英国化学会出版雑誌「Soft Matter」の編集幹事 (Editorial Board) (2005年1月5日～現在)
- 4) 辻井薫: 日本化学会・第59回コロイドおよび界面化学討論会実行委員長 (2006年3月1日～2007年2月28日)
- 5) 辻井薫: ナノ学会理事 (2006年5月21日～2008年3月31日)
- 6) 辻井薫: 日本化学会・化学技術賞等選考委員会委員長 (2006年4月1日～2007年3月31日)
- c. 新聞・テレビ等の報道**
- 1) 黒木一誠、巖 虎、眞山博幸、辻井薫: 化学工業日報 2005年5月24日「題目: 超撥水プラスチック膜の開発概要: 北海道大学の辻井薫教授らのグループは、耐久性に優れた超撥水性プラスチック膜の開発に成功した。」
- 2) 黒木一誠、巖 虎、眞山博幸、辻井薫: 日経産業新聞 2005年5月19日「超撥水プラスチック膜北海道大学電子科学研究所ナノテクノロジー研究センターの辻井薫教授らは、水を強くはじく耐熱プラスチック膜を開発した。」
- d. 修士学位及び博士学位の取得状況**
- ・修士学位
- 1) 小澤純: 重合性界面活性剤とアクリルアミドとの独立した組織化重合 (2005)
- 2) 石原敬基: 二分子膜固定化ゲルを用いた新規なゲル電気泳動法の開発 (2007)
- 3) 黒木一誠: 高耐久性超撥水・高撥油表面に関する研究 (2007)
- ・博士学位
- 1) 陳新江: Self-Assembly, Polymerization Behaviors and Applications to Functional Polymer Gels of an Amphiphilic Monomer in Lamellar Liquid Crystalline Phase (2007)
- 2) 秋山恵里: Thickening Properties and Emulsification Mechanisms of Water-Soluble Amphiphilic Polysaccharides (2007)、論文博士
- f. 外国人研究者の招聘 (氏名、国名、期間)**
- 1) Darrin J. Pochan、USA、2005年12月14日～2005年12月15日
- 2) Peter A. Kralchevsky、Bulgaria、2005年6月24日～2005年6月30日
- g. 担当授業科目 (対象、講義名、担当者、期間)**
- 1) 理学部、生体高分子の物理化学Ⅱ、辻井薫、2003年10月1日～2004年3月31日
- 2) 理学部、生物高分子科学、辻井薫、2003年10月1日～2004年3月31日
- 3) 全学部共通、一般教育演習、辻井薫、2003年10月1日～2004年3月31日
- 4) 全研究科共通、ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論、辻井薫、2003年度
- 5) 全学部共通、化学Ⅱ、辻井薫、2004年10月1日～2005年3月31日
- 6) 理学部、生体高分子の物理化学Ⅱ、辻井薫、2004年10月1日～2005年3月31日
- 7) 理学部、生物高分子科学、辻井薫、2004年10月1日～2005年3月31日
- 8) 全学部共通、複合科目 環境と人間 「21世紀を拓くナノ・光科学」、辻井薫、2004年4月1日～2004年9月30日
- 9) 理学部、生体高分子の物理化学Ⅱ、辻井薫、2005年10月1日～2006年3月31日
- 10) 理学部、生物高分子科学、辻井薫、2005年10月1日～2006年3月31日
- 11) 全学科共通、複合科目 環境と人間「次世代産業革命の旗手＝ナノテクノロジー」、辻井薫、2005年4月1日～2005年9月30日
- 12) 全学科共通、科学技術の世界「ナノバイオサイエンスーバイオとナノの融合」、辻井薫、2005年4月1日～2005年9月30日
- 13) 全研究科共通、ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論、辻井薫、2005年4月1日～2005年9月30日
- 14) 理学部、生体高分子の物理化学Ⅱ、辻井薫、2006年10月1日～2007年3月31日
- 15) 理学研究科、分子組織科学特論、辻井薫、2006年10月1日～2007年3月31日
- 16) 理学研究科、生命理学概論、辻井薫、2006年4月1日～2006年9月30日
- 17) 全学科共通、光・バイオ・分子で拓くナノテクノロジー、辻井薫、2006年4月1日～2006年9月30日
- 18) 全学科共通、科学技術の世界「ナノバイオサイエンスーバイオとナノの融合」、辻井薫、2006年4月1日～2006年9月30日
- 19) 全研究科共通、ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論、辻井薫、2006年4月1日～2006年9月30日
- 20) 理学研究科、科学技術と社会システム特論 (Advanced-COSA)、辻井薫、2006年4月1日～2007年3月31日
- h. 北大以外での非常勤講師 (担当者、教育機関、講義名、期間)**
- 1) 辻井薫、東京大学工学研究科、化学システム工学特別講義第2、2004年4月1日～2004年9月30日

# ナノ理論研究分野

教授 徳本洋志 (阪大院、理博、2002.11~)  
 助教授 岡嶋孝治 (東工大、理博、2003.4~)  
 助手 植杉克弘 (広大院、工博、2002.4~2004.3)  
 助手 畔原宏明 (東工大、工博、2004.2~)  
 COE 研究員 Tao Xiangming (浙江大院、理博、2004.9~2005.9)  
 科学技術支援員 笠沼由香 (武蔵工大、2005.2~2006.3)  
 学術研究員 浮田桂子 (弘前大学、2006.6~)  
 院 生 門脇 翼 (2005.4~2007.3)、  
 井手康一郎 (2006.4~)  
 我妻邦浩 (2006.4~)、勝股宗弘 (2006.11~)

## 1. 研究目標

ナノ理論研究分野では、ボトムアップナノテクノロジーの基幹技術の1つである走査プローブ顕微鏡(SPM)技術と優れたナノ材料であるナノカーボン材料(カーボンナノチューブやグラフェン)の高度化を目指す。特に、この両者を組み合わせた新規バイオナノ計測・診断(単一分子、単一細胞の構造と機能の相関解明)技術の開発に中心をおいている。さらに、これらの研究成果を下に、ナノテクノロジー新領域(複合領域ナノサイエンス)創製に向け分野横断的・融合的な研究課題の探索を行う。

## 2. 研究成果

### (a) 細胞・1分子計測に関する研究

#### (a-1) 低侵襲バイオイメージングに関する研究

非常に柔らかい生体材料を液体中において低侵襲でイメージングする自励発振による原子間力顕微鏡(AFM)技術を開発した(図1(a))。また基板・探針間距離と周波数シフトの詳細な測定から(図1(b))、液中の自励発振系においも引力と斥力とを周波数値の増減として分解できることも明らかにした。

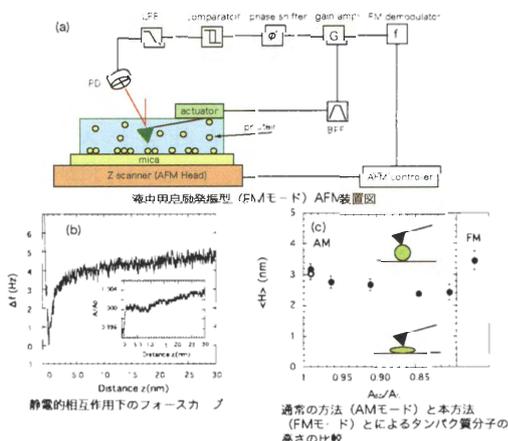


図1. (a)自励発振型 AFM 装置。(b)静電的相互作用を含むフォースカーブ。(c)AM モードと FM モードによるイメージングの高さ  $\langle H \rangle$  の比較。

これまでに基板に弱く吸着した繊維状タンパク質を観察した結果、イメージングから得られたタンパク質の高さは電子顕微鏡観察で見積もられた値に一致し、自励発振型 AFM 法では試料の変形が最小限に抑えられることが分った。今回、球状タンパク質の卵白アルブミン分子を用いて、本方法(FM モード)と通常の振幅イメージング法(AM モード)との比較を行い、本方法では分子の高さが大きくタンパク質の変形が抑えられていることも分った(図1(c))。

### (a-2) 1分子の動的力学物性に関する研究

東工大猪飼研究室との共同で AFM を用いて1分子の内部構造を力学的に変形するとともに分子間の結合力を測定し1分子のレオロジー的性質を調べる装置を開発し(図2(a))、タンパク質1分子の構造転移近傍におけるダイナミクスの測定を行った。酵素タンパク質(ウシ由来の炭酸デヒドラターゼ II 型の変異体)を延伸させると、天然型構造の Type I 型と非天然型構造の Type II 型とで異なる延伸挙動を見出した(図2(b))。また、延伸過程では Type I から Type II へ構造転移(#2と#3の間)するが、収縮過程では転移しないことも見出した(図2(c))。さらに、Type I の状態(#1と#2)では逆位相応答(矢印)を、Type II (#3-6)では同相の応答を得た(図2(d))。この挙動は、酵素タンパク質の局所的なリフォールディングに密接に関連している。

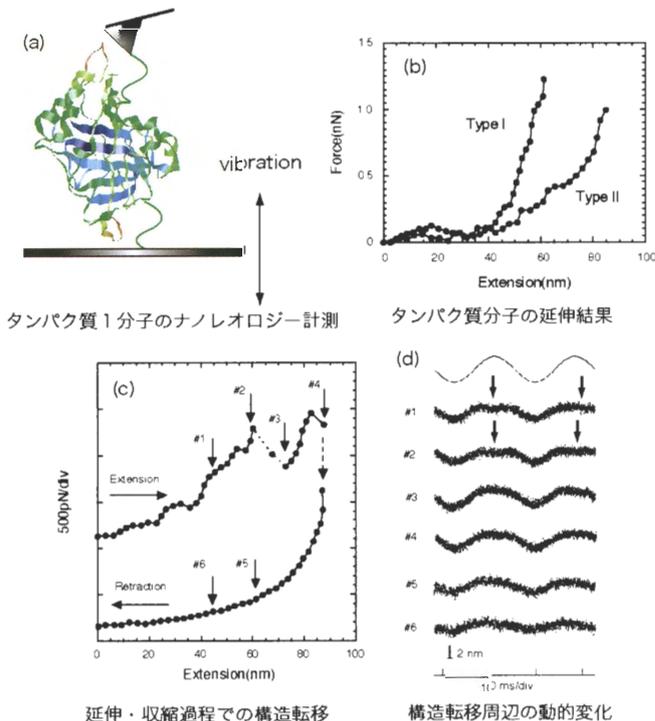


図2. (a)ナノレオロジー測定法。(b)酵素タンパク質(ウシ由来の炭酸デヒドラターゼ II 型の変異体)の力-伸長曲線。(c)延伸・収縮過程の力-伸長曲線。(d)力学応答の時系列データ。

### (a-3) 1分子マニピュレーションに関する研究

原子間力顕微鏡(AFM)を用いて、ランダムな構造を有する高分子鎖を基板に対して精密に一軸延伸する延伸補正法を開発した。従来の1分子延伸法では、分子を捕らえた探針を基板に垂直な方向に延伸するため、延伸される分子

は、必ずしも基板に対して垂直方向に延伸されていなかった。また、装置の擾乱により分子の延伸方向が変化してしまうという問題もあった。今回開発した方法は、延伸方向とは水平方向に力が最小になるようにフィードバックをかけて、分子と探針との間の相対位置情報を取得し、分子が基板と接触している点（剥がし点）と探針の位置とを結ぶ直線が基板面に対して常に垂直になるように制御することができる（図3）。1分子の外部環境依存性や1分子広帯域計測を困難としている AFM 装置のドリフトを回避する方法として期待される。

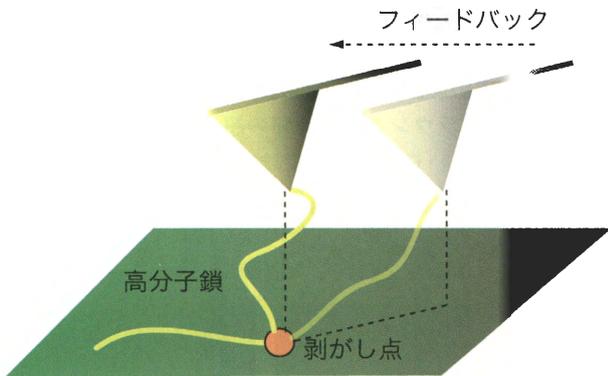


図3. 延伸軸補正法の基本原理。AFM 探針の位置が剥がれ点の垂直線上に追従する。従って、探針と基板との間のドリフトを補正した計測が可能となる。

(a-4) ゲル表面からの1分子延伸特性の網目構造依存性

前年度において、AFMを用いた1分子計測法により、高分子鎖間の摩擦やトポロジカルな絡み合い相互作用を測定する方法を開発した。本方法は、高分子ゲルに高分子鎖を極低濃度で埋め込み、その埋め込んだ高分子をゲルから引っ張り出すときに生じる力を測定する。準希薄媒体や濃厚媒体の中で1分子計測を可能とする新手法であるが、一方で、高分子鎖間の摩擦力およびトポロジカルな絡み合い相互作用と延伸挙動との詳細な関係は不明であった。そこで、ゲルの網目構造の変化に対する延伸挙動を調べた。図4に示すように、1分子の延伸特性には、力がほぼ一定のフォ

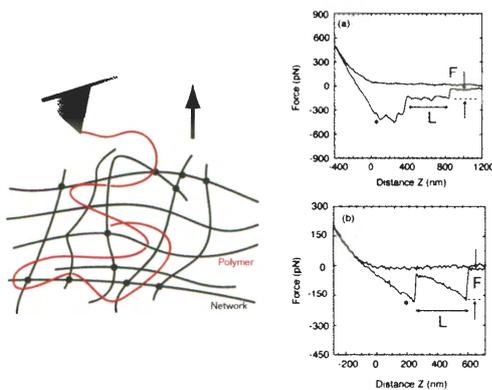


図4. 高分子ゲル基板を用いた非特異的分子間相互作用の1分子延伸測定法の概念図。高分子バルク材料（ゲル）に埋め込まれた網目と1分子高分子鎖との間の相互作用を計測する。(右)ゲルから引き延ばされた分子の長距離力学相互作用の一例。固体基板を用いて測定では得られない力がほぼ一定の力曲線が得られる。

ースカーブ（図4(a)）と非線形のフォースカーブ（図1(b)）の2種類に大別できる。ゲルの架橋密度を変化させると、各々の形状における延伸力に大きな変化は見られなかったが、延伸距離は変化が見られた。つまり、架橋密度を増加させて網目構造の不均一構造を増加させると、延伸距離は極端に減少することが分かった。これらの結果と考察から、非線形に延伸される場合は、高分子鎖が網目構造にピン留めされており、また、一定力で延伸される場合は、高分子鎖間の非特異的相互作用に起因すると結論された。以上から、ソフトマテリアル表面の内部構造を1分子レベルで探索できことが示された。

(a-5) 細胞表面の熱揺らぎ計測

AFMの力学計測の利点の1つは、その高い時間分解能にある。その利点を引き出すことにより、細胞表面のマイクロ秒領域のナノレオロジーを測定できると期待される。AFMカンチレバーの熱ノイズ解析法を用いて、生細胞の粘弾性特性を実測できることを示した。本手法は、カンチレバー探針を細胞表面に接触させ、その時のカンチレバーの熱振動スペクトルの変化を測定する。これにより、細胞表面の極めて理想的な線形応答を測定することができる。図5は、本手法を用いて測定したラット肝細胞の熱振動スペクトルである。AFM探針を接触させることにより、熱振動スペクトルが低周波数側にシフトし、ブロードになることが分かる。このスペクトルを、一般化ランジュバン関数を用いることにより、カンチレバー・細胞表面の系における、有効摩擦係数の周波数依存性を実測した。

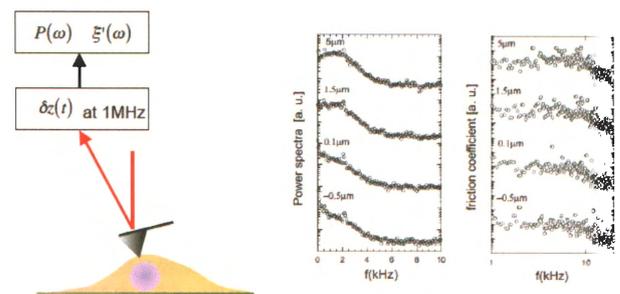


図5. 細胞表面の熱揺らぎ計測法の概念図（右）とカンチレバーの熱振動スペクトル・摩擦係数の周波数依存性（左）。

(a-6) 原子間力顕微鏡による生細胞の応力緩和測定

細胞の構造と機能を理解するために、そのナノ・マイクロスケールの粘弾性を理解することは重要である。原子間力顕微鏡 (AFM) を用いて細胞の粘弾性を調べる方法として広く用いられているフォースモジュレーション法は、外場振動に対する力学応答を測定する周波数測定であり、弾性率の実部と虚部とを精密に計測できる利点をもつ。一方で、粘弾性を調べるもう1つの手法である時間領域測定は、短時間で広帯域の粘弾性を半定量的に測定できる利点をもつが、AFMによる計測はこれまで非常に限られている。本研究では、AFMによる応力緩和測定法を構築し、生細胞表面の緩和過程の測定を行った。測定方法は、図6に示すように、カンチレバー探針を細胞表面に押しつけ、その

圧縮力の時間発展を測定する。細胞に圧入するプローブの形状が応力緩和過程にどのような影響を及ぼすかを調べるため、通常先鋭化探針の他に先鋭化探針の先端に微小なコロイド粒子（粒径約  $1\ \mu\text{m}$ ）を装着したコロイドプローブカンチレバー（図7(左))を用いて測定を行った。コロイドプローブカンチレバーは、ナノマニピュレータを用いて電子顕微鏡下で作成した。先鋭化探針とコロイドプローブを用いてマウス繊維芽細胞 (NIH3T3) の応力緩和過程を測定した結果、共に、明瞭な緩和過程が測定された（図7(右))。そして、それらの緩和過程は共に多分散であり、少なくとも  $400\text{pN}$  程度の圧縮力において、緩和時間や多分散性に大きな違いはないことが分かった。また、ヒト肝細胞 (HepG2) の応力緩和測定において、応力緩和過程と動的弾性率（ヤング率）との相関を調べた結果、特徴的な相関は見られなかった。本結果は、測定された応力緩和過程が、細胞骨格だけでなく、その他の細胞質の緩和過程の重ね合わせからなることを示唆した。

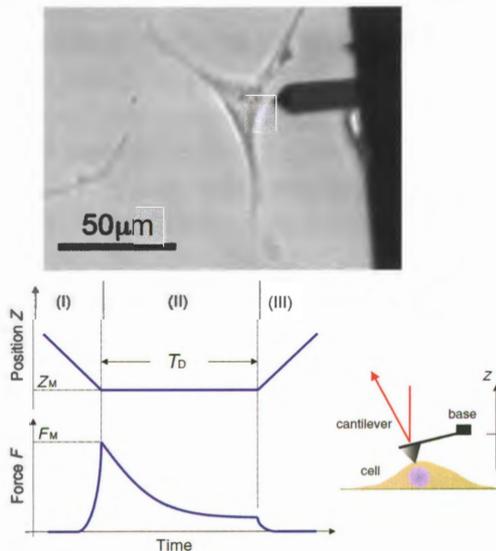


図6. (左) AFMによる応力緩和計測法の概念図。応力緩和測定方法の概念図。AFM カンチレバー探針・コロイドビーズをカンチレバーに押しつけて (I)、応力緩和過程を測定する (II)。測定後、AFM プローブを引き離す (III)。(右) カンチレバーを繊維芽細胞に粗動で近づける過程の光学顕微鏡写真。

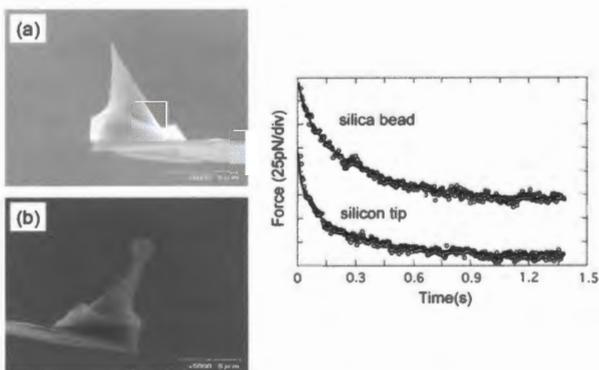


図7. (左) 先鋭化探針と作成したコロイドプローブカンチレバーの電子顕微鏡写真。(右) 先鋭化探針とコロイドプローブカンチレバーによる測定された繊維芽細胞の応力緩和過程の一例。

(b) バイオ分析用 CNT-AFM ナノテクノロジーに関する研究

カーボンナノチューブ (CNT) を用いバイオ・生体関連材料の極微小領域の構造を解析・分析する AFM 新技術を開発することを目的に、脂質二分子膜（細胞模擬膜）への探針挿入技術、CNT 探針先端の化学修飾技術および CNT 探針を用いた化学力 AFM プローブ作製技術等の要素技術の研究を行った。

(b-1) CNT と AFM ナノテクノロジーに関する研究

産業技術総合研究所と共同研究を進め、FE-SEM 中で市販の探針先端に付着した低融点の金属を加熱・融解し、その中へ CNT を挿入し固定する方法により安定な SPM 探針を作成する手法を確立した。さらに、研究の効率を高めるため、ターンアラウンドが短時間の超小型 SEM と小型マニピュレータを用い CNT-AFM 探針を作製し、長さの制御とともにその特性を測定した。長さに関しては、細胞内を刺入することを考慮し  $100\text{nm}$  前後の径を持つ CNT が、約  $1\ \mu\text{m}$  突出するように長さを調整した（図8）。

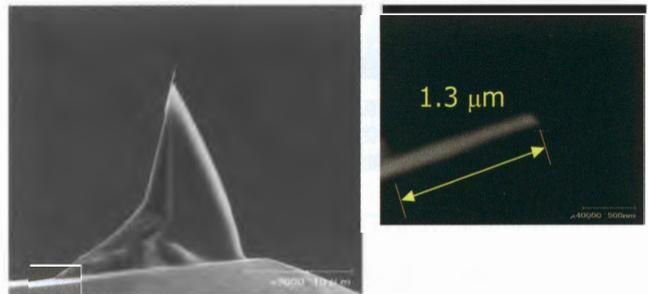


図8. 作製した CNT 探針の SEM 像。

次に、上記の標準的な手順で作製した CNT 探針が大気中タッピングモード AFM の探針として使用できることを確認した。具体的には、aminopropyltriethoxysilane 処理したマイカ基板に DNA 溶液を滴下し、乾燥した試料を観察した。1時間以上、繰り返し走査した後でも CNT 探針は破壊されることがなく、安定に DNA 分子の像を得ることができた（図9）。

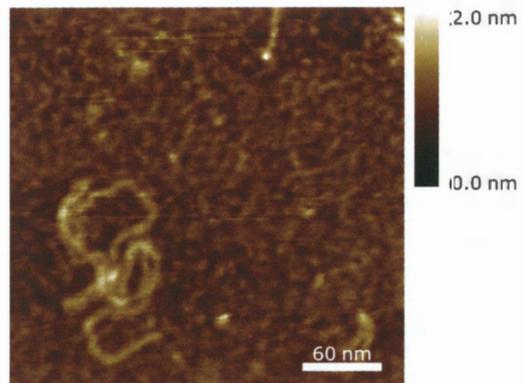


図9. DNA 分子観察例。

(b-2) CNT の化学修飾に関する研究

バイオ・生命関連材料の極微小領域の構造を解析・分析する CNT-AFM 新技術の開発を目指した研究を開始した（日立製作所との共同研究）。そのための CNT-AFM 探針には、横方向の強度を確保するために多層 CNT を用いた。さ

らに、極微小領域の分析を可能にするためには、プローブ先端と試料の間に働く固有の相互作用（化学結合力あるいは分子認識力）を計測する技術、化学結合力（分子認識）AFM 技術（図10）が有力である。さらに、多層 CNT 先端を化学修飾することが重要技術であるが、現在のところ確立していない。そのため、比較的研究が進んでいる単層 CNT の化学修飾技術について調査し、本研究で行う単層 CNT に近い性質を有している二層 CNT の化学修飾手順を採用することとした。これに基づき、入手したままの状態では図11(上)に示すように多くの不純物が混入していた状態から、本手順により図11(下)に示すように大きく精製ならびに切断が進んでいることを確認した。

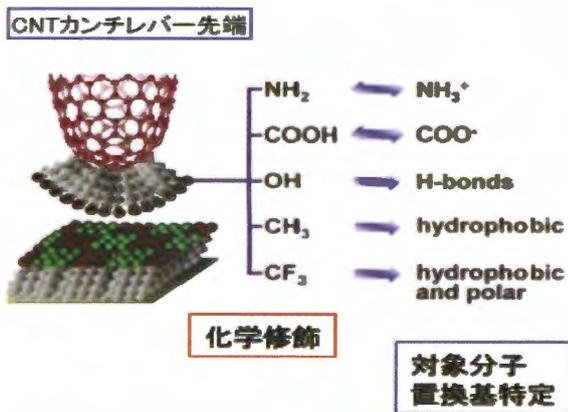


図10. CNT-AFM プローブ先端部の化学修飾と分子認識計測イメージ。



図11. 入手後処理をしていない二層 CNT (上)と精製・切断した二層 CNT の電子顕微鏡像 (下)。

### (b-3) 脂質二分子膜の探針挿入

本年度は細胞膜のモデルとして DMPC（ジミリスチルホスファチジルコリン）による脂質二分子膜を用意し、脂質二分子膜に対しフォースカーブ測定を実施した。比較のために用いた親水性のシリコン製ピラミダル探針を用いた場合は、膜は探針により穿孔されることがわかった。一方、CNT 探針を用いた場合、上述のピラミダル探針を用いた場合と同等の力を膜に印加すると、膜は穿孔される代わりに圧縮され、その後復元する様子が観察された（図12）。この結果は、CNT 探針を用いる場合、細胞膜に対して不意に大きな力がかかったとしても細胞の生死に関わるダメージとはならないことを示唆している。また CNT 探針の表面は本来的には疎水性であることが知られているが、我々の作成した CNT 探針の場合、次項との関連で CNT の切断先端が親水性となっているものと想定できる。この先端特異性により、生体分子を始めとする興味のある化学修飾を CNT 探針の先端部に限定して施すことが可能であると期待される。

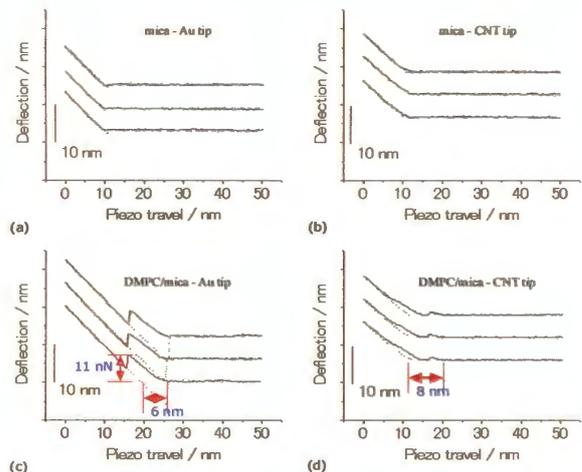


図12. シリコン製ピラミダル探針および CNT 探針を用いたフォースカーブ測定。前者では脂質二分子膜は探針により穿孔され (c)、CNT 探針では膜が穿孔される代わりに圧縮された (d)。どちらの場合も複数回にわたりフォースカーブが再現されることから、穿孔あるいは圧縮後は元通りに復元していると考えられる。

### (b-4) CNT 探針の COOH 基修飾と化学力 AFM

日立製作所との共同研究で化学力顕微鏡用の CNT 探針の研究開発を行なった。走査方向への剛性を確保するため、直径が100 nm 以上の大口径 MWNT を用いた。探針の CNT 部分が1 µm となるよう切断し、その切断先端の化学組成を推測する目的で、カルボキシル基 (-COOH) やアミノ基 (-NH<sub>2</sub>) を表面に持つ基板に対し、リン酸緩衝溶液中で pH を制御しながらフォースカーブ測定を実施した。その結果、CNT 探針の先端はカルボキシル基を含むことが判明した。カルボキシル基が様々な化学反応に利用できる官能基であることから、この CNT 探針を基材とすることにより、目的に応じた任意の分子による修飾探針が得られることが期待される。さらに、このカルボキシル基を含む CNT 探針を用い、親水性-疎水性のパターン試料に対して摩擦力あるいは吸着力の違いを明瞭に識別し、画像化できることを確認した（図13）。

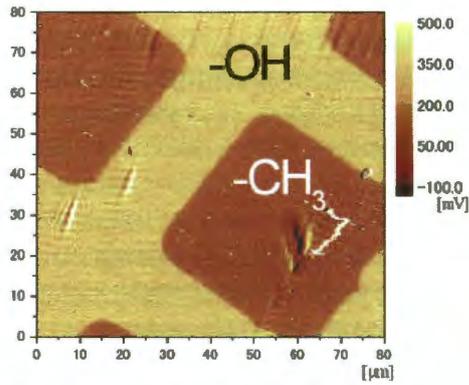


図13. 先端にカルボキシル基を持つCNT探針を用い、それぞれ-OH基（親水性）と-CH<sub>3</sub>基（疎水性）で終端したパターン試料における摩擦画像。

更に進めてCNT探針先端のカルボキシル基に対し、有機合成法により化学的に改変する方法を開発した。探針先端の官能基の数はCNT先端が鋭利であることに対応して非常に少ないため、通常の分光学的手法では化学的改変が起こったかどうかを調べることは難しい。そのため我々は、表面にシラノール基を持つマイカ試料表面に対し、リン酸緩衝溶液中でpHを制御しながらフォースカーブ測定を実施することで、設計した通りに化学反応が進行したことを確認した（図14）。この結果は、CNT探針を基材とすることにより、CNT探針の逐次的な化学修飾が可能であることを強く示唆するものであった。具体的には、核酸塩基またはペプチドオリゴマー分子にて修飾されるAFM探針を容易に作製することが可能になると期待でき、現在進行中である。

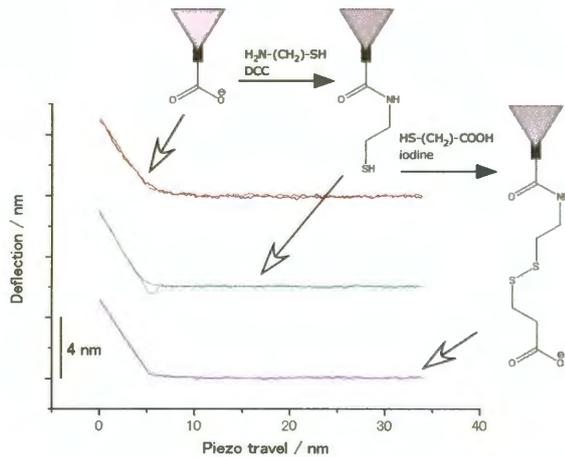


図14. CNT探針の官能基の変更にともなうフォースカーブの変化（試料はマイカ、pH7.3）。カルボキシル基が存在すれば、静電的な斥力が観察される（pH7.3）。

(c) ナノカーボン材料の応用創製に関する研究  
(c-1) CNT-FE電子源に関する研究

産業技術総合研究所（産総研）と共同で、CNTを用いて目的に適した安定なSPM探針を作成する手法を確立した。すなわち、FE-SEM中で低融点の金属を加熱・融解しCNTを挿入することにより、市販の探針にCNTを固定した。この手法により、電気的には13kΩでオーミックな接合（図15）、2GPa以上の応力強度を実現した。さらに、この経験

に基づき超小型SEM装置を用いて図16のようなCNT-AFM探針作成装置を設計・製作した。

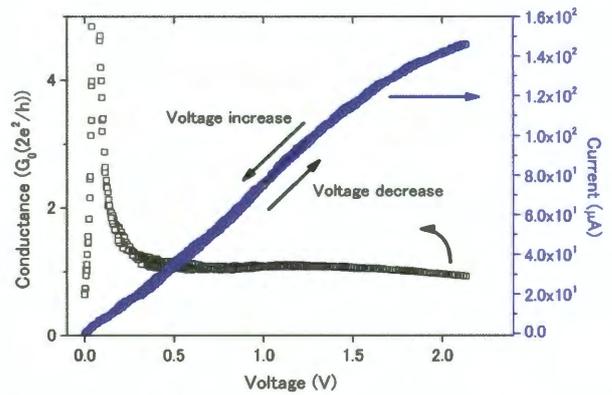


図15. 低融点の金属を加熱・融解しCNTを挿入することにより、市販の探針にCNTを固定し実現した13kΩでオーミックな接合の電気的特性。



図16. 試作した超小型CNT-AFM探針作成装置。

以上の技術をもとに日立製作所・産総研と共同して、CNTを用いた電界放出（FE: Field Emission）電子源の評価を行った。まず、電子放出先端の構造とFE電流の相関、FE電子放出サイトの同定の研究を開始した。電子顕微鏡で構造を観察しながらFE電流を増大（実際にはFE電圧を増大）した（図17）。準備直後は先端部がコンタミ層で覆われてい

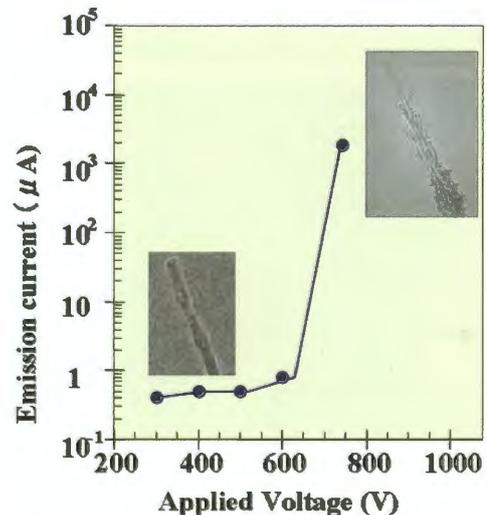


図17. CNT先端近傍のSEM像とFE電流の関係

るため電圧印加後しばらくはFE電流が殆ど流れなかった。しかし、電圧を増大するとある値のところまでコンタミ層がとれFE電流が急激に増大し、その後は電圧を減少し再現性よく電流が流れた(図17)。

引き続きFE電子放出サイトをTEMのアンダーフォーカス・ローレンツ顕微鏡モードで直接観察し、確かに電子放出サイトが観察できることを図18のように明るいスポットとして確認できることを見出した。

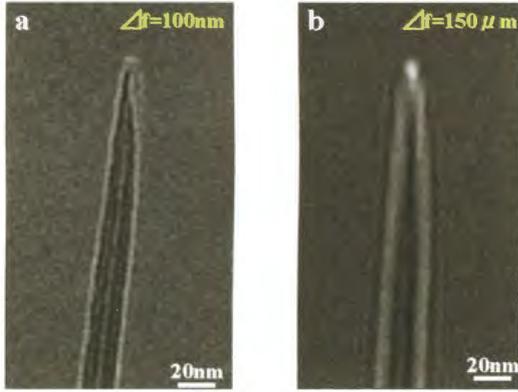


図18. 450 V、24 μ Aの状態でのアンダーフォーカス・ローレンツ顕微鏡イメージ。デフォーカス距離を変化すると明瞭な白点として電子放出サイトが現れる。

(c-2) グラフェンシート創製の研究

グラフェンシートは炭素原子が  $sp^2$  軌道で結合した炭素原子一個の厚さのシートで、特異な物理現象(ディラック・フェルミオン、ドーピングにより n 型・p 型伝導にもなりえる、など)を有している。2004年以降に、グラファイトから一層のグラフェンシートを剥がす、1,400°Cの高温加熱により SiC 表面に成長する、などによりグラフェンシートを作製できるようになり、重要な研究材料となった。更に、グラフェンシートは、カーボンナノチューブ(CNT)に匹敵する電気・機械・化学特性を有している。一方、CNTでは直径の制御や金属・半導体の作りわけ等の問題を残しているが、グラフェンシートにはこれらの問題はないため、良質の材料が純度よく量産できれば、CNTを凌駕する応用が期待できる。このような特長に注目が集まり、米国やヨーロッパでは研究開発が勢力的に行われている。日本では物性研究に中心がおかれ、CNTに比べて応用研究は非常に少なく、電子源としての応用が試みられている程度で研究の緒についたところである。低温で高品質のグラフェンシートを多量に成長することができれば、基礎から応用にいたる研究を革新的に展開できると期待できる。

我々は、寿産業株式会社・札幌エレクトロプレイティング株式会社と共同研究体制を組み、リサイクルの一つとして廃タイヤ由来炭化物の高機能化の研究を行ってきた。この研究中に、無電解 Ni メッキを比較的高温(～90°C)で行うと Ni 粒子表面にグラフェンシートが成長することを見出した(図19)。その後、主に電子顕微鏡観察・ラマン散乱測定・X線回折(XRD)・XPS測定を中心として評価を行い、グラフェンシートであることを確実なものとした。この段階で、製造特許の申請をすべく準備中である。と同時に、

成長のメカニズム解明(図20に成長モデルを記した)へ向けて、成長制御とナノスケール評価との相関を、現在、詳細に調べている。

グラフェンシートは、セロテープを用いてグラファイトから一層を剥しとること、SiC基板を1,400°Cの高温加熱することにより得ることができる。前者は特別な訓練が必要かつ量産が困難、後者は高温処理が必須かつ量産が困難、などの問題がある。見出した手法では95°Cの低温で成長できる、任意の材料表面に成長できる、量産が可能である、などの特長があり、各種のデバイスプロセスとの整合性が優れている。低温で高品質の材料が量産・任意材料表面での成長ができるとともにグラフェンペーパーができれば、物性研究・応用研究が大きく進展すると期待できる。特に、SiやSiO<sub>2</sub>表面に成長できることは、高密度LSIの横配線(富士通研究所がCRESTで研究開発を開始)やセンサーデバイス開発などに大きな寄与ができる。



図19. 成長したグラフェンシートのSEM(上)、TEM写真(中)とラマン散乱スペクトル(下)。

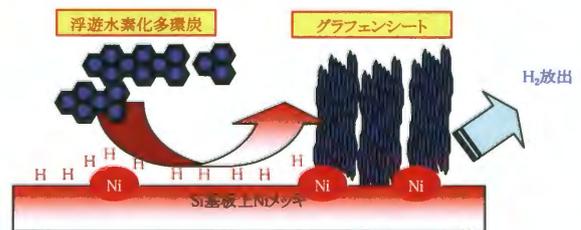


図20. グラフェン成長モデル

(d) ナノテクノロジー新領域創製に向けた戦略的な研究の企画・立案に関する研究

「複合領域ナノサイエンス」の一つとして「重点4分野の2つをつなぐ生命科学とナノテクノロジーの融合」がある。この流れを基本に、阪大産研、東北大多元研、東工大資源研、東大先端研、九大先導研の6研究所と連携し、「6研究拠点間アライアンス実現に向けたポストシリコンの戦略的研究」という研究システムを文部科学省にも参加していただき研究体制構築を検討し、その後、文部科学省の指導もあり阪大産研、東北大多元研、東工大資源研と北大電子研の4研究所でアライアンスを組んで「ポストシリコンの戦略的研究」を行うこととなった。また、バイオ用 AFM 技術や低圧動作 SEM 開発のためのカーボンナノチューブ電子源の開発研究を産業技術総合研究所、日立一北大包括連携の中で行っている。一方、ナノテクノロジーに関する先端研究機器の共同利用を含めた支援事業を北海道大学へも導入すべく、文部科学省および物質材料研究機構と綿密な打合せを行い、平成19年度からそれを可能にした。

### 3. 今後の研究の展望

電子科学研究所では、物理・化学・生物学から電子工学・情報科学・システム工学・生命科学までを広く融合した「複合領域ナノサイエンス」分野の研究をスローガンに掲げ、附属ナノテクノロジー研究センターを設置し、新研究領域の開拓を目指している。これまでの光・生命・分子に関する研究の蓄積ポテンシャルに加え、CNT-SPM を用いたナノテクノロジーに関する研究を融合し、電子科学研究所のオリジナル研究領域を開拓してゆく。特に、「4研究拠点間アライアンスのもとポストシリコンの戦略的研究」の中では、低侵襲で高分解能の生体観察・制御用プローブ顕微鏡や実時間単一分子計測技術などをナノテク技術者と生命科学研究者の力を結集して開発研究に取り組む。

## 4. 資料

### 4.1 学術論文等

- 1) Y. Lian, Y. Maeda, T. Wakahara, T. Nakahado, T. Akasaka, S. Kazai, N. Minami, T. Shimizu and H. Tokumoto: "Spectroscopic study on the centrifugal fractionation of soluble single-walled carbon nanotubes", *Carbon*, 43(13): 2750-2759 (2005)
- 2) Y. Maeda, S. Kimura, M. Kanda, Y. Hirashima, T. Hasegawa, T. Wakahara, Y. Lian, T. Nakahado, T. Akasaka, J. Lu, X. Zhang, Z. Gao, Y. Yu, S. Nagase, S. Kazai, N. Minami, T. Shimizu, H. Tokumoto and R. Saito: "Large-Scale Separation of Metallic and Semiconducting Single-Walled Carbon Nanotubes", *J. Am. Chem. Soc.*, 127(29): 10287-10290 (2005)
- 3) M. Kuwahara, P. J. Fons, J. Tominaga, K. Honma, A. Egawa, T. Miyatani, K. Nakajima, H. Abe and H. Tokumoto: "Development of a geometrical evaluation for ultra-high 100 GB optical disk masters", *Review of Scientific Instruments*, 76(8): 83706-83709 (2005)
- 4) T. Fujieda, K. Hidaka, M. Hayashibara, T. Kamino, Y. Ose, H. Abe, T. Shimizu and H. Tokumoto: "Direct observation of field emission sites in a single multiwalled carbon nanotube by Lorenz microscopy", *JJAP*, 44(4A): 1661-1664 (2005)
- 5) Y. Naitoh, T. Liang, H. Azebara and W. Mizutani: "Measuring Molecular Conductivities Using Single Molecular-Sized Gap Junctions Fabricated without Using Electron Beam Lithography", *JJAP*, 44(15): L472-L474 (2005)
- 6) H. Azebara, T. Liang, T. Ishida, Y. Naitoh and W. Mizutani: "Conductivity Measurements of Stilbene-Based Molecules Incorporated into Self-Assembled Monolayers by Conducting Probe Atomic Force Microscopy", *JJAP*, 43(7B): 4511-4516 (2004)
- 7) Y. Maeda, S. Kimura, Y. Hirashima, M. Kanda, Y. Lian, T. Wakahara, T. Akasaka, T. Hasegawa, H. Tokumoto, S. Maruyama, K. Kobayashi and S. Nagase: "Dispersion of Single-Walled Carbon Nanotube Bundles in Nonaqueous Solution", *Journal of Physical Chemistry B*, 108(48): 18395-18397 (2004)
- 8) T. Okajima, H. Arakawa, M. T. Alam, H. Sekiguchi and A. Ikai: "Dynamics of a partially stretched protein molecule studied using an atomic force microscope", *Biophys. Chem.*, 107: 51-61 (2004)\*
- 9) Y. Lian, Y. Maeda, T. Wakahara, T. Akasaka, S. Kazai, N. Minami, T. Shimizu, N. Choi and H. Tokumoto: "Nondestructive and High-Recovery-Yield Purification of Single-Walled Carbon Nanotubes by Chemical Functionalization", *J. Phys. Chem. B*, 108(6): 8848-8854 (2004)\*
- 10) S. Ganapathy, T. Periyasamy, M. Kurimoto, H. Kumano, K. Uesugi, I. Suemune, H. Machida and N. Shimoyama: "Observation of reflection high-energy electron diffraction oscillation during MOMB growth of AlAs and related modulated semiconductor structures", *Physica E*, 21: 756-760 (2004)\*
- 11) T. Liang, H. Azebara, T. Ishida, W. Mizutani and H. Tokumoto: "Synthesis of Oligo(para-Phenylenevinylene) Methyl Thiols for Self-Assembled Monolayers on Gold Surfaces", *Synth. Met.*, 140(2-3): 139-149 (2004)\*
- 12) T. Shimizu, H. Abe, A. Ando, Y. Nakayama and H. Tokumoto: "Electrical conductivity measurements of a multi-walled carbon nanotube", *Surface and Interface Analysis*, 37(2): 204-207 (2004)
- 13) T. Fujieda, K. Hidaka, M. Hayashibara, T. Kamino, H. Matsumoto, Y. Ose, H. Abe, T. Shimizu and H. Tokumoto: "In situ observation of field emissions from an individual carbon nanotube by Lorentz microscopy", *Appl. Phys. Lett.*, 85(23): 5739-5741 (2004)
- 14) M. Kageshima, S. Takeda, A. Ptak, C. Nakamura, J. Suzi,

- H. Tokumoto and J. Miyake: "Measurement of intramolecular energy dissipation and stiffness of a single peptide molecule by magnetically modulated atomic force microscopy", *JJAP*, 43(12A): L1510-L1513 (2004)
- 15) S. Ganapathy, T. Periyasamy, M. Kurimoto, H. Kumano, K. Uesugi, I. Suemune, H. Machida and N. Shimoyama: "Observation of reflection high-energy electron diffraction oscillation during MOMBE growth of AlAs and related modulated semiconductor structures", *Physica E*, 21: 756-760 (2004)
  - 16) M. Kuwahara, H. Abe, H. Tokumoto, T. Shima, J. Tomi-naga and H. Fukuda: "Practical use of a carbon nanotube attached to a blunt apex in an atomic force microscope", *Materials Characterization*, 52(1): 43-48 (2004)
  - 17) Y. Maeda, S. Kimura, T. Hasegawa, Y. Lian, T. Wakahara, T. Akasaka, H. Abe, N. Choi, T. Shimizu, H. Tokumoto, S. Kazau and N. Minami: "Removal of carbonaceous materials from single-walled carbon nanotubes by a simple chemical modification", *ITE Letters on Batteries, New Technologies & Medicine*, 5(3): 263-266 (2004)
  - 18) A. Hassanien, M. Tokumoto, T. Shimizu and H. Tokumoto: "STM on suspended single wall carbon nanotubes", *Thin Solid Films*, 464-465: 338-341 (2004)
  - 19) T. Okajima and H. Tokumoto: "Versatility of Self-Oscillation Technique with Mechanical-Acoustic Excitations for Frequency Modulation Atomic Force Microscope in Liquids", *Jap. J. Appl. Phys.*, 43: 4634-4638 (2004)
  - 20) W. Zhou, K. Uesugi and I. Suemune: "1.6- $\mu$ m Emission from GaInNAs with Indium-induced Increase of N Composition", *Appl. Phys. Lett.*, 83(10): 1992-1994 (2003)\*
  - 21) Y. Lian, Y. Maeda, T. Wakahara, T. Akasaka, S. Kazau, N. Minami, N. Choi and H. Tokumoto: "Assignment of the Fine Structure in the Optical Absorption Spectra of Soluble Single-Walled Carbon Nanotubes", *J. Phys. Chem.*, B107(44): 12082-12087 (2003)\*
  - 22) M. A. Lantz, B. Gotsmann, U. T. Durig, P. Vettiger, Y. Nakayama, T. Shimizu and H. Tokumoto: "Carbon nanotube tips for thermomechanical data storage", *Appl. Phys. Lett.*, 83(6): 1266-1268 (2003)\*
  - 23) T. Ishida, W. Mizutani, T. Liang, H. Azebara, K. Miyake, S. Sasaki and H. Tokumoto: "Conductive Probe AFM Measurements of Conjugated Molecular Wires", *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1006: 164-186 (2003)\*
  - 24) H. Azebara, W. Mizutani, Y. Suzuki, T. Ishida, Y. Nagawa, H. Tokumoto and K. Hiratani: "Fixation and Systematic Dilution of Rotaxane Molecules on Self-Assembled Monolayers", *Langmuir*, 19(6): 2115-2123 (2003)\*
  - 25) T. T. Liang, H. Azebara, T. Ishida, W. Mizutani and H. Tokumoto: "Formation of self-assembled monolayers on gold surfaces by luminescent oligo(para-phenylene-vinylene)-methanethiol", *International Journal of Nanoscience*, 2(4-5): 239-244 (2003)\*
  - 26) S. Ganapathy, X. Q. Zhang, I. Suemune, K. Uesugi, k. J. Bong and T. Y. Seong: "GaNAs as strain compensating layers for 1.55  $\mu$ m light emission from InAs Quantum Dots", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 42(9A Part1): 5598-5601 (2003)\*
  - 27) X. Zhang, S. Ganapathy, I. Suemune, H. Kumano, K. Uesugi, Y. Nabetani and T. Matsumoto: "Improvement of InAs Quantum-dots Optical Properties by Strain Compensation with GaNAs Capping Layers", *Appl. Phys. Lett.*, 83(22): 4524-4526 (2003)\*
  - 28) S. Takeda, C. Nakamura, C. Miyamoto, N. Nakamura, M. Kageshima, H. Tokumoto and J. Miyake: "Lithographing of Biomolecules on a Substrate Surface Using an Enzyme-Immobilized AFM Tip", *Nano Letters*, 3(11): 1471-1474 (2003)\*
  - 29) A. Ikai, R. Afrin, H. Sekiguchi, T. Okajima, M. T. Alam and S. Nishida: "Methods in Biochemistry using Atomic Force Microscopy", *Current Protein and Peptide Science*, 4: 181-193 (2003)\*
  - 30) S. Ganapathy, M. Kurimoto, T. Periyasamy, K. Uesugi, I. Suemune, H. Machida and N. Shimoyama: "Observation of reflection high-energy electron diffraction oscillation during metalorganic-molecular-beam epitaxy of AlAs and control of carbon incorporation", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 94(8): 4871-4875 (2003)\*
  - 31) Y. Maeda, Y. Lian, T. Wakahara, M. Koko, T. Akasaka, N. Choi, H. Tokumoto, S. Kazau and N. Minami: "One step synthesis of highly-pure soluble single-walled carbon nanotubes", *ITE Letters on Batteries, New Technologies & Medicine*, 4(6): 798-801 (2003)\*
  - 32) T. Ishida, H. Fukushima, T. Tamaki and H. Tokumoto: "Scanning tunneling microscopy observation of apparent molecular motion induced by polarity change of electric fields", *JJAP*, 42(8): 5342-5346 (2003)\*
  - 33) T. Imayoshi, H. Oigawa, H. Shigekawa and H. Tokumoto: "Surface reconstruction of GaAs(0 0 1) nitrided under the controlled As partial pressure", *Surface Science*, 540(1): L577-L582 (2003)\*
  - 34) S. Takeda, A. Ptak, M. Kageshima, H. Tokumoto, C. Nakamura and J. Miyake: "Unfolding process of a single peptide molecule on a substrate was investigated by atomic force microscope", *Surface Science*, 532-535: 244-248 (2003)\*
- #### 4.2 総説、解説、評論等
- 1) 徳本洋志:「走査プローブ顕微鏡」、電子材料ハンドブック: 944-947 (2006)
  - 2) 徳本洋志:「カーボンナノチューブが変える原子分子操作の世界」、*PETROTECH*, 27(2): 115-118 (2004)
  - 3) 徳本洋志:「SPM の発展と新展開」、セラミックス、38(10): 777-781 (2003)

- 4) 徳本洋志：「カーボンナノチューブプローブ」、応用物理学事典、3：262-267 (2003)
- 5) 岡嶋孝治、徳本洋志：「液中 FM モード制御の現状：液中自励発振型 AFM」、*Molecular Electronics and Bioelectronics*、15(4): 197-200 (2004)

#### 国際会議議事録等に掲載された論文

- 1) H. Abe, T. Shimizu, A. Ando and H. Tokumoto: "Electric transport and mechanical strength measurements of carbon nanotubes in scanning electron microscope", *Physica E: Low-dimensional Systems & Nanostructures*, 24(1-2): 42-45 (2004)
- 2) T. Shimizu, H. Abe, A. Ando and H. Tokumoto: "Electric transport measurement of a multi-walled carbon nanotube in scanning transmission electron microscope", *Physica E: Low-dimensional Systems & Nanostructures*, 24(1-2): 37-41 (2004)
- 3) A. Ando, T. Shimizu, H. Abe, Y. Nakayama and H. Tokumoto: "Improvement of electrical contact at carbon nanotube/Pt by selective electron irradiation", *Physica E: Low-Dimensional Systems & Nanostructures*, 24(1-2): 6-9 (2004)
- 4) X. P. Zou, T. Shimizu, A. Ando, Y. Nakayama, H. Tokumoto, S. M. Zhu and H. S. Zhou: "Simple thermal chemical vapor deposition synthesis and electrical property of multi-walled carbon nanotubes", *Physica E: Low-Dimensional Systems & Nanostructures*, 24(1-2): 14-18 (2004)
- 5) Y. Maeda, T. Hasegawa, T. Wakahara, T. Akasaka, N. Choi, H. Tokumoto, S. Kazai and N. Minami: "Chemical modification of SWNTs", *AIP Conference Proceedings: Molecular Nanostructures*, 685: 257-260 (2003)

#### 4.4 著書

- 1) 岡嶋孝治、徳本洋志：「2. 原子間力顕微鏡による液中イメージング」、ソフトナノテクノロジー-バイオマテリアル革命- (2005)

#### 4.5 その他

- 1) 岡嶋孝治、荒川秀雄：「現場で役立つバイオ機器の使い方・選び方 原子間力顕微鏡 (AFM)」、*Bionics (バイオニクス)* (2005)

#### 4.6 特許 (発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

##### ・国内特許

- 1) 石橋晃、徳本洋志、下村政嗣、川口敦吉、山形整功、特願2006-022144、バイオ機能測定装置、培養/成長装置、バイオ機能素子および機能素子、2006年1月31日
- 2) 岡嶋孝治、田中賢、徳本洋志：2005-001538、表面位置計測方法および表面位置計測装置、2005年1月6日
- 3) 徳本洋志、清水哲夫、大野輝昭：2004-337969、電子顕微鏡、2004年11月22日
- 4) 岡嶋孝治、徳本洋志：2004-262227、ゲル基板材料を用

- いた分子測定装置および分子測定方法、2004年9月9日
- 5) 岡嶋孝治、徳本洋志、特願2004-224573、分子計測装置および分子計測方法、2004年7月30日

#### 4.7 講演

##### a. 招待講演

- 1) 徳本洋志：「走査プローブ顕微鏡への適用」、平成16年電気学会全国大会シンポジウム「新しい電気電子材料としてのカーボンナノチューブの魅力」、青山学院大学相模原キャンパス (2004-03)
- 2) 徳本洋志：「生体材料研究用 SPM 技術」、北海道大学電子科学研究所・創成科学研究機構ジョイントシンポジウム「北大リサーチ&ビジネスパーク構想と産官学連携に向けて」、創成科学研究棟 (2004-03)
- 3) H. Tokumoto: "Carbon Nanotube SPM as an Analysis Tool of Self-Assembling", Japan-US Symposium on Directed Self-Assembly and Self-Organization, UCSB, California, USA (2004-01)
- 4) H. Tokumoto: "New Nano-Biotechnology Researches with Carbon Nanotube SPMs", 4th Chitose International Forum on Photonics Science & Technology, CIST, Chitose, Japan (2003-12)
- 5) H. Tokumoto: "Atom manipulation and atom identification with STM-based technique", Joint Meeting of the 2nd International Symposium on "Future-Oriented Interdisciplinary Materials Science" and the 1st International Tsukuba-Symposium on "NanoScience", Tsukuba, Japan (2003-11)
- 6) H. Tokumoto: "Toward International Collaboration in Nanotechnology Research", The 8th IUMRS International Conference on Advanced Materials, Yokohama, Japan (2003-10)
- 7) 徳本洋志：「SPM が支えた有機バイオ研究の一側面」、有機バイオ SPM 研究会2003、幕張メッセ国際会議場 (2003-09)
- 8) H. Tokumoto: "Nanometrology", BIPM Metrology Summer School 2003, BIPM, France (2003-07)

##### b. 一般講演

##### i) 学会

- 1) 岡嶋孝治、田中賢、築山周作、門脇翼、山本貞明、下村政嗣、徳本洋志：「原子間力顕微鏡による細胞表面の力学緩和過程の計測」、第54回応用物理学関係連合講演会、東京 (2007-03)
- 2) 菅洋志、内藤泰久、大野輝昭、田中深幸、田中深幸、徳本洋志、清水哲夫：「カーボンナノチューブ上の金原子の熱移動を利用したカーボンナノチューブ固定技術」、第54回応用物理学関係連合講演会、青山学院大学相模原 (2007-03)
- 3) 岡嶋孝治、田中賢、築山周作、門脇翼、山本貞明、下村政嗣、徳本洋志：「原子間力顕微鏡による生細胞の力学緩和測定」、日本物理学会 2007年春季大会、鹿児島 (2007-03)

- 4) 岡嶋孝治、徳本洋志：「AFMによる1分子・細胞のレオロジー測定」、表面科学会ソフトナノテクノロジー研究部会3月ワークショップ、東京（2007-03）
- 5) T. Okajima, M. Tanaka, S. Tsukiyama, T. Kadowaki, S. Yamamoto, M. Shimomura and H. Tokumoto: “Mechanical Relaxation of Living Cells Measured by Atomic Force Microscopy”, 51th Annual Meeting of American Biophysical Society, Baltimore, USA (2007-03)
- 6) 菅洋志、大野輝昭、田中深幸、西岡 泰城、徳本洋志、清水哲夫：「カーボンナノチューブ電子銃を搭載した小型走査電子顕微鏡の開発」、第47回真空に関する連合講演会、大阪大学国際会議場（2006-11）
- 7) 岡嶋孝治、徳本洋志：「AFM ノイズ解析法によるソフトマテリアル表面の力学計測」、第54回レオロジー討論会（日本レオロジー学会）、福岡（2006-10）
- 8) 門脇翼、岡嶋孝治、徳本洋志：「コロイドプローブ原子間力顕微鏡を用いたゲル表面力学測定のプローブサイズ依存性」、日本物理学会・2006年秋季大会、千葉（2006-09）
- 9) 岡嶋孝治、門脇翼、徳本洋志：「AFM ノイズ解析法によるナノ表面ダイナミクス」、第55回高分子討論会、富山（2006-09）
- 10) 菅洋志、大野輝昭、田中 深雪、西岡 泰城、徳本洋志、清水哲夫：「SEM 応用に向けたカーボンナノチューブ電子源の評価（2）」、第67回応用物理学学術講演会、立命館大学びわこ・草津キャンパス（2006-08）
- 11) T. Okajima, M. Tanaka, S. Tsukiyama, S. Yamamoto, M. Shimomura and H. Tokumoto: “Thermal fluctuation spectroscopy of living cell surfaces with AFM”, 9th International Conference on Non-contact Atomic Force Microscopy, Kobe (2006-07)
- 12) T. Shimizu, H. Suga, T. Ohno, H. Abe, M. Tanaka, Y. Nishioka and H. Tokumoto: “Stable Multi-Walled Carbon Nanotube Electron emitter for scanning electron microscope”, Seventh International Conference on the Science and Application of Nanotubes, Nagano (2006-06)
- 13) 門脇翼、岡嶋孝治、徳本洋志：「AFM を用いたゲル表面の力学空間相関の定量測定」、第55回高分子学会年次大会、名古屋（2006-05）
- 14) 岡嶋孝治、田中賢、築山周作、山本貞明、下村政嗣、徳本洋志：「AFMによる細胞表面のナノダイナミクス」、第55回高分子学会年次大会、名古屋（2006-05）
- 15) 畔原宏明、笠沼由香、岡嶋孝治、日高貴志夫、徳本洋志：「化学修飾カーボンナノチューブ探針による力計測」、第4回ナノ学会、京都大学百周年時計台記念館（2006-05）
- 16) 藤枝正、日高貴志夫、林原光男、上野武夫、小瀬洋一、阿部秀和、清水哲夫、徳本洋志：「ローレンツ顕微鏡法による単一カーボンナノチューブからの電界放出その場観察」、第65回応用物理学学術講演会、東北学院大学（2004-09）
- 17) 安藤淳、阿部秀和、清水哲夫、徳本洋志：「局所電子線照射によるカーボンナノチューブ金属電極接合の改質」、第65回応用物理学学術講演会、東北学院大学（2004-09）
- 18) H. Abe, T. Shimizu, A. Ando and H. Tokumoto: “Reliable connections between CNT and electrode for electric devices”, 8th International Conference on Nanometer-Scale Science and Technology, Venice, Italy (2004-06)
- 19) 布施真琴、清水哲夫、阿部秀和、中山喜萬、徳本洋志：「加熱によるカーボンナノチューブの形状制御」、第51回応用物理学関係連合講演会、東京工科大学、八王子（2004-03）
- 20) 阿部秀和、清水哲夫、安藤淳、中山喜萬、徳本洋志：「湾曲させたカーボンナノチューブの電気伝導測定」、第51回応用物理学関係連合講演会、東京工科大学、八王子（2004-03）
- 21) 清水哲夫、阿部秀和、安藤淳、中山喜萬、徳本洋志：「多層カーボンナノチューブの電気伝導度測定」、第51回応用物理学関係連合講演会、東京工科大学、八王子（2004-03）
- 22) 藤枝正、日高貴志夫、林原光男、上野武夫、阿部秀和、清水哲夫、徳本洋志：「透過電子顕微鏡法によるカーボンナノチューブのダイナミック観察」、第51回応用物理学関係連合講演会、東京工科大学、八王子（2004-03）
- 23) 畑浩一、馬場誠、平井信敬、斎藤弥八、清水哲夫、阿部秀和、徳本洋志：「単一多層カーボンナノチューブの清浄化と電子放出現象」、第51回応用物理学関係連合講演会、東京工科大学、八王子（2004-03）
- 24) T. Okajima and H. Tokumoto: “Dynamic-mode AFM in Liquids with Self-Oscillation Technique”, Biophysical Society 48th Annual Meeting, Baltimore, USA (2004-02)
- 25) 関口博史、岡嶋孝治、荒川秀雄、猪飼篤：「溶液中 AFM ダイナミックモードイメージングの改良」、日本生物物理学会第41回年会、新潟（2003-09）
- 26) 岡嶋孝治、徳本洋志：「液中観察用 AFM の高感度化」、日本生物物理学会第41回年会、新潟（2003-09）
- 27) 安藤淳、阿部秀和、清水哲夫、中山喜萬、徳本洋志：「低融点合金で固定されたカーボンナノチューブプローブの電気特性」、第64回応用物理学学術講演会、福岡大学、USA（2003-08）
- 28) S. Takeda, M. Kageshima, C. Nakamura, N. Nakamura, H. Tokumoto and J. Miyake: “An enzyme activity bound on AFM tip was investigated by force curves”, 2th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques, Eindhoven, Netherland (2003-07)
- 29) A. Ptak, S. Takeda, C. Nakamura, J. Miyake, M. Kageshima, S. P. Jarvis and H. Tokumoto: “Mechanical properties of single macromolecules studied with AFM techniques and computational methods”, 2th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques, Eindhoven, Netherland (2003-07)

- 30) S. Han, C. Nakamura, I. Obataya, S. Takeda, M. Kage-shima, N. Nakamura, H. Tokumoto and J. Miyake: "Development of Gene Transfer Technique using AFM", 2th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques, Eindhoven, Netherland (2003-07)
- 31) B. Gotsman, M. A. Lantz, U. Durig, P. Vettiger, Y. Nakayama and H. Tokumoto: "Carbon nanotube tips for thermo-mechanical data storage", 2th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques, Eindhoven, Netherland (2003-07)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- ・国際シンポジウム
- 1) 岡嶋孝治、徳本洋志:「AFM による生細胞のナノレオロジー計測」、研究所間アライアンス18年度成果報告会、大阪 (2006-12)
- 2) T. Okajima, M. Tanaka, S. Tsukiyama, T. Kadowaki, S. Yamamoto, M. Shimomura and H. Tokumoto: "Nanorheology of living cells investigated by AFM", The 14th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, Shizuoka (2006-12)
- 3) T. Kadowaki, T. Okajima, X. Tao and H. Tokumoto: "Elastic properties of gels and living cells measured by colloidal probe AFM", The 14th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, Shizuoka (2006-12)
- 4) T. Okajima, T. Kadowaki and H. Tokumoto: "Dynamics of Gel Surfaces Investigated with an AFM Noise Analysis", International Conference on Nanoscience and Technology ICN&T 2006, Basel, Switzerland (2006-07)
- 5) H. Shigekawa, M. Yoshimura, H. Onishi and H. Tokumoto, "International Conference on Scanning Probe Microscopy (ICSPM-14)", 熱川ハイツ (静岡)、2006年12月7日～2006年12月9日
- 6) H. Guntherodt, R. Wiesendanger, C. Gerber, S. Cohen and H. Tokumoto, "International Conference on Nanoscience and Technology (ICN&T2006)", Basel Conference Center (Basel, 2006年7月31日～2006年8月4日)
- 7) H. Tokumoto, T. Okajima, H. Azebara and K. Sueoka: "STM'05/ICSPM13", 752名、札幌コンベンションセンター (札幌市) (2005年7月3日～2005年7月8日)
- 8) 徳本洋志: 札幌市民講座「ナノテクノロジーで豊かになろう」、75名、札幌コンベンションセンター (札幌市) (2005年7月3日)
- ・一般シンポジウム
- 1) 徳本洋志:「北の大地のボトムアップ・ナノテック—環境にやさしいナノテック—」、産総研主催「ナノテクノロジーと社会」討論会、経済産業省別館1012共用会議室 (2005-01)
- 2) S. Kimura, Y. Maeda, Y. Hirashima, M. Kanda, Y. Lian, T. Wakahara, T. Akasaka, T. Hasegawa, K. Miyauchi, S. Nagase, S. Maruyama, H. Kataura, H. Tokumoto, T. Shimizu and K. Kobayashi: "Dispersion of single-walled carbon nanotube bundles in non-aqueous solution", 第28回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、名城大学 (2005-01)
- 3) Y. Lian, Y. Maeda, T. Wakahara, T. Akasaka, S. Kazai, N. Minami, T. Shimizu and H. Tokumoto: "Spectral and electron microscopic characterization of functionalized carbon nanotubes", 第28回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、名城大学 (2005-01)
- 4) 藤枝正、日高貴志夫、林原光男、松本秀夫、上野武夫、上沼正、阿部秀和、清水哲夫、徳本洋志:「Dynamic observation of field emissions from a single multi-walled carbon nanotube by transmission electron microscopy」、第28回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、名城大学 (2005-01)
- 5) H. Azebara, T. Okajima and H. Tokumoto: "Advanced methods of AFM techniques &#8722; CNT tips and dynamic mode AFM &#8722;," The 6th RIES-Hokudai Symposium, Hokkaido, Japan (2004-12)
- 6) H. Azebara, T. Okajima and H. Tokumoto: "Fabrication of CNT tips and an AFM for biological samples in liquids", The 12th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, Shizuoka, Japan (2004-12)
- 7) 岡嶋孝治:「液中 FM モード制御の現状:液中自励発振型 AFM」、有機バイオ SPM 研究会・2004「ダイナミックな SPM (手法、観察)」、千葉 (2004-11)
- 8) T. Okajima: "Nano-Manipulation and Imaging of Biological Molecules with AFM", 21世紀 COE ナノ・バイオ国際若手研究者ネットワークシンポジウム、札幌 (2004-08)
- 9) 徳本洋志:「カーボンナノチューブが変えるナノ計測技術」、H16 赤阪新物質創製研究アспект研究会、筑波大学 TARA センター (2004-08)
- 10) 徳本洋志:「カーボンナノチューブ探針が変える SPM ナノ計測技術」、学術振興会第151委員会研究会、北海道空知郡中富良野町 (2004-07)
- 11) 徳本洋志:「機能性有機電子材料:～何のために何を・どう・誰が作る～」、社団法人 電子情報技術産業協会 電子材料・デバイス技術委員会、東京駿河台 JEITA 会議室 (2004-07)
- 12) H. Tokumoto: "Research and Technology Transfer in Japan: Reviewing Large Research Projects University-Industry", "IUVSTA Initiative on Technology Transfer" in the context of IVC-16, ICSS-12, NANO-8, and AIV-17, Sala delle Feste, Casino Palace, Venice Lido, Italy, Italy (2004-07)
- 13) H. Tokumoto: "Electric conduction through a single multi-walled carbon nanotube", Swiss-Japan Nanoscience Workshop 2004, Nara, Japan (2004-06)
- 14) 徳本洋志:「分子デバイス研究開発の動向と将来」、分子研究会「分子エレクトロニクス研究会」、岡崎国立共同研究機構 (岡崎コンファレンスセンター) (2004-04)

- 15) S. Kimura, Y. Maeda, T. Hasegawa, T. Wakahara, T. Akasaka, T. Shimizu and H. Tokumoto: "Separation of SWNTs and Carbon Impurities by Chemical Modification", The 26th Fullerene-Nanotubes General Symposium, Okazaki Conference Center, Okazaki, Japan (2004-01)
- 16) H. Abe, T. Shimizu, A. Ando and H. Tokumoto: "Change of electric conductivity of carbon nanotubes by applying axial force", The 26th Fullerene-Nanotubes General Symposium, Okazaki Conference Center, Okazaki, Japan (2004-01)
- 17) T. Shimizu, H. Abe, A. Ando, Y. Nakayama and H. Tokumoto: "Ballistic Transport of a MWNT by Titanium Nickel Contact", The 26th Fullerene-Nanotubes General Symposium, Okazaki Conference Center, Japan (2004-01)
- 18) Y. Lian, Y. Maeda, T. Wakahara, T. Akasaka, N. Choi and H. Tokumoto: "Assignment for the fine structure in the optical absorption spectra of soluble single-wall carbon nanotubes", The 26th Fullerene-Nanotubes General Symposium, Okazaki Conference Center, Okazaki, Japan (2004-01)
- 19) T. Okajima and H. Tokumoto: "Dynamic mode AFM in liquids for biological samples", The 11th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, Atagawa, Japan (2003-12)
- 20) 川口洋平、栗城眞也、植杉克弘、徳本洋志、三上春樹、松田瑞史:「高温超伝導薄膜への磁束侵入と SQUID のノイズ特性」、電子情報通信学会超伝導エレクトロニクス研究会、神戸 (2003-10)
- 21) T. Okajima and H. Tokumoto: "Design and operation of frequency modulation AFM in liquids", Sixth International Conference on Noncontact Atomic Force Microscopy, Dingle, Ireland (2003-08)
- 22) 徳本洋志、下村正嗣:「北海道大学電子科学研究所シンポジウム: ナノテクノロジーの新展開・北大北キャンパスの挑戦」(150名、北海道大学創成科学研究機構大会議室(札幌)、2004年3月4日)
- 23) 徳本洋志:「北海道大学公開講演会」(100名、北海道大学 学術交流会館(札幌市)、2003年12月5日)
- 24) 徳本洋志:「The 5th RIES-Hokudai Symposium on Advanced Nanoscience "Shoku"」(130名、北海道大学学術会館(札幌市)、2003年12月1日~2003年12月2日)
- iii) **コロキウム・セミナー等・その他**
- 1) 畔原宏明:「脂質二分子膜に対するカーボンナノチューブ探針の挿入力測定」、財団法人 新世代研究所 第12回(平成16年度)研究助成成果報告会、東京 (2005-12)
- 2) 岡嶋孝治:「AFM によるバイオイメーキングと1分子ダイナミクス」、北大電子研-阪大産研・研究所間交流会、大阪 (2005-12)
- 3) 岡嶋孝治:「溶液中の生体分子を見る・操る」、北海道大学21世紀 COE プログラム「バイオとナノを融合する新生命科学拠点」先端科学から先端医療への挑戦、札幌 (2004-12)
- 4) A. Ando, H. Abe, T. Shimizu, Y. Nakayama and H. Tokumoto: "Electrical Property of the Carbon nanotube Probes Fixed by Low Melting Point Alloy", The 11th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, Atagawa, Shizuoka (2003-12)

#### 4.8 共同研究

- b. **所内共同研究** (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 岡嶋孝治、田中賢、石井勝弘 (電子科学研究所):「高感度液中 AFM による細胞の構造・機能同時解析法の開発」、2003年度~現在、プロジェクト研究C (分野ないし部門横断型実質的共同研究)。原子間力顕微鏡の高い時間空間分解能を用いて、細胞表面の構造と機能を計測するための新規技術の開発を目的とする。
- 2) 石橋晃、徳本洋志、末宗幾夫、中村貴義、近藤憲治 (電子科学研究所):「極微細接合素過程に対する次元・空間配位の影響の研究」、2003~2004年度、次元数表記で3-0-3、3-2-0-2-3などの従来行われてきた接合構造・配置に対し、特に3-2-0-R2-3(R2は相対的に回転した2次元面であることを示す)の極微細接合について理論的に考察するとともに、この構造(ユニット)を作るための要素技術確立する。
- 3) 岡嶋孝治、田中賢、石井勝弘 (電子科学研究所):「高感度液中 AFM による細胞の構造・機能同時解析法の開発」、2003年度~、未定、(1) AFM 制御技術、(2) 細胞固定技術、(3) 光計測技術を発展・融合させ、超高感度液中 AFM を用いた細胞の構造・機能同時解析法を開発する。
- c. **民間等との共同研究** (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 徳本洋志 (寿産業、札幌エレクトロプレイング):「タイヤ由来炭化物の高機能化」2005年~2007年度、7,500千円、タイヤ由来の炭化物からグラフェンシートを製造する。
- 2) 徳本洋志、岡嶋孝治、畔原宏明、林原光男、日高貴志夫、安田俊夫 (日立製作所):「ナノカーボン材料の応用技術開発」、2004~2006年度、18,000千円、カーボンナノチューブを用いた極微小領域対応の計測プローブの開発を目的に、カーボンナノチューブの加工技術、表面改質技術、化学修飾技術およびプローブ形成技術等を開発する。
- d. **受託研究** (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、研究内容)
- 1) 徳本洋志、畔原宏明 (産業技術総合研究所):「多機能・超小型走査電子顕微鏡用「超小型多機能ナノマニピュレーターの開発」、2004~2005年度、4,000千円、ナノスケールの物質を SEM 中で操作し、新たなナノ構造を作製し、その特性を SEM 中で測定可能な多機能ナノマニピュレーターを開発し、超小型 SEM に搭載するための研究開発(特に、今回開発する超小型 SEM 用の CNT 電子源自身を、この多機能ナノマニピュレーターを用

いて作製できるようにして、電子銃の作製および交換等がユーザで行える保守費用の少ないユニークな製品を実現する。)

- f. その他 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 岡嶋孝治 (財団法人北海道科学技術総合振興センター 基盤的研究開発育成事業): 「高分子1本鎖の延伸測定による分子内相互作用の評価」、2003年度、400千円、若手研究補助金

#### 4.10 予算獲得状況

- a. 科学研究費補助金 (研究代表者、分類名、研究課題、期間)
- 1) 岡嶋孝治、萌芽研究、糖鎖1分子のナノ力学刺激に対する応答ダイナミクスの研究、2005~2006年度
  - 2) 畔原宏明、若手研究 B、カーボンナノチューブ探針に対する先端特異的な逐次合成反応技術の開発、2005~2006年度
  - 3) 徳本洋志、基盤研究 B 一般 (2)、細胞内部探索用カーボンナノチューブ AFM 技術の研究、2004~2007年度
- d. 奨学寄付金 (研究担当者、機関名、研究課題、研究期間、総経費、研究内容)
- 1) 徳本洋志 (寿産業): 「廃タイヤ由来ゴムの高機能化に関する研究」2005~
  - 2) 岡嶋孝治 (住友財団 基礎科学研究助成): 「糖鎖1分子のレプテイションダイナミクスの研究」、2005~2006年度、1,100千円、原子間力顕微鏡を用いて、糖鎖・糖鎖間相互作用のダイナミクスを1分子計測することを目的としている。
- f. その他 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、研究内容)
- 1) 岡嶋孝治、田中賢、新倉 謙一、石井 勝弘 (産業技術研究助成事業、NEDO): 単一細胞表層の全方向ナノダイナミクス計測技術の開発、2006~2009年度、30,000千円、本研究では、生細胞表層のマイクロドメイン構造および表面ダイナミクスを測定する手法を確立する。研究開発期間の前半は、細胞の表層を選択的に計測することができる、原子間力顕微鏡 (AFM) 法とエバネッセント波動的散乱法 (EW-DLS) とを組み合わせた細胞表層の全方向計測装置を試作する。そして、糖鎖ナノプローブ合成技術と細胞培養制御技術を利用して細胞表層の定量測定が可能なナノ計測技術を確立する。研究期間の後半は、本研究で開発したナノ計測技術を用いて、多数個の正常細胞と異常細胞の解析結果から、生細胞表層の時空間構造と疾患との相関を解明する。
  - 2) 荻野千秋、畔原宏明、梅津光央、折笠広典 (産業技術研究助成事業、NEDO): 高分解能生体分子プローブカンチレバーの創製による生体認識イメージング技術の開発、2006~2010年度、6,000千円、核酸、タンパク質等の分子間相互作用解析による固定化分子の高精度分析のため、原子間力顕微鏡の触診デバイスであるカン

チレバー先端へのカーボンナノチューブ (CNT) 修飾、更に、CNT 先端への生体分子修飾を行い、新規な“分子認識能とイメージング機能”を備えたバイオセンシングシステム開発を行う。これにより、原子レベルでの分解能を有し、無機材料の表面微細構造解析ツールとして定評ある走査型プローブ顕微鏡技術をバイオ分野へ展開し、バイオチップ等の評価技術確立を目指す。

- 3) A. D. Smith, A. Ikai, A. Toda and T. Okajima (University of Leeds): “Japan Partnering Award (JPA)”、2005~2007年度、未定、英国 BBSRC (生物工学・生物科学研究会) によるプロジェクトであり、英国 Leeds 大学・物理学科の Smith 教授が代表となり、日本国内は岡嶋を含む3名からなる。研究協力および交流を目的とする。
- 4) 畔原宏明 (財団法人新世代研究所): 「脂質二分子膜に対するカーボンナノチューブ探針の挿入力測定」、2004~2005年度、1,200千円、細胞内での現象を観察する、あるいはその現象を制御する (細胞手術) ためには単一細胞内へ直接に、また自在にアクセスする方法の確立が望まれる。筆者はカーボンナノチューブ探針を作成する一方、脂質二分子膜によるモデル細胞系を作成する。そのモデル細胞に対してナノチューブ探針を挿入し、その力学測定結果より脂質二分子膜の破壊に対する知見を得、将来、現実の細胞に対する探針による探索を行う際の基礎とする。

#### 4.12 社会教育活動

- a. 公的機関の委員
- 1) 徳本洋志: ATI バイオ SPM 研究会委員 (2006年4月1日~2009年3月31日)
  - 2) 徳本洋志: 科学研究費委員会専門委員 (JSPS) (2006年1月1日~2006年12月31日)
  - 3) 徳本洋志: JJAP 特別編集委員 (2005年3月23日~2006年3月31日)
  - 4) 徳本洋志: 独立行政法人評価委員会臨時委員 (科学技術・学術分科会) (2005年2月18日~2007年2月17日)
  - 5) 徳本洋志: JJAP 特別編集委員 (2004年6月3日~2005年1月31日)
  - 6) 徳本洋志: 電子情報技術産業協会電子材料・デバイス技術委員会 委員 (2004年5月10日~2005年3月31日)
  - 7) 徳本洋志: 日本学術会議 産学協力研究委員会 未踏・ナノデバイステクノロジー第151委員会 企画委員 (2004年1月1日~現在)
  - 8) 徳本洋志: 文部科学省 科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター 専門委員 (2002年11月1日~現在)
  - 9) 徳本洋志: 日本学術会議 産学協力研究委員会 マイクロビームアナリシス第141委員会 委員 (2000年4月1日~現在)
  - 10) 徳本洋志: 日本学術会議 産学協力研究委員会 ナノプローブテクノロジー第167委員会 委員 (2000年4月1日~現在)
  - 11) 徳本洋志: 日本学術会議 産学協力研究委員会 未

- 踏・ナノデバイステクノロジー第151委員会 企画委員 (2004年1月1日～現在)
- 12) 徳本洋志：理研播磨研究所の評価委員 (2003年8月10日～2003年9月10日)
  - 13) 徳本洋志：文部科学省 科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター 専門委員 (2002年11月1日～現在)
  - 14) 徳本洋志：電子情報技術産業協会電子材料・デバイス技術委員会 委員 (2002年5月1日～2005年3月31日)
  - 15) 徳本洋志：日本学術会議 産学協力研究委員会 マイクロビームアナリシス第141委員会 委員 (2000年4月1日～現在)
  - 16) 徳本洋志：日本学術会議 産学協力研究委員会 ナノプローブテクノロジー第167委員会 委員 (2000年4月1日～現在)
- b. 国内外の学会の役職**
- 1) 岡嶋孝治：14th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy 組織委員 (2006年12月7日～現在)
  - 2) 徳本洋志：日本真空協会 個人理事 (2005年4月1日～2007年3月31日)
  - 3) 徳本洋志：応用物理学会 薄膜・表面物理分科会 幹事 (2004年4月1日～2008年3月31日)
  - 4) 徳本洋志：STM05国際会議組織委員長 (2003年7月1日～現在)
  - 5) 徳本洋志：IUVSTA (International Union for Vacuum Science, Technique and Applications) のナノ分科の日本代表委員 (2003年4月1日～2007年3月)
  - 6) 徳本洋志：STM 国際会議国際評議員、国際プログラム委員 (2002年4月1日～現在)
  - 7) 徳本洋志：電子情報技術産業協会、機能性有機電子材料専門委員会委員長 (2002年5月1日～2004年3月31日)
- c. 併任・兼業**
- 1) 徳本洋志：ナノテクノロジー影響の多領域専門家パネル会議委員 (2006年9月1日～2007年3月31日)
  - 2) 徳本洋志：ナノテクノロジーの社会的受容促進のための技術評価・経済効果調査委員会委員 (2005年7月1日～2006年3月31日)
  - 3) 徳本洋志：産業技術総合研究所総括研究員 (2002年11月16日～2006年3月31日)
- d. その他**
- 1) 徳本洋志：第4回分野横断スクール「ナノバイオスクール」校長 (2006年12月19日～2006年12月21日)
  - 2) 徳本洋志：応用物理学会論文賞委員 (2005年4月1日～2007年3月31日)
  - 3) 岡嶋孝治：GelSympo2005組織委員 (2004年12月1日～現在)
  - 4) 徳本洋志：第67回応用物理学会学術講演会 (2006年8月30日)
  - 5) 徳本洋志：第53回応用物理学関係連合講演会 (2006年3月24日)
  - 6) 徳本洋志：(独) 科学技術振興機構 研究開発戦略センター (2006年3月12日～2006年3月19日)
  - 7) 徳本洋志：(独) 物質・材料研究機構 ナノテクノロジー総合支援プロジェクトセンター (2006年3月5日～2006年3月9日)
  - 8) 徳本洋志：(独) 物質・材料研究機構 ナノテクノロジー総合支援プロジェクトセンター (2006年1月15日～2006年1月17日)
  - 9) 徳本洋志：応用物理学会論文賞委員 (2005年4月1日～2007年3月31日)
  - 10) 畔原宏明：STM'05/ICSPM13 組織委員会事務局委員 (2004年12月3日～現在)
  - 11) 岡嶋孝治：GelSympo2005組織委員 (2004年12月1日～現在)
  - 12) 岡嶋孝治：STM'05/ICSPM13国際組織委員会 事務局長 (2004年10月21日～現在)
  - 13) 徳本洋志：日本ファインセラミックスセンター ナノカーボン研究推進委員 (2004年4月1日～2006年3月31日)
  - 14) 徳本洋志：筑波大学先端学際領域研究センタープロジェクト客員研究員 (2003年4月1日～2006年3月31日)
  - 15) 徳本洋志：財団法人新世代研究所 評議員 (2003年4月1日～現在)
- e. 新聞・テレビ等の報道**
- ・放送
- 1) 徳本洋志：フジテレビ 2004年2月21日「カーボンナノチューブ：宇宙エレベーター」番組の中で、カーボンナノチューブが機械的に強いという証拠を見せた。
- f. 外国人研究者の招聘** (氏名、国名、期間)
- 1) Dr. Xiaoming Tao, China, 2004年9月15日～2005年9月14日、2006年8月1日～2007年3月10日
  - 2) Dr. Heinrich Rohrer, Switzerland, 2003年11月30日～2003年12月6日
  - 3) Dr. Cristoph Gerber, Switzerland, 2003年10月5日～2003年10月7日
- g. 北大での担当授業科目** (対象、講義名、担当者、期間)
- 1) 情報科学研究科、バイオナノ工学特論、岡嶋孝治、徳本洋志、2006年10月1日～2007年3月31日
  - 2) 全学科共通、一般教育演習「ナノテクと社会」、徳本洋志、2006年10月1日～2007年3月31日
  - 3) 全研究科共通、「光・バイオ・分子で拓くナノテクノロジー」徳本洋志、2006年7月14日
  - 4) 農学研究科、農学院共通科目「生命環境倫理学」、徳本洋志、2006年6月6日
  - 5) 全研究科共通、ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論、岡嶋孝治、2006年4月1日～2006年9月30日
  - 6) 全学科共通、生体工学概論、岡嶋孝治、徳本洋志、2006年4月1日～2006年9月30日
  - 7) 全研究科共通、ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論2、徳本洋志、2005年1月26日～2005年1月28日
  - 8) 工学研究科、バイオナノ工学特論、岡嶋孝治、2004年10月1日～2005年3月31日、
  - 9) 工学研究科、バイオナノ工学特論、徳本洋志、2005年10月1日～2006年3月31日

- 10) 全学科共通、一般教育演習「ナノテクと社会」、徳本洋志、2005年10月1日～2006年3月31日
- 11) 工学研究科、バイオナノ工学特論、徳本洋志、2004年10月1日～2005年3月31日
- 12) 全学部共通、物理学Ⅱ、岡嶋孝治、2004年10月1日～2005年3月31日
- 13) 工学研究科、光量子デバイス工学特論、徳本洋志、2005年10月1日～2006年3月31日
- 14) 工学研究科、光量子デバイス工学特論、徳本洋志、2004年10月1日～2005年3月31日
- 15) 工学研究科、光量子デバイス工学特論、徳本洋志、2003年10月1日～2004年3月31日
- 16) 工学研究科、光量子デバイス工学特論、岡嶋孝治、2003年10月1日～2004年3月31日
- 17) 全研究科共通、ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論1、徳本洋志、2005年8月29日
- 18) 全研究科共通、光・バイオ・分子で拓くナノテクノロジー、徳本洋志、2005年4月25日
- 19) 全研究科共通、ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論1、徳本洋志、2004年7月28日～2004年7月30日

**j. 修士学位及び博士学位の取得状況**

・修士課程（4名）

門脇翼、我妻邦浩、勝股宗弘、井手康一郎

・修士論文

- 1) 門脇翼:「コロイドプローブ顕微鏡を用いたゲル表面の力学測定」

## Ⅱ. 予 算



## II-1. 研究成果公表に関する各種の統計表

### 1. 学術論文

部門等		年	平成15年	平成16年	平成17年	平成18年
電子材料 物性部門	欧 文		44 (44)	35 (35)	39 (35)	36 (29)
	邦 文		0	3 (3)	0	0
電子機能 素子部門	欧 文		26 (26)	27 (27)	23 (23)	33 (33)
	邦 文		0	2	0	0
電子計測 制御部門	欧 文		21 (20)	31 (30)	21 (20)	19 (18)
	邦 文		4 (1)	4	5 (3)	3 (3)
電子情報 処理部門※	欧 文		35 (34)	38 (36)	46 (46)	41 (41)
	邦 文		0	2	1 (1)	2 (2)
ナノテクノロジー 研究センター	欧 文		27 (27)	34 (34)	31 (31)	34 (32)
	邦 文		0	2	2	6
計	欧 文		145(143)	153(150)	158(153)	159(149)
	邦 文		4 (1)	11 (4)	8 (4)	11 (5)

( )内の数はレフェリー付き。

※客員研究分野は除外した。

### 2. 総覧、解説、評論等及び著書数

部門等		年	平成15年	平成16年	平成17年	平成18年
電子材料 物性部門	総説等		2	4 (1)	2	6
	著 書		6 (2)	0	3 (1)	0
電子機能 素子部門	総説等		12	8	8	4
	著 書		13 (3)	5 (1)	3	4
電子計測 制御部門	総説等		4	6	3	4
	著 書		2 (1)	3 (1)	0	3 (1)
電子情報 処理部門※	総説等		8	15	17	10
	著 書		3 (2)	2	2	6
ナノテクノロジー 研究センター	総説等		13	8 (1)	16 (1)	17
	著 書		10 (3)	13 (3)	8 (1)	9 (1)
計	総説等		37	41 (2)	45 (1)	40
	著 書		28 (7)	23 (5)	20 (2)	23 (2)

( )内の数は欧文

※客員研究分野は除外した。

※共著に関しては、出版物の数で表示（出版物の数×研究者ではない）。したがって「合計」が表から算出したものと一致しない場合あり。

※年（年度）をまたがっている場合、それぞれの年（年度）でカウントしている。

### 3. 国際学会・国内学会発表件数

部門等		年	平成15年	平成16年	平成17年	平成18年
電子材料 物性部門	国際学会		19 (8)	13 (4)	11 (3)	15 (7)
	国内学会		49 (2)	50 (2)	47 (4)	35
電子機能 素子部門	国際学会		41 (7)	11 (4)	31 (9)	11 (1)
	国内学会		73 (12)	23 (5)	36 (6)	27 (3)
電子計測 制御部門	国際学会		9 (4)	9 (2)	11 (6)	10 (6)
	国内学会		35 (6)	39 (5)	20 (9)	26 (5)
電子情報 処理部門※	国際学会		5 (4)	5 (3)	18 (9)	6 (4)
	国内学会		14 (4)	20 (3)	47 (5)	22 (5)
ナノテクノロジー 研究センター	国際学会		22 (4)	12 (2)	22 (4)	26 (3)
	国内学会		34 (2)	49 (2)	51 (7)	70 (3)
計	国際学会		84 (26)	49 (14)	90 (30)	67 (23)
	国内学会		188 (24)	165 (16)	190 (32)	167 (15)

国際学会・国内学会の（ ）内の数は招待講演数

※客員研究分野は除外した（研究所全体の統計の場合）。

※共著に関しては、講演数で表示（講演数×研究者ではない）。したがって「合計」が表から算出したものと一致しない場合あり。

※年（年度）をまたがっている場合、それぞれの年（年度）でカウントしている。

## II-2. 予算

### II-2-1) 全体の予算

(単位：千円)

年 度	平成15年度	年 度	平成16年度	平成17年度	平成18年度
校 費	372,930	業 務 費	661,294	197,656	173,648
科 学 研 究 費	222,400(44)	科学研究費補助金	230,651(48)	363,000(62)	292,610(62)
		その他の補助金		4,528(3)	15,400(2)
奨学寄付金	39,468(35)	寄 附 金	12,864(13)	17,700(11)	38,346(27)
産学連携研究費	108,435(35)	受託事業等経費	130,280(39)	223,768(46)	248,840(44)
(受託研究費)	89,626(20)	(受託研究費)	87,131(22)	140,868(19)	145,018(24)
(民間等共同研究費)	18,809(15)	(共同研究費)	43,149(17)	82,900(27)	103,822(20)
合 計	743,233	合 計	1,035,089	806,652	768,844(135)

( )内の数は受入件数

### II-2-2) 外部からの研究費受入状況

#### 部門別の受入状況

(単位：千円)

部 門 等	研 究 費	平成17年度	平成18年度
電 子 材 料 物 性 部 門	科学研究費補助金	152,460(16)	82,500(14)
	その他の補助金	400(1)	
	寄 附 金 I	1,950(2)	3,600(3)
	寄 附 金 II	1,300(3)	1,500(2)
	受託事業等経費	89,714(6)	73,139(7)
	(受託研究費)	86,564(5)	71,209(6)
	(共同研究費)	3,150(1)	1,930(1)
	小 計	245,824(28)	160,739(26)
電 子 機 能 素 子 部 門	科学研究費補助金	42,870(12)	38,600(11)
	その他の補助金		
	寄 附 金 I		3,000(2)
	寄 附 金 II		2,630(5)
	受託事業等経費	19,740(8)	53,978(5)
	(受託研究費)	5,260(2)	1,639(2)
	(共同研究費)	14,480(6)	52,339(3)
	小 計	62,610(20)	98,208(23)
電 子 計 測 制 御 部 門	科学研究費補助金	54,790(12)	63,500(12)
	その他の補助金		1,400(1)
	寄 附 金 I		1,999(2)
	寄 附 金 II		117(1)
	受託事業等経費	29,077(7)	40,173(12)
	(受託研究費)	23,077(4)	29,243(8)
	(共同研究費)	6,000(3)	10,930(4)
	小 計	83,867(19)	107,189(28)

電子情報処理部門	科学研究費補助金	36,320(11)	53,810(14)
	その他の補助金		
	寄附金Ⅰ		
	寄附金Ⅱ		1,600(3)
	受託事業等経費	24,620(8)	45,113(10)
	(受託研究費)	20,180(3)	23,703(4)
	(共同研究費)	4,440(5)	21,410(6)
	小計	60,940(19)	100,523(27)
寄附研究部門 (ニコンバイオイメージングセンター)	科学研究費補助金		1,400(1)
	その他の補助金		
	寄附金Ⅰ		3,400(2)
	寄附金Ⅱ		12,300(1)
	受託事業等経費		1,500(1)
	(受託研究費)		1,500(1)
	(共同研究費)		
	小計		18,600(5)
附属ナノテクノロジー 研究センター	科学研究費補助金	30,710(7)	52,800(10)
	その他の補助金		14,000(1)
	寄附金Ⅰ	1,000(1)	
	寄附金Ⅱ	4,100(5)	8,200(6)
	受託事業等経費	36,229(12)	34,937(9)
	(受託研究費)	11,079(5)	17,724(3)
	(共同研究費)	25,150(7)	17,213(6)
	小計	72,039(25)	109,937(26)

( )内の数は受入件数

寄附金Ⅰ 申請による財団等からの研究助成金 寄附金Ⅱ Ⅰ以外のもの

## II-3. 外国人研究者の受入状況

### a. 年度別統計表

部門等	年	平成15年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度
電子材料物性部門		2	2	0	0
電子機能素子部門		5	4	4	4
電子計測制御部門		9	10	9	20
電子情報処理部門		6	9	14	3
ナノテクノロジー研究センター		3	1	10	1
計		25	26	37	28

## II-4. 修士学位及び博士学位の取得状況

### II-4-1) 修士学位

#### 平成18年度

##### ・理学研究科

五味田こず枝：スパイラルヘテロ構造に基づいた高効率光電変換素子の可能性

齊藤有香：臓器レベルでの細胞内1分子検出系の確立

小野智彦：時間分解計測法を用いた近赤外光生体イメージングの改善

黒木一誠：高耐久性超撥水・高撥油表面に関する研究

石原敬基：二分子膜固定化ゲルを用いた新規なゲル電気泳動法の開発

##### ・情報科学研究科

小西秀典：減偏光のないテーパファイバの実現とファイバ結合微小球共振器の偏光依存共鳴特性に関する研究

門脇 翼：コロイドプローブ顕微鏡を用いたゲル表面の力学測定

永田智久：2光子フォック状態対の生成とその量子干渉に関する研究

渋谷俊志：金属ナノ周期構造体を用いた表面増強ラマン散乱計測に関する研究

西村公一：Structural Modifications of Transparent Inorganic Materials Induced by Femtosecond Laser Pulses

横田幸恵：金属ナノ周期構造体を用いた表面増強ラマン散乱計測に関する研究

高橋友美：Fabrication and Optical Characterization of Template-Assisted Colloidal Photonic Crystals

田村 祥：単一 CdSe/ZnS 量子ドットの発光の光子統計とその制御に関する研究

### II-4-2) 博士学位

#### 平成18年度

##### ・理学研究科

大山義仁：微小球およびファイバ結合微小球における発光体の自然放出と制御(Control of spontaneous emission from light emitters by a fiber-coupled microsphere and spontaneous)

手老篤史：微小球およびファイバ結合微小球における発光体の自然放出と制御(Control of spontaneous emission from light emitters by a fiber-coupled microsphere and spontaneous)

袁 曉輝：3種反応拡散方程式系の非均一媒質における進行パルスのダイナミクス

齋藤宗孝：3種反応拡散方程式系の非均一媒質における進行パルスのダイナミクス

##### ・情報科学研究科

高島秀聡：微小球およびファイバ結合微小球における発光体の自然放出と制御(Control of spontaneous emission from light emitters by a fiber-coupled microsphere and spontaneous)

### II-4-3) 大学院生在籍数

研究科名	修 士		博 士	
	17年	18年	17年	18年
理 学 研 究 科	22	23	20	28
工 学 研 究 科	7	5	10	6
情 報 科 学 研 究 科	14	19	3	4
地球環境科学研究科	9	7	7	5
医 学 研 究 科	2	3	0	0
計	54	57	40	43



### Ⅲ. 研究支援体制



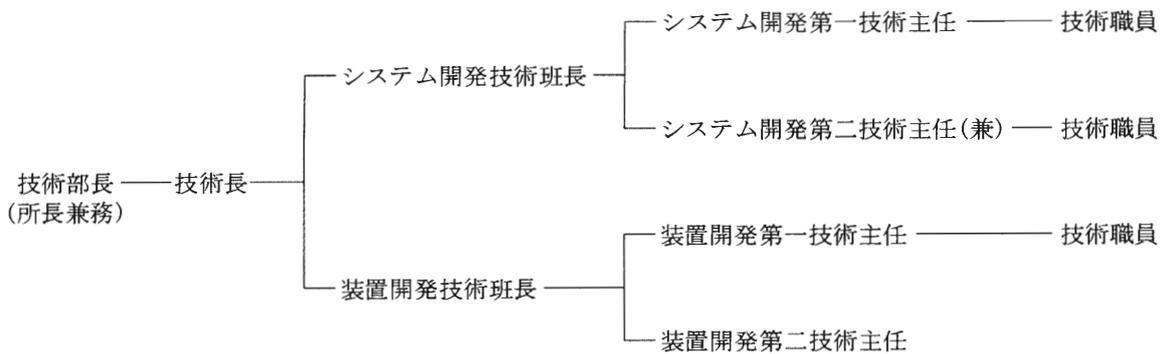
### III-1. 技術部

本研究所の研究を技術面からの支援組織として、システム開発班と装置開発班よりなる「技術部」を置いている。

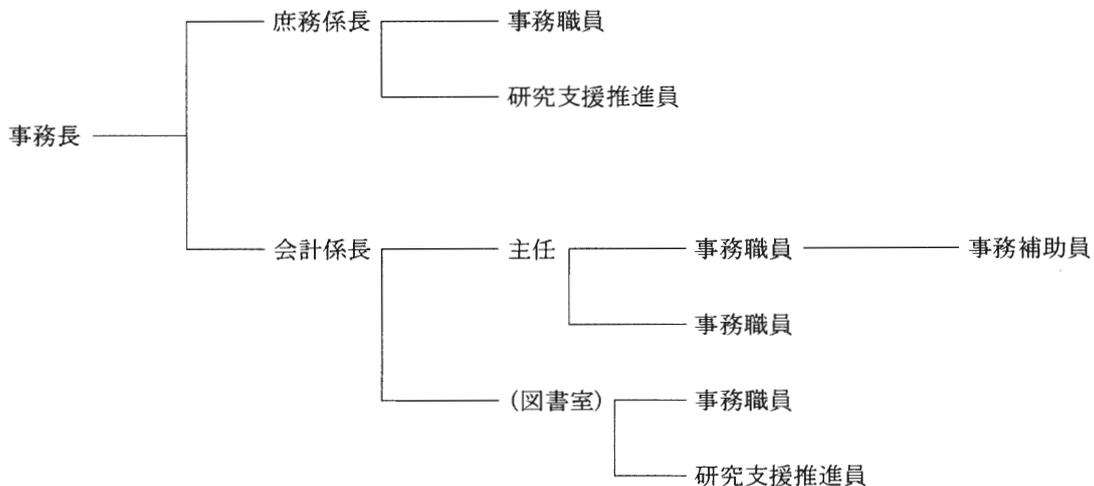
システム開発班は、研究所のホームページと研究成果データベースなどの情報管理運営、研究用電子回路の設計・製作、実験装置計測用ソフトウェア開発など、専門技術による研究分野からの支援要請に対応している。

さらに、附属ナノテクノロジー研究センターにおいては、クリーンルーム、X線回折装置などのオープンファシリティーへの保守・管理、特殊ナノカーボチューブ製作などの特殊技術支援を行っている。この他に、電子科学研究所の大型共通機器・設備の操作・管理、液化窒素貯槽装置とヘリウム回収装置の保守管理および安全教育講習会の実施、学術講演会等の運営補助などの研究所全体に関わる支援を行っている。

装置開発技術班は、研究分野により要請される特殊実験機器の開発・製作にあっている。機械工作室では、ステンレスの精密切削とアルゴン溶接、大型旋盤・縦フライス盤などの工作機械を用いて、多くの実験装置の開発・製作を行っている。近年は、アルミ溶接技術による特殊要請にも対応できる体制を備えている。ガラス工作室では、光学レンズ・プリズム等の加工と研磨、ステンレス製計測装置へのコパールを介しての硝子の溶着の技術・その他大型デュワー瓶、各種石英セルの製作を行っている。また、同班は所外からの技術相談、装置製作などの技術支援要請にも応えている。



### III-2. 事務部



### III-3. 学術情報

#### a. 図書・学術雑誌

単行本の大部分は、各研究分野で購入し管理されている。図書室では参考図書を中心に購入している。学術雑誌は、共通分野で利用され研究所として必要と認められたものは、研究所全体で購入し図書室で管理されている。この他、各分野の必要性から、各分野で購入・管理されている雑誌もある。また、研究分野が理学・工学・医学など広範囲なため、大学内において研究所のみ購入している雑誌も数種あり、他学部からの利用者も多い。

平成14年度より電子ジャーナルが本格的に導入されるにあたり、研究所内の雑誌の重要度調査を行い、購入洋雑誌の見直しをした結果、購入洋雑誌の種類が減少した。

電子ジャーナルの普及により、学外への文献複写の依頼・受付件数共に減少している。

#### 1. 蔵書冊数

年 度	平成15年	平成16年	平成17年	平成18年
和 書	5,429	5,361	5,409	5,415
洋 書	20,454	20,525	20,751	20,915
計	25,883	25,886	26,160	26,330

#### 2. 所蔵雑誌種類数

年 度	平成15年	平成16年	平成17年	平成18年
和雑誌	383	366	368	369
洋雑誌	455	455	454	454
計	838	821	822	823

#### 3. 購入外国語雑誌受入種類数

年 度	平成15年	平成16年	平成17年	平成18年
和雑誌	45	45	42	38
洋雑誌	35	36	34	30
計	80	81	76	68

#### 4. 学外文献複写数

年 度	平成15年	平成16年	平成17年	平成18年
依 頼	133	166	112	64
受 付	326	418	237	175

#### b. 学術情報システム

図書室には附属図書館と結んだ3台の業務用パソコンと LAN (HINES) に接続しているパソコンが4台ある。図書館業務用の2台は、図書の受入発注、目録作成、雑誌受入等の日常業務用として、他の1台は北大蔵書検索システムを提供する閲覧用として利用されている。また、業務用パソコンは国立情報学研究所とオンラインで接続しており、文献複写申込、現物貸借 (ILL システム) 等にも利用されている。

閲覧室の隣には情報検索室が設けられ、閲覧用業務パソコンと検索システム用パソコン2台が利用者用として提供されていて、誰もが自由に必要な情報を得ることができる。

プリンターも1台設置されているので、入手した情報のプリントアウトも自由にできる。

平成14年度からは電子ジャーナルが本格的に導入され、学内の利用に限定されるが、14000タイトルあまりの電子ジャーナルの利用が可能で、フルテキストを購読できる。

また、パソコンからは HINES を通して附属図書館の検索システムを利用できる。以前は CD-ROM マルチ検索システムであったが、現在はオンラインでの学術文献データベース検索システムが利用できる。利用できるデータベースの種類は豊富で、「雑誌記事索引 NDL-OPAC、Web of Science、Current Contents」のような引用文献、目次速報データベースから「SciFinder Scholar、MEDLINE、INSPEC」のような抄録データベース、「LexisNexis Academic」のような新聞記事のデータベース、学位論文データベース、辞典類など39種類にのぼる。また、インターネットを利用して国内外の大学図書館等の情報を得ることもできる。

他に有料のオンラインによる情報検索としては、国立情報学研究所の NACSIS-IR、科学技術振興事業団の JOIS などのシステム検索が利用可能であり、研究者の研究活動を支援している。

平成13年よりカードロックシステムを利用して、研究所内の教職員院生は24時間図書室の利用が可能になり、図書室の利用がしやすくなった。

## IV. 資 料



## IV-1. 沿革

### 超短波研究所

- 昭和16. 1 超短波研究室が設置される
  - 18. 1 超短波研究所に昇格  
第二部門、第四部門、第六部門、第七部門開設
  - 18. 3 第三部門開設
  - 19. 1 第一部門、第五部門開設
  - 20. 1 第八部門開設

### 応用電気研究所

- 21. 3 応用電気研究所と改称する  
部門構成：電気第一部門、電気第二部門、物理第一部門、物理第二部門、化学部門、  
医学及び生理第一部門、医学及び生理第二部門、数学部門
- 24. 5 北海道大学附置研究所となる
- 36. 4 メディカルエレクトロニクス部門新設
- 37. 4 電子機器分析部門新設
- 38. 4 メディカルトランスデューサ部門新設
- 39. 2 研究部門は一部名称変更等により次のとおりとなる(昭和38年4月1日適用)  
電子回路部門、電波応用部門、物理部門、化学部門、生理部門、生体物理部門、  
応用数学部門、メディカルエレクトロニクス部門、電子機器分析部門、メディカルトランスデューサ  
部門
- 39. 4 メディカルテレメーター部門新設
- 42. 6 強誘電体部門新設
- 46. 4 生体制御部門新設
- 48. 4 附属電子計測開発施設新設
- 50. 4 光計測部門新設(10年時限)
- 53. 4 感覚情報工学部門新設
- 60. 3 光計測部門廃止(時限到来)
- 60. 4 光システム工学部門新設(10年時限)

### 電子科学研究所

- 平成4. 4 研究所改組により電子科学研究所となる
  - 14. 4 附属電子計測開発施設を附属ナノテクノロジー研究センターに改組転換
  - 15. 5 電子情報処理部門感覚情報研究分野を廃止
  - 17. 4 電子計測制御部門適応制御研究分野を廃止  
電子計測制御部門ナノシステム生理学研究分野を新設
  - 17. 10 電子材料物性部門光材料研究分野をナノ光高機能材料研究分野に名称変更  
電子情報処理部門信号処理研究分野を極限フォトンプロセス研究分野に名称変更  
電子情報処理部門計算論的生命科学研究分野を新設  
寄附研究部門「ニコンバイオイメーjingセンター研究部門」を新設(開設期間3年)  
英国ニューカッスル大学ナノスケール科学技術研究所との学術交流協定締結

### [歴代所長]

超短波研究室	昭和16年2月20日～昭和18年1月31日	蓑島	高
超短波研究所	昭和18年2月1日～昭和21年3月31日	蓑島	高
応用電気研究所	昭和21年4月1日～昭和21年9月10日	蓑島	高
	昭和21年9月11日～昭和35年7月31日	浅見	義弘
	昭和35年8月1日～昭和38年7月31日	東	健一
	昭和38年8月1日～昭和45年3月31日	松本	秋男

	昭和45年4月1日～昭和48年3月31日	望月 政司
	昭和48年4月1日～昭和51年3月31日	馬場 宏明
	昭和51年4月1日～昭和54年3月31日	吉本 千禎
	昭和54年4月1日～昭和57年3月31日	馬場 宏明
	昭和57年4月1日～昭和60年3月31日	山崎 勇夫
	昭和60年4月1日～昭和63年3月31日	達崎 達
	昭和63年4月1日～平成4年4月9日	安藤 毅
電子科学研究所	平成4年4月10日～平成6年3月31日	安藤 毅
	平成6年4月1日～平成9年3月31日	朝倉 利光
	平成9年4月1日～平成13年3月31日	井上 久遠
	平成13年4月1日～平成15年3月31日	下澤 楯夫
	平成15年4月1日～平成15年9月30日	八木 駿郎
	平成15年10月1日～平成17年9月30日	西浦 廉政
	平成17年10月1日～現在	笹木 敬司

[名誉教授]

昭和32年4月	(故) 峯島 高
昭和37年4月	(故) 浅見 義弘
昭和43年4月	(故) 東 健一
昭和45年4月	(故) 松本 秋男
昭和55年4月	(故) 吉本 千禎
昭和57年4月	(故) 横澤彌三郎
昭和62年4月	(故) 羽鳥 孝三
	馬場 宏明
	松本 伍良
昭和63年4月	達崎 達
	山崎 勇夫
平成7年4月	安藤 毅
平成9年4月	朝倉 利光
	小山 富康
平成13年4月	井上 久遠
	永井 信夫
平成18年4月	八木 駿郎

## IV-2. 建物

本研究所は、当初から現在地（土地 11,723㎡）にあり、この間研究棟は昭和38年度、39年度、47年度、54年度にそれぞれ新増築され、管理棟は昭和40年度に新築された。建物は、大きく3棟に分かれており、それぞれ渡り廊下で結ばれている。平成15年度には創成科学研究棟新築（北21西10）に伴い、ナノテクノロジー研究センター及び関連研究分野が移転した。

建物名称	構造	建面積 ㎡	延面積 ㎡	建築年度
研究棟	鉄筋コンクリート造5階建	1,677	8,477	38、39、47、54年度
管理棟	” 2階建	533	1,260	40年度
井戸上屋他	” 平屋建	79	79	40、58年度
自動車車庫	軽量鉄骨造平屋建	39	39	41年度
自転車置場	”	34	34	59、60、61年度
ナノテクノロジー研究センター	鉄筋コンクリート造5階建	—	4,166	平成15年度
計		2,362	14,055	

## IV-3. 現員（平成18年度）

（7月1日現在）

職名	人数
教授	17 (1)
助教授	16 (1)
講師	1
助手	19
特任助手	1
教員小計	54 (2)
事務系職員	18
合計	72 (2)

（ ）内の数字は客員で外教

#### IV-4. 教員の異動状況（平成18年度）

##### ○ 転入状況

電子情報処理部門	助教授	佐藤 謙	18. 4. 1	米国・Santa Fe Institute	ポスドク研究員
電子情報処理部門	助手	上野 貢生	18. 4. 1	日本学術振興会	特別研究員
ナノテクノロジー研究センター	助教授	田中 賢	18. 4. 1	北海道大学創成科学研究機構	学術研究員

##### ○ 転出状況

電子機能素子部門	教授	田村 守	18. 4. 1	北海道大学大学院先端生命科学研究院	教授
電子材料物性部門	助教授	田中 悟	18. 11. 1	九州大学大学院工学研究科	教授
電子計測制御部門	教授	狩野 猛	19. 3. 31		定年
電子情報処理部門	教授	下澤 楯夫	19. 3. 31		定年
ナノテクノロジー研究センター	教授	下村 政嗣	19. 3. 31	東北大学多元物質科学研究所	教授(19. 4. 1)
電子計測制御部門	助教授	COROBENIKOV ANDREI	19, 3, 31	アイルランド・LIMERICK 大学	シニアリサーチフェロー(19. 4. 1)
ナノテクノロジー研究センター	助教授	田中 賢	19. 3. 31	東北大学多元物質科学研究所	准教授(19. 4. 1)
電子計測制御部門	助手	平田 恵啓	19. 3. 31	北海学園大学工学部	准教授(19. 4. 1)
ナノテクノロジー研究センター	助手	藪 浩	19. 3. 31	東北大学多元物質科学研究所	助教(19. 4. 1)

#### IV-5. 構成員 (平成18年度)

所 長 笹 木 敬 司

##### 電子材料物性部門

###### 光電子物性研究分野

教 授 太 田 信 廣  
 助教授 中 林 孝 和  
 助 手 飯 森 俊 文

###### 相転移物性研究分野

助教授 辻 見 裕 史

###### 有機電子材料研究分野

教 授 中 村 貴 義  
 助教授 芥 川 智 行  
 助 手 野 呂 真一郎

###### ナノ光高機能材料研究分野

教 授 末 宗 幾 夫  
 助教授 田 中 悟  
 助 手 熊 野 英 和

##### 電子機能素子部門

###### 量子機能素子研究分野

教 授 石 橋 晃  
 講 師 近 藤 憲 治  
 助 手 海 住 英 生

###### 分子認識素子研究分野

教 授 居 城 邦 治  
 助教授 新 倉 謙 一  
 助 手 松 尾 保 孝

###### 超分子分光研究分野

助教授 金 城 政 孝  
 助 手 西 村 吾 朗

###### 細胞機能素子研究分野

教 授 上 田 哲 男  
 助教授 中 垣 俊 之  
 助 手 神 隆  
 助 手 高 木 清 二

##### 電子計測制御部門

###### 光システム計測研究分野

教 授 笹 木 敬 司  
 助教授 竹 内 繁 樹  
 助 手 藤 原 英 樹

###### 量子計測研究分野

教 授 栗 城 眞 也  
 助教授 小 山 幸 子  
 助 手 平 田 恵 啓

###### 自律調節研究分野

教 授 狩 野 猛  
 助教授 KOROBEINIKOV  
 ANDREI

###### ナノシステム生理学研究分野

教 授 永 井 健 治  
 助教授 谷 知 己  
 助 手 GOTO DEREK

##### 電子情報処理部門

###### 情報数理研究分野

教 授 西 浦 廉 政  
 助 手 柳 田 達 雄  
 助 手 飯 間 信

###### 神経情報研究分野

教 授 下 澤 楯 夫  
 助教授 青 沼 仁 志  
 助 手 西 野 浩 史

###### 極限フォトンプロセス研究分野

教 授 三 澤 弘 明  
 助教授 JUODKAZIS SAULIUS  
 助 手 上 野 貢 生

###### 計算論的生命科学研究分野

教 授 津 田 一 郎  
 助教授 佐 藤 讓

###### 並列分散処理研究分野 (客員)

教 授 中 西 八 郎  
 (東北大学多元物質科学研究所)  
 助教授 埜 田 友 也  
 (株式会社ニコン  
 コアテクノロジーセンター)

寄附研究部門（ニコンバイオイメージングセンター）

寄附研究部門教員(兼)	上 田 哲 男
〃	永 井 健 治
特任助手	齊 藤 健 太
ナノテクノロジー研究センター	
センター長(併)	三 澤 弘 明
ナノ材料研究分野	
教授	下 村 政 嗣
助教授	田 中 賢 浩
助手	藪 浩
ナノデバイス研究分野	
教授	辻 井 薫
助手	眞 山 博 幸
助手	松 尾 剛
ナノ理論研究分野	
教授	徳 本 洋 志
助教授	岡 嶋 孝 治
助手	畔 原 宏 明
非常勤研究員	
〃	何 小 明
〃	松 田 知 己
研究支援推進員	石 崎 絵 美
	森 恵 美 子
	内 田 有 沙
学術研究員	石 坂 高 英
〃	佐 藤 淳 一
〃	八 木 駿 郎
博士研究員	遠 藤 礼 暁
〃	井 筒 康 洋
〃	林 雄 二 郎
〃	一 宮 尚 志
〃	佐 倉 緑
〃	孫 凱
〃	三 木 康 史
〃	鶴 間 章 典
〃	王 会 平

技術部

技術部長(兼)	笹 木 敬 司
技術長	土 田 義 和
システム開発技術班	
班長・第二技術主任	大 沼 英 雄
第一技術主任	伊 勢 谷 陽 一
技術職員	今 村 逸 子
〃	小 林 健 太 郎
嘱託職員	星 山 満 雄
装置開発技術班	
班長	太 田 隆 夫
第一技術主任	平 田 康 史
第二技術主任	女 池 竜 二
技術職員	武 井 将 志
事務部	
事務長	石 川 雄 一
庶務係	
係 長	藤 井 幹 彦
主 任	隅 田 由 美 子
会計係	
係 長	三 橋 慎 一
主 任	高 畑 周 子
事務職員	渡 辺 香 織
〃	大 内 聖 和
〃 (図書室)	猿 橋 キヨミ
技術補助員	
事務補助員	春 菜 ゆかり
〃	丸 山 紫 織
〃	佐々木 公 美
〃	大 野 美 恵 子
〃	国 松 泉
〃	山 田 庸 子
〃	井 上 祐 子
〃	伊 藤 樹 里
〃	三 浦 亜 希 子
〃	沼 田 優 子
〃	照 内 美 晴

(平成19年3月末日現在)



北海道大学電子科学研究所

〒062-0812 札幌市北区北12条西6丁目 TEL (011)716-2111(代表) FAX(011)706-4977

URL <http://www.es.hokudai.ac.jp/>

平成20年4月発行

