

研究活動

北海道大学電子科学研究所

平成17年度

—— 点検評価報告書 ——

Research Activities

Research Institute for Electronic Science
Hokkaido University

2005

平成19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、64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。

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」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17年度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1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	9
有機電子材料研究分野	12
ナノ光高機能材料研究分野	19

電子機能素子部門

量子機能素子研究分野	26
分子認識素子研究分野	30
超分子分光研究分野	36
細胞機能素子研究分野	42

電子計測制御部門

光システム計測研究分野	48
量子計測研究分野	56
自律調整研究分野	60
ナノシステム生理学研究分野	64

電子情報処理部門

情報数理研究分野	70
神経情報研究分野	77
極限フォトンプロセス研究分野	83
計算論的生命科学研究分野	90
並列分散処理研究分野（客員研究分野）	94

寄附研究部門

ニコンバイオイメージングセンター	98
------------------	----

ナノテクノロジー研究センター

ナノ材料研究分野	102
ナノデバイス研究分野	113
ナノ理論研究分野	120

II. 予算

II-1. 研究成果公表に関する各種の統計表	127
II-2. 予算	129
II-3. 外国人研究者の受入状況	130
II-4. 修士学位及び博士学位の取得状況	131

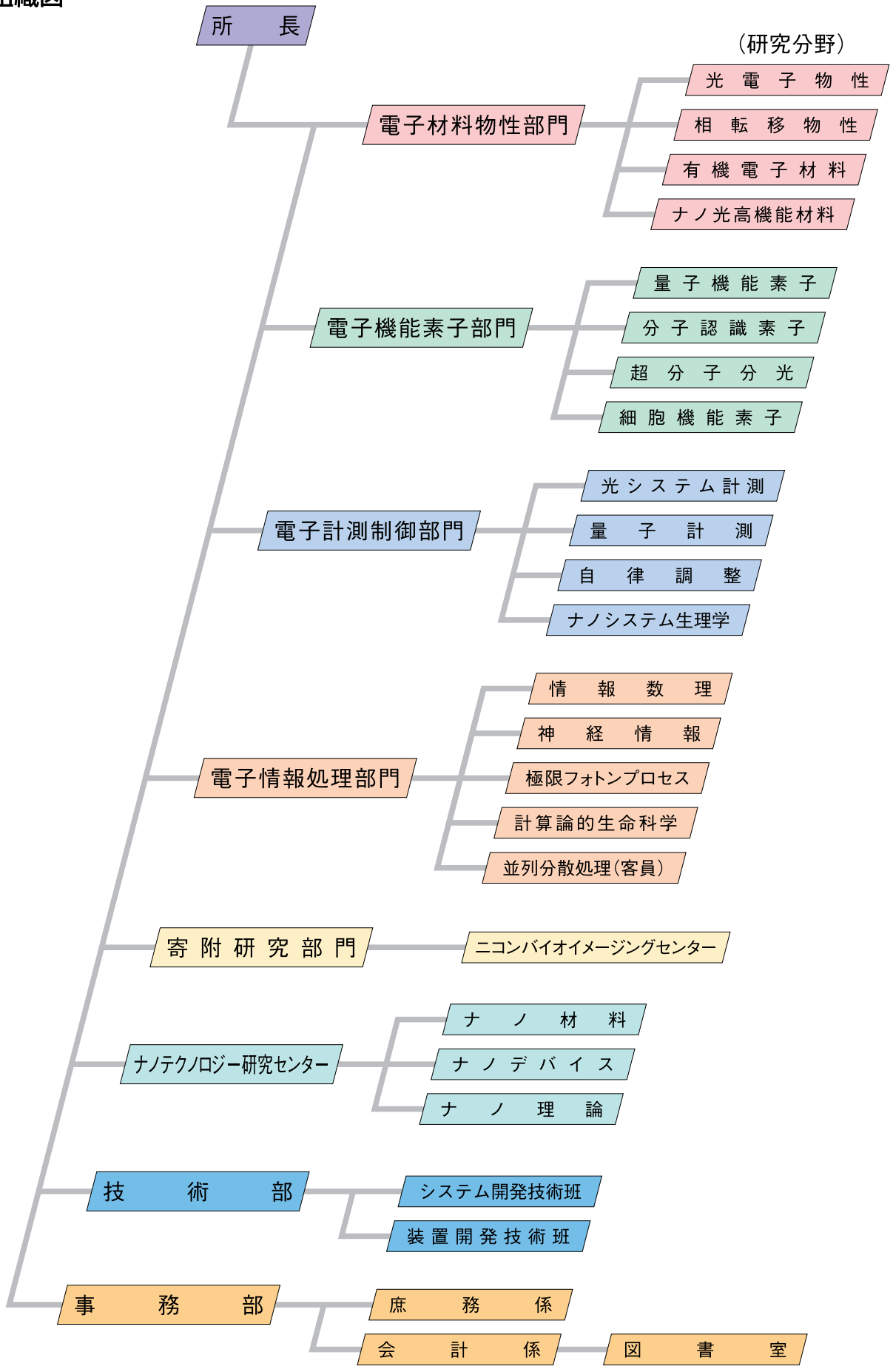
III. 研究支援体制

III-1. 技術部	135
III-2. 事務部	135
III-3. 学術情報	136

IV. 資料

IV-1. 沿革	139
IV-2. 建物	141
IV-3. 定員、現員	141
IV-4. 教員の異動状況	142
IV-5. 構成員	143

■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（東大院、理博、1998.10～）
助教授 中林孝和（東大院、理博、2002.7～）
助手 飯森俊文（京大院、理博、2003.6～）
非常勤研究員 牛坂 健（2004.4～）、Bo Wu（2004.10～2005.9）、Mohan Mehata（2004.11～2005.3）
院 生 吉沢友和（D2）、Md. Wahadoszamen（D2）、
Ara Anjue Mane（D2）、柏木慎一郎（M1）

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のようなかを明らかにする。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』がお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

(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1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

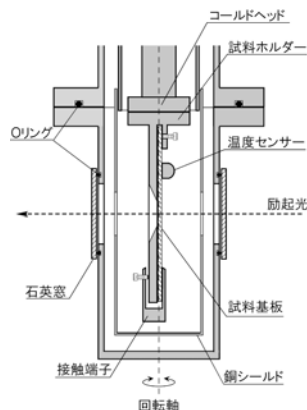


図1. 低温電場吸収・電場発光スペクトル測定装置の試料ホルダー部分図。

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している。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。

(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、ポリマー中にドープ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2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2(d))は、吸収バンドの2次微分形(図2(c))とほぼ似たような形状を示している。この結果は、光吸収にともなう双極子モーメントの変化に起因したシュタルク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 295K 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3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

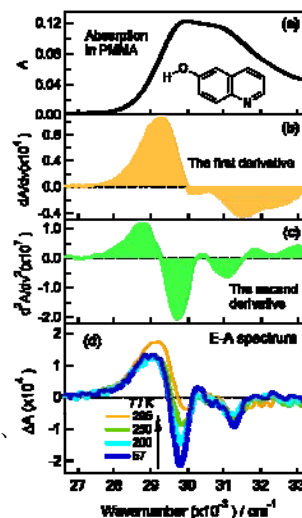


図2. PMMAにドープした6HQの(a)吸収スペクトル、(b)吸収スペクトルの1次微分形および(c)2次微分形、(d)電場吸収スペクトルの温度依存性。印加電場強度は0.7 MV/cm。

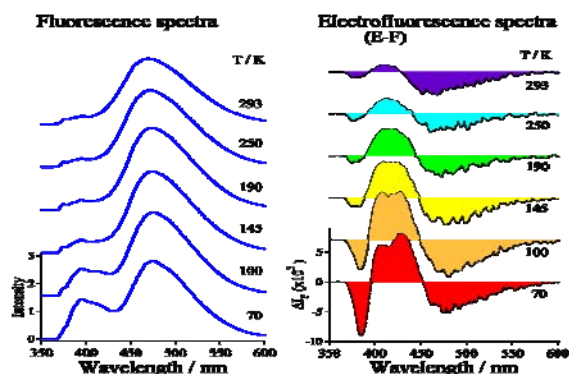


図3. PMMA にドーブしたピレンの蛍光スペクトル(左)および電場蛍光スペクトル(右)の温度依存性。印加電場強度は0.8MV/cm。

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(293K)の蛍光スペクトルには、380nm 周辺にモノマー(MN)蛍光、470nm 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～415nm 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400nm 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、395nm から450nm の領域に構造をもった正のバンドが出現し、384nm 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ーから、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にて行っている。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4(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光照射時間を50 μs 、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

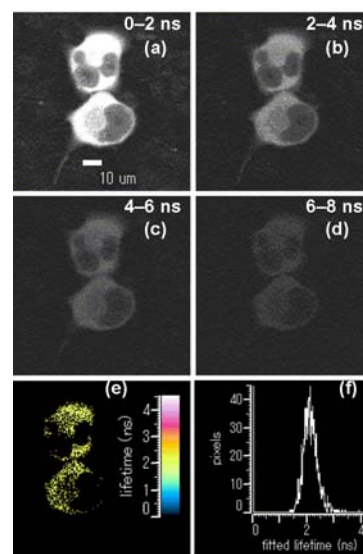


図4. (a)-(d) GFP が発現した HeLa 細胞の時間分解共焦点蛍光画像。遅延時間: 0-2 ns (a)、2-4 ns (b)、4-6 ns (c)、6-8 ns (d)、励起波長: 410nm. (e) 蛍光寿命イメージング、(f) 蛍光寿命ヒストグラム。

図4(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4(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進展させ、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) 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)
- 2) 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)
- 3) 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-(CH₂)_n-Naphthalene Bichromophoric Molecules Doped in a Polymer Film”, *J. Photochem. Photobiol. A*, 178(2-3) : 236-241 (2006)
- 4) T. Nakabayashi, M. Wahadoszamen and N. Ohta : “External Electric Field Effects on State Energy and Photoexcitation Dynamics of Diphenylpolyenes”, *J. Am. Chem. Soc.*, 127(19) : 7041-7052 (2005)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) T. Nakabayashi and N. Ohta : “Electric Field Effects on IR Absorption of α -Helical Polypeptide”, *Chem. Lett.*, 34(8) : 1194-1195 (2005)
- 8) 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)

4.2 総説・解説・評論等

- 1) 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)
- 2) 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)

4.4 著書

- 1) 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)

4.5 その他

- 1) 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)
- 2) 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)

4.7 講演

i) 学会

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 飯森俊文、内藤俊雄、太田信廣 : 「 α -(BEDT-TTF)₂I₃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)
- 4) 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ー外部電場効果・光照射効果ー」、*日本化学会北海道支部2006年冬季研究発表会*、札幌 (2006-01)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) 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)
- 9) 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）

- 10) 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）
 - 11) 中林孝和、小原祐樹、岩崎健太郎、島本司、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）
 - 12) Ara 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）
 - 13) 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）
 - 14) Md. Wahadoszanan、中林孝和、太田信廣：「Effects of external electric field on the excitation dynamics of diphenylpolyenes and diphenylpolynes」、2005年光化学討論会、福岡（2005-09）
 - 15) 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）
 - 16) 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）
 - 17) 吉沢友和、太田信廣：「エレクトロル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）
 - 18) 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）
 - 19) N. Ohta：「Electric Field Effects on Photoexcitation Dynamics in a Polymer Film」、XXII International Conference on Photochemistry 2005, Queensland, Australia（2005-07）
 - 20) 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）
 - 21) 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）
 - 22) 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）
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) 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）

- 2) 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—エチルカルバゾール/テレフタル酸ジメチル系の時間分解電場蛍光分光」、北海道支部2006年冬季研究発表会、札幌市（2006-01）
- 3) 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）
- 4) 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）

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) 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
- 2) 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
- 3) 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

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) 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、1,500千円、「超高速反応の制御」は、物理化学において最重要テーマの一つである。超短光パルスレーザーを用いて、フェムト秒領域の現象が明らかにされてきており、超高速反応の制御に取り組む段階に来ていると考えられる。そこで本研究は、フェムト秒時間分解電場蛍光分光法を開発し、外部電場の印加によって超高速現象を制御することを目的とする。試料としてナノ粒子などを用い、高電場による光物性の制御へと展開を行うことを目指す。

4.12 社会教育活動

a. 公的機関の委員

- 1) 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）
- 2) 太田信廣：日本分光学会代議員（2005年1月20日～2007年5月31日）
- 3) 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）
- 4) 太田信廣：科学研究費委員会専門委員（2004年1月1日～2005年12月31日）
- 5) 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)

b. 国内外の学会の役職

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 太田信廣：光化学協会理事 (2004年1月1日～2005年12月31日)
- 4) 太田信廣：日本分光学会代議員 (2005年1月20日～2007年5月31日)
- 5) 太田信廣：日本分光学会北海道支部長 (2005年5月1日～現在)

d. その他

- 1) 太田信廣：Editor, Asian Journal of Spectroscopy (1997年1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) 全研究科共通、ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論Ⅱ、中林孝和、2006年2月2日～2006年2月3日
- 2) 地球環境科学研究科、環境物質科学基礎論Ⅱ、太田信廣、2005年4月1日～2005年9月30日
- 3) 地球環境科学研究科、光分子化学特論、太田信廣、2005年4月1日～2005年9月30日
- 4) 地球環境科学研究科、環境物質科学実習Ⅰ、太田信廣、2005年4月1日～2006年3月31日
- 5) 地球環境科学研究科、環境物質科学実習Ⅱ、太田信廣、2005年4月1日～2006年3月31日
- 6) 地球環境科学研究科、環境物質科学論文購読Ⅰ、太田信廣、2005年4月1日～2006年3月31日
- 7) 地球環境科学研究科、環境物質科学特別研究Ⅰ、太田信廣、2005年4月1日～2006年3月31日
- 8) 地球環境科学研究科、環境物質科学論文購読Ⅱ、太田信廣、2005年4月1日～2006年3月31日
- 9) 地球環境科学研究科、環境物質科学特別研究Ⅱ、太田信廣、2005年4月1日～2006年3月31日
- 10) 地球環境科学研究科、光分子化学特論、中林孝和、2005年4月1日～2005年9月30日
- 11) 地球環境科学研究科、環境物質科学実習Ⅰ、中林孝和、2005年4月1日～2006年3月31日
- 12) 地球環境科学研究科、環境物質科学実習Ⅱ、中林孝和、2005年4月1日～2006年3月31日
- 13) 地球環境科学研究科、環境物質科学論文購読Ⅰ、中林孝和、2005年4月1日～2006年3月31日
- 14) 地球環境科学研究科、環境物質科学論文購読Ⅱ、中林孝和、2005年4月1日～2006年3月31日
- 15) 地球環境科学研究科、環境物質科学特別研究Ⅱ、中林孝和、2005年4月1日～2006年3月31日
- 16) 地球環境科学研究科、環境物質科学特別研究Ⅰ、中林孝和、2005年4月1日～2006年3月31日

i. ポスドク・客員研究員など

- ・ポスドク (1名)
Mehata Singh Mohan (電子科学研究所)
- ・客員研究員 (1名)
王会平 (電子科学研究所)
- ・その他 (1名)
呉 波 (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 (3名)
田山純平、菊池隼人、柏木慎一郎
- ・博士後期課程 (3名)
吉沢友和、Md. Wahadoszamen、Ara Mane Anju
- ・修士論文
- 1) 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
- ・博士論文
- 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
- 2) Md. Wahadoszamen : Study of Excited State Dynamics and Electronic Structure with Electric Field Modulation Spectroscopy in Some Photoinduced Electron Transfer Systems

相転移物性研究分野

教 授 八木駿郎 (北大院、理博、1988.12～)

助教授 辻見裕史 (北大院、理博、1993.3～)

科学研究支援員 Dekola Tatsiana

院 生 谷口博基(D3)、野恵亮(M2)

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

以下は辻見関係のみである。

(a) 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

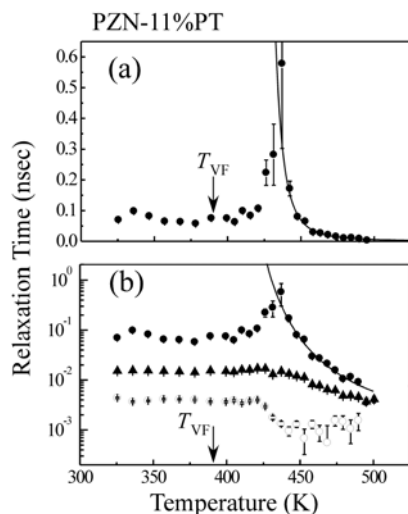


図1. (a) 緩和時間 (時間スケール) の温度依存性 (b) 対数プロットによる緩和時間の温度依存性: 図1 (a) と同じデータ (●)、低精度光散乱の結果 (▲) 図中の曲線は Vogle-Fulcher 則

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 $89\text{Pb}(\text{n}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-}11\text{PbTiO}_3$ (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、Vogle-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。

(b) $\text{SrTi}^{16}\text{O}_3$ (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 0 K 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) のままでいる “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

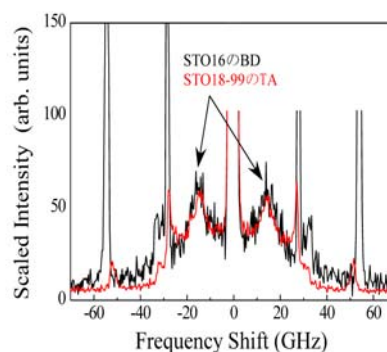


図2. 約 20K における STO16 (黒) と STO18 (赤) の光散乱スペクトル。周波数が約 17 GHz のところにある幅広いピークが、STO16 では BD、STO18 ではソフト化した横波音響フォノン (BD ではない)

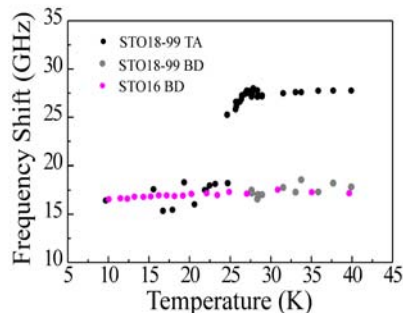


図3. STO16 では BD (桃)、STO18 では BD (灰) と TA (黒) の周波数の温度依存性

同位体 ^{18}O 置換物質である $\text{SrTi}^{18}\text{O}_3$ (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2:スペクトル、図3: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内の局所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。

(c) $\text{SrTi}^{18}\text{O}_3$ (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4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4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5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。

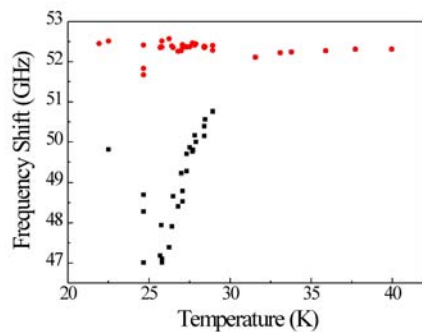


図4. 縦波音響フォノン周波数の温度依存性(■)

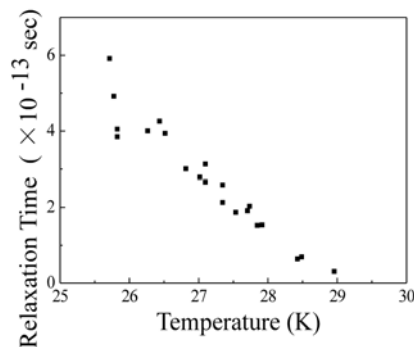


図5. 強誘電性相転移が規則・不規則型であると仮定した場合の分極緩和時間の温度依存性(■)

(d) Nb をドーブ 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6は低周波帯域後方光散乱実験で測定した0.02w%Nb-STO16におけるプ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7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。

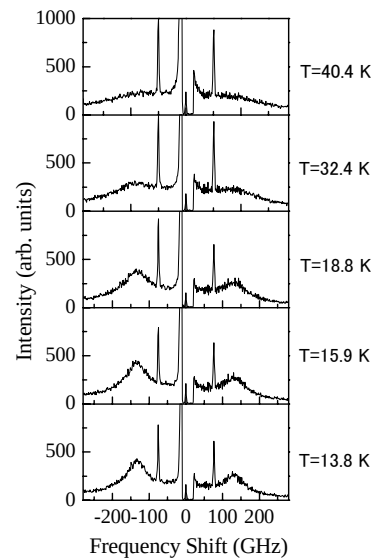


図6. 周波数と寿命の比の温度依存性 プラズモン(■)、BD (○)

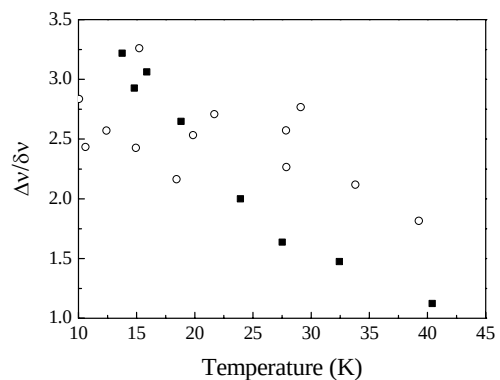


図7. プラズモン・スペクトラムの温度依存性

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) H. Taniguchi, T. Yagi, M. Takesada and M. Itoh : “Isotope effect on the soft-mode dynamics of SrTiO₃ studied by Raman scattering”, *Phys. Rev. B*, 72 : 64111–64118 (2005)
- 2) Y. Tsujimi, H. Hasebe, R. Wang and M. Itoh : “Central Peak in SrTi¹⁸O₃ Studied by Light Scattering”, *Ferroelectrics*, 314 : 79–83 (2005)
- 3) M. Tan, Y. Tsujimi and T. Yagi : “Broad Doublet Spectra in SrTiO₃”, *J. Korean Phys. Soc.*, 46 : 97–99 (2005)

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) 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、未定、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、重合直前にシェ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 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) 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
- 2) 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
- 3) 八木駿郎、学術創成研究費、“ソフト&ウェ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

4.12 社会教育活動

a. 公的機関の委員

b. 国内外の学会の役職

- 1) 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）

i. ポスドク・客員研究員など

・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）

j. 修士学位及び博士学位の取得状況

・修士課程（1名）

真野恵亮

・博士後期課程（1名）

谷口博基

・修士論文

- 1) 真野恵亮：SrTiO₃のコヒーレントラマン散乱及びブリルアン散乱

有機電子材料研究分野

教 授 中村貴義（東大院、理博、1997.4～）
助教授 芥川智行（京大院、理博、2003.5～）
助 手 野呂真一郎（京大院、工博、2004.7～）
博士研究員 武田啓司、今井裕之
院 生 帯刀陽子(D3)、高橋幸裕(D3)、綱島 亮(D2)
佐藤大介(D2)、遠藤大五郎(M2)、元木沢勇(M2)
山階維騎(M2)、梶原鉄平(M2)、神 玲奈(M1)

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。

新規に開発した $\text{Cs}_2[\text{18crown-6}]_3[\text{Ni}(\text{dmit})_2]_2$ 塩 (1) では (図1)、固体中での[18crown-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、[18crown-6]分子の回転運動に応答した、 $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]^-$ 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。今後、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事で、一方向回転が可能な固体分子モーターが構築できると期待している。

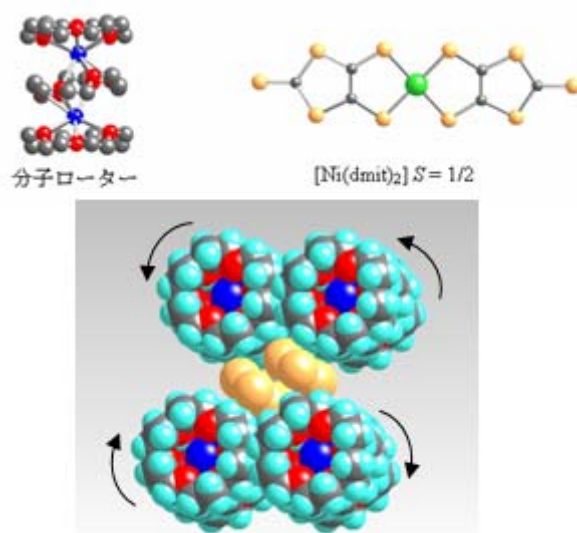


図1. 結晶1を構成する分子ローターと磁性分子（上図）及びその結晶構造

(b) 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2) 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、ウェット法を用いて作製した。

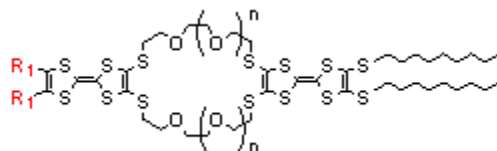


図2. 両親媒性マクロサイクリック bis-TTF 誘導体

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3)。また、化学的な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。

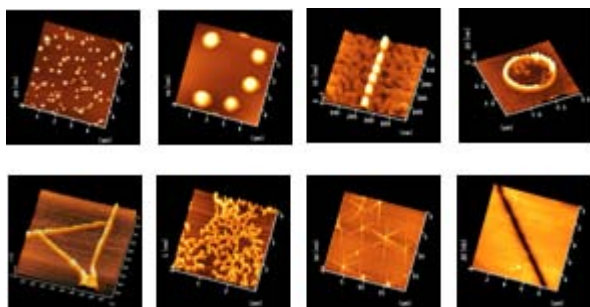


図3. 両親媒性マクロサイクリック TTF 誘導体に基づく低次元ナノ構造の例

(c) 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。本年度は、酸化還元両性配位子である *o*-ジイミノベンゾセミキノネート配位子が配位した平面型ニッケル錯体（図4）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（ $\sim 1\text{eV}$ ）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、系統的研究展開が可能となる。

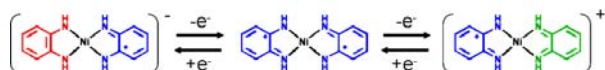


図4. 酸化還元両性機能を有するニッケル錯体

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5）、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100 nm 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^2/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。

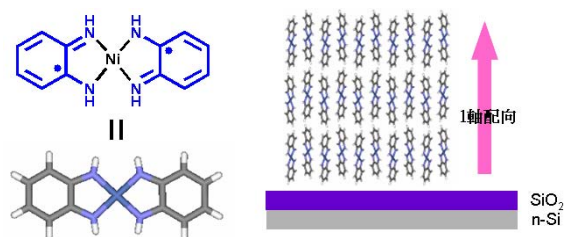


図5. ニッケル錯体の薄膜構造

3. 今後の研究の展望

我々は、機能性の分子集合体（分子性半導体・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) 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)
- 2) 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_2 [(18)crown-6]₃ in the Solid State Coupled with the Magnetism of $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$ ”, *J. Am. Chem. Soc.*, 127 : 4397-4402 (2005)
- 3) X. Ren, T. Akutagawa, S. Nishihara and T. Nakamura : “Strong Antiferromagnetic Exchange Interactions in Quasi-One-Dimensional(Quasi-1D) Compounds based on $[\text{Pd}(\text{mnt})_2]$ Anions: Crystal Structures, Magnetic Properties, and Spin Dimer Analyses”, *Synth. Met.*, 150 : 57-61 (2005)
- 4) S. Nishihara, X. Ren, T. Akutagawa and T. Nakamura : “Crystal Structures and Magnetic Properties of $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]^-$ Salts Including (4-fluoroanilinium) [(18)crown-6] and (4-methylanilinium) [(18)crown-6] Supramolecular Cations”, *Polyhedron*, 24 : 2844-2848 (2005)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) T. Akutagawa, K. Matsuura, A. Hashimoto and T. Nakamura : “Magnetism of $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$ Salts with [Meso and (1S, 2S)-Diphenyl-1,2-Ethanediammonium][(18)crown-6]₂ Supramolecular Cations”, *Inorg. Chem.*, 44 : 4454-4456 (2005)
- 8) 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)
- 9) 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 $\text{Cs}_2(18\text{-crown-6})_3[\text{Ni}(\text{dmit})_2]_2$ ”, *J. Chem. Phys.*, 123 : 044514 (2005)
- 10) 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 $[1-(4\text{-iodobenzyl})\text{pyridinium}][\text{Ni}(\text{mnt})_2]$ ”, *J. Phys. Chem. B*, 109 : 16610-16615 (2005)
- 11) 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)
- 12) X. Ren, S. Nishihara, T. Akutagawa, T. Nakamura, J. L. Xie and Q. J. Meng : “Two-dimensional Molecular Magnets based on $[\text{Pt}(\text{mnt})_2]^-$ Ions: Structures and Magnetic Properties”, *Polyhedron*, 24 : 2160-2164 (2005)
- 13) 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 $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]^-$ Salts”, *Eur. J. Inorg. Chem.*, 2005 : 3271-3276 (2005)
- 14) T. Akutagawa, K. Matsuura, A. Hashimoto and T. Nakamura : “Magnetism of $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$ Salts with [Meso- and (1S, 2S)-Diphenyl-1,2-Ethanediammonium][(18)crown-6]₂ Supramolecular Cations”, *Inorg. Chem.*, 44 : 4454-4456 (2005)
- 15) X. Ren, T. Akutagawa, S. Nishihara and T. Nakamura : “Strong antiferromagnetic exchange interactions in quasi-one-dimensional compounds based on $[\text{Pd}(\text{mnt})_2]^-$ anions”, *Synth. Met.*, 150 : 57-61 (2005)
- 16) 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)
- 17) 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)

4.7 講演

i) 学会

- 1) 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⁺) (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)
- 2) 佐藤大介、芥川智行、中村貴義 : 「 $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$ 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)

- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) 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)
- 9) 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 $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$ 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)
- 10) T. Nakamura：「Supramolecular Cation Salts of Polyoxometalate with Electronic and Magnetic Functions」、Pacificchem 2005, Honolulu, Hawaii, USA (2005-12)
- 11) 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)
- 12) T. Motokizawa, K. Matsuura, T. Akutagawa and T. Nakamura：「Structural Phase Transition of $(\text{M}^+)([12]\text{crown-4})_2[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$ Salts Coupled with Magnetic Properties」、Pacificchem 2005, Honolulu, Hawaii, USA (2005-12)
- 13) K. Takeda, K. Awaga, S. Ohira and I. Watanabe：「Long time scale μ SR study of $[\text{Mn}_{12}\text{O}_{12}(\text{O}_2\text{CC}_6\text{H}_5)_{16}(\text{H}_2\text{O})_4] \cdot 2\text{C}_6\text{H}_5\text{CO}_2\text{H}$ 」、Pacificchem 2005, Honolulu, Hawaii, USA (2005-12)
- 14) D. Sato, K. Shitagami, S. Nishihara, S. Takeda, T. Akutagawa and T. Nakamura：「Formations of Supramolecular Rotor Structures of Crown Ethers in Magnetic $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$ Salts」、Pacificchem 2005, Honolulu, Hawaii, USA (2005-12)
- 15) T. Kajiwara, K. Kato, S. Noro, T. Akutagawa, T. Nakamura and J. Becher：「Synthesis of bis-and tris-(Tetra-thiafulvalene) Annulated Macrocycles with Ethylenedithio Groups」、Pacificchem 2005, Honolulu, Hawaii, USA (2005-12)
- 16) 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)
- 17) S. Noro, H. Chang, T. Takenobu, T. Akutagawa, T. Nakamura, S. Kitagawa and Y. Iwasa：「Metal-organic thin-film transistor (MOTFT) based on $\text{Ni}^{\text{II}}-\sigma$ -diiminobenzosemiquinonate complex」、Pacificchem 2005, Honolulu, Hawaii, USA (2005-12)
- 18) S. Noro, H. Chang, T. Takenobu, T. Akutagawa, T. Nakamura, S. Kitagawa and Y. Iwasa：「Fabrication, structure, and properties of vapor deposition films of $\text{M}^{\text{II}}-\sigma$ -diiminobenzosemiquinonate metal complexes ($\text{M}=\text{Ni}, \text{Pt}, \text{Pd}$)」、Pacificchem 2005, Honolulu, Hawaii, USA (2005-12)
- 19) Y. Tatewaki, 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)
- 20) D. Endo, T. Akutagawa, S. Noro, H. Imai, L. Cronin and T. Nakamura：「Crystal Structures and Magnetic Properties of $[\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}]^{4-}$ Salts with Supramolecular Cations」、Pacificchem 2005, Honolulu, Hawaii, USA (2005-12)
- 21) T. Nakamura：「Nanostructures of conducting and magnetic molecular materials」、Pacific Polymer Conference IX, Polymer Microelectronics and Photonics, Maui Westin, Hawaii, USA (2005-12)
- 22) 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)- σ -Diiminobenzosemiquinonate Complexes」、International Symposium on Molecular Scale Electronics, Tsukuba (2005-12)
- 23) 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)
- 24) T. Motokizawa, K. Matsuura, T. Akutagawa and T. Nakamura：「Phase Transition and Magnetic Properties of $(\text{M}^+)([12]\text{crown-4})_2[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$ ($\text{M}=\text{Li}, \text{Na}, \text{K}, \text{Rb}$)」、First International Conference on Chemistry of Coordination Space, Okazaki, Aichi (2005-11)
- 25) 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)
- 26) 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)₂] Salts”, First International Conference on Chemistry of Coordination Space, Okazaki, Aichi (2005-11)
 - 27) D. Sato, T. Akutagawa, K. Shitagami, S. Nishihara, S. Takeda and T. Nakamura : “[Ni(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)
 - 28) 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ン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)
 - 29) 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)
 - 30) 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)
 - 31) 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 Mo₁₂ 及び巨大 Mo₁₅₄ 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)
 - 32) 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)
 - 33) 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)
 - 34) 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)₂]塩の作製」、第55回錯体化学討論会、新潟 (2005-09)
 - 35) 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)
 - 36) 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[PMo₁₂O₄₀]クラスターの配列制御」、第55回錯体化学討論会、新潟 (2005-09)
 - 37) 元木沢勇、松浦憲政、芥川智行、中村貴義 : 「(M⁺)[12]crown-4)₂[Ni(dmit)₂]錯体の構造相転移と磁性」、第55回錯体化学討論会、新潟 (2005-09)
 - 38) 平岡牧、長谷川達生、阿部恭、山田寿一、堀内左智雄、十倉好紀、斉藤軍治、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)
 - 39) 武田啓司、中村貴義、栗城真也 : 「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)
 - 40) 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)
 - 41) 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)
 - 42) 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)
 - 43) 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)
 - 44) 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)
 - 45) 綱島亮、芥川智行、中村貴義、吉富太一、川上宏子、戸潤一孔 : 「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)
 - 46) 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)
 - 47) T. Kajiwar, 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)
 - 48) 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)
 - 49) 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 Molecular Organized Films(LB11), Sapporo (2005-06)

- 50) 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 Macrocyclic and F₄-TCNQ”, The 11th International Conference on Organized Molecular Films(LB11), Sapporo (2005-06)

- 51) 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)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) 芥川智行 : 「Mo₁₂核及び Mo₁₃₆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 (2005-10)
- 2) 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)
- 3) T. Akutagawa : “Nanostructures of Molecular Conductors”, ISCOM2005 Sixth International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors, and Ferromagnets, Key West, Florida, USA (2005-09)
- 4) T. Akutagawa, T. Yamashina, S. Noro and T. Nakamura : “Size-controllable Nanodot Structures of Molecular Conductors”, International Symposium on Molecular Conductors, Hayama (2005-07)
- 5) T. Nakamura : “Molecular Systems for Nanodevices: Molecular Rotors and Molecular Wires”, Sanken International Symposium on Scientific and Industrial Nanotechnology 2004, Osaka (2004-12)

iii) コロキウム・セミナー等・その他

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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」、高分子サマーユニバーシティ、札幌 (2005-08)

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) 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。

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) 中村貴義、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。

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) 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
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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

- 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、無機アニオンである混合原子価ポリオキソメタレート（POM）は、不対電子が POM の金属イオン上に非局在化するため、その表面は特異な電子状態をとる。本研究では、混合原子価 POM を用いて多孔性材料を構築し、POM 上の不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、均一なナノサイズの細孔（ナノ空間）を有する多孔性金属錯体は、設計性の高さ・構造の多様性に加え細孔表面の近接したポテンシャル場を介してゲスト分子の状態（配向、相関、運動、集積構造）を自在にコントロールできる。また、最近では外場に応答しその多孔性構造を柔軟に変化させる動的多孔性金属錯体が報告されてきている。このような現象は、ゼオライトや炭素材料などの従来の多孔体では見られず、配位結合や水素結合などの超分子的相互作用によって組織化された多孔性金属錯体特有のものである。そのため、多孔性金属錯体はゼオライト・炭素材料に続く第3の多孔性材料として現在基礎及び応用科学の領域から盛んに研究されている。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、① ナノ空間において表面－電子複合ポテンシャル場がゲスト分子に及ぼす効果 ② 表面－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。①においては新規複合ポテンシャル空間における分子束縛や凝集分子の振る舞いなど基礎科学的な物性を探索する。②においては①の結果を踏まえ、ゼオライトや炭素材料などのような従来の多孔体では分離不十分もしくは分離困難な混合物の電子ポテンシャル空間を利用した選択的分離、ナノ空間内での不均一触媒活性における電子ポテンシャル効果、また電子ポテンシャル揺らぎを利用した外場制御型多孔体の構築、を検討することで、複合ポテンシャル空間でのみ実現可能な機能性多孔体の構築及びその応用化を目指す。

- 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、均一なナノサイズの細孔を有する多孔性金属錯体は、細孔表面の近接したポテンシャル場を介してゲスト分子の状態（配向、相関、運動、集積構造）を自在にコントロールできるため、基礎及び応用科学の領域において盛んに研究されている。しかしながら他のポテンシャル場を融合させた研究例はほとんどない。異なるポテンシャル場の融合は、① 単一ポテンシャル場では実現できない協同効果に基づくゲスト分子の精密状態制御 ② 片方のポテンシャル場に揺らぎを与えることによるゲスト分子状態の変換を可能とし、ゼオライトや炭素材料などの従来の多孔体では実現できないような機能の開拓・応用が期待できる。本研究では、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。

i. ポスドク・客員研究員など

- ・ポスドク（1名）
武田啓司（科学技術振興事業団）
- ・客員研究員（2名）
Jayanty Subbalakshmi（電子科学研究所）、Ren Xiao Ming（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（5名）
神玲奈、遠藤大五郎、梶原鉄平、元木沢勇、山階維騎
- ・博士後期課程（4名）
佐藤大介、綱島亮、帯刀陽子、高橋 幸裕
- ・修士論文
 - 1) 遠藤大五郎：超分子構造を導入したポリオキソメタレート塩の構造と物性
 - 2) 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用いたナノ構造の作製・評価
 - 3) 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
 - 4) 山階維騎：有機半導体ナノ構造の作製とデバイス応用
- ・博士論文
 - 1) 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
 - 2) 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

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～）

助教授 田中 悟（ノースカロライナ州立大学、Ph.D.,
1998.4～2006.10）

助 手 熊野英和（北大院、工博、1997.4～）

博士研究員 遠藤礼暁（室蘭工大院、工博、2004.5～）

定 昌史（東大院、学術博、2005.4～）

井筒康洋（北陸先端大院、理博、2006.4～）

林雄二郎（九大院、工博、2006.4～）

院 生 海老原正人(D3)、藤井政弘(M2)、小林 創(M1)

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

(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り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 InAlAs 量子ドットを MBE 成長し、これを直径～150nm 程度の領域を残してメサエッチングした単一量子ドットについて、2次の強度相関関数 $g^{(2)}(\tau)$ 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～12ns 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で、同時計数カウント数が明瞭に増大している。これは光子バンディングと呼ばれ、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 1ns 程度の裾野を持っており、中性励起子分子発

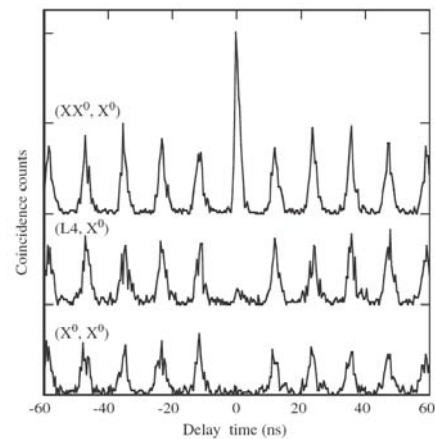


図1. InAlAs 単一量子ドットから発光する中性励起子分子(XX^0)、中性励起子(X^0)、L4 と名付けられた発光ピークに関する光子相関測定の測定結果。

光が生じた後、引き続いて 1ns 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、単一光子発生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 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 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。

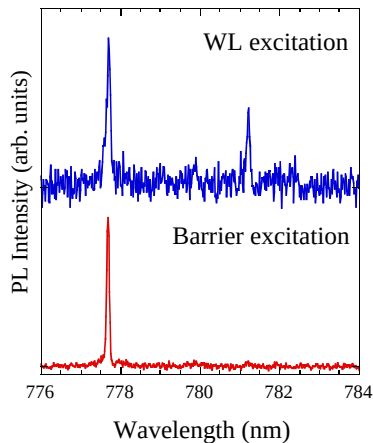


図2. InAlAs 単一量子ドットの励起エネルギーによる発光スペクトルの変化。量子ドットに付随する量子井戸層(WL)を励起すると781nm付近にイオン化励起子発光が現れるが、AlGaAs バリア層を励起すると中性励起子発光だけの純粋な発光スペクトルが観測される。

(d) RBS 法による InAs 量子ドットに対する 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 InAs 量子ドットをひずみ補償する GaAsN 埋め込み構造について研究を進めており、特定の 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 InAs 量子ドットを 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。セン亜鉛銻構造結晶では $\langle 001 \rangle$ 、 $\langle 110 \rangle$ 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 $\chi_{\min}$ 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°C 成長した量子ドットについて行った。

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 $\langle 001 \rangle$ 方向より $\langle 110 \rangle$ 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 $\langle 110 \rangle$ 方向の $\chi_{\min}$ が急激に増大し、一方表面に垂直な $\langle 001 \rangle$ 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。

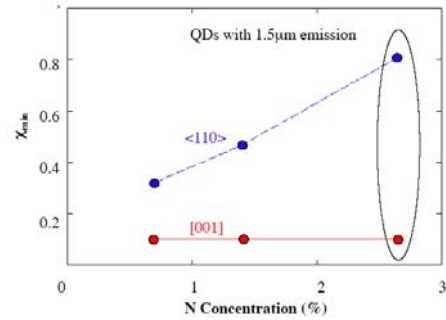


図3. InAs 量子ドットからのイオンチャネリング最小散乱率の測定結果と、GaAsN 層でドットを埋めた場合の N 組成依存性。

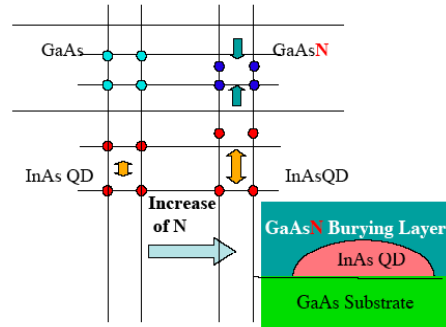


図4. InAs 量子ドットを GaAsN 層で埋めた場合の結晶格子と N 組成を増やした場合の格子変形の模式図。

(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 $72\text{ML} \times 72\text{ML}$ 、高さ 24ML のピラミッド形 InAs を GaAs が取り囲んだ $80\text{ML} \times 80\text{ML} \times 72\text{ML}$ 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。

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。

4. 資料

4.1 学術論文等

- 1) K. Hayashi, S. Mizuno, S. Tanaka, H. Toyoda, H. Tochi-hara and I. Suemune : “Nucleation stages of carbon nanotubes on SiC(0001) by surface decomposition”, *Jpn. J. Appl. Phys. Express Letter*, 44(25) : L803-L805 (2005)
- 2) 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)
- 3) S. Kimura, H. Kumano, M. Endo, I. Suemune, T. Yokoi, H. Sasakura, S. Adachi, S. Muto, Z. S. Hai, S. Hirose and T. Uesugi : “Photon Antibunching Observed from an InAlAs Single Quantum Dot”, *Jpn. J. Appl. Phys. Express Lett.*, 44(25) : L793-L796 (2005)
- 4) S. Kimura, H. Kumano, M. Endo, I. Suemune, T. Y., H. Sasakura, S. Adachi, S. Muto, H. Song, S. Hirose and T. Uesugi : “Single-Photon Generation from InAlAs Single Quantum Dot”, *Phys. Status Solidi*, (c) : 3833-3837 (2005)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) 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)

4.5 その他

- 1) I. Suemune, K. Uesugi and H. Kumano : “Study of Light Emitters with Capability of Multi-Wavelength Emissions in Visible and Infrared Wavelength Range on GaAs Substrates”, *IPAP Books 2 “Photonics Based on Wavelength Integration and Manipulation”* : 71-82 (2005)

4.7 講演

i) 学会

- 1) 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回応用物理関係連合講演会、東京、武蔵工大 (2006-03)

- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) 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)
- 9) I. Suemune, H. Kumano and K. Uesugi : “Control of Photon Wavelength and Correlations Emitted from Single Quantum Dots”, 4th NIMS Conference, Tsukuba (2006-03)
- 10) S. Tanaka : “Fabrication of surface nanostructures on self-ordered SiC nanofacets”, 2005 International Conference on Nanoscience and Nanotechnology, Gwangju, Korea (2005-11)
- 11) M. Hujii, S. Tanaka and I. Suemune : “Ordered Nanofacets on Vicinal SiC Surfaces Induced by Facet-facet Interactions - An Implication to Substrate Off-angles α ”, International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2005, Pittsburgh, USA (2005-09)
- 12) 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：「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)
- 13) 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)
- 14) 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 H₂O₂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)
 - 15) 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)
 - 16) 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)
 - 17) 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)
 - 18) 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 SiO₂成長初期過程のナノマスクの応用」、秋季第66回応用物理学関係連合講演会、徳島大学 (2005-09)
 - 19) 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 SiO₂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)
 - 20) 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)
 - 21) 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)
 - 22) 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)
 - 23) 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)
 - 24) 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)
 - 25) 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)
 - 26) M. Ebihara, H. Kumano and I. Suemune: “Control of Crystalline Structure of CdO Layers Grown on c-Plane (0001) ZnO”, 47th TMS 2005 Electronic Materials Conference, University of California Santa Barbara, USA (2005-06)
 - 27) 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)
 - 28) 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)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) 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)
 - 2) I. Suemune: “Prospects of Superconducting Photonics”, Ninth International Symposium on Contemporary Photonics Technology, Tokyo (2006-01)
 - 3) H. Kumano, S. Kimura, M. Endo and I. Suemune: “Single-photon and correlated-photon-pair generations based on semiconductor quantum dots for quantum “, Thirteenth International workshop on the Physics of Semiconductor devices(IWPSD-13), New Delhi, India (2005-12)
 - 4) 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 (2005-12)
 - 5) 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)
 - 6) 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」、徳島大学 (2005-09)

- 7) T. Yokoi, S. Adachi, H. Sakakura, S. Muto, H. Kumano and I. Suemune : “Overhauser Shift in a Self-assembled Quantum Dot”, Spintech III, Awaji Island (2005-08)
- 8) 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)
- 9) 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)
- 10) 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)
- 11) S. Kimura, H. Kumano, M. Endo, I. Suemune, T. Yokoi, H. Sakakura, 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)
- 12) 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)
- 13) 田中悟、豊田啓貴、林賢次郎、水野清義、末宗幾夫、梶原浩 : 「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)

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) 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
 - 2) 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
- 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) 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、未定、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。

- 2) 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。

4.11 受賞

- 1) 横井伴紀、足立智、笹倉弘理、棕元崇、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

4.12 社会教育活動

a. 公的機関の委員

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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)

b. 国内外の学会の役職

- 1) 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)
- 2) 末宗幾夫 : IPRM-2007 Epitaxy 領域委員長 (2005年5月1日~現在)

d. その他

- 1) 末宗幾夫 : JJAP 編集委員 (2005年9月30日~現在)
- 2) 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 (2005年9月30日~2006年2月28日)
- 3) 末宗幾夫 : Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics, Editorial Board (2005年12月1日~現在)
- 4) 末宗幾夫 : 電子情報通信学会 レーザ・量子エレクトロニクス研究専門委員会、専門委員 (1996年1月1日~2007年5月20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、応用数学2、末宗幾夫、2005年10月1日~2006年3月31日
- 2) 工学研究科、光電子物性学特論、末宗幾夫、2005年4月1日~2005年9月30日

i. ポスドク・客員研究員など

・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)

j. 修士学位及び博士学位の取得状況

- 修士課程 (4名)

木村聡、宮本知幸、豊田啓貴、寺田一教

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的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 Md. Dalilur Rahaman (D1)、川口敦吉 (M2)、

山形整功 (M2)、五味田こず枝 (M1)

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、自立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立分散系その他、たとえば半導体量子ドットなど無機物のセルフアSEMB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。

当研究室では、ボトムアップとトップダウンの相互乗り入れを可能とする（和集合の）観点から取り組んでいる。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。当研究室は、このような立場から、ヘテロ構造を渦巻状に巻上げたスパイラルヘテロ構造を用いて、上記の目標に取り組むと共に、対称性変調素子や新規光電変換素子など、新しい高機能デバイスを創出することを目指した研究を進めている。

2. 研究成果

(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1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1a(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 300 K 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。

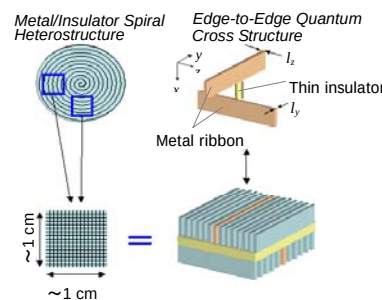


図1 a.
金属/絶縁膜スパイラルヘテロ構造と Edge-to-Edge 量子十字構造。

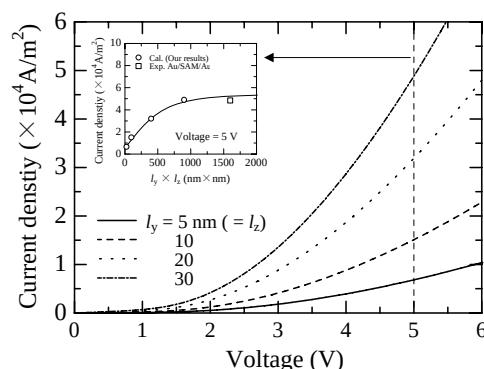
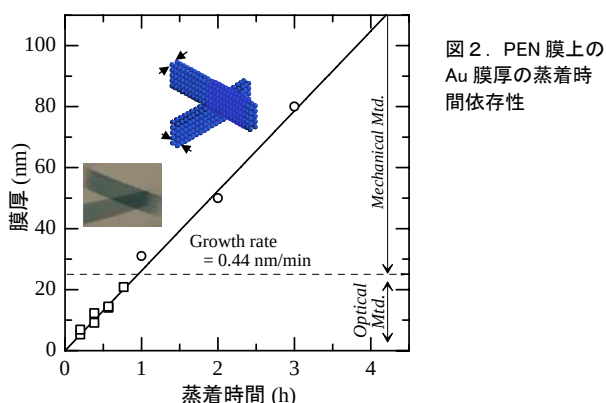


図1 b. 量子十字構造の電流電圧特性の計算結果。金属リボン幅 l_y ($=l_z$) は 5, 10, 20, 30 nm である。フェルミエネルギーは 5.51 eV (for gold)、温度は 300 K である。絶縁層バリア膜厚は 0.5 nm、バリア高さは 1.0 eV である。

(b) 量子十字構造の作製

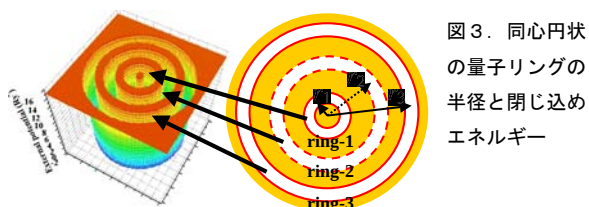
図1aに示す量子十字構造の作製には巻取式真空蒸着装置を用いている。図2にPEN膜上のAu膜厚の蒸着時間依存性を示す。25 nm 以上の膜厚測定には触針振動型膜厚計による機械的方法を用い、25 nm 以下の膜厚測定にはレーザー透過光強度測定による光学的手法を用いた。これにより 0.44 nm/min のリニアな膜厚レートを得ることができ、5, 10, 15, 20 nm の薄膜制御が可能となった。今後、ラッピング技術、及び、ペースト技術を構築し、量子十字構造を作製する。これにより、単一分子・少数分子のキャラクタリ

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。



(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3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。



量子リングは高さ15Ry*のエネルギーを持ち、リング1とリング3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4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。

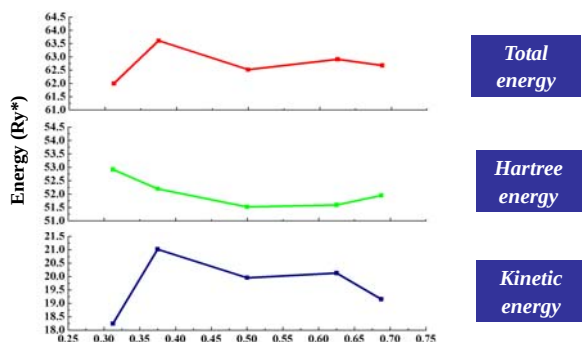


図4. 同心円状の量子リングの全エネルギーと各エネルギーの関係

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。

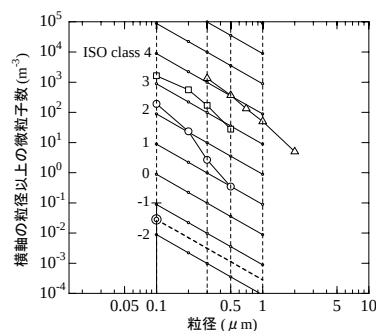
た。具体的にはランド・グループディスクにおけるフォーカスエラー信号のシミュレーションを行った。その結果、フォーカスエラー信号にオフセットの生じる原因を特定する事が出来た。

(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 cleanliness 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 $\rho(t)$ 、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 σ 、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 γ 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 cleanliness 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 σ を低減した結果、通常実験環境に設置したにも係らず図5に示すように、ISO クラス-1 の高 cleanliness 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。



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。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を実現したxy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。

今後、量子十字構造作製プロセスにおいて、ラッピング技術、及び、ペースト技術を構築し、Au 薄膜/PEN 膜を用いた量子十字構造の作製に注力する。量子十字構造作製後、

電流電圧特性を調べ、アドレッシングの可能性を探る。アドレッシングが可能になれば、単一分子・少数分子のキャラクタリゼーションに関して新たな方向性を見出すことができる。また、高密度メモリへの応用にも大きな期待が持てる。次に、強磁性体金属薄膜/PEN 膜によるスピン量子十字構造の作製セットアップを行い、強磁性金属薄膜/PEN 膜を用いたスピン量子十字構造を作製する。磁気抵抗測定を行い、パルスティック磁気抵抗効果のメカニズムを調べるとともに、新たな高感度磁気センサーへの可能性も探る。巨大磁気抵抗効果への指針が立てば、次世代磁気センサー・磁気ヘッドへの応用が期待できる。

理論面では、今後2次元電子液体において、さらに厳密な解を得るために、パーテックス補正を取り入れた GWT 法を開発し、適用する事。スピンホール効果に代表されるスピンコンダクティビティの計算を現実の系で行う事。密度汎関数法の基礎に関わる LDA 近似の限界ならびに交換・相関カーネルの計算を行う事。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事が重要である。

スパイラルヘテロ構造をベースにして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は、熱力学的限界に迫る高効率を実現し得る新型光電変換素子への応用も期待される。

4. 資料

4.1 学術論文等

- 1) 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)
- 2) H. Kaiju and K. Shiiki : “Oscillation controlled magnetic sensing by using spinelectronics devices”, *Comp. Comm. Cont. Tech. Proc.*, 2 : 31-34 (2005)
- 3) 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)

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)

4.6 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、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
- 2) 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

- 3) 石橋晃、特願2006-062880、光電変換装置、2006年3月8日
 - 4) 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
 - 5) 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
- ・国際特許
- 1) 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

i) 学会

- 1) 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 cleanliness」、日本物理学会 第61回年次大会、愛媛大学 (2006-03)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) H. Kaiju, K. Shiiki and A. Ishibashi : “Oscillation controlled magnetic sensing by using spinelectronics devices”, The 3rd International Conference on Computing, Communication and Control Technologies, Austin, Texas, USA (2005-07)
- 7) 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)
- 8) Ishibashi Akira, Kaiju Hideo : 「クリーンユニットシステムプラットフォームへ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)

- 9) 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)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) A. Ishibashi: “Potential interest in spiral hetrostructure and its applications”, 2nd UK-Japan Symposium on Promotion of Nanotechnology Development, New Castle, UK (2006-03)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) Y. Yamagata, K. Kondo and A. Ishibashi: “The Electronic Structure Calculation of Concentric Annular Rings”, Multi-Institutional International Symposium, Sapporo (2005-12)
- 7) 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)

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) 近藤憲治 (電子科学研究所):「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」、2003～2005年度、若手育成研究。量子井戸や量子細線という構造は、近年のナノ・テクノロジーの発展によって、MBEやMOCVDなどで、程度によるが、かなり容易に作成できるようになってきた。これらの構造中での電子相関効果を理論的に研究し、それを実験にフィードバックしたり、新しい構造や現象の予想に役立てることが目的である。

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高清浄度 ISO クラス1～2について」

・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」

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、物理学Ⅲ (電磁気学)、近藤憲治、2005年10月1日～2006年3月31日
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 理学研究科、物理学特別実験2、石橋晃、2005年4月1日～2006年3月31日
- 7) 理学研究科、物理学論文輪講2、石橋晃、2005年4月1日～2006年3月31日
- 8) 理学研究科、物理学基礎論2、石橋晃、2005年4月1日～2006年3月31日
- 9) 理学研究科、物理学論文輪講1、石橋晃、2005年4月1日～2006年3月31日
- 10) 理学研究科、物理学基礎論2、石橋晃、2005年4月1日～2006年3月31日
- 11) 理学研究科、物理学特別実験1、石橋晃、2005年4月1日～2006年3月31日
- 12) 理学研究科、物理学特別演習1、近藤憲治、2005年4月1日～2006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

- ・修士課程 (3名)
五味田こず枝、川口敦吉、山形整功
- ・博士後期課程 (1名)
Rahaman Md Dalilur
- ・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

分子認識素子研究分野

教 授 居城邦治（東工大院、工博、2004.3～）

助教授 新倉謙一（東工大院、工博、2005.1～）

助 手 松尾保孝（北大院、工博、2004.8～）

科学研究支援員 春菜ゆかり（2004.10～）

院 生

博士課程

鶴間章典 (D3)、治田修 (D1)

田中あや (D1) (2005.10～)

修士課程

田中あや (M2) (～2005.9)、石塚範子 (M1)

佐藤壮人 (M1)

学部生

西尾崇 (B4)

1. 研究目標

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役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ィルスカプセルを使った薬剤の細胞内への効率よい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

(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 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が析出することがわかった。

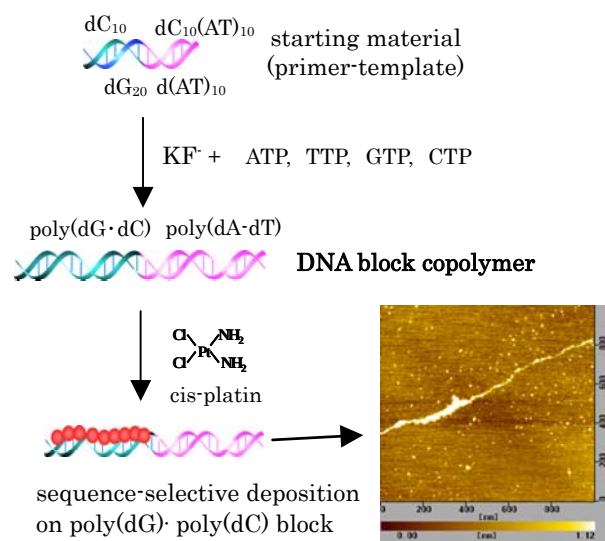


図 1. DNA ブロックコポリマー合成の模式図とプラチナが析出した DNA の AFM 像

(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・磁気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。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。

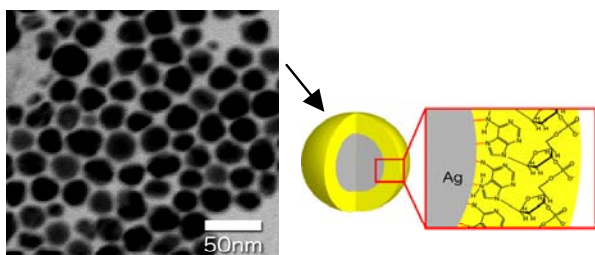


図2. dA20 から作製した銀ナノ粒子の電子顕微鏡像と模式図

(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3)。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。

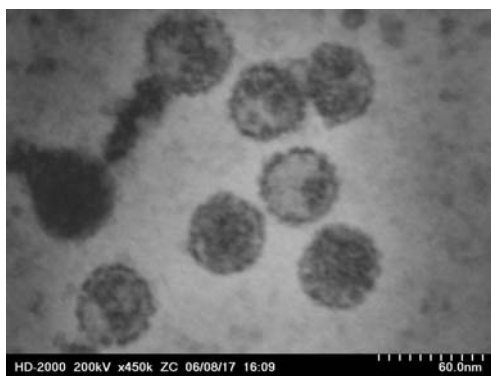


図3. 精製したウイルスナノ微粒子の電子顕微鏡像

(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

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。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。

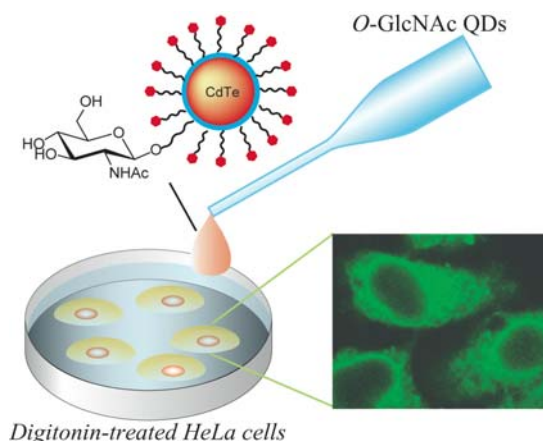


図4. O-GlcNAc 提示 CdTe の細胞内特異的取り込み

3. 今後の研究の展望

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。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) 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)
- 2) 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(3) : 671–674 (2005)
- 3) K. Ijro, Y. Matsuo and Y. Hashimoto : “Fabrication of Metal Nanowires by Electroless Plating of DNA”, *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology*, 3 : 82–85 (2005)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) K. Niikura, R. Kamitani, M. Kuroguchi, R. Uematsu, Y. Shinohara, H. Nakagawa, K. Deguchi, K. Monde, H. Kondo and S. Nishimura : “Versatile Glycoblottting Nanoparticles for High Throughput Protein Glycomics”, *Chemistry – A European Journal*, 11(13) : 3825–3835 (2005)
- 7) N. Matsubara, K. Oiwa, T. Hohsaka, R. Sadamoto, K. Niikura, N. Fukuhara, A. Takimoto, K. Kondo and S. Nishimura : “Molecular Design of Glycoprotein Mimetics: Glycoblottting by Engineered Proteins Having an Oxyl-amino-Functionalized Amino Acid Residue”, *Chemistry–A European Journal*, 11 : 6974–6981 (2005)

4.4 著書

- 1) 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)
- 2) 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)

4.6 特許 (発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

・国内特許

- 1) 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

4.7 講演

i) 学会

- 1) 田中あや、松尾保孝、居城邦治 : 「DNA ポリメラーゼによる単分散 DNA ホモポリマーの合成」、日本化学会第86春季年会 (2006)、日大理工学部船橋キャンパス (2006-03)
- 2) 松尾保孝、居城邦治 : 「LB 法を用いたパターン化 DNA 薄膜の作製」、2006年 (平成18年) 春季第53回応用物理学関係連合講演会、武蔵工業大学 (2006-03)
- 3) 居城邦治、橋本裕一、松尾保孝 : 「DNA の金属化によるナノ細線の構築」、2006年 (平成18年) 春季第53回応用物理学関係連合講演会、武蔵工業大学 (2006-03)
- 4) K. Ijro, Y. Hashimoto and Y. Matsuo : “DNA-Assisted Nanofabrication of Metal Wire”, 「第二回ナノテクノロジー地域連携推進に関する日英シンポジウム」2nd UK-Japan Symposium on Promotion of Regional Partnerships on Nanotechnology Development, ニューカッスル大学, The University of Newcastle, UK (2006-03)
- 5) Y. Matsuo and K. Ijro : “Preparation of Stripe-patterned DNA films by the Langmuir-Blodgett method”, The Sixth France-Japan Workshop on Nanomaterials, Gateaux Kingdom SAPPORO (2006-03)
- 6) 田中あや、松尾保孝、居城邦治 : 「DNA ポリメラーゼによる DNA ポリマー合成反応の制御」、高分子学会第40回北海道支部研究発表会、北海道大学 (2006-01)
- 7) 神谷亮介、新倉謙一、小野寺 智洋、岩崎 倫政、島岡秀幸、居城邦治、西村紳一郎 : 「細胞培養基材としてのグラフト型糖鎖基材の創製」、高分子学会第40回北海道支部研究発表会、北海道大学 (2006-01)
- 8) 西尾崇、新倉謙一、松尾保孝、秋田英万、小暮健太郎、原島秀吉、居城邦治 : 「糖鎖提示 CdTe ナノ微粒子の作製と細胞内挙動の蛍光観察」、高分子学会第40回北海道支部研究発表会、北海道大学 (2006-01)
- 9) 松尾保孝、居城邦治 : 「LB 法を応用した DNA 薄膜のパターン化」、高分子学会第40回北海道支部研究発表会、北海道大学 (2006-01)
- 10) O. Haruta and K. Ijro : “Molecular arrangement of azobenzene bearing nucleobase by base-pairing with oligonucleotide at the air-water interface”, 2005環太平洋国際化学会議 (PACIFICHEM2005)、ホノルル(ハワイ)、ハワイ (2005-12)
- 11) M. Sato, Y. Hashimoto, Y. Matsuo and K. Ijro : “Fabrication of metallic nanonet structure by electroless plating of DNA network pattern”, 2005環太平洋国際化学会議 (PACIFICHEM2005)、ホノルル(ハワイ)、ハワイ (2005-12)
- 12) A. Tanaka, Y. Matsuo and K. Ijro : “Structural changes of DNA multi-assemblies induced by metal cation”, 2005環太平洋国際化学会議 (PACIFICHEM2005)、ホノルル(ハワイ)、ハワイ (2005-12)

- 13) R. Kamitani, K. Niikura, H. Sunami, Y. Shen, N. Nagahori, Y. Matsuo, K. Ijro and S. Nishimura : “Monitoring of transglycosylation reaction on a solid surface using atomic force microscopy with glycosyltransferase-modified tip”、2005環太平洋国際化学会議 (PACIFICHEM2005)、ホノルル(ハワイ)、ハワイ (2005-12)
- 14) N. Ishizuka, Y. Hashimoto, Y. Matsuo and K. Ijro : “Highly expansive hydrogel films prepared from DNA and photosensitive PVA”、2005環太平洋国際化学会議 (PACIFICHEM2005)、ホノルル(ハワイ)、ハワイ (2005-12)
- 15) Y. Matsuo and K. Ijro : “Two-dimensional pattern formation of stretched single DNA molecules by using the Langmuir-Blodgett method”, SPIE International Symposium Microelectronics, MEMS, and Nanotechnology, Brisbane, Australia, Australia (2005-12)
- 16) F. Monma, A. Tsuruma, Y. Matsuo, J. Hotta, A. Tanaka, S. Yamamoto, K. Sasaki, K. Ijro, H. Nakamura and M. Shimomura : “Control of neuron alignment with optical tweezers”, SPIE International Symposium Microelectronics, MEMS, and Nanotechnology, Brisbane, Australia (2005-12)
- 17) O. Haruta and K. Ijro : “Oligonucleotide Templated Azobenzene Assembly by using DNA-mimetics at the Air-Water Interface”, The 7th RIES-Hokudai International Symposium on “命” [Mei], Hokkaido Univ.(Sapporo) (2005-12)
- 18) O. Haruta and K. Ijro : “Molecular Arrangement of Chromophores based on DNA-mimetics at the Air-Water Interface”、日韓高分子若手研究者交流会、北海道大学 (2005-11)
- 19) A. Tanaka, Y. Matsuo and K. Ijro : “Cationic Metals Induced Cyclization of Mutli-assembled DNA”、日韓高分子若手研究者交流会、北海道大学 (2005-11)
- 20) R. Kamitani, K. Niikura, S. Nishimura and K. Ijro : “Synthesis of glycoblotting polymers for cell adhesive materials”、日韓高分子若手研究者交流会、北海道大学 (2005-11)
- 21) Y. Matsuo and K. Ijro : “Fabrication of Langmuir-Blodgett Films of Oriented DNA/Conjugated Polymer Complex”, KJF2005, Daejeon, Korea, Korea (2005-10)
- 22) O. Haruta and K. Ijro : “Molecular Recognition-Assisted Azobenzene Assembly in Nucleobase Monolayer at the Air-Water Interface”, KJF2005, Daejeon, Korea, Korea (2005-10)
- 23) K. Ijro : “DNA-assisted Bottom-up Nanotechnology”, Japan-UK Symposium on Promotion of Regional Partnerships on Nanotechnology Development, Hokkaido Univ.(Sapporo) (2005-10)
- 24) Y. Matsuo and K. Ijro : “Orientation of Conjugated polymers/DNA complex by using the Langmuir-Blodgett technique”, The 12th International Conference on Unconventional Photoactive Systems (UPS 12th), Sendai (2005-10)
- 25) 松尾保孝、居城邦治 : 「LB 法による伸長 DNA 分子の二次元パターン形成」、第54回高分子学会討論会、山形大学 (2005-09)
- 26) 治田修、居城邦治 : 「気液界面におけるオリゴヌクレオチドを鋳型とした両親媒性核酸塩基化合物の配列制御」、第54回高分子学会討論会、山形大学 (2005-09)
- 27) 佐藤壮人、橋本裕一、松尾保孝、居城邦治 : 「DNA ネットワークパターンの無電解メッキによるメタルナノネットの作製」、第54回高分子学会討論会、山形大学 (2005-09)
- 28) 田中あや、松尾保孝、居城邦治 : 「DNA ポリメラーゼによる塩基配列をデザインした長鎖 DNA の作製」、第54回高分子学会討論会、山形大学 (2005-09)
- 29) 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)
- 30) 松尾保孝、居城邦治 : 「LB 法により誘起される DNA ナノパターンの作製」、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)
- 31) 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)
- 32) 治田修、橋本裕一、居城邦治 : 「気液界面における核酸塩基の分子認識とそれを利用した色素分子の会合制御」、第15回バイオ・高分子シンポジウム研究発表、上智大学 (2005-08)
- 33) K. Ijro, Y. Matsuo and Y. Hashimoto : “Fabrication of Metal Nanowires by Electroless Plating of DNA”, The 8th SPSJ International Polymer Congerence (IPC2005)、福岡国際会議場 (2005-07)
- 34) 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리케이션-」、北海道大学 (2005-07)
- 35) K. Ijro : “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、東京ビックサイト (2005-07)
- 36) Y. Matsuo and K. Ijro : “Alignment of π -conjugated luminescent polymers using stretching”, The 11th International Conference on Organized Molecular Films(LB11), Gateaux Kingdom SAPPORO (2005-06)
- 37) K. Ijro, O. Haruta, Y. Matsuo and Y. Hashimoto : “DNA-Templated Molecular Assembly in Monolayer”, The

- 11th International Conference on Organized Molecular Films(LB11), Gateaux Kingdom SAPPORO (2005-06)
- 38) O. Haruta and K. Ijro : “Arrangement of Azobenzene bearing Nucleobase by Specific Base-Pairing with Oligonucleotide at the Air-Water Interface”, The 11th International Conference on Organized Molecular Films(LB11), Gateaux Kingdom SAPPORO (2005-06)
 - 39) A. Tanaka, Y. Matsuo and K. Ijro : “Structural Changes of DNA Multi-Assemblies Depended on the Buffer Conditions”, The 11th International Conference on Organized Molecular Films(LB11), Gateaux Kingdom SAPPORO (2005-06)
 - 40) R. Kamitani, K. Niikura, S. Nishimura and K. Ijro : “Synthesis of glycoblotting polymers for cell adhesive materials.”, The 11th International Conference on Organized Molecular Films(LB11), Gateaux Kingdom SAPPORO (2005-06)
 - 41) O. Haruta and K. Ijro : “DNA-TEMPLATED MOLECULAR ARRANGEMENT OF CHROMOPHORES AT THE AIR-WATER INTERFACE”, ソフトナノテクノロジー国際会議2005(ISSN2005)、北海道大学 (2005-06)
 - 42) 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)
 - 43) 山本貞明、角南寛、田中賢、松尾保孝、居城邦治、山下滋京子、森田有香、澤田石哲郎:「ハニカムフィルムによる細胞外マトリックスの吸着制御」、第54回高分子学会年次大会、パシフィコ横浜 (2005-05)
 - 44) 松尾保孝、居城邦治:「伸長 DNA を鋳型とした π 共役系発光材料の配向制御」、第54回高分子学会年次大会、パシフィコ横浜 (2005-05)
 - 45) 治田修、居城邦治:「核酸塩基単分子膜とオリゴヌクレオチドとの特異的相互作用の解析」、第54回高分子学会年次大会、パシフィコ横浜 (2005-05)
 - 46) 佐藤壮人、橋本裕一、松尾保孝、居城邦治:「DNA ネットワークパターンを鋳型とした金属ナノネットの作製」、第54回高分子学会年次大会、パシフィコ横浜 (2005-05)
 - 47) 田中あや、松尾保孝、居城邦治:「鎖長の異なるオリゴ DNA を用いた長鎖 poly(dA)・poly(dT)の合成」、第54回高分子学会年次大会、パシフィコ横浜 (2005-05)
 - 48) 山本貞明、角南寛、田中賢、松尾保孝、居城邦治、山下 慈京子、森田有香、下村政嗣:「ハニカムフィルムによる細胞外マトリックスの吸着制御」、第54回高分子学会年次大会、パシフィコ横浜 (2005-05)
 - 49) 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)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) 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、千歳アルカディア・プラザ (2006-02)
- 2) 居城邦治:「DNA 細線の作製とエレクトロニクス応用」、公開シンポジウム 高機能 DNA による情報通信技術の開発、千歳アルカディア・プラザ (2006-2)
- 3) 石塚範子、新倉謙一、居城邦治:「薬剤細胞内輸送のための糖鎖認識人工ウィルスの創製」、高分子学会第40回北海道支部研究発表会、北海道大学 (2006-01)
- 4) K. Ijro, Y. Matsuo and Y. Hashimoto : “Fabrication of DNA-Templated Silver Nanowires by Electroless Plating”, Polymer/Metal Nanocomposites Workshop, Germany, Germany (2005-09)
- 5) K. Ijro : “DNA-assisted Bottom-up Nanotechnology”, Workshop on Organized Macromolecular Systems -Satellite Meeting for IPC2005-, 福岡国際会議場 (2005-07)
- 6) 居城邦治:「メニスカスにおけるDNAの伸長ダイナミクスの解明」、科研費特定領域「極微構造反応」第3回シンポジウム、北海道大学 (2005-07)
- 7) 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)

iii) コロキウム・セミナー等・その他

- 1) 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 (2005-08)

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) 居城邦治、特定領域研究、メニスカスにおける DNA の伸長ダイナミクスの解明、2005年度
- 2) 新倉謙一、若手研究 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、2005～2006年度
- 3) 新倉謙一、萌芽研究、生体組織再生を目指した糖鎖リソグラフィーの開発、2005～2006年度
- 4) 居城邦治、基盤研究 B 一般 (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、2004～2005年度

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) 下村政嗣 (研究代表者)、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」

4.11 受賞

- 1) 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

4.12 社会教育活動

b. 国内外の学会の役職

- 1) 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)
- 2) 居城邦治：高分子学会北海道支部幹事 (2004年4月～現在)

g. 北大での担当授業科目（対象、講義名、担当者、期間）

- 1) 全学科共通、環境と人間（次世代産業革命の旗手＝ナノテクノロジー）、居城邦治、2005年4月1日～2005年9月30日
- 2) 理学部、研究実験、居城邦治、2005年4月1日～2006年3月31日
- 3) 理学研究科、論文購読Ⅰ、居城邦治、2005年4月1日～2006年3月31日
- 4) 理学研究科、論文購読Ⅱ、居城邦治、2005年4月1日～2006年3月31日
- 5) 理学研究科、論文購読Ⅲ、居城邦治、2005年4月1日～2006年3月31日
- 6) 理学研究科、特別研究Ⅰ、居城邦治、2005年4月1日～2006年3月31日
- 7) 理学研究科、特別研究Ⅱ、居城邦治、2005年4月1日～2006年3月31日
- 8) 理学研究科、特別研究Ⅲ、居城邦治、2005年4月1日～2006年3月31日

i. ポスドク・客員研究員など

- ・ポスドク（1名）
松尾保孝（科学技術振興事業団）

j. 修士学位及び博士学位の取得状況

- ・修士課程（1名）
田中あや
- ・博士後期課程（1名）
鶴間章典

超分子分光研究分野

教授 田村 守（北大院、理博、1987.12～）
助教授 金城政孝（自治医大、医博、1997.4～）
助手 西村吾朗（阪大院、理博、1989.7～）
ポスドク 白 燦基
ポスドク 長尾一生

院 生

三國新太郎(D3)、大杉 友(D1)
佐々木章(M2)、堀田晋也(M2)
小野智彦(M1)、斎藤有香(M1)

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た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を行う。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

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。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。

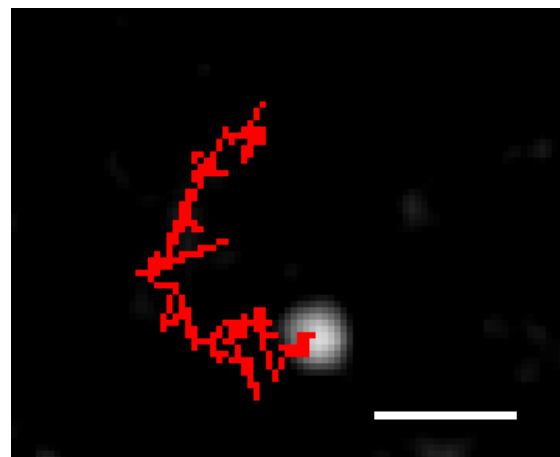


図1. 全反射蛍光顕微鏡を用いて生きた細胞の生体膜上の Protein Kinase C と EGFP 融合タンパク質 (PKC-EGFP) を1分子観察し、その軌跡から拡散定数を算出した。
スケールバー：1 μm
観察時間：2 sec (30frame/sec)

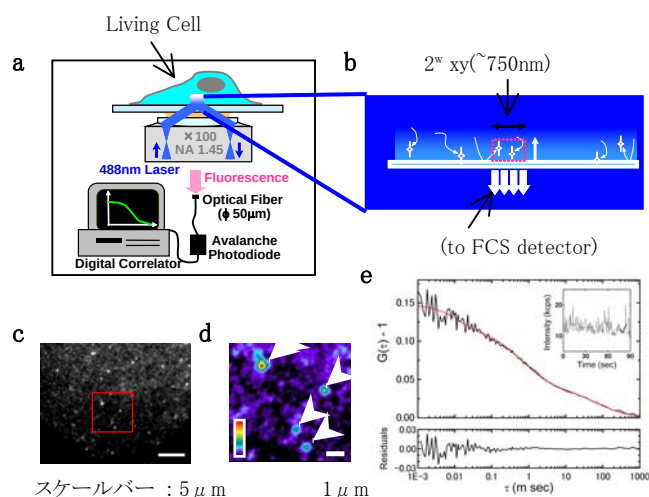
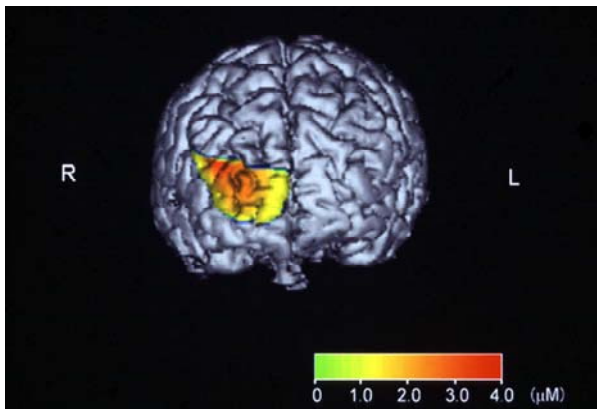


図2. 生きた細胞における膜結合タンパク質の一分子動態解析
(a) 全反射型蛍光相関分光装置 (TIR-FCS) の概略
(b) 全反射照明による微小観察領域
(c) 膜結合型蛍光タンパク質の一分子画像
(d) cの画像の枠内(赤)の拡大
(e) TIR-FCS の測定結果。自己相関関数(黒)とモデル(赤)内挿図と下図はそれぞれ蛍光強度と測定残差

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。

(a)



(b)

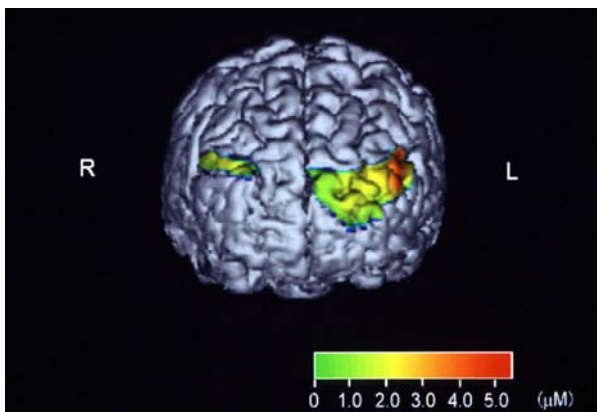


図3. 人のワーキングメモリーの光画像
(a), (b) 異なったボランティアでの結果

3. 今後の研究の展望

1) 光学技術を生命現象の解明に広く応用するため、その基本である不均一散乱系の分光計測の実験的・理論的研究を行い、生体分光学を確立する。さらに、より臨床医学への応用を目指した光診断法を開拓し、その中で新たに遺伝子造影剤や光造影剤を提案・実用化する。

2) 単一分子診断の1つである蛍光相関分光法をより発展させ、遺伝子診断、蛋白質相互作用、あるいは超高感度異常タンパク質の検出などを試みる。また、単一細胞内及び、生体組織における情報伝達系を遺伝子工学的手法を併用して解析したい。

3) 脳灌流法を中心とした脳酸素代謝および薬物代謝の解析

当分野で行っている人工血液を用いた脳灌流系は、生体のホメオスタシスの維持に働く情報伝達・制御系である神経性調節と液性調節を切り離して個々に解析し得る優れた実験系である。この実験系を用い、我々が開発した種々の分光測定技術を利用し、臓器代謝における中枢神経系とホルモン系との相互の関係を明らかにする。また、脳灌流法を脳での薬物代謝の解析へ応用する。

4) 多変量解析を用いた血液中グルコースの計測システムの開発および $1\mu\text{m}$ を超える近赤外領域での生体分光学の確立

近赤外領域の吸収スペクトルを人で計測し、血中グルコースの定量化を試みる。また、この領域の基本的な光学定数などを生きた組織で決定する。

5) fMRI や fNIRS 等による人高次脳機能の解明

従来では計測が困難な、新生児、幼児等に、当研究室で開発中の新しい光 CT、ウェアブル CT、を用いて測定し、小児や新生児の発達課程を追跡する。

6) 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 - 特に遺伝子改変マウスによる計測を行う。

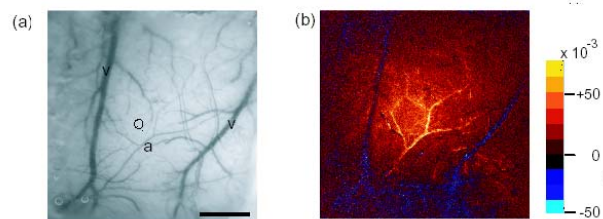
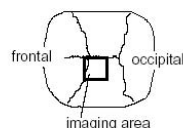


図4. 光学窓を装着したラット頭部脳表における運動野領域の光学計測。波長 580nm における酸素化ヘモグロビンの反射光強度マップ
(a) 白色画像
(b) 刺激後 3 秒の 580nm の反射光強度マップ

4. 資料

4.1 学術論文等

- 1) 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)
- 2) G. Nishimura and M. Kinjo : “Dead-time distortion in fluorescence correlation measurements”, *Applied Optics*, 44 : 3458-3467 (2005)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) T. Jin, F. Fujii, 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)
- 7) 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)
- 8) M. Hirose, H. Tohda, Y. Giga-Hama, R. Tsuchishima, 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)

4.2 総説・解説・評論等

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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)

- 4) 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)

4.4 著書

- 1) 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)

4.6 特許 (発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

・国内特許

- 1) 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

・国際特許

- 1) 金城政孝、田村守、齊藤健太、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

4.7 講演

i) 学会

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) M. Tamura : “The Frontier of Optical Molecular Imaging”、第70回記念日本循環器学会総会・学術集会、名古屋 (2006-03)
- 4) M. Kinjo : “Analysis of Microenvironment of Nucleus Using Fluorescence Correlation Spectroscopy”, The Second NIBB-EMBL Symposium, Okazaki (2006-03)
- 5) G. Nishimura, I. Kida and M. Tamura : “Water content in a forearm measured by the diffuse reflectance method over 1 micrometer”, OSA Biomedical Optics Topical Meeting and Tabletop Exhibit, the Fort Lauderdale Grande Hotel and Yacht Club, Fort Lauderdale, Florida, USA (2006-03)
- 6) M. Kinjo : “Bio-molecular Interaction in Living Cell Studied by Fluorescence Correlation Spectroscopy”, International Symposium Sponsored by Graduate School of Science, Hokkaido University, Sapporo (2006-03)
- 7) 森岡弘志、内田真希代、坂田啓司、金城政孝、桜井滋、北野健、箱島敏男 : 「ヒト FEN1 の PCNA 総合部位近傍に存在するヒンジ領域の機能解析」、第28回日本分子生物学会年会、福岡市 (2005-12)
- 8) 武藤秀樹、長尾一生、金城政孝、山本興太郎 : 「蛍光相互相関分光法による AUX/IAA と Auxin Response Factor (ARF) 間の相互作用の検討」、第28回日本分子生物学

会年会、福岡市 (2005-12)

- 9) 野間繁子、岩本昌大、白燦基、綾野賢、金城政孝、安田賢二、田口英樹:「酵母プリオンのダイナミクスにおける Hsp104の役割」、第28回日本分子生物学会年会、福岡市 (2005-12)
- 10) 小野智彦、西村吾朗、田村守:「散乱体中に局在する吸収体の位置検出における系統的ブレの検討」、Optics Japan 2005、東京都、学術総合センター (一橋記念講堂) (2005-11)
- 11) 大杉友、田村守、金城政孝:「全反射蛍光相関分光法を用いた膜タンパク質の拡散測定」、日本生物物理学会第43回年会、札幌市 (2005-11)
- 12) 齋藤有香、堀田晋也、田村守、金城政孝:「ラット灌流肝臓を用いた蛍光相関分光法の実験系の確立」、日本生物物理学会第43回年会、札幌市 (2005-11)
- 13) 高橋保夫、澤田龍治、齊藤健太、金城政孝:「マルチポイント FCCS 測定による細胞内蛋白機能解析」、日本生物物理学会第43回年会、札幌市 (2005-11)
- 14) 佐々木章、金城政孝:「蛍光相関分光法による細胞内における外来遺伝子配送の解析」、日本生物物理学会第43回年会、札幌市 (2005-11)
- 15) 三橋万梨子、坂田啓司、金城政孝、高橋正行、矢澤道生:「蛍光相関分光法による非筋細胞ミオシン II アイソフォームのダイナミックな会合・脱会合の解析」、日本生物物理学会第43回年会、札幌市 (2005-11)
- 16) 坂田啓司、内田真希代、金城政孝、森岡弘志:「蛍光相関分光法による FEN1、PCNA および 5' flap DNA の複合体形成解析」、日本生物物理学会第43回年会、札幌市 (2005-11)
- 17) 西村淳一、杉山崇、高橋保夫、金城政孝:「スイッチングによる蛍光相関分光法のクロストーク解消」、日本生物物理学会第43回年会、札幌市 (2005-11)
- 18) Nishimura Goro、黄田育宏、田村守:「1 μ m を越える近赤外領域での生体組織分光」、Optics Japan 2005、東京都、学術総合センター (一橋記念講堂) (2005-11)
- 19) K. Maruo, M. Tsurugi, T. Nakagawa, M. Hayakawa and M. Tamura: “Noninvasive and Continuous Near-Infrared Blood Glucose Monitoring- Some Clinical Experiences in Intensive Care Unit (ICU)”, Fifth Annual Diabetes Technology Meeting, San Francisco, USA (2005-11)
- 20) 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)
- 21) S. Horita, Y. Yabe and M. Tamura: “Detoxification Reactions in Isolated Perfused Rat Brain and Liver”, the 33rd Annual Meeting of the International Society on Oxygen Transport to Tissue (ISOTT), Brisbane, Australia (2005-08)
- 22) 田村守:「分子イメージング:単一細胞から人への応用」、

第27回日本光医学・光生物学会、京都市 (2005-08)

- 23) 金城政孝:「蛍光相関分光法 (FCCS)を用いた蛋白質間相互作用の解析」、第5回日本蛋白質科学会年会、福岡市 (2005-06)
- 24) 養王田正文、広瀬麻耶、石井則行、白燦基、金城政孝:「Small Heat Shock Protein は解離した状態で変性タンパク質を凝集から守っている」、第5回日本蛋白質科学会年会、福岡市 (2005-06)
- 25) 高橋保夫、永井義隆、金城政孝:「蛍光相関分光法 (FCS) による異常伸長ポリグルタミンタンパク質凝集の測定」、第5回日本蛋白質科学会年会、福岡市 (2005-06)
- 26) 野間繁子、綾野賢、白燦基、吉田賢右、金城政孝、安田賢二、田口英樹:「タンパク質性遺伝 (酵母プリオン) のダイナミクスの1細胞観察」、第5回日本蛋白質科学会年会、福岡市 (2005-06)
- 27) 金城政孝:「蛍光相関分光法と生命機能解析への応用」、日本顕微鏡学会第61回学術講演会、つくば市 (2005-06)
- 28) 金城政孝:「蛍光相関分光法と病原性蛋白質の検出ーゆらぎで探る分子運動ー」、第44回日本生体医工学会、つくば市 (2005-04)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) M. Tamura: “Introduction of Tissue Spectroscopy and Optical Imaging”, International Symposium on Molecular Imaging, Beijing, China (2006-03)
- 2) 金城政孝:「蛍光相関法による細胞測定への応用」、日本分光学会北海道支部シンポジウム、札幌市 (2006-02)
- 3) M. Tamura: “Recent Advance of Optical Diagnosis- From Single Molecule to Human Body-”, The 11th Conference of Peace through Mind / Brain Science, 浜松市 (2006-02)
- 4) 金城政孝:「蛍光相関分光法を利用した単一分子検出法および病原性蛋白質検出法の開発」、第6回「次世代バイオ・ナノ産業技術研究会」、高松市 (2006-01)
- 5) M. Kinjo: “Study of Protein Dynamics in Living Cell Using Fluorescence Cross Correlation Spectroscopy”, International Symposium on Molecular Nanotechnology, Nara (2005-11)
- 6) 金城政孝:「2光子蛍光相関分光法装置の開発と生物応用」、第2回バイオプティクス研究会ーバイオとオプティクスの融合ー、札幌市 (2005-10)
- 7) O. Yu, M. Tamura and M. Kinjo: “Study of Membrane Bound Protein Dynamics with fluorescence Correlation Spectroscopy”, 6th International Weber Symposium, Kauai, USA (2005-07)
- 8) 金城政孝:「蛍光相関分光法による生体機能の解析に向けて」、基礎生物学研究所研究会、岡崎市 (2005-05)

iii) コロキウム・セミナー等・その他

- 1) M. Tamura: “生体分光と光イメージング”、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、東京都 (2006-03)

- 2) 田村守:「動物用光イメージング」、戦略的プロジェクト研究 先端融合学問領域創成のための支援 学内研究発表会 「分子イメージングと医療の先端的融合」、札幌市 北海道大学医学部 (2006-03)
- 3) 藤井文彦、堀内基広、上野雅由、坂田啓司、長尾一生、田村守、金城政孝:「蛍光相互相関分光法を用いた異常型プリオン蛋白質の検出」、H18年度日本生物物理学会北海道支部例会、札幌市 (2006-03)
- 4) 金城政孝:「蛍光相関分光による細胞機能解析—揺らぎで探るダイナミックバイオイメージング」、H17年度(社)日本顕微鏡学会北海道支部学術講演会「顕微鏡科学への招待」、札幌市 (2006-02)
- 5) 金城政孝:「蛍光相関分光法によるプリオン蛋白質の超高感度蛋白検出法の開発」、厚生労働科学研究費補助金食品の安全・安心確保推進研究事業 平成17年度第2回班会議、東京 (2006-01)

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) 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
- 2) 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
- 3) 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

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) 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」、2005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。
 - 2) 金城政孝、高橋保夫(オリンパス株式会社):「蛍光相互相関分光法による蛋白質相互作用解析とその生細胞への応用に関する共同研究」、2005年度、蛍光相互相関分光法による蛋白質-蛋白質相互作用の解析技術確立することを目的とする。
 - 3) 金城政孝、高橋保夫(オリンパス株式会社):「蛍光相互相関分光法による蛋白質相互作用解析とその生細胞への応用に関する共同研究」、2005年度、蛍光相互相関分光法による蛋白質-蛋白質相互作用の解析技術確立

立することを目的とする。

- 4) 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」、2005～2006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。
- 5) 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。
- 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) 金城政孝(オリンパス株式会社):「細胞内2光子励起FCS/FCCS の測定技術に関する研究」、2005年度、FCS/FCCS の測定技術に関する研究
 - 2) 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～現在、糖鎖の生物機能の解明と利用技術の開発

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) 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、2005～2007年度
 - 2) 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、2005～2007年度
 - 3) 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
 - 4) 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、2003～2005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) 田村守(21世紀 COE プログラム):「近赤外イメージングによる動態計測研究」、2002年度～現在、生体組織に対し、高い透過性を有する近赤外光を利用し、この領域に発光拡大を持つ、量子ドットをラット等の生体に取り込ませ、病態イメージングを行う。
 - 2) 金城政孝、伊藤悦朗、宮崎忠昭、白燦基(21世紀 COE プログラム):「単一分子検出法を用いた核内の微環境の解析」、2002年度～現在、蛍光相関分光法と GFP タンデムオリゴを用いて細胞質・細胞核内の微環境の違いを明らかにする。
- 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) 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、未定、蛍光相関分光法を用いて、BSE 解明への道を探る
 - 2) 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

- 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、185,000千円、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、栗城眞也、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(パッチュアル専攻)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。

4.12 社会教育活動

c. 併任・兼業

- 1) 田村守:「悪性腫瘍等治療分子イメージング機器研究開発に係るフィージビリティスタディ」開発委員(2005年7月1日～2006年3月20日)
- 2) 田村守:オリンパス株式会社研究開発センター コンサルタント(2005年6月29日～2006年3月31日)
- 3) 田村守:「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(2005年6月13日～2006年3月1日)
- 4) 田村守:「戦略的創造研究推進事業」領域アドバイザー(2005年6月6日～2007年6月6日)
- 5) 田村守:NEDO 技術委員(2005年4月5日～2006年3月31日)
- 6) 金城政孝:独立行政法人理化学研究所中央研究所環境ソフトマテリアル研究ユニット 客員研究員(2005年4月1日～2006年3月31日)

7) 金城政孝:株式会社ノバスジーン サイエнтиフィックアドバイザーボード(2005年4月1日～2006年3月31日)

8) 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)

9) 田村守:伊藤医薬学術交流財団 選考委員(2002年4月1日～現在)

d. その他

1) 田村守:National Institutes of Health (NIH) Visiting Professor(2005年2月1日～2008年3月31日)

e. 新聞・テレビ等の報道

・新聞

1) 田村守、金城政孝:十勝毎日新聞 2005年4月22日「BSE 自動検査装置を試作」

・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」

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、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
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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

i. ポスドク・客員研究員など

・客員研究員(1名)

長尾一生(社団法人バイオ産業情報化コンソーシアム)

・その他(1名)

白燦基(日本学術振興会)

j. 修士学位及び博士学位の取得状況

・修士課程(4名)

齊藤 有香、小野智彦、堀田晋也、佐々木章

・博士後期課程(2名)

三國新太郎、大杉友

・修士論文

- 1) 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
- 2) 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

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～）
博士研究員 三枝徹（北里大院、医博、2005.4～）
院生 鈴木宏一（M1）

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、生命の自己組織化原理および変形体の原形質が示す様々な情報処理能力を非線形ダイナミクスに基づいて解明する。

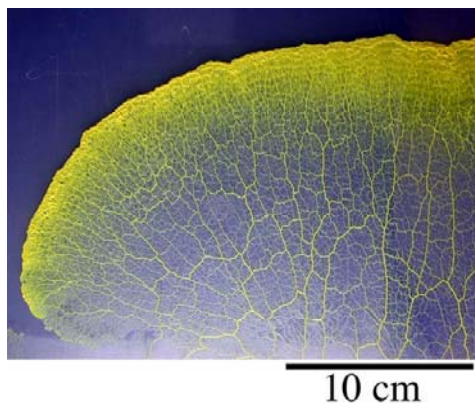


図1. 寒天土を這う粘菌変形体。

2. 研究成果

(a) 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。

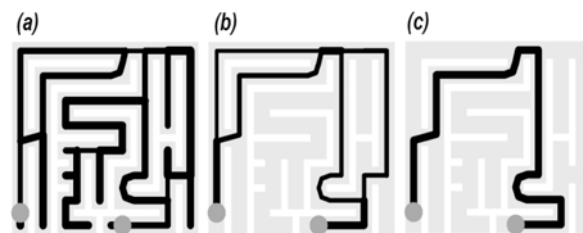


図2. 適応的ネットワークモデル（基本モデル）による迷路解法の時間経過シミュレーション。

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。

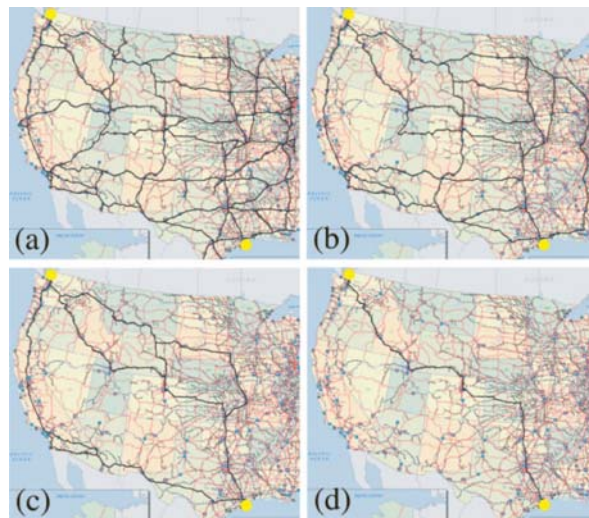


図3. フィザルムソルバーによる経路探索シミュレーション。米国インターステートハイウェイネットワークにおいてシアトルーヒューストン間の最短経路をナビゲートする。

(b) 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、ならびにマウンド形成などが再現できた。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。

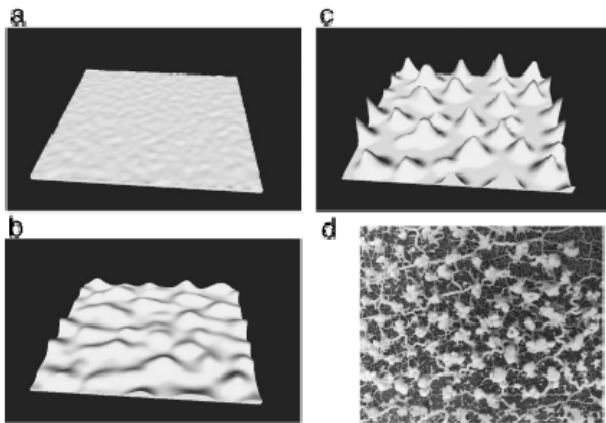


図4. 細胞運動モデル（バージョン2）による粘菌マウンド形成のシミュレーション。(a-c)シミュレーションの時間経過。(d)実際の粘菌。マウンドの直径は約3ミリメートル。

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。

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) 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)
- 2) T. Jin, F. Fujii, 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)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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)

4.2 総説・解説・評論等

- 1) 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)
- 2) 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)

4.3 国際会議議事録等に掲載された論文

- 1) T. Nakagaki : “How does an amoeba tackle some geometrical puzzles?”, *Proceedings for SICE annual conference 2005* : 3537–3542 (2005)

4.7 講演

i) 学会

- 1) T. Nakagaki : “Physiology of adaptive network in a real amoeba”, 20th annual meeting of association for science, art and technology of fluctuations, Tokyo (2005–09)
- 2) 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)
- 3) 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)

- 4) 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)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) 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)
- 2) T. Nakagaki, A. Tero and R. Kobayashi : “Morphology and physiology of vein network in slime mould”, Mathematical Logics Behind Animal Markings, Nagoya (2006–02)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) 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)
- 9) 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)
- 10) T. Nakagaki, R. Kobayashi and A. Tero : “How does an amoeba tackle some geometrical puzzles?”, German-Japanese workshop on bio-mimetics and na-

- ture-inspired technologies, Nagoya (2005-10)
- 11) 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)
 - 12) 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)
 - 13) 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)
 - 14) T. Nakagaki, R. Kobayashi, A. Tero and S. Takagi : “Design of communication network by an amoeboid organism of ture slime mold”, EU Thematic institute: Information and Material Flows in Complex Networks, Goldrain, Italy (2005-06)
 - 15) 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)
 - 16) 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)
 - 17) 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)
 - 18) 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)
- iii) コロキウム・セミナー等・その他
- 1) 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)
 - 2) 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)
 - 3) 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)
 - 4) 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)
 - 5) 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)
- 6) 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)
 - 7) 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)
 - 8) 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)
 - 9) 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)

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) K. Yakubo, H. Amitsuka, G. Ishikawa, N. Kichiji, K. Marchino, 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)
- 2) 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

4.10 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) 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
 - 2) 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
 - 3) 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
- 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、未定、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」、2002～2007年度、未定、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。

4.12 社会教育活動

a. 公的機関の委員

b. 国内外の学会の役職

- 1) 上田哲男：生物物理学会・運営委員（2001年4月1日～現在）

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）

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) 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) 中垣俊之、西浦廉政、小林亮：朝日新聞（夕刊）2005年4月19日「粘菌の数理モデルに関する記事」

・放送

- 1) T. Nakagaki：ARTE：a special French-German cultural TV-Channel 2002年7月1日～現在 “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) Milos Marek、Czech Republic、2006年2月12日～2006年2月18日
- 2) Serge Bielawski、France、2005年12月13日～2005年12月15日
- 3) Robert Guy、USA、2005年11月19日～2005年12月14日
- 4) 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、中垣俊之、2006年2月20日～2006年3月10日
- 2) 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

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) 中垣俊之、大阪大学生命機能研究科研究科、数理細胞生理学序論、2005年12月1日～2005年12月2日

i. 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）

j. 修士学位及び博士学位の取得状況

・修士課程（1名）

鈴木宏一

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 藤原英樹 (北大院、工博、2005.7～)

ポスドク ソージャエフ・アレクサンドレ

(Franche Comte Univ., Ph.D., 2003.10～)

岡本 亮 (北大院、工博、2006.4～)

院 生 千葉孝志 (D3)、川瀬大輔 (D3)、川辺喜雄 (D3)

高島秀聡 (D3)、田村祥 (M2)、永田智久 (M2)

小西秀典 (M2)、浜端洋介 (M1)

中村真一郎 (B4)、市橋和明 (B4)

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の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・単一ナノ微粒の分光計測システムの開発を目指している。

2. 研究成果

(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

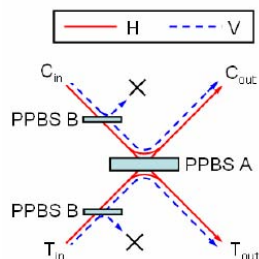


図1. 経路干渉を不要とした光量子制御ノットゲートの概念図。
PPBS: 部分偏光ビームスプリッタ

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。

(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。

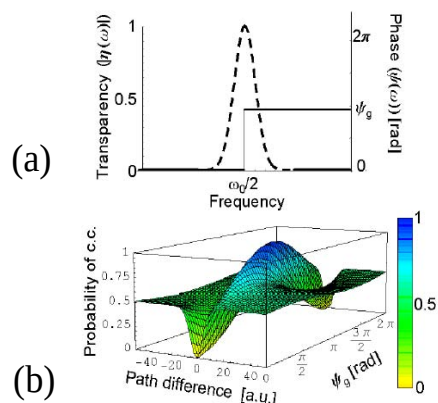


図2. (a): 高次の項を含む位相分散

(b): (a)の位相分散を与えたときの2光子干渉結果。

(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為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。

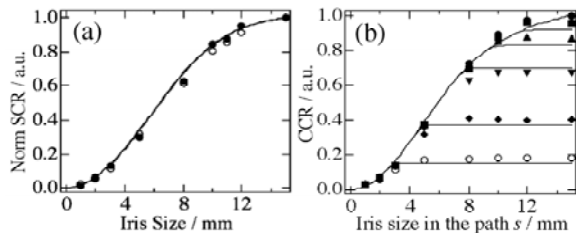


図 3. (a) 一光子計数率および (b) 同時計数率の開口径依存性。実線は計算結果を示す。

(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。

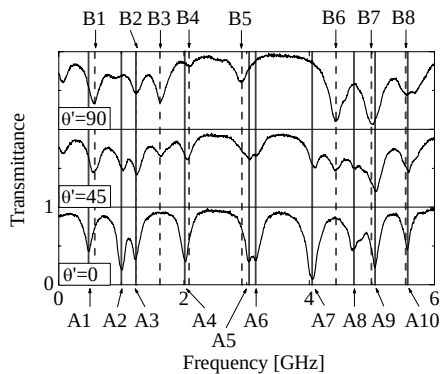


図 4. 異なる入射偏光角度における微小球共振器の共鳴スペクトル。 θ は入射偏光角度を示す。

(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^{3+} 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^{3+} 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。本報告では薄膜中に P を添加し、 Er^{3+} の分散性を改善する事により Er^{3+} の濃度消光を抑制した結果、僅か 200nm の Er^{3+} ドープ $\text{P}_2\text{O}_5\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 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。

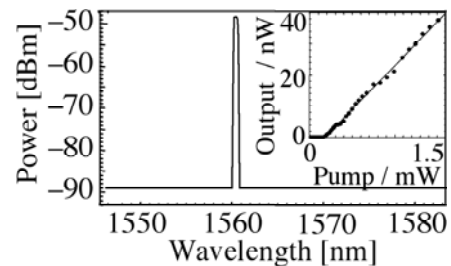


図 5. テーパーファイバー結合した Er ドープゾルゲル薄膜コート微小球におけるレーザー発振スペクトル。挿入図は 1560nm 付近の発光ピーク強度の励起光強度依存性。

3. 今後の研究の展望

本研究分野では、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」、「量子相関光子ビームナノ加工」、「光子を用いた量子演算処理新機能の開拓」の研究を実施している。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

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) H. Fujiwara, K. Sasaki and H. Masuhara : “Enhancement of Förster energy transfer within a microspherical cavity”, ChenPhysChem, 6(11) : 2410-2416 (2005)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 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)

4.2 総説・解説・評論等

- 1) 竹内繁樹:「実用的な量子コンピューター実現への道程 -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)
- 2) 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)
- 3) 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)

4.7 講演

i) 学会

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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)

- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) F. Monma, A. Tsuruma, Y. Matsuo, J. Hotta, A. Tanaka, S. Yamamoto, K. Sasaki, K. Ijro, H. Nakamura and M. Shimomura : “Control of neuron alignment with optical tweezers”, SPIE International Symposium Microelectronics, MEMS, and Nanotechnology, Brisbane, Australia (2005-12)
- 8) 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)
- 9) 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)
- 10) 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)
- 11) 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)
- 12) 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)
- 13) 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)

- 14) K. Sasaki, H. Fujiwara and H. Masuhara : “Enhancement of forster energy transfer in a microspherical cavity”, The 12th International Conference on Unconventional Photo-active Systems (UPS12)、仙台エクセレントホテル東急 (2005-10)
- 15) 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)
- 16) 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)
- 17) 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)
- 18) 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)
- 19) 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)
- 20) S. Takeuchi : “Quantum phase gate using single-atom nonlinearity”, SPIE 50th Annual Meeting Optics & Photonics 2005, San Diego Convention Center, USA (2005-07)
- 21) 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)
- 22) 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)
- 23) 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)
- 24) 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)
- 25) 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)
- 26) 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)
- 27) 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)
- 28) 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)
- 29) 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)
- 30) 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)
- 31) 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)
- 32) 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)
 - 33) 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)
 - 34) 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)
 - 35) 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)
 - 36) 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)
 - 37) 上野貢生、ミゼイキス 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)
 - 38) 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)
 - 39) 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)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ**
- 1) 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)
 - 2) 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)
 - 3) 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)
 - 4) 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)
 - 5) 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)
 - 6) 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)
 - 7) 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)
 - 8) 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)
 - 9) 上野貢生、ミゼイキス 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)
 - 10) 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)
 - 11) 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)
 - 12) 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)
 - 13) 川辺喜雄、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司:「チューニ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)
 - 14) 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・バイオフォトンクスへ」、大阪大学コンベンションセンター (2005-09)
 - 15) 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)

- 16) 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)
- 17) 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)
- 18) 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)
- 19) 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)

iii) コロキウム・セミナー等・その他

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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パス本館3階第二会議室 (2005-11)

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) 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」、2000~2006年度、28,000千円、光ファイバー通信を利用した量子暗号通信システムを開発し、通信の実証実験を行う。また、通信波長帯での高効率の検出器の検討及び作成を行い、長距離通信系への適用を検討する。

d. 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) 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年度、未定、光子光子間の固体量子位相ゲートの実現を目指す。固体微小共振器とそこに埋め込まれたイオン等を用いることにより、位相シフトの再現性に優れたデバイスの実現を目指す。また一デバイスあたりの位相シフト量の増大の研究や、狭帯域の単一光子発生方法についても平行して研究を進める。
- 2) 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年度、未定、5光子以上のゲート実現と量子回路、テレポーテーション的リピーター、制御 NOT の新提案及び実現、単光子状態発生及びフォトンカウンティング技術発展、マルチパーティコンピューテーションへ多光子及びフォトンカウンティング技術
- 3) 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」、2001~2006年度、12,350千円、量子相関を有するもつれ合い光による多光子ナノ加工に関する理論的解析を行うことを目的としている。これを達成するためにもつれ合い光子による干渉に関する研究を行う。

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) 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年度
- 2) 竹内繁樹、若手研究 A、空中フォトリ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年度
- 3) 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) 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年度、未定、5光子以上のゲート実現と量子回路、テレポーテーション的リピーター、制御 NOT の新提案及び実現、単光子状態発生及びフォトンカウンティング技術発展、マルチパーティコンピューテーション

へ多光子及びフォトンカウンティング技術

- 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」、2001～2006年度、166,243千円、量子相関を有するもつれ合い光による多光子ナノ加工に関する理論的解析を行うことを目的としている。これを達成するためにもつれ合い光子による干渉に関する研究を行う。

4.11 受賞

- 1) 竹内繁樹：応用物理学会（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」（応用物理学会（日本光学会）2006年3月）
- 2) 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年4月

4.12 社会教育活動

a. 公的機関の委員

- 1) 笹木敬司：日本学術振興会科学研究費委員会 専門委員（2006年1月1日～2006年12月31日）
- 2) 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年6月9日～2007年6月8日）
- 3) 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年6月6日～2007年3月31日）
- 4) 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グループメンバー（2004年10月22日～2005年7月28日）
- 5) 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年4月1日～2006年3月31日）
- 6) 笹木敬司：日本学術振興会「フォトニック情報システム」に関する先導的研究開発委員会委員（2002年12月16日～2005年10月31日）
- 7) 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年7月11日～現在）
- 8) 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年3月22日～2006年3月31日）

b. 国内外の学会の役職

- 1) 竹内繁樹：Program Committee (SPIE 50th Annual Meeting Optics & Photonics) (2005年7月31日～2005年8月4日)
- 2) 竹内繁樹：Program Subcommittee/Chair person (IQEC/CLEO-PR2005) (2005年7月11日～2005年7月15日)
- 3) 堀田純一：応用物理学会北海道支部 会計幹事（2004年4月1日～2006年3月31日）
- 4) 笹木敬司：応用物理学会 代議員（2002年2月1日～

2006年1月31日）

- 5) 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年11月1日～現在）
- 6) 竹内繁樹：量子情報技術研究会 委員（1998年11月1日～現在）

c. 併任・兼業

- 1) 笹木敬司：Swinburne University of Technology、Visiting Professor (2005年11月1日～2006年4月30日)
- 2) 竹内繁樹：科学技術振興機構 領域アドバイザー（2003年7月24日～2007年6月30日）

d. その他

- 1) 笹木敬司：Japanese Journal of Applied Physics 編集委員（2003年4月1日～2007年3月31日）
- 2) 竹内繁樹：Nonlinear Optics、Quantum Optics 編集委員（2003年4月1日～現在）

e. 新聞・テレビ等の報道

・新聞

- 1) 竹内繁樹：中日新聞 2005年11月1日「量子コンピューター 夢の計算機へ接近」
- 2) 竹内繁樹：東京新聞 2005年11月1日「量子コンピューター 夢の計算機へ接近」
- 3) 竹内繁樹：毎日新聞 2005年10月26日「未来のコンピューターへ一歩 「光量子ゲート」 開発に成功」
- 4) 竹内繁樹：科学新聞 2005年10月21日「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」
- 5) 竹内繁樹：化学工業新聞 2005年10月17日「光量子ゲート素子開発 北大グループ回路形成が可能に」
- 6) 竹内繁樹：読売新聞 2005年10月13日「量子コンピューター実現へ一歩」
- 7) 竹内繁樹：日刊工業新聞 2005年10月13日「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」

・雑誌

- 1) 竹内繁樹：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年12月20日「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。」」
- 2) M. Shimomura, T. Shimozaawa, 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”

・その他

- 1) 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」
- 2) 竹内繁樹：Laser Focus World JAPAN 2005年10月13日「JST がコンパクトな光量子ゲート素子を考案」

f. 外国人研究者の招聘（氏名、国名、期間）

- 1) Jeremy Lloyd O'brien, Australia、2006年1月30日～2006年2月10日
- 2) Jeremy Lloyd O'brien, Australia、2005年11月13日～2005年12月10日
- 3) Jeremy Lloyd O'brien, Australia、2005年6月5日～2005年6月9日
- 4) XuBo Zou、 Germany、2005年4月19日～2005年4月23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、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」、竹内繁樹、2006年2月2日～2006年2月3日
- 2) 工学部、応用数学ⅠⅡ、笹木敬司、2005年10月1日～2006年3月31日
- 3) 情報科学研究科、光情報システム学特論、笹木敬司、2005年10月1日～2006年3月31日
- 4) 情報科学研究科、光情報システム学特論、竹内繁樹、2005年10月1日～2006年3月31日
- 5) 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」、笹木敬司、2005年9月29日～2005年9月30日
- 6) 全学科共通、次世代産業革命の旗手=ナノテクノロジー、笹木敬司、2005年4月1日～2005年9月30日
- 7) 情報科学研究科、情報エレクトロニクス特別演習、笹木敬司、2005年4月1日～2006年3月31日
- 8) 情報科学研究科、情報エレクトロニクス特別研究第一、笹木敬司、2005年4月1日～2006年3月31日
- 9) 情報科学研究科、情報エレクトロニクス特別研究第二、笹木敬司、2005年4月1日～2006年3月31日
- 10) 情報科学研究科、情報エレクトロニクス特別演習、竹内繁樹、2005年4月1日～2006年3月31日
- 11) 情報科学研究科、情報エレクトロニクス特別研究第一、竹内繁樹、2005年4月1日～2006年3月31日
- 12) 情報科学研究科、情報エレクトロニクス特別研究第二、竹内繁樹、2005年4月1日～2006年3月31日
- 13) 工学部、統計力学、竹内繁樹、2005年4月1日～2005年9月30日
- 14) 全学科共通、次世代産業革命の旗手=ナノテクノロジー、竹内繁樹、2005年4月1日～2005年9月30日

i. ポスドク・客員研究員など

・ポスドク（2名）

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）、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）

j. 修士学位及び博士学位の取得状況

・修士課程（4名）

小西秀典、永田智久、由水哲也、田村祥

・博士後期課程（7名）

川瀬大輔、川辺喜雄、高島秀聡、千葉孝志、岡本亮、岡寿樹、千葉明人

・修士論文

- 1) 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）

・博士論文

- 1) 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）
- 2) 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）
- 3) 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 micro-spherical cavities coupled with tapered optical fibers）

量子計測研究分野

教授 栗城真也（北大院、工博、1991.8～）
助教授 小山幸子（阪大院、博士（人間科学）、2004.3～）
助手 平田恵啓（北大院、博士（工学）、1993.4～）
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～）
JST 技術補佐員 豊澤悠子
（北大、臨床検査技師、2005.1～）
院 生 徐 以中（浙江大学 COE フェロー、2005.10～）
渡辺直輝（M2）、太田圭介（M2）、高松亮介（M1）

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
- を主要な研究としている。

2. 研究成果

(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 アドバンストシステムズ製）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、視覚教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

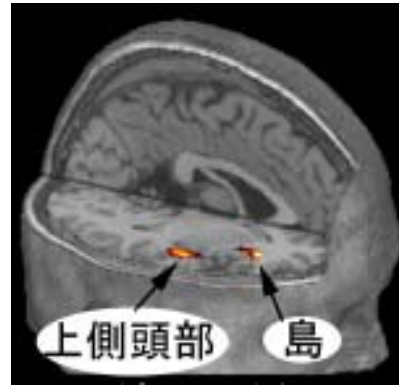


図1. 音声聴覚フィードバック制御に関連する脳部位

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变えることで、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5 mm、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した部位の図に示す ($p < 0.00001$)。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。

(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うのか。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

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音を連続呈示したことにより、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。

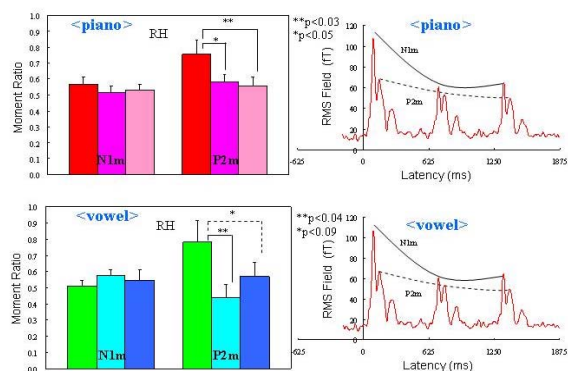


図2. ピアノ音と母音の3音連続刺激による聴覚誘発 MEG 応答の減衰特性 (右脳半球)

(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

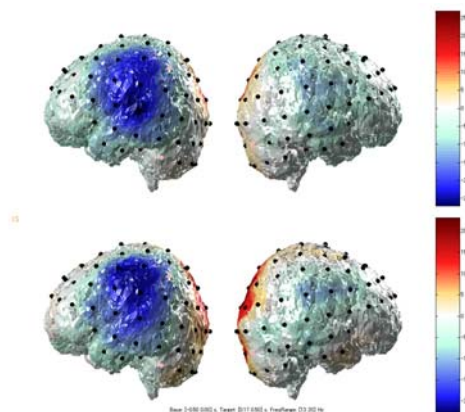


図3. 自発脳磁界 (β 帯域) 変動率の脳表投影の例

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、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もできるかもしれない。

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) 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」、生体医工学会、43 : 631-637 (2006)
- 2) Y. H. M. T. S. Y. H. T. S. T. S. Koyama, G. A. K. R and K. S : “Time may be compressed in sound representation as replicated in sensory memory.”, *Neuroreport*, 16 : 95-98 (2005)
- 3) 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)
- 4) K. H. S. Kuriki, K. J. L. Y. K. K. P. Y and N. K : “MEG study on neural activities associated with syntactic and semantic violations in spoken Korean sentences”, *Neurosci. Res.*, 51 : 347-357 (2005)
- 5) A. Toyomura and T. Omori : “Auditory feedback control during a sentence-reading task: Effect of other's voice”, *Acoustical Science and Technology*, 26(4) : 358-361 (2005)
- 6) 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)
- 7) 栗城眞也、平田恵啓、竹内文也：「MEG による脳活動の観測一時間窓を解した視聴覚高次機能の解析一」、人工知能学会誌、20 : 322-330 (2005)
- 8) 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)
- 9) S. Kuriki, N. Watanabe and S. Kanda : “Estimation of multiple current dipoles of MEG responses using L1-norm method”, *Proceedings of 6th Asian-Pacific Conference on Medical and Biological Engineering*, 8 : 3-85 (2005)
- 10) C. H. Im, C. L. Lee, H. K. Jung, Y. H. Lee and S. Kuriki : “Magnetoencephalography cortical source imaging using spherical mapping”, *IEEE Transactions on Magnetism*, 41 : 1984-1987 (2005)
- 11) 関口貴裕、小山幸子：「脳磁図による読みに関する脳内機構の探求」、日本生理心理学会、23 : 39-51 (2005)

4.3 国際会議議事録等に掲載された論文

- 1) 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)

4.7 講演

i) 学会

- 1) 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)
 - 2) 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会学術大会、福岡 (2005-11)
 - 3) 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)
 - 4) 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)
 - 5) 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)
 - 6) 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)
 - 7) 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)
 - 8) 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)
 - 9) 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)
 - 10) 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)
 - 11) 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)
- ### ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) 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)
 - 2) 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」、生体医工学会シンポジウム、吹田 (2005-09)
 - 3) 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)

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) 小山幸子、基盤研究 (C2)、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
- 3) 小山幸子、特定領域「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

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) 井上芳郎、栗城眞也、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。
- 2) 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

4.12 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)

b. 国内外の学会の役職

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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～2007年3月31日)
- 4) 小山幸子: 日本臨床神経生理学学会評議員 (2001.4.1～現在)
- 5) 小山幸子: 日本生体磁気学界評議員 (2005.4.1～現在)
- 6) 栗城眞也: 電気学会論文委員会委員 (2000年4月1日～現在)
- 7) 栗城眞也: 日本エムイー学会評議委員 (2000年4月1日～現在)
- 8) 栗城眞也: 日本エムイー学会教育技術委員会委員 (1996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) 工学部、応用数学Ⅱ演習、平田恵啓、2005年10月1日～2006年3月31日
- 2) 情報科学研究科、生体情報工学特別演習、平田恵啓、2005年4月1日～2006年3月31日

- 3) 情報科学研究科、脳機能工学特論、栗城眞也、2005年4月1日～2005年9月30日

i. ポスドク・客員研究員など

- ・ 博士研究員 (2名)
 - 豊村 暁 (JST)
 - 小川昭利 (JST)

自律調節研究分野

教 授 狩野 猛 (McGill 大院、Ph.D.、1991.11～)

助教授 Korobeinikov Andrei

(Auckland 大院、Ph.D.、2004.10～)

院 生 坂井滋郎 (D2)

科学研究支援員 何 小明 (千葉大院、Ph.D.、2004.7～)

COE 研究員 Fan Lijie

(浙江大院、歯学博、2004.9～2006.9)

科学研究支援員 石坂高英 (2004.4～)

科学研究支援員 佐藤淳一 (2005.4～)

事務補助員 伊藤樹里 (2005.4～)

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

(a) 血管病の局在化機構に関する研究

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。そこで、我々は、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仮説 (リポ蛋白の流速依存性濃度分極説) を提唱し、理論および実験の両面より研究を展開している。前年度 (平成16年度) には、生体血管に近い血管壁のモデルとして、そしてまた、生体血管に代わるものとして我々が開発したハイブリッド人工血管を用いて体外循環培養実験を行い、細胞増殖に及ぼす流速 (せん断応力) の影響について検討を行った。その結果、流れが遅い (せん断応力が小さい) ほど細胞層が厚くなるという、我々の仮説を支持するような知見を得た。

以上の結果を踏まえて、平成17年度には、以下の2つのテーマについて検討を行った。

[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0.92 mm から3.00 mm 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1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2および図3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) 拡大部の基始部 (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。

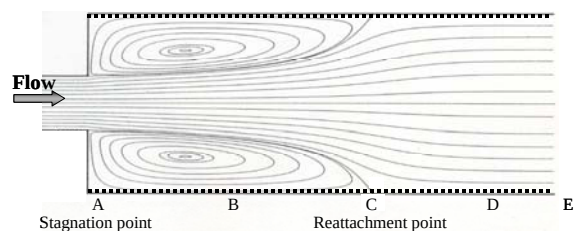


図1. 内径0.92 mm の円管と0.30 mm のハイブリッド人工血管により作製した急激な拡大管の下流に形成された環状渦の模式図

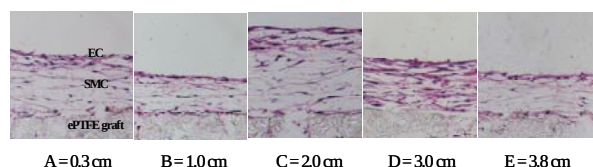


図2. ハイブリッド人工血管の拡大部からの各位置における細胞層の断面写真 EC: 血管内皮細胞、SMC: 平滑筋細胞

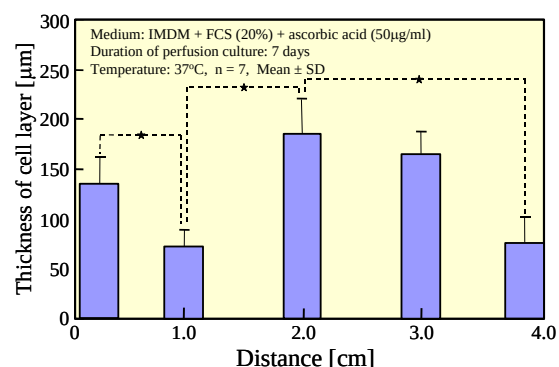


図3. ハイブリッド人工血管の拡大部からの各位置における細胞層の厚さの実測値 * $p < 0.05$

[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て、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1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4および図5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4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）拡大部の基始部（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5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6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。図より明らかなように、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。

3. おわりに

本研究の結果より、生体内では、内膜肥厚や動脈硬化が起こっているかいないかにかかわらず、流れが遅い（壁せん断応力が小さい）領域で内皮細胞による LDL の取込み及び内皮細胞への単核細胞の付着・浸潤が好んで起こり、これらの血管病の発症並びに進展を促進しているものと推察された。

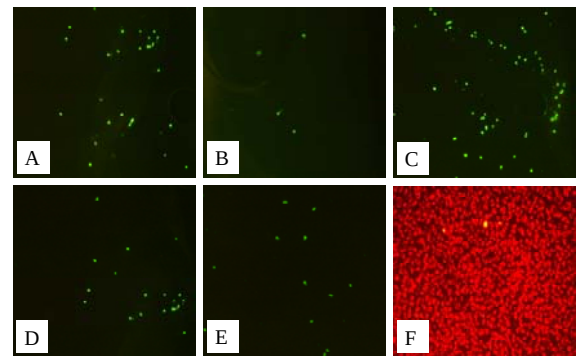


図4. 渦流れに1時間晒されたハイブリッド人工血管の表面に付着した蛍光色素で標識されたヒト単核細胞（A～E）および蛍光色素で標識された Ac-LDL で染色された内皮細胞（F）の蛍光顕微鏡写真 A～E は、それぞれ拡大部から0.3, 1.0, 2.0, 3.0, および3.8 cm 下流の位置に相当する。

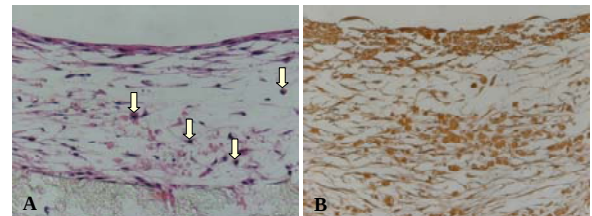


図5. 渦流れに4時間晒されたハイブリッド人工血管の断面組織標本の顕微鏡写真 無数の単核細胞（THP-1細胞）が内皮下に浸潤しているのが見える。

A: ヘマトキシリン・エオシン染色、 B: 免疫組織化学的染色

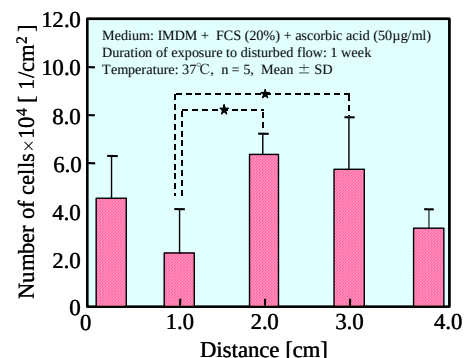


図6. 渦流れに7日間晒されたハイブリッド人工血管の内皮細胞へ付着した THP-1細胞と平滑筋層へ浸潤した THP-1細胞の単位断面積あたりの細胞数と拡大部からの距離との関係

4. 資料

4.1 学術論文等

- 1) K. Niwa, J. Sakai, T. Karino, H. Aonuma, T. Ohyama, 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)
- 2) 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)
- 3) 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)

4.3 国際会議議事録等に掲載された論文

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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)

4.5 その他

- 1) 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)
- 2) 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)

4.7 講演

i) 学会

- 1) 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)

- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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)

- 5) 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)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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)

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) 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
- 2) 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)

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、生命人間情報科学特別研究第二、狩野猛、
2005年4月1日～2006年3月31日
- 2) 工学研究科、生命人間情報科学特別研究第一、狩野猛、
2005年4月1日～2006年3月31日

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
学振研究員 竹本 研
さがけ研究員 小寺一平
DC1 倉元陽造
BC4 友杉 亘

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で、これまで報告されている波長変異体の中で最も短波長蛍光を発する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および蛍光ピークは、それぞれ355nm、424nmであった。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。

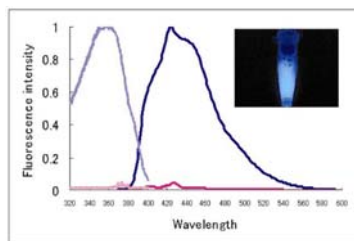


図1. 新規蛍光タンパク質の吸収・発光スペクトル

(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（図2）。

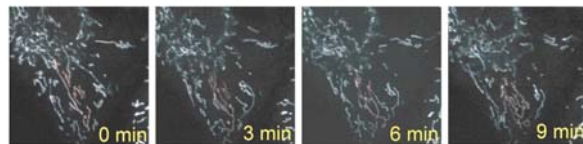


図2. Phamret によるミトコンドリア融合の観察

(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。

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3）。

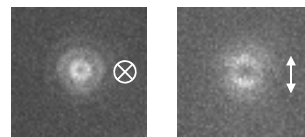


図3. 蛍光タンパク質クラスターの双極子モーメント

(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、予想とは異なり 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。

(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事に成功した。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い、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4）。

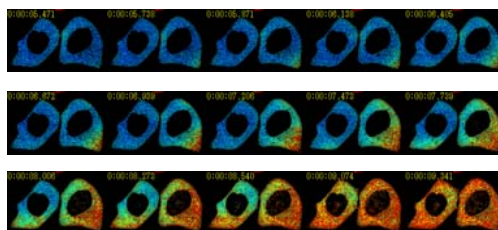


図4. 水銀ランプ共焦点顕微鏡で捉えた細胞内カルシウム波

(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を開発するため、アミノ酸変異導入による光増感タンパク質（KillerRed）の波長変異体作製を行った。その結果、従来の KillerRed とはまったく異なる黄色を呈する変異体タンパク質を得ることができた。本タンパク質は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。

(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、ウミシイタケ由来ルシフェラーゼ (RLUC) の高性能化を目指して、in silico でその構造解析を行い、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。驚くべきことに、そのうちの1つは発光活性が30倍も増加した(図5)。

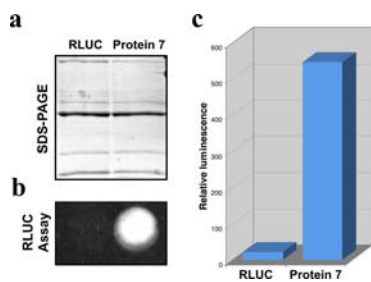


図5. 高輝度化学発光タンパク質

(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

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。HeLa 細胞に発現させ BRET による細胞内カルシウムイメージングが可能であることが確認できた。

(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

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17年度に開発した Ven1RL タ

ンパク質や Ca^{2+} 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6)、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。

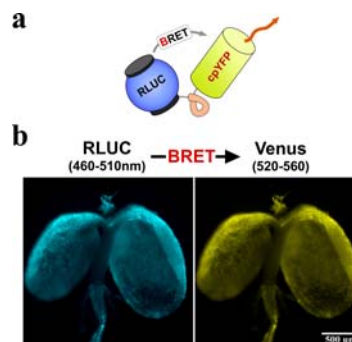


図6. BRET の原理と BRET 指示薬を発現する遺伝子導入植物

(1) ゲノム DNA の超迅速な塩基配列決定法の開発

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制限酵素および DNA リガーゼを加えて反応させ、DNA の連鎖削除反応を持続させることに成功した。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

3. 今後の研究の展望

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。そのため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) 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)
- 2) K. Takao, K. Okamoto, T. Nakagawa, R.L. Neve, T. Nagai, A. Miyawaki, T. Hashikawa, S. Kobayashi and Y. Hyashi : “Visualization of synaptic Ca^{2+} /calmodulin-dependent protein kinase II activity in living neurons” *J. Neurosci.* 25 : 3107-3112 (2005)
- 3) 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)
- 4) M. Ikeda, M. Ikeda-Sagara, T. Okada, P. Clement, Y. Urade, T. Nagai, T. Sugiyama, T. Yoshioka, K. Honda and S. Ioue : “Brain oxidation is an initial process in sleep induction” *Neuroscience* 130 : 1029-1040 (2005)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) T. Tani, Y. Miyamoto, K.E. 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)
- 8) 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)
- 9) H. Kanuka, E. Kuranaga, K. Takemoto, T. Hiratou, H. Okano and M. Miura : “Drosophila caspase transduces Shaggy/GSK-3 $\cdot$ kinase activity in neural precursor development”, *EMBO J.*, 24 : 3793-3806 (2005)
- 10) 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)
- 11) 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 importin beta”, *EMBO J.*, 24 : 942-951 (2005)

- 12) R. A. Martienssen, M. Zaratiegui and D. Goto : “RNA interference and heterochromatin in the fission yeast *Schizosaccharomyces pombe*”, *Trends in Genetics*, 21 : 450-456 (2005)
- 13) F. Li, D. Goto, M. Zaratiegui, X. Tang, R. A. Martienssen and W. Z. Cande : “Two novel proteins, Dos1 and Dos2, interact with Rik1 to regulate heterochromatic RNA interference and histone modification”, *Curr. Biol.*, 15 : 1448-1457 (2005)
- 14) H. Kato, D. 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)
- 15) D. Goto, H. Onouchi and S. Naito : “Dynamics of methionine biosynthesis”, *Plant Biotechnology*, 22 : 379-388 (2005)

4.2 総説、解説、評論等

- 1) A. Miyawaki, T. Nagai and H. Mizuno : “Engineering fluorescent proteins” *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol* 95 : 1-15 (2005)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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)

4.4 著書

- 1) A. Miyawaki, T. Nagai and H. Mizuno : “Genetic Probes for Calcium Dynamics”, Yuste et al. eds. *Imaging Neurons-A Laboratory Manual*-, CSHL PRESS (2005)

4.7 講演

a. 招待講演

i) 学会

- 1) 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)
- 2) 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)

- 3) 永井健治：「ニボウ式共焦点による 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)
 - 4) T. Nagai : "Engineering green fluorescent proteins to visualize biological functions", Symposium on New Frontier in Live Cell Imaging", Yang Ming University, Taipei (2006-7)
 - 5) T. Nagai : "Engineering green fluorescent proteins to visualize and manipulate biological functions", Microscopy workshop, National Cheng Kung University, Tainan (2006-7)
 - 6) 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)
 - 7) 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)
 - 8) T. Nagai : "Functional imaging of living cells by the GFP-based indicators", LSM CLUB 2005, China (2005-9)
 - 9) T. Nagai : "Application of GFP-based indicators to visualize biological functions", The TRF & Microscopy Workshop, Yang Ming University, Taipei (2005-10)
 - 10) 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)
 - 11) T. Nagai : "Introduction of Nikon imaging center at Hokkaido University" Luncheon seminar of the 7th RIES international symposium on 命, Hokkaido University, Sapporo (2006-12)
 - 12) 永井健治：「形態形成原理の解明を目指してー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)
 - 13) 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)
 - 14) 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)
 - 15) 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・シンポジウム・ワークショップ**
- 1) 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)
 - 2) 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)

- 3) 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)
- iii) コロキウム・セミナー等・その他**
- 1) 永井健治：「生体機能イメージングの現状と展望」、三共(株)セミナー、東京 (2005-3)
 - 2) 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)
 - 3) 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)
 - 4) 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)
 - 5) 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)
 - 6) 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)
 - 7) 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)
 - 8) 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)
 - 9) 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)
 - 10) 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)
 - 11) 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)
 - 12) 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)
 - 13) 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. 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)
 - 2) 齊藤健太、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）

4.8 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) 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）

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) 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。

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) 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。

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) 永井健治、萌芽研究、吸収位相差顕微鏡の開発、2005～2006年度
- 2) 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、2005～2006年度

c. 大型プロジェクト・受託研究

- 1) 永井健治、厚生労働省、萌芽的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
- 2) 小寺一平、科学技術振興機構、戦略的創造研究推進事業、超迅速なゲノム配列決定法の開発、2005～2008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) 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。

4.12 社会教育活動

f. 外国人研究者の招聘（氏名、国名、期間）

- 1) Sang-Yeob Kim、Korea、2006年1月10日～2006年2月8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、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
- 2) 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～2006年2月3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) 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

i. ポスドク・客員研究員など

・ポスドク（2名）

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・研究員

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 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 黒川みずき（2004.10～2005.11）
井上祐子（2005.11～）
VBL 研究員 婁本 東、宮本安人、大下承民
研究員 一宮尚志
院 生 齊藤宗孝(D3)、手老篤史(D3)、大山義仁(D3)
袁曉輝(D2)、伊藤賢太郎(D1)、鈴木俊行(M2)

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うべきものである。対称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ことを試みる。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を主目標においた。

2. 研究成果

(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10～100 nm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。

(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。

(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る。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。

(d) 流体中での渦を用いた推進機構の分岐解析

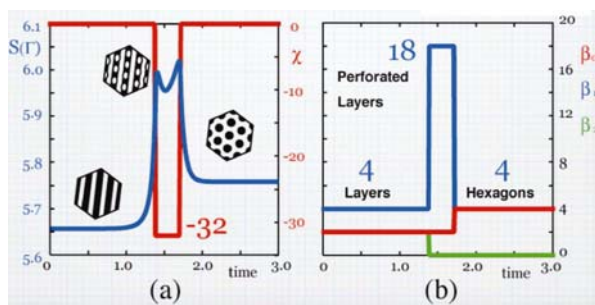
昆虫などの飛翔機構では、翼などの移動器官の運動が流体の渦運動を引き起こし、それに伴う非定常力を活用する事で効率よい運動を実現していると考えられる。このような運動は渦運動が主要な役割を果たすために非線形性が強く、これまでは個別の事例解析等が主で、飛翔機構をどのように特徴付けるのかという問題はあまり考えられていない。ここでは重心運動を考慮した2次元対称はばたきモデルの解析を行い、重心運動の安定性という観点から分岐解析を行った。分岐構造の特異点に注目し、その特異点の遷移を調べる事で複数の飛翔機構の特徴付けとそれらの分離に成功した。

3. 今後の研究の展望

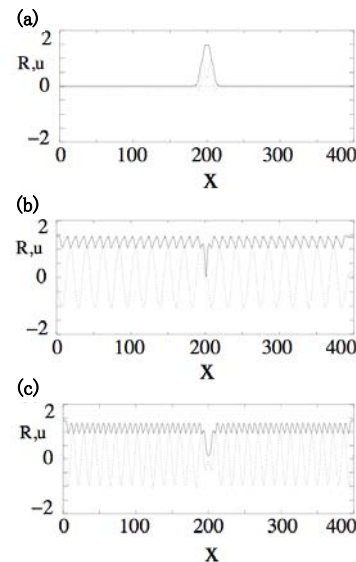
時間的、空間的な階層構造、異なるスケールの共存は複雑な系を取り扱うときには常に考慮せねばならない重要な要素である。具体的には、異なる階層あるいは異なるダイナミクスの領域へ転移するきっかけは何であろうか？ またどのような数理的機構がそれを駆動しているのであろう

か？ などが直ちに自然な疑問として出てくる。単純化された、しかし本質を捉えた数理モデルにおいてそれらを解明することが重要な課題となる。

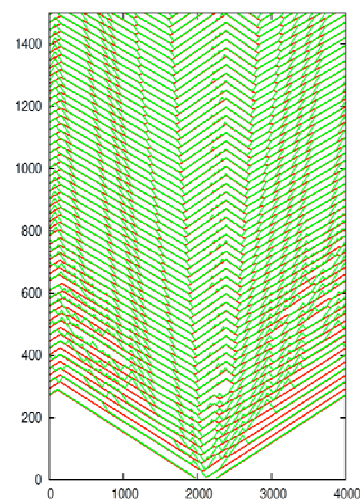
1. 3次元空間における複雑モルフォロジーの形態同定問題はブロック共重合体の遷移モルフォロジーにとどまらず、材料力学はじめ、生命科学、医学などの階層的に複雑形態を有する問題においてとりわけ重要となる。ホモロジーのベッチ数による形態分類情報は、従来の実験的、統計的測定量とは質的に異なる大域的情報を与えるものとして期待されている。さらに経済、通信を含む様々なネットワークトポロジーの解析においても大きな役割を果たすものと考えられる。
2. 現在、散逸系を記述するためのさまざまなモデルが存在するが、それぞれが時には共通の現象、もしくは、類似の解を提示し、モデル間の相互関係を暗示する。散逸系が示す典型的なパターンである空間的局在構造もその一つであり、複素ギンツブルグラウ方程式系および反応拡散方程式において、パーティクル解とホール解が存在することが調べられた。これらの比較を通じて、散逸系のもつ普遍的な性質を見極め、統一的なモデルを模索したい。
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を行い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いたい。
4. 渦運動のように強い非線形性をもつ系では、摂動法等の解析手法は上手く行かないため、有効に活用できる解析手法を確立する事は有用である。ここでは大域的分岐構造の特異点の遷移という観点から飛翔機構の解析に成功した。ここでは離散渦近似という流体モデルを使った解析であるが、今後は流体運動を厳密に計算したモデルにおいても同様の解析手法が有用であることを示したい。



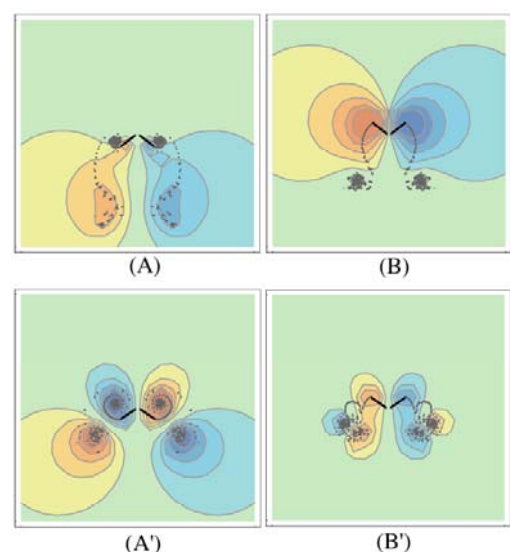
ブロック共重合系においてラメラ（層状構造）からヘキサゴンへの形態転移に伴う (a) オイラー数 および (b) 3つのベッチ数の時間変化をプロットしたもの。明らかに途中においてプラトー状態が存在する。これはそのトポロジー量から穴あきラメラ状態であることがわかる。



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。



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搬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み出されている。



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。

4. 資料

4.1 学術論文等

- 1) Y. Nishiura and H. Suzuki : “Higher dimensional SLEP equation and applications to morphological stability”, *SIAM J. Math. Anal.*, 36(3) : 916–966 (2005)
- 2) M. Iima and T. Yanagita : “Asymmetric motion of a two-dimensional symmetric flapping model”, *Fluid Dyn. Res.*, 36 : 407–425 (2005)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) T. Ichinomiya : “Path-integral approach to dynamics in a sparse random network”, *Phys. Rev. E*, 72 : 16109–1–16109–9 (2005)
- 6) 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)
- 7) T. Iwashita, Y. Hayase and H. Nakanishi : “Phase Field Model for Dynamics of Sweeping Interface”, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 74 : 1657–1660 (2005)
- 8) Y. Hayase, S. Wehner, J. Kueppers and H. R. Brand : “The role of sampling time in measurements on the CO₂ kinetics of the bistable reaction CO+O₂ → CO₂ on Ir(111) surfaces”, *Physica D*, 205 : 15–24 (2005)
- 9) R. Kobayashi and J. A. Warren : “Modeling the formation and dynamics of polycrystals in 3D”, *Physica A*, 356 : 127–132 (2005)
- 10) Y. Nishiura, D. Ueyama and T. Yanagita : “Chaotic pulses for discrete reaction diffusion systems”, *SIADS*, 4(3) : 733–754 (2005)
- 11) 寺本敬, 西浦廉政 : 「ミクロ相分離のモルフォロジーとダイナミクス」、応用数理、15(3) : 16–27 (2005)
- 12) Y. Nishiura, T. Teramoto and K. Ueda : “Scattering of traveling spots in dissipative systems”, *Chaos*, 15 : 047509–047519 (2005)
- 13) 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)
- 14) 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)

4.2 総説・解説・評論等

- 1) 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)
- 2) 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)

4.3 国際会議議事録等に掲載された論文

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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)

4.7 講演

i) 学会

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) M. Iima and T. Yanagita : “Vertical hovering of a symmetric flapping model”, APS March Meeting, Baltimore, USA (2006–03)
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) 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)
- 9) 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)
- 10) 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)
 - 11) 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)
 - 12) 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)
 - 13) 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)
 - 14) 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)
 - 15) 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)
 - 16) 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)
 - 17) 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)
 - 18) 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)
 - 19) 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)
 - 20) Y. Nishiura : “Dynamics of Particle Patterns in Dissipative Systems”, SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems, Snowbird, UT, USA, USA (2005-05)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) 飯間信：「渦を飼いならすー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)
 - 2) 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)
 - 3) T. Nakagaki, A. Tero and R. Kobayashi : “Morphology and physiology of vein network in slime mould”, Mathematical Logics Behind Animal Markings, Nagoya (2006-02)
 - 4) 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)
 - 5) 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)
 - 6) 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)
 - 7) 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)
 - 8) 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)
 - 9) 飯間信：「渦構造を用いた昆虫の自由飛翔の機構：飛翔機構の自発的变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)
 - 10) 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)
 - 11) 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)
 - 12) 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)
 - 13) 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)
 - 14) 飯間信、西浦廉政：「2種類混合液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)
 - 15) 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)
 - 16) 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)
- 17) 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)
 - 18) 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)
 - 19) 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)
 - 20) 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)
 - 21) 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)
 - 22) 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)
 - 23) 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)
 - 24) 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)
 - 25) 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)
 - 26) 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)
 - 27) 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)
 - 28) 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)
 - 29) 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)
 - 30) Y. Nishiura : “Scattering Among Particle-Like Patterns in Dissipative Systems”, Third Pacific Rim Conference on Mathematics, 上海, 中国 (2005-08)
 - 31) 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)
 - 32) 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)
 - 33) M. Iima and T. Yanagita : “Vertical hovering of symmetric flapping model”, XXV Dynamics Days Europe, Berlin, Germany (2005-07)
 - 34) M. Iima and Y. Nishiura : “Collisions of localized convection cells in binary fluid mixture”, XXV Dynamics Days Europe, Berlin, Germany (2005-07)
 - 35) 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)
 - 36) 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)
 - 37) 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)
 - 38) T. Yanagita : “Bifurcation Structure of Traveling Pulses on a Circle”, Dynamics Days 2005, Berlin, Germany (2005-07)
 - 39) 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)
 - 40) 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)
 - 41) 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)
 - 42) 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)

- 43) 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)
- 44) 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)
- 45) 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)

iii) コロキウム・セミナー等・その他

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) 宮本安人:「S¹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)
- 9) 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)
- 10) 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)

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) T. Ohta, H. Hayakawa, S. Ishiwata, S. Kai, M. Murase, M. Sano, T. Shibata, K. Yoshikawa, M. Matsushita, Y. Nishiura, 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)

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、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
- 2) 小林亮、基盤研究 B (2)、結晶性物質の界面運動を記述する数理モデルの研究、2004～2006年度
- 3) 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
- 4) 小林亮、萌芽研究、生物における管のネットワークのダイナミクスの研究、2004～2005年度
- 5) 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

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」

4.12 社会教育活動

a. 公的機関の委員

- 1) 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)
- 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: European Journal of Applied Mathematics、Associate Editor (2005年1月1日～現在)

b. 国内外の学会の役職

- 1) 西浦廉政: 日本数学会評議員 (2006年3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)

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」

f. 外国人研究者の招聘（氏名、国名、期間）

- 1) Peter Bates、USA、2005年10月2日～2005年10月8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、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
2) 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
3) 理学部、数学購読、飯間信、2005年10月1日～2006年3
月31日

i. ポスドク・客員研究員など

・ポスドク(3名)

妻本東(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)

j. 修士学位及び博士学位の取得状況

・修士課程(1名)

鈴木俊行

・博士後期課程(3名)

大山義仁、手老篤史、齋藤宗孝

神経情報研究分野

教授 下澤楯夫（北大院、理博、1988.10～）
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～）
JSPS 特別研究員 平口鉄太郎（北大院、理博、2004.4～）
外国人客員研究員 DELAGO, Antonia
（Queen Mary, University of London、PhD、2004.9～）
博士研究員 佐倉 緑（北大院、工博、2005.10～）
技術職員 土田義和
院 生 余野央行（D3）

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的手法を用いて神経細胞レベルでの信号の流れと回路網を調べている。

2. 研究成果

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ビットの情報を担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。非定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める。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。

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せた。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(図1)し、個々の神経細胞を同定(図2)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 카테고리に応じて、3つのコンパートメントに分かれていた(図3)。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。

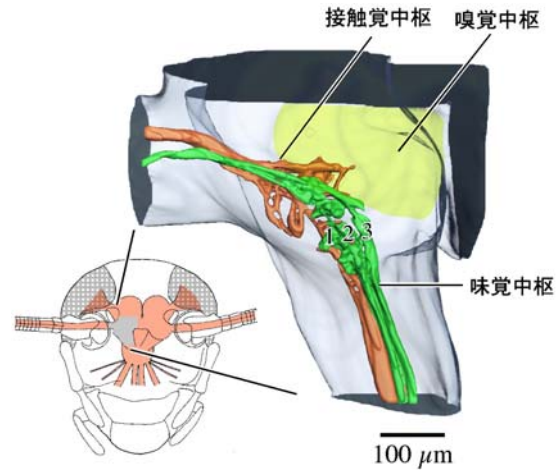


図3. ゴキブリ脳内一次感覚中枢の3次元マップ

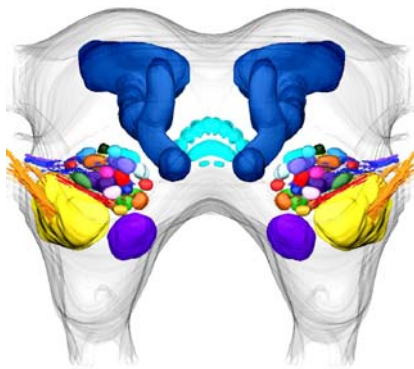


図1. コオロギの脳の3次元構築像

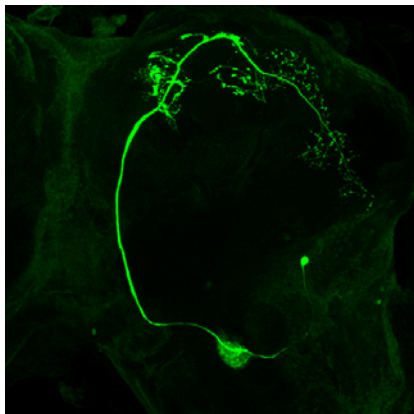


図2. コオロギの脳の投射ニューロン

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。

4. 資料

4.1 学術論文等

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 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)

4.2 総説・解説・評論等

- 1) 下澤橋夫 : 「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)
- 2) 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」、自律分散シンポジウム資料, 06 SY 0001 : 189-194 (2006)
- 3) 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)
- 4) 下澤橋夫 : 「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)
- 5) 下澤橋夫 : 「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)
- 6) 下澤橋夫 : 「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)

4.3 国際会議議事録等に掲載された論文

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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)

4.7 講演

i) 学会

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 青沼仁志、北村美一郎、小川宏人、岡浩太郎 : 「クロコオ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)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) 村上準、青沼仁志、長尾隆司 : 「クロコオ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)
- 9) 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)
- 10) 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)
- 11) 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)
 - 12) 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)
 - 13) 下澤橋夫：「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)
 - 14) 濱徳行、高畑雅一、青沼仁志：「コオ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)
 - 15) 平口鉄太郎、青沼仁志：「コオ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)
 - 16) 西川道子、辻衣里子、青沼仁志、横張文男：「クロオ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)
 - 17) 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)
 - 18) 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)
 - 19) 松本幸久、宇ノ木佐会、青沼仁志、水波誠：「フタホシコオロギの長期記憶形成における NO-cGMP 系と cAMP-PKA 系役割」、第28会 日本神経科学大会、横浜 (2005-07)
 - 20) 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)
 - 21) 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)
 - 22) 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)
 - 23) 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)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) T. Shimozawa：「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)
 - 2) 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)
 - 3) 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)
 - 4) 下澤橋夫：「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)
 - 5) 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)
 - 6) T. Shimozawa：「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)
 - 7) T. Shimozawa：「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)
 - 8) 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)
 - 9) 青沼仁志：「Formation of social hierarchy in the cricket - a role of NO/cGMP cascade in fighting behavior」、第28会 日本神経科学大会、横浜 (2005-07)
 - 10) 下澤橋夫：「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)
 - 11) V. Lingela, T. Shimozawa, 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)
- ## iii) コロキウム・セミナー等・その他
- 1) 青沼仁志：「昆虫の社会的順位の形成と NO/cGMP シグナル」、金沢工業大学人間情報研究所長尾研究室セミナー、石川県白山市 (2006-01)
 - 2) 下澤橋夫：「ケータイ電話は蛙のおかげ？-生物と科学技術」、旭川市科学館サイバル、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 : 「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)

・一般のシンポジウム

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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

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) 臼井支朗、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年度、未定、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) 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
- 2) 青沼仁志、特定領域研究、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
- 3) 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
- 4) 青沼仁志、特定領域研究、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的理解、2005～2009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) 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

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) 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」、2004～2006年度、「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。

4.11 受賞

- 1) 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

4.12 社会教育活動

b. 国内外の学会の役職

- 1) 青沼仁志：日本比較生理生化学会 評議委員（2006年1月1日～2007年12月31日）
- 2) 青沼仁志：日本動物学会北海道支部 役員（2005年1月1日～2006年12月31日）
- 3) 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）
- 4) 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）
- 5) 下澤楯夫：ME とバイオサイバネティッ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）

c. 併任・兼業

- 1) 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）

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) Ken Lukowiak、Canada、2006年2月22日
- 2) Miriam Henze、Switzerland、2006年1月10日～2006年3月30日
- 3) Sten Grillner、Sweden、2005年12月3日～2005年12月5日
- 4) Rolf Pfeifer、Switzerland、2005年12月3日～2005年12月5日
- 5) Avis C. Cohen、USA、2005年12月3日～2005年12月5日
- 6) Thangima Zannat、Germany、2005年4月1日～2005年6月30日
- 7) Antonia Delago、Austria、2004年9月1日～2005年12月31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、「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
- 2) 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

- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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」、青沼仁志、2005年5月31日

i. ポスドク・客員研究員など

- ・ポスドク (2名)
佐倉緑 (電子科学研究所 神経情報研究分野)
平口鉄太郎 (神経情報)
- ・客員研究員(1名)
DELAGO ANTONIA (神経情報)

j. 修士学位及び博士学位の取得状況

- ・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 博士課程：林田雅行、スイット コックケン、
村澤尚樹

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

集光フェムト秒レーザー（波長：800 nm）による多光子プロセスを用いてネガ型フォトレジスト材料（SU-8）に数10 nm の加工幅を有する3次元ナノ加工を行うことに成功した。また、これらの集光フェムト秒レーザーによる直接描画技術を用いて、種々のフォトニック結晶の作製を行った。一方、半導体加工技術を用いることによりガラスなどの固体基板上に数10～数100 nm のサイズを有する金属ナノ構造を任意の設計で作製する技術を確立し、その局在表面プラズモンに基づく光学特性について明らかにした。

（i）集光フェムト秒レーザーを用いた3次元フォトニック結晶の作製とその光学特性評価

再生増幅フェムト秒チタンサファイアレーザー（中心波長 800 nm、繰り返し周波数 1 kHz）を顕微鏡に導入し、対物レンズ（100×, NA = 1.35）を用いてネガ型フォトレジスト材料にレーザー光を集光照射することにより加工するシステムを構築した（図1(a)）。本法は、材料の多光子吸収を利用しているため、光電場強度の高い焦点のみが選択的に加工できる特徴を有している。ステージの移動は、3D PZT顕微鏡ステージにより制御され、合目的パターンの3次元構造の作製を行った。集光ビームによる加工システムを用

いて実験を行った結果の一例として、図1(b)にフェムト秒レーザーをネガ型フォトレジストに集光照射し、現像により未露光部分を除去して形成した構造体の電子顕微鏡写真を示す。図1(b)の上段の写真に示すように、画像に対して横方向に比較的レーザーパワーの高い条件（パルスエネルギー 30 nJ）で顕微鏡ステージを $10 \mu\text{m s}^{-1}$ の速度で掃引することにより、機械的に弱いナノ構造を支えるための柱を構築し、次に比較的弱いレーザーパワー（パルスエネルギー 0.3 nJ）で柱に対して垂直方向にステージを走査させることにより、柱と柱の間に最小で $\phi 30 \text{ nm}$ のライン構造を形成することが可能であることを明らかにした。このように、集光フェムト秒レーザービームによる材料の多光子吸収を利用した加工における分解能は極めて高く、高性能な3次元加工システムを実現することができた。また、本研究では、集光フェムト秒レーザーを用いて四方螺旋構造（図1(c)）などの複雑な構造も作製することが可能であることを明らかにした。螺旋構造は、フォトニック結晶として極めて優れた光学特性を示すことがこれまで理論的には示されているが、従来の半導体加工技術によってこれらのフォトニック結晶を作製することは困難であった。本手法は、極めて精緻に螺旋構造を作製できることから、従来の半導体加工では達成が困難な3次元加工を可能にする極めて有用な微細加工法であると言える。さらに、作製した四方スパイラル構造に関する光学特性を検討したところ、構造体の反射スペクトルにおいて、ある特定の波長の光の伝播を抑制するストップバンドが観測された（図1(d)）。シミュレーション結果から予想されるように、それらの波長はスパイラルの格子間隔（図中 a で表示）が、 $1.2 \mu\text{m}$ 、 $1.3 \mu\text{m}$ 、 $1.4 \mu\text{m}$ 、 $1.55 \mu\text{m}$ と増大するにつれストップバンドの高次のモードが長波長シフトすることから、本加工システムにより形成した周期構造が、フォトニック結晶として正常に機能していることを明らかにした。

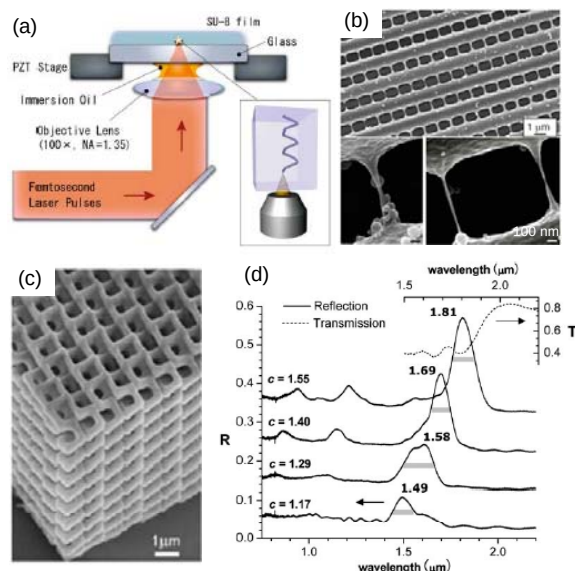


図1. 極限フォトンプロセス

(ii) 半導体加工技術により作製した金ナノブロック構造体アレイ

図2(a)(b)に、ガラス基板上に電子線リソグラフィー／リフトオフ技術により作製した金ナノブロック構造体の電子顕微鏡写真を示す。図2(a)は、 $40 \times 360 \times 60 \text{ nm}^3$ 、(b)は $80 \times 400 \times 60 \text{ nm}^3$ の金ナノブロック構造体が 200 nm 間隔で配置されている。また、これらの構造体は、 $20 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$ の面積に $3000 \sim 4000$ 個配置することにより、近赤外領域においてもSNの高い吸収スペクトルの測定が可能な設計となっている。図3(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3(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つのプラズモンバンドが観測されている。縦モードのプラズモンバンドは、アスペクト比が大きくなると長波長シフトし、近赤外の $900 \text{ nm} \sim 1500 \text{ nm}$ 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、可視域に共鳴波長を有している。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。

また、微細加工により作製を行う最大の特徴としては、構造体の配列を制御することが可能であるため、直線偏光条件で吸収スペクトルを測定することにより、共鳴波長を変化させないまま縦モードのプラズモンバンドと横モードのプラズモンバンドを分離することが可能であることがあげられる。図3(b)(c)に、吸収スペクトル測定システムの光学系に偏光子を挿入して測定を行った時の吸収スペクトルを示す。図3(b)は、図2中の電子顕微鏡写真のような縦長型の構造体に対して平行な直線偏光を入射した場合、図3(c)は垂直に入射した結果であり、縦長構造体に対して平行な直線偏光を入射した場合は縦モードのプラズモンが、垂直の場合は横モードのプラズモンが励起されていることになる。また、得られたスペクトルの吸光度(extinction)は、どちらのモードにおいても偏光条件のほうが無偏光条件に比べて2倍ほど大きくなっており、このことから、直線偏光を構造体に入射することにより選択的にプラズモンを誘起することが可能であることを確認した。この原理を利用することにより、可視や近赤外の幅広い波長域に吸収・反射を示す偏光フィルターや偏光反射板を作製することが可能であり、ディスプレイや光学素子などへの応用が期待される。

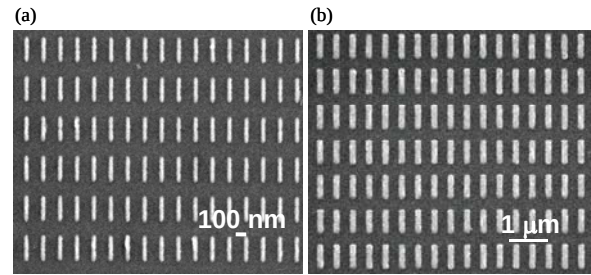


図2. 極限フォトンプロセス

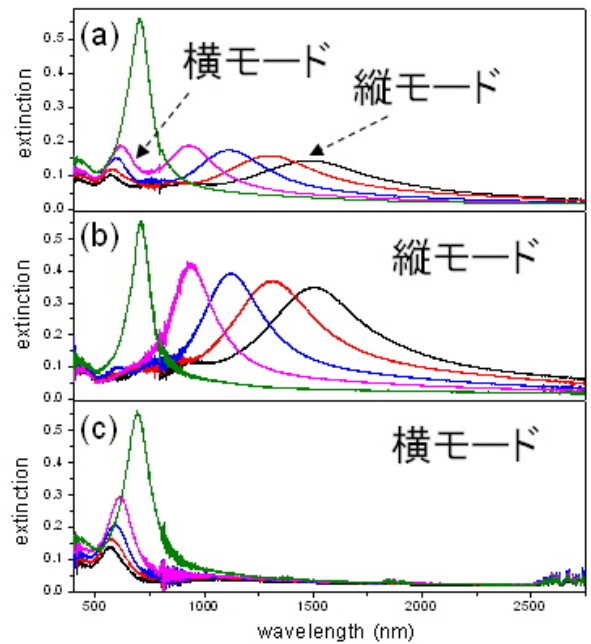


図3. 極限フォトンプロセス

3. 今後の研究の展望

本研究グループが推進している量子相関光子ビームによる物質の多光子吸収過程を詳細に検討するためにも、光を閉じ込める、或いは光の群速度を制御することが可能なフォトニック結晶や金属ナノ構造を用いた多光子反応を増強する反応場の創製が重要な役割を担うものと確信している。そのためには、ストップバンドを可視波長領域にまで短波長化させることが可能な微細な3次元加工法を開発することや、高い光電場増強を有する金属ナノ構造の設計や作製技術を確立することが極めて重要である。また、これらの作製した構造体を用いて、光化学反応場としての有用性を明らかにすると共に、これらの構造が示す光局在や光電場増強などのユニークな光学的特長を利用して、種々の応用技術に展開するように研究を進める予定である。

4. 資料

4.1 学術論文等

- 1) N. Murazawa, S. Juodkakis, V. Jarutis, T. Yoshihiko and H. Misawa : “Viscosity Measurement Using a Rotating Laser-Trapped Microsphere of Liquid Crystal”, *Europhysics Lett.*, 73(5) : 800-805 (2006)
- 2) S. Juodkakis, 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)
- 3) N. Murazawa, S. Juodkakis and H. Misawa : “Three-Dimensional Optical Recording in tert-Butoxycarbonyl-Protected Quinizarin Methacrylate Polymers”, *JJAP*, 45 (3A) : 1640-1647 (2006)
- 4) N. Murazawa, S. Juodkakis and H. Misawa : “Laser Manipulation based on a Light-induced Molecular Reordering”, *Opt.Exp.*, 14(6) : 2481-2486 (2006)
- 5) T. Masuda, A. Yamaguchi, F. Oi, S. Matsuo and H. Misawa : “Visualizaion of DNA Hybridization on Gold Thin Film by Utilizing the Resistance Effect of DNA Monolayer”, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 105(2) : 556-561 (2005)
- 6) N. Murazawa, S. Juodkakis, Y. Tanamura and H. Misawa : “Rheology Measurement at Liquid-Crystal Water Interface using Laser Tweezers”, *Jpn.J.Appl.Phys.*, 45(3A) : 1640-1647 (2006)
- 7) S. Matsuo, S. Juodkakis and H. Misawa : “Femtosecond Laser Microfabrication of Periodic Structures using a Microlens Array”, *Applied Physics A*, A80 : 683-685 (2005)
- 8) H. Segawa, J. Tabuchi, K. Yoshida, T. Kondo, S. Matsuo and H. Misawa : “Periodic Structures of Organic-Titania Hybrid Materials Recorded by Multi-Beam Laser Interference Technique”, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 32 : 287-291 (2005)
- 9) V. Jarutis, S. Juodkakis, 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)
- 10) K. K. Seet, V. Mizeikis, S. Matsuo, S. Juodkakis and H. Misawa : “Three-Dimensional Spiral Architecture Photonic Crystals Obtained by Direct Laser Writing”, *Advanced Materials*, 17(5) : 541-545 (2005)
- 11) E. Vanagas, J. Ye, M. Li, M. Miwa, S. Juodkakis and H. Misawa : “Analysis of Stress Induced by a Three-dimensional Recording in Glass”, *Applied Physics A* : 725-727 (2005)
- 12) V. V. Datsyuk, S. Juodkakis and H. Misawa : “Properties of a Laser Based on Evanescent-wave”, *JOSA B*, 22(7) : 1471-1478 (2005)
- 13) S. Juodkakis, V. Mizeikis, K. Seet, M. Miwa and H. Misawa : “Two-photon Lithography of Nanorods in SU-8 Photoresist”, *Nanotechnology*, 16 : 846-849 (2005)
- 14) N. Murazawa, S. Juodkakis and H. Misawa : “Characterisation of Bipolar and Radial Nematic Liquid Crystal Droplets using Laser-tweezers”, *J.Appl.Phys.*, 38 : 2923-2927 (2005)
- 15) 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)
- 16) A. Takita, H. Yamamoto, Y. Hayasaki, N. Nishida and H. Misawa : “Three-dimensional Optical Memory Using a Human Fingernail”, *Optical Express*, 13(12) : 4560-4567 (2005)
- 17) V. V. Datsyuk, S. Juodkakis 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) : 1-3 (2005)
- 18) T. Kondo, S. Juodkakis and H. Misawa : “Reduction of Capillary Force for High-Aspect Ratio Nanofabrication”, *Applied Physics A*, 81 : 1583-1586 (2005)
- 19) 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(7) : 1228-1233 (2005)
- 20) N. Murazawa, S. Juodkakis, S. Matsuo and H. Misawa : “Control of the Molecular Alignment Inside Liquid Crystals Droplets by Use of Laser Tweezers”, *Small*, 1(6) : 656-661 (2005)
- 21) T. Mizuno, K. Yamasaki and H. Misawa : “Three-Dimensional Optical Memory in a Photoacid-Induced Recording Medium”, *Jpn.J.Appl.Phys.*, 44(9A) : 6593-6595 (2005)
- 22) 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(50) : 1544-1546 (2005)

4.2 総説・解説・評論等

- 1) 三澤弘明、坪井克之：「第7回日米先端科学シンポジウム」、科学、75(5) : 547-552 (2005)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 三澤弘明：「フェムト秒レーザー加工」、ナノテクノロジー

- ジー技術動向調査：35-37 (2005)
- 6) 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)
 - 7) 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)
 - 8) 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)
 - 9) H. Misawa and K. Ueno：「光一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)
 - 10) 上野貢生、三澤弘明：「光一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)
 - 11) 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)
- #### 4.4 著書
- 1) 三澤弘明、山口央：レーザーハンドブック (第2版)、IX編 バイオフォトンクス 40章：995-1002 (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) 三澤弘明、上野貢生、谷村敏博、2006-061976、バイオセンサー、2006年3月8日
 - 2) 三澤弘明、上野貢生、谷村敏博、2006-061951、3次元フォトン結晶の製造方法、2006年3月8日
 - 3) 三澤弘明、上野貢生、坪井泰之、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
 - 4) 三澤弘明、橋本智宏、2005-235710、構造体及びその製造方法、2005年8月16日
 - 5) 三澤弘明、上野貢生、2005-122735、フォトン結晶集積型分離・計測デバイス、2005年4月20日
 - 6) 三澤弘明、ヨードカジス サウリウス、坪井泰之、2006-061912、レーザ加装置及びレーザ加工方法、2006年3月7日
- #### 4.7 講演
- ##### i) 学会
- 1) 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年春季第53回応用物理学会関連講演会、武蔵工業大学 (2006-03)
 - 2) 上野貢生：「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年春季第53回応用物理学会関連講演会、武蔵工業大学 (2006-03)
 - 3) 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年春季第53回応用物理学会関連講演会、武蔵工業大学 (2006-03)
 - 4) 三澤弘明：「材料科学からのフォトン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)
 - 5) H. Misawa：「Three-Dimensional Photonic Crystal Structures Recorded by Femtosecond Laser Pulses」、First Conference on Advanced in Optical Materials, Tucson, Arizona, USA (2005-10)
 - 6) 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)
 - 7) 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)
 - 8) 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)
 - 9) 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)
 - 10) 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)
 - 11) 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)
 - 12) 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)
 - 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) 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)
 - 15) 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)
 - 16) 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)

- 17) V. Jarutis : “High Efficiency Femtosecond Source of Entangled Photons”, Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005(CLEO-PR2005), Tokyo (2005-07)
- 18) V. Mizeikis : “High Efficiency Femtosecond Source of Entangled Photons”, Pacific Rim Conference on Laser and Electro-Optics 2005(CLEO-PR2005), Tokyo (2005-07)
- 19) K. Ueno, V. Mizeikis, S. Juodkakis, 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)
- 20) S. Juodkakis : “High-Aspect Ratio Nanofabrication by Femtosecond Irradiation”, Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (CLEO-PR2005), Tokyo (2005-07)
- 21) 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)
- 22) 上野貢生、ミゼイキス 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)
- 23) 三澤弘明 : 「Fabrication of 3D photonics structures by fs-pulses」, ICONO/LAT2005, St.Petersburg, Russia (2005-05)
- 24) S. Juodkakis : “Studies of Femtosecond pulse filamentation in Glasses”, ICONO/LAT2005, St.Petersburg, Russia (2005-05)
- 25) H. Misawa : “Fabrication of 3D Photonics Structures by Fs-Pulses”, ICONO/LAT2005, St.Petersburg, Russia (2005-05)
- 26) 三澤弘明 : 「Femtosecond laser fabrication of 3D photonic crystal structure」, LPM2005, Williamsburg, USA (2005-04)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) 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)
- 2) 上野貢生、ミゼイキス 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)
- 3) 三澤弘明 : 「加工技術としてのフェムト秒レーザー、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)

- 4) 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回応用物理学会学術講演会、徳島大学 (2005-09)
- 5) H. Misawa : “Holographic and direct laser writing of photonic crystal structures”, ISG/ICG 2005, Shanghai, 中国 (2005-04)
- 6) H. Misawa : “Femtosecond Laser Fabrication of 3D Photonic Crystal Structures”, The 6th International Symposium on Laser Precision Microfabrication, Williamsburg, USA (2005-04)

iii) コロキウム・セミナー等・その他

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 横田幸恵、上野貢生、Vygantas 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)
- 4) 高橋友美、上野貢生、ミゼイキス 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)
- 5) 上野貢生、ミゼイキス 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)
- 6) 横田幸恵、上野貢生、ミゼイキス 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)
- 7) 三野雅弘、上野貢生、林田雅行、横田幸恵、ミゼイキス 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)
- 8) 横田幸恵、上野貢生、ミゼイキス 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回応用物理学会学術講演会、徳島大学 (2005-9)
- 9) 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)
- 10) 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－分子強結合反応場研究会講演会、北海道大学（2006-1）

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（三洋化成）：「微粒子配列制御技術に関する研究」、2005年度、未定、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。その技術を用いたいデバイスの開発を進める。
- 2) 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、未定、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。
- 3) 三澤弘明（レーザーシステム）：「微細加工機の研究」、2004～2007年度、未定、微細加工機の基礎技術の研究及び応用分野の調査

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) 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、未定、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、未定、〈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。

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
- 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

- 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

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) 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、未定、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、未定、電子科学研究のため

4.11 受賞

- 1) 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

4.12 社会教育活動

a. 公的機関の委員

- 1) 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）
- 2) 三澤弘明：古河テクノリサーチ 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）
- 3) 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：光化学協会 常任理事（2006年1月1日～2006年12月31日）
- 2) 三澤弘明：CLEO/Pacific Rim 2005 Sub-session chair（2005年7月11日～2005年7月15日）
- 3) 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）
- 4) 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）
- 5) 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）
- 6) 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～2008年3月31日）
- 2) 三澤弘明：株 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) 邱建栄、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

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、バイオオプティクス特論、三澤弘明、2005年10月1日～2006年3月31日
- 2) 工学研究科、バイオオプティクス特論、三澤弘明、2005年10月1日～2006年3月31日
- 3) 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、2005年10月1日～2006年3月31日
- 4) 全学科共通、化学 I、三澤弘明、2005年4月1日～2005年9月30日

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～）

COE 研究員

田所 智（北海道大学理院、理博、2003.9～）

畠山元彦（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～）

事務補佐員 渡辺厚子（2003.9～）

院 生 玉井信也(D3)、山口 裕(D3)、伊藤孝男(D2)、

前田真秀(D2)、松本和宏(D2)、渡部大志(D2)、

黒田 拓(M2)、酒井幸広(M2)、林 竜(M2)、

越坂部恭史(M1)、畠山仁雄(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。平成17年度、18年度は海馬 CA1の生理学的モデルを構築すること(a)、ニホンザルを使った思考・推論の実験(b)、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(c)、カオス振動子の結合系における情報の伝播(d)、エンジンシステムにおけるカオスの有無とその制御(e)、実験の形式化の試み(f)に主目標をおいた。

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、まず海馬のニューラルネットを抽象的なレベルでモデル化し、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ることが分かった。また、その条件を簡単な数学モデルの場合に限って明らかにした。次に、CA1ニューロンのモデルとして神経生理学的な解釈が可能な2-コンパートメントモデルを採用し、ランダム時系列入力に対する CA1ニューロンの膜電位表現を求めた。これは、平行して進めている実験家との共同研究をより実効的にするためである。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わかった。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。実証実験を玉川大学工学部塚田研究室と共同で行っており、予備的なデータ解析の結果は理論の示す結果と整合している。

(b) サル(ニホンザル)を使った思考・推論実験を玉川大学脳研究施設と共同で行っている。10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年間実験を繰り返し、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。

(c) 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（ちなみに、II 型ニューロンの典型はヤリイカの軸策であり、ホジキン・ハクスレーモデルによって表現され、そのギャップジャンクション結合系はパルス伝播やスパイラル波を典型的に生み出す）。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。この条件をみたす数学モデルを構築し、 μ 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。 μ モデルは適当な座標変換でヒンズマーシュ・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。 μ 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。この遷移現象を詳しく解析した。その結果、完全同期状態、対称メタクロナール波、非対称メタクロナール波、対称メタクロナール波と完全同期状態をつなぐ位相乱流状態の4つの状態の間で不規則な遷移が起こり、不規則性の原因はこれらの解をあらゆる多様体の外に位置する大振幅カオス状態であることが分かった。

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。

(d) 情報混合を許す型の一次元カオス写像のフィードバック付き結合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らなる。フィードバック結合を含むこれらの結合系において、入力されたパルスやカオスの動的な保持と伝播が数値的に観察された。

(e) 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。いくつかの計測データがあるが、今回は燃焼圧のクランク角に対する時系列データを使用した。解析の結果、ランダムノイズ成分のほかにカオス成分が存在することが判明した。この

カオス成分を詳しく分析した結果、3-4次元空間に埋め込まれたカオスであることがほぼ確定した。カオスがエンジン出力に存在することは、カオスが力学系の一状態であることから、分岐パラメータさえ分かれば制御可能であることを意味する。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・田原・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。(f) 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、実験の理論の研究を行った。坂上・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。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、実験で見つかって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。

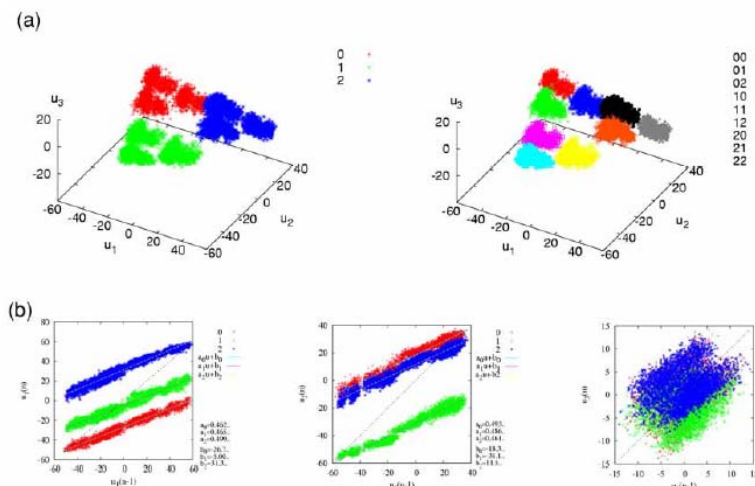


図1. CA1ニューロン集団の活動(膜電位)に見られるカントルコーディング。
(a) 3種のパターンのランダム列が入力された。主成分解析後の3成分が示されている。パターン(左)と深さ2のパターン時系列(右)ともにカントル集合的な階層パターンを示している。
(b) 活動の一次元写像。左から、第一主成分、第二主成分、第三主成分に対するもの。カントル集合の生成規則が、縮小型アフィン写像であることが分かる。この写像はニューラルネットのダイナミクスによって内部で生成されたものである。

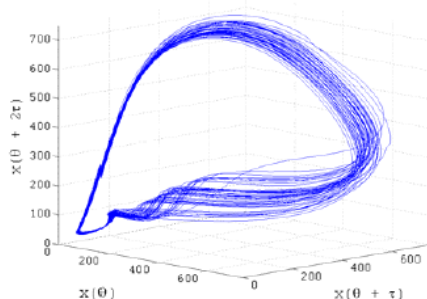


図3. ヤマハ発動機製エンジンデータの3次元空間への埋め込み。
クランク角を時間単位に選んだときの燃焼圧の時系列データを遅れ座標を使って3次元空間に埋め込んだ。種々の計算から、描かれた軌道は決定論的カオスのアトラクタであることがほぼ結論付けられる。

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カントルコーディングの実証を行っていききたい。サルを使った思考推論実験に関しては、現在最初の結果を論文にまとめ投稿中である。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。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。

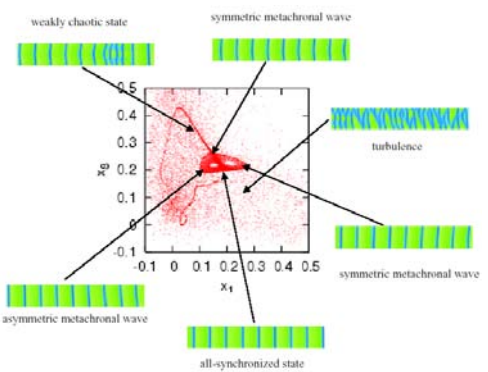


図2. μ モデルのギャップジャンクション結合系(拡散型結合)に典型的に見られるカオスの遍歴。横軸、縦軸はそれぞれ1番目のニューロン、8番目のニューロンの膜電位(規格化されたもの)を表す。60次元空間内の59次元ポアンカレ断面上の軌道(赤色点列で表される)を二次元平面へ射影したものを表す。ニューラルネットの各状態の時空パターン図(横軸が時間、縦軸が空間)が挿入されている。ニューラルネットの軌道はこれらの状態間をカオス的に遷移する。

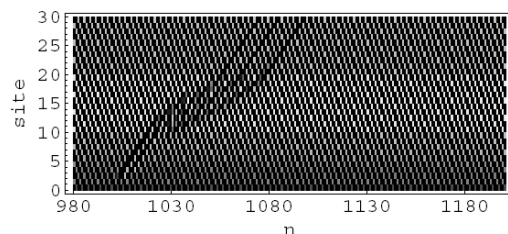


図4. 興奮性ニューロン-抑制性ニューロン複合体をユニットにしたフィードバック付き結合系におけるパルス入力に対する応答の時空パターン。横軸は離散時間、縦軸は離散的な空間サイト。各ユニット間は最近接結合。上流(サイト1-10)と下流(サイト21-30)は上流から下流へ向かう一方結合であり、中流(サイト11-20)はフィードバックのある両方向結合。入力したパルスは中流域で3個に分裂し伝播する。3個のパルスが下流域に到達し伝播し出力される。分裂する個数はユニットの基本周期に一致する。

4. 資料

4.1 学術論文等

- 1) H. H. Diebner and I. Tsuda : “Fundamental Interfaciology: Indistinguishability and Time’s arrow”, *MDPI* (2005)
- 2) H. Fujii and I. Tsuda : “Interneurons: their cognitive roles – A perspective from dynamical systems view”, *ICDL2005* (2005)

4.7 講演

i) 学会

- 1) 津田一郎 : 「Chaos in the brain」, Citizen’s Lecture Series of Annual Meeting of Mathematical Society of Japan, Okayama University (2005-09)
- 2) 津田一郎 : 「Dynamics of consolidation and variation in biological evolution—from the aspect of complex systems」, Autumn Conference on ‘Evolution and Complexity’, the Japanese Society for Evolution Economics, Hokkaido University (2005-09)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) 田所智、山口裕、津田一郎、藤井宏 : 「Intermittencies and Chaotic Itinerancies in Gap Junction-Coupled Class I* Neurons」, Kyoto Dynamics Days 6, Dynamics of Coupled Systems, Department of Mathematics, Kyoto University (2006-03)
- 2) I. Tsuda : “Storage and propagation of signal in the chaotic sea of model cortex: the role of chaos and chaotic itinerancy”, The 9th Dynamic Brain Forum, Auckland, NZ, New Zealand (2005-11)
- 3) 津田一郎 : 「Chaos in the brain」, Molecular Communication Workshop, NICT, Kobe (2005-09)
- 4) H. Fujii and I. Tsuda : “Interneurons: their cognitive roles – A perspective from dynamical systems view”, *ICDL2005 – The Fourth IEEE International Conference in Development and Learning – from Interaction to Cognition*, Osaka (2005-07)
- 5) 安岡 卓男、津田一郎、内潟一郎、川崎峰雄、柏倉慎 : 「統合失調症脳波のカオス解析」、第22回 日本脳電磁図トポグラフィー研究会、十和田湖レークビューホテル (2005-06)
- 6) I. Tsuda : “Chaotic itinerancy and Cantor coding of memory”, Joint symposium on ‘Dynamic information presentation in hippocampal memory’, Sendai (2005-05)
- 7) I. Tsuda : “Chaotic information processing in the hippocampus”, Tamagawa-Hokkaido-Freiburg Joint Workshop, Tamagawa University (2005-04)

iii) コロキウム・セミナー等・その他

- 1) I. Tsuda : “Chaotic dynamics in mind and brain modeling”, in Lecture Series on Budapest Semester for Cognitive Science, Budapest, Hungary, Hungary (2005-11)

- 2) 津田一郎 : 「A mathematical model for episodic memory formation」, The 21st COE Program Seminar, Dept. of Complex Systems Sciences, School of Informatics, , Kyoto University (2005-09)

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、エピソード記憶形成の一過程としてのカントールコーディングの実証モデル、2005年度
- 2) 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

4.12 社会教育活動

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、Department of History and Philosophy of Science ELTE University of Budapest, Chaotic dynamics in mind and brain modeling、2005年10月1日～2006年3月31日
- 2) 津田一郎、独立行政法人 科学技術振興機構、戦略的創造研究推進事業の研究領域評価を行う、2005年10月1日～2006年3月31日
- 3) 津田一郎、玉川大学術研究所、学術に関する数学的見地から研究を行う、2005年4月1日～2006年3月31日
- 4) 津田一郎、財団法人 国際高等研究所、研究事業の全般について、企画・助言及び評価を行う、2005年4月1日～2006年3月31日
- 5) 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、2005年4月1日～2006年3月31日
- 6) 津田一郎、京都大学 数理解析研究所、専門委員会 委員として共同利用研究に関する事項を審議する、2005年4月1日～2006年3月31日
- 7) 津田一郎、科学技術動向研究センター、最新の科学技術動向に関する情報の収集・分析と報告、2005年4月1日～2006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)

j. 修士学位及び博士学位の取得状況

・修士課程 (5名)

越坂部恭史、畠山仁雄、黒田拓、酒井幸広、林 竜

・博士後期課程 (5名)

松本和宏、前田真秀、伊藤孝男、渡部大志、山口裕

・修士論文

- 1) 黒田拓 : MathML による数学的文書の作成と公開のシステム – Ruby による変換ライブラリの開発とその応

用一

- 2) 酒井幸広：時間振動させた場合における Hele-Shaw セルの境界に関する研究

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に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。

アップ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

強度を変調する。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 α 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。

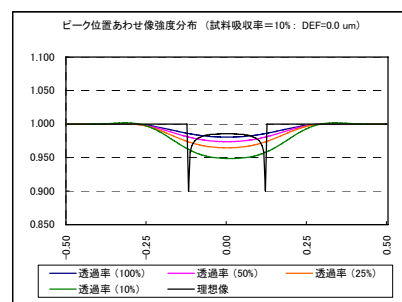


図1. 吸収膜の透過率と像コントラスト(合焦位置)

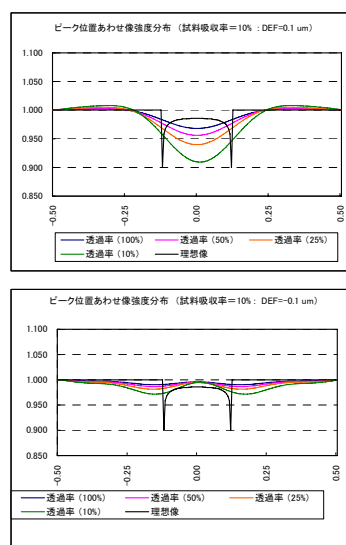


図2. デフォーカスと像コントラスト

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～）

特任助教授 堀川一樹

（京大院、博士(理学)、2006.12～）

特任助手 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、その需要に応えて遺伝子導入技術、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、そして本学と顕微鏡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鏡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鏡技術の開発を行う。

2. 研究成果

(a) 利用実績（平成18年1～12月）

平成18年の延べ利用人数・利用時間は、443人・3084時間にのぼる(平成18年12月25日現在)。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、遺伝研・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、群馬大学からの研究者の利用があり、一般企業からも数件の利用問い合わせがあった。

また、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)。

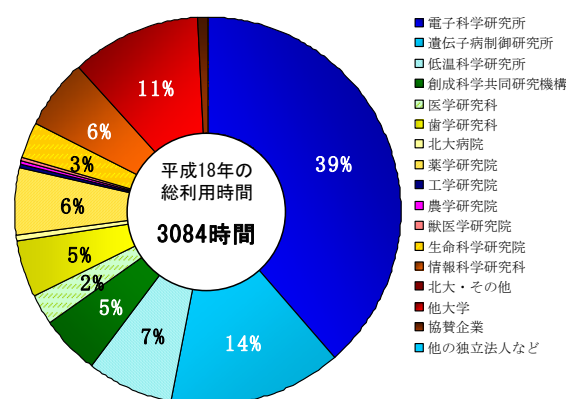


図1. イメージングセンター利用者の所属内訳

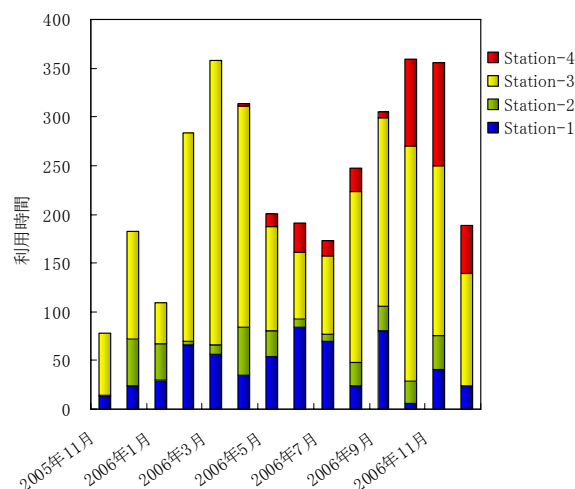


図2. イメージングセンター利用の推移

(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シング分野における今後の利用が期待される。

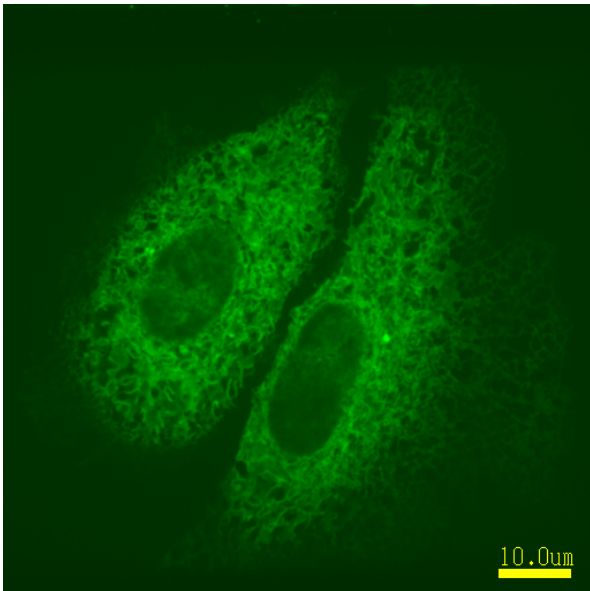


図3. 水銀アークランプを利用した CSU 共焦点システムで観察した HeLa 細胞小胞体のイメージング。

3. 今後の研究の展望

引き続き、蛍光バイオイメーシ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

4.6 特許 (発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

・国際特許

- 1) 金城政孝、田村守、齊藤健太、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

4.7 講演

i) 学会

- 1) 高橋保夫、澤田龍治、齊藤健太、金城政孝：「マルチポイント FCCS 測定による細胞内蛋白機能解析」、日本生物物理学会第43回年会、札幌市 (2005-11)

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～）

助教授 岩井俊昭（北大院、工博、2002.4～2006.3）

助手 藪 浩（北大院、理博、2004.7～）

事務補助員 曾我和美（2004.3～）

理研研究員 沢田石哲郎

（北大院、地球環境博、2004.4～）、

博士研究員 賈若（吉林大学院、工博、2005.8～）

博士課程 鶴間章典、夏 輝（シャフィ）、樋口剛志

修士課程 小幡法章、田村仁志、門間太志、大里大輔、
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。また、レーザー放射圧とナノ微粒子の自己組織化を利用して、空間光変調器を用いたレーザービーム形状の実時間コンピュータ制御による微粒子配列の制御を行う。

2. 研究成果

(a) 自己組織化による階層構造を有するナノマテリアルの創製

本研究分野では、非平衡開放系現象を用いることでハニカム状高分子フィルムやナノ構造を有する高分子微粒子などを作製し、オプティクスやエレクトロニクスを支える機能性プラスチック材料、細胞の形態・分化・増殖・機能などを制御する新規医用材料、などの開発を行っている。模式的に示すように、ハニカム構造フィルムは、二枚の多孔質膜が細い柱で支えられた構造になっている。上下二枚の多孔質膜をそれぞれ引きはがすことで、規則的に配列したピラー構造を作製することができる（図1(a)）。これらの微細構造に無電解メッキを施すことで、様々な金属種を高分子表面に形成することに成功した。図1(b), (c)に無電解メッキにより400nm程度の銀を表面に形成したハニカム構造フィルムおよびピラー構造フィルムを示す。金属をメッキすることにより、高分子のハニカム構造フィルムに高い導電性や熱伝導性、耐熱性や耐薬品性を持たせることができ、透明導電フィルム等への応用が期待される。

また、高分子溶液に貧溶媒（高分子が溶けない溶媒）を加え、良溶媒（高分子を溶かす溶媒）を蒸発させることにより、高分子の微粒子が形成されることを見いだした。ポリスチレンとポリイソブレンからなるブロック共重合体はフィルム中で数nm～数十nmのマイクロ相分離構造を形成するが、本手法を用いて微粒子を作製したところ、微粒子内部に明確なマイクロ相分離構造が形成されていることを見いだした（図1(d)）。このような階層的な構造を持つ微粒子には様々な光学機能やドラッグデリバリー機能が期待される。

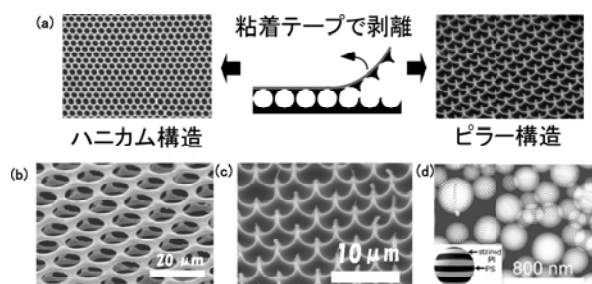


図1. 高分子ハニカム構造及びピラー構造の走査型電子顕微鏡像と模式図(a)。銀メッキされた自己組織化ハニカム(b)およびピラー(c)構造フィルムの走査型電子顕微鏡像。ポリ(スチレン-*b*-イソブレン)ブロックコポリマー微粒子の走査型透過電子顕微鏡像(d)。

(b) ハニカム構造フィルムによる細胞機能制御

すでに、ハニカム構造フィルムを培養基材にすることで、肝細胞の接着形態やスフェロイド形成能、神経幹細胞の分化・増殖能など、ハニカム構造フィルムの細孔径が細胞機能に著しく影響を及ぼすことを明らかにしてきた。細胞機能制御機構を解明するために、材料-細胞界面に発現する吸着タンパク質を調べたところ、ハニカム構造フィルムでは、フィブロネクチンが細孔周辺に局在化して吸着することが明らかになった。さらに、血管内皮細胞の焦点接着発現の様子を共焦点蛍光顕微鏡で観察した結果、5ミクロンの細孔を有するハニカム構造フィルムにおいてビンキュリンの発現量が増大することを見出した。5ミクロンのハニカム構造フィルムでは、細胞増殖率、I V型コラーゲンの産生量も他の孔径のフィルムよりも大きいことから、材料表面への接着の有り様が細胞の増殖や機能を制御している可能性が示唆された。

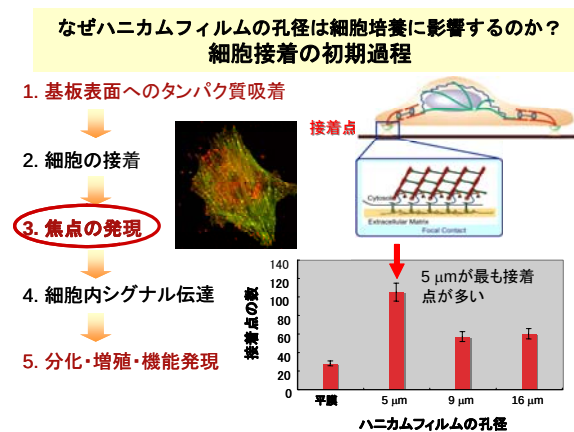


図2. ハニカム構造フィルム上における焦点接着の発現と細孔径依存性

また、医学研究科、創成科学研究機構との共同研究によって、皮膚上皮細胞の場合には孔径3mmのハニカム構造フィルム上で増殖率や細胞外マトリックスの産生量が最大になることを見出した。さらに、医療機関等との共同研究に置いて、心筋細胞、消化器系細胞、筋芽細胞、各種幹細胞などの増殖性や生存率、分化特性などにハニカム構造フィルムが著しい効果をしめすことを明らかにした。例えば、遺伝子病制御研究所との共同研究においては、癌細胞の増殖や運動性がハニカム構造フィルム上で著しく低下することを見いだした。また、帝人株式会社との共同研究において癒着防止材としての応用も進めている。

(c) 低コヒーレンス動的光散乱法の確立と液晶空間光変調器を用いた新しい光ツイーザ技術の開発

低コヒーレンス動的光散乱法の特長は高密媒質の粒質計測と界面ダイナミックスの計測である。前者については、体積濃度25%までのラテックス粒子溶液の粒径分布計測に成功し、数値シミュレーションによる計測原理確認を行った。後者に関しては、複数の微粒子を自在に配列・移動させる技術を確認し、複数の細胞を自在に配列させる技術への可能性を示した。

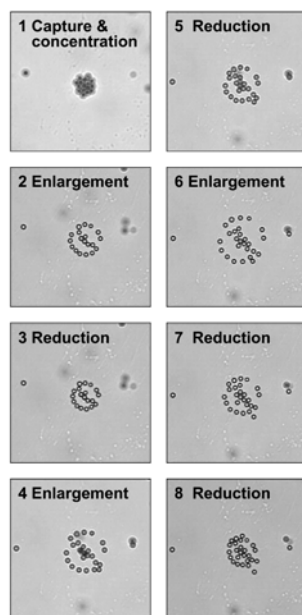


図3. 空間光変調器を用いた光ツイーザによる微粒子の捕捉、配列、及び移動の例。細孔径依存性

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。

4. 資料

4.1 学術論文等

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) H. Yabu and M. Shimomura: “Surface Properties of Self-Organized Honeycomb-Patterned Films”, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 445: 125-129 (2006)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) H. Yabu, T. Higuchi and M. Shimomura: “Unique Micro Phase Separation Structures on Block-copolymer Nanoparticles”, *Adv. Mater.*, 17(17): 2062-2065 (2005)
- 8) 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”, *Bio-resource Technology*, 96: 1955-1958 (2005)
- 9) T. Iwai and N. Mikami: “Diffusing light topography (DLT) for mapping blood vessels”, *Proc SPIE* (2005)
- 10) T. Iwai and M. Shirai: “Laser beam manipulation of particles using dynamic holograms”, *Optics & Photonics(SPIE)* (2005)
- 11) 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)
- 12) Q. 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)
- 13) H. Yabu and M. Shimomura: “Single-Step Fabrication of Transparent Superhydrophobic Porous Polymer Films”, *Chemistry of Materials*, 17(21): 5231-5234 (2005)
- 14) 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)

- 15) 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)
- 16) T. Ohzono, S. I. Matsushita and M. Shimomura: “Coupling of wrinkle patterns to microsphere-array lithographic patterns”, *Soft Matter*, 1(3): 227-230 (2005)
- 17) T. Ohzono and M. Shimomura: “Geometry-Dependent Stripe Rearrangement Processes Induced by Strain on Preordered Microwrinkle Patterns”, *Langmuir*, 21(16): 7230-7237 (2005)
- 18) T. Ohzono and M. Shimomura: “Effect of thermal annealing and compression on the stability of microwrinkle patterns”, *PHYSICAL REVIEW E*, 72: 025203 (2005)
- 19) H. Yabu, T. Higuchi, K. Iijiro and M. Shimomura: “Spontaneous Formation of Polymer Nanoparticles by Good-solvent Evaporation as Non-equilibrium Process”, *Chaos*, 15(4): 047505 (2005)

4.2 総説・解説・評論等

- 1) 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)
- 2) 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」、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、57: 27-35 (2006)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) 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)
- 9) 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)
- 10) 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

ーフエース」、M&BE、2 : 69-76 (2005)

4.3 国際会議議事録等に掲載された論文

- 1) 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)
- 2) S. Nakamura, K. Ishii and T. Iwai : “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)
- 3) T. Iwai and N. Mikami : “Diffusing light topography (DLT) for mapping blood vessels,” International Congress on Optics and Optoelectronics, Proc SPIE, Vol. 5959, 59590 E1-8 (2005-8).
- 4) T. Iwai and M. Shirai : “Laser beam manipulation of particles using dynamic holograms,” Optics & Photonics 2005, Proc SPIE, Vol. 5930, 59302D1-7(2005-7)

4.4 著書

- 1) M. Shimomura : “Dissipative Structures and Dynamic Processes for Mesoscopic Polymer Patterning”, *Nano-crystals Forming Mesoscopic Structures*, Ed. by M. P. Pileni, Wiley-VCH : 157-171 (2006)
- 2) 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 -, 第3編 第3章 : 165-174 (2005)
- 3) 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)
- 4) 岩井俊昭 : 「散乱」、光技術総合辞典 : 145-146 (2005)
- 5) 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)
- 6) 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、第6章 : 79-91(2005)

4.5 その他

- 1) 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」、Vol. 34、No. 12、657-659 (2005)
- 2) 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」、Vol. 34、No. 11、1 (861) (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) 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

- 2) 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 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 米田修敏、小島伸俊、赤崎秀一、岩井俊昭、2004-278499、皮膚の光学的性状の計測装置、2005年9月24日
- 10) 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
- 11) 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
- 12) 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
- 13) 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
- 14) 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
- 15) 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
- 16) 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
- 17) 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
- 18) 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
- 19) 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
- 20) 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
- 21) 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

4.7 講演

i) 学会

- 1) 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、日本大学 (2006-03)
- 2) 樋口剛志、藪 浩、下村政嗣：「ラメラ構造を有する微粒子からのナノディスク構造体の作製」、2006年(平成18年) 春季第53回応用物理学関係連合講演会、武蔵工業大学 (2006-03)
- 3) 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、武蔵工業大学 (2006-03)
- 4) 平井 悠司、藪 浩、下村政嗣：「自己組織化による金属ナノピラー構造体の作製」、2006年(平成18年) 春季第53回応用物理学関係連合講演会、武蔵工業大学 (2006-03)
- 5) 大里大輔、田中賢、山本貞明、樋口剛志、藪 浩、下村政嗣：「自己組織化析出法による薬剤担持微粒子の作製およびその評価」、第5回日本再生医療学会総会、岡山コンベンションセンター (2006-03)
- 6) D. Osato, T. Higuchi, H. Yabu, M. Tanaka, S. Yamamoto and M. Shimomura : “Fabrication of biodegradable particles by self-organized precipitation method”, PACIFICHEM 2005, Honolulu, Hawaii, USA (2005-12)
- 7) T. Higuchi, H. Yabu and M. Shimomura : “Preparation of phase separation structures in block copolymer nanoparticles”, PACIFICHEM2005, Honolulu, Hawaii, USA (2005-12)
- 8) F. Monma, A. Tsuruma, Y. Matsuo, J. Hotta, A. Tanaka, S. Yamamoto, K. Sasaki, K. Ijro, H. Nakamura and M. Shimomura : “Control of neuron alignment with optical tweezers”, SPIE International Symposium Microelectronics, MEMS, and Nanotechnology, Brisbane, Australia (2005-12)
- 9) H. Yabu, T. Higuchi and M. Shimomura : “Hierarchic Self-assembly in Block-copolymer Nanoparticles”, SPIE International Symposium Microelectronics, MEMS, and Nanotechnology, Brisbane, Australia (2005-12)
- 10) H. Yabu, T. Higuchi and M. Shimomura : “Hierarchic Self-Assembly in Block-Copolymer Nanoparticles”, SPIE International Symposium on Optomechatronic Technologies (ISOT 2005), Sapporo (2005-12)
- 11) 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、日本都市センター会館 (2005-11)
- 12) 鶴間章典、田中賢、山本貞明、下村政嗣：「自己組織化パターン上のアストロサイトの接着挙動と形態変化」、第27回日本バイオマテリアル学会大会、京都テルサ (2005-11)
- 13) 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」、第25回表面科学講演大会、大宮ソニックシティー (2005-11)
- 14) A. Tsuruma, M. Tanaka, S. Yamamoto and M. Shimomura : “Attachment and behavior of astrocytes on micro-patterned substrates”, International Symposium on Surface Science and Nanotechnology (ISSS-4), Saitama (2005-11)
- 15) H. Yabu, T. Higuchi and M. Shimomura : “Preparation of Nanoparticles with Unique Hierarchic Structures”, KJF2005, Daejeon, Korea (2005-10)
- 16) M. Kojima, H. Yabu and M. Shimomura : “Preparation of Stable Honeycomb-structured Films by Using Photo-crosslinking Reaction”, KJF2005, Daejeon, Korea (2005-10)
- 17) M. Shimomura, H. Yabu and M. Tanaka : “Biomedical Application of Patterned Polymer Films Prepared by Self-organization”, The International 21st Century COE Symposium of BINDEC Chemistry Network (BINDEC 2005), Osaka (2005-10)
- 18) M. Shimomura : “Bottom-up Strategy and Self-Organization”, Japan-UK Symposium on Promotion of Regional Partnerships on Nanotechnology Development, Hokkaido Univ. (2005-10)
- 19) H. Yabu, T. Higuchi and M. Shimomura : “Unique Phase Separation Structure of Block-copolymer Nanoparticles Prepared by Self-Organization”, International Symposium on Organic, Inorganic, and Hybridized Nanomaterials, Tohoku Univ. (2005-10)
- 20) H. Yabu, M. Tanaka and M. Shimomura : “A Novel Micro and Nano Fabrication Technology of Polymer Materials based on Self-Organization”, MATNON'05, Kyoto (2005-09)
- 21) 藪 浩、樋口剛志、下村政嗣：「階層的な構造を持つ高分子ナノ微粒子の作製」、第54回高分子学会討論会、山形大学 (2005-09)

- 22) 大里大輔、樋口剛志、藪 浩、田中賢、山本貞明、下村政嗣:「自己組織化析出法による新規生分解性微粒子の作製および DDS への応用」、第54回高分子学会討論会、山形大学 (2005-09)
- 23) 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)
- 24) Y. Uraki, Y. Tamai, T. Kishimoto, M. Ubukata, H. Yabu, M. Tanaka and M. Shimomura : “Fabrication of Honeycomb-Patterned Bacterial Cellulose”, Japanese-European Workshop on Cellulose and Functional Polysaccharides, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Austria (2005-09)
- 25) 樋口剛志、藪 浩、下村政嗣:「ブロックコポリマー微粒子における相分離構造変化」、2005年秋季 第66回応用物理学会学術講演会、徳島大学 (2005-09)
- 26) 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回応用物理学会学術講演会、徳島大学 (2005-09)
- 27) 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、徳島大学 (2005-09)
- 28) 藪 浩、樋口剛志、下村政嗣:「高分子微粒子の作製法の開発と階層的構造制御」、2005年秋季 第66回応用物理学会学術講演会、徳島大学 (2005-09)
- 29) 児島美季、藪 浩、下村政嗣:「耐熱性と耐溶剤性を持つハニカム構造の作製」、2005年秋季 第66回応用物理学会学術講演会、徳島大学 (2005-09)
- 30) S. Yamamoto, H. Sunami, M. Tanaka, K. Arai, S. Yamashita, Y. Morita and M. Shimomura : “Adsorption structure of fibronectin on a honeycomb-patterned thin film related with initial phase of interaction between cells and the surface in culture”, ECOSS 23(European Conference on Surface Science), Berlin, Germany (2005-09)
- 31) H. Sunami, E. Ito, M. Tanaka, S. Yamamoto and M. Shimomura : “Fabrication of ECM adsorbed honeycomb films which can control the cell adhesion”, ECOSS 23(European Conference on Surface Science), Berlin, Germany (2005-09)
- 32) S. Yamamoto, H. Sunami, M. Tanaka, K. Arai, S. Yamashita, Y. Morita and M. Shimomura : “Adsorption structure of fibronectin on a honeycomb-patterned thin film related with initial phase of interaction between cells and the surface”, 4th Annual Meeting of the European Tissue Engineering Society (ETES2005), Munich, Germany (2005-08)
- 33) H. Sunami, E. Ito, M. Tanaka, S. Yamamoto and M. Shimomura : “Control of cell proliferation by using ECM adsorbed honeycomb film”, 4th Annual Meeting of the European Tissue Engineering Society (ETES2005), Munich, Germany (2005-08)
- 34) T. Iwai and N. Mikami : “Diffusing light topography (DLT) for mapping blood vessels”, International Congress on Optics and Optoelectronics (SPIE), Warsaw, Poland (2005-08)
- 35) H. Yabu, T. Higuchi and M. Shimomura : “Novel Preparation Method of Polymer Nanoparticles”, Particles 2005, San Francisco, USA (2005-08)
- 36) T. Iwai and M. Shirai : “Laser beam manipulation of particles using dynamic holograms”, Optics & Photonics(SPIE), San Diego, USA (2005-07)
- 37) H. Yabu, T. Higuchi and M. Shimomura : “Phase-separation structures in block-copolymer nanoparticles”, Dynamics Days 2005, Berlin, Germany (2005-07)
- 38) 齊藤充弘、竹谷哲、井手秀宣、新井景子、田中賢、下村政嗣、澤芳樹:「心筋再生用ハニカム構造スキャフォールドの筋芽細胞分化増殖に与える影響」、第26回日本炎症・再生医学会、京王プラザホテル(東京) (2005-07)
- 39) M. Tanaka, A. Takayama, S. Yamamoto and M. Shimomura : “Novel Micro and Nano Surface Fabrication Technology based on Self-organization for Tissue Engineering Scaffolds”, The 11th International Conference on Organized Molecular Films(LB11), Sapporo (2005-06)
- 40) H. Sunami, E. Ito, M. Tanaka, S. Yamamoto and M. Shimomura : “Fabrication of ECM adsorbed honeycomb films which can control the cell adhesion”, The 11th International Conference on Organized Molecular Films(LB11), Sapporo (2005-06)
- 41) A. Tsuruma, M. Tanaka, N. Fukushima, S. Yamamoto and M. Shimomura : “Regulation of neural stem cell differentiation and reconstruction of neural network by self-organized patterned film”, The 11th International Conference on Organized Molecular Films(LB11), Sapporo (2005-06)
- 42) H. Yabu, M. Tanaka and M. Shimomura : “Patterned Polymer Thin Films for Tissue Engineering”, The 11th International Conference on Organized Molecular Films(LB11), Sapporo (2005-06)
- 43) T. Higuchi, H. Yabu and M. Shimomura : “Phase separation structures of block copolymers in nano-particles”, The 11th International Conference on Organized Molecular Films(LB11), Sapporo (2005-06)
- 44) D. Osato, T. Higuchi, H. Yabu, M. Tanaka, S. Yamamoto and M. Shimomura : “Fabrication of Biodegradable Particles by Self-Organized Precipitation Method”, The 11th International Conference on Organized Molecular Films (LB11), Sapporo (2005-06)
- 45) M. Kojima, H. Yabu and M. Shimomura : “Preparation of

- Honeycomb-Patterned Film Photocross-linked Agents”, The 11th International Conference on Organized Molecular Films(LB11), Sapporo (2005-06)
- 46) T. Higuchi, H. Yabu and M. Shimomura : “Nano-particles with phase separation structures based on the self-assembly of block copolymers”, ISSN2005, Hokkaido Univ. (2005-06)
 - 47) 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)
 - 48) 岡嶋孝治、田中賢、石井勝弘、徳本洋志：「AFM による細胞表面のナノ計測」、高分子学会(第54回年次大会)、横浜 (2005-05)
 - 49) 児島 美季、藪 浩、下村政嗣：「光架橋性樹脂によるハニカムフィルムの作製」、第54回高分子学会年次大会、パシフィコ横浜 (2005-05)
 - 50) 藪 浩、下村政嗣：「サブミクロンの孔径を持つハニカム構造化フィルムの作製」、第54回高分子学会年次大会、パシフィコ横浜 (2005-05)
 - 51) 大里大輔、樋口剛志、藪 浩、田中賢、山本貞明、下村政嗣：「自己組織化析出法による DDS 用生分解性微粒子の作製」、第54回高分子学会年次大会、パシフィコ横浜 (2005-05)
 - 52) 樋口剛志、藪 浩、下村政嗣：「ナノサイズの周期構造を有するブロックコポリマー微粒子の作製」、第54回高分子学会年次大会、パシフィコ横浜 (2005-05)
 - 53) 山本貞明、角南寛、田中賢、松尾保孝、居城邦治、山下 慈京子、森田有香、下村政嗣：「ハニカムフィルムによる細胞外マトリックスの吸着制御」、第54回高分子学会年次大会、パシフィコ横浜 (2005-05)
 - 54) 朝日知歩、田中賢、山本貞明、下村政嗣：「ハニカム構造フィルムを用いた医療デバイスの作製」、第54回高分子学会年次大会、パシフィコ横浜 (2005-05)
 - 55) 伊藤 絵美子、高山あい子、田中賢、山本貞明、下村政嗣：「自己組織化多孔室膜の孔径変化による血管内皮細胞機能制御」、第54回高分子学会年次大会、パシフィコ横浜 (2005-05)
 - 56) 角南寛、田中賢、山本貞明、伊土 直子、下村政嗣：「温度応答性高分子薄膜に吸着した細胞外マトリックスの水中 AFM 観察」、第54回高分子学会年次大会、パシフィコ横浜 (2005-05)
 - 57) 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)
 - 58) 中村 真一、石井勝弘、岩井俊昭：「低コヒーレンス干渉法における多重散乱の影響」、第52回応用物理学関係連合講演会、大宮 (2005-03)
 - 59) 夏 輝、石井勝弘、岩井俊昭：「低コヒーレンス動的光散乱法における Wall-Drag 効果の影響」、第52回応用物理学関係連合講演会、大宮 (2005-03)
 - 60) 三上直樹、岩井俊昭：「半導体共振ミラーを用いた拡散光トポグラフィ法による血管造影」、第52回応用物理学関係連合講演会、大宮 (2005-03)
 - 61) 中川拓也、岩井俊昭、奥村聡：「レーザ散乱光を用いた花粉センサー」、第52回応用物理学関係連合講演会、大宮 (2005-03)
 - 62) 白井瑞之、岩井俊昭：「空間変調レーザービーム形成法による動的微粒子マニピュレーション」、第52回応用物理学関係連合講演会、大宮 (2005-03)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) 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, UK (2006-03)
 - 2) M. Tanaka, H. Sunami, S. Yamamoto and M. Shimomura : “Design of microporous polymer film “Self-organized Honeycomb Patterned Film” as advanced biomaterials and tissue engineering”, 2nd UK-Japan Symposium on Promotion of Regional Partnerships on Nanotechnology Development, Newcastle, UK (2006-03)
 - 3) 田村仁志、松下通明、築山周作、松本秀一郎、敦賀陽介、孫白龍、蒲池浩文、田中賢、山本貞明、下村政嗣、藤堂省：「ハニカム膜による成熟肝細胞・小肝細胞の機能・接着形態制御」、第5回日本再生医療学会総会、岡山コンベンションセンター (2006-03)
 - 4) H. Yabu, M. Tanaka and M. Shimomura : “Novel Nano- and Micro- Fabrication Technique of Polymer Materials Based on Self-Organization”, The Sixth France-Japan Workshop on Nanomaterials, Sapporo (2006-03)
 - 5) H. Yabu, T. Higuchi and M. Shimomura : “Self-organization of Polymeric Materials in Nanoparticles”, The Sixth France-Japan Workshop on Nanomaterials, Sapporo (2006-03)
 - 6) 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、東京工業大学 (2006-03)
 - 7) 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、千歳アルカディア・プラザ (2006-02)
 - 8) 田村仁志、松下通明、築山周作、松本秀一郎、敦賀陽介、孫白龍、蒲池浩文、田中賢、山本貞明、下村政嗣、藤堂省：「成熟肝細胞・小肝細胞の足場としてのハニカムパターン化フィルムの基礎的研究」、高分子学会第40

- 回北海道支部研究発表会、北海道大学 (2006-01)
- 9) 樋口剛志、藪 浩、下村政嗣:「ブロックコポリマー微粒子の内部構造の解析」、高分子学会第40回北海道支部研究発表会、北海道大学 (2006-01)
 - 10) 大里大輔、田中賢、山本貞明、樋口剛志、藪 浩、下村政嗣:「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」、高分子学会第40回北海道支部研究発表会、北海道大学 (2006-01)
 - 11) 吉澤恵子、田中賢、鶴間章典、角南寛、山本貞明、下村政嗣:「ハニカムフィルム表面でのハイドロキシアパタイト析出制御」、高分子学会第40回北海道支部研究発表会、北海道大学 (2006-01)
 - 12) 平井悠司、藪 浩、下村政嗣:「自己組織化によるピラー構造体の作製とその金属化」、高分子学会第40回北海道支部研究発表会、北海道大学 (2006-01)
 - 13) 田村仁志、松下通明、築山周作、松本秀一郎、敦賀陽介、孫白龍、蒲池浩文、田中賢、山本貞明、下村政嗣、藤堂省:「肝細胞の足場としてのハニカム状パターン化膜の基礎的研究」、第18回代用臓器・再生医学研究会、北海道大学 (2006-01)
 - 14) T. Higuchi, H. Yabu and M. Shimomura: “Phase-separation structured nano-particles based on the self-assembly of block copolymers”, The 7th RIES-Hokudai International Symposium on “命” [Mei], Sapporo (2005-12)
 - 15) T. Higuchi, H. Yabu and M. Shimomura: “Hierarchically Structured Block Copolymer Nanoparticles”, 日韓高分子若手研究者交流会, Hokkaido Univ. (2005-11)
 - 16) 下村政嗣:「北海道ものづくり復権とナノテクノロジー」、北大リサーチ&ビジネスパークフォーラム、アクセスサッポロ (2005-11)
 - 17) 岩井俊昭:「濃厚媒質の新しい粒径計測法への挑戦-低コヒーレンス動的光散乱法-」、第5回 Kyoto Fine Particle Technology シンポジウム、京都 (2005-11)
 - 18) 下村政嗣:「自己組織化による高分子のマикро・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 全日本科学機器展in大阪2005、インテックス大阪 (2005-10)
 - 19) 岩井俊昭:「光マニピュレーションの新展開」、第2回バイオオプティクス研究会、札幌 (2005-10)
 - 20) 岩井俊昭:「レーザー放射圧の時空制御と微粒子操作」、第2回バイオオプティクス研究会—バイオとオプティクスの融合—、札幌 (2005-10)
 - 21) S. Nakamura, K. Ishii and T. Iwai: “Numerical simulation of scattering point distribution of path-length-resolved scattered light”, The Sixth Japan-Finland Joint Symposium on Optics in Engineering, Sapporo (2005-09)
 - 22) 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, Sapporo (2005-09)
 - 23) 夏 輝、中村真一、石井勝弘、岩井俊昭:「多重散乱光の光路長分解パワースペクトル」、第66回応用物理学会学術講演会、徳島 (2005-09)
 - 24) 大里大輔、樋口剛志、藪 浩、田中賢、山本貞明、下村政嗣:「自己組織化析出法による DDS への応用を目指した性分解性微粒子の作製」、北海道高分子若手研究会 & 20th Summer University in Hokkaido 合同研究会2005、新しのつ温泉たつぷの湯 (2005-08)
 - 25) 角南寛、田中賢、山本貞明、伊藤 絵美子、下村政嗣:「ハニカムフィルムを用いたタンパク質吸着および細胞接着の制御」、北海道高分子若手研究会 & 20th Summer University in Hokkaido 合同研究会2005、新しのつ温泉たつぷの湯 (2005-08)
 - 26) 鶴間章典、田中賢、福嶋伸之、下村政嗣:「高分子の自己組織化パターンによる神経幹細胞の増殖・分化制御と神経回路構築」、北海道高分子若手研究会 & 20th Summer University in Hokkaido 合同研究会2005、新しのつ温泉たつぷの湯 (2005-08)
 - 27) 児島 美季、藪 浩、下村政嗣:「耐溶媒性のあるハニカムフィルムの作製」、北海道高分子若手研究会 & 20th Summer University in Hokkaido 合同研究会2005、新しのつ温泉たつぷの湯 (2005-08)
 - 28) 松永直樹、富永英作、澤泰久、田中賢、野上淳嗣、下村政嗣、村田朋美:「ハニカムポリマー膜を用いた SPM の個別捕集と迅速分析」、第22回エアロゾル科学・技術研究討論会、大阪府立大学 (2005-07)
 - 29) 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、北海道大学 (2005-07)
 - 30) 桑原孝助、宮内昭浩、野村しのぶ、小島弘子、植村寿公、鶴間章典、田中賢、山本貞明、下村政嗣:「ナノインプリントの細胞培養への応用」、応用物理学会 次世代リソグラフィワークショップ、日本科学未来館 (2005-07)
 - 31) 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、北海道大学 (2005-07)
 - 32) 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、東京流通センター (2005-04)
 - 33) 樋口剛志、藪 浩、下村政嗣:「ブロックコポリマー微粒子における相分離構造の形成」、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)
 - 34) 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、埼玉大学 (2005-03)

- 35) 藪 浩、下村政嗣:「自己組織化による透明超撥水膜の作製」、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)
- 36) 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)

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) 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)
 - 2) 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)
 - 3) 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)
 - 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: “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)
- ##### ・一般のシンポジウム
- 1) 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(トヨタ自動車株式会社): 「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(三井化学株式会社): 「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(東海ゴム工業株式会社): 「散逸構造のエレクトロニクス部材への応用研究」、2004～2005年度
- 2) 下村政嗣(古河電気工業株式会社): 「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～現在
- 3) 下村政嗣(トヨタ自動車株式会社): 「自己組織化によるナノコーティング加工研究」、2003年度～現在
- 4) 下村政嗣(テルモ株式会社): 「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～現在
- 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

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) 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
- 2) 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

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、未定
- 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に孔膜の単一工程製造技術の開発」、2004～2005年度、未定
- 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、未定

4.12 社会教育活動

b. 国内外の学会の役職

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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)

- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) 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)

c. 併任・兼業

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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)

d. その他

- 1) 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)

e. 新聞・テレビ等の報道

・新聞

- 1) 下村政嗣：科学新聞 2006年3月17日「神経細胞 増殖・分化制御」
- 2) 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」
- 3) 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」
- 4) 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」
- 5) 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」
- 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) 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」

・雑誌

- 1) 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」

- 2) 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」
- 3) 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つくり出したナノマテリアルで細胞培養を制御する」

f. 外国人研究者の招聘 (氏名、国名、期間)

- 1) Stephen John Bull、UK、2005年10月1日～2005年10月7日
- 2) Mark Andrew Birch、UK、2005年10月1日～2005年10月7日
- 3) Nicholas Wright、UK、2005年10月1日～2005年10月7日
- 4) Barry Gallaher、UK、2005年10月1日～2005年10月7日
- 5) Andrew Houlton、UK、2005年10月1日～2005年10月7日
- 6) John Hedley、UK、2005年10月1日～2005年10月7日
- 7) Andrew Pike、UK、2005年10月1日～2005年10月7日
- 8) 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) 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
- 2) 理学部、超分子化学、下村政嗣、2005年10月1日～2006年3月31日
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 理学研究科、論文講読Ⅰ、下村政嗣、2005年4月1日～2006年3月31日
- 6) 理学研究科、論文講読Ⅱ、下村政嗣、2005年4月1日～2006年3月31日
- 7) 理学研究科、論文講読Ⅲ、下村政嗣、2005年4月1日～2006年3月31日
- 8) 理学研究科、特別研究Ⅰ、下村政嗣、2005年4月1日～2006年3月31日
- 9) 理学研究科、特別研究Ⅱ、下村政嗣、2005年4月1日～2006年3月31日
- 10) 理学研究科、特別研究Ⅲ、下村政嗣、2005年4月1日～2006年3月31日
- 11) 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

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、超分子化学特論Ⅰ、下村政嗣、2005年10月1日～2006年3月31日
- 2) 理学部、超分子化学、下村政嗣、2005年10月1日～2006年3月31日
- 3) 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
- 4) 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

- 5) 理学研究科、論文講読Ⅰ、下村政嗣、2005年4月1日～2006年3月31日
- 6) 理学研究科、論文講読Ⅱ、下村政嗣、2005年4月1日～2006年3月31日
- 7) 理学研究科、論文講読Ⅲ、下村政嗣、2005年4月1日～2006年3月31日
- 8) 理学研究科、特別研究Ⅰ、下村政嗣、2005年4月1日～2006年3月31日
- 9) 理学研究科、特別研究Ⅱ、下村政嗣、2005年4月1日～2006年3月31日
- 10) 理学研究科、特別研究Ⅲ、下村政嗣、2005年4月1日～2006年3月31日
- 11) 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

j. 修士学位及び博士学位の取得状況

・修士課程（2名）

山本条太郎、山本郁恵

・博士後期課程（1名）

夏 輝

・博士論文

- 1) 夏 輝：Low-Coherence Dynamic Light Scattering from Dense Media

ナノデバイス研究分野

教 授 辻井 薫 (阪大院、理博、2003.3～)
助 手 眞山博幸 (北大院、博(工)、2003.5～)
助 手 松尾 剛 (慶大院、博(工)、2003.7～)
学術研究員 巖 虎
COE 研究員 方 文軍
院 生 陳 新江 (D1: 理学研究科)
黒木一誠、石原敬基 (M1: 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、メゾスコピック、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して掲げる。

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) 分子組織ナノ構造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分子組織ナノ構造体(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、この系に流動のシェアをかけて、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。各種の分子組織ナノ構造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

(a) 耐久性超撥水／高撥油フラクタル表面の開発

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、表面にフッ素系の物質を選ぶことにより、油をはじく超(高)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(AKD)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、世界で最もよく水をはじく表面である。しかしながら、この超撥水表面はワックスであるが故に温度や有機溶剤に対する耐久性が悪く、実用化への障害となっている。そこで耐熱性、耐溶剤性の高いポリアルキルピロールのフラクタル表面を電解酸化重合法で作製し、超撥水材料を開発した。更にその表面をフッ素系のシランカップリング剤で被覆することにより、サラダ油に対する接触角が 135° の高撥油表面が得られた。

(b) フラクタル立体の創製とその応用

フラクタル構造の機能性材料への展開は、表面だけに止まらない。もし3次元未満のフラクタル立体(例えば、Menger Sponge)が現実の物体として実現すれば、体積0(空間ばかり)の物体が出来ることになる。もしその様な物体



図1. 超撥水フラクタル表面上の水滴。材料はAKDで、接触角は 174°

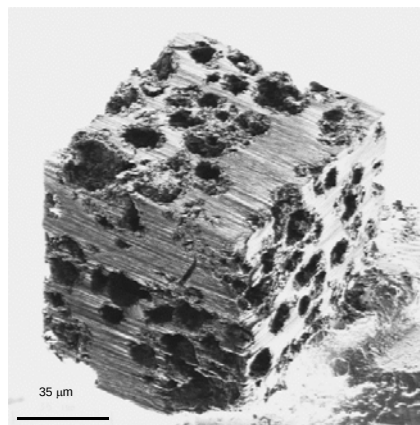


図2. 表面がフラクタル構造であるAKD粒子をTemplateに用いて合成したフラクタル立体。Menger Spongeに類似の構造を有する

が実現可能であれば、断熱材、吸着剤等として極めて有効であろうと推定できる。勿論、現実の物体として体積0の立体は不可能であるが、極限的に比容積の大きな物体の可能性が期待できる。図2に、我々が最近合成に成功した、Menger Sponge に近い構造を有するフラクタル立体の電子顕微鏡写真を示す。この立体の空隙率はまだ96%程度であるが、今後、より理想的なフラクタル立体の合成に挑戦する予定である。

(c) 二分子膜固定化ヒドロゲルの合成とその物性

重合性の界面活性剤 (DGI) 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 (NIPA) 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3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。更に、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。我々は極最近、二分子膜だけを先に重合し、後でその間隙の水相で NIPA ゲルを合成することによって、世界一早く収縮する NIPA ゲルの作製に成功した。図4にその写真を示す。昇温による NIPA ゲルの相転移が、僅か15秒で完了することが分かる。

(d) 高分子界面活性剤ミセル構造を内包した NIPA ゲルの高速相転移挙動

二分子膜以外の分子組織ナノ構造体として、高分子界面活性剤のミセルを内包した NIPA ゲルを合成した。このミセル内包 NIPA ゲルも、元の NIPA ゲルに比べて相転移速度が大変速いという面白い性質を示す。更にこの性質を利用して、表と裏で膨潤/収縮速度の異なる bimorph ゲルの作製にも成功した。

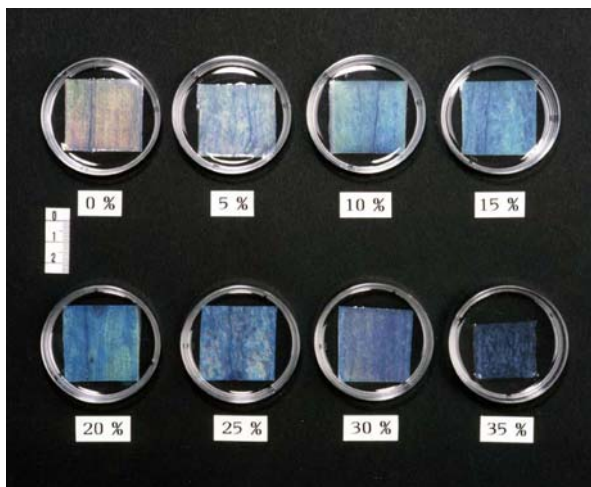


図3. 二分子膜の規則構造を固定化した発色性ヒドロゲル。ゲルの膨潤/収縮によって色が変わる

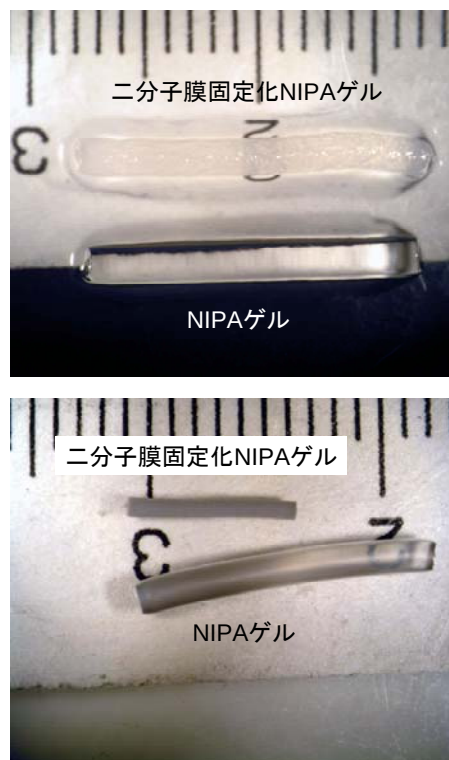


図4. 世界一の超高速収縮性を示す二分子膜固定化 NIPA ゲル。上図は相転移前のゲルで、下図は 40℃のホットプレートに置いて約 15 秒後のゲル。二分子膜固定化 NIPA ゲルは既に収縮が完了している

3. 今後の研究の展望

フラクタル・ナノテクノロジーでは、超撥水/超撥油表面の実用化を目指す。上記のポリアルキルピロール膜の更なる耐久性向上を目指すとともに、新たなモノマーの開発により、超撥油性の付与にも挑戦する。フラクタル表面の濡れ以外への展開として、生物細胞の接着性に関する研究も行っている。細胞が、平らな表面とは明らかに異なる挙動をすることが分かってきた。更に、フラクタル立体の研究においては、その特異な物性の開拓を行う。

二分子膜固定化ヒドロゲルについては、ゲル電気泳動基材としての応用の研究を行っている。超高速収縮ゲルや高分子界面活性剤ミセルを内包した NIPA ゲルについては、その応用研究も実施する。二分子膜以外の分子組織ナノ構造体 (例えば、棒状ミセルや液晶) の配向構造を利用して、異方性ゲルを作製する試みにも挑戦する。更に、異方性ゲルの応用について検討する。一方向あるいは二方向のみに関して膨潤/収縮するという特徴的な性質には、きっと面白い応用分野があるものと期待している。

4. 資料

4.1 学術論文等

- 1) T. Sakai, Y. Kaneko and K. Tsujii : “Premicellar Aggregation of Fatty Acid N-Methylethanolamides in Aqueous Solutions”, *Langmuir*, 22(5) : 2039-2044 (2006)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) H. Yan and K. Tsujii : “Novel Bimorph-Structured Hydrogel Containing Segregated Polymer Surfactant”, *Polymer Journal*, 37(11) : 858-861 (2005)
- 7) 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)
- 8) 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)
- 9) Y. Nonomura, S. Komura and K. Tsujii : “Surface-Active Particles with Microstructured Surfaces”, *Langmuir*, 21(21) : 9409-9411 (2005)

4.2 総説・解説・評論等

- 1) 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)
- 2) 厳 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)
- 3) 厳 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)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) K. Tsujii : “Origin of Originality and Soft Matter”, *Soft*

Matter, 1(6) : 405 (2005)

4.4 著書

- 1) 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)
- 2) 辻井薫:「第1編・第4章・第1節 リボ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」、リボ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)
- 3) 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)
- 4) 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)

4.5 その他

- 1) 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)

4.6 特許 (発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

・国内特許

- 1) 厳 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

4.7 講演

i) 学会

- 1) 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)
- 2) 厳 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)
- 3) 黒木一誠、厳 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」、高分子学会第40回北海道支部冬季研究発表会、札幌 (2006-01)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 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)

- 7) 厳 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)
- 8) 厳 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)
- 9) 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)
- 10) 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)
- 11) 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)
- 12) 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)
- 13) 厳 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)
- 14) 黒木一誠、厳 虎、眞山博幸、辻井薫：「超撥水ポリピ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)
- 15) 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)
- 16) 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)
- 17) 出口茂、Alargova G. Rossitza、辻井薫、堀越弘毅：「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)
- 18) 出口茂、向井貞篤、Ghosh K. Swapan、辻井薫、堀越弘毅：「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)
- 19) Ghosh K. Swapan、出口茂、堀越弘毅、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)
- 20) 出口茂、津留美紀子、辻井薫、伊藤進、堀越弘毅：「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)
- 21) Ghosh K. Swapan、出口茂、辻井薫、堀越弘毅：「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)
- 22) 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)
- 23) 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)
- 24) 厳 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、公立ほこだて未来大学 (函館市) (2005-07)
- 25) 黒木一誠、厳 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)
- 26) 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)
- 27) 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)
- 28) S. Mukai, S. Deguchi, K. Tsujii and K. Horikoshi : “Direct Observation of Colloids in Supercritical Fluids”, 6th Liquid Matter Conference, Utrecht, Netherland (2005-07)
- 29) 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)
- 30) 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)
- 31) 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)

- poro (2005-06)
- 32) 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)
 - 33) 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)
 - 34) 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)
 - 35) 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)
 - 36) H. Mayama and K. Tsujii : “Creation of a Fractal Body”, The 11th International Conference on Organized Molecular Films, Sapporo (2005-06)
 - 37) 厳 虎、辻井薫 : 「高分子界面活性剤のミセルを封入した NIPA-PMDP ゲル系」、第54回高分子学会年次大会、パシフィコ横浜 (2005-05)
 - 38) 黒木一誠、厳 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)
 - 39) 江口和輝、厳 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)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) 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)
 - 2) 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)
 - 3) 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)
 - 4) H. Yan and K. Tsujii : “Super Water-repellent Surfaces and Rapid Stimuli-Responsive Hydrogels”, Multi-Institutional International Symposium on “命”[mei], Sapporo (2005-12)
 - 5) 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)
 - 6) 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)
 - 7) 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)
 - 8) 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)
 - 9) 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)
 - 10) 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)
 - 11) 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)
 - 12) 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)
 - 13) 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)
 - 14) 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)
 - 15) G. Matsuo, S. Olle and K. Tsujii : “Synthesis and Properties of Hybrid Gels Containing Polymerizable surfac-

tants”, GelSympo 2005, Hokkaido University (Sapporo) (2005-10)

- 16) 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）
- 17) 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）
- 18) 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）
- 19) 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)
- 20) G. Matsuo, K. Koji, H. Nobuyuki, M. Hiroko and N. Tardashi : “Total Synthesis of Brevetoxin B”, Trends in organic chemistry “Synthetic Receptors”, Lund University, Sweden (2005-06)

iii) コロキウム・セミナー等・その他

- 1) 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）
- 2) 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）
- 3) 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）

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) 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）

4.9 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) 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、重合直前にシェ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。

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) 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。

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) 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。

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) 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
- 2) 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

4.12 社会教育活動

a. 公的機関の委員

- 1) 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）
- 2) 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）
- 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：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）

b. 国内外の学会の役職

- 1) 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）
- 2) 辻井薫：極限環境微生物学会・評議員（2003年12月1日～現在）

d. その他

- 1) 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）

e. 新聞・テレビ等の報道

・新聞

- 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。」

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. 北大での担当授業科目（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、2005年10月1日～2006年3月31日
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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

i. ポスドク・客員研究員など

- ・ポスドク（3名）
方文軍（電子科学研究所）、陳新江（電子科学研究所）、
巖 虎（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（2名）
黒木一誠、石原敬基

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 (東工大院、理博、2003.4～)

助 手 畔原宏明 (東工大院、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)

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カーボンナノチューブ(CNT)の研究を行っている。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) 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1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ースカーブ(図1(a))と非線形形のフォースカーブ(図1(b))

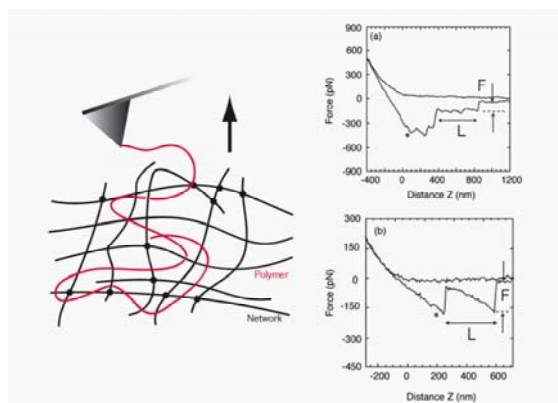


図1. 高分子ゲル基板を用いた非特異的分子間相互作用の1分子延伸測定法の概念図(左図)。一定力のフォースカーブ((a): 右上)と非線形形のフォースカーブ((b): 右下)。これらの延伸距離Lと延伸力Fのゲル網目構造依存性を調べた。

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-2) 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、そのとき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2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。本研究は、北海道大学・創成科学研究機構・移植医療・組織工学分野および電子科学研究所・附属ナノテクノロジー研究センター・ナノ材料研究分野との共同研究である。

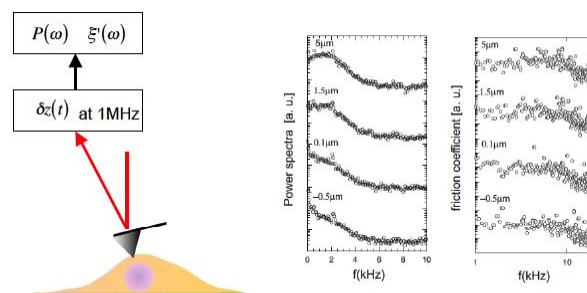


図2. 細胞表面の熱揺らぎ計測法の概念図(右)とカンチレバーの熱振動スペクトル・摩擦係数の周波数依存性(左)。

(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) 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3）。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。

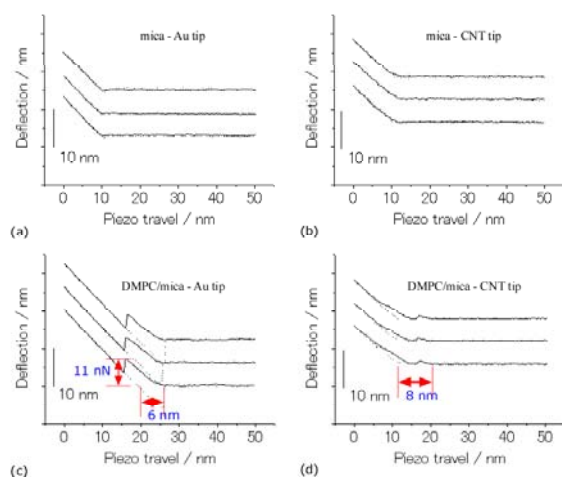


図3. シリコン製ピラミダル探針およびCNT探針を用いたフォースカーブ測定。前者では脂質二分子膜は探針により穿孔され(c)、CNT探針では膜が穿孔される代わりに圧縮された(d)。どちらの場合も複数回にわたりフォースカーブが再現されることから、穿孔あるいは圧縮後は元通りに復元していると考えられる。

(b-2) 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 (-NH₂) 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4）。

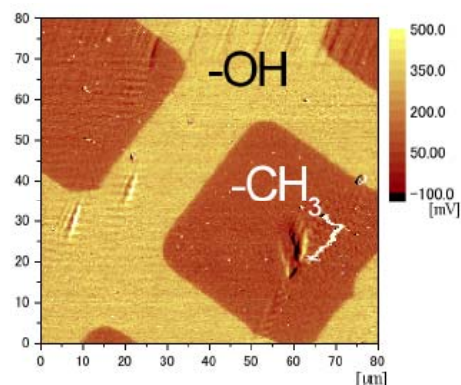


図4. 先端にカルボキシル基を持つCNT探針を用い、それぞれ-OH基（親水性）と-CH₃基（疎水性）で終端したパターン試料における摩擦力画像。

(c) 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、九大先端研の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-北大包括連携の中で行った。

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、「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」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. Kazuui, 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. Kazuui, 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)

4.4 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

4.7 講演

i) 学会

- 1) 門脇翼、岡嶋孝治、徳本洋志 : 「AFM を用いた高分子ゲル表面の力学測定」、日本物理学会 (第61回年次大会)、松山 (2006-03)
- 2) 菅洋志、大野輝昭、阿部秀和、田中深雪、西岡泰城、徳本洋志、清水哲夫 : 「カーボンナノチューブ電子源のSEM 搭載による評価」、春季第53回応用物理学関係連合講演会、武蔵工業大学、東京 (2006-03)
- 3) 畔原宏明、岡嶋孝治、徳本洋志 : 「カーボンナノチューブ探針の作製と探針先端化学の検討」、第53回応用物理学関係連合講演会、東京 (2006-03)
- 4) 畔原宏明、笠沼由香、岡嶋孝治、藤枝正、安田俊夫、

廣岡誠之、日高貴志夫、林原光男、徳本洋志 : 「Confirmation of Chemical Modification of Carbon Nanotubes Using Gold Particles as Reaction Indicator」, The 30th Commemorative Fullerene-Nanotubes General Symposium, Nagoya (2006-01)

- 5) H. Suga, H. Abe, M. Tanaka, T. Ohno, Y. Nishioka, H. Tokumoto and T. Shimizu : “Stable Electron Emission from a Multi-Wall Carbon Nanotube in Low Vacuum”, ALC’05, ハワイ, USA (2005-12)
- 6) 岡嶋孝治、徳本洋志 : 「AFM による液中生体分子の高さ評価」、日本生物物理学会 (第43回年会)、札幌 (2005-11)
- 7) H. Suga, H. Abe, M. Tanaka, T. Ohno, Y. Nishioka, H. Tokumoto and T. Shimizu : “Stable Electron Emission from a Multi-Wall Carbon Nanotube in Low Vacuum”, AVS 52nd International Symposium & Exhibition, Boston, MA, USA (2005-10)
- 8) 陶向明、岡嶋孝治、徳本洋志 : 「AFM によるゲル・高分子間相互作用の単一分子計測」、応用物理学会 (第66回学術講演会)、徳島 (2005-09)
- 9) 徳本洋志 : 「はじめに : 表面とバイオの分野融合への期待」、2005年 (平成17年) 秋季第66回応用物理学会学術講演会、徳島 (2005-09)
- 10) T. Okajima and H. Tokumoto : “FM-mode AFM for Biological Imaging in Liquids”, 13th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy Related Techniques, Sapporo (2005-07)
- 11) H. Azebara and H. Tokumoto : “Force Measurements on Adsorbed Lipid Bilayer Membranes by AFM”, 13th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques in conjunction with 13th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, Sapporo (2005-07)
- 12) 岡嶋孝治、田中賢、石井勝弘、徳本洋志 : 「AFM による細胞表面のナノ計測」、高分子学会 (第54回年次大会)、横浜 (2005-05)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) 岡嶋孝治、徳本洋志 : 「1分子の延伸・圧縮測定」、SPM シミュレータ研究会、東京 (2006-03)
- 2) H. Tokumoto, H. Azebara, Y. Kasanuma, H. Onuma and T. Okajima : “AFM technology for exploring inside living cell: CNT-tip & liquid bilayer membranes”, The Sixth France-Japan Workshop on Nanomaterials, Sapporo (2006-03)
- 3) H. Azebara : “Fabrication of Carbon Nanotube Probe for Molecular Recognition Imaging”, 2006 US-Japan Young Researchers Exchange Program for Nanotechnology and Nanomanufacturing, Lowell, MA, USA (2006-03)
- 4) 岡嶋孝治 : 「AFM によるソフトマターのナノ計測」、第1回 LSW 研究会シンポジウム、札幌 (2006-03)
- 5) H. Azebara and H. Tokumoto : “Breakthrough Force

Measurement of Supported Lipid Bilayer Membranes using Carbon Nanotube Probes”, Multi-Institutional International Symposium on “mei”, Sapporo (2005-12)

- 6) 岡嶋孝治：「AFM による高分子・バイオナノ計測」、第2回ナノテクノロジーセンター研究会「ナノテクノロジーの理論と実践、応用に向けた新たな課題」(大阪大学・産業科学研究所)、大阪 (2005-11)
- 7) T. Okajima, X. Tao and H. Tokumoto : “Single Molecule Study of Polymer Gels by AFM”, GelSympo 2005, Sapporo (2005-10)
- 8) T. Okajima : “From Single Molecules to Cells: Nanodynamics of Soft Materials with AFM”, Japan-UK Symposium on Promotion of Regional Partnerships on Nanotechnology Development, Sapporo (2005-10)
- 9) T. Okajima : “Nano-Manipulation and Imaging of Soft Materials with AFM”, International Symposium on Soft-Nanotechnology 2005 (ISSN 2005), Sapporo (2005-06)

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ジングと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)

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. 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)

・一般のシンポジウム

- 1) 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)

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) 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。)

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) 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) 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。
- 2) 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：JJAP 特別編集委員（2005年3月23日～2006年3月31日）
- 2) 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）
- 3) 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）
- 4) 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）
- 5) 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）
- 6) 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) 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）
- 2) 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）
- 3) 徳本洋志：STM05国際会議組織委員長（2003年7月1日～現在）
- 4) 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～現在）
- 5) 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）

c. 併任・兼業

- 1) 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）
- 2) 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53回応用物理学関係連合講演会（2006年3月24日）
- 2) 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）
- 3) 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）
- 4) 徳本洋志：(独) 物質・材料研究機構 ナノテクノロジー

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）

- 5) 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）
- 6) 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）
- 7) 岡嶋孝治：GelSympo2005組織委員（2004年12月1日～現在）
- 8) 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）
- 9) 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）
- 10) 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）
- 11) 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）

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、バイオナノ工学特論、徳本洋志、2005年10月1日～2006年3月31日
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 情報科学研究科、バイオナノ工学特論、岡嶋孝治、2005年10月1日～2006年3月31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1、徳本洋志、2005年8月29日
- 6) 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

j. 修士学位及び博士学位の取得状況

・修士課程（2名）
門脇翼、我妻邦浩

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14年	平成15年	平成16年	平成17年
電子材料 物性部門	欧 文		41 (40)	30 (30)	32 (32)	38 (34)
	邦 文		0	0	3 (3)	0
電子機能 素子部門	欧 文		29 (29)	22 (22)	28 (28)	23 (23)
	邦 文		10 (1)	0	4 (2)	0
電子計測 制御部門	欧 文		25 (21)	19 (17)	27 (27)	20 (19)
	邦 文		10 (7)	4 (1)	3	5 (3)
電子情報 処理部門※	欧 文		6 (6)	26 (26)	33 (31)	44 (44)
	邦 文		5 (3)	0	2	1 (1)
ナノテクノロジー 研究センター	欧 文		32 (31)	30 (30)	33 (33)	31 (31)
	邦 文		4	0	2	2
計	欧 文		133 (127)	127 (125)	153 (151)	155 (150)
	邦 文		29 (11)	4 (1)	14 (5)	8 (4)

()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14年	平成15年	平成16年	平成17年
電子材料 物性部門	総説等		1 (1)	2	4 (1)	2
	著 書		3 (3)	5 (1)	0	1
電子機能 素子部門	総説等		9	12	8	8 (1)
	著 書		2 (1)	9 (2)	5 (1)	3
電子計測 制御部門	総説等		8 (1)	4	5	3
	著 書		4 (4)	1	2 (1)	0
電子情報 処理部門※	総説等		9	5	13	19 (1)
	著 書		3 (3)	3 (2)	2	2
ナノテクノロジー 研究センター	総説等		11	13	8 (1)	17 (2)
	著 書		3 (1)	10 (3)	13 (3)	10 (1)
計	総説等		38 (2)	36	38 (2)	48 (4)
	著 書		13 (12)	28 (8)	22 (5)	19 (1)

()内の数は欧文

※客員研究分野は除外した。

3. 国際学会・国内学会発表件数

部門等		年	平成14年	平成15年	平成16年	平成17年
電子材料 物性部門	国際学会		40 (8)	31 (8)	24 (4)	12 (2)
	国内学会		57 (5)	59 (2)	62	47 (3)
電子機能 素子部門	国際学会		40 (3)	39 (6)	19 (4)	31 (9)
	国内学会		62 (4)	63 (4)	29 (5)	36 (6)
電子計測 制御部門	国際学会		16 (2)	19 (4)	26 (2)	10 (6)
	国内学会		40 (3)	43 (7)	44 (4)	17 (9)
電子情報 処理部門※	国際学会		3 (1)	8 (4)	16 (3)	15 (7)
	国内学会		21 (6)	18 (3)	24 (1)	40 (5)
ナノテクノロジー 研究センター	国際学会		28 (6)	26 (4)	12 (2)	22 (4)
	国内学会		35 (1)	39 (2)	34	51 (7)
計	国際学会		127 (20)	123 (26)	97 (15)	88 (27)
	国内学会		215 (19)	222 (23)	193 (10)	183 (31)

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。

Ⅱ－２． 予算

Ⅱ－２－１）全体の予算

(単位：千円)

年 度	平成14年度	平成15年度	年 度	平成16年度	平成17年度
校 費	208,629	372,930	業 務 費	661,294	197,656
科 学 研 究 費	166,224(40)	222,400(44)	科学研究費補助金	230,651(48)	363,000(62)
			その他の補助金		4,528 (3)
奨 学 寄 付 金	28,250(29)	39,468(35)	寄 附 金	12,864(13)	17,700(11)
産学連携研究費	66,583(20)	108,435(35)	受託事業等経費	130,280(39)	223,768(46)
(受託研究費)	58,030(13)	89,626(20)	(受託研究費)	87,131(22)	140,868(19)
(民間等共同研究費)	8,553 (7)	18,809(15)	(共同研究費)	43,149(17)	82,900(27)
合 計	469,686	743,233	合 計	1,035,089	806,652

()内は受入件数

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 16 年度	平成 17 年度
電 子 材 料 物 性 部 門	科学研究費補助金	111,490(18)	152,460(16)
	その他の補助金		400 (1)
	寄 附 金 I	2,500 (3)	1,950 (2)
	寄 附 金 II		1,300 (3)
	受託事業等経費	12,840 (4)	89,714 (6)
	(受託研究費)	12,840 (4)	86,564 (5)
	(共同研究費)		3,150 (1)
	小 計	126,830(25)	245,824(28)
電 子 機 能 素 子 部 門	科学研究費補助金	18,900 (6)	42,870(12)
	その他の補助金		
	寄 附 金 I		
	寄 附 金 II	2,200 (1)	
	受託事業等経費	17,949 (7)	19,740 (8)
	(受託研究費)	8,390 (3)	5,260 (2)
	(共同研究費)	9,559 (4)	14,480 (6)
	小 計	39,049(14)	62,610(20)
電 子 計 測 制 御 部 門	科学研究費補助金	33,230 (6)	54,790(12)
	その他の補助金		
	寄 附 金 I		
	寄 附 金 II	3,064 (3)	
	受託事業等経費	38,641 (8)	29,077 (7)
	(受託研究費)	34,641 (7)	23,077 (4)
	(共同研究費)	4,000 (1)	6,000 (3)
	小 計	74,935(17)	83,867(19)

電子情報処理部門	科学研究費補助金	36,320 (11)	76,360 (15)
	その他の補助金		
	寄附金Ⅰ		
	寄附金Ⅱ		5,000 (2)
	受託事業等経費	24,620 (8)	34,159 (9)
	(受託研究費)	20,180 (3)	17,299 (3)
	(共同研究費)	4,440 (5)	16,860 (6)
	小計	60,940 (19)	115,519 (26)
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		
	その他の補助金		
	寄附金Ⅰ		250 (1)
	寄附金Ⅱ		7,500 (1)
	受託事業等経費		
	(受託研究費)		
	(共同研究費)		
	小計		7,750 (2)
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)	36,520 (7)
	その他の補助金		4,128 (2)
	寄附金Ⅰ	1,000 (1)	1,100 (1)
	寄附金Ⅱ	4,100 (5)	600 (1)
	受託事業等経費	36,229 (12)	51,078 (16)
	(受託研究費)	11,079 (5)	8,668 (5)
	(共同研究費)	25,150 (7)	42,410 (11)
	小計	72,039 (25)	93,426 (27)

()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14年度	平成15年度	平成16年度	平成17年度
電子材料物性部門	2	2	9	0
電子機能素子部門	8	5	25	4
電子計測制御部門	1	9	22	9
電子情報処理部門	2	6	26	14
ナノテクノロジー研究センター	0	3	5	10
計	13	25	87	37

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17年度

・理学研究科

真野恵亮：SrTiO₃のコヒーレントラマン散乱及びブリルアン散乱

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

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

黒田 拓：MathML による数学的文書の作成と公開のシステム-Ruby による変換ライブラリの開発とその応用-

酒井幸広：時間振動させた場合における Hele-Shaw セルの境界に関する研究

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

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

・情報科学研究科

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)

・地球環境科学研究科

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

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

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用いたナノ構造の作製・評価

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オチン有する [Ni(dmit)₂] 塩の構造と物性研究

山階維騎：有機半導体ナノ構造の作製とデバイス応用

Ⅱ－４－２）博士学位

平成17年度

・工学研究科

夏 輝：Low-Coherence Dynamic Light Scattering from Dense Media

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)

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)

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 microspherical cavities coupled with tapered optical fibers)

・地球環境科学研究科

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

Md.Wahadoszamen：Study of Excited State Dynamics and Electronic Structure with Electric Field Modulation Spectroscopy in Some Photoinduced Electron Transfer Systems

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

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

Ⅱ－４－３）大学院生在籍数

研究科名 \ 年	修 士		博 士	
	16年	17年	16年	17年
理 学 研 究 科	24	24	9	18
工 学 研 究 科	18	3	15	10
情 報 科 学 研 究 科	—	13	—	3
地球環境科学研究科	5	8	5	7
医 学 研 究 科	0	1	0	0
計	47	49	29	38

Ⅲ. 研究支援体制

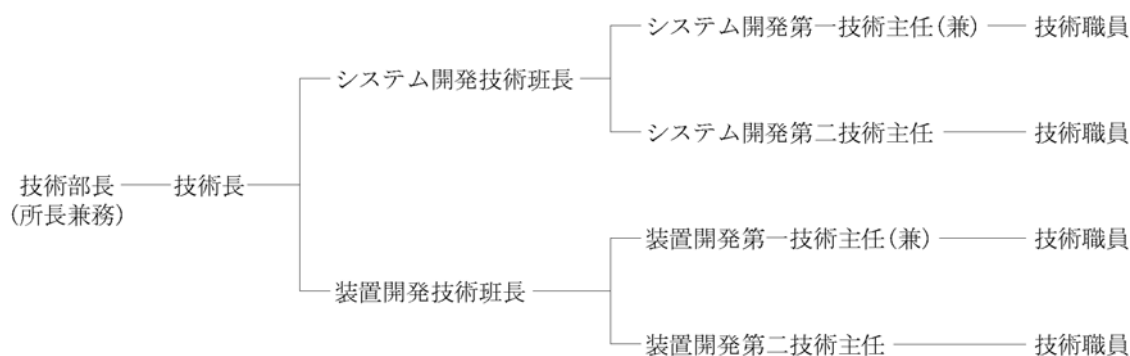
Ⅲ－1. 技術部

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。

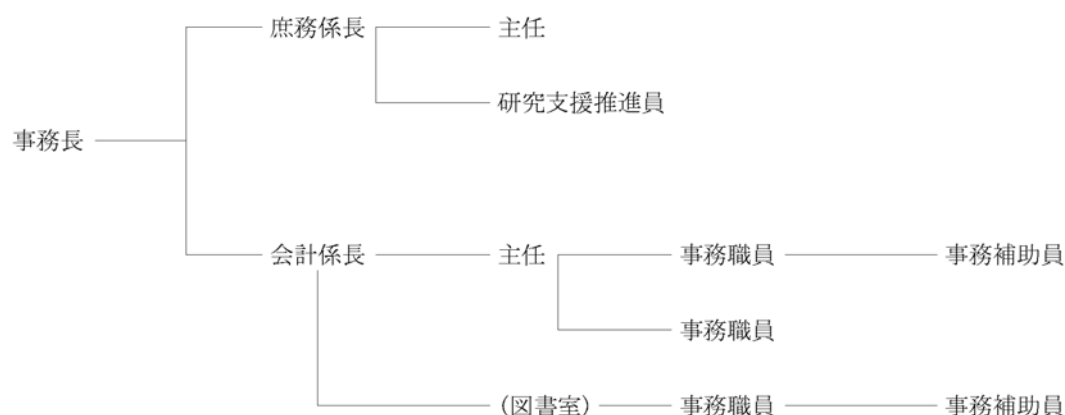
システム開発班は、研究所のホームページと研究成果データベースなどの情報管理運営、研究用電子回路の設計・製作、実験装置計測用ソフトウェア開発など、専門技術による研究分野からの支援要請に対応している。

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・製作にあたっている。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16年	平成17年
和 書	5,361	5,409
洋 書	20,525	20,751
計	25,886	26,160

2. 所蔵雑誌種類数

年 度	平成16年	平成17年
和雑誌	366	368
洋雑誌	455	454
計	821	816

3. 購入外国語雑誌受入種類数

年 度	平成16年	平成17年
和雑誌	45	42
洋雑誌	36	34
計	81	76

4. 学外文庫複写数

年 度	平成16年	平成17年
依 頼	166	112
受 付	418	237

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、13700タイトルあまりの電子ジャーナルの利用が可能で、フルテキストを講読できる。

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46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 CiNii、科学技術振興事業団の JOIS 等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ジングセンター研究部門」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

電子科学研究所	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
	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) 簗島 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	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

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年度にそれぞれ新增築され、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. 定員、現員（平成17年度）

（7月1日現在）

職名	定員・現員	人数
教授	定員	18 (1)
	現員	18 (1)
助教授	定員	18 (1)
	現員	16 (1)
講師	定員	0
	現員	1
助手	定員	21
	現員	19
教員小計	定員	57
	現員	54 (2)
事務系職員	定員	18
	現員	18
合計	定員	75 (2)
	現員	72 (2)

（ ）内の数字は客員で外数

IV-4. 教員の異動状況（平成17年度）

○ 転入状況

電子計測制御部門	助 手	藤原 英樹	17. 7. 1	科学技術振興機構研究員
電子計測制御部門	助 手	GOTO DEREK	17. 7. 15	米国・コールドスプリングハーバー研究所 ポスドク研究員
電子情報処理部門	教 授	津田 一郎	17. 10. 1	北海道大学大学院理学研究科教授

○ 転出状況

電子計測制御部門	助 手	堀田 純一	17. 5. 10	ベルギー王国・ルーバンカトリック大学 ポスドク研究員
電子情報処理部門	助教授	早瀬友美乃	17. 12. 31	辞職
電子材料物性部門	教 授	八木 駿郎	18. 3. 31	定年・北海道大学電子科学研究所 学術研究員
ナノテクノロジー研究センター	助教授	岩井 俊昭	18. 3. 31	東京農工大学大学院共生科学技術研究院 教授
電子材料物性部門	助 手	植杉 克弘	18. 3. 31	室蘭工業大学工学部助教授
電子情報処理部門	助 手	棚村 好彦	18. 3. 31	山形県立高校教員

IV-5. 構成員（平成17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

教 授 八 木 駿 郎
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
助 手 植 杉 克 弘

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

教 授 田 村 守
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 KOROVEINIKOV
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 棚 村 好 彦

計算論的生命科学研究分野

教 授 津 田 一 郎

並列分散処理研究分野（客員）

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）

寄附研究部門（ニコンバイオイメーシングセンター）

寄附研究部門教員（兼）	上 田 哲 男
〃	永 井 健 治
寄附研究部門教員	齊 藤 健 太
ナノテクノロジー研究センター	
センター長（併）	下 村 政 嗣
ナノ材料研究分野	
教 授	下 村 政 嗣
助教授	岩 井 俊 昭
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
〃	DEKOLA TATSIANA
研究支援推進員	石 崎 絵 美
〃	頼 實 望
学術研究員	石 坂 高 英
〃	牛 坂 健
〃	遠 藤 礼 暁
〃	定 昌 史
〃	坂 田 啓 司
〃	春 菜 ゆかり
〃	佐 藤 淳 一
〃	LOGINOVA IRINA
〃	佐 倉 緑
〃	孫 凱
〃	JIA RUOKUN
〃	FAN LIJIE
〃	王 会 平
〃	WANG HUAISHAN
〃	FANG WENJUN

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	濱 谷 弘 司
庶務係	
係 長	藤 井 幹 彦
事務職員	土 屋 久仁枝
会計係	
係 長	三 橋 慎 一
主 任	柳 橋 光 人
事務職員	渡 辺 香 織
〃	大 内 聖 和
〃（図書室）	猿 橋 キヨミ
技術補佐員	笠 沼 由 香
事務補助員	金 山 みどり
〃	中 西 めぐみ
〃	千 葉 慶 子
〃	曾 我 和 実
〃	山 田 庸 子
〃	井 上 祐 子
〃	伊 藤 樹 里
〃	村 上 奈 美
〃	森 恵美子
〃	木 村 万里絵
〃	高 橋 絵里子

（平成18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19年4月発行

