

研究活動

北海道大学電子科学研究所

平成16年度

— 点検評価報告書 —

Research Activities

Research Institute for Electronic Science
Hokkaido University

2004

平成18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、63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、理学研究科、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16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18年3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	13
光材料研究分野	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	35
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	55
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	75
信号処理研究分野	81
並列分散処理研究分野（客員研究分野）	86
ナノテクノロジー研究センター	
ナノ材料研究分野	90
ナノデバイス研究分野	98
ナノ理論研究分野	104

II. 予算

II-1. 研究成果公表に関する各種の統計表	111
II-2. 予算	113
II-3. 外国人研究者の受入状況	114
II-4. 修士学位及び博士学位の取得状況	114

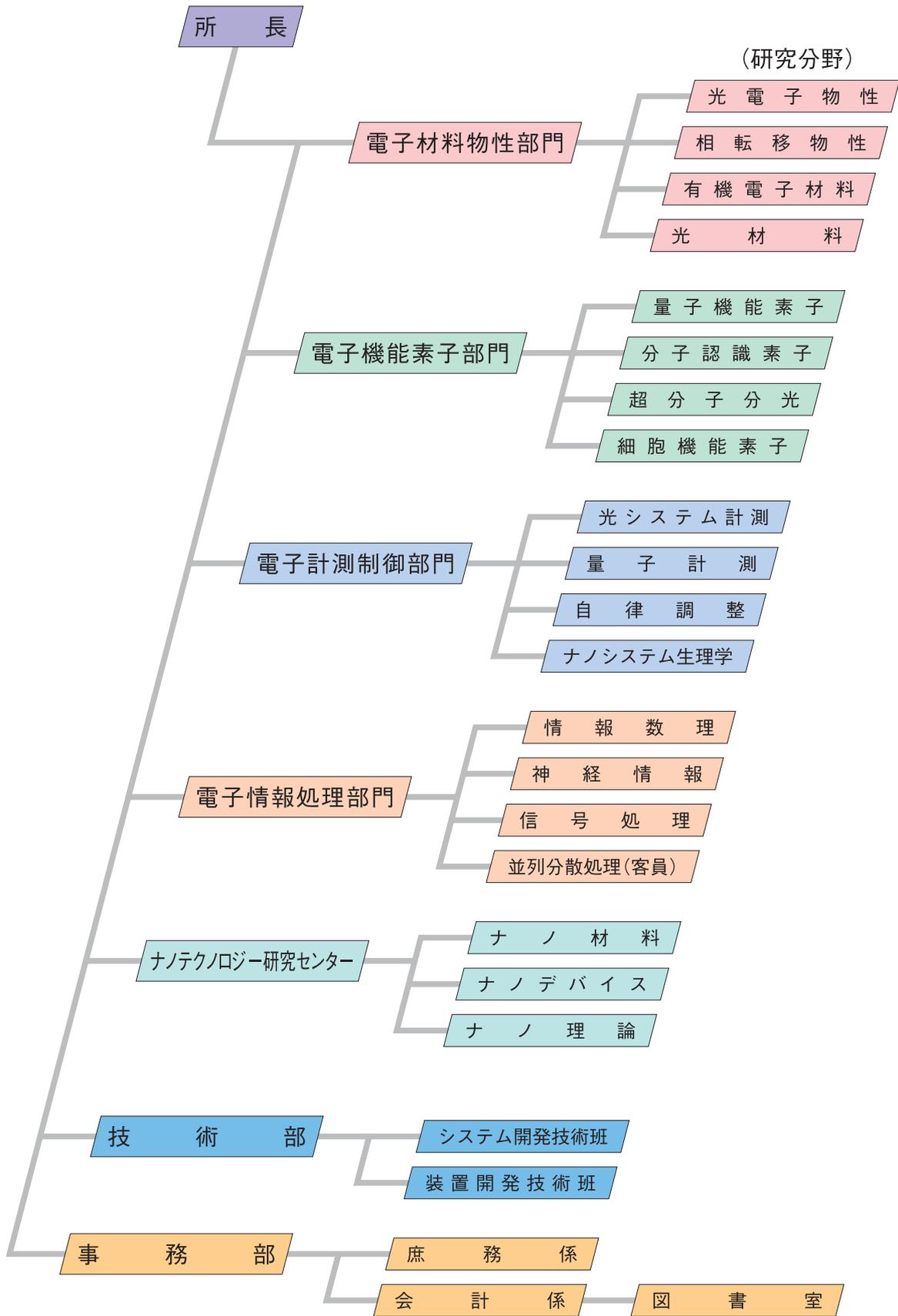
III. 研究支援体制

III-1. 技術部	117
III-2. 事務部	117
III-3. 学術情報	118

IV. 資料

IV-1. 沿革	121
IV-2. 建物	123
IV-3. 定員、現員	123
IV-4. 教員の異動状況	124
IV-5. 構成員	125

■組織図



I. 研究成果・活動

電子材料物性部門

研究目的

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



光電子物性研究分野

教授 太田信廣 (東北大院、理博、1998.10~)
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新たにどのようなダイナミクスが起こるのか、そしてそれら動的過程は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を調べる。また光励起に伴う分子構造や電子構造の変化を調べる。さらに光誘起導電性、非線形光学効果あるいは電界発光の出現など電気、磁気特性と光学特性の関係を調べる。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。また新たな分子システムを設計、構築することにより、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。

2. 研究成果

(a) PL 発光特性への電場効果と EL 発光

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



図1. 自作のEL発光素子作製装置

べている。具体的には、図1に示す装置を用いてEL発光素子を作製し、発光特性を調べている。ちなみに、この装置を用いて得られたルブレンのEL素子および発光が図2に示してある。

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

代表的な芳香族化合物であるピレン分子もその連結化合物 (Py-Py、図2参照) もポリマー中ではモノマー蛍光とサンドイッチ構造を有するエキシマーからの蛍光を示し、どちらの発光も電場により消光する。但し、Py-Pyのエキシマー蛍光のみが、電場強度の4乗に比例する非常に効率の良い電場消光を示す。また、Py-Pyをドーブしたポリマー薄膜では、ピレン自身の場合とは異なり、EL発光が比較的強く観測される。そこで、図2に示すような層構造を有するEL素子を作成した所、図に示すように非常に強い青いEL発光が得られた。すなわち、PL発光の電場消光が特に大きな発光成分のみが非常に効率の良いEL発光を示すことが明らかとなり、EL発光の効率とPL発光への電場効果に大きな相関があること、すなわち、EL発光効率を調べるのに、PL発光への外部電場効果の実験が非常に有用であることがわかった。

図2. EL発光素子の層構造と得られたEL発光画像

(b) 分子間光誘起電子移動反応への外部電場効果

PMMAにドーブしたエチルカルバゾール (ECZ) とテレフタル酸ジメチル (DMTP) の蛍光スペクトルに対する外部電場効果を調べた。定常光を用いた電場蛍光スペクトルから、

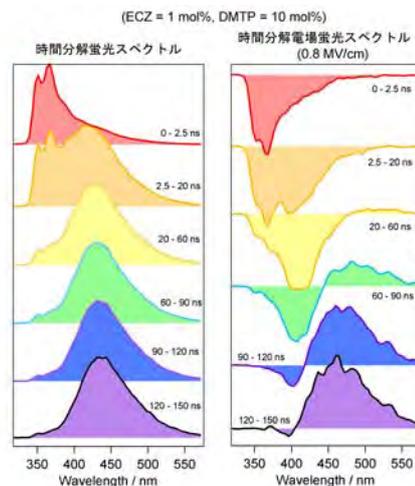


図3. ECZ + DMTPの時間分解蛍光スペクトル (左) と時間分解電場蛍光スペクトル (右)。

DMTPを高濃度にドーブした場合には、ECZのモノマー蛍光は電場により消光を示すことがわかる。また、光誘起電子移動反応により生じるエキサイプレックス(EX)蛍光は、電場により強度が変化する。これらの電場効果の機構を明らかにするために、自作の時間分解電場蛍光分光測定装置を用いて、外部電場による蛍光寿命の変化を調べた。

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

ECZを1mol%、DMTPを10mol%均一分散させた膜について、時間分解蛍光スペクトルおよび時間分解電場蛍光スペクトルを測定した結果を図3に示す。時間分解蛍光スペクトルには、ECZのモノマー蛍光が350nm近辺に観測され、EX蛍光は430nmにピークを持つブロードな発光として観測される。時間初期には、モノマー蛍光が強く観測され、時間の経過と共にEX蛍光が強くなっており、ECZのモノマー励起状態からの電子移動反応によってEXが生成することを示している。時間分解電場蛍光スペクトルは、短波長側のモノマー蛍光はどの時間領域でも電場消光を示し、電子移動反応が電場により促進されることを示している。一方、EX蛍光は、光励起直後は電場によって強度が減少するが、時間の経過とともに電場消光の大きさが減少し、80ns以降は、電場による蛍光強度の増加へと転ずることが明らかになった。ラジカルイオン対の解離が電場によって促進されることでEXの濃度は減少するが、EX蛍光寿命が電場によって長くなるために、全体として電場による蛍光強度の増大として観測されることが明らかになった。

(c) ポリエン分子の分子内電荷移動および異性化反応への外部電場効果

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

ジフェニルポリエン分子の一つであるジメチルアミノニトロスチルベン(DNS)の電場吸収スペクトルと電場蛍光ス

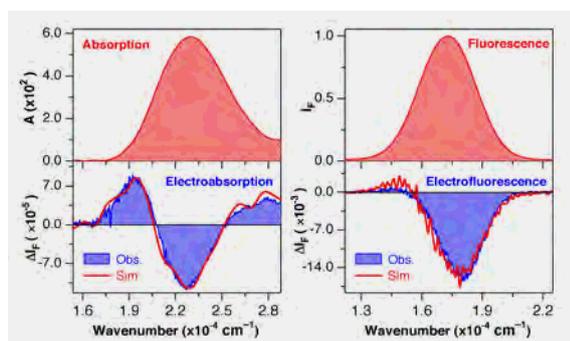


図4. DNSの吸収および電場吸収スペクトル(左)、蛍光および電場蛍光スペクトル(右)。

ペクトルを図4に示す。電場吸収スペクトルは吸収スペクトルの二次微分の形を示し、光励起に伴う双極子モーメントの変化の寄与が大きいことがわかる。一方、電場蛍光スペクトルは、蛍光強度の減少が主に観測されており、電場によって蛍光が消光されることがわか

る。この消光の原因を明らかにするために、蛍光減衰曲線の外部電場効果の測定を行った(図5)。外部電場が存在するときの減衰曲線から存在しないときの減衰を引いた強度差($\Delta I_f(t)$)は、全時間領域において負の値を示した。DNSの蛍光減衰と $\Delta I_f(t)$ の時定数は異なり、電場によって減衰が速くなることがわかる。電場オンとオフの時の蛍光減衰曲線の強度比が、時間と共に減少することからも、電場による減衰速度の増加がわかる。この結果は、電場によって蛍光状態からの無輻射緩和の速度が増加することを示している。DNSは蛍光状態から分子内電荷分離(CT)状態へ無輻射緩和することが知られており、蛍光状態からCT状態への分子内電荷移動が、電場によって促進されていると考えられる。

3. 今後の研究の展望

電場・磁場変調発光分光法と、これまでに開発してきたナノ秒、ピコ秒時間分解電場・磁場発光分光法を積極的に活用することにより、さらには非線形分光法を用いた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効果、磁場効果そして両者の相乗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・磁氣的機機能物性を調べ、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電界発光(エレクトロルミネッセンス)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、究極の機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、電界発光に関しては紫外発光に注目した有機発光素子の構築を試みる。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、および反応機構の解明を行なう。

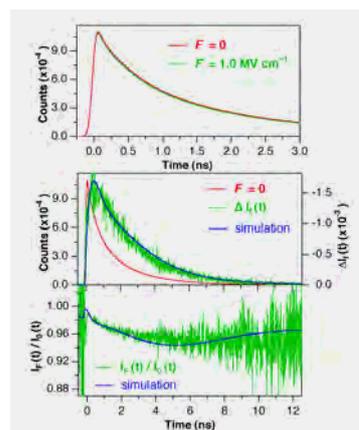


図5. DNSのゼロ電場(赤)および1.0MV cm⁻¹(緑)における蛍光減衰曲線(上)、二つの蛍光減衰曲線の差(中)および比(下)。

4. 資料

4.1 学術論文等

- 1) T. Iimori, A. M. Ara, T. Yoshizawa, T. Nakabayashi and N. Ohta: "Remarkable temperature dependence of the electrofluorescence spectra of pyrene doped in a polymer film", *Chem. Phys. Lett.*, 402: 206-211 (2005)
- 2) Y. Matsuzaki, A. Nogami, Y. Iwaki, N. Ohta, Y. Yoshida, N. Aratani, A. Osuka and K. Tanaka: "Quantum-chemical Investigation of the electroabsorption spectra of directly meso-meso-linked porphyrin arrays: Essential role of charge-transfer excited states accidentally overlapping with Soret bands", *J. Phys. Chem.*, 109(4): 703-713 (2005)
- 3) T. Nakabayashi, T. Morikawa and N. Ohta: "Direct measurements of the electric-field-induced change in fluorescence decay profile of pyrene doped in a polymer film", *Chem. Phys. Lett.*, 395: 346-350 (2004)
- 4) T. Yoshizawa, Y. Iwaki, N. Osaka, T. Nakabayashi, K. A. Zachariasse and N. Ohta: "External electric field effects on absorption, fluorescence and phosphorescence spectra of 4-(dimethylamino) benzonitrile in a polymer film", *J. Phys. Chem. B*, 108: 19132-19139 (2004)
- 5) T. Iimori, T. Iwahashi, H. Ishii, K. Seki, Y. Ouchi, R. Ozawa, H. Hamaguchi and D. Kim: "Orientational ordering of alkyl chain at the air/liquid interface of ionic liquids studied by sum frequency vibrational spectroscopy", *Chem. Phys. Lett.*, 389: 321-326 (2004)
- 6) E. Jalviste and N. Ohta: "Stark absorption spectroscopy of indole and 3-methylindole", *J. Chem. Phys.*, 121(10): 4730-4739 (2004)
- 7) C. Okabe, T. Nakabayashi, Y. Inokuchi, N. Nishi and H. Sekiya: "Ultrafast excited-state dynamics in photochromic N-salicylideneaniline studied by femtosecond time-resolved REMPI spectroscopy", *J. Chem. Phys.*, 121 (19): 9436-9442 (2004)
- 8) 飯森俊文、大内幸雄、関一彦: 「赤外可視和周波発生分光法を用いたイオン液体 [BMIM]⁺X⁻の気/液界面構造に関する研究」、*真空*, 47(7): 516-521 (2004)

4.2 総説、解説、評論等

- 1) 津島稔、牛坂健、太田信廣: 「時間相関単一光子計数法と変調電場を組み合わせた時間分解電場蛍光スペクトル測定装置の製作」、*分光研究*, 53(2): 93-101 (2004)

4.3 国際会議議事録等に掲載された論文

- 1) N. Ohta, T. Nakabayashi, T. Iimori, T. Yoshizawa and T. Morikawa: "A Relation between External Electric Field Effect on Photoluminescence and Generation Efficiency of Electroluminescence: Methylene-Linked Compounds of

Pyrene doped in a Polymer Film", *Electroluminescence Conference 2004 Conference Proceedings*, 358-366 (2004)

4.5 その他

- 1) 太田信廣: 「電場印加による発光特性変化のリアルタイム観測装置の開発」、*月刊マテリアルステージ* 9月号, 42: 124-129 (2004)

4.7 講演

i) 学会

- 1) 中林孝和、太田信廣: 「ポリペプチドの赤外吸収スペクトルの外部電場効果」、日本化学会第85春季年会、横浜 (2005-03)
- 2) N. Ohta: "Acceleration and Deceleration of Photochemical Processes by an External Electric Field", The 4th Asian Photochemistry Conference, Taipei, Taiwan (2005-01)
- 3) 飯森俊文、吉沢友和、中林孝和、太田信廣: 「ピコ秒時間分解電場蛍光分光法を用いたエチルカルバゾール/テレフタル酸ジメチルにおける光誘起電子移動反応への外部電場効果の研究」、2004年 光化学討論会、筑波 (2004-11)
- 4) 森川武弘、中林孝和、飯森俊文、吉沢友和、太田信廣: 「極低温下におけるピレン連結化合物の電界発光と発光スペクトルの外部電場効果」、光化学討論会、筑波 (2004-11)
- 5) M. Ara、飯森俊文、友和吉沢、中林孝和、太田信廣: 「Temperature dependence of electric field effects on fluorescence spectra of pyrene and its derivative doped in a polymer film」、光化学討論会、筑波 (2004-11)
- 6) M. Wahadoszamen、中林孝和、太田信廣: 「External electric field effects on the absorption and fluorescence spectra of the mixtures of tetraphenylporphyrin [MTPP] (M=H₂, Zn, Cu, Ni and Co) and fullerene doped in a PMMA film」、光化学討論会、筑波 (2004-11)
- 7) 中林孝和、森川武弘、太田信廣: 「外部電場によるピレンおよびピレン連結化合物の光励起ダイナミクスの変化-時間分解電場蛍光分光による研究-」、分子構造総合討論会、広島 (2004-09)
- 8) 岡部智絵、中林孝和、井口佳哉、西信之、関谷博: 「N-サリチリデンアニリンのイオン検出フェムト秒時間分解分光-フォトクロミック反応における高速内部転換の重要性-」、分子構造総合討論会、広島 (2004-09)
- 9) 大内幸雄、遠山達哉、岩橋崇、飯森俊文、金井要、関一彦、浜口宏夫、D. Kim: 「赤外可視和周波混合分光法を用いたイオン液体[BMIM]BF₄-水混合系の気/液界面構造に関する研究」、分子構造総合討論会 2004、広島 (2004-09)
- 10) 吉沢友和、太田信廣: 「ポリマー中におけるアズレン電場吸収、電場発光スペクトルの特異的な温度依存性」、

分子構造総合討論会2004、広島 (2004-09)

- 11) N. Ohta, T. Nakabayashi, T. Iimori, T. Yoshizawa and T. Morikawa: "A relation between external electric field effect on photoluminescence and generation efficiency of electroluminescence: methylene-linked compounds of pyrene doped in a polymer film", Electroluminescence Conference 2004 Light and Colour from Solids, Tronto, Canada (2004-09)
 - 12) 中林孝和、森川武弘、太田信廣:「ピレンの光励起ダイナミックスの外部電場効果ーピコ秒時間分解電場蛍光分光による研究ー」、日本化学会北海道支部2004年夏季研究発表会、苫小牧 (2004-07)
 - 13) 吉沢友和、太田信廣、鈴鹿敢:「アズレンの電場吸収スペクトルにおける温度依存性」、日本化学会北海道支部2004年夏季研究発表会、苫小牧 (2004-07)
 - 14) 飯森俊文、吉沢友和、中林孝和、太田信廣:「エチルカルバゾール/テレフタル酸ジメチル系における光誘起電子移動反応への外部電場効果の実時間測定」、日本化学会北海道支部2004年夏季研究発表会、苫小牧 (2004-07)
 - 15) M. Wahadoszamen、中林孝和、太田信廣:「External electric field effects on absorption spectra of tetraphenylporphyrin and fullerene doped in a PMMA film」、日本化学会北海道支部2004年夏季研究発表会、苫小牧 (2004-07)
 - 16) A. Ara、飯森俊文、中林孝和、太田信廣:「Temperature dependence of electric field effects on fluorescence spectra of pyrene butyric acid doped in a polymer film」、日本化学会北海道支部2004年夏季研究発表会、苫小牧 (2004-07)
 - 17) N. Ohta, Y. Ohara, T. Nakabayashi, K. Iwasaki, T. Torimoto and B. Ohtani: "Electric field effects on absorption and emission spectra of CdS nanoparticles in a polymer film", 15th International Conference on Photochemical Conversion and Storage of Solar Energy, Paris, France (2004-07)
 - 18) 飯森俊文、吉沢友和、中林孝和、太田信廣:「光誘起電子移動反応への外部電場効果の実時間測定: エチルカルバゾール/テレフタル酸ジメチル」、第20回化学反応討論会、東京 (2004-06)
 - 19) 小原祐樹、中林孝和、岩崎健太郎、鳥本司、大谷文章、平谷卓之、小西克明、太田信廣:「CdS ナノクラスターの光反応と光学特性の外部電場効果」、第20回化学反応討論会、東京 (2004-06)
 - 20) 飯森俊文、吉沢友和、中林孝和、太田信廣:「光誘起電子移動反応への外部電場効果の実時間測定: エチルカルバゾール/テレフタル酸ジメチル」、第20回化学反応討論会、東京 (2004-06)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) 太田信廣:「単一細胞内反応ダイナミクスにおけるシュタルク効果の計測」、文部科学省科学研究費補助金「特

定領域研究」分子系の極微構造反応の計測とダイナミクス、吹田市 (2005-02)

- 2) 太田信廣、中林孝和、飯森俊文:「時間分解蛍光シュタルク分光測定装置および空間分解蛍光寿命測定装置の開発」、文部科学省科学研究費補助金「特定領域研究」分子系の極微構造反応の計測とダイナミクス、吹田市 (2005-02)
 - 3) 太田信廣:「凝集系における吸収・発光シュタルク分光」、分子研研究会 生体分光学と分子イメージングの最前線、岡崎 (2005-01)
 - 4) T. Nakabayashi: "Ultrafast relaxation dynamics in liquid systems", The 6th RIES-Hokudai Symposium, 札幌 (2004-12)
 - 5) 太田信廣:「高分子薄膜にドーピングされた色素分子 PL への外部電界効果と EL 特性」、光電相互変換第125委員会及び EL 分科会第29回研究会、東京 (2004-12)
 - 6) 太田信廣:「固体膜中における光化学反応への電場効果」、平成16年度日本分光学会秋季講演会・シンポジウム「分光学の最前線」、仙台 (2004-11)
 - 7) N. Ohta, T. Nakabayashi, M. Tsushima and T. Ushizaka: "Time-resolved measurements of electric field effects on photoinduced electron transfer", IUPAC Symposium on Photochemistry, Granada, Spain (2004-07)
- iii) コロキウム・セミナー等・その他
- 1) N. Ohta: "Electric Field Effects on Emission and Photo-function of Materials", カーネギーメロン大学化学教室セミナー, Pittsburgh, USA (2004-09)
 - 2) 太田信廣:「シュタルク発光分光による光反応および光機能物性研究」、日本分光学会・北海道支部設立記念講演会「新しい分子スペクトロスコピーの展開」、札幌 (2004-08)

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) 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ー反応ー機能相関の研究、2003~2005年度
 - 3) 太田信廣、特定領域研究 (2)、電磁場制御環境下における光化学反応の研究、2003~2004年度
 - 4) 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ー機能相関の解明、2003~2005年度
 - 5) 中林孝和、萌芽研究、超高速時間分解電場変調分光法の開発と電荷移動反応への応用、2003~2004年度
- d. 奨学寄付金 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、研究内容)
- 1) 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 (2004年8月16日～2006年3月31日)
- 2) 太田信廣: 分子科学研究所、運営会議委員 (2004～2006年度)
- 3) 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)
- 4) 太田信廣: 分子科学研究所運営会議委員 (人事委員) (2003年5月1日～2006年3月31日)
- 5) 太田信廣: 特別研究員等審査会専門委員 (2002年8月1日～2004年7月31日)

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: 日本分光学会代議員 (2005年1月20日～2005年5月31日)
- 3) 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)
- 4) 太田信廣: 光化学協会理事 (2004年1月1日～2005年12月31日)

c. 併任・兼業

- 1) 太田信廣: 非常勤講師 東北大学多元物質科学研究所 (2004年11月1日～2004年11月30日)

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) 地球環境科学研究科大気環境科学特論 II、中林 孝和、2004年10月1日～2005年3月31日
- 2) 地球環境科学研究科、物質科学特論 II、中林 孝和、2004年4月1日～2004年9月30日
- 3) 地球環境科学研究科、光分子化学実習、太田 信廣、2004年度
- 4) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読 I、太田 信廣、2004年度
- 5) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読 II、太田 信廣、2004年度
- 6) 地球環境科学研究科、光分子化学研究、太田 信廣、2004年度

- 7) 地球環境科学研究科、光分子化学特別研究、太田 信廣、2004年度
- 8) 地球環境科学研究科、光分子化学実習、中林孝和、2004年度
- 9) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読 I、中林 孝和、2004年度
- 10) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読 II、中林 孝和、2004年度
- 11) 地球環境科学研究科、光分子化学研究、中林孝和、2004年度
- 12) 地球環境科学研究科、光分子化学特別研究、中林孝和、2004年度

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)

その他 (1名)

呉 波 (電子科学研究所)

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 (D2)、中田洋平 (M2)、福永正則 (M2)
 真野恵亮(M1)

1. 研究目標

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

2. 研究成果

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

Lithium tetraborate crystals $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (LB4) are promising material for applications in laser techniques with high ionic conductivity at low temperatures. Four Raman active (TO) modes coupled with the Li-ion motion are newly observed in the temperature range between 4.2 K and room temperature.(Fig.1) The peak frequencies of them at 4.2 K are 262, 353, 378 and 423 cm^{-1} .

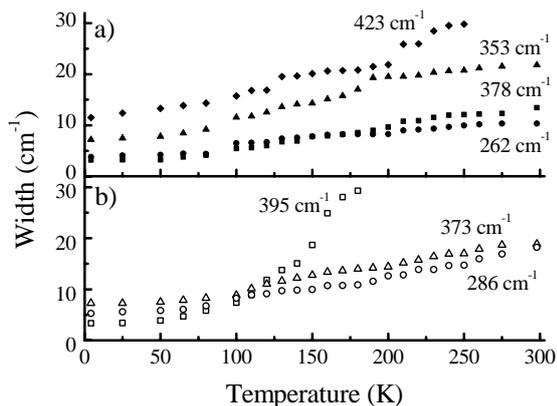


Fig.1 Temperature dependence of the super-ionic related (a) LO and (b) TO modes.

For all the investigated acoustic waves the changes of slopes of elastic constants are observed near 200–250 K. (Fig.2) The temperature behavior of the elastic constants for LB4 reflects a thermally activated process of Li ions motion on elastic properties and confirms the results observed by Raman scattering. Furthermore, the evolution of Raman and Brillouin spectra with

temperature in the high temperature region indicates precursory the onset of the super-ionic conduction in the temperature range 200–250 K.

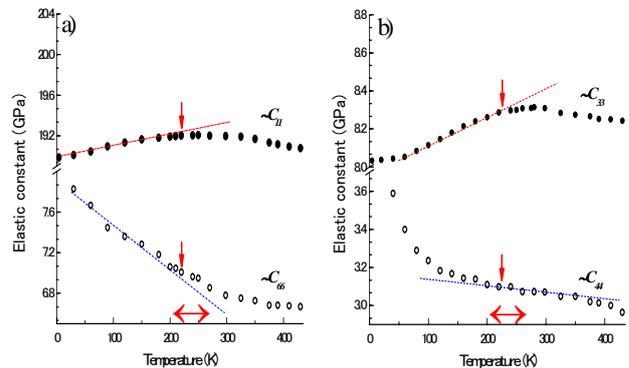


Fig.2. Temperature dependence of elastic constants of LB4.

(b) リラクサー強誘電体ダイナミクス

リラクサー強誘電体は極低温まで相転移を示さず、しかしながらその誘電率は温度に対しブロードなピークを示し、また、顕著な周波数分散をも持つ。この特徴的な性質は、内部に存在する極性ナノ領域 (PNR) のダイナミクスを反映したものだと理解されている。このダイナミクスはある温度で凍結し、系がガラス的な状態になることもわかってきた。リラクサーの光散乱スペクトルには、周波数0を中心とするピーク (CP) が観測される。CPの起源はPNRダイナミクスではないかと考えられてきたが、これまでその証拠は発見されていない。そこで本研究室ではリラクサー $0.89\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-0.11\text{PbTiO}_3$ (PZN-PT) においてCPの起源を明らかにするため、高分解能スペクトルを得られる光散乱実験を行った。数多くの報告では、スペクトルの解析を系が不均一であるにもかかわらず、単一のダイナミクスを仮定していた。我々は解析において不均一性を考慮したモデルを適用し、その結果、CP

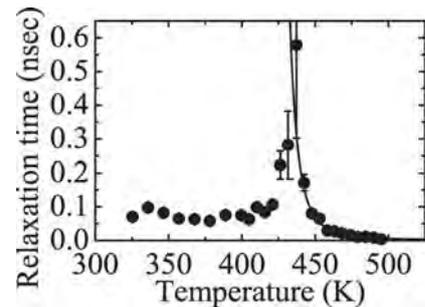


Fig.3. リラクサー強誘電体 PZN-PT の緩和時間の温度依存性。

は系の不均一性を反映しており、温度の低下に従いダイナミクスが凍結に向かう成分があることを発見した。(Fig.3) この結果は PNR ダイナミクスの温度変化と一致しており、CPの起源がPNRダイナミクスであることが疑いのないものとなった。

(c) パルス誘導光散乱による高分子ゲルのフォノンダイナミクスと緩和ダイナミクス

高分子ゲルではダイナミクスにゲル特有の高分子ネットワークによる動的階層性が現れることが期待される。本研

究では高分子ゲル PAMPS を試料とし、光散乱で測定することができない低振動数領域での動的階層性を明らかにするため、パルス誘導光散乱により緩和現象を実時間観測した。結果は波数 $q = 7.40 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ において約130ns の緩和時間を持つ構造緩和過程が観測された(Fig.4)。この結果、低振動数領域に少なくとも2つの緩和機構があり、PAMPS ゲルは動的な階層構造を持つことが明らかにされた。

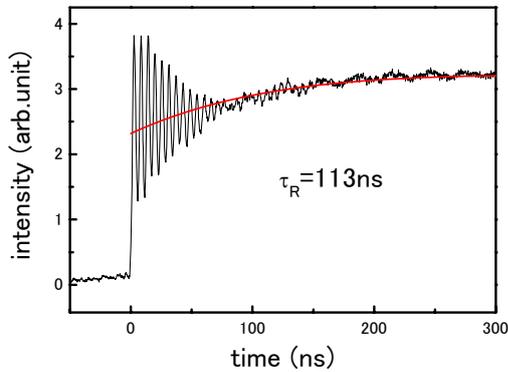


Fig.4.PAMPS ゲル(架橋度 0.5mol/l)の構造緩和の時間依存性

(d) 強誘電性ソフトモード不均一ソフト化機構の解明

物質の相転移は“揺らぎ”によって支配されている。従って、“揺らぎ”のダイナミクスの研究は、相転移現象の解明において極めて本質的なアプローチである。本研究では、極低温での SrTiO₃ が示す、酸素同位体置換による量子強誘電性相転移に着目し、光散乱を用いて相転移物性を司る未知の“量子揺らぎ”のダイナミクスを明らかにすることを目的としている。光散乱は“揺らぎ”のダイナミクスを直接的に観測することが出来る非常に強力な手法であるが、“量子揺らぎ”が主要な役割を担う極低温での測定はこれまで技術的に不可能であった。そこで本研究では、³He 蒸発冷凍を用いた極低温光学セルを特別に設計し、600mK にまで達する極低温領域の光散乱測定を実現した。その結果、

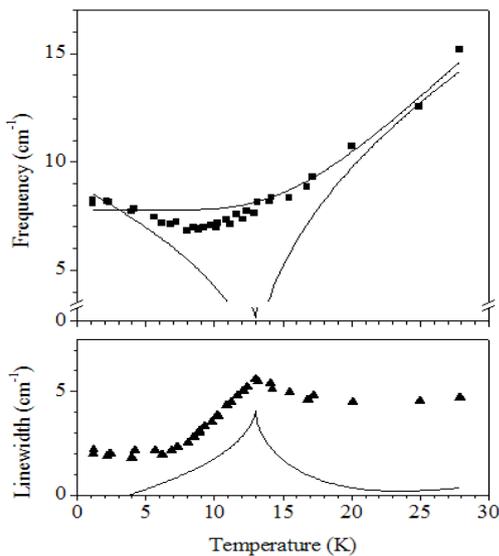


Fig. 5. STO18-32 のソフトモードダイナミクス

極低温領域での SrTiO₃ の光散乱スペクトルにおける劇的な同位体置換効果を見出した。さらに、弱く同位体置換した試料における精密なスペクトル測定により、SrTiO₃ の強誘電性誘起初期過程において、相転移の直接的な起源であるソフトモードが不均一に不安定化することを見出した (Fig.5)。その結果、極低温における“量子揺らぎ”のダイナミクスにおいて空間的な非一様性が重要な役割を担うことを明らかにした。

(e) ラマン不活性ソフトモードの非線形励起効果の観測
フェムト秒パルスレーザーの高強度2Beam 励起により2次ラマンバンドからの誘導放射とそれに伴う高次 CARS シグナルが観測される[Fig.6]。この高次光は約370cm⁻¹の変調を持ち、次数が上がるにつれて低波長側へとシフトしていく[Fig.7]。2本のピーク強度変化させ、変調構造が励起光強度に対しどのように変化するかを詳細に検討する。

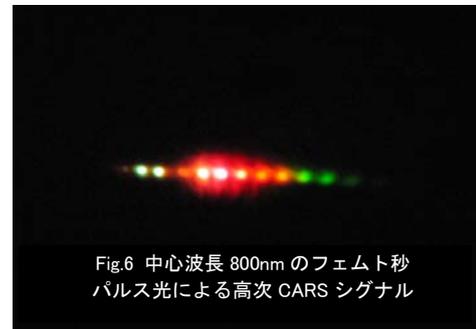


Fig.6 中心波長 800nm のフェムト秒パルス光による高次 CARS シグナル

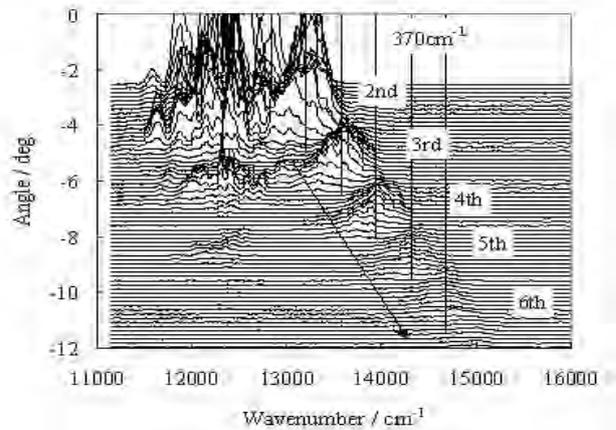


Fig.7 発生した高次光の波数依存性

3. 今後の研究の展望

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

4. 資料

4.1 学術論文等

- 1) M. Tan, Y. Tsujimi and T. Yagi: "Broad Doublet Spectra in SrTiO₃", *J. Korean Phys. Soc.*, 46(2005): 97-99 (2005)
- 2) H. Taniguchi, T. Yagi, M. Takesada and M. Itoh: "Growth of Ferroelectric Micro Region in SrTiO₃ and SrTi (1800.231600.77)3 Studied by Raman Scattering", *J. Korean Phys. Soc.*, 46(2005): 195-197 (2005)
- 3) Y. Nakata, Y. Tsujimi, M. Kobayashi, R. Wang, M. Itoh and T. Yagi: "Soft Modes in SrTi¹⁸O₃ Studied by Light Scattering and Dielectric Measurements", *J. Korean Phys. Soc.*, 46(2005): 93-96 (2005)
- 4) H. Taniguchi, T. Yagi, M. Takesada and M. Itoh: "Effect of the Oxygen Isotope Exchange on Ferroelectric Micro-Region in SrTiO₃ studied by Raman Scattering", *J. Phys. Soc. Jpn.*, 73(12): 3262-3265 (2004)
- 5) T. Ishikawa, M. Itoh, M. Kurita, H. Shimoda, M. Takesada, T. Yagi and S. Koshihara: "Giant Photoconductivity in Quantum Paraelectric Oxides", *Ferroelectrics*, 298: 141-143 (2004)
- 6) T. Ishikawa, M. Itoh, M. Kurita, H. Shimoda, M. Takesada, T. Yagi and S. Koshihara: "Giant Photoconductivity in Quantum Paraelectric Oxides", *Ferroelectrics*, 298(2004): 141-143 (2004)
- 7) J. Kano, Y. Tsujimi, K. A. Nelson and T. Yagi: "Initial Excitation Process of Ferroelectric B₂Soft Mode in KD₂PO₄", *Ferroelectrics*, 308: 17-21 (2004)
- 8) M. Itoh, T. Yagi, Y. Uesu, W. Kleeman and R. Blinc: "Phase Transition and Random-Field Induced Domain Wall Response in Quantum Ferroelectrics SrTi₁₈O₃: Review and Perspective", *Science and Technology of Advanced Materials*, 5(2004): 417-423 (2004)
- 9) T. Watanuki, Y. Tsujimi, R. Wang, M. Itoh and T. Yagi: "Phonon-polariton dispersion relation of SrTi(¹⁸O_x¹⁶O_{1-x})₃", *Ferroelectrics*, 304(2004): 63-70 (2004)
- 10) M. Takesada, T. Yagi, M. Itoh, T. Ishikawa and S. Koshihara: "Photoinduced Phenomena in Quantum Paraelectric Oxides by Ultraviolet Laser Irradiation", *Ferroelectrics*, 298: 317-323 (2004)
- 11) M. Takesada, T. Yagi, M. Itoh, T. Ishikawa and S. Koshihara: "Photoinduced Phenomena in Quantum Paraelectric Oxides by Ultraviolet Laser Irradiation", *Ferroelectrics*, 298(2004): 317-323 (2004)

4.2 総説、解説、評論等

- 1) 武貞正樹、八木駿郎、伊藤満、石川忠彦、腰原伸也:「ペロフスカイト型量子常誘電性酸化物の巨大な光誘起効果」、固定物理, 40(2): 113-120 (2005)
- 2) M. Kobayashi, Y. Tsujimi and T. Yagi: "Relaxation dy-

namics in supercooled liquids studied by time-resolved spectroscopy", Proc.3rd Int.Symp."Slow Dynamics in Complex System", 673-774 (2004)

4.7 講演

i) 学会

- 1) T. Yagi: "Light scattering studies of relaxors (1) Central mode", The 60th Annual Meeting of JPS, 東京理科大学 (2005-03)
- 2) 武貞正樹、須藤幸太、八木駿郎、伊藤満、腰原伸也、小野寺彰:「量子常誘電性酸化物 SrTiO₃における光-電場誘起ブリルアン散乱」、日本物理学会2005年日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学 (2005-03)
- 3) 谷口博基、武貞正樹、伊藤満、八木駿郎:「量子常誘電性 STO18における局所対称性の前駆的低下とソフトモード」、日本物理学会2005年日本物理学会第60回年次大会、東京 (2005-03)
- 4) 野田菜摘子、武貞正樹、羅 亮、襲劍萍、長田義仁、八木駿郎:「電解質ゲルの光散乱スペクトルの対イオン濃度依存性」、日本物理学会2005年日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学 (2005-03)
- 5) 高橋淳一、真野恵亮、八木駿郎:「高強度 ISRS による SrTiO₃におけるラマン禁制フォノンの検出」、日本物理学会2005年日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学 (2005-03)
- 6) 中田洋平、辻見裕史、鬘谷浩平、岩田真、八木駿郎:「PZN/xPT 系リラクサー強誘電体における極性ナノ領域ダイナミクス」、日本物理学会2005年日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学 (2005-03)
- 7) デコラ タチアナ、武貞正樹、谷口博基、関根一郎、八木駿郎:「Low-frequency modes in Li₂B₄O₇ crystals studied by Raman scattering」、日本物理学会2005年日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学 (2005-03)
- 8) 福永正則、武貞正樹、松尾剛、辻井薫、八木駿郎:「異方性ゲル DGI の階層的ダイナミクス」、日本物理学会2005年日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学 (2005-03)
- 9) 武貞正樹、八木駿郎、伊藤満、腰原伸也、小野寺彰:「量子常誘電体 SrTiO₃における光-電場誘起光散乱」、日本物理学会2004年秋期大会、青森大学 (2004-09)
- 10) 譚 明、辻見裕史、王 瑞、伊藤満、八木駿郎:「SrTiO₃のダブルレット光散乱スペクトル II」、日本物理学会2004年秋期大会、青森大学 (2004-09)
- 11) 谷口博基、武貞正樹、伊藤満、八木駿郎:「SrTiO₃における強誘電性マイクロ領域の同位元素置換効果」、日本物理学会2004年秋期大会、青森大学 (2004-09)
- 12) 中田洋平、辻見裕史、鬘谷浩平、岩田真、八木駿郎:「PZN/xPT 系リラクサー強誘電体の光散乱」、日本物理学会2004年秋期大会、青森大学 (2004-09)
- 13) 狩野旬、八木駿郎:「Debye モデルの初期立ち上がり過

程を記述する新しいモデル」、日本物理学会2004年秋期大会、青森大学（2004-09）

- 14) H. Taniguchi, T. Yagi, M. Takesada and M. Itoh: "Growth of Ferroelectric Micro Region in SrTiO₃ and SrTi(¹⁸O_{0.23}¹⁶O_{0.77})₃ Studied by Raman Scattering", The 5th Korean-Japan Conference on Ferroelectricity, Seoul, Korea (2004-08)
- 15) Y. Nakata, Y. Tsujimi, M. Kobayashi, R. Wang, M. Itoh and T. Yagi: "Soft Modes in SrTi¹⁸O₃ Studied by Light Scattering and Dielectric Measurements", The 5th Korean-Japan Conference on Ferroelectricity, Seoul, Korea (2004-08)
- 16) M. Tan, Y. Tsujimi and T. Yagi: "Broad Doublet Spectra in SrTiO₃", The 5th Korean-Japan Conference on Ferroelectricity, Seoul, Korea (2004-08)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) H. Taniguchi, M. Takesada, M. Itoh and T. Yagi: "Isotope Effect on Local Symmetry Breaking in Quantum Paraelectric SrTiO₃ Studied by Raman scattering", 2005 Workshop on Fundamental Physics of Ferroelectrics, Williamsburg, USA (2005-02)

iii) コロキウム・セミナー等・その他

- 1) T. Yagi: "Soft-mode Dynamics in Ferroelectric STO18", Meeting of Ferroelectricity and Related Phenomena in Oxides, Yokohama, Japan (2005-02)
- 2) T. Yagi: "Soft-mode Dynamics in the Isotopically Induced Ferroelectric Phase Transition of Strontium Titanate (STO18)", Special Seminar in Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, USA (2005-02)

4.9 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。

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 A 一般 (2)、コヒーレントフォノン励起法による量子ゆらぎダイナミクスの研究、2002～2004年度
- 2) 武貞正樹、若手研究 A (2)、量子揺らぎにおける非平衡光誘起協力現象の機構解明、2002～2004年度

- 3) 八木駿郎、学術創成研究費、ソフト&ウエット型人工筋肉の創出と生体代替運動システムへの応用、2002～2006年度

4.12 社会教育活動

b. 国内外の学会の役職

- 1) 八木駿郎：日本分光学会平成16年度代議員（2005年1月20日～2004年5月31日）
- 2) 八木駿郎：The 5th Korean-Japan Conference on Ferroelectricity 組織委員（2004年8月18日～2004年8月21日）
- 3) 八木駿郎：The 5th Korean-Japan Conference on Ferroelectricity International Advisory Committee 委員（2004年8月18日～2004年8月21日）
- 4) 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）

g. 北大での担当授業科目（対象、講義名、担当者、期間）

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

h. 北大以外での非常勤講師

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

i. ポスドク・客員研究員など

ポスドク（1名）

野田菜摘子（北海道大学大学院理学研究科）

客員研究員（1名）

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

その他（1名）

譚 明秋（COE）

j. 修士学位及び博士学位の取得状況

修士課程（3名）

真野恵亮、中田洋平、福永正則

博士後期課程（1名）

谷口博基

修士論文

- 1) 中田洋平：ペロフスカイト系酸化物における相転移ダイナミクス
- 2) 福永正則：高分子ゲルの階層的ダイナミクスの研究

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～)
 院生 帯刀陽子 (D2)、高橋幸裕 (D2)、佐藤大介 (D1)
 綱島 亮 (D1)、遠藤大五郎 (M1)、梶原鉄平 (M1)
 元木沢勇 (M1)、山階維騎 (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を実現しようという、分子エレクトロニクスの考え方が20年ほど前に登場し、国内外で、研究が活発行われてきた。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しようとするバイオコンピューティングの研究もこの間平行して進行した。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、次世代の電子デバイスの基盤としての、分子ナノエレクトロニクスの実現を目指している。

2. 研究成果

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

1次元 N-H-N 型の水素結合鎖内でプロトン運動の自由度が付加された (HDABCO)₂(TCNQ)₃ 錯体では、水素結合鎖内のプロトン運動の自由度と連動した誘電相転移が観測された。100 K における結晶構造から (図1)、HDABCO⁺ 分子は、*-a+b* 軸方向に [N-H...N] 型の 1次元水素結合鎖を形成していた。一方、TCNQ 分子は 3量体を形成し、*-a+b* 軸方向に 1次元的な導電性カラムを形成していた。誘電率 (100 kHz) には、顕著な異方性が観測され、1次元水素結合鎖の方向と一致する *-a+b* 軸方向において、306 K にピークが観測された。

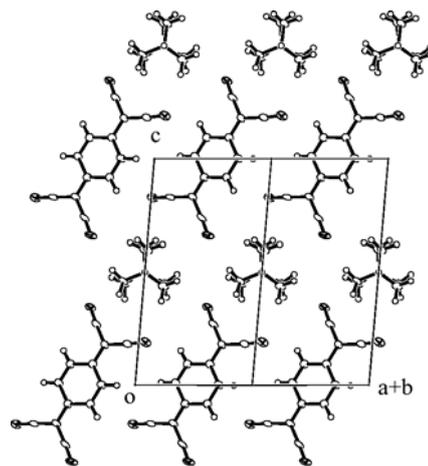


図1. 1次元水素結合鎖を含む(HDABCO)₂(TCNQ)₃錯体の結晶構造。

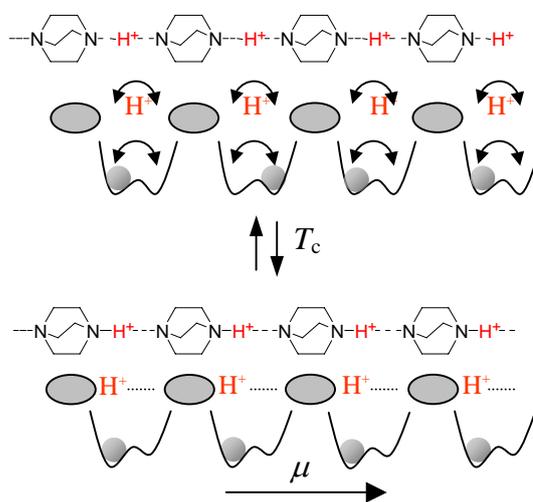


図2. 水素結合内の温度によるプロトンダイナミクスの変化と誘電相転移。

これは、水素結合内のプロトン配置が、高温相では2つの空素原子サイトに由来する2極小ポテンシャル間を揺らいだ [N-H-N] 型を取るのに対して、低温相では一方の極小ポテンシャルにプロトンが固定された [N-H...N] 型に変化する事に起因する (図2)。また、プロトンを重水素置換する事で、70 K に及ぶ誘電相転移の重水素置換効果が観測された。結晶構造・誘電率・固体 NMR の温度変化から、水素結合中のプロトン運動の詳細を明らかとした。

(b) 分子集合体ナノワイヤに関する研究

導電性・イオン認識・両親媒性の観点から設計した分子1が形成する電荷移動錯体(1)(F₄-TCNQ)₂に Langmuir-Blodgett (LB) 法を適用する事で、分子集合体ナノワイヤが形成する事を見出している。ナノワイヤ形成に対する最適化条件を、下層水温度・イオン濃度・累積表面圧・累積手法などのパラメーターに着目して検討した。その結果、高

度に配向した分子集合体ナノワイヤの形成に必要な最適化条件を決定し、LB膜内での高い分子配向と電気伝導性の向上を実現した。最適化されたLB膜の室温に於ける電気伝導性は、 $\sim 10^{-3} \text{ Scm}^{-1}$ に上昇した。現在、高度に配向したナノワイヤのデバイス化に向けて複合ナノネットワーク構造作製などに取り組んでいる。

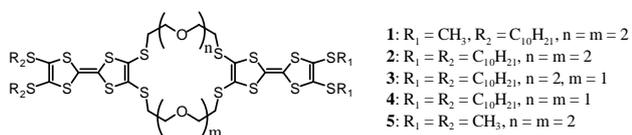


図3. 両親媒性 bis-TTF annulated macrocycle 分子

(c) 4鎖型 bis-TTF annulated macrocycles に関する研究

成膜分子の自己組織化能を、分子の両親媒性と構造の柔軟性の観点から設計する事で、LB法を用いた膜面内のドメイン構造の制御を目標に研究を行った。本年度は、4鎖型 bis-TTF annulated macrocycle 分子 2-3を新たに合成し、その $\text{F}_4\text{-TCNQ}$ との電荷移動錯体が形成するLB膜のドメイン構造に関する研究を行った(図3)。

分子の中央に位置するクラウンエーテル環のサイズを[18]crown-6から段階的に、[21]crown-7及び[24]crown-8へと変化させる事で、分子の酸化還元特性及び分子構造の柔軟性が大きく変化した。マイカ基板上に一層累積を行ったLB膜の表面構造では、環サイズの変化による効果が顕著に見られた(図4)。クラウンエーテルの環サイズを小さくすると、数ミクロン領域にわたる均一なドメイン構造の形成(図4a)から1ミクロン以下の木の葉状のドメイン構造(図4c)への変化が観測された。さらに、(2)($\text{F}_4\text{-TCNQ}$)₂錯体の結晶構造解析及び光学測定から、膜ドメイン内での分子配向を明らかとした。膜内では、分子2はZ型の分子内ダイマーを形成し、 $\text{F}_4\text{-TCNQ}$ と交互積層型の分子配列を取っていると考えられた。また、電荷移動層とアルキル鎖層が交互に膜の累積方向に積み重なった層状構造が形成していた(図5)。

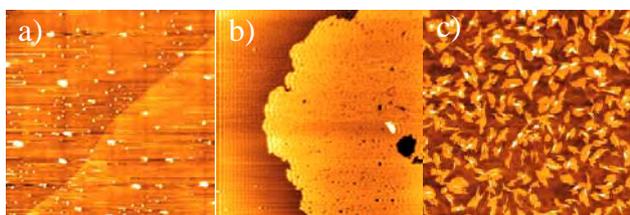


図4. 4鎖型 bis-TTF annulated macrocycle 2-4 と $\text{F}_4\text{-TCNQ}$ が形成する電荷移動錯体 LB 膜の表面構造。

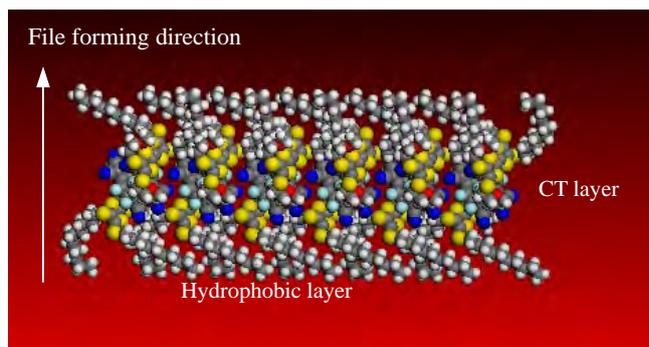


図5. (2)($\text{F}_4\text{-TCNQ}$)₂錯体の結晶構造。

3. 今後の研究の展望

我々は、分子集合体である分子性導体・磁性体を出発点とした分子デバイス構築に不可欠な材料創製を行っている。このような研究は、単一分子エレクトロニクス研究とは別のアプローチから分子エレクトロニクス科学を構築する点で特徴的である。しかし、単一分子からのアプローチと、我々が進めている分子集合体からのエレクトロニクスデバイスへのアプローチを区別することはあまり本質的でない。電子機能の発現において、ユニット間のフロンティア軌道の重なりを積極的に利用するのが我々のアプローチの特徴である。

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) A. Akutsu-Sato, H. Akutsu, S. S. Turner, P. Day, M. R. Probert, J. A. Howard, T. Akutagawa, S. Takeda, T. Nakamura and T. Mori: "The First Proton-Conducting Metallic Ion-Radical Salts", *Angew. Chem. Int. Ed.*, 44: 292-295 (2005)
- 2) T. Sato, T. Hasegawa, T. Akutagawa, T. Nakamura and R. Kondo: "2k_F transitions in a series of (DMET)₂(X₁X₂{TCNQ})(X₁,X₂)=Br, Cl, F, CH₃, H): Subsidiary lattice effect by anion radicals", *Phys. Rev. B*, 69: 075103 (2004)
- 3) Y. Takahashi, T. Hasegawa, T. Akutagawa and T. Nakamura: "Enhanced dielectric response in (BEDT-TTF)(ClMeTCNQ) at the neutral-ionic phase transitions", *J. de Physique IV*, 114: 137-139 (2004)
- 4) T. Akutagawa, K. Kakiuchi, T. Hasegawa, T. Nakamura, C. A. Christensen and J. Becher: "Langmuir-Blodgett Films of Amphiphilic Bis(tetrathiafulvalene) Macrocycles with Four Alkyl Chains", *Langmuir*, 20: 4187-4195 (2004)
- 5) T. Akutagawa, S. Takeada, T. Hasegawa and T. Nakamura: "Proton Transfer and a Dielectric Phase Transition in the Molecular Conductor (HDABCO⁺)₂(TCNQ)₃", *J. Am. Chem. Soc.*, 126: 291-294 (2004)
- 6) Y. Tatewaki, T. Akutagawa, T. Hasegawa, T. Nakamura, C. A. Christensen and J. Becher: "Structural Change in Langmuir-Blodgett Films of Bis-tetrathiafulvalene Annulated Macrocyclic-Tetrafluorotetracyanoquinodimethane Charge Transfer Complex", *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 424: 17-23 (2004)

4.6 特許 (発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

- 1) 中村貴義、芥川智行、網島亮、2004-342581、ナノワイヤおよびその製造方法ならびに機能素子およびその製造方法、2004年11月1日

4.7 講演

i) 学会

- 1) 唐沢知博、川上宏子、佐藤玲子、戸澗一孔、網島亮、芥川智行、中村貴義:「様々な官能基を持つジアミド型人工脂質のゲル形成能」、日本化学会第85春季年会、横浜 (2005-03)
- 2) 芥川智行、遠藤大五郎、野呂真一郎、L. Cronin、中村貴義:「[PM₀₁₂O₄₀]クラスターのスピンの配列制御」、日本化学会第85年会、横浜 (2005-03)
- 3) 遠藤大五郎、芥川智行、野呂真一郎、L. Cronin、中村貴義:「クラウンエーテルを含む(Phenylenediamine)(PM₀₁₂O₄₀)錯体の構造と物性」、日本化学会第85春季年会、横浜 (2005-03)

- 4) 梶原鉄平、加藤恵一、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義、J. Becher:「エチレンジチオ型マクロサイクリックビス TTF の合成と物性」、エチレンジチオ型マクロサイクリックビスの合成と物性、横浜 (2005-03)
- 5) 加藤恵一、芥川智行、中村貴義:「新規マクロサイクリック TTF 誘導体の合成および物性評価」、日本化学会第85春季年会、横浜 (2005-03)
- 6) 網島亮、芥川智行、中村貴義、唐沢知博、川上宏子、戸澗一孔:「低分子ゲル化剤が形成するナノファイバ上への金微粒子の吸着」、日本化学会第85春季年会、横浜 (2005-03)
- 7) 帯刀陽子、芥川智行、中村貴義、長谷川裕之、益子信郎、J. Becher:「金-2鎖型マクロサイクリック TTF-F₄TCNQ ナノワイヤ接合の電気物性評価」、日本化学会第85春季年会、横浜 (2005-03)
- 8) 加藤恵一、芥川智行、中村貴義:「マクロサイクリック TTF 三量体-C₆₀電荷移動型錯体の薄膜構造」、日本化学会第85春季年会、横浜 (2005-03)
- 9) 山階維騎、野呂真一郎、芥川智行、中村貴義、J. Becher:「両親媒性マクロサイクリック TTF 誘導体を用いた有機半導体ナノドットの配列制御」、日本化学会第85春季年会、横浜 (2005-03)
- 10) 野呂真一郎、張浩徹、竹延大志、芥川智行、中村貴義、北川進、岩佐義宏:「ニッケル-ジイミン金属錯体の固気界面上における集積構造制御及びその電気物性」、日本化学会第85春季年会、横浜 (2005-03)
- 11) 武田啓司、中村貴義、中村貫人、栗城眞也:「高温超伝導 DC マイクロ SQUID の素子特性と磁束計の試作」、日本物理学会第60回年次大会、東京 (2005-03)
- 12) K. Katoh, T. Akutagawa, T. Nakamura and J. Becher: "LANGMUIR BLODGETT FILMS OF AMPHIPHILIC bis-(TETRATHIAFULVALENE)-ANNULATED MACROCYCLES WITH BO UNIT", The 6th International Conference on Nano-Molecular Electronics, Kobe (2004-12)
- 13) Y. Tatewaki, T. Akutagawa, T. Nakamura, H. Hasegawa, S. Mashiko and J. Becher: "MOLECULAR NANOWIRES Au NANOPARTICLE HYBRID NETWORK STRUCTURES: EFFECT OF NANOPARTICLE CONCENTRATION AND SIZE ON STRUCTURE AND ELECTRICAL PROPERTIES", The 6th International Conference on Nano-Molecular Electronics, Kobe (2004-12)
- 14) X. Ren, T. Akutagawa and T. Nakamura: "Infrared Spectra Investigation for a Molecular Cluster With Spin Switch Feature", AsiaNANO 2004 (Asian Conference on Nanoscience & Nanotechnology), Beijing, China (2004-11)
- 15) T. Akutagawa and T. Nakamura: "Electrically Conducting Nanostructures Based on Molecular Conductors", AsiaNANO 2004 (Asian Conference on Nanoscience & Nanotechnology), Beijing, China (2004-11)
- 16) T. Nakamura and T. Akutagawa: "Nano-Mechanical De-

- vices in Molecular Magnets”, AsiaNANO 2004 (Asian Conference on Nanoscience & Nanotechnology), Beijing, China (2004-11)
- 17) T. Nakamura and T. Akutagawa: “Nano-Mechanical Devices in $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$ based Magnetic Materials”, Post-Conference of ICMM2004 (International Conference on Molecule-based Magnets) on Application of Molecular Spin: from Nanomagnets to Biological Spin Systems, Tsukuba (2004-10)
 - 18) K. Takeda, T. Nakamura, Y. Kawaguchi and S. Kuriki: “Characteristics of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ dc SQUID with Bicrystal Grain-Boundary Junctions”, ICMM 2004 (International Conference on Molecule-based Magnets), Tsukuba, Japan (2004-10)
 - 19) T. Motokizawa, K. Matsuura, T. Akutagawa and T. Nakamura: “Crystal Structures and Magnetic Properties of $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$ Salts Incorporating Alkali Metal Cation/[12]crown-4 Supramolecules”, ICMM 2004 (International Conference on Molecule-based Magnets), Tsukuba, Japan (2004-10)
 - 20) T. Akutagawa and T. Nakamura: “Supramolecular Cation Approaches for $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]^-$ based Molecular Magnets”, ICMM 2004 (International Conference on Molecule-based Magnets), Tsukuba, Japan (2004-10)
 - 21) X. Ren, S. Nishihara, T. Akutagawa and T. Nakamura: “Quasi-1D Molecular Magnets with Unusual Spin-Peierls-Transition-like Based on $[\text{M}(\text{mnt})_2]^-$ Ions: Structures and Magnetic Properties”, ICMM 2004 (International Conference on Molecule-based Magnets), Tsukuba, Japan (2004-10)
 - 22) T. Nakamura, T. Akutagawa, K. Shitagami, S. Nishihara and S. Takeda: “Molecular Rotation in $\text{Ni}(\text{dmit})_2$ Magnetic Solids-Toward Molecular Motors”, ICMM2004 (International Conference on Molecule-based Magnets), Tsukuba (2004-10)
 - 23) 加藤恵一、芥川智行、中村貴義、J. Becher: 「新規マクロサイクリック TTF 三量体の合成および薄膜構造の評価」、分子構造総合討論会2004、広島 (2004-09)
 - 24) 網島亮、芥川智行、中村貴義、唐沢知博、川上宏子、戸潤一孔: 「低分子有機ゲル形成物質を用いた LB 法によるナノワイヤの作製」、分子構造総合討論会2004、広島 (2004-09)
 - 25) 芥川智行、遠藤大五郎、中村貴義: 「フェニレンジアミン-ケギン型ポリオキシメタレート錯体の結晶構造と磁性」、分子構造総合討論会2004、広島 (2004-09)
 - 26) 梶原鉄平、加藤恵一、芥川智行、中村貴義、J. Becher: 「マクロサイクリックトリス TTF 誘導体の合成とその電荷移動錯体からなる LB 膜の作製」、分子構造総合討論会2004、広島 (2004-09)
 - 27) 山階維騎、内潟昌則、芥川智行、中村貴義、J. Becher: 「Pyrrolo-TTF・TCNQ 誘導体 LB 膜の構造と導電性」、分子構造総合討論会2004、広島 (2004-09)
 - 28) 任小明、西原禎文、芥川智行、中村貴義: 「Quasi-one-dimensional Molecular Magnets Based on $[\text{M}(\text{mnt})_2]$ (M=Ni or Pt) Architectural Blocks: Structures and Magnets Properties」、分子構造総合討論会2004、広島 (2004-09)
 - 29) 遠藤大五郎、芥川智行、中村貴義: 「(Phenylenediamine) (Crown ether) を含む Keggin 錯体の構造と磁性」、第54回錯体化学討論会、熊本 (2004-09)
 - 30) 元木沢勇、松浦憲政、芥川智行、中村貴義: 「アルカリ金属イオン/[12] crown-4 超分子を含む $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$ 塩の構造と磁性」、第54回錯体化学討論会、熊本 (2004-09)
 - 31) 芥川智行、遠藤大五郎、中村貴義: 「(Phenylenediamine) (Keggin) 錯体の構造と物性」、第54回錯体化学討論会、熊本 (2004-09)
 - 32) 佐藤大介、下神耕造、西原禎文、武田定、細越裕子、井上克也、池内賢朗、宮崎裕司、斉藤一弥、芥川智行、中村貴義: 「[18] crown-6 分子ローター構造を有する $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$ 塩」、第54回錯体化学討論会、熊本 (2004-09)
 - 33) 野呂真一郎、佐々高史、青山哲也、張浩徹、田中大輔、竹延大志、北川進、岩佐義宏、和田達夫: 「1軸配向性金属-ジイミン錯体蒸着膜の作成およびその構造・物性」、第54回錯体化学討論会、熊本 (2004-09)
 - 34) 武田啓司、中村貴義、川口洋平、栗城眞也: 「高温超伝導体 DC マイクロ SQUID 磁束計の試作 II」、日本物理学会2004年秋季大会、青森 (2004-09)
 - 35) 芥川智行: 「分子性固体における動的内部構造の構築とその機能化」、日本物理学会2004年秋季大会、青森 (2004-09)
 - 36) 帯刀陽子、芥川智行、中村貴義、長谷川裕之、益子信郎、J. Becher: 「金微粒子-分子集合体ナノワイヤ複合ネットワーク構造における粒子径依存性」、第57回コロイドおよび界面化学討論会、山口 (2004-09)
 - 37) T. Nakamura and T. Akutagawa: “Supramolecular Rotors in Molecular Magnets of $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$ ”, The International Conference on Synthetic Metals (ICSM04), New South Wales, Australia (2004-06)
 - 38) T. Nakamura: “Supramolecular Systems of Molecular Conductors and Magnets Toward Nanodevices”, Dynamic Energy Landscapes and Functional Systems, Santa Fe, New Mexico, USA (2004-03)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) T. Nakamura: “Fabrications of Molecular Nanowires and Molecular Mechanical Devices”, International Symposium on Construction of Nanostructured Molecular Assemblies with Novel Electronic Functions, Osaka, Japan (2004-12)
 - 2) T. Nakamura: “Molecular Systems for Nanodevices: Molecular Rotors and Molecular Wires”, Sanken International Symposium on Scientific and Industrial Nanotechnology

2004, Osaka (2004-12)

- 3) 中村貴義:「電子機能性分子システムを利用した分子モーター構築の試み」、特定領域研究「分子性導体」物質開発ミニシンポジウム、広島 (2004-11)
- 4) T. Nakamura: “Molecular systems for novel molecular devices”, The 8th Japan-China Joint Symposium on Conduction and Photo-conduction in Organic Solids and Related Phenomena, Okazaki, Japan (2004-11)
- 5) T. Nakamura: “Molecular System Based on Conductors and Magnets”, Japan-Singapore Symposium on Nanoscience and Nanotechnology, Singapore, Singapore (2004-11)
- 6) T. Nakamura and T. Akutagawa: “Supramolecular Assemblies in Molecular Conductors and Magnets for Energy Conversion”, New Zealand ICSM2004 Satellite Research Symposium, Queenstown, New Zealand (2004-06)
- 7) T. Nakamura: “Supramolecular Assemblies in Ni(dmit)₂ Based Conductors and Magnets”, Japan-France Workshop on New Types of Functionality Materials Based on Organic-Inorganic Hybrid Compounds, Tokyo, Japan (2004-04)
- 8) T. Nakamura: “Supramolecular Assemblies in Ni(dmit)₂ Based Conductors and Magnets”, Japan-France Workshop on New Types of Functionality Materials Based on Organic-Inorganic Hybrid Compounds, Tokyo (2004-04)
- 9) 中村貴義:「分子性導体の自己組織化ナノパターンニング」、分子研究会「分子スケールエレクトロニクス研究会」、岡崎 (2004-04)

4.9 共同研究 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、研究内容)

b. 所内共同研究

- 1) 石橋晃、徳本洋志、末宗幾夫、中村貴義、近藤憲治 (電子科学研究所):「極微細接合素過程に対する次元・空間配位の影響の研究」、2003~2004年度、未定、次元数表記で3-0-3、3-2-0-2-3などの従来行われてきた接合構造・配置に対し、特に3-2-0-R2-3(R2は相対的に回転した2次元面であることを示す)の極微細接合について理論的に考察するとともに、この構造(ユニット)を作るための要素技術を確認する。
- 2) 中村貴義、長谷川達生、芥川智行、長谷川達生 (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、未定、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) 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
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 中村貴義、特別研究員奨励費、金属ジチオレンを用いた分子性体の機能開拓、2003~2005年度
- 7) 中村貴義、基盤研究 A、分子性ナノワイヤの構築と機能開拓、2002~2004年度

4.12 社会教育活動

a. 公的機関の委員

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

f. 外国人研究者の招聘 (氏名、国名、期間)

- 1) Jayanty Subbalakshmi, India, 2004年5月12日
- 2) Ren Xiao Ming, China, 2003年11月30日~2004年11月29日

g. 北大での担当授業科目 (対象、講義名、担当者、期間)

- 1) 地球環境科学研究科、光物理化学特論Ⅱ、芥川智行、2004年10月1日～2005年3月31日
- 2) 地球環境科学研究科、物質化学特論Ⅲ、芥川智行、2004年10月1日～2005年3月31日
- 3) 地球環境科学研究科、分子環境学特論Ⅲ、芥川智行、2004年10月1日～2005年3月31日
- 4) 地球環境科学研究科、物質化学特論Ⅲ、中村貴義、2004年10月1日～2005年3月31日
- 5) 地球環境科学研究科、光分子化学研究、中村貴義、2004年度
- 6) 地球環境科学研究科、光分子化学実習、中村貴義、2004年度
- 7) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読Ⅰ、中村貴義、2004年度
- 8) 全学部共通、一般教育演習「分子エレクトロニクス」、中村貴義、2004年度
- 9) 地球環境科学研究科、光分子化学研究、芥川智行、2004年度
- 10) 地球環境科学研究科、光分子化学特別研究、芥川智行、2004年度
- 11) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読Ⅱ、芥川智行、2004年度
- 12) 地球環境科学研究科、光分子化学特別研究、中村貴義、2004年度
- 13) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読Ⅱ、中村貴義、2004年度
- 14) 全学部共通、総合講義「先端の化学」、中村貴義、2004年度
- 15) 地球環境科学研究科、光分子化学実習、芥川智行、2004年度
- 16) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読Ⅰ、芥川智行、2004年度
- 17) 全学部共通、化学Ⅰ、芥川智行、2004年4月1日～2004年9月30日

i. ポスドク・客員研究員など

ポスドク (2名)

加藤恵一 (電子科学研究所)

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 (4名)

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

光材料研究分野

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~)
助手 植杉克弘 (広大院、工博、1994.4~)
助手 熊野英和 (北大院、工博、1997.4~)
院生 海老原正人 (D3)、寺田一教 (M2)、
豊田啓貴 (M2)、木村 聡 (M2)、宮本知幸 (M2)、
藤井政弘 (M1)、平川 徹 (U4)

1. 研究目標

本研究分野では、(I)半導体表面の原子レベル制御とこれを用いた量子ドットなどナノ構造作製による電子状態制御、(II)ナノテク技術を用いた3次元微小光共振器の作製による3次元光場制御、(III)両者を組み合わせた光子生成過程を制御する光高機能材料の実現と、これを用いたナノ構造とその量子情報処理への応用を目指している。

2. 研究成果

(a) InAlAs 単一量子ドットの時間分解分光

半導体量子ドットは、レーザ、光増幅器の高性能化だけでなく、高速で光子数制御された単一光子ダイオード光源としても期待されている。現在進められている量子暗号通信の研究では、光検出器が通信特性の律則要因となっている。そのため、今のところ最も良好な特性を示すシリコン単一光子検出器が、高い量子効率を示す波長 700nm 帯で発光する単一光子光源が実現すれば、総体として高い量子効率を持つ量子情報処理システムの実現が期待される。しか

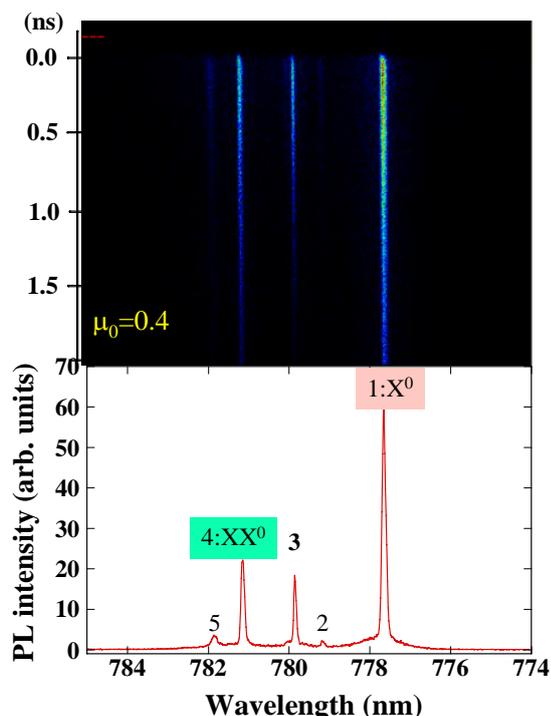


図1. InAlAs 単一量子ドットから観測されるシャープな発光ピークとストリークカメラで測定される時間減衰特性。

しこれまでこの波長帯で発光する量子ドットの研究はほとんど未開拓であった。

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

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

量子ドットは原子と同様な離散的なエネルギー準位を持つため、パウリの排他律によってスピンも考慮すると各準位に分布する電子数は一つに限られる。そこで700nm 帯で発光する InAlAs 系単一量子ドットを用いて、一度にただ一つの光子を発生できる可能性を検証した。まず連続光で光子相関測定をおこなった。この測定では量子ドットの発光寿命、励起状態などの物性値が求められる特徴がある。これによって明瞭な光子アンチバンチング特性を確認し、この波長帯では初めて単一光子放出を確認した。

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

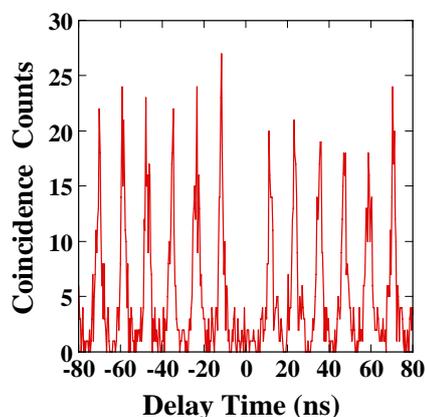


図2. InAlAs 単一量子ドットのパルスレーザ励起による光子相関測定。

(c) CdO 量子ドットの作製

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

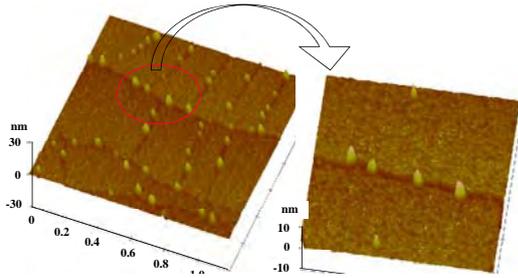


図3. (0001)ZnO 基板上に成長したCdOドット。ZnO テラス原子ステップに沿って整列したドットが形成される。

(d) SiC 半導体表面自己組織化現象の解明に関する研究

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

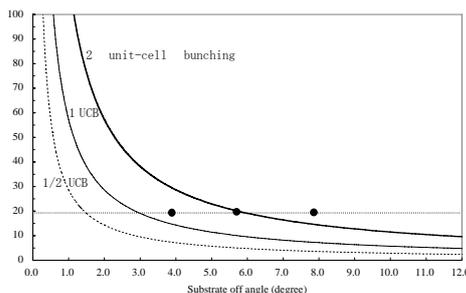


図4. SiC 基板オフ角度とオーダーリング距離（ユニバーサルカーブ）

論を仮定したファセット間相互作用および分子動力学計算により検討した。更に、この特異なオフ角度はSiC-MOSFETの界面準位にも大きな影響を及ぼすと考えられ、定量的な検討を行った。

(e) SiC ナノ表面上のヘテロ構造制御に関する研究

上述のSiC表面の周期的ナノファセット構造を利用し、ヘテロ材料との融合を目指した研究を行っている。本年度は、前年度に引き続きナノ選択成長によるGa_{0.5}N_{0.5}量子細線の成長とカーボンナノチューブ及び自己形成SiO₂ナノマスクを用いたAuドット・細線の形成を試みた。ヘテロナノ構造の形成法としては、

①ナノファセットである(0001)面と(11-2n)面の表面構造（即ち、電子状態や化学状態）の違いを利用し、成長カインेटックスであるそれら表面における原子の吸着・拡散・脱離過程を制御することによって、選択的にかつ自己組織的にヘテロ構造を形成する手法。

②①により選択的にマスク材料であるSiO₂を形成し、ヘテロ材料の選択成長を行う手法。

③その他

の3つを検討した。①によりGa_{0.5}N_{0.5}量子細線を形成し、②により金ドットを形成した。この手法はマスクを用いるということからヘテロ材料系を選ばないため今後種々の材料への応用が可能となる。また、③では、SiCナノファセットの表面熱分解を利用し、カーボンナノチューブ(CNT)の配列を実現した。トンネル顕微鏡による原子像の観察により（図）、CNTの形成機構を明らかにした。CNTは基板オフ方向と平行に形成されることがわかり、これによりカイラリティ制御の可能性を示唆した。

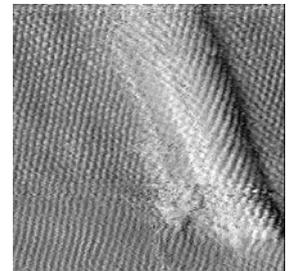


図5. SiC熱分解法により形成したCNTのSTM像。表面のグラフェンと隆起によって形成したCNTの原子像が観察される。

3. 今後の研究の展望

ワイドギャップ半導体であるSiCや窒化物系、酸化物系半導体は次世代電子デバイスや光デバイスへの応用にむけて非常に重要な材料である。SiC表面に特有なナノファセットのオーダーリングはボトムアップテクノロジーとして有用である。今後さらにオーダーリング物理の検討が必須であり、今後その検討を重点的に進める予定である。さらにSiO₂/SiC界面形成過程の検討は、SiCMOSFETへの応用や、ヘテロ系材料成長におけるナノマスクとしての新機能など重要な課題であり、今後「ナノ表面科学」として発展させていく予定である。

このような半導体表面の原子レベル制御に基づく量子ドットなどナノ構造作製による電子状態制御、また3次元微小光共振器との組み合わせによる光子生成過程の制御により、光高機能材料・構造の実現とその量子情報処理への応用を進めていく予定である。

4. 資料

4.1 学術論文

4.1 学術論文等

- 1) 青柳克信、田中悟：「72. ナノテクノロジーと深紫外発光素子の開発」、*個体物理*, 5(39(No459)) : (2004)
- 2) H. Kumano, Y. Hitaka and I. Suemune: “Dynamical properties of atom-like emissions from single localized states in ZnCdS ternary mesa-shaped structures”, *Phys. Status Solidi B*, 241(3): 503-506 (2004)
- 3) I. Suemune, A. A. Ashrafi, M. Ebihara, M. Kurimoto, H. Kumano, T. Y. Seong, B. J. Kim and W. O. Young: “Epitaxial ZnO Growth and p-Type Doping with MOMBE”, *Phys. Status Solidi B*, 241(3): 640-647 (2004)
- 4) M. Kurimoto, A. A. Ashrafi, M. Ebihara, K. Uesugi, H. Kumano and I. Suemune: “Formation of ohmic contacts to p-type ZnO”, *Phys. Status Solidi B*, 241(3): 635-639 (2004)
- 5) 田中悟、李定植、ラムバルピーター、岡川広明：「GaN量子ドット紫外線LEDの作製と光学特性」、*レーザー研究*, 32(6) : (2004)
- 6) K. Uesugi, M. Kurimoto, I. Suemune, M. Yamamoto, T. Uemura, H. Machida and N. Shimoyama: “Observation of Clear Negative Differential Resistance Characteristics in GaAsNSe/GaAs and GaAsNSb/GaAs Multiple Quantum Wells at Room Temperature”, *Physica E*, 21: 727-731 (2004)
- 7) S. Ganapathy, T. Periyasamy, M. Kurimoto, H. Kumano, K. Uesugi, I. Suemune, H. Machida and N. Shimoyama: “Observation of reflection high-energy electron diffraction oscillation during MOMBE growth of AlAs and related modulated semiconductor structures”, *Physica E*, 21: 756-760 (2004)
- 8) S. Tanaka, H. Nakagawa and I. Suemune: “SiC surface nanostructures induced by self-ordering of nano-facets”, *Materials Science Forum*, 457-460 (2004)
- 9) D. Nakaya, Y. Hitaka, S. Kimura, H. Kumano and I. Suemune: “Study of Optimal Coupling of ZnS Pyramidal Microcavities with Distributed Bragg Reflectors”, *Phys. stat. sol. (c)*, 1(4): 1034-1037 (2004)

4.2 総説、解説、評論等

- 1) 田中悟：「自己組織化」、*電子材料ハンドブック* (2005)
- 2) I. Suemune, K. Uesugi, and S. Ganapathy: “Dilute Nitride Semiconductors” Edited by M. Henini, 2005 Elsevier Ltd. Chapt. 4. pp. 137-156.

4.5 その他

- 1) 田中悟：「量子ドットLED」について解説」、*月間ディスプレイ* (2005)

4.7 講演

i) 学会

- 1) 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)
- 2) 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、柴海智、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年春季応用物理学学会、埼玉大学 (2005-03)
- 3) 熊野英和、末宗幾夫：「InAlAs 単一量子ドットの顕微分光と単一光子発生の検証」、第44回精研シンポジウム、東京工業大学 (2005-03)
- 4) 飛高功明、中屋大佑、河口弘樹、熊野英和、末宗幾夫：「低屈折率膜上への ZnS 光共振器構造の作製と評価に関する研究」、2004年秋季第65回応用物理学学会学術講演会予稿集、東北学院大学 (2004-09)
- 5) 宮本知幸、田中悟、藤井政弘、寺田一教、末宗幾夫：「自己組織化による GaN ナノ構造 III Ⅱドット間相互作用による配列制御」、2004年秋季第65回応用物理学学会学術講演会予稿集、仙台 (2004-09)
- 6) 藤井政弘、田中悟、寺田一教、末宗幾夫：「傾斜 SiC(0001) 表面における自己組織化ナノファセット構造Ⅱ面極性依存性について」、2004年秋季第65回応用物理学学会学術講演会予稿集、仙台 (2004-09)
- 7) 飛高功明、中屋大佑、河口弘樹、熊野英和、末宗幾夫：「低屈折率膜上への ZnS 光共振器構造の作製と評価に関する研究」、2004年秋季第65回応用物理学学会学術講演会予稿集、仙台 (2004-09)
- 8) 植杉克弘、末宗幾夫：「GaAsNSe 混晶を用いた長波長広帯域発光ダイオードの作製」、*電子情報通信学会技術研究報告 機構デバイス EMD2004-39*、札幌 (2004-08)
- 9) I. Suemune, S. Ganapathy, H. Kumano, K. Uesugi, Y. Nabetani and T. Matsumoto: “Improved Luminescence Efficiency of InAs Quantum Dots by Nitrogen-induced Strain Compensation with GaNAs Burying Layers”, 16th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM'04), Kagoshima, Japan (2004-05)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) T. Periyasamy, S. Ganapathy, H. Kumano and I. Suemune: “Improved Optical Quality in GaAsN-strain-compensated InAs Quantum Dots and Room Temperature Stimulated Emission from InAs QDs Embedded in a GaAs Microdisk Cavity”, the 5th International Conference in Low Dimensional Structures and Devices(LDSD2004), Cancun, Mexico (2004-12)
- 2) S. Tanaka, T. Miyamoto, K. Terada, M. Hujii and I. Suemune: “Self-ordering of Nanofacets on Vicinal

- SiC(0001)Surfaces and Its Application to Heterogeneous Nanostructures”, 2004 MRS Fall Meeting , Boston, USA (2004-11)
- 3) I. Suemune, S. Ganapathy, T. Periyasamy, K. Uesugi and H. Kumano: “III-V-N-Related Semiconductor Quantum Nanostructures for Optical-fiber Communications”, 2nd Asia-Pacific Conference of Transducers and Micro-Nano Technology, Sapporo, Japan (2004-07)
 - 4) I. Suemune, S. Ganapathy, K. Uesugi, N. Matsumura, Y. Nabetani and T. Matsumoto: “Role of Nitrogen on Emission Wavelength of InAs Quantum Dots: InAs/GaAs Interfaces and Strain-compensating GaAsN Burying Layers”, APS March Meeting Symposium on Dilute Nitride Semiconductors: from Atoms to Devices, LA, USA (2005-03)
 - 5) H. Kumano, S. Kimura, M. Endo, I. Suemune, H. Sasakura , S. Adachi, S. Muto, H. Song, S. Hirose and T. Usuki: “Single photon emission from a single InAlAs Quantum dot”, International conference on Nanoelectronics, Nanostructures and Carrier Interactions , Atsugi, Japan (2005-01)
 - 6) H. Kumano and I. Suemune: “Formation of single localized states in ZnCdS alloy semiconductor and their time-resolved properties”, First International symposium on Nanometer-scale Quantum Physics, Tokyo, Japan (2005-01)
 - 7) S. Ganapathy, I. Suemune, H. Kumano, K. Uesugi, Y. Nabetani and T. Matsumoto: “Improved Structural Homogeneities and Luminescence Efficiencies of InAs Quantum Dots with Nitridation on Dots Surfaces”, 8th International Symposium on Contemporary Photonics Technology, Tokyo, Japan (2005-01)
 - 8) S. Kimura, H. Kumano and I. Suemune: “Study of Enhancement of Photon Extraction Efficiency from Single Microsphere”, Sixth RIES-HokudaiSymposium, Sapporo, Japan (2004-12)
 - 9) M. Ebihara, H. Kumano and I. Suemune: “Growth of CdO Quantum Dots on Zn-polar ZnO Substrates”, Sixth RIES-HokudaiSymposium, Sapporo, Japan (2004-12)
 - 10) T. Miyamoto, S. Tanaka and I. Suemune: “Self-Ordering of GaN nanostructures on vicinal SiC surfaces 𠂉”, 206th Meeting of The Electrochemical Society, Honolulu, USA (2004-10)
 - 11) S. Tanaka, T. Miyamoto, K. Terada and I. Suemune: “Site-selective GaN growth on self-ordered SiC nanofacets”, International Workshop on Nitride Semiconductors 2004, Pittsburgh, USA (2004-07)
- iii) **コロキウム・セミナー等・その他**
- 1) I. Suemune, K. Uesugi and H. Kumano: “Coupling of Quantum Dots and Microcavities: Towards Quantum Information Communications and Processing”, RCIQE In-

ternational Seminar, Sapporo, Japan (2005-02)

- 2) I. Suemune: “Growth of p-Type ZnO by MOMBE and Formation of Ohmic Contacts”, Topical Seminar on Oxides Materials, Gwangju Institute of Science and Technology, Korea (2004-11)

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)

- 1) 熊野英和、末宗幾夫、II-VI workshop 2005、30名、第一滝本館 (北海道登別市)、2005年3月3日～2005年3月4日

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

e. 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) 熊野英和 (電子科学研究所プロジェクト研究(B)): 「半導体単一光子発生源に向けた量子ドット-光共振器結合の研究」、2003～2004年度、1,700千円、半導体単一光子発生源に向けた量子ドット-光共振器結合の研究
- 2) 武藤俊一、末宗幾夫、熊野英和、植杉克弘 (科学技術振興機構): 「量子情報処理ネットワーク要素技術」、2002～2006年度、59,680千円、量子ドットの電子スピンを用いた量子演算の実験的検証を行うとともに、その光量子情報通信との整合性を検証し、量子情報処理ネットワークの要素技術を開発する

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、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
- 2) 末宗幾夫、萌芽研究、半導体3次元微小光共振器を用いた単一光子による量子位相変調の研究、2003～2004年度
- 3) 熊野英和、若手研究 B、自己形成メサ上に作製した単一量子ドット中の多重励起子からの相関光子対発生、2003～2004年度
- 4) 田中悟、基盤研究 A 一般 (2)、原子レベル表面状態制御による低欠陥窒化物半導体のヘテロエピタキシー、

2002～2004年度

4.12 社会教育活動

a. 公的機関の委員

- 1) 末宗幾夫：独立行政法人 物質・材料研究機構 平成16年度実施プロジェクト研究4課題（ナノテクグループ）の事前評価委員（2004年度）
- 2) 末宗幾夫：日本学術振興会平成14年度特別研究員等審査会専門委員（2002年8月1日～2004年7月31日）
- 3) 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）
- 4) 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）
- 5) 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：16th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM'04), Program Committee（2004年5月31日～2004年6月4日）

d. その他

- 1) 末宗幾夫：電子情報通信学会 次世代ナノ技術に関する次元研究専門委員会専門委員（2004年3月1日～現在）
- 2) 末宗幾夫：JJAP 編集委員（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、光電子物性学特論、末宗幾夫、2004年4月1日～2004年9月30日
- 2) 全学部共通、21世紀を拓くナノ・光科学、末宗幾夫、2004年4月1日～2004年9月30日
- 3) 工学研究科、光電子物性学特論、田中悟、2004年4月1日～2004年9月30日

h. 北大以外での非常勤講師（担当者、教育機関、講義名、期間）

- 1) 末宗幾夫、室蘭工業大学大学院工学研究科研究科・大学院工学研究科部、創成機能科学ゼミナール、半導体量子ドットと光量子情報科学への応用、2004年10月14日
- 2) 末宗幾夫、日本大学理工学研究科、量子科学フロンティア、2004年7月15日

i. ポスドク・客員研究員など

ポスドク（3名）

ウェイ ジャン（北海道大学電子科学研究所電子材料物性部門光材料研究分野）、遠藤礼暁（電子科学研究所電子材料物性部門光材料研究分野）、栗本誠（北海道大学電子科学研究所電子材料物性部門光材料研究分野）

客員研究員（2名）

Periyasamy Thilakan（北海道大学電子科学研究所電子材料物性部門光材料研究分野）、Ganapathy Sasikala（北海道大学電子科学研究所電子材料物性部門光材料研究分野）

j. 修士学位及び博士学位の取得状況

修士課程（6名）

木村聡、宮本知幸、豊田啓貴、中屋大佑、寺田一教、中川啓志

博士後期課程（1名）

海老原 正人

修士論文

中屋大佑：ZnS 三次元光共振器の構成方法とその評価に関する研究

中川啓志：周期的 SiC ナノ表面構造に関する研究

電子機能素子部門

研究目的

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



量子機能素子研究分野

教授 石橋 晃 (東大院、理博、2002.01~)
 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、ボトムアップ両系間に橋渡しすること(究極的には統合・融合すること)は極めて重要にも係らず、未だ実現されていない。

従来の「ボトムアップとトップダウンの統合」が両者のいいとこ取りでナノ構造を作るといふもの(積集合)であったのと異なり、両者の相互乗り入れを可能とする(和集合)の観点から取組んでいる。両者の構成原理が大きく異なるため、勿論容易ではないが、もしトップダウン-ボトムアップの両系を繋ぐことができれば、今後ナノテク・ナノサイエンス分野で得られる新しい効果や機能を既存の Si ベースの IT インフラ構造と接続し相乗効果を出しつつナノとマクロを結合することができる。当研究室では、このような立場から、局所的かつ個別的にアドレスすることの可能なナノ構造体を大局的サイズで得、さらに新しい量子機能を創出することを目指した研究を進めている。

2. 研究成果

(a) トップダウン系とボトムアップの接続の基礎、及び量子十字構造

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

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

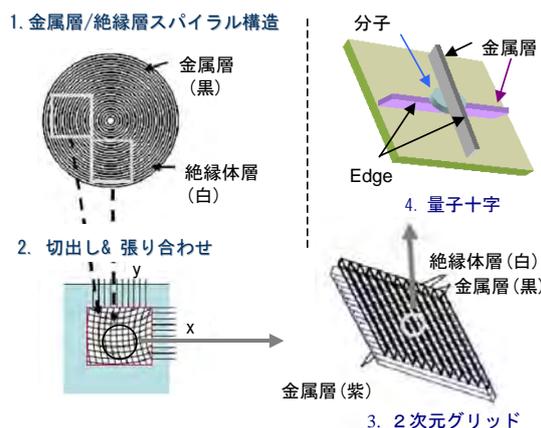


図 1. ナノバウムクーヘン作製と 2 枚重ね

金属層(リボン)の縁と縁の交差つまり edge-to-edge の配置となる。

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

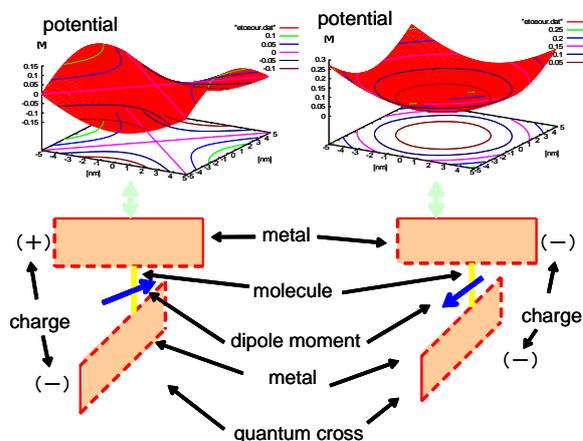


図 2. 量子十字構造における両金属リボンの中間(の両対向リボンエッジに平行な)平面に於けるポテンシャル分布

(b) ナノ構造体の理論的検討

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

図3. a)
準粒子の運度量
分布
(2次元電子)

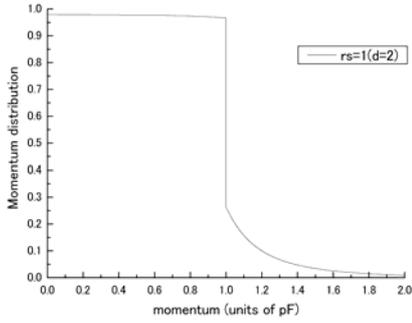
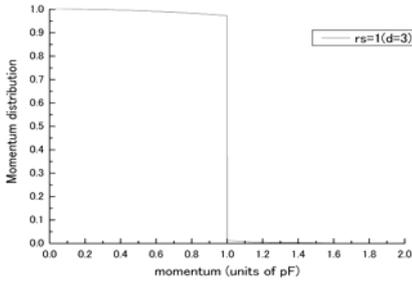


図3. b)
準粒子の運度量
分布
(3次元電子)



任意のポテンシャルに閉じ込められた電子のエネルギー準位を1電子近似を超えて、交換・相関エネルギーを取り込んで計算する事が前年度出来るようになった。今年度はそれを具体的な問題に応用した。具体的には量子ドットに閉じ込められた電子系の付加エネルギーを求めると共に量子ドットに不純物が混じったときの付加エネルギーの変化を、量子ドットを調和振動子型のポテンシャルで近似し、かつ不純物を量子ドットの中心に円筒型のポテンシャルを置くことで近似して求めた。図4aに不純物があるときのポテンシャルと付加エネルギーの説明を示してある。付加エネルギー(Addition Energy)は密度汎関数理論を用いて全電子エネルギーを求め、そこから図4a中の式から求めた。その結果を図4bに示す。円柱ポテンシャルの高さは無限大とし、かつ半径は0.2有効ボーア半径とした。量子ドットの半径は10有効ボーア半径である。図からわかるように2%ほどのポテンシャルが入るだけで大きな変化があり、これは量子リングの付加エネルギーと相似であることもわかった。

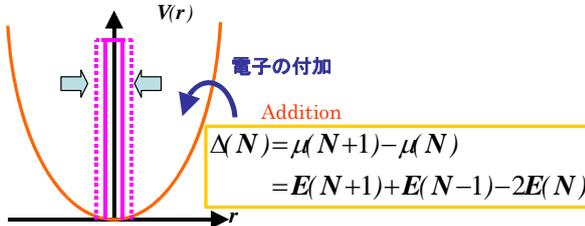


図4. a) 円柱型ポテンシャルを内包した調和振動子型ポテンシャル

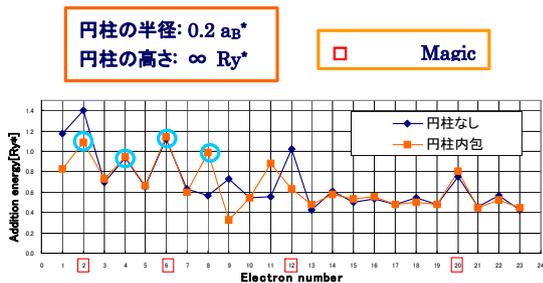


図4. b) Addition Energy Spectrum

(c) コンパクトクリーンユニットシステムの開発

従来は巨大なクリーン空間を必要とし、コンパクトな生産システムとすることが出来なかったが、トップダウン・ボトムアップ両系の融合をその実験プラットフォームベースでも支えるべく、通常実験室環境に直置きしてもISOクラス2の高清浄度を持つクリーンボックス連結システムの要素技術を開発しつつある。ダスト密度を $n(t)$ 、クリーン空間の体積を V_0 、その空間の内面積を S 、単位面積・単位時間当たりのダスト微粒子の脱離レートを σ 、クリーン空間の設置環境(即ち外気)のダスト密度を N_0 、 γ を HEPA フィルターのダスト捕集率とすると、ダスト微粒子密度は

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

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

3. 今後の研究の展望

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

また、本研究の目指すダブルナノバウムクーヘン構造は、既存の素子の特性を飛躍的に向上させる可能性も持っている。リボンの厚みと巾を独立制御できることにより、例えば、分子素子では従来の Break Junction 電極(Reed, 1997)や40nm程度の粗大な Cross-bar 構造(Williams, 2002)と異なり、配線抵抗は小さく抑えながらも、対向2電極のクロスセクションを極めて小さく押さえ真に少数の分子系を挟む事ができるのみならず、原子層オーダーで急峻な D_{2d} 対称性もつサドルポイント状のナノスケール電極配置の創成と同電極に挟まれた活性エレメントの物性評価を行うことができる。2次元電子液体において、さらに厳密な解を得るために、パーテックス補正を取り入れた GW Γ 法を開発し、適用する。密度汎関数法の基礎に関わる交換・相関カーネ

ルについて新しいカーネルの提案を行う。またすでに結果が得られつつあるが、ナノコンタクトにおけるコンタクト物質の次元性とコンダクタンスについての関係を明らかにする。また磁気記録応用でも超高密度化の可能性が期待できる。ダブルナノバウムクーヘン構造により得られる多重並列エッジ対向金属リボン交差構造により(2次元的な)ナノとマクロの世界をつなぎ、トップダウン-ボトムアップ両系の統合に端緒をつける可能性が出てくる。またスパイラルヘテロ構造を用いた新型太陽電池の応用も期待される。

4. 資料

4.1 学術論文等

- 1) A. Ishibashi and K. Kondo: "Current-injection induced dislocation networks in II-VI laser diodes: bottom-up structures emerging in top-down system", *Electron. Lett.*, 40(20): 1268-1269 (2004)
- 2) Y. Otaka, H. Kaiju, M. Nishiyama, N. Sakaguchi and K. Shiiki: "Evaluation of AlOx in Co/AlOx/Co spin tunneling junctions", *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, 811: E3.7.1-E3.7.6 (2004)
- 3) H. Kaiju, K. Saisho and K. Shiiki: "High sensitive magnetic sensing method using magnetoresistance devices", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 43(8A): 5600-5603 (2004)
- 4) N. Hirabayashi, H. Kaiju and K. Shiiki: "Radio frequency magneto-impedance effect in spin tunneling junctions", *Rev. of Sci. Instrum.*, 75(6): 2061-2064 (2004)

4.4 著書

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

4.6 特許 (発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

- 1) 川口敦吉、石橋晃: 特願2004-377301、クリーンユニットプロセス装置融合システム、クリーンユニットシステム、クリーンユニットおよびポータブルクリーンユニット、2004年12月27日
- 2) 石橋晃: 2004-375089、機能素子、記憶素子、磁気記録素子、太陽電池、光電変換素子、発光素子、触媒反応装置およびクリーンユニット、2004年12月24日
- 3) 石橋晃、川口敦吉: 2004-271106、薄膜積層構造体の製造方法、薄膜積層構造体、機能素子、機能素子の製造方法、薄膜積層構造体の製造装置およびヘテロ構造体、2004年9月17日
- 4) 石橋晃: 2004-262040、記憶素子、磁気記録素子、太陽電池および触媒反応装置、2004年9月9日
- 5) A. Ishibashi: PCT 出願、PCT/JP2004/008842、クリーンユニット、クリーンユニットシステム、機能ユニット、機能ユニットシステム、材料処理方法、素子製造方法、細胞系育成方法および植物体育成方法、2004年6月19日

4.7 講演

i) 学会

- 1) 山形整功、石橋晃、近藤憲治: 「円柱型ポテンシャルを内包した調和振動子型ポテンシャルにおける電子の付加エネルギー」、2005年春季応用物理学会、埼玉県 (2005-03)
 - 2) 川口敦吉、山形整功、海住英生、近藤憲治、石橋晃: 「量子十字構造作製のための高度清浄環境の実現に向けての考察と実験」、日本物理学会 第60回年次大会、東京理科大学 (2005-03)
 - 3) 荒川信行、大高悠毅、海住英生、椎木一夫: 「トンネル確率の数値計算による障壁高さ・膜厚の評価」、日本物理学会 第60回年次大会、東京理科大学 (2005-03)
 - 4) 大高悠毅、海住英生、西山真生、原田慎也、椎木一夫: 「XPS を用いた Co/AlOx/Co スピントネル素子の絶縁層の評価(IV)」、日本物理学会 第60回年次大会、東京理科大学 (2005-03)
 - 5) 五十嵐一也、原田慎也、海住英生、椎木一夫: 「反応性スパッタ法による絶縁層 AlN の研究 II」、日本物理学会 第60回年次大会、東京理科大学 (2005-03)
 - 6) A. Ishibashi, H. Kaiju and N. Kawaguchi: "Physics of Enabling High Cleanliness with Compact Connected Box-Units System", The 25th Conf. Solid State Phys. and Mat. Sci., & Workshop on Photonic Materials and Optoelectronic Devices II, Luxor, Egypt (2005-03)
 - 7) A. Ishibashi: "Self-similar Dislocation Network in Degraded ZnMgSSe-based Laser Diodes and Uniting Bottom-up Structures with Top-down Systems", The 25th Conf. Solid State Phys. and Mat. Sci., & Workshop on Photonic Materials and Optoelectronic Devices II, Luxor, Egypt (2005-03)
 - 8) H. Kaiju, N. Kawaguchi and A. Ishibashi: "Unification for Bottom-up (BU) and Top-down (TD) systems", Nano tech 2005 International Nanotechnology Exhibition & Conference, Tokyo, Japan (2005-02)
 - 9) 税所和也、海住英生、椎木一夫: 「発振制御型磁気センシング法の応答特性」、第28回日本応用磁気学会、琉球大学 (2004-09)
 - 10) 石橋晃、山形整功、川口敦吉、近藤憲治: 「ナノバイオ融合プラットフォーム用クリーンボックス連結ユニット」、2004年秋季代65回応用物理学会学術講演会、宮城県仙台市 (2004-09)
- ### ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) H. Kaiju, K. Shiiki and A. Ishibashi: "Possibility of high density memory with quantum crossed spin tunneling junctions", Nano-processing and measurement workshop in spin electronics, Tokyo, Japan (2005-01)
 - 2) K. Kondo and A. Ishibashi: "THE ENERGY SPECTRUM OF TWO-DIMENSIONAL ELECTRON GAS IN QUANTUM STRUCTURES", The 6th RIES-Hokudai SYMPOSIUM, Sapporo, Japan (2004-12)
 - 3) H. Kaiju, K. Shiiki, K. Kondo and A. Ishibashi: "Study of high density memory with spin tunneling junctions", The

- 6th RIES-Hokudai Symposium, Sapporo, Japan (2004-12)
- 4) A. Ishibashi: "Possibility of Uniting Bottom-up Structures with Top-down Systems", Int. Symp. on Nano Science and Technology, Tainan, Taiwan (2004-11)
- iii) コロキウム・セミナー等・その他
- 1) 石橋晃:「知的財産論II」、ニセコ オータムスクール 2004 第4回北大ビジネス入門コース、北海道虻田郡ニセコ町 (2004-11)

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 (2名)

川口敦吉、山形整功

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) 石橋晃、徳本洋志、末宗幾夫、中村貴義、近藤憲治 (電子科学研究所):「極微細接合素過程に対する次元・空間配位の影響の研究」、2003~2004年度、次元数表記で3-0-3、3-2-0-2-3などの従来行われてきた接合構造・配置に対し、特に3-2-0-R2-3(R2は相対的に回転した2次元面であることを示す)の極微細接合について理論的に考察するとともに、この構造(ユニット)を作るための要素技術を確立する。
- 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) 石橋晃 (独立行政法人科学技術振興機構):「研究成果実用化検討「機能素子およびその製造方法並びに機能システムならびに機能材料」、2004年度、3,000千円、ナノスケールの素子を形成するための、あるいはこれらの素子を搭載するためのプラットフォームとしての機能性材料およびその製造方法が開発される。また、その機能性材料を適用した高密度メモリーが開発される。

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) 海住英生、特別研究員奨励費、磁気トンネル効果の高周波インピーダンス特性に関する研究、2002~2004年度

4.12 社会教育活動

- g. 北大での担当授業科目 (対象、講義名、担当者、期間)
- 1) 全学部共通、物理学Ⅲ、石橋晃、2004年10月1日~2005年3月31日
- 2) 理学研究科、電子物性物理学Ⅰ、石橋晃、2004年10月1日~2005年3月31日
- 3) 全研究科共通、ニセコオータムスクール 第4回北大ビジネス入門コース (分担)、石橋晃、2004年10月1日~2005年3月31日
- 4) 全研究科共通、UFJC 起業家育成公開講座 (MOT) コース (分担)、石橋晃、2004年4月1日~2004年9月30日
- 5) 全学部共通、複合科目 環境と人間 「21世紀を拓くナノ・光科学」(分担)、石橋晃、2004年4月1日~2004年9月30日
- i. ポスドク・客員研究員など

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）、橋本裕一（D3）、藪浩（D3）

修士課程

伊土直子（M2）、小幡法章（M2）、治田修（M2）、
樋口剛志（M2）、田村仁志（M2）、大里大輔（M1）、
田中あや（M1）、門間太志（M1）

学部生

石塚範子（B4）、児島美季（B4）、佐藤壮人（B4）

1. 研究目標

生物は高度な分子認識とそれ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単一分子をターゲットとした分析手法の開発、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。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行っている。これらの研究を通じてナノテクノロジー研究の新展開を目指す。

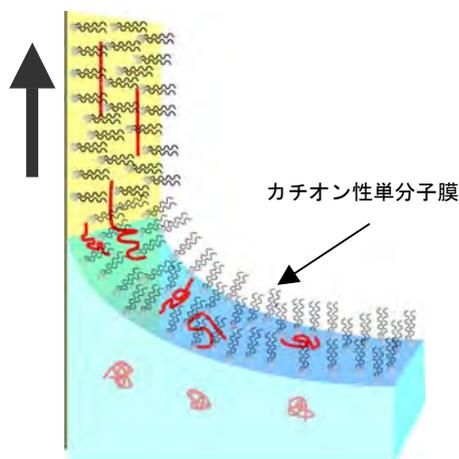


図1. LB法による単一DNA分子の伸長固定化

2. 研究成果

(a) 単一 DNA 分子の自己組織化的配列固定化に関する研究

DNA は、塩基の配列に基づいてタンパク質のアミノ酸配列をコードした遺伝を保持する高分子であるだけでなく、その二重らせん構造内では π 電子に富んだ塩基がスタッキングしていることから電子材料として期待されており、また分子や粒子の配列のための鋳型となることからボトムアップ型ナノテクノロジー材料としても注目されている。これまで当研究分野では、単一 DNA 分子に着目して、1分子レベルでの塩基配列の読み出しや電子素子を作製するために DNA の伸長固定化についての研究が行われてきた。気水界面にカチオン性の両親媒性化合物を展開し、静電的相互作用により形成した DNA 分子とのポリイオン複合膜を Langmuir-Blodgett (LB) 法 (図1) を用いて、単分子膜に流動性を持たせた状態で固体基板上に移し取ると、溶液中ではランダムコイル形状であった DNA 分子を伸長して固定化できることを見出ししてきた。このとき DNA は伸長されるもののその間隔はランダムであった。しかし、単一 DNA 分子の塩基配列の精密な読み出しや電子デバイス材料として集積化するためには、伸長された DNA の基板上の固定位置の制御が不可欠である。そこで我々は長鎖 DNA の代わりに短鎖 DNA やオリゴヌクレオチドを下水相に添加し、LB 法によってそのポリイオン複合膜を固体基板上に移し取ることで短鎖 DNA やオリゴヌクレオチドがストライプ状に固定化されることを見出した (図2)。

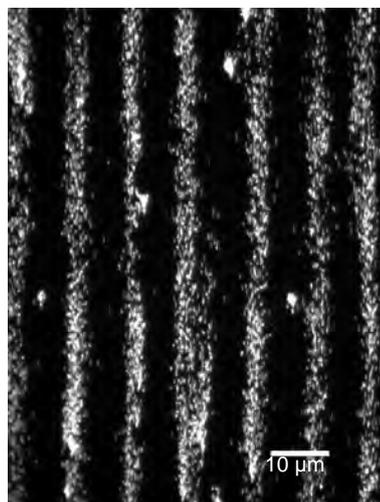


図2. LB法によってストライプ状に固定された短鎖DNAの蛍光像

ストライプの幅や間隔は固体基板の引き上げ速度や引き上げ時に表面圧に依存することがわかった。このようなストライプ構造の形成は引き上げ時のマランゴニー対流のような散逸構造によるものと考えている。そして、短鎖 DNA やオリゴヌクレオチドに長鎖 DNA を混合して、同様に LB 法によって固体基板上に固定したところ、長鎖 DNA は短鎖

DNA やオリゴヌクレオチドが形作るストライプ構造に沿って伸長固定化されることがわかった (図3)。このことにより自己組織化的な手法を用いても長鎖 DNA の伸長固定化の空間制御が可能であることが示された。現在はストライプ構造の形成メカニズムをメニスカスのその場観察による解明をめざしている。

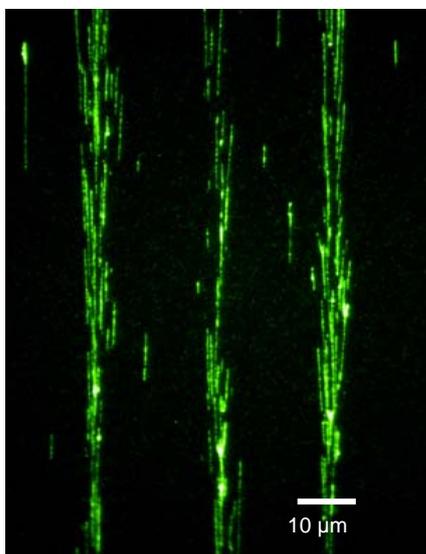


図3. パターン状に伸長固定化された DNA 分子の蛍光像

(b) DNA を鋳型とした金属ナノネットの構築に関する研究

オリゴヌクレオチドや DNA を鋳型とすることで、塩基配列や分子の形などの情報を転写した新しい機能性材料の開発をめざしている。DNA を鋳型高分子として用いる利点は塩基配列が制御された合成 DNA を利用することが容易で、塩基配列による構造制御が可能なが挙げられる。これまで我々は現在の半導体技術では作製が困難であると考えられる数ナノメートルの領域でのデバイス作製をめざして、DNA 分子を選択的無電解メッキによる金属ナノ細線の作製技術の開発を行ってきた。この手法を用いて透明電極作製を試みた。透明電極は液晶ディスプレイをはじめ様々なディスプレイの電極として使われている。現在透明電極は主に ITO ガラスが用いられているが、その原料一つのインジウムが世界的に枯渇しており、その代替電極の開発が盛んに行われている。光の波長より細い電線でネットワークを作製できれば、光の散乱や干渉を抑えることができ、透過性に優れた透明電極を作製できると期待される。DNA 希薄水溶液を平滑な基板上にキャストすることで線幅数10nm で数100nm の孔を持ったネット状構造を形成できることが知られている。そこでこれを選択的無電解メッキすることで金属ナノネットを作製できると考えた。DNA と DNA に結合するプラチナ化合物の混合水溶液を雲母基板上にスピンコートしネット構造を作製した。これを還元してプラチナを析出させた後に銅メッキ溶液に浸

漬して選択的無電解メッキを行ったところ、線幅約10nm で孔の大きさが約100nm の銅ナノネット構造を作製することができた (図4)。また同様な手法で DNA を鋳型として銀のナノネットも作製した。これは数 mm の領域で導電性を有していることがわかった。今後は金属ナノネットの光透過性を調べることで実用化の可能性について調べる予定である。

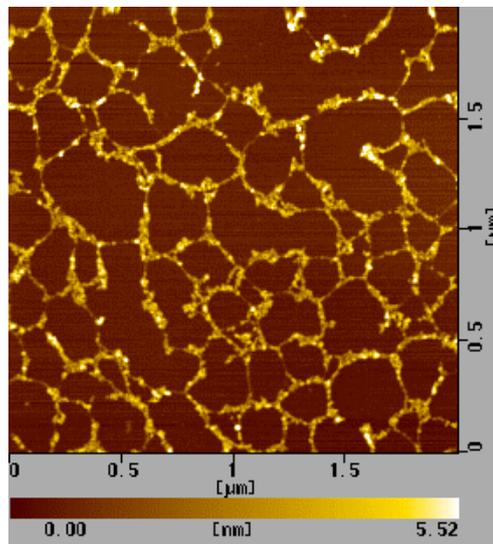


図4. DNA を鋳型にして作製した銅ナノネットのAFM像

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、細胞の組織化を構築することができるようになることが期待される。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ることにより、新たなナノサイエンス、組織工学を開拓する。

4. 資料

4.1 学術論文等

- 1) Y. Matsuo, K. Ijro, and M. Shimomura, "Stretching of single DNA molecules complexed with restriction endonuclease by Langmuir-Blodgett method", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 40, 123-126 (2005)
- 2) 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)
- 3) K. Ijro, Y. Matsuo, and Y. Hashimoto, "Fabrication of Metal Nanowires by Electroless Plating of DNA", *e-J. Surf. Sci. Nanotech.*, 3, 82-85 (2005)
- 4) Y. Hashimoto, Y. Matsuo, and K. Ijro, "Fabrication of Silver Nanowires based on DNA stretched by the LB Method", *Transactions of the Materials Research Society of Japan*, 30, 671-674 (2005)
- 5) S. Abe, H. Moriyama, K. Niikura, F. Feng, K. Monde and S-I. Nishimura, "Versatile Synthesis of Oligosaccharide-Containing Fullerenes", *Tetrahedron: Asymmetry*, 16, 15-19 (2005)
- 6) T. Furuike, R. Sadamoto, K. Niikura, K. Monde, N. Sakairi and S-I. Nishimura, "Chemical and Enzymatic Synthesis of Glycocluster Having Seven Sialyl Lewis X Arrays Using β -Cyclodextrin as a Key Scaffold Material", *Tetrahedron*, 61, 1737-1742 (2005)
- 7) K. Niikura, R. Kamitani, M. Kuroguchi, R. Uematsu, Y. Shinohara, H. Nakagawa, K. Deguchi K. Monde, H. Kondo, S-I. Nishimura, "Versatile Glycoblotting Nanoparticles for High Throughput Protein Glycomics", *Chemistry- A European Journal*, 11, 3825-3835 (2005)

4.2 総説、解説、評論等

- 1) 居城邦治:「分子配列制御を目指した水面単分子膜の分子認識」、*表面科学*, 25(3): 124-130 (2004)
- 2) 居城邦治:「DNA-金属ハイブリッドからなるナノ細線の作製」、*Japan Nanonet Bulletin*, 49 (2004)

4.4 特許 (発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

- 1) 居城邦治、石塚範子、松尾保孝、特願2005-024527、生体適合性および高体積変化能を有する組織体ならびにその作製方法、2005年1月31日
- 2) 居城邦治、佐藤壮人、松尾保孝、特願2005-024545、DNAを用いた透明電極の作製方法、2005年1月31日

4.5 講演

a. 招待講演

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) 居城邦治:「DNAの分子認識を利用した機能性ナノ材

料の作製」、*みらいせらい展 IT 系イベントシンポジウム「DNA/バイオファイバーのエレクトロニクス」*、東京 (2004-8)

b. 一般講演

i) 学会

- 1) 橋本裕一、松尾保孝、居城邦治:「DNAを鋳型とした金属ナノワイヤーの作製」、*日本化学会第85春季年会*、*神奈川大学* (2005-03)
- 2) 田中あや、松尾保孝、居城邦治:「5'末端がリン酸化されたオリゴDNAの多重会合体形成」、*日本化学会第85春季年会*、*神奈川大学* (2005-03)
- 3) 門間太志、鶴間章典、松尾保孝、堀田純一、田中賢、山本貞明、笹木敬司、居城邦治、中村博、下村政嗣:「自己組織化パターン上での光ピンセットを用いた医神経細胞の配列制御」、*第4回日本再生医療学会総会*、*大阪国際会議場* (2005-03)
- 4) K. Ijro, Y. Matsuo and Y. Hashimoto: "FABRICATION OF SILVER NANOWIRES BY ELECTROLESS PLATING OF DNA", *AsiaNANO 2004(Asian Conference on Nanoscience & Nanotechnology)*, BEIJING, CHINA (2004-11)
- 5) K. Ijro, Y. Matsuo and Y. Hashimoto: "DNA-BASED SILVER NANOWIRES FABRICATED BY ELECTROLESS PLATING", *KJF2004*, *沖縄青年会館*, Japan (2004-11)
- 6) 治田修、居城邦治:「環状DNAを鋳型にした塩基対形成によるアゾベンゼン環状組織体の構築」、*第53回(2004年)高分子討論会*、*北海道大学* (2004-09)
- 7) 橋本裕一、居城邦治:「伸長された単一DNA分子上での金属導線の作製」、*第53回(2004年)高分子討論会*、*北海道大学* (2004-09)
- 8) 田中あや、松尾保孝、居城邦治、西孝行、野堀智新、大矢裕一、大内辰朗:「DNA会合体形成における末端リン酸基の効果」、*第53回(2004年)高分子討論会*、*北海道大学* (2004-09)
- 9) 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53回(2004年)高分子討論会*、*北海道大学* (2004-09)
- 10) 田中あや、松尾保孝、居城邦治、西孝之、野堀智新、大矢裕一、下村政嗣:「DNA会合体形成における末端リン酸基の効果」、*第53回(2004年)高分子討論会*、*北海道大学* (2004-09)
- 11) 藪 浩、下村政嗣、居城邦治:「核酸-脂質ポリイオンコンプレックスナノ微粒子の調整と集能」、*第57回コロイドおよび界面化学討論会*、*山口東京理科大学* (2004-09)
- 12) 松尾保孝、居城邦治:「LB法によるDNA/高分子複合体の伸長・固定化」、*第65回応用物理学会学術講演会*、*東北学院大学* (2004-09)
- 13) Y. Matsuo and K. Ijro: "Two-dimensional pattern formation of stretched DNA molecules in Langmuir-Blodgett

- films”, MACRO2004, Paris, France (2004-07)
- 14) 田中あや、松尾保孝、大矢裕一、西孝之、野堀智新、大内辰郎、居城邦治、下村政嗣：「オリゴ DNA 多重会合体の LB 法による伸長固定化」、2004年第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
 - 15) 治田修、西田仁、森末光彦、居城邦治、下村政嗣：「環状 DNA との塩基対形成を利用した気水界面におけるアゾベンゼンの環状配列化」、2004年第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
 - 16) 松尾保孝、居城邦治、下村政嗣：「LB 法による伸長 DNA 分子の二次元配列制御」、2004年第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
 - 17) 橋本裕一、澤田石哲郎、居城邦治、下村政嗣：「LB 法で伸長固定化した DNA の無電解メッキによる金属細線の作製」、2004年第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
 - 18) 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)
 - 19) 治田修、居城邦治：「気液界面で形成した両親媒性核酸塩基化合物-オリゴヌクレオチド複合膜の分光学的解析」、高分子学会第39回北海道支部冬季研究発表会、北海道大学学術交流会館・100年記念会館 (2005-02)
 - 20) 松尾保孝、居城邦治：「伸長 DNA を用いた有機 EL 用高分子の伸長・固定化法の開発」、高分子学会第39回北海道支部冬季研究発表会、北海道大学学術交流会館・100年記念会館 (2005-02)
 - 21) 田中あや、橋本裕一、松尾保孝、居城邦治、大谷裕一、大内辰郎：「5'末端リン酸化が DNA の多重会合体形成へ及ぼす効果」、高分子学会第39回北海道支部冬季研究発表会、北海道大学学術交流会館・100年記念会館 (2005-02)
 - 22) 佐藤壮人、橋本裕一、松尾保孝、居城邦治：「DNA を用いたネットワークパターンの形成と無電解メッキによる金属ナノネットの作製」、高分子学会第39回北海道支部冬季研究発表会、北海道大学学術交流会館・100年記念会館 (2005-02)
 - 23) 居城邦治、橋本裕一、松尾保孝：「LB法による長鎖DNAの伸長固定化」、第57回コロイドおよび界面化学討論会、山口 (山口東京理科大学) (2004-09)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) 松尾保孝、居城邦治：「近接場光学顕微鏡による伸長固定化した DNA/タンパク複合体の観察」、特定領域 H16-18分子系の極微構造反応の計測とダイナミクス 第2回公開シンポジウム、大阪大学 (2005-02)
 - 2) Y. Matsuo and K. Ijro: “Two-dimensional patterns of DNA molecules prepared on the solid substrate by Langmuir-Blodgett method”, The 6th RIES-Hokudai Sympo-

sium “超(chou)”, Hokkaido University Conference Hall, Japan (2004-12)

- 3) 治田修、居城邦治：「Circular Arrangement of Azobenzene Chromophores at the Air-Water Interface by using Base-Pairing with Cyclic DNA」、北海道高分子若手研究会 & Summer University in Hokkaido 合同研究会2004、新しのつつぶの湯(北海道) (2004-08)
- 4) 居城邦治、橋本裕一：「DNA の無電解メッキによる銀ナノワイヤーの構築」、第14回 バイオ・高分子シンポジウム、東京(上智大学) (2004-07)

4.7 予算獲得状況

- a. 科学研究費補助金 (研究代表者、分類名、研究課題、期間)
- 1) 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
 - 2) 松尾保孝、特別研究員奨励費、新規非線形光学応答素子を目指した伸長・配向制御高分子薄膜の作製と光学特性評価、2004年度

4.8 共同研究

- e. その他 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、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、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」

4.10 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)

e. 新聞・テレビ等の報道

・新聞

- 1) 居城邦治：日経ナノテクノロジー 2005年2月22日「北大、ナノデバイス実現の可能性を示す DNA を鋳型にした銀ナノ細線開発」
- 2) 居城邦治：日経ナノテクノロジーPDF 2005年2月22日「北大、ナノデバイス実現の可能性を示す DNA を鋳型にした銀ナノ細線開発」
- 5) 居城邦治：日経産業新聞 2004年6月25日「DNA を芯に極細導線北海道大学の居城邦治教授らは人工 DNA(デオキシリボ核酸)を素材に、直径がナノ(ナノは十億分の一)メートルサイズの極細導線を開発した。細いDNA

が導線の芯として使えることに着目、これに微小な銀粒子を付着させて導線にした。DNA の物理的な性質を利用したユニークな成果で、半導体の配線や微小機械などに有望。2010年ごろの実用化を目指す。」

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、化学Ⅱ、居城邦治、2004年10月1日～2005年3月31日
- 2) 理学研究科、論文講読Ⅰ、居城邦治、2004年度
- 3) 理学研究科、論文講読Ⅱ、居城邦治、2004年度
- 4) 理学研究科、論文講読Ⅴ、居城邦治、2004年度
- 5) 理学研究科、特別研究Ⅰ、居城邦治、2004年度
- 6) 理学研究科、特別研究Ⅱ、居城邦治、2004年度
- 7) 理学研究科、特別研究Ⅴ、居城邦治、2004年度
- 8) 理学研究科、超分子化学特論Ⅱ、居城邦治、2004年4月1日～2004年9月30日

i. ポスドク・客員研究員など

ポスドク（1名）

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）

伊土直子

博士後期課程（2名）

橋本裕一、藪 浩

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 齋藤 健太

院生

三國新太郎 (D2)、紀伊宏昭 (M2)
高木卓也 (M2)、大杉 友 (M2)
永山裕貴 (M2)、佐々木章 (M1)
堀田晋也 (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のまま単一分子レベルで追跡可能な種々の光学技術の開発も行う。具体的目標は、

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

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

2. 研究成果

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

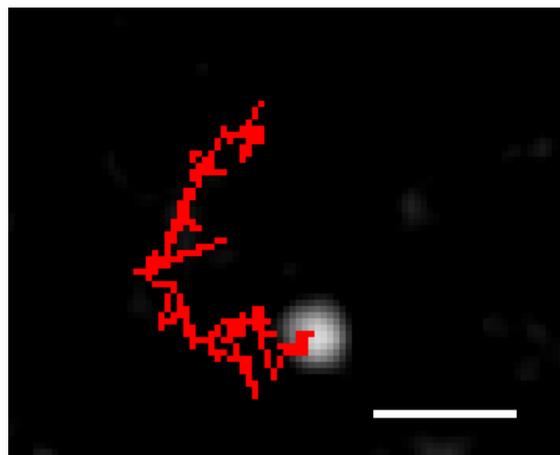


図 1. 全反射蛍光顕微鏡を用いて生きた細胞の生体膜上の Protein Kinase C と EGFP 融合タンパク質 (PKC-EGFP) を 1 分子観察し、その軌跡から拡散定数を算出した。スケールバー: $1 \mu\text{m}$
観察時間: 2 sec (30frame/sec)

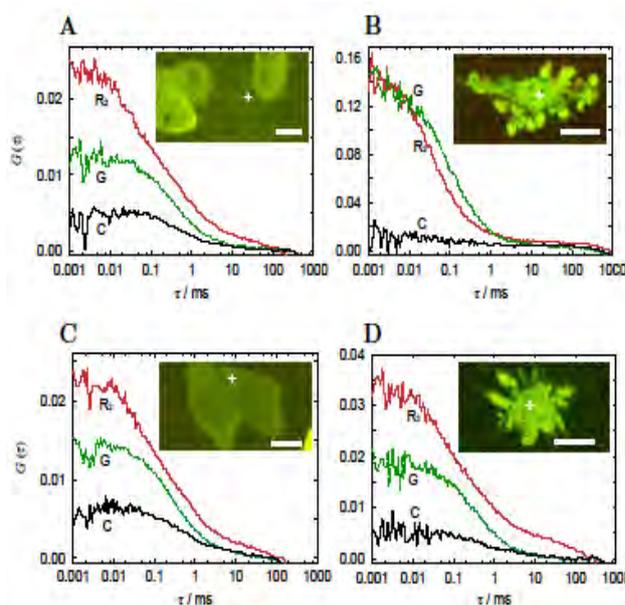


図 2. 蛍光性タンパク質 GFP と RFP を利用した蛍光相互相関分光による細胞内酵素反応 (Caspase3) の測定。A、Cは活性化前、B、Dは活性化後。A、Bは認識サイトを含む融合タンパク質。C、Dはコントロール実験。曲線 R、G は自己相関曲線を示し、曲線 C は相互相関曲線を示す。アポトーシスを起こした細胞 (B) では相互相関曲線が消失した。

2) 医用光学の提案と光 CT による脳機能解明

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

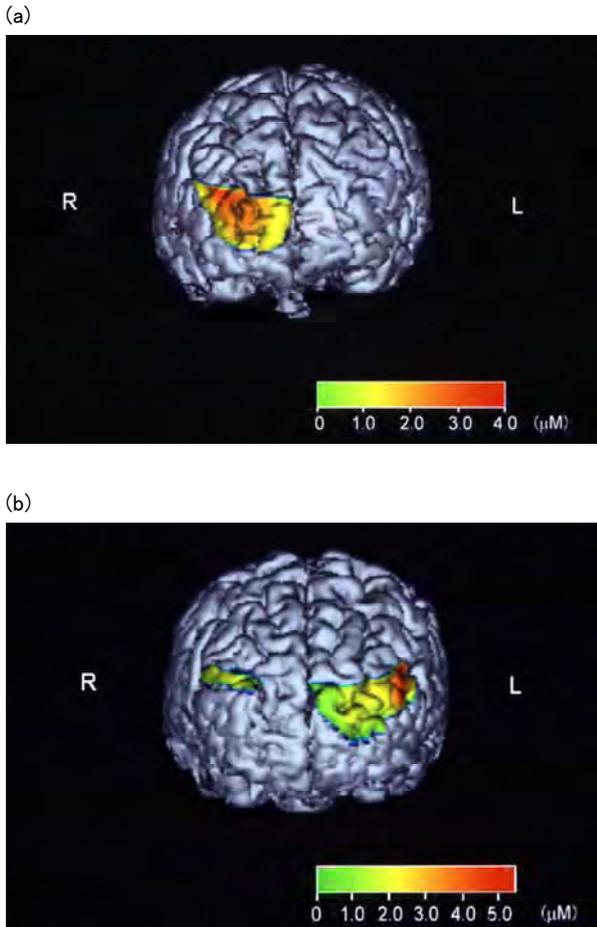


図 3. 人のワーキングメモリの光画像
(a), (b)異なるボランティアでの結果

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旨と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 μm 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。

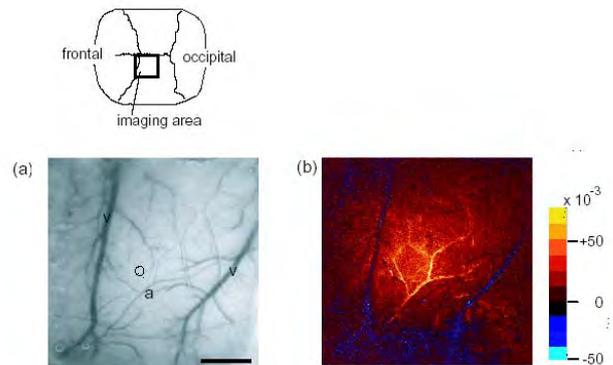


図 4. 光学窓を装着したラット頭部脳表における運動野領域の光学計測。波長 580nm における酸素化ヘモグロビンの反射光強度マップ

(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) G. Nishimura and M. Tamura: "Artefacts in the analysis of temporal response functions measured by photon counting", *Phys.Med.Biol.*, 50: 1327-1342 (2005)
- 2) G. Nishimura and M. Tamura: "Simple peak shift analysis of time-of-flight data with a slow instrumental response function", *J. Biomed.Opt.*, 10: 014016 (2005)
- 3) T. Yamamoto, Y. Nagayama and M. Tamura: "A Blood-oxygenation-dependent Increase in Blood Viscosity due to a Static Magnetic Field", *Phys. Med. Biol.*, 49: 3267-3277 (2004)
- 4) T. Takagi, H. Kii and M. Kinjo: "DNA Measurements by Using Fluorescence Correlation Spectroscopy and Two-Color Fluorescence Crosscorrelation Spectroscopy", *Current. Pharm. Biotec.*, 5: 199-204 (2004)
- 5) K. Saito, I. Wada, M. Tamura and M. Kinjo: "Direct detection of caspase-3 activation in single live cells by cross-correlation analysis", *Biochem. Biophys. Res. Comm*, 324(2): 849-859 (2004)
- 6) I. Kida, P. K. Maciejewski and F. Hyder: "Dynamic imaging of perfusion and oxygenation by fMRI.", *J Cereb Blood Flow Metab*, 24(12): 1369-1381 (2004)
- 7) A. Masuda, K. Ushida, G. Nishimura, M. Kinjo, M. Tamura, H. Koshino, K. Yamashita and T. Kluge: "Experimental evidence of distance-dependent diffusion coefficients of a globular protein observed in polymer aqueous solution forming a network structure on nanometer scale", *J.Chem. Phys.*, 121: 10787-10793 (2004)
- 8) A. Masuda, K. Ushida, G. Nishimura, M. Kinjo, M. Tamura, H. Koshino, K. Yamashita and T. Kluge: "Experimental evidence of distance-dependent diffusion coefficients of a globular protein observed in polymer aqueous solution forming a network structure on nanometer scale", *J. Chem. Phys.*, 121: 10787-10793 (2004)
- 9) H. Shichinohe, S. Kuroda, J. Lee, G. Nishimura, S. Yano, T. Seki, J. Ikeda, M. Tamura and Y. Iwasaki: "In vivo tracking of bone marrow stromal cells transplanted into mice cerebral infarct by fluorescence optical imaging", *Brain Research Protocols*, 13: 166-175 (2004)
- 10) K. Watanabe, K. Saito, M. Kinjo, T. Matsuda, M. Tamura, S. Kon, T. Ueda and T. Miyazaki: "Molecular dynamics of STAT3 on IL-6 signaling pathway in living cells", *Biochem. Biophys. Res. Comm*, 324: 1264-1273 (2004)
- 11) Y. Nomura and M. Kinjo: "Real-time monitoring of in vitro transcriptional RNA using fluorescence correlation spectroscopy", *Chem. Bio. Chem.*, 5: 1701-1703 (2004)
- 12) A. Kamada, H. Nagaya, T. Tamura, M. Kinjo, H. Jin, T. Yamashita, K. Jimbow, H. Kanoh and I. Wada: "Regulation

of immature protein dynamics in the endoplasmic reticulum", *J. Biol. Chem*, 279: 21533-21542 (2004)

- 13) Z. Foldes-Papp, J. M. Costa, U. Demel, G. P. Tilz, M. Kinjo, K. Saito, H. Kii, T. Takagi, M. Tamura, P. Thyberg and E. Birch-Hirschfeld: "Specifically associated PCR products probed by coincident detection of two-color cross-correlated fluorescence intensities in human gene polymorphisms of methylene tetrahydrofolate reductase at site C677T: a novel measurement approach without follow-up mathematical analysis", *Exp. Mol. Pathol.*, 76(3): 212-218 (2004)

4.2 総説、解説、評論等

- 1) 齋藤健太、金城政孝:「拡散測定による細胞内生体高分子の動態解析 (I)」、日本バイオレオロジー学会誌、18(1): 37-43 (2004)
- 2) 齋藤健太、高橋保夫、金城政孝:「拡散測定による細胞内生体高分子の動態解析 (II)」、日本バイオレオロジー学会誌、18(2): 71-79 (2004)
- 3) 田村守:「近赤外光を用いた脳機能計測—その基礎と臨床応用—」、神経内科、61(5): 434-444 (2004)
- 4) 金城政孝:「蛍光顕微鏡」、蛋白質核酸酵素、49: 1576-1583 (2004)
- 5) 坂田啓司、藤井文彦、金城政孝、田村守:「蛍光相関分光法 (FCS) を用いた抗原抗体反応解析および検体検出」、月間バイオインダストリー、21(4): 52-59 (2004)
- 6) 田村守:「光と医療の最前線」、光技術コンタクト、42(17): 5-14 (2004)
- 7) 田村守:「分子イメージングと光診断」、アニムス、36: 31-36 (2004)
- 8) 田村守:「無侵襲血糖値測定法の現状と課題」、光学、33(7): 380-386 (2004)

4.3 国際会議議事録等に掲載された論文

- 1) P. K. Maciejewski, I. Kida and F. Hyder: "Estimating dynamic CMRO2 from dynamic CBF and BOLD fMRI measurements.", *Proc ISMRM*, 274 (2004)
- 2) H. Trubel, I. Kida and F. Hyder: "Implications of temperature changes in the brain for fMRI.", *Proc ISMRM*, 1441 (2004)
- 3) I. Kida, A. Smith and F. Hyder: "The CBF response is a time invariant linear transform of the underlying neural activity: fMRI and electrophysiological study of the rat brain.", *Proc ISMRM*, 1059 (2004)
- 4) I. Kida and F. Hyder: "The relationship between changes in CBF and CBV is dynamically varying throughout stimulus duration but complex following stimulus offset.", *Proc ISMRM*, 1008 (2004)

4.4 著書

- 1) I. Kida and F. Hyder: "Physiology of fMRI: Energetics and function.", *Magnetic Resonance Imaging: Methods and Biological Applications*, Chapter 7, Prasad PV, Ed., The Humana Press Inc (2004), to be published
- 2) 金城政孝:「細胞の中のロジスティック」、一分子生物学, 合原一幸、岡田康志 編、83-100 (2004)

4.6 特許 (発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

- 1) 神 隆、金城政孝、田村守、藤井文彦、坂田啓司: 2004-275675、水溶性蛍光材料およびその製造方法、2004年9月22日
- 2) 金城政孝、田村守、藤井文彦、坂田啓司、堀内基広、上野雅由、柳谷孝幸: 特願2004-275675、蛍光相関分光法による抗原の迅速検出及び/又は測定法、2004年6月3日

4.7 講演

i) 学会

- 1) 金城政孝:「蛍光相関分光法と細胞機能解析への応用」、第110回日本解剖学会・全国学術集会、富山市(2005-03)
- 2) G. Nishimura and M. Tamura: "Characterization of Tissue Optical Parameters in the Region of 1-2 micrometer", The Second Asian and Pacific Rim Symposium on Biophotonics (APBP2004), National Taiwan Univ., Taipei, Taiwan (2004-12)
- 3) 三橋万梨子、坂田啓司、金城政孝、高橋保夫、矢澤道生:「蛍光相互相関分光法による非筋細胞ミオシンIIアイソフォームのフィラメント形成の解析」、日本生物物理学会 第42回年会、京都市 (2004-12)
- 4) 三國新太郎、田村守、金城政孝:「蛍光相関分光法を用いた核内転写因子の解析」、日本生物物理学会 第42回年会、京都市 (2004-12)
- 5) 大杉友、齋藤健太、田村守、金城政孝:「全反射蛍光顕微鏡を利用した Protein Kinase C の動態解析」、日本生物物理学会 第42回年会、京都市 (2004-12)
- 6) 紀伊宏昭、田村守、金城政孝:「蛍光相関分光法によるDNA を用いた微細構造物の解析」、日本生物物理学会 第42回年会、京都市 (2004-12)
- 7) 高木卓也、田村守、金城政孝:「蛍光相関分光法におけるDNA 鎖長と一分子蛍光強度の定量性との関係」、日本生物物理学会 第42回年会、京都市 (2004-12)
- 8) 坂田啓司、森岡弘志、金城政孝、田村守:「蛍光相関分光法を用いた抗原抗体反応解析」、日本生物物理学会 第42回年会、京都市 (2004-12)
- 9) G. Nishimura, M. Tamura:「近赤外 1 micrometer 領域の生体組織の光散乱吸収特性の解析」、日本生物物理学会 第42回年会、京都市、国立京都国際会館 (2004-12)
- 10) 田村守:「臨床現場における光イメージング」、第25回日本レーザー医学会総会、東京 (2004-11)
- 11) 金城政孝:「蛍光相関分光法と細胞生物学への応用」、

Optics Japan 2004、大阪大学コンベンションセンター (2004-11)

- 12) M. Tamura, Y. Yabe and S. Horita: "Some Characteristics of NO-production in the Hepatocyte- A Study with Isolated Perfused Rat Liver-", International Society on Oxygen Transport to Tissue 32nd Annual Conference, Bari, Italy (2004-08)
- 13) M. Tamura: "Molecular Imaging from Single Cell to Whole Body", ICO'04 Tokyo, Tokyo, Japan (2004-07)
- 14) G. Nishimura and M. Tamura: "A peak shift analysis for time resolved data at a 1.3micromter region", International Conference Optics & Photonics in Technology Frontier (ICO'04), Makuhari Messe, Chiba, Japan (2004-07)
- 15) F. Xu, M. Schaefer, I. Kida, D. Restrepo, F. Hyder, D. L. Rothman and G. M. Shepherd: "Odors and pheromones activate mouse main and accessory olfactory bulbs shown by high resolution functional MRI", International Symposium on Olfaction and Taste, Kyoto, Japan (2004-07)
- 16) 田村守:「新しい脳機能モニタリング」、第8回日本神経麻酔・集中治療研究会学術総会、札幌市 (2004-06)
- 17) P. Herman, I. Kida, F. Hyder and A. Eke: "Temporal correlation in fMRI examined by scaled windowed variance", Human Brain Mapping, Budapest, Hungary (2004-06)
- 18) 田村守:「脳機能を光で探るー現状と展望」、第81回日本生理学会大会、札幌市 (2004-06)
- 19) 赤池忠、根本正史、村井恵良、鎌田勉、田村守:「刺激同側に起こるラット体性感覚領の血流変化」、第81回日本生理学会大会、札幌市 (2004-06)
- 20) C. Back, K. Saito, M. Tamura and M. Kinjo: "Analysis of the Microenvironment in the Cell Nucleus using "Molecular Ruler" Protein and Fluorescence Correlation", The 57th Annual Meeting of Japan Society for Cell Biology, Osaka, Japan (2004-05)
- 21) I. Kida, A. Smith and F. Hyder: "The CBF response is a time invariant linear transform of the underlying neural activity: fMRI and electrophysiological study of the rat brain. ", Scientific Meeting and Exhibition, International Society of Magnetic Resonance in Medicine, Kyoto, Japan (2004-05)
- 22) I. Kida and F. Hyder: "The relationship between changes in CBF and CBV is dynamically varying throughout stimulus duration but complex.", Scientific Meeting and Exhibition, International Society of Magnetic Resonance in Medicine, Kyoto, Japan (2004-05)
- 23) P. K. Maciejewski, I. Kida and F. Hyder: "Estimating dynamic CMRO2 from dynamic CBF and BOLD fMRI measurements.", Scientific Meeting and Exhibition, International Society of Magnetic Resonance in Medicine,

Kyoto, Japan (2004-05)

- 24) H. K. Trubel, I. Kida and F. Hyder: "Implications of temperature changes in the brain for fMRI.", Scientific Meeting and Exhibition, International Society for Magnetic Resonance in Medicine, Kyoto, Japan (2004-05)
- 25) Y. Nagayama, Y. Toru and M. Tamura: "An Increase in Blood Viscosity in a Static Magnetic Field of a 1.5-T Magnetic Resonance Scanner", ISMRM Twelfth Scientific Meeting and Exhibition, Kyoto (2004-05)
- 26) N. Oyama, Y. Toru, M. Tamura and K. Miyasaka: "Differentiation of Slow and Fast Twitch Muscles by T2*-Weighted Imaging and Near Infrared Spectroscopy", ISMRM Twelfth Scientific Meeting and Exhibition, Kyoto (2004-05)
- 27) G. Nishimura and M. Tamura: "Peak time analysis of TOF data with limitation of the temporal resolution and its application for measurements of a human forearm at 1.29 micrometer", Biomedical Topical Meetings, OSA Topical Meeting, Miami, FL, USA (2004-04)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) 坂田啓司、藤井文彦、田村守、金城政孝:「蛍光相関分光法を用いた抗原抗体反応の解析と応用: 病原体検出システムの構築に向けて」、蛍光相関分光で見る生体系の情報伝達 (2)、和光市 (2005-03)
- 2) 紀伊宏昭、高木卓也、金城政孝:「蛍光相関分光法を用いた DNA 微細構造の解析」、蛍光相関分光で見る生体系の情報伝達 (2)、和光市 (2005-03)
- 3) 大杉友、齋藤健太、田村守、金城政孝:「全反射蛍光相関分光測定による細胞膜タンパク質の動態解析」、蛍光相関分光で見る生体系の情報伝達 (2)、和光市 (2005-03)
- 4) 金城政孝:「蛍光相関分光法を用いたダイナミックバイオイメージング」、分子科学研究所研究会 生体分光学と分子イメージングの最前線、岡崎市 (2005-01)
- 5) 田村守:「生体分光学と分子イメージングー現状と未来」、分子科学研究所研究会「生体分光学と分子イメージングの最前線」、岡崎市 (2005-01)
- 6) 田村守、金城政孝、藤井文彦、坂田啓司:「プリオン検出の迅速化に関する研究」、平成16年度 厚生労働科学研究 (肝炎等克服緊急対策研究「牛海面状脳症研究分野」) 研究発表会、東京都 (2005-01)
- 7) 金城政孝:「蛍光相関分光法による生体シグナル解析」、基生研研究会・第2回「生体シグナルの可視化を目指して」、岡崎市 (2004-12)
- 8) C. Back, K. Saito, M. Tamura and M. Kinjo: "Dynamics of Tandem Green Fluorescent Proteins at Nucleus in Living Cell", Workshop on Fluorescence Correlation Spectroscopy and Related Methods, Dresden, Germany (2004-10)
- 9) M. Tamura: "Optical Diagnosis by Molecular Imaging Techniques", Sapporo Summer Conference 2004 Sapporo

Sphingolipid Symposium, Sapporo, Japan (2004-07)

iii) コロキウム・セミナー等・その他

- 1) 田村守:「ブレイクスルーをめざして」、生体医用光学ブレイクスルーフォーラムー躍進する光ー、東京都 (2005-01)

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、河野澄夫、津村徳道、藤田克昌:「講演会 光と食・農」、150名、みらいCANホール(日本科学未来館7F)(東京都)(2005年2月22日~2005年2月23日)
- 2) 田村守、北川禎三:「分子科学研究所研究会 生体分光学と分子イメージングの最前線」、100名、岡崎市コンファレンスセンター (岡崎市) (2005年1月17日~2005年1月18日)
- 3) 金城政孝、松岡一郎:「第4回細胞生物学ワークショップ」、100名、北海道大学 創成科学研究機構 (札幌市) (2004年11月15日~2004年11月20日)
- 4) 田村守、星詳子、高橋秀嗣、山口佳寿博、小林弘祐、桑平一郎、伊藤俊之:「第9回酸素ダイナミクス研究会」、50名、北海道大学 電子科学研究所 (札幌市) (2004年9月11日)

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、総経費、研究内容)

- 1) 金城政孝、高橋保夫 (オリンパス光学工業株式会社):「FCS を用いた蛋白質相互作用の解析とその応用研究に関する共同研究」、2004年度、1,920千円、FCS による生細胞内分子相互作用計測技術、および検出データ解析技術の研究開発を行う
- 2) 田村守、小林邦彦、中山憲司 (北海道立衛生研究所):「先天性銅代謝異常症 (ウィルソン病) の包括的医療システムの構築ー3歳児健診を利用したウィルソン病スクリーニングの導入ー」、2004年度、639千円、ウィルソン病のヘム代謝異常に関する研究及び蛍光相関分光法による尿中セルロプラスミンの超高感度検出法の開発
- 3) 田村守、金城政孝、藤井文彦、坂田啓司、荻野倫子 (科学技術振興機構 研究成果活用プラザ北海道):「病原性変異蛋白質のウルトラハイスループット検査法の確立 -BSE スクリーニングを目指して-」、2004年度、1,000千円、蛍光ゆらぎを利用して、分子1個からの検出が可能な蛍光相関分光法 (FCS)を用いて、BSE 検体を全自動で迅速に検査できる検査法の実用化を目指す
- 4) 田村守、西村吾朗、高岡秀行、中岡正哉、雙木満 (オリンパス株式会社):「生体自家蛍光の分光学的研究」、2004年度、6,000千円、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。

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(オリンパス光学工業株式会社):「細胞内2光子励起 FCS/FCCS の測定技術に関する研究」、2004年度、5,000千円、細胞内 FCS/FCCS の測定技術の確立を目指した基礎研究を行う。

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) 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
- 2) 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

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

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

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):「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」、2004年度、2,500千円、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
- 2) 金城政孝、本間さと、白川哲夫 (RR2002):「RR2002 先端計測研究」、2003~2004年度、未定、ヒト-動物-組織-細胞-分子を研究対象とし、北海道大学が子の方面でもつポテンシャルに基づき異なるモダリティーの先端計測技術を開発する。さらに、それらの計測法を駆使して学内外の異分野の研究者が協同しながら個々の階層がもつ機能を追及する。1) 磁気イメージング、2) 光イメージング、3) 高次機能と行動観察、3) 細胞・分子計測に関する研究を展開する。
- 3) 佐多徹太郎、田村守、堀内基広、品川森一、小野寺節、山河芳夫、堂浦克美、高橋秀宗、松田治男、千葉丈、菊地裕、松田潤一郎、石黒直隆、吉岡秀文、三好一郎、森清一、寺尾恵治、佐々木裕之 (厚生科学研究費補助金):「牛異常プリオン検出技術の高度化及び牛海面状脳症の感染メカニズム」、2002~2004年度、9,000千円、プリオンの検出、あるいは疾病に付随する蛋白を検出して診断・摘発する方法の改良と、高感度化及び実用化
- 4) 田村守、金城政孝、岩井俊昭、品川森一、堀内基広、田村正秀、澤田幸治、池田徹也 (科学技術振興機構 研究成果活用プラザ北海道):「病原性変異蛋白質のウルトラハイスループット検査法の確立 -BSE スクリーニングを目指して-」、2002~2005年度、145,000千円、蛍光ゆらぎ(分子の運動)を利用して蛍光分子 1~数個

の検出が可能な超高感度検出システムを開発し、遺伝子診断や蛋白質相互作用の検出へ応用するもの。従来の蛍光強度を測定する手法と異なり、微量の検体を液相で測定できるため、牛海绵状脳症(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、ウイルソン病、糖尿病、クロイツフェルト・ヤコブ病、C型肝炎等の病態の早期診断などが可能となるが、当面の目標をBSEの検査システムの構築に置き、現在、熟練者の人手による検査を全自動化し、現行の食用肉は勿論、今後の課題とされる加工食品や牛の生前診断への道を拓く。

- 5) 井上芳郎、栗城真也、本間研一、大森隆司、渡邊雅彦、吉岡充弘、阿部純一、室橋春光、福島菊郎、本間さと、郷原一壽、田村守 (文部科学省):「RR2002ライフサイエンス技術開発「発達期における脳機能分化と認知・行動の相互作用に関する包括的研究」、2002~2006年度、未定、「発達脳科学」に関する研究教育を目的として、北大のなかに研究科横断型の大学院教育組織(バーチャル専攻)を構築し、文理融合型の教育を行う。ポスドク研究員の採用と併せて、脳科学に関する若手研究者の育成を図る。

4.12 社会教育活動

c. 併任・兼業

- 1) 田村守: NEDO 技術開発機構「ホームヘルスケアのための高性能健康測定機器開発事業」に係る機器開発ワーキンググループ 委員 (2004年11月18日~2005年3月20日)
- 2) 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)
- 3) 田村守: 東京文化財研究所 客員研究員 (2004年度)
- 4) 田村守: 光産業技術振興協会 生体医用光学ブレークスルー技術委員会 委員 (2004年度)
- 5) 田村守: 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: 共同通信 2005年3月6日「生きたままでBSE判定 血液採取、感染を早期発見」
- 2) 田村守、金城政孝: 毎日新聞 2004年10月7日「BSE検出90分」北大グループが新装置」

・雑誌

- 1) 田村守、金城政孝: 現代化学 2005年3月1日「BSE 制圧の鍵を握るプリオン検査法」
- 2) 田村守、金城政孝: JST News 2005年2月1日「BSEの全自動検査装置 生きた牛からプリオンをとらえる」

- 3) 田村守：日経バイオビジネス 2004年6月15日「バイオ人消息 産業化の動きを見守る光生体計測の第一人者」

・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」

f. 外国人研究者の招聘（氏名、国名、期間）

- 1) Bong-Kiun Kaang, Ph D., Korea, 2005年2月27日～2005年3月2日

- 2) Hyungju Park, Korea, 2004年6月27日～2004年7月28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、生物量子化学概論、田村守、2004年10月1日～2005年3月31日

- 2) 理学部、分子生理学、田村守、2004年10月1日～2005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、2004年10月1日～2005年3月31日

- 4) 全学部共通、先端の科学、田村守、2004年7月2日

- 5) 理学研究科、生体超分子化学概論、田村守、2004年4月1日～2004年9月30日

i. ポスドク・客員研究員など

ポスドク（2名）

黄田育宏（医学部）、長尾一生（理学部）

その他（1名）

白燦基（電子科学研究所）

j. 修士学位及び博士学位の取得状況

修士課程（7名）

佐々木章、堀田晋也、齊藤有香、小野智彦、高木卓也、紀伊宏昭、永山裕貴

博士後期課程（3名）

三國新太郎、大杉友、矢部芳治

修士論文

- 1) 高木卓也：蛍光相関分光法における DNA 鎖長と一分子蛍光強度との関係
- 2) 紀伊宏昭：DNA で構成された微細構造物の FCS 測定
- 3) 永山 裕貴：静磁場下血液物性の特異的酸素飽和度依存性

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～)
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。

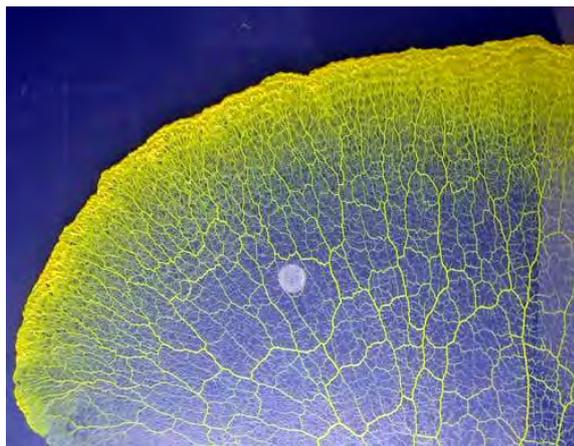


図1. 寒天上を這う粘菌変形体。

2. 研究成果

(a) 粘菌変形体の示す多様な振動パターン

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

変形体は特異な性質を有しており、細胞の内質ゾルを抽出し湿った場所に置くと、10分程度で収縮弛緩振動を開始し、数時間で移動するようになる。つまり変形体の内質は変形体となる能力を有す。この取り出した原形質の発展過程を、実体顕微鏡下で透過光照明により観察することにより、厚み振動の時空間パターンを測定した。内質液滴は時

間経過とともに順次A) 定在波型、B) 時空間カオス的、C) 回転ラセン波、D) 同相同期型と特徴的な振動パターンを示した(図2)。この系で特徴的な現象は、外部からの刺激や環境の制御なしに自発的に様々なパターン間をより秩序だった方向へ遷移することである。特に、Bの状態からCの状態への遷移は興味深く、ある部分で振動の位相ベクトルがそろい始めると、波の伝搬速度の上昇を伴いさらにベクトルのそろった領域が広がり、最終的に単一の回転波が系を支配する。一般的にBZ反応や心筋組織では図2Bのような複数の位相特異点が発生した状態に陥ると自発的により秩序だった状態へ遷移することはない。このような秩序化は単細胞生物の粘菌特有のダイナミクスである。

また這い回る状態の粘菌でも、Bの時空間カオス的なパターンの発生が見られた。複雑で不規則な振動パターンが誘起されるとともに徐々に管構造が壊れ始め、複数のラセン波が数回転するうちに管構造が消滅した。その後、同相同期した領域が急激に広がり、再び細胞全体で同相同期した状態となった。空間的に対称性の低い管構造を壊し、対称性の高い均質な状態にする機能は、環境変化に柔軟に対応するために不可欠である。

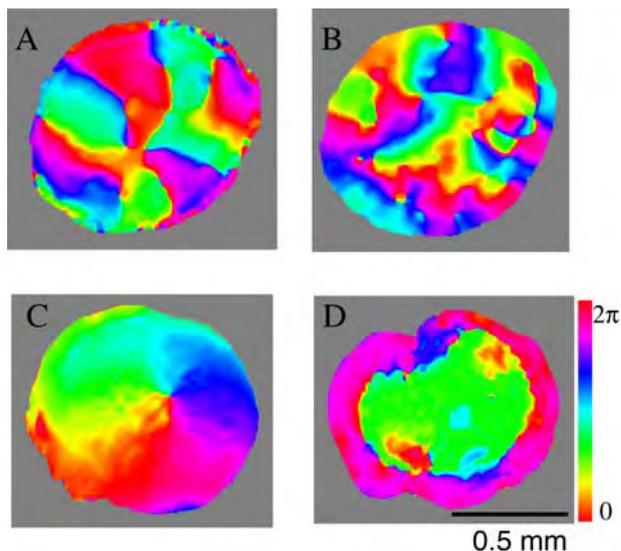


図2. 変形体の示す多様な振動パターン。透過光強度変化のフーリエ解析により決定した振動の位相を示す。A) 定在波型、B) 時空間カオス的、C) 回転ラセン波、D) 同相同期型。

(b) 大規模ネットワークの最適化問題。

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

粘菌の作り出した管ネットワーク(図3a)と実際のJR鉄道網を、ネットワーク(図3b)の全長(最小全域木で規

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

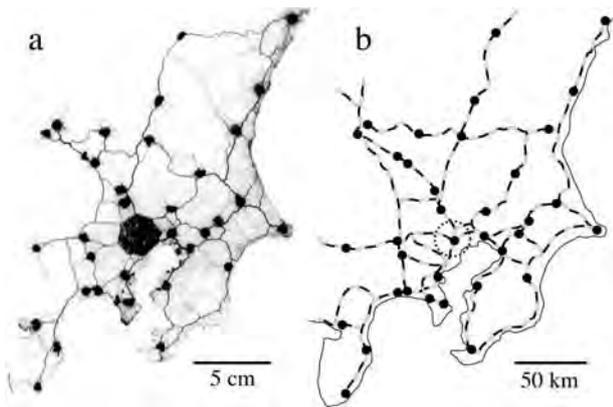


図3. a) 粘菌の管形成による関東平野の鉄道網のデザイン。
b) 実際の JR 路線図。

(c) 誘因・忌避情報の統合機構

粘菌を誘因・忌避物質で同時刺激し、細胞応答を測定する事により細胞内での情報統合機構を調べた。その結果、忌避物質に対する受容膜電位は誘引物質の濃度に依存せず、単独刺激と同じ濃度領域で変化した。一方、行動レベルでは2桁高い誘引物質が存在すると、忌避物質に対する応答は2桁高くなった。これらの事は受容膜レベルではなく細胞内での情報統合システムの存在を示唆している。この細胞内での統合機構は、誘因・忌避刺激に対する細胞内セカンドメッセンジャー分子の細胞行動制御物質への競合的分子結合モデルで半定量的に説明でき、細胞が誘因・忌避刺激情報を加算的に統合する事を明らかにした。

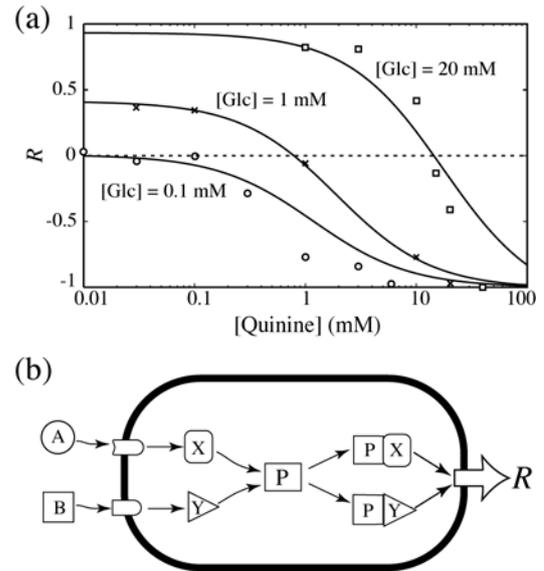


図4. a) 誘引物質 (グルコース) 共存下での忌避物質 (キニーネ) に対する走化性応答。
b) 情報統合モデルの模式図。

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った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) H. Haga, C. Irahara, R. Kobayashi, T. Nakagaki and K. Kawabata: "Collective movement of epithelial cells on a collagen gel substrate", *Biophysical Journal*, 88: 1-7 (2005)
- 2) S. Takagi, A. Pumir, D. Pazo, I. Efimov, V. Nikolski and V. Krinsky: "A Physical approach to remove anatomical re-entries : a bidomain study", *J. Theor. Biol.*, 230(4): 489-497 (2004)
- 3) T. Nakagaki, R. Kobayashi, T. Ueda and Y. Nishiura: "Obtaining multiple separate food sources: Behavioural intelligence in the Physarum plasmodium", *Proc. R. Soc. Lond. B*, 271: 2305-2310 (2004)
- 4) H. Yamada, R. Tanaka and T. Nakagaki: "Sequences of symmetry-breaking in phyllotactic transitions", *Bullet. Math. Biol.*, 66: 779-789 (2004)
- 5) S. Takagi, P. Alain, P. Diego, E. Igor, N. Vladimir and K. Valentin: "Unpinning and removal of a rotating wave in cardiac muscle", *Phys. Rev. Lett.*, 93: 058101 (2004) , to be published

4.4 著書

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

4.5 訳書

- 1) 中垣俊之、原正彦、山田裕康、元池 N 育子、野村 M 慎一郎、立川正志、櫻沢繁、高木清二、相原良一: キーナー/スネイド著 数理生理学 下巻 システム生理学, 1-419 (2005)
- 2) 中垣俊之、原正彦、山田裕康、元池 N 育子、野村 M 慎一郎、立川正志、櫻沢繁、高木清二、相原良一: キーナー/スネイド著 数理生理学 上巻 細胞生理学, 1-408 (2005)

4.6 特許 (発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

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

4.7 講演

i) 学会

- 1) 小林亮、手老篤史、中垣俊之: 「真正粘菌変形体の振動の位相ダイナミクスに関する実験とモデリング」、第42回生物物理学会 シンポジウム「生物時空間構造のダイナミクス: 階層を越えたアプローチ」、京都国際会館

(2004-12)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) 中垣俊之、小林亮、手老篤史: 「粘菌による幾何学的パズル問題の解法」、INSAM シンポジウム2004「粘菌: 実験と理論からのアプローチ」、広島大学 (2005-03)
- 2) 手老篤史、中垣俊之、小林亮: 「真正粘菌変形体の管ネットワークの再現による最短経路問題の解法」、第2回「非線形科学の深化と情報科学への応用」、山口大学 (2005-03)
- 3) R. Kobayashi, A. Tero and T. Nakagaki: "Searching for the vivid description of the motion of true slime mold", International Workshop on Mathematical Biology and Cell Dynamics, Hokkaido University, Japan (2005-02)
- 4) S. Takagi: "Behavioral decision making by the true slime mold under conflicting stimuli", International Workshop on Mathematical Biology and Cell Dynamics, 北海道大学創成 (2005-02)
- 5) T. Ueda: "Chemotaxis by the Physarum plasmodium in historical perspective", International Workshop on Mathematical Biology and Cell Dynamics, 北海道大学創成 (2005-02)
- 6) 中垣俊之、小林亮、手老篤史: 「あるアメーバ様生物による輸送路ネットワークのデザイン」、名古屋大学「21世紀 COE 計算科学フロンティア」研究会「生物集団の運動の数理と応用」、名古屋大学 (2005-02)
- 7) R. Kobayashi, A. Tero and T. Nakagaki: "Experimental and Modeling Study of the Dynamics of True Slime Mold", MEDYFINOL'04, La Serena, Chile (2004-12)

iii) コロキウム・セミナー等・その他

- 1) 中垣俊之、小林亮、手老篤史: 「あるアメーバ様生物による輸送路ネットワークのデザイン」、理化学研究所 BMC フォーラム、名古屋 (2005-03)
- 2) T. Ueda: "An intelligent slime mold: a self-organizing system of cell shape and information", Interdisciplinary Colloquium Systems Theory in Life and Geo Sciences, Bonn, Germany (2005-01)
- 3) 中垣俊之: 「身近な生物材料粘菌: キラリと光る素朴な実験」、金沢大学 大学教育開発支援センター第一回専門分野別教育開発セミナー「実験科学教育のフロンティア 研究と教育の接点を探る」、金沢大学 (2004-11)
- 4) 小林亮、手老篤史、中垣俊之: 「真正粘菌変形体の運動の数理モデル」、現象数理セミナー、九州大学 (2004-11)
- 5) T. Nakagaki and R. Kobayashi: "True slime mold: a coupled oscillator system", Physiology group Seminar in Math Dep, University of Utah, Salt Lake City, USA (2004-11)
- 6) T. Nakagaki and R. Kobayashi: "Interaction of sol flow and gel force in true slime mold", Fluid group Seminar in Math Dep, University of Utah, Salt Lake City, USA (2004-10)
- 7) T. Nakagaki and R. Kobayashi: "How does an amoeba solve some geometrical puzzles?", Math Bio Seminar in

Math Dep, University of Utah, Salt Lake City, USA (2004-10)

- 8) 中垣俊之 and 小林亮: “How does an amoeba tackle some geometrical puzzles?“, Complex Agent-based dynamical Network Workshop, Keble College, University of Oxford, UK (2004-07)
- 9) 小林亮、手老篤史、中垣俊之: 「真正粘菌変形体のモデル、いろいろ」、吉川研セミナー、京都大学 (2004-05)
- 10) T. Nakagaki and R. Kobayashi: “How does an amoeba of true slime mould tackle some geometrical puzzles?—smartness emerged from pattern formation of cellular rhythms —”, Centre for Mathematics and Physics in the Life Sciences and EXperimental Biology (CoMPLEX) Seminar, University College London, UK (2004-05)
- 11) 中垣俊之 and 小林亮: “How does an amoeba tackle some geometrical puzzles? — smartness based on pattern formation of cellular rhythms —”, Oxford CMB Mathematical Biology and Ecology Series, Mathematical Institute, University of Oxford, UK (2004-05)

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

- 1) T. Ueda, T. Nakagaki and S. Takagi: “International Workshop on Mathematical Biology and Cell Dynamics”、30名、北海道大学創成 (札幌) (2005年2月21日～2005年2月22日)
- 2) S. Takagi, T. Ueda and T. Nakagaki: “International Workshop on Mathematical Biology and Cell Dynamics”、30名、北海道大学創成 (札幌) (2005年2月21日～2005年2月22日)
- 3) T. Ueda, T. Nakagaki and S. Takagi: “International Workshop on Mathematical Biology and Cell Dynamics”、30名、CRIS, Hokkaido University (Sapporo) (2005年2月21日～2005年2月22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」
 - 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、21COE プログラム「トポロジー

一理工学の創成 (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」、2002～2004年度、13,750千円、粘菌が環境に適応的に作るコミュニケーションネットワークの機能性を評価し、その形成機構を数理モデル化を通じて解明する。

4.12 社会教育活動

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) T. Nakagaki: The Times Higher Education Supplement 2004年6月11日、“The headline is : Could problem-solving mould revive decaying UK transport? This article has one picture and one cartoon, written by Steve Farrar”
- 2) 中垣俊之: 北海道新聞 2004年4月23日 「北キャンパス発 研究者達: 粘菌から生物の「思考」を解析」

・雑誌

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

・放送

- 1) T. Nakagaki: 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) Chiu Fan Lee, UK、2005年2月18日～2005年2月25日
- 2) Robert Guy, USA、2005年2月12日～2005年3月4日

g. 北大での担当授業科目 (対象、講義名、担当者、期間)

- 1) 医学部、基礎特別演習、高木清二、2005年2月1日～2005年2月10日
- 2) 医学部、基礎特別演習、中垣俊之、2004年10月1日～2005

年3月31日

3) 全学部共通、一般教育演習、上田哲男、2004年4月1日
～2004年9月30日

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**

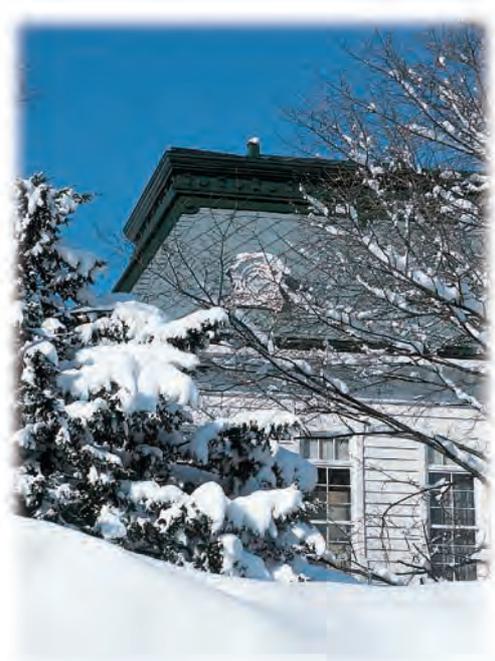
修士課程 (1名)

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 堀田純一 (阪大院, 工博, 1998.4~)

ポスドク 藤原英樹 (北大院, 工博, 2000.4~)

ホフマン・ホルガ

(Stuttgart Univ., Ph.D., 2001.6~2004.4)

大橋弘明

(北陸先端大・材料科学博, 2002.4~2005.3)

ソージャエフ・アレクサンドレ

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

小島邦裕 (北大院, 工博, 2004.4~2004.11)

院生 岡寿樹 (D3)、千葉明人 (D3)、岡本亮 (D2)、
千葉孝志 (D2)、川瀬大輔 (D1)、川辺喜雄
(D1)、高島秀聡 (D1)、高橋亮一 (M2)、由
水哲也 (M1)、田村祥 (M1)、永田智久 (B4)、
小西秀典 (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) 光子の軌道角運動量もつれ合いに関する研究

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

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

(b) 微小球結合テーパファイバーにおけるファノ共鳴

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

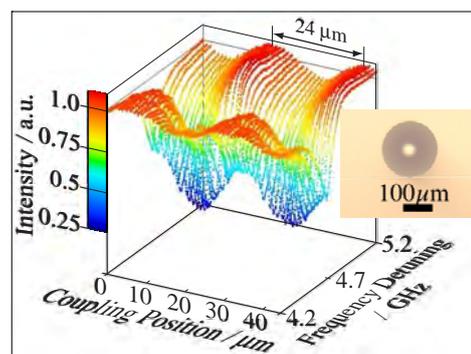


図1. 微小球・テーパファイバーの透過スペクトルの結合位置依存性. 図中の写真は微小球共振器結合テーパファイバーの顕微鏡像.

(c) 1.55 μm 帯パルス励起伝令付き単一光子源の開発

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

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

(d) 単一原子を用いた量子位相ゲートの動作解析

単一原子の吸収飽和を原理とする量子位相ゲートの初期

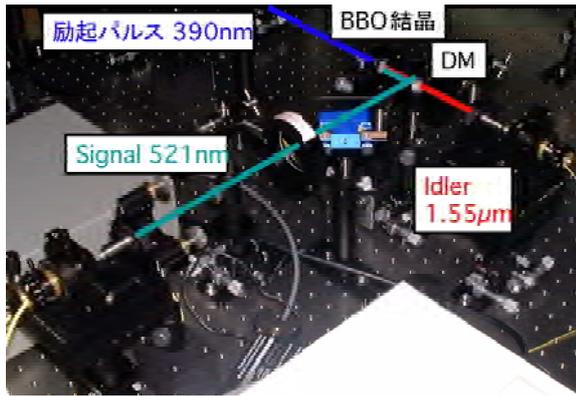


図2. 1.55μm 帯パルス励起伝令付き単一光子源.

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

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

(e) ランダム媒質における光双安定性の観測

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

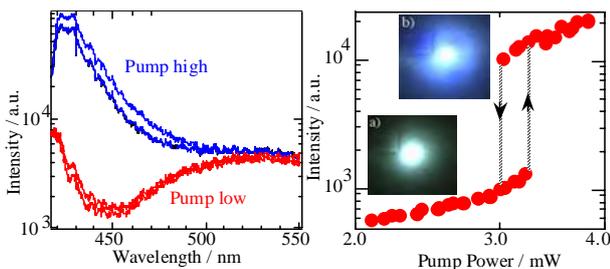


図3. 左図：しきい値以上、以下に対する発光スペクトル、右図：青色(430nm)発光強度の励起光強度依存性。挿入図はしきい値(a)以下、(b)以上の発光画像

(f) 室温での量子ドット単一光子源

単一分子や単一ナノ微粒子の発光挙動を観測することを目的とした共焦点ダイナミック顕微分光システムを構築した。本システムを用いて、CdSe 半導体量子ドット1個の発光スペクトルの測定を行った結果、室温下でその2次相関関数 $g_2(0)=0.17$ と、明瞭なアンチバンチングの観測に成功した。

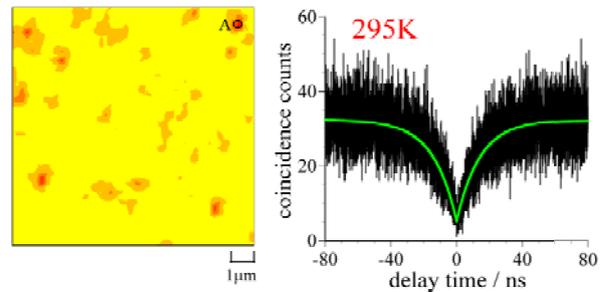


図4. 左図：発光強度分布、右図：発光スポットAにおいて測定した2次相関関数（室温下）。

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「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」、「核スピンネットワーク量子コンピュータ」、「光子数状態の生成と制御」、「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) K. Kojima, H. F. Hofmann, S. Takeuchi, and K. Sasaki, “A Study on the Shape of two-photon wavefunctions after the nonlinear interaction with a one-dimensional atom”, *Nonlinear Optics, Quantum Optics*, 32: 221-245 (2005).
- 2) H. Yan, H. Fujiwara, K. Sasaki and K. Tsujii: “Rapid Swelling/Collapsing Behaviors of Thermo-Responsive Poly (N-isopropylacrylamide)Gel Containing Poly(2-(methacryloyloxy)decylphosphate) Surfactant”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 44: 1951-1954 (2005)
- 3) K. Tsujino, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Distinguishing genuine entangled two-photon-polarization states from independently generated pairs of entangled photons”, *Physical Review Letters*, 92(15): 153602/1-153602/4 (2004)
- 4) H. Oka, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Effects of decoherence on the nonlinear optical phase shift obtained from a one-dimensional atom”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 43(11A): 7495-7500 (2004)
- 5) K. Kojima, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Efficiencies for the single-mode operation of a quantum optical nonlinear shift gate”, *Phys. Rev. A*, 70: 013810/1-013810/6 (2004)
- 6) S. Takeuchi, R. Okamoto and K. Sasaki: “High-yield single-photon source using gated spontaneous parametric downconversion”, *Appl. Opt.*, 43(30): 5708-5711 (2004)
- 7) H. Fujiwara and K. Sasaki: “Observation of upconversion lasing within a thulium-ion-doped glass powder film containing titanium dioxide particles”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 43 (10B): L1337-L1339 (2004)
- 8) H. F. Hofmann and S. Takeuchi: “Quantum-state tomography for spin-1 systems”, *Phys. Rev. A*, 69: 042108/1-042108/8 (2004)
- 9) A. Chiba, H. Fujiwara, J. Hotta, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Resonant frequency control of a microspherical cavity by temperature adjustment”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 43 (9A): 6138-6141 (2004)

4.2 総説、解説、評論等

- 1) 竹内繁樹:「線形光学素子を用いた量子コンピューティング」、光学、33(5): 284(22)-290(28) (2004)

4.3 国際会議議事録等に掲載された論文

- 1) S. Takeuchi, K. Tsujino, H. F. Hofmann and K. Sasaki: “Distinguishing genuine entangled two-photon polarization states from independently generated pairs of entangled photons”, *Proc. of the 49th SPIE International Conference, Quantum Communications and Quantum Imaging*,

5551: 87-93 (2005), to be published

4.4 著書

- 1) 竹内繁樹:「量子コンピュータ 超並列計算のからくり」、*BLUE BACKS*、講談社 (2005)

4.7 講演

i) 学会

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 大橋弘明、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司、村上伸也、鳥本司、大谷文章:「光子反集積における単一 CdSe 量子ドットのコート材料の効果」、日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学野田キャンパス (2005-03)
- 4) 岡寿樹、竹内繁樹、笹木敬司:「FDTDを用いた一次元原子の非線形光学応答の解析」、日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学野田キャンパス (2005-03)
- 5) 岡本亮、竹内繁樹、笹木敬司:「パラメトリック蛍光対による2光子干渉を用いた新しい位相分散測定法の提案」、日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学野田キャンパス (2005-03)
- 6) 千葉明人、藤原英樹、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司:「テーパファイバと結合した微小球共振器におけるファノ効果」、日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学野田キャンパス (2005-03)
- 7) S. Takeuchi: “Entanglement of the optical angular momentum of photons”, The International Conference on “Topology in Orderd Phases” (TOP2005), Sapporo Grand Hotel (札幌グランドホテル), Japan (2005-03)
- 8) D. Kawase, S. Takeuchi, K. Sasaki, A. Wada, Y. Miyamoto and M. Takeda: “Verification of measurement basis in experiment of entanglement in orbital angular momentum of photons”, The International Conference on “Topology in Orderd Phases” (TOP2005), Sapporo Grand Hotel (札幌グランドホテル), Japan (2005-03)
- 9) R. Okamoto, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Quantum computing using linear optics”, The International Conference on “Topology in Orderd Phases” (TOP2005), Sapporo Grand Hotel (札幌グランドホテル), Japan (2005-03)
- 10) H. Fujiwara, A. Masuhara, H. Kasai, H. Nakanishi and K. Sasaki: “Control of localized modes in random media with nonlinear nanoparticles”, Third International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE3) (第3回有機分子・バイオエレクトロニクスに関する国際会議), National Center of Sciences (国立情報学研究所(学術総合センター)), Japan (2005-03)

- 11) 門間太志、鶴間章典、松尾保孝、堀田純一、田中賢、山本貞明、笹木敬司、居城邦治、中村博、下村政嗣:「自己組織化パターン上での光ピンセットを用いた医神経細胞の配列制御」、第4回日本再生医療学会総会、大阪国際会議場 (2005-03)
- 12) 竹内繁樹:「光子を用いた量子情報実験」、ナノエレクトロニクス連携研究センター (NCRC) 第24回プロジェクト研究推進会議、東京大学生産技術研究所 (2005-02)
- 13) 高橋亮一、藤原英樹、笹木敬司:「レート方程式を導入した時間領域差分法によるランダムレーザー発振特性の解析」、レーザー学会学術講演会第25回年次大会、けいはんなプラザ (2005-01)
- 14) J. Hotta, A. Chiba, H. Takashima, H. Fujiwara, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Control of optical coupling to microspherical cavity”, The 6th RIES-Hokudai Symposium “超(chou)”, Hokkaido University Conference Hall, Japan (2004-12)
- 15) H. Fujiwara and K. Sasaki: “Optical bistability of blue emission in a ZnO powder random medium”, The 6th RIES-Hokudai Symposium “超(chou)”, Hokkaido University Conference Hall, Japan (2004-12)
- 16) J. Hotta, A. Chiba, H. Takashima, H. Fujiwara, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Manipulation of optical coupling to whispering-gallery modes of microspherical cavity”, VIII International Conference on Optics within Life Science (OWLS8), Eden on the Park Hotel, Australia (2004-11)
- 17) H. Fujiwara and K. Sasaki: “Observation of optical bistability in a ZnO powder random medium”, VIII International Conference on Optics within Life Science (OWLS8), Eden on the Park Hotel, Australia (2004-11)
- 18) 千葉孝志、大橋弘明、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司:「ポリマーブレンド中における単一分子の蛍光解析」、日本光学会年次学術講演会 (Optics Japan 2004), 大阪大学コンベンションセンター (2004-11)
- 19) 竹内繁樹:「光子を用いた量子計算」、電子情報通信学会2004ソサイエティ大会、徳島大学 常三島キャンパス (2004-09)
- 20) 門間太志、田中賢、鶴間章典、堀田純一、笹木敬司、山本貞明、下村政嗣:「自己組織化パターン上での神経細胞の光による配列制御」、第53回(2004年)高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
- 21) 巖 虎、藤原英樹、笹木敬司、辻井薫:「高速刺激応答性 NIPA-PMDP ミクロゲルのアクチュエーティング機能」、第53回高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
- 22) 小島邦裕、ホフマン F. ホルガ、竹内繁樹、笹木敬司:「一次元原子との非線形相互作用による2光子波束形状変化についての理論解析」、日本物理学会2004年秋季大会、青森大学 (2004-09)
- 23) 大橋弘明、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司、村上伸也、鳥本司、大谷文章:「単一 CdSe 量子ドットからの発光の光子統計」、日本物理学会2004年秋季大会、青森大学 (2004-09)
- 24) 千葉明人、藤原英樹、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司:「テーパファイバと結合した微小球の光共鳴特性の評価」、日本物理学会2004年秋季大会、青森大学 (2004-09)
- 25) 岡寿樹、ホフマン F. ホルガ、竹内繁樹、笹木敬司:「1次元原子の非線形光学応答に対するデコヒーレンスの影響」、日本物理学会2004年秋季大会、青森大学 (2004-09)
- 26) 岡本亮、竹内繁樹、笹木敬司:「マンデルディップに見られた異常形状に関する考察」、日本物理学会2004年秋季大会、青森大学 (2004-09)
- 27) 川瀬大輔、辻野賢治、竹内繁樹、笹木敬司、和田篤、大湊寛之、宮本洋子、武田光夫:「光子の軌道角運動量もつれ合い実験における測定基底の検証」、日本物理学会2004年秋季大会、青森大学 (2004-09)
- 28) Y. Kawabe, H. Fujiwara, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Evaluation of the coupling efficiencies of parametric fluorescence for quantum lithography”, 1st International Workshop ‘Imaging at the limits’, Cargese Institute of Scientific Studies, France (2004-09)
- 29) 藤原英樹、笹木敬司:「酸化亜鉛粉末ランダム媒質中における青色発光の光双安定性」、第65回応用物理学会学術講演会、東北学院大学 泉キャンパス (2004-09)
- 30) S. Takeuchi, K. Tsujino, H. F. Hofmann and K. Sasaki: “Distinguishing genuine entangled two-photon-polarization states from independently generated pairs of entangled photons”, SPIE Annual Meeting 2004 Optical Science and Technology, Colorado Convention Center, USA (2004-08)
- 31) H. Oka, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Effects of dephasing on the nonlinear phase shift obtained from a one-dimensional atom”, Nonlinear Optics: Materials, Fundamentals and Applications (NLO '04), 69-275 Waikoloa Beach Drive, Waikoloa, Hawaii, 96738-5711, USA (2004-08)
- 32) H. Takashima, A. Chiba, H. Fujiwara, J. Hotta, S. Takeuchi and K. Sasaki: “Characterization of a microspherical cavity with a stem by observing resonantly scattered far-field incident light”, Nonlinear Optics: Materials, Fundamentals and Applications (NLO '04), Waikoloa Beach Marriott, An Outrigger Resort Waikoloa, Hawaii, USA (2004-08)
- 33) H. Fujiwara, Y. Momose and K. Sasaki: “Numerical analysis of resonant modes within a two-dimensional random medium”, 2004 ICO International Conference Optics & Photonics in Technology Frontier (ICO '04), Makuhari Messe (幕張メッセ) (Chiba), Japan (2004-07)
- 34) 巖 虎、藤原英樹、笹木敬司、辻井薫:「ドラッグデリ

バリーシステムを目指した高速刺激応答性 NIPA-PMDP ゲル」、第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) 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)
- 2) 堀田純一、津田正史、山本隆晴:「光放射圧と量子ドットを利用した酵母の物質取り込み・増殖過程の解析」、科研費特定領域研究「極微構造反応」第2回公開シンポジウム、大阪大学吹田キャンパス銀杏会館(2005-02)
- 3) 藤原英樹、笹木敬司:「ランダム構造を用いた光局所場の増強」、科研費特定領域研究「極微構造反応」第2回公開シンポジウム、大阪大学吹田キャンパス銀杏会館(2005-02)
- 4) 竹内繁樹:「光子を用いた量子情報実験」、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業(CREST)量子情報処理シンポジウム、一橋記念講堂(2004-12)
- 5) 竹内繁樹:「光子を用いた量子情報通信・処理」、国立大学附置研究所・センターシンポジウム 研究所・センターが開く未来の世界'宇宙環境から量子技術まで'、北海道大学学術交流会館(2004-11)
- 6) 藤原英樹、川辺喜雄、竹内繁樹、笹木敬司:「ナノリンググラフィの実現に向けた量子相関光子ビーム源の評価」、「新しい物理現象や動作原理に基づくナノデバイス・システムの創製」研究領域第一回領域シンポジウム、アルカディア市ヶ谷(2004-10)
- 7) D. Kawase, K. Tsujino, K. Sasaki, S. Takeuchi, W. Atsushi, O. Hiroyuki, T. Mitsuo and M. Yoko: "Entanglement of orbital angular momentum of photons and quantum information processing", 「電子・光子等の機能制御」2004シンポジウム、コクヨホール(2004-09)
- 8) 竹内繁樹:「Quantum Computation using photons」、「電子・光子等の機能制御」2004シンポジウム、コクヨホール(2004-09)
- 9) R. Okamoto, H. F. Hofmann and S. Takeuchi: "A simple quantum phase gate using linear optics and phase dispersion effect on photon bunching", 「電子・光子等の機能制御」2004シンポジウム、コクヨホール(2004-09)
- 10) S. Takeuchi: "Quantum information technologies using photons", KIAS-KAIST 2004 Workshop on Quantum Information Science, KIAS International Conference Hall, Korea (2004-08)
- 11) 竹内繁樹:「光量子ビット」、第42回 茅コンファレンス「量子情報処理の物理と技術」、宮城蔵王ロイヤルホテル(2004-08)
- 12) 川瀬大輔、辻野賢治、竹内繁樹、笹木敬司、和田篤、大湊寛之、宮本洋子、武田光夫:「光子の軌道角運動量

もつれ合い実験における測定基底の検証」、第42回 茅コンファレンス 「量子情報処理の物理と技術」、宮城蔵王ロイヤルホテル(2004-08)

- 13) 笹木敬司:「フォトンマニピュレーションの展開」、ナノオプティクス研究グループ(旧近接場光学研究グループ)第13回研究討論会、北海道大学学術交流会館小講堂(札幌市北区)(2004-07)

- 14) 川瀬大輔、辻野賢治、竹内繁樹、笹木敬司、和田篤、大湊寛之、西原昇、宮本洋子:「光子対における軌道角運動量もつれ合いのホログラム位置スキャンによる確認実験」、第10回量子情報技術研究会(QIT10)、学習院大学百周年記念会館(東京都豊島区)(2004-05)

iii) コロキウム・セミナー等・その他

- 1) 堀田純一、千葉孝志、大橋弘明、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司:「ポリマー薄膜に分散させた蛍光色素の単一分子分光」、電子科学研究所研究交流会2004、北海道大学学術交流会館(2005-01)

4.6 特許(発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

- 1) 竹内繁樹、岡本亮:出願2005-059503、光学特性測定装置、光学特性測定方法、並びに、それに用いるプログラムおよび記録媒体、2005年3月3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) 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」、2000~2004年度、20,000千円、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(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」、2003~2004年度8,970千円、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) 竹内繁樹、笹木敬司、堀田純一(総務省 戦略的情報通信研究開発推進制度):「微小球共振器を用いた量子位相ゲートの実現に関する研究」、2003~2004年度、40,160千円、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の中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

- 3) 竹内繁樹、大橋弘明、ホフマン F. ホルガ、ソージャエフ アレクサンドレ(科学技術振興事業団戦略的創造研究推進事業「光と制御」): 光子数状態の生成と制御-光子数マニピュレーションの実現、2001~2004年度、5,200千円、パルス内の光子数を自在に制御する「光子数マニピュレーション」の実現を目指す。具体的には、「パラメトリック蛍光対の一方の射出を動的制御する方法」ならびに「光導波路に閉じ込められた単一分子等からの発光を利用する方法」等の研究。
- 4) 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」、2001~2004年度、8,520千円、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。
- 5) 竹内繁樹、ホフマン F. ホルガ(科学技術振興事業団戦略的創造研究推進事業「電子・光子等の機能制御」): 「光量子コンピュータ」、1999~2004年度、7,603千円、線形光学素子を用いた光量子コンピュータによって、単一量子事象観測による量子誤り訂正アルゴリズムの直接的検証などを行う。

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、基盤研究 A (2)、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
- 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) 竹内繁樹(21世紀COE): 「トポロジー理工学の創成拠点」、2004年度、1,000千円、トポロジー理工学の創成拠点
- 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) 竹内繁樹(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、2003~2004年度、62,051千円、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) 竹内繁樹、大橋弘明、ホフマン F. ホルガ、ソージャエフ アレクサンドレ(科学技術振興事業団戦略的創造研究推進事業「光と制御」): 光子数状態の生成と制御-光子数マニピュレーションの実現、2001~2004年度、

86,330千円、パルス内の光子数を自在に制御する「光子数マニピュレーション」の実現を目指す。具体的には、「パラメトリック蛍光対の一方の射出を動的制御する方法」ならびに「光導波路に閉じ込められた単一分子等からの発光を利用する方法」等の研究。

- 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、2001~2004年度、130,533千円、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) 竹内繁樹、ホフマン F. ホルガ(科学技術振興事業団戦略的創造研究推進事業「電子・光子等の機能制御」): 光量子コンピュータ、1999~2004年度、69,500千円、線形光学素子を用いた光量子コンピュータによって、単一量子事象観測による量子誤り訂正アルゴリズムの直接的検証などを行う。

4.12 社会教育活動

a. 公的機関の委員

- 1) 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~現在)
- 2) 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(2004~2005年度)
- 3) 笹木敬司: 日本学術振興会「フォトリック情報システム」に関する先導的研究開発委員会委員(2002年12月16日~2005年10月31日)
- 4) 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)
- 5) 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) 堀田純一: 応用物理学会北海道支部 会計幹事(2004~2005年度)
- 2) 笹木敬司: 応用物理学会 代議員(2001年2月1日~2006年1月31日)
- 3) 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)

c. 併任・兼業

- 1) 竹内繁樹: 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業個人研究型(さきがけタイプ)「光と制御」委嘱研究員(2004年12月1日~2005年3月31日)
- 2) 竹内繁樹: 科学技術振興事業団「量子と情報」領域 領域アドバイザー(2003年7月24日~2005年6月30日)
- 3) 竹内繁樹: 科学技術振興事業団 若手個人研究推進事

業（さきかけ研究21）「光と制御」委嘱研究員（2001年12月1日～2004年11月30日）

d. その他

1) 竹内繁樹：Nonlinear Optics, Quantum Optics 編集委員（2003年4月1日～現在）

2) 笹木敬司：Japanese Journal of Applied Physics 編集委員（2003～2005年度）

e. 新聞・テレビ等の報道

・雑誌

1) 竹内繁樹：日経バイト 2004年5月22日「光子を使った量子計算」

・放送

1) 竹内繁樹、今井浩：JST サイエンスチャンネル 2004年度「夢を語る研究者たち」(3) 竹内繁樹

・その他

1) 竹内繁樹：科学者になる方法 第一戦の研究者が語る 2005年1月31日「量子理論を実証！量子コンピュータの実現に向けて」

f. 外国人研究者の招聘（氏名、国名、期間）

1) Holger F. Hofmann、JAPAN、2005年3月3日～2005年3月4日

2) Johan Hofkens、Belgium、2004年12月18日～2004年12月22日

3) Holger F. Hofmann、JAPAN、2004年9月20日～2004年9月25日

4) Jozef Gruska、Slovakia、2004年4月2日～2004年4月4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、2005年1月26日～2005年1月28日

2) 工学部、応用数学 II、笹木敬司、2004年10月1日～2005年3月31日

3) 情報科学研究科、光情報システム学特論、竹内繁樹、2004年10月1日～2005年3月31日

4) 情報科学研究科、光情報システム学特論、笹木敬司、2004年10月1日～2005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、2004年7月28日～2004年7月30日

6) 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、2004年度

7) 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、2004年度

8) 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、2004年度

9) 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、2004年度

10) 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、2004年度

11) 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、2004年度

12) 工学部、統計力学、竹内繁樹、2004年4月1日～2004年9月30日

13) 全学部共通、21世紀を拓くナノ・光科学、竹内繁樹、2004年4月1日～2004年9月30日

14) 情報科学研究科、情報エレクトロニクス特別演習、堀田純一、2004年度

15) 情報科学研究科、情報エレクトロニクス特別研究第二、堀田純一、2004年度

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) 竹内繁樹、大阪大学大学院工学研究科研究科、フォトリック情報工学講座、2004年4月1日～2005年3月31日

i. ポスドク・客員研究員など

ポスドク（6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）、小島邦裕（H16年度工学部知識メディアラボラトリー（略称：VBL））、Soujaeff Alexandre（科学技術振興事業団 戦略的創造研究推進事業「光と制御」研究領域・研究員）、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）、Hofmann Friedrich Holger（科学技術振興事業団 戦略的創造研究推進事業「光と制御」研究領域・研究員）、大橋弘明（科学技術振興事業団 戦略的創造研究推進事業「光と制御」研究領域・研究員）

j. 修士学位及び博士学位の取得状況

修士課程（3名）

田村祥、由水哲也、高橋亮一

博士後期課程（7名）

高島秀聡、川辺喜雄、川瀬大輔、千葉孝志、岡本亮、岡寿樹、千葉明人

修士論文

1) 高橋亮一：時間領域差分法を用いたランダムレーザー発振特性解析

量子計測研究分野

教授 栗城 眞也 (北大院、工博、1991.8～)
助教授 小山 幸子 (阪大院、博士(人間科学)、2004.3～)
助手 平田 恵啓 (北大院、工博、1993.4～)
博士研究員 中村和歌子 (阪大院、工博、2004.4～2005.3)
JST 技術補佐員 豊澤悠子
(北大、臨床検査技師、2005.1～)
院生 林 周 (D3)、大塚明香 (D1)、神田 聡 (M2)、
時田祥子 (M2)、林 幹彦 (M2)、渡辺直輝 (M1)、
太田圭介 (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
 - ・ 音楽や言語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
 - ・ 聴覚音声フィードバック制御機構の解明と第2言語学習への応用
- を主要な研究としている。

2. 研究成果

(a) MEG データからの複数信号源推定

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

脳活動が起こるとされる、MRI 画像 (健康な成人男性) の灰白質上に約5000点のノードを設定し、その上に信号源を置いた。前頭、側頭、後頭に1個ずつの電流双極子を設定し、モーメントと方向を変化させ、さらにランダムノイズを加えて L1 ノルム法により電流分布計算を行った。L1 ノルム法は計測磁場を説明できる電流分布の中から、電流の総和が最も小さくなる組み合わせを求める方法であり、局在した信号源が求められる。

図1に示すように、計算された双極子群はオリジナル信号源の周囲に分散した結果となった。そこで双極子モー

メントの累積与率70%までに計算結果を限定することで、散らばったモーメントを除去した。さらに、モーメント群の重心と分

散を下記のように計算することで中心位置と広がりを評価した。ここで、 P_i は推定結果の座標位置、 P_g は重心の座標位置、 Q_i はモーメント、 n は推定信号源の個数を表す。

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

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

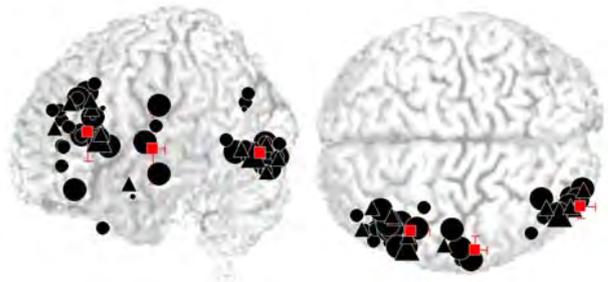


図1. 推定信号源位置とそれらの重心および標準誤差。

(b) 電流分布推定におけるなめらかさの評価関数

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

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

L1 ノルムの最小化による推定では、1点のみで活動がある場合の推定結果が良く、L2 ノルムの最小化では、隣り合う数点の活動や広がりを持つ活動範囲の場合の推定結果が良かった。しかし、L1 ノルムは活動が広がりを持つ場合も

局在した活動を与える傾向があり、また L2 ノルムは、活動が非常に局在していても、広がりを持つ分布を与える傾向がある。提案した差分の L1 ノルムの最小化は、どちらのデータについても正解に近い結果を推定することができた。

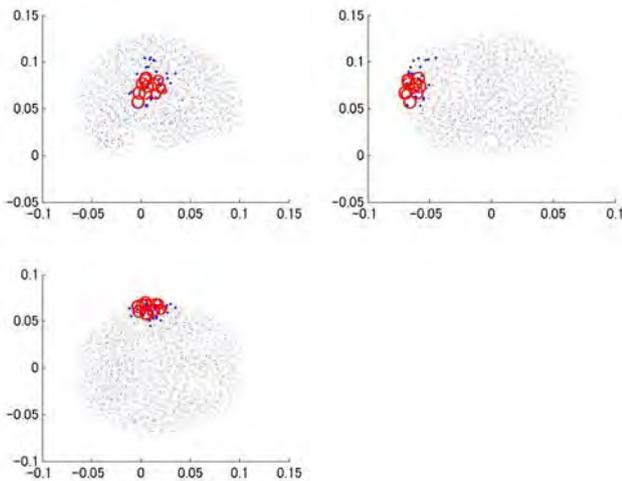


図2. 差分の L1 ノルム最小化による電流分布推定の結果。

(c) 口唇部局所失調症患者の体性感覚脳磁界

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

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

空気圧駆動の触覚刺激装置を上下唇と手指の指先(親

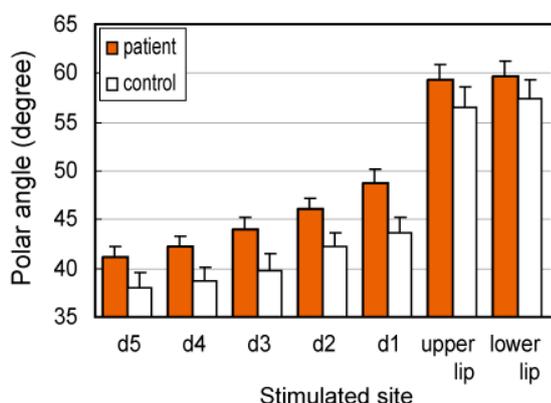


図3. 口唇部ジストニア患者とコントロールの手指及び上下唇の頭頂からの平均角度

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

皮膚上での各部位の位置は、d5からd1へと徐々に角度が増加し、唇で大きく増加した(図3)。これは体性感覚のホモキュラスの順に一致し($F(6,84) = 170, P < 0.0001$), post-hoc テストでは患者とコントロールの親指(d1)の角度が有意に異なった($p < 0.009$)。そこで上下唇間の角度で規格化したd1と唇間の確度を被験者毎に計算した、その結果、唇と親指の相対角度は患者平均17%とコントロールの23%よりも減少し、グループ間で有意な差が得られた($F(1,14)=5.5, P < 0.04$)。また溝の検出閾値では、患者の上唇は下唇に対して有意に大きな閾値を示した($p=0.0097$)。

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

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、教育に供するために、ハードウェアとソフトウェアの充実を図る。聴覚系の実験システムは一応整備したので、今後は、画像や文字などを高い時間精度で制御できる視覚呈示装置の完成を目指す。

音楽と言語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、視覚と聴覚言語機能における意味や文法 (semantics and syntax) の要素的操作に対する脳活動のイメージングである。

音素、音韻構造、リズム・アクセントは言語によって異なる。言語環境の違いが聴覚処理におよぼす影響について MEG だけではなく脳電位 (EEG) や語学テストなどの行動解析を取り入れて研究を進める。音声の聞き取りは発話時にも重要な役割を果たす (聴覚音声フィードバック)。聴覚音声フィードバック機構を含めた音声知覚に関わる聴覚野の機能を解明し、効率的な第2外国語学習法の開発を目指している。

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) K. Kamada, Y. Sawamura, F. Takeuchi, K. Houkin, H. Kawaguchi, Y. Iwasaki and S. Kuriki: “Gradual recovery from dyslexia and related serial magnetoencephalographic changes in the Lexicosemantic centers after resection of a mesial temporal astrocytoma”, *Journal of Neurosurg*, 100: 1101-11067 (2004)
- 2) S. Kuriki, A. Hayashi, Y. Hirata, T. Naiki and K. Kawahara: “High-Tc SQUID magnetometer for measurements of heart-rate signal of small animals”, *Chin. J. Phys.*, 42: 501-507 (2004)
- 3) S. Kuriki, Y. Kawaguchi, K. Takahashi and M. Matsuda: “Low-frequency flux noise in current-carrying high critical temperature superconducting films”, *J. Appl. Phys.*, 96: 2768-2772 (2004)
- 4) 平田恵啓, M. Schulz, E. Altenmüller, T. Elbert and C. Pantev: “Sensory mapping of lip representation in brass musicians with embouchure dystonia”, *Neuroreport*, 15: 815-818 (2004)
- 5) S. Kuriki, N. Isahai and A. Otsuka: “Spatiotemporal characteristics of the neural activities processing consonant/dissonant tones in melody”, *Exp. Brain. Res.*, 162: 46-55 (2004)
- 6) 平田恵啓, 栗城眞也: 「音楽的刺激で生じる脳活動の MEG 計測」、電気学会マグネティックス研究会資料、MAG-04-136: 101-104 (2004)
- 7) 神田聡, 太田圭亮, 平田恵啓, 栗城眞也: 「連続する音楽による聴覚誘発 MEG: 音楽経験との関係」、電子情報通信学会技術研究報告、MBE-4-104: 13-16 (2004)

4.2 総説、解説、評論等

- 1) 平田恵啓: 「MEG 計測からみた音楽の聴覚皮質に与える効果」、臨床神経生理学、33(3): 107-113 (2005)
- 2) 小山幸子, 軍司敦子, 栗城眞也: 「言語音に対する脳磁場反応: 日米話者比較」、TELECOM FRONTIER, 45: 27-34 (2004)

4.3 国際会議議事録等に掲載された論文

- 1) H. Kwon, J. Kim, Y. Lee, K. Kim, Y. Park, K. Nam and S. Kuriki: “Auditory evoked field responses in the left hemisphere to morphosyntactic violation in Korean sentence”, *Biomag 2004 Proceedings of the 14th International Conference on Biomagnetism*, 288-289 (2004)
- 2) S. Kanda, Y. Hirata and S. Kuriki: “Enhanced P2m Responses to Musical Tones in Musicians”, *Biomag 2004 Proceedings of the 14th International Conference on Biomagnetism*, 509-510 (2004)
- 3) S. Kuriki, Y. Kawaguchi, K. Takahashi and M. Matsuda:

“Flux penetration into a narrow strip of high-Tc superconducting film”, *Proceedings of the EUCAS 2003 Conference*, 3182-3188 (2004)

- 4) M. Matsuda, A. Takahashi, H. Mikami and S. Kuriki: “Modification of superconductivity for YBCO films by ion bombardment process”, *Proceedings of the EUCAS 2003 Conference*, 3099-3105 (2004)
- 5) S. Kuriki, N. Watanabe, F. Takeuchi, H. Hagiwara and S. T: “Multi-Language Area Activities in Sentence Reading”, *Biomag 2004 Proceedings of the 14th International Conference on Biomagnetism*, 286-287 (2004)
- 6) H. Kwon, S. Kuriki, J. Kim, Y. Lee, K. Kim, Y. Park and K. Nam: “Parallel processing of syntax and semantics in distinct cortical regions during auditory sentence comprehension revealed by MEG”, *Proceedings of KIT International Symposium on Brain and Language 2004*, 25-26 (2004)

4.7 講演

i) 学会

- 1) 武田啓司, 中村貴義, 中村貫人, 栗城眞也: 「高温超伝導 DC マイクロ SQUID の素子特性と磁束計の試作」、日本物理学会第60回年次大会、東京 (2005-03)
- 2) 渡邊直輝, 神田聡, 栗城眞也: 「高次脳機能計測における複数信号源推定」、第7回日本ヒト脳機能マッピング学会、東京 (2005-03)
- 3) 中村和歌子, 小山幸子, 栗城眞也: 「脳磁図からの電流分布推定におけるなめらかさの評価関数」、第7回日本ヒト脳機能マッピング学会、東京 (2005-03)
- 4) 平田恵啓: 「MEG 計測からみた音楽の聴覚皮質に与える効果」、第34回日本臨床神経生理学学会学術大会、東京都 (2004-11)
- 5) 小山幸子: 「語音に対する聴覚野の誘発脳磁場: 日米比較 “Psychologist のための ERP セミナー”」、第34回日本臨床神経生理学学会学術大会、東京 (2004-11)
- 6) 中村貫人, 三上春樹, 松田瑞史, 栗城眞也: 「高温超伝導量子干渉素子のアレイ化に関する検討」、電気関係学会北海道支部連合大会、函館 (2004-10)
- 7) 太田圭亮, 神田聡, 平田恵啓, 栗城眞也: 「音楽により誘発される MEG 聴覚応答の信号源解析」、電気関係学会北海道支部連合大会、函館 (2004-10)
- 8) 渡邊直輝, 竹内文也, 栗城眞也, 小山幸子, 萩原裕子: 「語順を変えた文章を解読するときの脳活動の解析」、電気関係学会北海道支部連合大会、函館 (2004-10)
- 9) 林幹彦, 栗城眞也: 「モバイル SQUID の試作」、電気関係学会北海道支部連合大会、函館 (2004-10)
- 10) K. Takeda, T. Nakamura, Y. Kawaguchi and S. Kuriki: “Characteristics of $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ dc SQUID with Bicrystal Grain-Boundary Junctions”, ICMM 2004 (International Conference on Molecule-based Magnets), Tsukuba, Japan

- (2004-10)
- 11) M. Matsuda, K. Nakamura, H. Mikami and S. Kuriki: "Fabrication of magnetometers with multiple-SQUID arrays", Applied Superconductivity Conference, Jacksonville, USA (2004-10)
 - 12) 松田瑞史、中村貫人、三上春樹、栗城眞也:「高温超伝導量子干渉素子のアレイ化に関する検討」、2004秋季応用物理学学会学術講演会、仙台 (2004-10)
 - 13) 渡邊直輝、小山幸子、竹内文也、栗城眞也、萩原裕子:「文法処理に関わる脳活動の解析」、日本エム・イー学会北海道支部大会、札幌 (2004-09)
 - 14) 栗城眞也、神田聡、平田恵啓、小山幸子:「楽音に対する大脳皮質応答 ; 音楽経験との関係」、第27回日本神経科学大会、大阪 (2004-09)
 - 15) 小山幸子、山田玲子、Roberts T., Houde J, Merzenich M.:「語音によって誘発された脳磁場反応に対する幼少時の言語環境の影響」、第27回日本神経科学大会、大阪 (2004-09)
 - 16) 林 周、平田恵啓、栗城眞也:「複合型磁気ノイズ低減方法の提案」、第28回日本応用磁気学会学術講演会、沖縄 (2004-09)
 - 17) 武田啓司、中村貴義、川口洋平、栗城眞也:「高温超伝導体 DC マイクロ SQUID 磁束計の試作 II」、日本物理学会2004年秋季大会、青森 (2004-09)
 - 18) S. Kanda, Y. Hirata and S. Kuriki: "Enhanced P2m Responses to Musical Tones in Musicians", Biomag 2004, Boston, USA (2004-08)
 - 19) H. Kwon, J. Kim, Y. Lee, K. Kim, Y. Park, K. Nam and S. Kuriki: "Auditory evoked field responses in the left hemisphere to morphosyntactic violation in Korean sentence", Biomag 2004, Boston, USA (2004-08)
 - 20) S. Kuriki, N. Watanabe, F. Takeuchi, H. Hagiwara and T. S: "Multi Language Area Activities in Sentence Reading", Biomag 2004, Boston, USA (2004-08)
 - 21) L. Chany, I. Chang-Hwan, J. Hyun-Kyo, L. Yong-Ho and S. Kuriki: "Source Space Reduction for MEG Source Imaging Using Cortical Surface Inflation", Biomag 2004, Boston, USA (2004-08)
 - 22) K. Kamada, F. Takeuchi, S. Kuriki, A. Morita and T. Kirino: "Identification of the eloquent motor cortex using magnetic resonance axonography, MEG and fMRI", Biomag 2004, Boston, USA (2004-08)
 - 23) F. Takeuchi, K. Kamada, S. Kuriki and H. Kawaguchi: "MEG responses from the frontal regions using a whole head SQUID system", Biomag 2004, Boston, USA (2004-08)
 - 24) 時田祥子、小林哲生、鄭址旭、栗城眞也:「運動錯視図形観察時における内因的知覚交替に関わる脳活動の fMRI 計測」、第9回認知神経科学会、東京 (2004-07)
 - 25) H. Kwon, J. M. Kim, K. Kim, Y. H. Lee, Y. Park and S. Kuriki: 「Grand average of MEG data measured at different sensor positions」、第19回日本生体磁気学会大会、徳島、Japan (2004-06)
 - 26) 神田聡、平田恵啓、栗城眞也:「楽音による誘発される長潜時聴覚 MEG 反応」、第19回日本生体磁気学会大会、徳島 (2004-06)
 - 27) 竹内文也、鎌田恭輔、栗城眞也、川口秀明:「全頭型 SQUID 磁束計におけるうつぶせ姿勢による MEG 計測」、第19回日本生体磁気学会大会、徳島 (2004-06)
 - 28) 鎌田恭輔、竹内文也、栗城眞也、森田明夫、桐野高明:「脳磁図と機能磁気共鳴画像による言語分布の評価」、第19回日本生体磁気学会大会、徳島 (2004-06)
 - 29) 竹内文也、鎌田恭輔、栗城眞也、川口秀明:「側頭葉病変に伴う slow Auditory Evoked Field の周波数解析」、第43回日本 ME 学会、金沢 (2004-05)
 - 30) S. Koyama: "The Remains of Infant Days: Auditory Cortex Responses to Aural Speech in Proficient Late English Learners." Cognitive Neuroscience Annual Meeting, San Francisco, USA (2004-04)
 - 31) 小山幸子:「語音に対する聴覚野の反応: 脳磁場を用いた日米比較」、日本エムイー学会北海道支部第25回 ME 研究会、旭川 (2004-4)
 - 32) S. Koyama: "Cortical Magnetic Responses for Native and Non-Native Speech Sounds: MMNm induced by English/r/ and /l/", The 18th International Congress on Acoustics. Symposium, Kyoto, Japan (2004-04)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) S. Kuriki, F. Takeuchi, Y. Hirata, S. Koyama and W. Nakamura: "Study of magnetic field responses from brain using SQUIDS: system Development and MEG measurements", 205 Japan-Taiwan Symposium on Superconducting Electronics, 札幌, Japan (2005-02)
 - 2) H. Kwon, S. Kuriki, J. Kim, Y. Lee, K. Kim, Y. Park and K. Nam: "Parallel processing of syntax and semantics in distinct cortical regions during auditory sentence comprehension revealed by MEG", KIT International Symposium on Brain and Language, 金沢, Japan (2004-12)
 - 3) 神田聡、太田圭亮、平田恵啓、栗城眞也:「連続する楽音による聴覚誘発 MEG: 音楽経験との関係」、ME とバイオサイバネティクス研究会、仙台 (2004-11)
 - 4) 中村和歌子:「脳磁図からの電流分布推定における活動領域の広がり推定」、日本学術振興会超伝導エレクトロニクス第146委員会高性能 SQUID システム分科会第60回研究会、東京 (2004-10)
 - 5) 中村和歌子:「脳磁図からの電流分布推定におけるなめらかさの評価関数」、21世紀の診断工学とその周辺、東京 (2004-10)
 - 6) 平田恵啓、栗城眞也:「音楽的刺激で生じる脳活動の MEG 計測」、電気学会マグネティクス研究会、狛江 (2004-07)

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

- 1) S. Kuriki: “2005Japan-Taiwan Symposium on Superconductive Electronics”、50名、Tenjin-yama House Conference Hall, Hokkaido University (Sapporo) (2005年2月9日～2005年2月11日)
- 2) 赤澤堅造、栗城眞也:「生体医工学シンポジウム2004」、100名、北海道大学(札幌)(2004年9月5日～2004年9月6日)

4.9 共同研究

e. その他（研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、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、「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。

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C(2)、脳磁場を指標とした言語音に対する聴覚野の活動の検討、2004～2005年

社会技術研究システム・公募型プログラム

- 1) 小山幸子、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) 平田恵啓:生体医工学シンポジウム2004 組織委員(2004年4月1日～現在)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 栗城眞也:日本エムイー学北海道支部・支部長(2003

～2004年度)

- 5) 平田恵啓:日本エム・イー学会北海道支部幹事(2003～現在)
- 6) 小山幸子:日本臨床神経生理学学会評議員(2001年7月10日～現在)
- 7) 小林哲生:日本人間工学会評議員(2001年4月1日～現在)
- 8) 小林哲生:日本人間工学会支部幹事(2001年4月1日～現在)
- 9) 小林哲生:日本脳電磁図トポグラフィー研究会評議員(2001年4月1日～現在)
- 10) 栗城眞也:電気学会論文委員会委員(2000年4月1日～現在)
- 11) 栗城眞也:日本エムイー学会評議委員(2000年4月1日～現在)
- 12) 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、電気回路、栗城眞也、2004年10月1日～2005年3月31日
- 2) 工学部、応用数学II演習、平田恵啓、2004年10月1日～2005年3月31日
- 3) 工学研究科、生体情報工学特別演習、平田恵啓、2004年度
- 4) 工学研究科、生体情報工学特別研究第二、平田恵啓、2004年度
- 5) 工学研究科、脳機能工学特論、栗城眞也、2004年4月1日～2004年9月30日

i. ポスドク・客員研究員など

ポスドク(1名)
鄭址旭(電子科学研究所)

自律調節研究分野

教授 狩野 猛 (マギル大院、Ph.D.、1991.11～)
助教授 Korobeinikov Andrei
(Auckland 大院、Ph.D.、2004.10～)
助手 丹羽光一 (北大院、獣医博、1997.10～2005.3.31)
院生 坂井滋郎 (D1)、中田直哉 (M1)
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～)
科学研究支援員 石坂高英 (2004.4～)
事務補助員 笹木瑠美子 (2003.4～2005.3.31)

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管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。我々は、上記のような血管壁の再構築を伴う血管病の発病および局在化は、せん断応力によるものではなく、血管壁構成細胞にとって重要な栄養素の一つであるコレステロールの血液より血管壁への物質移動によって支配されるものであり、血管壁の水透過性によって起こる血管内壁表面上におけるコレステロールの担体であるところの低密度リポ蛋白 (LDL) の流速依存性濃縮・枯渇現象によるものであるという全く新しい仮説 (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15年度) には、これまで用いて来た内皮細胞単層よりも更に生体血管に近い血管壁のモデルとして、そしてまた、生体血管に代わるものとして、多孔質膜又は ePTFE 人工血管にウシ大動脈より採取した平滑筋細胞 (SMC) および内皮細胞 (EC) を直接

重層播種・共培養することにより生体に移植された人工血管に形成される偽内膜と同じ組織構造を有する血管壁モデル (EC-SMC 共培養系) およびハイブリッド人工血管を開発し、これらを用いて流れおよび物質移動実験を行い、我々の仮説を支持するような以下の新知見を得た。

- (1) 流れも水透過もない、静置培養の場合には、LDL の濃度が高いほど血管壁モデルの細胞層内に取り込まれる量も多く、時間の経過と共にその量が増大し、細胞層が厚くなる。また、静水圧 (血圧に相当) が大きいほど細胞層が厚くなる。
- (2) 生体血管におけると同様に、流れと水透過がある場合には、流れが遅いほど (せん断応力が小さいほど)、そして水透過速度が大きいほど細胞層表面上における LDL の濃度が高く、細胞層に取り込まれる量も多くなる。

以上の結果を踏まえて、平成16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細胞層の厚さに及ぼすせん断流れおよび水透過の影響

これまで行ってきた研究により、流れおよび水透過速度の大小により血管内壁表面上の LDL の濃度および血管壁構成細胞による LDL の取り込みが変化することが判った。しかしながら、そのことによって血管壁構成細胞の増殖または衰退がどう影響されるかはまだ判っていない。そこで本研究では、当研究分野で開発した上述の方法により水透過を与えられるハイブリッド人工血管を作製し、それを体外循環培養システムに装着して生体血管における同等の水透過速度を与えた場合および与えない場合について、3つの異なる流速 (壁せん断応力) の条件下で4週間細胞を培養した。その後、それらの血管の組織標本作製し、細胞層の組織構造の観察および厚さを測定した。その結果、図1に示したように、流れが遅い (せん断応力の値が小さい) ほど細胞層が厚く、かつ、同せん断応力で比較すると、水透過がある (LDL の濃縮現象が起こる) 場合の方がない場合より細胞層が厚くなること判った。

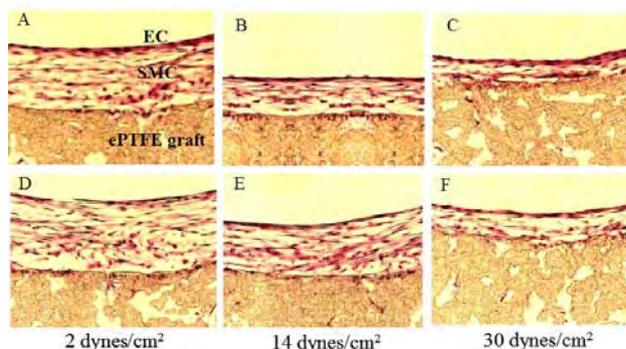


図1. せん断流れを負荷して28日間循環培養したハイブリッド人工血管の横断面の顕微鏡写真 (水透過速度 ABC: $V_w = 0$ cm/s; DEF: $V_w = 6 \times 10^{-8}$ cm/s)

[2] 移植した人工血管に形成される偽内膜の厚さとその血管の移植前後における水透過速度との関係

前述の実験によりハイブリッド人工血管の細胞層の厚さが水透過速度によって影響されることが判った。そこで同様のことが生体血管でも起こるか否かを動物実験により検討した。方法は、まず、雑種成犬の総頸動脈に内径3mmで、水透過速度が大きく異なる3種類の人工血管、即ち、組織固定して作製した犬の総頸動脈 (GA グラフト)、市販のePTFE グラフト、自作のポリエステル布製グラフト (PE グラフト) を端端吻合により間置移植した。それらを1週から13ヶ月後に採取し、培養液を用いて100mmHg、37°Cの条件下で管壁における水透過速度を測定し、同圧下で組織固定した後、組織標本を作製し、走査電顕による内表面の観察および細胞層の厚さの測定を行った。その結果、図2に示したように、GA グラフトの内面は、12ヶ月後でもフィブリン膜で覆われており、内皮細胞は全く見られなかった。ePTFE グラフトに関しては、6ヶ月後ではフィブリン膜の部分と内皮細胞で覆われている部分が混在していたが、13ヶ月では全面が不規則な形状をした内皮細胞の単層で覆われていた。PE グラフトは、2ヵ月後でも整った形状の内皮細胞の単層で覆われていた。人工血管に形成された偽内膜の厚さに関しては、図3に示したように、移植前における水透過速度が生体血管のそれに最も近い値を示した GA グラフトで最も薄く (2 μm 程度)、水透過速度が最も大きかった PE グラフトで最も厚く、術後2ヶ月のものでも126 μm になっていた。

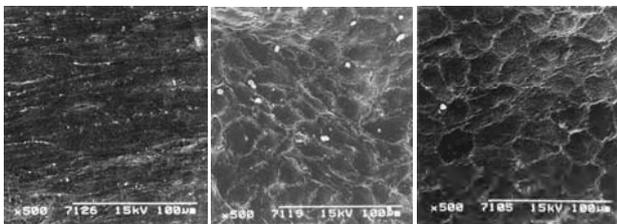


図2. 移植された人工血管の内表面の走査電顕写真
左: GA グラフト (12ヶ月)、中央: ePTFE グラフト (13ヶ月)、
右: PE グラフト (2ヶ月)

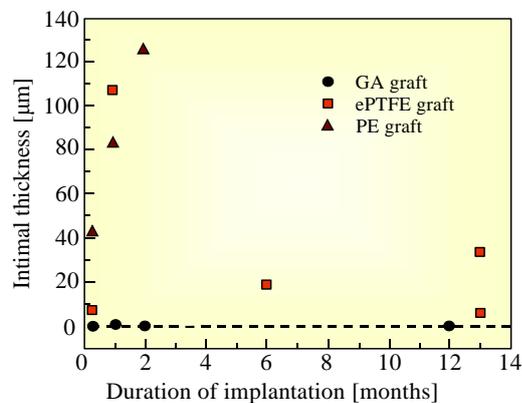


図3. 人工血管の移植期間と形成された偽内膜の厚さとの関係

3. 今後の研究の展望

我々が提唱している仮説 (リポ蛋白の流速依存性濃度分極説) により、血管壁が厚くなる動脈硬化および吻合部内膜肥厚のみならず、逆に薄くなる脳動脈瘤や狭窄後拡張の形成をも説明できるかどうかを検討するため、血管壁構成細胞の増殖および衰退に及ぼす渦流れおよび管壁を直撃する impinging flow の影響について研究を行う予定である。

4. 資料

4.1 学術論文等

- 1) S. Endo, H. L. Goldsmith and T. Karino: "Flow patterns in the dog descending aorta under a steady flow condition simulating mid-systole", *JSM International Journal Series C*, 47(4): 1000-1009 (2004)
- 2) H. Aonuma and K. Niwa: "Nitric oxide regulates the levels of cGMP accumulation in the cricket brain", *Act. Biol. Hung.*, 55(1-4): 65-70 (2004)
- 3) K. Niwa, T. Kado, J. Sakai and T. Karino: "The effects of a shear flow on the uptake of LDL and acetylated LDL by an EC monoculture and an EC-SMC coculture", *Ann. Bio-med. Eng.*, 32(4): 537-543 (2004)

4.3 国際会議議事録等に掲載された論文

- 1) Y. Kitamura, H. Aonuma, K. Niwa, K. Mizutani, H. Ogawa and K. Oka: "NO-cGMP signaling in non-associative learning of the earthworm", *NITRIC OXIDE-BIOLOGY AND CHEMISTRY*, 11(1): 106-107 (2004)
- 2) H. Aonuma, M. Iwasaki and K. Niwa: "Role of NO signaling in switching mechanisms in the nervous system of insect", *Proceeding of SICE Annual Conference*, 2004: 2477-2482 (2004)
- 3) L. Sun, K. Niwa and T. Karino: "The effect of hydrostatic pressure on the growth of the cell layer of a hybrid vascular graft prepared by co-culturing bovine aortic ECs and SMCs on an ePTFE graft", *Proceedings of Shanghai International Conference on Physiological Biophysics*, 134 (2004)
- 4) J. Sakai, K. Niwa and T. Karino: "The effects of a shear flow and water filtration on the transport of LDL from flowing fluid to an EC-SMC co-culture", *Proceedings of Shanghai International Conference on Physiological Biophysics*, 104 (2004)
- 5) K. Niwa and T. Karino: "The roles of reactive oxygen species and protein kinase C in shear stress-induced activation of pinocytosis in vascular endothelial cells", *Proceedings of Shanghai International Conference on Physiological Biophysics*, 101 (2004)

4.4 著書

- 1) T. Karino, S. Wada and T. Naiki: "A new theory on the localization of vascular diseases", *Biomechanics at Micro-and Nanoscale Levels*, World Scientific Publishing Co., Singapore, I: 100-112 (2005)

4.5 その他

- 1) 丹羽光一、狩野猛:「ずり応力による血管内皮細胞のピノサイトーシス活性化は細胞内活性酸素とプロテイン

キナーゼCによって調節されている」、日本機械学会第17回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 04(48): 257-258 (2005)

- 2) 中田直哉、南山真裕子、丹羽光一、狩野猛:「血管内皮細胞—平滑筋細胞共培養系の LDL 取込みおよび細胞増殖特性」、電子情報通信学会技術研究報告, 104(129): 13-15 (2004)
- 3) 坂井滋郎、丹羽光一、狩野猛:「血管壁モデルによる巨大分子の取込みに及ぼすせん断流れおよび水透過の影響」、電子情報通信学会技術研究報告, 104(129): 17-20 (2004)

4.7 講演

i) 学会

- 1) 丹羽光一、狩野猛:「ずり応力による血管内皮細胞のピノサイトーシス活性化は細胞内活性酸素とプロテインキナーゼCによって調節されている」、日本機械学会第17回バイオエンジニアリング講演会、名古屋市 (2005-01)
- 2) L. Sun, K. Niwa and T. Karino: "The effect of hydrostatic pressure on the growth of the cell layer of a hybrid vascular graft prepared by co-culturing bovine aortic ECs and SMCs on ePTFE Graft", Shanghai International Conference on Physiological Biophysics, Shanghai, China (2004-11)
- 3) J. Sakai, K. Niwa and T. Karino: "The effects of a shear flow and water filtration on the transport of LDL from flowing fluid to an EC-SMC co-culture", Shanghai International Conference on Physiological Biophysics, Shanghai, China (2004-11)
- 4) K. Niwa and T. Karino: "The roles of reactive oxygen species and protein kinase C in shear stress-induced activation of pinocytosis in vascular endothelial cells", Shanghai International Conference on Physiological Biophysics, Shanghai, China (2004-11)
- 5) 北村美一郎、青沼仁志、丹羽光一、水谷賢史、小川宏人、岡浩太郎:「ミミズ非連合学習における NO-cGMP 経路の効果」、Neuro 2004 (第27回日本神経科学大会・第47回日本神経化学学会大会合同大会)、大阪 (2004-09)
- 6) 丹羽光一、狩野猛:「ずり応力による血管内皮細胞の液相エンドサイトーシス調節機構における活性酸素の役割」、第138回日本獣医学会学術集会、札幌 (2004-09)
- 7) 丹羽光一、青沼仁志、狩野猛:「シエラストレスによる血管内皮細胞のピノサイトーシス活性化における細胞内活性酸素の役割」、第84回日本生理学会北海道地方会、旭川 (2004-09)
- 8) H. Aonuma, M. Iwasaki and K. Niwa: "Role of NO signaling in switching mechanisms in the nervous system of insect", SICE Annual Conference 2004, Sapporo (2004-08)
- 9) 丹羽光一、稲波修、山盛徹、太田利男、浜州拓、狩野

猛、桑原幹典：「酸化ストレスによる血管内皮細胞のアポトーシスシグナルと生存シグナル活性化における細胞内カルシウムの役割」、第26回日本フリーラジカル学会学術集会、山形市（2004-06）

- 10) Y. Kitamura, H. Aonuma, K. Niwa, K. Mizutani, H. Ogawa and K. Oka: "NO-cGMP signaling in non-associative learning of the earthworm", The 3rd International Conference on the Biology, Chemistry, and Therapeutic Applications of Nitric Oxide / The 4th annual Scientific meeting of the Nitric Oxide Society of Japan, 奈良, Japan (2004-05)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) 丹羽光一、狩野猛：「内皮細胞のずり応力誘発性ピノサイトシスにおける細胞内活性酸素の役割」、第10回北海道活性酸素・フリーラジカル研究会、札幌市（2004-07）
- 2) 中田直哉、南山真裕子、丹羽光一、狩野猛：「血管内皮細胞一平滑筋細胞共培養系の LDL 取込みおよび細胞増殖特性」、ME とバイオサイバネティクス研究会、札幌市（2004-06）
- 3) 坂井滋郎、丹羽光一、狩野猛：「血管壁モデルによる巨大分子の取込みに及ぼすせん断流れおよび水透過の影響」、ME とバイオサイバネティクス研究会、札幌市（2004-06）

4.9 共同研究

b. 所内共同研究（研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容）

- 1) 青沼仁志、丹羽光一、中島崇行、田中賢、西野浩史（電子科学研究所）：「昆虫の神経細胞を用いた培養系による神経回路網の再構築と」、2002～2004年度、NO-cGMP系は学習や記憶の基盤となる神経の可塑性に深く関与する。これまでに節足動物を用いた電気生理学・行動学・組織化学的研究から NO-cGMP 系が神経伝達の修飾に関与する事、匂いの連合学習に重要な事などを示した。NO は標的細胞のグアニル酸シクラーゼを活性化し細胞内 cGMP 合成を促進するが、cGMP がどのような生理機構で神経の可塑性に関与するか不明である。本プロジェクトは培養細胞系を従来の研究に取り入れ、細胞内の遺伝子発現、酵素活性を観察する事で cGMP の下流にあるシグナル伝達系を解明する。従来の in vivo の実験と本プロジェクトの in vitro の実験を組み合わせる事で、実験材料に昆虫を使う利点を最大限に活用し、脊椎動物では困難な思い切った実験を可能にする。

4.10 予算獲得状況

a. 科学研究費補助金（研究代表者、分類名、研究課題、期間）

- 1) 丹羽光一、若手研究 B、ずり応力による血管内皮細胞

の活性酸素産生とアテローム性動脈硬化発症の関連、2003～2004年度

- 2) 狩野猛、特定領域研究 A 一般（2）、細胞培養により作製したハイブリッド人工血管の組織構造に及ぼす流体力学的因子の影響、2003～2006年度
- 3) 狩野猛、基盤研究 B 一般（2）、肥厚性血管病の発病並びに局在化に及ぼすせん断流れおよび水透過速度の影響、2003～2005年度

4.12 社会教育活動

b. 国内外の学会の役職

- 1) 狩野猛：日本バイオレオロジー学会理事（2003年1月1日～現在）

c. 併任・兼業

- 1) 丹羽光一：農業生物資源研究所 招聘研究員（2004年6月29日～2005年3月31日）

f. 外国人研究者の招聘（氏名、国名、期間）

- 1) Fan Lijie, China, 2004年9月15日～現在
- 2) Sun Lei, China, 2003年7月17日～2004年7月15日

g. 北大での担当授業科目（対象、講義名、担当者、期間）

- 1) 工学部、生体工学概論、狩野猛、2004年10月1日～2005年3月31日
- 2) 全学部共通、バイオメカニクス（生体力学）入門、狩野猛、2004年4月1日～2004年9月30日
- 3) 工学部、力学 II、狩野猛、2004年4月1日～2004年9月30日
- 4) 工学研究科、バイオメカニクス特論、狩野猛、2004年4月1日～2004年9月30日
- 5) 工学研究科、生命人間情報科学特別演習、狩野猛、2004年度
- 6) 工学研究科、生命人間情報科学特別研究第一、狩野猛、2004年度
- 7) 工学研究科、生命人間情報科学特別研究第二、狩野猛、2004年度

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

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) 生体分子1分子可視化技術を用いた神経回路形成機構の解明

個体発生にともなって、脊椎動物の神経細胞がどのようなしくみによって神経支配のターゲットとなる標的組織を見つけ出し、各々の標的組織に応じたシナプスを形成するメカニズムはほとんど分かっていない。神経回路形成に必須と考えられている神経栄養因子と、神経先端に存在する受容体との相互作用を、初代培養実験系、さらには胚生体内で観察を行なうために、蛍光タンパク質と連結した神経栄養因子受容体の遺伝子を脊髄後根節神経細胞に導入する電気穿孔遺伝子導入法ならびに遺伝子銃による導入法の確立を試みた。これまでに遺伝子銃による脊髄後根節神経細胞への TrkA-mCherry 遺伝子導入に成功している。

(b) ストレス下における植物個体内の情報伝達をリアルタイムに可視化する技術の開発

植物は人間や動物と違って生育に不利な環境にさらされても別の場所に移動することはできない。従って、少ない栄養状態、異なる光や温度条件下などで生き残るために高度な適応力が必要である。環境変化は作物の収穫量や年間の作付け期間に大きく影響するため、この適応力をコントロールすることは農業において非常に重要である。遺伝子への変異導入や蛋白質発現の解析を通して、植物が生育に不利な環境に適応する際にどの遺伝子が関わっているのかを知ることができるようになってきた。様々な蛋白質の量的変化に加えて、多くのシグナル伝達は蛋白質の活性の変化に依存的して起こる。しかし、一般にそのようなシグ

ナル伝達を植物に関して研究することは難しいとされている。そこで、本研究では環境変化にตอบสนองして植物体内で起こる、カルシウム量の変化や蛋白質リン酸化などのシグナル伝達現象を実際に生細胞内でリアルタイムにイメージングする技術を開発することを目的とした。この技術によって、特定のシグナル伝達現象の時間的、空間的な相互作用を観測することができるようになるだけでなく、様々な遺伝子的手法と組み合わせることにより、個々の適応応答にどのシグナル伝達がどのように関わっているかが明らかになり期待される。このような目的を遂行するため、我々は全てのゲノム配列が解明され、遺伝学的なアプローチが可能なシロイヌナズナに 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する遺伝子導入植物を作成し(図1)、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1. Ca^{2+} 指示薬 (YC3.6) を発現する植物細胞

(c) 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

リアルタイム可視化解析の手法としては蛍光イメージング・FRET を利用したものが先行しているが、これらの手法を用いて生きた植物個体をイメージングしたという報告は少ない(理由:植物個体は光感受性が高く蛍光に必須である励起光が植物に生理的な作用を及ぼしてしまう)。そこで本研究では励起光を必要としない、生物発光及び BRET (Bioluminescent resonance energy transfer) を利用した植物個体でのイメージング技術開発を目的とした。高効率な BRET により発光光子数を増加させるために、Rluc と Venus を様々な長さや種類のアミノ酸リンカーでタンデムにつないだコンストラクトを作成し、BRET スペクトルを蛍光分光光度計で測定した。その結果、極めて高い BRET 効率を示すものを作成することができた(図2)。本コンストラクトを培養細胞にトランスフェクトし、顕微鏡で発光観察を行なったところ、従来よりも短い露光時間 (30ms~5s) での画像取得に成功した(図2)。

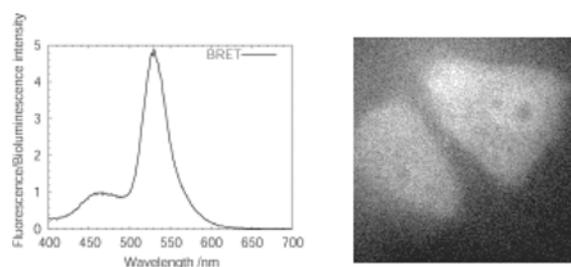


図2. Venus-Rluc の発光スペクトルと細胞イメージング

(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

GFPを利用したバイオセンサーの機能改変は主にランダム変異導入とスクリーニングによってなされているため、時間と労力を要する。従って、今後様々な種類のバイオセンサーを効率良くより高感度に作製するためには設計の指針が必要となる。そこで、本研究では pericam をモデルにして、立体構造データを基にした合理的なバイオセンサー設計の可能性を探りそれを新たなバイオセンサー開発に応用することを目的としている。

カルシウム蛍光バイオセンサー pericam には現在 475 nm で励起した場合にカルシウムの存在下では非存在下に比べて蛍光強度が増大する flash-pericam、逆に減少する inverse-pericam そして励起スペクトルが変化する ratiometric-pericam の 3 種類の variant が存在する。それらすべてに関して、カルシウム非存在下と存在下の両方の条件で立体構造決定を試みている。これまでに inverse-pericam に関しては予備的な結晶化実験においてデータコレクションにはまだ不十分なサイズではあるが、カルシウム非存在下では針状の、カルシウム存在下では八面体の結晶を得ることができた(図3)。



図3. Pericam の結晶

(e) 光照射による生体機能操作法の開発

生理現象の可視化技術は生きた細胞における分子の機能を解明する上で近年非常に注目される手法である。その一方で、ある分子を任意の場所と時間で思い通りに決まさせたり、過剰発現させる操作技術は未だ発展途上と言わざるを得ない。生きた細胞において、こうした生体機能操作技術と可視化技術を同時に行うことができれば、これまで困難であった生命現象のダイナミクスの包括的理解が可能になると期待できる。

CALI(chromophore-assited laser inactivation)法は、光照射により活性酸素などの反応性の高いラジカルを産生する光増感物質を利用した分子機能を破壊する技術である。我々は従来光増感物質として広く用いられている fluorescein よりも効率よく活性酸素(一重項酸素)を産生する色素として eosin を見出した。緑色蛍光タンパク質(GFP)のシアン色変異体(CFP)と eosin の間における蛍光エネルギー移動を利用して、光増感物質の最適波長とは異なる波長で励起することにより、活性酸素を産生する技術を開発した。現在、HIV由来のTAT配列やアルギニンなどの正電荷に富むアミノ酸配列を利用したタンパク質導入法を用いて、光増感物質でラベルした CFP の C 末端を細胞に導入する技術の開発を進めている。

(f) ゲノムDNAの超迅速な塩基配列決定法の開発

地球上の全生命体の遺伝情報を持つ DNA は、マクサム・ギルバート法やサンガー法の発見と国際的なゲノムプロジェクトにより、様々な生物種においてその塩基配列を決定することが可能となった。しかし10億塩基対と推定されるヒトの全ゲノムを決定するには、高度に自動化された装置を大量に導入しても莫大なコストと年単位の時間が必要であり、従来の方法では個人の全塩基配列を迅速に決定して医療などに応用することは出来ない。このような個体のゲノム情報に基づく医療や基礎生命科学研究を可能にするためには、DNAの塩基配列決定法の革新的な効率化が必須である。そこで本研究では、制限酵素とDNA連結酵素、蛍光プローブ、1分子観察技術を組み合わせることで同時に非常に多くのDNA分子の塩基配列を短時間で解読することを目的とした。これが実現した際には従来のDNA解読方法と比較して飛躍的に高効率なDNAの解読が可能になると考えている。現在までに1分子蛍光観察顕微鏡を用いて4種類の蛍光プローブの同時観察に成功している(図4)。さらにDNAの塩基配列に応じたプローブの取り込みに向けて、現在研究を進めている。

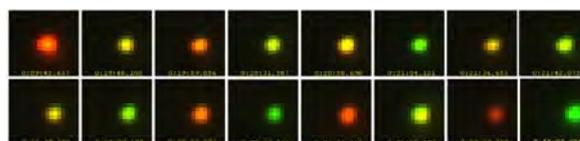


図4. DNA配列の1分子可視化

3. 今後の研究の展望

ヒューマンゲ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

- 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 Ca²⁺ /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 β 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)

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M o o k 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. Zaratyegui 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: 「ニポウ式共焦点による FRET イメージング」、日本顕微鏡学会、エポカルつくば、つくば(2005-6)
- 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 Nanomed-

- cine 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キングによるアプローチー」、第28回日本分子生物学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キングを目指して」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キングを目指して」第111回日本解剖学会総会シンポジウム、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キング法の開発」、発光イメーキング研究会、基礎生物学研究所、岡崎(2005-7)
 - 2) 永井健治:「生理機能イメーキ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キングを目指して」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:「生体機能イメーキングの現状と展望」、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薬の作成とバイオイメーキング」、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) 齋藤健太、永井健治:「シロイヌナズナにおける重力情報伝達のリアルタイム可視化解析」、第43回日本生物物理学会、札幌コンベンションセンター、札幌 (2005-11)
- 4.9 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、後藤ダレック、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。

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) 永井健治(厚生労働省):萌芽の先端医療技術推進事業、ナノレベルイメージングによる分子の機能および構造解析、2005～2006年度
- 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

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

e. COE関係（研究担当者、機関名、研究題目、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日から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、第130回細胞生物学ジョイントセミナー＝ライブイメージングの Cutting Edge＝、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~)
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 酒井美和 (2003.10~2004.9)、
黒川みずき (2004.10~)
VBL研究員 婁本 東、宮本安人
研究員 一宮尚志
院生 斉藤宗孝 (D3)、手老篤史 (D2)、大山義仁 (D2)、
袁曉輝 (D1)、伊藤賢太郎 (M2)、鈴木俊行 (M1)

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15年度においては、空間2次元散逸系における粒子解の散乱現象、自然界におけるノイズの影響、結合ニューロン・モデルの発火パターン、遅延フィードバック制御による分水嶺解の構成等の解明を主目標においた。

2. 研究成果

(a) 空間2次元散逸系における粒子解の散乱現象

散逸系における基本的なパターンとして、空間的に局在した粒子解とよばれるクラスがある。古典的には神経パルスの伝播を記述する FitzHugh-Nagumo 方程式の1次元パルスが有名であるが、この波は2次元以上では帯状、あるいはスパイラル状となり、空間局在した波とはならない。真の意味で一定速度、一定形状を保って進行する粒子解が存在するためにはモデル方程式は3変数以上必要であると予想されている。実際、ガス放電系、白金触媒上での一酸化炭素の酸化現象等の実験においてそのような粒子解が見つかったが、対応するモデル方程式はすべて3変数以上となっている。このような粒子解の相互作用で最も重要かつ困難な問題は衝突問題すなわち散乱現象の解明である。今年度は2次元系における進行スポットの散乱における入出力関係および脈動解とよばれる時間的に振動する進行波解の散乱現象を、Gray-Scott モデル、ガス放電系モデル、外力項をもつ Ginzburg-Landau 方程式等について調べた。それらの散乱過程のダイナミクスを支配する普遍的機構として、1次元の定常パルス時と同様に分水嶺解と呼ばれる不安定な定常解または周期解が存在することを発見した。2次元の場合には例えば瓢箪の形状に似た不安定解が衝突前後の入出力関係を支配しており、その近傍における局所

ダイナミクスの構造が大変形を伴う散乱現象の全体を説明することが明らかにされた。また脈動解の場合には衝突時の位相により、出力が変わることが理論的に証明された。

(b) 自然界におけるノイズの影響

自然現象を理解しようとする際、ノイズの影響を切り離して考えることはできない。特にパターン形成などをともなう自然現象の多くは非平衡下にあり、多自由度系のノイズの影響についての研究はこれまでにあまりおこなわれてこなかった。我々は、化学反応を引き起こす物質が空間的に広がり、それが拡散的に相互作用する「反応拡散系」についてノイズのパターン形成にたいする影響をしらべた。その結果、「時空間パターンのリエントラント転移」という特徴的な現象を明らかにした。これは、時空間的に乱れた系が、ノイズを加えることにより、時空間的乱れを解消し空間一様状態+ノイズを実現し、さらにノイズ強度を上げることにより、また時空間カオスに復帰するという現象である。

(c) 結合ニューロン・モデルの発火パターン

神経細胞は通常の細胞と異なり興奮と静止という二つの異なる状態をとる。神経細胞は普段は静止状態にあるが、刺激が加えられると、それが一定の臨界値(閾値)を越えると、しばらくの間、興奮状態となる。以上の本質的な性質を備えた FitzHugh-南雲素子を拡散的に結合した系を考えた。単一の興奮素子は外部からの刺激がなければ静止状態が大域安定であるが、負の拡散結合が閾値を超えると、多様な周期的発火を示す。また、周期的発火パターンの他にもカオス領域が存在し、これらの分岐ダイアグラムを得た。

(d) 遅延フィードバック制御による分水嶺解の構成

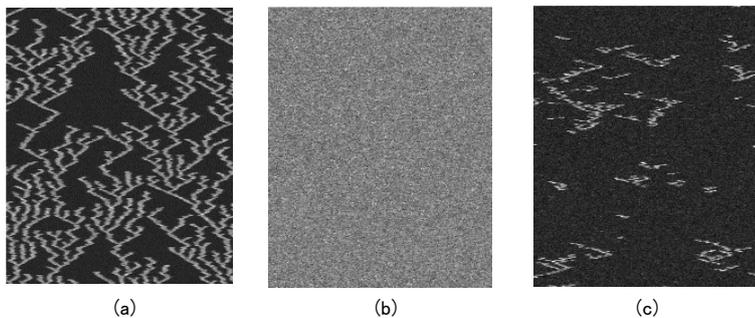
前年度までの研究成果により、粒子解の相互作用が分水嶺解と呼ばれる特殊な解により支配されることが解明されてきた。本年度はより具体的な問題として、2種混合流体における局在対流セル同士の衝突を解析した。この問題は Kolodner による実験が知られているが、衝突の数理的構造はわかっていない。我々は振幅方程式の分水嶺解を求めることで、衝突の数理的構造を明らかにすることを試みた。この系における分水嶺解は不安定周期解であり、しかも空間スケールが大きいので、従来用いられてきた方法では構成が難しい。そこでカオス制御に用いられる遅延フィードバック制御を応用することで、分水嶺解を構成することに成功した。

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。ひとつはノイズを含む外界との相互作用あるいは外界の状態変化がきっかけとなるであろう。また結果として生じた内的構造

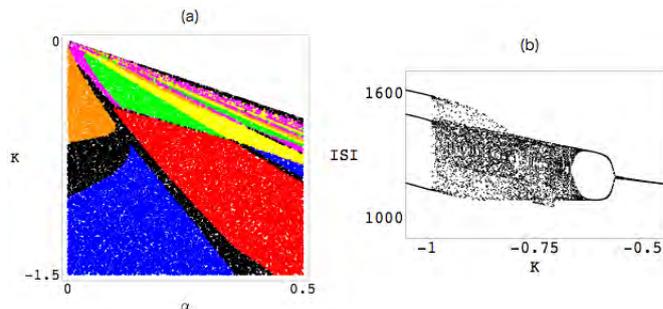
同士の強い相互作用が次のステップへの駆動力となることも多い。本年度に得られた結果はそのような観点から様々な系に対してどのようなダイナミックな機構が考えられるかを議論した。以下各課題について今後の方向を述べる。

1. 粒子解の散乱現象は解の大変形を伴い、理論的には困難な問題として長く残ってきたが、衝突前後の入出力関係の定性的変化は隠れたサドル解（以下「分水嶺解」とよぶ）が重要な役割を果たすことが2次元系においても正しいことが解明された。現在のところ、これらは数値的に確認された段階であるが、今後精度保証計算あるいは位相的な手法も併用しながら分水嶺解の存在を厳密に示しうる解析手法の発展が期待される。
2. ノイズは系を乱すだけではなく、新たな時空間パターンを駆動することがある。「時空間パターンのリエントラント転移」以外にも、金属表面上でのCO酸化反応に際し、ノイズにより「長時間の遷移現象」が、実験およびモデルの両方から報告されている。これらの現象に関する理論的解析はこれからの課題であり、自然がいかにノイズを利用しているかを解明する鍵となることとが期待される。
3. 興奮2素子結合系において多様な周期発火パターンを見出した。実際のニューロン系では膨大な数の素子が結合している。今後は複数素子、多数素子の系について解析を進める。多数結合系では様々な結合の仕方が考えられるが、単純な場合としてランダム結合を考える。特に抑制・興奮結合が混在した多数の興奮素子結合系では統計的処理が可能となり解析的アプローチ可能となり、モデル・ニューロン集合の周期発火現象の解明が可能となる。
4. 自然現象の本質を明らかにするために、数理モデルを構成し、その数理的構造を調べることがよく行われている。本質的な現象がいつでも単純な数理モデルで表現され、しかもそこに潜む数理構造が単純であれば話は簡単になるのであるが、残念ながらいつもそうであるとは限らない。そこで数理構造を抜き出す様々な手法を開発し、問題の特徴により適した手法を使い分けることが必要となる。本年度の課題である「2種混合流体の局在対流セル同士の衝突」では、本質的な数理構造の中心をなす分

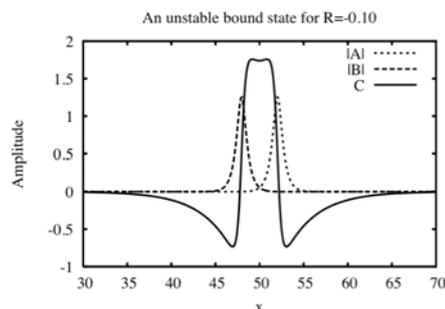


時空間パターンのリエントラント転移の例。反応拡散系のモデルのひとつであるGray-Scottモデルにノイズを加えることにより、時空間カオス状態(a)が、空間一様状態+ノイズ(b)へと転移し、さらにノイズを強めることにより、また、時空間カオス状態(c)に復帰する様子。それぞれ、縦軸が時間、横軸が空間。

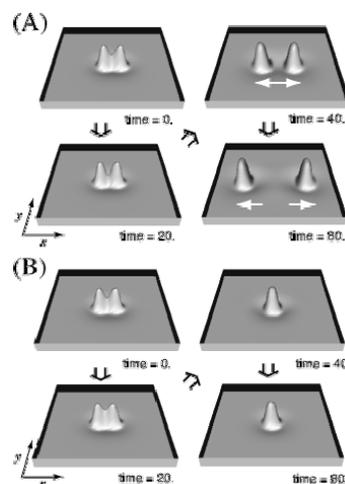
水嶺解が不安定周期解であり、遅延フィードバック制御による分水嶺解の構成に成功したことは従来の手法では不可能であった問題を解決する手法を提示した例として大きな意義がある。近年乱流等の流体现象においても不安定周期解が重要な役割を果たすことが明らかになってきており、流体现象など具体的問題においても分水嶺解の果たす役割が重要であることが見込まれる。今後は解析手法の発展や現象の解析を通して、強い非線形性をもつ流体现象においても数理構造の解析が重要であることを示してゆきたい。



結合ニューロン・モデルの多様な発火パターン(a)結合強度Kと素子の興奮閾値 α 空間における発火パターン。発火パターンを分類し、色彩表示した。(b)発火間隔による発火パターン。周期発火の間にカオス的発火領域が存在する。



遅延フィードバック制御を用いて構成した分水嶺解の一例。系は空間自由度をもつ2つの複素関数と1つの実関数の相互作用で表される。ここでは振幅のみを表示している。



分水嶺解（瓢箪解）に微小な正の摂動(B)あるいは負の摂動(A)を加えたときの解の振る舞い。これは衝突時の解の振る舞いと一致する。

4. 資料

4.1 学術論文等

- 1) T. Ichinomiya: “Bifurcation Study of Kuramoto Transition in Random Oscillator Networks”, *Progress of Theoretical Physics*, 113: 1-14 (2005)
- 2) T. Ichinomiya: “Frequency synchronization in a random oscillator network”, *Phys. Rev. E*, 70: 026116 (2004)
- 3) B. Lou: “Asymptotic behavior of spatially inhomogeneous anisotropic flows”, *JJIAM*, 21(3): (2004), to be published
- 4) Y. Hayase, O. Descalzi and H. R. Brand: “Coexistence of stable particle and hole solutions for fixed parameter values in a simple reaction diffusion system”, *Phys. Rev. E*, 69: 065201 (2004)
- 5) A. Doelman, D. Iron and Y. Nishiura: “Destabilization of Fronts in a Class of Bistable Systems”, *SIAM J. Math. Anal.*, 35(6): 1420-1450 (2004)
- 6) S. Wehner, Y. Hayase, H. R. Brand and J. Kueppers: “Multiplicative Temperature Noise Applied to a Bistable Surface Reaction: Experiment and Theory”, *J. Chem. Phys. B*, 108: 14452 (2004)
- 7) Y. Hayase and H. R. Brand: “Noise-induced re-entrant spatio-temporal intermittency”, *Europhys. Lett.*, 66: 881-887 (2004)
- 8) M. Iima and K. Suzuki: “Numerical analysis of a tag model in circle”, 数理解析研究所講究録, 1372: 24-31 (2004)
- 9) T. Nakagaki, R. Kobayashi, T. Ueda and Y. Nishiura: “Obtaining multiple separate food sources: Behavioural intelligence in the Physarum plasmodium”, *Proc. R. Soc. Lond. B*, 271: 2305-2310 (2004)
- 10) Y. Miyamoto: “On connecting orbit of semilinear parabolic equations on S^1 ”, *Documenta, Math*, 9: 435-469 (2004)
- 11) T. Teramoto, K. Ueda and Y. Nishiura: “Phase-dependent output of scattering process for traveling breathers”, *Phys. Rev. E*, 69(4): 056224 (2004)
- 12) D. Fathi, L. Elisabeth and Y. Nishiura: “Some analytical results on the Gray Scott model”, *Asymptotic Analysis*, 39(3-4): 225-261 (2004)
- 13) H. Mahara, N. J. Suematsu, T. Yamaguchi, K. Ohgane, Y. Nishiura and M. Shimomura: “Three-variable reversible Gray-Scott model”, *J. Chem. Phys.*, 121(8): 8968-8971 (2004)
- 14) H. Mahara, N. J. Suematsu, T. Yamaguchi, K. Ohgane, Y. Nishiura and M. Shimomura: “Three-variable reversible Gray-Scott model”, *J. Chem. Phys.*, 121(18): 8968-8972 (2004)

4.2 総説、解説、評論等

- 1) 飯間信: 「昆虫のはばたき飛翔機構の解明への数理的アプローチ」、日本ロボット学会誌, 23(1): 101-105 (2005)

4.3 国際会議議事録等に掲載された論文

- 1) 飯間信: 「平板弾性翼による wake deflection の抑制」、日本流体力学会年会2004講演論文集、23: 526-527 (2004)

4.7 講演

i) 学会

- 1) 宮本安人: 「 S^1 上の半線形放物型方程式のヘテロクリニック軌道について」、日本数学会、日本大学理工学部 (2005-03)
- 2) 飯間信、鈴木啓太: 「円周上における追跡問題に対する有限時間遅れを含むモデルの解析」、日本物理学会第60回年次大会、野田 (2005-03)
- 3) 一宮尚志: 「ランダムネットワーク上の振動子のダイナミクス」、日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学野田キャンパス (2005-03)
- 4) 柳田達雄、一宮尚志、大山義仁: 「FitzHugh-Nagumo 興奮素子結合系における周期解とカオス」、日本物理学会 第60回年次大会、東京理科大学 (野田) (2005-03)
- 5) 早瀬友美乃、H. R. Brand: 「反応拡散系におけるノイズによる時空間パタンのリエントラント転移」、日本物理学会第60回年次大会、千葉 (2005-03)
- 6) M. Iima: “Retardant effect of the occurrence of wake deflection by elasticity”, 57th Annual Meeting of the Division of Fluid Dynamics (APS meeting), Seattle, USA (2004-11)
- 7) 一宮尚志: 「振動子ネットワークにおける引き込み現象の解析」、日本物理学会 2004年秋季大会、青森大学 (2004-09)

- 8) 飯間信: 「平板弾性翼による wake deflection の抑制」、日本流体力学会年会2004、名古屋 (2004-08)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) 辻欣子、早瀬友美乃、飯間信: 「回転流体の表面に現れる結晶的パターン」、界面運動と関わる非線型ダイナミクスの解析、札幌 (2005-02)
- 2) K. Ueda and Y. Nishiura: “Scattering of particle-like patterns in reaction diffusion systems”, The Fifth East Asia PDE Conference, Osaka (2005-01)
- 3) Y. Nishiura, K. Ueda and T. Teramoto: “Dynamics and singularities in dissipative systems”, The Fifth East Asia PDE Conference, Osaka (2005-01)
- 4) M. Iima and Y. Nishiura: “Collisions of localized traveling-wave convection cells in binary fluid”, The Fifth East Asia PDE Conference, Osaka, Japan (2005-01)
- 5) K. Tsuji, Y. Hayase and M. Iima: “Pattern formation in water”, 40th Jubilee winter seminar: Biophysical chemistry, molecular biology and cybernetics of cell functions, Klosterters, Switzerland (2005-01)
- 6) Y. Hayase, S. Wehner, J. Kueppers and H. R. Brand:

- “External noise applied to a bistable surface reaction”, The 6th RIES-Hokudai Symposium -Chou-, 札幌 (2004-12)
- 7) Y. Hayase and H. R. Brand: “Noise-induced reentrant spatio-temporal intermittency”, Reaction-Diffusion Systems: Theory and Experiments, Easter Island, Chile (2004-12)
 - 8) T. Ichinomiya: “Frequency Synchronization on Complex Network”, International Symposium on Oscillation, Chaos and Network Dynamics in Nonlinear Science, Kyoto University, Japan (2004-11)
 - 9) Y. Nishiura: “Weak interaction can lead to annihilation?”, Autonomous Formation of Spatial Structures in Parabolic Equations, 仙台 (2004-11)
 - 10) M. Iima: “Symmetry Breaking and Symmetry Recovery Caused by Vortex-Body Interaction”, First International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan (2004-11)
 - 11) 柳田達雄、小林亮、西浦廉政: 「FitzHugh・南雲方程式系に見られる奇妙な振る舞いー伝播不全/共鳴/多重安定軌道」、非線形解析学的手法による数理物理学の研究、東北大学 (2004-09)
 - 12) T. Yanagita, H. Nishimori and T. Konishi: “A Numerical study for the pattern formation of meandering and braided river”, Statistical mechanics chaos and condensed matter theory, Roma, Italy (2004-09)
 - 13) M. Iima: “Symmetry-breaking of wake pattern made by oscillating rigid/elastic plate in uniform flow”, Dynamics Days 2004, Mallorca, Spain (2004-09)
 - 14) T. Yanagita, H. Nishimori and T. Konishi: “Modeling and Characteristics for Meandering River”, Dynamics Days 2004, Mallorca, Spain (2004-09)
 - 15) T. Yanagita, Y. Nishiura and R. Kobayashi: “Resonance and propagation failure in one-dimensional Fitz-Hugh-Nagumo Equations with periodic stimulus”, Dynamics Days 2004, Mallorca, Spain (2004-09)
 - 16) B. Lou, H. Matano and K. Nakamura: “Periodic traveling waves in an undulating band domain and their homogenization limit”, The 2nd HU and SNU Symposium on Mathematics, 北海道大学, Japan and Korea (2004-07)
 - 17) M. Iima: “Symmetry breaking and symmetry recovery in the models of insects flight”, 2nd HU and SNU Symposium on Mathematics, 札幌 (2004-07)
 - 18) Y. Nishiura: “Scattering among particle-like patterns in dissipative systems”, International Conference on Nonlinear Dynamics and Evolution Equations, Canada, Canada (2004-07)
 - 19) M. Iima and T. Yanagita: “Asymmetric motion of a two-dimensional symmetric flapping model”, Dynamics Days Asia Pacific 3 2004, Singapore, Singapore (2004-06)
 - 20) T. Yanagita, R. Kobayashi and Y. Nishiura: “Resonance and stable pulse train stands on the ruin of solitary traveling pulse solution in FitzHugh-Nagumo equations”, Dynamics Days Asia-Pacific 2004, National Univ. of Singapore, Singapore (2004-06)
 - 21) Y. Nishiura: “Dynamics of particle-like patterns in dissipative systems”, Third International Symposium Engineering of Chemical Complexity, Berlin, Germany (2004-05)
- iii) コロキウム・セミナー等・その他
- 1) M. Iima, Y. Nishiura: 「2種混合液体における局在対流の衝突の解析」、数理解析セミナー(大阪大学大学院基礎工学研究科数理教室)、大阪 (2005-03)
 - 2) 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」、広島大学 HMA セミナー、広島大学 (2004-12)
 - 3) 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」、北海道大学 PDE セミナー、北海道大学 (2004-10)
 - 4) 柳田達雄: 「流体现象に対するパターン形成現象の解析」、第12回複雑現象工学講演会、産業技術総合研究所 (2004-07)
 - 5) 宮本安人: 「一次元単独反応拡散方程式のグローバルアトラクターと解析手法」、NSC セミナー、北海道大学 (2004-05)
- 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) O. Descalzi, H. R. Brand and Y. Hayase: “Reaction-Diffusion Systems: Theory and Experiments”, 20名、Hotel Radisson (Easter Island) (2004年12月2日~2004年12月4日)
 - 2) R. Kobayashi: Nonlinear Dynamics Today、25名、Hiroshima University (Higashi Hiroshima) (2004年11月5日)
 - 3) 大本 亨 and M. Iima: 第7回ソウル大ー北大ジョイントシンポジウム「2nd HUI and SNU Symposium on Mathematics」、30名、北海道大学(札幌) (2004年7月9日)
 - 4) 西浦廉政、早瀬友美乃、寺本敬: 材料科学における不安定性と微細構造、30名、北海道大学電子科学研究所(札幌) (2005年3月16日~2005年3月18日)
 - 5) 柴田達夫、小林亮: INSAM シンポジウム 2004「粘菌ー実験と理論からのアプローチ」、40名、広島大学(東広島市) (2005年3月9日)
 - 6) 西浦廉政、飯間信: 界面運動と関わる非線型ダイナミクスの解析、25名、北海道大学電子科学研究所(札幌) (2005年2月23日)
 - 7) 西浦廉政、飯間信: Coupled-Oscillator Day 2004、15名、北海道大学電子科学研究所(札幌) (2004年9月17日)
 - 8) 小林亮: 広島大学公開講座 数学の基礎と展望ー数学

の万華鏡-、80名、広島大学（東広島市）（2004年8月2日～2004年8月3日）

4.9 共同研究

- e. その他（研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、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、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」

4.10 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) 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
 - 2) 飯間信、若手研究 B、流体と相互作用する弾性体の運動の研究、2003～2004年度
 - 3) 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
 - 4) 柳田達雄、若手研究 B、非線形・非平衡パターン形成現象に対する構成的な動力学手法の確立、2002～2004年度
 - 5) 西浦廉政、萌芽研究、逐次分岐によるロバストな形態形成ダイナミクスの解明、2002～2004年度

4.12 社会教育活動

a. 公的機関の委員

- 1) 西浦廉政：日本学術振興会科学研究費委員会専門委員（2003年1月1日～2004年12月31日）
- 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）

d. その他

- 1) 西浦廉政：European Journal of Applied Mathematics, Associate Editor（2005年1月1日～現在）

f. 外国人研究者の招聘（氏名、国名、期間）

- 1) J. A. Warren, USA, 2005年1月29日～2005年2月5日
- 2) Peter Bates, USA, 2004年10月9日～2004年10月23日

h. 北大以外での非常勤講師（担当者、教育機関、講義名、期間）

- 1) 小林亮、九州大学理学研究科、非平衡系の数理モデル：入門編、2004年11月8日～2004年11月12日

i. ポスドク・客員研究員など

ポスドク（5名）

永幡幸生（北海道大学 VBL）、井古田亮（北海道大学 VBL）、一宮尚志（北海道大学 VBL）、寺本敬（北海道大学 VBL）、上田肇一（北海道大学 VBL）

j. 修士学位及び博士学位の取得状況

修士課程（5名）

伊藤賢太郎、早坂靖士、菅原真紀子、鈴木啓太
伊藤勝造

博士後期課程（4名）

手老篤史、大山義仁、袁曉輝、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～)

講師 (研究機関研究員) 岩崎正純

(岡山大院、学博、2003.4～2005.3)

JSPS特別研究員 平口鉄太郎 (北大院、理博、2004.4～)

外国人客員研究員 DELAGO, Antonia (Queen Mary,
University of London, JSPS Fellow., PhD, 2004.9～)

技官 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、どの様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だろうか？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) Maxwell の魔物の喩えは、情報が「ただ」では得られない事を示している。いかなる観測器も、1ビットの情報を得るには代償として最低 $0.7k_B T$ の散逸を支払わなければならない(情報の負エントロピー原理：観測の不可逆性)。感覚細胞も、応答つまり観測に際し、エントロピー(温度 T を掛ければエネルギー)を対象から奪って情報に変換している。コオロギの気流感覚細胞は単一分子の熱揺動エネルギー $k_B T$ 程度を検出でき、自分の分子の熱運動にさえ揺すられて時折神経パルスを発射してしまう。この細胞が神経パルス列に載せて送る情報の伝送速度は約400ビット/秒で、パルス頻度が150パルス/秒程であるから、パルス1発は約3ビットの情報を担っていた。この細胞は、刺激から数 $k_B T$ のエネルギーを吸収してパルス1発を出すから、約1 k_B のエントロピーから1ビットの情報を生成する理論限界に近い観測器である。これ等の測定結果から以下のことを考察した。すなわち、感覚細胞の熱雑音感受性は進化がもたらした結果ではなく生命の起源に遡る拘束である。その根拠は、かつて低かった感度を上げて検出限界を熱揺動領域にまで近づいたのなら、熱雑音による不規則な応答で観測装置としての情報性能を下げたことになるからである。生命誕生前の原始のスープと生命誕生直後の違いは、情報の有無にある。原始のスープで利用可能なエネルギーは、熱平衡の揺らぎ幅 $k_B T$ のレベルである。この $k_B T$ 程度のエネルギーを観測して情報(秩序構造としての負のエントロピー)に変換しているのが生命である。この、生きている

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。

b) 昆虫のフェロモン行動は、一般的に定型的なものが多いが、経験により修飾されることも知られている。このようなフェロモン行動をモデル系とし、動物の状況に応じた行動切り替えや発現にかかわる神経機構、学習や記憶、可塑性の神経機構を解明する事を目指している。

コオロギの喧嘩行動(図1)は、雄コオロギに見られるフェロモン行動で、触角で他個体の体表を触り、相手の体表物質(フェロモン)を検出すると解発される。多くの場合、雄は他の雄に出遭うと、激しい喧嘩をはじめめる。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。



図1. 雄コオロギ同士の喧嘩

行動学的実験から、喧嘩に負けた経験は短期的な記憶となり、次の行動選択に関与することが示された。これまでの研究から、コオロギの匂い学習や記憶の成立過程には一酸化窒素(NO)シグナルが関与すること、脳内ではNOが合成され、標的細胞の可溶性グアニル酸シクラーゼ(sGC)を活性化しcGMP量を増加させる(図2)ことを示してきた。NOが如何にして経験による行動の切替えに関与するのかを解明するため、薬理的に予め脳内のNO合成酵素あるいはsGCを阻害し、喧嘩に負けた雄の行動パターンの変化を評価したところ、NO/cGMPカスケードがフェロモン行動の発現や修飾において機能的な役割を担うことが示唆された。さらに、フェロモン情報処理の一次中枢である触角葉(図3)に局在する神経細胞(図4)におけるNOの修飾効果を電気生理学的な方法で解析中である。

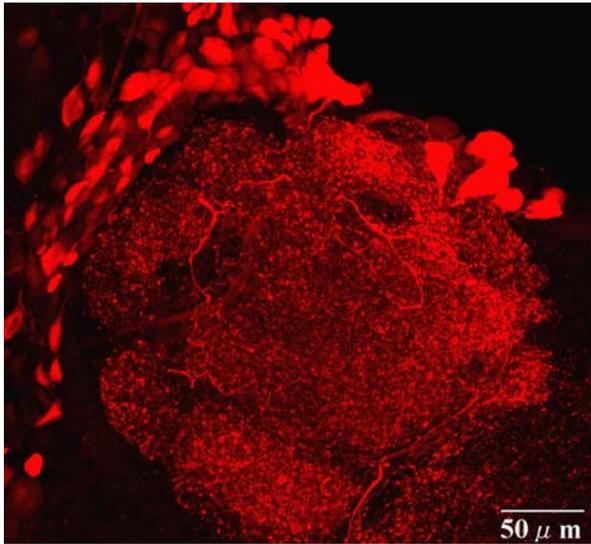


図2. コオロギ触角葉におけるNO誘導性cGMP免疫陽性細胞

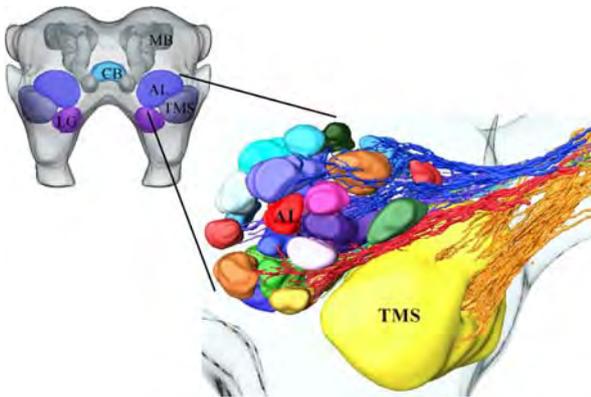


図3. コオロギ脳の3次元再構築モデルと触角葉の3次元再構築モデル

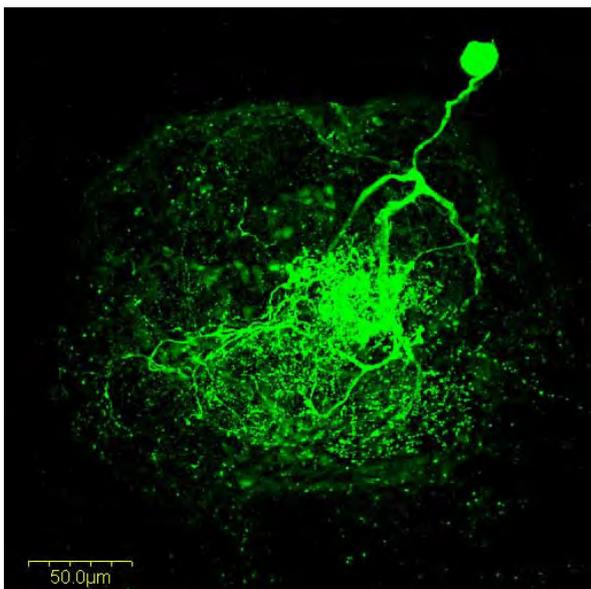


図4. コオロギ脳の触角葉における局所介在神経

また、匂い情報の識別に関わる神経機構を解明するため、コオロギやゴキブリの神経系をモデルに、匂い情報が高次中枢のキノコ体でどのように処理されているのか電気生理学的方法で解析を進めている。ゴキブリでは、キノコ体に入力する神経細胞は全ての匂いに対して潜時の短い単純な匂い応答を示すものと特定の匂いに対して長い潜時の複雑な匂い応答を示すものに分けられ、これら2つの経路によって並列処理された匂い情報がキノコ体の出力ニューロンの匂い応答の時系列上で順番に読み出されることがわかり、昆虫のキノコ体はまず、匂いの濃度、それから質の分析を行うことが示唆された。

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。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である。

4. 資料

4.1 学術論文等

- 1) Y. Seki, H. Aonuma and R. Kanzaki: "Pheromone processing center in the protocerebrum of *Bombyx mori*", *J. Comp. Neurol.*, 481: 340-351 (2005)
- 2) T. Nagayama, k. Kimura, M. Araki, H. Aonuma and P. L. Newland: "Distribution of glutamatergic immunoreactive neurons in the terminal abdominal ganglion of the crayfish", *J. Comp. Neurol.*, 474(1): 123-135 (2004)
- 3) H. Nishino: "Motor output characterizing thanatosis in the cricket *Gryllus bimaculatus*", *J. Exp. Biol.*, 207: 3899-3915 (2004)
- 4) H. Aonuma and K. Niwa: "Nitric oxide regulates the levels of cGMP accumulation in the cricket brain", *Act. Biol. Hung.*, 55(1-4): 65-70 (2004)
- 5) 下澤橋夫:「節足動物の神経系から見た頭足類の特徴」、日本水産学会誌、70(5): 777-778 (2004)
- 6) 中山由佳子、河原剛一、青沼仁志、山内芳子、中島崇行、鉢呂健:「培養心筋細胞内 Ca²⁺振動の細胞間同期とそのメカニズムの解析」、電子情報通信学会技術研究報告、MBE2004-62: 41-44 (2004)

4.2 総説、解説、評論等

- 1) 青沼仁志:「昆虫の行動決定にかかわる神経機構」、日本ロボット学会誌、23(1): 6-10 (2005)
- 2) 西野浩史:「昆虫の死にまね行動-その特徴的な運動出力-」、比較生理生化学、21(3): 117-127 (2004)
- 3) 西野浩史:「昆虫の死にまね行動-その誘発のメカニズム-」、比較生理生化学、21(2): 67-79 (2004)

4.3 国際会議議事録等に掲載された論文

- 1) S. R. Ott, H. Aonuma, P. L. Newland and M. R. Elphick: "Analysis of nitric oxide synthase expression in the thoracic nerve cord of crayfish", *Neuroforum*, CD-ROM(ISSN 0947-0875): 266B (2005)
- 2) H. Aonuma, M. Iwasaki, C. Katagiri and A. Delago: "Role of NO/cGMP signaling during formation of social hierarchy in the cricket", *Neuroforum*, CD-ROM(ISSN 0947-0875): 248B (2005)
- 3) T. Shimozawa: "Biological Insight into Future Technology -What Living Cells Tell Us", *Proceedings of ICEE2004-APCOTMNT*, 31-36 (2004)
- 4) Y. Kitamura, H. Aonuma, K. Mizutani, H. Ogawa and K. Oka: "Effect of NO-cGMP signaling in non-associative learning of the earthworm, *Eisenia fetida*", *Society for Neuroscience*, 2004. Online.: Program No. 730.8. (2004)
- 5) Y. Kitamura, H. Aonuma, K. Niwa, K. Mizutani, H. Ogawa and K. Oka: "NO-cGMP signaling in non-associative learning of the earthworm", *NITRIC OXIDE-BIOLOGY*

AND CHEMISTRY, 11(1): 106-107 (2004)

- 6) H. Aonuma and M. Iwasaki: "NO/cGMP signaling regulates short-term memory in the cricket", *NITRIC OXIDE-BIOLOGY AND CHEMISTRY*, 11(1): 107 (2004)
- 7) H. Aonuma, M. Iwasaki and K. Niwa: "Role of NO signaling in switching mechanisms in the nervous system of insect", *Proceeding of SICE Annual Conference*, 2004: 2477-2482 (2004)
- 8) T. Shimozawa: "Why nerves are bundles of fibers? -Thermal noise sensitivity of neuron and parallel structures of the nervous system", *Neuroscience Research*, 50(Supplement): S25 (2004)

4.7 講演

i) 学会

- 1) H. Aonuma, M. Iwasaki, C. Katagiri and A. Delago: "Role of NO/cGMP signaling during formation of social hierarchy in the cricket", 30th Goettingen Neurobiology Conference, Goettingen, Germany (2005-02)
- 2) S. R. Ott, H. Aonuma, P. L. Newland and M. R. Elphick: "Analysis of nitric oxide synthase expression in the thoracic nerve cord of crayfish", 30th Goettingen Neurobiology Conference, Goettingen, Germany (2005-02)
- 3) D. Hatakeyama, E. Ito, H. Aonuma and K. Elekes: "Distribution of glutamate-like immunoreactive neurons in the adult and developing nervous system of gastropod molluscs (*Lymnaea stagnalis* L.)", MITT 2005 A Magyar Idegtudományi Tarsaság 11. Kongresszusa, Pecs, Hungary (2005-01)
- 4) Y. Kitamura, H. Aonuma, K. Mizutani, H. Ogawa and K. Oka: "Effect of NO-cGMP Signaling in non-associative learning of the earth worm, *Eisenia fetida*", Society for Neuroscience, 2004, Sun Diego, USA (2004-10)
- 5) T. Shimozawa: "Why nerves are bundles of fibers? -Thermal noise sensitivity of neuron and parallel structures of the nervous system", Neuro2004 第27回日本神経科学大会 第47回日本神経化学学会大会 合同大会、大阪 (2004-09)
- 6) 北村美一郎、青沼仁志、丹羽光一、水谷賢史、小川宏人、岡浩太郎:「ミミズ非連合学習における NO-cGMP 経路の効果」、Neuro 2004 (第27回日本神経科学大会・第47回日本神経化学学会大会合同大会)、大阪 (2004-09)
- 7) 西野浩史、西川道子、横張文男:「ゴキブリ触角上の剛毛感覚子の軸索地図」、日本動物学会第75回大会、神戸 (2004-09)
- 8) 西川道子、西野浩史、横張文男:「ゴキブリ触角・小腮鬚感覚情報の中枢投射」、日本動物学会第75回大会、神戸 (2004-09)
- 9) 青沼仁志、岩崎正純:「クロコオロギのフェロモン行動の切替えに関与する一酸化窒素の役割」、日本動物学会

- 第75回大会、神戸 (2004-09)
- 10) 岩崎正純、片桐千仞、青沼仁志:「雄ココロギに配偶、闘争行動を発現させる体表フェロモンの分離と行動解析による評価」、日本動物学会 第75回大会、神戸 (2004-09)
 - 11) 平口鉄太郎、北村美一郎、岡浩太郎、青沼仁志:「クロコロギ脳内触角葉ニューロンの自発的活動に及ぼすNOの効果」、日本動物学会 第75回大会、神戸 (2004-09)
 - 12) 丹羽光一、青沼仁志、狩野猛:「シェアストレスによる血管内皮細胞のピノサイトーシス活性化における細胞内活性酸素の役割」、第84回日本生理学会北海道地方会、旭川 (2004-09)
 - 13) 平口鉄太郎、北村美一郎、岡浩太郎、青沼仁志:「クロコロギの脳におけるNO産生と触角葉におけるNOの神経修飾効果」、動物学会北海道支部 第50回大会、北海道 厚岸 (2004-08)
 - 14) H. Aonuma and M. Iwasaki: “NO/cGMP signaling during the formation of pheromonal learning and memory in the cricket”, 7th International Congress of Neuroethology, Nyborg, Denmark (2004-08)
 - 15) M. Iwasaki, C. Katagiri and H. Aonuma: “Behaviors evoked by saturated and unsaturated cuticular-hydrocarbons in male cricket”, 7th International Congress of Neuroethology, Nyborg, Denmark (2004-08)
 - 16) H. Nishino, M. Nishikawa, S. Yamashita, Y. Yamazaki, M. Mizunami and F. Yokohari: “Insects smell humidity and temperature”, The 7th Congress of the International Society for Neuroethology, Nyborg, Denmark (2004-08)
 - 17) H. Nishino, H. Hongo and M. Mizunami: “Olfactory signal processing in the lateral protocerebrum of the cockroach brain”, The 7th Congress of the International Society for Neuroethology, Nyborg, Denmark (2004-08)
 - 18) Y. Matsumoto, M. Mizunami and H. Aonuma: “Nitric oxide-cGMP pathway is critical for cAMP-dependent long-term memory”, 7th International Congress of Neuroethology, Nyborg, Denmark (2004-08)
 - 19) H. Aonuma, M. Iwasaki and K. Niwa: “Role of NO signaling in switching mechanisms in the nervous system of insect”, SICE Annual Conference 2004, Sapporo (2004-08)
 - 20) 下澤楯夫:「神経系はなぜ束なのか?—神経系の基本構造に関する情報論的考察」、日本比較生理生化学会大会 吉田記念賞受賞講演、神戸 (2004-07)
 - 21) 高原里佳、西野浩史、西川道子、横張文男:「ココロギ触角感覚情報の中核処理経路」、第26回日本比較生理生化学会、神戸大学 (2004-07)
 - 22) 辻衣里子、青沼仁志、西川道子、横張文男:「クロオオアリ触角葉・キノコ体におけるセロトニン様免疫陽性ニューロン」、第26回日本比較生理生化学会大会、神戸 (2004-07)
 - 23) 青沼仁志、岩崎正純:「クロコロギのフェロモン行動発現に関する一酸化窒素の役割」、第26回日本比較生理生化学会大会、神戸 (2004-07)
 - 24) 岩崎正純、片桐千仞、青沼仁志:「生化学的分析によるココロギ体表物質の分離と行動解析による評価」、第26回日本比較生理生化学会大会、神戸 (2004-07)
 - 25) T. Shimozawa: “Biological Insight into Future Technology—What Living Cells Tell Us”, ICEE2004-APCOTMNT 2004, Sapporo, Japan (2004-07)
 - 26) H. Aonuma and M. Iwasaki: “NO/cGMP signaling regulates short term memory in the cricket”, The 3rd International Conference on the Biology, Chemistry, and Therapeutic Applications of Nitric Oxide / The 4th annual Scientific meeting of the Nitric Oxide Society of Japan, 奈良 (2004-05)
 - 27) Y. Kitamura, H. Aonuma, K. Niwa, K. Mizutani, H. Ogawa and K. Oka: “NO-cGMP signaling in non-associative learning of the earthworm”, The 3rd International Conference on the Biology, Chemistry, and Therapeutic Applications of Nitric Oxide / The 4th annual Scientific meeting of the Nitric Oxide Society of Japan, 奈良, Japan (2004-05)
 - 28) 辻衣里子、青沼仁志、西川道子、横張文男:「クロオオアリ脳におけるセロトニン様免疫陽性ニューロン」、動物学会九州支部 第57回大会、九州大学 (2004-05)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) H. Aonuma: “Functional role of the NO/cGMP cascade in pheromonal behavior of insects; a lack of NO makes super confident crickets”, The 6th RIES-Hokudai Symposium, Sapporo (2004-12)
 - 2) 中山由佳子、河原剛一、青沼仁志、山内芳子、中島崇行、鉢呂健:「培養心筋細胞内Ca²⁺振動の細胞間同期とそのメカニズムの解析」、電子情報通信学会 MEとバイオサイバネティクス研究会、仙台 (2004-11)
 - 3) A. Wagatsuma, H. Aonuma and E. Ito: “Dynamics and regulatory role of CREB in long-term synaptic plasticity in *Lymnaea stagnalis*”, 10th Anniversary Meeting of Workshop of Invertebrate Neuroscience, Hawaii, USA (2004-09)
 - 4) T. Hiraguchi, Y. Kitamura, K. Oka, S. R. Ott, M. R. Elphick and H. Aonuma: “The neuronal activities were regulated by nitric oxide in the antennal lobe of the cricket brain.”, 10th Anniversary Meeting of Workshop of Invertebrate Neuroscience, Hawaii, USA (2004-09)
 - 5) H. Aonuma: “Role of NO/cGMP signaling in the pheromonal behavior of the cricket”, International Symposium on Chemical Senses and Insect, Kyoto, Japan (2004-07)
 - 6) Y. Seki, H. Aonuma and R. Kanzaki: “NO-induced cGMP immunohistochemistry reveals the pheromone processing center in the protocerebrum of *Bombyx mori*”, Interna-

tional Symposium on Chemical Senses and Insect, Kyoto, Japan (2004-07)

- 7) Y. Seki, H. Aonuma and R. Kanzaki: "Identification of a pheromone processing center in the protocerebrum from subdivisions of the antennal lobe macroglomerular complex of *Bombyx mori*", The 14 th International Symposium on Olfaction and Taste (ISOT), Kyoto, Japan (2004-07)
- 8) 松本幸久、青沼仁志、水波誠:「一酸化窒素-環状 GMP シグナル伝達系が長期記憶形成に果たす役割」、バイオサイエンスシンポジウム、東北大学 (2004-05)
- 9) 下澤楯夫:「節足動物の神経系から見た頭足類の特徴」、2004年日本水産学会ミニシンポジウム「頭足類学の胎動-分子解析から資源変動まで」、鹿児島 (2004-04)

iii) コロキウム・セミナー等・その他

- 1) H. Aonuma: "NO/cGMP signaling in the formation of social hierarchy in cricket", Sussex Centre for Neuroscience, School of Life Sciences, University of Sussex, University of Sussex, UK (2005-02)
- 2) H. Aonuma: "NO/cGMP system in the formation of social hierarchy in cricket", Fachbereich Biologie, Tierphysiologie, Universitaet Marburg, Universitaet Marburg, Germany (2005-02)
- 3) 青沼仁志:「コオロギからみたナノテク」、北海道大学大学院共通授業、創成科学研究棟 5階大会議室 (2005-01)
- 4) H. Aonuma: "Role of NO/cGMP signaling in aggressive and avoidance behavior of the cricket", Seminar in Prof. Wehner's lab, Zoological Institute, University of Zurich, Switzerland (2004-08)
- 5) 下澤楯夫:「神経系の情報伝送速度は何ビット/秒か? どうやって測るか? 何が分かるか?」、電子情報通信学会北海道支部学生会主催講演会、北見 (2004-07)
- 6) 青沼仁志:「フェロモン行動の修飾に関与する一酸化窒素の役割」、福岡大学理学部地球圏科学科 生物学研究室セミナー、福岡 (2004-07)

4.9 共同研究

b. 所内共同研究 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

- 1) 青沼仁志、丹羽光一、中島崇行、田中賢、西野浩史 (電子科学研究所):「昆虫の神経細胞を用いた培養系による神経回路網の再構築と」、2002~2004年度、NO-cGMP系は学習や記憶の基盤となる神経の可塑性に深く関与する。これまでに節足動物を用いた電気生理学・行動学・組織化学的研究から NO-cGMP系が神経伝達の修飾に関与する事、匂いの連合学習に重要な事などを示した。NO は標的細胞のグアニル酸シクラーゼを活性化し細胞内 cGMP 合成を促進するが、cGMP がどのような生理機構で神経の可塑性に関与するか不明である。本プロジェクトは培養細胞系を従来の研究に取り入れ、

細胞内の遺伝子発現、酵素活性を観察する事で cGMP の下流にあるシグナル伝達系を解明する。従来の in vivo の実験と本プロジェクトの in vitro の実験を組み合わせる事で、実験材料に昆虫を使う利点を最大限に活用し、脊椎動物では困難な思い切った実験を可能にする。

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、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
- 2) 西野浩史、若手研究 B、ゴキブリ高次嗅覚情報処理ニューロンに学ぶ匂い識別・学習のしくみ、2003~2004年度
- 3) 青沼仁志、若手研究 A、節足動物中枢神経系における行動制御機構にかかわる一酸化窒素の役割、2002~2004年度

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

- 1) 青沼仁志、高畑 雅一、岩崎正純、平口鉄太郎 (COE21 ナノとバイオの融合):ナノデバイスとしての昆虫の脳における情報処理機構の解明、2004年度、4,000千円、「動物は状況に応じた行動の切替えをどのような神経機構で行うか」を解明することで、体の小さな昆虫が採用してきた運動機能と発現行動の神経機構を理解する。

4.11 受賞

- 1) 下澤楯夫:吉田記念賞「神経系はなぜ束なのか-神経系の基本構造に関する情報論的考察」(日本比較生理生化学会) 2004年7月

4.12 社会教育活動

b. 国内外の学会の役職

- 1) 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)
 - 2) 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)
 - 3) 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)
 - 4) 青沼仁志:日本動物学会北海道支部 役員 (2003年1月1日~2004年12月31日)
 - 5) 青沼仁志:日本動物学会北海道支部 庶務幹事 (2003年1月1日~2004年12月31日)
 - 6) 下澤楯夫:社団法人日本エム・イー学会評議員 (2001年5月10日~現在)
 - 7) 下澤楯夫:ME とバイオサイバネティクス研究専門委員会専門委員 (1999年5月22日~2005年5月31日)
- ### f. 外国人研究者の招聘 (氏名、国名、期間)

- 1) Frederic Libersat, Israel, 2004年12月11日～2004年12月15日
- 2) Uli Mueller, Germany, 2004年9月29日
- 3) Antonia Delago, Austria, 2004年9月1日～2005年8月31日
- 4) Laurence. H. Field, New Zealand, 2004年6月12日～2004年7月18日
- 5) Karoly Elekes, Hungary, 2004年5月18日～2004年5月19日

g. 北大での担当授業科目 (対象、講義名、担当者、期間)

- 1) 全学部共通、「複合科目. 健康と社会. 脳科学: 分子から高次機能発現まで」、青沼仁志、2004年10月22日
- 2) 工学部、生体工学概論、青沼仁志、2004年10月1日～2005年3月31日
- 3) 全学部共通、基礎生物学 II、青沼仁志、2004年10月1日～2005年3月31日
- 4) 工学研究科、神経情報工学特論、青沼仁志、2004年10月1日～2005年3月31日
- 5) 全研究科共通、脳科学、下澤楯夫、2004年10月1日～2005年3月31日
- 6) 工学部、生体情報工学、下澤楯夫、2004年10月1日～2005年3月31日
- 7) 全学部共通、生物学 I、下澤楯夫、2004年4月1日～2004年9月30日

i. ポスドク・客員研究員など

ポスドク (2名)

平口鉄太郎 (神経情報)、岩崎正純 (神経情報)

客員研究員 (1名)

DELAGO ANTONIA (神経情報)

信号処理研究分野

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 (東北院、博(理)、2003.10～)
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

フォトニック結晶は、光の局在化や大きな光電場増強など、マイクロな空間を用いて光を制御することができるため、光通信や光情報処理の分野に革新的な発展をもたらす次世代マイクロフォトニックデバイスに応用できるものと大きな期待が寄せられている。最も効率的に光を制御するためには、3次元的な周期構造を有するフォトニック結晶を作製する必要があるが、半導体加工などの2次元加工法を用いて3次元フォトニック結晶を作製することは本質的に困難である。そこで、3次元フォトニック結晶の作製に利用できるフェムト秒レーザーを用いたナノ・マイクロメートルオーダーの3次元微細加工技術の開発を行い、それらによる3次元フォトニック結晶の作製、およびその光学特性の評価に関する研究を推進した。

2. 研究成果

フェムト秒レーザーはパルス幅が短く、極めて高い尖頭出力を有することより、ガラス、ポリマー、結晶などの透明材料内部へ集光照射すると、焦点付近にのみこれら材料の多光子吸収を誘起することが可能である。我々は、集光フェムト秒レーザー (波長：800nm) による多光子吸収を利用した多光子プロセス技術を用いてネガ型フォトレジスト材料 (SU-8) の3次元ナノ加工を行い、種々のフォトニック結晶の作製に成功した。また、このような集光フェムト秒レーザーを用いた逐次加工法に加え、3次元的な周期構造の一括加工を目指し、多光束のフェムト秒レーザーパルスを干渉させる多光子多光束干渉加工法を開発して極めて短時間に3次元周期構造を比較的大きな面積に作製することに成功した。

(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

図1に集光フェムト秒レーザーを用いて作製した四方スパイラル構造を有する3次元フォトニック結晶 (a) や、その結晶構造に欠陥を導入した構造 (b)、各円形スパイラルの位相を制御した構造 (c) などの電子顕微鏡 (SEM) 写真を示した。報告されているシミュレーション計算より、スパイラル構造を有するフォトニック結晶は、ログパイル構造フォトニック結晶に比べてより大きなバンドギャップサイズが得られることが予測されているが、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。しかし、図1に示したSEM写真から、本手法により極めて精緻にこれらのスパイラル構造を作製することが可能であることが示された。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測定したところ、透過スペクトル、および反射スペクトルにおいて透過率の低下と反射率の増加が観測される特定の波長領域が存在し、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 μm 、1.5 μm 、1.8 μm と増大するにつれ長波長側にシフトすることが明らかとなった (図2)。これらの結果は、観測された透過率の低下や反射率の増大が作製したスパイラル構造フォトニック結晶のストップバンドに由来するものであることを示している。

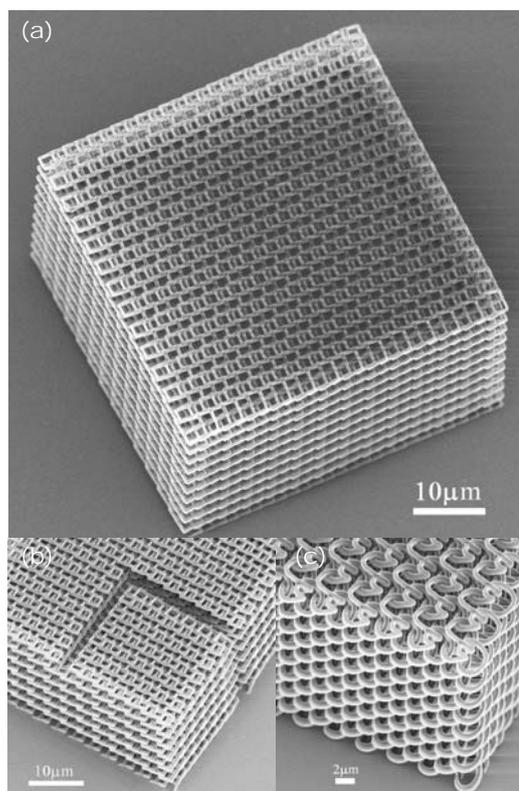


図1. スパイラル構造フォトニック結晶

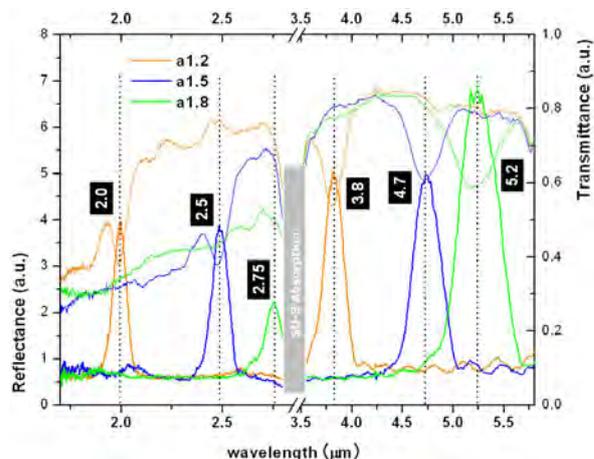


図2. 作製した四方スパイラルフォトニック結晶の反射スペクトルと透過スペクトル

(ii) フェムト秒レーザーによる多光子多光束干渉法による3次元フォトニック結晶の作製

単一のフェムト秒パルスを5本のビームに分割し、それらを再度集光することにより干渉パターンを生起させ、そのパターンをSU-8に転写した。転写パターンは図3に示す体心立方格子(BCC)構造となっており、シミュレーションから得られた干渉パターンの光強度分布と一致した。さらに、干渉ビームの交差角を大きくすると、得られる構造の周期が小さくなることも確認した。また、本構造のストップバンドは波長 $2.5\mu\text{m}$ 付近に生ずることも確認した。

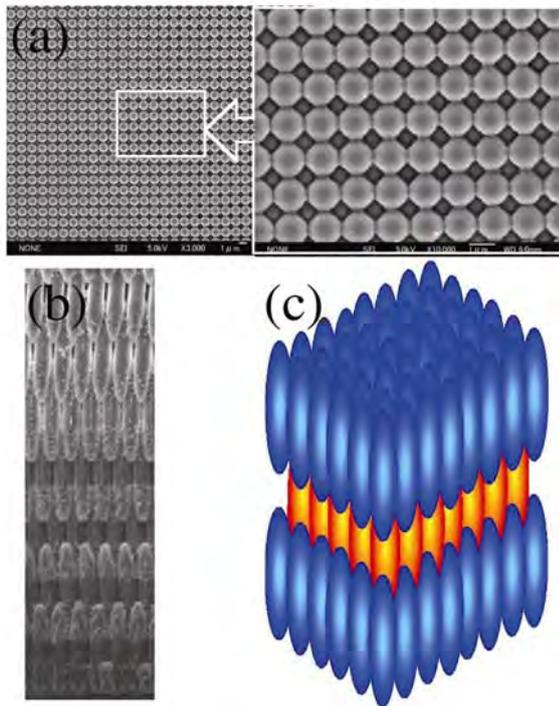


図3. 多光子多光束干渉によって作製した体心立方格子を有するフォトニック結晶。(a)光軸方向から観察したSEM像、(b)光軸と垂直方向から観察した断面SEM像、(c)体心立方格子の模式図。

3. 今後の研究の展望

ストップバンドを光通信帯域や可視・紫外波長領域にまで短波長化させるためには、より微細な3次元加工法を開発する必要がある。これを進めるためにフェムト秒レーザー(古典光)による多光子吸収に代わり、量子相関光子ビームによる多光子吸収を利用した光プロセス技術の開発を進め、より微細な加工分解能を提供する新しい加工技術の確立を目指す。さらに、フォトニック結晶と同様、光局在や光電場増強などのユニークな光学特性を示すと予想される金属ナノ構造についても作製とその光学評価に関する研究を進める予定である。

4. 資料

4.1 学術論文等

- 1) S. Juodkazis and H. Misawa: “Controlled through-hole Ablation of Polymer Microspheres”, *J.Micrometh. Microeng.*, 14: 1244-1248 (2004)
- 2) K. Ueno, M. Hayashida, J. Ye and H. Misawa: “Fabrication and Electrochemical Characterization of Interdigitated Nanoelectrode Arrays”, *Electrochemistry Communications*, 7(2): 161-165 (2004)
- 3) H. Segawa, S. Matsuo and H. Misawa: “Fabrication of Fine-Pitch TiO₂-organic Hybrid dot Arrays Using Multi-Photon Absorption of Femtosecond Pulses”, *Appl. Phys. A.*, 79(3): 407-409 (2004)
- 4) S. Juodkazis, K. Yamasaki, V. Mizeikis, S. Matsuo and H. Misawa: “Formation of Embedded Patterns in Glasses Using Femtosecond Irradiation”, *Appl. Phys. A.*, 79(4-6): 1549-1559 (2004)
- 5) E. Vanagas, A. Mizuyama, S. Koshihara, S. Juodkazis and H. Misawa: “Glass Cutting by Femtosecond Pulsed Irradiation”, *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*, 3(2): 358-363 (2004)
- 6) S. Juodkazis, K. Yamasaki, S. Matsuo and H. Misawa: “Glass Transition-Assisted Microstructuring in Polystyrene”, *Appl. Phys. Lett.*, 84: 514-516 (2004)
- 7) S. Juodkazis, H. Okuno, N. Kujime, S. Matsuo and H. Misawa: “Hole Drilling in Stainless steel and Silicon by Femtosecond Pulses at Low Pressure”, *Appl. Phys. A.*, 79: 1555-1559 (2004)
- 8) O. Efimov, S. Juodkazis and H. Misawa: “Intrinsic Single and Multiple Pulse Laser-induced Damage in Silicate Glasses in the Femtosecond-to-nanosecond Region”, *Phys. Rev. A*, 143(6A): 3643-3647 (2004)
- 9) A. Takita, M. Watanabe, H. Yamamoto, S. Matsuo, H. Misawa, Y. Hasakaki and N. Nishida: “Optical Bit Recording in a Human Fingernail”, *Jpn.J.Appl.Phys.*, 143(1): 168-171 (2004)
- 10) M. Sumitani, S. Takagi, Y. Tanamura and H. Inoue: “Oxygen Indicator Composed of an Organic/Inorganic Hybrid Compound of Methylene Blue, Reductant, Surfactant and Saponite”, *Anal. Sci.*, 20(8): 1153-1157 (2004)
- 11) Y. Hayasaki, H. Takagi, A. Takita, H. Yamamoto, N. Nishida and H. Misawa: “Processing Structures on Human Fingernail Surfaces Using a Focused Near-Infrared Femtosecond Laser Pulse”, *Jpn.J.Appl.Phys.*, 43(12): 8089-8093 (2004)
- 12) A. Yamaguchi, F. Uejo, T. Yoda, T. Uchida, Y. Tanamura, T. Yamashita and N. Teramae: “Self Assembly of Silica-Surfactant Nanocomposite in Porous Alumina Membrane”, *Nature Mater.*, 3: 337-341 (2004)

- 13) J. Ye, S. Matsuo, V. Mizeikis and H. Misawa: “Silicon-based Honeycomb Photonic Crystal Structures with Complete Photonic Band Gap at 1.5 μ m Wavelength”, *Jpn.J.Appl.Phys.*, 96(11): 6934-6936 (2004)
- 14) S. Juodkazis, I. Maksimov and H. Misawa: “Thermal Accumulation Effect in Three-Dimensional Recording by Picosecond Pulses”, *Appl. Phys. Lett.*, 85(22): 5239-5241 (2004)
- 15) V. Mizeikis, K. K. Seet, S. Juodkazis and H. Misawa: “Three-dimensional Woodpile Photonic Crystals Templates for Infrared Spectral Range”, *Opt.Lett.*, 29(17): 2061-2063 (2004)

4.2 総説、解説、評論等

- 1) 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、3: 153-154 (2005)
- 2) 田北啓洋、山本裕紹、早崎芳夫、西田信夫、三澤弘明:「ヒトの爪をメディアとする3次元メモリー」、信学技報、01: 45-48 (2004)
- 3) 高木速人、田北啓洋、山本裕紹、早崎芳夫、西田信夫、三澤弘明:「フェムト秒パルスレーザーによって加工された爪の表面形状観測」、信学技報、01: 49-52 (2004)
- 4) 三澤弘明:「フェムト秒パルスレーザー加工」、OPTRONICS、4: 131-136 (2004)
- 5) 三澤弘明、瀬川浩代:「フェムト秒レーザーを用いた材料の微細加工」、NEW GLASS、33(11): 645-650 (2004)
- 6) 松尾繁樹、三澤弘明:「フェムト秒レーザーを用いた微細加工」、高温学会誌、30(2): (2004)
- 7) 三澤弘明:「レーザー光による分子マニピュレーション」、レーザー加工学会誌、11(1): 7-11 (2004)
- 8) 三澤弘明:「光ナノプロセス」、光学、33(11): 645-650 (2004)
- 9) 松尾繁樹、三澤弘明:「集光フェムト秒レーザーによる透明材料のナノ加工と次世代生体マイクロチップの開発」、レーザー研究、32(2): 105-109 (2004)

4.3 国際会議議事録等に掲載された論文

- 1) V. Mizeikis, K. Seet, S. Juodkazis and H. Misawa: “Laser Microfabrication of Three-Dimensional Photonic Crystal Templates in Polymers”, *5th International Symposium on Laser Precision Microfabrication*, 5662: 95-100 (2004)
- 2) S. Juodkazis, T. Kondo, A. Rode, S. Matsuo and H. Misawa: “Three-dimensional recording and structuring of chalcogenide glasses by femtosecond pulses”, *5th International Symposium on Laser Precision Microfabrication*, 5662: 179-184 (2004)

4.4 著書

- 1) 棚村好彦、三澤弘明:「次世代遺伝子解析マイクロアレ

イの開発」、バイオチップの最新技術と応用、監修：松永是、シーエムシー出版、121-126 (2004)

- 2) 三澤弘明：「透明材料の3次元加工」、レーザー マイクロ・ナノ プロセッシング、III 編 2 章6.2、シーエムシー、250-257 (2004)

4.6 特許 (発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

- 1) 上野貢生、三澤弘明、笹木敬司、坪井泰之：2005-040227、金属構造体およびその製造方法、2005年2月17日
- 2) ヨルティス ビガンダス、ミゼイキス ビガンダス、ヨードカジス サウリウス、三澤弘明：2004-290709、量子相関光子ビームナノ源装置、2004年10月1日
- 3) ヨルティス ビガンダス、ミゼイキス ビガンダス、ヨードカジス サウリウス、三澤弘明：2004-290709、高輝度量子相関光子ビーム源装置、2004年10月1日
- 4) 三澤弘明、ヨードカジス サウリウス、坪井泰之：2004-156768、レーザー加工方法および装置、2004年5月26日

4.7 講演

i) 学会

- 1) ヨルティス ビガンダス：「Ultrabright Source of Entangled Photon Pairs」、第52回応用物理学関連連合講演会、埼玉 (2005-03)
- 2) 棚村好彦、鎌田賢司、三澤弘明：「二光子吸収色素／ナノ層状シリケート複合体の光学特性評価」、2004年光化学討論会、つくば市 (2004-11)
- 3) V. Jarutis: “Ultra Bright Femtosecond Source of Biphotons”, CREST interim Symposium、アルカディア市ヶ谷、Japan (2004-10)
- 4) 三澤弘明：「フェムト秒レーザーパルスによる3次元加工」、日本学術振興会 未踏・ナノデバイステクノロジー第151委員会、北海道 富良野市 (2004-07)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) H. Misawa: “3D Photonic Crystal Structures Recorded by Femtosecond Laser Irradiation”, The 2nd International Symposium on Mechanical Science based on Nanotechnology、仙台国際センター、Japan (2005-02)
- 2) 三澤弘明：「量子相関光子ビームによるナノ加工技術の確立を目指して」、北海道大学電子科学研究所研究交流会、札幌市 (2005-01)
- 3) H. Misawa, V. Mizeikis, S. Juodkazis, S. Matsuo, T. Kondo and K. S.K.: “Femtosecond Laser Fabrication of Photonic Crystal Structures”, 7th Annual Symposium on JAFos, LA, USA, USA (2004-12)
- 4) V. Mizeikis: “Photonic Crystal Templates Obtained by Two-Photon Laser Lithography in Photoresist SU-8”, 7th Annual Symposium on JAFos, Boston, USA (2004-12)
- 5) H. Misawa: “Femtosecond Laser Fabrication of Photonic Crystal Structures”, International Workshop on Photonic-

Crystal Devices and Their Applications, Taipei, Taiwan, Taiwan (2004-10)

- 6) 三澤弘明：「北大発ベンチャー企業 株レーザーシステムの立ち上げと最近の研究成果の紹介」、平成16年度第2回フェムト秒超加工研究会、東京 (2004-09)

iii) コロキウム・セミナー等・その他

- 1) 孫 凱：「DNA シークエンス用電気泳動チップの設計と開発」、第52回応用物理学関係連合講演会、埼玉 (2005-03)
- 2) ミゼイキス ビガンダス：「Laser Lithography of Micro-and Nano-Structures Recorded by Femtosecond Laser Irradiation」、第52回応用物理学関係連合講演会、埼玉 (2005-03)
- 3) 上野貢生：「局在プラズモン共鳴による電場増強場の構築」、第52回応用物理学関係連合講演会、埼玉大学 (2005-03)
- 4) 三澤弘明：「フェムト秒レーザーパルスによる3次元加工とそのフォトニック結晶への応用」、第52回応用物理学関係連合講演会、埼玉大学 (2005-03)
- 5) 三澤弘明：「フェムト秒レーザーによる新しい3次元加工法の加工法の開発とその応用」、学術講演会、室蘭工業大学 (2005-01)
- 6) ヨードカジス サウリウス：「Physical Mechanisms of Laser Microfabrication」、電子科学研究所研究交流会、北海道大学 (2005-01)

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、総経費、研究内容)

- 1) 三澤弘明 (北海道システムサイエンス)：「ナノ微粒子次世代 DNA チップの開発及び筋ジストロフィー診断チップの試作」、2004年度、420千円、重要な技術の一つとして高精度で信頼性の高い DNA チップ技術の開発ニーズが強い。本件ではサンプルの標識が不要な表面プラズモン共鳴の原理を用いた操作が簡便で定量生に優れたチップの開発と本技術による筋ジストロフィー診断用マイクロアレイの試作を行う。
- 2) 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、研究内容)

- 1) 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、〈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) 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

4.12 社会教育活動

b. 国内外の学会の役職

- 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（2005年3月1日～2006年2月28日）
- 2) 三澤弘明：日本機会学会 2004年度年次大会 レーザー加工部門 座長（2004年9月5日～2004年9月9日）
- 3) 三澤弘明：財団法人光産業技術振興協会 平成16年度フェムト秒超加工技術フィージビリティ調査委員（2004年7月1日～2005年3月31日）
- 4) 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）
- 5) 三澤弘明：社団法人高温学会レーザー加工学会誌査読委員（2004年度）
- 6) 三澤弘明：財団法人光産業技術振興協会 平成16年フェムト超加工研究会 幹事（2004年度）
- 7) 三澤弘明：LPM2004組織委員（2003年10月20日～2004年8月31日）
- 8) 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：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) Mazilu Michael、UK、2004年11月15日～2004年12月15日
- 2) Markas Suzius、Lithuania、2004年9月1日～2004年11月30日

g. 北大での担当授業科目（対象、講義名、担当者、期間）

- 1) 工学研究科、バイオオプティクス特論、三澤弘明、2004年10月1日～2005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) 三澤弘明、徳島大学工学部エコシステム工学演習、2004年9月24日
- 2) 三澤弘明、東京工業大学理工学研究科研究科、物質学特別講義第四、2004年7月7日

並列分散処理研究分野(客員研究分野)

米山 満 (株式会社三菱化学科学技術研究センター)

1. 研究目標

本研究では、生体リズムの非侵襲的計測と非線形ダイナミクスによる解析をもとに、複雑な系の状態(ホリスティックな“健康”状態など)に関する隠れた情報を抽出するための新しい手法の構築を目指す。

生体の発するリズムは通常、複雑なゆらぎを伴う。そしてこのようなゆらぎは単純な雑音ではなく、系のダイナミクスを反映した特徴的な構造を持つことが多い。すなわち1/fゆらぎに代表されるようなスケーリング特性を示す。したがって、非線形ダイナミクスを駆使した解析により、生体リズムのスケーリングやフラクタル性を定量化することで、その背後に潜む様々な性質(系を構成する要素間の相互作用やフィードバックの形態など)を明らかにすることができる。本年度も引き続き、心筋細胞が自発的に示すリズムに着目した。

2. 研究成果

(a) 新生ラット培養心筋細胞系

河原剛一教授のグループの研究により、新生ラットの培養心筋細胞系において以下の結果が実験的に見出されている。

- (i) 培養4日目から心筋細胞は自律的な拍動を開始するが、それに同期して細胞内 Ca^{2+} の濃度も振動する。
- (ii) 他の電気化学的特性に影響を与えず、拍動のみを可逆的に停止させる薬物である BDM (2,3-butanedione monoxime) で処理すると、拍動停止後も Ca^{2+} 振動は持続する。ただし、振動周期は長くなる。
- (iii) 心筋細胞結合系では、gap junction で直接連結されていない細胞間でも Ca^{2+} 振動の同期が見られ、BDM 処理後も崩れない。

今回、 Ca^{2+} 振動の実験データについて、DFA (Detrended Fluctuation Analysis) によるゆらぎ解析など、更に詳細な解析を施したところ、新たに以下の特徴が見出された。

- (i) BDM 処理により、振動周期のみならず波形のピーク間隔(以下 PPI と略記) 時系列のゆらぎも増大する(図1a)。
- (ii) PPI ゆらぎのスケーリング指数は BDM 処理前には顕著なスケール依存性を持たないが、BDM 処理後は短いスケールで0.5以上(正の相関)、長いスケールで0.5以下(負の相関)という相転移を示す(図1c)。
- (iii) BDM 処理による振動周期の増加は、振動が一時的に抑制されることに起因する(図2b、矢印)。

以上のふるまいを理解するため、Bonhoeffer-van der Pol

(BVP)振動子モデルを3変数に拡張し、拍動および Ca^{2+} 振動双方を記述できる微分方程式系を新たに構築した。このモデルを用いて筋収縮と Ca^{2+} 濃度とのカップリング(E-Cカップリング)の強度を変化させてシミュレーションを行った。カップリングが強い場合、周期的な拍動と Ca^{2+} 振動は完全に同期した。一方、カップリング強度をゼロにすると、拍動は消失したが、 Ca^{2+} 振動は保持された。しかも、BDM 処理後の実験結果(図1)に見られるような、周期と PPI ゆらぎの増大、スケーリング特性の変化などを全て再現した。シミュレーションによる Ca^{2+} 振動の波形には、所々振動が抑制される箇所があり(図2a、矢印)、この特徴も実験結果とよく一致した。

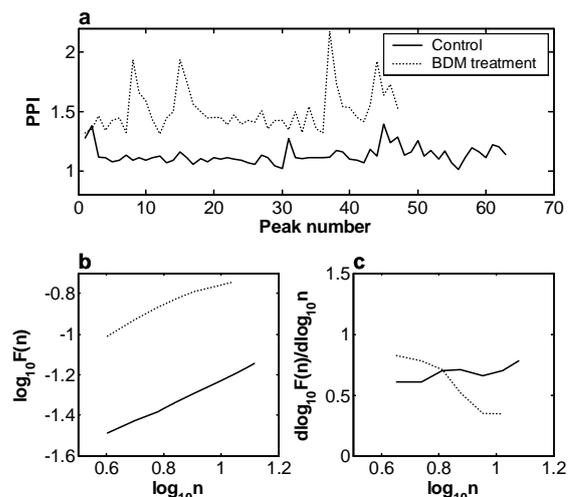


図1. 心筋細胞内 Ca^{2+} 振動についてのゆらぎ解析

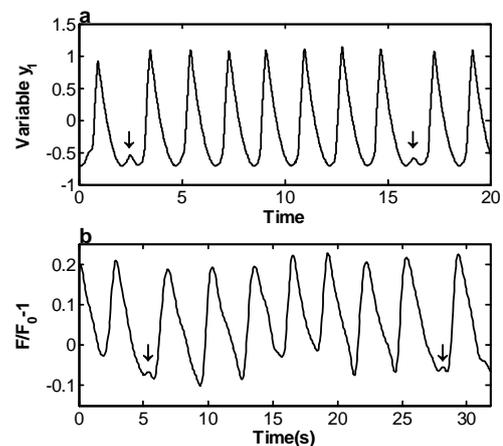


図2. BDM 効果に関するシミュレーションと実験の比較

3. 今後の研究の展望

心筋細胞結合系で見出された Ca^{2+} 振動の同期現象(実験結果iii)について、昨年度検討した結合振動子モデルを適用して解析を進めていく予定である。また今回考案した3変数系の BVP 振動子を空間に配置した反応拡散モデルは、パラメータに依存して様々な興味深い時空間パターン構造を示す。これについても検討を深める予定である。

4. 資料

4.2 総説、解説、評論等

- 1) M. Ishikawa, H. Kobayashi and T. Takenouchi: "Japanese programs of fundamental physics and chemistry in space", *J. Jpn. Soc. Microgravity Appl.*, 21: 154-158 (2004)
- 2) 石川正道: 「製造業の研究開発-10年後を見据えたビジョン&アクション-」、NEXT・ING、5(4): 7-13 (2004)
- 3) 石川正道: 「中国有人飛行プロジェクト-「神舟」の打ち上げはいかにして成功したのか-」、オームブレテン、40(春号): 1 (2004)
- 4) 終元宏、石川正道: 「日本の研究開発の展望」、NEXT・ING、5(4): 2-6 (2004)、掲載予定
- 5) 石川正道: 「微小重力下における基礎物理学および基礎科学」、日本機会学会誌、107(1025): 38-40 (2004)
- 6) Mitsuru Yoneyama and Koichi Kawahara: "Coupled oscillator systems of cultured cardiac myocytes: Fluctuation and scaling properties" *Phys.Rev.E* 70, 021904, 1-9 (2004)

4.12 社会教育活動

a. 公的機関の委員

- 1) 東倉洋一: 総務省情報通信政策局量子情報通信研究会議構成員 (2001~2005年度)
- 2) 東倉洋一: 文部科学省科学技術政策研究所「科学技術動向研究センター」専門調査員 (2001年4月1日~現在)
- 3) 東倉洋一: 文部科学省科学技術・学術審議会「科学技術振興調整費審査部会」委員 (2001年4月1日~現在)
- 4) 東倉洋一: 日本学術会議情報基礎専門委員会委員 (2001年4月1日~現在)
- 5) 東倉洋一: 総務省情報通信政策局「情報通信ブレイクスルー基礎研究21推進会議」構成員 (2000年4月1日~現在)
- 6) 東倉洋一: 文部科学省科学技術・学術審議会「特定領域研究 (A) メディア教育利用」専門委員 (1999年4月1日~現在)
- 7) 東倉洋一: 関西市民情報文化研究会副会長 (1997年4月1日~現在)

b. 国内外の学会の役職

- 1) 東倉洋一: 日本学術振興会「21世紀 COE プログラム委員会」委員 (2002~2004年度)
- 2) 東倉洋一: 科学技術振興事業団「戦略的創造研究推進事業『シミュレーション技術の革新と実用化基盤の構築』」領域アドバイザー (2002~2004年度)
- 3) 東倉洋一: 奈良先端科学技術大学院大学「情報科学研究科アドバイザー委員会」委員 (2002~2004年度)
- 4) 東倉洋一: 理化学研究所脳科学総合研究センターアドバイザーカウンスル (2001~2006年度)
- 5) 東倉洋一: 電子情報通信学会評議員 (2000年4月1日~現在)

- 6) 東倉洋一: 日本ソフトウェア科学会評議員 (2000年4月1日~現在)
- 7) 東倉洋一: 日本能率協会「RD&E マネジメント革新センター」企画委員会委員 (2000年4月1日~現在)
- 8) 東倉洋一: 科学技術振興事業団「地域振興事業評価委員会」(2000~2004年度)
- 9) 東倉洋一: 半導体研究振興会評議員 (2000~2005年度)
- 10) 東倉洋一: 電子情報通信学会フェロー (2000年4月1日~現在)
- 11) 東倉洋一: IEEE Tokyo Section、理事 (1999年4月1日~現在)
- 12) 東倉洋一: IEEE Tokyo Section, Fellow Nominations Committee Vice Chair & Chair (1999年4月1日~現在)
- 13) 東倉洋一: アメリカ音響学会 (ASA) Fellow (1998年4月1日~現在)
- 14) 東倉洋一: IEEE Fellow (1998年4月1日~現在)
- 15) 東倉洋一: 日本バーチャルリアリティ学会理事・評議員 (1997年4月1日~現在)
- 16) 東倉洋一: Elsevier Science 社 Speech Communication 編集委員 (1997~2004年度)
- 17) 東倉洋一: 日本音響学会正会員 (1996年4月1日~現在)
- 18) 東倉洋一: 日本ソフトウェア科学会会員 (1996年4月1日~現在)
- 19) 東倉洋一: 日本バーチャルリアリティ学会会員 (1996年4月1日~現在)
- 20) 東倉洋一: 日本音響学会評議員・代議員 (1996年4月1日~現在)
- 21) 東倉洋一: Academic Press 社 Journal of Phonetics 編集委員 (1996年4月1日~現在)

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～）
助手	藪 浩（北大院、理博、2004.7～）
事務補助員	曾我和実（2004.3～）
理研研究員	沢田石哲郎（北大院、地球環境博、2004.4～）
博士課程	鶴間章典、夏輝（シャファイ）、樋口剛志
修士課程	田村仁志、小幡法章、中村真一、大里大輔、 門間太志、遠山恭平

1. 研究目標

本研究分野は、非平衡・開放形における散逸構造やレーザー放射圧によって引き起こされる自己組織化を材料のナノ加工に利用し、新規の機能性材料を創製することにある。

1) 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

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と機能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や時空間制御反応プロセスにより分子組織体の高次元組織化を図り、生物に見られるような階層的な構造化を特徴とする新たな機能性材料を創製する。

2) ナノ微粒子構造体の光造形

空間光変調器を用いて照射レーザー光の空間分布を自在に制御し、レーザー放射圧とナノ微粒子の自己組織化を利用した微粒子配列法に、新しい手法を開発する。

3) ナノ微粒子の濃厚コロイド溶液の新しいキャラクターゼーション法の開発

体積濃度10%を越える濃厚媒質からの動的な多重散乱光を有限な時間コヒーレンス光源と位相変調型マイケルソン干渉計でヘテロダイン検出し、動的な単散乱光を抽出し粒径分布計測を行う。

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

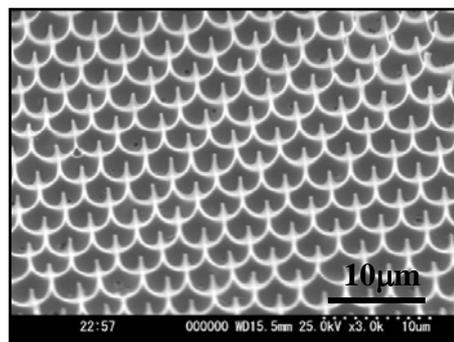
本研究分野では、非平衡開放系現象を用いることでハニカム状高分子フィルムやナノ構造を有する高分子微粒子などを作製し、オプティクスやエレクトロニクスを支える機能性プラスチック材料、細胞の形態・分化・増殖・機能などを制御する新規医用材料、などの開発を行っている。

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、図1 (b) に示し

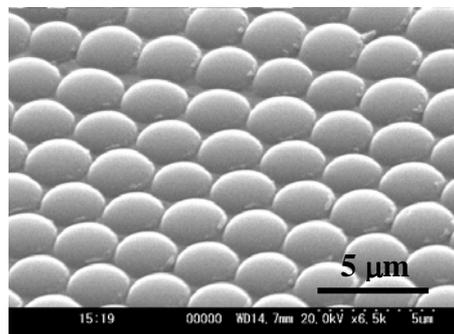
たような規則的に配列したピラー構造を作製することができる。ピラー構造ではロータスリーフ効果による超撥水現象が観察された。ハニカム構造やピラー構造を鋳型として、ネガティブコピーである一次モールドやさらにそのネガティブコピーである二次モールドを作製することで、マイクロレンズアレイのような構造体も作製できる。この手法によって、水溶性高分子のパターン化も可能になった。



(a) ハニカム構造体の三次元構造のモデル



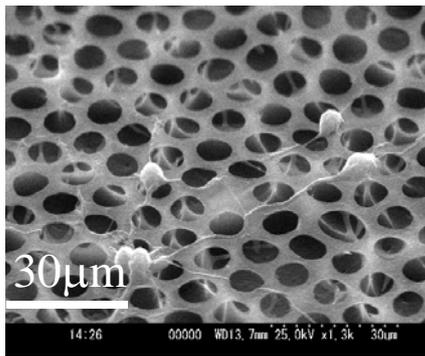
(b) ピラー構造フィルム



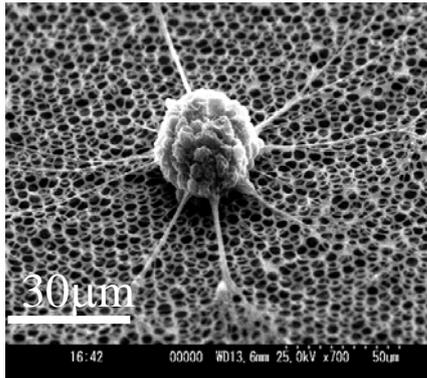
(c) マイクロレンズアレイ構造

図1. ハニカムフィルムの構造模式図と二次加工による構造の多様化

マウス胎児の神経幹細胞をポリカプロラクトン平膜上に播種すると、神経細胞に分化するとともに多数の神経突起がランダムに伸展する。一方、ハニカム膜上でも接着、分化して神経線維が形成され、神経線維がハニカム構造の幹に沿って伸展しネットワーク構造を形成しているのが観察された。ハニカム構造が神経突起の足場や繊維伸展のガイドとして働いているように思われる（図2(a)）。孔径3ミクロンのハニカム膜上では、神経に分化して神経突起を形成する細胞の他に、直径約30～50ミクロンのスフェロイド様凝集体が観察された（図2(b)）。核酸の細胞内取り込みや神経前駆体細胞の選択的な蛍光染色などの実験より、凝集体中では幹細胞が神経に分化せず、増殖している可能性が強く示唆された。



(a) 神経細胞への分化



(b) 神経幹細胞の増殖

図2. ハニカムフィルム上での神経幹細胞の培養

(b) ナノ微粒子構造体の光造形

電気アドレス型空間光変調器を用いて、照射レーザー光の光強度分布を10 μm 平方以内の範囲で自在に制御する技術を開発した。図3は、「光」というレーザービーム強度分布の発生の実例を示す。このようなレーザービームの空間的分布の制御は実時間で可能であり、微粒子の移動、集合、離散、およびパターン配列を制御できる可能性を有する。また、現在、細胞の配列ならびに微粒子の配列のためのユーザーインターフェイスを開発中である。

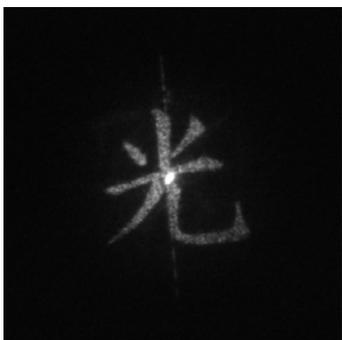


図3 空間光変調器によって位相変調して発生させたレーザー照射パターン

(c) ナノ微粒子の濃厚コロイド溶液の新しいキャラクター化法の開発

「低コヒーレンス動的光散乱法(Low-coherence dynamic light scattering, Low-coherence DLS)」を提案し、10%濃厚

コロイド溶液の粒径分布計測に世界で初めて成功した。特に、単分散コロイド溶液では、体積濃度20%までの粒径計測に成功した。半径が200nm より大きな粒子では2粒子間相互作用のみを考慮した Carnahan-Starling の近似式によって補正が可能であることを明示した。さらに、それ以下の粒子では、粒径と光学系に依存する構造要素の影響を考慮する必要があることが示された。現時点で体積濃度20%、光源や検出器の条件さえ整えば、さらにそれ以上の濃度の媒質に対してさえ粒径分布計測が可能である。図4には $0 \mu\text{m} < L < 20 \mu\text{m}$ の領域において、固液境界近傍におけるブラウン粒子とガラスセル壁面との相互作用により、実効的な拡散係数の低下が発現していることを示す。これを Wall-Drag 効果という。図より、固液界面から20 μm の深さ範囲で、拡散係数の減少が発生しており、その減少率は粒子径が増加するほど著しい。なお、曲線は Wall-Drag 効果の理論値に低コヒーレンス光源のコヒーレンス関数を畳み込み積分した結果を表す。

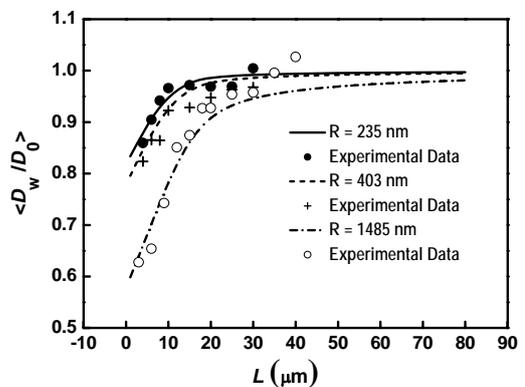


図4. 固液界面近傍の Wall-Drag 効果の実証。縦軸は測定された拡散係数 D_w を示し、単散乱光の拡散係数 D_0 で規格化されている。

3. 今後の研究の展望

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、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、ナノインプリント法で作製したナノピラー上での神経細胞の成長制御を日立製作所との包括連携課題とし、ハニカムとの比較研究を行っている。

4. 資料

4.1 学術論文等

- 1) S. I. Matsushita, N. Fukuda and M. Shimomura: "Photochemically functional photonic crystals prepared by using a two-dimensional particle-array template", *Colloids Surf., A*, 257-258: 15-17 (2005)
- 2) H. Yabu and M. Shimomura: "Preparation of Self-organized Mesoscale Polymer Patterns on Solid Substrate -Continuous Pattern Formation from Receding Meniscus-", *Adv. Func. Mater.*, 15(4): 575-581 (2005)
- 3) H. Yabu and M. Shimomura: "Simple Fabrication of Micro Lens Arrays", *Langmuir*, 21(5): 1709-1711 (2005)
- 4) Y. Matsuo, K. Ijio and M. Shimomura: "Stretching of Single DNA Molecules Complexed with Restriction Endonuclease by Langmuir-Blodgett Method", *Colloids Surf., B*, 40(4): 123-126 (2005)
- 5) T. Sawadaishi and M. Shimomura: "Two-dimensional patterns of ultra-fine particles prepared by self-organization", *Colloids Surf., A*, 257-258: 71-74 (2005)
- 6) L. Wang, K. Ishii and T. Iwai: "Analysis of diffuse back-scattering from dense media", *Proc. OPC2004* (2004)
- 7) M. Tanaka, m. Takebayashi, M. Miyama,, J. Nishida and M. Shimomura: "Design of novel biointerfaces (II). Fabrication of self-organized porous polymer film with highly uniform pores", *Bio-Medical Materials and Engineering* , 14: 439-446 (2004)
- 8) S. I. Matsushita and M. Shimomura: "Hierarchical honeycomb structures utilized a dissipative process.", *Synth. Met.*, 147(1-3): 237-240 (2004)
- 9) H. Xia, K. Ishii and T. Iwai: "Nano-particle measurement using the low-coherence dynamic light scattering", *Tech. Digest of ICO 2004* (2004)
- 10) S. Nakamura, K. Ishii and T. Iwai: "Numerical analysis on a path-length-resolved spectrum of dynamically scattered light", *Tech. Digest of ICO 2004* (2004)
- 11) H. Xia, K. Ishii and T. Iwai: "Particle sizing for turbid suspensions using low-coherence dynamic light scattering", *Proc. OPC2004* (2004)
- 12) K. Ishii, R. Yoshida and T. Iwai: "Single-scattering spectroscopy for extremely dense colloidal suspensions using low-coherence interferometer", *Opt. Lett.* (2004) , to be published
- 13) H. Mahara, N. J. Suematsu, T. Yamaguchi, K. Ohgane, Y. Nishiura and M. Shimomura: "Three-variable reversible Gray-Scott model", *J. Chem. Phys.*, 121(8): 8968-8971 (2004)
- 14) H. Mahara, N. J. Suematsu, T. Yamaguchi, K. Ohgane, Y. Nishiura and M. Shimomura: "Three-variable reversible

Gray-Scott model", *J. Chem. Phys.*, 121(8): 8968-8972 (2004)

- 15) 松下通明、蒲池浩文、松本秀一郎、森田恒彦、小林智、田村仁志、大久保尚、佐藤雄久、田中賢、下村政嗣、藤堂省:「肝細胞工学における肝組織再構成」、*Low Temp. Med. (低温医学)*、30(2): 37-40 (2004)
- 16) 鶴間章典、田中賢、福島伸之、下村政嗣:「高分子の自己組織化パターンによる神経細胞の形態変化」、*高分子論文集*、61(12): 628-633 (2004)
- 17) T. Ohzono and M. Shimomura: "Ordering of microwrinkle patterns by compressive strain", *PHYSICAL REVIEW B* , 69: 132202 (2004)

4.2 総説、解説、評論等

- 1) 岩井俊昭:「光拡散トポグラフィ-生体医用光学研究の現状と将来展望(生体医用光学ブレイクスルー技術)」、(財)光産業技術振興協会、85-94 (2004)
- 2) 下村政嗣:「私の生物学と国語は人脈の賜物」、*化学*、59、4: 33 (2004)
- 3) 下村政嗣、藪 浩:「自己組織化とナノ・マイクロファブリケーション技術」、*表面技術*、55(12): 770-774 (2004)

4.3 国際会議議事録等に掲載された論文

- 1) H. Yabu and M. Shimomura: "Thermally and Chemically Stable Honeycomb-patterned Films", *Fusion of Nanotechnology and Organic Semiconductor* , 83 (2004)

4.4 著書

- 1) 下村政嗣:「ナノマテリアルと自己組織化」、*ナノマテリアルハンドブック*、第1章(第1節): 3-9 (2005)
- 2) S. Matsusita and M. Shimomura: "Influence of Substrate on Self-assembled Photonic Crystal", *Chemical Communications (Chem. Commun)*, Issue 05: 506-507 (2004)
- 3) T. Ohzono, T. Nishikawa and M. Shimomura: "One-step fabrication of polymer thin films with lithographic bas-relief micro-pattern and self-organized micro-porous structure", *JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE*, 39: 2243-2247 (2004)
- 4) 下村政嗣:「自己組織化と分子ナノテクノロジー」、*先端化学シリーズVI界面・コロイド/ナノテクノロジー/分子エレクトロニクス/ナノ分析*、2-1: 84-93 (2004)
- 5) 下村政嗣:「自己組織化によるナノマテリアルの創成と応用展望」、*自己組織化によるナノマテリアルの創成と応用*、編集: 有限会社ブッカーズ、第10講: 243-274 (2004)
- 6) 下村政嗣:「二分子膜の固定化とナノ材料」、*超分子科学-ナノ材料創製に向けて-*、III部(18章): 183-191 (2004)
- 7) 下村政嗣:「非平衡ナノ材料」、*ナノ材料科学 ナノテ*

クノロジー基礎シリーズ、6(2) : 212-226 (2004)

4.6 特許 (発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

- 1) 田中賢、鶴間章典、山本貞明、下村政嗣 : 特願2005-058236、細胞の分化/増殖を制御するための基材、2005年3月2日
- 2) 藪 浩、田中賢、下村政嗣、別所久美、佐藤秀之 : 2005-049883、異方導電膜、2005年2月25日
- 3) 藪 浩、田中賢、下村政嗣 : 2005-052009、孔の孤立したハニカム構造体の製造方法、2005年2月25日
- 4) 藪 浩、田中賢、下村政嗣、別所久美、佐藤秀之 : 2005-049834、異方導電膜、2005年2月25日
- 5) 桑原孝介、宮内昭浩、下村政嗣、田中賢、藪 浩、鶴間章典、特願2005-041381、神経細胞の培養方法、神経細胞培養基材、神経細胞、神経細胞システムおよび神経細胞システムの製造方法、2005年2月17日
- 6) 藪 浩、下村政嗣、児島美季、尾上慎弥、壺内幹彦 : 2005-020259、ハニカム構造体の製造方法、2005年1月27日
- 7) 下村政嗣、藪 浩、樋口剛志 : 2004-260844、高分子微粒子の製造方法、2004年9月8日
- 8) 下村政嗣、藪 浩 : 2004-247852、サブミクロンハニカムフィルムの製造方法、2004年8月27日
- 9) T. Iwai and K. Ishii : (申請国 Germany) German Patent Application 10 2004 051 141.1、Dynamic Light Scattering Measurement Apparatus Using Phase Modulation Interference Method、2004年10月20日
- 10) T. Iwai and K. Ishii : (申請国 USA) US Patent Application 1066-1、Dynamic Light Scattering Measurement Apparatus Using Phase Modulation Interference Method、2004年10月20日
- 11) T. Iwai and K. Ishii : (申請国 UK) UK Patent Application 423282.3、Dynamic Light Scattering Measurement Apparatus Using Phase Modulation Interference Method、2004年10月20日

4.7 講演

i) 学会

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

- 5) 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)
- 6) 藪 浩、樋口剛志、下村政嗣 : 「ブロックコポリマー表面に形成された相分離構造の観察」、日本化学会第85春季年会、神奈川大学 (2005-03)
- 7) 伊土直子、田中賢、山本貞明、下村政嗣 : 「温度応答性と血液適合性を併せ持つ新規ポリマーの合成と機能評価」、日本化学会第85春季年会、神奈川大学 (2005-03)
- 8) 下村政嗣 : 「再生医療を支える新規高分子材料」、第4回日本再生医療学会総会、大阪国際会議場 (2005-03)
- 9) 門間太志、鶴間章典、松尾保孝、堀田純一、田中賢、山本貞明、笹木敬司、居城邦治、中村博、下村政嗣 : 「自己組織化パターン上での光ピンセットを用いた医神経細胞の配列制御」、第4回日本再生医療学会総会、大阪国際会議場 (2005-03)
- 10) 大里大輔、樋口剛志、藪 浩、田中賢、下村政嗣 : 「ドラッグデリバリー・再生医療への応用を目指した生分解性粒子の新規作製方法」、第4回日本再生医療学会総会、大阪国際会議場 (2005-03)
- 11) 角南寛、伊藤絵美子、森田有香、田中賢、山本貞明、下村政嗣 : 「細胞増殖を制御する細胞外マトリクス (ECM) 吸着ハニカムフィルムの作製」、第4回日本再生医療学会総会、大阪国際会議場 (2005-03)
- 12) T. Iwai : “Study on hydrodynamic properties in dense media”, The Second Asian and Pacific Rim Symposium on Biophotonics (APBP2004), Taipei, Taiwan (2004-12)
- 13) H. Xia, K. Ishii and T. Iwai : “Study on hydrodynamic properties in dense media”, The Second Asian and Pacific Rim Symposium on Biophotonics (APBP2004), Taipei, Taiwan (2004-12)
- 14) H. Xia, K. Ishii and T. Iwai : “Measurement of hydrodynamic properties in turbid media using low-coherence dynamic light scattering”, The International Conference on Optics Within Life Science, Melbourne, Australia (2004-11)
- 15) K. Ishii and T. Iwai : “Influence of multiple scattering in low-coherence interferometry”, The International Conference on Optics Within Life Science, Melbourne, Australia (2004-11)
- 16) 伊土直子、松尾保孝、田中賢、山本貞明、下村政嗣 : 「ラマン分光を用いた温度応答性と血液適合性を併せ持つ新規ポリマーの解析」、第24回表面科学講演大会、早稲田大学 (2004-11)
- 17) 藪 浩、下村政嗣 : 「自己組織化によるサブミクロン多孔質ポリマーフィルムの作製」、第24回表面科学講演大会、早稲田大学 (2004-11)
- 18) 夏 輝、石井勝弘、岩井俊昭 : 「低コヒーレンス動的光散乱法による濃厚媒質中の粒子間相互作用の測定」、Optics Japan 2004、大阪 (2004-11)

- 19) 中村真一、石井勝弘、岩井俊昭：「動的多重散乱光の光路長分解スペクトルの解析」、Optics Japan 2004、大阪 (2004-11)
- 20) 上野智史、岩井俊昭：「拡散反射光を用いた分光計測」、Optics Japan 2004、大阪 (2004-11)
- 21) 白井瑞之、石井勝弘、岩井俊昭：「空間変調されたレーザービームによる微粒子マニピュレーション」、Optics Japan 2004、大阪 (2004-11)
- 22) H. Yabu and M. Shimomura: “Novel Fabrication of Sub-wavelength Polymer Structures Based on Self-Organization”, KJF2004, 沖縄青年会館, Japan (2004-11)
- 23) T. Higuchi, H. Yabu and M. Shimomura: “MORPHOLOGICAL VARIETY OF POLYSTYRENE NANOPARTICLES PREPARED BY SELF- ORGANIZATION METHOD”, KJF2004, 沖縄青年会館, Japan (2004-11)
- 24) 門間太志、田中賢、鶴間章典、堀田純一、笹木敬司、山本貞明、下村政嗣：「自己組織化パターン上での神経細胞の光による配列制御」、第53回(2004年)高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
- 25) 小幡法章、澤田石哲郎、下村政嗣：「二種類の微粒子分散系による二次元相分離構造の制御」、第53回(2004年)高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
- 26) 山本貞明、角南寛、田中賢、山方啓、大澤雅俊、下村政嗣：「ハニカムフィルムを用いた細胞一足場界面の内部反射赤外分光」、第53回(2004年)高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
- 27) 伊土直子、田中賢、下村政嗣：「温度応答性と血液適合性を併せ持つ新規ポリマーの合成と機能評価」、第53回(2004年)高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
- 28) 藪 浩、下村政嗣：「自己組織化によるハニカム微粒子複合体の作製」、第53回(2004年)高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
- 29) 大里大輔、藪 浩、田中賢、下村政嗣：「自己組織化による薬剤内包生分解性微粒子の作製」、第53回(2004年)高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
- 30) 澤田石哲郎、下村政嗣：「散逸構造による自己支持性を有する微粒子集積体の作製」、第53回(2004年)高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
- 31) 樋口剛志、藪 浩、下村政嗣：「ブロックコポリマー微粒子表面における微細構造の形成」、第53回(2003年)高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
- 32) 田中あや、松尾保孝、居城邦治、西孝之、野堀智新、大矢裕一、下村政嗣：「DNA 会合体形成における末端リン酸基の効果」、第53回(2004年)高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
- 33) 澤田石哲郎、下村政嗣：「散逸構造による微粒子集積体の構築」、第57回コロイドおよび界面化学討論会、山口東京理科大学 (2004-09)
- 34) 樋口剛志、藪 浩、下村政嗣：「特徴的な表面構造を有するブロックコポリマー微粒子の作製」、第57回コロイドおよび界面化学討論会、山口東京理科大学(2004-09)
- 35) 藪 浩、下村政嗣、居城邦治：「核酸-脂質ポリオンコンプレックスナノ微粒子の調整と集合能」、第57回コロイドおよび界面化学討論会、山口東京理科大学 (2004-09)
- 36) 藪 浩、下村政嗣：「ナノ微粒子を導入したハニカム構造体の作製」、第65回応用物理学学会学術講演会、東北学院大学 (2004-09)
- 37) T. Iwai and S. Okumura: “A pollen sensor using light scattering”, The 7th International Congress on Optical Particle Characterization, 京都 (2004-08)
- 38) H. Xia, K. Ishii and T. Iwai: “Particle sizing for turbid suspensions using low-coherence dynamic light scattering”, 7th international congress on optical particle characterization, 京都 (2004-08)
- 39) L. Wang, K. Ishii and T. Iwai: “Analysis of diffuse back-scattering from dense media”, 7th international congress on optical particle characterization, 京都 (2004-08)
- 40) 下村政嗣：「高分子が作り出す様々なナノ構造ー自己組織化による新しい高分子のマイクロ・ナノ加工ー」、高分子夏季大学「大島をひとのみにして高分子」、大島セミナーハウス (2004-07)
- 41) H. Xia, K. Ishii and T. Iwai: “Nano-particle measurement using the low-coherence dynamic light scattering”, 2004 ICO International conference optica & photonics in technology frontier, Makuhari Messe (2004-07)
- 42) S. Nakamura, K. Ishii and T. Iwai: “Numerical analysis on a path-length-resolved spectrum of dynamically scattered light”, 2004 ICO International conference optica & photonics in technology frontier, Makuhari Messe, Japan (2004-07)
- 43) N. Ido, M. Tanaka and M. Shimomura: “Synthesis and properties of new thermosensitive and blood compatible polymers”, MACRO2004, Paris, France (2004-07)
- 44) H. Yabu, M. Tanaka and M. Shimomura: “Polymer Nanoring Structures Originated from Phase Separation in Self-organized Honeycomb-patterned”, MACRO2004, Paris, France (2004-07)
- 45) 鶴間章典、田中賢、下村政嗣：「自己組織化高分子材料による神経回路構築と神経突起伸展制御」、2004年第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
- 46) 田中あや、松尾保孝、大矢裕一、西孝之、野堀智新、大内辰郎、居城邦治、下村政嗣：「オリゴDNA 多重会合体のLB 法による伸長固定化」、2004年第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
- 47) 大里大輔、藪 浩、田中賢、下村政嗣：「自己組織化法による生分解性微粒子の作製」、2004年第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)

- 48) 伊土直子、田中賢、下村政嗣：「温度応答性と血液適合性を併せ持つ新規ポリマーの合成と機能評価」、2004年第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
- 49) 治田修、西田仁、森末光彦、居城邦治、下村政嗣：「環状 DNA との塩基対形成を利用した気水界面におけるアゾベンゼンの環状配列化」、2004年第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
- 50) 松尾保孝、居城邦治、下村政嗣：「LB 法による伸長 DNA 分子の二次元配列制御」、2004年第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
- 51) 玉木浩一、磯島隆史、下村政嗣：「発光性ナノ粒子を埋め込んだハニカムフィルム細孔のアドレッシング」、2004年第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
- 52) 澤田石哲郎、下村政嗣：「散逸構造による微粒子集積体の構造制御[2]」、2004年第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
- 53) 橋本裕一、澤田石哲郎、居城邦治、下村政嗣：「LB 法で伸長固定化した DNA の無電解メッキによる金属細線の作製」、2004年第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
- 54) A. Tsuruma, m. Takebayashi, N. Fukushima and M. Shimomura: "Reconstruction of neural network by self-organized polymer substrates", 7th World Biomaterials Congress, Sydney Convention & Exhibition Centre, Australia (2004-05)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) H. Sunami, N. Ido, E. Ito, M. Tanaka, S. Yamamoto and M. Shimomura: "AFM observation of serum protein adsorption onto thermosensitive polymer-films", International Symposium "Cell Processing Engineering", 北海道大学, Japan (2005-02)
- 6) H. Sunami, E. Ito, M. Tanaka, S. Yamamoto and M. Shimomura: "Control of serum protein adsorption by porous honeycomb films", International Symposium "Cell Processing Engineering", 北海道大学, Japan (2005-02)
- 7) M. Tanaka, S. Yamamoto, K. Arai and M. Shimomura: "Self-organized Honeycomb-patterned Polymer Films. Novel Bioactive Interface for Tissue Engineering.", International Symposium "Cell Processing Engineering", 北海道大学, Japan (2005-02)
- 8) 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」、高分子学会第39回北海道支部冬季研究発表会、北海道大学学術交流会館・100年記念会館 (2005-02)
- 9) 樋口剛志、藪 浩、下村政嗣：「自己組織化法によるブロックコポリマー微粒子の作製」、高分子学会第39回北海道支部冬季研究発表会、北海道大学学術交流会館・100年記念会館 (2005-02)
- 10) 岩井俊昭：「動的光散乱法 -単散乱から多重散乱へ-」、分子研研究会-生体分光光学と分子イメージングの最前線-、岡崎 (2005-01)
- 11) H. Yabu, M. Tanaka and M. Shimomura: "NOVEL MICRO AND NANO FABRICATION TECHNOLOGY BASED ON SELF-ORGANIZATION", Self-organization-Initiative Nano-Engineering (SINE), RIKEN Wako Campus, Japan (2005-01)
- 12) 藪 浩、下村政嗣：「Subwavelength Honeycomb-patterned Films」、第15回日本 MRS 学術シンポジウム、日本大学 (2004-12)
- 13) 藪 浩、樋口剛志、下村政嗣：「Fabrication of block copolymer nano-particles with phase separation structures」、第15回日本 MRS 学術シンポジウム、日本大学 (2004-12)
- 14) H. Yabu, T. Higuchi and M. Shimomura: "Phase-Separation in Sub-micrometer Block-copolymer Particles", The 6th RIES-Hokudai Symposium "chou", Hokkaido University, Japan (2004-12)
- 15) M. Shimomura: "Nanotechnology Research in Hokkaido University.– Bottom-up Strategy and Self-organization –", 2004 International Symposium on Nano Science and Technology, Tainan, Taiwan (2004-11)
- 16) 田村仁志、田中賢、山本貞明、松下通明、藤堂省、下村政嗣：「自己組織化多孔質膜による小肝細胞の機能・接着形態制御」、日本バイオマテリアル学会シンポジウム2004、つくば国際会議場 (2004-11)
- 17) 藪 浩：「自己組織化によるナノ構造の作製～微粒子から三次元構造まで～」、第1回 ナノテクノロジーセンター研究会～ナノ材料形成・ナノデバイス評価技術～、大阪大学産業科学研究所産業科学ナノテクノロジーセンター (2004-11)
- 18) A. Tsuruma, M. Tanaka, N. Fukushima and M. Shimomura: "Morphological changes of Neurons by Self-Organized patterned films", International symposium on Nano-

organization and Function, 東京工業大学 (2004-11)

- 19) M. Shimomura: "Novel micro and nano fabrication technology based on self-organisation.", The 5th France-Japan Workshop on Nanomaterials, Bordeaux, France (2004-10)
- 20) H. Yabu: "Preparation of Nano-porous Materials by Using "Breath Figures" as Templates", The 5th France-Japan Workshop on Nanomaterials, Bordeaux, France (2004-10)
- 21) N. Ido, M. Tanaka and M. Shimomura: "Fabrication of thermosensitive patterned films by using self-organization", The 5th France-Japan Workshop on Nanomaterials, Bordeaux, France (2004-10)
- 22) 下村政嗣: 「Self-organized Polymer Materials for Biomedical Application」、オープンワークショップ「バイオとナノテクノロジーの融合研究」、京都テルサ(京都) (2004-10)
- 23) 澤田石哲郎、下村政嗣: 「Formation of Self-Supporting Assembly Consisting of Nanoparticle by Dissipative Structures」、北海道高分子若手研究会 & Summer University in Hokkaido 合同研究会2004、新しのつたつぷの湯 (2004-08)
- 24) 鶴間章典、田中賢、福島伸之、下村政嗣: 「高分子の自己組織化パターンによる神経ネットワーク構築と細胞形態への影響」、第33回医用高分子シンポジウム、上智大学 (2004-07)
- 25) 澤田石哲郎、下村政嗣: 「散逸構造を利用した微粒子の二次元パターン形成とその相分離構造」、第57回形の科学シンポジウム、理化学研究所 (2004-06)

iii) コロキウム・セミナー等・その他

- 1) 夏 輝、石井勝弘、岩井俊昭: 「濃厚媒質中粒子の動特性測定」、第40回応用物理学会北海道支部学術講演会、旭川 (2004-10)
- 2) 中村真一、石井勝弘、岩井俊昭: 「光子輸送理論に基づく動的散乱光スペクトル解析」、第40回応用物理学会北海道支部学術講演会、旭川 (2004-10)
- 3) 岩井俊昭: 「花粉センサと飛散情報システム」、研究成果活用プラザ北海道全体会議、札幌 (2004-06)

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

- 1) M. Shimomura: "Self-organization-Initiative Nano-Engineering (SINE)", 100名、理化学研究所 大河内記念ホール (埼玉県和光市) (2005年1月17日~2005年1月18日)
- 2) 田村守、岩井俊昭、山田幸生、伊藤雅秀、河野澄夫、津村徳道、藤田克昌: 「講演会 光と食・農」、150名、みらい CAN ホール (日本科学未来館7F) (東京都) (2005年2月22日~2005年2月23日)
- 3) 岩井俊昭、岡和彦: 「生命系トポロジー理工学研究プロジェクト」シンポジウム 「生体計測の最前線」、40名、京王プラザホテル (札幌) (2004年10月1日)

4.9 共同研究

- e. 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 (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

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
 - 2) 石井勝弘、若手研究 B、低コヒーレンス干渉計を用いたスペクトル測定システムの構築と散乱計測への応用、2002~2004年度
 - 3) 下村政嗣、基盤研究 A (2)、非平衡現象に基づく自己組織化を利用した高分子面状デバイスの開発、2002~2004年度
 - 4) 藪 浩、特別研究員奨励費、散逸構造を用いた機能性高分子のメゾスコピックパターン形成に関する研究、2002~2004年度

4.11 受賞

- 1) 藪 浩: 松本・羽鳥奨学賞 (北海道大学電子科学研究所) 2005年3月
- 2) H. Yabu and M. Shimomura: poster award for young researchers 「Novel Fabrication of Subwavelength Polymer Structures」 (KJF Organizing Committee) 2004年11月
- 3) 藪 浩: 第16回応用物理学会講演奨励賞 「自己組織化によるマイクロリング構造の作製」 (応用物理学会) 2004年9月

4.12 社会教育活動

b. 国内外の学会の役職

- 1) 岩井俊昭: International Commission for Optics (ICO, 国際光学学会) Topical Meeting in Japan における Biomedical Optics Session 責任者ならびにプログラム委員 (2003年1月1日~2004年8月31日)

c. 併任・兼業

- 1) 下村政嗣: 特定非営利活動法人ホトニクスワールドコンソーシアム 理事 (2003年6月3日~2005年6月3日)

e. 新聞・テレビ等の報道

・新聞

- 1) 下村政嗣: 日経産業新聞 2004年12月22日 「高分子とナノ粒子北大・JST 水と有機溶媒で簡単・安価に製造」

・雑誌

- 1) 下村政嗣: 週刊ナノテク 2004年9月27日 「ナノテクキーパーソンインタビュー 真の自己組織化の実現には

“人為性”と“自発性”の両立が不可欠だ」

- 2) 下村政嗣、田中賢：日経先端技術 2004年6月14日「北海道大学ナノテクノロジー研究センターの下村政嗣教授(センター長)同大創成科学研究機構の田中賢助教授らは、独自に作ったハニカム(ハチの巣)パターンをもつ新しい組織工学材料を使い、ヒト血液細胞の分離実験に成功した。新材料の2次加工技術も新たに確立した。このような構造体は他の手法で作製することは容易でなく、医用材料としてはもちろん電池隔膜材料や各種記録材料にも応用できるという。」

・その他

- 1) 下村政嗣：日経ナノテクノロジーPDFplus 2005年2月15日「北大の下村教授、自己組織化を利用する極めてシンプルなナノ・マイクロ構造の創製法を解説」
- 2) 茅幸二、藤田誠、川合知二、芝清隆、伊藤耕三、永山国昭、下村政嗣、林崎良英、岡野光夫：日経ナノテクノロジーPDFplus 2005年2月14日「スペシャルフィーチャー ■解説・技術トレンド自己組織化 最新の研究成果をみる(2005.2.1JST 茅領域公開シンポ)」
- 3) 下村政嗣：日経ナノテクノロジーPlus 2004年9月6日「ナノテクによる産業活性化を促進する調査事業、初めて北海道で始まる」

g. 北大での担当授業科目(対象、講義名、担当者、期間)

- 1) 工学研究科、バイオオプティクス特論、岩井俊昭、2004年10月1日～2005年3月31日
- 2) 理学部、超分子化学、下村政嗣、2004年10月1日～2005年3月31日
- 3) 全学部共通、環境と人間(先端の化学)、下村政嗣、2004年4月1日～2004年9月30日
- 4) 理学研究科、特別研究Ⅰ、下村政嗣、2004年度
- 5) 理学研究科、論文講読Ⅰ、下村政嗣、2004年度
- 6) 理学研究科、特別研究Ⅱ、下村政嗣、2004年度
- 7) 理学研究科、論文講読Ⅱ、下村政嗣、2004年度
- 8) 理学部、文献講読、下村政嗣、2004年度
- 9) 理学部、研究実験、下村政嗣、2004年度
- 10) 理学研究科、特別研究Ⅴ、下村政嗣、2004年度
- 11) 理学研究科、論文講読Ⅴ、下村政嗣、2004年度

i. ポスドク・客員研究員など

その他(1名)

Varshney Kumar Shailendra

j. 修士学位及び博士学位の取得状況

修士課程(5名)

三上直樹、上野智史、中川拓也、白井瑞之、中村真一

博士後期課程(1名)

夏輝

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~)
COE研究員	巖 虎、陳 新江
院生	小澤 純 (M2:薬学研究科)
学部生	黒木 一誠 (B4:理学研究科)

1. 研究目標

ボトムアップ・ナノテクノロジーの手法を用い、エレクトロニクス、フォトニクス、バイオニクス等のデバイス開発を行う。その際、自己組織化、メソスコピック、フラクタル、超分子等の概念を、開発の指導原理として活用する。次の二つの研究テーマを柱として掲げる。

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/超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、表面に特殊な物質を選ぶことにより、油をはじく超撥油表面を得ることが出来る。

図1に、アルキルケテンダイマー(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。図2は、そのポリアルキルピロール膜表面の電子顕微鏡写真とその上に置かれた水滴の写真である。

(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°

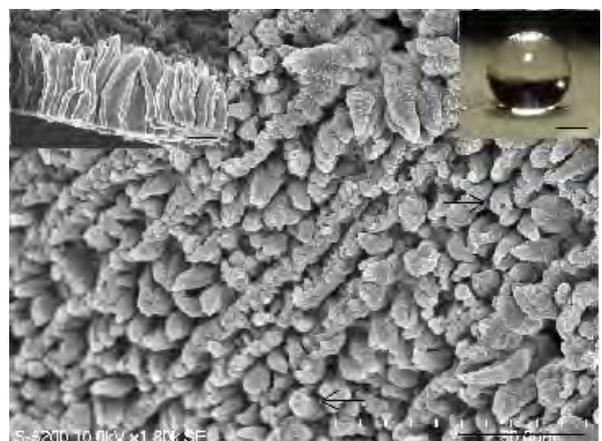


図2. ポリアルキルピロール超撥水表面の電子顕微鏡写真(スケールバー: $15\mu\text{m}$)と、その上に置かれた水滴(スケールバー: $500\mu\text{m}$)

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。我々は極最近、フラクタル構造を自発的に形成することが分かっている上記の AKD 粒子を Template に用いて、フラクタル立体の創製に成功した。

(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。我々は最近キラルな DGI の合成に成功し、その発色を調べたところ、同じ濃度でラセミ体と異なる色を呈することを見出した (図4)。これは、二分子膜中におけるキラル DGI の分子占有面積が、ラセミ体よりも小さいことによるものと考えられる。分子のキラリティが、メソスコピック構造に影響し、それが色の变化として捉えられる面白い現象である。また、このキラル DGI の二分子膜構造をゲル中に固定化することにも成功した。

(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 ゲルは、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ことを見出した。NIPA ゲルは DDS やアクチュエーターとしての応用が期待されており、相転移速度の速いことはそれらの応用に対しても有用である。また、これのマイクロゲル化にも成功した。

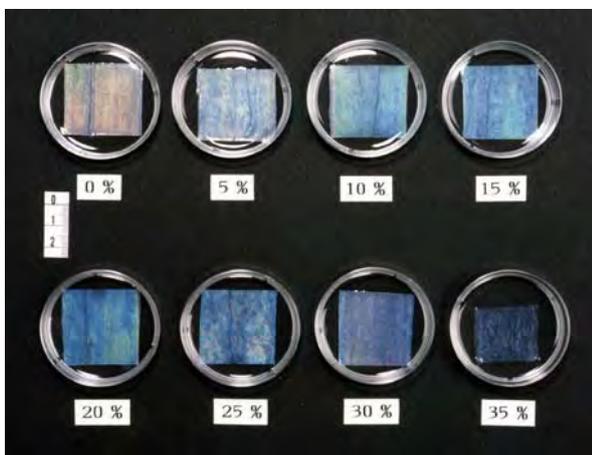


図3. 二分子膜の規則構造を固定化した発色性ヒドロゲル。ゲルの膨潤/収縮によって色が変わる

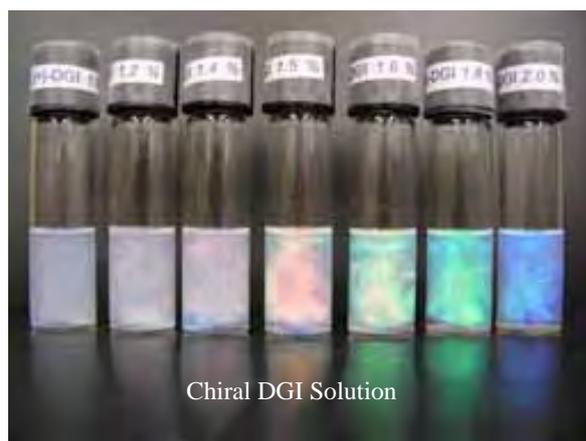
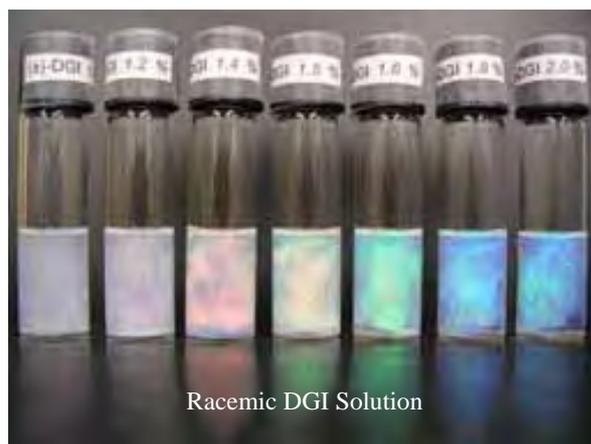


図4. ラセミおよびキラル DGI の発色水溶液。同じ濃度で、キラル DGI が赤色偏移を示す

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、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、平らな表面上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、先ずゲル電気泳動基材としての応用に着手した。高分子界面活性剤ミセルを内包した NIPA ゲル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) H. Yan, H. Shiga, E. Ito and K. Tsujii: "Cell Cultures on a Super Water-Repellent Alkylketene Dimer Surface", *Int. J. Nanosci.* (2005), to be published
- 2) H. Yan, H. Fujiwara, K. Sasaki and K. Tsujii: "Rapid Swelling/Collapsing Behaviors of Thermo-Responsive Poly(N-isopropylacrylamide)Gel Containing Poly(2-(methacryloyloxy)decylphosphate) Surfactant", *Angew. Chem. Int. Ed.*, 44: 1951-1954 (2005)
- 3) H. Yan, M. Inokuchi, M. Kinoshita and N. Toshima: "Spontaneously Formed Polypyrrole Microtubes: Incandescence and Graphitization", *Synth. Met.*, 148: 93-98 (2005)
- 4) Y. Nonomura, S. Komura and K. Tsujii: "Adsorption of Disk-Shaped Janus Beads at Liquid-Liquid Interfaces", *Langmuir*, 20(26): 11821-11823 (2004)
- 5) Y. Nonomura, S. Komura and K. Tsujii: "Adsorption of Rod-Shaped Surface-Active Particles at Liquid-Liquid Interfaces", *J. Oleo Sci.*, 53(12): 607-610 (2004)
- 6) R. G. Alargova and K. Tsujii: "Behavior of colloids in supercritical water: an attempt to study diffusion coefficients using dynamic light scattering", *Progress in Colloid and Polymer Science*, 126: 134-138 (2004)
- 7) G. Matsuo, K. Kawamura, N. Hori, H. Matsukura and T. Nakata: "Total Synthesis of Brevetoxin-B", *J. Am. Chem. Soc.*, 126(44): 14374-14376 (2004)

4.2 総説、解説、評論等

- 1) H. Yan and K. Tsujii: "Hybrid Materials of Polymer Gels with Surfactants", *Journal of Capital University of Medical Sciences (China)*, 26(1): 21-32 (2005)
- 2) 出口茂、向井貞篤、辻井薫:「臨界点および超臨界流体中で化学はどう変わるか?」、*化学*, 60: 70-71 (2005)
- 3) 辻井薫:「温かい人の厳密な科学」、前田悠教授・退官記念誌、68-70 (2004)

4.4 著書

- 1) 辻井薫:「ミセル・エマルション(液体ナノ粒子)」、*ナノマテリアルハンドブック*、(株)エヌ・ティー・エス、633-637 (2005)
- 2) 辻井薫:「第1章第4節 泡膜内の流体力学的性質 第5節 破泡と消泡」、*泡のエンジニアリング*、辻井は編集委員のメンバー、(株)テクノシステム、63-68, (2005)
- 3) 辻井薫:「第3編 第9章第1節 コロイド材料概論; 第3節3-1 サスペンション材料の設計・作製および評価; 第4節4-1 分子集合体材料の設計・作製および評価」、*新訂版・表面科学の基礎と応用*、日本表面科

学会編、(株)エヌ・ティー・エス、1488; 1500;-1489; 1501; (2004)

- 4) 大野尚典、巖 虎、戸嶋直樹:「熱電変換機能」、*導電性高分子の最新応用技術*、監修:小林征男、シーエムシー社 (2004)

4.6 特許(発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

- 1) 眞山博幸、辻井薫: 2005-73718、微細多孔構造の形成方法およびその利用、2005年3月15日
- 2) 巖 虎、辻井薫: 特願2004-378147、微細凹凸構造の形成方法及びその利用、2004年12月27日
- 3) 辻井薫、松尾剛、小澤純、加茂直樹: 特願2004-239904、親水性化合物/疎水性化合物分離用ゲル、キラリティー分離用ゲル、ゲルを用いた分析システムおよびゲルを用いた分析方法、2004年8月19日

4.7 講演

i) 学会

- 1) 益井宣明、出口茂、矢野裕亮、井上朝哉、和田一育、黒木一志、許正憲、辻井薫:「微生物汚染のない地殻試料採取に用いる抗菌性ゲルの実用性の検討」、日本農芸化学会2005年度大会、札幌コンベンションセンター(札幌) (2005-03)
- 2) 野々村美宗、好村滋行、辻井薫:「棒状粉体の界面吸着と自己組織化」、日本化学会・第85回春季年会 (2005)、神奈川大学(横浜) (2005-03)
- 3) 富永大輝、加々田剛、古川英光、眞山博幸、辻井薫、龔剣萍、長田義仁:「ソフト&ウェットマターの摩擦4:ゲルの摩擦界面における流体潤滑の効果」、日本物理学会第60回年次大会、東京理科大学野田キャンパス (2005-03)
- 4) 巖 虎、辻井薫:「高速刺激応答性 NIPA-PMDP ミクロゲルの新規合成およびレーザー補足・顕微ラマン法による単一ミクロゲルのキャラクタリゼーション」、第16回高分子ゲル研究討論会、東京大学 (2005-01)
- 5) K. Tsujii, G. Matsuo, J. Ozawa and N. Kamo: "Synthesis, Properties and Applications of Polymer Hydro-Gels Containing Immobilized-Bilayer-Membranes", *Asian Conference on Nanoscience & Nanotechnology (AsiaNANO 2004)*, Beijing, 中国 (2004-11)
- 6) 出口茂、光澤茂信、辻井薫、掘越弘毅:「極限環境の水の中での生体由来物質の挙動」、第45回高圧討論会、立命館大学びわこ・くさつキャンパス (2004-10)
- 7) 大野尚典、江口和輝、巖 虎、井口眞、戸嶋直樹:「電解重合により自己生成するポリピロール・マイクロチューブ」、第53回高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
- 8) 巖 虎、藤原英樹、笹木敬司、辻井薫:「高速刺激応答性 NIPA-PMDP ミクロゲルのアクチュエーティング機能」、第53回高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
- 9) 巖 虎、西野正行、坪井泰之、喜多村昇、辻井薫:「ド

- ラッグデリバリーシステムを目指した高速刺激応答性 NIPA-PMDP ゲル (Part II) - ミクロゲルの合成とその同定および物性」、第53回高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
- 10) 小澤純、松尾剛、加茂直樹、辻井薫:「重合性界面活性剤とアクリルアミドとの独立した組織化重合」、第53回高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
 - 11) 松尾剛、辻井薫:「キラル二分子膜固定化ゲルの合成と物性[II]」、第53回高分子討論会、北海道大学 (2004-09)
 - 12) 向井貞篤、出口茂、辻井薫、掘越弘毅:「臨界点付近におけるコロイドの拡散異常について」、日本物理学会 2004年秋季大会、青森大学 (2004-09)
 - 13) 江口和輝、巖 虎、大野尚典、籾内一博、井口眞、戸嶋直樹:「ピロールの電解重合により自己生成するマイクロチューブの電気特性と生成機構の検討」、第57回コロイドおよび界面化学討論会、山口東京理科大学 (山口県小野田市) (2004-09)
 - 14) 巖 虎、辻井薫:「高速刺激応答性 NIPA-PMDP ミクロゲルの新規合成とその機能」、第57回コロイドおよび界面化学討論会、山口東京理科大学 (山口県小野田市) (2004-09)
 - 15) 小澤純、松尾剛、加茂直樹、辻井薫:「重合性界面活性剤とアクリルアミドとの独立した組織化重合」、第57回コロイドおよび界面化学討論会、山口東京理科大学 (山口県小野田市) (2004-09)
 - 16) 眞山博幸、辻井薫:「超撥水フラクタル表面形成過程の解析」、第57回コロイドおよび界面化学討論会、山口東京理科大学 (小野田市) (2004-09)
 - 17) 松尾剛、辻井薫:「キラル二分子膜固定化ゲルの物性」、第57回コロイドおよび界面化学討論会、山口東京理科大学 (山口県小野田市) (2004-09)
 - 18) S. Deguchi, M. Tsudome, Y. Schen, K. Tsujii, S. Ito and K. Horikoshi: "Porous Cellulose as a New Solid Plate for Bacterial Culture", The 2nd International Congress on Biocatalysis 2004, Technical University Hamburg-Hamburg, Hamburg, Germany (2004-08)
 - 19) 浅井真一、巖 虎、戸嶋直樹:「ポリチオフェン系導電性高分子 PEDOT および無機半導体とのハイブリッド材料の熱電特性に関する研究」、第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
 - 20) 巖 虎、藤原英樹、笹木敬司、辻井薫:「ドラッグデリバリーシステムを目指した高速刺激応答性 NIPA-PMDP ゲル」、第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
 - 21) 出口茂、辻井薫、掘越弘毅:「極限環境下の水中における生体高分子 -高温・高圧顕微鏡を用いたその場観察-」、第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
 - 22) S. K. Ghosh, 向井貞篤、出口茂、辻井薫、掘越弘毅:「Stability of Colloids in Sub- and Supercritical Water」、第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
 - 23) 松尾剛、辻井薫:「キラル二分子膜固定化ゲルの合成と物性」、第53回高分子学会年次大会、神戸 (2004-05)
 - 24) 江口和輝、巖 虎、大野尚典、戸嶋直樹:「電解重合により自己生成するポリピロール・マイクロチューブの生成の条件と機構についての検討」、第53回高分子学会年次大会、神戸国際会議場 (2004-05)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) 巖 虎、辻井薫:「高速刺激応答性 NIPA-PMDP ミクロゲルの新規合成と単一マイクロゲルの分析」、第38回北海道支部冬季研究発表会、北海道大学 (2005-02)
 - 2) 松尾剛、辻井薫:「キラル二分子膜固定化ゲルの合成」、第16回高分子ゲル研究討論会、東京大学 (2005-01)
 - 3) 小澤純、松尾剛、加茂直樹、辻井薫:「二分子膜固定化ゲル中の化学結合構造」、第16回高分子ゲル研究討論会、東京大学 (2005-01)
 - 4) G. Matsuo and K. Tsujii: "A Novel Hybrid Material of Polymer Gels and Bilayer Membranes", The 6th RIES-Hokudai SYMPOSIUM, Sapporo, Japan (2004-12)
 - 5) H. Mayama and K. Tsujii: "Spontaneous formation of fractal surface", 第6回電子科学研究所国際シンポジウム「超」、学術交流会館、北海道大学 (2004-12)
 - 6) H. Yan and K. Tsujii: "1. Studies on Behaviors of Biological Cells on Super Water-repellent Surfaces; 2. Studies on Synthesis of Rapid Thermo-responsive Hydrogels", The 6th RIES-Hokudai Symposium, Sapporo (2004-12)
 - 7) S. Mukai, S. Deguchi, K. Tsujii and K. Horikoshi: "Direct Observation of Colloids under the Extreme Conditions", International Workshop on Physics of Soft Matter Complexes, Tokyo Metropolitan University (Tokyo), Japan (2004-11)
 - 8) H. Yan and K. Tsujii: "Stimuli-responsive NIPA-PMDP microgels", Asian Conference on Nanoscience & Nanotechnology, Beijing, China (2004-11)
 - 9) H. Yan, H. Shiga, E. Ito and K. Tsujii: "Cell cultures on a super water-repellent AKD surface", Asian Conference on Nanoscience & Nanotechnology, Beijing, China (2004-11)
 - 10) 出口茂、津留 美紀子、沈一紅、辻井薫、伊藤進、掘越弘毅:「有用微生物探索のためのメソポーラスセルロース材料」、第13回ポリマー材料フォーラム、名古屋国際会議場 (名古屋) (2004-11)
 - 11) G. Matsuo: "A Hybrid Material: Hydrogels Containing Bilayer Membranes", 2004高分子若手研究会&サマーユニバーシティ合同研究会、北海道 (2004-08)
 - 12) N. Toshima, K. Eguchi, M. Inokuchi, M. Ueda, N. Ohno and H. Yan: "Self-forming microtubes of polypyrrole: Reaction conditions and physical properties", The International Conference on Synthetic Metals (ICSM) 2004, University of Wollongong main campus, Australia (2004-06)

- 13) S. K. Ghosh, S. Mukai, S. Deguchi, K. Tsujii and K. Horikoshi: "STABILITY OF COLLOIDS IN SUB- AND SUPERCRITICAL WATER", Surfactants in Solution Symposium, Fortaleza, Brazil (2004-06)

iii) コロキウム・セミナー等・その他

- 1) H. Yan: "NIPA-PMMP gel systems - Potential applications to drug delivery systems", 首都医科大学薬学部講演会、北京、中国 (2004-11)
- 2) H. Yan: "NIPA-PMMP gel systems - Potential applications to drug delivery systems", 北京大学薬学部講演会、北京、中国 (2004-11)
- 3) 辻井薫:「ナノテクで世界一水をはじく表面を作る」、電子研一般公開・サイエンストーク、電子研2F 講堂 (2004-06)
- 4) 辻井薫:「ナノテクで作る新機能性材料—超撥水/撥油材料とゲル」、第9回北キャンサロン、北大・創成科学研究棟 (2004-04)

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) 辻井薫、石川正道:「第57回コロイドおよび界面化学討論会・一般シンポジウム S-2「微小重力下のコロイド・界面科学」、100名、山口東京理科大学・基礎工学部 (山口県小野田市) (2004年9月11日)

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、総経費、研究内容)

- 1) 眞山博幸、辻井薫、松尾剛、巖 虎 (電子科学研究所): 「フラクタル立体の構築と機能」、2003~2004年度、1,600千円、自然界にはフラクタルパターン (例えば、海岸線、樹木、河川にみられる自己相似性パターン) が普遍的に存在しているが、そのフラクタル性を積極的に機能性のデザインに取り込んでいる研究例は超撥水/超撥油表面 (フラクタル表面) の研究を除いて皆無であり、フラクタル性を利用した機能性材料開発の研究は全くの手付かずである。フラクタル表面の研究では、理論的に表面積無限大の表面を作ることができる点 (液滴と点で接触している状況でも平面上の大きな面積と接触していることと等価) を利用して、超撥水/超撥油表面の性質を発現させている。それでは次元の1つ高い3次元のフラクタル立体—内部にフラクタル表面を内在した多孔質状の立体 (有限の空間サイズ、理論的に無限小の体積と無限大の表面積を内在している)—ではどのような現象が発現するであろうか? 殆んど空間が占める立体であるため、断熱性が高いことは期待されるが、その他の現象、例えば、液体との相互作用等については大変関心がもたれるところである。しかしながら、類似した研究は皆無であり、その挙動は全くわかっていない。本研究はフラクタル

立体の構築とその機能の解明を通じ、フラクタル性を積極的に利用した新しい機能性材料開発の分野を切り拓くことを目的としている。

- 2) 辻井薫、松尾剛、巖 虎、八木駿郎、武貞正樹 (電子科学研究所): 「異方性ヒドロゲルの創製とそのネットワークゆらぎ解析」、2003~2005年度、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、重合直前にシエアをかける等の方法によって異方性を付与することが出来る。この異方性ゲルのキャラクタリゼーションを、相転移物性分野の光散乱の手法を使って行う。

4.10 予算獲得状況

a. 科学研究費補助金 (研究代表者、分類名、研究課題、期間)

- 1) 辻井薫、基盤研究 B 一般 (2)、フラクタル・ナノ材料の開発と応用、2004~2006年度

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

- 1) 松尾剛 (資生堂サイエンス研究 Grant): 「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。

- 2) 松尾剛 (有機合成化学協会): 「アポトーシス誘導を指向した糖鎖を有する抗がん活性物質の創製」、2003~2004年度、500千円、アポトーシス誘導活性を有する糖及び糖鎖を組み込んだハイブリッド型新規抗がん活性化合物を合成すると同時に、糖の有用性を示す。

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

- 1) 辻井薫、加茂直樹、松尾剛 (21世紀 COE「バイオとナノを融合する新生命科学拠点」共同研究プロジェクト): 「ナノ構造制御ゲルの新規生体分子分析法への応用」、2004年度、4,000千円、ナノデバイス分野の辻井と松尾らが創製した(キラル)二分子膜固定化ゲルを、ゲル電気泳動法に応用し、加茂らが要求する有用な生体分子の分析に適用する。

- 2) 巖 虎、辻井薫、川端和重、芳賀永 (21世紀 COE「バイオとナノを融合する新生命科学拠点」特別研究員): 「ナノ構造制御された表面上での細胞の運動/増殖挙動に関する研究」、2003~2004年度、未定、本研究は、ナノデバイス研究分野の辻井らが開発した、ナノ構造制御された表面を、共同研究者らが有する細胞接着、力学的張力の解析技術 (ナノ力学測定用走査型プローブ顕微鏡など) と組み合わせ、細胞運動/増殖の機構解明に活用しようとするものである。具体的には、1) フラクタル構造を有する表面を用い、濡れと細胞接着の相関を解析する 2) 発色性二分子膜固定化ゲルを用

い、細胞が及ぼす力をゲルの色変化として検出する
3) 力学的異方性ゲルを用い、細胞の運動方向との相関を解析する

4.12 社会教育活動

a. 公的機関の委員

- 1) 辻井薫：東洋大学バイオ・ナノエレクトロニクス研究センター外部評価委員（2004年8月24日～2006年3月31日）
- 2) 辻井薫：独立行政法人・産業技術総合研究所・レビューボード委員（2003年11月1日～2005年3月31日）
- 3) 辻井薫：統合国際深海掘削計画・科学計画方針監理委員会 委員（IODP・SPPOC 委員）（2003年10月1日～2006年3月31日）
- 4) 辻井薫：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）
- 5) 辻井薫：科学技術振興調整費総合研究「海底熱水系における生物・地質相互作用の解明に関する国際共同研究」運営委員会 委員（2000～2004年度）

b. 国内外の学会の役職

- 1) 辻井薫：極限環境微生物学会・評議員（2003年12月1日～現在）
- 2) 辻井薫：日本化学会・コロイドおよび界面化学部会 監査（2001年3月1日～2005年2月28日）

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）

g. 北大での担当授業科目（対象、講義名、担当者、期間）

- 1) 全学部共通、化学 II、辻井薫、2004年10月1日～2005年3月31日
- 2) 理学部、生体高分子の物理化学 II、辻井薫、2004年10月1日～2005年3月31日
- 3) 理学部、生物高分子科学、辻井薫、2004年10月1日～2005年3月31日
- 4) 全学部共通、複合科目 環境と人間 「21世紀を拓くナノ・光科学」、辻井薫、2004年4月1日～2004年9月30日

h. 北大以外での非常勤講師（担当者、教育機関、講義名、期間）

- 1) 辻井薫、東京大学工学研究科、化学システム工学特別講義第2、2004年4月1日～2004年9月30日

i. ポスドク・客員研究員など

ポスドク（1名）

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（1名）

小澤純

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~)
科学技術支援員 笠沼由香 (武蔵工大、2005.2~)

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) 1分子マニピュレーション法に関する研究

原子間力顕微鏡 (AFM) を用いて、ランダムな構造を有する高分子鎖を基板に対して精密に一軸延伸する延伸補正法を開発した。従来の1分子延伸法では、分子を捕らえた探針を基板に垂直な方向に延伸するため、延伸される分子は、必ずしも基板に対して垂直方向に延伸されていなかった。また、装置の擾乱により分子の延伸方向が変化してしまうという問題もあった。今回開発した方法は、延伸方向とは水平方向に力が最小になるようにフィードバックをかけて、分子と探針との間の相対位置情報を取得し、分子が基板と接触している点 (剥がし点) と探針の位置とを結ぶ直線が基板面に対して常に垂直になるように制御することができる (図1)。1分子の外部環境依存性や1分子広帯域計測を困難としている AFM 装置のドリフトを回避する方法として期待される。

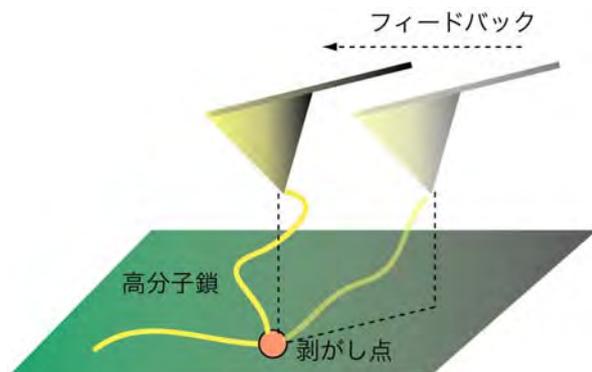


図1. 延伸軸補正法の基本原理。AFM 探針の位置が剥がれ点の垂直線上に追従する。従って、探針と基板との間のドリフトを補正した計測が可能となる。

(b) 非特異的分子間相互作用の1分子計測に関する研究

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から、高分子鎖とゲル網目との間の非保存力を測定することができる。実験の結果、従来の固体基板上に吸着した分子では見られない、力がほぼ一定である相互作用を測定できることが分かった。本測定方法を用いることにより、非特異的分子間相互作用の濃度依存性を測定したり、ゲル表面の構造を1分子レベルで計測することが可能になると期待される。

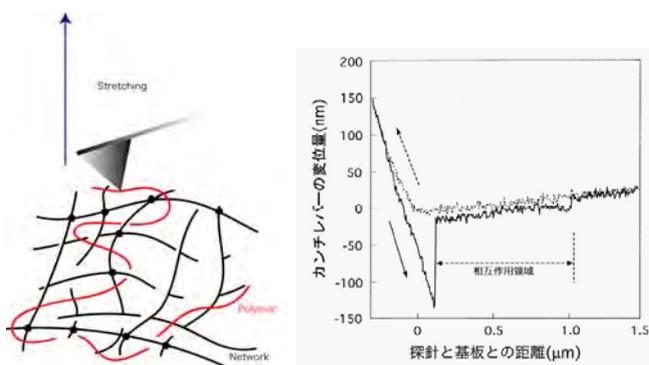


図2. 高分子ゲル基板を用いた非特異的分子間相互作用の1分子延伸測定法の概念図。高分子バルク材料 (ゲル) に埋め込まれた網目と1分子高分子鎖との間の相互作用を計測する。(右) ゲルから引き延ばされた分子の長距離力学相互作用の一例。固体基板を用いて測定では得られない力がほぼ一定の力曲線が得られる。

(c) CNT と AFM ナノテクノロジーに関する研究

産業技術総合研究所と共同研究を進め、FE-SEM 中で市販の探針先端に付着した低融点の金属を加熱・融解し、その中へ CNT を挿入し固定する方法により安定な SPM 探針を作成する手法を確立した。さらに、研究の効率を高めるため、ターンアラウンドが短時間の超小型 SEM と小型マニピュレータを用い CNT-AFM 探針を作製し、長さの制御とともにその特性を測定した。長さに関しては、細胞内を刺入することを考慮し100nm 前後の径を持つ CNT が、約1 μ m 突出するように長さを調整した (図3)。

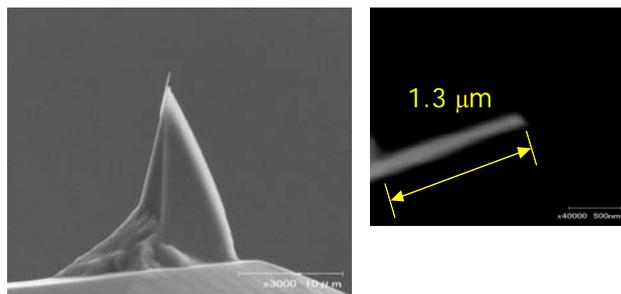


図3. 作製した CNT 探針の SEM 像。

次に、上記の標準的な手順で作製した CNT 探針が大気中タッピングモード AFM の探針として使用できることを確認した。具体的には、aminopropyltriethoxysilane 処理したマイカ基板に DNA 溶液を滴下し、乾燥した試料を観察した。1 時間以上、繰り返し走査した後でも CNT 探針は破壊されることがなく、安定に DNA 分子の像を得ることができた(図4)。

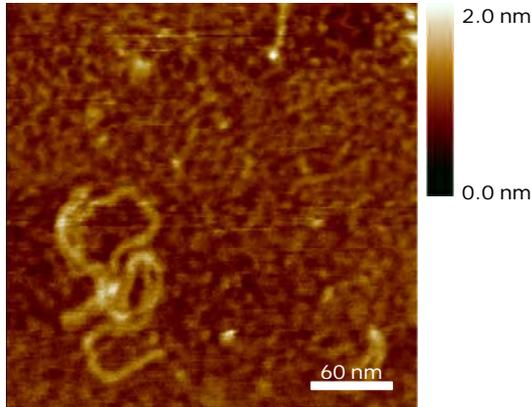


図 4. DNA 分子観察例。

(d) CNT の化学修飾に関する研究

バイオ・生命関連材料の極微小領域の構造を解析・分析する CNT-AFM 新技術の開発を目指した研究を開始した(日立製作所との共同研究)。そのための CNT-AFM 探針には、横方向の強度を確保するために多層 CNT を用いた。さらに、極微小領域の分析を可能にするためには、プローブ先端と試料の間に働く固有の相互作用(化学結合力あるいは分子認識力)を計測する技術、化学結合力(分子認識) AFM 技術(図5)が有力である。さらに、多層 CNT 先端を化学修飾することが重要技術であるが、現在のところ確立していない。そのため、比較的研究が進んでいる単層 CNT の化学修飾技術について調査し、本研究で行う単層 CNT に近い性質を有している二層 CNT の化学修飾手順を採用することとした。これに基づき、入手したままの状態では図6(左)に示すように多くの不純物が混入していた状態から、本手順により図6(右)に示すように大きく精製ならびに切断が進んでいることを確認した。

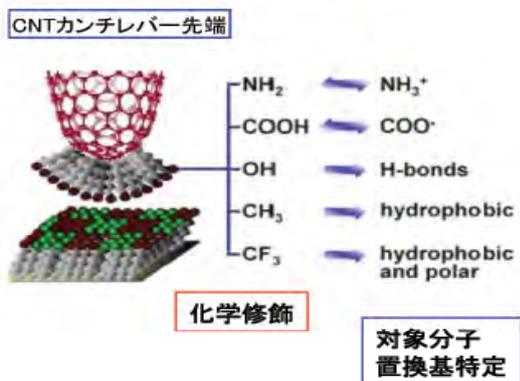


図 5. CNT-AFM プローブ先端部の化学修飾と分子認識計測イメージ。

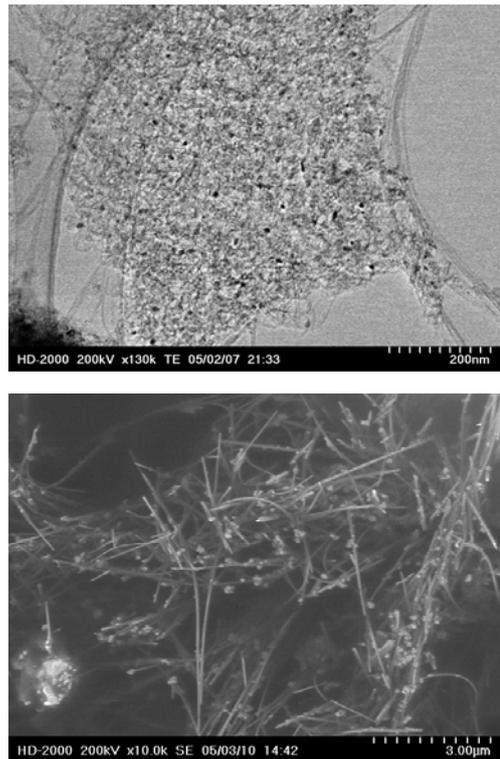


図 6. 入手後処理をしていない二層 CNT (左) と精製・切断した二層 CNT の電子顕微鏡像(右)。

(e) 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。特に、「医療用微小システム、ナノバイオロジー(診断・治療機器等のナノテクノロジーを応用した医療等)」、「細胞内のマイクロダイナミクスの研究や遺伝子発現機構の研究の推進、生体分子の構造・機能の計測・解析、生体メカニズムのナノレベル解明」が重要課題としてうたわれている。上述した(a)～(d)の成果も鑑みながら、産業技術総合研究所との連携、日立一北大包括連携の中で検討を進めた。

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、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) T. Fujieda, K. Hidaka, M. Hayashibara, T. Kamino, Y. Ose, H. Abe, T. Shimizu and H. Tokumoto: "Direct observation of field emission sites in a single multiwalled carbon nanotube by Lorenz microscopy", *JJAP*, 44(4A): 1661-1664 (2005)
- 2) Y. Naitoh, T. Liang, H. Azebara and W. Mizutani: "Measuring Molecular Conductivities Using Single Molecular-Sized Gap Junctions Fabricated without Using Electron Beam Lithography", *JJAP*, 44(15): L472-L474 (2005)
- 3) H. Azebara, T. Liang, T. Ishida, Y. Naitoh and W. Mizutani: "Conductivity Measurements of Stilbene-Based Molecules Incorporated into Self-Assembled Monolayers by Conducting Probe Atomic Force Microscopy", *JJAP*, 43(7B): 4511-4516 (2004)
- 4) Y. Maeda, S. Kimura, Y. Hirashima, M. Kanda, Y. Lian, T. Wakahara, T. Akasaka, T. Hasegawa, H. Tokumoto, S. Maruyama, K. Kobayashi and S. Nagase: "Dispersion of Single-Walled Carbon Nanotube Bundles in Nonaqueous Solution", *Journal of Physical Chemistry B*, 108(48): 18395-18397 (2004)
- 5) T. Shimizu, H. Abe, A. Ando, Y. Nakayama and H. Tokumoto: "Electrical conductivity measurements of a multi-walled carbon nanotube", *Surface and Interface Analysis*, 37(2): 204-207 (2004)
- 6) T. Fujieda, K. Hidaka, M. Hayashibara, T. Kamino, H. Matsumoto, Y. Ose, H. Abe, T. Shimizu and H. Tokumoto: "In situ observation of field emissions from an individual carbon nanotube by Lorents microscopy", *Appl. Phys. Lett.*, 85(23): 5739-5741 (2004)
- 7) M. Kageshima, S. Takeda, A. Ptak, C. Nakamura, J. Suzi, H. Tokumoto and J. Miyake: "Measurement of intramolecular energy dissipation and stiffness of a single peptide molecule by magnetically modulated atomic force microscopy", *JJAP*, 43(12A): L1510-L1513 (2004)
- 8) S. Ganapathy, T. Periyasamy, M. Kurimoto, H. Kumano, K. Uesugi, I. Suemune, H. Machida and N. Shimoyama: "Observation of reflection high-energy electron diffraction oscillation during MOMBE growth of AlAs and related modulated semiconductor structures", *Physica E*, 21: 756-760 (2004)
- 9) M. Kuwahara, H. Abe, H. Tokumoto, T. Shima, J. Tomi-naga and H. Fukuda: "Practical use of a carbon nanotube attached to a blunt apex in an atomic force microscope", *Materials Characterization*, 52(1): 43-48 (2004)
- 10) Y. Maeda, S. Kimura, T. Hasegawa, Y. Lian, T. Wakahara, T. Akasaka, H. Abe, N. Choi, T. Shimizu, H. Tokumoto, S.

Kazau and N. Minami: "Removal of carbonaceous materials from single-walled carbon nanotubes by a simple chemical modification", *ITE Letters on Batteries, New Technologies & Medicine*, 5(3): 263-266 (2004)

- 11) A. Hassaniien, M. Tokumoto, T. Shimizu and H. Tokumoto: "STM on suspended single wall carbon nanotubes", *Thin Solid Films*, 464-465: 338-341 (2004)
- 12) T. Okajima and H. Tokumoto: "Versatility of Self-Oscillation Technique with Mechanical-Acoustic Excitations for Frequency Modulation Atomic Force Microscope in Liquids", *Jap. J. Appl. Phys.*, 43: 4634-4638 (2004)

4.2 総説、解説、評論等

- 1) 岡嶋孝治、徳本洋志: 「液中 FM モード制御の現状: 液中自励発振型 AFM」、*Molecular Electronics and Bioelectronics*, 15(4): 197-200 (2004)

4.6 特許 (発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

- 1) 岡嶋孝治、田中賢、徳本洋志: 2005-001538、表面位置計測方法および表面位置計測装置、2005年1月6日
- 2) 徳本洋志、清水哲夫、大野輝昭: 2004-337967、電子顕微鏡、2004年11月22日
- 3) 岡嶋孝治、徳本洋志: 2004-262227、ゲル基板材料を用いた分子測定装置および分子測定方法、2004年9月9日
- 4) 岡嶋孝治、徳本洋志、特願2004-224573、分子計測装置および分子計測方法、2004年7月30日

4.7 講演

i) 学会

- 1) 藤枝正、日高貴志夫、林原光男、上野武夫、小瀬洋一、阿部秀和、清水哲夫、徳本洋志: 「ローレンツ顕微鏡法による単一カーボンナノチューブからの電界放出その場観察」、第65回応用物理学学会学術講演会、東北学院大学 (2004-09)
- 2) 安藤淳、阿部秀和、清水哲夫、徳本洋志: 「局所電子線照射によるカーボンナノチューブ金属電極接合の改質」、第65回応用物理学学会学術講演会、東北学院大学 (2004-09)
- 3) H. Abe, T. Shimizu, A. Ando and H. Tokumoto: "Reliable connections between CNT and electrode for electric devices", 8th International Conference on Nanometer-Scale Science and Technology, Venice, Italy (2004-06)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) 徳本洋志: 「北の大地のボトムアップ・ナノテク—環境にやさしいナノテク—」、産総研主催「ナノテクノロジーと社会」討論会、経済産業省別館1012共用会議室 (2005-01)
- 2) S. Kimura, Y. Maeda, Y. Hirashima, M. Kanda, Y. Lian, T. Wakahara, T. Akasaka, T. Hasegawa, K. Miyauchi, S.

- Nagase, S. Maruyama, H. Kataura, H. Tokumoto, T. Shimizu and K. Kobayashi: "Dispersion of single-walled carbon nanotube bundles in non-aqueous solution", 第28回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、名城大学 (2005-01)
- 3) Y. Lian, Y. Maeda, T. Wakahara, T. Akasaka, S. Kazau, N. Minami, T. Shimizu and H. Tokumoto: "Spectral and electron microscopic characterization of functionalized carbon nanotubes", 第28回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、名城大学 (2005-01)
- 4) 藤枝正、日高貴志夫、林原光男、松本秀夫、上野武夫、上沼正、阿部秀和、清水哲夫、徳本洋志: 「Dynamic observation of field emissions from a single multi-walled carbon nanotube by transmission electron microscopy」、第28回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、名城大学 (2005-01)
- 5) H. Azebara, T. Okajima and H. Tokumoto: "Advanced methods of AFM techniques − CNT tips and dynamic mode AFM −," The 6th RIES-Hokudai Symposium, Hokkaido, Japan (2004-12)
- 6) H. Azebara, T. Okajima and H. Tokumoto: "Fabrication of CNT tips and an AFM for biological samples in liquids", The 12th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, Shizuoka, Japan (2004-12)
- 7) 岡嶋孝治: 「液中 FM モード制御の現状: 液中自励発振型 AFM」、有機バイオ SPM 研究会・2004 「ダイナミックな SPM (手法、観察)」、千葉 (2004-11)
- 8) T. Okajima: "Nano-Manipulation and Imaging of Biological Molecules with AFM", 21世紀 COE ナノ・バイオ国際若手研究者ネットワークシンポジウム、札幌 (2004-08)
- 9) 徳本洋志: 「カーボンナノチューブが変えるナノ計測技術」、H16 赤阪新物質創製研究アспект研究会、筑波大学 TARA センター (2004-08)
- 10) 徳本洋志: 「カーボンナノチューブ探針が変える SPM ナノ計測技術」、学術振興会第151委員会研究会、北海道空知郡中富良野町 (2004-07)
- 11) 徳本洋志: 「機能性有機電子材料: ~何のために何を・どう・誰が作る~」、社団法人 電子情報技術産業協会 電子材料・デバイス技術委員会、東京駿河台 JEITA 会議室 (2004-07)
- 12) H. Tokumoto: "Research and Technology Transfer in Japan: Reviewing Large Research Projects University-Industry", "IUVSTA Initiative on Technology Transfer" in the context of IVC-16, ICSS-12, NANO-8, and AIV-17, Sala delle Feste, Casino Palace, Venice Lido, Italy, Italy (2004-07)
- 13) H. Tokumoto: "Electric conduction through a single multi-walled carbon nanotube", Swiss-Japan Nanoscience Workshop 2004, Nara, Japan (2004-06)
- 14) 徳本洋志: 「分子デバイス研究開発の動向と将来」、分子研究会「分子エレクトロニクス研究会」、岡崎国立共同研究機構 (岡崎コンファレンスセンター) (2004-04)
- iii) **コロキウム・セミナー等・その他**
- 1) 岡嶋孝治: 「溶液中の生体分子を見る・操る」、北海道大学21世紀 COE プログラム「バイオとナノを融合する新生命科学拠点」先端科学から先端医療への挑戦、札幌 (2004-12)
- 4.9 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) 石橋晃、徳本洋志、末宗幾夫、中村貴義、近藤憲治 (電子科学研究所): 「極微細接合素過程に対する次元・空間配位の影響の研究」、2003~2004年度、次元数表記で 3-0-3、3-2-0-2-3などの従来行われてきた接合構造・配置に対し、特に3-2-0-R2-3(R2は相対的に回転した2次元面であることを示す)の極微細接合について理論的に考察するとともに、この構造(ユニット)を作るための要素技術を確立する。
- 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、総経費、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) 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
- 2) 岡嶋孝治、若手研究 B 一般、生体分子のマイクロ秒粘弾性測定、2003~2004年度

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

- 1) 岡嶋孝治 (財団法人 花王芸術・科学財団): 「液中・非接触原子間力顕微鏡の開発」、2004年度、1,000千円、周波数変調型の原子間力顕微鏡を液中で動作させ、探針と基板との間の非接触相互作用に基づいたイメージング法を開発することを目的とする (化学・物理学分野)。

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) 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: JJAP 特別編集委員 (2004年6月3日～2005年1月31日)
- 4) 徳本洋志: 電子情報技術産業協会電子材料・デバイス技術委員会 委員 (2004年5月10日～2005年3月31日)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) 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: 応用物理学会 薄膜・表面物理分科会 幹事 (2004～2005年度)
- 2) 徳本洋志: STM05国際会議組織委員長 (2003年7月1日～現在)
- 3) 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)

- 4) 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: 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) 岡嶋孝治: GelSympo2005組織委員 (2004年12月1日～現在)
- 2) 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)
- 3) 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 (2004～2005年度)
- 4) 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)
- 5) 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 (2003～2005年度)
- 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)

f. 外国人研究者の招聘 (氏名、国名、期間)

- 1) Dr. Xiaoming Tao, China, 2004年9月15日

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2、徳本洋志、2005年1月26日～2005年1月28日
- 2) 工学研究科、バイオナノ工学特論、岡嶋孝治、2004年10月1日～2005年3月31日
- 3) 全学部共通、物理学 II、岡嶋孝治、2004年10月1日～2005年3月31日
- 4) 工学研究科、光量子デバイス工学特論、徳本洋志、2004年10月1日～2005年3月31日
- 5) 工学研究科、バイオナノ工学特論、徳本洋志、2004年10月1日～2005年3月31日
- 6) 全研究科共通、ナノテクノロジー・ナノサイエンス概論1、徳本洋志、2004年7月28日～2004年7月30日

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13年	平成14年	平成15年	平成16年
電子材料 物性部門	欧 文		40 (40)	41 (40)	30 (30)	32 (32)
	邦 文		1 (1)	0	0	3 (3)
電子機能 素子部門	欧 文		33 (33)	29 (29)	22 (22)	28 (28)
	邦 文		2 (2)	10 (1)	0	4 (2)
電子計測 制御部門	欧 文		34 (28)	25 (21)	19 (17)	27 (27)
	邦 文		5 (5)	10 (7)	4 (1)	3
電子情報 処理部門※	欧 文		20 (20)	6 (6)	26 (26)	33 (31)
	邦 文		13 (11)	5 (3)	0	2
電子計測 開発施設	欧 文		5 (5)	—	—	—
	邦 文		0	—	—	—
ナノテクノロジー 研究センター	欧 文		—	32 (31)	30 (30)	33 (33)
	邦 文		—	4	0	2
計	欧 文		132(126)	133(127)	127(125)	153(151)
	邦 文		21 (19)	29 (11)	4 (1)	14 (5)

()内の数はレフェリー付き。

※客員研究分野は除外した。

2. 総覧、解説、評論等及び著書数

部門等		年	平成13年	平成14年	平成15年	平成16年
電子材料 物性部門	総説等		3 (1)	1 (1)	2	4 (1)
	著 書		1 (1)	3 (3)	5 (1)	0
電子機能 素子部門	総説等		11 (1)	9	12	8
	著 書		8 (6)	2 (1)	9 (2)	5 (1)
電子計測 制御部門	総説等		7	8 (1)	4	5
	著 書		2	4 (4)	1	2 (1)
電子情報 処理部門※	総説等		8 (1)	9	5	13
	著 書		6	3 (3)	3 (2)	2
電子計測 開発施設	総説等		1	—	—	—
	著 書		0	—	—	—
ナノテクノロジー 研究センター	総説等		—	11	13	8 (1)
	著 書		—	3 (1)	10 (3)	13 (3)
計	総説等		30 (3)	38 (2)	36	38 (2)
	著 書		17 (7)	13 (12)	28 (8)	22 (5)

()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13年	平成14年	平成15年	平成16年
電子材料 物性部門	国際学会		60 (7)	40 (8)	31 (8)	24 (4)
	国内学会		89 (3)	57 (5)	59 (2)	62
電子機能 素子部門	国際学会		42 (6)	40 (3)	39 (6)	19 (4)
	国内学会		102 (11)	62 (4)	63 (4)	29 (5)
電子計測 制御部門	国際学会		36 (5)	16 (2)	19 (4)	26 (2)
	国内学会		79 (6)	40 (3)	43 (7)	44 (4)
電子情報 処理部門※	国際学会		39 (10)	3 (1)	8 (4)	16 (3)
	国内学会		65 (5)	21 (6)	18 (3)	24 (1)
電子計測 開発施設	国際学会		3	—	—	—
	国内学会		16	—	—	—
ナノテクノロジー 研究センター	国際学会		—	28 (6)	26 (4)	12 (2)
	国内学会		—	35 (1)	39 (2)	34
計	国際学会		180 (28)	127 (20)	123 (26)	97 (15)
	国内学会		351 (25)	215 (19)	222 (23)	193 (10)

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

年 度	平成13年度	平成14年度	平成15年度	平成16年度
校 費	208,258	208,629	372,930	661,294
科 学 研 究 費	192,520(51)	166,224(40)	222,400(44)	230,651(48)
奨 学 寄 附 金	19,944(24)	28,250(29)	39,468(35)	12,864(13)
産 学 連 携 研 究 費	111,811(19)	66,583(20)	108,435(35)	130,280(39)
(受 託 研 究 費)	(98,951(12))	58,030(13)	89,626(20)	87,131(22)
(民 間 等 共 同 研 究 費)	(12,860(7))	8,553(7)	18,809(15)	43,149(17)
合 計	532,533	469,686	743,233	1,035,089

()内の数は受入件数

II-2-2) 外部からの研究費受入状況

部門別の受入状況

(単位：千円)

部 門 等	研 究 費 等	平成15年度	平成16年度
電 子 材 料 物 性 部 門	科 学 研 究 費	119,900(17)	111,490(18)
	奨 学 寄 附 金 I	4,200 (3)	2,500 (3)
	奨 学 寄 附 金 II	6,000 (2)	
	産 学 連 携 等 研 究 費	31,800 (4)	12,840 (4)
	(受 託 研 究 費)	31,800 (4)	12,840 (4)
	(民 間 等 共 同 研 費)		
	小 計	161,900	126,830
電 子 機 能 素 子 部 門	科 学 研 究 費	22,300 (6)	18,900 (6)
	奨 学 寄 附 金 I	500 (1)	
	奨 学 寄 附 金 II	3,560 (5)	2,200 (1)
	産 学 連 携 研 究 費	19,309(11)	17,949 (7)
	(受 託 研 究 費)	12,050 (5)	8,390 (.)
	(民 間 等 共 同 研 費)	7,259 (6)	9,559 (4)
	小 計	45,669	39,049(14)
電 子 計 測 制 御 部 門	科 学 研 究 費	42,400 (8)	33,230 (6)
	奨 学 寄 附 金 I	1,000 (1)	
	奨 学 寄 附 金 II	250 (1)	3,064 (3)
	産 学 連 携 研 究 費	29,934 (7)	38,641 (8)
	(受 託 研 究 費)	22,854 (4)	34,641 (7)
	(民 間 等 共 同 研 費)	7,080 (3)	4,000 (1)
	小 計	73,584	74,935(17)
電 子 情 報 処 理 部 門	科 学 研 究 費	25,700(10)	36,320(11)
	奨 学 寄 附 金 I	1,000 (1)	
	奨 学 寄 附 金 II	8,500 (4)	
	産 学 連 携 研 究 費	13,640 (6)	24,620 (8)
	(受 託 研 究 費)	11,800 (3)	20,180 (3)
	(民 間 等 共 同 研 費)	1,840 (3)	4,440 (5)
	小 計	48,840	60,940(19)
附 属 ナ ノ テ ク ノ ロ ジ ー 研 究 セ ン タ ー	科 学 研 究 費	12,100 (3)	30,710 (7)
	奨 学 寄 附 金 I	1,658 (4)	1,000 (1)
	奨 学 寄 附 金 II	12,800(13)	4,100 (5)
	産 学 連 携 研 究 費	13,752 (7)	36,229(12)
	(受 託 研 究 費)	11,122 (4)	11,079 (5)
	(民 間 等 共 同 研 費)	2,630 (3)	25,150 (7)
	小 計	40,310	72,039(25)

()内の数は受入件数

奨学寄付金 I 申請による財団等からの研究助成金 奨学寄付金 II 上記 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13年度	平成14年度	平成15年度	平成16年度
電子材料物性部門	15	2	2	9
電子機能素子部門	5	8	5	25
電子計測制御部門	7	1	9	22
電子情報処理部門	6	2	6	26
電子計測開発施設	0	—	—	—
ナノテクノロジー研究センター	—	0	3	5
計	33	13	25	87

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16年度

・理学研究科

中田洋平：ペロフスカイト系酸化物における相転移ダイナミクス

福永正則：高分子ゲルの階層的ダイナミクスの研究

高木卓也：蛍光相関分光法における DNA 鎖長と一分子蛍光強度との関係

紀伊宏昭：DNA で構成された微細構造物の FCS 測定

永山裕貴：静磁場下血液物性の特異的酸素飽和度依存性

・工学研究科

高橋亮一：時間領域差分法を用いたランダムレーザー発振特性解析

II-4-2) 博士学位

平成16年度

・理学研究科

藪 浩：Fabrication of Mesoscale Polymer Structures by Self-Organization（自己組織化によるメゾスケール高分子構造の作製）

II-4-3) 大学院生在籍数

研究科名 \ 年	修 士		博 士	
	15年	16年	15年	16年
理 学 研 究 科	17	24	15	9
工 学 研 究 科	18	18	12	15
地球環境科学研究科	5	5	6	5
医 学 研 究 科	0	0	0	0
計	40	47	33	29

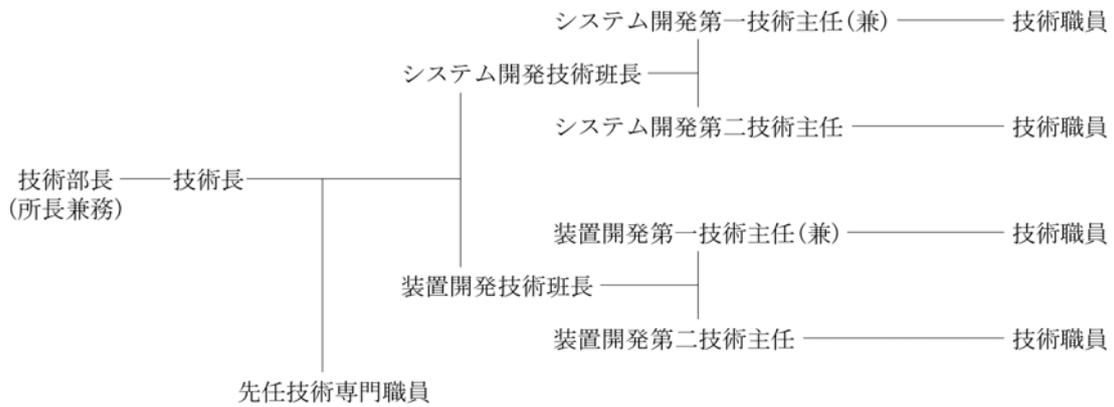
Ⅲ. 研究支援体制

III-1. 技術部

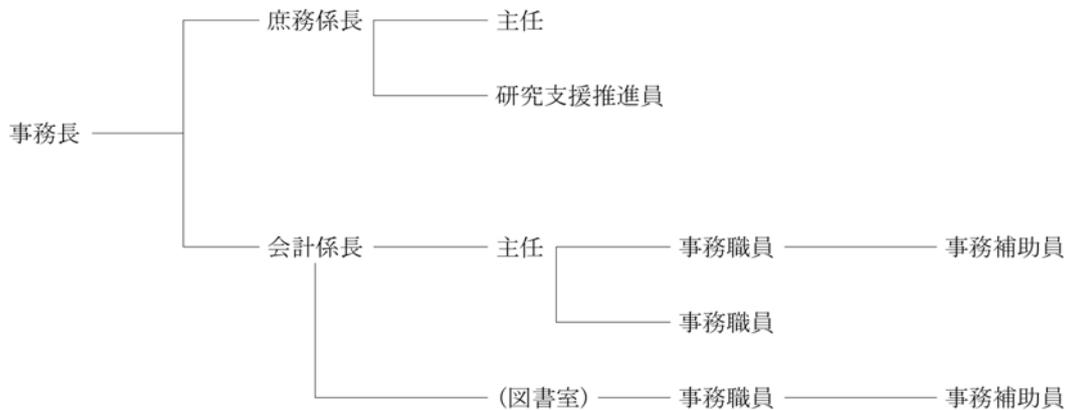
本研究所の研究を技術面からの支援組織として、システム開発班と装置開発班よりなる「技術部」を置いている。システム開発班は、研究所のホームページと研究成果データベースなどの情報管理運営、研究用電子回路の設計・製作、実験装置計測用ソフトウェア開発など、専門技術による研究分野からの支援要請に対応している。

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線回析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する支援を行っている。

装置開発技術班は、研究分野により要請される特殊実験機器の開発・製作にあっている。機械工作室では、ステンレスの精密切削とアルゴン溶接、大型旋盤・縦フライス盤などの工作機械を用いて、多くの実験装置の開発・製作を行っている。近年はアルミ溶接技術による特殊要請にも対応できる体制を備えている。ガラス工作室では、光学レンズ・プリズム等の加工と研磨、ステンレス製計測装置へのコパールを介しての硝子の溶着の技術・その他大型デュワー瓶、各種石英セルの製作を行っている。また、同班は、所外からの技術相談、装置製作などの技術支援要請にも応えている。



III-2. 事務部



Ⅲ-3. 学術情報

a. 図書・学術雑誌

単行本の大部分は、各研究分野で購入し管理されている。図書室では参考図書を中心に購入している。学術雑誌は、共通分野で利用され研究所として必要と認められたものは、研究所全体で購入し図書室で管理されている。この他、各分野の必要性から、各分野で購入・管理されている雑誌もある。また、研究分野が理学・工学・医学など広範囲なため、大学内において研究所のみ購入している雑誌も数種あり、他学部からの利用者も多い。

平成14年度より電子ジャーナルが本格的に導入されるにあたり、研究所内の雑誌の重要度調査を行い、購入洋雑誌の見直しをした結果、購入洋雑誌の種類が減少した。

電子ジャーナルの普及により、学外への文献複写の依頼・受付件数共に減少している。

1. 蔵書冊数

年 度	平成15年	平成16年
和 書	5,429	5,361
洋 書	20,454	20,525
計	25,883	25,886

2. 所蔵雑誌種類数

年 度	平成15年	平成16年
和雑誌	383	366
洋雑誌	455	455
計	838	821

3. 購入雑誌受入種類数

年 度	平成15年	平成16年
和雑誌	45	45
洋雑誌	35	36
計	80	81

4. 学外文献複写数

年 度	平成15年	平成16年
依 頼	133	166
受 付	326	418

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、フルテキストを購読できる。

また、パソコンからはHINESを通して附属図書館の検索システムを利用できる。以前はCD-ROMマルチ検索システムであったが、現在はオンラインでの学術文献データベース検索システムが利用できる。利用できるデータベースの種類は豊富で、「雑誌記事索引 NDL-OPAC、Web of Science、Current Contents」のような引用文献、目次速報データベースから「SciFinder Scholar、MEDLINE、INSPEC」のような抄録データベース、「LexisNexis Academic」のような新聞記事のデータベース、学位論文データベース、辞典類など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などのシステム検索が利用可能であり、研究者の研究活動を支援している。

平成13年よりカードロックシステムを利用して、研究所内の教職員院生は24時間図書室の利用が可能になり、図書室の利用がしやすくなった。

IV. 資 料

IV-1. 沿革

超短波研究所

- 昭和16. 1 超短波研究室が設置される
 - 18. 1 超短波研究所に昇格
第二部門、第四部門、第六部門、第七部門開設
 - 18. 3 第三部門開設
 - 19. 1 第一部門、第五部門開設
 - 20. 1 第八部門開設

応用電気研究所

- 21. 3 応用電気研究所と改称する
部門構成：電気第一部門、電気第二部門、物理第一部門、物理第二部門、化学部門、
医学及び生理第一部門、医学及び生理第二部門、数学部門
- 24. 5 北海道大学附置研究所となる
- 36. 4 メディカルエレクトロニクス部門新設
- 37. 4 電子機器分析部門新設
- 38. 4 メディカルトランスデューサ部門新設
- 39. 2 研究部門は一部名称変更等により次のとおりとなる(昭和38年4月1日適用)
電子回路部門、電波応用部門、物理部門、化学部門、生理部門、生体物理部門、
応用数学部門、メディカルエレクトロニクス部門、電子機器分析部門、メディカルトランスデューサ
部門
- 39. 4 メディカルテレメーター部門新設
- 42. 6 強誘電体部門新設
- 46. 4 生体制御部門新設
- 48. 4 附属電子計測開発施設新設
- 50. 4 光計測部門新設(10年時限)
- 53. 4 感覚情報工学部門新設
- 60. 3 光計測部門廃止(時限到来)
- 60. 4 光システム工学部門新設(10年時限)

電子科学研究所

- 平成4. 4 研究所改組により電子科学研究所となる
 - 14. 4 附属電子計測開発施設を附属ナノテクノロジー研究センターに改組転換
 - 15. 5 電子情報処理部門感覚情報研究分野を廃止

[歴代所長]

超短波研究室	昭和16年2月20日～昭和18年1月31日	蓑島	高
超短波研究所	昭和18年2月1日～昭和21年3月31日	蓑島	高
応用電気研究所	昭和21年4月1日～昭和21年9月10日	蓑島	高
	昭和21年9月11日～昭和35年7月31日	浅見	義弘
	昭和35年8月1日～昭和38年7月31日	東	健一
	昭和38年8月1日～昭和45年3月31日	松本	秋男
	昭和45年4月1日～昭和48年3月31日	望月	政司
	昭和48年4月1日～昭和51年3月31日	馬場	宏明
	昭和51年4月1日～昭和54年3月31日	吉本	千禎
	昭和54年4月1日～昭和57年3月31日	馬場	宏明
	昭和57年4月1日～昭和60年3月31日	山崎	勇夫
昭和60年4月1日～昭和63年3月31日	達崎	達	
昭和63年4月1日～平成4年4月9日	安藤	毅	

電子科学研究所	平成4年4月10日～平成6年3月31日	安藤 毅
	平成6年4月1日～平成9年3月31日	朝倉 利光
	平成9年4月1日～平成13年3月31日	井上 久遠
	平成13年4月1日～平成15年3月31日	下澤 楯夫
	平成15年4月1日～平成15年9月30日	八木 駿郎
	平成15年10月1日～平成17年9月30日	西浦 廉政
	平成17年10月1日～現在	笹木 敬司

[名誉教授]

昭和32年4月	(故) 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	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。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された。

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	15年度
計		2,362	14,055	

IV-3. 定員、現員（平成16年度）

（7月1日現在）

職名	定員・現員	人数
教授	定員	18 (1)
	現員	17 (1)
助教授	定員	18 (1)
	現員	12 (1)
講師	定員	0
	現員	1
助手	定員	21
	現員	19
教員小計	定員	57 (2)
	現員	49 (2)
事務系職員	定員	18
	現員	18
合計	定員	75 (2)
	現員	67 (2)

（ ）内の数字は客員で外数

IV-4. 教員の異動状況 (平成16年度)

○ 転入状況

電子情報処理部門	助教授	JUODKAZIS SAULIUS			
			16. 4. 1		徳島大学大学院工学研究科助手
ナノテクノロジー研究センター	助手	藪 浩	16. 7. 1		北海道大学大学院理学研究科 博士後期課程修了
電子材料物性部門	助手	野呂真一郎	16. 7. 16		理化学研究所研究員
電子機能素子部門	助手	松尾 保孝	16. 8. 1		日本学術振興会特別研究員
電子機能素子部門	助手	海住 英生	16. 9. 22		日本学術振興会特別研究員
電子情報処理部門	助教授	早瀬友美乃	16. 10. 1		九州大学大学院理学研究院助手
電子計測制御部門	助教授	KOROBENIKOV ANDREI			
			16. 10. 1		オックスフォード大学研究員
電子計測制御部門	教授	永井 健治	17. 1. 1		理化学研究所研究員
電子機能素子部門	助教授	新倉 謙一	17. 1. 1		北海道大学大学院理学研究科助手
電子計測制御部門	助教授	谷 知己	17. 3. 1		東京都研究員

○ 転出状況

電子計測制御部門	教授	河原 剛一	16. 4. 1		北海道大学大学院情報科学研究科教授
電子計測制御部門	助教授	内貴 猛	16. 4. 1		北海道大学大学院情報科学研究科助教授
電子計測制御部門	助手	山内 芳子	16. 4. 1		北海道大学大学院情報科学研究科助手
電子材料物性部門	助手	武貞 正樹	16. 4. 1		北海道大学大学院理学研究科講師
電子計測制御部門	助手	竹内 文也	16. 4. 1		北海道大学医学部助教授
電子計測制御部門	助手	丹羽 光一	17. 3. 31		東京農業大学助教授
電子計測制御部門	助手	中島 崇行	17. 3. 31		大阪府立大学大学院生命環境科学研究科 助手
ナノテクノロジー研究センター	助手	石井 勝弘	17. 3. 31		光産業創成大学院大学助教授

IV-5. 構成員 (平成16年度)

所 長 西 浦 廉 政

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

光材料研究分野

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 堀 田 純 一

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
 助 手 丹 羽 光 一

適応制御研究分野

助 手 中 島 崇 行

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

電子情報処理部門

情報数理研究分野

教 授 西 浦 廉 政
 助教授 早 瀬 友美乃
 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

信号処理研究分野

教 授 三 澤 弘 明
 助教授 JUODKAZIS SAULIUS
 助 手 棚 村 好 彦

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 米 山 満
 (三菱化学株式会社科学技術研究所)

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 石 井 勝 弘
 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 岩 崎 正 純
 " MEHATA MOHAN
 " DEKOLA TATSIANA
 研究支援推進員 黒 田 紀 夫
 " 石 崎 絵 美
 " 頼 實 望
 " 横 内 香
 科学研究支援員 石 坂 高 英
 " 牛 坂 健
 " 遠 藤 礼 曉
 " 齊 藤 健 太
 " ZHANG WEI
 " 春 菜 ゆかり
 " 何 小 明
 COE 研究員 巖 虎
 " 白 燦 基
 " 呉 波
 " FAN LIJIE
 " 陳 新 江
 " 陶 向 明
 産学官連携研究員 孫 凱

技術部

技術部長 (兼) 西 浦 廉 政
 技術長 星 山 満 雄
 専任技術専門職員 土 田 義 和
 システム開発技術班
 班長・第一技術主任 大 沼 英 雄
 第二技術主任 女 池 竜 二
 技術職員 伊勢谷 陽 一
 " 今 村 逸 子
 装置開発技術班
 班長・第一技術主任 太 田 隆 夫
 第二技術主任 平 田 康 史
 技術職員 小 林 健太郎
 " 武 井 将 志

事務部

事務長 濱 谷 弘 司
 庶務係
 係 長 岡 田 敏
 主 任 佐 藤 洋 子
 会計係
 係 長 三 橋 慎 一
 主 任 柳 橋 光 人
 事務職員 西 徹
 " 富 塚 直 樹
 " (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
 " 笹 木 瑠美子
 " 秋 田 佐和子
 " 木 村 万里絵
 " 山 田 庸 子
 " 千 葉 慶 子
 " 曾 我 和 実
 " 村 上 奈 美
 " 阿 部 園 代
 " 黒 川 みずき

(平成17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18年4月発行

