研究活動 北海道大学電子科学研究所 平成15年度 点検評価報告書 Research Activities Research Institute for Electronic Science Hokkaido University 2003

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16年12月発行

はじめに

北海道大学電子科学研究所は、前身である北海道大学応用電気研究所を改組・転換し平成4年4月に発足し、その設置目的を「電子科学に関する学理及びその応用の研究」に設定し、4大部門、1施設から成る新たな体制で出発した。平成9年10月に改組・転換後、最初の外部評価を実施し、多くの貴重な助言を得たが、とくに従来の学問体系を超えた真の融合領域(trans-disciplinary field)の開拓が強く求められた。これに基づき物理・化学・数学に基礎をおく枠組みから脱却し、生命科学の成果をも積極的に取り込んで新しい電子科学の領域を開拓するため、光に関する科学、生命に関する科学、分子に関する科学の三つの科学が融合した「複合領域ナノサイエンス」を電子研の柱とし邁進してきた。生命の秘密を解明するためには光や分子を扱うナノサイエンスが必要となり、またナノテクノロジーも天与の分子機械である細胞に学ばざるを得ない。この方向への具体的成果の一つとして、平成14年度には「分子・原子集合体の自己組織化によるボトムアップ手法を基軸としたナノテクノロジー創成」を課題とした附属施設「ナノテクノロジー研究センター」を発足させた。

新たな学問の再編成と高度の研究者の養成を目指す21世紀COEプログラムの展開に際しても、電子研は平成14年度発足の「バイオとナノを融合する新生命科学拠点」及び平成15年度発足の「特異性から見た非線形構造の数学」、さらには平成16年発足の「トポロジー理工学の創成」にも参画している。これらは一見、無関係に思われるが、数学の「非線形構造」を形成するダイナミックな駆動力は「自己組織化」であり、これはボトムアップによる階層的ダイナミクスに基盤を置くナノサイエンスの基本思想を成している。これは電子研の持つ横断的性格をよく反映していると同時に北大の新規学問領域の開拓と学際的インターフェイスの役割を十分に果たしていることを示唆している。

法人化後、まもなく1年を迎える中で、研究所の果たすべき役割は益々重要になりつつあると思われる。とりわけ国立大学法人が様々な取り組みの中で進化していくためには、それが外に開かれた開放系でなければならないことは衆知の事実であるが、その実践のためにはダイナミックなチャネルを複数もつ必要がある。大学の中にある研究所の役割の一つはそこにあると考えられる。これは平成16年1月に実施した電子研の外部評価にも示されていることである。本冊子は平成15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が融合した「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にお願いいたします。

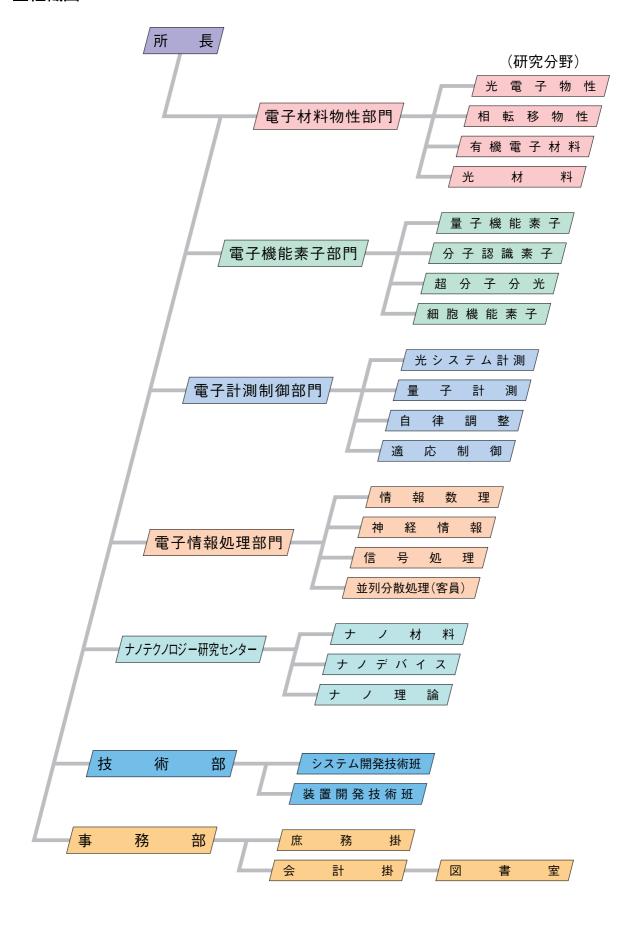
平成16年12月

北海道大学電子科学研究所長 西 浦 廉 政

目 次

111和区

Ι.	研究成	果∙活動	
,	電子材料	物性部門	
		物性研究分野	4
	相転移	物性研究分野	ç
	有機電	子材料研究分野	14
	光材料	研究分野	20
,	電子機能	素子部門	
	量子機	能素子研究分野	28
	分子認	識素子研究分野	31
		分光研究分野	36
	細胞機	能素子研究分野	45
,		制御部門	
		テム計測研究分野	50
		測研究分野 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	58
		整研究分野 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	63
	適応制	御研究分野 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	67
,		処理部門	
		理研究分野・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	74
		報研究分野 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	80
		理研究分野 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	85
		報研究分野 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	90
	並列分	散処理研究分野(客員研究分野)	93
	ナノテク	ノロジー研究センター	
ナノ材料研究分野 ····································			96
ナノデバイス研究分野			103
			108
Π.	予算		
	$\Pi - 1$.	研究成果公表に関する各種の統計表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	117
	II-2.		119
	$\Pi - 3$.	外国人研究者の受入状況	120
Ш.	研究支	援体制	
	$\Pi - 1$.	技術部	125
	$\Pi - 2$.	事務部	125
]	Ⅲ — 3.	学術情報	126
IV.	資料		
]			129
			131
			131
]	N-4.	教員の異動状況	132
		構成員	



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 岩城裕司(北大院、環境博、2003.6~2003.9)

院生 吉沢友和(D1)、Md. Wahadoszamen(D1)、Ara

Anjue Mane (D1)、小原裕樹(M2)、森川武弘(M2)

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、電子構造、準位構造、配列構造の変化を 調べる。さらに光誘起導電性、光誘起磁性、非線形光学効 果あるいは電界発光の出現など光励起に伴う電気、磁気特 性および光学特性の変化を調べる。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励起に伴う全く新しい機能物 性の発現を探索する。

2. 研究成果

(a) 光誘起電子移動反応系における光ダイナミクスへの 電場効果

ポルフィリンと C_{60} の連結化合物ではポルフィリンを光励起すると C_{60} への電子移動が起こり、蛍光消光を示すことが知られている。また、ポルフィリンの蛍光は電場により変化し、亜鉛ポルフィリン $(ZnP-O34-C_{60})$ の場合は蛍光が電場により増加するのに対し、フリーベースポルフィリン $(H2P-O34-C_{60})$ では逆に電場による蛍光消光が起こることを見つけた (図1)。開発したピコ秒時間分解電場蛍光スペクトル測定装置を用いて、蛍光減衰曲線への電場効果を調べた。両者の結果を図2に示す。図2aには1.2 $MVcm^{-1}$ とゼロ電場で観測した蛍光減衰をレーザーの散乱光の観測結果と共に示してある。 $ZnP-O34-C_{60}$ では1.2 $MVcm^{-1}$ 印加で測定した蛍光減衰曲線とゼロ電場で測定した曲線の比 If $(1.2MVcm^{-1})/If(0)$ (If(F) は、電場 F を印加したときの蛍光

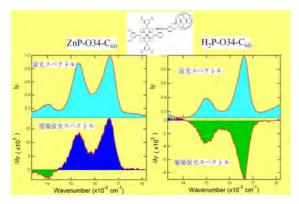


図 1. 亜鉛ポルフィリンと C_{so} (左) およびフリーベースポルフィリンと C_{so} (右) 連結分子の蛍光スペクトルおよび $1.0~{\rm MVcm}^{-1}$ で得られた電場蛍光スペクトル

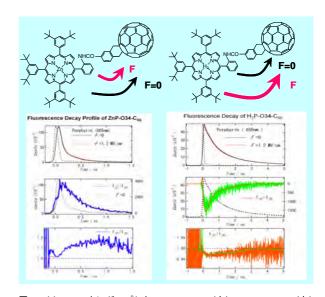


図 2. (a) PMMA 中にドープした $ZnP-O34-C_{co}$ (左)、 $H_sP-O34-C_{co}$ (右) のゼロ電場 (実線) および1.2 $MVcm^{-1}$ (点線) における蛍光減衰曲線 (b) 1.2 $MVcm^{-1}$ およびゼロ電場で測定した蛍光減衰曲線の差、(c) 1.2 $MVcm^{-1}$ およびゼロ電場で測定した蛍光減衰曲線の比。

強度を表す) は時間初期ではほぼ1であるが、時間と共に 正の値になっており、電場によって寿命が長くなることを 示している。蛍光減衰曲線は、分子内 D-A 間距離の異なる 複数の異性体の存在により多少複雑であるが3つの指数関 数の和を考えることにより再現することができる。蛍光寿 命の平均値はゼロ電場の91 ps から1.2 MVcm⁻¹印加で97 ps と、電場印加により長くなる。したがって定常光励起の実 験において観測されたポルフィリン蛍光の電場による増加 を、ポルフィリンの励起状態から C60への分子内光誘起電 子移動反応速度の電場による減少に帰することができた。 一方、H2P-O34-C₆₀の場合は、時間初期には If (1.2 MVcm⁻¹)/If (0) はほぼ1であるが、時間の経過と共に減少 し、分子内電子移動速度は ZnP-O34-C60とは逆に電場によ り増加することがわかる。これら電子移動速度に対する電 場効果の違いは、反応が起こるための活性化エネルギーに 大きな違いがあるためであることを示した。

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

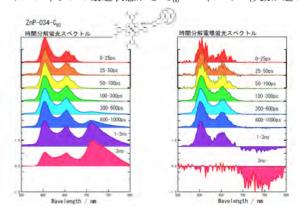


図3. PMMA 中にドープした ZnP-034-C のの時間分解蛍光スペクトル(左) および1.0MVcm で測定した時間分解電場蛍光スペクトル(右)。

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

(b) ポルフィリン連結化合物における吸収の電場効果と 光誘起電子移動反応

図4に示すようなメソ位で連結されたポルフィリンオリゴマーの吸収スペクトルは、図5に示すように単体のものとは大きく異なる。Soret 帯の吸収は二つのバンドに分裂し、短波長側のバンドはポルフィリンの数を増やしてもほ

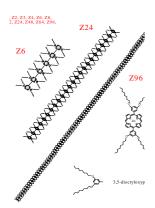


図 4 . ポルフィリンアレイの分子 構造

とんどシフトしない。一方、長波長側のバンドは ポルフィリンの数が増す につれて長波長側にシフトする。これは双極子一 双極子相互作用によると 考えられる。すなわち、

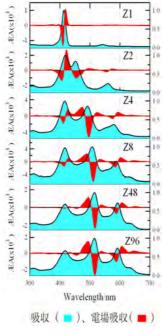


図 5. ポルフィレンアレイの吸収スペクトルと電場吸収スペクトル $(0.75 \, \mathrm{MVcm}^{-1})$

お互いのポルフィリンはその平面が直交するように並んでいると考えられるが、長波長側のバンドは遷移モーメントの方向が結合軸の方向であり、お互いの分子間の双極子一双極子相互作用により長波長シフトする。一方、短波長吸収帯の遷移モーメントの方向は結合軸と垂直な方向であり、お互いの分子面が直交している結果として、双極子一双極子相互作用は存在せずシフトしない。これらの分子に関する電場吸収スペクトルの測定を行った(図5)。いずれのオリゴマーでも Soret 帯の短波長側のバンドの電場吸収の形状は、単体の場合と同様吸収スペクトルの一次微分とよく似ており、電場効果は励起状態と基底状態間の分子分極率の違いによるシュタルクシフトに起因する。一方 Soret 帯の長波長側のバンドの電場吸収スペクトルは吸収スペクトルの二次微分の形状に非常に似ており、この電場効果は励起状態と基底状態間の電気双極子モーメントの違いを反

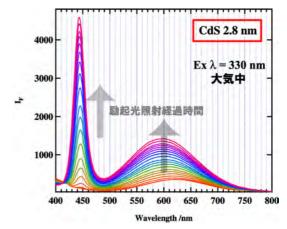


図 6. CdS ナノクラスターの蛍光スペクトルの光照射効果

映したシュタルクシフトによるものであることがわかる。このことは Soret 帯の長波長側のバンド励起に伴って電気 双極子モーメントが生じること、すなわち結合軸方向に沿って電荷移動が起こることを示している。この電荷移動の大きさはポルフィリンの数 (n) が2~10まではnの増加と共に電荷移動量が増加するが、それ以上のnに関しては光励起後の電荷移動量はほとんど変化しないことがわかる。

(c) CdS ナノクラスターの光学特性の光照射効果

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

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・磁気的光機能物性を調べ、光反応への

電場、磁場効果との関係を明らかにする。具体的には広い 温度領域にわたる光電流測定や伝導度の光照射効果を調べ、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、光と電場により電荷量や移動度をコントロールする ことにより、単なる光伝導性ということではなく、究極の 光機能物性というべき光誘起超伝導発現の可能性を探る。 また、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にも実験を発展させ、 光と電場を組み合わせての分子の回転運動のコントロール や配向分子系の構築、および光反応の制御を試みる。

4. 資料

4.1 学術論文等

- M. Mizoguchi and N. Ohta: "Fluorescence of an Electron Donor-Acceptor System in a Polymer Film under the Simultaneous Application of Electric Field and Magnetic Field", Chem. Phys. Lett., 372: 66-72 (2003)*
- 2) C. Okabe, T. Nakabayashi, N. Nishi, T. Fukaminato, T. Kawai, M. Irie and H. Sekiya: "Picosecond Time-Resolved Stokes and Anti-Stokes Raman Studies on the Photochromic Reactions of Diarylethene Derivatives", J. Phys. Chem. A, 107(28): 5384-5390 (2003)*
- K. Doseok, S. J, C. H.M., W. C.N., O. Y., T. Iimori, M. Noritaka and S. K.: "Polymer surfaces studied by sum-frequency vibrational spectroscopy", *Journal of the Korean Vacuum Science & Technology*, 12(S1): 70-73 (2003)*
- 4) K. Akio, T. Hironao, N. Yoshiki, T. Iimori, T. Kazuhide, O. Kinichi and S. Kazuhiko: "Protonation and multi-hydrogenation of benzophenone (BP) in BP/toluene and BP/ethanol binary cation clusters", *Chem. Phys. Lett.*, 381(3-4): 354-361 (2003)*
- 5) M. Wahadoszamen, T. Nakabayashi and N. Ohta: "Electric Field Effects on Photoisomerization Process of Diphenylpolyenes Doped in a Polymer Film as Revealed by a Field-Induced Change in Fluorescence Spectrum", Chem. Phys. Lett., 387(1-3): 124-129 (2004)*
- 6) M. Tsushima and N. Ohta: "Electric field effects on photoinduced electron transfer processes of methylene-linked compounds of pyrene and N,N-dimethylaniline in a polymer film", J. Chem. Phys., 120(13): 6238-6245 (2004)*
- M. Tsushima, T. Ushizaka and N. Ohta: "Time-resolved measurement system of electrofluorescence spectra", Rev. Sci. Instrum., 75: 479-485 (2004)*

4.2 総説、解説、評論等

1) 中林孝和:「液体アルコール分子の分子内振動エネルギー移動の実時間観測」、化学と工業、56:1147(2003)*

2) 中林孝和:「水のクラスター構造 - 基本的な考え方と 応用の可能性-」、食品膜技術懇談会誌、29:35-40 (2003)

4.3 著書

- 1) 太田信廣:「多原子分子の発光スペクトルと発光寿命」、 化学便覧 基礎編 改訂5版(岩澤康裕編)、丸善、2: 743-761(2004)
- 2) Y. Iwaki, N. Ohta, A. Nakano and A. Osuka: "Electric field effects on absorption and emission spectra of endphenylethynylated meso-meso linked porphyrin arrays in a polymer film", Advanced Molecular and Supramolecular Materials and Processes, Kluwer Academic, 125-137 (2003)*

4.5 講演

a. 招待講演

i) 学会

 N. Ohta: "Electric field effects on excimer fluorescence of pyrene and generation of electroluminescence in a polymer film", XXI st International Conference on Photochemistry, Nara, Japan (2003–07)

ii)研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) 中林孝和:「時間分解ラマン分光法からみた溶液中の振動緩和過程の描像と他の超高速現象との関係」、単純系から複雑系にわたる凝集系振動緩和ダイナミックス研究の現状と展望、岡崎(2003-06)
- 2) 太田信廣:「ポルフィリンアレイの光励起電子移動ダイナミクスおよび電場効果」、第19回化学反応討論会サテライト研究会、仙台(2003-06)
- 3) 中林孝和:「ポリエン類の光励起ダイナミックスに対する外部電場効果」、生体関連分子の水素結合とダイナミクスの新展開、岡崎(2003-07)
- 4) N. Ohta: "Electric field effects on photochemical reactions and photofunction of materilas", Second 21st Century COE "Towards Creating New Industries Based on Inter-Nanoscience" and 7th Sanken International Symposium on Hybridization of Chemistry, Biology and Material Science-Perspective in Nanoscience-, Osaka (2004-01)

iii) コロキウム・セミナー等・その他

1) 太田信廣:「固体膜中における光誘起電子移動反応への 電場効果と時間分解蛍光測定」、2003年 CIST/MAT コ ロキウム、千歳 (2003-10)

b. 一般講演

i)学会

- 1) 飯森俊文、吉沢 和彦、中林孝和、太田信廣:「80 K から室温までの温度変化にともなうピレンの電場蛍光スペクトルの変化」、日本化学会第84回春季年会、神戸(2004-03)
- 2) 溝口美和子、太田信廣:「電場と磁場の同時作用下にお

- ける光誘起電子移動ダイナミクス」、光化学討論会、島根 (2003-11)
- 3) 松崎 洋市、野上敦嗣、岩城裕司、太田信廣、吉田直哉、 荒谷 直樹、大須賀篤弘、田中一義:「meso, meso 連 結ポルフィリンアレイの電子励起状態と電場吸収スペ クトルに関する理論的研究」、光化学討論会、島根 (2003-11)
- 4) 小原祐樹、中林孝和、岩崎健太郎、鳥本司、大谷文章、 平谷 卓之、小西 克明、太田信廣:「CdSナノクラスタ ーの吸収及び蛍光への電場効果」、光化学討論会、松江 (2003-11)
- 5) 森川武弘、中林孝和、太田信廣:「ピレン連結化合物の 蛍光寿命に対する外部電場効果と EL 発光の発生」、光 化学討論会、松江 (2003-11)
- 6) 中林孝和、M. Wahadoszamen、太田信廣:「ジフェニルポリエン分子のtrans-cis 光異性化反応の外部電場依存性」、光化学討論会、松江 (2003-11)
- 7) 吉沢友和、岩城裕司、中林孝和、太田信廣:「ポリマー 中における4-ジメチルアミノベンゾニトリルの蛍光減 衰の外部電場効果」、光化学討論会、松江 (2003-11)
- 8) 太田信廣、中林孝和、津島稔、今堀 博、玉木 浩一、 坂田 祥光、福住 俊一:「光誘起電子移動反応ダイナミ クスへの電場効果と時間分解電場蛍光スペクトル測 定」、光化学討論会、松江 (2003-11)
- 9) 中林孝和、M. Wahadoszamen、太田信廣:「時間分解電 場蛍光分光法による Push-Pull 型ジフェニルポリエン 誘導体の分子内電荷移動過程の研究」、光化学討論会、 松江 (2003-11)
- 10) 飯森俊文、岩橋崇、大内幸雄、西寿朗、金井要、関一 彦、石井久夫、濵口宏夫、D. Kim:「和周波混合振動分 光を用いたイオン液体の気/液界面における配向の解 析」、2003分子構造総合討論会、京都(2003-09)
- 11) 岡部智絵、中林孝和、井口佳哉、西信之、関谷博:「N-サリチリデンアニリンの高速ダイナミックス―励起状 態分子内プロトン移動反応と内部転換の競合―」、分子 構造総合討論会、京都 (2003-09)
- 12) 中林孝和、M. Wahadoszamen、太田信廣:「ジフェニルポリエン分子の光励起ダイナミックスに対する外部電場効果―時間分解電場蛍光分光法による研究―」、分子構造総合討論会、京都(2003-09)
- 13) 森川武弘、中林孝和、太田信廣:「ピレン連結化合物の 光励起ダイナミックスに対する外部電場効果と電界発 光の観測」、分子構造総合討論会、京都 (2003-09)
- 14) 竹下 幸一、太田信廣:「S0-S1遷移に伴う電気双極子 の変化」、2003分子構造総合討論会、京都 (2003-09)
- 15) 岩城裕司、太田信廣、大須賀篤弘:「ポルフィリン連結 分子の電場吸収スペクトルと非線形光学特性」、2003 分子構造総合討論会、京都 (2003-09)
- 16) T. Nakabayashi, M. Wahadoszamen, M. Tsushima and N. Ohta: "External electric field effects on photoinduced

- charge transfer and isomerization reactions of polyene molecules", XXI st International Conference on Photochemistry, Nara, Japan (2003–07)
- 17) A. Ara、飯森俊文、中林孝和、太田信廣:「Temperature dependence of electric field effects on fluorescence spectra of pyrene butyric acid doped in a polymer film」、日本化学会北海道支部2004年夏季研究発表会、苫小牧(2003-07)
- 18) 森川武弘、中林孝和、太田信廣:「ピレン連結化合物の エキシマー蛍光における電場効果とポリマー膜中での 電界発光の形成」、日本化学会北海道支部2003年夏季研 究発表会、北見 (2003-07)
- 19) 小原祐樹、中林孝和、太田信廣、岩崎健太郎、鳥本司、 大谷文章:「CdSナノクラスター粒子の電場吸収スペクトル」、日本化学会北海道支部2003年夏季研究発表会、 北見 (2003-07)
- 20) 岩城裕司、Z. A. Klaas、中林孝和、太田信廣:「ジメチルアミノベンゾニトリルの吸収および蛍光への電場効果」、日本化学会北海道支部2003年夏季研究発表会、北見(2003-07)
- 21) A. M. Ara、森川武弘、中林孝和、太田信廣:「Electric field effect on excimer fluorescence of pyrene」、日本化学会北海道支部2003年夏季研究発表会、北見 (2003-07)
- 22) 中林孝和、M. Wahadoszamen、太田信廣:「ポリエン誘導体の光誘起分子内電荷移動反応における外部電場効果」、日本化学会北海道支部2003年夏季研究発表会、北見(2003-07)
- 23) M. Wahadoszamen、中林孝和、太田信廣:「External electric field effects on photoisomerization dynamics of polyenes」、日本化学会北海道支部2003年夏季研究発表会、北見 (2003-07)
- 24) 中林孝和、津島稔、太田信廣:「ポリエン分子の分子内 電荷移動および異性化反応に対する外部電場効果」、第 19回化学反応討論会、仙台(2003-06)
- 25) J. Erko、太田信廣:「Stark spectroscopy of indole and 3-methylindole」、第19回化学反応討論会、仙台(2003-06)
- 26) 太田信廣、津島稔、牛坂健:「光誘起電子移動反応への 電場効果と時間分解電場蛍光測定」、第19回化学反応討 論会、仙台(2003-06)
- 27) 松家 則孝、飯森俊文、大内幸雄、関一彦、D. Kim:「和 周波発生法によるポリイミド/基板界面構造の基板依 存性の研究」、2004年春期応用物理学会学術講演会、東 京(2004-03)
- 28) 中林孝和、森川武弘、太田信廣:「時間分解電場蛍光分 光によるピレン連結化合物の光励起ダイナミックスの 外部電場依存性」、日本化学会第84回春季年会、神戸 (2004-03)

4.6 シンポジウムの開催

- b. 一般のシンポジウム(組織者名、部門名、シンポジウム、参加人数、開催場所、開催期間)
- 1) 太田信廣: "シンポジウム「分光学の新たな展開-物質 科学・生命科学への挑戦」"(北海道大学学術交流会館 (札幌市)) (2003年12月10日)

4.7 予算獲得状況

- a. **科学研究費補助金**(研究代表者、分類名、研究課題、 期間)
- 1) 中林孝和、若手研究 A、赤外シュタルク分光法を用いた巨大分子の構造-機能相関の解明(2003~2005年度)
- 2) 中林孝和、萌芽研究、超高速時間分解電場変調分光法 の開発と電荷移動反応への応用(2003~2004年度)
- 3) 太田信廣、基盤研究 A (2)、光、電場、磁場を摂動と する構造-反応-機能相関の研究 (2003~2005年度)
- 4) 太田信廣、特定領域研究(2)、電磁場制御環境下における光化学反応の研究(2003~2004年度)
- b. **奨学寄附金**(機関名、研究担当者、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 光科学技術研究振興財団、太田信廣、時間分解発光シュタルク分光法の開発と光誘起ダイナミクスへの電場効果に関する研究、2003年度
- 2) ノーステック財団、太田信廣、可視・紫外発光有機 EL 素子の開発、2003年度

4.10 社会教育活動

a. 公的機関の委員

- 1) 太田信廣:分子科学研究所運営協議委員(人事委員) (2001年5月1日~2004年3月31日)
- 2) 太田信廣:科学研究費委員会専門委員(2003年1月1日 ~2003年9月30日)
- 3) 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)
- 4) 太田信廣:分子科学研究所学会等連絡会議構成員(2002 年4月1日~現在)

b. 国内外の学会の主要役職

- 1) 太田信廣:日本化学会北海道支部代議員(2002年11月1日~2003年10月31日)
- 太田信廣:分子構造総合討論会運営委員会委員(2002 年10月2日~2006年10月31日)
- 3) 太田信廣:第16期分子科学研究会委員(2002~2006年度)
- 4) 太田信廣:光化学協会理事(2001年4月1日~現在)

c. 新聞・テレビ等の報道

- 1) 太田信廣:日本工業新聞、「発光素子をリアルタイム観測 原理究明へ新装置」、2004年1月29日
- d. 修士学位及び博士学位の取得状況

修士課程(3名)

小原祐樹、森川武弘

修士論文

- 1) 小原祐樹:ポリマー薄膜中における CdS ナノ粒子の吸収および発光特性への外部電場効果
- 2) 森川武弘:高分子薄膜中における連結芳香族化合物の 蛍光への外部電場効果
- e. 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、分子環境学特論 II、中林孝和、 2003年11月26日
- 2) 地球環境科学研究科、光物理化学特論 I、太田信廣、 2003年10月1日~2004年3月31日
- 3) 地球環境科学研究科、分子環境学特論 II、太田信廣、 2003年10月1日~2004年3月31日
- 4) 全学部共通、化学 I、中林孝和、2003年4月1日~2003 年9月30日
- 5) 地球環境科学研究科、光分子化学実習、太田信廣、2003 年度
- 6) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読 I、太田信廣、2003年度
- 7) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読Ⅱ、太田信廣、2003年度
- 8) 地球環境科学研究科、光分子化学研究、太田信廣、2003 年度
- 9) 地球環境科学研究科、光分子化学特別研究、太田信廣、2003年度
- 10) 地球環境科学研究科、物質科学特論Ⅱ、太田信廣、2003 年4月1日~2003年9月30日
- 11) 地球環境科学研究科、光分子化学実習、中林孝和、2003 年度
- 12) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読 I、中林 孝和、2003年度
- 13) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読Ⅱ、中林 孝和、2003年度
- 15) 地球環境科学研究科、光分子化学特別研究、中林孝和、 2003年度
- f. 北大以外での非常勤講師(担当者、教育機関、講義名、 期間)
- 1) 太田信廣、東京工業大学理学部、「物理化学」特別講義、 2003年5月1日~2003年9月30日

g. ポスドク・客員研究員など

客員研究員(1名)

Jalviste Erko (Institute of Physics, University of Tartu) その他 (1名)

岩城裕司 (電子科学研究所)

- h. **外国人研究者の招聘**(氏名、国名、期間)
- 1) Erko Jalviste、Estonia、2002年9月2日~2003年6月29日

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~) 助手 武貞正樹 (北大院、理博、2001.7~)

科学研究支援員 野田菜摘子

COE 研究員 譚 明秋

院生 狩野 旬 (D3)、谷口博基 (D1)、渡邊一雄 (M2)、 中田洋平 (M1)、福永正則 (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り、その基本的物性定数などは材料物性上有意義なものではあるが、相転移現象では、物質が新しい相に転移しようとして示す不安定過程において大きな非線形性などまったく新しい性質が発現する。当研究分野では相転移現象においてこれらの新しい物性を探求し、電子科学材料物性の基本的解明を目指す。

2. 研究成果

(a) KDPの強誘電性 B₂ソフトモードの励起初期過程

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

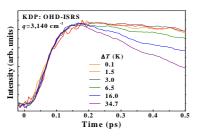


図 1. KDP の B₂モードの励起初期過程

(b) 高分解能・広帯域光散乱法による高分子ゲルのダイナ ミクスの研究

無秩序・複雑系である高分子ゲルの高分子ゲルネットワーク構造に起因した規則性のある動的階層構造を明らかにした。実験はポリー2-アクリルアミドー2-メチルプロパンスルホン酸(PAMPS)ゲルの光散乱で、セントラルピーク(CP)

スペクトルを観測した。その結果、図2に示すように三層の動的階層性があることが明らかになった。その緩和ダイナミクスをあらわす CP を半値半幅の大きい順に1stCP、2ndCP、3rdCPとしたとき、3rdCPが緩和時間(~10⁻⁸sec)を持つ高次の大スケール粗密構造のスローな揺らぎを反映していると考えられる。

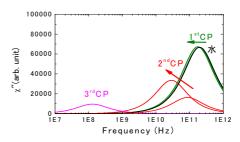


図2. PAMPS ゲルにおける3段階の緩和構造。矢印は 架橋度が増加したときの緩和時間の変化を示す。

(c) 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 $q=7.40\times10^3 {\rm cm}^{-1}$ において約 $13\,\mu{\rm s}$ と約 $130{\rm ns}$ の緩和時間を持つ2種類の緩和過程(図.3)が観測された。低振動数領域に少なくとも2つの緩和機構があり、低い振動数領域に階層構造を持つことが明らかにされた。

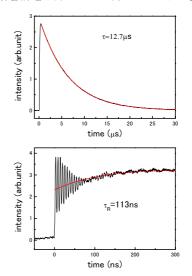


図3. 架橋度 0.5mol/I の PAMPS ゲルの熱緩和の シグナル(左)と構造緩和のシグナル(右)

(d) 電解質高分子ゲルのゲルダイナミクスの対イオン効 里

電解質ゲルでは、高分子イオンに結合する対イオンの存在がゲルを構成する高分子ネットワークの平衡構造の形成に重要な役割を担っている。本研究では、平衡状態における系の揺らぎと対イオン濃度の関係を光散乱法で調べてい

る。スペクトルはセントラル成分を持ち、水の動的振舞いに起因する緩和(~150GHz、~10GHz)と考えられ、イオンとの水和または高分子によって影響を受ける。高分子に起因する更に遅い緩和も観測された。また、ブリルアンピークはイオン濃度増加と伴に顕著に変化し(図4)、高分子ネットワークの収縮による粘弾性の変化を表している。

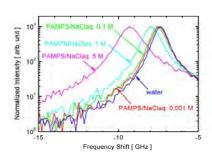


図4. 異なる濃度の NaCl 水溶液中の PAMPS ゲルの ブリルアンピーク

(e) SrTi¹⁸O₃の強誘電性相転移での誘電率異方性

強誘電体 SrTi ($^{18}O_{0.72}$) $^{16}O_{0.22}$) $_3$ (STO18-78)の強誘電性 E_a ソフトモードは、相転移転点以下で縮退が解け2つに(E_{al} 、 E_{al})分かれることを見いだした(図5)。これらのモードの起源を探るために自発分極 P_s の方向を外部電場の印加によって定め、それに垂直と平行な分極揺らぎによる誘電率の測定に成功した(図6)。その結果、転移点でピークを持つものと、持たないものが得られ、これらは前述の2つの揺らぎに対応する。これは光学モード周波数と誘電率とを関係づける LST 関係を満たしており、誘電率、フォノン測定の結果が一致したことを意味している。

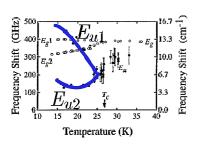


図5. STO18-78の ソフトモード

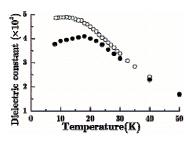


図 6. STO18-78 の 誘電率

(f) SrTiO₃における量子常誘電状態の光誘起効果

誘電体内で協力的相互作用とそれを妨げる量子揺らぎとの競合により出現する量子常誘電状態において、紫外光励起と DC バイアス電場を印加することで顕著な光・電場誘起誘電率増大効果を発見した。さらに、光誘起誘電分散の励起光エネルギー依存性がから、図7に示されているよう

に複素誘電分散の励起光エネルギー依存性が得られた。また、バンドギャップエネルギーEg (3.2eV) で最も高いピーク振動数が観測され、光誘起状態の動的構造が顕著な 励起エネルギー依存性を示すことが明らかになった。

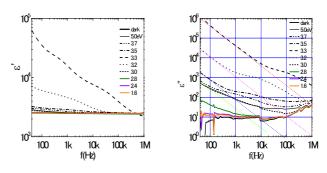


図7. 光誘起誘電分散の励起エネルギー依存性

(g) 量子揺らぎダイナミクス

物質中の "揺らぎ"を調べることは、相転移機構を解明する為の重要な手段である。これまで、誘電体の相転移物性は "熱揺らぎ"を用いて記述されてきた。しかし、近年発見された量子常誘電体と呼ばれる一連の物質は、極低温領域において "量子揺らぎ"が主要な役割を担っていると考えられる性質を示す。極低温光学測定用に特別に設計された³He 冷凍光学セルを用いて、100mW レーザー光入射の下で mK 領域の極低温におけるスペクトルをを世界で初めて観測した(図8)。この光学セルを用いて "熱揺らぎ"を極限まで抑制し、量子常誘電体における "量子揺らぎ"を光散乱スペクトルとして直接的に観測することで、"量子揺らぎ"のダイナミクスを解明する。

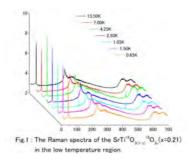


図8. mK 領域における STO18-21 ラマン散乱スペクトラム

3. 今後の研究の展望

この年度までは結晶などの空間周期性を持つ系における 相転移ダイナミクス解明してきた。今後はさらに研究対象 とする相転移を過冷却液体・ガラス転移にも拡大し、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

- M. Takesada, T. Yagi, M. Itoh, T. Ishikawa and S. Ko-shihara: "Photoinduced Phenomena in Quantum Paraelectric Oxides by Ultraviolet Laser Irradiation", Ferroelectrics (2003), to be published*
- M. Kasahara and T. Yagi: "Raman scattering study of Rb₃D_xH_{1-x}(SO₄)₂", J. Korean Phys. Soc., 42: S1287-S1289 (2003)*
- Y. Gorouya, Y. Tsujimi, M. Iwata and T. Yagi: "Brillouin scattering study on relaxor ferroelectric Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3}) O₃", Appl.Phys.Lett., 83: 1358-1360 (2003)*
- 4) T. Yagi, J. Kano, T. Watanuki, Y. Tsujimi and K. A. Nelson: "Femtosecond time-resolved spectroscopic study of the slow dynamics in the structural phase transition", J. Korean Phys. Soc., 42: S1012-S1016 (2003)*
- 5) Y. Minaki, M. Kobayashi, Y. Tsujimi, T. Yagi, M. Nakanishi, R. Wang and M. Itoh: "Hyper-Raman scattering of SrTi¹⁸O₃", J. Korean Phys. Soc., 42: S1290-S1293 (2003)*
- 6) T. Ishikawa, M. Itoh, M. Kurita, H. Shimoda, M. Takesada, T. Yagi and S. Koshihara: "Giant Photoconductivity in Quantum Paraelectric Oxides I", Ferroelectrics (2003), to be published*
- 7) M. Takesada, T. Yagi, M. Itoh and S. Kshihara: "A Gi-gantic Photoinduced Dielectric Constant of Quantum Paraelectric Perovskite Oxides Observed under a Weak DC Electric Field", J. Phys. Soc. Jpn., 72: 1-4 (2003)*
- 8) T. Azuhara, M. Takesada, T. Yagi, A. Shikanai, S. Chichibu, K. Torii, A. Nakamura, T. Sota, G. Cantwell, B. D. Eason and C. W. Litton: "Brillouin Scattering Study of ZnO", J. Appl. Phys., 94(2): 968-972 (2003)*
- 9) M. Takesada, M. Itoh, T. Yagi and S. Koshihara: ""Dielectric Enhancement in Quantum Paraelectric SrTiO₃ by UV Laser Irradiation under DC Electric Field"", Ferroelectrics, 286: 725-730 (2003)*
- 10) T. Ishikawa, M. Itoh, M. Kurita, H. Shimoda, M. Takesada, T. Yagi and S. Koshihara: "Giant Photoconductivity in Quantum Paraelectric Oxides II", Ferroelectrics (2003), to be published*
- 11) H. Hasebe, Y. Tsujimi, R. Wang, M. Itoh and T. Yagi: "Dynamical mechanism of the ferroelectric phase transition of SrTiO₃ studied by light scattering", *Phys. Rev. B*, 68: 014109 (2003)*
- 12) T. Watanuki, Y. Tsujimi, R. Wang, M. Itoh and T. Yagi: "Impulsive stimulated Ramans scattering of SrTi $(^{18}O_{x}^{6}O_{1-x})_{3}$ ", Ferroelectrics, 285: 33–39 (2003)*
- 13) H. Hasebe, Y. Tsujimi, R. Wang, M. Itoh and T. Yagi: "Light scattering study in ferroelectric SrTi¹⁸O₃", Ferroelectrics, 285: 27–31 (2003)*

- 14) T. Yagi, J. Kano, T. Watanuki, Y. Tsujimi and K. A. Nelson: "Phase transition dynamics studied by coherent phonon excitation with ultra-short laser pulses", Ferroelectrics, 285: 3-13 (2003)*
- 15) T. Watanuki, Y. Tsujimi, R. Wang, M. Itoh and T. Yagi: "Phonon-polariton dispersion relation of SrTi $(^{18}O_{x}^{16}O_{1-x})_{3}$ ", Ferroelectrics (2003), to be published*
- 16) J. Kano, T. Watanuki, Y. Tsujimi, K. A. Nelson and T. Yagi: "The extremely early stage of the ferroelectric B_{2}soft mode of KDP studied by the impulsive stimulated Raman scattering", Ferroelectrics, 285: 59-66 (2003)*

4.3 著書

T. Yagi, Y. Shiozaki, E. Nakamura and T. Mitsui: "Ferroelectrics and Related Substances, Oxides: Oxides other than Perovskite-type and LiNbO₃ family", Landolt-Bornstein III/36A2, Springer, 36: (2003)*

4.5 講演

a. 招待講演

i) 学会

1) 武貞正樹、八木駿郎、伊藤満、腰原伸也:「光は量子揺らぎを制御できるか?」、日本物理学会2003年秋期大会、岡山大学(2003-09)

ii)研究会・シンポジウム・ワークショップ

M. Takesada, S. Koshihara, M. Itoh, T. Ishikawa and T. Yagi: "PHOTOINDUCED PHENOMENA IN QUANTUM PARAELECTRIC OXCIDES BY ULTRAVIOLET LASER IRRADIATION", The NATO Advanced Research Workshop on the Disordered Ferroelectrics, Kiev, Puscha-Vodista, UKRAINE (2003-05)

b. 一般講演

i)学会

- 1) 武貞正樹、谷口博基、八木駿郎、伊藤満、腰原伸也:「量 子常誘電体 SrTiO₃における光-電場誘起巨大誘電応答 の分散関係」、日本物理学会第59回年次大会、九州 (2004-03)
- 2) 譚明秋、辻見裕史、王 瑞、伊藤満、八木駿郎:「SrTiO₃ のダブレット光散乱スペクトル」、日本物理学会第59 回年次大会、九州 (2004-03)
- 3) 綿貫丈雄、足立智、笹倉弘理、辻見裕史、八木駿郎、 武藤俊一:「4光波混合法による量子井戸・量子ドット のスピン緩和の観測」、日本物理学会第59回年次大会、 九州 (2004-03)
- 4) 野田菜摘子、武貞正樹、羅亮皓、J. Gong、長田義仁、 八木駿郎:「光散乱による塩含有電解質ゲルのダイナミ クス」、日本物理学会第59回年次大会、九州 (2004-03)
- 5) 福永正則、武貞正樹、羅亮皓、J. Gong、長田義仁、八 木駿郎:「高分子ゲルのパルス誘導光散乱」、日本物理 学会2003年秋期大会、岡山大学(2003-09)

- 6) 小豆畑敬、武貞正樹、八木駿郎、鹿内周、秩父重英、 鳥井康介、中村厚、宗田孝之、G. Cantwell、D. B. Eason、 C. W. Litton:「ZnO におけるブリルアン散乱」、日本物 理学会2003年秋期大会、岡山大学(2003-09)
- 7) 狩野旬、辻見裕史、K. A. Nelson、八木駿郎: 「KDPの強誘電性ソフト B₂モードの初期過程 III」、日本物理学会2003年秋期大会、岡山大学(2003-09)
- 8) 中田洋平、辻見裕史、王端平、伊藤満、八木駿郎: 「SrTi(¹⁸O_x¹⁶O_{1-x})₃の誘電異常と光散乱」、日本物理学会 2003年秋期大会、岡山大学 (2003-09)
- K. Watanabe, M. Takesada, T. Miyazaki, J. Gong, Y. Osada and T. Yagi: "Central Peak in the Light Scattering Spectra of Polymer Gels", The 10th European Meeting on Ferroelectricity (EMF2003), Cambridge, UK (2003-08)
- 10) J. Kano, Y. Tsujimi, K. A. Nelson and T. Yagi: "Initial Excitation Process of Ferroelectric B₂ Soft Mode in KD₂PO₄", The 10th European Meeting on Ferroelectricity (EMF2003), Cambridge, UK (2003-08)
- 11) Y. Tsujimi, M. Kobayashi, Y. Minaki, M. Nakanishi, R. Wang, M. Itoh and T. Yagi: "Light scattering studies of soft mode in SrTi¹⁸O₃", The 10th European Meeting on Ferroelectricity (EMF2003), Cambridge, UK (2003-08)
- 12) T. Watanuki, Y. Tsujimi, R. Wang, M. Itoh and T. Yagi: "Phonon–Polariton Dispersion Relation of SrTi $(^{18}O_x^{16}O_{1-x})_3$ ", The 10th European Meeting on Ferroelectricity (EMF2003), Cambridge, UK (2003–08)
- ii)研究会・シンポジウム・ワークショップ
- J. Kano, Y. Tsujimi, K. A. Nelson and T. Yagi: "How KDP gets the ferroelectric phase?", The 5th RIES-Hokudai Symposium, Advanced Nanoscience "織", Sapporo, Japan (2003-12)
- M. Takesada, N. Noda, K. Watanabe, M. Fukunaga and T. Yagi: "Light scattering study of Dynamics in Polymer Gels", The 5th RIES-Hokudai Symposium, Advanced Nanoscience "織", Sapporo, Japan (2003-12)
- 3) M. Kobayashi, Y. Tsujimi and T. Yagi: "Relaxation dynamics in glass-forming liquids studied by impulsive stimulated thermal scattering", The 3rd International Symposium on New Trend of Physics , Sapporo, Japan (2003-11)
- 4) N. Noda, K. Watanabe, M. Fukunaga, M. Takesada, Y. Na, J. Gong, Y. Osada and T. Yagi: "Study of dynamics in polymerelectrolyte gels by light scattering spectroscopy", The 3rd International Symposium on New Trend of Physics, Sapporo, Japan (2003–11)
- 5) M. Kobayashi, Y. Tsujimi and T. Yagi: "Relaxation dynamics in supercooled liquids studied by time-resolved spectroscopy", The 3rd International Symposium on Slow Dynamics in Complex Sysems, Sapporo, Japan (2003-11)
- 6) T. Ishikawa, M. Itoh, M. Kurita, H. Shimoda, M. Takesada,

T. Yagi and S. Koshihara: "Giant Photoconductivity in Quantum Paraelectric Oxides", The NATO Advanced Research Workshop on the Disordered Ferroelectrics, Kiev, Puscha-Vodista, UKRAINE (2003-05)

4.7 予算獲得状況

- a. **科学研究費補助金**(研究代表者、分類名、研究課題、 期間)
- 1) 辻見裕史、基盤研究 B 一般(2)、同位体元素置換により誘起された強誘電性の動的発現機構の解明(2002~2003年度)
- 2) 武貞正樹、若手研究 A (2)、量子揺らぎにおける非平 衡光誘起協力現象の機構解明 (2002~2004年度)
- 3) 八木駿郎、基盤研究 A 一般 (2)、コヒーレントフォノン励起法による量子ゆらぎダイナミクスの研究 (2002 ~2004年度)
- 4) 八木駿郎、学術創成研究費、"ソフト&ウエット型人工 筋肉の創出と生体代替運動システムへの応用"(2002 ~2006年度)

4.8 共同研究

- a. **所内共同研究**(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 辻井薫、松尾剛、厳虎、八木駿郎、武貞正樹(電子科学研究所):「異方性ヒドロゲルの創製とそのネットワークゆらぎ解析」、未定、2003~2005年度、ナノデバイス研究分野の辻井らが、世界で初めて開発した二分子膜固定化ゲルは、重合直前にシ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 社会教育活動

a. 公的機関の委員

- 1) 八木駿郎:学術審議会専門委員(2001年9月1日~2003 年8月31日)
- 2) 八木駿郎:高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所日英中性子散乱研究協力事業研究計画委員会委員(2001年9月1日~2003年8月31日)
- 3) 八木駿郎:高エネルギー加速器研究機構物質構造科学 研究所中性子共同利用実験審査委員会委員(2001年9 月1日~2003年8月31日)
- 4) 八木駿郎:日本学術振興会(2001年9月1日~2003年8月31日)
- 5) 八木 駿郎: 奨励研究員等審査員 (2001年9月1日~2003 年8月31日)

b. 国内外の学会の主要役職

- 1) 八木駿郎:日本物理学会代議員(2001年9月1日~2003 年8月31日)
- d. 修士学位及び博士学位の取得状況

修士課程(3名)

福永正則、中田洋平、渡邊一雄

修士論文

1) 渡邊一雄:高分解能・高帯域光散乱方による高分子ゲルのダイナミクスの研究

博士後期課程(2名)

谷口 博基、狩野 旬

博士論文

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

g. 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)

その他 (1名)

譚 明秋 (COE)

有機電子材料研究分野

教授 中村貴義 (東大院、理博、1997.4~) 助教授 芥川智行 (京大院、理博、2003.5~)

院生 西原偵文 (D3) 帯刀陽子 (D1) 高橋幸裕 (D1)

松浦憲政(M2)若原圭佑(M2)

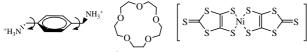
1. 研究目標

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、次世代のコンピューティングの基盤としての、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) 分子磁性体の組織化構造の制御に関する研究

磁性機能を有する [Ni(dmit)₂]結晶内に存在するカウンターカチオン構造に注目し、カウンターカチオン部分を超分子化学の観点から設計した。これは、[Ni(dmit)₂]分子の精密な配列制御を実現し、それに伴う磁性機能の制御を可能とする。今年度は、柔軟な構造形態を有する有機アンモニウムとクラウンエーテルから形成される超分子カチオン構造に着目して、新規な磁性機能を有する[Ni(dmit)₂]錯体の作製



 $XyDA^{2+}([15]crown\text{-}5)_2[Ni(dmit)_2]_2$

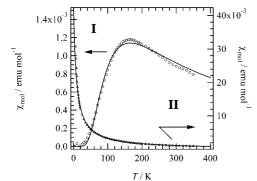


図 1. (XyDA^{2*})([15]crown-5)₂[Ni(dmit)₂]₂ 結晶多形 I と II の 磁化率の温度依存性。

を目標に研究を行った。その結果、Xylylenediammonium $(XyDA)^{2+}$ 及び Cyclohexanediammonium $^{2+}$ カチオンと種々のクラウンエーテル分子が複合化したカチオン構造を含む、12種類の新規 $[Ni(dmit)_2]$ 塩を作製する事に成功した。これらの超分子カチオン構造では、カチオンコンフォメーションの僅かな違いを反映して、結晶内での $[Ni(dmit)_2]$ 配列及び磁気物性の異なる結晶多形が観測された(図1:IとII)。本成果は、カチオン構造の精密設計が、 $[Ni(dmit)_2]$ 分子の配列及び磁性制御に対して、有効な手段である事を示している。

(b) f-π分子磁性体に関する研究

f-電子系のスピンを有するランタノイドイオン(Gd^{3+})を超分子カチオン内に導入した[$Ni(dmit)_2$]塩を作製した。2個の Gd^{3+} スピン(S=7/2)は、2個のOH-により架橋され、 $Gd_2([18]crown-6)_2(OH)_2(CH_3CN)_2$ 超分子構造を形成していた。これを、[$Ni(dmit)_2$]アニオン(S=1/2)と共存させた新規なf- π スピン系を作製した。結晶構造は、[$Ni(dmit)_2$]分子間の $S\sim S$ 接触によるネットワーク構造と孤立した超分子カチオン構造から構築されていた。磁化率の温度依存性は、[$Ni(dmit)_2$] π -スピンからの寄与に加えて、 Gd^{3+} イオン間に働く反強磁性的な超交換相互作用が120 K以下で観測された。現在、f- π スピン系が互いに強く相互作用する錯体に関する検討を進めている。

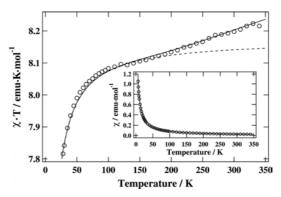


図 2. Gd₂[[18]crown-6)₂(OH)₂(CH₃CN)₂ [Ni(dmit)₂]₃ 塩の 磁化率の温度依存性。

(c) D-A型超薄膜の電子状態制御に関する研究

電子供与性(D)と電子受容性(A)から形成される電荷移動 錯体では、D 分子のイオン化ポテンシャル(I_p)と A 分子の電子親和力(E_a)に依存した多様な電子状態を創成する事が可能である。本研究では、次世代の分子エレクトロニクス素子への展開を考慮し、D - A 型の電荷移動錯体を Langmuir-Blodgett (LB)法を用いる事でナノスケールの薄膜 材料とし、その電子状態制御に関する研究を行った。

両親媒性の観点から新たに設計・合成した化合物 (1)を 用い、A 分子の E_A を調整する事で、電荷移動錯体 LB 膜の 作製を行った(図3)。作製した LB 膜の電子状態、基板上 での分子配向・表面構造に関する評価を試みた。

TCNQ 誘導体に導入した置換基に依存して、形成する LB 膜の電子状態の変化が観測された。電子スペクトル及び振

動スペクトル測定の結果、DとA分子が完全にイオン化した(D*)(A*)型の基底状態から(D°)(A°)型の中性の基底状態に至る、6種類の有機超薄膜構造を作製する事が可能であった。また、偏光スペクトル測定より、親水性基板上でのLB膜中の分子配向が図4のように決定された。(1)(TCNQ)及び(1)(decyl-TCNQ)錯体では、中性ーイオン性転移の境界領域の電子状態を有する電荷移動錯体である事から、これらの錯体を利用したナノスケールのスイッチング材料への展開について検討している。

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

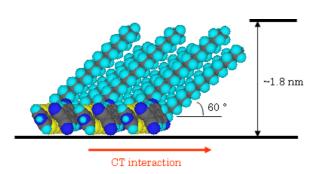
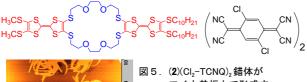


図 4 親水性基板上での(1)(TCNQ)錯体が形成する LB 膜の分子配向モデル。

(d) 分子集合体ナノワイヤに関する研究

これまでに、導電性・イオン認識・両親媒性の観点から設計した分子 2 が形成する電荷移動錯体 $(2)(F_4-TCNQ)_2$ に LB 法を適用する事で、分子集合体ナノワイヤが優先的に形成する事を見出している。アクセプター分子である TCNQ 誘導体の E_A を変化させる事で、ナノワイヤの電子状態や導電性を制御する研究を行った。($(2)(Cl_2-TCNQ)_2$ 及び $(2)(Br_2-TCNQ)_2$ が形成する電荷移動錯体(図5)においても、LB 法を適用する事で分子集合体ナノワイヤが形成可能である事が明らかとなった。その電気伝導性は、 $\sim 10^{-4}$ Scm⁻¹ 程度であった。現在、伝導性のさらなる向上による安定な金属状態の出現を目指した分子設計を進めている。



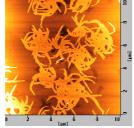


図 5 . (**2**)(Cl₂-TCNQ)₂錯体が マイカ基板上で形成す る分子集合体ナノワイ ヤの AFM 画像。

3. 今後の研究の展望

我々は、分子集合体=分子性導体・磁性体を用いて、分子デバイス構築に不可欠な材料創製を行っており、単一分子エレクトロニクス研究が隆盛を極めている状況の中で、これらの研究は特徴的であると言える。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は、ユニット間のフロンティア軌道の重なりが重要なのであって、それよりエネルギー的に深いところにある共有結合は、そういう意味で本質的な存在ではない。

一方、分子集合体を積極的に利用することで様々な利点が生まれる。最大の利点は、単一分子では達成できない分子間の相互作用や、多数の分子による協同現象に基づく機能を利用できる点である。さらに分子集合体の柔らかさ、すなわち共有結合で機能ユニットが繋がっていないために、ある程度分子間の相互作用を時空間的に制御できること、を利用したデバイス動作の道も拓けてくる。これらの研究を進捗することで、分子エレクトロニクス科学の確立に寄与したいと考えている

4. 資料

4.1 学術論文等

- T. Akutagawa, T. Uchimari, K. Sakai, T. Hasegawa and T. Nakamura: "Bidentated Hydrogen Bond from[O-H··· N-N···H-O] to [O-···+H-N-N-H+···-O] Structures in Solids", J. Phys. Chem. B, 107: 6248-6251 (2003)*
- S. Nishihara, T. Akutagawa, T. Hasegawa and T. Nakamura: "Crystal Structure and Magnetic Properties of Gd₂ ([18]crown-6)₂ (OH)₂ (CH₃CN)₂[Ni(dmit)₂]₄Complex Having f- and π-spins", *Inorg. Chem.*, 42: 2480-2482 (2003)*
- 3) S. Takeda, G. Maruta, T. Akutagawa, T. Hasegawa and T. Nakamura: "Dynamic behavior of ammonium ion in the crown ether cavity within Ni(dmit)₂ salt as studied by solid-state NMR", Synth. Met., 133-134: 427-429 (2003)*
- 4) T. Naito, T. Inabe, T. Akutagawa, T. Hasegawa and T. Nakamura: "ET₃(MnCl₃₂(EtOH)₂: A New Organic Conductor with a Perovskite Structure", Synth. Met., 133-134: 445-447 (2003)*
- 5) H. Miyata, Y. Tatewaki, T. Akutagawa, T. Ohta, T. Hasegawa, T. Nakamura, C. A. Christensen and J. Becher: "Langumuir-Blodgett Films of Bis-Tetrathiafulvalene Substituted Macrocycle and TCNQ Derivatives", *Thin Solid Films*, 438-439: 1-6 (2003)
- 6) K. Ikegami, T. P. Majumder, M. Lan and T. Nakamura: "Molecular Orientation of Langmuir-Blodgett Films of AlkylDCNQI-Cu and AlkylTCNQ-Cu Complexes", Transactions of the Materials Research Society of Japan, 28: 51-54 (2003)*
- T. Hasegawa, T. Akutagawa and T. Nakamura: "Novel Magnet-Lattice Transition in the Mixed-Stack Charge-Transfer Complexes with Inter-Columner Networks", Synth. Met., 133-134: 623-625 (2003)*
- 8) T. Naito, T. Inabe, T. Akutagawa, T. Hasegawa, T. Na-kamura, Y. Hosokoshi and K. Inoue: "Physical Properties of (ET)₃(MnCl₄)(TCE) and the Related Salts", Synth. Met., 135–136: 613–614 (2003)*
- 9) Y. Tatewaki, T. Akutagawa, T. Hasegawa, T. Nakamura and J. Becher: "Structural Modification of Molecular Nanowires Composed of DialkylmacrocyclicbisTTF-F₄TCNQ Complex", Synth. Met., 137: 933-934 (2003)*
- 10) A. Akutsu-Sato, H. Akutsu, S. S. Turner, D. L. Pevelen, P. Day, M. E. Light, M. B. Hursthouse, T. Akutagawa and T. Nakamura: "Structures and Physical Properties of BEDT-TTF Salts Containing Channels of Protons", Synth. Met., 135-136: 597-598 (2003)*
- 11) T. Akutagawa, A. Hashimoto, S. Nishihara, T. Hasegawa and T. Nakamura: "Structures of Flexible Supramolecular Cations (1,4-Cyclohexanediammonium²⁺)(Crown Ethers)₂ in [Ni(dmit)₂] Salts", J. Supramol. Chem., 2: 175-186

(2003)*

- 12) K. Sakai, T. Akutagawa, T. Hasegawa and T. Nakamura: "The d-L(π)- π Type of Charge-Transfer Salt [Cu (Me-tri)₂][Ni(dmit)₂]₂: Correlation between Copper(II) d-and Ni(dmit)₂ π -Electrons via π -conjugated Macrocyclic Ligands", *PhysChemChemPhys*, 5: 2469-2475 (2003)*
- 13) S. Nishihara, T. Akutagawa, T. Hasegawa, S. Fujiyama, T. Nakamura and T. Nakamura: "1H-NMR of [Ph(NH₃)] (18-crown-6)[Ni (dmit) ₂] Having Molecular Spin Ladder Structure", Synth. Met., 137: 1279-1280 (2003)*

国際会議議事録等に掲載された論文

- H. Sakamoto, K. Mizoguchi and T. Hasegawa: "ESR studies of mixed-stack charge-transfer compounds of (BEDT-TTF) analogs under pressure", Synth. Met., 135-136(4): 611-612 (2003)*
- T. Naito, T. Inabe, T. Akutagawa, T. Hasegawa and T. Nakamura: "ET₃(MnCl₃)₂(EtOH)₂: a new organic conductor with a perovskite structure", Synth. Met., 133-134: 445-447 (2003)*
- S. Nishihara , T. Akutagawa, T. Hasegawa, T. Nakamura, S. Fujiyama and T. Nakamura: "Magnetic and ¹H-NMR Spectroscopic Studies of [Ph(NH₃)](18-crown-6) [Ni (dmit)₂] Having Molecular Spin Ladder Structure", Synth. Met., 137(1-3): 1279-1280 (2003)*
- 4) T. Hasegawa, T. Akutagawa and T. Nakamura: "Novel magneto-lattice transition in the mixed-stack chargetransfer complexes with intercolumnar networks", Synth. Met., 133-134: 623-625 (2003)*
- 5) T. Naito, T. Inabe, T. Akutagawa, T. Hasegawa, T. Na-kamura, Y. Hosokoshi and K. Inoue: "Physical properties of (ET)₃(MnCl₄)(TCE) and the related salts", Synth. Met., 135–136(4): 613–614 (2003)*
- 6) K. Miyagawa, K. Kanoda, A. Kawamoto and T. Hasegawa: "Site-selective NMR Study of Neutral-Ionic Transition in (BEDT-TTF)(Cl,MeTCNQ)", Synth. Met., 135-136(4): 619-620 (2003)*
- 7) Y. Tatewaki, T. Akutagawa, T. Hasegawa, T. Nakamura and J. Becher: "Structural modification of molecular nanowires composed of dialkylmacrocyclicbis TTF-F4TCNQ complex", Synth. Met., 137(1-3): 933-934 (2003)*

4.3 著書

- 1) 中村貴義:「第5章 有機デバイスの開発状況とその将来性 第6節 分子エレクトロニクス素子」、有機トランジスタの動作性向上技術[材料開発、作製法、素子設計]、技術情報協会、309-321 (2003)
- 中村貴義:「分子性ナノワイヤの構築」、化学のフロンティア:分子ナノテクノロジー、化学同人、101-113 (2003)

4.4 特許(発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

a. 国内特許

- 1) 中村貴義、芥川智行: 2003-276273、有機半導体薄膜作 製材料、有機半導体薄膜構造体および有機半導体薄膜 の作製方法、2003年7月1日
- 2) 中村貴義、芥川智行: 2003-276375、有機半導体ドット 作製材料、有機半導体ドット構造体および有機半導体 ドットの作製方法、2003年7月1日
- 3) 中村貴義、芥川智行: 2003-274290、低分子オルガノゲル化剤およびこれを用いた低分子オルガノゲル2003年7月1日

4.5 講演

a. 招待講演

- T. Nakamura: "Supramolecular Systems of Molecular Conductors and Magnets Toward Nanodevices", Dynamic Energy Landscapes and Functional Systmes, Santa Fe, New Mexico, USA (2004-03)
- T. Nakamura, T. Akutagawa and J. Becher: "Nanostructures of Molecular Conductors", Korea Japan Joint Forum 2003 "Organic Materials for Electronics and Photonics", Busan, Korea (2003–09)
- 3) T. Nakamura, S. Nishihara, K. Shitagami, T. Akutagawa and S. Takeda: "Large Amplitude Molecular Rotation in [Ni(dmit)₂} Magnetic Crystals: Towards Supramolecular Motor", UK-Japan Meeting on Molecular Electronics: Putting Molecules in Their Place, Killin, Loch Tay, Scotland (2003-09)
- 4) 中村貴義:「分子集合体からのアプローチ」、JST-CREST「電極問題」ワークショップ、東京(2003-12)
- 5) 中村貴義、芥川智行:「超分子カチオンを含む導電性・磁性物質の構造と機能」、第11回日本化学会有機結晶部会シンポジウム、仙台(2003-11)
- 6) T. Nakamura: "Molecular Systems of Conductors and Magnets; toward the Realization of Nano-Molecular Electronics", NATO Advanced Study Institute "Organic Conductors, Superconductors and Magnets: From Synthesis to Molecular Electronics, Corfu, Greece (2003-04)
- T. Nakamura: "Supramolecular Assemblies of Conductors and Magnets", Indo-Japan seminar on Molecular and Supramolecular materials, Bangalore, India (2004-03)

b. 一般講演

i)学会

- 1) 武田啓司、中村貴義、川口洋平、栗城眞也:「高温超伝 導 DC マイクロ SQUID 磁東計の試作」、日本物理学会 第59回年次大会、福岡 (2004-03)
- 2) 西原禎文、芥川智行、中村貴義、大平聖子:「磁気希釈した分子性スピンラダー[Ph(NH₃)]([18]crown-6) [Ni(dmit)₂]_{1-x}[Au(dmit)₂]_x の磁気物性」、日本化学会第84 春季年会、西宮(2004-03)

- 3) 加藤恵一、芥川智行、中村貴義:「BO型マクロサイクリック TTF の合成及び F₄TCNQ 錯体の LB 膜構造」、 日本化学会第84回春季年会、西宮 (2004-03)
- 4) 芥川智行、中村貴義、J. Becher:「マクロサイクリック TTF 誘導体が形成するナノドット構造」、日本化学会 第84春季年会、西宮 (2004-03)
- 5) 帯刀陽子、芥川智行、中村貴義、長谷川裕之、益子信郎、J. Becher:「分子集合体ナノワイヤー金微粒子複合構造の光、電気物性」、日本化学会第84春季年会、西宮(2004-03)
- 6) 帯刀陽子、芥川智行、中村貴義、J. Becher: 「2鎖型マクロサイクリック TTF-F4TCNQ 錯体からなるナノワイヤー金コロイド複合構造の作成」、日本化学会北海道支部2004年冬季研究発表会、札幌(2004-02)
- 7) K. Matsuura, S. Nishihara, T. Akutagawa and T. Nakamura: "Structures and Magenetic Properties of [Ni(dmit)₂]Salts with Chiral Ammonium Cation", International Symposium on Crystalline Organic Metals Superconductors and Magnets(ISCOM), Port-Bourgenay, France (2003–09)
- 8) S. Nishihara, T. Akutagawa and T. Nakamura: "Magnetic Studies of Diluted Molecular Spin Ladder, [Ph(NH₃)([18]crown-6)[Ni(dmit)₂]_{1-X}[Au(dmit)₂]_X", International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets, ISCOM2003, PortBourgenay, France (2003-09)
- 9) Y. Tatewaki, T. Akutagawa, T. Nakamura and J. Becher: "Hybrid Structures between Molecular Nanowires of bis(TTF)macrocycle-F₄TCNQ Complex and Au Nanoparticles", International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets.(ISCOM2003), Nante, France (2003-09)
- 10) T. Nakamura, S. Nishihara, K. Shitagami, T. Akutagawa and S. Takeda: "Supramolecular Rotor Structure in [Ni(dmit)₂] Magnetic Crystals", Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets, ISCOM 2003, PortBourgenay, France (2003–09)
- S. Nishihara, T. Akutagawa, T. Hasegawa, T. Nakamura, Y. Hosokoshi, K. Inoue and S. Takeda: "Electrical Resistivity of Carrier Doped Molecular Spin Ladder, [Ph(NH₃) ([18]crown-6)[Ni(dmit)₂]", International Conference on Magnetism, Rome, Italy (2003–07)
- 12) T. Nakamura, K. Shitagami, S. Nishihara, T. Akutagawa and T. Hasegawa: "Magnetic Solids of [Ni(dmit)₂] with Cations Having Rotational Degree of Freedom", International Conference on Magnetism, Rome, Italy (2003-07)
- 13) S. Nishihara, T. Akutagawa, T. Hasegawa, T. Nakamura, Y. Hosokoshi, K. Inoue and S. Takeda: "Diluted Molecular Spin Ladder, [Ph(NH₃)([18]crown-6)[Ni(dmit)₂]_{1-X}[Au (dmit)₂]_x", International Conference on Theoretical Trends

in Low Dimensional Magnetism, Firenze, Italy (2003-07)

- ii)研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) K. Wakahara, H. Miyata, Y. Tatewaki, T. Akutagawa, T. Nakamura and J. Becher: "LANGMUIR-BLODGETT FILMS OF C_{60} -MACROCYCLIC TTF", Frontiers of Physical Chemistry on Molecular Materials, 名古屋 (2004-01)
- 2) 若原圭佑、宮田英人、帯刀陽子、芥川智行、中村貴義、 J. Becher:「C₆₀ーマクロサイクリック TTF 誘導体 LB 膜における表面圧誘起電荷移動」、第26回フラーレン・ ナノチューブ総合シンポジウム、岡崎(2004-01)
- 6) 芥川智行:「両親媒性 TTF 誘導体が形成する多様な表面ナノ構造」、第5回研究会イン沖縄(2003)機能性分子の設計・合成戦略と計測技術の現在そして未来、那覇(2003-04)

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) 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
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 中村貴義、萌芽研究、固相での分子モーターの構築、 2002~2003年度
- 5) 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
- 6) 中村貴義、基盤研究 B 一般、二次元有機半導体による圧力下中性一イオン性転移、2001~2003年度

4.8 共同研究

- a. **所内共同研究**(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 石橋晃、徳本洋志、末宗幾夫、中村貴義、近藤憲治(電子科学研究所):「極微細接合素過程に対する次元・空間配位の影響の研究」、2003~2004年度、未定、次元数表記で3-0-3、3-2-0-2-3などの従来行われてきた接合構造・配置に対し、特に3-2-0-R2-3(R2は相対的に回転した2次元面であることを示す)の極微細接合について理論的に考察するとともに、この構造(ユニット)を作るための要素技術を確立する。
- 2) 中村貴義、長谷川達生、芥川智行、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。
- b. **民間等との共同研究**(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 中村貴義 (㈱富士通研究所):「分子エレクトロニクス 材料の研究」、2001~2003年度、3,000千円、本研究に おいては、機能性分子を自己集積させることにより、 分子デバイス等の基本となる複雑なアーキテクチャー を容易に構築する方法を確立し、さらにその高度に秩 序だった組織体における、分子あるいは分子集合体間 の協同的な相互作用に基づく複合的な機能を開拓する ことを目的に、有機導電性・磁性物質の分子集合体の 構築と機能評価について研究を行う。
- c. 大型プロジェクト・受託研究(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 中村貴義(独立行政法人 通信総合研究所):「ウエット法による有機ナノ構造構築技術の調査研究」、2003年度、7,000千円、個一液界面での分子の自己組織化により、ナノスケールデバイス、システムを構築する可能性を検討する。Langumuir-Blodgett(LB)法などのウエット手法を用いて有機物(誘導体、半導体)などのナノメートルサイズの構造の形成を行い、分子デバイス構築の新しい基盤技術として可能性を調査する。
- 2) 中村貴義、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。
- e. COE 関係(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、 研究内容)
- 1) 中村貴義、川端和重(21世紀 COE):「チューブリンを 用いたナノデバイス構築技術」、2002~2003年度、未定、 生体内に存在するチューブリンは、自己組織化により チューブ構造を形成する。この分子を用いることによ り、ナノワイヤのワイヤリングがより容易に行える可 能性がある。そこで、マイカ基板等にチューブリン組

織体を構築し、AFMにより構造評価を行うことを目的に研究を行う。さらに、コルヒチンやタキソールを用いてチューブリン組織体の形成を制御し、ネットワーク構造などの高次構造を実現する等を将来的に目指す。

4.10 社会教育活動

d. 修士学位及び博士学位の取得状況

修士課程(2名)

若原圭佑、松浦 憲政

博士後期課程 (3名)

带刀陽子、高橋幸裕、西原禎文

修士論文

- 1) 若原圭佑: TTF 誘導体からなる LB 膜の作製および構造評価
- 2) 松浦 憲政: キラルアンモニウムカチオンを導入した [Ni(dmit),]錯体の構造と磁性

博士論文

- 1) 西原禎文:超分子カチオンを利用した分子性スピンラ ダーの作製と物性
- e. 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、大気環境特論 I、中村貴義、2003 年10月1日~2004年3月31日
- 2) 地球環境科学研究科、光分子化学特別研究、芥川智行、2003年度
- 3) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読 I、芥川 智行、2003年度
- 4) 地球環境科学研究科、光分子化学実習、芥川智行、2003 年度
- 5) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読 II、芥川 智行、2003年度
- 6) 地球環境科学研究科、光分子化学研究、芥川智行、2003 年度
- 7) 地球環境科学研究科、光分子化学研究、中村貴義、2003 年度
- 8) 地球環境科学研究科、光分子化学実習、中村貴義、2003 年度
- 9) 地球環境科学研究科、光分子化学特別研究、中村貴義、2003年度
- 10) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読 I、中村 貴義、2003年度
- 11) 地球環境科学研究科、物質環境科学論文購読Ⅱ、中村 貴義、2003年度
- 12) 全学部共通、一般教育演習「分子エレクトロニクス」、 中村貴義、2003年度
- 13) 全学部共通、総合講義「先端の化学」、中村貴義、2003 年度

g. 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 (1名)

Ren Xiao Ming (電子科学研究所)

その他 (1名)

藤縄 祐(電子科学研究所)

- h. **外国人研究者の招聘**(氏名、国名、期間)
- 1) Ren Xiao Ming、China、2003年11月30日~2004年11月29 日

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 熊野英和(北大院, 理修, 1997.4~)

院生 海老原正人(D1), 中川啓志(M2), 飛高功明 (M2),

中屋大佑(M1), 豊田啓貴(M1), 寺田一教(M1),

木村 聡(U4), 宮本知幸(U4)

1. 研究目標

半導体の原子レベル構造制御,ナノ構造制御により,量 子情報通信,量子情報処理への応用を目指す。

2. 研究成果

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

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

この発光波長の長波長化の主要因を、InAs 膜厚方向の量子閉じ込め、膜中のひずみ、ヘテロ構造境界におけるポテンシャル不連続、等を考慮する簡単な理論計算で検討した。その主な結論として、InAs 量子ドットにおけるひずみは、InAs における圧縮ひずみと GaAsN における引っ張りひずみの体積比を考慮した平均ひずみに応じて減少すると仮定して説明できる。また発光効率の増大は系の平均ひずみの減少と対応し、最大の発光効率はほぼ平均ひずみが零となったN組成で観測されている。

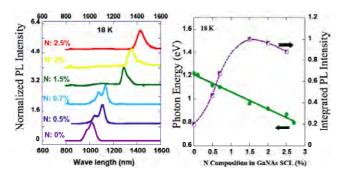


図 1. InAs 量子ドットを埋め込む GaAsN 層の N 組成による発光波 長の長波長化と発光強度の N 組成依存性。

(b) InAs 量子ドットを内包したマイクロディスクレーザ の室温発振

量子ドットは離散的なエネルギー準位を持つため、これ を特定の共振器モードと結合させることにより、従来より 極めて効率の良いレーザができる可能性がある。特に上述 の検討から GaAsN ひずみ補償層を持つ InAs 量子ドットは, 従来の量子ドットよりは高い発光量子効率を持ち、室温で もより高い発光効率を維持する可能性がある。そこで InAs 量子ドット/GaAsN を埋め込んだマイクロディスク微小光 共振器を作製し、その発光波長の温度安定性の検討を進め、 マイクロディスクレーザの開発を進めた。GaAs 基板の上に AlosGaosAs を0.5µm 成長した後, GaAsN で埋め込んだ InAs 量子ドット2スタックを上下から90nm 厚さの GaAs 層では さんだ構造となっている。この表面にレジストと電子ビー ム露光により円形のマスクを作製し, NH₃OH:H₂O:H₂O = 2:1:10等のスーパーオキソル系のエッチング液で GaAs 層 をエッチングした後、下の Alas Gaas As 層を HF で横方向に サイドエッチしてマイクロディスクができあがる。

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

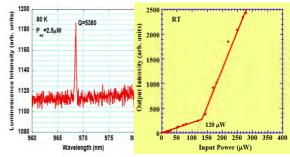


図2. GaAsN 埋め込み層でひずみ補償した InAs 量子ドットを埋め 込んだマイクロディスク共振器からの発光スペクトルと室 温レーザ発振特性。

(c) ZnCdS 単一局在状態からの鋭いスペクトルの観測

今後量子情報処理を進めるために量子位相ゲートが主要な役割を果たす。量子通信とも適合性の良い光子を用いた処理では、光と電子の結合を強くしてより大きな光非線形性を実現する必要があり、振動子強度の大きいワイドギャップ半導体が有望である。この方向へさらに研究を進めるには、ワイドギャップ半導体単一量子ドットの実現と、微小なモード体積と大きな共振 Q 値を持つ微小光共振器と組み合わせることが必要である。

これまで ZnS 系のピラミッド構造微小光共振器で5000近い高い共振 Q 値を観測しており、この共振器材料と適合性の良い ZnCdS/MgS 短周期超格子を微小領域 (〜0.5・m 角)に選択成長し、その発光特性を検討した。その結果、図3

に示すシャープな発光を観測した。この場合の ZnCdS 井戸 幅は0.8nm、MgS バリア厚は0.7nm で有り、計算でも隣接す る井戸間でトンネルする確率が大きい構造である。これに 対して ZnCdS 井戸幅が2.0nm, MgS バリア厚が1.0nm とよ り層厚の厚い構造で、計算でのトンネル確率が低く実験的 にもキャリアの輸送効率が低い構造では、このようなシャ ープな発光ピークは観測されなかった。通常 ZnCdS 等の混 晶半導体では空間的なポテンシャル揺らぎによって局在準 位が多数形成され、それらの発光の積分はブロードな発光 として観測されるが、特にバリアを通してトンネルする確 率が高い場合には、高いエネルギーを持つ局在状態からト ンネリングによって隣接するよりエネルギーの低い局在状 態にキャリアが移っていき、発光センターとして生き残る のは特に深いエネルギー準位を持つ小数の局在状態だけと なり、図3のような鋭い単一局在状態の発光が観測される と思われる。

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

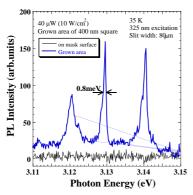


図3. ZnCdS 混晶から観測された単一局在準位のシャープな 発光ピーク。

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

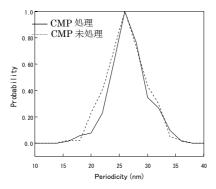


図4. SiC ナノファセット周期性の基板平坦度依存性

応用上重要であるより完全性の高い構造を得るためのパラメータに関しての知見を得た.より周期性が高くかつステップ端が直線的なナノファセット構造は、エッチング前の基板平坦度およびエッチング温度依存性が大きいことがわかった.図4に基板平坦性依存性を示す.エッチング処理前に CMP 処理を行った基板と通常の基板との比較を行った.CMP 処理によりミクロンオーダーの凹凸が減少し、それにより直線的なステップ端が実現したことによる.

(e) SiC ナノ表面上のヘテロ構造制御に関する研究

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

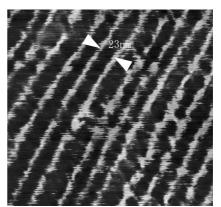


図5. SiC ナノファセット上の GaN 量子細線の AFM 像

3. 今後の研究の展望

これまで基盤研究として、InAs 系、ZnCdS 系、GaN 系ナノ構造の構造制御の研究を進めてきた。特に GaN 系に関してはこれからの基板として注目を集めている SiC の表面原子制御に成功し、新しい GaN ナノ構造作製技術の開拓が進みつつある。一方 InAs 量子ドットの GaAsN 埋め込み層によるひずみ補償によって光ファイバー通信用の1.5μm 発光の実現、さらに単一量子ドットを実現する技術も確立しつつある。これによって今後この波長帯で量子暗号通信に使用される単一光子を確実に高速に発生する量子ドット光子発生器の研究を進める。またこれと並行して、単一量子ドットを微小光共振器に結合する研究を進めつつあり、特に振動子強度の大きい ZnCdS 等ワイドギャップ半導体で実現すれば大きな光非線形が期待され、これに基づいて量子情報処理の基幹デバイスの研究を進める。

4. 資料

4.1 学術論文等

- 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)*
- W. Zhou, K. Uesugi and I. Suemune: "1.6- μ m Emission from GaInNAs with Indium-induced Increase of N Composition", Appl. Phys. Lett., 83(10): 1992-1994 (2003)*
- S. Tanaka, L. J-S., P. Ramvall and H. Okagawa: "A UV light-emitting diodes incorporating GaN quantum dots", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2: (2003)*
- 4) H. Kumano, Y. Hitaka and I. Suemune: "Emissions from Single Localized States Observed from ZnCdS Ternary Alloy Mesa Structures", Appl. Phys. Lett., 82(24): 4277-4279 (2003)*
- 5) S. Ganapathy, X. Q. Zhang, I. Suemune, K. Uesugi, k. J. Bong and T. Y. Seong: "GaNAs as strain compensating layers for 1.55 um light emission from InAs Quantum Dots", Jpn. J. Appl. Phys., 42(9A Part1): 5598-5601 (2003)*
- 6) X. Zhang, S. Ganapathy, I. Suemune, H. Kumano, K. Uesugi, Y. Nabetani and T. Matsumoto: "Improvement of InAs Quantum-dots Optical Properties by Strain Compensation with GaNAs Capping Layers", Appl. Phys. Lett., 83(22): 4524-4526 (2003)*
- 7) S. Ganapathy, M. Kurimoto, T. Periyasamy, K. Uesugi, I. Suemune, H. Machida and N. Shimoyama: "Observation of reflection high-energy electron diffraction oscillation during metalorganic-molecular-beam epitaxy of AlAs and control of carbon incorporation", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 94(8): 4871-4875 (2003)*
- H. Nakagawa, S. Tanaka and I. Suemune: "Self-ordering of Nanofacets on Vicinal SiC Surfaces", *Phys. Rev. Lett.*, 91(22): 226107 (2003)*
- J. Kato, S. Tanaka, S. Yamada and I. Suemune: "Structural Anisotropy in GaN Films Grown on Vicinal 4H-SiC Surfaces by Metalorganic Molecular-beam Epitaxy", Appl. Phys. Lett., 83(8): 1569-1571 (2003)*
- 10) B. J. Kim, Y. W. Ok, T. Y. Seong, A. A. Ashrafi, H. Kumano and I. Suemune: "Structural Properties of CdO Layers Grown on GaAs(001) Substrate by Metalorganic Molecular-beam Epitaxy", J. Cryst. Growth, 252: 219-225 (2003)*

4.3 著書

1) 田中悟、青柳 克信:「ナノ構造の作製技術」、ナノテク

4.5 講演

a. 招待講演

- I. Suemune, S. Ganapathy, K. Uesugi and H. Kumano: "Low-energy-gap III-V-N Semiconductors and Related Quantum Nanostructures for Optical-fiber Communications", International Conference on Optoelectronics Technology (ICOT-2004), Jalgaon (Maharashtra), India (2004-01)
- H. Kumano and I. Suemune: "Pyramidal-shaped Optical Microcavities and Preparation of Atom-like States", Pre-Conference of IEEE International Semiconductor Laser Conference 2004 (IEICE LQE/OPE Technical Meeting), Kobe, Japan (2003-12)
- 3) I. Suemune, K. Uesugi, S. Ganapathy, M. Kurimoto, W. Zhou and T. Periyasamy: "MOMBE Growth of III-V-N-based Quantum Wells and Quantum Dots Emitting above 1.3mm", The 16th Annual Meeting of the IEEE Lasers & Electro-Optics Society (LEOS 2003), Tucson, USA (2003-10)
- 4) I. Suemune, A. A. Ashrafi, M. Ebihara, M. Kurimoto, H. Kumano, T. Y. Seong, k. J. Bong and W. O. Young: "Epitaxial ZnO Growth and p-Type Doping with MOMBE", 11th II-VI International Conference on II-VI Compounds, Niagara Falls, USA (2003-09)
- 5) 末宗幾夫、植杉克弘、ガナパシー サシカラ:「III-V-N 系窒化物混晶半導体の光物性」、秋季第64回応用物理学 関係連合講演会 半導体 B 分科内招待講演、福岡 (2003-08)
- I. Suemune and H. Kumano: "II-VI Quantum Dots: Physics and Applications", the 12th International Workshop on the Physics of Semiconductor Devices, Chennai, India (2003-12)
- I. Suemune, M. Kurimoto, A. A. Ashrafi, M. Ebihara and H. Kumano: "Growth of p-Type ZnO by MOMBE and Study of Ohmic Contacts", International Symposium on Scientific and Industrial Nanotechnology 2003 (IS-SIN-2003), Osaka, Japan (2003-12)
- 8) I. Suemune, S. Ganapathy, K. Uesugi and T. Periyasamy: "Quantum Dots: Self-organization and Strain-issue", RIES-Symposium, Sapporo, Japan (2003–12)

b. 一般講演

i) 学会

- 1) 熊野英和、飛高功明、末宗幾夫:「顕微 TRPL による ZnCdS 混晶中離散化局在中心への励起子分布」、2004 年春季第51回応用物理学関係連合講演会講演予稿集、 東京(2004-03)
- 2) 海老原 正人、栗本誠、熊野英和、飛高功明、末宗幾夫: 「MOMBE 法による ZnO の ALE 成長」、2004年春季第

- 51回応用物理学関係連合講演会講演予稿集、東京(2004-03)
- 3) 栗本誠、海老原 正人、飛高功明、熊野英和、植杉克弘、 末宗幾夫:「窒素ドープ ZnO の電子線照射処理効果」、 2004年春季第51回応用物理学関係連合講演会講演予稿 集、東京 (2004-03)
- 4) 松村 直樹、武藤俊一、ガナパシー サシカラ、末宗幾 夫、沼田 乾、藪田 湖納美:「GaNAs 歪み補償層によ って埋め込まれた InAs 自己集合量子ドットの歪み異 方性」、2004年春季第51回応用物理学関係連合講演会講 演予稿集、東京(2004-03)
- 5) 木村 聡、熊野英和、栗本誠、末宗幾夫:「微小光共振器との結合を目指した Solid Immersion Lens(SIL)の基礎研究」、第39回応用物理学会北海道支部学術講演会講演予稿集、札幌 (2004-01)
- 6) 海老原 正人、栗本誠、熊野英和、末宗幾夫:「MOMBE 法により成長した ZnO における N ドーピングと As ドーピングの比較」、第39回応用物理学会北海道支部学術 講演会講演予稿集、札幌 (2004-01)
- L. J-S., S. Tanaka, P. Ramvall and H. Okagawa: "GaN quantum dot UV light-emitting diode", 2003 MRS Fall Meeting, Boston, USA (2003-12)
- S. Tanaka, H. Nakagawa and I. Suemune: "SiC surface nanostructures induced by self-ordering of nanofacets", International Conference on SiC and Related Materials 2003 (ICSCRM 2003), Lyon, France (2003–10)
- M. Kurimoto, A. A. Ashrafi, M. Ebihara, H. Kumano and I. Suemune: "Formation of ohmic contacts to p-type ZnO", 11th II-VI International Conference on II-VI Compounds, Niagara Falls, USA (2003-09)
- 10) D. Nakaya, Y. Hitaka, S. Kimura, H. Kumano and I. Suemune: "Study of Optimal Coupling of ZnS Pyramidal Microcavities with Distributed Bragg Reflectors", 11th II-VI International Conference on II-VI Compounds, Niagara Falls, USA (2003-09)
- 11) H. Kumano, Y. Hitaka and I. Suemune: "Sharp and Discrete Emission Lines from Single Localized States in Selectively Grown ZnCdS Compound Semiconductors", 11th II-VI International Conference on II-VI Compounds, Niagara Falls, USA (2003-09)
- 12) ガナパシー サシカラ、ペリヤサミ ティラカン、熊野 英和、末宗幾夫:「Control of Inhomogenous Brodening in InAs Quantum Dots Using Nitrogen Purge Technique」、2003年秋季第64回応用物理学会学術講演会予稿集、福 岡 (2003-08)
- 13) 栗本誠、海老原 正人、木村 聡、熊野英和、植杉克弘、 末宗幾夫:「窒素ドープ ZnO の紫外線照射下オゾン処 理効果」、2003年秋季第64回応用物理学会学術講演会予 稿集、福岡 (2003-08)
- 14) 宮本 知幸、田中悟、中川啓志、ペリヤサミ ティラカ

- ン、末宗幾夫: 「SiC ナノファセット上の GaN 核生成 過程」、2003年秋季第64回応用物理学会学術講演会予稿 集、福岡 (2003-08)
- 15) ペリヤサミ ティラカン、ガナパシー サシカラ、熊野 英和、末宗幾夫:「Room Temperature Observation of Whispering Gallery Modes from a Microdisk Embedded with InAs Quantum Dots」、2003年秋季第64回応用物理 学会学術講演会予稿集、福岡 (2003-08)
- 16) 飛高功明、木村 聡、熊野英和、末宗幾夫:「MOMBE 成長による ZnS ピラミッド型フォトニックドットの構造制御性の向上」、2003年秋季第64回応用物理学会学術講演会予稿集、福岡(2003-08)
- 17) 熊野英和、飛高功明、末宗幾夫:「ZnCdS 混晶メサ構造における離散化局在準位の発光機構」、2003年秋季第64回応用物理学会学術講演会予稿集、福岡(2003-08)
- 18) 中川啓志、田中悟、末宗幾夫:「微傾斜 SiC(0001)表面 ナノファセット構造のポリタイプ・傾斜角依存性」、 2003年秋季第64回応用物理学会学術講演会予稿集、福 岡 (2003-08)
- 19) 豊田啓貴、田中悟、中川啓志、末宗幾夫:「陽極酸化 SiC 表面上のナノホール配列制御」、2003年秋季第64回 応用物理学会学術講演会予稿集、福岡 (2003-08)
- 20) 中屋大佑、飛高功明、熊野英和、末宗幾夫:「分布ブラッグ反射鏡と ZnS ピラミッド形構造の光学的な結合の 最適化についての研究」、2003年秋季第64回応用物理学 会学術講演会予稿集、福岡 (2003-08)
- 21) 植杉克弘、栗本誠、末宗幾夫、町田英明、下山紀男:「広 いバンド幅を持つ GaAsNSe 系発光ダイオードの作 製」、2003年秋季第64回応用物理学会学術講演会予稿 集、福岡(2003-08)
- 22) K. Uesugi, M. Kurimoto, I. Suemune, T. Uemura, M. Yamamoto, H. Machida and N. Shimoyama: "Observation of Large Room-temperature Negative Differential Resistance in GaAsNSe/GaAs and GaAsNSb/GaAs Superlattices Grown on (001) GaAs", The 11th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS11), Nara, Japan (2003-07)
- 23) S. Ganapathy, M. Kurimoto, T. Periyasamy, K. Uesugi, H. Machida, N. Shimoyama and I. Suemune: "Observation of reflection high-energy electron diffraction oscillation during MOMBE of AlAs and related modulated semiconductor structures", The 11th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS11), Nara, Japan (2003-07)
- 24) W. Zhou, K. Uesugi and I. Suemune: "Emission Extended into 1.55 mm Range from GaInNAs/GaAs MQW by Indium-induced Increase of N composition", The 11th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS11), Nara, Japan (2003–07)
- 25) X. Q. Zhang, S. Ganapathy, I. Suemune, H. Kumano, K.

- Uesugi, k. J. Bong and T. Y. Seong: "Dependence of InAs Quantum Dots Optical Properties on Capping Materials: GaNAs Strain Compensating Layers (SCL) and GaAs Layers", 2003 TMS Electronic Materials Conference, Salt Lake City, USA (2003–06)
- 26) S. Tanaka, L. J-S., P. Ramvall and H. Okagawa: "GaN quantum dot UV-LED using antisurfactant", 5th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS5), Nara, Japan (2003-05)
- 27) J. Brault, E. Amalric, S. Tanaka, E. Sarigiannidou, It It Rouviee, L. Dang, G. Feuillet and D. Bruno: "Characteristics of AlN growth on vicinal SiC(0001) substrates by molecular beam epitaxy", 5th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS5), Nara, Japan (2003–05)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- T. Periyasamy, S. Ganapathy, H. Kumano and I. Suemune: "Room Temperature Emission from InAs QDs/GaNAs (SCL) Active Region Embedded in GaAs Microdisk Cavity", 7th International Symposium on Contemporary Photonics Technology, Tokyo, Japan (2004-01)
- S. Ganapathy, T. Periyasamy, H. Kumano, K. Uesugi, I. Suemune, Y. Nabetani and T. Matsumoto: "Control of InAs/GaAs Heterointerfaces in InAs Quantum Dots Using Nitrogen Purge Technique", Atomically Controlled Surfaces and Interfaces of Nanostructures (ACSIN-7), Nara, Japan (2003-11)
- 3) 植杉克弘、熊野英和、末宗幾夫: 「ZnCdS および GaAsN 系混晶を用いた可視・赤外波長域での多波長同時発光 デバイスの研究」、文部科学省 特定領域研究(A)波長 集積・操作フォトニクス 平成15年度第3回研究会、 札幌(2003-09)
- 4) 末宗幾夫、熊野英和:「自己形成ピラミッド光共振器による電子・光子相互作用の制御」、科学研究費企画調査シンポジウム「固体中の光学過程による量子計算の可能性」、つくば(2003-08)
- 5) 末宗幾夫、熊野英和:「自己形成ピラミッドの光共振器 への応用とナノフォトニクスへの展開」、旭硝子財団 研究助成成果発表会、東京(2003-07)
- 6) 鍋谷暢一、松本俊、ガナパシー サシカラ、末宗幾夫: 「Cap Layer Dependence of Strain in InAs QD」、第23回電 子材料シンポジウム(EMS23)、伊豆 (2003-07)
- 7) 中川啓志、田中悟、末宗幾夫:「Self-ordering of Nano-facets on Vicinal 4H, 6H-SiC (0001) Surfaces」、 22nd Electronic Materials Symposium (EMS03), Biwako (2003-07)
- 8) 豊田啓貴、田中悟、中川啓志、末宗幾夫:「Nano-hole Ordering on SiC (0001) by Surface Anodization」、22nd Electronic Materials Symposium (EMS03) , Biwako (2003-07)
- 9) 植杉克弘、栗本誠、末宗幾夫、植村哲也、山本眞史、

町田英明、下山紀男:「Characterization of GaAsNSb/GaAs Superlattice Diode with Large Negative Differential Resistance at Room Temperature」、22nd Electronic Materials Symposium (EMS03), Biwako (2003-07)

4.7 予算獲得状況

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

4.8 共同研究

- a. **所内共同研究**(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 石橋晃、徳本洋志、末宗幾夫、中村貴義、近藤憲治(電子科学研究所)、極微細接合素過程に対する次元・空間配位の影響の研究、2003~2004年度、未定、次元数表記で3-0-3、3-2-0-2-3などの従来行われてきた接合構造・配置に対し、特に3-2-0-R2-3(R2は相対的に回転した2次元面であることを示す)の極微細接合について理論的に考察するとともに、この構造(ユニット)を作るための要素技術を確立する。
- c. 大型プロジェクト・受託研究 (研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 末宗幾夫、植杉克弘、熊野英和(通信放送機構)、高い温度安定性と光学利得を持つ III-V-N 系長波長半導体レーザの研究、1999~2003年度、127,570千円、III-V-N 窒化物混晶半導体の新物性の解明と高性能レーザへの応用
- 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) 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、2001~2005 年度、12,100千円、量子ドットの電子スピンを用いた 量子情報処理ネットワーク要素技術を開発する。

4.10 社会教育活動

a. 公的機関の委員

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

b. 国内外の学会の主要役職

- 1)末宗幾夫: 11th International Conference on II-VI Compounds, Program Committee (2003年9月22日~2003年9月26日)
- 2) 田中悟: ICNS5実行委員, 論文委員(2003年1月1日~ 2003年5月1日)

d. 修士学位及び博士学位の取得状況

·修士学位

修士課程(4名)

豊田啓貴、中屋大佑、飛高功明、中川啓志

博士後期課程(1名)

海老原正人

- e. 担当授業科目(対象、講義名、担当者、期間)
- 1) 工学部、応用数学 2、末宗幾夫、2003年10月1日~2004 年2月18日
- 2) 全学部共通、ナノテクノロジー入門、末宗幾夫、2003 年10月1日~2004年3月31日
- 3) 工学研究科、光電子物性工学特論、末宗幾夫、2003年4 月1日~2003年9月30日
- 4) 工学部、統計力学、田中悟、2003年4月1日~2003年9 月30日
- 5) 工学研究科、光電子物性学特論、田中悟、2003年4月1 日~2003年9月30日

g. ポスドク・客員研究員など

ポスドク (1名)

栗本誠(北海道大学電子科学研究所電子材料物性部門光 材料研究分野)

客員研究員 (2名)

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

電子機能素子部門

研究目的

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



量子機能素子研究分野

教授 石橋 晃 (東大院、理博、 2003.01~) 講師 近藤憲治 (早大院、工修、 2003.04~)

1. 研究目標

ムーアの法則に代表されるロードマップに沿った展開を示しつつも遂に限界が指摘され始めたSiベースのLSIは、その構造が外在的ルールで決まるトップダウン型のシステムの代表格であるが、素子サイズ上、動作パワー上、及び製造設備投資上の限界がいわれて久しい。トップダウン系に対するアンチテーゼとして最近その重要性が認識されてきたもう一つの流れは、自律分散型相互作用など内在的ルールにより構造が決まっていくボトムアップ系である。バイオ系に代表される自律立分散系の他、たとえば半導体量子ドットなど無機物のセルフアセンブル系を含め、広くボトムアップ系に期待が集まっている。しかしながら、両系は未だに専ら独立で、トップダウン、ボトムアップ両系の間に橋渡しすること(究極的には統合・融合すること)は極めて重要にも係らず、未だ実現されていない。

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

2. 研究成果

(a) トップダウン系とボトムアップ系の接続の基礎

半導体レーザや LED は LSI 同様、光リソグラフィーを用いて作製されるという意味でトップダウン系デバイスのひとつである。ボトムアップ系とトップダウン系との接続を

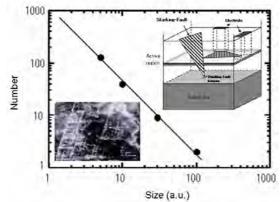


図1. 劣化した ZnSe 系レーザの活性層に発生した転位網の透過電子顕微鏡写真(左下内挿図)に見られる自己相似的な V字構造のサイズと個数のプロット。傾き 1.5 のべき乗則を示すボトムアップ構造となっている。右上内挿図に示すように、始点と終点をトップダウン構造に繋ぐことができる。

目指したまず最初のステップとして、我々は、室温連続発振の達成と長寿命化の試みを通じて物性を良く知っている II-VI 族レーザの劣化に着目した。ZnSe 系レーザの劣化した2次元活性層にはフラクタル次元1.5の転位ネットワークというボトムアップ構造が発生していること、同レーザの劣化は自己組織化臨界現象のひとつであること等に基づき、我々は積層欠陥の導入位置の制御、及び電子-ホールペアの非発光再結合量の調節により、ボトムアップ構造の始点と拡がりを制御し、その終点をトップダウン構造と連結する可能性を示した。まだ primitive な段階ではあるが、トップダウン系とボトムアップ系との接続のコンセプトを実際の物質を通じて implement する可能性を示した。

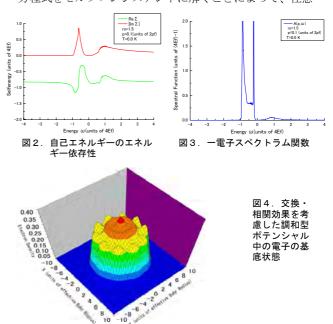
(b) 2次元電子系の電子相関の研究

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

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

図3はそのときの一電子スペクトラム関数である。これらのピークの位置が式(1)の解に相当する。

また一方、2次元において、任意のポテンシャルに閉じ込められた電子のエネルギー準位を1電子近似を超えて、交換・相関エネルギーを取り込んで計算する事が出来るようになった。具体的には密度汎関数法(DFT)によって局所密度近似によって交換・相関効果を取り入れ、Kohn-sham方程式をセルフコンシステントに解くことによって、任意



ポテンシャルに閉じ込められた電子の基底状態を得ることが出来た。今後ポテンシャルの対称性が電子の基底状態や交換・相関効果に及ぼす影響を調査する。図4は調和振動子型ポテンシャルに電子を32個詰めた場合の基底状態の電子密度分布のコンターマップである。図4を見ると判るが電子が規則正しく、ポテンシャルの中で配置していて、回転対称性のある調和振動子の中で人工原子のように電子が配置しているのがわかる。

(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、トップダウンー 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クラス 10の高清浄度を持つクリーンボックス連結システムの要素 技術を開発しつつある。大規模なクリーンルームでは、試 みることの難しいリスクの大きいプロセス開発を、クリー ン度を落とすことなく可能とするために、基本的なクリン ユニットを従来と異なり3方向に接続可能なシステムを考 案した。かかるユニットを多重に連結した、簡便かつ安価 なシステムにて高度のクリーン環境(端的にはクラス10) が可能か、実現するためには何が必要かの検証を進めた。 従来タイプのクリーンルームでは、外気を一定割合で取り 込むので、ダスト密度をn(t)、クリーン空間の体積を Vo、 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 No、γ.V を HEPA フィルターのダス ト捕集率及び風量とすると、ダスト密度の時間変化は

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

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

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

となり、十分時間がたってもダスト濃度 n(t) は、外気のダスト密度の一次の関数となってしまう。つまり設置環境に大きく左右されてしまう。

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

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

となる。ダスト微粒子密度は

$$n(t) = \frac{S\sigma}{\mathcal{W}} + (N_0 - \frac{S\sigma}{\mathcal{W}})e^{-\beta_c t}$$

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一項のみが残る。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、通常のオフィス環境に設 置したにも係らず、図5(青丸)に示すように、クラス10の清 浄度を達成することができた。

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 アドレシングを可能とすることにより、2次元ボトムアッ

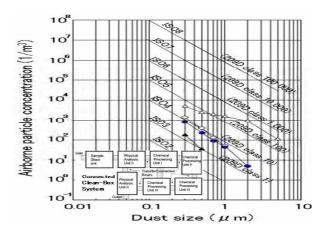


図5 内挿図に示すクリーンボックス連結システムを構成する物理解析ボックス(内挿図左下角のユニット)における清浄度のブロット(青丸)。白三角(黒三角)は高性能クリーンルームにおける温常領域(高度クリーン領域)における清浄度を示す。本連結システムは、通常環境直置きにも係らず白三角と黒三角の中間の値を示した。

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ニングが用いられ、実質的な配 線幅は数十 nm であったが、本研究ではサブナノメートル の膜厚制御性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 NxN 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ー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} 対称性を 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次元電子ガス系において、さらに厳密な解を得る ために、バーテックス補正を取り入れた GW Γ 法を開発し、 適用する。さらに同心円状形状の超格子に GW 近似でのエ ネルギースペクトラムを求める計算を適用する。またポテ ンシャルに閉じ込められた電子の交換・相関効果を取り入 れた計算をポテンシャルの対称性との関係性で論じてい く。また磁気記録応用でも超高密度化の可能性が期待でき る。ダブルナノバウムクーヘン構造により得られる多重並 列エッジ対向金属リボン交差構造により(2次元的な)ナノ とマクロの世界とをつなぎ、トップダウンーボトムアップ 両系の統合に端緒をつける可能性が出てくる。

4. 資料

- **4.4 特許**(発明者、特許番号、特許名、出願年月日) 国内特許
- 1) 石橋晃: 2003-174648、クリーンユニット、クリーンユニットシステム、材料加工方法、および素子製造方法、2003年6月19日
- 2) 石橋晃: 2003-124480、機能素子およびその製造方法並 びに機能システムならびに機能材料、2003年4月28日 国際特許
- A. Ishibashi: PCT 出願、PCT/JP2004/004260、機能素 子及びその製造方法ならびに機能システムならびに機 能材料、2004年3月26日

4.5 講演

a. 招待講演

- 石橋晃:「トップダウンとボトムアップの統合 (Bridging) 並びにそのためのサイエンスと要素技術の 確立」、北海道大学 電子科学研究所・創成科学研究機 構 ジョイントフォーラム、北海道札幌市 (2004-03)
- A. Ishibashi and K. Kondo: "A Crossroad where Top-down meets Bottom-up", The 5th RIES-Hokudai Symposium on Advanced Nanoscience "Shoku", Sapporo, Hokkaido, Japan (2003-12)

b. 一般講演

i) 学会

- 1) 石橋晃、近藤憲治:「トップダウン構造に於けるボトム アップ系としての aged 半導体光素子内転位網」、日本 物理学会第59回年次大会、福岡県福岡市 (2004-03)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- A. Ishibashi and K. Kondo: "A Possible Unification Platform for Bottom-up and Top-down Systems", The 5th RIES-Hokudai Symposium on Advanced Nanoscience "Shoku", Sapporo, Hokkaido, Japan (2003–12)
- 2) 石橋晃: 「Extra な classifier の導入による(二律背反)事 象の統合」、北海道大学電子科学研究所交流会, 北海道 札幌市 (2003-04)
- 3) 近藤憲治:「多体振動論による電子相関の計算」、北海道大学電子科学研究所交流会、北海道札幌市(2003-04)
- iii)コロキウム・セミナー等・その他
- 1) 石橋晃:「LD・LED の製造技術と劣化機構の解析から 見る未来の一隅」、GaN 系電子・発光デバイスの開発 と LD・L E Dの製造技術および劣化解析,東京都品川 区五反田 (2003-11)
- 2) 石橋晃:「特許論 I ~ 研究成果の特許化について~」、 ニセコ オータムスクール 2003 第3回北大ビジネス 入門コース、北海道虻田郡ニセコ町 (2003-11)

4.7 予算獲得状況

b. 所内若手育成研究

1) 近藤憲治:「量子井戸や電子細線などのナノ空間での電子相関の理論的解明 2003-2004年度」

4.8 共同研究

- a. **所内共同研究**(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 石橋晃、徳本洋志、末宗幾夫、中村貴義、近藤憲治(電子科学研究所)、極微細接合素過程に対する次元・空間配位の影響の研究、2003~2004年度、4800千円、次元数表記で3-0-3、3-2-0-2-3などの従来行われてきた接合構造・配置に対し、特に3-2-0-R2-3(R2は相対的に回転した2次元面であることを示す)の極微細接合について理論的に考察するとともに、この構造(ユニット)を作るための要素技術を確立する。
- c. 大型プロジェクト・受託研究(研究担当者、機関名、 研究題目、研究内容)
- 1) 石橋晃、近藤憲治(北海道ティー・エル・オー株式会社)、クリーンミニファブシステムの調査、2003年度100千円、(研究目的)トップダウンとボトムアップの統合のためのサイエンスと要素技術の確立の一環として、従来産業インフラの低固定資運営への新しい可能性、あるいは所謂地面に縛られない全く新しい農業を切り開く可能性を秘めるクリンユニットの性能と新規性の証明を確かめる。
- e. 担当授業科目(対象、講義名、担当者、期間)
- 1) 全研究科共通、大学院共通授業 「ナノテクノロジー・ナノサイエンス」(分担)、石橋晃、2003年7月29日~2003年7月31日

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 (1994.4~2004.3)

助手 田中 賢(北大院、理博、2000.9~2004.3) ポスドク 松尾保孝(北大院、工博、2003.10~2003.12)

院生

博士課程

角南寛 (D3)、橋本裕一 (D2)、藪 浩 (D2)、鶴間章典 (D2)

修士課程

竹林允史(M2)、伊土直子(M1)、小幡法章(M1)、治田修(M1)、樋口剛志(M1)

学部生

井上浩太 (B4)、大里大輔 (B4)、田中あや (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 ことで新規な分析手法の開発、分子素子や機能性材料の構 築を目指して2方向から研究を行っている。一つは分析手 法や分子素子の開発のために、生命活動の中心にある DNA 分子に着目したものである。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。またもう一つの研究 は、人工細胞外マトリックスの作製を目的とし、表面の微 細な構造が制御された生体適合性高分子フィルムを培養基 材とすることで、細胞の機能性向上を諮っている。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して いる。

2. 研究成果

(a) 単一 DNA 分子の特異的塩基配列の空間的読み出しに 関する研究

DNA は、相補的な水素結合によって形成された塩基対が 一次元にスタックした特異な二重らせん構造を有し、また 重合度、モノマーシーケンスが厳密に制御された高分子で もある。DNA の特異的な塩基配列を機能性分子の空間的な 配列制御に利用することができれば、デザインされた新規 な機能性材料を簡便に作製できる可能性がある。そこで、 単一 DNA 分子の特異的塩基対配列を空間的に読み出すた めに、気水界面単分子膜を用いた DNA 伸長固定化法の開 発と走査型プローブ顕微鏡を用いた単一 DNA 分子の特異 的塩基配列部位計測を行った。気水界面にカチオン性の両 親媒性化合物を展開し、静電的相互作用により形成した DNA 分子とのポリイオン複合膜を Langmuir-Blodgett (LB) 法を用いて、単分子膜に流動性を持たせた状態で固体基板 上に移し取ると、溶液中ではランダムコイル形状であった DNA 分子が伸長して固定化されることを見いだした(図 1)。伸長・固定化された個々の DNA 分子は長さ解析の結 果、単一分子であることが明らかとなった。このとき、DNA の特異的な塩基配列を認識する蛍光修飾タンパク質を DNA に結合させた後に伸長固定化し、近接場光学顕微鏡を 用いて観察を行うことで、高精度な塩基配列の空間情報を 得られることがわかった(図2)。現在はより高精度な解析 と、気水界面で起こる散逸構造を用いることで伸長固定化 DNA の集積化と機能化について検討を行っている。

(b) オリゴヌクレオチドや DNA を鋳型とした機能性ナノ 組織体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行った。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ことが挙げられる。これまでの研究では核酸塩基を有する両親媒性化合物と溶液中の

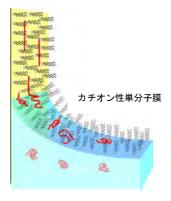


図1. LB 法による単一 DNA 分子の伸長固定化



プローブ顕微鏡による解析

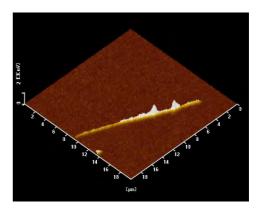
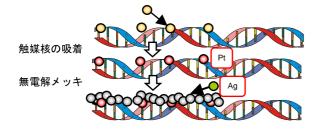


図2. 伸長固定化された単一 DNA 分子と DNA 結合性蛋白質の蛍光像

鋳型 DNA が気水界面上において Watson-Crick 型の塩基対 を形成することを見いだしてきた。これらは DNA-mimetics として会合数・配列を制御した機能性材料の創成が可能で あることを示している。これをさらに発展させることで複 雑な分子集合体である人工光合成系の構築を行った。光合 成アンテナ系は色素分子が環状に配列することで高効率な 光エネルギー捕集を実現している。そこで環状オリゴヌク レオチドを鋳型としアゾベンゼンを有する核酸塩基単分子 膜を鋳型上に配列させることに成功した。また鋳型上のア ゾベンゼン分子が特有の会合状態を形成しながら相互作用 していることを見い出し、形態と機能の両面から光捕集ア ンテナ系の模倣が可能であることを示した。またさらに、 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デバイスを作製する研究を進めてい る。これは DNA 分子が幅約2nm のひも状であることを利 用した金属ナノ細線の作製技術の開発である。LB法により 伸長固定化した DNA に触媒核を吸着させ、無電解メッキ を用いて銀を析出することで、幅数十ナノメートルの細線 構造の作製に成功した(図3)。導電性 AFM を用いること で銀ナノ細線が十分な導通を持つことを確認されたことか ら、ナノ金属細線としての応用が期待される。系統的に実 験を行うことでより微細な構造の作製、さらに半導体や異 種金属混合のデバイスを創造することができると期待され る。



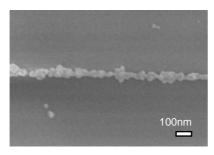


図3. DNA を鋳型にした金属細線作製プロセスと作製された 銀ナノ細線

(c) 微細構造を有する生体適合材料による細胞の高機能 化に関する研究

正常な細胞組織の維持のためには、細胞・増殖因子・足場のバランスが重要である。とりわけ細胞組織を形成する足場である細胞外マトリックスは、細胞の増殖や分化、細胞間の情報伝達場としての役割を担っている。本研究では加湿条件下で高分子の希薄溶液を固体基板上にキャストす

ることで得られる微細な規則的パターン(多孔質薄膜)を 足場材に適用し、細胞の接着・機能制御について調べた。 多孔質薄膜の形成過程は、溶媒の蒸発と溶媒表面への水の 凝縮により、濃度、温度、粘度など様々な物理パラメータ 一が経時的に変化する複雑な非平衡系である。そこで多孔 質薄膜の孔径、膜厚、孔貫通・非貫通、孔の3次元構造の 制御を行うために膜の構造制御パラメーターについて調べ た。その結果、孔径の均一性、構造制御の技術を確立し、 階層的な3次元構造を有する新しい高分子フィルムを創製 が可能になった。多孔質薄膜上で神経細胞の培養を行った ところ、平膜の培養とは異なった凝集形態を取ることがわ かった(図4)。これにより、培養基材表面の構造で細胞の 組織化を制御できることがわかった。

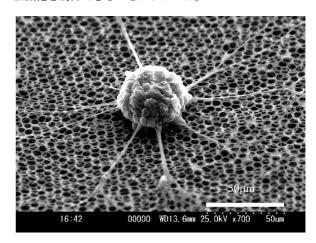


図4. 多孔質薄膜上で培養した神経細胞

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。また、細胞培養に関しては生化学的な技術の向上や材料創成に頼る部分が大きい。一方、ナノテクノロジーのひとつである自己組織化法を駆使することで、複雑な構造体をより簡便に作製する研究が注目されている。生物をお手本にするだけでなく、DNAや細胞が持つ自己組織化能と表面・界面化学、電気化学的な手法を組み合わせることによりこれまでに実現できなかった機能性分子素子、細胞の組織化を構築することができるようになると期待される。今後は機能性検証に必要なナノテクノロジーを用いた解析手法をさらに取り入れることにより、新たなナノサイエンス、組織工学を開拓する。

4. 資料

4.1 学術論文等

- M. Shimomura, R. Mitamura, J. Matsumoto and K. Ijiro: "DNA-mimetics:towards novel molecular devices having molecular information", *Synthetic Metals*, 133-134: 473-475 (2003)*
- H. Yabu, M. Tanaka, K. Ijiro and M. Shimomura: "Preparation of Honeycomb-Patterned Polyimide Films by Self-Organization", *Langmuir*, 19(15): 6297-6300 (2003)*
- K. Ijiro, Y. Matsuo and M. Shimomura: "Stretching of single DNA molecules by LB technique for restriction site mapping", *Nucleic Acids Research Supplement*, 3: 47-48 (2003)
- K. Ijiro, Y. Matsuo, and M. Shimomura: "DNA-Based Molecular Handling in Self-Organized Monolayers", *Interface 2003*, 79-82 (2003)
- M. Matsushita, H. Kamachi, H. Ohkubo, S. Matsumoto, T. Morita, S. Kobayashi, K. Sato, M. Tanaka, M. Shimomura, S. Todo, "Reconstitusion of Liver Tissue through Tissue Engineering", Surgery Frontier, 10(3), 21-24 (2003)
- 6) M. Tanaka, M. Takebayashi, K. Sato, M. Shimomura, "Fabrication of Self-organized Porous Films with Highly Uniform Pores for Tissue Engineering and Biomedical Devices", Int. J. Artif. Organs, 26(7), 666 (2003).
- A. Tsuruma, M. Tanaka, N. Fukushima, M. Shimomura, "Neural Networking and Morphological Change of Neurons on Self-organized Honeycomb Films", *Int. J. Artif.* Organs, 26(7), 665 (2003)
- M. Ide, T. Mori, K. Ichikawa, H. Kitano, M.Tanaka, A. Mochizuki, H. Oshiyama, W. Mizuno, "Structure of Water Sorbed into Poly(MEA-co-HEMA) Films As Examined by ATR-IR Spectroscopy", *Langmuir*, 19, 429-435 (2003)
- 9) Y. Miwa, M. Tanaka, H. Oshiyama, "A. Mochizuki, Study on Structure of Water in poly(2-methoxyethylacrylate) (PMEA) and poly(2-hydroxyethylmethacrylate) (PHEMA) by 2H Solid -state NMR", J. Jpn. Soc. Biomater, 21(2), 143-149 (2003)
- 10) S. Ye, S. Morita, G. Li, H. Noda, M. Tanaka, K. Uosaki, M. Osawa, "Interfacial Molecular Structure Changes in Poly(2-methoxyethyl acrylate) Thin Films Induced by Absorption of Bisphenol A. An Infrared and Sum Frequency Generation (SFG) Study", Macromolecules, 36, 5694-5703 (2003)
- M. Tanaka, "Blood Compatibility of Poly(2-methoxyethyl acrylate) - Design of Novel Biointerfaces, Koubunshi Ronbunshuu", 60(8), 415-427 (2003)
- 12) M. Tanaka, A. Mochizuki, "Effect of Water Structure on Blood Compatibility — Thermal Analysis of Water in poly(meth)acrylate", J. Biomed. Mater. Res., 68A(3),

684-695 (2004)

- 13) M. Tanaka, "Design of Novel BioInterfaces (I) -Blood Compatibility of poly(2-methoxyethyl acrylate)", Bio-Medical Materials and Engineering, 14, 427-438 (2004)
- 14) M. Tanaka, M. Takebayashi, M. Miyama, J. Nishida, M. Shimomura, "Design of Novel BioInterfaces (II) -Fabrication of Self-organized Porous Polymer Film with Highly Uniform Pores", *Bio-Medical Materials and Engineering*, 14, 439-446 (2004)
- 15) G. Li, S. Morita, S. Ye, M. Tanaka, M. Osawa, "Bisphenol QCM and IRRAS Characterization of Bisphenol A Absorption in the Poly(acrylate) Thin Films", *Anal. Chem.*, 76, 788-795 (2004)

4.2 総説、解説、評論等

- 田中賢:「抗血栓性高分子表面と水の構造」、高分子、 53(3): 157 (2004)
- 2) 田中賢:「次世代医療を切り拓くバイオメディカルイン ターフェイス」、化学工業、55(1): 56-61 (2004)
- 3) 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)
- 4) 松下通明、蒲池浩文、大久保尚、松本秀一郎、森田恒彦、小林智、佐藤雄久、田中賢、下村政嗣、藤堂省:「tissue engineering による肝組織再構成」、*Sugery Frontier*, 10(3): 21-24 (2003)*
- 5) 田中賢、竹林允史、下村政嗣:「自己組織化によるナノマテリアル」、*M&E*, 30(8): 190-195 (2003)*

4.3 著書

- 1) 居城邦治:「DNA を用いたナノ材料」、超分子化学-ナ ノ材料創製に向けて-、編集:中嶋直敏、化学同人、 123-130 (2004)
- 2) 田中賢、下村政嗣:「ナノバイオエンジニアリングマテリアル自己組織化パターン表面の創成と機能」、自己組織化パターン表面の創成と機能、72-103(2004)*
- 3) 田中賢、下村政嗣:「ハニカム構造フィルムのバイオメディカル応用」、自己組織化によるナノマテリアルの創成と応用、発行日:2004/2/9、編集:有限会社ブッカーズ、NTS出版、275-294 (2004)
- 4) 田中賢、下村政嗣:「自己組織化パターン表面の創成と機能」、ナノバイオエンジニアリングマテリアル、監修:石原一彦、発行日:2004/3、(株)フロンティア出版、72-103 (2004)

4.4 特許(発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

- 別所久美、佐藤秀之、下村政嗣、田中賢、薮浩:特願 2004-097411、異方性導電膜、2004年3月30日
- 2) 別所久美、佐藤秀之、下村政嗣、田中賢、薮 浩:特願 2004-097384、異方性導電膜およびその製造方法、2004

の利用方法、2003年4月10日

年3月30日

- 3) 松田輝、澤芳樹、宮川繁、下村政嗣、田中賢、新井景子:特願2004-093545、ハニカムフィルムを用いた機能的人工組織の生産、2004年3月26日
- 4) 薮 浩、田中賢、下村政嗣:特願2004-083728、マイクロリングあるいはマイクロドットを呈した微細パターンの製造方法、2004年3月22日
- 5) 小幡法章、薮 浩、田中賢、下村政嗣: 特願2004-081570、 高品位ハニカム構造フィルムの製造方法、2004年3月19 日
- 6) 田中賢、下村政嗣、薮 浩:特願2004-083768、マイクロリングおよびドット構造とその製造方法、2004年3月19日
- 7) 田中賢、竹林允史、下村政嗣:特願2003-040550、3次 元ハニカム構造体ならびにその製造方法、2004年2月17 日
- 8) 高木斗志彦、福田 和幸、下村政嗣、居城邦治、薮 浩: 特願2003-424865、光記録媒体及び光多重記録方法、 2003年12月22日
- 9) 田中賢、下村政嗣、豊川秀英:特願2003-399197、消化 器系ステント、2003年11月28日
- 10) 田中賢、下村政嗣、豊川秀英: 特願2003-399195、細胞 増殖抑制フィルムおよび医療用具、2003年11月28日
- 11) 村上敦嗣、村田朋美、下村政嗣、田中賢、松永直樹: 特願2003-398246、浮遊微粒子捕集用フィルタ及びそれ を用いた浮遊微粒子捕集方法、浮遊微粒子分析方法、 ならびに浮遊微粒子捕集装置、2003年11月27日
- 12) 田中賢、下村政嗣、石井直樹、石山晴生:特願 2003-390386、カバードステント、2003年11月26日
- 13) 居城邦治、橋本裕一、下村政嗣:特願2003-358959、D NAの無電解メッキによる金属細線構造の構築、2003 年10月20日
- 14) 田中賢、竹林允史、下村政嗣: 特願2003-356881、異方 性微細突起(ピラー) 構造体およびその製造方法、2003 年10月16日
- 15) 下村政嗣、田中賢、藪 浩、竹林允史: 2003-356881、 微細突起構造体及びその製造方法、2003年10月16日
- 16) 田中賢、下村政嗣、薮浩:特願2003-330722、多孔質 膜を鋳型とした微粒子の作製法、2003年9月22日
- 18) 田中賢、伊土直子、下村政嗣:特願2003-327180、生体 適合性と温度応答性を併せ持つ高分子、2003年9月19 日
- 19) 福平由佳子、兼子博章、下村政嗣、田中賢: 特願 2003-288573、ハニカム構造フィルム、2003年7月11日
- 20) 田中賢、石井直樹:特願2003-157758、医療用具、2003 年5月19日
- 21) 福平由佳子、兼子博章、鷹見芳彦、下村政嗣、田中賢: 特願2003-106186、癒着防止材、その製造方法およびそ

4.5 講演

a. 招待講演

i) 学会

- M. Shimomura, N. Ido and M. Tanaka: "Mesoscopic patterning of polymer gel by self-organization and its theoretical application", 2nd France-Japan workshop, Bordeaux, France (2003-11)
- K. Ijiro, J. Matsumoto, J. Nishida, M. Morisue, Y. Matsuo and M. Shimomura: "DNA-Based Molecular Handling in Self-Organized Monolayers", ICBN 2003 TOKYO (The First International Congress on Bio-Nanointerface), Arcadia Ichigaya Tokyo (2003-05)
- M. Tanaka and M. Shimomura: "Blood compatibility of poly(2-methoxyethyl acrylate) - Design of novel bio-interfaces -", Second International Conference on New Biomedical Materials: Basic and Applied Studies, Cardiff, UK (2003-04)
- 4) M. Shimomura, J. Matsumoto, J. Nishida, M. Morisue and K. Ijiro: "Aggregation Behavior and Photoisomerization of Azobenzene DNA-Mimetics Formed at the Air-Water Interface", The XXIst International Conference on Photochemistry (ICP21), Nara-ken New Public Hall (2003-07)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) 居城邦治:「DNA からつくるナノ材料」、第20回ライラックセミナー・第9回若手研究者交流会、北海道大滝村 (2003-6)
- 2) 居城邦治:「自己組織化による DNA の配列制御」、21 世紀 COE 若手研究者ネットワークシンポジウム、札 幌(2003-7)
- 3) 居城邦治:「シングル DNA のナノ材料化」、日本学術、 振興会第174委員会,東京(2003-10)
- 4) 田中賢、下村政嗣:「自己組織化による高分子のマイクロ・ナノ加工とナノ微粒子の集積」、第65回千葉地域活動高分子研究交流講演会、千葉(2003-11)
- 5) 田中賢:「自己組織化材料によるバイオメディカルイン ターフェイス」、第3回 COE 講演会、国立大雪青年の 家(北海道上川郡美瑛町字白金温泉) (2003-08)
- 6)田中賢、下村政嗣:「ハニカム構造フィルムのバイオメ ディカル応用」、自己組織化講演会、東京(2003-08)
- 7) 田中賢:「バイオマテリアルと水」、第2回鶴田フォーラム、東京大学(東京) (2003-07)
- 8) 田中賢:「自己組織化による構造規則性薄膜の作製と応用」、宇部興産高分子研究所講演会、千葉 (2003-06)
- 9) 田中賢:「バイオ界面における水分子の役割」、第一回 鶴田フォーラム、東京 (2003-04)
- 10) 藪 浩、田中賢、居城邦治、下村政嗣:「リソグラフィーを使わない高分子の微細加工技術」、北海道高分子若手研究会、おたる自然の村(2003-07)

iii)コロキウム・セミナー等・その他

- 1) 田中賢:「タンパク質吸着の測定とマテリアル設計」、 第21回医用高分子研究会講座,東京(2003-12)
- 2) 田中賢:「自己組織化による高分子の微細加工とその応用-バイオメディカルアプリケーションを中心に-」、テルモ株式会社研究開発センター、テルモ株式会社研究開発センター (神奈川) (2003-07)
- 3) 田中賢:「自己組織化による再生医療材料の作製」、第 一回大阪大学医学部未来医療センター講演会、大阪 (2003-04)

b. 一般講演

i) 学会

- 1) 橋本裕一、沢田石哲朗、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銀細線の作製」、2004年春季第51回応用物理学会関係連合講演会、東京(東京工科大学) (2004-03)
- 2) 松尾保孝、居城邦治、下村政嗣:「LB 法を用いたタンパク質の結合した DNA 分子の伸長固定化」、2004年春季第51回応用物理学会関係連合講演会、東京(東京工科大学)(2004-03)
- 3) 竹林允史、田中賢、下村政嗣:「規則的な孔径を有する 多孔質高分子薄膜の構造制御」、春季第51回応用物理学 関係連合講演会、東京(東京工業大) (2004-03)
- 4) 薮 浩、田中賢、下村政嗣:「自己組織化によるマイクロリング構造の作製」、春季第51回応用物理学関係連合講演会、東京(東工大(八王子)) (2004-03)
- 5) 大里 大輔、薮 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」、第38回北海道支部研究 発表会、札幌(北大学術交流会館) (2004-02)
- 6)治田修、西田仁、森末光彦、居城邦治、下村政嗣:「環 状DNAを鋳型とした気水界面におけるアゾベンゼン の会合制御」、第38回北海道支部研究発表会、札幌(北 大学術交流会館) (2004-02)
- 7) 田中賢、竹林允史、下村政嗣:「自己組織化による生分解性高分子の微細加工-メディカルデバイスへの応用-」、バイオマテリアル学会、大阪(2003-12)
- 8) 鶴間章典、田中賢、福嶋伸之、下村政嗣:「自己組織化 高分子材料による神経回路構築」、バイオマテリアル学 会、大阪(2003-12)
- 9) 田中賢、竹林允史、下村政嗣:「自己組織化による生分解性高分子の微細加工」、バイオマテリアル学会、大阪 (2003-12)
- 10) 畠山 立子、春日 はづき、田中賢、畠山 兵衛:「ポリエチレングリコール-水系の cold crystallization」、第39回熱測定討論会、広島 (2003-11)
- M. Shimomura, N. Ido and M. Tanaka: "Mesoscopic patterning of polymer gel by self-organization and its theoretical application", 2nd France-Japan workshop, Bordeaux, France (2003-11)
- 12) K. Ijiro: "Pattern formation of stretched DNA molecules

- by the Langmuir-Blodgett method", 2nd France-Japan workshop, Bordeaux, France (2003-11)
- 13) M. Tanaka, M. Takebayashi, K. Sato, J. Nishida and M. Shimomura: "Fabrication of Self-Organized Porous Films for Biomedical applications", 2nd France-Japan workshop, Bordeaux, France (2003-11)
- 14) N. Ido, M. Tanaka and M. Shimomura: "Fabrication of thermosensitive patterned films by using self-organization", 2nd France-Japan workshop, Bordeaux, France (2003-11)
- 15) 新井景子、林純子、西川雄大、田中賢、原正彦、河原剛一、下村政嗣:「自己支持性パターン化フィルムの心筋組織再構築への応答」、第41回日本人工臓器学会、仙台市市民会館(2003-10)
- 16) 田中賢、竹林允史、下村政嗣:「自己組織化によるバイオナノテクノロジー基盤材料の作製」、第41回日本人工 臓器学会、仙台市民会館(宮城県) (2003-10)
- 17) K. Ijiro, Y. Matsuo, Y. Hashimoto and M. Shimomura: "Full Stretching of Single DnA Molcules in Polyion Complex Monolayers by the Method", LB10, Beijing, China (2003-10)
- 18) 高山あい子、田中賢、下村政嗣:「血管内治療デバイス を目指した自己組織化多孔質膜上での細胞挙動評価」、 第52回高分子討論会、山口(山口大学吉田キャンパス) (2003-09)
- 19) 居城邦治、松尾保孝、下村政嗣:「近接場顕微鏡を用いたDNA結合性タンパク質の単一分子検出」、第52回高分子討論会、山口大学吉田キャンパス(山口県) (2003-09)
- 20) 鶴間章典、田中賢、福嶋伸之、下村政嗣:「自己組織化パターンフィルムの神経組織工学への応用」、第52回高分子討論会、山口(山口大学吉田キャンパス) (2003-09)
- 21) 田中賢、竹林允史、下村政嗣:「自己組織化による高分子ナノピラー構造の作製」、第52回高分子討論会、山口 (山口大学吉田キャンパス) (2003-09)
- 22) 橋本裕一、沢田石哲朗、居城邦治、下村政嗣:「伸長した核酸高分子を鋳型とした金属細線の作製」、第52回高分子討論会、山口(山口大学吉田キャンパス) (2003-09)
- 23) 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52 回高分子討論会、山口(山口大学吉田キャンパス) (2003-09)
- 24) K. Ijiro, Y. Matsuo and M. Shimomura: "Stretching of single DNA molecules by LB technique for restriction site mapping", The 3rd International Symposium on the Nucleic Acids Chemistry(核酸化学シンポ), 札幌(北海道大学(学術交流会館))(2003-09)
- 25) K. Ijiro, J. Matsumoto, M. Morisue and M. Shimomura:

- "CONTROLABLE AGGREGATION OF AZOBENZENE BASEC ON DNA-MIMETICS AT THE AIR-WATER INTERFACE", UPS'03(11th Symposium on Unconvetional Photoactive Systems), Leuben, Belgium (2003–09)
- 26) H. Yabu, T. Higuchi, K. Ijiro and M. Shimomura: "Preparation of Photochromic Nano-particles Containing Azobenzene Chromophores", UPS'03 (11th Conference on Unconventional Photo-active Systems), Leuven, ベルギー (2003-09)
- 27) Y. Matsuo, K. Ijiro and M. Shimomura: "NEAR-FIELD OPTICAL IMAGING OF STRETCHED SINGLE DNA MOLECULES PREPARED BY LANGMUIR-BLODGETT METHOD", UPS'03 (11th Conference on Unconventional Photo-active Systems), Leuven, Belguim (2003-09)
- 28) 橋本裕一、沢田石哲朗、居城邦治、下村政嗣:「伸長固 定化した DNA を鋳型とした無電解メッキによる金属 細線の作製」、2003年電気化学秋季大会、札幌(北海道 大学) (2003-09)
- 29) M. Tanaka, M. Takebayashi, K. Sato and M. Shimomura: "Fabrication of self-organized porous films with highly uniform pores for tissue engineering and biomedical devices", ESAO2003, aachen, Germany (2003-09)
- 30) A. Turuma, M. Tanaka, N. Fukushima and M. Shimomura: "Neural networking and morphological change of neurons on self-organized honeycomb films", ESAO2003, aachen, Germany (2003-09)
- 31) 松尾保孝、居城邦治、下村政嗣:「LB 法による DNA のパターン形成」、第64回応用物理学会,福岡大学 (2003-08)
- 32) 居城邦治、橋本裕一、澤田石哲郎、下村政嗣:「LB 法で伸長固定化した DNA を鋳型にしたナノ細線の構築」、秋季第64回応用物理学会学術講演会、福岡大学(福岡) (2003-08)
- 33) 藪 浩、居城邦治、下村政嗣:「RNA-脂質複合体による ナノ微粒子調製」、秋季第64回応用物理学会学術講演 会、福岡(福岡大学) (2003-08)
- 34) 田中賢、下村政嗣:「ハニカム構造フィルムのバイオメ ディカル応用」、自己組織化講演会、東京 (2003-08)
- 35) 田中賢、竹林允史、下村政嗣:「自己組織化高分子材料によるバイオメディカルインターフェイスの作製」、第 13回バイオ・高分子シンポジウム、東京(上智大学) (2003-07)
- 36) Y. Matsuo, K. Ijiro and M. Shimomura: "Observation of stretched single DNA molecules by scanning near-field optical microscope", The XXIst International Conference on Photochemistry (ICP21), Nara-ken New Public Hall, Japan (2003-07)
- 37) 田中賢、下村政嗣:「自己組織化による構造規則性材料 の作製と細胞の相互作用」、日本顕微鏡学会第59回学術 講演会、札幌(札幌コンベンションセンター)

(2003-06)

- 38) 西田仁、居城邦治、松本仁、森末光彦、下村政嗣:「環 状 DNA との塩基対形成による気水界面でのアゾベン ゼンの会合制御」、第52回高分子学会年次大会、名古屋 国際会議場 (2003-05)
- 39) 澤田石哲郎、下村政嗣:「二種類の微粒子分散液による 自己組織的な二次元パターンの形成」、第52回高分子学 会年次大会、名古屋国際会議場 (2003-05)
- 40) 伊土直子、田中賢、下村政嗣:「血液適合性と温度応答性を併せ持つ新規ポリマーの合成とパターン化」、第52 回高分子学会年次大会、名古屋国際会議場(2003-05)
- 41) 橋本裕一、澤田石哲郎、居城邦治、下村政嗣:「伸長固 定した DNA を鋳型としたナノ細線の作製」、第52回高 分子学会年次大会、名古屋国際会議場 (2003-05)
- 42) 田中賢、竹林允史、藪 浩、下村政嗣:「自己組織化を 用いたポリマーピラー構造の作製」、第52回高分子学会 年次大会、名古屋国際会議場 (2003-05)
- 43) 竹林允史、西田仁、田中賢、下村政嗣:「規則的な孔径 を有する多孔質高分子薄膜の構造制御」、第52回高分子 学会年次大会、名古屋国際会議場 (2003-05)
- 44) 森田成昭、李桂峰、野田浩之、田中賢、叶 深、大澤雅俊:「poly(2-methoxyethylacrylate)薄膜への低分子吸着(2)SFG分光による界面分子構造観察」、第52回高分子学会年次大会、名古屋国際会議場(2003-05)
- 45) 森崇之、市川見、井出誠、北野博巳、望月明、田中賢: 「種々の高分子薄膜内に浸透した水の構造に関する赤 外分光学的研究」、第52回高分子学会年次大会、名古屋 国際会議場 (2003-05)
- 46) 鶴間章典、田中賢、福嶋伸之、下村政嗣:「自己組織化を用いたポリマーピラー構造の作製」、第52回高分子学会年次大会、名古屋(名古屋国際会議場) (2003-05)
- 47) J. Matsumoto, M. Monsue, K. Ijiro and M. Shimomura: "Transcription of DNA Sequence into Chromophore Arrangement in DNA-Mimetic organization at the air-water interface", The first International Congress on Bio-Nanointerface, アルカディア市ヶ谷(東京) (2003-05)
- 48) M. Tanaka, M. Takebayashi, K. Sato, K. Nishikawa, J. Nishida and M. Shimomura: "Preparation of self-organized porous membrane with highly uniform pores for biomedical devices", ICBN 2003, Tokyo (2003-05)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- N. Ido, M. Tanaka and M. Shimomura: "Fabrication of thermosensitive patterned films by using self-organization", 2nd France-Japan workshop, Bordeaux, France (2003-11)
- 2) 田中賢:「水の自己組織化によるバイオマテリアル設計」、第3回日本バイオマテリアル学会シンポジウム、 北海道大学(札幌) (2003-09)
- 3) K. Ijiro, Y. Matsuo and M. Shimomura: "Stretching of

- single DNA molecules by LB technique for restriction site mapping", The 3rd International Symposium on the Nucleic Acids Chemistry, 北海道大学(学術交流会館) (2003-09)
- 4) 居城邦治、松尾保孝、下村政嗣:「DNA へ結合したタンパク質の単一分子イメージング」、第13回バイオ・高分子シンポジウム、上智大学(東京)(2003-07)
- 5) 鶴間章典、田中賢、福嶋伸之、下村政嗣:「自己組織化パターン化フィルムの神経組織工学への応用」、第13 回バイオ・高分子シンポジウム、東京 (2003-07)
- 6) 薮 浩、居城邦治、下村政嗣:「分子認識能を持つ核酸 ー脂質ポリイオンコンプレックス微粒子の調製」、第13 回バイオ・高分子シンポジウム、東京(上智大学) (2003-07)
- 7) 田中賢、下村政嗣:「自己組織化による構造規則性材料 の作製と細胞の相互作用」、日本顕微鏡学会第59回学術 講演会、札幌コンベンションセンター (2003-06)
- iii)コロキウム・セミナー等・その他
- 1) 田中賢:「ポリ(2-メトキシエチルアクリレート)の生 体適合性発現機構ーバイオインターフェイスにおける 水分子の役割ー」、東京工業大学学術講演会、東京工業 大学学術講演会(2003-05)

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) 田中賢、萌芽研究、新規に分子設計した生体適合性高 分子の合成とバイオメディカルインターフェイスの構 築、2003~2004年度
- 2) 居城邦治、基盤研究 B 一般 (2)、DNA を鋳型とした半 導体ナノ微粒子の自己組織化によるナノデバイスの作 製、2002~2003年度
- 3) 田中賢、基盤研究 B 展開 (2)、3 次元微細光ファブリケーションによる組織工学材料の設計・開発、2001~2003年度

4.8 共同研究

- a. **所内共同研究**(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 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、1,500千円、NO-cGMP 系は学習や記憶の基盤となる神経の可塑性に深く関与する。これまでに節足動物を用いた電気生理学・行動学・組織化学的研究から NO-cGMP 系が神経伝達の修飾に関与する事、匂いの連合学習に重要な事などを示した。NO は標的細胞のグアニル酸シクラーゼを活性化し細胞内 cGMP 合成を促進するが、cGMP がどのような生理機構で神経の可塑性に関与するか不明である。本プロジェクトは培養細胞系を従来

- の研究に取り入れ、細胞内の遺伝子発現、酵素活性を観察する事で cGMP の下流にあるシグナル伝達系を解明する。従来の in vivo の実験と本プロジェクトの in vitro の実験を組み合わせる事で、実験材料に昆虫を使う利点を最大限に活用し、脊椎動物では困難な思い切った実験を可能にする。
- 2) 田中賢、青沼仁志、堀田純一(電子科学研究所):「自 己組織化極微パターン上の神経細胞の光による配列制 御と機能再生」、2003年度、800千円、本研究の目的は、 細胞外マトリックス成分である新規生分解性材料の自 己組織化に基づく、オリジナルな微細加工技術を用い て作製した極微(ナノ~マイクロ)のパターン化フィ ルム上で、光マニピュレーション技術により神経細胞 の配列の精密制御を行い、これにより神経細胞の突起 形成や回路網構築の制御を目指すものである。神経細 胞が接着、増殖、機能発現するための足場であるパタ ーン化された生体適合性材料を開発し、その足場上で 配列制御培養した結果、形成された神経回路網の機能 を調べることで、神経細胞が局所環境(足場の形&細 胞の並び方) に反応して遊走し、その環境に適切な接 着形態をとり、回路網を形成する仕組みを明らかにし、 神経細胞機能発現の分野において、足場のパターン化 と細胞の配列性という新しい切り口を提供できる。こ れらの知見をもとに、中枢や末梢神経系の難治性疾患 治療を目指した神経再生医療への展開が期待できる。 本研究(電子研の特長をフルに生かした、ナノ材料・ 光・生命の融合)の推進により、21世紀の医療を支え る再生医療技術を開発するための重要な知見が得られ ると考えられる。
- c. 大型プロジェクト・受託研究(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 田中賢(科学技術振興事業団さきがけ研究21):「バイオインターフェイスにおいて組織化された水分子の機能」、2001~2003年度、32,000千円、フェムト秒パルス赤外レーザーを組み込んだ多光子励起顕微分光装置の開発を通して、生きた細胞と材料との界面で組織化された生体分子の多元構造を解明し、新規医療用材料の分子設計を行う。
- 2) 居城邦治(科学技術振興事業団さきがけ研究21):「環状 DNA を用いた人工光合成系の構築」、2000~2003年度、90,000千円、(デオキシ) リボ核酸の持つ特異的な構造を利用して、色素分子が環状に並んだ人工アンテナ分子をつくることで、クリーンなエネルギー変換システムを可能とする人工光合成系の構築に関する研究を行う。
- 3) 居城邦治、田中賢(科学技術振興機構戦略的創造研究 推進事業、研究代表者:下村政嗣):「高分子の階層的 自己組織化による再生医療用ナノ構造材料の創製」、 2002~2007年度、250,000千円、本研究では、DNA や 生分解性高分子などからなるナノ微粒子や高分子構造

体を作製し、これらを光マニピュレーションなどのボトムアップ技術と自己組織化を組み合わせることで、ナノメーターからマイクロメーターへいたる階層的な3次元構造を有する新しい組織工学材料を創製する。これらにより、分子レベルで細胞との相互作用を制御し、より大きなスケールで細胞の組織化を制御する、新しい再生医療用材料の開発が期待される。

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

4.9 受賞

- 1) 藪 浩、田中賢、下村政嗣:2004春季第51回応用物理学会 第16回応用物理学会「講演奨励賞」「自己組織化によるナノリング構造の作製」(応用物理学会)2004年3月
- 2) 田中賢、高山あい子、下村政嗣:第3回日本再生医療 学会総会、「優秀演題」 「自己組織化による血管系組 織再生用スキャフォールドの作製」(日本再生医療学 会)2004年3月

4.10 社会教育活動

b. 国内外の学会の主要役職

- 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) 田中賢: 医用高分子研究会委員(2004年1月1日~現在)
- 3) 田中賢:応用物理学会有機バイオ分子分科会幹事 (2003年12月1日~現在)
- 4) 田中賢:日本化学会生体機能関連化学部会 若手の会幹 事(2001年4月1日~現在)
- ・併任・兼業
- 1) 田中賢:科学技術振興事業団 研究員 (2001年12月1日~2004年11月30日)
- 2) 居城邦治: 科学技術振興事業団 研究員 (2000年10月1 日~2003年9月30日)

c. 新聞・テレビ等の報道

- 新聞
- 1) 下村政嗣、田中賢:科学工業日報 2001年10月22日~現在「科学技術 自己組織化で多孔質膜」
- d. 修士学位及び博士学位の取得状況

修士課程(1名)

竹林允史:自己組織化による高分子の微細加工

博士後期課程(1名)

角南寬: Chemical Force Microscopic Observation of Self-Assembled Monolayers having Nucleobase

- e. 担当授業科目(対象、講義名、担当者、期間)
- 1) 理学研究科、超分子化学特論 II、居城邦治、2003年4 月1日~2003年9月30日

- 2) 理学研究科、論文講読 I、居城邦治、2003年度
- 3) 理学研究科、論文講読IV、居城邦治、2003年度
- 4) 理学研究科、論文講読 V、居城邦治、2003年度
- 5) 理学研究科、特別研究 I、居城邦治、2003年度
- 6) 理学研究科、特別研究IV、居城邦治、2003年度
- 7) 理学研究科、特別研究V、居城邦治、2003年度
- g. 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)

- h. **外国人研究者の招聘**(氏名、国名、期間)
- 1) Michel Laguerre、France、2004年2月26日~2004年3月7
- 2) Ivan Huc、France、2004年2月26日~2004年3月7日
- 3) Reiko Oda、France、2004年2月26日~2004年3月7日

超分子分光研究分野

 教授
 田村 守 (北大院、理博、1987.12~)

 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

院生

齊藤健太(D3)、矢部芳治(D2)、 伊藤隆志(D2)、三國新太郎(D1) 紀伊宏昭(M1)、高木卓也(M1) 大杉 友(M1)、永山裕貴(M1)

1. 研究目標

生体組織が営む多彩な機能を、蛋白質や核酸などの分子 レベルから単一細胞や組織、そして個体レベルまで階層性 を中心に解析する。このため、特に生体組織を生きたまま 単一分子レベルで追跡可能な種々の光学技術の開発も行 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
- Ⅲ)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、空間的変化を 考慮した解析方法を研究している。これまでに、細胞 外からの刺激を受けとり、タンパク質 (PKC) が細胞 質から細胞膜へとブラウン運動により移動する過程や 酵素反応の解析を行った。

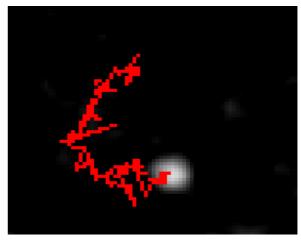


図 1. 全反射蛍光顕微鏡を用いて生きた細胞の生体膜上の Protein Kinase C と EGFP 融合タンパク質 (PKC EGFP) を 1分子観察し、その軌跡から拡散定数を算出した。

スケールバー:1μm

観察時間: 2 sec (30frame/sec の早さで合計 60frame の画像を取得した。)

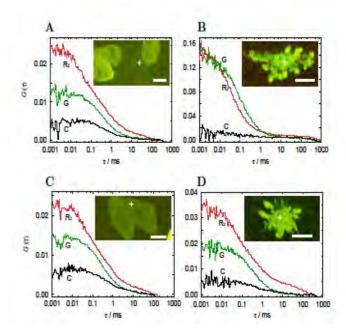
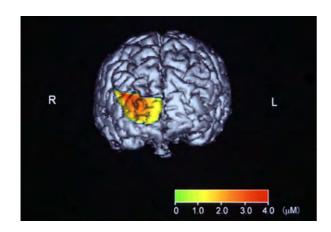


図2. 蛍光性タンパク質 GFP と RFP を利用した蛍光相互相関分 光による細胞内酵素反応 (Caspase3) の測定。 A、Cは活性化前、B、Dは活性化後。A、Bは認識サイトを含む融合タンパク質。C、Dはコントロール実験。曲線R、Gは自己相関曲線を示し、曲線 Cは相互相関曲線を示す。アポトーシスを起こした細胞(B)では相互相関曲線が消失した。

2) 医用光学の提案と光CTによる脳機能解明

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



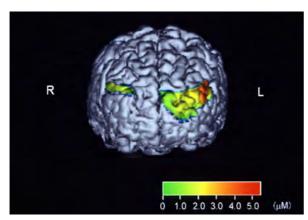


図3. 上下 人のワーキングメモリーの光画像 異なったボランティアの結果

3. 今後の研究の展望

- 1) 光学技術を生命現象の解明に広く応用するため、その基本である不均一散乱系の分光計測の実験的・理論的研究を行い、生体分光学を確立する。さらに、より臨床医学への応用を目ざ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) fMRI や fNIRS 等による人高次脳機能の解明を行う。特に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、ウエアブルCT、を用いて、小児や新生児の発達課程を追跡する。

4) カップリング機構の解明

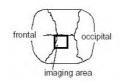
光学計測可能な各種動物モデルによる神経興奮 - 代謝変動のカップリング機構の解明 - 特に遺伝子改変マウスによる計測を行う。

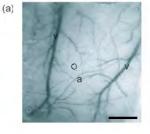
5) 脳灌流法を中心とした脳酸素代謝の解析

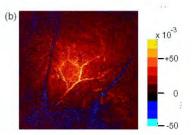
当分野で行っている人工血液を用いた脳灌流系は、生体のホメオスタシスの維持に働く情報伝達・制御系である神経性調節と液性調節を切り離して個々に解析し得る優れた実験系である。この実験系を用い、我々が開発した種々の分光測定技術を利用し、臓器代謝における中枢神経系とホルモン系との相互の関係を明らかにする。

6) 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

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。







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

- F. Fujii, Y. Nodasaka, G. Nishimura and M. Tamura: "Anoxia Induces Matrix Shrinkage Accompanied by an Increase in Light Scattering in Isolated Brain Mitochondria", Brain. Res., 999: 29-39 (2004)*
- G. Nishimura and M. Kinjo: "Systematic Error in Fluorescence Correlation Measurements Identified by a Simple Saturation Model of Fluorescence", *Analytical Chemistry*, 76: 1963–1970 (2004)*
- K. Maruo, M. Tsurugi, M. Tamura and Y. Ozaki: "In Vivo Noninvasive Measurement of Blood Glucose by Near-Infrared Diffuse-Reflectance Spectroscopy", Applied Spectroscopy, 57(10): 1236-1244 (2003)*
- 4) Z. Foldes-Papp, M. Kinjo, K. Saito, H. Kii, T. Takagi, M. Tamura, J. M. Costa, E. Birch-Hirschfeld, U. Demel, P. Thyberg and G. P. Tilz: "C677T Single Nucleotide Polymorphisms of the Human Methylene Tetrahydrofolate Reductase and Specific Identification A NovelStrategy Using Two-Color Cross-Correlation Fluorescence Spectroscopy", Molecular Diagnosis, 7(1): 99-111 (2003)*
- 5) Y. Takahashi, N. Bark, M. Kinjo and R. Rigler: "Fluorescence Correlation Spectroscopy (FCS) Analysis of Human Red Blood Cell System", OPTICAL REVIEW, 10(6): 596-599 (2003)*
- 6) K. Saito, E. Ito, Y. Takakuwa, M. Tamura and M. Kinjo: "In situ observation of mobility and anchoring of PKCI in plasma membrane", FEBS Letters, 541: 126-131 (2003)*
- F. Fujii and M. Tamura: "Light Scattering Changes in Isolated Brain Mitchondria during Anoxia - Magnesium Effect on Morphological Changes and Respiration-", Optical Review, 10(5): 440-443 (2003)*
- 8) G. Nishimura and M. Kinjo: "Multi-photon fluorescence correlation spectroscopy: a quantification of tryptophan methylester solutions by visible emission", *Optical Re-view*, 10: 588-591 (2003)*
- 9) S. Oya, H. Inoue, T. Nakade, A. Ogata, M. Tamura and S. Kato: "Near-infrared Spectroscopy Evaluated as a Technique for Estimating Udder Haemodynamics in the Lactating Cow", J. Vet. Med. A, 50: 230-234 (2003)*
- 10) K. Maruo, M. Tsurugi, J. Chin, T. Ota, H. Arimoto, Y. Yamada, M. Tamura, M. Ishii and Y. Ozaki: "Noninvasive Blood Glucose Assay Using a Newly Developed Near-Infrared System", *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 9(2): 322–330 (2003)*
- 11) N. Tokuriki, M. Kinjo, S. Negi, M. Hoshino, Y. Goto, I. Urabe and T. Yomo: "Protein Folding by the Effects of Macromolecular Crowding", *Protein Science*, 13: 125-133 (2003)*

- 12) G. Nishimura and M. Tamura: "Simple setup for nanosecond time-resolved spectroscopic measurements by a digital storage oscilloscope", *Phys. Med. Biol.*, 48: N283-N290 (2003)*
- 13) M. Tarumi, M. Shimada, T. Murakami, M. Tamura, M. Shimada, H. Arimoto and Y. Yamada: "Simulation Study of In Vitro Glucose Measurement by NIR Spectroscopy and a Method of Error Reduction", Phys. Med. Biol., 48: 2373-2390 (2003)*
- 14) G. Nishimura and M. Kinjo: "Visible Emission of a Photoproduct from Tryptophan Solution Induced by Multiphoton Excitation: An Investigation by Intensity Fluctuation Analysis", J. Phys. Chem. B, 107: 6012–6017 (2003)*

4.2 総説、解説、評論等

- 1) 田村守:「機能的近赤外分光法 (f NIRS)の現状とその 未来」、*Equilibrium Res.*, 62(3): 260-267 (2003)
- 2) 田村守:「機能的近赤外分光法-fNIRS」、神経研究の 進歩、47(6): 891-901 (2003)
- 3) 田村守:「近赤外光を用いた脳機能計測 -その基礎および光 CT の可能性-」、計測と制御、42(5):396-401 (2003)
- 4) 田村守:「近赤外線による酸素代謝異常の検出」、臨床 医、29(3): 372-374 (2003)
- 5) 田村守:「近赤外分光法-現状と展望」、*BME*、17(4): 15-22 (2003)
- 6) 田村守:「光診断の現状と未来」、医学のあゆみ、 206(3): 927-928 (2003)

4.5 講演

a. 招待講演

- 1) 金城政孝:「細胞内分子ネットワークのダイナミクス」、 第76回日本生化学会大会、横浜市 (2003-10)
- K. Saito, Y. Takakuwa, M. Tamura and M. Kinjo: "In situ observation of mobility and anchroring of PKC β I in plasma membrane", Second international conference on biomedical spectroscopy, London, UK (2003–07)
- K. Saito, I. Wada, M. Tamura and M. Kinjo: "Fluorescence cross correlation spectroscopy analysis of protein-protein interaction in a living cell", Second international conference on biomedical spectroscopy, London, UK (2003-07)
- 4) 金城政孝、村田昌之: 「in vivo 1 分子観察 ー細胞生物 学との接点ー」、蛋白質科学会第3回年会、札幌市 (2003-06)
- 5) 垣花泰之、岡山奈穂子、北原浩一郎、森山孝宏、川上雅之、尾前穀、上村裕一、田村守:「光計測法の麻酔科領域での使用経験:全400例での臨床報告」、第42回日本エム・イー学会大会、札幌市(2003-06)
- 6)田村守、丸尾勝彦:「光学的非侵襲血糖計測法の開発」、 日本医工学治療学会第19回学術大会、札幌市

(2003-05)

- 7) 金城政孝:「蛍光相関分光を用いた細胞測定から分かる こと」、第56回日本細胞生物学会大会、大津市 (2003-05)
- 8) 金城政孝、田村守、藤井文彦、坂田啓司:「蛍光相関分 光法によるプリオン蛋白の超高感度検出法の開発」、平 成14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 (2004-03)
- 9) 田村守:「生体分光学-光診断とイメージング」、北海 道大学電子科学研究所シンポジウム 分光学の新たな 展開-物質科学・生命科学への挑戦-、札幌市 (2003-12)
- 10) 金城政孝:「揺らぎから探る細胞の仕組み」、第2回細胞 生物学ワークショップ、札幌市 (2003-11)
- 11) 田村守:「光を用いて脳の働きを探る-基礎から診断応 用まで-」、平成15年度統計数理研究所研究会 21世紀 の診断工学とその周辺、東京都 (2003-10)
- 12) 金城政孝:「蛍光相関分光法:光の揺らぎから探る細胞 の仕組み」、第一回バイオオプティクス研究会 バイオ とオプティクスの融合、山口市(2003-09)
- 13) 金城政孝:「FCS で何が出来るか」、第1回細胞生物学 ワークショップ、神戸市 (2003-08)
- 14) 金城政孝:「蛍光相関分光法による in vivo1分子観察」、 研究会「機能性分子の設計合成戦略と計測技術の現在 そして未来」、沖縄市(2003-04)
- 15) 田村守:「光とバイオ、光と医療」、生体医用光学ブレークスルーフォーラムー進化するバイオイメージングー、東京都 (2003-12)
- 16) 田村守:「光で生体情報を探る-光診断への道」、講習会 「生体系の非破壊分析」-単一細胞から人間までの生態 情報計測-、東京都 (2003-10)
- 17) 田村守:「光とバイオ、光と医療」、講演会 光とバイ オ、光と医療、東京都 (2003-09)
- 18) 金城政孝:「蛍光相関法を用いた細胞生物学に向けて」、 日本生物物理学会第41回年会 ランチョンセミナー、 新潟市 (2003-09)

b. 一般講演

i)学会

- 1) 西村吾朗、田村守:「TOF 法による生体組織の光学定数の検討-計測の時間分解能に大きな制約がある場合について」、Optics Japan 2003, 浜松市(アクトシティ) (2003-12)
- 2) 西村吾朗、田村守:「ディジタルオシロスコープによる ナノ秒蛍光寿命測定」、日本生物物理学会第41回年会、 新潟市(朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター) (2003-09)
- 3) 白 燦基、齊藤健太、田村守、金城政孝:「タンデム型 GFP を用いた細胞核内微環境の解析」、日本生物物理 学会第41回年会、新潟市 (2003-09)

- 4) 齊藤健太、和田郁夫、田村守、金城政孝:「蛍光相互相 関分光法による細胞内分子間相互作用解析」、日本生物 物理学会第41回年会、新潟市(2003-09)
- 5) 大山徳子、山本徹、田村守、宮坂和男:「骨格筋における T2*強調信号とデオキシヘモグロビン量の多様な相関」、第42回日本エム・イー学会大会、札幌市 (2003-06)
- 6) 菅原武、佐久間一郎、坂野上淳、富樫廣子、仲井邦彦、 吉岡充弘、佐藤洋、田村守、北畠顕:「脱血ショック下 におけるヘモグロビン修飾体、SNO-Hbの酸素運搬 能」、第42回日本エム・イー学会大会、札幌市 (2003-06)
- 7) 永山裕貴、山本徹、田村守:「MRIの静磁場による血液 粘度への影響」、第42回日本エム・イー学会大会、札幌 市(2003-06)
- 8) Y. Murai, M. Nemoto, M. Tamura, T. Kamada and T. Araike: "Changes of Local Flow Associated with Neural Activity Evoked by Direct Stimulation of the Cerebral or the Cerebellar Cortex", JJP The Proceedings of the 80th Annual Meeting, Fukuoka (2003–03)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) 齊藤健太、和田郁夫、田村守、金城政孝:「蛍光相互相 関分光法による細胞内分子間相互作用の直接検出」、理 研シンポジウム 蛍光相関分光で見る生体系の情報伝 達、和光市(2004-03)
- 2) 三國新太郎、田村守、金城政孝:「蛍光相関分光法を用いた細胞内転写因子の解析」、理研シンポジウム 蛍光 相関分光で見る生体系の情報伝達、和光市(2004-03)
- 3) 郡俊志、田村守:「均一媒体として求められた吸収係数 に対する2層構造を持つ半無限平板の各層の寄与率」、 Optics Japan 2003, 浜松市 (2003-12)
- K. Maruo, M. Tsurugi, T. Nakagawa, T. Ota and M. Tamura: "Noninvasive Near-Infrared Blood Glucose Monitoring: The Effect of Instrumental Stability", Third Annual Diabetes Technology Meeting, San Francisco, USA (2003-11)

4.7 予算獲得状況

- a. **科学研究費補助金**(研究代表者、分類名、研究課題、 期間)
- 1) 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
- b. **奨学寄附金**(氏名、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 田村守、オリンパス光学工業株式会社 医療事業光学 開発部、奨学寄付金、2003年度、500千円、電子化学研 究のため

4.8 共同研究

b. 民間等との共同研究(研究担当者、機関名、研究題目、

研究期間、研究内容)

- 1) 金城政孝、高橋 保夫(オリンパス光学工業株式会社): 「FCS を用いた蛋白質相互作用の解析とその応用研究 に関する共同研究」、2003年度、1,850千円、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、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-」、2003年度、1,160千円、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。
- 3) 田村守、小林邦彦、中山憲司(北海道立衛生研究所): 「先天性銅代謝異常症(ウィルソン病)の包括的医療システムの構築-3歳児健診を利用したウィルソン病スクリーニングの導入-」、2003年度、639千円、ウィルソン病のへム代謝異常に関する研究及び蛍光相関分光法による尿中セルロプラスミンの超高感度検出法の開発
- 4) 田村守、石井正孝(医療法人社団翔嶺館 新札幌聖陵 ホスピタル):「光学的血糖測定システムの開発」、2003 年度、500千円、糖尿病患者の健康管理のため、近赤外 光を用いた非侵襲的血糖測定機を開発する
- 5)金城政孝、長谷川寛(浜松ホトニクス株式会社):「一分子蛍光計測装置の開発」、2002~2003年度、1,000千円、現行の一分子計測装置は大型でかつ高価である。これを小型で操作性が簡便で、かつ安価な装置を開発することにより、遺伝子解析や蛋白質相互作用の研究を促進する
- c. 大型プロジェクト・受託研究(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 金城政孝 (オリンパス光学工業株式会社):「細胞内2 光子励起 FCS/FCCS の測定技術に関する研究」、2003 年度、10,000千円、細胞内 FCS/FCCS の測定技術の 確立を目指した基礎研究を行う。
- 2) 田村守、丸尾勝彦、鶴来充啓、中川武大(松下電工(株)): 「光学式血糖値測定システムの開発」、2003年度、1,500 千円、近赤外光を利用した非侵襲血糖計測システムを 開発する
- f. 科学技術振興調整費(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 金城政孝(文部科学省):「蛍光相関分光法を利用した 高感度分子間相互作用検出装置の開発」、1999~2003 年度、72,781千円、極微小領域からの蛍光発光をとら える手法を利用して大規模未知遺伝子翻訳産物を対象 した分子間相互作用解析システム(蛍光相関分光法) の開発を行う

その他(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究

内容)

- 1)金城政孝、本間さと、白川哲夫(RR2002):「RR2002 先端計測研究」、2003~2004年度、未定、ヒトー動物ー 組織ー細胞ー分子を研究対象とし、北海道大学が子の 方面でもつポテンシャルに基づき異なるモダリティー の先端計測技術を開発する。さらに、それらの計測法 を駆使して学内外の異分野の研究者が協同しながら 個々の階層がもつ機能を追及する.1)磁気イメージン グ、2)光イメージング、3)高次機能と行動観察、3) 細胞・分子計測に関する研究を展開する。
- 2) 佐多徹太郎、田村守、堀内基広、品川森一、小野寺節、山河芳夫、堂浦克美、高橋秀宗、松田治男、千葉丈、 菊地裕、松田潤一郎、石黒直隆、吉岡秀文、三好一郎、 森清一、寺尾恵治、佐々木裕之(厚生科学研究費補助 金):「牛異常プリオン検出技術の高度化及び牛海面状 脳症の感染メカニズム」、2003~2004年度、未定、プリ オンの検出、あるいは疾病に付随する蛋白を検出して 診断・摘発する方法の改良と、高感度化及び実用化
- 3) 田村守、金城政孝、岩井俊昭、品川森一、堀内基広、 田村正秀、澤田幸治、池田徹也(科学技術振興機構 研 究成果活用プラザ北海道):「病原性変異蛋白質のウル トラハイスループット検査法の確立 -BSE スクリーニ ングを目指して一」、2002~2005年度、145,000千円、 蛍光ゆらぎ(分子の運動)を利用して蛍光分子1~数個 の検出が可能な超高感度検出システムを開発し、遺伝 子診断や蛋白質相互作用の検出へ応用するもの。従来 の蛍光強度を測定する手法と異なり、微量の検体を液 相で測定できるため、牛海綿状脳症(BSE)のような 膨大な数のサンプルを対象とする検査を全自動で超高 精度、迅速に行うことができる。 本技術では、ウイ ルソン病、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。
- 4) 井上芳郎、栗城眞也、本間研一、大森隆司、渡邉雅彦、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(バーチュアル専攻)を構築し、文理融合型の教育を行う、ポスドク研究員の採用と併せて、脳科学に関する若手研究者の育成を図る。

4.10 社会教育活動

a. 公的機関の委員

併任・兼業

- 1) 田村守:伊藤医薬学術交流財団 選考委員(2002年4 月1日~現在)
- c. 新聞・テレビ等の報道
- 放送
- 1) 田村守: NHK 2002年2月2日〜現在「サイエンスア イ にっぽん名物研究室 光の科学2:光CTで脳の 機能に迫る」
- d. 修士学位及び博士学位の取得状況

修士課程(4名)

紀伊宏昭、高木卓也、大杉友、永山裕貴

博士後期課程(5名)

三國新太郎、伊藤隆志、矢部芳治、齊藤健太、藤井文彦 博士論文

- 1) 藤井文彦:光散乱を用いた脳の光診断のための基礎研究-無酸素状態における脳ミトコンドリアと脳組織の 光散乱変化-
- e. 担当授業科目(対象、講義名、担当者、期間)
- 1) 全研究科共通、脳科学研究の展開Ⅲ 脳機能イメージ ング 非侵襲脳機能解決法(2)近赤外法、田村守、2003 年12月19日
- 2) 全学部共通、一般教育演習「生命分子化学」光で探る 生命の不思議、田村守、2003年11月20日
- 3) 理学研究科、生物量子化学概論、田村守、2003年10月1 日~2004年3月31日
- 4) 工学部、化学 II、金城政孝、2003年10月1日~2004年3 月31日
- 5) 全研究科共通、分子生物学と生物物理学、田村守、2003 年10月1日~2004年3月31日
- 6) 全学部共通、環境と人間「21世紀を拓く光化学」 光 で一分子の重さを量る、金城政孝、2003年7月17日~ 2003年7月22日
- 7) 全学部共通、環境と人間「21世紀を拓く光化学」 光 で脳の働きを量る、田村守、2003年7月8日~2003年7 月15日
- 8) 理学部、分子生理学、田村守、2003年4月1日~2003年9 月30日
- 9) 全学部共通、環境と人間(先端の化学)、田村守、2003 年4月1日~2003年9月30日
- g. ポスドク・客員研究員など

ポスドク (1名)

長尾一生 (理学部)

その他 (1名)

白燦基 (電子科学研究所)

- h. **外国人研究者の招聘** (氏名、国名、期間)
- 1) Zeno Foldes Papp、Austria、2004年3月5日~2004年3月 26日
- 2) Bong-Kiun Kaang Ph. D.、Korea、2004年1月29日~2004 年2月1日

細胞機能素子研究分野

教授 上田哲男 (北大院、薬博、1998.2~) 助教授 中垣俊之 (名大院、学博、2000.11~) 助手 神 隆 (北大院、理博、1988.7~) 助手 高木清二 (名大院、学博、2003.9~)

講師 高橋賢吾(東工大院、理博、2003.4~)(研究機

関研究員)

1. 研究目標

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

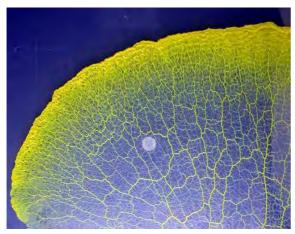
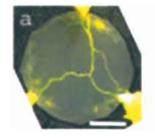


図1. 寒天上を這う粘菌変形体。

2. 研究成果

(a) 幾何学的パズル問題による計算能力の高さの解明

幾何学的パズル問題による計算能力の高さを解明するために、複数餌場を確保する形態の解析を行なった。個々に分かれた複数の餌場に粘菌を置き、管のネットワーク形成を観測した。三個の餌場を正三角形の頂点に配置したとき、二つの場合が同様に観測された。1つは(SMT)数学的にスタイナーの最小木として知られた数学的に最短ルートによく似た形で結ぶ。もう1つのネットワーク(CYC)は、確率的な事故で管が断線した場合に切り離されない、つまり高い欠損耐性を示すネットワークであるサイクルであった。この2つの安定なパターン間の選択がみられた。3個以上の餌場の場合は、SMTと CYC のパッチワークを形成



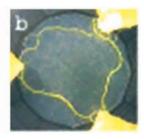


図2. 典型的な管ネットワーク。(a) スタイナーの最小木 (SMT) と (b) サイクル (CYC)。

た。このように最適化すべき拘束条件が増えていっても、 粘菌は巧みに最適ネットワークを形成する。パターン選択 という新しい現象を見つけた。

(b) 数理モデルの構成

粘菌の運動・変形・管形成に関する細胞生理学的知見を総合し、数理モデルの基本的枠組みを構成した。収縮弛緩リズムおよびこれに伴う原形質流動は、周期2分程度と速い。これに対し、管の形成には、20分程度の時間がかかり、先に比して遅い。このことは、時間スケールを分離できることを意味する。まず、速い現象を記述するモデルを構成した。

生理実験より、(1) 局所的な能動的振動子がある。(2) 能動的振動子は、圧力差を生出す。(3) 静水圧差にしたがって、原形質ゾルは受動的に流れる。

これらの事実を偏微分方程式で書き下し、コンピュータで数値計算を行い、粘菌の運動をシミュレートした。 その結果以下のような結果が得られた。

同心円状にひろがる粘菌では、進行部と中央部で逆位相になる細胞全体にわたるコヒーレントな振動が観測されている。計算機シミュレーションでは、stiffness パラメータを進行端で中央部より少し小さく置く(細胞の周辺部が柔らかい)ことにより同様の振動パターンを再現することができた(図3(a))。また、粘菌をフェニルアラニン存在下や高温下におくと、一様に広がったシート状の形状に変化し、いくつかに分離したドメインをもつ振動パターンが観測されている。計算機シミュレーションでは、細胞全体でstiffness パラメータを一様にすると、このような振動パターンを示すことが分かった(図3(b))。このように、一つのパラメータ、つまり stiffness パラメータの空間分布により、従来説明が困難であった現象を説明することができた。

(c) 細胞の行動とその分子的基盤の観察

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

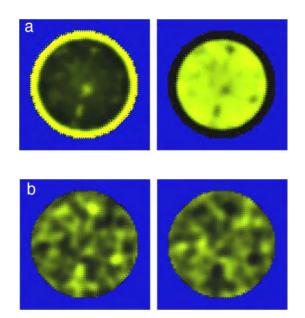


図3. 結合振動子系による粘菌シミュレーション。(a) 周辺部分を柔らかくした場合。コヒーレントな振動パターンが見られる。(b) 全体が同一の固さを持つ場合。振動パターンは乱れており、局所的に位相の揃ったドメインに分かれる。

細胞の行動判断に関しては、粘菌を誘引・忌避物質で同時刺激し、細胞応答を調べた結果、以下のことが明らかになった。受容膜電位は、誘引物質が共存しても、忌避物質に対して、単独刺激と同じ濃度領域で変化したが、一方行動レベルでは、2桁高い誘引物質が存在すると、忌避応答に対する応答は2桁高くなった。これらのことは、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。現在、詳しくその統合機構を調べている。

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

3. 今後の研究の展望

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

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

4. 資料

4.1 学術論文等

- T. Nakagaki, H. Yamada and M. Hara: "Smart network solutions in an amoeboid organism", *Biophys. Chem.*, 107: 1-5 (2004)*
- 2) T. Jin: "A new fluorometric method for the detection of the neurotransmitter acetylcholine in water using dansylcholine complex with p-sulfonated calix[8]arene", J. Inclu. Phen., 45: 195-201 (2003)*

4.2 総説、解説、評論等

国際会議議事録等に掲載された論文

 H. Yamada and T. Nakagaki: "Oscillation patterns in cytoplasmic networks of the Physarum plasmodium", Traffic and Granular Flow '01, 563-568 (2003)*

4.3 著書

- 1) 中垣俊之:「アメーバ細胞の形と機能」、形の科学事典、 朝倉書店(2003)、掲載予定
- 中垣俊之:「真正粘菌」、かたちの事典、高木隆司編、 丸善、386-387 (2003)
- 3) 中垣俊之、山田裕康:「粘菌変形体の形と機能」、形の 科学事典、朝倉書店 (2003)、掲載予定

訳書

1) 田中玲子、山田裕康、高松敦子、中垣俊之: ゴルビツ キー/スチュアート 対称性の破れとパターン形成の 数理、1-562 (2003)

4.5 講演

a. 招待講演

- 1) 中垣俊之、小林亮:「結合振動子系としてみた真正粘菌 の行動」、日本物理学会 秋季大会、岡山大学(2003-09)
- R. Kobayashi, T. Nakagaki and A. Tero: "Modeling Approach to the Dynamics of Plasmodium of Physarum Polycephalum", Mathematical understanding of invasion processes in Life Sciences, CIRM, Marseille, France (2004-03)
- 3) 中垣俊之:「不思議なアメーバ様生物粘菌に学ぶ賢い計算法」、北海道大学創成科学研究機構開所記念シンポジウム、北海道大学(2004-01)
- 4) 中垣俊之:「あるアメーバ様細胞の賢さを探る」、JS T異分野研究者交流フォーラム「無駄の効用?揺らぎと 遊び一」、片山津温泉 (2004-01)
- 5) T. Ueda: "Intelligent slime mold: a self-organizing system of shape and information", Networks of Interacting Machines: Industrial Production Systems and Biological Cells, Berlin, Harnack-Haus, Germany (2003-12)
- 6) 小林亮、中垣俊之、手老篤史:「真性粘菌変形体の運動 と形態形成の数理モデル」、第13回「非線形反応と協同 現象」研究会、京都大学(2003-12)

- 7) T. Jin: "An photoresponsive lipid bilayer membrane: Control Na+ Transport by visible light", International Symposium on New Horizons in Molecular Science and Systems: An Integrated Approach, Okinawa, Japan (2003-10)
- 8) 小林亮、中垣俊之、手老篤史:「真性粘菌変形体の運動の数理モデル」、数理解析研究所研究集会「反応拡散系におけるパターン形成と漸近的幾何構造の研究」、京都大学(2003-10)
- 9) 小林亮、手老篤史、中垣俊之:「真性粘菌変形体の運動 と形態形成の数理モデル」、INSAM セミナー、広島大 学(2004-03)
- 10) 中垣俊之 and 小林亮: "Physiology of communication network in true slime mold", Prof. P. Maini's lab Seminar, University of Oxford, UK (2004-02)
- 11) 小林亮、中垣俊之、手老篤史:「真性粘菌変形体の運動 と形態形成のモデリングについて」、北海道大学数学教 室談話会、北海道大学 (2003-07)
- 12) 小林亮、中垣俊之、手老篤史:「真性粘菌変形体の運動の数理モデル」、津田研・西浦研合同セミナー、北海道大学(2003-06)

b. 一般講演

i) 学会

- 1) 神 隆、金城政孝:「蛍光相関分光法によるホストーゲ スト錯形成の1分子レベルでの観測」、日本化学会第84 春季年会、関西学院大学(2004-03)
- 2) 中垣俊之、上田哲男:「アメーバ様生物による輸送ネットワークの効率的な設計」、第41回日本生物物理学会年会、新潟市(2003-09)
- R. Kobayashi, A. Tero and T. Nakagaki: "Modeling of the Motion of the Plasmodium of Physarum Polycephalum", International Conference on Mathematical Biology 2003, Dundee, UK (2003–08)
- T. Nakagaki and R. Kobayashi: "Cell dynamics of network formation in a large amoeboid organism of Physarum", International Conference on Mathematical Biology 2003, Dundee, UK (2003–08)
- 6) T. Nakagaki and R. Kobayashi: "Cellular computation by adaptive changes in body shape of an amoeba-like organism", SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems, Snowbird, Utah, USA (2003-05)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1)神隆:「可視光による脂質二分子膜を介したイオンフラックスの光制御」、第1回生体関連化学、バイオテクノロジー合同シンポジウム、熊本(2003-10)
- 2) 手老篤史、小林亮、中垣俊之:「非線型結合振動子系による細胞行動のシミュレーション」、第13回数理生物学シンポジウム、奈良女子大学(2003-09)
- 3) 手老篤史、小林亮、中垣俊之:「非線型結合振動子系による細胞行動のシミュレーション」、第8回 NLPM サマ

- ーセミナー、岡山厚生年金休暇センター (2003-09)
- 4) 手老篤史、小林亮、中垣俊之:「非線型結合振動子系による細胞行動のシミュレーション」、第1回北海道大学 COE 合宿、大雪少年自然の家(2003-08)
- T. Nakagaki and T. Ueda: "Cellular computation in an amoeba-like organism", The second international symposium on molecular synchronization for design of new materials system, Yokohama, Japan (2003-07)

4.7 予算獲得状況

- a. **科学研究費補助金**(研究代表者、分類名、研究課題、 期間)
- 1) 中垣俊之、基盤研究 B 一般 (2)、単細胞生物粘菌による幾何学的パズル問題の解決法と細胞内計算アルゴリズム、2003年度
- 2) 神 隆、基盤研究 C 一般 (2)、可視光による脂質二分子膜を介したイオン輸送の光制御、2003~2005年度
- b. **奨学寄附金**(氏名、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 上田哲男、電子科学研究所、電子科学研究のため、2003 年度、1,920千円、粘菌を用いた細胞インテリジェンス 研究を推進する

4.8 共同研究

- a. **所内共同研究**(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 西浦廉政、小林亮、上田哲男、中垣俊之(電子科学研究所):「非線形化学ダイナミクスに基づく細胞インテリジェンスの発現」、2001~2003年度、未定、非線形化学ダイナミクスに基づく細胞インテリジェンスの発現
- e. COE **関係**(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 芳賀永、小林亮、中垣俊之(21世紀 COE プログラム「バイオとナノを融合する新生命科学拠点」):「ナノカ学走査型プローブ顕微鏡を用いた細胞システム挙動の実験的・理論的解析」、2002~2003年度、4,000千円、ナノカ学走査型プローブ顕微鏡を用いて細胞の力学特性を計測し、それに基づいて細胞運動の数理モデルを構成する。モデルのシミュレーションを通じて細胞の集団的挙動のしくみを解明する。
- f. その他(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、 研究内容)
- 1) 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。

4.10 社会教育活動

b. 国内外の学会の主要役職

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

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)

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)

c. 新聞・テレビ等の報道

• 放送

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

g. ポスドク・客員研究員など

ポスドク(1名)

高橋 賢吾 (電子科学研究所機関研究員)

電子計測制御部門

研究目的

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



光システム計測研究分野

教授 笹木敬司 (阪大院, 工博, 1997.11〜) 助教授 竹内繁樹 (京大院, 理博, 1999.10〜) 助手 堀田純一 (阪大院, 工博, 1998.4〜) 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~) 大橋弘明 (北陸先端大・材料科学博, 2002.4~) ソージャエフ・アレクサンドレ

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

院生 小島邦裕 (D3)、辻野賢治 (D3)、岡寿樹 (D2)、 千葉明人 (D2)、岡本亮 (D1)、千葉孝志 (D1)、 川瀬大輔 (M2)、川辺喜雄 (M2)、高島秀聡 (M2)、西村和哉 (M2)、百瀬義剛 (M2)、高 橋亮一 (M1)、竹ヶ原伸一郎 (M1)

1. 研究目標

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

2. 研究成果

(a) 2光子状態間のもつれ合いの検証実験

1つの時空間に光子が2つ局在した状態を2光子状態と呼ぶ。その2光子状態同士の間でのもつれ合いを、単なる2つの「もつれ合い光子対」状態から区別して検証する実験に世界で初めて成功、今後の多量子間もつれ合い研究に道を開いた。超短パルス励起光を非線形結晶に入射した時に、まれに放出される2つの光子対を、4つの光子検出器によって検出した。その結果、経路Aで水平/垂直偏光基底で検出した際に、経路Bで右回り/左回り基底で検出される率が、同じ基底で検出される率の半分を下回った。この結果は、単なる「2つのもつれ合い光子対」からは説明できず、「2光子状態同士のもつれ」の発生を示唆している。

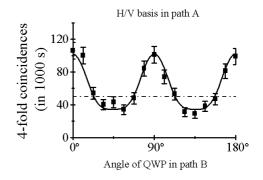


図1. H/VとR/L偏光基底で検出した4光子同時計数率

(b) 微小球光共振器のモード解析と共鳴周波数制御

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

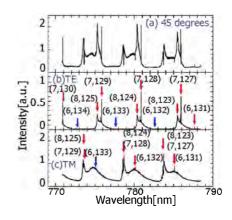


図2. 微小球のフォアフィールド光散乱スペクトル計測と共鳴

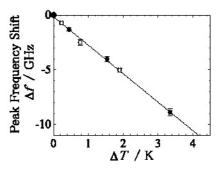


図3. ガラス微小球における共鳴周波数の温度特性

(c) パラメトリック蛍光光子対を用いた単一光子発生装置の開発

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

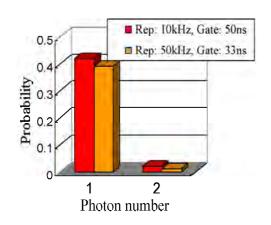


図4. 開発した単一光子源からの光子数分布

(d) 単一原子を用いた量子位相ゲートの理論構築と動作 解析

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

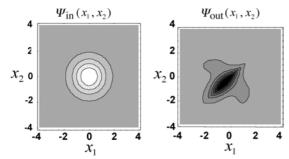


図5.2光子波動関数に対する量子位相ゲートの応答。左側が入力、右側が出力

(e) ランダム媒質における光閉じ込め効果の数理解析

波長オーダーのサイズの微粒子が高密度かつ不規則に配置された系(ランダム媒質)では光閉じ込め現象が誘起され局所的に極めて強い光相互作用が生じる可能性が指摘されているが、ランダム媒質によってどのくらいのQ値やモード体積の光局在が得られるかは明らかにされていない。我々は、時間領域差分法を用いた計算機シミュレーションによりランダム媒質の光共鳴特性について解析を行った。その結果、波長オーダーの空間領域に106を超える高いQ値で光閉じ込めを実現できることが示された。また、ランダム媒質のサイズによって共鳴のQ値が大きく変化するという知見が得られた。

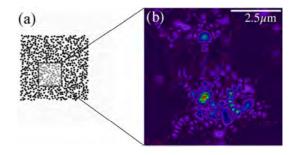


図6. ランダム媒質の光局在シミュレーション

(f) 単一分子・単一量子ドットの発光特性解析

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

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」、「結晶量子コンピュータ」、「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)光子を用いた最子計算の実現、b)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ー、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界面近傍における微粒子の力測定、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

- H. Fujiwara, H. Takasaki, J. Hotta and K. Sasaki: "Observation of the discrete transition of optically trapped particle position in the vicinity of an interface", Appl. Phys. Lett., 84(1): 13-15 (2004)*
- 2) H. F. Hofmann, K. Kojima, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Entanglement and four wave mixing effects in the dissipation free nonlinear interaction of two photons at a single atom", *Phys. Rev. A*, 68: 043813/1-043813/7 (2003)*
- 3) K. Kojima, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Nonlinear interaction of two photons at a one-dimensional atom: spatiotemporal quantum coherence in the emitted field", *Phys. Rev. A*, 68(1): 013803/1-013803/13 (2003)*
- H. F. Hofmann, K. Kojima, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Optimized phase switching using a single atom nonlinearity", *Journal of Optics B: Quantum and semiclassical optics*, 5: 218–221 (2003)*
- H. F. Hofmann and S. Takeuchi: "Violation of local uncertainty relations as a signature of entanglement", *Phys. Rev. A*, 68: 032103/1-032103/6 (2003)*
- 6) H. F. Hofmann: "Bound entangled states violate a non-symmetric local uncertainly relation", Phys. Rev. A, 68: 034307/1-034307/4 (2003)*

4.2 総説、解説、評論等

- 1) 竹内繁樹: 「特集: 光技術の極限をめざして 量子コン ピューター -光の量子的な性質の究極の応用-」、*O* plus E, 26(1): 53-57 (2004)
- 2) 竹内繁樹:「II 量子計算と量子情報理論 量子計算の 実験」、別冊・数理科学 量子情報科学とその展開 量 子コンピュータ・暗号・情報通信、57-63 (2003)
- 3) 竹内繁樹:「V 量子情報通信 量子計算・量子情報通信の未来と展望」、別冊・数理科学 量子情報科学とその展開 量子コンピュータ・暗号・情報通信、191-198 (2003)

国際会議議事録等に掲載された論文

 S. Takeuchi, R. Okamoto and K. Sasaki: "Single photon source using parametric down conversion", Proc. of the 48th SPIE International Conference, Quantum Communications and Quantum Imaging, 5161: 101-108 (2004)*

4.3 著書

1) 竹内繁樹:「4.15 量子コンピュータ」、ナノテクノロ ジー大辞典、川合知二監修、工業調査会、505-513 (2003)

4.5 講演

a. 招待講演

- 1) 竹内繁樹:「光子を用いた量子計算」、レーザー学会創立30周年記念学術講演会 第24回年次大会、仙台国際センター (2004-01)
- 2) 笹木敬司:「光と高分子微粒子が織りなす不思議な世界」、高分子学会北海道支部会「光と高分子」、千歳科学技術大学(2003-12)
- K. Sasaki: "Photon localization dynamics in nano-random media", The Australasian Conference on Optics, Lasers and Spectroscopy 2003 (ACOLS03), University of Melbourne, Australia (2003–12)
- 4) 笹木敬司、藤原英樹:「ナノ微粒子における光局在ダイナミクス」、第11回有機結晶部会シンポジウム、東北学院同窓会館 (2003-11)
- S. Takeuchi: "A high efficient single photon source and quantum phase gates for photonic qubits", ERATO Conference on Quantum Information Science 2003, Doshisya University, Niijima-kaikan (2003-09)
- S. Takeuchi, R. Okamoto and K. Sasaki: "Single photon source using parametric down conversion", SPIE Annual Meeting 2003, Sun Diego Convention Center, USA (2003-08)
- 7) 竹内繁樹:「光子数状態の生成と制御」、計測自動制御 学会第3回制御部門大会、神戸市産業振興センター (2003-05)
- 8) S. Takeuchi: "Distinguishing entangled two-photon states and a highly efficient single photon source", The International Symposium on Quantum Info-Communications and Related Quantum Nanodevices 量子情報通信と量子ナノデバイスに関する国際シンポジウム, Mita Kaigisho Conference Hall(三田共用会議所) (2004-03)
- 9) S. Takeuchi: "Quantum information processing using photons", The 6th Japanese-American Frontiers of Science Symposium (第6回日米先端科学技術 (JAFoS) シンポジウム), Shonan Village Center (湘南国際村センター) (2003-12)
- 10) S. Takeuchi: "Distinguishing genuine entangled two-photon-polarization states", Japan- Germany Colloquium 2004 on Quantum Optics (organised by JSPS and MPG), Wildbad Kreuth, Germany (2004-02)

b. 一般講演

i)学会

- 1) 千葉明人、藤原英樹、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司: 「微小球共振器近接時のテーパファイバの透過率特性」、(2004年春季)第51回応用物理学関係連合講演会、 東京工科大学(2004-03)
- 2) 川辺喜雄、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司:「Type-I パラメトリック蛍光対の空間伝播特性」、日本物理学会 第59回年次大会、九州大学箱崎キャンパス (2004-03)
- 3) 百瀬義剛、藤原英樹、笹木敬司:「ランダム媒質のサイズに依存した局在モードの数値解析」、日本光学会年次

- 学術講演会 Optics Japan 2003、アクトシティ浜松コングレスセンター (2003-12)
- 4) 大橋弘明、堀田純一、竹内繁樹、笹木敬司、村上伸也、 鳥本司、大谷文章:「単一 CdSe 量子ドットの光学特性」、 日本物理学会2003年秋季大会、岡山大学津島キャンパ ス (2003-09)
- 5) 岡寿樹、ホフマン F. ホルガ、竹内繁樹、笹木敬司:「単一原子ドープ固体共振器における入出力微弱光の非線 形位相シフト」、日本物理学会2003年秋季大会、岡山大 学津島キャンパス (2003-09)
- 6) 岡本亮、竹内繁樹、笹木敬司:「パラメトリック蛍光対 を用いた単一光子源の実現」、日本物理学会2003年秋季 大会、岡山大学津島キャンパス (2003-09)
- 7) 川瀬大輔、辻野賢治、竹内繁樹、笹木敬司、和田篤、 大湊寛之、西原昇、宮本洋子:「ホログラムとファイバ 一干渉計を用いた光子の軌道角運動量もつれ合い状態 検証実験」、日本物理学会2003年秋季大会、岡山大学津 島キャンパス (2003-09)
- 8) 川辺喜雄、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司:「BBO結晶から発生するパラメトリック蛍光対の空間伝播特性」、日本物理学会2003年秋季大会、岡山大学津島キャンパス(2003-09)
- 9) 高島秀聡、千葉明人、藤原英樹、堀田純一、竹内繁樹、 笹木敬司:「ファーフィールド観察による枝付き微小球 共振器の共鳴モード同定」、日本物理学会2003年秋季大 会、岡山大学津島キャンパス (2003-09)
- 10) 千葉孝志、大橋弘明、藤原英樹、堀田純一、竹内繁樹、 笹木敬司:「単一 Dil 分子の遷移ダイナミクスの蛍光解 析」、日本物理学会2003年秋季大会、岡山大学津島キャ ンパス (2003-09)
- 11) 西村和哉、竹内繁樹、笹木敬司:「パラメトリック下方変換によるビーム状もつれ合い光子対の評価」、日本物理学会2003年秋季大会、岡山大学津島キャンパス(2003-09)
- 12) ホフマン F. ホルガ、竹内繁樹:「Uncertainty characteristics of entangled photons」、日本物理学会2003年秋季大会、岡山大学津島キャンパス (2003-09)
- 13) J. Hotta, H. Takashima, A. Chiba, H. Fujiwara, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Scattering analysis of a microsphere at the tip of an optical fiber", The XXIst International Conference on Photochemistry, Nara-ken New Public Hall, Japan (2003-07)
- 14) R. Okamoto, S. Takeuchi and K. Sasaki: "A single photon source using parametric down conversion", 16th International Conference on Laser Spectroscopy, Novotel Palm Cove Resort, Australia (2003-07)
- 15) H. Fujiwara, Y. Kawabe, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Spatial propagation properties of beam-like type-II parametric fluorescence photon pairs", 16th International Conference on Laser Spectroscopy, Novotel Palm Cove

- Resort, Australia (2003-07)
- 16) H. F. Hofmann, S. Takeuchi, K. Kojima and K. Sasaki: "Spatiotemporal coherence in the interaction of a two photon input pulse with an atom-cavity system", 16th International Conference on Laser Spectroscopy, Novotel Palm Cove Resort, Australia (2003-07)
- 17) H. Fujiwara, M. Sarashina, Y. Momose and K. Sasaki: "Approach to control of localized modes in random media", 16th International Conference on Laser Spectroscopy, Novotel Palm Cove Resort, Australia (2003-07)
- 18) K. Tsujino, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki: "Generation of entanglement between a pair of two photon polarization states using type-II parametric down-conversion", 16th International Conference on Laser Spectroscopy, Novotel Palm Cove Resort, Australia (2003-07)
- A. Chiba, H. Fujiwara, J. Hotta, S. Takeuchi and K. Sa-saki: "Fine frequency tuning of a microspherical cavity by temperature control", CLEO EUROPE EQEC 2003, Munich ICM, Germany (2003–06)
- S. Takeuchi, R. Okamoto and K. Sasaki: "A single photon source using parametric down conversion", CLEO EUROPE EQEC 2003, Munich ICM, Germany (2003–06)
- 21) H. F. Hofmann, S. Takeuchi, K. Kojima and K. Sasaki: "Generation of spatiotemporal two photon entanglement by an atom-cavity nonlinearity", CLEO EUROPE EQEC 2003, Munich ICM, Germany (2003-06)
- 22) K. Kojima, S. Takeuchi, K. Sasaki and H. F. Hofmann: "A fully quantum mechanical approach to the nonlinear interaction in two photon pulses at an atom-cavity system", CLEO EUROPE EQEC 2003, Munich ICM, Germany (2003-06)

ii)研究会・シンポジウム・ワークショップ

- 1) A. Chiba, H. Takashima, H. Fujiwara, J. Hotta, S. Takeuchi and K. Sasaki: "A microspherical cavity coupled with a tapered fiber-nano-optical device for quantum phase gate-", The International Symposium on Quantum Info-Communications and Related Quantum Nanodevices 量子情報通信と量子ナノデバイスに関する国際シンポジウム, Mita Kaigisho Conference Hall (三田共用会議所) (2004-03)
- 2) S. Takeuchi, J. Hotta and K. Sasaki: "A quantum phase gate for photonic qubit using micro-sphere resonator", The International Symposium on Quantum Info-Communications and Related Quantum Nanodevices 量子情報 通信と量子ナノデバイスに関する国際シンポジウム, Mita Kaigisho Conference Hall (三田共用会議所) (2004-03)
- K. Kojima, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki:
 "Fully quantum analysis of nonlinear response of an

- atom-cavity system to two photon pulses", The International Symposium on Quantum Info-Communications and Related Quantum Nanodevices 量子情報通信と量子ナノデバイスに関する国際シンポジウム, Mita Kaigisho Conference Hall(三田共用会議所) (2004-03)
- 4) 堀田純一:「光の放射圧を利用した微弱力測定・分子集合構造制御」、北海道大学早稲田大学研究交流会 ナノテクノロジーとバイオテクノロジー、北海道大学エンレイソウ(2004-03)
- 5) 堀田純一、笹木敬司、J. Gong、角五彰、浦剛博、岸本 有里、長田義仁:「筋肉蛋白ゲルフィラメントのナノメ ートル位置検出法の開発」、第39回応用物理学会北海道 支部学術講演、北海道大学 学術交流会館(2004-01)
- 6) H. Oka, H. F. Hofmann, S. Takeuchi and K. Sasaki:

 "Nonlinear phase shift obtained from a single atom embedded in a one-sided solid-state microcavity", The 5th RIES-Hokkaido Symposium on Advanced Nanoscience shoku [織], Hokkaido University Conference Hall(北海道大学学術交流会館) (2003-12)
- 7) H. Ohashi, J. Hotta, S. Takeuchi, K. Sasaki, S. Murakami, T. Torimoto and B. Ohtani: "Photoluminescence measurement of single CdSe nanoparticles", The 5th RIES-Hokkaido Symposium on Advanced Nanoscience shoku [織], Hokkaido University Conference Hall(北海道大学学術交流会館) (2003-12)
- 8) 辻野賢治、川瀬大輔、西村和哉、ホフマン F. ホルガ、 竹内繁樹:「A study of multi-photon entangled states toward quantum computation using photons」、「電子・光 子等の機能制御」H10年度課題終了/H11・12年度課題 領域シンポジウム、コクヨホール (2003-10)
- 9) H. F. Hofmann and S. Takeuchi: "Violation of local uncertainty relations by entangled N-level systems", Non-locality of Quantum Mechanics and Statistical Inference (A Satellite Workshop to EQIS'03), Kyoto Sangyo University (2003-09)
- 10) 竹内繁樹:「Quantum information processing using photonic qubits」、文部科学省科学研究費補助金企画調査シンポジウム -固体中の光学過程による量子計算の可能性-、独立行政法人物質・材料研究機構(2003-08)
- 11) H. Fujiwara, Y. Momose and K. Sasaki: "Spectral change of amplified spontaneous emission induced by an optical Kerr effect in a random medium", CREST&QNN03 Joint International Workshop, Awaji Yumebutai International Conference Center, Japan (2003–07)
- 12) Y. Kawabe, S. Takeuchi, K. Sasaki and H. Fujiwara: "Observation of spatial properties of beam-like type-II spontaneous parametric down-conversion", CREST& QNN03 Joint International Workshop, Awaji Yumebutai International Conference Center, Japan (2003-07)

- S. Takeuchi: "Quantum information processing using photons", CREST&QNN03 Joint International Workshop, Awaji Yumebutai International Conference Center, Japan (2003-07)
- 14) K. Sasaki: "Photon dynamics in micro-and nano-structures", CREST&QNN03 Joint International Workshop, Awaji Yumebutai International Conference Center, Japan (2003-07)
- 15) 藤原英樹、笹木敬司、三澤弘明:「量子相関光子のナノ 加工への展開」、次世代リソグラフィワークショップ 2003 (NGL2003)、日本科学未来館 (2003-07)
- 16) 岡寿樹、ホフマン F. ホルガ、竹内繁樹、笹木敬司:「単一原子ドープ片側固体共振器を用いた非線形位相シフトの実現」、第8回量子情報技術研究会、北海道大学学術交流会館(2003-06)
- 17) 川瀬大輔、辻野賢治、竹内繁樹、笹木敬司、和田篤、 大湊寛之、西原昇、宮本洋子:「ホログラムおよびファ イバー干渉系を用いた光子の軌道角運動量重ね合わせ 状態の観測」、第8回量子情報技術研究会、北海道大学 学術交流会館(2003-06)
- 18) 川辺喜雄、藤原英樹、竹内繁樹、笹木敬司:「ビーム状 に発生する Type-II パラメトリック蛍光対の空間伝播 特性」、第8回量子情報技術研究会、北海道大学学術交 流会館 (2003-06)
- 19) 高島秀聡、千葉明人、藤原英樹、堀田純一、竹内繁樹、 笹木敬司:「枝付き微小球共振器の共鳴モード解析」、 第8回量子情報技術研究会、北海道大学学術交流会館 (2003-06)
- 20) 辻野賢治、ホフマン F. ホルガ、竹内繁樹、笹木敬司: 「パラメトリック下方変換を用いた2モード内4光子 発生の検証実験」、第8回量子情報技術研究会、北海道 大学学術交流会館(2003-06)
- 21) 西村和哉、竹内繁樹、笹木敬司:「パラメトリック下方変換によるもつれ合い光子対のビーム状発生方法」、第 8回量子情報技術研究会、北海道大学学術交流会館 (2003-06)
- 22) 百瀬義剛、藤原英樹、笹木敬司:「ランダム媒質微小光 共振器の共鳴モード解析」、第8回量子情報技術研究会、 北海道大学学術交流会館(2003-06)
- 23) ホフマン F. ホルガ、竹内繁樹:「Characterization of entanglement using sum uncertainty relations for N-level systems」、第8回量子情報技術研究会、北海道大学学術交流会館 (2003-06)
- iii) コロキウム・セミナー等・その他
- 1) 竹内繁樹:「光子を用いた量子情報通信処理」、電子科 学研究所研究交流会2003、北海道大学学術交流会館 (2003-04)

4.6 シンポジウムの開催

b. 一般のシンポジウム(組織者名、シンポジウム名、参

- 加人数、開催場所、開催期間)
- 1) 竹内繁樹、宮本洋子、中西正樹:第8回量子情報技術研究会(QIT-8)(200名、北海道大学学術交流会館(札幌)、2003年6月30日~2003年7月2日)

4.7 予算獲得状況

- a. **科学研究費補助金**(研究代表者、分類名、研究課題、 期間)
- 1) 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

4.8 共同研究

- a. **所内共同研究**(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 竹内繁樹(電子科学研究所):「量子暗号通信技術の基盤技術開発とシステム化」、2003年度428千円、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。
- b. **民間等との共同研究**(研究担当者、機関名、研究題目、 研究期間、研究内容)
- 1) 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」、2003年度、4,000千円、 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。
- c. 大型プロジェクト・受託研究(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 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年度、650千円、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年度、19,604千円、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-」、2003年度、1,300 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、「パラメッ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」、2003年度、2,300千円、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」、2003年度、1,300千円、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。
- 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) 堀田純一、J. P. Gong (バイオとナノを融合する新生命 科学拠点事業 部局間・異分野間の共同研究プロジェ クト):「筋肉蛋白自己集合体ゲルフィラメントのナノ メートル位置検出法の開発」、2003年度、1,000千円、 筋肉蛋白自己集合体ゲルフィラメントに作用する力を 解析するために必要不可欠なナノメートル位置検出法 の開発を行う。
- 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年度、 5,500千円、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-」、2003年度、25,380千円、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、「パラメッ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」、2003年度、24,353千円、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」、2003年度、5,500千円、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。

4.10 社会教育活動

a. 公的機関の委員

- 1) 竹内繁樹:通信・放送機構 委託研究評価委員会 専 門委員(2003年8月22日~2004年3月31日)
- 2) 笹木敬司:総務省量子情報通信研究推進会議戦略専門 委員会委員(2002年12月19日~2003年7月17日)
- 3) 笹木敬司:日本学術振興会「フォトニック情報システム」に関する先導的研究開発委員会委員(2002年12月 16日~2005年10月31日)
- 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~2005年3月31日)
- 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~ 2004年3月31日)

b. 国内外の学会の主要役職

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 竹内繁樹:量子情報技術研究会 委員 (1998年11月1 日~現在)

併任・兼業

- 1) 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)
- 2) 竹内繁樹:科学技術振興事業団 若手個人研究推進事業(さきがけ研究21)「光と制御」委嘱研究員(2001年12月1日~2004年11月30日)

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 (2003~2004年度)
- 3) 笹木敬司:「応用物理」編集委員会委員(2002~2003 年度)

c. 新聞・テレビ等の報道

• その他

- 1) 竹内繁樹: JNNB (Japan Nano Net Bulletin) 2003年11月1 日「世界一明るい、単一光子源を開発」
- 2) 竹内繁樹:日経先端技術37 2003年5月12日「量子暗号 通信、光素子の開発盛ん」

d. 修士学位及び博士学位の取得状況

修士課程(6名)

高橋亮一、川辺喜雄、川瀬大輔、高島秀聡、西村和哉、 百瀬義剛

博士後期課程(6名)

千葉孝志、岡本亮、小島邦裕、岡寿樹、千葉明人、辻野 腎治

修士論文

- 1) 川辺喜雄:ビーム状パラメトリック蛍光対の空間伝播 特性解析
- 2) 川瀬大輔:ホログラムおよびファイバー干渉計を用い た光子の軌道角運動量もつれ合い状態検証実験
- 3) 高島秀聡: 枝付きシリカ微小球共振器の共鳴モード同 定とエルビウムイオン含有ガラス薄膜の作製
- 4) 西村和哉:もつれ合い光子対のビーム状発生方法に関する研究
- 5) 百瀬義剛:時間領域差分法を用いたランダム媒質微小 光共振器の局在モード解析

博士論文

- 1) 小島邦裕: Fully quantum-mechanical analysis of the nonlinear response of a one-dimensional atom to photon pulses and application to an optical quantum phase gate
- 2) 辻野賢治: もつれ合い光子対の複数対発生に関する基 磁的研究
- e. 担当授業科目(対象、講義名、担当者、期間)
- 1) 工学研究科、光情報エレクトロニクス特論、笹木敬司、 2003年10月1日~2004年3月31日
- 2) 工学部、応用数学Ⅱ、笹木敬司、2003年10月1日~2004 年3月31日
- 3) 全学部共通、ナノテクノロジー入門、笹木敬司、2003 年10月1日~2004年3月31日
- 4) 工学研究科、光情報エレクトロニクス特論、竹内繁樹、 2003年10月1日~2004年3月31日
- 5) 全学部共通、ナノテクノロジー入門、竹内繁樹、2003 年10月1日~2004年3月31日
- 6) 工学部、応用数学演習 II、堀田純一、2003年10月1日~ 2004年3月31日
- 7) 全研究科共通、北海道大学大学院共通授業「ナノテク ノロジー・ナノサイエンス概論 I」、笹木敬司、2003 年7月30日~2003年8月1日
- 8) 工学研究科、電子情報エレクトロニクス特別演習、笹木敬司、2003年度
- 9) 工学研究科、電子情報エレクトロニクス特別研究第二、 笹木敬司、2003年度
- 10) 工学部、統計力学、笹木敬司、2003年4月1日~2003年 9月30日

- 11) 全学部共通、物理学 III、 笹木敬司、 2003年4月1日~2003 年9月30日
- 12) 全学部共通、21世紀を拓く光科学、笹木敬司、2003年4 月1日~2003年9月30日
- 13) 工学研究科、電子情報エレクトロニクス特別研究第一、 笹木敬司、2003年度
- 14) 工学研究科、電子情報エレクトロニクス特別演習、竹 内繁樹、2003年度
- 15) 工学研究科、電子情報エレクトロニクス特別研究第一、 竹内繁樹、2003年度
- 16) 工学研究科、電子情報エレクトロニクス特別研究第二、 竹内繁樹、2003年度
- 17) 工学部、統計力学、竹内繁樹、2003年4月1日~2003年 9月30日
- 18) 全学部共通、21世紀を拓く光科学、竹内繁樹、2003年4 月1日~2003年9月30日
- 19) 工学研究科、電子情報エレクトロニクス特別演習、堀 田純一、2003年度
- 20) 工学研究科、電子情報エレクトロニクス特別研究第二、 堀田純一、2003年度
- f. 北大以外での非常勤講師(担当者、教育機関、講義名、 期間)
- 1) 竹内繁樹、大阪大学大学院工学研究科研究科、フォトニック情報工学講座、2003年4月1日~2004年3月31日

g. ポスドク・客員研究員など

ポスドク (4名)

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)、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)、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)

h. **外国人研究者の招聘**(氏名、国名、期間)

- 1) Gregor Weihs、JAPAN、2004年1月10日~2004年1月13 日
- 2) Anton Zeilinger、Austria、2003年11月4日~2003年11月6
- 3) Oliver Benson、Germany、2003年7月24日~2003年7月 26日

量子計測研究分野

教 授 栗城 眞也(北大院、工博、1991.8~)

助教授 小林 哲生(北大院、工博、1994.2~2004.3)

助 手 平田 恵啓(北大院、工博、1993.4~)

竹内 文也(北大院、工博、1995.12~2004.3)

研究機関研究員 鄭 址旭

外国人客員研究員 顧 星

院 生 丸山雅紀 (D3)、林周 (D3)、白井直仁 (D2)、 大塚明香 (D1)、川口洋平 (M2)、神田聡 (M1)、

時田祥子 (M1)、林 幹彦 (M1)

日本学術振興会 論博プログラム研究員 Kwon Hyutchan

1. 研究目標

量子計測研究分野では、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、工学研究科・システム情報工学専攻の講座(生体情報工学講座)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:超伝導量子干渉素子)を中心とし、特に高温超伝導 SQUID に関する基礎的研究と高温超伝導 SQUID を用いた生体磁気計測システムの研究、脳磁界 (MEG)と機能的磁気共鳴イメージング(fMRI)・脳電位(EEG) による脳機能計測と解析、特に視聴覚機能や言語機能に関連した高次脳活動の計測を主要な研究としている。

2. 研究成果

(a) 高温超伝導体薄膜への磁束侵入の観察

高温超伝導 SQUID を構成する超伝導薄膜への磁束侵入は SQUID の低周波雑音の原因となり、生体磁気信号の計測には大きな障害となる。本研究では磁場中動作時の遮蔽電流の効果を模擬するため、SQUID ループを構成する超伝導薄膜細線に直流電流を印加し、SQUID に鎖交する磁束のゆらぎを計測することで磁束侵入の定量的な評価を行った。

測定の結果、印加電流が閾値を越えると低周波雑音が増加しその後電流をゼロに戻すと元の低い値に戻る可逆的な磁束雑音が観測された。更に印加電流を増やすとある閾値以上で磁束が変動し、電流除去後には元の低い値にまで戻らない不可逆的な低周波雑音が観測された(図1)。電流印加中の磁束の変動からこの電流において超伝導薄膜細線が磁束クリープもしくは磁束フロー状態になっていることが分かった。さらに、超伝導薄膜細線のエッジ部を一部薄くした試料を作製し測定した結果、可逆的な低周波雑音増加が起こる閾値電流は減少したが、不可逆的な低周波雑音が残る電流閾値はほとんど変化が無かった。

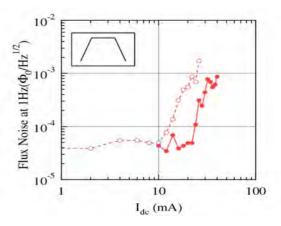


図1 YBCO薄膜細線に印加した電流と1Hzにおける低周波磁束 雑音の関係 白丸は電流印加時、黒丸は印加電流除去後の 雑音

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

(b) 楽音により誘発される長潜時聴覚 MEG 反応

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

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

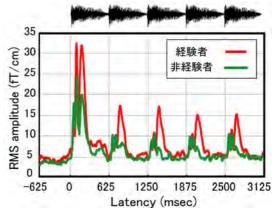


図2 連続音波形(上図) と和音に対する MEG 反応

被験者間平均の検討の結果、第1音に対する反応は振幅が大きいが2音目以降の反応は減衰(adaptation)して一定の振幅となることが分かった(図2)。さらに、adaptationによる減衰の効果はN1mとP2mで端的に異なり、その結果、2音目以降ではP2mの振幅がN1mより大きな振幅で残存した。経験者と非経験者のグループ間ではP2m振幅に有意な差が見られ、第1音、2音目以降いずれも経験者が大きな反応を示した(図3)。この有意差は単音、和音の両方の刺激音で認められた。左右脳半球の反応では、右半球のみならず、左半球でも経験者-非経験者、単音-和音間に同様な差異が観測された。

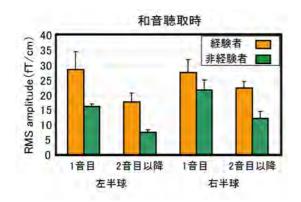


図3. P2m 反応振幅の被験者間平均波形。 右脳半球から計測したものを被験者間で平均

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

(c) 運動性多義図形の知覚交替に関わる脳活動の計測

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

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

運動性多義図形観測時と安定運動図形観測時の脳活動 ((a)-(b))の差をグループ解析し、統計的に BOLD 信号が有意

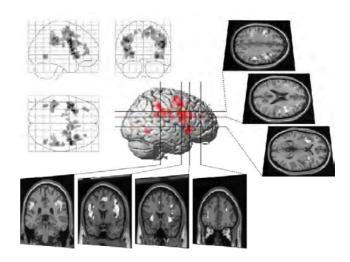


図4 運動性多義図形と安定運動図形観測時の脳活動の 差をグループ解析し統計的に BOLD 信号の有意差 (p<0.001, uncorrected)が認められた脳部位

に大きい部位(p<0.001, uncorrected)を求めた結果を図4に示す。頭頂間溝近傍(Brodmann's Area (BA) 7/40)、前頭前野(BA 6/8, 44,46)、第5次視覚野(V5/MT)において信号の有意な上昇が見られる。前頭前野での活動は、(a)-(c)刺激では見られ、(b)-(c)刺激では見られなかった。一方、頭頂間溝での活動は(a)-(c)、(b)-(c)刺激に共通して見られるが(a)-(b)刺激でも活動が見られるため、運動性曖昧図形の観測時に、より強く活動したと考えられ、特異的である可能性がある。

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

3. 今後の研究の展望

高温超伝導 SQUID では、汎用性のある小型計測システムを目指して、実験室空間での磁気キャンセル技術と可動型 SQUID 磁束計の開発を進める. 他方、低温超伝導 SQUID システムでは、我々の設計による100 ch 新型 MEG 装置が平成15年度末に脳科学研究教育センターに設置された. この装置は、1)計測面を完全球面体の2層とし、信号推定計算を理想的な境界条件で出来るという利点を持ち、2) 脳深部からの信号を検出できる SQUID 一検出コイル一体型の薄膜センサ構造を備えている。

この装置を用いて、これまで研究を行ってきた複雑な音響構造を持つ楽音の知覚、日本語文に対する統語処理、加えて音声言語知覚についてさらに検討を進めていく。計測対象者も成人だけでなく学齢期の児童から中高年成人までに広げ、脳活動の発達、加齢による動態を明らかにしていく予定である。また、脳磁場の発生源推定法についても独自な解析法の検討を進め、脳活動の時空間特性解析の精度をさらに高めていく。

4. 資料

4.1 学術論文等

- M. Maruyama, T. Kobayashi, T. Karura and S. Kuriki: "Early behavior of optokinetic responses elicited by transparent motion stimuli during depth-based attention", Exp. Brain Res., 151: 411-419 (2003)*
- M. Maruyama, T. Kobayashi, T. Karura and S. Kuriki: "Event-related potentials in a target discrimination task based on texture cue", Systems and Computers in Japan, 34: 34-43 (2003)*
- M. Matsuda, T. Otowa, T. Matuura, S. Kuriki, Y. Kawa-guchi and K. Takahashi: "Fabrication and characterization of high-Tc SQUID magnetometer with damping resistance", *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 13: 853-856 (2003)*
- 4) A. Hidefumi, K. Kyousuke, S. Hiroki, F. Takeuchi, S. Kuriki, I. Yoshinobu and M. Kazuo: "Visualization of the corticospinal tract pathway using magnetic resonance axonography and magnetoencephalography for stereotactic irradiation planning of arteriovenous malformations", Radiotherapy and Oncology, 68: 27–32 (2003)*
- 5) 松田瑞史、高橋篤司、栗城眞也:「収束イオンビームを 用いた YBCO 薄膜の超伝導制御」、電子情報通信学会 技術研究報告, SCE2003-16:15-18 (2003)
- 6) 川口洋平、栗城眞也、植杉克弘、徳本洋志、三上春樹、松田瑞史:「高温超伝導薄膜への磁束侵入と SQUID のノイズ特性」、電子情報通信学会技術研究報告, SCE2003-22:21-26(2003)
- 7) 時田祥子、小林哲生、二川裕之、鄭址旭:「fMRI による運動性多義図形の知覚交替に関わる脳活動の検討」、 第18回生体・生理工学シンポジウム論文集、261-262 (2003)
- 8) 鄭址旭、小林哲生、栗城真也:「視覚的ターゲット認知 課題遂行時におけるガンマ律動」、電子情報通信学会技 術研究報告、HIP2003-81:25-30 (2003)
- 9) 平田恵啓、M. Schulz、E. Altenmüller、T. Elbert、C. Pantev:「顔面筋のジストニアを患う金管楽器奏者の触覚刺激に対する脳磁界反応」、電子情報通信学会技術報告, MBE2003: 33-37 (2003)

4.2 総説、解説、評論等

1) 栗城眞也、竹内文也:「MEG による高次脳機能解析」、 計測と制御、42(5): 385-390 (2003)

4.3 著書

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

 K. Enpuku, S. Kuriki and S. Tanaka: "High-Tc SQUIDs", Topics in Applied Physics Vol. 91, Vortex Electronics, edited T. Kobayashi, H. Hayakawa and M. Tonouchi (Springer, Tokyo 2003) pp. 141-182.

4.5 講演

a. 招待講演

- 1) 栗城眞也、竹内文也:「MEG イメージングにおける脳 活動分布解析」、日本エム・イー学会大会 OS4 オーガ ナイズドセッション、札幌 (2003-06)
- 2) 栗城 眞也:「MEG 高次脳機能解析-言語機能探索のための実験方法-」、日本生体磁気学会第 18 回大会,池田 (2003-05)
- 3) 栗城 真也:「SQUID 磁束計の開発と生体磁気計測」、 岩手県地域結集型共同研究事業「SQUID 研究会」、盛 岡 (2003-06)
- S. Kuriki: "Magnetoencephalography in Brain Research
 -Toward Higher Functions-", MEG (Magnetoencephalogram) Symposium, Seoul, Korea (2003-05)
- 5) 小林哲生:「視覚の脳機能イメージングから意識へ」、 作業療法関連科学研究会学会特別講演、金沢 (2003-06)

b. 一般講演

i) 学会

- 1) 川口洋平、三上春樹、中村貫人、栗城眞也、松田瑞史: 「非弱結合フラックスダムをもつ直結型 SQUID の動作 解析」、応用物理学会大会、東京(2004-03)
- 2) 武田啓司、中村貴義、川口洋平、栗城眞也:「高温超伝 導 DC マイクロ SQUID 磁束計の試作」、日本物理学会 第59回年次大会、福岡 (2004-03)
- 3) 神田聡、平田恵啓、栗城眞也:「音楽経験者における聴 覚神経活動」、ヒト脳機能マッピング学会、東京 (2004-03)
- 4) 鄭址旭、小林哲生、時田祥子、栗城眞也:「視覚的群化 タスク遂行に関わる脳内プロセスの事象関連 fMRI に よる検討」、ヒト脳機能マッピング学会、東京 (2004-03)
- 5) 神田聡、平田恵啓、栗城眞也:「連続する楽音によって 誘発される脳磁界の長潜時成分」、日本エム・イー学会 北海道支部大会、札幌 (2003-10)
- 6) 林 周、平田恵啓、内貴猛、河原剛一、栗城眞也:「小 動物用 MCG 計測システムを用いた自律神経活動の解 析」、電子情報通信学会ソサイエティ大会、新潟 (2003-09)
- S. Kuriki, T. Mishima, F. Takeuchi, H. Hagiwara and K. Ariji: "MEG study of brain areas involved in syntactic processing of Japanese complex sentences", 6th IBRO World Congress of Neuroscience, Praha, Chekoslovacia (2003-07)
- 8) S. Kuriki, T. Mishima, F. Takeuchi, H. Hagiwara and K.

- Arigi: "MEG study of brain areas involved in syntactic processing ofjapanese complex", 第6回国際神経科学会議, プラハ, チェコ (2003-07)
- 9) K. Kamada, F. Takeuchi, S. Takikawa and S. Kuriki: "Swift indentification of the primary motor area using magnetic resonance axonography", 第6回国際神経科学会議、プラハ、チェコ (2003-07)
- 10) F. Takeuchi and S. Kuriki: "MEG responses for semantic and Grammatical processing of Japanese sentences", 第6 回国際神経科学会議、プラハ、チェコ (2003-07)
- 11) 松田瑞史、高橋篤志、栗城眞也:「集積イオンビームを 用いた YBCO 薄膜の超伝導制御」、電子情報通信学会 超伝導エレクトロニクス研究会、松島 (2003-07)
- 12) 神田聡、平田恵啓、栗城眞也:「楽音による聴覚 MEG 反 応:音楽経験との関係」、第42回日本エム・イー学会大 会、札幌 (2003-06)
- 13) 栗城眞也、竹内文也:「MEG イメージングにおける脳 活動分布解析」、日本エム・イー学会大会 OS4オーガ ナイズドセッション、札幌 (2003-06)
- 14) 鄭址旭、小林哲生、二川 裕之、栗城眞也:「テクスチャーに基づく標的の認知に関わる脳活動の fMRI による検討」、日本エム・イー学会大会、札幌 (2003-06)
- 15) 竹内文也、栗城眞也:「文章理解に関連した脳磁界応答の電流分布解析」、日本エム・イー学会大会、札幌 (2003-06)
- 16) 栗城眞也:「MEG 高次脳機能解析-言語機能探索のための実験方法-」、日本生体磁気学会第18回大会、池田 (2003-05)
- 17) 林 周、平田恵啓、栗城眞也:「誘導コイルを用いた磁 気遮蔽方法」、第18回日本生体磁気学会大会、池田 (2003-05)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) 鄭址旭、小林哲生、栗城眞也:「視覚的ターゲット認知 課題遂行時におけるガンマ律動」、電子情報通信学会ヒ ューマン情報処理研究会、仙台 (2003-12)
- A. Hayashi, Y. Hirata, S. Kuriki, T. Naiki and K. Kawahara: "A SQUID Magnetometer for small animal experiment", The 5th RIES-Hokudai Symposium on Advanced Nanoscience, Sapporo, Japan (2003-12)
- 3) 川口洋平、栗城眞也、植杉克弘、徳本洋志、三上春樹、 松田瑞史:「高温超伝導薄膜への磁束侵入と SQUID の ノイズ特性」、電子情報通信学会超伝導エレクトロニク ス研究会、神戸(2003-10)
- 4) 栗城眞也:「SQUID 磁束計の開発と生体磁気計測」、岩 手県地域結集型共同研究事業「SQUID 研究会」、盛岡 (2003-06)
- 5)平田恵啓、M. Schulz、E. Altenmüller、T. Elbert、C. Pantev:「顔面筋のジストニアを患う金管楽器奏者の触覚刺激に対する脳磁界反応」、電子情報通信学会MEとサイバネティックス研究会、札幌(2003-06)

- S. Kuriki: "Magnetoencephalography in Brain Research
 -Toward Higher Functions-", MEG (Magnetoencephalogram) Symposium, Seoul, Korea (2003-05)
- iii) コロキウム・セミナー等・その他
- 1) 栗城眞也:「磁場で観察する脳の活動」、札幌北高校 SSH 事業 授業シリーズ「生命と情報」、札幌 (2003-07)
- 2) 栗城眞也:「磁場でみる脳のはたらき 超伝導と脳科 学」、世界脳週間「高校生のための脳科学」、札幌 (2003-04)

4.6 シンポジウムの開催

- b. 一般のシンポジウム (組織者名、部門名、シンポジウム (組織者名、部門名、シンポジウム (後期間)
- 赤澤 堅造、栗城眞也:生体医工学シンポジウム2003 (100名、北海道大学(札幌)、2003年9月5日~2003年9 月6日)

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) 栗城眞也、基盤研究 B (1)、脳内活動源解析ツールの 開発と階層的言語情報処理機構の探索、2003~2005年 度
- 2) 竹内文也、文部科学省科学研究費補助金 基盤研究(c) (2)、磁気的脳機能イメージングにみられるヒト前頭に おける言語機能、平成15年度160万円・平成16年度90 万円

4.8 共同研究

- b. **民間等との共同研究**(研究担当者、機関名、研究題目、 研究期間、研究内容)
- 1) 栗城眞也、平田恵啓、竹内文也、北飯圭 (NEC ソフト株式会社):「生体計測の基礎的研究」、2003年度、2,000千円、人間工学に基づいたマンマシンインタフェースを構築するため、生体計測の基礎的研究および、脳磁界計測システム、心臓磁界計測システム等の周辺技術の開発研究を行う
- 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) 井上芳郎、栗城眞也、本間研一、大森隆司、渡邉雅彦、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、他(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(バーチュアル専攻)を構築し、文理融合型の教育を行う。ポスドク研究員の採用と併せて、脳科学に関する若手研究者の育成を図る。

4.10 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. 国内外の学会の主要役職

- 1) 栗城眞也:日本生体磁気学会、会長,理事(2003年6 月1日~2005年5月31日)
- 2) 栗城眞也:電子情報通信学会超伝導エレクトロニクス 研究専門委員会・委員長(2003年5月1日~2005年4月30 日)
- 3) 栗城眞也:日本エムイー学北海道支部・支部長 (2003 ~2004年度)
- 4) 小林哲生:第2回釧路ニュロサインエンスワークショップ実行会委員(2003年4月1日~2003年7月5日)
- 5) 平田恵啓:日本エム・イー学会北海道支部幹事 (2003 ~2004年度)
- 6) 平田恵啓: 生体医工学シンポジウム2003 組織委員 (2003年4月1日~2003年12月9日)
- 7) 小林哲生: 日本 ME 学会第42回大会実行委員(2002年 10月1日~2003年6月5日)
- 8) 小林哲生:日本人間工学会評議員(2001年4月1日~現 在)
- 9) 小林哲生:日本人間工学会支部幹事(2001年4月1日~ 現在)
- 10) 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)
- 11) 栗城眞也:電気学会論文委員会委員(2000年4月1日~現在)
- 12) 栗城眞也:日本エムイー学会評議委員 (2000年4月1日 ~現在)
- 13) 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)
- e. 担当授業科目(対象、講義名、担当者、期間)
- 1) 工学研究科、人間情報工学特論、小林哲生、2003年10 月1日~2004年3月31日
- 全学部共通、脳科学:分子から高次機能発現、小林哲生、2003年10月1日~2004年3月31日
- 3) 工学部、生体工学概論、小林哲生、2003年10月1日~2004 年3月31日
- 4) 工学研究科、脳機能工学特論、栗城真也、2003年10月1 日~2004年3月31日
- 5) 全学部共通、物理学 III、栗城真也、2003年10月1日~ 2004年3月31日
- 6) 工学部、応用数学演習、平田恵啓、竹内文也、2003年 10月1日~2004年3月31日
- 7) 工学研究科、生体情報工学特別演習、栗城眞也、小林哲生、平田恵啓、竹內文也、2003年度
- 8) 工学研究科、生体情報工学特別研究第二、栗城眞也、 小林哲生、平田恵啓、竹內文也、2003年度
- 9) 工学研究科、生体情報工学特別研究第一、栗城眞也、

小林哲生、平田恵啓、竹内文也、2003年度

g. 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)

客員研究員(1名)

顧 星(電子科学研究所)

- h. **外国人研究者の招聘**(氏名、国名、期間)
- 1) Hyutchan Kwon、Korea、2004年1月11日~2004年2月22 日
- 2) 顧 星、China、2003年7月1日~2003年12月25日

自律調節研究分野

教授 狩野 猛 (マギル大院、Ph.D.、1991.11~) 助手 丹羽光一 (北大院、獣医博、1997.10~)

院生 坂井滋郎 (M2)

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、内膜肥厚の起こらない人工血管の開発および内膜 肥厚を起こさない又は最小に

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 であるところのリポ蛋白の流速依存性濃縮・枯渇現象によ るものであるという全く新しい考えに基づいて理論および 実験の両面より研究を展開している。平成15年度には、我々 が提唱している上記の仮説を実証するために、先ず最初に、 これまで用いて来た内皮細胞単層よりも更に生体血管に近 い血管壁のモデルとして、そして生体血管に代わるものと して、多孔質膜又は ePTFE 人工血管にウシ大動脈より採取 した平滑筋細胞(SMC)および内皮細胞(EC)を直接重層播 種・共培養することにより、図1に示したように生体に移 植された人工血管に形成される偽内膜と同じ組織構造を有 する血管壁モデル(EC-SMC 共培養系)およびハイブリッド 人工血管を作製した。そして、これらを用いて流れおよび 物質移動実験を行い、以下の事項に関して検討を行った。

[1] 血管内皮細胞-平滑筋細胞共培養系による LDL の取込みおよび構成細胞の増殖に及ぼす LDL 濃度の影響

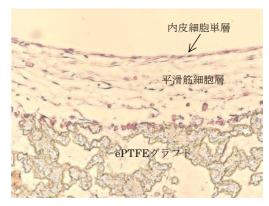


図1. 細胞培養により作製したハイブリッド 人工血管の横断面の写真

動脈硬化症および吻合部内膜肥厚が血中コレステロール濃度の高い人に起こりやすいということに関して、本当に血漿中のコレステロール濃度が高いほど血管壁に多く取り込まれるのか、また、取り込まれる量が多ければ多いほど血管壁の内膜が厚くなるのかどうかを上述の方法で作製した血管壁モデルおよび蛍光物質で標識したコレステロールの担体である低密度リポ蛋白(LDL)およびウシ胎児血清を用いて検討した。その結果、図2に示したようにLDLの濃度が高いほど血管壁モデルの細胞層内に取り込まれる量も多く、時間の経過と共にその量が増大する事が判った。また、図3に示したようにLDLを含んでいるところの血清

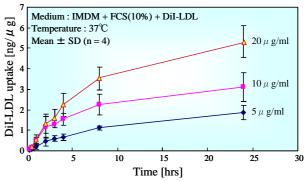


図2. 血管壁モデルによる LDL の取込みの経時変化

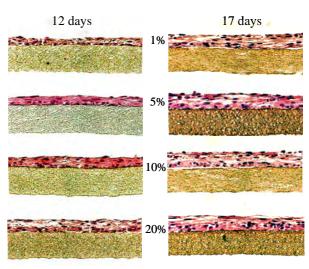


図3. 血管壁モデルの細胞層の厚さに及ぼす血清濃度の影響

の濃度が高いほど、血管壁モデルの細胞層が厚くなること も判った。これらの結果は、血中におけるコレステロール 濃度が高いほど内膜肥厚や動脈硬化症になりやすいという 臨床的、病理学的知見を支持するものである。

[2] 血管壁モデル表面上における LDL の濃度および細胞層 による LDL の取込みに及ぼす流れおよび水透過の影響 多孔質膜上にウシ大動脈由来平滑筋細胞および内皮細胞 を重層播種共培養して作製した血管壁モデルを平行平板型 流路の一部になるように装着し、これを循環灌流システム に組み込み、蛍光物質で標識した LDL を含んだ培養液を定 常流の条件下で循環して血管壁モデルの内腔面を一層に覆 っている内皮細胞の表面における LDL の濃度(壁面濃度)お よび細胞層に取り込まれる LDL の量に及ぼすせん断流れ および細胞層における水透過速度の影響について検討し た。その結果、図4に示したように、水透過のある場合に は、LDL の壁面濃度は理論通りに流速の増減によって変化 し、流速(壁せん断応力)が小さくなるほど高くなることが 判った。また、図5に示したようにLDLの壁面濃度が高い ほど細胞層に取り込まれる量も多く、水透過のある場合の 方が濃縮現象により壁面濃度が高くなるので、ない場合に 比べて遥かに多く取り込まれることも判った。

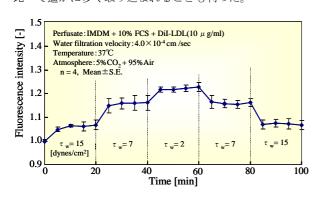


図4. LDL の壁面濃度に及ぼす流れの影響

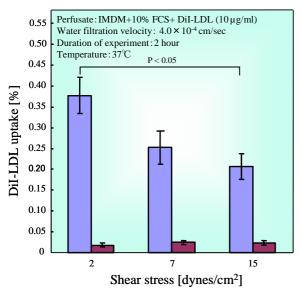


図5. LDLの取込みに及ぼす流れおよび水透過の影響

[3] ハイブリッド人工血管の細胞層の厚さに及ぼす静水圧の影響

動脈硬化症や内膜肥厚が血圧の高い人に起こりやすいということに関して、本当にそのような影響があるのかどうかを調べるために、ハイブリッド人工血管を作製する際にヘッドタンクシステムを用いて異なった静水圧を負荷した状態で細胞培養を行った。図6は、水透過がない(濃縮現象が起こらない)という条件下で7日間培養して得られた細胞層の断面写真である。生体の血管における血圧に相当する静水圧が高いほど細胞層が厚くなるが、あまり高くなると逆効果になるという事を示している。これに関しては、今後更に実験を行い確認する予定である。なお、この実験から、細胞層が厚いほどコラーゲンの産生量も多くなっていることも判った。

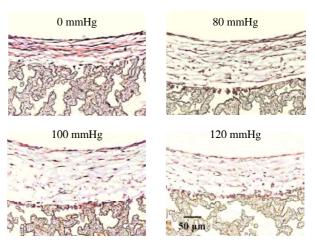


図 6. ハイブリッド人工血管における細胞の増殖に及ぼす 静水圧の影響

3. 今後の研究の展望

本研究で作製したハイブリッド人工血管を用いて流れお よび LDL の物質移動実験を行う事により、我々が提唱して いるリポ蛋白の流速依存性濃度分極説により予測された通 りに、水透過があることにより細胞層表面上で LDL の濃縮 現象が起こり、流れが遅いほど LDL の壁面濃度が高く、細 胞層による取込みが多く、細胞層が厚くなる事を確かめる ことが出来た。今後は、ハイブリッド人工血管を循環灌流 システムに組み込み、種々の血清濃度、流速(壁せん断応 力) および管壁における水透過速度の条件下で培養し、細 胞層(ほとんどが平滑筋細胞から成っている)の組織構造、 細胞数、および厚みに及ぼすこれらの諸因子の影響につい て検討する。特に、速い流れが細胞層を直撃するようにし て細胞に高圧力、高せん断応力、高張力を負荷したり、極 端に速い流れの条件下で細胞を培養し、細胞層に高せん断 応力を負荷した場合に、我々が提唱している理論通りに、 LDLの壁面濃度が減少することによって細胞による取り込 みが減少し、細胞の萎縮や衰退により脳動脈瘤形成時に起 こると同じ現象、即ち細胞層が薄くなるという現象が起こ るかどうかについて検討する予定である。

4. 資料

4.1 学術論文等

- M. Nakamura, S. Wada, T. Mikami, A. Kitabatake and T. Karino: "Computational study on the evolution of an intraventricular vortical flow during early diastole for the interpretation of color M-mode Doppler echocardiograms", Biomechanics and Modelings in Mechanobiology, 2: 59-72 (2003)*
- 2) K. Niwa, O. Inanami, T. Yamamori, T. Ohta, T. Hamasu and M. Kuwabara: "Redox regulation of PI3K/Akt and p53 in bovine endothelial cells exposed to hydrogen peroxide", Antioxidants & Redox Signaling, 5(6): 713-722 (2003)*
- 3) 岡田健吾、工藤信樹、丹羽光一、山本克之:「パルス超音波照射下での sonoporation に関する基礎的検討」、電子情報通信学会技術研究報告、103:49-54 (2003)

国際会議議事録等に掲載された論文

- T. Karino, T. Yasuda and K. Niwa: "The effects of a shear flow and water filtration on the structure of cell layers in a hybrid vascular graft—An in vitro study", Proceedings of the First Asian Pacific Conference on Biomechanics, 237-238 (2004)*
- 2) T. Karino, S. Wada, T. Naiki, K. Niwa and J. Sakai: "Flow-dependent concentration polarization of lipoproteins as a localizing mechanism of vascular diseases", Proceedings of the International Bio-Fluid Mechanics Symposium and Workshop, 15-17 (2003)*
- 3) N. Kudo, K. Okada, K. Niwa and k. Yamamoto: "Study on the mechanism of cell damage caused by microbubbles exposed to ultrasound", Proceedings of 8th European Symposium on Ultrasound Contrast Imaging, 62-63 (2003)
- N. Kudo, K. Okada, K. Niwa and k. Yamamoto: "Study on the mechanisms of sonoporation caused by microbubbles exposed to ultrasound", *Proceedings of 8th Ultrasound* Contrast Research Symposium in Radiology, 17 (2003)
- 5) K. Niwa, T. Kado and T. Karino: "The effects of a shear flow on the uptake of lipoproteins by an EC-SMC coculture", Proceedings of XIII International Conference on Mechanics in Medicine and Biology, 37-38 (2003)*

その他

- 1) 丹羽光一、中田直哉、南山真裕子、狩野猛:「血管内皮細胞-平滑筋細胞共培養系の LDL の取り込みおよび構成細胞の増殖特性」、日本機械学会第16回 バイオエンジニアリング講演会講演論文集、03(38): 35-36 (2004)
- 2) 坂井滋郎、丹羽光一、狩野猛:「血管内皮細胞-平滑筋 細胞共培養系の表面上における LDL 濃度および細胞 による LDL の取込みに及ぼすせん断流れおよび水透 過速度の影響」、日本機械学会第16回 バイオエンジニ

- アリング講演会講演論文集、03(38): 35-36(2004)
- 3) 坂井滋郎、丹羽光一、狩野猛:「せん断流れおよび水透 過速度が血管内皮細胞一平滑筋細胞共培養系による微 粒子の取込みに及ぼす影響」、第23回日本エム・イー学 会甲信越支部大会講演論文集(電子論文集)、1-2 (2003)
- 4) 坂井滋郎、丹羽光一、狩野猛:「血管内皮細胞ー平滑筋 細胞共培養系による巨大分子の取込みに及ぼすせん断 流れおよび水透過速度の影響」、日本機械学会第14回バ イオフロンテイア講演会講演論文集、03(19):5-6 (2003)
- 5) 狩野猛、安田哲也:「血管内皮細胞一平滑筋細胞共培養系の組織構造に及ぼす流れおよび水透過の影響」、第23 回日本エム・イー学会甲信越支部大会講演論文集(電子論文集)、3-4 (2003)

4.5 講演

a. 招待講演

- T. Karino, T. Yasuda and K. Niwa: "The effects of a shear flow and water filtration on the structure of cell layers in a hybrid vascular graft—An in vitro study", First Asian Pacific Conference on Biomechanics, Osaka, Japan (2004-03)
- 2) T. Karino, S. Wada, T. Naiki, K. Niwa and J. Sakai: "Flow-dependent concentration polarization of lipoproteins as a localizing mechanism of vascular diseases", International Bio-Fluid Mechanics Symposium and Workshop, Pasadena, California, USA (2003-12)

b. 一般講演

i)学会

- 1) 坂井滋郎、丹羽光一、狩野猛:「血管内皮細胞ー平滑筋 細胞共培養系の表面上における LDL 濃度および細胞 による LDL の取込みに及ぼすせん断流れおよび水透 過速度の影響」、日本機械学会第16回バイオエンジニア リング講演会、北九州市(2004-01)
- 2) 丹羽光一、中田直哉、南山真裕子、狩野猛:「血管内皮細胞-平滑筋細胞共培養系の LDL の取り込みおよび構成細胞の増殖特性」、日本機械学会第16回バイオエンジニアリング講演会、北九州市(2004-01)
- 3) K. Niwa, T. Kado and T. Karino: "The effects of a shear flow on the uptake of lipoproteins by an EC-SMC coculture", XIII International Conference on Mechanics in Medicine and Biology, Tainan, Taiwan (2003-11)
- 4) 坂井滋郎、丹羽光一、狩野猛:「血管内皮細胞ー平滑筋 細胞共培養系による巨大分子の取込みに及ぼすせん断 流れおよび水透過速度の影響」、日本機械学会第14回バ イオフロンテイア講演会、宮城県蔵王町(2003-09)
- 5) 青沼仁志、丹羽光一:「酵素抗体測定法によるコオロギ 脳内の NO 誘導性 cGMP 量の計測」、日本動物学会 第 74回大会、函館 (2003-09)
- 6) 青沼仁志、丹羽光一:「昆虫の脳内における NO-cGMP

シグナル」、第83回日本生理学会北海道地方会、札幌 (2003-09)

- 7) 丹羽光一、狩野猛:「血管内皮細胞のエンドサイトーシ スに及ぼすせん断応力の影響」、第83回日本生理学会北 海道地方会、札幌市 (2003-09)
- 8) 狩野猛、安田哲也:「血管内皮細胞―平滑筋細胞共培養系の組織構造に及ぼす流れおよび水透過の影響」、第23 回日本エム・イー学会甲信越支部大会、長岡市 (2003-08)
- 9) 坂井滋郎、丹羽光一、狩野猛:「せん断流れおよび水透 過速度が血管内皮細胞一平滑筋細胞共培養系による微 粒子の取込みに及ぼす影響」、第23回日本エム・イー学 会甲信越支部大会、長岡市 (2003-08)
- 10) 岡田健吾、工藤信樹、丹羽光一、山本克之:「微小気泡 存在下での Sonoporation に関する基礎的研究ー細胞へ の作用と音圧の関係ー」、日本エム・イー学会第42回全 国大会、札幌市 (2003-06)
- 11) 丹羽光一、角竜憲、狩野猛:「血管内皮細胞による LDL およびアセチル化 LDL の取り込みに及ぼすせん断応 力の影響」、第135回日本獣医学会学術集会、東京都文 京区 (2003-03)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- H. Aonuma, Y. Matsumoto, K. Niwa, A. Delago, S. R. Ott, M. R. Elphick and M. Mizunami: "NO-cGMP signaling mediates long-term memory in the cricket", 10th symposium on invertebrate neurobiology, Tihany, Hungary (2003-07)
- 2) 丹羽光一、稲波修、山盛徹、太田利男、浜州拓、狩野猛、桑原幹典:「酸化ストレスによる血管内皮細胞の p53と PI3K/Akt 活性化における細胞内カルシウムの役割」、第9回北海道活性酸素・フリーラジカル研究会、 札幌市 (2003-06)
- 3) 岡田健吾、工藤信樹、丹羽光一、和田成生、山本克之: 「パルス超音波照射下での sonoporation に関する基礎 的検討」、ME とバイオサイバネティックス研究会、札 幌市 (2003-06)

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) 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) 和田成生、基盤研究 B (2)、高速流動下における赤血

球の変形動態の解析と溶血シミュレータの開発、2001 ~2003年度

4.8 共同研究

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

4.9 受賞

1) 和田成生、糀屋 睦、狩野猛: 2002年度(平成14年度) 日本機械学会賞 (論文)「The effect of creating a moderate stenosis on the localization of intimal thickening in the common carotid artery of the rabbit fed on a cholesterol-rich diet」(日本機械学会) 2003年4月

4.10 社会教育活動

- b. 国内外の学会の主要役職
- 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)
- h. **外国人研究者の招聘**(氏名、国名、期間)
- 1) Sun Lei、China、2003年7月17日~2004年7月15日

適応制御研究分野

教 授 河原剛一(北大院、工博、1995.7~)

助教授 内貴 猛(北大院、工博、2000.9~)

助 手 山内芳子(山形大院、工修、1995.4~)

助 手 中島崇行(岐阜大院、獣医博、2001.1~)

院 生 齊藤 直 (D3)、畠山善幸 (D3)、田中基樹 (D1)、 横川隆弘 (M2)、木村博之 (M1)、水谷祐輔 (M1)

研究生 小杉達郎、宮木淳一

1. 研究目標

生物は悠久の進化の歴史の中で、個体の生命維持と種の保存に適った巧みな制御システムを具備してきた。そのシステムは、環境に対する適応性および可塑性を有する柔らかなシステムであり、それぞれが別個の機能目的を持った複数のサブシステムから構成されている。また、マクロ的生体システムの機能的最小構成単位は細胞であるが、分化を終えた個々の細胞はそれぞれが固有の遺伝子表現型を持ち、細胞独自の機能達成のための制御情報処理機構を有するマイクロシステムとして捉えられる。本研究分野においては生命現象をシステム論的観点から捉え、生物におけるマクロ的制御情報処理機構を解明すると共に、マクロシステム動作の基盤である細胞レベルでのミクロ的制御情報処理機構の解明し、それらの医学・工学への応用を目指している。

2. 研究成果

(a) ニューロン・グリア間相互作用に関する研究

脳が虚血に陥るとグルタミン酸の細胞外濃度が上昇し、 神経毒性との関連が注目されている。本研究では、ニュー ロンとアストロサイトの共培養系を実験対象とし、ニュー ロン死におけるニューロン・アストロサイト間相互作用の 機能解明を目指した。生理的条件下における脳内では、ア ストロサイトはグルタミン酸トランスポータ (GLT-1) に よって、細胞外の余剰なグルタミン酸を細胞内に取り込み、 グルタミン酸毒性からニューロンを防御している。我々は これまでに、脳虚血によるニューロン死には、通常はニュ ーロンを防御しているアストロサイトが GLT-1の逆転輸 送によって細胞外にグルタミン酸を放出し、ニューロンを 死滅させている可能性を明らかにしてきた (Kawahara et al. GLIA, 2002; Tanaka et al. Neurosci. Res. Commun., 2004), 今年度は、意外なことにアストロサイト・GLT-1の逆転輸 送がプレコンディショニング (PC)によって誘導されるニ ューロンの虚血耐性の形成に重要な役割を果たしているこ とを明らかに出来た (Kawahara et al. Neorochem. Res., 2004; Kawahara et al. GLIA, 2005)。 さらにニューロンは PC 後において、自らの防御のためにアストロサイト・GLT-1 の発現を制御していることを明らかにしてきた(Kosugi et al. in submission)。これらの実験結果は、PCによるニュー

ロンの虚血耐性の形成におけるニューロンーグリア間相互 作用 (neuron-glia signaling) の関与という、これまでに無い 重要な概念を提起するものである。

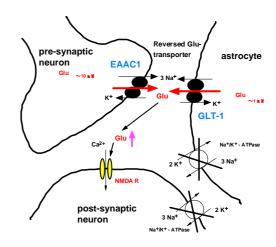


図1. 虚血時の細胞外グルタミン酸濃度上昇 とニューロン・グリア機能連関

(b) 心室頻拍-心室細動遷移機構に関する研究

心虚血により、致死性の心室性不整脈である心室頻拍 (VT) や心室細動 (VF) が頻発する。心臓突然死の主因はこれらの不整脈である。本研究では、器官としての心臓自体の機能を解析するのに適しているランゲンドルフ灌流心を実験対象とし、VT/VF 遷移メカニズムの解明を目指した。その結果、VT/VF マクロダイナミクス遷移には、細胞内オルガネラの一つであるミトコンドリアの機能変化の関与が示唆された(Kawahara et al. *Cardiovasc. Pathol.*, 2003)。 VT/VF 遷移時においてミトコンドリアの Ca^{2+} 取り込みが増加し、その結果、筋小胞体・L-type Ca^{2+} channel・ミトコンドリアのマイクロドメイン(図2)における Ca^{2+} 濃度が減少し、L-type Ca^{2+} channel の活性化が起こることが推定された。実際、VF 時における L-type L-

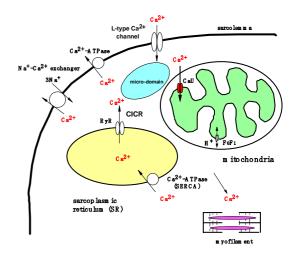


図2.ミトコンドリアの Ca2+ uptake と VT/VF 遷移

(c) 培養心筋細胞内 Ca²⁺振動の細胞間同期に関する研究

単離した個々の新生ラットの培養心筋細胞は自発的な拍動を示し、それに伴って細胞内 Ca²+濃度も振動している。培養開始から4日目頃には、複数の心筋細胞間での拍動および心筋細胞内 Ca²+振動が同期している(図3)。ここでは、複数の単離心筋細胞から成る培養系を実験対象とし、心筋細胞内 Ca²+振動の細胞間同期のメカニズムを解析した。その結果、Ca²+振動の細胞間同期には、ギャップ結合に加えて、細胞外のシグナル伝達系である ATP-purinoceptor 系が関与していることを初めて明らかに出来た (Nakayama et al. in preparation)。

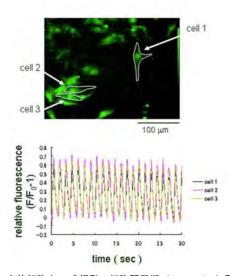


図3. 心筋細胞内 Ca²+振動の細胞間同期(Fluo 4 による[Ca²+]i の変化)下図は、上図における3つの心筋細胞内 Ca²+濃 度の時間変化を示す。細胞集塊から離れた cell 1 と集塊 内の細胞間でも Ca²+振動が同期していることに注意

(d) 大脳皮質虚血耐性現象における Akt の関与に関する 研究

大脳皮質に短時間の虚血処置(preconditioning(PC)処置)を施すと、その後に加えられた長時間の虚血処置によって生じる梗塞巣が減少する。この現象は虚血耐性とよばれているが、その分子メカニズムは不明である。本研究では、セリン/スレオニンキナーゼの一種である Akt の大脳皮質虚血耐性現象への関与について調べた。その結果、PC処置を加えていないラットの大脳皮質では、1時間虚血後の Akt の活性レベルは急激に減少するのに対し、 PC 処置を加えたラットの大脳皮質では、Akt の活性レベルは急激に減少することが明らかとなった。(図4)(Nakajima et al. J. Vet. Med. Sci., 2004)。

(e) 心筋細胞肥大化メカニズムの解明に関する研究

収縮性を亢進させた状態で単離心筋細胞を収縮させながら培養することにより、心筋細胞内の収縮関連蛋白が増加し、細胞肥大を引き起こすことが明らかになった(図5)(内貴ら、循環制御,2003)。

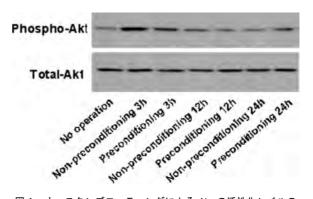


図4. ウェスタンブロッティングによる Akt の活性化レベルの 解析. phospho - Akt(活性化 Akt)(上段)および total Akt (活性化および非活性化 Akt)のバンド

(f) 肥大化にともなう心筋細胞の力学的特性変化に関する研究

肥大心と正常心より単離した心筋細胞の収縮量、収縮速度、弛緩速度を測定した結果、肥大心筋細胞の収縮性は正常心筋細胞に比べて増大している可能性があることが明らかになった。

(g) 超低周波電界付加が細胞増殖能におよぼす影響に関する研究

培養ヒト線維芽細胞に超低周波電界を付加し、その前後 で細胞数を計測する手技を確立し、電界付加が細胞増殖能 におよぼす影響を検討する研究段階に入った。

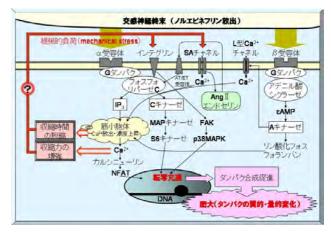


図5. 心筋細胞肥大の細胞内シグナル伝達機構

3. 今後の研究の展望

今後は、本研究分野の研究目標を「生体機能発現機構の ミクロおよびマクロなシステム論的理解とその工学・医学 応用」とし、以下の課題について重点的に研究を行う。

- (a) ニューロン・アストロサイト間の機能的相互作用
- (b) 脳・虚血耐性の分子メカニズム
- (c) 心室リモデリングのバイオメカニクスとその適応制 御論的、細胞生理学的意義

4. 資料

4.1 学術論文等

- K. Kawahara, J. Yanoma, M. Tanaka, T. Nakajima, and T. Kosugi: "Nitric oxide produced during ischemia is toxic but crucial to preconditioning-induced ischemic tolerance of neurons in culture", Neurochem. Res., 29(4): 797-804 (2004)*
- M. Kohashi, K. Kawahara and Y. Yamauchi: "Carbachol-induced suppression of contraction rhythm in spontaneously beating cultured cardiac myocytes from neonatal rats", *Biol. Rhythm Res.*, 34(4): 367-381 (2003)*
- T. Nakamura, K. Kawahara, M. Kusunoki, and Z. Fen: "Microneurography in anesthetized rats for the measurement of sympathetic nerve activity in the sciatic nerve", J. Neurosci. Methods, 131(1-2): 35-39 (2003)*
- 4) T. Saitoh, T. Nakajima and K. Kawahara: "Possible involvement of apoptotic death of myocytes in left ventricular remodeling after myocardial infarction", *Japanese Journal of Physiology*, 53(3): 247-252 (2003)*
- 5) K. Kawahara and S. Iwabuchi: "Possible involvement of nitric oxide in the modulation of photolytic flash-induced intercellular calcium waves in cultured astrocytes", Neurosci. Res. Commun., 32(3): 189-196 (2003)*
- 6) K. Kawahara, M. Takase and Y. Yamauchi: "Ruthenium red-induced transition from ventricular fibrillation to tachycardia in isolated rat hearts: possible involvement of changes in mitochondrial calcium uptake", Cardiovasc. Pathol., 12(6): 311-320 (2003)*
- 7) K. Kawahara, M. Takase and Y. Yamauchi: "Increased vulnerability to ischemia/reperfusion-induced ventricular tachyarrhythmias by pre-ischemic inhibition of nitric oxide synthase in isolated rat hearts", Cardiovasc. Pathol., 12(1): 49-56 (2003)*
- 8)内貴 猛、林 あさこ、河原剛一:「培養心筋細胞肥大におよぼす拍動とβ受容体刺激の影響」、循環制御、24(4):378-385 (2003)*
- 9) 田中基樹、細谷類、佐藤秀臣、矢野間潤持、中島崇行、河原剛一:「アストロサイト・グルタミン酸トランスポータ GLT-1 の機能逆転と神経細胞死の解析」、信学技報、MBE2003-13:5-10(2003)
- 10) 内貴 猛、林 あさこ、河原剛一:「心筋細胞肥大にお よぼす交感神経活性化の影響-培養細胞を用いての検 討-」、信学技報、MBE2003-13:1-4(2003)
- 11) 河原剛一、高瀬麻玲、山内芳子、木村博之:「心室頻拍 -心室細動マクロダイナミクス遷移:生体システムにお ける階層間相互作用」、生体・生理工学シンポジウム論 文集、18:163-166(2003)
- 12) 山内芳子、阿部麗奈、河原剛一:「虚血ストレスによる 拍動リズム変化及び心筋細胞死と NO」、電気学会全国

大会シンポジウム抄録集、S17:10-11 (2003)

国際会議議事録等に掲載された論文

- T. Karino, S. Wada, T. Naiki, K. Niwa and J. Sakai: "Flow-dependent concentration polarization of lipo-proteins as a localizing mechanism of vascular diseases", Proceedings of the International Bio-Fluid Mechanics Symposium and Workshop, 15-17 (2003)
- 2) M. Tanaka, K. Kawahara, R. Hosoya, H. Sato, J. Yanoma, T. Nalajima: "Astrocytic glutamate transporter GLT-1 crucial to the killing as well as survival of neurons in astrocyte/neuron co-cultures", Abstract of the 6th IRBO World Congress of Neuroscience, 1166 (2003)
- 3) T. Nakajima, S. Iwabuchi, H. Miyazaki, Y. Okuma, O. Inanami, M. Kuwabara, Y. Nomura, K. Kawahara: "Preconditioning treatment induces immediate and transient enhancement in the phosphorylation of CREB in the penumbra region after transient focal cerebral ischemia", Abstract of the 6th IRBO World Congress of Neuroscience, 4312 (2003)

その他

- 1) 内貴猛、林あさこ、河原剛一:「培養心筋細胞肥大におよぼす交感神経作用の影響」、医用電子と生体工学、 41(特別号):283 (2003)
- 内貴猛、林あさこ、河原剛一:「培養心筋細胞肥大におよぼす拍動とβ受容体刺激の影響」、循環制御、24 (Supplement): 98 (2003)
- 3) 齊藤直、中島崇行、河原剛一:「心筋梗塞による左心室 リモデリングとアポトーシス」、循環制御、24 (Supplement): 102 (2003)
- 4) 河原剛一、山内芳子、高瀬麻玲、小橋真之、阿部麗奈、福田洋之:「拍動リズムのゆらぎとダイナミクス:リズム制御の階層構造」、医用電子と生体工学、41(特別号): 156 (2003)
- T. Saitoh, T. Nakajima and K. Kawahara: "Apoptotic death of cardiac myocytes in left ventricular remodeling after myocardial infarction", Japanese Journal of Physiology, 53(Suppl.), S326 (2003)
- 6) M. Tanaka, K. Kawahara, R. Hosoya, H. Sato, J, Yanoma and T. Nakajima: "Astrocytic glutamate transporter GLT-1 directly participates in the survival and death of neurons in neuron/astrocyte mixed cultures", Neurosci. Res. 46 (Suppl. 1), S43 (2003)

4.5 講演

a. 招待講演

 T. Karino, S. Wada, T. Naiki, K. Niwa and J. Sakai: "Flow-dependent concentration polarization of lipoproteins as a localizing mechanism of vascular diseases", International Bio-Fluid Mechanics Symposium and Workshop, Pasadena, California, USA (2003-12)

b. 一般講演

i)学会

- 1) 新井景子、林純子、西川雄大、田中賢、原正彦、河原剛一、下村政嗣:「自己支持性パターン化フィルムの心筋組織再構築への応答」、第41回日本人工臓器学会、仙台市市民会館(2003-10)
- 2) 林 周、平田恵啓、内貴猛、河原剛一、栗城眞也:「小 動物用 MCG 計測システムを用いた自律神経活動の解 析」、電子情報通信学会ソサイエティ大会、新潟 (2003-09)
- 3) 内貴猛、林あさこ、河原剛一:「培養心筋細胞肥大におよぼす交感神経作用の影響」、第42回日本エム・イー学会大会、札幌市(2003-06)
- 4) 内貴猛、林あさこ、河原剛一:「培養心筋細胞肥大におよぼす拍動とβ 受容体刺激の影響」、第24回日本循環制御医学会総会、豊中市(2003-05)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- A. Hayashi, Y. Hirata, S. Kuriki, T. Naiki and K. Kawahara: "A SQUID Magnetometer for small animal experiment", The 5th RIES-Hokudai Symposium on Advanced Nanoscience, Sapporo, Japan (2003-12)
- 2) 内貴猛、林あさこ、河原剛一:「心筋細胞肥大におよぼ す交感神経活性化の影響」、ME とバイオサイバネティ クス研究会, 札幌市 (2003-06)

4.6 シンポジウムの開催

- b. 一般のシンポジウム (組織者名、部門名、シンポジウム名、参加人数、開催場所、開催期間)
- 1) 内貴猛:バイオメカニクス研究会 (23名、北海道大学 工学研究科 (札幌市)、2003年9月5日)
- 2) 内貴猛: ME とバイオサイバネティクス研究会(40名、 北海道大学 電子科学研究所(札幌市)、2003年6月20日)

4.7 予算獲得状況

- a. **科学研究費補助金**(研究代表者、分類名、研究課題、 期間)
- 1) 内貴猛、若手研究 B 一般 (2)、肥大心筋細胞の力学的 特性の測定とエネルギー論的解析、2003~2004年度
- 2) 河原剛一、萌芽研究、ミトコンドリアによる心室頻拍-心室細動マクロダイナミクス遷移の制御、2002~2003 年度
- 3) 内貴猛、奨励研究 A 一般 (2)、蛍光 LDL 作製による 血管内皮細胞におけるリポ蛋白取込みにおよぼす流れ の影響の検討、2000~2003年度
- 4) 河原剛一、基盤研究 B (2)、細胞リズムの階層的相関 ダイナミクス: 非線形振動子間の協調と破綻、2004~ 2006年度

4.8 共同研究

- a. **所内共同研究**(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 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1、2002~2004年度、未定、 NO-cGMP 系は学習や記憶の基盤となる神経の可塑性 に深く関与する。これまでに節足動物を用いた電気生 理学・行動学・組織化学的研究から NO-cGMP 系が神 経伝達の修飾に関与する事、匂いの連合学習に重要な 事などを示した。NO は標的細胞のグアニル酸シクラ ーゼを活性化し細胞内 cGMP 合成を促進するが、cGMP がどのような生理機構で神経の可塑性に関与するか不 明である。本プロジェクトは培養細胞系を従来の研究 に取り入れ、細胞内の遺伝子発現、酵素活性を観察す る事で cGMP の下流にあるシグナル伝達系を解明す る。従来の in vivo の実験と本プロジェクトの in vitro の実験を組み合わせる事で、実験材料に昆虫を使う利 点を最大限に活用し、脊椎動物では困難な思い切った 実験を可能にする。

4.10 社会教育活動

b. 国内外の学会の主要役職

- 1) 内貴猛:電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティックス研究会専門別研究会 委員(2003年5月29日~現在)
- 2) 内貴猛:日本機械学会 論文集出版部会 校閱委員 (2003年4月1日~現在)
- 3) 内貴猛:日本エム・イー学会 バイオメカニクス研究 会 幹事 (2003年4月1日~現在)
- 4) 河原剛一:電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティクス研究専門委員会・委員長 (2002年5月28日~2003年5月19日)
- 5) 内貴猛:計測自動制御学会 生体・生理工学部会 幹事(2002年1月1日~2003年12月31日)
- 6) 内貴猛:電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティックス研究会専門別委員会 幹事(2001年5月29日~2003年5月28日)
- 7) 河原剛一:日本生理学会評議員(2001年4月1日~現在)
- 8) 河原剛一:計測自動制御学会部会運営委員(2001年4 月1日~現在)
- 9) 河原剛一: 計測自動制御学会 生体·生理工学部会 主 查(2003年1月~2003年12月)
- 10) 河原剛一: Frontiers of Medical & Biological Engineering, Editorial Bord (1999年4月1日~現在)
- 11) 河原剛一:日本 ME 学会評議員 (1996年4月1日~現在)
- 12) 内貴猛:日本ME学会技術教育委員会委員(1993年4月1日~現在)

d. 修士学位及び博士学位の取得状況

修士課程(3名)

木村博之、水谷祐輔、横川隆弘

- e. 担当授業科目(対象、講義名、担当者、期間)
- 1) 工学研究科、生体数理工学特論、内貴猛、2003年10月1 日~2004年3月31日
- 2) 工学研究科、生理工学特論、河原剛一、2003年4月1日 ~2003年9月30日

電子情報処理部門

研究目的

情報処理論と生体情報学を基礎にして、状況に応じて推論し 判断する生体機能を解明し、人間の脳のように柔軟性のある 電子情報処理システムの構築を目的としている。



情報数理研究分野

教授 西浦廉政 (京大理院、理博、1995.4~) 助教授 小林 亮 (京大理院、数理科学博、1995.4~) 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~)

事務補助員 リー雅子 (2003.4~)

VBL 研究員 上田肇一、寺本敬、井古田亮、一宮尚志、永幡幸生

院生 斎藤宗孝(D2)、手老篤史(D1)、大山義仁(D1)、 早坂靖士(M2)、菅原真紀子(M2)、鈴木啓太(M2)、 伊藤賢太郎(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。対象は一般に複雑かつ大自由度であるが、具体的な実体に基づきつつも、それにとらわれない普遍的構造を取り出すことを試みる。平成15年度においては、散逸系における粒子解の散乱現象、真正粘菌変形体の運動の数理モデル、周期的刺激入力による1次元神経モデルの応答、有限時間の遅れが内在する系の解明を主目標においた。

2. 研究成果

(a) 散逸系における粒子解の散乱現象

散逸系における基本的なパターンとして、空間的に局在 した粒子解とよばれるクラスがある。古典的には神経パル スの伝播を記述する FitzHugh-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 かっているが、対応するモデル方程式はすべて3変数以上 となっている。このような粒子解の相互作用で最も重要か つ困難な問題は衝突問題すなわち散乱現象の解明である。 本年度は1次元系における進行パルスの散乱における入出 力関係を、Gray-Scott モデル、ガス放電系モデル等につい て調べた。それらの散乱過程のダイナミクスを支配する普 遍的機構として、分水嶺解と呼ばれる不安定な定常解また は周期解が存在することを発見した、その近傍の局所ダイ ナミクスと、解軌道の空間的な位置関係により、様々な入 出力関係が形成されることを明らかにした。

(b) 真正粘菌変形体の運動の数理モデル

真正粘菌 Physarum polycephalum の変形体は、巨大な多

核の単細胞生物であり、マクロなスケールで見ると、ほぼ一様な構造を持っている。変形体の各部が自励振動することで、細胞内のゾルが往復流動を起こし、これによってこの生物は運動や情報処理を行っていると考えられている。共同研究者である中垣は、変形体の融合実験と変形体の部分的分離実験という2つの実験を行い、いずれの場合にも2通りの位相反転(周辺部反転と弱結合部反転)が起こることを確かめた。我々は、これらの実験結果を再現できるような数理モデルを提案した。このモデルの特徴は、保存量を一つ持っている結合振動子系を表現していることである。この保存量は細胞の中を流動するゾルの総量に対応している。このモデルを用いて、上記の実験結果を再現することができた。

(c) 周期的刺激入力による1次元神経モデルの応答

神経細胞は通常の細胞と異なり興奮と静止という二つの異なる状態をとる。神経細胞は普段は静止状態にあるが、刺激が加えられると、それが一定の臨界値(閾値)を越えると、しばらくの間、興奮状態となる。外部からの刺激によって細胞体あるいは神経繊維の一部が興奮すると、その興奮はパルス上の信号となって繊維上を伝播して行く。以上の本質的な性質を備えた簡単な数理モデルとして1次元FitzHugh-南雲(FHN)モデルを考え、周期的な刺激に対する時空間応答の数値解析を行った。入力周期の変化により、引き込み現象やカオス的なパルスの生成が見られ、特にパルスが持つ固有の周期刺激が加わると、パルスが空間を伝わらなくなる伝播不全を起こす現象を発見した、これは神経軸索という空間自由度を考慮した結果として生じるパルス・パルス間の強い相互作用によるものである。

(d) 有限時間の遅れが内在する系の解析

有限時間遅れの効果は、数理生態学(生物が生殖可能年齢に達するまでの時間)、疫学(潜伏期間)、制御問題(信号の入力から出力までの時間)等、普遍的に見られる。この効果は、数学的には支配方程式の自由度が無限大になる事を意味するため、有限時間遅れが無い場合に比べ、一般に解析は非常に困難となる。ここでは現象論的解析手法を提案し、あるモデル方程式を用いて検証することで、特に周期解の定性的振る舞いを良く説明できることを示した。また、時間遅れの効果に時間的な幅を持たせる事により系の振る舞いが安定化すると言う最近の Thiel ら(2003) の報告に対する簡単な解釈を与えた。

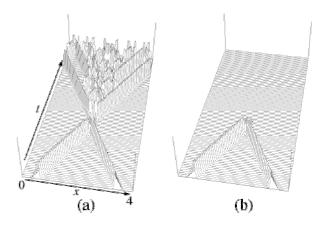
3. 今後の研究の展望

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

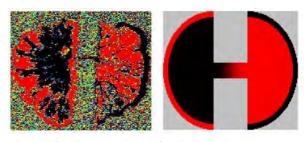
か? などが直ちに自然な疑問として出てくる。ひとつは外界との相互作用あるいは外界の状態変化がきっかけとなるであろう。また結果として生じた内的構造同士の強い相互作用が次のステップへの駆動力となることも多い。本年度に得られた結果はそのような観点から様々な系に対してどのようなダイナミックな機構が考えられるかを議論した。以下各課題について今後の方向を述べる。

- 1. 粒子解の散乱現象は解の大変形を伴い、 FitzHugh-Nagumo 方程式の対消滅現象が現在においても 厳密には証明されていないことからもわかるように理論 的には困難な問題として残っている。衝突前後の入出力 関係の定性的変化の原因究明の数理的アプローチの第一 歩として隠れたサドル解(以下「分水嶺解」とよぶ)が 重要な役割を果たすことが1次元系において発見された が、これが2次元以上においても正しいことを示す必要 がある。また脈動解の散乱においては時間周期解が分水 嶺解となることは CGLE 方程式で数値的に確認されてい るが、入出力関係の位相依存性及びその大域分岐的な解 明は今後の課題である。さらに出力が秩序解ではなく、 時空カオス解が出現することが Gray-Scott モデルの1 次元パルスの衝突で確認されている (図参照)。この力学 系的な機構解明は衝突というイベントを通してダイナミ クスが全く異なるものに遷移する興味ある例となってお り、今後の解析が期待される。
- 2. 現段階のモデルでは、変形体の管構造の異方性とその時間発展を記述することができない。変形体は原形質の流れの方向に応じて、その構造を変換することが実験的に確かめられているので、管構造をクリアに記述することができ、かつ現モデルより長いタイムスケールの変化を記述する数理モデルを構築したい。
- 3. 空間自由度をもつ興奮系を周期的に刺激することによって現れる伝播不全現象や共鳴現象の理論的解析をすすめ、これらの現象が引き起こされる条件を解明する。また、これらの現象は周期的境界条件におけるパルス列解の分岐現象との対応付けが考えられ、その解析を進める。さらに、空間自由度を持つシステムの確率共鳴現象への拡張を行いたい。

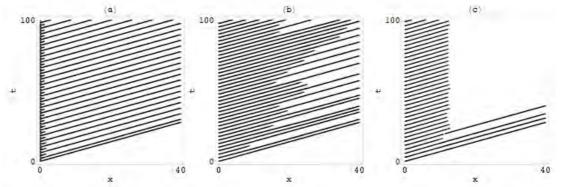
4. 自然現象は階層構造を持つ。自然現象のモデル化の手続きにおいては、目的とする現象に対応する特定の階層に着目し、残りの階層を繰り込む事で、現象を記述するモデル方程式を得る。この時、繰り込まれた階層の数学的表現の一つとして有限時間遅れは重要である。一般に有限時間遅れは系の振る舞いを不安定にし、より複雑にするが、効果の入れ方によっては反対に安定化をもたらす等、その役割は単純ではない。今回提案された解析手法は時間遅れの効果の理解を進め、今後モデル方程式を構築、解析する際に役立てる事が出来る。また、他のモデル方程式における適用可能性を更に検証する事で、手法の確立を目指したい。



Gray-Scott モデル系における1次元パルスの散乱過程:反応パラメータをわずかに変化させるだけで、同じ1次元パルスの衝突の入出力関係が(a)時空カオスあるいは(b)対消滅と変化する。



真正粘菌変形体の運動の数理モデル: 部分分離実験とそのシミュレーション: 2種類の反位相振動が再現されている。



周期的刺激による1次元 FitzHugh-南雲モデルの時空間パターン:入力周波数に応じて(a)入力数と出力数の比が有理数となる引き込み現象(b)パルスのカオス的な生成(c)特定の入力周波数によってパルスは有限距離しか伝わらない伝播不全現象。

4. 資料

4.1 学術論文等

- T. Ichinomiya: "Temperature and Interaction Dependence of the Electron Spectrum in a 2D Attractive Hubbard Model", J. Phys. Soc. Jpn., 73: 643-648 (2004)*
- M. Henry, D. Hilhorst and Y. Nishiura: "Singular limits of a second order nonlocal parabolic equation of conservative type arising in the micro-phase separation of diblock copolymer", HMJ, XXXII(No.3): (2003)*
- Y. Nishiura, T. Teramoto and K. Ueda: "Dynamic transitions through scattors in dissipative systems", Chaos, 13(3): 962-972 (2003)*
- J. A. Warren, R. Kobayashi, A. E. Lobkovsky and W. C. Carter: "Extending phase field models of solidification to polycrystalline materials", *Acta Materialia*, 51: 6035-6058 (2003)*
- 5) T. Nishikawa, M. Nonomura, K. Arai, J. Hayashi, T. Sawadaishi, Y. Nishiura, M. Hara, M. Shimomura, M. Nonomura, K. Arai, J. Hayashi, T. Sawadaishi, Y. Nishiura, M. Hara and M. Shimomura: "Micropatterns Based on Deformation of a Viscoelastic Honeycomb Mesh", Langmuir,, 19(15): 6193-6201 (2003)*
- 6) T. Nishikawa, M. Nonomura, A. Arai, J. Hayashi, T. Sa-wadaishi, Y. Nishiura, M. Hara and M. Shimomura: "Mi-cropatterns based on Deformation of Viscoelastic Honeycomb Mesh", *Langmuir*, 19: 6193-6201 (2003)*
- T. Onozaki and T. Yanagita: "Monopoly, Oligopoly and Invisible Hand", Chaos, Solitons & Fractals, 18: 537–547 (2003)*
- Y. Giga and R. Kobayashi: "On Constrained Equations with Singular Diffusivity", Methods and Applications of Analysis, 10(2): 253–278 (2003)*
- 9) M. Nonomura, R. Kobayashi, Y. Nishiura and M. Shimomura: "Oscillating precipitations during the roplet evaporation on a substrate", J. Phys. Soc. Jpn., 72: 2468–2471 (2003)*
- 10) M. Nonomura, R. Kobayashi, Y. Nishiura and M. Shimomura: "Periodic Precipitation during Droplet Evaporation on a Substrate", J. Phys. Soc. Jpn., 72(10): 2468-2471 (2003)*
- Y. Nishiura, T. Teramoto and K. Ueda: "Scattering and separators in dissipative systems", *Phys. Rev. E*, 67: 056210 (2003)

4.2 総説、解説、評論等

- 1) 柳田達雄、飯間信:「羽ばたき運動の安定性とエナジェ ティクス」、数理解析研究所講究録, 1305: 34-38 (2003)
- 2) 柳田達雄、西森拓、小西哲郎:「河川の形態とダイナミ クスの関係」、数理解析研究所講究録,1305:193-202

(2003)

- 3) 西浦廉政:「散逸系における粒子パターンの複製・崩壊・散乱のダイナミクス」、数学,55(2):113-127 (2003) 国際会議議事録等に掲載された論文
- Y. Nishiura: "Scattering Phenomena for Traveling Breathers", RIMS Kokyuroku, 1368: 111-118 (2004)
- 2) Y. Giga and R. Kobayashi: "Total varietion flow with value constraints", *RIMS Kokyuroku*, 1323: 84–104 (2003)
- 3) M. Iima and T. Yanagita: "Unstabilization of Symmetric Motion of a Two-Dimensional Symmetric Flapping Model", 数理解析研究所講究録, 1326: 44-56 (2003)

4.3 著書

- 1) 小林亮、高橋大輔:ベクトル解析入門、東京大学出版会(2003)
- T. Nishikawa, M. Nonomura, K. Arai, J. Hayashi, t. Sa-wadaishi, Y. Nishiura, M. Hara and M. Shimomura: "Mi-cropatterns Based on Deformation of a Viscoelastic Honeycomb Mesh", *Langmuir*, 19(15): 6193-6201 (2003)
- M. Nonomura, R. Kobayashi, Y. Nishiura and M. Shimomura: "Periodic precipitation during the droplet evaporation on a substrate", 2003 The Physical Society of Japan, Vol. 72, No.10: 2468-2471 (2003)

その他

1) 上坂美花、小林亮、山口智彦:「アスコルビン酸の結晶 化におけるパターン形成」、数理解析研究所講究録、 1313: 25-35 (2003)

4.5 講演

a. 招待講演

- 1) 中垣俊之、小林亮:「結合振動子系としてみた真正粘菌 の行動」、日本物理学会 秋季大会、岡山大学 (2003-09)
- R. Kobayashi: "Modeling of the Grain Structure Evolution and Singular Diffusivity", 5th International Congress on Industrial and Applied Mathematics, Sydney, Australia (2003-07)
- Y. Nishiura: "Scattering of Moving Spots in Dissipative Systems" Dynamics of Particle-like Solutions in Dissipative Systems", ICIAM 2003-5th International Congress on Industrial and Applied Mathematics, Sydney, Australia (2003-07)
- Y. Nishiura: "Scattering of spiky patterns in dissipative systems, Spike patterns in Physical Systems", ICIAM 2003--5th International Congress on Industrial and Applied Mathematics, Sydney, Australia (2003-07)
- 5) Y. Nishiura: "Stripe-Splitting Dynamics on a Growing Domain: Reduction to Simple ODE Dynamics, Developmental Biology: the Role of Domain Growth", ICIAM 2003--5th International Congress on Industrial and Ap-

- plied Mathematics, Sydney, Australia (2003-07)
- R. Kobayashi, T. Nakagaki and A. Tero: "Modeling Approach to the Dynamics of Plasmodium of Physarum Polycephalum", Mathematical understanding of invasion processes in Life Sciences, CIRM, Marseille, France (2004–03)
- Y. Nishiura: "Spontaneous Arrangement of Moving Particles in Dissipative Systems", Japan-US Symposium on Directed Self-Assembly and Self-Organization, University of California Santa Barbara, USA (2004-01)
- 8) Y. Nishiura: "Transient Dynamics of Particle -like Patterns in Dissipative Systems", An International Conference In Honor of Professor Shui-Nee Chow, New Directions in Dynamics of Evolution Equations, Hunan University, Changsha, China (2003–12)
- 9) 小林亮、中垣俊之、手老篤史:「真性粘菌変形体の運動 と形態形成の数理モデル」、第13回 「非線形反応と協 同現象」研究会、京都大学 (2003-12)
- 10) 小林亮:「自己組織化現象の数学」、北海道大学公開講演会、北海道大学 (2003-12)
- 11) 小林亮、中垣俊之、手老篤史:「真性粘菌変形体の運動の数理モデル」、数理解析研究所研究集会「反応拡散系におけるパターン形成と漸近的幾何構造の研究」、京都大学(2003-10)
- 12) 小林亮:「Introduction to Phase Field Model」、「今話題の結晶成長テーマ」研究会、東京 (2003-09)
- 13) 小林亮:「結晶粒と粒界のモデリングについて」、基盤 B「材料科学におけるパターン形成の数理」、広島大学 (2003-08)
- 14) 柳田達雄:「結合格子写像を用いたシミュレーション技術」、軽井沢複雑系市場、日本大学軽井沢研修所 (2003-08)
- 15) Y. Nishiura: "Toward the Understanding of Strong Interaction Among Localized Patterns", BIRS workshops: Defects and their Dynamics and Localization Behavior in Reaction-Diffusion Systems and Applications to the Natural Sciences, Banff, Canada (2003-08)
- 16) Y. Nishiura: "Scattering in Dissipative Systems", BIRS workshops: Defects and their Dynamics and Localization Behavior in Reaction-Diffusion Systems and Applications to the Natural Sciences, Banff, Canada (2003-08)
- 17) R. Kobayashi: "Evolution of Polycrystalline Structures", Seminar in Alt Labo, Bonn University, Germany (2004-03)
- 18) 小林亮:「第1期三村研での研究生活を振り返って」、 三村昌泰教授送別記念講演会、広島大学 (2004-03)
- 19) 小林亮、手老篤史、中垣俊之:「真性粘菌変形体の運動 と形態形成の数理モデル」、INSAM セミナー、広島大 学(2004-03)
- 20) 小林亮:「生物における管のネットワークのダイナミクスについて」、龍谷数理科学セミナー、大津市

(2004-02)

- 21) 中垣俊之 and 小林亮: "Physiology of communication network in true slime mold", Prof. P. Maini's lab Seminar, University of Oxford, UK (2004-02)
- 22) 小林亮:「真性粘菌変形体の運動と形態形成の数理モデル」、数理分子生命理学セミナー、広島大学 (2003-11)
- 23) R. Kobayashi: "Brief Introduction to Phase Field Model", Defense of Irina Loginova in KTH, Stockholm, Sweeden (2003–10)
- 24) R. Kobayashi: "A Modeling of Grain Structure Evolution and Singular Diffusivity", Seminar in Division of Material Science in KTH, Stockholm, Sweeden (2003–10)
- 25) 小林亮、中垣俊之、手老篤史:「真性粘菌変形体の運動 と形態形成のモデリングについて」、北海道大学数学教 室談話会、北海道大学(2003-07)
- 26) 小林亮、中垣俊之、手老篤史:「真性粘菌変形体の運動の数理モデル」、津田研・西浦研合同セミナー、北海道大学(2003-06)

b. 一般講演

i) 学会

- 1) 飯間信:「一様流中のおかれた弾性体の運動」、日本物 理学会第59回年次大会、福岡(2004-03)
- 2) 一宮尚志:「振動子のランダムネットワークにおける引き込み現象」、日本物理学会第59回年会、九州大学 (2004-03)
- 3) 柳田達雄、西森拓、小西哲郎:「河川のパターン形成と 形態変化」、日本物理学会、岡山大学津島キャンパス (2003-09)
- 4) 飯間信:「弾性翼をもつ2次元はばたきモデルの解析」、 日本物理学会2003年秋期大会、岡山(2003-09)
- R. Kobayashi, A. Tero and T. Nakagaki: "Modeling of the Motion of the Plasmodium of Physarum Polycephalum", International Conference on Mathematical Biology 2003, Dundee, UK (2003–08)
- T. Nakagaki and R. Kobayashi: "Cell dynamics of network formation in a large amoeboid organism of Physarum", International Conference on Mathematical Biology 2003, Dundee, UK (2003–08)
- T. Nakagaki and R. Kobayashi: "Cellular computation by adaptive changes in body shape of an amoeba-like organism", SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems, Snowbird, Utah, USA (2003-05)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

1) 西浦廉政:「Unstable objects control the scattering process of moving particles in dissipative systems」、Analysis of natural and social phenomena: Data Science and System Reduction, Cherry Bud Workshop 慶應義塾大学21世紀 COE プログラム「統合数理科学:現象解明を通した数学の発展」、慶応義塾大学、東京(2004-03)

- T. Yanagita and R. Kobayashi: "FitzHugh-Nagumo equations on a simple network", International Symposium on Dynamical Systems Theory and Applications to Biology and Environmental Sciences, Shizuoka Univ. (2004-03)
- 3) 柳田達雄、西森拓、小西哲郎:「河川の流れ形態変化の シミュレーション」、第53回理論応用力学講演会、日本 学術会議(東京) (2004-01)
- 4) 鈴木啓太、飯間信:「時間遅れを含む円周上追跡問題 の数値的研究」、2003年 応用数学合同研究集会、滋賀 (2003-12)
- 5) 永幡幸生:「Regularity of the diffusion coefficient matrix for generalized exclusion process」、確率過程とその周辺、金沢大学サテライト・プラザ (2003-12)
- 6) 柳田達雄、西森拓、小西哲郎:「河川の形態形成の数理 モデル」、動力学視点からの地形進化の研究、京都大学 基礎物理学研究所 (2003-12)
- M. Iima and T. Yanagita: "Vortex patterns interacting with body motions", The 5th RIES-Hokudai Symposium on Advanced Nanoscience "shoku", Sapporo (2003-12)
- 8) 永幡幸生:「Regularity of the diffusion coefficient matrix for generalized exclusion process」、無限粒子系, パーコレーション, 量子ランダムウォークとその周辺、岡山大学 (2003-11)
- 9) 飯間信、鈴木啓太:「円周上における追跡問題の数値 的研究」、京都大学数理解析研究所短期共同研究集会 数理モデルと関数方程式の解のダイナミクス、京都 (2003-11)
- 10) 永幡幸生: 「Regularity of the diffusion coefficient matrix for generalized exclusion process」、大規模相互作用系の 確率解析、湘南国際村センター (2003-10)
- 11) 西浦廉政:「Role of Transient Dynamics in Pattern Formation Problem」、数理生物学シンポジウム 企画シンポジウム「Recent Topics on Mathematical Methods to Biological Systems」、奈良女子大学理学部 (2003-09)
- 12) 手老篤史、小林亮、中垣俊之:「非線型結合振動子系に よる細胞行動のシミュレーション」、第13回数理生物学 シンポジウム、奈良女子大学(2003-09)
- 13) 手老篤史、小林亮、中垣俊之:「非線型結合振動子系に よる細胞行動のシミュレーション」、第8回 NLPM サマ ーセミナー、岡山厚生年金休暇センター (2003-09)
- 14) 手老篤史、小林亮、中垣俊之:「非線型結合振動子系による細胞行動のシミュレーション」、第1回北海道大学 COE 合宿、大雪少年自然の家 (2003-08)
- 15) 西浦廉政:「散逸系における粒子パターンのダイナミクス」、未来研究ラボ「非線形ダイナミクス」研究会、大阪大学基礎工学部(2003-04)

iii)コロキウム・セミナー等・その他

1) 永幡幸生:「Regularity of the diffusion coefficient matrix for generalized exclusion process」、広島確率論・力学系セミナー、広島大学 (2003-11)

- 2) 永幡幸生:「Regularity of the diffusion coefficient matrix for generalized exclusion process」、九州確率論セミナー、九州大学 (2003-10)
- 3) 西浦廉政:「Toward the understaning of strong interactions among localized patterns in dissipative systems」、Sapporo Guest House Symposium on Mathematics 14, 語ろう「数理解析」第11~14回セミナー北海道、札幌(2003-08)
- 4) 永幡幸生:「Regularity of the diffusion coefficient matrix for generalized exclusion process」、関西確率論セミナー、京都大学 (2003-07)
- 5) 永幡幸生:「格子気体の流体力学極限について (symmetric simple exclusion process の場合)」、札幌 NSC セミナー、北海道大学 (2003-06)

4.6 シンポジウムの開催

- a. **国際シンポジウム**(組織者名、部門名、シンポジウム 名、参加人数、開催場所、開催期間)
- 1) H. Kokubu, T. Ogawa, Y. Nishiura, H. Oka and K. Mischaikow: US-Japan Workshop on Dynamics and Computations (50名、湘南国際村センター(葉山町)、2004年3月1日~2004年3月12日)
- b. 一般のシンポジウム (組織者名、部門名、シンポジウム (組織者名、部門名、シンポジウム (組織者名、部門名、シンポジウム名、参加人数、開催場所、開催期間)
- 1) 西浦廉政、柳田達雄、飯間信:非線形ダイナミクスに 内在する不安定軌道の数理(20名、北海道大学電子科 学研究所(北海道)、2004年2月20日~2004年2月21日)
- 2) 柳田達雄、西森拓、小西哲郎:動力学視点からの地形 進化の研究(30名、京都大学基礎物理学研究所(京都)、 2003年12月4日~2003年12月5日)

4.7 予算獲得状況

- a. **科学研究費補助金**(研究代表者、分類名、研究課題、 期間)
- 1) 飯間信、若手研究 B、流体と相互作用する弾性体の運動の研究、2003~2004年度
- 2) 柳田達雄、若手研究 B、非線形・非平衡パターン形成 現象に対する構成的な動力学手法の確立、2002~2004 年度
- 3) 西浦廉政、萌芽研究、逐次分岐によるロバストな形態 形成ダイナミクスの解明、2002~2004年度
- 4) 小林亮、基盤研究 C 一般 (2)、再結晶過程のフェーズ フィールドモデルに関する研究、2001~2003年度
- 5) 西浦廉政、基盤研究 B 一般 (2)、散逸系における大域 分岐構造の幾何学と複雑時空パターン、2001~2003年 度

4.8 共同研究

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

- 1) 西浦廉政、小林亮、上田哲男、中垣俊之(電子科学研究所):「非線形化学ダイナミクスに基づく細胞インテリジェンスの発現」、2001~2003年度、未定、非線形化学ダイナミクスに基づく細胞インテリジェンスの発現
- b. **民間等との共同研究**(研究担当者、機関名、研究題目、 研究期間、研究内容)
- 1) 大山義仁、西浦廉政、柳田達雄、飯間信、猪俣敦夫(ノーステック財団):「光ファイバにおける偏波モード分散の温度特性に関する理論的解明」、2003年度、400千円、北海道のような寒冷地域では夏と冬の温度差が大きく、超高速広帯域光通信で問題となる偏波モード分散(PMD)の影響が季節により変化する可能性がある。この影響がどの程度あるか、理論解析と分散数値計算シミュレーションにより明らかにし、将来の超高速広帯域光通信に必要となる基礎データの提供を行う。
- 2) 飯間信(財団法人 住友財団):「柔らかい物体が流体 と相互作用を起こして運動する系の研究」2002~2003 年度、300千円
- 3) 西浦廉政 (理化学研究所):「非平衡ダイナミクスに基づく散逸構造形成制御法の確立」、2000~2003年度、未定、非線形ダイナミクスによる散逸構造の制御法の確立
- e. COE **関係**(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、 研究内容)
- 1) 芳賀永、小林亮、中垣俊之(21世紀 COE プログラム「バイオとナノを融合する新生命科学拠点」):「ナノカ学走査型プローブ顕微鏡を用いた細胞システム挙動の実験的・理論的解析」、2002~2003年度、4,000千円、ナノカ学走査型プローブ顕微鏡を用いて細胞の力学特性を計測し、それに基づいて細胞運動の数理モデルを構成する。モデルのシミュレーションを通じて細胞の集団的挙動のしくみを解明する。
- f. その他(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 居城邦治、田中賢、薮 浩、西浦廉政(独立行政法人科学技術振興機構):「高分子の階層的自己組織化による再生医療用ナノ構造材料の創製」、2002~2006年度、未定、戦略的創造研究推進事業「医療に向けた自己組織化等の分子配列制御による機能性材料・システムの創製」領域、研究課題「高分子の階層的自己組織化による再生医療用ナノ構造材料の創製」

4.10 社会教育活動

- a. 公的機関の委員
- 1) 西浦廉政:科学研究費委員会専門委員(2003年1月1日 ~2003年9月30日)
- 2) 西浦廉政: Physica D, Editor (2002年4月1日~現在)
- 3) 飯間信:雑誌「物性研究」編集委員(2001年4月1日~ 現在)
- 4) 西浦廉政: Japan Journal of Industrial and Applied

Mathematics, Associate Editor (1997年4月1日~現在)

5) 西浦廉政: Hokkaido Mathematical Journal, Editor (1995年4月1日~現在)

b. 国内外の学会の主要役職

- 1) 西浦廉政:応用数学分科会委員会委員(2002~2003年 度)
- d. 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

- e. 担当授業科目(対象、講義名、担当者、期間)
- 1) 理学研究科、数理科学講義 2、小林亮、2003年10月1 日~2004年3月31日
- 2) 理学部、応用数学特論 2、小林亮、2003年10月1日~2004 年3月31日
- 3) 理学部、計算数学 4、西浦廉政、2003年10月1日~2004 年3月31日
- f. 北大以外での非常勤講師(担当者、教育機関、講義名、 期間)
- 小林亮、広島大学理学研究科、非平衡系の数理モデル 入門、2003年11月10日~2003年11月13日
- 2) 小林亮、中央大学理工学研究科、応用解析特別講義第二、2003年10月1日~2004年3月31日
- 3) 小林亮、中央大学理工学部、応用統計学4、2003年10 月1日~2004年3月31日
- g. 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)

- h. **外国人研究者の招聘**(氏名、国名、期間)
- 1) Thomas Wanner、USA、2004年3月6日~2004年3月19日
- 2) Angela Stevens、Germany、2004年2月15日~2004年3月 12日
- 3) Peter William Bates、USA、2003年11月15日~2003年11 月23日

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~)

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

「動物は、どの様に環境の変化に即した行動を発現し環境に適応しているのか。」その神経機構の解明に向けて研究室では、昆虫をモデルとして、感覚器の機械的構造や感覚神経系における情報処理機構の解明、高次脳機能の神経機構の解明をめざしている。

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 $0.7k_BT$ 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搖動エネル ギー $k_{\rm B}$ 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 $k_{\rm B}$ T のエネルギーを吸収してパルス1発を出すから、約1 $k_{\rm B}$ 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れからである。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 $k_B T$ の程度である。この $k_B T$ の程度のエネ 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 一) 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、時には経験により修飾されることもある。フェロモン行動の修飾に関わる神経機構を理解し、動物が状況に応じた行動を発現する神経機構、学習や記憶、神経系の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は、雄コオロギに見られるフェロモン行動で、触角(図1)により他個体の体表フェロモン(図2)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る(図3)。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。喧嘩に負けた経験をすることで、雄の闘争性が下がり、フェロモンに対して回避行動を取るようになる神経機構については解明されていない。

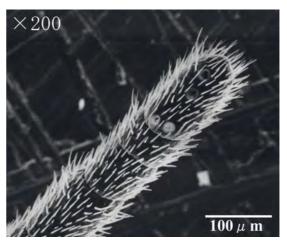


図1. 走査型電子顕微鏡で撮影したコオロギの触角の先端

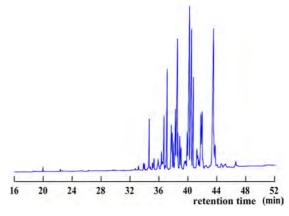


図2. 雄コオロギの体表フェロモンのガスクロマトグラム



図3. 雄コオロギ同士の喧嘩

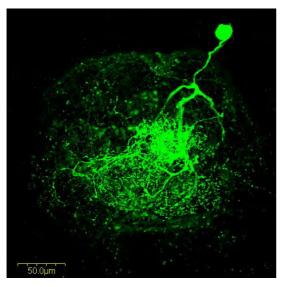


図4. コオロギ脳の触角葉における局所介在神経

行動実験から、喧嘩に負けた経験は短期的な記憶となり、次の行動選択に関与することが示せた。これまでの研究から、コオロギの匂い学習や記憶の成立過程には一酸化窒素 (NO)シグナルが関与すること、脳内で NO が合成され、標的細胞の可溶性グアニル酸シクラーゼ(sGC)を活性化し cGMP 量を増加させることを示してきた。NO が如何にして経験による行動の切替えに関与するのか解明するため、薬理学的に予め脳内の 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の神経細胞(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。

匂い情報の識別に関わる神経機構を解明するため、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ゴキブリの神経系をモデルに電気生理学的方法で解析を進めている。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ィ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研究を展開すべきである。

4. 資料

4.1 学術論文等

- S. Hisayo, H. Sato, S. Kobayashi, J. Murakami, H. Aonuma, H. Ando, Y. Fujito, K. Hamano, M. Awaji, K. Lukowiak, A. Urano and E. Ito: "CREB in the pond snail Lymnaea stagnalis Cloning, gene expression and function in identifiable neurons of the central nervous system-", J. Neurobiol., 58(4): 455-466 (2004)*
- H. Schuppe, M. Araki, H. Aonuma, T. Nagayama and P. L. Newland: "Effects of nitric oxide on proprioceptive signaling", *Zoolog. Sci.*, 21(1): 1-5 (2004)*
- H. Nishino: "Local Innervation Patterns of the Metathoracic Flexor and Extensor Tibiae Motor Neurons in the Cricket Gryllus bimaculatus", Zool. Sci., 20: 697-707 (2003)*
- 4) H. Nishino: "Somatotopic Mapping of Chordotonal Organ Neurons in a Primitive Ensiferan, the New Zealand Tree Weta *Hemideina femorata*. I. Femoral chordotonal organ.", *J. Comp. Neurol.*, 464: 312-326 (2003)*
- 5) H. Nishino and L. H. Field: "Somatotopic Mapping of Chordotonal Organ Neurons in a Primitive Ensiferan, the New Zealand Tree Weta *Hemideina femorata*. II. Complex Tibial Organ.", J. Comp. Neurol., 465: 327-342 (2003)*

4.2 総説、解説、評論等

- 1) 西野浩史:「技術ノート 古典的手法の再検討-よりよい逆行性染色技術-」、比較生理生化学、20(2):108-111 (2003)
- 2) 下澤楯夫:「昆虫感覚細胞の熱雑音感受性と神経系の基本構造」、日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集 (2003.9.19-20) WS2-6 (2003)

4.3 国際会議議事録等に掲載された論文

Y. Kitamura, H. Hashii, K. Mizutani, H. Aonuma and K. Oka: "Effect of NO-cGMP signaling on neural activity of the ventral nerve cord of the earthworm, *Eisenia fetida*", *Society for Neuroscience*, 2003. Online.: Program No. 270.3 (2003)

4.4 その他

- 1) 浅間一、矢野雅文、土屋和雄、伊藤宏司、高草木薫、神崎亮平、青沼仁志、太田順、石黒章夫:「移動知発現のシステム原理(生物学と工学の相互連携)」、第16回自律分散システム・シンポジウム資料、04SY0001:1-4(2004)
- 2) 青沼仁志、岩崎正純:「昆虫の行動制御機構にかかわる 一酸化窒素カスケードの役割」、第16回自立分散システ ム・シンポジウム資料、04SY0001:41-46 (2004)

4.5 講演

a. 招待講演

- 1) 西野浩史:「コオロギ死にまね行動の神経機構」、日本 比較生理生化学会 第25回大会、仙台(2003-07)
- 2) 青沼仁志:「昆虫の実時間行動選択機構のシステム的理解」、移動知研究会、東北大学電気通信研究所 (2004-03)
- 3) 青沼仁志:「昆虫の行動制御機構にかかわる一酸化窒素 カスケードの役割」、第16回自立分散システム・シンポ ジウム、京都(2004-01)
- 4) 浅間一、矢野雅文、土屋和雄、伊藤宏司、高草木薫、神崎亮平、青沼仁志、大田 順、石黒章夫:「移動知発現のシステム原理(生物学と工学の相互連携)」、第16回自立分散システム・シンポジウム、京都(2004-01)
- 5) 下澤楯夫:「神経系はなぜ束なのか?ー神経細胞の熱雑音感受性と神経系の基本構造」、第26回日本分子生物学会年会シンポジウム「情報伝達の1分子ダイナミクス」、神戸(2003-12)
- 6) 下澤楯夫:「昆虫感覚細胞の熱雑音感受性と神経系の基本構造」、第81期日本機械学会流体工学部門講演会ワークショップ「生物ミメティックマシン」、吹田(2003-09)

b. 一般講演

i) 学会

- Y. Kitamura, H. Hashii, K. Mizutani, H. Aonuma, H. Ogawa and K. Oka: "Effect of NO-cGMP signaling on neural activity of the ventral nerve cord of the earthworm, Eisenia fetida", Society for Neuroscience 2003, New Orleans, LA, USA (2003-11)
- 2) 西野浩史、本郷 秀紀、水波 誠:「ゴキブリ高次嗅覚情報処理ニューロンの生理学的性質」、日本動物学会第74 回大会、函館大学(2003-09)
- 3) 岩崎正純、青沼仁志:「クロコオロギ脳内でコオロギ体 表物質に応答する神経活動」、日本動物学会 第74回大 会、函館 (2003-09)
- 4) 関洋一、青沼仁志、神崎亮平:「雄カイコガのフェロモンおよび一般臭情報処理系の前大脳における投射地図」、日本動物学会 第74回大会、函館 (2003-09)
- 5) 青沼仁志、丹羽光一:「酵素抗体測定法によるコオロギ 脳内の NO 誘導性 cGMP 量の計測」、日本動物学会 第 74回大会、函館 (2003-09)
- 6) 小川宏人、北村美一郎、橋井秀明、水谷賢史、青沼仁志、岡浩太郎:「ミミズ神経系における NO-cGMP 経路とその生理作用」、日本動物学会第74回大会、函館(2003-09)
- 7) 下澤楯夫:「神経系の並列構造の起源に関する熱雑音仮 説」、日本動物学会大会、函館 (2003-09)
- 8) 青沼仁志、丹羽光一:「昆虫の脳内における NO-cGMP シグナル」、第83回日本生理学会北海道地方会、札幌 (2003-09)
- 9) 岩崎正純:「甲殼類の胸部に存在する伸張受容器の比較 生理学的・形態学的研究」、第83回北海道医学大会生理

系分科会、札幌 (2003-09)

- 10) 西野浩史:「ウェタ聴覚器官の機能解剖」、日本比較生 理生化学会 第25回大会、仙台 (2003-07)
- 11) 下澤楯夫:「神経系はなぜ束なのか? 神経細胞の熱雑音感受性と神経系の基本構造」、日本比較生理生化学会大会、仙台(2003-07)
- 12) 北村美一郎、橋井秀明、水谷賢史、青沼仁志、小川宏 人、岡浩太郎:「無脊椎動物神経系における NO-cGMP 経路の神経活動に与える効果」、第3回 NO 学会学術集 会、熊本 (2003-05)
- ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) 青沼仁志: 「昆虫の脳における NO-cGMP シグナル」、 無脊椎動物神経研究会、箱根 (2003-08)
- 2) 岩崎正純:「甲殻類の胸部体節に存在する伸張受容器の 比較研究」、無脊椎動物神経研究会、箱根 (2003-08)
- H. Aonuma, Y. Matsumoto, K. Niwa, A. Delago, S. R. Ott, M. R. Elphick and M. Mizunami: "NO-cGMP signaling mediates long-term memory in the cricket", 10th symposium on invertebrate neurobiology, Tihany, Hungary (2003-07)

4.6 シンポジウムの開催

- a. 国際シンポジウム (組織者名、部門名、シンポジウム 名、参加人数、開催場所、開催期間)
- 1) H. Aonuma: Symposium on invertebrate neurobiology in RIES Hokkaido University(25名、北海道大学 電子科学研究所(札幌)、2004年3月24日)

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) 下澤楯夫、基盤研究 B (2)、神経系はなぜ束なのかー 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) 下澤楯夫、萌芽研究、神経系の基本構造の起源に関する熱雑音仮説、2002~2003年度
- 4) 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
- b. **奨学寄附金**(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 青沼仁志、秋山記念生命科学振興財団、適応行動の発現機構に関わる中枢神経系における NO-cGMP カスケードの役割、2003年度、1,000千円、我々ヒトを含め、すべての動物は状況に応じて適切な行動をすることで様々な環境に適応し進化してきた。「動物がいかにして状況に応じた適切な行動を発現するのか」、その神経生理機構の解明を目指す。

4.8 共同研究

- a. **所内共同研究**(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 岩崎正純 (電子科学研究所): 「クロコオロギが雌雄を 識別する時に働く神経回路の生理学的、形態学的解 析」、2003年度、700千円、昆虫のクロコオロギの雄は、 同じ種類の雌と出会うと交尾行動を起こす。一方、出 会った相手が雄だった場合は、相手を威嚇し喧嘩をは じめる。このように、クロコオロギの雄は、出会った 相手の雌雄を識別し、それぞれ場合に応じて適切な行 動を発現させる。これらの行動の時、雄コオロギは相 手の体を触角で触れることによって雌雄を確認してい る。この雌雄を識別する機構は、生物が"子孫を残し、 種を存続させていく"という、本能行動に関連する重要 な仕組みであるが、その神経機構についてはあまり研 究が進んでいない。そこで、電気生理学的、形態学的 手法を用いて、クロコオロギの雄が触角を使って、相 手の雌雄を識別している時に活動しているニューロン を調べる。そしてこの研究を行うことによって、クロ コオロギが状況に合わせて適切な行動を発現するため の神経機構を解明することができるはずである。
- 2) 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、4,500千 円、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。
- 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) 西野浩史、高畑雅一 (21世紀 COE"バイオとナノを融合する新生命科学拠点"事業)、昆虫のひずみ受容センサー"ナノスケールの感度を生み出す秘密を探る、2002~2003年度、3,000千円、昆虫の体節内部に存在する弦音器官は生物界最高の感度を持つひずみ受容サンサーである。センサーの本体である感覚ニューロンは大きくゆっくりとした変位に応じるものから振動、音に応じるものまで広い機能的分化を示す。本研究ではこれらの機能的分化をひとつの感覚ニューロンの集団中に

みいだすことのできる腿節内弦音器官をモデルとし、 感覚ニューロンの周波数特性や感度の違いが何に起因 するのかを探ることを目的とする。本年度は刺激伝達 部位である attachment cell や刺激受容部位である感覚 ニューロンの樹状突起の微細形態を電子顕微鏡で観察 することで構造、材料面での知見を得る。

2) 青沼仁志、高畑雅一、岩崎正純(COE 21)、行動制御 機構に関与する中枢神経系での NO-cGMP シグナル伝 達系の役割、2002~2003年度、4,000千円、「動物は状 況に応じた行動の切換えをどのような神経機構で行う か」を解明するのが研究目的である。行動を切換える 際、神経系で一酸化窒素 (NO) がいかに機能している か、節足動物の同定神経回路網で生理学、薬理学、組 織化学的に解析する。(1)行動薬理学的に、NO が動物 の行動の切換えにどう関与しているか学習行動に注目 して観察する。(2)組織化学的方法により一酸化窒素産 生細胞と一酸化窒素の標的細胞の局在を明らかにす る。(3)電気生理学的方法と NO の光学的イメージング により細胞を電気刺激した際の NO 放出量を計測す る。(4)NO 産生細胞と標的細胞の両方から細胞の活動 記録し、薬理学的方法で一酸化窒素の修飾効果を計測 する。NO は神経伝達の修飾、修飾物質放出の修飾を 行っており、中枢における NO の役割を詳細に解析す ることで、動物の行動制御、行動切換え、環境適応の 神経機構を解明して行く。

4.9 受賞

1) 西野浩史:吉田奨励賞 「コオロギ死にまね行動の神経 機構」(日本比較生理生化学会) 2003年7月

4.10 社会教育活動

- b. 国内外の学会の主要役職
- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 下澤楯夫: ME とバイオサイバネティックス研究専門 委員会専門委員(1999年5月22日~2005年5月31日)
- d. 修士学位及び博士学位の取得状況

博士後期課程(1名)

余野央行

- e. 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、青沼仁志、2003年10月1日~2004 年3月31日
- 2) 全研究科共通、脳科学、下澤楯夫、2003年10月1日~2004 年3月31日
- 3) 工学研究科、神経情報工学特論、下澤楯夫、2003年4 月1日~2003年9月30日

- 4) 全学部共通、生物学 I、下澤楯夫、2003年度
- g. ポスドク・客員研究員など

ポスドク (1名)

岩崎正純 (神経情報)

- h. **外国人研究者の招聘**(氏名、国名、期間)
- 1) Swidbert R. Ott、UK、2004年3月19日~2004年3月28日
- 2) Serfozo Zoltan、Hungary、2004年3月18日~2004年3月30 日
- 3) Paul Benjamin、UK、2003年11月27日~2003年12月2日

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:近藤敏彰、林田雅行、スイット・

コックケン、村澤尚樹

修士課程:田川誉之

1. 研究目標

フォトニック結晶は、屈折率の異なる2種類以上の物質が周期性を持って配列した人工結晶であり、光を自在に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必要不可欠となるナノ・マイクロメーターオーダーの3次元微細加工技術の開発を行い、それらを用いた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

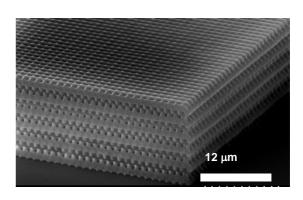
フェムト秒レーザーはパルス幅が短く、極めて高い尖頭 出力を有することより、ガラス、ポリマー、結晶などの透 明材料内部へ集光照射すると、焦点付近にのみこれら材料 の多光子吸収を誘起することが可能である。我々は、集光 フェムト秒レーザー(波長:800 nm)による多光子吸収を 利用した多光子プロセス技術を用いてネガ型フォトレジス ト材料(SU-8)の3次元ナノ加工を行い、種々のフォトニ ック結晶の作製に成功した。また、このような集光フェム ト秒レーザーを用いた逐次加工法の他に、3次元的な周期 構造の一括加工を目指し、多光束のフェムト秒レーザーパ ルスを干渉させる多光子多光束干渉加工法を開発して極め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

(a) 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ログパイル構造フォトニック結晶の電子顕微鏡(SEM)写真を示した。本 SEM 写真から、ログパイル構造の特徴である第1層と第2層とが直交し、第1層と第3層の周期構造が半周期シフトする微細構造が本加工法により精度良く達成できることが明らかとなった。また、本ログパイル構造の光学特性(反射、および透過スペクトル)を評価したところ、周期が短くなると出現するストップバンドが短波長にシフ

トすることが示され、作製した周期構造がフォトニック結晶として作用することが確認された(図2)。

また、図3に示す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3次元フォトニック結晶の作製にも成功した。



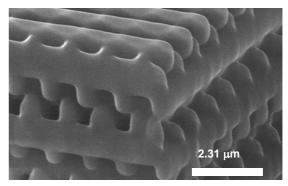


図1 ログパイル構造フォトニック結晶

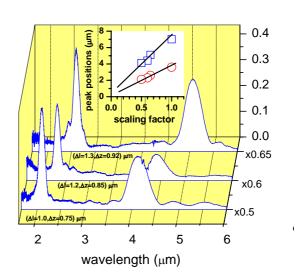


図2 ログパイル構造フォトニック結晶

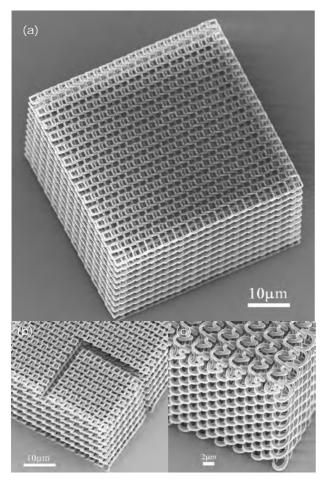
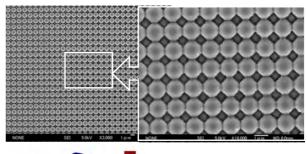


図3 スパイラル構造フォトニック結晶

(b) 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レーザールスを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4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2.5μm付近に生ずることも確認した。



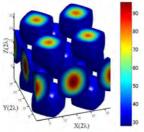


図4 多光子多光束干渉によって作製した BCC 構造を有する フォトニック結晶

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。

4. 資料

4.1 学術論文等

- K. Sun, Z. Li, S. Matsuo and H. Misawa: "A Transparent Microchannel Chip for Quantitative PCR", Transactions of the Materials Research of Society of Japan, 29: 339-342 (2004)*
- H. Liu, A. Yamaguchi, M. Hayashida, S. Matsuo and H. Misawa: "Construction of DNA-Au Nanoparticles Multi-layer adn Its Application for Detection of DNA Hybridization", *Jpn.J.Appl.Phys.*, 43(No.5A Part1): 2767-2770 (2004)*
- 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, 1549-1553 (2004)*.
- 4) E. Vanagas, V. Jarutis, S. Juodkazis, V. Mizeikis, I. Kudryashov, S. Matsuo, H. Misawa and R. Tomasiunas: "Glass Cutting by Femtosecond Pulsed Irradiation", Society of Photo-Optical Instrumentaion Engineers, 3(2): 358-363 (2004)*
- 5) S. Juodkazis, K. Yamasaki, S. Matsuo, and H. Misawa, "Glass Transition-Assisted Microstructuring in Polystyene", Appl. Phys. Lett., 84, 514-516 (2004)*
- 6) S. Juodkazis, H. Okuno, N. Kujime, S. Matsuo and H. Misawa, "Hole Drilling in Stainless Steel and Silicon by Femtosecond Pulses at Low Pressure", Appl. Phys. A, 79, 4-6, 1555-1559 (2004)*
- 7) V. Mizeikis, I. Mikulskas, R. Tomasiunas, S. Juodkazis, S. Matsuo and H. Misawa: "Optical Characteristics of Two-Dimensional Photonic Crystals in Anodic Aluminum Oxide Films", *Jpn.J.Appl.Phys.*, 43(No.6A): 3643-3647 (2004)*
- 8) M. Hayashida, H. Liu, A. Yamaguchi, S. Matsuo and H. Misawa: "Surface Plasmon Resonance Imaging detection of DNA Hybridization Using Colloidal Au Attached Prove DNA", Transactions of the Materials Research of Society of Japan, 29: 335–337 (2004)*
- 9) S. Juodkazis, I. Hasegawa, N. Murazawa, S. Matsuo and H. Misawa, "High-Efficiency Optical Transfer of Torque to a Nematic Liquid Crystal Droplet", Appl. Phys. Lett., 82, 4657-4659 (2003)*
- 10) E. Vanagas, V. Jarutis, S. Juodkazis, V. Mizeikis, I. Kudryashov, S. Matsuo, H. Misawa and R. Tomasiunas: "Laser-Asisted Microfabrication by Using Gauss-Bessel: The Evidence of Self-action", *Lithuanian Journal of Physics*, 143(4): 243-250 (2003)*
- S. Juodkazis, A. V. Rode, E. G. Gamaly, S. Matsuo and H. Misawa: "Recording and reading of three-dimensional optical memory in glasses", *Appl. Phys.*, B, 77: 361-368

(2003)*

- 12) K. Yamazaki, S. Juodkazis, S. Matsuo and H. Misawa: "Three-Dementional Micro-Channels in Polyners One Step Fabrication", *Appl. Phys. Lett.*, 77: 371-373 (2003)*
- 13) T. Kondo, K. Yamazaki, S. Juodkazis, S. Matsuo, V. Mizeikis and H. Misawa: "Three-dimensional microfabrication by femtosecond pulses in dielectrics", *Thin Solid Films*, 121: 550-556 (2003)*
- 14) H. Takagi, K. Okano, S. Juodkazis, S. Matsuo and H. Misawa: "Two-directional TiNi Shape Memory Alloy Film", Advanced Engineering Materials 2003, 5: 732-735 (2003)*

4.2 総説・解説・評論等

- 松尾繁樹、三澤弘明:「光によるナノエンジニアリング -3次元フォトニック結晶の作製を目指して一」、未来 材料、3(8):8-13(2003)*
- 2) 三澤弘明:「光圧による分子マニピュレーション」、応 用物理、72(6):716-720 (2003)*
- 3) 松尾繁樹、三澤弘明:「透明材料のフォトニック結晶の作製とフォトニックデバイス」、マテリアルインテグレーション、16(6): 18-23 (2003)*

4.4 特許 (発明者、特許番号、特許名、出願年月日) 国内特許

- 1) 三澤弘明、ヨードカジス サウリウス、坪井泰之、松尾 繁樹:2004-108301、レーザー加工方法および装置、2004 年3月31日
- 2) 三澤弘明、ヨードカジス サウリウス、坪井泰之: 2004-108300、レーザー加工方法、2004年3月31日
- 3) 三澤弘明、坪井泰之: 2004-108257、レーザーインジェクション方法および装置、2004年3月31
- 4) 三澤弘明、ヨードカジス サウリウス、坪井泰之: 2004-108256、レーザー加工方法および装置、2004年3 月31日
- 5) 三澤弘明、ヨードカジス サウリウス、坪井泰之、松尾 繁樹:2004-108255、レーザー加工方法および装置、2004 年3月31日
- 6) 三澤弘明、ヨードカジス サウリウス:2004-9904、微 細加工方法、2004年1月16日

4.5 講演

b. 口頭発表

i) 学会

- 1) 三澤弘明:「新規 DNA ハイブリダイゼーション検出技 術の開発」、日本機械学会 2003年度年次大会 先端技 術フォーラム レーザー精密微細加工の現状と将来技 術, 徳島大学工学部 (2003-08)
- ii)研究会・シンポジウム・ワークショップ
- 1) 三澤弘明:「高分子材料を用いたナノ・マイクロ周期構

- 造作製技術の開発」、2003年度印刷・情報記録・表示研究会講座(高分子学会主催)、発明会館ホール 東京(2004-02)
- 2) 棚村好彦:「含アゾベンゼン多フッ素化界面活性剤/粘 土ナノ層状複合体の光機能」、第7回機能構造と分析化 学シンポジウム、宮城県仙台市(2003-11)
- 3) 三澤弘明:「フェムト秒レーザーによる3次元超加工技 術の現状」、第2回フェムト秒レーザー加工技術研究 会、北九州テクノセンター(2003-10)
- 4) 三澤弘明:「フェトム秒レーザー加工とそのフォトニック結晶作製への展開」、日本学術振興会・光エレクトロニクス第130回委員会 第235回研究会 、森戸記念館東京(2003-10)
- H. Misawa, T. Kondo, K. Yamasaki, S. Juodkazis, V. Mizeikis and S. Matsuo: "Holographic and direct recording by Femtosecond Pulses", IUMRS-ICAM2003 Pcifico Yokoyama, Pacifico, Japan (2003-10)
- 6) 三澤弘明:「高分子材料を用いた3次元フォトニック結晶の作製」、電子情報通信学会ソサイアティ OPE/LQE 合同シンポジウム「SC-1フォトニック結晶の最近の動向:基礎から応用まで」、新潟大学 (2003-09)
- 7) 三澤弘明:「フェムト秒レーザー加工の新展開」、先端レーザー加工技術研究会、信濃川テクノポリス機構 (2003-09)
- 8) 三澤弘明:「フェムト秒多光東干渉による3次元ナノ構造の作製」、2003年 秋季第64回応用物理学関係連合講演会 フェトム秒レーザーを用いたマテリアルプロセシングの新展開、福岡大学(2003-08)
- 9) H. Misawa: "Three-dimentional Recording by femtosecond Pulses in Polymer Materials"、第20回フォトポリマーコ ンファレンス 国際シンポジウム2003 マイクロリソ グラフィティとナノテクノロジー材料とプロセスの最 前線、千葉大学 (2003-06)
- H. Misawa: "Towards novel techiniques of optical nanoprocessing", CREST&QNN 03 Joint international Workshop, Awaji Yumebutai International Conference Center (2003-06)
- H. Misawa, T. Kondo, S. Matsuo, S. Juodkazis and V. Mizeikis: "Three-dimensional microfabrication by femtosecond pulses in dielectrics", E-MRS 2003 Spring Meeting, Strasbourg, France (2003-06)
- 12) 三澤弘明:「2光子励起による透明材料の加工」、03-1 光反応・電子用材料研究会、東京工業大学(2003-05)

iii) コロキウム・セミナー等・その他

- 1) 三澤弘明:「フェムト秒加工のナノバイオ分野への応用」、産総研ナノバイオ分野別人材養成ユニット講義、産総研関西センター 大阪(2004-03)
- 2) 棚村好彦:「新しい原理に基づいた DNA ハイブリダイゼーション検出法の開発」、北海道バイオ産業クラスタ

- ー・フォーラム 研究シーズ公開会、札幌市中央区 (2004-03)
- 3) 三澤弘明:「フェムト秒レーザーを用いた3次元加工技術」、Sony Institute of Techonology 講座、SONY (2003-11)
- 4) 三澤弘明:「フェトム秒レーザーとそのマイクロ・ナノ テクノロジーへの展開」、長岡技術科学大学匠綾講演 会、長岡技術科学大学(2003-09)
- 5) 三澤弘明:「マイクロ・ナノ加工による新しい機能性材料の創出」、第88回講習会「マイクロ・ナノ構造時代の材料加工と創製」、愛媛大学工学部(2003-09)
- 6) 三澤弘明:「光が拓くナノテクノロジー」、北海道大学院共通授業「ナノテクノロジー・ナノサイエンスの展開I」、北海道大学(2003-08)

4.6 シンポジウムの開催

- a. **国際シンポジウム**(組織者名、部門名、シンポジウム 名、参加人数、開催場所、開催期間)
- 1)梶村皓二, H. Misawa, 小森和弘 and 石原一: "Crest & QNN03 Joint International Workshop" (120名、兵庫県(淡路夢舞台)、2003年7月21日~2003年7月23日)

4.7 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) 三澤弘明、基盤研究 A 一般 (2)、光の放射圧を利用したナノアクチュエーターの開発、2001~2003年度
- **教育研究基盤公費**(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(北海道大学):信号処理分野、2003年度、 10,114千円、信号処理分野
- b. **奨学寄附金**(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、研究内容)
- 1) 三澤弘明(旭硝子株式会社): 「溶融ガラスへのレーザー照射に関する研究」、2003年度、1,000千円、溶融ガラスへのレーザー照射による現象に関する研究指導および最近の研究・技術動向に関する調査
- 2) 三澤弘明 (ソニー株式会社): 電子科学研究のため (工学)、2003年度、1,500千円、委任研究のための助成金
- 3) 三澤弘明(キャノン株式会社):電子科学研究のため(工学)、2003年度、2,000千円、奨学寄付金
- 4) 三澤弘明(移管受入(徳島大学)):移管受入(徳島大学)、2003年度、4,000千円、移管受入(徳島大学)

4.8 共同研究

- b. **民間等との共同研究**(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、研究内容)
- 1) 三澤弘明、瀬川浩代(独) 科学技術振興機構):「有機 ー無機複合ピラー構造の周期配列制御と機能発現」、 2003年度、580千円、レーザー微細加工およびエッチン

グ技術による光感応性有機一無機複合材料に数十~数百 nm オーダーの微細構造を作製し、その構造体の自己組織化による新しい周期構造体の形成を目指します。特に、凝集力などのパラメータの検討により、自己組織化に関与する因子を明かにし、中・長距離的な周期性を有する構造体を創製し、さらにそれらの光学特性に注目して新規フォトニックデバイスとしての可能性を探ります。

- c. 大型プロジェクト・受託研究(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、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年度、3,000千円、〈研究目的〉マイクロピラー構造を有する電気泳動チップの開発、〈研究内容〉シリコンのナノ加工によって形成したマイクロピラーを用いて DNA を効率よく分離する新しいシステムを開発するために、ピラー界面を化学修飾することにより、マイクロピラーと DNA との化学的相互作用を用いて高効率に分離する手法を開発する。
- 2) 三澤弘明(独)科学技術振興機構):「次世代レーザースクライバーの開発」、2003年度、2,000千円、〈研究目的〉ナノ秒パルスレーザーを用い、従来のダイヤモンド・スクライバーの加工分解能より一桁小さい5マイクロメートル以下の分解能で GaN/サファイア基板をレーザースクライブする技術を確立する。〈研究内容〉本試験では、低コストのナノ秒レーザー照射条件を最適化することにより、多光子吸収と温度上昇によるサファイア基板のひずみを利用して光分解能でスクライブする次世代レーザースクライバー技術の確立を目指す。
- 3) 三澤弘明(独)科学技術振興機構):「量子相関光子ビームナノ加工」、2003年度、3,462千円、新しい光物理現象である「量子相関を有するもつれ合い光子」の特異な振る舞いを利用して、高いスループットを達成しつつ、光の回折限界をはるかに超えるナノメートルスケールの加工分解能を実現する多光子ナノ加工技術の開発を目指します。このナノ加工技術の開発を目指します。このナノ加工技術により、可視・紫外3次元フォトニック結晶等の高機能フォトニックデバイスの作製が可能となり、単一光子・光子スイッチをはじめとする量子通信・量子情報処理技術の開発が期待されます。

4.10 社会教育活動

b. 国内外の学会の主要役職

- 1) 三澤弘明: LPM2004組織委員(2003年10月20日~2004年8月31日)
- 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 Memver

(2003年4月1日~現在)

c. 新聞・テレビ等の報道

- 新聞
- 1) 三澤弘明:日経産業新聞 2003年8月1日「タイトル:微 小球状物質を回転ーレーザー光で毎秒1万回」
- e. 担当授業科目(対象、講義名、担当者、期間)
- 1) 工学部、電気回路、三澤弘明、2003年10月1日~2004 年3月31日

並列分散処理研究分野(客員研究分野)

教授 石川 正道 (三菱総研、工博、2003.4~2004.3)

1. 研究目標

ナノテクノロジーと社会の係わりに関して、様々な視点から考察し、今後のナノテクノロジーが関連他分野技術と融合して発展する兆しを見せているのに伴って、両者とその係わりが、どのようにイノベーションを創出しうるかを論じる。また、持続的な経済社会の発展を維持するためには、ナノテクノロジーのような先端科学技術と社会がどう対峙すべきかを考察し、今後取り組むべき研究課題を明確にする。

2. 研究成果

(a) ナノマテリアルの自己集積と核形成問題

ナノテクノロジーには、マクロスケールのものを小さく加工するトップダウン型技術と、ナノスケールあるいはそれ以下のサイズのものを組み上げてマクロスケールにするボトムアップ技術とがある。物体の表面上にリソグラフィーによってパターンを転写、エッチングするなどして微細構造を直接形成するプロセスが、トップダウン型技術である。これに対して、ボトムアップ型技術は、ナノスケールで物質を物理的あるいは化学的に制御して、有用な構造へと自己集積(Self-assembling)させ、機能を発現させるところに特徴がある。

ボトムアップ型技術は、微細加工装置を必要とせず、実験室でフラスコを振るような程度の操作(Beaker chemistry)でナノパターンを形成することも可能である。しかしながら、トップダウン型は、極めて精密なパターンを任意に作製することができるのに対して、加工限界は使用する光の波長によって定まり、50nm以下とするには大きな困難を伴う。一方、ボトムアップ型は、加工限界は用いるナノマテリアルによって定まり、ほとんどあらゆるスケールのナノマテリアルの利用が可能な一方で、自己集積の結果できあがるパターンがあいまいであり、意図する構造を実現する手法としては程遠いのが現実である。

ボトムアップ型のナノテクノロジーが発展するためには、精密なパターン形成を可能とするモノ作り(Exact manu- facturing)の技法が見出される必要がある。ボトムアップ型の技法を、操作型プローブ顕微鏡(Scanning Probe Microscope, SPM)を用いる方法、自己集積作用および自己組織化を利用する方法に大別した。これらのうち、SPMを用いる手法は、加工の精密さは非常に高いが要素をなす粒子一つ一つを操作する方法であり、実用上のスケールにいたるまでに多数の粒子を取り扱わねばならずその加工速度に問題がある。この問題を回避するには、少数の粒子からなる鋳型を作製し、このパターンを自己複製する方法を同時に開発して組み合わせて用いることが必要となる。これ

に対して自己集積および自己組織化は、要素をなす粒子の 自発的な集積により多様なナノマテリアルを創出すること が可能な手法として注目されている。

本研究では、これらボトムアップ型ナノテクノロジーの 手法のうち、自己集積化の方法について理論的体系化を行った。特に、自己集積作用をさらに2つに区分して、単一 同種類の要素が自発的に秩序化する「一様自己集積」とあ らかじめプログラムされた複数種類の要素が自己集積する 「プログラム自己集積」と呼ぶことにした。これらの方法は それぞれモノ作りの技法として実現性が高く、引き続きモ デルの実証研究と、さらにはモノ作りへの応用が有望であ ることが明らかとなった。

(b) 生命に学ぶ科学技術

現代の科学技術は、生命科学の進歩に大きな影響を受け ている。生命の優れた機能を工学に生かそうとする発想が その根本にある。構造生物学の進展によって、生命の物質 レベルでの巧妙な仕組みが解明され、その優れた特性は、 大きく次のメカニズムに分類されることが分かった。1) 太 陽エネルギーの利用、2) プロトン(水素イオン) エネルギ 一、3) 共通エネルギー通貨(アデノシントリ3リン酸)、 4) 濃度差化学エネルギーの変換、5) 分子機械、6) 自己組 織化システム。ナノテクノロジーを使えば、このような生 命の仕組みに学んだ新たな工学体系を発展させることが可 能となると考え、以下の工学原理を中心にナノテクノロジ ーとバイオテクノロジーの融合技術の可能性を検討した。 ①プロトン回路:生命のエネルギー変換は、膜を隔てたプ ロトンの濃度勾配によって行われる。ミッチェル(英ノー ベル賞科学者) はこれをプロトン駆動力と呼び、光合成の 研究に大きな進展をもたらした。エレクトロンをベースに するエネルギー変換技術とは全く異なる仕組みをもち、水 素エネルギー技術のあり方に大きな示唆を与えることが分 かった。

②分子機械:分子機械には、べん毛モーターや人の筋肉を構成するミオシン-アクチンがよく知られている。これら分子機械の動作効率を理論的に導きだすために、ラチェット(爪歯車)モデルが提出され、メカニズム研究に大きな進展があった。分子ラチェットは、人工的に作ることも可能であり、それを外部エネルギーを用いて作動させる実験が既に行われるようになっている。分子機械の工学モデルの実現は、最も実現性の高い分野と考えられる。

③アルゴリズム自己集積:プログラム自己集積の概念を過去にたどると、そのアイデアは1930年代のチューリングの計算可能性の研究に行き着く。フォン・ノイマンは、チューリングの計算理論に大変刺激され、あらゆる空間パターンをつくる仮想的な機械は、チューリング計算機と同等であるとして、計算万能なチューリング機械を空間構造万能建設機というアイデアに発展させ、現在セルオートマトンとして知られている。DNA などの分子認識機能を活用すれば、ナノスケールでのセルオートマトンを構築することが

可能であることが予想され、材料プロセスの革新的な手法 として応用できることが分かった。

3. 今後の研究の展望

日本の製造業は、その8割が研究開発成果である技術が製品化されないという、いわゆる「デスバレー(死の谷)」現象を感じているという。過去日本の強みと言われた微細加工技術に端を発したナノテクノロジーは、米国の国家ナノテクノロジー戦略によって世界に喧伝され、さらに米国は、「21世紀国家ナノテクノロジー研究開発法」を2003年12月に制定し、一丸となって磐石なる国家戦略を推進しつつある。ナノテクノロジーは、技術移転型の性格をもち、基礎研究からの素早い起業、大企業でさえも一社だけではカバーできない異分野融合、結果としてオープンな技術取り引きを行わざるを得ない研究開発の新たな状況を生み出しつのある。今後は、ナノテクノロジーが社会に応用されるプロセスを見極め、さらにダイナミックな科学技術と社会の相互作用を実現する方策について明確にしていきたい。

4. 資料

4.1 学術論文

1) 石川正道:「ナノマテリアルの自己集積と核形成問題: ナノテクノロジーにおけるモノ作り技法」、表面、 41(8): 265-273 (2003)

4.2 総説、解説、評論等

- 石川正道:「次世代宇宙ミッションと化学ー宇宙開発を ナノテクノロジーで」、先端化学シリーズー理論・計算 化学、クラスター、スペースケミストリー、Ⅳ:206-214 (2003)
- 2) 石川正道:「主流になりつつあるボトムアップ型ナノテクノロジー」、月刊 OHM、90(6): 14-15 (2003)
- 3) 石川正道:「新たなスペースケミストリーの開拓の試み - 化学の世界の新しい窓を開く」、先端化学シリーズー 理論・計算化学、クラスター、スペースケミストリー、 IV: 183-190 (2003)

国際会議議事録等に掲載された論文

 M. Ishikawa: "Nanotechnology networking in Japanese industry", The 8th IUMRS International Conference on Advanced Materials, Symposium—A: 123–125 (2003)

4.10 社会教育活動

a. 公的機関の委員

- 1) 石川正道:ナノメディシン評価委員、厚生労働省 (2003 年5月1日~2004年3月31日)
- 2) 東倉洋一: 文部科学省「革新技術活性化委員会」審議フォローアップ部会委員 (2002~2003年度)
- 3) 東倉洋一:総務省情報通信政策局量子情報通信研究会 議構成員 (2001~2005年度)
- 4) 東倉洋一: 文部科学省科学技術·学術審議会「情報科学技術委員会」専門委員(2001~2003年度)
- 5) 東倉洋一: 文部科学省科学技術政策研究所「科学技術動 向研究センター」専門調査員 (2001年4月1日~現在)
- 6) 東倉洋一: 文部科学省科学技術・学術審議会「科学技術 振興調整費審査部会」委員(2001年4月1日~現在)
- 7) 東倉洋一:日本学術会議情報基礎専門委員会委員 (2001年4月1日~現在)
- 8) 東倉洋一:総務省情報通信政策局「情報通信ブレイクス ルー基礎研究21推進会議」構成員(2000年4月1日〜現 在)
- 9) 東倉洋一: 文部科学省科学技術・学術審議会「特定領域研究 (A) メディア教育利用) 専門委員 (1999年4月1日~現在)
- 10) 東倉洋一: 関西市民情報文化研究会副会長 (1997年4 月1日~現在)

b. 国内外の学会の主要役職

1) 東倉洋一:日本学術振興会「21世紀 COE プログラム委

- 員会」委員(2002~2004年度)
- 2) 東倉洋一:科学技術振興事業団「戦略的創造研究推進事業『シュミレーション技術の革新と実用化基盤の構築』」領域アドバイザー(2002~2004年度)
- 3) 東倉洋一: 奈良先端科学技術大学院大学「情報科学研究 科アドバイザー委員会 | 委員 (2002~2004年度)
- 4) 東倉洋一:新世代研究所評議員(2001~2003年度)
- 5) 東倉洋一:独立行政法人産業技術総合研究所研究ユニットレビューボード委員(2001~2003年度)
- 6) 東倉洋一:理化学研究所脳科学総合研究センターアド バイザリーカウンシル (2001~2006年度)
- 7) 東倉洋一:電子情報通信学会評議員(2000年4月1日~ 現在)
- 8) 東倉洋一:日本ソフトウェア科学会評議員 (2000年4 月1日~現在)
- 9) 東倉洋一:第18回国際音響学会議組織委員会委員 (2000~2003年度)
- 10) 東倉洋一:科学技術振興事業団「戦略的創造研究推進事業『協調と制御』」領域アドバイザー (2000~2003年度)
- 11) 東倉洋一:日本能率協会「RD&E マネジメント革新センター」企画委員会委員(2000年4月1日~現在)
- 12) 東倉洋一:科学技術振興事業団「地域振興事業評価委員会」(2000~2004年度)
- 13) 東倉洋一: 半導体研究振興会評議員(2000~2005年度)
- 14) 東倉洋一:技術組合新情報処理開発機構運営会議委員 (2000~2003年度)
- 15) 東倉洋一:神戸大学運営諮問会議委員(2000~2003年度)
- 16) 東倉洋一:電子情報通信学会フェロー (2000年4月1日 ~現在)
- 17) 東倉洋一: IEEE Tokyo Section,理事(1999年4月1日 ~ 現在)
- 18) 東倉洋一: IEEE Tokyo Section, Fellow Nominations Committee Vice Chair & Chair (1999年4月1日~現在)
- 19) 東倉洋一: アメリカ音響学会 (ASA)Fellow (1998年4月1日~現在)
- 20) 東倉洋一: IEEE Fellow (1998年4月1日~現在)
- 21) 東倉洋一:日本バーチャルリアリティ学会理事監事・ 評議員 (1997年4月1日~現在)
- 22) 東倉洋一: Elsevier Science 社 Speech Communication 編集委員(1997~2004年度)
- 23) 東倉洋一:日本音響学会正会員(1996年4月1日~現在)
- 24) 東倉洋一:日本ソフトウェア科学会会員(1996年4月1日~現在)
- 25) 東倉洋一:日本バーチャルリアリティ学会会員 (1996 年4月1日~現在)
- 26) 東倉洋一:日本音響学会評議員・代議員 (1996年4月1 日〜現在)
- 27) 東倉洋一: Academic Press 社 Journal of Pho-

netics 編集委員 (1996年4月1日~現在)

- f. 北大以外での非常勤講師(担当者、教育機関、講義名、 期間)
- 1) 石川正道、東京工業大学フロンティア創造共同研究センター研究科、研究戦略室、2003年4月1日~2004年3月31日

並列分散処理研究分野(客員研究分野)

米山 満 (三菱化学科学技術研究センター)

1. 研究目標

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

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

2. 研究成果

(a) 新生ラット培養心筋細胞系

適応制御研究分野・河原剛一教授のグループの研究により、新生ラットの心筋細胞結合系において以下の結果が実験的に見出されている。

- (i) 培養日数の増加に伴い、拍動リズムのピーク間隔(以下 IBI と略す)、およびそのゆらぎの大きさは減少する。
- (ii) 二つの隣接する細胞の示す拍動リズムは、培養7日目で完全に同期する。
- (iii) Bonhoeffer-van der Pol(BVP)振動子を組み合わせた結合 振動子モデルのシミュレーションから、以上の実験結果は 細胞間の結合強度の増加によるものと結論できる。

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

- (i) 培養7日目以降のIBIには、拍動リズムの周期2倍化に 起因する強い反相関性(anti-correlation)、双安定性、周期的 なスパイク構造などの非線形性が現れる。
- (ii) IBI ゆらぎのスケーリング指数 (α) は培養初期には大きく (α >0.5)、強い正の相関性を示すが、培養7日目に急激に減少し (α <0.5)、負の相関性へと相転移する。
- (iii) 以上の特徴は隣接する二つのセルについて、培養日数 を問わず共通して見られる。

以上のふるまいを理解するため、BVP モデルによるシミュレーションを行った。細胞間の結合様式については、従来よく検討されている拡散タイプではなく、Nomura らによって最近提案されたレセプタータイプを採用した。個々の

細胞はランダムな雑音(α =0.5)に支配された BVP 方程式に従うとし、三つの細胞間の結合強度を増加させて培養日数に対応する拍動リズムの変化の様子を求めた。その結果、これまでの実験で観測されたすべての特徴を再現することができた。特に、培養の進展に伴う IBI の減少や、様々な非線形性の出現、ゆらぎのスケーリング指数の減少などは拡散タイプの結合振動子ではシミュレートできないものであり、今回のメカニズム(レセプタータイプの結合)が実際の系でも作用していることが強く示唆される。

(b) 人間の歩行リズム

人間の歩行リズムが持つゆらぎの特性を調べるため、小型のデータロガーを健康な被験者の腰部に装着し、自然な歩行に伴う加速度変化を時系列データとして測定した。被験者は計7名、歩行時間は約1時間である。得られた上下方向の加速度波形からピーク間隔を抽出し、歩行のステップ間隔の時系列データを求めた。以上のデータについて、ボストン大学 Stanley 研究室の協力のもと、DFA およびマルチフラクタル法による解析を行った。DFA から得られた平均のスケーリング指数は α =0.9であり、歩行リズムが典型的な1/f ゆらぎに従うことを示している。ところがマルチフラクタル解析からは、そのゆらぎがかなりモノフラクタルに近いふるまいをしていることがわかった。

ボストン大学を中心とするこれまでの研究から、健康な人間の心臓リズムはマルチフラクタル的なゆらぎを有することがわかっている。心臓と歩行という、いずれも脳神経系の制御を受けているリズム系で、しかも双方ともに1/fゆらぎを示すという共通点を持ちながら、一方はマルチフラクタル的、他方はモノフラクタル的という、ダイナミクスの複雑性に差が見られる点は、生体ゆらぎのメカニズムを理解する上で大変興味深い現象である。

3. 今後の研究の展望

培養心筋細胞系については、拍動リズムのゆらぎとフラクタル性という観点からさらに実験データの解析を進めるとともに、BVPモデルの妥当性について検討を深めていく。歩行リズムについては、ゆらぎのフラクタル性が被験者への刺激(音楽、映像など)や、同伴者の存在によって大きく影響を受けることが実験的にわかっている。これは外場の下での結合振動子という観点から理論的に解釈することが可能である。ゆらぎを伴う結合振動子を基盤として、歩行リズムの特徴を再現できるモデル化とシミュレーションを試みる

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

院生

博士課程 夏 輝 (シャ フィ)

修士課程 白井瑞之、上野智史、中川拓也、中村真一、 遠山恭平、三上直樹

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。本年度は以下の観点から研究を行った。

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、 ナノメータ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

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おいて、レーザービーム形状を空間光変調器を用いて実時間コンピュータ制御を行うことで微粒子配列の高度な制御を行う。

2. 研究成果

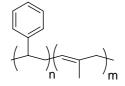
1) 自己組織化による階層構造を有するナノマテリアルの 創製

本研究分野では、非平衡現象である散逸構造などの自己 組織化現象を利用することで、階層構造を持つナノ微粒子 を作製した。

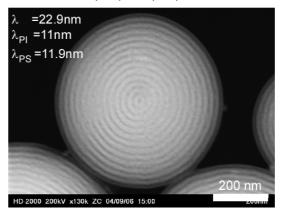
すでに我々は高分子溶液に貧溶媒を加え、良溶媒を蒸発させることにより貧溶媒中に高分子の微粒子を得る方法(自己組織化法)を見出している。本方法の特徴は、界面活性剤や保護剤を用いることなく、幅広い材料から微粒子を作製できる点にある。また、粒径も溶液濃度や貧溶媒量で数十nm~数十mmまで制御することが可能である。

本方法を用いてブロックコポリマー(スチレン-イソプレン、1:1) から直径500nm 程度の微粒子を作製した。さらにその微粒子の内部構造を詳細に観察するために、四酸化オスミウムによりイソプレンの二重結合を染色し、走査型透過電子顕微鏡(STEM)によって観察を行った。その結果、微粒子の表面において10nm 程度のラメラ構造が観察さ

れた。ブロック比率の異なるブロックコポリマーを用いた ところ、ラメラ構造の周期がブロック比率に対応して変化 した。以上の結果から、自己組織化法を用いて作製したブロックコポリマー微粒子中にミクロ相分離構造が形成され ていることを見出した。



PS(171)-b-PI(176)



PS(107)-b-PI(148)

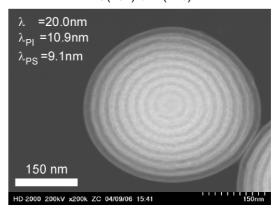


図 1. ブロックコポリマーの化学式と相分離構造を有する微粒子の STEM 像(n,m) はスチレンおよびイソプレンの重合度、 λ は層構造の周期、 λ PI、 λ PS はイソプレン、スチレン相の各周期)

2) 光多重散乱現象の時空間特性を利用した光計測法の開発とナノ微粒子計測、環境計測、生体計測への応用

ナノ微粒子構造体の光造形においては、レーザービーム 形状制御に空間光変調素子を利用することで、レーザービームを実時間で任意の形状に制御することを可能とした。 さらに、微粒子配列の形成位置のナノスケールでの自動制 御も可能とした。これらの結果、任意の位置への微粒子の 安定した配列・積層が可能となった。 低コヒーレンス動的光散乱法においては、高濃度ナノ微粒子懸濁液からの光路長分解測定と光子輸送理論と拡散波分光理論を基礎としたモンテカルロシミュレーションの結果より、散乱光の光路長を媒質の平均自由行程の3倍以下に制限することで、高濃度媒質からの多重散乱光から単散乱光スペクトルのみを選択的に測定可能であることを明らかにした。図1は、低コヒーレンス動的光散乱法で測定した散乱光スペクトルに対しCONTIN法を用いて粒径解析した結果を示す。図1より、10%の高濃度媒質において、高精度な粒径分布計測が可能であることを示した。

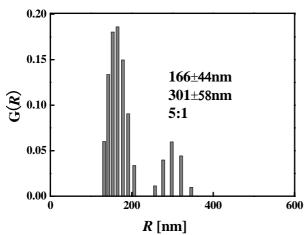


図2. 体積濃度 10%の半径 165nm と 300nm ポリスチレン球懸濁 液の混合溶液に対する粒径計測の結果

血管造影法においては、同軸2重構造光ファイバーを用いた生体への光の照射・検出を試みた。同軸2重構造光ファイバーは、中心軸に形成されたシングルモード光ファイバーとその周りに形成されたファイバーバンドルで構成される。入射光は、中心のシングルモード光ファイバーを通り生体に照射される。生体からの多重散乱光は、ファイバーバンドルにより集められ、その積分強度が検出される。これにより、入射光の点光源化、直接反射光の除去、散乱光積分強度の測定を簡便かつ同時に行うことが可能となり、より鮮明な血管像を得ることに成功した。さらに、同軸2重構造光ファイバーを2次元スキャンすることで画像取得の高速かも達成された。

拡散反射光を用いた光学定数計測においては、多重散乱 光の強度分布に拡散近似理論を適用することで、散乱体の 実効的減衰係数の推定が可能であることを明らかにした。 さらに、実効的減衰係数より、散乱係数・吸収係数を決定 することが可能であった。

花粉センサーにおいては、小型安価花粉センサーの試作を行い、その特性を評価した結果を図2に示す。散乱光強度と偏光度を用いることで、花粉、ポリスチレンラテックス、土壌粒子の高精度な判別が可能であり、花粉の自動計数が可能であることを明らかにした。

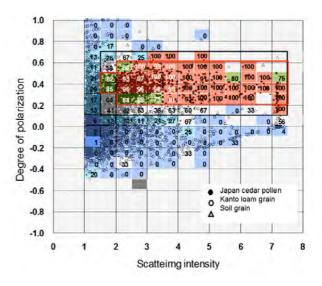


図 2. 花粉センサーで検出された散乱強度と偏光度の相関図

3. 今後の研究の展望・将来計画

自己組織化により形成した階層的な構造を持つ微粒子の表面に多数の認識部位を一定の秩序で配列させ、ウィルスのように高度な認識・機能発現能力を持つ様なナノ微粒子を作製する。高次に組織化された機能性材料を作製することで、既存にはないドラッグデリバリーシステム(DDS)における担体や新規の光学材料等の開発を目指す。

また、光計測法の開発においては、多重散乱光を用いた光 計測法技術の高精度か高機能化を行い、企業との連携を図 り、散乱計測法の装置化および実用化を行っていく。さら に拡散反射光を用いた生体光学定数計測においては、分光 計測を行うことで、詳細な光学定数計測を行い、肌色再現 を目指す。

さらに科学技術振興事業団 CREST (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) において、所内の研究 分野、医学研究科、理学研究科、産業技術総合研究所、日 立製作所並びにゼオンメディカル、との産学連携をはかっ ている。

4. 資料

4.1 学術論文等

- M. Shimomura, R. Mitamura, J. Matsumoto and K. Ijiro: "DNA-mimetics:towards novel molecular devices having molecular information", *Synthetic Metals*, 133-134: 473-475 (2003)*
- K. Ishii and T. Iwai: "Numerical analysis on a pathlength-resolved spectrum of dynamically scattered light", CLEO2003 (2003)*
- M. Nonomura, R. Kobayashi, Y. Nishiura and M. Shimomura: "Oscillating precipitations during the roplet evaporation on a substrate", J. Phys. Soc. Jpn., 72: 2468–2471 (2003)
- H. Yabu, M. Tanaka, K. Ijiro and M. Shimomura: "Preparation of Honeycomb-Patterned Polyimide Films by Self-Organization", *Langmuir*, 19(15): 6297-6300 (2003)*
- K. Ijiro, Y. Matsuo and M. Shimomura: "Stretching of single DNA molecules by LB technique for restriction site mapping", Nucleic Acids Research Supplement, 3: 47-48 (2003)*

4.2 総説、解説、評論等

- 松下通明、蒲池浩文、大久保尚、松本秀一郎、森田恒彦、小林智、佐藤雄久、田中賢、下村政嗣、藤堂省:「tissue engineering による肝組織再構成」、Sugery Frontier, 10(3): 21-24 (2003)*
- 2) 下村政嗣:「高分子材料の自己組織化によるナノ・メゾホール構造の形成と機能化」、機能材料、23(10):18-26 (2003)*
- 3) 田中賢、竹林允史、下村政嗣:「自己組織化によるナノマテリアル」、*M&E*、30(8):190-195 (2003)*
- 4) 下村政嗣:「自己組織化によるパターン化フィルムの作成 自然にゆだねたボトムアップ手法を用いて」、 JNNB、1(4):6-7(2003)*
- 5) 下村政嗣:「自己組織化によるパターン形成とマイクロ 加工技術への展開」、まてりあ、42(6): 457-460 (2003)*
- 6) 下村政嗣:「自己組織化による高分子材料のメゾ構造形成」、応用物理、72(10): 1276-1279 (2003)*

4.3 著書

- 1)田中賢、下村政嗣:「ハニカム構造フィルムのバイオメディカル応用」、自己組織化によるナノマテリアルの創成と応用、発行日:2004/2/9、編集:有限会社ブッカーズ、NTS出版、275-294 (2004)
- 2) 田中賢、下村政嗣:「自己組織化パターン表面の創成と機能」、ナノバイオエンジニアリングマテリアル、監修:石原一彦、発行日:2004/3、(株)フロンティア出版、72-103 (2004)
- 3) T. Nishikawa, M. Nonomura, K. Arai, J. Hayashi, t. Sa-

- wadaishi, Y. Nishiura, M. Hara and M. Shimomura: "Micropatterns Based on Deformation of a Viscoelastic Honeycomb Mesh", *Langmuir*, 19(15): 6193–6201 (2003)*
- 4) t. Sawadaishi and M. Shimomura: "PREPARATION OF MESOSCOPIC PATTERNS OF NANOPARTICLES BY SELF-ORGANIZATION", Molecular Crystals and Liquid Crystals, 406: 159[353]-162/[356] (2003)*
- 5) M. Nonomura, R. Kobayashi, Y. Nishiura and M. Shimomura: "Periodic precipitation during the droplet evaporation on a substrate", 2003 The Physical Society of Japan, Vol. 72, No.10: 2468-2471 (2003)*
- 6) 下村政嗣:「ソフトマテリアルの自己組織化 自己組織 化による高分子薄膜のパターン化」、21世紀版 薄膜作 製応用ハンドブック、監修: 權田俊一、株式会社エヌ・ ティー・エス、第2編 第7章 第3節 :550-554 (2003) その他
- 1) 下村政嗣:「自己組織化による高分子薄膜のパターン 化」、21世紀版 薄膜作製応用ハンドブック、第2編: 550-554 (2003)*

4.4 特許 (発明者、特許番号、特許名、出願年月日) 国内特許

- 1) 別所久美、佐藤秀之、下村政嗣、田中賢、藪 浩: 2004-097411、異方性導電膜、2004年3月30日
- 別所久美、佐藤秀之、下村政嗣、田中賢、藪 浩: 2004-097384、異方性導電膜およびその製造方法、2004 年3月30日
- 3) 小幡法章、藪 浩、田中賢、下村政嗣:2004-081570、 高品質ハニカム構造フィルムの製造方法、2004年3月19 日
- 4) 下村政嗣、田中賢、藪 浩:2004-081570、マイクロリングあるいはマイクロドット構造を有するフィルムの製造法、2004年3月19日
- 5) 下村政嗣、田中賢、藪 浩: 2004-083768、高品質ハニ カム構造フィルムの製造法、2004年3月19日
- 6) 田中賢、竹林允史、下村政嗣:2004-040550、3次元ハ ニカム構造体ならびにその製造方法、2004年2月17日
- 7) 下村政嗣、居城邦治、藪 浩、高木斗志彦: 2003-424865、 ポリマー着色パターン微粒子のパターン化による光記 録材料、2003年12月22日
- 8) 田中賢、下村政嗣、豊川秀英: 2003-399197、消化器系 ステント、2003年11月28日
- 9) 田中賢、下村政嗣、豊川秀英: 2003-399195、細胞増殖 抑制フィルムおよび医療用具、2003年11月28日
- 10) 野上敦嗣、村田朋美、下村政嗣、田中賢、松永直樹: 2003-398246、浮遊微粒子捕集用フィルタ及びそれを用 いた浮遊微粒子捕集方法、浮遊微粒子分析方法、なら びに浮遊微粒子捕集装置、2003年11月27日
- 11) 田中賢、下村政嗣、石井直樹、石山晴生: 2003-390386、 カバードステント、2003年11月26日

- 12) 居城邦治、橋本裕一、下村政嗣: 2003-358959、DNA の無電解メッキによる金属細線構造の構築、2003年10 月20日
- 13) 田中賢、竹林允史、下村政嗣: 2003-356881、異方性微 細突起(ピラー) 構造体およびその製造方法、2003年 10月16日
- 14) 下村政嗣、田中賢、藪 浩、竹林允史: 2003-356881、 微細突起構造体及びその製造方法、2003年10月16日
- 15) 田中賢、下村政嗣、藪 浩:2003-330722、多孔質膜を 鋳型とした微粒子の作製法、2003年9月22日
- 16) 田中賢、伊土直子、下村政嗣:2003-327180、生体適合性と温度応答性を併せ持つ高分子、2003年9月19日
- 17) 福平由佳子、兼子博章、下村政嗣、田中賢:2003-288573、 ハニカム構造フィルム、2003年7月11日
- 18) 下村政嗣、藪 浩、山本博嗣、海田由里子:2003-187159、 撥水撥油性薄膜およびその製造法、2003年6月30日
- 19) 下村政嗣、藪 浩、小幡法章、大園拓也:2003-127150、 ハニカム構造体を鋳型としたメゾ構造体の作製、2003 年5月2日
- 20) 福平由佳子、兼子博章、鷲見芳彦、下村政嗣、田中賢: 2003-106186、癒着防止材、その製造方法およびその利 用方法、2003年4月10日

4.5 講演

a. 招待講演

- 1) S. Matsusita, N. Fukuda and M. Shimomura: "PHOTO-CHEMICALLY-FUNCTIONAL PHOTONIC CRY STALS PREPARED BY USING A TWO-DIMENSIONAL PARTICLE-ARRAY TEMPLATE", LB10, 北京、中国(2003-10)
- 2) 松尾保孝、居城邦治、下村政嗣:「LB 法による DNA のパターン形成」、第64回応用物理学会、福岡大学 (2003-08)
- 3) M. Tanaka and M. Shimomura: "Blood compatibility of poly(2-methoxyethyl acrylate) - Design of novel bio-interfaces -", Second International Conference on New Biomedical Materials: Basic and Applied Studies, Cardiff, UK (2003-04)
- 4) M. Shimomura: "Novel Nano-and Micro-Fabrication Processes Based on Self-Organiztion: Towards Spatio-Temporal Functional Materials", Japan-US Symposium on Directed Self-Assembly and Self-Organization, University of California, Santa Barbara, USA (2004-01)
- 5) 田中 賢、下村政嗣:「自己組織化による高分子のマイクロ・ナノ加工とナノ微粒子の集積」、第65回千葉地域活動高分子研究交流講演会、千葉(2003-11)
- 6) M. Shimomura, N. Ido and M. Tanaka: "Mesoscopic patterning of polymer gel by self-organization and its theoretical application", 2nd France-Japan workshop, Bordeaux, France (2003-11)

7) 田中賢、下村政嗣:「ハニカム構造フィルムのバイオメ ディカル応用」、自己組織化講演会、東京 (2003-08)

b. 一般講演

- 1)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粒径分布計測の検討」、第39回応用物理学会北海道支部学術講演会、北海道大学 学術交流会館 (2004-01)
- 2) 田中賢、竹林允史、下村政嗣:「自己組織化による生分解性高分子の微細加工-メディカルデバイスへの応用-」、バイオマテリアル学会、大阪(2003-12)
- K. Ishii and T. Iwai: "Numerical analysis on a path-length-resolved spectrum of dynamically scattered light", CLEO Pacific Rim 2003, Grand Hotel, Chinese Taipei (2003-12)
- 4) 夏 輝、石井勝弘、岩井俊昭:「低コヒーレンス動的光 散乱法による粒径分布測定」、Optics Japan 2003、アク トシティ浜松 (2003-12)
- M. Tanaka, M. Takebayashi, K. Sato, J. Nishida and M. Shimomura: "Fabrication of Self-Organized Porous Films for Biomedical applications", 2nd France-Japan workshop, Bordeaux, France (2003-11)
- 6) 新井景子、林純子、西川雄大、田中賢、原正彦、河原剛一、下村政嗣:「自己支持性パターン化フィルムの心筋組織再構築への応答」、第41回日本人工臓器学会、仙台市市民会館(2003-10)
- 7) 田中賢、竹林允史、下村政嗣:「自己組織化によるバイオナノテクノロジー基盤材料の作製」、第41回日本人工 臓器学会、仙台市民会館(宮城県) (2003-10)
- K. Ijiro, Y. Matsuo, Y. Hashimoto and M. Shimomura: "Full Stretching of Single DnA Molcules in Polyion Complex Monolayers by the Method", LB10, Beijing, China (2003-10)
- 9) t. Sawadaishi and M. Shimomura: "Control of two-dimensional patterns consisting of Nanoparticles by self-organization", LB10, 北京、中国 (2003-10)
- 10) M. Shimomura and H. Yabu: "Hierarxhic Structuring of Nanomaterials Based on Self-Organization", LB10, 北京、中国 (2003-10)
- 11) 居城邦治、松尾保孝、下村政嗣:「近接場顕微鏡を用いたDNA結合性タンパク質の単一分子検出」、第52回高分子討論会、山口大学吉田キャンパス(山口県) (2003-09)
- 12) 田中賢、下村政嗣: 「自己組織化による高分子ナノピラー構造の作製」、第52回高分子討論会、山口大学吉田キャンパス(山口県) (2003-09)
- 13) K. Ijiro, J. Matsumoto, M. Morisue and M. Shimomura: "CONTROLABLE AGGREGATION OF AZOBENZENE BASEC ON DNA-MIMETICS AT THE AIR-WATER IN-TERFACE", UPS'03(11th Symposium on Unconvetional Photoactive Systems), Leuben, Belgium (2003–09)

- 14) H. Yabu, T. Higuchi, K. Ijiro and M. Shimomura: "Preparation of Photochromic Nano-particles Containing Azobenzene Chromophores", UPS'03 (11th Conference on Unconventional Photo-active Systems), Leuven, ベルギー (2003-09)
- 15) Y. Matsuo, K. Ijiro and M. Shimomura: "NEAR-FIELD OPTICAL IMAGING OF STRETCHED SINGLE DNA MOLECULES PREPARED BY LANGMUIR-BLODGETT METHOD", UPS'03 (11th Conference on Unconventional Photo-active Systems), Leuven, Belguim (2003-09)
- 16) H. Yabu, T. Higuchi, K. Ijiro and M. Shimomura: "Preparation of Photochromic Nano-particles Containing Azobenzene Chromophores", UPS'03, Leuven, Belgium (2003-09)
- 17) M. Tanaka, M. Takebayashi, K. Sato and M. Shimomura: "Fabrication of self-organized porous films with highly uniform pores for tissue engineering and biomedical devices", ESAO2003, aachen, Germany (2003-09)
- 18) A. Turuma, M. Tanaka, N. Fukushima and M. Shimomura: "Neural networking and morphological change of neurons on self-organized honeycomb films", ESAO2003, aachen, Germany (2003-09)
- 19) 居城邦治、橋本裕一、澤田石哲郎、下村政嗣:「LB 法 で伸長固定化した DNA を鋳型にしたナノ細線の構築」、 秋季第64回応用物理学会学術講演会、福岡大学(福岡) (2003-08)
- 22) 田中賢、竹林允史、下村政嗣:「己組織化高分子材料によるバイオメディカルインターフェイスの作製」、第13 回バイオ・高分子シンポジウム、上智大学(東京) (2003-07)
- 20) M. Shimomura, J. Matsumoto, J. Nishida, M. Morisue and K. Ijiro: "Aggregation Behavior and Photoisomerization of Azobenzene DNA-Mimetics Formed at the Air-Water Interface", The XXIst International Conference on Photochemistry (ICP21), Nara-ken New Public Hall (2003-07)
- 21) 藪 浩、小幡法章、下村政嗣:「ハニカムパターン化フィルムを鋳型とした高分子集合体のメゾスコピック構造制御」、第52回高分子学会年次大会、名古屋国際会議場 (2003-05)
- 22) 小幡法章、藪 浩、下村政嗣:「ハニカムパターン化フィルムを鋳型としたメゾ構造の作製」、第52回高分子学会年次大会、名古屋国際会議場 (2003-05)
- 23) 西田仁、居城邦治、松本仁、森末光彦、下村政嗣:「環 状 DNA との塩基対形成による気水界面でのアゾベン ゼンの会合制御」、第52回高分子学会年次大会、名古屋 国際会議場 (2003-05)
- 24) 澤田石哲郎、下村政嗣:「二種類の微粒子分散液による 自己組織的な二次元パターンの形成」、第52回高分子学 会年次大会、名古屋国際会議場 (2003-05)
- 25) 伊土直子、田中賢、下村政嗣:「血液適合性と温度応答

- 性を併せ持つ新規ポリマーの合成とパターン化」、第52 回高分子学会年次大会、名古屋国際会議場 (2003-05)
- 26) 橋本裕一、澤田石哲郎、居城邦治、下村政嗣:「伸長固 定した DNA を鋳型としたナノ細線の作製」、第52回高 分子学会年次大会、名古屋国際会議場 (2003-05)
- 27) 田中賢、竹林允史、藪 浩、下村政嗣:「自己組織化を 用いたポリマーピラー構造の作製」、第52回高分子学会 年次大会、名古屋国際会議場 (2003-05)
- 28) K. Ijiro, J. Matsumoto, J. Nishida, M. Morisue, Y. Matsuo and M. Shimomura: "DNA-based Molecular Handling in Self-Organized Monolayers", The first International Congress on Bio-Nanointerface, アルカディア市ヶ谷(東京) (2003-05)
- 29) J. Matsumoto, M. Monsue, K. Ijiro and M. Shimomura: "Transcription of DNA Sequence into Chromophore Arrangement in DNA-Mimetic organization at the air-water interface", The first International Congress on Bio-Nanointerface, アルカディア市ヶ谷(東京) (2003-05)
- 30) M. Tanaka, M. Takebayashi, K. Sato, K. Nishikawa, J. Nishida and M. Shimomura: "Preparation of self-organized porous membrane with highly uniform pores for biomedical devices", ICBN 2003, Tokyo (2003-05)
- 31) N. Ido, M. Tanaka and M. Shimomura: "Fabrication of thermosensitive patterned films by using self-organization", 2nd France-Japan workshop, Bordeaux, France (2003-11)
- 32) K. Ijiro, Y. Matsuo and M. Shimomura: "Stretching of single DNA molecules by LB technique for restriction site mapping", The 3rd International Symposium on the Nucleic Acids Chemistry, 北海道大学(学術交流会館) (2003-09)
- 33) S. Matsusita, N. Fukuda and M. Shimomura: "PHOTONIC-CRYSTAL PHOTOELECTRODE PRE-PARED USING A TWO-DIMENSIONAL ARRAY-BASED TEMPLATE", UPS'03 (11th Conference on Unconventional Photo-active Systems), Leuven, ベルギー(2003-09)
- 34) N. Fukuda and M. Shimomura: "ELECTROCHEMICAL FABRICATION OF PHOTOACTIVE CADMIUM SULFIDE DOT ARRAY USING POLYMER HONYCOMB TEMPLATE", UPS'03 (11th Conference on Unconventional Photo-active Systems), Leuven, ベルギー (2003-09)
- 35) 居城邦治、松尾保孝、下村政嗣:「DNA へ結合したタンパク質の単一分子イメージング」、第13回バイオ・高分子シンポジウム、上智大学(東京)(2003-07)
- 36) 藪 浩、田中賢、居城邦治、下村政嗣:「リソグラフィーを使わない高分子の微細加工技術」、北海道高分子若手研究会、おたる自然の村(2003-07)

37) 田中賢、下村政嗣:「自己組織化による構造規則性材料 の作製と細胞の相互作用」、日本顕微鏡学会第59回学術 講演会、札幌コンベ+ンションセンター(2003-06)

4.6 シンポジウムの開催

- a. 国際シンポジウム (組織者名、部門名、シンポジウム 名、参加人数、開催場所、開催期間)
- M. Shimomura: "MEXT/NSF ジョイントシンポジウム" (30名、UCSB (サンタバーバラ)、2004年1月11日~2004年1月14日)
- b. 一般のシンポジウム (組織者名、部門名、シンポジウム (組織者名、部門名、シンポジウム (組織者名、部門名、シンポジウム名、参加人数、開催場所、開催期間)
- 1) 下村政嗣: "JST CREST 下村研究チームフォーラムー 日本における産官学連携活動を考えるー"(30名、北海 道大学電子科学研究所附属ナノテクノロジー研究セン ター(北海道札幌市)、2003年12月5日)
- 2) 田村守:「光とバイオ、光と医療」講演会実行委員会、 光とバイオ、光と医療(182名、東京、2003年9月25~ 26日)

4.7 予算獲得状況

- a. **科学研究費補助金**(研究代表者、分類名、研究課題、 期間)
- 1) 石井勝弘、若手研究 B、低コヒーレンス干渉計を用いたスペクトル測定システムの構築と散乱計測への応用、2002~2004年度
- 2) 下村政嗣、基盤研究 A (2)、非平衡現象に基づく自己 組織化を利用した高分子面状デバイスの開発、2002~ 2004年度
- 3) 藪 浩、特別研究員奨励費、散逸構造を用いた機能性高 分子のメゾスコピックパターン形成に関する研究、 2002~2004年度
- b. **奨学寄附金**(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、研究内容)
- 1) 下村政嗣 (電子科学研究所):電子科学研究のため2003 年度、6,600千円、電子科学研究のため
- 2) 岩井俊昭(大塚電子株式会社): 濃厚媒質の粒質計測法、 2003年度、1,000千円、濃厚媒質の粒子径ならびに粒子 径分布を計測するシステムの提案と開発
- 3) 岩井俊昭(花王株式会社):ヒト肌色の光学定数の計測、 1,200千円、肌色のデータベース化を目指して、肌の光 学定数を光学的に計測するシステムの構築を目指す。
- 4) 岩井俊昭(神栄株式会社): 花粉センサの開発2002~2003年度、未定、スギ花粉からの散乱光の偏光特性を利用して、スギ花粉の識別を簡便に行うシステムの開発を目指す。

4.8 共同研究

f. その他(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)

1) 下村政嗣(科学技術振興機構 CREST):高分子の階層 的自己組織化による再生医療用ナノ構造材料の創製、 2002~2006年度、未定、a

4.9 受賞

- 1) 藪 浩、田中賢、下村政嗣: 2004春季第51回応用物理 学会 第16回応用物理学会「講演奨励賞」「自己組織 化によるマイクロリング構造の作製」(応用物理学会) 2004年3月
- 2) 田中賢、高山あい子、下村政嗣:第3回日本再生医療学会総会、「優秀演題」「自己組織化による血管系組織再生用スキャフォールドの作製」(日本再生医療学会)2004年3月

4.10 社会教育活動

b. 国内外の学会の主要役職

- 1) 岩井俊昭:日本光学会学術論文誌 Opitcal Review (Vol. 10, No.5, ~平成15年12月31日 6)"Special Feature Section "Biomedical Optics and Photomedicine" Guest Editor (2003年1月1日~2003年12月31日)
- 2) 岩井俊昭: International Comission for Optics(ICO, 国際 光学学会) Topical Meeting in Japan における Biomedical Optics Session 責任者ならびにプログラム委員 (2003 年1月1日~2004年8月31日)
- 3) 岩井俊昭:日本光学会常任幹事(2002~2003年度)
- 4) 岩井俊昭:日本光学会「光学」編集委員長(2002~2003 年度)
- 5) 岩井俊昭:応用物理学会北海道支部会計幹事(2002~2003年度)
- 6)岩井俊昭:日本光学会光学奨励賞選考委員会委員長 (2003年度)

併任・兼業

- 1) 下村政嗣:特定非営利活動法人ホトニクスワールドコンソーシアム 理事(2003年6月3日~2005年6月3日)
- 2) 岩井俊昭:(財)光産業技術振興協会生体医用光学ブレークスルー委員会委員ならびに光技術動向調査委員会 委員

c. 新聞・テレビ等の報道

新聞

- 1) 下村政嗣:日本経済新聞(夕刊) 2004年2月25日「産学連携 大学走る下東京で狙うチャンス週1回ペースで情報収集」
- 2) 下村政嗣:北海道新聞 2003年11月14日「北キャンパス発 研究者たちナノ(10億分の1)メートルの世界で、物質を分子、原子レベルで制御する超微細技術「ナノテクノロジー」。半導体などの集積回路や新素材開発、再生医療など、幅広い分野での応用が期待されている。分子が規則的に並んでパターンを生み出す「自己組織化」現象を活用し、新素材の開発に取り組む下村政嗣・ナノテクノロジー研究センター長に話を聞いた。」
- 3) 下村政嗣:北海道新聞 2003年9月8日「極小世界と生命

の謎自然に学ぶナノテクノロジー環境にやさしい技術 開発」

雑誌

1) 下村政嗣: LOOP 2003年7月1日「自然現象を利用した ナノテクの旗手」

d. 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

- e. 担当授業科目(対象、講義名、担当者、期間)
- 1) 全研究科共通、ナノテクノロジー・ナノサイエンス概 論Ⅱ、下村政嗣、2003年10月1日~2004年3月31日
- 2) 理学部、超分子化学、下村政嗣、2003年10月1日~2004 年3月31日
- 3) 理学研究科、超分子化学特論 I、下村政嗣、2003年10 月1日~2004年3月31日
- 4) 全研究科共通、ナノテクノロジー・ナノサイエンス概 論 I、下村政嗣、2003年4月1日~2003年9月30日
- 5) 理学研究科、論文講読 I、下村政嗣、2003年度
- 6) 理学研究科、論文講読IV、下村政嗣、2003年度
- 7) 理学研究科、論文講読V、下村政嗣、2003年度
- 8) 理学研究科、特別研究 I、下村政嗣、2003年度
- 9) 理学研究科、特別研究IV、下村政嗣、2003年度
- 10) 理学研究科、特別研究 V、下村政嗣、2003年度
- 11) 理学研究科、超分子化学概論、下村政嗣、2003年4月1 日~2003年9月30日
- 12) 全学部共通、環境と人間(先端の化学)、下村政嗣、2003 年4月1日~2003年9月30日
- 13) 工学研究科、光物理学特論、2003年4月1日~2003年9 月30日
- 14) 工学研究科、電子情報エレクトロニクス特別演習、岩 井俊昭、2003年度
- 15) 工学研究科、電子情報エレクトロニクス特別研究第一、 岩井俊昭、2003年度
- 16) 工学研究科、電子情報エレクトロニクス特別研究第二、 岩井俊昭、2003年度

g. ポスドク・客員研究員など

その他 (1名)

Varshney Kumar Shailendra ()

- h. **外国人研究者の招聘**(氏名、国名、期間)
- 1) Yang Bai、China、2004年2月1日~2004年2月14日

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~)

院生 小澤 純 (M1: 薬学研究科)

1. 研究目標

ボトムアップ・ナノテクノロジーの手法を用い、エレクトロニクス、フォトニクス、バイオニクス等のデバイス開発を行う。その際、自己組織化、メゾスコピック、フラクタル、超分子等の概念を、開発の指導原理として活用する。 当面、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、発現した特徴的物性を応用する開発研究まで展開する。フラクタル表面は、純数学的には無限大の表面積を有する。現実の物理世界において、無限大の表面積はあり得ないが、フラクタル表面は大変大きな実表面積を持つことを意味する。この大きな実表面積が、例えば濡れの現象に応用された時、超撥水/超撥油表面を実現する。この様に、ナノサイズのフラクタル構造を現実の物質に実現し、様々な機能性デバイスを開拓する。

2) 分子組織ナノ構造体を固定化したヒドロゲル

ヒドロゲルは、薬剤送達システム、アクチュエーター等としての応用が期待され、大変活発に研究されている。一方、界面活性剤や脂質分子が形成する分子組織ナノ構造体(二分子膜、ベシクル、リポソーム、ミセル、液晶等)も、多くの研究と実用化の実績がある。これら二つのソフトマテリアルを組み合わせ、ハイブリッド材料にすることによって、特徴的な機能性材料を開拓する。例えば、二分子膜がサブミクロンの距離を隔てて規則的に配列し、それが可視光を回折することによって発色する現象が知られているが、その発色構造をゲル中に固定化することが出来る。また、この系に流動のシェアをかけて、二分子膜を配向させてから重合することにより、異方性のヒドロゲルが得られる。各種の分子組織ナノ構造体をゲル中に固定化し、特徴的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、油をもはじく超撥油表面を得ることが出来る。

図1に、アルキルケテンダイマー(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。このワックスがフラクタル表面を形成する過程を調べた。図2は、AKD微粒子表面形状の時間変化を電子顕微鏡観察した結果である。大変面白いことに、AKD粒子は自己組織的に表面構造を変化させ、フラクタル構造を形成することが解った。現在は、ワックス以外の耐久性の期待できる物質でフラクタル超撥水表面の作製に挑戦している。

(b) フラクタル立体の創製とその応用

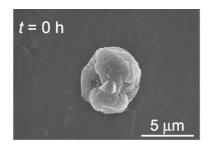
フラクタル構造の機能性材料への展開は、表面だけに止まらない。もし3次元未満のフラクタル立体(例えば、Sierpinski Sponge)が現実の物体として実現すれば、体積0(空間ばかり)の物体が出来ることになる。もしその様な物体が実現可能であれば、断熱材、吸着剤等として極めて有効であろうと推定できる。勿論、現実の物体として体積0の立体は不可能であるが、極限的に比容積の大きな物体の可能性が期待できる。我々は、フラクタル構造を自発的に形成することが分かっている上記のAKDを Template に用いて、フラクタル立体の創製に挑戦している。

(c) 二分子膜固定化ヒドロゲルの合成とその物性

重合性の界面活性剤の二分子膜が、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ー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



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°



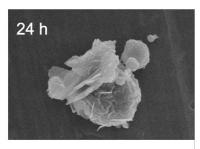




図2. A K D ワックスのフラクタル構造形成過程。A K D 粉末粒子は時間経過とともに リン片状結晶を成長させ、フラクタル構造となる

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、メゾスコピック構造に影響し、それが色の変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。

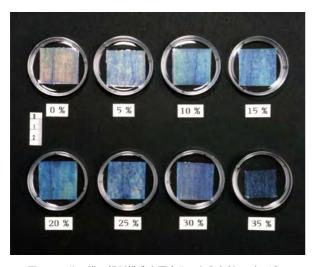


図3. 二分子膜の規則構造を固定化した発色性ヒドロゲル。 ゲルの膨潤/収縮によって色が変わる

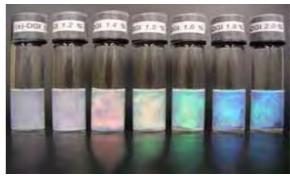




図4. ラセミおよびキラルDGIの発色水溶液。 同じ濃度で、 キラルDGIが赤色偏移を示す

(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。

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。超撥水ワックス表面の最大の欠点は、耐久性のない点にある。そこでこの改良のために、各種高分子を基材とするフラクタル表面の作製に挑戦する。予備実験では比較的よい結果が得られており、可能性が高いものと期待している。フラクタル表面の濡れ以外への展開として、摩擦や生物細胞の接着性に関する研究を行う。フラクタル表面の特徴を反映した、特異な性質の発現を期待している。更に、フラクタル立体の創製に挑戦する。

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。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

- H. Yan, K. Tomizawa, H. Ohno and N. Toshima: "All-solid Actuator Consisting of Polyaniline Film and Solid Polymer Electrolyte", *Macromol. Mater. Eng.*, 288(7): 578-584 (2003)*
- 2) K. Kawamura, H. Hinou, G. Matsuo and T. Nakata: "Efficient strategy for convergent synthesis of trans-fused polycyclic ethers based on an intramolecular SmI2-promoted cyclization of iodo ester", Tetrahedron Lett., 44: 5259-5261 (2003) *
- H. Yan, M. Inokuchi, S. Ariyoshi, M. Kinoshita and N. Toshima: "Microtubes Produced during Electrolysis of Pyrrole", Synth. Met., 135–136: 269–270 (2003)
- 4) Y. Nonomura, K. Fukuda, S. Komura and K. Tsujii: "Self-Assembly of Surface-Active Powder at the Interface of Selective Liquids. 2: Behavior of an Organic-Crystalline Powder", *Langmuir*, 19(24): 10152-10156 (2003) *

4.2 総説、解説、評論等

- 1) 辻井薫:「札幌での一年」、News Letter (日本化学会・ コロイドおよび界面化学部会誌)、29(1):1(2004)
- 2) 辻井薫:「洗浄と界面活性剤の話」、花王 ハイジーン ソルーション、6:14-15(2004)
- 3) 辻井薫:「産・官・学を経験中」、近畿化学工業界、 55(11): 21-22 (2003)
- 4) 辻井薫:「二分子膜の規則構造を固定化したヒドロゲル」、膜、28(3): 128-134 (2003)

4.3 著書

- 1) 辻井薫:「はじめに―コロイド・界面化学はナノテクを 先導する―」、先端化学シリーズ VI、日本化学会編、 丸善、1-5 (2004)
- 2) 辻井薫:「表面張力とぬれ」、改定5版 化学便覧・基 礎編 II、日本化学会編、辻井も編集委員のメンバー、 丸善、90-99 (2004)
- 3) 辻井薫:「(超) はっ水/(超) 親水表面」、21世紀版 薄膜作製応用ハンドブック、(株)エヌ・ティー・エス、224-230 (2003)
- 4) 辻井薫:「フラクタル表面―超撥水/撥油材料への展開 ―」、機能性超分子、緒方直哉、寺野稔、由井伸彦監修、 シーエムシー出版、126-136 (2003)

4.4 特許

国内特許(発明者、特許番号、特許名、出願年月日)

- 1) 厳 虎、辻井薫: 2004-104780、感温性ゲル複合物、2004年3月31日
- 2) 益井宣明、出口茂、辻井薫:2004-048144、地殻コア試料の採取方法および地殻コア試料採取用の流動性被覆

材、2004年2月24日

3) 益井宣明、出口茂、辻井薫、北里洋:2003-384681、清 浄化剤塗布機構付きコア試料採取装置およびコア試料 の採取方法、2003年11月14日

国際特許(発明者、特許番号、申請国、特許名、出願年月日)

1) N. Masui, S. Deguchi, K. Tsujii and H. Kitazato: 米国、10/771983、Core Sample Collector Equipped with Ster-ilizing Agent-Applying Mechanism and Method of Taking Core Sample、2003年11月14日

4.5 講演

a. 招待講演

- K. Tsujii, R. G. Alargova, S. Deguchi and K. Horikoshi: "Colloidal Dispersions in Supercritical Water", The 8th International Conference on Advanced Materials, Pacifico Yokohama, Yokohama (2003–10)
- 2) 厳 虎:「導電性高分子の機能の新展開」、第52回高分子 討論会、山口大学吉田キャンパス (2003-09)
- 3) K. Tsujii: "Fractal surface and super water-repellency",
 The 11th International Symposium on Advanced Materials
 -Frontier of Nano-Materials and Colloid Chemistry-,都市センターホテル(東京) (2004-03)
- 4) 辻井薫:「オイルゲルーヒドロゲルとの対比に於いて ー」、化学技術戦略推進機構・高分子オイルゲル研究会、 化学技術戦略推進機構(東京・御茶ノ水) (2003-12)
- 5) 辻井薫:「二分子膜固定化ゲルの液/液界面機能」、液 液界面ナノ領域の化学 第5回公開シンポジウム、大阪 国際会議場(大阪・中之島) (2003-12)
- 6) 辻井薫:「自己組織化ナノテクで新素材を創る」、新化 学発展協会・新素材部会研究会、新化学発展協会(東 京・神田)(2003-11)
- S. Deguchi, R. G. Alargova, K. Tsujii and K. Horikoshi: "Stable Dispersions of Fullerenes, C60 and C70, in Water: Preparation and Characterization", Nanotec03, University of Sussex at Brighton, Falmer, UK (2003-08)
- 8) 辻井薫:「超臨界流体中の化学過程」、基礎化学・化学 物理合同ワークショップ,日本科学未来館(東京) (2003-08)

b. 一般講演

i) 学会

- 1) 益井宣明、出口茂、矢野裕亮、井上朝哉、和田一育、 黒木一志、齊藤昌勝、許正憲、辻井薫:「微生物汚染を 防止した地殻試料の採取に用いる抗菌性ゲルの開発」、 日本農芸化学会2004年度大会,広島大学・東広島キャ ンパス(広島県東広島市) (2004-03)
- 2) 津留美紀子、出口茂、沈一紅、辻井薫、伊藤進、掘越 弘毅:「結晶性セルロースゲルを用いた新規微生物培養 法」、農芸化学会2004年度大会,広島大学・東広島キャ ンパス (2004-03)

- 3) 向井貞篤、S. K. Ghosh、出口茂、辻井薫、掘越弘毅: 「極限環境下におけるコロイドの直接観察」、日本物理 学会 第59回年次大会,九州大学 (2004-03)
- 4) 出口茂、津留美紀子、沈一紅、辻井薫、伊藤進、掘越 弘毅:「多孔質セルロースを用いた新規微生物培養法」、 日本化学会第84春季年会、関西学院大学(兵庫県西宮 市) (2004-03)
- 5) 厳 虎、辻井薫:「高速刺激応答性 NIPA-PMDP ミクロ ゲルの新規合成およびレーザー補足・顕微ラマン法に よる単一ミクロゲルのキャラクタリゼーション」、第16 回高分子ゲル研究討論会、東京大学(2004-01)
- 6) 益井宣明、出口茂、辻井薫、北里洋:「抗菌性高分子塗 布機構付きピストンコアラーの実用性の検討」、極限環 境微生物学会2003年度年会、理化学研究所(埼玉県和 光市)(2003-12)
- S. Deguchi, K. Tsujii and K. Horikoshi: "In situ Microscopic Study of Polymers in Supercritical Water", The 8th International Conference on Advanced Materials, Pacifico Yokohama, Yokohama (2003–10)
- 8) 厳 虎、有吉哲、井口眞、戸嶋直樹:「自己生成したポ リピロールの多様なマイクロ形状」、第52回高分子討論 会、山口大学吉田キャンパス (2003-09)
- 9) S. K. Ghosh、R. G. Alargova、向井貞篤、出口茂、辻井 薫、掘越弘毅:「Behavior of Colloids in Supercritical Water」、第52回高分子討論会、山口大学 吉田キャン パス (2003-09)
- 10) 光澤 茂信、出口茂、高井 研、辻井薫、掘越弘毅:「超 高温短時間での超好熱菌の熱死滅測定」、日本生物物理 学会第41回年会、朱鷺メッセ新潟コンベン ションセン ター(新潟) (2003-09)
- 11) S. Deguchi, R. G. Alargova, K. Tsujii and K. Horikoshi: "Supercritical Water as a Medium for Colloid Science", XVII Conference of the European Colloid and Interface Society, Convitto della Calza, Florence, Italy (2003–09)
- 12) 向井貞篤、S. K. Ghosh、出口茂、辻井薫、掘越弘毅: 「超臨界水中におけるコロイド分散液の挙動」、日本物理学会2003年秋季大会、岡山大学津島キャンパス(岡山) (2003-09)
- 13) 出口茂、R. G. Alargova、S. K. Ghosh、向井貞篤、辻井 薫、掘越弘毅:「超臨界水中でのコロイド分散液の挙 動」、第56回コロイドおよび界面化学討論会、徳島大学 常三島キャンパス (2003-09)
- 14) 野々村美宗、菅原享、樫本明生、福田啓一、堀田肇、 辻井薫:「界面活性粉体の自己組織化(1)」、第56回コ ロイドおよび界面化学討論会、徳島大学 常三島キャ ンパス(2003-09)
- 15) 厳 虎、井口眞、戸嶋直樹:「自己生成ポリピロール・マイクロチューブの黒鉛化」、第52回高分子学会年次大会、名古屋 (2003-05)
- ii)研究会・シンポジウム・ワークショップ

- S. Mitsuzawa, S. Deguchi, K. Takai, K. Tsujii and K. Horikoshi: "Thermal Death of Hyperthermophiles at Ultra High Temperature", Gordon Research Conference on Archia: Ecology, Metabolism & Molecular Biology, Proctor Academy, Andover NH, USA (2003-08)
- 2) 光澤茂信、出口茂、高井研、辻井薫、掘越弘毅:「熱水噴出孔の模擬環境における超好熱菌の耐熱性」、日本アーキア研究会 第16回講演会、海洋科学技術センター (横須賀) (2003-06)

4.6 シンポジウムの開催

- a. 国際シンポジウム (組織者名、部門名、シンポジウム 名、参加人数、開催場所、開催期間)
- 1) K. Tsujii: "電子研セミナー" (50名、北大・創成科学 研究棟4階セミナー室 (04-213号室) (札幌)、2003年 11月28日)
- b. 一般のシンポジウム(組織者名、部門名、シンポジウム名、参加人数、開催場所、開催期間)
- 1) 辻井薫: "電子研セミナー" (30名、創成科学研究棟4 階セミナー室 (04-213号室) (札幌)、2004年3月11日)

4.7 予算獲得状況

- b. **奨学寄附金**(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 松尾剛(島津科学技術振興財団):「光学活性ナノ構造制御ゲルの創製と新規分析法への応用」、2003年度、700千円、光学活性 DGI を合成し、それを用いて二分子膜固定化ゲルを作製し、光学分割ゲル電気泳動法の開発研究に取り組む。
- 2) 松尾剛 (有機合成化学協会):「アポトーシス誘導を指向した糖鎖を有する抗がん活性物質の創製」、2003~2004年度、500千円、アポトーシス誘導活性を有する糖及び糖鎖を組み込んだハイブリッド型新規抗がん活性化合物を合成すると同時に、糖の有用性を示す

4.8 共同研究

- a. **所内共同研究**(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 眞山博幸、辻井薫、松尾剛、厳 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ー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)ー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、厳 虎、八木駿郎、武貞正樹(電子科 学研究所):「異方性ヒドロゲルの創製とそのネットワ ークゆらぎ解析」、2003~2005年度、未定、ナノデバイ ス研究分野の辻井らが、世界で初めて開発した二分子 膜固定化ゲルは、重合直前にシェアをかける等の方法 によって異方性を付与することが出来る。この異方性 ゲルのキャラクタリゼーションを、相転移物性分野の 光散乱の手法を使って行う。
- 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) 厳 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(ナノカ学測定用走査型プローブ顕微鏡など)と組み合わせて、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

4.10 社会教育活動

a. 公的機関の委員

- 1) 辻井薫: 東洋大学バイオ・ナノエレクトロニクス研究 センター外部評価委員 (2004年2月23日~2004年3月31 日)
- 2) 辻井薫: 独立行政法人・産業技術総合研究所・レビューボード委員 (2003年11月1日~2005年3月31日)
- 3) 辻井薫:統合国際深海掘削計画・科学計画方針監理委員会 委員 (IODP・SPPOC 委員) (2003年10月1日~2006年3月31日)
- 4) 辻井薫:宇宙環境利用検討委員会・基礎科学WG委員 (2002年9月1日~2003年8月31日)

- 5) 辻井薫:宇宙環境を利用する基礎科学検討会・基礎化 学検討分科会委員(2001年4月1日~2003年9月30日)
- 6) 辻井薫: 深海調査研究委員会 委員 (2001~2003年度)
- 7) 辻井薫: 文部科学省・科学技術政策研究所 科学技術 専門家ネットワーク 委員(2000年4月1日~現在)
- 8) 辻井薫: 科学技術振興調整費総合研究「海底熱水系に おける生物・地質相互作用の解明に関する国際共同研 究」運営委員会 委員 (2000~2004年度)

b. 国内外の学会の主要役職

- 1) 辻井薫:極限環境微生物学会・評議員(2003年12月1 日〜現在)
- 2) 辻井薫:日本化学会・コロイドおよび界面化学部会 監査 (2001年3月1日~2005年2月28日)
- d. 修士学位及び博士学位の取得状況

修士課程(1名)

小澤純

- e. 担当授業科目(対象、講義名、担当者、期間)
- 1) 理学部、生体高分子の物理化学Ⅱ、辻井薫、2003年10 月1日~2004年3月31日
- 2) 理学部、生物高分子科学、辻井薫、2003年10月1日~2004 年3月31日
- 3) 全学部共通、一般教育演習、辻井薫、2003年10月1日~ 2004年3月31日
- 4) 全研究科共通、ナノテクノロジー・ナノサイエンス概 論、辻井薫、2003年度
- g. ポスドク・客員研究員など

ポスドク (1名)

厳 虎 (電子科学研究所)

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 植杉克弘 (広大院、工博、2002.4~2004.3) 助手 畔原宏明 (東工大院、工博、2004.2~)

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) 低侵襲バイオイメージングに関する研究

非常に柔らかい生体材料を液体中において低侵襲でイメージングする自励発振による原子間力顕微鏡(AFM)技術を開発した(図1(a))。また基板・探針間距離と周波数シフトの詳細な測定から(図1(b))、液中の自励発振系においても引力と斥力とを周波数値の増減として分解できることも明らかにした。

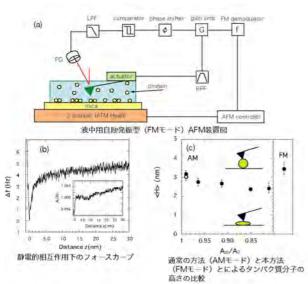


図1. (a)自励発振型AFM装置。(b)静電的相互作用を含むフォースカーブ。(c)AMモードとFMモードによるイメージングの高さ〈H〉の比較。

これまでに基板に弱く吸着した繊維状タンパク質を観察した結果、イメージングから得られたタンパク質の高さは電子顕微鏡観察で見積もられた値に一致し、自励発振型AFM 法では試料の変形が最小限に抑えられることが分った。今回、球状タンパク質の卵白アルブミン分子を用いて、本方法 (FMモード)と通常の振幅イメージング法 (AMモ

ード) との比較を行い、本方法では分子の高さが大きくタンパク質の変形が抑えられていることも分った(図1(c))。

(b) 1分子の動的力学物性に関する研究

東工大猪飼研究室との共同で AFM を用いて1分子の内部構造を力学的に変形するとともに分子間の結合力を測定し1分子のレオロジー的性質を調べる装置を開発し(図2(a)、タンパク質1分子の構造転移近傍におけるダイナミクスの測定を行った。酵素タンパク質(ウシ由来の炭酸デヒドラターゼII型の変異体)を延伸させると、天然型構造のTypeI 型と非天然型構造のTypeII 型とで異なる延伸挙動を見出した(図2(b))。また、延伸過程ではTypeI から TypeII へ構造転移(#2と#3の間)するが、収縮過程では転移しないことも見出した(図2(c))。さらに、TypeI の状態(#1と#2)では逆位相応答(矢印)を、TypeII(#3-6)では同相の応答を得た(図2(d))。この挙動は、酵素タンパク質の局所的なリフォールディングに密接に関連している。

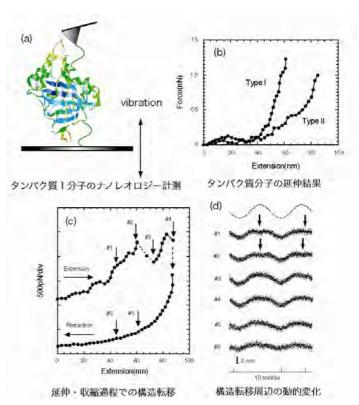


図2. (a)ナノレオロジー測定法。(b)酵素タンパク質(ウシ由来の炭酸デヒドラターゼ II 型の変異体)のカー伸長曲線。(c)延伸・収縮過程のカー伸長曲線。(d)力学応答の時系列データ。

(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(産総研)と共同で、CNTを用いて目的に適した安定な SPM 探針を作成する手法を確立した。すなわち、FE-SEM 中で低融点の金属を加熱・融解し CNTを挿入することにより、市販の探針に CNT を固定した。この手法により、電気的には $13 \text{ k} \Omega$ でオーミックな接合(図3)、2GPa 以上の応力強度を実現した。さらに、この経験に基づき超小型 SEM 装置を用いて図4のような CNT-AFM 探針作成装置を設計・製作した。

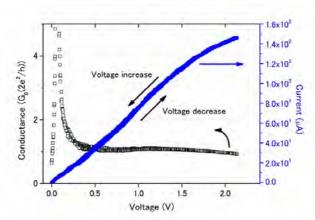


図3. 低融点の金属を加熱・融解し CNT を挿入することにより、市販の探針に CNT を固定し実現した $13 \, k \, \Omega$ でオーミックな接合の電気的特性。



図4. 試作した超小型 CNT-AFM 探針作成装置。

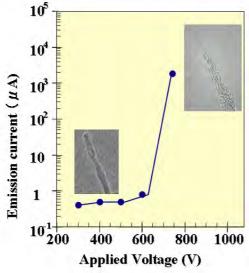
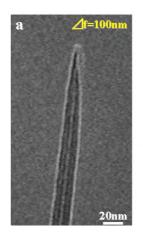


図5. CNT 先端近傍の SEM 構造と FE 電流の関係。

以上の技術をもとに日立製作所・産総研と共同して、CNTを用いた電界放出 (FE: Field Emission) 電子源の評価を行った。まず、電子放出先端の構造と FE 電流の相関、FE 電子放出サイトの同定の研究を開始した。電子顕微鏡で構造を観察しながら FE 電流を増大 (実際には FE 電圧を増大)

した(図5)。準備直後は先端部がコンタミ層で覆われているため電圧印加後しばらくはFE電流が殆ど流れなかった。 しかし、電圧を増大するとある値のところでコンタミ層が とれ FE 電流が急激に増大し、その後は電圧を減少し再現 性よく電流が流れた(図5)。

引き続き FE 電子放出サイトを TEM のアンダーフォーカス・ローレンツ顕微鏡モードで直接観察し、確かに電子放出サイトが観察できることを図6のように明るいスポットとして確認できることを見出した。



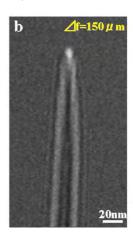


図 6. 450 V、 24μ Aの状態でのアンダーフォーカス・ローレンツ顕微鏡イメージ。デフォーカス距離を変化すると明瞭な白点として電子放出サイトが現れる。

(d) ナノテクノロジー新領域創製に向けた戦略的な研究 の企画・立案に関する研究

「複合領域ナノサイエンス」の一つとして「重点4分野の2つをつなぐ生命科学とナノテクノロジーの融合」がある。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(1)~(3)の成果も鑑みながら、産業技術総合研究所との連携、ワークショップを開催した。

3. 今後の研究の展望

電子科学研究所では、物理・化学・生物学から電子工学・ 情報科学・システム工学・生命科学までを広く融合した「複 合領域ナノサイエンス」分野の研究をスローガンに掲げ、 附属ナノテクノロジー研究センターを設置し、新研究領域 の開拓を目指している。これまでの光・生命・分子に関す る研究の蓄積ポテンシャルに加え、カーボンナノチューブ 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

- T. Okajima, H. Arakawa, M. T. Alam, H. Sekiguchi and A. Ikai: "Dynamics of a partially stretched protein molecule studied using an atomic force microscope", *Biophys. Chem.*, 107: 51-61 (2004)*
- Y. Lian, Y. Maeda, T. Wakahara, T. Akasaka, S. Kazaui,
 N. Minami, T. Shimizu, N. Choi and H. Tokumoto:
 "Nondestructive and High-Recovery-Yield Purification of Single-Walled Carbon Nanotubes by Chemical Functionalization", J. Phys. Chem. B, 108(6): 8848-8854 (2004)*
- 3) 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)*
- 4) T. Liang, H. Azehara, T. Ishida, W. Mizutani and H. Tokumoto: "Synthesis of Oligo(para-Phenylenevinylene) Methyl Thiols for Self-Assembled Monolayers on Gold Surfaces", Synth. Met., 140(2-3): 139-149 (2004)*
- 5) W. Zhou, K. Uesugi and I. Suemune: "1.6- μ m Emission from GaInNAs with Indium-induced Increase of N Composition", Appl. Phys. Lett., 83(10): 1992-1994 (2003)*
- 6) Y. Lian, Y. Maeda, T. Wakahara, T. Akasaka, S. Kazaui, N. Minami, N. Choi and H. Tokumoto: "Assignment of the Fine Structure in the Optical Absorption Spectra of Soluble Single-Walled Carbon Nanotubes", J. Phys. Chem., B107(44): 12082-12087 (2003)*
- M. A. Lantz, B. Gotsmann, U. T. Durig, P. Vettiger, Y. Nakayama, T. Shimizu and H. Tokumoto: "Carbon nanotube tips for thermomechanical data storage", *Appl. Phys. Lett.*, 83(6): 1266-1268 (2003)*
- T. Ishida, W. Mizutani, T. Liang, H. Azehara, K. Miyake,
 S. Sasaki and H. Tokumoto: "Conductive Probe AFM Measurements of Conjugated Molecular Wires", Ann. N.Y. Acad. Sci., 1006: 164-186 (2003)*
- 9) H. Azehara, W. Mizutani, Y. Suzuki, T. Ishida, Y. Nagawa, H. Tokumoto and K. Hiratani: "Fixation and Systematic Dilution of Rotaxane Molecules on Self-Assembled Monolayers", *Langmuir*, 19(6): 2115-2123 (2003)*
- 10) T. T. Liang, H. Azehara, T. Ishida, W. Mizutani and H. Tokumoto: "Formation of self-assembled monolayers on gold surfaces by luminescent oligo(para-phenylene-vinylene)-methanethiol", International Journal of Nanoscience, 2(4-5): 239-244 (2003)*
- 11) S. Ganapathy, X. Q. Zhang, I. Suemune, K. Uesugi, k. J. Bong and T. Y. Seong: "GaNAs as strain compensating layers for 1.55 um light emission from InAs Quantum

- Dots", Jpn. J. Appl. Phys., 42(9A Part1): 5598-5601 (2003)*
- 12) X. Zhang, S. Ganapathy, I. Suemune, H. Kumano, K. Uesugi, Y. Nabetani and T. Matsumoto: "Improvement of InAs Quantum-dots Optical Properties by Strain Compensation with GaNAs Capping Layers", Appl. Phys. Lett., 83(22): 4524-4526 (2003)*
- 13) S. Takeda, C. Nakamura, C. Miyamoto, N. Nakamura, M. Kageshima, H. Tokumoto and J. Miyake: "Lithographing of Biomolecules on a Substrate Surface Using an Enzyme-Immobilized AFM Tip", Nano Letters, 3(11): 1471-1474 (2003)*
- 14) A. Ikai, R. Afrin, H. Sekiguchi, T. Okajima, M. T. Alam and S. Nishida: "Methods in Biochemistry using Atomic Force Microscopy", Current Protein and Peptide Science, 4: 181-193 (2003)*
- 15) S. Ganapathy, M. Kurimoto, T. Periyasamy, K. Uesugi, I. Suemune, H. Machida and N. Shimoyama: "Observation of reflection high-energy electron diffraction oscillation during metalorganic-molecular-beam epitaxy of AlAs and control of carbon incorporation", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 94(8): 4871–4875 (2003)*
- 16) Y. Maeda, Y. Lian, T. Wakahara, M. Koko, T. Akasaka, N. Choi, H. Tokumoto, S. Kazaui and N. Minami: "One step synthesis of highly-pure soluble single-walled carbon nanotubes", *ITE Letters on Batteries, New Technologies & Medicine*, 4(6): 798-801 (2003)*
- 17) T. Ishida, H. Fukushima, T. Tamaki and H. Tokumoto: "Scanning tunneling microscopy observation of apparent molecular motion induced by polarity change of electric fields", *JJAP*, 42(8): 5342-5346 (2003)*
- 18) T. Imayoshi, H. Oigawa, H. Shigekawa and H. Tokumoto: "Surface reconstruction of GaAs(0 0 1) nitrided under the controlled As partial pressure", Surface Science, 540(1): L577-L582 (2003)*
- 19) S. Takeda, A. Ptak, M. Kageshima, H. Tokumoto, C. Nakamura and J. Miyake: "Unfolding process of a single peptide molecule on a substrate was investigated by atomic force microscope", Surface Science, 532-535: 244-248 (2003)*

4.2 総説、解説、評論等

- 1) 徳本洋志: 「カーボンナノチューブが変える原子分子操作の世界」、*PETROTECH*, 27(2): 115-118 (2004)
- 2) 徳本洋志:「SPM の発展と新展開」、セラミックス、 38(10): 777-781 (2003)
- 3) 徳本洋志:「カーボンナノチューブプローブ」、応用物 理学事典、3:262-267(2003)

国際会議議事録等に掲載された論文

1) H. Abe, T. Shimizu, A. Ando and H. Tokumoto: "Electric

- transport and mechanical strength measurements of carbon nanotubes in scanning electron microscope", *Physica E: Low-dimensional Systems & Nanostructures*, 24(1-2): 42-45 (2004)
- T. Shimizu, H. Abe, A. Ando and H. Tokumoto: "Electric transport measurement of a multi-walled carbon nanotube in scanning transmission electron microscope", *Physica E:* Low-dimensional Systems & Nanostructures, 24(1-2): 37-41 (2004)
- A. Ando, T. Shimizu, H. Abe, Y. Nakayama and H. Tokumoto: "Improvement of electrical contact at carbon nanotube/Pt by selective electron irradiation", *Physica E:* Low-Dimensional Systems & Nanostructures, 24(1-2): 6-9 (2004)
- 4) X. P. Zou, T. Shimizu, A. Ando, Y. Nakayama, H. Tokumoto, S. M. Zhu and H. S. Zhou: "Simple thermal chemical vapor deposition synthesis and electrical property of multi-walled carbon nanotubes", *Physica E: Low-Dimensional Systems & Nanostructures*, 24(1-2): 14-18 (2004)
- 5) Y. Maeda, T. Hasegawa, T. Wakahara, T. Akasaka, N. Choi, H. Tokumoto, S. Kazaui and N. Minami: "Chemical modification of SWNTs", AIP Conference Proceedings: Molecular Nanostructures, 685: 257-260 (2003)

4.5 講演

a. 招待講演

- H. Tokumoto: "Toward International Collaboration in Nanotechnology Research", The 8th IUMRS International Conference on Advanced Materials, Yokohama, Japan (2003-10)
- 2) 徳本洋志:「走査プローブ顕微鏡への適用」、平成16年 電気学会全国大会シンポジウム「新しい電気電子材料 としてのカーボンナノチューブの魅力」、青山学院大学 相模原キャンパス (2004-03)
- 3) 徳本洋志:「生体材料研究用SPM技術」、北海道大学電子科学研究所・創成科学研究機構ジョイントシンポジウム「北大リサーチ&ビジネスパーク構想と産官学連携に向けて」、創成科学研究棟(2004-03)
- H. Tokumoto: "Carbon Nanotube SPM as an Analysis Tool of Self-Assembling", Japan-US Symposium on Directed Self-Asseombly and Self-Organization, UCSB, California, USA (2004-01)
- 5) H. Tokumoto: "New Nano-Biotechnology Researches with Carbon Nanotube SPMs", 4th Chitose International Forum on Photonics Science & Technology, CIST, Chitose, Japan (2003–12)
- 6) H. Tokumoto: "Atom manipulation and atom identification with STM-based technique", Joint Meeting of the 2nd International Symposium on "Future-Oriented Interdisci-

- plinary Materials Science" and the 1st International Tsukuba-Symposium on "NanoScience", Tsukuba, Japan (2003-11)
- 7) 徳本洋志:「SPM が支えた有機バイオ研究の一側面」、 有機バイオ SPM 研究会2003、幕張メッセ国際会議場 (2003-09)
- H. Tokumoto: "Nanometrology", BIPM Metrology Summer School 2003, BIPM, France (2003-07)

b. 一般講演

i) 学会

- 1) 布施真琴、清水哲夫、阿部秀和、中山喜萬、徳本洋志: 「加熱によるカーボンナノチューブの形状制御」、第51 回応用物理学関連連合講演会、東京工科大学、八王子 (2004-03)
- 2) 阿部秀和、清水哲夫、安藤淳、中山喜萬、徳本洋志:「湾 曲させたカーボンナノチューブの電気伝導測定」、第5 1回応用物理学関係連合講演会、東京工科大学、八王 子(2004-03)
- 3) 清水哲夫、阿部秀和、安藤淳、中山喜萬、徳本洋志:「多 層カーボンナノチューブの電気伝導度測定」、第51回 応用物理学関係連合講演会、東京工科大学、八王子 (2004-03)
- 4) 藤枝正、日高 貴志夫、林原光男、上野武夫、阿部秀和、 清水哲夫、徳本洋志:「透過電子顕微鏡法によるカーボ ンナノチューブのダイナミック観察」、第51回応用物理 学関係連合講演会、東京工科大学、八王子(2004-03)
- 5) 畑浩一、馬場誠、平井信敬、斉藤弥八、清水哲夫、阿部秀和、徳本洋志:「単一多層カーボンナノチューブの清浄化と電子放出現象」、第51回応用物理学関係連合講演会、東京工科大学、八王子(2004-03)
- 6) T. Okajima and H. Tokumoto: "Dynamic-mode AFM in Liquids with Self-Oscillation Technique", Biophysical Society 48th Annual Meeting, Baltimore, USA (2004-02)
- 7) 関口博史、岡嶋孝治、荒川秀雄、猪飼篤:「溶液中 AFM ダイナミックモードイメージングの改良」、日本生物物 理学会第41回年会、新潟 (2003-09)
- 8) 岡嶋孝治、徳本洋志:「液中観察用 AFM の高感度化」、 日本生物物理学会第41回年会、新潟 (2003-09)
- 9) 安藤淳、阿部秀和、清水哲夫、中山喜萬、徳本洋志:「低融点合金で固定されたカーボンナノチューブプローブの電気特性」、第64回応用物理学会学術講演会、福岡大学、USA (2003-08)
- 10) S. Takeda, M. Kageshima, C. Nakamura, N. Nakamura, H. Tokumoto and J. Miyake: "An enzyme activity bound on AFM tip was investigated by force curves", 2th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques, Eindhoven, Netherland (2003-07)
- 11) A. Ptak, S. Takeda, C. Nakamura, J. Miyake, M. Kage-shima, S. P. Jarvis and H. Tokumoto: "Mechanical prop-

- erties of single macromolecules studied with AFM techniques and computational methods", 2th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques, Eindhoven, Netherland (2003–07)
- 12) S. Han, C. Nakamura, I. Obataya, S. Takeda, M. Kage-shima, N. Nakamura, H. Tokumoto and J. Miyake: "Development of Gene Transfer Technique using AFM", 2th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques, Eindhoven, Netherland (2003-07)
- 13) B. Gotsman, M. A. Lantz, U. Durig, P. Vettiger, Y. Na-kayama and H. Tokumoto: "Carbon nanotube tips for thermo-mechanical data storage", 2th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques, Eindhoven, Netherland (2003-07)

ii) 研究会・シンポジウム・ワークショップ

- S. Kimura, Y. Maeda, T. Hasegawa, T. Wakahara, T. Akasaka, T. Shimizu and H. Tokumoto: "Separation of SWNTs and Carbon Impurities by Chemical Modification", The 26th Fullerene-Nanotubes General Symposium, Okazaki Confrence Center, Okazaki, Japan (2004-01)
- H. Abe, T. Shimizu, A. Ando and H. Tokumoto: "Change of electric conductivity of carbon nanotubes by applying axial force", The 26th Fullerence-Nanotubes General Symposium, Okazaki Conference Center, Okazaki, Japan (2004-01)
- 3) T. Shimizu, H. Abe, A. Ando, Y. Nakayama and H. To-kumoto: "Ballistic Transport of a MWNT by Titanium Nickel Contact", The 26th Fullerene-Nanotubes General Symposium, Okazaki Conference Center, Japan (2004-01)
- 4) Y. Lian, Y. Maeda, T. Wakahara, T. Akasaka, N. Choi and H. Tokumoto: "Assingment for the fine structure in the optical absorption spectra of soluble single-wall carbon nanotubes", The 26th Fukkerene-Nanotubes General Symposium, Okazaki Conference Center, Okazaki, Japan (2004-01)
- T. Okajima and H. Tokumoto: "Dynamic mode AFM in liquids for biological samples", The 11th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, Atagawa, Japan (2003–12)
- 6) 川口洋平、栗城眞也、植杉克弘、徳本洋志、三上春樹、 松田瑞史:「高温超伝導薄膜への磁束侵入と SQUID の ノイズ特性」、電子情報通信学会超伝導エレクトロニク ス研究会、神戸(2003-10)
- T. Okajima and H. Tokumoto: "Design and operation of frequency modulation AFM in liquids", Sixth International Conference on Noncontact Atomic Force Microscopy, Dingle, Ireland (2003-08)

iii)コロキウム・セミナー等・その他

 A. Ando, H. Abe, T. Shimizu, Y. Nakayama and H. Tokumoto: "Electrical Property of the Carbon nanotube Probes Fixed by Low Melting Point Alloy", The 11th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, Atagawa, Shizuoka (2003–12)

4.6 シンポジウムの開催

- 1) 徳本洋志、下村正嗣: "北海道大学電子科学研究所シンポジウム:ナノテクノロジーの新展開・北大北キャンパスの挑戦"(150名、北海道大学創成科学研究機構大会議室(札幌)、2004年3月4日)
- 2) 德本洋志:"北海道大学公開講演会"(100名、北海道大学、学術交流会館(札幌市)、2003年12月5日)
- 3) 徳本洋志: "The 5th RIES-Hokudai Symposium on Advanced Nanoscience "Shoku"" (130名、北海道大学学術会館(札幌市)、2003年12月1日~2003年12月2日)

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) 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
- b. **奨学寄附金**(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、総経費、研究内容)
- 1) 徳本洋志 (セイコーインスツルメンツ株式会社 科学 事業部):電子科学研究のため、2003年度、300千円、 AFM を用いた電子科学応用研究の実施

4.8 共同研究

- a. **所内共同研究**(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、研究内容)
- 1) 石橋晃、徳本洋志、末宗幾夫、中村貴義、近藤憲治(電子科学研究所):「極微細接合素過程に対する次元・空間配位の影響の研究」、2003~2004年度、未定、次元数表記で3-0-3、3-2-0-2-3などの従来行われてきた接合構造・配置に対し、特に3-2-0-R2-3(R2は相対的に回転した2次元面であることを示す)の極微細接合について理論的に考察するとともに、この構造(ユニット)を作るための要素技術を確立する。
- 2) 岡嶋孝治、田中賢、石井勝弘(電子科学研究所):「高 感度液中 AFM による細胞の構造・機能同時解析法の 開発」、2003年度~、未定、(1) AFM 制御技術、(2) 細胞固定技術、(3) 光計測技術を発展・融合させ、超 高感度液中 AFM を用いた細胞の構造・機能同時解析 法を開発する。
- f. その他(研究担当者、機関名、研究題目、研究期間、 研究内容)

1) 岡嶋孝治(財団法人北海道科学技術総合振興センター 基盤的研究開発育成事業):「高分子1本鎖の延伸測定 による分子内相互作用の評価」、2003年度、400千円、 若手研究補助金

4.10 社会教育活動

a. 公的機関の委員

- 1) 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)
- 2) 徳本洋志:理研播磨研究所の評価委員(2003年8月10日~2003年9月10日)
- 3) 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)
- 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(2002年5月1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 マイクロビームアナリシス第141委員会 委員(2000年4月1日~現在)
- 6) 徳本洋志:日本学術会議 産学協力研究委員会 ナノ プローブテクノロジー第167委員会 委員 (2000年4月 1日~現在)

b. 国内外の学会の主要役職

- 1) 徳本洋志: STM05国際会議組織委員長(2003年7月1日 ~現在)
- 2) 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)
- 3) 徳本洋志:電子情報技術産業協会、機能性有機電子材料専門委員会委員長(2002年5月1日~2004年3月31日)
- 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)

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~現在)

その他

- 1) 徳本洋志: 筑波大学先端学際領域研究センター客員研究員 (2003~2004年度)
- 2) 徳本洋志:財団法人新世代研究所 評議員(2003~ 2004年度)

c. 新聞・テレビ等の報道

- 放送
- 1) 徳本洋志: フジテレビ 2004年2月21日「カーボンナノ チューブ: 宇宙エレベーター」番組の中で、カーボン ナノチューブが機械的に強いという証拠を見せた。
- e. 担当授業科目(対象、講義名、担当者、期間)
- 1) 工学研究科、光量子デバイス工学特論、岡嶋孝治、2003 年10月1日~2004年3月31日
- 2) 工学研究科、光量子デバイス工学特論、徳本洋志、2003

年10月1日~2004年3月31日

- h. **外国人研究者の招聘**(氏名、国名、期間)
- 1) Dr. Heinrich Rohrer、Switzerland、2003年11月30日~2003 年12月6日
- 2) Dr. Cristoph Gerber、Switzerland、2003年10月5日~2003 年10月7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12年	平成13年	平成14年	平成15年
電子材料	欧 文	47 (47)	40 (40)	41 (40)	30 (30)
物性部門	邦 文	0	1 (1)	0	0
電子機能	欧 文	34 (34)	33 (33)	29 (29)	22 (22)
素子部門	邦 文	4	2 (2)	10 (1)	0
電子計測	欧 文	27 (14)	34 (28)	25 (21)	19 (17)
制御部門	邦文	7 (2)	5 (5)	10 (7)	4 (1)
電子情報	欧 文	26 (24)	20 (20)	6 (6)	26 (26)
処理部門※	邦 文	10 (9)	13 (11)	5 (3)	0
電子計測	欧 文	4 (4)	5 (5)	_	_
開発施設	邦 文	0	0	_	_
ナノテクノロジー	欧 文	_	_	32 (31)	30 (30)
研究センター	邦文	_	_	4	0
計	欧 文	138 (123)	132 (126)	133 (127)	127 (125)
ĒΤ	邦 文	21 (11)	21 (19)	29 (11)	4 (1)

^()内の数はレフェリー付き。

2. 総覧、解説、評論等及び著書数

部門等	年	平成12年	平成13年	平成14年	平成15年
電子材料	総説等	9 (2)	3 (1)	1 (1)	2
物性部門	著 書	1 (1)	1 (1)	3 (3)	5 (1)
電子機能	総説等	9	11 (1)	9	12
素子部門	著書	6 (3)	8 (6)	2 (1)	9 (2)
電子計測	総説等	15	7	8 (1)	4
制御部門	著書	3	2	4 (4)	1
電子情報	総説等	15	8 (1)	9	5
処理部門※	著書	7 (1)	6	3 (3)	3 (2)
電子計測	総説等	1	1	_	_
開発施設	著書	2 (2)	0	_	_
ナノテクノロジー	総説等	_	_	11	13
研究センター	著書	_	_	3 (1)	10 (3)
計	総説等	49 (2)	30 (3)	38 (2)	36
пΙ	著書	19 (7)	17 (7)	13 (12)	28 (8)

^()内の数は欧文

[※]客員研究分野は除外した。

[※]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12年	平成13年	平成14年	平成15年
電子材料	国際学会	37 (4)	60 (7)	40 (8)	31 (8)
物性部門	国内学会	67	89 (3)	57 (5)	59 (2)
電子機能	国際学会	42 (13)	42 (6)	40 (3)	39 (6)
素子部門	国内学会	62 (9)	102 (11)	62 (4)	63 (4)
電子計測	国際学会	29 (3)	36 (5)	16 (2)	19 (4)
制御部門	国内学会	52 (6)	79 (6)	40 (3)	43 (7)
電子情報	国際学会	8 (1)	39 (10)	3 (1)	8 (4)
処理部門※	国内学会	20 (2)	65 (5)	21 (6)	18 (3)
電子計測	国際学会	2	3	_	_
開発施設	国内学会	11	16	_	_
ナノテクノロジー	国際学会	_	_	28 (6)	26 (4)
研究センター	国内学会	_	_	35 (1)	39 (2)
∌1.	国際学会	118 (21)	180 (28)	127 (20)	123 (26)
計	国内学会	212 (17)	351 (25)	215 (19)	222 (23)

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12年度	平成13年度	平成14年度	平成15年度
校費	223, 331	208, 258	208, 629	372, 930
科 学 研 究 費	248, 400 (54)	192, 520 (51)	166, 224 (40)	222, 400 (14)
奨 学 寄 附 金	17, 966 (20)	19, 944 (24)	28, 250 (29)	39, 468 (35)
産学連携研究費	143, 345 (24)	111, 811 (19)	66, 583 (20)	108, 435 (35)
(受託研究費)	(119, 540 (16))	(98, 951 (12))	58, 030 (13)	89, 626 (20)
(民間等共同研究費)	(23, 805 (8))	(12, 860 (7))	8, 553 (7)	18, 809 (15)
合計	633, 042	532, 533	469, 686	743, 233

()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)

			(単位:千円)
部 門 等	研 究 費 等	平成14年度	平成15年度
電子材料物性部門	科 学 研 究 費	94, 400 (14)	119, 900 (17)
	奨 学 寄 附 金 I	6,800 (3)	4, 200 (3)
	奨 学 寄 附 金 Ⅱ	2,600 (3)	6,000 (2)
	産 学 連 携 等 研 究 費	26,000 (3)	31,800 (4)
	(受 託 研 究 費)	26, 000 (3)	31,800 (4)
	(民間等共同研費)		
	小計	129, 800	161, 900
電子機能素子部門	科 学 研 究 費	22, 000 (10)	22, 300 (6)
	奨 学 寄 附 金 I	4, 200 (3)	500 (1)
	奨 学 寄 附 金 Ⅱ	3, 230 (5)	3, 560 (5)
	産 学 連 携 研 究 費	5, 853 (8)	19, 309 (11)
	(受 託 研 究 費)	1,720 (3)	12,050 (5)
	(民間等共同研費)	4, 133 (5)	7, 259 (6)
	小計	35, 283	45, 669
電子計測制御部門	科 学 研 究 費	12, 224 (6)	42, 400 (8)
	奨 学 寄 附 金 I	2, 270 (4)	1,000 (1)
	奨 学 寄 附 金 Ⅱ	1,750 (2)	250 (1)
	産 学 連 携 研 究 費	22, 810 (5)	29, 934 (7)
	(受 託 研 究 費)	18, 810 (4)	22, 854 (4)
	(民間等共同研費)	4,000 (1)	7,080 (3)
	小計	39, 054	73, 584
電子情報処理部門	科 学 研 究 費	24, 400	25, 700 (10)
	奨 学 寄 附 金 I	0	1,000 (1)
	奨 学 寄 附 金 Ⅱ	0	8,500 (4)
	産 学 連 携 研 究 費	5, 840 (2)	13, 640 (6)
	(受 託 研 究 費)	5, 420 (1)	11,800 (3)
	(民間等共同研費)	420 (1)	1,840 (3)
	小計	30, 240	48, 840
附属ナノテクノロジー	科 学 研 究 費	13, 200 (2)	12, 100 (3)
研究センター	奨 学 寄 附 金 I	0	1,658 (4)
	奨 学 寄 附 金 Ⅱ	7, 400 (9)	12,800(13)
	産 学 連 携 研 究 費	6,080 (2)	13, 752 (7)
	(受 託 研 究 費)	6,080 (2)	11, 122 (4)
	(民間等共同研費)		2,630 (3)
	小 計	26, 680	40, 310

()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 奨学寄附金 I 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12年度	平成13年度	平成14年度	平成15年度
電子材料物性部門	6	15	2	2
電子機能素子部門	2	5	8	5
電子計測制御部門	1	7	1	9
電子情報処理部門	5	6	2	6
電子計測開発施設	1	0	_	
ナノテクノロジー研究センター	_	_	0	3
計	15	33	13	25

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15年度

<u>・</u>理学研究科

渡邊一雄:高分解能・高帯域光散乱方による高分子ゲルのダイナミクスの研究

工学研究科

川辺喜雄:ビーム状パラメトリック蛍光対の空間伝播特性解析

川瀬大輔:ホログラム及びファイバー干渉計を用いた光子の軌道角運動量もつれ合い状態検証実験 高島秀聡:枝付きシリカ微小球共振器の共鳴モード固定とエルビウムイオン含有ガラス薄膜の作製

西村和哉:もつれ合い光子対のビーム状発生方法に関する研究

百瀬義剛:時間領域差分法を用いたランダム媒質微小光共振器の局在モード解析

地球環境科学研究科

小原祐樹:ポリマー薄膜中における CdS ナノ粒子の吸収および発行特注への外部電場効果

森川武弘:高分子薄膜中における連結芳香族化合物の蛍光への外部電場効果

若原圭佑:TTF誘導体からなるLB膜の作製および構造評価

松浦憲政:キラルアンモニウムカオチンを導入した[Ni(dmit)。]錯体の構造と磁性

Ⅱ-4-2) 博士学位

<u>平成15年度</u>

・理学研究科

藤井文彦:光散乱を用いた脳の光診断のための基礎研究-無酸素状態における脳ミトコンドリアと脳組織の光散 乱変化-

狩野 旬: Intial Process of the Ferroelectric Relaxation Mode Excitation Studied by Time—resolved Spectroscopy(時間分解分光法による強誘電性緩和モード励起の初期課程の研究

• 工学研究科

小島邦裕: Fully quantum—mechanical analysis of the nonlinear response of a one—dimensional atom to photon pulses and application to an optical quantum phase gate

辻野賢治:もつれ合い光子対の複数対発生に関する基礎的研究

• 地球環境科学研究科

西原禎文:超分子カオチンを利用した分子性スピンラダーの作製と物性

Ⅱ-4-3) 大学院生在籍数

年	修士		博	±
研究科名	14年	15年	14年	15年
理学研究科	16	17	12	15
工 学 研 究 科	25	18	10	12
地球環境科学研究科	10	5	3	6
医 学 研 究 科	0	0	0	0
計	51	40	25	33

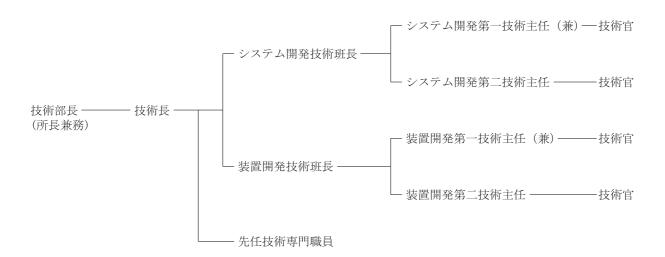
Ⅲ. 研究支援体制

Ⅲ-1. 技術部

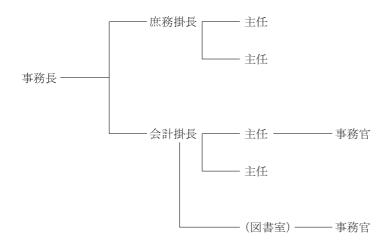
本研究所の研究を技術面からの支援組織として、システム開発班と装置開発班よりなる「技術部」を置いている。 システム開発班は、研究所のホームページと研究成果データベースなどの情報管理運営、研究用電子回路の設 計・製作、実験装置計測用ソフトウエア開発など、専門技術による研究分野からの支援要請に対応している。

さらに、平成14年度開設の附属ナノテクノロジー研究センターにおいては、クリーンルーム、X線回折装置などのオープンファシリティーへの保守・維持管理、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、液化窒素貯槽装置と He 回収装置の保守管理および安全教育講習会の実施、講演会の講演者情報データ管理などの研究所全体に関わる支援も行っている。

装置開発班は、研究分野より要請される特殊実験機器の開発・製作にあたっている。機械工作では、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出来る体制を整えている。ガラス工作では、光学レンズ・プリズムなどの加工と研磨、ステンレス製計測装置へのコバールを介してのガラス溶着技術、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。



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 14 年	平成 15 年
和書	5, 840	5, 429
洋 書	20, 604	20, 454
計	26, 444	25, 883

2. 所蔵雑誌種類数

年 度	平成14年	平成15年	
和雑誌	381	383	
洋雑誌	466	455	
計	847	838	

3. 購入雑誌受入種類数

年 度	平成14年	平成15年
和雑誌	52	45
洋雑誌	80	35
計	132	80

4. 学外文献複写数

年 度	平成14年	平成15年
依 頼	173	133
受 付	492	326

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、16000タイトルあまりの電子ジャーナルの利用が可能で、フルテキストを購読できる。

また、パソコンからは HINES を通して附属図書館の検索システムを利用できる。以前は CD-ROM マルチ検索システムであったが、現在はオンラインでの学術文献データベース検索システムが利用できる。利用できるデータベースの種類は豊富で、「雑誌記事索引 NDL-OPAC、Web of Science、Current Contents」のような引用文献、目次速報データベースから「SciFinder Scholar、 MEDLINE、 INSPEC」のような抄録データベース、「LexisNexis Academic」のような新聞記事のデータベース、学位論文データベース、辞典類など39種類にのぼる。また、インターネットを利用して国内外の大学図書館等の情報を得ることもできる。

他に有料のオンラインによる情報検索としては、国立情報学研究所の NACSIS-IR、科学技術振興事業団の JOIS などのシステム検索が利用可能であり、研究者の研究活動を支援している。

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

Ⅳ. 資 料

IV-1. 沿革

超短波研究所

- 昭和16.1 超短波研究室が設置される
 - 18.1 超短波研究所に昇格 第二部門、第四部門、第六部門、第七部門開設
 - 18.3 第三部門開設
 - 19.1 第一部門、第五部門開設
 - 20.1 第八部門開設

応用電気研究所

21.3 応用電気研究所と改称する

部門構成:電気第一部門、電気第二部門、物理第一部門、物理第二部門、化学部門、 医学及び生理第一部門、医学及び生理第二部門、数学部門

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

電子科学研究所

- 平成4.4 研究所改組により電子科学研究所となる
 - 14.4 附属電子計測開発施設を附属ナノテクノロジー研究センターに改組転換

[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 超短波研究室 昭和18年2月1日~昭和21年3月31日 簑島 高 応用電気研究所 昭和21年4月1日~昭和21年9月10日 簑島 高 昭和21年9月11日~昭和35年7月31日 淺見 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~現在 西浦 廉政

[名誉教授]

昭和32年4月 (故) 簑島 高 昭和37年4月 (故) 淺見 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年度にそれぞれ新増築され、管理棟は昭和40年度に新築された。建物は、大きく3棟に分かれており、それぞれ渡り廊下で結ばれている。15年度には創成科学研究機構新築(北21西10)に伴い、ナノテクノロジー研究センターが移転された。

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	リ 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	II	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

(7月1日現在)

		(1月1日先生)
年 度		平成15年度
##• +\sqrt{\sq}}}}}}}\sqrt{\sq}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}}	定員	18 (1)
教授	現員	17 (1)
PI 44 1-5	定員	18 (1)
助教授	現員	14 (1)
÷# 5T	定員	0
講師	現員	1
nir	定員	21
助手	現員	19
*** - =	定員	57 (2)
教官小計	現員	51 (2)
本水 不 III 日	定員	19
事務系職員	現員	19
A ⇒1	定員	76 (2)
合計	現員	70 (2)

() 内の数字は客員で外数

IV-4. 教員の異動状況

〇 転入状況

平成15年度

 ナノテクノロジー研究センター
 助教授
 岡嶋
 孝治
 15. 4. 1
 東京工業大学大学院生命理工学研究科助手

 電子機能素子部門
 講師
 近藤
 憲治
 15. 4. 1
 東京大学大学院理学系研究科博士

電子情報処理部門 教授 三澤 弘明 15.5.1 徳島大学大学院工学研究科教授

電子材料物性部門 助教授 芥川 智行 15.5.1 昇任(同部門助手)

ナノテクノロジー研究センター助 手 眞山 博幸 15. 5. 1 科学技術振興事業団 CREST 研究員電子材料物性部門助 手 飯森 俊之 15. 6. 1 名古屋大学物質科学国際センター講師

(機関研究員)

ナノテクノロジー研究センター助 手 松尾剛 15. 7. 1理化学研究所研究員電子情報処理部門助教授 青沼 仁志 15. 7. 1昇任(同部門助手)電子機能素子部門助 手 髙木 清二 15. 9. 1フランス研究所ポスドク

電子情報処理部門 助 手 棚村 好彦 15.10.1 科学技術振興事業団 CREST 研究員

ナノテクノロジー研究センター 助 手 畔原 宏明 16.2.1

電子計測制御部門 助教授 小山 幸子 16.3.16 岡崎国立共同研究機構生理学研究所助手

〇 転出状況

平成15年度

電子情報処理部門講師 井野 秀一 15. 4. 1 東京大学先端科学技術センター助教授電子機能素子部門助 手 川俣 純 15. 4. 1 山口大学理学部科学・地球学科助教授電子計測制御部門助教授 小林 哲生 16. 3. 1 京都大学大学院工学研究科教授

電子情報処理部門 助教授 小林 亮 16.3.1 広島大学大学院理学研究科教授

電子機能素子部門 助 手 田中 賢 16.3.31 創成科学研究機構非常勤

Ⅳ-5. 構成員

所 長 (15.4.1~15.9.30)

八木駿郎

所 長 (15.10.1~現在) 西浦廉政 電子材料物性部門 電子計測制御部門 光システム計測研究分野 光電子物性研究分野 教 授 太田信廣 教 授 笹 木 敬 司 中林孝和 助教授 助教授 竹 内 繁 樹 田 純 一 助手 飯森俊文 助手 相転移物性研究分野 量子計測研究分野 教 授 八木駿郎 教 授 栗城真也 辻 見 裕 助教授 小 山 幸 子 助教授 史 正樹 平田恵啓 助 手 武 貞 助手 有機電子材料研究分野 助 手 竹内文也 自律調節研究分野 教 授 中 村 貴 義 芥 教 授 助教授 川智行 狩 野 猛 光材料研究分野 丹 羽 光 一 助手 教 授 適応制御研究分野 末宗 幾 夫 助教授 田 中 悟 教 授 原 剛 一 河 助 手 熊 貴 野 英 和 助教授 内 猛 助 手 山内芳子 電子機能素子部門 量子機能素子研究分野 助 手 中島崇行 教 授 石 橋 晃 電子情報処理部門 近藤憲治 講師 情報数理研究分野 分子認識素子研究分野 教 授 西浦廉政 教 授 居 城 邦 治 助手 柳田達雄 助 手 中 瞖 助手 飯間 信 \blacksquare 超分子分光研究分野 神経情報研究分野 教 授 村 守 教 授 下澤 楯 夫 田 助教授 助教授 城 政 孝 青 沼 仁 志 金 助手 西 村 吾 朗 助手 西 野 浩 史 細胞機能素子研究分野 信号処理研究分野 三 澤 弘 明 教 授 上 田 哲 男 教 授 中垣俊之 助教授 助手 棚村好彦 神 助手 隆 並列分散処理研究分野(客員) 教 授 助手 髙 木 清 二 石 川 正 道 (株式会社三菱総合研究所) 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 [、]	_				事務部
センター長(併)	下	村	政	嗣	事務長 演谷弘司
ナノ材料研究分野	'	1,3	-	in 3	庶務掛
教 授	下	村	政	嗣	掛長 岡田 敏
助教授	· 岩	井	俊	昭	主任 佐藤洋子
助手	石	井	勝	弘	主任 三橋千昭
ナノデバイス研究分野				•	会計掛
教 授	辻	井		薫	掛長丸山勝介
助手	眞	山	博	幸	主任須戸昭
助手	松	尾		剛	主 任 佐々木 好 美
ナノ理論研究分野					事務官
教 授	徳	本	洋	志	事務官(図書室) 猿 橋 キヨミ
助教授	出	嶋	孝	治	
助手	植	杉	克	弘	
助手	畔	原	宏	明	事務補佐員 小 杉 真理子
					事務補助員 金山みどり
講師(研究機関研究員)	高	橋	賢	吾	ッ 中西めぐみ
<i>II</i>	鄭		址	旭	n 白川真澄
<i>II</i>	岩	﨑	正	純	n 笹 木 瑠美子
研究支援推進員	村	谷	枝	里	ル 秋 田 佐和子
<i>II</i>	酒	井	美	和	ル 木 村 古乃美
<i>II</i>	黒	田	紀	夫	ル 播 磨 美智子
<i>II</i>	牛	坂		健	リ 野々瀬 ま き
科学研究支援員	加	藤	恵	_	』 山田庸子
<i>II</i>	栗	本		誠	9
n	PER	IYAS	AMY	THILAKAN	(平成15年3月末日現在
COE 研究員	譚		明	秋	
n	白		燦	基	
n,	孫			雷	
<i>II</i>	王			凌	
<i>II</i>	厳			虎	
技術部					
技術部長 (兼) (15.4.1	l∼15	. 9. 3	(0)		
	八	木	駿	郎	
<i>"</i> (15. 10.	1~到	見在)			
	西	浦	廉	政	
技術長	星	Щ	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			_	
技術官	伊勢	學谷	陽	_	
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	
技術官		坂	高	英	
JJ	武	井	将	志	