

法政大学マイクロ・ナノテクノロジー研究センター年報2004

目 次

- ◆ 年報2004の発刊にあたって（センター長 武田 洋）
- ◆ 研究成果報告（2004年4月1日～2005年3月31日）
 - ＜研究成果概要と業績（論文、著書、紀要、口頭発表）リスト＞
 - 高機能ナノマテリアルの開発
 - マイクロ・ナノメカトロデバイスの研究
 - 分散型耐環境ナノ電子デバイスの研究
 - 生命情報と生体機能のナノバイオロジー
- ◆ 会議等開催記録
- ◆ 開設記念シンポジウム
 - 講演 バイオナノテクノロジーの現状と将来（柳田 敏雄）
 - 講演 大学人への期待（渡辺 久恒）
 - 研究センター概要、研究報告

年報2004の発刊にあたって

センター長 武田 洋

法政大学マイクロ・ナノテクノロジー研究センターは、文部科学省による私立大学ハイテクリサーチ・センター整備事業の採択を受け、2003年度より5年間の計画で発足した。

従来技術の限界を超える可能性のある新技術の1つとしてナノテクノロジーがあり、その応用として、超高機能材料の合成、超微細加工、1分子計測、1分子操作など種々考えられるが、本センターでは、以下に述べる最終目的を達成するための基礎技術を確立するとともに、関連する幅広い研究開発を行い工業技術の発展に寄与することを理念・目的としている。そのため、本センターではナノテクノロジーを根幹の共通技術として3プロジェクト体制で研究・教育を行なっている。

ナノテクノロジーによる新素材を活用した機械部品およびアクチュエータ機構と高温・高周波・高電圧特性に優れた新素材に基づく電子回路とを一体化したマイクロチップをナノテクノロジー加工技術を用いて開発し、その中に生物の運動を基にした駆動制御装置や通信装置をすべて組み込みほぼ完全な自律型とすると共に、互いに必要な情報をブロードキャスト方式またはピアツウピアの無線方式で交換することにより協調動作を可能とすることを目指している。このようなデバイスを多数個組み合わせて協調動作させることにより筋肉細胞のような働きが可能になり、看護など任意の形態の物理的サービスが実現できる。さらに、このようにどこにでも遍在させることのできる自立型のデバイスを開発し社会に広く遍在させることにより、従来存在しなかった高度な物理サービスを広く提供することが可能になると考えられる。

このような自律型のデバイスは全く新しい概念のデバイスであり、マイクロ・ナノメカトロデバイスと分散型耐環境ナノ電子デバイスを、生体機能の研究成果を取り入れて機能的に統合し1チップ化することにより構成されると一応考えられる。しかし、従来にない新しい試みを行う場合、予期せぬ問題が生じ新しい技術が必要となることが普通であり、学生を含め若い研究者が新しいアイデアを生み出すよい訓練教育の場になるものと期待している。この新しいデバイスの開発を目的とするため、個別基礎技術の確立を図るとともに、関連する幅広い技術開発をも目指している。

『年報2004』はこの最終目的に向かう2年目の成果報告書であり、関連各位にご高覧いただき、種々ご助言賜れば幸いである。

研究成果報告

(2004年4月1日～2005年3月31日)

2004 年度 「高機能ナノマテリアルの開発研究」の概要

本研究の目的は、ナノメートルサイズのさまざまな新規ナノマテリアルあるいはナノ構造体を創製し、その特異な構造・物性に基づく新高機能の発現を達成することで、9名のメンバーの個々の研究を総合的に進展させることによって目的の達成を図っている。以下に「プロジェクトメンバー」とそれぞれの「研究テーマ」を示す。

丸山 有成（物質化学科）「炭素系新ナノ物質、有機伝導体素子」
守吉 佑介（物質化学科）「ダイヤモンドの液相焼結、BN ナノチューブ」
中村 暢男（物質化学科）「ナノサイズ制御による有機強磁性体構築」
浜中 廣見（物質化学科）「PIXE 法による雲母中の Al ナノ構造の解析」
西海 英雄（物質化学科）「ナノ構造光触媒の開発」
片山 寛武（物質化学科）「ナノ物質の分離・分析技術の開発」
緒方 啓典（物質化学科）「フラーレン・ナノチューブ新複合材料の開発」
西村 允（機械工学科）「MoS₂/ナノ炭素固体潤滑薄膜の開発」
高山 新司（システム制御工学科）「液晶ディスプレイ用薄膜半導体材料の開発」

主な研究成果の概要

（丸山グループ）

1. DNA/カーボンナノチューブ複合体の合成と STM/STS による評価

標記の課題について、前年度の成果をうけて、本年度はまず STM 像のより詳細な解析（section-profile line analysis）を行って、DNA がナノチューブに内包されていることをより確実に示した（図1、図2）。さらに、STS による電子状態密度スペクトルの位置依存性を、ナノチューブの入り口付近で詳細に測定することによっても、DNA@CNT を支持する結果を得た（図3、図4、図5）。

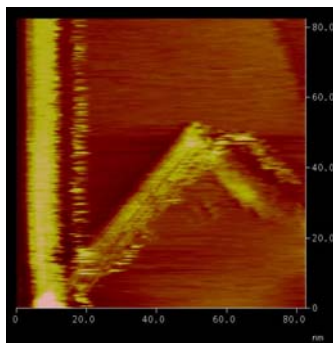


図 1

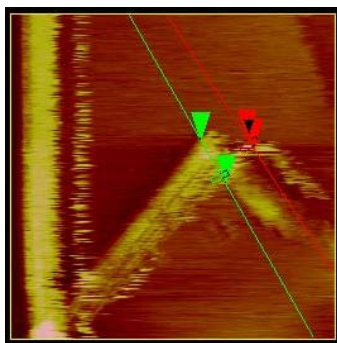


図 2

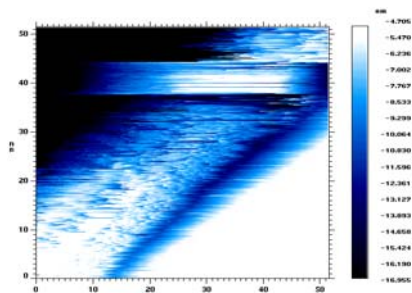
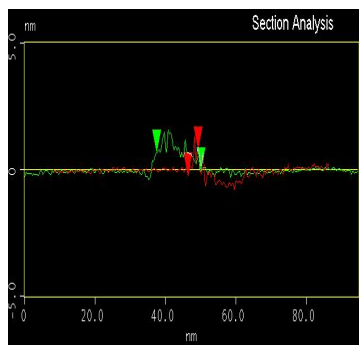


図 3

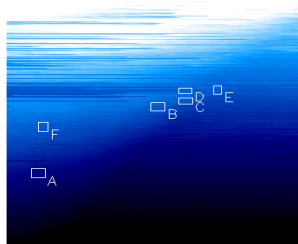
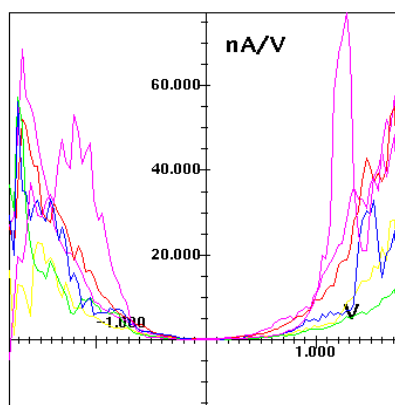


図 4



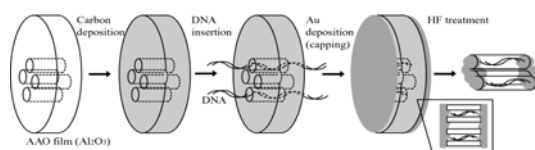
A B C D E F

図 5

2. DNA/カーボンナノチューブ複合体の新しい合成法（フィルター強制注入法）

標記新複合体合成の全く新しい方法として、ナノチューブをフィルターとして用い DNA 分散液を強制濾過して、チューブに DNA を内包させる方法を導入した。20~200nm の細孔をもつアルミニウム陽極酸化膜の細孔に、アルコール CCVD 法により CNT を成長させ、それをフィルターとして DNA 分散液を注射器中で押し出して注入させるものである(図 6 :イメージ、 図 7 :途中経過の SEM 像)。最後にチューブの上下の開口端を金を蒸着して塞ぎ、弗酸でアルミナを溶かしてチューブを取り出した。その TEM 像 (図 8)。DNA 像は認められなかったが、EDS を測定したところチューブ位にリン元素の存在が検出されたので (図 9)、DNA 内包を示唆する結果が得られたと考えられる。

図 6



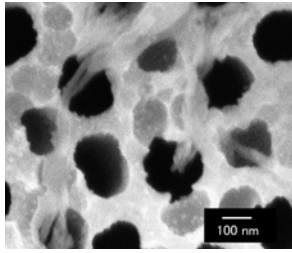


図 7

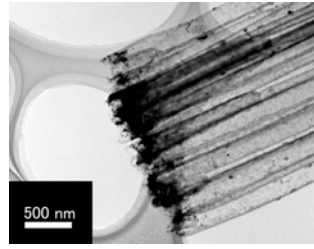


図 8

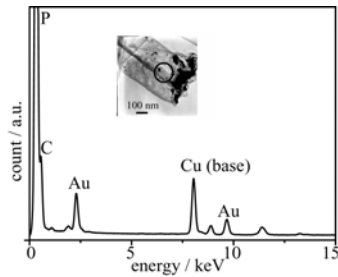


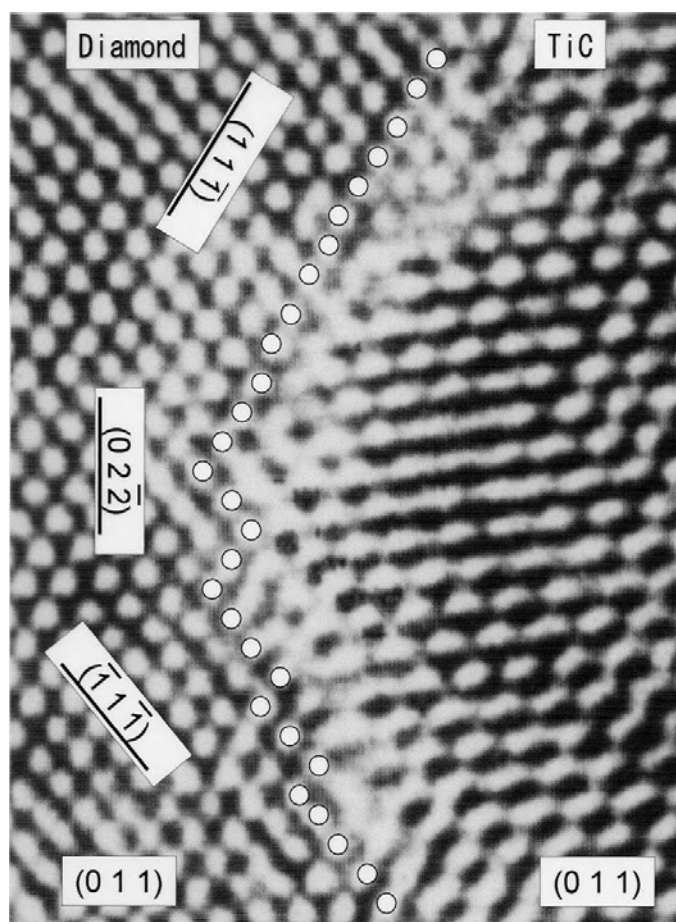
図 9

(守吉グループ)

前年度は、ナノメートルスケールで物性を制御することを目指して、対象物質としてダイヤモンド焼結体を取り上げて、ダイヤモンドにさまざまな金属を添加することによって、優れた機械的性質や特異な物性を引き出すことを試みた。ダイヤモンドーチタン・スズ・銅系の液相焼結を還元雰囲気中 760℃から 920℃の温度範囲で、5-30 分、液相焼結した。焼結体の粒界構造を中心に透過電子顕微鏡と分析電子顕微鏡で調べた。その結果、次のことが明らかになった。

- 1) チタンはダイヤモンドの金属の濡れ性に重要な役割を果たし、ダイヤモンドを濡らす。
- 2) 銅とスズは融剤として働く。
- 3) チタンとダイヤモンドは焼結過程で反応し、炭化チタンをダイヤモンド粒子の表面に生成する。
- 4) 炭化チタンはダイヤモンドとエピタキシャルな関係を保持しながら生成する。

本年度は、ダイヤモンドと炭化チタンの化学結合が、ダイヤモンドと炭化チタンのチタンと直接結合するのか、あるいはダイヤモンドと炭化チタンの炭素が結合するのか、を調べるために、粒界構造のシミュレーションを行った。その結果、前者が 0.22nm で後者が 0.15nm であることを明らかにした。得られたデータをダイヤモンドー炭化チタンの粒界の分解透過電子顕微鏡観察結果と比較した結果は、前者の 0.22nm と極めてよく一致することを示した。すなわち、ダイヤモンドと炭化チタンは、炭化チタンのチタンとダイヤモンドが結合していると結論した。



ダイヤモンドと炭化チタンの粒界の高分解透過電子顕微鏡写真。黒丸の部分は粒界で、ダイヤモンドと炭化チタンの $\{111\}$ 面が結合面である。

(中村グループ) 有機強磁性体の開発研究の一環として、分子間 π スタッキング相互作用に注目し、トリフェニレン誘導体・アントラセン誘導体・エチニルアントラセン誘導体およびこれらの遷移金属錯体を合成し、SQUID 磁束計やX線構造解析装置により得られた結果と理論的考察により解析・評価を行った。(1) トリフェニレントリスアミノキシル誘導体およびその遷移金属錯体では、Mn 錯体が強磁性的挙動を示すこと、錯体では二量体構造がさらに一次元的に連結された興味ある構造となることを明らかにした(図 1)。(2) アントラセンのニトロニルニトロキシド誘導体では、Mn 錯体や Ni 錯体とくに後者が著しい強磁性的挙動を示すこと、その原因が分子間距離の縮小にある可能性を明らかにした(図 2)。(3) エチニルアントラセン誘導体とその遷移金属錯体では常時性的挙動が主となることを明らかにし、三重結合がその原因である可能性を解明するために、新たな類似構

造化合物をデザインした。



図1 トリフェニレントリスアミノキシル誘導体の $\text{Mn}(\text{hfac})_2$ 錯体の結晶構造

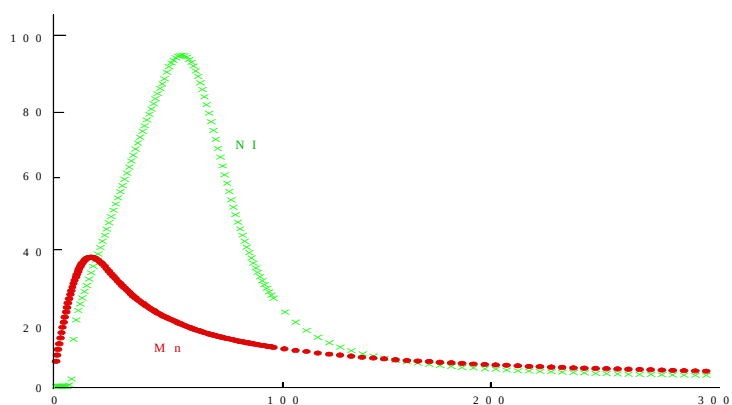


図2 アントラセンのニトロニルニトロキシド誘導体 (Mn および Ni 錯体) の χT プロット

(浜中グループ) チタン (Ti) ターゲット上 (直径 50mm) に SiO_2 (二酸化シリコン 10-15mm 角 3 枚) を載せ、スパッタすることにより作製した膜のフォトルミネッセンスの測定を行なった。電力 100W (13.56MHz) で 2×10^{-2} Torr の Ar 中で室温のガラス板上に 4 時間製膜し、その後 400℃ で 1 時間熱処理した。励起光に Ar イオンレーザー (488nm) を、検出器には光電子増倍管 (R2658) を用い、分光器の前 55nm シャープカットフィルタを置き、試料は冷却 (約 200℃) した。下図のようにスパッタしたもの PL のピーク波長は約 570nm であり、注入 Si 超微粒子の試料の 780nm より短波長側にピークがあることが分かった。これより、スパッタ膜では Ti が発光になんらかの寄与をしていると考えられる。

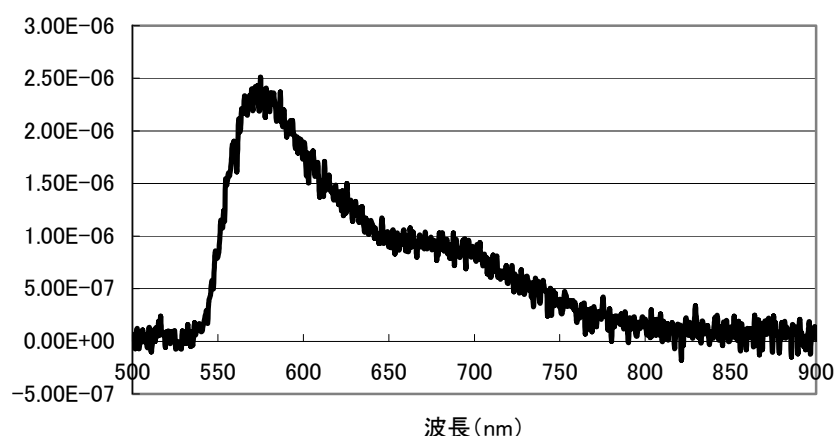


図 1 スパッタ膜のフォトルミネッセンス

(西海グループ) ナノ構造体を活用して環境問題の一つを解決することを目指して、有機溶剤の光分解触媒としてのフラーレンの有用性について検討した。本実験によると、フラーレン (C_{60} , C_{70}) 存在下では、フェノールが可視光によって分解されることが明らかとなった(下図)。これは、可視光によってフラーレンのスピント重項状態が効率よく生成され、それが三重項酸素と反応して一重項酸素を発生し、それがフェノールを分解すると考えられることがわかった。

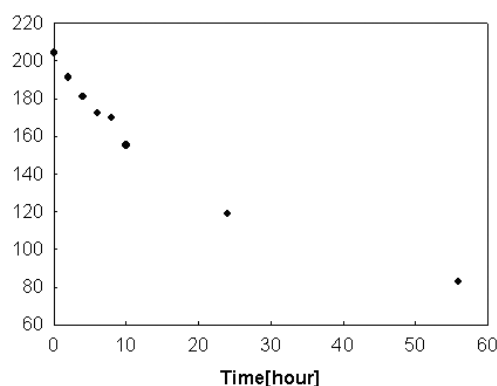


図 1

反応槽中のフェノール溶液濃度の時間変化

(片山グループ)

マイクロ精留塔を作成して、その精留性能を調べた。この精留塔は内径 3.4mm のガラス管に、外径 3mm X 内径 2mm のテフロン製の中空膜を挿入したものである。この中空膜は $1\mu m$ の孔のある多孔質の材料で、この膜の毛管作用により還流液の目詰まりをなくすことが出来る。

実験は、ヘキサンーシクロヘキサン系で、大気圧、全還流で行なった。そして蒸気流束 $G_M = 5 \sim 70 \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{h}$ で $H_{OG} = 0.1 \sim 0.2 \text{ m}$ の値を得た。以前の内径 15mm 濡壁塔の実験との比較から、今回製作した装置は内径 2mm の濡壁塔とみなしてよいことが分かった。現時点で世界最小の精留塔の試作に成功した。

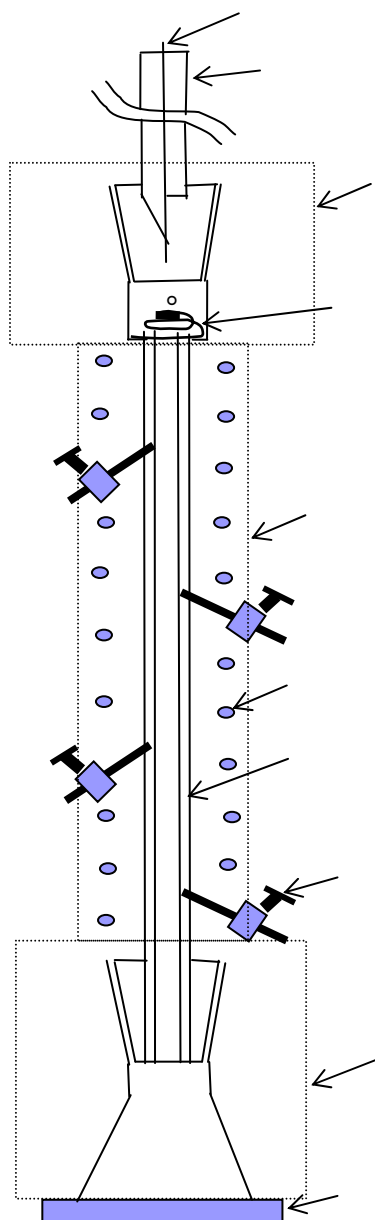


図 1 世界最小の精留塔

（緒方グループ） 新規ナノマテリアルの創製とその局所構造を NMR 法などを用いて解明することを目指している。単層カーボンナノチューブの強い一次元性を持ったナノ細孔を用いた新規物質開発として、数種類のイオン性結晶を内包した単層カーボンナノチューブの高収率合成に成功した。直径制御された単層カーボンナノチューブを合成することを目的として、細孔径の異なるメソポーラスシリカ（MCM 4 1）を触媒支持物質として用いてアルコール CCVD 法により単層カーボンナノチューブの合成に成功し、支持物質の細孔径と得られたチューブ直系との間に相関があることを見出した。また、種々の常磁性分子（ O_2 、 NO ）を単層カーボンナノチューブのナノ細孔中に配列させた場合の磁氣的相互作用を定量的に解明し、低次元ナノ磁性体の可能性を示した。 C_{60} 分子と同じ 60π 電子系を有する各種フレロイドを用いて数種類の新規電荷移動型フレロイド化

合物を合成し、その構造と電子状態を解明した。

ナノ分子素子の配線材料として現在注目を集めている C_{60} および C_{70} ナノウィスカーの結晶構造および結晶内における分子ダイナミクスをシンクロトロン軌道放射光を用いた X 線回折実験および固体 NMR 分光法を用いて解明した。

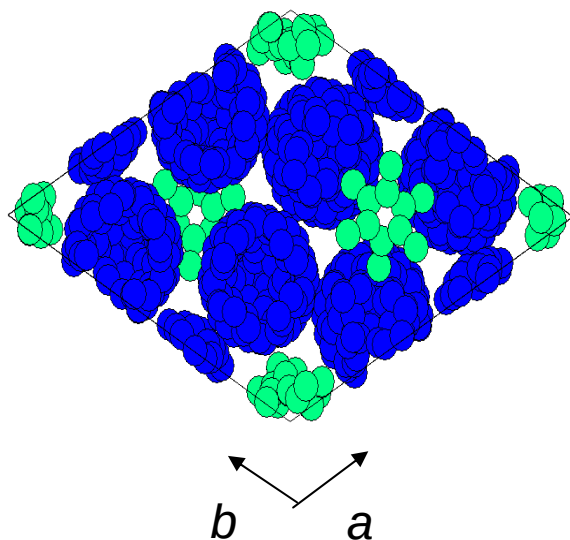
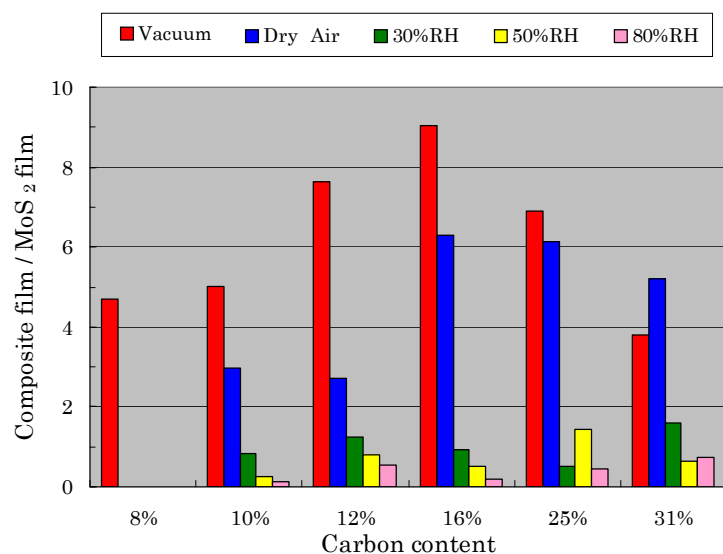


図1 C_{60} ナノウィスカーの結晶構造

(西村グループ) 極限環境下で低摩擦、長寿命の固体潤滑膜を創成することを目指している。宇宙空間で最も多く使用される固体潤滑剤 MoS_2 は、湿度雰囲気中では摩擦の上昇があるため、新たな潤滑剤が求められている。そこで本研究では、湿度雰囲気中に強く、構造的特性から潤滑剤として注目されているグラファイトを MoS_2 に混入することにより、真空中のトライボ特性を維持しつつ湿度雰囲気中の特性を改善することを目的としている。

固体潤滑膜は、複合ターゲットスパッタリング法により製膜した。繰り返し摩擦で評価した真空、乾燥、湿度雰囲気 (30, 50, 80%RH) 中における、 MoS_2 単体膜に対する複合膜の寿命比とグラファイト含有率の関係を下図に示す。寿命はグラファイト添加により大幅に向上し、グラファイト含有率16%において真空中で9倍、乾燥雰囲気中で6倍となった。しかしながら、湿度雰囲気中でのトライボ特性改善は認められなかった。



MoS₂ 単体膜に対する複合膜の寿命比とグラファイト含有率の関係

(高山グループ) ナノテクノロジーの応用に向けて、液晶ディスプレイ用薄膜半導体材料の開発を目指している。低抵抗・低内部応力透明導電膜の開発として、酸素中で熱処理することによって低抵抗 ($5 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$)・低内部応力 (内部応力ゼロ) ITO 膜をつくることに成功した (下図 1)。また、ITO 膜に代わる透明導電膜として ZnO 系の研究開発を行い、Al 及び Ti 添加により比抵抗が $5 \sim 9 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ の低内部応力透明導電膜を開発した(図 2)。さらに抵抗・高熱安定性電極配線膜の開発に向けて、膜断面での内部応力分布およびその温度変化を初めて測定することに成功した。

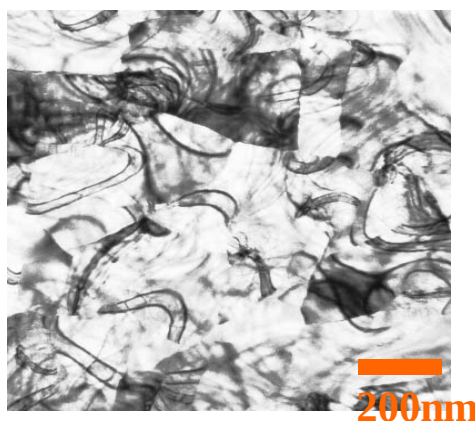


図 1 300℃酸素中熱処理後 ITO 膜の組織

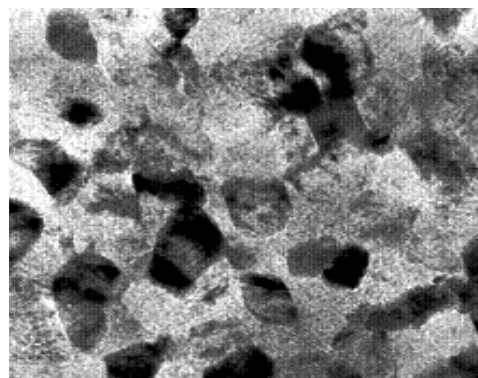


図 2 300℃酸素中熱処理後 Ti-ZnO 膜の組織

図 3 に Cu 膜の膜断面での応力分布を示す。

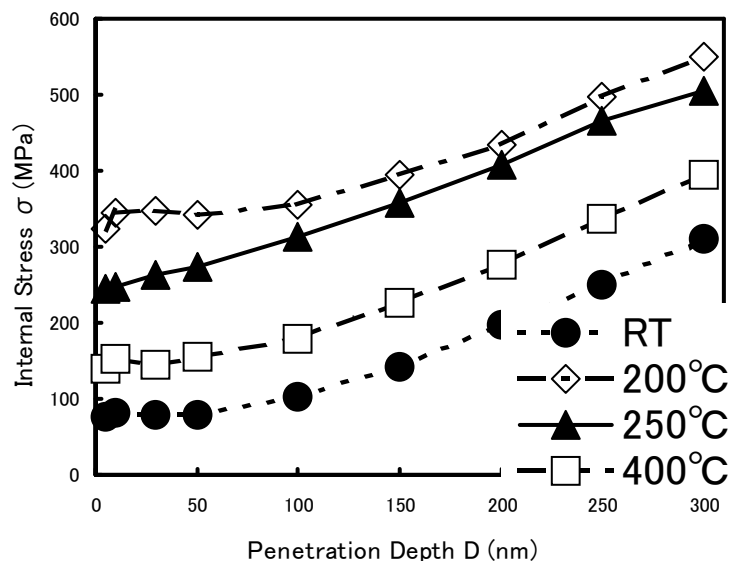


図 3. Cu 膜(111)面での膜厚さ方向の内部応力分布とその温度依存性

次に、Ag 合金系及び Cu 合金系でも低抵抗、高熱安定性の配線材料の研究開発を行いその成果を、日本金属学会（春季大会）及び応用物理学会（春季大会）講演会に発表した。

西村 允

<学会発表>

- 1) 井上亮、西村允、”複合センサーによる固体潤滑膜の健全性評価”
トライボロジー会議鳥取2004予稿集p. 549-550、日本トライボロジー学会 (2004年11月)
- 2) 久恒克人、西村允、”紫外線照射による固体潤滑膜のトライボ特性変化”
トライボロジー会議鳥取2004予稿集p. 535-536、日本トライボロジー学会 (2004年11月)
- 3) 相良和仁、西村允、”フッ化炭素混入ガスで製膜した二硫化モリブデンスパッタ膜のトライボロジー特性” トライボロジー会議鳥取2004予稿集p. 557-558、日本トライボロジー学会 (2004年11月)
- 4) Kazuhito Sagara & Makoto Nishimura, "Tribological Properties of MoS₂ Sputtered films Improved by Argon and Fluorocarbon Mixture", Extended Abstracts of the 1st International Conference on Advanced Tribology" p. B-27, Singapore (2004年12月)

片山 寛武

<学会発表>

学会発表

- 1) 片山寛武、広畑美雪、"シクロヘキサンーベンゼン-N - メチルホルムアミドの液液平衡の測定とその応用"、化学工学会第 17 年会、2005 年 3 月、名古屋大学にて
- 2) 片山寛武、渡邊純、"マイクロ蒸留塔の製作とその分離性能"、分離技術会 2005 年会、2005 年 6 月、大阪市立大学にて

西海 英雄

<著書>

- 1) 化学工学会, 化学工学物性定数, Vol. 25, 化学工業社(2004) [共著]

<学会発表>

- 1) H. Nishiumi, T. Hirashima, Reaction Rate of CFC12 Photo-Dechlorination to Fluoroether under UV Irradiation, 10th APCChE2004, Kitakyushu, Japan, Oct. 17-21 (2004)
- 2) H. Nishiumi, C. Sato, F. Amano, M. Narita, Water Treatment Application of C60-C70 Fullerene as Visible Light Sensitizer, 10th APCChE2004, Kitakyushu, Japan, Oct. 17-21 (2004)
- 3) H. Nishiumi, T. Saigusa, F. Amano, Effects of NaOH on Solubility of CFC12 and HCFC22 in Methanol, 10th APCChE2004, Kitakyushu, Japan, Oct. 17-21 (2004)
- 4) 天野文貴、西海英雄、“フロン-メタノール系気液平衡に及ぼす NaOH の影響”、分離技術会年会 2004、東京(2004 年 6 月)

守吉 祐介

<雑誌論文>

- 1) S. Komatsu, K. Kurashima, Y. Shimizu, Y. Moriyoshi, M. Shiratani, and K. Okada, Condensation of sp^3 -Bonded Boron Nitride through a Highly Nonequilibrium Fluid State, Phys. Chem. B, **108**, No. 1, 205-211(2004).
- 2) 田中秀樹, 栗原雅人, 丸山哲, 大澤達也, 守吉祐介, 石垣隆正、熱プラズマ法と機械的粉碎法により処理した MCMB 粉末のリチウムイオン二次電池用負極材料特性、粉体および粉末冶金、**51**(2)、71-80(2004).
- 3) S. Komatsu, A. Okudo, D. Kazami, D. Golberg, Y. Moriyoshi, M. Shiratani, and K. Electron Field Emission from Self-Organized Micro-Emitters of sp^3 -Bonded 5H Boron Nitride with Very High Current Density at Low Electric Field, J. Phys. Chem, **108**(17), 5182-5184(2004).
- 4) H. Tanaka, T. Osawa, Y. Moriyoshi, M. Kurihara, S. Maruyama, and T. Ishigaki, Improvement of the anode performance of graphite particles through surface modification in RF thermal plasma, Thin Solid Films, **457**, 209-216(2004).
- 5) Jiayan Xu, Hideki Tanaka, Masato Kurihara, Satoshi Maruyama, Yusuke Moriyoshi, and Takamasa Ishigaki, Influence of active surface on electrochemical properties of mesocarbon microbeads powders, J. Power Sources, **133**, 260-262(2004).
- 6) Yujiro WATANABE, Yusuke Moriyoshi, Yasushi Suetsugu, Toshiyuki Ikoma, Takeshi Kasama, Tadashi Hashimoto, Hirohisa YAMADA, and Junzo TANAKA, Hydrothermal Formation of Hydroxyapatite Layers on the Surface of Type-A Zeolite, J. Am. Ceram. Soc., **87**, 1305-1307(2004).
- 7) 佐藤仁俊、石垣隆正、神谷秀博、守吉祐介、ZrC-Al₂O₃ 複合セラミックスの常圧焼結挙動、粉体および粉末冶金、**51**、741-748(2004).
- 8) Hideki Monma, Yusuke Moriyoshi, Kazuhiro Miyamoto, Satoshi Takahashi, and Toshinori Okura, Characterization of Stalacclite, Hanging from Old Concrete Bridge, Trans. Mater. Research Soc. Japan, **29**, 2285-2288(2004).
- 9) H. Tanaka, J.Y. Xu, M. Kurihara, S. Maruyama, N. Ohashi, Y. Moriyoshi, and T. Ishigaki, Anomalous

improvement of the electrochemical properties of mesocarbon microbeads by Ar-H₂-SF₆ thermal plasma treatment, Carbon, **42**, 3229 - 3235 (2004)

- 10) J. Y. Xu, H. Tanaka, M. Kurihara, S. Maruyama, N. Ohashi, Y. Moriyoshi, and T. Ishigaki, Influence of Ar-H₂-SF₆ plasma on the surface structure and electrochemical properties of mesocarbon microbeads, Solid State Ionics, **172**, 231-233 (2004).
- 11) Y. Sakka, T. S. Suzuki, T. Matsumoto, K. Morita, K. Hiraga, and Y. Moriyoshi, Effect of titania and magnesia addition to 3 mol% yttria doped tetragonal zirconia on some diffusion related phenomena, Solid State Ionics, **172**, 499-503 (2004).
- 12) Y. Sakka, A. Honda, T. S. Suzuki, and Y. Moriyoshi, Fabrication of oriented α -alumina from porous bodies by slip casting in a high magnetic fields, Solid State Ionics, **172**, 341-347 (2004).
- 13) H. Tanaka, Y. Moriyoshi, M. Kurihara, S. Maruyama, and T. Ishigaki, Influence of Water Adsorption on Electrochemical Performance of Plasma Modified MCMC Powders, Trans. Mater. Res. Soc. Japan, **29**[8], 3395-3398 (2004).
- 14) Yujiro WATANABE, Hirohisa YAMADA, Junzo TANAKA, Yu KOMATSU, and Yusuke MORIYOSHI, AMMONIUM ION EXCHANGE OF SYNTHETIC ZEOLITES: THE EFFECT OF THEIR OPEN-WINDOW SIZES, PORE STRUCTURES AND CATION EXCHANGE CAPACITIES, Separation Science and Technology. **39**, 2091-2104 (2004).
- 15) Yujiro Watanabe, Toshiyuki Ikoma, Hirohisa Yamada, Kennji Tamura, Yu Komatsu, Junzo Tanaka, and Yusuke Moriyoshi, Synthesis of Nano-apatite Crystals on the Surface of Phillipsite, Phosphorous Research Bulletin, **17**, 174-179 (2004).

<著 書>

- 1) 掛川一幸、山村博、守吉佑介、門間英毅、植松敬三、松田元秀共著、“機能性セラミックス化学”、朝倉書店 (2004)。

<学会発表>

- 1) 横山譲、池上隆康、鈴木真、守吉佑介、微量添加物による Nd の YAG に対する固溶量の増加、第 42 回セラミックス基礎科学討論会、1 月 23 日、長岡 (2004)。
- 2) H. Yamada, Y. Watanabe, T. Hashimoto, K. Tamura, T. Ikoma, J. Tanaka and Y. Moriyoshi, Synthesis and characterization of LDH-coated zeolite-LTA, Oct.、Eindhoven, Netherlands (2004)。
- 3) T. Ishigaki, Ji-Guang Li, H. Kamiyama, Seung-Min OH, and Yusuke Moriyoshi, Synthesis of N-doped TiO₂ Nano-Particles through Thermal Plasma Processing, Oct.、Eindhoven, Netherlands (2004)。
- 4) Y. Watanabe, T. Ikoma, Y. Suetsugu, H. Yamada, J. Tanaka, and Y. Moriyoshi, Type-A zeolites with hydroxyapatite surface layer utilizing ion exchange reaction: Adsorption of harmful ions, Oct.、Eindhoven, Netherlands (2004)。
- 5) Y. Watanabe, T. Ikoma, Y. Suetsugu, H. Yamada, J. Tanaka, and Y. Moriyoshi, The densification of zeolite/apatites composites using Pulse Electric Current Sintering method:

A long-term assurance material for the disposal of radioactive waste, Oct.、Eindhoven, Netherlands (2004).

- 6) Yusuke Moriyoshi, Daisuke Kazami, Takamsa Ishigaki, Takayasu Ikegami, and Tadashi Ikemaoto, TEM observation of AG refractory, Oct.、Eindhoven, Netherlands (2004).
- 7) 小松正二郎、奥戸昭雄、風見大介、守吉佑介、岡田勝行、スレーザープラズマ複合化 CVD による sp^3 結合性 5H-BN 電界電子エミッター薄膜合成と評価、応用物理学会、(2004).
- 8) 小松正二郎、倉島啓次、守吉佑介、岡田勝行、紫外パルスレーザー変調プラズマ同期プロセスによる sp^3 結合性 5H-BN の合成と新機能、応用物理学会、(2004).
- 9) 小松正二郎、奥戸昭雄、風見大介、守吉佑介、岡田勝行、スレーザー変調プラズマ同期 CVD による sp^3 結合性 5H-BN の形態形成、応用物理学会、(2004).
- 10) 目義雄、本多敦、打越哲郎、鈴木達、守吉佑介、配向性アルミナの作成と特性、日本セラミックス協会、第 17 回秋季シンポジウム、9 月 18 日、北陸先端大学、(2004).
- 11) 栗原雅人、守吉佑介、石垣隆正、日本セラミックス協会、高周波熱プラズマ処理した炭素粉末の電気化学特性への表面改質の効果、第 17 回秋季シンポジウム、9 月 18 日、北陸先端大学、(2004).
- 12) 神山弘志、田中秀樹、守吉佑介、石垣隆正、熱プラズマ法による酸化チタンナノ粒子への窒素ドーピング、日本セラミックス協会、第 17 回秋季シンポジウム、9 月 18 日、北陸先端大学、(2004).
- 13) 井上武志、越智篤、一ノ瀬昇、守吉佑介、羽田肇、高結合圧電材料と高安定絶縁層から構成された圧電トランスの基礎検討、日本セラミックス協会、第 17 回秋季シンポジウム、9 月 18 日、北陸先端大学、(2004).
- 14) 石垣隆正、田中秀樹、神山弘志、守吉佑介、熱プラズマ法による球状ニッケル粒子上に成長した網目状カーボンナノファイバー、日本セラミックス協会、第 17 回秋季シンポジウム、9 月 18 日、北陸先端大学、(2004).
- 15) 渡辺雄二郎、生駒俊之、末次寧、山田裕久、田中順三、守吉佑介、イオン交換プロセスを用いた各種ゼオライトのアパタイトコーティング、第 20 回日本イオン交換学会、2004 年 9 月 24 日 (金) ~25 日 (土) 山梨大学。
- 16) 渡辺雄二郎、生駒俊之、末次寧、山田裕久、田中順三、守吉佑介、放射性ヨウ素固定化に関する研究～ヨウ素含有ゼオライト A のアパタイトコーティング効果～、第 109 回無機マテリアル学会、2004 年 11 月 11 日 (金) ~12 日 (土) 東北大学。
- 17) 大澤倫子、渡辺雄二郎、風見大介、守吉佑介、門間英毅、山田裕久、田中順三、複酸化物とリン酸塩の反応によるアパタイトの合成、第 109 回無機マテリアル学会、2004 年 11 月 11 日 (金) ~12 日 (土) 東北大学。
- 18) 渡辺雄二郎、生駒俊之、末次寧、山田裕久、田中順三、守吉佑介、パルス通電加圧焼結法による水酸アパタイト透明配向焼結体の作製とその性能評価、日本バイオマテリアル学会シンポジウム 2004 年、11 月 15 日 (火) ~16 日 (水) つくば

中村 暢男

<学会発表>

- 1) 須藤啓介・小林健佑・中村暢男・今井宏之・秋田素子・井上克也、

ニトロニルニトロキッドを有するアントラセン類とその遷移金属錯体の合成と磁気特性, 第 17 回基礎有機化学連合討論会 (仙台) 2004 年 9 月.

- 2) 河合克仁・中村暢男・今井宏之・秋田素子・井上克也,
5-ピリミジル基を有する配位子とその遷移金属錯体の合成および磁気特性,
第 17 回基礎有機化学連合討論会 (仙台) 2004 年 9 月.
- 3) 藤谷徳昌・河合克仁・坂口崇洋・中谷 隆・中村暢男・今井宏之・秋田素子・井上克也,
エチニルアントラセンを有するビスアミノキシルラジカルとその遷移金属錯体の合成と磁気特性, 第 17 回基礎有機化学連合討論会 (仙台) 2004 年 9 月.
- 4) 市村義貴・山口智子・松山 幹・中村暢男・今井宏之・秋田素子・井上克也,
トリフェニレン骨格を有するトリアミノキシルラジカルとその金属錯体の合成および磁気特性, 第 17 回基礎有機化学連合討論会 (仙台) 2004 年 9 月.

丸山 有成

<学会発表>

- 1) Y. Maruyama, M. Iijima, T. Kato, S. Nanishi, H. Watanabe, "Electron density of states spectra at the base sites in DNA alternating copolymers : STM/STS study", The International Conference on the science and technology of Synthetic Metals (ICSM 04), Wollongong, Australia, 28 June to 2 July 2004.
- 2) Y. Maruyama, K. Kimura, M. Iijima, K. Suzuki, S. Bandow, T. Yamaguchi, S. Iijima, A. Koshio, T. Okazaki, H. Shinohara, " DNA, Fullerene/CNT hybrid materials studied by STM/STS", The 8th Japan-China Joint Symposium on Conduction and Photoconduction in Organic Solids and related Phenomena, Okazaki, Japan, November 11-14, 2004.
- 3) 鈴木伸弘、蔦田浩之、大塔一平、丸山有成、鈴木敏泰、鈴木研二、“C₆₀BF₄ 固体の導電性”、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 年 1 月)。
- 4) 飯島 恵、渡部俊昭、小塩 明、坂東俊治、山口貴司、飯島澄男、鈴木研二、丸山有成、“二重ラセン DNA @MWNT の作製と評価”、第 27 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、東京 (2004 年 7 月)。
- 5) 鈴木研二、丸山有成、“DNA-カーボンナノチューブ複合体の STM による研究”、第 27 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、東京 (2004 年 7 月)。
- 6) 西澤 紘、森 裕幸、田中 徹、鈴木研二、鈴木信三、丸山有成、“CCVD 法により合成された SWNTs の直径制御の試み”、第 27 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、東京 (2004 年 7 月)。
- 7) 田中雅之、宮崎尚久、酒井なつき、丸山有成、“Ce_xC₆₀ 結晶の導電性をプローブとした反応条件の最適化”、第 28 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、名古屋 (2005 年 1 月)。
- 8) 飯島 恵、渡部俊昭、石井 瞬、小塩 明、坂東俊治、山口貴司、飯島澄男、鈴木研二、丸山有成、“DNA とカーボンナノチューブの複合材料の作製と評価”、第 28 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、名古屋 (2005 年 1 月)。
- 9) 森 裕幸、西澤 紘、田中 徹、鈴木研二、丸山有成、“触媒担持体の細孔径制御による SWNT の直径制御”、第 28 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、名古屋 (2005 年 1 月)。
- 10) 鈴木研二、西澤 紘、丸山有成、“DNA-CNT 複合体の合成”、第 28 回フラーレン・ナノチューブ総合シン

ポジウム、名古屋（2005 年 1 月）。

緒方 啓典

<学会発表>

- 1) 緒方啓典, 向谷地雅人, 木野仁志, 斎藤弥八, “単層カーボンナノチューブに吸着した NO 分子の磁氣的性質”, 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 年 1 月)
- 2) 向谷地雅人, 木野仁志, 緒方啓典, 斎藤弥八, “単層カーボンナノチューブに吸着した酸素分子の磁氣的性質”, 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 年 1 月)
- 3) 土田諭, 磯野直也, 山本和寛, 緒方啓典, “ハロゲンをドーピングしたフレロイド固体の構造と物性”, 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 年 1 月)
- 4) 山本和寛, 磯野直也, 土田諭, 緒方啓典, “新規フレロイド化合物の構造と磁氣的性質 (2)”, 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 年 1 月)
- 5) 磯野直也, 山本和寛, 土田諭, 緒方啓典, “新規フレロイド化合物の構造と磁氣的性質(II)”, 日本物理学会第 59 回年次大会, 福岡 (2004 年 3 月)。
- 6) 緒方啓典, 向谷地雅人, 木野仁志, 斎藤弥八, “単層カーボンナノチューブの磁性分子吸着特性(II)”, 日本物理学会第 59 回年次大会, 福岡 (2004 年 3 月)。
- 7) 亀村博子, 緒方啓典, “白金族触媒を用いたアルコール CCVD 法によるカーボンナノチューブの合成”, 第 27 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 東京 (2004 年 7 月)。
- 8) 土田諭, 緒方啓典 “フラーレンナノウィスカーの構造”, 第 27 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 東京 (2004 年 7 月)。
- 9) 土田諭, 緒方啓典, “フラーレン・ナノウィスカーの構造”, 日本物理学会 2004 年秋季大会, 青森 (2004 年 9 月)。
- 10) 亀村博子, 向谷地雅人, 緒方啓典, 斎藤弥八, “単層カーボンナノチューブの磁性分子吸着特性(III)”, 日本物理学会 2004 年秋季大会, 青森 (2004 年 9 月)。
- 11) 緒方啓典, 向谷地雅人, 斎藤弥八, “分子内包単層カーボンナノチューブの NMR(IV)”, 日本物理学会 2004 年秋季大会, 青森 (2004 年 9 月)。
- 12) 土田諭, 本橋覚, 緒方啓典, “フラーレン-ナノウィスカーの構造 (II)”, 第 28 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 名古屋 (2005 年 1 月)。
- 13) 本橋覚, 土田諭, 緒方啓典, “フラーレンナノウィスカーの構造(II)”, 日本物理学会第 60 回年次大会, 千葉 (2005 年 3 月)。
- 14) 土田諭, 本橋覚, 緒方啓典, “フラーレンナノウィスカーの NMR”, 日本物理学会第 60 回年次大会, 千葉 (2005 年 3 月)。
- 15) H.Ogata, M.Mukaiyachi, H.Kamemura, H.Kino, Y.Saito, “Magnetic Properties of O₂ or NO Assembly Confined in SWNT Bundles”, 2005 MRS Spring Meeting, San Francisco, CA, USA, March 28-April 1, (2005).

高山 新司

＜雑誌論文＞

- 1)Shini Takayama, Makoto Oikawa, and Tokuji Himuro,” Thermal Stability and Internal Stress for Strongly (111) oriented Cu Films”, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 795 (2004) pp. 235-240
- 2)Shinji Takayama and Makoto Oikawa, “The effects of thickness and underlayer on both grain growth and internal stresses in Cu thin films”, International Conf. on New Frontiers of Process Science and Engineering in Advanced Materials (PSEA’04), Kyoto, Nov., 24-26, 2004 (accepted).
- 3)Himuro Tokuji and Shinji Takayama, “Temperature Dependence of Stress Distribution in Depth for Cu Thin Films”, Mat. Res. Soc. Symp. U, Boston, Nov. 29 – Dec. 3, 2004 (accepted).

＜著書＞

- 1) THIN FILM TRANSISTORS Materials and Processes、Volume 1、
Chapter 8 ; Amorphous Silicon Thin Film Transistors edited by Yue Kuo
KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS、(2004) 4 月 Boston/Dordrecht/New York/London

2004年度 成果報告概要

2003年度の研究環境の整備，すなわち，試作用微細加工環境（マイクロ放電加工機，マイクロプラスト加工機，マイクロ光造形機）および加工結果の計測と評価環境（レーザー顕微鏡システム）の整備を受け，2004年度は，マイクロメカトロデバイスの開発には欠かすことのできない，マイクロ領域における様々な駆動原理について検討した。その結果，流体パワーの伝達システムが持つ大きなパワー密度と機械的摺動部を持たない閉鎖空間の圧力（応力）変化に伴う変形という簡易な構造原理により，流体パワーの利用が極めて有望なメカトロデバイスを構成するアクチュエータ原理の一つであることを，理論的な検討および予備的な確認実験により明らかにした。

次に，この検討結果を踏まえ，積層一体化構造のマイクロメカトロデバイスの構想（図1）を立案し，各種モジュール（アクチュエータ，バルブ，ポンプ，信号処理とセンサ）の役割と試作方法について検討した。さらにマイクロメカトロデバイスの試行プロジェクトとして，種々のマイクロ機械要素の試作（マイクロ流路，マイクロバルブ，マイクロタービンなど）を行い，導入整備された微細加工機の性能や特性，適合する素材，加工法の長所と短所を明らかにした。

またマイクロバイオケミカルプラントのための高性能マイクロメカトロデバイスの開発を視野に，電界共役流体（ECF）と呼ばれる機能性流体の性質を用いて，マイクロサイズのポンプおよびフルイディクス形マイクロバルブ，ベローズ形およびブルドン管形マイクロアクチュエータを三次元アレイ状に配置してモジュール化したマイクロメカトロデバイスにおける各種モジュールの詳細な構造をデザインした。またポンプやバルブ，アクチュエータを階層構造に組み込んだマイクロメカトロシステムの統合化の問題点の抽出や設計手法の確立をめざした。

アクチュエータモジュールとして，閉鎖空間の内部圧力変化に伴う材料変形を利用したブルドン管形アクチュエータを試作し，動作特性を検討した。

アクチュエータの試作にあたっては，従来の機械加工法とは異なる，微小化に有利な一体構造で製作できるマイクロ光造形法を利用し，この製作手法がマイクロアクチュエータの試作に有効であることを示した。図2はマイクロ光造形装置で一体成形した肉厚0.5mm，アクチュエータ直径10mmのブルドン管形アクチュエータの静特性である。アクチュエータの特性は光造形による成形時の積層方向に大きく影響されることが明らかとなった。この他に，ダイヤフラム形アクチュエータやベローズ形アクチュエータについても検討を

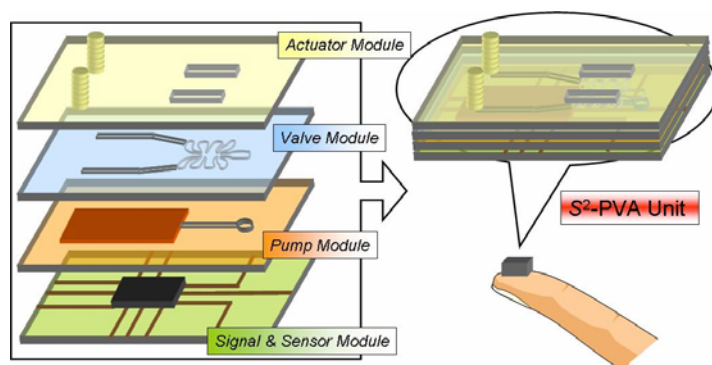


図1 マイクロメカトロデバイスの構想図

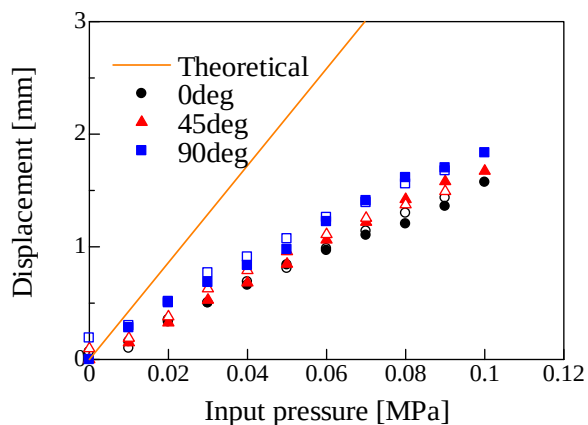


図2 ブルドン管形アクチュエータの特性

行っている。

流れの方向を切り替えるバルブモジュールとして、機械的な可動部を持たない図3に示すマイクロフルイデックス（層流比例素子）構造について検討し、ポート形状や小形化にともなう特性を実験的に検討した。主流ポート幅 $190\mu\text{m}$ の試作モデルについて、制御ポート圧力に対する負荷ポート圧力のゲイン特性が、小形化するにあたって非常に有利であることを実験的に確認した。

作動流体に電界共役流体（ECF）を用いて、内径 2mm の微小管路内に電極を複数本、多段に配置した、管路と一体構造の多段式 ECF ポンプを試作し、その動作特性を検討した。図4に印加電圧と出力圧力の静特性実験結果を示す。作動原理は従来の容積形ポンプと大きく異なるが、電極の構造や配置などが最適ではないため、マイクロメカトロデバイスのポンプモジュールに利用できるだけの所望の特性を得られていない。

以上のように、ポンプモジュールについては所望の特性が得られていないが、2004年度は当初の計画目標の概ね 80% の内容を達成した。

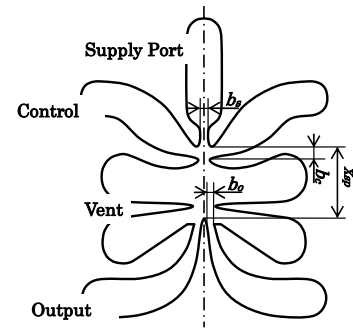


図3 フルイデックスバルブ

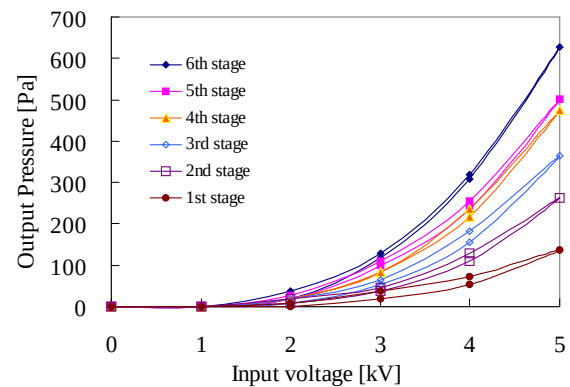


図4 多段式 ECF ポンプの特性

文献一覧

田中 豊

<雑誌論文>

- 1) 田中豊, ” 時間と空間の制約からの解放をめざして—法政大学の国際遠隔講義への取り組み—”, 大学教育と情報 (JUICE Journal), Vol.13, No.2, 2004/5, pp.17-19
- 2) Yutaka TANAKA, H. HAGIWARA, H. BEPPU, T. MIZUNO, ” Tele-Operated Hydraulic Excavator with Immersive Virtual Environment”, Proceedings of the 8th International Conference on Mechatronics Technology, 2004/12, pp.233-237
- 3) Ryushi SUZUKI, Yutaka TANAKA, ” Bubble Elimination in Hydraulic Fluids: Part I – Basic Principle and Technology Overview - “, Proc. IFPE 2005 Technical Conference, NCFP105-17.2, 2005/3, pp.679-688
- 4) R. J. Bishop Jr. R. Suzuki, Y. Tanaka, and G.E. Totten, ” Applications and Operation of the Novel Bubble Eliminator Device for Deaeration of Hydraulic and Turbine Oils”, Proc. IFPE 2005 Technical Conference, NCFP105-17.3, 2005/3, pp.689-696
- 5) Yutaka TANAKA, Yuuki ISHIDA, Seiya ISHIKURA, and Ryushi SUZUKI, ” Bubble Elimination in Hydraulic Fluids: Part II – A New Technology for Downsizing of Reservoirs - “, Proc. IFPE 2005 Technical Conference, NCFP105-17.4, 2005/3, pp.697-706

<学会発表>

- 1) 田中 豊, 岡田, ” 空気圧を用いた昇降運動感覚提示システム”, 日本フルードパワーシステム学会春季フルードパワーシステム講演会, 東京, 2004/5
- 2) 田中豊, 澤田, 伊藤, ” アミューズメントロボットのための動物的动作の提案と検証”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 名古屋, 2004/6
- 3) 田中 豊, ” ワークショップ「触・力覚のセンシングと提示技術」・力触覚提示装置”, 日本機械学会2004 年度年次大会, 札幌, 2004/8
- 4) 田中 豊, 石田, 鈴木, ” 気泡除去装置による油圧タンクの小型化（熱収支モデルによる検討）”, 日本機械学会山梨講演会, 甲府（山梨）, 2004/10
- 5) 田中 豊, 石田, 鈴木, ” 気泡除去装置内の流れ解析（気泡除去率による性能評価）”, 日本フルードパワーシステム学会秋季フルードパワーシステム講演会, 高知, 2004/11
- 6) 佐藤, 田中 豊, 三枝, 五嶋, 一柳, ” パイプ形状の画像計測と3次元曲げ加工機への応用”, 日本フルードパワーシステム学会秋季フルードパワーシステム講演会, 高知, 2004/11
- 7) Yutaka TANAKA, ” Plenary Speech “Advanced Mechatronics and System Design based on Fluid Power Technology”, 3rd National Conference of Fluid Transmission and Control in Gangzhou, China, 2004/11
- 8) Yutaka TANAKA, ” Special Talk “Advanced Mechatronics and System Design based on Fluid Power”, The State Key Lab. of Fluid Power Transmission & Control in Hangzhou University, China, 2004/11

御法川 学

<雑誌論文>

- 1) 入門寛, 御法川学, 長松昭男, 鈴木昭次, 伊藤孝宏, ” ターボ機械の音質評価に関する研究 (第 1 報)”, ターボ機械, 2005 年 2 月号, 2005/2

<図書>

- 1) 御法川学 (分担執筆), ” 機械音響工学”, コロナ社, 2004/3 全210頁中42頁

<学会発表>

- 1) Shimpei Mizuki, Gaku Minorikawa, Hoshio Tsujita, Toshiyuki Hirano, Eisuke Ohta and Yutaka Ohta, ” Design and Prototyping of Micro Centrifugal Compressor for Ultra Micro Gas Turbine”, CAME-GT Second International Conference on Industrial Gas Turbine Technologies, 上海 (中国), 2004/4
- 2) 御法川学, 水木新平, 平野利幸, 山口直樹, 小野友嗣, ” 超小型遠心圧縮機の要素試作に関する研究”, 日本機械学会第9回動力・エネルギー技術シンポジウム, 東京, 2004/6
- 3) Gaku Minorikawa, Hiroshi Nakaniwa and Yoshiyuki Maruta, ” Study on Sound from Stream of Water Passing through Channel with Step and its Sound Quality”, INTERNOISE2004, Prague (Czech Republic), 2004/8
- 4) 御法川学, 入門寛, 鈴木昭次, 長松昭男, 伊藤孝宏, ” 送風機騒音の音質評価に関する研究”, 日本騒音制御工学会平成16年度研究発表講演会, 甲府 (山梨), 2004/9
- 5) 御法川学, ” 流体機械の快適音化に関する試み”, 東京工業大学精密工学研究所静粛工学セミナー, 横浜 (神奈川), 2004/10

岩月 正見

<雑誌論文>

- 1) 岩月正見, 竹内則雄, 小林尚登, 八名和夫, 武田洋, 徳安彰, 柳沼寿, 清原孟, ” 法政大学における遠隔講義への技術的取り組み”, 日本e-Learning学会会誌, Vol.6, 2004/6, pp. 37-41
- 2) 米川 輝, 立花 綱治, 相田 達也, 若原 裕範, 岩月正見, ” 通常教室におけるデジタルコンテンツ自動作成システムの試作”, メディア教育研究, Vol.1, No.2, 2005/3, pp. 83-90

<学会発表>

- 1) 岩月正見, 米川輝, 「WWWに基づく工学教育用遠隔教育システムの開発と評価」全国大学情報教育方法研究発表会 2004/7
- 2) 吉澤大輔, 平野秀樹, 米川輝, 橋本政宏, 岩月正見 「工学教育用遠隔実験システムの開発と評価」電子情報通信学会教育工学研究会 2004/12
- 3) 立花綱治, 相田達也, 若原裕範, 米川輝, 岩月正見, 「通常教室におけるデジタルコンテンツ自動作成システムの開発」電子情報通信学会教育工学研究会 2004/12
- 4) 山本司, 岡裕介, 岩月正見, 「円筒座標系に基づくビジュアルサーボイングの性能評価」第37回計測自動制御学会北海道支部学術講演会 2005/1
- 5) 荒澤隆之, 山田英俊, 岩月正見, 「極座標系に基づく全方位カメラのためのビジュアルサーボイング」第37回計測自動制御学会北海道支部学術講演会 2005/1
- 6) 平野秀樹, 吉澤大輔, 米川輝, 橋本政宏, 岩月正見, 「WWWに基づく工学教育用遠隔実験システムの開発とその評価」第37回計測自動制御学会北海道支部学術講演会 2005/1
- 7) 相田達也, 立花綱治, 若原裕範, 米川輝, 岩月正見, 「画像処理を用いた板書データ抽出による講義コンテンツ作成システム」第37回計測自動制御学会北海道支部学術講演会 2005/1

成果報告概要

分散耐環境ナノ電子デバイスの研究

法政大学工学部

中村徹 安田彰 本間紀之 斉藤利通 大竹孝平 斎藤兆古 早野誠治 三浦孝夫 栗山一男 佐藤政孝

1. 研究の目的

微細加工技術の進歩により単位機能当たりのコストは大幅に削減されてきたが、ナノテクノロジーの進展とともにより多くの機能を集積したチップをさらに低コストで実現することが可能となる。このような低コスト・高機能チップとナノテクノロジーを応用したMEMSチップとを一体化し複数分散使用することにより高度なシステムを実現することが可能になる。このように一体化したチップを多数個分散させて動作させる分散型ナノ電子デバイスでは、チップ間通信をいかに確立するかが重要な課題となる。近距離の通信では他チップとの干渉低減や、消費電力の点から微少電力無線通信技術の確立が重要となる。また、多数個のチップ間での通信を行うためのピアツウピア通信やアドホック通信を自律的に行う必要もある。

一方、ナノテクノロジーの進展により、より高度な機能を小さなチップに集積することが可能となるが、耐圧の低下や高温動作での特性劣化など解決すべき課題も多い。シリコン半導体材料に比べ広いバンドギャップを有する GaN および SiC 等のワイドギャップ半導体材料は、摂氏 350 度以上の高温動作、50 GHz・100 V 以上の高周波・高電圧動作を可能にする耐環境電子デバイスが製造可能と期待されているが、材料の持つ高い飽和速度等から期待出来る高耐圧・高周波特性を達成するデバイスは未だ提案されていない。その原因の一つは、不純物ドーピングが結晶成長中になされる以外の方法では確立していないためである。

本研究は分散型ナノ電子デバイスを実現するための基礎技術として、1) チップを数 cm 程度の比較的近距離に配置した場合における通信の確立方法を検討、2) 近距離微少電力無線通信に適した通信方式、回路方式、LSI 構成法の研究を行う。更に高温・高周波・高電圧動作させるためにワイドギャップ半導体材料を用いて、3) イオン注入技術により、GaN および SiC 等ワイドギャップ半導体材料への不純物高濃度化技術の開発、4) 高温動作用低抵抗電極の作成と評価、5) 高温・高周波・高電圧動作電子デバイスの作成と動作機構の解析、を行うことを目的とする。

2. 本研究で対象としている分散型耐環境ナノ電子デバイスの課題

ユビキタスシステムと環境については前年度の報告で述べた。将来のユビキタスシステムを実現するためには、情報機器の通信方式や回路方式の基本技術およびそれらを可能にするための電子デバイスの開発が必須である。本研究の課題は以下の通りである。

通信方式、回路方式の課題として、近距離チップ間通信の確立方法と近距離・微少電力無線通信方式が挙げられる。また、これらの方式を実現するために、アナログ・デジタル回路方式、LSI 構成法がある。この様な方式を実現するには、半導体デバイスの高速化と大規模集積化とが必要であるが、高速化、大規模集積化の双方とも従来の延長線上での技術開発には限界が見えており新しい概念による電子デバイスの創製が必要である。そのため、ナノ電子デバイスの課題としては、耐環境に適したデバイス すなわち、GaN および SiC 等ワイドギャップ半導体材料を用いた電子デバイス製造の基本技術を確立することに

ある。さらに、高温動作用低抵抗電極の作成と評価と高温・高周波・高電圧動作電子デバイスの作成と動作機構の解析が挙げられる。

3. 研究内容と研究結果

A. 分散型耐環境ナノ電子デバイス回路・システム

分散電子デバイス回路・システムの実現には、通信技術の確立が不可欠である。特に、数 10cm から数 cm と従来の通信システムに比べ極端に短距離の通信技術が必要となる。通信距離は短いを送受信電力は低く抑える必要があり、従来からある通信技術とは異なった新しいシステムをいかに構築するかが技術課題となる。これらの実現には、従来の技術の組み合わせで対応することは困難で、新しい概念によるシステムの構築が必要である。また、このような短距離通信システムを実現するためには、高精度・高速アナログ／デジタル変換回路、デジタル／アナログ変換回路や周波数変換回路などが基礎技術として重要となる。さらに、これらの回路等を実現するためには、Si デバイスおよびパッシブデバイスの高周波特性、直流特性を正確に把握することが設計を行う上で重要である。まず、これらの特性の測定および評価、また、これらの測定されたデータを元に Si デバイスおよびパッシブデバイスのモデル化を行い、基本機能回路ブロックの設計に用いた。

一方、分散耐環境ナノ電子デバイスではアクチュエータを用いて外界とインターフェイスをとるが、このアクチュエータの駆動回路が重要な構成部品となる。デバイスを分散して配置するためには、電力効率の高い駆動回路が必要となる。

高精度 $\Delta \Sigma$ デジタル・アナログ変換器

短距離通信、アクチュエータ駆動には高精度デジタル・アナログ変換器が必要不可欠である。LSI においては、トランジスタの閾値電圧、容量値、抵抗値などの素子値ばらつきが、変換精度を決定する。このため、これら素子値の影響を低減する方法を我々は提案しているが、そのためには大規模な信号処理回路が必要であった。今回、ばらつきの影響を数個のスイッチのみで実現出来る方法を提案した。また、デジタル・アナログ変換器には、アナログ連続時間フィルタ (LPF) を後置し、帯域外雑音を抑圧する必要がある。システム LSI では内部にデジタル・アナログ変換器駆動回路に加え、この LPF や駆動回路を LSI 上に混載する必要がある。LPF は C や R で実現する必要がある、十分な減衰量を得るためには、C, R の実現に多くのチップ面積が必要となる。

図 1 は、LPF をチップ上に混載できるアナログ FIR フィルタを用いたカスケード型 $\Delta \Sigma$ デジタル・アナログ変換器のブロック図である。図 2 (1) (b) に示したように図中の output stage の部分を変形する。これによって、アナログ FIR フィルタのタップ数を n タップから 4 タップに大幅に減少させることが可能となる。このため、アナログ FIR フィルタとしてのタップ数を増やし、帯域外雑音を大幅に低減することが可能となり、C、R による LPF への要求を緩和することが出来る。このため、C、R の面積を大幅に削減し、システム LSI の小型化を可能にする。しかし、この構成においては、内部デジタル・アナログ変換器 (DAC) を構成する素子の精度が全体の変換精度を決定してしまう。そこで、図 3 に示したようにスイッチにより、内部 DAC を構成する素子 (電流源) を切り換えることにより mismatch の影響に周波数特性を持たせる方法を提案した。この方法では、任意の周波数の雑音を零にすることが可能である。またこのスイッチは、単純に順番に切り換えるだけで良く、従来のように複雑な信号処理は必要ない。このため、

大幅な回路規模の縮小が可能であり、消費電力の削減も可能である。これらの結果を、図 4，図 5 に示す。

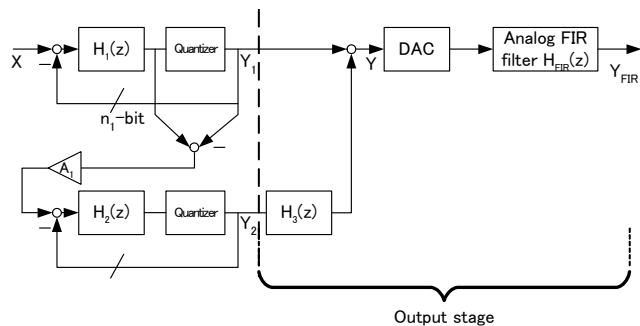


図 1 アナログ F I R フィルタを用いたカスケード型 $\Delta \Sigma$ デジタルアナログ変換器

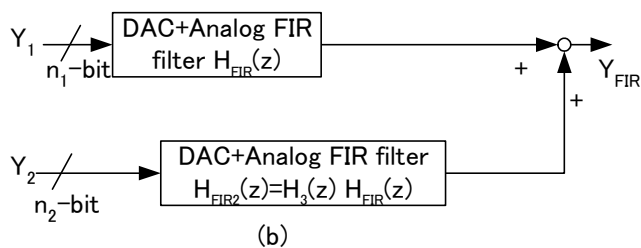
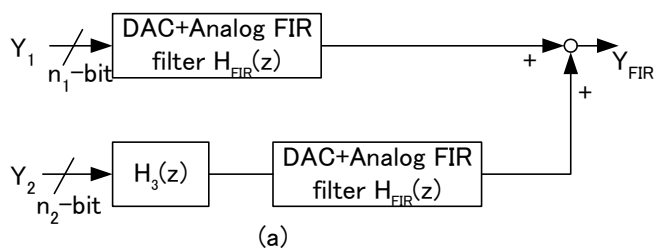


図 2 タップ数を大幅に削減したアナログ F I R フィルタ

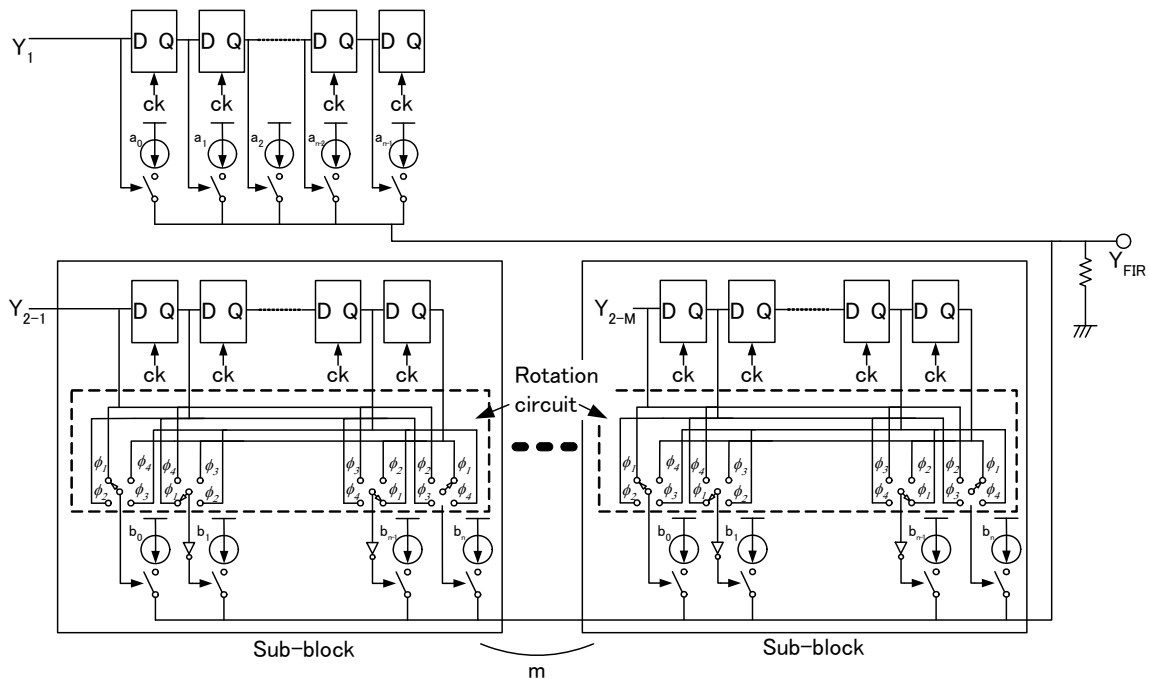


図 3 素子値ばらつきの影響を低減する技術

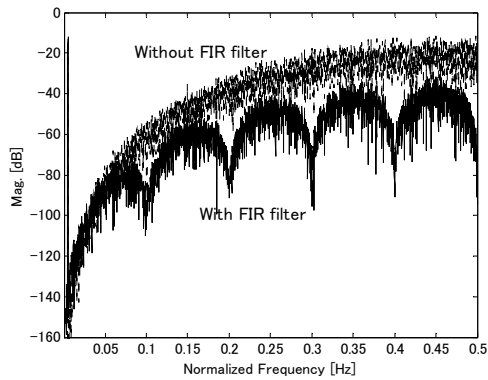


図 4 帯域外雑音

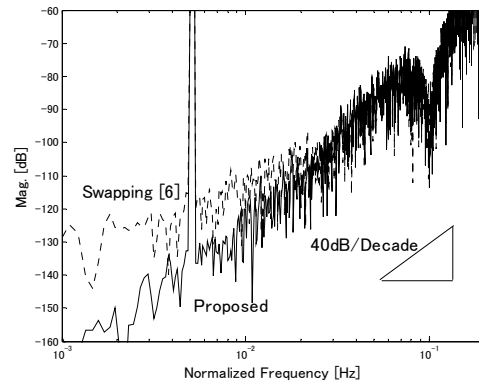


図 5 ばらつき低減効果

スペクトラムシェーピング法を用いた D 級増幅器

分散耐環境ナノ電子デバイスでは高効率の駆動回路が重要な構成部品となる。そこで、駆動回路として D 級増幅器について検討を行った。D 級増幅器は、効率が高いものの帯域外雑音が大きい問題点がある。分散デバイスでは、それぞれのチップが駆動回路を用いる必要があり、帯域外雑音は大きな問題となる可能性が高い。近距離通信の性能を低下させてしまう恐れもある。そこで、これらの問題を解決する方法として、スペクトラムシェーピングを用いた D 級増幅器を提案した。本方式は、スペクトラムシェーピングにより帯域外雑音のピークレベルを低減し、独立に設計された無線通信機器に対しても障害の改善を可能とするものである（図 6）。試作したテストチップ（図 7）では、従来の D 級増幅器に対して帯域外雑音のピークレベルが 15dB 低減された（図 8）。また、THD および SNR の測定値はそれぞれ 0.2% および 102dB であった。このテストチップは、2V 単一電源で動作可能である。

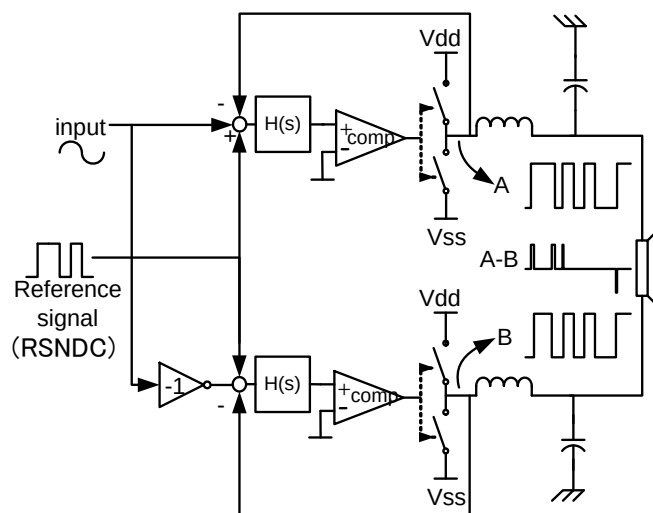


図 A-6 試作した D 級増幅器



図 7 試作チップ

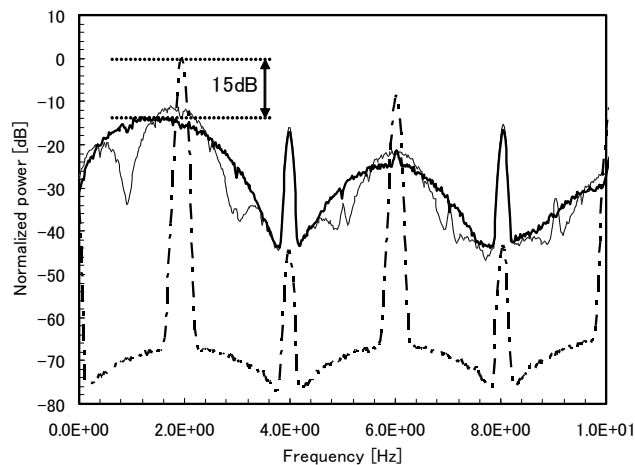


図 8 広帯域出力スペクトル（実験値）

B. 分散型耐環境ナノ電子デバイスと半導体デバイス・プロセス

B-1. GaNへのイオン注入の検討

GaN 基板内へのイオン注入層中の格子欠陥導入機構とアニールによる格子欠陥消滅機構の検討を行った。

図 9 は、Ar イオンを加速エネルギー60keV、注入量 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ でイオン注入した GaN/(11-20)SiC 基板のラザフォード後方散乱法（RBS）測定結果を示す。GaN 結晶成長直後、Ar イオン $1 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 注入後、熱処理後のスペクトルである。図の中で、ランダムは GaN 基板の格子欠陥が最大となるスペクトルを表しており、縦軸の値が低いほど結晶欠陥が少なくなっている。イオン注入直後のスペクトルに対し、1050℃での熱処理後はほぼ半分に減少しており、格子欠陥が取り除けていることが分かる。しかし、1050℃の熱処理では GaN 結晶成長直後のスペクトルまで低下しておらず、格子欠陥が残存している。Ar イオン注入後およそ 120nm まで格子欠陥層が広がっている様子が確認できる。また、Si 基板に不純物を $1 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 程度注入すると、Si 基板表面の注入層は非晶質化し、RBS スペクトルはランダムスペクトルほぼ等しくなるまで増加する。しかし、GaN へイオン注入では、 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ の高注入量に関らず、イオン注入後のスペクトルはランダムの 1/4 程度であり GaN へのイオン注入による格子欠陥の導入は難しい事が確認された。すなわち、GaN は、イオン注入による格子欠陥の形成が容易でなく、また、形成された格子欠陥の回復もし難いと考えられる。

イオン注入された不純物を活性化するためには、GaN 結晶成長温度に近い高温熱処理が必要である。高温熱処理時に GaN 結晶が分解しないように、窒化シリコン膜を表面に堆積することがなされている。高温

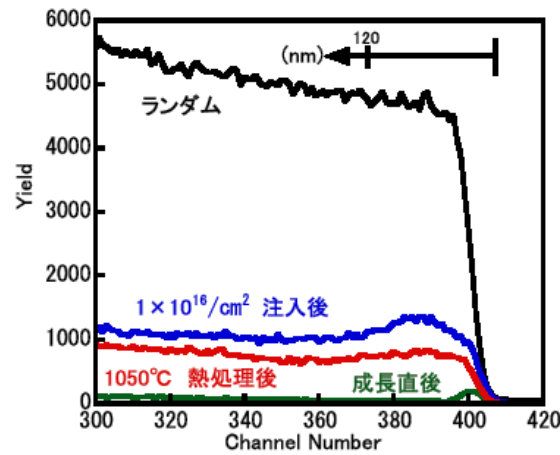


図 9．Ar イオン注入時 GaN/SiC(11-20)の注入前後、熱処理後の RBS スペクトル

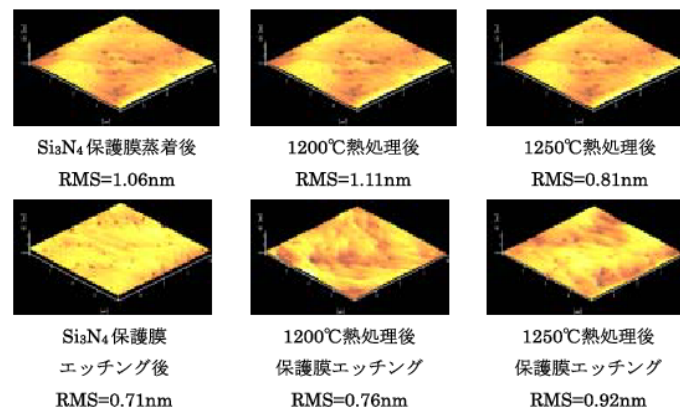


図 1 0．イオン注入されたGaN基板表面の熱処理依存性
(走査長は4um, 俯瞰図の高さは50nmにて描写)

熱処理による GaN 結晶および窒化シリコン保護膜への影響を検討するため原子間力顕微鏡 (AFM) を用いて、熱処理前後の GaN エピタキシャル表面と Si₃N₄ 保護膜の観察を行った。図 1 0 は、(0001)GaN 基板に Si₃N₄ 保護膜を形成後、1200°C および 1250°C で窒素雰囲気中で熱処理した GaN 表面観察図である。図より明らかなように、GaN エピタキシャル表面には多数のピットが確認され、ピットは Si₃N₄ 保護膜を形成した後においても確認された。熱処理後においては 1250°C での高温アニールに際しても Si₃N₄ 保護膜、GaN エピタキシャル表面、共に表面荒れは観察されなかった。このことにより、GaN 基板へイオン注入後 1200°C の高温熱処理を行っても GaN は分解しないで安定な結晶性を保つことが確認された。

次に n 型不純物電導を示す Si を (0001)GaN にイオン注入してその特性を評価した。イオン注入条件は以下のとおりである。

基板

結晶：(0001)Al₂O₃ 上に成長したアンドープ GaN

膜厚：2 ミクロン

保護膜：50nm Si_3N_4

イオン注入条件

加速エネルギー：150keV

注入量： $5 \times 10^{12}/\text{cm}^{-2}$ 、 $5 \times 10^{13}/\text{cm}^{-2}$

熱処理温度：1150℃、1200℃、1250℃ 窒素雰囲気中、10 秒間

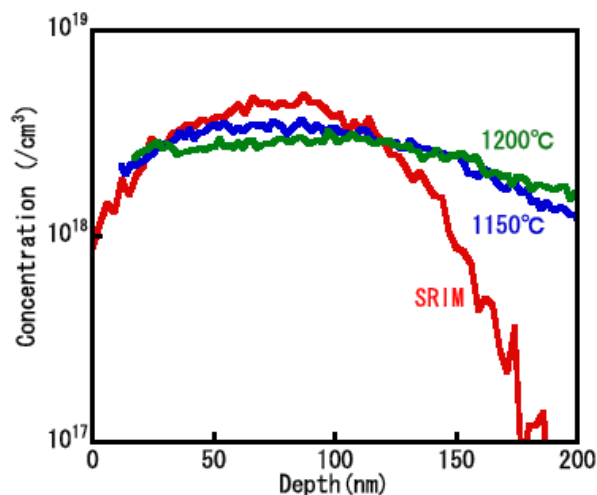


図 1 1 . (0001)GaN 膜へイオン注入された Si 原子の不純物濃度プロファイル
(2 次イオン質量分析法を用いて測定)

図 1 1 は、(0001) GaN 膜へイオン注入した Si の不純物濃度プロファイルである。SRIM シミュレーションにより算出した Si の深さ方向の濃度分布と、注入試料を 1150℃と 1200℃で熱処理を行った後の 2 次イオン質量分析法を用いて測定した結果を示した。Si の注入量は $5 \times 10^{13}/\text{cm}^2$ である。図より注入試料の Si ピークの濃度はシミュレーションの結果とほぼ一致している様子が確認される。しかし、ピーク濃度を示す深さに関しては熱処理温度を上げるにつれより深い方向へ移動しており、より高温で熱処理を行うことで拡散が起こっているものと考えられる。濃度プロファイルはシミュレーションのプロファイルの様に急峻にはならなかった。主な原因として、熱処理により Si がより浅い方向と深い方向の両方向へ拡散している事が上げられる。また、イオン注入時に Si_3N_4 保護膜ロックオン現象によって Si が基板に注入された可能性も考えられる。図 1 2 および図 1 3 は、(0001) GaN 膜へ注入量 $5 \times 10^{13}/\text{cm}^{-2}$ の Si をイオン注入した試料のキャリア移動度、シートキャリア濃度、シート抵抗、活性化率の熱処理温度依存性である。図より熱処理温度を上昇させると Si ドナーが高い活性化率を示している事が確認される。特に 1200℃の熱処理時においてはおよそ 80%の高活性化を実現している。移動度並びにシート抵抗の値はキャリアの増加に伴い減少している。

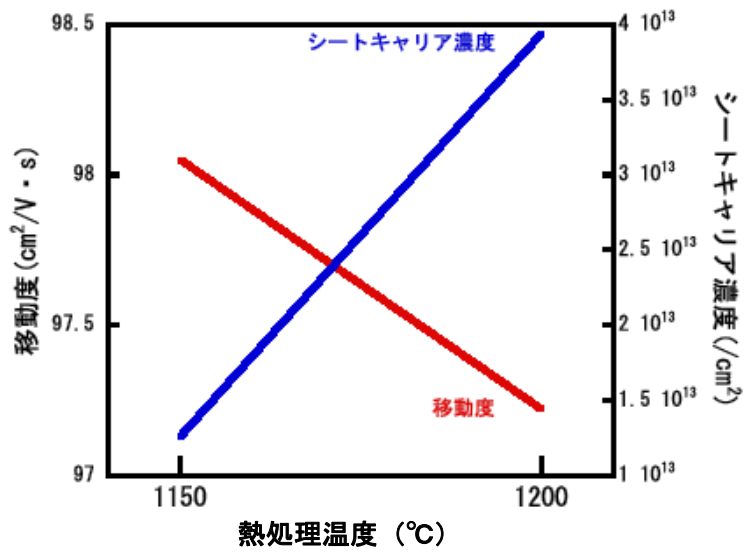


図 1 2. Si イオン注入した(0001)GaN 基板の移動度およびシートキャリア濃度の熱処理温度依存性

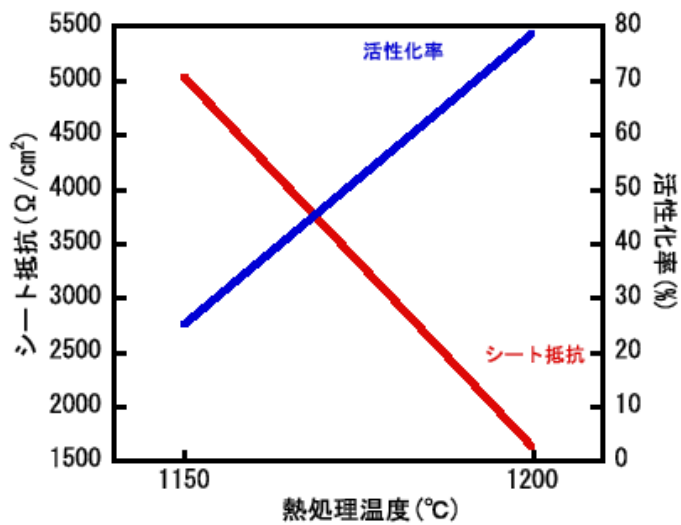


図 1 3. Si イオン注入した(0001)GaN 基板のシート抵抗および活性化率の熱処理温度依存性

B-2. SiCへのイオン注入の検討

5. 今後の課題

本年度は分散型耐環境ナノ電子デバイス回路・システムおよびそれらを実現する電子デバイスと半導体デバイス・プロセスについて検討した。回路・システムにおいては、近距離無線通信に適した通信方式の検討と新方式の考案を行った。また、デバイス・プロセスについては、ワイドギャップ半導体にイオン注入した不純物の活性化率向上の検討を行った。

来年度以降は以下の課題について検討を進める。分散型耐環境ナノ電子デバイス回路・システムに関しては、

1. 上記通信方式を LSI として実現する際の問題点の明確化
2. 分散近距離通信に適した通信用集積回路の開発

また、分散型耐環境ナノ電子デバイス・プロセス技術に関しては

3. ワイドギャップ半導体材料を用いたナノスケールの超微細素子の実現
4. 超微細素子の高温・高電圧下の耐環境特性の確認

中村徹

論文

- 1) 中村徹、「超高速デバイスおよびミリ波デバイスとその回路技術」、電気学会論文誌 C、vol.124-C、p. 235-236、(2004)。

著書

- 1) 佐藤政孝、中村徹、小林義武、大沢昭浩、高橋幹夫、大谷光幸、鈴木宏和、平成 16 年度 半導体製造装置のライフサイクルアセスメントに関する調査・研究等報告書 第 3 章「LCA の観点での、半導体製造装置の消費エネルギー調査研究」、(社)日本半導体装置協会、平成 17 年 3 月、(2005)。

学術講演

- 1) 安部尚志、中村徹、土屋龍太、「CMOS トランジスタの低周波雑音特性とチャネル抵抗との関係」、第 65 回応用物理学会学術講演会、p. 770、平成 16 年 9 月、(2004)。
- 2) 飯田将也、中村徹、望月和浩、田中健一「トンネルバリア構造 InGaP/GaAs C-up TC-HBT のコレクタサイズ依存性効果」、第 65 回応用物理学会学術講演会、p. 1242、平成 16 年 9 月、(2004)。
- 3) 大坪修治、中村徹、佐藤政孝、三島友義、高野和人、「(1-100)SiC 基板上に成長した (1-100)GaN の導電率異方性」、第 65 回応用物理学会学術講演会、p. 1248、平成 16 年 9 月、(2004)。
- 4) 飯田将也、伊藤伸之、佐藤光、中村徹、望月和浩、田中健一、「InGaP/GaAs C-up TC-HBT の出力コンダクタンス特性解析」、第 23 回法政大学イオンビーム工学研究所シンポジウム、平成 16 年 12 月、(2004)。
- 5) 野本一喜、中村徹 「イオン注入 GaN MESFET の最大ドレイン電流の熱処理温度依存性」第 52 回応用物理学関係連合講演会、No. 3、p. 1598、平成 17 年 3 月(2005)。

栗山一男

論文

- 1) K. Kushida and K. Kuriyama, Mott-type hopping conduction in the ordered and disordered phases of LiCoO_2 , Solid State Commun. 129, pp. 525-528 (2004).
- 2) K. Kushida and K. Kuriyama, Cyclic surface morphology change related to Li ion movement in Li secondary microbattery embedded in Si substrate: Atomic force microscopy studies, Appl. Phys. Lett. 84, pp. 3456-3458 (2004).
- 3) R. Hirota, K. Kushida, J. Takahashi, and K. Kuriyama, Carbon doping by ion implantation and C_2H_6 gas in GaN: Rutherford backscattering/channeling, Raman scattering and photoluminescence studies, Nuclear instruments and Methods, B 219-220, pp. 792-797 (2004).
- 4) K. Kuriyama, T. Tokumasu, H. Sano, and M. Okada, Ion channeling and Raman scattering studies of the lattice disorder and residual strain in neutron irradiated GaN, Solid State Commun. 131, pp. 31-35 (2004).
- 5) K. Kushida, Y. Kaneko, and K. Kuriyama, Filled tetrahedral semiconductor Li_3AlN_2 studied with optical absorption: Application of the interstitial insertion rule, Phys. Rev. B, 70, pp. 233303-1-4 (2004).
- 6) K. Kuriyama, Y. Kaneko, and K. Kushida, , Synthesis and characterization

- of AlN-like Li_3AlN_2 , J. Cryst. Growth, 275, pp.395-399 (2005).
- 7) T. Ishibashi, A. Mizusawa, M. Nagai, S. Shimizu, K. Sato, N. Togashi, T. Mogi, M. Houchido, H. Sano, and K. Kuriyama, Characterization of epitaxial $(\text{Y}, \text{Bi})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$ thin films grown by metal-organic decomposition method, J. Appl. Phys. 97, pp.013516 - 1-4 (2005).

学術講演

- 1) K. Kushida, Y. Kaneko, and K. Kuriyama 「Optical band gap of a new filled tetrahedral semiconductor Li_3AlN_2 」 27th International Conference on the Physics of Semiconductors, Flagstaff, Arizona, USA, J5-167 (2004年7月).
- 2) K. Kuriyama, Y. Kaneko, and K. Kushida, “Synthesis and characterization of AlN-like Li_3AlN_2 ” 14th International Conference on Crystal Growth, Grenoble, France, 0178 (2004年8月).
- 3) 金子理太郎、栗山一男、串田一雅、“擬 AlN 様 Li_3AlN_2 の合成と物性評価” 第34回結晶成長国内会議、27aB05 (2004年8月).
- 4) 佐野浩亮、尾之上飛鳥、徳増孝広、栗山一男、“熱刺激電流法によるアンドープ n 型 GaN の欠陥評価” 第65回応用物理学会学術講演会、1pM-12/III (2004年9月).
- 5) 佐野浩亮、大井基史、尾之上飛鳥、栗山一男、“アンドープ n 型 GaN 中の熱刺激電流法による欠陥評価” 第52回応用物理学会関係連合講演会、31aL-34/I (2005年3月).
- 6) 水木庸介、堀川大介、佐野浩亮、尾之上飛鳥、栗山一男、“C ドープ GaN の核反応分析：格子間炭素とイエロールミネッセンスの相関について” 第52回応用物理学会関係連合講演会、31aL-35/I (2005年3月).

齊藤利通

論文

- 1) T. Saito, S. Tasaki and H. Torikai,
Interleaved buck converters based on winner-take-all switching,
IEEE Trans. Circuits Syst. I, 52, accepted, 2005
- 2) Y. Kon'no, T. Saito and H. Torikai,
Rich dynamics of pulse-coupled spiking neurons with a triangular base signal,
Neural Networks, 18, in press, 2005-8.
- 3) H. Shimazu and T. Saito,
Analysis of unstable operation in a basic delta modulator for PWM control,
IEICE Trans. Fundamentals, E88-A, 8, accepted, 2005-8
- 4) Y. Takahashi, H. Nakano and T. Saito,
Hyperchaotic spiking oscillators with periodic pulse-train input,
IEEE Trans. Circuits Syst. II, 52, 6, pp. 344-348, 2005-6
- 5) H. Hamanaka, H. Torikai and T. Saito,
Analysis of composite dynamics of two bifurcating neurons,
IEICE Trans. Fundamentals, E88-A, 2, pp. 561-567, 2005-2
- 6) H. Sasamura, T. Saito and R. Ohta,
A simple learning algorithm for network formation based on growing
self-organizing maps,
IEICE Trans. Fundamentals, E87-A, 10, pp. 2807-2810, 2004-10
- 7) J. Shimakawa and T. Saito,
Cyclic D/A converters based on iterated function systems,
IEICE Trans. Fundamentals, E87-A, 10, pp. 2811-2814, 2004-10
- 8) M. Shimazaki, H. Torikai and T. Saito,
Synchronization and window map from pulse-coupled relaxation oscillators,
IEICE Trans. Fundamentals, E87-A, 9, pp. 2426-2431, 2004-9
- 9) H. Nakano and T. Saito,

- Grouping synchronization in a pulse-coupled network of chaotic spiking oscillators, IEEE Trans. Neural Networks, 15, 5, pp. 1018-1026, 2004-9
- 10) Y. Takahashi, H. Nakano and T. Saito,
A simple hyperchaos generator based on impulsive switching,
IEEE Trans. Circuits Syst. II, 51, 9, pp. 468-472, 2004-9

三浦孝夫

論文

- (1) 大内 浩仁, 三浦 孝夫, 塩谷 勇, Retrieval for Text Stream by Random Projection, International conference on Information Systems Technology and its Applications (ISTA), pp.151-164, 2004, Salt Lake City, アメリカ 平成 16 年(2004) 7 月
- (2) 高光 智哉, 三浦 孝夫, 塩谷 勇, Pre-pruning Decision Trees By Local Association Rules, Intelligent Data Engineering and Automated Learning (IDEAL), pp.148-151, 2004, Exeter, 英国, 平成 16 年(2004) 8 月
- (3) 中西 啓之, 三浦 孝夫, 塩谷 勇, Formalizing UML Collaborations by using Description Logics, "Alternative Approaches in Software Engineering" in IEEE International Conference on Computational Cybernetics (ICCC 2004), 2004, Vienna, オーストリア, 平成 16 年(2004) 8 月
- (4) 三好 涼介, 三浦 孝夫, 塩谷 勇, Querying Spatial Data on Extensible Grid Files, Workshop on Multimedia Information Systems (MIS04), pp.86-95, 2004, Washington DC, 米国, 平成 16 年 (2004) 8 月
- (5) 森 正輝, 三浦 孝夫, 塩谷 勇, Extracting Events From Web Pages, International Conference on Advances in Intelligent Systems - Theory and Applications (AISTA), No.050, 2004, Luxemburg (CDROM), 平成 16 年 (2004) 11 月
- (6) 森 正輝, 三浦 孝夫, 塩谷 勇, Web からの時制クラスターの解釈, 日本データベース学会 Letters (DBSJ Letters) Vol.3, No.2, pp.109-112, 2004, 平成 16 年 (2004)
- (7) 上島 宏, 三浦 孝夫, 塩谷 勇, Giving Temporal Order to News Corpus, International Conf. on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI), 2004, Boca Raton, アメリカ (CDROM), 平成 16 年(2004) 11 月
- (8) 上島 宏, 三浦 孝夫, 塩谷 勇, Giving Temporal Order to News Corpus (Extended Abstract), in International Symposium on Computational and Information Sciences (CIS04), pp.947-953, 2004, Shanghai, 中国, 平成 16 年(2004) 12 月
- (9) 三橋 孝平, 三浦 孝夫, 塩谷 勇, Looking Up Files in Peer-to-Peer Using Hierarchical Bloom Filters, in International Symposium on Computational and Information Sciences (CIS04), pp.982-988, 2004, Shanghai, 中国, 平成 16 年(2004) 12 月
- (10) 大内 浩仁, 三浦 孝夫, 塩谷 勇, ランダムプロジェクションを用いたニュースストリームの検索, 日本データベース学会 Letters (DBSJ Letters) Vol.3, No.3, 2004, pp.1-4, 平成 16 年 (2004) 12 月
- (11) 中西啓之, 三浦孝夫, 塩谷勇, 記述論理を用いた UML 整合性の検証システムの構成と実現, データ工学ワークショップ(DEWS), 1A-o4, 電子情報通信学会データ工学研究会, 2005, 長崎, 平成 17 年(2005) 2 月
- (12) 上嶋宏, 三浦孝夫, 塩谷勇, 不完全なニュース集合からのタイムスタンプ推定, データ工学ワークショップ(DEWS), 3C-o4, 電子情報通信学会データ工学研究会, 2005, 長崎, 平成 17 年(2005) 2 月
- (13) 大内浩仁, 三浦孝夫, 塩谷勇, 頻度分布に基づくプロジェクションを用いた文書検索, データ工学ワークショップ(DEWS), 1C-i8, 電子情報通信学会データ工学研究会, 2005, 長崎, 平成 17 年(2005) 2 月
- (14) 吉原幸輝, 三浦孝夫, EM アルゴリズムを用いた旋律分類, データ工学ワークショップ

- プ(DEWS), 電子情報通信学会データ工学研究会, 1C-o3, 2005, 長崎, 平成 17 年(2005) 2 月
- (15) 森正輝, 三浦孝夫, 塩谷勇, Suffix Tree Clustering を用いた Web ページ集合のラベル付け, データ工学ワークショップ(DEWS), 5C-o2, 電子情報通信学会データ工学研究会, 2005, 長崎, 平成 17 年(2005) 2 月
- (16) 三好涼介, 三浦孝夫, 塩谷勇, 次元縮小を用いた拡張可能グリッドファイルによる高次元データの検索, データ工学ワークショップ(DEWS), 2A-i8, 電子情報通信学会データ工学研究会, 2005, 長崎, 平成 17 年(2005) 2 月
- (17) 高橋功, 三浦孝夫, ハイパーリンクの共起性を用いたクラスタリング手法, データ工学ワークショップ(DEWS), 1C-i12, 電子情報通信学会データ工学研究会, 2005, 長崎, 平成 17 年(2005) 2 月
- (18) 清水一宏, 三浦孝夫, 単一系列データ上の系列選択パターンと逆単調性, データ工学ワークショップ(DEWS), 3C-i8, 電子情報通信学会データ工学研究会, 2005, 長崎, 平成 17 年(2005) 2 月
- (19) 三好 涼介, 三浦 孝夫, 塩谷 勇, 拡張可能グリッドファイルにおける最近傍検索の改善, 電子情報通信学会論文誌 (D1), J88-D-I-3, pp.727-734, 2005, 平成 17 年(2005) 3 月

学術発表

- (1) 渡辺洋平, 三浦孝夫, 計量 MDS のストレスによる評価とグラフ表現の高度化, 情報処理学会第 67 回全国大会 2Q-8, 2005, 電気通信大学, 東京, 平成 17 年(2005) 3 月
- (2) 渡辺泰治, 井堀佑美, 三浦孝夫, FTP サイトを検索するポートレットの開発, 情報処理学会第 67 回全国大会 4U-9, 2005, 電気通信大学, 東京, 平成 17 年(2005) 3 月
- (3) 金森竜太, 秋山裕信, 三好涼介, 三浦孝夫, 非一様データによる高次元空間での最近傍検索手法の性能評価, 情報処理学会第 67 回全国大会 1W-1, 2005, 電気通信大学, 東京, 平成 17 年(2005) 3 月
- (4) 国領知行, 三浦孝夫, 対位法における対旋律の自動生成とその評価, 電子情報通信学会 2005 年総合大会情報・システムソサエティ企画「学生ポスターセッション」, 2005, 大阪大学, 大阪, 平成 17 年(2005) 3 月
- (5) 三好涼介, 三浦孝夫, 塩谷勇, 拡張可能グリッドファイルにおける最近傍検索の改善, データベースワークショップ (DBWS04), 2004, 松山, 平成 16 年 (2004) 7 月
- (6) 森正輝, 三浦孝夫, 塩谷勇, Web からの時制クラスタの解釈, データベースワークショップ (DBWS04), 2004, 松山, 平成 16 年 (2004) 7 月

齊藤兆古、早野誠治

論文

- 1) Hisashi Endo, Yoshihiro Takasuka, Iliana Marinovac, Seiji Hayano and Yoshifuru Saito
 "Data representation by field calculus and leading to the orthonormal linear transforms",
 International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics 19, (2004) 153-157
 IOS Press (2004年4月)
- 2) Hisashi Endo, Iliana Marinova, Seiji Hayano and Yoshifuru Saito,
 "Ferroresonance circuit exhibiting Chaotic phenomenon: Rule extraction from nonlinear systems",
 International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, 19 (2004) 257-261
 IOS Press (2004年4月)
- 3) 武居昌弘、齋藤兆古
 "GVSPM法の固気二層流CT画像再構成への応用",
 日本機械学会誌 (B編) 71巻703号 (2005-3) 論文No. 04-0002

学術講演

- 1) 井波真弓, 岩崎晴美, 宮沢賢治, 土屋宏之, 斎藤兆古, 堀井清之, 深代千之”『ファウスト』における宗教—離散値系ウェーブレット多重解像度解析—”, 第33回可視化情報シンポジウムB 104, 2004年7月
- 2) 河村憲作, 早野誠治, 斎藤兆古, 堀井清之, ”等価固有値法によるライン信号処理”, 第33回可視化情報シンポジウム B 105, 2004年7月
- 3) 小杉山格, 早野誠治, 斎藤兆古, 堀井清之, ”可視化画像の幾何学的複雑さ抽出の試み”, 第33回可視化情報シンポジウム B 106, 2004年7月
- 4) 山下達也, 早野誠治, 斎藤兆古, 堀井清之, ”速度・加速度ベクトルの可視化とその応用”, 第33回可視化情報シンポジウム B 107, 2004年7月
- 5) 寺西正晃, 丸山和夫, 早野誠治, 斎藤兆古, 堀井清之, ”自然界の画像が持つ1/f周波数成分の可視化”, 第33回可視化情報シンポジウム B 108, 2004年7月
- 6) 臼田優, 早野誠治, 斎藤兆古, 堀井清之, ”電子回路基板の赤外線可視化画像モデルウェーブレット解析” 第33回可視化情報シンポジウム B 203, 2004年7月
- 7) 木村祐二, 早野誠治, 斎藤兆古, 堀井清之, ”波動方程式による動体の可視化” 第33回可視化情報シンポジウム B 204, 2004年7月
- 8) 遠藤久, 阿部利彦, 内一哲哉, 高木敏行, ハ島芳信, 斎藤兆古, ”三角形ループ電流モデルを用いた励磁電流の可視化と励磁コイルの概念設計” 第33回可視化情報シンポジウム B 205, 2004年7月
- 9) 穴吹幸彦, 早野誠治, 斎藤兆古, 堀井清之, ”GVSPM法による3次元電流分布の可視化”, 第33回可視化情報シンポジウム B 206, 2004年7月
- 10) 儘田保弘, 早野誠治, 斎藤兆古, 堀井清之, ”電力線の可視化,” 第33回可視化情報シンポジウム B 207, 2004年7月
- 11) 田中祐司, 遠藤久, 早野誠治, 斎藤兆古, 堀井清之, ”電気回路における非線形系現象の可視化,” 第33回可視化情報シンポジウムB 208, 2004年7月
- 12) 佐藤庸平, 早野誠治, 斎藤兆古, 堀井清之, ”三相交流磁気センサーの高度化と薄板状金属の欠損可視化,” 第33回可視化情報シンポジウム B 210, 2004年7月
- 13) 藤咲忠晴, 早野誠治, 斎藤兆古, 堀井清之, ”ピッター法による可視化磁区画像から磁化特性の抽” 第33回可視化情報シンポジウム B 211, 2004年7月
- 14) 藤枝直樹, 早野誠治, 斎藤兆古, 堀井清之, ”可視化磁界ベクトル場の基準座標系に関する研究,” 第33回可視化情報シンポジウム B 212, 2004年7月
- 15) 音川英一, 早野誠治, 斎藤兆古, 堀井清之, ”電気インピーダンス法におけるSensitivity行列法と電気双極子法の実験的検証,” 第33回可視化情報シンポジウム B 213, 2004年7月

安田彰

論文

- 1) Akira Yasuda, Koichiro Sato, Masahiro Shibata, and Soga Tsuyoshi,
A Cascaded Delta-Sigma DAC using an analog FIR filter with a new mismatch shaper,
IEEJ AVLSIWS2004, pp. 192-196, 2004/10.
- 2) Akira Yasuda, Takashi Kimura, Koichiro Ochiai, and Toshihiko Hamasaki
A class-D amplifier using a spectrum shaping technique, IEEE CICC2004 pp. 173-176,
2004/10.

学術講演

- 1) 市原 淳, 安田 彰,
状態変数型位相補償回路の提案, 電気学会 電子回路研究会ECT-05-06, pp. 29-33, Jan.
(2005)
- 2) 安田 彰, 木村 隆, 落合 興一郎, 濱崎 利彦,
スペクトラムシェーピング法を用いたD級増幅器, 電子情報通信学会技術報告,
SIP2004-98, pp. 55-60, Oct., 2004.

- 3) 安田 彰,
アナログ F I R フィルタを用いたカスケード型 $\Delta \Sigma$ -DAC, 電気学会 電子回路研究会
ECT-04-50, pp. 19-24, June, 2004.
- 4) 安田 彰, 田山 隼,
パイプライン ADC におけるバックグラウンド誤差検出法の高精度化,
電子情報通信学会 ソサエティ大会, A-1-7, Sep. 2004.

佐藤 政孝

論文

- 1) M. Shibagaki, Y. Kurematsu, F. Watanabe, S. Haga, K. Miura, T. Suzuki, and M. Satoh,
“Development of the Novel Electron Bombardment Annealing System (EBAS) for SiC
Post Ion Implantation Anneal”, Materials Science Forum, Vol. 483-485, pp. 609-612,
2004
- 2) M. Satoh, T. Suzuki, S. Miyagawa, and N. Yao, “Annealing Behavior of
Implantaion-Induced Defects in SiC at Low Temperatures”, Proc. the 23rd Sympo.
Mat. Sci. and Eng., (Hosei University, 2005), pp. 11-14.
- 3) M. Shibagaki, Y. Kurematsu, F. Watanabe, S. Haga, K. Miura, S. Miygawa, T. Suzuki,
and M. Satoh, “EBAS Annealing of Phosphorus(P⁺) Implanted SiC”, Proc. the 23rd
Sympo. Mat. Sci. and Eng., (Hosei University, 2005), pp. 15-18.
- 4) M. Satoh, E. Taguchi, J. Kamoshita, and T. Suzuki, “Investigation of the Ion
Implantation Process to 3C-SiC(100)”, Proc. the 23rd Sympo. Mat. Sci. and Eng.,
(Hosei University, 2005), pp. 23-26.

学術講演

- 1) 鈴木知之、宮川晋吾、八尾典明、佐藤政孝、“SiC 中のイオン注入欠陥の低温アニール特
性 “、第 65 回応用物理学会学術講演会 4a-K-6, 予稿集 p. 327, 2004 年 9 月 4 日
- 2) 樽松保美、柴垣真果、渡辺文夫、芳賀重崇、三浦邦明、宮川晋吾、鈴木知之、佐藤政孝、
“電子衝撃アニール装置 (EBAS) による P(燐)注入 4H-SiC アニール特性の評価”、応用
物理学会 SiC 及び関連ワイドギャップ半導体研究会第 13 回講演会 P-18、予稿集 pp.
54-55 2004 年 10 月 21 日
- 3) 鈴木知之、宮川晋吾、八尾典明、佐藤政孝、“SiC 中のイオン注入欠陥の低温アニール特
性 “、応用物理学会 SiC 及び関連ワイドギャップ半導体研究会第 13 回講演会 P-22、
予稿集 pp.61-62 2004 年 10 月 21 日
- 4) 松尾浩、鈴木知之、佐藤政孝、“3C-SiC への Ni オーミックコンタクトの形成”、応用物
理学会 SiC 及び関連ワイドギャップ半導体研究会第 13 回講演会 P-28、予稿集
pp.73-74 2004 年 10 月 21 日
- 5) 田口悦司、鴨下純一、鈴木知之、佐藤政孝、“3C-SiC(100)に形成したイオン注入層の
評価”、応用物理学会 SiC 及び関連ワイドギャップ半導体研究会第 13 回講演会 P-48、
予稿集 pp.107-108 2004 年 10 月 21 日
- 6) 松尾浩、佐藤政孝、“金属・3C-SiC 接触の電気特性の評価”、第 52 回応用物理学関係連
合講演会 30p-YK-22、予稿集 p.448 2005 年 3 月 30 日
- 7) 柴垣真果、樽松保美、沼尻憲二、渡辺文夫、芳賀重崇、三浦邦明、宮川晋吾、鈴木知之、
佐藤政孝、“ ϕ 100mm 用 EBAS (電子衝撃アニール装置) の開発と基礎特性の評価”、第 52
回応用物理学関係連合講演会 31a-YK-1、予稿集 p.449 2005 年 3 月 31 日
- 8) 樽松保美、柴垣真果、渡辺文夫、芳賀重崇、三浦邦明、宮川晋吾、鈴木知之、佐藤政孝、
“電子衝撃アニール装置 (EBAS) による Al⁺高温注入 4H-SiC アニール特性の評価”、第
52 回応用物理学関係連合講演会 31a-YK-2 予稿集 p.449 2005 年 3 月 31 日
- 9) 鈴木知之、宮川晋吾、佐藤政孝、“高濃度イオン注入 4H-SiC(11-20)における電気特性
のドーズ依存性”、第 52 回応用物理学関係連合講演会 31a-YK-5、予稿集 p.450 2005
年 3 月 31 日

「生命情報と生体機能のナノバイオロジー」

目 的

今世紀は、前世紀から得られつつあるヒトや他の生物種のゲノム情報（DNA 塩基配列）という知的財産を人類の福祉や発展のために利用する時代であるといわれている。そのためには、数万個の遺伝子から成る膨大なゲノム情報の迅速処理・探索技術などの数理工学的解析技術の飛躍的発展に加えて、遺伝子発現（蛋白質生合成）と蛋白質機能の研究を通しての遺伝子の同定が緊急の課題となっている。本プロジェクトでは、1 分子計測や1 分子操作などのバイオナノテクノロジーを取り入れながら、生命情報解析技術の高度化と有効利用、遺伝子の同定、生命情報の発現・伝達・攪乱メカニズムの解明、細胞機能を基盤にした個体丸ごと生体機能の理解を目指す。

2004 年度は、以下の課題を中心にして研究を進めた。

1. 蛋白質の構造・機能相関と生体機能の分子論
2. 生体と水、生体水の概念
3. 分子シミュレーションによる蛋白質の立体構造-長鎖状分子の構造と相転移
4. 遺伝子発現産物の翻訳後プロセスの解析-ゴルジ膜構造体のダイナミクス制御-構造維持と再構築の機構
5. 遺伝情報の転写制御機構の解明
6. 変異蛋白質の構造と機能
7. 遺伝子解析と情報理論による特定残基の機能
8. 分子生物学へのトポロジー代数の応用
9. 新規蛋白質分子の設計
10. 遺伝子組み換えによる生体内情報伝達系の解析
11. ナノテクノロジーによる生体内情報伝達系の解析
12. 磁気共鳴分光学による蛋白質物性

成 果

【今井グループ】 蛋白質の構造・機能相関と生体機能の分子論

本年度は、ヘモグロビンの協同的酸素結合に必須な四次構造変化の抑制に対するシリカゾルの効果を検討した。

ヘモグロビンの協同的酸素結合には、蛋白部分の四次構造レベルの変化、すなわち、T 状態と R 状態の間の転移が起こることが必須である。従来、“ゾル-ゲル法”によって多孔性シリカゲル中にヘモグロビンを封入すると、四次構造変化が抑制されるために、協同的酸素結合が消失することが明らかにされていた。この方法は、蛋白が十分に水和した環境にあって安定であることと、透明であって分光測光法が利用できるなどの利点があり、蛋白の構造変化と機能発現の研究にとって、有用な手段となった。

今回、我々は、希薄なシリカゾルに溶かしたヘモグロビンの酸素結合特性を解析し、液状のシリカゾルが固体状のシリカゲルと同等に、蛋白の構造変化を抑制する作用をもつことを発見した。オキシ型（R 型）ヘモグロビンを 1%シリカゾルに溶かした試料（OxyHb ゾル）は、通常の溶液中の R 状態ヘモグロビンと同等の高い酸素親和性を示し、協同作用は消失していた。これに対して、デオキシ型（T 型）ヘモグロビンを 1%シリカゾルに溶かした試料（DexyHb ゾル）は、通常の溶液中の T 状態ヘモグロビンと同等の低い酸素親和性を示し、協同作用は消失していた。これらの結果は、1%シリカゾルが、シリカゲルと同等に蛋白の構造変化を抑制する作用をもつことを示している。Soret バンドの吸光度変化から R

状態から T 状態への転移の速度を求めると、溶液の場合に比べて、 10^{10} 倍も減速することが明らかとなった。この手法を用いると、液状のままで蛋白の高次構造を固定して、種々の物理化学的測定を行うことが可能となり、応用範囲が広い。

【大河内グループ】 生体と水、生体水の概念

ナノスケールの水のクラスターによる水評価について問題があることを明らかにし、前回、新たな水評価法として、電子とプロトン濃度（活量）に基づいた ORP（酸化還元電位）-pH による方法を提案した。今回、その新たな水評価法を温泉水に応用した。その結果、温泉水に殺菌のためとはいえ、酸化系の塩素投入は、温泉水の本質である還元系をダメにし、皮膚の酸化や老化を促進することを明らかにした。さらに、温泉源泉と比較して浴槽ではどの程度の鮮度で入浴できるかの評価法についても確立した。

【片岡グループ】 分子シミュレーションによる蛋白質の立体構造-長鎖状分子の構造と相転移

1) 長鎖状分子における温度変化にともなう相転移のモンテカルロシミュレーション

長鎖状分子を以下のようにモデル化して、モンテカルロ法によりその構造の温度変化とエネルギーを調べた。30 個の正の電荷を持つモノマーの次に 30 個の負の電荷を持つモノマーが平衡距離からのずれの 4 次の関数で書かれたばねで直線的に結ばれている。隣り合わないモノマー間にはソフトコアポテンシャルと静電的ポテンシャルエネルギーを仮定した。

モンテカルロシミュレーションの方法は通常メトロポリス法とレプリカ交換法を使用した。十分高温で直線的に伸びきった構造から出発して、徐々に温度を下げて 2 種類の安定構造を得た。ひとつは直線状の 2 重螺旋構造であり、他の一つは球形に丸まった卵形の構造である。われわれのモデルでは直線状の 2 重螺旋構造の方が最安定である。この形への相転移の温度を特定できた。

2) 階段関数型ポテンシャルに支配された 2 粒子系における負の膨張率の統計力学的研究

粒子間のポテンシャル関数として、剛体壁の外側に有限の高さをもつポテンシャルの山を階段関数で付け加えた。2 粒子だけが基本セルに存在する立方体周期境界条件のもとでの近似的な無限粒子系を統計力学的に調べた。この際、分子シミュレーションで通常仮定される「最小イメージ法」を使用した。この方法は基本セルの周囲に無限に連なるイメージセルと基本セルの中から、相互作用する相手の分子としては最小の距離にある分子のみを扱うという方法である。この近似のために、カノニカル分配関数を閉じた形で得ることができた。配置空間での積分を実行できたのは、ポテンシャルエネルギーが距離のみの関数であり、これが区分的に定数であるためである。

低温で圧力を体積の関数としてプロットすると、圧力に極大と極小が現れた。これはこの体積付近で相転移に相当する状態変化があると期待されることを示している。この変化は同じ境界条件の下でのモンテカルロ法シミュレーションでも確認した。

またこの基本セルに 2 個を含む系と、多数の粒子を含む系との比較のために、108 個の分子を含む周期系のモンテカルロ法シミュレーションを行って、圧力の体積依存性を比較した。分子当たりの体積で同じ程度の領域に、等温圧縮率が負の領域が $N=2$, $N=108$ 両方の系で確認された。このことから基本セルに 2 個を含む周期系は巨視的な系と似て相転移に相当する状態変化を示すことが分かった。

【高月グループ】 遺伝子発現産物の翻訳後プロセスの解析-ゴルジ膜構造体のダイナミクス制御-構造維持と再構築の機構

ゴルジ装置はダイナミックな膜構造体で、細胞分裂期には断片化して娘細胞に当分に分配され、その後に速やかに膜構造体が再構築される。このようにゴルジ装置ダイナミクスと細胞分裂は密接な関係にあることから、細胞分裂に作用する各種の薬剤のゴルジ装置ダイナミクスに及ぼす作用を検討した。エストロゲン様化合物がゴルジ装置ダイナミクスにも作用することを見い出すとともに、下記の知見を得た。1. ギルジ装置ダイナミクスに作用する： ブレフェルジンAによるギルジ蛋白質の逆行移行とノコダゾールによる微小管破壊に伴うギルジ装置の断片化と細胞質分散を抑制するという新規作用を見いだした。更に、中心体機能についても検討を加え、ギルジ装置 nucleation という中心体の新規な機能を支持する結果を得た。2. エストロゲン受容体結合活性との関係： エストロゲン様化合物のギルジ装置ダイナミクスへの作用とエストロゲン作用との間に作用の強弱に相関は認められなかった。用いたNRK細胞にはエストロゲン受容体の存在は知られてないことから、エストロゲン受容体を介した作用ではない新規な作用であることが考えられる。3. nongenomic 作用： シクロヘキシイミドで蛋白合成を阻害してもエストロゲン様化合物のギルジ装置への作用は影響を受けない。このことから、受容体を介した作用ではないことが支持された。

【石浜グループ】 遺伝情報の転写制御機構の解明

ゲノム遺伝子全セットから、生育環境に応じて、必要な遺伝子を選択し利用する仕組みを解明することを目標に、遺伝子数が今日の解析技術が適用できる程度の少ない大腸菌（約4,000 遺伝子）をモデル生物として、ゲノム転写の包括制御機構を解析し、以下の成果をえた。1. DNA チップを用いたマイクロアレイ分析によるゲノム全遺伝子の転写パターン（トランスクリプトーム）を、大腸菌増殖各時期の培養、環境に各種金属を添加した培養、などで実施し、それぞれの環境で転写が昂進または抑制される遺伝子セットを同定した。2. ゲノムの凡そ1,000 種類の遺伝子から転写プロモーターを単離し、蛍光タンパクをレポーターとするプロモーター活性測定ベクターに挿入し、プロモーターコレクションを構築した。これを利用してプロモーター活性の網羅的解析を実施し、マイクロアレイ解析で測定した生体内の転写活性との相関を解析した。3. 大腸菌4,000 遺伝子の転写は、約300 種類の転写因子で制御されていると推定されている。各転写因子の支配下遺伝子群を同定する目的で、ゲノムDNA断片コレクションを構築し、この中から、純化転写因子が結合し、複合体を形成するDNA断片を単離同定する Genomic SELEX 法を開発した。4. 大腸菌転写因子約200 種類を精製し、その50 種類について、Genomic SELEX 法を利用して純化転写因子の認識配列を探索した。CRP, Cra, TyrR など既知転写因子に関しては、それぞれに既に同定されている遺伝子群に加えて、新たな支配下遺伝子群が同定され、これら転写因子が関わる転写制御ネットワークの全体像が明らかになった。5. 新たに開発した Genomic SELEX 法は、機能未知の転写因子の支配下遺伝子の同定にとりわけ有効性を発揮した。凡そ50 種類の機能未知遺伝子に関して解析した結果、凡そ半分については、新たに支配下遺伝子群が同定され、それらが、大腸菌の環境応答ゲノム制御への関わりが示唆された。まとめ： ひとつの生物のゲノム全遺伝子を対象にした転写包括制御の解明を目指した研究は世界にもまだない。今後、転写因子300 種、4,000 遺伝子の組み合わせによる、大腸菌転写制御の全体像の解明を目指した全体論的研究を展開したい。

【長井グループ】 変異蛋白質の構造と機能

DNA の変異に起因して生ずる変異ヘモグロビン（異常ヘモグロビンや人工変異ヘモグロビン）の構造変化とその変異が酸素結合機能に及ぼす影響について研究し、ヒトヘモグロビンのアロステリック蛋白としての協同的酸素結合のしくみを明らかにすることを目的としている。

α 鎖2つ β 鎖2つからなる四量体としてヘモグロビンのアロステリーはX線結晶解析による研究から、酸素結合型(R, relaxed)と脱酸素化型(T, tense)の2つの異なる四次構造間の転移によるとされている。今年度は、(1) T型構造マーカーバンドとして知られるdeoxy型の290nmの負のCDバンドがどのような構造変化に由来するかについて変異体を用いて追求した。また(2) Hb M グループとして知られる5つの異常ヘモグロビンのヘムの構造の違いを共鳴ラマン分光で追求し、以下の実験結果を得た。

1) 290nmの負のCDバンドの由来

1975年にPerutzらにより、deoxyHbにみられる290nmの負のCD帯は β 37Trpのサブユニット間水素結合の形成によるのではないかと示唆されて以来、誰もそれを疑うものはいなかった。しかし、我々はHb Hirose(β 37Trp $\rightarrow$ Ser)においてもこの負のCD帯が明瞭にみとめられることから、 β 37Trpの環境変化だけでは説明できないことに気がついた。 β 37Trpでないとするとなに由来するのであろうか。そのCD帯のみられる位置からやはりTrpかTyrなどの芳香族アミノ酸の変化に違いないと考え、 α 1 β 2接触面に位置する α 42Tyr、 α 140Tyr、 β 35Tyr、 β 37Trp、 β 145Tyrの変異体を用いてそれらのCDの変化を検討した。その結果、このCDバンドの変化は単一アミノ酸の変化では説明されないこと、特に α 、 β 鎖のC末端から2番目に位置するいわゆるpenultimate tyrosineが酸素の脱着にともなって敏感に変化し、それがCDの変化に対応していることをつきとめた。

2) HbM グループのヘムの構造：共鳴ラマン分光による研究

HbMはヘム周辺アミノ酸の変異によりヘム鉄が酸化している異常ヘモグロビンで、Hb M Iwate(α 87His $\rightarrow$ Tyr)、Hb M Boston(α 58His $\rightarrow$ Tyr)、Hb M Hyde Park(β 92His $\rightarrow$ Tyr)、Hb M Saskatoon(β 63His $\rightarrow$ Tyr)、Hb M Milwaukee (β 67Val $\rightarrow$ Glu)の5種類が知られている。これらは単にヘム鉄が酸化しているのみではなく、正常鎖の酸素結合機能への影響、異常鎖の酸化還元電位もHbM間で異なる。これらのことはアミノ酸変異によるヘムの構造変化がそれぞれ異なるのではないかと考え、ヘムの構造に敏感な共鳴ラマン分光で調べた。その結果、Hb M Iwate, Hb M Boston, Hb M Hyde Parkはヘム鉄は変異Tyrとのみ結合した5配位ハイスピン型を、Hb M saskatoonとHb M Milwaukeeは近位Hisと変異アミノ酸の両方が結合した6配位ハイスピン構造をとることが判明した。更にHb M Iwate, Hb M Bostonではヘムの側鎖のビニル基やプロピオン酸基のラマン線に大きな変化がみられ、変異Tyrと結合したことによりヘム面がかなり歪んでいることが伺われた。このヘムの歪みが異常鎖の還元性や正常鎖の酸素結合性に影響を与えているものと考えられる。

【平松・関田グループ】 遺伝子解析と情報理論による特定残基の機能

1. エイズウイルスHIVのV3グループでのウイルス存続に重要なアミノ酸群の推定を、特定情報量を応用して行う研究に、ようやくひとつの結論を得た：多次元相互情報量と共変指数を定義し、V3ループ内の位置関係のネットワークを明らかにし、共変グループを特定した。

2. DNAの符号構造を探るための符号理論、線形符号のゼータ関数、Duadic符号に関するDing-Plessの予想の解決等についての結果もいくつか得た

【浦谷・田辺グループ】 分子生物学へのトポロジー代数の応用

本年度は、以下の生命情報検索のアルゴリズムの開発を行った。

1. データベースとその検索
2. アライメントとそのアルゴリズム
3. 進化の経路解析
4. 2次構造および3次構造のアルゴリズム
5. 情報科学からの新しいアライメントアルゴリズム

従来のこの分野のアルゴリズムはバイオロジーの深い洞察から生まれたものであるものの、実際のインプリメンテーションは情報科学的観点からは、スマートとはいえないものであった。そこで、わがグループは、バイオのアイデアを用いた、情報科学の最先端のアルゴリズムを考案した。

全文検索とデータ圧縮のアルゴリズム

- ① 索引作成 サフィクスとインデクスポイント
- ② ソート
- ③ 2分探索
- ④ ブロックソート
- ⑤ Burrows-Wheeler 変換
- ⑥ B-W 逆変換
- ⑦ 圧縮と検索
- ⑧ Layer method (Tanabe-Kobayashi 04)によるソート

その結果、従来の最速のコピーメソッドを殆どのアライアント問題で2から3倍高速化できた。

【磯貝グループ】 新規蛋白質分子の設計

天然のシトクローム c は、特有のアミノ酸配列モチーフ (-CXXCH-) をもち、この2つのシステイン残基がヘムのビニル基と共有結合している。また、これらの c 型シトクロームは、標準水素電極に対して +170 ~ +350 mV と、他のヘムタンパク質に較べて高い酸化還元電位を示す。本研究では、この配列モチーフをもつ 4 本ヘリックスバンドルタンパク質を設計し、ヘムとポリペプチドを反応させることによって人工シトクローム c を合成した。アミノ酸配列は、ヘリックス-ループ-ヘリックスをモノマーとしてデザインし、C 末側のヘリックスにヘム c 配列モチーフを導入した。ヘム鉄の第 6 配位子として、N 末側に His を配置したもの (bis-His 配位型) と Met を配置したもの (His-Met 配位型) を作製した。遺伝子工学的に合成したポリペプチドを温和な還元条件下でヘムと反応させることによって c 型ヘムを結合した人工タンパク質が得られた。これらの人工ヘムタンパク質は、ゲルろ過クロマトグラフィーと円偏光 2 色性の測定によって、設計通りの 4 本ヘリックスバンドル構造を形成していることが分かった。さらに、紫外-可視光吸収分光法によって、設計通り bis-His あるいは His-Met の軸配位子構造をとることを確認した。bis-His 配位型は、標準水素電極に対して -200 mV の酸化還元電位を示し、天然シトクローム c の多くと同様な配位構造をもつ His-Met 配位型はそれよりも 20 mV 程度高い電位を示した。これらの結果は、天然シトクローム c の高い酸化還元電位がヘム周りの共有結合構造だけでなく、その疎水的環境によって実現されていることを示す。

【中村・飯塚グループ】 遺伝子組み換えによる生体内情報伝達系の解析

細菌は光、酸素、栄養などの環境の変化を感知するために「二成分情報伝達系」というタンパク質ファミリーを多数発達させてきた。本研究ではリガンド結合／解離とそれに伴うタンパク質リン酸化反応の共役のメカニズムの解明に取り組む。「二成分情報伝達系」は動物には存在しないため、このような基本的メカニズムの解明は病原性細菌などに対する抗生物質の開発等に貢献すると期待される。

ジフテリア菌ヘムセンサーの大腸菌による発現系の構築とリン酸化活性の検証

ジフテリア菌は感染時に血液中のヘムを取り込み、ヘム分解酵素で分解することで増殖に必要な鉄元素を取り出す。このヘム分解酵素の遺伝子を発現制御する遺伝子として chrSA が発見された。遺伝学的解析、DNA シークエンスの結果から chrSA 遺伝子は二成分情報伝達系に属するヘムセンサーであることが予測された。(1) chrSA 遺伝子の発現系: chrS、

chrA 遺伝子それぞれをジフテリア菌 *Corynebacterium diphtheriae* ゲノム DNA から PCR によってクローニングし、T7 プロモーターを持つ pRSET、pET ベクターに連結し、これらのプラスミドを含む組換え大腸菌を得た。chrS 遺伝子を持つ大腸菌の菌体は予想通り、分子量 40,000 のタンパク質を細胞膜画分を含み、その発現量は全膜タンパク質のおよそ 20% にも及んでいた。また、ChrA タンパク質の発現系の構築にも成功し、可溶性画分から同タンパク質を精製することにも成功した。(2) ChrS タンパク質の自己リン酸化: ChrS タンパク質を含む大腸菌細胞膜画分を調製し、自己リン酸化活性を検出する条件検討を行った。その結果、20mM MgCl_2 存在下で自己リン酸化活性を認めることができた。今後はヘム依存性のリン酸化活性および可溶化、精製条件を調べる予定である。

【原田グループ】 ナノテクノロジーによる生体内情報伝達系の解析

1 分子イメージング顕微鏡法や、マイクロビーズや 1 分子操作法を使って、1) DNA-タンパク質相互作用の分子機構の解明 2) 細胞内におけるタンパク質機能の 1 分子直視研究 3) 分子イメージングによるタンパク質機能解析法の開発、4) ミトコンドリア内の電子伝達を担うタンパク質構造変化のリアルタイム観察の 4 項目を中心に生体分子の分子機構を明らかにすることを目的に研究を行った。

(1) 相同遺伝子組み換え後期の RuvAB 複合体による Holliday 分岐点移動を DNA の端に結合させたビーズの回転運動として観察することに成功した。

(2) 神経成長因子(NGF)に蛍光色素を導入し、1 分子イメージング蛍光顕微鏡で、神経成長円錐膜上の受容体と結合からエンドサイトーシスによって細胞内に取り込まれるまでの一連の動きを観察した。

(3) 高感度蛍光イメージング技術を使った生体分子間相互作用解析システムを開発し、タンパク質分子間、タンパク質-DNA 分子間相互作用などを少量の試料で高感度に定量観察できることを示した。

(4) ミトコンドリア内の電子伝達を担うタンパク質複合体Ⅲの鉄イオウタンパク質サブユニットは電子伝達反応に伴い大きな構造変化を起こすことが予測されている。この構造変化をリアルタイム観察するための蛍光標識を行った。

【堀グループ】 磁気共鳴分光学による蛋白質物性

1) 強磁場EPR法による $S=2$ 整数スピン系の Mn^{3+}Mb の電子状態解析

還元型高スピンヘム鉄 (Fe^{2+}) と同じ整数スピン ($S=2$) 系を持つ Mn^{3+} -ポルフィリン置換 Mb (Mn^{3+}Mb) を用いて、 $S=2$ スピン系の電子状態を解析する事を目的とする。 Mn^{3+} -錯体の高スピン状態 ($S=2$) のゼーマンエネルギー準位はスピンハミルトニアン $H = D[S_z^2 - S(S+1)/3] + E(S_x^2 - S_y^2) + \beta \mathbf{S} \cdot \mathbf{g} \cdot \mathbf{B}$ より求まる。 Mn^{3+}Mb 単結晶の $\Delta S=2$ 遷移を 10GHz EPR で行い、 $g_z=1.93$ 、 $E^2/D=-0.032\text{cm}^{-1}$ である事を報告したが、D、E の絶対値を決めるためには $\Delta S=2$ 以外の遷移を測定する必要がある。50GHz、強磁場 (0~12T) EPR (HFEP) を用いた Mn^{3+}Mb 単結晶の測定より $D=-2.44\text{cm}^{-1}$ 、 $E=0.279\text{cm}^{-1}$ が得られた。

2) 高速混合凍結法によるシトクロムP450 反応中間体のEPRによる検出

シトクロム P450cam は分子状酸素を活性化して基質(camphor)に一原子酸素を添加するモノオキシゲナーゼ反応を触媒するヘムタンパク質である。この反応サイクル中で P450cam は電子供与体である Putidaredoxin (以下 Pdx) から 2 度電子を受け取る。反応サイクル中で、P450cam に酸素分子が添加された後の反応は非常に速く、中間体分子種を検出することは困難である。本研究では、高速混合凍結法を用いて、酸素添加後の反応中間体を EPR で検出することを目的とする。本高速混合凍結法では、還元型 450cam/Pdx 複合体と酸素溶

液を急速混合、凍結することで 200 μ 秒での反応中間体の EPR 測定を可能にした。野生型では初めて酸素分子の結合した還元型 P450cam/Pdx 複合体の EPR スペクトルが得られた。反応最終生成物である酸化型 P450cam 低スピン EPR 信号も見られたが、反応途中の中間体分子種の EPR 信号は得られなかった。

2004 年度業績リスト

今井 清博

<論文>

- 1) Nakamura, H., Kumita, H., Imai, K., Iizuka, T., and Shiro, Y.: “ADP reduces the oxygen-binding affinity of a sensory histidine kinase, FixL: The Possibility of an enhanced reciprocating kinase reaction”, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 101, 2742-2746 (2004).
- 2) Moto, K.-I., Suzuki, M., Hull, J. J., Kurata, R., Takahashi, S., Yamamoto, M., Okano, K., Imai, K., Ando, T. and Matsumoto, S.: “Involvement of a bifunctional fatty-acyl desaturase in the biosynthesis of the silkworm, *Bombyx mori*, sex pheromone”, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 101, 8631-8636 (2004).
- 3) Venkatesh, B., Miyazaki, G., Imai, K., Morimkoto, H. and Hori, H.: “Oxygen equilibrium and EPR studies on $\alpha 1\beta 1$ hemoglobin dimer”, J. Biochem. 136, 595-600 (2004).
- 4) Miyazaki, A. Nakanishi, T., Shimizu, A. Mizohuchi M., Yamada, Y. and Imai, K.: “Hb Kochi [b141(H19) Leu $\rightarrow$ Val (g.1404C $\rightarrow$ G); 144-146 (HC1-3) Lys-Tyr-His $\rightarrow$ O (g.1413 A $\rightarrow$ T)]: A new variant with increased oxygen affinity”, Hemoglobin 29, 1-10 (2005).

<著書>

- 1) 今井清博: 基礎歯科生理学第4版「体液」(中村嘉男、森本俊文、山田好秋編)、医歯薬出版、pp. 57-68 (2004) .

<学会発表>

- 1) Nakamura H., Kumita H., Imai K., Iizuka T., and Shiro Y.: “ADP reduces the oxygen binding affinity of a sensory histidine kinase FixL: the possibility of an enhanced reciprocating kinase reaction”, Gordon Research Conferences : Sensory Transduction in Microorganisms, Ventura, USA, Jan. (2004)
- 2) 清水寛律、今井清博、“ヘモグロビンの協同的酸素結合に対するシリカゾルの効果”、日本生物物理学会第42回年会 2P070 (2004年12月、京都国際会館)
- 3) 神 弥生、長井雅子、長井幸史、今井清博、長友重紀、北川禎三, “M型異常ヘモグロビン間にみられたヘムの構造の相違: 共鳴ラマン分光による研究”, 日本生物物理学会第42回年会 2P072 (2004年12月、京都国際会館)
- 4) 八巻 武、岩波健太郎、東 直人、藤瀬良弘、山田 格、三田 肇、鈴木知彦、今井清博、山本泰彦、“鯨類ミオグロビンのアミノ酸配列決定、酸素親和性計測、およびNMRによる活性部位の立体構造解析”、第19回生体機能関連化学シンポジウム 2P1-08 (1004年10月、東京大学)
- 5) 宮崎彩子、中西豊文、清水 章、溝渕 樹、山田康裕、今井清博、“エレクトロスプレ

ーイオン化質量分析を用いた新規異常ヘモグロビンの同定：Hb Kochi[β 141Lou $\rightarrow$ Val], β 144-146 Lys-Tyr-His $\rightarrow$ 0]”、第 47 回日本臨床検査医学会近畿支部総会（2004 年 6 月、奈良医大）

片岡 洋右

<論文>

- 1) Y. Yamada, Y. Ueda and Y. Kataoka, “Replica Exchange Monte Carlo Simulations for folding of Di-block Ployampholyte”, J. Computer Chemistry, in press.
- 2) Y. Kataoka and Y. Yamada, “Fluid-fluid Transition and Negative Expansion in 2 Step-Function Molecules System by Statistical Mechanics,” Mol. Sim., Vol. 30, no. 11-12, pp.841-846 (2004)
- 3) 蟹江了充, 片岡洋右: “分子動力学法を用いた水のマイクロクラスターの相転移計算,” 法政大学計算科学研究センター報告, 17, 65-68 (2004)
- 4) 老沼宏益, 片岡洋右: “荷電粒子系モデルに関する分子動力学シミュレーション”, 法政大学計算科学研究センター報告, 17, 69-72 (2004)
- 5) 丸山智史, 片岡洋右, “レナード・ジョーンズ系のモンテカルロシミュレーション,” 法政大学計算科学研究センター報告, 18, 61-64 (2005 年 3 月)
- 6) 竹内潤太郎, 片岡洋右, “井戸型ポテンシャル系の分子動力学シミュレーション”, 18, 65-68 (2005 年 3 月)
- 7) 青木健太郎, 片岡洋右, “炭素結晶の物性と相転移”, 18, 69-72 (2005 年 3 月)

<学会発表>

- 1) YKATAOKA, Y. and YAMADA, Y.: “Fluid-fluid Transition and Negative Expansion in 2 Step-function Molecules System by Statistical Mechanics”, Joint Meeting: “International Conference on Molecular Simulation” and “Computational Science Workshop 2004”, Jan 13-15, 2004, Tsukuba.
- 2) 片岡洋右, 山田祐理, “マイクロクラスターにおける相転移のモンテカルロシミュレーション,” 日本コンピュータ化学会 2004 春季年会講演予講集, 1009 (2004 年 5 月)
- 3) 片岡洋右, 山田祐理, “球形セルにおける少数粒子系の相転移的状态変化,” 第 27 回溶液化学シンポジウム 203 (2004 年 11 月)
- 4) 片岡洋右, 山田祐理, “立方体的周期系におけるカノニカル分配関数---2 粒子階段関数系の場合---,” 第 18 回分子シミュレーション討論会 302S (2004 年 12 月)

大河内 正一

<論文>

- 1) 盛岡実、樋口隆行、中村圭介、首藤祐樹、大河内正一、“コレマナイトまたは焼成コレマナイトを添加しアルミナセメントモルタルの物性”、無機マテリアル学会誌、11, 105-112(2004).
- 2) M. Tsuchiya, Y. Shida, K. Kobayashi, O. Taniguchi, and S. Okouchi, “Cluster composition distribution at the liquid surface of alcohol-water mixtures and evaporation processes studied by liquid ionization mass spectrometry”, International Journal of Mass Spectrometry, 225, 229-241(2004).
- 3) S. Okouchi, K. Tsuchida, S. Yoshida, Y. Ishihara, S. Ikeda, and H. Uedaira, “Dynamics of the Hydration of Amino Alcohols and Diamines in Aqueous Solution,

78, 424-429(2005).

- 4) 大河内正一、大波英幸、甲村和之、森本卓也、池田茂男、“ORP評価に基づく塩素殺菌した温泉水の泉質変化”、温泉科学会誌、54, 155-162(2005).
- 5) 大河内正一、“天然の温泉は”還元系“一酸化還元電位 (ORP) 法に基づく温泉水の評価—”、みんかつ、No. 190, 11月号、p. 18-23.

< 著書 >

- 1) 大河内正一、日本温泉科学会編、“温泉科学の最前線、21世紀に期待される温泉——生理学的に効能が明らかな温泉（炭酸泉）——”、p. 206-231（4月30日、ナカニシヤ出版、京都）
- 2) 松田忠徳、阿岸祐幸、大河内正一、甘露寺泰雄、“温泉の未来”、くまざさ出版、東京（2005年1月）

< 学会発表 >

- 1) 大河内正一、狩野文雄、佐藤亜紀、首藤祐樹、守吉佑介、“焼成コレマナイトに対する防藻評価”、日本防菌防黴学会第31年次大会、p. 97(2004年5月).
- 2) 大河内正一、佐藤亜紀、首藤祐樹、守吉佑介、狩野文雄、“焼成コレマナイトに対する防藻効果 (I)”、無機マテリアル学会第108回学術講演会講演、要旨集、p. 58-59(2004年6月)
- 3) 大河内正一、大波英幸、森本卓也、“ORP（酸化還元電位）による“源泉かけ流し”温泉の鮮度評価—事例研究 (1)・関温泉—”、温泉学会第3回全国大会報告要旨集、26-29(2004年9月).
- 4) 大河内正一、大波英幸、大野慶晃、浅井邦康、森本卓也、阿岸祐幸、“硫化水素泉の末梢血流量増加の可視化”、第57回日本温泉科学会大会講演要旨集、No. 19(2004年9月)
- 5) 大河内正一、甲村和之、大波英幸、神田剛志、飯沼覚寿、阿岸祐幸、“温泉水とマイナスイオンの関係の基礎研究”、第57回日本温泉科学会大会講演要旨集、P9(2004年9月)
- 6) 大河内正一、大波英幸、甲村和之、森本卓也、“塩素殺菌した温泉水のORP評価に基づく泉質変化”、第57回日本温泉科学会大会講演要旨集、No. 9(2004年9月)
- 7) 大河内正一、佐藤亜紀、小澤美絵、守吉佑介、“焼成コレマナイトに対する防藻効果 (II)”、無機マテリアル学会第109回学術講演会講演、要旨集、p. 42-43(2004年11月)
- 8) 大河内正一、大波英幸、庄司未来、阿岸祐幸、“中性系電解還元水の浴槽水への応用 (I)”、第3日本機能水学会学術大会講演要旨集、p. 10(2004年12月)
- 9) 森本卓也、大河内正一、“ORP（酸化還元電位）による”源泉かけながし“温泉の鮮度評価—事例研究 (II) 北海道川湯温泉について—”、温泉学会第4回全国大会報告要旨集、9-11(2005年3月)
- 10) 大河内正一、大波英幸、庄司未来、阿岸祐幸、“温泉水（還元水）の皮膚・髪に与える効果・効能について”、温泉学会第4回全国大会報告要旨集、17-20(2005年3月)
- 11) 大河内正一、渥美功二、土田和志、吉田史志、石原義正上平恒、“スルホン酸水溶液中における水の動的状態”、日本化学会第85回春季年会、1PC-023(2005年3月)
- 12) 大河内正一、佐藤亜紀、守吉佑介、“焼成コレマナイトの微生物活性効果について”、日本農芸化学会2005年度大会講演要旨集、180(2005年3月)

高月 昭

< 論文 >

- 1) 高月 昭：「糖タンパク質の合成および細胞内輸送の阻害剤の発見と作用機構の研究」、日

<学会発表>

- 1) 高月 昭：「バイオプローブを用いたゴルジ装置ダイナミクス機構の研究」、第1回ケミカルバイオロジーシンポジウム発表要旨集、p. 34, (2004)
- 2) 高月 昭：「ゴルジ装置ダイナミクスの制御の研究」、第3回バイオアーキテクトシンポジウム、2004年、磐梯熱海町

石浜 明

<論文>

- 1) Eguchi, Y., Okada, T., Minagawa, S., Oshima, T., Mori, H., Yamamoto, K., Ishihama, A. and Utsumi, R.: Signal transduction cascade between EvgA/EvgS and PhoP/PhoQ two-component systems of *Escherichia coli*. *J. Bacteriol.* 186 (10), 3006-3014 (2004)
- 2) Honda, A. and Ishihama, A.: Structure-function relationships of influenza virus RNA polymerase. *International Congress Series: Options for Control of Influenza Virus, V.* (Y. Kawaoka, ed.), Vol. 1263C, pp. 21-24, 2004
- 3) Iwata, A., Yamamoto, A., Fujino, M., Sato, I., Hosokawa-Kanai, T., Tuchiya, K., Ishihama, A. and Sokawa, Y.: High level activity of (2', 3' 9-oligoadenylate synthetase in dog serum. *J. Vet. Med. Sci.* 66 (6), 721-724 (2004)
- 4) Kim, J., Yoshimura, S.H., Hizume, K., Ohniwa, R.L., Ishihama, A. and Takeyasu, K.: Fundamental structural units of the *Escherichia coli* nucleoid revealed by atomic force microscopy. *Nucleic Acids Res.* 32 (6), 1982-1992 (2004)
- 5) Kimura, M., Mitsuzawa, H. and Ishihama, A.: RNA polymerase and accessory factors. In: *The Molecular Biology of Schizosaccharomyces pombe*. Egel, R., Ed. Springer Pro Edit GmbH, Heidelberg. pp. 329-342, 2004.
- 6) Kimura, M. and Ishihama, A.: Tfg3, the third subunit of general transcription factor TFIIF, functions at high temperature in the fission yeast *Schizosaccharomyces pombe*. *Nucleic Acids Res.* 32 (22), 6706-6715 (2004)
- 7) King, T., Ishihama, A., Kori, A. and Ferrenci, T.: A regulatory trade-off as a source of strain variation in the species *Escherichia coli*. *J. Bacteriol.* 186 (17), 5614-5620 (2004)
- 8) Kolpashchikov, D., Honda, A. and Ishihama, A.: Structure-Function Relationships of Influenza Virus RNA Polymerase: Primer-binding Site on PB1 Subunit. *Biochemistry* 43 (19), 5882-5887 (2004)
- 9) Mitsuzawa, H. and Ishihama, A.: RNA polymerase II transcription apparatus in *Schizosaccharomyces pombe*. *Curr. Genet.* 44 (6), 287-294 (2004)
- 10) Ogasawara, H., Teramoto, J., Yamamoto, K., Ishihama, A. and Utsumi, R.: Negative regulation of the DNA repair gene (*ung*) expression by CpxR/cxA two-component system in *Escherichia coli* and induction of mutations by increased expression of CpxR. *J. Bacteriol.* 186 (24), 8317-8325 (2004)
- 11) Shimada, T., Makinoshima, H., Ogawa, N., Maeda, M. and Ishihama, A.: Quantitative analysis of *Escherichia coli* promoter activity: Stationary-phase gene-associated promoters. *J. Bacteriol.* 186 (21), 7112-7122 (2004)

- 12) Takeyasu, K., Kim, J., Ohniwa, R.L., Kobori, T., Inose, Y., Morikawa, K., Ohta, T., Ishihama, A. and Yoshimura, S.H.: Genome architecture studied by nano-scale imaging: Analyses among bacterial phyla and their implications to eukaryotic genome folding. *Cytogenet. Genome Res.* 107 (1-2), 38-48 (2004)
- 13) Yang, J., Hwang, S., Camakaris, H., Irawaty, W., Ishihama, A. and Pittard, J.: Modes of action of the TyrR protein, which result in repression and activation of the *tyrP* promoter of *Escherichia coli*. *Mol. Microbiol.* 52 (1), 243-256 (2004)
- 14) Yoshida, M., Kashiwagi, K., Shigemasa, A., Shigemasa, A., Taniguchi, S., Yamamoto, K., Makinoshima, H., Ishihama, A. and Igarashi, K.: A unifying model for the role of polyamines in bacterial cell growth: the polyamine modulon. *J. Biol. Chem.* 279 (44), 46008-46013 (2004)

<学会発表> (国際会議のみ)

- 1) Ishihama, A., Yamamoto, K., Miki, T.: Transcription regulation of the *Escherichia coli* genome: The metal regulons. Cold Spring Harbor Meeting "Molecular Genetics of Bacteria and Phages", Aug. 24-29, 2004.
- 2) Shimada, T., Hirao, K., Fujita, N., Yamamoto, K., Maeda, M. and Ishihama, A.: Systematic SELEX search for transcription factor-binding sites on the *E. coli* genome. Cold Spring Harbor Meeting "Molecular Genetics of Bacteria and Phages", Aug. 24-29, 2004.
- 3) Takeyasu, K., Yoshimura, S.H., Kim, J., Kobori, T., Hizume, K. and Ishihama, A.: Higher-order architectures of human and bacterial genomes revealed by atomic force microscopy. IFAA (国際解剖学会), Aug. 2004, Japan
- 4) Ishihama, A.: Understanding the global regulation of genome transcription. Indo-Japan Workshop "Understanding of Chromatin Structure and Functions", Jan 20-23, 2005, Bangalore, India.
- 5) Ishihama, A.: Identification of the regulatory roles of *Escherichia coli* transcription factors with unidentified functions. Jawaharlal Nehru Cent. Adv. Sc. Res. Lecture, Jan. 25, Bangalore, India
- 6) Ishihama, A.: Functional analysis of transcription factors: Strategies and tactics. RNA Polymerase Workshop, March 21-22, 2005. York, UK

長井雅子

<論文>

- 1) Jin, Y., Sakurai, H., Nagai, Y., & Nagai, M.: "Changes of near-UV CD spectrum of human hemoglobin upon oxygen binding: A study of mutants at α 42, α 140, β 145 tyrosine or β 37 tryptophan", *Biopolymers*, 74, 60-63 (2004).
- 2) Jin, Y., Nagai, M., Nagai, Y., Nagatomo, S., & Kitagawa, T.: "Heme structures of five variants of Hemoglobin M probed by resonance Raman spectroscopy", *Biochemistry*, 43, 8517-8527 (2004).
- 3) Jin, Y., Sakurai, H., Nagai, Y., & Nagai, M.: "Changes of near-UV CD spectrum of human hemoglobin upon oxygen binding: A study of mutants at α 42, α 140, β 145 tyrosine or β 37 tryptophan", *Biopolymers*, 74, 60-63 (2004).
- 4) Jin, Y., Nagai, M., Nagai, Y., Nagatomo, S., & Kitagawa, T.: "Heme structures of five variants of Hemoglobin M probed by resonance Raman spectroscopy",

<学会発表>

- 1) 村田由香、長井雅子、水谷泰久：「酸素の脱離に伴うヘモグロビンの構造ダイナミックス」 第42回生物物理学会年会、2004年、京都市
- 2) 神弥生、長井雅子、長井幸史、今井清博、長友重紀、北川禎三、：「M型異常ヘモグロビン間にみられたヘムの構造の相違：共鳴ラマン分光による研究」 第42回生物物理学会年会、2004年、京都市

平松 豊一

<論文>

- 1) 知念宏司, 平松豊一, “線形符号のゼータ関数とリーマン予想の類似”, 京大数理解析研究所講究録1361, pp. 91-101 (2004. 4).
- 2) Tomoaki Mimuro, Shuzo Matsuda, Toyokazu Hiramatsu et al., “On the conjecture of Ding and Pless”, Proc. of the 2004 International Sym. on Information Theory and its Applications, ISITA 2004, 172-177 (2004. 10).
- 3) 平松豊一, 知念宏司, “線形符号のゼータ関数とそのリーマン予想”, 数理科学特集「符号化理論の新時代」, pp. 42-47 (2004. 11).

<学会発表>

- 1) 三室智明, 平松豊一, “コラッツ予想の循環する数について”, 日本数学会(2004. 9).
- 2) 斎藤正顕, 平松豊一, “ある5次式が完全分解するような素数の数値結果について”, 日本数学会(2004. 9).
- 3) 斎藤正顕, 平松豊一, “ある5次式が完全分解するような素数について”, 日本数学会(2004. 9).
- 4) 平松豊一, 松田修三, “円分数, 暗号及び2次分割”, 京大数理研究集会「符号と暗号の代数的数理」(2004. 11).
- 5) 多田秀樹, 関田英太郎, “HIV-1 (V3 loop) ウィルスとエントロピー”, 京大数理研究集会「符号と暗号の代数的数理」(2004. 11).
- 6) 多田秀樹, 平松豊一 et al., “ $\mathbb{Z}/p^2\mathbb{Z}$ 上での長さ pe の巡回符号の構成”, 第27回 SITA(2004. 12).

田辺 隆人

<学会発表>

田辺 隆人: Bioinformaticsとソフトウェア, 京都大学数理解析研究所(2004).

飯塚 哲太郎

<論文>

- 1) Nakamura, H., Kumita, H., Imai, K., Iizuka, T., and Shiro, Y.: “ADP reduces the oxygen-binding affinity of a sensory histidine kinase, FixL: The Possibility of an enhanced reciprocating kinase reaction”, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 101, 2742-2746 (2004).

- 2) Ishida, M., Dohmae, N., Shiro, Y., Oku, T., Iizuka, T. & Isogai, Y.: Design and Synthesis of *de Novo* Cytochromes *c.* *Biochemistry* **43**, 9823-9833 (2004).

<学会発表>

- 1) Nakamura H., Kumita H., Imai K., Iizuka T., and Shiro Y.: “ADP reduces the oxygen binding affinity of a sensory histidine kinase FixL: the possibility of an enhanced reciprocating kinase reaction”, Gordon Research Conferences : Sensory Transduction in Microorganisms, Ventura, USA, Jan. (2004)

中村 寛夫

<論文>

- 1) Nakamura H., Kumita H., Imai K., Iizuka T., and Shiro, Y.: “ADP reduces the oxygen-binding affinity of a sensory histidine kinase, FixL: The Possibility of an enhanced reciprocating kinase reaction”, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 101, 2742-2746 (2004).
- 2) Nakamura H., Kumita H., Imai K., Iizuka T., and Shiro Y.: “ADP reduces the oxygen binding affinity of a sensory histidine kinase FixL : the possibility of an enhanced reciprocating kinase reaction”, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 101, 2742-2746 (2004)

<学会発表>

国際会議

- 1) Nakamura H., Kumita H., Imai K., Iizuka T. and Shiro Y: “ADP reduces the oxygen binding affinity of a sensory histidine kinase FixL: The possibility of an enhanced reciprocating kinase reaction” Gordon Research Conferences on Sensory Transduction in Microorganisms, Ventura, USA, Jan. (2004)
- 2) Shiro Y and Nakamura H.: “Sensing mechanism by heme-based oxygen sensor FixL/FixJ system” The 1st Pacific-Rim International Conference on Protein Science (PRICPS2004), Yokohama, Japan, Apr. (2004)
- 3) Nakamura H.: “The heme-based oxygen sensor, FixL/FixJ system, a paradigm of the two-component signal transducing systems” The 13th European Bioenergetics Conference (EBEC2004), Pisa, Italy, Aug. (2004)
- 4) Yamada S, Sugimoto H, Kumita H, Nakamura H. and Shiro Y: “Crystallization of the histidine kinase/response regulator complex of the two-component signal transduction system” 8th International Conference on Biology and Synchrotron Radiation (BSR2004), Himeji, Hyogo, Sep. (2004)
- 5) Nakamura H.: “Rhizobial FixL/FixJ system exhibits a paradigm of the two-component signal transducing systems: a two-cylinder reciprocating engine model of phosphorylation reactions” 14th International Congress on Nitrogen Fixation, Beijing, China, Oct. (2004)
- 3) Nakamura H.: “A novel regulatory mechanism of the kinase reaction of a heme-based oxygen sensor proteins: two-cylinder reciprocating engine model of FixL/FixJ” Third Symposium on Advances in Bioinorganic Chemistry (SABIC-2004) in conjunction with AsBIC-II, Goa, India, Dec. (2004)

国内会議

- 1) 中村 寛夫: “Two-cylinder reciprocating engine model of the oxygen sensor kinasesystem, FixL/FixJ” 第 77 回日本生化学会大会, 横浜, 10 月 (2004)
- 2) 穂本 智, 城 宜嗣, 中村 寛夫: “The inhibitory mechanism of the FixT for the FixL kinase activity in *Sinorhizobium meliloti*” 第 77 回日本生化学会大会, 横浜, 10 月 (2004)
- 3) 田中 敦成, 中村 寛夫, 城 宜嗣: “酸素センサータンパク質FixLの自己リン酸化反応と二量体化の関連” 第 42 回日本生物物理学会年会, 京都, 12 月 (2004)
- 4) 奈良 麻利子, 佐藤 雅俊, 城 宜嗣, 中村 寛夫: “動物細胞におけるヘムの輸送について” 第 42 回日本生物物理学会年会, 京都, 12 月 (2004)
- 5) 兼本 真友子, 中村 寛夫, 城 宜嗣: “エチレンセンサータンパク質ETR1 の大腸菌における発現系構築に向けた膜内配向性解析” 第 42 回日本生物物理学会年会, 京都, 12 月 (2004)
- 6) 山田 斉爾, 秋山 修志, 杉本 宏, 汲田 英之, 伊藤 和輝, 藤澤 哲郎, 中村 寛夫, 城 宜嗣: “二成分情報伝達系タンパク質複合体の溶液・結晶構造解析” 理研マンスリーフォーラム第 6 回ポスターセッション, 播磨, 1 月 (2005)
- 7) 山田 斉爾, 穂本 智, 杉本 宏, 汲田 英之, 伊藤 和輝, 藤澤 哲郎, 中村 寛夫, 城 宜嗣: “二成分情報伝達系タンパク質ヒスチジンキナーゼ／レスポンスレギュレーター複合体の溶液・結晶構造解析” 日本農芸化学会 2005 年度大会, 札幌, 3 月 (2005)

磯貝 泰弘

<論文>

- 1) Ishida, M., Dohmae, N., Shiro, Y., Oku, T., Iizuka, T. & Isogai, Y.: Design and Synthesis of *de Novo* Cytochromes *c*. *Biochemistry* **43**, 9823-9833 (2004).

<学会発表>

- 1) 磯貝泰弘: 「人工タンパク質のデザインとフォールディング」、第 61 回武蔵野地区高分子懇話会「タンパク質を創る」(主催 高分子学会関東支部)、2004 年 11 月、創価大学工学部 (八王子)
- 2) 竹田直弘, 竹清貴浩, 奥野明, 清水昭夫, 磯貝泰弘, 加藤稔, 谷口吉弘: 「デノボデザインペプチドおよびタンパク質の α -ヘリックスに及ぼす圧力効果」、日本生物物理学会第 42 回年会、2004 年 12 月、京都
- 3) 磯貝泰弘、伊藤隆、池谷鉄兵、太田元規: 「人工 λ Cro の溶液構造」、日本生物物理学会第 42 回年会、2004 年 12 月、京都
- 4) 磯貝泰弘 (理化学研究所) 「人工タンパク質のデザインとフォールディング」、分子研研究会「物理化学から生命科学を展望する ー分子組織体から細胞へー」、2004 年 12 月、岡崎
- 5) 磯貝泰弘、伊藤隆、池谷鉄兵、太田元規: “*DE NOVO* DESIGN AND SYNTHESIS OF λ CRO FOLD”、科学研究費補助金特定領域研究「水と生体分子が織り成す生命現象の化学」第 2 回公開ワークショップ、2004 年 3 月、東京

原田 慶恵

<論文>

- 1) Harada, Y. : “Studies on biomolecules using single molecule imaging and manipulation techniques” Sci. Tech. Adv. Mat., 5, 709-713, 2004
- 2) Tani, T., Miyamoto, Y., Fujimori, KE., Taguchi, T., Yanagida, T., Sako, Y. and Harada, Y. : “Trafficking of ligand-receptor complex on the growth cones as an essential step for the uptake of nerve growth factor at the distal end of axon: a single-molecule analysis” J. Neurosci., 25, 2181-2191, 2005
- 3) 貴家康尋, 原田慶恵 : “生体分子機能を観察できる光学顕微鏡システムの開発” 月刊薬事, 46 (5), 149-154, 2004

<著書>

- 1) 原田慶恵: “DNA, RNA ポリメラーゼ”. 生物物理学ハンドブック, 朝倉書店, 印刷中
- 2) 谷知己, 原田慶恵: “蛍光1分子イメージング” 蛋白質 核酸 酵素, 49, 1647-1651, 2004
- 3) 原田慶恵: “DNA, RNA ポリメラーゼ” 生物物理学ハンドブック, 朝倉書店, 印刷中
- 4) 原田慶恵: “一分子観察, 蛍光顕微鏡, 蛍光色素, 光ピンセット” ナノバイオ辞典, テクノシステム, 印刷中
- 5) 原田慶恵: “1分子イメージング” ソフトナノテクノロジーーバイオマテリアル革命ー, シーエムシー出版, 印刷中

<学会発表>

- 1) Harada, Y. : “Studies on biomolecules using single molecule imaging and manipulation technique” 遺伝子工学 公開シンポジウム, 2004.4.9, 福岡 (招待講演)
- 2) Miki, T., Harada, Y. : “Effect of chemical modification on energy- transducing reactiona in the mitochondrial cytochrome bcl complex. The 1st Pacific-Rim International Conference on Protein Science (PRICPS 2004)” 2004.4.14, 横浜
- 3) 鞍馬秀輝, 貴家康尋, 多田隈尚史, 永川豊広, 船津高志, 原田慶恵 : “ β actin mRNA の細胞内輸送と局在のイメージング” CREST領域会議, 2004.4.22,
- 4) 韓 龍雲, 菱田 卓, 谷 知己, 岩崎博史, 原田慶恵, 品川日出夫: “一分子計測法を用いたRuvA-RuvB蛋白質複合体によるHolliday構造DNAの分岐点移動反応の直接観察” 日本遺伝学会第76回大会, 2004.9.27-29, 吹田(大阪)
- 5) 韓龍雲, 原田慶恵: “一分子解析法を用いた組換え反応におけるRuvABの動作原理の解明” CERSTソフトナノマシン領域会議, 2004.10.7-8, 名古屋
- 6) Miki, T., Sasuga, Y., Harada, Y. : “Reconstitution of beef heart cytochrome bcl complex with iron-sulfur protein expressed in *Escherichia coli*” 第77回日本生化学会大会, 2004.10.14, 横浜
- 7) 原田慶恵: “神経成長因子の結合にともなう神経成長円錐の応答” 第9回神経科学領域における分子モニタリングシンポジウム, 2004.11.12, 東京
- 8) 谷 知己, 原田慶恵: “神経成長因子の結合に伴う後根節神経成長円錐の運動反応: その刺激応答連関の1分子解析” 日本生物物理学会第42回年会, 2004.12.13-15, 京都
- 9) 三木俊明, 貴家康尋, 原田慶恵 : “組み換え体の鉄イオウタンパク質を用いたミトコ

- ンドリア・チトクロムbc1 複合体の再構成” 日本生物物理学会第 42 回年会, 2004.12.13-15, 京都
- 10) 林 真人, 原田慶恵 : “1 本のDNAに生じる 2 重らせん構造の変化を直接計測する” 日本生物物理学会第 42 回年会, 2004.12.13-15, 京都
- 29) 貴家康尋, 小原 収, 谷 知己, 原田慶恵 : “マイクロビーズアレイを利用した分子イメージングによる生体分子間相互作用解析法の開発” 日本生物物理学会第 42 回年会, 2004.12.13-15, 京都
- 11) 韓 龍雲, 谷 知己, 林 真人, 菱田 卓, 岩崎博史, 品川日出夫, 原田慶恵 : “一分子解析法を用いたRuvA-RuvB蛋白質複合体のHolliday構造DNA分岐点移動反応の直接観察” 日本生物物理学会第 42 回年会, 2004.12.13-15, 京都
- 12) 永川豊広, 鞍馬秀輝, 貴家康尋, 原田慶恵, 船津 高志 : “ β -actin mRNAとzipcode-binding protein 1 の結合・解離のキネティクス” 日本生物物理学会第 42 回年会, 2004.12.13-15, 京都
- 13) 三木俊明, 貴家康尋, 原田慶恵 : “組み換え体の鉄イオウタンパク質を用いたミトコンドリア電子伝達系複合体IIIの再構成” 日本生体エネルギー研究会第 30 回討論会, 2004.12.16, 茨木(大阪)
- 14) 韓龍雲, 谷知己, 林真人, 菱田卓, 岩崎博史, 品川日出夫, 原田慶恵 : “一分子解析法を用いたDNA相同組換え反応に関するRuvABの動作原理の解明” 2005 年 生体運動研究合同班会議, 2005.1.7-9, 豊中
- 15) 原田慶恵 : “1 分子イメージングで生体分子の機能を探る” 産業技術総合研究所セミナー 2005.1.28 つくば
- 16) Han, Y-W., Tani, T., Hayashi, M., Hishida, T., Iwasaki, H., Shinagawa, H. and Harada, Y. : “Direct observation of the RuvA-RuvB mediated branch migration of Holliday junction DNA with single-molecule analysis” Biophysical Society 49th Annual Meeting, 2005.2.12-16, Long Beach, USA
- 17) Hayashi, M. and Harada, Y. : “Direct measurement of the unwinding of the double helical structure in a single DNA molecule by T7 RNA polymerase in transcription initiation” Biophysical Society 49th Annual Meeting, 2005.2.12-16, Long Beach, USA
- 18) Tani, T., Miyamoto, Y., Fujimori, K. E., Taguchi, T., Yanagida, T., Sako, Y. and Harada, Y. : “Signal input of nerve growth factor into the growth cone visualized by the use of single-molecule imaging” Biophysical Society 49th Annual Meeting, 2005.2.12-16, Long Beach, USA
- 19) 原田慶恵 : “分子機能解析” ポストゲノム医科学・プラットフォーム技術コース, 2005.2.23, 東京
- 20) Harada, Y. : “Studies on biomolecules using single molecule imaging techniques” UK-Japan Nanotechnology Symposium, 2005.3.9, 東京 (招待講演)
- 21) 原田慶恵 : “1 分子イメージングでDNAの機能を探る” DNAワークショップJSTナノテクノロジー分野 別バーチャルラボ領域横断企画, 2005.3.10-11, 熱海

堀 洋

<論文>

- 1) Y.Miyajima, H.Yashiro, T.Kashiwagi, M.Hagiwara and H.Hori : “High Field and Multi-Frequency EPR in Single Crystals of Sperm Whale Met-Myoglobin: Determination of the Axial Zero-Field Splitting Constant and Frequency Dependence of the

- Linewidth” , J. Phys. Soc. Jpn., 73, 280-286 (2004)
- 2) T. Matsuo, H. Dejima, S. Hirota, D. Murata, H. Sato, T. Ikegami, H. Hori, Y. Hisaeda and T. Hayashi: “Ligand Binding Properties of Myoglobin Reconstituted with Iron Porphycene: Unusual O₂ Binding Selectivity against CO Binding” , J. Am. Chem. Soc., 126, 16007-16017 (2004)
 - 3) H. Kumita, K. Matsuura, T. Hino, S. Takahashi, H. Hori, Y. Fukumori, I. Morishima and Y. Shiro: “NO Reduction by Nitric Oxide Reductase from Denitrifying Bacterium *Pseudomonas aeruginosa*: Characterization of Reaction Intermediates Appeared in the Single-Turnover Cycle” , J. Biol. Chem., 279, 55247-55254 (2004)
 - 4) B. Venkatesh, G. Miyazaki, K. Imai, H. Morimoto and H. Hori: “Oxygen equilibrium and EPR studies on $\alpha 1\beta 1$ hemoglobin dimmer” , J. Biochem., 136, 595-600 (2004)
 - 10) N. Kagawa, H. Hori, M. R. Waterman and S. Yoshioka: “Characterization of stable human aromatase expressed in *E. coli*” , Steroids, 69, 235-243 (2004)
 - 5) Y. Matsuda, T. Uchida, H. Hori, T. Kitagawa and H. Arata: “Structural characterization of a binuclear center of a Cu-containing NO reductase homologue from *Roseobacter denitrificans* : EPR and resonance Raman studies” , Biochim. Biophys. Acta, 1656, 37-45 (2004)
 - 6) F. Takeuchi, H. Hori, E. Obayashi, Y. Shiro and M. Tsubaki: “Properties of Two Distinct Heme Centers of Cytochrome *b*₅₆₁ from Bovine Chromaffin Vesicles Studied by EPR, Resonance Raman, and Ascorbate Reduction Assay” , J. Biochem., 135, 53-64 (2004)
 - 7) T. Saito, Y. Tachibana, Y. Higuchi, H. Hori and H. Akutsu: “Correlation between the g Tensors and the Nonplanarity of Porphyrin Ring in *Desulfvibrio vulgaris* Miyazaki F Cytochrome c3, Studied by Single Crystal EPR” , Bull. Chem. Soc. Jpn., 77, 357-363 (2004)
 - 8) K. Matsuura, S. Yoshioka, S. Takahashi, K. Ishimori, T. Mogi, H. Hori and I. Morishima: “Dioxygen reduction by *bo*-type oxidase from *Escherichia coli* studied by submillisecond-resolved freeze quench EPR spectroscopy” , Biochemistry, 43, 2288-2296 (2004)
 - 9) H. Matsunami, T. Okajima, S. Hirota, H. Yamaguchi, H. Hori, S. Kuroda and K. Tanizawa: “Chemical Rescue of a Site-specific Mutant of Bacterial Copper Amine Oxidase for Generation of the Topa Quinone Cofactor” , Biochemistry, 43, 2178-2187 (2004)
 - 10) T. Inuzuka, B.-G. Yun, H. Ishikawa, S. Takahashi, H. Hori, R. L. Matts, K. Ishimori, I. Morishima: “Identification of Crucial Histidines for Heme Binding in the N-terminal Domain of the Heme-regulated eIF2 α Kinase” , J. Biol. Chem., 279, 6778-6782 (2004)
 - 11) 堀 洋: “電子スピン共鳴”、蛋白質核酸酵素 Vol. 49 No. 11 (2004) 増刊号「バイオ高性能機器・新技術利用マニュアル I 各種解析装置の原理と使用例」

<学会発表>

- 1) 堀谷 正樹、村田 知弥、堀 洋: “整数スピン系 (S=2) を持つヘムタンパク質のEPRによる解析:Mn3+-置換ミオグロビンの場合”、第42回日本生物物理学会年会、2004年、京都市
- 2) 石川 格将、近藤 昌幸、堀 洋: “プチダレドキシン・P450cam複合体における¹H-ENDOR信号のD₂O効果”、第42回日本生物物理学会年会、2004年、京都市
- 3) 中西 伸行、竹内 総子、堀 洋、岡本 英嗣、田村 厚夫、鏑木 基成: “シトクロ

- ム b5 の DEPC 処理によって明らかにされたアスコルビン酸依存性シトクロム b561 の還元機構”、第 42 回日本生物物理学会年会、2004 年、京都市
- 4) Fusako Takeuchi, Hiroshi Hori, Motonari Tsubaki: “Selective perturbation of the intravesicular heme center of cytochrome *b561* by cysteinyl modification with 4,4'-dithiodipyridine”, 第 77 回日本生化学会大会、2004 年、横浜市
 - 5) Hideyuki Kumita, Koji Matsuura, Tomoya Hino, Satoshi Takahashi, Hiroshi Hori, Yoshihiro Fukumori, Isao Morishima, Yoshitsugu Shiro: “Structural Characterization of Reaction Intermediate of NO Reductase from *Pseudomonas aeruginosa*”, 第 77 回日本生化学会大会、2004 年、横浜市
 - 6) Haruto Ishikawa, Hiroshi Hori, Takayoshi Kirisako, Koichiro Ishimori, Fuminori Tokunaga, Kazuhiro Iwai: “Mechanism underlying heme-mediated ubiquitylation of IRP2”, 第 77 回日本生化学会大会、2004 年、横浜市
 - 7) 汲田 英之、松浦 宏治、日野 智也、高橋 聡、堀 洋、福森 義宏、森島 績、城 宜嗣: “急速凍結 EPR 分光法による膜結合型 NO 還元酵素の反応機構解析”、第 31 回生体分子科学討論会、2004 年、茨城市
 - 8) 中西 伸行、竹内 総子、堀 洋、鏑木 基成: “Diethyl pyrocarbonate 処理に伴う cytochrome *b5* の redox 変化”、第 31 回生体分子科学討論会、2004 年、茨城市
 - 9) 小林 由紀子、斉藤 貴士、高山 裕生、堀 洋、阿久津 秀雄: “*D. vulgaris* Miyazaki F シトクロム c_3 における軸配位子 His イミダゾールの一酸化炭素による置換”、第 31 回生体分子科学討論会、2004 年、茨城市
 - 10) 汲田 英之、松浦 宏治、日野 智也、高橋 聡、堀 洋、福森 義宏、森島 績、城 宜嗣: “膜結合型 NO 還元酵素の反応機構解析”、第 19 回生体機能関連化学シンポジウム、2004 年、東京

会議等開催記録

運営委員会

シンポジウム実行委員会

セミナー報告書

会議等開催記録

● 運営委員会（2004年度）

2004. 4.16	第1回運営委員会
2004. 5.14	第2回運営委員会
2004. 6.11	第3回運営委員会
2004. 7.17	第4回運営委員会
2004. 9.17	第5回運営委員会
2004.10.15	第6回運営委員会
2004.11.20	第7回運営委員会
2004.12.16	第8回運営委員会
2005. 1.22	第9回運営委員会
2005. 3. 4	第10回運営委員会

● 開設記念シンポジウム実行委員会

2004. 3. 8	第1回シンポジウム実行委員会
2004. 4.12	第2回シンポジウム実行委員会
2004. 5. 7	第3回シンポジウム実行委員会

2005年度 マイクロ・ナノテクノロジー研究センター セミナー開催一覧

	開催日	会 場	演 題	講演者	所属・職	備 考
第1回	2005.6.14(火) 17:00～19:00	小金井キャンパス 西館W304号室	分子解剖学:アロステリック蛋白質分子間クロストークを探って	ツネシゲ 常重アントニ	法政大学 工学部物質化学科・助教授	ナノバイオロジー
			細胞の共生進化とオルガネラ転写装置	タナカ ヒロシ 田中 寛	東京大学 分子細胞生物学研究所	
第2回	2005.6.17(金) 16:00～	マイクロ・ナノテクノロジー 研究センター会議室	電子線によるナノサイズ加工技術	ムライ フミオ 村井 二三夫	独立行政法人 科学技術振興機構	分散電子デバイス
第3回	2005.7.12(火) 17:00～19:00	小金井キャンパス 西館W304号室	枯草菌の細胞分化	サトウ ツトム 佐藤 勉	東京農工大学 共生科学技術研究部	ナノバイオロジー
			枯草菌の2成分制御系の全体像の解明を目指して	オガサワラ ナオキ 小笠原 直毅	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科	
第4回	2005.7.14(木) 14:00～	マイクロ・ナノテクノロジー 研究センター会議室	Cat-CVD 法により保護膜形成したC帯100W AlGaIn HEMT	カモ ヨシタカ 加茂 宣卓	三菱電機 株式会社	分散電子デバイス
			0.25umSiGe BiCMOS を用いた UWB 無線通信用 3-10GHz 低雑音増幅回路	シラミズ ノブヒロ 白水 信弘	株式会社 日立製作所	
			E/D-Mode JPHEMT を用いた GSM/UMTS 端末用 アンテナスイッチ MMIC	コハマ カズマサ 小浜 一正	ソニー 株式会社	
			A 900/1500/2000-MHz Triple-Band Reconfigurable Power Amplifier Employing RF-MEMS Switches	フクダ アツシ 福田 敦史	株式会社 NTTドコモ	
第5回	2005.9.22(木) 17:00～19:00	小金井キャンパス 南館AV教室	ヒトヘモグロビン分子中の水素原子を見る試み	バク サンウ 朴 三用	横浜市立大学大学院 国際総合科学研究所・助教授	ナノバイオロジー
			共鳴ラマン分光法によるヒトヘモグロビンの高次構造変化のメカニズムの研究	ナガトモ シゲノリ 長友 重紀	筑波大学大学院 数理物質科学研究科・講師	
第6回	2005.11.7(月) 14:00～16:40	マイクロ・ナノテクノロジー 研究センター会議室	プラズモン共鳴型テラヘルツ帯フォトミキサー ー基本特性とその通倍動作の可能性	オウジ タイイチ 尾辻 泰一	東北大学 電気通信研究所 ブロードバンド工学研究部門	分散電子デバイス
			基板バイアス係数可変SOI MOSFET: 新しい超低消費電力・高速デバイスの提案	ヒラモト トシロウ 平本 俊郎	東京大学生産技術研究所	
			MPU高速動作のための90nm-node部分SOI CMOS技術	ミヤケ シンイチ 三宅 慎一	NECエレクトロニクス株式会社 先端デバイス開発事業部	
第7回	2006.1.17(火)	小金井キャンパス	驚異の細菌運動 ー抵抗が大きいほど速く泳ぐメカニズムー	マガリヤマキオ 曲山 幸生	食品総合研究所 食品工学部・主任研究官	...

2005年度 マイクロ・ナノテクノロジー研究センター セミナー開催一覧

	開催日	会 場	演 題	講演者	所属・職	備 考
第7回	17:00～19:00	南館AV教室	ナノ計測によるバクテリアべん毛モーターの機能解析	ソノ 曾和 ヨシユキ 義幸	名古屋大学大学院工学研究科マテリアル理工学専攻応用物理学研究室・博士研究員	ナノバイオロジー
第8回	2006.2.27(月) 17:00～18:00	小金井キャンパス 南館AV教室	巨大ヘモグロビンの構造と機能	フクモリ 福森 ヨシヒロ 義宏	金沢大学大学院 自然科学研究科生命機能専攻	ナノバイオロジー
第9回	2006.2.28(火) 17:00～18:00	小金井キャンパス 南館AV教室	Transcription is prone to generating deleterious R-loops(RNA-DNA hybrids) in both prokaryotes and eukaryotes: mechanisms for R-loop avoidance by co-transcriptional RNA engagement	J. Gowrishankar	Centre for DNA Fingerprinting and Diagnosis, Hyderabad, India	ナノバイオロジー

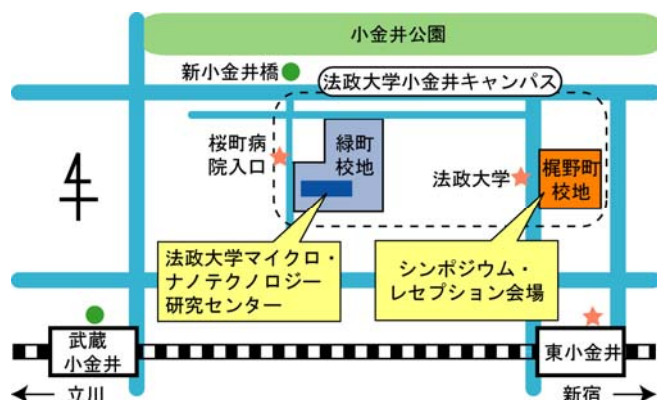
開設記念シンポジウム報告

ナノテクノロジーが拓く新しい世界

法政大学マイクロ・ナノテクノロジー研究センター開設記念シンポジウム スケジュール

マイクロ・ナノテクノロジー 研究センター	
10：30～11：30	施設見学会 シンポジウムに先立ち、研究センター施設・設備の見学会を行います。 ご希望の方は、当日午前 10 時 30 分までに研究センター2階会議室にお集まりください。
西館B 1 F マルチメディアホール	
12：30	開場・受付
13：00～13：30	開催挨拶 清成 忠男 法政大学 総長 白井 五郎 マイクロ・ナノテクノロジー研究センター長 祝 辞 石川 明 文部科学省研究振興局 局長
13：30～15：30	記念講演 「バイオナノテクノロジーの現状と将来」 柳田 敏雄 大阪大学大学院生命機能研究科 教授 「大学の研究に期待すること」（仮題） 渡辺 久恒 日本電気株式会社 執行役員
15：30～15：50	休 憩
15：50～17：00	報 告 研究センターの概要 研究代表者 本間 紀之 高機能ナノマテリアルの開発 プロダクトリーダー 丸山 有成 マイクロ・ナノメカトロデバイスの研究 // 田中 豊 分散型耐環境ナノ電子デバイスの研究 // 中村 徹 生命情報と生体機能のナノバイオロジー // 今井 清博
17：00	閉 会
教室棟B 1 F マルチユースホール	
17：30～19：00	記念レセプション

会場までのアクセス



見学会会場（研究センター）

ＪＲ中央線武蔵小金井駅より

● 関東バス「三鷹駅行」乗車6分、「新小金井橋」下車徒歩3分

ＪＲ中央線東小金井駅より

★ CoCo バス乗車7分、「15番 桜町病院入口」下車徒歩0分

シンポジウム・レセプション会場

ＪＲ中央線東小金井駅より

★ 京王バス「武蔵小金井駅行」乗車5分、「法政大学」下車徒歩0分

★ CoCo バス乗車4分、「11番 法政大学」下車徒歩0分

マイクロ・ナノテクノロジー研究センター開設記念シンポジウムを開催

撮影場所：小金井キャンパス

6月3日（木）13時より、小金井キャンパス講堂で、マイクロ・ナノテクノロジー研究センター開設記念シンポジウム「ナノテクノロジーが拓く新しい世界」が開催されました。

文部科学省の私立大学ハイテク・リサーチ・センター整備事業の選定を受け、このたび竣工となった研究施設の披露を兼ねて開催した本シンポジウムには、大学・研究機関、自治体、企業等から200名を超える参加がありました。



シンポジウムに先立ち、清成忠男総長が挨拶され、文部科学省研究振興局の石川明局長からご祝辞をいただきました。

挨拶する清成総長

祝辞を述べられる石川研究振興局長



シンポジウムでは、柳田敏雄氏（大阪大学大学院生命機能研究科教授）から「バイオナノテクノロジー現状と将来」を、渡辺久恒氏（日本電気執行役員）から「大学人への期待」と題した極めて示唆に富む記念講演をいただき、会場の産学官界からの参加者は熱心に聴き入っていました。また、研究センターの4人のグループリーダーがこれまでの研究成果や今後の計画などを報告しました。

記念講演をされる柳田教授

記念講演をされる渡辺氏



なお、当日午前中には竣工まもない研究センターの施設見学会を、シンポジウム閉会後には記念レセプションが盛大に開催されました。

施設見学会

工学部同窓会の阿部会長の音頭で乾杯



法政大学マイクロ・ナノテクノロジー研究センター

開設記念シンポジウム

ナノテクノロジーが拓く新しい世界

○司会者（緒方） それでは、時間になりましたので、シンポジウムを開始させていただきます。本日は法政大学マイクロ・ナノテクノロジー研究センター開設記念シンポジウムにお越しくださいまして、誠にありがとうございます。私は、本日司会を務めさせていただきます同センターの研究員で工学部物質化学科の緒方と申します。どうぞよろしくお願いいたします。

それでは、まず、開会に先立ちまして、開会の辞をマイクロ・ナノテクノロジー研究センター長の白井五郎教授にお願いしたいと思います。それでは白井先生、よろしくお願いいたします。

○白井 本日は法政大学マイクロ・ナノテクノロジー研究センターの開設記念シンポジウムにお集まりいただきまして、まことにありがとうございます。本日はご来賓といたしまして文部科学省研究振興局局長の石川明様からはご祝辞を、記念講演をしていただく大阪大学大学院生命機能研究科教授の柳田敏雄先生からは「バイオナノテクノロジーの現状と将来」ということでお話を伺うことになっております。それからもうひと方は、日本電気株式会社執行役員・渡辺久恒様から「大学人への期待」という演題でご講演いただくことになっております。3人の先生方にはお忙しい中ご出席いただきまして、まことにありがとうございます。

マイクロ・ナノテクノロジー研究センターは、文部科学省の学術研究高度化推進事業の一環といたしまして、そこに4つの高度化推進事業があるわけでありますけれども、特にハイテク・リサーチ・センターということで文部科学省から補助を受けております。ハイテク・リサーチ・センターというものは、特に最先端の科学技術への挑戦といえますか、そういうものに補助される研究分野であります。でありますからマイクロ・ナノテクノロジー研究センターは、先端科学技術所とみなすことができます。特に21世紀はバイオナノテクノロジー、情報通信、あるいはライフサイエンスというような重要な課題があるわけでありますけれども、その中の1つといたしまして、ナノテクノロジー関係の研究所として拠点形成のために文部科学省から補助をいただいている研究であります。

ご存じのように、ナノテクの分野は21世紀の日本の将来の重要な分野を担うわけでありまして、経済の産業の活性化、あるいは福祉とかいろいろな面に深くかかわり合っております。ナノ分野に広くかかわり合いをもっているこの研究所を育てて立派なものにしていきたいと我々は考えております。

ナノ分野の扱うものはたくさんあるわけですがけれども、マイクロ・ナノテクノロジー研究センターでは特に3つの分野について研究を進めようと考えております。1つは、高機能ナノマテリアルの開発及びマイクロナノメカトロデバイスの研究であります。もう1つは、分散型耐環境ナノ電子デバイス、それからもう1つは、生命情報と生体機能のナノバイオロジー。この3つをこの研究所では主たる研究対象としているところであります。最終的にはこの3つを統合しました新しい材料の開発を目指しているところであります。

この研究所は2003年度に採択を受けまして、ことしは2年目ということになるわけですがけれども、建物ができましたのが3月でありまして、発足して実際にハード的に動かすのはこれからということになります。まだ始まって間もない研究所でありますけれども、本日お集まりの皆様方のいろいろなお力添えをいただきながら、立派な研究所に育てていきたいと思っています。また、立派な成果を上げられるように努力致す所存でございます。どうぞこれからもよろしく願いいたします。本日はご多忙のところ開設記念シンポジウムにご出席いただきましてまことにありがとうございます。開会のごあいさつとさせていただきます（拍手）。

○司会者 ありがとうございました。

引き続きまして、法政大学の清成忠男総長からごあいさつをいただきたいと思います。清成総長、よろしくお願いいたします。

○清成 法政大学の総長の清成でございます。今、白井からも説明がございましたけれども、このセンター、文部科学省の私学助成の制度を活用しましてできたものでございます。私立大学に対する科学技術にかかわる助成というのはなかなか制度的に難しいということになるのでありますけれども、ここ数年、制度も大変充実してきているということでございます。それから、この私学助成の制度だけでございまして、科学研究費でありますとか、その他さまざまな資金もつくようになったということでありまして、科学技術創造立国に私学が幾分でも貢献できればと思っているわけでございます。

実は私どもの大学、社会科学系、文系からスタートしております。そういうことで理工系の分野に投資がなかなか行き渡らなかったという歴史的な事情もございます。しかし、

21世紀はやはり日本は科学技術創造立国でございます。したがって理工系の学部を重視するという姿勢に今あるわけでございます。その場合に、今回のこのセンターは大変大きな拠点形成になるというように位置づけているわけでございます。研究分野としましてはナノテクといいますのは今大変期待されております技術でございますし、それから日本の競争力という点でも外国から注目される分野でもあるというわけでございます。

ここに来る前にアメリカのNSFのホームページをちょっとみてまいりましたら、ナノテクへの投資額というのは日本が世界で最大だと。これは国の投資、民間企業の投資、両方含めまして大体ことは10億ドルぐらいというわけです。2002年が6億5,000万ドルぐらいです。第2位がアメリカで6億ぐらいというわけです。それから日本は年々急速に投資がふえているということでございます。しかも、この分野というのはコンバージングテクノロジーということが最近いわれますけれども、結局ナノテクとハイテク、バイオテクノロジー、あるいは材料の分野、それから認知科学とか、いろいろな分野が複合する分野であるということから、研究領域が大変広いわけでありますけれども、この研究所では先ほど白井の方から申し上げたように3つの分野に絞るということでございます。

何分にももう少し早くこの事業を進めたかったわけでございますけれども、土地がなかなかないということから、ハイテク・リサーチ・センターの事業に着手することができなかったわけでございます。大変幸いに、この近くに土地を取得できたということから、この事業を推進ということになったわけでございますし、その際、きょういらっしゃってられます石川局長、実は局長さんの前に私学部長ということで、私学助成には大変貢献された方ございまして、私学にとっては大変ご理解のある、支援して下さるという方でございます、きょうは局長さんみずからわざわざごあいさつにおみえになったということで、大変感謝している次第でございます。

このセンターを先ほども申しましたようにこれからの本学の理工系分野の拠点として発展させたいと思っております。大学としても努力をする所存でございますので、きょうご出席の皆様にご声援のほどお願いする次第でございます。どうも本日は大変ありがとうございます（拍手）。

○司会者 ありがとうございました。

引き続きまして、本日ご来賓としてお越しいただいている、文部科学省研究振興局の石川明局長からご祝辞をいただきたいと思います。石川様よろしく願いいたします。

○石川 皆様こんにちは。ご紹介をいただきました、文部科学省で研究振興局長をして

おります石川と申します。ただいまは清成総長から大変過分なご紹介をいただきましたけれども、私としても今回、清成総長からこういう行事があるのだがというご案内をいただいて、平素大変尊敬をしております清成総長からのご案内ですので、何はともあれということで飛んでまいった次第でございます。一言ごあいさつをさせていただきたいと思っております。

法政大学のマイクロ・ナノテクノロジー研究センター開設記念シンポジウムの開催に当たりまして一言ごあいさつを申し上げます。法政大学におかれましては、このたび最先端のナノテクノロジー研究の拠点となる新たな研究センターを創設され、本日ここに「ナノテクノロジーが拓く新しい世界」をテーマとして記念のシンポジウムが盛大に開催されますことを心からお祝い申し上げたいと思います。これまでの関係の皆様方のご尽力、ご労苦に心から敬意を表する次第でございます。

法政大学は 120年を超える歴史の中で、自由の尊重、進取の気象という伝統をはくぐみつつ、総合大学として大きく発展してこられました。とりわけ近年におきましては、清成総長のリーダーシップのもとに数々の大学改革による成果を着実に上げられ、今日その隆盛をみるに至っておりますことは、私どもとしてもまことに喜ばしい限りである、このように思っております。

さて、知の時代といわれております21世紀を迎えまして、我が国におきましては直面するさまざまな課題を克服し、世界に貢献していくためにも、科学技術における国際競争力の向上を大きく図っていくことが大変重要な課題となっております。特に知の創造と継承の拠点である大学、この大学が果たす役割に各界から一層強い期待が寄せられるようになってきているわけでございます。そのような中で我が国の高等教育の大宗を占める私立大学が研究機能の高度化を図るとともに、その能力と可能性を最大限に発揮していく、そういったことが我が国の目指している科学技術創造立国の成否の重要なかぎであるといっても過言ではないと私は考えております。

その意味で、今回、法政大学の方でこういったハイテク・リサーチ・センター事業の中でマイクロナノテクノロジーに関する研究拠点を整備され取り組まれるというような大変積極的な意欲を示され、またそのご決断をされたということに、私は改めて敬意を表させていただきたいと思っている次第であります。文部科学省といたしましてもこういった認識のもとで私立大学におけます学術研究を推進するためのいろいろな施策の充実に努めているところでございます。

このたび完成いたしましたこのセンターで行われる研究プロジェクト、これは先ほどもご紹介ありましたけれども、文部科学省のハイテク・リサーチ・センター推進事業の1つとして多くの申請の中から選定されたものでございます。学内を中心に第一線で活躍する研究者が多数参加して、ナノテクノロジーを活用した全く新しい概念のデバイス開発の基礎となる技術の確立を目指すもの、このように聞いているところでございます。

ナノテクノロジーは、私が改めて申し上げるまでもなく、第2期の科学技術基本計画におきましてもライフサイエンス、情報通信、環境などとともに重点4分野の1つとして位置づけられている大変大きな分野でございます。また、最近はこれらの分野の融合分野といったようなものなど、新しく発生するような研究領域の重要性が非常に強く指摘されております。しかし、いずれの領域につきましても、ナノテクノロジーというのがそれぞれの研究基盤を形成する共通の不可欠なキーテクノロジーとしての要素となっているわけがあります。学問分野としての発展、あるいはさまざまな技術への応用など、我が国が強い国際競争力をもっておりますこの分野については、社会的にも今大きな注目を集めているところであります。本センターにおきましてナノテクノロジーに関する革新的な研究が積極的に展開されまして、その成果が広く世界に向けて発信されますよう心から期待しているところでございます。

最後になりますが、法政大学並びに本センターのますますのご発展、そして本日ご臨席の皆様方のご健勝を祈念申し上げまして、大変簡単でございますけれども、私のお祝いの言葉とさせていただきます。本日はおめでとうでございます。今後ともどうぞよろしくお願いいたします（拍手）。

○司会者 ありがとうございました。

それでは、只今からシンポジウム記念講演に入らせて頂きたいと思います。まず最初のご講演は柳田敏雄大阪大学大学院生命機能研究科教授にお願いしたいと思います。

講演に先立ちまして柳田先生のご略歴について簡単にご紹介させていただきたいと思えます。柳田先生は1969年に大阪大学基礎工学部電気工学科をご卒業になりまして、その後、大阪大学基礎工学研究科大学院に進学されました。1976年に工学博士号を取得されまして、大阪大学基礎工学部生物工学科教務員、助教授を歴任されまして、1988年に大阪大学基礎工学部生物工学科教授になられました。その後、1996年に大阪大学医学部第一生理学教授に移られまして、その後、現職であります大阪大学大学院生命機能研究科教授に就任されて現在に至っております。

その間に、科学技術振興財団等様々な研究プロジェクトの総括責任者、研究責任者を歴任されていらっしゃいます。柳田先生のご専門は生物物理学でありまして、生体分子の1分子計測、生体物分子機械の動作原理、脳記憶のダイナミズムに関する研究等の第一人者として世界的に著名な先生です。これら一連の研究成果に対しまして、1989年に第7回大阪科学賞、1990年に塚原仲晃記念賞、1992年に Matsubara Lecture Award、1994年に第25回内藤記念科学振興賞、1998年に日本学士院賞恩賜賞、1999年に財団法人朝日新聞文化財団朝日賞を受賞されております。

本日は「バイオナノテクノロジーの現状と将来」という題でご講演をお願いいたします。それでは柳田先生、よろしくお願いいたします。

バイオナノテクノロジーの現状と将来

柳田敏雄（大阪大学大学院生命機能研究科・教授）

ご紹介いただきました大阪大学の柳田です。まず、法政大学のマイクロ・ナノテクノロジー研究センターの発足を心からお喜び申し上げます。今、局長さんが述べられたように、エンジニアリングとバイオの融合はこれからの科学技術にとって非常に重要です。多くの方にそういう認識があつていろいろなアクションが起こされておりますが、なかなか分野間のバリアというのは大きく、総論賛成でも現実には進んでいないところが多いと思います。その中でナノは、もちろんエンジニアリングの人には非常になじみ深く、バイオの人にとっても生物材料がナノ材料なのでなじみがあるはずですから、ナノをキーワードに融合がなされていくというのは非常に良いことであると思います。その観点からみても、マイクロ・ナノテクノロジー研究センターというのはナノをキーワードに将来大きな発展が望めると確信いたします。

（スライドNo.1）

それでは、「バイオナノテクノロジーの現状と将来」ということで講演させていただきます。

（スライドNo.2）

最近、ナノテクノロジーというのは大きな期待が寄せられておりますが、ここでいうナノというのはナノメータサイズのものであります。物質材料がマイクロを切つてナノの領域に入りますと、量子効果等これまでの材料にはみられなかった新しい性質を示すようになります。この新しい性質をうまく利用して機能材料をつくるというのがナノテクノロジーです。

（スライドNo.3）

ナノテクノロジーで何ができるか？ですが、期待されていることの一つは、国会図書館を角砂糖1個の中に情報として埋め込んでしまふとか、片手で持ち上がるような車のボディをつくるとか、環境・エネルギー分野ではダイオキシンとか有害物質を除去するようなフィルターをつくるとか、ライフサイエンスの分野ではナノテクを使ってドラッグデリ

バリーをやると言うようなことです。

それからもう1つ、ライフサイエンスの分野でナノバイオというとバイオに学ぶナノテクノロジーを示します。

(スライドNo.4)

生体では、DNAの情報に従ってたんぱく質がつくられます。そのたんぱく質が何種類か集まって分子機械という小さな機械をつくります。その分子機械が集まって細胞、さらに細胞が集まって脳とか筋肉という器官ができ、それが集まって個体ができます。生体をつくっておりますDNA、たんぱく質、そして分子機械というのは、その大きさはナノメートルサイズです。いいかえれば、これはナノ材料です。私たちの体はすばらしくうまくできています。しかも、これは自己集合的にできている訳ですから、生体というのは我々が目指している究極のナノテクノロジーをもう既に完成しているといっても過言ではありません。

(スライドNo.5)

繰り返しになるかもしれませんが、生体分子というのは集合して生命活動に必須であるいろいろな超ミクロ、ナノマシンをつくっています。それらは例えば細胞の中でいろいろな刺激に応答して、その刺激の情報を処理したり伝達したりする役割、運動とかたんぱく質やATPを合成する役割、それからDNAの情報を読むと言った役割を担っています。そして、これら分子機械が集まり、細胞といった非常に高度なバイオシステムができています。

(スライドNo.6)

しかし、これら分子機械の働く仕組みは、人工機械の仕組みのアナロジーから予想されるほど簡単なものではなさそうです。分子機械はその大きさは数ナノメートル、せいぜい数十ナノメートルしかありません。しかもご存じのように生体物質というのは非常にやわらかい。さらにもう1つ重要なことは、それにつぎ込まれるエネルギーレベルは熱雑音と大差ない、非常に小さなエネルギーです。ですから、絶えず、強烈な熱揺動にさらされて働いているということになります。でも、100%近い効率で働くことができます。これは人工機械が熱ノイズの数百倍、またそれ以上の莫大なエネルギーをつぎ込んできちっと正確に動かしているというのと対照的です。生体と人工機械というのはその働く仕組みが基本的に異なっています。

どれ位違うかというのをスライドにしてみました。人工機械の代表であるコンピュータ

の素子であるトランジスタを例にとって比較してみます。トランジスタの動作時間というのはナノ秒です。それに対して皆さんの頭の中で働いている素子の動作時間はミリ秒、または数十ミリ秒ですから、100万分の1か1,000万分の1のスピードでしか動いていません。それから正確さ。この様な比較は単純には出来ないのですが、熱雑音を基準にすると、トランジスタの場合は10の80乗ぐらいあり、皆さんの頭で働いている素子は10の4乗ぐらいしかない。何と1万回に1回は間違っているということになります。超のろくて、天文学的によく間違えます。こういう素子で私たちの頭はできているわけですが、その素子が集まると、人間の脳とか筋肉とか、とても人工機械ではまねできないようなすばらしい機械ができ上がります。これは工学系の者からするとミステリーです。私の研究の目的は、ナノテクノロジーを駆使してこのミステリーを解き明かすということです。

(スライドNo.7)

目的を達成するために、私たちはここでお示したようにナノテクノロジーとか1分子計測技術というものを開発してまいりました。この技術は1分子をイメージングするとか、1分子を捕捉するとか、化学反応を1分子でみるとか、1分子をナノメータの精度で操作するといった技術のことで、国から多くのお金をいただいて、多くの優秀な人を雇い、80年代後半から大阪でおこなってきました。

(スライドNo.8)

この技術を使って、まず分子モーターを研究対象に選びました。分子モーターは筋肉の中で働いている分子機械です。選んだ理由は、分子モーターにはたんぱく質の代表的な機能、酵素機能、分子識別、自己集積、エネルギー変換などが集約しているからです。分子モーターを極めれば、たんぱく質分子機械の一般論がわかるだろうということを期待し、これを対象に選びました。

(スライドNo.9)

筋肉は皆さんよくご存じでしょうが、分子モーターは余りご存じないかと思いますので、先ず簡単に説明させていただきます。これは骨格筋（横紋筋）の構造を示しております。これは筋肉の束です。筋肉の束は何でできているかというと、筋肉細胞からできています。筋肉細胞が集まって筋肉ができています。筋肉細胞というのは多核細胞で、通常の10ミクロンぐらいしかない非常に小さなものがたくさん集まり、融合して、非常に巨大な細胞（筋原繊維）をつくっています。だから腱から腱まで10cmを超える長さの細胞もあります。太さは20から100ミクロン位です。

その筋原繊維を良くみると、このように節に分かれており、その1つ1つはサルコメアと呼ばれています。だから骨格筋は横紋を持っているのです。さらに節の中をよく見ると、アクチンというたんぱく質からできた繊維とミオシンというたんぱく質の繊維が互い違いに並びこの様な構造になっています。ミオシンフィラメントから出ている突起の部分、ミオシン分子の頭の部分とアクチンという繊維になった部分が相互作用して力を発生します。この部分を分子モーターと呼びます。10とか20ナノメートルの大きさの素子です。

(スライドNo.10)

筋肉はどのように縮むかというと、アクチンとミオシンという繊維が互いに滑り合って、このように縮むのです。ミオシン分子は2つ頭で、ここがアクチンと相互作用しているところです。このまるまる1個がアクチン分子です。これ1個のことを1分子といいます。それが二重らせんに重合して繊維をつくります。

従来、研究は筋肉を使ってミオシンとアクチンがお互いにどのように仕事をしているのかというのを推論する形で進んできました。私は電気工学科から生物工学科に移った頃、筋肉のような細胞の中で働いている分子1個1個の動きを推論するなどというのは無理だろうと思い、先ずここにあるアクチンというたんぱく質を筋肉から抽出し、直接目でみることを始めました。目でみるといっても7ナノメートルしかありませんし、たんぱく質は水溶液中でしか生きていませんから、これに蛍光をつけて光らせてみました。観察には、当時まだほとんど使われていなかったレーザーや高感度カメラを使いました。

(スライドNo.13)

これはアクチンが動いている様子です。これはブラウン運動です。これは1分子ではありませんが、この当時としては、たんぱく質を直接目でみるのができたというのはかなりインパクトのある研究でした。私の履歴を紹介していただきましたが、私は教務員を40歳まで延々とやっておりました。十数年間、アクチンをみること一筋でした。幸運にも、私は電気工学科卒なのでいろいろなテクノロジーを開発することには慣れております。今なら何だと思われるかもしれませんが、たんぱく質をみるというのはその当時は大変なことだったのです。おかげさまで、生物系に移ったデビュー作として「ネイチャー」に論文を出すことが出来ました。ここに須田先生がおられますが、おかげさまで突然教授にまでしていただき、教務員から直接教授になるというので「フライデー」に取りあげられました。現在、ポスドクから教授になるのはそれほど不思議ではないのですが、私として1985年は記念すべき年になりました。

(スライドNo.14, 15)

また、1985年は阪神タイガースが優勝した年で、公私とも、とても記念の年になりました。去年優勝、ことしはシリーズ優勝しますので、よろしくお願いいたします (笑声)。

この計測では、分子がどのように仕事しているか解りませんので、1分子のレベルでたんぱく質の動きをみようとしてさらに技術開発することにしました。

(スライドNo.16, 18)

1995年にととう、私たちは蛍光色素1個を水溶液中でみることに初めて成功しました。光をガラスと水の界面で全反射させると近接場というのができます。これは回折限界を受けず、局所的に光を局在できます。水のラマン散乱、ごみ、ルミネッセンスを考慮にいれ、最終的に普通の蛍光顕微鏡の2,000倍から3,000倍バックグラウンドを落とすことで可能になりました。

これより前に原子1個をつかまえてIBMと書いたというものが新聞に出ていました。この技術の方が一見すばらしいように思われますが、あれらは超真空中でやっているのです。超真空というのは何も無いということです。何も無いところでものをみるというのはエンタロピー的にも極めて簡単なことです。一方、私たちの技術は莫大にいろいろなものがある雑音の中で1個をみないといけない。蛍光色素1個みただけに助手や講師をやめて来た人が3年間論文も何も書かずに専念して初めて成功させたのです。

(スライドNo.19)

この技術を使うといろいろなことができます。例えば最初におみせするのはキネシンです。キネシンというのは神経細胞の中でマイクロチューブルというレールたんぱくに沿っていろいろなものを運ぶ分子モーターです。配送をだれが調節しているのかは知りませんが、極めて規則正しく自立的に行われています。そういうことはさておき、先ず、この分子をみるということにしました。

(スライドNo.20)

この分子は5ナノメートル位のサイズですが、それがマイクロチューブルの上をずっと動いているのを直接みることができるようになりました。みんな仲よく集団で走りますので、相互作用ながら走っているとか、いろいろなことがわかります。

(スライドNo.21)

何でも初めて、初めてと申し訳ないのですがけれども、たんぱく質1個が働いている現場を映画にしたというのはこれが初めての映像だと思います。未だ10年もたっておりません。

(スライドNo.22)

これは頭の中で働いているミオシンです。このように1分子で動いたり、逆向きに動くとか、どこでギアのスイッチを入れるのだろうと…。この辺、非常に興味深いところなのですけれども、今はそのような研究が精力的になされています。

(スライドNo.23)

運動は化学エネルギーを使います。化学エネルギーというのはATPという物質です。この物質が皆さんの体の中のガソリンです。ちなみにATPは1日何グラム使うか、皆さんご存じですか。須田先生、何グラムだと思われますか？。須田先生の場合だと多分80キログラムは使われると思います。繰り返し使って、積分すれば80キログラムとか70キログラムと言う意味です。いいかえれば、ATPというのは、非常に高いエネルギーをもった物質だといわれておりますが、非常に小さなエネルギーしかもっていない物質だということです。

(スライドNo.24)

このATPを分解してADPにする、その反応をみようとして、ここに蛍光をつけました。たんぱく質はこの辺りで相互作用するので、こういう大きな発色団をつけてもこのATPは普通に働きます。

(スライドNo.25)

蛍光ATPがたんぱく質についたときだけ、輝点として観察できるようにうまい工夫をしますと、この光の点滅をみているだけで化学反応が測れてしまう。酵素反応だけではなくて、化学反応も1分子ではかれる時代になっているということです。

(スライドNo.26)

これはミオシン分子を違う色素で染めて、ガラス表面に1個ずつ並べておきます。そこに蛍光ATPを入れます。するとここで酵素反応が起こります。酵素反応は確率的ですから、早く起こったり遅く起こったりする。今は遅いのだけおみせしますが、ここに今、このミオシンにATPがつかしましたね。というわけで、こんな単純な方法で酵素反応も1分子レベルで時々刻々、実時間で捉えるということもできるようになりました。

(スライドNo.27)

その反応時間をヒストグラムにすると指数関数であらわされて、酵素反応は確率的に起こっていると。多分、酵素反応、化学反応は確率的に起こるとどこにも書いてありますが、本当にそうだと証明した人は多分いないと思うのです。これは本当に化学反応というのは

確率的なのだというのを1分子で直接示した例だと思います。

(スライドNo.28)

その次は1個を捕まえてナノメーターで操作するというお話をいたします。これはレーザートラップを用いた例です。誘電体に、一様でない光があたると、いろいろな方向に力を受ける。屈折をうまく利用すると、焦点にこのビーズを集めることができます。焦点からずれるとずれに比例した力がばねの様に働くので、これはばねばかりにもなります。

(スライドNo.29, 30)

これはアクチンフィラメントをぴんとはって操っているところです。大抵、DNAを操っておいた方がみなさま感激するので、DNA操作もご覧に入れます。この動いているビーズの位置をAFMと同じような方法を使えばナノメーターで計測することができます。

(スライドNo.31)

これはアクチンフィラメントを光でトラップしたビーズにつけて、アクチンを水の中でガラス表面につけたミオシン分子1個と相互作用させたものです。筋肉の中で起こっている事の1個のバージョンですね。このビーズの動きをナノメーターで計測すれば時々刻々タンパク質が動いているのが計測できます。

これが1例です。ここでミオシンがアクチンと相互作用して力を出すと、大体10とか20ナノメーターの変位で数ピコニュートンの力を出す。皆さんこれをみると、えらいノイズと思われるでしょう。もう少し計測機良くしたらどう？と大抵の人はおっしゃいますが、無理です。ミオシンは雑音と同じぐらいのエネルギーしかもらっていないので、雑音以上のシグナルを出すわけにいかないのです。

筋肉分子の反応と皆さんの頭で情報処理を担っている分子機械、イオンチャンネルもほとんど同じメカニズムで働いています。皆さんの頭の中もせいぜいこのぐらいの素子で動いているということです。ご心配だとは思いますが、まあまあ、新聞読んでもちゃんとわかるし、人の顔もわかるし、コンピュータをつくることもできるのだから、これ位の素子でもそれぐらいの機能を発揮するロボットというか機械はできると。その点が大事なのではないかと思うわけです。

(スライドNo.34)

計測テクノロジーは開発できたので筋肉がどのように動いているか見るために、筋肉中のこの部分だけを取り出して顕微鏡下で再現して、分子モーターがどのように化学エネルギーをもらって、どのように仕事をするのだろうかというのを徹底的に調べました。

(スライドNo.35)

アクチンとミオシン1個を、レーザートラップを使って力学的な動きをみる。A T Pの酵素反応は、このエバネッセント場と蛍光A T Pを使って同時に計測する。つまり、ナノサイズの分子たばく質機械がA T Pをもらってどのように仕事をしているかというのを全部実時間で計測しました。

(スライドNo.36)

上が力学反応で下が化学反応です。ここでA T Pがぱっときて、ミオシンとアクチンが離れて、ここでA T P 1個使って、化学エネルギーをもらってこちらから出しています。ここの部分さえ詳細に調べれば、たばく質が小さな化学エネルギーを使ってどうして動くのだろうというのが解るはずです。

(スライドNo.37)

この方法では詳細に調べることはできないので、新しい方法を開発しました。プローブを使う方法です。まずエバネッセント場という私たちが開発した光学系で1分子をみる。ミオシン分子の頭の部分だけをばらまいておいて、それを針先で1個捕まえるのです。それから下に敷いておいたアクチンと相互作用させる。そうするとぽこぽこ動きます。非常に繊細な針を使うと、このように動いていきます。

(スライドNo.38)

この結果は先のレーザートラップでみたステップの結果です。ステップはぽんと一気に出ました。西洋の人たちはこの方法でアクトミオシンの動作機構を解釈していますが、私たちはこのステップををきちんと解析すると、ぽんと上がっているのではなく、このように段階的に上がっていることがわかりました。1回、3回、4回、2回とステップで上がることもあり、たまに失敗することもある。大事なことは、ここで1個A T P入れて、例えばピストン爆発させてぽんと動かしているのだと思っていたら、そうではなく、A T Pとは関係ないところで力が出ていたということです。つまり、これは化学反応によるエネルギーを直接もらわないで仕事をしているので、これは最初におみせしましたブラウン運動です。この結果は分子モーターはブラウン運動で動いているということを強く示唆しています。この装置は0.1ピコニュートンをミリ秒の時間分解能ではかれる。この会場には学生さんもおられるかもしれないので、うちの学生の自慢ですが、こういうのは大変だ、根性入れなければいけないというのをおみせします……。ミオシンとアクチンをこうつくと簡単に言いましたが、この太さは7ナノメートルしかないのです。7ナノメートルのと

ころに手で正確にもっていかなくてはいけない。スキャンするというわけにいかないし、10ナノメートルの距離でぴたっととめるのは大変なことです。

しかも、相互作用の力は 0.1ピコニュートン、普通の A F Mだと10ピコニュートンか20ピコニュートンがせいぜいだと思います。超真空中で振動が全然ないような系ならばいざ知らず、これは顕微鏡で水が入っているし、溶液もとりかえながら測定しないといけない。なかなか、ちょっとやる実験ではないのです。自慢はこの位にしておきます。

(スライドNo.39)

A T Pが来ると、ぽこぽこと動くことであり、これが直接みえました。最初に言いましたが、ブラウン運動というのは方向性がないので、ブラウン運動だけだとかこっちも行くし、こっちも行くと。方向の選択性のためにA T Pのエネルギーを使う。

(スライドNo.40)

その様な仕組み、なかなか大変ではないかと思われるかもしれませんが、そんなには大変ではなく、例えばここにストレインセンサーがあるとします。ブラウン運動していてこちらへ来ると引っ張られますので、このセンサーはこっちへ引っ張られるので、センサーを引っ張るとここのA T Pが離れて、アクチンとミオシンでがっちりくつつくのでブラウン運動がここでとまるのです。もしこれが逆に動くと、センサーはこちら向けに引っ張られますから何も起こらない。A T Pは離れないのでこのまままた元に戻ると。だからブラウン運動、右か左かをセンサーが判断していて、ブラウン運動をこちらだけ選択して、次、A T P来れば、またこっちへ動けば一方向に動くというモデルです。

では、外から与えたエネルギー、このモデルでは何に使っているかというと、単純にここここががっちりくつついていたので、がっちりついていたらブラウン運動はできないので、がっちりつかないように、つかず離れずの状態をつくるのにA T Pを使っただけなのです。選択にも使っていない。それは熱力学でいえば最初と最後さえ合えばいいわけですから、どこでエネルギーを使っているでもいいのですが、その辺は大分人工機械とは違う方法で仕事をしています。

(スライドNo.41)

1つの答えは、ノイズから逃げるのではなくて、それをうまく利用している。運動の起源はブラウン運動で、A T Pのエネルギーは方向性を出すのに使っているだけであると。人工機械は熱ノイズから逃げるために莫大なエネルギーを使っていたのですけれども、これは逃げるほどエネルギーをもらっていないので、むしろ熱雑音をうまくポジティブに利

用していたということです。そんな機械は効率が悪いのではないかとと思われるかもしれませんが、80%以上とか、あるものではカエルの筋肉は 100%の効率で動きます。

私は最終的には脳の研究をしたい。もう定年が近く情報機械をつくるというのは難しくなってきましたが、情報とエネルギーの話を少しだけします。コンピュータは1ビットの情報を獲得するのにどれ位のエネルギーが必要か？フリップフロップを動かすのにどれ位使っているかということなのですが、NECの執行役員の方、雑音の何倍ぐらい使っているかご存じですか？

(スライドNo.45)

それが、熱雑音エネルギーの2億倍ぐらい使っています。2億倍ぐらいのエネルギーをつぎ込んで今のコンピュータは動いているということになります。これは最近のホームページだとか、新聞にも出ていたのですけれども、ご存じのようにムーアの法則でナノテクノロジーがどんどん進んでいくと、5年から10年で集積度が倍になっていく。このままのアルゴリズムでコンピュータを動かしておくと、2020年にはプロセッサの温度は太陽の表面温度になるといわれており、何とかしなくてはならないと新聞に書いてありました。かなり深刻なのは確かです。

では、雑音を使って情報処理ができないかと。これは単に頭で考えるモデルですが、ここにあります。マクスウェルのデモンがいて、分子がブラウン運動している。右に来たというので、ここの仕切りをおろす。仕切り上げおろしにエネルギーは要らないと思ってください。そうすると、これは断熱膨張します。Qのエネルギーを熱浴からもらって元の状態に戻ります。そうすると、この状態は温度一定だし、分子のスペースも一緒だから、最初と最後は全く同じ状態ですから、ここからここまで行くのにエネルギー差はないわけです。エネルギー差はゼロなはずなのに、熱浴からQのエネルギー、断熱膨張ですから kT の0.6倍のエネルギーをこのシステムはもらっているのです。だれかがこのQ、これだけのエネルギーを使ってしまったのです。だれが使ったか、本を読まれた方はご存じかもしれない。これは実はマクスウェルのデモンが使ってしまったのです。何に使ったか。右か左かを判断するに使ってしまったのです。要するにゼロか1か、右か左か。1ビットの情報を処理するのにマクスウェルのデモンが使ったエネルギーなのです。だから情報にはエネルギーが要るのだと。その最低量は、1ビットは $0.6kT$ であると。というわけで、コンピュータは2億 kT 要ったけれども、ブラウン運動を利用すれば1 kT で済むと言うことです。

ミオシンは右か左のブラウン運動を選択して、筋肉の収縮を起こしていたのだけれども、見方を変えればこの分子機械は右か左を判断する情報処理をしていたわけです。生体では熱雑音と大差ないエネルギーでちゃんと右と左判断する機械はもうできているわけです。これと同じようなものが頭の中の電気のパルスを発生する分子機械で実際働いていると思うのですけれども。

全く夢物語ではなくて、これに近いとはいいませんけれども、100万倍の分子機械で処理しても未だ、100万 k T ですから、これよりもまだ 100倍も効率がいいということになるので、多分脳はこのような方法を使っているのではないかと思うわけであります。

私たちの大腦の中にはニューロンが3次元的に100億個詰まっていると言いましたが、ニューロンとトランジスタどっちが高度かというと、絶対ニューロン。ニューロンはもうほとんどプロセッサですから。ではニューロンの中に素子は幾ら入っているか？これも何億も入っているわけです。物すごい集積度で私たちの頭の中には素子が詰まっているのです。しかし、せいぜい血液を流す程度で、太陽の表面温度になるわけではない。多分それは、雑音というものをうまく利用して情報処理をしているからだろうということではないか。今のナノテクノロジーの1つの分野ではないかと思うのです。NECは知らないのですが、最近、関西の電気会社は真剣に雑音うまく使う、ちょっとあいまいさを残したような素子で、エネルギー消費を落とせるような素子をつくりたいと真剣に思っているらしいようです。

今、私がお話ししてきたのは生物系ではもうコンセンサスを得られて教科書に載っている話とは理解しないでください。実はほとんどの人はそういう話は嫌いなのです。むしろここに書いてありますように、私は特に西洋の人たちとの間で論争をしている状況にあります。皆さんにご紹介すると、「ネイチャー」のエディターが日本のナノバイオテクノロジーの現状、今日の題のようなことを取材するために私のところへ来たのです。私の研究のこの様な話の方がおもしろく感じられたみたいで、その話を「ネイチャー」の記事にしたのです。西洋の人たちはデジタル、機械論的考え方が好きである。東洋の人たちというのはアナログとかあいまいというようなものをアクセプトする文化がある。そういう論理をベースに「ネイチャー」に「Swimming against the tide」という記事がのりました。潮流に逆らって泳ぐということなのですが、だれも私のテクニカルジーニアスを疑う人はいないが、言っていることは西洋人にはよくわからんと書いてあるのです。また、本文中で私はアイコノクラスト（聖域破壊者という意味）呼ばれています。テクニカルウィザー

ド、魔法のようなテクノロジーを使う人とも書いてあります。そのような西洋人にはまねできないようなテクノロジーを開発して、西洋人にはわからないような論理を展開している。私たちは一体どうしたらいいのだというように書いてありました。

アイコノクラストというのは、どうみてもひどい英語だとネイチャーオフィスに私は電話して抗議したのですが、一番有名なアイコノクラストはガリレオ・ガリレイであって、私たちは非常にあなたを評価していると言われました。絶対うそだと思うのですが…。3ページもあって、半分自慢なのですが、個人の話が3ページも「ネイチャー」に出るということはなかなかないと思うのです。あいまいとかいいかげんというのは、どうも東洋とか日本とかでは普通に受け取って、それをベースに研究している。生物を理解するためには、ひょっとしたらこういう文化というのをきちんと西洋人は取り入れておかないとまずいかもしれないよという意味で少しは気になってきているのだと思うのです。

そのほかの1分子実験を紹介します。これはDNAです。RNAポリメラーゼにより遺伝情報を読んでいるところを直接見たところです。DNAはらせんを巻いているので、らせんに沿ってRNAポリメラーゼが本当に回転しているところをみることができました。

ATPをつくるのは回転モーターでこういう形をしていてこのように回転しながらATPをつくっていると言われていますが、実はこれ、ATPを入れると回転するのです。また、これを逆にぐるぐる回すとATPができるのです。つまり、電気の発電機とモーターの関係になっています。発電機やモーターは私たちが100年か200年前につくって非常にいいものだと思っていましたが、何と生物は数十億年前からこの様なものをつくっていたのです。しかも、効率は限りなく100%に近い。何でたんぱく質の自己集合でこんなものができるのか驚異です。

熱揺らぎを積極的に利用して、エネルギー程度の低いエネルギーで効率よく働く、しかし、前もいいましたように、熱揺らぎで働くというのはいつ働いてくれるかわからない。待っていないといけない。働く時間は確率的に起こる。たまには間違う。確率的で非常にいいかげんになる。人工機械をつくる上では完全にネガティブファクターなのですが、これも実は生物にとってはポジティブファクターなのだと。生物的なやわらかさの本質ではないかと思っています。

(スライドNo.71)

これから後はきちっとしたデータがあるわけではなく、今からやりたいと思っているお話です。ナノテクノロジーでも最終的にはシステムをつくらないといけません。ナノテク

だけで装置をつくっても役に立ちませんので、最終的にはナノでできたものがテクノロジーを使ってナノ機械をつくって、それを集めてシステムをつくらないといけないと思うのです。いいかげんな素子は、それらが集合すると非常にダイナミックなシステムができる。最近、複雑系の人たちがそういう話をよくしていますよね。杓子定規のものを集めると社会はうまくいかないと。大概いいかげんなやつの方で作ったシステムの方がダイナミックに動くと....。

(スライドNo.72)

実際にそれを証明しないといけない。細胞情報伝達というのは非常に複雑なのですが、非常に巧妙にできています。このようなシステムの中で揺らぐ素子がどのように働いて、そういう巧妙な機械というかシステムをつくるのかというのを調べたいということで、細胞を使った研究も始めました。

これはE G Fと言うホルモン、成長因子の一種なのですが、細胞に与えますと、そのレセプターがダイマーをつくって、このようにいろいろなたんぱく質を経由して情報を送って、最終的にDNAに情報を送ってたんぱくをつくりなさい、今こうしなさいと言う情報伝達を行います。非常に複雑な分子経路をつくっていますが、どのように情報伝達が行われるか、実は生きた細胞の中でどうなっているかというのは未だ解っていないのです。ですから、情報伝達機構解明を今のテクノロジーでやろうと試みています。

これを説明する時間がないので、最後にちょっとアメーバの話だけして終わりたいと思います。

(スライドNo.82)

これ、キャピラリーにアメーバの好きな化学物質を入れて加えるとアメーバは好きな物質にすっーと集まってくるのです。拡大してみた図ですけども、アメーバが比較的スムーズに移動する。濃度勾配があるのだから当たり前だと思われがちですが、これがなかなかおもしろくて....。

アメーバの大きさは非常に小さく、10ミクロンほどですから、2%ぐらい濃度勾配つけても、彼らにとって感じる濃度勾配はほとんどゼロです。どれ位濃度勾配の情報が入っているかと言いますとシグナルに対して統計揺らぎの方が大きく、具体的には雑音の方が数倍大きいという状況です。そういう状況にもかかわらず、彼らは一方向にずっと動きます。

好きな物質、Cy3-cAMPという化学物質に蛍光をつけたものを細胞のまわりの液に加えました。これは細胞上のレセプターに1分子レベルで結合している様子です。細胞の表面で

ひどく動くのですけれども、この細胞は濃度勾配がないと判断しています。

次は濃度勾配を与えます。皆さん、アメーバの頭の辺としっぽの辺でつぶつぶの数に差が、動いている間に判断できますか？きっと私たちだとこんなにノイズの中でこんなシグナルしかないわけですから、うろうろしてしまいそうですが、このアメーバはちゃんと判断できています。だから、皆さん、実は彼らは私たちにはできないような情報処理を行い、濃度勾配を感じているのです。

実は自分でレセプターをいろいろな周波数で振って、ここにスレッシュホールドを置いてそのシグナルを全部パルス列にして、そのパルス列をパワースペクトラムで読むというような非常に高度なことを内部でやっている。まさにこれ、確率共鳴そのもので、確率共鳴がもし正しかったら、これはノイズの助けを借りてシグナルを増幅し、情報処理といったような高次の機能でも熱ノイズを利用しているらしいということが解ってきました。

最後に、これはダニエル・デネットという人の「Darwin's dangerous idea」という有名な本があるのですが、その第8章に、バイオロジーはエンジニアリングであると。バイオロジーはエンジニアリングのようなものではなくて、エンジニアリングそのものであるという話を書いてありまして、このセンターでもそういう感じで仕事がどんどん進めばと思います。

少し長くなりましたが、どうもありがとうございました（拍手）。

○司会者 大変わかりやすく興味深いご講演をありがとうございました。柳田先生は大変お忙しく、レセプションにはご参加されずにこれからすぐに大阪に戻らないといけないとのことです。せっかくの機会ですので、柳田先生のご講演に対しまして何かご質問、コメント等ございますでしょうか。

○質問者 脳もいわゆるそういう熱雑音の影響があおりのようなのですが、脳の場合はそういう熱雑音をどのようにカバーしているとお考えなのか、ちょっとお聞かせいただければ。

○柳田 ……我々は、人の顔にみえたり杯にみえたりとか、ネッカーキューブといって、出っ張りがこちら側に見えたりあちら側だったり、意識に上るときにいろいろな見方をし、認識しますよね。多義図形の認識というのですが、その過程を脳の中のfMRIとかMEGで測ることができるので、それを測ってみますと、すごく揺らいでいるのです。しかし、1つの規則性があって、準安定状態が3つか4つあって、その間を遷移して認識するのです。だから杯や顔にみたえり。そのときに脳の中で1、2、3とステップ踏んでから

ぱっとひらめく。その踏んで回路が回る遷移は完全にランダム過程なのです。それでガンマ分布になる。驚くほどそういう遷移過程はランダム過程なのです。だから脳でも熱雑音から逃げるのではなくそこでもうまく利用していると思います。

○司会者 では、もう一方、お願いします。

○質問者 ……人間の脳だと情報がどうも掛け算できる。ところが、普通のコンピュータの場合は、よく例えていうのですけれども、図書館に本を幾ら入れても、その中の情報を使って別の本は生まれてこない。ところが人間ならば、入れたものを使って別のものを生み出してしまうわけです。この機能が脳の働きのどこかにあるわけだと思うのですが、その辺についてはどんな……。

○柳田 人間も多分いろいろなものを特徴抽出してそのまま脳に記憶するのではなくて、ばらばらに分解していろいろなところにしまっているのは確かに先生おっしゃるとおりで、あとは統合の過程がわかっていないわけです。その統合の過程が、私たちは推論だとか想像だとかいっているだけかもしれないのですが、そこはコンピュータではできないことです。それ以上はだれも未だ世界中で答えられる人がいないのですが、私はその中に揺らぎというのも入っていて、試行錯誤する、自律的にできる過程があって、最終的に何かを取り出すのだと思っています。

○質問者 不思議な現象ですね。

○柳田 不思議なのでしょうか？先生。私も電気にいたので、コンピュータと脳が不思議であるといわないと私は飯が食えないので言いましたが、本当に不思議なのかどうかははっきりさせるべきだと思います。

○質問者 最近つくづく思うのですが、図書館型の人間が結構ふえているのです。いっぱい知っているのですけれども生み出さないというのが。では人間が脳みその中の働きが何か変わったのかなと、気になって実は仕方がないのです。

○柳田 そういう意味では、大阪的ないいかげんな人間をふやした方がよくなると……（笑声）、済みません。

○司会者 それでは、まだお聞きしたいことがいろいろあるかと思いますが、予定の時間がだいぶ過ぎておりますので、以上で終わりにしたいと思います。柳田先生どうもありがとうございました。

引き続きまして、次の記念講演に入らせて頂きたいと思います。

次のご講演は、日本電気株式会社執行役員の渡辺久恒先生にお願いしたいと思います。

講演に先立ちまして、渡辺先生のご略歴を紹介させていただきたいと思います。

渡辺先生は、1966年3月に早稲田大学理工学部電気通信科をご卒業になりまして、その後、1971年3月に名古屋大学大学院応用物理学専攻博士課程を修了されております。同年4月に日本電気株式会社中央研究所に入社されまして、1988年12月、日本電気株式会社基礎研究所所長を務めていらっしゃいます。1991年6月より日本電気株式会社マイクロエレクトロニクス研究所所長、1995年12月より日本電気株式会社研究開発グループ支配人、そして、2001年6月より日本電気株式会社執行役員として、現在に至っております。

ご専門分野は半導体で、主な研究テーマはシリコンLSI、マイクロ波デバイス、光デバイス、量子構造物理となっております。これら一連の研究成果に対しまして、1979年に日本電気株式会社功績特別賞、1989年に科学技術庁注目発明賞、1999年に SEMI STS Award'99を受賞されております。

本日の記念講演の題名は「大学人への期待」ということでございます。それでは、渡辺先生、よろしくお願いいたします。

大学人への期待

渡辺 久恒（日本電気株式会社・執行役員）

こんにちは、日本電気の渡辺です。まずは、法政大学マイクロ・ナノテクノロジー研究センターの開設、おめでとうございます。先ほど見学させていただきましたが、大変おもしろそうな設備や施設を揃えられ本日のテーマである日本の強みの強化に貢献できることと今後に期待したいと思います。ところでこのマイクロ・ナノテクノロジー研究センターのパンフレットの絵はどなたがお作りになったのでしょうか。この人工義手のような絵が意味するところは何でしょうか。将来このセンターで人工の手を作りたいということでしょうか、それとも手をシミュレーションしてロボットの手をつくりたいのでしょうか。

（スライドNo.2）

ちょっと怖いところもありますが、恐らく言わんとすることは、この絵にあるような基盤技術を開発してそれらを融合することで生体機能をもつシステムを作ろうということでしょうか。私の本日の話も、基盤技術の統合による新しい製品コンセプトの創出が非常に重要であり、そのためには統合すべき個々の基盤技術がそれ自身で世界最高でなければいけないということです。是非高い目標で頑張ってくださいと思います。お祝いの言葉はこれぐらいにして、早速始めさせていただきます。

（スライドNo.3）

本日のタイトルは「大学人への期待」ですが、「大学人」を何と読むかは最後に出てまいります。さて、現在日本企業、特にエレクトロニクス関連企業は世界的に最先端技術で競争する中、アジアの台頭でコスト的に苦戦しておりますが、製品コンセプトや技術的にみると、圧倒的な強みをもっている製品群や事業群は結構沢山あると思います。その強みは製品を支える基盤技術の高さとその技術統合力にあると思います。この強さを〇〇大国と表現してみますと、ブロードバンド・モバイル大国、デジタルホーム・エンタテインメント大国、スーパーコンピュータ大国、ハイメカ・ロボット大国、環境対策大国などです。まだ他にもあると思いますが、これらを見ますと複数の最先端技術を自ら作り出し、それらをしっかり組み合わせて世界的なオリジナルコンセプトで勝負している点が強い理由ではないでしょうか。只今の柳田先生のご講演でも、独自の装置を自ら開発し、それをベース

に極めて高度な科学的成果と同時に波及効果の大きいオリジナル技術として成果を出されています。ノーベル賞級の成果ではないでしょうか。

こういった独自の科学的知恵やそれを実現する独自の技術の組み合わせを行うことによって、科学でも技術でも産業でも非常に強くなるということだと思います。これが資源小国日本の今後も維持強化すべき先進的コンピタンスではないでしょうか。

(スライドNo.4) (スライドNo.5)

さて、ブロードバンド・モバイル大国と言える理由は、家庭につながる通信回線がADSLや光ファイバーなどで超高速化する中で、その料金が世界一安いことです。日本の光通信技術は世界的トップレベルにあり、一本の光ファイバーで毎秒10テラビット以上の情報が送れます。一人が毎秒10メガビットの高速通信を行ってもいっぺんに100万人の人が使える規模です。1億人のためにはたった100本あればいい訳です。最近、この分野は設備投資がバブル的に過大となり、大きな反省期に入り、研究開発投資がシュリンク気味です。しかしながら、我々の生活への利便性は限りない要求があるもので、今後は自分で撮った動画を送ったり、商品案内が高精細な動画で送られてきたり、あるいはデジタルテレビをインターネットで見たいというニーズも出てくるでしょう。そうなれば世界各国のテレビ放送をいつでも日本で観られるようになるわけです。毎秒100メガビット、できたら毎秒1ギガビットを個人で使いたいという時代がくるでしょう。従って、まだまだブロードバンドテクノロジーの研究開発も大事だろうと思います。

(スライドNo.6)

一方、日本はものすごく携帯電話普及率が高く、ここにいらっしゃる皆さんも100%お持ちだろうと思います。この高い普及率はすでに飽和しておりますが、何とかもっと携帯電話を売れる可能性はないかと色々考えているようです。最近の動きは、まずモバイルでもブロードバンド化を進めると同時にいろいろな新しいサービスを提供して通信料を増やそうとしております。携帯電話の台数を増やすために、犬や猫などに持たせられないかと考えているという話を聞きました。バウリンガルという鳴き声翻訳技術と組み合わせて、今どこでどういう状態にあるか知らせようということらしいです。携帯電話を使っている人の80%がiモードを中心にインターネット接続サービスを利用しております。アメリカは日本の10分の1しかいません。このi-modeの発明で予想外のビジネスや産業が沢山誕生し、日本経済の拡大に大きな貢献をしていると思います。日本の携帯電話はその小型・軽量・多機能性で圧倒的に世界の最先端にあります。半導体、ディスプレイ、電池は当然

として、それらの小型化実装でもリードしております。これは私どもが最近発表したカード型カメラ付携帯電話ですが、サイズは皆さんお持ちのクレジットカードと同じ大きさで、厚さはわずか8.6ミリで世界最薄です。日本の携帯電話の強みはオリジナルな製品コンセプトとやはり統合技術だと思います。

(スライドNo.7) (スライドNo.8)

次に、デジタルホーム・エンタテインメント大国ですが、この絵にあるものは既に皆さんの周りに沢山あるのではないかと思います。これらのエレクトロニクス装置を支える基盤技術はいずれも世界最先端なものばかりで、それを組みあわせることで画期的な製品コンセプトを生み出しております。大型テレビはアテネオリンピックに向けて、大変激しい商戦となっていますが圧倒的な強さを持っています。その強さは、ディスプレイそのものにもありますが、ドライブ用特殊半導体や高精細画面技術など複数の基盤技術が世界的にトップにあり、さらにそれらを組み合わせた製品コンセプトが強いと思います。しかしながら、日本でヒットするとたちまち製造コストの安いアジア諸国で真似され、一年も経たないうちに日本の苦戦が始まります。この繰り返しを何とかしなければいけないとの意識は従来からありましたが、最近の相当深刻な事態に対し企業自身の努力として、技術・ノウハウをブラックボックス化して真似しにくくしようという動きが盛んです。特許さえ出しておけば安心という考えは必ずしも当たっておりません。国家的にも各種の法律を整備して不法な技術流出、無断使用に対して対策を打ち始めております。日本がエンタテインメントのソフトウェア大国であることは皆さんよくご存じだと思います。日本の強みはハード・ソフト両面で技術的に最先端であることですが、むしろコンテンツそのものでも世界的に人気があり、数少ない日本発の文化であるとも言えるでしょう。

(スライドNo.9) (スライドNo.10)

次は、スーパーコンピュータ大国です。ゲームから突然スーパーコンピュータですが、先ほど柳田先生がスーパーコンピュータの中にトランジスタが幾つあるか知っていますかと聞かれましたけれども、実は、ゲーム機（プレイステーション2）のプロセッサに使うトランジスタの数と、世界最高速のスーパーコンピュータのプロセッサに使っているトランジスタの数はほとんど同じなのです。スーパーコンピュータといえばハイテク中のハイテクですが、日本では最先端技術を惜しみもなくエンタテインメントに応用するたくましさがあります。ゲームだけでなく、カラオケや家電製品にも最先端エレクトロニクス技術をふんだんに投入しております。日本は現在、実用化したスーパーコンピュータの演算速

度では世界チャンピオン記録（35テラ・フロップス）をもっております。アメリカは軍事応用上で危機感を抱き近いうちに世界一を奪回せよと大型の国家予算を投入中です。計画によれば、我々の3倍レベルの速さのものをあと2年以内につくるそうです。ここで強調したいことは、日本のスーパーコンピュータはその基本的部品であるハード、ソフトともすべて自前で作っていることです。心臓部となるマイクロプロセッサは当然、メモリーにしても超高速メモリーです。一番大事なポイントは非常に多くのプロセッサを超高速に動作させるためのインターフェース技術を完全に自前で作っていることです。この他にこの絵にあるように多くの基盤技術を開発しておりますが、これらはどんなに真似の上手な国でも一朝一夕にできるものではありません。ましてその統合力では、アメリカとは熾烈な競争となるにしても、日本は圧倒的な強みを持っていると言えるでしょう。

（スライドNo.11）

次はハイメカ・ロボット大国についてお話したいと思います。この絵のようなヒューマノイドロボットではなく製造ラインに使う工業用ロボットでは日本は伝統的に強みを有しております。ロボットを我々の身近なものとして製品化したことでは、ソニーの犬型ロボットアイボの貢献が大きいと思います。人間に近い形のヒューマノイドロボットではホンダのアシモが断然先行しておりますが、その後非常に多くの研究機関からヒューマノイドロボットの試作発表が行われております。アシモは階段が登れるというデモがインパクトでしたが、産総研/川田工業のロボットは、転んでも起き上がり、狭い空間を器用に通ります。最近のソニーのデモではアイボが後ろに置かれ、その前にヒューマノイドロボットが並び皆で一緒にパラパラ踊りのデモをしております。最近突然発表を始めたトヨタもヒューマノイドロボットにトランペットを吹かせて音楽を演奏させております。トランペットはロボット用ではなく、本物をロボットの人工唇に当てて空気を吹き込んでいるそうです。このようにロボットのデモもどんどん多彩になってきました。NECでは数年前からロボットに取り組んでおりますが、NECのロボットはヒューマノイドではなく、もっぱらフレンドリーインテリジェンス、人間との自然で気分の良いコミュニケーションを追及しております。NECロボット・パペロのホームページ（<http://www.incx.nec.co.jp/robot/robotcenter.html>）で紹介しておりますが、とてもフレンドリーなお相手ができます。人を見つけると近寄って話しかけ、家族の顔を10人まで覚えられ、親しい人ですと昔の思い出からその人が好きな話題を持ちかけます。話す言葉は日本語ですが現在は600語を理解して3,000語をしゃべります。通訳ソフトを載せれば日本語で5万語、英語は2万5

千語話せるようになり、外国人を自宅に呼んでも家族との会話を手助けできます。いろいろな芸ができますが、誰もいなくて暇になると1人で踊ってみせます。誰もいないのになんでそんなことをやるのかと思うでしょうが、インターネットで外出先と繋がっており、目はCCDカメラですから部屋の中をロボットを通して観察することができてセキュリティに役に立ちます。家の様子を一生懸命に調べたり、ご機嫌よく踊っていたりしていると判るとなんとでも可愛く思えるものです。ヒューマノイドロボットはメカも当然大事ですが、人間との付き合いにはパートナーらしい優しい性格を持っていて欲しいものです。人間のパートナーとなる上で大事なことは、いかにして飽きをこさせないということですが、これが結構大変なことで難しい課題です。色々なロボットが提案されておりますが、多くの場合3-4週間で飽きてしまうようです。また、当然人間に危害を絶対加えない保証も必要です。また、幼児とお付き合いしていることで子供の精神的情緒的成長に与える影響についても未知な部分があり、大学の先生にもお願いして研究中ですが、なかなか難しい問題です。日本は現在ソフト・ハード両方とも世界的に先行しておりますが、人間と暮らす上で配慮すべき課題を着実に解決していくことで、各種の産業や教育・高齢者介護事業などで大きく実用化されることを期待しております。

(スライドNo.12)

次は環境対策について述べたいと思います。この分野では日本は世界のお手本と自慢しても良いのではないのでしょうか。過去に工業廃水などで大変厳しい経験を繰り返し、その反省もあり、環境的規制は世界的にいつも一番厳しい状況となっていると思います。トヨタ自動車のハイブリッドカーの実用化先行は極めてインパクトがあり、欧米の自動車会社はキャッチアップに必死です。圧倒的に日本が進んでいます。燃料電池カーに関しても、トヨタだけでなく日産、ホンダも盛んに宣伝しております。燃料電池への期待は非常に大きく、「水素社会の到来」という夢も盛んに語られております。エネルギーはすべて水素の燃焼で作出し、廃棄物は水だけなので一切公害、温暖化は起きないというわけです。また、環境対策として日本企業が熱をいれているものとしてバイオプラスチックがあります。バイオプラスチックとは植物の乳酸を原料としてこれを高分子化したポリ乳酸をつくり、これに強度、腐食性の改善を目的に無害の添加剤をつかって完成させます。実はバイオプラスチックでも燃せば所詮CO₂が発生する訳ですので温暖化対策としては効果がないように思えますが、バイオプラスチックなら排出される量のCO₂を先に吸って出来た植物が原料なのでプラスマイナスゼロという発想です。石油だって元はといえば植物だったか

ら、石油から作る現在のプラスチックも同じように環境に優しいといえるはずだと思いますが、問題は時間スケールです。植物が埋まって石油化するまでには何億年前もかかっていたものをたった 100年レベルで全部燃焼してしまったら一気に地球のCO₂濃度が上がってしまいます。一方植物が10年レベルでCO₂を吸って育ち、それをベースにプラスチックにすればたとえ燃やしてもCO₂濃度は急激には変化しないだろうということです。つまりCO₂を先に減らしてから使おうということです。バイオプラスチックは色々な植物からできますが、ある自動車会社ではベトナムでサツマイモ畑を広大に栽培しこれから乳酸を取り重合してポリ乳酸にしてプラスチックにしているようです。自動車の座席シートの一部に使い始めているという話です。

我々は燃料電池をパソコンに応用しようとしております。燃料は水素が理想的ですが、高圧水素タンクを搭載することはパソコン応用には無理があるので、メタノール水溶液を使っております。一回の連続動作目標は40時間ですが、燃料がきれたらカートリッジごとすぐ取り替えれば、事実上ほとんど無制限にコードレス状態で使えるわけです。メタノールを原料にすると排出ガスとして水蒸気のほかにCO₂ガスも出てきて環境対策としては問題があるように思えますが、メタノールは現在市場の99%は石油を原料にしておりますが、これを将来植物に変えることで環境にやさしいものになりたいと考えております。問題はメタノールを使うと航空法の規制で飛行機内に持ち込めないことで、旅行に持ち歩けなくては燃料電池の利点が大きく薄らぎます。ただ、2007年には規制を変更しようという動きがありますのでいずれOKとなるはずでしょう。この他にも携帯型燃料電池には幾つかの大きな課題があります。燃焼効率の改善として我々はカーボンナノチューブの一種であるカーボンナノホーンを使っております。電気伝導が良く表面積が大きく化学的に安定であることが特徴です。燃料電池は空気を吸い酸素を原料にしていますが、タバコの煙には弱いです。また水蒸気を排出するので周囲を湿らさないようにしなければなりません。内部の燃料循環構造や燃焼ガス排出構造などまさに実装技術としての技術統合の正否が鍵となるでしょう。

(スライドNo.13)

21世紀において日本が強化・維持すべき基盤技術には沢山のものがあります。この絵には8つ挙げております。まず、まだ問題のあるインターネット技術を中心に情報技術の高度化・高信頼化が必須です。ハードウェアだけでなくソフトも含めたデバイステクノロジーも今日の輸出規模の維持拡大から考えても大事な基盤技術です。自動車だけでなく、

日本の強みであるメカトロニクス、ロボットテクノロジーもぜひ最先端をキープし外貨獲得の星であり続けてもらいたいものです。環境対策テクノロジーはそれ自身中々産業競争力になりにくいのですが、温暖化対策が世界的に盛り上がるなかで、各国とも政府規制を強めており、環境対策の有無だけで製品販売が許可されない可能性も大きくなりました。

現在大流行のナノテクノロジーとバイオテクノロジーは非常に広範な概念なので具体的な事業イメージが分かりにくいのですが、一言で言えば、「ナノテクノロジーはエネルギー問題の解決」に「バイオテクノロジーは食料・健康問題の解決」に向いているというのが私の信念です。いずれにしても21世紀の大きな産業基盤となることは間違いないでしょう。これらを支え、イノベーションを引き起こさせる原動力とおなるのが計測・分析テクノロジーです。これは縁の下的な力持ちですが、歴史的に科学技術に大きなブレークスルがあったときはいつも貢献しており、特に材料・物性分野やバイオ関連分野の大発見には不可欠な基盤技術でしょう。

(スライドNo.14)

これから力を入れるべき学際的融合技術としてナノテクノロジーとバイオテクノロジーの融合によるバイオエレクトロニクスがあります。この絵は、最近終了した文部省プロジェクト「超機能化グローバル・インターフェース・インテグレーション研究」の東大堀池先生のグループが作成した成果集の一部です。当初の計画を大幅に超えるアイディアに基づく成果がありました。バイオ技術がナノテクノロジー加工技術のお陰で全く新しい応用が開けつつ、例えば、超微量資料による医学的診断などが可能となり今後がとても楽しい分野です。

もうひとつの学際的融合技術として、ナノテクノロジーとコンピュータアーキテクチャの融合によるポストシリコンコンピュータがあります。コンピュータ開発者にとって、21世紀前半の大問題となりそうなことは、半導体デバイスの消費電力が過大になりすぎることからくる破綻です。半導体の微細化ロードマップによれば、今日使っているシリコンデバイス(CMOS)はまだ当分微細化に耐えられあと30年はいけるという説があります。おそらく素子単体では0.02ミクロン以下でもCMOS動作が可能だとすれば、軽く30年は微細化だけ高機能化できそうですが、一つのチップ内で5億個、おそらく10年後は10億個を超えるであろう大規模集積回路の消費電力をシミュレーションしてみると、自分で発生する熱でチップの温度がシリコンの融点をはるかに超えてしまうと予想されます。このため半導体関連研究者の最大関心事はいかに消費電力を抑制するかであり、具体的には

トランジスタの材料・構造の工夫から始まり、配線・放熱対策あるいは非動作部分の局所的電源遮断などチップ全体のアーキテクチャ設計など、ありとあらゆる可能性を導入しようとしております。それでもこのままですとやはり30年もすると集積度の大規模化は確実に停滞せざるを得ないでしょう。

(スライドNo.15)

近年、消費電力の限界を超えるものとして幾つかのポストシリコンコンピュータの候補が提案されております。勿論狙いはすべて超低消費電力化です。まずその筆頭は最近進歩が著しい超伝導コンピュータです。とくに日本の超伝導工学研究所がSFQLと呼ばれる磁気フラックス回路で集積回路を試作して30GHzレベルのクロックで動作させることに成功したことは注目されるべきことでしょう。日本の国家プロジェクトとして産学官すべての英知を結集して取り組んでおります。外国ではほとんど手をつけていないので、成功すれば日本の独壇場になるでしょう。次に示した光コンピュータですが、実はこの概念は相当古く、何度も流行しました。しかしそのたびに集積規模とそのシステムサイズが問題となり繰り返し挫折しております。最近、ナノフォトンクスとよばれる光デバイス技術が脚光をあびておりますが、これは光を用いることの最大の欠点であった波長限界による微細化限界を打ち破る可能性が注目されているためです。東工大大津先生を中心とした多くのグループで「近接場光」の巧みな応用で新しい道が開拓されつつあります。できれば光だけで演算させることが究極の狙いですが、その前にシリコンチップの配線消費電力問題を解決する道として期待が高まっております。次に示すDNAコンピュータ、これは一見極めて遅そうなコンピュータです。確かにDNAにおける塩基結合の反応が完了するまでには時間がかかりそうですが、DNA鎖につながる何億もの配列がいつに反応するとしたらトータルの計算速度は非常に早くできるということらしいです。らしいと申しますのは、残念ながら、私にはその演算原理や入出力制御法がよく理解できないので利点がうまく説明できません。さて次は原子スイッチコンピュータですが、これも相当古くからいろいろな提案があり、私が学生だった40年位前に大学のゼミの論文で勉強させられた覚えがあります。原理は至極単純、伝導性ある高分子の原子の紐を巧みにつなぎ合わせて、トランジスタのような3端子電極素子を作ればスイッチが出来るというものです。このアイディアは誰にでも思いつきそうなもので、安直なところがあります。ところが集積回路にとって基本的に大事な個々の増幅機能が想定されておらず、コンピュータ素子になるとは思えませんでした。ところが最近原子スイッチという新しいアイディアが提案されております。直

行対抗させた二つの金属配線の間に電圧を加えると、一方の電極からその構成成分である金属の原子が他方の電極に向かってマイグレーションしていき、ついには二つの配線を接続させてしまうという現象を利用しております。この現象は理研の青野さんグループで発見され、当社でこの原理をナノブリッジと呼んでおりますが、これをフィールドプログラマブルロジック回路に応用して動作できることを実証してみせ世界的な注目を集めました。その理由は、現在アメリカの企業に特許で押さえ込まれているシステムLSI（FPGA）の代替素子として可能性があるためです。ナノブリッジは昔の原子スイッチとは全く原理が異なりますが、集積回路の配線を原子レベルで形成・遮断するというコンセプトが新しくその応用的広がりが楽しみです。

最後に量子コンピュータです。今まで述べてきた4つの新しいコンピュータの演算原理はいわゆるバイナリーデジタル型であり、今のシリコンコンピュータと同じですが、量子コンピュータというのは大変不思議なコンピュータで、個々の素子自身ははっきり1と0の状態がとりうるのですが、演算させる時にはその混在状態である量子状態をベースにします。量子コンピュータの説明を聞くといつも禅問答を連想します。「計算の答えは演算を始める前から判っているのだ」、「問題は如何にしてその答えを引き出すか、そのアルゴリズムを発見することにある」という。これまでに数個レベルのアルゴリズムが発明され、演算を実証できたという論文が出始めております。NECでも量子コンピュータの開発に取り組んでおりますが、最近、蔡さん達のグループで2つの量子ビットを使った演算回路の基本動作に成功しました。やっと2ビットですが、実用的目標は高々10ビットレベルの連結なので、まもなく量子コンピュータが登場するように思えますが、そうはいかないようです。量子ビットを量子的状態が保たれたまま連結するということはかなり難しく、いかに複数の素子が連結したままでコヒーレントな量子状態でいられるかという問題が相当難しい問題のようです。実は、量子コンピュータの話をする、ほとんどの人にあれはだめと言います。私も当初はなにやら原理も判らず期待しておりませんでした。いざ量子ビットの動作を見せられて、「なんだか難しそうではあるが山に登り始めた」という思いを持ちました。宝くじは買わない人には絶対当たらないように、挑戦しないで批判だけの人は絶対頂上に到達しないことは確かです。もっとも、企業が基礎研究するのは不自然という最近の風潮のせいか、「今どきの企業でよくできますね」とマスコミにからかわれます。しかし、この分野も結構日本勢が頑張っており、世界からトップレベルの研究者が集まってきます。この状態を譲りたくないものです。

最後に、先端技術の光と陰について少しお話したいと思います。ここからちょっと暗い話が出てまいります、今後の科学技術の進化の方向を考える上で重要なことなので、ここで問題提起をしておきたいと思います。

(スライドNo.16) (スライドNo.17)

まず現在のインターネットを中心とした情報インフラの信頼性の問題です。一言で言えば皆さんはまだ完全にインターネットを信用していないのではないのでしょうか。ウイルス問題は日常化し一日10-20通もウイルス関連メールを受け取られうんざりしていることでしょう。パスワードをパソコンから送信する不安も中々ぬぐえないものです。知らない間に、成りすましによって身に覚えのない取引や現金引き出しが行われてしまうこと、ホームページや大事なデータベースを勝手に書き換えられてしまう事件も不安を煽ります。これらはインターネットプロトコルという通信手段の大きな利点の裏返しでもありITインフラの脆弱性が残っていることを示しております。そうは言いましても、インターネットの利便性はきわめて大きく、日本では国家的施策が次々と実行に移され世界的なインターネット大国になりつつあります。政府のe-Japan戦略□においては、インターネットを社会的インフラとしてさらに高度に利活用しようとしております。特に先導的取り組みとなる重点7分野を中心に安心して安全なシステムの構築を目指しております。2006年には140兆円レベルの市場でITが不可欠な手段となると予測されております。先ほど述べたもろもろの不安もありますが、ようするに、大規模な社会的インフラとして生活や経済活動を行うには絶対的な信頼性がまだ安心できるレベルに到達していないということです。ITインフラがユビキタス化してあまねく普及していくには社会システムとして“デペンダブル”でなければなりません。デペンダブルとは、事故がまったく起こらないことが望ましいのですが、起きたときに直ちに状況が把握でき、自己修復が始まり、それから先の状況が予測できるなどして、社会的パニックやカタストロフィックな破綻を引き起こさないことが保証できる状態のことです。具体的には、ITインフラシステムの修復性、追跡性、予測性、永続性などのことです。

(スライドNo.18)

先端技術のもたらすもうひとつの光と影として、超人間への挑戦という倫理的問題があります。超人間、人間を超えるヒトの誕生には3つのアプローチが考えられます。まず初めのアプローチは、ロボットの先ほど発達著しいロボットの話を幾つか紹介しましたが、“ロボットの超人間化”です。肉体的には人間より頑丈なものも簡単にできるでしょうし、

頭脳的には、人間と全く同じ感情的動きではないにしても、特定の頭脳作用で人間を超えることは可能でしょう。2つ目のアプローチは、サルの遺伝子操作による超人間化です。人間のDNA組み換えは国際的に禁止され、クローン人間の誕生もまもなく国際的に禁止されるでしょう。しかし、クローン人間がだめならサルの遺伝子操作で人間を超えるまで人工進化させてみようという発想です。DNAの配列が人間とわずかに1.2%しか違いがないので、色々いじっているうちに特定の能力、特に頭脳的才能で人間より先のもの、人間を超えるヒトができるのではないかと挑戦する人が出てくるのも自然なことでしょう。猿を使って人間の進化を先取りしてみようというわけです。ところが、先日、動物進化論を専門にする先生に話してみたら、「渡辺さん、進化という概念がわかっていませんね」と言われ、「遺伝子配列をみて進化の経過を外挿し、こうすれば進化するはずということ」は預言できません。進化とは単に結果的な環境適合であり、特定能力の高度化や高速化ではない」とのことでした。従って、人間よりすごいものができるという保証はなにもないのだそうです。しかし、人間の前はサル、その前もその前も遺伝子配列の系統図として判っているとしたら、何が変化してきているのかは確実に理解できているわけです。たとえばサルのDNAのこの部分をこう組み換えれば、前頭葉、あるいは脳が3倍になるのではないかと予想がつきそうではありませんか。第3のアプローチとしては、人間のDNA組み換え実験が許されないなら、人間の住む環境を人工的に変化させて突然変異による人工進化を誘導しようという試みです。このあたりになるととても賛成できないと思われるでしょうが、すでに我々自身で地球温暖化というという取り返しのつかない環境変化を起こしつつあることを考えると単純にこのアプローチによる人間の変化を研究する必要も出てくるような気がします。人工的環境変化という試みは倫理的にも絶対許すことができないと思いますが、先天性異常の撲滅や不妊治療といった現実的なニーズがある以上、結局かなり際どいところまで試みていくような気がします。

このような3つのアプローチ問題は、21世紀の前半で相当進んでしまいそうな気がします。これが現実化しているかどうかは、この間に、世界的に人類としての倫理観が大きく変化しているか、逆に強力な規制をつくり「禁じられた科学」として国際的に抑制するか、いずれにしても、法と倫理を超えた科学技術をどう扱うかという問題として真剣な議論を行うことになるでしょう。少々議論の飛躍が大きすぎたかもしれませんが、ぜひ考えていただきたい最先端科学技術の光と影です。

そろそろ全体を纏めたいと思います。本日は「大学人への期待」というタイトルでしたが、大学人とは大きく学んだ人と読みます。日本の産業競争力は幾つかの分野で圧倒的な強みを持っております。その理由は基盤技術の強みと同時に技術統合による革新的な製品コンセプトの創造にあります。今後とも資源小国である日本が生きてゆくためには、強みである幾つかの基盤技術の維持強化と同時に、技術統合力に基づく製品コンセプト創生能力にも更なる磨きが必要です。一方、人間自身でも手に負えなくなりそうな勢いで発達している科学技術の使い道、特にその光と影をしっかりと見据えることができる人材をしっかりと育成して欲しいということです。大学にしかできないこととして是非お願いしたいことは、技術統合競争力の基盤となる世界トップレベルの科学技術の創出と同時に、法と倫理の先を行きはじめた最先端科学技術がもたらす社会的インパクトの洞察で社会をリードしていただきたいことです。現在、工学と経済学・経営学との融合教育（MOT）が盛んですが、工学と法学や倫理学との学際融合教育を強力にスタートさせ、これを市民レベルの価値観として還元するサイクルの構築も急務ではないでしょうか。このような視点をもって科学技術の発展を大きく捉えることができる大学人（大きく学んだ人）を育成することが、21世紀の最も大きな大学の責務であると思います。是非世界をリードしていただきたいと思います。長い間ご清聴ありがとうございました。

○司会者 ありがとうございました。産業界の立場からナノテクノロジーに対する期待と注意点をわかりやすく説明していただき、大変興味深いご講演でございました。予定しておりました時間がだいぶ過ぎておりますので、簡単にご質問、コメント等がございましたらお受けしたいと思いますが、ございますでしょうか。――渡辺先生にはレセプションにもご参加してくださるということですので、そのときにでもゆっくりお話ししていただければと思います。

それでは、これで特別講演を終わりにしたいと思います。渡辺先生、どうもありがとうございました。

それでは、これから休憩に入りまして、3時50分から、研究センターの概要と各プロジェクトの説明、現状の報告に入りたいと思います。

（暫時休憩）

○司会者 それでは時間になりましたので、これから研究報告に入りたいと思います。

まず最初に、研究センターの概要につきまして、研究代表者の情報電気電子工学科本間紀之教授にお話しいただきたいと思います。

研究センターの概要

研究代表者 本間 紀之（工学部情報電気電子工科・教授）

研究センターの概要ということで、ごく簡単に研究センターの話をさせていただきます。

（パワーポイント）

これは今までの説明で何度も出てきておりますけれども、一応長さを書いたのですが、要するに物理量の単位です。ここが長さでいうと1メートルです。10のマイナス3乗がミリ。マイナス6乗がマイクロ。マイナス9乗がナノです。こういうのは皆様ご存じだと思いますので、余り詳しくは説明しませんが、長さでいいますと、昔はセンチメートルが中心——ここですね。それから、これはマイクロといわずにミクロンといっていました。昔はナノという言葉は使わずに、この下に、ここがオングストロームという。ですから、センチメートル、ミクロン、オングストロームという単位が昔、長さとして使っていた単位でございます。

ナノといいますのは、私がちょうど学生時代、ですから40年前ほど前によくナノセカンドという単位で使われたのが、私が覚えている一番最初でございます。さらに、その10年ほど前ですと、ナノという単位は一般には使われておりませんで、ナノのかわりにミリマイクロセカンドという言葉で使っておりましたが、私がちょうど学生時代からナノセカンドという言葉が使われ出しました。ですから40年ほど前、ナノという、これは専ら秒だけに使われていた単位でございます。それが20年ほど前ですか、私の記憶では大体そのころなのですが、ナノメートルという単位で使われ出しまして、現在ナノテクノロジーで使われているナノというのは、ほとんど長さの単位ということで使われております。

一応、こちらに電磁波というのは、これより上に長波というのもあるのですが、ずっとガンマ線まで電磁波は存在しておりまして、マイクロのところは近赤外線になるのですが、ちょうどこの辺が可視光です。

それから紫外線、エックス線のちょうどオングストロームの前後のあたりが原子半径とか、それから結晶格子の大きさです。その下がガンマ線の領域ということになりまして、現在マイクロナノ——実はマイクロナノのマイクロは、この単位のマイクロということもあるのですが、マイクロとかナノはギリシャ語とかラテン語なのですが、これはい

ずれも微少ということを意味している単語だそうです。

今度の研究センターで対象としておりますのは、ちょうどナノの領域に入り込むような大きさをナノマテリアルというグループとメカトロデバイス、電子デバイス、それから、ナノバイオロジーという4つの研究グループで研究センターを構成しております。

(パワーポイント)

ちょっと字が小さいのですが、こちらが研究プロジェクトです。1、2、3と3つございまして、1つは高機能ナノマテリアルの開発及びマイクロ・ナノメカトロデバイスの研究というプロジェクトが1つございます。このプロジェクトは内部が2つの研究グループに分かれておりまして、1つがナノマテリアルの研究グループです。もう1つがメカトロ。マイクロマシーンともいいますけれども、そういうメカトロのグループです。

2番目のグループが分散型耐環境ナノ電子デバイス。

3番目のプロジェクトが生命情報と生体機能のナノバイオロジーという、3つのプロジェクトで、研究グループでは4つです。そういう4グループで研究を進めております。この内容は、これから細かく各グループの説明がございますので、ここでは説明いたしません。研究員の人数が三十数名。この人数は発足時のキーメンバーの人数でございまして、最近ではポスドクの方とかということで、もうちょっと人数はふえております。

こちらに示しておりますのが、このグループに関係しております工学部の学科の名前です。これも実は昨年度までの学科でしたけれども、今年度4月からシステムデザインという学科がもう1つふえまして、全部で工学部は9学科ということになっております。これをみていただければわかりますが、システムデザイン学科も含めると9学科あるうち6学科の方々が参加しておりまして、工学部の大部分の方が参加していただいている研究センターということになっております。工学部のほかに理化学研究所ほか4外部の研究機関からも参加していただいております。

(パワーポイント)

最後に建屋のことを簡単に説明いたしますが、皆さん、大抵の方は見学していただいたので、もうわかると思いますけれども、1階、2階、合計で2,200平米ということになっております。実際にはクリーンルーム、この辺がダウンフローということになっておりますので、この下には地下室も存在しております。1階、2階、こちらが実験室で、こちらが研究室、大体そのような構造になっております。

以上、簡単でございますが、概略でございます。

○司会者 ありがとうございました。

引き続きまして、各プロジェクトのプロジェクトリーダーの方に各プロジェクトの概要について説明していただきたいと思います。

まず最初に、高機能ナノマテリアルの開発というプロジェクトにつきましてプロジェクトリーダーの物質化学科丸山有成教授にお願いいたします。

高機能ナノマテリアルの開発

プロジェクトリーダー 丸山 有成（工学部物質化学科・教授）

本研究センターの4つの研究グループのうちの1つであります高機能ナノマテリアルの開発研究というプロジェクトグループの最近の研究状況につきまして、概略をご報告させていただきます。

（パワーポイント）

このグループの研究目標は、ここに簡単に書いてありますように、10のマイナス9乗メートルのサイズの領域の物質を研究対象としております。それはなぜ興味があるかといいますと、それらは物性として新しい量子効果がいろいろあらわれる可能性をもつ物質系であります。さまざまな新しいナノサイズのマテリアルを創製して、その特異な構造、物性に基づく新しい高機能の発現を目指して研究を進めております。さらにその先としては、そういうナノメーター素子を分子エレクトロニクスに応用していくという展開をも、先に見据えた研究を進めていく予定であります。

（パワーポイント）

プロジェクトメンバーは9名で構成されておまして、私、今リーダーをしております丸山で、守吉先生、中村先生、浜中先生、西海先生、片山先生、緒方先生、以上が物質化学科で、機械工学科から西村先生、システム制御工学科から高山先生に協力して頂いて一緒にやっけていただいております。個々の研究テーマはこのようになっておりますが、後で概略を少し詳しくご報告申し上げます。

（パワーポイント）

最初に、イントロダクションを兼ねて、ナノマテリアルというものの端的にわかりやすいお話をさせていただきます。ナノメーターサイズの物質として最近よく話題に出てきますナノマテリアルは、このような炭素系の物質が中心になっておまして、直径が1ナノメーターオーダーの非常に長い筒状の物質があります。カーボンからできていますから、カーボンナノチューブと呼ばれています。この他に、くるっと丸くまとまって、かご状のいわゆるフラーレンという物質もよく話題となります。それも直径が1ナノメーターぐらいの物質でありまして、典型的なナノサイズの物質だと考えられております。

カーボンナノチューブは1991年のころ発見され、最初は多層構造をしたものがみつかったのですが、その後本当に一層だけの筒状のものがみつかって、さらに複合物質としまして、筒状のナノチューブの中にフラーレンが内包された新しい物質もみつかってまいりました。

(パワーポイント)

さらに、内包されているフラーレンの中に金属原子が内包されている、いわゆる金属フラーレンと呼ばれますけれども、そういうものがチューブに内包されたものもみつかってまいりました。これは模式図ですけれども、実際に電子顕微鏡でこの図のように、確かにそうになっているということも確認されています。

(パワーポイント)

我々はこの物質に注目しまして、我々のメインの実験手段であります走査型トンネル顕微鏡を用いて、これらのナノメートルサイズの物質を直接見ることを試みました。この黄色い線が4ナノメートルというサイズであります、トンネル顕微鏡で見ますと、中に内包されている分子が確かに見えているということです。これは非常に奇妙なこととして、電子顕微鏡ですと中のものが透けてみえるのですが、トンネル顕微鏡ですと原理的には中のものが透けてみえないはずなのです。みえないものがみえているというのは、結局、中に内包されているものの物質の影響が、外にあるナノチューブの電子構造を大きく変化させている。そういうことがあるということがこの測定で確認できたわけであります。

(パワーポイント)

さらに、この点々のところに注目しますと、大きな玉状だけではなくて、ここに明るい斑点がございます。これに注目していろいろな解析をしてみますと、先ほど模式的に示しましたフラーレンの中に内包されている金属原子が原因であることが

(パワーポイント)

したがって、それが外側のチューブの電子構造に大きな変化を与えているということが明らかになりました。

(パワーポイント)

これは模式図ですが、計算の上でもただのフラーレンですとそういうことはみられませんが、金属がここに入っているとその影響が外側のチューブに顕著にあらわれてくる、したがって、中のものと外のものが強い相互作用をしていて、それで新しい物質ができているということがわかるわけです。

(パワーポイント)

そこで、我々はその点に注目しまして、中に入れるものをいろいろ選んでやろうということで、内包させる物質として

(パワーポイント)

DNAをとり上げてこれをカーボンナノチューブに内包させていくことができるかどうかを調べています。DNAはご存じように、4種類の塩基によって結ばれた二重らせんの構造をしていますけれども、この塩基の並び方がいろいろな遺伝情報を示しているわけです。DNAがもしチューブに内包されますと、チューブの表面の電子構造に遺伝子の情報が伝達されて、新しいタイプのチューブができる可能性があるのではないかということを考えてみました。

(パワーポイント)

実は、DNAはこのようにチューブの外側と相互作用するということは既に知られているのですが、まだ中に入っているものはみつかっておりません。

(パワーポイント)

ただ問題は、中に入るためにはチューブの内径が十分太くないといけないので、現在ある単層ナノチューブですと内径が1ナノメートルちょっとぐらいしかなくて、2ナノメートルのDNAはなかなか入り得ないということで太いチューブを用意し、

(パワーポイント)

この図のようにキャップをあけて、ここからDNAを何とかして入れることを試みました。

(パワーポイント)

それで、ある反応を行って、合成されました物質をSTM（トンネル顕微鏡）でみた図がこれでございます。チューブの切り口の所に確かにたれ下がっているような感じでDNAが入っているように見えます。これはまだみえるだけの段階でありまして、これのさらに詳しい解析を現在進めておりますが、それによってDNAが中に入っているということが証明できると、新しい複合物質ができたということになると思います。このような研究を我々のグループでは進めています。

(パワーポイント)

次に、このプロジェクトの中で共同研究を進めております守吉先生のグループでは、最近の成果として、

(パワーポイント)

非常に融点の高いダイヤモンドを比較的低温で金属とまぜ合わせることによって、液相での焼結体をつくることを明らかにされました。粒界に、金属とダイヤモンドの新しい焼結層があらわれてきて、そこで確かにダイヤモンドと金属が溶け合って新しい層ができて、新しい焼結体ができたとということを報告しています。

(パワーポイント)

次は、中村先生のグループであります、

(パワーポイント)

中村先生の場合は有機物質の強磁性体の開発というテーマで、その過程でナノメートルサイズの分子をいろいろ制御することによって、新しいナノマテリアル磁性体をつくろうというプロジェクトです。

(パワーポイント)

具体的に最近のテーマとしては、トリフェニレンという有機分子を用いた研究です。この分子の3ヶ所の部位のところにスピンを導入してやりますと、3つの不対電子が必然的に同じ方向を向くという特殊な分子であります。この分子を集積して固体をつくってやれば、新しい強磁性体ができるのではないかという研究が進展しておりまして、この分子を新しく合成する非常に効率のいい新しい短いステップの反応経路を考案し、実際に合成を進める状況にあります。

(パワーポイント)

次の浜中先生のグループでは、ここに書いてありますPIXEというのは(Particle induced x-ray emission)ということで、イオンビームが結晶中の原子に当たると特性X線を発生します。そのX線のエネルギーを評価することによって、その原子の環境を調べるという研究です。

(パワーポイント)

ナノメートルサイズの構造、環境を調べるということで、X線のエネルギーの高分解分析装置を開発し、それでいろいろな固体の中での、

(パワーポイント)

例えば、アルミニウムの回りの配位の状況とを詳しく調べることができます。ナノ構造の解明に非常に役立つ方法の開発研究を始めています。

(パワーポイント)

次は、西海先生のグループの研究テーマは、ナノメートルサイズの物質であるフラーレン、C60とか70というフラーレンを用いて、その光触媒効果を見出しております。この研究は環境化学とも関係しているのですが、光によってある有機物質が分解される現象に注目し、触媒が何もないときに光だけで分解しようとしめすと非常に短い波長の高エネルギーの光が必要なのですが、

(パワーポイント)

触媒としてフラーレンを用いて光を当てますと紫外光ではなくて可視光線でもその有機物を分解できることが見出されました。つまりフラーレンを光で励起して三重項フラーレンをつくり、三重項フラーレンと三重項酸素の反応によって非常に活性の高い一重項酸素がつくられ、その一重項酸素が有機物質、例えばフェノール等を酸化して分解するわけです。このような新しい反応をナノメートルサイズの物質を使ってみつけています。

(パワーポイント)

それから、緒方先生のグループの研究で、やはりこれも新しいナノ構造体の構築というプロジェクトで、

(パワーポイント)

先ほども申し上げたようなナノチューブにいろいろな物質が内包されているものを合成し、

(パワーポイント)

その内包された状況をNMRという手段を用いて調べ、ナノ構造の特殊性として結晶とは違う新しい構造体ができているのだということ、例えば次元性が非常に高いとか、むしろ結晶よりも密に詰められている状態であるとか、そういうことをNMRを使って研究が進んでおります。

(パワーポイント)

また、カーボンだけではなくてMoS₂を骨格とするナノチューブなども試みております。

(パワーポイント)

またこれは新しいタイプのC60の結晶で、ウィスカータイプの結晶もできるという新しい方法を開発しております。

(パワーポイント)

次の西村先生のグループのテーマは、このような題目で、固体の高性能潤滑薄膜、摩擦

係数が非常に低くて、特性のよい潤滑材を非常に極端な条件——例えば超高真空下でも十分活性であるような、そういうものを作っております。

(パワーポイント)

従来使われている二硫化モリブデン (MoS_2) だけではなくて、それに炭素をまぜ合わせるような複合ターゲットのスputタリング装置を開発して、

(パワーポイント)

それによって、従来の MoS_2 だけに比べてはるかに高い性能をもつ潤滑材が合成されています。さらにこれをナノメートルサイズの炭素物質を使って、その性能の改善を目指して研究が進んでいます。

(パワーポイント)

最後に、高山先生のグループでは、液晶ディスプレイ用の薄膜半導体材料の膜厚や処理の仕方をいろいろ制御して、それによってナノ構造がどう変化するかおさえながら、低抵抗・低内部応力の電極の開発ということを目指して研究を進められていまして、大きな成果を上がっているという状況にあります。

以上であります。

○司会者 ありがとうございました。

引き続きまして、マイクロ・ナノメカトロデバイスの研究というプロジェクトにつきましてプロジェクトリーダーの機械工学科田中豊教授からご報告をお願いいたします。

マイクロ・ナノメカトロデバイスの研究

プロジェクトリーダー 田中 豊（工学部機械工学科・教授）

田中でございます。マイクロ・ナノメカトロデバイスの研究グループのご報告をさせていただきます。私どものグループが恐らく4つの中ではサイズのには一番大きなものなのかなと思っております。

（パワーポイント）

私どものプロジェクトの研究の目的でございますが、半導体等のいわゆる集積回路の高密度化というのは物すごい速度で進んでおりますが、いわゆる機械要素、アクチュエーターとかセンサーを組み込んだ形のメカトロシステムというようにみた場合の集積化、あるいは統合化というのは、まだまだなのかなと思っております。そういう半導体のプロセスではない、それ以外の、いわゆる機械的な工作の分野での最新の微細加工、あるいは製造、組み立てとか評価、こういう技術を用いまして、小型で高性能化を目指しましたマイクロ・ナノメカトロシステムの研究開発ということが私たちのプロジェクトの目的でございます。

例えばということで、具体的に幾つかプロジェクトで3年ぐらいの先を見据えて考えているのが、積層した三次元のマイクロ流路構造のようなものを考えております。

それから、そういう流路構造に対してポンプですとか、バブルですとか、いわゆるマイクロな流体制御要素というものをつくりたいと。

それから、これはまた上の2つとはちょっと違いますが、小さなモバイル型のエネルギー源といたしまして、先ほど燃料電池というようにお話がございましたが、もう少しパワー密度の高いパワーMEMS用のマイクロ機械要素、こんなものを目標にしております。

それから、最後が恐らくプロジェクトとして、ほかのプロジェクトともかかわりがあるかと思うのですが、先ほど渡辺様のご講演にもございましたが、こういうものを統合化する、いわゆるメカトロシステムというのは幾つかのサブシステムの統合化として1つのシステムができるものですから、そういうシステムの統合化、あるいはデザインの手法、そういうものをぜひこのプロジェクトの方で確立していきたいと考えております。

（パワーポイント）

ご存じのように、メカトロのシステムといいますと、アクチュエーターというものが外部に何かしらの仕事をするというのがメカトロシステムの最終のところでございます。このアクチュエーターに、この場合ちょっと流体のアクチュエーターを想定しておりますので、仕事をしたりしなかったり、あるいは大きな仕事、小さな仕事、切りかえるようなバルブ素子のようなものがあって、そのバルブ素子にパワーを送り込むポンプのようなパワーソースがあると。こういうものの切りかえ、あるいはセンシング等をシグナル、信号処理、あるいはセンサーでこうやっている。こういうのを総称してメカトロシステムと呼んでおります。

まず、私どもプロジェクトでは、こういうアクチュエーターならアクチュエーターのモジュール、バルブならバルブのモジュール、ポンプならポンプのモジュール、こちらの信号処理やセンサーの部分については電子デバイスの方のグループと連携をとりまして、こういうものをまずモジュール化して集積化します。ポンプも1つではなく、例えばたくさんポンプを並べるようなことを考えておりまして、バルブももちろんそうです。アクチュエーターも1つでは非力ですが、それを幾つか同じものをアレイ上？に並べるということで、ある程度の仕事がしたいと。それをモジュール化して、今度1つのメカトロシステムというように統合しなければいけませんので、それを積層化するなり、あるいは放射状に配置するなりして全体のシステムを統合化するというところでございます。

(パワーポイント)

ちょっとイメージでございませうけれども、例えばこういう信号処理、あるいはセンサーのモジュールの層があって、ポンプのモジュールの層があって、バルブモジュールの層があって、最後に何か仕事をするアクチュエーターモジュールの層があって、最終的にはこれらの層を組み合わせで一体化して、これをマイクロ・ナノメカトロデバイスと。サイズ的には指の上に乗っておりますので、全体として統合化するとサイズとしてはミリのオーダーになってしまうかもしれませんが、このようなものを私どもでは考えております。

(パワーポイント)

こういうものをつくるに当たって、本研究センターに幾つかの加工ができるような装置を導入いたしました。午前中の見学で既にごらんになった方は多いかと思いますが、ちょっと重複になりますが、簡単にご紹介いたします。

主に加工装置としては、私どものプロジェクトでは3つの加工装置、すなわちマイクロプラスト加工システム、マイクロ放電加工機、それからマイクロ光造形装置と3つの装置

を導入しております。最後のレーザー顕微鏡システムというのは、そういうものを評価するためのものがございます。

(パワーポイント)

簡単に3つの装置についてお話ししますと、マイクロブラスト加工というのは、材料ですが、このワークはシリコン、あるいはガラスのような脆性材料でございます。そのワークの上にレジストフィルムと呼ばれる厚さ50ミクロン程度のフィルムをコーティングいたします。このレジストフィルムは紫外線で硬化する性質がございますので、いわゆる半導体の露光のプロセスと同じでございますが、この上にマスクパターンを載せまして、上から紫外線を当てると。そうすると透過した紫外線の部分のレジストフィルムが硬化します。硬化させた後に現像という工程。いわゆる硬化していない部分のレジストフィルムを洗い流すという工程を経まして、この状態の材料にブラスト、つまり上から非常に細かい粉体、径が50ミクロン以下の非常に細かい粉体を高圧でシャワーのようにしてぶつけると。そしてレジストフィルムがあるところは削られないで、ないところが削られるということで、実際にはこういう矩形の流路のようなものをつくることができます。これがマイクロブラスト加工でございます。

(パワーポイント)

次に、マイクロ放電加工でございますが、これは、いわゆる放電加工と原理は全く同じです。電極がありまして、工作物があつて、電極と工作物の間にある電圧をかけて、この間でプラズマのようにして、アーク放電させて材料を溶かすということでございます。このマイクロ放電加工システムは電極自体をまずつくる。非常に細い電極をまず加工して、加工した電極、最小の電極の径が5ミクロンまで装置としてはできることになっておりますが、非常に細い電極を加工して、その電極を使って、例えばこういう穴加工する。あるいは、それを連続的に動かせばフライス加工のようなこともできるということでございます。

(パワーポイント)

今の前半の2つは、溝ですとか、穴ですとか、どちらかといいますと二次元的な加工でございましたが、今度は全体のシステムを考えたときには、三次元的な構造物というのもマイクロメカトロシステムの場合には重要であろうということで光造形、しかも、非常に小さな解像度をもつ光造形システムというものがございます。光造形というのは、まず三次元のイメージをCADで形状データとして製作いたしまして、それを輪切りにしたよう

なデータに直します。輪切りにしたデータを使いまして、データをもとに光で硬化する樹脂の中でレーザー光を輪切りのデータに合わせて動かしながらテーブルを、この場合ですと下方向に動かしていく。そうするとスライスしたデータところの樹脂だけがレーザー光で固まっていくような、そういう造形法でございます。

こちらにちょっと例がございますが、これはプロジェクトの御法川先生の研究テーマのマイクロタービンの写真でございますが、このような非常に複雑な三次元構造を1回でつくることができるということでございます。

(パワーポイント)

ほかにも幾つか装置がございますが、このような装置を用いまして、先ほど申しましたような三次元的なマイクロ流路というものの構造を製作しております。これは一例でございますが、先ほどのブラスト加工を用いまして、幅が80ミクロン、深さ方向も80ミクロン、ブラスト加工は比較的アスペクト比が大きくとれる。つまり、幅に対して深さ方向が深く掘れるということに特徴がございますので、この流路の場合には少し下が丸まってしまっておりますが、このような流路構造を作成することができます。

(パワーポイント)

それから、同じようにして今バルブについても製作中でございまして、これはブラスト加工を用いて、ちょっと複雑な構造ですが、いわゆるフルイディクスと呼ばれるバルブ要素、あるいは、先ほどの三次元的な光造形を使った流体なアクチュエーター、これは既存のシリンダー要素でございますが、こういうものはマイクロ化していくとちょっと摺動？部があると実際には使えませんが、私どもが考えているのはベローズのような構造ですとか、あるいはブルドン型の構造ですとか、そういう摺動部のないアクチュエーターを検討中でございます。

(パワーポイント)

それから、今度、機械要素としまして、いわゆるパワーMEMSというような、先ほどの燃料電池よりもパワー密度が高いような、そのようなモバイルのエネルギーソースを開発するということで、ファンやポンプの流体機械アレイの開発ですとか、そういうパワーMEMS用の小型車歯車、あるいは、それを支える軸受けの試作ですとか、こういうものを行っています。それから、どうしても大きいものと小さいもので同じように動くかどうかということは検討する必要がありますので、先ほどの三次元の光造形機を用いまして、小さな形状をつくって、それを相似則が成り立つかどうかの試験的評価というようなこと

も行っております。

(パワーポイント)

先ほどもちょっとご紹介しました、これがマイクロ光造形でつくった超小型のインペラー、ターボチャージャーのインペラーと形としては全く同じ、大きなものを相似的に小さくしたものを製作しております。

(パワーポイント)

それから、その他ですけれども、まだポンプの方は試作、あるいは提案がなされておられませんので、マイクロポンプ素子の提案、あるいは開発。

それから、境界層制御素子の提案、境界層をアクティブにいろいろ動かすことによって、例えば抵抗を減らしたり、あるいは騒音を減らすというような、いわゆる流体機械の性能を上げていこうというようなテーマもございます。

それから、音響素子の提案とその素子による環境負荷を抑えた消音デバイスの開発ということで、最近はこのプロジェクターですとかパソコンが非常に熱を出すと。それを冷却するためにファン等がありますけれども、コンピュータやプロジェクターが小さくなれば、当然そういうファンも小さくしていかなければいけないということで、そのような小さな冷却ファンのようなマイクロ素子。あるいは、小さく加工するということは、まだまだ普通の加工法と同じなのかということでいろいろ議論がございますし、まだ最適な材料とか、そういうことの評価はおくれておりますので、その辺の材料特性の評価というようなこともテーマとしてあります。

(パワーポイント)

最初にも申しましたが、メカトロシステムとして考えた場合にはすべてをモジュール化したものをインテグレーションする、集積化する、統合化することが最終目標でございますので、システムの統合化、あるいは、そのためのデザイン手法の確立とか、組み立てるときのハンドリングとかインプラント手法の検討などということが、最終的にはこういうものを何か新しい知見が得られればいいかなと思っております。

どうもありがとうございました。

○司会者 ありがとうございました。

引き続きまして、分散型耐環境ナノ電子デバイスの研究というプロジェクトにつきまして、プロジェクトリーダーの情報電気電子工学科中村徹教授よりご報告をお願いいたします。

分散型耐環境ナノ電子デバイスの研究

プロジェクトリーダー 中村 徹（工学部情報電気電子工学科・教授）

（パワーポイント）

中村でございます。私たちのグループはこの10人でチームを組んで研究を行っております。研究題名は、分散型耐環境ナノ電子デバイスの研究です。今までナノテクノロジーの話題のご講演でしたが、ここでは分散型と耐環境という少々耳なれない言葉がありますが、それを簡単にご説明します。

耐環境といいますのは、例えば、高温・高圧・高耐圧という意味で、我々が暮らしている普通の環境よりも、より過酷な環境でも動作する電子デバイスという意味です。また、分散型は、「分散型コンピュータ」の分散という意味の概念で使っております。すなわち、いろいろなコンピュータが空間的に位置されて、それらがお互い別々に動作しかつ協調して動作する、そのようなデバイスを研究することが本研究の目的です。研究に従事されている先生方は、分散型耐環境ナノ電子デバイスの研究に関して、通信方式から、ハードウェア及びソフトウェアの分野までおられまして、皆様のご協力のもとにチームを組んで研究を行っております。

（パワーポイント）

研究目的は、高度情報化社会に必須な基本技術の確立ということが挙げられます。具体的には、「ユビキタス」で代表されるシステムに必須な基本技術を確認すること、ユビキタス環境を実現するハードウェアの基本技術を確認すること、これらの環境を実現するため、ナノテクノロジーを用いた新デバイスを開発すること、です。ちなみに、本研究の目的であるナノ電子デバイスの大きさは、数十ナノメートルから数マイクロメートルぐらいまでのオーダーを指しております。

（パワーポイント）

これがユビキタスシステムを分かりやすく描いた図です。ユビキタスといいますのは、一般的にはユビキタスコンピューティングとかユビキタスネットワークという言葉がよく使われてきております。ユビキタスコンピューティングというのは、至るところにコンピュータが存在するという意味です。私たちが所持している携帯電話にもコンピュータが入

っているわけですが、もっといろいろな所にコンピュータが入ってきたらどのような社会になるでしょうか。例えば、このスライドが映っているスクリーンの中にはコンピュータが入るはずがないのですが、もしこのスクリーンの中にコンピュータが入るように至るところにコンピュータが入ってしまう、そのような状況になればこの発表形式も変化をせざるを得ないわけです。至るところにコンピュータが存在しコンピュータ同士がお互いに送受信を行うと我々の住環境が非常によくなるということが考えられます。

われわれが直接触れる機器として端末があります。これはいわゆる P H S、携帯電話が格段に進化した形と考えられます。これをアプライアンスとよびます。アプライアンスの種類として、ここに示しますように、PDA、携帯電話、電子辞書等々があります。アプライアンスは、オフィスにおいては各個人が必要なソフトウェアを自動的にダウンロードし、さらに、周りのシステムに対してアップロードし、その人が仕事がしやすく、かつ居心地の良い状態に自動的に周囲環境を保ってくれる。また、このアプライアンスを持参して自分の家に帰りますと、自動的に個人情報アップロードされ、このスライドに示しますように冷蔵庫の中身を報告してくれたり、また別の部屋に人が移動すると自分の所望の音楽が演奏され、さらに、自分の体温に合ったエアコンが動くというようなことが可能になると考えられます。

将来の超高度な情報化社会においては、そういう電子デバイスが必要になるのではない。この端末すなわちアプライアンスは、お互いに送受信を行って協調動作をしているコンピュータが内蔵されている機器で、現在ある機器としてはコンピュータそのものや P D A とか携帯電話はもちろんのこと、自動車、家電製品等々が考えられます。

(パワーポイント)

このアプライアンスのことをさらに考えてみます。アプライアンスは、周りの環境、例えば温度や湿度をセンシングしエアコンに信号を送りその人の所望の環境を整えてくれる。ある人は 20℃で 40%の環境を、その隣の人は 25℃で 50%の環境を自動的に保ってくれる状況が、このアプライアンスを保持していると可能になるわけです。アプライアンスはその部屋にあるエアコンの他に周囲の人が持っているアプライアンス同士とも協調動作をしなくてはなりません。アプライアンスはどのような機能があるかといいますと、センサーで周囲環境を測定しその信号をコンピュータで処理し通信することが基本と考えられます。センサー、コンピュータ、通信用システムは、半導体チップで構成することが出来ます。センサー、コンピュータ、通信用システムチップは非常に複雑な回路構成で形成

されます。各々のチップもまた互いに協調して動作しなければなりませんから、非常に速く信号を伝達する必要があり、配線も今までのような金属でなく、光配線も考えなくてはならなくなります。

(パワーポイント)

さらに、このアプライアンスの中身を考えてみますと、ディスプレイとセンサーが人間とのインターフェイスになります。これらと一緒に、このように通信システム、コンピュータ、サービスハードウェアが必要となります。

これらのシステム技術としては、ここに書いたような事項が主なものです。私たちのグループでは通信、コンピュータ、データ工学の専門家の先生がいらっしゃいますので、こういうアプライアンスに必要なシステムについて研究が可能です。

さらに細かくアプライアンスを構成している部品を考えてみますと、いかなる場所でも使用可能であるために、マイナス20℃からプラスの 100℃ぐらいまで使用可能な耐環境のナノ電子デバイスが必要となります。私たちは特にこの中でも最近注目されております SiC とかガリウムナイトライドというワイドギャップの半導体の研究を行っております。また、低消費電力で動作可能にするために、マイクロのバッテリーの研究も行っております。

以上をまとめますと、いわゆるアプライアンスが個別で協調して動作するためには分散型という概念が必要で、さらにいろいろな環境で動作する耐環境ナノ電子デバイスが必要ということになります。

(パワーポイント)

分散型耐環境ナノ電子デバイスの課題をこのスライドに示します。通信方式、回路方式の課題としましては、分散型、協調性動作のために、近距離チップ間通信方式の確立、微小電力無線通信方式の確立、センサーとその処理すなわちアナログ・デジタルの回路の方式、そのLSI構成法が挙げられます。また、これらの課題を実現するための電子のデバイスとして、耐環境動作に優れたガリウムナイトライドや SiC 等のワイドギャップ材料を取り上げて研究しようとしております。さらに、高温でも信頼性を確保できる電極材料、およびデバイスの作成と動作機構の解析が挙げられます。

(パワーポイント)

ここでは、例としてガリウムナイトライド及び SiC 等で形成したデバイスについて簡単にご紹介いたします。

SiC、これはシリコンとカーボンの化合物の、それから、ガリウムと窒素の化合物のガリウムナイトライドという材料を使って、縦型デバイス及び横型デバイスを形成します。

半導体デバイスはP型層とN型層およびこれらの接合、またヘテロ接合を用いて構成します。従来の方法では、エピタキシャル成長という技術でこれらの層や接合を作ることが一般的ですが、この技術はデバイス製作の自由度が少ないのが欠点です。私たちはイオン注入技術という方法でつくってみたいと考えております。しかし、ワイドギャップ半導体デバイスにイオン注入技術を用いるというのは、あまり多くの例がないのが現状です。その1つの欠点は、非常に高温で熱処理しなければいけないということが挙げられます。

このスライドは私たちが研究を行った一例を示します。従来のイオン注入法では、1700℃程度の非常に高温の熱処理が必要だったのですが、私たちの研究では特別なある結晶方位を選びますと、1000℃程度からN型層が形成できるという結果を得ております。1800℃とか2000℃という超高温ですと、処理も難しいですし、さらに結晶をつくる温度よりも高い温度で熱処理しなければならないという欠点があります。私たちはその欠点を克服して新しいデバイスをつくっていきたいと思っております。

(パワーポイント)

最後に、今後の研究計画についてこのスライドに纏めました。以上です。ありがとうございました。

○司会者 ありがとうございました。

それでは、最後のプロジェクトになりますけれども、生命情報と生体機能のナノバイオリジーというプロジェクトで、プロジェクトリーダーの物質化学科・今井清博教授よりご報告をお願いいたします。

報告 4

生命情報と生体機能のナノバイオロジー

プロジェクトリーダー 今井 清博（工学部物質化学科・教授）

それでは、最後になりますが、ナノバイオロジープロジェクトに関して、今から研究目標並びに最近の研究成果の報告をさせていただきます。

今までの3つの分野の説明にありました研究対象の物質といいますのは、例えば一番最初、カーボンナノチューブとかフラーレンという化合物、それから、メカトロデバイスですか、それと、今の中村先生の分散型耐環境電子デバイス、いずれもどちらかというと硬いものという感じ。今からお話しする私たちのナノバイオロジーというのは、それに対して、生体をつくっている、いわゆるたんぱく質とか核酸といった軟らかい物質が対象になるというところがほかの分野と全く異なるというか、特徴的なところですよ。

（パワーポイント）

皆さんよく新聞、テレビなどでお聞きと思いますけれども、前世紀、いわゆる20世紀の最後に、人のゲノム情報といいますか、遺伝子の全情報を規定しておりますDNAの塩基配列というものが完全に解明されて、今世紀は塩基配列の中に書き込まれている遺伝情報を解明して、それがどういう意味をもつといったことを発展させる時代であるといわれております。そのためには、3万5千個ぐらいの遺伝子があるのですが、そういう莫大なゲノム情報を迅速に処理して、探索したり、あるいは数理工学的な解析技術の飛躍的発展を目指して、その遺伝子の情報を解明しながら、一方では、それを発現させる、すなわち設計図としてたんぱく質を実際に合成したり、その機能を調べるということによって、人のゲノム全情報の解明を行うということが1つの課題になっています。

そういった遺伝子情報を解明することによって、それを人間の病気の治療とか人に優しい運動機械の開発、例えば介護装置を開発して福祉に役立てるといったことを目指す。それが私たちのナノバイオロジープロジェクトの目標となります。

これは、先ほどの柳田先生に借りた図なのですが、これはいわゆるDNA分子、この中に書き込まれている遺伝子情報によってたんぱく質が合成され、それが分子機械をつくって、それらが組み合わされると細胞、さらに細胞が組み合わされて組織、器官ができて、人間1人ができ上がっている。その人間のすべてのことが最初のDNA分子に書き込まれ

ているわけです。

(パワーポイント)

さて、このプロジェクトで用いる主な装置を紹介いたしますと、組み換えDNA実験システム。これは、いろいろな装置から構成されておりますけれども、DNAを取り出して、それを組み換える、塩基配列を変えたりといったこと、あるいは、DNAを実際に作成して、それを発現させるといった装置一式。

それから、合成されたたんぱく質で、常磁性金属をもつものとありますと、それは電子スピン共鳴装置、ESR装置を用いてそれを測定するということが必要になります。これがESR装置の外観ですけれども、これを導入します。

それから、分光測光解析システム。生体材料を研究する上では、分光測光というのが基本的なテクニック。これを用いたいろいろな装置を導入しまして、核酸なりたんぱく質の物性を行う。

迅速反応解析システムといいますのは、たんぱく質といろいろなリガンドという低分子との反応を迅速に追跡する。それは、ミリセックからマイクロセック程度の時間のスケールで、その反応を追跡するということです。

一分子計測システムというのは、先ほど柳田先生の話の中によく出てきましたけれども、基本的なこういう倒立型の顕微鏡に蛍光ラベルした物質を置いて、エバネッセント光というのを用いて、暗視野の中で特定の分子のたんぱく質の挙動を調べる。そういったことを目指します。

(パワーポイント)

今から各研究グループの紹介をいたします。

(パワーポイント)

私たちのナノバイオロジーでは、この法政大学の中の教員と外部の大学なり研究所の研究員の方々と協力の上で、これからプロジェクトを進めます。

まず、私のグループですが、たんぱく質の構造と機能なのですが、DNA情報、いわゆるDNAの塩基配列のミューテーションによって起こる変異たんぱく、特に変異ヘモグロビンですね。これは、天然にできる異常ヘモグロビンとか、人工的につくる人工変異ヘモグロビンといったものがあるのですが、その構造、機能特性の研究を通じて、ヘモグロビンの分子進化とか環境適応の仕組みを明らかにするということを目指しております。

今年度、2003年度は、進化の上で原索動物から脊椎動物の入り口に位置しております、

円口類という動物があるのです。その1つがヤツメウナギといいまして、そのヘモグロビンとかミオグロビンを取り出して、構造と機能特性を明らかにして、進化上の意味を調べてまいりました。

(パワーポイント)

次に、片岡先生のグループですが、コンピュータによる分子シミュレーションを用いて、たんぱく質立体構造の予測を目指すということで、今年度はたんぱく質の単純化したモデルとして、ポリアンフォライトの構造、安定な構造をシミュレーションで求めるということで、REモンテカルロシミュレーション——REというのは、レプリカエクスチェンジという意味で、レプリカ交換を行いながら、安定な構造を見出すということです。レプリカ交換というのは、例えばここにありますように、これは出発の分子なのですが、プラスチャージとマイナスチャージをもったたくさんのユニットからできた分子を想定して、これで温度をどんどん冷やしていきます。アニーリングすると、安定な構造に落ちつくのですが、そのときに単位をお互いに交換して、レプリカ交換をやると、ローカルミニマムに入らずにグローバルなミニマムにどんどん安定化するという、そういう原理を用いて、結局これから出発して、実際のたんぱく質にあるようならせん構造が得られたという成果が上がっております。

(パワーポイント)

それから、大河内先生のグループですが、生命現象の場というのは、私たちの体をつくっている細胞の中も外も、いわゆる体液という一種の液体で満たされておりますけれども、その体液の性質を調べると、還元系、酸化系に分類できるのですが、これによっていろいろな体の細胞の働きが影響されるのです。大河内先生のグループは、生体水、水から電気分解の方法を用いて、生体の体液に近い性質をもった液体をつくることを目指し、その方法を開発したということです。

(パワーポイント)

浦谷・田辺グループですが、RNAとかたんぱく質の三次元構造へのトポロジー代数の応用と機能解析で、特に、ゲノムモチーフ検索の新しいアルゴリズムの提案を目指しております。今年度はレイヤーメソッドという方法を用いて、従来のアルゴリズムのボトルネックであったソート法に比べて、圧倒的に高速な解析方法の開発に成功されました。

(パワーポイント)

平松・関田グループの方ですが、たんぱく質一次構造でのアミノ酸残基の生起確立に情

報理論を応用することによって、今年度はエイズウイルス、ここにありますが、エイズウイルスの表面というのは、糖たんぱくで囲まれておりまして、それが抗原性をもつのですが、表面のたんぱく質の構造が非常に変わりやすいといいますが、それでなかなか病気の治療が難しいところがあるのですが、エイズウイルスのV3ループという場所があって、そのウイルス存続に重要なアミノ酸群の推定を行ったということです。

(パワーポイント)

高月先生のグループは、細胞の中にゴルジ装置といって、細胞の中で合成されたたんぱく質の輸送に非常に重要な働きをしている装置があります。このゴルジ装置は固定されたものでなくて、細胞分裂の際に一度ばらばらに分解されて、そして、今度は新しくできた細胞の中に等分配されるのですが、その細胞の中で、またもとの形に再構成されるという非常にダイナミックな構造をもっているということなのです。それに関して、従来は核のそばにゴルジ体があると、それが微小管というものでつながっていると思われていたのですが、高月先生のグループは、それに加えてある種の繊維状の構造体が存在して、それがゴルジ装置を核に結びつけているというような新しい発見をなされました。

(パワーポイント)

堀グループですが、ヘムたんぱく質って先ほどちょっと申しました常磁性共鳴吸収のテクニックが使えます。ヘムたんぱく質におきましては、従来、ここに合成スピン量子数、 $S=2$ のような整数スピンをもっているたんぱく質というのは、なかなかEPRを観測するのが難しかったのですが、彼は天然の鉄を Mn^{3+} に置換した、そういうミオグロビンをつくってやりますと、このあたり、大体800ガウスあたりのところにEPRスペクトルがあらわれるのですが、これを観測することによってスピンハミルトニアンのパラメーターを決定することに成功しました。

(パワーポイント)

中村・飯塚グループなのですが、生体の中に二成分情報伝達系というのがありまして、1つ例をとりますと、ここにありますように、大豆とかエンドウとかマメ科植物の根に根粒というのがありまして、そこにバクテリアがすんでおります。そのバクテリアは、空気中の窒素を固定してアンモニアをつくります。これがいわゆる植物にとっての窒素源になるのですが、この窒素固定というのは、周りに酸素があるとやらないのです。それで、酸素がないときだけこれがスイッチが入ってこの合成を始めるのですが、そのスイッチングをやっているたんぱく質というのは、実はFixLとFixJというたんぱく質の

二成分情報伝達系によって行われております。

彼らは、このF i x Lに酸素がついたり離れたりするときに、もともとA T Pが加水分解されるのですけれども、そうやってできたA D P（アデノシン二リン酸）が、実は酸素のつき方に影響しているということを世界で初めて発見した。そういうことによって、この伝達系の研究はこれからさらに発展するものと思われます。

（パワーポイント）

原田グループの方は、神経の成長を制御している、神経成長因子でN G Fってあるのですけれども、この神経が成長する、これは神経の軸索の先端の部分なのですが、神経軸索というのは、ある方向にずっと伸びていくのですけれども、それがどうやってコントロールされているかということで、N G Fとのかかわりを1分子計測のテクニックを使って調べておりますが、N G Fの濃度というのは物すごく低くて、大体ピコモルからフェムトモル——フェムトというのは10のマイナス15乗モル、そういう濃度の低い物質が神経細胞に出会う確率は1秒間に1回あるかないかぐらいしかないのですが、そういった低い確率でどうやって制御できているのかというような疑問があるのですが、蛍光ラベルしたこういうN G Fの因子をイメージングとしてとらえることによって、リアルタイムでこれがどのように挙動するかといったことを現在研究なさっております。

（パワーポイント）

これが最後となります。磯貝グループなのですが、たんぱく質の研究というのは、今までは主として天然にあるたんぱく質そのまま、もしくはそれを何かの形でモディファイしたものを使っていたのですが、もう一步進んで、D N Aをつくってそれで新しいたんぱく質をつくるいわゆる分子設計によって、今までなかったようなたんぱく質をつくることを目指しております。今回は、細胞の中にシトクロームという酵素があるのですが、これは鉄をもった酵素なのですが、それを人工的にデザインして合成されました。ここにあるのは3つの材料なのですが、シトクロームは鉄をもつヘムをもっているのですが、ヘムの種類によってBヘムとかCヘムとかあるのですが、そういうヘムを埋め込むためのたんぱく質をこういう4本のらせん構造の基本構造でもって設計しまして、その中にヘムを入れておりますけれども、天然のシトクロームに似たような吸収スペクトルが得られて、それらの酸化還元電位も測定して、天然のものと比べております。

以上で報告を終わらせていただきます。ありがとうございました。

○司会者 どうもありがとうございました。

本日のシンポジウムのプログラムとして予定されているものは以上でございます。

本日は、法政大学マイクロ・ナノテクノロジー研究センター開設記念シンポジウムにご参加いただきまして、まことにありがとうございました。ただいま今報告にあったような研究を今後所員一同、全力で取り組んで多くの成果を上げ、社会に還元していきたいと思っております。それと同時に、今後もこのようなシンポジウムを定期的を開いて、研究成果についてご報告する機会をもちたいと思いますので、皆様のご協力、ご指導、ご鞭撻を賜りたいと存じます。本日はどうもありがとうございました。

——了——

1 分子ナノバイオサイエンス

ゆらぎと生体機能の柔らかさ

柳田敏雄
大阪大学大学院
(生命機能研究科、医学研究科)
通信総合研究所

“ナノ” とは (1nm:ナノメートルは10億分の1m)

大	単位	物質・材料	バイオ
	1m (=1)		個体
	1mm (=10 ⁻³)	コンピュータ	器官
	100μm	コンピュータチップ	
	10μm	L S I (家庭用アルミ箔の厚さ)	細胞
	1μm (=10 ⁻⁶)	(金箔の厚さ)	
	100nm	コンピュータ素子	
	10nm	ナノ材料 → 新しい働き	分子機械 蛋白質
	1nm (=10 ⁻⁹)		DNA
小		水素原子の大きさ	

ナノ領域 未知の世界

現在

期待される

“ナノテク” で何が可能か？

情報技術(IT)分野

国全図書館を角砂糖サイズに!

新機能材料構築

超軽量超高強度の自動車のボディ

環境・エネルギー分野

ダイオキシン等有害化学物質の除去

ナノテク

ナノテクの応用

血管内でウイルスを駆逐するナノボットの開発

ポストゲノム時代

遺伝子診断用 DNAチップ等

ライフサイエンス分野

バイオに学ぶナノテク

- ・ポストシリコン
- ・脳型コンピュータ
- ・人工筋肉
- ・しなやかに動くロボット

3

生体はナノ材料で作られている

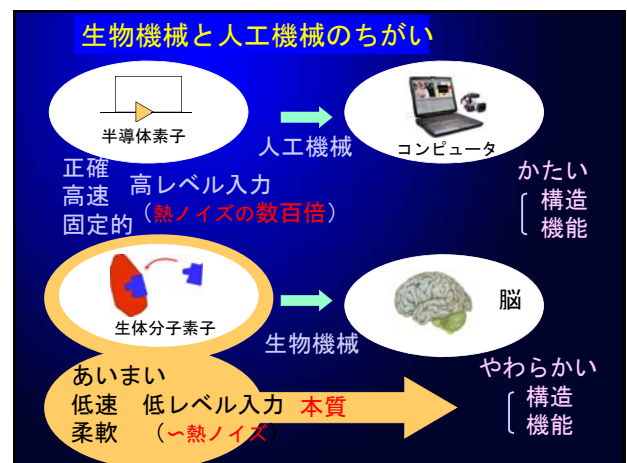
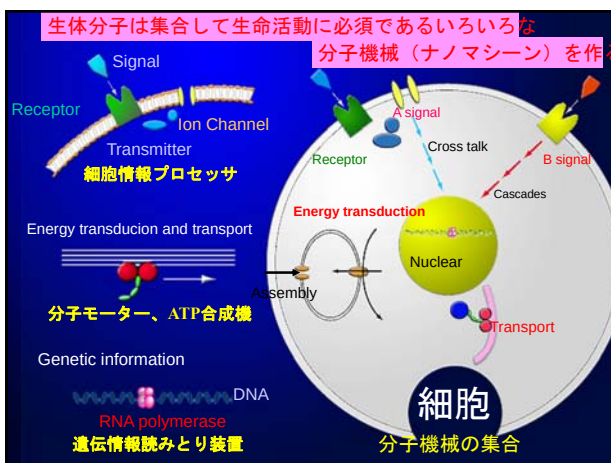
DNA → 蛋白質 → 分子機械 → 細胞 → 脳 → 人間

ナノ材料 → 細胞、器官

自己集合

生体は自然のナノテクで組み立てて作られている

生体は我々が目指す究極のナノテクを完成している



人工機械と生物機械の素子の比較

	人工	生物	(比)
動作時間	ナノ秒 (10^{-9})	ミリ秒 (10^{-3})	$1/10^6$
正確さ (S/N)	10^{80} ↓ 正確 高速	10^4 ↓ あいまい	$1/10^{76}$

コンピュータ → 生物らしさの秘密に迫る！ → 脳

Approach

ナノテクノロジーと1分子計測技術

1分子イメージング

1分子捕捉

化学反応の
1分子イメージング

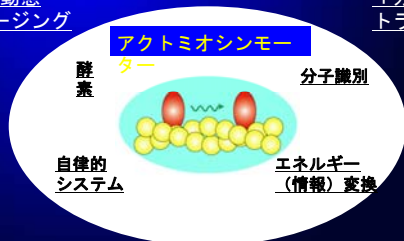
1分子ナノ操作



1分子ナノ計測を使って分子機械を研究する

1分子動態
イメージング

1分子
トラッピング

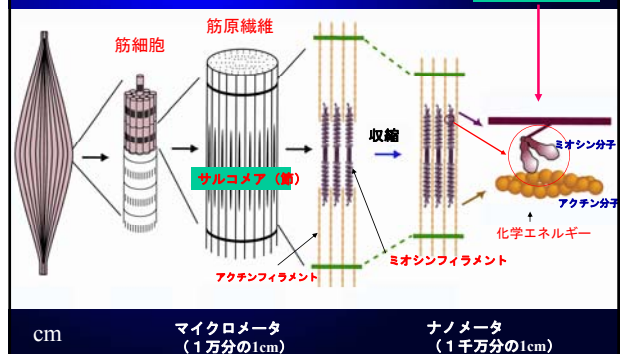


1分子化学反応
イメージング

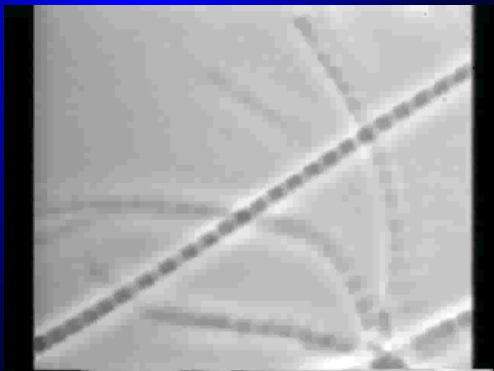
1分子
ナノ操作

骨格筋（横紋筋）の構造

分子モーター

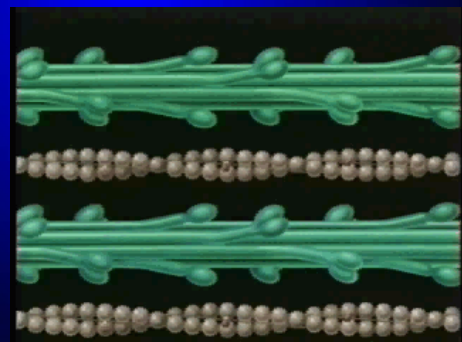


横紋筋収縮



From Prof. Ishiwata

滑り説（定説）



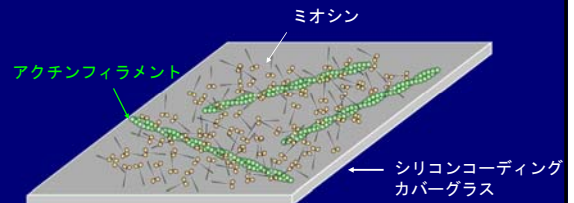
From H.E.Huxley and A.F. Huxley

蛍光標識した単一アクチンフィラメントの蛍光像

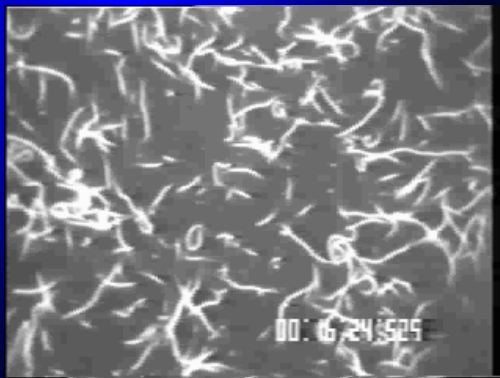


Yanagida, et. al. Nature 307 (1984), 316 (1985)

顕微鏡下でアクチンフィラメントの運動を見、分子レベルで筋収縮を直接見る！

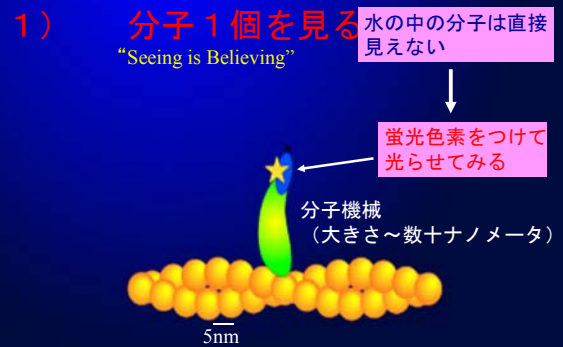


アクチンフィラメントの滑り運動



Harada, et al. Nature 326 (1987), Kishino et al. Nature 334, (1988)

生体分子が働いている現場を如何に捉えるか？
・分子1個を見て触れて調べる → 1分子ナノ技術

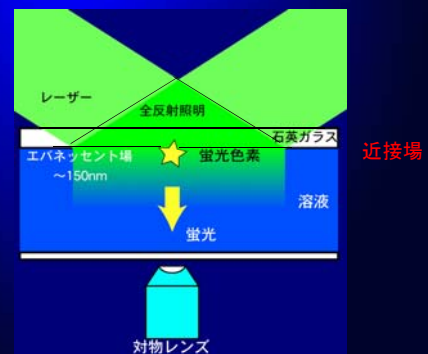


夜空に光る星は遠くにあっても見え



蛍光色素の1分子イメージング

エバネッセント光はナノ領域に集光 蛍光色素だけを照らす

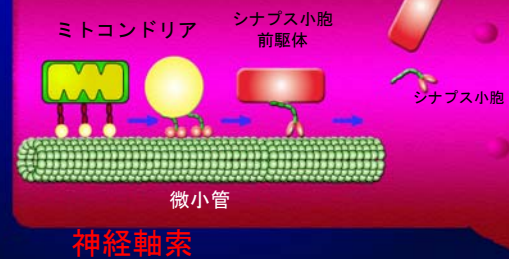


Cy3-ミオシン分子の1分子イメージング

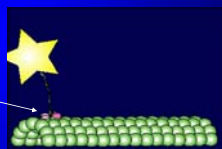


Funatsu, Harada, Saito et al., Nature 374(1995)

キネシンモーター



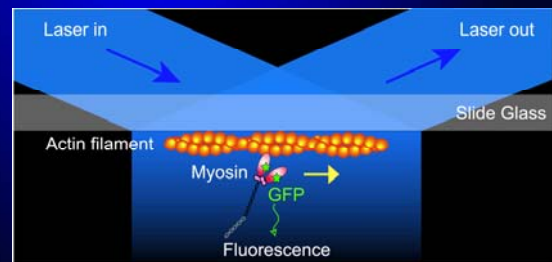
数nmの
キネシン
モーター



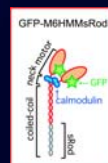
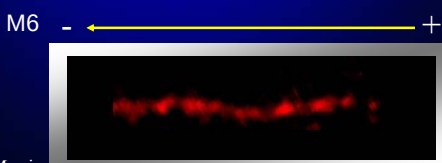
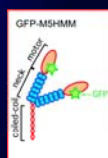
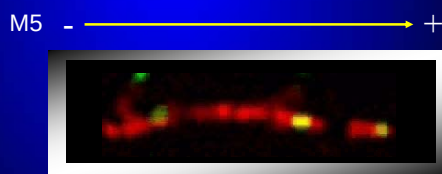
1nm (ナノメートル)
= 1 千万分の 1 cm

Vale, Funatsu, Harada, et al. Nature 380 (1996)

神経細胞で働くミオシンの運動の1分子イメージング



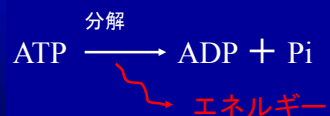
Myosin V and VI move continuously along an actin filament by biased Brownian motion



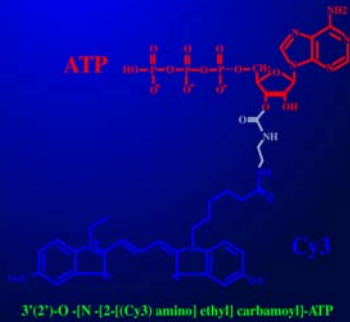
Movie

Nishikawa et al. RRRC 2002

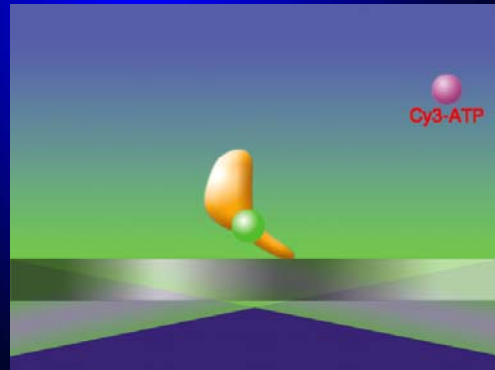
分子機械はATP（アデノシン3リン酸）が分解すると化学エネルギーで駆動される



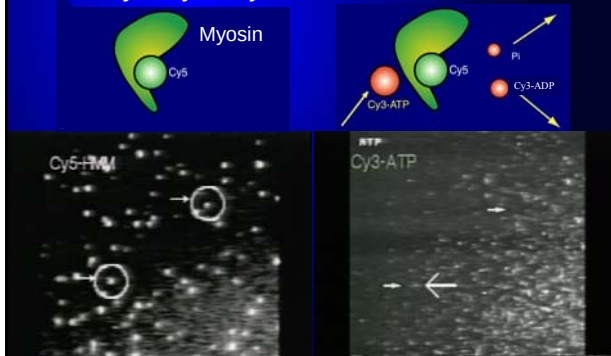
3'(2')-O-Cy3-ATP



ATPase反応の1分子イメージング



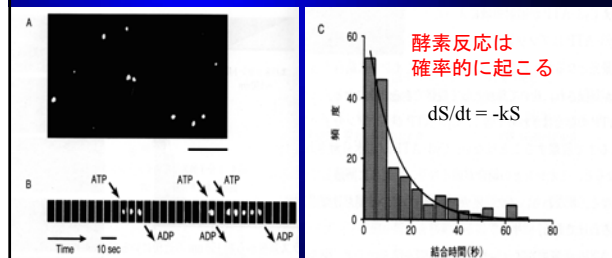
ATP hydrolysis cycles



Movie

Funatsu T., Harada, Y. Tokunaga, M. et al. *Nature* 374, '95

酵素 (ATPase) 反応の1分子イメージング

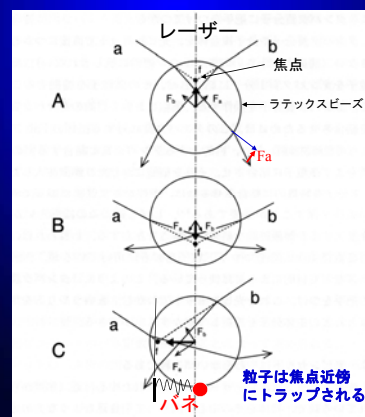


1分子ナノ技術

- 1) 分子1個を見る
- 2) 分子1個を捕まえてナノ操作する



光ピンセットの原理



誘電体が光強度勾配に沿って焦点に引き寄せられる力を利用して微粒子を捕足する

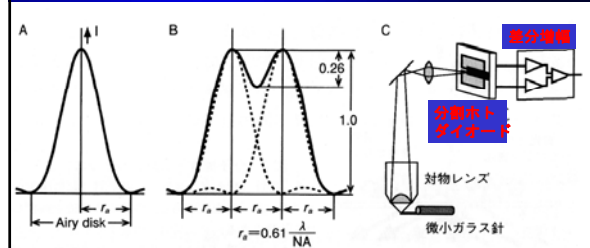
From Askin

光ピンセットによるアクチンフィラメントの操作

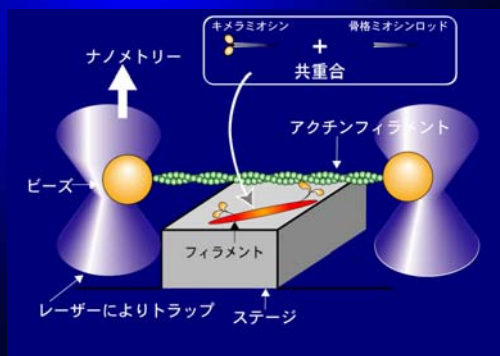


ナノ計測

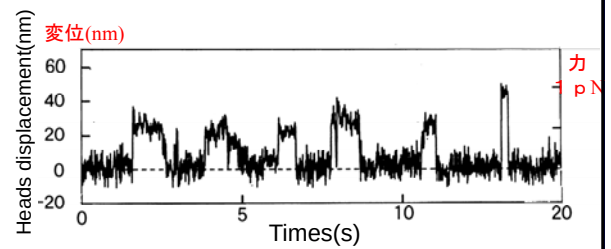
光学分解能 $=0.61/(\lambda/NA) \sim 200\text{nm}$ しかし、
変位は $\sim 1\text{nm}$ の分解能で決めることができる！



光ピンセットとナノ計測を用いたミオシンモーターの1分子計測



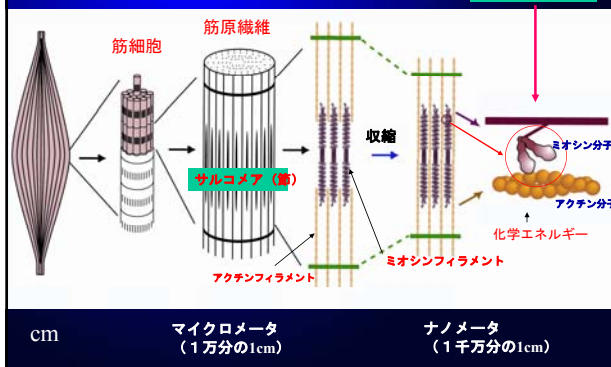
ミオシン1分子が発生する力と変位



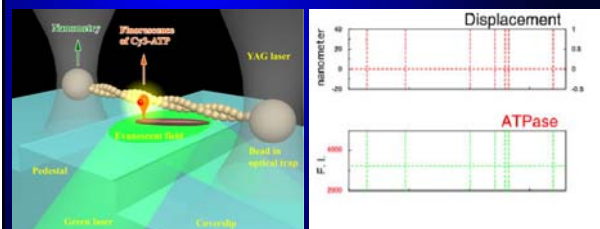
Tanaka H, et al. Biophys.J.75'98

分子モーター1個の動き、化学反応を計って調べ

分子モーター

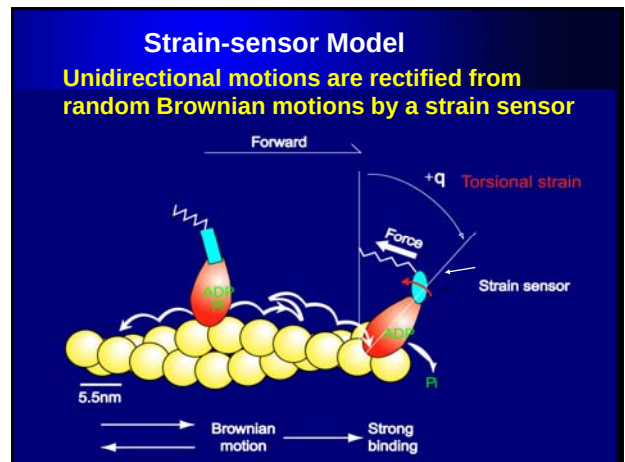
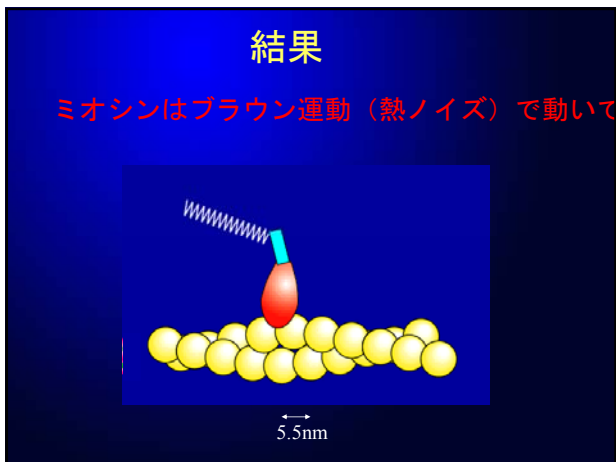
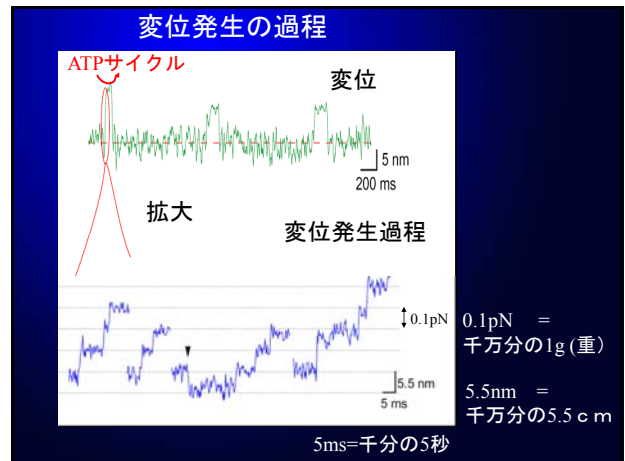
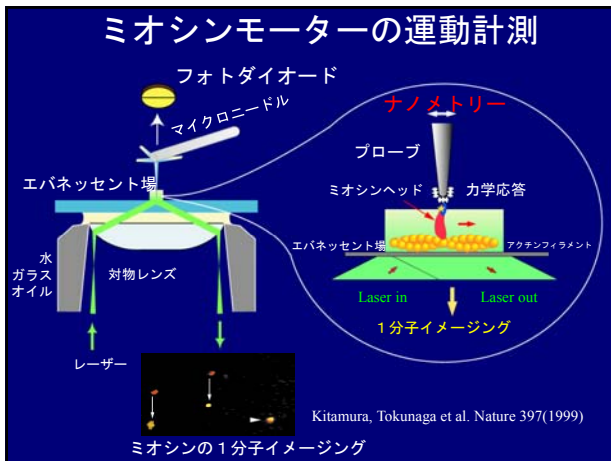


ATP分解サイクルと力学反応の1分子同時測定



変位 : ATPaseサイクル=1:1

Ishijima, Kojima, Tokunaga, et al. Cell 92 (1998)



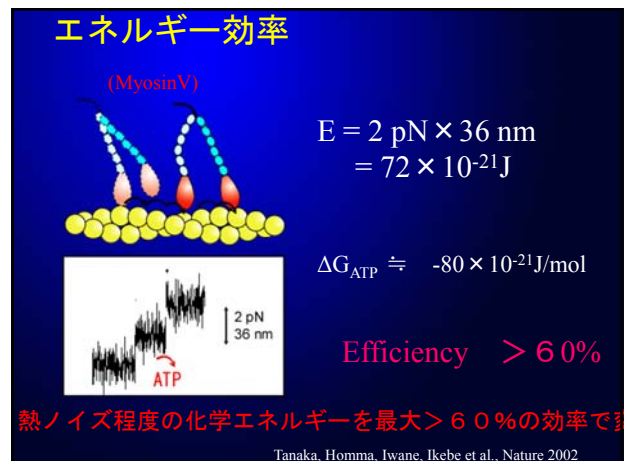
結論

ユニークな分子モーターの動作原理：

熱ノイズから逃げるのではなくてそれをうまく利用している。

比較：人工機械は熱ノイズから逃げるために莫大なエネルギーを使っている

- 1) 運動の起源はブラウン運動
- 2) ATPのエネルギーは、ランダムなブラウン運動から方向性のある運動をとりだす（選択：情報の獲得）に使っている。



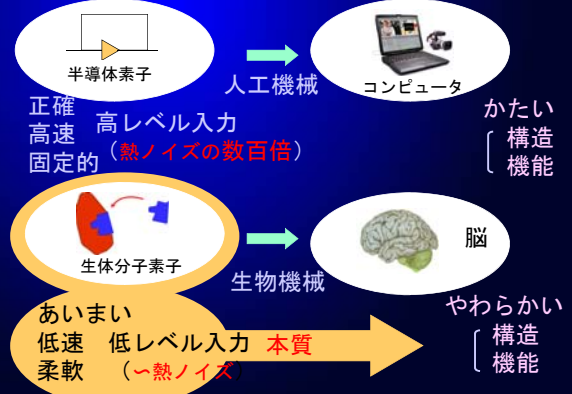
結論

ユニークな分子モーターの動作原理：

熱ノイズから逃げるのではなく、それをうまく利用している。

- 1) 運動の起源はブラウン運動
- 2) 熱ノイズ程度のエネルギーで効率よく働く。
- 3) ATPのエネルギーは、ランダムなブラウン運動から方向性のある運動をとりだす（選択：情報の獲得）に使っている。

生物機械の“やわらかさ”の本質に迫る



情報とエントロピー

Szilardのピストンディ

デモン (悪魔) 仕切り

① 熱浴T 分子

② 熱浴T 左にきた!

③ 熱浴T 左に分子が来た時に仕切を入れる。

④ 熱浴T 膨張 $\frac{V}{2} \rightarrow V$ あれ?

コンピュータは1ビットの情報を獲得するのにいくらのエネルギーが必要か?

② → ④で粒子は熱浴から0のエネルギーをもらって膨張する。

$$Q = \int_{V/2}^V p dv$$

$$\int_{V/2}^V = k_B T \int_{V/2}^V dv/v = k_B T \ln 2 \text{ である。}$$

しかし、①と④は全く同じ状態である。

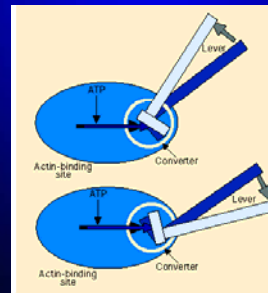
Qは何に使われた?

デモンは②で分子が左にあるという情報を得ている。右と左の状態を判断しているので、デモンは1ビットの情報を得ている。!!

$Q = k_B T \ln 2 = 0.6 k_B T / \text{ビット}$ (コンピュータ→2億 $k_B T$ /ビット) もの事の数

シャノンの情報量のDef. $I = -Q \ln p = -k_B T \ln p = -S$ (エントロピー)

我々の結果は、“タンパク質の働きは化学反応と1:1に結合した構造変化でひきおこされる”という広く受け入れられているコンセプトに挑戦してる。



西洋的:
デジタル
機械論的

東洋的:
アナログ
あいまい
(ファジィ)

news feature

Nature, Dec. 14th, 2000



Swimming against the tide

Toshio Yanagida rejects the conventional biophysical explanation of muscle contraction. No one doubts his technical genius, but could the debate he started ultimately hold back the field? David Cyranoski investigates.

conscient, radical, technical wizard — these are just some of the descriptions that have been applied to Toshio Yanagida, host of last month's Frontiers in Molecular Medicine Research symposium in the United States.

myosin II and actin. Myosin II has two 'heads' joined by 'neck' regions to a coiled 'tail'. In muscle cells, the tails of myosin II molecules clump together to form 'thick filaments' with the mechanical force to move the actin.

その他の1分子実験

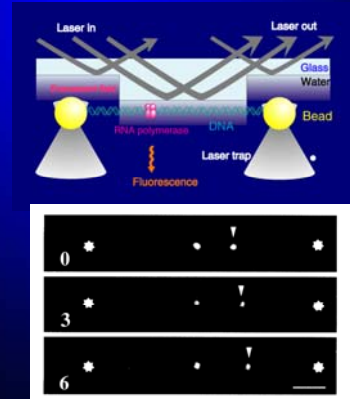
DNA
ATP合成モーター
イオンチャネル

遺伝情報読みとり装置

光ピンセットによるDNAの1分子操作

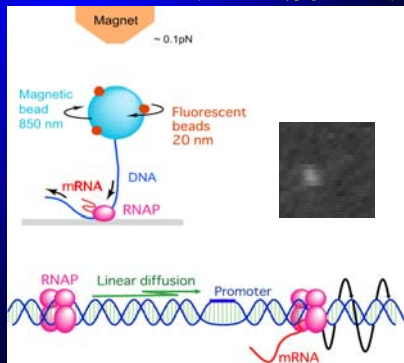


転写過程の1分子イメージング



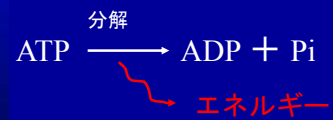
Harada, Funatsu, et al
Biophys. J. (1999)

遺伝情報発現過程の1分子イメージングと計測 (DNA 1分子のシーケンス)

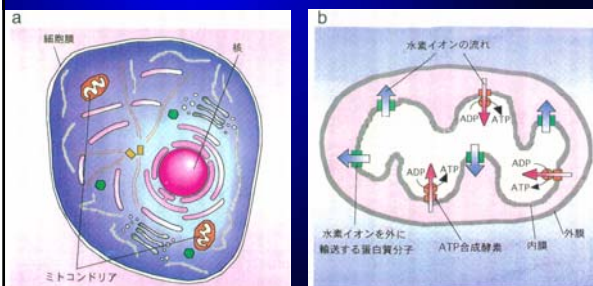


Harada, Kinoshita, et al. Nature (2001)

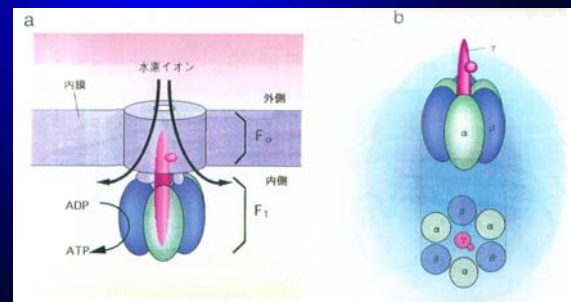
分子機械はATP (アデノシン3リン酸) が分解すると
化学エネルギーで駆動される



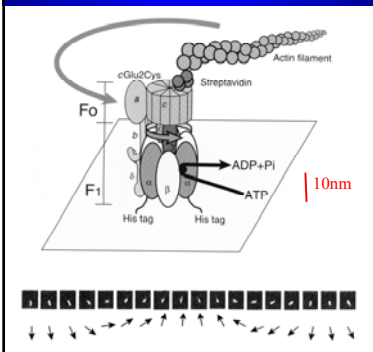
ATP合成モーター 細胞とミトコンドリア



ATP合成酵素の構造



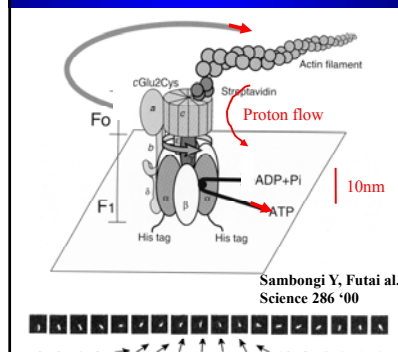
ATP synthesis motor is a rotary motor.



Noji et al. Nature 386 '97

Sambongi Y, Futai al.
Science 286 '00

ATP is synthesized by rotation

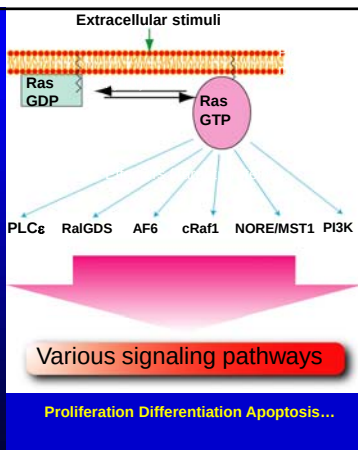


Noji et al. Nature 386 '97

cf:
Electric motor
and generator

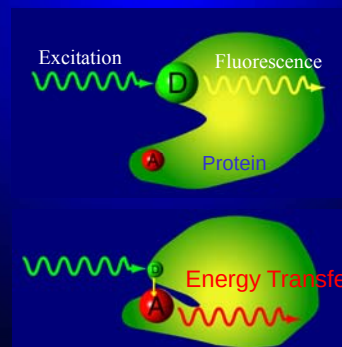
Dynamic polymorphism
of small G-protein Ras

Effectors →



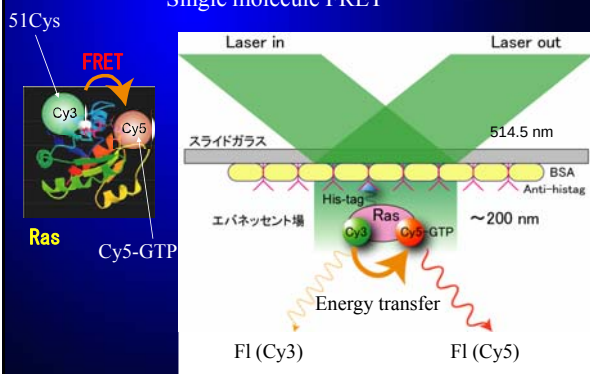
How can Ras bind to
many effectors?

Fluorescence resonance energy transfer (FRET)

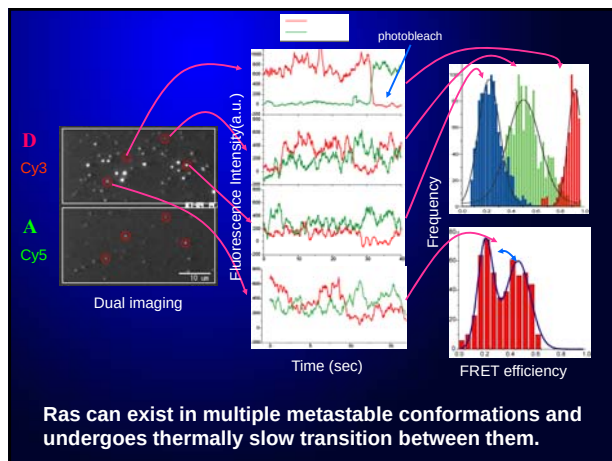


The distance between
D (donor) and A (acceptor)
can be measured by
FRET efficiency.

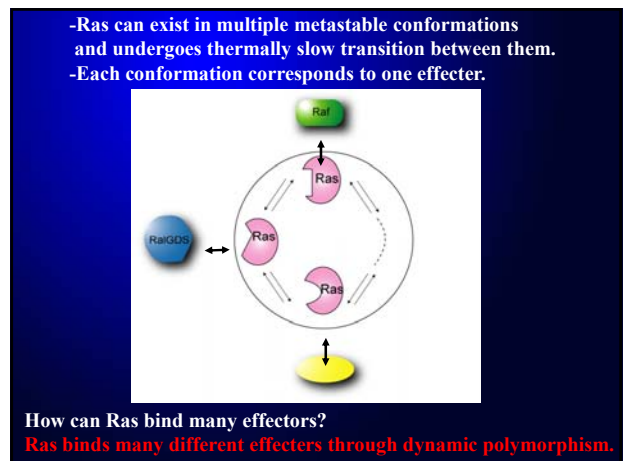
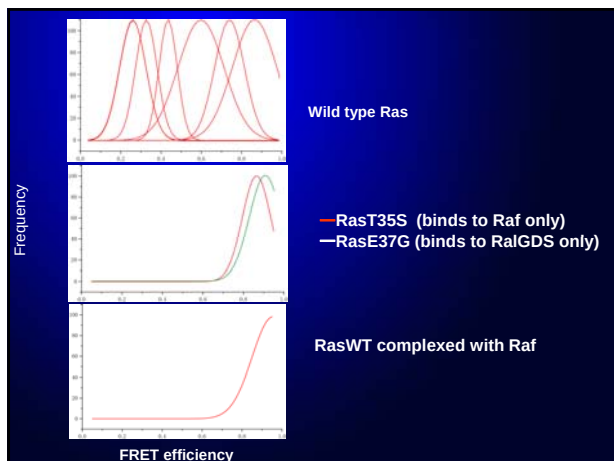
Single molecule FRET



Arai, Iwane, Sugawa et al. (in preparation)

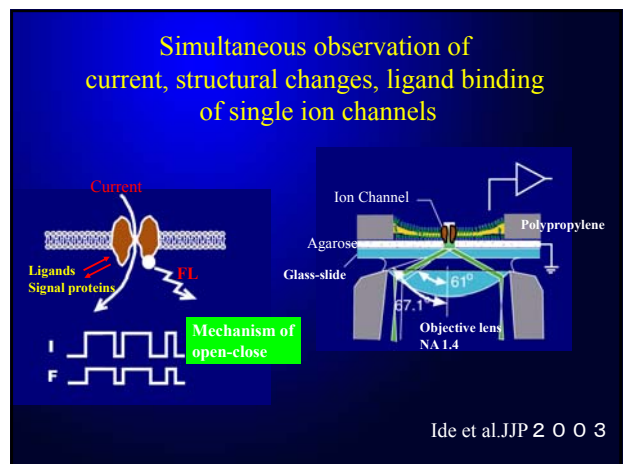


Ras can exist in multiple metastable conformations and
undergoes thermally slow transition between them.



イオンチャネルとは

①生体膜を貫通する大きさ~nmの細孔
②細胞の電気信号を制御することにより、あらゆる細胞活動に関与
→ 多くの疾病の原因: 創薬の40%のターゲット



イオンチャネル・リガンド・電流の同時測定

Ryanodine receptor (チャンネル) Ryanodine (リガンド)

633 nm励起

532 nm励起

Cy5/anti-RyR/RyR

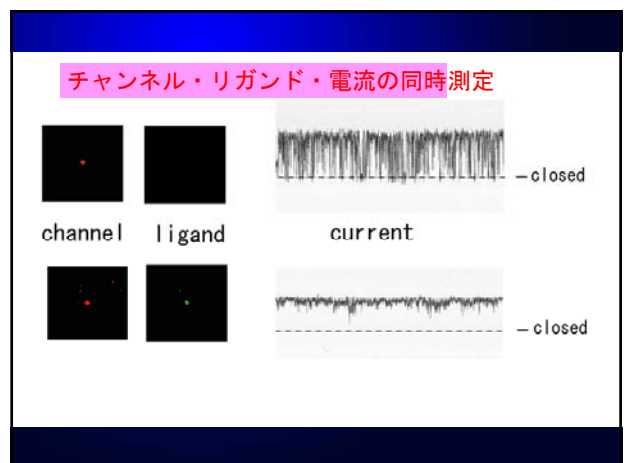
Bodipy FL-X

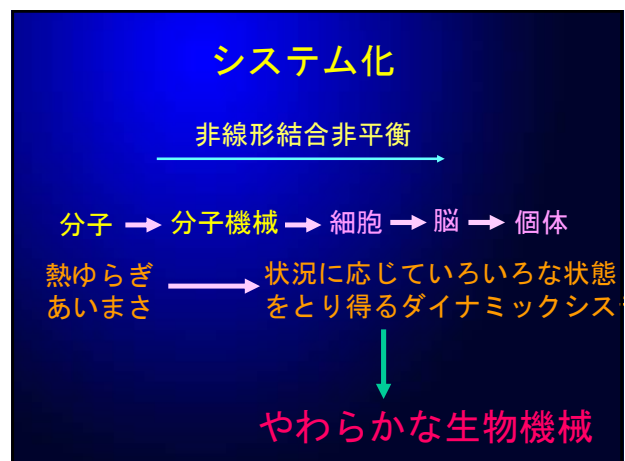
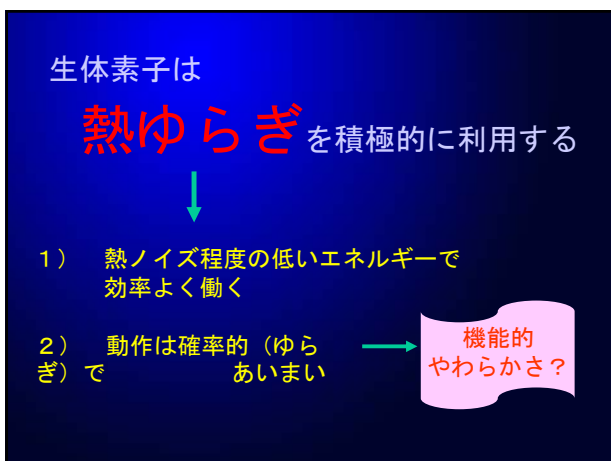
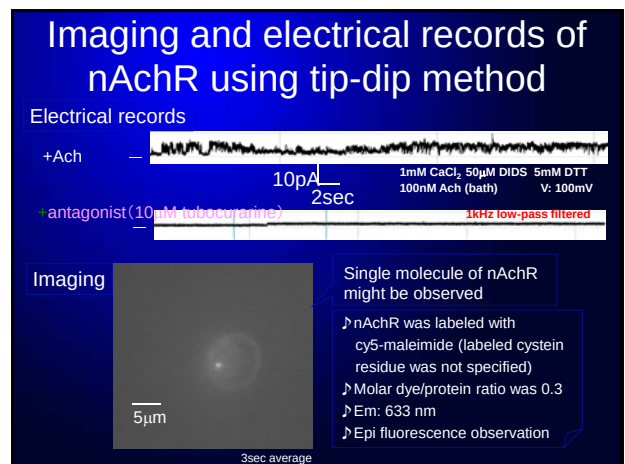
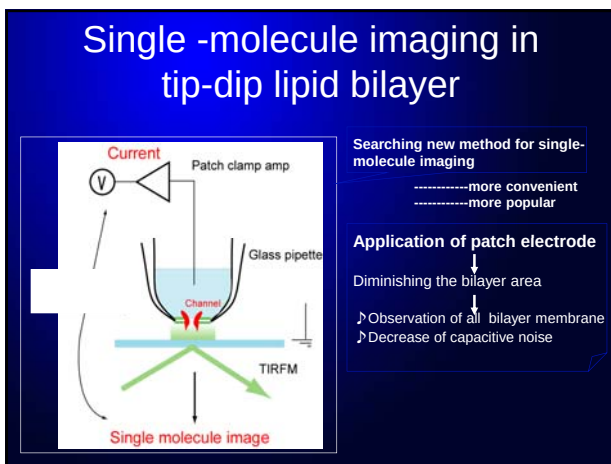
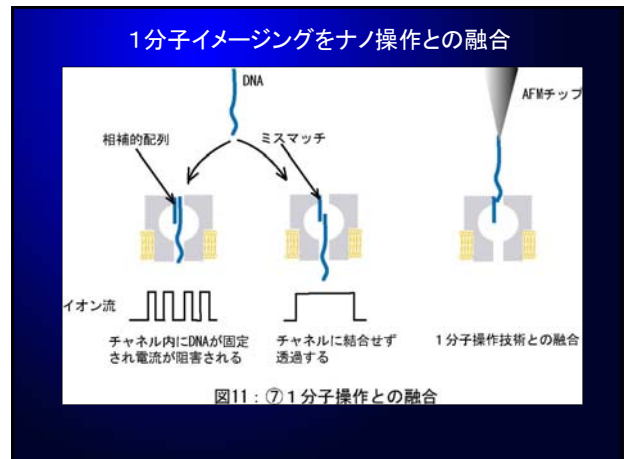
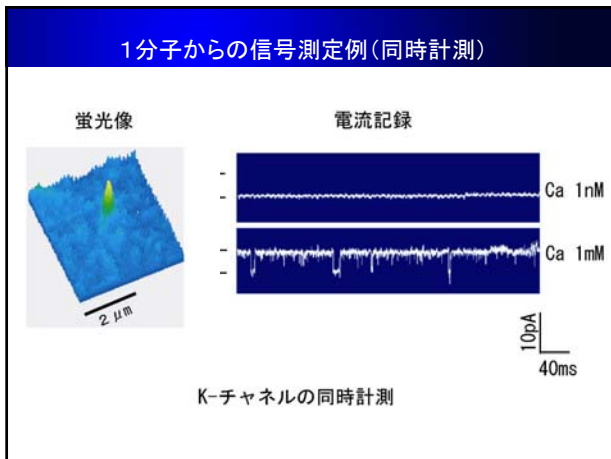
Ide, Takeuchi

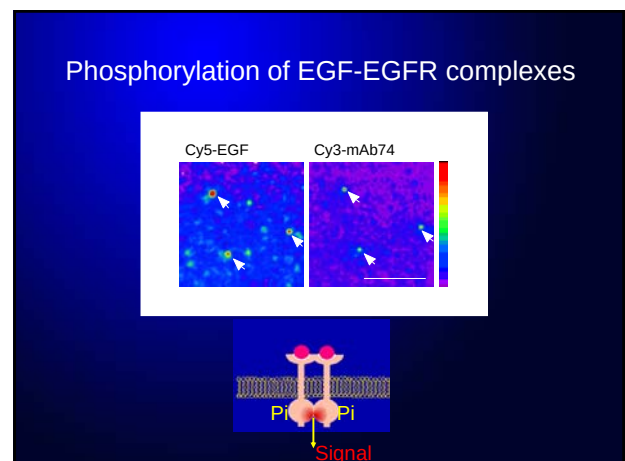
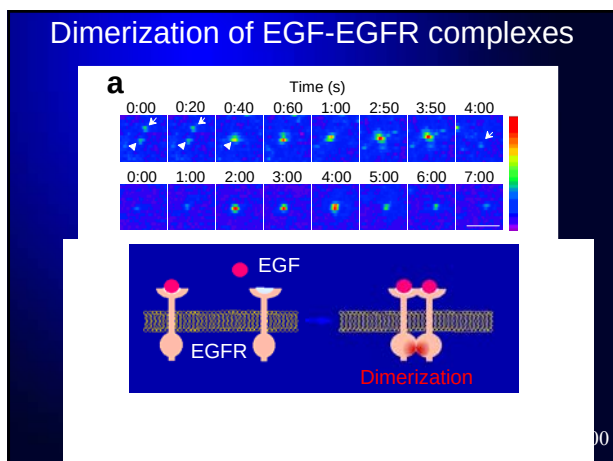
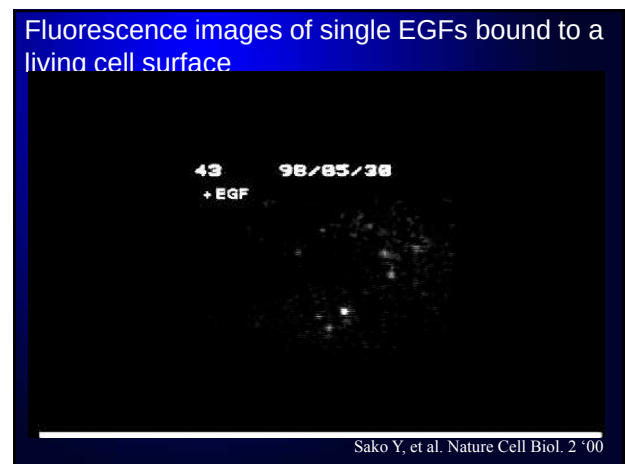
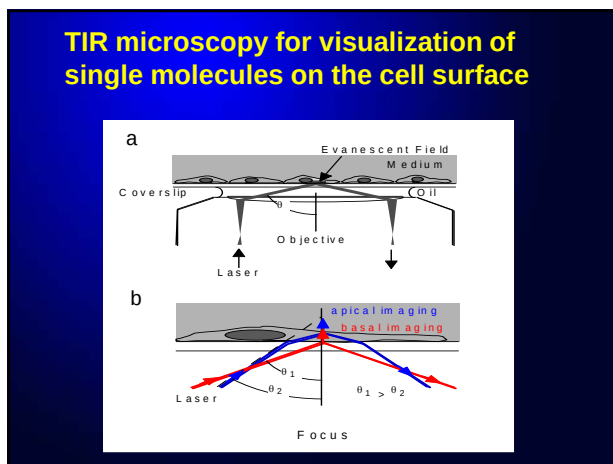
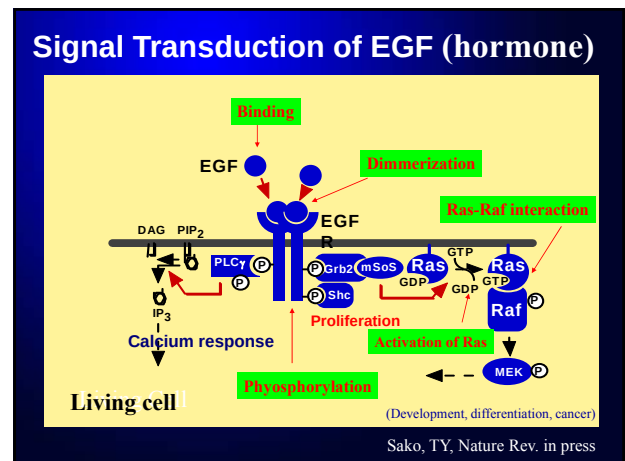
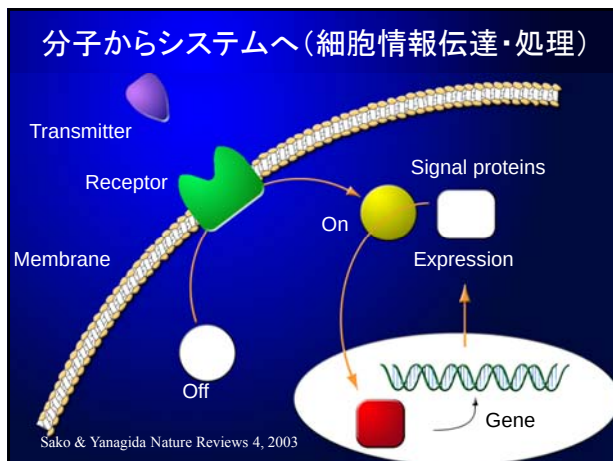
A putative model of ryanodine-RyR interaction

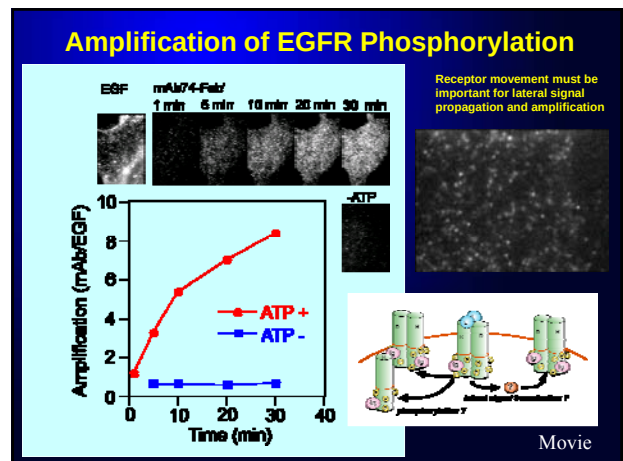
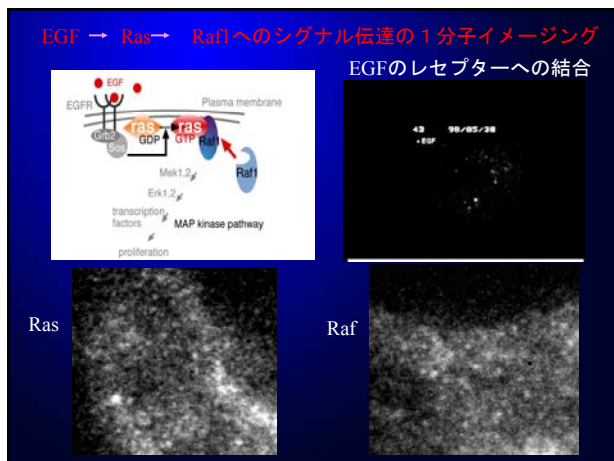
At nanomolar concentration ryanodine, a plant alkaloid, locks the channel into a long-lived open subconductance state. RyR is predicted to have one high affinity ryanodine binding sites.

SRW Chen et al., Biophysical J. (2002)



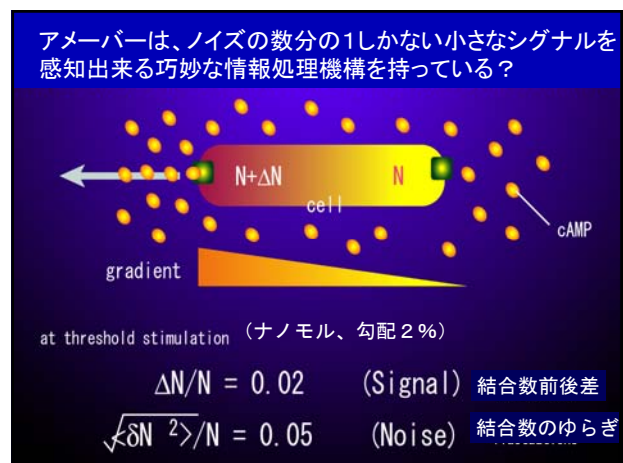
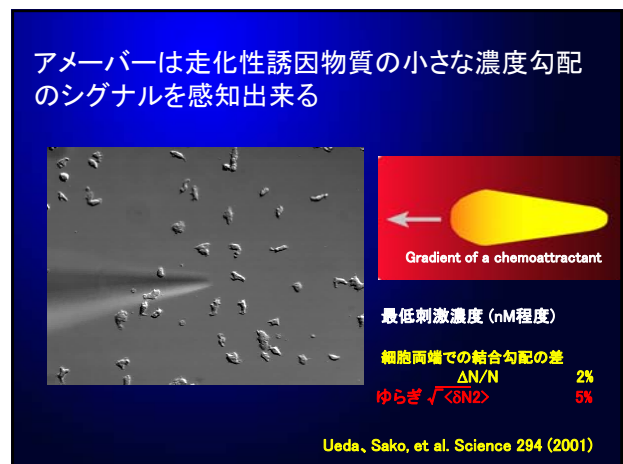




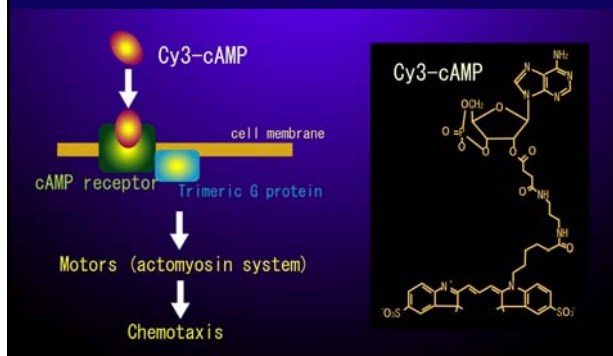


アメーバー走化性応答の
1分子解析

細胞の情報処理でも熱ゆらぎを
うまく利用している？



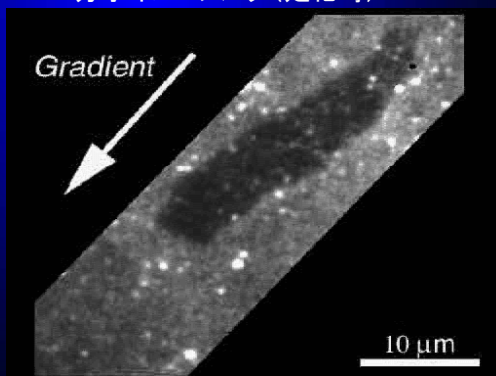
走化性誘因物質蛍光アナログ(Cy3-cAMP)の1分子イメージング



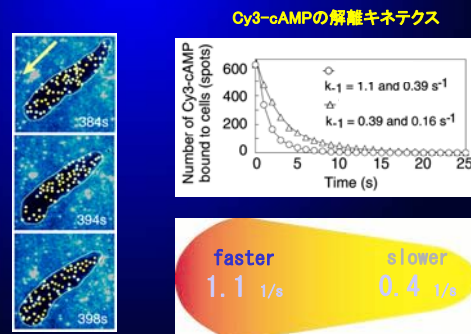
蛍光走化性誘因物質(Cy3-cAMP)の細胞膜上の1分子イメージング(静止時)



蛍光走化性誘因物質の細胞膜上の1分子イメージング(走化時)

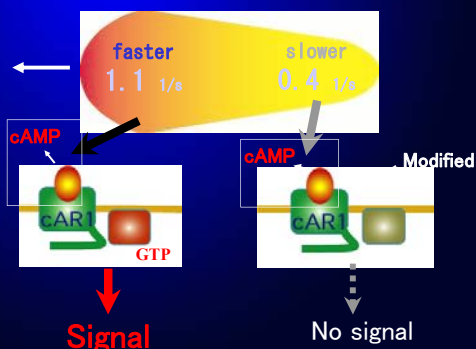


cAMP受容体結合キネティクスにおける仮足部-尾部極性

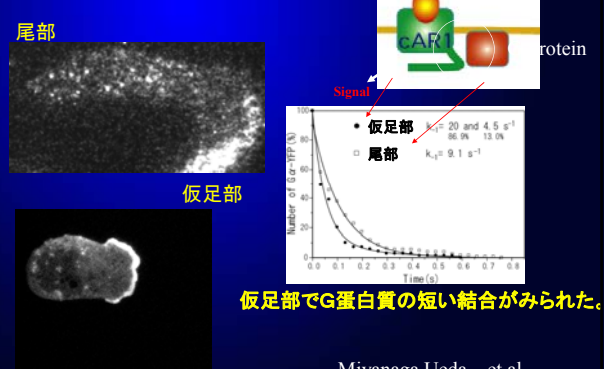


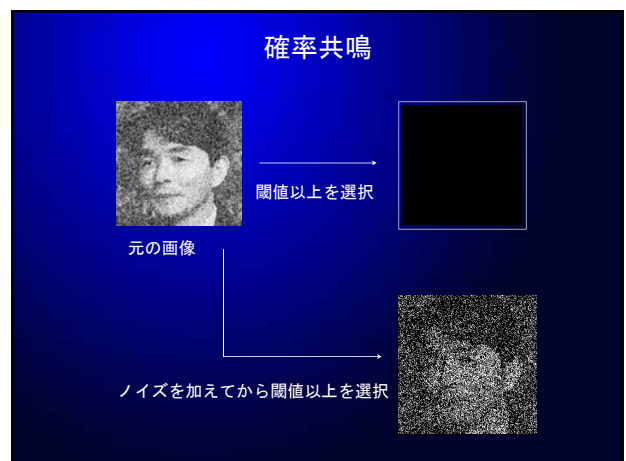
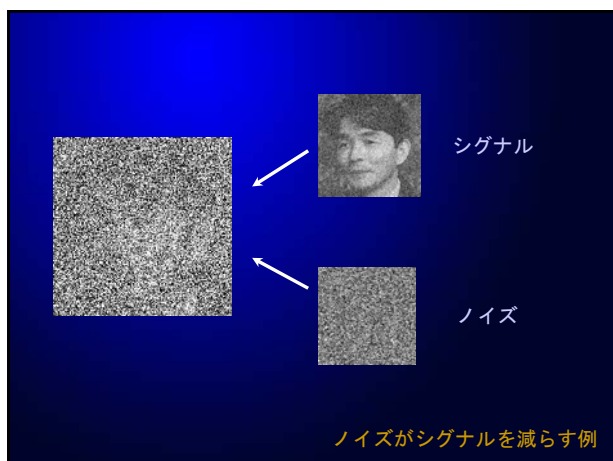
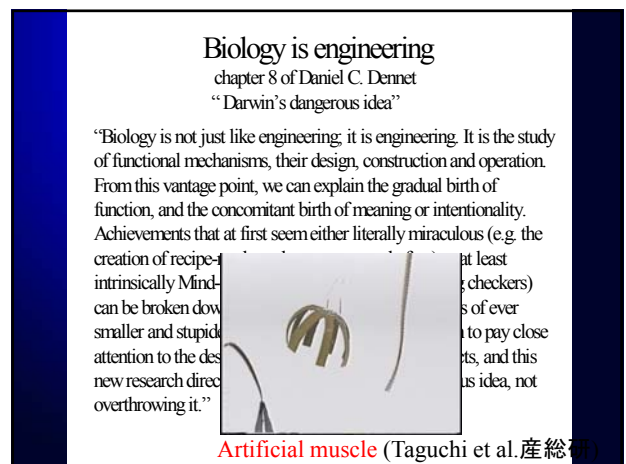
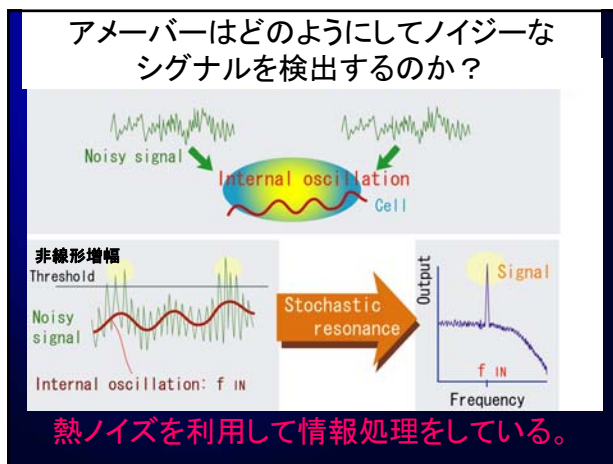
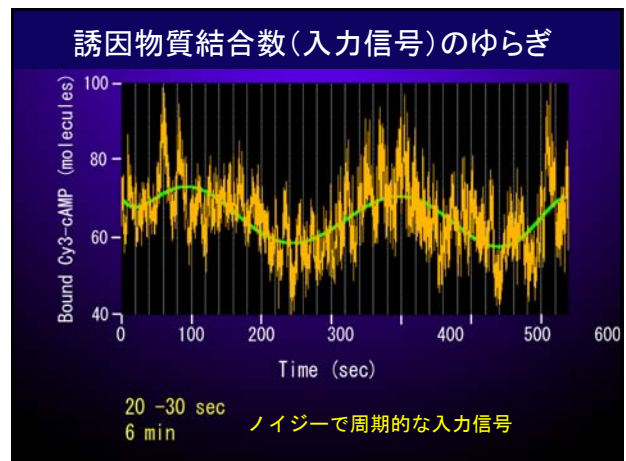
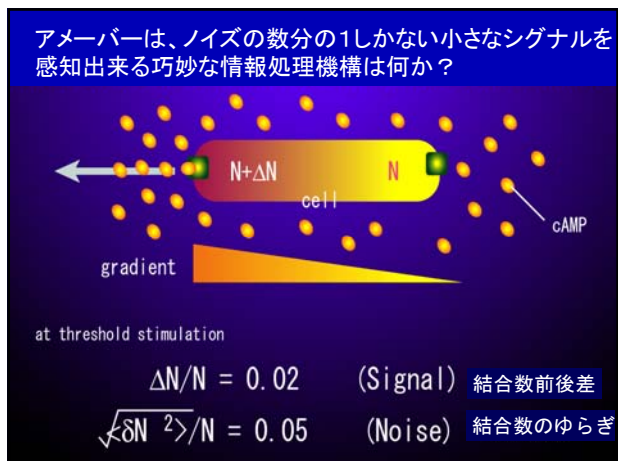
受容体は変調されている

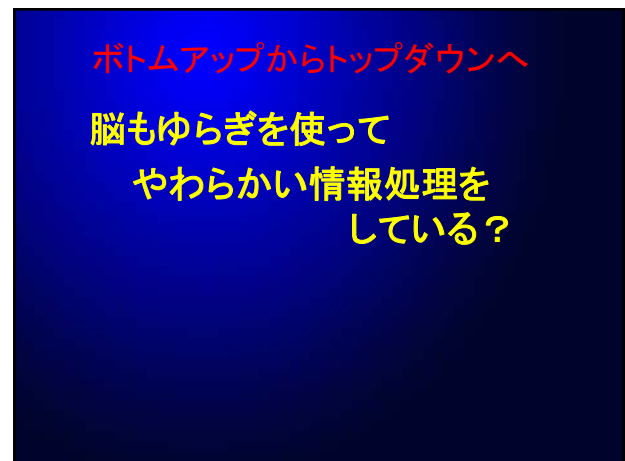
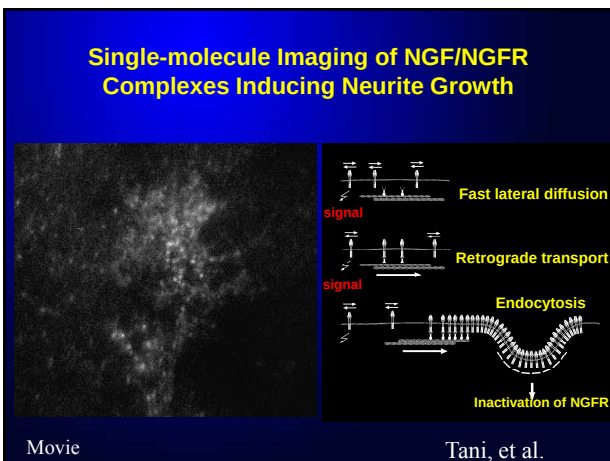
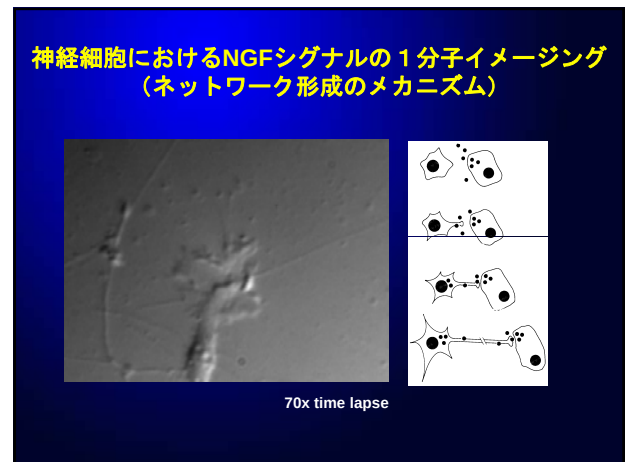
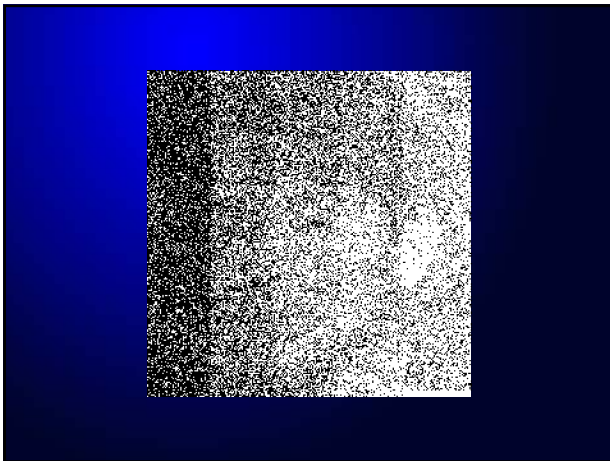
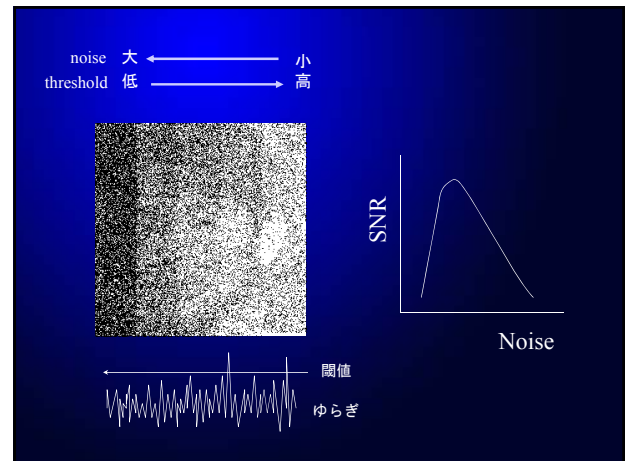
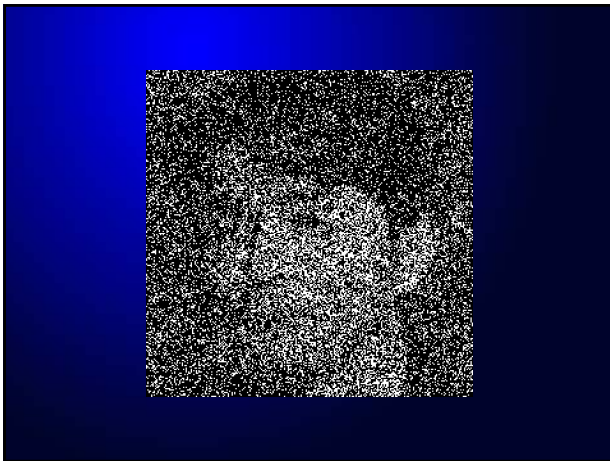
→ 前方向は活性化、後方向は不活性化



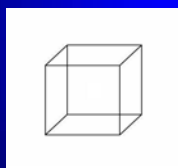
三量体G蛋白質の1分子観察







多義図形を観察すると視覚のゆらぎが現れてくる



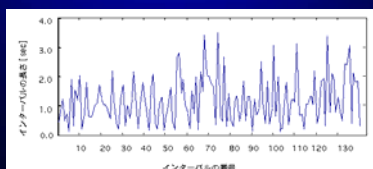
● Necker の立方体



● Boring の嫁と姑



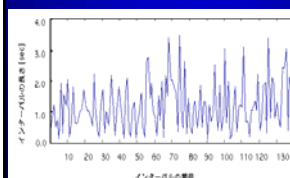
● Rubin の顔と壺



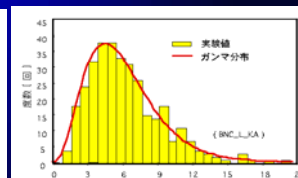
見えの切り替り時間のゆらぎ

多義図形

見えの意識の切替りの時間インターバルは不規則にゆらぎ、特定の分布形をとる



見えの切り替り時間のゆらぎ



見えの切り替り時間の分布 (ガンマ分布)

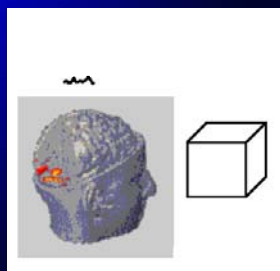
このことから...

見えの意識の背後には、脳内で確率的にゆらぐプロセスがある

脳内で確率的イベントが一定回数起きると、見えの意識が切り替わる

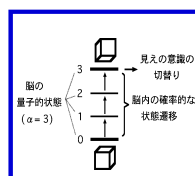
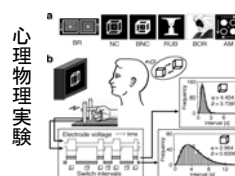
↓
光計測

ダイナミクスを捉える



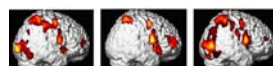
1999・2000

視覚的意識の背後にある脳の離散的確率ダイナミクス

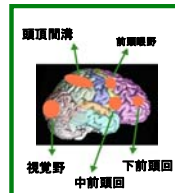


2001

fMRI: 量子的確率ダイナミクスと
脳の広域ネットワーク



脳活動の計測



Murata et al. Neuroreport 14 (2003)

fMRI-focused NIRS

MRI (構造画像)

脳表、頭皮、光ヘルメット

+

fMRI (機能画像)

測定部位

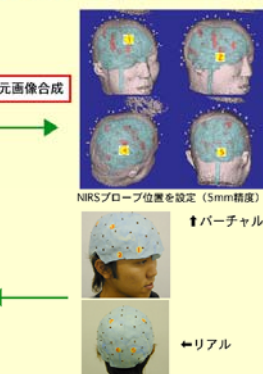
3次元画像合成

NIRSプロープ位置を設定 (5mm精度)

↑ パーチャル

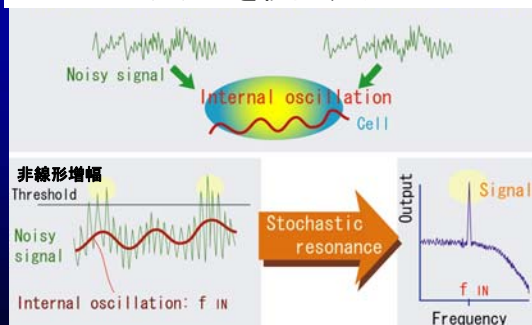
↓ リアル

NIRS 計測



Takatsuki, Eda, Sase, Seiyama, et al. 準備中

アメーバーはどのようにしてノイズなシグナルを検出するのか？



熱ノイズを利用して情報処理をしている。

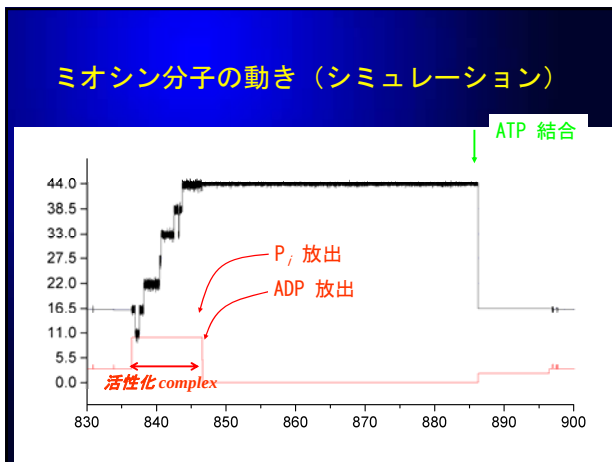


ブラウン運動から一方向の運動を取り出すにはエネルギーが必要

↓ その方法は？

(例 1) 異方性のポテンシャルを全くランダムでない様に揺らす。

ポテンシャル



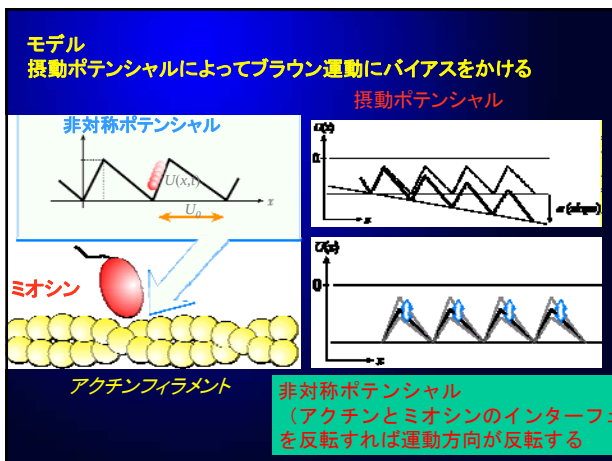
Ras-Raf interaction

Activation of Ras could be monitored by FRET between YFP-Ras and Cy3-GTP

Miyachi, Sako, et al. Nature Submit

Ras GFP Raf GFP

Hibio, Sako et al. Chem.Chem. 2003



cAR1とG-蛋白質の相互作用 1分子イメージング

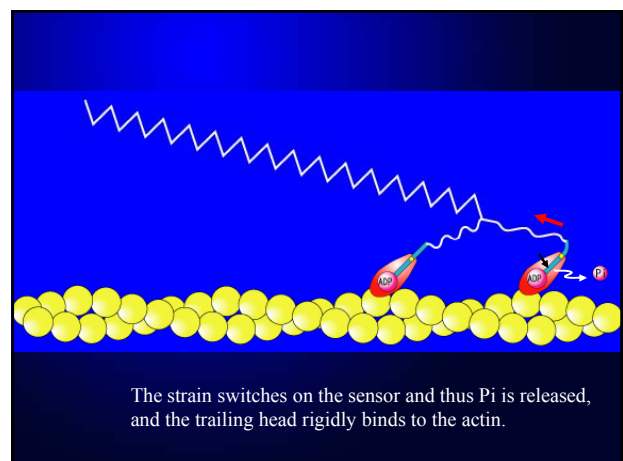
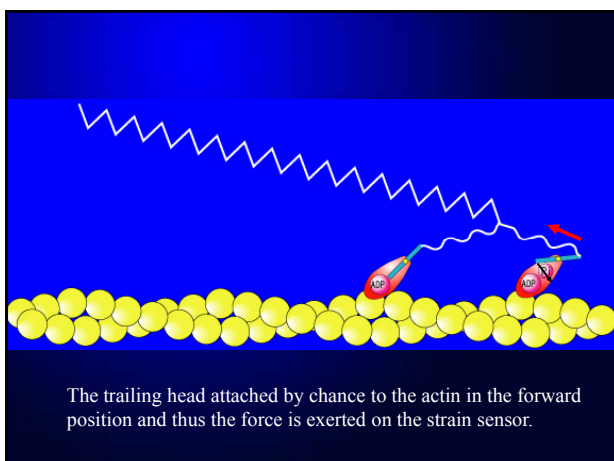
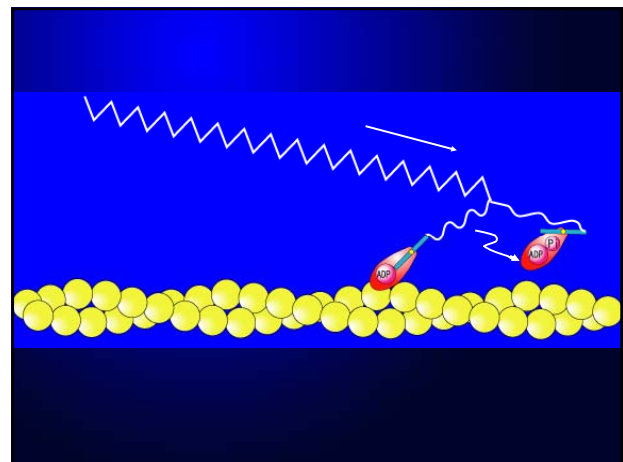
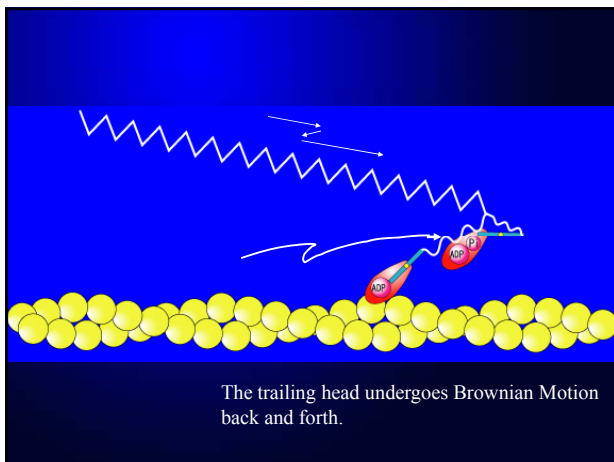
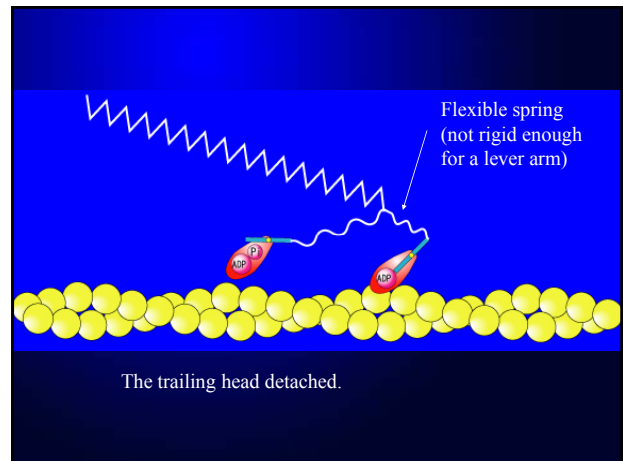
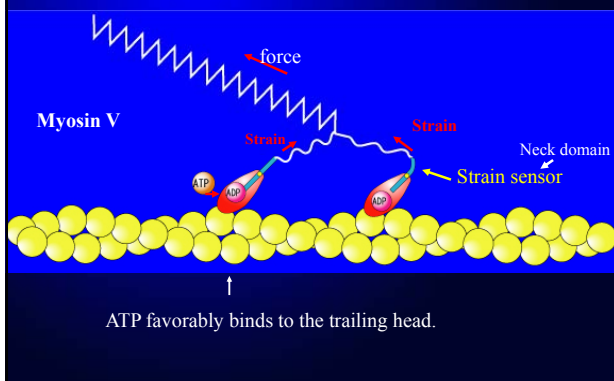
faster 1.1 1/s slower 0.4 1/s

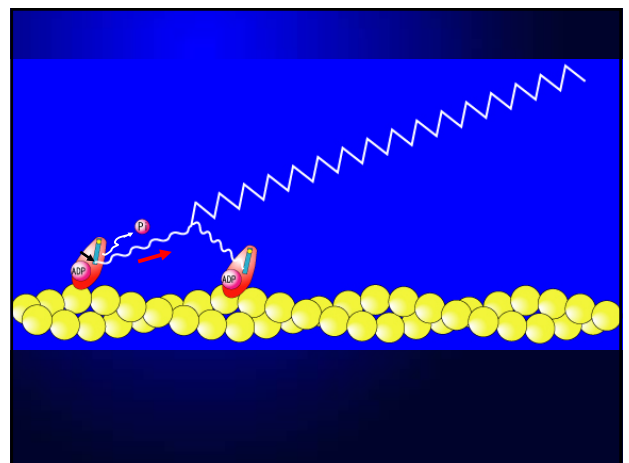
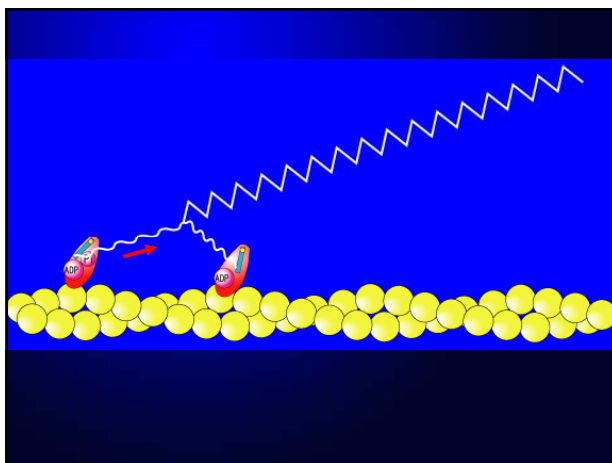
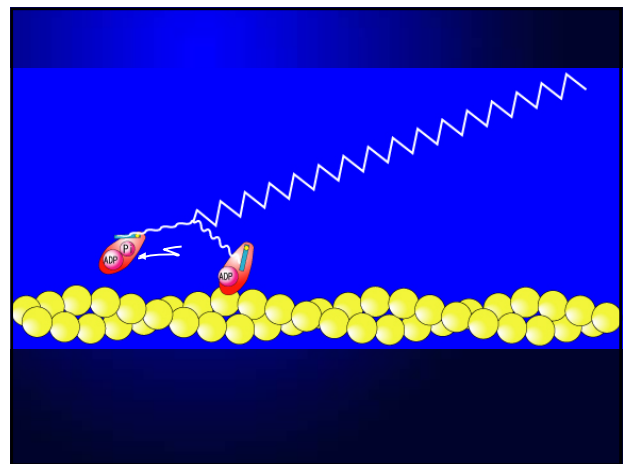
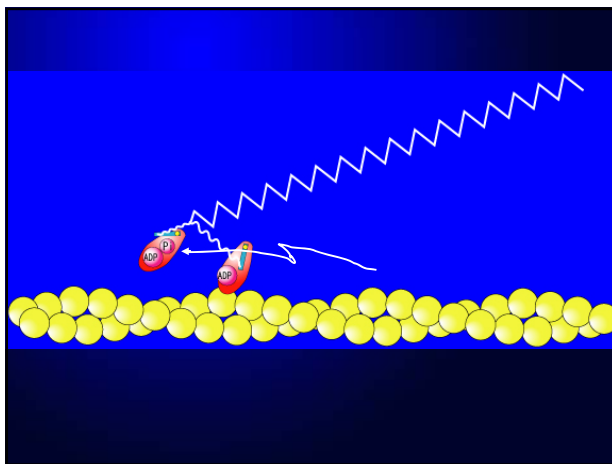
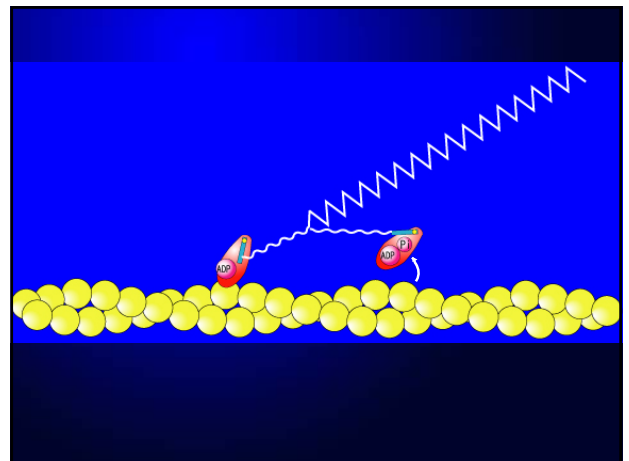
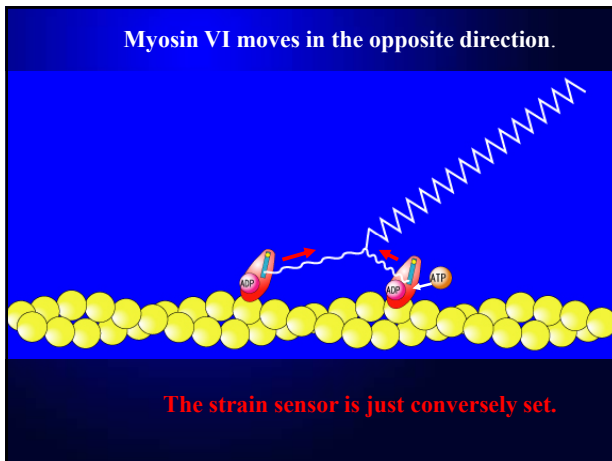
cAMP

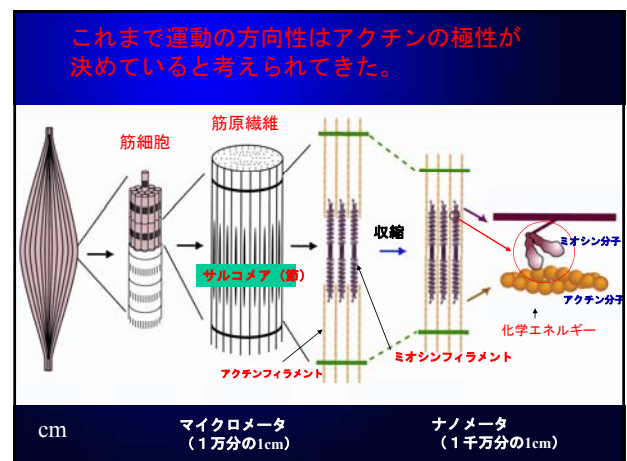
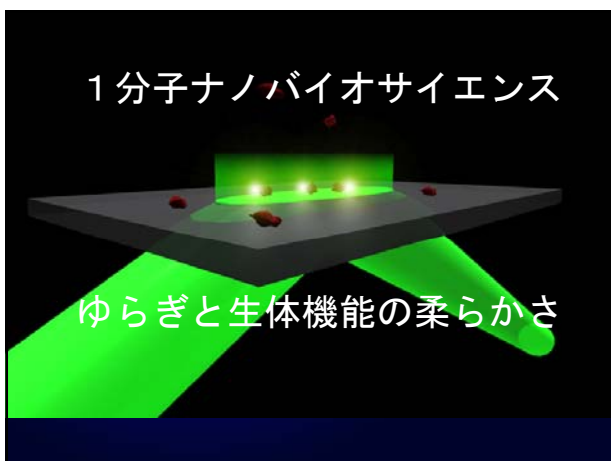
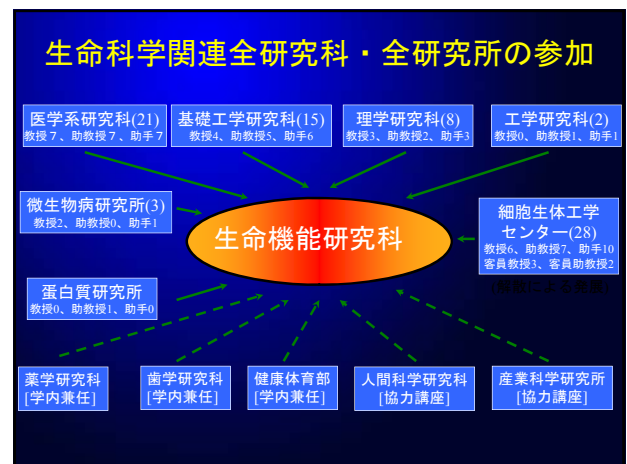
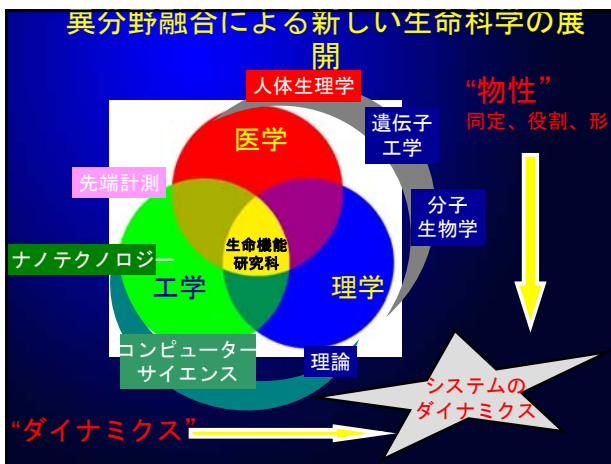
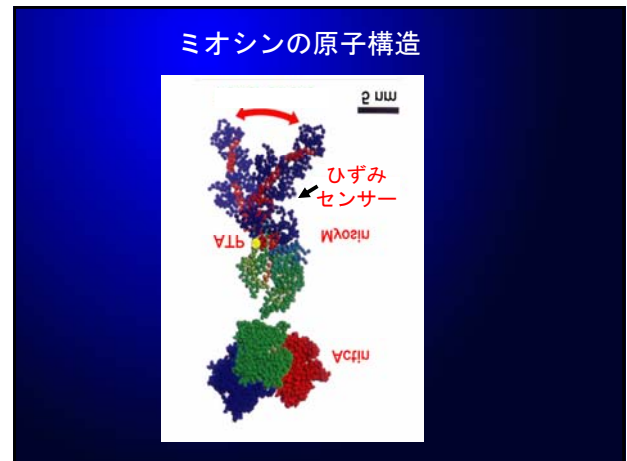
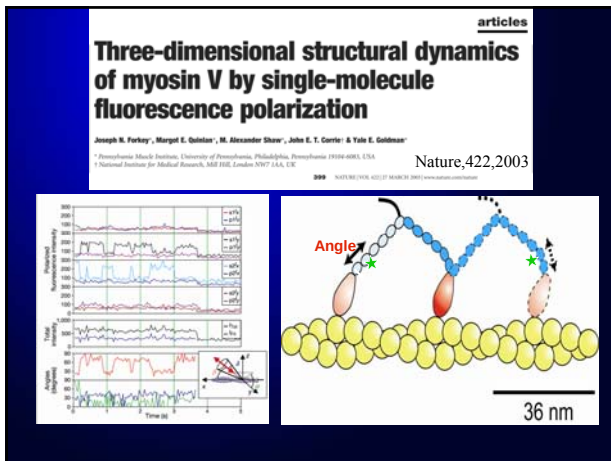
GTP

Signal No signal

Strain sensor- based biased Brownian motion

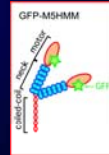
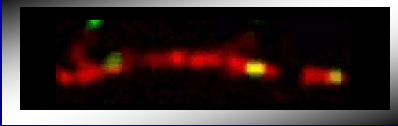




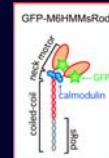
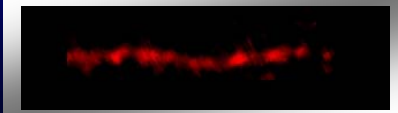


運動の方向性は何が決めているか？

M5 - → +



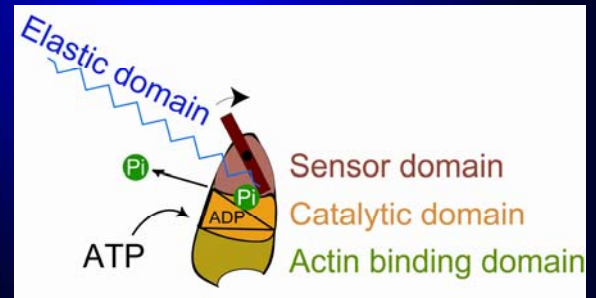
M6 - ← +



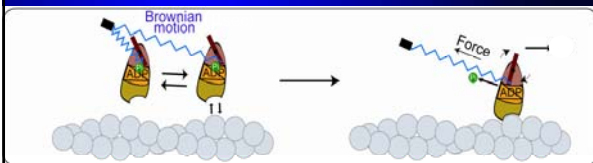
Movie

Nishikawa et al. RRRC 2002

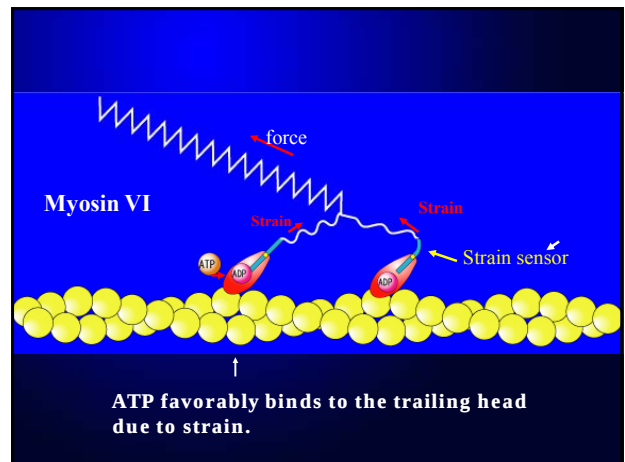
Strain-sensor model (Yanagida, et al., 2000)



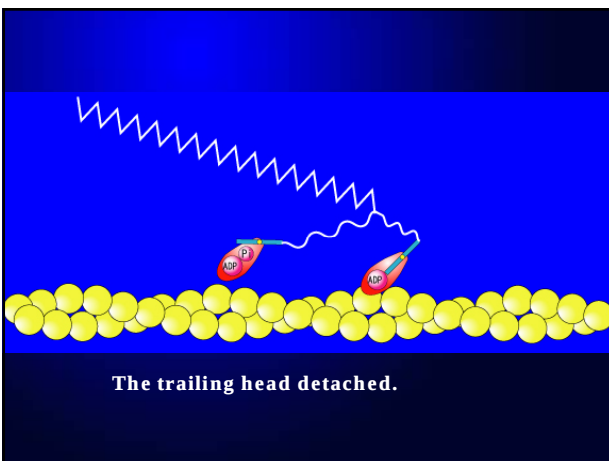
Operation of the strain-sensor



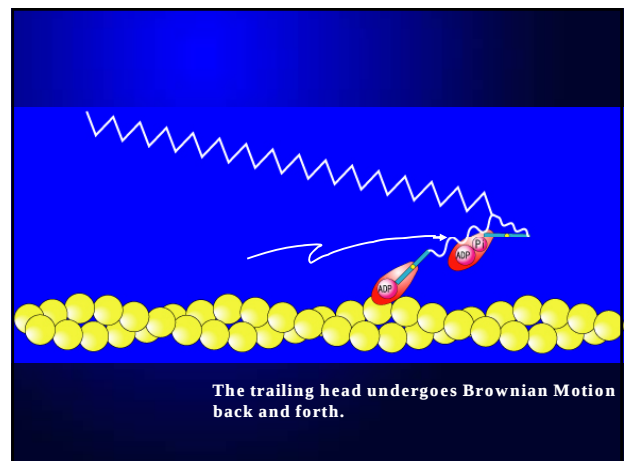
The strain-sensor operates depending on the direction of strain to allow the head to release Pi and bind strongly to the actin. Thus, the head moves in one direction.



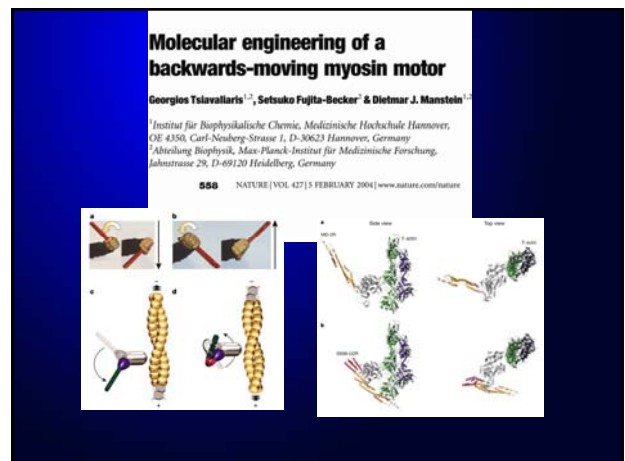
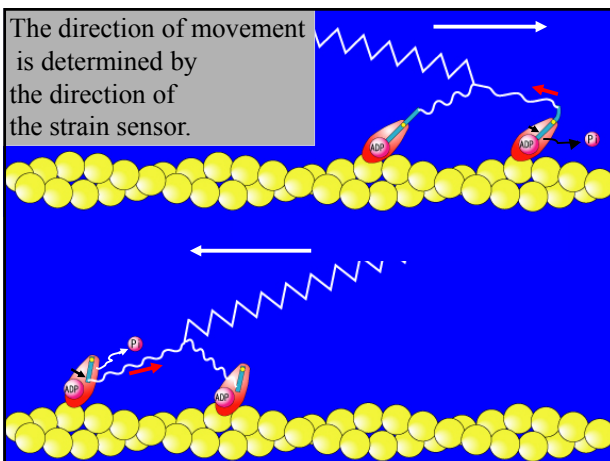
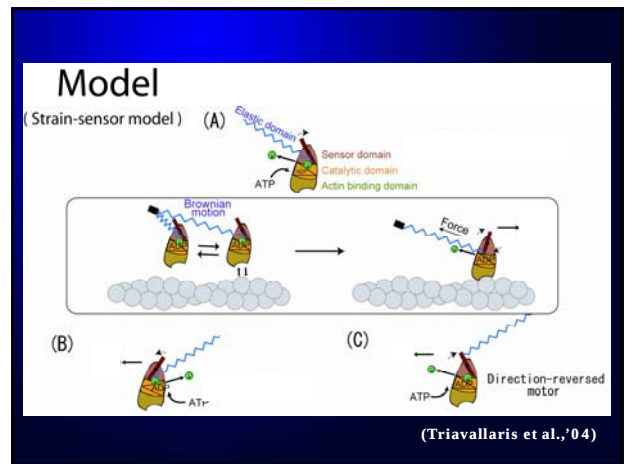
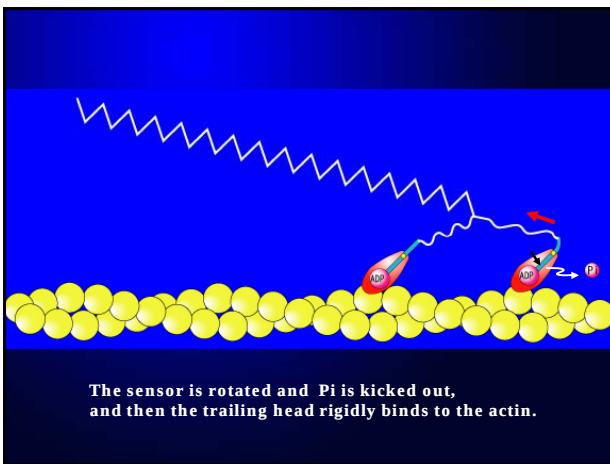
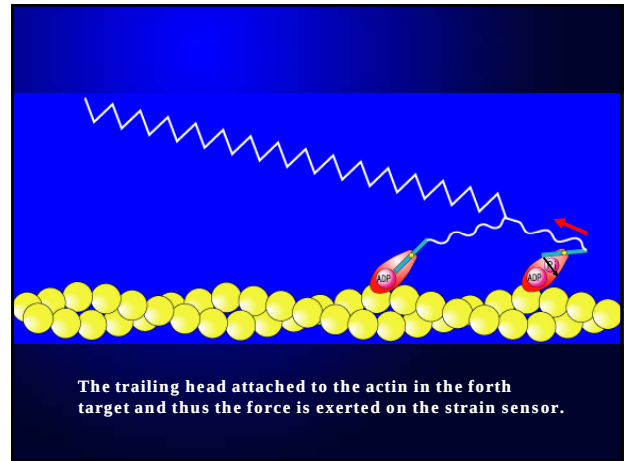
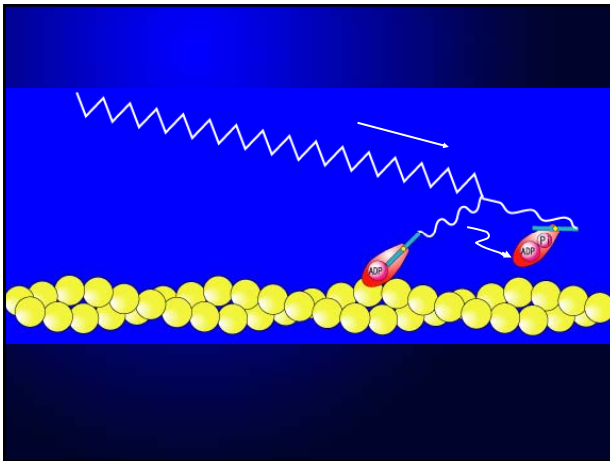
ATP favorably binds to the trailing head due to strain.



The trailing head detached.



The trailing head undergoes Brownian Motion back and forth.



1985

85年「バース・掛布・岡田伝説」再来



●1985年4月17日の巨人戦で5打席連続ヒットを放ったバース・掛布・岡田の3人が、この年日本一に貢献した。

2003



2004

日本シリーズ優勝

今年こそ阪神タイガース、日本一

法政大学 マイクロ・ナノテクノロジー研究センター開設記念講演

「大学人への期待」

平成16年6月3日

日本電気(株)

渡辺久恒

祝 マイクロ・ナノテクノロジー研究センター開設



Research Center for
**Micro-Nano
Technology**

法政大学
マイクロ・ナノテクノロジー
研究センター

高度なナノデバイス、マイクロ・ナノデバイス

ナノサイズの高性能材料の開発とマイクロ・ナノサイズの機能材料

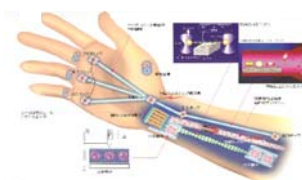
次世代型電子デバイス

超小型・超高速・省電力デバイス

生命情報と医療機器のナノバイオロジー

生命情報の解析と有効利用

新世代型情報通信技術
→ アトムナノエンジニアリング
→ 環境改善、人間の持続的発展



“統合技術大国”日本

●日本には電子技術をベースにした圧倒的競争力を持つ製品群・事業群が沢山ある。その強みは基盤技術とその技術統合にある。

- ① ブロードバンド・モバイル大国
- ② デジタルホーム・エンタテインメント大国
- ③ スーパーコンピュータ大国
- ④ ハイメカ・ロボット大国
- ⑤ 環境対策大国

ブロードバンド・モバイル大国日本

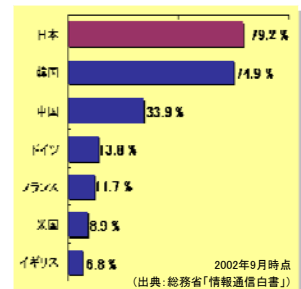
【ブロードバンド・ランキング】
安さ・速さで世界一

1カ月の通信料金
(毎秒100キロビットあたり、ドル)

日本	0.09
韓国	0.25
ベルギー	1.15
香港	1.27
シンガポール	2.21
マカオ	2.56
ニュージーランド	2.71

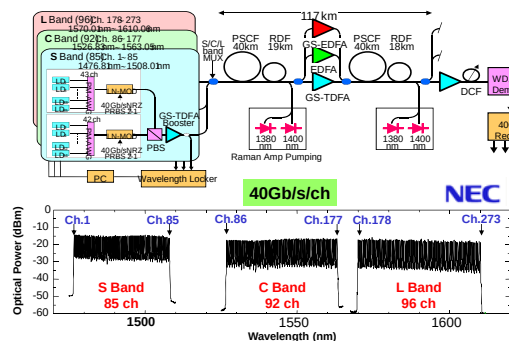
(出典: ITU)

【モバイル・インターネット接続ランキング】
インターネットとの接続率で世界一



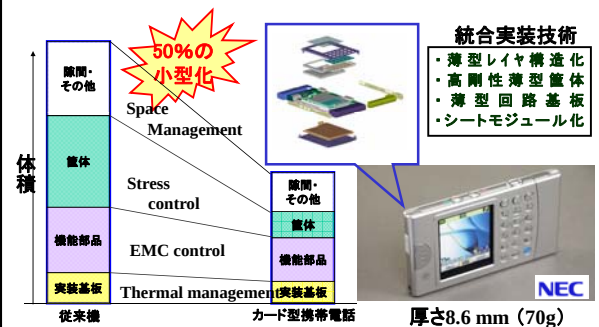
ブロードバンド大国を支える光通信システム

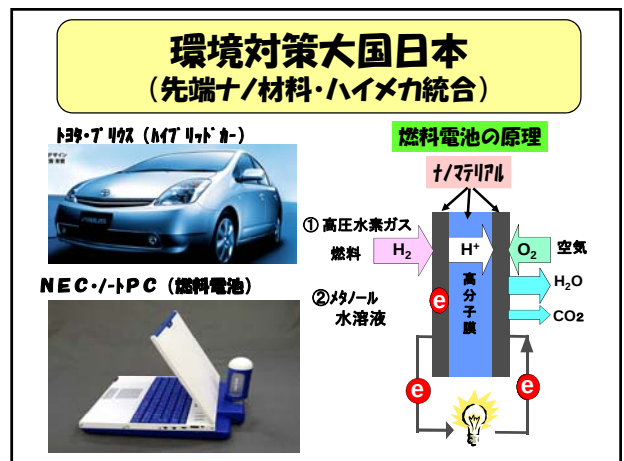
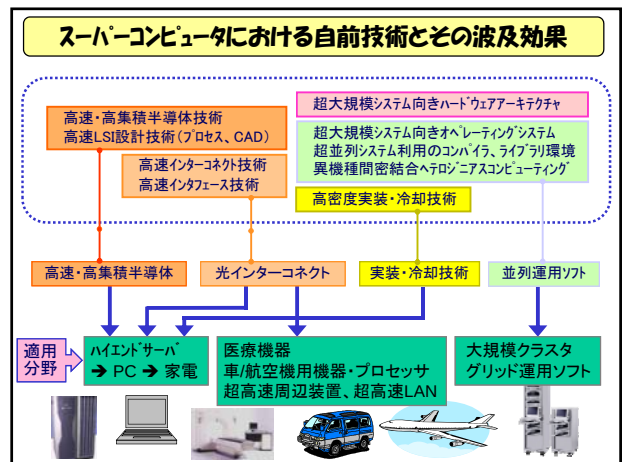
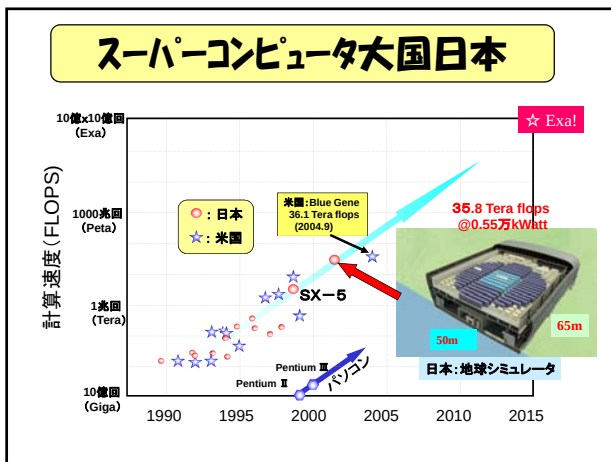
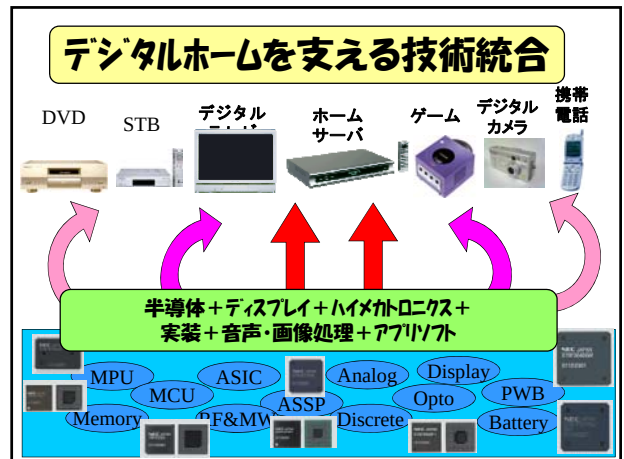
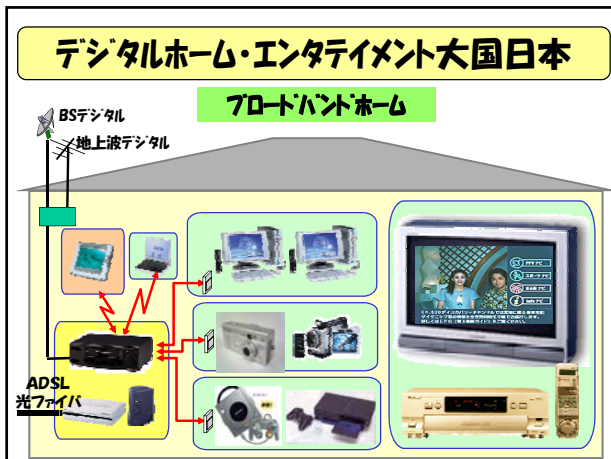
世界最高の伝送速度(10.9Tbps)を誇る光ファイバシステム



モバイル大国を支える超小型化実装システム

世界最薄のカード型カメラ付携帯電話



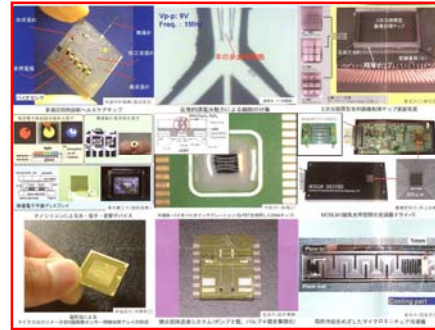


日本が強化・維持すべき基盤技術

資源小国日本は21世紀も「技術統合」を強みに世界をリードする。このためには技術統合競争力の基盤となる科学技術を今後とも世界トップレベルにキープしたい。

- | | |
|------------------|-------------------|
| ① 情報テクノロジー(IT) | ② デバイステクノロジー(DT) |
| ③ メカトロテクノロジー(MT) | ④ ロボットテクノロジー(RT) |
| ⑤ 環境テクノロジー(ET) | ⑥ ナノテクノロジー(NT) |
| ⑦ バイオテクノロジー(BT) | ⑧ 計測・分析テクノロジー(CT) |

ナノテクノロジー・バイオテクノロジー統合



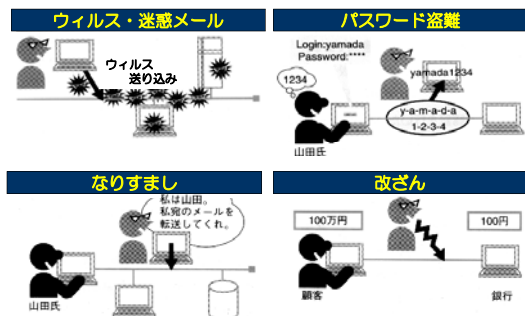
文部科学省特定領域研究(A)「超機能グローバル・インターフェース・インテグレーション研究」プロジェクト

シリコンコンピュータの消費電力による限界を超えるコンピュータとは

超電導コンピュータ 光コンピュータ DNAコンピュータ 原子スイッチコンピュータ 量子コンピュータ

ナノテクノロジーと新原理コンピュータアーキテクチャの統合による超低消費電力コンピュータの発明が待たれている

現在のITインフラはまだ脆弱で不安が残る



コンセンサス Nov/Dec 1999 (<http://www.cw.net.co.jp/vm/>)より

社会インフラはデヘンダブルでなくてはならない

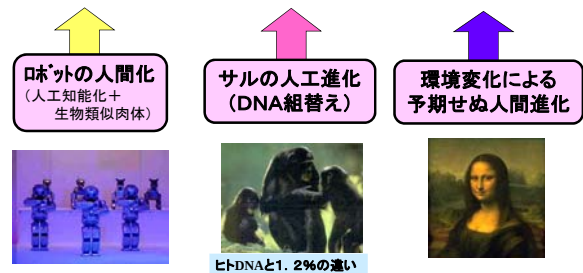
e-Japan戦略Ⅱ：先導的取り組み7分野を中心に安心・安全社会の実現を目指す



デヘンダブルとは、事故が全く起こらないことが望ましいが、起きた時直ちに状況が把握でき、自己修復が始め、先の状況が予測できるなどして、社会的なパニックや対外的リスクな破壊を引き起こさない事が保証できる状態のこと。

超人間技術への挑戦は倫理的不安があってはならない

超人間(肉体的にも頭腦的にも人間を超えたヒト)



大学への期待:大学人(大きく学んだ人)の育成

**技術統合競争力の基盤となる世界トップレベルの
科学技術の創出**

と同時に

**法と倫理の先をゆく最先端技術がもたらす
社会的インパクトの洞察**

で社会をリートして欲しい。

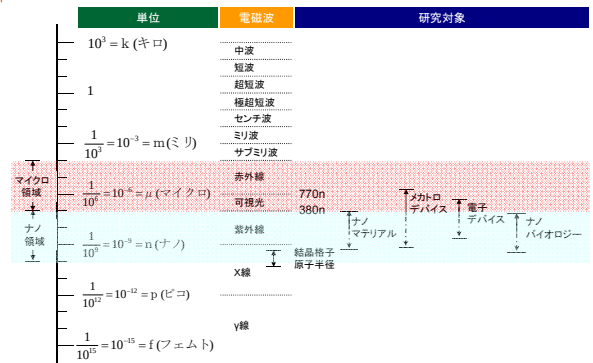


**理学・工学と経済学の融合(MOT)のみならず、
法学や倫理学との学際融合教育で
視野が広く、大きく学んだ人(大学人)
の育成が21世紀大学の責務である。**

研究センターの概要

法政大学マイクロ・ナノテクノロジー研究センター
研究代表者 本間紀之

長さの単位と研究対象



マイクロ・ナノテクノロジー研究センター概要

プロジェクト	研究内容	研究目標	研究代表者の所属
(1) 高性能ナノマテリアルの開発およびマイクロ・ナノメカトロデバイスの研究	各種ナノマテリアルの合成、解析、評価を行い、分子エレクトロニクスの核となる物質を創成して新しいナノテクノロジーの世界を開拓する。当面の主要な研究対象物質群としては、炭素系新材料、珪素・窒素系新セラミクス材料、有機能電分子材料(有機磁性材料、分子エレクトロニクスを意識した有機導電性材料およびそれらを用いたデバイス素子、対環境材料等)、及びそれらと生体高分子であるDNA、蛋白質との複合材料などである。	①炭素系材料を用いた分子エレクトロニクス、ナノメカトロニクス等の開発 ②珪素・窒素系材料を用いた分子エレクトロニクス、ナノメカトロニクス等の開発 ③有機能電分子材料を用いた分子エレクトロニクス、ナノメカトロニクス等の開発 ④炭素系材料を用いた分子エレクトロニクス、ナノメカトロニクス等の開発 ⑤珪素・窒素系材料を用いた分子エレクトロニクス、ナノメカトロニクス等の開発 ⑥有機能電分子材料を用いた分子エレクトロニクス、ナノメカトロニクス等の開発 ⑦炭素系材料を用いた分子エレクトロニクス、ナノメカトロニクス等の開発 ⑧珪素・窒素系材料を用いた分子エレクトロニクス、ナノメカトロニクス等の開発 ⑨有機能電分子材料を用いた分子エレクトロニクス、ナノメカトロニクス等の開発 ⑩炭素系材料を用いた分子エレクトロニクス、ナノメカトロニクス等の開発	物質化学 材料工学 化学工学
(2) 分散型耐環境ナノ電子デバイス	分散型ナノ電子デバイスを開発するための基礎技術として、1)チップを数cm程度の比較的近距離に配置した場合における通信の確立方法を検討、2)近距離微小電力無線通信に適した通信方式、回路方式、LSI構成法の研究を行う。更に高温・高周波・高電圧動作させるためにワイドギャップ半導体材料を用いて、3)イオン注入技術により、GaAs および SiC 等ワイドギャップ半導体材料への不純物高濃度化技術の開発、4)高温動作用低抵抗電極の作成と評価、5)高温・高周波・高電圧動作電子デバイスの作成と動作機構の解析、を行うことを目的とする。	①分散型ナノ電子デバイスの開発 ②分散型ナノ電子デバイスの開発 ③分散型ナノ電子デバイスの開発 ④分散型ナノ電子デバイスの開発 ⑤分散型ナノ電子デバイスの開発 ⑥分散型ナノ電子デバイスの開発 ⑦分散型ナノ電子デバイスの開発 ⑧分散型ナノ電子デバイスの開発 ⑨分散型ナノ電子デバイスの開発 ⑩分散型ナノ電子デバイスの開発	物質化学 材料工学 化学工学
(3) 生命情報と生体機能のナノバイオロジー	ヒトや他の生物種のゲノム情報(DNA塩基配列)という知的財産を人類の福祉や発展のために利用するためには、数万個の遺伝子から成る膨大なゲノム情報の迅速処理、探索技術などの数理工学的解析技術の飛躍的発展に加えて、遺伝子機能(蛋白質合成)と蛋白質機能の研究を通しての遺伝子の同定が緊急の課題となっている。本プロジェクトでは、1分子計測や1分子操作などのバイオナノテクノロジーを取り入れながら、生命情報解析技術の高度化と有効利用、遺伝子の同定、生命情報の発見・伝達・複製メカニズムの解明、個体丸ごと生体機能の理解を目指す。	①生命情報と生体機能のナノバイオロジー ②生命情報と生体機能のナノバイオロジー ③生命情報と生体機能のナノバイオロジー ④生命情報と生体機能のナノバイオロジー ⑤生命情報と生体機能のナノバイオロジー ⑥生命情報と生体機能のナノバイオロジー ⑦生命情報と生体機能のナノバイオロジー ⑧生命情報と生体機能のナノバイオロジー ⑨生命情報と生体機能のナノバイオロジー ⑩生命情報と生体機能のナノバイオロジー	生命工学 化学工学 材料工学

マイクロ・ナノテクノロジー研究センター



プロジェクトと研究内容(1)

プロジェクト	研究内容
(1) 高性能ナノマテリアルの開発およびマイクロ・ナノメカトロデバイスの研究	各種ナノマテリアルの合成、解析、評価を行い、分子エレクトロニクスの核となる物質を創成して新しいナノテクノロジーの世界を開拓する。当面の主要な研究対象物質群としては、炭素系新材料、珪素・窒素系新セラミクス材料、有機能電分子材料(有機磁性材料、分子エレクトロニクスを意識した有機導電性材料およびそれらを用いたデバイス素子、対環境材料等)、及びそれらと生体高分子であるDNA、蛋白質との複合材料などである。
メカトロ	微細加工技術を用いてシステムの高性能化と、その結果の化学・バイオ分野への新しい応用を目指す。当面の課題は、超高密度・超積層電子基板の開発、電気機械埋設用超小型電子回路、マイクロバイオ・ケミカルプラントのためのマイクロメカトロデバイス開発および、マイクロナノシステム統合化のための基礎科学技術の開発である。

プロジェクトと研究内容(2)

プロジェクト	研究内容
(2) 分散型耐環境ナノ電子デバイス	分散型ナノ電子デバイスを実現するための基礎技術として、1)チップを数cm程度の比較的近距離に配置した場合における通信の確立方法を検討、2)近距離微小電力無線通信に適した通信方式、回路方式、LSI構成法の研究を行う。更に高温・高周波・高電圧動作させるためにワイドギャップ半導体材料を用いて、3)イオン注入技術により、GaAs および SiC 等ワイドギャップ半導体材料への不純物高濃度化技術の開発、4)高温動作用低抵抗電極の作成と評価、5)高温・高周波・高電圧動作電子デバイスの作成と動作機構の解析、を行うことを目的とする。
(3) 生命情報と生体機能のナノバイオロジー	ヒトや他の生物種のゲノム情報(DNA塩基配列)という知的財産を人類の福祉や発展のために利用するためには、数万個の遺伝子から成る膨大なゲノム情報の迅速処理、探索技術などの数理工学的解析技術の飛躍的発展に加えて、遺伝子機能(蛋白質合成)と蛋白質機能の研究を通しての遺伝子の同定が緊急の課題となっている。本プロジェクトでは、1分子計測や1分子操作などのバイオナノテクノロジーを取り入れながら、生命情報解析技術の高度化と有効利用、遺伝子の同定、生命情報の発見・伝達・複製メカニズムの解明、個体丸ごと生体機能の理解を目指す。

プロジェクトの概略(1)

プロジェクト	達成目標	研究員数及び所属
(1) 高性能ナノマテリアルの開発 および マイクロ・ナノメカトロデバイスの研究	・気体吸着材料としてのナノチューブ、ナノフォンの活性化の解明および実用化の検討。 ・新物質の合成および、その物性の解明。 ・ナノチューブの素子化可能性の検討および手法の検討。 ・新しく開発された物質群のそれぞれに対するデバイス化の検討およびプロセス技術の研究。 ・新しく開発された物質を用いた新しい工業製品のプロトタイプの試作および産業化の検討。	9名 機械 物質化学 システム制御
メカトロ	・マイクロ電子基板の作成およびそれを利用したマイクロパワー・エレクトロニクスシステムのプロトタイプの作成 ・マイクロ流体プラントの基本要素の開発およびプラントのプロトタイプの試作 ・小型自律型知能マイクロプラントの開発 ・マイクロバイオプラントの試作	4名 機械 情報電気電子

H20SEI

プロジェクトの概略(2)

プロジェクト	達成目標	研究員数及び所属
(2) 分散型耐環境ナノ電子デバイス	・近距離無線通信に適した通信方式の検討と新方式の考案。 ・上記通信方式をLSIとして実現する際の問題点の明確化。 ・活性化率とイオン注入層の結晶性についての評価と、活性化率向上メカニズムの明確化。 ・分散近距離通信に適した通信用集積回路の開発。 ・ワイドギャップ半導体にイオン注入した不純物の活性化率向上。 ・ワイドギャップ半導体材料を用いたナノスケールの超微細素子の実現。 ・ワイドギャップ半導体材料を用いた高周波デバイス基本構造の集積化と高温・高電圧下の耐環境特性の確認。	10名 情報電気電子 イオンビーム
(3) 生命情報と生体機能のナノバイオロジ	・一次元生命情報の迅速処理・探索技術の開発、核酸-蛋白質情報伝達、蛋白質-蛋白質情報伝達、分子設計による新機能開発の基礎技術の確立 ・ゲノム情報からの個体丸ごと生体機能の理解の成果を他のプロジェクトにフィードバックし、自立型デバイス開発に活用。 ・ヒトゲノム上遺伝子の機能予測、未知の蛋白質・酵素の機能予測。	13名 物質科学 システム制御 経営工学 理化学研究所 ほか外部研究機関

H20SEI

高機能ナノマテリアルの開発

ナノメートルサイズの様々な新規物質を創製し、その特異な構造・物性に基く新高機能の発現を目指す。

プロジェクト・メンバー

- 丸山 有成 (物質化学科) 炭素系新ナノ物質、有機伝導体素子
- 守吉 佑介 (物質化学科) BNナノチューブ、ダイヤモンドの液相焼結
- 中村 暢男 (物質化学科) ナノサイズ制御による有機強磁性体構築
- 浜中 廣見 (物質化学科) PIXE法による雲母中のAlナノ構造の解析
- 西海 英雄 (物質化学科) ナノ構造光触媒の開発
- 片山 寛武 (物質化学科) ナノ物質の分離・分析技術の開発
- 維方 啓典 (物質化学科) フラーレン・ナノチューブ新複合材料の開発
- 西村 允 (機械工学科) MoS₂/ナノ炭素固体潤滑薄膜の開発
- 高山 新司 (システム制御工学科) 液晶ディスプレイ用薄膜半導体材料の開発

炭素系新ナノ物質・有機伝導体素子の構築
研究代表：丸山有成

ナノ空間に、物質を閉じ込める。
ナノメートルの物質を直接観察する。

DNAとカーボンナノチューブのハイブリッドマテリアルの作製

DNAがカーボンナノチューブに挿入されるイメージ図

フラレンを内包したカーボンナノチューブの模式図

透過型電子顕微鏡でとらえた、カーボンナノチューブとフラレン。ひも状の物質が、チューブ先端から伸びている。

透過型電子顕微鏡で得られた、フラレン内包カーボンナノチューブ画像 (内包に寄っているのが、内包されたフラレン)

カーボンナノチューブ先端部の透過型電子顕微鏡像。先端部分に電子線が当たると、光電子が放出される。

BNナノチューブ、ダイヤモンドの液相焼結
研究代表：守吉佑介

高機能なダイヤモンド焼結体を作製する。
ナノメートルスケールで物性を制御する。

ダイヤモンドに様々な金属を添加することによって、優れた機械的性質や特異な物性を引き出す。

図1 様々な金属で焼結させたスズ、銅、タタン。ダイヤモンドと金属の界面に形成された反応層 (Reaction layer) が、ダイヤモンドと金属の界面に形成される。この層は、ダイヤモンドが金属に溶解して形成されるものである。

図2 ダイヤモンドと金属の界面に形成された反応層 (Reaction layer) の様子。反応層は、ダイヤモンドと金属の界面に形成される。この層は、ダイヤモンドが金属に溶解して形成されるものである。

図3 ダイヤモンドと金属の界面に形成された反応層 (Reaction layer) の様子。反応層は、ダイヤモンドと金属の界面に形成される。この層は、ダイヤモンドが金属に溶解して形成されるものである。

ナノサイズ制御による有機強磁性体の構築
研究代表：中村暢男

分子エレクトロニクスに発展した有機強磁性体の開発と、合成経路の簡便化

パラジウム触媒による、トリフェニル骨格合成の簡便化

Synthetic Scheme

Preparation of 2-Halophenylboronic Acid

Preparation of Triphenyls

PIXE法による雲母中のAlナノ構造の解析
研究代表：浜中廣見

イオンビームを用いた微小試料中の元素分析

検出感度を飛躍的に向上させることで、微小構造 (ナノ構造) の解析をねらう!

PIXE: Partial Induced X-ray Emission

陽子などの重粒子により、内殻の電子をはじき出す。外殻の電子が内殻に落ちる際に発生する特性X線を検出する手法。

図1 PIXEの原理図

図2 PIXEの原理図

図3 PIXEの原理図

図4 PIXEの原理図

図5 PIXEの原理図

図6 PIXEの原理図

図7 PIXEの原理図

図8 PIXEの原理図

図9 PIXEの原理図

図10 PIXEの原理図

図11 PIXEの原理図

図12 PIXEの原理図

図13 PIXEの原理図

図14 PIXEの原理図

図15 PIXEの原理図

図16 PIXEの原理図

図17 PIXEの原理図

図18 PIXEの原理図

図19 PIXEの原理図

図20 PIXEの原理図

図21 PIXEの原理図

図22 PIXEの原理図

図23 PIXEの原理図

図24 PIXEの原理図

図25 PIXEの原理図

図26 PIXEの原理図

図27 PIXEの原理図

図28 PIXEの原理図

図29 PIXEの原理図

図30 PIXEの原理図

図31 PIXEの原理図

図32 PIXEの原理図

図33 PIXEの原理図

図34 PIXEの原理図

図35 PIXEの原理図

図36 PIXEの原理図

図37 PIXEの原理図

図38 PIXEの原理図

図39 PIXEの原理図

図40 PIXEの原理図

図41 PIXEの原理図

図42 PIXEの原理図

図43 PIXEの原理図

図44 PIXEの原理図

図45 PIXEの原理図

図46 PIXEの原理図

図47 PIXEの原理図

図48 PIXEの原理図

図49 PIXEの原理図

図50 PIXEの原理図

図51 PIXEの原理図

図52 PIXEの原理図

図53 PIXEの原理図

図54 PIXEの原理図

図55 PIXEの原理図

図56 PIXEの原理図

図57 PIXEの原理図

図58 PIXEの原理図

図59 PIXEの原理図

図60 PIXEの原理図

図61 PIXEの原理図

図62 PIXEの原理図

図63 PIXEの原理図

図64 PIXEの原理図

図65 PIXEの原理図

図66 PIXEの原理図

図67 PIXEの原理図

図68 PIXEの原理図

図69 PIXEの原理図

図70 PIXEの原理図

図71 PIXEの原理図

図72 PIXEの原理図

図73 PIXEの原理図

図74 PIXEの原理図

図75 PIXEの原理図

図76 PIXEの原理図

図77 PIXEの原理図

図78 PIXEの原理図

図79 PIXEの原理図

図80 PIXEの原理図

図81 PIXEの原理図

図82 PIXEの原理図

図83 PIXEの原理図

図84 PIXEの原理図

図85 PIXEの原理図

図86 PIXEの原理図

図87 PIXEの原理図

図88 PIXEの原理図

図89 PIXEの原理図

図90 PIXEの原理図

図91 PIXEの原理図

図92 PIXEの原理図

図93 PIXEの原理図

図94 PIXEの原理図

図95 PIXEの原理図

図96 PIXEの原理図

図97 PIXEの原理図

図98 PIXEの原理図

図99 PIXEの原理図

図100 PIXEの原理図

ナノ構造光触媒の開発

研究代表：西村英雄

ナノ構造体から
環境問題を解決する

化学プラントや、実験室より大量に排出される有機溶剤の廃棄は、環境保全に対して大きな問題となっています。本研究では、直径1 nm程度の球状分子、フラーレン (C60, C70) を用いた、安価で効率的な有機溶剤の分解法を開発しています。

可視光でのフェノール分解法の開発

本実験では、フラーレンのスピリン三重項状態が可視光によって容易に生成される事利用している。この励起されたフラーレンが触媒の働きをし、触媒を励起し、励起された触媒がフェノールの分解する。

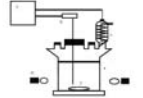


図1 フェノール分解装置
1. 反応槽 2. 検出装置 3. シムローテッド容器
4. 5. パワー 6. 可視光ランプ
(フェノールおよびC60, C70粉末を反応槽中で攪拌する)

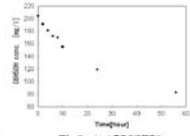


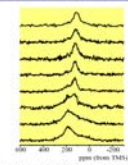
図2 フェノール速度の時間変化

フラーレン・ナノチューブ複合材料の開発

研究代表：緒方啓典

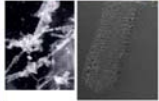
新規ナノマテリアルの創製と
その局所構造を解明する

複合ナノマテリアルの作製とその電子構造を解明する

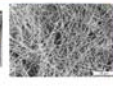


C60@単層カーボンナノチューブのRamanスペクトル

C60@単層カーボンナノチューブの作製



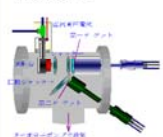
フラーレン/カーボンナノチューブの作製

MoS₂/ナノ炭素固体潤滑剤の開発

研究代表：西村 光

極限環境下での高トライブロジー特性を
ナノマテリアルから創出する

宇宙空間でも使用される固体潤滑剤、2硫化モリブデンは、湿度雰囲気中では摩擦の上昇があり、新たな潤滑剤が求められている。本研究では、湿度雰囲気中に強く、また構造的特性から潤滑剤として注目されている微小カーボン (ナノカーボン、カーボンナノチューブ) を2硫化モリブデンに添加し、性能の向上を図る。



試料作製用、高真空スパッタリング装置
(高真空度を調整して、カーボン・MoS₂膜
を作製する。)

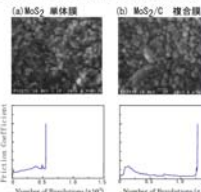


図1 MoS₂ 単体膜 (a) MoS₂/C 複合膜 (b)
図2 摩擦係数の経時変化 (真空中)
湿度を加えた場合 (湿度は、湿度が一定であり、
高い耐久性を示している。

液晶ディスプレイ用耐熱半導体材料の開発

研究代表：高山新司

ナノテクノロジーの応用に向けて

I. 低抵抗・低内部応力透明導電膜の開発 II. 低抵抗・高熱安定性電極配線膜の開発

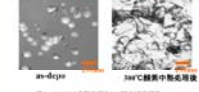


図1 154nm厚透明導電膜のSEM観察

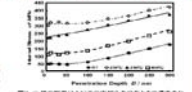


図2 154nm厚透明導電膜の電阻特性

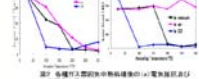


図3 各種ガラス基板上に形成された透明導電膜の電阻特性
と熱安定性の比較



図4 154nm厚透明導電膜の電阻特性と熱安定性の比較
と熱安定性の比較

マイクロ・ナノメカトロデバイスの研究

プロジェクトリーダー

工学部 機械工学科 田中 豊

HOSEI

プロジェクトの研究目的

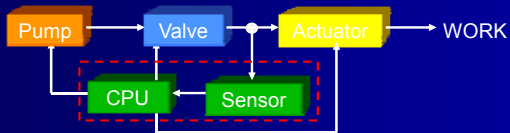
- 最新の機械・電氣的微細加工・製造・組み立て・評価技術を用いた、小型・高性能化を目指したマイクロ・ナノメカトロシステムの開発研究

- 積層3次元マイクロ流路構造
- ポンプ・バルブなどのマイクロ流体制御要素
- パワーMEMS用マイクロ機械要素
- システムの統合化とデザイン手法の確立

HOSEI

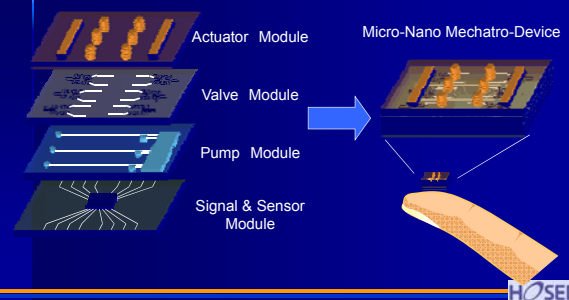
マイクロナノメカトロデバイス

- 要素の集積化
- サブシステムのモジュール化
- モジュールの積層化



HOSEI

マイクロナノメカトロデバイス



HOSEI

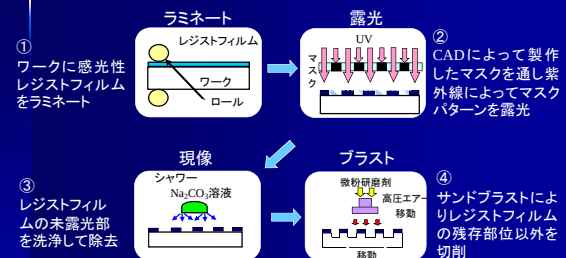
主な研究施設・設備・装置

- マイクロブラスト加工システム
- マイクロ放電加工機
- マイクロ光造形装置
- レーザー顕微鏡システム



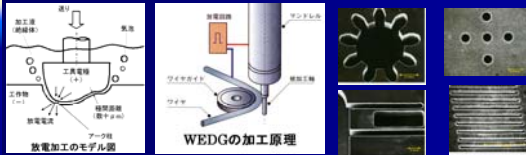
HOSEI

マイクロブラスト加工システム



HOSEI

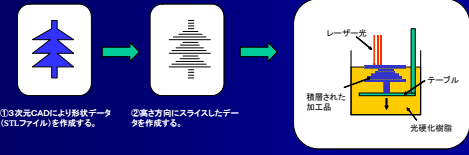
マイクロ放電加工システム



電極となるワイヤがワイヤガイド上に連続的に送られ、ワイヤガイドで支持されている部分で被加工軸との間に微細放電を発生させて加工。テーパ、R面取り加工、マイクロピン、マイクロシャフトなどの加工が可能。

HOSEI

マイクロ光造形システム



光造形プロセスの分解能は、照射するレーザー光のスポット径と積層ピッチで決まる。



写真提供: 3D Systems Japan

③光造形プロセス:
光硬化樹脂の表面に、スライスしたデータに合わせたレーザー光を照射すると、樹脂が一度分層化する。テーブルを一層ずつ下移することにより、積層された物体形状が完成する。

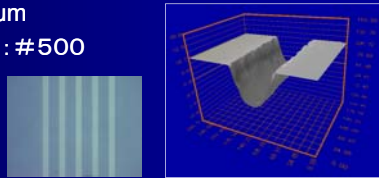


写真提供: ユニバビッド

HOSEI

3次元マイクロ流路構造

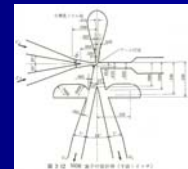
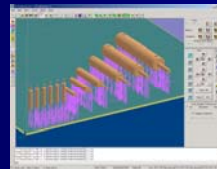
- マイクロブラスト加工による流路構造の製作
 - 材料: ガラス
 - 線幅: マスクパターン 80μm
 - 深さ: 80μm
 - 粉体粒度: #500



HOSEI

マイクロ流体制御要素

- マイクロブラスト加工によるマイクロフルィディクス制御弁
- マイクロ光造形による流体アクチュエータ



HOSEI

マイクロ機械要素の開発

- 微細加工を利用したファンやポンプなどの超小型流体機械アレイの開発
- パワーMEMS用超小型羽根車や空気軸受の試作
- マイクロ光造形を用いた形状生成および相似試験評価

HOSEI

マイクロ光造形を用いた形状生成および相似試験評価

マイクロ光造形による超小型インペラー (3次元形状)



HOSEI

その他の機械要素テーマ

- マイクロポンプ素子の提案と開発
- 境界層制御素子の提案とその素子を用いた流体機械の性能向上
- マイクロ音響素子の提案とその素子による環境負荷を抑えた消音デバイスの開発
- 微細加工における材料特性の評価

HOSEI

マイクロ システム インテグレーション

- システムの統合化
- デザイン手法の確立
- ハンドリングおよびインプラント手法の検討

HOSEI

HOSEI 分散型耐環境ナノ電子デバイスの研究

法政大学工学部

中村徹 安田彰 本間紀之 斉藤利通
大竹孝平 斎藤兆古 早野誠治 三浦孝夫
栗山一男 佐藤政孝

HOSEI

目的

高度情報化社会に必要な基本技術の確立

ユビキタスで代表されるシステム技術

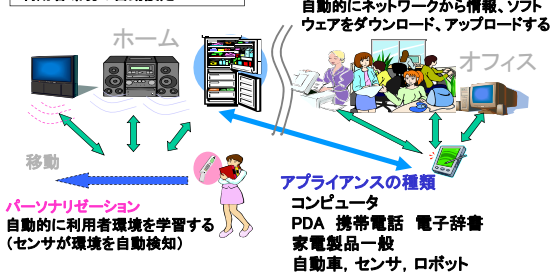
ユビキタス環境を実現するハードウェア

ナノテクノロジーを用いた新デバイスの開発

HOSEI

ユビキタスシステム

ユビキタス・コンピューティング:
いたるところにコンピュータが存在
利用者環境の自動設定



HOSEI

アプライアンスの機能



アプライアンス

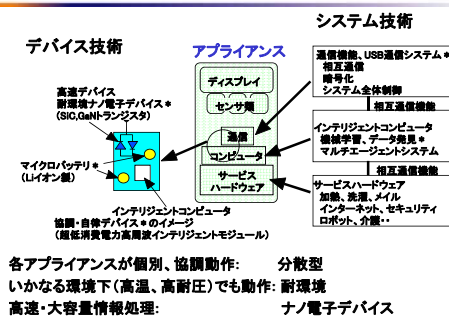
高機能半導体チップ
センサ
コンピュータ
通信

チップ間相互通信
多数個分散協調動作

ナノテクノロジーの構築

HOSEI

アプライアンスの構成と課題



HOSEI

分散型耐環境ナノ電子デバイスの課題

通信方式、回路方式の課題

分散・協調性:

近距離チップ間通信の確立方法

近距離・微少電力無線通信方式

アナログ・デジタル回路方式、LSI構成法

ナノ電子デバイスの課題

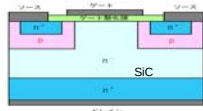
耐環境性:

GaNおよびSiC等ワイドギャップ半導体材料

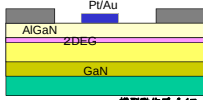
高温動作低抵抗電極の作成と評価

高温・高周波・高電圧動作電子デバイスの作成と動作
機構の解析

HOSEI ワイドギャップ半導体デバイス・プロセス



縦型動作デバイス

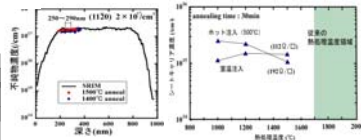


横型動作デバイス

ワイドギャップ半導体デバイス

ワイドギャップ半導体デバイス

従来 エピタキシャル成長
問題点 生産性、制御性
本研究 イオン注入
問題点 高温熱処理



HOSEI

研究計画

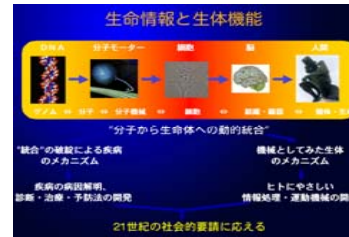
- ・近距離無線通信に適した通信方式の検討と新方式の考案
- ・上記通信方式をLSIとして実現する際の問題点の明確化
- ・分散近距離通信に適した通信用集積回路の開発
- ・ワイドギャップ半導体にイオン注入した不純物の活性化率向上
- ・ワイドギャップ半導体材料を用いたナノスケールの超微細素子の実現
- ・超微細素子の高温・高電圧下の耐環境特性の確認

法政大学 マイクロ・ナノテクノロジー研究センター

「生命情報と生体機能のナノバイオロジー」 プロジェクト

今世紀は、前世紀から得られつつあるヒトや他の生物種のゲノム情報(DNA塩基配列)という知的財産を人類の福祉や発展のために利用する時代であるといわれています。そのためには、数万個の遺伝子から成る膨大なゲノム情報の迅速処理・探索技術などの数理工学的解析技術の飛躍的発展に加えて、遺伝子発現(蛋白質生成)と蛋白質機能の研究を通しての遺伝子の同定が緊急の課題となっています。

本プロジェクトでは、1分子計測や1分子操作などのバイオナノテクノロジーを取り入れながら、生命情報解析技術の高度化と有効利用、遺伝子の同定、生命情報の発現・伝達・擾乱メカニズムの解明、個体丸ごと生体機能の理解を目指しています。



(阪大院・柳田グループより)

主な研究施設・設備

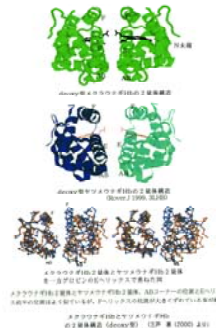
- 組み換えDNA実験システム (Recombinant DNA Experiment System)
- 電子スピン共鳴装置 (Electron Spin Resonance Instrument)
- 分光測光解析システム (Spectrophotometric Analyzer System)
- 迅速反応解析システム (Rapid Chemical Reaction Analyzer System)
- 一分子計測システム (Single Molecule Observation System)



各グループの研究目標と 2003年度研究成果

【今井グループ】

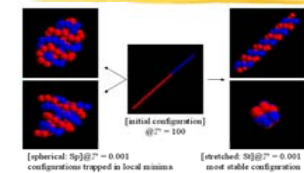
DNA情報の変異に起因して生ずる変異ヘモグロビン(異常ヘモグロビンや人工変異ヘモグロビン)の構造や機能特性の研究を通じて、ヘモグロビンの分子進化や環境適応の仕組みを明らかにすることを目指しています。今年度は、進化上、原索動物から脊椎動物への入り口に位置して、アロステリック効果獲得のきっかけとなった円口類のヤツメウナギのヘモグロビンとミオグロビンの構造と機能特性を明らかにしました。



【片岡グループ】

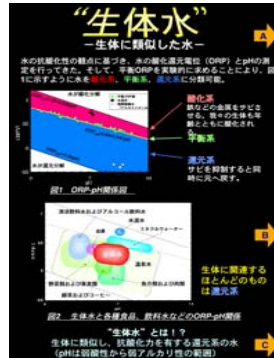
拡張アンサンブルモンテカルロ法の開発を通じて、分子シミュレーションによる蛋白質立体構造の予測を目指しています。今年度は、ポリアンフォライトのREMモンテカルロ・シミュレーションを行って、安定な構造の予測を行いました。

results: final configurations



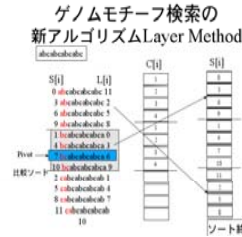
【大河内グループ】

生命現象の場としての水（細胞内液、組織間液、血液などの体液）の役割を明らかにすることを目指しています。今年度は、活性酸素による生体の酸化を防ぎ、人工体液などに応用可能な、抗酸化力を有する還元系の“生体水”の製造法を提案しました。



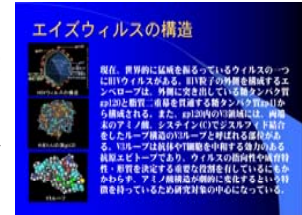
【浦谷・田辺グループ】

RNAおよび蛋白質の三次元構造へのトポロジー代数の応用と機能解析、とくに、ゲノム・モチーフ検索の新しいアルゴリズムの提案を目指しています。今年度は、検索アルゴリズムのボトルネックであったソート法で、従来法に比べ圧倒的に高速な新解析法の開発に成功しました。



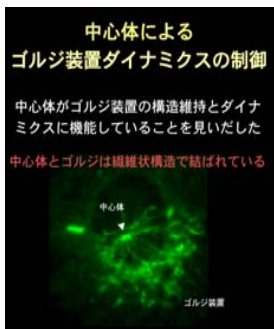
【平松・関田グループ】

情報理論を蛋白質一次構造でのアミノ酸残基の生起確立に应用することによって、特定残基の構造・機能上の重要性を推定する研究を行っています。今年度は、エイズウイルスHIVのV3ループでのウイルス存続に重要なアミノ酸群の推定を行いました。



【高月グループ】

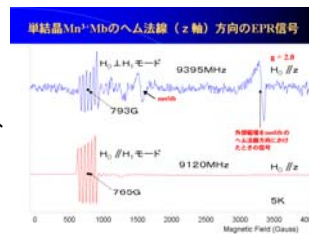
細胞内ゴルジ装置の構造維持とダイナミクスにおける中心体の役割解明を目指しています。今年度は、ゴルジ装置と中心体を結ぶ繊維状構造体が存在し、それがゴルジ装置ダイナミクスを制御していること、微小管を破壊してもゴルジ膜蛋白質は核近傍に係留されることが明らかにしました。



【堀グループ】

(阪大院・基礎工)

磁気共鳴分光学を用いてヘム蛋白質の生理活性中心ヘムの構造と電子状態、ヘム蛋白質の機能発現の機構を解明することを目指しています。今年度は、電子常磁性共鳴吸収法(EPR)をMn³⁺置換ミオグロビンに应用して、従来測定困難であった整数スピン系(S = 2)ヘム蛋白質のスピンハミルトニアンのパラメーターを決定することに成功しました。



【中村・飯塚グループ】

(理研・横浜市大)

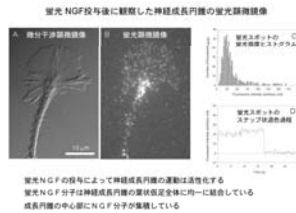
生体内“二成分情報伝達系”は、環境因子を感知するセンサー蛋白質と細胞内に情報を渡すレスポンスレギュレータとから成っており、その系の分子レベルでの機構の解明を目指しています。今年度は、根粒菌の酸素センサー蛋白質FixLの酸素親和性がADPによって制御されることを世界で初めて発見しました。



【原田グループ】

(東京都臨床研)

一分子計測などのバイオナノテクノロジーを駆使して、細胞内情報伝達と生体内情報伝達のメカニズム解明を目指しています。今年度は、蛍光ラベル神経成長因子 (NGF) 投与後の神経成長円錐の蛍光顕微鏡像を観察し、NGF 投与後に NGF 分子が成長円錐の中心部に集積し、成長円錐の運動が活性化することなど、ナノ世界での情報伝達の仕組みを明らかにしました。



【磯貝グループ】

(理研)

分子機械と呼ばれる蛋白質の機能はその立体構造によって支えられ、その構造は DNA 情報に由来するが、立体構造構築原理は未だ不明です。私たちは、天然蛋白質のアミノ酸配列とは独立に、特定の機能を発揮する蛋白質を設計し、ひいては、任意の構造と機能をもつ人工蛋白質を設計、合成することを目指しています。

