

緒 言

2004年度は、国立大学法人としての電気通信研究所の最初の年であり、また、電気通信研究所が国立大学附置全国共同利用研究所になってから10年を経過し、全組織の改組を行って新たな歩みを始めた節目の年がありました。改組に当たりましては、材料と情報の基礎科学から、情報を生成・認識・伝送・蓄積・処理・制御するためのデバイス、回路、アーキテクチャ、ソフトウェアまでを一体的システムとしてとらえ、これらの研究を所内外の研究者との有機的連携の下に総合的に進めることを目指し、そのため研究体制を再構築しました。

新しい研究所の体制は、附置研究所の使命と研究の進展や社会の要請とに的確に対応するように、基本となる4研究部門からなる研究所本体と、2実験施設、および1センターから構成しております。20年程度の長期にわたってボトムアップ的な基礎的研究を担当する20余の研究室からなる研究部門は本研究所の基本であります。実験施設では10年程度で実用可能な基盤技術の確立をはかり、センターでは5年程度で実用化を目指す研究開発を行うという、研究分野の軸と研究の発展に伴う時間軸で3つの層に研究体制を明確化し、動き始めました。

来るべき次世代のグローバル・ユビキタス情報通信時代において、再び我が国が情報通信の分野においてリーダーシップを取るためにも、本研究所が果たさなければならない使命と責任は、非常に大きなものがあると認識しております。多様化する社会的要請に機敏に対応しながら、創設以来の伝統である「実学主義」の精神を堅持しつつ、本研究所に課せられた使命を果たして参りたいと考えております。

本研究所は、今まで通り、工学研究科と情報科学研究科の電気情報系専攻と一致協力して教育と研究に当たり、わが国情報通信分野の進展に寄与していく所存です。これまで以上のご支援ご鞭撻及び本活動報告についての忌憚ないご意見をお願い申し上げ、巻頭のご挨拶といたします。

2005年（平成17年）7月25日

電気通信研究所長 伊藤 弘昌

3.1 情報デバイス研究部門の目標と成果

物理現象を活かしたナノ情報デバイスの創成を目指し、従来の電子デバイスで個別に利用されてきた電子、光、スピノなどの素量子を統合・集積化することにより新しい量子間シナジー機能を実現し、その機能を駆使することにより次世代情報処理通信工学の基盤となる未開拓の新機能情報デバイスの実現を図ることを目的としている。そのために、次世代情報処理機能デバイス実現のための基盤となる、ナノスケール光電変換機能、核スピノンコヒーレンス電気的制御、量子スピノ機能制御、自己組織化超分子ナノ構造形成などの新しい量子物性機能や構造機能の実現を図ると共に、これらの新しい機能を活用したフォトニックデバイス、室温強磁性半導体デバイス、分子情報デバイス、電子・光相関効果電子デバイス、量子効果デバイスなどを実現することを目標とする。

目標に到達するために、下記の研究分野を設置して研究を行っている。

1. ナノフォトエレクトロニクス研究分野
2. 物性情報工学研究分野
3. 量子光情報工学研究分野
4. 固体電子工学研究分野
5. 誘電ナノデバイス研究分野
6. 磁性デバイス研究分野（客員研究分野）
7. ナノ・スピノ実験施設ナノヘテロプロセス研究部

ナノフォトエレクトロニクス研究分野

ナノ構造物性の研究とデバイス応用

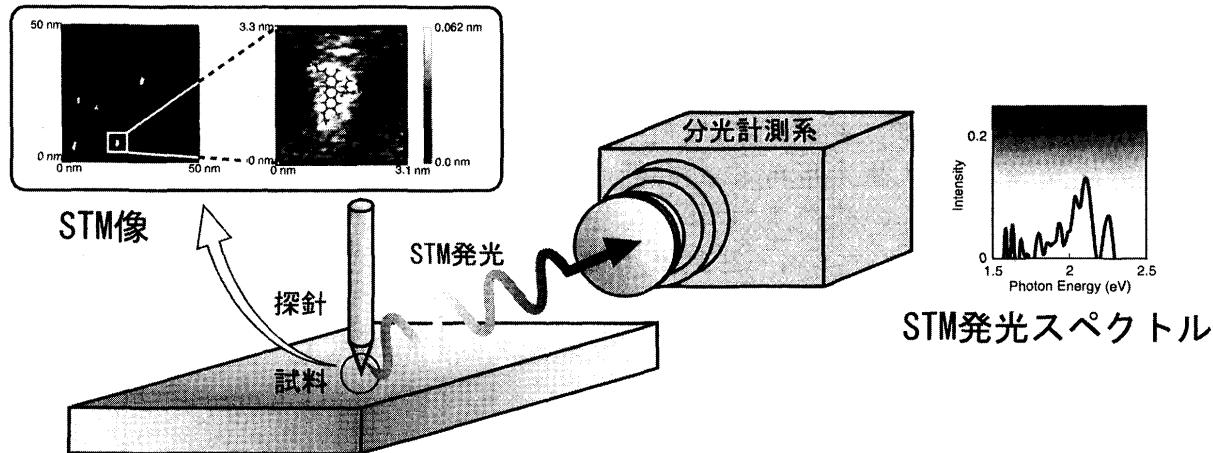


図1 STM発光分光の概念図と單一分子発光分光の計測例

1. 分野の目標

本分野の研究目標はナノメートル領域における新奇な物理・化学現象の探索とナノ・フォトデバイスへの応用である。走査型トンネル顕微鏡(STM)探針から放出されるトンネル電子によりナノ領域を選択的に励起し、発光スペクトルや電流-電圧特性などの分光学的な応答を解析することによりナノ領域に特徴的な現象を研究している。図1にSTMの電子トンネルに伴う発光計測(STM発光計測)の概念図と結果の一例を示す。試料は高配向熱グラファイト(HOPG)上に吸着したローダミン6G分子であり、探針を分子直上に固定したSTM発光計測により單一のローダミン6G分子の発光スペクトルが得られる。現在研究している試料系は、固体表面に吸着した個々の原子、分子、金属や半導体のナノ構造、超伝導ナノ構造などである。また表面超微細構造の物性を計測するための新しい手法を開発することも重要な研究目標である。現在、ピコ秒の時間分解能でナノ領域の物性計測を可能にするSTM発光分光システムの開発を行っている。

2. 過去1年間(2004年4月から2005年3月まで)の主な成果

2.1 個々の表面吸着分子の振動分光

表面吸着原子・分子種はその種に特有な振動数で振動していることが知られている。このことから、振動数計測(振動分光)を行うことにより吸着種の同定が可能になる。本研究分野では2003年度にNi(110)表面に吸着した水素原子(H)の振動数がSTM発光計測から原子位置分解能で決定されることを発見した。今年度はSTM発光スペクトル中に振動数が発現する機構解明および一般的な振動分光法としての応用展開を目的として研究を進めた。その結果、STM探針から放出されるトンネル電子だけではなく、トンネル電子により探針-試料間隙に励起される局在プラズモンがSTM発光スペクトル中に現れる振動モードの励起に関与していることを見いだした。

STMでの振動励起には幾つかの機構が知られているが、局在プラズモンが関与しうる事実は新しい知見である。また、Cu(110)およびPt(110)表面上に吸着した孤立一酸化炭素(CO)分子の伸縮振動エネルギーもSTM発光分光から計測できることを見いだした。この結果は、STM発光計測が適用種を限定しない一般的な原子位置分解能・振動分光法として発展しうる可能性を強く示唆する。現在、原子位置分解能を有する他の振動分光法としてSTMによる非弾性トンネル分光が知られているが、振動数決定に時間(hour)単位の計測が必要である。これに対しSTM発光分光では、HおよびCO共に、100秒程度の計測時間で十分であった。この計測時間は集光系を最適化することにより1秒程度まで短縮可能であるので、STM発光による振動分光は実用的な計測手法としても発展が期待される。

2.2 単一分子発光分光

STMは個々の分子を原子レベルの解像度で画像化しうる高い位置分解能を有するので、STM発光による单一分子発光分光は古くから興味を持たれてきた。しかし、STMの電子トンネルは分子のみならず(分子が吸着している)基板自体の発光も励起するので、これまで分子自身の発光スペクトル計測は困難であった。本研究分野では2003年度に高配向熱グラファイト(HOPG)を基板に選ぶことにより基板からの発光が抑制され、单分子分子自身の発光スペクトルが計測できることを示した(図1参照)。今年度は、STMの高解像特性を生かし、STM像から識別される(HOPG上に吸着した)单一エリスロシンB分子とその2および4分子会合体からのSTM発光スペクトルを計測した。多数の分子を同時に励起するマクロスコピックな計測ではブロードなスペクトルが観測されるのに対し、個々の单一分子と会合体のスペクトル自体はシャープであった。マクロスコピックな計測でのスペクトルのブロードネスは分子会合に伴い発光スペクトルのピークが大きく赤色変位(レッドシフト)することに起因することが分かった。分子会合に伴う発光スペクトルの変化は古くから知られた現象であるが、会合分子数が既知の個々の会合体の発光スペクトルが計測されたのは初めてである。

3. 職員名

助教授：上原 洋一（1992年より）

4. 過去1年間の発表論文、解説記事、著書

- Y. Uehara and S. Ushioda, "Single molecule spectrum of rhodamine 6G on highly oriented pyrolytic graphite", Appl. Phys. Lett. **86**, 181905 (2005).
- Y. Uehara, H. Kobayashi P. Siska and S. Ushioda, "Vibration of H atomic chains on Ni(110) measured by scanning tunneling microscope (STM) light emission spectroscopy", Surface Science (in press).
- Y. Uedara and S. Ushioda, "Identification of Surface Adsorbates by Scanning Tunneling Microscope Light Emission Spectra" (Nanophotonics edited by H. Masuhara and S. Kawata, 187-201 (Elsevier)) (2004).

物性情報工学研究分野

新機能デバイス創製のためのマテリアルデザイン

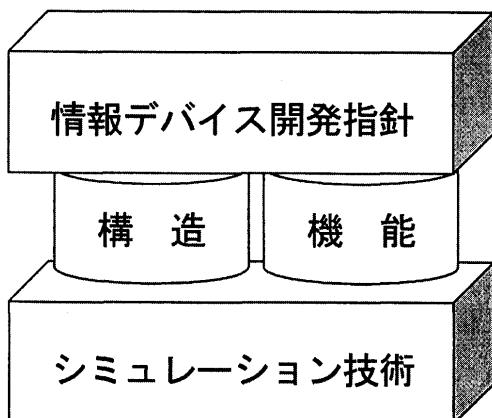
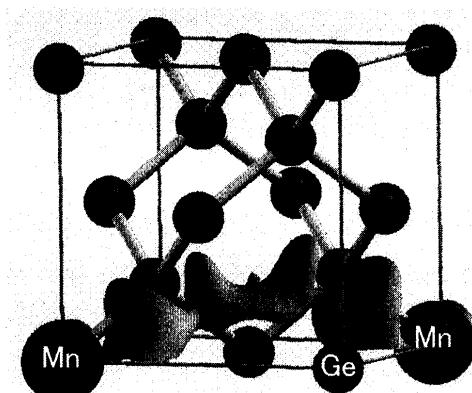


図1. 研究目標の概念図

図2. 希薄磁性半導体の強磁性を安定化する
遍歴電子状態の空間分布

●分野の目標

本研究分野では、大規模シミュレーション技術を駆使して得られた電子・磁気・光学材料の電子状態に関する知見を基にして、(1) 構造と機能の相関を理論的に解明すること、(2) 物質創製の動的過程を原子・分子レベルで予測すること、(3) 次世代情報デバイスの開発指針を打ち出すことを研究目標としている。現在、電子のもつ電荷と спинの自由度と共に利用した新機能デバイスの実現を目指したスピントロニクス研究の一環として、スピニン機能物質及びデバイスの理論設計を主たる研究テーマとしている。更に、ナノ材料の構造と機能の相関を微視的に解明する研究や、表面・界面におけるナノ構造形成過程のシミュレーション技術開発にも着手している。こうした研究により蓄積された知識を体系化して、材料科学と情報工学を融合した新しい科学技術「物性情報工学」の確立を目指している。

●過去1年間の主な成果

1. 高スピニン偏極材料における格子欠陥及び格子歪みの理論検証（白井）

トンネル磁気抵抗デバイスの電極材料や半導体へのスピニン注入源として期待されている高スピニン偏極材料「閃亜鉛鉱型クロム・ヒ素」において、格子欠陥ならびに格子歪みがスピニン偏極率に及ぼす影響を理論的に検証した。アンチサイト欠陥は強磁性状態の安定性を阻害せず、少数スピニン状態のエネルギーギャップ内に形成された不純物バンドはスピニン偏極率の著しい低下をもたらさない（文献1）。また、この材料のスピニン偏極率は正方晶歪みに対しても高い値を保持することを確認した（文献8）。以上の成果は、スピニンエレクトロニクス・デバイスへの応用という観点から、閃亜鉛鉱型クロム・ヒ素の優位性を保証する。

2. IV族半導体ベースの希薄磁性半導体の理論研究（三浦）

IV族半導体をベースとした希薄磁性半導体は、現在のエレクトロニクスとの整合性に優れたスピニン機能材料である。磁性不純物としてドープされたマンガンが母結晶の[110]方向に配置するとき、高い強磁性転移温度が期待できる。マンガンが[110]方向に配置されると、母結晶の対称性に起因して3d電子の遍歴性が高まり、二重交換相互作用に由来する強磁性状態が安定化する（図2）。また、IV族半導体にド

ープされたマンガンはクラスタを形成する傾向にあり、特にシリコンでその傾向が強い。以上の結果をふまえ、高い転移温度をもつIV族希薄磁性半導体の作製プロセスとして、結晶成長過程で基盤結晶の(111)微斜面を利用し、マンガンを[110]方向に分散配置させる手法を提案した（文献7）。

3. ハーフメタル/半導体ヘテロ接合系の界面電子状態計算（長尾）

理論的にハーフメタルであると予測されている物質は多数あるが、ハーフメタル性が十分に活かされている応用例はない。その原因の一つとして、他の物質との接合界面におけるスピントルクの低下が考えられる。本研究では、ハーフメタル/半導体ヘテロ接合系の電子状態を第一原理計算し、界面でもハーフメタル性が保たれる極めて稀な例を見出した。一つはホイスラー合金 Co_2CrAl とGaAsとのヘテロ接合系であり、エネルギー的に安定な(110)界面において非常に高いスピントルクが保たれる（文献6）。この界面のショットキー障壁は、閃亜鉛鉱型CrAs/GaAs界面に比べて低い。また、他のホイスラー合金 Co_2MnSi , Co_2MnGe とGaAsとの界面においても、ハーフメタル性を示す(110)界面が存在することを見出した。

●職員名

教授 白井正文（2002年より）、助手 三浦良雄、助手 長尾和多加

●教授のプロフィール

1984年大阪大学基礎工学部物性物理工学科卒業、1988年同大学院基礎工学研究科博士後期課程中退、同年大阪大学基礎工学部助手、同助教授を経て、東北大学電気通信研究所教授。工学博士。これまで、酸化物超伝導体における電子格子相互作用、遷移金属化合物における遍歴電子磁性、第一原理計算による機能物質設計に関する理論研究に従事。日本物理学会、応用物理学会、日本応用磁気学会会員。

●過去1年間の主な発表論文

1. M. Shirai, M. Seike, K. Sato, and H. Katayama-Yoshida: "Theoretical study on anti-site defects in half-metallic zinc-blende ferromagnets," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol.272-276, pp.344-345 (2004).
2. Y. Miura, K. Nagao, and M. Shirai: "Atomic disorder effects on half-metallicity of the Heusler alloys $\text{Co}_2(\text{Cr}_{1-x}\text{Fe}_x)\text{Al}$: A first-principles study," *Phys. Rev. B*, vol. 69, no. 14, art. no.144413/pp.1-7 (2004).
3. K. Nagao, M. Shirai, and Y. Miura: "Ab initio calculations of zinc-blende CrAs/GaAs superlattices," *J. Appl. Phys.*, vol.95, no. 11, pp.6518-6520 (2004).
4. Y. Miura, M. Shirai, and K. Nagao: "First-principles study on half-metallicity of disordered $\text{Co}_2(\text{Cr}_{1-x}\text{Fe}_x)\text{Al}$," *J. Appl. Phys.*, vol.95, no. 11, pp.7225-7227(2004).
5. M. Shirai: "The computational design of zinc-blende half-metals and their nanostructures," *J. Phys. : Condens. Matter*, vol. 16, no.48, pp.S5525-S5531 (2004).
6. K. Nagao, M. Shirai, and Y. Miura: "Ab initio calculations of spin-polarization at $\text{Co}_2\text{CrAl}/\text{GaAs}$ interfaces," *J. Phys.: Condens. Matter*, vol.16, no.48, pp.S5725-S5728 (2004).
7. Y. Miura, M. Shirai, and K. Nagao: "First-principles design of ferromagnetic nanostructures based on group-IV semiconductors," *J. Phys. : Condens. Matter*, vol.16, no.48, pp.S5735-S5738 (2004).
8. K. Yamana, M. Geshi, H. Tsukamoto, I. Uchida, M. Shirai, K. Kusakabe, and N. Suzuki: "The lattice distortion effect for zinc-blende CrAs and CrSb," *J. Phys. : Condens. Matter*, vol.16, no. 48, pp.S5815-S5818 (2004).
9. 白井正文：“高スピントルク材料の理論設計,”「スピントルクトロニクスの基礎と最前線」猪俣浩一郎監修（シーエムシー出版、東京、2004）pp.129-137.
10. 白井正文：“ハーフメタル強磁性体のマテリアルデザイン,” *固体物理*, vol.39, no.11, pp.861-866 (2004).

量子光工学研究分野

電子と光子を用いた量子情報通信デバイスの開発

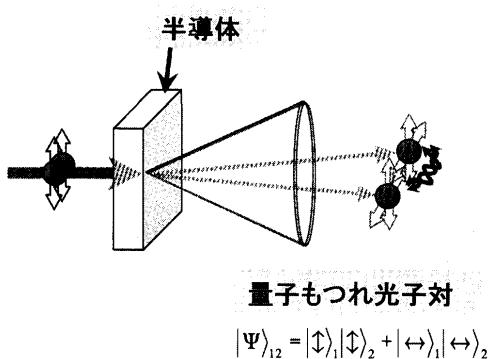


図1. 半導体を用いた量子もつれ光子対発生

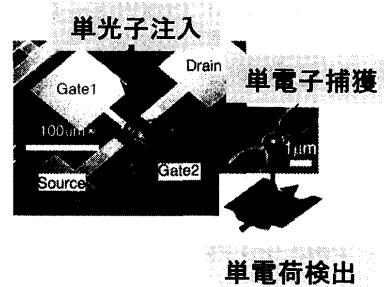


図2. 単一光子→単一電子量子非破壊検出デバイス

分野の目標

現在の情報処理・通信技術は、信号を電圧や周波数などの古典的でマクロな物理量に対応させて様々な処理を行っているが、近い将来、情報の高密度化と高速化に限界が訪れることが指摘されている。これに対し、個々の電子や光子などのミクロな量に情報を保持させ、量子力学の原理を直接応用することによって、従来の限界を打ち破る性能を持ちうる量子情報通信技術の実用化が強く期待されている。本研究分野は、電子および光子を用いた量子情報通信デバイスの実用化を目指し、未来の量子情報通信の中核となるべき極限技術の開発に積極的に挑戦する。

過去1年間の主な成果

(1) 半導体を用いた量子もつれ光子対の発生

量子相関をもった光子対の発生とその利用技術は、量子情報通信技術の根幹をなす重要な要素の一つである。本研究では、半導体結晶中の励起子分子における二励起子間のスピンの量子もつれ状態を利用し、短波長の量子もつれ光子対を発生する技術を開発している。本年度は、世界初となるこれらの成果をNature誌に発表したほか、励起方法の改良によってさらに高い量子もつれをもつ光子対の生成に成功した。

(2) 量子中継のための量子メディア変換デバイスの開発

量子暗号通信（量子暗号鍵配布）は、量子情報通信技術の中で最も実用化が進んでいるものの一つであるが、その通信可能距離の延伸が目下の課題となっている。

本分野では、量子情報通信における通信距離を飛躍的に増大するための量子中継器の実現を目指した基礎デバイスの開発を行っている。これまでに、単一光子→単一電子量子非破壊検出素子の開発に成功し、本年度からは単一光子がもつ偏光の量子情報を電子スピンへと転写する量子メディア変換素子の開発を進めている。

職員名

教 授 枝松圭一 (2003/1 ~)
 助教授 小坂英男 (2003/7 ~)
 助 手 三森康義 (2004/2 ~)

教授のプロフィール

1987年東北大学大学院理学研究科博士課程修了、東北大学工学部助手、California Institute of Technology客員研究員、東北大学大学院工学研究科助教授、大阪大学大学院基礎工学研究科助教授、2003年1月より現職

過去1年間の主な発表論文

1. 光物性の基礎と応用一測定法1：吸収と反射スペクトル、枝松圭一、オプトロニクス **268**, 177-185 (2004)
2. 量子もつれ光子対の回折・干渉と量子リソグラフィー、清水亮介、枝松圭一、光学 **33**, 291-293 (2004)
3. Generation of ultraviolet entangled photons in a semiconductor, K. Edamatsu, G Oohata, R. Shimizu, and T. Itoh, Nature **431**, 167-170(2004)
4. CuCl quantum dots, K. Edamatsu and T. Itoh, Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology **10**, 1-11(2004)
5. Multi-wave-mixing of two dimensional excitons in semiconductors, A. Hasegawa, T. Kishimoto, Y. Mitsumori, M. Sasaki, F Minami, J. Lumin. **108**, 211-214(2004)
6. Theory of active dephasing control in qubit array, M. Sasaki, A. Hasegawa, Y. Mitsumori, F. Minami, J. Lumin. **108**, 215-219(2004)
7. Optical selection rule of hyper Rayleigh scattering in resonance with excitonic wave functions in ZnSe, Y. Mitsumori, Y. Ohkubo, A. Hasegawa, M. Sasaki, and F. Minami, J. Lumin. **108**, 259-262(2004)
8. Photon bottleneck effects in InAs As/GaP quantum dots, H. Sekiguchi, K. Ikeda, F. Minami, J. Yoshino, Y. Mitsumori, H. Amanai, and S. Nagao, J. Lumin. **108**, 273-276(2004)
9. Two-photon excitation of confined biexcitons in CuCl quantum dots, K. Miyajima, G. Oohata, Y. Kagotani, M. Ashida, K. Edamatsu, and T. Itoh, Physica E **26**, 33-36(2005)
10. Stable biexcitonic lasing of CuCl quantum dots under two-photon resonant excitation, G. Oohata, Y. Kagotani, K. Miyajima, M. Ashida, S. Saito, K. Edamatsu, and T. Itoh, Physica E **26**, 347-350(2005)
11. 量子情報通信と半導体量子光学、枝松圭一、学術月報 **58**, 36-40(2005)

固体電子工学研究分野

知的情報化社会の基盤を支える 新しい半導体デバイス・システムの研究

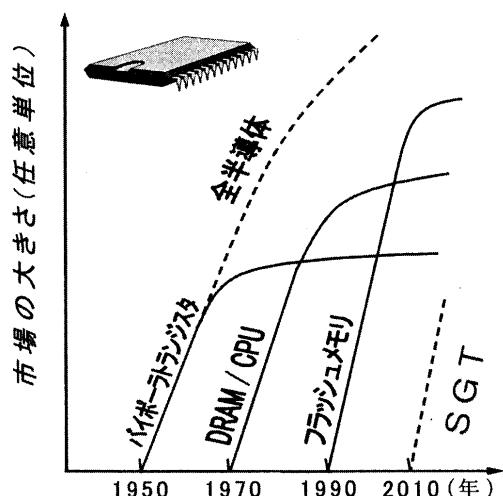


図1. 半導体産業は、20年ごとに出現したバイポーラトランジスタ（米国ベル研）、DRAM/CPU（米国インテル社）、フラッシュメモリ（日本：舛岡教授）という牽引車により爆発的に成長を続けてきました。今後2010年以降日本の舛岡教授により発明されたSGT(Surrounding Gate Transistor)により半導体産業はさらに成長を続けます。

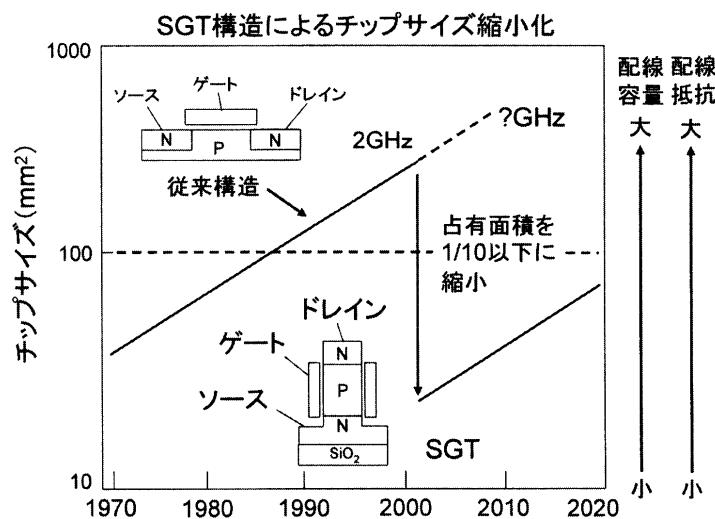


図2. 3次元構造であるSGT構造にすることにより、素子の占有面積を1/10以下にすることができます。これはムーアの法則にしたがって年々増大するチップサイズが、光速によって制限されるサイズに到達するまでの期間延長できることを意味します。つまりSGTによりムーアの法則の30年間の延長が可能となります。

1. 部門の目標

近年の高集積回路は、高度情報社会を支えるキーデバイスの一つであると共に、日本の基幹産業となっている。従来、DRAM, CPU, Flash Memoryをはじめとする高集積回路は、その寸法の微細化により、高速化・低消費電力化・高集積化・低コスト化を実現し、電子・情報産業は近年急成長してきた。しかし、今後、ディープサブミクロンサイズのMOSデバイスに於いては、従来の延長の縮小化では、将来の超高性能集積回路システムを実現する事はできず、今後とも電子・情報産業の急成長を維持することは困難であると考えられている。固体電子工学研究分野では、高度情報社会の基盤となる次世代の高性能半導体集積回路の提案をめざして研究を行っている（図1）。

具体的には、Surrounding Gate Transistor (SGT) を用いた集積回路の実現を目的とする。SGTを用いることで、高速化・低消費電力化・高集積化が同時に実現されるからである（図2）。

- <研究テーマ>
1. 高性能アクティブデバイス(SGT)に関する研究
 2. 超高速・超低消費電力な回路に関する研究

3. 高性能アーキテクチャーに関する研究
4. 薄膜ゲート絶縁膜における絶縁性劣化と破壊機構に関する研究

2. 過去一年間（2004年4月から2005年3月まで）の主な成果

従来の集積回路の高性能化の限界を打ち破ることを目指として、3次元デバイスであるSGT（Surrounding Gate Transistor）およびSGTを用いた集積回路の研究を進めた。具体的には、SGTのために垂直なSi柱を試作した。また、SGTを試作し、SGT構造が形成可能であることを示した。さらにはSGTのゲート酸化膜の構造解析に関する研究を進めた。さらにNAND-type DRAM-on-SGTを提案し、超低電圧動作が可能であること、高集積化が可能であること、NAND-type DRAM-on-SGT構造が試作可能であることを示した。

3. 職員名

教授 舛岡富士雄（1996年より）
 助手 桜庭 弘
 助手 中村 広記

4. 舛岡教授のプロフィール

1971年東北大学大学院工学研究科電子工学博士課程を修了。工学博士。1971年（株）東芝に入社。1994年退社。同10月東北大学情報科学研究科教授。現在東北大学電気通信研究所教授。研究分野は、集積回路を中心に半導体分野。2層多結晶シリコンを用いたEPROMの発明で昭和55年度全国発明表彰発明賞を受賞、昭和53年度第1回渡辺賞を受賞、その他フィールドシールド、多層配線、DRAM、SRAM、EPROM回路及びフラッシュEEPROM等の発明で関東地方発明表彰発明奨励賞を6回受賞。1995年IEEE Fellow Award。1997年フラッシュEEPROM及びNAND型EEPROMの発明及び技術の確立の功績により、IEEEよりMORRIS N. LIEBMANN MEMORIAL AWARDを受賞。2000年市村産業賞本賞、2002年SSDM Awardを受賞。電子情報通信学会、ECS各会員。IEEE フェロー。

5. 過去一年間（2004年4月から2005年3月まで）の主な論文発表

- 1) H. Nakamura, H. Sakuraba, F. Masuoka, "NAND-type DRAM-on-SGT", IEEE Transactions on Electron Devices, Vol.52, No.3, pp. 427-429, Mar, 2005.
- 2) H. Yamazaki, H. Sakuraba, and Fujio Masuoka, "Numerical analysis for the structure dependence on subthreshold slope of Floating Channel type SGT (FC-SGT) Flash memory", International Conference on Simulation of Semiconductor Processes and Devices (SISPAD2004), pp.311-314, Munich, Sep, 2004.
- 3) F. Matsuoka, H. Sakuraba, and F. Masuoka, "An Analysis of the Effect of Surrounding Gate Structure on Soft Error Immunity", International Conference on Simulation of Semiconductor Processes and Devices (SISPAD 2004), pp.355-358, Munich, Sep, 2004.
- 4) T. Hidaka, H. Amikawa, H. Nakamura, H. Sakuraba and F. Masuoka, "Vertical Si Pillar Fabricated by ECR Plasma Etching with Precise Control of O₂ Flow Rate in Cl₂/O₂ Mixtures", 206th Meeting of The Electrochemical Society, Meeting Abstracts, Abstract. 3, Honolulu, Oct, 2004.

誘電ナノデバイス研究分野

強誘電体、圧電体材料などの評価・開発とそれを用いた 高機能信号処理及び超高密度記憶素子の研究

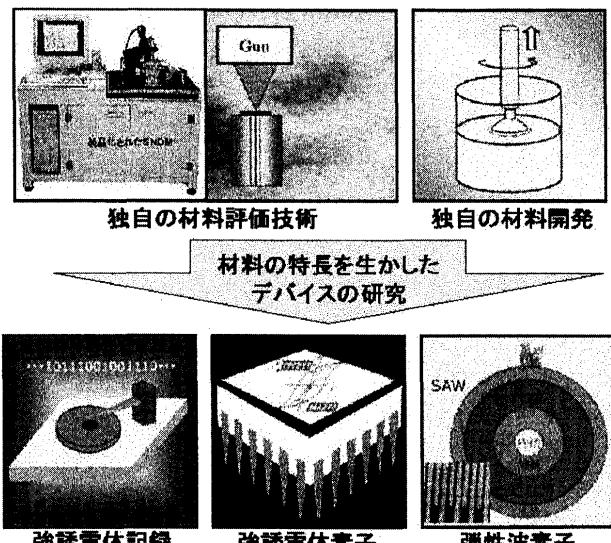
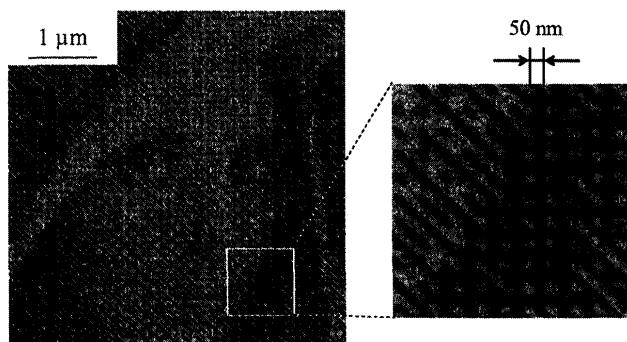


図1. 誘電ナノデバイス研究分野の目標

図2. LiTaO₃単結晶に微小分極反転ドットを書き込んだ例。
(ビット間距離50nm, 記録密度 258 Gbit/inch², エラーフリー)

1. 分野の目標

本分野では、強誘電体や圧電体などの機能性材料を評価・作製する独自技術の開発と、それらを通して明らかとなった材料の特長を生かした通信用誘電・圧電デバイス・誘電体記録デバイスの研究を行っている。具体的には、超音波や光及びFe-RAM等に多用されている強誘電体単結晶や薄膜の分極分布や、様々な結晶の局所的異方性を高速かつ高分解能に観測できる非線形誘電率顕微鏡(SNDM)の研究・開発を行っている。この顕微鏡は残留分極分布の計測や結晶性の評価を純電気的に行える世界で初めての装置であり、既に実用化に成功している。現在は半導体のドーパントプロファイルの観測や固体中の單一双極子モーメントの可視化など SNDM の高機能・高分解能化を目指した研究を行っている。更に SNDM は強誘電体ドメインをナノレベルで観測・制御できるため、次世代超高密度誘電体記録への応用研究も推進している。

<研究テーマ>

1. 超高分解能（原子分解能を持つ）走査型非線形誘電率顕微鏡の開発
2. 非線形誘電率顕微法を用いた超高密度誘電体記録の研究
3. ナノドメインエンジニアリングを用いた強誘電体機能素子の研究
4. 非線形誘電率顕微鏡を用いた強誘電材料・圧電材料の評価法の研究
5. 半導体デバイスにおける High-k 材料の評価及びドーパントプロファイル計測の研究

2.過去1年間の主な成果

走査型非線形誘電率顕微鏡（SNDM）の高機能化・高分解能化を目指し、3次元分極分布計測測定法（3D-SNDM）及び非接触型 SNDM(NC-SNDM)の開発を行い、3次元分極分布及び非接触状態での分極分布測定に成功した。また SNDM を用いた高密度強誘電体記録の研究において、薄片化した LiTaO₃ 単結晶を記録媒体として用い 8.5Tbit/inch² の密度での記録に成功した。更に書き込み条件を最適化して記録密度 258 Gbit/inch² で 128 × 128 ビットのデータを記録し、エラーフリーの記録に成功した（図2参照）。

3.職員名

教授 長 康雄（2001年より）

助手 森田 剛

技官 我妻 康夫

博士研究員 石川 健哉

技術補佐員 小田川 望

博士研究員 鄭 大容

技術補佐員 岩井 敏彦

技術補佐員 大竹 瞳実

4.教授のプロフィール

[略歴]

昭和60年4月 東北大学電気通信研究所助手

平成2年3月 山口大学工学部助教授

平成9年10月 東北大学電気通信研究所助教授

平成13年7月 同 教授

(平成7年4月～平成8年4月 米国ミシシッピ大学国立物理音響研究所客員研究員)

[主な研究テーマ]

- ・非線形弾性・圧電・電歪・誘電定数の高精度計法とその高機能デバイスへの応用の研究
- ・走査型非線形誘電率顕微法(SNDM)の研究開発
- ・次世代超高密度強誘電体記録の研究開発

5.過去1年間の主な発表論文

- [1] TAKESHI MORITA and YASUO CHO: "A Hydrothermally Deposited Epitaxial PbTiO₃ Thin Film on SrRuO₃ Bottom Electrode for the ferroelectric Ultra-High Density Storage Medium", Integrated Ferroelectrics, Vol.64 (2004) 247-257
- [2] MIRAI KATO, TAKESHI MORITA and YASUO CHO: "Observation of ring shaped domain patterns using a scanning nonlinear dielectric microscopy", Integrated Ferroelectrics, Vol.68 (2004) 207-219
- [3] YOSHIOMI HIRANAGA, YASUO WAGATSUMA and YASUO CHO: "LiTaO₃ RECORDING MEDIA PREPARED BY POLARIZATION CONTROLLED WET ETCHING PROCESS", Integrated Ferroelectrics, Vol.68 (2004) 221-228
- [4] Koya Ohara and Yasuo Cho: "Effect of the surface adsorbed water on the studying of ferroelectrics by scanning nonlinear dielectric microscopy", J. Appl. Phys. vol.96, Number 12, (2004) pp.7460-7463
- [5] Yoshiomi HIRANAGA, Yasuo CHO: "Evaluation of Bit Error Rate for Ferroelectric Data Storage", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 43, No. 9B, (2004) pp.6632-6634
- [6] YASUO CHO, YOSHIOMI HIRANAGA, KENJIRO FUJIMOTO, YASUO WAGATSUMA, and ATSUSHI ONOE: "Fundamental Study on Ferroelectric Data Storage with the Density Above 1 Tbit/inch² Using Congruent Lithium Tantalate", Integrated Ferroelectrics, Vol.61 (2004) 77-81.
- [7] Takeshi MORITA and Yasuo CHO: "A hydrothermally deposited epitaxial lead titanatethin film on strontium ruthenium oxide bottom electrode", Applied Physics Letters Volume 58, Issue 12, (2004) pp.2331-2333
- [8] Takeshi MORITA and Yasuo CHO: "Epitaxial PbTiO₃ thin films on SrTiO₃(100) and SrRuO₃/SrTiO₃(100) substrates deposited by a hydrothermal method", Jpn. J. Appl. Phys. vol. 43, No. 9B, (2004) pp.6535-6538
- [9] Koya OHARA and Yasuo CHO: "Observation of Surface Polarization Distribution Using Temperature-Controlled Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.43, No. 7B, (2004) pp.4629-4633
- [10] Takeshi Morita, Yasuo Wagatsuma, Yasuo Cho, Hitoshi Morioka and Hiroshi Funakubo and Nava Setter: "Ferroelectric properties of an epitaxial lead zirconate titanate thin film deposited by a hydrothermal method below

the Curie temperature", Applied Physics Letters, Volume 84, Issue 25, (2004) pp. 5094-5096

- [11] Takeshi Morita, Yasuo Wagatsuma, Hitoshi Morioka, Hiroshi Funakubo, Nava Setter, Yasuo Cho: "Ferroelectric property of an epitaxial lead zirconate titanate thin film deposited by a hydrothermal method", Journal of Material Research, vol 19-6, (2004) pp.1862-1868
- [12] D.J.You, W.W.Jung, S.K.Choi and Yasuo Cho: "Domain structure in a micron-sized $PbZr_{1-x}Ti_xO_3$ single crystal on a Ti substrate fabricated by hydrothermal synthesis", Appl. Phys. Lett., Vol.84, No.17 (2004) pp.3346-3348.
- [13] Kenjiro Fujimoto and Yasuo Cho: "Nanosecond Switching of Nanoscale Ferroelectric Domains in Congruent Single-Crystal $LiTaO_3$ Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.43, No.5B (2004) pp.2818-2821.
- [14] Yoshiomi Hiranaga, Yasuo Wagatsuma and Yasuo Cho: "Ferroelectric Single Crystal Recording Media Fabricated by Polarization Controlled Wet Etching Process", Jpn. J. Appl. Phys. Vol.43 No.4B (2004) pp.L569 - L571
- [15] Takeshi Morita and Yasuo Cho: "Polarization reversal anti-parallel to the applied electric field observed using a scanning nonlinear dielectric microscopy", Appl. Phys. Lett., Vol.84, No.2 (2004) pp.257-259.

プラズマ電子工学研究分野

ナノスケール半導体デバイス・集積回路の研究

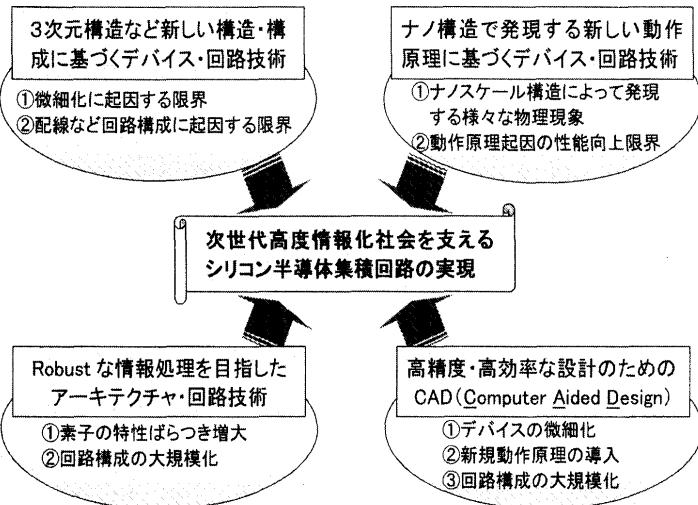


図 1

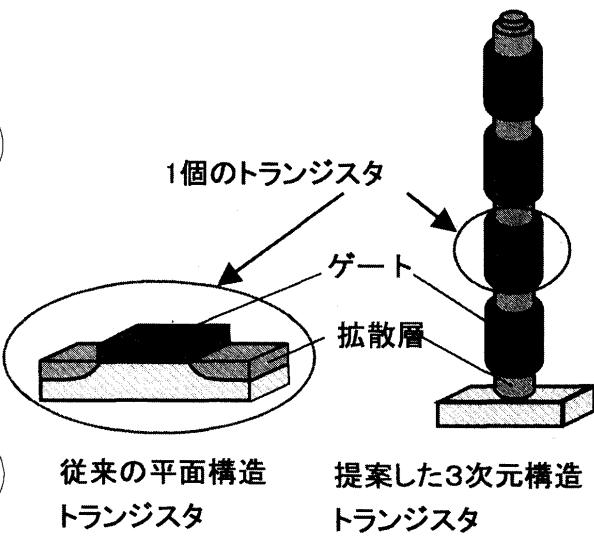


図 2

1. 分野の目標

シリコン半導体を中心とした集積回路は、ハードウェア技術とソフトウェア技術の融合により、次世代高度情報化社会を支える基盤デバイスの一つになっている。マルチメディア情報などの膨大なデータをシームレスに各携帯機器で活用するユビキタスネットワーク社会を実現するためには、飛躍的に高性能なシリコン半導体集積回路の実現が要求されている。しかし、このシリコン半導体集積回路の高性能化は、従来技術の延長では困難な状況に直面している。

本研究分野では、現在の集積回路の高速動作、低消費電力動作、安定動作などを律速している要因を原理的に解決する技術の提案を通して、高性能・革新的なシリコン半導体集積回路の実現を目指して研究を行っている。具体的には、(1) ナノスケールまで微細化されることで増大する素子の特性ばらつき、及び、回路の大規模化に伴う問題を解決する Robust な情報処理を目指したアーキテクチャ・回路技術、(2) 従来のプレーナ技術に起因する限界をブレイクスルーする 3 次元構造など新しい構造・構成に基づく新デバイス・回路技術、(3) ナノスケール構造によって発現する物理現象などを応用した新しい動作原理に基づく新デバイス・回路技術、(4) 更なる微細化・新動作原理の導入によって要求される高精度なデバイス設計技術、及び、更なる回路の大規模化によって要求される高効率な設計手法・アルゴリズムなど次世代集積回路を高精度・高効率に設計するための CAD (Computer Aided Design) 技術などに関する研究を一貫して行っている。(図 1, 図 2)

2. 過去一年間の主な成果

平面型構造に立脚している従来の半導体集積回路における高速動作化・低消費電力化等の問題を打開することを目標として、3次元構造デバイス・回路の研究を推進すると共に、当該技術の実現に不可欠なナノ構造形成プロセス、CAD技術、評価技術に関する研究を進めた。具体的には、3次元構造を有する Floating Channel Type Surrounding Gate Transistor Flash Memory Cells、及び、3次元構造を有するDRAMに関する研究を進めた。さらに、シリコン(111)上に高密度なナノドットを形成するプロセスに関する研究を進めた。

3. 職員名

助教授 遠藤哲郎（1997年より）

4. 遠藤助教授のプロフィール

1987年 東京大学理学部物理学科卒業。1987年 (株)東芝に入社 ULSI研究所にて、フラッシュメモリ、先端デバイス、及び、高信頼性シリコン酸化薄膜の研究開発に従事。1995年 退社。同年 東北大学電気通信研究所講師 工学博士取得。1997年 同助教授。以来、3次元構造デバイス・回路、及び、超高速低消費電力デバイス・回路の研究に従事。1996年～2001年 通信・放送機構仙台リサーチセンター研究フェローを兼務。2001年 日経BP第3回LSI IPデザイン・アワード受賞。IEEE、電子情報通信学会、応用物理学会各会員。

5. 過去一年間の主な論文発表

- (1) Masakazu HIOKI, Hiroshi SAKURABA, Tetsuo ENDOH, Fujio MASUOKA "An Analysis of Program and Erase Mechanisms for Floating Channel Type Surrounding Gate Transistor Flash Memory Cells", Vol.E87-C No.9 p.1628, 2004
- (2) Sakuraba H, Kinoshita K, Tanigami T, Yokoyama T, Horii S, Saitoh M, Sakiyama k, Endoh T, Masuoka F "New Three-Dimensional High-Density Stacked-Surrounding Gate Transistor (S-SGT) flash memory architecture using self-aligned interconnection fabrication technology without photolithography process for tera-bits and beyond" JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS PART 1-REGULAR PAPERS SHORT NOTES & REVIEW PAPERS, 43, 4B, P2217-2219, 2004
- (3) Nakamura H, Endoh T, Sakuraba H, Masuoka F, "Novel NAND DRAM with surrounding gate transistor (SGT)-type gain cell" ELECTRONICS AND COMMUNICATIONS IN JAPAN PART II -ELECTRONICS, 87, P1-8, 2004
- (4) Y.Narita, M.SAKAI, T. Murata, T.Endoh and M.Suemitsu, "Ge-Dot Formation on Si(111)-7X7 Surface with C Predeposition Using Monomethylsilane", JJAP, Vol.44, No3, 2005, pp.L123-L125

磁性デバイス研究分野（客員）

大容量通信システム用高速高周波デバイスの研究

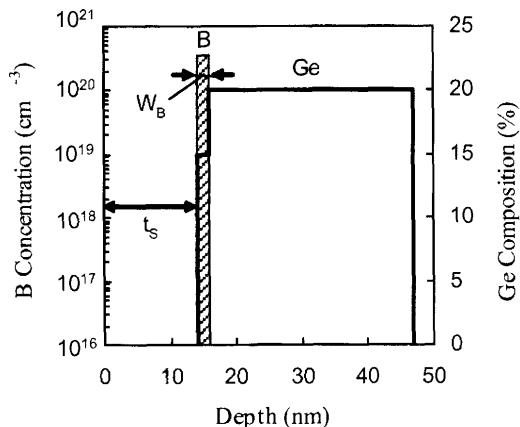


図1. 選択エピタキシャル成長後のSiGe HBT 真性領域の不純物分布

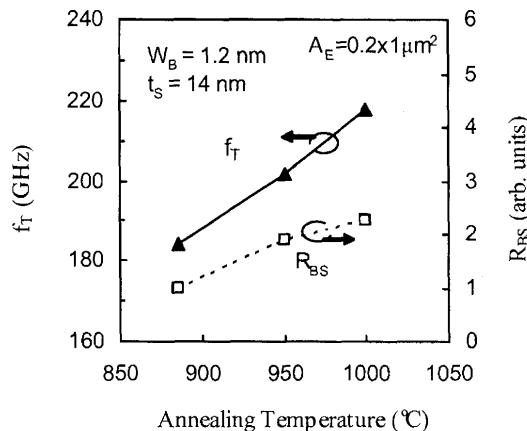


図2. 遮断周波数とベースシート抵抗のエミッタアンール温度依存性

【本研究分野の研究目標】

大容量のデータ伝送を行う光通信や無線通信システムなどを構築するためには、高速高周波の動作性能を有するデバイスが必須である。低コストのSi系トランジスタにおいて、ヘテロ構造を採用したSiGe HBTやBiCMOSは、優れた高速・高周波特性のみならず高い機能性を有しており、数多くの分野で用いられている。しかしながら、各種のニーズに応じて多様化を続ける通信システムの動向に対応するには、さらなる動作速度や機能の向上が課題である。本研究では、ヘテロ構造を導入したSi系トランジスタの一層の高性能化・高機能化に向けた材料・プロセス・デバイス・回路の基盤技術の進展を図り、システムの多様化や用途の拡大が進む通信インフラへの貢献に向けて、広範に応用展開できる高速高周波デバイスについて検討する。

【本研究分野の研究成果】

極薄高濃度のベース層（層厚=1.2nm, ポロン濃度= $3.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ）を有するSiGe選択エピタキシャル成長を行い（図1）、エミッタの形成に用いるリン拡散を高温化する手法（PED法）を考案し、遮断周波数 f_T を200GHz以上に高周波化できることを示した（図2）。これはベース不純物であるポロンの拡散活性化エネルギーがエミッタ不純物のリンに比べて低いことを利用して、ベース幅を薄層化する手法である。ベースの薄層化として一般的であった従来の熱処理低減手法と比較して、PED法は高温の熱処理が必須である微細CMOSを混載するプロセスの構築において非常に有効である。本試作では、PED法において重要なパラメータであるSiキャップ層厚に関する最適化も検討し、最大発振周波数も f_T 同様に200GHz以上を実現した。

<職員>

客員教授 鶴尾 勝由 (2004年9月より)

<鶴尾勝由客員教授のプロフィール>

1956年生まれ。1979年神戸大・工・電子卒。1981年同大学院修士課程了。同年、株式会社日立製作所中央研究所入社。1993年同研究所先端デバイス部主任研究員。2002年同研究所ULSI研究部主管研究員。2004年東北大学電気通信研究所客員教授（兼任）。高速LSI用Siバイポーラ/BiCMOS並びに光伝送システム用SiGe HBT/BiCMOSのプロセス・デバイス・回路技術の研究・開発に従事。

<主な研究発表（2004年度）>

1. Optimization of Vertical Profiles of SiGe HBT/BiCMOS by Promoting Emitter Diffusion Process, M. Miura, H. Shimamoto, R. Hayami, A. Kodama, T. Tominari, T. Hashimoto, and K. Washio, Proc. IEEE BCTM, pp. 92-95 (2005)
2. Recent Advances in SiGe HBT and BiCMOS Technologies, K. Washio, 3rd Int. Workshop on New Group IV (Si-Ge-C) Semiconductors, pp. 9-10 (2004)
3. SiGe-HBT-Based 54-Gb/s 4:1 Multiplexer IC with Full-Rate Clock for Serial Communication Systems, T. Masuda, K. Ohhata, N. Shiramizu, E. Ohue, K. Oda, R. Hayami, H. Shimamoto, M. Kondo, T. Harada, and K. Washio, IEEE J-SC, v. 40, no. 3, pp. 791-795 (2005)

3. 2 ブロードバンド工学研究部門の目標と成果

ブロードバンド工学研究分野は、日々増加し続ける情報量を高速にやり取りすることにより、21世紀の大容量情報通信時代に柔軟に対応するための各種電子デバイスと通信の基本システムを構築することを目的としている。研究範囲はマイクロ波からミリ波・サブミリ波、テラヘルツ波、さらには光波までの広範な分野にわたり、各種情報信号の発生、伝送、処理、記録技術について主に研究開発している。

具体的な研究分野は、先端ワイヤレスに関するマイクロ波情報通信分野、ミリ波・サブミリ波を利用した超ブロードバンド信号処理に関する超高周波工学研究分野、光・テラヘルツ領域での通信に関する光通信・量子光学の2研究分野、情報ストレージ・半導体スピントロニクスに関する情報記録・材料科学の2研究分野、ならびにブロードバンド通信の基盤技術を研究する客員分野の7研究分野から成っている。平成16年度の研究活動の概要は分野毎に別途記すが、その概要は以下の通りである。

(1) 先端ワイヤレス通信技術研究分野

(目標) 世界中どこにいても、高速にすべての情報を無線で手にいれることができ可能となる「ユビキタス・ネットワーク」を実現する。

(成果) 無線LAN方式にてシームレスに接続基地局切り替え可能なレイヤ2転送技術や、広帯域・低消費電力動作を可能とする、電流モード信号処理LSIの開発を行った。また、端末の小型化を目指し、異種材料デバイスを高周波帯までシームレスに接続できる三次元実装システムインパッケージの研究開発を行った。

(2) 超ブロードバンド信号処理研究分野

(目標) いまだ未踏の電磁波領域である短ミリ波・テラヘルツ波帯の技術を開拓、実用化するために、本領域で動作する各種デバイス、及び、これら電磁波を用いた応用として、画像化システムの研究開発を実施する。

(成果) 画像化システムに関して、0.3 THz帯で微小領域の計測を可能とする新型の近接場用プローブの設計及び試作を完了した。更に、生体組織等を対象とする完全無侵襲計測を行うことが可能な、パッシブ・マイクロスコピーの実現可能性に関する実験的検討を実施した。

(3) 超高速光通信研究分野

(目標) 光・量子エレクトロニクスおよび通信工学をもとにして、超高速光通信の基盤となる超短光パルス発生・伝送技術、光ソリトンならびに光信号処理の研究を行い、次世代の超高速光ネットワークの基盤技術の構築を目指す。

(成果) 40 GHzモード同期ファイバーレーザを作製し、幅1.5 psのフーリエ限界パルスを発生させることに成功した。また、時間領域光フーリエ変換による新たな適応等化法を提案し、160 Gbit/s光信号の120 km伝送に成功した。さらに、線幅6 kHz・周波数安定度 10^{-11} の周波数安定化ファイバーレーザを実現した。

(4) 応用量子光学研究分野

(目標) レーザおよび非線形光学技術を用いて光波からミリ波に至るコヒーレント電

磁波の発生・制御技術を確立し、「テラフォトニクス」分野の創成と新たな光計測・診断技術の開拓を目指す。

(成果) 0.1-100 THz域の周波数可変コヒーレント光発生において高速波長制御・高出力化を行い、連続テラヘルツ波発生にも成功した。また、コヒーレントラマン分光により生体分子・固体のテラヘルツ帯振動計測・解析を進めた。さらに、周波数シフト帰還型レーザの高精度・高安定化を行い、光3次元計測への応用を図った。

(5) 情報ストレージシステム研究分野

(目標) IT社会で取扱われる膨大な情報の蓄積・アクセスを行うのがハードディスク装置等の磁気ストレージである。本分野では垂直磁気記録方式による記録の高密度化を進めるとともに、これを用いたストレージシステムの研究を行っている。

(成果) 垂直磁気記録方式について記録デバイスのナノ磁性構造に基づく記録理論の構築を続けている。今年度は記録分解能とディスクノイズに関する検討を加えて、実際的な高密度化に必須な信号SN比の改善のための指針を実験的に示した。また、グリッド型ストレージシステムの原理実験や無線インターフェース付小型ハードディスクの試作研究も行った。

(6) ナノ・スピニ実験施設 半導体スピントロニクス研究部

(目標) スピニを用いた演算・記憶・伝送機能のデバイス化、スピニを用いた量子情報処理機能の探索、量子構造における赤外・テラヘルツレーザ光発生、を中心に電荷・スピニの自由度を用いた情報通信機能を実現する。

(成果) 磁性半導体 (Ga,Mn) Asを用いた素子で外部磁場に依らない低電流密度での電気的磁化反転を実現した。また、半導体量子構造における電子・核スピニ相互作用のゲート制御と、電気的スピニ注入のための磁性/非磁性半導体ヘテロ構造の最適化を行った。さらに、世界最高水準の低閾値量子カスケードレーザを実現した。

(7) プロードバンド通信基盤技術研究分野

(目標) 電磁波の応用は、通信、計測、エネルギーに大別できる。本分野では、電磁波スペクトラムのうちミリ波・テラヘルツ波領域を計測へ応用することを主なテーマとして研究を進めている。

(成果) ミリ波帯の小型パッシブ計測システムを設計、試作し、果実、生体組織などを計測した。また、悪環境下での監視を含むパッシブ計測への応用を目的に開発を進めている広帯域アンテナ（フェルミアンテナ）について、その設計法を明らかにした。

超高速光通信研究分野

次世代超高速光通信技術に関する研究

＜分野の目標＞

インターネットや携帯で扱われる情報が音声、静止画、動画と多彩になり、また利用者が広がるにつれ、快適なコミュニケーション環境を提供する大容量・超高速ネットワークの実現が大変重要になってきている。超高速光通信技術はそのネットワークを支える中核技術である。本研究分野では、光・量子エレクトロニクスと伝送工学を駆使して、超高速光通信の基盤となる超短光パルス発生・伝送技術、ソリトンを中心とする非線形波動技術、超高速レーザ技術、光信号処理技術の研究を行い、21世紀のグローバルな超高速光ネットワークの構築を目指している。

＜主な成果＞

(1) 超短光パルス発生技術に関する研究

本研究分野では、次世代の超高速光通信用光源として10~40 GHz帯超短光パルス列の発生技術に関する研究を進めている。本年度は、40 GHzモード同期ファイバレーザを作製し、その発振特性の詳細な測定と解析を行なった。その結果、レーザ共振器長を50 mまで短くすることによりスーパー モード雑音を抑制し、パルス幅1.5 psのフーリエ限界パルスを安定に発生させることに成功した。また、ヘテロダイン検波法を用いて発振縦モードの線幅を測定した結果、縦モード線幅は1 kHz以下と非常に狭いことを示した。さらに、本レーザでは、わずかな温度変化に伴うモードホップにより、発振周波数の変動が生じることを明らかにした。

また本研究分野では、モード同期ファイバレーザの高純度かつ狭線幅な縦モードスペクトルを光配信する技術に関しても精力的に取り組んでいる。本年度は、長さ450 kmのファイバを用いてファイバレーザ出力パルスの伝送実験を行ない、縦モードスペクトルの伝送特性を詳細に測定した。その結果、ファイバの温度変化や機械的な振動に起因する位相雑音により、伝搬とともに縦モードの裾野に広がりが生じることを示した。伝送距離の増大に伴い、光増幅器からの自然放出光雑音と非線形光学効果の相互作用による位相雑音によっても縦モードスペクトルの歪みはさらに大きくなるものと考えられる。これらの効果が光基準信号の伝送距離を制限する要因となることを明らかにした。

(2) 超高速無歪み光伝送技術に関する研究

本研究分野では時間領域での光フーリエ変換を利用した新たな超高速無歪み伝送の研究開発に取り組んでいる。40~160 Gbit/s以上の超高速光通信においては、温度や環境の変化などによってファイバの分散値が僅かに変動しても、信号の伝送品質が大きく劣化する。本手法では、光パルス波形にいかなる歪みが生じてもスペクトル形状が不变である限り、これらの波形歪みを一括除去できる。したがって、ファイバの分散値が時間的に変動しても無歪み伝送が可能であり、適応等化が簡便な構成で実現できる。これらの特徴を明らかにするために、本手法を実際に160 Gbit/s光時分割多重(OTDM)伝送に適用して本技術の性能を詳細に検証した。その結果、伝送路において二次分散や三次分散の大きさが同時に存在しつつそれらが時間的に

変動している場合においても、超短パルスの波形歪みを一括して除去できることを明らかにした。また本伝送方式により、160 Gbit/s OTDM信号の120 kmのエラーフリー伝送に成功した。

(3) 周波数安定化ファイバレーザに関する研究

光の位相を利用したコヒーレント通信や高感度な光測定技術には、周波数を安定化した光源が不可欠である。本研究分野では、単一モードファイバレーザの発振周波数をアセチレン分子 (C_2H_2) の吸収線に安定化することにより、狭線幅かつ超高安定なファイバレーザの開発に取り組んでいる。本年度は、ファイバレーザ共振器部及び電気制御回路部を一つの筐体に収納し、狭線幅な周波数安定化ファイバレーザ装置を試作した。本レーザの周波数安定度をアラン分散によって評価した結果、 τ (積分時間) が1秒のとき 1.8×10^{-10} (周波数変動量 36 kHz), τ が 10^2 秒のとき 1.5×10^{-11} (3 kHz) と高安定な動作を得ることに成功した。周波数安定化動作時に自己遅延ヘテロダイン検波 (測定分解能 : 4 kHz) により発振スペクトル波形を測定した結果、本レーザの発振線幅は約 6 kHz と狭線幅であることを明らかにした。以上の結果から、本レーザ装置により狭線幅かつ安定度の高い無変調・無偏波出力を実現した。

(4) フォトニック結晶ファイバに関する研究

フォトニック結晶ファイバ (PCF: Photonic Crystal Fiber) は断面内に空孔を周期的に配置した光ファイバである。空孔の大きさや配置を適切に設定することによって、従来のファイバでは得られない数々の興味深い光学特性を実現することができる。本研究分野では、PCFの開発やその光通信への応用に関する研究を進めている。本年度は、新波長帯における超短光パルス伝送用媒体として、波長 850 nmにおいて分散および分散スロープを同時にゼロとするためのPCFの構造パラメータを設計した。またキャピラリー法により実際にPCFを作製し、Time of flight法を用いて本PCFの分散特性を詳細に測定した。その結果、800 nm帯で分散フラットな特性を実現することに初めて成功した。但し空孔構造の最適条件との違いから、中心波長での分散値は約 -20 ps/nm/km と大きくなっている。また光損失は 45 dB/km と今のところ大きい。さらに低分散なPCFを実現するには、空孔構造のより精密な制御と長手方向の均一化が重要である。また空孔界面のわずかな揺らぎによる散乱損失を抑制し、本PCFのさらなる低損失化を図ることが重要な課題である。

<教員>

教授 中沢正隆 (2001年より)

助手 吉田真人

助手 廣岡俊彦

<教授のプロフィール>

1952年山梨県生まれ。1980年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了 (工学博士)。同年日本電信電話公社入社、茨城電気通信研究所。光ファイバ中の非線形光学効果、ソリトン通信、フェムト秒パルスレーザ、光ファイバ増幅器の研究に従事。1984～1985年MIT客員研究員。1989年グループリーダ、1994～1998年特別研究員、1999年よりNTT R&Dフェロー、1999～2000年東北大学電気通信研究所客員教授。2001年4月より東北大学電気通信研究所教授。1989年11月OITDA桜井健二郎記念賞、1990年10月英国IEE, Electronics Letters Premium Award、1997年4月科学技術庁長官賞 (研究功績者賞)、2002年電子情報通信学会猪瀬賞、IEEE Daniel E. Noble Award、科学技術振興事業団井上賞、服部報公会報公賞など受賞。IEEE, OSA および電子情報通信学会フェロー。2005年度電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ会長。

<研究テーマ>

1. 超高速光ソリトン伝送および非線形光学効果に関する研究
2. 超短光パルスを用いた光時分割多重超高速伝送に関する研究

3. 超短パルスモード同期レーザと周波数標準・光マイクロ波領域への応用
4. フォトニック結晶ファイバならびに新機能性光ファイバの研究と新たなる光通信の開拓

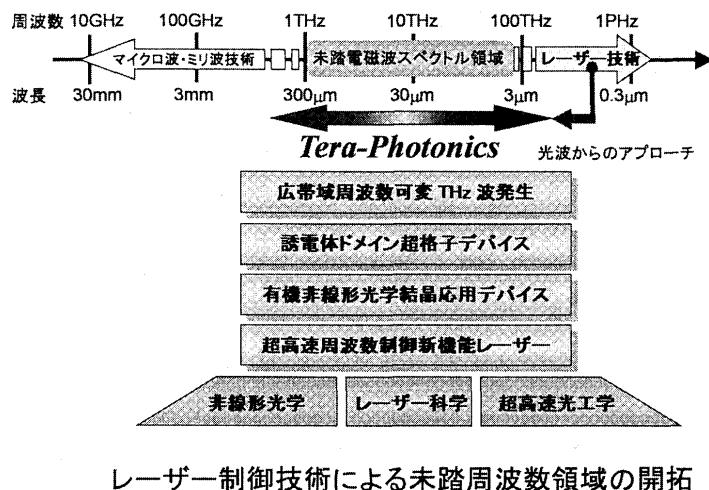
<2004年度発表論文>

- [1] M. Nakazawa, T. Hirooka, E. Futami, and S. Watanabe, "Ideal distortion-free transmission using optical Fourier transformation and Fourier transform-limited optical pulses," IEEE Photon. Technol. Lett., vol.16, no. 4, pp.1059-1061, April(2004).
- [2] T. Hirooka, Y. Hori, and M. Nakazawa, "Gaussian and sech approximations of mode field profiles in photonic crystal fibers," IEEE Photon. Technol. Lett., vol.16, no.4, pp.1071-1073, April(2004) .
- [3] M. Yoshida, T. Yaguchi, S. Harada, and M. Nakazawa, "A 40 GHz regeneratively and harmonically mode-locked erbium-doped fiber laser and its longitudinal-mode characteristics," IEICE Trans. Electron., vol.E87-C, no.7, pp.1166-1172, July(2004) .
- [4] M. Yakabe, K. Nito, M. Yoshida, M. Nakazawa, Y. Koga, K. Hagimoto, and T. Ikegami, "A new ultrastable cesium optical atomic clock with a 9.1926-GHz regeneratively mode-locked fiber laser," International Conference on Ultrafast Phenomena (UP2004), FAI, July(2004).
- [5] T. Hirooka, M. Nakazawa, F. Futami, and S. Watanabe, "A new adaptive equalization scheme for 160-Gb/s transmitted signals using time-domain optical Fourier transformation," IEEE Photon. Technol. Lett., vol.16, no.10, pp.2371-2373, October(2004).
- [6] 中沢正隆, "フォトニック結晶ファイバーとその応用," 応用物理, vol.73, no.11, pp.1409-1417, November(2004).
- [7] 中沢正隆, 廣岡俊彦, "時間領域光フーリエ変換による無歪み光ファイバー伝送," 光学, vol.34, no.1, pp.26-31, Janualy(2005).
- [8] T. Hirooka, S. Ono, K. Hagiuda, and M. Nakazawa, "Stimulated Brillouin scattering in dispersion-decreasing fiber with ultrahigh-speed femtosecond soliton pulse compression," Opt. Lett., vol.30, no.4, pp.364-366, Feb. (2005).
- [9] 羽根田健太郎, 吉田真人, 横山弘之, 小川洋, 中沢正隆, "GHz帯超高速モード同期半導体レーザの縦モード線幅とその相対強度雑音特性の測定," 電子情報通信学会論文誌, vol.J88-C, no.3, PP.161-168(2005).
- [10] K. Hagiuda, T. Hirooka, M. Nakazawa, S. Arahira, and Y. Ogawa, "40-GHz, 100-fs stimulated-Brillouin-scattering-free pulse generation by combining a mode-locked laser diode and a dispersion-decreasing fiber," Opt. Lett., vol.30, no.6, pp.670-672, March(2005).

他国際会議発表 7 件

応用量子光学研究分野

多次元高機能コヒーレント光源の創出と その応用に関する研究



レーザー制御技術による未踏周波数領域の開拓

応用量子光学研究分野では、強誘電体、半導体、有機の各種非線形光学材料に対するミクロな構造制御や、レーザー発振動作に対する高度な時間的空間的制御により、光波からテラヘルツ波に至る広範なコヒーレント波の発生を行うとともに、その検出・制御までの一貫した研究を推進しており、その知見と成果に基づいた新たな科学技術分野であるテラフォトニクスの確立と体系化を目指している。

《生体関連物質・固体フォノンのコヒーレントラマン分光》

生体分子のTHz帯振動モードは分子のコンホメーションや分子間相互作用等に関連し、生命科学や医学等の研究における重要性が指摘されつつある。そこで、水を含む生体分子の低周波振動スペクトルを高感度に捉えるため、近赤外光パラメトリック発振器を用いたコヒーレント反ストークスラマン分光（CARS）の研究を進めている。このシステムを液体試料の偏光依存型CARS測定に応用し、液体試料で問題となる非共鳴バックグラウンドを低減した、コントラストの高いピーク検出に成功した。また、周期的な物質・構造中にあるフォノンの特異な振舞いは非常に興味深く、新しい応用展開が期待されている。本CARSシステムを強誘電体超格子構造におけるTHz帯振動の分光測定に応用し、周期に依存した共鳴周波数をもつ特異な光学フォノンをCARSにより初めて見出した。

《誘電体ドメイン制御非線形光学》

周期ドメイン反転誘電体結晶を用いた擬似位相整合法は、高効率な波長変換が可能な第二世代非線形光学デバイスへのキーテクノロジーとして急速に技術革新が進んでいる。我々は、世界に先駆けてドメイン制御非線形光学デバイスの研究を行っており、これまでにLiNbO₃, MgO:LiNbO₃, LiTaO₃等の強誘電体結晶においてデュエティイ比が1:1に制御されたドメイン周期構造の作製法を確立し、高効率で広帯域な

非線形光波長変換を実現している。結晶厚が1~2mmの強誘電体結晶に対して周期分極反転に成功し、世界最高クラスの高出力(6.6mJ)を実現した。また、OPO-DFGデバイスを单一結晶上に作製し、高効率な波長可変中赤外光発生に成功した。また、周期分極反転LiNbO₃結晶を用いた表面放射型差周波混合を実現し、連続コヒーレントテラヘルツ波発生を確認し、テラヘルツ波の連続発生に成功した。

《有機非線形結晶DASTの育成・加工と非線形光学応用》

有機非線形光学結晶DASTは高い非線形光学係数と電気光学定数を有し、高効率な高周波発生・検出デバイスの実現が可能である。まず導電率測定に基づく最適育成プロセス技術を開発し、大型で高品質なDAST結晶を再現性よく得ることに成功した。また、有機結晶に対して光学レベルの使用に耐えうる高精度な表面処理や加工を行うことは従来に困難であったが、新たに精密加工機を共同開発して高品質な加工・処理技術を開発し、ナノスケールの平坦度をもつ結晶加工を実現した。また、第二高調波発生による結晶評価システムを構築した。さらに差周波混合によるTHz波発生に成功し、1-15THzまでの広帯域なTHz波発生を確認した。

《周波数シフト帰還型レーザー》

周波数シフト帰還型(FSF)レーザーは、共振器内に挿入した音響光学素子により光波の周波数をシフトさせてレーザー媒質に帰還させるタイプのレーザーであり、我々が独自に開発・動作機構の解明を進めてきた。この超高速に周波数チャープするFSFレーザーを周波数ドメインの光距離計測に応用すれば非常に高い距離計測精度とワイドなダイナミックレンジを同時に達成できる。モードロックFSFファイバーレーザーでは光学長150kmの光ファイバーを分解能40mmで測定することに成功した。さらに高速光通信伝送網で問題となる通信用光ファイバーの偏波モード分散(PMD)計測、大気屈折率変化を利用した地球温暖化現象の計測、遠隔圧力センサと組み合わせた津波計測ネットワーク等の応用を行い、情報通信、環境計測、自然災害計測において有力なツールとなりうることを示した。またFSFレーザーのコヒーレンシーを応用し、信号多重伝送の可能性を示した。

職員

教授 伊藤 弘昌(1993/1~)
 教授(兼任) 横山 弘之(2003/4~)
 助教授 四方 潤一(2003/4~)
 助手 水津 光司
 技官 今野 勇治, 田久 長一
 秘書 長岡 亜紀子

伊藤弘昌教授のプロフィール

1966年東北大学工学部通信工学科卒、1972年同大大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了。工学博士。同大学電気通信研究所助手、助教授を経て1993年より教授。2001~2002年度同大学未来科学技術センター(NICHe)教授、センター長。2003年度同大研究推進・知的財産本部知的財産部長を兼務。2004年度より同大電気通信研究所所長。この間、1975~1976年に日本学術振興会派遣によるスタンフォード大学客員研究員。1998年より理化学研究所フォトダイナミクス研究センターのチームリーダーを兼務。レーザーおよび非線形光学とその応用研究に従事。1971年米澤記念学術奨励賞、1989年、2003年電子情報通信学会論文賞、2000年レーザー学会論文賞など各受賞。電気情報通信学会ES会長、レーザー学会東北・北海道支部長、応用物理学

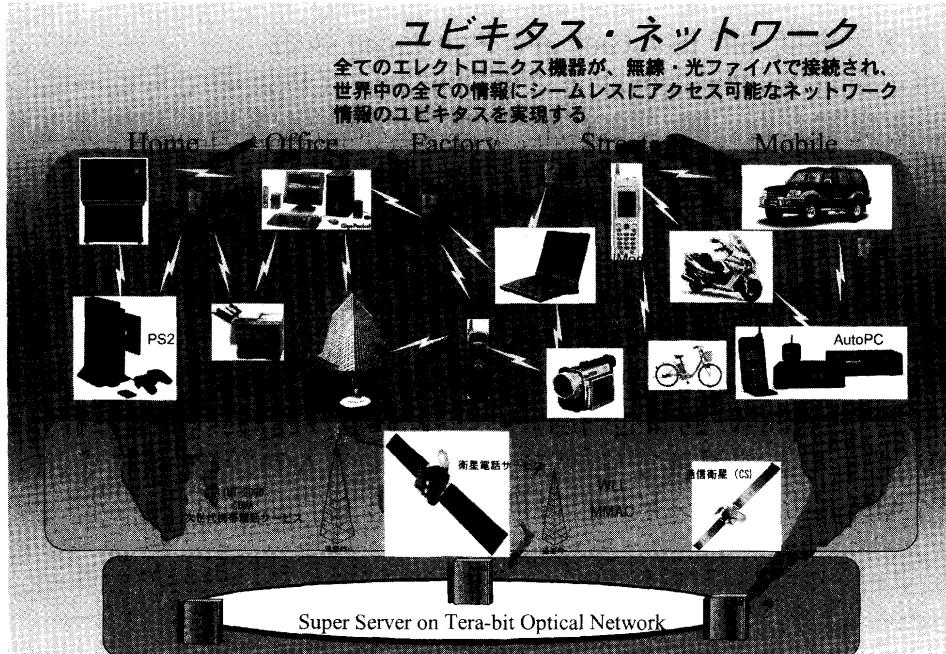
会東北支部長， 同評議員， 日本光学会， IEEE各会員。OSA Fellow， 電子情報通信学会フェロー。

主な発表論文（2004年度）

1. S. Haidar, Y. Sasaki, E. Niwa, K. Masumoto and H. Ito, "Electro-optic tuning of a periodically poled LiNbO₃ optical parametric oscillator and mixing its output waves to generate mid-IR tunable from 9.4 to 10.5 μ m", Optics Communications, Vol 229, pp 325-330 (Jan. 2004).
2. Frank V. Kowalski , Cheikh Ndiaye, Koichiro Nakamura, Hiromasa Ito, "Noise waveforms generated by frequency shifted feedback lasers: application to multiple access communications", Optics Communications, 231 (2004) pp. 149-164.
3. Yuzo Sasaki, Hiroyuki Yokoyama, and Hiromasa Ito, "Dual-wavelength optical-pulse source based on diode lasers for high-repetition-rate, narrow-bandwidth terahertz-wave generation", Optics Express, Vol. 12, No. 14, pp. 3066-3071 (July 2004).
4. Y. Watanabe, K. Kawase, T. Ikari, H. Ito, Y. Ishikawa, H. Minamide, "Component analysis of chemical mixtures using terahertz spectroscopic imaging", Optics Communications, 234, pp. 125-129 (2004).
5. S. Haidar, K. Miyamoto, H. Ito, "Generation of tunable mid-IR (5.5-9.3 μ m) from a 2- μ m pumped ZnGeP₂ optical parametric oscillator", Optics Communications, vol. 241, pp173-178 (November 2004).
6. S. Haidar, K. Miyamoto, H. Ito, "Generation of continuously tunable, 5-12 μ m radiation by difference frequency mixing of output waves of a KTP optical parametric oscillator in a ZnGeP₂ crystal", J. Phys. D: Appl. Phys. 37 (2004) pp. 3347-3349.
7. Masae Takahashi, Yoichi Ishikawa, Jun-ichi Nishizawa, Hiromasa Ito, "Low-frequency vibrational modes of riboflavin and related compounds", Chemical Physics Letters, 401 (2005), pp. 475-482.
8. 川瀬晃道, 渡部裕輝, 小川雄一, 伊藤弘昌, "テラヘルツ分光イメージングによる試薬の成分解析", 電気学会誌, vol. 124-C, no.7, pp. 1339-1344 (2004).
9. P. E. Powers, R. A. Alkuwari, J. W. Haus, K. Suizu, H. Ito, "Terahertz generation with tandem seeded optical parametric generators," Optics Letters, 30 (2005), pp. 640-642

先端ワイヤレス通信技術研究分野

システムトップダウン設計による ユビキタスネットワークの実現



<分野の目標>

21世紀のワイヤレスマルチメディア社会を支えるユビキタスネットワークの実現に向けて、システムトップダウン設計をコンセプトとして研究を行っている。特に、無線通信ネットワークプロトコル開発、SS-CDMA (Spread-Spectrum Code-Division Multiple-Access: スペクトラム拡散・符号分割多元接続) 技術を核とした無線通信技術開発、デジタル・アナログ混載 LSI 設計・開発、GHz 帯弾性表面波デバイス開発、3次元実装技術開発など、ネットワークからデバイス・物性まで、一貫した研究活動を行っている。以下、本年度の成果のうち、主なものについてまとめる。

<過去1年間の主な成果>

1. フレキシブルワイヤレスネットワーク

ユビキタスネットワーク実現に不可欠な、コンシューマ向け無線通信ネットワークの提案・開発を行った。特に、セル内アクセス通信下り回線で用いているパケット SS-CDMA 方式における周波数偏差・初期位相偏差補償回路の設計・試作を行った。また、バッファパケット転送方式を用いた無線 LAN 無瞬断ハンドオーバ方式を提案し、IEEE802.11a 規格を用いて実装・評価を行った。

2. 電流モードアナログ信号処理 SI (Switched Current) 回路 LSI

電流モードアナログ信号処理 SI 回路を用いた、低消費電力 OFDM(Orthogonal-Frequency-Division Multiplexing) 通信用高速フーリエ変換 (FFT) 回路の提案を行った。特に、周辺回路である電圧電流変換回路、電圧電流変換回路シリアルパラレル変換

回路、パラレルシリアル変換回路を設計・開発した。また、電流モードを用いた乗算回路の基礎検討を行った。

3. 超小型デジタルワンチップ送受信モジュール

送受信器をデジタル回路のみで実現できる $150\mu\text{m}$ 角サイズの超小型通信モジュールの開発を行った。特に、超小型アンテナ・RF部の基礎検討を行った。

4. シームレス 3 次元実装 SiP (System in a Package) 技術

異種材料デバイスを 3 次元実装することにより、高周波帯でもシームレスに実装可能であることを提案した。特に 60GHz 帯までの信号を多層配線樹脂基板上で伝送するための線路設計手法についての検討を行った。また、基板間接続に SBB(Stud Bump Bonding) や銅ボールを用いた、高周波伝送線路についての基礎検討を行った。

5. MOCVD 法による AlN 薄膜を用いた弾性表面波 (SAW) および 薄膜バルク波共振器 (FBAR) フィルタ

無線 LAN 帯域である 2.4GHz 帯および 5GHz 帯用の RF フロントエンドフィルタの高性能化を目指し、SAW および FBAR フィルタの設計・試作を行った。特に、5GHz 帯用 SAW フィルタの温度安定性向上のために、MOCVD 技術を用いた原子層レベル超平坦化 AlN エピタキシャル膜の研究を行った。

<職員>

教授 坪内 和夫 (1993 年より)

助手 中瀬 博之

助手 亀田 卓

産学官連携研究員 金 成權

<坪内和夫教授のプロフィール>

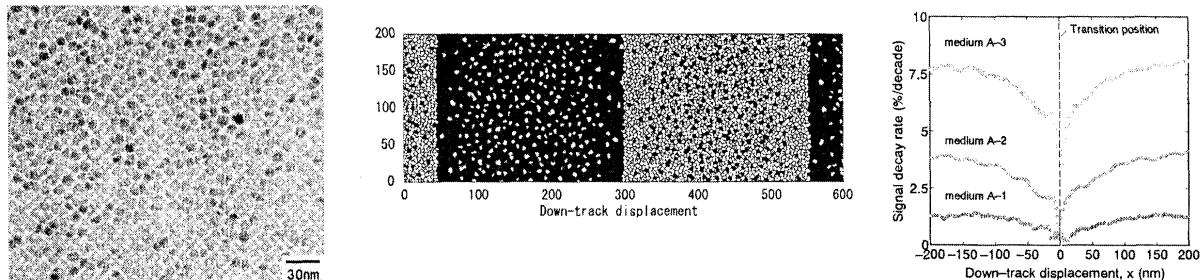
昭和 49 年 3 月名古屋大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了。工学博士。昭和 49 年 4 月東北大電気通信研究所助手。昭和 57 年 4 月～10 月米国パーデュ大学客員助教授。昭和 58 年 3 月助教授。平成 5 年 3 月教授。昭和 58 年服部報公賞、平成 6 年第 26 回市村学術賞貢献賞、平成 8 年第 11 回電気通信普及財団賞(テレコムシステム技術賞)、平成 9 年第 22 回井上春成賞、平成 15 年東北総合通信局長「電波の日」表彰受賞。日本物理学会、応用物理学会、電気学会、電子情報通信学会、日本エレクトロニクス実装学会、IEEE 会員。

<主な研究発表>

- [1] C.-M. Yang, K. Uehara, Y. Aota, S.-K. Kim, S. Kameda, H. Nakase, Y. Isota, and K. Tsubouchi, "Growth of AlN film on Mo/SiO₂/Si(111) for 5GHz-band FBAR using MOCVD," 2004 IEEE Int. Ultrason., Ferroelect., Freq. Contr. Joint 50th Anniversary Conf. Proc., U4-B-1, August 2004.
- [2] K. Uehara, C.-M. Yang, T. Shibata, S.-K. Kim, S. Kameda, H. Nakase, Y. Isota, and K. Tsubouchi, "Fabrication of 5-GHz-band SAW filter with atomically-flat-surface AlN on sapphire," 2004 IEEE Int. Ultrason., Ferroelect., Freq. Contr. Joint 50th Anniversary Conf. Proc., U5-B-5, August 2004.
- [3] S.-K. Kim, A. Minegishi, Y.-W. Park, S. Kameda, H. Nakase, Y. Isota, and K. Tsubouchi, "Voltage to current converter for OFDM current-mode FFT LSI," IEEE Asia Pacific Conf. Circuits and Systems (APCCAS2004), 6A-3, Dec. 2004.

情報ストレージシステム研究分野

垂直磁気記録を用いた 次世代大容量磁気ストレージシステムの構築



微細磁性粒子を SiO_2 によって ボロノイセルによる記録パターンモデルと、各ダウントラック位置での信号
磁気分離した垂直媒体の高分 減衰の実測値

解能 TEM 像

1. 分野の目標

IT社会で取扱われる膨大な情報の蓄積・アクセスを行うのがハードディスク装置等の磁気ストレージである。本分野では垂直磁気記録方式による記録の高密度化を進めるとともに、これを用いたストレージシステムの研究を行っている。当面の目標は1ビットの面積が25ナノメータ四方という次世代の高速高密度情報ストレージ(テラビットストレージ)であり、本研究室で提案した単磁極型記録ヘッドと垂直ディスクの研究を行い、実際にこれらを組み合わせた高密度記録再生の実験的検討を踏まえて性能向上に取り組んでいる。

2. 過去一年間の主な研究成果

1) 高密度垂直記録再生理論の研究

現在の国際的な目標である1平方インチ当たり1テラビットの超高密度記録を垂直磁気記録で実現するために、理論的な指導原理を突き詰めている。近年の課題の一つであった媒体ノイズについては、その空間分布の可視化を波形解析により可能とした。また、熱擾乱による磁化情報の消失やノイズの経時変化についても検討した。これらにより、低密度記録時ほど出力は劣化するものの、磁化転移付近ではノイズが不变であることが確認できた。また、面記録密度を向上させる上で重要なトラック幅方向の特性に関しては、記録条件だけでなく媒体パラメータによっても記録にじみの抑制が可能であることを示した。同時に、マイクロマグнетックスに基づくコンピュータシミュレーションを駆使して高密度ストレージ方式の設計指針の導出を行った。

2) 低ノイズ垂直記録メディアの研究

非磁性材である SiO_2 をCoPtCr粒子間に析出させることによって明確な非磁性粒界を形成したグラニュラメディアに関しては、 SiO_2 組成と結晶粒の孤立化について検討を行い、シード層の粒径低減や均質性の向上が重要であることを明らかにした。また、熱安定性と飽和記録特性の両者を確保することを目的とした、2種類の記録層をスタックした媒体(Hard/Softスタック媒体)についても試作・評価することが

できた。

3) ストレージシステムに関する研究

大容量コンテンツ配信を目的としたネットワーク分散型グリッドストレージ等のストレージシステムに関する基礎的な検討を始めた。破綻なく動画をストリーミング再生するために、グリッドストレージ独特の帯域調節法や耐障害性について調査した。

【職員】

教授 村岡 裕明 (2000年より)

助教授 Simon GREAVES

助手 三浦 健司

【教授プロフィール】

昭和56年東北大学大学院工学研究科電気及び通信工学専攻博士課程修了。同年松下通信工業（株），平成3年電気通信研究所助手，平成5年同助教授，平成12年同教授。高密度磁気記録理論，磁気記録デバイス及び記録方式，情報ストレージ方式，等の研究・開発に従事。電子情報通信学会，映像メディア学会，日本応用磁気学会，IEEE，各会員。工学博士。IEEE Magnetics Society Education Committee, IEEE Magnetics Society Administration Committee各委員。

【研究テーマ】

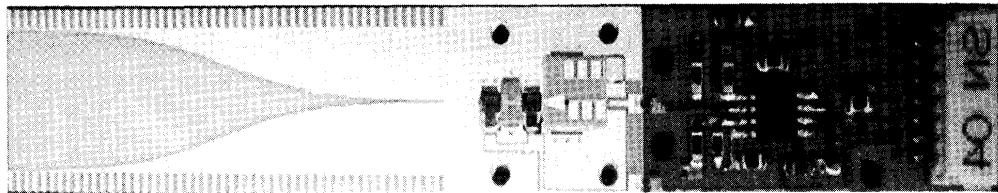
1. 高分解能・広帯域単磁極ヘッドの研究
2. 低ノイズ垂直磁気記録媒体の研究
3. 高密度薄膜媒体の熱磁気緩和に関する研究
4. 高密度磁気記録方式の研究
5. 大容量高速ストレージシステムの研究

【過去一年間の主な発表論文】

- (1) M. Hashimoto, K. Miura, H. Muraoka, H. Aoi, Y. Nakamura, "Influence of magnetic cluster-size distribution on signal-to-noise ratio in perpendicular magnetic recording media," IEEE Trans. Magn., Vol.40, No.4, 2458-2460 (2004).
- (2) Y. Kanai, H. Watanabe, H. Muraoka, Y. Nakamura, "Single-pole-type head showing a large recording field suitable for 1Tbpsi with discrete-track media," J. Magn. Magn. Mat., 287, 362-366 (2005).
- (3) T. Shimatsu, H. Sato, T. Oikawa, Y. Inaba, O. Kitakami, S. Okamoto, H. Aoi, H. Muraoka, Y. Nakamura, "High Perpendicular Magnetic Anisotropy of CoPtCr/Ru Films for Granular-Type Perpendicular Media," IEEE Trans. Magn., Vol.40, No.4, 2483-2485 (2004).
- (4) K. Miura, H. Muraoka, H. Aoi, Y. Nakamura, "Correlation between transition parameter and transition jitter using Voronoi cell modeling," J. Magn. Magn. Mat., 287, 133-137 (2005).

ブロードバンド通信基盤技術分野

ミリ波～テラヘルツ波を用いた計測技術の研究開発



フェルミ・アンテナを用いたイメージングアレイ用素子 (35 GHz 帯)

電磁波の応用は、通信、計測、エネルギーの3分野に大別できるが、電磁波スペクトラムのうちミリ波領域は、これまで通信をその主要な応用範囲として開発が行われてきている。一方、本研究分野では、ミリ波を計測の手段として用い、各種計測技術の研究開発を行っている。計測手段としてのミリ波の特徴は一般的に次のような項目を挙げることができる；赤外線～テラヘルツ波に比して、透過率が大きい（より深部の情報を得ることができる）、マイクロ波に比して空間分解能が良い、LNA（低雑音増幅器）など通信技術に対して開発された高性能のデバイスを使用できる、など。

本研究分野では、計測のうち特にイメージング技術に重点をおき、研究開発を進めている。本年度の主な研究成果を以下に述べる。

1. 我々の提案した広帯域アンテナ（フェルミ・アンテナと呼ばれている）について設計手法を確立し（工学研究科澤谷研究室との共同研究），その成果をイノベーション・ジャパン 2004 (JST, 文科省などの主催) にて発表した。フェルミ・アンテナの各パラメータについて、その効果、また全体の設計フローチャートを明らかにした。
2. 比較的近距離（数10cm）の物体をイメージングするための小型の装置を設計、製作した。この時、レンズ（直径10cm, アルミナ製）の設計・実現に力点をおき、研究開発を行った。
3. 生体組織（岩手医大提供の癌組織の標本）をパッシブ法でイメージング（35 GHz 帯）し、組織に対応した像強度が得られることを示した。
4. 果実の熟成度を外部より検査することを目的に、果実糖度とミリ波輝度について計測を行い、対応関係があることを実験的に示した。
5. 果実のミリ波放射に関するモデルとして、ショ糖水溶液からのミリ波放射、およびその水溶液の複素誘電率を測定し、糖度上昇に伴いミリ波放射率が上がるという4.の結果を裏付ける結果を得た。
6. 生体関連の水溶液 (Albumin, Nickel, NaCl, Glycine, Glutamic Acid) について、マイクロ波～ミリ波領域 (200 MHz～40 GHz) で複素誘電率の計測を行い、Cole - Cole plot 表示をすることにより、これらの溶液の識別が可能であることを示した。

<職員>

客員教授 水野 皓司 (2004年より)
非常勤研究員 我妻 壽彦 (2005年より)

<水野皓司客員教授のプロフィール>

昭38東北大・工・電子卒。昭43 同大学大学院博士課程了。工博。東北大助手、助教授を経て、昭59 教授(電気通信研究所)、平16定年退官、客員教授(東北大学名誉教授)。昭47 ロンドン大客員研究員、平2 カリフオルニア工科大、ロンドン大客員教授。平2より平10まで理化学研究所チームリーダを兼務。この間、ミリ波、サブミリ波帯デバイス・計測装置の研究開発に従事。昭59 第17回科学計測振興会賞受賞、平5 IEEEフェロー、平10 K.J. Button Medal 受賞、平11情報通信月間表彰(東北電気通信管理局)、平15文部科学大臣賞(研究功績者)受賞、電子情報通信学会フェロー。

<研究テーマ>

1. ミリ波イメージング技術(パッシブ、アクティブ。フォーカルプレイン、近距離(フレネル領域)、近接場)の研究開発、
2. ミリ波イメージング技術を用いた生体、果実等の観測、
3. ミリ波イメージング技術のセキュリティ、監視、防災等への応用。

<主な研究発表>

- [1] K. Mizuno, "Development of a millimeter-wave Imaging array and a scanning near-field microscope (Invited)", SPIE DEFENSE & SECURITY SYMPOSIUM, Terahertz for Military and Security Applications II, Orlando, April 2004.
- [2] H. Sato, K. Sawaya, Y. Wagatsuma, K. Mizuno, "Design of Narrow-Width FERMI Antenna with Circular Radiation Pattern," IEEE AP-S International Symposium National Radio Science Meeting, Vol. 1, pp. 4312-4315, Monterey CA, July 2004.
- [3] 高木由紀子、佐藤弘康、我妻嘉彦、水野皓司、澤谷邦男、"コルゲート構造付広帯域対せき形フェルミアンテナの高利得化," 電子情報通信学会アンテナ伝搬研究会技術報告, No. AP-49, 北海道, 平成16年7月.
- [4] H. Sato, S. Kagaya, Y. Wagatsuma, K. Sawaya, and K. Mizuno, "Design Method of Narrow-width Fermi Antenna for Passive Millimeter Wave Imaging," 2004 International Symposium on Antennas and Propagation, Sendai, August 2004.
- [5] Y. Takagi, H. Sato, Y. Wagatsuma, K. Mizuno, and K. Sawaya, "Study of High Gain and Broadband Antipodal Fermi Antenna With Corrugation," 2004 International Symposium on Antennas and Propagation, Sendai, August 2004.
- [6] 高木由紀子、佐藤弘康、我妻嘉彦、水野皓司、澤谷邦男、"コルゲート構造付広帯域対せき形フェルミアンテナの高利得化," 電子情報通信学会東北支部、仙台、平成16年8月.
- [7] M-S Son, J-K Rhee and K. Mizuno, "An Analysis of the Soft Kink Phenomena in GaAs-based Short-gate MHEMTs Using 2D Hydrodynamic Transport Simulation," Extended Abstract, The 31st Int'l Symposium on Compound Semiconductors (ISCS-2004), pp. 260-261, Seoul, Korea, September. 2004.
- [8] T. Nozokido, T. Ohbayashi, J. Nae, and K. Mizuno, "A Resonant Slit-Type Probe for Millimeter-Wave Scanning Near-Field Microscopy," IEICE Trans. Electron., vol. E87-C, no. 12, pp. 2158-2163, December 2004.
- [9] H. Matono, Y. Wagatsuma, H. Warashina, M-S Son, S. Miyanaga and K. Mizuno, "Development of a Compact Passive Millimeter-wave Imager," Proc. MINT-MIS 2005/TSMMW 2005, Seoul, Korea, February 2005.
- [10] T. Nozokido, R. Iibuchi, J. Bae, and K. Mizuno, "Millimeter-wave scanning near-field anisotropy microscopy," Rev. Sci. Instrum., vol. 76, no. 3, pp. 033702 1-033702 6, March 2005.

3. 3 人間情報システム研究部門の目標と成果

人間情報システム研究部門は、人間と環境を調和させる情報システムの創成を目指して、人間の情報処理過程の仕組みの解明と、良好な情報通信環境の実現を図るための研究を行い、情報通信システムの高度化・高次化に資することを目標とする。

この目標を遂行するために、本部門は、生体と生活環境下における電磁情報の創成と制御システムを実現することを研究する生体電磁情報研究分野、聴覚認識情報処理過程の解明と高次音環境情報の認識・符号化・提示システムの研究開発を行う先端音情報システム研究分野、電磁波環境の特性や対策に関する研究を通じて良好な通信環境の実現を図るために通信環境工学研究分野から構成され、さらに本年度末には高次視覚情報システム研究分野が加わった。平成16年度の研究活動の概要は分野毎に別途記すが、その概要は以下のとおりである。

(1) 生体電磁情報研究分野

(目標) 生体あるいは電気機器の発する電磁界を情報として捕らえるための超高感度センサ並びにシステムの確立、ならびに生体情報を能動的に取得するためのシステムの確立を目指し、磁気現象を基盤として研究を遂行した。

(成果) 磁性薄膜の異方性の高度な制御ならびに新たな検出回路設計により室温で動作する世界最高感度の磁界センサを開発した。さらに、磁気マーカーを利用したりアルタイム位置検出システムを開発し顎運動計測システムへの適用を図った。また、生体内をワイヤレスで移動可能な各種の磁気アクチュエータを開発し医療への応用を検討した結果、その一部は臨床応用が進められている。

(2) 先端音情報システム研究分野

(目標) ヒトの最重要情報処理過程の一つである聴覚系の情報処理過程と、聴覚を含む複合感覚情報処理過程を明らかにするとともに、その知見を応用して、臨場感あふれる音響通信システムやユーザインターフェイス等の開発を行っている。

(成果) 3次元聴覚ディスプレイ技術を用いた視覚障害者向けの音空間認識能訓練システムの開発を産学共同で行った。また、著作権の保護とディジタル音信号のネットワーク配信の高セキュリティ化に資しうる音信号用の高精度電子透かしを開発し、特許出願を行った。更に、聴覚と視覚、聴覚と自己運動感覚の相互作用に関する複合感覚情報処理について研究を行い、興味ある知見を得た。このうち、視聴覚相互作用が音声聴取に及ぼす効果・影響の研究はNHK技研との共同研究である。

(3) 通信環境工学研究分野

(目標) 様々な電子機器から発生する不要電磁波の特性を解明し、測定法を開発し、各種通信システムに及ぼす影響を研究している。また、開発した測定法の国際規格化に努めている。

(成果) これまでに開発した30MHz～10GHz帯アンテナの簡易校正法（アンテナインピーダンス法）の確度評価を行い、従来の校正法と遜色がないことを確認した。また、伝導妨害波低減用フェライトコアの特性測定法の開発を行い、国際規格化に努めた。さらに、電子レンジやパソコンの漏洩電磁波に関する理論モデルを用いて、無線LAN等に及ぼす影響について研究した。

生体電磁情報研究分野

磁気物性制御技術の確立と 高機能磁気デバイス・システムの開発

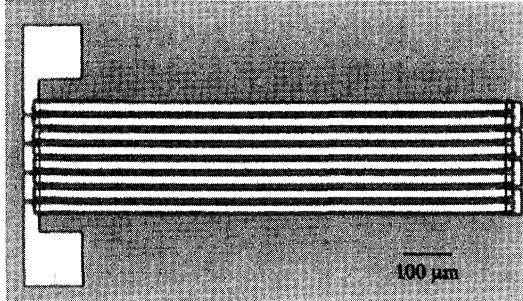


図1 高周波キャリア型薄膜磁界センサ

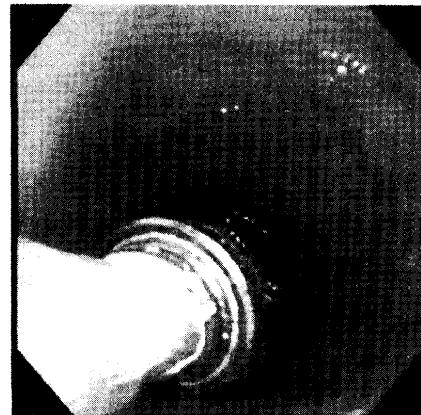


図2 イヌ大腸内で模擬内視鏡を誘導する磁気マイクロマシン

分野の目標 本分野では、磁気的微細構造をナノスケールで制御した磁性薄膜ならびにバルクマイクロ磁性体を利用し、磁気の有する特異な性質を活かした新たなマイクロデバイスを開発することで、生体あるいは電気機器の発する電磁界を情報として捕らえるための超高感度センサ並びにシステムの確立、ならびに生体情報を能動的に取得するためのシステムの確立を目指す。

主な成果 1. 高周波キャリア型磁界センサに関する研究：磁性薄膜を微細加工して作製した微小パターンの高周波インピーダンスが磁界依存性を有することを利用した高感度センサの開発を行っている。センサ構造と感度特性の関連をシミュレーションにより明らかにし、それにより示された最適構造のセンサが $1.7 \times 10^{-8}(\text{Oe}/\text{Hz}^{1/2})$ と極めて小さい磁界検出分解能を示すことを示した。さらにセンサの検出回路に関する検討を行い、信号位相計測による検出方式を用いた大幅な感度特性の改善方法を提案した。これらを踏まえて $10^{-9}(\text{Oe})$ 台の検出感度を目指した検討を行っている。

2. 磁気モーションキャプチャシステム：微小な磁界発生源(マーカー)の発する磁界を高感度三次元磁界センサにより計測し、マーカーの位置と向きを算出する位置検出システムの開発を行っている。永久磁石マーカーならびに微小コイルマーカーを利用して1mm精度でのリアルタイム位置検出を可能にした。

3. 磁気駆動ワイヤレスマシン：磁気によるワイヤレスエネルギー供給技術を利用した磁気駆動ワイヤレスマシンに関して、スパイラル形状を基本としてそのマイクロ化技術ならびに医療応用に関する検討を行っている。注射針で挿入可能な直径0.8mmのマシンは生体を模した肝臓組織中で動作できるとともに発熱機能を搭載でき、局所温熱治療用マシンとしての応用が期待される。薄膜磁石を用いて作製された30ミクロン厚さのマイクロマシンの駆動に成功し、電磁力を駆動源とするマシンのマイクロ化が可能であることを実証した。マシンの泳動特性を解析するための3次元シミュレーション技術を確立し、解析によるマシン設計を可能にした。さらに消

化管内での動作を想定したcmサイズのワイヤレスマシンに関する検討も行い、大腸内視鏡の挿入補助システムやカプセル内視鏡の動作制御への応用を図っている。

職 員

教 授 荒井 賢一 (1986年から)

助教授 石山 和志 (2003年から)

助 手 薮上 信

技術職員 師岡ケイ子, 我妻成人

荒井賢一教授のプロフィール

1966年3月 東北大学工学部電子工学科卒業。1971年3月 同学大学院工学研究科博士課程修了。1971年4月 同学助手, 電気通信研究所。1975年4月 同学助教授, 電気通信研究所。1986年4月 同学教授, 電気通信研究所。軟質磁性材料の研究およびマイクロ磁気デバイス, マイクロ磁気センサ, アクチュエータ等のスピニックスデバイスとその医療応用に関する研究に従事。市村賞, 科学技術庁長官賞, 電気学会業績賞受賞。日本学術会議第18期第五部会幹事。

研究テーマ

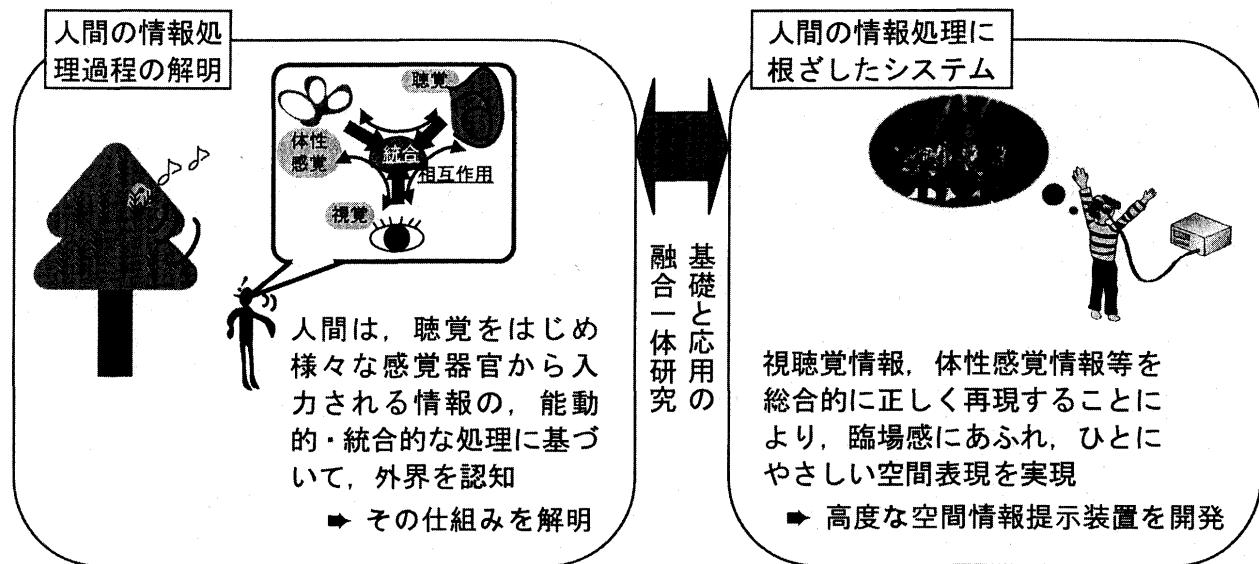
1. 高機能スピニックスマテリアルの創製
2. 集積化マイクロ磁気デバイス・センサ
3. 生体内駆動用磁気マイクロロボット
4. 超高周波磁気計測・EMC計測
5. 磁気モーションキャプチャシステム

過去1年間の主な発表論文

1. 中居倫夫, 山口正洋, 石山和志, 荒井賢一, 「コプレーナ配置した薄膜磁石バイアス構造を有する高周波キャリア型磁界センサ」, 日本応用磁気学会誌, vol.28, pp.132-135, (2004).
2. 千葉淳, 仙道雅彦, 石山和志, 須田祐司, 荒井賢一, 小丸達也, 白土邦夫, 「磁気アクチュエータによる大腸内視鏡誘導と腸内観察」, 日本応用磁気学会誌, vol.28, pp.433-436, (2004).
3. 相馬宗尚, 仙道雅彦, 石山和志, 荒井賢一, 「肝臓中を移動する磁気マイクロマシンの試作」, 日本応用磁気学会誌, vol.28, pp.441-444, (2004).
4. 山崎彩, 仙道雅彦, 石山和志, 荒井賢一, 「らせん型磁気マイクロマシンの泳動特性に対するらせん長の影響」, 日本応用磁気学会誌, vol.28, pp.632-635, (2004).
5. 薮上信, 荒井薰, 金高弘恭, 辻真哉, 荒井賢一, 「上下に磁界センサを分離した顎運動計測システムによる6自由度計測」, 日本応用磁気学会誌, vol.28, pp.711-717, (2004).
6. 小澤哲也、馬渡宏、村山芳隆、薮上信、荒井賢一、花土ゆう子、今江理人、「位相差計測による高周波キャリア型薄膜センサの評価」、日本応用磁気学会誌、vol.28, pp.718-721, (2004).
7. K. Nishimura, M. Sendoh, K. Ishiyama, K. I. Arai, Hironaga Uchida, and Mitsuteru Inoue, "Fabrication and swimming properties of micro-machine coated with magnetite prepared by ferrite plating," phys. stat. sol. (b) 241, No. 7, pp.1686-1688 (2004).
8. S. Yabukami, H. Mawatari, Y. Murayama, T. Ozawa, K. Ishiyama, and K. I. Arai, "High-Frequency Carrier Type Thin-Film Sensor Using Low-Noise Crystal Oscillator," IEEE Trans. Magnetics, vol.40, No.4, pp.2670-2672, (2004).
9. A. Yamazaki, M. Sendoh , K. Ishiyama , K. I. Arai , R. Kato, M. Nakano, H. Fukunaga, "WIRELESS MICRO SWIMMING MACHINE WITH MAGNETIC THIN FILM," Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol.272-276, pp.e1741-e1742, (2004).

先端音情報システム研究分野

高次音響情報通信システムの実現を目指して



本分野での研究テーマのイメージ図

1. 分野の目標

高次・高度の通信システム及びブレインコンピュータを実現するには、人間の情報処理の仕組を明らかにすることが不可欠である。人間の知覚情報処理系の中で、聴覚モードは最重要的情報処理過程の一つである。本分野の研究目標は、このような観点で、聴覚系の情報処理過程を明らかにすると共に、その知見を応用し高度な音響通信システムやユーザインターフェース、更には快適な音環境を実現することである。

2. 平成16年度の主な研究成果

2.1 3次元音空間認識と制御手法の研究

音空間認識過程の解明に関する研究では、聴取者の頭部運動の役割について調査している。我々は頭部を動かすことによって、聴取音の特性を能動的に時間変化させ、これにより、より多くの音空間情報を得ている。この機構解明に用いるために、3次元音空間の制御に関する検討に重点をおき、高精度聴覚ディスプレイの開発を進めた。さらに、その実現に必須となる、効率的かつ高精度な頭部伝達関数の計測、推定手法に関する提案を行い、その有効性を検討した。

2.2 聴覚ディスプレイの福祉応用システム開発

高精度な聴覚ディスプレイは、視覚障害者用空間知覚訓練装置などの福祉応用も可能である。この場合、実時間動作やソフトウェア開発効率も重要な要素となる。そこで、地域コンソーシアムによる研究プロジェクトの下、勝ち抜き戦方式に基づく効率的な頭部伝達関数の選択法や、仮想音の空間レンダリング用APIの開発を行った。さらに、実際に作成した空間知覚訓練用試験ソフトを用いて、盲学校において評価実験を実施し、ある程度の効果が確認された。

2.3 ディジタル音信号用高性能電子透かしの開発

電子透かしは、ネットワーク社会において、マルチメディア情報を健全に流通させるために重要な技術である。本研究では、聴覚特性を巧みに利用することにより、著作権情報などの付加ディジタル情報を聴取者には気づかれずに埋め込む手法の開発を行っている。本年度は、電子透かしを電子指紋に用いて放送型配信を行う音響CoFIP方式において、実際的環境で問題となることが予想されるデータ量増大に対する対処法や、結託攻撃に対する耐性強化法の開発を行った。

2.4 音知覚における音質劣化検出機構の解明

音の劣化の知覚には個人差があるが、この差が何により生じているのかは、未だ解明されていない。我々は、劣化の知覚が音から受ける様々な印象を基にした階層ネットワークにより形成されるモデルを仮定し、共分散構造解析に基づいて各階層の因子の解明を試みた。その結果、音色の知覚空間とは若干異なる知覚構造を得た。

2.5 音環境の認識・知覚におけるクロスモダリティ情報の役割

我々が音環境を理解する場合のクロスモダリティ情報処理について検討している。本年度の研究では、特に映像中の口の動きと話速の関係が言語聴取に与える影響など、クロスモダリティ情報での補完が、難聴者ばかりでなく健聴者でも作用していることが示された。また、音像の動きが体性感覚と融合して自己運動感覚を誘起し、その傾向が映像と体性感覚の場合と異なるという興味ある実験結果を得た。

2.6 音声知覚過程の解明とディジタル補聴器の研究

バリアフリー通信の観点からも重要な課題である高性能で快適な補聴システムの開発を本学の耳鼻咽喉科と共同研究で進めている。本年度は、補聴を行う上で大きな阻害要因となっている低周波数音によるマスキングを積極的に軽減することを目的として、左右耳に積極的に異なる信号を与える補聴信号処理について検討を行った。また、知的クラスタ事業の一環として、骨伝導補聴器の実現へ向けたデバイスおよび聴覚の特性評価を行った。

3. 職員名

教 授 鈴木 陽一 (1999年から)	助教授 西村 竜一
助 手 坂本 修一, 王 慧琴	技 官 斎藤 文孝
非常勤研究員 田中 章浩	

4. 鈴木陽一教授のプロフィール

1976年3月東北大工学部電気工学科卒、1981年3月同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士課程後期課程修了。東北大工通研助手、大型計算機センター助教授、通研助教授を経て現職。音の大きさ及び音色、騒音の評価、3次元音空間知覚と制御、ディジタル補聴器、音信号のディジタル信号処理手法等、人間の聴覚の解明とその工学応用の研究に一貫して従事。1992年、1994年日本音響学会佐藤論文賞。2001年5月から2003年5月まで(社)日本音響学会副会長。アメリカ音響学会フェロー。

5. 過去1年間の主な発表論文

1. Equal-loudness-level contours for pure tones, J. Acoust. Soc. Am., 116 (2004), 918-933, Y. Suzuki and H. Takeshima.
2. 単語了解度試験におけるモーラ同定に対する親密度の影響, 日本音響学会, 60(2004), 351-357. 坂本修一, 天野成昭, 鈴木陽一, 近藤公久, 小澤賢司, 曽根敏夫.
3. Robust watermarking based on time-spread echo method with subband decomposition, IEICE Trans. on Fundamental of Electronics, Communications and Computer Sciences, E87-A(2004), 1647-1650. B.-S. Ko, R. Nishimura and Y. Suzuki.
4. Multiple watermarks for stereo audio signals using Phase-modulation techniques, IEEE Trans. on Signal Processing, 53 (2005), 806-815. A.Takahashi, R. Nishimura and Y. Suzuki.
5. Array signal processing with two outputs preserving binaural information, Applied Acoustics, 65 (2004), 657-672. R. Nishimura, Y. Suzuki, S. Tsukui and F. Asano.

通信環境工学研究分野

次世代情報通信を支える電磁環境の構築

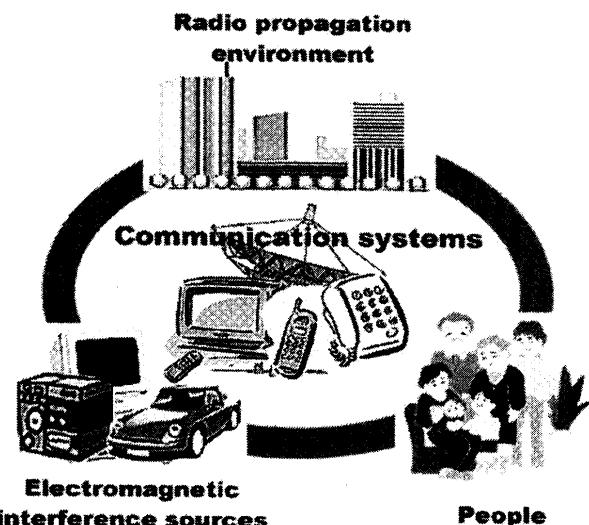
1. 分野の目標

携帯電話の普及に加え、高度交通システム（ITS）やホームネットワークなどの新たな通信システムの導入により小型無線機器は今後も増え続ける。また、コンピュータなどの電子機器も日常生活に氾濫し、そのクロック周波数は既にGHz帯に達している。このような環境では、通信機器や電子機器相互の電磁的干渉による様々な障害や、人体に対する影響が懸念される。このため、電子機器が発生する不要な電磁波を低減し、かつ無線機の電磁波によって電子機器が誤動作等の障害を発生しないようにしなければならない。さらに、超高速・高信頼性の通信を確保するには、通信機器から発射される電磁波の伝搬環境にも対策を施し、良好な情報伝送路を構築することも重要である。

本研究分野は、電子機器の不要電磁波に関する計測技術の研究と国際標準化、通信システムと電子機器間の相互干渉に関する研究と対策技術、さらに将来の電磁波利用に適した電波伝搬環境の構築を目的とする。

〈研究テーマ〉

1. 不要電磁波の計測技術の研究と標準化
2. 不要電磁波によって生じる障害の研究
3. 電子機器の不要電磁波対策技術の研究
4. 電磁波利用環境の構築技術の研究
5. 電磁波利用環境の構築に必要な材料・部品の研究



2. 過去1年間（2004年4月から2005年3月まで）の主な成果

(1) 電磁妨害波計測に用いるアンテナ特性の校正法

電磁妨害波用アンテナの感度を高精度に決定する方法を検討した。アンテナインピーダンスのアンテナ地上高依存性の測定により、自由空間におけるアンテナ特性を極めて高精度に測定できる測定法を開発した。VHF帯からマイクロ波帯までの広い周波数範囲にわたって本測定法の有効性を実証した。

(2) 電源線伝導雑音の測定とフェライトコアによる雑音低減効果の研究

近年検討が進む電力線通信システムに起因する電磁干渉量の評価を目指して、電源線伝導雑音を高精度で計測できるシステムを開発した。また、電源線を伝導雑音を阻止する目的で使用されるフェライトコアの評価基準を確立し、フェライトコアを実装するための設計指針を示した。

(3) 近距離無線通信システムに対する人工雑音の影響の検討

近年普及の著しい無線LANシステムにおいて問題となる、電子レンジ等の産業医科学機器からの放射雑音や、近接して使用されるパーソナルコンピュータからの放

射雑音による干渉問題について検討し、通信品質の劣化機構とその改善方法を明らかにした。

<職員名>

教授：杉浦 行（1999年より）
助教授：松本 泰（2000年より）
助手：藤井勝巳（2001年より）

<教授のプロフィール>

1966年福井大学工学部応用物理学科卒業。1968年大阪大学大学院修士課程修了。同年郵政省電波研究所（現通信総合研究所）入所。電磁環境工学の研究に従事。1999年より東北大学電気通信研究所教授。電子情報通信学会、電気学会、映像情報メディア学会、IEEE会員。

<主な発表論文、解説記事、著書>

- (1) Y. Matsumoto, M. Takeuchi, K. Fujii, A. Sugiura and Y. Yamanaka, "Performance Analysis of Interference Problems Involving DS-SS WLAN Systems and Microwave Ovens," IEEE Trans. on EMC, vol.47, no.1, PP.45-53, Feb. 2005
- (2) Y. Matsumoto, T. Murakami, K. Fujii, and A. Sugiura, "Band-limitation Effects on Microwave Oven Noise in the 2.4-GHz Band," IEICE Trans. Commun. vol.EB-88-B, no.3, pp.1307-1312, March 2005
- (3) 占部、藤井、松本、杉浦、"電源線伝導高周波電流の測定装置の開発," 電子情報通信学会論文誌, vol.J-87-B, no.7, PP.990-999, 2004
- (4) T.Murakami, Y. Matsumoto, K.Fujii, A.Sugiura and Y.Yamanaka, " Performance analysis of Bluetooth system in the presence of microwave oven noise," EMC-EURO, pp.224-228, Sep. 2004
- (5) T.Ichimura, T.Kiyozuka, K.Fujii, A.Sugiura and Y.Matsumoto, "Harmonic Disturbances Coupled Between Multiple PCB Traces," EMC-EURO, pp.444-449, Sep. 2004.
- (6) M.Nakatsuka, Y.Matsumoto, K.Fujii and A.Sugiura, "Reduction Microwave Oven Interference in DS-SS WLAN Systems Using Adaptive Filters," EMC-EURO, pp.229-233, Sep. 2004.
- (7) A.Ogata, Y.Matsumoto, K..Fujii and A.Sugiura, "Measurement of Disturbances Radiated from Personal Computers in the WLAN Frequency Band," AP-RASC, pp.508-509, Aug, 2004.
- (8) H.Matono, M.Joung, Y.Suzuki, T.Tanaka, S. Kagaya, K. Watanabe, Y. Wagatsuma, A. Sugiura and K. Mizuno, "Development of 35GHz Band Passive Imaging Systems and their Applications to Medical and Bio-Objects Imaging," AP-RASC, pp.452-454, Aug.2004.
- (9) S. Tsushima, K. Fujii, A. Sugiura, Y. Matsumoto and Y. Yamanaka, "Determination of the Antenna Factor of Microwave Antennas Using the Antenna Impedance Measurement," AP-RASC, PP.506-507, Aug.2004.
- (10) T. Shimizu, Y. Matsumoto, K. Fujii and A. Sugiura, "Performance Evaluation of the OFDM-based WLAN System Interfered by Radiated Noises from Personal Computers," AP-RASC, PP.510-511, Aug. 2004.
- (11) P. Khamphakdi, J. Urabe, W. Khan-ngen, C. U-yaisom, V.Tarateeraseth, K. Fujii, Y. Matsumoto, A. Sugiura, "The Comparison of Conducted EMI Measurement between the Small Loop Antenna and a Conventional LISN," Int'l Symp.on EMC, pp.873-876, June2004.
- (12) T. Murakami, Y. Matsumoto, K. Fujii, A. Sugiura and Y. Yamanaka, "BER Analysis of Bluetooth System Interfered by Microwave Oven Noises," Int'l Symp. on EMC, pp.93-96, June2004
- (13) M. Nakatsuka, Y. Matsumoto, K. Fujii and A. Sugiura, "Suppression of Microwave Oven Interference in WLAN Systems Using Adaptive Filters," Int'l Symp.on EMC, pp.101-104, June2004.
- (14) K. Fujii, S. Kaketa, Y. Matsumoto, A. Sugiura and Y. Yamanaka, "Calibration of EMI Antennas in the VHF Band with Antenna Impedance Measurements," Int'l Symp. on EMC, pp.361-364, June2004.
- (15) K. Fujii, Y. Dowaki, Y. Jito, Y. Matsumoto and A. Sugiura, "Insertion Loss Measurement of EMI Suppression Ferrite Cores," Int'l Symp.on EMC, pp.641-644, June2004.

3. 4 システム・ソフトウェア研究部門の目標と成果

情報化社会を実現するには「だれもが、いつでも、どこからでも、だれとでも、どんな情報でも」自由にしかも瞬時に通信できるというバリア・フリーの情報技術が必要である。このような情報社会実現のためのシステム設計とソフトウェアの創成、すなわち、通信と計算を融合した高度な情報化社会を実現するためのシステムとソフトウェアに関する研究を行うことが本部門の目標である。

このような情報化社会の実現を目指し、本部門では、①新しいソフトウェアの基礎理論の確立、②高信頼・高機能ソフトウェアの開発技術、③やわらかいネットワーク技術の開発、④ネットワーク指向のコンテンツ管理・利用技術、⑤高信頼システムを実現するためのセキュリティ技術、⑥情報ネットワークによる新しい社会構造の実現技術、などの研究課題について取り組むことが重要である。

これらの研究に関係しているのは、コンピューティング情報理論、コミュニケーションネットワーク、情報コンテンツの各研究分野である。これらの研究分野では、

- 1) プログラムによる計算と論理による証明を統一的な枠組みで形式化し、プログラムの検証・合成・変換や定理自動証明などに適した新しい計算・証明融合システムの基礎理論を確立するとともに、その有効性を明らかにする。そのために、計算と証明を融合する基礎理論の確立、並びに高機能ソフトウェアの形式的開発手法の確立に関する研究、
- 2) 人間とコンピュータ環境が共生するコミュニケーションネットワークの構成法を確立する。ユーザの操作誤り、要求の修正・拡張、またシステム内部のトライフィックの輻輳などをすべて統一的に「変化」としてとらえ、この変化をシステム自身が、知性、恒常性、発展性の機構を用いて吸収し、ユーザとシステム提供者の評価基準を満足しながら互いに共生し安定に動作するための新しいネットワーク環境を創成する。そのために、やわらかいネットワーク／共生空間の構築法の基盤と事例、並びに安全で安心できるコミュニケーションネットワークのための制御・管理法の高度化に関する研究、
- 3) 広域分散環境上で生成・蓄積され、ネットワークを介して流通するコンテンツ（データ／情報／知識）を対象としたコンテンツ指向情報処理システムの基盤技術を開発し、知識資産の知的活用を可能とする次世代情報通信基盤を確立する。そのために、再利用性を有するコンテンツの系統的生成手法の基盤を確立、コンテンツ指向情報処理システムのアーキテクチャの構成、ネットワークを介して流通するデータ／情報／知識の知的処理手法、コンテンツ指向情報処理システムの産業応用への貢献に関する研究、

などが積極的に行われている。

その結果、平成16年度は次のような研究成果を得た：

- 1) 外山先生：定理自動証明手法に基づくプログラム変換の適用範囲を広げることを目的として、高階書き換えシステムの帰納的定理自動証明システムを開発するとともに、その上で高階プログラムの融合変換の実験を行い、我々の提案したプログラム変換法の有効性を明らかにした。さらに、2階変換パターンに基づくプログラム変換手法の枠組みを与えるとともに、変換パターンの正当性を

保証する新しい手法を考案した。また、プログラム変換に不可欠な高階プログラムの帰納的性質の自動証明手続きの提案、高階プログラムの停止性の理論的な解析、シーケント計算の体系での証明図の簡約と型付きラムダ計算のベータ簡約の間の関係に基づく新しい停止性証明法の提案等を行った。

- 2) やわらかいネットワークに関して、評価用アプリケーションとして、やわらかい3次元共有空間システム、マルチメディア型井戸端LANシステム、ユビキタスマルチメディアサービス等を開発し、実験を通じて、共生の核となるやわらかいネットワーク層の有効性の検証を行った。その結果、エージェント指向アーキテクチャの効果により、やわらかいネットワーク層は従来にない先進的なやわらかさを実現していることが確認された。また、次世代ユビキタスネットワークへ向けて、IPv6モビリティサポートのためのManagement Information Base (MIB)を世界に先駆けて構築し、実証実験を行い、IETFのMIPv6ワーキンググループへの標準化提案を行った。本ドラフトは間もなくRFC化される見通しである。
- 3) 無線と有線を有機的に結合し映像コンテンツを大規模サーバーシステムから家庭用の小規模サーバーシステムまで統一的に管理することにより、シームレスな映像コンテンツの利用環境を構築するため共同研究「映像・音声コンテンツの蓄積配信サーバーの研究」を開始した。また、放送局から送信される番組やインターネット上に流れている種々のコンテンツにメタデータを付与し視聴者の好みに合わせた動画コンテンツを効率よく蓄積・検索・視聴できるシステムの構築法について基礎検討を進めた。このため、ハイビジョン映像コンテンツの視覚特性を利用した高効率圧縮手法と、それをインターネット上でアイソクロナストリーミング配信するための基礎検討にも取り組んだ。

コンピューティング情報理論研究分野

計算と証明の融合によるソフトウェア構成原理

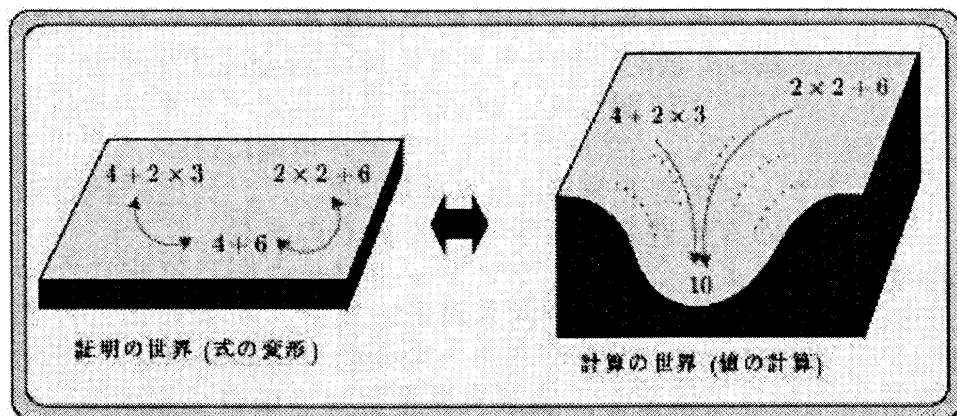


図1. 計算と証明の関係

1. 分野の目標

本研究室では、証明と計算を融合した新しいソフトウェアの構成原理について研究している。ソフトウェアの形式的開発や検証では、ソフトウェアの効率のみでなく、その論理的な正当性も問題となる。書き換えシステムを基礎とした計算・証明モデルは、証明の世界と計算の世界を統一的な枠組みで取り扱えるため、新しい構成原理に基づくソフトウェアの実現が可能である。我々は、書き換えシステムに基づく関数型言語を対象に、与えられたプログラムから効率的なプログラムへの自動変換、仕様からのプログラム自動合成などの基礎研究を行っている。さらに高階書き換えシステム、プログラムの帰納的性質の自動証明法、関数・論理型言語と定理自動証明システムの融合など、書き換えシステムに基づく計算・証明パラダイムの理論的および実験的研究を進めている。

研究テーマ

- | | |
|-------------------|----------------|
| (1) 書き換えシステムの基礎理論 | (3) 関数・論理融合型言語 |
| (2) プログラム検証・変換・合成 | (4) 定理自動証明システム |

2. 過去1年間（2004年4月から2005年3月）の主な成果

2.1. プログラムの融合変換

関数型プログラムを書き換えシステムとしてモデル化し、帰納的定理の自動証明手法である書き換え帰納法によってプログラムの融合変換が実現できることを明らかにした。また、変換に必要な補題を自動的に導入・証明するメカニズムを組み込んだ変換システムを提案し、プログラム融合変換システムのプロトタイプの実装を進めた。

2.2. 変換パターンに基づくプログラム変換

変換パターンに基づく項書き換えシステムの等価変換法を提案し、プログラム変換の正当性が自動的に保障される変換パターンの構成方法を提案した。さらに、変換

パターンに基づくプログラム変換システムの実装および実験を進めた。

2.3. 高階帰納的定理の自動証明手法

単純型付き項書き換えシステムの枠組みに基づき、高階システムの帰納的定理の形式化を与えるとともに、潜在帰納法による帰納的定理の自動証明手法を提案した。さらに、自動証明に不可欠な高階十分完全性が決定可能となるクラスを示した。帰納的定理の自動証明手法を応用したプログラム変換システムのプロトタイプの実装を行った。

2.4. 高階書き換えシステムの停止性

第一階システムの停止性の自動証明技法として知られる依存対手法を単純型付き高階システムへ拡張した。第一階システムで補助的な役割を果たしていた部分項基準に頭部変数の具体化を組み込むことにより効果的な停止性自動証明手法となりうることを明らかにした。

2. 職員名

教 授：外山 芳人（2000年4月より）
 助教授：青戸 等人（2003年1月より）
 助 手：菊池健太郎（2004年10月より）

3. 教授のプロフィール

1952年生。1977年東北大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年、日本電信電話公社（現NTT）武藏野電気通信研究所入所。1991年NTTコミュニケーション科学研究所 主幹研究員。1993年北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 教授。2000年より東北大学 電気通信研究所 教授。この間、プログラム理論、定理自動証明の基礎研究に従事。1997年第11回日本IBM科学賞受賞。

4. 過去1年間（2003年4月から2004年3月まで）の主な発表論文

- (1) Yoshihito Toyama, Termination of S-expression rewriting systems : Lexicographic path ordering for higher-order terms, In Proceedings of the 15th International Conference on Rewriting Techniques and Applications, Aachen, Germany, Lecture Notes in Computer Science, Vol.3091, Springer-Verlag, pp.40-54, 2004.
- (2) Takahito Aoto, Toshiyuki Yamada and Yoshihito Toyama, Inductive theorems for higher-order rewriting, In Proceedings of the 15th International Conference on Rewriting Techniques and Applications, Aachen, Germany Lecture Notes in Computer Science, Vol.3091, Springer-Verlag, pp.269-284, 2004.

コミュニケーションネットワーク研究分野

共生コンピューティングに基づく 情報通信システムの構成論

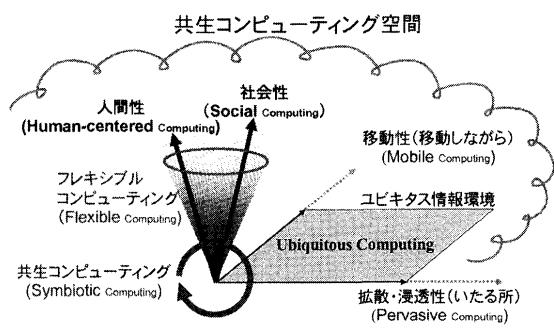


図1. 共生コンピューティングの概念

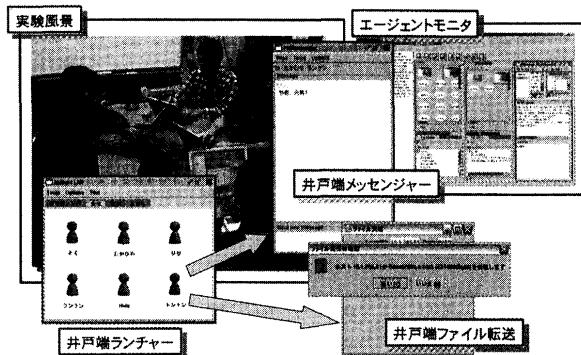


図2. 井戸端LANシステム

1. 分野の目標

「共生コンピューティング」に基づいた情報通信システムの研究

当研究室では、1992年より、人間とコンピュータが「共生」する情報システムへ向けて、次世代の情報・通信の基本となる共生に基づいた概念「フレキシブル共生コンピューティング」を創生し、これに基づいて研究を推進している。これまでの情報・通信は、コンピュータに代表されるように合理性（効率、機能、経済性）を評価基準として進展してきた。これを合理性に基づくモダン情報システムと呼ぶ。本研究では、ポストモダンの基本的な考え方として、フレキシブル共生コンピューティングを提唱している。この概念は、モダンの長所を生かしつつ、失ったものを取り戻し、人とIT（情報技術）環境が調和しながら発展するための思想である。ここで、共生とは、人間とIT環境（コンピュータ、ネットワーク、ソフトウェアロボット、機械ロボット、…）がそれぞれの長所を生かしつつ、緊張と対立を含みながら協調・調和することである。本研究の目的は、このような考え方に基づいて人間と共生する情報通信システムの構成論を確立し、特にやわらかいネットワークの実現をめざしている。

<研究テーマ>

- (1) 共生コンピューティング
- (2) フレキシブル・コンピューティングの基盤と応用
- (3) やわらかい情報ネットワーク
- (4) ネットワーク管理、計測と性能評価

2. 過去1年間(2004年4月から2005年3月まで)の主な成果

2.1 やわらかいネットワークの研究

ネットワーク環境における様々な変動（利用者のQoS、トラフィック、帯域幅など）に対処するための知的なネットワークアーキテクチャの構成を目的としている。今年度は、共生の核となるやわらかいネットワーク層の評価用アプリケーション

ンとして、やわらかい3次元共有空間システム、マルチメディア型井戸端LANシステム、ユビキタスマルチメディアサービス等を開発し、実験を通じてやわらかいネットワーク層の有効性の検証を行った。その結果、エージェント指向アーキテクチャの効果により、やわらかいネットワーク層は従来にない先進的なやわらかさを実現していることが確認された。

2.2 超高速ネットワークの研究

超高速大規模ネットワーク向きネットワーク計測・解析・管理のための基盤技術の確立を目的としている。今年度は、インターネットのトラフィックに関して、フロー密度に自己相似性が存在することを新たに発見した。これにより自己相似性に基づくトラフィック解析のための新たな基盤を確立した。

2.3 次世代ユビキタスネットワークの研究

IPv6モビリティサポートのためのManagement Information Base (MIB)を世界に先駆けて構成した。また、本成果をもとにモバイルIPv6 MIBのインターネットドラフトを作成し、IETFのMIPv6ワーキンググループへ提案し、2005年6月に世界標準として認定され新聞、テレビで全国的に報道された。この標準に基づいたモバイル IPv6 ネットワーク上での管理情報収集モデルの提案と実験を実施し、本MIBの有用性を世界で初めて確認した。本研究の一部は、総務省「戦略的研究開発推進制度」による研究プロジェクト(代表者:白鳥則郎、2003年~2005年)の成果である。

3. 職員名

教 授：白鳥 則郎（1993年より）

助教授：菅沼 拓夫（2003年より）

助 手：北形 元、デバシシュ・チャクラボルティ

非常勤研究員：増田尚則

秘 書：相澤かな子、古山真澄

4. 教授のプロフィール

1946年宮城県生れ。1977年東北大学大学院博士課程修了。1984年東北大学助教授（電気通信研究所）。1990年東北大学教授（工学部情報工学科）。1993年東北大学教授（電気通信研究所）。1998年IEEE Fellow、2000年情報処理学会フェロー、2002年電子情報通信学会フェロー。1985年情報処理学会25周年記念論文賞、1998年IEEE ICOIN-12最優秀論文賞、2001年度電子情報通信学会業績賞など。2002年IFIP日本代表、2002年情報処理学会・副会長。現在、人とコンピュータが共生するための情報通信システム、コミュニケーションなどに関する研究に従事。

5. 過去1年間(2004年4月から2005年3月まで)の主な発表論文

- [1] Debasish Chakraborty, Ashir Ahmed, Takuo Suganuma , Glenn Mansfield, Tarun Kanti Roy, and Norio Shiratori, "Self-Similar and Fractal Nature of Internet Traffic," International Journal of Network Management, Vol.14, pp.119-129, 2004.
- [2] Shintaro Imai, Gen Kitagata, Susumu Konno, Takuo Suganuma, and Tetsuo Kinoshita, " Developing a Knowledge-Based Videoconference System for Non-Expert Users," Journal of Distance Education Technologies, Vol.2 No.2, pp.13-26, 2004.
- [3] Salahuddin Muhammad Salim Zabir, Ahmed Ashir, and Norio Shiratori, "An Efficient Flow Control Approach for TCP over Wireless Networks," Journal of Circuit, Systems and Computers, Vol.13, No.2, pp.341-360, 2004.
- [4] Salahuddin Muhammad Salim Zabir, Ahmed Ashir, Gen Kitagata and Norio Shiratori, "A new approach to ensure fairness over the internet," International Journal of Network Management, Vol.14, pp.241-255, 2004.
- [5] Salahuddin Muhammad Salim Zabir, and Gen Kitagata, "A proposal for Efficient TCP Flow Control over Satellite Networks," Telecommunication Systems, Vol.25, No.3-4, pp.371-400, 2004.

情報コンテンツ研究分野

映像コンテンツのユビキタス環境の構築



1. 分野の目標

情報コンテンツ研究分野では、高速・大容量の動画コンテンツを蓄積・読み出しができるサーバーシステムの構築、これらのサーバーシステムが分散配置されたネットワーク上で、誰もが、いつでも、どこからでもこれらのサーバーシステムにデジタル動画コンテンツを蓄積・読み出して利用することができるユビキタス環境を実現することを目指として研究を進めている。

このため、高速・大容量のデジタル動画コンテンツを半導体メモリ・ハードディスク・光ディスク・テープストリーマ等のストレージデバイスを階層構成したストレージシステムに効率よく蓄積するための研究、これらのストレージシステムをネットワーク上に分散配置するネットワークストレージシステムの研究、放送メディアなどの無線伝送路とインターネットなどの有線伝送路を有機的に連携させたデジタル動画コンテンツ流通の研究、画質劣化なくデジタル動画データ量を圧縮・蓄積するための研究、大量に蓄積されたデジタル動画コンテンツを効率よく検索し、視聴するためのコンテンツ管理の研究、デジタル動画コンテンツの権利保護や動画コンテンツ視聴の安全性を保障するための研究に取り組んでいる。

<研究テーマ>

1. 大規模デジタル動画コンテンツの階層構成ネットワークストレージシステムの研究
2. デジタル動画コンテンツ制作・管理・保護のための知的ネットワークの研究
3. デジタル動画コンテンツのデータ圧縮・ストリーミングの研究

2. 過去1年間（2004年4月から2005年3月まで）の主な成果

2.1. 大規模デジタル動画コンテンツのネットワークストレージシステムの研究

無線と有線を有機的に結合し映像コンテンツを大規模サーバーシステムから家庭用の小規模サーバーシステムまで統一的に管理することにより、シームレスな映像コンテンツの利用環境を構築するため共同研究「映像・音声コンテンツの蓄積配信サーバーの研究」を開始した。

2.2. デジタル動画コンテンツ制作・管理・保護の研究

放送局から送信される番組やインターネット上に流れている種々のコンテンツにメタデータを付与し視聴者好みに合わせた動画コンテンツを効率よく蓄積・検索・視聴できるシステムの構築法について検討を進めた。

2.3. デジタル動画コンテンツのデータ量圧縮・ストリーミングの研究

ハイビジョン映像コンテンツの視覚特性を利用した高効率圧縮手法と、それをインターネット上でアイソクロナスストリーミング配信するための基礎研究に取り組んだ。

3.職員名

教授：沼澤 潤二（2004年4月より）

4.教授のプロフィール

1946年北海道生まれ。1951年北海道大学大学院修士課程終了。1946年 日本放送協会入局。1996年日本放送協会放送技術研究所部長。1999年日本放送協会技術局部長。2002年日本放送協会放送技術研究所研究主幹。2004年東北大学教授（電気通信研究所、情報科学研究科）。昭和55年度テレビジョン学会鈴木記念賞受賞。平成5年9月IUMRS-ICAM-93 Distinguished invited paper受賞。平成7年度映像情報メディア学会藤尾フロンティア賞受賞。平成15年度東京都技術功労者表彰受賞。映像情報メディア学会フェロー。

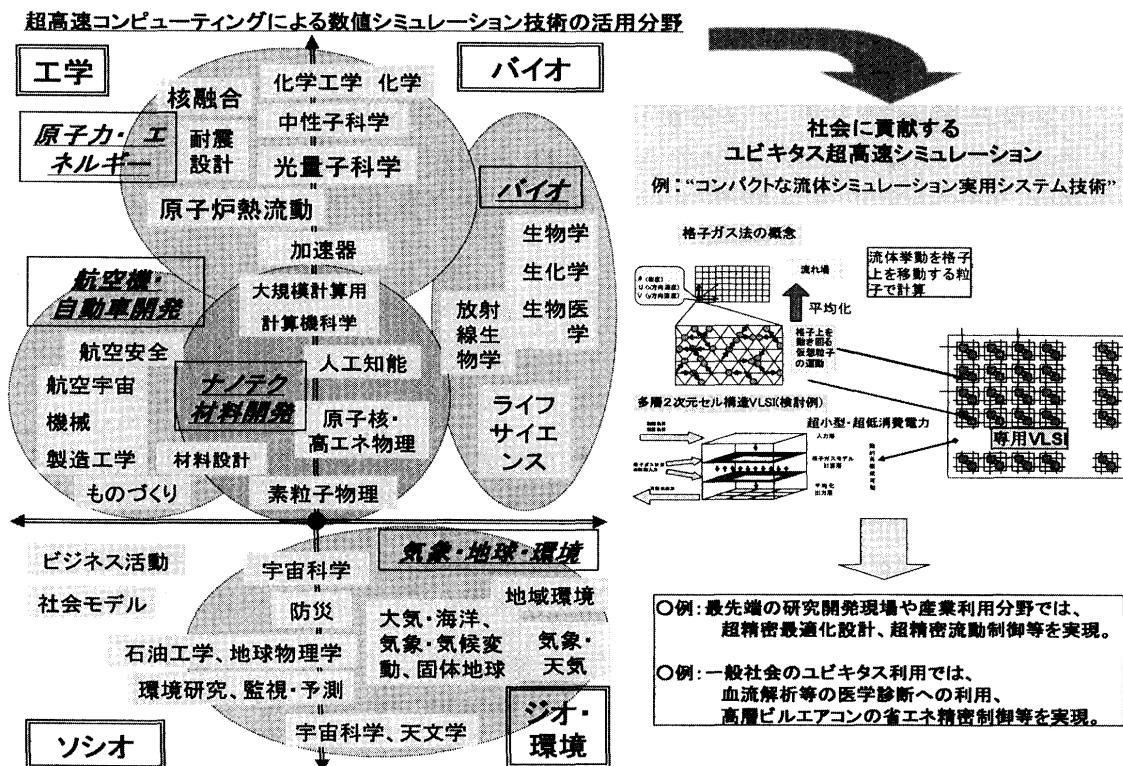
5. 過去1年間（2004年4月から2005年3月まで）の主な発表論文

- [1] Analytic of Recorded Track Width Using 3D FEM in Perpendicular Magnetic Recording, The Journal of The Institute of Image Information and Television Engineers, Vol.59, No.4, PP.604-609, 2005, Weixing Xia, Junji Numazawa, Hajime Aoi, Hiroaki Muraoka and Yoshihisa Nakamura

情報社会構造研究分野（客員）

超高速コンピューティングによる 数値シミュレーション技術の社会貢献

情報社会構造研究分野（客員）



1. 分野の目標

本分野は、広域情報通信環境に基づく社会情報システムのアーキテクチャとその実現技術を開発することによって、人間社会における創造的活動を系統的に支援するネットワーク社会の創造に寄与することを目指している。

本分野が設置されたのが2004年度からであることもあり、近年めざましい発達を遂げた“超高速コンピューティング技術”と“情報社会”的な関わり合いに注目し、特に、人間社会における創造的活動を支援する有力な手段として「数値シミュレーション技術」をとりあげて、この技術が広く社会に普及・活用されるための基盤技術の研究に焦点を当てることとした。

2. 過去1年間の主な成果：

2004年9月に着任し、具体的な研究課題設定のための調査研究を行った。

「超高速コンピューティングによる“数値シミュレーション”技術」が今後の情報社会において担う役割は極めて大きい。
 ①地球温暖化・異常気象・自然災害等から身を守る、
 ②原子力・火力などのエネルギー供給システムを長期にわたり安全に動かす、
 ③航空機・自動車などの交通手段の高い安全性と信頼性を確保する、
 ④放

射線治療・循環器系手術などの分野により高度な医療技術を確立する等々、これらは全て人の命・生活基盤に直接かかわることであり、大規模な数値シミュレーションが威力を発揮すべき分野である。特に、原子力のような巨大技術においては、予算や環境等の制約により実験が困難な場面も多く、計算機による数値シミュレーションは従来から重要な研究手段となっている。また、核融合、原子炉熱流動、光量子科学、さらに大強度陽子加速器といった最先端分野では、計算機を用いた研究は単なる確認・検証の手段を超えて、新たな理論構築の先導を努め、又は計算結果から実験方法を検討するといったように、「理論」及び「実験」と密接不可分な第三の研究手法として不可欠な存在となっている。

このような代表例として、①核融合プラズマの安定性モニタリングシミュレーション、②原子炉の熱流動直接解析、③高強度レーザーと物質の相互作用シミュレーションについて、今後の超高速コンピューティング環境に対するニーズを分析調査し、ペタフロップスをはるかに超える超高速コンピューティング技術が必要であることを把握した。

また、このような超高速シミュレーションが研究開発の現場のみならず、“知的情報通信サービス”と呼べる形で広く産業界や一般社会生活に貢献できるようにするためには、超高速情報通信ネットワークの整備とともに、“小型化”・“低消費電力化”・“低成本化”を極限まで押し進めたコンパクトなシミュレーションシステム技術を開発し、“社会情報システム”に自然に組み込まれるようにもっていく必要がある。

以上の観点から調査研究を行った結果、1例として、格子流体法と呼ばれるシミュレーション手法を超高速に実行するコンパクトなVLSIチップシステムを開発することが、気象予報や医療診断、産業界利用等を通じて一般社会に一番係わり合いが深い“流体シミュレーション”的ユビキタス利用に道を開くことになり、上記の目的を達成する有力な候補であることがわかった。

3. 職員名：

客員教授 松岡 浩（現職就任年月：2004年9月）

4. 教授(客員)のプロフィール

1977年3月東京大学工学部原子力工学科卒。1979年3月同大学院工学系研究科原子力工学専門課程修士課程修了。1997年3月茨城大学大学院工学研究科博士後期課程情報・システム科学専攻修了。技術士(情報工学部門)。1979年4月科学技術庁入庁。その後、通商産業省資源エネルギー庁、日本原子力研究所、金属材料技術研究所、国際原子力機関、東北大学電気通信研究所等で、原子力開発・安全審査・保障措置システム構築・ファジィ・ニューラルネットを利用した直感的シミュレーション研究、地球シミュレータ開発、ITプログラム研究開発実施体制の構築等に従事。日本知能情報ファジィ学会、日本技術士会等に所属。

5. 過去1年間(2004年9月～2005年3月)の主な発表論文：なし

次世代情報ストレージ寄附研究部門

高密度で高速な情報ストレージ技術の研究

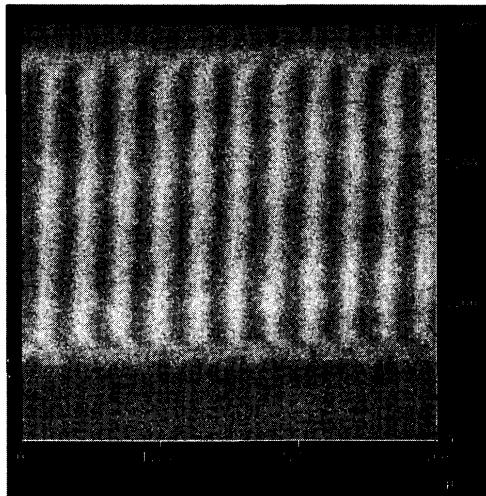


図1 記録ビットパターン（MFM像）および、
クス・モデル

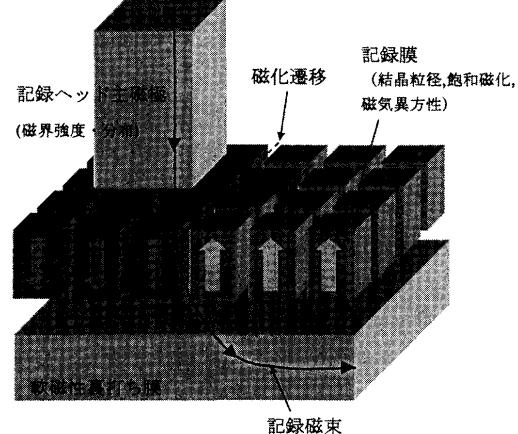


図2 記録ヘッド・2層垂直媒体のマイクロ
マグネティ

高度情報化社会において、文字データ、画像、音声などのあらゆる情報に対するデータストレージの重要性は増大しており、その大容量化、高性能化への要求も強まっている。これに応えるべく、ハードディスクの面記録密度は、年率60%といった速度で増大してきた。しかし、記録ビットの微細化に伴い、従来の面内磁気記録方式では原理的な限界に近づいており、これに替わって、当所にて提案し率先して研究開発を進めてきた、単磁極ヘッドと二層媒体を用いた垂直磁気記録方式を採用することにより、さらに高い記録密度が実現できるものと期待されている。

次世代情報ストレージ寄附研究部では、さらに高密度なテラビット級ストレージを実現するための、(1) 磁気記録機構の基礎的な解明、(2) 新しいアーキテクチャ(パターン媒体、シリンドラ・ストレージなど)の提案と検討を行っている。

1. 高密度磁気記録機構の解明

垂直磁気記録での高密度化をさらに推進するにあたっては、(1) 記録しやすく、(2) 一度記録された情報が熱的に安定であり、(3) ノイズが少なく分解能が高い、ことなどが必要である。分解能やノイズなどの特性は、記録ヘッドの磁界分布、記録媒体の磁気異方性、結晶粒径、交換相互作用などの条件の関数であるが、現状のモデルではいくつかの点で実測と一致しないという問題がある。そのため、どのような機構によって到達記録密度が決定しているかを、実験と理論的解析とを詳細に比較することによって明らかにする必要がある。当研究部門では、記録の基本的な物理機構までさかのぼり、マイクロ・マグнетิกスなどの手法を活用して解析することにより、超テラビット級ストレージを実現するための基礎的事項の把握、およびこれに基づく設計技術の構築をすすめている。

2. パターン媒体の再生波形・信号処理の研究

テラビット級磁気ストレージでは、記録情報の熱安定性と、低ノイズ性を両立させるために、パターン媒体を用いることが有望である。再生信号の計算と信号処理検討より、垂直パターン媒体では、従来の垂直連続媒体と比べて、エラーレートの小さい、より信頼性の高い特性が得られることが明らかになりつつある。

3. テラビット高速シリンダ・ストレージの研究

将来のストレージシステムには高密度化とともにギガヘルツ級の高速化が必須であり、マルチアクセス性を効率よく実現するには、半径位置で線速度が変化するディスク媒体よりも、線速度が一定のシリンダ状媒体が装置形態として優れる可能性がある。また、記録領域を確保した小型化を図ることができるため、携帯用高速ストレージの可能性を有する。

現在、シリンダ状基体を用いた垂直二層膜媒体を試作し、シリンダ状媒体用に開発したヘッドおよび測定装置を用いた記録再生実験を通じ、高速化に関する系統的な解析・システムの開発などを行っている。

【職員】

客員教授 中村 慶久（2004年より） 客員助教授 鈴木 良夫（2004年より）

【教授プロフィール】

昭和43年東北大学大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士課程修了。同年東北大学電気通信研究所助手、昭和46年助教授を経て、昭和62年より教授。平成13年より平成16年まで同所長。平成16年寄附研究部門客員教授、現在に至る。磁気記録の高密度化に関する研究、とくに磁気記録機構の解明と超高密度記録再生方式および記録再生デバイスの研究に従事。セルフコンシスティントベクトル記録理論の確立と計算機シミュレーションによる解析、垂直磁化方式の研究などを行い、最近は大容量高速ストレージシステムの研究に興味を向いている。平成13年5月映像情報メディア学会・丹波高柳賞功績賞受賞。平成14年9月日本応用磁気学会学会賞。平成15年5月電子情報通信学会功績賞。映像情報メディア学会、日本応用磁気学会、電子情報通信学会、IEEE、各会員。IEEE及び電子情報通信学会フェロー。

【主な研究発表】

1. H.Yamada, T. Shimatsu, I.Watanabe, R. Tsuchiyama, H. Aoi, H. Muraoka, Y. Nakamura : "Read/write performance of perpendicular double-layered cylindrical media", J. Magn. and Magn. Mater., 287, No.4, pp.486-490, 2005.
2. Y Suzuki, Y Nishida, H.Aoi : "Spacing loss factor for the read back from a perpendicular medium with a soft underlayer", J. Magn. and Magn. Mater., 287, No.4, pp.138-143, 2005.
3. Y Suzuki, H.Saito, H.Aoi, H.Muraoka, Y. Nakamura : "Reproduced waveform and bit errorrate analysis of a patterned perpendicular medium R/W channel", J. Appl. Phys., 97, No.10, pp.10P108, 2005.

3. 5 ナノ・スピニ実験施設の目標と成果

「ナノ・スピニ実験施設」は、本研究所附属研究施設として平成16年4月1日に設置された。その目的は、情報通信を支えるナノエレクトロニクス・スピントロニクス基盤技術を創生することにある。これを実現するため、「IT プログラムにおける研究開発推進のための環境整備」によって整備されたナノ・スピニ総合研究棟とその主要設備を用いて、本研究所および本所と密接な関係にある本学電気・情報系の各研究分野と共にナノテクノロジーに基づいた電子の電荷・スピニを駆使する基盤的材料デバイス技術の研究開発を進め、さらに全国・世界の電気通信分野の研究者の英知を結集した共同プロジェクト研究を推進する。

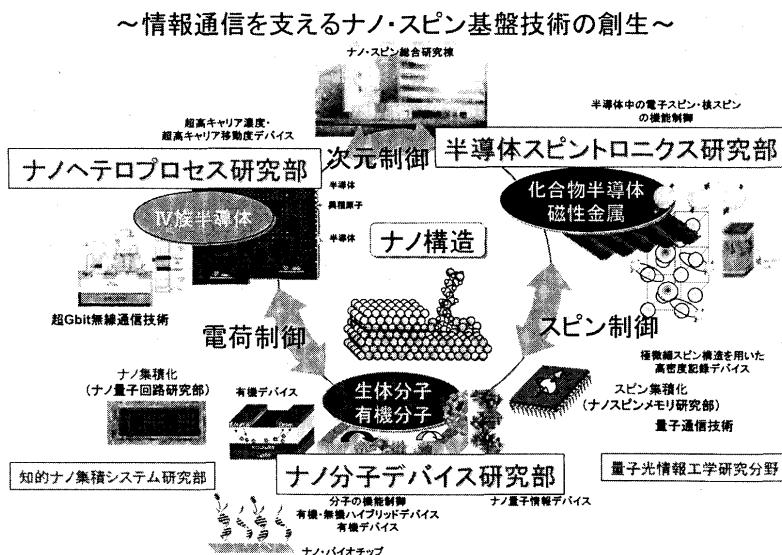
現在、ナノ・スピニ総合研究棟では、「ナノ・スピニ実験施設」の3研究部、すなわちナノヘテロプロセス研究部、半導体スピントロニクス研究部、ナノ分子デバイス研究部と施設共通部、及び知的ナノ集積システム研究部、量子光情報工学研究分野が入居し連携して研究を進めている。

ナノヘテロプロセス研究部では、Siの物性限界・微細化限界を超えて電荷を究極制御するために、表面・界面が原子精度で制御されたナノヘテロIV族半導体製作技術とナノ立体加工技術の確立と同時に、原子精度ナノヘテロデバイス製作プロセスを構築する。

半導体スピントロニクス研究部では、スピニを用いた演算・記憶・伝送機能のデバイス化、スピニを用いた量子情報処理機能の探索、量子構造における赤外・テラヘルツレーザ光発生、を中心に電荷・スピニの自由度を用いた情報通信機能を実現する。

ナノ分子デバイス研究部では、超分子、有機半導体やDNAなどの生体分子など、電子や光に多様に応答する分子を活用した新たな分子デバイスの開発や、分子認識をベースとした生体情報を物理信号に変換する生体分子情報処理デバイスの開発を行う。

今後施設にはナノ量子回路研究部、ナノスピニメモリ研究部が整備される予定である。これらの陣容で、上記基盤技術を創生し、ナノエレクトロニクス・スピントロニクスにおける世界のCOEとなることを目標としている。



ナノヘテロプロセス研究部

半導体立体ナノ構造の実現と応用のための 基盤技術の研究

薄膜形成やエッチングを原子オーダの精度で制御するプロセス技術の開発は、将来の超大規模集積回路（ULSI）の大容量化・高速化や量子効果を積極的に利用した新機能デバイス製作、さらに、従来のバルク材料とは異なる未知の新物性を持つ材料の創生のために極めて重要である。本研究部は、Siの物性限界・微細化限界を超えて、電荷の究極制御をSi集積回路にオンチップで達成するために、表面・界面が原子精度で制御されたナノヘテロ人工IV族半導体製作技術とナノ立体加工技術をモレキュラー制御により確立すると同時に、原子精度ナノヘテロデバイス製作プロセスを構築することを目指とする。(図1)

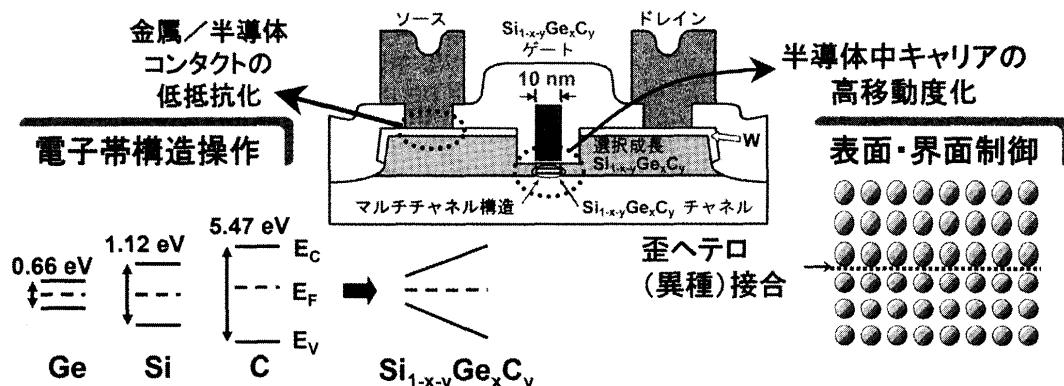


図1. ナノヘテロ人工IV族半導体の創成とナノヘテロデバイスへの応用。

【ナノヘテロ人工IV族半導体製作技術とナノ立体加工技術】

表面・界面が原子精度で制御されたナノヘテロ人工IV族半導体を製作するためには、ヘテロ界面での相互拡散を抑制することが不可欠であり、成膜温度の低温化がポイントとなる。本年度は、ECR Arプラズマ照射下でのGeH₄表面反応について調べた結果、基板非加熱下のSi(100)基板上に高度に歪んだGe薄膜がエピタキシャル成長し、膜厚・イオンエネルギーの増加とともに歪緩和が進行することを見いだした。(図2) また、従来の熱CVD法では異種表面での成長初期に表面荒れが起こりやすいが、上記で得られたGe薄膜は厚さ1 nm以下から数十nmにわたって、原子レベルで表面平坦性に優れることを確認した。さらに、Si(100)基板上において、Arプラズマ照射下でのN₂表面反応による原子層窒化とその上でのSiH₄表面反応によるSiエピタキシャル成長条件を見いだし、超高

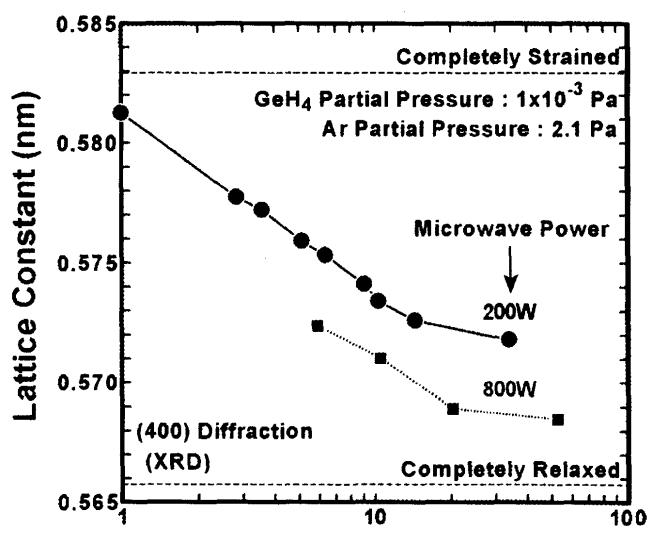


図2. 基板非加熱下でSi(100)上にエピタキシャル成長したGe薄膜の厚さ方向格子定数の膜厚依存性。

濃度NデルタドープSiエピタキシャル薄膜の形成に成功した。このように、高品質ナノヘテロ人工IV族半導体構造の実現を目指し、そのために不可欠となるナノオーダ厚さの異種薄膜および超高濃度不純物ドープ薄膜の積層について研究を進めている。
【ナノヘテロデバイス製作プロセス】

人工IV族半導体のナノ立体加工のために異方性エッチング制御技術が重要となる。本年度は、塩素プラズマによる $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 薄膜の異方性エッチング過程における側壁形状の改善と塩素に添加する窒素あるいは酸素の分圧比との関係に着目し、側壁上に形成されるSi窒化膜あるいはGe酸化膜が塩素ラジカルによるサイドエッチングを効果的に抑制する結果、エッチング異方性が向上することを見いだした。現在、さらに、立体加工したナノヘテロ人工IV族半導体の物性とそのデバイス応用についても研究を進めている。

〈職員〉

教授 室田 淳一（1995年より）
助教授 櫻庭 政夫（2002年より）
助手 竹廣 忍（2002年より）

〈室田淳一教授のプロフィール〉

1948年生まれ。1970年北大・工・電子卒。1972年同大学院修士課程修了。同年日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所入所。1983年同公社厚木電気通信研究所を経て、1985年東北大学電気通信研究所助教授、1995年同教授、現在に至る。半導体プロセスの研究に従事。

〈研究テーマ〉

1. Si-Ge-C系IV族半導体の原子精度極限ヘテロ積層に関する研究
2. IV族半導体ナノヘテロ積層構造への不純物層挿入に関する研究
3. ヘテロ積層構造の3次元ナノ立体加工に関する研究
4. ヘテロ積層立体ナノ構造物性に関する研究
5. ナノヘテロ立体構造形成装置技術に関する研究
6. Siベースナノヘテロデバイス製作プロセスに関する研究

〈主な研究発表（2004年度）〉

1. Atomically Controlled Ge Epitaxial Growth on Si(100) in Ar Plasma Enhanced GeH_4 Reaction, K. Sugawara, M. Sakuraba and J. Murota, Mat. Sci. Semiconductor Processing, Vol.8, pp.69-72, (2005).
 2. Electrical Properties of W Delta Doped Si Epitaxial Films Grown on Si(100) by Ultraclean Low-Pressure Chemical Vapor Deposition, T. Kurosawa, T. Komatsu, M. Sakuraba and J. Murota, *ibid.*, Vol.8, pp.125-129, (2005).
 3. Electrical Properties of N Atomic Layer Doped Si Epitaxial Films Grown by Ultraclean Low-Pressure Chemical Vapor Deposition, Y. Jeong, M. Sakuraba and J. Murota, *ibid.*, Vol.8, pp.121-124, (2005).
 4. Si Epitaxial Growth on Atomic-Order Nitrided Si(100) Using Electron Cyclotron Resonance Plasma, M. Mori, T. Seino, D. Muto, M. Sakuraba and J. Murota, *ibid.*, Vol.8, pp.65-68, (2005).
 5. Sidewall Protection by Nitrogen and Oxygen in Poly-Si_{1-x}Ge_x Anisotropic Etching Using Cl₂/N₂/O₂ Plasma, H.-S. Cho, S. Takehiro, M. Sakuraba and J. Murota, *ibid.*, Vol.8, pp.239-243, (2005).
 6. Integration of Si p-i-n Diodes for Light Emitter and Detector with Optical Waveguides, A. Yamada, M. Sakuraba and J. Murota, *ibid.*, Vol.8, pp.435-438, (2005).
 7. Atomically Controlled Impurity Doping in Si-Based CVD Epitaxial Growth (Invited Paper), J. Murota, M. Sakuraba, and B. Tillack, 2004 Mat. Res. Soc. Spring Meeting, Symp. B: High-Mobility Group-IV Materials and Devices, San Francisco, CA, Apr. 12-16, 2004.
 8. Low-Temperature SiGe(C) Epitaxial Growth by Ultraclean Hot-Wall Low-Pressure CVD (Invited Paper), J. Murota, Proc. SiGe: Materials Processing and Device (The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2004), PV.2004-07, pp.825-836.
 9. Atomically Controlled Impurity Doping for Future Si-Based Devices (Invited Paper), J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, 2004 Int. Conf. on Solid-State and Integrated-Circuit Technol. (ICSICT), Beijing, China, Oct. 18-21, 2004, pp.557-562.
- 他 学術雑誌7件、国際会議発表論文32件

半導体スピントロニクス部

極微細波動基盤技術： 半導体スピントロニクスからテラヘルツ光の発生まで

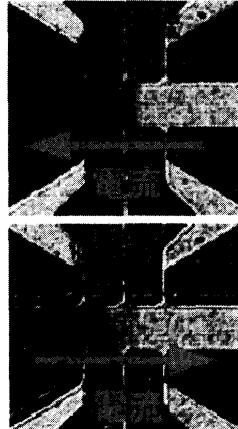
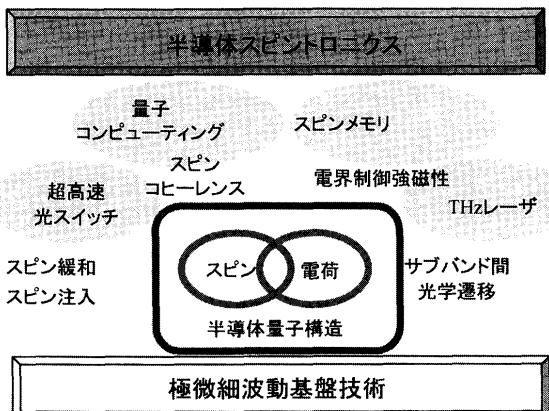


図 1. カー偏光顕微鏡により観測した(Ga,Mn)Asの磁区構造。像の濃淡が磁化の上向き、下向き領域に相当する。電流により磁壁位置が移動し、素子の中心領域の磁化が反転していることが分かる。

1. 部の目標

半導体スピントロニクス部では、半導体内の電子状態を制御し工学的に応用するため極微細波動基盤技術の研究を進めている。具体的には、化合物半導体量子構造を対象に、新しい半導体材料の開発、量子構造の作製と性質の理解、それらの超高速電子デバイス応用に関する研究を行っている。特に、スピンと電荷の自由度の両方を使った半導体スピントロニクスや、今後の情報通信に必要な半導体THzコヒーレント光源の実現を目指している。また、金属磁性体を用いたスピンメモリ素子の研究も精力的に行っている。

本研究室では、GaAs/AlAs, InAs/GaSb, GaN, ZnOなどの非磁性半導体と、III-V族ベースの新しい強磁性半導体(Ga,Mn)As, (In,Mn)As, 及び新しい閃亜鉛鉱型室温強磁性体CrSbを取り上げ、分子線エピタキシ法で高品質な量子構造を成長している。これまでに、半導体スピントロニクスのための強磁性半導体/非磁性半導体量子構造の作製とそのスピン物性の解明を行うと共に、二次元電子間の量子輸送現象における新しいスピン現象を明らかにしてきた。また、InAs量子井戸中のサブバンド間の光学遷移によるレーザ発振を世界で初めて電流注入により実現した。更に、金属磁性体磁気抵抗素子において世界最高の出力を得ることに成功している。これらの研究により、固体材料中のスピンを用いたユニバーサルなメモリや現在のコンピュータが不得意な計算を桁違いに高速に実行できる量子コンピューティングなどの新しいデバイス・システムを実現することに力を注いでいる。

2. 過去1年間（2004年4月から2005年3月まで）の主な成果

- 2.1 (Ga,Mn)As中の電流による磁壁移動により、外部磁化に依らない強磁性半導体の磁化反転を世界で初めて実現した。電流方向により、再現性良く磁化方向を制御できることを示した。
- 2.2 (Ga,Mn)As/GaAs/(Ga,Mn)Asトンネル磁気抵抗素子において、フリー層に相当する(Ga,Mn)As層の磁化方向を素子に流すパルス電流方向で制御できることを示した。

2.3 GaAs/AlGaAs (110)量子井戸におけるキャリアスピニ・核スピニ相互作用のゲート電界による制御を実現し、相互作用の大きさと金属-絶縁体転移の関連性を明確にした。

2.4 InAs量子カスケード構造でサブバンド間遷移レーザ(波長 $14\mu\text{m}$)を低闇電流(1kA/cm^2 以下)で発振させ、中赤外領域固体レーザの高性能化への端緒を得た。

3. 職員名

教 授：大野英男（1994年より）

助教授：大野裕三（2001年より）

助 手：松倉文礼

助 手：大谷啓太

非常勤研究員：池田正二

非常勤研究員：許 懐哲

非常勤研究員：李 永珉

4. 教授のプロフィール

1982年東京大学工学系研究科電子工学専攻修了。工学博士。1982年北海道大学講師、1983年北海道大学助教授、1988-1990年IBM T. J. Watson研究所客員研究員、1994年より東北大学教授。第12回日本IBM科学賞、2003年度The IUPAP Magnetism Prize受賞。応用物理学会、日本結晶成長学会、日本物理学会、電子情報通信学会、APS、IEEE、AVS会員。

＜研究テーマ＞

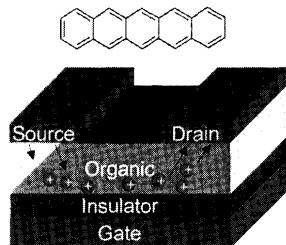
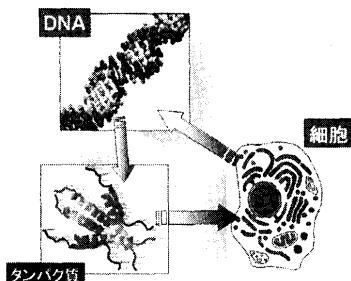
1. 半導体スピントロニクスに関する研究
 - (a) 強磁性半導体およびその量子構造の物性と応用
 - (b) 半導体スピニメモリの開発
 - (c) 半導体量子構造中のスピニコヒーレンスの研究と量子情報技術への応用
2. 量子構造によるTHz～遠赤外光発生の研究
3. 量子構造における量子輸送現象の研究
4. 半導体量子構造に関する研究
5. 金属磁性体素子とそのメモリへの応用に関する研究

5. 過去1年間（2004年4月から2005年3月まで）の主な発表論文

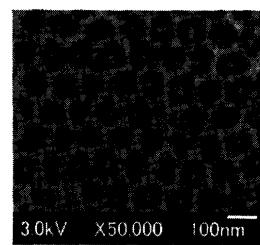
- 1 . H. Sanada, S. Matsuzaka, K. Morita, C. Y. Hu, Y. Ohno, and H. Ohno, "Gate Control of Dynamic Nuclear Polarization in GaAs Quantum Wells" Phys. Rev. Lett. 94, pp. 097601_1-4, March 2005.
- 2 . A. Tsukazaki, A. Ohtomo, T. Onuma, M. Ohtani, T. Makino, M. Sumiya, K. Ohtani, S. Chichibu, S. Fuke, Y. Segawa, H. Ohno, H. Koinuma, and M. Kawasaki, "Repeated temperature modulation epitaxy for p-type doping and light-emitting diode based on ZnO," Nature Materials, 4, pp. 42-46, Dec. 2004.
- 3 . Y. Li, C. Ren, P. Xiong, S. von Molnar, Y. Ohno, and H. Ohno, "Modulation of noise in submicron GaAs/AlGaAs Hall devices by gating," Phys. Rev. Lett. 93, 22602_1-4, Dec. 2004.
- 4 . D. Chiba, Y. Sato, T. Kita, F. Matsukura, and H. Ohno, "Current-Driven Magnetization Reversal in a Ferromagnetic Semiconductor (Ga,Mn)As/GaAs/(Ga,Mn)As Tunnel Junction," Phys. Rev. Lett. 93, 21602_1-4, Nov. 2004.
- 5 . D. Chiba, M. Yamanouchi, F. Matsukura, and H. Ohno, "Control of magnetization reversal in ferromagnetic semiconductors by electrical means," J. Phys.: Cond. Matter. 16, pp. S5693-5696, Nov. 2004.
- 6 . T. I. Suzuki, A. Ohtomo, A. Tsukazaki, F. Sato, J. Nishii, H. Ohno, and M. Kawasaki, "Hall and field-effect mobilities of electrons accumulated at a lattice-matched at a lattice-matched ZnO/ScAlMgO₄ heterointerface," Advanced Materials 16, pp. 1887-1890, Nov. 2004.
- 7 . J. Hayakawa, K. Ito, M. Fujimori, S. Heike, T. Hashizume, J. Steen, J. Brugger, and H. Ohno, "Current-driven switching of exchanged biased spin-valve giant magnetoresistive nanopillars using a conducting nanoprobe," J. Appl. Phys. 96, pp. 3440-3442, Sep. 2004.
- 8 . K. Ohtani, K. Fujita, and H. Ohno, "A Low Threshold Current Density InAs/AlGaSb Superlattice Quantum Cascade Laser Operating at $14\mu\text{m}$," Jpn. J. Appl. Phys. 43, pp. L879-881, June 2004.
- 9 . H. Ohno, "Ferromagnetic semiconductor heterostructures," J. Magn. Magn. Mater. 272-276, pp. 1-6, 2004.
10. M. Yamanouchi, D. Chiba, F. Matsukura, and H. Ohno, "Current-induced domain-wall switching in a ferromagnetic semiconductor structure," Nature 428, pp. 539-542, April 2004.

ナノ分子デバイス研究部

分子情報デバイスの表面・界面のナノスケール制御と 新機能ナノ分子デバイスの創製



有機半導体デバイス



ポーラスアルミナ規則ナノ構造のSi基板表面への転写

1. 分野の目標

情報デバイスにおいて要求される処理能力は年々増加の一途を辿っており、今後、より大量の情報を高速に処理していくためには、今までの無機半導体を中心としたデバイスだけでなく、有機半導体さらにはDNAなどの生体分子をも含めた、電子や光に多様に応答する分子・超分子を活用した新たなナノ分子デバイスの開発が必要となる。また、今後ますますその重要性が増すゲノム情報を処理するためには、バイオテクノロジーと融合した生命情報処理デバイスの開発も不可欠である。このような時代の要請に応えるために、次世代の分子情報デバイスの創製に必要な、新機能分子材料の探索とともに、20世紀に培ったSi半導体技術を基盤にして、これら分子材料をSi半導体と様々な形で融合した新しいデバイスの実現に向けた基盤研究を行うことを分野の目標としている。

2. 過去1年間の主な研究成果

(1) ポーラスSiを利用した生体分子の高感度検出

DNAが1本鎖から2本鎖になるとき、すなわちDNAがハイブリダイゼーション（相補対形成）するとき、その変化は赤外吸収スペクトルに現れることを多重内部反射型赤外吸収分光法を用いて確認した。この結果をDNAマイクロアレイへ応用するためには、微細領域でのDNAの検出が不可欠である。そこで、十数 μm の空間分解能を有する顕微赤外分光法を用いたDNAの検出を試みた。しかしながら、顕微赤外吸収分光法では光量及び吸収体の量が微量なため、そのS/Nは一般的に低く、DNAを検出することはできない。そこで、膨大な表面積を有するポーラスシリコン(por-Si)薄膜にDNAを固定化し吸収体の量を増やすことにより、DNAの検出に成功した。この結果は、赤外分光法を用いたDNAチップが実現可能であることを示している。

(2) ポーラスアルミナ規則ナノ構造のSi基板表面への転写

赤外分光法を用いたSi基板表面上でのAl薄膜の陽極酸化過程のその場解析及びSEMによる観察により、Al/Si界面での電解液の振る舞いが形成したポーラスアルミナ膜底部の形状変化、剥離に大きな影響を与えてることがわかった。また、ポー

ラスアルミナ薄膜をマスクとしてSi表面を電気化学的にエッティングすることにより、ポーラスアルミナの規則構造（蜂の巣構造）をSi基板表面へ転写することに成功し、電気化学という安価な手法のみにてSi規則ナノ構造が形成できることが示された。

(3) 有機半導体における光誘起ドーピング機構の観察

チオフェン薄膜に対して遮光下で酸素ドーピングを行うとチオフェンのカチオンが生成されることを多重内部反射赤外分光（MIR-IRAS）測定から直接観測することに成功した。さらに、有機分子から酸素分子への電子移動反応が光吸収によって飛躍的に促進されることを見出し、「光誘起ドーピング」機構を提案した。また、光照射を終了した後も、生成した正孔は長時間にわたって膜中に維持されることもMIR-IRAS測定より明らかにした。このことは、光照射量を変えることで定量的にドーピングレベルを制御できることを示しており、新しいドーピング法としての展開が大いに期待される。

3. 職員

教授 庭野 道夫（1998年より）
助教授 石井 久夫（2002年より）
助手 木村 康男（1999年より）

4. 教授のプロファイル

昭55東北大学大学院理学研究科博士課程修了。理学博士。昭55宮城教育大助手、昭61東北大学助手（電気通信研究所）、昭63助教授、平10教授。これまで固体光物性、半導体表面物性、半導体材料工学、表面化学の研究に従事。最近は、赤外分光による表面物性の研究や分子デバイスの開発研究に力を注いでいる。応用物理学会、表面科学会、日本物理学会、電気情報通信学会、電気学会などの会員。

5. 過去1年間の主な研究発表論文

- [1] Hirokazu Shiraki, Yasuo Kimura, Hisao Ishii, Sachiko Ono, Kingo Itaya, and Michio Niwano, "Investigation of formation processes of an anodic porous alumina film on a silicon substrate", *Applied Surface Science* **237**, 369-373 (2004).
- [2] Yasuo Kimura, Hirokazu Shiraki, Hisao Ishii, Sachiko Ono, Kingo Itaya, and Michio Niwano, "In-situ Observation of Formation Processes of Anodic Porous Alumina on a Si Substrate Using Infrared Absorption Spectroscopy", *Materials Research Society Symposium Proceedings* **788**, L8.6.1-L8.6.5 (2004).
- [3] 篠原正典, 片桐輝昭, 岩辻圭太郎, 松田良信, 藤山寛, 木村康男, 庭野道夫, 「酸素プラズマ中でのSi表面水素の挙動」, *表面科学* **25**, 541-547 (2004).
- [4] 小川賢, 木村康男, 石井久夫, 庭野道夫, 「変位電流評価法で調べたペンタセン有機電界効果トランジスタ界面のキャリア挙動」, *表面化学*, **25**, 513 (2004).
- [5] Ishii H, Hayashi N, Ito E, Washizu Y, Sugi K, Kimura Y, Niwano M, Ouchi Y, Seki K, "Kelvin probe study of band bending at organic semiconductor/metal interfaces: examination of Fermi level alignment", *PHYSICA STATUS SOLIDI A-APPLIED RESEARCH* **201**, 1075-1094 (2004).
- [6] Sugi K, Ishii H, Kimura Y, Niwano M, Ito E, Washizu Y, Hayashi N, Ouchi Y, Seki K, "Characterization of light-erasable giant surface potential built up in evaporated Alq(3) thin films", *THIN SOLID FILMS* **464-465**, 412-415 (2004).
- [7] Shinohara M, Katagiri T, Iwatsuki K, Matsuda Y, Fujiyama H, Kimura Y, Niwano M, "Oxygen-plasma induced hydrogen desorption from hydrogen-terminated Si(100) and (111) surfaces investigated by infrared spectroscopy", *THIN SOLID FILMS* **464-465**, 14-17 (2004).
- [8] Okamura K, Hosoi Y, Kimura Y, Ishii H, Niwano M, "Adsorption of cata-condensed aromatics on a Si(100)-2 x 1 surface investigated by infrared absorption spectroscopy", *APPLIED SURFACE SCIENCE* **237**, 439-443 (2004).
- [9] Shinohara M, Katagiri T, Iwatsuki K, Matsuda Y, Kimura Y, Niwano M, Fujiyama H, "Plasma oxidation process of silicon surfaces investigated by infrared spectroscopy", *JOURNAL OF ADVANCED OXIDATION TECHNOLOGIES* **8**, 41-46 (2005).

- [10] Okamura K, Ishii H, Kimura Y, Niwano M, "Adsorption of naphthalene on a Si(100)-2 x 1 surface investigated by infrared spectroscopy", SURFACE SCIENCE **576**, 45-55 (2005).
- [11] Shinohara M, Katagiri T, Iwatsuji K, Matsuda Y, Fujiyama H, Kimura Y, Niwano M, "Oxidation of the hydrogen terminated silicon surfaces by oxygen plasma investigated by in-situ infrared spectroscopy", THIN SOLID FILMS **475**, 128-132 (2005).
- [12] Miyamoto K, Ishibashi K, Hiroi K, Kimura Y, Ishii H, Niwano M, "Label-free detection and classification of DNA by surface vibration spectroscopy in conjugation with electrophoresis", APPLIED PHYSICS LETTERS **86** 053902-1- 053902-3 (2005).

附属研究施設

3. 6 ブレインウェア実験施設の目標と成果

東北大学電気通信研究所附属ブレインウェア実験施設は、平成16年4月の研究組織の改組・再編とともに新設された。その目的は、電腦世界と時々刻々複雑に変化する実世界をシームレスに融合する次世代情報システムを、世界に先駆けて実現する基盤技術を創製することにある。本施設は、実世界コンピューティング研究部、ブレインアーキテクチャ研究部、知的ナノ集積システム研究部の現3研究部構成に加えて、サイバーロボット研究部、先端ヒューマンインターフェース研究部の整備が予定されており、関連各研究分野の協力の下に、施設の運営を行う。そのために、本研究所及び本所と密接な関係にある本学電気・情報系の各研究分野の研究成果と全国のブレインウェア分野の研究者の英知を結集して研究を行う。次に各研究部の目的と目標を示す。

実世界コンピューティング研究部：生体システムの持つ柔軟な情報処理原理を明らかにし、実世界の複雑性に対応できる工学的展開を図る。複雑な実世界において機能する情報システムを、記憶を用いた自己言及性による仮説生成及び行為的な実践による認識サイクルにより理論的基礎を明らかにし、その機構を応用した情報システムを実装する。

ブレインアーキテクチャ研究部：配線数増大に起因する性能劣化・電力消費増大が超微細化VLSI実現において益々重要となる。そこで本研究部では、大局的配線を極力削減する新アーキテクチャとしてロジックインメモリ構造とその実現法に関する研究、並びに大局的配線を高速に駆動するための新概念回路技術として多値電流モード非同期回路に関する研究を推進し、次世代超性能VLSIの実現を目指す。

知的ナノ集積システム研究部：知的情報処理システムの確立、知的集積回路のCADとその製作、人工集積神経回路網の解析と応用、並びにそれに向けた新しいデバイスの開発を目標としている。それに伴い、大規模集積回路の構成全般にわたる設計・製作・検査から組立てまでの新概念に基づく基盤技術の開発を行う。これらにより、知的ナノ集積システムの構築を目指す。



以下に各研究部ごとの本年度の研究成果のハイライトを記す。

矢野研究室

実世界の情報処理は従来の逐次的で硬い論理を用いるだけでは対応することが出来ない。予測不可能的に変化する環境における認識・制御は、「見なし情報」と言われる拘束条件を創り充足する方法論、いわゆる逆問題を解くことが必要となる。この逆問題の解法を2足歩行ロボットにおいて適用し、無限定環境下における有用性を確認した。

羽生研究室

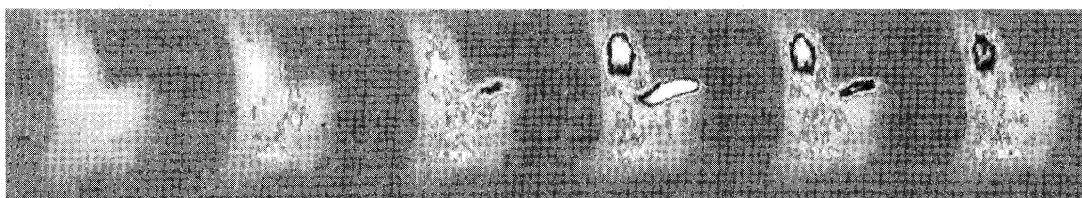
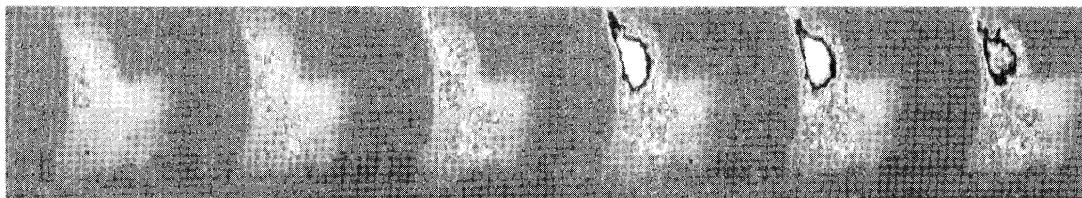
ロジックインメモリ回路技術として、トンネル磁気抵抗効果素子を活用した不揮発性回路技術を考案し、同等機能CMOS実現と比較して同一のスイッチング速度下で動的消費電力を30%に低減、静的消費電力を2桁程度まで大幅削減できることを明らかにした。また、多値符号化法とその電流モード回路技術の考案により、非同期同時双方向データ転送が2線のみで実現できることを示し、従来形非同期データ転送方式と比べ2倍以上の高速化が達成できることを明らかにした。

中島研究室

官能外観検査用ハードウェアニューロシステムの開発、連続時間ニューロシステムのリミットサイクル生成機構の解明、逆関数遅延モデルニューロシステムの最適化問題解法の性能向上、同離散時間モデルの開発、同自己連想記憶システムの構築に成功した。専用学習制御回路によるストカスティック1024ニューロハードシステムのHebb学習及び強化学習を実現した。ニューロ的手法による量子計算アルゴリズムの核スピン、超伝導量子ビットへの適用可能性を確認し、高温超伝導体における巨視的トンネル現象の観測、確率共振現象を利用した单電子トランジスタによる電荷検出回路の設計に成功した。磁束量子ストカスティックニューロシステムの動作速度（～3.89GHz）と、その集積回路用伝送線路の集積化方法を開発した。

実世界コンピューティング研究部

匂い認識に関連する微小脳時空間ダイナミクス



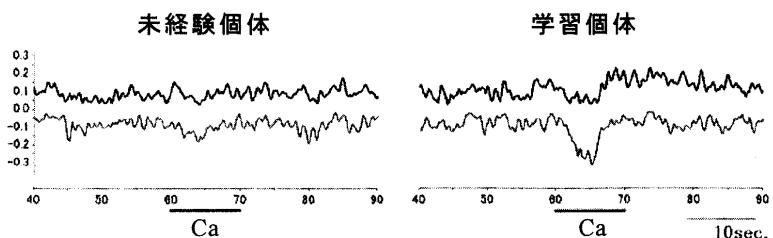
触角神経束刺激時の脳神経節時空間ダイナミクス

複雑な実世界における認識と制御の問題は工学の目指すゴールの一つであるが、未だその情報原理は明らかではない。これは環境が本質的に予測不可能的に変化するという意味で無限定であるためである。無限定な環境でシステムが機能するためには、時々刻々必要な情報を自ら獲得しなくてはならない。

学習・記憶という生物の自律的な情報の獲得は、脳の様々な領域が全体として機能することで初めて可能となる。脳における学習・記憶のメカニズムの解明には神経系全体の活動の測定と解析が不可欠である。陸産軟体動物ナメクジは外界認識をほぼ嗅覚のみで行っており、匂いの学習・記憶能力は脊椎動物に匹敵する。ナメクジの脳神経系は微小脳と呼ばれ、匂い感覚器である大触角と小触角と共に単離し脳全体の活動を計測することが可能である。

我々は、大小両触角神経束電気刺激時の脳神経節活動を膜電位感受性色素により蛍光輝度変化として光学的に測定し、刺激による主な活動領域が前脳葉と中脳葉であり、中脳葉領域の応答が前脳葉領域よりも50~60ミリ秒先行することが明らかにした。さらに、ニンジンの匂いを苦味物質であるキニジンとの連合により忌避条件付け学習した個体と、条件付けしないニンジン未経験個体を用い、様々な匂い刺激の中脳葉活動を電気的に測定した（右下図）。匂い刺激時においても中脳葉活動は前脳葉活動に先行し、中脳葉の活動強度は未経験個体と比較して学習個体の方が有意に高かった。

前脳葉は嗅覚情報処理に特化した領域、中脳葉は異なる感覚情報が集合することから行動決定に関わる非特異的情報処理を行う領域



匂い刺激の中脳葉領域の電気的活動。刺激としてニンジン(Ca)を用いた。ニンジンの匂いに対し、左は未経験の個体からの、右は忌避条件付け学習した個体からの結果。

と考えられている。また、中脳葉領域から前脳葉領域へは、モノアミン性投射による神経修飾が存在する。これらのことより、我々が明らかにした中脳葉領域の活動は、前脳葉における匂い情報処理及び微小脳全体における学習・記憶に関連した情報処理に重要な役割を担うことが示唆される。

微小脳における嗅覚情報の並列的処理は、高等生物の嗅覚・視覚・聴覚等の情報処理にも共通しており、脳の基本的動作原理と考えられる。微小脳における脳の動作原理の解明は柔軟な情報処理システムの設計原理を明らかとし、その工学的応用が期待される。

<職員>

教授 矢野 雅文（1992年より）
 助手 牧野 恒也、坂本 一寛、三浦 治己、富田 望
 COE 研究員 松尾 行雄

<教授のプロフィール>

福岡県久留米市生まれ、九州大学大学院理学研究科博士課程単位取得退学、東京大学助教授等を経て1992年より現職。脳の情報原理を解明することを目標に研究を進めている。特に脳の情報処理の柔軟性は情報生成能力によるものであると考え、これまでの自他分離の情報処理方式から自他非分離の情報処理、とりわけ脳の仮説生成論理の解明とその工学的応用に力点を置いている。

<研究テーマ>

1. 視覚認識における情報表現と図と地の分離の研究
2. 記憶の生成とその時空間的発展のメカニズム
3. 無限定環境下における2足歩行・6足歩行ロボットの研究
4. コンテキストに依存する神経回路の役割の研究
5. 音響定位と不特定話者の音声認識の研究

<主な研究発表>

1. Ikuo Matsuo, Masafumi Yano; An echolocation model for the restoration of an acoustic image from a single-emission echo. (2004, J. Acoust. Soc. Ame. Vol.116, 3782-3788)
2. Ikuo Matsuo, Kenji Kunugiyama, Masafumi Yano; An echolocation model for range discrimination of multiple closely spaced objects: Transformation of spectrogram into the reflected intensity distribution. (2004, J. Acoust. Soc. Ame. Vol.115, 920-928)
3. Nozomi Tomita, Masafumi Yano; A model of bipedal walking controlled by the basal ganglia -brainstem systems. (2004, Proceedings of The Ninth International Symposium on Artificial Life and Robotics, pp.359-362)
4. Hisanori Makinae, Yoshinari Makino, Masafumi Yano; Spatiotemporal neural dynamics of the olfactory information processing in the cerebral ganglion of the terrestrial slug, *Inciliaria fruhstorferi*. (2003, Zoological Science, 20, p. 1580)
5. Masafumi Yano; Purposive locomotion of insect in indefinite environment. (2003, Proceedings of the 2nd International Symposium on adaptive motion of animals and machines)
6. Masafumi Yano, Shinpei Hibiya, Makoto Tokiwa, Yoshinari Makino; Real-time Control of Walking of Insect; Self-organization of the Constraints and Walking Patterns. (2002, Distributed Autonomous Robotic Systems 5, pp. 444-451)
7. Mushiaki H. Saito N. Furusawa Y. Izumiyama M. Sakamoto K. Shamoto H. Shimizu H. Yoshimoto T.; Orderly activations of human cortical areas during path-planning task. (2002, NeuroReport 13, 423-426)
8. Masafumi Yano, Yoshinari Makino, Haruki Miura and Hisanori Makinae; Synchronization in Olfactory Recognition as an Abductive Process. (2001, World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, XIX, 37-39)
9. Ikuo Matsuo, Junji Tani and Masafumi Yano; A model of echolocation of multiple targets in 3-D space from a single emission (2001, J. Acoust. Soc. AM. vol. 110, 607-624)

ブレインアーキテクチャ研究部

次世代VLSIコンピューティングパラダイムの構築

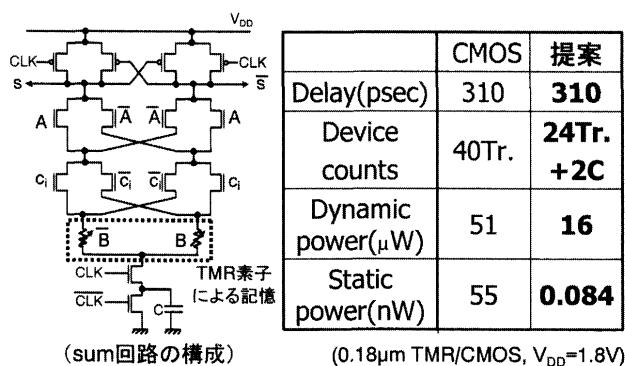


図1 TMRロジックによる実現例

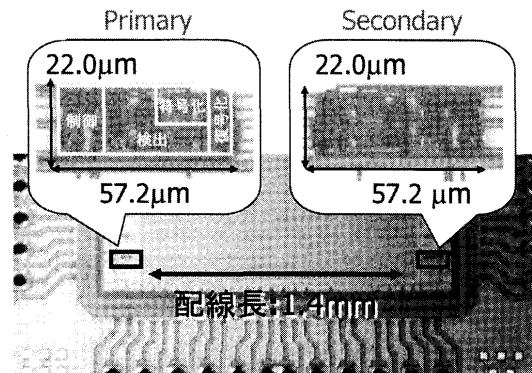


図2 非同期 Duplex 通信用LSI

1. 分野の目標

現在のVLSIでは、トランジスタなど能動素子自体のスイッチング遅延より配線遅延が支配的であり、配線に起因するメモリと演算器間のデータ転送ボトルネックがシステム性能を向上させる上で深刻な問題となっている。このような問題を解決した次世代VLSIコンピューティングを実現するために、アプリケーションオリエンティドなシステムアーキテクチャ・ハードウェアアルゴリズムを考案すると共に、転送ボトルネックを解消する新しい回路アーキテクチャを考案することが重要である。本研究分野では、次世代VLSIコンピューティングを目指し、従来の延長上にはない新しいパラダイムに基づくハードウェアアーキテクチャの研究を行っている。具体的には、次世代VLSIコンピューティングにおける配線問題を解決する新しい多値電流モード集積回路技術、記憶機能を演算回路に分散化させて膨大なメモリバンド幅を実現するロジックインメモリVLSIアーキテクチャ（図1）、次世代アーキテクチャの統合に基づく情報通信用スーパーチップの開発、超微細化構造に適合する新機能・多機能デバイスを活用したデバイスモデルに基づく次世代コンピューティングアーキテクチャ、クロック分配問題を解決できる高性能非同期制御方式（図2）などマルチメディア応用高性能VLSIプロセッサの実現に関する研究を行っている。

2. 過去1年間（2004年4月～2005年3月）の主な成果

2.1 TMRロジックに基づく新概念アーキテクチャに関する研究

不揮発性メモリ素子の1つであるトンネル磁気抵抗効果（TMR）デバイスを活用して演算機能を実現することで「記憶機能」と「演算機能」をコンパクトに一体化したロジックインメモリアーキテクチャが実現できる。この技術の活用で従来困難であったメモリからの超並列データアクセスや、素子数減少による電力消費の大幅低減などが可能となるため、VLSIアーキテクチャを根底から覆す技術と考えられる。一例として、算術演算の基本要素・全加算器を実現した場合、同等の遅延で動的消

費電力を30%程度に、静的消費電力を2桁程度低減できることを明らかにした。

2.2 電流モード回路技術に基づく高速非同期データ転送に関する研究

VLSIチップ内の高速モジュール間データ転送をクロック信号を用いずに実行する有力な方法として、多値2線符号化に基づく非同期Duplexデータ転送技術の開発に成功した。送信側と受信側の双方から要求信号を電流値で2線上に出力し、信号レベルの加算結果を観測することで両側の待機状態を同時に判定する非同期通信プロトコルを考案すると共に、これを多値電流モード回路で直接実現することで高性能化を達成した。本手法の活用により、従来の非同期方式と比べてスループットを249%に向か、電力消費を54%に低減できることを明らかにした。

3.職員名

教 授：羽生 貴弘（2002年4月より）
助 手：望月 明（2002年10月より）

4.教授のプロフィール

1984年3月東北大工学部電子工学科卒、1989年3月同大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程了。同年同大学工学部助手、1994年2月同助教授、2002年4月同大学電気通信研究所教授、現在に至る。多値ロジックインメモリ回路技術とそのマルチメディア応用VLSIコンピューティングに関する研究に従事。IEEE多値論理国際シンポジウム優秀論文賞2回受賞（1986, 1988）、丹羽記念賞受賞（1988）、坂井記念賞受賞（2000）、LSIデザイン・オブ・ザ・イヤー審査員特別賞受賞（2002）。

5.過去1年間（2004年4月～2005年3月）の主な発表論文等

- 〔1〕 A.Mochizuki and T.Hanyu, “Low · Power Multiple-Valued Current-Mode Logic Using Substrate Bias Control,” IEICE Trans.on Electronics, E87-C, 4, 582-588, April2004.
- 〔2〕 高橋, 羽生, 亀山, “双方向同時制御に基づく非同期データ転送方式とそのVLSI実現”, 信学論C, J87-C, 5, 459-468, May2004.
- 〔3〕 T.Takahashi and T.Hanyu, “Multiple-Valued Multiple-Rail Encoding Scheme for Low-Power Asynchronous Communication,” Proc. 34th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, 20-25, May 2004.
- 〔4〕 A.Mochizuki, T. Takeuchi and T. Hanyu, “Intra-Chip Address-Presetting Data-Transfer Scheme Using Four-Valued Encoding,” Proc. 34th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, pp.192-197, May 2004.
- 〔5〕 H.Kimura, K.Pagiamtzis, A. Sheikholeslami and T. Hanyu, “A Study of Multiple-Valued Magnetoresistive RAM (MRAM) Using Binary MTJ Devices,” Proc. 34th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, 340-345, May2004.
- 〔6〕 H.Kimura, T. Hanyu, M. Kameyama, Y. Fujimori, T. Nakamura and H.Takasu, “Complementary Ferroelectric – Capacitor Logic for Low-Power Logic-in-Memory VLSI,” IEEE J.Solid-State Circuits, SC-39, 6, 919-926, June 2004.
- 〔7〕 A.Mochizuki, D. Nishinohara and T. Hanyu, “ Low-Power Motion-Vector Detection VLSI Processor Based on Pass- Gate Logic with Dynamic Supply-Voltage/Clock-Frequency Scaling” IEICE Trans. on Electronics, E87-C, 11, 1876-1883, Nov.2004.
- 〔8〕 A. Mochizuki, T. Takeuchi and T. Hanyu, “Dynamically Function-Programmable Bus Architecture for High-Throughput Intra-Chip Data Transfer” IEICE Trans.on Electronics, E87-C, 11, 1915-1922, Nov.2004.
- 〔9〕 T.Takahashi, N. Onizawa and T. Hanyu, “Differential Operation Oriented Multiple-Valued Encoding and Circuit Realization for Asynchronous Data Transfer” IEICE Trans. on Electronics, E87-C, 11, pp.1928-1934, Nov.2004.

知的ナノ集積システム研究部

集積化知的情報処理システムの基盤技術の研究

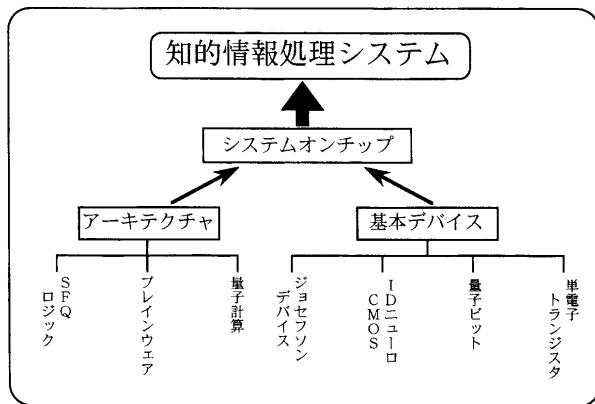
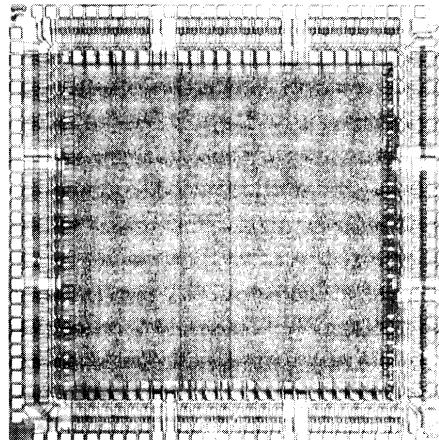


図1 知的ナノ集積システム研究部の研究目標

図2 ストカスティックニューロチップ
(50ニューロン搭載)

集積回路の大規模化とデジタルデバイスの高速化は情報処理の量と質を飛躍的に高めて現在の情報化社会を築き上げ、さらに発展し続けている。その方向は質と量の向上、つまり膨大な情報の知的な柔軟性のある高速処理の実現であり、脳における情報処理方式の解明をも視野に入れた研究開発が行われている。知的ナノ集積システム研究部ではこの方向に向かって、しかしデジタル素子の高速化のみではなく、回路・システムレベルからの広い可能性を加えて検討し、知的情報処理システムの設計、構成法の確立、そのためのCADや人工集積神経回路網の解析と応用、並びにそれに向けた新しいデバイスの開発を目指している。これまでに信頼性の高いパルス出力型の確率的動作を取り入れた百万シナプスユニットの集積化神経回路システムを開発、情報処理過程において陥る局所安定状態からの脱出をほぼ100%可能とするシステムの構成法を確立し、プロトタイプをシリコンチップ上に作り出した。また集積化超伝導素子を用いたFFTの構成や単電子トランジスタによるニューロシステムさらに量子計算へのニューロ的手法の導入などの提案を行っている。さらに新たな機能を持つデバイスや知的回路構成法を探索しており、次の世代の情報処理システムのゲートレベルからの新構築を目指して研究を進めている。

<過去1年間の主な成果>

官能外観検査システムの実用化を目指した、ハードウェアニューロシステムを開発した。連続時間ニューロシステムでは、ユニットの線形・非線形性に関わらずネットワーク結合様式が基本的なりミットサイクル生成機構の動的性質に影響することを示し、更に平均化法によりこの現象を説明する事に成功した。臨界状態ブレインシステムでは、我々が発見した発振状態を用いた最適化問題解法の方式に関して、逆関数遅延ニューロンモデルのゲインパラメータを無限大、出力遅延時定数を0とすることで最大の性能を發揮する事を数値実験によって明らかにした。また、本ニューロンモデルの離散時間化により計算時間の短縮に成功し、Fast Packet Switching問

題においてその性能の高さを確認した。さらに、本ニューロンモデルの自己連想記憶システムへの適用において、収束半径の収縮を回避しつつ記憶容量の増大を実現した。またマルチチップ構成のストカスティック1024ニューロンシステムにおいて、専用学習制御回路によりHebb学習及び強化学習を実現することにより、文字認識その他への応用が可能となった。量子計算デバイス実現へ向けて高温超伝導体における巨視的トンネル現象を観測し、低温超伝導体に比べて10倍程度高い温度での量子効果発現を確認した。量子計算アルゴリズムでは、独自に開発したニューロン的手法のアルゴリズムが核スピン、超伝導量子ビットへ適用可能であることを示した。またこれら量子現象の観測に応用する確率共振現象を利用した単電子トランジスタ電荷検出回路を設計しS/N比の高い検出が可能であることを示した。磁束量子システムでは、半導体回路の100倍以上高速な3.89GHzのストカスティックロジックニューロンシステムを設計し、素子のサイズを現行の1/5に微細化したプロセスを仮定すると演算性能が半導体回路に比べ 10^3 倍になることを示した。一方、信号の伝送遅延低減を目的としたニオブ陽極酸化膜を絶縁層とする伝送線路の集積化を行い、従来の1/3の線幅で集積化可能であることを示した。

〈職員〉

- 教授 中島 康治（1995年より）
 助教授 佐藤 茂雄（2002年より）
 助手 早川 吉弘、小野美 武

〈教授のプロフィール〉

1949年仙台市生まれ、東北大学工学部電気工学科、同大学院博士課程修了の後、東北大学電気通信研究所助手、助教授を経て1995年より同研究所教授。ジョセフソン能動伝送線路に関する研究で博士の学位を取得、その後磁束量子・反磁束量子のソリトンとしての相互作用の直接観測に成功、その結果を基に量子力学的な位相の概念に基づく電子計算機システムを提案し、基本集積回路の試作と動作の検証を行った。さらにシリコン集積回路による知的情報処理の研究に進み、現在は連想記憶システムやニューラルネットワークによる知的情報処理システムの実現を目指している。

〈研究テーマ〉

1. 集積化ニューラルネットワークの基本構成に関する研究
2. 逆閾数遅延ネットワークモデルに関する研究
3. ニューロン的手法を利用した量子計算機に関する研究
4. 量子計算のための基礎デバイスに関する研究
5. 超伝導位相モード計算機システムに関する研究

〈主な研究発表〉

1. H. Akima, S. Sato, K. Nakajima, “Single Electron Random Number Generator”, IEICE Trans. Electron., vol. E87-C, no. 5, pp. 832-834, May 2004.
2. C. Y. Park and K. Nakajima, “Asymptotic Analysis of Cyclic Transitions in the Discrete-Time Neural Networks with Antisymmetric and Circular Interconnection Weights”, IEICE TRANS. on FUNDAMENTALS, vol. E87-A, no. 6, pp.1487-1490, June 2004.
3. 佐藤茂雄、金城光永、中島康治、 “量子ニューラルネットワーク実現への試み 一量子ビットをニューロンとして使うためにー”, 電子情報通信学会誌小特集, vol. 87, no. 6, pp.488-492, June 2004
4. H. Akima, S. Yamada, S. Sato, and K. Nakajima, “Single Electron Stochastic Neural Network”, IEICE Trans. Fundamentals, vol. E87-A, no. 9, pp.2221-2226, Sep. 2004.
5. S. Akimoto, A. Momoi, S. Sato, and K. Nakajima, “Implementation of Continuous-Time Dynamics on Stochastic Neurochip”, IEICE Trans. Fundamentals, vol. E87-A, no. 9, pp.2227-2232, Sep. 2004.
6. K. Inomata, S. Sato, K. Nakajima, et. al., “Evaluation of junction parameters with control of carrier concentration in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ stacked junctions”, Physica C, vol. 412-414, Part II, pp.1396-1400, Oct. 2004.

7. A. Momoi, S. Akimoto, S. Sato, and K. Nakajima, "Implementation of a Large Scale Hardware Neural Network System based on Stochastic Logic" , Proceedings of the 2004 Joint International Neural Networks Conference, pp.2671-2676, Budapest Hungary, July 2004.
8. Y. Hayakawa, T. Denda, and K. Nakajima, "Inverse Function Delayed Model for Optimization Problems" , Proceedings of the 8th International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, Part I, pp.981-987, Wellington, New Zealand, Sep. 2004.
9. T. Kondo, M. Kobori, T. Onomi, and K. Nakajima, "Design and Implementation of Stochastic Neurosystem Using SFQ Logic Circuits" , 2004 Applied Superconductivity Conference, 2EK03, U.S.A., Sep. 2004.
10. K.Inomata, S.Sato, K.Nakajima, et. al., "Macroscopic quantum tunneling in d-wave high-Tc superconductor" , 2005 American Physics Society March Meeting, D12.00004, U.S.A., March 2005.

3.7 21世紀情報通信研究開発センターの目標と成果

産官学連携研究体制による情報通信技術（IT）に特化した実用化技術の確立

文部科学省ITプログラム推進体制の確立

＜センターの目的＞

電気通信研究所がこれまでに蓄積してきた情報通信技術（IT）に関する実績を、産官学連携研究開発体制により、5年間の期間をもって実用化技術として完成させることを目的とする。大学の保有する基本技術をコアとして、社会が求めるアプリケーションとマッチングをとり、設計・実装・評価まで行うことで、製品化へ適応可能な実用化技術を完成させる。プロジェクトの推進には、産業界からの技術者を多く受け入れ、大学の保有する先端技術、先端設備を研究開発現場にて体験することで、若手技術者の教育・社会人技術者の再教育センターとしての役割を果たす。また、開発した技術を用いた新しいビジネスモデルの創出とベンチャー企業の創出・育成などにより、日本全国並びに東北大学地区の産業振興に貢献し、日本のITバレーとしての地位を確立する。

現在は、2プロジェクト体制とし、センター専任としてモバイル分野・ストレージ分野を設置し、民間からプロジェクト担当教授を招聘した。平成14年から、文部科学省ITプログラム（RR2002）のプロジェクトとして、「次世代モバイルインターネット端末の開発」と「超高速高密度ハードディスクの開発」を受託し、研究開発を進めてきた。

平成16年度は、各プロジェクトにて下記の成果を得ている。

・次世代モバイルインターネット端末の開発

どこでも無線端末を設置可能なユビキタスネットワークの提供を実現するために、異種材料統合/三次元システムチップの開発を行い超低消費電力・超小型ワイヤレスモデムを開発する。さらに、60GHz帯を用いて1Gbpsを実現する超高速伝送ワイヤレス端末の開発を行う。

平成16年度は、超高速伝送ワイヤレス端末の開発ステップ1として、世界最高速5GHz帯324Mbps無線LAN端末の開発を完了した。また、三次元システムチップへの第一歩として、フリップチップボンディングによるIC実装、銅ボールによる基板積層実装の基礎検討を行った。また、端末小型化のためのRF/IF IC開発を行った。

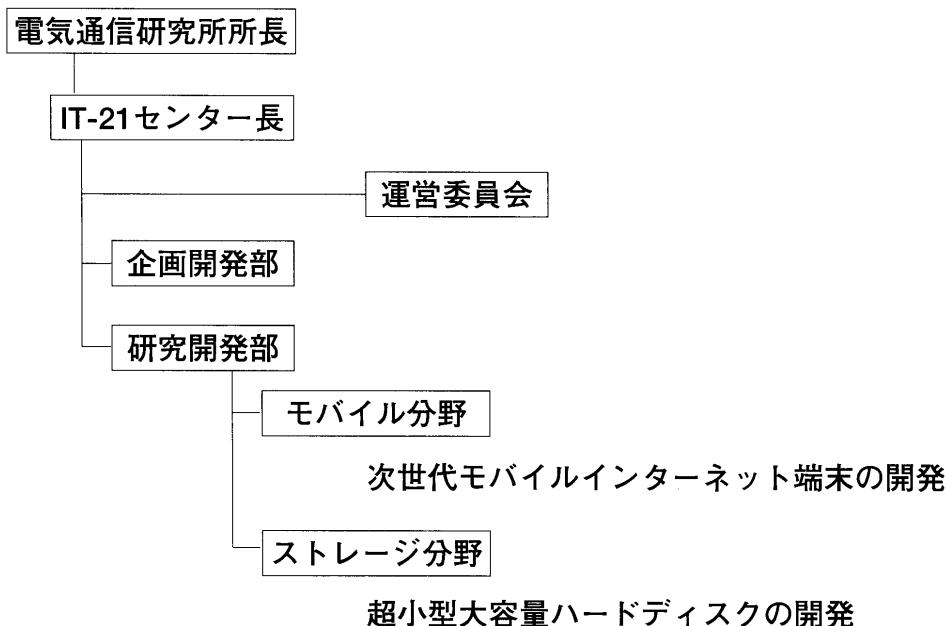
・超高速高密度ハードディスクの開発

垂直磁気記録技術を用いて1テラビット毎平方インチの超高密度記録と2 Gbpsを超える高速データ転送性能を併せ持つストレージ技術を確立する。その成果を基に、ネットワークのパーソナル側での超小型ユビキタス・ストレージと、センター側での大容量高速ストレージの実現を目指している。

平成16年度は、垂直磁気記録方式を用いて世界トップレベルの160 Gbits/inch²の記録密度の実証に成功した。また、同技術を用いて、500円玉サイズとしては世界最高の記録密度である130 Gbits/inch²（10GB相当）の超小型垂直磁気ハードディスクドライブを試作した。さらに、高速データ転送とROM内臓による超小型ハードディスクドライブのリムーバブル化を実現したユビキタス・パーソナル・サーバ

を試作し、ハイビジョン映像の転送に成功した。

21世紀情報通信研究開発センター組織体制



センター長

教授 坪内和夫

企画開発部

教授 種市百器

研究開発部

モバイル分野

教授 磯田陽次
客員助教授 岩田 誠

ストレージ分野

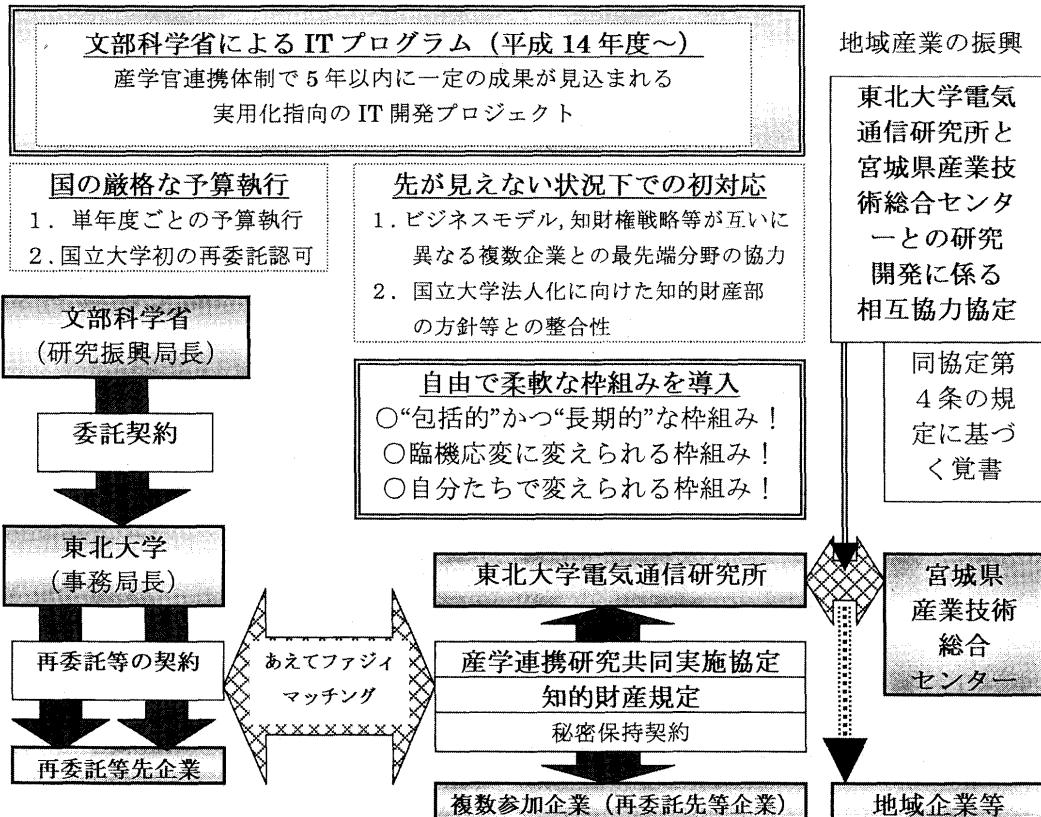
教授 青井 基
助教授 島津武仁
客員助教授 山川清志
助手 山田 洋

運営委員

本研究所教授	坪内和夫	大学院工学研究科教授	安達文幸
〃	中村慶久	〃	内田龍男
〃	高木 直	大学院情報科学研究科教授	亀山充隆
〃	青井 基	日本電気(株)	嶋脇秀徳
〃	種市百器	(株)富士通研究所	押木満雄
〃	長 康雄	事務部長	新田正人
〃	村岡裕明		
〃	鈴木陽一		
〃	白鳥則郎		
〃	大野英男		
〃	羽生貴弘		

企画開発部

効果的な産官学連携プロジェクト実施体制の構築



1. 部の目標：

- (1) 真に効果的な産官学連携体制の構築
- (2) 地域社会への技術的貢献体制の探索
- (3) 次世代ITへのプロジェクト展開研究

2・過去1年間（2003年4月～2004年3月）の主な成果：

(1) 真に効果的な産官学連携体制の構築：

電気通信研究所が平成14年度から5ヶ年計画により文部科学省研究振興局から受託したITプログラム（世界最先端IT国家実現重点研究開発プロジェクト）の3課題に係るプロジェクトは、電気通信研究所を中心とする強力な産学連携体制（cf.上図）のもとに順調に進展した。これらプロジェクトに直接参加している企業は、“次世代モバイルインター・ネット端末の開発プロジェクト（リーダー：坪内和夫教授）”の場合：三菱電機、日本電気、松下電器産業、日本テレコムの4社，“超小型大容量ハードディスクの開発プロジェクト（リーダー：中村慶久教授）”の場合：日立製作所、東芝、富士通、三菱総合研究所、富士電機の5社，“高機能・超低消費電力メモリの開発プロジェクト（リーダー：大野英男教授）”の場合：アルバック、日立製作所の2社、合計10社である。特筆すべきことは、平成14年10月10日に締結した「産学連携研究共同実施協定」、「知的財産規定」等に盛り込んだ特徴（①プロジェクト担当者レベルによる決定権の保持、②プロジェクトリーダーによる指導力確保、③「日本

版バイ・ドール法の趣旨」と「大学の新しい使命である“社会貢献”の趣旨」を臨機応変にバランス良く実現できる知財権体系)がいかんなく發揮されたことである。

(2) 地域社会への技術的貢献体制の探索：

ITプログラムのような国家プロジェクトを実施していくほかに、電気通信研究所が蓄積してきた研究開発成果を地域社会に還元していくことが重要である。このため、平成15年7月17日、「東北大学電気通信研究所と宮城県産業技術総合センターとの研究開発に係る相互協力協定書」を締結した。その趣旨は、世界最先端の研究を行う大学の研究所と地域企業を熟知している県の研究所が相互に協力して地域産業の振興を図ることにある。既に、この枠組みを利用して、「地域企業の技術者向け共催トレーニング」の開催、次世代無線LAN標準化委員会への共同参加、共同研究の提案など具体的な活動成果が得られている。なお、平成15年9月10日、「上記協定書第4条の規定に基づく覚書」を締結した。これにより、相互の研究施設、設備等を使って行う協力研究を円滑に進める土台が確立したので、今後のより密接な研究協力への道を開くことができた。平成16年12月13日には、本包括協定に基づく第1回の技術交流会が開催され地元企業との意見交換が行われた。

3.職員名：

教授 種市百器 (現職就任年：2004年)

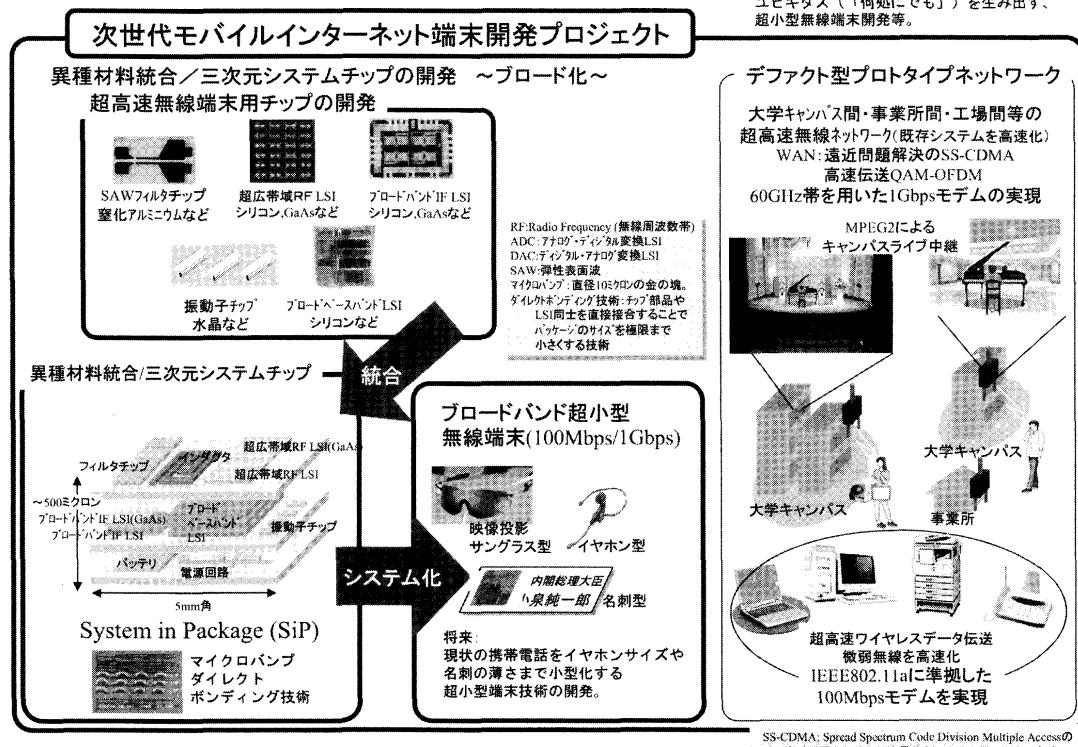
4.教授のプロフィール（研究歴等）：

1979年3月東京工業大学大学院総合理工学研究科修士課程終了、1979年4月科学技術庁入庁、1994年7月日本原子力研究所企画室調査役、1996年5月通商産業省工業技術院研究開発官(エネルギー輸送貯蔵担当)、1997年7月通商産業省関東通商産業局産業振興部長、1998年7月海洋科学技術センター企画部調査役、1999年10月科学技術振興事業団科学技術理解増進部調査役、2003年10月独立行政法人科学技術振興機構科学技術理解増進部調査役、2004年5月文部科学省大臣官房付、2004年6月より現職。

5.過去1年間（2004年4月～2005年3月）の主な発表論文：なし

研究開発部モバイル分野

次世代モバイルインターネット端末の開発



<分野の目標>

全てのエレクトロニクス機器に無線通信端末を実装し、ネットワークに接続するユビキタスネットワークを実現するための次世代モバイルインターネット端末の開発を目標に、電流モードアナログ信号処理による低消費電力無線通信コア回路の開発、60GHz帯の超高周波RF-IC開発による1Gbpsの伝送速度の実現、超高速ベースバンドLSIの開発、異種材料統合/三次元システムチップ構築技術の開発、ホットスポットワイヤレスアクセシスシステムの開発を国内移動体通信機メーカー及び第一種通信事業者との产学研連携プロジェクトとして実用化技術開発を推進している。

<過去一年間の主な成果>

1. 超低消費電力無線通信コア回路の開発

電流モード信号処理回路として、電圧電流変換回路、電流電圧変換回路、シリアルパラレル変換回路を試作し、低消費・高速動作を確認した。

2. 超高速無線端末用LSIの開発

世界最高速5GHz帯324Mbps無線LAN端末の試作を完了した。高速通信制御、高速無線通信方式を採用することで実効速度で約170Mbpsを実現した。また、5GHz帯ワンチップアナログICの開発を継続して行っている。

3. 超高周波RF-ICの開発

60GHz帯高出力増幅器IC、ミキサICを三次元システムチップ用に再設計し試作し

た。

4. 三次元システムチップ構築技術の開発

誘電体多層基板上へ、上記の開発60GHz ICをフリップチップ実装し、モジュールを作り上げた。また、アップコンバータモジュールとしての特性を評価した。

<職員>

教授 磯田陽次（2002年より）

客員助教授 岩田 誠（2002年より）

<磯田教授のプロフィール>

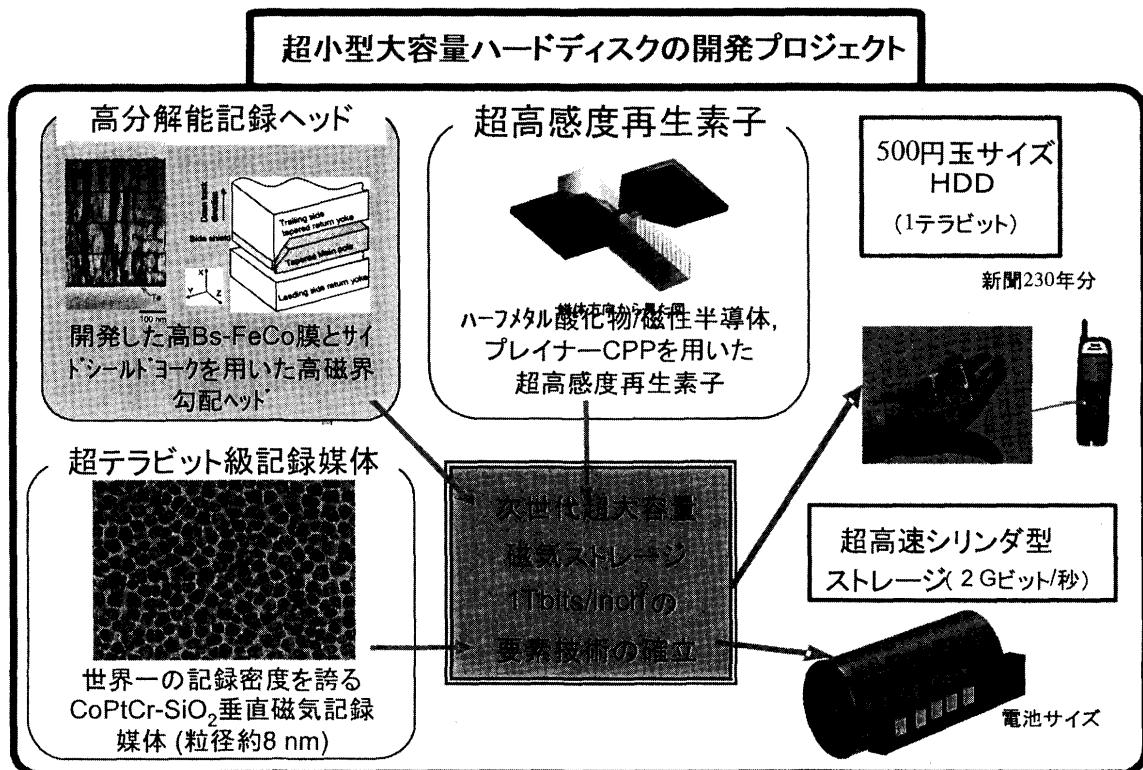
昭和54年3月大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻修士課程修了。昭和54年4月三菱電機株式会社に入社。平成14年4月東北大学通研IT-21センター教授。平成13年日本発明協会発明奨励賞受賞。電子情報通信学会、IEEE会員。

<主な研究発表>

- [1] S.-K. Kim, A. Minegishi, Y.-W. Park, S. Kameda, H. Nakase, Y. Isota, and K. Tsubouchi, "Voltage to current converter for OFDM current-mode FFT LSI," IEEE Asia Pacific Conf. Circuits and Systems (APCCAS2004), 6A-3, Dec. 2004.
- [2] 川村洋介・山口敦由・高木 潤（東北大）・小熊 博（宮城県産業技術総合センター）・亀田 卓・中瀬博之・磯田陽次・坪内和夫（東北大），“パケット通信用キャリア周波数偏差補償回路”，電子情報通信学会総合大会，A-5-34, 2005年3月。
- [3] 藤木裕介・中山英太（東北大）・小熊 博（宮城県産業技術総合センター）・亀田 卓・中瀬博之・磯田陽次・坪内和夫（東北大），“5GHz帯メアンダラインアンテナ”，電子情報通信学会総合大会，B-1-121, 2005年3月。
- [4] 磯田陽次・中瀬博之・坪内和夫（東北大）・藤村明憲・曾我部靖志・石津文雄（三菱電機），“324Mbps超高速無線LAN装置の開発(1)－装置の概要－”，B-5-206, 2005年3月。
- [5] 林 亮司・藤村明憲・田島賢一・関根友嗣（三菱電機）・磯田陽次・中瀬博之・坪内和夫（東北大），“324Mbps超高速無線LAN装置の開発(2)－RF部概要と高速AGC－”，電子情報通信学会総合大会，B-5-207, 2005年3月。
- [6] 藤村明憲・曾我部靖志・石津文雄（三菱電機）・中瀬博之・磯田陽次・坪内和夫（東北大），“324Mbps超高速無線LAN装置の開発(3)－PHY層の構成－”，電子情報通信学会総合大会，B-5-208, 2005年3月。
- [7] 中瀬博之・磯田陽次・坪内和夫（東北大）・永井幸政・城倉義彦・石津文雄（三菱電機），“324Mbps WLAN装置の開発(4)－超高速MACの開発－”，電子情報通信学会総合大会，B-5-209, 2005年3月。
- [8] 永井幸政・城倉義彦・石津文雄（三菱電機）・中瀬博之・磯田陽次・坪内和夫（東北大），“324Mbps超高速無線LAN装置の開発(5)－フレームアグリゲーション機能－”，電子情報通信学会総合大会，B-5-210, 2005年3月。
- [9] 小熊 博・中瀬博之・磯田陽次・坪内和夫（東北大）・藤村明憲・永井幸政・曾我部靖志・石津文雄（三菱電機），“324Mbps超高速無線LAN装置の開発(6)－HDTV伝送システム－”，電子情報通信学会総合大会，B-5-211, 2005年3月。
- [10] 中島健介・末松憲治（三菱電機）・中瀬博之・磯田陽次・坪内和夫（東北大）環状ポリフェーズフィルタを用いた5GHz帯SiGe-MMIC直接直交変調器，電子情報通信学会総合大会，C-2-46, 2005年3月。

研究開発部ストレージ分野

垂直磁気記録による1Tb/in²技術の開発



<分野の目標>

21世紀のIT社会において、取り扱う情報がコードデータから静止画、動画へと広がるとともに、情報ストレージデバイスとしてのハードディスクドライブの大容量化、高速化の実現が強く求められている。本分野では、文部科学省のITプログラム「超小型大容量ハードディスクの開発」による、垂直磁気記録技術を用いた現状の20倍の1テラビット毎平方インチ(Tbits/inch²)以上の超高密度記録と2ギガビット毎秒(Gbps)を超える高速データ転送性能を併せ持つストレージ技術の2006年度での確立を目指している。それを実現するために2002年度から、本研究所ならびに学内の研究室と、国内ハードディスクドライブメーカー等を結集し、产学研が連携した研究プロジェクト体制で強力に推進中である。そこでの成果を基に、ネットワークのパーソナル側に用いられるユビキタス超小型ストレージ、センター側で用いられる大容量高速ストレージの実現へ寄与することを目指している。

<過去1年間の主な成果>

5年間のプロジェクトの3年目にあたり、全体計画に基づき、中間目標も視野に入れた要素技術開発、プロトタイピングなどの業務を実施し、下記の成果を得た。

- 1) 超高感度リーダ技術：日立、東芝と共同で1Tb/in²の記録密度を目指した超高感度センサー構造の開発、検証を進めた。昨年導入した超高感度リーダ素子開

発用の超高真空製膜装置を用いることにより、分極率の高い高品位な界面を有する Fe_3O_4 ハーフメタル材料の製作に世界で初めて成功した。

- 2) 高分解能単磁極ライタ・並列アクセス技術： 日立、富士通と共同で、高分解能化のための記録ヘッド構造の詳細な検討を継続した。また、検討結果に基づきヘッドの試作を行い、約15%の出力半減密度 D_{50} の向上を確認した。
- 3) テラビット分解能垂直磁気記録媒体： 日立、富士電機との共同研究による400Gb/in²仕様案に基づき、磁気異方性の高次項 Ku_2 を高めた媒体の試作・検討を開始した。 Ku_2 が結晶構造に依存することを明らかにし、400Gb/in²に必要な値を得ることに成功した。実媒体への展開を実施中。
- 4) 超小型モバイルHDDプロトタイプの開発： 垂直記録試作ヘッド・媒体を組み込んだ1インチドライブを試作し、中間目標を満たす138Gb/in²（10GBの容量に相当）の世界最高密度達成に成功した。また、上記ドライブと無線インターフェースを組み込んだユビキタス・パーソナル・サーバを試作し、ハイビジョンの映像の転送に成功した。
- 5) シリンダ型ストレージ技術： シリンダ対応の浮上系の検討を進め、安定浮上の可能性を示した。HDD対応技術による高密度媒体試作を継続した。

<職員>

教 授 青井 基	(2002年より)
助 教 授 島津 武仁	(2002年より)
客員助教授 山川 清志	(2002年より)
助 手 山田 洋	(2004年より)

<青井基教授のプロフィール>

昭和41年横浜国大・工・電気卒。昭和43年同大学院修士課程修了。工学博士。

昭和43年(株)日立製作所入社、中央研究所。昭和57年同主任研究員。平成4年同主管研究員。

平成5年同ストレージシステム事業部副技師長。平成13年同主管技師。

平成14年東北大学電気通信研究所21世紀情報通信研究開発センター教授。

- ・ハードディスクドライブR/W系高密度化の研究開発

- ・記録媒体の高密度化、低ノイズ化の研究

<主な研究発表>

1. T. Shimatsu, H. Sato, T. Oikawa, Y. Inaba, O. Kitakami, S. Okamoto, H. Aoi, H. Muraoka, Y. Nakamura, "High Perpendicular Magnetic Anisotropy of CoPtCr/Ru Films for Granular-Type Perpendicular Media", IEEE Transactions on Magnetics, Vol.40, No.4, 2483-2485, (2004).
2. T. Shimatsu, H. Sato, T. Oikawa, Y. Inaba, O. Kitakami, H. Aoi, H. Muraoka and Y. Nakamura, "High-Potential Magnetic Anisotropy of CoPtCr-SiO₂ Perpendicular Recording Media", IEEE Transactions on Magnetics, Vol.41, No.2, 566-571(2005).
3. 稲葉祐樹・島津武仁・北上修・佐藤英夫・及川忠昭・村岡裕明・青井基・中村慶久、「Hard/Soft スタック垂直磁気記録媒体の基礎特性」, 日本応用磁気学会誌 Vol.29, No.3, 239-242, (2005).
4. H. Yamada, T. Shimatsu, I. Watanabe, R. Tsuchiyama, H. Aoi, H. Muraoka and Y. Nakamura, "Read/Write Performance of Perpendicular Double-Layered Cylindrical Media", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 287, 486-490 (2005).

3.8 評価・分析センター

材料・デバイスおよびシステムの測定・評価・分析

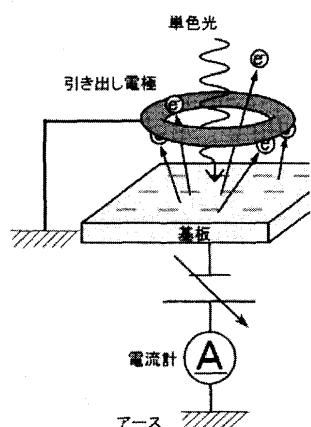
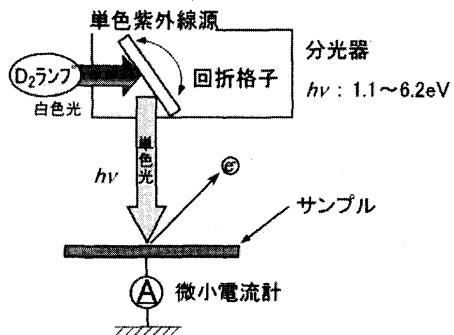
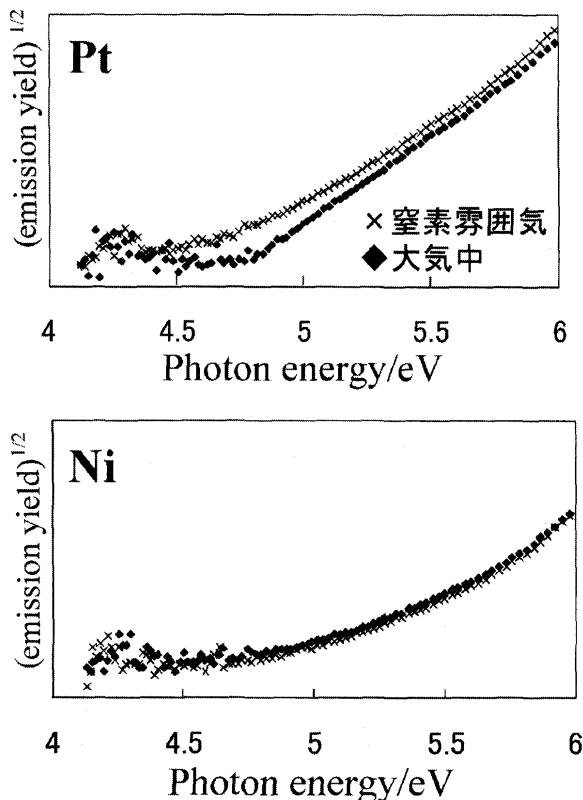


図2 引き出し電極を用いた常圧下光電子分析法



1. 分野の目標

評価・分析センターは、通研および工学部電気情報系各研究室の研究ならびに各種共同研究における、材料・デバイスおよびシステムの測定・評価・分析関連の研究支援をする共同利用センターである。材料・デバイスおよびシステムの開発においては、微細化・高性能化・高機能化が重要な課題であり、それに伴って評価・分析の精度・感度の更なる向上が求められている。この材料・デバイス評価の高度化が評価・分析センターの研究目標の一つである。また、センターは共同利用センターとしての役割も担っており、共通利用の分析・評価機器の充実も図っている。これまでに、新機種の導入の他に、各研究分野間の評価分析関連の相互協力体制づくりも行なってきた。

現在、本センターに設置されている装置は、汎用X線回折装置、二結晶X線回折装置、走査型電子顕微鏡、X線トポグラフ装置、赤外分光装置、電子スピノン共鳴装置、ヘリウム後方散乱装置、昇温脱離装置、原子間力顕微鏡、紫外・可視分光器、液体クロマトグラフィ装置、二次イオン質量分析装置、μRHEED装置、薄膜X線回折装置、X線カット面検査器、SQUID（磁化測定装置）、フォトルミネッセ

ンス測定装置である。構造解析から電気特性測定まで、幅広いニーズに応えられるように装置を整えている。今まで同様、これらの装置を所内外の研究者・院生・学生に公開した。

2. 本年度の主な研究成果

センターでは、新しい分析・評価手法の開発を研究テーマとしている。センターでは、分子電子工学研究分野及び名古屋大学と共同で、微小電流計を用いた常圧下光電子分析法を開発してきた。今年度は以下のような研究成果が得られた。

これまでのUPSやXPSなどの光電子分光法は真空中での測定であり、種々の雰囲気において試料界面の電子構造を計測する手法の開発が望まれてきた。現在このような問題点を克服するため、低エネルギー電子計数方式と呼ばれる検出法を用いて、大気中で光電子収量分光（PYS）測定を行うための装置が開発されている。この方法では、大気中で試料から光電子が放出した際に、光電子が大気中の酸素分子と衝突することで発生する酸素イオンを測定するものであり、酸素以外の雰囲気ガス中や真空中ではセンサーが動作しないという問題を有している。さらに、酸素ガスは6.5eV以上のエネルギーをもつ紫外線を吸収してしまうため、実効的には6eV以上のイオン化ポテンシャルを有する試料の測定も困難となっている。そこで我々は、微少電流計と窒素パージ型分光器を用いた光電子収量分析装置を開発し、従来の装置では成し得なかった、任意の雰囲気中で約4~9eVでの広いエネルギー範囲において電極の仕事関数や有機材料のIPを測定可能とした。

従来法はイオンを1個ずつ計測出来るため高感度を有しているのに対して、光電子放出に伴い試料に流れる電流を電流計で計測する電流法は感度が悪いため、PYS測定に用いることはできなかった。そこで我々は、図1及び2に示すように、高感度微少電流計を用いることに加えて試料表面近くに電極を配置し、これに光電子を引き出すための電界を印加して光電子の放出量を大幅に改善することによって、任意のガス種および任意のガス圧において動作するPYS測定装置を開発することに成功した。一例として、大気中で研磨・洗浄したPtとNi基板の、窒素雰囲気及び大気中の測定結果を図3に示す。これを見るとNiではいずれの雰囲気下の測定でも光電子放出のしきい値がほぼ一致するのに対し、Ptでは窒素雰囲気と大気中でしきい値が異なることがわかる。この仕事関数変化は大気中に含まれる水分子が基板表面に吸着する為だと考えられる。

3. 職員

センター長・教授（兼） 庭野 道夫（1999年から）
助手 佐藤 信之

4. 庭野教授のプロフィール

分子電子工学研究分野の項を参照。

5. 主な発表論文等

P. N. Minh, T. Oho, N. Sato, H. Mimura and M. Esashi, "Microelectron field emitter array with focus lenses for multielectron beam lithography based on insulator wafer", J. Vac. Sci. Tech. B 22, pp. 1273-1276, 2004.

3.9 やわらかい情報システム研究センター

やわらかい情報システムの研究開発と情報システムの管理運用

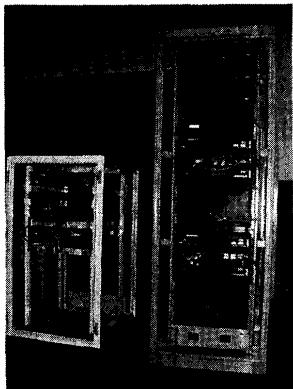


図1. 本センターで管理する各種ネットワーク機器

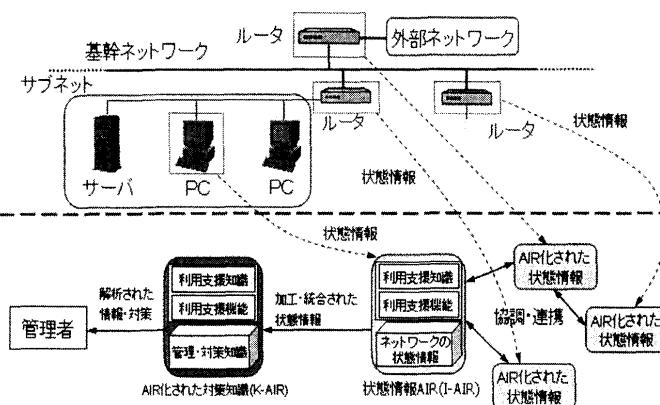


図2. AIR-NMSの概念

1. センターの目標

現在のコンピュータに代表される情報システムは、前もって決められた使い方で固定的な処理や機能のみを提供するいわゆる「かたい」システムである。本センターにおける研究の目標は、これまでの「かたい」情報処理原理を超えて、人間の意図や環境に適合した柔軟な情報処理を行い、さらに視聴覚などの多元知覚情報をフルに生かすことによって柔軟な人間の思考に対応できるような「やわらかい」情報処理の原理について、理論及び実験を通して明らかにし、そのシステム構成論を確立することである。

更に、学術情報の高度な組織化、利用、管理・運用、発信などのためのやわらかい分散システムの研究を行い、成果を通研所内の学術情報とネットワークの実際面への適用を通して手法の有効性を確認し、その構成論の確立を目指している。

<研究テーマ>

- (1) 情報の収集・組織化・利用・発信及び研究支援環境に関する研究
- (2) ネットワークの高度な保守・管理・運用に関する研究
- (3) 生体の知覚情報処理及び知的ユーザインタフェースに関する研究
- (4) 科学技術と倫理に関する研究

2. 過去1年間（2004年4月～2005年3月）の主な成果

(1) 能動的情報資源を用いたネットワーク知的管理手法(研究テーマ2に関連)

複雑化の一途をたどるコンピュータネットワークの管理者負担軽減を目指し、能動的情報資源原理(Active Information Resource: AIR)をネットワーク管理に適用したAIR-NMS(AIR based Network Management System)を提案した。AIR-NMSは、機器情報やアプリケーションログなどの状態情報エージェント(I-AIR)と管理者の経験的知識を持つエージェント(K-AIR)が自律的に協調・連携して障害原因や対策を管理者に提示するシステムである、本年度は文献1,2に示す成果が得られた。

(2) やわらか知能ネット実証システムの導入(研究テーマ2に関連)

平成16年度研究特別設備費の支弁を受け、ベクトル型高速計算システム、やわらかいネットワークシステム、マルチメディア実験設備からなる「やわらか知能ネット実証システム」を導入した。これにより、実ネットワークを用いたAIR-NMSの検証実験や「場」の保存・再生・伝送・共有に関する研究を進めることができた。

(3) エージェントシステムのインタラクティブ開発環境の構築(研究テーマ1に関連)

再利用性・インタラクティブ性を特徴とするエージェントシステムの開発方法論とその支援環境を構築し、評価実験によりその有用性を検証した。

(4) 知的ユーザインターフェースに関する研究(研究テーマ3に関連)

やわらかい情報システムにおける利用者の自然な利用形態を促進させる研究として、Webインターフェースや高次臨場感通信に関する研究を行っている。本年度は招待論文（文献6）を含む文献3,4,5,6に示す成果が得られた。

(5) 免疫系のダイナミクスの数理モデル化に関する研究(研究テーマ3に関連)

生体の持つ免疫系を情報システムという視点で捉え、そのダイナミクスを数理モデル化し特性を解析する研究を行っている。本年は文献7に示す成果が得られた。

3. 職員

(1) 運営委員会

教授 白鳥 則郎（1997年より） 矢野 雅文（1997年より） 白井 正文（2003年より）
鈴木 陽一（2000年より） 外山 芳人（2000年より） 木下 哲男（2000年より）

(2) 実施委員会

教授 鈴木 陽一（1997年より） 木下 哲男（1997年より、情報シナジーセンター所属）

助教授 岩谷 幸雄（2002年より） 青戸 等人（2003年より） 西村 竜一

助手 早川 吉弘 藤上 信 打矢 隆弘

非常勤研究員 上田 浩

研究支援推進員 大學 紀子、阿部 敦子、鈴木みどり

(3) 常勤職員

助教授 岩谷 幸雄、助手 打矢 隆弘、非常勤研究員 上田 浩

研究支援推進員 大學 紀子、阿部 敦子、鈴木みどり

4. 教授のプロフィール

センター長・白鳥則郎教授のプロフィールは、情報通信システム研究分野を参照。

実施委員長・鈴木陽一教授のプロフィールは、音響情報システム研究分野を参照。

5. 主な研究発表

- 今野将、吉村智志、羽鳥秀明、岩谷幸雄、阿部亨、木下哲男，“能動化された状態情報に基づくネットワーク管理支援方式”，情報処理学会論文誌，第46巻，第2号，pp.493--505, 2005.
- 羽鳥秀明、今野将、岩谷幸雄、阿部亨、木下哲男，“AIR-NMSにおけるネットワーク運用・管理知識の管理手法”，FIT2004第3回情報科学技術フォーラム情報技術レターズ，Vol.3, pp.91--93 (LF-006), 2004.
- 蓬萊一朗、岩谷幸雄、阿部亨、木下哲男，“有用性評価のためのウェブページ構造の特徴分析法”，FIT2004 第3回情報科学技術フォーラム情報技術レターズ，Vol.3, pp.307--308 (LK-021), 2004.
- 大内誠、岩谷幸雄、鈴木陽一、棟方哲弥，“三次元音響VRエデュテイメントシステムによる視覚障害者の空間認識能訓練効果”，FIT2004第3回情報科学技術フォーラム情報技術レターズ，Vol.3, pp.283--284 (LK-014), 2004.
- 渋谷亮輔、石田泰久、岩谷幸雄、坂田真人、鈴木陽一，“小型平面スピーカーを用いた複合現実感聴覚ディスプレイの開発”，FIT2004第3回情報科学技術フォーラム情報技術レターズ，Vol.3, pp.285--286 (LK-015), 2004.
- Yukio Iwaya, Yōiti Suzuki, Shōichi Takane, “Effects of Listener's Head Movement on the Accuracy of Sound Localization in Virtual Environment”, Proceedings of ICA 2004, pp. 997--1000, 2004 (invited paper).
- Hiroshi Ueda, Yukio Iwaya, Toru Abe and Tetsuo Kinoshita, “On the diversity of HIV using cellular automata approach”, Proceedings of The Tenth International Symposium on Artificial Life and Robotics, pp. 338--341, 2005.

3.10 附属工場

先端情報通信研究のための実験機器開発

1. 附属工場の概要

電気通信研究所附属工場は、所内の各部門の研究を技術面から支援するために、所内の内部処置により昭和30年に発足した共通施設である。独創的な研究を遂行するためには、これまでにない新しい機器や装置を迅速にかつ精度良く製作する必要がある。そのための技術支援を当工場は担ってきている。通研専任教官から選出された工場長と運営委員が附属工場の管理と運営に当たっている。

当附属工場は、これまでに数々の新しい工作方法を開拓し、機器や各種超高真空容器などの精密工作を行い、半導体表面界面の微細構造の解析や構築の研究、高密度磁気記録の研究を始め、数々の高度情報通信に関わる研究に貢献してきた。

2. 本年度の製作実績

各研究室からの製作依頼は153件で、昨年度に比べ42件増えた。製作した主な製作名は以下のとおりである。

庭野研 (33件) ロードロックチャンバー・メタルマスク・サンプルホルダー・グローブボックスSUSテストチャンバー・溶液セル・気化器・ミラーホルダー 他

枝松研 (23件) ファイバーバンド・マイクロスタッド・光学結晶ホルダー・クリンプース
光学用ロッド (230本) ・BT用ファイバーポート 他

大野研 (18件) 希釈冷凍機用試料ホルダー・メタルマスク・EB蒸着用試料ホルダー・ヘリウムインサート作業台・He3インサート作業台 他

矢野研 (17件) ギヤボックス・人工外耳加工・SUSパイプ研磨用治具・トランスデューサー取付け装置・マイクロフォン取付け装置 他

鈴木研 (11件) スピーカー取付けボックス (75個) ・吸音クサビ型移動装置・音声発生モデル板・極小無指向性音源ケース・口鼻腔モデル・口鼻耳管モデル 他

室田研 (9件) ドーピング反応炉用石英台・クライオヘッドHe供給ライン・RHEED用搬送フォークケース 他

中島研 (6件) SUSフランジパイプ溶接・フィルターBOX, サーマルアンカー・バッフル板付棒 他

中沢研 (6件) レーザー筐体・MLPカバー・防振ケース 他

村岡研 (5件) レジストベークホルダー・RFスパッタ用マッチングボックス・1インチ基盤用トレイ・超高真空スパッタ装置カソード加工 他

杉浦研 (4件) 線路・導波管・バランの治具・アクリル板ループアンテナ固定用

附属工場

荒井研（3件）マイクロマシン 他
実験施設（3件）スピニコーター・ヘッド・スピニナー・ヘッド 他
伊藤研（3件）蒸着マスク 他
青井研（2件）スパッタ基盤ホルダー・AI架台製簡易クリンブース
末光研（2件）イオンスパッタ銃 他
上原研（1件）スピニコーターサンプルステージ
超伝導（1件）冷凍機
木下研（1件）カメラ校正用基準箱

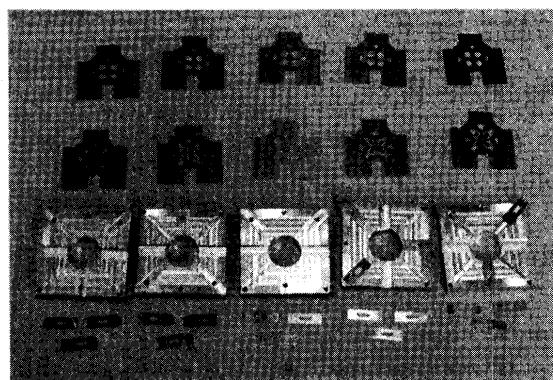
<附属工場組織>

工場長（教授）庭野 道夫
(技官) 渡邊 博志 米澤 隆二 菅原 宗朋
庄子 康一 末永 保

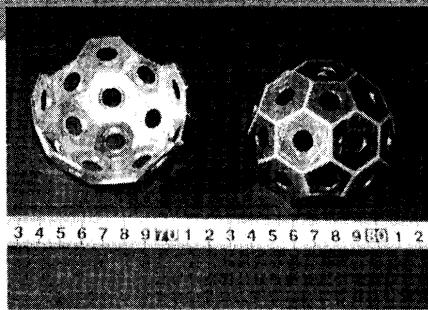
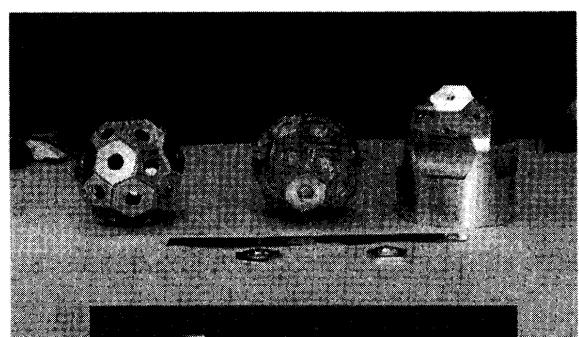
運営委員会

教 授 鈴木 陽一 教 授 枝松 圭一 教 授 庭野 道夫
教 授 末光 真希 助教授 上原 洋一

今年度製作した主な製品



メタルマスク



点音源ハウジング

課題番号 H14 / A01

IV族半導体極限ヘテロ構造形成と デバイス応用に関する研究

[1] 組織

代表者：室田 淳一（東北大学電気通信研究所）

分担者：

庭野 道夫（東北大学電気通信研究所）
 上原 洋一（東北大学電気通信研究所）
 竹廣 忍（東北大学電気通信研究所）
 櫻庭 政夫（東北大学電気通信研究所）
 小柳 光正（東北大学大学院工学研究科）
 栗野 浩之（東北大学大学院工学研究科）
 末光 真希（東北大学学際科学国際高等研究センター）
 米永 一郎（東北大学金属材料研究所）
 宇佐美德隆（東北大学金属材料研究所）
 白木 靖寛（武藏工業大学総合研究所）
 安田 幸夫（高知工科大学総合研究所）
 財満 鎮明（名古屋大学大学院工学研究科）
 酒井 朗（名古屋大学大学院工学研究科）
 中塚 理（名古屋大学エコトピア科学研究機構）
 宮尾 正信（九州大学大学院システム情報科学研究院）
 佐道 泰造（九州大学大学院システム情報科学研究院）
 宮崎 誠一（広島大学大学院先端物質科学研究科）
 奥村 次徳（東京都立大学大学院工学研究科）
 和田 一実（東京大学大学院工学系研究科）
 高橋 庸夫（北海道大学大学院工学研究科）
 松本 智（慶應義塾大学理工学部）
 荒井 英輔（名古屋工業大学工学部）
 土屋 敏章（島根大学総合理工学部）
 中川 清和（山梨大学工学部）
 須田 良幸（東京農工大学工学部）
 岩井 洋（東京工業大学大学院総合理工学研究科）
 酒井 徹志（東京工業大学大学院総合理工学研究科）
 大見俊一郎（東京工業大学大学院総合理工学研究科）
 平木 昭夫（高知工科大学電子・光システム工学科）
 田部 道晴（静岡大学電子工学研究所）
 池田 浩也（静岡大学電子工学研究所）
 青木 麻（東京工芸大学工学部）
 小林 信一（東京工芸大学工学部）
 畑 朋延（金沢大学工学部）
 佐々木公洋（金沢大学工学部）
 坂本 統徳（長崎県政策調整局）
 大野 隆央（物質・材料研究機構）
 三木 一司（物質・材料研究機構）

坂本 謙二（物質・材料研究機構）

竹内 秀明（NTTエレクトロニクス株式会社）

中山 諭（NTT環境エネルギー研究所）

石井 仁（NTTマイクロシステムテクレーション研究所）

石谷 明彦（ベルギー・IMEC）

小野 昭一（アルプス電気株式会社）

尾藤三津雄（アルプス電気株式会社）

阿部 孝夫（信越半導体株式会社）

鶴尾 勝由（日立製作所株式会社）

国井 泰夫（日立国際電気株式会社）

森谷 敦（日立国際電気株式会社）

宮本 光雄（森田化学工業株式会社）

池田 拓也（大陽日酸株式会社）

廣瀬 泰夫（大陽日酸株式会社）

佐藤 政明（新日本無線株式会社）

杉山 直治（株式会社東芝基礎研究所）

笠間 泰彦（株式会社イデアルスター）

Bernd Tillack（ドイツ・IHP）

Dieter Knoll（ドイツ・IHP）

Erich Kasper（ドイツ・スツットガルト大学）

Carl Parry（ドイツ・スツットガルト大学）

Jacques Derrien（フランス・マルセイユ大学）

配分研究費 校費600千円、旅費857千円

[2] 研究経過

[目的] IV族半導体極限ヘテロ構造形成プロセスの開発はLSI上への新機能デバイス搭載等のために極めて重要である。本研究では、原子層制御CVD・エッティング・不純物ドーピング・MBE法等の極表面・界面での吸着・反応の制御プロセス技術を駆使して、原子オーダで制御されたIV族半導体極限ヘテロデバイスを実現することを目的とする。さらに、形成したヘテロ構造体から発現する新機能デバイスの探索を行う。扱う材料としては、Si-Ge-C系多層ヘテロエピタキシャル層やP・Bのドーピント原子を始め、Si窒化膜等のIV族半導体を基とする絶縁膜、さらにW等の金属膜とSiの多層膜まで幅広く行う。

[概要] 本プロジェクトは、本年度が第3年度であった。原子オーダで制御されたIV族半導体極限へ

テロデバイス実現や新機能発現を目指して、本年度はSi-Ge-Cの原子層積層ヘテロ構造積層と原子層ドーピング構造形成の研究を行った。プロセスにはCVD法・MBE法・ECRプラズマ法を用いて行い、相互の方法の比較を行いながら各々の特徴を生かして最適化を行う。原子レベルでの平坦性及び表面構造の評価にはSTM/AFM、表面の吸着物質・原子種・結合状態の同定にはXPS・FTIR・ラマン分光を用いる。また、共鳴トンネルダイオード・量子箱・量子細線等の電気特性、発光、及び電子放出特性の計測・評価を行い、IV族半導体ヘテロ構造による新機能デバイスの創生のための指針を得る。

[3] 研究成果

原子層制御CVD法を駆使してNやWを原子層ドーピングしたSiエピタキシャル成長薄膜について室温及び低温下でのホール効果測定を行った結果、Si薄膜はn型半導体となり、通常のn型不純物（PやAs）の場合と比較してドナーの活性化エネルギーがはるかに大きいことを明らかにした。この結果は、半導体のバンドギャップ中の不純物バンド形成を利用した新しいバンドエンジニアリングの基礎となるものである。また、基板非加熱下での低エネルギーECR Arプラズマ照射による表面反応によるSi(100)の原子層窒化制御、及びその表面での、族半導体の低温エピタキシャル成長について研究を進めた結果、Si(100)の原子層窒化制御条件を見いだすと同時に、その上へのSiエピタキシャル成長条件を明らかにし、基板非加熱下でのプラズマプロセスによる原子層ドープ、族半導体ヘテロ構造の形成を可能にした。そして、作製した原子層ドープSi結晶薄膜においては、ほとんどの窒素原子は約2 nm以内の極薄領域に取り込まれており、その最大濃度は $2 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ （約4%に相当）を越えることを見いだした。さらに、低エネルギーECR Arプラズマ照射によるSi(100)上のGeH₄反応により、基板非加熱下での高平坦歪Geエピタキシャル成長を実現した。特に、約1 nm厚さの歪Ge薄膜においては、ほぼSi(100)基板に格子整合し、歪緩和量が非常に少ないと見いだした。これらの結果は、従来の熱分解反応を用いたCVD法では実現が困難であったものであり、低エネルギーPLAスマプロセスによる原子層積層構造の高品質化の可能性を示すものである。以上のように、新機能デバイス探索のために不可欠な高品質IV族半導体原子層ヘテロ積層膜の実現において重要な成果を得た。

[4] 研究会活動

本共同プロジェクト研究が中心となり、以下の3つの国際会議を開催した。

- ・第2回SiGeテクノロジー&デバイス国際会議（ISTDM, 2004年5月16-19日、ドイツ）

Web: <http://www.istdm2004.de/>
- ・第1回SiGe材料・プロセス・デバイスシンポジウム（2004年10月3-8日、米国）

Web: <http://www.ecs2004sige.org/>
- ・第3回新IV族Si-Ge-C系半導体国際ワークショップ（2004年10月12-13日、仙台）

Web: <http://www.murota.rie.tohoku.ac.jp/SiGeC3/>

特に、ISTDMにおいては、以下の招待講演18件と一般講演98件の合計116件（うち、日本26件、ドイツ22件、米国16件、台湾12件、フランス9件、英国8件、その他23件）の発表を行うとともに、世界各国から180名の参加者を得、IV族半導体極限ヘテロ構造形成とデバイス応用に関して広範で深い討論が行われると同時に、今後の研究動向についても集約され、きわめて有意義な会議となった。今後も、この分野の共同プロジェクトを推進することにより、IV族半導体極限ヘテロ構造の学問分野が大きく展開すると同時に、次世代Si系ヘテロナノデバイス開発の道も開拓されるものと期待できる。

[ISTDMにおける招待講演タイトルと講演者]

1. Fabrication of Ge channel transistors on Si substrates and their future prospects, Y. Shiraki (Univ. Tokyo)
2. Properties and Applications of SiGe Nanostructures, K.L. Wang (UCLA)
3. 79 GHz Automotive Electronics, J.F. Luy (Daimler Chrysler)
4. Strain Engineering in SiGe/Si-on-Insulator Structures using Compliant Substrate and Stress Balance Approaches, J.C. Sturm (Princeton Univ.)
5. Strained Silicon on Insulator, C. Mazure (SOITEC)
6. Vertical SiGe-based Silicon-on-Nothing (SON) Technology for sub-30 nm MOS Devices, P. Thompson (Naval Research Laboratory)
7. SiGe HBT design for high-frequency applications, H. Ruecker (IHP)
8. High performance SiGeC HBTs on CMOS platform, T. Hashimoto (Hitachi Ltd.)
9. High Ge- and C- Content SiGeC BiCMOS Technology for Low h_{FE} Variability and Low VBE Operation, T. Saitoh (Matsushita)
10. SiGeC HBTs : The TCAD challenge reduced to practice, S. Decoutere (IMEC)

11. The Noise Characteristics in Strained-Si MOSFETs, M.H. Lee (ERSO/ITRI)
12. (110)-Surface Strained-SOI CMOS Technology, T. Mizuno (MIRAI-ASET)
13. The future of high-k on pure germanium and its importance for Ge CMOS, M. Meuris (IMEC)
14. High Electron and Hole Mobility Fully-Silicided gate/High-k/Ge-On-Insulator C-MOSFETs with Process Comparable to Current VLSI, A. Chin (National Chiao Tung Univ.)
15. Strained-Si MOSFET process technology - Control of impurity and Ge atoms at the heterointerface, N. Sugii (Hitachi Ltd.)
16. Integration of SiGe:C alloys in advanced CMOS, T. Ernst (ENL)
17. DC, RF and noise performance of 80 nm gate-length Si/SiGe n-MODFETs, S.J. Koester (IBM T.J. Watson Research Center)
18. Hot Carrier Reliability of SiGe/Si-Hetero-MOSFETs, T. Tsuchiya (Shimane Univ.)

[5] 主な研究発表

- 1 . J. Murota, M. Sakuraba, and B. Tillack, "Atomically Controlled Impurity Doping in Si-Based CVD Epitaxial Growth" (**Invited Paper**), 2004 Mat. Res. Soc. Spring Meeting, Symp. B: High-Mobility Group-IV Materials and Devices, San Francisco, CA, Apr. 12-16, 2004.
- 2 . T. Tsuchiya, M. Sakuraba and J. Murota, "Hot Carrier Reliability of a SiGe/Si Hetero-Interface in SiGe MOSFETs", IEEE Int. Reliability Physics Symp., Phoenix, Apr. 25-29, 2004, pp.449-454.
- 3 . T. Tsuchiya, M. Sakuraba and J. Murota, "Hot carrier reliability of SiGe/Si-hetero-MOSFETs" (**Invited Paper**), 2nd Int. SiGe Technol. & Device Meeting (ISTDM 2004), Frankfurt(Oder), Germany, May 16-19, 2004, pp.127-128.
- 4 . J. Murota, "Low-Temperature SiGe(C) Epitaxial Growth by Ultraclean Hot-Wall Low-Pressure CVD" (**Invited Paper**), Proc. SiGe: Materials Processing and Device (The Electrochem. Soc., 2004), PV.2004-07, pp.825-836. Ext. Abs. ECS Fall Meeting, Honolulu, Hawaii, Oct. 3-8, 2004. Abs.No.1364.
- 5 . H.-S. Cho, S. Takehiro, M. Sakuraba and J. Murota, "Sidewall Protection by Nitrogen in Anisotropic Etching of P-doped Poly-Si_{1-x}Ge_x", Proc. SiGe: Materials Processing and Device (The Electrochem. Soc., 2004), PV.2004-07, pp.243-250. Ext. Abs. ECS Fall Meeting, Honolulu, Hawaii, Oct. 3-8, 2004, Abs.No.1307.
- 6 . H. Shim, M. Sakuraba and J. Murota, "Electrical Properties of B-doped Polycrystalline Si_{1-x-y}Ge_xC_y Film Deposited by Ultraclean Low-pressure CVD", Proc. SiGe: Materials Processing and Device (The Electrochem. Soc., 2004), PV.2004-07, pp.261-268. Ext. Abs. ECS Fall Meeting, Honolulu, Hawaii, Oct. 3-8, 2004, Abs.No.1309.
- 7 . K. Takahashi, T. Kobayashi, M. Sakuraba and J. Murota, "C Atomic Order Doping at Si/Si_{1-x}Ge_x/Si Heterointerface and Improvement of Thermal Stability", Proc. SiGe: Materials Processing and Device (The Electrochem. Soc., 2004), PV.2004-07, pp.915-922. Ext. Abs. ECS Fall Meeting, Honolulu, Hawaii, Oct. 3-8, 2004, Abs.No.1373.
- 8 . J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, "Atomically Controlled Impurity Doping for Future Si-Based Devices" (**Invited Paper**), 2004 Int. Conf. on Solid-State and Integrated-Circuit Technol., Beijing, China, Oct. 18-21, 2004, pp.557-562.
- 9 . T. Tsuchiya, and J. Murota, "Hot carrier reliability of a SiGe/Si hetero-interface in SiGe/Si-hetero-MOSFETs" (**Invited Paper**), 2004 Int. Conf. Solid-State and Integrated-Circuit Technol., Beijing, China, Oct. 18-21, 2004, pp.2120-2124.
10. K. Sugawara, M. Sakuraba and J. Murota, "Atomically Controlled Ge Epitaxial Growth on Si(100) in Ar Plasma Enhanced GeH₄ Reaction", Mat. Sci. Semiconductor Processing, Vol.8, pp.69-72, (2005).
11. T. Kurosawa, T. Komatsu, M. Sakuraba and J. Murota, "Electrical Properties of W Delta Doped Si Epitaxial Films Grown on Si(100) by Ultraclean Low-Pressure Chemical Vapor Deposition", Mat. Sci. Semiconductor Processing, Vol.8, pp.125-129, (2005).
12. Y. Jeong, M. Sakuraba and J. Murota, "Electrical Properties of N Atomic Layer Doped Si Epitaxial Films Grown by Ultraclean Low- Pressure Chemical Vapor Deposition", Mat. Sci. Semiconductor Processing, Vol.8, pp.121-124, (2005).
13. M. Mori, T. Seino, D. Muto, M. Sakuraba and J. Murota, "Si Epitaxial Growth on Atomic-Order Nitrided Si(100) Using Electron Cyclotron Resonance Plasma", Mat. Sci. Semiconductor Processing, Vol.8, pp.65-68, (2005).

14. H.-S. Cho, S. Takehiro, M. Sakuraba and J. Murota, "Sidewall Protection by Nitrogen and Oxygen in Poly-Si_{1-x}Ge_x Anisotropic Etching Using Cl₂/N₂/O₂ Plasma", Mat. Sci. Semiconductor Processing, Vol.8, pp.239-243, (2005).
15. A. Yamada, M. Sakuraba and J. Murota, "Integration of Si p-i-n Diodes for Light Emitter and Detector with Optical Waveguides", Mat. Sci. Semiconductor Processing, Vol.8, pp.435-438, (2005).
16. T. Yamazaki, S. Ohmi, S. Morita, H. Ohri, J. Murota, M. Sakuraba, H. Omi, Y. Takahashi and T. Sakai, "Separation by Bonding Si Islands (SBSI) for LSI Applications", Mat. Sci. Semiconductor Processing, Vol.8, pp.59-63, (2005).

課題番号 H14/A02

弾性表面波を用いた光周波数シフタの集積化に関する研究

[1] 組織

代表者：垣尾 省司

(山梨大学大学院医学工学総合研究部)

責任者：伊藤 弘昌（東北大学電気通信研究所）

分担者：

中川 恭彦

(山梨大学大学院医学工学総合研究部)

飯塚 孝（株式会社オプトクエスト）

小林 哲也（株式会社オプトクエスト）

渡辺 正行（株式会社オプトクエスト）

研究費：校費30万円、旅費18万2千円

[2] 研究経過

周波数シフト帰還型（Frequency Shifted Feedback : FSF）レーザーは、レーザー共振器内に音響光学周波数シフタ（Acoustooptic Frequency Shifter: AOFS）を挿入し、弾性波の周波数で周波数シフトを受けた1次回折光を帰還することにより発振するレーザーであり、光通信ネットワークにおける光ファイバの分散測定などへ適用が検討されている。このような計測デバイスへの応用のために、AOFSの集積化が必要とされている。現状のシステムでは、AOFSにバルク結晶を用い、バルク弾性波により周波数シフト光を得ているため集積化が困難である。本プロジェクトでは、AOFSの集積化を目的として研究を行っている。

本プロジェクトは本年度が3年目であった。前年度までに、プロトン交換法により作製されたLiNbO₃次元光導波路中にファイバからの光を伝搬させ、弾性表面波（Surface Acoustic Wave : SAW）によって周波数シフト光を得る導波路型AOFSを提案、作製し、65%の光回折効率を得た。しかし、非回折光パワーの減少分と回折光パワーが一致せず、約3割の入力光パワーが失われるという問題点を明らかにした。

そこで本年度は、これらの問題点の原因を明らかにするために、ビーム伝搬法（Beam Propagation Method : BPM）を用いて、導波路型AOFSの導波光伝搬、および光回折特性について解析を行うことを目的として研究を遂行した。

以下、研究活動状況の概要を記す。本年度は、(1) BPMによる導波路型AOFSの解析、(2) 高効率化に関する検討を行った。前年度に引き続き本プロジェクトには、東北大学の原武文氏が参画し、主として東北大学グループはFSFファイバレーザーへの適用に関する検討を、山梨大学グループは素子の解析を、オプトクエストは光回折特性の評価をそれぞれ担当した。この間、平成16年11月19日（金）には光回折特性に関する共同実験を行った。平成17年1月21日（金）～22日（土）には評価結果に関する討論を行った。

[3] 研究成果

(3-1) 研究成果

(1) BPMによる導波路型AOFSの解析

解析にはOptiBPMを用いた。屈折率が深さ方向に一様な2次元モデルを仮定し、素子表面の導波路形状や屈折率を実際の素子と同一とした。SAWによる光回折特性の解析は、SAW伝搬領域に相当する位置に、SAW波長と等しい周期を有する正弦波状の屈折率グレーティングを設定することにより行った。

解析例として、回折光パワーが最大となる屈折率グレーティングを与えた場合の導波光伝搬の様子（電界振幅分布）を図1に示す。出力テープ導波路中の界分布が複雑に干渉していること、出力テープ導波路と直線導波路の接続部付近で漏れ光が存在することがわかる。これらは、入力テープ導波路内で放射状に拡がった（等位相面が湾曲した）導波光がグレーティングで回折され、この回折された導波光も放射状に拡がることによるものと考えられる。

屈折率グレーティングの振幅に対する回折光パワーと非回折光パワーを求めた。その結果、実際の素子におけるRF入力電圧に対する光回折特性と同様の特性が得られたことから、実際の素子における問題点は、入力テープ導波路内における波面の湾曲と、その結果として生ずる出力テープ導波路中の干渉、集光部分の漏れ光に起因すると考えられる。

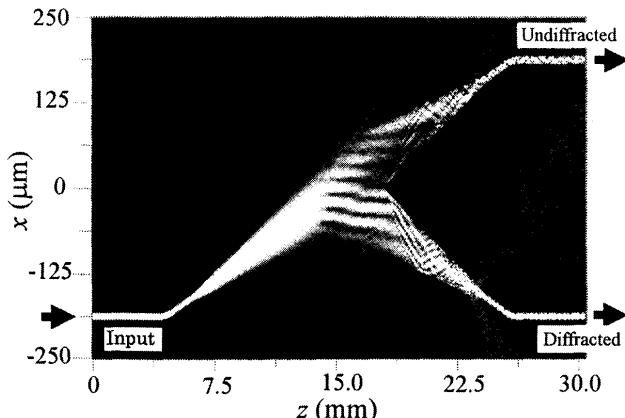


図1. BPM解析による導波光伝搬の様子

(2) 高効率化に関する検討

複雑な干渉を示すテープ導波路拡大部からグレーティングを遠ざければ光回折特性が改善されると考えられる。BPM解析により、光回折部中央付近のみに屈折率グレーティングを配置すると、回折光パワーが増加し、漏れ光パワーが減少することがわかった。そこで図2に示す導波路型AOFSモジュールを用いて実験的検証を行った。SAWビーム幅を光回折部幅と等しい3mmから、2mmに狭くすることにより、回折光強度は約40%増加し、回折光の消光比は約2dB改善されたことがわかった。

(3-2) 波及効果と発展性

FSFレーザーは長距離高分解能光距離計測や、圧力、温度などの環境計測ネットワーク構築など、光計測の分野で幅広い応用が期待されており、本プロジェクトの成果は今後のFSFレーザーシステムの応用・展開に大きく寄与することが期待できる。また、本プロジェクトで提案した導波路型AOFSを光通信システムにおける光マトリックススイッチなどへ展開させるための研究が、平成15~17年度総務省戦略的情報通信研究開発推進制度の特定領域重点型研究開発（次世代ネットワーク技術）の研究課題として行なわれており、今後の発展が期待される。さらに、本素子は、バルクAO変調素子と比較して広い透過光波長帯域を有していることから、例えば、RGBの光を同一デバイスで制御可能な変調素子などへの展開も期待できる。

[4] 成果資料

- (1) 垣尾省司、魚谷真司、中川恭彦、原武文、伊藤弘昌、飯塚孝、小林哲也、渡辺正行：“弾性表面波を用いた導波路型光スイッチのBPM解析,” 日本音響学会秋季研究発表会予稿集, pp.1249-1250 (2004.9)

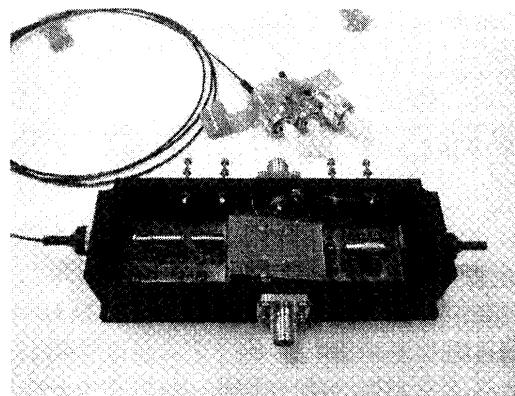


図2. 導波路型AOFSモジュールの外観

- (2) S. Kakio, M. Kitamura, Y. Nakagawa, T. Hara, H. Ito, T. Iizuka, T. Kobayashi, M. Watanabe, “Waveguide-type acoustooptic frequency shifter with high diffraction efficiency driven by surface acoustic wave and its application to frequency-shifted feedback fiber laser,” 2004 IEEE International Ultrasonics Symposium, pp.2279-2282,(2004.8)
- (3) 垣尾省司、魚谷真司、中川恭彦、原武文、伊藤弘昌、飯塚孝、小林哲也、渡辺正行，“弾性表面波を用いた導波路型音響光学変調素子の光回折特性とBPM解析,” 第25回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム予稿集, pp. 123-124 (2004.10)
- (4) 垣尾省司、魚谷真司、中川恭彦、原武文、伊藤弘昌、飯塚孝、小林哲也、渡辺正行，“弾性表面波を用いた導波路型音響光学変調素子の高効率化に関する検討,” 日本音響学会春季研究発表会予稿集, pp. 909-910 (2005.3)
- (5) S. Kakio, S. Uotani, Y. Nakagawa, T. Hara, H. Ito, T. Iizuka, T. Kobayashi, M. Watanabe, “Diffraction properties and beam-propagation analysis of waveguide-type acoustooptic modulator driven by surface acoustic wave,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 44, No. 6B, pp. 4472-4476 (2005.6)

課題番号 H14/A06

音場情報に含まれる 個人性の符号化手法に関する研究

[1] 組織

代表者：高根 昭一（秋田県立大学）

通研対応教官：鈴木陽一

（東北大学電気通信研究所）

分担者：棟方 哲弥（特殊教育総合研究所），
岩谷 幸雄（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費36万2千円，旅費58万2千円

[2] 研究経過

音を通じたコミュニケーションにおいて有効なアプローチの一つは、音源からヒトまでの音の伝達をシステムとして考え、そのシステムを合成することにより、ヒトが音を通じて知覚する環境、すなわち音環境を仮想的に生成するというものである。しかし、音の伝達系には、ヒトの頭部・胴体などの形状に起因する個人性の影響が存在する。また、ヒトが日常生活の中で知覚する音像定位や臨場感といった感覚の手掛りとして、このような伝達系がもつ物理的な特徴の影響が大きいことが知られている。これらのことから、音像定位や臨場感といった感覚も、伝達系に含まれる個人性の影響を受けると考えられる。あらゆるヒトが利用できる音場情報のコミュニケーションを考える上で、この個人差を適切にモデル化することが不可欠である。このような問題意識の下に、本プロジェクト研究は、ヒトが音から得る情報(特に空間的な情報)について、音が伝搬する空間をシステムとしてとらえたときの物理的側面と、そのようなシステムを通過した音をヒトが聴取するときの知覚的側面の両面から考察し、ヒトが音から知覚する情報を、その制御に適したかたちで符号化することを目的としている。

高根が研究代表者となった東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究(採択番号：H12/A10)をはじめとした研究により、ヒトが音場において知覚する情報は、ヒトの頭部や胴体などの形状を反映した、ヒトの全周を取り囲む音源それぞれに対する頭部伝達関数(Head-Related Transfer Function, 以後HRTFと書く)と、音場の特性を反映した室内伝達関数(Room Transfer Function, 以後RTFと書く)の従統接続で表現できることが明らかとなっていました。

る。本研究は、これらの中でHRTFに含まれる個人性を分析し、ヒトが知覚する音場情報を制御するのに適したかたちで符号化することを目指したものである。

平成16年度は、本プロジェクト研究の最終年度であった。第1年度(平成14年度)では、シンポジウムの開催により、本研究の方向性や方針を固めるとともに、HRTFのモデル化について検討を行った。第2年度(平成15年度)は、個人ごとの頭部形状データを光学式の3次元スキャナを用いて計測した。また、それをもとにした境界要素法(Boundary Element Method, 以下ではBEMと書く)によるHRTFの推定手法について検討した。また、前年度に構築されたHRTFの測定系で、全周方向のHRTFを約100名分測定した。さらに、音像定位における被験者の頭部移動の影響についても検討を行った。本年度は、計測されたHRTFのデータベースを用い、HRTFのもつ特徴と各被験者の身体特徴量との関連性について検討するとともに、BEMを用いて推定されたHRTFと実測結果との物理的な比較、および聴取実験を通じた主観的な評価実験も行った。これらの検討を通じて、音源からヒトまでの音響伝達系に含まれる個人性の影響を様々な面から評価し、音響情報通信に適したかたちで符号化するための基礎的な知見が得られた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

頭部形状の3次元計測に基づくBEMを用いた個人ごとのHRTFの推定

本プロジェクトでは、可搬性の高い光学式の3次元スキャナを用いた頭部形状の3次元計測システムを構築し、計測された頭部の3次元形状のデータとともに、BEMを用いたHRTFの推定を行った。HRTFの1~5 kHzの成分を推定結果と実測結果との間で比較したところ、実測結果において存在する個人ごとの頭部形状の違いによるHRTFの変化を、推定結果は大局的には反映できていることがわかった。この結果は、2004年4月に京都で開催された国際音響学会議(International Congress on Acoustics)

で発表した。その後、6 kHzまでに帯域を広げて推定を行った。この際、東北大学の情報シナジーセンターの並列計算機を利用し、並列計算機システムでの計算手法について若干の検討を行った。推定結果と実測結果を比較したところ、上述のものと同様の特徴がみられることがわかった。ただし、HRTFの特性の細部では、方向によっては誤差の大きなところが存在することも判明した。特に、音源方向が聴取者の耳に対して逆側にあるときには、推定結果と測定結果の間には大きな誤差が生じた。この原因としては、推定時には聴取者の胴体、皮膚、着衣の影響を考慮していないことが考えられる。このような影響を考慮するためには、現状で利用できる計算機よりも大規模かつ高速のものが必要であり、またそのような計算機で効率的に動くプログラムを開発する必要もある。これについては、今後の課題として残された。

各被験者の頭部形状のみをデータとして推定されたHRTFと、実測されたHRTFとの差が主観的に有意な差となって表われるのかどうかについて、方向定位実験をとおして考察した。刺激音に、

- a. 被験者本人の頭部形状をもとに推定されたHRTF,
- b. 被験者本人について実測されたHRTF,
- c. 別の被験者の頭部形状から推定されたHRTF,
- d. 別の被験者について実測されたHRTF,

を畳み込んだものを提示し、合成した方向と被験者が回答した方向との関係をみた。その結果、本人について実測されたHRTF(上記b.)を畳み込んだものに最も近い傾向を示したのは本人について推定されたHRTF(上記a.)を畳み込んだものであり、推定結果は、主観的に最も実測結果に近い定位傾向を示すことが示された。しかし、このような傾向は被験者によっては表れないこともあり、推定されたHRTFの主観的な有効性を明らかにするには至らなかった。

HRTFの新しい補間手法の検討

本プロジェクト研究では、先端音情報システム研究分野にある球状スピーカアレイを用い、約100名のHRTFを計測した。これについては、HRTFの個人性を分析する上で重要なデータとなり、世界的にも例をみないものである。

しかし、HRTFの測定方向は、被測定者への負担を考えると有限である。その一方で、HRTFは、理想的には方向に対して連続的に変化するものとして得られる必要があり、測定されたHRTFから測定

されなかった方向のHRTFを得るための補間手法が望まれる。また、HRTFに含まれる情報を、個人性も含めて符号化するためには、補間も可能な手法である必要がある。本プロジェクト研究のグループでは、NTTの羽田らによって提案された共通極・零モデルに着目し、HRTFのもつ物理的な特性を直接考慮した符号化手法に着目してきた。その結果、共通極・零モデルにより、HRTFの音源方向による変化を、十分な精度を保ちながら少ないパラメータ数で補間できることが示された。この成果は、現在Acusticaに投稿中である。

HRTFと身体特徴量との関連性に関する基礎的検討

上述の約100名分のHRTFデータベースでは、各被測定者の身体特徴量(頭部や胴体の各部位の寸法)も同時に計測されている。音源からの音が、その伝搬の過程で聴取者の耳、頭部や胴体などの影響を受けた結果として得られるものがHRTFであると考えられるので、各被測定者のHRTFは、その身体特徴量と何らかの関連性をもっているはずである。このことに関する基礎的な検討として、音像定位に重要な手掛かりとなるものの一つとして知られる両耳間時間差(Interaural Time Difference, 以下ITDと書く)と身体特徴量との関連を、正準相関分析や重回帰分析といった統計的手法を用いて分析した。その結果、HRTFの方向による変化は、従来から予想されていた頭部の外形的寸法だけではなく、鼻に関する寸法などという細部の寸法とも高い関連性をもつことが明らかとなった。また、この分析をもとにモデルを構築し、ある身体特徴量をもつ被験者のITDを予測する方法についても検討を行った。その結果、ITDを十分な精度で予測可能であり、聴取実験を通じてその有効性が確認された。

(3-2) 波及効果と発展性

本年度は本プロジェクトの最終年度なので、本プロジェクトに関する波及効果についてまとめて述べる。本プロジェクトの第1年度に開催された「HRTF徹底討論ワークショップ」の参加者が発表した研究成果の多くは、日本音響学会誌の英文誌 Acoustic Science & Technologyにおける2003年9月号(Vol. 24, No. 5)の“Special issue on spatial hearing”において論文、技術報告およびLetterとして出版されるに至った。また、本プロジェクトの成果の応用対象の一つである聴覚ディスプレイについては、経済産業省の产学研連携を目指した地域コンソーシアム「聴覚ディスプレイ」として採択された。

地域コンソーシアムで開発中のアプリケーションでは、HRTFの合成が要素技術として大きな割合を占めており、HRTFに含まれる個人性の検討を行っている本プロジェクトの成果が、そのようなアプリケーションに反映されることが期待される。

本プロジェクトにおける大きな研究課題の一つは、HRTFの推定あるいは測定手法に関するものである。本プロジェクト研究では、測定手法と数値的な推定手法の両面から検討を行ってきた。推定手法においては、その主観面での有効性に若干の問題を残している。そこには、現状で利用できる計算機の計算能力の制限が存在する。しかし、個人のHRTFを測定によって得るのは、本プロジェクトで扱った球状スピーカアレイのような装置がない限り非現実的である。HRTFの個人性の符号化手法を確立するためには、推定手法と測定手法の両面から研究を行う必要があるであろう。

HRTFおよびそれに含まれる個人性の符号化手法については、HRTFのもつ物理的な特性を直接考慮した共通極・零モデルに基づいた手法が極めて有効であり、モデル化精度などの細かな課題はあるものの、概ね手法の有効性は実証されたといえる。今後の研究の進展により、HRTFがより効率的に符号化されると期待される。

HRTFと身体特徴量の関連性については、統計的な分析の結果、ITDを身体特徴量から予測する手法を提案し、その有効性を示すことができた。しかし、ITDは、HRTFの特性の一部を反映した量にすぎないことから、今後に残された課題は少なくない。個人の身体特徴量からHRTFを精度よく予測する手法が確立されれば、実測手法にも、頭部形状をデータとした数値的推定手法にもよらずにHRTFを得ることが可能となり、その有効性や応用の可能性は極めて大きい。

総じて本プロジェクトは、このような個人性の符号化手法に対して、基礎的な知見を提供できたと考える。

[4]成果資料

1. Shouichi Takane, Taiyo Matsuhashi and Toshio Sone, "Numerical estimation of individual HRTFs by using BEM," Proc. 18th International Congress on Acoustics, Tu5.D.2(2004).
2. 松橋太陽、高根昭一、安倍幸治、曾根敏夫、「境界要素法を用いた個人の頭部伝達関数の推定に関する検討」、信学技報、HIP2004-74, 7-12(2004)。

3. 高根昭一、松橋太陽、曾根敏夫、「3次元計測と境界要素法による個人の頭部伝達関数の推定－並列計算機の利用－」、東北大大学情報シナジーセンター大規模科学計算システム広報SENAC, Vol. 38, No. 1, 29-39(2004)。
4. 松橋太陽、高根昭一、安倍幸治、曾根敏夫、「境界要素法を用いて推定した頭部伝達関数の個人性に関する検討」、音講論、549-550(2005)。
5. Kanji Watanabe, Shouichi Takane and Yôiti Suzuki, "A novel interpolation method of HRTFs based on the Common-Pole and Zero model," Acustica united with Acta Acustica, 投稿中。
6. 渡邊貴治、岩谷幸雄、行場次朗、高根昭一、鈴木陽一、「身体特徴量から推定された両耳間時間差を用いた音像定位」、音響学会聴覚研資料, Vol. 35, No. 3, H-2005-29, 167-172(2005)。

課題番号 H14/A07 : 継続

学際的新領域プラズマの基礎と応用

[1]組織

代表者：畠山 力三（東北大学大学院工学研究科）

責任者：庭野 道夫（東北大学電気通信大学）

分担者：

田路 和幸（東北大学大学院環境科学研究科）

川添 良幸（東北大学金属材料研究所）

寒川 誠二（東北大学流体科学研究所）

金子 俊郎（東北大学大学院工学研究科）

平田 孝道（東北大学大学院工学研究科）

大原 渡（東北大学大学院工学研究科）

藤原 民也（岩手大学工学部）

佐々木 慎彦（宮城工業高等専門学校）

笠間 泰彦（(株)イデアルスター）

表 研次（(株)イデアルスター）

小松健一郎（(株)イデアルスター）

柴田 昌紀（(株)イデアルスター）

吉木 宏之（鶴岡工業高等専門学校）

八井 浩（長岡技術科学大学工学部）

佐藤 直幸（茨城大学工学部）

金山 敏彦（産業技術総合研究所）

小松正二郎（物質・材料研究機構）

斎藤 直昭（産業技術総合研究所）

阿知波洋次（東京都立大学理学研究科）

寺嶋 和夫（東京大学新領域創成科学研究科）

岡崎 健（東京工業大学大学院理工学研究科）

和田 節子（電気通信大学量子・物質科学）

大谷 俊介（電気通信大学レーザ新世代研）

佐伯 紗一（静岡大学理学部）

三重野 哲（静岡大学理学部）

永津 雅章（静岡大学工学部）

石黒 静児（核融合科学研究所）

田中 基彦（核融合科学研究所）

田中 雅慶（核融合科学研究所）

菅井 秀郎（名古屋大学大学院工学研究科）

篠原 久典（名古屋大学大学院理学研究科）

大澤 幸治（名古屋大学大学院理学研究科）

庄司多津男（名古屋大学大学院工学研究科）

堀 勝（名古屋大学大学院工学研究科）

斎藤 弥八（三重大学工学部）

際本 泰士（京都大学総合人間学部）

前川 孝（京都大学大学院理学研究科）

橋 邦英（京都大学大学院工学研究科）

林 康明（京都工芸繊維大学工芸学）

三宅 正司（大阪大学溶接工学研究所）

奥 健夫（大阪大学産業科学研究所）

西原 功修（大阪大学レーザ研センター）

中山 喜萬（大阪府立大学大学院工学研究科）

佐野 紀彰（姫路工業大学大学院機械系）

福政 修（山口大学工学）

伊藤 早苗（九州大学応用力学研究所）

河合 良信（九州大学総合理工学研究科）

渡辺 征夫（九州大学大学院システム情報科）

白谷 正治（九州大学大学院システム情報科）

藤山 寛（長崎大学工学部）

藤田 寛治（佐賀大学理工学部）

研究費：校費 568,000千円， 旅費 848,000千円

[2]研究経過

プラズマ科学は、21世紀の重点的分野と注目されている環境・エネルギー、ナノテクノロジー・材料、ライフサイエンス、フロンティア（宇宙など）そして情報通信のいずれにも、学問的基盤として根幹的に関与している。これはプラズマが非線形、非平衡、不安定、反応性等多様な特質を有する物質状態であることに起因する。ここで、プラズマ理工学の発展の歴史的経過を踏襲した上で、学際的新領域プラズマに関する開拓的研究を行い、その基盤を確立することを目的としている。

本プロジェクトは昨年度に引き続き、上記の目的を遂行すべく、非線形科学の最前線である不安定性の非線形発展・分岐現象からナノ科学技術であるナノサイズクラスター合成までの、基礎物理/工学的応用を包容する広範囲な分野を統合的に鳥瞰・理解するための研究会を開催した。また、プラズマを活用して、機能性ナノ構造創成に関する実験研究を開拓した。以下、研究活動状況の概要を記す。

(研究討論会等開催状況)

日時：平成17年2月21日，22日

場所：東北大学大学院工学研究科

電子情報システム・応物系
1号館 451・453会議室 (2/21)
2号館 204会議室 (2/22)

- (1) 「磁場シアー下での電子サイクロトロン波の偏光面発展」 出射浩¹⁾,久保伸²⁾,野竹孝志³⁾,下妻隆²⁾,津守克嘉²⁾,渡利徹夫²⁾,西誠司⁴⁾ (¹九州大学応力研,²核融合科学研究所, ³名古屋大学, ⁴九州大学)
- (2) 「CHSにおける電場のダイナミクスとゾーナル流の観測 藤澤彰英, CHSグループ (核融合科学研究所)
- (3) 「磁化プラズマ中フロー速度シアに起因する低周波不安定性」 金子俊郎, 市來龍太, 斎藤洋孝, 畠山力三 (東北大学)
- (4) 「TST-2における球状トカマク研究」 高瀬雄一, TST-2グループ (東京大学)
- (5) 「マイクロプラズマ生成に伴う伝搬電磁界の減衰特性」 酒井道, 橋邦英 (京都大学)
- (6) 「ナノ粒子制御プラズマCVDとナノ構造制御薄膜形成への適用」 白谷正治, 古閑一憲, 渡辺征夫 (九州大学)
- (7) 「プラズマCVD法によるカーボンナノウォールの形成」 平松美根男¹⁾, 堀勝²⁾ (¹名城大学, ²名古屋大学)
- (8) 「ヘリコン波放電プラズマによるカーボンナノウォールの高効率形成」 佐藤玄太, 加藤俊顕, 畠山力三 (東北大学)
- (9) 「DNA 1分子を対象としたマイクロマニピュレーション・・・解析高速化とバイオ分子プラズマ生成をめざして」 水野彰 (豊橋技術科学大学)
- (10) 「電解質マイクロプラズマ中DNA負イオン照射によるDNA内包单層カーボンナノチューブの創製」 岡田健, 金子俊郎, 畠山力三 (東北大学)
- (11) 「多光子励起による液相ナノ粒子の構造制御」 真船文隆 (東京大学)
- (12) 「レーザー支援プラズマCVD法による新規BNエミッターの自己組織的形成とその電界電子放出特性」 小松正二郎 (物質・材料研究機構)
- (13) 「プラズマイオン照射に伴うフラーレンC₆₀固体表面の炭素ネットワーク変化」 佐藤直幸 (茨城大学)
- (14) 「大気圧マイクロプラズマによる局所材料処理の研究」 吉木宏之¹⁾, 畠山力三²⁾ (1) 鶴岡工業高等専門学校, ²⁾ 東北大学)

- (15) 「グラファイトのレーザアブレーションによるカーボンナノチューブ・ナノファイバの合成」 須田善行, 田中明秀, 沖田篤士, 早川祐希, マリア アントアネッタ ブラテスク, 酒井洋輔 (北海道大学)
- (16) 「大気圧RFプラズマ支援CVDによるカーボンナノファイバーの合成: 衝突性シースにおける配向成長制御」 野崎智洋, 岡崎健 (東京工業大学)
- (17) "Structural Deformation of Carbon Nanotubes using the Energetic Plasma Ions" Jung-Hyun Cho (Seoul National University)
- (18) 「高周波マグネットロン型プラズマCVDによる単層・多層カーボンナノチューブ形成」 加藤俊顕, 平田孝道, 畠山力三, 田路和幸 (東北大学)
- (19) 「両親媒性分子の構造形成の散逸粒子動力学シミュレーション」 中村浩章 (核融合科学研究所)

本研究会では学内外を含め延べ71名以上の参加者があり、講演は主にプラズマ応用分野に重点を置いており、専門分野を越えて活発な議論がなされた。

[3]成果

(3-1) 研究成果

本研究プロジェクトにおいては、プラズマを用いるカーボンナノチューブの基礎と応用研究に注目している。注入エネルギーと入射量の制御性に優れたプラズマ理工学の手法を駆使して、特定の原子及び分子、もしくはその列接合等を内包した新機能を有する超分子構造（新機能性進化）ナノチューブを創製することを本研究の目的としており、以下に示す研究成果を得た。

I. プラズマ支援化学気相堆積法による孤立かつ垂直配向カーボンナノチューブ形成

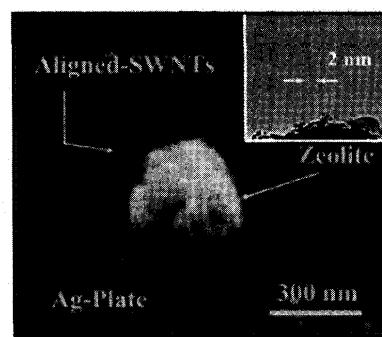


図1：垂直に配向成長したSWNTのTEM像。

直径1 nm、長さ数百 μm という極めて細長い繊維状物質である単層カーボンナノチューブ（SWNT）は、そのほとんどが乱雑に絡み合った成長状態を有する。このため、種々のデバイス上に任意の形状を持つSWNTを直接合成することは困難であり、いかにしてSWNTの成長状態を制御するかが産業応用に向けた大きな課題の一つとなっている。また、SWNTの内部空間を積極的に利用する研究においては、基板上に孤立かつ垂直配列成長したSWNTの利用が内包率向上の点から極めて有用であると考えられる。以上の観点から、カーボンナノチューブ成長状態の制御に有効とされる静電的要素を持つプラズマ支援化学気相堆積法により、SWNTの詳細な成長状態の制御を試みた。図1は電界放出型透過型電子顕微鏡（FEG-TEM）の像を示しており、一本一本孤立かつ垂直に配向成長したSWNTの形成に成功した。

II. 電解質マイクロプラズマ利用DNA内包カーボンナノチューブ形成

鎖長（~5 nm）が同一の一重らせんDNA（直径~2 nm）を溶解させたDNA溶液中に、開端処理したSWNT塗付基板（アノード、カソード）を挿入する。DNAは水溶液中で負イオンとなっており、基板に直流電場を印加することでDNA負イオンをアノード側へ照射することが可能となる。さらに溶液中で糸玉状構造をとるDNAを効果的にカーボンナノチューブへ内包させるために、DNAを伸張させるための高周波電場を重畠印加した。その結果、DNAを伸張させた状態でカーボンナノチューブへ照射することに成功した。DNAの照射後のSWNTをラマン散乱分光及びFEG-TEMによって解析したところ、DNAを内包したSWNTの創製に初めて成

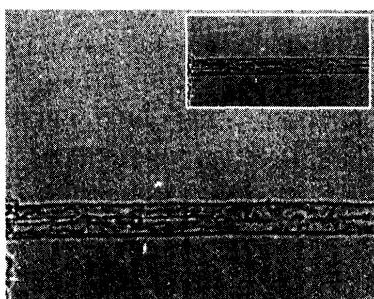


図2：DNA内包SWNTのTEM像。

功した。

III. アルカリーハロゲンプラズマ源によるアルカリ内包カーボンナノチューブ形成

C_{60} の代わりにハロゲン原子を内包して、K/Clま

たはCs/I接合内包SWNTを創製するために、アルカリ塩（KCl, KI, CsIなど）を利用したアルカリーハロゲンプラズマ源の開発を行った。中心円筒陽極の周りにスパイラル状タングステン線熱陰極が設置された構造で、一様磁場が印加されている。陽極-陰極間の直流電界印加によってマグネットロン放電が発生する。これは従来の直流放電方式に比べて電離効率が高いという特徴がある。ここで、アルカリ塩蒸気を中心陽極から放電領域に局所的に供給する方式にすると、アルカリ塩蒸気の利用効率が更に高められた。SWNTを塗布した基板をこのアルカリーハロゲンプラズマ中に挿入して、基板に直流電圧を印加することによりCsイオン入射を行った。TEMによる観察を行ったところ、

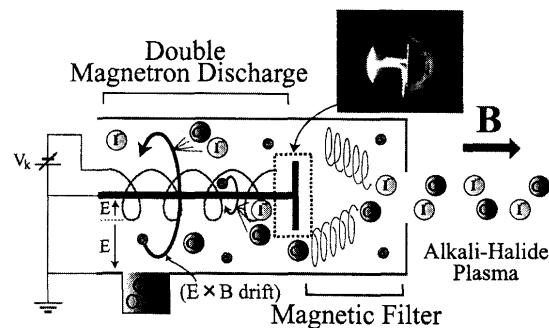


図3：アルカリーハロゲンプラズマの生成。

SWNT中に内包されているCsが観測された。

IV. アルカリ金属内包カーボンナノチューブの電子輸送特性

SWNTを利用したデバイスは超高速動作や高い電流駆動能力が期待されており、field effect transistor（FET）を始めとする電子デバイス応用に関する研究が数多く報告されている。しかし、純粋な半導体性SWNTはp形の伝導特性のみを有するため、SWNTを用いた論理回路の実現のためにはSWNTの電子構造を制御しn形の伝導特性を持つSWNTを作り出す必要性がある。近年アルカリ金属ドーピン

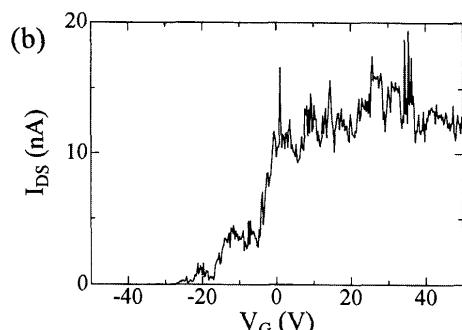


図4：Cs内包SWNT-FETの電子輸送特性。

グによるn形のSWNTが実現されたが、大気中での安定性において致命的な課題が残る。そこで、プラズマ中基板バイアス法によりエネルギー制御されたアルカリ金属イオンをSWNTへ照射して内包させ、その電子輸送特性を実験的に調べてきた。その結果、Cs原子が内包されたSWNTはn形の電子輸送特性を有する事が判明した。また、アルカリ金属がSWNTへ内包された時、その配位が電子構造の特徴を大きく支配する事が予想できる。そこでアルカリ金属イオンの照射量、またSWNTへ照射するアルカリ金属種を変化させ内包率及び内包配位の異なるサンプルを作製し、その電気輸送特性及び詳細なる調査のために低温での特性についても測定している。図4にCs内包SWNT-FETのゲート電圧(VG)に対するドレイン電流(IDS)特性の結果をして示している。ここで、 $V_g > 0$ Vの時にオン状態となるn型半導体特性になっている。これは、CsがSWNTに内包されることによってキャリア電子を供給して、SWNTの電子構造が変調された結果であるといえる。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクト研究会では、非線形科学の基礎物理分野からナノ科学技術であるナノサイズクラスター合成に関する工学的応用分野に渡る研究者同士の交流が活性化したばかりでなく、これら広範囲な分野の最前線を統合的に理解する場を提供することに成功した。また、プラズマ理工学的手法を用いてカーボンナノチューブの新規構造の創出を行っているが、これを基にした新機能性材料開発を展開すべく、ナノ科学の分野における今後の大きな発展が期待されている。

[4] 成果資料

(4-1) 主な研究発表

1. "Freestanding Individual Single-Walled Carbon Nanotube Synthesis Based on Plasma Sheath Effects", T. Kato, G. -H. Jeong, T. Hirata, R. Hatakeyama, and K. Tohji: Japanese Journal of Applied Physics (Express Letters), vol. 43, No. 10A, pp. L1278-L1280, 2004.
2. "Material Incorporation Inside Single-Walled Carbon Nanotubes Using Plasma-Ion Irradiation Method", R. Hatakeyama, G. -H. Jeong, and T. Hirata: IEEE Transactions on Nanotechnology, vol. 3, No. 3, pp. 333-342, 2004
3. "Effects of Micro- and Macro-Plasma-Sheath Electric Fields on Carbon Nanotube Growth in a Cross-Field Radio-Frequency Discharge", R. Hatakeyama, G. -H.

- Jeong, T. Kato, and T. Hirata: Journal of Applied Physics, vol. 96, No. 11, pp. 6053-6060, 2004.
4. "Efficient Plasma Source Providing Pronounced Density Peaks in the Range of Very Low Magnetic Fields", D. Sato, W. Oohara, and R. Hatakeyama: Applied Physics Letters, vol. 85, No. 18, pp. 4007-4009, 2004.
5. "Sheared Flow Excitation and Suppression of Electrostatic Instabilities in Laboratory Collisionless Magnetoplasmas", R. Hatakeyama and T. Kaneko: Physica Scripta, vol. T107, pp. 200-203, 2004.
6. "Effects of Controlled Flow Velocity Shear in Open-Ended Magnetized Plasmas", R. Hatakeyama and T. Kaneko: Journal of Plasma and Fusion Research, vol. 80, No. 4, pp. 299-305, 2004.
7. "Dynamical Criteria for Cs Ion Insertion and Adsorption at Cap and Stem of Carbon Nanotubes: Ab Initio Study and Comparison with Experiment", M. Khazaei, A. A. Farajian, G. -H. Jeong, H. Mizuseki, T. Hirata, R. Hatakeyama, and Y. Kawazoe: Journal of Physical Chemistry B, vol. 108, No. 40, pp. 15529-15535, 2004.
8. "Simple Methods for Site-Controlled Carbon Nanotube Growth using Radio-Frequency Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition", G. -H. Jeong, N. Satake, T. Kato, T. Hirata, R. Hatakeyama, and K. Tohji: Applied Physics A, vol. 79, pp. 85-87, 2004.
9. "Structure Control of Carbon Nanotubes using Radio-Frequency Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition", T. Kato, G. -H. Jeong, T. Hirata, and R. Hatakeyama: Thin Solid Films, vol. 457, pp. 2-6, 2004.
10. "Fullerene Negative Ion Irradiation toward Double-Walled Carbon Nanotubes using Low Energy Magnetized Plasma", G. -H. Jeong, T. Okada, T. Hirata, R. Hatakeyama, and T. Tohji: Thin Solid Films, vol. 464-465, pp. 299-303, 2004.
11. "Electronic Properties of Radial Single-Walled Carbon Nanotubes", Y. Sato, B. Jeyadevan, R. Hatakeyama, A. Kasuya, K. Tohji: Chemical Physics Letters, vol. 385, pp. 323-328, 2004.
12. "Creation of Novel Structured Carbon Nanotubes Using Different-Polarity Ion Plasmas", R. Hatakeyama, T. Hirata, and G. -H. Jeong: Plasma Sources Science and Technology, vol. 13, pp. 108-115, 2004.
13. "Formation of Fullerene Dimers in Pair-Ion Plasma",

- W. Oohara, H. Iwata, D. Date, and R. Hatakeyama:
Thin Solid Films, vol. 475, pp. 49-53, 2005.
14. "Flow Shear Effects on Plasma Microinstability in Open-Ended Magnetic Configurations", T. Kaneko and R. Hatakeyama: Transactions of Fusion Science and Technology, vol. 47, No. 1T, pp. 128-133, 2005.
15. "Investigation of Helicon-Wave Discharge in a Low Magnetic Field Using Molecular and Rare Gases", G. Sato, K. Fujimoto, W. Oohara, H. Ishida, and R. Hatakeyama: Journal of Advanced Oxidation Technologies, vol. 8, No. 1, pp. 53-58, 2005.
16. "Creation of Novel Structured Nanocarbons Based on Plasma Technology", R. Hatakeyama, T. Hirata, W. Oohara, T. Kato, and T. Izumida: Journal of the Vacuum Society of Japan, vol. 48, No. 3, pp. 238-240.

課題番号 H14/A09

偏波モード分散測定に関する研究

[1] 組織

代表者：波平 宜敬

(琉球大学工学部電気電子工学科)

対応者：伊藤 弘昌

(東北大学電気通信研究所)

分担者：鄒 念育

(琉球大学工学部電気電子工学科)

研究費：物件費35万7千円、旅費41万4千円

[2] 研究経過

IT社会のキーテクノロジーである光ファイバ通信技術のさらなる高速化が活発に進められている。40Gbit/s以上の高速光ファイバ通信システムにおいて光パルス信号の劣化要因の一つは光ファイバの偏波モード分散 (PMD: Polarization Mode Dispersion) であり、またPMDには高次の成分が存在し、その高次PMDのシステムペナルティに対する影響も無視できない問題となってきている。近年一次PMDと高次PMDの測定、補償技術の検討が世界的盛んになってきている。本プロジェクトは、高次PMDの特性を理論と実験の両面からの調査することを目的として新たな測定方法を行った。

本プロジェクトは、本年度が第三年目であった。第一年目は周波数シフト帰還型(FSF)レーザ光源を用いた光周波数領域リフレクトメトリ (OFDR) 法より偏波モード分散の測定法を実証した。FSFレーザは、共振器内に音響光学素子を挿入し周波数シフトを受けた1次回折光をレーザ媒質に帰還することにより発振するレーザであり、理想的な線形チャープ光源である。東北大学電気通信研究所の研究グループはこのユニークなFSFレーザを開発し、さらにOFDR計測技術による群遅延時間差測定法を提案し、試作したシステムによる偏波モード分散の実証測定を行うとするものであった。そこで、平成14年琉球大学が有するランダム偏光モード結合におけるPMD測定法に関する知見をベースに東北大学と琉球大学で共同研究を行うことにより、FSFレーザを用いたPMD測定法でも、ランダム偏光モード結合状態におけるPMD測定が可能となる測定アルゴリズムを探求し、実験的に検討を行った。さらに、第二年目では、PMDの波長依存性である

高次PMDを測定することを目的として、共同研究を遂行した。波長可変FSFファイバレーザを構築し、OFDR法より偏光主軸の群遅延時間差(Differential group delay: DGD)波長依存性を直接測定し、偏波面保存 (PM) 光ファイバサンプルはDGD波長依存性がほぼ無いことが確認できた。

そこで、本年度は、前年度の成果を踏まえながら、多段の偏波保存ファイバをランダムに接続した偏光モード結合したサンプルについて高次PMDの特性を理論と実験の両面からの調査を目的として、続いて共同研究を展開した。

以下、本年度の研究活動の概要を記す。

- (1) 琉球大学がJones Matrix Eingenvalues (JME) 理論モデルを基って、接続された多段の偏波保存光ファイバサンプルについて一次及び二次PMDの特性を理論的に解析した。
さらに、解析と対応する実際の光ファイバサンプルを作製した。
- (2) E-mail通信より、両グループは解析モデルや測定アルゴリズムを検討し、意見交換をした。
- (3) 研究分担者の鄒念育の2回東北大学訪問（平成17年2月22日～2月26日）、（平成17年3月7日～3月13日），出張により、打ち合わせを行い、波長可変FSFファイバレーザの出力特性を改善した。また、琉球大学が作製した測定用サンプルを東北大学に郵送し、東北大学が開発したPMD測定システムで共同実験を行った。
- (4) 理論計算と実験結果を分析比較し、共同研究結果を東北大学と琉球大学の両グループ連名で国内会議及び国際会議で論文発表を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

- (1). Jones Matrix Eingenvalues (JME) モデルを基って偏波モード結合状態における光ファイバサンプルの一次及び二次PMDの特性について理論的に解析した。
JME理論より、角周波数 ω と $\omega + \Delta \omega$ における光ファイバや伝送路のDGDは次式で表される。

$$\Delta\tau_1 = \text{Arg}(\rho_1/\rho_2)/\Delta\omega \quad (1)$$

ρ_1 と ρ_2 は角周波数 ω と $\omega + \Delta\omega$ における Jones Matrix $T(\omega)$ と $T(\omega + \Delta\omega)$ から $T(\omega + \Delta\omega)T^{-1}(\omega)$ を計算することによって得られた固有値であり、 Arg は argument 関数である。例えば、 $\text{Arg}(\eta e^{i\theta}) = \theta$ 。二次PMD (DGDの波長分散) は式(1)を波長に対する微分して下記に示す。

$$\Delta\tau_2 = d\Delta\tau_1/d\lambda \quad (2)$$

(2) 波長可変FSFファイバレーザを立ち上げ、出力特性を改善した。図1にこの光源の構成を示す。リング共振器内に波長可変光フィルタと音響光学素子及び偏光制御器を挿入し、ドップラ効果により周波数シフトを受けた1次回折光を波長選択してエルビウム添加ファイバ媒質に帰還することにより、波長可変FSFファイバレーザが発振する。図2に、光スペクトラムアナライザで観測した本光源の波長可変動作を示す。波長可変範囲は1530nm～1560nmで、発振半値幅は0.2～0.3nmで、ASEノイズに対するS/Nが約40dBであった。

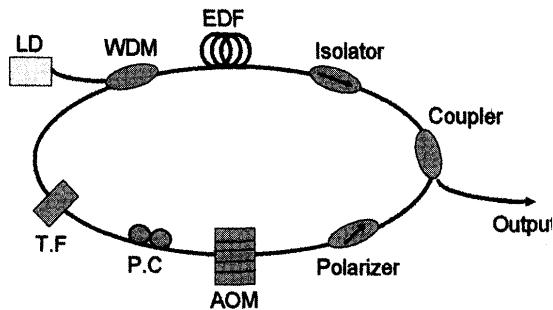


図1. Diagram of wavelength tunable FSF fiber

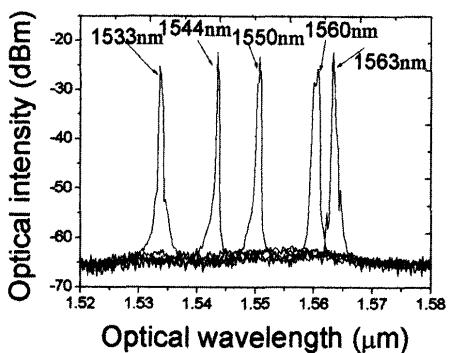


図2. Spectrum of wavelength tunable FSF fiber

(3). 上述FSFレーザを用いたOFDR法により、作製した3種類のサンプル(1 PM ファイバ、2本接続したPM ファイバ、3本接続したPM ファイバ)について

DGD 波長依存性を実測した。計算と実験の結果は図3、図4、図5に示す。

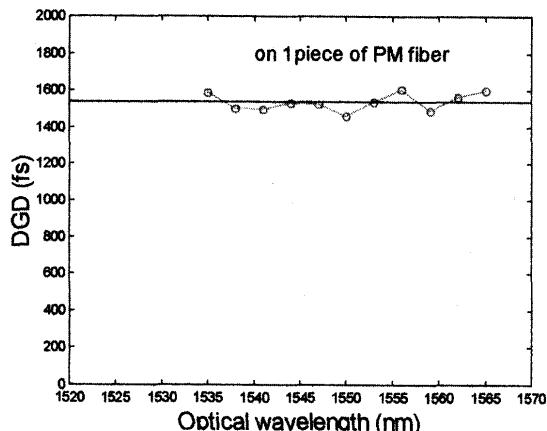


Fig. 3 DGD over wavelength on 1 piece PM fiber
L=1.140m, τ1=1534.93fs

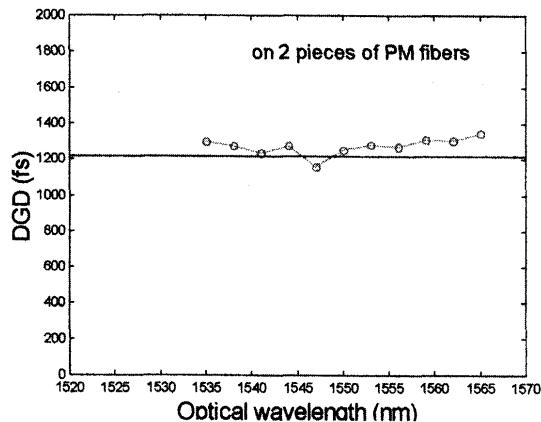


Fig. 4 DGD over wavelength 2 spliced PM fibers
Spliced at θ12=30, τ1=464.52fs, τ2=685.01fs

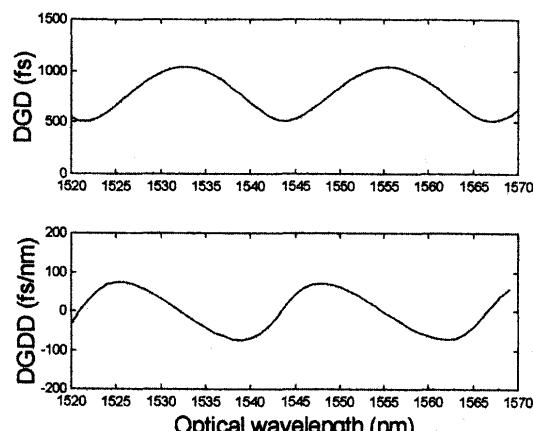


Fig. 5 (a) DGD and DGDD on 3 spliced PM fibers
3 pieces of PM fiber spliced with
θ12=29, θ23=50, τ1=464.52fs, τ2=350.07fs, τ3=525.11fs.

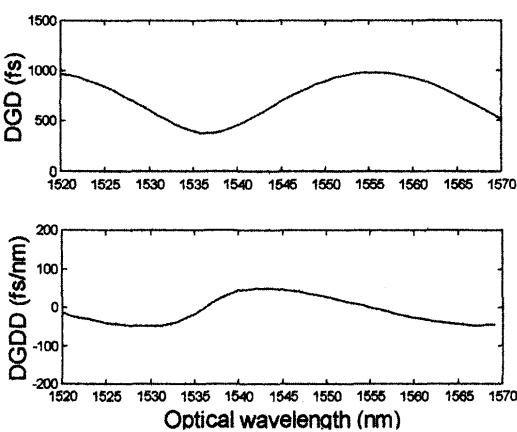


Fig.5 (b) DGD and DGDD on 3 spliced PM fibers
3 pieces of PM fiber spliced with
 $\theta_{12}=29^\circ$, $\theta_{23}=50^\circ$, $\tau_1=464.52\text{fs}$, $\tau_2=210.07\text{fs}$, $\tau_3=525.11\text{fs}$.

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究の結果より、多段のPMFをランダム接続した偏光モード結合サンプルにおけるDGDの波長依存性をシミュレートした。また、波長可変FSFファイバレーザを用いたOFDR法より1次および2次PMDの波長依存性を直接測定可能であることが確認された。なお、ランダム接続した偏光モード結合サンプルについて、DGDの波長依存性を解析したが、その高次PMD特性の測定が次のステップとなる。

今回提案した高次PMDの計測法が確認できれば、高速光ファイバ通信システムの特性改善ためのPMD測定およびPMD補償技術への新たな手法を提供できると考えられる。

[4] 成果資料

- (1) Nianyu Zou, Takefumi Hara, Yoshinori Namihira, and Hiromasa Ito, "A Novel Measurement Method of PMD in Optical Fibers based on OFDR Technique and its Comparison with ITU-T Recommended Methods", Proceedings of SPIE, Vol.5625, pp.446~453, 2004
- (2) Nianyu Zou, Libe Massaswe, Y.Namihira, Takefumi Hara, Cheikh Ndiaye and Hiromasa Ito, "Investigation of Wavelength Dependence of Differential Group Delay in Optical Fibers by Using of Frequency-shifted Feedback Fiber Laser", 2004年電子情報通信学会ソサイエティ大会論文集, B-13-13, pp.355
- (3) Nianyu Zou, Libe.V. Massaswe, Yoshinori Namihira, Takefumi Hara and Hiromasa Ito, "Investigation of differential group delay dispersion

in optical fibers by using of frequency-shifted feedback fiber laser", H16年度電気学会/電子情報通信学会九州支部合同講演会論文集, pp.137~139

課題番号 H15/A01

テラビット垂直スピニックストレージシステムの研究

[1] 組織

代表者：村岡 裕明

(東北大学電気通信研究所)

対応者：村岡 裕明

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

杉田 恒 (東北工業大学電子工学科・教授)
 大沢 壽 (愛媛大学工学部・教授)
 岡本 好弘 (愛媛大学工学部・助教授)
 山本 節夫 (山口大学工学部・助教授)
 高橋 則雄 (岡山大学工学部・教授)
 藤原 耕治 (岡山大学工学部・助教授)
 金井 靖 (新潟工科大学工学部・教授)
 青井 基 (東北大学通研・教授)
 島津 武仁 (東北大学通研・助教授)
 サイモングループ (東北大学通研・助教授)
 中村 慶久 (東北大学通研・客員教授)
 山川 清志 (東北大学通研・客員助教授)
 大内 一弘 (秋田県高度技術研究所・所長)
 本多 直樹 (秋田県高度技術研究所・次長)
 高橋 慎吾 (秋田県高技研・主任研究員)
 伊勢 和幸 (秋田県高度技術研究所・研究員)
 玉城 孝彦 (NHK放送技研・主任研究員)
 岡崎 裕 (ソニー・統括課長)
 田上 勝通 (TDK・部長)
 二本 正昭 (中央大学・教授)
 高野 公史 (日立GST・副本部長)
 押木 満雄 (富士通研究所・所長代理)
 田中陽一郎 (東芝・部長)

研究費：物件費441千円、旅費579千円

[2] 研究経過

IT社会におけるコンピュータの小型高性能化、ネットワークのブロードバンド化等の情報インフラ整備が進むと、情報を如何に蓄積し発信するかがIT社会発展の鍵となるため、大容量情報ストレージが強く求められる。さらにマルチメディア化的進行の結果、極めて大きな情報量とリアルタイム性を同時に求められる高品位動画像情報への需要が飛躍的に増大しており、従来のデータストレージでは機能しなくなりつつある。これらの要求

に応えるには、磁気ストレージシステムの飛躍的な性能向上が必須であり、本共同研究では、本所で提案した垂直スピニックストレージシステムの基礎研究を行っている。

磁気記録研究は、材料・デバイスの議論から、システムや信号処理等の検討まで幅広い領域を含むため、本共同研究では参加研究者の研究分担を、ヘッド・ディスク系のデバイス研究と信号処理系のシステム研究の二つに分けて行う。本所では、超高密度垂直磁気記録媒体の作製・解析、高飽和磁束密度軟磁性主磁極膜を有する強磁界単磁極ヘッドの作製、試作したヘッド・ディスクを用いた記録再生特性の評価及び垂直磁気記録のリードライト系におけるシステム設計を行う予定である。

今年度の全体会議は平成17年1月27日に開催し、研究成果を持ち寄っての討論を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

各研究機関での以下のような分担の成果が得られた。信号処理では、愛媛大から実測のノイズ性状を考慮してジッタと逆磁区ノイズを含む垂直磁気記録チャネルにおいて、高密度記録を行うための信号処理方式についての研究成果があり、600Gbits/inch²程度の面記録密度のために適切なチャネル方式が報告された。(図1)

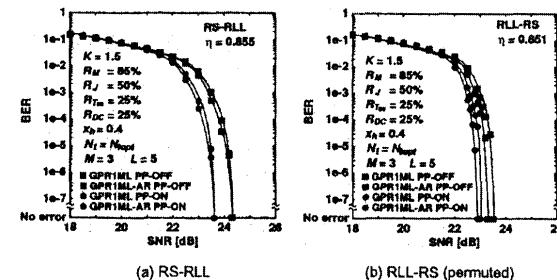


図1 ポストプロセッサによる垂直磁気記録チャネルのエラーレート改善効果。

また、秋田県高度技術研究所ではシリコンの異方性エッチングを利用する新規な構造とプロセスを持つプレーナ型単磁極ヘッドの提案があり(図2)，大きな記録磁界発生がシミュレーションにより示された。また、磁気記録媒体の分散の影響を

シミュレーションから検討した結果も紹介された。山口大では高周波化する磁気ヘッドにおいて変位電流が記録磁界に与える影響が議論され、計算

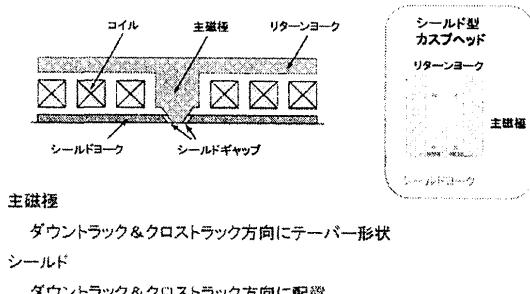


図2 新しい構造を持つプレーナ型单磁極ヘッド
(秋田高度技術研究所)

から有意な影響が認められることが報告された。

東北大からは新たなシリンダ型の記録媒体を用いる記録方式の報告があり、傾斜パッド型のABS形状を持つスライダによりシリンダ上でヘッド走行とリードライト試験が可能になったことが述べられた。(図3) また、垂直磁気記録媒体における熱磁気緩和に基づく再生電圧減衰を調べた結果も報告され、垂直磁化では高密度ほど信号減衰がないこと(図4)や垂直磁粒子の体積分散と各記録密度での減磁界の影響を考えないと測定された出力減衰が説明できないことが報告された。

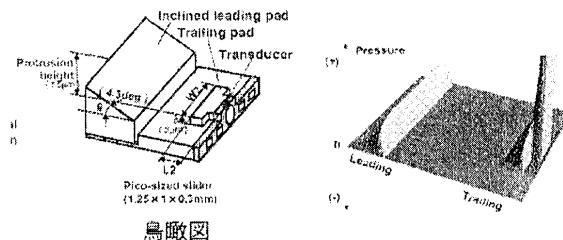


図3 提案されたシリンダ用傾斜パッドスライダのABS形状とその圧力分布。

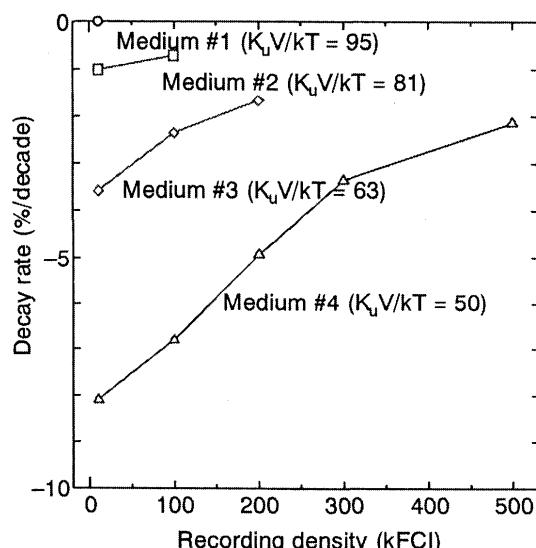


図4 記録密度に対する再生出力減衰の測定結果 (東北大)

(3-2) 波及効果と発展性など

本共同研究で遂行されてきたこれまでの成果を発展させ、今年度は当面の目標面記録密度である400ギガビット毎平方インチを、垂直磁気記録方式を用いて達成する。さらなる実用的な研究により実用化のための貢献が必要であるが、一方では前述の目標を超えて1テラビット毎平方インチ超の可能性を明らかにし、もう一方では産学共同研究の成果として実機ドライブの実用化を図る。

これまで、日立製作所中央研究所、東北大学電気通信研究所、秋田県高度技術研究所の三者による100ギガビット毎平方インチ以上の高密度記録デモをオランダで開催された国際応用磁気会議で報告し、東芝もヘッドとディスクを実機ドライブに組み込んだ検討を進め、実用性の高い成果を得つつある。

[4] 成果資料

- (1) 及川忠昭, 島津武仁, 稲葉祐樹, 佐藤英夫, 青井基, 村岡裕明, 中村慶久, “CoPtCr-SiO_x/Ru垂直磁気記録媒体における磁気特性のPt,Cr組成依存性,” 日本応用磁気学会誌, vol.28, No.3, pp. 254-257, 2004
- (2) 橋本光弘, 三浦健司, 村岡裕明, 青井基, 中村慶久, “磁気クラスタ径分布を考慮した垂直磁気記録媒体の磁化モデル,” 日本応用磁気学会誌, vol.28, No.4, pp. 535-538, 2004
- (3) 阿部剛志, 村岡裕明, 青井基, 中村慶久, “垂直磁気記録のエラーレートにおける波形パラメータ依存性の検討,” 日本応用磁気学会誌, vol.28, No.4, pp. 553-556, 2004
- (4) 三浦健司, 山川清志, 村岡裕明, 青井基, 中村慶久, “垂直磁気記録における飽和記録条件の実験的検討,” 日本応用磁気学会誌, vol.28, No.4, pp. 557-560, 2004
- (5) 山田洋, 島津武仁, 渡辺功, 青井基, 村岡裕明, 中村慶久, “シリンダ状媒体用ヘッドスライダの設計と再生分解能評価,” 日本応用磁気学会誌, vol.28, No.4, pp. 561-564, 2004
- (6) 夏衛星, 鈴木良夫, 青井基, 村岡裕明, 中村慶久, “シールド型GMRヘッドの再生分解能に対するリードトラック幅の影響,” 映像情報メディア学会誌, vol.58, No.7, pp. 982-986, 2004
- (7) W. Xia, H. Aoi, H. Muraoka, Y. Nakamura, “Resolution Improvement of Transition Width With Shielded Pole Writer,” IEEE Trans. Magn., vol. 40, No.4, pp. 2365-2367, 2004
- (8) T. Shimatsu, H. Sato, T. Oikawa, Y. Inaba, O. Kitakami, S. Okamoto, H. Aoi, H. Muraoka, Y. Nakamura, “High Perpendicular Magnetic

Anisotropy of CoPtCr/Ru Films for Granular-Type Perpendicular Media," IEEE Trans. Magn., vol.40, No. 4, pp. 2483-2485, 2004

- (9) T. Shimatsu, T. Oikawa, Y. Inaba, H. Sato, I. Watanabe, H. Aoi, H. Muraoka, Y. Nakamura, "Thickness Reduction in CoPtCr-SiO₂ Perpendicular Recording Media to Improve Media Performance," IEEE Trans. Magn., vol. 40, No. 4, pp. 2461-2463, 2004
- (10) Y. Inaba, T. Shimatsu, T. Oikawa, H. Sato, H. Aoi, H. Muraoka, Y. Nakamura, "Optimization of the SiO₂ content in CoPtCr-SiO₂ perpendicular recording media for high-density recording," IEEE Trans. Magn., vol. 40, No.4, pp. 2486-2488, 2004
- (11) M. Hashimoto, K. Miura, H. Muraoka, H. Aoi, Y. Nakamura, "Influence of magnetic cluster-size distribution on signal-to-noise ratio in perpendicular magnetic recording media," IEEE Trans. Magn., vol. 40, No. 4, pp. 2458-2460, 2004
- (12) T. Abe, K. Miura, H. Muraoka, H. Aoi, Y. Nakamura, "Target of transition jitter and transition parameter for over 200 Gb/in² perpendicular magnetic recording," IEEE Trans. Magn., vol. 40, No. 4, pp. 2573-2575, 2004

課題番号 H15/A04

次世代自発光型ディスプレイ用電子源の研究

[1] 組織

代表者：三村 秀典

(静岡大学電子工学研究所)

対応者：庭野 道夫

(東北大学電気通信研究所)

分担者：根尾陽一郎 (静岡大学電子工学研究所)

石川 順三 (京都大学工学部)

後藤 康仁 (京都大学工学部)

高井 幹夫 (大阪大学極限科学センター)

安達 洋 (室蘭工業大学工学部)

中西洋一郎 (静岡大学電子工学研究所)

橋口 原 (香川大学工学部)

澤田 和明 (豊橋技術科学大学工学部)

細田 誠 (大阪市立大学工学部)

佐々木正洋 (筑波大学物理工学系)

中根 英章 (室蘭工業大学工学部)

嶋脇 秀隆 (八戸工業大学工学部)

松本 貴裕 (スタンレー電気(株))

谷 正彦 (大阪大学超伝導フォトニクス研究センター)

佐藤 信之 (東北大学電気通信研究所)

研究費：校費46万6千円、旅費78万7千円

[2] 研究経過

フィールドエミッショントリニティ（FED）は蛍光体が塗布された画素ごとにフィールドエミッタ（FE）の集合体（フィールドエミッタアレイ：FEA）を配置した充極のマルチ電子銃型のCRT（ブラウン管）で、極薄、軽量、低消費電力、さらに耐環境性や高速表示などの点で優れた特長を持つと期待されている。特に、低消費電力、広視野角、高速表示、並びに高精細化が液晶ディスプレイやPDPと比べ容易なため、走査線4000本以上のスーパーハイビジョン用ディスプレイの最有力候補と見なされている。微小電子源は図1に示すようにコーン型構造をしているため（カーボンナノチューブ電子源でも同じ）、電子が約30°以上の発散角を持ちエミッタティップから放射される。そのため、微小電子源をスーパーハイビジョン用FEDに応用するためには、放射された電子を数 μm から数十 μm のドット（3ドットで1画素を構成する）に収束（絞り込む）ことが必要である。微小電子源から放射された電子を収束するには、微小電子源に収束電極を一体形成することが望ましい。

本研究は、スーパーハイビジョン用FEDのキーデバイスである収束電極付き微小電子源を開発するものである。本プロジェクト研究の2年目であった今年度は、主に三村、根尾、嶋脇が電気通信研究所に赴き、収束電極付き微小電子源の開発を行った。

[3] 成果

(3-1)研究成果

図2に、同一平面上に収束電極を配置した平面型収束構造付きSi微小電子源とゲート電極の上に収束電極を配置した積層型収束構造付きSi微小電子源の概念図と製作した素子のSEM写真を示す。また、図3に1kVを印加した蛍光体をエミッタから約5cm離した距離に置き、観測した電子放射パターンを示す。ゲート電圧はいずれも70V一定としている。収束電極にゲート電極と同電位の70Vを加えた場合（同図上）に比べ、収束電極にゲート電圧より低い10Vを加えた場合（同図下）においてビームのスポットサイズが著しく減少しており、収束効果が得られていることがわかる。平面型の場合、ゲート電極形成と収束電極の形成を同一のプロセスで行えるため、製作が容易であるが、構造の非対称性に起因してビームパターンの対称性に劣る。一方、積層型では、収束電極の孔をエミッタ毎に自己整合的に製作することができるため、ビームパターンの対称性に優れるが、収束電極の電位の影響でエミッタティップ先端の電界強度が著しく減少し、エミッション電流が2桁程度も減少することがわかる。そこで、積層型で収束を掛けても、エミッション電流の減少がない構造を見い出すため、ゲート電極の膜厚を変化させ、電子ビームの軌道計算を行った。

図4にシミュレーションの結果を示す。(a)と(b)の比較より、フォーカス電極動作時には、ビームが収束されていることがわかる。しかし、エミッタティップ先端の電界が弱まっている。ここで、(c)に示すように、ゲート電極を十分厚くすれば、エミッタティップ先端の電界が弱まることなく収束

束効果が得られていることがわかる。これは、ゲート電極を厚くすることにより、収束電極からの電界のしみ込みを防止しているためである。現在、ゲート電極がミクロンオーダーの収束電極付き微小電子源を作成している。

また、平面型と積層型の長所を取り入れた収束構造電子源をとして、図5に示す構造について検討を行っている。製作プロセスは、シャープニング酸化後にpoly-Si膜、絶縁膜、poly-Si膜を形成し、エッチバック法によりエミッタ先端部を露出させるという極めてシンプルなものである。電極にpoly-Siを用いることでオールシリコンプロセスでの製作が可能である。また、ゲート開口径は熱酸化膜厚で決まるため、サブミクロンオーダーまで減少可能であり、微細線ビームの形成としきい値電圧の低減化が期待できる。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトで開発される電子源は、スーパーハイビジョン用ディスプレイの電子源にとどまらず、ナノテクノロジーの画像応用で画像の革新を狙う、ナノビジョン用ディスプレイの電子源としても有望である。

[4] 成果資料

- (1) T. Matsumoto and H. Mimura, "Intense electron emission from graphite nanocraters and their application to time-resolved x-ray radiograph", Appl. Phys. Lett. 84 (2004) 1804-1806.
- (2) H. Mimura, T. Ukeba, H. Shimawaki and K. Yokoo, "Photoresponse of a p-type Si field emitter", J. Vac. Sci. Tech. B 22 May/Jun (2004) 1218-1221.
- (3) P. N. Minh, T. Oho, N. Sato, H. Mimura and M. Esashi, "Microelectron field emitter array with focus lenses for multielectron beam lithography based on insulator wafer", J. Vac. Sci. Tech. B 22 May/Jun (2004) 1273-1276.
- (4) H. Mimura, H. Ishizuka and K. Yokoo, "Future concept for compact FEL using a field emission micro-cathode", Nuclear Instr. Meth. Phys. Resear. A 528 (2004) 497-501.
- (5) H. Mimura, Y. Neo, H. Shimawaki, T. Matsumoto and K. Yokoo, "Emission characteristics and application of semiconductor field emitters", Appl. Surf. Sci. 22 (2005) 498-503.
- (6) Y. Neo, Y. Suzuki, K. Sagae, H. Shimawaki and H. Mimura, "Smith-Purcell radiation using a single-tip field emitter", J. Vac. Sci. Technol. B 23 (2005) 840-842.

- (7) H. Shimawaki, Y. Suzuki, K. Sagae, Y. Neo and H. Mimura, "Energy distributions of field emission electrons from silicon emitters", J. Vac. Sci. Technol. B 23 (2005) 687-690.
- (8) T. Matsumoto and H. Mimura, "High intensity pulse x-ray generation by using graphite-nanocrater cold cathode", J. Vac. Sci. Technol. B 23 (2005) 831-835.
- (9) H. Mimura, Y. Neo, H. Shimawaki, T. Matsumoto and K. Yokoo, "Emission characteristics and application of semiconductor filed emitters", 12th International Conference on Solid Films and Surfaces, Hamamatsu, 2004, p.23. (Invited)
- (10) Y. Neo, Y. Suzuki, K. Sagae, H. Shimawaki and H. Mimura, "Smith-Purcell radiation using a single-tip field emitter", 17th International Vacuum Microelectronics Conference, pp.138-139, Boston, (2004. 7).
- (11) H. Shimawaki, Y. Suzuki, K. Sagae, Y. Neo and H. Mimura, "Field emission energy distribution from silicon field emitters", 17th International Vacuum Microelectronics Conference, pp.234-235, Boston, (2004. 7).
- (12) T. Matsumoto and H. Mimura, "High intense pulse x-ray generation by using graphite-nanocrater cold cathode", 17th International Vacuum Microelectronics Conference, pp.204-205, Boston, (2004. 7).

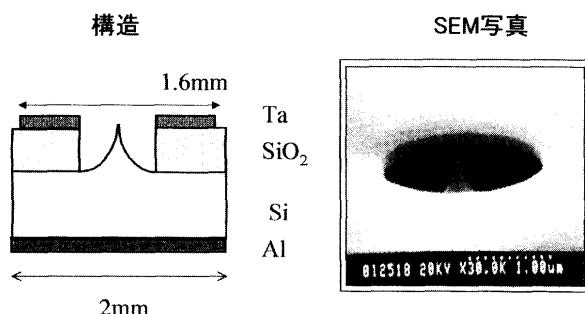


図1 Si電界放射微小電子源

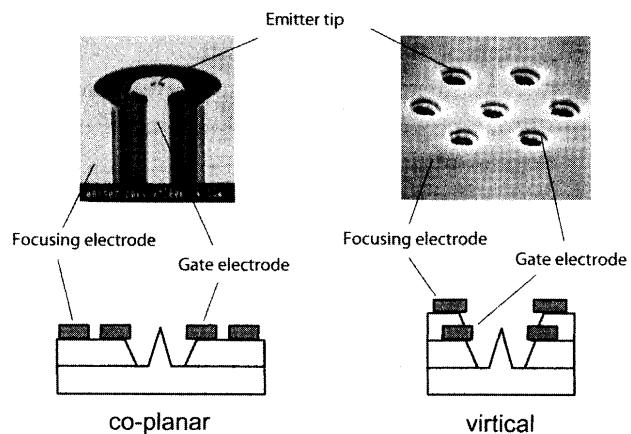


図2 収束電極付き微小電子源

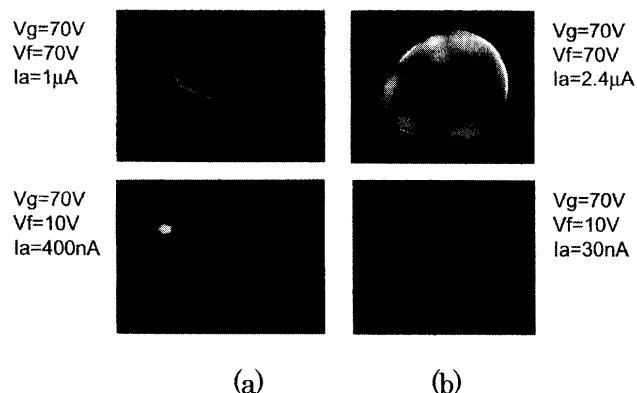
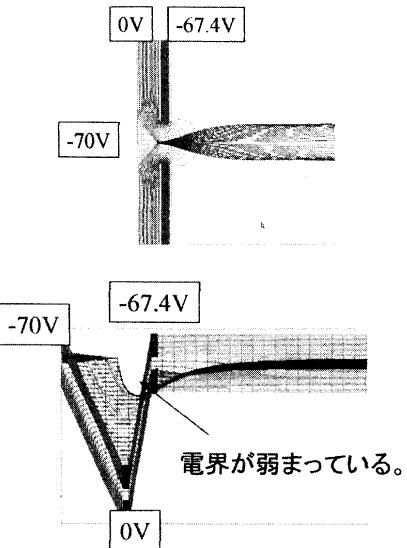


図3 電子放射パターン(a)平面型、(b)積層型

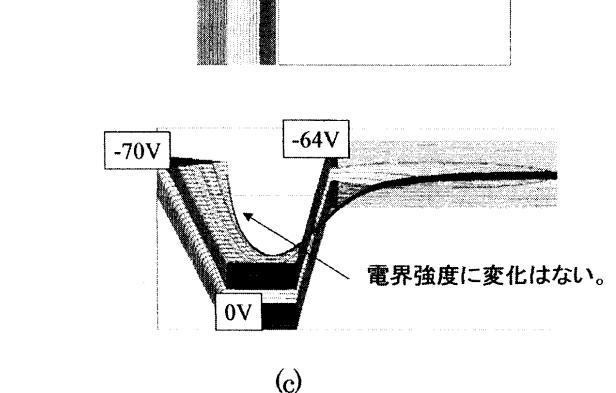
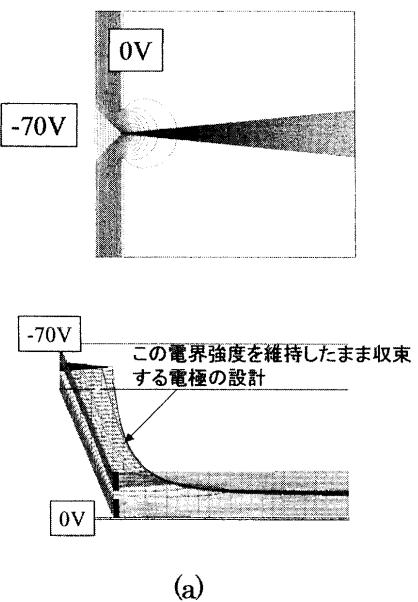


図4 シミュレーション結果(c)のように、ゲート電極を厚くすると、ティップ先端の電界強度が下がることなく収束効果を得ることができる。

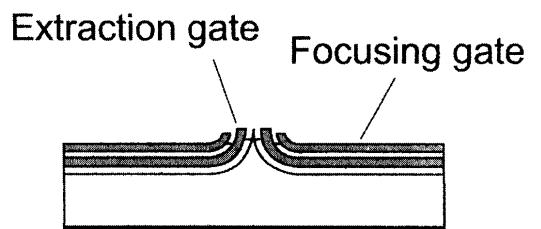


図5 平面型と積層型の長所を取り入れた収束構造電子源

課題番号 H15/A05

有機半導体デバイスの基礎と応用

[1] 組織

代表者：平本 昌宏
(大阪大学大学院工学研究科)

責任者：石井 久夫
(東北大学電気通信研究所)

分担者：

中村 雅一（千葉大工学部）
 古川 行夫（早稲田大学理工学部）
 岩佐 義宏（東北大学金属材料研究所）
 中山 隆博（株日立製作所 日立研究所）
 烏田 敏宏（東大院理）
 時任 静士（NHK技研）
 阿波賀邦夫（名大院理）
 金井 要（名大院理）
 川上 春雄（富士電機）
 広光 一郎（島根大総合理工）
 工藤 一浩（千葉大学工学部）
 二瓶 瑞久（富士通研究所）

研究費： 校費 42.8万円、旅費 34.8万円

〔2〕研究経過

【概要】

機能性有機材料を用いたエレクトロニクス素子は、低成本・大面积プロセス、フレキシブル素子構造が可能である等の特徴を有し、近年その研究が加速している。有機デバイスにおいては、個々の性能は現状では無機デバイスを凌駕するには至っていないが、印刷技術などを応用することでwearableデバイスなどの複合化された情報デバイスを低成本で実用化できると期待される。

現在のシリコンテクノロジーが、シリコンに対する徹底的な基礎・応用研究の蓄積の上に花開いているのに対して、有機半導体ならびにそのデバイス物理は未解明な課題が山積している。本研究では、先ず有機デバイスの基礎を固めるために、有機デバイスそのものを種々の分光的手法と電気測定法を用いて調べ、有機電界発光素子、有機電界効果トランジスタや有機太陽電池などの既存のデバイスの動作機構を解明し、素子の性能向上をはかることを目指す。さらに、種々の有機デバイスの研究者と最新の成果発表と情報交換を行い、

有機電界発光素子に続く、実用有機複合デバイスの方向性を確立することを目的とする。

【本年度の成果】

研究会「有機デバイスの基礎と応用」を平成16年11月18日-19日に開催した。昨年度の研究会と同様に、「有機デバイスの動作機構解明に向けた諸課題」と「有機デバイスの将来」を2つの柱として、討論主体の研究会を開催した。前者の課題としては、「有機半導体におけるキャリアの生成機構」をテーマとして、有機トランジスタ、有機メモリ素子、有機太陽電池などの素子における、キャリアの生成に関する研究発表と討論を行った。後者の課題としては、名大の阿波賀教授に「分子スピントロニクス物性とその展開」と題して特別講演を行っていた。これは、近年、有機材料ではスピントロニクスへの展開が期待されているためである。研究会参加者は、民間研究機関からの参加者、大学院生を含めて、35名で、二日間にわたって活発な討論が行われた。以下に、研究会のプログラムを付記する。

2004年11月18日 (木)

岩佐義宏（東北大金研）

「有機薄膜および単結晶トランジスタと界面制御」

島田敏宏（東大院理）

「F E T電子分光と有機薄膜成長における有機半導体のキャリヤの役割」

工藤一浩 (千葉大工)

「電荷移動錯体系 F E T の作製と評価」

石井久夫（東北大通研）

「有機半導体トランジスタにおける光誘起ドーピング現象」

中村雅一（千葉大工）

「有機半導体／誘電体界面におけるキャリアアドーピング現象」

时任静士 (NHK技研)

「りん光性高分子を用いた高効率有機EL素子の動作機構」

阿波賀邦夫（名大院理）特別講演

「分子スピン物性とその展開」

中村雅一（千葉大工学部）

「有機トランジスタのキャリア輸送における外的制限要因について」

2004年11月19日（金）

金井 要（名大院理）

「有機半導体/金属界面の分子配向と電子構造におけるドーピングの効果」

川上春雄（富士電機）

「AIDCNとキノメタン系材料の双安定現象」

平本昌宏（阪大工）

「有機太陽電池における光キャリア生成と p n 制御」

広光一郎（島根大総合理工）

「有機薄膜太陽電池の内部電場と光电流の相関から見たキャリアーの発生機構」

古川行夫（早大理工）

「共役高分子のキャリア：ポーラロンとバイポーラロン」

【4】成果資料

参考資料として、本プロジェクト研究で行った研究会の報告書を添付する。

【3】成果

(3-1) 研究成果

研究会を通じて、有機トランジスタ(FET), 電界発光(EL), 太陽電池, 有機メモリなどの有機デバイスのキャリア問題に関して議論を深め、意見交換を行い、諸課題を洗い出し討議した。参加メンバーは、物理、化学、電気、また、産業界、大学教官、院生、と種々のバックグラウンドを持っており、異分野間、院生を含む若手研究者との間の積極的にフランクなディスカッションを行い、有機デバイスの将来を担う研究者の密な交流を目指した。前回の研究会同様に、分からぬところは理解できるまで意見交換するという実質重視の研究会とし、研究報告にくわえ、懇親会においても、各研究者の自己紹介および研究テーマ、将来の研究のビジョン等についての意見を語りあう時間を設け、徹底的な討論を行い、メンバー間の交流を図った。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトにおいて、有機デバイスの「基礎と応用」の両方の視点から活発に研究を進めている国内の研究者が一同に会して、実質重視で議論を戦わすことができ、研究を進めていく上で有用なヒントを得ることが出来た。これを契機として、デバイス物理の解明が進むことが期待される。また、グループ研究としての競争的資金への申請などの展開を目指してゆきたい。

課題番号 H15/A06

人間機械実時間対話システムの実現に関する研究

[1] 組織

代表者：中島 康治（東北大学電気通信研究所）
 責任者：中島 康治（東北大学電気通信研究所）
 分担者：矢野 雅文（東北大学電気通信研究所）
 星宮 望（東北大学大学院工学研究科）
 二見 亮弘（東北大学大学院工学研究科）
 山本 光璋（東北大学大学院情報科学研究所）
 中尾 光之（東北大学大学院情報科学研究所）
 片山 統裕（東北大学大学院情報科学研究所）
 北嶋 龍雄（山形大学工学部）
 斎藤 利通（法政大学工学部）
 阪口 豊（電気通信大学大学院情報システム学研究科）
 佐野 雅巳（東京大学大学院理学系研究科）
 沢田 康次（東北工業大学）
 田中 敦（山形大学総合情報処理センター）
 田中 衛（上智大学理工学部）
 土居 伸二（大阪大学大学院工学研究科）
 堀尾 喜彦（東京電機大学工学部）
 水柿 義直（電気通信大学電子工学科）
 森江 隆（九州工業大学大学院生命体工学研究科）
 八木 哲也（大阪大学大学院工学研究科）
 矢内 浩文（茨城大学工学部）
 米津 宏雄（豊橋技術科学大学電気・電子系）
 和久屋 寛（佐賀大学理工学部）
 雨宮 好仁（北海道大学工学部）

研究費：校費43万5千円、旅費47万3千円

[2] 研究経過

知的な情報処理に関する研究開発の重要性は高まる一方であり、本プロジェクトでは生物神経系の実験的研究、脳の情報処理原理を活用したシステム（ニューラルネットワーク）の可能性の論理的検討を行い、そこで得られた知見をハードウェア試作により実践的に検証する。そして自然な人間機械相互作用方式（例：ヒューマンインターフェイス）実現のための基礎研究を行う。これまでの実践的および論理的研究によってニューラルネットワークの可能性について様々な事実が蓄積されてきたが、本質的には、緩い意味で「人間とコ

ンピューターでは得意課題が排他的である」という程度の理解しか得られていない。それは、ひとつには超並列なデータを処理するアーキテクチャーが明確になっていないこと、その他にはそもそも膨大な並列データの取捨選択方式が未知であることが理由である。実験、理論、実践をとおして現状のコンピューターと脳の長所・短所を明確にし、人間と機械の自然な対話環境実現のための基礎を築くことを目的とする。そこで広くプロジェクト構成メンバー間の相互理解を深めるため平成16年12月17、18日に、東北大学電気通信研究所にてプロジェクト研究会を実施した。そこでの発表テーマは以下の通りである（発表順）。

「デジタルスパイキングニューロンとその実装について」	鳥飼弘幸（法政大）
「海馬神経回路における刺激に依存し発火パターンの変化」	片山統裕（東北大）
「発話時の頭部ゆらぎに含まれる個人の特徴」	矢内浩文（茨城大）
「時間方向のスケーリングを許容する筋活動波形デコンポジションアルゴリズム」	石田文彦（電気通信大）
「脳型視覚情報処理LSIの最近の進捗」	森江隆（九州工業大）
「人工視覚VLSIによる視覚機能再建」	八木哲也（大阪大）
「大脳で空間認識を行う神経網のアルゴリズムとその工学的考察」	川上進（玉川大）
「ニューロ様量子計算について」	佐藤茂雄（東北大）

[3] 成果

(3-1) 研究成果

発話時の頭部ゆらぎに含まれる個人の特徴から個人識別を行うことが可能であり、その精度が高いことが示された。その応用についての種々の考察が行われた。海馬神経回路における刺激に依存し発火パターンが変化することが観測され、そのモデル化がなされた。デジタルスパイキングニューロンとその実装について種々の応用が示唆された。脳型視覚処理のためのLSIの設計や人工視覚の網膜から一次視覚野へのハードウェアの製作により行われた、人工視覚VLSIによる視覚機能再建の

試みについて成果が示された。大脳で空間認識を行う神経網のアルゴリズムとその工学的考察について新しい知見が示された。磁束量子論理集積デバイスによる神経回路的情報処理回路の構成が達成された。ニューロシステムは確率的動作や超並列処理との相性が良く、知的なシステムを構成するベースとなる高い可能性を有しており、単電子系などの動作揺らぎは確率的なアニーリングに用いられることが判明し、回路構成について解析結果を得た。さらに量子力学的效果とニューロシステムを結合することにより、量子計算の中に最適値問題の解法を持ち込むことができる事が分かった。それは状態の重ね合わせとハミルトニアンの断熱的変化による量子計算アルゴリズム、並びにホップフィールドモデルのエネルギー関数を組み合わせ、更にデコヒーレンスの効果をも取り入れるものである。これにより簡単なものではあるが、最適値問題が解けることを数値解析により示すことができた。また逆関数遅延モデルの提案によりニューロシステムを用いた最適値問題の解法に飛躍的正解率の向上がもたらされることが判明し、その基礎的な集積回路の試作が行われ、基本的動作の確認がなされた。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトにおいて学外研究者との交流が飛躍的に進展したことにより9月の国際会議「International conference on knowledge-based intelligent information & engineering systems」においてスペシャルセッションを開催し、ニュージーランドにおいてその成果が発表された。またスエーデンの研究者との国際交流により、王立工科大学の大学院修士の修了生が研究生として1年半研究所に滞在し、研究を行うことになった。以上本プロジェクト研究では、神経生理学、非線形物理学、理論脳科学、集積回路工学の知見を総合的に取り入れた研究グループを構成することで、知的集積回路を開発し応用するための基礎概念や構成法の理解に進展が見られ、その成果は、学術的あるいは技術的大規模問題の情報処理に活用する方向と同時に、携帯性や人間との親和性が重視される環境でのヒューマンインターフェイスを開発する上での基礎となると予想される。

[4] 成果資料

- (1) 矢内浩文、水野喜夫：“発話時の頭部ゆらぎに含まれる個人的特徴”，ヒューマンインターフェースシンポジウム2004, 一般発表 No.3314, pp. 1011-1014 (2004年10月)
- (2) A. Karashima, M.Nakao, K.Honda, N.Iwasaki, N.Katayama, M.Yamamoto :Theta wave amplitude and frequency are differently correlated with pontine wave and rapid eye movements during REM sleep in rats. Neuroscience Research, 50, 283-289, 2004.
- (3) N. Iwasaki, A. Karashima, Y. Tamakawa, N. Katayama, M. Nakao :Sleep EEG dynamics in rat barrel cortex associated with sensory deprivation, NeuroReport 15, 2681-2684, 2004
- (4) 片山統裕、菊池修、渡邊直樹、辛島彰洋、中尾光之：カルバコールにより賦活される海馬神経回路の時空間ダイナミクス. 生体医工学, 42(4) 269-276, 2004
- (5) N. Katayama, K. Sakamoto, M. Nakao, M. Yamamoto,:Noise-induced metastability in the Hodgkin-Huxley neural network. Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, (NOLTA 2004), 505-508, 2004.
- (6) A. Karashima, M. Nakao, K. Honda, N. Iwasaki, N. Katayama,:Accelerations of hippocampal theta wave associated with pontine wave occurrence during REM sleep in rats. Annual Meeting of Society for Neuroscience, San Diego, 2004.
- (7) N. Katayama, K. Sakamoto, M. Nakao, M. Yamamoto, Metastable dynamics of the Hodgkin-Huxley neural network driven by noise, Proc. Intl. Workshop Biol. Inspired Computing BIC2004, 126-129, 2004/11/19.
- (8) Okamoto, H., & Kawakami, S. (2004). A neural network model for detecting a planar surface from optical flow in area MST. Vision Research (条件付採録).
- (9) Y. Kim and T. Morie:A Pixel-parallel Anisotropic Diffusion Algorithm for Subjective Contour Generation Accepted for presentation in IEEE Int. Symp. on Circuits and Systems (ISCAS2005), Kobe, May 23-26, 2005.
- (10) T. Nakano, T. Morie:A Digital LSI Architecture of Elastic Graph Matching and Its FPGA Implementation Accepted for presentation in Int. Joint Conference on Neural Networks (IJCNN05), Montreal, Canada, July 31-Aug. 4, 2005.
- (11) T. Nakano and T. Morie:A VLSI Architecture for Elastic Graph Matching Proceedings of the 4th POSTECH-KYUTECH Joint Workshop on Neuroinformatics, pp. 65-66, Kitakyushu, Aug. 24-25, 2004.

- (12) 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)
- (13) 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)
- (14) H. Torikai, M. Shimazaki and T.Saito,:Master-slave synchronization of pulse-coupled bifurcating neurons, IEICE Trans. Fundamentals, E87-A, 3, pp.740-747 (2004)
- (15) H. Torikai and T. Saito,:Synchronization phenomena in pulse-coupled networks driven by spike-train inputs, IEEE Trans. Neural Networks, 15, 2, pp. 337-347 (2004)
- (16) Tatsuro Maekawa, Hiroyuki Torikai and Toshimichi Saito,:A Sawtooth Bifurcating Neuron with Double Encoding Function, Proc. of RISP International Workshop on Nonlinear Circuit and Signal Processing (NCSP'05), pp.69-72 (2005).
- (17) T. Yamamichi, T. Saito and H. Torikai,:A GA-based Fault-Containment Learning Algorithm for Binary Neural Networks, Proc. of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 697-700 (2004)
- (18) T. Kabe, T. Saito and H. Torikai,:Analysis of piecewise constant models of power converters, Proc. of International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 71-74 (2004)
- (19) H. Hamanaka, H. Torikai and T. Saito,:A spiking oscillator with quantized state and its pulse coding characteristics, Proc. of 11th International Conference on Neural Information Processing, pp.1123-1128 (2004)
- (20) H. Torikai, H. Hamanaka and T. Saito, :Pulse codings of a spiking neuron having quantized states, Proc. of International Conference on Knowledge-based Intelligent Information Engineering systems, pp. 1002-1009 (2004)
- (21) H. Hamanaka, H. Torikai and T. Saito, :Spike position map with quantized state and its application to algorithmic A/D converter, Proc. of IEEE International Symposium on Circuits and Systems, IV, pp. 673-676 (2004)
- (22) T. Saito, J. Shimakawa and H. Torikai,D/A converters and iterated function systems, Proc. of 12th International IEEE Workshop on Nonlinear Dynamics of Electronic Systems, pp. 300-303 (2004)
- (23) Y. Kon'no, T. Saito and H. Torikai, :Rich synchronization of simple spiking oscillators, Proc. of 12th International IEEE Workshop on Nonlinear Dynamics of Electronic Systems, pp. 210-213 (2004)
- (24) H. Torikai and T. Saito, :Pulse-coupled network of spiking neurons having quantized states, Proc. of International Conference on Cognitive and Neural Systems, p.105 (2004)
- (25) M. Ohki, H. Torikai and T. Saito, :Basic characteristics of a simple radial basis ART network and its application, Proc. of International Conference on Cognitive and Neural Systems, p.83 (2004)
- (26) Single Electron Random Number Generator, IEICE Trans. Electron., E87-C, 5, pp. 832-834, May 2004, H. Akima, S. Sato, K. Nakajima
- (27) Asymptotic Analysis of Cyclic Transitions in the Discrete-Time Neural Networks with Antisymmetric and Circular Interconnection Weights, IEICE TRANS. on FUNDAMENTALS, vol. E87-A, no. 6, pp.1487-1490, June 2004, Cheol-Young Park and Koji Nakajima
- (28) 量子ニューラルネットワーク実現への試み 一 量子ビットをニューロンとして使うために一, 電子情報通信学会誌小特集, 87, 6, pp.488-492, June 2004, 佐藤茂雄, 金城光永, 中島康治
- (29) Single Electron Stochastic Neural Network, IEICE Trans. Fundamentals, E87-A, 9, pp.2221-2226, Sep. 2004, H. Akima, S. Yamada, S. Sato, K. Nakajima
- (30) Implementation of Continuous-Time Dynamics on Stochastic Neurochip, IEICE Trans. Fundamentals, E87-A, 9, pp.2227-2232, Sep. 2004, S. Akimoto, A. Momoi, S. Sato, K. Nakajima
- (31) Evaluation of junction parameters with control of carrier concentration in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$. stacked junctions, Physica C, vol.412-414, Part II, pp.1396-1400, Oct. 2004, K.Inomata, S.Sato, K.Nakajima, S.-J.Kim, T.Hatano, Y.Takano, M.Nagao, T.Yamashita
- (32) A New Digital Architecture of Inverse Function Delayed Neuron with the Stochastic Logic, Proceedings of the 47th IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems, pp.II-393-II-396, Hiroshima Japan, July 2004, Hongge Li, Yoshihiro Hayakawa, Shigeo Sato, and Koji Nakajima
- (33) Implementation of a Large Scale Hardware Neural Network System based on Stochastic Logic, Proceedings of the 2004 Joint International Neural Networks Conference (IJCNN), pp.2671-2676, Budapest Hungary, July 2004, Akiyoshi Momoi,

- Shunsuke Akimoto, Shigeo Sato, and Koji Nakajima
- (34) A Study on Neuromorphic Quantum Computation, Proceedings of the 2004 Joint International Neural Networks Conference (IJCNN), pp.3253-3256, Budapest Hungary, July 2004, Shigeo Sato, Mitsunaga Kinjo, Osamu Takahashi, Yuuki Nakamiya and Koji Nakajima
- (35) Analysis of Limit-Cycles on Neural Networks with Asymmetrical Cyclic Connections Using Approximately Activation Functions, Proceedings of the 8th International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems (KES 2004), Part I, pp.974-980, Wellington, New Zealand, Sep. 2004, Shinya Suenaga, Yoshihiro Hayakawa, and Koji Nakajima
- (36) Inverse Function Delayed Model for Optimization Problems, Proceedings of the 8th International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems (KES 2004), Part I, pp.981-987, Wellington, New Zealand, Sep. 2004, Yoshihiro Hayakawa, Tatsuaki Denda, and Koji Nakajima
- (37) Design of Single Electron Circuitry for a Stochastic Logic Neural Network, Proceedings of the 8th International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems (KES 2004), Part I, pp.1010-1016, Wellington, New Zealand, Sep. 2004, Hisanao Akima, Shigeo Sato, and Koji Nakajima
- (38) Design and Implementation of Stochastic Neurosystem Using SFQ Logic Circuits, 2004 Applied Superconductivity Conference, 2EK03, U.S.A., Sep. 2004, Taizo Kondo, Masayuki Kobori, Takeshi Onomi, and Koji Nakajima
- (39) Design and fabrication of superconducting microstrip lines using Nb_2O_5 insulator, 2004 Applied Superconductivity Conference, 3EF11, Sep. 2004, U.S.A., Takeshi Yamamae, Takeshi Onomi, and Koji Nakajima
- (40) Macroscopic quantum tunneling in d-wave high-T_c superconductor, 2005 American Physics Society(APS) March Meeting, D12.00004, March 2005, U.S.A., Kunihiro Inomata, Shigeo Sato, Koji Nakajima, Akihiro Tanaka, Yoshihiko Takano, Huabing Wang, Masanori Nagao, Siro Kawabata, Takeshi Hatano

課題番号 H15/A07

生体用高分解能テラヘルツセンサー

[1] 組織

代表者：大橋 啓之

（日本電気株式会社 基礎・環境研究所）

責任者：伊藤 弘昌

（東北大学電気通信研究所）

分担者：石原 邦彦

（日本電気株式会社 基礎・環境研究所）

四方 潤一（東北大学電気通信研究所）

横山 弘之（東北大学未来科学技術共同
研究センター）

上原 洋一（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費41万2千円、旅費42万8千円

[2] 研究経過

癌などの検出に役立つテラヘルツ波の研究・開発は、近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは、波長より小さいサイズのテラヘルツ近接場による高分解能テラヘルツセンサーを開発することを目的として、東北大学伊藤研究室が開発したテラヘルツ波光源と、NECが開発した表面プラズモンにより近接場を増強する技術とを組み合わせることによって、波長より小さい開口からの透過波および近接場のエンハンス効果とそれを用いたニアフィールドイメージングについて研究を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

- ・2004/10/13-14 共同実験
- ・2004/10/25-26 共同実験
- ・2004/11/17-18 共同実験
- ・2004/11/29-30 共同実験
- ・2004/12/16-17 共同実験
- ・2004/12/24 研究打ち合わせ
- ・2005/2/1-2 共同実験
- ・2005/2/15-16 共同実験
- ・2005/2/24-25 共同実験
- ・2005/3/3-4 プロジェクト報告会
および共同実験
- ・2005/3/14-15 共同実験

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

A. 空間分解能の測定

まず第1に、波長以下の径の開口からの透過波に対し大幅なエンハンス効果を示すBull's eye素子（单一開口+同心円状周期溝）について近接場領域での空間分解能測定を行った。波長約 $200\mu\text{m}$ のテラヘルツ波に対し、回折限界寸法以下である約 $50\mu\text{m}$ （波長の約1/4）の空間分解能が得られた。Bull's eye素子は、厚さ $60\mu\text{m}$ の金属板（SUS）の両面（または片面）に周期 $200\mu\text{m}$ の同心円状の溝を形成し、同心円の中心に直径 $100\mu\text{m}$ の円形開口を設けることで作製した（図1参照）。金属板の表面および開口の内壁には、表面プラズモンが有効に機能するようにSkin depthより十分厚い膜厚のAu（約 $1\mu\text{m}$ ）を成膜した。

作製したBull's eye素子の透過波エンハンス特性を図1に示す。測定はテラヘルツ波パラメトリック発振器（TPO）によって行い、波長 $160\sim250\mu\text{m}$ （約1.9~1.2 THz）の範囲で透過スペクトルを測定した。素子の周期溝は両面に形成され、リング（溝）の数は10である。図中には、参照用に单一開口のみの透過スペクトルも示す。Bull's eye素子の場合、周期に近い波長（約 $200\mu\text{m}$ ）において透過波が最大値を示し、单一開口の場合よりも大幅な透過光の増大が得られていることがわかる。すなわち、波長以下の径の微小開口に周期構造を配置することによって、大幅な透過エンハンス効果が得られることがわかる。このようなエンハンス効果は、周期構造によって表面プラズモンが励起され、開口近傍に強い近接場が形成されさらに透過光も増大されたことによると考えられる。

次に、Bull's eye素子に対して近接場領域での空間分解能測定を行った。測定は、Bull's eye素子の出射側開口の近傍において、テラヘルツ領域で透明な樹脂基板の上に成膜した金属薄膜（Cr膜、厚さ300nm）の直線エッジ部分をスキャンすることによって行った。図2に結果を示す。素子の周期溝は入射側のみに配置した。リング数は10である。金属薄膜とBull's eyeとの間隔は約 $15\mu\text{m}$ とした。金属薄膜によりBull's eyeの開口部分を徐々に遮蔽すると、金属薄膜の位置に対し透過光は直線的に

減少する。測定された空間分解能は、透過光の10%-90%で定義した場合、約 $50\mu\text{m}$ であった。波長の約1/4という微小な空間分解能が得られた。

B. テラヘルツ近接場イメージング

第2に、Bull's eye素子を実際に2次元イメージングへ適用した。その結果、波長以下の幅の金属ラインパターンを用いた実験において、良好な近接場イメージング像が得られることが確認された。実験に用いたイメージング用の試料は、テラヘルツ用透明樹脂基板上に作製したL字型の金属ラインパターン（幅 $70\mu\text{m}$, 膜厚300 nm, Cr, 図3(a)参照）である。

この金属パターンを波長 $200\mu\text{m}$ で通常のTHzイメージングで測定した結果を図3(b)に示す。通常のテラヘルツイメージングは透過波（ファーフィールド）による測定となるため、原理的に回折限界によって波長以下のパターンをイメージングすることはできない。このため、図3(b)から判るように、明確なラインイメージは得られない。これに対し、Bull's eye素子を用いて金属ラインパターンを近接場（ニアフィールド）イメージングした結果を図3(c)に示す。金属パターンの試料とBull's eye素子との間隔は約 $15\mu\text{m}$ 、また用いたテラヘルツ波の波長は $205\mu\text{m}$ である。図3(c)の左側は、L字型パターンの全体像を $20\mu\text{m}$ ステップで2次元スキャンした結果を示す。図3(c)の右側は、拡大したライン部を $6\mu\text{m}$ ステップで2次元スキャンした結果を示す。通常のテラヘルツイメージングでは得られなかつた金属パターンのイメージング像が、Bull's eye素子を用いた近接場イメージングによって、高コントラストで明瞭なパターンとして画像化されたことが確認できる。また、波長 $205\mu\text{m}$ の約1/3である $70\mu\text{m}$ 幅-金属ラインが明確にイメージングできることがわかった。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトでは、表面プラズモン共鳴による金属微小開口からのテラヘルツ波透過波および近接場増強効果を確認し、さらに回折限界以下のニアフィールドイメージング像が得られるることを明らかにし、生体関連試料の高空間分解能センシングが期待されることから、平成17年度においても引き続きプロジェクトが継続され、高分解能テラヘルツセンサーの実現が期待される。

[4] 成果資料

- (1) 石原, 碇, 南出, 四方, 大橋, 伊藤
「表面プラズモンエンハンス効果を用いたテラヘルツニアフィールドイメージング」
第52回応用物理学関係連合講演会31p-W-10
(2005) .

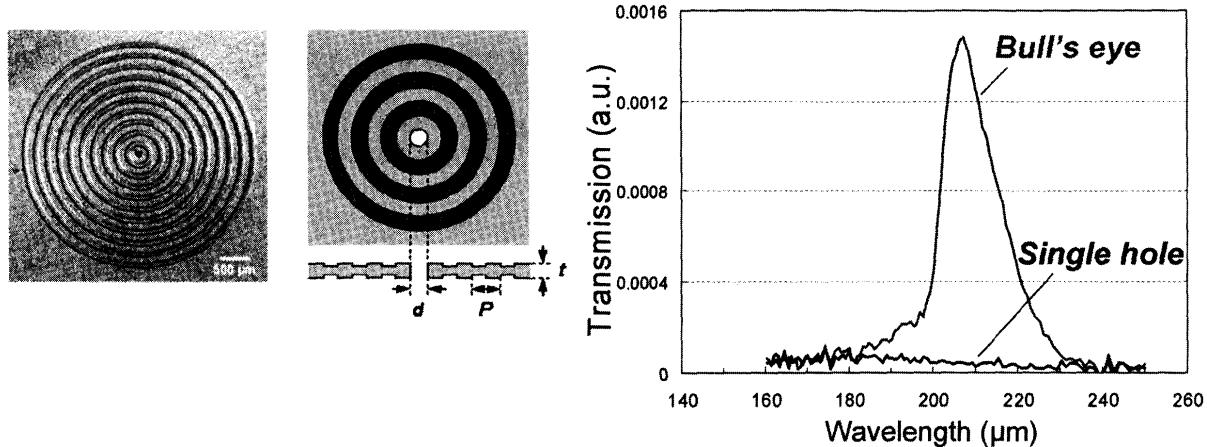


図1. Bull's eye素子の写真、モデル図および透過スペクトル特性

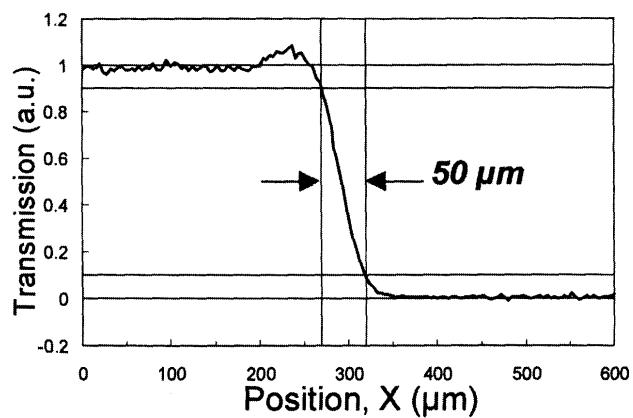


図2. 空間分解能測定結果

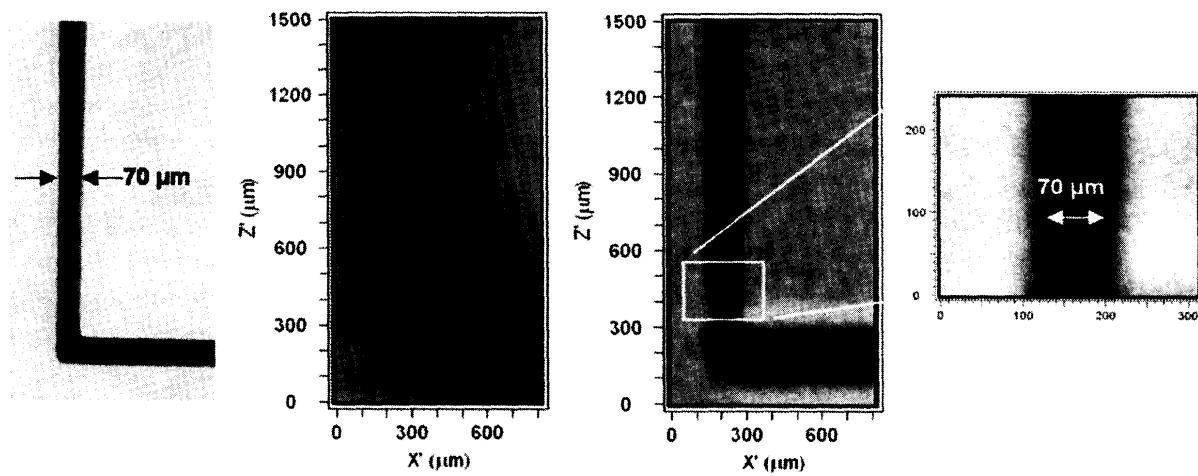


図3. (a) 金属パターン写真, (b) 従来THzイメージング像, (c) THzニアフィールドイメージング像

課題番号 H15/A08

高臨場感システム構築のための マルチモーダル情報処理に関する研究

[1] 組織

代表者：小澤 賢司
 (山梨大学大学院医学工学総合研究部)
 対応者：鈴木 陽一
 (東北大学電気通信研究所)
 分担者：
 曽根 敏夫
 (秋田県立大学システム科学技術学部)
 安倍 幸治
 (秋田県立大学システム科学技術学部)

研究費：校費35万5千円、旅費60万8千円

[2] 研究経過

「臨場感」は、昨今のマルチメディア機器について、その性能を語る際のキーワードである。しかし、その感覚の性質は定量的に明らかにされているとは言い難い。それゆえに、真に高臨場感なシステムを実現するために、マルチモーダル情報をどのように処理すればよいのかも明らかにされていないのが現状である。そこで、本研究では、特に視覚と聴覚を研究対象として取り上げ、以下の2点について研究を行うこととした。

- (1) マルチモーダル臨場感の定量的測定
- (2) 高臨場感を実現するシステムの設計・開発

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。前年度に明らかとなったマルチモーダル臨場感の特性や高臨場感システム開発の要点を踏まえ、さらに研究を進展させるべく活動を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。平成16年8月19日～20日に、メンバー全員が東北大学電気通信研究所（以下、通研と略記）を訪れ、通研対応教官である鈴木を含めて、それまでの研究成果の確認およびその後の研究方針について打合せを行った。その打合せ結果に基づき、山梨大学および秋田県立大学において個々のテーマについて検討を進めた。平成16年10月25日～28日には、代表者である小澤が研究協力者である山梨大学の大学院生・学部生を引率して通研を訪れ、音響無響室において頭部伝達関数の測定をはじめとする音響実験を実施した。さらに、本プロジェクトの内容を精査することを目的として、関係分野の研究者と

の意見交換の機会を設けることとした。具体的には、以下の研究者を通研に招き、通研対応教官である鈴木をリエゾンとして意見交換を行った。

- ・中村健太郎 東京工業大学精密工学研究所教授
- ・小坂直敏 東京電機大学工学部情報メディア学科教授

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す5テーマについて研究を行った。

- (A) バイノーラル録音・再生手法の高度化に関する検討
- (B) 4スピーカ間のレベル差による2次元音像定位の制御に関する検討
- (C) 聴覚臨場感に及ぼす視覚情報の影響に関する検討
- (D) 視聴覚情報の関連性が音像の方向定位に及ぼす影響に関する検討
- (E) 「粗さ」に関する聴覚と触覚のクロスモダリティに関する検討

これらのテーマのうち、(A)・(B)は上記目的の「高臨場感を実現するシステムの設計・開発」に関わるものであり、(C)～(E)は「マルチモーダル臨場感の定量的測定」に関わるものである。以下では、これらテーマのそれぞれについて研究成果の概要を述べる。

(A) バイノーラル録音・再生手法の高度化に関する検討

原音場において両耳で観測される音圧を再生音場において両耳に精密に再生することにより高い臨場感を得る手法は、両耳の聞こえを制御することから総称してバイノーラル録音・再生手法と呼ばれている。本テーマでは、当プロジェクトメンバーが以前に提案した、聴取者の音響特性における個人差までを補正する手法の高度化を図ることとした。

以前に提案した手法では、完全な個人性補正を行うためには、聴取者自身が少なくとも一回は原音場に出向いて補正特性の測定を行うことが必要であった。これは、提案手法の実用化を考える際

には、非現実的な拘束条件である。そこで、この拘束条件を解除するために、補正特性を室の音響特性に関する部分と、個人性に関する部分に分離することを試みた。

まず、響きの乏しい空間と響きの豊かな空間で補正特性を測定したところ、両者のスペクトルの概形は類似しているが、後者には細かなピーク・ディップが観測された。そこで、その概形が個人性を表すものであり、細かなピーク・ディップの有無が部屋の相違（響きの程度の相違）を表すものであると分離できると考えた。つまり、響きの乏しい部屋を原音場にした場合には、原音場以外で測定された補正処理項の周波数特性からピーク・ディップを除去すれば、原音場における補正特性を近似的に得ることができると考えた。そのための具体的な信号処理手法として、ARMA (Auto-Regressive Moving-Average) モデルを用いることとした。ARMA モデルでは、スペクトルのピーク・ディップを、それぞれ z 平面上の極と零点で表すので、その極・零点の数と配置を制御することによって、スペクトルの平滑化が可能である。実際に、平滑化の程度を曲・零点の数を変えることによって制御し、聴取実験によって評価したところ、極／零点の数を 30 個／30 個まで減じた場合に最も原音場に近い聴感を得ることができることを明らかにした。

以上により、当プロジェクトで以前に提案した手法における拘束条件が解除できる見通しが得られた。[成果資料(3),(5)]

(B) 4スピーカ間のレベル差による2次元音像定位の制御に関する検討

上記(A)のテーマは、両耳における音圧という局所的な音場制御によって聴取者個人ごとに録音・再生系を最適化するものである。一方で、汎用の再生系としては、個人差まで立ち入ることなく、大局的な音場制御によって音の方向感を制御できることが望ましい。そこで、テーマ(B)では、聴取者に正対する平面の 4 隅に設置したスピーカ間のレベル差のみを制御することで、聴取者が知覚する音像の位置を制御する可能性を検討した。具体的には、当プロジェクトが以前に行った実験の結果を詳細に分析し、少なくとも両耳を結ぶ線より上部に関しては、レベル差のみで良好に音像定位を制御できることを明らかにした。ただし、その場合でも、聴取者が知覚する音像の大きさは、単一の実音源が存在する場合より大きくなることが示された。[成果資料(2)]

(C) 聽覚臨場感に及ぼす視覚情報の影響に関する検討

視覚情報が動画として与えられている場合について、音の再生音圧レベルが聴覚臨場感に及ぼす影響に関して、当プロジェクトが以前に行った実験結果を詳細に分析した。まず、視覚情報が与えられていない場合には、再生音圧レベルが高いほど高い臨場感が得られることを示した。これは、臨場感を規定する要因のうち量的因子が支配的であることにより説明できることを示している。一方、視覚情報が与えられている場合には、原音場における実際の音圧レベル付近で臨場感が最大となることを示した。これは、視覚情報と聴覚情報の合致が第一義的に重要であり、音情報因子が支配的であることによって説明できることを示すものである。[成果資料(1), (9)]

(D) 視聴覚情報の関連性が音像の方向定位に及ぼす影響に関する検討

マルチモーダル臨場感を検討する際に、音源の方向を明示する視覚情報が、聴覚として知覚する音像方向に及ぼす影響を定量的に評価することは重要である。そこで、ここでは視聴覚情報の空間的・時間的関連性に着目した検討を行った。

まず、先行視覚刺激により空間的注意を喚起した後、視聴覚刺激を提示し、視聴覚刺激の音像がどこに定位するかを聴取実験により検討した。実験の結果、先行視覚刺激が視聴覚刺激の提示位置に近い場合、定位の精度が向上する傾向が見られた。また、後続刺激である視聴覚刺激において、視覚刺激と聴覚刺激の空間的な対応の度合が定位判断に差異をもたらしていることが示唆された。

続いて、視聴覚情報の空間的な対応の度合を、視聴覚刺激の位置が一致している場合、一致していない場合の比率（以下、有効率）で制御し、有効率が視聴覚情報の統合にどのような効果をもたらすかを検討した。実験の結果、有効率が高いほど定位に対する視覚刺激の影響が大きいことが示された。

そして、視覚情報が聴覚情報の知覚に及ぼす影響に、視聴覚情報の関連性がどのような効果をもたらすのかを、時間的な関連性に着目して検討した。実験では、視覚刺激と聴覚刺激の提示に時間差を設け、音源定位判断を行わせた。その結果、視覚刺激が聴覚刺激よりも時間的に先行する場合に、定位判断が視覚刺激の位置にシフトする量が増加する傾向がみられた。[成果資料(4),(6), (10)]

(E) 「粗さ」に関する聴覚と触覚のクロスモダリティに関する検討

上記(C)・(D)のテーマでは、視覚と聴覚のみを取り上げていた。しかし、高臨場感を実現するマルチモーダル環境を考える際には、空間内でのオブジェクトとのインタラクションにおいて重要な触覚といった他のモダリティも十分に考慮する必要がある。そこで、オブジェクトの表面特性に関する触覚表現である「粗さ」に着目して、聴覚とのクロスモダリティに関する検討を行った。

まず、聴覚のみで知覚される粗さに関して、振幅変調音を対象にして検討を行った。ドイツのFastlらによる先行研究では、変調周波数の関数として単峰型の特性が報告されていた。確かに、そのような特性を示す被験者もいたが、一方で変調周波数に対して単調に減少する特性を示す被験者の存在も明らかになった。これにより、粗さには2面性が存在することが示唆された。

続いて、粗さに関する聴覚と触覚とのクロスモダリティを測定したところ、両感覚にはわずかながら互いに妨害する効果が見られた。ただし、明確な結論を得るためにには、実験条件の見直しを含めたさらなる実験が必要であると考えている。[成果資料(7),(8)]

(3-2) 波及効果と発展性

本研究プロジェクトの実施により、プロジェクトメンバー間の交流が継続的に発展した。また、前述のとおり、本研究に関連する分野の研究者との意見交換が実現され、研究内容をより深いものにする契機が与えられた。さらに、通研の音響無響室内における球状スピーカアレイという世界最先端レベルの設備を利用して音響測定を実施したことは、研究協力者である大学院生の研究者育成過程において大きな刺激となった。

上記のテーマ(A) バイノーラル録音・再生手法の高度化に関する検討の結果に基づいて計画立案した研究課題「自由度の高い音響空間再生手法の確立」が学術振興会による平成17年度科学的研究費補助金に採択された。このように、本プロジェクトの成果から派生したテーマについても、今後の発展が期待できるものと考えている。

[4] 成果資料

- (1) Ozawa, K. and Miyasaka, M., "Effects of reproduced sound pressure levels on auditory presence," *Acoust. Sci. & Tech.*, Vol. 25, No. 3, pp. 207-209 (2004).

- (2) Furuya, T., Ozawa, K., and Suzuki, Y., "Two-dimensional localization of a phantom sound image controlled by the level differences among four loudspeakers in a vertical plane facing a listener," *Acoust. Sci. & Tech.*, Vol. 25, No. 6, pp. 493-495 (2004).
- (3) 筒井健介, 小澤賢司, 鈴木陽一, "バイノーラル補正における音場に関する拘束条件の解除法の提案," *信学技報 EA2004-39*, pp. 7-12 (2004).
- (4) 安倍幸治, 吉田拓矢, 高根昭一, 曽根敏夫, "視聴覚情報の関連性が方向定位に及ぼす影響について," *日本音響学会聴覚研究会資料*, Vol. 34, No. 8, pp. 591-594, H-2004-104 (2004).
- (5) 筒井健介, 小澤賢司, 鈴木陽一, "バイノーラル補正における音場に関する拘束条件の解除法," *音響学会講演集 2004年9月*, pp. 655-656 (2004).
- (6) 吉田拓矢, 安倍幸治, 高根昭一, 曽根敏夫, "視聴覚情報を用いた音源定位における注意の効果の検討," *音響学会講演集 2004年9月*, pp. 539-540,
- (7) 北村絵美, 小澤賢司, "振幅変調音における粗さの二面性に関する一検討," *音響学会講演集 2004年9月*, pp. 499-500 (2004).
- (8) 北村絵美, 石原雅巳, 小澤賢司, 今宮淳美, "粗さに関する聴覚と触覚のクロスモダリティ," *第6回日本感性工学会大会予稿集*, p. 121 (2004).
- (9) Mitsuki, M., Miyasaka, M., and Ozawa, K., "Reproduced sound pressure level yielding the maximum auditory presence: Further study on effects of reproduced SPLs on auditory presence," *Acoust. Sci. & Tech.*, Vol. 26, No. 1, pp. 79-81 (2005).
- (10) 吉田拓矢, 安倍幸治, 高根昭一, 曽根敏夫, "視聴覚刺激間の時間差が音源定位に与える影響に関する検討," *音響学会講演集 2005年3月*, pp. 671-672 (2005).

課題番号 H15/A09

ユビキタス共有空間のための 知的コミュニケーションに関する研究

[1] 組織

代表者：岡田 謙一

(慶應義塾大学理工学部)

対応者：白鳥則郎

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

石田 亨 (京都大学大学院情報学研究科)

石原 進 (静岡大学工学部)

片岡信弘 (東海大学電子情報学部)

小泉寿男 (東京電機大学理工学部)

佐藤文明 (静岡大学情報学部)

柴田義孝 (岩手県立大学ソフトウェア情報学部)

滝沢 誠 (東京電機大学理工学部)

塚本昌彦 (神戸大学工学部)

富樫 敦 (宮城大学事業構想学部)

檜垣博章 (東京電機大学理工学部)

福田 晃 (九州大学大学院システム情報科学研究院)

東野輝夫 (大阪大学大学院情報科学研究科)

水野忠則 (静岡大学情報学部)

宗森 純 (和歌山大学システム工学部)

村山優子 (岩手県立大学ソフトウェア情報学部)

渡辺 尚 (静岡大学情報学部)

研究費：校費464,700円、旅費475,760円

[2] 研究経過

マイクロプロセッサや各種センサが遍在するユビキタス社会が広がりつつある。ユビキタス性を活かすためには単に万物にマイクロプロセッサなどが埋め込まれるだけではなく、それらのモノ間や計算機との通信によって、遠隔地から人とモノとの情報を共有できるユビキタス共有空間の概念の形成が必要であり、近年、その重要性は増してきている。

本研究では、ユビキタス共有空間を実現するための通信プロトコル、有線と無線の複合ネットワーク、ヒューマンインタフェース、センサシステム、エージェント、セキュリティシステム、ウェアラブルコンピューティング、通信システムの基盤技術の確立を目指している。

平成16年度は、本プロジェクト研究の第2年度であった。前年度はユビキタス共有空間実現のため、

室内などにおける対面の作業環境を中心としたアプリケーションシステムを実現し、このシステムと遠隔地の複数の空間との間で、高次の意思伝達がいかに円滑に行えるかについて実証実験を行った。本年度は、ユビキタス共有空間実現のため、室内のみならず室外にも研究対象を拡大し、さらにセンサ入力をもつ情報家電に関するアプリケーションシステムを実現し、このシステムと遠隔地の複数の空間との間で、高次の意思伝達がいかに円滑に行えるかについて実証実験を行った。ユビキタス共有空間を利用したシステムでは、同期型のシステムに、必要に応じて世界に向けて情報を発信するWebベースの非同期型のシステムを加えて、幅広い対象に対して取り扱いを可能とする。さらに、有線と無線の複合ネットワークからなる大規模分散型ユビキタス環境において、相手や環境に応じて扱う情報とその送受信形態およびセキュリティレベルを動的に制御するコミュニケーション機構について検討した。

以下、研究活動状況を記す。

研究推進会議を1回開催し、最新の研究成果を持ち寄り、議論を重ねた。

開催日程および概要是以下の通りである。

<研究推進会議>

日時：平成16年12月22日～12月23日

場所：東北大学電気通信研究所

A. 講演と報告

- (1) 「戸口通信の応用」村山 優子 (岩手県立大)
- (2) 「作業空間の状況認知とその提示方法」岡田謙一 (慶應大)
- (3) 「北京エクスプローラ：故宮博物院ガイドシステム」宗森 純 (和歌山大)
- (4) 「ビジネスプロセスモデリングから実行可能なUMLへの変換による情報システム構築技法」小泉寿男 (電機大)
- (5) 「階層型分散ハッシュに基づく情報検索のモバイルチャットへの応用」佐藤文明 (静岡大)
- (6) 「ユビキタス通信」水野忠則 (静岡大)
- (7) 「コンテキストアウェアネスサービスに向けて」福田 晃 (九州大)
- (8) 「無線ネットワークにおける映像転送シス

テム」柴田義孝（岩手県立大）

- (9) 「ウェアウェラブル・ユビキタスインタフェースとシステム基盤」塚本昌彦（神戸大）
- (10) 「階層型セキュアデータベース」
宮西 洋太郎（宮城大学）
- (11) 「Role-based Concurrency Control for Distributed Objects」滝沢 誠（東京電機大学）

B. 議論

各サブテーマの方向性に対する議論と、今後の大規模プロジェクトへの発展をにらんだ検討を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

- (1) ユビキタス共有空間実現のための室内、室外における対面の作業環境を中心としたセンサ入力をもつ情報家電アプリケーションシステムの実現

人がセンサの一種であるGPS(Global Positioning System)により位置情報を入手し、お互いに相手の位置を見ながら画像や音声、チャットなどでコミュニケーションを取り、作業を行うウェアラブルコンピュータを含むモバイルシステムを実現し、室内（体育館内）と室外（大学周辺および市街地）において適用実験を行った。その結果、これらのシステムの評価は高く、お互いの状況を知るコンテキストアウェアネスが重要であることがわかった。また、人より高速で移動する車を中心とした高度交通システム(ITS)に関する研究も行い、それに特化したプロトコルから運転支援システムまでを実現した。そしてこれらアドホックネットワークを支えるエージェントベースのミドルウェアを提案した。さらに、移動体に対して通信を行う場合はアンテナが移動するものを効率的にカバーするものが必要であることがわかった。これらから、ユビキタス共有空間上におけるグループインタラクション支援のための共通の基盤技術を確立した。

- (2) 時空間を限定しない幅広いコミュニケーション支援およびサービスの提案と実現

ユビキタス共有空間を利用したシステムでは、同期型のシステムに、必要に応じてWebベースの非同期型のシステムを加えて、幅広い対象に対して取り扱いを可能とする必要がある。特に最近では地方からの情報発信が自治体などの支援のもとに活発となり、そのため地元の素材や伝統工芸品に関する情報を発信するWebベースのシステムに

関する研究を行った。そして、従来から使用されている記述言語XMLだけではシステム構築に十分でないため、記述対象に特化した言語DCML(Digital Crafting Markup Language)を提案した。また、インターネットを活用した遠隔教育は定着してきたため、次の段階として工科系の大学の授業で多い実験も含めたWeb型遠隔授業のスケジューリング方式を提案した。さらに、インターネット上のインフォーマルコミュニケーションツールとして、セキュリティを考慮した戸下通信などの構築を行い、新しいインフォーマルコミュニケーション手段の提案と実現に加え、ユビキタスな環境への応用を行った。

- (3) 有線と無線の複合ネットワークからなる大規模分散型ユビキタス環境における動的なコミュニケーション機構の考案

ブロードバンドが普及し、マルチメディア電子会議などで大量のデータを扱ったり、大規模分散システムでは数百・数千の多種多様なコンピュータがアプリケーションデータの交換により協調作業を行う。これに対応するため、マルチメディアグループ通信の仕組みを考案した。また、携帯電話向けミドルウェアを構築し、ユーザ数10000台でもその動作を確認した。さらに、ブロードバンドが普及したものの、有線/無線の通信環境の異なる利用者が同時に参加するようになり、それに対応しなければならなくなってしまった。そこで、有線と無線の複合したネットワークにおいて、利用者環境に応じて適切な処理を行う、相互通信のためのミドルウェアを提案し、シミュレーションを行った結果、その有効性を確認した。

(3-2) 波及効果と発展性など

マイクロエレクトロニクス技術と通信技術、それにセンサ技術の融合により、ユビキタスコンピューティングに関する新しい市場ができつつある。その理由として、高速な無線LANやUWB(Ultra Wide Band), RFIDといった新たな無線通信技術が開発されたことと第3世代携帯電話の普及が考えられる。そして、本研究により、新たな有線と無線とセンサシステムとの複合したコンピュータネットワークの利用法が展開できる。本研究で実証した同期・非同期型システムはもとより、情報家電、教育システム、エンタテイメント、情報コンテンツなどに展開が可能であり、本研究による対面環境下及び分散環境下で高度なコンピュータネットワークの利用形態は、ユビキタス社会における人々の日常生活や社会活動を支える共通基盤として欠かせないものであり、日本における情報通信技術の新たな技術の進展が期待できる。

[4] 成果資料

- (1) Tetsuo Sumiya, Akifumi Inoue, Sadayuki Shiba, Junya Kato, Hiroshi Shigeno, Kenichi Okada: A CSCW System for Distributed Search/Collection Tasks using Wearable Computers, Proceedings of the Sixth IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA 2004), pp.20-27 (2004).
- (2) Daisuke Kamisaka, Takashi Yoshino, and Jun Munemori: NAMBA Explorer: A Participative Location-Based City Area Information Sharing System, 2005 Digest of Technical Papers International Conference on Consumer Electronics, pp.459-460 (2005).
- (3) Koya Imanishi, Kenji Hisazumi, Tsuneo Nakanishi, Teruaki Kitasuka and Akira Fukuda,: Design of a Context-aware Message Exchange System In an Ad-hoc Network," Proc. 2004 Int. Conf. on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications(PDPTA'04), pp. Vol. III, 1142-1146, Jun 2004.
- (4) 平岩賢志, 志村明俊, 相薙岳生, 岡田謙一: 自立分散による高度交通システム(ITS)のためのモバイルネットワーク・プラットフォームの開発と適用性評価, 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.12, pp.2706-2719, 2004年12月。
- (5) Masashi Saito, Jun Tsukamoto, Takaaki Umedu and Teruo Higashino : Evaluation of Inter-Vehicle Ad-hoc Communication Protocol, Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2005), pp.78-83 (March 2005).
- (6) Kenji Koyama, Yosuke Ito, Hiroshi Mineno and Susumu Ishihara: Evaluation of Performance of TCP on Mobile IP SHAKE, IPSJ Journal, Vol.45, No.10, pp.2270-2278 (2004-10).
- (7) Yu Endo, Jun Sawamoto, and Hisao Koizumi: A Hardware/Softwere Co-design Method and Its Evaluation to ITS Image Processing and Driver-Support System, L.T.Yang et al. (Eds.):EUC 2004, LNCS 3207, pp.249-258, 2004.
- (8) Gen Kitagata, Yu Matsushima, Daisuke Hasegawa, Tetsuo Kinoshita and Norio Shiratori: An Agent-based Middleware for Communication Service on Ad-hoc Network, Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2005), pp.363-368 (March 2005).
- (9) 長島勝城, 高田昌忠, 渡辺尚, "スマートアンテナを用いた2種アクセス併用指向性メディアアクセス制御プロトコル", 電子情報通信学会論文誌, Vol.J87-B, No.12, pp.2006-2019 (2004.12)
- (10) 三井浩康, 杉原弘章, 小泉寿男:遠隔実験を含むWeb型遠隔授業のスケジューリング方式。情報処理学会論文誌, Vol.46. No.1, pp.279-288(2005.1).
- (11) 藤井諭, 渡部徹, 酒井三四郎, 水野忠則 : XMLによる地元素材データベースを持つ環境学習システム, 教育システム情報学会誌, Vol.21 No.2, 2004, pp.93-100(2004.4).
- (12) K.Sugita, A.Miyakawa and Y.Shibata, " A Remote Experimental System for Traditional Japanese Crafting Designs Using Analysis of Relation Between Kansei Words and Room Space", International Journal of Distance Education Technologies, Vol.2, No.2, oo.27-35, April-June.2004.
- (13) Kentaro Fukui, Kensaku Honda, Kenichi Okada: Promotion of Multiparty Conference in Collaborative Virtual Environments, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E87-D, No.12, pp.2540-2547 Dec. 2004.
- (14) 日影奈津子, 村山優子:安心と安全を考慮した不安定度評価モデルに関する考察, The 2005 Symposium on Cryptography and Information Security .
- (15) Tomoya Enokido and Makoto Takizawa: Autonomic Group Protocol for Peer-to-Peer (P2P) Systems, F. Galindo et al. (Eds.): DEXA 2004, LNCS 3180, pp.87-97 (2004).
- (16) 橋本浩二, 柴田義孝, "利用者環境を考慮した相互通信のためのミドルウェア", 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.2, pp.403-417, Feb. 2005.

課題番号 H15/A10

K₃Li₂Nb₅O₁₅単結晶とリラクサーチタン酸鉛系PMN-PIN-PT, 及びランガサイト系Ca₃NbGa₃Si₂O₁₄単結晶の超音波マイクロスペクトロスコピー

[1] 組織

代表者：櫛引 淳一
(東北大学大学院工学研究科)
責任者：長 康雄
(東北大学電気通信研究所)
分担者：安達 正利
(富山県立大学)
研究費：校費32万8千円, 旅費39万1千円

[2] 研究経過

本代表研究者らは、物質・材料表面の音響特性を非接触的・非破壊的に定量計測できる直線集束ビーム (Line-Focus-Beam: LFB) 超音波材料解析システムを基本とした「超音波マイクロスペクトロスコピー (Ultrasonic Micro-Spectroscopy: UMS) 技術」に関する基礎研究および応用開発研究を進めている。本プロジェクトでは、オプトエレクトロニクスや弾性表面波 (SAW) エレクトロニクス材料としてのKNbO₃, K₃Li₂Nb₅O₁₅およびランガサイト系単結晶や医用超音波診断装置の超音波プローブ用リラクサー系単結晶の開発研究に応用するもので、東北大学と富山県立大学の共同研究である。

本プロジェクトは、本年度が2年度であった。以下、研究活動状況を記す。

本年度は以下の日程で、研究打合せ、実験及び討論を行い、研究会に発表した。

打合せ、実験及び討論：

- (1) 平成16年9月1日～4日：安達正利教授
(富山県立大学)
- (2) 平成16年11月3日～5日：安達正利教授
(富山県立大学)
- (3) 平成17年2月22日～25日：安達正利教授,
唐木智明助教授
(富山県立大学)
- (5) 平成17年3月21日～24日：安達正利教授
(富山県立大学)

研究発表：

- (1) 平成16年5月26-29日：強誘電体応用会議（コープイン京都）安達正利教授, 唐木智明助教授（富山県立大学）

- (2) 平成16年10月27-29日：超音波電子工学の基礎と応用に関するシンポジウム（北海道大学）安達正利教授（富山県立大学）、櫛引淳一教授、荒川元孝助手（東北大学大学院）
- (3) 平成17年2月22日：圧電材料・デバイスシンポジウム2005（東北大学工学部青葉記念会館、仙台）安達正利教授（富山県立大学）

[3] 成果

本年度は、以下に示す研究の成果を得た。

まず第1に、ランガサイト系新圧電単結晶 Ca₃NbGa₃Si₂O₁₄の育成と誘電・弾性・圧電定数の決定に関する研究では、y軸引き上げで、幅30mm, 長さ50mm程度の、(001)面がよく発達した平板状の結晶が得られた。CNGS (Ca₃NbGa₃Si₂O₁₄) は点群32に属し、水晶と同じ三方晶系であり、独立な定数は、誘電率 ϵ_{11}^T , ϵ_{33}^T , 弹性定数 S_{11}^E , S_{12}^E , S_{13}^E , S_{14}^E , S_{33}^E および S_{44}^E , 圧電定数 d_{12} , d_{25} である。これらの定数を求めるために、Y軸引き上げの結晶から試料を切り出した。圧電・弾性定数の測定には、共振一反共振法により、短冊状の横モード振動子のXカット板試料と面すべり、厚みすべり振動子のYカット板等の試料を用意した。Zカット板は超音波パルス法による縦、横波速度の測定に用いられた。25°Cでの誘電率、弾性率、圧電定数およびそれらの1次、2次の温度係数の値を表1に示す。

弾性表面波伝搬特性の全方位の計算がなされ、TCD=0になるカットが存在することが分かった。しかし、その中で比較的結合係数が大きいカット面、伝搬方位は限られている。X, Y, Zカット基板の弾性表面波特性のθ依存性を計算した。各基板とも有用な伝搬方位はない。図1は(30°, 45°, θ)基板のv, TCDおよびk²のθ依存性である。θ=110°近傍でTCD=0となり、そのときv=3120m/s, k²=0.46の値が得られた。一方、上記の値をもじいて計算したZカット板の表面波速度の角度依存性とLFBによる表面波の音速の角度依存性の実測結果との一致はよい。

つぎに、ニオブ酸カリウム (KNbO₃) について述べる。KNbO₃は非鉛系圧電材料として超音波にトランステューサ、圧電振動子、SAWデバイスなど

のデバイスの素材として注目を集めている。

しかし、ニオブ酸カリウム (KNbO_3) は育成後除冷中に435°C, 225°C近傍において立方晶系(常誘電相) → 正方晶系(強誘電相) → 斜方晶系(強誘電相)へと相転移し、クラック、双晶が発生することなどの技術的な困難があり、良質で大型の単結晶を得ることは困難とされている。本研究では、近年の環境問題で世界的な関心を集めている非鉛系圧電材料であるニオブ酸カリウム (KNbO_3) 単結晶を Top-Seeded Solution Growth (TSSG) 法を用い、良質な単結晶の育成を行い、育成した KNbO_3 単結晶の評価を行ったので報告する。

本研究の KNbO_3 単結晶は TSSG (Top Seeded Solution Growth) 法を用いて育成を行った。単結晶育成装置は、精電舎エレクトロニクス株式会社製の高周波加熱式単結晶引き上げ装置 (90032) を用いた。原材料には、高純度化学研究所製の炭酸カリウム (K_2CO_3)、酸化ニオブ (Nb_2O_5) を使用した。純度はそれぞれ 99 %, 99.99 % である。 K_2CO_3 と Nb_2O_5 の比率を 1.05 : 1 となるように秤量 → 混合 → 溶解の手順で溶液原料の作製を行った。大きさが 50 mm $\Phi \times 50$ mm, 厚み 1.0 mm, 重さ 314.035 g の白金製のるつぼを使用した。このるつぼに K_2CO_3 と Nb_2O_5 をそれぞれ 180.062 g, 326.556 g を投入し溶液原料を作製した。

[100] 方向に切り出した種子結晶を用いた。結晶成長はゆっくりとした速度で行うことにより良質な結晶の育成を試み、また、結晶育成後の冷却パターンを相転移点近傍でより慎重に行った。育成した結晶を図 1 に示す。育成条件は、引き上げ方向は [100], 引き上げ速度は 0~0.5 mm/h, 種子回転速度は 8~10 rpm, 空気雰囲気中で、育成後の冷却に 65 時間かけた。図に示すように、結晶の大きさは、約 27 mm \times 27 mm, 厚さは約 10 mm, 重量 29.8 g である。結晶にはクラックがほとんど存在せず、良質な結晶が育成できた。また、結晶中にはドメインの筋を確認することができる。今回行った育成により、様々な育成条件を確定することができた。そして、結晶成長をゆっくりとした速度で行うこと、冷却においては相転移温度付近でより慎重に徐冷を行うことが、良質な KNbO_3 単結晶の育成において重要な要素である。

KNbO_3 はペロブスカイト構造を有し、冷却時には、435 °C, 225 °C, -50 °C でそれぞれ立方晶から正方晶、斜方晶、菱面体晶に相転移する。

今後の課題としては、大型で良質な単結晶の育成技術の確立のために、育成技術についてさらに検討を重ねることが必要であると思われる。また、

これらの単結晶の応用のために分域処理技術について検討し、単分域化処理技術の確立が重要である。

第 3 は、インジウムニオブ酸鉛(PIN)-マグネシウムニオブ酸(PMN)-チタン酸鉛(PT)3成分系単結晶に関する研究である。PIMNT 単結晶は、比較的高いキュリー温度を有する圧電材料として注目されている。そこで、将来的には、均一性の高い良質な結晶が得られるよう TSSG 法を用いて育成を試みた。

PIMNT24/42/34 を仕込み組成とし、純度 99% 以上の PbO , In_2O_3 , MgO , Nb_2O_5 , TiO_2 の粉末原料およびフラックスを混合し、白金るつぼに充填した。フラックスには PbO および B_2O_3 を用い、単結晶原料との重量比を単結晶原料 : $\text{PbO} : \text{B}_2\text{O}_3 = 70/29/1$ とした。そして、結晶回転速度 18 rpm, 引き上げ速度 0~0.2/mm の条件のもと TSSG 法を用いて育成を試みた。淡黄色、透明または半透明の結晶が得られた。その結晶構造は、X線回折法により菱面体晶のペロブスカイト単相であることが確認された。最初に得られた結晶のキュリー温度 T_c は 172 °C で、菱面体晶から正方晶への相転移温度 T_n は 92 °C であった。それらは期待されたよりも低くかった。組成分析の結果、この結晶の組成比は、仕込み組成と比較して TiO_2 量が 15% 減少していた。仕込み組成と結晶組成に、変動が生じることが確認された。そこで、この変動を考慮し、仕込み組成を調整しながら、育成を試みた。その結果、 $T_c = 202$ °C, $T_n = 109$ °C である PIMNT を育成することができた。誘電率の温度特性を図 4 に示す。

TSSG 法により PIMNT 単結晶の育成を行った結果、次のことが明らかになった。

- ・ フラックス $\text{PbO-B}_2\text{O}_3$ を用いて、引き上げ速度 : 0~0.2/mm の育成条件のもと、PIMNT 結晶を得ることができる。
- ・ 得られる結晶組成と仕込み組成に変動が生じる。
- ・ 仕込み組成を調整することにより、 $T_c > 200$ °C, $T_n > 100$ °C 有する PIMNT 単結晶を育成することができる。

[4] 成果資料

発表論文

- 1) T. Karaki, M. Nakamoto, Y. Sumiyoshi, M. Adachi, Y. Hosono and Y. Yamashita, "Top-Seeded Solution Growth of $\text{Pb}[(\text{In}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}),(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}),\text{Ti}]O_3$ Single Crystals", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 42, No. 9B, pp. 6059~6061 (2003).

- 2) T. Karaki, R. Sato, M. Adachi, J. Kushibiki and M. Arakawa, "Piezoelectric Properties of $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ Single Crystal", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 43, No. 9B, pp. 6725-6727 (2004).
- 3) F. Zhang, S. Li, T. Karaki and M. Adachi, "Synthesis of Polyethylene/Montmorillonite Nanocomposites by In-site Intercalative Polymerization", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 44, No. 1B, pp. 658-661 (2005).
- 4) T. Fujii and M. Adachi, "Preparation of (Pb,Sr)TiO₃ Films by Sol-Gel Technique", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 44, No. 1B, pp. 692-694 (2005).
- 5) M. Adachi, R. Sato and T. Karaki, "Temperature Compensated Langasite Family Compound $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ Single Crystals for SAW Applications", 2004 IEEE Ultrasonics Symposium Proceedings, IEEE Cat. No.: 04CH37553C, pp. 1984-1987, August 23-27, 2004, Palais des Congre, Montreal Canada.

講演発表

- 1) 安達 正利, 佐藤 涼子, 唐木 智明, 「 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 圧電单結晶の誘電・弾性・圧電定数の決定とそれらの温度特性」, 圧電材料・デバイスシンポジウム 2004, p.9-10, 2004.1.26東北大学。
- 2) 山口靖代 張帆 唐木智明 安達正利 「ナノサイズ強誘電体粉末 (Ba,Sr) TiO₃の合成」平成15年度 電気関係学会北陸地区学生による研究発表会, 富山商船高等専門学校, D- 1, 2004, 3, 「ゾルーゲル法による(Pb,Sr)TiO₃強誘電体薄膜の作製と評価」第51回応用物理学関係連合講演会, 29a-ZL-9, p. 2004.3.29。東京工科大学。
- 3) 唐木 智明, 佐藤 涼子, 安達 正利, 「 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 圧電单結晶の誘電・弾性・圧電定数の決定」第51回応用物理学関係連合講演会, 31a-YH-2, p. 2004.3.31。東京工科大学。
- 4) 古畠 誠, 船坂 司, 岩下 節也, 唐木 智明, 安達 正利, 「ZnO/Si₃N₄/Si層状構造SAW の電極幅と挿入損失の関係」第51回応用物理学関係連合講演会, 31a-YH-3, p. 2004.3.31。東京工科大学。
- 5) 安達 正利, 唐木 智明, 櫛引 淳一, 荒川 元孝, 「ランガサイト系 $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 单結晶の弾性・圧電特性」, 第25回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム, p2-1, p. 159, 平成16年10月27-29日, 北海道大学。

6) 古畠 誠, 朴 ソク倫, 船坂 司, 矢島 有繼, 後藤 健次, 岩下 節也, 唐木 智明, 安達 正利, 「ZnO/Si構造SAW電圧制御発信器」第25回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム, p2-27, p. 209, 平成16年10月27-29日, 北海道大学。

7) 安達 正利, 藤田 直, 唐木 智明, 「ニオブ酸カリウム (KNbO₃) 单結晶の育成」, 圧電材料・デバイスシンポジウム 2005, 平成17年2月23-24日, pp. 15-16, 東北大学
著書

- 1) 安達 正利, 3.2.3四ほう酸リチウム, 3.2.5ランガサイト系結晶, 日本学術振興会弹性波素子技術第150委員会 山之内和彦: 「弹性波デバイス技術」 分担執筆。
- 2) Masatoshi Adachi, "Landolt-Börnstein: Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. New Series, Editor in chief: W. Martienssen, edited by Y. Shiozaki, E. Nakamura and T. Mitsui, Group III: Crystal and Solid State Physics, Volume 36: Ferroelectrics and Related Substances, B1:Inorganic substances other than oxides SbSI family... TAAP", E. Nakamura, M. Adachi, Y. Akishige, T. Asahi, K. Deguchi, K. Gesi, K. Hasebe, T. Hikita, Y. Ishibashi, Y. Iwata, M. Komukae, T. Mitsui, N. Nakatani, R. Nozaki, T. Osaka, A. Sakai, Y. Shiozaki, H. Takezono, K. Toyoda, T. Yagi, Springer-Verlag, 2004 分担執筆。
- 3) Masatoshi Adachi, "Ferroelectric Thin Films -Basic Properties and Device Physics for Memory Applications-", pp.91-103, Springer, 2005 分担執筆。

Table I. Dielectric, elastic and piezoelectric constants of CNGS single crystal and their temperature coefficients.

	Absolute quantities (25°C)	Normalized temperature coefficients	
		(1/x) ($\alpha_x/\alpha T$)	(1/2x) ($\alpha^2 x/\alpha T^2$)
Dielectric constant		(10^{-8}C^{-1})	(10^{-8}C^{-2})
ϵ_{11}/ϵ_0	16.9	-161	43.3
ϵ_{33}/ϵ_0	27.9	-445	98.6
Elastic stiffness	(10^{10}Nm^{-2})	(10^{-6}C^{-1})	(10^{-8}C^{-2})
c_{11}^E	15.5	22.4	-16.6
c_{12}^E	7.44	180	-64.9
c_{13}^E	7.42	243	101
c_{14}^E	-0.0636	4450	193
c_{33}^E	22.6	-188	142
c_{44}^E	4.05	146	-25.8
Piezoelectric constant	(Cm^{-2})	(10^{-6}C^{-1})	(10^{-8}C^{-2})
e_{11}	-0.335	85.2	39.1
e_{14}	0.439	-1160	16.2

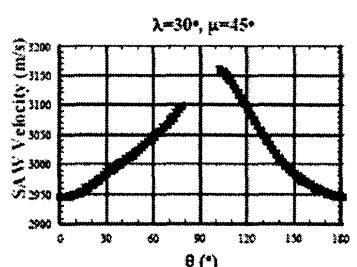


図 1(a). Dependence of v of the $(30^\circ, 45^\circ, \theta)$ -cut CNGS substrate on θ .

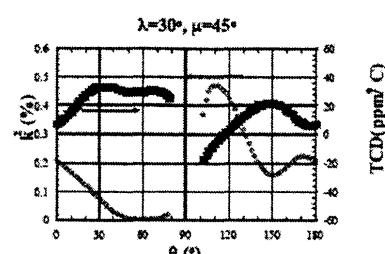


図 1(a). Dependence of k^2 and TCD of the $(30^\circ, 45^\circ, \theta)$ -cut CNGS substrate on θ .

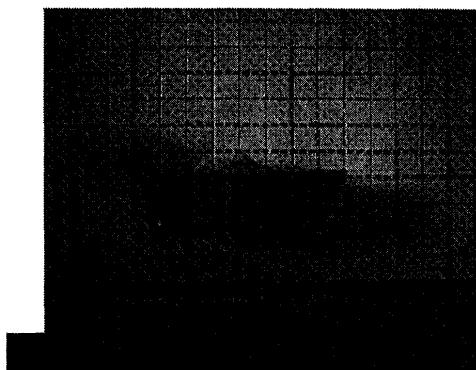
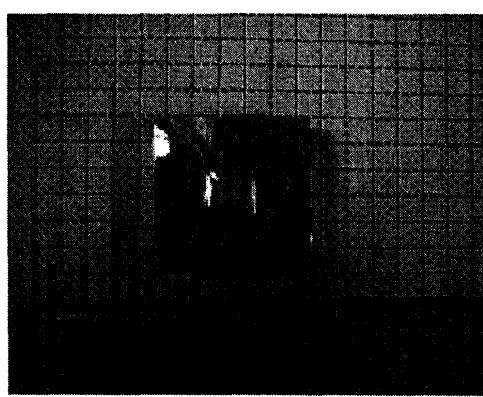


図 2 KNbO₃ 単結晶の写真

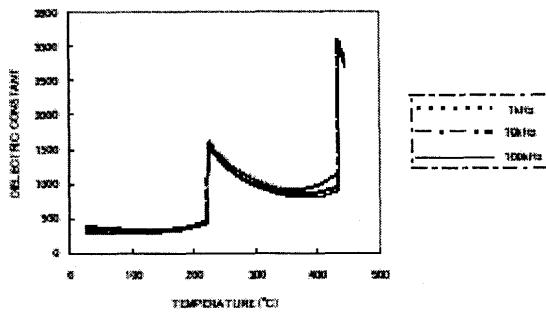


図3(a) KNbO_3 (未分極) の誘電率の温度特性

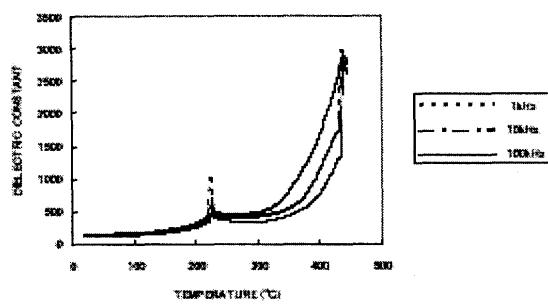


図3(b) KNbO_3 (分極処理) の誘電率温度特性

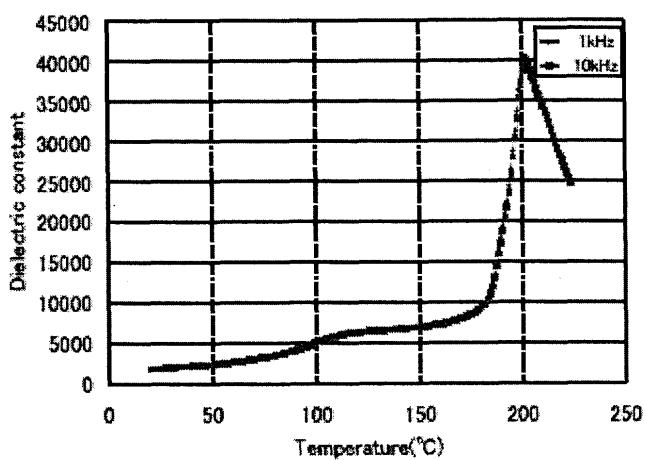


図4 誘電率の温度特性

課題番号 H15/A11

情報伝達物質としての糖類の機能解明を目指した テラヘルツスペクトル解析

[1] 組織

代表者：亀岡 孝治
(三重大学)

責任者：伊藤 弘昌
(東北大学電気通信研究所)

分担者：
橋本 篤 (三重大学生物資源学部)
中西 健一 (三重大学生物資源学部)

研究費：校費350,000円，旅費480,000円

[2] 研究経過

テラヘルツ分光手法およびそのデバイス開発が急速に進展しており、テラヘルツスペクトルの理論的解釈が急務となっている。また、テラヘルツ分光手法のもっとも効果的な利用としてバイオ分野への応用があげられ、生命活動の基点となる糖類のテラヘルツスペクトルの理解は、情報伝達物質としての糖類の機能解明の一助を担うものとして注目を集めている。一方、官能基の基準振動に基づく情報が得られる中赤外スペクトルは、糖類の構造解析や機能解明に関する有効な手法の一つであり、テラヘルツスペクトルと中赤外スペクトルを併置することにより、糖類のテラヘルツスペクトルの理解の進展が期待される。三重大学生物資源学部では様々な単糖・二糖類をはじめオリゴ糖、多糖類の中赤外分光解析をおこない、その生体内における物理化学的および生物化学的な機能解明を行っている。また、これらの知見に基づき、中赤外分光法を援用した植物細胞の動的糖代謝過程の解析をおこなうとともに、pHや温度変化を考慮した解糖系酵素反応計測技術の確立を目指している。さらに、様々な栄養糖や情報糖を用いた植物細胞培養をおこない、中赤外分光学的見地からそれら糖類の生体内における機能解明を目指している。そこで、本プロジェクトでは、上記糖類のテラヘルツスペクトル取得の可能性を模索するとともに、糖類のテラヘルツスペクトルに関して中赤外スペクトルと併置することでその特徴抽出を目的とした。

プロジェクトの1年目となる昨年度は、生物の代謝活動と密接に関連している単糖類（ガラクトー

ス、フルクトースなど）と二糖類（トレハロース、スクロースなど）は、テラヘルツ領域において固有のスペクトルを有することを示した。また、グルコースが直鎖に結合したマルトオリゴ糖の場合、グルコースとマルトースはそれぞれ固有のスペクトルパターンを有しているが、グルコースが3分子以上結合したマルトオリゴ糖では測定したテラヘルツ領域において特徴的な吸収帯が認められないことがわかった。このことは、構成する单糖の種類とその結合形態が同じであっても結合している单糖の数、つまり分子全体の挙動がテラヘルツスペクトルに反映されていることを実験的に示唆しているものと考えることができる。プロジェクトの2年目となる本年度は、二糖類の結合形態に着目し、それらのテラヘルツスペクトルと中赤外スペクトルと比較することで、テラヘルツ領域におけるスペクトル特性の把握を試みた。また、糖類のテラヘルツスペクトルの理論的解析を可能にする実験を行うために、スペクトル測定試料の調整方法およびスペクトル取得手法について検討した。

以下、研究活動の概要を示す。まず、昨年度行ったスペクトル測定試料となる糖類の選定結果を基礎とし、二糖類の選定を行った。その結果、解糖系の起点となり代表的な栄養糖の一つであるグルコースとフルクトースに着目し、グルコース-グルコースおよびグルコース-フルクトースからなり、单糖-单糖の結合形態が異なる二糖類を試料として用いることとした。具体的には、D-グルコース2分子が結合したトレハロース (α -1,1結合)、コウジビオース (α -1,2結合)、ニゲロース (α -1,3結合)、マルトース (α -1,4結合)、およびD-グルコースと β -D-フルクトースが結合したトレハロース (α -1,1結合)、スクロース (α -1,2結合)、ツラノース (α -1,3結合)、マルツロース (α -1,4結合)、パラチノース (α -1,6結合)を採用することとした。それら糖類のテラヘルツスペクトルと中赤外スペクトルをFT-IRを用いて測定した。そして、テラヘルツスペクトルを分子の官能基の振動情報が得られる中赤外スペクトルと並置することにより、糖類のテラヘルツスペクトルの特徴抽出を試みた。さらに、糖類のテラヘルツスペクトルの理論的解析を可能にする実験を行うために、理想的なスペ

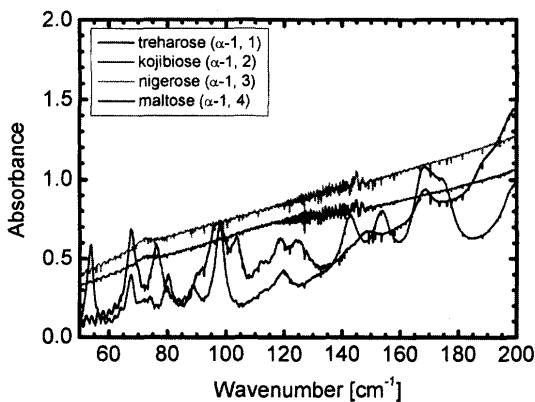


図1. D-グルコース2分子が結合した二糖類微結晶（粉末）のTHz帯吸収スペクトル（ポリエチレンペレット中, 300 K）。

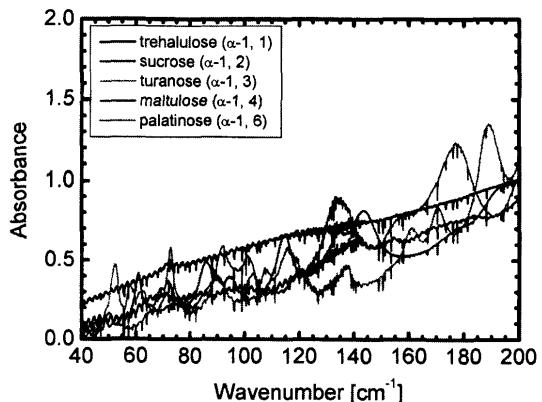


図2. D-グルコースとβ-D-フルクトースが結合した二糖類微結晶（粉末）のTHz帯吸収スペクトル（ポリエチレンペレット中, 300 K）。

クトル測定条件の検討を行い、比較的大きな単結晶が得られるトレハロースに着目した。そして、極低温（4 K）において、トレハロース単結晶と微細粉末のそのテラヘルツスペクトルを測定した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

図1, 2は、それぞれ、ポリエチレンペレット中のグルコース2分子が結合した二糖類、およびグルコースとフルクトースが結合した二糖類のテラヘルツスペクトルであり、スペクトル測定は300 Kにおいて行った。グルコース2分子が結合した二糖類のうちトレハロースとマルトース、およびグルコースとフルクトースが結合した二糖類のうちスクロース、ツラノースとパラチノースは、テラヘルツ領域においてそれぞれ固有のスペクトルを有することがわかった。グルコース2分子が結合したトレハロースとマルトースはともに、グルコースと同様に98 cm⁻¹において吸収ピークを有している。また、グルコースとフルクトースが結合した二糖

類のうちスクロース、ツラノースとパラチノースに共通の吸収帯は、測定領域において認められなかつた。さらに、トレハロースやマルトースと同様にグルコース2分子が結合した二糖類のコウジビオースとニゲロース、およびグルコースとフルクトースが結合した二糖類のトレハロースとマルトースでは、測定したテラヘルツ領域において特徴的な吸収帯が認められなかつた。これらの結果は、構成する单糖-单糖の結合形態、つまり分子全体の挙動がテラヘルツスペクトルに反映されていることを実験的に示唆しているものと考えることができる。

図3, 4は、中赤外の指紋領域（1200 cm⁻¹～950 cm⁻¹）における水溶液中の二糖類（30 mM）のスペクトルである。この領域には、1150 cm⁻¹付近のピラノース環の振動、1100 cm⁻¹付近のC-C, C-O, およびC-OHの複合振動、1060 cm⁻¹付近のC-1-Hの変角振動、および1030 cm⁻¹付近のC-OHの伸縮振動等、様々な官能基の振動の吸収が混在する。図3より、糖分子の構造により若干の差異があるものの、グルコース2分子が結合した二糖では、各糖の吸収帶

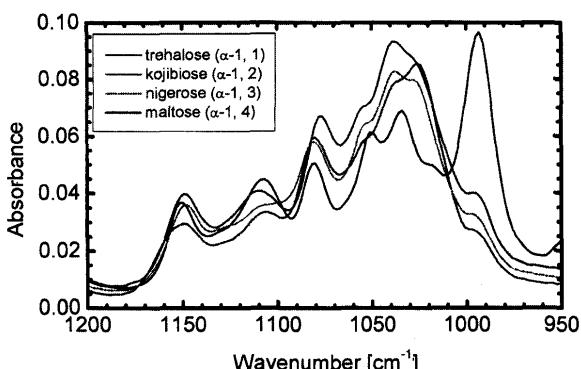


図3. D-グルコース2分子が結合した二糖類の中赤外吸収スペクトル（水溶液中）。

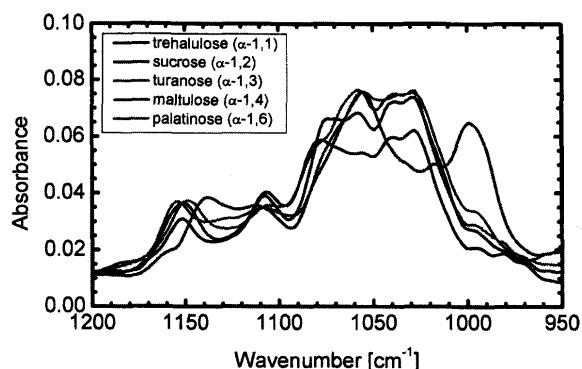


図4. D-グルコースとβ-D-フルクトースが結合した二糖類の中赤外吸収スペクトル（水溶液中）。

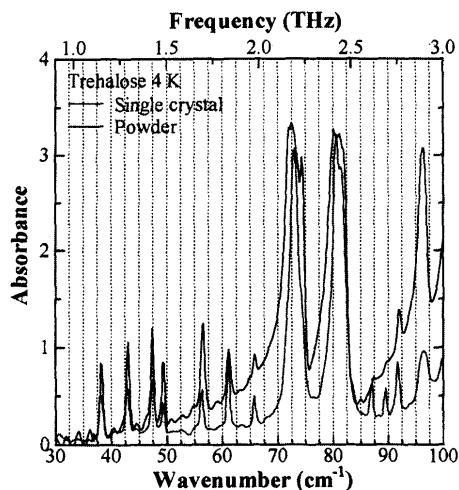


図5. トレハロース単結晶と微細粉末のテラヘルツ吸収スペクトルの比較(4K)。

はほぼ同じ波数に存在することが確認された。グルコースとフルクトースが結合した二糖類に関しても、グルコース2分子が結合した二糖と同様に、各糖の吸収帯はほぼ同じ波数に存在することが確認された(図4)。また、トレハロースとスクロースは、 996 cm^{-1} にグリコシド結合の特異的な吸収ピークを有することが示された。テラヘルツスペクトルは、单糖類の種類、およびそれら单糖の結合形態の差異を反映していることが実験的に示された。中赤外吸収スペクトルは、基本的に分子を構成する官能基の振動に起因しているため、図3、4のような結果が得られたものと考えられる。

二糖類のテラヘルツ吸収スペクトル(図1、2)と中赤外吸収スペクトル(図3、4)を比較すると、自然界では安定して存在しにくいニゲロースやトレハロースなどの二糖類は、測定したテラヘルツ領域において特徴的な吸収帯が観測されず、中赤外域においては他の二糖類と同様な波数において吸収帯を有していた。このことは、テラヘルツ吸収スペクトルと中赤外吸収スペクトルの両者とも二糖類の单糖-单糖の結合形態の違いを反映しているものの、テラヘルツ帯ではおもに分子全体の挙動に関する情報が得られることを実験的に示しているものと思われる。

つぎに、糖類のテラヘルツ分光情報の理論的解析アプローチを可能にするためのスペクトル取得の基礎的実験として、糖類の单結晶と微細粉末のテラヘルツ吸収スペクトルの比較を行った。試料は、as-grownのトレハロース单結晶を切削したもの、およびトレハロース微細粉末をポリエチレン粉末と混合、加圧成型したペレットである。図5にトレハロース单結晶と微細粉末の4 Kにおけるテラヘル

ツ吸収スペクトルを示す。両者ともほぼ同じ波数帯に吸収ピークを有している。しかし、スペクトルパターンは、試料状態に顕著に依存しており、また個々のピークも单結晶試料の方がよりシャープになっている。この結果は、テラヘルツ分光情報の理論的な解析を行うためには、各糖類の单結晶試料の調製が必要なことを示唆している。一方、生体中における糖類は水のみならず様々な他の物質と相互作用を及ぼしあいつつその機能を発現している。つまり、理論的な解析を行うためのテラヘルツ分光と、生命活動を解析するためのテラヘルツ分光との両方の実験的なアプローチが必要となるものと考えられる。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、これまで共同研究が比較的困難であった非線形光学分野の研究者と生物工学、食品工学、農業工学などを包括した広義の生物系研究者との交流を飛躍的に活性化し、テラヘルツ分光技術を利用した生体内における糖類の機能解明という萌芽的研究への発展の可能性を示した。また、本プロジェクトで得られた研究成果は、注目されているバイオ関連分野へのテラヘルツ利用に関して、基礎と応用の両側面からアプローチを試みるものであり、今後の発展が期待される。

[4] 成果資料

- (1) Nakanishi, K., Hashimoto, A., Kanou, M., Pan, T., Kameoka, T.: Mid-Infrared Spectroscopic Measurement of Ionic Dissociative Materials in Metabolic Pathway, *Applied Spectroscopy*, **57**, 1510-1516 (2003).
- (2) 石川陽一, 南出泰亜, 碇智文, 伊藤弘昌, 橋本篤, 亀岡孝治, 茶圓博人: テラヘルツ波パラメトリック発振器を用いた糖類スペクトルの観測, 2004年春季第51回応用物理学関係連合講演会, 30-pN-10, p1226 (2004).
- (3) Guo, R., Ishikawa, Y., Minamide, H., Ikari, T., Ito, H., Imai, K., Hashimoto, A., Kameoka, T.: A compact, narrow-line-width, fast-date-acquiring, ais-TPG spectrometer, Nonlinear Optics: Materials, Fundamentals and Applications Topical Meeting and Tabletop Exhibit (NLO2004) (CD-ROM), TuB6 (2004).
- (4) Ishikawa, Y., Minamide, H., Ikari, T., Ito, H., Hashimoto, A., Kameoka, T., Chaen, H., Nishizawa, J.: Observation of dynamical interaction modes in THz-region spectra by using

- Terahertz-wave parametric oscillator, Conference Digest of the 2004 Joint 29th International Conference on Infrared and Millimeter Waves and 12th International Conference on Terahertz Electronics (IRMMW2004/THz 2004), Tu10.2, pp285-286 (2004).
- (5) Kanou, M., Yamanaka, A., Hashimoto, A., Kameoka, T.: Infrared spectroscopic analysis of saccharides in aqueous solutions with alkaline metal salts, Proceedings of 10th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Conference (CD-ROM), 3P-01-056 (2004).
- (6) 石川陽一, 南出泰亜, 篠智文, 伊藤弘昌, 橋本篤, 亀岡孝治, 茶圓博人: 極低温における糖単結晶の偏光依存テラヘルツスペクトル, 2005年春季第52回応用物理学関係連合講演会, 31p-W-13, p1261 (2005).
- (7) Hashimoto, A., Pan, T., Kanou, M., Nakanishi, K., Kameoka, T.: Mid-infrared spectroscopic monitoring of enzyme reaction associating with ionic dissociative metabolites, Computer Applications in Biotechnology 2004, Marie-Noëlle Pons and Jan F. M. van Impe eds., pp.375-380, Elsevier (2005)
- (8) Hashimoto, A., Yamanaka, A., Kanou, M., Nakanishi, K., Kameoka, T.: Simple and Rapid Determination of Metabolite Content in Plant Cell Culture Medium Using an FT-IR/ATR Method, *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 27, 115-123 (2005).
- (9) Kanou, M., Nakanishi, K., Hashimoto, A., Kameoka, T.: Infrared spectroscopic analysis of saccharides in aqueous solutions, *Applied Spectroscopy*, 59, 885-892 (2005)

課題番号 H16/A01

超清浄雰囲気スパッタ法による 600Gbit/in²級垂直磁気記録媒体

[1] 組織

代表者：

高橋 研（東北大学未来科学技術共同研究センター）

通研対応教官：

村岡 裕明（東北大学電気通信研究所）

分担者：

齊藤 伸（東北大学大学院工学研究科）

研究費：校費36万7千円、旅費 16万7千円

[2] 研究経過

垂直磁気記録媒体の研究・開発は、100 Gbit/in²を越えるハードディスク(HD)の実用化を目前に控えますます重要性を増している。媒体は記録磁性層と裏打ち軟磁性層との積層構成からなり、記録磁性層には、20 nm以下の膜厚での磁気特性の向上ならびに安定導出が、裏打ち層には低ノイズ化のための単磁区状態の安定化が求められ、これらを解決する材料・プロセスの確立が急務となっている。

今年度が初年度の本プロジェクトでは、代表者がこれまでに確立した超清浄雰囲気薄膜作製法を基盤技術として、インラインプロセスによる600 Gbit/in²級の記録密度を有するHDの実現を目的として垂直磁気記録媒体用材料・プロセスに関する研究を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

研究会：

日時：平成17年1月27日（木）15:00～17:30

場所：東北大学電気情報系1号館351・353室

題目：交換磁気異方性材料とX M C Dによる元素選択性磁化測定

プログラム：

『強磁性／反強磁性積層膜の交換磁気異方性

～どこまで判っているのか？何を知りたいのか？デバイス応用の観点から～』

東北大学大学院電子工学専攻 角田匡清
『多様な反強磁性スピinn構造が反強磁性／強磁性界面における交換結合バイアスに及ぼす影響』

日立金属(株) 三俣千春
『放射光X線分光と磁気円二色性による磁性材料の

元素別磁化解析』

(財)高輝度光科学的研究センター 中村哲也

研究打合せ：

平成17年2月24日（木）13:00～17:30

平成17年3月29日（火）13:00～17:30

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

post annealによる磁性結晶粒の磁気的孤立化

代表者らは、キャップ層および下地層にTiを用いたCoCrPt系ポストアニール媒体でTi拡散による記録層粒界の非磁性化の結果、磁気的交換結合が著しく低減された媒体が実現できることを見出した。今年度はこの知見を推し進め、反応層の薄膜化、アニール温度低減の課題に取り組んだ。

Fig. 1にアニール後のTi(5 nm)/Co₆₈Cr₁₆Pt₁₆/Ru(5 nm)/Ti(25 nm)/glassなる層構成の媒体の断面TEM像を示す。コントラストの異なる4層は基板側から順にTi(hcp), Ru(hcp), CoCrPt(hcp), TiCoPt(B2)と判明した。また、高分解能TEM像を見ると、c面の格子縞がRu層から磁性層まで連続している。これらのことから本構成の媒体にアニールを施しても記録層/Ru層間に反応層は形成されず、Ruは拡散防止層として機能することがわかった。

Fig. 2にはキャップ層材料を種々に変化させた場

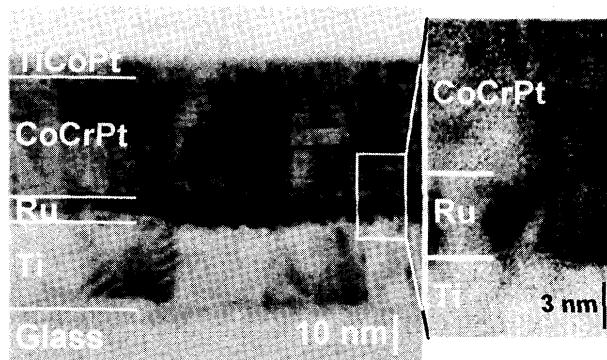


Fig. 1 Bright-field images obtained by cross-sectional TEM for annealed media. Close-up correspond to higher magnification images.

合の媒体保磁力のポストアニール温度依存性を示す。加熱前の値から5%保磁力が増加する温度を拡散開始温度と定義すると、Tiキャップ層を用いた場合、拡散開始温度は360°Cであるのに対し、Zrでは300°C、Hfでは250°Cまで低減されることがわかり、ポストアニールの際に生じる拡散現象は材料に依存して著しく変化することがわかった。

非磁性反応層の形成抑制と粒界部への拡散促進

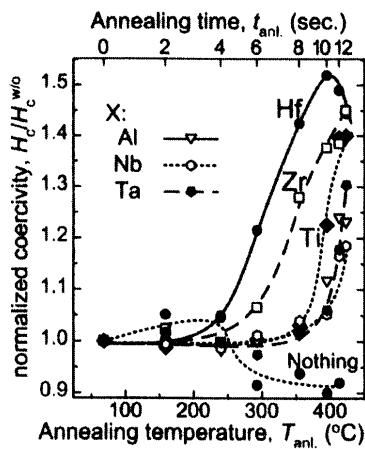


Fig. 2 Coercivity normalized with that of media without post-annealing as a function of post-annealing temperature for the media with X cap-layer. $d_{\text{mag.}}$ of all the media is 20 nm.

そのためのキャップ層材料の選定指針を検討した。ポストアニール媒体では、反応層の形成能は非磁性層厚が、粒界非磁性化の度合いはアニール後の媒体の飽和磁化が評価指標となると考えられる。そこで、Coとキャップ層材料Xとの結合に関わる材料特性と上記指標との相関を調べたところ、Fig. 3に示すように、非磁性層厚はCo_x相の融点 $T_m^{\text{Co}x}$ 、飽和磁化 $M_s^{\text{ave.}}$ はCoとX原子の結合の標準生成エンタルピ $\Delta H^{\text{Co-X}}$ とよく対応していることがわかった。したがって、反応層厚の低減には $T_m^{\text{Co}x}$ の高い材料を、粒界の非磁性化には $\Delta H^{\text{Co-X}}$ の低い材料を選定すべき

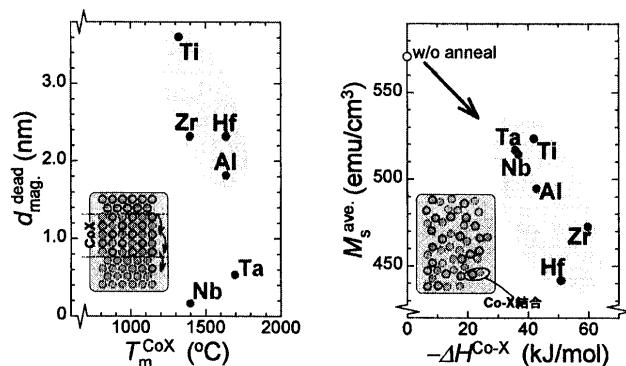


Fig. 3 (left) Reacted layer thickness plotted against melting point of Co_x compound for the post-annealed media with X cap-layer. (right) Averaged saturation magnetization plotted against enthalpy of Co-X formation for the post-annealed media with X cap-layer.

であることがわかった。

(3-2) 波及効果と発展性など

研究会の開催により、反強磁性/強磁性交換結合膜のスピン構造を題材にその理論や実験評価手法を、本学内外の広範な専門に渡る磁性材料研究者と議論・交流する機会を得た。また本プロジェクト研究により、垂直磁気記録媒体用記録層に不可欠な非磁性粒界の形成プロセスならびに材料選定指針に関する重要な知見が得られた。本研究を継続して推進してゆくことによって、高記録密度化に即応した実用材料・プロセスの先駆的研究展開が期待される。

[4] 成果資料

- 斎藤 伸, 橋本篤志, 高橋 研, 迎 展彰, 「Al/NiP上に作製しためっき軟磁性裏打ち層の磁気特性と単磁区化」, 日本応用磁気学会誌, **28**, 289-294 (2004).
- 斎藤 伸, 板垣憲和, 高橋 研, 「Ti下地, Tiキャップ層を用いたCoCr系ポストアニール媒体における磁性結晶粒の磁気的孤立化」, 日本応用磁気学会誌, **28**, 295-300 (2004).
- Shin Saito, Norikazu Itagaki, and Migaku Takahashi, "Improvement of Perpendicular Magnetic Properties by Postannealing for M'-CoCrPt-M Stacked Media (M, M' = Ti, Ta, Ru, Pt, CrMn, MnSi)", *IEEE Transactions on Magnetics*, **40**, 2467-2469 (2004).
- A. Hashimoto, S. Saito and M. Takahashi, "Magnetization reversal mechanism of soft magnetic underlayer pinned by antiferromagnetic layer", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **287**, 287-291 (2005).
- N. Itagaki, S. Saito, and M. Takahashi, "Diffusion analyses of non-ferromagnetic element in the cap-layer of post-annealed CoCrPt perpendicular media", *IEEE Transactions on Magnetics*, (2005) in press.

課題番号 H16/A02

周波数両耳聴モデルの応用に関する研究

[1] 組織

代表者：宇佐川 育

(熊本大学工学部数理情報システム工学科)

対応者：鈴木 陽一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

菅木 稔史

(熊本大学工学部数理情報システム工学科)

江端 正直

(熊本電波工業高等専門学校)

中島 栄俊

(熊本電波工業高等専門学校電子制御工学科)

研究費： 物件費 424,000円， 旅費 347,000円

[2] 研究経過

周波数領域両耳聴モデルは、人間の聴覚機能のうち、特に両耳聴条件での音源の定位能力と、それに依拠した特定音源信号への注意集中による検出能力の向上を模擬した計算機モデルである。このモデルは、現在開発途上ではあるが、その基礎的な特性の向上により、補聴器をはじめとする広い応用分野が想定される。本研究はこの周波数領域両耳聴モデルの性能向上と医療福祉分野を中心とした応用システムの開発を目的としている。今年度は、特に両耳補聴器を想定した基礎的な検討を行った。具体的には、音源方向推定および分離に必要なデータベースの基となるHRTFを、試作した両耳補聴システムにおいて実測しモデル化を行った。そして、そのデータベースを試作した両耳補聴システムに用い指向特性を測定した。得られた結果より、提案モデルの実現の可能性を示唆した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

図1および図2に、試作したヘッドセットと提案した周波数領域両耳聴モデルのブロック図を示す。図1に示すマイクロホンとラウドスピーカーが一体となったヘッドセットを両耳に装着することにより特定方向の音を強調することが可能となる。

図2に示したブロック図において、両耳間位相

差(IPD)と両耳間レベル差(ILD)に基づくデータベースは頭部伝達関数から作成する。そのデータベースを作成するにあたり、試作したヘッドセットをユーザーに装着し、無響室内にてTSP信号を用いて頭部伝達関数を測定した。測定したデータベースの一部を図3および図4に示す。

各々両耳間位相差、両耳間レベル差を示している。仰角は20°であり、方向角は-90°から+90°まで、10°間隔で測定した。両耳間位相差では、250 Hz, 500 Hz, そして 750 Hzの結果を、両耳間レベル差では 1500Hz, 2500 Hz, そして 3500 Hz の結果

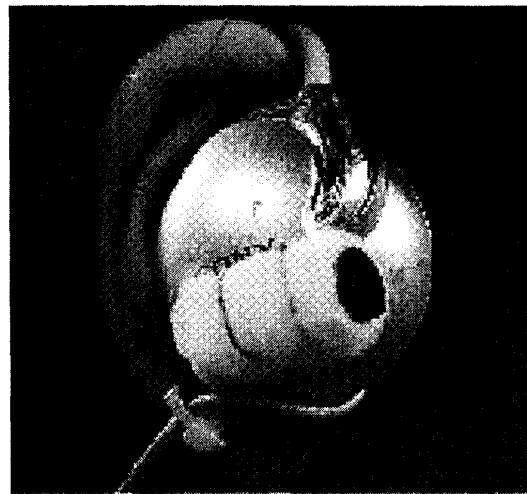


図1. 試作したヘッドセット

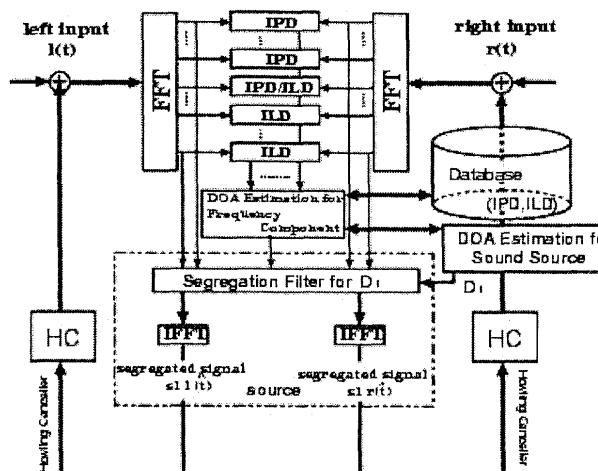


図2. 周波数領域両耳聴モデル

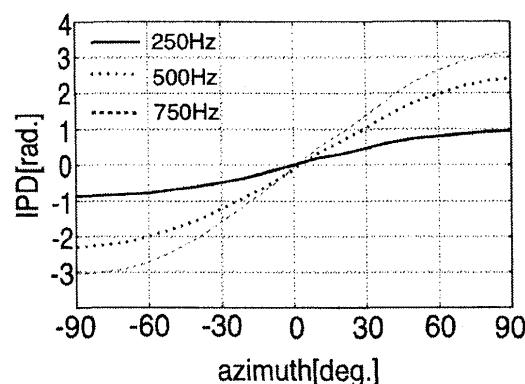


図3. 両耳補聴システムのヘッドセットを用いて測定した両耳間位相差

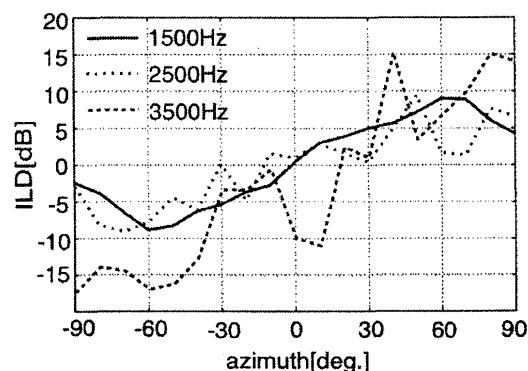


図4. 両耳補聴システムのヘッドセットを用いて測定した両耳間レベル差

を示している。両耳間位相差においては、方向角が変化するに伴い、増加する結果が得られている。また、周波数が高くなるにつれて位相差が大きくなっていることも示されており、音源方向推定と分離に有効である。一方、両耳間レベル差においては方向角の変化に伴い両耳間レベル差が変化しているが特定のレベル差によって方向角が一意に決まらないことが示されている。よって、両耳間レベル差を利用する高周波数帯域ではデータベースの誤差により音源方向推定に誤りを生じる可能

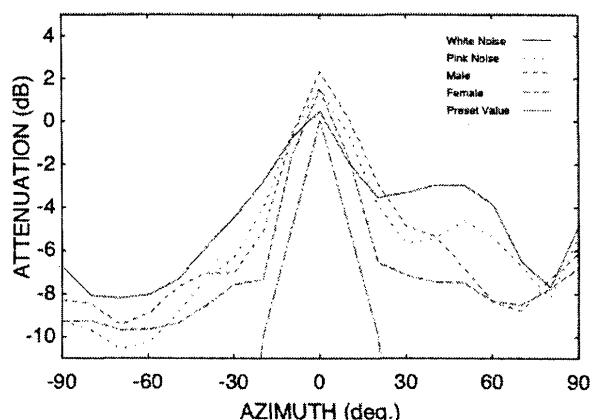


図5. 仰角20°, 方向角0°に指向性を設定した場合

性がある。

次に指向特性の測定を行った。データベースは、作成したヘッドセットを用いて測定した頭部伝達関数に基づいた両耳間位相差、レベル差を用いた。図5にビームの方向を仰角20°、方向角0°(顔の正面上面方向)に設定した場合の結果を示す。

測定に用いた信号は、ホワイトノイズ、ピンクノイズ、男声、女声である。図5には各信号ごとの結果を順に示し、さらに設定した指向特性を示した。また、図6にビームの方向を仰角0°、方向角40°(顔の正面右方向)に設定した場合の結果を示す。両者の結果より、特定の方向の音源信号を強調できる特性が得られた。

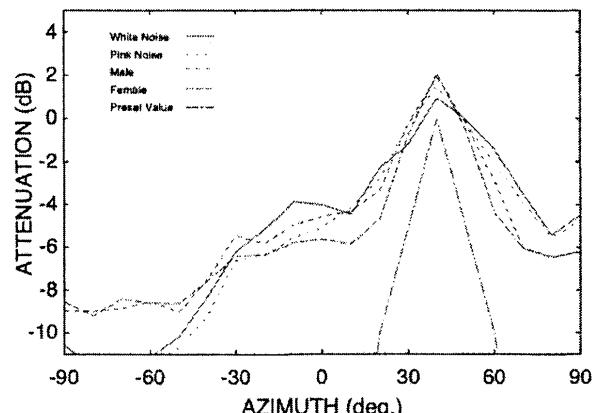


図6. 仰角0°, 方向角40°に指向性を設定した場合

(3-2) 波及効果と発展性

本研究では、周波数領域両耳聴モデルを両耳補聴システムに適用することを提案し、その基礎的な検討を行った。指向性が形成されており、両耳補聴システムの可能性が示唆された。現段階ではラップトップによる実時間処理を行っているが、DSPやFPGAなどの信号処理チップを活用することにより小型で携帯可能な両耳補聴システムが可能となる。可搬性が実現されることにより、高い音圧レベルを有する雑音環境下などで音声コミュニケーションがしづらいシチュエーションでの活用も期待できる。

[4] 成果資料

- 1) Yoshifumi Chisaki, Rika Matsuo, Hidetoshi Nakashima, Tsuyoshi Usagawa, Binaural Hearing Assisting System with Spatial Selectivity Based on the Frequency Domain Binaural Model, Proc. InterNoise 2004, 627 (Invited)
- 2) 菅木 穎史, 松尾 梨加, 中島 栄俊, 宇佐川 毅, 2次元 方向推定および分離機能を有する両耳補聴システムに関する検討, 電子情報通信学会技術報告,

EA2004-20, pp.19-22, 2004.6

- 3) 中島 栄俊, 菅木 権史, 宇佐川 純, 周波数領域両耳聴モデルによる音源方向推定と音源分離, 電子情報通信学会技術報告, EA2004-71, pp.69-74, 2004.9
- 4) 菅木権史, 河野翔, 松尾浩太郎, 萩原克守, 中島栄俊, 宇佐川純,"周波数両耳聴モデルを用いた両耳補聴システムに関する検討",日本音響学会2004年秋季研究発表会講演論文集, 3-P-8, pp.669-670, 2004.9
- 5) Tsuyoshi Usagawa, Rika Matsuo, Hidetoshi Nakashima, Yoshifumi Chisaki, A computer model of binaural hearing and its application for hearing-aid, Archives of Acoustics, 29(3), 530, 2004.9

課題番号 H16/A03

SNDMナノサイエンス＆テクノジー創成に関する研究

[1] 組織 (以下10.5ポイント)

代表者：長 康雄

(東北大学大電気通信研究所)

対応者：長 康雄

(東北大学大電気通信研究所)

分担者：

尾上 篤 (パイオニア(株)総合研究所)

木島 健 (セイコーエプソン(株)テクノロジー
プラットフォーム研究所)

佐藤 次幸 (中央精機株式会社, SNDM
プロジェクト)

本田耕一郎 (株)富士通研究所)

安武 正敏 (SIIナノテクノロジー(株))

Choi, Si-Kyung (Korea Advanced Institute of
Science and Technology)

小田川裕之 (東北大学大学院工学研究科)

森田 剛 (東北大学大電気通信研究所)

研究費：校費38万9千円，旅費43万円

[2] 研究経過 (以下10.5ポイント)

走査型非線形誘電率顕微鏡 (SNDM) は、電子素子用機能性材料として広く用いられている強誘電体の残留分極分布や結晶性の評価が純電気的に行える世界で初めての装置である。この顕微鏡は既に実用化されており、誘電材料（含む、強誘電材料、圧電材料）のみならず半導体素子材料（ドーパントプロファイルやHigh-K誘電体ゲート材料）等の評価に欠かせない装置として広く利用されている。また本顕微鏡法は材料評価のみならずナノドメインエンジニアリングを用いた次世代超高密度メモリ技術等の電子素子に応用可能である。そこで本共同研究プロジェクトでは SNDM関連技術に造詣の深い研究者を一同に会し新しいSNDMナノサイエンスを創成しそれらを応用したナノテクノロジーを創造することを目的とし平成16年度より本プロジェクトはスタートした。

本年度は、

1. UHV-SNDMの研究開発に関する研究
2. SNDMプロープメモリーに関する研究
3. SNDMによる強誘電体薄膜の評価に関する研究

4. 針式AFMタイプSNDMの研究開発に関する研究

5. SNDMによる半導体素子の評価に関する研究

6. ナノドメインエンジニアリングを用いた強誘電体機能素子の研究

等に関して、個々の研究者との数回に渡る研究打ち合わせ及びその結果に基づいた研究を行い、更にその結果得られた成果の発表するための研究会を平成17年2月14日、15日にかけて行い、情報の共有を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に「UHV-SNDMの研究開発に関する研究」においてはまず超高真空(UHV) SNDMの開発の前段階として簡易真空のSNDMを作製し、真空中でのSNDM信号の挙動を明らかにし、次年度開発予定のUHV-SNDMの設計指針を明らかにした。

第2に「SNDMプロープメモリーに関する研究」においては、最高記録密度で8.5Tbit/inch²を達成し、ドメイン反転時間においても400psecを確認した。また実記録に於いても280Gbit/inch²でエラーフリーの記録を実現し、1Tbit/inch²の実記録にも成功した。

第3に「SNDMによる強誘電体薄膜の評価に関する研究」においては水熱合成法によるPbTiO₃単結晶薄膜の合成に世界で初めて成功し、そのナノスケールドメイン反転特性について SNDMによる詳細な調査を行った。

第4に「針式AFMタイプSNDMの研究開発に関する研究」では高次非線形誘電率顕微鏡法を応用した非接触SNDM法を新たに開発し、原子ステップの観測に成功した。

第5に「SNDMによる半導体素子の評価に関する研究」ではフラッシュメモリー中に蓄えたれた正孔及び電子分布の可視化に世界で初めて成功した。

最後の「ナノドメインエンジニアリングを用いた強誘電体機能素子の研究」ではまだ大きな成果

には至っていないが、新しい記憶素子等の概念設計について、深く検討を行った。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、学外研究者との交流が飛躍的に活性化し、2つの大型プロジェクトに発展している。一つは科学技術振興調整費・産学官共同研究の効果的な推進における「 SNDM強誘電体メモリー」(参加企業・パイオニア)に、もう一件は先端計測技術・機器開発事業における「複合型走査型非線形誘電率顕微鏡の開発」(参加企業・SIIナノテクノロジー及び富士通)である。

[4] 成果資料（以下10.5ポイント）

- (1) Yoshiomi Hiranaga, Yasuo Wagatsuma and Yasuo Cho: "Ferroelectric Single Crystal Recording Media Fabricated by Polarization Controlled Wet Etching Process", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.43, No.4B (2004) pp.L569-L571.
- (2) Kenjiro Fujimoto and Yasuo Cho: "Nanosecond Switching of Nanoscale Ferroelectric Domains in Congruent Single-Crystal LiTaO₃ Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.43, No.5B (2004) pp.2818-2821.
- (3) D. J. You, W. W. Jung, S. K. Choi and Yasuo Cho, "Domain structure in a micron-sized PbZr_{1-x}Ti_xO₃ single crystal on a Ti substrate fabricated by hydrothermal synthesis", Appl. Phys. Lett., Vol.84, No.17 (2004) pp.3346-3348.
- (4) Takeshi Morita, Yasuo Wagatsuma, Yasuo Cho, Hitoshi Morioka and Hiroshi Funakubo and Nava Setter: "Ferroelectric properties of an epitaxial lead zirconate titanate thin film deposited by a hydrothermal method below the Curie temperature", Applied Physics Letters, Vol.84, No.25 (2004) pp. 5094-5096.
- (5) Takeshi Morita, Yasuo Wagatsuma, Hitoshi Morioka, Hiroshi Funakubo, Nava Setter, Yasuo Cho: "Ferroelectric property of an epitaxial lead zirconate titanate thin film deposited by a hydrothermal method", Journal of Material Research, vol.19-6 (2004) pp.1862-1868.
- (6) Koya OHARA and Yasuo CHO: "Observation of Surface Polarization Distribution Using Temperature-Controlled Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", Jpn. J. Appl. Phys. Vol.43, No.7B (2004) pp.4629-4633.
- (7) YASUO CHO, YOSHIOMI HIRANAGA, KENJIRO FUJIMOTO, YASUO WAGATSUMA, and ATSUSHI ONOE: "Fundamental Study on Ferroelectric Data Storage with the Density Above 1 Tbit/inch² Using Congruent Lithium Tantalate", Integrated Ferroelectrics, Vol.61 (2004) pp.77-81.
- (8) Takeshi MORITA and Yasuo CHO: "A hydrothermally deposited epitaxial lead titanate thin film on strontium ruthenium oxide bottom electrode", Applied Physics Letters Vol. 85, No.12 (2004) pp.2331-2333.
- (9) Takeshi MORITA and Yasuo CHO: "Epitaxial PbTiO₃ thin films on SrTiO₃(100) and SrRuO₃/SrTiO₃(100) substrates deposited by a hydrothermal method", Jpn. J. Appl. Phys. vol. 43, No. 9B (2004), pp.6535-6538.
- (10) Yoshiomi HIRANAGA, Yasuo CHO: "Evaluation of Bit Error Rate for Ferroelectric Data Storage", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 43, No. 9B (2004) pp. 6632-6634.
- (11) Koya Ohara and Yasuo Cho: "Effect of the surface adsorbed water on the studying of ferroelectrics by scanning nonlinear dielectric microscopy", J. Appl. Phys. vol.96, No 12 (2004) pp.7460-7463.
- (12) TAKESHI MORITA and YASUO CHO "A Hydrothermally Deposited Epitaxial PbTiO₃ Epitaxial Thin Film on SrRuO₃ Bottom Electrode for the Ferroelectric Ultra-High Density Storage Medium" Integrated Ferroelectrics, Vol.64, (2004) pp.247-257.
- (13) MIRAI KATO, TAKESHI MORITA, And YASUO CHO "Observation Of Ring Shaped Domain Patterns Using A Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy" Integrated Ferroelectrics, Vol.68, (2004) Pp.207-219.
- (14) YOSHIOMI HIRANAGA, YASUO WAGATUMA, And YASUO CHO "Litao₃ Recording Media Prepared by Polarization Controlled Wet Etching Process" Integrated Ferroelectrics, Vol.68, (2004) pp.221-228.
- (15) Koichiro Honda and Yasuo Cho: "Visualization using scanning nonlinear dielectric microscopy of electrons and holes localized in the thin gate film of a metal-SiO₂-Si₃N₄-SiO₂-semiconductor flash memory", Appl. Phys. Lett., Vol.86, Number 1, (2005) pp. 013501-1-013501-3.
- (16) 長 康雄, 小田川裕之, 大原鉱也, 平永良臣: "非線形誘電率顕微鏡と次世代超高密度強誘電体記録", 電子情報通信学会論文誌C, Vol.88-C, No.1 (2005) pp.1-12. 【招待論文】
- (17) Koya Ohara and Yasuo Cho: "Non-contact scanning nonlinear dielectric microscopy", Nanotechnology, Vol.16, Number 3, (2005) pp.54-58.

- (18) Koichiro Honda, Sunao Hashimoto and Yasuo Cho:
“Visualization of electrons and holes localized in the
thin gate film of metal-oxide-nitride-oxide-
semiconductor type Flash memory by scanning
nonlinear dielectric microscopy”, Nanotechnology,
Vol.16, Number 3, (2005) pp.90-93.
- (19) T. MORITA and Y. CHO: “Hydrothermally
Deposited PbTiO₃ Epitaxial Thin Film”, Journal of the
Korean Physical Society, Vol.46, No.1, (2005) pp.10-
14.
- (20) Koichiro Honda, Sunao Hashimoto and Yasuo Cho:
“Visualization of electrons and holes localized in the
thin gate film of metal SiO₂-Si₃N₄-SiO₂ semiconductor
type Flash memory using scanning nonlinear
dielectric microscopy after writing-erasing cycling”,
Appl. Phys. Lett., Vol.86, (2005) pp.063515-1-
063515-3.

課題番号 H16/A04

スピナノ構造体形成と情報通信デバイスへの適用に関する研究

[1] 組織

代表者：佐橋 政司

(東北大学大学院工学研究科)

対応者：荒井 賢一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

土井 正晶 (東北大学大学院工学研究科)

三宅 耕作 (東北大学大学院工学研究科)

宝野 和博 (物質・材料研究機構)

壬生 攻 (名古屋工業大学大学院工学研究科)

岩崎 仁志 (東芝研究開発センター)

小山 敏幸 (物質・材料研究機構)

松井 正顯 (名古屋大学大学院工学研究科)

小野 輝男 (京都大学化学研究所)

巨海 玄道 (九州大学大学院理学研究院)

有田 正志 (北海道大学大学院情報科学研究科)

研究費：校費38万4千円、旅費37万8千円

[2] 研究経過

利便性を追求するユビキタス、ネットワークで繋がる情報家電など進化する情報技術においては、小型で高性能な情報通信デバイスの更なる革新が求められている。本プロジェクトの研究課題である「スピナノ構造体形成と情報通信デバイスへの適用」は、データストレージの超高密度化やユニバーサルメモリとしてのMRAMのキーデバイスとして期待されているスピン伝導デバイスの高性能、あるいは従来の枠を超えたデバイス応用が期待される新しいスピナノデバイスの可能性を、スピン伝導物理から検討することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が初年度である。電子伝導の量子化を発現させるためにはナノメータスケールでの電流の絞り込みを磁性多層膜構造体内に、制御して形成する必要があり、代表者（佐橋政司）が取り組んできた極薄酸化物層(Nano-Oxide Layer(NOL))を用いてその確立を目指す。二つの強磁性金属薄膜層を絶縁体層で分断した多層膜構造体において、NOL絶縁体層内に微小な伝導領域を設けることがその糸口となる。CPPGMRでは、世界に先駆けてナノオキサイドレイアを用いたCCP

構造(Confined Current Pathi 電流狭窄)によるGMRの増大効果が佐橋政司らのグループから報告されており、本年度は、Nano-Oxide-Layer (NOL) 型のナノ構造体の構造解析に関する研究を展開した。

以下、研究会活動状況の概要を記す。

高密度化・高速化の一途を辿る情報通信デバイス分野においては、その素子寸法が100nmをきるところまで微細化が進展し、ナノスケールでの特異なスピン伝導物理のデバイス応用が現実の研究課題となっている。本共同プロジェクトでは、荒井研究室及びスピン伝導領域ならびにナノ計測の分野において第一線で活躍中の国内外の優れた研究者の協力のもとに、可能な範囲でのサンプルの作製・評価を通して、新規なスピナノデバイスについての企画と新たな枠組みでの研究手法のコーディネートを模索することを考え、下記研究会を開催した。

電気通信研究所共同プロジェクト共催で、年度2回研究会を開催した。第1回目は、米国IMAGO社の支援を受けて、ナノ構造体の構造解析に非常に有効と考えられる「アトムプローブ」を中心にセミナーを開催した。

第2回目は、「CPPGMRスピントロニクス」と題して、開催した。

1. 「CPPスピンバルブ型磁気読取ヘッドの実現に向けて」 大島弘敬 (富士通)

2. 「Co-Fe合金を用いたCPP-GMRスピンバルブ」 湯浅裕美 (東芝)

3. 「2次元ナノコンタクト」

三宅耕作 (東北大)

また、本分野における研究の最前線の研究結果を議論することを目的に「ナノ構造体におけるスピン伝導」と題して東北大学電気通信研究所共同プロジェクト主催で研究会を開催した。

1. 挨拶 佐橋政司 (東北大)

2. 高品質ハーフメタル薄膜作製と強磁性トンネル接合 浅野秀文、松井正顯 (名古屋大)

3. 高圧下におけるナノスケール磁性体の輸送現象 巨海玄道 (九州大学)

4. エピタキシャル Co_2MnSn ホイスラー合金薄膜の局所磁性と磁気抵抗効果

壬生攻, 奥野拓也, 張 維, 慶幸範洋
(名工大, 京都大)

5. ナノ磁性細線における電流誘起磁壁駆動
山口明啓, 那須三郎, 小野輝男 (大阪大, 京都大)
6. 金属-絶縁体コンポジット膜の局所単電子伝導の
TEM内計測 有田正志 (北海道大)
7. ナノ粒子におけるスピニン依存単一電子トンネル
効果とスピニン蓄積 三谷誠司, 薬師寺啓,
エルヌフランク, 高梨弘毅 (東北大金研)
8. スペキュラスピニバルブにおけるCoFe-NOLの磁
性とその交換結合 土井正晶, 三宅耕作,
佐橋政司 (東北大学)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

1) CoFe-NOLスピニバルブ薄膜の高性能化に関する研究

シンセティック・スペキュラスピニバルブ(SPSV)において未解明の点が多いスペキュラナノ酸化物層(NOL)の膜構造および磁気特性を明らかにすることによって再生素子用スピニバルブ薄膜の高性能化に関する薄膜設計指針を確立することを目標としてCoFe-NOLの磁気構造解析とその交換結合磁界に関する研究を行った。まず第1に、PtMn Synthetic AF Spin valveについて研究を行った。従来、1nm程度の厚さの酸化物層の磁気特性を抽出することは困難であったが、本研究では磁性層間の交換結合を介した磁化過程に着目し、室温から77Kまでの磁化測定を基に考察した。特に磁場中冷却を施すことによる磁化過程の変化について検討した。NOL無し試料では磁場中冷却後の差異が全く見られないのに対してNOLを挿入した試料ではすべて磁場中冷却効果が観測された。これらのことから $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{-NOL}$ ($x=0.08, 0.17, 0.26$)は反強磁性成分を含んでいるものと考えられる。さらにこのことを確認するために磁場中冷却後の磁化温度曲線の測定を行った。その結果、Fe組成の増加によって特性温度(ブロッキング温度)が上昇することがわかった。ブロッキング温度上昇の原因については酸化物層中のFe酸化物の変化によるものと考えられる。そこでメスバウアー効果によってNOLの超微細磁気構造を明らかにすることで反強磁性成分を同定した。

以上の結果をまとめると以下のようになる。

PtMn Synthetic AF Spin Valve

1. $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{/Cr-NOL}$ ($x=0.08, 0.17, 0.26$) Synthetic AF Spin valve(SV)においては、Fe濃度の増加によっ

て特性温度(ブロッキング温度)が上昇する。

2. $\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{-NOL}$ Conventional SVにおいては室温でNOL-pinningの兆候が見られる。
3. $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}/\text{Co}_{0.7}\text{Fe}_{0.3}/\text{Cr-NOL}$ Conventional SVにおいて、NOLの無い試料に比べ、室温でのJexが増加することを確認した。またJexはNOLのFe濃度の上昇によって増加することを確認した。
4. $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}/\text{Cr-NOL}$ でもIAO(イオンアシスト酸化)により室温以上に特性温度が上昇する。
5. メスバウアー効果測定によって $\text{Co}_{0.7}\text{Fe}_{0.3}/\text{Cr-NOL}$ 中に $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ および $(\text{FeCr})_2\text{O}_3$ と考えられる反強磁性成分が存在することを確認した。

以上のことからFe濃度とCrの有無が室温以上のNOL-pinningの発現(特性温度)に関係していることが明らかになった。しかし、PtMn AFでは低温変態などの効果が重畳することやexchange特性が作製装置に依存するため複雑化している。従って、IrMn AFを用いたConventional SVにおいてFe濃度、Crの有無、酸化強度を詳細かつ系統的に調べることにした。

結果をまとめると以下のようになる。

IrMn AF Conventional Spin valve

1. HexおよびJexのFe濃度依存性を調べた結果、Fe濃度の増加によってHexとJexが増加することがわかった。このときJexは $\text{Co}_{0.3}\text{Fe}_{0.7}\text{-NOL}$ において、約0.24erg/cm²(NOL無し)から約0.70erg/cm²に増加する。
2. Crの有無について検討した結果、Jex、MsはCrがある場合に比べて、無い場合に酸化強度による変化が顕著に認められる。即ちCrを用いることで酸化が安定化する。
3. $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{-NOL}$ において低温(5K)までの磁化測定を行い、その磁場中冷却効果を検討した。その結果、磁場中冷却効果が認められ、Venturaらの報告とほぼ一致した。また、pin方向と90°回転させた方向においても磁場中冷却効果を確認した。これらの結果はCoOによるNOL-pinning assistを強く示唆している。
4. Fe高濃度-NOLにおいて、室温でのMRの増加(スペキュラ効果)と交換磁界の増加を両立できることを確認した。

この成果は49th Annual Conference on Magnetism & Magnetic Materials 2004, AQ-07: Magnetism and Mössbauer study on $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{-NOL}$.ならびにINTERMAG 2005, Nagoya, FB-10: Room Temperature NOL Exchange Biasing Superimposed on AFM Exchange Bias in Specular Spin-Valvesにおいて報告した。

2) Al-Cu NOLのConductive Channel のin-situ直接観察

オキサイドレイア(NOL)を用いたCCP構造(電流狭窄)によるGMRの増大効果が佐橋政司らのグループから報告されているが、その要であるConductive channel の形成メカニズムは明らかではなく、その制御法については、確立されていない。そこで、Conductive channel の形成メカニズムの解明を目的としてCu/Al NOL(Nano Oxide Layer)のConductive Channel のin-situその場観察をContact AFMを用いて行った。試料はIBS装置を用いて作製した。スパッタリング条件はXe Ion Beam Sputter : V_{acc} 1.8 keV, base pressure : 4×10^{-9} Torr である。試料設計は $\text{SiO}_x/\text{Cu}(10\text{nm})/\text{Al}(2\text{nm})/\text{Oxidation}(0.5 \text{ sccm } 40 \text{ sec} : 9 \times 10^{-4} \text{ Pa})$ および $\text{SiO}_x/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Al}(2\text{nm})/\text{Oxidation}(0.5 \text{ sccm } 40 \text{ sec} : 9 \times 10^{-4} \text{ Pa})$ のAl on Cu構造とした。ここで第一試料はCu/Alを成膜後酸化を施し、第二試料はCu/Alを成膜後、300°Cで加熱後に酸化処理を施した。Cu/Al二層膜ではRHEED観察から250°Cの加熱処理によって構造の変化が認められた。RHEEDパターンにブロードニング化が認められることから結晶粒の微細化が起きているものと考えられる。加熱無して酸化した試料のContact AFMのトポ像と電流像からは直径約50nmの結晶粒が観察され、電流像からは約20nmのConductive Channelが観察された。これらの像を重ね合わせると、Conductive Channel は結晶粒界に存在していることがわかり、このConductive Channelは未酸化のCuであることが明らかとなった。次に300°Cで加熱した後酸化したContact AFMのトポ像と電流像から加熱によって結晶粒が約10nmの微細粒となることがわかった。また、電流像からは約5nmのConductive Channel が粒界に存在していることがわかった。これらの結果からAl on Cuでは加熱により合金化が起り結晶粒が微細化し、酸化されにくい微細なCu-rich合金がConductive Channel になっているものと考えられる。

以上の結果からCCP-CPP GMRのCurrent confined path の形状の直接観察結果を始めて報告した。

この研究成果は49th Annual Conference on Magnetism & Magnetic Materials 2004, AQ-08: Structural Study on Al-Cu Nano Oxide Layer for Nano Constriction Type CPPGMR.ならびにINTERMAG 2005, Nagoya, GQ-02: In-Situ Observation Study on Nano Constriction Spacer NOL for CPPGMR by Conductive AFMにおいて報告した。

(3-2) 波及効果と発展性など

従来技術の延長では、1テラビット級のデータストレージならびにメモリの実現は、極めて困難なこと、スピンドルを用いた新規な情報通信デバイスの検討が欧米で活発化して来ていることを鑑みた時、本共同プロジェクトにおいては、日本が優位にあるデータストレージ・メモリ分野での先導的役割に加えて、これまでに無いスピンドル情報デバイスの検討で遅れを取らないための具体的な研究の方向付けならびにその取り組みの加速が図れることが期待される。

[4] 成果資料（論文）

- (1) Masaaki Doi, Masato Izumi, Hiroaki Endo, Hiromi Niu Fuke, Hitoshi Iwasaki, and Masashi Sahashi, "Enhancement of Room Temperature Exchange Biasing in Specular Spin-Valves", IEEE TRANSACTION ON MAGNETICS, to be published(2005).
- (2) M. Doi, M. Izumi, Y. Abe, H. Fukuzawa, H. N. Fuke, H. Iwasaki and M. Sahashi, "Exchange Coupling and NOL Magnetism Consideration in $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x$ Specular Spin-valves", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 287 (2005) 381-386.
- (3) Masaaki Doi, Masato Izumi, Hiromi Niu Fuke, Hitoshi Iwasaki, and Masashi Sahashi, "Magnetism of $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x$ -NOL in Specular Spin-Valves", IEEE TRANSACTION ON MAGNETICS, 40(2004) 2263-2265.
- (4) H. Fukuzawa, H. Yuasa, S. Hashimoto, K. Koi, H. Iwasaki, M. Takagishi, Y. Tanaka, and M. Sahashi, "MR Ratio Enhancement by NOL Current-Confining-Path Structures in CPP Spin Valves", IEEE TRANSACTION ON MAGNETICS, Vol.40,(2004) 2236-2238.

課題番号 H16/A05

ミリ波・テラヘルツ波を用いた生体計測

[1]組織

代表者：二川佳央

（国士館大学工学部）

責任者：杉浦 行

（東北大学電気通信研究所）

分担者：

水野皓司（東北大学電気通信研究所）

立川敏明（香川大学医学部）

山本政宏（関東学院大学工学部）

乾 昭文（国士館大学工学部）

大浦邦彦（国士館大学工学部）

鎌倉勝利（国士館大学工学部）

清水敏寛（国士館大学工学部）

研究費：校費435,000円、旅費349,000円

[2]研究経過

ミリ波・テラヘルツ波を利用した生体計測、診断技術は、これら電磁波が非電離放射線であることから非侵襲的な計測診断技術が実現可能である。また、ミリ波・テラヘルツ波等物理エネルギーは赤外線と同様に微弱ではあるが生体から放射されおり、これらの計測による新たな診断技術は、新規分野の開拓につながる可能性がある。ミリ波・テラヘルツ波を用いた生体計測・診断を実現化するためには、生体に特化した技術のみならず生体に関連した技術を支える各種デバイス技術の発展なくしては考えることができない。

本プロジェクトでは、ミリ波・テラヘルツ波領域に亘る生体組織の複素誘電率に関する計測、検討を行い、さらに生体からのミリ波・テラヘルツ波放射を計測画像化し新たな生体計測、診断の基礎データを得た。尚、ミリ波領域までの生体組織の基本特性は、本プロジェクト組織の施設において既に測定が行われており、血液の誘電率は血糖値等の生理データに依存して変化することが判明している。このため、これらを基に血糖値測定等の応用について検討を進め、さらに、赤外領域まで含めたテラヘルツ波の吸収スペクトルについても測定を行なった。これらの結果を総合的に評価し、生体情報の非侵襲生体計測、診断に応用することを検討した。

これらの企画に基づき、本プロジェクトでは研究発表会を3月8日に行い、研究の打合せ討議を活発に行った。また本プロジェクト研究の発展および関連分野との連合を目的として、本研究プロジェクトの発展に必要なミリ波・テラヘルツ波を中心としたデバイスに関する検討について、3月12日に行われた電気学会調査専門委員会「ミリ波技術を用いたシステムの高機能化とその展開」第11回調査専門委員会・公開研究会を共催し、この分野への新たなデバイス導入の検討を行った。

3月8日行った「ミリ波・テラヘルツ波を用いた生体計測研究会」のプログラムを以下に示す。

電気通信研究所共同プロジェクト研究会プログラム
「ミリ波・テラヘルツ波を用いた生体計測」

<日時・場所>

日時： 2005年3月8日（火） 10:00～15:00

場所：東北大学 電気通信研究所

ナノ・スピニ棟 4階カンファレンスルーム

<プログラム>

10:00-10:10 研究プロジェクト代表者挨拶：

二川佳央（国士館大学）

10:10-10:40 「脈波の統計解析」

清水敏寛 国士館大学工学部

10:40-11:10 「騒音実験における模型ジェット機の高度測定システムの製作」

蟹沢一樹1, 中谷綾子1, 山本政宏1, 石井達哉2,
生沼秀司2, 長井健一郎2

1 関東学院大学工学部, 2 宇宙航空研究開発機構

11:10-11:40 「電磁界が環境生体系に及ぼす影響」

乾 昭文 国士館大学工学部

13:00-13:30 「ミリ波・サブミリ波生体照射における電磁波の侵入」

立川敏明A, 土井昭孚A, 寺中正人A,

高島 均A, 合田文則A, 渡辺精四郎A,

出原敏孝B, 小川 勇B, 印牧知廣B, 西澤誠治C,
難波経豊D

A香川大学医学部, B福井大学遠赤外領域開発
研究センター,

C日本分光, D香川県立保険医療大学

13:30-14:00 「遠近赤外線による生体計測」

大浦邦彦 国士館大学工学部

14:00-14:30 「ミリ波パッシブイメージングを用いた生体計測」

水野皓司 東北大学電気通信研究所

14:30-15:00 「ミリ波の反射・透過による生体計測」

二川佳央 国立館大学工学部

ミリ波・テラヘルツ波技術は、高度情報化社会を支える無線通信の基盤技術と期待されているだけでなく、様々な利用分野に展開しており、新たな応用分野市場の振興に大きく貢献することが期待されている。特に、新しい生体計測の発展に対するキーテクノロジとなり得る。このような目的で協賛した「ミリ波技術を用いたシステムの高機能化とその展開」研究会のプログラムを以下に示す。

<共催研究会>

電気学会調査専門委員会

「ミリ波技術を用いたシステムの高機能化とその展開」

第11回調査専門委員会・公開研究会

委員長 荒木純道（東京工業大学）

共催：東北大学電気通信研究所共同プロジェクト

研究「ミリ波・テラヘルツ波を用いた生体計測」

日時：2005年3月12日（土）13:30～16:30

場所：東北大学 電気通信研究所ナノ・スピニ
4階カンファレンスルーム

<プログラム>

研究会テーマ：ミリ波・マイクロ波における
MEMS技術の現状と展望

調査専門委員会委員長挨拶：

荒木純道（東京工業大）

公開研究会講演

RF-MEMSへの期待

水野皓司 東北大学電気通信研究所

ミリ波用容量型MEMSスイッチ

小林真司（株）村田製作所

MEMS技術による60 GHz帯小型高効率フロント
エンドモジュール

寒川 潮 松下電器産業（株）

Ohmic-contact型RF-MEMSスイッチの開発

積 知範 オムロン（株）

集積化RF-MEMSデバイス

西野 有 三菱電機（株）

次期調査専門委員会委員長挨拶：

橋本 修（青山学院大）

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本プロジェクトから多くの提案が生まれ、また具体化した実験検討を行うことで以下のような成果が得られている。

3-1-1. ミリ波パッシブイメージングによる生体計測

ミリ波イメージングアレイ素子を用いたミリ波パッシブイメージングに関する新しい画像が示され、ミリ波を用いた生体計測、診断に対する新分野の開拓の方向性が示唆された。

3-1-2. ミリ波・サブミリ波生体照射技術

ミリ波・サブミリ波の生体照射を用いると従来のレーザメスでは難しいとされていた止血効果が非常に高い新しいメスを開発できる可能性を有している。ミリ波・サブミリ波の高出力装置が比較的入手しやすくなり、このような技術が身近に用いることができるようになった。ミリ波・サブミリ波による計測技術と併せて、高出力照射による新しい治療の可能性が示された。

3-1-3. 遠近赤外線による生体計測

遠赤外レーザを用いて脳からの反射光測定により、酸化・還元ヘモグロビンの脳内分布を測定して、脳活動変化の計測実験を行った。脳内ヘモグロビン量の時系列データの動き、データの相関に関して、特異値分解法・多次元ARモデルを作成し、人間の「慣れ」に焦点を当て、慣れによって脳活動がどのように変化するか検討した。その結果、慣れにより酸化ヘモグロビンの脳内変動が減少することがわかり、慣れによる脳代謝の定量的評価への指針が示された。

3-1-4. ミリ波の反射・透過による生体計測

生体組織の特性に関してミリ波に対して評価した結果、その複素誘電率が組織により大きく異なることが判明した。これにより様々な計測、診断が生体ミリ波特性の取得によって可能となることが明らかとなってきた。たとえば、血糖値の計測に関してミリ波領域で血液の複素誘電率の糖濃度依存性が大きいことからミリ波の反射データから血糖値計測が非侵襲的に行えることが可能であることが示された。また、生体の病巣、例えば歯牙う触等の複素誘電率特性が正常組織に対して大きく変化することから、それらの診断がミリ波によって容易に実現できることが示された。

3-1-5. ミリ波関連技術

脳波診断とそのスペクトル解析、時系列データ解析から様々な疾病診断が可能であることが示唆

された。またミリ波・テラヘルツ波を含む幅広い周波数スペクトラムの電磁波が植物に与える影響に関して興味深い検討がなされた。将来的にミリ波・テラヘルツ波に転用可能な電磁波を用いた、リモートセンシング技術の検討に関しても今後の応用が期待されている。

(3-2) 波及効果と発展性など

ミリ波・テラヘルツ波の利用により、非侵襲的で高精度な生体計測、診断が可能となるだけでなく、最新の高出力デバイスの利用により各種疾病治療も可能となる。生体計測にミリ波・テラヘルツ波を用いると、赤外線に比べより組織深部の情報を、またマイクロ波に比べてより空間分解能の高い情報を得ることができる。また、生体組織が、ミリ波・テラヘルツ波領域に特有の吸収・放射スペクトルを有している可能性もあり、これらの特性を利用することで更に新しい診断の可能性が示唆される。

本プロジェクトでは、ミリ波・テラヘルツ波を用いた新しい生体計測、診断技術に関する検討、開発を行うと共にこれら技術がより高度に実現できるためのミリ波・テラヘルツ波デバイスの開発技術に関する討論を行う場を提供することを目的とした。

ミリ波・テラヘルツ波の生体に対する反射情報には生体内部の情報が含まれている。これらの反射情報の解析により、血糖値や血中酸素濃度等の生体情報の非侵襲測定が実現する可能性があり診断技術の画期的な進歩を担う技術となりうる。また、ミリ波・テラヘルツ波は透過性が高く、これらの放射スペクトルは着衣のまま測定可能なため簡易に応用できるというメリットがあり、人と環境を調和させた情報システムの中核になる技術と考えられる。

本プロジェクトは単年度のものであったが、さらにこのテーマに関する検討を深く進めるために、平成18年度には、本プロジェクトをさらに進めた新たな共同プロジェクト研究会を立ち上げる予定である。

[4] 成果資料

本研究プロジェクト研究発表会において配布された資料を添付する。尚、関連論文リストを以下に示す。

- (1) H. Matono, Y. Wagatsuma, H. Warashina, M-S Son, S. Miyanaga and K. Mizuno, "Development of a Compact Passive Millimeter-wave Imager", Proc. MINT-MIS 2005/TSMMW 2005, Seoul, Korea, February 2005.
- (2) K. Mizuno, H. Matono, Y. Wagatsuma, H. Warashina, H. Sato, S. Miyanaga, and Y. Yamanaka, "New Applications of Millimeter-Wave Incoherent Imaging (Invited)", 2005 IEEE MTT-S Int'l Microwave Symposium, Long Beach, CA, June 2005 (Accepted and to be presented).
- (3) Yoshio Nikawa, "Dental Diagnosis and Treatment Using Microwaves", 2004 IEEE MTT-S International Symposium Digest, June, 2004.
- (4) Jun Ono and Yoshio Nikawa, "Study on a Frequency Selective Surface for Rapid Heating", Proceedings of the International Symposium on Microwave Effects and Its Application, pp. 233-235, July, 2004.
- (5) Takayuki Ito and Yoshio Nikawa, "Measurement of Dielectric Constant in the Microwave Region for a Dielectric Thin Film", Proceedings of the International Symposium on Microwave Effects and Its Application, pp. 239-241, July, 2004.
- (6) Yong Guan, Fumiaki Okada and Yoshio Nikawa, "Development of Equipment to Measure Temperature Dependability of Permittivity of Material in Microwaves", Proceedings of the International Symposium on Microwave Effects and Its Application, pp. 236-238, July, 2004.
- (7) Tetsuyuki Michiyama and Yoshio Nikawa, "Study on Dielectric Heating for SAR Localization Using Multi-Electrodes", Proceedings of the International Symposium on Microwave Effects and Its Application, pp.352-355, July, 2004.
- (8) Takayuki Mogi, Young Guan and Yoshio Nikawa, "Study on a Device for Measuring Blood Sugar Level Using Millimeter Waves", Proceedings of the International Symposium on Microwave Effects and Its Application, pp.355-357, July, 2004.
- (9) Nobuyuki Kikkukawa, Yoshiaki Kintaichi, Toshihito Kamei, Yoshio Nikawa, Masaaki Haneda, Yoshinobu Nagano, Satoru Kobayashi and Hideaki Hamada, "Direct Decomposition of NO Over Microwave-Assisted Cu-ZSM-5 Catalyst", Proceedings of the International Symposium on Microwave Effects and Its Application, pp.503-505, July, 2004.
- (10) 二川佳央, "ミリ波を用いた血糖値計測法", 光学, Vol. 33, No. 7, pp.401-403, 2004.
- (11) 山田, 久保田, 乾, 川口:「Daubechiesウェーブレット変換による気中部分放電の高感度検出」, 電気学会論文誌B, 124, No.12, pp1513-1519(2004-12).

課題番号 H16/A06

スピニ機能デバイス創成のためのナノ材料設計

[1] 組織

代表者：草部 浩一
(大阪大学大学院基礎工学研究科)

対応者：白井正文
(東北大学電気通信研究所)

分担者：鈴木 直 (大阪大学大学院基礎工学研究科)
下司雅章 (大阪大学大学院基礎工学研究科)

研究費：校費 0 円，旅費26万 6 千円

[2] 研究経過

希薄磁性半導体や閃亜鉛鉱型ハーフメタル強磁性体に、スピントロニクス材料としての期待が高まっている。これらの材料には、CrAsやCrSbのように理論設計に基づいて材料開発が行われた例がある。本プロジェクトでは、第一原理的電子状態計算を活用することで、TMRデバイスやMRAM構造における信頼性を改善するために、物質設計の立場から一群の閃亜鉛鉱型-新ハーフメタル材料の提案と物性値の予測を行うことを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。TMRデバイスなど半導体デバイスと混在して用いる磁性材料には、基盤半導体材料との整合性に加えて、磁性金属元素による他のデバイス構造の汚染の低減も信頼性向上に繋がる。そこで、半導体プロセスの改善に繋がる方法として遷移金属を含まない元素からなる物質系によるハーフメタルやハーフセミコンダクターの設計を行った。物質スクリーニングにより、遷移金属元素を含まない閃亜鉛鉱型物質系におけるハーフメタル強磁性状態の存在をつきとめた。非磁性元素による強磁性物質の設計であるため、実験的な磁性発現の検証が容易である。また、半導体構造上に作成した場合には、80%以上のドーピング率でのみ磁性の発現が起こると予測した。低ドープ域では非磁性であり、半導体素子形成プロセスにおいて必要とされるドーピングを行っても、他のデバイス部分への影響を抑えられる。本研究では、この新しいハーフメタルやハーフセミコンダクターの基礎物性を1) 安定構造の特定、2) 電子状態、スピニ偏極率などの基礎物理定数、3) 化合物半導体との超格子構造

における電子状態の理論評価を通して研究した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

共同研究の一環として以下の研究会を実施した。
平成16年度通研共同プロジェクト研究「スピニ機能デバイス創成のためのナノ材料設計」研究会

日時：平成16年8月26日（木）13:30－17:00

8月27日（金）9:00－16:00

会場：東北大学電気通信研究所2号館W214号室

発表題目（担当者）：「平坦バンド強磁性と炭素材料及びアルカリ土類アニオニクタイトの磁性」(草部浩一、樋口由亮), 「新型強磁性物質の理論設計」(下司雅章), 「GaAs基板上の閃亜鉛鉱型CrAsのエピタキシャル成長の第一原理的研究」(向瀬紀一郎), 「IV族半導体ベース希薄磁性半導体の第一原理計算」(三浦良雄), 「シリコンと整合性の良い強磁性物質の理論設計」(下司雅章, 塚本秀一), 「ハーフメタル/GaAs界面の電子状態及びその面方位依存性」(長尾和多加)「Static and Dynamic Transport Properties of Kondo Lattice Models with Spin Coupling」(小笠原章), 「リング構造分子モデルにおけるスイッチ機能」(楠野順弘), 「微小円環磁性体Mn₆R₆の磁気特性」(殿岡俊), 「ピーポッドの力学的特性に与える内包フラーの影響」(小野裕己), 「ナノチューブ/量子ドット/ナノチューブ接合系の電気伝導特性」(太田岳志, 草部浩一), 「固体ヨウ素の圧力誘起超伝導」(長柄一誠), 第一原理計算による固体酸素高圧相の磁性の予測」(加賀山聖司, 下司雅章, 長柄一誠, 草部浩一), 「拡張されたパリネロ・ラーマン法による高圧相転移探索」(石河孝洋, 草部浩一), 「混合基底展開法による新しい第一原理電子状態計算の試み」(高橋均成, 草部浩一), 「Electronic surface states on hexagonal boron nitride」(白石康司, 草部浩一), 「ペロブスカイト型強誘電体の全エネルギー表面の谷底線」(西松毅)

また、同研究会に合わせて研究打ち合わせを実施し、スピニ機能デバイス創成のためのナノ材料設計に関する理論手法の検討、物質探索範囲の検討、表面・界面構造の形成方法と伝導特性に関する理論検討を行い、本研究プロジェクトの格段の進展を図った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第一に、閃亜鉛鉱型アルカリ土類pnictaideを出発物質とした物質探索を行い、歪み閃亜鉛鉱型構造をもつCaP, SrP, SrAsにおいてハーフメタル状態の発生があることを第一原理電子状態計算から確認した。CaAsにおいてはc/a比が小さくなる歪みを基板選択によって導入すると同じくハーフメタル状態が得られる。SrSbにおいてはハーフメタル性は失われるものの強磁性状態が発現する。これらの強磁性の起源に関しては閃亜鉛鉱型CaAsに典型的に見られる完全スピン偏極した平坦バンドによるものと考えられる場合がある。このp電子系における平坦バンド機構に基づく強磁性発現は、有機化合物における幾つかの例を除くと、これまで明白な第一原理計算による報告例はない。この機構では、pnictaide上のp軌道がアルカリ土類金属上のd軌道等と混成することが本質的である。化合物半導体中にアルカリ土類金属をドープした場合には、高いドーピング濃度において始めて強磁性が発生する。一群のアルカリ土類pnictaideにおいて強磁性金属状態が見つかっていることから、基板選択により幅広い応用の可能性が期待できる。

第二に、第一の結果からの展開として、閃亜鉛鉱型構造以外に探索範囲を広げた。その結果、アルカリ土類窒化物におけるハーフメタル強磁性の出現が岩塩構造やCsCl構造を含め、この系の最安定構造において強磁性発現が予測されるという知見を得た。これは、遷移金属を全く含まないp電子系を用いたナノ磁性材料設計により、種々の化合物半導体と整合成長する可能性が高い構造の理論的発見と言える。特にアルカリ土類金属と窒素の化合物における磁性材料発見であるため、本プロジェクトは環境に低負荷でかつ高い信頼性をもつデバイス設計へつながる、大きな発展をもたらす可能性が高い。

第三に、化合物半導体上への閃亜鉛鉱型ハーフメタル材料の形成による超格子デバイス構造の理解をさらに深めることで本プロジェクトの研究の進展を図るために、CrAs/GaAs接合界面形成に関する分子動力学シミュレーションを行い、Crの安定吸着サイトの同定と結晶成長モデルの推定を行った。加えて、CrAs/GaAs超格子のショットキー障壁の推定を全電子計算により実施した。

第四に、環境親和性の高いスピン機能デバイス創成へ向けた有機系探索と、有機物デバイス構造評価法の両面からの研究を開拓した。ダイヤモ

ド表面上に形成したナノグラファイト素片は、ハーフセミコンダクターとなり、ドープすることでダイヤモンド・スピントロニクスデバイスの構成要素となりえる。このナノ炭素磁性体の設計を端や欠陥を含む炭素ナノチューブの磁性付与方法に拡張した。

さらに、局在スピン系と結合する伝導電子系をもつ系における電子相関効果による伝導特性の検討を行った。その結果、磁場の増加により非単調な振る舞いをする磁気抵抗効果の存在を突き止め、この効果の利用による磁気抵抗素子の提案を行った。

分子デバイスの構築に向けて、分子接合における化学反応によりスイッチする接合構造モデルの提案と、その伝導特性解析を行った。この分子接合におけるキーマテリアルと見なされるフーレン内包ナノチューブの力学特性を評価し、振動モード励起によって動作するスイッチ構造の提案を行った。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトの研究をもとにして、研究者ネットワークの拡大を図った。アルカリ土類pnictaideにおける磁性の可能性は西欧の理論グループから着目され、イギリスのダスベリー研究所、エジンバラ大学において研究討論を実施した。ゆがみ磁性超格子とその基礎物性の理解を磁気弾性効果から検討するために、阪大基礎工荻助教授らとの共同研究を開始した。ナノグラファイトの磁性については、東工大榎教授らとの共同研究を進展させ、STM観測結果に関する理論検討を実施した。分子デバイスについては、産総研川本博士らとの共同研究をさらに実現性の高い錯体構造に広げ、またナノチューブ・デバイス構造については東北大岩佐教授らとの検討を踏まえて物性研杉野助教授らとの共同研究を開始した。若手研究者の育成の点では、平成17年3月期にプロジェクトに参加した博士研究員2名を大学・企業での研究開発現場に送り出した。

本プロジェクトは、学外研究者との交流が飛躍的に活性化し、以下の幾つかの研究プロジェクトの契機となった。

平成17年度通研共同プロジェクト研究（プロジェクト研究会）「次世代ナノ・エレクトロニクスのための光・スピン・電荷制御の理論」（代表：草部浩一、採択）

平成17年度発足科研費特定領域計画研究「密度汎関数法に基づく新しい有効多電子理論の開発」（代表：鈴木直、採択）

平成17年度発足科研費特定領域計画研究「機能性カーボンナノチューブ・デバイスのデザイン」
(代表:草部浩一, 申請中)

[4] 成果資料

- (1) M. Geshi, M. Shirai, K. Kusakabe and N. Suzuki, "First principles calculations of half-metallic zinc-blende type superlattices", Computational Materials Science, in press.
- (2) Shun Tonooka, Hiroki Nakano, Koichi Kusakabe, Naoshi Suzuki, "Size dependence of the magnetic properties in ferrimagnetic rings Mn_xR_x ($x=2-8$)", Polyhedron, in press.
- (3) A. Ogasahara and K. Kusakabe, "Static and Dynamic Transport Properties of Kondo Lattice Models", Journal of Applied Physics, in press.
- (4) A. Ogasahara and K. Kusakabe, "Numerical Study on Electrical Conductivity of Spin-Fermion Models", Physica B, in press.
- (5) N. Kusuno, T. Kawamoto, K. Kusakabe and N. Suzuki, "A model of a switching molecular junction with a ring-shaped molecule", Journal of Physical Society of Japan, 74, 686-689 (2005).
- (6) Y. Ono, K. Kusakabe and N. Suzuki, "The Effect of Encapsulated Fullerene on Dynamical Properties of a Peapod", Journal of Physical Society of Japan, 74, 626-630 (2005).
- (7) K. Mukose, K. Kusakabe and N. Suzuki, "First-Principles Study of Epitaxial Growth of Zinc-Blende CrAs on GaAs Substrates", Proceedings of the 2004 MRS Fall Meeting (2004).
- (8) A. Ogasahara and K. Kusakabe, "Numerical study of electrical conductivity of low-dimensional Kondo lattice model", Journal of Physics: Condensed Matter, 16, S5777- S5781 (2004).
- (9) Y. Higuchi, K. Kusakabe, N. Suzuki, S. Tsuneyuki, J. Yamauchi, K. Akagi and Y. Yoshimoto, "Nanotube-based molecular magnets with spin-polarized edge states", Journal of Physics: Condensed Matter, 16, S5689- S5692 (2004).
- (10) K. Kusakabe, M. Geshi, H. Tsukamoto and N. Suzuki, "New Half-Metallic Materials with an Alkaline Earth Element", Journal of Physics: Condensed Matter, 16, S5639- S5644 (2004).
- (11) Koichi Kusakabe, Yusuke Higuchi, Takeshi Ota and Naoshi Suzuki, "Computational design of magnetic nanotubes and magnetic nanographite: Possible application for spintronics", Proceedings of 9APPC (Globe Publishing House, Vietnam) (2004).
- (12) M. Geshi, K. Kusakabe, and N. Suzuki, "A new ferromagnetic material excluding transition metals: CaAs in a distorted zinc-blende structure", The Proceedings of the 27th International Conference on the Physics of Semiconductors (AIP Press) (2004).
- (13) K. Kusakabe, and N. Suzuki, "A graphite-diamond hybrid structure as a half-metallic nano wire", The Proceedings of the 27th International Conference on the Physics of Semiconductors (AIP Press) (2004).

課題番号 H16/A07

次世代ネットワークアプリケーションのための 技術基盤の創成

[1] 組織

代表者：坂田 真人

(秋田大学工学資源学部電気電子工学科)

対応教員：岩谷 幸雄（東北大学電気通信研究所）

分担者：

白鳥 則夫, 鈴木 陽一, 菅沼 拓夫（東北大学電気通信研究所）, 木下 哲男, 今野 将（東北大情報シナジーセンター）, 菅原 研次, 原 英樹（千葉工業大学情報ネットワーク学科）, 藤田 茂（千葉工業大学情報工学科）, 玉本 英夫, 五十嵐 隆治, 横山 洋之, 高橋 秋典, 藤原 克哉（秋田大学工学資源学部情報工学科）, 小原 仁（秋田大学工学資源学部電気電子工学科）

研究費：校費48万3千円 旅費72万5千円

[2] 研究経過

ネットワークの高速ブロードバンド化及びパソコン用コンピュータの高性能化に伴い、従来型のネットワークアプリケーションは、概ねストレスを感じることなく通信できるような状況にある。逆に言えば、現在のネットワークアプリケーションは、インフラストラクチャとしての高速ネットワークに追いついていないとも言え、今後予測されるテラビット級のネットワークスループットを勘案すると、高速ブロードバンドを十分に活用できる超高品质、超高臨場感型の次世代ネットワークアプリケーションの創成が望まれている。

本研究では、上記のようなネットワークアプリケーションの創成のため、

- (1) 高速ブロードバンドトラヒック解析技術
- (2) 高臨場感通信のための複合現実感型視聴覚情報処理技術
- (3) マルチエージェント型次世代アプリケーションの基盤技術

などの要素技術の研究を推進する。

本プロジェクトは本年度新規に採択された課題である。研究責任者らが所属する秋田大学と東北大学ではインターネットへのアクセス環境が異なる。そこで、秋田大学と東北大学それぞれの場の様相の比較調査、相互間の動作試験及び研究討議のために東北大学を訪問した。さらに、17年2

月28日に東北大学と秋田大学のネットワーク関係の大学院学生諸君を主体とする研究発表並びに討論会を開催した。東北大学側7件、秋田大学側6件の研究発表があった。発表内容はネットワーク関係の多岐な分野にわたるものであったが、密度の濃い討論の場となった。

[3] 成果

[3-1] 研究成果

来るべきテラビット級ネットワークを十分に活用するための基盤技術の研究・開発を推進する本研究においては、萌芽的なものから本格的なプロジェクト研究まで多様である。以下にそれぞれの研究の状況と成果の概観を述べる。

(1) 高速ブロードバンドトラヒック解析技術

(1-1) ネットワークトラヒック特性

定常時及び異常時のネットワークトラヒック特性の統計的解析を行っている。サブネットにおける長時間、即ち1年間にわたるトラヒック計測が行われた。このデータに基づき、数秒間、数分、数時間、1日あるいは1週間とそれぞれ注目する解析区間を設定し、ネットワークトラヒックの変動、つまり、短期的変動、自己相似性による長期的変動、そして周期的変動を調査している。それぞれのデータの解析・分析において、従来の解析方法がどのような特性抽出能力を持ち、またどのような限界を持つかを明らかにし、新たな解析法の開発を手がけている。現在はひとつのサブネットに限られているが、解析方法の適用範囲を広げ、今後、超高速ネットワーク及び将来のアプリケーションへの変遷に伴うトラヒック特性の変化を解明する課題へと発展させてゆくことが想定される。

(1-2) 超高速光ネットワークの構成法の研究

現在、波長多重を用いた高速光ネットワーク技術が採用されるようになり、これに対応できる高速なスイッチング技術の開発が重要な課題となっている。つまり、従来のパケットスイッチングは超高速ネットワークの場では性能に限界がある。そこで、ネットワークのリンク構成と波長割り当て法を組み合わせた新たなネット構成が提案されている。1本のファイバに多数の伝送路がとれるとい

う要件はネットワークトポジーに斬新な発想を持ち込むことが可能と思われる。このネットワーク構成はトラヒックの様相に密接に関連するので、全国規模、地域規模、市内規模とそれぞれの環境に適応したシミュレーションモデルでの評価実験が行われている。この結果、それぞれの規模に適応した新たなスイッチング方式とネットワーク構成が発見されることが期待される。

(1-3) TCPの輻輳制御

光通信などの広域ネットワークのトランスポート層はコネクション型のTCPのトラヒックが多数を占めている。それぞれのコネクション内の通信容量が増加すると現在のウインドウ制御方式ではネットの輻輳状態に追従できなくなり、未使用帯域があるにも関わらず、使える通信容量が著しく抑制される。この問題を解消するひとつの方法として、輻輳予知の検出に基づくウインドウ制御方式が提案され、シミュレーションモデルによる評価が行われた。今後、実システム環境への適用が試みられるであろう。

(2) 臨場感通信のための複合現実感型視聴覚情報処理技術

(2-1) 実世界・仮想世界双方を包含した複合現実感通信

複合現実感通信の実現が期待される段階にきていた。この研究を一步進めるべく、複合現実感型音場再生シミュータの構築が進行している。このシミュレータはある音場を時間的・空間的に異なる場所で再生する際、複雑な音響現象をもらさず、精密に再現することができる実験環境を構築するもので、壁面の多数のマイクロホンを設置したRecoding Roomと各々のマイクロホンに対応する場所にスピーカを設置したReproduction Roomから構成されている。この実験環境の整備は新たな研究を誘発するものと期待している。

(2-2) 複合現実感通信デバイスの開発

人にやさしいデバイスの開発が、臨場感通信が受け入れられるかとうかの鍵である。これまで、東北大学と秋田大学のグループが共同で開発したLADOMiの特性評価とその改良が図られている。LADOMiは耳介開放型のデバイスでPDR特性に利点を持ち、自然な聴取環境で音場再生が可能となる利点がある。LADOMiとHDA200(ヘッドホン)の2種類について、音像定位方向精度、前後誤判断、頭内定位、音像定位距離精度のそれぞれの検討項目に対してLADOMiがHDA200に較べて、良好または有為な差が無いとの結果が得られ、その実用化が望まれる。

(2-3) あいまい情報量をもちいた画像符号化の検討

本研究で提案する画像符号化は原画像の各画素における濃度値の範囲、つまり上限と下限のデータを保持する。符号化に際しては、この範囲データを対象に取り扱う手法であり、提案方法は従来の符号化技法にはない全く新しいものである。濃淡画像ならば、各要素が上限と下限の値をもつ拡大行列として数学的に表現できる。この拡大行列情報を拡大画像データと呼ぶ。画像のオブジェクトあるいは領域に注目して、原画像の拡大画像データを単純かつ基本的な拡大画像データの積に分解する方法を採用する。画像を復元する再生過程では、上下限情報から復元画像を得ることになる。多数の候補が現れ、原理的にはどれを選択してもよい。実際には、濃度値ができるだけ滑らかに変化する画像などと最終的な復元画像を再生する。対象画像は、濃淡画像、カラーの自然画像、イラスト画像、そして動画像である。それぞれの画像に適用したときの圧縮率や品質などを評価している。

(3) マルチエージェントシステム構築環境の整備

(3-1) マルチエージェント開発環境の開発

エージェント及びエージェントシステムの研究は実環境への適用が検討される段階にきていた。それぞれ異なる問題に適用するには、その方法論と開発支援環境の整備から着手せねばならない。この立場から、エージェントシステム開発環境IDEAが提案され、再利用性、インタラクティブ性を特徴とするエージェントシステムの構成法が提起され、その効率向上と円滑化の研究が進行している。

(3-2) やわらかいQoS制御に基づく次世代ネットワークアプリケーションの試作

能動的情報資源を活用するアプリケーションが提案され、その効果の検証が行われている。分散環境上の情報資源を利用する際の煩雑な作業を情報資源側で代行させ、情報資源自体に能動性・自立性を付与したエージェント化を図るものである。このアプローチをネットワーク管理・運用に適用するAIR-NMSの研究が行われている。ひとつの研究は、ネットワーク監視に際してのアラームベース駆動に自立的な状態監視機構を付与するものである。実装といふとかの評価実験が行われ、その有効性が検証された。今後、実運用システムでの評価実験が望まれる。もう一つの研究は、ネットワークを用いた情報共有や業務の一般化が進み、セキュリティや経済性からネットワークの物理構

造と論理構造が大きく異なるものが出現してきている。このようなネットワークを物理的側面と論理的側面を併せ持つネットワーク管理にAIRの手法が有効であるとの検討に基づき、その実装と評価の計画が紹介された。

[3-2] 波及効果と発展など

ネットワークはその利用の多様化に伴って超高速なものへと変貌しつつある。このような変化に対応できるネットワークへの発展のために、いろいろな角度からの検討や試みが必要である。ネットワークトラヒックの特性解析、スイッチング機構の研究開発など、そのハード的な構成技術の見直しと再構築が求められる。一方、新たな応用の模索、知能や感性を組み込んだシステムへの発展が特に期待される。本プロジェクトで挙げた種々の研究課題は現時点では相互の関連が薄いようくみえるが、21世紀の次世代ネットワークにおいてそれぞれが一翼を担って組込まれるものと考えられる。今後、応用に密着した研究への取り組みと、人的な広がりをもつプロジェクトに発展させていく予定である。特に、若手研究者の育成のためには、若手研究者相互が密に議論できる場を提供していくことの研究報告会の成果から実感できた。

[4] 研究成果

1. 今野 将, 吉村 智志, 羽鳥 秀明, 岩谷 幸雄, 阿部 亨, 木下 哲男, 能動化された状態情報に基づくネットワーク管理支援方式 情報処理学会論文誌, (採録決定)
2. 羽鳥 秀明, 今野 将, 岩谷 幸雄, 阿部 亨, 木下 哲男, AIR-NMSにおけるネットワーク運用・管理知識の管理手法,FIT2004情報技術レターズ,91--93,2004
3. 渋谷亮輔, 石田泰久, 岩谷幸雄, 坂田真人, 鈴木陽一, 小型平面スピーカを用いた複合現実感聴覚ディスプレイの開発,FIT2004情報技術レターズ,285--286,2004
4. 増田有悟, 五十嵐隆治, 高橋秋典, 玉本英夫, 横山洋之, 藤原克哉, 岩谷幸雄, 分散一時間法, ペリオドグラム法におけるハーストパラメータ導出範囲の検討, 平成16年度 電気関係学会東北支部連合大会
5. 今野 将, 羽鳥 秀明, 岩谷 幸雄, 阿部 亨, 木下 哲男, 能動的情報資源を用いたネットワーク管理支援システムの設計と試作, 情処学DSM研報, 2004-DSM-35, pp.13—18, September 2004
6. 五十嵐 隆治, ハーストパラメータとネットワークトラヒック量変化との相関, 平成16年度第3回(通算第35回)分散システム／インターネット運用技術研究会
7. 渋谷亮輔, 石田泰久, 岩谷幸雄, 坂田真人, 鈴木陽一, 耳介開放型聴覚ディスプレイに関する検討, 日本音響学会, 聴覚研究会, H-2004-100, pp.573-576 (2004年, 10月)
8. 吉村 智志, 今野 将, 岩谷 幸雄, 阿部 亨, 木下 哲男, AIR-NMSにおける状態情報エージェントの設計, 2004年第3回情報科学技術フォーラム講演論文集, pp.269--270 (F-025), September 2004
9. 今野 将, 羽鳥 秀明, 吉村 智志, 岩谷 幸雄, 阿部 亨, 木下 哲男, 能動的情報資源を用いた知識型ネットワーク管理支援機構の設計と試作, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム2004講演論文集, pp.165—172, October 2004
10. 吉村 智志, 今野 将, 岩谷 幸雄, 阿部 亨, 木下 哲男, AIR-NMSによる状態情報エージェントの設計, 信学技報, NS2004-90, pp.27—30, September 2004
11. 打矢隆弘, 前村貴秀, 菅原研次, 木下哲男, “エージェントシステムのインタラクティブ開発環境”, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム2004講演論文集, pp.447-454, 2004年10月27日
12. 打矢隆弘, 前村貴秀, 阿部亨, 菅原研次, 木下 哲男, “エージェントシステム開発におけるインタラクティブ設計法とその支援環境”, 2004年マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, Vol.2004, No.15, pp.71-76 (2004年12月1日)
13. 高橋雅弘, 佐々木孝仁, 小原仁, 坂田真人, “小規模LANにおけるフレーム送出特性” 情報処理学会研究報告,2004-DSM-35 (2004年9月)
14. H. Obara, and M. Sakata “Novel design of bidirectional WDM add/drop ring networks resilient to coherent Rayleigh backscattering noise,”, Proceedings of Opt-Electronic Communications Conference (OECC/COIN), Yokohama, 2004
15. H. Obara and M. Sakata, “Design concept of bidirectional WDM add/drop networks with improved reconfigurability,”, Proceedings of Asia Pacific Communications Conference (APCC), pp.617-621, Beijing, 2004

課題番号 H16/A08

情報システムの遠隔評価環境に関する研究

[1] 組織

代表者：今宮 淳美

(山梨大学大学院医学工学総合研究部)

対応者：菅沼 拓夫

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

白鳥 則郎 (東北大学電気通信研究所)

北形 元 (東北大学電気通信研究所)

郷 健太郎 (山梨大学総合情報処理センター)

カクミサグレイス (山梨大学大学院医学工学総合
研究部)

小俣 昌樹 (山梨大学工学部)

研究費：校費43万5千円、旅費38万9千円

[2] 研究経過

現在の社会生活は、コンピュータネットワークによって接続された多数の情報システムによって支えられている。現在の情報システムは「1人のユーザが1つのシステムを使う」という従来型の利用形態ではなく、「情報ネットワークを介して多数のユーザが複合的なシステムを使う」という形態に変化している。このような状況で人間と環境との調和を目指して情報システムを設計する場合、対象システムのユーザビリティを系統的に評価することは極めて困難である。

本研究の目的は、情報システムの遠隔評価環境をネットワーク上に構築することにある。具体的には、人間のもつ多様なモダリティ（視線、触覚、音声など）に基づいて、対象システムの使いやすさを評価するシステムを開発する。対象としているシステムが情報ネットワーク型の複合システムであるため、遠隔地からネットワークを利用して評価データを取得する。このような遠隔評価環境の構築に付随し、評価に有効なデータの特徴を明確化する。

平成16年度は、本プロジェクトの初年度である。この初年度では、上記目的の達成へ向けてプロジェクト全体の方向性の明確化と基本要素技術の確立を中心に、研究活動を展開した。

具体的な活動方法として、研究組織を以下の2グループに分けて研究を実施した。

①マルチモーダル情報獲得システム構築グループ (山梨大学)

ユーザビリティテストにおける観測・評価者支援システムとして、マルチモーダルデータの個々のモダリティのデータ取得方法およびその特性を明確にする研究を行った。

②ネットワーク管理機能実現グループ (東北大学 電気通信研究所+山梨大学) :

「やわらかいビデオ会議システム」を基本機能として、システム使用者の状況や要求に合わせて高速ネットワークを制御するアクティブなネットワークミドルウェアを研究した。

以下、本年度の研究活動状況の概要を記す。

(1) 研究打ち合わせ

- ・ 日 時：平成16年4月22日～4月23日
- ・ 場 所：東北大学電気通信研究所
- ・ 参加者：白鳥則郎（東北大学）、菅沼拓夫（東北大学）、北形元（東北大学）、増田尚則（東北大学）、今宮淳美（山梨大学）、郷健太郎（山梨大学）

・ 打ち合わせ内容：

- ①「やわらかいビデオ会議システム」と「3次元仮想共有空間におけるQoS調整」の現状と評価方法について議論した。
- ②高速ネットワークを利用した遠隔評価環境を実際に稼動する場合に備えて、「次世代ユビキタスネットワークの監視フレームに関する研究」について議論した。

(2) 研究打ち合わせ

- ・ 日 時：平成16年6月18日～6月19日
- ・ 場 所：東北大学電気通信研究所
- ・ 参加者：白鳥則郎（東北大学）、菅沼拓夫（東北大学）、北形元（東北大学）、増田尚則（東北大学）、今宮淳美（山梨大学）

・ 打ち合わせ内容：

- 「やわらかいビデオ会議システム」の視線による評価方法について、関連研究を踏まえ、実験シナリオ、評価指標、および被験者について議論した。

(3) 研究打ち合わせ

- ・日 時：平成16年7月28日～7月29日
- ・場 所：東北大学電気通信研究所
- ・参加者：菅沼拓夫（東北大学），北形元（東北大学），増田尚則（東北大学）今宮淳美（山梨大学）

・打ち合わせ内容：

やわらかいビデオ会議システムの視線データによる評価でのビデオストリームを使った実験について、質問紙による評価結果と瞳孔系の変化について議論した。

(4) 研究会

- ・日 時：平成16年11月5日
- ・場 所：東北大学電気通信研究所
- ・参加者：菅沼拓夫（東北大学），北形元（東北大学），増田尚則（東北大学），高橋秀幸（東北大学），大前良介（東北大学），今宮淳美（山梨大学），郷健太郎（山梨大学），小俣昌樹（山梨大学），藤田雄一（山梨大学）

・研究会発表内容：

- ①Web上でのカテゴリ検索におけるユーザビリティ評価のための視線分析
藤田雄一（山梨大学）
- ②感覚特性に基づいた反力と振動による風の可触化
小俣昌樹（山梨大学）
- ③シナリオに基づく設計のための手法とツール
郷健太郎（山梨大学）
- ④ユビキタス環境におけるコンテクストを考慮したマルチメディア通信システム
高橋秀幸（東北大学）
- ⑤3次元仮想空間のためのQoS制御
大前良介（東北大学）
- ⑥プロジェクトの今後の活動について
今宮淳美（山梨大学）

(5) 研究打ち合わせ

- ・日 時：平成17年3月7日～3月8日
- ・場 所：東北大学電気通信研究所
- ・参加者：菅沼拓夫（東北大学），増田尚則（東北大学），今宮淳美（山梨大学），
- ・打ち合わせ内容：やわらかいビデオ会議システムの視線データによる評価において、圧縮動画を提示刺激としたユーザ評価実験の結果、ある圧縮割合においてユーザ評価に有意差があったという分析結果について議論した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本プロジェクトでは、ネットワーク上に情報システムの遠隔評価環境を構築することを目指している。

初年度である平成16年度は、遠隔評価環境に必要な基盤技術と機能の研究、およびインタフェース技術を定式化する研究を実施した。

そして、以下に示す研究成果を得た。

第1に、ネットワーク上で遠隔評価を行うための基盤技術として、マルチエージェントに基づくエージェント型ミドルウェアによるFN層の実現手法を確立した。また、FN層の有効性を検証するために開発された評価用アプリケーションを用いた実験を通して、この手法の有効性を示した。これは、利用者／アプリケーションレベルでの変動や基盤となるIPネットワークレベルでの変動を自律的に監視・調整・制御するアクティブなネットワークミドルウェアの実現を目指す研究の一部である。

第2に、遠隔評価環境の中でのさまざまなモダリティを使用した評価実験をおこなうために、視線データを用いて、Web上のカテゴリ検索タスクを分析してポータルサイトを評価する実験をおこなった。この結果、Web上のカテゴリ検索のユーザビリティ評価において、固視時間や視線の軌跡が人間の意味処理過程での原因を推定するため有用であることがわかった。

第3に、遠隔評価環境において触覚モダリティを取り入れた評価を行うために、風の流れ場における触覚に関する人間の感覚尺度と物理尺度との関係を明らかにした。そして、風を表現するために、人間にとて理解しやすい触覚刺激の変化量を求めて、風の可触化モデルを提案した。この結果、人が風の流れの表現にふさわしいと感じる触覚表現として、風力を振動の周波数変化で、また、風向を一定の反力で表現できることを明らかにした。

第4に、複数のモダリティを統合するために、注視と発話によるマルチモーダルインタフェースの有効性について実験した。具体的には、発話モダリティと視線モダリティとの両方においてスタンドアロンではあいまいさや誤認識が生じる傾向がある場合における、2つのモダリティを統合したときの認識率の向上について検証した。この結果、複数モダリティの統合によってそれぞれのモダリティの誤認識を互いに修正することができること、および、注視情報は発話の冗長性を取り除くことができる事がわかった。

(3-2) 波及効果と発展性など

情報システムの遠隔評価環境は、今後利用される超高速ネットワークでの協調作業支援システムを評価するシステムとして重要な研究領域であり、今後の発展が期待されている。本プロジェクトで培われたやわらかい情報ネットワークとマルチモーダルユーザインタフェースとの融合領域の研究を発展させて、今後も情報システムの遠隔評価環境に関する研究を継続・発展させる予定である。

[4] 成果資料

- (1) 菅沼, 北形, 白鳥:エージェント型ミドルウェアによるやわらかいネットワーク層の実装と評価; 情報処理レターズ, LF-008, pp.99-101(2004).
- (2) Imai, S., Suganuma, T., Shiratori, N.: Knowledge Circulation Framework for Flexible Multimedia Communication Services; Proceedings of 3rd Joint Agent Workshop & Symposium(JAWS2004), pp.115-122(2004).
- (3) 武田, 打矢, 北形, 菅沼, 白鳥:やわらかいビデオ会議システムにおける効果的なQoS調整戦略を決定するための知識獲得手法; 合同エージェントワークショップ&シンポジウム(JAWS(2004))講演論文集, pp.157-164(2004).
- (4) 武田, 打矢, 北形, 菅沼, 白鳥:マルチメディア通信システムにおける効果的なQoS調整戦略の決定手法; 情報処理学会DPSワークショップ(2004).
- (5) Masuda, H., Imamiya, A., et al.: Effects of Encoding Bit Rates on User Level QoS for Video Streaming; Proceedings of the 9th IASTED International Conference on Internet and Multimedia Systems and Applications, EuroIMSA 2005, accepted for publication.
- (6) Masuda, H., Imamiya, A., et al.: An Analysis of Encoding Bit Rates on Mean Opinion Score and Eye Movements for Video Streaming; Proceedings of the 2nd IADIS International Conference on Applied Computing 2005, accepted for publication.
- (7) Luo, Z. and Imamiya, A.: Do Colors Affect Our Recognition Memory for Haptic Rough Surfaces? Proceedings of the International Workshop on Interactive Visualization and Interaction Technologies, Krokow, Poland, (2004).
- (8) 松井, 郷, 今宮: 忠実度の異なる素材の再利用性を考慮したプロトタイプ構築支援; 電子情報通信学会論文誌, D-I, (2005) (掲載決定).
- (9) Go, K., Carroll, J.M.: The Blind Men and the Elephant: Views of Scenario-Based System Design; ACM interactions, Vol. 11, No. 6, pp. 44-53 (2004).
- (10) Higuchi, Y., Mitsuishi, T., Go, K.: A Methodology and a System for Scenario-Based Instructional Design of Interactive Instruction with Multimedia Educational Materials; Proceedings of the HCI International 2005, (2005)(accepted for publication).
- (11) Zhang, Q., Imamiya, A., Go, K., Mao, X.: Overriding Errors in a Speech and Gaze Multimodal Architecture, Proceedings of the 2004 International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI 2004); pp. 346-348 (2004).
- (12) Go, K., Takamoto, Y., Carroll, J.M.: Designing a Mobile Phone of the Future: Requirements Elicitation using Photo Essays and Scenarios; Proceedings of the 18th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2004), Vol. 2, pp. 475-480 (2004).
- (13) Zhang, Q., Imamiya, A., Go, K., Mao, X.: A Gaze and Speech Multimodal Interface; Proceedings of the 6th International Workshop on Multimedia Network Systems and Applications (MNSA'2004) (2004).
- (14) Zhang, Q., Imamiya, A., Go, K., Mao, X.: Resolving Ambiguities of a Gaze and Speech Interface; Proceedings of the Eye Tracking Research & Applications Symposium 2004, pp. 85-92 (2004).
- (15) 松井, 郷, 今宮: 動画像とスケッチによるプロトタイプ作成支援システム; インタラクション2004論文集, pp. 39-40 (2004).
- (16) 小俣, 石原, Kwok, M. G., 今宮: 感覚特性に基づいた反力と振動による流れ場の可触化, FIT2004 第3回情報科学技術フォーラム情報技術レターズ, pp. 287-290 (2004).
- (17) Kwok, M. G., 土屋, 今宮: 人間の空間記憶特性に基づく略地図生成システム, FIT2004 第3回情報科学技術フォーラム情報技術レターズ, pp. 303-306 (2004).

課題番号 H16/A09

多チャンネルシステムにおける臨場感、広がり感の研究

[1] 組織

代表者：小谷野 進司（パイオニア株式会社
モバイルシステム開発センター）
対応者：鈴木 陽一
(東北大学電気通信研究所)
分担者：山内 慶一（パイオニア株式会社
モバイルシステム開発センター）
三橋 孝（パイオニア株式会社
モバイルシステム開発センター）
太田 佳樹（パイオニア株式会社
モバイルシステム開発センター）
小幡 健作（パイオニア株式会社
モバイルシステム開発センター）

研究費：物件費 431,170円 旅費 203,440円

[2] 研究経過

近年のDVDをはじめとする大容量メディアの普及や、衛星放送などのデジタル放送の普及によりサラウンドサウンドと呼ばれる音声を用いたコンテンツが提供されている。これらの音声は、多チャンネル伝送系を用い、それまでのステレオでは困難であった音場情報を再現することを可能としている。既に、映画音響では長い歴史があり映像とマッチしたサラウンド音声の制作が行われている。近年は、音楽制作にも取り入れられ、多くの作品が提供されているが、未だ経験的な感覚での制作が行われている。

本研究では、人間の感覚、特に再生音から得られる音場の印象、音場の広がり感に注目し、多チャンネル再生システムによる聴覚特性、および評価指標を明らかにすると共に、今後の再生機器や作品制作に応用することを目的とする。

本プロジェクトは、本年度一年間を研究期間とし、対応教官である鈴木教授および同研究室の研究者との討論を行い研究内容、課題等について検討を行った。本年度は2回東北大学電気通信研究所を訪れ、意見交換を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

次の2テーマについて討論、実験を行い課題の

認識、研究の方向性について議論を行った。以下に議論、および成果の概要を記する。

1. 仮想音場再生における課題

地上デジタル放送の開始や、DVDの普及により音声のマルチチャンネルサラウンド再生が一般的になりつつある。しかし、一部のマニア的な層を除き、スピーカを6台配置する5.1チャンネルのシステムを一般的な家庭に設置することは困難を伴い、普及に限界がある。この問題を解決する手法として注目されるのが従来の2チャンネルシステムを利用した仮想音場再生（VRsound）技術である。既に市場では、様々な技術が実用化されており、AV機器や、PC用サウンドカード、ゲーム音声、携帯電話などに利用されている。

しかし、これら従来の技術に於ける課題は、スイートスポットの存在、特定のHRTFの利用やクロストークキャンセルによる音質の変化、効果の個人差、等が存在することである。これらの課題のため、いずれの技術もメインストリームとはなり得ないのが現状である。

これらの課題に対応した最近の研究、知見について討論し、関連技術の今後の方向性、研究分野について意見交換した。その結果、HRTFの個人差に関してはより精密な測定を行い、得られた特性から特徴となる特性を抽出、分類することで解消できる可能性があることや、頭部の動きに連動するシステムを構築することでより自然な音場感を得られる可能性があることを認識できた。

2. 「広さ感」「遠近感」「高さ感」等の音場空間認識における課題

サラウンドサウンドは3D的な空間を表現出来る再生方式であるが、聴覚特性に裏付けられた空間再生技術としては発展途上にある。そのため、作品制作や再生機器の評価に於いて経験値が優先し、体系だった評価法は明確になっていない。建築音響の分野では、音響再生空間を評価するための指標が数多く提案されており利用が進んでいる。しかし、これらの指標は音楽ホールなどの大空間を想定したものであり、一般的なAV再生空間であるリビングルーム等の狭小な空間にそのまま適用で

きるとは限らない。そのため、新たなサラウンド機器の開発を考慮した場合、狭小空間に於ける空間認識や音場の「広さ感」「遠近感」「高さ感」などの知覚に関する知見を必要としてくる。

これらの感覚に対する知見、評価法について議論し、鈴木研究室の多チャンネル再生システムによる実験の可能性について検討および意見交換を行った。

その結果、多チャンネル再生音場での知覚に関する研究はあまり多くはなく、さらに実験を行う必用があること、従来からの知見に加え、視聴覚統合などのマルチモーダルな感覚を考慮することで、より現実感が増すことを認識できた。さらに、鈴木研究室の実験装置については、本研究の目的に利用できる可能性があるため、今後、実験内容の検討と共に利用について協議を行って行くこととした。

3. 成果

仮想音場再生に関しては、東北大学にて計測したHRTFを基に、定位に関する特性を明らかにするため、特徴となる特性を抽出、分類することを試みた。分析したHRTFから2チャンネルスピーカによる再生システムを試作し、定位効果に関する試聴実験を無響室にて実施した。その結果、効果的な定位制御が行える可能性が示唆された。今後、被験者を増やし、制御パラメータの範囲や、実音場での効果などについて研究を継続して行く。

多チャンネル再生による空間イメージの再現に関しては、前記HRTFを用い、建築音響で用いられている指標をスピーカ配置、個数などについて算出し、各条件における数値を比較した。その結果、現在普及しているシステムのスピーカ数でも或る程度の効果を得られることが示唆されたが、スピーカとの距離や実空間における反射の影響を含めた状態での評価を行えるまでに至っていない。そのため、今後は、実空間、あるいは模擬環境での解析、および主観評価実験を実施し、スピーカ数、配置、および再生空間の影響について研究を行い、その特徴となる特性を明らかにして行く。

(3-2) 波及効果と発展性

本年度の研究では具体的な成果を出すに至っていない。しかし、活発な意見交換、実験を通じて、課題を明らかにし、今後の具体的な成果へと結びつける足掛かりを得た。さらに、本プロジェクトを契機として鈴木研究室との繋がりを得、大学の視点とメーカーの視点を融合することで、新たな

音場再生機器の開発へと発展することが期待される。

課題番号 H16/A10

次世代ホットスポットネットワークの研究

[1] 組織

代表者：坪内和夫（東北大学電気通信研究所）
 分担者：松田伸慶（宮城県産業技術総合センター）
 小熊 博（宮城県産業技術総合センター）
 太田晋一（宮城県産業技術総合センター）
 磯田陽次（東北大学電気通信研究所）
 中瀬博之（東北大学電気通信研究所）
 亀田 卓（東北大学電気通信研究所）

[2] 研究経過

【概要】

「いつでも」「どこでも」「誰とでも」「どんな情報でも」、ケーブルを接続することなしにアクセス可能な、ユビキタスネットワークの実現は、第二世代、第三世代の携帯電話技術、並びにiモードに代表される携帯インターネットアクセスと、IEEE802.11a/b/gを中心とした無線LAN技術並びにホットスポットサービス技術により、我々の生活の中で実現されつつある。特に、無線LAN技術のアクセス速度は、2Mbpsから54Mbpsへと発展し、更に802.11nによる実効速度100Mbps超、UWBによる数百Mbpsの実現も視野に入っている。

本研究プロジェクトは、無線LAN技術をベースとして発展するホットスポットネットワークを、サービス・ネットワークシステム・無線通信方式・端末技術・標準化活動の観点から検討を行い、次世代のネットワークのアーキテクチャを確立することを目的とする。

【研究内容】

- ・無線LANホットスポットを用いたアミューズメントホットスポットシステムの基礎検討
 IEEE802.11無線LAN技術を用いたホットスポットフィールドと、ワイドエリア通信技術によるフィールドを用い、アプリケーションによる無線システムへの要求を明らかにするとともに、そのボトルネックを明確化する。システム間ローミングなど、ユビキタスネットワークを実現するためのキーテクノロジに関して実測調査を行い、課題を明らかにする。

・端末技術

今後の無線LAN端末に必須となる超小型アンテナに焦点をあて、三次元電磁界シミュレータにより特性を予測にするとともに、電波暗室を用いた指向性実測により、最適な小型アンテナの構造を明らかにする。

[3] 成果

- ・実証実験として、WLAN用超小型アンテナの特性試験を行い、独自に設計・試作したアンテナの特性と今後の技術的課題を明らかにした。（平成17年3月電子情報通信学会全国大会にて発表）
- ・WLANを用いたアミューズメントホットスポットシステムの基礎検討と、システム設計を行い、WLAN及びバックボーンネットワークに必要な技術課題を明らかにした。平成16年10月に開催された、片平まつりにて、IEEE802.11 bを用いたホットスポットフィールドを構築し、テレビ電話、ワイヤレスIPフォン、多人数参加可能なゲームなどのサービスを実装し、運用テストを行った。
- ・IEEE802.11標準化委員会より得られたドキュメントから、次世代無線LAN技術の動向を把握し、システムローミングの重要性を確認した。

【対外発表】

藤木裕介・中山英太（東北大）・小熊 博（宮城県産業技術総合センター）・亀田 卓・中瀬博之・磯田陽次・坪内和夫（東北大）“5GHz帯メアンダラインアンテナ”，2005年電子情報通信学会総合大会，B-1-121

課題番号 H16/A11

ナノスケール積層ジョセフソン接合の ボルテックスダイナミクスとその高周波応用

[1] 組織

代表者：中島健介

(弘前大学理工学部)

対応者：中島康治

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

山下 努 (弘前大学理工学部)

内田貴司 (防衛大学校)

立木 隆 (防衛大学校)

羽多野毅 (物質・材料研究機構)

平田和人 (物質・材料研究機構)

高野義彦 (物質・材料研究機構)

研究経費：校費44万円、旅費68万1千円

[2] 研究経過

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ ($\text{Bi}-2212$)に代表される高い異方性を持つ高温超伝導体(High-TC Superconductor : HTSC)は、超伝導性を担う CuO_2 結晶層と絶縁的な性質の結晶層が交互に積層した結晶構造を有している。そのためオーダーパラメタが積層方位に沿って格子サイズで大きく変動し、超伝導層間にはジョセフソン効果によって超伝導電流が流れることが見出されている。この現象は、固有ジョセフソン効果 (Intrinsic Josephson Effect : IJE) あるいは固有ジョセフソン接合 (Intrinsic Josephson Junction : IJJ) と呼ばれ[1], HTSCの結晶構造を利用してナノスケールで積層したジョセフソン接合を容易に実現することができる。ナノスケール積層IJJの場合、HTSC本来の大きなエネルギーギャップが有効に利用できることに加え、磁場中に置かれたナノスケールIJJ積層にみられるユニークなボルテクスフェーズダイアグラム[2,3]や積層内における集団的ジョセフソンボルテクス運動[4]など従来の低温超伝導体にはないナノスケール積層に伴う新しい機能性にも注目が集まっている。

本研究プロジェクトでは、周波数と電力の両面で従来の超伝導フラックスフロー発振器 (FFO) [5,6]の性能を遙かに上回る新しい超高周波ソースの実現を目指し、様々な物性評価と高周波応答といったデバイス特性評価の両面からHTSCナノスケール積層固有ジョセフソン接合におけるボルテク

スダイナミクスに関する知見を幅広く収集することを目的として平成16年度に発足した。今年度は、ナノスケール積層固有ジョセフソン接合の高周波応答に関する研究を展開するとともに、研究打ち合わせを2回(平成16年8月6日弘前市、平成16年11月25、26日つくば市)、研究会を1回(平成17年2月4日仙台市)開催した。

以下に研究会の概要を記す。

共同プロジェクト研究会：

開催日時：

平成17年2月4日(金) 13:30~17:30

開催場所：

東北大学電気通信研究所 2号館2F会議室

発表件数：7件

講演者氏名(所属)：

猪股 邦宏 (東北大学大学院)

山田 靖幸 (東北大学大学院)

立木 隆 (防衛大学校)

入江 晃亘 (宇都宮大学)

浦山慎也 (東京理科大学大学院／物質・材料研究機構)

川江 健 (物質・材料研究機構)

掛谷一弘 (筑波大学)

参加者：21名

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す成果を得た。

低温超伝導体を用いたFFOにおいては、接合中を運動するジョセフソンボルテクスが接合中の電磁波の位相速度に整合し、接合中を伝播する電磁波との間の相互作用によってI-V特性上に特別な電流ステップが現れる[5]。反対に、電磁波をFFOに照射すると、照射された電磁波とジョセフソンボルテクスが位相ロックすることによってI-V特性上にユニークな応答が現れる[7]。したがって、 $\text{Bi}-2212$ ナノスケール積層IJJの電磁波応答特性は、ボルテクス運動に伴う電磁波放射を実現する上で重要な知見を与えると期待される。特に、強い電磁波放射の条件となる積層全体にわたるボルテクスのコヒーレント運動を探る上で、シャピロステ

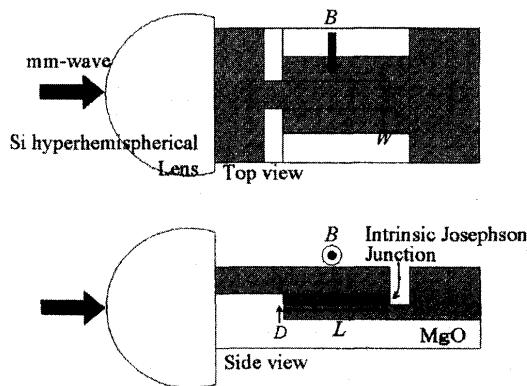


Fig.1 Schematic view the one-dimensionally long intrinsic Josephson junction stack to measure millimeter wave response.

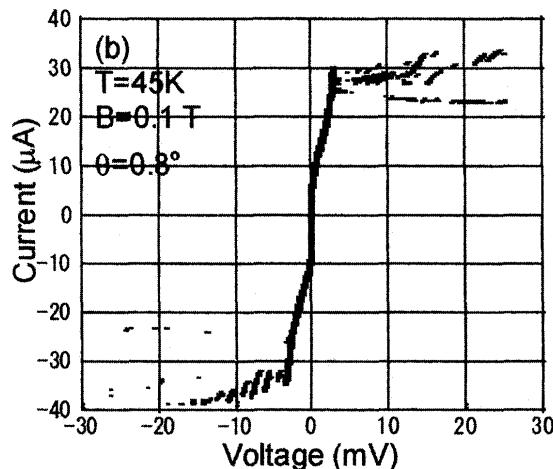


Fig.2 Static current-voltage characteristics of the LIJJ stacks measured under the in-plane external magnetic field, $B=0.1\text{T}$.

ップ的高周波応答の観測は極めて重要である。

図1は、実験に用いたBi-2212ナノスケール積層IJJの模式図である。積層接合のサイズは、標準的なフォトリソグラフィと収束イオンビームにより幅約 $2\mu\text{m}$ 、長さ約 $80\mu\text{m}$ に加工され、積层数は約45接合と見積もられた。超伝導臨界温度は68K、臨界電流密度は 12.5 A/cm^2 であった。図2は、このサンプルに 0.1T の磁場を接合面に平行に印加しながら測定したI-V特性を示している。接合内に導入されたジョセフソンボルテクスがバイアス電流によるローレンツ力を受けて運動した結果、バイアス電流に比例する電圧が発生するフラックスフロー特有の特性が明瞭に観測される。図3(a)は、その磁場を接合面から約 0.8° 傾けることにより超伝導層

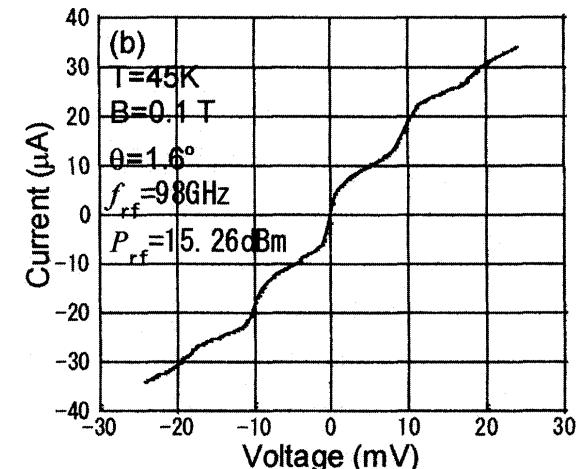
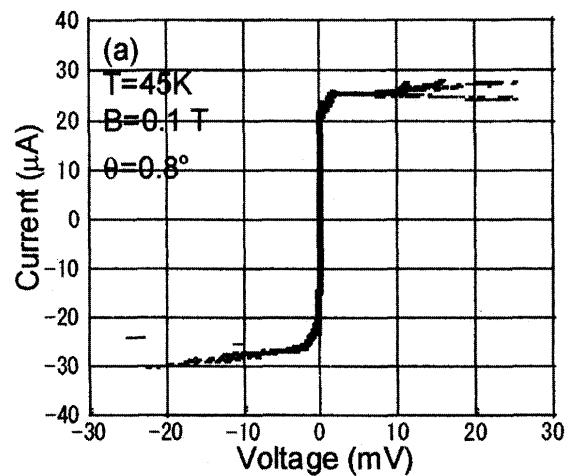


Fig.3 Static current-voltage characteristic of the LIJJ stacks (a) and the millimeter wave-driven current-voltage characteristic (b) measured under the pancake vortex state.

(CuO_2 面)にパンケーキを導入し、その強いピンニング力によってボルテクスをピンニングした状態で測定したI-V特性を示している。臨界電流が図2に比べて大きくなっている、パンケーキボルテクスによりジョセフソンボルテクスが強くピンニングされていることを示している。この状態でミリ波を照射するとI-V特性は、図3(b)のように再び臨界電流が低下しフラックスフロー状態へ変化する。これはパンケーキボルテクスのピンニングポテンシャルに捕らえられていたジョセフソンボルテクスが照射されたミリ波によって周期的な駆動力を受けて一方向に運動した結果と考えられる。さらにこのとき注目すべきことは、フラックスフロー特性上に等間隔な電圧で明瞭な電流ステップが現

れていることである。電流ステップの電圧間隔は、接合数 $N=45$ としたときのジョセフソン関係式 $V=N\Phi_0 f$ (Φ_0 : 磁束量子, f : 周波数) から得られる値とほぼ一致しており、この関係は周波数を68GHzに変化させた場合にも満たされていることが確認された。さらに電流ステップ高さのミリ波電力依存性は、シャピロステップの特徴であるBessel関数的な傾向とよく一致する。これらの実験結果は、パンケーキボルテクスによって導入された周期的ピンニングポテンシャルに捕らえられたジョセフソンボルテクスがミリ波に同期した駆動力を受けフラックスフローを起こすことにより、シャピロステップに似た直流超伝導電流成分を生じていることを強く示唆しており、このことは同時にジョセフソンボルテクスが積層IJJの全層にわたって同相でコヒーレントに運動していることを意味している。これらの実験事実は、周期的ポテンシャルの存在が同相でコヒーレントな集団的ボルテクスダイナミクスに寄与することを明らかにするものであり、ナノスケール積層ジョセフソン接合を用いた電磁波放射の実現に向けて極めて有用な成果である。

- [1] R. Kleiner and P. Müller, Phys. Rev. B 49, 1327 (1994).
- [2] A. E. Koshelev and I. S. Aranson, Phys. Rev. B 53, 3938 (2000).
- [3] D. A. Ryndyk, V. I. Pozdnjakova, I. A. Shereshevskii, and N. K. Vdovicheva, Phys. Rev. B 64, 052508 (2001).
- [4] M. Machida, K. Koyama, A. Tanaka and M. Tachiki, Physica C 330, 85 (2000).
- [5] T. Nagatsuma, K. Empuku, F. Irie and K. Yoshida, “Flux-flow-type Josephson oscillator for millimeter and submillimeter wave region. IV. Thin-film coupling”, J. Appl. Phys. 63, 1130 (1988).
- [6] R. Monaco, S. Pagano, and G. Costabile, Phys. Lett. A 131, 122 (1988).
- [7] A. V. Ustinov, J. Mygind, and V. A. Oboznov, J. Appl. Phys. 72, 1203 (1992).

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトの実施により高温超伝導体固有の物性を活用したデバイス研究に携わる研究者の交流が大きく活性化するとともに、この分野における若手研究者の育成にも大きく貢献した。研究成果の点では、ナノスケール積層固有ジョセフソン接合系におけるボルテクスダイナミクスに関し

て高周波放射につながる応用上重要な知見が得られており、新しい超伝導高周波源の実現に向けて今後の展開が期待される。

また、これに加えてナノスケール積層固有ジョセフソン接合系で始めて観測された巨視的量子トンネル効果の研究報告は、量子ビットへの応用の可能性を示唆するものであり注目に値する。

課題番号 H14/B01

RF集積回路における磁性薄膜応用技術の研究

[1] 組織

代表者：山口正洋

(東北大学大学院工学研究科)

責任者：荒井賢一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

青山 聰 (静岡大学電子科学研究所)

阿部 正紀 (東京工業大学電子物理工学科)

荒木 和幸 (崇城大学エネルギー・エレクトロニクス研究所)

池田 慎治 (東北大学大学院工学研究科)

石山 和志 (東北大学電気通信研究所)

井上 浩 (秋田大学工学資源学部)

岡 英夫 (岩手大学工学部)

長田 洋 (岩手大学工学部)

川人 祥二 (静岡大学電子工学研究所)

金 基炫 (東北大学大学院工学研究科)

早乙女英夫 (千葉大学工学部)

佐藤 敏郎 (信州大学工学部)

島田 寛 (東北大学多元物質科学研究所)

杉本 諭 (東北大学大学院工学研究科)

杉山 進 (立命館大学理工学部)

竹澤 昌晃 (九州工業大学工学部)

丹 健二 (秋田県高度技術研究所)

辻本 浩章 (大阪市立大学工学部)

富田 知志 (理化学研究所 (埼玉県和光市))

中野 正基 (長崎大学工学部)

中谷 亮一 (大阪大学大学院工学研究科)

藤井 達生 (岡山大学工学部)

藤原 耕二 (岡山大学工学部)

本田 崇 (九州工業大学工学部)

益 一哉 (東京工業大学精密工学研究所)

松下 伸広 (東京工業大学大学院理工学研究科)

宗像 誠 (崇城大学エネルギー・エレクトロニクス研究所)

山本 節夫 (山口大学工学部)

研究費：校費10万円，旅費76万4千890円

[2] 研究経過

昨年度の研究会活動を通して、800MHz～6GHz程度の周波数帯でRF集積化インダクタを小形化・

高性能（高Q）化させること、高透磁率に基づく波長短縮効果により伝送線路を短縮させること、ならびに磁気共鳴損失によって電磁雑音エネルギーを吸収させることなど、従来にない高周波帯で磁性膜を集積回路技術に応用するための基礎的課題が抽出された。本年度は、その課題を解決するための薄膜材料の開発、ならびに応用技術に関する更なる検討などを行った。以下に概要を記す。

(a) 研究活動

2004年11月には川人祥二氏（静岡大、代理）が来訪し、インテリジェントマイクロシールディードループコイルの開発について研究打ち合わせを行った。

2005年3月には、佐藤敏郎氏（信州大）、松下伸広氏（東工大）、宗像誠氏（崇城大）、山本節夫氏（山口大）が参集し研究の最新状況を紹介するとともに今後の進め方について協議した。GHz帯で応用可能と思われる新しい軟磁性薄膜材料の開発がこの3年間でかなり進展した状況を踏まえ、本共同プロジェクト研究は一定の成果を収めたと判断して収束させ、次年度は参加者を絞った共同研究と、新しい観点からのプロジェクト研究会に発展させることとした。

(b) 研究会活動

東北大学において下記3件の講演会・研究会を開催した。

2004.05.17: Dr. Sang Ho Lim (Korea Institute of Science and Technology, Seoul, Korea)講演会（電気学会東北支部主催），Computer Simulation of High Density MRAM

2004.05.28: Professor Richard E. DuBroff (University of Missouri, Rolla, USA)講演会（電子情報通信学会東北支部特別講演会）

2004.12.20-21: 電気学会マグネティックス研究会との合同研究会で17件の発表・討論を行った。主な内容は以下のとおりである。

MAG-04-232 CoFe系磁性膜の異方性磁界に及ぼすBの添加効果，並河雅志，宗像 誠，青木振一，八木正昭（崇城大学）

MAG-04-233 Mn-Ir/Fe-Si交換結合膜におけるRu下地層の効果，曾根原 誠，杉山貴俊，佐藤敏郎，山沢清人，三浦義正（信州大学）

MAG-04-234 積層マイクロパターン化磁性膜の磁化挙動と電磁ノイズ抑制体への応用, 池田慎治, 秋山良生, Kim Ki Hyeon, 山口正洋 (東北大学)

MAG-04-235 高Bsを有するFeCo基ナノ結晶粒子膜の軟磁気特性, 大沼繁弘, 岩佐忠義, 藤森啓安, 増本健 (電気磁気材料研究所)

MAG-04-236 フェライトめっき膜における異方性磁界/高周波透磁率の結晶子サイズ依存性, 多田大, 松下伸広, 阿部正紀 (東京工業大学)

MAG-04-237 GaAs-MnAsグラニュラー薄膜の磁気特性と光照射の影響, 小川智之, 周藤悠介, 横山正史, 田中雅明 (科学技術振興機構, 東京大学)

MAG-04-238 2次元・3次元磁性フォトニック結晶の形成と機能, 井上光輝, 内田裕久, 西村一寛, A.Baryshev, A.Khanikaev (豊橋技術科学大学)

MAG-04-239 CoZrNb/ポリイミドハイブリッド薄膜コプレーナ結合線路型コモンモードフィルタ, 須藤勇気, 渡辺勝彦, 佐藤敏郎, 山沢清人, 三浦義正 (信州大学)

MAG-04-240 粉体型磁性木材の電波吸収特性決定パラメータについて(3), 照井峰和, 岡英夫 (岩手大学), 浪崎安治, 泉田福典 (岩手県工業技術センター)

MAG-04-241 有限要素法電磁界シミュレーションによるノイズ抑制シートの特性評価, 丸田佳織, 山口正洋 (東北大学), 小野裕司 (NECトーキン)

MAG-04-242 位相測定による磁界センサシステムの試作, 小澤哲也, 横田周子, 藤上信, 荒井賢一 (東北大学)

MAG-04-243 多層構造磁気シールドルーム設計のための増分透磁率評価, 鎌田清孝, (鹿児島工業高等専門学校), 山崎慶太 (竹中工務店), 及川昌平, 島田文彦, 芳賀昭 (東北学院大学), 小林宏一郎 (岩手大学), 村松和弘 (佐賀大学), 藤原耕二 (岡山大学)

MAG-04-244 鉄鋼材料の磁気的手法による非破壊評価, 山田興治, Liu Bing, 本多善太郎, 副島雄大 (埼玉大学), 磯部仁博 (原子燃料工業), 山口克彦 (福島大学)

MAG-04-245 原子炉圧力容器用鋼A533Bの磁気特性に関する基礎的検討, 藤原耕二, 平野浩史, 中野正典 (岡山大学), 菊池弘昭, 荒克之 (岩手大学), 海老根典也 (日本原子力研究所), 鎌田康寛, 高橋正氣 (岡山大学)

MAG-04-246 平板導体に対向した二つの円形コイルによる渦電流制御, 田中章雄 (宇都工業高等専門学校), 神杉一吉, 澄川直輝, 武平信夫 (徳山工業高等専門学校)

MAG-04-247 磁性めっき線を用いた渦電流形変位センサのインピーダンス解析, 水野勉, 米野史一, 林利明, 朝比奈孝 (信州大学), 榎木茂実, 品川宏樹 (新川センサテクノロジ), 山田一 (博士国際協同研究所), 渡辺誠一 (長野工業高等専門学校), 植原精作 (東京特殊電線), 岸本哲, 竹下邦夫 (日立ハイテク電子エンジニアリング)

MAG-04-248 傾斜磁区を有した高周波キャリア型磁界センサの不連続的インピーダンス特性, 中居倫夫, 阿部宏之 (宮城県産業技術総合センター), 星則光, 鈴木秀夫 (NECトーキン), 荒井賢一 (東北大学)

[3] 成 果

(3-1) 研究成果

昨年までに異方性磁界の強度が300 Oeに及び共鳴周波数が6GHzに達するCoFeB/SiO₂薄膜が得られた。本年度は、まず単層のCoFeBの熱履歴が共同研究によって調べられ、飽和磁化、保磁力、および異方性磁界の温度変化、ならびにデバイス化時の絶縁層としてポリイミドを想定した場合のプロセス設計から、280~300°Cが最適な熱処理温度であることが見出された。これをハイブリッド薄膜コプレーナ線路として、1.8GHz帯携帯電話PA用インピーダンス整合器に適用し、幅20 μm, 膜厚0.5 μmで、長さを11mm (λ/4)まで短縮でき、その挿入損失は1.2dBであった。さらに挿入損失を0.5dB以下へ低下させることが実用上不可欠である。オントップ型RF集積化インダクタへも適用し、2GHz帯でQ=10が得られた。一方、この膜をスリットパターン化することにより、保磁力を増加させることなく異方性磁界を1000 Oeまで安定に増大させることができ、更なる高周波対応が可能な見通しが得られた。

Ni-Zn-(Co)系フェライトめっき膜については、強磁性共鳴の測定から膜質の均一性が調べられ、Co添加によって60 Oe程度の異方性を付与することができるが、分散はCoを含まない材料より大きく、これはCole-Coleプロットによる解析結果とも一致することが明らかになった。

また新たな高周波材料として、膜面に対して垂直方向に磁化容易軸をもつようなNi-Fe系グラニュラ蒸着膜が検討され、電気抵抗率、飽和磁化、磁化曲線の形状から、強磁性粒子とマトリクスとの層分離状況や垂直磁気異方性の発現について考察が進み、Ni-Fe-B-Oで103~104 μΩcm程度の高電気抵抗率を有する軟磁性垂直磁気異方性膜が得られる可能性が高まった。以上は成果の一端であり、詳細は成果資料を参照して頂きたい。

(3-2) 波及効果と発展性

平成14~16年度にわたって実施した本共同プロジェクト研究会の議論によって、グラニュラ系、ヘテロアモルファス系ならびにマイクロパターン化膜など、本研究の参加者が個別に開発した新しい軟磁性薄膜の主たる応用分野として集積化インダクタ、インピーダンス変換器、EMI対策素子などが有望であるとの見通しを得るに至った。今後は多人数による研究会形式から実質的共同研究に移ることとし、次年度以降はメンバーを絞った共同研究Aを実施したい。また本共同プロジェクト研究会研究分担者らを中心に、国際シンポジウム3rd International Symposium on High Frequency Micromagnetic Devices and Materials (MMDM3)を、電気通信研究所国際シンポジウム後援事業として2005年4月に東北大で開催することとなった。

[4] 成果資料

- (1) K. Itoi, M. Sato, H. Abe, H. Sugawara, H. Ito, K. Okada, K. Masu and T. Ito: International Microwave Symposium (IMS2004), pp.197-200 (2004)
- (2) "RF Integrated Noise Suppressor Using Spin sprayed Ferrite films", Ki Hyeon Kim, Masahiro Yamaguchi, Nobuhiro Matsushita, Masanori Abe, J. Magn. Magn. Mater., 290-291P2, pp.1363-1366, 2005
- (3) "RF Noise Suppression Using Carbon-Coated Permalloy Nanorod Arrays", Ki Hyeon Kim, Takashi Kyotani, Masahiro Yamaguchi, IEEE Trans. Magn., 2005 in press.
- (4) 中山英俊, 山本知広, 佐藤敏郎, 山沢清人, 三浦義正, 宗像誠, 八木正昭, "CoFeBアモルファス金属磁性膜を用いたGHz帯用薄膜コプレーナ伝送線路の試作", 日本応用磁気学会誌, Vol.28, No.2, pp.157-163 (2004. 2.1)
- (5) "Fe/ferrite composite magnetic cores far exceeding Snoek's limit fabricated by simplified ferrite plating in open air", N. Matsushita, S. Hatanaka, M. Abe, IEEE Transactions on Magnetics, 40(4), pp.2011-2013, July, 2004
- (6) "High-frequency carrier type thin-film sensor using low-noise crystal oscillator", S. Yabukami, H. Mawatari, Y. Murayama, T. Ozawa, K. Ishiyama, K.I. Arai, IEEE Transactions on Magnetics, 40(4), pp. 2670-2672, July, 2004
- (7) "Asymmetric high-frequency carrier-type magnetic field sensor with thin-film head structure", M. Takezawa, M. Dobashi, J. Yamasaki, IEEE Transactions on Magnetics, 40(4), pp. 2679-2681, July, 2004
- (8) "High temperature magnetic properties of Fe-Cu-Nb-Si-B cores with creep-induced anisotropy", Yanai, T. Yamasaki, M. Takahashi, K. Nakano, M. Yoshizawa, Y. Fukunaga, H., IEEE Transactions on Magnetics, 40(4), pp. 2721-2723, July, 2004
- (9) "Dimensional Effects of The Magnetic Film on Coplanar Transmission line for RF Noise Suppression", Ki Hyeon Kim, Seok Bae, Masahiro Yamaguchi, IEEE Trans. Magn., 40(4), 2847-2849, July, 2004
- (10) "Noble magnetic films for effective electromagnetic noise absorption in the gigahertz frequency range", H. Ono, T. Ito, S. Yoshida, Y. Takase, O. Hashimoto, Y. Shimada, IEEE Transactions on Magnetics, 40(4), pp. 2853-2857, July, 2004
- (11) "Slit patterned CoNbZr/Nb/CoNbZr magnetic film for RF noise suppressor", Shinji Ikeda, Ki Hyeon Kim, Masahiro Yamaguchi, J. Appl. Phys., 97(1), June, 2005 in press.

課題番号 H14/B02

圧電材料と弾性波デバイスに関する研究

[1] 組織

代表者：中村 健良

(東北大学大学院工学研究科)

対応者：長 康雄

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

安達 正利 (富山県立大学工学部)

宇野 武彦 (神奈川工科大学工学部)

金井 浩 (東北大学大学院工学研究科)

櫛引 淳一 (東北大学大学院工学研究科)

黒澤 実 (東京工業大学大学院総合理工学研究科)

小松 隆一 (山口大学工学部)

近藤 淳 (静岡大学工学部)

関本 仁 (東京都立大学大学院工学研究科)

高野 剛浩 (東北工業大学工学部)

竹中 正 (東京理科大学理工学部)

長 康雄 (東北大学電気通信研究所)

中川 恭彦 (山梨大学工学部)

橋本 研也 (千葉大学工学部)

広瀬 精二 (山形大学工学部)

深海 龍夫 (信州大学工学部)

宝川 幸司 (神奈川工科大学工学部)

山田 顕 (東北大学大学院工学研究科)

若月 昇 (石巻専修大学理工学部)

岩田 浩一 (東洋通信機(株))

江口 治 (京セラキンセキ(株))

門田 道雄 (株村田製作所)

木村 悟利 (NRSテクノロジー(株))

斎藤 久俊 (京セラキンセキ(株))

佐藤 良夫 (株富士通研究所)

鹿田 真一 (住友電気工業(株))

七条 司朗 (三井化学(株))

芝 隆司 (株日立メディアエレクトロニクス)

船坂 司 (セイコーホーリング(株))

菅沼 俊樹 (日本電波工業(株))

谷津田博美 (日本無線(株))

山下 洋八 (株東芝)

研究費：校費 50,000円、旅費 835,040円

[2] 研究経過

高度情報化社会を迎え、圧電体中を伝搬する弾

性波を利用した周波数制御・選択ならびに信号処理デバイスの重要性が益々高まっている。本研究は、高性能圧電材料の開発およびその信号処理デバイスへの応用、さらには新しい弾性波機能デバイスの研究・開発を目的に、関連する大学および産業界の研究・技術者が一堂に会して研究討論を行い、情報通信システムの根幹を担う弾性波デバイス分野の一層の発展を目指して行われた。

本プロジェクト研究会も最終年度を迎える、若手を中心とした新しいメンバーを加えて研究体制を強化した。一昨年度、昨年度に引き続き、本年度は平成17年2月23日、24日の両日、東北大学工学部青葉記念会館を会場に「圧電材料・デバイスシンポジウム2005」と題する公開シンポジウム形式の研究会を開催した。前記のプロジェクト研究メンバーの他、一般からも講演を募り、39件の研究発表が行われ、168名の出席者を得て活発な討論がなされた。シンポジウムのセッション区分と各セッションでの発表内容の概要は次のようである。

(A) 圧電・強誘電材料Ⅰ

非線形誘電率顕微鏡による3次元分極方位の絶対計測、新しい三成分系非鉛圧電セラミックス、高誘電率&高結合係数系圧電材料の設計、焦電性を改善したLiTaO₃ウェハー、KNbO₃単結晶の育成についての研究発表があった。

(B) 圧電・強誘電材料Ⅱ

新圧電ホウ酸塩結晶の育成と基礎的評価、ランガサイト単結晶の光学的・電気的特性と酸素欠陥挙動、圧電性Ta₂O₅単結晶薄膜の光学特性、急冷PMNエピタキシャル薄膜の構造と電歪特性、ECR-PLD法によるBaTiO₃薄膜の作製と圧電特性の評価についての報告がなされた。

(C) 圧電・強誘電材料Ⅲ

(11-20)面配向ZnO圧電膜の結晶性向上および膜厚分布の低減、面内配向ZnO薄膜を用いた横波トランスデューサの変換特性、シリカ系誘電体超格子薄膜における圧電現象、LFB超音波材料解析システムの測定再現性の改善に関する報告があった。

(D) バルク波およびSAW共振子

音響多層膜を用いたZnO圧電薄膜共振子、圧電薄膜共振子用薄膜の温度係数の評価、UHF帯水晶AT板の結合振動に対するプラノメサ型電極の影響、

高周波用水晶SH型SAW共振子の温度特性の改善、低抵抗金单層電極を用いたUHF帯基本波水晶振動子の発表があった。

(E) 圧電応用デバイス

エアロゾルデポジション法により成膜したPMN-PZT厚膜の電気機械特性、水熱合成PZT多結晶膜の厚み振動を用いた超音波トランスデューサ、小形パワー電源への応用を目指した圧電トランスの構成法・設計法の検討、電気接点アーク放電抑圧法の圧電アクチュエータによる検討について報告された。

(F) 超音波計測・センサ

動脈壁粘性特性の超音波in vivo計測、SAW素子を用いたガスセンサの検討、K-モデルによる反射型遅延線デバイスの設計、三角形圧電バイモルフを用いた位相型の粘度センサ、弾性表面波素子を用いた微少液滴温度制御システムの開発に関する発表があった。

(G) 弹性表面波デバイスⅠ

基板内部における弹性波分布観測、高速走査可能な弹性表面波可視化装置の開発、扇形電極SAWフィルタにおける弹性表面波の振幅位相の測定とそのシミュレーション、エピタキシャル成長GaN薄膜上の弹性表面波素子、超広帯域SAW共振子フィルタにおける不要応答抑圧に関する検討について報告があった。

(H) 弹性表面波デバイスⅡ

良好な温度特性をもつアメリカPCS方式電話用SAWデュプレクサ、低損失・広帯域・位相器レスSAWデュプレクサの開発、SAWデバイスにおける時間軸解析を用いたバランス特性の解析、零周波数温度特性を持つ $\text{SiO}_2/\text{Al,Cu}$ 圧電性基板構造の弹性表面波伝搬特性の解析と実験的検討、LFB超音波材料解析システムによる高波形減衰率材料に対する漏洩弹性表面波速度測定の精度向上、PMN-PT強誘電結晶における弹性波の伝搬特性についての発表があった。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

材料面では、新しい三成分系非鉛系圧電セラミックスの開発や KNbO_3 、 $\text{LiRbB}_6\text{O}_{10}$ 等の圧電結晶の育成と評価、ランガサイトや Ta_2O_5 薄膜の光学特性の観測、ECR-PLD法による BaTiO_3 薄膜の作製と評価、面内配向 ZnO 圧電薄膜とその応用等が報告され、新材料の開発に大きな進展が見られた。また、非線形誘電率顕微鏡による3次元分極方位の絶対計測技術の開発や、超音波顕微鏡による材料解析シ

ステムの高安定化がなされた。

バルク波デバイス関連では、音響多層膜を用いた圧電薄膜共振子について、その試作や温度係数の評価が報告された。また、UHF帯で動作する水晶振動子における電極形状の影響や電極材料の検討結果が紹介された。

圧電応用デバイス関連では、AD法や水熱合成法によるPZT系厚膜の作製やそのトランスデューサへの応用が報告されたほか、圧電トランスの新構成や圧電アクチュエータによる電気接点アーク放電抑圧の試みが示された。

超音波計測・センサ関連では、動脈壁粘性特性の計測技術や、STW素子および圧電バイモルフによるガスおよび粘度センサ、および微少液滴制御システムが開発された。

弹性表面波関連では、弹性表面波分布の観測や測定およびその可視化装置の開発について新しい知見が示された。また、SAWデュプレクサの高性能化や、零温度特性をもつSAWデバイス実現のための基板構造や基板材料が示された。さらに、PMN-PT結晶における弹性波の伝搬特性が明らかにされた。

(3-2) 波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究会を母体として3年間にわたり開催してきた「圧電材料・デバイスシンポジウム」は産学界からの関心が極めて高く、回を重ねるごとに盛会となった。シンポジウムにはプロジェクト研究メンバー以外の一般の参加者也非常に多く、発表論文が他の学術誌で引用されるなど、当該分野での主要な研究集会のひとつとして認知されるに至ったことを示している。この研究発表の場を通じ、大学および企業の研究・技術者間の密接な情報交換と研究協力の場が一層強固なものとなってきていることは非常に意義深い。今後も同様の研究集会を継続的に開催し、多くの参加者を得て活発な討論が行われれば、次世代の新しい弹性波デバイスの研究・開発が一層進展し、我が国が引き続きこの分野をリードするうえで少なからず貢献することが期待される。

本年度までに得た知見をもとに、次年度は新たなテーマ名で本研究プロジェクトの内容を継続・発展させ、当該分野における研究の一層の進展を図りたい。好評である公開シンポジウム形式の開催を今後も継続し、いずれは国際シンポジウムとしての実施も視野に入れたいと考えている。

[4] 成果資料

- (1) Y. Hiruma, R. Aoyagi, H. Nagata, and T. Takenaka, "Piezoelectric Properties of BaTiO₃-(Bi_{1/2}K_{1/2})TiO₃ Ferroelectric Ceramics", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.43, No.11A, pp.7556-7559 (2004).
- (2) Y. Yamashita and Y. Hosono, "High Dielectric Constant and Large Electromechanical Coupling Factor Relaxor-based Piezoelectric Ceramics", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.43, pp.6679-6682 (2004).
- (3) 太子敏則, 加藤健太郎, 林貴之, 遠藤尚之, 藤原和崇, 深海龍夫, 干川圭吾「還元雰囲気下でのランガサイト単結晶の育成と結晶の電気的特性」 第65回応用物理学会講論集, 3p-T-5.
- (4) 高橋真志, 中川恭彦, 垣尾省司 「圧電性Ta₂O₅薄膜の作成」 電子情報通信学会技術報告, US2004-45, pp.35-40 (2004) .
- (5) K. Nakamura and S. Ito, "KNbO₃ Single Crystals and Thin Films for SAW and BAW Devices", Proc. 2nd Int. Symp. on Acoustic Wave Devices for Future Mobile Communication Systems, pp.75-80 (2004).
- (6) 大橋雄二, 櫛引淳一, 白崎勇一「LFB超音波材料解析システムの測定再現性の改善」 電子情報通信学会技術報告, US2004-89, pp. 33-38 (2005).
- (7) H. Koyama, K. Nakamura, and T. Takano, "High coupling KNbO₃ width-extensional vibrators with a polar multidomain structure", J. Appl. Phys., 97, 063506 (2005).
- (8) H. Sekimoto, T. Tamura, S. Goka, and Y. Watanabe, "Effect of Tilted Edges on Coupled Vibrations of Doubly Rotated Quartz Plates", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.43, No.5B, pp.3011-3015 (2004).
- (9) H. Iwata, "Miniaturized ultrahigh frequency fundamental quartz resonators", IEICE Electronics Express, vol.1, No.12, pp. 346-351 (2004).
- (10) T. Endow, S. Hirose, and T. Kanno, "Precise Measurement of Losses in Piezoelectric Transducer and Its Application to Evaluation of Piezoelectric Transformer Efficiency", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.43, No.5B, pp.2976-2981 (2004).
- (11) 長谷川英之, 金井浩「動脈壁弾性率の周波数特性計測による壁粘性特性の推定」 第25回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム講演予稿集, pp. 379-380 (2004).
- (12) 奈良誠, 谷津田博美, 愛澤秀信, 黒澤茂 「STW素子を用いたガスセンサの検討」 平成17年電気学会全国大会予稿集, 3分冊, p.242 (2005).
- (13) N. Shimizu, J. Kondoh, Y. Matsui, and S. Shiokawa "Localized Heating Effects of Liquid Based on SAW Streaming", Proc. 2004 IEEE Intl. Ultrason., Ferroelectr., Freq. Control Joint 50th Anniversary Conference, pp.2235-2238 (2004).
- (14) S. Matsuda, A. Miyamoto, S. Wakana and A. Ito, "Observation of Waves Propagating within a Substrate", Proc. 2004 IEEE Intl. Ultrason., Ferroelectr., Freq. Control Joint 50th Anniversary Conference, pp.1876-1879 (2004).
- (15) K. Hashimoto, T. Omori and M. Yamaguchi, "Design Considerations on Surface Acoustic Wave Resonators with Significant Internal Reflection in Interdigital Transducers", IEEE Trans. Ultrason., Ferroelectr., Freq. Control, Vol. 51, No. 11 (2004), pp.1394-1403.
- (16) M. Kadota, T. Nakao, N. Taniguchi, E. Takata, M. Mimura, K. Nishiyama, T. Hada, and T. Komura, "SAW Substrate with Coupling Factor and Excellent Temperature Stability suitable for Duplexer of PCS in US", Proc. 2004 IEEE Intl. Ultrason., Ferroelectr., Freq. Control Joint 50th Anniversary Conference, pp.1970-1975 (2004).
- (17) 櫛引淳一, 荒川元孝, 大橋雄二, 鈴木光二, 丸山貴久 「LFB超音波材料解析システムによる高波形減衰率材料に対する漏洩弾性表面波速度測定の精度向上」 電子情報通信学会技術報告, US2004-102, pp.1-5 (2005).
- (18) K. Nakamura, N. Chiba, and S. Ito, "Conversion of 45° rotated X-cut KNbO₃ Plates to Y-cut Plates by Compression", Proc. 2004 IEEE Intl. Ultrason., Ferroelectr., Freq. Control Joint 50th Anniversary Conference, pp.98-101 (2004).
- (19) K. Nakamura, H. Koyama, S. Odakura, K. Yamada, and S. Saito, "LiNbO₃ Ultrasonic Transducers with an Inverted-Domain Layer for Radiation to a Solid Medium", Proc. 2004 IEEE Intl. Ultrason., Ferroelectr., Freq. Control Joint 50th Anniversary Conference, pp.1934-1937 (2004).

課題番号：H14/B03

プログラム変換による科学的ソフトウェア作成法の研究

[1] 組織

代表者：高野 明彦

(国立情報学研究所)

対応者：外山 芳人

(東北大学電気通信研究所)

分担者：大堀 淳

(北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科)

小川 瑞人

(北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科)

亀山 幸義

(筑波大学システム情報工学研究科)

胡 振江

(東京大学情報理工学系研究科)

長谷川 立

(東京大学数理科学研究科)

西村 進

(京都大学理学研究科)

細谷 晴夫

(東京大学情報理工学系研究科)

篠塙 功

(北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科)

中野 圭介

(東京大学情報理工学系研究科)

研究費：校費0円、旅費51万2670円

[2] 研究経過

科学的なソフトウェア作成法の確立には、正当性を保証したプログラム部品の蓄積と、部品を組み合わせて所望の機能と性能を備えるソフトウェアを構築する手法の開発が必須である。この観点から、多相型理論や論理学的基礎づけを持つ高信頼なプログラミング言語が提案され、データ構造の代数的性質を利用してプログラム部品を融合するプログラム変換法が研究されている。本研究会の目的は、応用上ますます重要なXMLを操作対象とするソフトウェアについて、プログラム変換やデータ変換を用いた科学的ソフトウェア作成法を探求することである。

過去2年間にわたる本研究における活動により、

高信頼プログラミング言語、プログラム検証、プログラム変換、データ変換等における要素技術に関する最新の研究動向（本研究メンバー自身の研究を中心とする）が明らかになった。これを踏まえて、今年度は、研究会における参加者の研究発表を通して、科学的ソフトウェア作成法構築のための基本要素、XMLを操作対象とするソフトウェア作成法のアーキテクチャを提案し、その実現のために必要となるプログラミング言語、プログラム検証技術、プログラム変換技術、データ変換技術等について検討し、まとめとなる活動を行った。

以下、具体的な研究活動状況の概要を記す。

第一回の研究会を7月29日に東北大学電気通信研究所で開催した。高野は、科学的ソフトウェア作成例として連想検索エンジンを用いた「新書マップ」と題するソフトウェアの作成・一般公開について報告した。XMLやXSLで表現される文書データに対するプログラミング言語からの取り組みとして、中野、細谷、胡が発表を行った。次に、科学的ソフトウェアの基礎となる書き換え系について、青戸、外山が発表し、さらに、論理的なプログラム作成法と意味論の観点から、亀山と長谷川の2件の発表があった。XMLデータを直接扱う言語からの観点と、書き換え系や論理など外側から見る観点の参加者による意見交換により、それぞれの技術の共通点が明確になった。

第二回の研究会を11月29~30日に東北大学電気通信研究所で開催した。まず、長谷川が、新しい計算モデルとして圈論に基づく書き換えモデルの提案を行った。次に、XMLを扱うプログラムにおいて重要なフュージョン（融合）変換手法について、中野、西村、篠塙が発表した。細谷、大堀、亀山は、プログラミング言語の立場から、それぞれ、単項2階論理に基づくXML処理、SML#コンパイラの設計、CPS変換に基づくプログラム制御機構について発表を行った。これらをもととして締めくくりの討論を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

XMLに代表される木構造データは極めて柔軟

で強力な表現力を持つ一方、その効率良い処理については未知な部分が多い。本研究の3年間の成果により、プログラム言語の設計、解析、実装、論理、書き換えなど、種々の分野で比較的独立に研究されてきた成果がXMLをキーワードとして関係付けられることが解明された。以下に具体的な今年度の成果をあげる。

・ XMLを扱うプログラム言語

プログラム合成理論に基づく構造化文書処理の効率化を目的として、(1) 木構造操作からストリーム处理器を自動導出することが可能なXML変換言語XTiSPを実装し、一般公開した。XTiSPでは、既存の言語における無駄な中間データ生成がなく、実行時間とメモリ消費の両面で効率的な処理ができる。(2) 属性文法での表現が单一データ構造からの入力であるという欠点を克服するため、複数のデータ構造を入力とするプログラムの合成法を提案した。(3) XMLを扱うプログラム言語に多相性を導入する提案を行った。従来のアドホック多相性と異なり、パラメトリック多相性を導入することにより、きわめて自然で扱いやすい言語となった。

・ プログラム変換による効率的プログラム作成

累積変数およびスタックを含む関数型プログラムの融合変換を行うアルゴリズムを開発し、正しさを証明した。また、従来手法より多様な再帰パターンで定義される再帰関数のプログラム融合変換を可能とするための拡張を行い、書き換えシステムの帰納的定理自動証明システムの上で提案したプログラム変換法の有効性を明らかにした。さらに、変換パターンの正当性を保証する新しい手法を提案した。

また、高階書き換えシステムの帰納的定理自動証明システムを開発し、その上で、高階プログラム融合変換の実験を行い、提案したプログラム変換法の有効性を明らかにした。さらに、2階変換パターンに基づくプログラム変換手法の枠組みを与えるとともに、変換パターンの正当性を保証する新しい手法を提案した。また、プログラム変換に不可欠な高階プログラムの帰納的性質の自動証明手続きの提案、高階プログラムの停止性の解析、シーケント計算の体系での証明図の簡約と型付きラムダ計算のベータ簡約の間の関係に基づく新しい停止性証明法の提案等を行った。

・ XML文書変換のためのプログラム言語

XML文書の双方向変換を記述するために従来使われている言語であるXSLTは双方向変換が記述できないという欠点がある。この欠点を克服

した新しい双方向変換言語を提案し、その応用例として構造化文書エディタを実装した。

・ 機械語コードの論理学的意味付けについて

プログラム言語はコンパイラにより機械語に変換され実行される。上流のプログラム言語だけでなく、機械語のレベルに対しても、科学的ソフトウェア構築法を確立するため、構成的数学の証明論を基礎とする機械語コードの意味付けを行い、コードの書き換え意味論を、証明システムのカット除去定理で表現可能であること、さらにその結果から機械語コードに対しても、高水準言語同様の種々の望ましい性質が証明できることを示した。

・ プログラム言語の論理的意味付けについて

関数型プログラミング言語を、より表現力豊かにするため、プログラムの流れを制御する機構が良く使われる。この機構について論理学の立場から検討し、プログラムの検証を行うのに必要十分な公理系を特定した。また、応用例として、証明からのプログラム抽出について検討した。

・ ソフトウェアの形式的解析・検証について

現実のソフトウェアの構造を表すグラフは比較的単純である点に注目し、グラフの代数的構成法およびその完全な公理化を行った。また、NTTの開発する時刻認証（イベント順序証明）システムのセキュリティモデルの諸性質の形式的証明、グリッド計算におけるセキュリティモデルの提案、関数型プログラムの解析のプッシュダウンモデル検査による実装の検討を行った。

・ 順列を列挙するアルゴリズムの自動生成

ある性質を満たす集合の要素を、適当な順列で列挙する問題を解くアルゴリズムを自動生成する手法について考察した。

(3-2) 波及効果と発展性など

XMLは現代のソフトウェア産業にとって最重要なテーマの1つであるが、アドホックなプログラム言語やソフトウェアが量産されている状況である。本研究では、科学の立場から既存の多様な分野で蓄積された技術・知見を集め、XMLをキーワードとして統合できることを確かめた。この成果は、XMLに限らず一般的木構造で表現されるデータ構造に対しても有効であるため、テキスト文書やプログラムなどの取り扱いを念頭に置き、データを中心とした科学的ソフトウェア構築に関して、国際的にリーダーシップをとれるグループが形成されたと考えられる。今後は、遅れているとされる日本のソフトウェア産業への波及が期待される。

[4] 成果資料

- (1) Y. Toyama, "Termination of S-expression rewriting systems: Lexicographic path ordering for higher-order terms", In Proceedings of the 15th International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2004), Aachen, Germany, Lecture Notes in Computer Science, Vol.3091, Springer-Verlag, pp.40-54, 2004.
- (2) T. Aoto, T. Yamada and Y. Toyama, "Inductive theorems for higher-order rewriting", In Proceedings of the 15th International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2004), Aachen, Germany, Lecture Notes in Computer Science, Vol.3091, Springer-Verlag, pp.269-284, 2004.
- (3) 千葉勇輝, 青戸等人, 外山芳人, 木準同型写像を用いた項パターンマッチング, 第49回プログラミング研究会(PRO-2004-1), 2004.
- (4) A. Ohori, "Register Allocation by Proof Transformation". Journal of Science of Computer Programming, 50(1-3):161 -- 187, 2004.
- (5) Kwanghoon Choi and Atsushi Ohori, "A Type Theory for Krivine-Style Evaluation and Compilation", Proceedings of Asian Symposium on Programming Languages and Systems, 213-228, 2004.
- (6) Mizuhito Ogawa, "Well-Quasi-Orders and Regular Omega-languages", Theoretical Computer Science, Vol.324, No.1, pp.55-60, 2004.
- (7) Mizuhito Ogawa, "Complete Axiomatization of an Algebraic Construction of Graphs", Proc. of the 7th International Symposium on Functional and Logic Programming (FLOPS 2004), LNCS 2998, pp.163-179, 2004.
- (8) Li Xin, Mizuhito Ogawa, "A Lightweight Mutual Authentication based on Proxy Certificate Trust List", コンピュータソフトウェア, Vol.22, No.2, pp.85-89, 2005.
- (9) Li Xin, Mizuhito Ogawa, "A Lightweight Mutual Authentication based on Proxy Certificate Trust List", Proceedings of the 5th International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PDCAT 2004), LNCS 3320, pp.628-632, 2004.
- (10) Zhenjiang Hu, Shin-Cheng Mu, Masato Takeichi, "A Programmable Editor for Developing Structured Documents based on Bidirectional Transformations", ACM SIGPLAN Symposium on Partial Evaluation and Program Manipulation (PEPM'04), Verona, Italy, ACM Press. pp.178-189, 2004.
- (11) Yukiyoshi Kameyama, "Axioms for Delimited Continuations in the CPS Hierarchy", Proc. Computer Science Logic '04, Lecture Notes in Computer Science Vo.1. 3210, pp. 442-457, 2004.
- (12) 中島一, 亀山幸義, 「抽象化と精密化による実時間モデル検査の改善」, 情報処理学会: プログラミング, Vol. 45, No. SIG12, 2004.
- (13) Susumu Nishimura, "Fusion with Stacks and Accumulating Parameters", Proceedings of the 2004 ACM SIGPLAN Symposium on Partial Evaluation and Semantics-Based Program Manipulation, pp. 101-112, 2004.
- (14) 西村進, "On impredicative use of generic recursion operator, 第7回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ(PPL2005), 2005.
- (15) Susumu Nishimura, Keisuke Nakano, "XML stream transformer generation through program composition and dependency analysis", Science of Computer Programming, Volume 54, Issues 2-3, pp.257-290, 2005.
- (16) Haruo Hosoya, Alain Frisch, Giuseppe Castagna, "Parametric polymorphism for XML", Proc. Principles of Programming Languages 2005, pp. 50-62, 2005.
- (17) Keisuke Nakano, XMLストリーム処理器の自動導出が可能なXML変換言語の設計. コンピュータソフトウェア, Vol. 21, No. 3, pp.48-54, 2004.
- (18) Keisuke Nakano, "An Implementation Scheme for XML Transformation Languages through Derivation of Stream Processors", The Second ASIAN Symposium on Programming Languages and Systems (APLAS'04), LNCS 3302, pp.74-90, 2004.

課題番号 H14/B04

知的行動を創発するための基礎原理の解明と その応用に関する研究

[1] 組織

代表者：土屋 和雄

(京都大学工学研究科)

責任者：矢野 雅文

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

伊藤 宏司 (東京工業大学総合理工学研究科)
 津田 一郎 (北海道大学理学研究科)
 石黒 章夫 (名古屋大学工学研究科)
 浅間 一 (東京大学人工物工学研究センター)
 藤井 輝夫 (東京大学生産技術研究所)
 高草木 薫 (旭川医科大学)
 太田 順 (東京大学 工学系研究科)
 細田 耕 (大阪大学工学研究科)
 倉林 大輔 (東京工業大学総合理工学研究科)
 木村 真一 (情報通信研究機構.)
 近藤 敏之 (東京工業大学総合理工学研究科)
 辻田 勝吉 (京都大学工学研究科)

研究費：旅費 83.5万円

[2] 研究経過

本プロジェクト研究では、移動によって外部環境が捉えなおされ、身体を通して内面化される機能に着目し、生物およびロボットに共通するこの移動知の数理的・生物的原理を考察するとともに、工学的実現に向けての計算手法を開発することを目的とする。

本年度は、下記の課題について研究を展開していった。

- 1) 身体・環境間の相互作用による拘束条件の内的生成、およびそのための数理ダイナミクスを開発する。解析論的アプローチとして、移動知の獲得における大脳基底核の役割を調査、検討した。設計論的アプローチとして、コンテキストに基づき運動要素の結合・構造化を行う志向性運動形成メカニズムを検討した。
- 2) 能動的行動による外部環境自由度の拡大・拘束、群ロボットにおけるコミュニケーションや共進化を通しての機能獲得方法を明らかにする。設計論的アプローチとして、協調するエージェン

トが他者とのインタラクションに基づいて自己の行動を決定するアーキテクチャについて検討した。

(研究会)

第1回：平成16年7月21日於旭川医科大学機器センター3F, カンファレンスルーム (参加者14名)

第2回：平成16年10月12日～13日於東北大学電気通信研究所 (参加者14名)

第3回：平成17年3月9日～10日於東北大学電気通信研究所 (参加者16名)

「3」成果

(3-1) 研究成果

身体・環境間の相互作用による拘束条件の内的生成に関して、解析論的アプローチとして大脳皮質による随意的制御と皮質下構造（辺縁系・基底核・小脳・脳幹）による非随意的運動の切り替えのメカニズムについての研究のレビューを行った。又、それにもとづいた設計論的アプローチとして反射制御・リズム制御と上位志向性制御系とこれらを結ぶ力学的相互作用から構成されたロボットの運動制御について議論を行った。能動的行動による外部環境自由度の拡大に関しては、設計論的アプローチとして自立的な個体群における社会認知モデルの形成に関する構成論的アーキテクチャについて議論を行った。

(3-2) 研究発表会の開催

本研究会メンバーが中心となって、下記の研究集会を開催した。

- 1) 下記国際会議においてオーガナイズドセッション「Mobilience」を開催し、2セッション9件の発表を行った。
 2004 International Conference on Intelligent Robots and Systems
 2004年9月28日～10月2日 於仙台
- 2) 下記カンファレンスにおいてオーガナイズドセッション「Mobilience」を開催し、2セッション9件の発表を行った。
 2004 SICE Annual Conference 於札幌

- 3) 下記カンファレンスにおいてオーガナイズドセッション「ロコモーションから生まれる知能】を開催し、5件の発表を行った。
2004年11月18日～20日SICE システム情報部門
学術講演会 於浜松
- 4) 下記カンファレンスにおいてオーガナイズドセッション「移動知発現のシステム原理」を開催し、2セッション7件の発表を行った。
2004年12月17日～19日SICE システムインテグレーション部門講演会 於つくば
- 5) 下記シンポジウムにおいてオーガナイズドセッション「移動・行動にともなう知能」を開催し、2セッション7件の発表を行った。
第17回自律分散システム・シンポジウム
2005年1月27日～28日 於東京工業大学すずかけ台キャンパスすずかけホール

「4」成果資料

上記国際学会1)における発表論文

- 1) K. Tsujita, H. Toui, K. Tsuchiya, "Dynamic Turning Control of a Quadruped Robot Using Nonlinear Oscillators", Proc. of the 2004 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Sendai, Sep. 2004.
- 2) T. Kondo, T. Somei, K. Ito, "A Predictive Constraints Selection Model for Periodic Motion Pattern Generation", Proc. of the 2004 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Sendai, Sep. 2004.
- 3) A. Ishiguro, M. Shimizu, T. Kawakatsu, "Don't Try to Control Everything!: An Emergent Morphology Control of a Modular Robot", Proc. of the 2004 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Sendai, Sep. 2004.
- 4) H. Kimura, Y. Fukuoka, "Biologically Inspired Adaptive Dynamic Walking in Outdoor Environment Using a Self-Contained Quadruped Robot: 'Tekken2'", Proc. of the 2004 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Sendai, Sep. 2004.
- 5) M. Ogino, I. Tsukinoki, K. Hosoda, M. Asada, "Controlling Lateral Stepping of a Biped Robot by Swinging Torso Toward Energy Efficient Walking", Proc. of the 2004 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Sendai, Sep. 2004.
- 6) S. Aoi, K. Tsuchiya, "Stability Analysis of a Simple Walking Model Driven by a Rhythmic Signal", Proc. of the 2004 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Sendai, Sep. 2004.

課題番号 H15/B01

微粒子プラズマの基礎と応用

【1】組織

代表者：渡辺征夫

(九州大学大学院システム情報科学研究院)

対応者：舛岡富士雄

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

佐藤 徳芳	東北大学名誉教授
飯塚 哲	東北大学大学院工学研究科
真瀬 寛	茨城大学名誉教授
佐藤 直幸	茨城大学工学部
石川稟威男	山梨大学工学部
羽鳥 尹承	神奈川大学工学部
三重野 哲	静岡大学理学部
石黒 静児	核融合科学研究所
菅井 秀郎	名古屋大学大学院工学研究科
庄司多津男	名古屋大学工学部
橋 邦英	京都大学大学院工学研究科
三宅 正司	大阪大学接工学研究所
東辻 浩夫	岡山大学工学部
福政 修	山口大学工学部
板谷 良平	京都大学名誉教授
池上 英雄	名古屋大学名誉教授
河合 良信	九州大学大学院総合理工学研究院
白谷 正治	九州大学大学院システム情報科学研究院
藤山 寛	長崎大学工学部
藤田 寛治	佐賀大学理工学部
石原 修	横浜国立大学工学部
内田儀一郎	マックスプランク研究所
加藤 公義	一ノ関工業高等専門学校
高橋 和生	京都大学大学院工学研究科
浜口 智志	京都大学大学院エネルギー科学研究所
林 康明	京都工芸繊維大学工芸学部
上村 鉄雄	名城大学
藤原 正巳	核融合科学研究所名誉教授
松田 彰久	東京理科大学
小川 雲龍	日立国際電気半導体装置システム研究所
向井 正	神戸大学大学院自然科学研究科
中村 昭子	神戸大学大学院自然科学研究科
佐々木浩一	名古屋大学大学院工学研究科

大野哲靖 名古屋大学大学院工学研究科

研究費：校費：50,000円，旅費：713,000円

【2】研究経過

微粒子プラズマによるクーロン結晶が1994年に発見されて以来、それを固体や液体に関する物理的諸現象の解析手段として利用することに注目が集まり、研究が活発に行われるようになってきた。微粒子プラズマの結晶化現象は、強結合プラズマとしての一側面である。この方面的理論的研究には30～40年来の歴史があつて詳しい研究がなされており、相転移現象など物理の基礎現象解析にも関る。一方、強結合プラズマの実験例としては他に、イオントラップ中のイオンの結晶、電解質溶液中のコロイドによる結晶などがあるが、実験の難しさや安定性に問題があった。微粒子プラズマによるクーロン結晶は、その形成が容易であり、結晶格子定数（つまり微粒子間の距離）は数百ミクロンと大きいのでビデオカメラなどを用いて簡単に可視化して記録できるなどの有利さがあり、強結合プラズマを実現する対象として極めて期待が大きい。

微粒子プラズマの実験で利用される微粒子は単分散である必要性からサイズは数ミクロンと大きく、このため重力の影響を無視できず、正確な現象解析のためには微小重力環境下での実験が要求される。ドイツではこのことを意識した実験を早期から進めており、微小重力条件下での微粒子プラズマ実験の蓄積がある。一方日本でも、遅れて数年前より、東北大学、九州大学、静岡大学、京都工芸繊維大学で落下実験棟や航空機放物線飛行を利用した微小重力環境下微粒子プラズマ実験を行って来ている。本プロジェクトでは、以上の特異的性質を持つ微粒子プラズマの性質解明をさらに深めるとともに、微粒子制御等の応用への展開への基礎を確立する目的で研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が2年度であった。前年度では、微粒子プラズマに対する重力効果の重要性から、無重力環境での微粒子プラズマの研究課題、及び国内での研究グループの組織化等について議論が行われるとともに、微粒子プラズマ系

での臨界現象などの物理機構解明の必要性が指摘された。本年度は、これらの成果を踏まえながら共同実験のための装置構成、方法などについてさらに踏み込んだ議論を行うとともに、ドイツやロシアなどの諸外国との国際研究の推進化を図った。

以下に、研究活動状況の概要を記す。

(1) 第1回微粒子プラズマ研究会

日時：10月12日（火）午後1:30～5:00

場所：東北大電気情報系103会議室

特別講演：午後1:30～2:30

「微小重力下における微粒子プラズマの 研究」
(ドイツ・マックスプランク研・Prof. Morfill)

休憩：午後2:30～3:00

微粒子研究会：午後3:00～5:00

(1) IMPFの研究活動とIMPACTの組織について

（ドイツ・マックスプランク研・Prof. Morfill,
東北大・佐藤徳芳名誉教授）

(2) ICAPSの組織と研究活動について

（神戸大学・向井教授、同・中村助教授）

(3) 国内IMPACTの今後の活動について（全体討議）

(4) 「宇宙環境利用に関する地上研究」について

（京都工芸繊維大・林助教授）

(2) 第2回微粒子プラズマ研究会

本研究会は宇宙航空研究開発機構との合同で行われた。

日時：1月11日（火）午後1:30～5:30

場所：京都工芸繊維大学工織会館多目的室

議題：

1. 「第8回宇宙環境利用に関する地上研究の公募」への応募に向けて
2. ロシアとの“ISSにおける微小重力実験”的国際協力について

(3) 第3回微粒子プラズマ研究会

日時：平成17年3月4日（金） 13:00 - 17:00

場所：東北大工学部電気情報システム・応物系
103会議室

第1部講演会 13:00 - 15:10

趣旨説明： 渡辺征夫（九大）

特別講演1： 田中基彦（核融合研）

「生体高分子における静電相互作用」

特別講演2： 大野哲靖（名大）

「核融合装置におけるダスト研究の諸課題」

休憩 15:10 - 15:20

第2部ワークショップ 15:20 - 17:00

「微粒子プラズマ研究の今後の方針」

趣旨説明： 佐藤徳芳（東北大名誉教授）

「日本ロシア国際協力について」

話題提供：石原修（横国大）

渡辺征夫（九大）

まとめ：石原修（横国大）

【3】成果

(3-1)研究成果

第1回研究会の講演では、ドイツ・マックスプランク研究所のProf. Morfillから、最近のドイツにおける微粒子プラズマ研究の成果について発表があった。特に、国際宇宙ステーションを利用した微小重力条件下実験のための設備の紹介と実験結果が報告された。装置には多くの工夫が施されており、今後、国内で微小重力環境下実験を実施するための装置設計を行う上で参考とすべき点が多くあった。また実験結果では、微粒子プラズマの液体状態や液体状態から固体状態へと変化する過程における微粒子の挙動について新規な結果が示され、今後の実験計画で考慮すべき新たな問題提起もなされた。

その後の微粒子研究会では、同じくProf. Morfillにより、欧州の微小重力下微粒子プラズマ研究の組織であるIMPF (International Microgravity Plasma Facility)の計画について報告がなされた。また神戸大学より、宇宙空間・大気中での微粒子挙動に関する国際的研究組織であるICAPS (Interactions in Cosmic and Atmospheric Particle Systems, 同大学のグループも参画) が国際宇宙ステーションで計画している研究の概要について報告があった。欧州においてICAPSはIMPFと共同で、IMPACTと呼ばれる大きな組織を構成し相互に情報交換を行っている。したがってIMPFと関連が深い本研究会と国内のICAPSの組織とが情報交換を行ったことの意義は大きく、今後国際的に幅広く研究の連携を進めていくことの重要性を認識した。さらに、日本宇宙フォーラムが募集する「第8回宇宙環境利用に関する地上研究の公募」への応募について議論がさなれ、これまで計画してきたように、“微粒子プラズマを用いた臨界振動現象の研究”の提案を今後さらに詳しく検討していくことで合意した。なお、本研究会には宇宙航空研究開発機構で微小重力環境下実験を推進する依田教授と二名の研究員にも出席をお願いし、有益な助言を頂いた。

第2回目の研究会では、「第8回宇宙環境利用に関する地上研究の公募」への応募に向けた内容の検討が行われた。微粒子プラズマを利用した臨界振動現象の研究を提案された岡山大学の東辻教授より、理論的な背景の説明がなされた。その後、臨

界点実現のための微粒子プラズマの条件、微粒子プラズマの場合のユニバーサリティクラス、臨界現象研究に微粒子プラズマを利用するとの意義、国際宇宙ステーションにおける微小重力実験の意義、理論・シミュレーションの進め方について議論が行われた。また、微粒子をプラズマ中心部に捕捉するためのプラズマ発生・制御方法について検討がなされ、透明電極グリッドケージ放電を中心とした実験装置開発の提案を行うことを確認した。

第3回目の研究会では、日本学術振興会による日本・ロシアとの2国間共同研究の応募について意見交換した。さらに“国際宇宙ステーションにおける微小重力実験”の国際協力に関して、現在ドイツとロシア間で行われている実験計画に参画するのは装置改造と時間的な問題があり、2007年より予定されているロシアの計画に加わっていく方が望ましいとの見解に達した。また、特別講演会では、生体DNAの帶電現象に伴う相互作用や核融合プラズマ装置中の微粒子発生など、新領域への応用が議論された。

(3-2)波及効果及び発展性

微粒子プラズマの研究は、プラズマ基礎、宇宙、核融合、ナノテクノロジー、材料創製、半導体プロセスなど多くの分野の研究と関連をもつ。また研究者の世界的な広がりもあって、幅広い交流と国際的な情報交換を必要としている。国際宇宙ステーション利用による国際協力は、これを実行するための理想的な場となり、これを契機とした研究の高揚と進展が期待される。今回の研究会では、ドイツのIMPF組織のリーダーであるProf. Morfillを招き、また国内のICAPS研究の主役である神戸大学のグループにも参加を頂き、さらに宇宙研究開発機構の研究者も交えて情報交換を行ったが、今後、国際宇宙ステーションにおける微小重力下微粒子プラズマ研究の計画を進めていく上で大きな前進であったと評価される。また、国際宇宙ステーションの利用を目指した「第8回宇宙環境利用に関する地上研究の公募」への応募に関する合意は、国内の微小重力下微粒子プラズマ研究に携わる研究者の一致団結した協力による新たな研究の展開が期待され、その意義は大きい。

本プロジェクトによって、学外研究者との交流が飛躍的に活性化した。さらにドイツやロシアとの共同による実験への道が開かれるようになりつつある。本プロジェクトで得られた微粒子プラズマに関する成果は、将来は国際的な協力関係の下、

大きな研究組織体制の中で新しい研究の華を開かせ、学問の進展に少なからぬ貢献ができる期待している。

【4】成果資料

- (1) 石原修: “プラズマ中微粒子挙動の基礎的理論”, 日本マイクログラビティ応用学会誌, **22(1)**, pp.3-11, 2005
- (2) 東辻浩夫: “強結合荷電粒子系の理論” 同上, **22(1)**, pp.12-16, 2005
- (3) 林康明: “微粒子プラズマの性質と基礎実験”, 同上, **22(1)** pp.17-21, 2005
- (4) 渡辺征夫: “プラズマにおける微粒子の成長過程と成長制御—基礎と応用—” 同上, **22(1)**, pp.22-29, 2005
- (5) K.Koga, N.Kaguchi, M.Shiratani, Y.Watanabe: J. of Vacuum Science and Technology A, **22(4)**, pp.1536-1539, 2004
- (6) K.Koga, R.Uehara, Y.Kitaura, M.Shiratani, Y.Watanabe, A.Komori: IEEE Transaction on Plasma Science, **32(2)**, pp.405-409, 2004
- (7) M.Shiratani, M.Kai, K.Koga, Y.Watanabe: Thin Solid Films, **427**, pp.1-5, 2004
- (8) Y.Kurimoto, N.Matsuda, G.Uchida, S.Iizuka, M.Suemitsu, N.Sato: Thin Solid Films, **457**, pp.285-291, 2004
- (9) S.Iizuka, M.Ozaki, T.Gohda: Physics of Plasmas, **11**, pp.L5-L9, 2004
- (10) Y.Hayashi: Microgravity Sci. and Technol. Journal, **16(1)**, pp.64-66, 2005
- (11) Y.Hayashi: Japanese Journal of Applied Physics, **44(3A)**, in press, 2005
- (12) Y.Hayashi, Y.Shinawaki, Y.Morimoto, S.Nishino: Jpn. Journal of Applied Phys. **43(10A)**, pp.L1237-L1240, 2004.
- (13) T.Mieno: Plasma Physics and Controlled Fusion, **46**, pp.211-219, 2004.

課題番号 H15/B03

低消費電力・高速MOS集積回路に関する研究

[1] 組織

代表者：舛岡 富士雄

(東北大学電気通信研究所)

責任者：舛岡 富士雄

(東北大学電気通信研究所)

分担者：岩井 洋

(東京工業大学フロンティア創造共同研究センター)

桜庭 弘

(東北大学電気通信研究所)

研究費：校費 5万0千円、旅費 3万9千円

[2] 研究経過

MOS集積回路は、高度情報通信社会を支えるキーデバイスの一つであると共に、日本の基幹産業となっている。従って、MOS集積回路は、次世代電子システムには必要不可欠であり、MOS集積回路の低消費電力化と高速化は近年その重要性を増している。

例えば、インターネット通信、マルチメディア通信を始めとする基幹情報通信システムにおいては、さらなる高速動作性、高機能化が要求されている。一方、情報通信機器の小型化・携帯化が進んでおり、末端情報通信システムにおいては、さらなる低消費電力動作化、及び、低価格化が要求されている。この様に、MOS集積回路は、高度情報通信システムにおけるキーデバイスとしてさらなる高速動作性、高機能化、低消費電力動作性、及び、微細構造化による低コスト化が求められている。

上記の状況を踏まえて、MOS集積回路の低消費電力化および高速化に関する研究は、近年ますますその重要性を増しており、世界中で精力的に行われている。例えば、現在のMOS集積回路に用いられている基本スイッチング素子である平面型MOSトランジスタは、最も重要な素子と考えられ、現在でも広く実用化のための研究が進められている。また、新しい回路技術、設計技術に関しても、多くの新規技術、実用化技術などが研究されている。

従来のMOS集積回路の研究の多くは、その基本

素子であるMOSデバイスの寸法を微細化することにより、集積回路の高速化・低消費電力化・高集積化・低コスト化を実現してきた。しかし、従来のMOSトランジスタは、ソース、ドレイン、ゲート、つまり、素子の入出力端子が、半導体基板上に平面的に配置されていたために、半導体基板上の素子面積を微細化するためには高度の微細加工技術を必要としていた。そのため、微細構造を有するMOSトランジスタの製造コストは近年増加の一途をたどっている。また、各入出力端子が半導体基板上に形成されているために各端子の寄生容量、寄生抵抗が大きいため、応答速度が遅く、消費電力が大きかった。また、各素子を接続する配線構造の限界により、さらなる高機能化が困難になってきている。

以上の理由により、従来技術の延長による微細MOSトランジスタでは、その構造的原因により、将来の超高性能情報通信システムから要求される性能を達成できる集積回路を実現する事は、原理的に困難となってきている。従って、上記問題点を克服する新しいデバイス設計、回路設計、アーキテクチャー設計が求められるようになってきている。

このような状況の下、平成15年度に「低消費電力・高速MOS集積回路に関する研究」という研究課題で共同プロジェクトが採択された。本年度が第2年度であった。

前年度は、本プロジェクトでは、今後MOS集積回路の高性能化を実現する上で研究を進めるべき課題として、①プロセス設計、②デバイス設計、③回路設計、④アーキテクチャー設計の各4項目が重要であることが明らかになった。そこで本年度は、前年度の成果を踏まえながら、MOS集積回路の高性能化に関する研究を開拓した。

以下、研究活動状況の概要を示す。

第2回低消費電力・高速MOS集積回路研究会

日時：2005年 1月28日

16:00~18:00

場所：東北大学電気通信研究所

2号館大会議室

MOS集積回路の高性能化に対する問題点を克服する技術的方向性、及び、具体的な設計手法に関して活発な議論がなされた。

以下に上記研究会で得られた成果を述べる。

[3] 成果

(3 - 1) 研究成果

MOS集積回路の高性能化に関する最新の研究状況と研究方向を議論するために、第2回低消費電力・高速MOS集積回路研究会を開催し、2年目である本年は、以下に示す研究成果を得た。

まず、本共同プロジェクト研究会での前年度までの研究状況も踏まえて、現在までに提案され、実用化してきたMOS集積回路の高性能化に関する技術を系統的に整理した。そして、現在のMOS集積回路の動作速度、消費電力、高密度化を律速している要因を解析した。

この知見を元に、前年度までに定めた、今後MOS集積回路の高性能化を実現する上で研究を進めるべき課題である、①プロセス設計、②デバイス設計、③回路設計、④アーキテクチャー設計の各4項目に対してさらに深く議論した。そして今年度は特に、ひずみシリコンの導入による移動度向上や、トランジスタのゲート長微細化によるリーク電流や、ArFレーザーを用いた液侵リソグラフィ技術、EUVを用いたリソグラフィ技術や、ウエハの大型化に伴う課題に関して議論を行った。その結果、物理的限界に達しているとされるMOS集積回路の性能を、今後も引き続き高性能化していくことができるこことを明らかにした。

(3 - 2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、学外研究者との交流が飛躍的に活性化した。また、本プロジェクトで明らかになった微細化の限界を克服するための設計手法の成果は、超高速情報処理能力を必要とする基幹情報通信システム、及び、低消費電力処理能力を必要とするモバイル情報システムにおけるキーデバイスという新しい研究領域の開拓（萌芽的研究の発見）に結びつき、今後の発展が期待されている。本年度に得た知見を元に、次年度も本共同プロジェクト研究会を継続し、さらに継続的に研究を深めてゆく予定である。

課題番号 H15/B04

ナノ・バイオエレクトロニクスに関する研究

[1] 組織

代表者：宇理須恒雄

(岡崎共同研究機構分子科学研究所)

責任者：庭野 道夫

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

岩澤 康裕（東京大学理学研究科）
 岩崎 裕（大阪大学産業科学研究所）
 辛 增（東京大学物性研究所）
 上野 信雄（千葉大学工学部）
 萩野 俊郎（横浜国立大学大学院）
 斎藤 峰雄（NEC基礎研究所）
 玉田 薫（産業総合技術研究所）
 三木 一司（産業総合技術研究所）
 岡崎 進（分子科学研究所）
 水野 彰（分子科学研究所）
 養王田正文（東京農工大工学部）
 山崎 昌一（静岡大学理学部）
 菅原 正雄（日本大学文理学部）
 堀 勝（名古屋大学工学研究科）
 松崎 尹雄（三菱化学生命科学研究所）
 水柿 道直（東北薬科大学）
 佐藤 憲一（東北薬科大学）
 石井 久夫（東北大学電気通信研究所）
 木村 康男（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費150千円、旅費 626,540円

[2] 研究経過

バイオエレクトロニクスは21世紀の重要な科学技術分野の一つとみなされているが、その技術革新のためには、20世紀に高度に発達した半導体集積回路技術と、その多様な機能が次々と解明されつつある生体化学反応系とのインテリジェントな融合を図る必要がある。この融合が実現すれば、生体情報を物理信号に変換し、また、逆に物理信号を生体系にフィードバックする高度なバイオ・インターフェイスシステムが構築でき、DNAチップの高度化など、現在急成長しているバイオエレクトロニクスの更なる発展に貢献する。しかしながら、国内外を見渡しても、この種の研究は緒についたばかりである。そこで本研究は、半導体工学

や表面科学の研究者と、生命科学、バイオテクノロジー分野の研究者が協力して、ナノ・バイオエレクトロニクスの今後の戦略目標を討論することを目的とした。

ナノ・バイオ電子デバイス構築のためには、新規な製造プロセスの開発、製造プロセスの反応制御、構築したナノ構造体の物性評価、また、ナノ構造をベースとした新しいデバイス設計等の研究が必要である。具体的には、タンパク質、アミノ酸、DNAなどの生体物質を半導体材料表面にその本来の機能を失うことなく集積し、さらに生体物質と無機材料とのインターフェイス技術を確立することも研究課題となる。そこで本年度は、薄膜材料プロセスや反応制御に係わってきた、材料・電子工学の研究分野ばかりでなく、生体物質を自在に操作する技術を有する生化学・分子生物学分野の研究者の英知も結集して、新しいバイオ・半導体融合ナノ構造の構築法とその機能評価について、主に研究打ち合わせを行い、それをベースとして、平成16年10月19、20日の2日間にわたり、東京にて国際ワークショップ『表面バイオトロニクス』を開催した。このワークショップは、科学研究補助金 基盤研究(C) (企画調査、代表：庭野道夫) の援助のもとで開催されます。研究会の主要テーマは、①表面原子レベル制御、②表面生体分子配列制御、③表面生体計測、④表面バイオセンサ、バイオチップであった。

ワークショップの参加者は、大学院生を含め約50名で、二日間にわたり活発な討論が行われた。以下に、ワークショップのプログラムを付記する。

【第1日目（10月19日(火)）】

Opening Address

Prof. H. Iwasaki, ISIR, Osaka University,
 Session 1

Prof. Y. Baba, Nagoya University (Invited), "Nano-Biodevice in Genomics and Proteomics"

Prof. H. Tabata, ISIR, Osaka University, "Non-Labeling Detection of DNA Hybridization by IS-FET Devices"

Prof. Y. Shinohara, Tokushima University, "Strategies Used for Functional Characterization of Membrane

Proteins"

Session 2

Prof. A. Offenhausser, ISG2, Research Centre Julich (Invited), "Bioelectronic Hybrids ? Functional Coupling of Biological Systems with Electronic Devices"

Prof. H. Iwata, Institute for Frontier Medical Sciences, Kyoto University, "Studies of Cell-Material Interactions Using Evanescent Wave and its Application to Cell Microarrays"

Dr. K. Morigaki, Research Institute for Cell Engineering, AIST, "Micropatterned Composite Membranes of Polymerized and Fluid Lipid Bilayers"

Dr. K. Tamada, Photonics Research Institute, AIST, "Bio-Photonics Devices with Gold Nanoparticles"

【第2日目（10月20日(水)）】

Session 3

Dr. M. S. Sander, Institute of Materials Research and Engineering (IMRE), Singapore, "A Simple Template-Based Method to Create Nanopatterned Self-Assembled Monolayers on Various Substrates"

Prof. T. Yoshinobu, ISIR, Osaka University, "Micropatterning of Biomolecules on Si by AFM Anodic Oxidation Technique"

Prof. T. Urisu, Institute for Molecular Science, "Surface Microfabrifications and Chemical Modifications of Si for Fabrication of Membrane Protein Biosensors"

Session 4

Prof. T. Akaike, Tokyo Institute of Technology (Invited), "Surface Chemistry of Signal Transduction in Cell Biology"

Prof. Y. Okada, National Institutes of Natural Science (Invited), "Sensor Channels in the Cell Membrane"

Session 5

Prof. I. Ohdomari, Waseda University (Invited), "Creation of Functional Surfaces by Means of Particle Irradiation and Subsequent Chemical Processes"

Prof. T. Ogino, Yokohama National University, "Control of Nano-Reaction Surfaces in Biotronics"

Prof. M. Tanaka, Yokohama National University, "Atomically Controlled Structures on Si(111) Surface for Regular Arrangements of Biomolecules"

Session 6

Prof. S. Antoranz Contera, University of Oxford (Invited), "AFM for Bionanotechnology: Extraction of an Alpha-Helix from a Lipid Bilayer and Adsorption of Osteoblasts and Adhesive Proteins to Patterned Tantalum"

Prof. S. Katsura, Toyohashi University of Technology,

"Manipulation of DNA Molecules in Frozen Solution by Local Temperature Controlling"

Prof. M. Niwano, RIEC, Tohoku University, "Infrared Spectroscopic Characteristics of DNA Hybridization Probed by Surface Infrared Spectroscopy"

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本研究では、半導体や生体高分子のナノ構造をベースとした新しいバイオ電子デバイスを実現するための基盤技術の開発を目標にしている。この技術が開発されれば、生体物質の微視的相互作用（生体反応）の高精度分析や、血液中、体液中の成分の"その場"分析などの応用が可能である。また、この機能は、DNAチップの高度化など、現在急成長しているバイオエレクトロニクスの更なる発展に貢献する。研究会において、このテーマに対するさまざまな観点から研究の成果が報告され、特に生体分子によるナノ構造構築法や新規なデバイスについての興味深い発表があった。

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究会は、ナノ構造デバイスの構築を目標に、固体表面をベースとした新しいナノ構造製造プロセスの開発や、ナノ構造体の物性評価などについて、今後の戦略目標について討論することを目的とした。その結果、今後の重点研究は固体表面を利用したバイオエレクトロニクス技術の確立であるとの結論に至り、本プロジェクト研究を立案した。

現在、この技術の開発には自己組織化機能などの化学反応制御法が極めて有効である。生物の細胞はまさに自然の自己組織化機能を利用してさまざまな機能を実現している。自己組織化を利用した高分子のナノ構造の構築や、それを新しいバイオエレクトロニクスに活用することは、今大きな発展を向かえる時期にあり、この分野の今後の研究の進展が大いに期待される。

[4] 成果資料

参考資料として、上記国際ワークショップの予稿集を添付する。

課題番号 H15/B05

次世代VLSIコンピューティングと システムインテグレーション技術

[1] 組織

代表者：羽生 貴弘

（東北大学電気通信研究所）

責任者：羽生 貴弘

（東北大学電気通信研究所）

分担者：

Wai-Tung Ng (カナダ・トロント大学)
 亀山 充隆 (東北大学大学院情報科学研究科)
 米田 友洋 (国立情報学研究所)
 川又 政征 (東北大学大学院工学研究科)
 田所 嘉昭 (豊橋科学技術大学)
 青木 孝文 (東北大学大学院情報科学研究科)
 中島 雅美 (ルネサステクノロジ (株))
 松岡 浩 (日本原子力研究所)

研究費：校費 5万円，旅費21.9万円

[2] 研究経過

ユビキタスネットワーク社会に適合する情報通信機器においては、高度な知的情報処理を高速に実行でき、かつ低消費電力性を有するコンパクトな携帯型ハードウェア端末にて実現する必要がある。すなわち、現有のチップ性能をはるかに超える高性能なVLSIを開発しなければならない。従来までの微細加工技術だけでチップ性能を向上させることは極めて困難である。実際、デシミクロロン以細の超高集積VLSIチップにおいては、トランジスタのスイッチング遅延より、配線の複雑さに起因するモジュール間データ転送ボトルネックが性能を決定できる主因となってきている。このような配線問題を本質的に解決するためには、ソフトウェア・アルゴリズムレベル、システム・アーキテクチャレベル、回路・デバイスレベル、材料・プロセスレベルというVLSI実現上の各設計階層を統合したシステムインテグレーション技術に関する研究を積極的に実施することが極めて重要である。

本プロジェクトでは、第2年度であり、前年度まで行った研究をさらに推進した。具体的には以下のよう次の次世代VLSIコンピューティングへ向けたシステムインテグレーション技術に関する研究活動を行った：

- ・平成16年6月25日 Prof. Ali Sheikholeslami (カナダ・トロント大学助教授) 特別講演「Circuit Techniques for Low-Power Content-Addressable Memories」
- ・平成16年10月6日 Prof. Vincent Guardet (カナダ・アルバータ大学助教授) 特別講演「Field-Programmable Analog Arrays: Principle and Applications」
- ・平成16年1月6～7日 松岡浩氏 (日本原子力研究所) と「次世代VLSIコンピューティングとシステムインテグレーション技術」に関する研究打合せ
- ・平成16年1月13～14日 松岡浩氏 (日本原子力研究所) と「次世代VLSIコンピューティングとシステムインテグレーション技術」に関する研究打合せ
- ・平成17年2月18～20日 中島雅美氏 (ルネサステクノロジ) と「次世代VLSIコンピューティングとシステムインテグレーション技術」に関する研究打合せ
- ・平成17年3月18～20日 中島雅美氏 (ルネサステクノロジ) と「次世代VLSIコンピューティングとシステムインテグレーション技術」に関する研究打合せ

[3] 成果

(3-1) 研究成果

次世代VLSIコンピューティングへ向けたシステムインテグレーション技術に関する本年度の具体的研究成果として、主として以下に述べる2点について述べる：

①TMR素子を用いたロジックインメモリ回路技術の高性能化推進：

チップ内高速データ転送を実現するために有用なシステムインテグレーション技術として、本研究代表者は不揮発性デバイスを活用し記憶機能と演算機能をデバイスレベルでコンパクトに一体化する「不揮発性ロジックインメモリ」技術に関する研究を推進している。本年度は前年度から取り組んできた、トンネル磁気抵抗効果(TMR)デバイスを活用したロジックインメモリ回路技術をさらに推進するため、まず、TMRデバイスの小さい抵抗変化率(50%程度)でも高速にスイッチ

グ可能な回路方式として、MOS差動対回路を積極的に活用し、(1)差動対回路の積上げで任意の論理回路が構成できること、(2)MOS差動対回路のMOS部分を、相補のデータが記憶されたTMRデバイス対に置き換えることで、TMR回路網が構成できることを明らかにした。この技術を活用した演算回路例として、記憶機能付き全加算器を $0.18\mu\text{m}$ CMOS技術で構成した場合、同一スイッチング遅延下で同等機能のCMOS実現と比べ、動的消費電力を約30%程度に、静的消費電力を2桁程度低減できることを示した。

②多値2線符号化に基づく非同期デュプレックス通信技術の高性能化：

チップ内配線量増大に起因する問題の1つとしてクロックスキュー問題がある。これを解決するシステムインテグレーション技術として、非同期式制御に基づくチップ内高速データ転送技術が重要である。この非同期式制御に関する研究成果として、本年度は前年度から検討してきた「2線だけでデュプレックス通信」するための電流モード多値回路技術に関して問題点を整理し、さらなる高性能化方法について検討した。すなわち、2線だけでデュプレックス通信するため1線上の信号レベルが7値となり、そのレベル検出が回路の性能を支配することに着目し、この多レベルを高速に検出するためのセンサアンプ回路について種々検討した。その結果、従来の単方向非同期データ転送方式と比較し、スループットを249%向上、消費電力を54%に低減できることを明らかにした。

(3-2) 波及効果と発展性など

情報通信用の次世代高性能VLSIチップ実現技術に関する研究討論会を開催し、これに関する先端的技術の集積で、電気通信研究所が日本の情報通信関連技術の発信地となり、本プロジェクトの趣旨に合致している。また、研究討論会にて議論するシステムインテグレーション技術は、次世代システムLSI技術に直結するものであり、我が国半導体産業の活性化に大きく寄与することが大いに期待される。

[4] 成果資料

- (1) A. Mochizuki and T. Hanyu, "Low-Power Multiple-Valued Current-Mode Logic Using Substrate Bias Control," IEICE Trans. on Electronics, E87-C, 4, 582-588, April 2004.
- (2) 高橋, 羽生, 亀山, "双方向同時制御に基づく非同期データ転送方式とそのVLSI実現,"信学論CJ87-C, 5, 459-468, May 2004.
- (3) T. Takahashi and T. Hanyu, "Multiple-Valued Multiple-Rail Encoding Scheme for Low-Power Asynchronous Communication," Proc. 34th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, 20-25, May 2004.
- (4) A. Mochizuki, T. Takeuchi and T. Hanyu, "Intra-Chip Address-Presetting Data-Transfer Scheme Using Four-Valued Encoding," Proc. 34th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, pp.192-197, May 2004.
- (5) H. Kimura, K. Pagiamtzis, A. Sheikholeslami and T. Hanyu, "A Study of Multiple-Valued Magnetoresistive RAM (MRAM) Using Binary MTJ Devices," Proc. 34th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, 340-345, May 2004.
- (6) H. Kimura, T. Hanyu, M. Kameyama, Y. Fujimori, T. Nakamura and H. Takasu, "Complementary Ferroelectric-Capacitor Logic for Low-Power Logic-in-Memory VLSI," IEEE J. Solid-State Circuits, SC-39, 6, 919-926, June 2004.
- (7) A. Mochizuki, D. Nishinohara and T. Hanyu, "Low-Power Pipelined VLSI System Using a Power-Supply-Controlled CMOS Pass-Gate Network and Its application", ITC-CSAC2004, 6C1L-5/1-4, July 2004.
- (8) H. Kimura, M. Ibuki and T. Hanyu, "TMR-Based Logic-in-Memory Circuit for Low-Power VLSI", ITC-CSAC2004, 8C3L-3, July 2004.
- (9) A. Mochizuki, D. Nishinohara and T. Hanyu, "Low-Power Motion-Vector Detection VLSI Processor Based on Pass-Gate Logic with Dynamic Supply-Voltage/ Clock-Frequency Scaling" IEICE Trans. on Electronics, E87-C, 11, 1876-1883, Nov. 2004.
- (10) A. Mochizuki, T. Takeuchi and T. Hanyu, "Dynamically Function-Programmable Bus Architecture for High-Throughput Intra-Chip Data Transfer" IEICE Trans. on Electronics, E87-C, 11, 1915-1922, Nov. 2004.
- (11) T. Takahashi, N. Onizawa and T. Hanyu, "Differential Operation Oriented Multiple-Valued Encoding and Circuit Realization for Asynchronous Data Transfer" IEICE Trans. on Electronics, E87-C, 11, pp. 1928-1934, Nov. 2004.

課題番号 H15/B07

半導体ナノ成長場制御による構造と機能

[1] 組織

代表者：白石 賢二

(筑波大学・物理学系)

対応者：大野 英男

(東北大学・電気通信研究所)

分担者：

押山 淳 (筑波大学・物理学系)
 中山 弘 (大阪市立大学・工学部)
 纋纊 明伯 (東京農工大・工学部)
 一宮 彪彦 (日本原子力研究所)
 大野 隆央 (物質材料研究機構)
 伊藤 智徳 (三重大学・工学部)
 長谷川修司 (東大院・理学系研究科)
 中山 隆史 (千葉大・理学部)
 山口 浩司 (NTT物性基礎研)
 野村晋太郎 (筑波大学・物理学系)
 上田 一之 (豊田工大・工学部)
 木塚 徳志 (筑波大学・物理工学系)
 成塚 重弥 (名城大学・理工学部)
 平山 博之 (東工大院・総合理工学研究科)
 三木 一司 (物質材料研究機構)
 阿久津典子 (大阪電通大・工学部)
 名西やすし (立命館大・理工学部)

研究費：校費 5万円、旅費51万8千円

[2] 研究経過

今日の半導体ナノ加工技術の進展は目覚しく、商用のパーソナルコンピュータに使用されているIntel Pentium IVに用いられているゲート絶縁膜の厚さでさえ、2nm以下になっており、その厚さは7~8原子層に相当する。このように、半導体ナノテクノロジーは、既に一部の商品にさえ利用されているのが現状である。

しかしながら、飛躍的に発展した半導体ナノ加工技術を最大限に利用できているかというと、それはいささか疑問である。現在実用化されている半導体ナノテクノロジーにおいては、ナノ領域で特に顕著になる、電子の波動性等「電子の量子性」を有効に、かつ積極的に利用しているわけではなく、従来の古典論の延長上で実用化された技術が殆どだからである。

半導体ナノ構造は、量子論が支配するナノ世界の理想的な舞台であることが、最近のナノサイエンスに関する基礎研究の成果によって指摘され、多くの興味深い「量子現象」が予言され、さらに実験的に確認されている。すなわち、半導体ナノ構造は、従来のミクロン世界の常識では予想することさえできない新現象が発現する舞台であることが実証されているわけである。これらの新現象を有効利用することができれば、これまでの常識にはない、新しい機能をもったナノデバイスの実現も当然予想されるわけである。ところが一方で、量子性が顕著になるということはその物性・機能の予測が難しくなるというマイナスの面も併せ持っている。以上のことを総合すると、半導体ナノ構造のもつ潜在的 possibility を明らかにし、その新しい機能を発現させるには、量子論から理論的に予言される半導体ナノ構造に特異な現象・機能を実験の上で具現化するための、理論・実験が一体化した組織的な研究体制が当然不可欠となる。

このような状況の下、平成15年に「半導体ナノ成長場制御による構造と機能」という研究課題で共同プロジェクト研究会が採択され、(1) 量子論に基づくナノ機能デザイン、(2) 半導体ナノ構造作製、(3) ナノ機能評価、という3分野に従事する第一線の研究者が一同に介し、分野間の垣根を越えた討論の機会を設けることとなった。本プロジェクト研究会が目指すものは、半導体ナノ構造の有効利用の指針を獲得することによって、21世紀のナノサイエンス・テクノロジーの基礎を形作ることである。

半導体ナノ構造の有効利用の指針獲得を目指して、第1回共同プロジェクト研究会を平成15年10月に仙台市内の「作並温泉・岩松旅館」で開催した。第1回研究会では基礎研究に主眼をおき、主にナノサイエンスに重点をおいた基礎的な研究成果の発表を研究会メンバーに募集し、多くの興味深い半導体ナノ構造独特の現象に関する研究発表が行われるとともに、活発な討論が行われた。

第2年度にあたる平成16年度は、基礎的なナノサイエンスに関する発表とともに、その出口である実用化への道筋がある程度見えている半導体ナノテクノロジーに関する発表も多く募集した。第

2回共同プロジェクト研究会は蔵王町の「ラフォーレ蔵王 リゾート&スパ」で開催し、基礎的な研究成果の発表と同時に、実用化を念頭においた応用寄りの発表も行われた。本研究会では、基礎研究に携わる研究者に、実用上現実に問題となっている諸課題が伝わると同時に、応用研究に携わる研究者にナノサイエンス独特の興味深い現象の視点を加えることができたことが非常に有意義であったと考えている。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

平成16年度のプロジェクト研究会は研究分担者に「半導体ナノ成長場制御による構造と機能」に関する研究発表を募集して、平成16年11月11日(木)～12日(金)にかけて、宮城県刈田郡蔵王町の「ラフォーレ蔵王 リゾート&スパ」にて開催された。今回は特に実用化の道筋がある程度見えている研究についても積極的に募集した。平成16年度の研究会は、17名の参加者によって熱のこもった討論が展開され、ナノテクノロジーサイエンス・テクノロジーを日本發で切り拓こうという各研究者の気迫がひしひしと伝わってきた。以下に今回の研究会プログラムを記載する。

通常プログラム

1) 一宮彪彦 (名古屋大)

「Si(111)7x7表面上のシリコンピラミッドの成長」

2) 平山博之 (東工大・総理工)

「Si(111)表面上にエピタキシャル成長したAg超薄膜への電子量子閉じ込め」

3) 長谷川修司 (東大院理学系研究科)

「原子鎖の電気伝導」

4) 上田一之 (豊田工業大)

「ポーラスシリコンと窒化シリコン膜の熱拡散」

5) 伊藤智徳 (三重大工)

「分子線圧力・温度の関数としてのGaAs表面：量子論的アプローチ」

6) 山口 浩司 (NTT物性基礎研)

「InAs/GaAs(111)A ヘテロ構造を用いたメカニカル素子」

7) 野村晋太郎 (筑波大物理)

「量子ドット超格子の光新機能探索」

8) 大野英男 (東北大通研, ERATO/JST)

「強磁性半導体における電気的磁化反転」

9) 大野隆央 (物質材料研究機構)

「シリコン中の転位のダイナミクス」

10) 押山淳 (筑波大物理)

「第一原理自由エネルギー計算によるレーザー励起SiO₂の挙動」

11) 阿久津典子 (大阪電通大)

「段丘構造形成：サーマル・ステップ・バンチング方式と「Herring的」方式 --理論解析からの予測--」

12) 三木一司 (物質材料研究機構)

「熱分解ジシランガスを用いたシリコン原子層エピタキシー」

13) 中山隆史 (千葉大理)

「窒化物半導体の金属層による表面極性反転」

14) 繁瀬明伯 (東京農工大 工)

「表面原子制御によるGaNエピタキシャル成長 GaN on GaAs and GaN on GaP --」

15) 白石賢二 (筑波大物理)

「Siテクノロジー・High-k技術最大の問題Fermi level pinningとその起源」

ランプセッション

1) 一宮彪彦 (名古屋大)

「反射高速陽電子回折による結晶表面の研究」

2) 三木一司 (物材機構)

「バイオナノ研究の現状とその可能性」

今回の研究会でも次世代の基礎科学を担うような非常に基礎的なナノサイエンスの発表が大部分を占めたが、その一方で、既に実用化への道筋が見える応用寄りの半導体ナノテクノロジーの発表も数多くあったことが今回の研究会の特徴である。「表面制御による新しいGaNの成長法 (東京農工大・繁瀬)」、「Siテクノロジー・High-k技術最大の問題Fermi level pinningとその起源 (筑波大・白石)」、「ナノメカニカル素子の実現 (NTT・山口)」等である。基礎的なナノサイエンスの発表に加え、このように実用的な発表が加わったことで、今年度の共同プロジェクト研究会は現実の半導体技術に根ざした、地に足の着いた研究会になったという印象を持てた。また、ナノサイエンスとナノテクノロジーの双方の専門家が基礎、応用の双方の視点から半導体ナノサイエンス・ナノテクノロジーを議論することができたことは非常に意義が大きい。ナノテクノロジーは元来量子論を基礎とする技術であるため、その基礎的な部分の研究をおざりにすると今後の発展が大きく遅れると予想されるからである。また一方で、基礎的なナノサイエンスに従事する研究者が、実用化が近い現在のナノテクノロジーの具体的な問題点を詳細に認識できたことの意義も非常に大きい。

さらに、ランプセッションで行われた「バイオナノ技術の現状のその可能性（物材機構・三木）」の発表も非常に新鮮であった。バイオ技術を用いてナノ構造を作成するという試みとその可能性・問題点について、非常にわかりやすい解説が行われた。バイオ技術というと「制御性の悪いもの」という印象を持っていたが、ある種の酵素タンパク質を用いることによって半導体基板上に極めて制御性よく半導体ナノ構造を作成することができること等が紹介され、参加者一同は驚きと感動を覚えた。バイオ技術と半導体技術が実用化レベルで将来融合されるか否かは未知数であるが、少なくともサイエンスレベルでは非常に面白い研究対象であることは間違いないことがよく認識できた。

（3－2）波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究会を通して、理論と実験、基礎と応用、ミクロとマクロ、さらにはバイオと非バイオ等、異なる分野の研究者がナノサイエンス・テクノロジーという一つのテーマに対して集中的に討論できたことは非常に意義が大きかったと考えられる。

現実に本プロジェクト研究会をきっかけに、いくつかの研究協力、共同研究がはじまった。昨年の共同プロジェクト研究会をきっかけとして始まった表面ナノ構造の電子構造に関する、実験グループと理論グループの研究協力は、今年度には大きな発展を遂げ、理論グループが国際会議での発表を行うまでに成熟した。また、今年度のプロジェクト研究会をきっかけに新たな共同研究も生まれている。「金属／絶縁体ナノ界面制御の実用化」という応用寄りのテーマに対して、元来はナノ界面の基礎物理の研究を行っていた研究者が参入し、実用化に近い研究を既に行っている研究者との共同研究が行われている。

以上のように、本プロジェクト研究会が分野を超えた研究者間の真の意味の連携の機会を与える場となったことがわかる。将来的には、本プロジェクト研究会の討論をきっかけに、さらなる研究者間の有機的連携が生まれ、新しい機能をもつ半導体ナノ構造が実現されることを予想している。こうした一連の研究成果は、21世紀のナノサイエンス、そしてナノテクノロジーに新しいコンセプトを与え、将来技術の礎となると期待される。

課題番号 H15/B08

ヒューマノイドロボットの新展開

[1]組織

代表者：矢野雅文（東北大学電気通信研究所）
 分担者：
 伊藤 宏司（東京工業大学総合理工学研究科）
 永島 史朗（富士通㈱ペリフェラル研究所）
 石黒 章夫（名古屋大学工学研究科）
 浅間 一（東京大学人工物研究センター）
 伊藤 聰（岐阜大学工学部）
 高草木 薫（旭川医科大学）
 多賀巖太郎（東京大学教育学研究科）
 細田 耕（大阪大学大学院工学研究科）
 土屋 和雄（京都大学工学研究科）
 大須賀公一（京都大学情報学研究科）
 野村 泰伸（大阪大学基礎工学研究科）
 木村 浩（電気通信大学情報システム学研究科）
 山口 陽子（理化学研究所脳科学研究所）
 倉林 大輔（東京工業大学理工学研究科）
 船戸 哲郎（東京工業大学理工学研究科）
 森 大志（山口大学農学部獣医学科）
 川端 邦明（理化学研究所分散適応ロボティクス）
 近藤 敏之（東京工業大学総合理工学研究科）
 青沼 仁志（北海道大学電子科学研究所）
 辻田 勝吉（京都大学工学研究科）
 藤井 輝夫（東京大学生産技術研究所）
 神崎 亮平（東京大学情報理工学系研究科）
 永島 史朗（富士通㈱ペリフェラルシステム研）
 井上 康介（茨城大学工学部）
 太田 順（東京大学工学系研究科）

研究費:物件費 49,980円 旅費 763,600円

[2]研究経過

ロボットに目的を設定した時、ロボットが環境変化に合わせて柔軟にロボット自身を自律的に制御する問題は逆問題となる。この逆問題を解くことが、実環境で機能するロボット実現するために不可欠となる。逆問題は一般的には不良設定問題となるので、この不良設定問題を良設定問題にするために必要な拘束条件をシステムの外からシステムに課すことによって解くのが従来の方法である。例えば、拘束条件を与えて、軌道を計算し、軌道を満足するように制御をする方法はこれに当

たる。このような逐次処理に基づく情報処理のパラダイムでは、環境変化や不測の事態に対して、そのつど拘束条件を設定し直して対処しなければならない。本研究では時々刻々変化する環境に応じて拘束条件としての「見なし情報」を生成し、それをリアルタイムで充足する方法を確立する方法論について研究を行った。またこの方法論の応用としてラーニングフリーで、しかもリアルタイム処理が可能なヒューマノイドロボットのための新しい情報処理のパラダイムについて議論した。そのためには、研究対象を人間に限らず、動物一般にまで広げ、共通原理を引き出すことが重要であることを踏まえて研究することとした。

プログラム：

3月9日（水）13:00～19:30

- 1) 「移動知：行動からの知能理解 ---生物学・工学の連携によるその発現メカニズムの解明---」
浅間 一（東大）
- 2) 「行動発現の神経生物学的基盤」
高草木 薫（旭川医科大学）
- 3) 「大脑皮質運動関連領野が創る「見なし情報」による随意運動制御」 矢野雅文（東北大学）
- 4) 「感覚・運動連関の実時間拘束ダイナミクスの構成論的理義」 近藤 敏之（東京工業大学）
- 5) 「基底核-脳幹-脊髄系神経回路網と身体筋骨格構造の力学的秩序形成による歩行運動生成」
土屋 和雄（京都大学）
- 6) 「環境に適応するための実時間行動選択のシステム的理義」 青沼 仁志（北海道大学）
- 7) 「フェロモン行動を行う昆虫の社会性発現機構の構成論的理義 太田 順（東京大学）
- 8) 「生体の適応行動発現に対するネットワーク機能構造からの理解」
倉林 大輔（東京工業大学）
- 9) 「移動知の力学的共通原理の発見と展開 - 人工物と生物の共通理解」
石黒 章夫（名古屋大学）

3月10日（木）9:00～12:00

- 1) 「適応的ロコモーション創発のための反射と志向性の相互作用設計」 細田 耕（大阪大学）
- 2) 総合討論

人と社会との相互作用の障害が増加しているのに対して、これまでの脳科学研究では高次脳機能の解明や大脳皮質における情報の流れについての知見が得られたが、それだけではこれらの問題に關しては十分である方法論とはなっていない。それは脳単体を対象とした方法論では限界があるためであり、脳の働きを身体や実環境あるいは社会との動的な相互作用においてとらえるシステム論的な方法論が必要であることでは一致した了解が得られた。人を含めた全ての動物は複雑で無限定な環境において適応的に行動できる運動機能を有している。そのためには、「身体」という物理的実体を介して外との多様な動的インタラクションを生み出す「移動」という行為が重要である。

「知」の獲得にとって「移動」は本質的であり、移動により生じる動的な相互作用によって創発的に獲得される適応的運動機能を「移動知」と呼ぶことにした。高次脳機能に対して、移動知は「生存脳機能」と位置づける。もちろん高次機能のベースとして生存脳がある。

人や動物が持つ様々な複雑性に対して、身体・脳・環境の動的相互作用により、認知主体の内部に自律的にモデルが構成され、多様な知的運動機能が創発される移動知のメカニズムを、生物学と工学の連携により構成論的に解明することが重要であり、今後その方向で本研究プロジェクトメンバーが緊密に連絡を取り合って研究を進めること必要性が指摘された。その際、取り扱う3つの複雑性として、1) 複雑な環境、2) 冗長な運動自由度；体の複雑性・脳と身体の複雑性、3) 自律的な個体群、を研究対象とし、1) については環境認知モデルの自律的形成と知的運動機能の創発、2) では身体認知モデルの自律的形成と知的運動機能の創発、3) では社会認知モデルの自律的形成と知的運動機能の創発を主題として研究することが重要であることを議論した。

これらの研究を通じて、移動知発現のメカニズムの共通原理を生物・人工システムにおいて明らかにし、知的人工物の設計論の解明へ向かうことの重要性が認識された。そのさい、個別的な知見の集積に力を注いできた生物学と構成論を発展させてきた工学との密接な連携が必要であることが指摘され、従来はともすれば「生物学→工学」の流れになりがちであった研究を双方向的なカップリングにし、お互いの研究結果を披露し、統合することの重要性が認識された。方法論的には

- (1) 生物学：生物学的解明
- (2) 工学：モデル生成と人工システムによる実験
- (3) 生物学：モデルの検証

(4) 工学：共通原理の解明・応用

を行うことであり、これによって新しい学問領域“構成生物学”を創出する。そこでは異なる研究分野の専門家の幅広い参画が必須となる。

具体的な課題として、1) 見なし情報の生成；複雑な環境ではボトムアップ的に問題を解くことは観測限界もあり、不可能であるので、脳・環境連関を取り入れ、予測不可能な実環境において経験に基づき仮説を生成し、行動生成するメカニズムを大脳皮質－基底核－小脳ループの生物学的研究とカップルすることで、どのようにして拘束条件が生成され、充足されているのかを研究する。2) 冗長自由度や異なる身体性を有する動物の研究結果をロボットに実装し、歩行運動特性が移動主体の持つ身体的特性により創発される適応的移動行動の発現と行動選択を可能とする知の生成メカニズムを明らかにする。とくに随意運動と無随意運動が無意識に切り替わるが、その際の大脳皮質と皮質下構造がどのように相互連関しているかを明らかにする。3) 個体群内で個体間の相互作用により創発される社会性の構築メカニズムの研究を行う。群行動により創発される社会性行動・社会階層性の形成を可能とする知のメカニズムとは何かを研究することで知の共有がどのようにして可能になるかを明らかにする。4) これらの3つの知のレベルを超えて、さらには生物と人工システムに共通した移動知の共通原理を探求するとともに、知的人工物の設計原理を構成論的に明らかにする、ことを行うことが重要である。

これらは、これまでの方法論は、「脳研究は実験手法の制約があって動的相互作用との関連が扱えず、脳内情報処理の現象論的記述にとどまっており、システム論的な解析がない。逆に、ロボティクスでは予測不可能な環境下で動作する人工物の設計原理が明かではない」と言う欠点があったが、それを補う方法論として期待できる。

この共同プロジェクト研究を行った結果、新しい工学分野を切り開く道筋が明確にされ、今後の発展が期待される。

成果資料

1. D. Kurabayashi, K. Konishi, H. Asama: “Distributed Guidance Knowledge Management by Intelligent Data Carriers”, Int. J. of Robotics and Automation, vol. 16, no. 4, pp. 207-216 (2001).
2. H. Asama, T. Fujii, H. Kaetsu, I. Endo, T. Fujita; “Distributed Task Processing by a multiple Autonomous Robot System Using an Intelligent Data Carrier System”, Intelligent Automation and

- Soft Computing, An International Journal, vol. 6, no. 3, pp. 215-224, (2000).
- 3 . M. Hoshino, H. Asama, K. Kawabata, Y. Kunii, I. Endo: "Communication Learning for Cooperation among Autonomous Robots", Proc. 2000 IEEE Int. Conf. on Industrial Electronics, Control and Instrumentation, pp. 2111-2116 (2000).
 - 4 . K. Tsuchiya, T. Nishiyama, K. Tsujita, A deterministic annealing algorithm for a combinatorial optimization problem using replicator equations, Physica D, 149, 161-173, (2001)
 - 5 . K.Tsujita, K.Tsuchiya and A. Onat, Decentralized Autonomous Control of a Quadruped Locomotion Robot, Proc. of International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines, E-18 (2000)
 - 6 . K.Tsuchiya, K. Tsujita, M. Kawakami and Shinya Aoi, An Emergent Control of Gait Patterns of Legged Locomotion Robots, Preprints of The Fourth IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles, 271-276, (2001)
 - 7 . Toshiyuki Kondo and Koji Ito, A Reinforcement Learning with Adaptive State Space Recruitment Strategy for Real Autonomous Mobile Robots, Proc. of 2002 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'02), CD-ROM #393, 2002.
 - 8 . Jun Izawa, Toshiyuki Kondo and Koji Ito, Biological Robot Arm Motion through Reinforcement Learning, Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'02), CD-ROM #539, 2002.
 - 9 . Koji Ito, Jun Izawa and Toshiyuki Kondo, Motor Learning and Control based on the Internal Model, Proc. of IEEE International Conference on Decision and Control (CDC '01), CD-ROM, 2001.
 10. An echolocation model for range discrimination of multiple closely spaced objects : Transformation of spectrogram into the reflected distribution Ikuo Matsuo, Kenji Kunugiyama and Masafumi Yano,(2003, J.Acoust.Soc.AM., in press)
 11. Real-time Control of Walking of Insect; Self-Organization of the Constraints and Walking Patterns; Masafumi Yano, Shinpei Hibiya, Makoto Tokiwa and Yoshinari Makino (2002,Distributed Autonomous Robotic Systems, vol. 5, 444-451)
 12. On the effectiveness of whole spectral shape for vowel perception, Masashi Ito, Jun Tsuchida and Masafumi Yano (2001, J. Acoust. Soc. AM.110, 1141-1149)
 13. Takakusaki, K., Oohinata-Sugimoto, J., Saitoh, K. and Habaguchi, T. Basal ganglia-brainstem systems in the control of postural muscle tone and locomotion. In: Brain Mechanisms for the Integration of Posture and Movement. (S. Mori, D.G. Stuart and W. Wiesendanger. Eds). Prog. Brain Res. (in press)
 14. Takakusaki, K. and Kohyama, J. Medullary reticulospinal tract mediating the generalized motor inhibition in cats: III. Functional organization of spinal interneurons in the lower lumbar segments. Neurosci. (in press)
 15. Takakusaki, K., Saitoh, K., Habaguchi, T., Oohinata-Sugimoto, J. Basal ganglia efferents to the brainstem centers controlling postural muscle tone and locomotion; A new concept for understanding motor disorders in basal ganglia dysfunction. Neurosci. (in press)
 16. Nakamura,A., Ota,J., Arai,T., Human -Supervised Multiple Mobile Robot System, IEEE Trans. Robotics and Automation, to appear (2002).
 17. Miyata,N., Ota,J., Arai,T., Asama,H., Cooperative Transport by Multiple Mobile Robots in Unknown Static Environments Associated with Real-time Task-Assignment, IEEE Trans. Robotics and Automation, to appear (2002).
 18. Miyata,N., Ota,J., Aiyama,Y., Asama,H., Arai,T.: Cooperative Transport in Unknown Environment, Proc. 2000 IEEE Int. Conf. Robotics and Automat., 3176/3182 (2000).
 19. Akio Ishiguro, Kenta Kawasumi, and Akinobu Fujii, Increasing Evolvability of a Locomotion Controller Using a Passive-Dynamic-Walking Embodiment, Proc. of the 2002 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and Systems, 2581/2586 (2002)
 20. Akinobu Fujii, Akio Ishiguro, Takeshi Aoki, and Peter Eggenberger, Evolving Bipedal Locomotion with a Dynamically-Rearranging Neural Network, Advances in Artificial Life, (Eds. J. Kelemen and P. Sosik)Lecture Notes in Artificial Intelligence 2159, Springer, 509/518 (2001)
 21. Kei Otsu, Akio Ishiguro, Akinobu Fujii, Takeshi Aoki, and Peter Eggenberger, Evolving an Adaptive Controller for a Quadruped Robot with Dynamically Rearranging Neural Networks, In Proc. of IEEE/RSJ International Conferenceon Intelligent Robots and Systems, 2036/2044 (2001)

課題番号 H15/B09

高気圧・高密度プラズマの生成と制御

[1] 組織

代表者：犬竹正明（東北大学工学研究科）
 対応者：末光真希（東北大学学際高等セ）
 分担者：安藤 晃（東北大学工学研究科）
 飯塚 哲（東北大学工学研究科）
 服部邦彦（東北大学工学研究科）
 戸張博之（東北大学工学研究科）
 庭野道夫（東北大学電気通信研究所）
 佐藤信之（東北大学電気通信研究所）
 西山秀哉（東北大学流体科学研究所）
 佐宗章弘（東北大学流体科学研究所）
 藤原民也（岩手大学工学研究科）
 高木浩一（岩手大学工学研究科）
 高山正和（秋田県立大学システム科学）
 斎藤和史（宇都宮大学工学研究科）
 市村 真（筑波大学プラズマ研）
 斎藤輝雄（筑波大学プラズマ研）
 北條仁士（筑波大学プラズマ研）
 池畠 隆（茨城大学理工学研究科）
 豊島安健（産業技術総合研究所）
 浦島邦子（科学技術政策研究所）
 荒川義博（東京大学工学研究科）
 小田哲治（東京大学工学研究科）
 渡辺隆行（東京工業大学原子炉研）
 小駒益弘（上智大学理工学部）
 都木恭一郎（東京農工大学工学教育部）
 津島 晴（横浜国立大学工学研究院）
 水野 彰（豊橋技術科学大学）
 菅井秀郎（名古屋大学工学研究科）
 豊田浩孝（名古屋大学工学研究科）
 堀 勝（名古屋大学工学研究科）
 佐々木浩一（名古屋大学工学研究科）
 上村鉄雄（名城大学理工学部）
 金子 修（核融合科学研究所）
 竹入康彦（核融合科学研究所）
 長山好夫（核融合科学研究所）
 田中雅慶（核融合科学研究所）
 吉沼幹朗（核融合科学研究所）
 藤村紀文（大阪府立大学工学部）
 橋 邦英（京都大学工学研究科）
 斧 高一（京都大学工学研究科）
 吉川孝雄（大阪大学基礎工学研究科）

田原弘一（大阪大学基礎工学研究科）
 永田正義（兵庫県立大学工学研究科）
 福政 修（山口大学工学部）
 河合良信（九州大学総合理工学研究院）
 篠原俊二郎（九州大学総合理工学研究院）
 佐藤浩之助（九州大学応用力学研究所）
 間瀬 淳（九州大学産学連携センター）
 藤山 寛（長崎大学工学部）
 秋山秀典（熊本大学工学研究科）

研究費：校費5万円，旅費：65.8万円

[2] 研究経過とその成果

本研究では、高気圧・高密度プラズマの生成と制御法を総合的に理解し、お互いの特性の評価、理論的検討などを進め種々の応用研究へ適応することを目的としている。そこで大気圧・高密度プラズマの理解を深めるため、その基礎研究や応用研究に携わる各分野の研究者を集めた研究会とプラズマの流れに関する高密度・高温プラズマの基礎研究から広く応用研究にわたる研究会を開催した。本プロジェクトは、本年度が2年目であり、前年度に引き続き、基礎および応用研究に関する研究会を開催した。

（研究討論会開催状況）

第1回

日時：平成16年11月29日（月）～30日（火）

会場：東北大学工学部 電気・情報系103会議室

- (1) 「大気圧高周波プラズマジェットのマイクロ加工・高感度化学分析への応用」
一木隆範（東大院・工）
- (2) 「大気圧グローブラズマの開発と材料表面改質への応用」 小駒益弘（上智大理工）
- (3) 「マイクロ波を用いた大気圧マイクロプラズマの生成とその特性評価」
河野明廣（名大院・工）
- (4) 「高周波インパルス放電による大気圧マイクロプラズマの生成」
田中康裕、飯塚 哲（東北大院・工）
- (5) 「高気圧マイクロプラズマトーチ」
長澤 武（宇都宮大工）

- (6) 「流れ場による直流大気圧グロー放電の安定化と応用」 山田浩義（東北大院・工）
 (7) 「パルスパワーを用いた大気圧グロープラズマの生成とその特性」 高木浩一（岩手大工）
 (8) 「電気流体力学（EHD）ポンプにおける電歪効果」 萩浦慶太（東北大院・工）
 (9) 「大気圧プラズマによる温室効果ガスの分解特性」 林 信哉（佐賀大理工）
 (10) 「大気圧プラズマの医療応用」 秋津哲也（山梨大工）

- (11) 「Atmospheric Pressure Microwave Plasma System and Applications」
 Raju Ramasamy (ADTEC Plasma Technology Co.)
 (12) 「DLCプラズマコーティング技術とバイオ医学への応用」 中谷達行（トヨーエイテック株）
 (13) 「常圧パルス電界プラズマを用いたポリシリコン薄膜堆積」 末光真希（東北大・学際）

この研究会では、大気圧プラズマの生成・維持および材料処理、環境応用、医療などの応用分野における種々の分野の研究者による意見交換が行われた。

大気圧グロー放電の生成維持については、小駒氏による希ガス(He, Ar)中の誘電体バリア放電によるもの、山田氏の高速気流を用いるもの、高木氏によるパルスパワーを用いた大気圧グロー放電などの報告があった。特に小駒氏によりその開発経緯や最近の進展についての詳しいレビューがなされた。

さらに応用として、一木氏の大気圧マイクロジェットの微細加工ならびに高感度化学分析、小駒氏の表面改質処理、河野氏によるエキシマ発光を用いたマイクロ波によるマイクロギャップ高密度プラズマ生成、田中氏による高周波インパルスマイクロプラズマによる微細ガラス管内の表面処理、長澤氏による浮遊多重電極による大気圧プラズマトーチでの金属表面加工、末光氏により薄膜形成の報告などがあった。

医療分野では秋津氏により低気圧プラズマを用いた様々な医療応用が紹介された。また、企業関係者(R. Ramasamy氏、中谷氏)からプラズマメスや医療機器の表面処理などに用いられる技術が紹介された。

第2回

- 日時：平成17年3月15日（火）
 会場：東北大学工学部 電気・情報系1号館
 451・453会議室
 (1) 「宇宙におけるプラズマ回転とジェットの形成機構」 柴田一成（京大・理）

- (2) 「プラズマのパルス的電磁加速とスフェロマック形成」 永田正義（兵庫県立大・工）
 (3) 「プラズマの定常的電磁加速と磁気ラバールノズル流」 戸張博之（東北大・工）
 (4) 「ホーキング輻射の流体シミュレーション」 奥住聰、阪上雅昭（京大人間・環境学）
 (5) 「運動論的内部キンクモードと渦の相互作用」 内藤裕志（山口大・工）
 (6) 「回転電子プラズマの平衡分布の形成と圧縮」 隈本泰士（京大人間・環境学）

プラズマ基礎研究の中で、近年の磁場閉じ込め研究において、プラズマ流の役割の重要性が認識され、電場形成と輸送障壁との相関に関する研究や高速プラズマ流の動圧力を利用した高ベータプラズマ閉じ込め研究が進められている。一方で、宇宙プラズマ関係においても太陽風の発生機構や宇宙ジェットの観測とその生成機構の研究などが注目され、プラズマの流れが関与する研究には著しい進展がある。また宇宙推進技術や種々の産業応用にとどまらず、プラズマ流の研究は不可欠である。

本研究会では、高密度・高温プラズマの基礎研究を中心核融合分野の研究者だけでなく、宇宙プラズマ物理やプラズマ流に関する各種応用研究者とプラズマの流れに関する基礎研究の広い領域において情報交換を行った。

柴田氏により、宇宙における回転とジェットの形成機構を中心に天文学における観測ならびに計算機シミュレーションなど広範なレビューが報告された。

永田氏により実験室内で行っているパルス電磁加速によるスフェロマック生成によって起こる多彩なMHD現象による、ヘリカルシンク、回転、プラズモイド噴出、磁気リコネクション、衝撃波発生などの天体现象との類似性についての報告があった。

戸張氏により、東北大学HITOP装置のMPDアーカジェット（電磁加速型プラズマガン）を用い、高速・高ベータプラズマ流を生成し、MHD不安定性、衝撃波構造の観測結果が報告され、電気推進機開発への課題や宇宙プラズマの模擬実験の可能性が示された。

奥住氏によりブラックホール現象である「ホーキング輻射」と呼ばれる熱輻射を実証するためにラバール管中の遷音速流を利用した「音のブラックホール」によるホーキング輻射の模擬実験が紹介され、数値実験の結果を通じてホーキング輻射の実演可能性を示した。

内藤氏により磁場閉じ込め核融合プラズマ中で

起る鋸歯状振動の内部崩壊現象についての計算機シミュレーション計算結果の報告があった。

際本氏により非中性プラズマを用い、このプラズマの密度分布の制御を目的とした回転波動とプラズマの相互作用の研究を運動論的取り扱い、波動によって誘起される粒子束を理論的に導出し、その電磁気学的力学的意味について検討が加えられた。

上記の2回の研究会の参加者は、それぞれ学内外を含め50名以上であった。各講演内容に対して参加者による活発な討論が行われ、理論的、実験的側面ならびに応用についての理解に大きく寄与した。

[3] 波及効果と発展性など

本プロジェクト研究会では、様々な立場で研究が行われてきたプラズマの生成・制御法を総合的に理解し、お互いの特性の評価、理論的検討などを進めることができた。また、今年度は基礎物理の観点から実験室から宇宙に至るまでの広範な研究分野についても取り扱った。

これらのことは、高気圧・高密度プラズマを取り扱う上で共通する物理現象を把握し、種々の応用研究へ適応するために必要とされる制御法や計測法について新しい知見が得られた。これは今後の応用研究を進める上で重要な点が明らかにされ、高活性なプラズマ生成制御法の確立と、プロセス処理時間の短縮効果や装置の簡略化など従来のプロセス過程に対してのさらなる進展に大きな寄与が期待される。また高密度プラズマを対象としたプラズマ流とプラズマ内部構造形成との関係や磁気ノズルや閉じ込めなど磁場との相互作用等の研究は、基礎研究分野ではさらなる研究の発展や理解につながることが期待される。

[成果資料]

- [1] S. Matsuyama, N. Ohnishi, A. Sasoh, K. Sawada, Journal of Thermophysics and Heat Transfer, Vol. 19, No. 1(2005) 28-35.
- [2] Kuwabara, T., Shibata, K., Kudoh, T., and Matsumoto, R. ApJ, 621 (2005)921-931.
- [3] 田原弘一, 弓削政郎, 白崎篤司, 吉川孝雄, 高温学会誌, Vol.31, No.2 (2005)129-136.
- [4] Y. Nakamura, H. Bailung, and Y. Saitou: Phys. Plasmas, Vol. 11 (2004) 3925.
- [5] S. Yoshimura, A. Okamoto and M. Y. Tanaka, J. Plasma Fusion Res. SERIES, Vol.6 (2004) 610-613.
- [6] T. Akitsu, H. Ohkawa, M. Tuji, H. Kimura and M. Kogoma, Surface & Coating Technology, 193(2005).
- [7] A. Kono and K. Iwamoto, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 43, No. 8A (2004) L1010-1013.
- [8] K. Takaki, K. Urashima, J. S. Chang, IEEE Trans. Plasma Sci., 32(6) (2004)2175-83.
- [9] Z. Yoshida, S.M. Mahajan and S. Ohsaki, Phys. Plasmas, 11 (2004) 3660.
- [10] Yuji Kurimoto, Naoki Matsuda, Giichiro Uchida, Satoru Iizuka, Maki Suemitsu, Noriyoshi Sato, Thin Solid Films, 457(2004)285-291.
- [11] A. Tsushima and Y. Tayama, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.44, Part1 (2005) to be published.
- [12] R. Ono and T. Oda, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.43, No.1 (2004)321-327.
- [13] M.Y. Tanaka, K. Nagaoka, A. Okamoto, S. Yoshimura and M. Kono, Physica Scripta, Vol. T107 (2004) 49-53.
- [14] Reiji Ikada, Gouki Nishimura, Kohgi Kato, Satoru Iizuka, Thin Solid Films, 457 (2004)55-58.
- [15] M.Ichimura, H.Higaki, T.Kawabata, D.Inoue, H.Nagai, S.Kakimoto, Y.Yamaguchi, K. Horinouchi, K.Ide, K.Nakagome, T.Cho, Rev. Sci. Instrum., 75, No.10 (2004) 3637-3639.
- [16] H.Nishiyama, T.Sato and Y.Shiozaki, Vacuum, Vol.73, No.3-4(2004)691-697.
- [17] 寺嶋和夫, 伊藤剛仁, 藤原秀行, 片平研, 河野明廣, 王剣亮, 荒巻光利, 一木隆範, マイクロプラズマの応用, 核融合学会誌, (2004)845-853.
- [18] N. Hayashi and S. Satoh, IEEE Trans. Plasma Science, (2005) (in press).
- [19] SAITO Teruo, TATEMATSU Yoshinori, et al., Journal of Plasma and Fusion Research, Vol.80, No.6 (2004) 425-426.
- [20] A. Ohashi and M. Sakagami, Massive Quasi-normal Mode, Class. Quantum Grav., 21 (2004) 3973-3984.
- [21] S. Shinohara and T. Tanikawa, Rev. Sci. Instrum., 75 (2004) 1941.
- [22] Y. Kiwamoto, J. Aoki and Y. Soga, Phys. Plasmas, Vol.11, No.10 (2004) 4868-4890.
- [23] H. Naitou, Y. Sakurai, Y. Tauchi, O. Fukumasa, M. Yagi, Y. Yamagata, K. Uchino, K. Muraoka, Plasma Phys. Control. Fusion, 46(2004) 1217-1230.
- [24] M. Inutake, K. Yoshino, S. Fujimura, H. Tobari, T. Yagai, Y. Hosokawa, R. Sato, K. Hattori, A. Ando, Plasma Science & Technology, Vol.6, No.6 (2004)2541-2545.
- [25] K. Hattori, Y. Ishii, H. Tobari, A. Ando, M. Inutake, Proc. of 7th APCPST & 17th SPSM, (2004)420.

課題番号 H16/B01

ナノスケール磁性体の機能発現と 高周波・光情報デバイスへの応用

[1] 組織

代表者：荒井 賢一
(東北大学電気通信研究所)
責任者：井上 光輝
(豊橋技術科学大学電気・電子工学系)
分担者：
山口 正洋 (東北大学)
石山 和志 (東北大学電気通信研究所)
戸上 信 (東北大学多元物質研究所)
島田 寛 (東北大学多元物質研究所)
高梨 弘毅 (東北大学金属材料研究所)
高橋 研 (東北大学大学院)
猪俣浩一郎 (東北大学大学院)
石尾 俊二 (秋田大学)
石井 清 (宇都宮大学)
山田 興二 (埼玉大学)
山口 一弘 (茨城高専)
田中 雅明 (東京大学大学院)
阿部 正紀 (東京工業大学大学院)
佐藤 勝昭 (東京農工大学)
竹村 泰司 (横浜国立大学)
森迫 昭光 (信州大学)
佐藤 敏郎 (信州大学)
岩田 聰 (名古屋大学)
神保 瞳子 (大同工業大学)
内田 裕久 (豊橋技術科学大学)
西村 一寛 (豊橋技術科学大学)
藤井 壽崇 (愛知工科大学)
榎 修一郎 (岐阜大学)
本多 茂男 (島根大学)
節原 裕一 (京都大学)
阿部 浩也 (大阪大学)
山崎 二郎 (九州工業大学)
藤田 直幸 (奈良高専)
加島 篤 (北九州高専)
八木 正明 (崇城大学)
福永 博俊 (長崎大学)
伊崎 昌伸 (大阪市立工業研究所)

研究費：校費 58,474円 旅費 707,600円

[2] 研究経過

ナノ構造を導入した磁性体は連続体構造磁性体では発現しない新たな磁気的性質を示すことから、新しい機能性磁気デバイスを実現する構成媒体として高い魅力を備えている。本プロジェクト研究会では、ナノ構造磁性体のユニークな磁気特性の起源解明を目的として、ナノ構造磁性体の電気伝導特性や光伝搬特性、さらにはナノ構造磁性体を精度よく形成する手法の確立を目指した。また、これらナノスケール磁性体を高周波領域及び光領域で動作する情報デバイスへの応用を総合的に調査研究することで、先進的なグローバル・ユビキタス情報通信を支える磁気キーデバイス開発に資することを目的とするものである。

本年度は、電気学会ナノスケール磁性体の機能調査専門委員会と、日本学術振興会アモルファス・ナノ第147委員会第3部会（磁性材料）との連携により当該プロジェクトを推進した。表1、表2に、本プロジェクト研究会と電気学会マグネティックス研究会との共同で開催した研究会の発表論文リストを示す。また、表3、表4は第147委員会第3部会と共同して開催した研究会の発表論文リストである。これらの研究会では、ナノ構造磁性体の形成と、高周波機能、スピンドル依存電子伝導、光機能などについて詳細な技術討議を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

ナノスケールで構造を制御した磁性体を中心に新機能の追求、形成技術に関する討議、さらには高周波・光分野における応用について、現時点における総合的な知見を得た。

(3-2) 波及効果と発展性

ナノスケール磁性体に関する研究は、既に応用のステージに入っている研究領域もある。例えば、磁気記録におけるパーソナルメディアや、磁性フォトニック結晶を用いた空間光変調デバイスなどがある。最近では、GHzオーダに達する高周波領域で抵抗率が高く軟磁気特性を有する磁性薄膜や、ブルーの光領域で動作する磁気光学体などが求め

表1 電気学会マグネティックス研究会(H16.11.18-19, 東北大通研)と共同で開催した研究会の発表論文

題目	著者
フェライト粒子の作成と高周波特性	芳賀一昭, 小林亮平, 杉本諭, 籠谷登志夫, 猪俣浩一郎(東北大)
張力印加熱処理により作製したナノ結晶低透磁率Fe系薄帯の開発とコアへの応用	柳井武志, 高橋賢一郎, 中野正基, 福永博俊(長崎大)
局所磁界検出高感度フラクスゲートセンサー	山田興治, Bing Liu, 本多善太郎(埼玉大)
エアロゾル・デポジション法によるBi:YIG薄膜の形成と特性	溝口真彦, 西村一寛, 井上光輝(豊橋技科大), 高木宏幸(豊田高専), 明渡純(産総研)
人工オパールテンプレートを用いた3次元磁性フォトニック結晶の形成と特性	小玉剛史, アレクサンダー・バリシェフ, 西村一寛, 内田裕久, 井上光輝(豊橋技科大)
垂直磁気異方性を有するNdFeB薄膜のW保護層効果	奥本孝明, 劉小晰, 森迫昭光, 松本光功(信州大)
AFMナノリソグラフィを用いた磁性ナノ構造の磁区構造制御	竹原靖将, 渡邊源太, 林さとみ, 岡崎史紀, 山田努, 竹村泰司(横浜国大), 白樺淳一(秋田県立大)
磁気カーフィルターによる微細磁性体の磁化過程の検討	森智礼, 竹澤昌晃, 森本祐治, 山崎二郎(九工大)
高密度磁気記録媒体用L10-FePt薄膜の構造及び磁気特性	片山信宏, 前川智昭, 劉小晰, 森迫昭光, 松本光功(信州大)
高保磁力FePt規則合金薄膜のナノ構造と磁気特性	高梨弘毅, 嶋敏之, 伊藤弘高(東北大), 高橋有紀子, 宝野和博(物材機構), 李国慶, 石尾俊二(秋田大)
急速熱処理によるL10型FePt薄膜の形成と特性	相牟田京平, 西村一寛, 井上光輝(豊橋技科大), 枠修一郎(岐阜大)

表3 JSPS第147委員会研究会(H16.12.8, 弘済会館)と共同で開催した研究会の発表論文

題目	著者
HDD記録ヘッド用高Bs磁性材料	上原裕二(富士通(株))
MgO障壁を用いたトンネル素子の作製と巨大な室温TMR効果の実現	湯浅新治(産総研)
ポリオールプロセスを用いた磁性ナノ粒子の合成の現状と展望	Balachandran Jeyadevan(東北大)
シリコン埋め込みナノ磁性ドット配列の磁気的、光学的評価	佐藤勝昭(東京農工大)

表2 電気学会マグネティックス研究会(H17.3.11, 島根大)と共同で開催した研究会の発表論文

題目	著者
鉄族遷移金属/GaAsハイブリッドシステムの磁気特性および伝導特性	柴山文吾, 本多茂男(島根大)
強磁性半導体GaMnAsを用いたGaMnAs/AlAs/InGaAs/AlAs/GaMnAs二重障壁構造におけるトンネル磁気抵抗効果	大矢忍, Pham Nam Hai, 田中雅明(東大)
エピタキシャルMnAs/NiAs/MnAsにおけるスピノン注入磁化反転効果	中根了昌, 近藤潤, 菅原聰, 田中雅明(東大)
鉄系酸化物ナノ・コンポジット・スペッタ薄膜の新規電気磁気効果	藤井壽崇(愛知工科大), 加島篤(北九州高専), 井上光輝(豊橋技科大)
鉄粉体および鉄粉焼結体のプラズマ窒化	兒玉潤(島根大), 金山信幸, 江木俊雄, 植田優(島根産業技術センター), 本多茂男(島根大学)
スペッタ島状構造を利用した磁性体ナノコンタクト構造の試作	片山八寿之, 竹澤昌晃, 山崎二郎(九工大)
L10-FePt1ナノ粒子の磁化反転過程	岡本聰, 宮崎孝道, 北上修, 島田寛(東北大)
応力下連続焼鈍を施したFe-Cu-Nb-Si-B薄帯の基礎特性	柳井武志, 島田視宏, 高橋賢一郎, 中野正基, 福永博俊(長崎大), 吉沢克仁(日立金属)
Co-Pt薄膜磁石の電析法による作製	甘崎晋次郎, 島岡三義(奈良高専), 和知弘, 笹平昌男(日本エレクトロプレーティング・エンジニアース), 高瀬正志, 中野正基, 福永博俊(長崎大) 藤田直幸(奈良高専)
ソフト溶液プロセスで作製したヘテログラニュラー型Fe-Zn-O薄膜の微細構造と磁気特性	品川勉, 伊崎昌伸(大阪市立工研), 乾晴行, 邑瀬邦明, 粟倉泰弘(京大)
数値解析によるYIGマイクロセルの低保磁力化と単磁区化の検討	山中哲, 褒田和喜, 梅澤浩光(FDK)
エアロゾル・デポジション法による磁性ガーネット膜の形成と磁気・磁気光学特性(II)	溝口真彦, 西村一寛, 内田裕久(豊橋技科大), 明渡純(産総研) 井上光輝(豊橋技科大)

られるようになっている。この観点から、次年度以降では、ナノスケールで構造を導入した磁性機能性材料の超高周波領域あるいは光領域における機能にさらに焦点を絞って、情報通信分野への応用を念頭に置きながら研究会を推進する予定である。

表4 JSPS 第147委員会研究会(H17.3.10, 島根大)と共同で開催した研究会の発表論文

題 目	著 者
磁性フォトニック結晶の機能と開発の現状	井上 光輝(豊橋技科大)
エアロゾル・デポジション法による磁性厚膜の高周波応用	杉本 諭(東北大)
高透磁率膜のGHz帯応用技術の現状	Kim Ki-Hyeon(東北大)
軟磁性薄膜材料開発の現状	島田 寛(東北大)

[4] 成果資料

- (1) T. Shimaa, K. Takanashi, Y. K. Takahashi, K. Hono: Coercivity exceeding 100 kOe in epitaxially grown FePt sputtered films, *Appl. Phys. Lett.* 85 (13), 2571-2573 (2004).
- (2) S. Honda, M. Hirata, M. Ishimaru: Tunneling magnetoresistance of ultra-thin Co-SiO₂ granular films with narrow current channels, *J. Magn. Magn. Mat.* 290-291, 1053-1055 (2005).
- (3) S. Honda, T. Ishikawa, K. Takai, Y. Mitarai, H. Harada: New type magnetoresistance in Co/Si systems, *J. Magn. Magn. Mat.* 290-291, 1063-1066 (2005).
- (4) H. Kato, K. Hayama, T. Taniyama, Y. Kitamoto, H. Munekata: Significant Change in In-Plane Magnetic Anisotropy of (Ga, Mn)As Epilayer Induced by Low-Temperature Annealing, *Jpn. J. Appl. Phys.* 43 (7A), L904-L906 (2004).
- (5) Y. Takemura, S. Hayashi, F. Okazaki, T. Yamada, J. Shirakashi: Direct Modification of Magnetic Domains in Co Nanostructures by Atomic Force Microscope Lithography, *Jpn. J. Appl. Phys.* 44 (9), L285-L287 (2005).
- (6) 片山八寿之, 竹澤昌晃, 山崎二郎: スパッタ島状構造を利用した磁性体ナノコンタクト構造の試作, 電気学会マグネットイクス研究会資料, MAG-05-17, 31-36 (2005).
- (7) K. Yamada, Z. Honda, J. Luo, T. Okazaki: Magneto-transport study on Ni_{1-x}Mn_x (0.23<x<0.3) in High Fields up to 30 T, Proc. of 5th Pacific Rim Int. Conf. on Advanced Materials, Par3, pp2188-2192, (2004).
- (8) S. Sugimoto, J. Akedo, M. Lebedev, K. Inomata: Magnetic properties and microstructures of the aerosol-deposited permanent magnet films, *J. Magn. Magn. Mat.* 272-276, e1881-e1882 (2004).
- (9) 山中哲, 萩田和喜, 梅澤浩光: 数値解析によるYIGマイクロセルの低保磁力化単磁区化の検討, 電気学会マグネットイクス研究会資料, MAG-05-22, 59-64 (2005).
- (10) T. Shinagawa, M. Izaki, Y. Matsumura, K. Murase, Y. Awakura: Transparent Ferromagnetic Semiconductor Fe-Zn-O Heterogranular Films, *Electrochem. Solid-State Lett.* 7(10), G235-G237 (2004).
- (11) M. Izaki, A. Takino, N. Fujita, T. Shinagawa, M. Chigane, S. Ikeda, M. Yamaguchi, K. I. Arai, A. Tasaka: Chemical Preparation of Zn-Incorporated Magnetite Film for High-Frequency Applications, *J. Electrochem. Soc.* 151 (8), C519-C522 (2004).
- (12) H. Ono, T. Ito, S. Yoshida, Y. Takase, O. Hashimoto, Y. Shimada: Noble Magnetic Films for Effective Electromagnetic Noise Absorption in the Gigahertz Frequency Range, *IEEE Trans. Magn.* 40 (4), 2853-2857 (2004).
- (13) M. Nakano, K. Matsuo, H. Fukunaga, J. M. Song: Order/disorder phase composite Fe-Pt film magnets prepared by RF sputtering, *J. Magn. Magn. Mat.* 272-276, e1933-e1935 (2004).
- (14) H. Kuramochi, T. Uzumaki, M. Yasutake, A. Tanaka, H. Akinaga, H. Yokoyama: A magnetic force microscope using CoFe-coated carbon nanotube probes, *Nanotechnology* 16, 24-27 (2005).
- (15) 伊藤智哉, 北原陽平, 奈良健太郎, 加藤剛志, 岩田聰, 綱島滋: L1₀FePtグラニュラー膜のMBE成長とその磁気特性, 電子情報通信学会, 6pages (2005).
- (16) N. N. Shams, X. Liu, M. Matsumoto, A. Morisako: Manipulation of crystal orientation and microstructure of barium ferrite thin film, *J. Magn. Magn. Mat.* 290-291, 138-140 (2005).
- (17) Y. Jiang, T. Nozaki, S. Abe, T. Ochiai, A. Hirohata, N. Tezuka, K. Inomata: Substantial reduction of critical current for magnetization switching in an exchange-biased spin valve, *nature materials*, 1-4 (2004).

- (18) K. Machida, T. Tezuka, T. Yamamoto, T. Ishibashi, Y. Morishita, A. Koukitu, K. Sato: Magnetic structure of cross-shaped permalloy arrays embedded in silicon wafers, *J. Magn. Magn. Mat.* 290-291, 779-782 (2005).
- (19) S. Sugahara, M. Tanaka: A spin metal^oxide-semiconductor field-effect transistor using half-metallic-ferromagnet contacts for the source and drain., *Appl. Phys. Lett.* 84 (13), 2307-2309 (2004).
- (20) 三藤士郎, 吉田一輝, 石井清: ガスフロースパッタ法による高保磁力Co-Pt薄膜の作製, 日本応用磁気学会誌, 28(4), 457-552 (2004).
- (21) T. Hirose, Y. Fujiwara, M. Jimbo, T. Kobayashi, S. Shiomi, M. Masuda: Dependence of Hot Electron Transport on Base Layer Thickness of Magnetic Tunnel Transistor, *Jpn. J. Appl. Phys.* 43 (5A), 2479-2483 (2004).
- (22) 石尾俊二, 白建民, 高星英明, 斎藤準: 磁気力顕微鏡によるパターンおよびグラニュラー垂直媒体中の保磁力分布の解析, 日本応用磁気学会誌 28(7), 834-839 (2004).
- (23) M. Abe, T. Suwa: Surface plasma resonance and magneto-optical enhancement in composites containing multicore-shell structured nanoparticles, *Phys. Rev. B* 70 (23), 235103-1-15 (2004).
- (24) 藤井壽崇, 加島篤: ナノ・コンポジット強磁性酸化物スパッタ薄膜の新規電気磁気効果, 愛知工科大学紀要, 1, 39-47 (2004).
- (25) 藤井壽崇, ワジム カバレロフ: LiNbO₃単結晶基板上の表面弾性波ソリトンの励起, 愛知工科大学紀要, 1, 31-38 (2004).
- (26) 加島篤, 大橋敏弘, 井上光輝, 藤井壽崇: 強磁性酸化物薄膜における磁界誘導電気分極の直流バイアス電圧依存性, 日本応用磁気学会誌 28(9), 981-986 (2004).
- (27) M. Inoue: Magnetophotonic Crystals, *Proc. MRS, Symposium J*, 19 pages, 2004.

課題番号 H16/B02

ナノ構造形成プロセスと 新機能半導体デバイスへの応用に関する研究

[1] 組織

代表者 山部 紀久夫
(筑波大学 大学院電子・物理工学専攻)
対応者 遠藤 哲郎
(東北大学 電気通信研究所)
分担者 蓮沼 隆
(筑波大学大学院電子・物理工学専攻)
山田 啓作
(早稲田大学 ナノテクノロジー研究所)
知京 豊裕
(独)物質・材料研究機構 ナノマテリア
ル研究所
遠藤 哲郎
(東北大学 電気通信研究所)

研究経費：校費79,560円 旅費 121,440円

[2] 研究経過

シリコン集積回路に代表される情報デバイスは、次世代情報化社会を実現するために、さらなる高性能化が広く世の中から望まれている。そのため、ナノスケール構造のシリコン半導体デバイスを実現することは急務である。しかし、半導体表面におけるナノ構造形成のためのプロセス技術は未だ確立されていない。さらに、単なる微細化による半導体デバイスの高性能化には限界が見え始めている。以上の知見により、本共同プロジェクト研究会では、半導体におけるナノ構造形成プロセス技術に関する研究を行うと共に、当該ナノ構造によって発現する物理現象を応用した新機能シリコン半導体デバイスに関する研究を行うことを目的とする。

本プロジェクトは、本年度が第1年度目であった。
本年度は、以下の研究活動を行った。

1) Si(111)表面のステップ/テラス構造の形成と金属ナノワイヤ形成

オフ角が数分程度に小さいSi(111)面方位をもつシリコン単結晶ウエハを酸素が1ppb以下の濃度しか溶存していない純水に浸漬すると、as-received ウエハでは観察されなかった原子ステップと原子的に平坦なテラスで構成された面が得られた。これは、低溶存酸素純水の高い面方位選択性によるも

のであり、表面を構成する垂直Si-H結合に比較して、水平Si-HやSi-H₂などに対するエッティング速度が大きいことによる。このような原子ステップ/テラス構造をもつシリコン表面を、Cuを100ppb程度含む低溶存酸素純水に浸漬すると、原子ステップに選択的にCuナノワイヤが形成された。Cu被着によりステップ端にあるとされる水平Si-H結合による赤外吸収信号が消失している。また、ステップ長と被着Cu量の関係からほぼステップ端のSi原子1個に対して1個のCu原子が被着していることになる。

2) AlやHf吸着による下地シリコン酸化膜の絶縁特性劣化

シリコン酸化膜に代替する高誘電率絶縁膜は多くの場合金属酸化物であり、膜厚の均一性確保には原子層吸着が有効であることが知られており、その過程においては金属原子等が1nm程度の極薄シリコン酸化膜上に吸着され、全体として絶縁特性を実現している。本研究では、金属吸着における下地極薄シリコン酸化膜の絶縁性の劣化を調査した。

AlやHfを超高真空中で被着させる300℃程度でも、絶縁性は著しく劣化することが明らかになった。その主たる原因是、被着原子の酸素親和性に起因しており、被着した金属原子が下地シリコン酸化膜中の酸素を引き抜き、それらがSiO₂/Si界面に到達し、SiもしくはSiOを形成し、膜や界面特性を劣化させると考えることで説明される。膜中に酸素欠損が形成されること、厚いシリコン酸化膜中を用いた陽電子消滅スペクトルにより確認された。また、SiO₂/Si界面の劣化は、被着金属原子およびシリコン酸化膜剥離後のシリコン表面のラフネスの増加によって確認され、同時にAlではAl被着表面にSi原子が検出されたことからも、界面での反応が起こっていることが伺えた。

このような極薄シリコン酸化膜の絶縁特性の劣化は、オキシナイトライド化することにより、緩和されることも確認できた。

これらについて、研究討論会を東北大学電気通信研究所にて1回開催し、17年度に向けての研究の方向を討論した。

[3] 成果

(3-1)研究成果

本年度は、以下のことが明らかとなった。

まず第一に、原子レベルでシリコン表面の形状制御することにより、金属ナノワイヤの下地を形成することに成功し、原子ステップを構成するSi原子に対して、ほぼ1対1の対応で金属原子が吸着していることが明らかとなった。

第二に、極薄シリコン酸化膜表面への金属原子の吸着においては、個々の金属の酸素親和性に注意を要し、元素によっては、著しくその絶縁特性を劣化せしめることが明らかとなった。また、シリコン酸化膜をオキシナイトライド化することにより、ある程度は劣化を緩和させることができることも明らかとなった。

(3-2)波及効果と発展性

本プロジェクトで明らかになった金属ナノワイヤの成果は、ナノ構造形成の一環であり、今後の発展が期待されている。また、金属酸化物形成時の金属原子の酸素欠損を介した反応性に繋がっており、新機能金属酸化物薄膜の適用に重要な検討課題として取り上げられ、形成プロセスの信頼性向上に大きく貢献するものと考えられる。

[4]成果資料

- 1) N. Tokuda, S. Nishiguchi, S. Yamasaki, K.Miki and K. Yamabe; “Local dielectric degradation of Cu-contaminated SiO₂ thin films”, Solid State Phenomena, Vol.95-96(2004) 641-646.
- 2) N.Tokuda, S. Nishiguchi, S. Yamasaki, K.Miki and K. Yamabe; “Leakage Current Distribution and Dielectric Breakdown of Cu-contaminated Thin SiO₂”, J.Electrochem. Soc., Vol.151 (4)(2004) F81-86.
- 3) N.Tokuda, H.Watanabe, D.Hojo, S.Yamasaki, K.Miki and K.Yamabe; “Fabrication of Cu nanowires along atomic step edge lines on Si(111) substrates”, Appl.Surf.Sci., 237(2004) pp.528-531.
- 4) A.Uedono, M.Goto, K.Higuchi, K.Shiraishi, K.Yamabe, H.Kitajima, R.Mitsuhashi, A. Horiuchi, K.Torii, T.Arikado, R.Suzuki, T.Ohdaira and K.Yamada; “Characterization of Hf_{0.3}Al_{0.7}O_x Fabricated by Atomic-Layer Deposition Technique Using Monoenergetic Positron Beams”, Jpn.J. Appl. Phys., 43(2004) pp.7848-7852.
- 5) A.Uedono, M.Kiyohara, N.Yasui and K.Yamabe; “Suppression of oxygen diffusion by thin Al₂O₃ films grown on SrTiO₃ studied using a mono-energetic positron beam”, J.Appl. Phys., 97 (2005) 033508.

6) N.Tokuda, M.Nishizawa, K.Miki, S. Yamasaki, R.Hasunuma and K.Yamabe; “Selective Growth of Monoatomic Cu Rows at Step Edges on Si(111) Substrates in Ultralow-Dissolved-Oxygen water”, Jpn. J. Appl. Phys., 44 (2005)L613-615.

7) M.Goto, K.Higuchi, K.Torii, R.Hasunuma and K.Yamabe; “Transient Characteristics of HfAlO_x gate Dielectric Films”, Trans. Mat. Res. Soc. Jpn, 30(2005) pp.201-204.

課題番号 H16/B03

次世代情報通信における「音」の役割

[1] 組織

代表者：鈴木陽一

(東北大学電気通信研究所)

対応者：鈴木陽一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

武田一哉 (名古屋大学)

宇佐川毅 (熊本大学)

鹿野清宏 (奈良先端大学)

猿渡 洋 (奈良先端大学)

小林哲則 (早稲田大学)

浅野 太 (産業技術総合研究所)

伊勢史郎 (京都大学)

尾本 章 (九州芸術工科大学)

河原英紀 (和歌山大学)

赤木正人 (北陸先端大学)

柏野牧夫 (NTTコミュニケーション科学基礎研究所)

研究費：校費1,600円、旅費76万5千円

[2] 研究経過

近年のネットワーク技術と情報処理技術の進歩に伴い、画像、音、文字情報などが複合したマルチメディア通信の役割がますます重要になっていく。

その中で、人間のコミュニケーションを考えたとき、音声言語と深い関係を持つ音情報の役割は重要である。しかし、画像に比べ比較的伝送情報量が少なくてすむこともあり、マルチメディア通信の中で軽視されている感も否めない。その結果として、たとえば、テレビ会議システムの音響系サブシステムが貧弱で、結果的にシステムの総合性能が高まらない等は、その典型的な例である。

そこで、本研究では、マルチメディア時代における音情報通信の役割を改めて考え、今後の研究の課題や目標を設定することを目的として設定した。

以上の問題設定に基づき、マルチメディア時代における音情報通信の役割を考え、今後の研究の課題や目標について討議するため、今年度は3回の幹事会を開催した他、平成16年8月18日に全体研究会開催した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

研究会の方向性について、現在の視座、言い換えれば危機感について討議した。その結果、

- ・マルチメディア通信における音の軽視

- ・音の物理的性質から乖離

が要因として挙げられた。

言い換えれば、このような現状を打破するための方向性は次のとおりまとめられる。

- ・音を軽視しては、構成のマルチメディア通信システムの構築は困難

- ・音はストレージ内の2進データではなく、空気を伝わるものとしてとらえねばならない

これらの議論を受けて、個別の課題として取り組むべき課題を各自が列挙したところ、下記のとおりであった。

・コンテンツ情報処理

コンテンツ情報処理を重視すべきである。たとえばマルチメディア「アート」に関し、(普通の)音声と感情情報から、感情音声を作り出す技術などである。

・複合感覚インターフェース

聴覚、視覚、運動を複合し、新しいインターフェースの構築。脳の可逆性を考えると、刺激により脳が変化している可能性があり、上記の問題に応えるには、脳の理解が不可欠である。

・音声抽出技術

マイクロホンアレーと画像情報を利用し、劣悪な環境下で音声の抽出を行う。その際、音の到来方向情報と画像の人物の方向情報を Bayesian Networkで統合するなど、マルチメディア情報の利用も有効である。

この技術は、教育用コンテンツ作成や遠隔講義システムへの応用も可能である。また、ロボットと音響の融合も進んでおり、音に対する需要は高い。

・聴覚メディア処理

中心を聴覚において、音声・歌声等の聴覚メディア処理を行う。知覚的パラメータに基づく人間よりの音声処理により、徹底した高品質化が可能となる。

・実環境音声対話システム

各種雑音の識別と雑音耐性の向上により、既に実用的対話システムの開発が進んでおり、今後更なる高性能化を目指すべきである。

併せて、ささやき声で通話可能な無音声電話等の開発や、先見情報なしの信号・雑音分離技術等も、耐雑音性、プライバシー、障害者向けの技術として重要である。

このような技術においては、情報科学の立場からの音へのアプローチと物理学からのアプローチの差を意識し、生かすことを考えるべき。

・人間の進化における音の役割

ヒトは音場の快さによって進化するという立場がある。音像定位は、ヒトの能動的な知覚現象で生じているもので、場を共有することに意味があり、ヒトらしさにつながるとも考えられる。この場合、ヒトの有する暗黙の知識が、遺伝的なものか、先見的かにも留意すべき。

・安全快適な社会を作るための音

安全快適は、今後の研究の指向性として極めて重要である。音に関する技術も、この観点から寄与できるところが少なからずあると考えられる。

音に関する研究は、空間物理学、センサー・デバイス、信号処理、知能情報処理との連携や、視覚・映像分野、先端的な新産業業分野との連携を考える必要がある。この際、「音」の独自性、特徴發揮を心がける必要がある。

(3-2) 波及効果と発展性

マルチメディア通信システムは、今後の高度情報化社会の発展を支える上で、ますます重要性を増すと考えられる。本研究の結果、人間の言語情報処理や音楽文化的な営みと密接に関連した音情報通信サブシステムの高度化が可能となる。これにより、マルチメディア通信システムをより高品質で使いやすいものとして進化させるための最適設計理論の構築にむけて、重要な一歩を記せるものと期待される。

課題番号H16/B04

電子ビームを利用する高密度磁気記録の研究

[1] 組織

代表者：村岡 裕明

(東北大学電気通信研究所・教授)

分担者：

三村 秀典

(静岡大学電子工学研究所・教授)

根尾陽一郎

(静岡大学電子工学研究所・助手)

青井 基

(東北大学電気通信研究所・教授)

中村 慶久

(東北大学電気通信研究所・客員教授)

サイモン・グリーブス

(東北大学電気通信研究所・助教授)

三浦 健司

(東北大学電気通信研究所・助手)

熊坂 治

(パイオニア総合研究所・室長)

三森 歩美

(パイオニア総合研究所・副主事)

樋口 隆信

(パイオニア総合研究所)

研究費： 旅費 244,000円

[2] 研究経過

磁気記録情報ストレージの高密度化は数十ナノメータサイズのビットを書き込むに至ったが、さらなる高密度化が求められている。このためには空間的に高い記録再生分解能を持つ磁気記録デバイスを実現する必要があるが、すでに改良が進んでいる現状を大きく改善するのは容易ではない。一方、リソグラフィーや電子顕微鏡に用いられる電子ビームは1nm程度まで極めて細く絞り込むことが可能で、高い空間分解能を得ることができるため、これを応用した新たなストレージ方式が期待できる。

本共同プロジェクト研究会は、この高い空間分解能を持つ電子ビームを利用して磁気ストレージの高密度化を目的とする調査・研究を行うもので、次世代ナノサイズ記録に向けての可能性を調査する。特に、既存磁気記録方式において直面してい

る、記録磁化が熱擾乱により消失する熱磁気緩和と媒体ノイズの低減を記録ヘッドの磁界強度を増加させて解決しなくてはならないジレンマを解決できる可能性がある。

本研究会の検討内容は未だ萌芽的な段階にあるが、磁気記録媒体の一部のナノサイズで記録中に加熱することで記録磁界と熱勾配の両方を用いる高分解能化を期待している。

しかしながら、ポストテラビット級(超1Tbits/inch²)の次世代高密度磁気記録における磁気的な記録再生分解能不足の課題と、電子ビーム技術が持つ微小径ビーム発生によるブレークスルーの可能性の間にはまだまだ大きな溝があり、両分野の研究者が情報交換を行い、認識を共有することがまず肝要である。本年度は主としてこの視点からの活動を行った。数回の研究集会を実施して、情報交換とコンピュータシミュレーションを実施した。

すなわち、東北大通研においては、電子ビームを用いた新たな磁気記録の方式研究と記録再生理論の検討、及びコンピュータシミュレーションによる研究を行い、静岡大ではストレージにおいて実用的なデバイス構成で具体的に電子ビームを発生させる研究を分担する。また、パイオニアでは電子ビームによる可能性検証を担当する。

これらの研究を以下に示す日程で5回の研究会を開いて討論を行ってきてている。

- (1) 平成16年4月27日
- (2) 平成16年6月29日
- (3) 平成16年10月15日
- (4) 平成17年1月28日
- (5) 平成17年3月1日

[3] 成果

(3-1) 研究成果

[既存技術の調査]

電子ビームを磁気記録に応用する際に先ず考えられるのは、磁気ヘッド直下の記録が行われている領域を細く絞った電子ビームを照射することで昇温して記録を行うことである。通常の磁気記録媒体は昇温によって保磁力が低下するので、常温では保磁力が高い高異方性材料を用いて熱的に安定な記録が実現できる。この方式はすでに近接場

光や局所プラズモンによる加熱が提案されており、これらによる加熱型磁気記録の研究発表は数多いが、いずれも磁気ヘッドへの加熱源の実装に難があって具体的なヘッド構造の提案がなく、実用的な段階への研究の展開は必ずしも進んでいないことがわかった。

一方、本研究で目指す電子ビームによる加熱についての学会報告は調査の範囲では少なくとも最近では見当たらず、2001年に公開された特許があるのみであった。このことから磁気ストレージに対する電子ビームの利用に関する知見は多くはなく、自ら検討する必要があるとの結論に至った。

[電子ビームの発生]

電子ビームの放出には熱電子放出と電界放出があるが、熱電子放出は大気中での加熱は現実的ではない一方で、現状のナノ加工技術を用いれば先端を絞り込んだチップを作つて電界放出によって電子ビームを発生させることは可能であると考えられる。

浮上スライダ型の磁気ヘッドはディスクに対して10nm程度までは容易に近接させることができる。チップ先端角によっては放出される電子ビームの広がりは数十ナノメータにできる。以上のシミュレーションの結果、電子ビームを絞つて媒体に当てるとは可能と考えられる。特に、カーボンナノチューブを電子源に使う検討は今後重要なと考えられる。

また、ヘッド磁界中を進む電子ビームがローレンツ力によって曲げられるおそれについても検討した結果、電子ビームの広がりに比べて一桁小さい値で問題ないことが分った。さらに、入射後に記録媒体中に侵入する電子ビームの深さもほとんど無視できることが明らかになり、媒体深部でエネルギー放射領域が大きく広がって空間分解能が

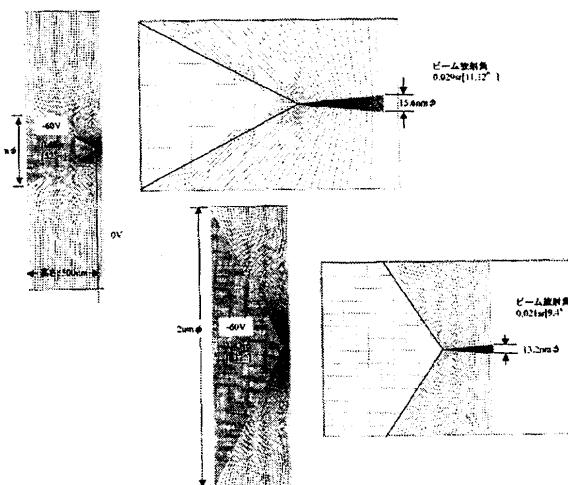


図1 電解放出によって生じた電子ビーム放射角。

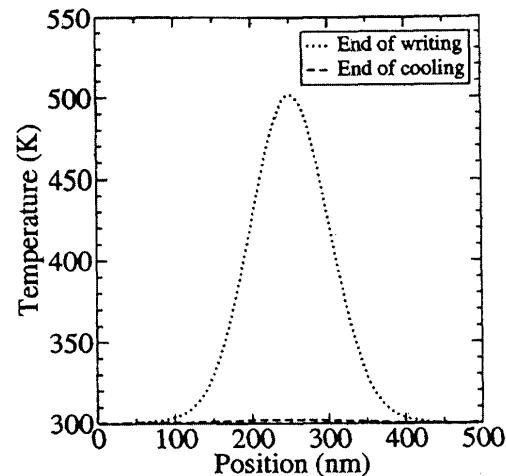


図2 電子ビームによる昇温プロファイル

劣化するおそれはないと言える。

[電子ビーム記録のシミュレーション検討]

ボロノイ図形によるランダムな磁性粒子でモデル化した記録媒体に対して、LLG方程式と熱伝導方程式を用いて計算を行つた。電子ビームを1ns昇温で1ns冷却とした場合に電子ビームを照射した領域は、温度上昇があることが分かった。これは必ずしも十分ではないものの有意な温度上昇であり、記録媒体材料を選べば現実的である範囲と考えられる。また、このときにCoの温度依存性を適用できるとすると、記録が形成される結果が得られた。

さらに、記録磁界の印加と電子ビーム照射点の位置関係（オフセット）について検討を加えて、-100nm（100nmの遅れ）が適当である結果が得られた。このときに、三日月形のビットパターンが

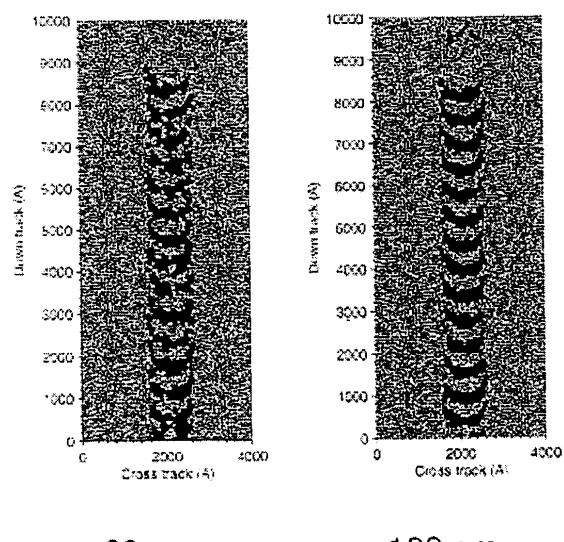


図3 シミュレーションによる記録パターン。右が電子ビーム照射点と記録点のオフセットが100nm。

形成されている。

(3-2) 波及効果と発展性など

平成16年度の検討の結果、電子ビームの発生とディスク面での局所領域への絞込みは可能であり、電子ビームから発生されると予測されるエネルギー密度で必要なディスク面の昇温が可能なことが分かった。これらの結果は、今後の可能性を引き続き吟味する価値があることを示唆するものなので継続して研究会を開催することとした。

平成17年度は、実験を通して、電子ビーム技術を用いる高密度情報記録のための次世代要素技術の研究を行うための基礎を形成することを試みる。具体的なヘッド方式の提案が目標である。

課題番号 H16/B05

しなやかなシミュレーション手法の 創成に関する研究

[1] 組織

代表者：白井 正文
 (東北大学電気通信研究所)
 対応者：同上
 分担者：中村 浩次（三重大学工学部）
 小田 竜樹（金沢大学大学院自然科学研究科）
 金井 靖（新潟工科大学工学部）
 藤原 耕二（岡山大学工学部）
 大鶴 徹（大分大学工学部）
 高根 昭一（秋田県立大学システム科学
 技術学部）
 山上 浩志（京都産業大学理学部）
 小野 寛太（高エネルギー加速器研究機
 構物質材料科学研究所）

研究費：校費 5万円、旅費43万5千円

[2] 研究経過

次世代情報デバイスの創成に不可欠なナノ磁性体のスピンド構造とそのダイナミクス、超高密度情報記録デバイスにおける情報記録の動的機構、音楽ホールにおける音場のような高次の3次元音空間情報といった複雑なシステムを理論的に解析するためには、高度な情報処理手法に基づいたソフトウェアの開発が必要である。本プロジェクトでは、上記の全く異なる研究分野におけるシミュレーション利用状況に関する情報を交換することにより、従来にはない新しい着想に基づいたシミュレーション手法の開発ならびに計算結果の効果的な可視化技術の進展に資することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が第1年度であり、各研究分野におけるシミュレーション利用の現状について情報を交換し、当該研究分野において早急に開発が望まれるシミュレーション技術に関する検討を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

(1) ナノスピンド構造シミュレーション

平成17年3月9日に分担者の山上浩志教授、中村浩次助教授、小野寛太助教授、小田竜樹講師を

電気通信研究所に迎えて、更に東北大学大学院工学研究科の佐久間昭正教授を交えて、当該研究分野におけるシミュレーション技術の開発状況について研究会を実施した。

(2) 磁気記録デバイス・シミュレーション

平成17年2月25日に分担者の金井靖教授を電気通信研究所に迎えて、村岡裕明教授と共に当該研究分野におけるシミュレーション技術の開発状況について研究打合せを実施した。

[3] 成果**(3-1) 研究成果**

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

(1) ナノ構造磁性体におけるスピンド依存電気伝導現象を第一原理的に計算するための手法開発の現状、ならびに磁性不純物を含む金属ナノワイヤーにおける電子状態と電気伝導に関するシミュレーション結果について意見交換した。

(2) 不規則系におけるノンコリニア・スピンド構造を第一原理的に計算するための手法開発の現状、ならびにマンガン系不規則合金の電子状態とスピンド構造に関するシミュレーション結果について意見交換した。

(3) 希土類やアクチナイトなどの重い元素を含む金属及び化合物における不整合スパイラル・スピンド構造を第一原理的に計算するための相対論的手法の開発に向けた定式化について意見交換した。

(4) 原子内におけるスピンド量子化軸の向きの変化を考慮した第一原理計算手法の開発経過、ならびに交換バイアスの理解に不可欠な強磁性体／反強磁性体界面及び鉄単層膜における磁壁のスピンド構造に関するシミュレーション結果について意見交換した。

(5) ノンコリニア・スピンド構造を取扱える第一原理分子動力学法の開発経過、ならびに液体酸素におけるスピンドダイナミクスのシミュレーション結果について意見交換した。

(6) 微細加工された磁性体におけるカイラル・スピンド構造の放射光顕微鏡を用いた観測の現状、ならびに観測結果をマイクロマグネットィック・シミ

ュレーションによって解析した結果について意見交換した。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトにより、各研究分野におけるシミュレーション利用の現状に関する情報交換が促進された。特に、ナノ磁性体におけるスピンドル構造とそのダイナミクスに関するシミュレーション手法の開発という新しい研究領域の開拓の必要性を確認することができ、今後の発展に期待したい。

[4] 成果資料

- (1) 白井正文、「ハーフメタル強磁性体のマテリアルデザイン」、固体物理、39巻・11号、861-866頁 (2004)
- (2) 佐久間昭正、「スピンドル構造と理論」、までりあ、43巻・6号、468-473頁 (2004)
- (3) 佐久間昭正、「スピンドル構造とスピントルク」、固体物理、39巻・6号、335-346頁 (2004)
- (4) 佐久間昭正、「遷移金属合金のノンコリニア磁気構造と磁気励起に関する第一原理計算」、固体物理、39巻・11号、809-813頁 (2004)
- (5) 佐久間昭正、「スピンドル構造と理論」、応用物理、73巻・7号、964-970頁 (2004)
- (6) 小田竜樹 他、「ノンコリニア磁性の第一原理分子動力学と液体酸素のシミュレーション」、日本物理学会誌、60巻・1号、35-39頁 (2005)

課題番号：H16／B06

セキュリティ性検証のための書き換え技法

[1] 組織

代表者：外山 芳人

(東北大学電気通信研究所)

対応者：外山 芳人

(東北大学電気通信研究所)

分担者：酒井 正彦

(名古屋大学大学院 情報科学研究科)

結縁 祥治

(名古屋大学大学院 情報科学研究科)

研究費：校費 0円，旅費131,540円

[2] 研究経過

ネットワーク環境における電子マネーや電子選挙などのさまざまな応用において情報セキュリティ技術はきわめて重要な基盤技術である。本プロジェクトでは、セキュリティ性を、並行計算モデルと書き換え計算モデルの両面から検討し、並行計算モデルの強力な記述能力と、書き換え計算モデルによる自動証明手法を組み合わせることにより、セキュリティ性の新しい自動検証技術の確立を目的として研究を行った。

本年度は、研究集会を開催し、研究分担者がこれまでの研究成果について情報交換するとともに、共通の問題意識のもとで、並行計算モデルと書き換え計算モデルに基づくセキュリティ性の形式化について検討を進めた。その結果、並行計算モデルにおけるプロトコルのセキュリティ性の検証可能条件、書き換えモデルによる自動検証法などについて研究を発展させることができた。

研究集会は4月19日・20日に電気通信研究所で開催された。ここでは、プロジェクトの方向づけと今年度の計画について話し合われた後、通研を訪問中の Siva Anantharaman (仏・オルレアン大学) から、オルレアン大学のセキュリティ検証の研究紹介と、プロセス代数による情報流の解析とそれに基づくセキュリティ検証技術について発表があり、等式システム上のユニフィケーションをもちいた情報流解析について討論を行った。

ついで、外山が高階書き換えシステムの停止条件について発表を行い、高階書き換えシステムに基づく並行計算モデルの可能性について論じた。

また、酒井は、項書き換えシステムに基づく逆関数の構成法とセキュリティ性への応用について発表し、結縁はプロセス代数の意味論と暗号化について論じた。青戸は、高階の帰納的定理の自動証明手法について発表を行い、セキュリティ性の自動検証への応用に関する論じた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

(1) 定理自動証明手法に基づくセキュリティ性の検証技術の確立を目指して、木オートマトンの近似に基づくプロトコルの検証手続きを実装し、動作確認を行った。また、セキュリティ性の検証範囲を広げることを目的として、高階書き換えシステムの帰納的定理自動証明システムを開発するとともに、その上での定理自動証明の実験を行った。ここで開発された定理自動証明システムには、証明過程を観測して自動的に補題を発見する補題発見メカニズムが組み込まれており、我々の開発した定理自動証明システムが多くの実験例に対してがきわめて有効に働くことを明らかにした。さらに、高度なセキュリティ性の検証に不可欠な高階システムの帰納的性質の自動証明手続きの提案も行った。

(2) ネットワーク処理を保護するための暗号プロトコルにおいて、通信の侵入者の攻撃や不正行為に対して安全であることを示すための一手法として、項書換え系と木オートマトン技術を利用して、共通鍵方式の暗号プロトコルであるDiffie-Hellman鍵交換プロトコルの安全性の検証を行った。その結果、このプロトコルが機密性は持つが認証性は持たないという、これまでに知られている結果を追認できた。これにより、項書換え系と木オートマトンを組み合わせた手法もセキュリティ検証のために有効であることが分かった。本方法では、木オートマトンは項書換え系の到達可能性問題を解くために用いられている。これが決定可能であると知られている成長項書換え系の手法とGenetらにより開発されたツールTimbukが採用している理論との関係を明らかにした。

(3) プロセス代数の意味論に対する一般的な意味論に対する研究と π 計算の体系に時間を導入した体系について代数意味論の研究をおこなった。これらの基礎的研究に基づき、GUIプログラムにおける通信プロセスのインターフェースを提供するプログラミング環境を実装した。同様のインターフェースの拡張によって暗号化にもとづく拡張についても検討した。

(3-2) 波及効果と発展性など

これまで研究討論をとおして、本プロジェクトの目標である書き換え技法に基づくセキュリティ性の検証に関して成果が蓄積されつつある。これらの成果は、木オートマトン、書き換えシステム、完備化、帰納的定理証明、並行計算モデルなどを組み合わせた高機能なセキュリティ性検証技術の理論的基礎となりうるものであり、実用的なプロトコル検証技術や高信頼ソフトウェア開発技術の新しい可能性を開くものとして期待できる。

[4] 成果資料

- (1) Y.Toyama, Termination of S-expression rewriting systems:Lexicographic path-ordering for higher-order terms, In Proceedings of the 15th International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2004), Aachen, Germany,LectureNotesinComputerScience,Vol.3091, Springer-Verlag, pp.40-54, 2004.
- (2) T.Aoto, T.Yamada and Y.Toyama, Inductive theorems for higher-order rewriting, In Proceedings of the 15th International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2004), Aachen, Germany, Lecture Notes in Computer Science, Vol.3091, Springer-Verlag,pp.269-284, 2004.
- (3) 坂本邦彦, 青戸等人, 外山芳人, 書き換え帰納法に基づくプログラム融合変換, 日本ソフトウェア科学会第21回大会, 2B-3, 2004.
- (4) 千葉勇輝, 青戸等人, 外山芳人, 木準同型写像を用いた項パターンマッチング, 第49回プログラミング研究会(PRO-2004-1), 2004.
- (5) 落合秀幸, 青戸等人, 外山芳人, 修正AC単調意味論経路順序によるAC停止性信学技報COMP2004-76 (2005-3), pp.23-31, 2005.
- (6) 西田直樹, 酒井正彦, 坂部俊樹:右辺のみに現れる変数を持つ線形構成子項書換え系の計算の効率化, コンピュータソフトウェア, Vol.21, No.3,pp.40-47(2004,5).
- (7) 長島正徳, 酒井正彦, 坂部俊樹, 草刈圭一朗:限量子付き等式理論の変換に基づく仕様からのプログラム生成, コンピュータソフトウェア, Vol.21,No.4, pp.49-54(2004,7).
- (8) Masahiko Sakai, Keiichirou Kusakari: On Dependency Pair Method for Proving Termination of Higher-Order Rewrite Systems, IEICE Trans. on Information and Systems, Vol.E88-D, No.3, pp.583-593(2005,3).
- (9) 桑原 寛明, 結縁 祥治, 阿草 清滋. 時間付き π 計算によるリアルタイムオブジェクト指向言語の形式的記述, 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.6,pp.1498-1507, 2004.
- (10) I.Ulidowski,S.Yuen:Process Languages with Discrete time based onthe Ordered SOS format and rooted eager bisimulation, Journal of Logic and Algebraic Programming vol.60-61, pp.401-460,2004
- (11) 桑原 寛明, 結縁 祥治, 阿草 清滋. π 計算に対する時間拡張と代数的意味論,日本ソフトウェア科学会 ソフトウェア工学の基礎研究会, pp.97-108.
- (12) A.Mizuno, K.Manohar, Y.Kawabe, H.Kuwabara, S.Yuen and K.Agusa: Name-passing style GUI programming in the pi-calculus-based language Nepi, in Proceedings of ARTS2004, Technical Report of LeicesterUniversity, pp.44-61, 2004

課題番号 H16/B07

ワイヤレス磁気ドライブ技術に関する基礎的検討

[1] 組織

代表者：石山 和志

(東北大学電気通信研究)

対応者：荒井 賢一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

薮上 信 (東北大学)

福永 博俊 (長崎大学)

中野 正基 (長崎大学)

山城 康正 (琉球大学)

山本 健一 (琉球大学)

井上 光輝 (豊橋技術科学大学)

山崎 二郎 (九州工業大学)

本田 崇 (九州工業大学)

竹澤 昌晃 (九州工業大学)

榎修 一郎 (岐阜大学)

菊池 弘昭 (岩手大学)

大森 賢次 (住友金属鉱山株)

笹田 一郎 (九州大学)

上坂保太郎 (日本大学)

山田 外史 (金沢大学)

早乙女英夫 (千葉大学)

研究費：校費94,203円、旅費463,710円

[2] 研究経過

マイクロマシンあるいはMEMS(Micro Electro Mechanical System)と呼ばれる微小な機械を対象とする学問分野は世界中で多くの研究者が携わる大きな分野に成長してきている。その中で特に磁気を駆動源として利用する方法は、ワイヤレスで電気エネルギーあるいは電気信号を供給することが可能であり、広い応用分野への適用が期待されている。そこで本プロジェクトは、微小な機械を対象とし、磁気で駆動することの利点に着目し、従来の磁気マイクロマシン技術を包括する新たな学問分野としてのマイクロ磁気ドライブ技術の確立を目指して、新たな材料開発、原理検討、微細加工技術、アプリケーションの発掘などに関する総合的な調査検討を行うことを目的として発足した。本プロジェクトは磁気アクチュエータに関する第一線の研究者により構成されていることから、各

メンバーがそれぞれの研究機関で挙げた成果を持ち寄り討論を行うことで、前述の目的達成に向けた検討を行った。

討論会はいずれも電気通信研究所において下記の通り行ったが、このほかにも随時電子メールを用いた持ち回り会議を開催した。

【第1回】平成16年11月4日

○磁気センサならびに磁気シールドにおける新たな研究動向について

【第2回】平成17年1月28日

○マイクロマグネティックスを適用した新たな磁気ドライブ技術について

【第3回】平成17年3月3日

○磁気ドライブ技術の磁気センシング技術への適用について

【第4回】平成17年3月4日

○磁気ドライブ技術を利用した新たな医療機器開発について

【第5回】平成17年3月5日

○磁気エネルギー授受のための高機能磁性材料の開発指針について

これら会合を通じて、磁気ドライブ技術に関して国内外で行われている幅広い研究の最新動向を掌握するとともに、今後の研究の推進方針を討論した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本プロジェクトにおける討論の中から様々な提案が生まれ、その中の一部は各研究機関においてより具体化させた実験検討が行われた。本プロジェクトの成果の一部を下記に示す。

a. ワイヤレス磁気マイクロマシンの小型化に向けた新たな駆動原理の提案

磁気マイクロマシンを小型化する際、磁気を利用して方法では発生力が磁性体体積に比例することから小型化に伴って充分な駆動力を確保できないため、小型化には限界があると言われてきた。しかしながら磁性薄膜を用いて作製された長さ60ミクロンの微小なマイクロマシンが液体中を泳動可能であることが示され、数十ミクロンオーダーのマシンにおいても本研究会が

対象とする磁気ドライブ技術が適用可能であることが実験的に実証された。これを踏まえて、駆動原理として磁気トルクを利用する方法、磁歪材料を用いる方法など広い視野から改めて小型磁気マイクロマシンの実現に向けた最適な駆動原理について、別項で述べる高機能磁性材料の開発指針に関する検討とあわせて詳細な検討を行った。

b. 磁気ドライブ技術の新たな低侵襲医療技術への適用について

磁気ドライブ技術に対して最も期待されている応用が医療技術である。すなわち、外部から与える磁界により、生体内の磁性体を動かし、それを動力源として体内の医療機器を動作させるものである。本研究界では複数の医療機器を想定しそれに対する磁気ドライブ技術の適用について検討を行った。

第一の例が内視鏡的粘膜切除術（Endoscopic mucosal resection; EMR）である。これは、特に胃壁内部粘膜の腫瘍を内視鏡で切除するもので低侵襲な医療技術として広まりつつある。その際切除部分を外部磁界により引きあげて安全で容易な切除を実現することが我々のグループにより提案され、臨床で使われはじめている。この技術をさらに広めるために、使用する磁性体材料の選択、外部磁界発生方法、ならびに発生磁界分布の制御について検討を行った。これらの検討結果は、次のプロトタイプ製作に反映させることとなった。

第二の例が生体組織中を移動可能なマイクロマシンである。これは、外部から回転磁界を与えることにより生体内の永久磁石に回転運動を与え、磁石表面に形成したらせん構造により推進力を発生させるものである。特に医療現場からの要望の強い肝臓組織を対象として、ワイヤレスで移動可能なマシンを実現した。このマシンはがんの温熱治療に使われる発熱素子の運搬、局所投薬システム(Drug Delivery System; DDS)のための薬物運搬等への応用が期待されている。

第三の例が大腸内視鏡の挿入補助である。前述のようならせん型ワイヤレスマシンが複雑な大腸内に内視鏡を挿入する際の医師の補助として腸内を推進する磁気アクチュエータが提案されている。既に昨年度にこのアクチュエータの有用性と安全性を確認するための動物実験が行われており、さらに特性向上のための材料選択や構造最適化に関する検討を引き続き行った。

c. 光-磁気効果を利用した高周波近傍磁界計測原理の検討

磁性材料の磁気特性を光を用いて計測できることを利用して、磁性体の磁化状態をワイヤレスで観測し、それを通じて高周波近傍磁界を計測するための新たな手法を提案した。漏洩電磁波を電界と磁界に分離して測定可能な計測手法として検討を進めている。この検討については、我々のグループを中心としてNICT、名古屋工業大学などによる新たな共同研究に発展している。

d. 超高感度磁気センサに関する検討

磁界を検出するセンサは様々な種類がありそれぞれの特徴を生かして使われているが、その中でも特に超伝導を利用したSQUIDと呼ばれるセンサは極めて感度が高く、脳の動きを検知するためのセンサや超高感度の非破壊検査プローブとして使われている。我々は既に高周波キャリア型センサと呼ばれる冷却不要の超高感度センサを提案している。このセンサのさらなる高感度化、ならびにこのセンサを用いた新たな応用例等について検討を行った。

磁気マーカーの位置をワイヤレスで検出する方法について、さまざまの手法が提案され、既存の方式からの優位性について種々検討が行われた。それらの検討をもとに、新たな方式による位置検出システムを試作し、基礎的な実験が開始されている。この検討を通じて放射線治療における照射ターゲット位置のリアルタイム計測への応用に関する期待が高いことが示されている。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクト研究会は、特に磁気工学の面からマイクロマシンならびに磁気センサに関する国内の第一線の研究者を集めたものであり、新たな研究コミュニティを確立することも目的のひとつである。本年の活動によりその目的は達成され、共著での学会発表や論文執筆、さらには共同での科学的研究費の申請など精力的な活動が行われるとともに多くの実りある提案がコミュニティの中から生まれている。これらのことから、本プロジェクト研究会から生まれた新しい磁気ドライブ技術は今後一層の発展と普及が期待されるものである。

[4] 成果資料

本プロジェクト研究会による成果は論文としてまとめており、次の通り出版されている。

1. 千葉淳、仙道雅彦、石山和志、須田祐司、荒井賢一、小丸達也、白土邦夫、「磁気アクチュエータによる大腸内視鏡誘導と腸内観察」、日本応用

- 磁気学会誌, vo.28, pp433-436, (2004).
- 2. 相馬宗尚, 仙道雅彦, 石山和志, 荒井賢一, 「肝臓中を移動する磁気マイクロマシンの試作」, 日本応用磁気学会誌, vo.28, pp441-444, (2004).
 - 3. 山崎彩, 仙道雅彦, 石山和志, 荒井賢一, 「らせん型磁気マイクロマシンの泳動特性に対するらせん長の影響」, 日本応用磁気学会誌, vol.28, pp632 - 635, (2004).
 - 4. K. Nishimura, M. Sendoh, K. Ishiyama, K. I. Arai, Hironaga Uchida, and Mitsuteru Inoue, "Fabrication and swimming properties of micro-machine coated with magnetite prepared by ferrite plating," phys. stat. sol. (b) 241, No. 7, pp.1686-1688 (2004).
 - 5. S. Yabukami, H. Mawatari, Y. Murayama, T. Ozawa, K. Ishiyama, and K. I. Arai, "High-Frequency Carrier Type Thin-Film Sensor Using Low-Noise Crystal Oscillator," IEEE Trans. Magnetics, vol.40, No.4, pp.2670-2672, (2004).
 - 6. A. Yamazaki, M. Sendoh, K. Ishiyama, K. I. Arai, R. Kato, M. Nakano, H. Fukunaga, "WIRELESS MICRO SWIMMING MACHINE WITH MAGNETIC THIN FILM," Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol.272-276, pp.e1741-e1742, (2004).

課題番号 H16/B08

高速大容量半導体不揮発性メモリに関する研究

[1] 組織

代表者：遠藤 哲郎
 (東北大学電気通信研究所)
 対応者：遠藤 哲郎
 (東北大学電気通信研究所)
 分担者：
 作井 康司
 (株)東芝 セミコンダクター社)
 堀口 文男
 (株)東芝 セミコンダクター社)
 有門 紹敏
 (東京エレクトロン(株))

研究費：校費13万2千円、旅費8万3千円

[2] 研究経過

シリコン集積回路は、次世代電子システムには必要不可欠であり、そのため高度情報通信社会を支えるキーデバイスの一つである。また、同時にシリコン集積回路は、日本の基幹産業となっている。従って、シリコン集積回路の高性能化は近年その重要性がますます増加している。例えば、インターネット通信、マルチメディア通信を中心とする基幹情報通信システムにおいては、さらなる高速動作性、高機能化が要求されている。一方、情報通信機器の小型化・携帯化が進んでおり、末端情報通信システムにおいては、さらなる低消費電力動作化、及び、低価格化が要求されている。

特に、マルチメディア情報などの膨大なデータをシームレスに携帯機器で活用する、いわゆるユビキタスネットワークの実現に向けて、そのデータをストレージする半導体不揮発性メモリの高性能化、特にその大容量化・高速動作化が強く要望されている。また、産業の観点から見ると、半導体不揮発性メモリは、シリコン集積回路の中核製品であり、次世代半導体不揮発性メモリの基礎技術を構築することは急務である。

上記の状況を踏まえて、半導体不揮発性メモリの大容量化・高速動作化に関する研究は、世界中で精力的に行われている。例えば、現在のシリコン集積回路に広く用いられている基本素子である

平面型MOSトランジスタ構造に基づくメモリセルは、最も重要な素子と考えられ、現在でも実用化のための研究が進められている。また、新しい回路技術、設計技術に関しても、多くの新規技術、実用化技術などが研究されている。

従来の半導体不揮発性メモリの研究の多くは、その基本的メモリセル構造や動作原理における革新的変革はなく、メモリセルの寸法を微細化することなどにより、半導体不揮発性メモリの高速化・低消費電力化・高集積化・低コスト化を実現してきた。しかし、フラッシュメモリに代表される従来のデータストレージ用半導体不揮発性メモリは、①データ書き換え回数が約十万回に制限されている、②データ書き換え時の消費電力が大きい、③ゲート絶縁膜の信頼性に起因してその膜厚を7nm以下に薄膜化できないため、ナノ領域までのデバイスの微細化（高集積化）が困難である等々の問題点に直面している。

従ってこの問題の打開には、微細加工技術の改善やゲート絶縁膜の高品質化や回路性能の向上といった個別の要素研究を進めてゆくだけでは不十分であり、所望の性能を達成し得る新しいデバイス構造・動作原理を提案すると共に、そのデバイスを実現するためのナノ材料プロセス研究からデバイス・回路設計研究までの幅広い研究を学際的に行っていく必要がある。

このような状況の下、平成16年度に、「高速大容量半導体不揮発性メモリに関する研究」という研究課題で共同プロジェクトが採択された。本年は初年度である。そして、平成17年3月10日に以下に示す研究会を開催し、ナノ領域でのスケーラビリティに優れた高速大容量半導体不揮発性メモリに対する技術的方向性、及び、具体的な設計手法に関して、今年度の研究成果を踏まえて活発な議論がなされた。また、同年3月11日には、引き続き議論を行った。

第1回 高速大容量半導体不揮発性メモリ研究会

日時：2005年 3月10日

14:00~18:00

場所：東北大学電気通信研究所

2号館4階小会議室

以下に上記研究会で得られた成果を述べる。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

半導体不揮発性メモリの大容量化・高速動作化に関する最新の研究状況と研究方向を議論するために、第1回高速大容量半導体不揮発性メモリ研究会を開催し、初年度である本年は、以下に示す研究成果を得た。

まず、本共同プロジェクト研究会での研究状況も踏まえて、現在までに提案され、実用化されてきた半導体不揮発性メモリの大容量化・高速動作化に関する技術を系統的に整理した。そして、現在の半導体不揮発性メモリの大容量化、高速動作化、特に高速データ書き込み動作化を律速している要因を解析した。

この知見を元に、今後半導体不揮発性メモリの大容量化・高速動作化を実現する上で研究を進めるべき課題を、①プロセス設計、②デバイス設計、③回路設計、④アーキテクチャー設計の各4項目に対して、幅広く議論した。

(3-2) 波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究会の目標とする成果は、①基本記憶素子としての半導体不揮発性メモリセルの微細化に関する技術、②基本記憶素子としての半導体不揮発性メモリセルの高速動作化に関する技術、③半導体不揮発性メモリの高密度化・高速動作化を実現する回路技術に関する技術の研究を通して、半導体不揮発性メモリの高速動作化・大容量化を実現することにある。

これは、マルチメディア情報などの膨大なデータをシームレスに携帯機器で活用する、いわゆるユビキタスネットワークの実現に向けて、そのデータをストレージするキーデバイスを実現させるものである。さらには、情報通信産業、半導体産業を始めとする電子・情報技術分野における急成長の維持を、今後も可能にするものである。従って、電子・情報通信技術分野に於ける本研究成果の波及効果は大きい。

また、本共同プロジェクト研究会により、学外研究者との交流が活性化した。

今後、初年度に得た知見を元に、次年度も本共同プロジェクト研究会を継続し、さらに継続的に研究を深めてゆく予定である。

[4] 成果資料

- (1) Masakazu HIOKI, Hiroshi SAKURABA, Tetsuo ENDOH, Fujio MASUOKA "An Analysis of Program and Erase Mechanisms for Floating Channel Type Surrounding Gate Transistor Flash Memory Cells", Vol.E87-C No.9 p.1628
- (2) Sakuraba H, Kinoshita K, Tanigami T, Yokoyama T, Horii S, Saitoh M, Sakiyama K, Endoh T, Masuoka F "New Three-Dimensional High-Density Stacked-Surrounding Gate Transistor (S-SGT) flash memory architecture using self-aligned interconnection fabrication technology without photolithography process for tera-bits and beyond" JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS PART 1-REGULAR PAPERS SHORT NOTES & REVIEW PAPERS, 43, 4B, P2217-2219, 2004
- (3) Y.Narita, M.SAKAI, T. Murata, T.Endoh and M.Suemitsu, "Ge-Dot Formation on Si(111)-7X7 Surface with C Predeposition Using Monomethylsilane", JJAP, Vol.44, No3, 2005, pp.L123-L125

課題番号 H16/B09

半導体の酸化ダイナミクスの解明と ナノ構造形成技術への応用に関する研究

[1] 組織

代表者：末光 真希

(東北大学学際科学国際高等研究センター)

対応者：末光 真希

(東北大学学際科学国際高等研究センター)

分担者：

白石 賢二

(筑波大学物理学系)

植松 真司

(NTT 物性科学基礎研究所)

影島 博之

(NTT 物性科学基礎研究所)

福山 敦彦

(宮崎大学工学部材料物理工学科)

遠藤 哲郎

(東北大電気通信研究所)

研究費：50,000円、旅費443,000円

[2] 研究経過

ユビキタスネットワーク社会の創造に向けたエレクトロニクス分野の基幹技術は、その生産性から、今後ともシリコンデバイスが基盤になるとされている。この火急の社会的要請のもと、現在最小寸法65nmのシリコンMOSトランジスタの研究・開発が完了し生産準備段階にあり、研究レベルでは既に15nm世代のシリコンMOSトランジスタの動作が実験的に確認されるに至っている。この発展を支えてきたのは、シリコン基板上における微細加工技術である。しかしながら、シリコンデバイスの高性能化は近年その重要性をますます増しており、さらなる微細化が要求されている。

上記の状況を踏まえて、シリコンデバイスの微細化プロセスに関する研究は、世界中で精力的に行われている。例えば、現在のシリコンデバイスの製造プロセスにおける主要プロセスである酸化プロセスは、最も重要なプロセス技術の一つであると考えられ、現在でも実用化のための研究が精力的に進められている。にもかかわらず、従来のシリコンデバイスの微細加工プロセス技術では、ナノスケールの微細構造を簡便に且つ安定に且つ安価に形成することは困難であり、多くの問題に

直面している。つまり、シリコン半導体上にナノスケールの構造を形成する技術を確立することが急務であるが、当該プロセス技術は未だ確立されていない。

従ってこの問題の打開には、重要な半導体プロセスの一つである半導体表面・界面の酸化現象のダイナミクスを解明し、さらにその知見を応用してナノスケール構造形成のダイナミクスを解明することは必要不可欠である。

このような状況の下、平成16年度に、「半導体の酸化ダイナミクスの解明とナノ構造形成技術への応用に関する研究」という研究課題で共同プロジェクトが採択された。本年は初年度である。そして、平成17年2月3日、及び、同年3月17日に以下に示す研究会を開催し、半導体の酸化ダイナミクスに関する研究を行なうと共に、当該知見を応用したナノ構造形成技術に関して、今年度の研究成果を踏まえて活発な議論がなされた。

第1回 半導体の酸化ダイナミクス解明・ナノ構造形成技術研究会

日時：2005年 2月3日

14:00~18:00

場所：東北大学 学際科学国際高等研究センター
1階小会議室

第2回 半導体の酸化ダイナミクス解明・ナノ構造形成技術研究会

日時：2005年 3月17日

14:00~18:00

場所：東北大学 電気通信研究所
1号館3階N308ゼミ室

以下に上記研究会で得られた成果を述べる。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

半導体の酸化ダイナミクスに関する研究とその知見を応用したナノ構造形成技術に関する最新の研究状況と研究方向を議論するために、“第1回半導体の酸化ダイナミクス解明・ナノ構造形成技術研究会”を開催し、初年度である本年は、以下

に示す研究成果を得た。

まず、本共同プロジェクト研究会での研究状況も踏まえて、現在までに提案され、実用化されてきた半導体の酸化ダイナミクスに関する研究とその知見を応用したナノ構造形成技術に関する技術を系統的に整理した。具体的には、第一原理計算に基づくシリコン半導体表面・界面における酸化反応過程からシリコン半導体表面・界面における酸化ダイナミクスに関する研究を進め、その知見を応用して次世代高性能・高集積シリコン半導体デバイスに必要不可欠なナノスケール構造の形成プロセス技術の実現について最新の研究成果が発表された。

さらに、形成されたシリコン酸化膜の基礎物性を高精度に評価・解析することを目的にして、“第2回 半導体の酸化ダイナミクス解明・ナノ構造形成技術研究会”を開催し、PPTS法を用いた評価結果が報告された。

さらに、これら2回の研究会にて議論を深め、次年度以降の当プロジェクトの方向付けを行なった。この知見を元に、半導体の酸化ダイナミクスを解明し、その知見を応用したナノ構造形成技術を実現する上で研究を進めるべき課題を幅広く議論した。

(3-2) 波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究会の目標とする成果は、第一原理計算に基づくシリコン半導体表面・界面における酸化反応過程からシリコン半導体表面・界面における酸化ダイナミクスに関する研究を進め、その知見を応用して次世代高性能・高集積シリコン半導体デバイスに必要不可欠なナノスケール構造の形成プロセス技術の実現に向けて本研究会を推進することにある。これらの活動を通じて、ナノスケール領域における微細構造形成技術に関する問題点を解決するための指針を明らかにすることを目指す。

これは、今日の半導体産業の中心をなすSiデバイスのより一層の微細化・高速化に必要不可欠なデバイス製造プロセスの基幹となる微細構造形成技術をさらに高度化を実現するものである。引いては、情報通信産業、半導体産業を始めとする電子・情報技術分野における急成長の維持を、今後も可能にするものである。従って、電子・情報通信技術分野に於ける本研究成果の波及効果は大きい。

また、本共同プロジェクト研究会により、学外研究者との交流が活性化した。

今後、初年度に得た知見を元に、次年度も本共同プロジェクト研究会を継続し、さらに継続的に研究を深めてゆく予定である。

[4] 成果資料

- (1) Karuppanan Senthil, Hideki Nakazawa and Maki Suemitsu ,“Adsorption kinetics of dimethylsilane at Si(001)”, Appl. Surf. Sci., 224(2004) pp.179-182.
- (2) Takeshi Murata and Maki Suemitsu, “GeH₄ adsorption on Si(001) at RT: transfer of H atoms to Si sites and atomic exchange between Si and Ge”, Appl. Surf. Sci., 224(2004) pp.183-187.
- (3) Yuji Kurimoto, Naoki Matsuda, Giichiro Uchida, Satoru Iizuka, Maki Suemitsu, Noriyoshi Sato, “Fine particle removal by a negatively-charged fine particle collector in silane plasma”, Thin Solid Films, 457(2004) pp.285-291.
- (4) 村田威史, 末光眞希, “Si(001)上シラン／ゲルマニウム吸着と水素脱離過程の多重内部反射赤外分光観察”, 表面科学, 25(2004), pp.485-490
- (5) Y.Narita, M.SAKAI, T. Murata, T.Endoh and M.Suemitsu, “Ge-Dot Formation on Si(111)-7X7 Surface with C Predeposition Using Monomethylsilane”, JJAP, Vol.44, No3, 2005, pp.L123-L125

課題番号 H16/B10

プログラム意味論の研究

[1] 組織

代表者：佐藤 雅彦
 (京都大学大学院情報学研究科)
 対応者：外山 芳人
 (東北大電気通信研究所)
 分担者：五十嵐 淳
 (京都大学大学院情報学研究科)
 中澤 巧爾
 (京都大学大学院情報学研究科)
 大堀 淳
 (北陸先端科学技術大学院大学情報科学
 研究科)
 篠塙 功
 (北陸先端科学技術大学院大学情報科学
 研究科)
 亀山 幸義
 (筑波大学システム情報工学研究科)
 桜井 貴文
 (千葉大学理学部)

研究費: 校費 0円, 旅費45.3万円

[2] 研究経過

本プロジェクトの目的. コンピュータプログラムの意味論の研究は1960年代以降活発に研究されてきている。とくに近年では、構成的な立場でプログラムの意味を研究する「操作的意味論」が中心的な研究テーマになっている。本研究では、プログラミング言語を先に与えられたものと考えずに、逆に「よい操作的意味論」が構築できるためにプログラミング言語が備えるべき性質を研究し、それを基にそのようなプログラミング言語の設計指針を与えることを目的とする。

研究会の開催状況. 上記目的達成のため、二回のプロジェクト研究会を開催し、活発な議論を通して、ロジックの立場、計算論の立場、さらにこれらを統合した型理論の立場からプログラミング言語の本質を追及した。

第一回目のプロジェクト研究会は、平成16年7月26日～27日に東北大電気通信研究所において開催され、プロジェクトの成果報告と今後の共同研

究の方向等についての意見交換が行われた。

第二回目のプロジェクト研究会は、平成17年1月31～2月1日に東北大電気通信研究所において開催され、プロジェクトの成果報告が行なわれた。

以上二回のプロジェクト研究会において、以下のような内容の報告が行なわれた。

青戸(東北大)は、項書換えシステムに基づく認証プロトコルの検証方法に関して考察した。五十嵐(京大)は、セキュリティ情報や多段階計算の機構を含むプログラムの解析に対する基礎付けとして、様相論理や時相論理に対応する新たな型付計算体系を提案し、その諸性質を証明した。

大堀(北陸先端大)は、機械語の実行過程とシーケント計算のカット除去手続きとの間の関係を明らかにした。

亀山(筑波大)は、delimited continuationを操作するコントロールオペレータを含む計算系に対するCPS変換の反復適用によって得られる階層を考慮し、各階層のコントロールオペレータの振舞いを形式化する方法を提示した。

菊池(東北大)は、型付 lambda 計算の強正規化可能性に対する初等的な証明手法を提案した。

桜井(千葉大)は、明示的代入を持つ計算体系の、強正規化性が成立するような合成規則で、従来提案されていたものよりも強力な規則を提示した。

篠塙(北陸先端大)は、最大マーク付け問題に対する、従来の効率の良いアルゴリズムの導出法に関して、仕様において蓄積引数を持つ関数を重み関数の記述に用いることを提案し、それに対する新たなアルゴリズム導出法を提案した。

佐藤(京大)は、変数の名前換えを用いずに α 同値性や代入概念を導入するための表現の理論を提案し、その理論において α 同値性の決定可能性が非常に簡単に証明できることを示した。

外山(東北大)は、書換え帰納法による高階プログラム変換を用いたプログラム合成手法について提案し、その停止性に関する結果を示した。

中澤(京大)は、コントロールオペレータを含む計算体系の強正規化可能性をCPS変換を用いて証明する手法の問題点を指摘し、その一般的な解決法を提案した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

- 本プロジェクト研究によって、以下の成果が得られた。
1. 束縛変数の名前換えに依存せずに、 α 同値性や代入概念が定義できる表現の理論を提案した。さらにその理論において、 α 同値性の決定可能性が非常に簡単に証明できることを示した。
 2. 明示的代入計算系の合成規則のうち、強正規化性が成り立つようなもので、より強力な(つまり制限の弱い)規則を提示した。本研究で提示した合成規則は強力なものであり、さらに交換可能な明示的代入を交換する規則を適當な形で加えると強正規化性を保ちながらメタレベルでの代入を完全にシミュレートできる。これはこれまでの様々な明示的代入計算のどれにもない強力な性質である。
 3. セキュリティ情報や多段階計算を含むプログラムを解析するための型理論に対する論理学的視点からの裏付けを与えた。とくにこれらの型理論が様相論理や線型時相論理といった既に論理学において重要視されている論理体系に対応することを明らかにした。
 4. 最大マーク付け問題というクラスの組み合わせ最適化問題に対する効率の良いアルゴリズムの導出法が提案されていたが、仕様における重み関数の記述が単純なものに限られていた。本研究では、蓄積引数を持つ関数を重み関数の記述に用い、それに対する新たなアルゴリズム導出法を提案した。
 5. コントロールオペレータを持つ計算体系の強正規化可能性の証明手法として知られているCPS変換を用いた手法の多くが含む問題点を指摘し、それらを一般的に解決する手法を提案した。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクト研究では、主に「性質のよい操作的意味論」を持つプログラミング言語構築のための基礎的な研究を行ない、関連の成果が蓄積されつつある。そもそも操作的意味論は、その構成的な性格のため計算機上での実現が比較的容易であるため、本研究の成果は純粋な理論的成果に留まらず、プログラム検証や開発支援技術の新しい可能性を開くものとして期待できる。また、本プロジェクトの活発な交流を通して形成された、複数の大学の、多岐に渡る計算機科学分野の研究グループ間のネットワークは、今後の電気通信研究所を中心とした国際的な研究ネットワークを形成

する基盤となることが期待される。

[4] 成果資料

1. Masahiko Sato, A Simple Theory of Expressions, Judgements and Derivations, Proc. ASIAN '04, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3221, pp. 437-451, 2005.
2. Yukiyoshi Kameyama, "Axioms for Delimited Continuations in the CPS Hierarchy", Proc. Annual Conference of the European Association for Computer Science Logic (CSL'04), Karpacz, Poland, Lecture Notes in Computer Science 3210, pp. 442-457, 2004.
3. 中島一, 亀山幸義, 「抽象化と精密化による実時間モデル検査の改善」情報処理学会論文誌: プログラミング, Vol. 45, No. SIG12 (PRO23), to appear.
4. Y.Toyama, Termination of S-expression rewriting systems: Lexicographic path ordering for higher-order terms, In Proceedings of the 15th International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2004), Aachen, Germany, Lecture Notes in Computer Science, Vol.3091, Springer-Verlag, pp.40-54, 2004.
5. T.Aoto, T.Yamada and Y.Toyama, Inductive theorems for higher-order rewriting, In Proceedings of the 15th International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2004), Aachen, Germany, Lecture Notes in Computer Science, Vol.3091, Springer-Verlag, pp.269-284, 2004.
6. T.Aoto and T.Yamada, Termination of simply-typed applicative term rewriting systems, In Proceedings of the 2nd International Workshop on Higher-Order Rewriting (HOR 2004), Aachen, Germany, Technical Report 2004-03, Department of Computer Science, RWTH Aachen, pp.61-65, 2004.
7. 落合秀幸, 青戸等人, 外山芳人, 修正AC単調意味論経路順序によるAC停止性, 信学技報 COMP2004-76 (2005-03) 23-32.
8. 坂本邦彦, 青戸等人, 外山芳人, 書き換え帰納法に基づくプログラム融合変換, 日本ソフトウェア科学会第21回大会, 2B-3, 2004.
9. 千葉勇輝, 青戸等人, 外山芳人, 木準同型写像を用いた項パターンマッチング, 第49回プログラミング研究会(PRO-2004-1), 2004.
10. Kenji Miyamoto, Atsushi Igarashi, A Modal Foundation for Secure Information Flow, Proc. Workshop on Foundations of Computer Security (FCS'04), pp. 187-203, 2004.

11. Atsushi Igarashi, Mirko Viroli, Variant Parametric Types: A Flexible Subtyping Scheme for Generics, TOPLAS, 2005, to appear.
12. 湯瀬 芳洋, 五十嵐 淳, メタプログラミングのための時相論理に基づく型付 λ 計算,例外機構を備えた言語のための資源使用法解析,第7回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ(PPL2005), pp. 57-73, 2005.
13. 岩間 太, 五十嵐 淳, 小林 直樹,例外機構を備えた言語のための資源使用法解析,第7回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ(PPL2005), pp. 154-170, 2005.
14. Atsushi Igarashi, Naoki Kobayashi, Resource Usage Analysis, TOPLAS, 27 (2), pp. 264--313, 2005.
15. 池田聰, 中澤巧爾,コントロールオペレータをもつ計算体系の強正規化可能性のCPS変換を用いた証明,第7回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ(PPL2005), pp.171-186, 2005.

課題番号 H16/B11

リアルタイムコミュニケーションモデルの研究

[1]組織

代表者：沢田康次（東北工業大学）

対応者：白鳥則郎（東北大学通研）

分担者：

矢野雅文（東北大学電気通信研究所）

牧野悌也（東北大学電気通信研究所）

北形 元（東北大学電気通信研究所）

西田真也（N T T コミュニケーション科学基礎研究所）

菅原 研（東北学院大学教養部）

石田文彦（電気通信大学情報システム学研究科）

高地康宏（東北工業大学通信工学科）

研究費：校費0円、旅費7.1万円

[2]研究経過

目的

リアルタイム情報交換は、その極限として、二者または複数者の間でリアルタイムに発言または表現すると同時に相手の発言・表現を受け取ることであるが、現実のコミュニケーションはそのような機械的な情報交換だけではない。お互いが自分の主張を述べ、同時に他者の主張を理解し、その結果、自分の主張と他者の主張が有機的に統合されたものになっていることが必要である。したがって、極限的なリアルタイムコミュニケーションは伝達情報の構造と脳機能の特性によって制限され、リアルタイムコミュニケーションを支援するマンマシンインターフェイスの設計にもこのことがこうりょされなければならない。本研究は、コミュニケーションが成立する条件を数理的に表現し、リアルタイムコミュニケーションを困難にしている場合の改善方法を明らかにするとともに、工学的にリアルタイムコミュニケーションが行われやすい情報ネットワークの設計に資することを目的とする。

概要

この目的を実現するために、コミュニケーションの成立条件の基礎的研究として、実時間情報処理は生物が生存するのに必要な機能であることに

着目し、実時間処理の数理的本質をとらえるために、被験者を更に増加して前年度に引き続き、ヒトと単純運動を行うターゲットとのコミュニケーションの研究を行った。

この心理物理実験農地一つは、昨年同様、被験者にスクリーン上を周期的に運動するターゲットをカーソルで追従するタスクを与え両者の位相差と位置誤差を詳細に測定した。

その際ターゲットの提示時間をインターミッテントにしその度合いを変えること、更には突然ターゲットを消滅させて、手のトラッキングがどのように変化するかを測定することにより、手の運動がターゲットを無意識的に先行することの理由を解明することができた。

更に、新しく複数の計算機をネットワークにつなぎ、お互いが、自分の運動と相手の運動に関する情報を共有して、相手の運動をある条件下でおたがいにトラッキングする実験を行い興味ある結果を得ている。

[3]成果

昨年我々の発見した先行制御この成果をより深く理解するため今年度は、運動するターゲットのもつ条件によって、それを追従する身体運動の特性がどのように変化するかを研究した。昨年、視覚刺激の場合は運動が2次元の場合、先行運動は抑制されるが、注視点を設けると、運動の先行性が再現すること。更に運動する視覚刺激が連續ではなく間欠性を持たせると、手の運動の先行性は驚くほど強調されるなどの新しい知見を得ているが、その理由はまだ解明していなかった。

本年度の成果として、このような実験的状況を整理して先行制御の認知的メカニズムを解明することができ、2編の論文に投稿し、4回の国際会議で発表した。先ず第一は、間欠性視覚情報による追従運動に関するものである。橿円軌道を描くターゲットの視覚情報の間欠性が何故手動の先行性を増大するかを解明するために、手動速度のFFTを測定し、手の運動のリズムを生む第二高調波成分の位相とオービット中の位置関係を調べた。その結果、手の速度はだ円の短軸を通過する地点で一番早く、長軸を通過する地点で一番遅く、そ

のことが第二高調波成分となっていることが判明した。このリズム的な運動とターゲットの出現場所の関係で手のターゲットとの位相関係が決まる。すなわち、長軸を通過するときにターゲットが提示されると、そこでposition-matchingが行われてそれ以外のところで位相差が先行できるが、短軸を過ぎる頃にposition-matchingがおこなわれると、それ以外のところは速度がより遅いので、手の運動の位相は先行しない。

第二はブラインドトラッキングに関する知見である。ある周期からはターゲットを完全に消滅させると、手の相対位相差は時間に比例して増大する場合と遅れが増大する場合が実験条件によって、存在することが判明した。そのことは次のように整理されることを明らかにした。即ち、ターゲット消滅以前の追従運動を目の中心視で行う場合は、その記憶される速度はほぼ物理速度に等しいが、周辺視の場合は、その記憶される速度は物理速度に比べて数%増大する〈先行関連研究によってAF効果と呼ぶことにする〉ことを先ず確認した。ターゲット消滅後の手動運動は、その記憶された速度に従うので、消滅以前の眼球が中心視で消滅後が周辺視の場合は、速度が遅れ、隠されたターゲットに対する手の位相差は時間と共に遅れが増大する。その逆に、消滅以前が周辺視で消滅後が中心視の場合は相対位相差は時間と共に進みが増大する。ブラインドトラッキングといえどもターゲットは見えないが、手動のカーソルは視覚情報に入ることによりこの結果は、修正を受ける。この修正を正しく取り入れることにより、実験結果をほぼ完全に説明できるモデルを構築することができた。以上の実験結果とその考察から、視覚情報による手動の先行性は眼球の状態によって大きく影響されることを明らかにした。

シンポジウム

「コミュニケーションダイナミックス」

日時 平成16年2月21日

場所 東北大学電気通信研究所

目的 人と環境、人とネットワーク、人と人、ロボットとロボットのコミュニケーションをそのダイナミックな側面からとらえることを目的にするシンポジウム。

○Time-Scalingシナジーによる筋活動波形表現、石田文彦 唐津一行(電気通信大学大学院情報システム学研究科)

○Development of Antelligent Robotic System、菅原研(東北学院大学教養学部教養学科情報科学専攻)

○アドホックネットワークにおける利用者名指向

コミュニケーションサービス構成システム：
AMACS、北形元 白鳥則郎(東北大学電気通信研究所)

○絵画的手がかりによる両眼性奥行き知覚の決定
(Pictorial Cues Define Stereoscopic Depth in Da Vinci Stereopsis) 牧野悌也、矢野雅文(東北大学電気通信研究所)

○Frequency shift of periodic hand tracking by extrapolation、高地康宏(東北工業大学ハイテク研究センター)

○人間の同時性知覚の心理物理的研究、
西田眞也(NTTコミュニケーション科学基礎研究所)

○コミュニケーションダイナミックスと全体討論、
沢田康次(東北工業大学通信工学科)

論文発表（査読中を含む）

1. F. Ishida, Y. E. Sawada, "Human hand moves proactively to the external stimulus; an evolutional strategy for minimizing transient error", Physical Review Letters, Vol.93, No.16, 16815, 2004 Virtual Journal of Biological Physics Research, the October 15, 2004 issue
2. F. Ishida, Y. E. Sawada "The hand quicker than the eye", Physical Review Focus, vol. 14, st. 16, 2004.
3. Y.Takachi, Y.E. Sawada "Large phase lead in manual tracking with intermittent visual information", Experimental Brain Research" 2005 査読中
4. Y.Takachi, Y.E. Sawada,"Frequency shift in extrapolated manual tracking caused by a predictive mechanism with illusory perception" 2005査読中
5. Y. Takachi, F. Ishida and Y. Sawada "Hand motion precedes the target when discrimination capability of the target is poor." 8th Int. Conference on Cognitive and Neural Systems (Boston, 2004.5)
6. Y. Takachi, F. Ishida and Y.E. Sawada, "Influences of target discrimination capability on hand tracking" Int. Joint Conference on Neural Networks 2004 (Butapest, 2004.7)
7. Y. Takachi, Y.E. Sawada, "A phas-equation model for a large phase lead in manual tracking caused by intermittent visual information", (IJCNN.モントリオール 2005)
8. Y. Takachi, and Y.E. Sawada : "Study of the phase relation between hand and a predictable target with intermittent display", 9th International Conference on Cognitive and Neural Systems, (Boston 2005.5)

5.1 通研国際シンポジウム

新IV族(Si-Ge-C)半導体：物性制御と超高速光・電子デバイスへの応用に関する国際シンポジウム

International Workshop on New Group IV (Si-Ge-C) Semiconductor:
Control of Properties and Applications to Ultrahigh Speed and Opto-Electronic Devices

平成16年10月12, 13日の両日, 東北大学電気通信研究所ナノ・スピニ実験施設(平成16年3月竣工)にて, 通研国際シンポジウム「新IV族 (Si-Ge-C) 半導体:物性制御と超高速光・電子デバイスへの応用」を開催した。本シンポジウムでは, Si-Ge-CをはじめとするIV族元素とそのヘテロ構造で構成される人工IV族半導体に関して, その極微細構造の物性制御から超高速光・電子デバイスへの応用までの幅広い領域における研究成果について議論を行うことを目的としている。

平成8~10年度通研共同プロジェクト研究「H-08/A11: IV族半導体極微細構造形成と表面・界面制御に関する研究」の研究組織が中心となって, 平成11~15年度文部科学省科学研究費補助金特定領域研究B (2) 「人工IV族半導体の物性制御と超高速光・電子デバイスへの応用」を立ち上げ, 推進してきた。その研究成果報告会を兼ねた第4回通研国際シンポジウム「シリコンエピタキシーとヘテロ構造に関する国際合同会議」が, 平成11年度に開催された実績がある。この研究組織は平成11年より新たなる形となり, 平成11~13年度通研共同プロジェクト研究「H-11/A01: IV族半導体極限ヘテロ構造形成と表面・界面制御に関する研究」と平成14~16年度通研共同プロジェクト研究「H14/A01: IV族半導体極限ヘテロ構造形成とデバイス応用に関する研究」として研究展開を継続しており, 本シンポジウムはこれらの研究成果報告会を兼ねたものである。

初日には, 特定領域研究代表者・白木教授(東大)のイントロダクトリ講演と国内外からの関連分野の招待講演5件により, Si-Ge-C系ヘテロ構造を適用した高性能MOS及びHBTデバイス・回路等に関する最新の成果が報告された。引き続き一般論文発表が行われ, 極微細構造形成・要素プロセス開発・デバイス設計製作技術の構築に関して, 2日間にわたって幅広く議論がなされた。本シンポジウムの開催により, 共同プロジェクト研究並びに特定領域研究の関係者一同, 人工IV族半導体エレクトロニクスの新展開に向けて決意を新たにした次第である。クロージングにおいては, 共同プロジェクト研究代表者・室田(通研)から, 今後も本シンポジウムを, ナノ・スピニ実験施設にて毎年開催する予定である旨, アンウンスがなされた。

本シンポジウムへの参加者総数は国内外を含めて74名であった。総発表件数45件の内, 本特定領域研究に参加しているグループからの発表件数については, イントロダクトリ講演1件, 招待講演1件, 並びに一般論文発表35件であった。その中でも特に, 通研からの発表件数は15件に達し, その研究成果を国内外の研究者に広く報告し議論できたことは有意義であった。本会議の詳細は
<http://www.murota.riecl.tohoku.ac.jp/SiGeC3/>において公開されている。

5.2 国際会議等の開催状況

第7回垂直磁気記録国際会議

The 7th Perpendicular Magnetic Recording Conference

開催日：平成16年（2004年）5月30日（日）～6月2日（水）

開催場所：ホテル仙台プラザ

本国際会議は垂直磁気記録を中心とする高密度磁気記録技術の学術的・産業的な発展を実現することを目的とした会議であり、日本学術振興会磁気記録第144委員会が中心となって平成元年（1989年）に初めて開催された日本主導の会議である。その後、平成3年（1991年）、平成6年（1994年）、平成9年（1997年）、平成12年（2000年）と継続してほぼ3年おきに5回開催され多大な成功を収めている。その後、米国の研究者によって始められた北米垂直磁気記録国際会議（North American Perpendicular Magnetic Recording Conference）と合同で、第6回垂直磁気記録国際会議を2003年1月に米国California州Monterey市において開催している。

本会議はこれら6回の会議の実績を踏まえるとともに、実用化を間近にした段階での垂直磁気記録技術に関して将来にわたって継続した発展を議論する目的で企画された。その実用化を確かなものとするために、単磁極ヘッドや垂直メディアなどのデバイス技術のみならず、高密度垂直記録再生理論、成膜技術、微細加工技術、信号処理技術などの総合的な視点からの議論を行うとともに、それらを統合したドライブ装置技術の討論も重視した。本研究所からは中村慶久教授が副実行委員長を村岡裕明教授が事務局長を務めた。

本会議には国内外から同伴者14名と懇親会のみの参加8名を含めて、計285名の参加者があり、このうち80名は海外からの参加者（うち米国から60名）であった。

セッションは招待講演26件とアブストラクト審査を経て採択した一般講演101件の計127件をもって構成され、オーラル講演とポスター講演に分けて発表が行われた。ヘッド・ディスクを中心とする最新の垂直磁気記録デバイス技術の精力的な発表と並んで、ハードディスクドライブメーカー各社から実用化技術の進捗が報告され、積極的な質疑と情報交換が行われた。

本会議の成果としての論文集は、会議終了後に十分な査読プロセスを経たものに限定して選択し、国際学術誌であるJMMM（Journal of Magnetism and Magnetic Materials）のSpecial issue (vol. 287, 2005)として発行された。これまでの本国際会議では当日のプロシーディングス発行が慣例であったが、ますます進歩が早くなっているこの分野の特性を考慮しより最新の成果を取り込めるようにすることと、十分な査読により質の高い論文集とすることを意図したため、会議後の会議録の発行となった。

2004年 環境電磁工学国際シンポジウム (2004 International Symposium on Electromagnetic Compatibility)

開催日：2004年6月1～4日（4日間）

開催場所：仙台国際センター

本会議は、我が国で唯一開催される環境電磁工学（EMC）に関する国際会議であり、1984年以降、5年ごとに開催されている。今回は、本研究所の杉浦行教授が運営委員長を務めた。

約520名の研究者・専門家が出席し238件の研究成果の発表が行われたほか、海外から8名の講師を招き、最新のEMC規格に関するワークショップ“Recent Topic on EMC Standardization”と、下層プリント基板における諸問題に関するチュートリアル講演“EMC Design for Multi-Layer Printed Circuit Board”を開催した。

また、今回から、最優秀論文賞として、佐藤利三郎・東北大学名誉教授の名を冠した“The Risaburo Sato Award”が創設され、優勝論文賞（2編）、学生論文賞（10編）とともに授与された。

第7回オックスフォード神戸セミナー： 材料科学セミナー・スピントロニック材料

7th Oxford Kobe Materials Seminar: Spintronic Materials and Technology

開催日：2004年9月1日（水）～9月4日（土）

開催場所：神戸インスティチュート

7th Oxford Kobe Materials Seminar: Spintronic Materials and Technology（第7回オックスフォード神戸セミナー：材料科学セミナー・スピントロニック材料）が平成16年9月1日から4日間にわたり、神戸において開催され、大野英男教授が日本側責任者として会議運営の中心的役割を果たした。オックスフォード神戸セミナーは神戸インスティチュートとオックスフォード大学が主催する国際学術交流のための研究集会で、限定された専門研究者の参加によってより深い議論を行えるよう配慮されているのが特徴である。材料科学セミナーは、日英欧の国々において互いに関心が深く有益な成果が期待される重要なテーマを選んで毎年開催されており、今回はスピントロニック材料をテーマに8つのセッションに分かれ、約30件の口頭発表のほか、ポスター発表も行われ、日本、イギリスはもとよりヨーロッパ、アメリカからの参加者によって活発な討論、情報交換が行われた。

5.3 工学研究会

東北大学電気通信研究所、東北大学大学院工学研究科と情報科学研究科および関係ある学内外の研究者、技術者が交互に連絡・協力し合うことによって、学問的・技術的问题を解決し、研究開発を促進することを目的として工学研究会が設置されている。そのため、専門の分野に応じて次のような分科会を設けて、学術的および技術的な諸問題について発表・討論を行っている。発表された研究の一部は東北大学電気通信談話会記録に抄録されている。

	研究会名	主査	幹事
1	伝送工学研究会	安達教授	工藤助教授
2	音響工学研究会	牧野教授	坂本助手 鈴木助手
3	仙台「プラズマフォーラム」	犬竹教授	畠山教授
4	EMC仙台ゼミナール	杉浦教授	曾根教授 松本助教授
5	コンピュータサイエンス研究会	外山教授	周助教授
6	システム制御研究会	吉澤教授	渡邊助教授
7	情報バイオトロニクス研究会	庭野教授	石山助教授
8	スピニクス研究会	青井教授	土井助教授 中村助手
9	ニューパラダイムコンピューティング研究会	川又教授	張山助教授
10	超音波エレクトロニクス研究会	金井教授	長谷川助手
11	ブレイン機能集積工学研究会	中島教授	佐藤助教授 田中助教授
12	情報・数物研究会	海老澤教授	林助教授
13	生体・生命工学研究会	矢野教授	三浦助手
14	ナノ・ спин工学研究会	大野教授	大野助教授

伝送工学研究会

主査 安達 文幸, 幹事 工藤 栄亮

伝送工学研究会は、最も長い歴史をもつ研究会であり、平成17年3月の時点で479回を数えている。本研究会は、電波から光波にわたる電磁波を用いた有線・無線伝送に関する基礎・応用研究の発表と討論を目的としており、放射・伝搬・伝送およびこれらに用いるデバイスや方式などの研究報告と招待講演を行ってきた。

本年度は9回の定期研究会と1回の特別研究会が開催され、3件の特別講演と32件の一般講演(全て学内)が行われた。最新の研究動向と成果が発表され、活発な議論が行われた。

音響工学研究会

主査 牧野 正三, 幹事 坂本 修一, 鈴木 基之

音響工学研究会は、音波、固体振動、超音波などの弾性波を対象とする研究の成果を発表し、討論や意見交換をする場として、1950年頃に発足した研究会である。関連する分野は、電気音響、聴覚・心理音響、建築音響、騒音制御、デジタル聴器、音声分析・合成、音声認識・理解、音環境工学など、多岐にわたっている。

2004年度は、主査牧野正三教授、幹事坂本修一助手、鈴木基之助手のもとで、研究会7回(第331回～第337回)と通研講演会1回が開催された。会場は、第332回が東北大学工学部電気・情報系451・453会議室であり、その他は全て東北大学電気通信研究所大会議室で行われた。なお、第332回と第335回は超音波エレクトロニクス研究会と合同で開催され、第336回は電子情報通信学会HIP研究会との共催で開催された。

第331回音響工学研究会は、2004年5月27日(木)に開催され、研究発表3件、参加者は35名であった。第332回音響工学研究会は、2004年7月23日(金)に開催され、研究発表7件、参加者は66名であった。第333回音響工学研究会は、2004年10月28日(木)に開催され、研究発表3件、参加者は33名であった。第334回音響工学研究会は、2004年11月18日(木)に開催され、研究発表2件、参加者は39名であった。第335回音響工学研究会は、2004年12月10日(金)に開催され、研究発表8件、参加者は63名であった。第336回音響工学研究会は、2004年12月16日(木), 17日(金)に開催され、研究発表19件、参加者は106名であった。第337回音響工学研究会は、2005年2月22日(火)に開催され、研究発表4件、参加者は32名であった。通研講演会は、2004年12月9日(木)に開催され、河原一彦氏(九州大学大学院芸術工学研究院助手)による、“九州大学芸術工学部における「聴能形成」授業－音響技術者に求められる「音の感性」を身につけるために－”という題の講演が行われた。参加者は、33名であった。

仙台 ミニプラズマフォーラム

主査 犬竹 正明, 幹事 畠山 力三

本研究会は、プラズマ・放電、核融合などの基礎とプラズマ応用の最新の研究成果に関して、特別講演会及び研究会等を開催するとともに、広範囲の研究者と活発な研究討論と研究発表を行うことを目的としている。

平成16年度の活動として、学部学生を中心とする既刊論文に基づいたプラズマ基礎およびプラズマ応用、計測に関する「研究討論会」を4回開催。大学院生（修士および博士課程）により、弱磁化ヘリコン波プラズマの基礎と応用、電気推進機をめざしたプラズマ加速および波動加熱、新規プラズマの生成・制御、新規フーレンの創製および基礎、大気圧マイクロプラズマの生成と応用、プラズマ計測法の開発などの研究発表会を3回開催。国内外研究者による微小重力下の微粒子プラズマ、カーボンナノチューブの応用、核融合周辺プラズマ研究におけるプローブ計測、フーレン構造などの「講演会」を4回。さらに大気圧・高密度プラズマの基礎と応用、核融合研究から新規材料生成に関する広範な学際的新領域プラズマの基礎と応用、微粒子プラズマの基礎と応用、プラズマ流に関する諸現象などの基礎研究などの「研究会」を4回開催。以上の研究会参加者は学内外合わせて、常時50名前後であった。

EMC仙台ゼミナール

主査 杉浦 行, 幹事 曽根 秀昭, 松本 泰

EMC（環境電磁工学）は、電磁ノイズと信号の電磁干渉（EMI）や電磁界の生体効果などの電磁環境問題を扱う分野である。今日では、電気工学分野の研究者と技術者は、なんらかの形でEMC問題に関わらざるを得ない。この問題が我が国で知られるようになって間もなく、1977年2月に、EMCにいかに取り組むべきかを調査し、学問として体系化する目的で、「EMC仙台ゼミナール」が発足した。この活動は、誰もやらない研究と取り組む東北大学の学風によるものであると言え、世界にEMC研究の方向を示し実践してきた。また、ここで討論された先進的な研究は、我が国や世界のEMC研究において、牽引力の役目を果たしており、独創的研究成果をこの研究会から世に送り出してきた。2001年にIEEEのEMC Societyで仙台Chapterが設立され、連携して活動している。

平成16年度は、第171回（8月25日）、第172回（12月20日）の2回の研究会を開催し、それぞれマイクロギャップ放電に関する特別講演1件、および高速電力線通信とEMCに関する特別講演6件が行われ、活発な議論が行われた。

コンピュータサイエンス研究会

主査 外山 芳人, 幹事 周 晓

コンピュータサイエンス研究会は、国内外で活躍する研究者を講師に招き、コンピュータサイエンスにおける最新の研究成果、話題について講演会を開催し、通研および電気・情報系に所属する研究室間の学問の交流を図ることを目的としている。2004年度は、第109回から第116回講演会まで8回の講演会を開催した。

原田康徳氏(NTT)は、「柔らかい書き換え」に基づいてViscuitの動作原理と応用について説明した。小林直樹教授(東北大)は、 π 計算のプログラム解析器TyPiCalの動作原理について講演した。Hsu-ChunYen 教授(National Taiwan University)は、半線形セットの特性などについて最近の研究成果を紹介し、Aart Middeldorp教授(University of Innsbruck)は、書き換えシステムの停止性自動判定システム TyroleanTermination Toolを説明した。Andrzej Lingas 教授(Lund University)は、グラフの最小面積平面の埋め込みなどについて講演した。Magnus Halldorsson 教授(Iceland University)は、グラフの彩色について最近の研究について講演した。鈴木大郎講師(会津大学)はXML文章変換の枠組みについて講演した。David Avis 教授(McGill University)は、頂点/一面列挙問題に関する最新の研究結果を紹介した。

本研究会は、以上のように最新の研究成果の講演をもとに、活発な討論と意見交換がなされ、有意義な学問交流の場を提供した。

システム制御研究会

主査 吉澤 誠, 幹事 渡邊 高志

本研究会は、システム制御における、理論から応用にわたる広範な最新の研究動向について討議することを目的としている。本年度の活動は下記のとおりである。

1) (講演会) 米国ノースウェスタン大学医学部理学療法リハビリテーション学科教授、および、米国シカゴ・リハビリテーション研究所感覚運動機能プログラム上級臨床研究員 エミリー・A・ケシナー 氏 (演題: Human Cybernetics Revealed by Virtual Environments, 主催: 東北大学21世紀COEプログラム「バイオナノテクノロジー基盤未来医工学」, 共催: 計測自動制御学会東北支部), 2) (講演会) ブラジル共和国マラニャン連邦大学電気工学科助教授 アラン・K・バホス 氏 (演題: How the Brain Codes Information: An Information-Theoretic Approach), 3) 名古屋大学エコトピア科学研究機構客員教授 後藤 益雄 氏 (演題: 電力システムの安定化制御, 主催: 先端電力工学(東北電力)寄附講座, 共催: 電気学会東北支部), 4) (通研講演会) 福島大学共生システム理工学類助教授 田中 明 氏 (NEDOプロジェクトにおける人工心臓開発, 共催: 計測自動制御学会東北支部, 東北ME談話会)。

情報バイオトロニクス研究会

主査 庭野 道夫, 幹事 石山 和志

バイオエレクトロニクスは21世紀の重要な科学技術分野の一つとみなされているが、その技術革新のためには、20世紀に高度に発達した電子工学技術と、その多様な機能が次々と解明されつつある生化学反応系とのインテリジェントな融合を図る必要がある。このような背景を考慮して、本研究会では、電子工学分野の研究者と、生命科学、バイオテクノロジー分野の研究者が協力して、ナノ・バイオエレクトロニクスの今後の戦略目標を討論することを目的とした。本年度は、研究会を2回開催し、Sonia Contera氏の通研講演会を開催した。

[第1回] 【通研講演会】「Towards bionanotechnology with membrane proteins: mechanics and electronics」Dr. Sonia A Contera (University of Oxford), 「凝縮転移下における1分子DNAの力学応答」村山 能宏（東京大学大学院理学系研究科）

[第2回] 【特別講演】「超分子構造を用いた分子ナノフォトニクス」大友 明（独立行政法人情報通信研究機構 関西先端研究センター）【特別講演】「STMを用いた分子の観察と化学分析」米田忠弘（東北大多元研）【研究発表】「多重内部反射赤外吸収分光法によるSi表面上のDNAハイブリダイゼーション反応の検出」石橋健一, 山口遼太郎, 宮本浩一郎, 木村康男, 石井久夫, 庭野道夫（東北大通研）, 「顕微赤外分光法を用いたポーラスシリコン表面上のDNAハイブリダイゼーション反応の検出」山口遼太郎, 石橋健一, 宮本浩一郎, 木村康男, 石井久夫, 庭野道夫（東北大通研）

スピニクス研究会

主査 青井 基, 幹事 土井 正晶, 中村 健二

スピニクス研究会は、微細磁気物性に基づくさらなる磁気工学の発展を創生するために、磁気現象の起源である電子スピンを意識した新しい学問分野（スピニクス）に携わる研究者間の情報交換と討論の場として1990年に発足した。本研究会は、最新の話題に関する招待講演を主とした一般研究会と、萌芽的研究に関する討論を主とした一般公募による特別研究会を行っている。本年度は他の研究会等との協賛も含め、計7回の研究会を開催した。第1回目は、電気学会東北支部学術講演会に協賛し、KISTのS. H. Lim博士より、高密度MRAMに関する最近の研究成果について講演がなされた。第2回目は、電子情報通信学会東北支部の特別講演会に協賛し、米国ミズーリ大学ローラ校のR. E. DuBroff博士より、EMC近傍磁界計測・解析に関する研究成果についての講演がなされた。第3回目は、「垂直磁気記録用媒体技術」と題し、鈴木教授（豊工大）、朝日助教授（早大）、中谷氏（物質・材料研究機構）より、最新の研究成果に関する講演が行われた。第4回目は、日本応用磁気学会スピニクス専門研究会に協賛し、「ハーフメタリック薄膜のスピニクスへの応用」をテーマに、5件の最近の話題を得る機会を得た。第5回目（特別研究会）は、10月21日、22日に日大工学部において開催し、電力用磁気、薄膜物性、磁気記録、RF帯応用などの広範に及ぶ計27件の講演が2日間にわたって討議された。第6回目は通研講演会に協賛し、九州大学の笹田一郎教授より、「磁気と計測」と題して、磁気センサ並びに磁気シールドに関する最近の技術動向について講演がなされた。第7回目は、電気学会マグнетイクス研究会に協賛し、当分野における18件の最近の研究成果を知る機会を得た。

ニューパラダイムコンピューティング(NPC)研究会

主査 川又 政征, 幹事 張山 昌論

本研究会は、従来の延長上にない新しいパラダイムに基づくコンピューティングシステムに関する研究を推進することを目的としており、平成16年度は以下の4回を開催した。

第40回 平成16年10月25日（月）東北大学工学部電気情報館
平成16年度情報処理工学セミナーと共催。ポスターセッション44件

第41回 平成16年11月9日（水）琉球大学
研究発表8件

第42回 平成16年11月27日（土）霞ヶ関三井クラブ
研究発表3件

第43回 平成17年1月12日（水）東北大学電気情報館 通研講演会
演題：「暗号の基礎とアプリケーション～破る側と守る側」
講演者：佐藤 証(日本アイ・ビー・エム株式会社)

超音波エレクトロニクス研究会

主査 金井 浩, 幹事 長谷川英之

第41回

日 時：平成16年7月23日(金) 10:00～15:50

会 場：東北大学工学部電気・情報系451・453会議室

演 題：

1. 「対話型CALLシステムのための文法誤りの検討」
権 五杓, 伊藤彰則, 鈴木基之, 牧野正三(東北大学大学院工学研究科)
2. 「音信号用CoFIPにおける結託攻撃対策の検討」
園田光太郎, 西村竜一, 鈴木陽一
(東北大学電気通信研究所/大学院情報科学研究所)
3. 「室内で発生する有害エコーの検出手法の提案」
山田祐生^{1, 2}, 鈴木陽一¹
(1 東北大学電気通信研究所/大学院情報科学研究所, 2 竹中技術研究所)
4. 「軟弾性体膜の変形とヤング率の測定」
青柳良二(仙台電波工業高等専門学校), 吉田哲男(アクシム)
5. 「超音波による動脈壁の組織性状診断
～局所弾性率のコラーゲン含有率依存性の検討～」
稻垣 淳, 長谷川英之, 金井 浩, 市来正隆¹, 手塚文明²
(東北大学大学院工学研究科, 1 JR仙台病院, 2 独立行政法人国立病院機構
仙台医療センター)
6. 「溶融固化K(DPM)の特異な蒸発特性を利用したMOCVD原料ガスの高濃度安定
供給」
尾上 篤^{1, 2}, 長 康雄²
(1 パイオニア(株)総合研究所, 2 東北大学電気通信研究所)
7. 「生体組織性状診断を目指した音響放射圧による対象物内部の局所加振に関する
検討 ～2点同時加振波形の位相制御による伸縮変形発生法～」
西尾吉史, 長谷川英之, 金井 浩(東北大学大学院工学研究科)

第42回

日 時：平成16年10月7日(木) 15:15～17:15

会 場：東北大学工学部電気・情報系103会議室

演 題：

1. 「直線集束ビーム超音波材料解析システムを用いた超低膨張ガラスの線膨張係数の超精密評価法」
櫛引淳一, 荒川元孝, 大橋雄二, 丸山貴久, 鈴木光二
(東北大学大学院工学研究科)
2. 「有極性マルチドメイン構造を利用した圧電継効果の高結合KNbO₃幅継振動子」
小山博功, 中村僖良, 高野剛浩¹
(東北大学大学院工学研究科, 1 東北工業大学)
3. 「圧電薄膜共振子用薄膜の温度係数の評価」
太田 聰, 中村僖良, 土井 新¹, 石田泰昭¹

(東北大学大学院工学研究科, 1 京セラキンセキ株式会社)

第43回

日 時：平成16年12月10日 (金) 10:00～15:55

会 場：東北大学電気通信研究所2号館4階 大会議室

演 題：

1. 「カラーグローブを用いた手の回転に頑健な指文字認識の検討」

大里宗之, 鈴木基之, 伊藤彰則, 牧野正三(東北大学大学院工学研究科)

2. 「動脈壁厚み変化波形の整合による弾性率断層像計測における信頼性向上に関する研究」

湯 江, 長谷川英之, 金井 浩(東北大学大学院工学研究科)

3. 「虚実ハイブリッド音場再生シミュレータの予備的検討」

姜 大基, 岩谷幸雄, 鈴木陽一

(東北大学大学院情報科学研究所/電気通信研究所)

4. 「包囲型マイクロフォンアレイを用いた音源位置推定に関する検討」

岡本拓磨, 西村竜一, 岩谷幸雄

(東北大学大学院情報科学研究所/電気通信研究所)

5. 「内皮依存性血管弛緩反応による上腕動脈壁内中膜領域の弾性率変化計測の高精度化」

杉本昌隆, 長谷川英之, 金井 浩(東北大学大学院工学研究科)

6. 「心臓壁の厚み変化計測のための弾性球殻の加振法」

今村浩輔, 長谷川英之, 金井 浩(東北大学大学院工学研究科)

7. 「LFB超音波材料解析システムの測定再現性の改善」

大橋雄二, 櫛引淳一, 白崎勇一¹

(東北大学大学院工学研究科, 1 (有)マリン・エコ・テック)

8. 「2つの音響放射圧の位相制御による対象物内部局所ひずみ発生に関する検討」

西尾吉史, 長谷川英之, 金井 浩(東北大学大学院工学研究科)

ブレイン機能集積工学研究会

主査 中島 康治, 幹事 佐藤 茂雄, 小野美 武

本研究会は生物の脳が情報処理に対して示す高度で広範囲な機能を可能な部分について人工的に集積回路として構成して、現在の電子計算機による情報処理の欠点を補い得るシステムの構築を実現するため、各方面の英知を集め議論することを目的として設立された。その対象となる機能は分散記憶、連想記憶処理、学習による機能の自立修正、最適値問題に於ける計算量の爆発の抑制、時系列情報の認識判断などであり、これらの機能をゲートレベルからの並列処理により実現することを目指した集積回路の構成を追究している。

本年度は平成16年11月18日に東京大学大学院工学系研究科助教授・廣瀬 明氏を招いて「スーパー・ブレイン・エレクトロニクス」と題して通研講演会を行った。その概要を以下に示す。複素ニューラルネットワーク（以下複素NN）は「電磁波」や「量子」のエレクトロニクスを中心とする科学技術分野でその利用が期待されている。なぜならば、複素NNは位相に関係する物理現象と相性がよいからである。講演では、これら複素NNは人間の脳の実現を目標としたものではなく、むしろ人間の脳とは少し異なる性質をすぐれた機能に結びつけようとするものであり、「スーパー・ブレイン」と名付けて講演者らの研究指針となっていることが紹介された。また最近の成果として、複素ニューロの眼で見てプラスチック対人地雷をイメージングするレーダーシステムや、光キャリア周波数で制御される光波適応位相フィルタの例の紹介があり、紹介例の実現方法や今後の応用について活発な討論がなされた。

情報・数物研究会

主査 海老澤不道, 幹事 田中 和之, 林 正彦

情報・数物研究会は、情報科学の問題やスピン系の統計物理学的研究と超伝導やメソスコピック系の問題の物性理論的研究に関して、広く学内外で活躍している研究者を講師として招き、最近の研究成果や話題についての講演会を開催し、学問の交流を図ることを目的としている。

本年度は、計10回の講演会を開催した。講師（敬称略）および講演題目は次の通りである：権島祥介 氏（東京工業大学大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻）“BPに基づくCDMAマルチユーザー復調アルゴリズム”，田中利幸（東京都立大学大学院工学研究科電気工学専攻）“CDMA マルチユーザ検出の統計神経力学”，今野 紀雄（横浜国立大学工学部生産工学科）“量子ランダムウォークの数理 II”，Ben Baelus（筑波大学）“Vortex configurations in thin mesoscopic superconductors”，山内 淳（慶應義塾大学理工学部物理科）“密度汎関数法の基礎と応用：Si中のIn原子の不活性化機構とその抑制”，岡田 真人（東京大学大学院新領域創成科学研究科複雑理工学専攻）“大脳視覚野のアトラクターを探る”，西森 秀穏（東京工業大学大学院理工学研究科）“量子誤り訂正符号における同値類とスピングラスのエネルギーの関係”，宮島 佐介（中部大学 応用生物学部 応用生物化学科）“パーコレーション問題における多相転移点”，井口 家成（東京工業大学理工学研究科）“異方的高温超伝導体の接合物理と走査SQUID顕微鏡による微小磁気観測”，加藤 岳生（東京大学物性研究所）“摩擦のある量子系のモンテカルロシミュレーション”。

生体・生命工学研究会

主査 矢野 雅文, 幹事 三浦 治己

本研究会は生体工学・生命工学の最新の研究成果について特別講演を開催とともに活発な研究発表と討論を行うことを目的として平成12年9月に発足した。平成16年度から前主査の山本光璋教授の退官に伴い主査は矢野雅文、幹事は三浦治己に交替した。以下に平成16年度の活動概要を示す。

第11回は平成16年11月26日(金)に14時から17時まで工学部電気系451・453会議室で開催され、東北大学情報科学研究科の坪川宏教授の「海馬錐体細胞における樹状突起活動電位の特性とその生理学的役割」と題する特別講演が行われた。引き続いて4件の一般発表があった。参加者は31名であった。第12回は平成17年2月22日(火)に13時半から17時まで電気通信研究所中会議室で開催され、東京大学大学院薬学系研究科の川原茂敬助教授の「小脳運動学習に見られる学習記憶メカニズムの多重性と階層的制御機構」と題する特別講演（通研講演会）が行われた。引き続いて4件の一般発表があった。参加者は37名であった。いずれの回も広範な分野からの参加者があり、活発な討論がなされた。

ナノ・スピニン工学研究会

主査 大野 英男

21世紀に求められる高度な情報通信の実現には、ナノテクノロジーに基づく材料デバイス技術からシステム構築までの総合科学が必要である。「ナノ・スピニン実験施設」は、この情報通信を支える総合科学技術の中の、ナノテクノロジーに基づいた電子の電荷・スピニンを駆使する基盤的材料デバイス技術の研究を総合的・集中的に推進することを目的に、本研究所附属研究施設として平成16年4月1日に設置された。本研究会は、この施設を中心に展開して得られた成果にもとづき、広くナノエレクトロニクス・スピントロニクスに関連した科学技術に関して十分論議することを目的としている。初年度の平成16年度は以下の講演会を実施した。

第1回 平成16年5月19日

「ナノ・スピニン電流を利用した磁性・伝導性の制御」
小野 輝男 教授（京都大学化学研究所）

第2回 平成16年5月20日

「タイムモジュレーションプラズマによる磁性薄膜の反応性エッチング」
寒川 誠二 教授（東北大学流体科学研究所）

第3回 平成16年7月5日

「Quantum Engineering of Superconductivity」
Dr. Yang Gou (International Center for Quantum Structures, State Key Laboratory for Surface Physics, Institute of Physics, The Chinese Academy of Sciences)

第4回 平成16年9月6日

「Spin-transport of Non-equilibrium Carriers in Semiconductor-ferromagnet Structures」
Dr. Ronnie Jansen (MESA+Research Institute for Nanotechnology, University of Twente, The Netherlands)

第5回 平成16年9月17日

「High-Perfection Approaches to Si-based Devices through Strained Layer Epitaxy」
J.C.Sturm 教授 (Princeton University)

第6回 平成16年11月18日

「スーパー・ブレイン・エレクトロニクス」
廣瀬 明 助教授（東京大学大学院工学系研究科）

第7回 平成16年11月18日

「分子スピニン物性とその展開」
阿波賀 邦夫 教授（名古屋大学大学院理学研究科）

第8回 平成17年2月2日

「Spin Transport in Nanostructures」

Professor S. Bandyopadhyay (Department of Electrical Engineering and Department of Physics, Virginia Commonwealth University, Richmond, U.S.A.)

第9回 平成17年3月11日

「New Physics with Self Assembled Quantum Dots」

Professor Maurice S Skolnick (Department of Physics and Astronomy, University of Sheffield, UK EPSRC Senior Research Fellow)

第10回 平成17年2月22日

「半導体多重量子井戸構造におけるテラヘルツコヒーレント現象

—励起子量子ビートとコヒーレントLOフォノンの相互作用—」

中山 正昭 教授（大阪市立大学 大学院工学研究科）

5.4 通研講演会

A Vision for B3G and FUTURE Program in China

Prof. Zhang Ping, Director of Wireless Technology Innovation Lab(WTI),
Beijing University of Posts and Telecommunications (BUPT)

月日 平成17年11月22日(月)

場所 東北大学電気・情報系103会議室

中国における第4世代の移動通信システムの展望について紹介された後、それに関する最近の研究成果が発表された。

第4世代の移動通信システムのキーワードは異種ネットワークの協調とユビキタスである。本発表に引き続き、活発な議論が行われた。

九州大学芸術工学部における「聴能形成」授業 —音響技術者に求められる「音の感性」を 身につけるために—

九州大学大学院 芸術工学研究院助手 河原 一彦

我々は日常生活において様々な音にさらされている。しかし、通常「音」と聞いて真っ先にイメージするものは「音楽」であり、このように日常生活においてさらされている「音」に対する意識は非常に低い。音響技術者として音響デザインを手がけるものにとってはこれらの「音」に対する注意、意識を高める必要がある。

九州大学芸術工学部では音響技術者育成の観点にたって、様々な「聴能形成」の授業を実施している。その授業では、フィールドワークなどを通して日常生活にあふれている「音」を意識させるとともに、音の大きさ、高さ、音色などの微小変化を敏感に知覚できるように、自作のソフトウェアを用いて聴取訓練を実施している。本講演では、音響技術者として備えるべき「音の感性」について述べ、それをはぐくむための「聴能形成」に関する取り組みの一端を紹介した。

微小重力下における微粒子プラズマの挙動

ドイツ・マックスプランク研究所 教授 Gregor E. Morfill

本講演では、プラズマ中のクーロン結晶の自己形成、結晶・流体間の相転移、超臨界現象、局所平衡状態への緩和、原子システムの構築、ナノ流体などについて述べられた。特に、クーロン結晶構造成長の時間発展、2流体不安定性による微粒子の糸状結晶化、微粒子の凝集化、波動や不安定現象、超音速微粒子流の振舞い、物体の周りの微粒子流及び渦現象の発展などが解説された。

また、最近のドイツにおける微粒子プラズマ研究の成果と国際宇宙ステーションを利用した微小重力条件下実験のための設備の紹介と実験結果および、欧州の微小重力下微粒子プラズマ研究の組織であるIMPF(International Microgravity Plasma Facility)の計画についての報告がなされた。

電灯線インターネットのEMC

九州工業大学 工学部教授 桑原伸夫 武蔵工業大学 工学部教授 徳田正満
NTTアドバンステクノロジー(株) EMCセンター所長 雨宮不二雄

平成16年12月20日に、九州工業大学の桑原伸夫教授、武蔵工業大学の徳田正満教授、NTTアドバンステクノロジーの雨宮不二雄氏を講師に招き、標記講演会が行われた。家庭内の電灯線を利用して数10 Mbpsの情報を伝送しようとする電灯線インターネット(PLC)の実用化が検討されている。しかしながら、電灯線がアンテナの働きをすることによって放射された不要電磁波が、短波放送の受信障害や、電波天文観測に対して妨害を与えることが懸念される等の問題を抱えている。本講演会では、これらの電灯線インターネットに関する電磁環境(EMC)の問題について講演いただいた。また、パナソニックコミュニケーションズ(株) 牧弘昌氏からは電灯線インターネットの概要について、本学大学院理学研究科の小野高幸教授からは電波天文観測の観点から、それぞれ講演が行われた。講演終了後には出席者との討論が行われ、電灯線インターネットについて、より深く議論する貴重な機会が得られた。

A Rewrite System with Incomplete Regular Expression Type for Transformation of XML Documents

会津大学 講師 鈴木 大郎

日 時：平成16年3月24日（木）13：30－15：30

場 所：東北大学・電気通信研究所・2号館・4階 中会議室(W401)

正規表現(RE)型を拡張した、incomplete RE 型に基づくXML文書変換のための枠組みを提案する。incomplete RE 型を導入することで、より柔軟なXML文書変換プログラムが実現可能となることを示す。本枠組みの形式的な定義をあたえた後、Incomplete RE 型の性質について示し書き換えに用いられる照合アルゴリズムについて説明する。

NEDOプロジェクトにおける人工心臓開発

福島大学 共生システム理工学類 助教授 田中 明

米国ベーラー医科大学の能勢之彦教授のグループでは、NEDOプロジェクトによる人工心臓の開発が精力的に進められている。このプロジェクトでは、超小型の遠心ポンプを2つ体内に埋め込んで心臓を補助するタイプの人工心臓を開発しており、慢性動物実験が進み、臨床適用が間近である。講演では、講演者が現在このプロジェクトにおいて開発に携わっている「計測・制御・通信システム」について、この分野の世界の趨勢が解説され、将来の人工心臓の医療ビジネス展開についての予想が紹介された。

Towards bionanotechnology with membrane proteins: mechanics and electronics

Dr. Sonia A Contera

Bionanotechnology IRC, Physics Department, Clarendon Laboratory University of Oxford

Functional membrane proteins, including ion channels and receptors are biologically-evolved nano-machines working in the cell as switches and triggers. Our research aims at understanding the stability and assembly of membrane proteins, using mainly by atomic force microscopy (AFM) and dynamic force spectroscopy to determine how do peptides anchor in the membrane and how are the interactions with other peptides, looking for what drives their assembly into e. g. ion channels etc. An atomistic understanding of the AFM results is modelled by Molecular Dynamics simulations. Moreover we want to build nano-electronics and photonics structures - integrating electrically and optically active biomolecules to produce active devices, networks and bio-sensors. I will present our work towards single molecule biophotonic devices built with bacteriorhodopsin proteins and the assembly of proteins with conductive N-doped and Fe-doped carbon nanotubes.

「磁気と計測」

九州大学大学院総合理工学研究院 教授 笹田 一郎

日時 平成16年11月4日

場所 東北大学電気通信研究所 2号館4階大会議室

本講演では、九州大学の笹田一郎教授をお招きし、近年その重要性がますます高まっている磁気センサとその周辺技術に関する基礎から最新の研究動向について解説を頂いた。まず初めに、磁気センサの特徴とこれからの時代における役割、並びに磁気応用計測の将来展望について述べられ、次いで笹田教授のグループで研究が進められている、基本波型直交フラックスゲート、交流磁界を用いた広視野磁気イメージング、磁気モーションキャプチャ、トルクセンサなど種々のセンサ、並びにセンシングシステムの原理と特徴が紹介された。また、微小磁界計測において必不可少な磁気シールドに関する、その原理と従来技術、並びに笹田教授のグループで取り組んでいる磁気シェイキング、生体磁気計測用磁気シールド、アクティブ磁気シールドなどの最新の研究が紹介された。

暗号の基礎とアプリケーション ~破る側と守る側

日本アイ・ビー・エム株式会社 佐藤 証

「暗号」は一般の市民には縁のない世界のことだと思われるかもしれない。しかし暗号の利用が軍事や外交などの特殊用途に限られていたのは昔の話で、今では生活のいたるところで用いられている。例えば、携帯電話の通話やメールのプライバシー保護、インターネットショッピングの安全な取引、電車の自動改札や有料道路のETCゲートでのスムーズな課金による混雑緩和、そして映画や音楽などデジタルコンテンツの著作権の保護などに使用されています。デジタル情報家電の普及やブロードバンド・ネットワークの急速な拡大に伴って、多様かつ多量のデータを保護するために暗号技術のニーズはさらに高まっていくと見られている。本講演では、暗号の基礎知識から始め、その応用アプリケーションを通じて暗号によって何をどう守るのかについて解説する。また、最近の話題である暗号モジュールの実装攻撃や国際評価制度も取り上げる。

最近の医用超音波技術: マイクロバブル利用技術を中心として

(株)日立製作所 中央研究所 主管研究員 梅村晋一郎

日 時：平成17年2月22日(火) 13:00～16:00

会 場：東北大学 工学部 電子・応物・情報系451・453会議室

講 師：梅村晋一郎 ((株)日立製作所 中央研究所 主管研究員)

演 題：最近の医用超音波技術: マイクロバブル利用技術を中心として

概 要：現在、超音波は医療診断・治療に幅広く用いられている。超音波治療においては、超音波を集束させて焦点における超音波強度を高め、腫瘍など対象の温度を上昇させる。この際、腫瘍以外の正常組織の温度を上昇させないことが重要であり、そのためには必要な超音波の指向性などについて解説があった。また、血液中に超音波造影剤（マイクロバブル）を注入することにより、様々な部位の血行動態を診断することが可能である。また、薬剤が封入されたマイクロバブルを血管内に注入し、目的の部位にマイクロバブルが到達した後に超音波をその部位に照射してマイクロバブルを破壊することで、部位選択的に薬剤を働かせることができる技術など、マイクロバブルを利用した技術について講演がなされた。

スーパー・ブレイン・エレクトロニクス

東京大学大学院工学系研究科 助教授 廣瀬 明

日時 平成16年11月18日

場所 東北大学電気通信研究所ナノ・スピニ実験施設4階カンファレンスルーム

複素ニューラルネットワーク（以下複素NN）は「電磁波」や「量子」のエレクトロニクスを中心とする科学技術分野でその利用が期待されている。なぜならば、複素NNは位相に関係する物理現象と相性がよいかからである。講演では、これら複素NNは人間の脳の実現を目標としたものではなく、むしろ人間の脳とは少し異なる性質をすぐれた機能に結びつけようとするものであり、「スーパー・ブレイン」と名付けて講演者らの研究指針となっていることが紹介された。また最近の成果として、複素ニューロの眼で見てプラスチック対人地雷をイメージングするレーダシステムや、光キャリア周波数で制御される光波適応位相フィルタの例の紹介があり、紹介例の実現方法や今後の応用について活発な討論がなされた。

異方的高温超伝導体の接合物理と 走査SQUID顕微鏡による微小磁気観測

東京工業大学理工学研究科教授 井口 家成

平成17年1月28日に、東京工業大学理工学研究科教授 井口 家成 氏を講師としてお迎えし、標記講演会を開催した。ご講演は、主に走査SQUID顕微鏡を用いた実空間磁化測定の話を中心として、これまでご研究されてきた高温超伝導体の物性一般にわたる俯瞰的な内容であり、興味深いお話を多数伺えた。特に、酸化物高温超伝導体のd-波超伝導体としての側面（擬ギャップやゼロ・エネルギー束縛状態）を、ジヨセフソン接合によるデータに基づいて、統一的にご解説頂いた。また、走査SQUID顕微鏡を用いた観測では、従来から言われている、擬ギャップ領域における磁気ドメイン構造の他、La系におけるb軸方向に整列した渦糸像や、CuO₂面に平行なジヨセフソン渦糸の像が初めてとらえられたデータ等が興味深かった。さらに、超伝導の異方性を利用した新しいデバイスの可能性についても議論がなされた。

小脳運動学習に見られる学習記憶メカニズムの 多重性と階層的制御機構

東京大学大学院 薬学系研究科 川原 茂敬

生物における情報処理の特徴の1つとして柔軟性が挙げられるが、神経回路レベルにおいては、入力に応じて回路が機能的に再編されるmultifunctional networkという概念が提唱されている。そこでは、感覚情報は処理される入力データとして機能する以外に処理するプログラムのリアルタイム修飾に重要な役割を果たしている。これは無脊椎動物の運動リズム生成回路の研究を通じて明らかになってきた原理であるが、同様なことは哺乳動物の脳にも当てはまると考えられる。

講演ではこうした背景をご説明頂いた後、講演者らが小脳依存的な瞬目反射条件付けにおいて、2種類の感覚刺激の時間関係のわずかな違いに依存して複数の学習メカニズムを上位中枢依存的に切替えている可能性を見いだしたことをご紹介頂いた。広範な分野から大勢の方々にご来聴頂き、活発な質疑応答がなされた。

半導体多重量子井戸構造におけるテラヘルツコヒーレント現象 －励起子量子ビートとコヒーレントLOフォノンの相互作用－

大阪市立大学大学院工学研究科・教授 中山 正昭

励起子量子ビート（異なる励起子間の量子干渉）とコヒーレントフォノン（位相が揃ったフォノン集団）は、代表的なTHzコヒーレント現象として、様々な物質系で盛んに研究が行われている。本講演では、GaAs/AlAs多重量子井戸構造を試料として、量子閉じこめを受けた重い正孔(HH)および軽い正孔(LH)励起子間の励起子量子ビートとコヒーレントLOフォノンの相互作用ダイナミクスを、フェムト秒ポンプ・プロープ分光法を用いて研究した結果について紹介があり、活発な質疑応答が行われた。特に、励起子量子ビートのエネルギーをコヒーレントLOフォノンのエネルギーにチューニングすることによってコヒーレントLOフォノンが著しく増幅される新現象の発見は、励起子量子ビートを用いたコヒーレントフォノンの制御およびTHz電磁波発生素子への新たな展開が期待されることから、大きな注目を集めた。

結 言

本研究所では、緒言でも述べましたとおり、改組と法人化とが時期が一致したこともあって、法人化後の体制をあらかじめ念頭において、さらに1年間の試行期間を置いて、2004年4月に正式に改組の体制に入りました。比較的スムーズに新体制に移行できたのではないかと考えます。しかしながら、研究をとりまく環境が今ほど急速に変わっている時代はないとも考えられ、その対応は敏速であるべきです。

特に、本研究所が全国共同利用研究所となってから10年余を経過し、研究環境の変化を踏まえ、ユーザーコミュニティーに対する知のフィードバックの形態も大きく変化させなければなりません。

本研究所は、設置目的である「高密度高次情報通信に関する学理とその応用の研究」に沿って、法人化後も学術研究の中核的研究拠点として維持・発展に努めます。大学に設置されている研究所であることから、情報通信分野における研究と教育に対していくかに実績を上げていくか、その役割が問われ続けます。さらに今後はいかに研究成果を通じて社会貢献の実績を上げていくかも大きく問われます。

このような状況のもとで、本研究所の今後の課題は次のように要約されます。

(1) ハードとソフトの融合

従来から本研究所はハード技術、デバイス技術に強いことには定評があります。今後は性能や数値を競うだけでなく、これらの技術を情報通信システムの中でどう生かすかが問われます。すなわちハードとソフトの融合が益々重要な課題となります。

(2) 競争的資金の獲得と財政的な自立

文部科学省から本研究所に配分される運営費交付金は年々減少の一途であります。一方これを補うには研究課題を申請し、競争的に評価され採択される仕組みの特別教育研究経費の獲得が重要になってきました。研究・教育環境の維持・向上のためには、所内はもとより学内外の研究者や機関と連携することにより、グループやプロジェクトを積極的に組織し、競争的資金の獲得が必要であります。これは、本研究所の真の自立に向けた基盤となる方策であります。

(3) IT-21センターにおける研究開発課題

3つの5年間プロジェクトを推進中の二十一世紀情報通信研究開発センター（IT-21センター）は中間評価を高い水準で終え、残すところ2年となります。次に続く新規プロジェクト提案の準備が必須となります。