緒　言

国立大学の法人化に際して附置研究所として特に関心が高かったことは，一連の大学改革の流れの中で文部科学省科学技術・学術審議会附置研究所等特別委員会の動きであり，本研究活動報告の緒言でもこれまで取り上げてきました。既にご案内の結論ですので詳細な記述は差し控えますが，2003年（平成15年）2月28日の国立大学法人法案の閣議決定で，附置研究所といった研究教育組織については政令（省令）で記載しないこととし，中期目標という大学の申請に基づいて文部科学省が研究所の設置を認めるということになりました。これには種々の懸念材料もありましょうが，既に尽くした議論に徒に捕らわれることなく，むしろこれをチャンスとし前進に大きく活かす姿勢が研究所としては必要ではないでしょうか。危機管理という言葉の「危機」には，「危険」と「機会」という2つの意味が同時に含まれていることを正面から認識するのが今の時代の流れであると思います。

2003年（平成15年）度は，国立大学としての電気通信研究所の最後の年であり，また，電気通信研究所が共同利用研究所になってからちょうど10年目という節目の年でありました。前回の改組からちょうど10年となり，電気通信研究所の改組の時期がちょうど国立大学の法人化と同時になったことから，研究所として早くから準備を進めてまいりました。また，組織などにつきましては法人化後の姿を見据えた上で，2003年（平成15年）度は試行の年という位置づけで運営を行いました。

具体的には審議・執行の迅速化と効率化のため，研究所の最高議決機関である教授会は人事と基本問題だけを扱うこととし，運営に関しては所長，評議員，4部門長，2施設長，1センター長及び企画広報，総務，予算環境の3委員長，さらに事務部長と総務，経理各課長とからなる運営会議で，審議・決定・執行する新たな体制を導入いたしました。これにより16年度より始まる法人化以降の体制にスムースに移行できるようにいたしました。

「二十一世紀情報通信研究開発センター（略称：IT21センター）」は，本研究所の成果を5年で実用化する場所とし，実験施設は10年で次世代の基盤技術を創りあげ，各研究部門はボトムアップ的基礎研究から20年程度で次の芽を育てると位置づけました。これら研究組織を見直すときの議論のポイントは，伝統的にハードに強いと云われてきた本研究所の特徴を維持しつつ，ソフトやシステム関連の研究を強化して，両者のバランス良い研究体制を実現することや，若い世代の活動が外部からよく見える体制とすることでありました。

外部機関との連携に関して2003年（平成15年）度特記すべきことは，宮城県産業技術総合センター（7月），NHK放送技術研究所（9月），通信総合研究所（11月）との間で夫々包括的な協定を結んだことです。前者は，地域社会・地域産業への貢献といった教育，研究に続く大学として求められる第3の役割を果たすためのものであり，後の２つは，電気通信研究所と互いに補完的な研究領域・実績を持っているため，新たな革新的な研究の芽が育つ可能性を秘めています。

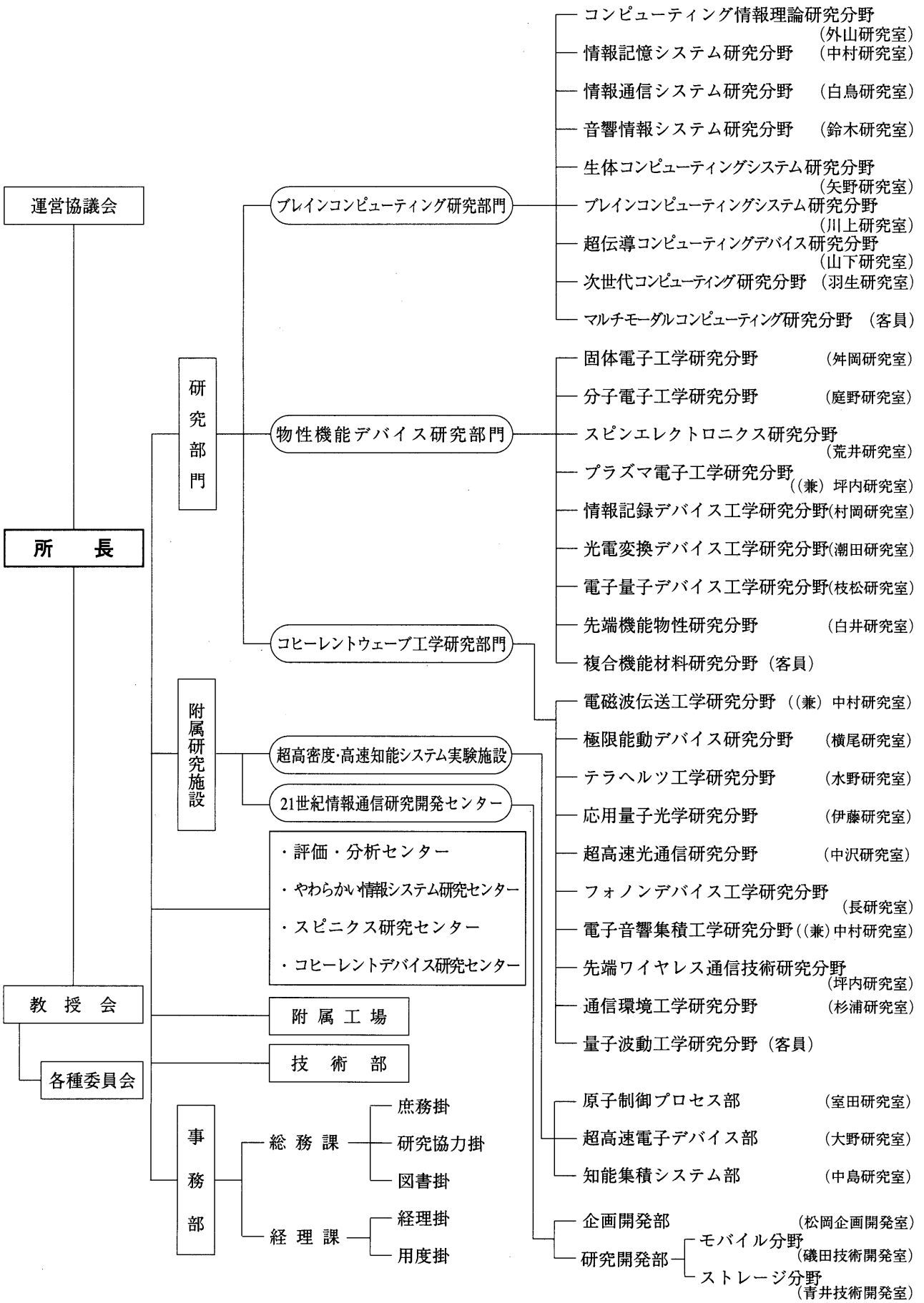
本研究所は，「e-Japan重点計画」を推進する「ITプログラム」実施機関として認められ，IT21センターでは「次世代モバイルインターネット端末の開発」と「超小型大容量ハードディスクの開発」を，また実験施設では「高機能・超低消費電力メモリの開発」を，の計3プロジェクトを実施しています。特に2003年（平成15年）度は，平成14年度末の補正予算として，スーパークリーン棟に代わる新たなナノ・スピン実験研究棟が建設され，2004年（平成16年）9月に，改組と共にこの新実験棟竣工の記念式典を行うことになっております。産学連携につきましては，このIT関係のプロジェクトでは，研究の過程で得られた特許権等は従来のような国有特許化を避け，大学帰属としている点で，大学の法人化後の姿を先取りしたものとなっています。IT21プロジェクトは開始以来2年を経過し，2004年（平成16年）度は中間評価の年となっておりますが，既に着々と成果をあげているところです。

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，わが国の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。

2004年（平成16年）7月30日

電気通信研究所長　伊　藤　弘　昌

2.1 組　織　図


運営協議会
所　長
教　授　会
各種委員会
研究部門
ブレインコンピューティング研究部門
コンピューティング情報理論研究分野（外山研究室）
情報記憶システム研究分野（中村研究室）
情報通信システム研究分野（白鳥研究室）
音響情報システム研究分野（鈴木研究室）
生体コンピューティングシステム研究分野（矢野研究室）
ブレインコンピューティングシステム研究分野（川上研究室）
超伝導コンピューティングデバイス研究分野（山下研究室）
次世代コンピューティング研究分野（羽生研究室）
マルチモーダルコンピューティング研究分野（客員）
物性機能デバイス研究部門
固体電子工学研究分野（舛岡研究室）
分子電子工学研究分野（庭野研究室）
スピンエレクトロニクス研究分野（荒井研究室）
プラズマ電子工学研究分野（（兼）坪内研究室）
情報記録デバイス工学研究分野(村岡研究室)
光電変換デバイス工学研究分野(潮田研究室)
電子量子デバイス工学研究分野(枝松研究室)
先端機能物性研究分野（白井研究室）
複合機能材料研究分野（客員）
コヒーレントウェーブ工学研究部門
電磁波伝送工学研究分野（（兼）中村研究室）
極限能動デバイス研究分野（横尾研究室）
テラヘルツ工学研究分野（水野研究室）
応用量子光学研究分野（伊藤研究室）
超高速光通信研究分野（中沢研究室）
フォノンデバイス工学研究分野（長研究室）
電子音響集積工学研究分野((兼)中村研究室)
先端ワイヤレス通信技術研究分野（坪内研究室）
通信環境工学研究分野（杉浦研究室）
量子波動工学研究分野（客員）
附属研究施設
超高密度･高速知能システム実験施設
原子制御プロセス部（室田研究室）
超高速電子デバイス部（大野研究室）
知能集積システム部（中島研究室）
21世紀情報通信研究開発センター
企画開発部（松岡企画開発室）
研究開発部
モバイル分野（磯田技術開発室）
ストレージ分野（青井技術開発室）
・評価・分析センター
・やわらかい情報システム研究センター
・スピニクス研究センター
・コヒーレントデバイス研究センター
附属工場
技術部
事務部
総務課
庶務掛
研究協力掛
図書掛
経理課
経理掛
用度掛

2.2　運営協議会名簿

運営協議会は，東北大学電気通信研究所の共同プロジェクト研究に関する運営の大綱について，研究所の長の諮問に応じ，審議する組織である。

浅井彰二郎（委員長）	㈱日立製作所上席常務
飯島　澄男（委　員）	名城大学教授（理工学部）
石井健一郎（　〃　）	NTTコミュニケーション科学基礎研究所長
岡部　洋一（　〃　）	東京大学教授（大学院工学系研究科）
後藤　俊夫（　〃　）	名古屋大学大学院工学研究科長
塩見　　正（　〃　）	独立行政法人通信総合研究所理事
下澤　楯夫（　〃　）	北海道大学電子科学研究所長
谷口　健一（　〃　）	大阪大学教授（大学院情報科学研究科）
三宅　　誠（　〃　）	NHK放送技術研究所長
横山　直樹（　〃　）	㈱富士通研究所フェロー 兼ナノテクノロジー研究センター長
渡辺　久恒（　〃　）	日本電気㈱執行役員
鈴木　厚人（　〃　）	東北大学大学院理学研究科長
中塚　勝人（　〃　）	東北大学大学院工学研究科長〔第16回〕
宮城　光信（　〃　）	〃　〔第17回〕
猪岡　　光（　〃　）	東北大学大学院情報科学研究科長
井上　明久（　〃　）	東北大学金属材料研究所長
早稲田嘉夫（　〃　）	東北大学多元物質科学研究所長〔第16回〕
中西　八郎（　〃　）	〃　〔第17回〕
根元　義章（　〃　）	東北大学情報シナジーセンター長
宮城　光信（　〃　）	東北大学教授（大学院工学研究科）〔第16回〕
犬竹　正明（　〃　）	〃　〔第17回〕

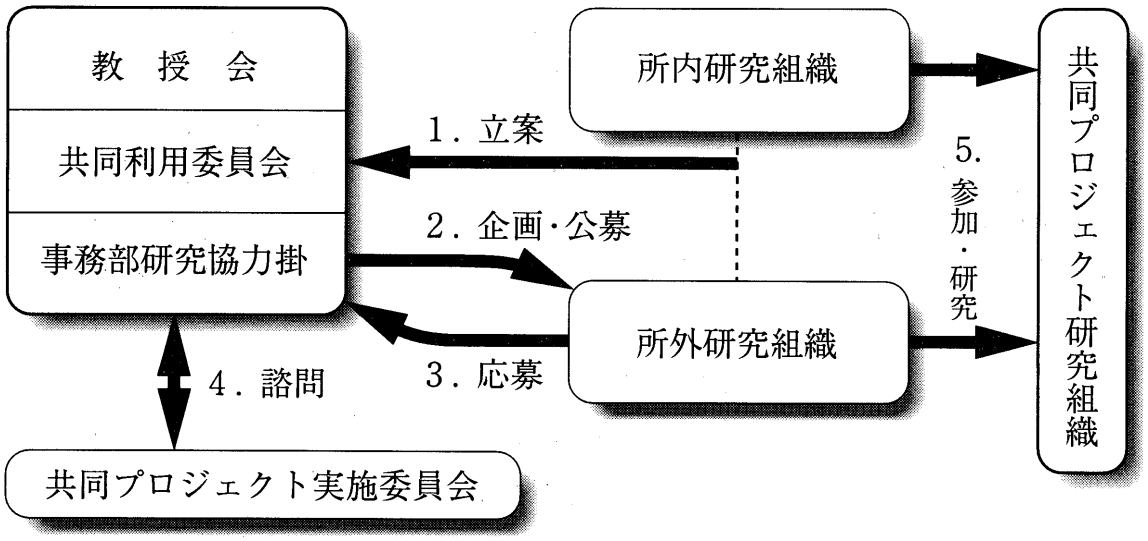
2.3　共同研究組織

本研究所は平成６年に国立大学附置の共同利用研究所に改組され，全国で唯一の情報通信に関する共同利用研究所となった。本研究所はこれまで半導体材料，デバイス，磁気記録，光通信，電磁波技術，超音波技術，音響通信，非線形物理工学，コンピュータソフトウェアなどの諸領域において数々の世界的業績を上げてきた。また，半導体プロセス技術，デバイス試作技術，ウルトラクリーン基盤技術など国内外に例を見ない技術を有していた「超微細電子回路実験施設」は改組を機として「超高密度・高速知能システム実験施設」としてさらに設備を充実して発足した。実験施設ではこれらの技術を発展させると共に大規模知能システムの先導的研究開発を目指すことになった。

本研究所の各分野・実験施設の各部の充実により，情報通信に関する研究環境が一層整備されつつある。これを背景として，本研究所の各研究分野・部の研究者は研究所の目的達成のための基礎研究に加えて，全国の情報通信の科学技術の研究に携わる研究者と有機的な連携を取りながら，本研究所を中核とする総合的な共同プロジェクト研究を行っている。

共同プロジェクト研究の研究組織は次のような手続きを経て構成される。まず毎年所内の研究組織が研究者の英知を集めるために所内外から広くご意見を戴き，それを基に「共同プロジェクト研究」を立案する。それを「共同利用委員会」が審査し，課題を企画する。この課題は「事務部研究協力掛」より全国の国公私立大学及び研究機関に通知され，各共同プロジェクト研究への参加者を公募する。これにより応募研究者を含めた共同プロジェクト研究組織が編成される。これを研究所内外の委員からなる「共同プロジェクト専門委員会」に諮問し，その意見を尊重して「教授会」が最終的に共同プロジェクト研究実行案が承認し，実行に移される。

運営協議会は，本研究所の「共同プロジェクト研究」に関する運営の大綱について所長の諮問に応じて審議する。



2.4　教育組織

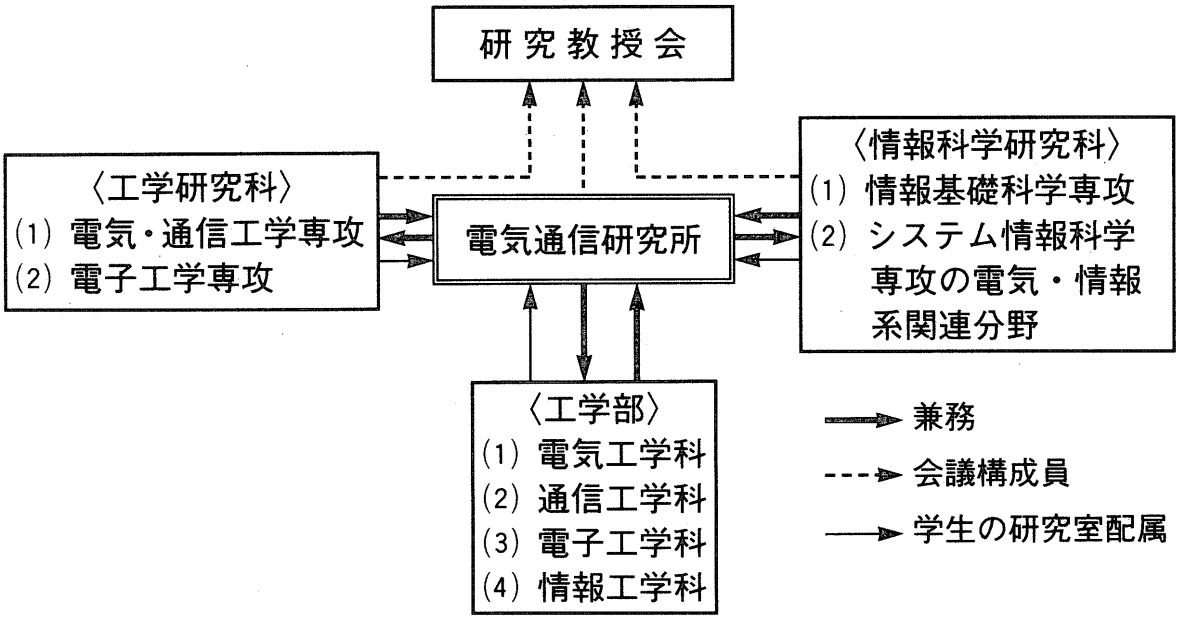
東北大学電気通信研究所（以下，通研と略称）は，発足時から設立母体である電気工学科と協力体制をとり，教育・研究の成果を挙げてきた。その後，通信工学科，電子工学科，情報工学専攻，情報工学科が順次設立されるとともに，「一体運営」の協力関係が堅持されている。

現在，通研と電気・情報系との間には下図に示す相互教育関係がある。大学院重点化に伴い，通研教官と大学院の関係は兼担から兼務へ変わり，さらに情報科学研究科の教官は工学研究科を兼務することになっている。その結果，2002年度は，通研の24研究分野のうち9研究分野が工学研究科電気・通信工学専攻に，10研究分野が電子工学専攻に，2研究分野が情報科学研究科情報基礎科学専攻に，3研究分野がシステム情報科学専攻にそれぞれ所属し，通研で研究指導を受けた大学院学生の総数は212名，一研究室当たり平均8.8名に達している。

通研と電気・情報系学科の関係で特徴的な点は，全教官が兼務として互いに協力し合っていることである。通研の教授・助教授は全員，学部学生に対する講義を担当し，助手は実験を指導して教育に協力している。一方，電気・情報系の教官も通研兼務であり，学部学生も通研の各研究室に配属されている。これにより学生にとっても研究室選択の幅が広がり，世界最先端の研究指導が受けられるようになっている。一方，通研にとっても若い行動力は重要であり，これにより研究活動が一層活性化されている。通研が電気通信の分野で多くの成果を挙げてきた理由には，このような教育面での協力関係に因るところが大きい。

通研と電気・情報系の運営の中核には両組織の教授で構成される研究教授会がある。教授会通則に基づく会議とは別の性格の，部局を横断して形成された会議であって，教育・研究問題など相互に関連する重要事項はここで審議される。教育上の具体的な事項の実行，運用に関しては，大学院に主任会議，電気・情報系4学科に教務委員会があり，通研からも委員が参加している。

通研は工学研究科，情報科学研究科の関連研究分野と密接な協力体制をとり，研究のみならず教育でもＣＯＥとしての重要な一翼をになっている。



3.1 ブレインコンピューティング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。更に近年では，だれもで，やさしく，安全に安心して通信できることが強く望まれている。

このような情報通信技術を実現するために，人間の優れた柔軟な情報原理を解明し，それに適合したソフトとハードを融合させる技術が必要である。脳の情報処理の特徴は柔軟性と超並列性にあり，それを明らかにするコンピューティング理論や実装するための超並列集積回路技術を発展させ，人の脳に似た超高密度高次知能情報システムを開発することが本部門の目標である。

その実現をめざし，脳の機能を模した脳型コンピュータのための実現ブレインコンピューティングに関する研究と，人にやさしいネットワーク実現のためのヒューマンインタフェイスに関する研究の2点について重点的に研究を進めている。

脳の機能を模したブレインコンピューティングに関する研究では，脳における知的で柔軟な情報処理を可能にするためにシステム自身が「意味付与」できる機構の実現が重要である。そのため，脳の高度に知的な情報処理である概念形成，言語処理，判断，推論等の機能を，脳の神経回路や生体の超並列分散システムを参考に，理論的に体系化し，その成果を基に脳と同等な機能をもつ高次情報処理システムの実現を目指している。

これらの研究に関係しているのは，生体コンピューティングシステム，ブレインコンピューティングシステム，超伝導コンピューティングデバイス，情報記憶システム，次世代コンピューティングの各研究分野である。これらの分野では，

1) 実世界の複雑性に対応するために，システム自ら情報を生成しなくてはならない。そのためには帰納的推論を論理体系として整備する必要がある。特に帰納するべき拘束条件を自ら創る機構について解明する研究，
2) 人の脳機能の解明をめざし脳神経活動を高精度に計測する手法の研究や，人の脳の優れた情報処理能力を人工的に持たせた大規模で高密度な電子回路による実現に必要な，超低消費電力・超高速動作が可能な超伝導デバイスで実現するための研究，
3) 音声や映像を含むマルチメディア情報を高密度大容量に記憶蓄積する人の脳が持つ機能を人工的に実現し，これらをネットワークで結んだ超高速超大容量な並列分散情報ストレージシステムを，超高密度な垂直磁気記録方式で実現する研究，
4) デバイス機能を活用して記憶と演算機能をコンパクトに一体化する回路技術およびデータ転送ボトルネックを解決する基盤技術に関する研究，などが積極的に行われている。

その結果，次のような成果を得た。

1) 音声は話者の音源と声道の特徴によって変化するので，それに対応できるような不特定話者の母音知覚に関する存在しなかった。入力音声から音源，声道の特徴を検出する方法を発見することによって，子供，女性，男性，ささやき声などに対して人間 と同じ程度の認識が可能なモデルを作成した。
2) 人間の脳の優れた情報処理機能の電子回路実現に不可欠な，超低消費電力・超高速動作可能な超伝導ジョセフソン素子の開発と脳の神経活動によって発生する極めて微弱な磁気（脳磁界）を検出する超伝導磁気計測デバイスの研究を進めた。
3) 60ギガビット/平方インチ（市場のHDDの数倍）以上の記録密度の実用化可能性を実証するとともに，HDDにおける高画質映像信号書込み読出し動作の解析，ビデオサーバシステム高速ネットワーク接続実験などを行った。

4) MRAMなどのメモリデバイスを活用し，コンパクト性と低電力性を共に有する不揮発性ロジック回路を実現した。さらに，VLSIチップ内のモジュール間高速データ転送を実現する一手法として，多値2色1相2線符号化と非同期デュプレックスデータ転送方式に関する研究開発を行った。

もう一つは，人にやさしいネットワークを実現ためのヒューマンインタフェイスに関する研究である。高度情報化社会を迎え，だれでもがやさしく安全に安心してに参加できるシステムの実現が強く求められている。このためには，やわらかい情報システム，即ち，送られる情報が送り側の意図が容易にくみ取れる情報でなくてはならないし，受け手側も送り手の意図をくみ取ることのできるシステムの実現が必要である。

これらの研究に関連しているのは，コンピューティング情報理論，情報通信システム，音響情報システム，マルチモーダルコンピューティングの各研究分野である。これらの分野では，

1) 人間指向のシステムの実現をめざし，人間とコンピュータなどの機械が協調し調和して共生する高度な情報通信システムを統一的に構成するための方法を確立し，やわらかい情報ネットワークとして構築するための研究，
2) だれでも容易にプログラムを開発できる環境を実現するため，プログラムの仕様を与えるだけで，必要なプログラムを自動的につくってくれるようなソフトウェアの構成原理を明らかにする研究，
3) 人の知覚情報処理系のなかでも最重要な情報処理過程の一つである聴覚系の情報処理過程と，聴覚を含む複数の感覚からなるマルチモーダル情報処理過程を明らかにし，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，快適な音環境の実現を目指した研究，などが積極的に行われている。

その結果，次のような成果が得られている。

1) やわらかいネットワーク層とその上で稼動するAPとして利用者指向QoS調整サービス等のプロトタイプを構築し，やわらかさ実現のための新たな知見を得た．更に，ネットワーク情報を実時間かつオンデマンドで可視化・表示する世界最高精度のシステム：JaNIを開発・一般公開しその有効性を示した。
2) 高階書き換えシステムの新しい停止性判定法，変換パターンに基づく新しいプログラム変換手法の提案，帰納的定理の自動証明法の新しい枠組み等の成果を得た。
3) 音空間認識過程と，視聴覚及び自己運動感覚で構成されるマルチモーダル情報処理過程等に関する多くの新知見を得た。また，これらの知見を応用し，著作権保護のためのディジタル音信号用の高精度電子透かしや，1ビットオーディオ信号の秘密共有分散技術，視覚障害者のための音空間認識能訓練システム等の開発を行った。

ブレインコンピューティング部門では，以上述べたように情報システムが抱える現在の問題点や将来への方向性を明確にし，より良い情報社会を実現するための科学技術の発展を目指して，様々な観点から研究を進めている。

生命システムは無限定な外部環境に柔軟に対応するために，脳機能を存分に活用している。これらの機能を人工の情報システムが十分に発揮するには，大量の情報を瞬時に記憶したり，予測機能を持たせたり，必要な情報を能動的に獲得することが本質的である。この研究で当初目指した成果を上げるには，まだまだ問題が山積しており，組織の充実を図るとともに，まだかなりの時間が要することは否めない。

ブレインコンピューティング部門としては，これらの研究を確実に進める一方で，各分野が有機的に共同して研究することも不可欠である。更に，現在日本が早急に成し遂げなければならない，情報通信(IT)に関する社会資本充実という課題に対しても，全国共同利用研究所として中心的な役割を果たさなければならないと考えている。

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

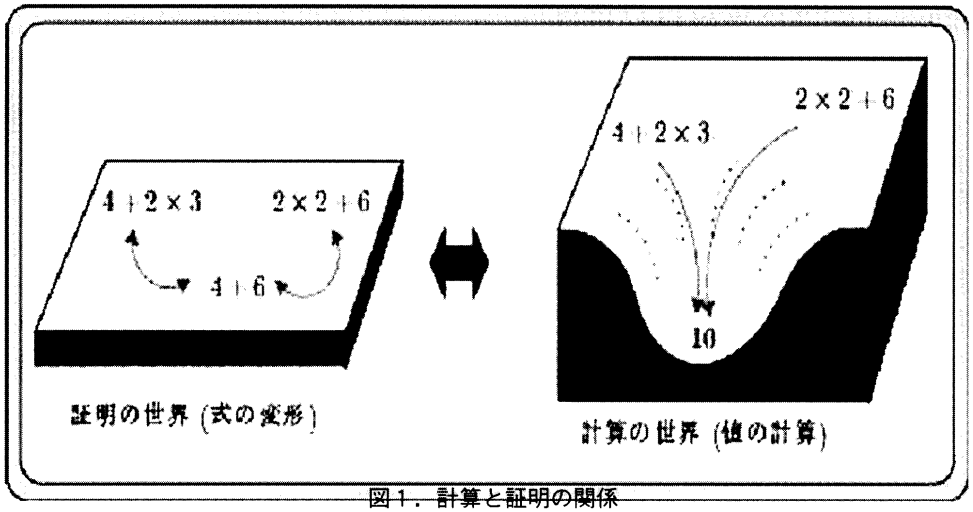


図１．計算と証明の関係

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
（２）プログラム検証・変換・合成
（３）関数・論理融合型言語
（４）定理自動証明システム

２．過去１年間（2003年４月から2004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，関数を自動導入するメカニズムを組み込んだ拡張完備化を提案し，完備化に基づく融合変換がより広いクラスのプログラムに対して成功するための改良を進めた。

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，従来はラムダ計算に基づいて実現されていたプログラム変換が，項書き換えシステムの木準同型写像の概念に基づいて簡明に実現できることを明らかにした。さらに，プログラム変換で必要となるマッチング解の条件を整理し，プログラム変換のための効率的なパターンマッチング法を検討した。

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。

2．4．高階書き換えシステムの停止性

従来知られていた単純化順序の概念を可変次数の関数に対して拡張することにより，S式書き換えシステムで表現された高階書き換えシステムの停止性を保証する強力な辞書式順序を開発した。さらに，この辞書式順序を利用したS式書き換えシステムの完備化手続きと書き換え帰納法を実装し，実験を通してその有効性を明らかにした。

3．職員名

教　授：外山　芳人（2000年4月より）
助教授：青戸　等人（2004年3月より）

4．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）武蔵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。

5．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) Takahito Aoto, Toshiyuki Yamada and Yoshihito Toyama, Proving inductive theorems of higher-order functional programs,
In Proceedings of the Forum on Information Technology 2003 (FIT2003),
Information Technology Letters, Vol.2, pp.21-22, 2003 (in japanese).

(2) Takahito Aoto and Toshiyuki Yamada, Termination of simply typed term rewriting systems by translation and labelling, In Proceedings of the 14th International Conference on Rewriting Techniques and Applications, Valencia, Spain, Lecture Notes in Computer Science, Vol.2706, Springer-Verlag pp.380-394, 2003.

情報記憶システム研究分野

高密度で高速な映像情報ストレージシステムの構築

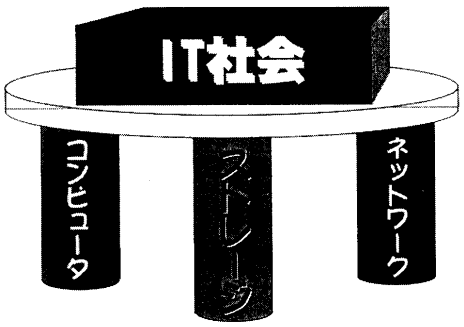


図1　IT社会を支える情報ストレージシステム

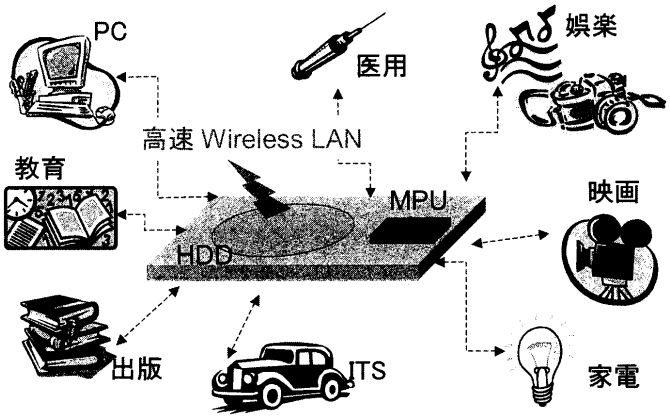


図2　ユビキタス・ストレージ・システム

情報ストレージ（蓄積）技術は，コンピュータ（情報処理）及びネットワーク（情報伝達）技術とともに，情報化社会を支える三本柱である。コンピュータは小型高性能化・高速化され，さらにブロードバンドネットワークの情報インフラ整備が進むと，これを如何に活用するかが今後の情報化社会発展の鍵になる。その中心は情報のコンテンツであり，蓄積されたコンテンツから，また新たな情報が加工，生成され，発信される。それを支えるのがコンテンツを蓄積するハード磁気ディスク装置（HDD）などの情報ストレージ技術である。各種サーバなどに見られるように，情報ストレージ装置は年々巨大化し，その記録容量は1ペタバイト級に増大しており，情報化社会の中で，まさに情報貯蔵庫として重要な役割を果たしている。一方で装置の小型化も進み，ポケットに入るような小型携帯端末型の数ギガバイト級HDDも開発された。これらの記録容量は益々増大し，コード情報だけでなく音声や映像などを含む多様で膨大なデータが蓄積され，日々の生活に不可欠のものになる。

情報記憶システム研究分野では，磁気ストレージメディアを構成する直径10ナノメータ以下の単磁区微粒子を最小記録ビットとする概念を“スピニックストレージ”と呼び，これを垂直磁化方式で可能にする磁気メディア，磁気ヘッド，書き込み読み出し方式など，新しいストレージシステムを具体化する方法を追求している。さらに我が国の情報ストレージ分野では大きく立ち遅れているストレージサブシステムについて，映像を中心とする大容量小型ファイルシステムの可能性を調査している。

1．超高速高密度垂直磁気ストレージシステムの研究

本研究分野では，情報記録デバイス工学研究分野及びIT21センターのストレージ研究開発部と協力し，本分野が以前から提案してきた単磁極型書き込み磁気ヘッドを用いた垂直磁化方式による超1テラビット/平方インチの高密度HDDシステムの実現を目指している。計算機シミュレーションにより記録ヘッド磁界勾配と磁化転移パラメータの関係を明らかにし，より大きな磁界勾配の得られる構造のヘッドを試作してその優位性を確認した。また，超高密度領域において熱安定性と低ノイズ化の両立を目指したCGC (Coupled Granular and Continuous) 型垂直二層膜媒体について，計算機シミュレーションにより詳細な磁化機構の解析を進めている。さらに，ギガ

ビット/秒級の高速で高密度な記録再生を目指す新しい磁気ストレージシステムの一つとして当研究分野で提唱しているCSS (Cylinder Storage System)の実現に向け，シリンダ状垂直媒体の作製及び記録再生評価を行っている。同時にシリンダの曲率に対応するヘッドスライダの設計，試作を進めており，今後は垂直二層膜シリンダ媒体の磁気特性及び記録再生特性の評価を行う予定である。

2．映像データストレージシステムに関する研究

情報通信システム研究分野と共同で通信・放送機構によるギガビットネットワーク（JGN）プロジェクトに参加し，ビデオサーバシステムを用いるJGN接続実験を行い，ストレージシステムの転送性能調査を継続中である。本年度は，JGN長距離・大容量テストベッド（120Mbps×8万km[EARTH2]，40Mbps×16万km[EARTH4]，10Mbps×35万km[MOON]）とLAN環境（100Mbps）におけるMPEG動画像（2～15Mbps）の転送性能を評価した。EARTH2ではネットワーク遅延があるもののほぼLAN環境と同品質の映像が得られたが，距離にほぼ比例して増大するネットワーク遅延とジッタが確認され，MOONではMPEG動画像が破綻する結果が得られた。これは，長距離動画像転送において，ネットワーク上の情報損失低減が重要であることを示唆する結果である。

一方で，高速ネットワーク環境を利用し，多数のコンピュータ資源を共有した世界規模の並列分散処理によるグリッド・コンピューティングの研究が進められているが，大容量ストレージシステムにおいても同様に資源共有し，並列分散処理による高性能グリッド・ストレージの研究も進められている。本年度は，計算機シミュレーションによる性能評価を行い，優れた高速転送性能が期待できることを示した。

【職員】

教授　中村慶久（1987年より）
助手　山田　洋
非常勤研究員　Andrew GOODMAN

【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，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及び記録再生デバイスの研究に従事。セルフコンシステ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けている。平成15年5月・電子情報通信学会・業績賞受賞。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，情報処理学会，IEEE，各会員。IEEEフェロー，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, H. Muraoka, Y. Nakamura: “Preliminary Investigation for a Cylindrical Magnetic Storage System,” IEEE Trans. Magn., 39, 6, pp.3619-3621, 2003.
2．M. Hashimoto, K. Miura, H. Muraoka, H. Aoi, Y. Nakamura: “Influence of Trantision Percolation on Media Noise in Perpendicular Double Layered Media,” IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.2624-2626, 2003.
3．K. Ise, K. Yamakawa, N. Honda, K. Ouchi, H. Muraoka, Y. Nakamura: “High-Field Gradient Cusp Field Single-Pole Writing Head With Front Return Yoke,” IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.2374-2376, 2003.
4．A.M. Goodman, S.J. Greaves, H. Muraoka, K. Miura, Y. Sonobe, Y. Nakamura: “Micromagnetics of Hysteresis Loops in CGC Perpendicular Media,” IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.2329-2331, 2003.
5．T. Suzuki, H. Muraoka, Y. Nakamura, K. Ouchi: “Design and Recording Properties of Fe-Pt Perpendicular Media,” IEEE Trans. Magn., 39, 2, pp.691-696, 2003.

情報通信システム研究分野

知的情報通信システムの構成論

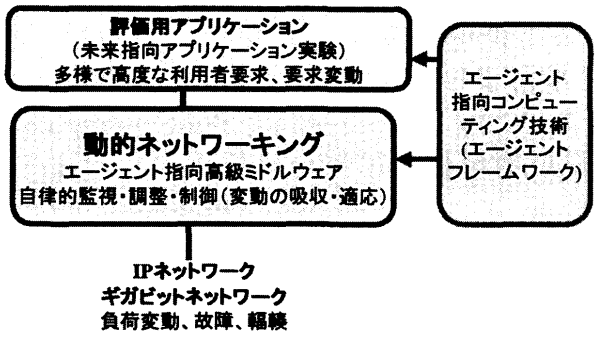


図1　動的ネットワーキングの概要

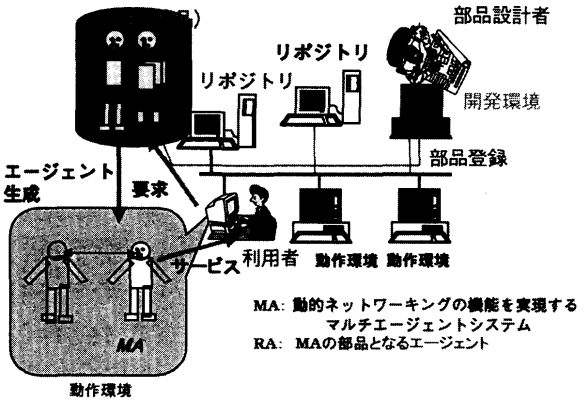


図2　エージェントフレームワークの構成

1. 分野の目標

「Flexible Computing」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・通信の基本となる概念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。その結果，富と豊かさの獲得に成功したが，環境破壊や人間喪失など失ったものも多い。これを合理性に基づくモダン情報システムと呼ぶ。このようなモダンの限界を越えるポストモダンは何か。本研究では，ポストモダンの基本的な考え方として，「Flexible Computing」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り，モダンに「共生」を加えた考え方に基づいている。ここで，共生とは，人間と機械（コンピュータ，ネットワーク，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)　フレキシブル・コンピューティングの基盤と応用
(2)　やわらかい情報ネットワーク
(3)　ネットワーク管理，計測と性能評価
(4)　人とIT環境の共生

2. 過去1年間 (2003年4月から2004年3月まで) の主な成果

2.1 動的ネットワーキングの研究

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，バンド幅など）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，前年度までに開発したエージェント指向アーキテクチャによるやわ

らかいネットワーク層の，検証用アプリケーションとして，やわらかいマルチメディア通信システム，QoSアウェアな3次元共有空間システム，井戸端LANシステム等を開発し，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

IPv6 MIB(Management Information Base)の検討を行い，SNMP over IPv6 プロトコル仕様の開発を行った。またこの成果をもとに，IPv4/IPv6マルチプロトコル対応SNMPエージェントの研究を行い，シームレスな管理を実現するための標準管理技術となる，IPv4/IPv6トランスポートプロトコルおよびSNMPv1,v2,v3プロトコルに対応した先進的なマルチプロトコル相互変換エージェントの開発を行なった。これによりIPv6ネットワークを管理するための基盤技術を世界に先駆けて確立した。

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MIB（モバイルIPv6 MIB）を構成した。また，国際標準化を目指し，モバイルIPv6 MIBのインターネットドラフトを作成して，IETFのMIPv6ワーキンググループへの提案を行った。これにより，他に例のない，IPv6モバイルネットワークを基盤とした次世代ユビキタスネットワークの監視フレームワークの基盤技術を与えた。

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：加藤 貴司，北形 元
リサーチアソシエイト：原田 耕治
研究員：Salahuddin Muhammad Salim Zabir
秘　書：工藤 裕子，相澤かな子

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。昭和60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。平成13年度電子情報通信学会業績賞など。現在，人とコンピュータが共生するためのインターネットを中心とした情報通信システム，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 (2003年4月から2004年3月まで) の主な発表論文

[1] A Flexible Videoconference System based on Multiagent Framework, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics part A, Vol.33, No.5, pp.633-641, 2003, T. Suganuma, S. Imai, T. Kinoshita, K. Sugawara and N. Shiratori

[2] The Emergence of Controllable Transient Behavior Using an Agent Diversification Strategy, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics part A, Vol.33, No.5, pp.589-596, 2003, K. Harada, T. Kinoshita and N. Shiratori

[3] A proposal for Efficient TCP Flow Control over Satellite Networks, Telecommunication Systems, Vol. 25, pp. 371-400, 2004, S. M. S. Zabir and G. Kitagata

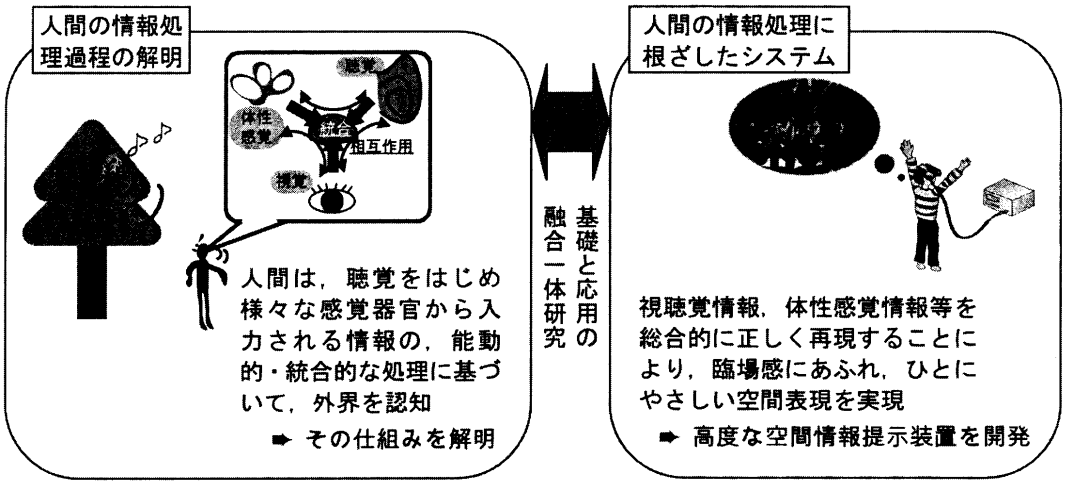
[4] Ensuring fairness among ECN and non-ECN TCP over the Internet, International Journal of Network Management, Vo.13, No.5, pp.337-348, 2003, S. M. S. Zabir, A. Ashir, G. Kitagata, T. Suganuma and N. Shiratori

[5] A dynamic multicast routing satisfying multiple QoS constraints, International Journal of Network Management, Vol. 13, No. 5, pp. 321-335, 2003, D. Chakraborty, G. Chakraborty and N. Shiratori

[6] Self-similar and Fractal Nature of Internet Traffic, International Journal of Network Management, Vol.14, No.2, pp.119-129, 2004, D. Chakraborty, A. Ashir, T. Suganuma, G. Mansfield Keeni, T. K. Roy and N. Shiratori

音響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な情報処理過程の一つである。本分野の研究目標は，このような視点で，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15年度の主な研究成果

2.1 3次元音空間認識と制御法の研究

音空間認識過程の解明に関する研究では，3次元音空間をいかに高精度に再現可能であるか，その再現方法の検討に重点をおいた研究を進めた。平成15年度は，我々が先に提案した，聴取者の頭部運動に追従し3次元音空間を精密に再現できる仮想球モデルの実現を目指し，汎用DSPを複数個用いたシステムの構築を行った。更に，これまで培った高精度聴覚ディスプレイ技術を応用し，視覚障害者のための空間認知能力訓練機器の開発を進めた。この研究は，経済産業省の地域新生コンソーシアム研究開発事業に採択され，複数の研究機関，企業と共同で現在も研究を進めている。

2.2 等ラウドネスレベル曲線の精密測定

等ラウドネスレベル曲線は，人間の聴覚における周波数感度特性を示す基礎的な特性で，ISO 226として国際標準規格となっている。この規格は，1950年代の英国のデータに基づいているが，最大15 dBにも及ぶ誤差を含むことが明らかになっていた。本研究では，ISO 226の全面改定を目指し、等ラウドネスレベル曲線の全面的な精密再測定を行っていた。この研究は平成14年度までNEDOの国際共同研究グラントの補助により，ドイツ，デンマーク，アメリカとの国際共同研究として行われ，その研究成果は，平成15年8月に改訂されたISO 226によって国際標準規格となった。

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埋め込む技術の開発を行っている。平成15年度は，本分野で提案したエコー拡散法の改良を進めるとともに，位相に着目した埋め込み法に関し，検出性能の高い埋め込み法の検討を行った。

2.4 音空間内における特徴抽出機構の解明

我々は，時間変動など一定の特徴を有する音が，その特徴を持たない音に比較して容易に検出可能であることを初めて明らかにした。平成15年度は更に研究を進め，周波数情報と空間情報の手がかりが聴覚探索課題にどのような影響を与えるかを聴取実験により明らかにした。

2.5 聴覚情報に関するマルチモーダル情報処理過程の解明

複数の感覚情報を統合してより確からしい情報を取得するマルチモーダル情報処理過程に着目し，平成15年度は，移動音像が加速度知覚に与える影響を検討した。その結果，移動音像に追従する方向に加速度知覚の方向が変化するとの興味深い知見を得た。

2.6 音声認知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。平成15年度は，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。更に，補聴器適合評価指標の提案を念頭に，単語認知の難易度を考慮した単語了解度試験に関する研究を進めた。

3. 職員名

教　授　鈴木　陽一（1999年から）
助　手　西村　竜一，坂本　修一，Heli Laitinen
技　官　齋藤　文孝
客員研究員　王　慧琴
非常勤研究員　田中　章浩

4. 鈴木陽一教授のプロフィール

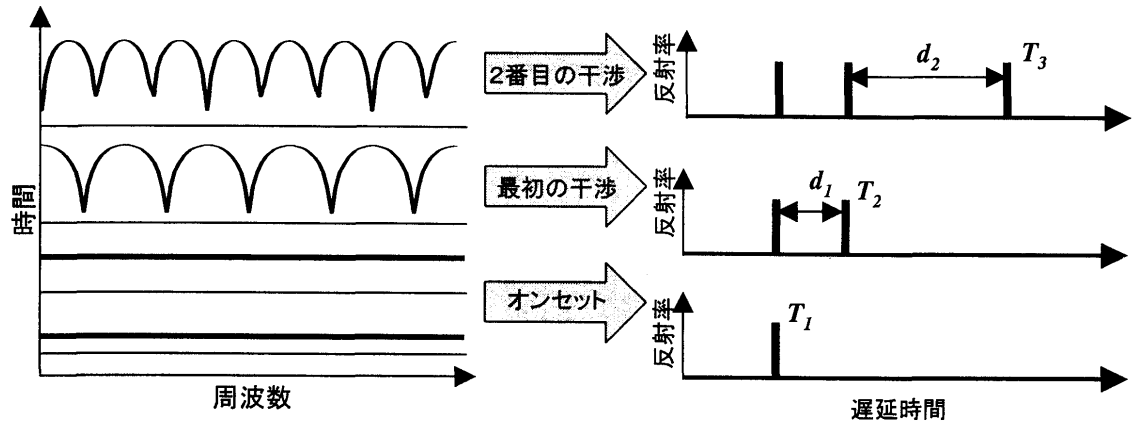
1976年3月東北大学工学部電気工学科卒，1981年3月同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士課程後期課程修了。東北大学通研助手，大型計算機センター助教授，通研助教授を経て現職。音の大きさ及び音色，騒音の評価，３次元音空間知覚と制御，ディジタル補聴器，音信号のディジタル信号処理手法等，人間の聴覚の解明とその工学応用の研究に一貫して従事。1992年，1994年日本音響学会佐藤論文賞。2001年5月から2003年5月まで（社）日本音響学会副会長。

5. 過去１年間の主な発表論文

1. A new theory for high definition virtual acoustic display named ADVISE, Acoustical Science and Technology, 24 (2003), 276-283. S. Takane, Y. Suzuki, T. Miyajima and T. Sone.
2. Comparison of loudness functions suitable for drawing equal-loudness-level contours, Acoustical Science and Technology, 24 (2003), 61-68. H. Takeshima, Y. Suzuki, K. Ozawa, M. Kumagai and T. Sone.
3. Blind detection of watermarks embedded by periodical phase shifts, Acoustical Science and Technology, 25 (2004), 103-105. K. Sonoda, R. Nishimura and Y. Suzuki
4. Auditory search asymmetry between pure tone and temporal fluctuating sounds distributed on the frontal-horizontal plane, Acta Acustica united with Acustica, 89 (2003), 346-354. N. Asemi, Y. Sugita and Y. Suzuki
5. The effects of linearly moving sound images on self-motion perception, Acoustical Science and Technology, 25 (2004), 100-102. S. Sakamoto, Y. Osada, Y. Suzuki and J. Gyoba.

生体コンピューティングシステム研究分野

超音波を用いた近接する任意数物体の奥行き定位



物体の遅延時間を決定する計算論

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。

コウモリは超音波を間欠的に出すことによって周りに障害物が存在する中で蛾を捕獲することができる。このことから一回出したエミッションに対するエコーから数を限定しない複数物体の奥行き（遅延時間）を定位できていると考えられる。奥行きが近接する３つ以上の複数物体からのエコーはお互いにオーバーラップし干渉する。物体の遅延時間を決定するには，エコーに含まれている干渉パターンの時間変化を抽出する必要がある。理想的に時間変化を抽出できた場合，各時刻でのエコーの振幅スペクトルを逐次的に評価することで各物体の遅延時間，つまり，遅延時間差の順序を決定することができる（上図）。しかしながら，これまで用いられてきた一定周波数の搬送波のフィルタではこの時間変化を抽出できない。

我々はコウモリのエミッションのスイープと同じ搬送波をもつガウスチャープレットを末梢フィルタとして導入し，抽出された時間変化から近接する任意数物体の遅延時間を決定する計算論を提案した。

１番目の物体の遅延時間はオンセット時間でのエコー・スペクトルから決定する。オンセット時間と次の時刻での振幅スペクトルから最初の物体の遅延時間と反射率の候補を出す。これらの間で反射率が等しい遅延時間を最初の物体の遅延

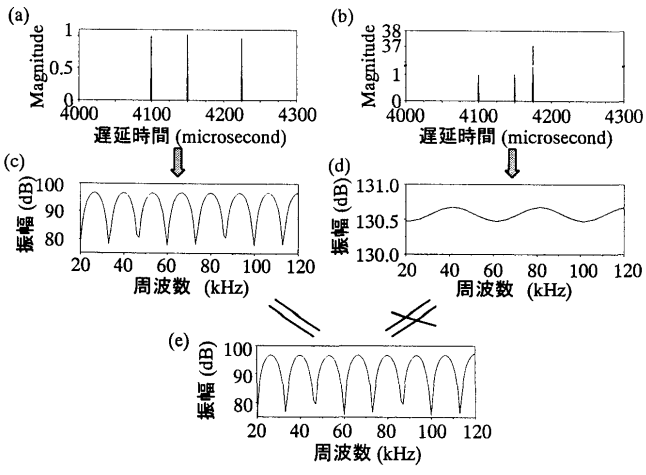


図１．３番目の物体の遅延時間の決定方法

時間とする。次の物体の遅延時間は最初に起きた干渉パターンから計算される遅延時間差から決定可能である。しかしながら，次に起きた干渉パターンから３番目の物体との遅延時間差はわかるが，これが１番目との干渉なのか２番目との干渉なのかは決定できない。このため各場合における３番目の物体の候補を出し，各候補にたいする現在の時間での振幅スペクトルを推定する。これとエコーの振幅スペクトルとの間の一致度を評価することで３番目の物体の遅延時間を決定する（図１）。さらなる物体の遅延時間も同様な手続きで順々に決定される。

このモデルは３つの物体間の遅延時間差が30マイクロセカンド以下でも，各物体の遅延時間を１マイクロセカンドの精度で決定できる。加えて，異なる反射率をもつ複数物体やノイズが存在する中でも物体の遅延時間を正確に決定できる。このことから提案した方法は無限定な環境に対応できる可能性を有している。

＜職員＞

教授　　矢野　雅文　（1992年より）
助手　　牧野　悌也，　坂本　一寛，　三浦　治己
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，とりわけ脳の仮設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＞

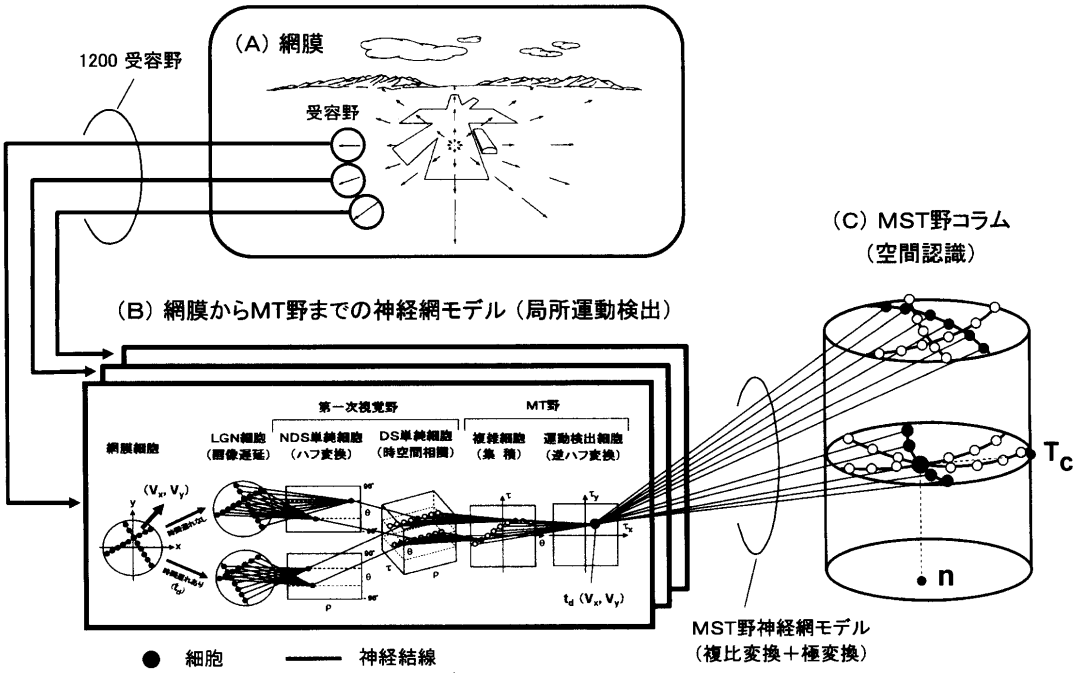
1. 視覚認識における情報表現と図と地の分離の研究
2. 記憶の生成とその時空間的発展のメカニズム
3. 無限定環境下における２足歩行・６足歩行ロボットの研究
4. コンテキストに依存する神経回路の役割の研究
5. 音響定位と不特定話者の音声認識の研究

＜主な研究発表＞

1. Ikuo Matsuo, 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)
2. 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)
3. Masafumi Yano; Purposive locomotion of insect in indefinite environment. (2003, Proceedings of the 2nd International Symposium on adaptive motion of animals and machines)
4. 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)
5. Mushiake 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)
6. 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)
7. Masafumi Yano, Ikuo Matsuo and Junji Tani; Echolocation of Multiple targets in 3-D space from a single emission. (2001, 4th International conference on Biological Physics, Abstr. pp8)
8. Masafumi Yano, Makoto Tokiwa and Yoshinari Makino; Simultaneous Self-Organization of Optimal Gait Pattern of Insect and TRajectory to its destination. (2001, The 4the IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles, 261-264)
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)

ブレインコンピューティングシステム研究分野

大脳で空間認識を行う神経網のモデル



運動視により平面の空間認識を行う大脳神経網のモデル

人間や猿の優れた視覚認識機能を工学的に実現するには，大脳の神経網で行われる情報処理の仕組み（アルゴリズム）を解明する必要がある。このような視点から，最も基本的な視覚認識機能である「運動視による空間認識」――これは片眼でも移動すれば空間認識できる機能で，歩行や車の運転などの普段の生活に不可欠――を行う神経網のアルゴリズムを解明すべく研究している。

これまでの研究により，そのアルゴリズムを射影幾何と球面幾何を用いて解明し，それに基づいて網膜から大脳運動視中枢（ＭＳＴ野）までの空間認識を行う神経網を一連の数式で世界で初めてモデル化した。このモデルは以下の二つのステップで構成される。

第一のステップは図(B)に示す，局所運動を検出する神経網である。網膜からＭＴ野までの５種類の細胞（ＬＧＮ細胞・ＮＤＳ単純細胞・ＤＳ単純細胞・複雑細胞・運動検出細胞）が，「一連の変換（画像遅延・ハフ変換・時空間相関・集積・逆ハフ変換）」を行って局所運動を検出することを見いだし，局所運動に関わる全神経網をモデル化した。このモデルは，これまでに報告された多くの生理データを統一的に説明する。さらに，ＭＴ野細胞の特異な選択応答特性をこのモデルに基づいて予測し，玉川大学斎藤秀昭教授とのサル大脳での精密な共同実験で確認した。

第二のステップは図(C)に示す，上記の局所運動を統合して空間認識を行う神経網である。その統合の仕組みを射影幾何と球面幾何に基づいて考案した２種類の数学変換（複比変換，小円変換）を用いて解明し，それに基づいて「網膜からＭＳＴ野までの空間認識を行う全神経網」を一連の数式でモデル化した。このモデル神経網

は，約1300万個の細胞を結ぶ4億本の膨大な神経結線から構成される。歩行や車の運転などの日常生活に不可欠の運動視は，これまで心理レベルでしか検討されていなかったが，このモデルにより神経網のレベルで説明することが可能になった。

03年度は，この一連の神経網モデルが生理学的に妥当であるかを検証すべく，玉川大学斎藤秀昭教授と共同で，麻酔不動化したサルの大脳ＭＳＴ野で実験を行った。まず，平面物体が近づいてくるときにサルの網膜に生ずる動画像刺激をコンピュータで作成して透過型スクリーンに後方から投影した。次に，その刺激に対するＭＳＴ野細胞の時間応答を記録して，モデルから予測されるtime-to-collision（到達時間）応答特性を解析評価した。

その結果，移動速度には依存せずに，特定の平面パラメータ（到達時間・平面方位・移動方向）に選択応答する細胞を世界で初めて見いだした。この実験データは，モデルからの重要な予測――すなわち，ＭＳＴ野細胞は到達時間・平面方位・移動方向を座標とする5次元配列をして，それら5個の平面パラメータを細胞座標として空間認識する――を支持するものである。データ数を増やすべく実験を継続している。なお，本実験などは文部科学省目標達成型脳科学研究推進制度「視覚系におけるニューロインフォマティクスに関する研究」の一環として行われた。

[職員]

教授：川上　進（2003年2月より）

[教授のプロフィール]

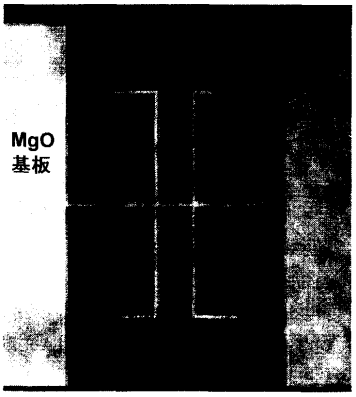
1940年生。1966年東北大学大学院工学研究科電気及通信工学専攻修士課程修了。同年，㈱富士通研究所入社。1986年宇宙メカトロニクス研究部長。1993年同研究所マルチメディアシステム研究所主管研究員。1996年東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻博士課程修了。2003年2月に東北大学電気通信研究所教授に着任し，2004年3月に定年退官。この間，ワイアメモリ，磁気ディスク，ロボット，極限作業ロボット用視覚（通産省大型プロジェクト），空間認識神経網モデルの研究に従事。大脳で行われる視覚情報処理のアルゴリズムを解明するとともに，それをＬＳＩで実現すべく研究を進めている。

[これまでの主な発表論文]

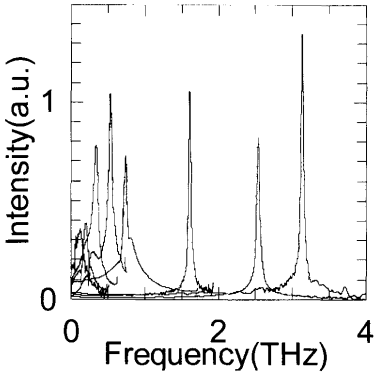
1. 川上進，岡本浩明 (1995). 局所運動を検出する大脳 magnocellular系視路細胞のモデル. 信学論, J78-D-II, 147-157.
2. Kawakami, S. & Okamoto, H. (1996). A cell model for the detection of local image motion on the magnocellular pathway of the visual cortex. Vision Research, 36, 117-147.
3. Okamoto, H., Kawakami, S., Saito, H., Hida, E., & Ohno, H. (1999). MT neurons in the macaque exhibited two types of bimodal direction tuning as predicted by a model for visual motion detection. Vision Research, 39, 3465-3479.
4. 川上進，松岡雅裕，岡本浩明，細木信也 (2000). オプティカルフローを統合して平面の空間認識を行う大脳ＭＳＴ野神経網のモデル. 信学論, J83-D-II, 2786-2797.
5. Kawakami, S., Matsuoka, M., Okamoto, H., & Hosogi, S. (2003). A neural network model for detecting a planar surface spatially from the optical flow in area MST of the visual cortex. Systems and Computers in Japan, 34, 46-59.
6. Okamoto, H., & Kawakami, S. (2004). A neural network model for detecting a planar surface from optical flow in area MST. Vision Research (under revision).

超伝導コンピューティングデバイス研究分野

超伝導を利用した超高速・低消費電力・高感度電子デバイス



CPW給電スロットダイポールアレイアンテナと集積化したジョセフソン接合高周波検出器



ジョセフソン接合によって検出したテラヘルツ波スペクトル

＜本研究分野の目標＞

人間の脳の優れた情報処理能力を人工的に実現しようとする上で必要となる大規模かつ高速・高密度の集積回路には，熱発生の極端に少ない演算素子が求められている。また，人口神経回路の規範となる脳機能には未解明な点が多く残されており，脳機能障害等を診断する上からも脳の神経活動を高精度に計測することが求められている。

超伝導現象を利用した電子デバイスは，電気抵抗が無いため非常に低消費電力で，しかも高速であることが確かめられている。また，超伝導を利用した磁気計測デバイスは脳の神経活動によって発生する極めて微弱な磁気信号（脳磁界）を検出する能力を持っている。

本分野では，消費電力が少なく高速で動作する演算デバイスや極めて高い周波数の電磁波の高感度検出，大出力発振が可能な高周波デバイスとともに超伝導体を利用した超高感度磁気計測デバイスの研究を行う。

＜本研究分野の研究成果＞

銅酸化物高温超伝導体の結晶構造に由来するナノスケール固有ジョセフソン接合スタックは，高温超伝導体の大きな超伝導エネルギーギャップを活かした超高速，超高周波デバイスへの応用が期待されている。我々は，テラヘルツ領域で機能する超高速低消費電力デバイスの実現を目指して，高品位$Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+y}$単結晶のナノスケール加工により固有ジョセフソン接合磁束量子デバイスを作製した。接合の高周波応答特性の解析により磁束量子の運動と高周波電磁界の相互作用を明らかにした。外部磁界により固有ジョセフソン接合スタックに導入された磁束量子の速度は最大で3×10^5m/secを記録し，磁束量子の運動によってテラヘルツ領域の高周波発振が可能になることを明らかにした。また，外部から印加した高周波によって運動する多数の磁束量子が位相整合し，接合内に磁束量子密度波が発生する事をすることを新

たに見出した。

高温超伝導ジョセフソン接合は，テラヘルツ帯に非常に大きな感度を持ち，信号スペクトルの測定も可能なデバイスとして期待されている。これまで高周波検出感度を下げる原因となっていた接合とアンテナのインピーダンス整合を改善する目的で，低誘電率単結晶基板上に高温超伝導ジョセフソン接合と，整合性の良い低インピーダンスアンテナを集積化した新しいデバイスを試作した。アンテナの低インピーダンス化により従来型に比べて約6 dBの感度向上を達成した。

＜職員＞

助教授　中島　健介　（1993年より2003年 9月）
助教授　陳　　健　（1998年より2003年10月）

＜中島健介助教授プロフィール＞

1956年12月20日（46歳）生まれ，専門＝磁性材料・電子材料工学，電子デバイス工学。研究分野＝超伝導エレクトロニクス。最終学歴＝日本大学理工学部電気工学科1979年卒。工学博士＜長岡技術科学大学＞1990年。学位論文「イオン注入窒化法を用いた高飽和磁化窒化鉄薄膜の作製とその磁性に関する研究」。学会＝応用物理学会，電子情報通信学会，日本セラミックス協会，低温工学協会。略歴＝長岡技術科学大学教務職員，助手を経て1991年東北大学電気通信研究所助手。1993年より同助教授。現在，弘前大学理工学部電子情報システム工学科教授。著書「絵で見る工業材料事典」日刊工業新聞社（1990），「セラミックス辞典」丸善（1997），「セラミックス用語辞典」丸善（1997），「応用物理ハンドブック」，丸善（2002）。受賞＝進歩賞（日本セラミックス協会，1991），優秀講演賞（日本応用磁気学会，2002年）

＜主な発表論文＞

1) 中島健介, 陳健, 山下努 and 安田敬, "パルス管冷凍機と可変磁場永久磁石によるBi-2212固有ジョセフソン接合の磁束フロー特性", 低温工学, 38(1),pp.31-35, 2003
2) K. Nakajima, J. Watanebe, H.B. Wang, J. Chen and T. Yamashita, "Ion Implantation Effects on Tunneling Properties of $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+y}$ Intrinsic Josephson Junctions", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 13(1),pp.912-914, 2003
3) J. Chen, Y. Kurigata, H.B. Wang, K. Nakajima and T. Yamashita, "Wideband Frequency Metrology using High Temperature Superconducting Josephson Junctions", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 13(1),pp.1143-1146, 2003
4) J. Chen, Y. Kurigata, H.B. Wang, K. Nakajima, T. Yamashita and P.H. Wu, "Sensitivity of high temperature superconducting Josephson detectors at millimeter-wave band", Superconductor Science and Technology, 16pp.1391-1393, 2003
5) K. Inomata, T. Kawae, S.-J. Kim, K. Nakajima, T. Yamashita, S. Sato, K. Nakajima and T. Hatano, "Electrical transport characteristics of $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\square}$ stacked junctions with control of the carrier density", Superconductor Science and Technology, 16pp.1365-1367, 2003
6) K. Inomata, T. Kawae, K. Nakajima, S.J. Kim and T. Yamashita, "Junction parameter control of $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\square}$ stacked junctions by annealing", Appl Phys Lett, 82(5),pp.769-771, 2003
7) T. Kawae, K. Nakajima, T. Yasuda, S.J. Kim and T. Yamashita, "Influence of Charging Energy on Cooper Pair Tunneling in Bi-2212 Small Intrinsic Josephson Junctions", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 13(1),pp.897-900, 2003
8) Y. Mizugaki, J. Chen, S. Nishikata, K. Sugi, K. Nakajima and T. Yamashita, "Zero-Crossing Shapiro Step in a Three-Junction SQUID Magnetically Coupled with Two Phase-Shifted RF Signals", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 13(1),pp.924-929, 2003
9) Y. Mizugaki, Y. Uematsu, J. Chen, K. Nakajima, T. Yamashita, H. Sato and M. Naito, "Intrinsic Josephson junctions in c-axis oriented La1.85Sr0.15CuO4 thin films", Journal of Applied Physics, 95pp.2534-2538, 2003

次世代コンピューティング研究分野

次世代ＶＬＳＩコンピューティングパラダイムの構築

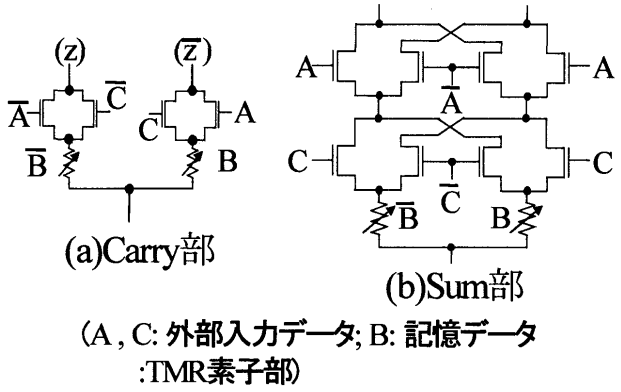


図１：MRAMベースロジックインメモリ回路

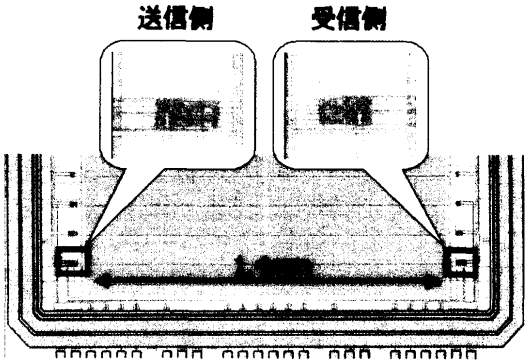


図２：多値非同期Duplex通信チップ

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（2003年４月～2004年３月）の主な成果

2.1　MRAMデバイスを用いたロジックインメモリVLSIに関する研究

強誘電体デバイスと同様に不揮発性記憶機能を有するデバイスとして知られており，MRAMセルに用いられているトンネル磁気抵抗効果（TMR）デバイスを活用し，記憶機能と演算機能をコンパクトに一体化してメモリ・演算器間データ転送ボトルネックを解消する「不揮発性ロジックインメモリ回路」の構成を検討した。TMRデバイスが記憶状態に応じて抵抗値が変化する可変抵抗素子と見なせることに着目し，

MOSトランジスタとTMRを混載した抵抗網回路ネットワークにより，任意の論理スイッチング機能が実現できる。図1は，本回路方式の典型的な応用例として構成した記憶機能付き全加算器の回路図を示す。この結果，同等機能のCMOS実現と比較して，同一の動的消費電力の下で遅延時間を1/2に，静的消費電力を1/100程度まで低減できることを明らかにした。

2.2 双方向電流モード回路を用いた高速非同期データ転送に関する研究

VLSIチップ内高速データ転送を実現するためのモジュール間非同期データ転送技術として，本年度は，双方向からのデータを同時に転送できる「デュプレックス通信」回路を，多値符号化法と電流モード多値回路技術に基づいて高速化かつ低消費電力化する技術を考案した。単方向データ転送の場合と比較し，信号のダイナミックレンジをプラス1するだけで双方向データ転送が可能となる。図2は本考案の電流モード多値回路を0.18 μ mCMOS技術に基づいて試作したチップ写真を示している。本提案手法により，従来からの単方向非同期データ転送方式をCMOS回路で実現した場合と比較し，同一消費電力下で約2倍の高速化が達成された。

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）
助　手：木村啓明（2003年 4月より）

4．教授のプロフィール

1984年3月東北大学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（2003年4月～2004年3月）の主な発表論文等

[1] 木村啓明, 羽生貴弘, 亀山充隆, “不揮発性デバイスを用いたロジックインメモリVLSIの構成,” 信学技報, ICD2003-5, pp.23-27, 2003年4月.
[2] T. Hanyu, A. Mochizuki, and M. Kameyama, “Multiple-Valued Dynamic Source-Coupled Logic,” Proc. ISMVL, 33, pp.207-212, May 2003.
[3] T. Hanyu, T. Takahashi and M. Kameyama, “Bidirectional Data Transfer Based Asynchronous VLSI System Using Multiple-Valued Current-Mode Logic,” Proc. ISMVL, 33, pp.99-104, May 2003.
[4] 木村啓明，羽生貴弘，亀山充隆，藤森敬和，中村孝，高須秀視他,” 強誘電体デバイスを用いたロジックインメモリVLSIの構成,” 信学論，J86-C，8，pp.886-893，2003.
[5] 望月明, 羽生貴弘, “差動対ツリー構造に基づく多値論理回路網の系統的設計,” 多値論理フォーラム, 26, 6, pp.6-1-6-6, 2003年9月.
[6] 木村啓明, 伊吹満, 羽生貴弘, “多値TMRソースカップルドロジックに基づくロジックインメモリ回路の構成” , 多値論理とその応用研究会技報, MVL-04, 1, pp.92-98, 2004年1月.
[7] 望月明, 佐藤宏明, 羽生貴弘, “信号・しきい値多重化に基づく高性能電流モード多値回路の構成”, 多値論理とその応用研究会技報, MVL-04, 1, pp.99-105, 2004年1月.
[8] 竹内崇, 望月明, 羽生貴弘, “自律分散制御に基づくチップ内高速データ転送方式,” 信学技報, ICD2003-221, pp.33-37, 2004年2月.

マルチモーダルコンピューティング研究分野（客員研究分野）

Research on network traffic characteristics in distributed computer systems for multimodal services

(マルチモーダルサービスへ向けた分散システムにおける
ネットワークトラフィックの特性に関する研究)

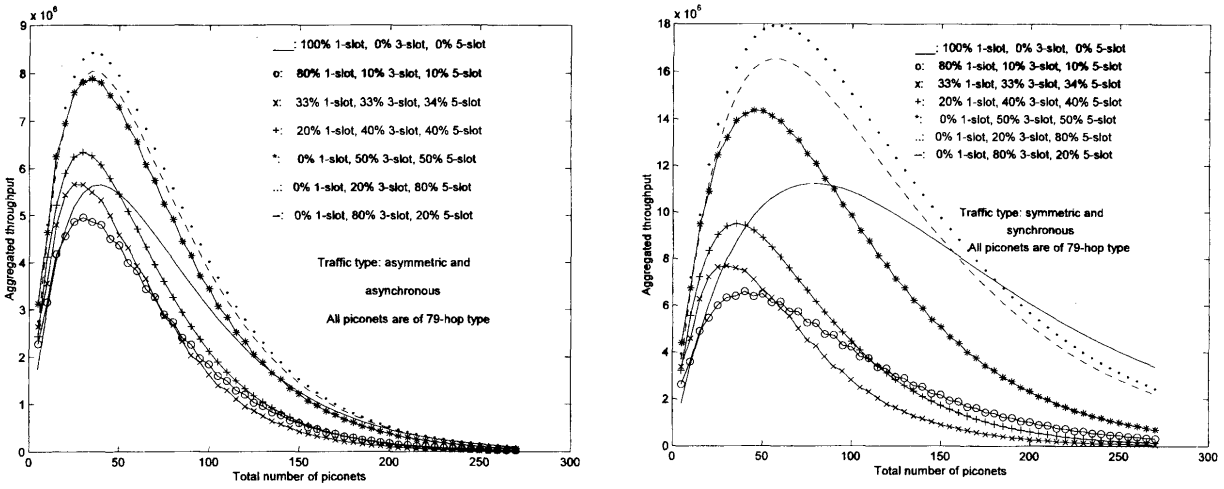


Fig. Aggregated throughput in a cluster of piconets for a variety of traffic conditions

1. Objective

To realize multimodal services in distributed computer systems effectively, characterization of network traffic is one of the main concerns. Especially in mobile ad hoc network environment, routing protocols such as the DSR and AODV protocols are well-studied, heavily depending on the MAC layer providing broadcast support. However, achieving broadcast at the MAC level in a multi-hop ad hoc wireless network is a challenging problem due to bit error, packet collision, and absence of acknowledgement at the MAC level. The objective of this research is to investigate the broadcast problem in IEEE 802.11 MAC protocol using adaptive antennas. We will consider the IEEE 802.11 protocol because of its wide acceptance as a standard for constructing ad hoc networks. Using an adaptive antenna, one can transmit a packet in a desired direction and reach nodes far away from those nodes which can normally be reached with a standard antenna. We will consider an adaptive antenna because it gives flexibility in transmitting packets.

2. Research results of past 1 year (From May 2003 to Nov. 2003)

2.1 Analysis of Packet Interference in a Bluetooth Scatternet

The Bluetooth technology is an emerging short range, wireless technology for interconnecting a number of devices which are located in close proximity such as ten meters. The main idea in this technology is two-fold: first, replace cable while connecting two devices, and, second, form a personal area network of devices. In this technology, a central idea is the concept of a Master and up-to seven slaves in a piconet. Several piconets may collaborate to form a scatternet. Communication in a piconet is essentially controlled by the

Master in the piconet and medium access control is achieved by using a frequency hopping pattern determined by the Master's address. However, there may be no coordination between Masters. Due to their autonomous operations, there may be significant collision of data packets in a scatternet. Therefore, we presented an analytical model of packet interference in a Bluetooth scatternet. The previous work had concentrated on single-slot packets. However, in our work, we considered both single-slot and multiple-slot packets in both symmetric and asymmetric data traffic conditions. The main idea in our work is to model packet interference as a probabilistic graph. Once we have this model, we study the properties of the graph to derive mathematical expressions for packet interference.

In previous works, researchers had emphasized on packet interference and throughput in a network with single-slot packets in symmetric mode. However, data traffic with multi-slot packets in the asymmetric mode will be used more than single-slot packets. It was easy to analyze packet interference using a statistical model in the previous works, which was not scalable to multi-slot packets in asymmetric mode. Therefore, we proposed the idea of using probabilistic graphs to model packet interference. The novelty of our work is that we can model both single-slot and multiple-slot packets in both symmetric and asymmetric modes. Also, we can analyze interference in a network consisting of both the 23-hop and 79-hop systems.

2.2 Analysis of the Device Discovery Protocol in Bluetooth

Two basic steps in the formation of a Bluetooth piconet are device discovery and paging. During device discovery, one device discovers another device, whereby the discovering device obtains the Bluetooth address and clock values of the discovered device. During the paging step, the above two information are used to establish a connection between the two devices. Device discovery may take a long time because the whole process begins with everything unknown. In this work, we have given an analytical model of the device discovery protocol of Bluetooth to find out the amount of time it takes to discover a device. We have validated this model using simulation data. Finally, we proposed two ways for reducing the discovery time. These are (1)Randomize the clock of a discovering device when the discovering time is more than a certain threshold, (2)Use a certain combinations of blocks of frequencies in the discovery process. As a result, the discovery time reduces from as high as 18,000 slots (1 slot = 625 microseconds) to as low as 1,000 slots.

2.3 IEEE 802.11 Protocol with Heterogeneous Power Levels

The IEEE 802.11 MAC protocol for wireless LAN assumes that all the nodes have identical transmit range. However, devices of different size are expected to have different transmit range so that they can effectively utilize their energy sources. We are studying a new MAC protocol that is expected to perform better than the existing one in a network where nodes have different transmit power. We have given an analytical model of the number of peer nodes of every node. A peer node is a node with which the node can communicate. We have also given an analytical model of the number of nodes with higher power. These nodes can potentially disturb the communication of a lower power node. Using the above two models, we want to give a model of throughput in a network. Finally, we plan to verify this via simulations using the NS-2 simulator. We are still studying various aspects of this work.

3. Staffs

Associate Professor Kshirasagar Naik (since 2003)

4. Profile of Associate Professor Kshirasagar Naik

Dr. Naik received a master's degree in Computer Engineering from the Indian Institute of Technology, Kharagpur, India. He received an M. Math. Degree in Computer Science from the University of Waterloo, Canada, and a Ph.D. degree in Computer Engineering from Concordia University, Canada. He worked as a software development engineer in WIPRO Information Technology Limited, Bangalore, India, for three years. He was a faculty member of the University of Aizu, Japan, and the School of Computer Science at Carleton University in Canada prior to joining the Department of Electrical and Computer Engineering at the University of Waterloo in Canada. He was a Program Co-Chair of the 5th International Conference on Information Technology, 2002, Bhubaneswar, India. He is serving as a co-guest editor of the IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Dr. Naik's research interests are in the areas of mobile computing, wireless communications, sensor networks, home networks, and integration of wireless LANs and 3G networks.

5. Main Publications for the fiscal year 2003

[1] Analysis of Packet Interference in a Cluster of Bluetooth Piconets Under Different Traffic Conditions, IEEE International Conference on Communications (ICC 2004), Paris, June 2004, K. Naik, D. S. L. Wei, N. Shiratori, Y. Su and S.-C. Wang

[2] Discovery of Bluetooth Nodes - A Critical Analysis, 5th Asia-Pacific Symposium on Information Technology and Telecommunications, New Caledonia, Nov. 2003, K. Naik, G. Chakraborty and N. Shiratori

3．2　物性機能デバイス研究部門の目標と成果

情報記録デバイス研究分野

１平方インチ当たり１テラビット以上の超高面密度磁気ストレージの実現を目指して，そのためのデバイス研究を行っている。特にIT21センターのストレージプロジェクトに参加して高密度垂直磁気記録方式を実用化する研究に注力している。現在は磁気ヘッドと磁気ディスクのキーデバイスについて，そのナノ磁気物性とリードライト性能の関連を明らかにして，設計指針を導く研究を展開している。

本年度は，磁気デバイス研究においては垂直磁気記録実用化で実装される可能性が高い$CoPtCr\text{-}SiO_2$垂直二層膜媒体について，SiO_2最適組成や$CoPtCr\text{-}SiO_2$の高異方性に関する検討を広く推し進めた。また，記録再生理論の研究においては，媒体ノイズ低減に関わる磁気クラスタサイズ分散の低減効果について検討した。また，面記録密度見積もりの際に必要なエラーレート評価をソフトウェアにより実現し，良好な誤り率を示す波形パラメータの抽出を試みた。これらは来年度以降のデバイス設計とそれに引き続くプロトタイピングの設計ツールを与えるものである。

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

—次世代の半導体産業の牽引車の実現を目指して—

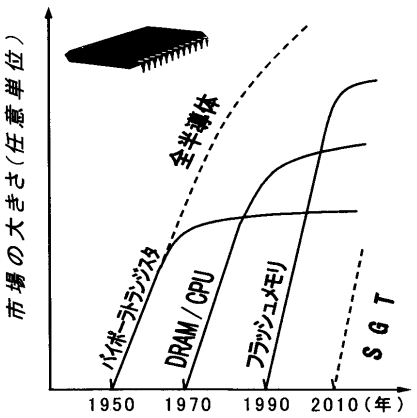


図１　半導体産業は，20年ごとに出現したバイポーラトランジスタ（米国ベル研），DRAM/CPU（米国インテル社），フラッシュメモリ（日本：舛岡教授）という牽引車により爆発的な成長を続けてきました。今後2010年以降日本の舛岡教授により発明されたSGT (Surrounding Gate Transistor) により半導体産業はさらに成長を続けます。

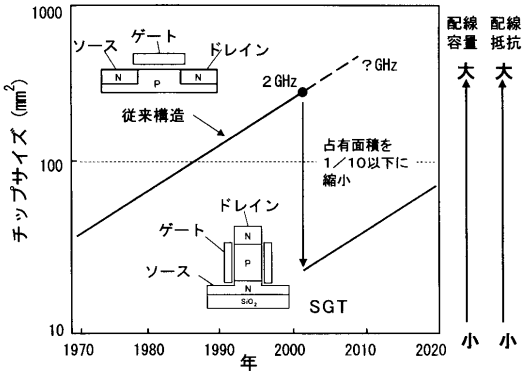


図２　３次元構造であるSGT構造にすることにより，素子の占有面積を１/10以下にすることが可能です。これはムーアの法則にしたがって年々増大するチップサイズが，光速によって制限されるサイズに到達するまでの期間を延長できることを意味します。つまりSGTによりムーアの法則の30年間の延長が可能となります。

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，図２）。

＜研究テーマ＞　１．高性能アクティブデバイスに関する研究
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（2003年４月から2004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標として，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，Buried Gate SGTなど，SGTの新しい構造を提案した。またSGTのゲート酸化膜の構造解析に関する研究を進めた。さらにテラビット以上の超高密度メ

モリを目指した3次元Stacked-SGT型メモリの配線技術，SGT型ゲインセルを用いたNAND　DRAMなど，SGTを用いた新しい集積回路の研究を進めた。

3．職員名

教　授　　舛岡富士雄（1996年より）
助教授　　遠藤　哲郎（1997年より）
助　手　　桜庭　　弘

4．舛岡教授のプロフィール

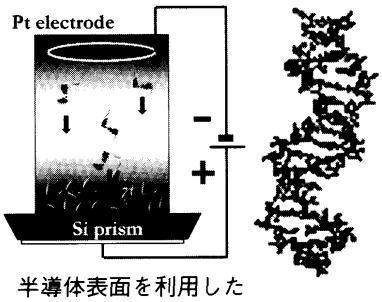
1971年東北大学大学院工学研究科電子工学博士課程を修了。工学博士。1971年（株）東芝に入社。1994年退社。同10月東北大学情報科学研究科教授。現在東北大学電気通信研究所教授。研究分野は，集積回路を中心に半導体分野。2層多結晶シリコンを用いたEPROMの発明で昭和55年度全国発明表彰発明賞を受賞，昭和53年度第1回渡辺賞を受賞，その他フィールドシールド，多層配線，DRAM，SRAM，EPROM回路及びフラッシュEEPROM等の発明で関東地方発明表彰発明奨励賞を5回受賞。1995年IEEE Fellow Award。1997年フラッシュEEPROM及びNAND型EEPROMの発明及び技術の確立の功績により，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（2003年4月から2004年3月まで）の主な論文発表

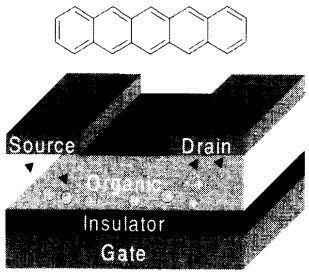
1) M. Iwai, Y. Yamamoto, R. Nishi, H. Sakuraba, T. Endoh and F. Masuoka, "High Performance Buried Gate Surrounding Gate Transistor (BG-SGT) for Future Three-Dimensional Devices," Extended Abstracts of the 2003 International Conference on Solid State Devices and Materials, pp.630-631, Tokyo, Sep. 16-18, 2003.
2) H. Sakuraba, K. Kinoshita, T. Tanigami, T. Yokoyama, S. Horii, M. Saitoh, K. Sakiyama, T. Endoh, and F. Masuoka, "New Three Dimensional High Density S-SGT Flash Memory Architecture using Self-Aligned Interconnection Fabricating Technology without Photo Lithography Process for Tera Bits and Beyond," Extended Abstracts of the 2003 International Conference on Solid State Devices and Materials, pp.642-643, Tokyo, Sep. 16-18, 2003.
3) 中村広記, 遠藤哲郎, 桜庭弘, 舛岡富士雄,「Surrounding Gate Transistor (SGT) 型ゲインセルを用いた新しいNAND DRAM」, 電子情報通信学会論文誌 C, Vol. J86-C, No. 8, pp.944-951, 2003年8月.
4) F. Matsuoka and F. Masuoka, "Numerical Analysis of Alpha- Particle- Induced Soft Errors in Floating Channel Type Surrounding Gate Transistor (FC-SGT) DRAM Cell," IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, Vol. 50, No. 7, pp.1638-1644, July, 2003.
5) 岩井信, 桜庭弘, 遠藤哲郎, 舛岡富士雄,「Buried Gate type SGT フラッシュメモリ」, 電子情報通信学会論文誌C, Vol. J86-C, No. 5, pp. 562-563, 2003年5月.

分子電子工学研究分野

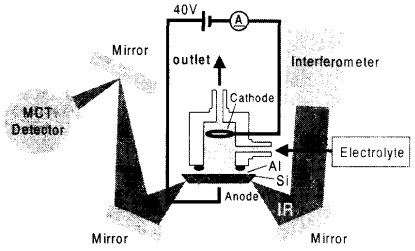
分子情報デバイスの表面・界面のナノスケール制御と新機能ナノ分子デバイスの創製



半導体表面を利用した
生体分子の高感度検出



有機半導体デバイス



内部多重反射型赤外分光による
固一液界面の解析

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) 半導体表面を利用した生体分子の高感度検出

赤外線を溶液中に置かれたSiウェハーの中を多重内部反射させて赤外吸収分光を行うと，高感度溶液モニターになる。Siウェハー表面に分子認識機能を持たせれば高感度の分子認識センサーが実現する。今年度は，DNAの塩基対形成を赤外分光により検出できることを実証し，さらに，電気泳動効果を利用してDNAをSiウェハー近傍に集合させることで検出感度を向上できることを見出した。この手法を用いると，従来のDNAチップの場合のようなDNA分子への蛍光色素の導入が不要になるため，より迅速なDNAチップ開発への展開が期待できる。

(2) 機能性有機分子のシリコン表面上の吸着状態・吸着過程の解明

分子デバイスの創製には，デバイス製造プロセスを原子レベルで制御する必要がある。従来のシリコン半導体デバイスと超分子や有機分子とを融合した有機－無機ハイブリッド素子は，種々の有機分子が有する機能を生かした分子デバイスを創製するための有効なアプローチのひとつである。今年度は，有機トランジスタ材料として注目されているアセン系列の芳香族炭化水素ならびに，分子層堆積法で興味が持たれるマレイン酸分子のシリコン表面への吸着構造を多重内部反射型赤外分光法を用いて研究した。

(3) 固体・液体界面反応を用いた半導体表面上ナノ周期構造の創生

電気化学エッチングや有機分子の自己組織化等によりナノ構造や超分子構造を半

導体及び金属上に作製する技術を研究し，それらのナノエレクトロニクスや分子エレクトロニクスへ応用をすすめている。本年度は，Si半導体電極－溶液界面の化学反応プロセスを多重内部反射型赤外吸収分光法に基づいたその場観察法で調べた。その結果，シリコン基板に作成したポーラスアルミナ薄膜の剥離過程を明らかにした。また，アルミニウム薄膜の陽極酸化を制御することによりポーラスアルミナの孔の構造をSiO_2薄膜へ転写することに成功した。

(4) 有機半導体デバイスの界面の解明と制御

有機半導体を用いたエレクトロニクス素子は，低コスト，フレキシブルな素子構造などにより近年注目を集めている。我々は特に有機トランジスタ，有機電界発光素子に注目して，その性能向上や動作機構解明のための評価手段の研究を進めている。今年度は，変位電流評価法を用いて有機トランジスタの動作機構解明の研究を進めた。特に，従来は膜中に混入した酸素がアクセプターとして機能することで有機半導体のドーピングが生じるとされてきたが，実はそのような現象には光照射が重要な役割をすることを見出し，“光誘起ドーピング効果”を提案した。また，長寿命化・高効率化が大きな技術課題の一つとなっている有機発光素子に関しては，化学的に安定で高配向性膜が得られるポリエチレン低重合体をAlq_3/電極界面に挿入することで注入特性が改善されることを見出した。

(5) 分子デバイス・センサー創製に向けての新規測定法の開発

分子デバイス・センサーの開発には，デバイスからの応答をナノメータースケールで検出するための手法が必要となってくる。そこで我々は，赤外走査型近接場光学顕微鏡（IR-SNOM）の開発をすすめている。今年度は，装置の作成を完了し，金微粒子からの散乱光の測定に成功している。さらに検出感度を向上させるために，微弱な赤外光を検出するためのヘテロダイン赤外吸収分光法を開発している。また，機能性有機分子の性質を調べるための手法として，真空雰囲気でも大気常圧雰囲気でも試料のイオン化ポテンシャルを測定できる手法も開発した。

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] 庭野道夫：「半導体表面における水素の挙動　－赤外分光解析－」, Journal of Vacuum Society of Japan (真空) vol. 46, no. 8, pp.600-606, 2003.
[2] 岡村康史ら「Si(100)-2X1表面上ナフタレン吸着の赤外吸収分光解析」, 表面科学　vol. 24, no 9, pp543-549, 2003.
[3] 渡辺隼人ら「Si(100)表面上ベンゼン分子吸着過程」, 表面科学　vol. 24, no 2, pp98-104, 2003.
[4] S. Ogawa et al.: “Carrier Injection Characteristics in Organic Field Effect Transistors Studied by Displacement Current Measurement”, Jpn. J. Appl. Phys. vol. 42, Part 2, No. 10B, pp. L1275-L1278, 2003.
[5] M. Shinohara et al.: “Behavior of hydride species on Si surface during methane plasma irradiation investigated by in-situ infrared spectroscopy”, Thin Solid Films 435 pp.13-18, 2003.
[6] M. Shinohara et al.: “Interaction of hydrogen-terminated Si(100), (100), and (110) surfaces with hydrogen plasma investigated by in situ real-time infrared absorption spectroscopy”, Journal of Vacuum Science and Technology A vol. 21 no. 1 pp.25-31, 2003.
[7] 木村康男ら：「多重内部反射型赤外吸収分光法によるシリコン表面の電気化学エッチング過程の“その場”観察」, 表面科学 vol. 25, No. 2, pp. 84-90, 2004.
[8] 石井久夫ら：“有機エレクトロニクス素子の薄膜・界面における帯電・分極現象”, 静電気学会誌, 27, 2, pp.79 - 84, 2003.

スピンエレクトロニクス研究分野

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

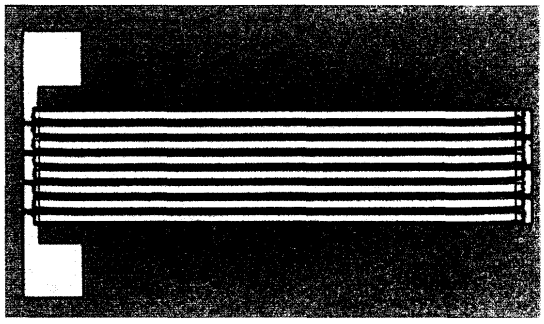


図1　高周波キャリア型薄膜磁界センサ

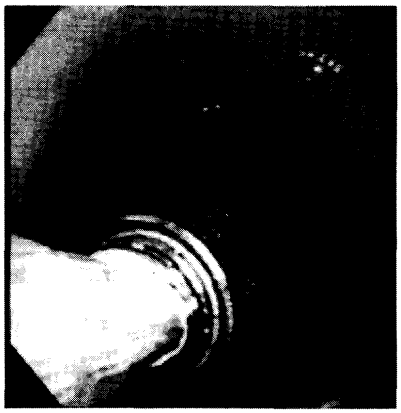


図2　イヌ大腸内で模擬内視鏡を誘導する磁気マイクロマシン

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の開発を行っている。

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1.7×10^{-8}(Oe/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}(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3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。2個の永久磁石マーカー位置の1mm精度リアルタイム位置検出を可能にし，これを顎運動計測システムへ適用した。**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牛肉組織や寒天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。直径150μmまで微細化したマシンはレイノルズ数10^{-5}の環境下でも泳動可能であり，より一層のマイクロ化が可能であることが示唆されている。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　官　　師岡ケイ子，我妻成人
学術振興会特別研究員　　仙道雅彦

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

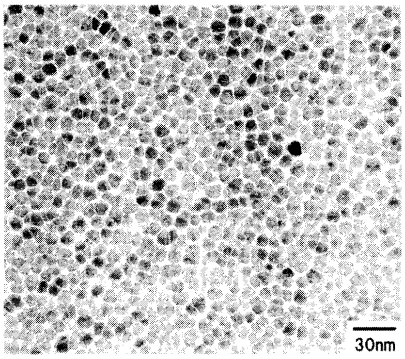
1．高機能スピニックマテリアルの創製
2．集積化マイクロ磁気デバイス・センサ
3．生体内駆動用磁気マイクロロボット
4．超高周波磁気計測・EMC計測
5．磁気モーションキャプチャシステム

過去１年間の主な発表論文

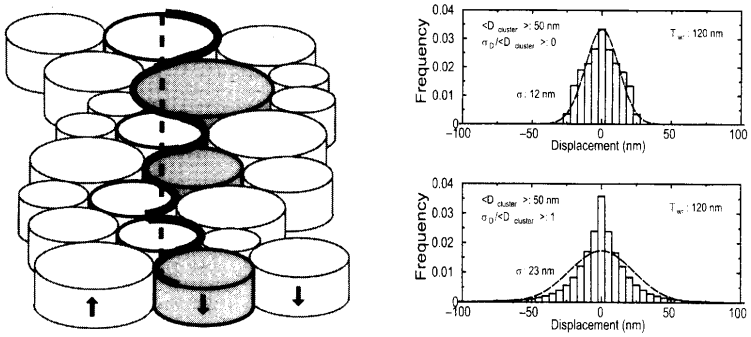
1．S. Yabukami, H. Mawatari, O. Shimoe and K.I. Arai, “Phase Detection of High-Frequency Carrier-Type Thin-Film Sensor”, IEEE Transactions on Magnetics, vol. 39, no. 5, pp. 3196-3198, (2003).
2．M. Sendoh, K. Ishiyama, K. I. Arai, “Fabrication of Magnetic Actuator for Use in a Capsule Endoscope,” IEEE Trans. Magnetics, vol.39, No.5, pp.3232-3234, (2003).
3．A. Yamazaki, M. Sendoh, K. Ishiyama, K. I. Arai, T. Hayase, “Fabrication of Micropump With Spiral-Type Magnetic Micromachine,” IEEE Trans. Magnetics, vol.39, No.5, pp.3289-3291, (2003).
4．A. Yamazaki, M. Sendoh, K. Ishiyama, T. Hayase, K. I. Arai, “Three-dimensional analysis of swimming properties of a spiral-type magnetic micro-machine,” Sensors and Actuators, vol.A105, pp.103-108, (2003).
5．S. Yabukami, R. Ojima, M. Yamaguchi, K.I. Arai and S. Kikuchi, “Highly sensitive permeability measurements obtained by electrical impedance,” Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 254-255, pp. 111-114 (2003).
6．仙道雅彦，石山和志，須田祐司，荒井賢一，“大腸内視鏡誘導補助用磁気アクチュエータの試作”，日本応用磁気学会誌，vol.27, pp.138-141, (2003).
7．山崎彩，仙道雅彦，石山和志，早瀬敏幸，荒井賢一，“スパイラル型磁気マイクロマシンの３次元泳動特性解析”，日本応用磁気学会誌，vol.27, pp.142-145, (2003).
8．馬渡宏，菊池弘昭，薮上信，山口正洋，荒井賢一，“超高感度交流磁界計測のための高周波キャリア型薄膜磁界センサの設計”，日本応用磁気学会誌，vol. 27, no. 4, pp. 414-418 (2003).
9．薮上信，馬渡宏，下江治，菊池弘昭，荒井賢一，“位相計測による高周波キャリア型薄膜磁界センサ”，日本応用磁気学会誌 vol. 27, no. 4, pp. 425-428 (2003).
10．薮上信，荒井薫，金高弘恭，辻真哉，荒井賢一，三谷英夫，“2個の永久磁石を用いた顎運動計測システムの測定誤差解析”，日本応用磁気学会誌，vol. 27, no. 4, pp.765-770 (2003).

情報記録デバイス工学研究分野

磁性薄膜のナノスコピック物性の研究とその大容量磁気ストレージデバイスへの応用



微細磁性粒子をSiO_2によって磁気分離した垂直媒体の高分解能TEM像



磁気クラスタ径分散を変えた円筒形モデルと，その計算による磁化転移ラインヒストグラム

ハードディスク装置に代表される磁気情報ストレージでは記録面密度が重要な性能指標であり，年率で1.6～2倍の早いペースを保って高密度化が進んでいる。これは大容量情報ストレージの旺盛な需要を背景にしており，さらなる高密度化・大容量化が強く求められている。これに応えるには，ナノメータオーダでの磁性薄膜物性を踏まえた新しいデバイス研究が必須である。本分野では垂直磁気記録方式を提案してその優れた高記録密度性を理論と実験を通して実証してきている。同時に，このためのデバイス研究も積極的に進め，高分解能単磁極ヘッドと高密度垂直媒体を用いて実際の記録再生特性を通じた研究成果を蓄積している。より高い記録密度を目指して，最重要デバイスである磁気ヘッド・記録メディアを中心に記録再生理論や信号処理などの幅広い分野での情報ストレージの研究を行っている。

1）単磁極記録ヘッドの記録能力の研究

垂直型単磁極記録ヘッドの記録能力の向上を目的に，実用軟磁性薄膜材料として最も大きな飽和磁束密度を有するFeCo膜を用いた記録ヘッドの試作に成功した。このヘッドの記録能力の検討を記録再生特性とシミュレーションを用いて行ったところ，媒体保磁力の約1.5倍の記録磁界により媒体を飽和記録できる結果を得た。この関係は今後の設計指針となるもので，高密度化に対し更なる記録ヘッド強磁界化が望まれる。

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Oxideメディアについて幅広く検討を行った。SiO_2最適組成に加え，高記録密度媒体に要求される高異方性について検討を加えた。これは，近い将来実用化される高密度媒体に関する重要な基礎的成果である。

3）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。これまで転移性であることを明らかにしてきた媒体ノイズについてはその非線形性が指摘されていたが，クラスタ径分散の効果を取り入れることにより非線形現象の説明を可能にし

た。また，そのクラスタ径分散の抑制が媒体ノイズの低減に効果があるという指摘を行った。今後は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ついても詳細に検討する予定である。

【職員】

教　授　　村岡裕明　（2000年より）
助教授　　Simon J.GREAVES
助　手　　渡辺　功
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 Technical Committee各メンバー。

【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. 磁性薄膜物性の研究

【主な研究発表】

(1) Y. Kanai, Osama A. Mohammed, R. Matsubara, H. Muraoka, Y. Nakamura, J. Appl. Phys., 93, 7738-7740, 2003
(2) T. Shimatsu, H. Katada, I. Watanabe, H, Muraoka, Y. Nakamura, IEEE Trans. Magn., 39, 2365-2367, 2003
(3) Y. Kanai, R. Matsubara, H. Watanabe, Y. Nakamura, IEEE Trans. Magn., 39, 2405-2407, 2003
(4) 三浦健司，村岡裕明，青井基，中村慶久，日本応用磁気学会誌，26，261-264, 2003

光電変換デバイス工学研究分野

表面界面物性の研究と光電変換デバイスへの応用

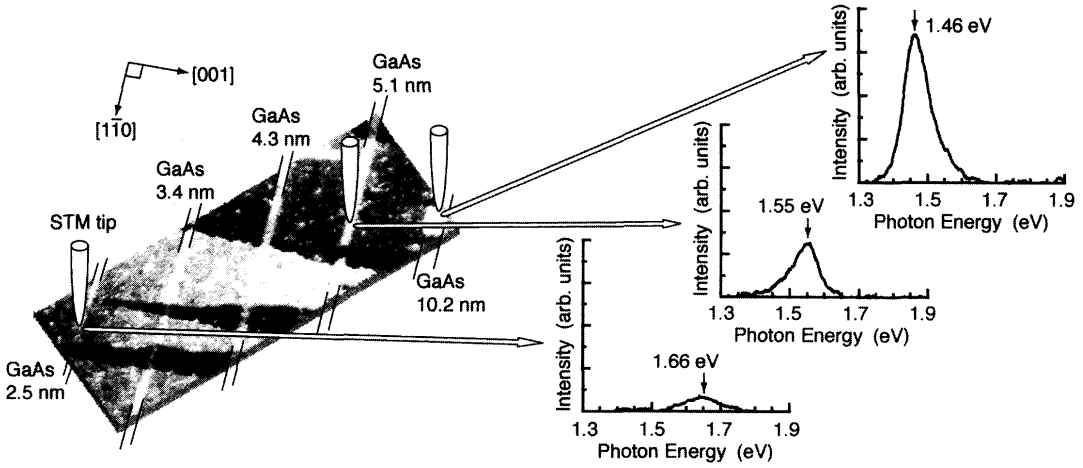


図1　AlGaAs/GaAs量子井戸劈開(110)面のSTM像(200nm ×65 nm)と個々の量子井戸層のSTM発光スペクトル

1．分野の目標

本分野の目標は，固体表面における光と電子の相互作用を研究し，光電変換デバイスの基礎となる表面物性と固体表面で起こる物理・化学現象を探索することである。原子・分子レベルで表面の物理・化学現象を理解し，その結果を原子レベルで制御された機能性表面・界面および薄膜の作製，発光素子の開発，光エネルギー変換などに応用する。また表面超微細構造の物性を計測しそれを工学的に応用する方法を開発することも目標としている。

本分野では走査型トンネル顕微鏡（STM）の発光分光，レーザー・ラマン分光，フーリエ変換赤外吸収分光（FT-IR），第二次高調波発生（SHG），高分解能電子エネルギー損失分光（HREELS）などの測定手段を用い，表面・界面物性の研究を行っている。図1に井戸幅が異なる個々のAlGaAs/GaAs量子井戸層のSTM発光スペクトルの測定例を示す。

2．過去1年間（2003年4月から2004年3月まで）の主な成果

2.1 単一量子ドットのSTM発光イメージング

自己形成法により作製される半導体量子ドットはサイズにばらつきがあるため，フォトルミネッセンスなど多数のドットを同時に計測する従来の（巨視的な）測定手法ではサイズで平均化されたブロードな発光スペクトルが観測される。すなわち，個々のドットからの発光スペクトル観測は不可能であった。STM探針から局所的に注入されたキャリアの輻射再結合発光を観測することにより，25 nmの空間分解能で単一$InAs/Al_xGa_{1-x}As$量子ドットとその周囲の発光スペクトルイメージングに成功した。個々のドットの発光スペクトル幅がAlの組成比xの増加とともに広がることを見いだした。

2.2 単一分子分光

分子の光学特性は分子が置かれた環境や分子自体の形状に強く依存する。従って，個々の分子発光特性を分子形状や置かれた環境と同時に観測することは，基礎科学の観点からだけではなく工学的観点からも重要である。STMは高い位置分解能を持ち，単一分子の内部構造や吸着原子サイトのイメージングを可能にする。従来，金属基板の上に吸着された分子のSTM発光が専ら研究されてきた。この場合，分子と金属基板のSTM発光が同時に励起され，分子自体のスペクトル計測は困難であった。分子吸着基板に高配向熱グラファイトを選ぶことにより，基板からの発光がおさえられ，分子自体の発光スペクトル計測が可能になることを発見した。計測されたスペクトルの形状は，フォトルミネッセンス計測で観測されるスペクトルと一致した。

2.3 液晶分子の光配向

アゾベンゼンを主鎖に含むポリアミック酸（Azo-PAA）膜に直線偏光紫外光を照射した後，その偏光方向に垂直な面を入射面として無偏光紫外光を斜めから照射した。その膜を熱イミド化することによって作製したポリイミド（Azo-PI）膜の分子配向を偏光赤外吸収法によって決定した。その結果，Azo-PI骨格構造の傾斜配向が誘起されること，無偏光紫外光の照射量を変えることによってその傾斜角を制御できることを明らかにした。また，その膜を液晶の配向膜とすることにより液晶分子のプレチルト角を誘起することができることを明らかにした。

3．職員名

教　授：潮田　資勝（1985年より）
助教授：上原　洋一（1992年より）
助　手：坂本　謙二（2003年12月まで），鶴岡　徹

4．潮田教授のプロフィール

潮田教授は，ラマン散乱によるポラリトンの研究でペンシルバニア大学大学院理学研究科で1969年に博士号を取得後，カリフォルニア大学アーバイン校理学部物理学科において助教授，準教授，教授を歴任した。この間ラマン散乱による固体表面励起の研究およびトンネル接合の発光機構の研究を進めた。1985年に東北大学に赴任し，現在はラマン散乱およびトンネル接合発光の研究に加えて，走査型トンネル顕微鏡の発光の研究，電子エネルギー損失分光法，第二次高調波発生法，赤外分光法などによる表面物性の研究を行っている。1996年にはアメリカ物理学会のフェローに選出された。今年度，第59期日本物理学会会長に就任した。

5．過去1年間の発表論文，解説記事，著書

1. “Light intensity imaging of single InAs quantum dots using scanning tunneling microscope”, T. Tsuruoka, Y. Ohizumi, and S. Ushioda, Appl. Phys. Lett. **82**, 3257 (2003).
2. “Ground-state interband transition of individual self-assembled InAs/$Al_{0.6}Ga_{0.4}As$ quantum dots observed by scanning-tunneling-microscope light-emission spectroscopy”, T. Tsuruoka, Y. Ohizumi, and S. Ushioda, J. Appl. Phys. **95**, 1064 (2004).
3. “Electromagnetic enhancement effect in scanning tunneling microscope light emission from GaAs”, Y. Uehara, H. Gotoh, R. Arafune, and S. Ushioda, J. Appl. Phys. **93**, 3784 (2003).
4. “Vibration of H atomic chains on Ni(110) measured by scanning tunneling microscope (STM) light emission spectroscopy”, Y. Uehara and S. Ushioda, Phys. Rev. Lett. **92**, 066102 (2004).
5. “Relation between Molecular Orientation of Liquid Crystal Monolayer and the Underlying Polyimide Film Exposed to Linearly Polarized Ultraviolet Light”, K. Usami, K. Sakamoto, S. Ushioda, J. Appl. Phys. **93**, 9523 (2003).
6. “Photoinduced Inclination of Polyimide Molecules Containing Azobenzene in the Backbone Structure”, K. Sakamoto, K. Usami, T. Kanayama, M. Kikegawa, and S. Ushioda, J. Appl. Phys. **94**, 2302 (2003).
7. “Change of In-plane Anisotropy of UV Irradiated Polyimide Films Caused by Washing Treatment”, K. Usami, K. Sakamoto, and S. Ushioda, Mol. Cryst. Liq. Cryst. **400**, 71 (2003).

他，国際会議議事録5編。

電子量子デバイス工学研究分野

電子と光子を用いた量子情報通信デバイスの開発

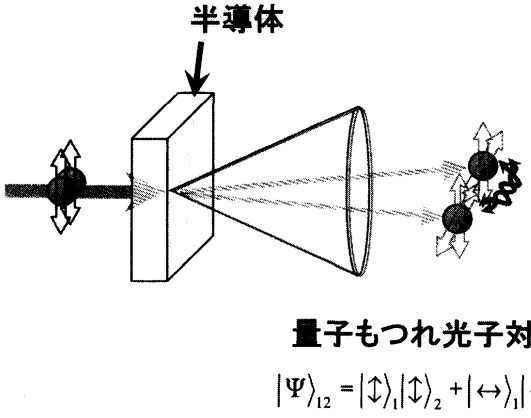


図１．半導体を用いた量子もつれ光子対発生

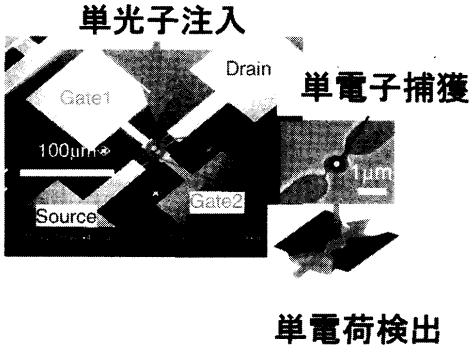


図２．単一光子→単一電子量子非破壊検出デバイス

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，発生した光子対の偏光状態を表す密度行列を量子トモグラフィ法によって測定し，この方法によって大きな量子もつれを伴った光子対が生成されることを実証した。

(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。本年度までに，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デバイスの基本部分となる，単一光子→単一電子量子非破壊検出デバイスの開発に成功した。

(3) 情報源符号化定理の実験的検証

量子情報理論の2大定理の１つである情報源符号化定理は，信号を運ぶ量子状態の重なりを粒子間の量子相関を制御する事で取り除き，従来の情報圧縮限界以上に圧縮が可能になることを示すものである。本年度は，一つの光子の直交する偏光面と4本の伝送経路と量子もつれを形成する変換を行う線形光学素子を使って，3ビットの信号を2ビットの信号に圧縮し，再び3ビットの信号へ復元する検証実験を行い，量子もつれを使わない従来の圧縮限界よりも高い復元精度が達成されていることを実証した。(通信総合研究所との共同研究)

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．Quantum diffraction and interference of spatially correlated photon pairs generated by spontaneous parametric down-conversion, R. Shimizu, K. Edamatsu, and T. Itoh, Phys. Rev. A **67**, 041805(R)/1-4 (2003)
2．Single photoelectron trapping, storage, and detection in a field effect transistor, H. Kosaka, D.S. Rao, H.D. Robinson, P. Bandaru, K. Makita, and E. Yablonovitch, Phys. Rev. B **67**, 045104/1-5 (2003)
3．非線形光学結晶を用いた量子もつれ合い光子対の発生と二光子干渉, 枝松圭一, 清水亮介：固体物理 **38**, 471-477 (2003)
4．Infrared transient absorption of excitons and biexcitons confined in CuCl quantum dots, K. Miyajima, K. Edamatsu, and T. Itoh, Phys. Stat. Sol. (c) **0**, 1275-1278 (2003)
5．Exciton-phonon interaction in epitaxial CdSe/ZnSe nanostructures, A.M. Kapitonov, U. Woggon, K. Leonardi, D. Hommel, K. Edamatsu, and T. Itoh, Phys. Stat. Sol. (b) **238**, 317-320 (2003)
6．Single-photon interference experiment over 100 km for quantum cryptography system using a balanced gated-mode photon detector, H. Kosaka, A. Tomita, Y. Nambu, T. Kimura, and K. Nakamura, Electron. Lett. **39**, 1199-1201 (2003)
7．Epitaxial growth and characterization of CuCl nanostructures on CaF_2 (111) substrate, N. Yafune, A. Kawamori, K. Edamatsu, T. Itoh, Proc. 26th Int. Conf. Phys. Semicond., Institute of Physics Conference **171**, 193/1-8 (2003)
8．Experimental demonstration of quantum source coding, Y. Mitsumori, J.A. Vaccaro, S.M. Barnett, E. Anderson, A. Hasegawa, M. Takeoka, and M. Sasaki, Phys. Rev. Lett. **91**, 217902/1-4 (2003)
9．Dynamics of photo-induced magnetization rotation in ferromagnetic semiconductor p-(Ga, As)As, Y. Mitsumori, A. Oiwa, T. Slupinski, H. Maruki, Y. Kashimura, F. Minami, and H. Munekata, Phys. Rev. B **69**, 033203/1-4 (2004)
10．光子キュービットから電子スピンキュービットへの量子メディア変換とg因子エンジニアリングー量子中継器の実現に向けてー, 小坂英男, 固体物理 **39**, 106-116 (2004)

先端機能物性研究分野

機能材料とデバイスの理論設計

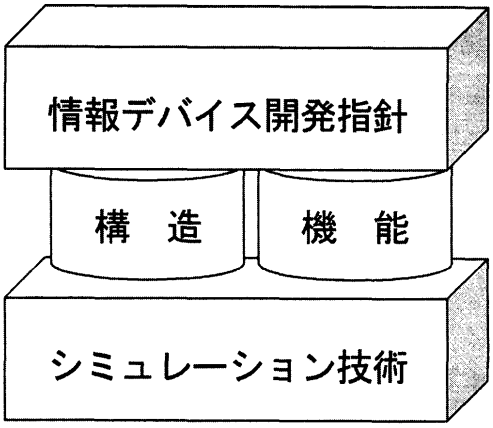


図１．研究目標の概念図

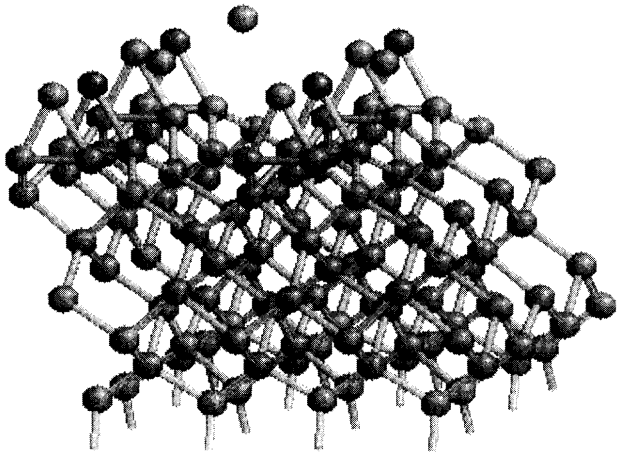


図２．半導体表面におけるナノ構造形成過程の模式図

●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，その構造と機能の関連を理論的に解明すると共に，物質創製の動的過程を原子・分子レベルで予測することにより，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，電子のもつ電荷とスピンの自由度を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。一方で，ナノ材料の構造と機能の関係を微視的に解明すると共に，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にも着手している。将来的には，こうした研究により蓄積された知識を統合して，多様な物性を効率よく活用するための新しい学問体系「物性情報工学」の確立を目指す。

●過去１年間の主な成果

１．IV族半導体ベースのスピン機能材料の理論設計（白井）

現在のシリコンを主要材料としたエレクトロニクスデバイス開発技術との整合性に優れたスピン機能材料の創製を目指して，IV族半導体（シリコン及びゲルマニウム）をベースとした室温以上の転移温度をもつ強磁性半導体の作製方法を提案した。IV族半導体にマンガンをはじめとする遷移金属元素をドープする際，ドーパントが最隣接原子位置を占めると強い反強磁性的相互作用がはたらくために強磁性の発現が阻害される。そこで，結晶成長過程においてドーパント濃度を一層毎に変調する不均一ドーピング法を用いることにより，この障害が克服される可能性を理論的に示すことに成功した。この成果は，シリコンをベースとしたスピントロニクス・デバイスの開発に新たな道を拓くものである。

2．ホイスラー合金における原子配列不規則性に関する理論研究（三浦）

ホイスラー合金$Co_2Cr_{1-x}Fe_xAl$は，フェルミ準位付近で高いスピン偏極率をもつ。その性質はMRAM（磁気ランダムアクセスメモリ）やスピンFET（スピン電界トランジスタ）などのスピントロニクスデバイスにおいて重要とされている。本研究では，ホイスラー合金$Co_2Cr_{1-x}Fe_xAl$の原子配列の乱れがスピン偏極率に与える影響を解析した。その結果，この物質は$Cr_{1-x}Fe_x$とAl間の不規則性に対しては高いスピン偏極率を保持することがわかった。一方，Coと$Cr_{1-x}Fe_x$間の不規則性に対しては，電子構造が大きく変化しスピン偏極率，磁気モーメントともに大きく減少することがわかった。これらの結果より，ホイスラー合金$Co_2Cr_{1-x}Fe_xAl$が高いパフォーマンスを示すため必要条件として，Coと$Cr_{1-x}Fe_x$間の不規則性を抑えることが重要であることを指摘した。以上の成果は，ホイスラー合金をベースとしたスピントロニクスデバイス開発において重要な指針を与えている。

3．ハーフメタル／半導体界面におけるスピン偏極率の理論研究（長尾）

ハーフメタルはフェルミエネルギーでのスピン偏極率が100%の物質である。この性質は構造に敏感であり，バルクから離れた系ではしばしば失われてしまう。もしハーフメタル的性質が半導体との界面においても保たれる条件が分かれば，半導体スピン注入への応用に際し有益である。そこで本研究ではハーフメタル/半導体界面を第一原理計算から調べ，界面付近でも高いスピン偏極率が保たれる物質の組み合わせを探った。閃亜鉛鉱型CrAsはIII-V属半導体と同じ構造を持つハーフメタルである。この物質と典型的なIII-V属半導体であるGaAsとの界面を調べた結果，(100)，(110)，(111) 界面のすべてにおいてハーフメタル性が見られた。また，ホイスラー合金のひとつであるCo_2CrAlとGaAsとの界面でも，ある特定の (110) 界面においては高いスピン偏極率が保たれることが分かった。どちらもキュリー温度が室温を越える物質であるため，この成果は室温での効率的スピン注入の可能性を示唆する。

●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, H. Taguchi, and H. Akinaga: "First-principles electronic structure calculations of zinc-blende chromium monopnictides," in "Toward the Controllable Quantum States," eds. H. Takayanagi and J. Nitta (World Scientific, Singapore, 2003) pp.86-89.

2．M. Shirai, K. Ikeuchi, H. Taguchi, and H. Akinaga: "Materials design of Cr-based half- metallic ferromagnets," J. Supercond.: Incorp. Novel Magn., vol.16, no.1, pp.27-29 (2003).

3．M. Shirai: "Possible half-metallic ferromagnetism in zinc blende CrSb and CrAs," J. Appl. Phys., vol.93, no.10, pp.6844-6846 (2003).

4．白井正文: "新しい高スピン偏極強磁性材料の理論設計," 日本応用磁気学会誌, vol.27, no.6, pp.730-733 (2003).

5．R. Muhida, Y. Miura, W.A. Diño, H. Kasai, H. Nakanishi, A. Okiji, K. Fukutani, and T. Okano: "Molecular orientation dependence of *ortho-para* conversion of a H_2 interacting with a metal surface," J. Appl. Phys., vol.93, no.1, pp.644-648 (2003).

6．Y. Miura, H. Kasai, W.A. Diño, H. Nakanishi, T. Sugimoto: "First principles studies for the dissociative adsorption of H2 on grapheme," J. Appl. Phys., vol.93, no.6, pp.3395-3400 (2003).
7．Y. Miura, H. Kasai, W.A. Diño, H. Nakanishi, and T. Sugimoto: "Effective pathway for hydrogen atom adsorption on grapheme," J. Phys. Soc. Jpn., vol.72, no.5, pp.995-997 (2003).
8．Y. Miura, H. Kasai, and W.A. Diño: "Effects of the kinetic energy on the hydrogen abstraction dynamics on Cu (110)," Surf. Sci., vol.532-535, pp.148-153 (2003).
9．K. Nagao, J.B. Neaton, and N.W. Ashcroft: "First-principles study of adhesion at Cu/SiO_2 interfaces," Phys. Rev. B, vol.68, no.12, art.no.125403/pp.1-8 (2003).

複合機能材料研究分野

スピンの機能を利用する電子・光素子

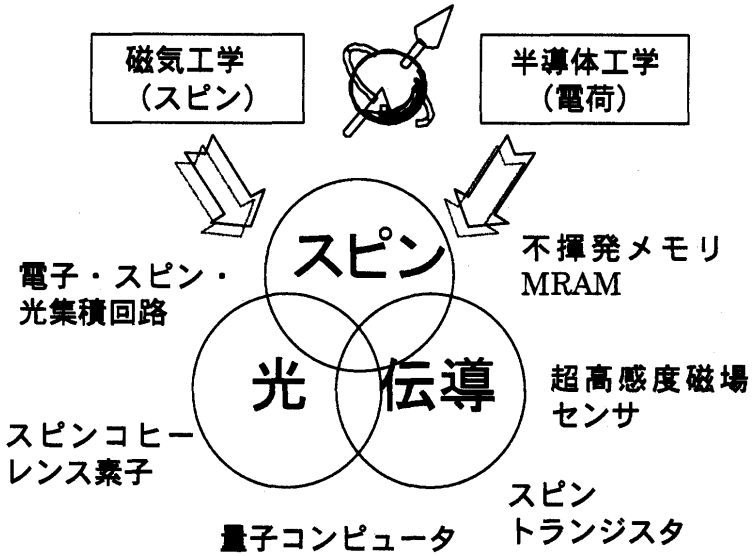


図1．スピントロニクスの概念

〈本研究分野の研究目標〉

磁性スピンの機能を有する新しい電子・光材料の開発とその応用を目指している。スピンの持つ優位性は，「不揮発性」と「非相反性」にある。この観点から，不揮発性磁気メモリMRAMのための高性能トンネル磁気抵抗（TMR）素子や光集積回路用光アイソレータなどのデバイス開発と，そのための新材料の開発を進めている。

〈本研究分野の研究成果〉

Fe単結晶磁性電極を用いるトンネル素子（MTJ）素子を作製し，室温で88％の大きなTMR効果を見出した。TMR効果に関する従来の理論によれば，70％程度のTMRが上限であるとされていた。これは，単結晶化により従来のMTJ素子で支配的であった非弾性散乱が抑えられ，電子のコヒーレントなトンネル効果が顕わになったためである。従来のMTJ素子をもってしては128Mbit程度が限界といわれていたMRAMの集積度を飛躍的に向上させる技術である。

希薄磁性半導体（Cd,Mn）Teを用いて半導体基板上に集積可能な磁気光学導波路の作製し，完全な磁気光学モード変換を達成した。20dB以上の光アイソレーションが得られた。光アイソレータなどの非相反光素子は光通信や光情報処理に欠かせない重要な光部品であるが，磁性体を使用するということから，今後，光部品を１チップ上に集積化する動きにとって最大の隘路となる可能性がある。我々の研究成果は，世界で初めてこの問題を解決する可能性を明らかにしたものである。さらに室温で強磁性を示す新物質（Zn,Cr）Teを合成し，その物性を明らかにした。

〈職員〉

客員教授　安藤　功兒（2002年4月より）

〈安藤功兒客員教授のプロフィール〉

1951年神奈川県生まれ。1973年名古屋大学理学部物理学科卒業。1975年東京工業大学大学院理工学研究科物理情報工学専攻修士課程終了。同年4月通商産業省工業技術院電子技術総合研究所入所。1984年～1985年フランス科学研究センター（CNRS）客員研究員。1990年工学博士（東京工業大学）「磁性ガーネット薄膜を用いた光集積回路およびその作製技術に関する研究」。2001年～独立行政法人産業技術総合研究所エレクトロニクス研究部門副研究部門長。2001年4月～2004年3月大阪大学大学院理学研究科連携併任教授。2002年4月～東邦大学大学院理学研究科連携併任教授。2002年4月～2004年3月東北大学電気通信研究所客員教授。磁性半導体，磁気光学デバイス，スピントロニクスデバイスの研究に従事。

〈主な研究発表（2003年度）〉

(1) H.Saito, V. Zayets, S.Yamagata, and K. Ando, "Room-Temperature Ferromagnetism in a II-VI Diluted Magnetic Semiconductor $Zn_{1-x}Cr_xTe$", Phys. Rev. Lett. **90**, 207202 (2003).

(2) H.Saito, V. Zayets, S.Yamagata, Y. Suzuki, and K. Ando, "Room-temperature ferromagnetism in highly Cr-doped II-VI diluted magnetic semiconductor $Zn_{1-x}Cr_xTe$", J.Appl.Phys. **91**, 6796 (2003).

(3) V. Zayets, M. C. Debnath, and K. Ando, "Complete magneto-optical waveguide mode conversion in $Cd_{1-x}Mn_xTe$ waveguide on GaAs substrate", Appl. Phys. Lett. **84**, 565 (2004).

(4) S. Yuasa, A. Fukushima, T. Nagahama, K. Ando and Y. Suzuki, "High Tunnel Magnetoresistance at Room Temperature in Fully Epitaxial Fe/MgO/Fe Tunnel Junctions due to Coherent Spin-Polarized Tunneling", Jpn. J. Appl. Phys. **43**, L588 (2004).

(5) 齋藤秀和，Vadym Zayets, 山形伸二，安藤功兒，「II-VI族希薄磁性半導体$Zn_{1-x}Cr_xTe$における室温強磁性と巨大磁気抵抗効果」固体物理 **39**, 117 (2004).

(6) 齋藤秀和，Vadim Zayets, 山形伸二，安藤功兒，"希薄磁性半導体$Zn_{1-x}Cr_xTe$の強磁性特性"，日本応用磁気学会誌　**27**, 281 (2003).

(7) 安藤功兒，齋藤秀和，Zadym Zayets, "室温で強磁性を示す半導体新材料（Zn,Cr)Te"，マテリアルインテグレーション **16**, 11 (2003).

(8) 安藤功兒，齋藤秀和，Vadym Zayets,「室温で強磁性を示す希薄磁性半導体（Zn,Cr)Te」,日本応用磁気学会誌　**28**, 23 (2004).

3. 3 コヒーレントウエーブ工学研究部門の目標と成果

コヒーレントウエーブエ学研究部門は，バリアフリーな電気通信技術の構築を目標に，その根幹を成す電波，光波，超音波の広帯域にわたる発生，伝送，処理の研究を行うことを目的としている。具体的には，21世紀の高速・大容量通信時代に備えて，電波，光波による超大容量情報通信の研究開発，およびミリ波・サブミリ波の高度利用に関する技術を追求する。また，バリアフリーの無線通信を実現するために，高速・高効率信号処理技術に関わる研究，音響デバイスの研究，さらに良好な電磁環境の構築に関わる研究を行う。

本研究部門は，これらの研究目標を遂行するため，電磁波関連の研究を主とする１研究分野，光波関連の２研究分野，ワイヤレス通信，音響デバイス及び通信環境に関する各１研究分野，量子波デバイスの基盤研究を目指す１客員研究分野，さらに，超高密度・高速知能システム実験施設の１部によって構成される。平成15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) テラヘルツ工学研究分野

(目標)　電波と光との中間に位置する短ミリ波－テラヘルツ波領域の技術を開拓するために，検出器，発振器，計測システム等の研究・開発を行っている。

(成果)　短ミリ波伝搬の特長を活用した計測技術として，２種類のイメージング技術（カメラ及び近接場顕微鏡方式）について研究を進めている。カメラ方式に関しては，人体，外景，果物等に関してミリ波像の取得に成功し，これらが赤外像と異なる特徴を有していることからミリ波イメージングの有用性を明らかにした。顕微鏡方式に関しては，スリット形プローブに関して共振形プローブを開発して約１桁の感度向上を得，誘電体の定量的精密計測に対して有効な手段を与えた。

(2) 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」分野の創成を目指す。また，独自な周波数シフト帰還型レーザの高機能化により地球環境光センシングネットワークを構築する。

(成果)　波長1-1000ミクロンの波長可変コヒーレント光がカバーできる領域の一層の拡大を図った。また，コヒーレントラマン分光により，固体周期構造中のフォノンや生体分子の低エネルギー分光の高感度化を実現した。また，周波数シフト帰還形レーザの高安定化に対する検討を進めた。

(3) 超高速光通信分野

(目標) 光・量子エレクトロニクスおよび光通信工学をもとにして、超高速光通信の基盤となる光パルス発生・伝送技術、ソリトン、短パルスレーザ、ならびに光信号処理の研究を行い、グローバルな超高速光ネットワークの構築を目指す。

(成果) 光ソリトン圧縮効果により40 GHz-100 fsの超短光パルス列の発生に成功した。さらに、光フーリエ変換を用いた無歪み伝送技術を提案しピコ秒パルスの波形歪み除去に成功した。また、モードホップを抑制した単一モードファイバレーザを作製し、その周波数をアセチレン分子に安定化することにより5.0×10^{-12}の安定度を得た。

(4) フォノンデバイス工学研究分野

(目標) 強誘電体，常誘電体，圧電体材料など誘電材料一般の評価・開発及びそれらを用いた高機能通信デバイスや記憶素子の研究を行う。

(成果) 本年度は新たに開発したSNDMプローブメモリーの試作一号機により超高密度誘電体記録の実記録に成功しビットエラーレートの評価まで可能となった等，高度な情報蓄積技術に対応するための誘電体デバイス開発に大きな展望を与えた。今後は超高密度誘電体プローブデータストレージの実現，原子分解能走査型非線形誘電率顕微鏡の実現，及びナノドメインエンジニアリングによる高度情報通信素子の開発を行う。

(5) 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可能となる「ユビキタス・ネットワーク」を実現する。

(成果) ブロードバンド無線通信の実現を目標にフレキシブルワイヤレスネットワークを提案しているが，本年度は特に無線 LAN方式にて，シームレスに接続基地局の切り替え可能なレイヤ 2 転送技術や，広帯域・高集積化・低消費電力動作を可能とする，ディジタル・アナログ混載ワンチップモデム 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技術の研究開発を行った。

(6) 通信環境工学研究分野

(目標) 様々な電子機器から放射される不要電磁波の測定法を研究し国際規格化に務める。また，不要電磁波の特性を解明し，高速大容量無線通信に及ぼす影響を解明し，その対策を検討する。

(成果) 30 MHz～10 GHz帯電磁波の測定用アンテナに関する全く新しい校正法（アンテナインピーダンス法）の開発を行い，その確度に関する研究を行った。また，電源線伝導妨害波に関する測定用プローブの開発や，対策用フェライトコアの特性測定法の研究を行った。さらに，電子レンジの漏洩電磁波に関する理論モデルを用いて，電子レンジがBluetoothや無線LANに及ぼす影響について研究した。

(7) 量子波動光学研究分野

(目標) 従来の電子デバイス（特に半導体メモリ）の集積度の飛躍的な向上を目指し，トランジスタのドレイン構造の最適化と，記憶蓄積方法の高性能化を進めると同時にデバイス解析方法を検討する。

(成果) ドレイン構造の最適化のためフォノンデバイス工学と共同でSNDMと電子線ホログラフィーを用いた評価方法を検討した。また，SNDMによりONO三層膜を電荷蓄積に用いた「MONOS型Flashメモリ」中の，電子とホールの視覚化に成功した。これによりONO膜中の電荷の局在位置を明らかにし，記憶の書き込み-消去の，いわゆるサイクリング特性との関係を把握した。

(8) 超高密度・高速知能システム実験施設　超高速電子デバイス部

(目標) 電荷とスピンの両方を利用するスピントロニクス技術、半導体量子構造におけるテラヘルツ光発生、を中心に極微細波動基盤技術を構築する。

(成果) 強磁性半導体において電界による磁化方向の電気的制御を初めて実現し、不揮発性メモリなどのデバイスを低消費電力化する可能性を持つ新しい磁化反転方法を開拓した。また、半導体中の電子や核のスピンコヒーレンス制御を実現し、量子情報処理への展開を進めている。加えてInAs量子カスケード構造でサブバンド間遷移レーザ（周波数30 THz）を低閾電流で発振させ、高性能化への端緒を得た。

テラヘルツ工学研究分野

ミリ波，サブミリ波，テラヘルツ帯におけるデバイスおよび計測システムの研究開発

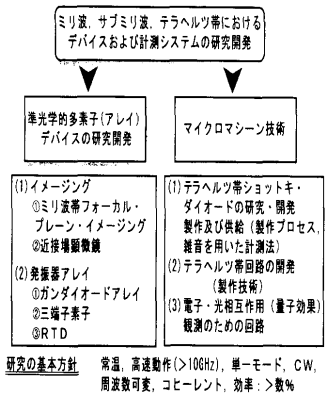


図1 テラヘルツ工学研究分野のアウトライン

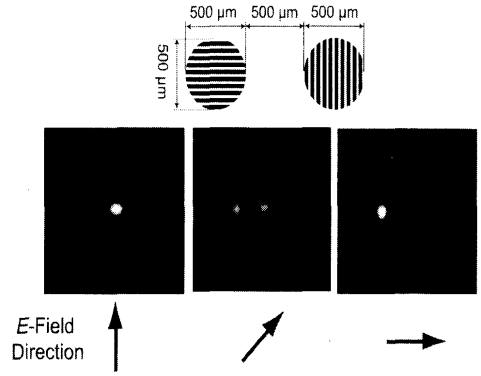


図2 ミリ波帯近接場顕微鏡による取得画像例
（上：対象の模式図，下：取得画像の電界方向に対する変化）

電磁波のスペクトラムのうち，ミリ波からテラヘルツ帯（波長ではサブミリ波帯）にわたる領域は，電波と光との境界に位置している。電波と光の両者が共に開発が進み，現在の情報化社会で重要な役割を担っているのに比べ，この領域，特にテラヘルツ帯の技術は，その実用化技術の開発が格段に遅れている。しかし，近年の情報通信インフラの整備推進に見られるように，将来の高度情報化社会に向けて周波数資源は益々その重要性を増してきている。また，生体，各種新機能材料の計測・評価，地球環境あるいはプラズマ計測等のテラヘルツ波を用いた計測の分野においても，この領域の技術開発が強く望まれている。本研究分野では，この領域において，実用的な検出器，発振器，計測システム等種々の技術を開発し，新しい電磁波スペクトラムを開拓するための研究を行っている。（図1）

以下に本年度の主な研究成果について述べる。

《ミリ波帯イメージング技術の研究》

1．フォーカル・プレーン・イメージング：パッシブ・モードのイメージングを行うために，これまで研究・開発を行ってきた光学系，アンテナ系，ミリ波低雑音増幅器，ミリ波検出回路等の各部分を綜合し，1枚の石英基板上に35 GHz 帯イメージング・アレイ素子を形成することに成功した。本素子を用いて 2×2 のアレイを組み上げ，機械的スキャンニングを併用して，Dicke 型および全電力型でミリ波イメージングに成功し，常温物体の計測を行った。また，物体近傍でホーンアンテナを走査することにより，波長程度の分解能を有するパッシブ・イメージングにも成功した（フレネル・イメージングと呼んでいる）。生体、食品等に関するミリ波イメージングは、赤外像とは異なった特徴を持っており、今後各種の検査に応用可能であると考えている。

2．近接場顕微鏡：通常のイメージング技術では，その分解能は，光学系の回折により制限され波長オーダになる。一方，最近光領域にて活発な研究が行われている近接場顕微鏡では，その分解能はプローブの形状により決定され，波長よりも十分に小さくすることが可能である。我々は導波管端面のスリット構造を用いる新型プローブ（スリット型プローブ）を提案している。本プローブは，広帯域で高感度の

計測が可能，固定した偏波方向で物体を観測可能という特長を有している。本年度は，この偏波特性を測定するための画像再構成アルゴリズムを考察・構築し，その正当性を実験で確認した（図２）。さらに，より一層の高感度化を目指して，共振構造を有するスリット型プローブの設計，製作，特性評価を実施した。
《発振器アレイの研究》短ミリ波，サブミリ波，テラヘルツ帯の実用的技術を開発するに際して，コヒーレントな連続波出力で同調可能な発振器の開発は不可欠である。この領域の固体素子は，いずれも出力が小さく実用的なものからは程遠い。我々の提案による発振器アレイを用いたコヒーレントな電力合成の研究は，固体素子のこの欠点を克服するものである。本年度は，W バンド帯導波管アレイを用いた電力合成器について、実用化に向けて詳細な特性を測定した。
《光と電子との相互作用に関する基礎研究》クライストロン等電子ビーム装置のCW動作の高周波限界は量子効果によって制限され、テラヘルツ帯にあるとされている。本研究は，この理論的な予想を実験によって検証するために計画されたもので，可視光と相互作用した電子ビームのエネルギーを精密に測定することを目的としている。本年度は，赤外領域（10.6μ m）における理論・実験の結果を用いて，2 eV のフォトンエネルギーを持つ光領域における実験を行うべく，装置の設計および予備実験を行った。

〈職員〉

教　授　水野皓司（1984年より2004 年まで）
助教授　裵　鐘石（1992年より2003 年まで）
助教授　莅戸立夫（2000年より）
助　手　石川　亮（2001年より2003 年まで）

〈水野皓司教授のプロフィール〉

昭38東北大・工・電子卒。昭43同大学院博士課程了。工博。東北大助手（昭43），助教授（昭47）を経て，昭59教授（電気通信研究所）。昭47ロンドン大客員研究員，平成２カリフォルニア工科大，ロンドン大客員教授。平成2より平成10まで理化学研究所（フォトダイナミクス研究センター）チームリーダを兼務。昭59 科学計測振興会賞受賞，平成5 IEEEフェロー，平成10 K. J. Button賞受賞、平成15文科大臣賞（研究功績者）、電子情報通信学会フェロー。平成16年３月定年退官。

〈研究テーマ〉

１．ミリ波帯イメージング技術の研究
２．発振器アレイの研究
３．光と電子との相互作用に関する基礎研究
４．マイクロマシーン技術を用いたミリ波，サブミリ波帯素子の製作

〈主な研究発表〉

[1] 莅戸立夫，裵鐘石，水野皓司, “高周波帯走査型近接場顕微鏡技術,” 日本赤外線学会誌，vol. 12, pp. 39-44, March 2003.
[2] K. Watabe, K. Shimizu, M. Yoneyama, and K. Mizuno, “Millimeter-Wave Active Imaging Using Neural Networks for Signal Processing,” IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 51, no. 5, pp. 1512-1516, May 2003.
[3] H. Park, C. C. Chang, B. H. D eng, C. W. Domier, A. J. H. Donne, K. Kawahata, C. Liang, X. P. Liang, H. J. Lu, N. C. Luhmann, Jr., A. Mase, A. Mazzucato, A. Miura, K. Mizuno, T. Munsat, Y. Nagayama, M. J. van de Pol, J. Wang, Z. G. Xia, and W-K. Zhang, “Recent Advancements in Microwave Imaging Plasma Diagnostics,” Rev. Sci. Instrum., vol. 74, no. 10, pp. 4239-4262, October 2003.
[4] A. Kishigami, M. Itoh, T. Nozokido, H. Minamide, Y. Tsukahara, and K. Mizuno, “Difference Spectra Measurement of Squid Rhodopsin in the Submillimeter Wave Region,” *Photochem. Photobiol. Sci.,* vol.2, pp. 1303-1306, December 2003.

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

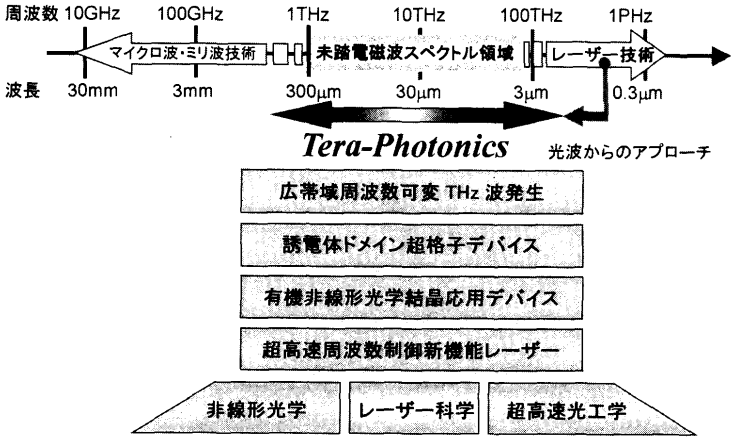


図1 レーザー制御技術による未踏周波数領域の開拓

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，非共鳴バックグランドを低減し，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$LiNbO_3$，$MgO:LiNbO_3$，$LiTaO_3$等の強誘電体結晶においてデューティー比が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デバイスを単一結晶上に作製し，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$LiNbO_3$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，大谷　陽子

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。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。東北大学学友会陸上競技部部長。

主な発表論文（2003年度）

1．Shoji Kakio, Nianyu Zou, Michihide Kitamura, Hiromasa Ito, and Yasuhiko Nakagawa, "An Integrated Acousto-Optic Frequency Shifter Driven by Surface Acoustic Wave for 1.55 μm Optical Wavelength", Jpn. J. Appl. Phys., Part.1, Vol.42, No.5B, pp.3063-3066 (May 2003).

2．S. Haidar, E. Niwa, K. Masumoto, and H. Ito, "Temperature tuning of 5-12 μm by difference frequency mixing of OPO outputs in a AgGaS2 crystal", Journal of Physics D: Applied Physics, 36 (2003), pp.1071-1074.

3．Kazuhiro Imai, Kodo Kawase, Hiroaki Minamide, and Hiromasa Ito, "A rapidly tunable terahertz-wave parametric oscillator", Electronics and Communications in Japan, Part 2, Vol.86, No.4, pp.18-26 (2003).

4．Y. Watanabe, K. Kawase, T. Ikari, H. Ito, Y. Ishikawa and H. Minamide, "Component spatial pattern analysis of chemicals using terahertz spectroscopic imaging", Applied Physics Letters, vol. 83, no. 4, pp. 800-802 (2003).

5．Yuuki Watanabe, Kodo Kawase, Tomofumi Ikari, Hiromasa Ito, Youichi Ishikawa, Hiroaki Minamide, "Spatial Pattern Separation of Chemicals and Frequency-Independent Components by Terahertz Spectroscopic Imaging", Applied Optics, Volume 42, Issue 28, 5744-5748 (October 2003).

6．S. Haidar, Y. Sasaki, E. Niwa, K. Masamoto 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 μm", Optics Communications, Vol 229, pp 325-330 (Jan. 2004).

7．垣尾 省司, 北村 通英, 中川 恭彦, 鄒 念育, 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周波数シフタと周波数シフト帰還型ファイバレーザへの応用", 電子情報通信学会論文誌 C, Vol. J86-C, No. 12, pp. 1263-1271 (Dec. 2003).

8．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.

超高速光通信研究分野

超短光パルスの発生と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単なるデータから音声，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，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帯フェムト秒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，我々がこれまでに開発したモード同期ファイバレーザと分散値が長手方向に徐々に減少する分散減少ファイバ中の光ソリトン圧縮技術を用いることにより，40 GHzフェムト秒パルス列の発生に世界で初めて成功した。まず，繰り返し周波数を40 GHzに高速化すると発振縦モードのパワーが増大することにより誘導ブリルアン散乱（SBS: Stimulated Brillouin Scattering）の発生が問題となることを見出した。実際に分散減少ファイバからの後方散乱光を観測し，SBSの発生によりパルス圧縮特性が大きく劣化することを示した。そこで光源に周波数変調を加え発振縦モードの線幅を増大させることによりSBSの抑制を図った。その結果，パルス幅100 fsの高品質な超短パルスを生成することに成功した。他のパルス圧縮技術とは違い，本方法によって得られるフェムト秒パルスはペデスタルの小さい理想的なフーリエ変換限界パルスであり，超高速OTDM伝送の信号源として最適である。

(2) 超高速無歪み光伝送技術に関する研究

40 Gbit/s以上の超高速光通信においては，光パルスの幅が数ピコ秒程度と短いものとなる。このため光ファイバ伝送路の各種分散効果による波形歪みが伝送性能を制限する大きな要因となる。そこで本年度は新たな光伝送技術として，伝送路の分散によってパルス時間波形に歪みが生じても，そのスペクトルを時間領域にフーリエ変換することにより，完全に無歪みな伝送を実現する手法を提案し，光フーリエ伝送法と名付けた。時間領域光フーリエ変換回路は光位相変調器と群速度分散をもつ短尺な光ファイバを組み合わせて実現し，無歪み伝送の実証実験を行なった。その結果，大きな三次分散をもつ200 kmの光ファイバ伝送路においてパルス幅2.5 psの超短パルスを波形歪み無く伝送させることに初めて成功した。

(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。本年度はまずファイバグレーティングの中心周波数をPZT素子で掃引する発振周波数に同調させることによりモードホップを抑制し，連続掃引可能な周波数範囲を2 GHz以上に拡大することに成功した。次に本ファイバレーザを用いてアセチレン分子の線形吸収特性を測定し，傾きが0.71 mV/MHzの高SNな一次微分信号を観測した。さらに得られた微分曲線を用いて発振周波数をアセチレン分子吸収線に安定化することに成功した。その結果，積分時間が1秒のとき1.3×10^{-10}（周波数変動量26 kHz），積分時間が1000秒のとき5.0×10^{-12}（1.0 kHz）の高い安定度（アラン分散）が得られた。

(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しても精力的に研究を進めている。本年度はPCFと従来ファイバの接続特性，特に接続面においてクラッド部の屈折率の差から生じる巨大フレネル反射とその低減に関して重要な知見を得た。まず融着接続時の放電時間および強度を調整することによりフレネル反射を最小にする接続条件を明らかにした。この最適接続時における接続点付近のPCFの断面構造をSEMにより詳細に観測した結果，フレネル反射の低減にはPCFの空孔形状のテーパ構造に最適状態が存在することを見出した。最適接続時における接続損失は0.5 dB程度で，フレネル反射光強度はレイリー散乱のレベル（−70 dB）まで抑制することに成功した。

さらに本年度は，ビーム伝搬法を用いてPCFの伝送特性に関する詳細な解析を行なった。まず，PCFの基本モードの形状を最小2乗近似により詳細に評価し，空孔比率が大きいときは従来ファイバと同様モード分布はガウス関数で近似できるのに対し，空孔比率が小さいときはモード分布はSech関数で近似できることを明らかにした。さらに，PCFの分散特性に関する新たな最適設計手法を提案し，本手法により850 nm帯において零分散かつ分散フラットなPCFの構造パラメータを明らかにした。

＜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，1999～2001年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。

＜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．フェムト秒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

＜2003年度発表論文＞

[1] 中沢正隆, "モード同期ファイバレーザーを用いた高安定周波数標準," レーザー研究, vol. 31, no. 7, pp. 443-449, July (2003).
[2] M. J. Ablowitz, A. Docherty, and T. Hirooka, "Incomplete collisions in strongly dispersion managed return-to-zero communication systems," Optics Letters, vol. 28, no. 14, pp. 1191-1193, July (2003).
[3] M. Nakazawa, "Ultrahigh speed optical transmission using femtosecond pulses and emerging new technology," Europe-U.S.-Japan Symposium on Ultrafast Photonic Technology, Chiba, Japan, July 15 (2003).
[4] 中沢正隆, "超高速OTDM伝送技術," 電子情報通信学会誌, vol. 86, no. 8, pp. 588-593, August (2003).
[5] 吉田真人, 亀卦川学, 西村直也, 中沢正隆, "フォトニック結晶ファイバと従来ファイバの接続における巨大フレネル反射の観測とその低減方法," 電子情報通信学会論文誌, vol. J86-C, no. 9, pp. 1007-1016, September (2003).
[6] M. Nakazawa, T. Hirooka, F. Futami, and S. Watanabe, "Ideal distortion-free transmission using optical Fourier transformation and transform-limited ultrashort pulses," European Conference on Optical Communication (ECOC 2003), Post-deadline paper, Th4.3.8, Rimini, Italy, September 21-25 (2003).
[7] 崔森悦, 吉田真人, 中沢正隆, "光ヘテロダイン検波法による10 GHzピコ秒高調波モード同期エルビウムファイバレーザの縦モード線幅の測定," 電子情報通信学会論文誌, vol. J86-C, no. 10, pp. 1054-1062, October (2003).
[8] 中沢正隆, "フォトニック結晶ファイバーと超短パルス," 光学, vol. 32, no. 10, pp. 606-612, October (2003).
[9] M. Nakazawa, "Ultrafast optical pulses and solitons for advanced communications," Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO/Pacific Rim 2003), Invited paper, TU3G-6-1, Taipei, Taiwan, December 15-19 (2003).
[10] T. Hirooka and M. Nakazawa, "Parabolic pulse generation by use of a dispersion-decreasing fiber with normal group-velocity dispersion," Optics Letters, vol. 29, no. 5, pp. 498-500, March (2004).

フォノンデバイス工学研究分野

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

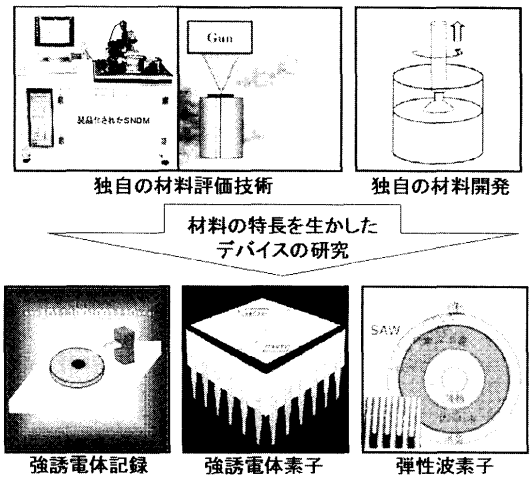


図1．フォノンデバイス工学研究分野の目標

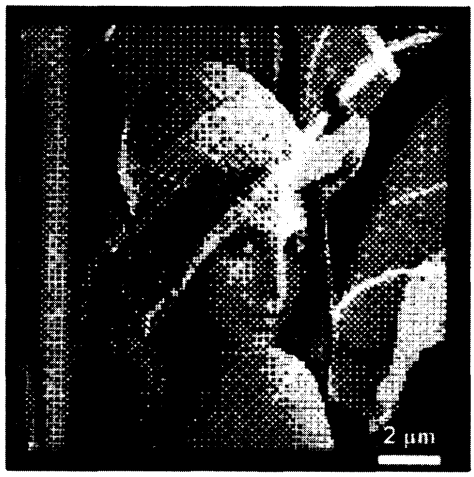


図2. $LiTaO_3$単結晶に256×256ビットの微小分極反転ドットを書き込んだ例
(ビット間距離50nm，記録密度 258 Gbit/inch^2)

1.分野の目標

本研究室では，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・誘電体記憶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等に多用され近年その発展がめざましい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が高速かつ高分解能に観測できる非線形誘電率顕微鏡(SNDM)を開発している。この顕微鏡は残留分極分布の計測や結晶性の評価が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。また，SNDMは原子スケールの分解能が期待できるため，固体中の単一双極子モーメントの可視化とその物理について研究している。更に，SNDMは純電気的に単純にナノサイズのドメインを観測できるため，評価装置としてのみならず，強誘電体記録の読み込み書き込みピックアップとしても使用可能であり，強誘電体のドメインがナノサイズまたはそれ以下でも存在できることから，将来の超高密度誘電体記録に大きな可能性を持っていると考え，SNDMを用いた高密度記録の研究を推進している。

＜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）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$LiTaO_3$単結晶を記録媒体として用いビット誤り率の評価を行った。ナノスケールでドメインを制御することによって，ビット間距離50 nm（記録密度258 Gbit/inch^2）で256×256ビットのデータを記録し（図2参照）評価を行ったところ，最適化していない現段階でビット誤り率は1.2×10^{-3}であった。今後最適化を図ることで，誤り率は実用レベルまで向上すると考えられる。

3．職員名

教　授　長　康雄（2001年より）
助　手　小田川裕之
助　手　森田　剛
技　官　我妻　康夫
技術補佐員　小田川　望

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] Yasuo Cho, “Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy: Overview -A High Resolution Tool for Observing Ferroelectric Domains and Nano-domain Engineering-”, Journal of the Korean Ceramic Society, Vol.40, No.11 (2003) pp.1047-1057.

[2] Kenjiro Fujimoto and Yasuo Cho, “High-speed switching of nanoscale ferroelectric domains in congruent single-crystal LiTaO3”, Appl. Phys. Lett., Vol.83,No.25 (2003) pp.5265-5267.

[3] Takeshi Morita and Yasuo Cho, “Observation of Antiparallel Polarization Reversal Using a Scanning Nonlinear Dielectric Microscope”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol.42, No.9B(2003)pp.6214-6217.

[4] Yoshiomi Hiranaga, Yasuo Cho, Kenjiro Fujimoto, Yasuo Wagatsuma and Atsushi Onoe, “Ultrahigh-Density Ferroelectric Data Storage Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol.42, No.9B(2003)pp.6050-6054.

[5] 北村健二，寺部一弥，長　康雄，“強誘電ナノ・ドメイン・エンジニアリング”，機能材料，Vol.23, No.10 10月号, pp.46-54(October, 2003)

[6] 長　康雄：” 非線形誘電率顕微鏡の開発と電子材料への展開”，セラミックス，第38巻，第10号（October, 2003）

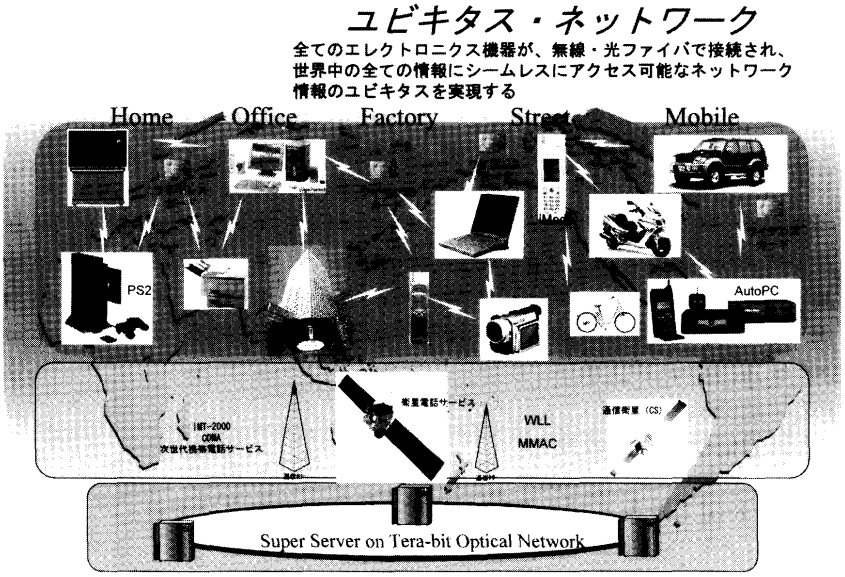
[7] H.Odagawa and Y.Cho, “Three Dimensional Polarization Direction Measurement Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy with Rotating Electric Field”, Journal of Korean Physical Society, 42 (2003) S1169-1173.

[8] K. Matsuura Y. Cho and R. Ramesh, “Observation of domain walls in $PbZr_{0.2}Ti_{0.8}O_3$ thin film using scanning nonlinear dielectric microscopy”, Appl. Phys. Lett., Vol.83,No. 13 (2003) pp.2650-2652.

[9] Y Cho, K Fujimoto, Y Hiranaga, Y Wagatsuma, A Onoe, K Terabe and K Kitamura, “Terabit inch-2 ferroelectric data storage using scanning nonlinear dielectric microscopy nanodomain engineering system”, Nanotechnology, Vol.14 (2003) 637-642.

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，ディジタル・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検討を行った。また，無線 LAN 規格 IEEE802.11b 方式において，2 送受信系を用いた無瞬断ハンドオーバ方式を提案した。

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，シリアルパラレル変換回路 LSI を設計・開発した。

3．超小型ディジタルワンチップ送受信回路 LSI

送受信器をディジタル回路のみで実現できる 150μm 角超小型通信モジュールLSIを設計・試作を行った。特に，周波数偏差がある送受信器間の通信を可能とするためのパケット構成・送受信回路の検討を行い，双方向通信を実現した。

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。

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。

＜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 月東北大学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，IEEE 会員。日本エレクトロニクス実装学会理事。

＜主な研究発表＞

[1] S. Saigusa, S.-K. Kim, H. Nakase, S. Kameda, and K. Tsubouchi, "Switched-current analog programmable filter for software-defined radio," Jpn. J. Appl. Phys., vol.42, part 1, no. 4B, pp.2185-2189, April 2003.

[2] H. Nakase, T. Sagitani, K. Masu, and K. Tsubouchi, "Lower boundary of supply voltage in digital ULSI based on the communication theory," Jpn. J.Appl. Phys., vol.42, part 2, no. 10A, pp.L1133-L1135, Oct. 2003.

[3] 亀田　卓，小林　宏樹，金　成權，中瀬　博之，坪内　和夫，"2段階開ループ型送信電力制御を用いた近似同期CDMAモデム，" 信学論，vol. J86-A, no. 12, pp. 1356-1364, Dec. 2003.

[4] Y. Sakai, H. Nakase, Y. Isota, and K. Tsubouchi, "All digital one-chip wireless modem LSI with acquisition circuit," Extended abst. of 2003 Int. Conf. Solid State Devices and Materials (SSDM2003), pp. 410-411, Sept. 2003.

[5] T. Yamada, H. Uesugi, K. Okada, K. Masu, H. Nakase, K. Tsubouchi, A. Oki, and Y. Horiike, "RF propagation characteristics and pH measurement for in vivo wireless healthcare chip," Extended abst. of 2003 Int. Conf. Solid State Devices and Materials (SSDM2003), pp. 366-367, Sept. 2003.

[6] A. Yamaguchi, J. Takagi, H. Oguma, S. -K. Kim, S. Kameda, H. Nakase, Y. Isota, and K. Tsubouchi, "Packet SS-CDMA modem with carrier frequency offset compensation," Proc. 14th IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC 2003), Beijing, China, WA09-2, Sept. 2003.

[7] K. Uehara, C. -M. Yang, T. Furusho, S.-K. Kim, S.Kameda, H. Nakase, S. Nishino, and K. Tsubouchi, "AlN epitaxial film on 6H-SiC(0001) using MOCVD for GHz-band SAW devices," IEEE Ultrason. Symp. Proc., Hawaii, 5I-3, Oct. 2003.

[8] C.-M. Yang, K. Uehara, S.-K. Kim, S. Kameda, H. Nakase, and K. Tsubouchi, "Highly c-axis-oriented AIN film using MOCVD for 5GHz-band FBAR filter," IEEE Ultrason. Symp. Proc., Hawaii, 4B-3, Oct. 2003.

[9] S. Kameda, S. -K. Kim, H. Nakase, and K. Tsubouchi, "Ubiquitous network," Second Int. Symp. on Acoustic Wave Devices for Future Mobile Commun. Systems, pp. 9-14, Chiba, Japan, March 2004 (invited).

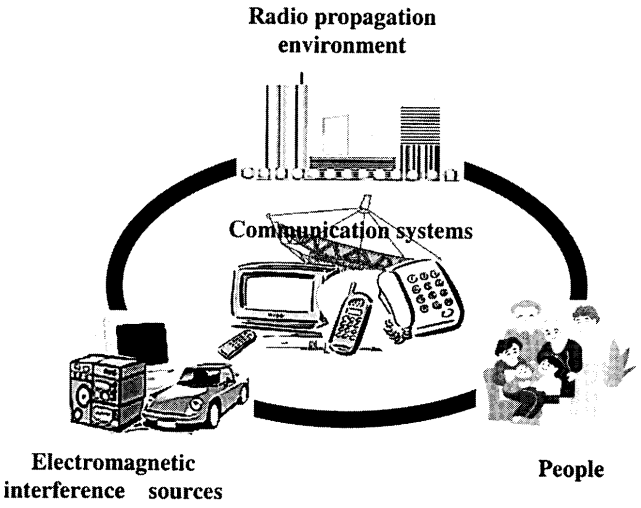
通信環境工学研究分野

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（2003年4月から2004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校正する際に問題となる，大地反射の影響を除去する方法について検討した。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値から，大地反射の影響を除去する方法を新たに開発した。VHF帯からマイクロ波帯までの周波数範囲にわたって，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ことを実証した。

(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

近年検討が進められている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，電源線の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システムは，家庭用電子レンジを代表とする産業医科学機器と同一周波数帯を利用している。これらの機器からの電磁雑音による干渉を表現する新たなモデルを構築し，各種無線LAN方式への影響を理論・実験的に検討した。また，無線LAN端末に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の詳細な評価を行い，クロック信号の高調波による無線LANシステムへの干渉の可能性を示した。

＜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（現情報通信研究機構）入所。電磁環境工学の研究に従事。同研究所総合研究官を経て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) T. Murakami, Y. Matsumoto, A. Sugiura, Y. Yamanaka “Effects of Multi-path Propagation on Microwave Oven Interference in Wireless Systems,” 2003 IEEE Int’l Symposium on EMC, WE-A-P1.7, May 2003

(2) S. Kaketa, K. Fujii, A. Sugiura, Y. Matsumoto, Y. Yamanaka “A Novel method for EMI antenna calibration on a metal ground plane,” 2003 IEEE In’ l Symposium on EMC, MO-A-P1.8, May 2003.

(3) 藤井勝巳，高島誠，岩崎俊，松本泰，杉浦行，“ダブルギャップシールデッドループアンテナの磁界複素アンテナ係数の決定” 電子情報通信学会論文誌 vol. J-86-B, no. 7, pp.1096-1102, July 2003。

(4) Y. Matsumoto, M. Takeuchi, K. Fujii, A. Sugiura, and Y. Yamanaka, “A Time-Domain Microwave Oven Noise Model for the 2.4 GHz Band,” IEEE Trans. EMC, vol.45, no.3, pp. 561-566, Aug. 2003.

(5) T. Murakami, Y. Matsumoto, K. Fujii, A. Sugiura, Y. Yamanaka, “Propagation Characteristics of the Microwave Oven Noise Interfering with Wireless Systems in the 2.4GHz Band,” IEEE 2003 Int’ l Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, pp.2726-2729, Sept. 2003.

(6) Y. Dowaki, Y. Jito, K. Fujii, Y. Matsumoto, A. Sugiura, “Effectiveness of ferrite clamps for reducing common-mode noises,” Int’l Symposium on Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology, pp. 448-451, Sept. 2003.

(7) J. Urabe, K. Fujii, Y. Matsumoto, A. Sugiura, “Measurement of power line noises emitted by electronic equipment,” Int’l Symposium on Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology, pp. 303-306, Sept. 2003.

(8) K. Fujii, S. Harada, T. Umeda, Y. Matsumoto, A. Sugiura, “Estimation of the Free-Space Antenna Factors Using a Nonlinear Least Squares Method,” 2003 Int’l Conference on Electromagnetics in Advanced Applications, pp. 259-262, Sept. 2003.

(9) Y. Matsumoto, T. Umeda, A. Nishikata, K. Fujii, Y. Yamanaka, and A. Sugiura “EMI Antenna Calibration on an Absorber-Lined Ground Plane to Determine Free-Space Antenna Factor,” IEEE Trans. EMC, vol. 45, no. 4, pp. 656-660, Nov. 2003.

(10) S. Kaketa, K. Fujii, A. Sugiura, Y. Matsumoto, Y. Yamanaka, “EMI Antenna Calibration on using the Antenna Impedance Measurement,” Int’l Symposium on Antennas Propagation and EM Theory, pp. 792-795, Nov. 2003.

量子波動工学研究分野

SNDMと電子線ホログラフィーを用いたMONOS型Flashメモリの研究

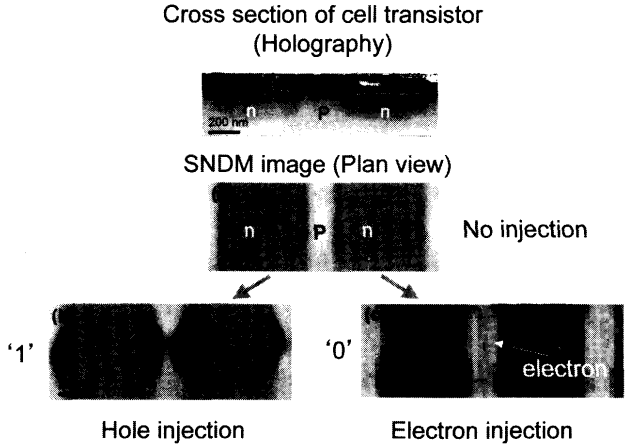


図　MONOS型FlashメモルのONO膜中に蓄積された電子とホールのSNDM像と電子線ホログラフィーにより視覚化されたソース／ドレイン

研究分野の目標

従来の電子デバイス（特に半導体メモリ）の集積度の飛躍的な向上を目指し，トランジスタのドレイン構造の最適化と記憶蓄積方法の高性能化を進める。そのための新しいデバイス解析方法を検討する。本年度は特に進展の目覚しいFlashメモリに着目し新しい解析手法を追及する。

主な成果

Flashメモリの高性能化のため,フォノンデバイス工学と共同でSNDMと電子線ホログラフィーを用いたドレイン構造および蓄積電荷の評価方法を検討した。

その結果，SNDMによりONO膜を電荷蓄積に用いた「MONOS型Flashメモリ」中の，電子とホールの視覚化に成功した。これによりONO膜中の電荷の局在位置を明らかにし，記憶の書き込み-消去の，いわゆるサイクリング特性との関係を把握した。またドレイン部分のホログラフィー観察にも成功した。

Flashメモリはセルの一部に電荷を蓄積することで記憶を保持する。Floating Gate (FG) 型と呼ばれる通常型では，Word lineに対応するControl gateと，電荷を蓄積するFloating Gateを有する。一方，現在注目されているMONOS型ではONO膜で構成されたTrのゲート膜に電荷を蓄積する。この方法では1Trに2ビット分の記憶保持が可能となる。更にFGを持たないため製造工程が短縮され，高集積化とコストダウンが同時に達成される。

ところでFlashメモリにおいて記憶の書き込み-消去は電荷の出し入れによって行われる。MONOS型の場合には書き込みは電子の注入により，消去はホールの注入により行われる。したがってデバイス動作を解析し，高性能かつ高信頼性を図るには，デバイス特性を左右する電荷の振舞いを明らかにすることが必須である。しかしな

がら注入した電荷蓄積位置もシミュレーションを除いては報告がなかった。今年度はSNDMを用いることでこの電荷の蓄積位置を明らかにした。

セルTrのONO膜中にホールが存在する場合，ソース（ドレイン）領域からチャネル領域に電子が供給され反転層が形成される。逆に電子が存在する場合にはホールが基板から誘起され蓄積層が形成される。同時に，ONO膜中の電荷とチャネル領域の電荷との間で，それぞれ電子－ホールの対が形成される。各々の場合，SNDMでONO膜の電荷蓄積位置を走査すると，外部から印加される電界に対して容量の変化率が逆符合となるため，互いに逆のコントラストとなる。このことにより図に示すように蓄積電荷の視覚化が可能となる。

このSNDMによる視覚化方法の結果，電子は主として窒化膜中に存在し，一方ホールは窒化膜と酸化膜の両方に存在することがわかった。これは，電子はチャネルホットエレクトロンで注入され，高運動エネルギーを持つが，ホールはバンド間のトンネルで注入されるため運動エネルギーの分布が低めで広く分布するためであると解釈される。

またFlashメモリの信頼性上で重要である書き込み-消去サイクリング中の電荷の振舞いに関しても新しい知見が得られた。すなわち電子-ホール注入のサイクリング中に電荷の大多数は再結合する。両電荷が窒化膜-酸化膜中に空間電荷として分布する。サイクリングを繰り返すごとに残留電荷数は増える。消去直後は電子とホールが空間的に共存，時間とともに近接した電子とホールは再結合して消滅する。再結合後は互いに分離して存在し，電子は主として窒化膜へ，ホールは酸化膜中へ分離して蓄積する。これらは電気的に中和しているだけであることがわかった。

＜職員＞ 客員教授　本田耕一郎（2003年４月より）

＜教授のプロフィール＞

1951年兵庫県生まれ。1974年東京工業大学理学部卒業。1977年東北大学大学院理学研究科（物理学専攻）博士後期課程中途退学。同年株式会社富士通研究所入社。Si結晶の物性，Si中の重金属のMOSデバイス特性に及ぼす影響に関する研究，半導体/強誘電体メモリ，電子線ホログラフィー（透過型電子顕微鏡），走査型プローブ顕微鏡を用いた強誘電体ならびに磁性デバイスの研究に従事。現在に至る。

＜2003年度発表論文＞

(1) Self-Assembled $PbTiO_3$ Nano-Islands Prepared on $SrTiO_3$ by Metalorganic Chemical Vapor Deposition, Hajime Nonomura, Hironori Fujisawa, Masaru Shimizu, Hirohiko Niu and Koichiro Honda, Jpn. J. Appl. Phys., 42 (2003) 5918-5921.

(2) Ferroelectric Properties of 15-20nm-Thick PZT Ultrathin Films Prepared by MOCVD, H. Nonomura, H. Fujisawa, M. Shimizu, H. Niu and K. Honda, Mater. Res. Soc. Symp. Proc., 748, pp.255-260 (November 29 - December 3, Boston, Massachusetts, U.S.A., 2002).

(3) Self-Assembled $PbTiO_3$ Nanoislands Prepared by MOCVD, M. Shimizu, H. Nonomura, H. Fujisawa, H. Niu and K. Honda, Integrated ferroelectrics (2004) (in press).

3.4　超高密度・高速知能システム実験施設の目標と成果

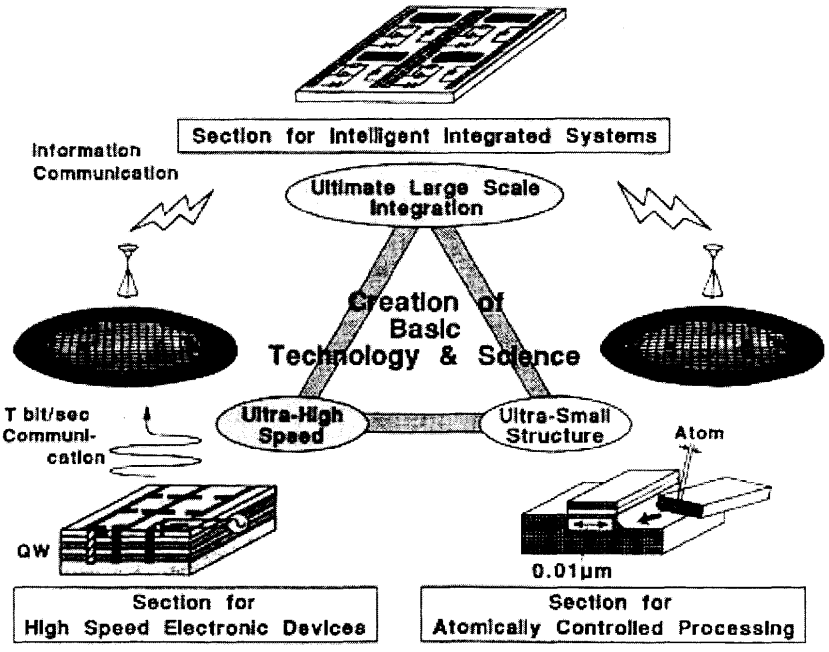
東北大学電気通信研究所超高密度・高速知能システム実験施設は，平成６年６月24日，極微細構造電子回路加工技術を進展させると共に，極微新機能電子デバイスの開発と，それらの性能を活用して高度な知能的処理を行い得る超高密度・高速知能システムの基盤技術を構築することを目的として設置された。本施設は，原子制御プロセス部，超高速電子デバイス部，知能集積システム部の３部と，施設共通部から成る。

原子制御プロセス部では，原子精度の極微構造（厚さ方向1 nm，面内方向10 nmスケール）を製作するため，新概念の微小領域高精度パターニング技術，表面吸着・反応の解析・制御による原子オーダーの表面処理・成膜・エッチング技術，原子スケールその場観察評価分析技術等を研究開発し，原子制御プロセス基盤技術を創生する。

超高速電子デバイス部では，超高速（Tbit/s）情報通信を可能にするため，半導体極微ヘテロ接合により形成する電子波などの極微細波動を用いて，光波・電磁波の発生・変調･増幅から検出までを行う高速エレクトロニクス・高速フォトニクス，多重伝送技術等を研究開発し，極微細波動基盤技術を創生する。

知能集積システム部では，知的情報処理システムの構成法の確立，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・検査から組立までの新概念に基づく基盤技術の開発をも併せて行っている。これらにより超高密度・高速知能システムの構築を目指す。

また，電気通信研究所の各部門およびその構成要素である研究分野，さらに工学研究科の電気通信工学，電子工学専攻や情報科学研究科の各講座が研究開発した成果を有効かつ集中的に具体化すると同時に，全国の電気通信分野の研究者の英知を結集して共同プロジェクト研究を行う。



本実験施設が設置されて以来，本年度をもって10年間の時限を迎えた。以下に，施設の目標として掲げた三大基盤技術に分けて，施設研究部と利用研究室の本年度の研究成果のハイライトを記す。

[原子制御プロセス基盤技術]

室田研究室　（原子制御プロセス部）：IV族半導体(Si,Ge,C)及び不純物(P,B,N,W)の各元素について，原子制御しうるCVDプロセス条件・プラズマプロセス条件とその原料ガス分子の吸着・反応過程を系統的に明らかにしつつある。特に，本年度は，Arプラズマ照射により，基板非加熱下でのSiエピタキシャル成長の原子層オーダ制御を可能にした。また，BドープSiGeからSi/SiGe/Siヘテロチャネル構造へのB拡散において，B濃度がSiGeチャネル上部で特に高くなるとともに，B拡散深さが極めて浅くなる現象を見いだした。さらに，450℃で形成した超高P濃度Si結晶のキャリア濃度は，従来方法より40%以上も高くなるとも，金属とのコンタクトにおいて10^{-8} Ωcm^2台の超低接触抵抗化を実現した。

潮田研究室　（光電変換デバイス工学研究分野）：STM発光分光計測から，Ni(110)表面上に吸着した水素原子の振動エネルギーを識別できることを示した。自己形成InAs/AlGaAs量子ドットの単一ドットからの発光イメージングに成功し，通常のフォトルミネッセンススペクトルと個々のドットからの発光スペクトルとの対応関係を明らかにした。また，アゾベンゼンを主鎖に含むポリアミック酸膜に無偏光紫外光を斜めから照射したのちその膜を熱イミド化することによって，ポリイミド骨格構造の傾斜配向が実現できること，液晶分子のプレチルト角を発生させることができることが分かった。

坪内研究室　（先端ワイヤレス通信技術分野）：2.4GHz 帯および 5 GHz 帯広帯域無線通信移動端末用 RF フィルタの実現を目指し，SAW (surface acoustic wave)・FBAR (film bulk acoustic resonator) の研究開発を行った。SAW デバイスでは，原子層レベルで平坦化した AlN/サファイヤ構造を用いたデバイスの試作・評価により，SAW 伝搬損失の改善が可能であることを示した。FBAR デバイスでは，AlN 膜を低温成長 MO-CVD 法により試作し，評価を行った。

庭野研究室　（電子量子デバイス工学研究分野）：多重内部反射型赤外分光を用いて，生体分子認識（具体的にはDNAハイブリダイゼーション検出）の検証，ポーラスアルミナ(por-Al_2O_3)自己組織化膜の形成過程の解明，有機トランジスタ材料などの機能性有機分子のシリコン表面上の吸着構造の解明を進めた。また，変位電流測定法を用いて有機発光ダイオードや有機トランジスタの特性評価を行った。また，真空中でも常圧環境下でも電子材料のイオン化ポテンシャルを測定出来る装置の開発に成功した。

末光研究室　（学際科学国際高等研究センター）：Si基板上にGe薄膜を形成するヘテロエピタキシにおける重要な素過程であるゲルマン（GeH_4）初期吸着過程を調べ，ゲルマンから持ち込まれた水素はほとんどすべてSi基板に移動する事を初めて見出し，また室温吸着であってもGeアドアトムとSi基板原子の交換が生じている可能性がきわめて高いことを示した。これらはSi基板上Geヘテロエピタキシの理解と一層の高品質化にきわめて有用な知見である。

[極微細波動基盤技術]

大野研究室　（超高速電子デバイス部）：極微細波動基盤技術の極限を追求する

目的で，半導体スピン制御技術とTHz対応発光素子の研究に取り組んでいる。前者では，強磁性半導体(In,Mn)As電界効果トランジスタで電界アシスト磁化反転の実証実験に成功した。更に，(Ga,Mn)Asに対して世界最高の強磁性転移温度160 Kを得，それを用いた素子で290%の磁気抵抗効果を観測した。また，非磁性半導体中に円偏光生成した電子のファラデー回転角の磁場依存性において核磁場に起因するヒステリシスを観測した。後者では，InAs/AlSb量子カスケード構造において長波長(8-11 μm)，低閾電流密度(～0.9 kA/cm^2)でのレーザ発振に成功した。

水野研究室　（テラヘルツ工学研究分野）：高速フォトダイオードを用いた短ミリ波の発生に関する研究において，ドットマトリクス型UTC-PD（Uni-Traveling-Carrier Photodiode）およびPDをマウントする導波管回路の改良を実施することにより，発生可能な周波数を650 GHzのサブミリ波帯まで拡張することに成功した。

荒井研究室　（スピンエレクトロニクス研究分野）：磁性薄膜を用いた高周波キャリア型超高感度薄膜磁界センサの検討を行い，室温で世界最高の磁界検出感度を得た。位置計測(モーションキャプチャ)や生体磁界計測への応用が期待される。

伊藤研究室　（応用量子光学研究分野）：周期分極反転$LiNbO_3$（PPLN）結晶を用いた光パラメトリック発振器の電界同調を行い，これを用いた差周波混合により，高速波長掃引が可能な中赤外光源を実現した。また，半導体レーザ・ベースの小型・高出力2波長波長可変光源システムを開発し，この2波長光をPPLN結晶中で差周波混合することにより，高繰り返しのピコ秒パルスおよび連続波の周波数可変テラヘルツ波発生に成功した。

長研究室　（フォノンデバイス工学研究分野）：走査型非線形誘電率顕微鏡（SNDM）を用いた強誘電体記録の研究では，薄片化した$LiTaO_3$単結晶を記録媒体として用い，ビット誤り率の評価を行った。ナノスケールでドメインを制御することによって，ビット間距離50 nm（記録密度 258 Gbit/inch^2）で256×256ビットのデータを記録し評価を行ったところ，最適化していない現段階でビット誤り率は1.2×10^{-3}であった。今後最適化を図ることで，誤り率は実用レベルまで向上すると考えられる。

中沢研究室　（超高速光通信研究分野）：フォトニック結晶ファイバ(Photonic Crystal Fiber : PCF)の超高速光通信への応用に向けて，本年度はPCFと従来ファイバの接続特性の評価を行った。ファイバ接続点近傍におけるPCFの空孔構造をSEM(Scanning Electron Micro Scope)を用いて観測し，その空孔形状と接続特性の関係を詳細に測定した。その結果，接続損失と接続点におけるフレネル反射強度を共に低減する最適な空孔形状を明らかにした。

山口研究室　（電磁理論分野）：マイクロパターン化磁性薄膜を用いたRF集積化インダクタ，平面シールディドループコイル型マイクロ磁界プローブ，磁性材料を用いた伝送線路のノイズ抑制技術に関する研究を行っている。

［大規模集積化基盤技術］

中島研究室　（知能集積システム部）：ストカスティック1024ニューロシステムを実現した。また連続時間ニューロシステムでリミットサイクルの生成機構を解明した。臨界状態ブレインシステムの発振状態を用いた最適化問題解法を発見しチップレベルでの動作を確認した。単電子ストカスティック回路の設計や，ニューロ的量子計算アルゴリズムの開発に成功した。磁束量子回路では１／３ 程度の素子数で1.5倍高速な構成とストカスティックニューロシステムの提案を行った。

中村研究室　（情報記憶システム研究分野）・**村岡研究室**　（情報記録デバイス工学研究分野）：垂直磁気記録用記録ヘッドの磁極構造設計のために計算機シミュレーションにより検討を行った。記録ヘッドにとって記録磁界強度と並んで，記録磁界傾斜が重要なパラメータである。まず，記録用磁極から50nm程度離れた位置に余剰磁束を吸収するシールド磁極を付与することで磁界傾斜を200nm/Oe程度まで大きくできることを明らかにした。また，その結果，磁界傾斜が大きいほど記録された磁化転移幅が狭くなることが確認され，特に上記の200Oe/nmを越える磁界傾斜の場合には磁化転移幅は5nm程度まで改善できることが分かった。

舛岡研究室　（固体電子工学研究分野）：従来の集積回路の高性能化の限界を打ち破ることを目標として，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，Buried Gate SGTなど，SGTの新しい構造を提案した。またSGTのゲート酸化膜の構造解析に関する研究を進めた。さらにテラビット以上の超高密度メモリを目指した３次元Stacked-SGT型メモリの配線技術，SGT型ゲインセルを用いたNAND　DRAMなど，SGTを用いた新しい集積回路の研究を進めた。

羽生研究室　（次世代コンピューティング研究分野）：強誘電体デバイスの活用により，ANDやORなどの２値基本ゲート機能と１ビットラッチ機能をコンパクトに一体化する回路実現方式を考案。これがゲートレベルパイプライン処理VLSIの低消費電力化に極めて有用となることを明らかにした。実際，54ビットパイプライン乗算器をこの回路技術で構成した場合，同一遅延で消費電力を半減できる。また，差動論理に基づく電流モード多値演算回路を考案。この回路技術により非同期式制御回路が同一消費電力の下で２倍以上高速化できることを示した。

新半導体・ディスプレイ産業創製プロジェクト　（未来科学技術共同研究センター，高橋研究室，固体電子工学分野）：$Kr/O_2/NO$プラズマによるシリコンの直接酸窒化膜の形成を実現し，従来の熱酸化膜に比べStress Induced Leakage Currentの低減を確認した。Xe/NH_3プラズマによるシリコンの直接窒化膜(EOT 2nm)の形成を実現し，従来の熱酸化膜に比べ3万倍の信頼性向上を実現した。Kr/O_2プラズマにより高品質なポリシリコンの直接酸化膜の形成を実現した。Si(100)面とSi(110)面のSi表面の平坦化を行った後，マイクロ波励起高密度プラズマ装置により，ラジカル反応ベースのシリコン酸化膜，及び窒化膜を絶縁膜として用いたMOSFETを作成し，電気的特性の向上を確認した。Si(110)面上のp-MOSFETで，従来のSi(100)面上のp-MOSFETに対して3倍の電流駆動能力が得られ，1/fノイズが1桁向上するデバイスを実現した。

原子制御プロセス部

原子精度の極微細構造製作のための基盤技術の研究

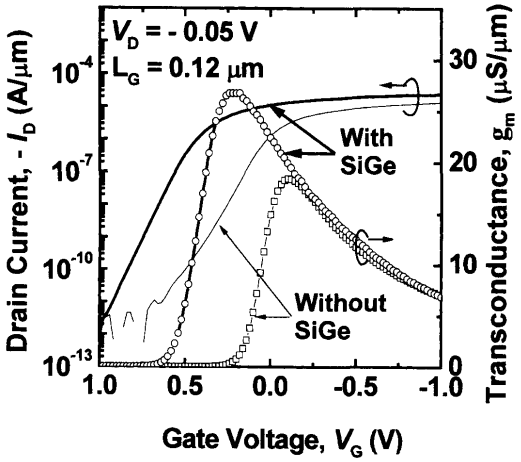


図1　SiGeヘテロ積層構造有り無しにおけるpMOSFETのサブスレッショルド特性と相互コンダクタンスgmのゲート電圧依存性

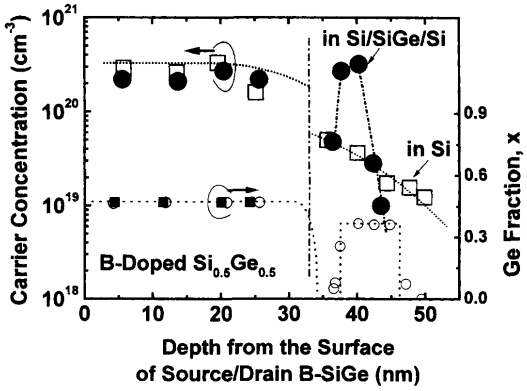


図2　ソース・ドレイン領域におけるBのキャリア濃度とGe比率の深さ方向分布

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，ULSIに密接に関連するSiGeC系Ⅳ族半導体材料の原子層加工技術，すなわち原子層成長と原子層エッチング，表面処理，並びに，低温ヘテロエピタキシャル成長プロセスとその極微細デバイスへの応用の研究を中心に行ってきた。そして，それらの表面吸着・反応プロセスのほとんどに対してラングミュア型定式化が可能であることを示し，CVDやプラズマプロセスにおける原子層制御条件に関するデータベース構築を進めてきた。

【原子層成長制御CVD・原子層プラズマプロセス】　独自開発してきた高清浄減圧CVD装置を用い，不純物（P，B，N，W等）原子層吸着Si(100)表面上において，原料ガスにSiH_4を用いたSiの低温エピタキシャル成長条件を明らかにし，高品質原子層ドープSi結晶成長を可能にした。具体的には，500℃以下の低温Siエピタキシャル成長におけるB原子層ドーピングでは，B_2H_6反応によるB原子層形成を200℃で行なうことによりBのクラスタリングが抑制され，B 原子が電気的に活性化しやすいことを見いだした。また，450℃，SiH_4分圧220 PaのSiエピタキシャル成長条件において，P原子の表面析出抑制により，1.5×10^{14} cm^{-2}のP原子が表面析出することなく取り込まれ，超高濃度Pドープ Si構造形成が実現されることを見いだした。さらに，従来の高温熱拡散法により形成したPドープSiに較べて60%以上高いキャリア濃度を示すことも見いだし，非平衡状態において電気的活性化率の高い高濃度Pドープ Si結晶の形成が可能であることを明らかにした。以上の結果より，シリコンベース，族半導体ナノヘテロデバイスの実現に不可欠となる原子層オーダでの異種薄膜積層を，量産に適したCVD法を用いて実現した。

【低温ヘテロエピタキシャル成長と極微細デバイスの製作】　SiGeヘテロ積層構造〔無歪Si/歪$Si_{0.65}Ge_{0.35}$/Si(100)〕上に製作した0.12μmゲート寸法のSiGeチャネル

pMOSFETは，SiGeヘテロ積層構造が無いものに比して相互コンダクタンス最大値（gm_{max}）が大きく，良好なサブスレッショルド特性を示しており，SiGeヘテロ積層構造の導入により短チャネル効果抑制に優れた高電流駆動力の高性能微細pMOSFETの作製に成功した（図１）。これは，BドープSiGe選択成長薄膜からのB拡散によるソース・ドレイン形成において，BはSiGeヘテロ積層構造の有る方がSiGeヘテロ積層構造の無いものに比して約数倍高濃度で浅い拡散であることから，SiGeヘテロ積層構造のMOSFETへの導入によりチャネルのキャリアが高移動度化したことに加えて，低抵抗で極浅接合のソース・ドレインが形成された結果である（図２）。また，Si/Geヘテロ界面にCを原子層ドーピングすることにより熱処理工程におけるSi/Geヘテロ界面の相互拡散が抑制されることを見いだし，MOSFET作製中の熱処理工程において問題であったヘテロ界面でのSiとGeの相互拡散を抑制し，高Ge組成を有する高性能微細SiGeチャネルMOSFETを作製可能にした。現在，さらにSiGeC系Ⅳ族半導体極微細構造形成とそれを用いたⅣ族半導体ヘテロチャネルMOSFETの高性能化について研究を進めている。

〈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

〈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．原子精度の薄膜成長，エッチング，表面処理に関する研究
2．プロセスにおける表面吸着と反応の機構とその制御に関する研究
3．極微細パターンの形成と高精度不純物制御に関する研究
4．ヘテロ構造の製作と極微半導体デバイスに関する研究
5．ヘテロ界面の物理と化学

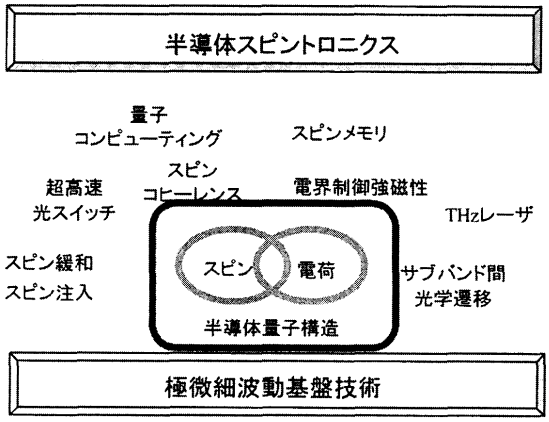
〈主な研究発表（2003年度）〉

1．Heavy Doping Characteristics of Si Films Epitaxially Grown at 450℃ by Alternately Supplied PH_3 and SiH4, Y. Shimamune, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, Rapid Thermal Processing for Future Semiconductor Devices, pp. 145-150, (2003).
2．Work Function of Impurity-Doped Polycrystalline $Si_{1-x-y}Ge_xC_y$ Film Deposited by Ultraclean Low-Pressure CVD, H. Shim, M. Sakuraba, T. Tsuchiya and J. Murota, Appl.Surf.Sci., Vol.212-213, pp.209-212, (2003).
3．Contact Resistivity between Tungsten and Impurity (P and B)-Doped $Si_{1-x-y}Ge_xC_y$ Epitaxial Layer, J. Noh, M. Sakuraba, J. Murota, S. Zaima and Y. Yasuda, Appl.Surf.Sci., Vol.212-213, pp.679-683, (2003).
4．Atomic-Layer Doping in Si by Alternately Supplied NH_3 and SiH_4, Y. Jeong, M. Sakuraba and J. Murota, Appl. Phys. Lett.,Vol.82, No.20, pp.3472-3474, (2003).
5．Atomically Controlled Technology for Future Si-Based Devices, J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, Solid State Phenomena, Vol.95-96, pp.607-616, (2004).
6．Fabrication of 0.12-μm SiGe-Channel MOSFET Containing High Ge Fraction with Ultrashallow Source/Drain Formed by Selective B-Doped SiGe CVD, D. Lee, S. Takehiro, M. Sakuraba, J. Murota and T. Tsuchiya, Appl.Surf.Sci., Vol.224, pp.254-259 , (2004).
7．Relationship between Impurity (B or P) and Carrier Concentration in SiGe(C) Epitaxial Film Produced by Thermal Treatment, J. Noh, S. Takehiro, M. Sakuraba and J. Murota, Appl.Surf.Sci., Vol.224, pp.77-81 , (2004).
8．Epitaxial Growth of N Delta Doped Si Films on Si(100) by Alternately Supplied NH_3 and SiH_4, Y. Jeong, M. Sakuraba and J. Murota, Appl.Surf.Sci., Vol.224, pp.197-201 , (2004).
9．Formation of Heavily P Doped Si Epitaxial Film on Si(100) by Multiple Atomic-Layer Doping Technique, Y. Shimamune, M. Sakuraba and J. Murota, Appl.Surf.Sci., Vol.224, pp.202-205 , (2004).
10．Effect of Carbon on the Thermal Stability of a Si Atomic Layer on Ge(100), M. Fujiu, K. Takahashi, M. Sakuraba and J. Murota, Appl.Surf.Sci., Vol.224, pp.206-209 , (2004).

他　学術雑誌11件，国際会議発表論文５件

超高速電子デバイス部

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



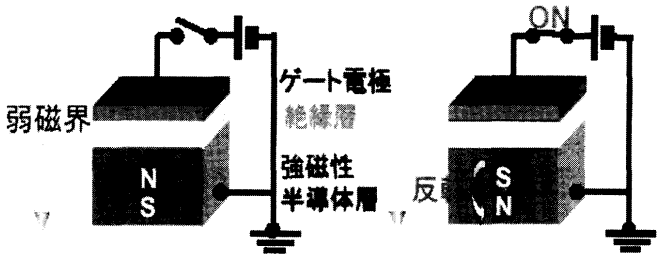


図1 (In,Mn)As をチャネルとする強磁性半導体電界効果トランジスタ構造における磁化方向の電気的スイッチング。電界により保磁力の大きさを変えることで，弱磁場において磁化方向の反転が可能となる。

1. 部の目標

超高速電子デバイス部では，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。

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。これらの研究により，半導体中のスピンを用いて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半導体デバイス・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（2003年4月から2004年3月まで）の主な成果

2.1 (Ga,Mn)As/GaAs/(Ga,Mn)Asトンネル接合素子において磁気抵抗比290%のトンネル磁気抵抗効果を観測し，(Ga,Mn)As中のキャリアが高いスピン偏極率を持つことを実験的に示した。

2.2 (In,Mn)Asをチャネルとした電界効果トランジスタ構造を作製し，その強磁性転移温度より低温で，(In,Mn)Asの保磁力を電界によって制御できる（正電界で大きく，負電界で小さく）ことを示した。この現象を利用して，磁化の方向を決めるための微小な外部磁場を印加しておけば，電気的スイッチングにより磁化反転を起こさせることが可能であることを実証した。

2.3 GaAs/AlGaAs (110)量子井戸中に円偏光照射で生成したスピン偏極キャリアによるファラデー回転の磁場依存性を詳細に調べ，動的核スピン偏極の双安定性によりヒステリシスが観測されることを示した。

2.4 InAs量子カスケード構造でサブバンド間遷移レーザ（周波数30 THz）を低閾電流（0.88 kA/cm^2）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

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) 半導体スピンメモリの開発
   (c) 半導体量子構造中のスピン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. 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. F. Matsukura, M. Sawicki, T. Dietl, D. Chiba, and H. Ohno, "Magnetotransport properties of metallic (Ga,Mn)As films with compressive and tensile strain," Physica E 21, pp. 1032-1036, March 2004.
2. K. Morita, H. Sanada, S. Matsuzaka, C. Y. Hu, Y. Ohno, and H. Ohno, "Electron spin dynamics in InGaAs quantum wells," Physica E 21, pp. 1007-1011, March 2004.
3. D. Chiba, F. Matsukura, and H. Ohno, "Tunneling magnetoresistance in (Ga,Mn)As-based heterostructures with a GaAs barrier," Physica E 21, pp. 966-969, March 2004.
4. J. H. Zhao, F. Matsukura, K. Takamura, D. Chiba, Y. Ohno, K. Ohtani, and H. Ohno, "Zincblende CrSb/GaAs multiplayer structures with room-temerature ferromagnetism," Materials Science in Semiconductor Processing 6, pp. 507-509, 2003.
5. H. Sanada, S. Matsuzaka, K. Morita, C. Y. Hu, Y. Ohno, and H. Ohno, "Hysteretic dynamic nuclear polarization in GaAs/Al$_x$Ga$_{1-x}$As (110) quantum wells," Physical Review B 68, 241303, December 2003.
6. D. Chiba, M. Yamanouchi, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electrical Manipulation of Magnetization Reversal in a Ferromagnetic Semiconductor," Science 301, pp. 943-945, Aug. 2003.
7. D. Chiba, K. Takamura, F. Matsukura, and H. Ohno, "Effect of low-temperature annealing on (Ga,Mn)As trilayer structures," Applied Physics Letters 82, pp. 3020-3022, May 2003.
8. J. Nishii, F. M. Hossain, S. Takagi, T. Aita, K. Saikusa, Y. Ohmaki, I. Ohkubo, S. Kishimoto, A. Ohtomo, T. Fukumura, F. Matsukura, Y. Ohno, H. Koinuma, H. Ohno, and M. Kawasaki, "High Mobility Thin Film Transistors with Transparent ZnO Channels," Jpn. J. Appl. Phys. 42, pp. L347-L349, April 2003.
9. H. Ohno, "Molecular beam epitaxy and properties of ferromagnetic III-V semiconductors," Journal of Crystal Growth 251, pp. 285-291, April 2003.
10. K. Ohtani, H. Sakuma, and H. Ohno, "InAs-based quantum cascade light emitting structures containing a double plasmon waveguide," Journal of Crystal Growth 251, pp. 718-722, April 2003.

知能集積システム部

集積化知的情報処理システムの基盤技術の研究

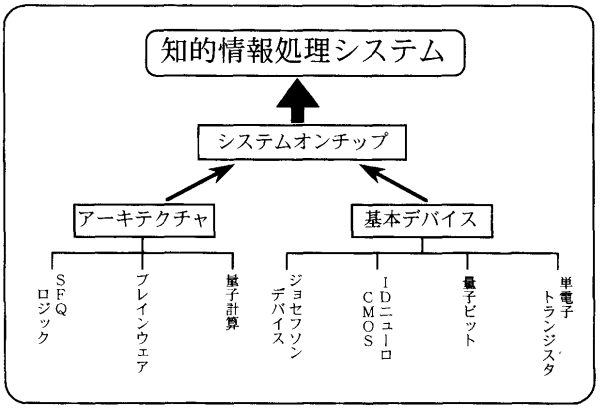


図1　知能集積システム部の研究目標

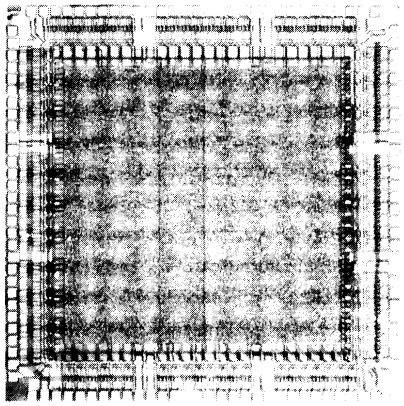


図2　ストカスティックニューロチップ
（50ニューロン搭載）

集積回路の大規模化とディ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。知能集積システム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標としている。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，ニューロシステムにおける時系列情報処理に繋がる動的な振る舞いを解明，さらに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。これらのチップはCMOSをベースにこれまで蓄積された集積化技術を用いており新たな知的情報処理システムの方向を提案するものである。また集積化超伝導素子を用いたパイプライン処理による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〉

マルチチップ構成のストカスティック1024ニューロシステムを実現し，離散/連続時間動作の切替えや単調/非単調ニューロ関数の選択ができ，問題に応じて最適な動作を選択する事が可能となった。連続時間ニューロシステムでは，リミットサイクルの生成機構の解明において，ニューロンモデルの線形・非線形性に関わらずネットワーク結合様式が基本的な動的性質に影響することを示し，時系列情報連想システム構築に向けたデータを得た。臨界状態ブレインシステムでは，発振状態を用いた最適化問題解法の方式を発見し，新しい情報処理システム構築の可能性を得た。また，チップレベルでそのモデルの動作を確認出来た。単電子システムではストカスティックニューロ回路を設計し，数値計算によりその動作を確認した。さらにニ

ューロ的手法を導入した新しい量子計算アルゴリズムの開発に成功し，最適化問題などへ応用可能であること，ニューラルネットの欠点を克服できる可能性があることなどが数値計算によって確認された。磁束量子システムでは加算回路の改善により，従来の素子数の１／３ 程度で1.5倍高速な演算が可能である乗算器システムを構成した。また，信号の伝送遅延低減を目指して，高速な信号伝送線路の提案・設計を行った。さらにストカスティックロジック磁束量子回路によるニューロシステムの提案と設計を行い，高速なニューロシステム実現の可能性を確認した。

〈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．逆関数遅延ネットワークモデルに関する研究
3．ニューロ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. S. Sato, M. Kinjo and K. Nakajima, “An Approach for Quantum Computing Using Adiabatic Evolution Algorithm”, Japanese Journal of Applied Physics, vol. 42, Part 1, no. 11, pp. 7169-7173, Nov. 2003.
2. K. Inomata, S. Sato, Koji Nakajima, et al., “Electrical Transport Characteristics of $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ Stacked Junctions with Control of the Carrier Density”, Superconductor Science and Technology, vol.16, pp.1365-1367, Oct. 2003.
3. K. Inomata, S. Sato, K. Nakajima, et al., “Evaluation of Junction Parameters with Control of Carrier Concentration in $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ Stacked Junctions”, Abstracts of International Symposium on Superconductivity 2003, p.304, Tsukuba Japan, Oct. 2003.
4. S. Sato, K. Nemoto, S. Akimoto, M. Kinjo, and K. Nakajima, “Implementation of a New Neurochip Using Stochastic Logic”, IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 14, no. 5, pp.1122-1127, Sep. 2003.
5. K. Inomata, S.Sato, Koji Nakajima, et al., “Electrical Transport Characteristics of $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ Stacked Junctions with Control of the Carrier Density”, Extended Abstracts of 9th International Superconductive Electronics Conference, PWe-03, Sydney Australia, July 2003.
6. M. Kobori, Y. Horima, T. Onomi and K. Nakajima, “Design of component circuits for fast Fourier transform based on SFQ logic”, Extended Abstracts of 9th International Superconductive Electronics Conference, PMo-23, Sydney Australia, July 2003.
7. I. Shimizu, Y. Horima, T. Onomi and K. Nakajima, “Design and Implementation of the Parallel Multiplier using SFQ”, Extended Abstracts of 9th International Superconductive Electronics Conference, PMo-29, Sydney Australia, July 2003.
8. T. Onomi, Y. Horima, M. Kobori, I. Shimizu and K. Nakajima, “Implementation of Phase-Mode Arithmetic Elements for Parallel Signal Processing”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 13, no. 2, pp. 583-586, June 2003.
9. Y. Horima, T. Onomi, M. Kobori, I. Shimizu, and K. Nakajima, “Improved design for Parallel Multiplier based on Phase-Mode Logic”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol.13, no.2, pp.527-530, June 2003.
10. M. Kinjo, S. Sato, and K. Nakajima, “Quantum Adiabatic Evolution Algorithm for a Quantum Neural Network”, Proceedings of Artificial Neural Networks and Neural Information Processing - ICANN/ICONIP 2003, pp.951-958, Istanbul Turkey, June 2003.

3.5　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して設立した。大学の持つ基本技術をコアとして，設計・評価・実装まで行うことで，試作品レベルの成果を目標とする。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設立などにより，東北大学地区の産業振興に貢献し，日本のシリコンバレーとしての地位を確立する。

ITを構成する基本技術として，

1) インターネットを中心とする全てのネットワークへアクセス可能なモバイル・ネットワーク技術，
2) ネットワークに直結することで様々な情報を大容量・高速に提供可能とし，ユーザの手元に大容量小型記憶装置を提供するネットワーク・ストレージ技術，
3) ネットワーク，ストレージを自由に使いこなすためのキーボード・ディスプレイ等入出力装置の機能を飛躍的に向上するヒューマン・インターフェース技術，

の3つが挙げられる。

本センターは，平成14年度から，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プロジェクトと超高速高密度ハードディスクの開発プロジェクトを受託し，開発を進めてきた。

平成15年度は，ITプログラムに関して引き続き研究開発を進めている。

・次世代モバイルインターネット端末の開発

どこに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。

H15年度は，5GHz帯100Mbps通信装置の設計・試作開発を行った。また，60GHz実装技術の基礎として，高密度実装基板の60GHzにおける特性評価を行った。

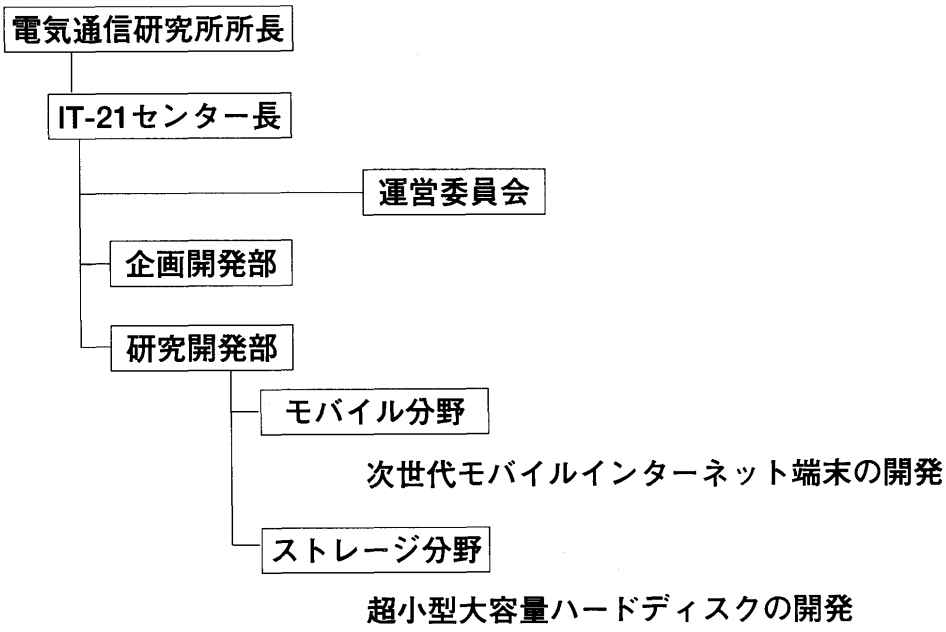
・超小型大容量ハードディスクの開発

垂直磁気記録技術を用いた1テラビット/inch^{2}を記憶可能な高密度記録技術を確立し，500円玉サイズに新聞230年分の情報を記憶可能なハードディスクを開発する。また，シリンダ型ハードディスクを開発し，画像のような超高速ストリーム情報のアクセスが可能な2Gbps伝送超高速アクセスハードディスクシステムを開発する。

平成15年度は，150 Gbits/inch^{2}級の高出力ナノトラック磁気ヘッドの形状を提案無線ファイルサーバの二次試作完了シリンダストレージ用ニ層膜媒体と浮上ヘッドの開発などを行った。

上記プロジェクトに加え，IT-21センター企画開発部では，宮城県産業技術総合センター，通信総合研究所，NHK技研との研究協力協定を締結した。

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　松岡　浩

研究開発部

モバイル分野

教　授　礒田陽次
助教授　徳光英輔
客員助教授　岩田　誠
助　手　熊谷慎也

ストレージ分野

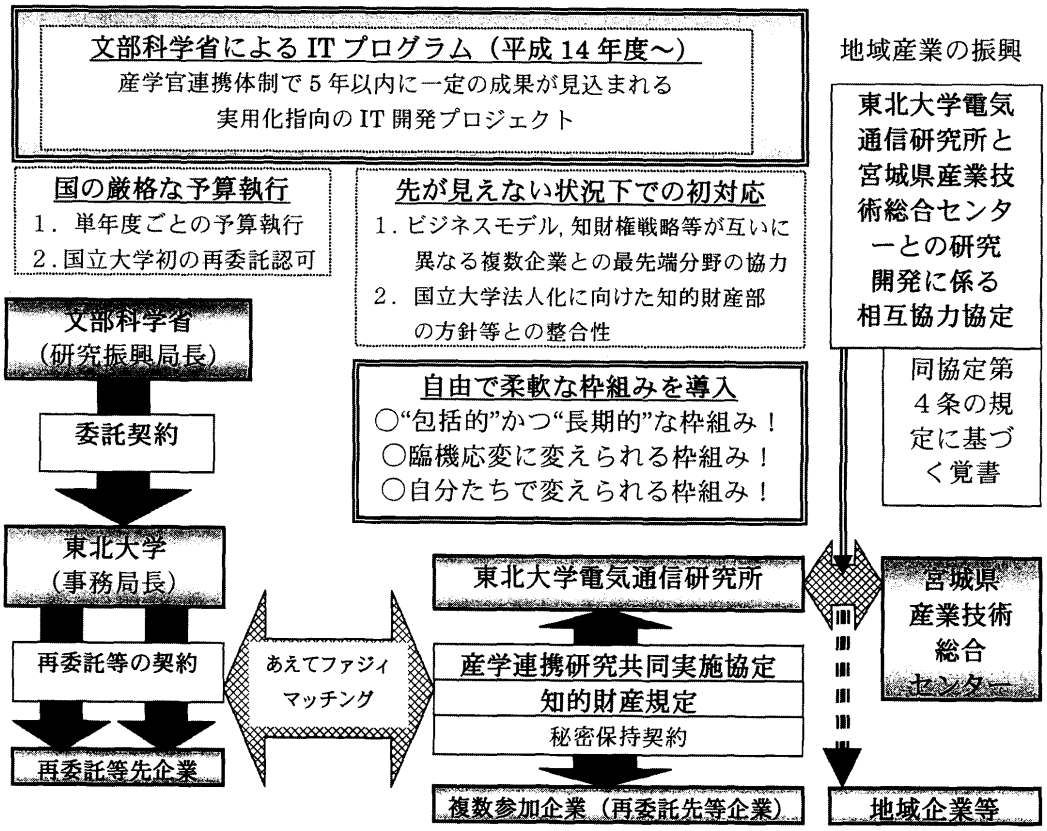
教　授　青井　基
助教授　島津武仁
客員助教授　山川清志
助　手　斎藤秀俊

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
〃	礒田陽次	〃	内田龍男
〃	青井　基	大学院情報科学研究科教授	亀山充隆
〃	鈴木陽一	ＮＥＣ	小川正毅
〃	舛岡富士雄	富士通㈱	三浦義正
〃	杉浦　行		
〃	村岡裕明		
〃	大野英男		
〃	中村慶久		

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ケ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）がいかんなく発揮されたことである。超小型大容量ハードディスクの開発プロジェクトにおける「平成15年度からの富士電機の参加」及び「サンプル試作評価に係る情報取扱いガイドライン」の円滑な決定，並びに「東北大学知的財産活用スキームとの整合性確保」については，もし，上記協定や知的財産規定によって自由で柔軟な枠組みを与えていなかったとしたら実現不可能であった。

(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。また，仙台市の地域振興に資するため，国際知的産業特区推進会議プロジェクト会議において「大学発スーパーIT未来タウン実証プロジェクト（仮称)」のようなものの展開可能性について提案した。

(3) 次世代ITへのプロジェクト展開研究：

IT-21センターの新規研究開発部として「知能アーカイブ分野（仮称)」の設置を提案し，“暖かい目で見守る立場から”という前提はあるものの了解を得た。具体的な研究開発内容は現在検討中であるが，電気通信研究所が独自に発案した不揮発性ロジックインメモリによる動的再構成可能VLSI技術（羽生研）を中核に，超高速シミュレーション技術，MRAM･磁気ストレージ技術，無線LAN技術などを組み合わせた超低消費電力デバイスシステムの開発を目指すとの方向性を固めた。このため，通研実験施設，流体科学研究所，日本原子力研究所，宮城県産業技術総合センター等との連携を深めた。さらに，やわらかい情報システム研究センターとともに平成16年度予算「やわらか知能ネット実証システム整備費」を獲得するとともに，電気通信研究所に超高速シミュレーション研究環境を実現する「高速計算検証可視化システム」の構成を決定した。

3．職員名：

教　授　　松岡　浩　（現職就任年：2002年）

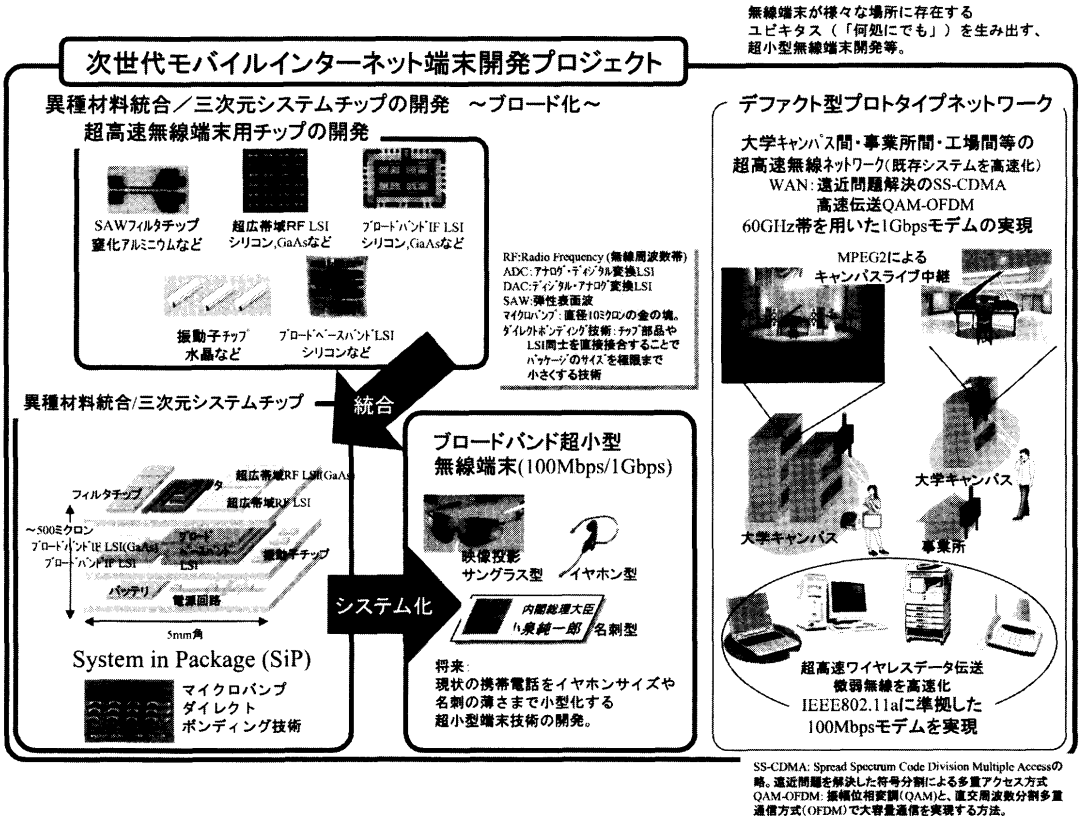
4．教授のプロフィール(研究歴等)：

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。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･ニューラルネット研究，地球シミュレーター開発等に従事。日本知能情報ファジィ学会，日本技術士会，電気学会原子力技術委員会に所属。

5．過去１年間（2003年4月～2004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超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産学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１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FFTコア回路として8ポイントFFT LSIの試作を行い，従来のベースバンド信号処理技術では700mWの消費電力を10mW以下とする目処を得た。また，0.18umCMOSプロセスを用いてデータ駆動型プロセッサの設計を行い，試作中である。

２．超高速無線端末用LSIの開発

無線通信アクセス制御・誤り制御などを行うMACレイヤ開発を含んだ，5GHz帯

100Mbpsの伝送速度を有する無線LAN装置を試作中である。広帯域IF回路として5GHz帯直交変調器の試作を行った。

3．超高周波RF-ICの開発

60GHz帯400Mbpsモデムの試作を行い，伝送特性を評価中。60GHz帯高出力増幅器と5GHzから60GHz へのアップコンバータの試作を行った。

4．三次元システムチップ構築技術の開発

誘電体多層基板を用いて60GHz帯増幅器をフリップチップ実装し，実用に耐える利得が得られることを明らかにした。今後ビア，配線などをセルデータ化し，設計ツールを開発する。

＜職員＞

教　授　礒田陽次（2002年より）
客員助教授　岩田　誠（2002年より）

＜礒田陽次教授のプロフィール＞

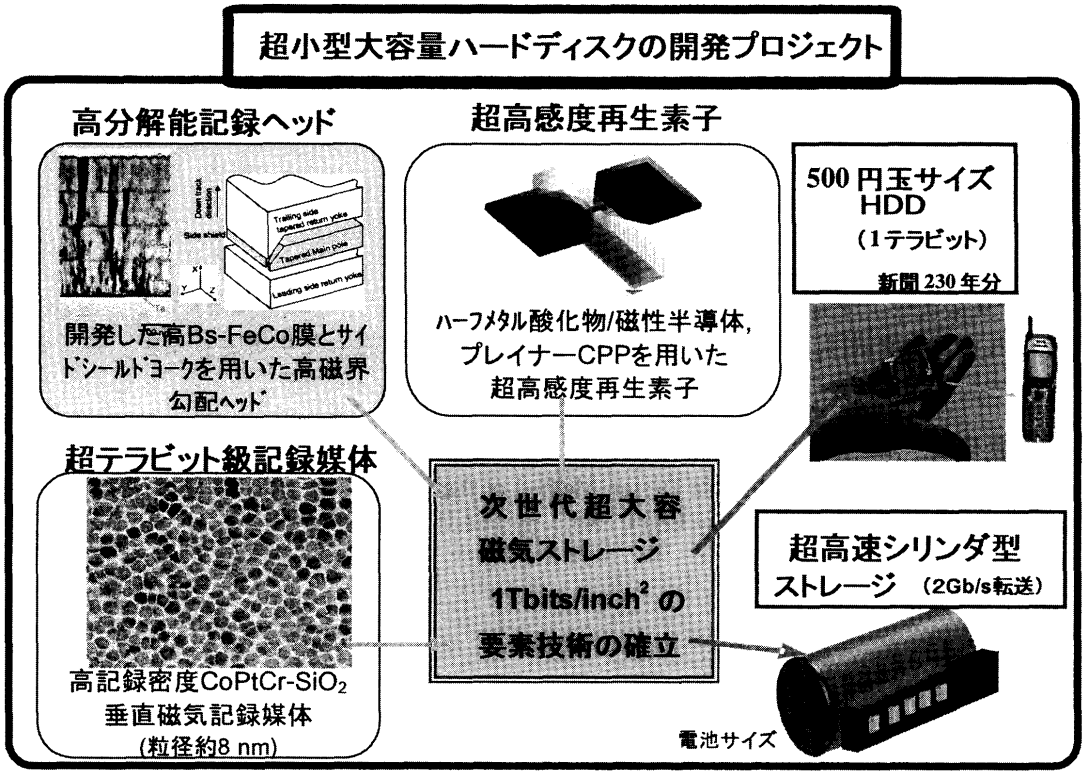
昭和54年3月大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻修士課程修了。昭和54年4月三菱電機株式会社に入社。平成14年4月東北大学通研IT21センター教授。平成13年日本発明協会発明奨励賞受賞。電子情報通信学会，IEEE会員。

＜主な研究発表＞

[1] Y.Isota, O.Ishida, F. Takeda, "A Simple Design Method of the Planar Matrix Using Dielectric Substrate Metarized Both Side," IEICE Trans. Electron., Vol.E86-C, No.2, pp.162-168 (2003-2)

研究開発部ストレージ分野

垂直磁気記録による1Tb/in^{2}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に加え静止画，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/inch^2）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年度での確立を目標としている。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，産学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２年目にあたり，全体計画に基づく要素技術開発，研究開発設備の整備を含む業務を実施し，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，１テラビット毎平方インチの記録密度における再生所用感度の見積を行ない，３つの構造の検討を開始した。また，

超高感度リーダ素子開発用の超高真空製膜装置の導入を完了した。

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，150ギガビット級の高出力ナノトラック磁気ヘッドの形状を提案するとともに，400ギガビット級の記録密度の実現を目指したサイドシールド構造を有する新規構造の磁気ヘッド設計に着手した。また，シリンダーストレージ用の浮上型スライダの開発と第1試作を行ない，浮上実験に成功した。

3) テラビット分解能垂直磁気記録媒体： 400 Gbits/inch^{2}級の垂直媒体の設計仕様を決定し，実現の可能性を理論的に示した（日立，富士電機との共同研究）。また，シリンダストレージ用の$CoPtCr\text{-}SiO_2$垂直媒体を用いた二層膜媒体の試作に成功し，高密度実波形の観測に成功した。

4) 超小型モバイルHDDプロトタイプの開発： 11Mbpsの無線インターフェースを実際に組み込んだ試験用1インチドライブの小型化とバッテリ駆動を実現し，プロトタイプ化における課題と問題点の検討を開始した。

5) プロジェクト推進支援： 超小型大容量HDDの社会ニーズ並びに磁気ストレージ周辺技術の動向の調査を行ない，モバイル環境での動画情使用の要求に答えるため，HDDの小型化，大容量化が重要となること等を明らかにした。

＜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　斉藤　秀俊（2002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㈱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. Magnetic cluster size and activation volume in perpendicular recording media, Journal of Applied Physics, 93 May (2003), 7732-7734., T. Shimatsu, H. Uwazumi, T. Oikawa, Y. Inaba, H. Muraoka, and Y. Nakamura
2. Formation of Magnetic Cluster and Remanence Coercivity in Granular-type Perpendicular Media, IEEE Transactions on Magnetics, 39 (2003), 2335-2337., T. Shimatsu, T. Oikawa, Y. Inaba, H. Muraoka, and Y. Nakamura
3. Sharrock Relation for Perpendicular Recording Media with Higher-Order Magnetic Anisotropy Terms, Japan Journal of Applied Physics, 43 (2004), L115-L117., O. Kitakami, T. Shimatsu, S. Okamoto, Y. Shimada, and H. Aoi
4. $CoPtCr\text{-}SiO_2$/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, 28 (2004), 254-257., 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

3.6　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

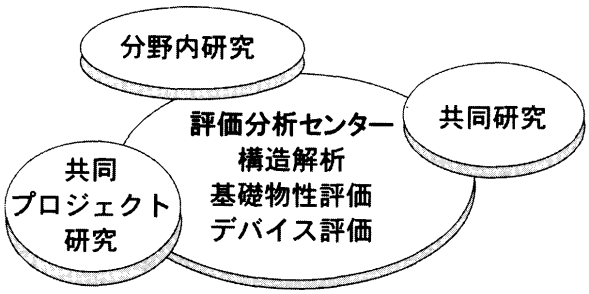


図1　評価分析関連の研究支援

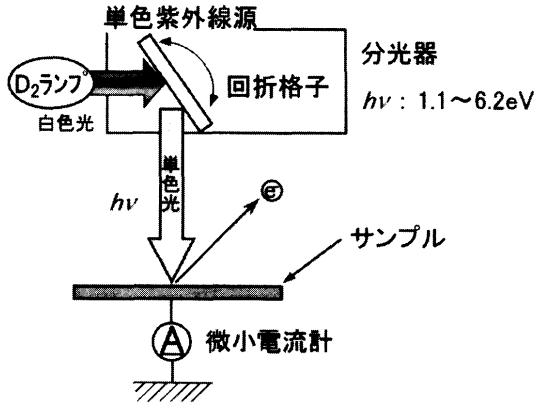


図2　微小電流計を用いた常圧下光電子分析法

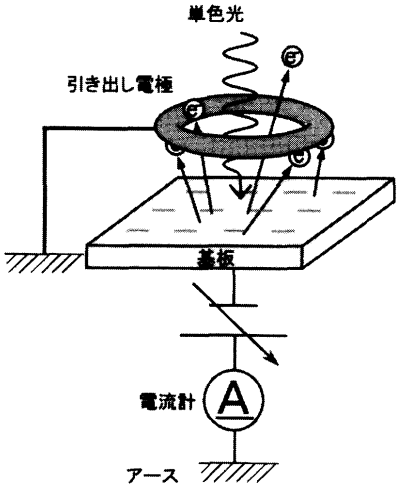


図3　引き出し電極を用いた常圧下光電子分析法

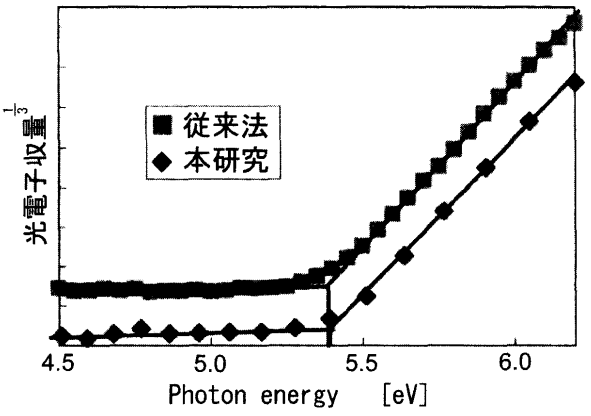


図4　従来型の常圧下光電子分析法との測定結果の比較

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Kramer法で測定するものである．Kramer法では、常圧下で高電界を印加した検出部にイオンが入射した際にイオンが電界で加速されて他の気体分子と衝突することを契機として発生する放電を測定してイオン数を計数するが、ダイナミックレンジが狭く、S/N比が悪いという欠点がある。また、電気陰性度の高い酸素分子への電子の付着現象を利用しているため、酸素以外の雰囲気ガス中や真空中では動作しないという問題も有している。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、従来の大気下光電子分析法の欠点を補うため、雰囲気の制限を受けない電流法による光電子の検出を検討した。

Kramer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、従来はPYS測定に用いることはできなかった。そこで我々は、市販のもっとも高感度な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することにより光電子の放出量を大幅に改善する工夫をすることによって、任意の種類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。

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

S. G. Jeon, C. W. Baik, D. H. Kim, G. S. Park, N. Sato and K. Yokoo, “Experimental verification of low-velocity spread axis-encircling electron beam”, Appl. Phys. Lett., vol.84, pp. 1994-1996, 2004.

3.7　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

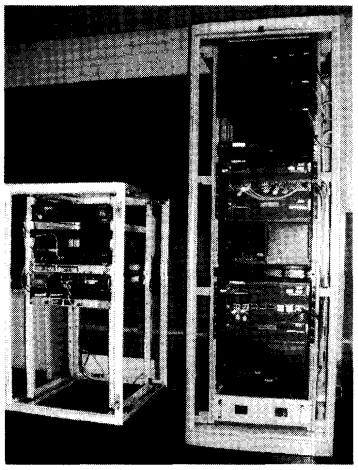


図1　本センターで管理する各種ネットワーク機器

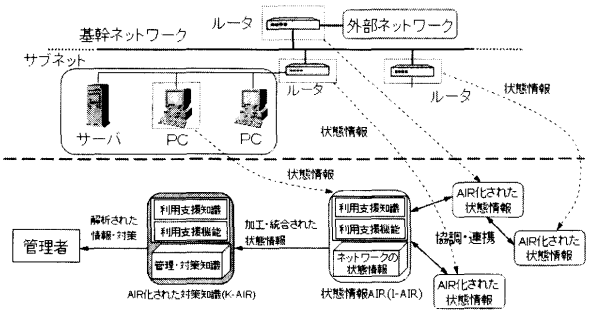


図2　AIR-NMSの概念

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（2003年4月～2004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。本研究内容は，2003年情報科学技術フォーラム（FIT2003）において論文賞を受賞した（文献1参照）。

(2) SSL-VPN装置の導入（研究テーマ２に関連）

所内間接経費等の支弁を受けSSL-VPN装置を導入した。本装置は，所内ファイアウォールの外部からでも安全かつ簡単に所内ネットワークにアクセスすることを可能とする装置である。これにより，所外からでも電子ジャーナル，グループウェア，ファイル共有などさまざまなサービスを享受することが可能となった。

(3) やわらかい出力が可能なDBインタフェースの構築（研究テーマ１に関連）

データベース上にあるデータを再利用するには，ユーザが所望とする出力に合わせてデータを加工しなくてはならず専門的な知識を必要とする。本研究では，正規表現などの専門的技術を要する項目の並び替え，装飾，置換作業などの一連の作業を直感的に定義するようなインタフェースを構築し，定義ルールを内部処理するシステムを構築した（文献２参照）。

(4) 知的ユーザインタ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，マルチメディア情報からのオブジェクト抽出や高次臨場感通信に関連する研究を行っている。本年は文献３，４に示す成果が得られた。

(5) ネットワークパフォーマンスの制御に関する研究（研究テーマ２に関連）

コンピュータネットワークの実効的なパフォーマンスを向上するために，ネットワーク運用に関するパラメタを適切に制御する手法について研究を行っている。本年度は下記の文献５，６に示す成果が得られている。

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（1999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）
講　師　青戸等人（2003年より）
助　手　西村竜一，藪上　伸，加藤貴司，今野　将
COE研究員　佐伯　豊
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　今野　将，COE研究員　佐伯　豊
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

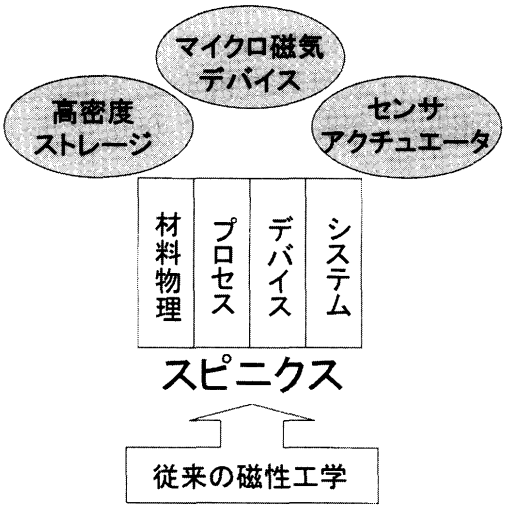
1. 今野将, 加藤真也, 岩谷幸雄, 阿部亨, 木下哲男, “能動的情報資源を用いたネットワーク管理支援システム”, FIT2003 情報技術レターズ, LG-008, pp.135-137,2003（FIT2003論文賞受賞）。
2. Yutaka Saeki, Yukio Iwaya, Toru Abe, and Tetsuo Kinoshita, “Reuse of Bibliography in a Database Using Customized Output Rule”, Proc of ITRE2003, pp.385-389, 2003.
3. Yukio Iwaya, Yoiti Suzuki and Daisuke Kimura, “Effects of head movement on front-back error in sound localization”, Acoustical Science and Technology, pp.322-324, 2003.
4. Makoto Ohuchi, Yukio Iwaya, Yoichi Suzuki, Tetsuya Munekata, “A Game for visually impaired children with 3-D virtual auditory display”, Proc. of ICAD2003, pp.309, 2003.
5. 今野将, 北形元, 菅沼拓夫, 菅原研次, 木下哲男, “やわらかいコネクション制御のためのエージェント型ミドルウェアの設計”, 電子情報通信学会D-I, Vol.J86-D-I, No.8, pp.553-565, 2003.
6. Shintaro Imai, Gen Kitagata, Susumu Konno, Takuo Suganuma, Tetsuo Kinosita, “Developing Knowledge-based Videoconference System for Nonexpert Users”, International Journal of Distance Education Technologies, International Journal of Distance Education Technologies, Vol.2, No.2, pp.13-26, 2004.

3.8　スピニクス研究センター

スピニック材料・デバイス及びスピニックストレージに関する研究

1．センターの目標

高密度ストレージ、パワーマグネティクス，マイクロマグネティクス，生体応用磁気分野など，磁性工学に立脚した技術分野は社会的に重要な役割を果たしており、旺盛な性能改善の要請を背景にますます発展を続けている。しかし，主として電磁気学とミクロンオーダの磁区理論を中心にしている従来の磁性工学ではこれからの高度な発展を支えるのは不十分であるため，本所ではメゾスコピック領域の微細磁性に着目した研究の重要性を提案し、これに「スピニクス」なるキーワードを与えている。すなわち，次世代の高性能磁性材料及び磁性デバイス・システムの実現のためにはマクロな磁気特性や磁区理論を越えて，磁性材料を構成する微細結晶粒領域の物性制御を行うスピニクスの研究が必須である。例えば，超高密度磁気記録では数十ナノメータ単位の分解能で極微小な面積に情報を記録・再生する議論が進められ，磁性薄膜のナノメータ領域の微細構造を作り込むことが強く要求されている。しかもこれらは極めて多様で学際的なので，システム，デバイス，プロセス，材料の四者が密接にリンクした研究が望ましい。



このような背景から，スピニクス研究センターでは，ナノスケールに根ざした新しいマグネティックスの学理と応用を目指した研究を行っている。この統合された基礎研究基盤を通して，従来からの発想では得られなかった高性能の磁性材料を開発し，そのデバイス化，ハイブリッド化，システム化を実現することが目標である。

2．過去1年間の主な成果

本研究施設における具体的な研究テーマは材料，プロセス，デバイス，及びシステムの分野に大別される。まず，磁性材料についてはストレージデバイスや磁気デバイス等の機能素子の開発上不可欠な軟質及び硬質の薄膜材料について検討し，とくにNiFeをシード層とするFeCo高飽和磁化軟磁性薄膜について進展があった。今後，センサ・アクチュエータ用機能薄膜，高感度記録ヘッドコア用薄膜，人工格子薄膜など微細構造の制御された新しい磁性材料が得られると期待される。プロセスに関しては，磁気ヘッド，マイクロ磁気デバイス等の薄膜素子の集積化と微細組織の制御技術の確立を目指して，スパッタ法，蒸着法などによる製膜技術，三次元微細加工，多層製膜や平坦化処理などの多層化技術の開発を行っている。マイクロ磁気デバイス用薄膜リソグラフィー技術については，半導体集積回路プロセスとの整合性を高める点に力点を置き，また，集束イオンビーム（FIB）エッチング装置によるナノメータオーダ微細加工技術を利用するデバイス解析も行なっている。

デバイスとシステムについては，超高密度磁気記録デバイスとシステム，並びに

マイクロ磁気デバイスとセンサ・アクチュエータ及びその集積化を柱とする研究を行っている。超高密度ストレージ関連では，本所で提案された垂直磁気記録により次世代超高密度を達成する研究を行なっている。単磁極ヘッドについては，その媒体対向面に軟磁性薄膜を被着し主磁極先端面周囲をFIB装置で溝加工した，高磁界勾配を目指したフロントリターンヨーク型単磁極ヘッドの試作及び解析を行った。メディアについては，高密度記録時の主要課題である熱磁気緩和について探査し，SiO_2添加CoPtCr合金を用いた垂直磁気記録媒体が高いKu値を有し効果的であることが示された。記録理論については、記録密度制限を与えているメディアノイズと記録磁化状態との相関を明らかにし、高密度時のビット突き抜けの低減だけでなく磁気クラスタ径の微細化と分散の低減が必須であることを示した。将来の国際的な目標である1テラビット毎平方インチを超える高密度記録に対して、以上を総合したシステム的な研究により検討を進めている。集積化デバイスにおいてはEMC問題を検討し，薄膜シールディドループコイルの開発を行った。一方，スピニックマイクロデバイスでは，本センターの製膜・微細加工装置を利用して，1.7×10^{-8} Oe/Hz$^{1/2}$の磁界分解能を有する薄膜磁界センサなどを開発し，それらの高周波特性評価装置として開発した超広帯域1 MHz～9 GHz薄膜透磁率測定装置と，高周波・高分解能近傍磁界プローブを製品化した。またらせん構造を有する移動機構を用いて，生体組織中やゲル中を移動可能なマイクロマシン，および柔軟な管中を移動するマイクロマシンを開発し，これをハイパーサーミアや大腸内視鏡誘導機構への応用を実現した。現在これらの要素技術を統合し，医療福祉分野への応用を目的としたセンサ・アクチュエータシステムの構築に挑んでいる。

【研究テーマ】

1. スピニック機能材料の研究
2. 多層リソグラフィープロセス技術の研究
3. スピニックマイクロデバイスの研究
4. 超大容量スピニックストレージの研究
5. 超高周波磁気物性測定手法の研究

【職員】

教　授　中村慶久（1987），　教授　荒井賢一（1986），　教授　村岡裕明（2000）
助教授　石山和志（2002）
助　手　渡邉　功，薮上　信，山田　洋

【主な研究発表】

1．S. Yabukami, H. Mawatari, O. Shimoe, K.I. Arai: IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp. 3196-3198, (2003).
2．馬渡宏，菊池弘昭，薮上信，山口正洋，荒井賢一: 日本応用磁気学会誌, 27, 4, pp.414-418 (2003).
3．薮上信，馬渡宏，下江治，菊池弘昭，荒井賢一: 日本応用磁気学会誌, 27, 4, pp.425-428 (2003).
4．M. Sendoh, K. Ishiyama, K. I. Arai: IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.3232-3234, (2003).
5．A. Yamazaki, M. Sendoh, K. Ishiyama, K. I. Arai, T. Hayase: IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.3289-3291, (2003).
6．T. Shimatsu, H. Katada, I. Watanabe, H. Muraoka, Y. Nakamura: IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.2365-2367, (2003).
7．T. Shimatsu, T. Oikawa, Y. Inaba, H. Muraoka, Y. Nakamura: IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.2335-2337, (2003).
8．M. Hashimoto, K. Miura, H. Muraoka, H. Aoi, Y. Nakamura: IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.2624-2626, (2003)
9．K. Ise, K. Yamakawa, N. Honda, K. Ouchi, H. Muraoka, Y. Nakamura: IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.2374-2376, (2003).
10．H. Yamada, T. Shimatsu, I. Watanabe, H. Muraoka, Y. Nakamura: IEEE Trans. Magn., 39, 6, pp.3619-3621, (2003).

3.9　コヒーレントデバイス研究センター

超高速・大容量情報通信を可能にする先端デバイス・システムの開発

[センターの目標]

超高速・大容量の情報を伝送するための技術は，超高速・大容量情報通信実現のためには勿論，ブレインコンピュータの基本となる超並列システムを実現するためにも，重要な技術である。本研究センターでは，これまでの先端的研究成果を基に，超高速情報処理を可能とする新機能材料および超高速デバイスの研究並びに大容量通信用媒体の研究を行うことを目的としている。以下にセンターの研究目標を述べる。

○音声・データ・画像などの情報を，「いつでも，どこでも，誰とでも」各自が分散交換機能をもってやりとりできる携帯情報端末（Tele-Pad），ならびにフレキシブルワイヤレスネットワークの開発を目指す。

○レーザおび非線形光学技術を駆使することにより光～電磁波に至る周波数空間の開拓を大きな目標とし，誘電体ドメイン超格子や新たな構成の光パラメトリック発振技術等を用いて，赤外～テラヘルツ（THz）波に至る波長可変コヒーレント波の発生および検出技術の研究開発を行う。

○電波と光との境界領域であるミリ波・サブミリ波帯における実用的技術を開発することを目指し，コヒーレント光源，常温動作の検出器，それらを用いた計測技術の研究開発を行う。

○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超高密度強誘電体記録，通信用誘電体デバイス・超音波デバイスの研究を行う。

[1年間の主な成果]

○ユビキタスネットワーク実現に不可欠な，超高速・超広帯域無線通信端末の小型化を目指し，異種材料デバイスを60GHz帯までシームレスに接続することが可能な，三次元実装システムインパッケージ（SiP）技術の研究開発を行った。

○強誘電体ドメイン超格子を用いた高非線形光学結晶において，ドメイン構造の新しいデザインおよび新材料への検討，導波路構造の導入を進め，THz波・中赤外光発生の効率向上および波長域の拡大を図った。

○35 GHz帯パッシブ・イメージング装置および60 GHz帯近接場顕微鏡などのミリ波計測装置を設計・製作した。それらを用いて，生体・食物，外景などのイメージン

グを行い，赤外光とは違う特性を持つことを明らかにし，ミリ波計測の有効性を示した。

○ＳＮＤＭ強誘電体プローブストレージシステムの試作第一号機が完成した。これを用いて超高密度強誘電体記録の実記録を行いビットエラーレートの評価まで可能となった。また単結晶大面積媒体の開発に成功した。

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103件，製作した主な製作名は以下のとおりである。

鈴木研 ・DSL－104スピーカーユニット　逆2乗則測定冶具
吸音クサビ型移動装置

矢野研 ・留置式電極駆動装置一式

超伝導 ・パルス管冷凍機　冷凍機ヘッド

荒井研 ・マイクロマシン

村岡研 ・レジストベークホルダー　クリンルームラック

潮田研 ・Taるつぼ　蒸着源　Mo製サンプルプレート

庭野研 ・プラズマCVD装置　有機材料蒸着真空槽　FTIRパージボックス
蒸着源ホルダー　サンプルホルダー　メタルマスク　溶液セル

枝松研 ・分光器台　クリンブース　ファイバーガイド　結晶ホルダー

杉浦研 ・バラン冶具　線路

極限能動 ・エネルギー分析器　電子銃一式

水野研 ・3軸真空マニピュレーター　・Wバンドバックショウト一式
高周波動作型74G帯共振器　94GHｚ用導波管　大型チョッパー

大野研 ・試料ホルダー　SEM試料台　蒸着ホルダー　メタルマスク
Mo接着用冶具　光学ラーブル耐震台

実験施設 ・スピンナーヘッド　スピンコーターヘッド

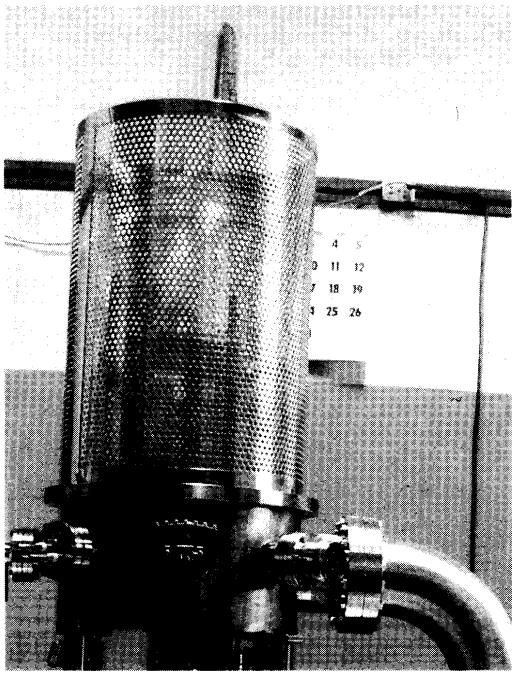
<附属工場組織>

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

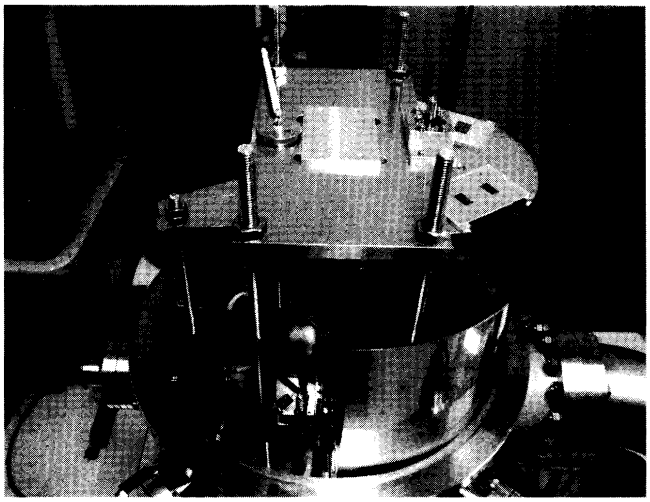
運営委員会

教　授　水野　皓司　　助教授　末光　眞希
教　授　庭野　道夫　　助教授　上原　洋一

今年度製作した主な製品



有機デバイス用薄膜蒸着装置
（概観）



有機デバイス用薄膜蒸着装置
（内部）

共同プロジェクト研究

課題番号　H13/A01

磁気ランダムアクセスメモリ用
高性能強磁性トンネル接合膜の研究

[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）
責任者：荒井　賢一（東北大学電気通信研究所）
分担者：
角田　匡清（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）

研究費：校費247千円，旅費 276,250円

[2] 研究経過

強磁性トンネル接合の絶縁膜の形成方法として，ラジアルラインスロットアンテナ（RLSA）放射マイクロ波励起プラズマを用いた極薄金属膜のプラズマ酸化プロセスを検討し，Kr+O_2の混合ガスを用いた本プラズマ酸化プロセスと，超清浄雰囲気スパッタ法との組み合わせにより，Mn-Ir / Co-Fe / Al-O / Co-Fe構造のトンネル接合において，約60%の高いTMR比（室温）をこれまでに得ている。この成果を発展させ，磁気ランダムアクセスメモリ用高性能強磁性トンネル接合膜を形成することを目的とした本プロジェクトは，本年度が第3年度であった。前年度は，RLSA放射マイクロ波励起プラズマのプラズマパラメータならびにプラズマ発光分光分析を行い，マイクロ波励起プラズマが高密度（10^{12} cm^{-3}）かつ低電子温度（< 1 eV）の特徴を有し，且つ，混合希ガスにKrもしくはHeを用いた場合に，長寿命の原子状酸素ラジカル（$O(^1D)$）が多く生成されることを明らかとした。また，各種金属材料のプラズマ酸化過程に関する検討も合わせて行い，各種金属酸化物の標準生成自由エネルギーと金属膜の酸化速度に関して，明瞭な相関があることを明らかとした。本年度は，前年度までの成果を踏まえながら，マイクロ波励起プラズマを用いた極薄Al膜の窒化プロセスならびに，その強磁性トンネル接合素子への適用に関する研究を展開した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

①　Al-O，Al-N膜の形成速度

図1に作製直後のMTJの抵抗面積積（$R\times A$）のプラズマ暴露量依存性を示す。プラズマ暴露量は，希ガス中の酸素ガスもしくは窒素ガスの分圧（P_{O2}, P_{N2}）とプラズマ処理時間（t_{ox}, t_{ni}）の積として定義している。図1の酸化試料ならびに窒化試料のそれぞれにおいて，d_{Al}の如何に関わらず，プラズマ暴露量に対する接合抵抗の上昇はほぼ単一の傾向上にあることがわかる。また，酸化試料と窒化試料を比較すると，同じ接合抵抗を得るために必要なプラズマ暴露量は，窒化試料は酸化試料に対して１～２桁大きいことがわかる。このことは，金属Al膜の窒化過程が酸化過程よりも緩やかに進行することを示唆している。また，混合する希ガスの効果についてみると，d_{Al} = 1.5 nmの場合（図中逆三角印）の酸化試料では，希ガスにHeやKrを用いた場合にはArを用いた場合に比較して，同じプラズマ暴露量でも大きな接合抵抗を示しており，混合希ガスによって金属Al膜の酸化速度が変化していることを示唆している。これは前述した$O(2p)^1D$ラジカルの生成効率の違いによる。一方で，窒化試料においては，希ガスにKrを用いた場合の方がArを用いた場合に比して常に若干高い接合抵抗を示すが，酸化試料の場合に見られたほど違いは大きくなく，プラズマ窒化過程においては混合希ガスの影響はさほど大きくないことが判った。図2には，バリア層の形成速度をより定量的に評価するために，図1に示したデータのうち，d_{Al} = 1.5 nmのMTJ（一部d_{Al} = 1 nmのMTJを含む）について，各MTJ素子の電流電圧特性をSimmonsの式によってフィッティングすることで求めたバリア層の厚さdを，プラズマ処理時間に対するd^2の変化としてプロットした。ここで，希ガス中の酸素ガスならびに窒素ガスの分圧はそれぞれ，P_{O2} = 1.6 Pa, P_{N2} = 2.7 Paである。図1の結果に対応して，Al-Oの場合には混合した希ガスの種類によって，同じプラズマ処理時間

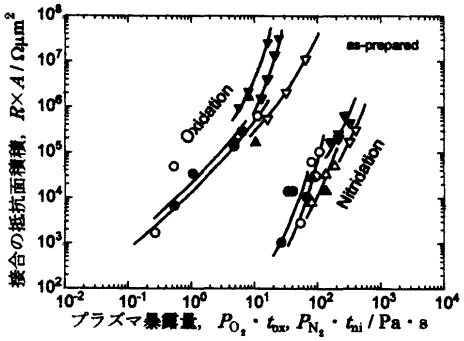


図１．Al-O, Al-N バリア層を有するMTJの抵抗面積積のプラズマ暴露量依存性。被酸化（窒化）Al膜厚：0.8nm（丸印），1.0nm（三角印），1.5nm（逆三角印）。混合希ガス：Ar（白抜），Kr（黒塗），He（二重）。

に対してもd²が異なっており，Arに比してKrあるいはHeを用いた場合にはバリア層が厚くなっていることが判る。一方でAl-Nの場合には，希ガスの種類によらずd²は同程度の大きさを示している。また同図より，各プロットにおいて，d²とプラズマ処理時間との間には直線的な関係があることが判る。このことからバリア層の形成過程が，酸化膜を通しての物質輸送により律速されていると考え，図2の各プロットの傾きから放物線速度定数k_Pを算出し

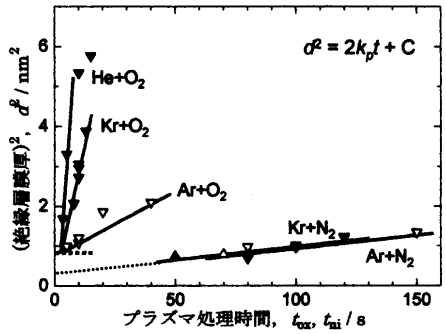


図2．マイクロ波励起プラズマにより形成したAl-O, Al-N膜のトンネル障壁厚さの二乗のプラズマ処理時間に対する変化。被酸化（窒化）Al膜厚：1.0nm（三角印），1.5nm（逆三角印）。混合希ガス：Ar（白抜），Kr（黒塗），He（二重）。

た。結果を表1に示す。プラズマ窒化処理中の窒素ガスの分圧が，プラズマ酸化処理中の酸素のそれよりも高いにもかかわらず，Al-N層形成の速度定数は，Al-O層形成の速度定数に比較して1/3から1/120であり，緩やかに進行するAl膜の窒化過程が極薄絶縁膜の形成プロセスの候補として有力であることが判る。

表1．マイクロ波励起プラズマ酸化・窒化によるAl-O, Al-N膜形成の放物線速度定数

混合希ガス	Al-O膜速度定数，k_p / cm² s⁻¹	Al-N膜速度定数，k_p / cm² s⁻¹
He	5.4×10^{-15}	—
Kr	1.8×10^{-15}	4.5×10^{-17}
Ar	1.4×10^{-16}	4.5×10^{-17}

② Al-N膜を用いたMTJのTMR効果

図3には種々の条件下で作製した窒化MTJ試料のTMR比ならびに$R\times A$の熱処理温度（T_a）依存性を示す。窒化プラズマへの混合希ガスにKrならびにArを用いた場合の両方に関して，各d_{Al}において比較的大きなTMR比が得られた窒化条件の試料について示している。希ガスにArを用いた場合（図中白抜記号）について見る。d_{Al} = 1.5 nmの場合には作製直後の状態で20%程度のTMR比は熱処理温度の

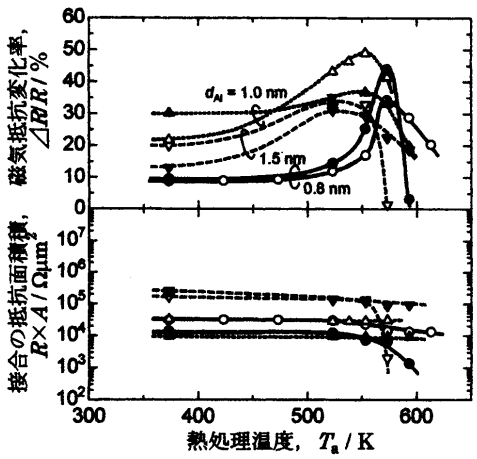


図3．Al-Nバリア層を有するMTJのTMR比ならびに抵抗面積積の熱処理温度依存性。被窒化Al膜厚：0.8nm（丸印），1.0nm（三角印）1.5nm（逆三角印）。混合希ガス：Ar（白抜），Kr（黒塗）。

増加に伴って増大し，T_a = 523 Kで従来の最大の報告値と同程度の35%を示す。d_{Al} = 1 nmの場合にも熱処理温度の増加に伴ってTMR比が増大する傾向は同じであるが，TMR比の極大値の増大（49%）ならびにそれを示す熱処理温度の上昇（553 K）が認められる。室温で49%のTMR比は，これまでに報告されたAl-Nを用いたいずれのMTJのそれよりも大きく，Al-Oを用いたMTJと同等である。別途MTJの電流電圧特性から評価したAl-Nの障壁高さは，大きなTMR比の得られた試料で約0.4 aJ（2.5 eV）であり，Al-Oのそれと同程度の値を示すことが判った。さらに金属Al膜の膜厚を0.8 nmまで低減すると，TMR比の極大値は低下するが，極大を示す熱処理温度は573 Kまで上昇している。以上の過程において，接合抵抗は熱処理温度の上昇に対してほぼ一定か若干減少する傾向を示し，酸化MTJの場合の過酸化試料で見られたような急激な接合抵抗値の増大は認められなかった。希ガスをKrに変更した場合（図中黒塗記号）にもTMR比の変化の傾向はほぼ同じである。以上のことから，図3に示した窒化MTJ膜では，各膜厚の金属Al膜に対して，適切な窒化が実現されているものと考えられる。

③ 極薄金属Al膜の酸化・窒化プロセスにおける適正プラズマ暴露量

図4には図1に示した本研究で行ったプラズマ暴露の条件をd_{Al}に対して再プロットし，図3ならびに酸化MTJ膜に関する同様の実験結果から判断される適切な酸化・窒化条件に対して，その範囲をグレーの網掛けで示した。代表的なMTJの熱処理過程で得られた最大のTMR比とそのときの接合抵抗

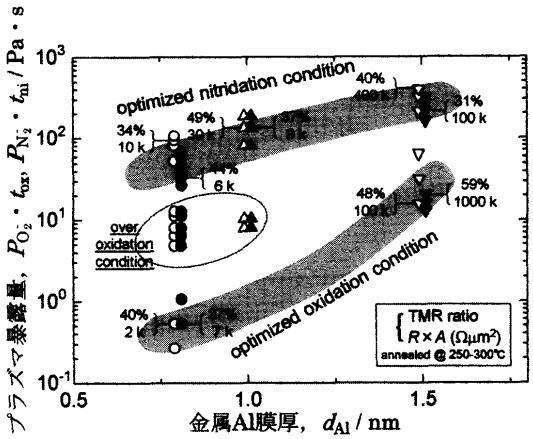


図4．Al-O, Al-Nバリア層を有するMTJの形成に用いたプラズマ暴露量と被酸化（窒化）Al膜厚の関係。混合希ガス：Ar（白抜），Kr（黒塗）。

値を図中に合わせて示した。酸化MTJ素子について見ると，d_{Al} = 1.5 nmの場合には適正酸素プラズマ暴露量は13～27 Pa・sであるのに対して，金属Al膜厚が低下してゆくとその適正プラズマ暴露量は極端に低下し，d_{Al} = 0.8 nmの場合にはわずか0.27～0.67 Pa・sとd_{Al} = 1.5 nmの場合に比較して2桁近く低くなっていることがわかる。一方で，窒化MTJについて見てみると，適正プラズマ暴露量のd_{Al}に対する変化は，酸化の場合に比較して緩やかである。このことから，金属Al膜のプラズマ窒化の過程においては，極表層の急激な窒化は生じにくく，金属Al膜の膜厚方向に対して窒化が順次緩やかに進行しているものと推察される。以上のことから，極薄の金属Al膜のプラズマ暴露によってトンネル障壁膜を形成する場合，その制御性の観点から窒化が有利であることが明らかとなった。

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究により，磁気ランダムアクセスメモリ用強磁性トンネル接合膜に不可欠な極薄絶縁膜の形成プロセス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，トンネル接合膜の更なる高性能化が図られることが期待される。

[4] 成果資料

1. M. Tsunoda, K. Nishikawa, S. Ogata, and M. Takahashi, "60% magnetoresistance at room temperature in Co-Fe / Al-O / Co-Fe tunneljunctions oxidized with Kr-O2 plasma", Applied Physics Letters, 80, 3135 (2002).
2. K. Nishikawa, M. Tsunoda, S. Ogata, and M. Takahashi, "New Plasma Source with Low Electron Temperature for Fabrication of an Insulating Barrier in Ferromagnetic Tunnel Junctions", IEEE Trans. Magn., 38, 2718 (2002).
3. 高橋研，角田匡清，"（総合報告）超高密度ストレージ用磁性薄膜成膜技術の動向と展望－ウルトラクリーンプロセス下での微細組織・界面制御－"，応用物理, 71, 1214 (2002).
4. 吉村哲，角田匡清，尾形聡，高橋研，"強磁性トンネル接合用Al薄膜の酸化過程とマイクロ波励起プラズマ中の酸化種との相関"，日本応用磁気学会誌, 27, 1130 (2003).
5. S. Yoshimura, T. Shoyama, T. Nozawa, M. Tsunoda, and M. Takahashi, "Nitridation process of Al layer by microwave-excited plasma and large magnetoresistance in Co-Fe / Al-N / Co-Fe tunnel junctions-As a comparison with oxidization process-", IEEE Trans. Magn. **40**, 2290 (2004).
6. 角田匡清，吉村哲，高橋研，"強磁性トンネル接合膜用バリア層材料"，まてりあ **43**, 492 (2004).
7. T.S. Yoon, C.O. Kim, T. Shoyama, M. Tsunoda, and M. Takahashi, "Magnetotransport properties of Co-Fe/Al-N/Co-Fe tunnel junctions with large tunnel magnetoresistance ratio", Appl. Phys. Lett., **85**, 82 (2004).

課題番号　H13/A02

高分解能音響アレイセンサーの研究

[1] 組織
代表者：宇佐川　毅
（熊本大学工学部数理情報システム工学科）
責任者：鈴木　陽一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：苣木　禎史
（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）
嶋田　泰幸（熊本電波工業高等専門学校電子制御工学科）
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：校費　291，000円，旅費　871,460円

[2] 研究経過

多チャネル音響信号の符号化手法や音声認識装置の普及に伴い，実環境下で特定の音源信号を分離抽出する技術に対する要求が拡大しており，高分解能音響アレーセンサーの研究・開発は近年ますますその重要性を増している。これまで音源の方向など空間的な特性を利用したアレーシステムが研究されているが，音波のもつ物理的な制約から，コンパクトなシステムでは十分な性能が得られていない。本研究は，音源信号の特徴に関する先見情報，例えば音源の想定される位置があらかじめ限定される場合や、音源を音声に限定した場合など，想定される状況に関する先見情報を積極的に利用し，特定の音響信号の分離抽出を実現する高分解能音響センサーを開発することを目的として，本研究を行った。

本プロジェクトは，本年度が3年目である。これまでに，多チャネル音響信号を利用した信号処理技術に依拠したアレーセンサーの構築を進めてきたが，今年度はこのような方式に加え，人間の聴覚機構に注目した2チャネルアレーセンサーについても研究を展開した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

前年度までに，8チャネルのマイクロホンをコンピュータディスプレイに装着した高分解能適応マイクロホンシステムや，直線アレーマイクロホンシステムの開発をしてきた。これらのシステムでは，音源信号の特徴を利用した信号分離およびブラインド信号処理を利用したアレーセンサーに関しての基礎的な検討を本研究プロジェクトにおいて統合することにより，より高い分離性能を実現したものである。

本年度は，上記のシステムの高性能化について，利用帯域内での周波数特性の劣化に対応するための手法を新たに開発した。この機能を組み込むことで，利用周波数帯域全般で，入力原信号と分離抽出信号間で，0.98を越える極めて高いコヒーレンスを得ることができた。この性能向上により，音声認識システムへの適用がより容易になったり，抽出信号を伝送する際も，極めて高い品質を保証できるようになった。このアルゴリズム開発に際して，平成15年8月の応用音響研究会での発表とその後に研究討論を行った。一方，人間の両耳聴による空間分解能のメカニズムを周波数領域でモデル化した，「周波数領域両耳聴モデル」を利用したアレイセンサーを構築した。その際，音響センサーの制御アルゴリズムを開発する上で用いる実環境データや構成した音響センサーの指向特性の収集を東北大学電気通信研究所において行った。特に，両耳聴モデルによる音声分離などに必要な頭部伝達関数や対象物関連伝達関数の測定等を，10月ならびに3月に行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果1

本年度は，以下の成果を得た。まず，8チャネルマイクロホンアレーシステムの高性能化に関して述べる。音源方向とマイクロホン素子の組み合わせによって劣化する周波数が決まることが数学的に示され，なおかつシミュレーションでも確認できた。よって，図1のように適応フィルタ群から最適なフィルタを選択する機能を組み込み，システムを構築した。音源が２つの場合を想定し，音源とセンサーの距離は各々0.5m，0.6mである。図２にマイクロホン２での受音信号と原信号のコヒーレンスである。図３は従来法による分離信号と原信号，図4では距離減衰を考慮していない提案手法，図5では距離減衰を考慮した提案手法によって得られた分離信号と原信号のコヒーレンスである。図３の従来法による分離信号では，特定の周波数に

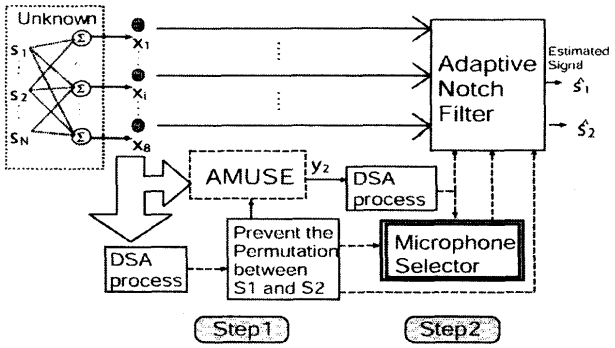


図１：提案システムのブロック図

おいて極端な劣化が生じていることが確認できる。これは，フィルタの周波数特性によるものであることが確認されている。ここで，音源方向の推定など同期加算を行う際に，音源とセンサーとの距離によって平面波か球面波が変わり，それが分離性能に影響を与えることが考えられる。そこで，平面波として処理するモデルと球面波として処理するモデルを構築した。図4および図5が平面波および球面波モデルによる分離信号と原音のコヒーレンス結果である。これらより，利用周波数帯域全般で入力原信号と分離抽出信号間で，距離を考慮した提案手法では0.98を越える極めて高いコヒーレンスを得ることができた。この性能向上により，音声認識システムへの適用がより容易になったり，抽出信号を伝送する際も，極めて高い品質を保証できるとようになった。

次に，周波数両耳聴（バイノーラル）モデルを利用した特定の到来方向からの音響信号を選択的に補聴することのできる両耳補聴システムの構築を検討した。図6に両耳補聴システムの入出力部の片側を，図7にブロック図を示す。現時点では，ブロック図中のハウリングキャンセラ（HC）の実装はおこなっていない。性能評価として，ビームパターンを測定した。ビームの方向は，仰角0°，方向角0°（顔の正面方向）に設定した。そして，仰角−20°から+20°，方向角−90°から+90°のそれぞれの位置より女声を放射し，放射した際のパワと出力信号のパワで利得を求めた。その結果を図8に示す。これより，正面から離れるにしたがって利得が下がっており，それは設定したビームの形状に近い特性であることが確認できた。

(3-2) 波及効果と発展性

本研究では，複数素子を用い空間分解能を有するマイクロホンアレーの基礎を実現した。実際の応用分野として，本報告にあったように空間情報を有する補聴システムなどに応用が期待できる。それは，従来の医療用補聴器において単耳補聴では実現できなかった空間情報を維持した補聴の実現が期待できる。さらに，空間情報を維持した音響信号の強調は，医療用補聴器のみならず，手軽に日常生活でも多くのユーザーが活用できる商品

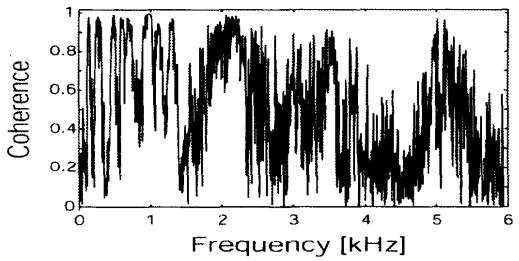


図２：マイクロホン２でのコヒーレンス

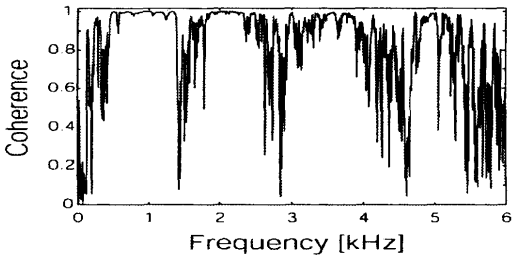


図３：音源1に関するコヒーレンス
（従来法）

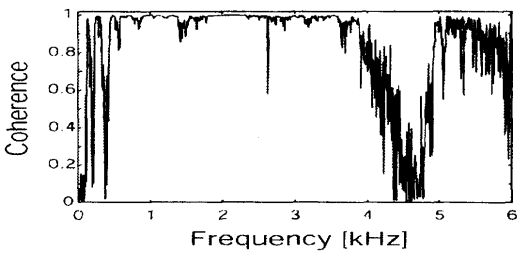


図４：音源1に関するコヒーレンス
（距離減衰考慮なしの提案手法）

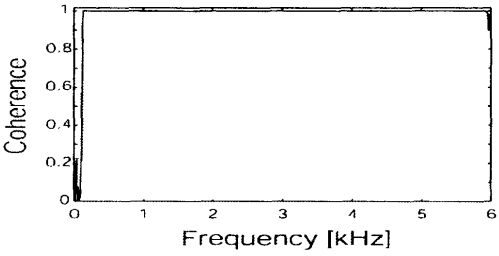


図５：音源1に関するコヒーレンス
（距離減衰考慮ありの提案手法）

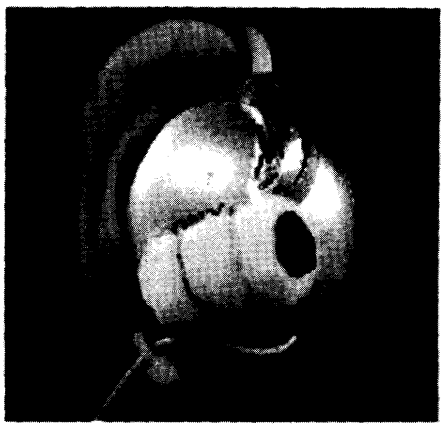


図6：両耳補聴システムの試作

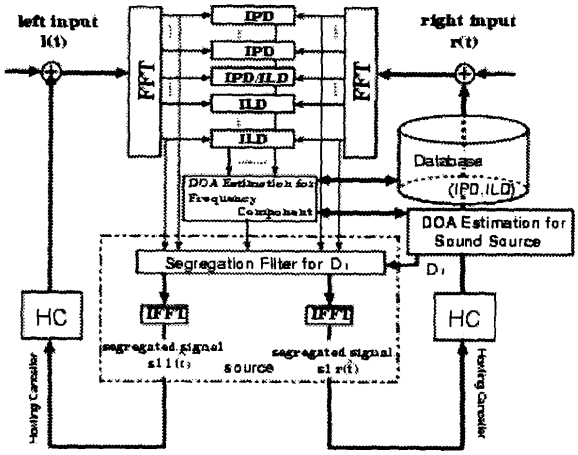
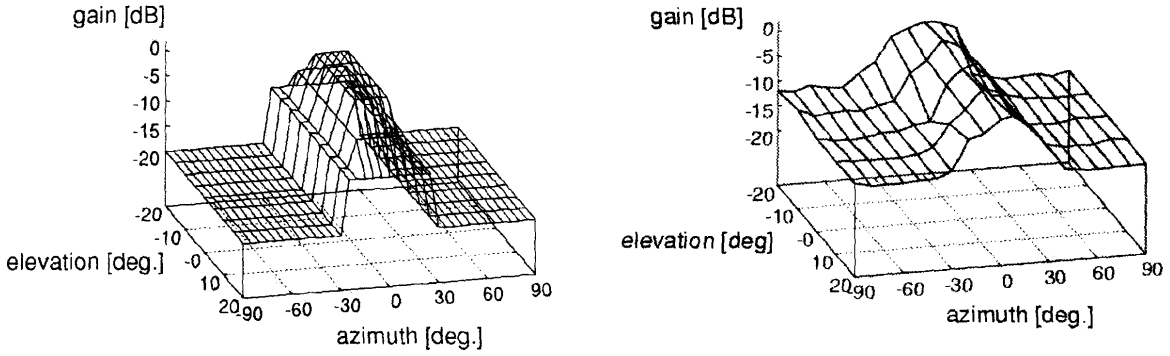


図7：提案手法のブロック図



(a) preset value　　(b) Result

図8：音源方向推定シミュレーション

への発展が期待できる。

[4] 成果資料

1）永座 強，木下 智恵，苣木 禎史，宇佐川 毅，“平面アレーシステムによる複数音源の同時分離抽出 -適応ノッチフィルタの周波数特性を考慮した処理に関する検討- ”，電子情報通信学会技術研究報告，EA2003-88(2003-10)，pp.13-18，2003.10

2）苣木 禎史，木下 知恵，永座 強，宇佐川 毅，“適応ノッチフィルタの周波数特性を考慮した平面アレーシステム”，日本音響学会2004年春季研究発表会講演論文集，3-P-17，pp629-630，2004.3

3）B中西 崇，松尾 梨加，中島 栄俊，苣木 禎史，宇佐川 毅，“周波数領域両耳聴モデルの実装とその基本特性解析” 電子情報通信学会技術報告，EA2003-64(2003-08)，pp.45-50，2003.8

4）松尾梨加，中西崇，中島 栄俊，苣木禎史，宇佐川毅，“空間分解能をもつ両耳補聴システムの構築の試み”，日本音響学会2004年春季研究発表会講演論文集，3-P-27，pp649-650，2004.1

共同プロジェクト研究

課題番号　H13／A03

分極反転構造ニオブ酸リチウム光導波路を用いた広波長域波長変換の研究

[1] 組織

代表者：栖原敏明
（大阪大学大学院工学研究科）
責任者：伊藤弘昌
（東北大学電気通信研究所）
分担者：藤村昌寿
（大阪大学大学院工学研究科）

研究費：校費　279,000円，旅費　109,170円

[2] 研究経過

テラヘルツ（THz）帯から遠赤外・中赤外・近赤外域の電磁波・光波は，次世代の超大容量情報通信，環境計測，プロセス計測，医療・生物などの分野で多くの重要な応用が期待されており，小型・簡便で実用的なデバイスの開発が強く望まれる。本研究課題は，ニオブ酸リチウム（$LiNbO_3$）結晶に周期的な強誘電分極反転構造と光導波路構造を形成し，赤外レーザで励起することにより，非線形光学波長変換によりTHz帯から中・近赤外域の電磁波・光波を発生するデバイスの基礎研究を行ったものである。また非線形光学導波路構造を用いて，新規な光デバイス機能を実現するための探索的研究に関する情報交換や討論も行った。東北大学と大阪大学のグループで理論解析・設計に関して研究討論を行うと共に，分担してデバイスを実際に作製して実験を行い，その可能性を実証することを目的として研究を遂行した。以下に本年度の研究活動状況の概要を記す。

本プロジェクトは，本年度が第３年目にあたる。昨年度までの研究成果に基づき，電子メールと郵便により情報交換･意見交換し，本プロジェクトを具体的に遂行した。本年度は当初計画どおり，表面放射型導波路THz帯差周波発生デバイスを設計・作製・実験することとした。昨年度の基本デバイス設計の成果に基づき，基本的な導波路型デバイスを大阪大学での分極反転構造の形成と光導波路の形成により作製した。また，本年度は新しいデバイス構造の採用について検討し，その設計を行った。試作デバイスは電気通信研究所の高出力励起レーザ光源およびTHz帯～赤外域検出実験設備を用いて実験的に特性評価しその動作を実証することを目指している。

この間，代表者栖原と分担者藤村の東北大学出張（11月18日～19日）により，責任者伊藤をはじめとする東北大学グループと研究討論を行った。大阪大学で見出した新しい分極反転法に関して，新たな実験的知見を互いに報告し，意見交換を行った。また，デバイス設計理論と新規デバイス構成案および実験方法に関する討論と検討を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

① 表面放射型導波路THz帯差周波発生の基本デバイスとして，図１に示すような傾斜分極反転構造を有するチャンネル導波路型表面放射型THz波発生デバイスを大阪大学で設計・試作した。また簡便な実験装置を構成し，実験を行った。半導体レーザとエルビウム添加ファイバ光増幅器からの近赤外光を入力結合し，導波路デバイス中の導波確認などの結果が得られた。

② 表面放射型導波路THz帯差周波発生デバイスの出力THz波を集光して取り出すことの出来る新しい構造として，図２に示すようなチャープ傾斜分極反転構造と近赤外光導波路およびTHz波導波路を有するデバイスを提案し，理論解析と設計を行い，理論特性を明らかにした。

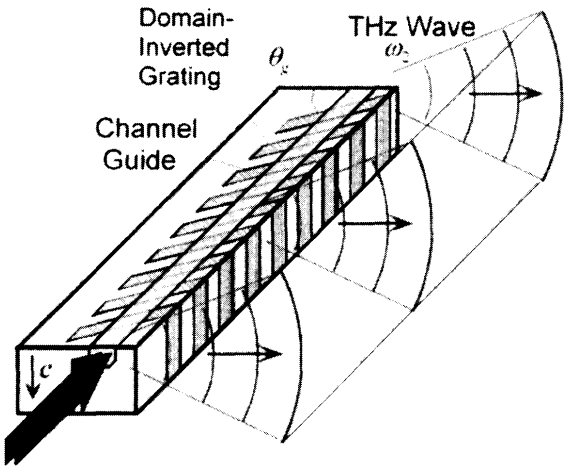


図１　傾斜分極反転構造表面放射型チャンネル導波路THz帯差周波発生デバイスの構造

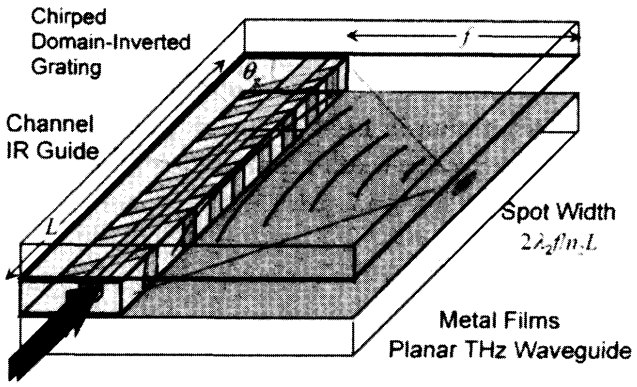


図2　チャープ分極反転構造・THz波導波・近赤外導波路を用いた集光THz波発生デバイス

③ 非線形光学波長変換デバイスで高出力達成に必要な光損傷耐性に優れた結晶であるMgO添加$LiNbO_3$結晶における分極反転構造の形成法として，昨年度に見出した紫外線照射効果を応用して，図3に示すフォトマスク紫外線照射電界印加による実用的で簡便な方法を開発し，本研究のデバイス作製に有用な分極反転構造（図4）を形成できることを示した。

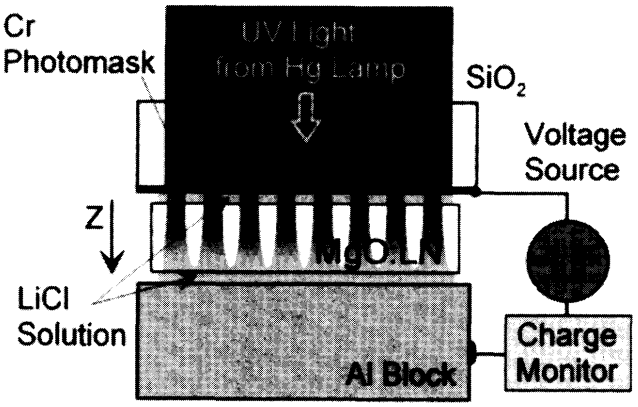


図3　フォトマスク紫外光照射と電界印加によるMgO添加$LiNbO_3$結晶周期的分極反転構造の形成

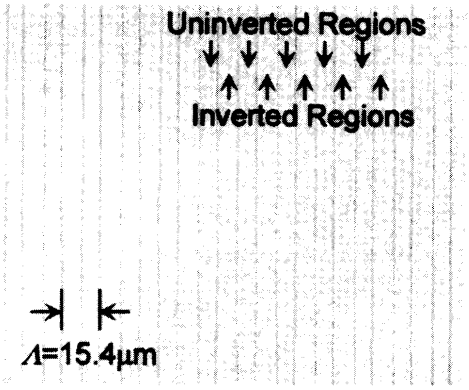


図4　得られたMgO添加$LiNbO_3$結晶周期的分極反転構造

④ 中赤外域のコヒーレント光を発生するためのQPM-DFG型波長変換デバイスの設計・作製を行い，波長0.98μm帯と1.55μm帯の半導体レーザからの入力光から波長2μm帯の出力光を得ることに成功した。

⑤ 非線形光学波長変換デバイスの高効率化のため，プロトン交換導波路を逆プロトン交換して得られる埋め込み導波路の使用について実験的に検討し，適切な作製条件を見出し，実際に近赤外域波長変換デバイスを作製して規格化効率最大1400%/Wまでの高効率化を達成した。また光通信波長域内波長変換特性を評価し，励起パワー4.4mWで-15dBの変換特性を得た。

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究は本年度が第3年目であるが，デバイスの作製と実験的検討は現在も継続中である。今後，本年度研究で提案・理論解析した新規デバイスの実証を含めて，差周波発生型波長変換によるTHz発生の多くの実験結果が得られると期待される。また，中赤外領域発生など波長域拡大や高効率化に関しても成果が得られており，スクイズド光発生や相関光子対発生などの量子光学機能をもつ新規デバイスへの発展可能性も示された。これらの成果により光通信を初めとする実用的技術だけでなく，基礎科学にも幅広い貢献ができると期待できる。

[4] 成果資料

1） T.Suhara, Y.Avetisyan and H.Ito: “Theoretical analysis of laterally emitting THz-wave generation by difference frequency generation in channel waveguides,” IEEE J. Quantum Electron., vol.39, pp.166- 171, 2003.

2） T.Suhara, “Quantum Photonic Devices: Waveguide NLO Devices and Semiconductor Lasers for Generation of Squeezed Light and Correlated Twin Photons (Invited Paper),” European Conf. Integrated Optics (ECIO’03), Prague, Czech Republic, 2003.

3） D.Sato, T.Morita, T.Suhara and M.Fujimura: “Efficiency improvement by high-index cladding in $LiNbO_3$ waveguide quasi-phase- matched wavelength converter for optical communication,” IEEE Photon. Tech. Lett., vol.15, No.4, pp.569-571, 2003.

4）M.Fujimura, T.Sohmura and T.Suhara: "Fabrication of domain-inverted gratings in MgO:$LiNbO_3$ by applying voltage under ultraviolet irradiation through photomask at room temperature," Electron. Lett., vol.39, No.9, pp.719-721, 2003.
5）栖原敏明:"光通信用導波型非線形光学デバイス," レーザー研究, vol.31, pp.262-266, 2003.
6）栖原敏明: "擬似位相整合非線型光学素子," ナノテクノロジーハンドブック 第Ⅲ編 第2章第2.3.1節, pp.102-106, オーム社, 東京 (2003-05).
7）T.Suhara and M.Fujimura, *Waveguide Nonlinear-Optic Devices*, Springer Verlag, Berlin, 321pages, 2003. (ISSN 1437-0379, ISBN: 3-540-01527-2).
8）金高裕樹,栖原敏明: "$LiNbO_3$導波型擬似位相整合非線形光学デバイスによるパラメトリックフロレッセンス発生," 平成15年秋応用物理学会学術講演会, 30a-YK-6 (2003-08).
9）H.Kintaka and T.Suhara, "Parametric fluorescence generation in $LiNbO_3$ quasi-phase matched waveguide pumped by semiconductor laser," Microoptics Conference, H33, Tokyo, Oct. 29-31, 2003.
10）M.Fujimura, T.Sohmura and T.Suhara: "Fabrication of domain-inverted gratings in MgO:$LiNbO_3$ by voltage application with ultraviolet light irradiation through photomask at room temperature," Microoptics Conference, J5, Tokyo, Oct.29-31, 2003.
11）栖原敏明: "擬似位相整合導波路を用いた非線形光学波長変換・信号処理デバイス," 応用物理, vol.72, No.11, pp.1381-1386 (2003-11).
12）神徳智広,藤村昌寿,栖原敏明: "$LiNbO_3$導波路を用いた中赤外域差周波発生デバイス," 電気関係学会関西支部連合大会, G9-6, p.G202 (2003-11).
13）村山徹,藤村昌寿,栖原敏明: "$LiNbO_3$プロトン交換・逆交換埋め込み導波路を用いた擬似位相整合非線形光学波長変換デバイス," Optics Japan 2003, 8aP24, pp.54-55 (2003-12).
14）栖原敏明,藤村昌寿: "周期状分極反転を用いた波長変換デバイスと光通信応用," レーザー研究, vol.32, No.3, pp.154-159, 2004.
15）金高裕樹,Bijoy Krish Das, 藤村昌寿, 栖原敏明: "Type II擬似位相整合$LiNbO_3$導波路光子対発生デバイスの作製と基礎実験," 応用物理学関連連合講演会, 29p-ZC-14 (2004-03).
16）藤村昌寿, 栖原敏明: "分極反転を用いた光通信用波長変換デバイス," 応用物理学関連連合講演会, 30p-T-4 (2004-03).
17）H.Kintaka and T.Suhara, "Parametric Fluorescence Generation in $LiNbO_3$ Quasi-Phase Matched Waveguide Pumped by Semiconductor Laser," Jpn. J. Appl. Phys., to be published.

課題番号　H13/A04

ミリ波通信・計測用アクティブ集積化アンテナの研究

[1] 組織

代表者：川崎　繁男（東海大学工学部）
責任者：水野　皓司（東北大学通信研究所）
分担者：鹿子嶋憲一（茨城大学工学部）
真田　篤志（山口大学工学部）
橋本　弘藏（京都大学宙空電波科学研究センター）
相川　正義（佐賀大学理工学部）
新井　宏之（横浜国立大学工学部）
田口　光雄（長崎大学工学部）
塩見　英久（大阪大学大学院基礎工学研究科）
伊藤　精彦（北海道大学大学院工学研究科）
大堂　雅之（郵政省通信総合研究所）

研究費：校　費　328,000円，旅　費　522,300円

[2] 研究経過

昨今の半導体電子工学の発展により，移動体衛星通信機器や計測器・センサーが小型で軽量，かつ，多機能で実現されつつある。このような情勢の中，固体能動回路と放射器とが渾然一体化した，ミリ波独特の技術であるアクティブ集積化アンテナ技術が提唱され，上記システム応用への要求を満たす最有力技術として注目されてきている。このアクティブ集積化アンテナに対するハードウェアの具体的な検討項目として，平面アンテナと集積回路，および共振器の効率的融合とシミュレータによる設計法の確立，高効率・高出力化，変復調，センサー機能，光による制御等の技術があげられる。本研究会では，アクティブ集積化アンテナ技術に関して，その進歩に多角的な見地から寄与するため，ハードウェアの基礎技術とシステム応用の検討のための，討論の場を提供することを目的とする。

本プロジェクトでは，アクティブ集積化アンテナ技術の要素技術であるミリ波集積回路と共振器，平面アンテナと給電回路，これらの融合・制御・給電法に関する設計・解析法，シミュレーション技術の適用，空間電力合成，高効率・高出力化，多機能化，光制御技術，システム応用に関する討論を，発表等を通じて行い，日本を代表する研究者を集め，試作品を持ち寄り，実物を見ながら議論する形で研究発表会を開催した。

本年度が4年目であった本プロジェクトは，今回は学生のアクティブ集積アンテナ技術への興味と本研究プロジェクトへの参加を喚起するため，学生アクティブ集積アンテナ（AIA）コンテストを実施した。手持ちのシミュレータや実測によるデータをもとにした，回路とアンテナが一体化されたアクティブアンテナの設計を通じ，アクティブアンテナ技術の若手技術者の理解を深めることを目的として，上記アクティブアンテナの研究会参加の大学で，修士の学生を主体とする研究グループによる実測データやシミュレータ等を用いたアクティブアンテナの設計に関する内容とした。この企画に基づいて，従来の一般研究成果の発表を交えた発表会を12月16日に行った。プログラムは以下のとおりである。

通研究所共同プロジェクト研究会プログラム
「ミリ波通信・計測用アクティブ集積化アンテナの研究」
共催：東北大学電気通信研究所テラヘルツ工学研究会

＜研究会＞
日時：平成15年12月16日（火）9：30～16：30
場所：東北大学電気通信研究所・2号館4階・大会議室

プログラム
9：30 - 9：40　研究プロジェクト代表者挨拶：川崎繁男（東海大学電子情報学部）
電気通信研究所対応教官挨拶：水野皓司

◎学生AIAコンテスト
9：40 - 10：05　「ミリ波帯パッシブイメージング用の受信回路の研究」
田中輝和，鄭ミン奎，的野春樹，石川亮，我妻壽彦，水野皓司（東北大学電気通信研究所）
10：05 - 10：30　「アクティブ集積アンテナ用シ

ミュレータの構築」
佐々木良介，川崎繁男
（東海大学電子情報学部）

10：30 - 10：55　「整合回路一体型アンテナの特性の変化についての検討」
溝呂木上，新井宏之
（横浜国立大学工学部）

10：55 - 11：20　「ミリ波帯パッシブイメージング用フェルミアンテナに関する研究」
加賀屋俊一，佐藤弘康*，我妻壽彦，金成健太郎，新井直人，澤谷邦男*，水野皓司（東北大学電気通信研究所，*東北大学大学院工学研究科）

11：20 - 11：45　「MMICを内蔵したアクティブ集積環アンテナの設計」
高野晃史，大石太洋，寺田則幸，川崎繁男（東海大学電子情報学部）

◎一般講演

13：00 - 13：25　「発振型能動アンテナの動作モードの単一化」
佐薙　稔，平田　務，藤森和博，野木茂次（岡山大学工学部）

13：25 - 13：50　「DAM構造を用いた微細マイクロ波回路」
西野　有，宮口賢一，吉田幸久，高木直（三菱電機株式会社情報技術総合研究所）

13：50 - 14：15　「注入同期発振器による移相器を利用したフェーズドアレイパッチアンテナのビームステアリング」
塩見英久（大阪大学大学院基礎工学研究科）

◎招待講演

14：25 - 15：05　「平面型左手系媒質とそのマイクロ波応用」
真田篤志，栗井郁雄
（山口大学工学部）

15：05 - 15：45　「高集積ミリ波３次元MMICとアンテナ集積化技術の検討」
西川健二郎，関智弘
（NTT未来ねっと研究所）

15：45 - 16：25　「ミリ波における生体計測の基礎的研究」
[illegible]川佳央（国士舘大学工学部）

16：25 - 16：30　学生AIAコンテスト表彰及び閉会

[3]成果

（３－１）研究成果

アクティブ集積化アンテナ技術の要素技術であるミリ波集積回路と共振器，平面アンテナと給電回路，これらの融合・制御・給電法に関する設計・解析法，シミュレーション技術の適用，空間電力合成，高効率・高出力化，多機能化，光制御技術，システム応用に関する議論を，産官学の研究者が一同に会して行った。このアクティブ集積化アンテナ技術は，通信，放送，計測の多岐にわたって応用できることが確認され，今回の発表会の参加者間には，より密接な産官学連携による今後の発展に期待が高まった。

コンテスト参加の各グループは，実用を考慮した新規性のある新しいアンテナと回路の組み合わせや，新しいアクティブアンテナ構造の提案等を行い，デバイスやアンテナの実測データに基づく設計やシミュレータによって設計したものを発表した。

（３－２）波及効果と発展性

基礎技術の確立に関する討論によって，アクティブ集積化アンテナのシステム応用が明確になった。この具体的な例として，ITS・通信衛星・移動体通信・室内LAN等が挙げられる。このプロジェクトを通じて日本独自のアクティブ集積化アンテナ技術及びこの技術のシステム応用を提案することが期待できる。本プロジェクトの提案に基づいて，アクティブ集積化アンテナ技術に対する規範・基準作りを行うことにより，この技術の進展に大きく寄与できるばかりでなく，将来見込まれているこの技術に関連した市場をも獲得できると思われる。ミリ波帯イメージングは，環境計測，セキュリティーなど，社会の多くの分野への応用が考えられており，本システム実現への期待は極めて大きい。本研究の成果は，まず火山活動の観測，ITS(Intelligent Transport System)，ロボット用センサー等への貢献が期待される。

なお，学生AIAコンテストの優秀賞は，参加した大学の教員の評価により決定され，東北大学電気通信研究所の田中輝和君発表の「ミリ波帯パッシブイメージング用の受信回路の研究」と，東海大学電子情報学部の佐々木良介発表の「アクティブ集積アンテナ用シミュレータの構築」に送られた。今後，受賞した学生はもちろんのこと，この企画に学生が刺激され，この分野の発展を根底から支

えるようになることを期待する。

[4]成果資料

本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。

共同プロジェクト研究

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：

潮田資勝（東北大学電気通信研究所）
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）
鶴岡　徹（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）
末光眞希（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）
宇佐美徳隆（東北大学金属材料研究所）
白木靖寛（東京大学先端科学技術研究センター）
安田幸夫（名古屋大学大学院工学研究科）
財満鎭明（名古屋大学先端技術共同研究センター）
酒井　朗（名古屋大学大学院工学研究科）
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　彪（東京工芸大学工学部）
小林信一（東京工芸大学工学部）
松本　智（慶應義塾大学理工学部）
坂本統徳（産業技術総合研究所）
三木一司（産業技術総合研究所）
荒井英輔（名古屋工業大学工学部）
畑　朋延（金沢大学工学部）
佐々木公洋（金沢大学工学部）
土屋敏章（島根大学総合理工学部）
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）
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）
大野隆央（物質・材料研究機構）
坂本謙二（物質・材料研究機構）
中川清和（山梨大学工学部）
宮崎誠一（広島大学大学院先端物質科学研究科）
石谷明彦（ベルギー・ＩＭＥＣ）
小野昭一（アルプス電気株式会社）
阿部孝夫（信越半導体株式会社）
鷲尾勝由（株式会社日立製作所）
国井泰夫（株式会社日立国際電気）
森谷　敦（株式会社日立国際電気）
宮本光雄（森田化学工業株式会社）
池田拓也（日本酸素株式会社）
廣瀬泰夫（日本酸素株式会社）
佐藤政明（新日本無線株式会社）
杉山直治（株式会社東芝）
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）

研究費：校費465,000円，旅費 889,320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。本研究プロジェクトでは，原子層制御CVD・エッチング・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し，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ことを目的とする。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のドーパント原子を始め，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] 本研究プロジェクトは，本年度が第２年度であった。前年度は，高清浄減圧CVD装置を用いて不純物（P，B，N）原子層吸着Si(100)表面上におけるSiの低温エピタキシャル成長条件を明らかにし，1nm厚のSi極薄層内にP，B，Nを閉じ込め，Ⅳ族半導体への原子層ドーピングを可能にした。さらに，原子層ドーピングにより形成したPドープSi結晶は従来の高温熱処理工程により形成した場合と比較してキャリア濃度が高く，半導体デバイスにおける金属との接触抵抗の低減化に有効であることを示した。本年度は，Ⅳ族半導体の原子制御ヘテロエピタキシャル成長および不純物の原子層

ドーピング技術をMOSデバイスへ応用する研究について重点的に行った。
[研究活動状況の概要] 1999年より本研究プロジェクトが中心となり推進している科学研究費補助金・特定領域研究B「人工Ⅳ族半導体極微細構造を用いた超高速光･電子デバイスの開発」において，Si系超微細MOSナノデバイス実現のためのⅣ族半導体原子制御プロセス技術の基礎研究および高性能プロセスの鍵となる低温高清浄減圧CVD技術開発を進めることができた。また，本研究プロジェクトが中心となり，電気学会に「超高速SiGeデバイス材料技術調査専門委員会」を設け，世界動向を産官学の英知を結集して調査し，本研究分野に関する研究動向の指針を得ることができた。今後は，引き続き電気学会に「Ⅳ族系ヘテロデバイス・システム材料技術調査専門委員会」を設け，本研究分野の動向の集約に努める予定である。

[3] 成果

（3－1）研究成果

高清浄減圧CVD法による原子制御SiGeヘテロエピタキシャル積層のMOSデバイスへの導入により，微細pMOSFETを高性能化することに成功した。具体的には，SiGeヘテロ積層構造〔無歪Si/歪$Si_{0.65}Ge_{0.35}$/Si(100)〕上に製作した0.12μmゲート寸法のpMOSFETは，SiGeヘテロ積層構造が無いものに比して相互コンダクタンス最大値（gm_{max}）が大きく，良好なサブスレッショルド特性であり，短チャネル効果抑制に優れた高電流駆動力の高性能微細pMOSFETであることを示した。そして，BドープSiGe選択成長薄膜からSiGeヘテロ積層中へのB拡散によるソース・ドレイン形成において，無歪Si中と歪SiGe中でのBの偏析係数と拡散係数の差から，BはSi/SiGeヘテロ界面で偏析し，ヘテロ界面付近のSiGe層中でのB濃度はSiGeヘテロ積層構造が無い場合よりも数倍高濃度となり，さらに，SiGeヘテロ積層構造が有る方がB拡散層深さがより浅くなることを示した。すなわち，SiGeヘテロ積層構造のMOSFETへの導入は，チャネル中でのキャリアの高移動度化に加え，低抵抗で極浅接合のソース・ドレイン形成により，短チャネル効果抑制に優れた高電流駆動力のpMOSFETが製作可能であることを明らかにした。また，Si/Geヘテロ界面にCを原子層ドーピングすることにより熱処理工程におけるSi/Geヘテロ界面の相互拡散が抑制されることを見いだし，MOSFET作製中の熱処理工程において問題であったヘテロ界面でのSiとGeの相互拡散を抑制し，高Ge組成を有する高性能微細SiGeチャネルMOSFETを作製可能であることを示した。

以上，本研究の成果により，Si系微細MOSナノデバイスの製作技術は大きく進展した。今後は，これらの技術を駆使し，Ⅳ族半導体極限ヘテロデバイスを実現し，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い，半導体デバイスの超高性能化をめざす。

（3－2）波及効果と発展性

本研究プロジェクトのメンバーから多数が参加し，世界各地の研究開発組織の連携により成功裏に終えた第1回SiGeテクノロジー＆デバイス国際会議（2003年1月開催）に引き続き第2回目を2004年5月16～19日にドイツ・フランクフルト（オーデル）で開催する予定である。さらに，米国電気化学協会主催のSiGeシンポジウム（ハワイ，2004年10月4～6日開催予定）および第4回Siエピタキシー＆ヘテロ構造国際会議（日本／淡路島，2005年5月22～26日開催予定）を企画し，世界の英知を結集した討論を予定している。今後，本研究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をも開拓できよう。

[4] 成果資料

(1) "Self-Diffusion in Intrinsic and Extrinsic Silicon Using Isotopically Pure ^{30}Silicon/Natural Silicon Heterostructures", Y. Nakabayashi, H. I. Osman, K. Toyonaga, K. Yokota, S. Matsumoto, J. Murota, K.Wada, and T. Abe: Jpn. J. Appl. Phys., vol. 42, Part 1, No. 6A, pp. 3304-3310, 2003.

(2) "W Delta Doping in Si(100) Using Ultraclean Low-Pressure CVD", T. Kanaya, M. Sakuraba, and J. Murota: Applied Surface Science, vol. 212-213, pp. 684-688, 2003.

(3) "Si Epitaxial Growth on SiH_3CH_3 Reacted Ge(100) and Intermixing between Si and Ge during Heat Treatment", K. Takahashi, M. Fujiu, M. Sakuraba, and J. Murota: Applied Surface Science, vol. 212-213, pp. 193-196, 2003.

(4) "Si Atomic Layer-by-Layer Epitaxial Growth Process Using Alternate Exposure of Si(100) to SiH_4 and to Ar Plasma", M. Sakuraba, D. Muto, T. Seino, and J. Murota: Applied Surface Science, vol. 212-213, pp. 197-200, 2003.

(5) "Contact Resistivity between Tungsten and Impurity (P and B)-Doped $Si_{1-x-y}Ge_xC_y$ Epitaxial Layer", J. Noh, M. Sakuraba, J. Murota, S. Zaima,

and Y. Yasuda: Applied Surface Science, vol. 212-213, pp. 679-683, 2003.

(6) "Atomic-Layer Doping in Si by Alternately Supplied NH_3 and SiH_4", Y. Jeong, M. Sakuraba, and J. Murota: Applied Physics Letters, vol. 82, No. 20, pp. 3472-3474, 2003.

(7) "Direct Measurements of Trap Density in a SiGe/Si Hetero-Interface and Correlation between the Trap Density and Low Frequency Noise in SiGe-Channel pMOSFETs", T. Tsuchiya, Y. Imada, and J. Murota: IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 50, No. 12, pp. 2507-2512, 2003.

(8) "Atomically Controlled Technology for Future Si-Based Devices", J. Murota, M. Sakuraba, and B. Tillack: Solid State Phenomena, vol. 95-96, pp. 607-616, 2004.

(9) "Fabrication of 0.12-μm SiGe-Channel MOSFET Containing High Ge Fraction with Ultrashallow Source/Drain Formed by Selective B-Doped SiGe CVD", D. Lee, S. Takehiro, M. Sakuraba, J. Murota, and T. Tsuchiya: Applied Surface Science, vol. 224, pp. 254-259, 2004.

(10) "Proposal of a Multi-Layer Channel MOSFET: The Application of Selective Etching for Si/SiGe Stacked Layers", D. Sasaki, S. Ohmi, M. Sakuraba, J. Murota, and T. Sakai, Applied Surface Science, vol. 224, pp. 270-273, 2004.

(11) "Interfacial Reaction and Electrical Properties in Ni/Si and Ni/SiGe(C) Contacts", S. Zaima, O. Nakatsuka, A.Sakai, J. Murota, and Y. Yasuda: Applied Surface Science, vol. 224, pp. 215-221, 2004.

(12) "Epitaxial Growth of N Delta Doped Si Films on Si(100) by Alternately Supplied NH_3 and SiH_4", Y. Jeong, M. Sakuraba, and J. Murota: Applied Surface Science, vol. 224, pp. 197-201, 2004.

(13) "Formation of Heavily P Doped Si Epitaxial Film on Si(100) by Multiple Atomic-Layer Doping Technique", Y. Shimamune, M. Sakuraba, and J. Murota: Applied Surface Science, vol. 224, pp. 202-205, 2004.

(14) "Effect of Carbon on the Thermal Stability of a Si Atomic Layer on Ge(100)", M. Fujiu, K. Takahashi, M. Sakuraba, and J. Murota: Applied Surface Science, vol. 224, pp. 206-209, 2004.

(15) "Ar Plasma Irradiation Effects in Atomically Controlled Si Epitaxial Growth", D. Muto, M. Sakuraba, T. Seino, and J. Murota: Applied Surface Science, vol. 224, pp. 210-214, 2004.

(16) "In Situ B Doping of SiGe (C) Using BCl_3 in Ultraclean Hot-Wall LPCVD", Y.Kunii, Y.Inokuchi, A.Moriya, H.Kurokawa, and J.Murota : Applied Surface Science, vol. 224, pp.68-72, 2004.

(17) "Relationship between Impurity (BorP) and Carrier Concentration in SiGe (C) Epitaxial Film Produced by Thermal Treatment", J.Noh, S.Takehiro, M.Sakuraba, and J.Murota: Applied Surface Science, vol. 224, pp. 77-81, 2004.

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）

研究費：校費 300,000円，旅費 89,480円

[2] 研究経過

光周波数シフタ（Acoustooptic Frequency Shifter: AOFS）をレーザー共振器内に内蔵した周波数シフト帰還型（Frequency Shifted Feedback：FSF）レーザーという新しいタイプのレーザーが東北大学電気通信研究所の伊藤弘昌教授のグループにより精力的に研究されている。特に，超高速光通信ネットワークの光ファイバの分散測定など，最先端の光通信にもその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回折光（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２年目であった。前年度は，プロトン交換法により作製された$LiNbO_3$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，この導波路型AOFSモジュールをリング型ファイバ共振器内に挿入しFSFレーザー発振を得た。しかし，発振に必要な周波数シフト光を得る際，高いRF電力を要するため，光計測への応用のためには低駆動パワー化，高効率化が必要である。また，高効率化により導波路型AOFSの光マトリックススイッチなどへの応用も期待できる。そこで本年度は，主として導波路型AOFSの高効率化を検討することを目的として研究を遂行した。

以下，研究活動の概要を記す。本年度は，（1）相互作用領域の長尺化による導波路型AOFSの高効率化，（2）光回折特性の駆動周波数依存性，（3）導波路型AOFSを用いた光距離計測を行った。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，オプトクエストの飯塚孝，小林哲也，渡辺正行各氏が参画し，主として東北大学グループは光距離計測に関する評価を，山梨大学グループはデバイスの設計，作製を，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2月5日（木）～6日（金）には研究打合せ，及び光距離計測に関する共同実験を行った。平成16年3月14日（日）～15日（月）には，各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) 相互作用領域の長尺化による導波路型AOFSの高効率化

入射光が100%回折するために必要なSAWパワーP_{100}は相互作用領域の長さLに反比例するため，その長尺化により高効率化が期待できる。そこでLをこれまでの1.5倍とし(L =3mm)，図1に示す導波路型AOFSを作製した。プロトン交換導波路の作製条件，テーパ導波路の角度などはこれまでのデバイスと同様であり，128° YカットLiNbO$_3$基板上にTa_2O_5マスク（膜厚800Å）の導波路パターンを形成後，安息香酸中（0.2 Li mole %）240℃で1h15minプロトン交換，wet-O_2雰囲気中400℃で1h40minアニーリングを行い導波路を作製した。その屈折率分布は，異常光屈折率変化Δn_eが0.021，導波路深さが約4μmのガウス状分布である。SAW励振用IDTの波長は20μm，対数は20対とした。

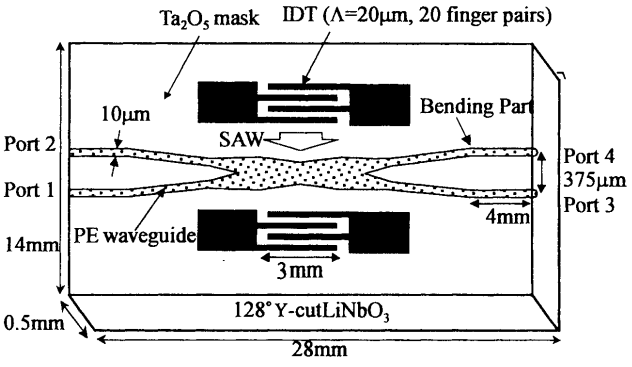


図１．導波路型AOFSの構成

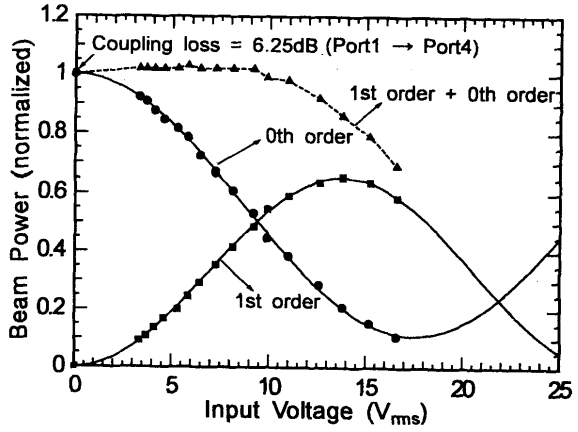


図２．光回折効率

導波路端面を研磨した後（ARコーティングなし），光回折効率を測定した。入力SAWパワーによる発熱の影響を防ぐために，IDTへのRF入力はバースト信号とした。駆動周波数は約200MHzである。図2にRF入力電圧に対する一次回折光パワーと非回折光パワーの測定結果を示す。図中の曲線は各測定値をフィッティングした$\sin^2$曲線である。入力電圧が14V_{rms}のとき一次回折光パワーはピークを示し，65％の回折効率が得られた（前年度のデバイスでは10V_{rms}のとき35％）。また，17V_{rms}のとき非回折光パワーの減少分は90％に達している。しかし，両者のピークを示す電圧に差が生じていることがわかる。また，10V_{rms}以上の電圧では非回折光パワーの減少分と一次回折光パワーが一致しておらず，最大で入力光パワーの3割程度が失われている。これらの点については今後検討を要する。

(2) 光回折特性の駆動周波数依存性

P_{100}の駆動周波数依存性をモード結合理論により計算した。導波光モードをTM_0，相互作用長Lを3mmとし，Δn_eが0.021のステップ状の屈折率分布を有するプレーナ型光周波数シフタを仮定し，導波路深さdをパラメータとして計算した結果を図3に示す。各導波路深さに対して最適駆動周波数が存在することがわかる。d=4 μ mのとき，約100 MHzにおいて最小のP_{100}を示すという結果が得られた。

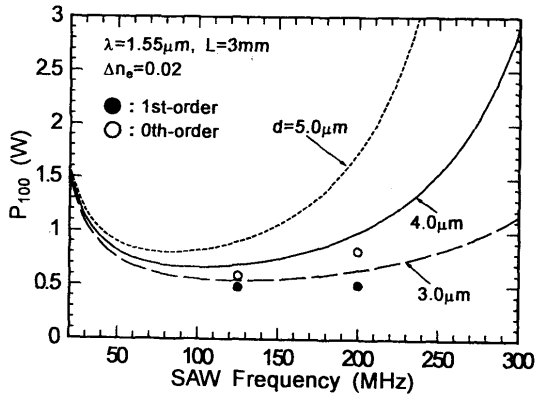


図３．P_{100}の駆動周波数依存性

この計算結果を踏まえて，駆動周波数を125MHz（SAW波長：32 μ m，光波長1.55 μ mに対するブラッグ角：0.64°，L =3mm）として導波路型AOFSを設計，作製した。導波路作製条件は前述の200MHzのものと同一である。前節と同様に光回折効率を測定し，実験的にP_{100}を求めた結果を200MHzの結果と共に図3中に示す。SAWパワーは光プローブ法により，相互作用領域におけるSAW振幅を実測した結果より求めた。前述したように，非回折光パワーの減少分と回折パワーがピークを示す電圧が異なるために，図中にはそれぞれのピークに相当するP_{100}を示してある。

測定値は計算値よりも小さい値を示しているが，駆動周波数に対する変化は計算値と同様の傾向を示しており，駆動周波数を最適化することにより，より低駆動パワー化が実現できることがわかった。

(3) 導波路型AOFSを用いた光距離計測

導波路型AOFSをリング型ファイバ共振器内に挿入しFSFレーザー発振させ，その出力光を図4に示すマッハツェンダ干渉計（Mach-Zehnder Interferometer: MZI）に入射した。参照用のアームと測定対象（空間光伝搬距離）のアームを伝搬した光を光検出器で検波し，ESAでビート周波数信号を観測した。レールを移動して空間光伝搬距離を変え，干渉計の光路差を0～300 mmとした場合のビート周波数の変化を図5に示す。図中の直線は測定結果を光路差zの多項式でフィッティングした直線である。チャープの線形性を定量的に評価すると，光路差に対するビート周波数の線形性が高く，バルク型AOFSを用いた場合と同様に高分解能の光距離計測が可能であることがわかった。

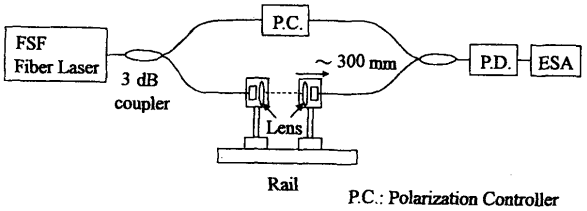


図４．FSF ファイバレーザーを光源とする光距離計測の測定系

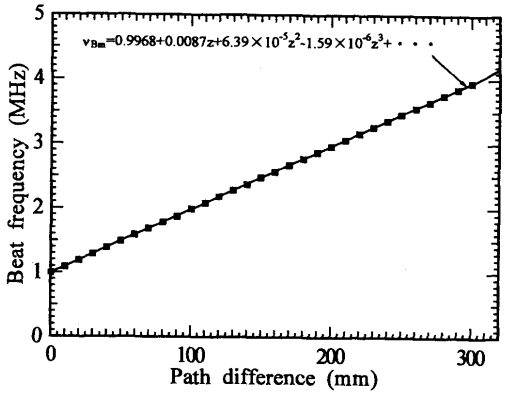


図５．光路差に対するビート周波数

(3-2) 波及効果と発展性

FSFレーザーは通常のレーザーとは異なるユニークなスペクトル特性を有していることから，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と期待できる。さらに，本プロジェクトで提案した導波路型AOFSの，光マトリックススイッチや光波長可変フィルタなどのフォトニックネットワークにおけるキーデバイスへの展開を目指す研究計画が，平成15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）の研究課題として採択され，今後の発展が期待されている。

[4] 成果資料

(1) S. Kakio, N. Zou, M. Kitamura , H. Ito and Y. Nakagawa, "An integrated acoustooptic frequency shifter driven by surface acoustic wave for 1.55 μm optical wavelength," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 42, No. 5B, pp.3063-3066 (2003.5).

(2) 垣尾省司, 北村通英, 中川恭彦, 鄒念育, 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周波数シフタと周波数シフト帰還型ファイバレーザーへの応用", 日本音響学会秋季研究発表会予稿集, pp.969-970 (2003.9).

(3) 垣尾省司, 北村通英, 中川恭彦, 鄒念育, 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周波数シフタと周波数シフト帰還型ファイバレーザーへの応用", 電子情報通信学会光通信システム研究会, OCS2003-77, pp.47-52 (2003.10).

(4) S. Kakio, M. Kitamura, Y. Nakagawa, N. Zou, T. Hara, H. Ito, T. Iizuka, T. Kobayashi, M. Watanabe, "Waveguide-type acoustooptic frequency shifter driven by surface acoustic wave and its application to frequency-shifted feedback fiber laser", 2003 IEEE International Ultrasonics Symposium, pp.1808-1811,(2003.10).

(5) 垣尾省司, 北村通英, 中川恭彦, Nianyu Zou, 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周波数シフタと周波数シフト帰還型ファイバレーザーへの応用," 第24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. 213-214 (2003.11).

(6) 垣尾省司, 北村通英, 中川恭彦, Nianyu Zou, 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周波数シフタと周波数シフト帰還型ファイバレーザーへの応用," 電子情報通信学会論文誌, Vol. J86-C, No.12, pp.1263-1271 (2003.12).

(7) 垣尾省司, 北村通英, 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周波数シフタの高効率化,"日本音響学会春季研究発表会予稿集, pp. 937-938 (2004.3).

共同プロジェクト研究

課題番号　H14/A03

視聴覚間相互作用の起源

[1] 組織

代表者：杉田陽一
（独立行政法人産業技術総合研究所）
責任者：鈴木陽一
（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費　297,000円，旅費　247,920円

[2] 研究経過

ヒトをはじめとして動物は，五感を通じて外界の出来事を認識している。五感は，それぞれ独立した受容器官および感覚情報処理系を持っている。ところが，見ることが聞くことを変え，また聞くことが見ることを変えることが，ヒトの心理実験や動物の行動実験で次々に明らかにされている。このような異種感覚間相互作用の仕組みを明らかにすることは，脳の感覚情報処理様式を知る上で極めて重要であり，近年盛んに研究されている分野になっている。本プロジェクトでは，視覚と聴覚が互いに作用しあう時間経過を明らかにする目的で研究を行った。

本プロジェクトは，本年度が第２年度であった。前年度は，視聴覚同時性判断に関するヒト心理実験を行い，脳が音の進む速さを計算に入れて同時性判断を行っていることが明らかになった。本年度は，前年度の成果を踏まえながら，他覚的測定法（事象関連電位測定）を用いて同時性判断に関する研究を展開した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

本年度は，３度の研究打ち合わせ，および東北大学電気通信研究所において２度の共同実験を行った。

[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。

実世界において多くの場合，音は眼に見えるものの動き（映像）によって生み出される。脳は聞こえた音と見えた映像を統合し，実世界の出来事を理解している。しかし，稲妻と雷鳴，打ち上げ花火の光と音あるいは空を飛ぶジェット機と爆音のような遠い距離での出来事では，視聴覚間の統合が不可能になることは経験上よく知られている。これは，光は発生と同時に眼に到達するが，音は1メートル進むのに約3ミリ秒（0.003秒）を要するため，距離が長くなるにつれて光と音を受容する時間差が増大するためである。今まで，どの位の距離まで視聴覚間の情報統合が可能であるかは正確には知られていなかった。

本プロジェクトでは，光と音を様々な距離や時間間隔で呈示して，音が鳴った時間と光が点灯した時間が同時であると感じられる時間間隔を測定するのと併行して事象関連電位を測定した。この結果，距離を1メートル長くするたびに音を3ミリ秒ずつ遅れて呈示すると，被験者は同時に呈示されたと感じられることが明らかになった。この時間は，音が大気中を進む速度と一致している。また，この視聴覚間情報統合における補完の限界が約40メートル近辺であることも同時に明らかとなった。

また，ヒトの判断と併行して測定した事象関連電位の波形も距離の増加に伴って大きく変化した。観察距離が長くなるにつれて，音刺激に対するN100成分の頂点潜時が短くなっていく顕著な傾向が見られた。このことは，聴覚情報処理の初期段階において，観察距離が長くなるにつれて音の処理時間が短くなることを示している。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトで明らかになった成果は，海外でも注目され，シンポジウムなどでの発表を通じて，海外の研究者との交流が飛躍的に活性化し，今後の国際共同研究に結びつきつつある。

[4] 成果資料

(1) Yoichi Sugita and Yŏiti Suzuki
Implicit estimation of sound arrival time.
Nature **421**, 911, 2003

(2) Yoichi Sugita and Y?iti Suzuki
Implicit estimation of sound arrival time
TNO International Symposium, Netherland, 2003.

(3) 杉田 陽一，鈴木 陽一
視聴覚同時判断における距離補完効果（YS効果）について
日本音響学会聴覚研究会資料，Vol 33

共同プロジェクト研究

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）
責任者：鈴木陽一（東北大学電気通信研究所）
分担者：
森本政之（神戸大学）
宮島　徹（清水建設技術研究所）
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）
西村竜一（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費317,000円，旅費812,640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，伝達系がもつ個人性の影響を受けると考えられる。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，あらゆるヒトに適用できる汎用性をもたせるために不可欠である。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）の従続接続で表現できることが明らかとなっている。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15年度は，本プロジェクト研究の第2年度であった。第1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たとともに，HRTFのモデル化について検討を行った。本年度は，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，それをもとに境界要素法（Boundary Element Method，以下ではBEMと書く）を用いてHRTFを推定した。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。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

ADVISEに基づく高精度聴覚ディスプレイのリアルタイムシステム

本プロジェクト研究の代表者・分担者のグループは，先行研究の成果として，「仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイ」を提案し，その有効性を示してきた。本プロジェクトでは，これをさらに一般化し，音源や音場がどのようなものであっても，聴取者の両耳音圧を精密に合成できるものとして改善を図った。本プロジェクト研究では，これをADVISEと名付けた。ADVISEの理論に基づき，聴取者の頭部の動きにリアルタイムで追従できる基本的なシステムを開発した。現状のシステムでは，高速 DSP（TI TMS320C6701）5個を搭載したパーソナルコンピュータを用いており，2次元音場を～1 kHzの帯域で再生できる。聴取実験により主観的な精度について検討した結果，従来の聴覚ディスプレイと同等の精度を得ることができた。この成果については，日本音響学会の英文誌Acoustic Science & Technologyに論文および技術報告として

まとめて発表した。本年度は，DSPの数をさらに増やしたシステムを設計し，より実際の聴取状況に近い両耳音圧の合成が可能なシステムを開発した。しかし，DSP間の通信などが原因で，現状では，想定していたDSPの処理能力を発揮するには問題が残されていることがわかった。この問題の解決を図り，リアルタイムシステムの性能を向上させていく所存である。

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前年度に構築した。精度を検証した結果，このシステムは，疑似頭（ダミーヘッド）のように静止している物体も，ヒトのように微妙に移動する測定対象も，大体2 mm程度の精度でその形状を測定できることが示された。本年度は，計測された頭部の3次元形状をデータとし，BEMを用いたHRTFの推定を試みた。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。

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。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。この点について検討するとともに，推定結果と実測結果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も検討を行う予定である。

音像定位における聴取者の頭部移動の影響

ヒトは，日常の聴取状況において，頭部を静止させていることはほとんどなく，無意識にせよ意識的にせよ，頭部が移動していると考えるのが自然である。さらには，そのときの音源～両耳までの音響伝達系の変化を，音のもつ空間的な情報の把握に役立てていると考えられる。そのため，音場情報に含まれる個人性を考える上で，このような聴取時のヒトの性質を考慮するのは不可欠であると考えられる。この観点から，本プロジェクトでは聴取者の頭部移動の影響を，HRTFを仮想的に合成できるシステムを用いた聴取実験をとおして検討した。HRTFを仮想的に合成するシステムを用いることで，実測によって得た聴取者自身のHRTFを用いた場合と，他人のHRTFを用いた場合の音像定位の比較，および音像定位に及ぼす頭部移動の影響を比較する事が可能となる。

これまでの多くの研究の結果，聴取者自身のHRTFを用いない場合には，前方向のHRTFを合成した音源を聴取しても後ろに知覚されるという，前後誤判定と呼ばれる現象が起こることが知られている。本実験の結果，聴取者自身のHRTFを合成しない場合にも，頭部の移動によって前後誤判定は減少することがわかった。その一方で，聴取者自身のHRTFを合成しない場合には，合成した場合に比べて定位の誤差（合成したHRTFの方向と知覚した方向との差）は，頭部の回転を行っても有意には減少しないことも示された。頭部の移動が音像定位に有効であることが示された一方で，HRTFに反映される個人性を精密に合成する必要があることも示唆されたといえる。

(3-2) 波及効果と発展性

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，本プロジェクト研究の研究対象の一つである聴覚ディスプレイについては，経済産業省の産学官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。本プロジェクトのメンバーである鈴木と岩谷が中心となって，聴覚ディスプレイ技術を応用した障害者支援システムやテレビゲームの開発を目指したプロジェクトである。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。

本プロジェクトの発展性に関し，3点に絞って述べる。第一に，HRTFの推定あるいは測定手法については，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いる。特に，平成15年度には，先端音響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，現在のところ

具体的な成果とはなっていないが，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。推定手法と計測結果が，個人ごとのHRTFをより手軽に得る上で原動力となると期待できる。第2に，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，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考えられる。第3は，伝達関数の合成に基づく音場情報の提示システムへの応用である。これについては，本プロジェクト研究においてADVISEの理論を提案しており，今後も引き続き理論をより実際に即したかたちでインプリメントする方針である。このようなシステムの開発により，高精度バーチャルリアリティシステムにおける聴覚ディスプレイとして発展する可能性が極めて高い。

[4] 成果資料

1. Shouichi Takane, Yŏiti Suzuki, Tohru Miyajima and Toshio Sone, "A new theory for high definition virtual acoustic display named ADVISE," Acoust. Sci. & Tech., 24(5), 276-283(2003).
2. Shouichi Takane, Shusuke Takahashi, Yoiti Suzuki and Tohru Miyajima, "Elementary real-time implementation of a virtual acoustic display based on ADVISE," Acoust. Sci. & Tech., 24(5), 304-310(2003).
3. 高根昭一，「個人の頭部伝達関数の推定手法について」，音講論集，487-490(2004.3).
4. 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).
5. Yukio Iwaya, Yŏiti Suzuki and Shouichi Takane, "Effects of listener's head movement on the accuracy of sound localization in virtual environment," Proc. 18th International Congress on Acoustics, Tu2.D.4(2004).

課題番号　H14/A07

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（東北大学大学院工学研究科）
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）
平田　孝道（東北大学大学院工学研究科）
金子　俊郎（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）
佐々木悠彦（宮城工業高等専門学校）
笠間　泰彦（㈱イデアルスター）
表　　健次（㈱イデアルスター）
小松健一郎（㈱イデアルスター）
吉木　宏之（鶴岡工業高等専門学校）
八井　　浄（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）
斉藤　直昭（産業技術総合研究所）
小松正二郎（物質・材料研究機構）
阿知波洋次（東京都立大学理学研究科）
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　紘一（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）
門田　　清（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）
橘　　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部）
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（山口大学工学部）
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　436,000円，旅費　886,280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るべく，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展開した。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15年11月６日，７日
場所：11月６日　五橋会館
　　11月７日　東北大学大学院工学研究科
　　電気・情報館１号館451・453会議室

１）「バイオナノプロセス：生体超分子を用いるナノ構造の構築にむけて」　村岡 雅弘[1)]，山下一郎[1) 2) 3)]（科学技術振興機構[1)]，奈良先端科学

技術大学院大学[2]，松下電器産業㈱[3])
2）「プラズマナノテクノロジー：21世紀の新物質合成のために」　小松正二郎（物質・材料研究機構）
3）"One-Dimensional Wires and Spaghetti Architecture" Y. Kuk (Seoul National University, Korea)
4）「イオン性ソフトマター：高分子から遺伝子まで」　田中基彦（核融合科学研究所）
5）「カーボンナノチューブのナノメカニクスとナノツールへの応用」　秋田成司，中山喜萬（大阪府立大学）
6）「スパッタプロセス用プラズマ源の新展開」　中村圭二（中部大学）
7）「レーザー誘起蛍光法によるプラズマ計測の最前線：可視化密度分布計測，粒子温度計測，および電界計測」　佐々木浩一（名古屋大学）
8）「パルス細線放電による新規フラーレン・カーボンナノチューブ合成法開発」　末松久幸，小林亮太，江　偉華，八井　浄，平田孝道*，畠山力三*（長岡技術科学大学，東北大学*）
9）「高圧力ガス雰囲気から超臨界流体雰囲気におけるマイクロプラズマの研究」　伊藤剛仁，片平研，笘居高明，寺嶋和夫（東京大学）
10）「大気圧マイクロプラズマ源」　吉木宏之，庄司裕之，畠山力三*（鶴岡工業高等専門学校，東北大学*）
11）「プラズマ応用フラーレン研究の新展開」　平田孝道[1]，藤本加代子[2]，笠間泰彦[3]，畠山力三[1)2)]（東北大学[1]，科学技術振興機構[2]，㈱イデアルスター[3])

本研究会では学内外を含め延べ78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。

日時：平成15年12月3日，4日
場所：東北大学大学院工学研究科
電気・情報館1号館451・453会議室

1）「電子・陽電子・イオンプラズマ中の波動と陽電子加速」　大澤幸治，長谷川裕記（名古屋大学）
2）「ペアフラーレンイオンプラズマの基礎特性」　伊達大介，大原渡，畠山力三（東北大学）
3）「粘性流体としてのプラズマにおける渦度のダイナミクス」　田中雅慶，永岡賢一，岡本敦*，吉村信次（核融合科学研究所，名古屋大学理学研究科*）
4）「CHS実験における内部及び境界での輸送障壁の研究」　岡村昇一，藤澤彰英，南貴司（核融合科学研究所）
5）「ヘリコン波と遅波によるプラズマ生成」　坂和洋一，庄司多津男（名古屋大学）
6）"Mechanisms of Enhanced Plasma Production in a Helicon Discharge in Converging Magnetic Field" K. P. Shamrai (National Academy of Sciences, Ukraine)
7）「弱磁場中ヘリコン波放電プラズマの特性」　佐藤玄太，大原渡，畠山力三（東北大学）
8）「MHDスケールKH渦における電子慣性効果と磁気圏境界層現象への応用」　藤本正樹（東京工業大学）
9）「JT-60Uトカマクプラズマにおける流れと輸送」　滝塚知典（日本原子力研究所）
10）「磁化プラズマ中イオンフロー速度シアの低周波不安定性への効果」　角山北斗，金子俊郎，畠山力三（東北大学）
11）「実験室プラズマにおける3次元波動解析」　福山淳（京都大学）
12）「不均一磁化有限境界プラズマ中ECR周波数帯電磁波の偏波方向反転機構」　高橋和貴，金子俊郎，畠山力三（東北大学）
13）「ガンマ10におけるECRHによる電位形成」　斉藤輝雄（筑波大学）
14）「電子サイクロトロン共鳴加熱による球状トカマクの形成」　田中仁，前川孝（京都大学）

本研究会では学内外を含め延べ86名以上の参加者があり，講演は主にプラズマ基礎分野に重点を置いており，聴講者の興味を引き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，プラズマを活用しての新機能性ナノ構造形成に関して以下の研究成果を得た。

近年の物質科学上の大きなトピックスとして，カーボンナノチューブの発見と大量合成法の確立がある。現在，この物質の工学，医学等における応用を模索する研究が精力的に展開されている。特に，電子ドナーのアルカリ金属原子（K）列と電子アクセプターのハロゲン原子（I）列の接合を包み込むことによって，一次元ナノ構造等の特異性からナノサイズの非線形電子素子と成り得るという結果が理論・計算機シミュレーション研究におい

て報告されている。以上の研究背景を踏まえた上で，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する。

実験は直径10 cm，長さ132 cm の真空容器から構成されているシングルエンドQマシン装置で行っている。2,000℃以上に加熱されたタングステン板上から熱電子が放出され，アルカリ原子の接触電離によってアルカリ正イオンが生成される。このようにして生成されたアルカリプラズマは均一磁場（B=2 kG）に沿って管軸方向に流れ，オーブンを内蔵している再昇華用円筒を通過していく。アルカリプラズマ中に存在する電子が昇華したフラーレンに付着して，アルカリ正イオンとフラーレン負イオンから成るアルカリーフラーレンプラズマが生成する。このプラズマ中に，束状の単層（SWNT）カーボンナノチューブ固形物を分散塗布した基板を挿入し，バイアス法によりプラズマイオン照射実験を行った。本年度は，イオン照射時間を２分割して正及び負の直流バイアス電圧を基板に連続的に印加することにより，アルカリ原子列とC_{60}分子列の接合を内包したSWNT創製を目的とした実験を行った。アルカリ金属原子中で最大直径を有し，直接観察が可能であるセシウム（Cs）を用いた。さらにデバイス応用への展開の観点から，プラズマ支援化学気相堆積（プラズマCVD）法を用いた空のSWNTsの単独かつ高配向形成実験も行った結果，以下のことが判明した。

Ⅰ．原子・分子(Cs・C_{60})列接合内包SWNTの創製実験

Cs－C_{60}プラズマ中で，SWNTsを塗布した基板に正バイアス電圧（ϕ_{ap}= +20 V）を30分間印加してC_{60}^-イオンを照射し，次に負バイアス電圧（ϕ_{ap}= －100 V）を30分間印加してCs^+イオンを同一のSWNTs 塗布基板に照射する極性反転バイアス印加法による実験を行い，回収したSWNTsに対して電界放出型透過型電子顕微鏡（FEG-TEM）による観察を行った。

C_{60}^-は質量数が大きいために，低い基板バイアスによる低エネルギーイオン衝撃でも開口端が形成される。SWNTsの開口断面からC_{60}^-イオンが侵入してC_{60}@SWNTsが形成される。このC_{60}@SWNTsの形成率は，プラズマの密度と正比例することが昨年度の研究より明らかになっている。ここで構造変形を起こさない程度に基板バイアスしてCs^+を照射した結果，C_{60}分子（またはC_{60}^-）列に隣接してCsを内包させることに，世界に先駆けて成功した。

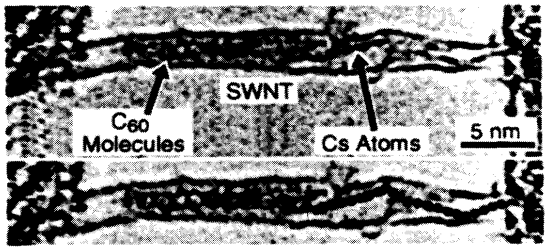


図１．Cs/C_{60}接合内包SWNTのFEG-TEM像。

図１にCs/C_{60}接合内包SWNT（Cs/C_{60}@SWNTs）のFEG-TEM像を示している。SWNT内部の右側にCs原子（またはCs^+）列，左側にC_{60}分子（またはC_{60}^-）列が隣接して存在している。Csは電子ドナーであり，C_{60}は電子アクセプターであるので，このCs/C_{60}@SWNTsはSi半導体のPN接合のように整流等の非線形電気特性を発現する可能性がある。また，エネルギー分散型X線元素分析装置（EDS）により組成元素の同定を行った結果からも，アルカリ金属の存在が確認された。

Ⅱ．プラズマ支援化学気相堆積（プラズマCVD）法を用いたSWNTsの単独かつ高配向形成実験

上記 I. の成果より，基板上に単独高配向・成長した空のSWNTに対してイオン照射するならば，より制御性に優れた原子・分子内包実験並びに評価・分析を行うことが可能であるといえる。さらに，電子輸送・電気特性等の測定を行う場合においても，電極上へのSWNT直接成長並びに単独付着が超精密測定を容易にすることも，大きな優位点である。以上の観点から，プラズマ支援化学気相堆積法（プラズマCVD法）を用いた単独かつ高配向の空SWNT形成を目的とした実験に挑戦した。その結果，図２に示すように，SWNT（直径：約7.5 Å）の単独・低温成長に世界で初めて成功した。

Ⅲ．アルカリーハロゲンプラズマの生成・制御

C_{60}の代わりにハロゲン原子を内包して，K/ClまたはK/I接合内包SWNTを創製するために，アルカリ塩（KCl,KIなど）を解離・電離することによってアルカリーハロゲンプラズマの生成を試みた。KCl固体を1500℃程度に加熱・気化させ，KCl蒸気と高温タングステンフィラメント（2300℃程度）の接触電離反応により，解離・電離させてプラズマ化することができた。しかし接触電離反応だけでは電離効率が低いため，マグネトロン放電方式を付加したところ，１桁以上高密度のプラズマ生成に成功した。今後はこのプラズマ源を利用して，K/Cl接合内包SWNTを創製していく予定である。

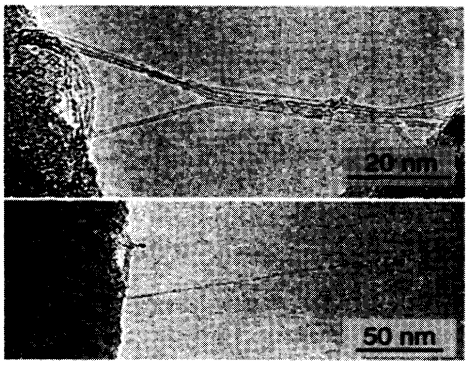


図2. プラズマCVD法による単独・高配向SWNTsのFEG-TEM像。

（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が一同に会し，研究者同士の交流が飛躍的に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．“Observation of Polarization Reversal and Electron Cyclotron Damping Directly Associated with Obliquely Propagating Left-Hand Polarized Wave”, K. Takahashi, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Journal of Plasma and Fusion Research, vol. 79, No. 5, pp. 447-448, 2003.

2．“Encapsulation of Cesium inside Single-Walled Carbon Nanotubes by Plasma-Ion Irradiation Method”, G. -H. Jeong, A. A. Farajian, T. Hirata, R. Hatakeyama, K. Tohji, T. M. Briere, H. Mizuseki, and Y. Kawazoe: Thin Solid Films, vol. 435, pp. 307-311, 2003.

3．“Pair-Ion Plasma Generation and Fullerene-Dimer Formation”, W. Oohara and R. Hatakeyama: Thin Solid Films, vol. 435, pp. 280-284, 2003.

4．“Preparation of Fullerene by Pulsed Wire Discharge”, H. Suematsu, C. Minami, R. Kobayashi, Y. Kinemuchi, T. Hirata, R. Hatakeyama, S.-C. Yang, W. Jiang, and K. Yatsui: Japanese Journal of Applied Physics, vol. 42, pp. L1028-L1031, 2003.

5．“Magnetron-Type Radio-Frequency Plasma Control Yielding Vertically Well-Aligned Carbon Nanotube Growth”, T. Hirata, N. Satake, G.-H. Jeong, T. Kato, R. Hatakeyama, K. Motomiya, and K. Tohji: Applied Physics Letters, vol.83, pp. 1119-1121, 2003.

6．“Cesium Encapsulation in Single-Walled Carbon Nanotubes via Plasma Ion Irradiation: Application to Junction Formation and Ab Initio Investigation”, G.-H. Jeong, A. A. Farajian, R. Hatakeyama, T. Hirata, T. Yaguchi, K. Tohji, H. Mizuseki, and Y. Kawazoe: Physical Review B, vol.68, pp.075410-16, 2003.

7．“Single-Walled Carbon Nanotubes Produced by Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition”, T. Kato, G. -H. Jeong, T. Hirata, R. Hatakeyama, K. Tohji and, K. Motomiya: Chemical Physics Letters, vol. 381, pp. 422-426, 2003.

8．“Q Machine Plasmas”, R. Hatakeyama: Journal of Plasma and Fusion Research, vol. 79, No. 12, pp. 1223-1232, 2003.

9．“Time Evolution of Nucleation and Vertical Growth of Carbon Nanotubes during Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition”, G. -H. Jeong, N. Satake, T. Kato, T. Hirata, R. Hatakeyama, and K. Tohji: Japanese Journal of Applied Physics, vol. 42, pp. L1340-L1342, 2003.

10．“Pair-Ion Plasma Generation using Fullerenes”, W. Oohara and R. Hatakeyama: Physical Review Letters, vol. 91, No. 20 pp. 205005-1-4, 2003.

11．“Plasma State Transition Originating from Local Production of Massive Negative Ions”, W. Oohara, R. Hatakeyama, and S. Ishiguro: Physical Review E, vol. 68, No. 6, pp. 066407-1-8, 2003.

12．“Electronic Properties of Radial Single-Walled Carbon Nanotubes”, Y. Sato, B. Jeyadevan, R. Hatakeyama, A. Kasuya, and K. Tohji: Chemical Physics Letters, vol. 385, pp. 323-328, 2004.

13．“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.

14．Comment on “Drift-Wave Instability Excited by Field-Aligned Ion Flow Velocity Shear in the Absence of Electron Current” and Reply, T. Kaneko, H. Tsunoyama, R. Hatakeyama, and G. Ganguli: Physical Review Letters, vol. 92, No. 6, p. 069502-1, 2004.

15．“Effects of Controlled Flow-Shear on Low-Frequency Instabilities in Magnetized Plasmas”, R. Hatakeyama, T. Kaneko, and H. Tsunoyama: Journal of Plasma and Fusion Research, vol. 80, No. 2, pp. 147-156, 2004.

課題番号　H14/A09

偏波モード分散測定に関する研究

[1] 組織
研究代表者：波平 宜敬
（琉球大学工学部電気電子工学科）
東北大学通研対応教官：伊藤 弘昌
（東北大学電気通信研究所）
研究分担者：鄒　念育
（琉球大学工学部電気電子工学科）

研究費：校費　301,000円，旅費　628,710円

[2] 研究経過

近年インターネットを中心としたデータトラフィックの飛躍的な増大に対応して，IT社会のキーテクノロジーである光ファイバ通信技術に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が波長分散（Chromatic Dispersion: CD），偏波モード分散（Polarization Mode Dispersion: PMD），偏波依存性損失（Polarization Dependent Loss: PDL），非線形性（Non-Linearity: NL）などが明らかになってきている。中でも偏波モード分散は，光ファイバに生じるわずかな複屈折に基づく群遅延時間差により伝送特性の劣化を生じるもので，敷設された光ファイバでの定量的なPMD測定と補償は重要な課題と考えられる。まだ，さらなる超高速光伝送システムではPMDの波長依存性である高次PMDの測定も無視できない問題となってきている。

本プロジェクトは，本年度が第二年目であった。前年度は，光周波数領域リフレクトメトリ法より偏波モード分散の測定法を実証した。東北大学電気通信研究所の研究グループで周波数シフト帰還型（FSF）レーザ光源を新たに開発した。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。さらに周波数領域リフレクトメトリ計測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。偏光モード結合がない場合は，他のPMD測定法の結果ITU-T（国際電気通信連合標準化部門）PMDラウンドロビン測定結果；琉球大学波平氏がコーディネータ）と一致するが，ランダム偏光モード結合がある場合には，一致しないことが確認されている。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することが目的で，東北大学電気通信研究所と琉球大学工学部電気電子工学科のグループで共同研究を遂行した。東北大学グループが提案し，試作したPMD測定システムと琉球大学グループが発表したランダム偏光モード結合状態におけるＰＭＤ測定理論を用いて実験的に検討を行い，米国で開催された世界最大級の光ファイバ通信国際会議(OFC2001)に，連名で論文発表を行った。

現在PMDを測定するの提案，方法がいくつあるが，さらなる超高速光伝送システムで無視できない問題となってきているPMDの波長依存性である高次PMDを測定する報告が少ない。そこで，本年度は，前年度の成果を踏まえながら，光周波数領域リフレクトメトリ法で高次PMDの測定に関する研究を展開した。

以下，本年度の研究活動の概要を記す。

[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) 波長可変FSFファイバレーザを構築した。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であった。

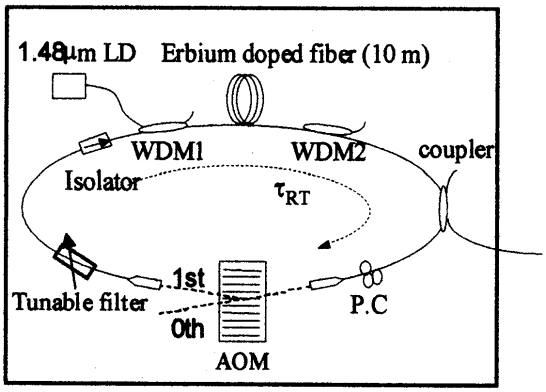


図1．Diagram of wavelength tunable FSF fiber

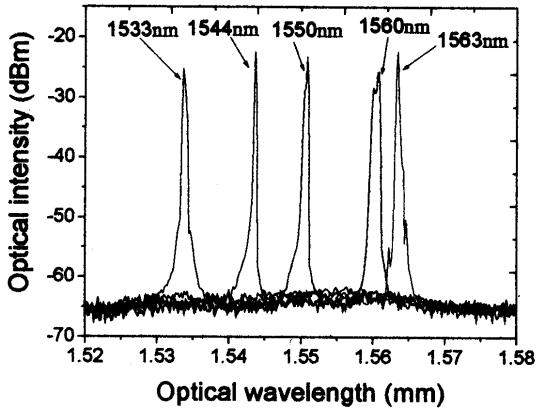


図2．Spectrum of wavelength tunable FSF fiber

(2) 波長可変FSFファイバレーザを用いた光周波数領域リフレクトメトリ法により，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た。図3 に長さ1mの偏波面保存光ファイバ（PMF）サンプルについて実測結果を示す。PMFのDGD波長依存性はほぼ無依存であることが確認できた。

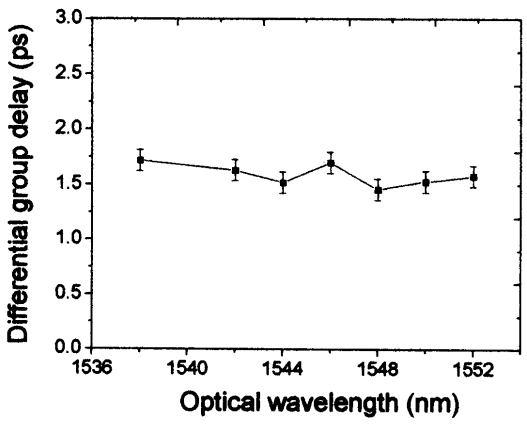


図3．DGD measurement result of PM fiber

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究の結果より，FSFファイバレーザを用いた光周波数領域リフレクトメトリ法を用いて偏光主軸のDGD波長依存性を直接測定可能であることが確認された。

多段のPMFをランダム接続した偏光モード結合サンプル（PMDエミュレータ）によりDGDの波長依存性をシミュレートし，その高次PMD特性の測定が次のステップとなる。

波長可変FSFファイバレーザ用いた光周波数領域リフレクトメトリ法による高次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。さらに測定の安定化やコンパクト化への一つのアプローチとして，導波路型音響光学素子を用いた周波数シフト帰還型レーザも提案しており，今後の展開が期待されている。

[4] 成果資料

[1] N. Zou, M. Yoshida, Y. Namihira and H. Ito: "PMD measurement based on delayed self-heterodyne OFDR and experimental comparison with ITU-T round robin measurements," Electron. Lett., Vo.38, No.3, p.115~116, 2002.

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：中村　慶久（東北大学電気通信研究所）
責任者：中村　慶久（東北大学電気通信研究所）
分担者：
杉田　愃（東北工業大学電子工学科）
大澤　壽（愛媛大学工学部）
岡本好弘（愛媛大学工学部）
山本節夫（山口大学工学部）
高橋則雄（岡山大学工学部）
藤原耕治（岡山大学工学部）
金井　靖（新潟工科大学工学部）
村岡裕明（東北大学電気通信研究所）
青井　基（東北大学電気通信研究所）
島津武仁（東北大学電気通信研究所）
山川清志（東北大学電気通信研究所）
大内一弘（秋田県高度技術研究所）
本多直樹（秋田県高度技術研究所）
伊勢和幸（秋田県高度技術研究所）
高橋慎吾（秋田県高度技術研究所）
玉城孝彦（日本放送協会技術局）
西原敏和（日本ビクター）
鹿野博司（ソニー）
岡崎　裕（ソニー）
園部義明（Hitachi Global Storage Technologies）
森田治幸（TDK）
田上勝通（日本電気）
二本正昭（日立製作所）
高野公史（日立製作所）
押木満雅（富士通研究所）
田中陽一郎（東芝）

研究費：校費　377,000円，旅費　740,340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ており，強磁性の根源であるスピンの挙動にまで考慮した超大容量垂直磁気記録の研究・開発は，近年ますますその重要性を増している。テラビット垂直スピニックストレージシステムの研究は，材料やデバイスの議論から，システムや信号処理の検討まで幅広い領域を含むので，本共同プロジェクト研究では参加研究者の研究分野を，ヘッドディスク系のデバイス研究と，システム信号処理系の方式研究の二つに大きく分けている。デバイス側では材料と物性を含めた広範囲な高密度デバイス研究を行うとともに，試作デバイスに対してエラーレートを含めた積極的な記録再生特性評価を加えており，システム信号処理系ではその記録再生特性の結果をよく吟味した研究内容となるように共同研究の実を挙げている。研究集会は全体会議を1回を開催して最新の研究成果を持ち寄り，議論を重ねた。開催日程は以下の通りである。

研究集会
2月16日（月）

[3] 成果

（3－1）研究成果

本研究は本研究所提案の高密度垂直磁気記録方式を中心に進めており，このためのデバイス・磁性薄膜物性や高密度信号処理方式，並びに大容量ストレージシステムの研究を分担した。本年度は以下に示す研究成果を得た。

1）垂直二層膜媒体における媒体ノイズ特性と磁化状態の解析

垂直磁気記録では，特に媒体の磁気クラスタ形成による転移性ノイズの低減が必要不可欠である。転移性ノイズであればそのノイズ電圧は記録密度の平方根に比例して増加するはずであるが，実測では高線密度時に飽和する傾向を示す。高密度における磁化状態として隣接するビットが突き抜けて一部が消失するビットパーコレーションが起こっていることをMFM像より確認した。併せて，記録再生特性，ビットパーコレーションを考慮したマイクロトラックモデルによりメディアノイズ飽和が説明できることを明らかにした。これらの現象はメディアノイズ飽和だけでなく磁化振幅の減衰を引き起こすため，高密度化のためには改善し

なければならない現象であることを示した。

さらに，より詳細な解析を行うため，磁気クラスタ径の平均値の他に分散を考え，磁気クラスタ径分布を考慮した磁化モデルを提案し，その妥当性を検討した。その結果，これまでのモデルでは説明できなかった記録再生特性の違いが磁気クラスタ径分布を考慮することで説明できることを明らかにした。また，実測との定量的比較から記録再生特性からの磁気クラスタ径分布の推定が可能であること，磁化転移乱れを表現するのに提案するモデルが妥当であることを示した。

このモデルを用いてSN比向上に必要な媒体の微細磁気構造について検討した結果，記録分解能の指標として着目した転移パラメータはほぼ平均クラスタ径で決定されていることを確認し，分解能の向上には平均クラスタ径の低減が必要であることを明らかにした。一方，転移性ノイズの指標として着目した転移ジッタと転移幅変動は共に平均クラスタ径だけでなく分散にも大きく依存する。そのため，メディアノイズの低減とSN比の向上には磁気クラスタの平均値・分散両者の低減が必要であることを明らかにした。

2）超高密度垂直磁気記録媒体の研究

より高密度な垂直磁気記録媒体の実現には低ノイズ化と熱安定性の両立が不可欠である。CoCr系グラニュラ媒体でこれらを達成するためには，十分に孤立化した微細結晶粒と大きな垂直磁気異方性エネルギーK_uを同時に有することが重要である。磁性結晶粒の孤立化を促進させる一つの手法として，CoPtCr合金にSiO_2を添加させた垂直磁気記録媒体について，記録層膜厚変化に伴う磁気特性の変化及び記録再生特性との関係について検討を行った。その結果，SiO_2の粒界析出の促進と結晶粒のエピタキシャル成長の促進がほぼ両立し，明瞭な結晶粒界と7nmの微細結晶粒径からなる薄膜微細構造を実現できることがわかった。また，記録層膜厚12nmにおいても高いK_u，保磁力，角型比，及びK_uV/kT >80を有しており，膜厚8nmにおいても粒間相互作用が低減されていることが確認された。本媒体はCoCrPtB媒体と比べ，記録層膜厚を1/3程度に薄くしても再生出力減衰率が非常に小さいことから，高い熱安定性を有しており，また良好な記録再生特性を示すことから，超高密度垂直磁気記録媒体記録層材料として非常に有望と考えられる。さらに，異方性エネルギーK_uの高次の項K_{u2}を積極的に導入することにより，高い異方性を保持しつつ書き込みヘッド磁界強度を低減できる効果についての解析も進めている。

これまで課題となっている媒体ノイズについて，上述の結晶粒微細化に加えて軟磁性裏打ち層(SUL)に存在する磁壁からのノイズを低減することがあげられる。裏打ち層を単磁区化し，不規則に派生するノイズを低減する必要があり，非磁性膜と軟磁性膜を積層し，軟磁性層間の反強磁性的な結合を利用した。その結果，非磁性層にRuを用いた場合に層間結合が生じ，ディスク全体にわたり単磁区化されていることが確認された。このような層間結合を利用した単磁区化は，軟磁性層材料が限定されないこと，また，軟磁性層以外の層の膜厚が薄くて済むことから，SUL単磁区化法として有用と考えられる。

3）高記録分解能単磁極型記録ヘッドの研究

垂直磁気記録の高密度化には，磁界出力が大きく，且つ，ヘッド端部の磁界勾配が大きな単磁極型記録ヘッドが必要不可欠である。そのためには，主磁極膜が高い飽和磁束密度を有すること，及びブロードな磁界分布を吸収するリターンパスを主磁極端部近傍に設ける構造が要求される。

NiFeをシード層とするFeCoは高い飽和磁束密度と良好な軟磁気特性を有しており，主磁極膜として用いた結果，高記録分解能と高オーバーライト性能が得られた。また，秋田県高度技術研究所，新潟工科大学及び東北大学を中心として，単磁極ヘッドの媒体対向面に軟磁性薄膜を被着し主磁極先端面周囲をFIB装置で溝加工したフロントリターンヨーク型単磁極ヘッドの試作及び解析を行った。溝幅100nmの本試作ヘッドを用いた記録密度特性測定結果より，記録分解能向上を確認した。解析結果より，溝幅を20nm程度まで狭くしても顕著な磁界強度減少は認められず，媒体残留保磁力近傍磁界強度における磁界勾配が改善されることを示した。さらにクロストラック方向への磁界分布急峻化が期待され，隣接トラックへの影響が減少すると推察される。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトは，現在までに日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業に採択されて研究を実施している。同じく大型プロジェクトである文部科学省平成14年科学技術試験研究RR2002に採択されており，産学連携を強力に推進し，得られた成果は次世代事業を担う新基盤技術として活用することが見込まれる。また，本プロジェクトで明らかになった超高密度垂直磁気記録の研究成果は，

日立製作所中央研究所，東芝より，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て実用性の高い成果を得つつあり，今後の発展が期待されている。

[4] 成果資料

1. Yasushi Kanai, Osama A. Mohammed, Ryo Matsubara, Hiroaki Muraoka, and Yoshihisa Nakamura, "Numerical analysis of narrow-track single-pole-type head with side shields for 1Tb/in^2," J. Appl. Phys., 193, 10, pp.7738-7740, 2003.
2. Toshio Suzuki, Hiroaki Muraoka, Yoshihisa Nakamura, and Kazuhiro Ouchi, "Design and Recording Properties of Fe-Pt Perpendicular Media," IEEE Trans. Magn., 39, 2, pp.691-696, 2003.
3. A.M. Goodman, S.J. Greaves, H. Muraoka, K. Miura, Y. Sonobe, and Y. Nakamura, "Micromagnetics of Hysteresis Loops in CGC Perpendicular Media," IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.2329-2331, 2003.
4. T. Shimatsu, T. Oikawa, Y. Inaba, H. Muraoka, and Y. Nakamura, "Formation of Magnetic Cluster and Remanence Coercivity in Granular-Type Perpendicular Media," IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.2335-2337, 2003.
5. T. Shimatsu, H. Katada, I. Watanabe, H. Muraoka, and Y. Nakamura, "Effect of Lattice Strain on Soft Magnetic Properties in FeCo/NiFe(Cr) Thin Films With 2.4T," IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.2365-2367, 2003.
6. Kazuyuki Ise, Kiyoshi Yamakawa, Naoki Honda, Kazuhiro Ouchi, Hiroaki Muraoka, and Yoshihisa Nakamura, "High-Field Gradient Cusp Field Single-Pole Writing Head With Front Return Yoke," IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.2374-2376, 2003.
7. Yasushi Kanai, Ryo Matsubara, Hideaki Watanabe, Hiroaki Muraoka, and Yoshihisa Nakamura, "Finite-Element Model Analysis of Single-Pole-Type Head for 1 Tbit/in^2," IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.2405-2407, 2003.
8. Yasuaki Nakamura, Yoshihiro Okamoto, Hisashi Osawa, Hidetoshi Saito, Hiroaki Muraoka, and Yoshihisa Nakamura, "A Study of Turbo Decoding With Embedded AR Channel Model for Perpendicular Recording," IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.2570-2572, 2003.
9. Mitsuhiro Hashimoto, Kenji Miura, Hiroaki Muraoka, Hajime Aoi, and Yoshihisa Nakamura, "Influence of Transition Percolation on Media Noise in Perpendicular Double Layered Media," IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.2624-2626, 2003
10. Hiroshi Yamada, Takehito Shimatsu, Isao Watanabe, Hiroaki Muraoka, and Yoshihisa Nakamura, "Preliminary Investigation for a Cylindrical Magnetic Storage System," IEEE Trans. Magn., 39, 6, pp.3619-3621, 2003.

共同プロジェクト研究

課題番号　H15/A02

大学間ネットワークトラヒックの統計的特性に関する実験的研究

[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）
責任者：白鳥　則郎（東北大学電気通信研究所）
分担者：
岩谷　幸雄（東北大学電気通信研究所）
五十嵐隆治（秋田大学工学資源学部情報工学科）
玉本　英夫（秋田大学工学資源学部情報工学科）
高橋　秋典（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　360,000円　旅費　842,300円

[2] 研究経過

インターネットワークのトラヒックが急増しおり，ネットワークシステムの適切な構成と運用が切実な課題である。この課題解決にはネットワーク上を流れるトラヒックの時間変動特性を解明しておく必要がある。単にルータ等でのトラヒック観測だけでは，ビジー状態を知ることはできてもその状況がエンドユーザにどのような影響を与えているかを直接判断できない。ましてや，将来的なシステム増強の効果の予測は困難である。ネットワークトラヒックは特有の性質をもち，単純なランダム発生の仮定ではシステム設計とその運用の予測を大きく狂わすことになる。本研究では大学環境を例としてネットワークトラヒックの時間変動を調査し，その特性を明らかにし，そしてトラヒック発生の確率モデルを作成することをまずその目的とした。トラヒックの発生の源はそれぞれのユーザにある。画像，映像や音楽などアプリケーションからの今後のデータ増大を予測するための調査研究も進めておかなければならない。

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から大学間ネットワークへのアクセス回線の通信速度は速くない。外部回線接続ルータがビジー状態となる様相の調査検討に適するところはあるが高速なネットワーク接続環境にはない。そこで，秋田大学と東北大学それぞれの場での様相の比較調査、相互間の動作試験及び研究討議のために学生同道で５回東北大学を訪問した。さらに，３月１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４件，秋田大学側６件の報告があり，本研究の目的であるネットワークトラヒックに関する研究を超えた新たなネットワーク応用の報告があった。学生諸君に密度の濃い相互交流と討論の場を設けることができたことは今後の研究の広がりを期待できるものであった。

[3] 成果

（３－１）研究成果

(1) ネットワークトラヒックの特性

ネットワークトラヒックのモデル化に際してその発生過程をポアソン過程とすることは適切でない。実トラヒックの観測では計測の単位時間を大きくいてもトラヒックの激しい変動が見られ，ポアソン過程のように平坦にならない。この現象は多くの論文で指摘され，また，秋田大学のネットワーク内でも観測されている。激しく変動する実トラヒックの様子は自己相似性あるいは長時間依存性と呼ばれる性質をもつ確率過程でモデル化できる。ネットワークのある箇所を単位時間当たりに通過するパケット数あるいは単位時間内の転送バイト数の時系列 $\{X(n)\}$ を観測したとする。数学的には，この時系列の自己相関 $r(k)$が漸近的にkの$-2(1-H)$ベキ乗となることで長時間依存性の存在を確かめることができる。ここで，この式のHはハーストパラメータと呼ばれ，$0.5 \leqq H < 1$の値をとる。勿論，定常性が仮定されている。ハーストパラメータの推定方法が幾つか提案されている。しかし，実トラヒックの数時間の測定を行ったデータに適用してハーストパラメータを推定すると，すべての推定法で同じ推定値が求まる訳ではなく，0.5を超える値をとることは確かであっても各方法で大きな偏りがあったり，同じような観測データであっても推定値の変動が大きい。この偏りや変動は，定常性の仮定が必ずしも満たされていないこと，有限時間の観測から漸近的な特性を推定することによって生じる誤差が大きいこと，あるいは有限時間内には単純な自己相似の性質以外にもいろいろな性質が混在していることが原因として挙げられる。

一方，ネットワークトラヒックに自己相似性あるいは長時間依存性が出現する要因を考察してみる。ネットワークの利用状況から明らかなように，パケットは単独に生成されるのでなく，ftpやWebの場合は連続したバーストとして生成される。さらに，ある方向に流れるデータに対して送達確認のためのACKパケットが逆方向に流れる。このことから単位時間内パケット数の間に強い相関があることは明らかで，ポアソン過程とはならない。自己相関 $r(k)$がkの大きいところで零とはならないからといって，それだけで長時間依存性が存在する訳でもない。長時間依存性出現の原因を利用者のパケット発生過程におく考えとネットワーク構成におく考えの2つがある。利用者の利用形態にそのような性質があるとしても多様かつ多数の利用者が混在している環境においてはそれぞれの特質が平均化されて薄れて観測されるであろう。そこで，我々は後者の立場からの検証を試みた。

(2) ネットワークトラヒックの発生モデル

長時間依存性を有するトラヒック発生モデルを提示する。提案する待ち行列ネットワークモデルは，図に示すようにあるドメインのネットワークがルータを介して比較的低速な外部回線でインターネットに接続されているものとする。このモデルでは負荷が増加すると外部回線がボトルネックとなる。利用者はWebを閲覧している状況を想定する。つまり，利用者はワークステーションを起動して，あるページの転送要求コマンドを発行し，そのデータを受けたら内容を見る。この動作を何度か繰り返して利用を終える。このような状況でのパケットの流れを調べる。なお，シミュレーションでは利用者のワークステーションからデータを送り出す形態としている。ここで，利用者が固定の場合とランダムに生起する場合を考える。利用者がランダムに生起するときは，一人の利用者が発行するコマンド要求数は幾何分布に従うものとする。データ送出後に次のコマンド要求がおきる間隔は指数分布に従うとする。さらに，一回のコマンドに対して発生するパケット数が幾何分布に，パケット長が指数分布に，インターネット側に送出されたパケットに対するACKパケットの返送時間が指数分布にそれぞれ従うものと仮定する。すべての分布を幾何分布あるいは指数分布に仮定し，いずれもヘビーテール分布と設定していないことに注目すべきである。このモデルは利用者数やルータの送信待ちパケット数などを状態変数としたマルコフ過程で表せる。ここで，ネットワーク内からルータに送出されるパケットの到着過程が長時間依存性をもつであろうか，長時間依存性をもつとするとどのようなケースで強く現れるであろうかが興味あるところである。

この待ち行列モデルにおいて実時間で1時間相当のシミュレーションを繰り返す。ある単位時間のパケット到着数の時系列データを観測し，R/S解析法，ピリオドグラム法及びアグリゲート分散法をもちいてハーストパラメータを推定する。ハーストパラメータが1に近ければ長時間依存性が強いと判断する。多数回のシミュレーション結果から次の主要な特徴が判明した。

①一つのコマンドに対して多量のパケットをバースト的に発生させる場合に長時間依存性が顕著に現れる。

②ルータの混雑具合の影響としては，ルータに対して30～80%の負荷の場合にハーストパラメータが大きくなる。

③利用者がランダムに到着し，利用者数が変動する場合のほうが利用者数固定の場合よりもハーストパラメータが大きくなる。

④利用者が固定で一つのコマンドに対してゆっくりとパケットを送出するケースではハーストパラメータが0.5に近い値をとり，長時間依存性が現れない。

⑤ルータのパケットバッファを制限してパケットロスを発生させ，そのパケットをタイムアウトで再送するようにモデルを拡張してもハーストパラメータはほとんど変化しない。

上記の結果は定性的なものに留まっている。定量的な結果に集約できない理由は，求めたハーストパラメータが解析法毎に統計的に有意と判定される程度の偏りが数多く現れることにある。短時間と長時間を含めて長時間依存性の単純なモデル式で近似したことが原因と考えられる。つまり，このモデルの解析では，トラヒックの自己相関関数は，初期状態の影響が指数関数的に減少するというマルコフ過程の性質から，$r(k)=\Sigma A_i \cdot \exp(-\omega_i k)$と推定され，有限時間区間を用いて，$k$の$-2(1-H)$ベキ乗という漸近式に無理に当てはめようとしたことによるものである。実ネットワークにおいては，ある事象の出現から数秒～数十分後の変動の様子を説明できることが肝要である。R/S解析法などでハーストパラメータを求めることは十分に時間が経過した状況での傾向を予測してことに対応していると考えられる。今後，ある事象に続く過度的な現象を説明できるモデルの導入が是非とも必要になる。

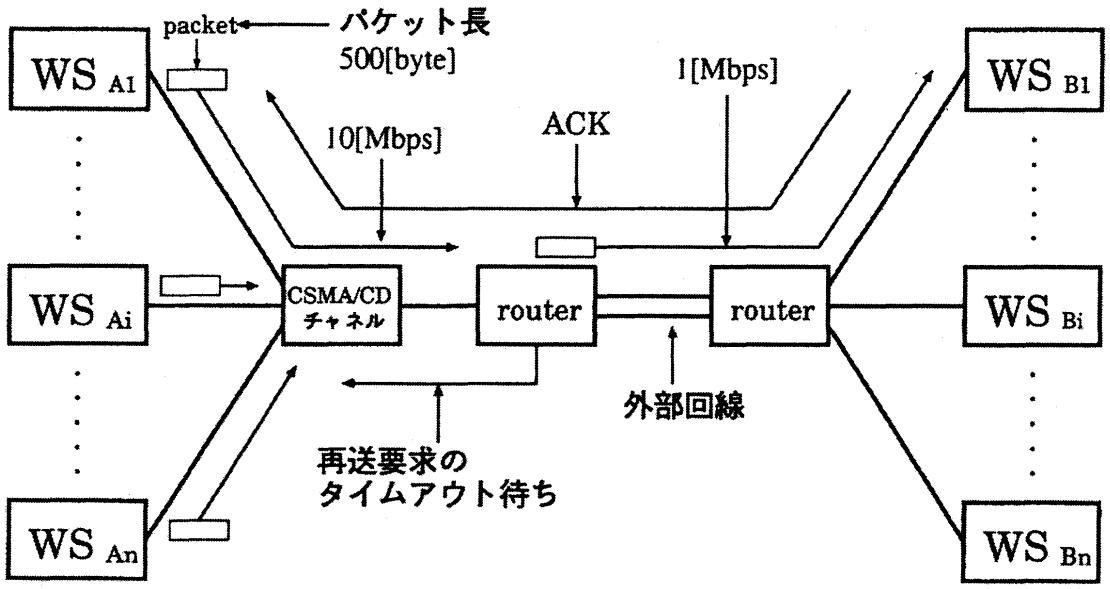
（3－2）波及効果と発展など

複数の場所でのネットワークトラヒックの様相を調査解明することは一般性ある特性を明らかにする上では重要な要件である。また，ネットワークは本質的に地域的に離れたリソースを結びつける役割を果たすものである。本プロジェクトで取り上げた課題はハード的なものであった。今後，ソフト的な応用の要素を研究に取り組んだ人的な広がりをもつプロジェクトに発展させていく計画である。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重要性も本プロジェクトの研究報告会の成果から実感できた。

［4］研究成果

(1) 須藤保明，高橋雅広，小原仁，坂田真人；CDMA/CD方式のフレーム送出順序特性に関する研究，平成15年度電気関係東北支部大会，2003

(2) 越井達也，須藤保明，小原仁，坂田真人；ネットワークトラヒックにおける長時間依存性出現のモデル，平成15年度電気関係東北支部大会，2003



課題番号　H15/A03

サブサーフェス制御プラズマによる低温薄膜創製に関する研究

[1] 組織

代表者：藤山　寛
（長崎大学工学部）
責任者：庭野　道夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：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）
松田　良信（長崎大学工学部）
篠原　正典（長崎大学工学部）
真下　正夫（弘前大学理工学部）
中澤日出樹（弘前大学理工学部）
節原　裕一（京都大学工学研究科）

研究費：校費　348,000円，旅費　658,570円

[2] 研究経過

機能性薄膜の低温形成の研究・開発は，高温に加熱することができない有機分子を用いたデバイスに注目が集まっているために，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，薄膜形成に有望であるプラズマプロセスにおいて，基板と気相の間に存在し，まさに膜が形成される領域に注目し，この領域の制御をすることを目的としてサブサーフェス制御プラズマによる低温薄膜創製に関する研究を行った。本プロジェクトは，平成14年度までのH13/B07「サブサーフェス制御知能プラズマ」の成果を踏まえて行われたものである。前年度までは討論が中心でサブサーフェス制御プロセスの可能性について話し合った。本年度は前年度までの成果を踏まえながら，サブサーフェス制御プラズマによる低温薄膜創製に関する研究を展開した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

本プロジェクトではそれぞれのメンバーがそれぞれの地で行ってきた研究成果の発表及び今後の研究の方向性を決定づけるために，「サブサーフェス制御プラズマによる低温薄膜形成」の研究会を東北大学電気通信研究所で10月30日に開催した。

東北大学電気通信研究所の庭野教授から現在教授が開発に取り組んでいるナノ分子デバイスにおいては，水分や酸素に弱い有機分子薄膜を保護するバリア膜を低温で形成する技術の確立が必要であり，しかも，有機分子はプラズマのダメージに弱いとの理由よりダメージフリーで形成できる方法の確立が必要であるとの提案がなされた。

続いて，2件の特別講演を行った。1人目は，経済産業省産業技術総合研究所の黒澤茂氏による講演で，ダイオキシン分子の吸着による共鳴周波数の変化によるダイオキシン検出の新技術の紹介があった。その中で，アルコールを原料としてプラズマCVDにより堆積した薄膜にはOH基が多く含まれているこのOH基を科学的に置換することにより，ダイオキシン検出用の分子を堆積することができるとの方策が報告された。2人目は京都大学の白藤立先生によるLow-k膜形成プロセスおよび有機分子バリア膜形成プロセスについて紹介があった。5員環状のCF系ガスを原料として用いプラズマCVD法により誘電率の低い薄膜形成に成功し，同様の原料によりバリア性の良い薄膜形成に成功したとの報告があった。

特別講演に続き，京都大学の節原がミリ波による格子振動励起を用いた非加熱プロセスを提案し，研究の進捗状況を述べて，研究会メンバー以外の一般聴講者にも強い感銘を与えていた。次に，弘前大学の中澤が真下・中澤を中心とした弘前大学のグループの研究内容について報告を行った。彼らは，ダイアモンドライクカーボン(DLC)薄膜形成に取り組んでおり，レーザアブレーション，プラズマスパッタ法，プラズマCVD法でDLC薄膜形成を行い，それぞれの膜の特性についてラマン・赤外分光法などを用いて評価している。それぞれの形成法により膜質に違いが出てきている。続いて長崎大学の篠原よりシリコン表面のプラズマ酸化過程について報告があった。プラズマを用いない自然酸化過程では時間単位で反応が進行するが，酸素プラズマを用いた場合は秒単位で進むということを明らかにした。また酸化反応は面方位に依存していることが分った。最後に松田よりICP支援マグネトロンスパッタリング法を用いたMgO形成プロセスについて紹介があった。マグネトロンスパッタ源と基板の間にICPプラズマを生成することで，スパッタ原子が効率的にイオン化されるため反応が非加熱でも結晶性の薄膜が形成できることを報告した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度はいかに示す研究成果を得た。

まず第1に，プラズマを用いた薄膜形成では，低温化が可能であることを明らかにした。

第2に，原料の選択により，プラズマCVD法で形成した薄膜の組成をも制御できることを明らかにした。

第3に，原料分子は分子構造に依存してプラズマ中で解離が起こり，これを利用して薄膜形成を進めることが今後のプロセスの鍵となるとの認識を得た。

(3-2) 波及効果と発展性について

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，国際ワークショップを組織するに至った。第7回アジア太平洋プラズマ科学技術国際会議，および第17回プラズマ材料科学シンポジウム（7th APCPST & 17th SPSM）が6月～7月にかけて開かれるが，このサテライト国際ワークショップとして，"Cu/Low-k Chip and Related Materials Processing" が企画された。この会議は招待講演のみで構成された会議であり；本共同プロジェクト研究の代表者の藤山が組織したものである。本共同プロジェクト研究メンバーの節原，篠原に加え，本プロジェクトの研究会に招致した白藤らが招待講演者として入っており，本研究プロジェクトが大きく発展したものといえる。

また，本研究プロジェクトで明らかになったプラズマを用いた薄膜形成の低温化および原料分子の構造に依存した膜形成プロセスの違いという現象は，今後のナノ分子デバイス形成においても欠かせないものになるであろう。すなわち，プラズマを原料分子の分解のみにエネルギーを消費させ基板に対するダメージをなくすことによりダメージフリープロセスを創製できる。これは，今後のナノ分子デバイスにおけるバリア膜形成に対しても指針を与えるものとなる。今後はナノ分子デバイス形成プロセスにプラズマプロセスを加えるという新しい研究領域の開拓に結びつき，今後の発展が期待されている。

[4] 成果

(1) H. Nakazawa, T. Mikami, Y. Enta, M. Suemitsu and M. Mashita, "Structure, chemical bonding and these thermal stabilities of diamond-like carbon(DLC) films by RF magnetron sputtering", Jpn. J. Appl. Phys. vol.42 (2003) pp.L676-679.

(2) M. Shinohara, T. Kuwano, Y. Kimura and M. Niwano, "Behavior of hydride species on Si surface during methane plasma irradiation investigated by in-situ infrared spectroscopy", Thin Solid films (2003) vol.435/1-2 pp.13-18.

(3) Y. Matsuda, Y. Koyama, K. Tashiro and H. Fujiyama, "MgO deposition using reactive ionized sputtering", Thin Solid Films 435 (2003) pp.154-160.

(4) M. Matsushita, Y. Matsuda and H. Fujiyama, "Development of high frequency micro plasma source in a magnetic field", Thin Solid Films 435 (2003), pp.285-287

(5) 丸本　洋，松田良信，篠原正典，藤山　寛，"基板表面磁界がスパッタ薄膜結晶配向性に及ぼす影響"，長崎大学工学部研究報告　33 (2003) pp.41-45.

(6) 小山 悠，岩谷 勝，松田 良信，篠原正典，藤山寛，"MgO薄膜高速成膜のための誘導結合プラズマ支援反応性スパッタリング法の開発"，長崎大学工学部研究報告　33 (2003) pp.47-52.

(7) 馬場健次，篠原正典，藤山寛，山本恭一，宇山春夫，"走査プラズマ法を用いた高分子フィルム上へのZnO薄膜の低温形成"，長崎大学工学部研究報告　33 (2003) pp.53-56.

(8) M. Shinohara, T. Katagiri, K. Iwatsuji, Y. Matsuda, Y. Kimura, M. Niwano, and H. Fujiyama, "Plasma oxidation process of silicon surfaces investigated by infrared spectroscopy", 電気学会研究会資料 PST-03-87～101, p.33-36.

(9) Y. Matsuda, Y. Koyama, M. Iwaya, M. Shinohara and H. Fujiyama, "X-ray diffraction studies of magnesium oxide thin films deposited by ionized reactive sputtering", 電気学会研究会資料PST-03-87～101, p.37-41.

(10) Y. Matsuda, M. Iwaya, M. Shinohara, H. Fujiyama, "X-ray diffraction of magnesium oxide thin films produced by reactive ionized sputtering", Proceedings of The 21st Symposium on Plasma Processing (1/28-1/30 2004, Hokkaido Univ.), p.258-259.

(11) M. Shinohara, T. Katagiri, K. Iwatsuji, Y. Matsuda, and H. Fujiyama, "Behavior of hydrogen on Si surface during oxygen-plasma", Proceedings of The 21st Symposium on Plasma Processing (1/28-1/30 2004, at Hokkaido Univ.), p.264-265.

(12) M. Shinohara, T. Katagiri, K. Iwatsuji, Y. Matsuda, H. Fujiyama, Y. Kimura and Niwano, "Dynamics of Si Surface-hydrogen during Oxygen-plasma"

Proceedings of plasma Nano-technology (2/5-2/62004, Takayama)

(13) H. Nakazawa, Y. Yamagata, M. Suemitsu, M. Mashita, "Thermal effects on structural properties of diamond-like carbon films prepared by pulsed laser deposition" Thin Solid films (2004) in press.

(14) Y. Matsuda, M. Iwaya, Y. Koyama, M. Shinohara, and H. Fujiyama, "Effect of inductively-coupled plasma assist on the crystal orientation of magnesium oxide thin films produced by reactive sputtering" Thin Solid films (2004) in press.

(15) M. Shinohara, T. Katagiri, K. Iwatsuji, Y. Matsuda, H. Fujiyama, Y. Kimura and M. Niwano, "Oxygen-plasma induced hydrogen desorption from hydrogen-terminated Si(100) and (111) surfaces investigated by infrared spectroscopy" Thin Solid films (2004) in press.

共同プロジェクト研究

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）
責任者：庭野　道夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：横尾　邦義（東北大学名誉教授）
表　　研次（イデアルースタ）
笠間　泰彦（イデアルースタ）
山本　恵彦（筑波大学物理工学系）
石川　順三（京都大学工学部）
高井　幹夫（大阪大学極限科学研究センター）
安達　　洋（室蘭工業大学工学部）
中西洋一郎（静岡大学電子研）
橋口　　原（香川大学工学部）
澤田　和明（豊橋技術科学大学電気・電子工学系）
細田　　誠（大阪市立大学）
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）
松本　貴裕（スタンレー電気）
谷　　正彦（大阪大学超伝導フォトニクス研究センター）
畑中　義式（愛知工科大学工学部）
金丸　正剛（産業技術総合研究所）
根尾陽一郎（静岡大学電子科学研究科）

研究費：校費　348,000円，旅費　1,497,200円

[2] 研究経過

フィールドエミッションディスプレイ（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）を配置した究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。現在，低消費電力，視野角，高速表示の点から対角40インチ以上の将来のホームテレビ用ディスプレイの最有力候補と見なされている。本研究は，FEDのキーデバイスである微小電子源を開発するもので，低電圧で動作し，高輝度で安定かつ低エネルギー分散の電子源を開発することを目的とする。すなわち，半導体や炭素系陰極，さらに導電性高分子陰極とそれらアレイ構造の製作，及びこれら電子源からの放出電子のエネルギー計測を通して，電子放出機構の解明を図ると共にFED用の低電圧，高輝度，高安定，低エネルギー分散の電子源を開発する。本年度は本プロジェクト研究の１年目であり，主に三村，嶋脇，根尾が電気通信研究所にて，Si電子源の製作，Si電子源のエネルギー計測を行なった。

[3] 成果

（3-1）研究成果

Si電子源のエネルギー分析

電界放射陰極から放射される電子のエネルギー分析は，電子放射のメカニズムを理解する上で極めて重要である。我々は，平行メッシュ型エネルギー分析器用いて，エネルギー分析を行なってきたが，平行メッシュ型エネルギー分析器はメッシュに対して，垂直方向のエネルギーしか分析できない。一方，微小電子源からの電子ビームはある広がり角をもって放射される。そのため，平行メッシュ型エネルギー分析器で測定したエネルギーは，放射の角度分散によって，本来電子が持っていたエネルギーより低い値に測定される。そこで，今年度は電子の本来のエネルギー絶対値を測定するため，円筒型エネルギー分析器を用いた。

n-type Si電界電子放射陰極のエネルギー分析

使用したSi電界電子放射陰極は，比抵抗2～3 ohm·cmのn-type(100) Siを用いて製作した，1 tipのものである。

図１(a)，(b)に引出しゲート電圧を変化させた際の，n-type Si電界電子放射陰極から放射した電子のエネルギー分析結果示す。(b)は(a)のそれぞれゲート電圧におけるエネルギー分布のピーク値を1と規格化して表示したものである。　高エネルギー側のエネルギー分布は，フェルミエネルギーから立ち上がり，これはゲート電圧の増加に関わらず一定である。一方，ゲート電圧の増加にしたがってエネルギー幅が低エネルギー側に広がり，そのときエネルギーのピークの位置も低エネルギー側にシフトする。エネルギー分布の立ち上がりが，フ

ェルミエネルギーからであり，またゲート電圧の増加に関わらず一定であることは，フェルミレベルは半導体内で平坦でエミッタの表面は蓄積（accumulation）状態にあることを示している。しかし，ゲート電圧の増加にしたがってエネルギー幅が低エネルギー側に広がり，そのときエネルギーのピークの位置も低エネルギー側にシフトすることは，n型Si半導体が蓄積状態にあることを考えれば，半導体の性質からだけからは理解できない。また，一般に，n-type Siの場合，フェルミエネルギーからband bendingした伝導体の下端までのエネルギー帯の電子が放射されると考えられるが，本測定で得られたエネルギー幅はその幅に比べて広い。そこで，電子放射機構としてモデルを考えた。

Si電界放射陰極の製作には，RIEを用いているため，エミッタ先端付近には多くの欠陥準位が生じていると考えられる。さらに，エミッタはSi大気にさらされた状態で完成されるため，実際に測定する際には，表面には自然酸化膜も存在していることが予想される。そのため，エミッタ先端付近に電子をトラップする表面準位または界面準位が多数存在していることが考えられる。このような状態で，ゲート電圧を増加していくと，界面準位等にトラップされた電子は真空障壁が薄くなるに従い，トンネルし始める。すなわち，ゲート電圧の増加にしたがってエネルギー分布のピークの位置が低エネルギー側にシフトしていき，エネルギー幅が低エネルギー側に広がる。

p-type Si電界電子放射陰極のエネルギー分析

用いたSi電界電子放射陰極は，比抵抗10～15 ohm·cmのp-type(100) 基板を用いて製作した，1 tipのものである。

図2(a)，(b)に引出しゲート電圧を変化させた際の，p-type Si電界電子放射陰極から放射した電子のエネルギー分析結果示す。(b)は(a)のそれぞれゲート電圧におけるエネルギー分布のピーク値を1と規格化して表示したものである。

p-type Siの場合の放射電子のエネルギー分布は，n-typeの場合と異なり，ゲート電圧の増加とともにエネルギー分布の立ち上がりが低エネルギー側にシフトする。そのシフト量は，ゲート電圧1Vにつき，0.1eVである。また，エネルギー分布の立ち上がりの位置は，フェルミエネルギーから1.5eV以上低エネルギー側にあり，ゲート電圧の増加に対して，エネルギー分布の形状は変化しないまま全体が低エネルギー側にシフトしていく。エネルギー分布の幅は，n- type Siの場合より広い。これらの実験結果を理解するためのモデルを考えた。p-type Siの場合，電子放射に寄与する電子は，表面または界面準位を経ていると考えられる。これは，p-type Siからの放射電流量は少数キャリア濃度から予想される量よりかなり大きいためである。ゲート電圧の増加とともにエネルギー分布の立ち上がりが低エネルギー側にシフトすること，またエネルギー分布の立ち上がりの位置がフェルミエネルギーより低いことは，これは，p-type Siにおいて電子は少数キャリアであるため電気力線がSi内部まで浸透していく（空乏層が内部に広がっていく）ことを示している。ここで，ゲート電圧の増加に対して，エネルギー分布の形状は変化しないまま全体が低エネルギー側にシフトしていくことは，エネルギー分析を行なった電圧範囲において，界面または表面準位等の電子放射に寄与するエネルギー準位から，電子が十分にトンネル可能なくらい，真空障壁が薄くなっていることを示唆している。

（3-2）波及効果と発展性など

本プロジェクトで創製される電子源は，超高速，高出力，耐環境性において半導体デバイスの欠点を補完，もしくは凌駕する新デバイスの開発や次世代の高精細・高速応答平面ディスプレイの開発を通して真空ナノエレクトロニクスに技術革新をもたらす。また，本プロジェクトで得られる知見は，次世代エレクトロニクス展開への革新的な基盤技術となると考えられる。

また，本プロジェクトの主要メンバーにより，文部省特定研究（B）”高輝度電子源アレイと真空マイクロエレクトロニクへの展開”が推進されている。

[4] 成果

(1) 鈴木洋介，嶋脇秀隆，根尾陽一郎，寒河江克巳，三村秀典，横尾邦義，“Si電界放射陰極のエネルギー分析 (II)，第51回応用物理学関係連合講演会 28a-H-6 (2004)

(2) 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.

(3) H. Shimawaki, S. Shibuya, H. Mimura and K. Yokoo
“Submicron poly-Si gate Si field-emitter array for generation of a collimated electron beam”, J. Vac. Sci. Tech. B vol. 21, pp.1594-1597 (2003).

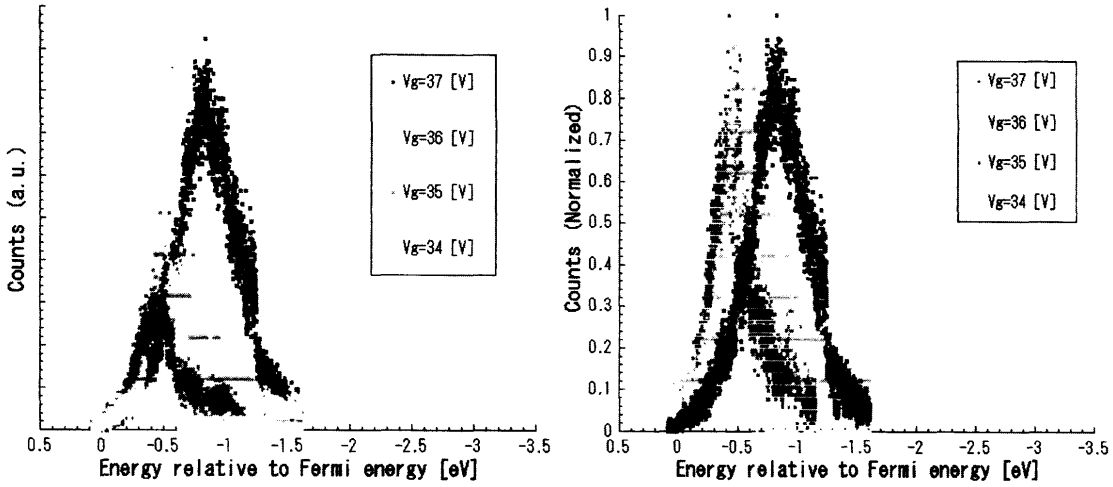


図1　(a) n-type Si電界電子放射陰極から放射した電子のエネルギー分析結果,
(b)それぞれゲート電圧におけるエネルギー分布のピーク値を1と規格化したもの

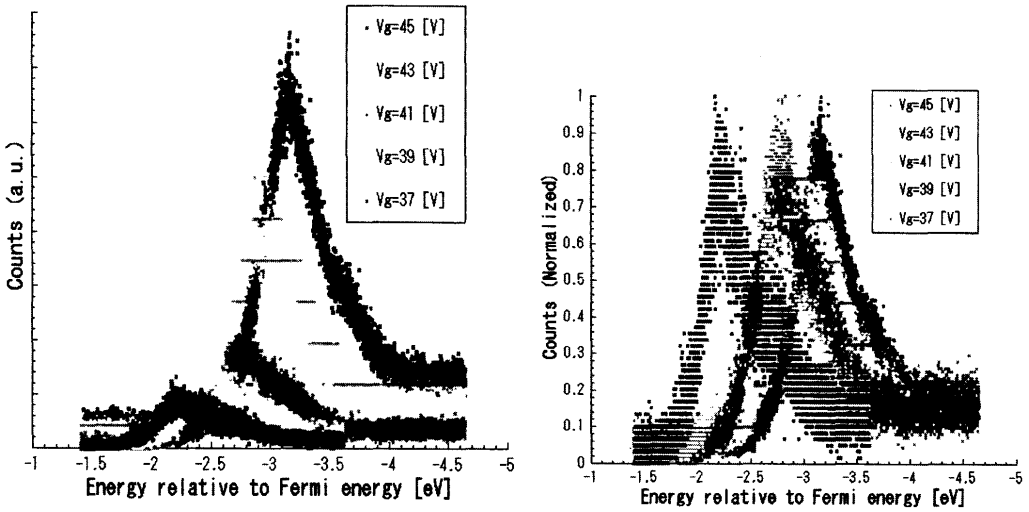


図2　(a) p-type Si電界電子放射陰極から放射した電子のエネルギー分析結果,
(b)それぞれゲート電圧におけるエネルギー分布のピーク値を1と規格化したもの

共課題番号　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：庭野　道夫（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）
竹延　大志（東北大学金属材料研究所）
石井　久夫（東北大学電気通信研究所）
片岡　正俊（徳島大学ゲノム機能研究センター）
村田　英幸（北陸先端科学技術大学院大学）
中山　隆博（㈱日立製作所　日立研究所）
小田　正雄（ソニー㈱融合領域研究所）
宮下　徳治（東北大多元研，ナノ材料研究センター）
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　335,000円，旅費　823,720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，低コスト・大面積プロセス，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コスト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３月５日－６日に開催した。今回は初回の研究会であり，まず，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考えるため，有機デバイス全般のサーベイを行う位置づけとした。有機デバイス研究の現状と展望に関する基調講演，有機デバイスの重要な応用分野の一つであるバイオ分野の研究者の招待講演も行うことで，有機デバイスの可能性も検討した。

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，43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３月５日（金）
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」
古川行夫（早稲田大学理工学部）
「有機薄膜トランジスタにおけるキャリアのその場観測」
竹延大志（東北大学金属材料研究所）
「カーボンナノチューブ薄膜トランジスタ」
石井久夫（東北大学電気通信研究所）
「有機薄膜のキャリア注入・帯電・分極現象」
平本昌宏（大阪大学大学院工学研究科物質・生命工学専攻）
「光電変換有機デバイス」
片岡正俊（徳島大学ゲノム機能研究センター）
「医療分野におけるバイオセンサーのニーズ」
2004年３月６日（土）
村田英幸（北陸先端科学技術大学院大学）
「有機EL素子におけるキャリヤ再結合と励起子の失活過程」
中山　隆博　（㈱日立製作所　日立研究所）
（主題）「干渉（共振）と有機ＬＥＤ」
（副題）「わかっていること，わからないこと～わたしの疑問」
小田正雄　（ソニー㈱融合領域研究所）

「キラル置換ポリフルオレンを用いた円偏光ＥＬ素子」
宮下徳治（東北大多元研，ナノ材料研究センター）
「高分子ナノシートを集積したナノデバイス（ナノ材料探索の立場から）」
工藤一浩（千葉大学工学部）
「フレキシブル有機デバイスの進展と展望」

【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），太陽電池と，現在，すでに実用化，または，実用化途上の有機デバイスについて，意見交換を行い，諸課題を洗い出した。また，将来のバイオとの融合，フレキシブル有機デバイスの将来像についても討論した。　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で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。分からないところは，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た。実際に，研究報告だけでなく，夕刻から深夜にまでわたって，各研究者の自己紹介および研究テーマ，将来の研究の夢，有機デバイスの本質的課題の1つである”有機半導体への電荷注入”に関し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

本プロジェクトは本年度から始まったものであり，目に見える形での成果はまだ出てきていないが，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たことは意義深いと考えられる。本プロジェクトを契機として，シリコンデバイスと同レベルまで有機半導体デバイスの理解を深め，応用に向けた新しい研究が生み出されていくことが期待される。

【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。

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科）
中尾　光之（東北大学大学院情報科学研究科）
片山　統裕（東北大学大学院情報科学研究科）
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）

研究費：校費　357,000円，旅費　450,820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15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）。

「核スピンを利用したニューロ的量子計算」
　金城光永（東北大）
「画像検査システムの構築」
　早川吉弘（東北大）
「ことば工学からみたヒューマンインターフェイス」
　矢内浩文（茨城大）
「前後シナプス活性タイミングによるシナプス可塑性の周波数依存特性」
　北嶋龍雄（山形大）
「カオス的パルス結合回路網の同期現象の解析と応用」
　中野秀洋（法政大）
「脳型視覚処理のための実時間空間フィルタLSI」
　森江隆（九州工業大）
「Hodgkin-Huxley型ニューロンのSmall-world ネットワークにおける興奮伝播と同期振動」
　佐々木伸也，片山統裕，中尾光之，山本光璋（東北大）
「人工視覚：網膜から一次視覚野へ」
　八木哲也（大阪大）
「磁束量子論理集積デバイスによる情報処理回路への応用を目指して」
　小野美武（東北大）
「単電子帯電効果のデバイス応用とジョセフソンデバイスとの双対性」
　水柿義直（電気通信大）

[3] 成果

（3－1）研究成果

第1に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ることができることが判明した。さらに量子力学的効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ことが分かった。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る。第2にことば工学からみたヒューマンインターフェイスについての考察が得られた。第3に前後シナプス活性タイミングによるシナプス可塑性の周波数依存特性がモデル化された。第4にカオス的パルス結合回路網の同期現象の解析により種々の応用が示唆された。第5に脳型視覚処理のための実時間空間フィルタLSIの設計がなされた。第6にHodgkin-Huxley型ニューロンのSmall-worldネットワークにおける興奮伝播と同期振動が解析された。第7に人工視覚の網膜から一次視覚野へのハードウェアが製作された。第8に磁束量子論理集積デバイスによる情報処理回路の構成が達成された。第9に単電子帯電効果のデバイス応用とジョセフソンデバイスとの双対性が解明された。第10に半導体の少数キャリヤの拡散を利用した反応拡散デバイスが提案されその解析がなされた。

（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企画することが可能となり，平成16年9月にニュージーランドにおいてその成果が発表されることとなった。またスエーデンの研究者との国際交流も開始され，王立工科大学の大学院修士の2名の学生が修士論文の製作の指導を受けに半年間以上研究所に滞在し，研究指導を受けた後論文をまとめスエーデンへ帰国した。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な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，永井宏明：五十音配列が携帯機器向けカナ入力の打鍵率に及ぼす影響　ヒューマンインタフェース学会論文誌, vol. 5, no. 3, pp. 363-365（2003年8月）.

(2) S.Miyoshi, H.-F. Yanai, M. Okada: "Associative memory by recurrent neural networks with delay elements" Neural Networks, vol. 17, issue 1, pp. 55-63 (January 2004).

(3) K. Korekado, T. Morie, O. Nomura, H. Ando, T. Nakano, M. Matsugu, and A. Iwata, "A Convolutional Neural Network VLSI forImage Recognition Using Merged/Mixed Analog-Digital Architecture," 7th Int. Conf. on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems (KES '2003), pp. II-169-176, Oxford, Sept. 3-5, 2003.

(4) 森江隆, 梅澤淳, 岩田穆：抵抗ネットワークの過渡状態を利用するガボール型フィルタ回路　電子情報通信学会 信学技報, NC2003-82, pp. 13-18, 2003年11月.

(5) Y. Mizugaki, Y. Uematsu, K. Nakajima, T. Yamashita, S. Watauchi, and I. Tanaka, "Differential Conductance Properties of La2-xSrxCuO4 Intrinsic Josephson Junctions under Magnetic Field," Japanese Journal of Applied Physics, vol.43, no.1, pp.124-125, January, 2004.

(6) Y. Mizugaki, "Numerical investigation for the frequency dependence of Shapiro steps in an RF-field-driven SQUID," Superconductor Science and Technology, vol.16, no.12, pp.1380-1382, November (2003).

(7) Y. Mizugaki, "Numerical investigation on the current mirror effect in a single-electron turnstile capacitively coupled to a one-dimensional array of small junctions," Journal of Applied Physics, vol.94, no.7, pp.4480-4484, October, (2003).

(8) Y. Mizugaki, Y. Uematsu, S. -J. Kim, J. Chen, K. Nakajima, T. Yamashita, H. Sato, and M . Naito, "Intrinsic Josephson junctions in c-axis oriented La1.85Sr0.15CuO4 thin films, " Journal of Applied

Physics, vol.94, no.4, pp.2534-2537, August (2003).

(9) Y. Mizugaki, J. Chen, S. Nishikata, K. Sugi, K. Nakajima, and T. Yamashita, "Zero-Crossing Shapiro Step in a Three-Junction SQUID Magnetically Coupled with Two Phase-Shifted RF Signals," IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol.13, no.2, pp.926-929, June (2003).

(10) T.Asai, A. Adamatzky, Y. Amemiya, "Towards reaction-diffusion computing devices based on minority-carrier transport in semiconductors", Chaos Solitons & Fractals vol. 20, pp. 863-876(2004).

(11) S. Kameda and T. Yagi , "An analog VLSI chip emulating sustained and transient response channels in theVertebrate retina." IEEE transactions on Neural Networks, vol.14, No.5,1405-1412, 2003.

(12) Kazuhiro Shimonomura, Keisuke Inoue, Seiji Kameda and Tetsuya Yagi,, "A Novel Robot Vision Applicable to Real Time Target Tracking," Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.15, No.2, pp.185-191.

(13) 下ノ村和弘，井上恵介，亀田成司，八木哲也："シリコン網膜とFPGAを用いた動物体の追跡" 映像情報メディア学会誌，vol.58, No.1, pp.61-68, 2004

(14) Comparison between an AND Array and a Booth Encoder for Large-Scale Phase-Mode Multipliers, IEICE TRANS. on ELECTRONICS, vol. E86-C, no. 1, pp.16-23, Jan. 2003, Yohei Horima, Itsuhei Shimizu, Masayuki Kobori, Takeshi Onomi, and Koji Nakajima

(15) Improved design for Parallel Multiplier based on Phase-Mode Logic, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol.13, no.2, pp.527-530, June 2003, Yohei Horima, Takeshi Onomi, Masayuki Kobori, Itsuhei Shimizu, and Koji Nakajima

(16) Implementation of Phase-Mode Arithmetic Elements for Parallel Signal Processing, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 13, no. 2, pp. 583-586, June 2003, Takeshi Onomi, Yohei Horima, Masayuki Kobori, Itsuhei Shimizu and Koji Nakajima

(17) Implementation of a New Neurochip Using Stochastic Logic, IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 14, no. 5, pp.1122-1127, Sep. 2003, Shigeo Sato, Ken Nemoto, Shunsuke Akimoto, Mitsunaga Kinjo, and Koji Nakajima

(18) An Approach for Quantum Computing Using Adiabatic Evolution Algorithm, Shigeo Sato, Mitsunaga Kinjo and Koji Nakajima, Japanese Journal of Applied Physics, vol. 42, Part 1, no. 11, Nov. 2003, pp. 7169-7173

(19) Electrical Transport Characteristics of $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ Stacked Junctions with Control of the Carrier Density, Superconductor Science and Technology, vol.16, pp.1365-1367, 2003, K. Inomata, T. Kawae, S.-J. Kim, K. Nakajima, T. Yamashita, S. Sato, Koji Nakajima and Takeshi Hatano

共同プロジェクト研究

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）
横山　弘之
（東北大学未来科学技術共同研究センター）
四方　潤一（東北大学電気通信研究所）
潮田　資勝（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）

研究費：校費　339,000円，旅費　318,360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，伊藤教授が開発したテラヘルツ波光源と，近接場を表面プラズモンにより増強するNECのプラズモンエンハンス技術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エンハンス効果について研究を行った。

以下，研究活動状況の概要を記す。

- 2003/4/17　プロジェクト・キックオフ開催
- 2003/6/19　研究打ち合わせ
- 2003/9/11-12　共同実験
- 2003/11/14　共同実験
- 2003/12/22-23　共同実験
- 2004/1/8　共同実験
- 2004/2/20　共同実験
- 2004/2/24-25　共同実験
- 2004/3/2-3　共同実験
- 2004/3/9　プロジェクト報告会
- 2004/3/10　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。

まず第1に，光領域で発見された表面プラズモンエンハンス効果がテラヘルツ領域においても有効であることを解析によって明らかにし，光領域よりも強いエンハンス効果を得られる可能性があることを示した。表面プラズモンエンハンス効果をテラヘルツ領域に展開した場合，金属と誘電体の界面を伝搬する表面プラズモン・ポラリトン（SPP）の低損失化にともない，SPP伝搬長が飛躍的に増大することから，エンハンス効果の増大が期待される。一方，テラヘルツ領域における金属への侵入長（Skin depth）を，波長で規格化して光領域と比較すると非常に小さな値となるため，光領域ではプラズモンライクであったSPPがテラヘルツ領域ではフォトンライクとなり，エンハンス機構に大きな影響を及ぼす可能性がある。これより，テラヘルツ領域における表面プラズモンエンハンス効果を明らかにするため，金属微小開口を2次元周期配列したHole arrayを，光領域とテラヘルツ領域について，有限差分時間領域（FDTD）法を用いて解析した。図1に結果を示す。波長より十分小さい孔径であるにもかかわらず，光領域，テラヘルツ領域ともに明確な透過ピークを示し，かつ，開口率（約9%）を大幅に上回る透過率を示し，顕著な透過エンハンス効果が得られることが確認できる。さらに，光領域とテラヘルツ領域で比較した場合，光領域では金属と誘電体の界面を伝搬する表面プラズモン・ポラリトン（SPP）が金属の損失を強く受けて透過率は数10%にとどまるのに対し，テラヘルツ領域では損失の効果は小さく，ほぼ100%の透過が得られる。また，開口近傍の電場強度の最大値はテラヘルツ領域のほうが約4倍強く，光領域よりも強い近接場が得られることがわかった。すなわち，テラヘルツ領域においても透過エンハンス効果は実現可能であり，かつ光領域よりも強いエンハンス効果を得られる可能性があることがわかった。

第2に，本研究における目的である単一開口からのテラヘルツ波増強を実現するため，波長以下

の径を有する単一開口の周囲に同心円状の周期構造を配置したBull's eye 構造を作製し，大幅な透過エンハンス効果が得られることを確認した。素子は，厚さ60μmの金属板（SUS）の両面（または片面）に周期200μmの同心円状の溝を形成し，同心円の中心に直径100μmの円形開口を作製した（図2参照）。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を成膜した。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160～240μm（約1.9～1.3 THz）の範囲で透過スペクトルを測定した。図2に，周期溝を両面に形成した素子でリング数が10の場合の測定結果を示す。図中には，単一孔のみの結果も示した。周期200μmに対してほぼ同じ波長において明確な透過ピークが見られ，単一孔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，テラヘルツ領域においても、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，周期構造によって励起されたSPPが，開口を介して共鳴トンネリングを形成し，透過光を増大させていると考えられる。

第3に，Bull's eye 構造における出射側の構造が，透過光に強い指向性を与えていることを明らかにした。図3は，入射側と出射側の両側に周期構造を形成した素子（両側周期構造）と，入射側のみに周期構造を有する素子（入射側周期構造）について，透過光のビームプロファイルを測定した結果である。測定は，素子から18 mm離れた位置に配置したSlit（Slit幅=1 mm）を移動させることによって行った。入射側周期構造の場合，出射側に周期構造がないため，微小開口から出射された透過光は全方位に広がり指向性は見られない。一方，両側周期構造の場合には，光軸近傍に透過パワーが集中したプロファイルが得られており強い指向性が確認された（出射ビーム角度は，約±5°）。出射側に周期構造がある場合，微小開口から出射された透過光は出射側の周期構造によって回折され，0次透過光が強められることによって高指向性が得られることが明らかになった。この結果は，出射側の開口近傍にエネルギーを強く集中させる効果があると考えられ，高分解能化実現のための重要な結果であると考えられる。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトでは，微小開口からのテラヘルツ波増強効果を明らかにし，高分解能化が期待されることから，平成16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構造を有する金属微小開口からのテラヘルツ波増強効果」
第51回応用物理学関係連合講演会29p-N-3 (2004)

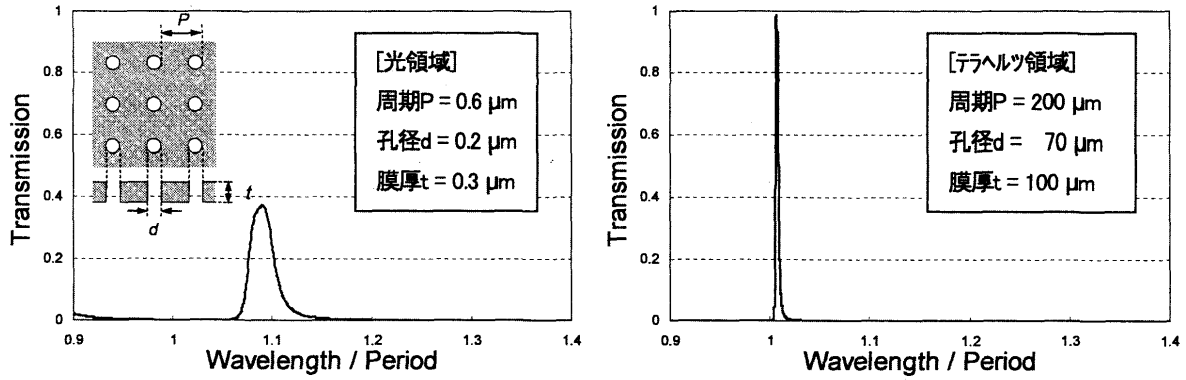


図１．光領域とテラヘルツ領域におけるHole array の透過スペクトル計算結果

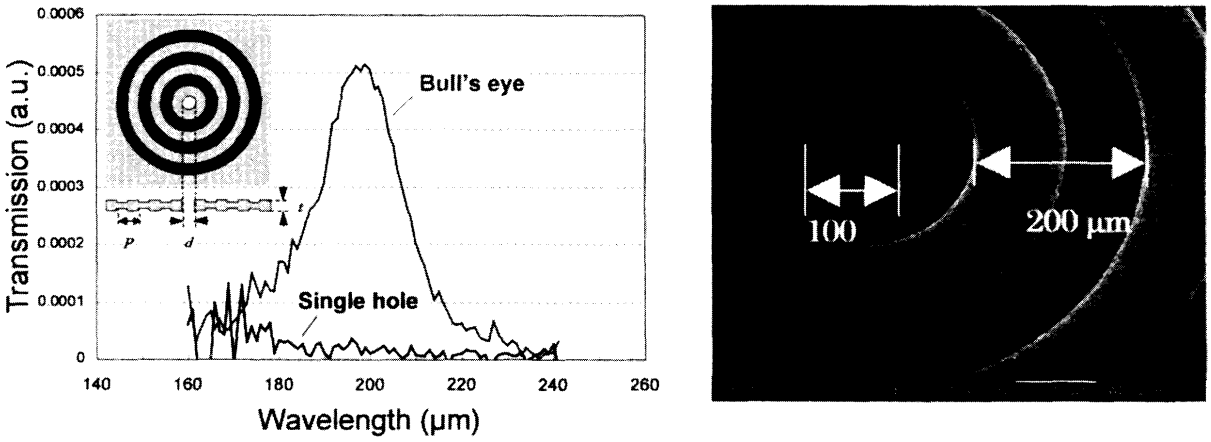


図２．テラヘルツ領域におけるBull's eye の透過スペクトル測定結果および素子のSEM観察像

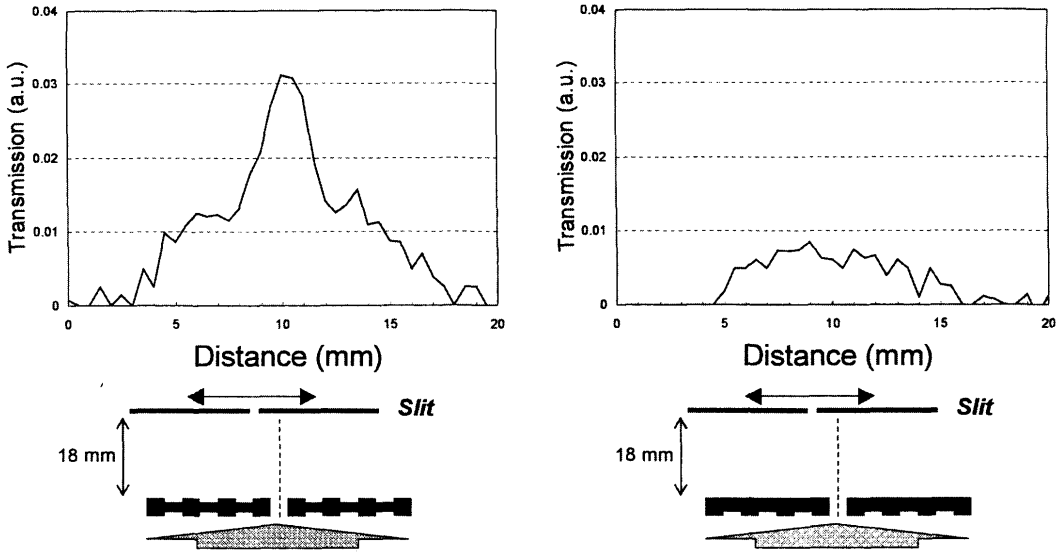


図３．Bull's eye の両側周期構造および入射側周期構造における透過ビームプロファイル

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）
責任者：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　327,000円，旅費　649,500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，その感覚の性質が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，本年度が初年度であった。そこで，メンバーの個々が東北大学電気通信研究所を訪れ，通研対応教官である鈴木をリエゾンとして打ち合わせを行うことで，プロジェクト全体としての研究実施計画の確認および研究内容の検討を行った。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いて，意見交換を行った。

・筧　一彦　名古屋大学大学院情報科学研究科　教授
・子安　勝　音響工学研究所 所長
・国松　直　産業技術総合研究所　活断層研究センター 研究チーム長
・橘　秀樹　東京大学生産技術研究所第5部 教授
・小林まおり　立教大学大学院文学研究科 博士後期課程大学院生

[3] 研究成果

（3－1）研究成果

本年度は以下に示す6テーマについて研究を行った。

(A) マルチチャネル再生音の拡がり感に関する検討
(B) バイノーラル録音・再生手法の高度化に関する検討
(C) 音の高能率符号化がバイノーラル再生音の音像定位に及ぼす影響に関する検討
(D) 聴覚におけるラウドネス知覚に及ぼす視覚情報の影響に関する検討
(E) 聴覚臨場感に及ぼす視覚情報の影響に関する検討
(F) 移動視聴覚刺激による空間知覚に関する検討

これらのテーマのうち，(A)～(C)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，(D)～(F)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) マルチチャネル再生音の拡がり感に関する検討

高臨場感音響再生手法は，聴取者の周囲の空間の音場を制御する大局的手法と，聴取者の両耳における音圧のみを制御する局所的手法に大別される。本テーマ(A)は大局的な制御手法に関するものである。

従来の大局的な手法は，例えば5.1チャネル再生系に代表されるように，複数スピーカを水平面上に配置するものであるために鉛直方向の音場再生が困難であることが指摘されてきた。そこで，本テーマでは，複数スピーカを聴取者に正対する平面上に配置した場合を取り上げ，複数チャネル再生手法の可能性と限界を探ることを目的として行った。具体的には，被験者から2.1 m 離れて正対する平面の4隅にスピーカを設置し，これらによって音像を合成した場合の音像の拡がり感を調べた。チャネル間の相関係数を系統的に変化させた場合の音像の拡がり感をシェッフェの一対比較法によって測定したところ，音像の拡がり感が有意に変化することを明らかにした。本年度は，全チャネ

ルの音圧レベルを等しくした条件について検討したが，次年度はそのレベルを変化させることにより，音像位置を制御する可能性について検討する予定である。

(B) バイノーラル録音・再生手法の高度化に関する検討

テーマ(B)及び(C)は局所的な制御手法に関するものである。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。

以前の手法は，原音場においては外耳道入口において録音することが拘束条件となっていた。しかし，補正特性を算出する式の導出過程を詳細に検討したところ，その拘束条件を外して録音位置を一般化して補正式を記述することが可能であることを見出した。実際に，原音場において鼓膜位置において録音した場合について補正を行い聴取実験により評価したところ，理想条件と有意差のない評価が得られた。このことから，ここで補正式を一般化したことの有効性が示された。

(C) 音の高能率符号化がバイノーラル再生音の音像定位に及ぼす影響に関する検討

バイノーラル録音・再生手法を双方向の高臨場感通信に用いることを考えた場合には，帯域幅の制約から，高能率な符号化を行うことが有効と考えられる。しかし，バイノーラル録音した音に高能率符号化を施した際には，受聴者の空間知覚に影響が及ぶ恐れがある。なぜならば，高能率な符号化の多くは，人間の聴覚特性を利用して情報量の圧縮を行う非可逆な操作であるからである。

そこで，本テーマでは，バイノーラル録音・再生手法に高能率符号化を組み合わせて利用することの可能性を探ることとした。そのために，符号化手法として TwinVQ 符号化を用いて，音像定位に関する聴取実験を行った。TwinVQ方式を採用したのは，(1) この手法は，楽音符号化を目指して開発されているために，音声だけに留まらず，遠隔音楽教育などの一般の遠隔協調作業にも有効である。(2) 符号伝送誤りに対して高い耐久性を持つことが示されている。(3) MPEG-4オーディオの標準方式の一つとなっており，MP3方式に比べた場合でも等しいビットレートならば主観評価値が上回る。などの理由による。刺激音として広帯域雑音および音声信号を用いて実験を行った結果，符号化によって音像の前後誤りが増加する場合があるものの，左右方向については有意な影響はないことが示された。また，符号化によって，音像がぼけて知覚される場合があることが示されたが，十分に実用に耐えうるものであることが明らかになった。次年度以降は，実際のテレビ会議環境を想定して，バイノーラル録音・再生手法を用いること及び話者映像を提示することが，単語了解度に及ぼす影響を検討する予定である。

(D) 聴覚におけるラウドネス知覚に及ぼす視覚情報の影響に関する検討

視聴覚マルチモーダル環境を聴覚の側から検討する場合，まず問題とされるのはラウドネス（音の主観的大きさ）である。そこで，自動車の通過音などの人工的な視聴覚刺激や，滝などの自然の視聴覚刺激を対象として，音源が視認できる場合とできない場合とで，知覚されるラウドネスの変化を測定した。その結果，いくつかの刺激では，音源が視認できる場合にはラウドネスが統計学的に有意に減少することが示された。これらの刺激に共通して，音圧レベルの変動が10 dB以上ある，あるいは音源が視認できる場合とそうでない場合の映像で風景が大きく異なるという特徴があった。以上のように，本年度は，視聴覚のクロスモダリティが，ラウドネスという量的な評価に関して存在することを示した。

(E) 聴覚臨場感に及ぼす視覚情報の影響に関する検討

当プロジェクトのメンバーは，音だけを聴取した場合に知覚する臨場感について以前に検討を行った。その結果，音源に移動がある音の臨場感が高いことが示された。その後，映像を付加することにより聴覚で知覚する臨場感が変化する場合があることを，別の実験を行った結果として示した。本年度は，その実験結果を，聴取者と音源の位置関係について場合分けして詳細に検討した。その結果，聴取者の靴音のように，音源が聴取者と共に移動する場合については映像付加により顕著な臨場感の向上があることを示した。これは，音だけを聴取している場合には音源は聴取者に対して相対的に静止していたものであるが，映像が加わることにより音源自体の移動があることが理解できることが理由であると結論した。

(F) 移動視聴覚刺激による空間知覚に関する検討

腹話術効果に代表されるように，視覚情報が音の定位に影響を及ぼす現象は古くから知られてきた。しかし，従来の研究は，移動しない視聴覚刺激や，視覚刺激のみが移動する条件で行われた場合がほとんどである。そこで，本テーマでは，今後のマルチモーダルシステムにおいては視覚情報としては動画が主となると考え，動的な視覚刺激が音像定位に及ぼす影響を検討した。具体的内容は以下のとおりである。50インチディスプレイ上を移動する音源の映像と，それに対して相対速度が異なる移動音を用意した。それらの移動する映像と音の組合せに対して，被験者には違和感を感じる限界を回答させた。その結果，音の移動速度が遅い方が，視覚の影響が大きいことが明らかなった。ただし，視・聴覚刺激の相対速度が音像定位に及ぼす影響については，さらに実験条件を広範に設定して追加実験を行う必要性も示唆された。

（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飛躍的に発展した。さらに，前述のとおり，本研究に関連する研究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。

また，上記のテーマ(E) 聴覚情報に及ぼす視覚情報の影響に関する検討の結果については，2004年3月にフランス共和国ストラスブールにおいて開催された CFA/DAGA '04 (Congrès Franç ais d'Acoustique / Deutsche Jahrestagung für Akustik '04 : 2004年 フランス音響学会/ドイツ音響学会 連合大会）における Structured Session "Audiovisual interaction" (Organizer: Dr. C. Patsouras) に招待されて講演したものである（下記，研究資料の(5)）。このように本プロジェクトの成果は，現時点で世界の最先端に位置するものと考えており，今後も当初の計画どおりに研究を発展させていく予定である。

[4] 研究資料

(1) 吉田拓矢, 安倍幸治, 金海永, 曽根敏夫, "移動視聴覚刺激による空間知覚に関する検討," 平成15年度電気関係学会東北支部大会講演集, p.337 (2003).

(2) 豊田将志, 小澤賢司, "4チャネル合成音像の拡がり感に関する検討," 平成15年度電気関係学会東北支部大会講演集, p.338 (2003).

(3) 小澤賢司, 長倉和也, 筒井健介, 鈴木陽一, "鼓膜位置において録音したバイノーラル録音・再生に関する個人性補正," 日本音響学会秋季研究発表会講演集, pp. 583-584 (2003).

(4) Abe, K., Ozawa, K., Suzuki, Y., and Sone, T., "The effect of visibility of sound sources on the loudness evaluation of an environment sound," Proc. of Inter-Noise2003, pp. 2843-2848 (2003).

(5) Ozawa, K. and Suzuki, Y., "Cross-modal effects of visual information on auditory presence," Pro. of CFA/DAGA '04, p. 333; 2 pages article in CD-ROM proceedings (2004).

(6) 中貝順一, 小澤賢司, "バイノーラル再生音の音像知覚に高能率符号化が及ぼす影響," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 9, No. 1, pp. 13-20 (2004).

共同プロジェクト研究

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）
責任者：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（大阪大学大学院工学研究科）
富樫　敦（静岡大学情報学部）
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　385,000円，旅費　808,200円

[2] 研究経過

マイクロプロセッサやICタグが遍在するユビキタス社会が広がりはじめている。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，エージェントシステム，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15年度は，本プロジェクト研究の第１年度であった。本年度は，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。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加え，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。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２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は以下の通りである。

＜第一回研究推進会議＞
日時：平成15年8月29日
場所：東北大学電気通信研究所
概要：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。

＜第二回研究推進会議＞
日時：平成15年12月19日～12月20日
場所：東北大学電気通信研究所
Ａ．講演と報告
(1)「フレキシブルコンピューティング」白鳥則郎（東北大）
(2)「ユビキタスコンピューティング」東野輝夫（大阪大）
(3)「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の研究」
村山 優子（岩手県立大）
(4)「協調作業を支援する出入り口空間CollaboGate」岡田謙一（慶應大）
(5)「ユビキタスグループウェア」宗森　純（和歌山大）
(6)「インターネット活用の共同作業を取り入れた遠隔協調学習方式と少人数ゼミ適用実験」小泉寿男（電機大）
(7)「Webサイト構造の可視化による構造化設

計支援」片岡信弘（東海大）
(8) 「移動機器管理システム」水野忠則（静岡大）
(9) 「無線LANを用いた屋内向け測位方式 WiPSの概要」北須賀 輝明（九州大）
(10) 「複合ネットワーク環境における最適転送レート制御」柴田義孝（岩手県立大）
(11) 「ウェアラブルコンピューティングによるユビキタス共有空間」
塚本昌彦（大阪大）
(12) 「オントロジーに基づいたコミュニティシステムの構築」富樫　敦（宮城大）
(13) 「モバイルマルチメディアサービスの展望」
高橋　修（NTT DoCoMo）

[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対面作業環境における基盤技術の確立と応用

室内などにおける対面の作業環境を中心としたユビキタス共有空間実現のために，空間と空間の接点である「出入り口」を場と捉えて支援対象としたグループ支援環境CollaboGateを構築した。出入り口空間での活動は，その内容や所要時間などの点において従来の協調作業空間とは異なる特性を持つ。戸のガラスの部分に情報を表示し，出入り口空間におけるアウェアネス情報を収集・蓄積する手法を交換し，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ティを対象とした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加え，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。そこで，インターネット活用の共同作業を取り入れた遠隔協調学習方式と少人数ゼミ適用実験を行った。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，戸口通信，コンテンツ配信ネットワーキングなどの構築を行い，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

屋内環境における新しい位置測定の方法として，無線LANを用いた屋内向け測位方式 WiPSを提案した。WiPSは，無線LANの電界強度をアクセスポイントと端末で測定し，機器を持っている人の位置を１メートル単位の測定を目指している。さらに，複合ネットワーク環境における最適転送レート制御のために，有線と無線の複合したネットワークにおいて，ビデオ通信の問題点を明らかにし，最適制御理論による最適転送パケット転送レート制御などを導入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出来つつある。その理由として，高速な無線LANや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，知的生産システム，エンターテイメント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定着が期待できる。

[4] 成果資料

(1) 中田愛理，平山　拓，大菅直人，宮本真理子，岡田謙一，“DACS: 距離に基づいた共同作業支援システム”，情報処理学会論文誌，Vol.44, No. 4, pp. 1177-1185 (2003).
(2) Shingo Nakagawa, Fumioka Kanezashi, Satoshi Yazawa, Atsushi Togashi, “A Development System for Resource-Oriented Applications”, International Journal of Computer & Information Science, Vol. 4 No. 3, Sept. 2003.
(3) Tetsuya Tomita, Yuko Murayama, “A Proposal for Under-the-Door Communication on the Network”, Proceedings of HCI International 2003, pp. 1019-1023, June 2003.
(4) T. Munaka, T. Yamamoto, M. Kuroda, T. Watanabe, “Location dependent data multi casting in intelligent transportation system and its

evaluation", Transportation Research Part C 11, Elsevier, pp. 355-373 (2003).

(5) Osamu Yamagata, Nobuhiro Kataoka, Yasuaki Nakamura, "Structured Design Using Improved Visualization of Website Structure", Proceedings of the 2nd IASTED International Conference Communications, Internet, and Information Technology, pp. 323-328, Nov. 2003.

(6) Kazuo Takahata, Noriki Uchida, Yoshitaka Shibata, "Optimal Data Rate Control for Video Stream Transmission over Wireless Network", Proceedings of IEEE 18th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, Vol. 1, pp. 340-345 March 2004.

(7) Vlad Ingar Wietrzyk, Makoto Takizawa, "Distributed Workflows: A Framework for Electronic Commerce", Journal of Information Science and Engineering, Vol. 19, No. 1, pp. 15-38 (2003).

(8) 早川敬介，塚本昌彦，寺田　努，義久智樹，岸野泰恵，柏谷　篤，坂根　裕，西尾章治郎：ユビキタスコンピューティングのためのルールに基づく入出力制御デバイス，ヒューマンインタフェース学会論文誌，Vol. 5, No. 3, pp.341-354 (2003).

(9) Hiroshi Mineno, Yousuke Konishi, Susumu Ishihara, Tadanori Mizuno, "Implementation of cluster control manager for multiple wireless links sharing systems", IEEE Pacific Rim Conference on Communications Computers and Signal Processing (PACRIM2003), pp. 276-279, Aug. 2003.

(10) Satoshi Oyama, Takashi Kokubo, Toru Ishida, "Domain-Specific Web Search with Keyword Spices", IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 16, No. 1, pp. 17-27 (2004).

(11) Susumu Ishihara, Kenji Koyama, Yosuke Ito, Hiroshi Mineno, Ken Ohta, "Sharing multiple paths for temporarily connected mobile computers using Mobile IP", IEEE Pacific Rim Conference on Communications Computers and Signal Processing (PACRIM2003), pp. 326-329 Aug. 2003.

(12) 北須賀輝明，中西恒夫，福田晃，"無線通信網を用いた屋内向け測位方式"，情報処理学会論文誌:コンピューティングシステム，Vol. 44, No. GIS10 (ACS2), pp.131-140 (2003).

(13) Hirozumi Yamaguchi, Akihito Hiromori, Teruo Higashino and Kenichi Taniguchi: "An Autonomous and Decentralized Protocol for Delay Sensitive Overlay Multicast Tree", Proceedings of the 24th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS-24), pp.662-669, March 2004.

(14) Takashi Yoshino, Takahiro Noda, Jun Munemori: Group Digital Assistant: Shared or Combined PDA Screen, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 49, No. 3, pp. 524-529, Aug. 2003.

(15) 栗原　潤，小泉寿男，石川俊之，太細　孝，"Webサービスを活用したECモデルの実装方式"，電気学会論文誌D，Vol. 124, No. 1, pp. 39-47 (2004)

課題番号　H15/A10

$K_3Li_2Nb_5O_{15}$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$Ca_3NbGa_3Si_2O_{14}$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　279,000円，旅費　502,960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$K_3Li_2Nb_5O_{15}$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，本年度が第1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1月25日～28日：安達正利教授，唐木智明助教授（富山県立大学）
(2) 平成16年3月21日～25日：安達正利教授，藤井正助手（富山県立大学）
(3) 平成15年2月26日～29日：安達正利教授，（富山県立大学）
(4) 平成15年3月5日～7日：唐木智明助教授（富山県立大学）
(5) 平成16年3月21日～25日：安達正利教授，藤井正助手（富山県立大学）

研究発表：

(1) 平成15年2月28日：圧電材料・デバイスシンポジウム2003（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$Ca_3NbGa_3Si_2O_{14}$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。誘電率およびパルス反射法による音速測定には，X，Y，Zカット板の3種類の試料をもちいた。一方，θが-20，-10，0，10，20°の短冊状試料の横モード振動子および面すべり，厚みすべり用Xカット板振動子を作製し，それらの共振－反共振周波数から弾性コンプライアンスs，圧電定数dを求めた。そして，パルス反射法で得られた値と比較検討した。そのようにして補正した結果を以下に示す。

$$[\varepsilon_r]=\begin{pmatrix}16.9 & 0 & 0\\ 0 & 16.9 & 0\\ 0 & 0 & 27.9\end{pmatrix}$$

$$[c]=\begin{pmatrix}15.5 & 7.45 & 7.46 & -0.06 & 0 & 0\\ 7.45 & 15.5 & 7.46 & 0.06 & 0 & 0\\ 7.46 & -1.36 & 22.6 & 0 & 0 & 0\\ -0.06 & 0.06 & 0 & 4.05 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4.05 & -0.06\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.16 & 4.03\end{pmatrix}$$

$$[e]=\begin{pmatrix}-0.335 & 0.335 & 0 & 0.44 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.44 & 0.335\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\end{pmatrix}$$

この値をもちいて計算した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。

第2に，$K_3Li_2Nb_5O_{15}$単結晶の研究は，連続充填チョクラルスキー法によるKLN単結晶の育成を行った。KLN単結晶については，まずまず良質な結晶の育成ができたが，まだ大きさなどに課題があり，誘電率や圧電定数，焦電係数などの諸特性を測るところにまで至らなかった。この原因は，引上げ技術の未熟さによるところが大きい。特に種子付け，肩部作製などは経験と勘が頼りで難しい。

また，今回の育成で悩まされたクラックの原因として，

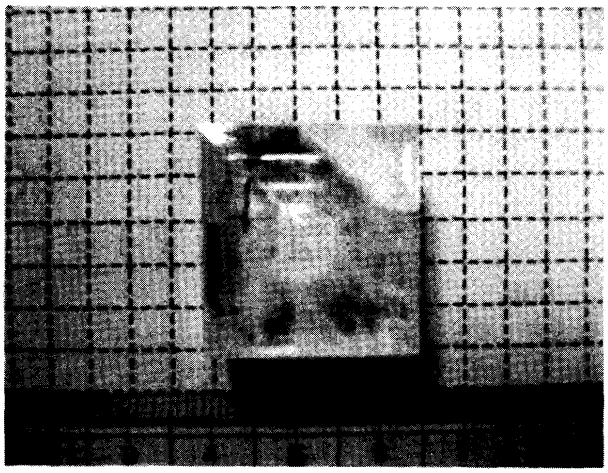
(1) 育成技術
(2) 原料中の不純物濃度
(3) 組成の局所的変動
(4) 結晶径依存性

が挙げられる。この中で，(1) 育成技術の確立はかなり難しい課題であると感じた。るつぼの変形などによる溶液の容量，温度環境の変化，そのための対流パターンの変化などが起きて結晶育成条件が変わってしまう。そのため，同じ条件で育成したつもりでも育成の再現性が得られないことが多い。したがって，今回育成できた結晶も確立された条件の下での育成とはいえない。このように条件が変わってしまうので育成技術を確立するのは非常に困難であると思われる。

今後は，より大寸法で高品質な結晶育成が望まれる。そのためには，様々な条件下での育成を繰り返し，育成パラメータの再検討はもちろん，引上げ技術の向上が必要である。

第3に，$KNbO_3$単結晶育成の研究がある。大型で良質のＫＮ単結晶の育成とその育成技術の確立であった。実際に育成したKN単結晶は，育成条件を考察しなおし，幾度も育成を繰り返すことで，比較的良質なKN単結晶を得られることができた。しかし，最大の問題であるクラックが全く存在しないKN単結晶を育成することはできなかった。その原因として考えられることは，育成している環境が毎回同じではないということである。例えば，冷却時間や回転速度など数値的な育成条件が同じであっても，るつぼの設置の仕方によっては温度の上昇・下降の仕方も違ってくるし，育成した結晶の大きさによっても結晶内の温度勾配がちがったりすることである。つまり，その都度，適切な育成条件は変化しているということである。これに対応するには，育成者の経験が重要になってくる。よって，今回の研究では，育成技術の確立までにはいたらなかった。

得られた結晶の写真を示す。



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，そ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。

[4] 成果資料

(1) 安達　正利，舟川　剛夫，唐木　智明，“ランガサイト系圧電単結晶の育成と電気的性質”，日本学術振興会弾性波素子技術第150委員会82回研究会資料 (15.5.9) (2003).

(2) Masatoshi Adachi, Takeo Funakawa and Tomoaki Karaki, “Growth of Substituted Langasite-Type $Ca_3NbGa_3Si_2O_{14}$ Single Crystals, and their Dielectric, Elastic and Piezoelectric Properties”, Ferroelectrics, Vol. 286, pp. 43-48 (2003).

(3) Tomoaki Karaki, Maki Nakamoto, Yoichi Sumiyoshi, Masatoshi Adachi, Yasuharu Hosono and Yohachi Yamashita, “Top-Seeded Solution Growth of $Pb[(In_{1/2}Nb_{1/2}),(Mg_{1/3}Nb_{2/3}),Ti]O_3$ Single Crystals”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42, pp. 6059-6061 (2003).

(4) Masatoshi Adachi, Takeo Funakawa and Tomoaki Karaki, “Growth of Langasite Family $Ca_3NbGa_3Si_2O_{14}$ Single Crystals and their Piezoelectric Properties”, the 11th US-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics, Sept. 9-12 (2003).

(5) 安達　正利，佐藤　涼子，唐木　智明，“$Ca_3NbGa_3Si_2O_{14}$圧電単結晶の誘電・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，東北大学，pp.9-10 (2004).

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分光スペクトル解析

[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）
狩野　幹人（三重大学生物資源学部）

研究費：校費　331,000円，旅費　417,350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，テラヘルツ分光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分光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分光スペクトルは，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，テラヘルツ分光スペクトルと中赤外分光スペクトルを併置することにより，糖類のテラヘルツ分光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分光スペクトル取得の可能性を模索するとともに，糖類のテラヘルツ分光スペクトルに関して中赤外分光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。

本プロジェクトは，本年度が初年度となる。そこで，本共同研究では，上記糖類のテラヘルツ分光スペクトル取得手法を確立するとともに，三重大学生物資源学部で得られている中赤外分光スペクトルと併置することで，それらの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。

以下，研究活動の概要を示す。

まず年度当初に，以後の研究の方向性を左右するスペクトル選定試料となる糖類の選定に関する研究打ち合わせを行った。糖類の選定に当たっては，生態の糖代謝活動における糖類の位置づけや二糖類における構成糖の種類・結合形態に着目した。そして，単糖類としては，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，およびフルクトース，マンノースを，また単糖の情報糖として代表的なガラクトースも試料とした。二糖類としては，グルコース二分子からなり，その結合形態が異なるトレハロース，マルトースや，グルコースとフルクトース分子からなりその結合形態が異なるスクロース，マルツロースなどを用いた。さらに，グルコースが直鎖に結合したマルトオリゴ糖も試料とした。そして，FT-IRおよび東北大学電気通信研究所において開発したTPO分光システムを用い，これら糖類のテラヘルツ分光スペクトルを測定した。

また，糖類のテラヘルツ分光スペクトル測定結果，および三重大学生物資源学部における懸濁植物細胞の動的糖代謝挙動に関する中赤外分光解析に関する研究発表会を行った後，計算材料学の専門家を交えて短期および中長期的な研究方針について討論した。

さらに，振動分光学やテラヘルツ・エレクトロニクスに関する国際会議における研究発表動向，および海外の主要大学における生体関連物質のテラヘルツ分光に関する研究動向に関する報告にもとづき，具体的な実験計画に関する研究打ち合わせを行った。

[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，生体機能において重要な役割を果

たしている単糖類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。スペクトル測定試料としては，ガラクトース，グルコース，マンノース，フルクトースを用いた。これら単糖類の分子量はすべて同じであるが，ガラクトース，グルコース，マンノースは六韻環を有し，それぞれOH基の立体構造が異なり，フルクトースは五韻環構造を持っている。テラヘルツ分光スペクトルの測定には，FT-IRもしくはナノ秒Q-スイッチYAGレーザーを励起光源とするTPO分光システムを用いた。TPO分光システムのTHz波の発振幅，出力，FWHMはそれぞれ35 cm^{-1}～70 cm^{-1}，100 pJ，3 cm^{-1}である。また，スペクトル測定は300 Kにおいて行った。その結果，中赤外分光スペクトルと同様に，立体配置や骨格構造の違いによるテラヘルツ分光スペクトルの顕著な違いを観測することができた（図1）。

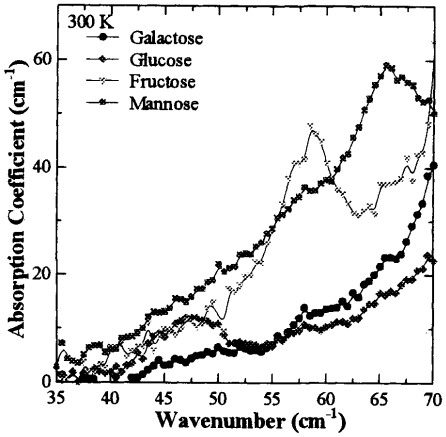


図１．単糖類のTHz帯吸収スペクトル
●ガラクトース，◆グルコース，
▼フルクトース，■マンノース

第２に，生物の代謝活動と密接に関連しているトレハロース，マルトース，スクロースなどの二糖類も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。つまり，テラヘルツ分光スペクトルは，二糖類を構成する単糖類の種類，およびそれら単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。一方，自然界では安定して存在しにくいニゲロースやトレハル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を有していなかった。この結果は，分子を構成する官能基の振動情報が反映される中赤外分光スペクトル特性と異なる点である。

第３に，グルコースが直鎖に結合したマルトオリゴ糖（G1～G7）に関しては，グルコース（G1）とマルトース（G2）はそれぞれ固有のスペクトルパターンが認められたが，グルコース（G1）が３分子以上結合したマルトオリゴ糖（G3～G7）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った（図2）。この結果は，構成する単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単糖の数，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。

第４に，研究発表会や討論会などをとおして，今後の研究の発展において，糖類のテラヘルツ分光スペクトルの理論的解釈と水溶液系におけるスペクトル取得手法の確立がきわめて重要であることが確認された。

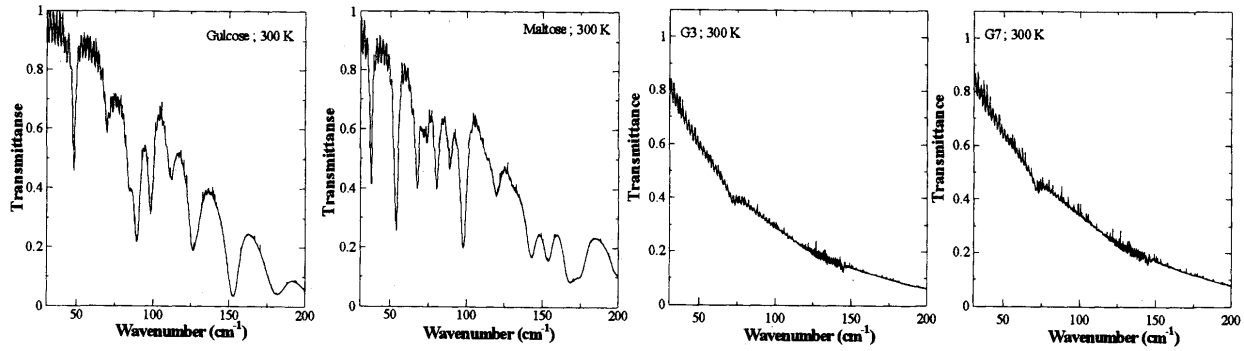


図２．マルトオリゴ糖のTHz領域におけるFT-IRスペクトル

（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分野の研究者との交流を飛躍的に活性化し，テラヘルツ波を利用した生物の動的代謝挙動の把握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波利用に関連するものであり，本プロジェクトの今後の発展が期待される。

［4］成果資料

(1) 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, (March.28-31, 2004).

(2) Ruixiang Guo, Youichi Ishikawa, Hiroaki Minamide, Tomofumi Ikari, Hiromasa Ito, Kazuhiro Imai, Atsushi Hashimoto, Takaharu Kameoka：A compact, narrow-line-width, fast-data-acquiring, ais-TPG spectrometer, Nonlinear Optics (NLO2004), 投稿中

共同プロジェクト研究

課題番号　H13/B02

フィールドにおける広帯域脳波の計測及び解析と脳機能

[1] 組織

代表者：武者　利光
（株式会社脳機能研究所）
責任者：鈴木　陽一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
堀　　忠雄（広島大学総合科学部）
杉田　義郎（大阪大学健康体育部健康医学第３部門）
白川修一郎（国立精神・神経センター）
山本　光璋（東北大学大学院情報科学研究科）
中尾　光之（東北大学大学院情報科学研究科）

研究費：校費　50,000円，旅費　220,960円

[2] 研究経過

これまで脳波といえば，たかだか数10ヘルツの帯域の現象に限られていたが，最近の認知神経科学の分野では，意識の発現過程を捉えるために，100Hz以上の高周波広帯域脳波の計測と解析が必須の条件となってきた。本研究ではまず，我々が主導的に開発してきた「インテリジェント型携帯用広帯域脳波計測システム」を完成させ，ハード及びソフトの計測上の諸問題を解決するとともに，フィールドすなわち日常生活状態における脳波を含む諸々の生体情報の取得にこのシステムを応用してその有用性を示すとともに，新しい現象の発見とそのメカニズムの解明を通して，脳波学の新たな道を拓くことを目的としている。

本年度は最終年度であり，各分担者は，「インテリジェント型広帯域脳波計測システム」（ポリメイトAP1500TY）または「広帯域脳波計測システム」（ポリメイトAP1000）を用い，フィールドにおける脳波の計測と解析を行いその有用性を明らかにするとともに，睡眠関連の研究も含めた研究討論会を実施した。以下にその内容を記す。

[3] 成果

（３－１）研究成果

（３－１－１）REMs-anticipatpry phasic potentials (RAPPs)の起源について

睡眠脳波は実験室ではなく，フィールドすなわち日常的生活状態で観測することが重要であるが，夢見の睡眠であるレム睡眠期の脳波には高周波帯域の成分が含まれており，本研究の格好のターゲットであるとみなされる。すなわち，レム睡眠期に観測される顕著な現象として急速眼球運動があるが，1999年に山本らは，この現象に10ミリ秒程度先行して，頭部脳波にスパイク状電位が観察されることを発見し，急速眼球運動予測性相動性電位（RAPPs）と呼ぶことを提唱した。

本研究では，平成13年，14年度に，「インテリジェント型広帯域脳波計測システム」（ポリメイトAP1500TY）を用い，レム睡眠のリアルタイム自動検出システムの開発研究を行い，目的を果たした[1]。

ついで，上記のRAPPsの起源を探るため，二つの実験を行った。まず，ヒトの頭骸骨を組み込んだ頭部ファントムを構築し，その内部の様々な場所に電流ダイポールを人工的に発生させて頭部表面電位分布を調べた。その結果，ダイポールを脳幹背側部周辺に配置し陽極を後頭部へ向けた時に，ヒトRAPPsと最も高い一致度を示す電位分布が得られることが明らかになった[2]。次に，スパイクの波形や振幅の電位分布がRAPPsと類似している覚醒時ヒトの衝動性眼球運動に先行するスパイク電位（PsSP）と RAPPsの詳細な比較を行った。その結果，いずれのスパイク振幅も眼球運動の初動トルクに関連する量と強い相関関係があることが見出された。これは，いずれも眼球運動の開始に関連した神経活動を反映した電位である可能性を示唆している。以上の研究から，RAPPsの起源が脳幹背側部にある動眼神経核の活動に由来するものであること，及び，この活動が，脳幹と顔面部を低インピーダンスで接続する眼窩裂を経由して電気緊張的に伝播したことにより，顔面部に強い負極性電位が生じたことが示唆された[3]。以上は，広帯域脳波計測をフィールドで行い，その詳細な解析を通してレム睡眠時に見られる新現象を発見しそのメカニズムを解明したものであり，本研究の主要な目的を果たしたものとなっている（東北大学大学院情報科学研究科　山本光璋，中尾光之，片山統裕）。

（3－1－2）ポリメイトを用いたフィールドにおける事象関連電位の測定

平成13年度は，ポリメイトの時間分解能の高さすなわち広帯域性（1KHz）に着目してレム睡眠中と覚醒中の急速眼球運動（それぞれレム及びサッカード）に随伴する事象関連電位を測定し比較検討した。その結果，レム睡眠期の急速眼球運動は随意運動に関与する皮質制御を受けていないこと，また，レム睡眠中の急速眼球運動には運動準備電位が欠如し，眼球停止後に生起する視覚情報処理は第２次視覚野から始まることを指摘し，夢の視覚心像の形成過程に関連づけて考察した[4],[6]。

平成14年度は在宅高齢者の日中覚醒の水準を測定する目的で，事象関連電位P300を測定した。フィールド用に刺激提示装置を開発し，ポリメイトを基幹とする実験・測定システムを構築した。これにより，高齢者の覚醒水準と自覚される眠気はP300振幅で定量的に評価することが可能であること，データの精度は電磁シールドの機能を備えた実験室での成績と同等であることを確かめた。

平成15年では日中の居眠り防止のために開発した自己覚醒法による短時間仮眠の睡眠記録と，覚醒後30分間の覚醒水準の測定をポリメイトを基幹とする測定分析システムで検討した。その結果，覚醒時刻を企図して仮眠をとる自己覚醒は，目覚ましなどによる強制覚醒よりも目覚めた後に眠気が残ることがなく，P300も高振幅（高覚醒）を維持することが分かった。また，同時記録した血圧の変化は，強制覚醒すると覚醒直後に急激な上昇が認められるが，自己覚醒では目覚める3分前に上昇を開始し，起床時の血圧変化を緩衝することが分かった[5]。

高齢者の生活の質（QOL）管理計画では，基礎研究も在宅状態で実施することが必要となってきている。特にポリグラフィ測定では実験室効果（心理ストレス）が結果を歪めるため，心理的な負担が軽い携帯型の測定システムの開発が緊急の課題とされてきたが，今回，睡眠ポリグラフィ測定や事象関連電位測定などの実施成績から，ポリメイトは実験室での測定精度を維持しながら，在宅でのフィールド測定を実現可能にしたといえる。

平成15年度から広島大学大学院医歯薬学総合研究科顎口腔頚部医科学講座との共同研究で「子供のあごの発達と睡眠時無呼吸との関係」の研究を開始した。ポリメイトは睡眠時無呼吸の睡眠ポリグラフィをすべてカバーしており，これにわれわれが開発した事象関連電位計測システムを併用して，睡眠測定に引き続き覚醒直後の覚醒水準（眠気の残留程度）を事象関連電位（P300）により測定している。在宅で測定が可能なため第1夜効果を軽減でき，記録参加者の同意も得られやすい。小学生など低年齢の患者を対象にした測定には，ポリメイトを基幹とした携帯型ポリグラフの拡充が最も実現性が高いと判断された。このフィールド測定は現在も継続進行中である（広島大学総合科学部行動科学講座　堀 忠雄，入戸野 宏，甲斐田 幸佐，小川景子）。

（3－1－3）ポリメイトを応用したフィールドでの生理的眠気測定— sleep latency test およびＥＲＰ測定を中心に—

平成13年度には，ポリメイトを用いた微小重力環境シミュレーション下での睡眠および脳機能の測定を行い，宇宙ステーションのような微小重力環境では，夜間睡眠の睡眠段階4が減少し，中途覚醒が増加，睡眠後半の迷走神経活動が亢進し，起立性交感神経変移が存在しない場合には，睡眠慣性の持続による認知機能低下が生じヒューマンエラー発生の危険率が上昇することを明らかにした。

平成14年度には，フィールドでの香気成分の睡眠改善作用検証へポリメイトを応用し，香気成分の揮散濃度を制御しやすい温度制御可能なカプセル型リラクゼーションルーム中で随伴陰性変動（CNV）をポリメイトを用いて測定した。その結果，樹木から単離された香料の沈静作用が，総睡眠量，入眠潜時等を調べることで明らかとなった[7],[8]。

平成15年度は，鉄道運転士6名を対象として，勤務終了後にEpworth眠気テスト，ポリメイトを用いた入眠潜時検査，作業能力検査を現場にて施行した結果，これらの３種類の検査結果に極端な乖離が認められた。このことから，ポリメイトを用いた入眠潜時検査が最も信頼度が高いことが示された。

また，眠気消去のための軽運動の効果を見るために，対象者，環境，実験条件等を極力統制し，VO2Max60％の有酸素軽運動を20分間2セット行わせ，運動後の認知機能の推移を，ポリメイトを用いて事象関連電位（P300）で検討した。運動直後は，P300潜時が短縮し振幅が増加，認知機能と注意維持の向上が認められることが判った。

上記３年間の研究は，フィールドにおける多面的な睡眠研究がポリメイトを用いることで可能となったことを示している（国立精神・神経センター精神保健研究所老人精神保健研究室　白川修一郎，水野康，駒田陽子，山本由華吏）。

（3－2）波及効果と発展性など

今日，人間が地球上で自然との共生を果たしな

がら，快適に生存していくことができるような工学技術を創造することが急務となっている。そのために，生物的・心的・社会的存在としての人間について科学的解明を行うことは必須の要件であり，特に生物的視点から日常生活状態すなわちフィールドにおける人間の脳活動のありようとメカニズムを明らかにすることは第一義的に重要である。このような認識の下で，本プロジェクト研究では，目的を果たすために必要な広帯域脳波計測システムの開発を先見的に行うとともに，専門家集団を結成してその応用研究をこの3年間にわたって行った。結果として，人間の行動の原点に位置する睡眠や脳の認知機能に関連した諸計測を実践し，その効用を検証することができた。人間はあらゆる行動を脳からの指令で行っていることは紛れもない事実であることから，今後，人間行動の研究を行うあらゆる分野で広帯域脳波計測を行うことは重要な課題になるはずであり，その視点から本研究の波及効果は大なるものがあると言える。

[4] 成果資料

[1] M. Yamamoto, N. Katayama, M. Nakao, R. Kitahara, T. Ueno, I. Takeuchi, N. Ohki: A real-time rapid eye movement sleep analyzer equipped with a portable wide-band polygraphic recorder. Sleep and Biological Rhythms, 1, 175-177, 2003.

[2] 服部正人,片山統裕,辛島彰洋,池野美樹,北原亮,山本光璋,中尾光之,上埜高志,武者利光：急速眼球運動予測性脳幹スパイク電位の電流源推定に関する研究,東北大学電通談話会記録,71,561-562,2002.

[3] R. Kitahara, M. Yamamoto, N. Katayama, M, Nakao, M. Hattori, T. Ueno: A facial topographic profile of rapid eye movements anticipatory phasic potentials. Sleep and Biological Rhythms, 1, 151-152, 2003.

[4] Ogawa, K., Nittono, H., & Hori, T.: Topography of the lambda-like response in REM sleep: A current source density analysis. Sleep and Biological Rhythms, 1, 153-154, 2003.

[5] Kaida, K., Nakano, E., Nittono, H., Hayashi, M., & Hori, T. :The effects of self-awakening on heart rate activity in a short afternoon nap. Clinical Neurophysiology, 114, 1896-1901, 2003.

[6] Abe, T., Ogawa, K., Nittono, H., & Hori, T.: Lack of presaccadic positivity before rapid eye movements in human REM sleep. NeuroReport 15, 735-738, 2004.

[7] 山本由華吏, 白川修一郎, 永嶋義直, 大須弘之, 東條聰, 鈴木めぐみ, 矢田幸博, 鈴木敏幸: 香気成分セドロールが睡眠に及ぼす影響. 日本生理人類学会誌 8(2): 69-73, 2003.

[8] 山本由華吏, 永嶋義直, 矢田幸博, 白川修一郎: 樹木香気成分のＣＮＶに対する効果-セドロール, α ピネン,シネオールの比較. 臨床神経生理学, 31(6): 475-481, 2003.

課題番号　H13/B05

S式の書き換えに基づく計算体系の基礎研究

[1] 組織

代表者：外山　芳人
責任者：外山　芳人
（東北大学電気通信研究所）
分担者：佐藤　雅彦（京都大学情報学研究科）
大堀　　淳
（北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科）
亀山　幸義（筑波大学電子情報工学系）
桜井　貴文（千葉大学理学部情報数理学科）
酒井　正彦（名古屋大学大学院工学研究科）
鈴木　大郎（会津大学コンピュータソフトウェア学科）

研究費：校費　35,000円，旅費　383,720円

[2] 研究経過

ソフトウェアの検証技術は，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，プログラミング言語Lispでプログラムおよびデータの表現形式としてもちいられるS式を対象に，S式に基づく計算体系の基礎理論を確立と，プログラムの検証・変換・合成等の新しい可能性を探求することを目的として研究を行なった。

本年度は，S式書き換えシステムの停止条件，高階システムのモデル化，高階帰納法の自動証明，プログラム自動生成などの研究を昨年度までの成果に基づいて進めた。さらに，昨年度に引き続き研究集会を開催し，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新しい計算体系の可能性について検討を進めた。その結果，書き換えシステムに基づくS式の操作的意味論，環境の形式的な取り扱い，型をもつ関数型言語のコンパイラや検証技術との比較，計算体系に対応する論理体系などについての研究を発展させることができた。

プロジェクトの研究集会は2月27日・28日に作並で開催された。ここでは，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。酒井（名大）は，書き換えモデルに基づくプログラム合成手法について説明した。とくに，プログラムが表現する関数の逆関数を，与えられたプログラムから自動生成するための論理的枠組みを示し，生成手続きがうまく働くことを具体例で説明した。青戸（東北大）は，優先順序付き項書き換えの操作的意味として，補パターンによる変換を拡張した補代入による変換に基づく操作的意味を与える方法を説明した。さらに，近似計算に基づく解釈と補代入に基づく解釈は適当な条件のもとで両者が等価となることを明らかにした。大堀（北陸先端大）は，パターンマッチングおよびレジスタ割り付けの論理的アプローチについての説明し，効率的なパターンマッチングのためのコード生成法とその実装方法を示し，デモによる生成コードの効率比較を行った。佐藤（京大）はCAL等におけるS式に基づく計算・証明システムのタイプと論理の関係を中心に，概念，文脈，導出の形式化について論じた。とくに，判断と導出の観点からシステムにおける超変数をどのように取り扱うべきかを説明した。草刈は，高階システムの帰納的性質を自動検証するための理論的な枠組みについて述べ，モデル論的アプローチの重要性を指摘するとともに，モデルがみたすべき条件について論じた。また，検証システムの実装についても説明した。外山（東北大）は，単純化順序の新しい概念に基づいた辞書式経路順序を提案し，それに基づいてS式書き換えシステムの停止性が容易に判定できることを明らかにした。さらに，型付きS式書き換えシステムをカリー化することで，停止判定法を強力にできることを説明した。鈴木（会津大）は，XMLで記述されたデータの自動変換を，2階のパターマッチングに基づいて実現する方法を提案し，その技術的な検討課題を説明した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

(1) S式は，プログラム言語におけるユニバーサルなデータ構造と見なすことができる。本研究では，プログラム言語におけるデータ構造と相補的な存在である制御構造の研究，とくに制御構造を一般的に表現する「継続」という概念の定式化について研究を行った。本年度は，2階の

限定継続と呼ばれる機構の意味論的基礎について研究を行い，適切な公理を与えることを成功した。

(2) S式の書の計算系等を含む種々のシンボリックな計算系の基礎となる低レベルコードに関する論理学的分析を行い，論理学に基づくレジスタ割り当ての新しい枠組み，およびコードのアクセス制御に関する静的な検証方式を構築した。

(3) 超変数の概念を2通りの方法で形式化した。最初の方法は対象言語の中に超変数を直接埋め込むものであり，通常の論理学の教科書等で非形式的に用いられている記法を型理論として形式化したものである。第2の方法は，高階の抽象構文による形式化である。今回与えた超変数の理論を用いて，文脈を自然に記述できることも示した。

(4) 高階完備化手続きに基づいて設計された，高階関数を直接取り扱えるプログラム自動検証システムの構築を行った。特に，高階完備化手続きの実現において最大の困難であると考えられていた停止性の自動証明法を複数提案した。本成果は，関数型プログラムの検証に直接適用でき，それゆえに高信頼ソフトウエアの構築への貢献が期待できる。

(5) 書き換えにより不定な要素を記号として導入できる体系。計算途中では，後々に必要になる要素が不明な場合に，それを変数として効率的に扱うための計算体系を定め，その性質を明らかにした。

(6) 仕様（書き換えで実行不可能なプログラム）から実行可能なプログラムに変換する方法。与えられた仕様を論理式として表現し，論理式の変換によりプログラムを生成する方法を考案し，その変換能力を調べた。

(7) 従来の単純化順序の概念を拡張することにより，S式を用いたプログラミング言語の計算モデルの停止性を証明する簡明な手法を開発した。とくに，従来の手法では困難であった高階項に対する辞書式経路順序を，S式上の順序として形式化できたことで，S式に基づくプログラムの自動検証技術が大きな発展が期待できる。

(8) 優先順序付き項書き換えの操作的意味として，近似計算に基づく条件付き項書き換え系による手法と補パターンに基づく変換による手法が従来知られている．補パターンによる変換を拡張した補代入による変換に基づく操作的意味を与える次に近似計算に基づく解釈と補代入に基づく解釈との関係について考察を行い，適当な条件のもとで両者が等価となることを示した。

(9) 高階関数を使うプログラムの帰納的性質の自動検証技術として，λ束縛を省いた高階項書換え系の体系である単純型付き項書換え系に焦点を合わせ，与えられた等式が単純型付き項書換え系における帰納的定理であることを示す方法を与えた。

(3-2) 波及効果と発展性など

これまでの研究成果に関する研究検討をとおして，本プロジェクトの対象であるS式に基づく計算体系の理論的枠組みに関して成果が蓄積されつつある。これらの成果は，現在プロトタイプ大規模システムの作成に広く利用されている実用言語Lispの理論的基礎となりうるものであり，ソフトウェア検証技術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，本プロジェクトを通して複数の大学の研究グループの交流が飛躍的に活性化したことで，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の形成が今後期待できる。

[4] 成果資料

(1) Takahito Aoto, Toshiyuki Yamada and Yoshihito Toyama, Proving inductive theorems of higher-order functional programs, In Proceedings of the Forum on Information Technology 2003 (FIT2003), Information Technology Letters, Vol.2, pp.21-22, 2003 (in japanese).

(2) Takahito Aoto and Toshiyuki Yamada, Termination of simply typed term rewriting systems by translation and labelling, In Proceedings of the 14th International Conference on Rewriting Techniques and Applications, Valencia, Spain, Lecture Notes in Computer Science, Vol.2706, Springer-Verlag pp.380-394, 2003.

(3) T.Aoto and T.Yamada, Proving Termination of Simply Typed Term Rewriting Systems

Automatically, IPSJ Trans. Programming, Vol. 44, No.SIG 4 (PRO17), pp.67-77, 2003 (in Japanese).

(4) Yukiyoshi Kameyama, Masahito Hasegawa, "A Sound and Complete Axiomatization of Delimited Continuations", Proc. Eighth ACM International Conference on Functional Programming (ICFP '03), pp. 177-188, 2003.

(5) Yukiyoshi Kameyama, "Axiomatizing Higher-Level Delimited Continuations", Proc. Fourth ACM-SIGPLAN Continuation Workshop (CW'04), Venice, Italy, Jan. 2004, pp. 49-53

(6) A. Ohori. Register Allocation by Proof Transformation.Journal of Science of Computer Programming, 50(1-3):161 -- 187, 2004.(An invited submission of a paper published in Proc. European Symposium on Programming (ESOP), April 2003, invited.)

(7) T. Higuchi and A. Ohori. A Static Type System for JVM Access Control.In Proc. ACM International Conference on Functional Programming (ICFP), 227 - 237, 2003.

(8) Masahiko Sato, Takafumi Sakurai, Yukiyoshi Kameyama, Atsushi Igarashi, "Calculi of Meta-Variables", Proc. 17th International Workshop on Computer Science Logic, Lecture Notes in Computer Science 2803, pp. 484--497, 2003.

(9) KUSAKARI Keiichirou, Higher-Order Path Orders based on Computability, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E87-D, No.2, pp.352-359, Feb 2004.

(10) 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項書換え系の計算モデル，コンピュータソフトウェア，Vol.20, No.5, pp.85--89(2003,9).

(11) 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，掲載予定

共同プロジェクト研究

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：

阿部正紀　（東京工業大学電子物理工学科）
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）
早乙女英夫（千葉大学工学部）
辻本浩章　（大阪市立大学工学部）
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）
杉山　進　（立命館大学理工学部）
丹　健二　（秋田県高度技術研究所）
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）
本田　崇　（九州工業大学工学部）
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）
岡田健一　（東京工業大学精密工学研究所）
杤修一郎　（岐阜大学工学部）
竹澤昌晃　（九州工業大学大学院工学研究科）

研究費：校費　50,000円，旅費　727,040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3月には崇城大学工学部の宗像誠助教授らが来訪し、崇城大学によるCoFe系高飽和磁化膜の高周波透磁率測定を東北大開発装置で行うとともに，この膜のマイクロパターン化設計について意見交換を行った。

(b) 研究会活動

本年度は，まず2003年4月4日に本研究代表者がチェアマンを務めて米国ボストン開催された第2回高周波マイクロ磁気デバイスおよび磁気材料に関するシンポジウムに協賛した。RF帯における磁性薄膜の開発と応用の国際的な研究情勢に関して議論を行った。イラク戦争とSARSの影響で参加者は30名に留まったが，11カ国から14件の報告があった。全プログラムはhttp://www.itmag.ecei.tohoku.ac.jp/events/boston_symposium を参照して頂きたい。主な講演は下記のとおりである。

A-1 Thin-Film Inductor Designs and Materials for High-Current Low-Voltage Power(invited), Parul Dhagat, Satish Prabhakaran, Charles R. Sullivan, and Yuqin Sun (Thayer School of Engineering, Dartmouth College, USA)

A-2 Magnetic thin film inductor for MHz switching dc-dc converter(invited), Toshiro Sato (Faculty of Engineering, Shinshu University, Japan)

A-3 Field Modulation Microcoil for Magneto Optical Recording, Eishu Sugawara, Naoki Wako(R&D unit NEC TOKIN Corporation, Japan), Kiwamu Shirakawa(Research Institute of Electric and Magnetic Materials, Japan)

A-4 Development of RF permeameters based on planer pickup coil techniques(invited), Y. Miyazawa[1], M. Yamaguchi[2], K. Kaminishi[1], and K. I. Arai[3], ([1]Ryowa Electronics Co., Ltd., Japan, [2]Department of Electrical Engineering, Tohoku University, Japan, [3]Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Japan)

A-5 Microwave permeability in the -180℃ to 40℃ temperature range of a CoNbZr sputtered thin film with stripe domain structure, Olivier Valls, Marc Ledieu, Frédéric Schoenstein, Samuel Queste, David Damiani and Olivier Acher(CEA Le Ripault, France)

P-1 Stress sensors based on magnetostrictive thin films(invited), Michael Frommberger, Michael Tewes, Alfred Ludwig, Christel Zanke, Eckhard Quandt (Smart

materials group, center of advanced european studies and research, CAESAR, Germany)

P-2 Analysis of Planar Spiral Inductors(invited), Ankur M. Crawford, Shan X. Wang (Department of Materials Science and Engineering, Stanford University)

P-7 GHz range conducted noise suppressors of Ni-Zn(-Co) ferrite films prepared from aqueous solutions, Masanori Abe and Nobuhiro Matsushita (Dept. of Physical Electronics, Tokyo Institute of Technology, Japan)

P-8 Electromagnetic noise suppression by means of integrated magnetic film, Masahiro Yamaguchi, Ki Hyeon Kim and Shinji Ikeda, (Department of Electrical Engineering, Tohoku University, Japan)

また，東北大学において下記３件の講演会・研究会を開催した。

2003.09.29: Dr. Massimo Pasquare(IEN Galileo Ferraris, Torino, Italy)講演会（電子情報通信学会東北支部特別講演会）,Temperature dependence of the magneto-mechanical properties of Ni_2MnGa

2003.11.20: Dr. Thomas J. Silva(National Institute of Standards and Technology Boulder, CO, USA)講演会（電気学会東北支部講演会）, Thomas Silva, William Rippard, Matthew Pufall, Shehzu Kaka, and Stephen Russek, Microwave oscillations in magnetic point contacts with dc current excitation.

2003.12.18-19: 電気学会マグネティックス研究会との合同研究会で14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-03-210 低背型非可逆回転素子, 山本節夫，大城和宣，栗巣普揮，松浦満（山口大）三上秀人，藤井重男，村上志郎（日立金属）

MAG-03-211 RF 集積化磁性薄膜インダクタの高精度等価回路, 菅原賢悟，田邉信二（三菱電機），山口正洋，池田慎治，Seok Bae（東北大）Adalbert Konrad（トロント大）

MAG-03-212 可変インダクタを用いた動的再構成 RF 回路設計技術, 岡田健一，菅原弘雄，吉原義昭，五味振一郎，伊藤浩之，益一哉（東工大）

MAG-03-213 電磁界解析ソフトウェアをRF 薄膜磁気デバイスへ適用する際の問題について, 池田愼治, Bae Seok, Kim Ki Hyeon, 山口正洋（東北大）

MAG-03-214 結合分布定数回路法を用いた磁性体／誘電体ハイブリッド伝送線路方向性結合器の特性シミュレーション, 藤原良孝，佐藤敏郎，山沢清人，三浦義正（信州大）

MAG-03-215 10GHz 対応広帯域デカップリングデバイス, 横川哲也，小宮邦文（ケイアールエフエム）

MAG-03-216 等価回路モデルによる低インピーダンス線路素子の特性解析, 楠本学，若林良昌，増田幸一郎，遠矢弘和（NEC）

MAG-03-217 複数の強磁性共鳴吸収を有するFeSi/IrMn 交換結合積層膜の作製と特性評価, 曽根原誠，佐藤敏郎，山沢清人，三浦義正（信州大）池田慎治，山口正洋（東北大）

MAG-03-218 スリットパターン化したCoFe 系項飽和磁化膜の異方性磁界制御, 荒木和幸，宗像誠，並河雅志，八木正昭（崇城大）島田寛（東北大）

MAG-03-219 高飽和磁化CoFe-SiO2 膜の異方性磁界とGHz 透磁率特性, 並河雅志，宗像誠，八木正昭（崇城大）島田寛，山口正洋（東北大）宮澤安範（凌和電子）

[3]成　果

（３－１）研究成果

RF帯軟磁性薄膜の開発指針は２点に絞られつつある。ひとつは強磁性共鳴（FMR）周波数を高めてインダクタや伝送線路デバイスの適用周波数範囲を広げること，もう一方はFMRに伴なう損失をブロードバンドで発生させ，電磁ノイズ抑制体に適用することである。これに対してカルーセル型スパッタ製膜装置によるCoFeB-(SiO_2)ヘテロアモルファス膜が開発され，FMR周波数は6GHzに及ぶ。さらに一般的な合金膜に比べて3桁高い$10^5\,\mu\,\Omega$cm台の電気抵抗率と250 Oe以上まで高い異方性磁界をバランスさせた点にも大きな特徴がある。ただし，電気抵抗率をここまで上げると異方性分散が生じて実効的異方性磁界が低下する問題が残っているため，次年度にマイクロパターン化による制御を試みる。一方，マイクロパターン化膜において磁性片幅やその間隔を変化させることにより，FMRに伴う損失をブロードバンドで発生可能であることが見出され，その設計チャートが開発された。

応用面では，スピンスプレー法によるフェライト薄膜，ならびにCo基グラニュラー薄膜を伝送線路に集積化することによって，5GHz以上の高周波帯で50dB以上もの電磁ノイズ抑制効果が得られることが明らかになった。逆に信号品質劣化への懸念が生じるため，総合的な最適設計の指針を見出すことが次の課題である。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

RF帯域における軟磁性薄膜の開発と応用は，本共同プロジェクト研究会研究分担者らの活動を機軸に世界に波及し，国際シンポジウムInternational

Symposium on High Frequency Micromagnetic Devices and Materialsが創設された。その第3回を2005年5月に仙台で開催すべく準備を始めている。これらの活動通して，学内外の研究者との連携が強まり，成果資料に記すような実質的共同研究の成果が出ている。今後は，半導体研究者との連携をいっそう強めることによって，真にIT産業に寄与しうる新規なデバイス創生が期待される。

[4] 成果資料

(1) "Equivalent circuit analysis of RF integrated inductors with/without ferromagnetic material", Masahiro Yamaguchi, Yoshisato Yokoyama, Shinji Ikeda, Takashi Kuribara, Kazuya Masu and Ken-Ichi Arai, Jpn. J. Appl. Phys., 42, pp. 2210-2213, 2003.

(2) "マイクロパターン化磁性膜の実効透磁率のシミュレーション", 池田愼治，Kim Ki Hyeon, 山口正洋，荒井賢一，名倉秀明，大沼繁弘，島田　寛, 日本応用磁気学会誌, 27(4), pp. 594-597, 2003.

(3) "FEM analysis on the effects of soft magnetic film as a noise suppressor at GHz range", Ki Hyeon Kim, Shinji Ikeda, Masahiro Yamaguchi, Ken-Ichi Arai, J. Appl. Phys., 93(10), pp. 8588-8590, 2003.

(4) "Modeling for RF Noise Suppressor Using Soft Magnetic Film on Coplanar Transmission line", Ki Hyeon Kim, Masahiro Yamaguchi, Shinji Ikeda, Ken-Ichi Arai, IEEE Trans. Magn. 39(5), pp. 3031-3033, 2003.

(5) "Granular thin films with high RF permeability", Yutaka Shimada, Masahiro Yamaguchi, Sigehiro Ohnuma, Tetsuo Itoh, Wei Dong Li, Sinji Iked, Ki Hyeon Kim, and H. Nagura, IEEE Trans. Magn. 39(5), pp. 3052-3056, 2003.

(6) "Applications of Spin Sprayed Ferrite Films on Coplanar Transmission line for RF Noise Suppression", Ki Hyeon Kim, Masahiro Yamaguchi, Ken-Ichi Arai, Nobuhiro Matsushita, Masanori Abe, Trans. Mag. Soc. Jpn. 3(4), pp. 133-136, 2003.

(7) "GHz Conducted Noise Suppressors Using Ferrite Films Plated Directly on Printed Circuit Board and Polyimide Sheet", N. Matsushita, K. Kondo, H. Ono, S. Yoshida and M. Abe, Trans. Magn. Soc. Japan, 3, pp. 129-132, 2003.

(8) "A New 1MHz-9GHz Thin-Film Pemeameter Using a Side-Open TEM Cell and a Planar Shielded-Loop Coil," M. Yamaguchi, Y. Miyazawa, K. Kaminishi, K.I. Arai, Trans. Magn. Soc. Japan, 3, pp. 137-140, 2003.

(9) "Spiral-Type Transmission Line With an Mn-Zn Ferrite Core", Toshiro Sato, Koosuke Sato, Kiyohito Yamasawa, Fuchun Zhang, and Koichi Yanagisawa, IEEE Trans. Magn., 39, pp. 3205-3207, 2003.

(10) "Microinductor for Flip-Chip Micropower Source", Eishu Sugawara, Naoki Wako, Fumihiro Sato, Hidetosi Matsuki, Masahiro Yamaguchi, Kiwamu Shirakawa, and Tsuyoshi Masumoto, IEEE Trans. Magn., 39, pp. 3187-3189, 2003.

(11) "Gigahertz Frequency Band Inductors With Magnetic Films and Gigahertz Circuit Analysis Including Inductance", Adalbert Konrad, Shinji Tanabe, Reza Jafari, Kengo Sugahara, and Masahiro Yamaguchi, IEEE Trans. Magn., 39, pp. 3079-3084, 2003.

(12) "Effect of Grain Size on Domain Structure of Thin Nonoriented Si-Fe Electrical Sheets", M. Takezawa, Y. Wada, J. Yamasaki, T. Honda, and C. Kaido, IEEE Trans. Magn., 39, pp. 3208-3210, 2003.

(13) "On-Chip Variable Inductor Using Microelectromechanical Systems Technology", Yoshisato Yokoyama, Takashi Fukushige, Seiichi Hata, Kazuya Masu and Akira Shimokohbe, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42, pp. 2190-2192, 2003.

(14) "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", 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, 日本応用磁気学会誌, 28, pp. 157-163, 2004.

(15) "高電気抵抗ヘテロアモルファス膜の異方性磁界とGHz帯高周波透磁率", 宗像誠，八木正昭，島田寛, 日本応用磁気学会誌 28, pp. 200-207, 2004.

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：中村僖良
（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（富山県立大学工学部）
宇野武彦（神奈川工科大学）
櫛引淳一（東北大学大学院工学研究科）
関本　仁（東京都立大学大学院工学研究科）
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）
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㈱）
江口　治（キンセキ㈱）
門田道雄（㈱村田製作所）
斉藤久俊（TDK㈱）
佐藤良夫（㈱富士通研究所）
鹿田真一（住友電気工業㈱）
芝　隆司（㈱日立メディアエレクトロニクス）
菅沼俊樹（日本電波工業㈱）

研究費：校費　50,000円，旅費　805,620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は本年度が二年目であった。昨年度に引き続き，本年度は平成16年1月26日，27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2004」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，31件の研究発表が行われ，126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

垂直ブリッジマン法による$KNbO_3$結晶の育成，応力による$KNbO_3$のドメイン制御，新しいランガサイト系CNGS単結晶の諸特性，透明SrB_4O_7単結晶の育成と応用，超音波原子間力顕微鏡による圧電材料のドメイン構造の評価，大面積強誘電体単結晶記録媒体の作製についての発表があった。

(B)バルク波デバイス

有極性マルチドメイン構造を利用した圧電縦効果の高結合$KNbO_3$幅縦振動子，水晶2回回転板の厚みすべり振動におけるZ'端面傾けの結合除去効果，ラム波型弾性波素子用基板，UHF帯基本波水晶振動子の共振周波数温度特性に及ぼす電極薄膜の影響についての報告がなされた。

(C)弾性表面波デバイスⅠ

SAWモジュールにおける損失を考慮した伝送線路モデルに関する考察，北米PCS向けSAWデュプレクサの開発，高周波共振器のジッタ測定法，端面反射を利用したGHz帯高周波共振子の報告があった。

(D)弾性表面波デバイスⅡ

Cu電極／$LiNbO_3$基板構造を用いた超広帯域ラブ波型SAWデバイス，弾性表面波可視化システムの開発，広帯域ダイヤモンドSAW材料系，超広帯域SAWデバイスに関する基礎的検討の発表があった。

(E)圧電材料・薄膜

非鉛系圧電セラミックス$A_2Bi_4Ti_5O_{18}$，シリカ系ナノ人工格子薄膜における圧電性，(11-20) 面配向ZnO薄膜による横波トランスデューサの作製，大気圧下での水晶薄膜の作製について報告された。

(F)超音波計測・トランスデューサ

超高周波平面超音波材料解析システムによるUHF帯における固体試料の音響特性の測定，外部加振による管壁粘弾性特性の超音波計測，超音波トランスジューサの位相特性とインパルス応答，

分極反転層を形成した$LiNbO_3$トランスデューサの固体媒質への超音波放射特性に関する発表があった。

(G)超音波モータ・センサ

駆動電極にDIDTを用いた環流型弾性表面波モータ，MHz帯すべり波振動子を用いた粘弾性センサ，端部への物体接近時に見られる圧電屈曲振動子特性の特異な変化，直接接合水晶による角速度センサ素子の小型化，三軸角速度検出ジャイロ・センサの振動子形状とシミュレーションについて報告があった。

[3] 成果

（3－1）研究成果

材料面では，非鉛系圧電セラミックス$A_2Bi_4Ti_5O_{18}$や，高結合圧電単結晶の$KNbO_3$, $Ca_3NbGa_3Si_2O_{14}$およびSrB_4O_7の育成法と諸特性が明らかにされた。また，応力の印加による$KNbO_3$圧電結晶のドメイン制御の可能性が示された。さらに，超音波原子間力顕微鏡による圧電材料のドメイン構造評価技術や，非線形誘電率顕微鏡による強誘電体高密度記録のための大面積記録媒体作製プロセス技術が開発された。

バルク波デバイス関連では，有極性マルチドメイン構造による高結合$KNbO_3$幅縦振動子の実現や，水晶2回回転板におけるZ'端面傾けによる結合除去の有効性が示された。また，水晶薄板を伝わるLamb波を利用した共振器特性の解析結果が報告された。さらに，基本波動作UHF帯水晶振動子の周波数温度特性に及ぼす電極薄膜の影響が明らかにされた。

弾性表面波関連では，SAWモジュール内外の損失を考慮した伝送線路モデルによる損失評価法や，測定系の揺らぎを考慮した高周波発振器のジッタ測定技術，弾性表面波の可視化システム等について，新しい知見が示された。また，北米向けPCSの規格に適合した送受信フィルタや，高精度な端面形成や高音速基板の利用による端面反射型超高周波SAW共振子が開発された。さらに，超広帯域SAWデバイス実現のための新しい基板構造や基板材料，およびUWB用の信号方式について新たな知見が示された。

薄膜関連では，積層型人工格子圧電薄膜の創製や面内配向ZnO薄膜横波トランスデューサの作製，大気圧下での水晶薄膜作製技術の開発などの成果が得られた。

超音波計測・トランスデューサ関連では，UHF帯における固体試料の音響特性測定技術や血管壁の粘弾性特性の計測技術が示され，分極反転層を形成したトランスデューサの広帯域な超音波放射特性等について，新たな知見を得た。

超音波モータ・センサ関連では，環流型表面波モータの開発や，圧電すべり波振動子や屈曲振動子による各種センサの基礎的検討，振動ジャイロセンサの小型化，高機能化等について新たな試みが示された。

（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。昨年より実施してきた「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，この分野での主要な研究集会のひとつとして認知されつつある。今後も本研究会に多くの参加者を得て活発な討論が行われることで，次世代の新しい弾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，次年度は若手を中心とした新しい研究メンバーを加えて本研究プロジェクトを継続し，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) 工藤賢一，垣内健児，水谷康治，千川圭吾，深海龍夫「るつぼ封止VB法によるニオブ酸カリウム結晶の一方向凝固」，日本結晶成長学会誌 Vol.30, No.3, p.71 (2003).

(2) T. Arai, S. Ito, K. Ishikawa and K. Nakamura, "Growth of $KNbO_3$ Films by Electron-Cycrotron-Resonance-Assisted Pulsed Laser Deposition", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.42, Part 1, No.9B, pp.6019-6022 (2003).

(3) K. Nakamura and S. Ito, "$KNbO_3$ 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).

(4) M. Adachi, T. Funakawa and T. Karaki, "Growth of Substituted Langasite-Type $Ca_3NbGa_3Si_2O_{14}$ Single Crystals, and Their Dielectric, Elastic and Piezoelectric Properties", Ferroelectrics, Vol. 286, pp.43-48 (2003).

(5) K.. Fujimoto and Y. Cho, "High-speed switching of

nanoscale ferroelectric domains in congluent single-crystal $LiTaO_3$", Appl. Phys. Lett.,Vol.83, No.25, pp.5265-5267 (2003).

(6) X. Gong, H. Sekimoto, S. Goka, and Y. Watanabe, "Relationship between Mass Loading and Frequency Temperature Characteristics of AT-Cut Quartz Resonators", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.42, Part 1, No.7A, pp.4542-4545 (2003).

(7) Y. Nakagawa, S. Tanaka and S. Kakio, "Lamb-Wave-Type High Frequency Resonator", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.42, Part 1, No.5B, pp.3086-3090 (2003).

(8) H. Iwata, "UHF Fundamental Quartz Resonators", Proc. 2nd Int. Symp. on Acoustic Wave Devices for Future Mobile Communication Systems, pp.105-111 (2004).

(9) J. Tsutsumi, S. Inoue, Y. Iwamoto, T. Matsuda, M. Miura, Y. Sato, M. Ueda and O. Ikata, "Extremely Low-Loss SAW Filter and Its Application to Antenna Duplexer for the 1.9 GHz PCS Full-Band", Proc. 2003 IEEE Intl. Frequency Control Symp., pp.861-867 (2003).

(10) S. Inoue, J. Tsutsumi, Y. Iwamoto, T. Matsuda, M. Miura, Y. Sato, M. Ueda and O. Ikata, "1.9 GHz Range Ultra-Low-Loss and Steep Cut-Off Double Mode SAW Filter for the Rx Band in the PCS Antenna Duplexer", Proc. 2003 IEEE Ultrason. Symp., pp.389-392 (2003).

(11) 門田道雄，木村哲也，橋本研也，「端面反射を利用した高周波共振子の検討」，第３回高機能ＥＭ回路デバイスの構成技術調査専門委員会資料 (2003).

(12) K. Hashimoto, T. Omori and M. Yamaguchi, "Design Concept of Wideband Longitudinally-Coupled Double-Mode SAW Filters", Proc. 2nd Int. Symp. on Acoustic Wave Devices for Future Mobile Communication Systems, pp.251-259 (2004).

(13) M. Suzuki, H. Nagata, J. Ohara, H. Funakubo and T. Takenaka, "$Bi_{3-x}M_xTiTaO_9$ (M=La or Nd) Ceramics with High Mechanical Quality Factor Qm", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.42, Part 1, No.9B, pp.6090-6093 (2003).

(14) S. Noge, M. Shiroishi and T. Uno, "Piezoelectricity of Poled Silica Containing Thermal Diffused Elements", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.42, Part 1, No.5B, pp.3012-3013 (2003).

(15) 櫛引淳一，荒川元孝，「超高周波平面超音波材料解析システムによるUHF帯における固体試料の音響特性の測定」，日本音響学会講演論文集 3-2-16, pp.1001-1002 (2004).

(16) K. Nakamura, K. Fukazawa, K. Yamada and S. Saito, "Broadband Ultrasonic Transducers Using a $LiNbO_3$ Plate with a Ferroelectric Inversion Layer", IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Control, Vol. 50, No. 11 (2003).

(17) M. Bannai and N. Wakatsuki, "A Study on Shear Wave $LiTaO_3$ Resonators for Viscosity Sensor", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.42, Part 1, No.5B, pp.3093-3097 (2003).

(18) 山崎大輔，山田顕，中村僖良，「端部への物体接近による屈曲振動子特性の変化とその一考察」，第24回超音波エレクトロニクスシンポジウム講演論文集 P1-C-36, pp.77-78 (2003).

(19) T. Inoue, M. Yoshimatsu and M. Okazaki, "Miniaturization of Angular Rate Sensor Element Using Bonded Quartz Tuning Fork", Proc. 2003 IEEE Intl. Frequency Control Symp., pp.1007-1011 (2003).

共同プロジェクト研究

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）
責任者：外山　芳人
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
大堀　淳（北陸先端大学院大学情報科学研究科）
亀山幸義（筑波大学電子情報工学系）
胡　振江（東京大学大学院情報理工学系研究科）
長谷川立（東京大学大学院数理科学研究科）
小川瑞史（北陸先端大学院大学情報科学研究科）
細谷晴夫（京都大学数理解析研究所）
篠埜　功（北陸先端大学院大学情報科学研究科）
中野圭介（東京大学大学院情報理工学系研究科）
青戸等人（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費　35,000円，旅費　259,120円

[2] 研究経過

科学的なソフトウェア作成法の確立には，正しさが数学的厳密さで保証された高信頼なプログラム部品の蓄積と，それら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方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。本プロジェクトでは，応用上ますます重要となったXMLを操作対象とするソフトウェアへの適用を視野に入れながら，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の探求を目指して研究を行った。

本プロジェクトは，本年度が第２年度であった。前年度は，参加研究者の主要研究分野である，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，データ変換等の最新の研究成果を踏まえて，新しい科学的ソフトウェア作成法の必要要件について議論した。その結果，XMLを操作対象とするプログラミング方法論がますます重要となりつつあることが明らかとなった。そこで，本年度は，XMLプログラミングを研究している若手研究者2名を新メンバーに迎えた。この新しい研究分野の研究動向について議論し，同時に，既存の高信頼プログラミング言語やプログラム変換，プログラム検証などの研究成果を適用できる可能性について議論した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

本年度は，年度前半に，国際会議等で参加研究者の多くが顔を合わせる機会が数回あったため，実質的な議論はそれらの場を借りて先行して行った。そこでの議論を踏まえて，本プロジェクトとして第１回目の研究集会を２月11日に作並温泉にて開催した。ここでは，参加者全員が各自の最新の研究成果について発表を行い，それらに基づく新しいソフトウェア作成法の可能性，XMLを操作対象とするソフトウェアへの適用可能性について研究討論を行った。

[3] 成果

（３－１）研究成果

研究集会での議論の内容とその成果は次の通り。外山（東北大）は，S式書き換えシステムの停止性について発表した。純化順序の新しい概念に基づいた辞書式経路順序を提案し，それに基づいてS式書き換えシステムの停止性が容易に判定できることを明らかにした。さらに，型付きS式書き換えシステムをカリー化することで，より広いクラスに対する停止性の判定が可能となることを示した。

青戸(東北大)は，高階書き換えにおける帰納的定理について発表した。第１階の項書き換えと較べ，高階の項書き換えは取り扱いが困難である。このため，高階の項書き換えを対象にした，帰納的定理の証明技法は従来あまり明らかにされていない。本研究では，より扱いやすい高階項書き換えの枠組みである，単純型付き項書き換え系を用いることにより，高階書き換えにおける帰納的定理証明の枠組みを考察した。高階関数の性質を反映するために高階帰納的定理の概念を導入し，潜在帰納法による帰納的定理証明の枠組みを高階帰納的定理証明のために拡張した。また，高階帰納的定理が文脈に閉じていることを保証するために，高階十分完全性の概念を導入し，その決定可能性を論じた。

胡(東大)は，「双方向変換に基づく構造化文書エディターの提案」を紹介した。構造化文書は設計者によってあるビューに変換されるが，ユーザがビユーを編集した場合，変更はもとの文書に反映されなければならない。このようなビューに基づく編集機能を設計する際にもっとも困難となるのは，どのような変更もその結果がもとの文書に反映されることを保証することができるような，なおかつ妥当な変換規則の制約を定めなければならないことである。そのためには，適した双方向に変換可能な言語が必要となる。我々はMeertensとGreenwald，Mooreらが独立に提案した双方向変換言語を，ビューの中のデータ依存関係を記述できるように拡張し，新しい構造化文書エディターを提案する。このエディターは，ビュー上の編集操作たけで，効率的な構造化文書とそのビューを生成するための変換が自動的に得られるという特徴を持つ。

亀山(筑波大)は，モデル検査と定理証明を用いた鉄道信号制御システムの検証について発表した。鉄道の信号制御システムの設計を検証するため，モデル検査と定理証明を組み合わせた手法について発表を行った。鉄道の信号制御システムのモデルおける状態数は部品数の指数関数となるため，大きな駅では直接のモデル検査は不可能である。そこで，状態数を大幅に削減したモデルへの変換手法を与え，その変換の正当性を証明することで検証を行った。ここでは，プログラム変換の考えを援用し，(1) モデルの変換がいくつかの基本的変換の合成として与えられること (2) 基本的変換が正しいこと (3) 正しい変換の合成は正しいこと，という3点に分解して正しさの保証を行った。

長谷川(東大)はContext intrusion/extrusion in the lambda calculusについて発表した。ラムダ計算の簡約規則に，新しく context intrusion/extrusion という規則を付け加えた体系に関する，基本的な性質を紹介した。特に，強正規性が成り立つことを示すためのアイデアを示した。この体系の強正規性が重要である理由は，そこから，computational lambda calculus の強正規性が導かれるからである。また dual intuitionistic linear logicの簡約規則と強正規性に対しても，示唆を与えてくれる。

篠埜(北陸先端大)は，A tree calculus for XML queries and its linear-time evaluation について説明した。XML等の木構造を持つデータに対する問い合わせ言語を提案した。この言語では，ノードの部分集合に対する条件と優先度を記述し，条件が真となるノード集合の中で，最も高い優先度を持つものを得る。問い合わせの評価は素朴に行うと指数時間かかるが，効率の良い再帰的線形時間アルゴリズムが導出されることを示した。この導出においては，記述された問い合わせを最大マーク付け問題という最適化問題に変換し，それに対する線形時間アルゴリズムの導出法を用いている。

小川(北陸先端大)は，Graphの代数的構成法の完全な公理化について説明した。現実に現れるグラフは比較的良い構造であるという観察を前提とすると，しばしばＮＰ困難な問題が線形時間で解けることが知られている。理論的には，グラフの構造の複雑さは木幅により計られ，たとえばGOTOのないCプログラムの制御グラフの木幅は6以下，Javaの現実のクラスライブラリで95%以上が木幅が3以下なことが知られている。グラフの木幅を制限した場合の計算量の削減は，グラフの代数的構成法の存在，さらにその代数的構成法上で深さ優先探索・分割統治法・動的プログラミングなどの効率的プログラミングの定石を用いることで得られる。しかし通常の再帰構造データと異なり，木幅を制限したグラフの代数的構成法による表現は一意ではない。本研究では，Arnborg らの提案した代数的構成法において，グラフの同型に対し健全かつ完全な公理化を与えた。

中野(東大)は，XMLストリーム処理器の自動導出について発表した。木構造操作として書かれたXML変換プログラムから，XMLストリーム処理器を自動導出するアルゴリズムの提案し，その実装言語XTiSPとベンチマーク結果を紹介した。XMLストリー ム処理は，入力されるXMLデータを表す木構造全体をメモリに確保する必要がないため，メモリ消費及び実行時間を効率化できる。その反面，木構造を念頭に置いたプログラム作成技術を要し，プログラマに大きな負担を与えている。本研究の提案した手法は，この負担の軽減を実現しており，それはベンチマーク結果においても実証されている。この手法は，属性文法を合成する枠組に基づいており，新しい関数合成技術の開発にもつながっている。

高野(情報学研)は，大規模なテキストデータについて，類似性評価などの連想計算を高速に行う汎用連想計算エンジンGETAを応用した情報システム

について発表した。GETAは16ノード規模のPCクラスタを用いて，1000万件規模のテキストDBを対象とする連想計算を高速処理できる。GETAの応用例として，国立情報学研が提供するWebcat Plusと文化庁・総務省が公開予定の文化遺産オンラインについて，デモをまじえて紹介した。

以上９件の研究発表と討論を通じて，理論研究に裏付けられた新しいプログラミングへの模索が，見通しのよい成果を上げつつあることが確認できた。これらの進展を適切に取り入れて，新しい科学的なソフトウェア作成法の実現に向けて，引き続き研究を進める方向で討論を行った。

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトでは，普段，学会等で出会っても議論を深める機会の少ない関連分野の研究者が，一堂に会してじっくり議論できたことで，参加者は大きな刺激を受けた。いずれ近い将来，本プロジェクトが契機となり，本プロジェクトの目標である科学的なソフトウェア作成法の確立に向けて，新しい研究が進展すると期待できる。

［４］成果資料

(1) 青戸等人, 山田俊行, 外山芳人, 高階関数型プログラムにおける帰納的定理証明, 第2回情報科学技術フォーラム(FIT2003)講演論文集, 情報技術レターズ, Vol.2, pp.21-22, 2003.

(2) Takahito Aoto and Toshiyuki Yamada, Termination of simply typed term rewriting systems by translation and labelling, in Proceedings of the 14th International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA'03), pp.380-394, LNCS 2706, 2003.

(3) 青戸等人, 山田俊行, 単純型付き項書換え系における停止性の自動証明, 情報処理学会論文誌：プログラミング, Vol.44, No.SIG 4 (PRO 17), pp.67-77, 2003.

(4) Zhenjiang Hu, Shin-Cheng Mu, Masato Takeichi, A Programmable Editor for Developing Structued Documents based on Bidirectional Transformations, Submitted for publication, 2004.

(5) Shin-Cheng Mu, Zhenjiang Hu, Masato Takeichi, An Injective Language for Reversible Computation, Seventh International Conference on Mathematics of Program Construction MPC 2004), Stirling, Scotland, 12-14 June 2004.

(6) 亀山幸義, 中島一, 『ケーススタディ: モデル検査と定理証明を用いた鉄道信号制御システムの検証』, システム検証の科学技術シンポジウム予稿集,産業技術総合研究所システム検証研究ラボ, AIST-PS-2004-002, pp. 82—91, 2004.

(7) Isao Sasano. A Tree Calculus for XML Queries and its Linear-time Evaluation, The 2nd Workshop on Programmable Structured Documents, Feb, 2004.

(8) Mizuhito Ogawa, Complete Axiomatization of an Algebraic Construction of Graphs, FLOPS2004, LNCS 2998, 2004.

(9) Keisuke Nakano, Composing stack-attributed tree transducers, Tech. Rep. METR— 2004-01, Department of Mathematical Informatics, University of Tokyo, 2004.

(10) Akihiko Takano, Association Computation for Information Access (Invited Talk), 6th International Conference on Discovery Science (DS2003), LNCS 2843, 2003.

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（理化学研究所工学基盤研究部）
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（大阪大学大学院工学研究科）
倉林　大輔（東京工業大学総合理工学研究科）
木村　真一（通信総合研究所）
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：校費　35,000円，旅費　573,160円

[2] 研究経過

生物は，移動を通して環境との多様な相互作用を行い，無限に変化する環境（無限定環境）に対して運動を実時間で自己組織化し，かつ新たな環境にも適応的に対処する機能（移動知）を獲得してきた。

本プロジェクト研究では，生物における移動知獲得の数理的・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して研究を行っている。本年度は，昨年度設定した下記の課題について研究を展開していった。

1）身体の可塑性に基づく運動パターンの実時間形成：多様な運動パターンを，環境とのインタラクションを通して実時間で選択・実現するメカニズムの解明。
2）能動的相互作用による環境の身体化：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の解明。
3）みなし情報に基づく運動情報の内的生成・統合：環境からの部分情報から世界モデルの獲得と，学習による拘束条件導出に基づく運動情報の内的生成の実現。

（研究会）
第1回：平成15年8月21日於富山県大山町インテック研修センター（参加者14名）
第2回：平成15年9月21日於東京工業大学大岡山キャンパス（参加者15名）
第3回：平成15年10月10日～11日於東北大学電気通信研究所（参加者12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神経生理学を用いた解析（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についての研究のレビューを行い，それにもとづい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についての議論を進めた。又，能動的行動による外部環境自由度の拡大に関し，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を進めた。

（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「Mobiligence」を開催し6件の発表を行うとともに，関連する研究成果の発表を行った。
2003 International Conference on Intelligent Robots and Systems
2003年10月27日～31日　Las Vegas
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「Mobiligence」を開催し，2セッション8件の発表を行った。
2003 SICE Annual Conference

2003年8月4日～6日　於福井大学

3）下記シンポジウムにおいてオーガナイズドセッション「移動知」を開催し，3セッション11件の発表を行った。
第16回自立分散システム・シンポジウム
2004年1月26日～27日　於京都テルサ

［4］成果資料

上記国際学会における発表論文

1）H. Asama, M. Yano, K. Tsuchiya, K. Ito, H. Yuasa, J. Ota, A. Ishiguro, T. Kondo, "System Principle on Emergence of Mobiligence and Its Engineering Realization", Proc. of the 2003 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Las Vegas, Nevada, October 2003.

2）Y. Fukazawa, C. Trevai, J. Ota, H. Yuasa, T. Arai, H. Asama, "Controlling A Mobile Robot That Searches for and Rearranges Objects with Unknown Locations and Shapes", Proc. of the 2003 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Las Vegas, Nevada, October 2003.

3）A. Ishiguro, K. Ishimaru, K. Hayakawa, T. Kawakatsu, "How Should Control and Body Dynamics be Coupled? -A Robotic Case Study-", Proc. of the 2003 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Las Vegas, Nevada, October 2003.

4）D. Kurabayashi, T. Matsuoka, A. Yajima, "Cooperation among an Intelligent Environment and Mobile Agents by MediaAgents", Proc. of the 2003 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Las Vegas, Nevada, October 2003.

5）K. Tsuchiya, S. Aoi, K. Tsujita, "Locomotion Control of a Biped Locomotion Robot using Nonlinear Oscillators", Proc. of the 2003 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Las Vegas, Nevada, October 2003.

6）S. Tokura, A. Ishiguro, "A Hardwired Polymorphic Neural Network for a CPU-less Autonomous Mobile Robot", Proc. of the 2003 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Las Vegas, Nevada, October 2003.

7）M. Shimizu, A. Ishiguro, T. Kawakatsu, Y. Masubuchi, M. Doi, "Coherent Swarming from Local Interaction by Exploiting Molecular Dynamics and Stokesian Dynamics Methods", Proc. of the 2003 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Las Vegas, Nevada, October 2003.

8）R. Katsuki, J. Ota, Y. Tamura, T. Mizuta, T. Kito, T. Arai, T. Ueyama, T. Nishiyama, "Handling of Objects with Marks by a Robot", Proc. of the 2003 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Las Vegas, Nevada, October 2003.

9）T. Fraichard, H. Asama, "Inevitable Collision States, A Step Towards Safer Robots?", Proc. of the 2003 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Las Vegas, Nevada, October 2003.

課題番号　H14/B06

コミュニケーションの成立条件の認知科学

[1] 組織

代表者：沢田康次
（東北工業大学）
責任者：白鳥則郎
（東北大学通研）
分担者：
小池康晴（東京工業大学精密工学研究所助教授）
三宅美博（東京工業大学総合理工学研究科教授）
矢野雅文（東北大学電気通信研究所教授）
石田文彦（電気通信大学情報システム学研究科助手）
高地康宏（東北工業大学通信工学科助手）

研究費：校費　　0円，　旅費　106,760円

[2] 研究経過

目的

二者または複数者の間でコミュニケーションが成立するとは，一般にお互いが自分の主張を述べ，かつ他者の主張を理解することであるが，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ない場合は真の意味でのコミュニケーションとはいえない。また，たとえ一人の中でその両者が統合されたとしても，その統合が他者と共有していることが必要である。このためには情報の一方的な流れや時間をおいたやり取りよりは同時的実時間的な情報のやり取りが必要である。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，コミュニケーションが困難な場合の改善方法を明らかにするとともに，工学的に創造的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。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随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。その結果，人が日常遭遇する運動周波数領域において，手の運動がターゲットを無意識的に先行することが被験者全員に共通していることを確認した。更に，この先行周波数領域は個人によって変化するが，ある周波数における各個人の先行位相量は，その個人がターゲット運動の予期しない変化によるトランジェント誤差を最小にする位相量と強い相関があることを8人の被験者で確認した。個々の被験者の視覚—運動機能は異なっていても，脳内のパラメータが設定されている（Proactive Controlと呼ぶことにした）という興味ある結果である。

本年度は課題実行中に眼球運動の同時計測を加えて，更に興味ある結果を得た。

[3] 成果

前年度は，コミュニケーションの成立条件の基礎研究として，実時間制御のひとつの戦略として環境変化のある周波数帯域において，ひとはプロアクティブ制御方式とわれわれが命名した先行制御を行っていることを実証し，このことにより脳内の感覚器—運動系の信号の流れに対して積極的な提案が可能になった。

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。具体的には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続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た。また，聴覚刺激によるタッピングにおいては，ある周波数領域において先行性があることは，以前に報告があるが，音の継続時間が短くなるにつれて先行性は減少し，タッピング周波数が1 Hzの場合，継続時間が40msec以下になると先行性が消滅するなど興味深いある知見を得ている。

これらの定量的データは，感覚—運動系をモデル化するにあたって不可欠で，量的に説明可能なモデルを構築することによって，脳機能のの構成

的理解に新しい切り口を与えた。

また，複数の人間のコミュニケーションの基礎実験を開始したが，今年度中の成果発表には至っていない。

シンポジウム

「感覚入力による運動レスポンス特性」

日時　平成16年3月5日

場所　東北工業大学一番町ロビー

○挨拶（沢田康次）

○生体信号を用いた力学的コミュニケーション（小池康晴）

○ターゲットトラッキング時の先行性を示す手動運動モデル（石田文彦）

○大脳基底核－脳幹系のモデル化による二足歩行運動の創発的リアルタイム制御（冨田望，矢野雅文）

○同期タッピングにおける２種類のタイミング制御機構（三宅美博）

○ターゲットの不明確さがトラッキング位相に及ぼす認知的効果（高地康宏）

○履歴信号入力に対するエージェント集団の動的応答特性の研究（原田 耕治，白鳥 則郎）

論文発表（査読中を含む）

1) F. Ishida and Y. Sawada, “Human hand moves proactively to the external stimulus;an evolutional strategy for minimizing transient error”, Phys. Rev. Lett. (2004 印刷中)

2) Y. Takachi, Y. Sawada, “Study of the phase relation in manual tracking affected by availability of visual information”
Experimental Brain Research (2004 査読中)

国際会議

①. 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 (ボストン　2004年　5月)

②. Y. Takachi, F. Ishida and Y. Sawada, “Influences of target discrimination capability on hand tracking”, .Int. Joint Conference on Neural Networks 2004 (ブダペスト　2004年　7月26日採択決定)

課題番号　H14/B07

先端ＥＭＣ計測技術に関する研究

[1] 組織

代表者：澤谷　邦男
（東北大学大学院工学研究科）
責任者：杉浦　行
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
荒井賢一（東北大学電気通信研究所）
越後　宏（東北学院大学工学部）
上　芳夫（電気通信大学電気通信学部）
桑原伸夫（九州工業大学工学部）
曽根秀昭（東北大学情報シナジーセンター）
多気昌生（東京都立大学大学院工学研究科）
遠矢弘和（ＮＥＣラボラトリーズ生産技術研究所）
徳田正満（武蔵工業大学工学部）
西方敦博（東京工業大学教育工学開発センター）
根元義章（東北大学大学院情報科学研究科）
野島俊雄（NTT DoCoMo）
橋本　修（青山学院大学理工学部）
藤原　修（名古屋工業大学工学部）
山中幸雄（独立行政法人通信総合研究所）
山根　宏（ＮＴＴ生活環境研究所）
和田修己（岡山大学工学部）

研究費：校費　35,000円，旅費　208,900円

[2] 研究経過

ＩＴ社会の高度化に伴って，近い将来，各種の有・無線通信システムや多種多様な電子機器が極めて高密度に利用されるようになってくる。このような環境では，電子機器や自動車等の電磁雑音による通信システムの受信障害や，通信システムの電磁波による電子機器等の誤動作など，様々な障害の多発が懸念される。したがって，ＩＴ社会の発展にとって，機器システム相互の電磁的適合性（ＥＭＣ）の確保が不可欠であり，その基盤となる計測技術の開発が極めて重要である。そこで，大学，国立研究機関，民間企業の研究者が集まって，多様なＥＭＣ計測技術の高精度・高確度化に関する研究を行う。

本共同プロジェクトは，以下のような研究課題について，３年計画で行ってきた。今年は3年目である。

(1) 電子機器等における電磁雑音の発生・伝搬機構に関する計測
(2) 電子機器等のエミッション及びイミュニティ特性に関する計測
(3) ＥＭＣ対策用部品・材料の特性に関する計測
(4) 通信システムの受信障害に関する計測
(5) 電波防護指針に関わる計測

上記課題の種々の問題について，情報交換と検討をおこなう研究会を開催した。

日時：1月7日(水)　13:00-17:00
場所：東北大学電気通信研究所W214室
議題：
(1) ＥＭＩ対策用フェライトコアの挿入損測定法
　杉浦行（東北大学電気通信研究所）
(2) ４ポートネットワークを用いた電力線通信を考慮した屋内配電網特性の検討
　桑原伸夫（九州工業大学工学部）
(3) ＰW(Parallel Wired) セルを用いた無線ＬＡＮの干渉特性測定法
　徳田正満（武蔵工業大学工学部）
(4) キットモジュールでのEMI測定評価法
　遠矢弘和（NECラボ・生産技術研究所）
(5) 平行２本線路周囲電磁界の計測
　越後宏（東北学院大学工学部）
(6) 球状ダイポールアンテナの開発
　山根宏（NTT生活環境研究所）
(7) アンテナインピーダンス法によるアンテナ校正
　藤井勝巳（東北大学電気通信研究所）

[3] 成果

(3-1) 研究成果

研究会では，EMC計測の先端技術についての話題が取り上げられ，活発な意見交換が行われた。

(3-2) 波及効果と発展性など

本共同プロジェクトによって，多様なＥＭＣ計測技術の高精度・高確度化が図られるため，ＩＴ社会の発展に不可欠な電子機器等のＥＭＣ対策が大いに促進されることが期待される。

また，研究成果を国内・国際標準化組織に提案

することにより，産業界に大いに貢献できる。

研究会には，学外からの多数の研究者が出席され，交流が活発化した。3年間行ってきたプロジェクト研究会を通して，研究者間の交流を深め，研究成果を高めることができた。

[4] 成果資料

(1) Y. Matsumoto, M. Takeuchi, K. Fujii, A. Sugiura, and Y. Yamanaka, "A Time- Domain Microwave Oven Noise Model for the 2.4-GHz Band," IEEE Trans. on EMC, Vol. 45, no. 3, pp. 561-566, Aug. 2003

(2) Y. Matsumoto, T. Umeda, A. Nishikata, K. Fujii, Y. Yamanaka, and A. Sugiura, "EMI Antenna Calibration on an Absorber-Lined Ground Plane to Determine Free-Space Antenna Factor," IEEE Trans. on EMC, Vol. 45, no. 4, pp. 656-660, Nov. 2003

(3) 谷垣，神山，越後，"TEMセルにおける遮断周波数の境界スケーリング関数によるシミュレーション," 信学論(B) Vol. J86-B, No. 4, pp. 686-694, Apr. 2003

(4) 濱田，牧，下塩，徳田，桑原，"平衡度を考慮した解析法によるツイストペアケーブル放射電磁界特性," 信学論(B) Vol. J86-B, No. 4, pp. 703-713, Apr. 2003

(5) 酒井，田中，飯島，花澤，橋本，"M型六方晶フェライトを用いた40GHz帯用電波吸収体の広帯域化に関する検討," 信学論(B) Vol. J86-B, No. 4, pp. 749-751, Apr. 2003

(6) H. Hirayama and Y. Kami, "An Imaging System for Electro-Magnetic Noise Source Identification," IEICE Trans. on Commun., Vol. E86-B, No. 4, pp. 1377-1382, Apr. 2003

(7) 伊藤，橋本，横川，角，"FSSを用いたl/4型電波吸収体の薄型化に関する基礎的検討，" 信学論(B) Vol. J86-B, No. 5, pp. 805-813, May 2003

(8) 酒井，続山，山秋，橋本，"エリプソメトリー法を用いたミリ波帯における複素誘電率測定に関する基礎検討," 信学論(B) Vol. J86-B, No. 5, pp. 846-849, May 2003

(9) J. Wang and O. Fujiwara, "Realizing Highly Localized Exposure in Small Animals with Absorbing Material Covered Holder to Test Biological Effects of 1.5 GHz Cellular Telephones," IEICE Trans. on Commun., Vol. E86-B, No. 5, pp. 1660-1665, May 2003

(10) 三谷，角，伊藤，橋本，"X帯におけるFSSを用いた薄型抵抗皮膜電波吸収体の実用化検討," 信学論(B) Vol. J86-B, No. 6, pp. 1020-1023, Jun. 2003

(11) 和田，"ディジタル回路の不要電磁波発生機構のモデル化とシミュレーション," 信学論(B) Vol. J86-B, No. 7, pp. 1062-1069, Jul. 2003

(12) 橋本，佐藤，花澤，谷，遠藤，"C帯における自由空間透過法による複素比誘電率測定に関する研究," 信学論(B) Vol. J86-B, No. 7, pp. 1089-1095, Jul. 2003

(13) 藤井，高島，岩崎，松本，杉浦，"ダブルギャップシールデッドループアンテナの磁界複素アンテナ係数の決定," 信学論(B) Vol. J86-B, No. 7, pp. 1096-1102, Jul. 2003

(14) 小泉，高橋，江原，曽根，根元，"C-Cu接点の開離時放電に伴い発生するインパル性ノイズの抑制法の提案," 信学論(B) Vol. J86-B, No. 7, pp. 1112-1119, Jul. 2003

(15) 芳賀，中野，橋本，"電源層を遮へいする層構造による多層プリント板からの不要電磁放射の低減," 信学論(B) Vol. J86-B, No. 7, pp. 1139-1148, Jul. 2003

(16) 山本，内田，金子，上，"フェライトの磁性損を用いた伝送線路型ノイズフィルタ," 信学論(B) Vol. J86-B, No. 7, pp. 1149-1156, Jul. 2003

(17) 松本，橋本，牧田，"電子レンジドアコーナー部からの電波漏洩とコーナー部用チョーク構造の指摘設計に関する基礎検討," 信学論(B) Vol. J86-B, No. 7, pp. 1157-1164, Jul. 2003

(18) 横川，近藤，橋本，宗，小野，豊田，"抵抗被膜とグラスウールを用いた吸音・電波吸収体に関する基礎検討," 信学論(B) Vol. J86-B, No. 7, pp. 1176-1182, Jul. 2003

(19) 石上，張間，山中，"GTEMセルによる放射イミュニティ試験における被試験機器設置条件の理論的検討," 信学論(B) Vol. J86-B, No. 7, pp. 1183-1190, Jul. 2003

(20) 村野，上，"AM回転電磁界型三次元RF放射イミュニティ試験方式," 信学論(B) Vol. J86-B, No. 7, pp. 1199-1206, Jul. 2003

(21) 藤原，王，久田，渡辺，山中，"携帯電話の成人と子供の頭部を対象とした局所SARの比較," 信学論(B) Vol. J86-B, No. 7, pp. 1219-1224, Jul. 2003

(22) 高瀬，山口，沖本，橋本，"誘電・磁気損失材料を用いたマイクロストリップ線路の高調波抑制に関する実験的検討," 信学論(B) Vol. J86-B, No. 7, pp. 1234-1236, Jul. 2003

(23) 鈴木，宗，橋本，"ミリ波帯用塗布型電波吸収体の広帯域化に関する検討," 信学論(B) Vol.

J86-B, No. 7, pp. 1243-1245, Jul. 2003
(24) 宗，小野，磐田，橋本，“吸音性能を有するC帯円偏波用電波吸収体に関する基礎的検討，” 信学論(B) Vol. J86-B, No. 7, pp. 1246-1248, Jul. 2003
(25) 遠藤，花澤，橋本，“印刷シートを用いたl/4型電波吸収石膏ボードに関する基礎検討，” 信学論(B) Vol. J86-B, No. 7, pp. 1249-1250, Jul. 2003
(26) 西澤，F. Landstorfer, 橋本，“ELF帯における等価磁界ソースモデルの実験的検討，” 信学論(B) Vol. J86-B, No. 7, pp. 1251-1254, Jul. 2003
(27) 渡辺，橋本，“磁性シートによる携帯電話用アンテナの放射効率向上に関する理論的検討，” 信学論(B) Vol. J86-B, No. 7, pp. 1259-1263, Jul. 2003
(28) 大場，嶺岸，根元，“複素インピーダンス負荷に適した不均一線路整合回路の一設計法，” 信学論(B) Vol. J86-B, No. 7, pp. 1264-1267, Jul. 2003
(29) 宮崎，岡，内田，徳田，仁田，“信号線からの放射エミッション予測のためのディジタルIC用出力等価モデル，” 信学論(B) Vol. J86-B, No. 7, pp. 1308-1317, Jul. 2003
(30) 柴田，荻野，橋本，“フランジ付矩形導波管を用いた透過波法による複素比誘電率測定に関する検討，” 信学論(B) Vol. J86-B, No. 7, pp. 1344-1347, Jul. 2003
(31) 芳賀，中野，橋本，“トレースと基準面間に導体面があるプリント板からの輻射と抑制に関する一検討，” 信学論(B) Vol. J86-B, No. 7, pp. 1348-1352, Jul. 2003
(32) T. Kasuga, M. Tanaka, and H. Inoue, “Estimation of Spatial Distribution of Wideband Electromagnetic Noise around a Printed Circuit Board,” IEICE Trans. on Commun., Vol. E86-B, No. 7, pp. 2154-2161, Jul. 2003
(33) 南郷，松原，村川，桑原，徳田，“模擬機器の電磁界放射特性と応用法の研究，” 信学論(B) Vol. J86-B, No. 8, pp. 1629-1638, Aug. 2003
(34) 藤原，中村，王，“PCBの電磁放射と電源グラウンド層間入力インピーダンスにおける周波数特性の対応関係，” 信学論(B) Vol. J86-B, No. 8, pp. 1639-1646, Aug. 2003
(35) 大久保，陳，澤谷，塩川，“90° 屈曲マイクロストリップ線路からの放射に関する検討，” 信学論(B) Vol. J86-B, No. 8, pp. 1659-1662, Aug. 2003
(36) 加藤，橋本，中村，二川，“1層型樹脂系電波吸収体の照射電力に対する温度及び吸収特性変化の解析，” 信学論(B) Vol. J86-B, No. 10, pp. 2182-2188, Oct. 2003
(37) 藤原，張，山中，“静電気試験法による放電電流のFDTDシミュレーション，” 信学論(B) Vol. J86-B, No. 11, pp. 2390-2396, Nov. 2003
(38) 芳賀，中野，橋本，“複数電源-グランド層対をもつ多層プリント板からの不要電磁放射低減の検討，” 信学論(B) Vol. J86-B, No. 12, pp. 2566-2569, Dec. 2003
(39) 松本，山口，橋本，“並列計算機を用いた電子レンジドア全周構造のシールド設計に関する基礎検討，” 信学論(B) Vol. J87-B, No. 1, pp. 89-82, Jan. 2004
(40) 沢海，橋本，柴田，“円形フランジ付方形導波管を用いた損失シートの複素比誘電率測定に関する基礎検討，” 信学論(B) Vol. J87-B, No. 1, pp. 98-100, Jan. 2004
(41) 寺師，田中，石田，徳田，桑原，“振幅情報のみを用いた電子機器の電磁妨害波源推定条件，” 信学論(B) Vol. J87-B, No. 2, pp. 226-234, Feb. 2004
(42) 村川，石山，山根，服部，“ノイズ波形に対する相関処理及び積分操作の組み合わせによる線形予測法の周波数抽出精度の改善，” 信学論(B) Vol. J87-B, No. 2, pp. 235-245, Feb. 2004
(43) N. Kobayashi, K. Narita, T. Kushta, and H. Tohya, “Analysis of Radiation from Microstrip Line Configurations Using the Spectral-Domain-to Real-Space Approach,” IEICE Trans. on Commun., Vol. E87-B, No. 2, pp. 317-325, Feb. 2004

共同プロジェクト研究

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）
責任者：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）
石川稜威男（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）
橘　　邦英（京都大学大学院工学研究科）
三宅　正司（大阪大学溶接工学研究所）
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（九州大学総合理工学研究科）
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（核融合科学研究所）
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科）
林　　康明（京都工芸繊維大学工芸学部）
上村　鉄雄（核融合科学研究所）
藤原　正巳（核融合科学研究所）
松田　彰久（産業技術総合研究所）
小川　雲龍（日立国際電気半導体装置システム研究所）

研究費：校費　50,000円，旅費　874,500円

【2】研究経過

プラズマを用いた超精細加工技術や超薄膜生成技術の早期実現が要望されている。このような反応性プラズマ中には，電子や正イオンに加えて更に大きな質量を持つクラスター，フラーレン，ナノ結晶，あるいはミクロン微粒子などが重要な役割を持つことが指摘され，これらの微粒子を含むプラズマの物性と応用に関する研究は，プラズマ科学における一大トピックとして注目されている。本プロジェクト研究会ではこれまでに蓄積されてきたプラズマ制御技術を微粒子プラズマに適用し，ナノメータからミクロンサイズまでの特徴的構造を持つ微粒子プラズマの基礎的性質を系統的に解明することを目的とする。さらにその成果をもとに，ダイヤモンドあるいは太陽電池など炭素系薄膜やシリコン系薄膜等のナノ微細構造制御や高機能化に資する研究と，次世代超微細電子工学の開拓に不可欠な微粒子プラズマの精密制御法を目指した研究を行うことを目的とする。

反応性プラズマ中に自然発生するナノ微粒子，ミクロン微粒子の挙動を解明すると共に，より高品質な炭素系・シリコン系薄膜の創成に必要なプラズマ制御法の開拓を目指す。プラズマの構造制御やエネルギー制御によって，形成される微粒子の種類，大きさ，分布などを明らかにする。電界や磁界によって帯電している微粒子の輸送制御を行う。ナノ微粒子やミクロン微粒子の発生が膜質の与える影響を明らかにする。さらには，外部から大きさや形状の決まった微粒子を注入して，その挙動を明らかにする。これらは分子に比べて極めて大きな質量を持つために重力の影響が重要となり，それに対応して微粒子形成に対する重力効果を明らかにする。初年度としては，微粒子挙動に対する重力効果を明らかにするために，その方法と内容について議論を進めた。以下に今年度の主な活動を記載する。

[1]「微小重力下微粒子プラズマ」ワークショップ
日時：9月25日（木）午後2時より
場所：東北大学大学院工学研究科（青葉山）電子・応物・情報館103号室（特別講演）

351・353号室（ワークショップ）
特別講演：依田真一（宇宙開発事業団NASDA）
「微小重力科学の現状と今後」
ワークショップ　趣旨説明
佐藤徳芳（東北大名誉教授）
実験結果報告
(1) 渡辺征夫（九州大）「微小重力条件プラズマ中でのSi超微粒子形成」
(2) 林　康明（京都工繊大）「微小重力下でのクーロン結晶形成と微粒子挙動に関する実験」
(3) 高橋和生（京都大）「プラズマ中の微粒子間相互作用の解析」
(4) 飯塚　哲（東北大）「微小重力下における球配位プラズマ中の微粒子挙動」
(5) 三重野哲（静岡大）「無重力ガスアークの性質と昇華微粒子の挙動」
討論・コメント：石原　修（横浜国大），上村鉄雄（核融合研），東辻浩夫（岡山大）

[2]「微重力条件下微粒子プラズマ研究拠点形成に関するワークショップ(1)」
日時：平成15年10月28日（火）午後2時より
場所：東北大・工・電子・応物・情報館2号館4F中央ゼミ室
議題：(1) グループとして掲げる具体的共同研究テーマについて（九州大　渡辺征夫）
(2) JAXAへの共同研究申し込みについて（宇宙航空研究開発機構　足立聡）
(3) 国際的な連携の具体化について（東北大名誉教授　佐藤徳芳）
(4) その他

[3]「微重力条件下微粒子プラズマ研究拠点形成に関するワークショップ(2)」
日時：2月28日（土）　午後1時より
場所：東北大工学部電気情報系本館（1F）103会議室
議題：(1) 研究会の趣旨について（東北大名誉教授　佐藤徳芳）
(2) ヨーロッパ宇宙局（ESA）でのIMPF/ICAPSの会議について（東北大名誉教授　佐藤徳芳）
(3) 宇宙環境利用に関する地上研究の公募について（宇宙航空研究開発機構　足立聡）
(4) 地上研究応募の準備状況について（京都工繊大　林康明）
(5) 微小重力下の3次元クーロン結晶について　（岡山大　東辻浩夫）
(6) 応募のための研究目標，その実施方法や役割分担，研究区分等について（討論）
(7) その他

【3】成果

（3－1）研究成果

プラズマ中微粒子は大きな質量を持つため，本来持っている固有の物性解明には微粒子挙動に対する重力効果を明らかにする必要がある。この観点から
1．微重力条件下における3次元クーロン結晶に関する研究
2．微重力条件反応場での微粒子成長に関する研究
の2テーマについて，これまでの成果がレビューされ，研究の方針が議論された。1では実験理論シミュレーションを連携，2では等方的反応場・温度勾配などの特徴を活かした微粒子発生を解明が重要とされた。新しい課題として回転双極子磁場中の微粒子挙動に関して理論検討され，無重力では微粒子が落下することなく，誘起電界と遠心力がバランスして，重力場中の惑星のような新しい微粒子軌道が考えられた。また，熱対流，温度勾配を制御したフラーレン，ナノチューブ等の合成研究，並びにサブミクロン微粒子の診断法の開拓などが報告され，巨大炭素カプセルなどの生成の可能性が示された。

微小重力下の実験では，1つひとつ操作できる微粒子制御法の開拓が必要性が指摘され，そのためのプラズマ生成法，それを用いたクーロン結晶・流体の挙動解明，及び理論研究，それを踏まえた材料生成法，グループ間の連携などが討論された。実験的には，球状の透明電極で球対称プラズマ生成に絞る。その他，球状電極や針電極等の可能性も検討の必要がある。さらには巨大微粒子を含む少数微粒子系，スピン現象などの解明が必要とされた。クーロン結晶の物理の解明，そのための実験データの精密計測法の必要性，重力効果を入れたシミュレーションとの違いを鮮明に打ち出す必要性が指摘された。また，核発生並びに3次元結晶形成と微粒子発生を統一的に研究する必要性が指摘され，さらに微粒子間引力・斥力の問題の解明，微粒子制御などの必要性，並びに対流などの制御と長時間微粒子生成法の開発等について議論した。工学的応用として，デバイス生成など具体的な応用例を考える必要がある。

組織的な研究として，宇宙航空研究開発機構

（JAXA）への共同研究として提案が議論された。国際宇宙ステーション（ISS）実験を目指した研究では，物質科学（結晶，流体，燃焼）に関係したテーマ，例えば結晶成長メカニズム解明のための基礎実験として微粒子プラズマ解明が期待できる。引力を伴う金属結晶的な形成構造なのか，その類似性や相違性を解明する研究，並びに臨界核形成や臨界揺動の観測など微重力環境3次元結晶独特の現象の解明が必要とされる。微小重力は3次元強結合プラズマのバルクの性質を実験的に検証できる唯一の方法であり，負の圧力，圧縮率の発散など特異的物理現象が解明できる。実験では密度揺動スペクトルの観測，臨界揺動の観測が期待でき，その重要性が指摘された。

（3－2）波及効果及び発展性

微小重力下での微粒子プラズマの研究により，その基礎的特性の解明が達成できるだけでなく微粒子の新しい制御法が開拓できる。微粒子の高精度制御法が見い出されれば，反応性プラズマ中の微粒子の生成機構や挙動の解明が可能となり，さらには高機能性薄膜の生成のみならずその表面における超微細構造の創製に大きく寄与する。研究の推進により，クリーンプロセスのための微粒子除去法が開拓され，積極的な微粒子作成・応用法が開発できる。水素シランプラズマ系における太陽電池用シリコン薄膜では，アモルファス構造よりもナノあるいはサブミクロンサイズの超微粒子を含む微結晶シリコン薄膜形成により，光劣化の少ない高効率長寿命太陽電池を開発できる可能性がある。水素メタンプラズマ系ではプラズマ中に浮上する超微粒子の結晶化や成長により，炭素ナノチューブやダイヤモンドの空間での成長が期待される。これらの超微粒子の基板表面への輸送制御により，さらに超微細ナノ構造をもつ新機能性薄膜の創製が可能となる。積極的な微粒子除去法や微粒子制御法の開拓は次世代のプラズマプロセス基盤技術として極めて重要な役割をもつ。フラーレン・微粒子の基礎的解明がすすむとともに，学外研究者との交流が飛躍的に活性化する。ナノスケールの半導体，電子デバイス，さらにはバイオや医療等のナノセンサなどへの応用が極めて重要であり，今後の発展が期待される。

【4】成果資料

主要論文

1. K. S. Kim, D. J. Kim, J. H. Park, Y. Watanabe and M. Shiratani, J. Colloid Interface Sci. **257**, 195 (2003).
2. M. Shiratani, M. Kai, K. Koga and Y. Watanabe, Thin Sold Films **427**, 1 (2003).
3. C. Totsuji, M. S. Liman, K. Tsuruta, and H. Totsuji, Phys. Rev. E, **68**, 017401 (2003).
4. M. Salimullah, P.K. Shukla, M. Nambu, H. Nitta, O. Ishihara, and A.M. Rizwan, Physics of Plasma **10**, 3047 (2003) .
5. S. V. Vladimirov, S.A. Maiorov, and O. Ishihara, Physics of Plasmas 10 , 3867(2003).

国内会議・国際会議

1. K. Koga, T. Kakeya, M. Shiratani, and Y. Watanabe, The 21st Symposium on Plasma Processing, Sapporo, January 28-30, 322 (2004).
2. M. Shiratani, T. Ogata, K. Koga and Y. Watanabe, The 21st Symposium on Plasma Processing, Sapporo, January 28-30, 66 (2004).
3. O. Ishihara, T. Kamimura, K. Hirose, and N. Sato, Dynamics of Dust Particulates in Magnetic Field, AIP Conf. Proc. **669 -1**, 536-539 (2003).
4. S. Iizuka, K. Sakuta and W. Suzukawa, The 21st Symposium on Plasma Processing, Sapporo, January 28-30, 316 (2004).
5. Y. Hayashi, Y. Morimoto, Y. Kogawara, S. Nishino, Y. Tanaka, and M. Morita, The 21st Symposium on Plasma Processing, Sapporo, January 28-30, 158 (2004).
6. T. Mieno, T. Mizutani, and D. Kato, The 21st Symposium on Plasma Processing, Sapporo, January 28-30, 252 (2004).

課題番号　H15/B02

ナノスケール磁性体の機能に関する研究

[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）
岩田　　聡（名古屋大学工学部）
石山　和志（東北大学電気通信研究所）
藤井　壽崇（愛知工科大学工学部）
島田　　寛（東北大学多元物質研究所）
鈴木　孝雄（豊田工業大学大学院）
北上　　修（東北大学多元物質研究所）
森迫　昭光（信州大学工学部）
岡本　　聡（東北大学多元物質研究所）
本多　茂男（島根大学工学部）
武野　幸雄（東北大学多元物質研究所）
山崎　二郎（九州工業大学工学部）
高梨　弘毅（東北大学金属材料研究所）
竹澤　昌晃（九州工業大学工学部）
三谷　誠司（東北大学金属材料研究所）
加島　　篤（北九州高専電気工学科）
石井　　清（宇都宮大学工学部）
八木　正明（崇城大学エネルギーエレクトロニクス研究所）
山口　一弘（茨城高専電子情報工学科）
福永　博俊（長崎大学工学部）
田中　雅明（東京大学大学院）
中野　正基（長崎大学工学部）
阿部　正紀（東京工業大学工学部）
山城　康正（琉球大学工学部）
北本　仁孝（東京工業大学工学部）
伊崎　昌伸（大阪市立工業研究所）
佐藤　勝昭（東京農工大学工学部）
梅澤　浩光（FDK㈱基礎研究部）
竹村　泰司（横浜国立大学工学部）

研究費：校費　50,000円　　旅費　1,077,760円

[2]　研究経過

グラニュラー磁性薄膜や磁性フォトニック結晶あるいは磁性ドットなどのように，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。例えばグラニュラー磁性薄膜では，軟磁性・高抵抗・高磁気異方性の共存，大きなトンネル磁気抵抗効果，量子サイズ効果，磁気光学効果の増大，あるいは保磁力の増大現象などが報告されている。また磁性フォトニック結晶では極めて大きな磁気光学効果やフォトニックバンドギャップ形成に伴う新規の磁気光学効果などが報告されている。しかしこれらナノ構造磁性体のユニークな磁気特性発現機構の解明は未だ十分に行われておらず，高性能なナノ構造磁性体を得る条件は未だ混沌とした状態にある。またこのようなナノスケール磁性体を形成する手法として，従来の微細加工技術や自己組織化的形成技術が用いられているが，スループットが高くかつ精度のよい形成手法確立も重要な問題として残されている。

本プロジェクト研究会では，ナノ構造磁性体が示すユニークな磁気特性の起源解明を目的として，磁気デバイスキャリアとして重要なナノ構造磁性体の電気伝導特性や光伝搬特性，さらにはダイナミックな磁気現象を，電子スピンに立脚した磁性物理的立場から総合的に探求することを目的とする。また併せて，数nmから数百nmスケールの規則（不規則）構造を有するナノ構造磁性体を精度よく形成する手法の確立を目指す。

本年度は，電気学会マグネティックス技術委員会「ナノスケール磁性構造体」調査専門委員会との連携により当該プロジェクトを推進した。表1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（2004.1）の発表論文リストを示す。同研究会では，ナノ構造磁性体の形成と，高周波機能，スピン依存電子伝導，光機能，磁気MEMSに加えて，ホログラムを用いる光記録とナノ構造磁性体との関係について詳細な技術討議を行った。

表1　電気学会マグネティックス研究会と共同で開催した研究会での発表論文

題　目	著　者
$Zn_{0.4}Fe_{2.6}O_4$薄膜を用いた強磁性トンネル接合の磁気抵抗効果	西村和正（東北大），手束展規（東北大・CREST-JST）杉本　諭（東北大），猪俣浩一郎（東北大・CREST-JST）
極薄Ru層を用いたスピンバルブ素子のCPP-GMR特性	阿部慎也（東北大），Jiang Yong（CREST-JST），手束展規，猪俣浩一郎（東北大・CREST-JST）
CPP-GMR効果の膜厚依存性	小林俊和，江坂智徳，神保睦子（大同工大）
Co/Siにおける新しい機構による磁気抵抗効果	本多茂男，村井康仁，石川知之，高井健介，御手洗夕子，原田曠嗣，縄手雅彦（島根大）
β-$FeSi_2$の30Tに至る強磁界中の室温巨大磁気抵抗効果	山田興治，三宅　潔（埼玉大）
電歪／磁歪複合振動子による磁場センサの開発	吉澤伸幸（育英高専），島田　寛（東北大），早坂淳一，岡本幸一，池田義秋（NECトーキン）
共蒸着による（Ni-Fe）-（B-O）グラニュラー薄膜の電磁ノイズ吸収特性	伊藤哲夫（NECトーキン），島田　寛（東北大），小野裕司，吉田栄吉（NECトーキン）
2次元磁性フォトニック結晶の作製	池澤義文，都築　敦，西村一寛，内田裕久（豊橋技科大），井上光輝（豊橋技科大・CREST-JST）
Three-dimensional MPCs: fabrication and investigation	A. Baryshev, T. Kodama, K. Nishimura, H. Uchida (Toyohashi Univ. of Tech.), M. Inoue (Toyohashi Univ. of Tech.・CREST-JST)
AFM陽極酸化によるナノスケール磁性構造体の作製	妹尾智之，岡田達朗，金　周映，西村一寛，内田裕久（豊橋技科大），井上光輝（豊橋技科大・CREST-J ST）
STEMによる楕円体ナノドットにおけるvortexの磁化スピンの観察と定量的考察	劉　小晰，松本光功，森迫昭光（信州大），John N. Chapman, Stephen McVitie, Chris D. W. Wilkinson (Univ. of Glasgow)
薄膜磁石を用いたスパイラル型磁気マイクロマシンの泳動特性	山崎　彩，仙道雅彦，石山和志，荒井賢一（東北大）
ホログラフィックストレージ	中西　淳，P. B. Lim，西村一寛，内田裕久（豊橋技科大），井上光輝（豊橋技科大・CREST-JST）

[3] 成果

（3－1）研究成果

本年度は，昨年度から引き続き，ナノスケール磁性体の機能の観点から共同プロジェクト研究を実施した。具体的には，絶縁体マトリックス中に属磁性超微粒子が分散したグラニュラー構造磁性体や，透光性磁性体を用いた磁性フォトニック結晶，あるいは金属多層膜や磁性半導体，磁性超微粒子である。

（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ターンドメディアや，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られるようになっている。ナノスケールで構造を導入することで，これらの要求を満たす新しい機能性磁性材料開発が期待されている。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。

[4] 成果資料

(1) T. Yoshida, K. Nishimura, H. Uchida and M. Inoue, "One-dimensional magnetophotonic crystals with granular magnetic films," J. Appl. Phys., vol.93, No.10 (2003) 6942.

(2) A. A. Fedyanin, T. Yoshida, K. Nishimura, G. Marowsky, M. Inoue and O. Aktsipetrov, "Nonlinear magneto-optical Kerr effect in gyrotropic photonic band gap structures: magneto-photonic microcavities," J. Magn. Mag. Mat., vol.258-259 (2003) 96.

(3) J. H. Park, H. Takagi, K. Nishimrua, H. Uchida and M. Inoue, "Magnetic softening of switching field of magnetic garnet films by controlling groove depth," J. Appl. Phys., vol.93, No.10 (2003) 8522.

(4) J. H. Park, H. Takagi, K. Nishimura, H. Uchida, M. Inoue, H. H. Park and J. K. Cho, "magneto-optic spatial light modulators driven by an electric field," J. Appl. Phys., vol.93, No.10 (2003) 8525.

(5) H. Kato, T. Matsushita, A. Takayama, M. Egawa, K. Nishimura and M. Inoue, "Theoretical analysis of optical and magneto-optical properties of one-dimensional magnetophotonic crystals," J. Appl. Phys., vol.93, No.10 (2003) 3906.

(6) F. Takano, H. Akinaga, T. Tokizaki, S. Kuroda and K. Takita, "Spatial diffusion of excitons in n-type modulation-doped (Cd,Mn)Te/(Cd,Mg)Te single quantum wells under magnetic field," Appl. Phys. Lett., vol.83, No.14 (2003) 2853.

(7) 杉本 諭, 明渡 純, "エアロゾル・デポジッション法による永久磁石の薄型化", 日本応用磁気学会研究会資料, vol.132 (2003) 1.

(8) 明渡 純, "エアロゾルデポジッション法による電子デバイスの低温形成技術," セラミクス, vol.38, No.5 (2003) 363.

(9) 槙 智仁, 杉本 諭, 籠谷 登志夫, 猪俣 浩一郎, 明渡 純, "エアロゾル・デポジッション法により作製されたSm-Fe-N系厚膜磁石の組織と磁気特性," 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-03-171, (2003).

(10) S. Sugimoto, T. Maeda, R. Kobayashi, J. Akedo, M. Lebedev and K. Inomata, "Magnetic Properties of Sm-Fe-N Thick Film Magnets Prepared by the Aerosol Deposition Method," IEEE Trans. Magn., vol.39, No.5 (2003) 2986.

(11) K. Ishii, Y. Saito, and T. Hirata, "Preparation of Nanocystalline Fe Films by Low Energy Cluster Deposition Using a Sputter Cluster Source," Trans. Mater. Res. Soc. Jpn., vol.28 (2003) 1177.

(12) 石井 清, 斉藤 雄樹, 渡邊 征一, "Fe/Agグラニュラー磁性体のスーパーフェロ的振舞いと軟磁性," 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-03-135 (2003).

(13) K. Inomata, N. Koike, T. Nozaki, S. Abe and N. Tezuka, "Size-independent spin switching field using synthetic antiferromagnetis," Appl. Phys. Lett., vol.82, No.16 (2003) 2667.

(14) K. Inomata, S. Okamura, R. Goto and N. Tezuka, "Large Tunneling Magnetoresistance at Room Temperature Using a Heusler Alloy with the B2 Structure," Jpn. J. Appl. Phys., vol.42 (2003) L.419.

(15) 高津 康司, 加藤 剛志, 岩田 聡, 綱島 滋, "CoFeB磁性層を用いたスピントンネル素子の磁気抵抗特性," 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-03-134 (2003).

(16) 佐藤 勝昭, 清水 伸一郎, 手塚 智之, 石橋 隆幸, 森下 義隆, 纐纈明伯, "ダマシン法によるナノ磁性体埋め込み構造の作製と非線形磁気光学効果," 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-03-131 (2003).

(17) Y. Fujiwara, T. Hirose, M. Jimbo, T. Kobayashi and M. Masuda, "Magnetoresistance effect of Co/AlOx/NiFe/Au/n-Si diode structure," Jpn. J. Appl. Phys., vol.42 (2003) L.1009.

(18) T. Seki, T. Shima, K. Tkanashi, Y. Takanashi, E. Matsubara, and K. Hono, "L10 ordering of off-stoichiometric FePt (001) thin films at reduced temperature," Appl. Phys. Lett., vol.82 (2003) 2461.

(19) S. Mitani, T. Moriyama and K. Tanakashi, "Fe/MgO/FeCo(100) epitaxial magnetic tunnel junctions prepared by suing in situ plasma oxidation," J. Appl. Phys., vol.93, No.10 (2003) 8041.

(20) Y. Takemura, S. Kidaka, K. Watanabe, Y. Nasu, T. Yamada and J. I. Shirakashi, "Applied voltage dependence of nano-oxidation of ferromagnetic thin films using atomic force microscope," J. Appl. Phys., vol.93, (2003) 7346.

(21) N. Fujita, S. Maeda, S. Yoshida, M. Takase, M. Nakano, and H. Fukunaga, "Preparation of Co-Pt alloy film magnets by electrodeposition," J. Magn. Magn. Mat., in press (2004).

(22) S. Honda and Y. Nagata, "Magnetic and transport properties of alternately deposited Co-Bi films," J. Appl. Phys., vol.93 (2003) 5538.

(23) S. Honda, T. Shimizu, T. Une, M. Sakamoto, K. Kawabata and T. Tanaka, "X-ray photoelectron spectroscopy and magnetic properties in Fe-SiO2 granular films," J. Appl. Phys., vol.93 (2003) 4279.

(24) 高村 幸良, 松本 光功, 森迫 昭光, 片山 信宏, "高密度磁気記録媒体用NdFeB/W薄膜のB組成依存性," 日本応用磁気学会誌, vol.27 (2003) 200.

(25) 武井 重人, 森迫 昭光, 松本 光功, "結晶化Sm-Co層の磁気特性に及ぼすCr下地層の影響," 日本応用磁気学会誌, vol.27 (2003) 328.

(26) X. Liu, M. Matsumoto, A. Morisako, J. Chapman, S. McVitie, and C. D. W. Wilkinson, "Quantitative analysis of magnetic vortex in nano elliptical elements by scanning transmission electron microscopy," 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-04-12 (2004).

(27) 竹澤 昌晃, 森 智礼, 山崎 二郎, "微細磁性体の磁区観察による磁化反転機構の検討," 日本応用

磁気学会誌, vol.28 (2004) 384.

(28) M. Takezawa, J. Yamasaki, T. Honda and C. Kaido, "Domain structure of chemically thinned non-oriented electrical sheet," J. Magn. Magn. Mat., vol.254 (2003) 167.

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　50,000円，旅費　38,780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初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。

本プロジェクトでは，集積回路が抱える原理的な問題点を明らかにし，それ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を提案することを目的として研究を行った。

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とし，MOS集積回路の高性能化に関する研究を展開した。

以下，研究活動状況の概要を示す。

第１回低消費電力・高速MOS集積回路研究会
日時：2004年　２月20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

初めに現在までに提案され，実用化されてきた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，今後MOS集積回路の低消費電力化および高速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。そして特に，今後の素子の微細化の限界を克服するための設計手法と，希土類酸化物を用いた高誘電率ゲート酸化膜の形成や，プラズマドーピングによる極薄拡散層形成技術などの材料技術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とを明らかにした。

（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，高速動作デバイス，微細構造デバイス，及び，回路システムによる高性能集積回路システムの実現である。これは，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，半導体産業を初めとする電子・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さらに活性化した。

今後，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。

[4] 成果資料

1. M. Iwai, H. Ohta, M. Suzuki, H. Sakuraba, T. Endoh and F. Masuoka, "Pillar Diameter Dependence of the Carrier Response Time in a Surrounding Gate type MOS Capacitor," 204th Meeting of The Electrochemical Society Meeting Abstracts, Abstract#144, Orlando, Oct. 12-16, 2003.
2. H. Amikawa, M. Suzuki, T. Izumida, H. Sakuraba and F. Masuoka, "36nm-Si Pillar Fabricated by Three-Dimensional (3D) Thermal Oxidation of Silicon," 204th Meeting of The Electrochemical Society Meeting Abstracts, Abstract#1331, Orlando, Oct. 12-16, 2003.
3. T. Izumida, M. Suzuki, H. Amikawa, H. Sakuraba and F. Masuoka, "Study of Oxide Charge by X-ray Photoelectron Spectroscopic and C-V Measurements," 204th Meeting of The Electrochemical Society Meeting Abstracts, Abstract#1332, Orlando, October 12-16, 2003.
4. M. Iwai, Y. Yamamoto, R. Nishi, H. Sakuraba, T. Endoh and F. Masuoka, "High Performance Buried Gate Surrounding Gate Transistor (BG-SGT) for Future Three-Dimensional Devices," Extended Abstracts of the 2003 International Conference on Solid State Devices and Materials, pp.630-631, Tokyo, Sep. 16-18, 2003.
5. 中村広記，遠藤哲郎，桜庭弘，舛岡富士雄，「Surrounding Gate Transistor (SGT) 型ゲインセルを用いた新しいNAND DRAM」，電子情報通信学会論文誌C, Vol. J86-C, No. 8, pp.944-951, 2003年8月.
6. F. Matsuoka and F. Masuoka, "Numerical Analysis of Alpha-Particle-Induced Soft Errors in Floating Channel Type Surrounding Gate Transistor (FC-SGT) DRAM Cell," IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, Vol. 50, No. 7, pp.1638-1644, July, 2003.
7. Y. Yamamoto, M. Hioki, R. Nishi, H. Sakuraba, and F. Masuoka, "An Accurate Model for Threshold Voltage and S-factor of Partially-Depleted Surrounding Gate Transistor (PD-SGT)," 203rd Meeting of The Electrochemical Society meeting abstracts, Abstract No.840, Electrochemical Society Proceedings Volume 2003-05, Silicon-on-Insulator Technology and Devices XI, pp. 325-330, Paris, April 30 - May 2, 2003.
8. W. Sakamoto, T. Endoh, H. Sakuraba, and F. Masuoka, "Reduction of Pass-Gate Leakage by Silicon-Thickness Thinning in Double-Gate MOSFETs," 203rd Meeting of The Electrochemical Society meeting abstracts, Abstract No.828,

Electrochemical Society Proceedings Volume 2003-05, Silicon-on-Insulator Technology and Devices XI, pp. 331-336, Paris, April 30 - May 2, 2003.

9. F. Matsuoka and F. Masuoka, "Analysis of Soft Errors in Floating Channel type Surrounding Gate Transistor (FC-SGT) DRAM Cells", 203rd Meeting of The Electrochemical Society meeting abstracts, Abstract No.858, Electrochemical Society Proceedings Volume 2003-05, Silicon-on-Insulator Technology and Devices XI, pp. 431-436, Paris, April 30 - May 2, 2003.
10. 岩井信, 桜庭弘, 遠藤哲郎, 舛岡富士雄, 「Buried Gate type SGT フラッシュメモリ」, 電子情報通信学会論文誌C, Vol. J86-C, No. 5, pp. 562-563, 2003年5月.

共同プロジェクト研究

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　　埴（東京大学物性研究所）
上野　信雄（千葉大学工学部）
荻野　俊郎（横浜国立大学大学院）
斎藤　峯雄（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　50,000円，旅費　705,480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，ほとんど進展していないのが現状である。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の研究会『表面とバイオエレクトロニクス』を開催した。研究会には，バイオテクノロジーの専門家を特別講師として招聘した。

研究会では，下記のトピックスについて討論した。

1．バイオデバイスのための表面制御
2．新規なバイオデバイス
3．バイオデバイスにおける生体分子制御
4．バイオ計測技術
5．ナノバイオデバイスの表面・界面制御技術

シンポジウム参加者は，大学院生を含め約50名で，二日間にわたって活発な討論が行われた。以下に，シンポジウムのプログラムを付記する。

【第１日目（9月25日（木））】

Ⅰ　表面修飾

「SiO2/Si表面上の島状自己組織化膜による表面修飾とvesicle fusion法による脂質二重膜の堆積」
手老　龍吾（分子科学研究所）

「ウンデセン酸SAM膜によるシリコン表面の修飾とAFMによる評価」　李　艶君　（分子科

学研究所）

Ⅱ　バイオデバイス

「自己組織化とバイオフォトニクス」
玉田　薫　（産業総合研究所）

「高反応性遺伝子検査チップ“ビーズアレイ”－プローブ固定化ビーズをマイクロ流路に並べたデバイス」
野田　英之　（日立製作所中央研究所）

特別講演（1）

「ナノバイオデバイスの創成と次世代医療への展開」　馬場　嘉信（徳島大学　薬学部）

ゲノム解析・プロテオーム解析からゲノム医療に向かうバイオ研究最前線の動向と次世代ナノバイオデバイス開発の最前線について解説。特に，ゲノム・プロテオーム解析への応用から将来のゲノム医療・オーダーメード医療にむけた研究の最新動向について解説。

【第2日目（9月26日（金））】

Ⅲ　表面制御

「半導体表面上金属超薄膜における魔法厚」
斉藤　峯雄　（東京大学生産技術研究所）

「ダイヤモンドヘテロエピタキシーにおけるバイアス処理効果について」　河野　省三（東北大　多元研）

Ⅳ　生体分子制御

「ゲノム解析に向けたDNA1分子の操作と加工」
平野　研（徳島大学薬学部）

「AFM陽極酸化を用いた生体分子の微細パターニング」
岩崎　裕（大阪大学産業科学研究所）

Ⅴ　計測技術

「高密度ラジカルによるバイオチップ材料の高速加工とフェムト秒波長可変近赤外レーザーによる表面反応場計測の試み」
堀　勝　（名古屋大学大学院工学研究科）

「半導体表面を用いたDNA計測」
庭野　道夫　（東北大　通研）

[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，特に生体分子や有機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

本研究の申請代表者らは，ナノ構造に関する共同プロジェクト研究（H14/B04）を平成12年度から3年間行ってきた。その研究会は，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，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。

共同プロジェクト研究

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㈱）

研究費：校費　50,000円，旅費　189,820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ク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。

本プロジェクトは本年度が初年度であったため，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として，以下のような研究活動を行った：

・平成15年11月10日　Prof. Michael Miller（カナダ・ビクトリア大学教授，工学部長）
特別講演「The Synthesis of Reversible Logic Circuits」
・平成15年11月20日　研究会を開催：
「運動視により空間認識を行う神経網の数理モデル」川上進（東北大）
「多層２次元セル構造による１チップ１ペタスパコンの可能性」松岡浩（東北大）
「不揮発性ロジックインメモリVLSIの展望」木村啓明（東北大）
「高速低電力多値電流モード回路の展望」望月明（東北大）
・平成15年12月9日　Prof. Wai-Tung Ng（カナダ・トロント大学助教授）
特別講演「Advanced Power Management in Today's Power-Hungry Mobile」
・平成16年3月5～6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16年3月19～20日　米田友洋氏（国立情報学研究所情報基盤研究系・教授）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連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考案：

チップ内高速データ転送を実現するための重要なシステムインテグレーション技術として，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「ロジックインメモリ構造」が有用である。本研究代表者らの研究グループでは，不揮発性メモリデバイスを活用することで，このロジックインメモリ構造ＶＬＳＩを効果的に実現できることを世界に先駆けて示してきた。この不揮発性ロジックインメモリ回路技術に関する本年度の研究成果として，トンネル磁気抵抗効果（ＴＭＲ）

デバイスを活用する回路構成法を考案した。ＴＭＲデバイスは，強誘電体デバイスと同様に不揮発性記憶機能を有するデバイスとして知られており，ＭＲＡＭセルに用いられている。このＴＭＲデバイスを活用し，記憶機能と演算機能をコンパクトに一体化してメモリ・演算器間データ転送ボトルネックを解消する「不揮発性ロジックインメモリ回路」の構成を考案した。ＴＭＲデバイスが記憶状態に応じて抵抗値が変化する可変抵抗素子と見なせることに着目し，ＭＯＳトランジスタとＴＭＲ素子を混載した抵抗網回路ネットワークにより，任意の論理スイッチング機能が実現できる。この技術を活用した演算回路の構成例として，記憶機能付き全加算器を0.18μｍＣＭＯＳ技術で構成した場合，同一の動的消費電力下で同等機能のＣＭＯＳ実現と比較して，回路の遅延時間を約50％に，回路規模を60％にそれぞれ削減できることを示した。さらに，多段の回路網で回路実現する効果により，静的消費電力を２桁程度削減できることも明らかにした。

②多値２線符号化に基づく非同期式デュプレックス通信技術とその回路技術の考案：

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，本年度は双方向からのデータを同時に転送できる「デュプレックス通信」回路を，多値符号化法と電流モード多値回路技術に基づいて高速化かつ低消費電力化する技術を考案した。提案の非同期デュプレックス通信のための多値符号化例では，単方向データ転送の場合と比較して，信号のダイナミックレンジを高々１だけ増加させるだけでデュプレックス通信が可能となる。この提案回路を，0.18μｍＣＭＯＳ技術に基づいてテストチップを試作し，所望の非同期データ転送が実行されていることを実証した。また，本提案手法により，従来からの単方向非同期データ転送方式をCMOS回路で実現した場合と比較し，同一消費電力下で約２倍の高速化が達成され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を行うことで，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，共同研究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] 木村, 羽生, 亀山, “不揮発性デバイスを用いたロジックインメモリVLSIの構成,” 信学技報, ICD2003-5, pp.23-27, 2003年4月.

[２] T. Hanyu, A. Mochizuki, and M. Kameyama, “Multiple-Valued Dynamic Source-Coupled Logic,” Proc. ISMVL, 33, 207/212, May 2003.

[３] T. Hanyu, et al., “Bidirectional Data Transfer Based Asynchronous VLSI System Using Multiple-Valued Current-Mode Logic,” Proc. ISMVL, 33, 99/104, May 2003.

[４] 木村他, “強誘電体デバイスを用いたロジックインメモリVLSIの構成,” 信学論, J86-C, 8, 886/893, 2003.

[６] 松永, 木村, 羽生, “相補形強誘電体論理ゲートを用いたパイプラインシステムの構成,” 平15東北支部連大, 2G4, p.246, 2003年8月.

[８] 望月, 羽生, “差動対ツリー構造に基づく多値論理回路網の系統的設計,” 多値論理研究会, 26, 6, 6-1/6-6, 2003年9月.

[９] 木村,伊吹,羽生, “多値TMRソースカップルドロジックに基づくロジックインメモリ回路の構成”, 多値論理とその応用研究会技報, MVL-04, 1, 92/98, 2004年1月.

[10] 望月,佐藤,羽生, “信号・しきい値多重化に基づく高性能電流モード多値回路の構成”, 多値論理とその応用研究会技報, MVL-04, 1, 99/105, 2004年1月.

[11] 竹内, 望月, 羽生, “自律分散制御に基づくチップ内高速データ転送方式,” 信学技報, ICD2003-221, 33/37, 2004年2月.

[12] 望月, 羽生, “基板バイアス制御に基づく低電力多値集積回路の構成,” 信学会総大, SC-11-11, S-71/S-72, 2004年3月.

[13] 高橋, 羽生, “電流モード制御信号多重化に基づく高速非同期データ転送LSIの試作,” 信学会総大, SC-11-12, S-73/S-74, 2004年3月.

[14] 木村, 伊吹, 羽生, “TMR素子を用いた低電力ロジックインメモリ回路技術,” 信学会総大, SC-11-13, S-75/S76, 2004年3月.

共同プロジェクト研究

課題番号　H15/B06

磁気利用エネルギー・情報伝送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所）
責任者：荒井賢一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
藪上　信（東北大学電気通信研究所）
福永　博俊（長崎大学工学部）
山城　康正（琉球大学工学部）
山本　健一（琉球大学工学部）
井上　光輝（豊橋技術科学大学）
山崎　二郎（九州工業大学）
中野　正基（長崎大学工学部）
本田　崇（九州工業大学）
枦修　一郎（岐阜大学工学部）
竹澤　昌晃（九州工業大学）
菊池　弘昭（岩手大学工学部）
大森　賢次（住友金属鉱山）
山崎　長治（東芝 社会インフラ・システム社）
林　嘉隆（リコー）
井上　洋（富士ゼロックス）
黒崎　洋介（新日鐵）
茂木　尚（新日鐵）
石原　邦彦（日本電気）
荒川信一郎（東芝デジタルメディアネットワーク）
土井　覚（三洋電機セミコンダクターカンパニー）
馬場　誠（三菱電機）
網代　紀行（東芝）
石塚　洋（NTTソフトウエア）
卯尾　豊明（三菱電機）

研究費：校費　50,000円，旅費　931,150円

[2] 研究経過

磁気を利用することでワイヤレスでエネルギーならびに情報が伝達できることを利用して，ワイヤレス駆動可能なマイクロマシンの開発，ならびにワイヤレスでの各種計測手法の開発がともに進められている。マイクロマシンにおいては，ワイヤレス・バッテリーレスで動作可能であることから，体内で動作するマシンなど医療分野での応用が期待されている。さらにワイヤレス計測においては磁気の持つ特異な性質を利用し従来にない新たな計測が種々提案されているとともに，マイクロマシンと組み合わせることによりマシンの機能性を高めることができることから，大きな注目を集めている。そこで本プロジェクトは，これまで各所の研究者が独立して研究を進めてきたこの分野において，情報を共有し討論を行うことによってこの分野の研究開発を一層加速し，現在のところ世界で優位に立っているこの分野の研究をさらに押し進めるために発足した。本年度は5回の研究会合による討論会ならびに電子メールを活用したメール討論を中心として活動を行った。開催状況は次のとおりである。

第1回会合　10月17, 18日
テーマ：磁気駆動マイクロマシンの駆動原理とその応用について
第2回会合　11月6, 7日
テーマ：磁気光効果を用いた高周波近傍磁界計測方法について（第1回）
第3回会合　12月8, 9日
テーマ：磁気センサ材料の磁気特性計測方法について
第4回会合　1月30, 31日
テーマ：磁気光効果を用いた高周波近傍磁界計測方法について（第2回）
第5回会合　3月10, 11日
テーマ：磁気を利用したワイヤレス位置検出機構について

いずれも国内で先端的な研究を行っている研究者を仙台に招集し，電気通信研究所において討論会を行った。いずれの討論会においても充分な時間をとって細部にいたるまで討論を行った。

[3] 成果

（3-1）研究成果

本プロジェクトから様々な提案が生まれ，それを具体化した実験検討を行うことにより下記のような成果が得られている。

a. ワイヤレス磁気マイクロマシンの駆動原理

磁気マイクロマシンの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が提案されており，これらの特徴を総合的に討論し

検討を行った。特に薄膜磁性材料を用いたマイクロマシンの駆動原理について集中的に検討を行った。これらの検討を踏まえ，東北大学と長崎大学を中心に新たな共同研究を開始することとし，科学研究費への申請を行った。

b. 磁気アクチュエータを利用した大腸内視鏡誘導機構

外部から与える回転磁界により，生体内の磁性体にワイヤレスで回転運動を生じさせ得ることを利用して，らせん型ワイヤレスマシンが提案されている。これを利用して，大腸内視鏡を誘導するための磁気アクチュエータが提案された。討論の結果を踏まえ，プロトタイプのアクチュエータを試作し，本学医学部の協力を得てイヌを用いた動物実験を行い，その有用性を確認した。

c. 光－磁気効果を利用した高周波近傍磁界計測原理

光－磁気効果を利用することで磁性体の磁化状態をワイヤレスで観測できることを利用して，高周波近傍磁界計測の新たな手法が提案された。この提案に基づいて，東北大学，EMCリサーチセンター，名古屋工業大学を中心とした新たな共同研究が発足した。

d. 磁気誘導を利用したマーカー位置検出方法

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

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。そこに磁気を利用した原理を導入することで，この分野の一層の拡大を図ることが可能である。本プロジェクトは，特に磁気工学の面からマイクロマシンを検討する研究者を集め，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。

さらに平成15年10月には電気学会A部門の中に，本プロジェクトの目指す方向性に近い専門委員会（マイクロ磁気ドライブ技術調査専門委員会）が新たに発足し，本プロジェクトの発信した提案が学会レベルでも認められつつあることを示している。

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16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

(1) 仙道雅彦，石山和志，須田祐司，荒井賢一，「大腸内視鏡誘導補助用磁気アクチュエータの試作」，日本応用磁気学会誌，vol.27, pp.138-141, (2003).

(2) 山崎彩，仙道雅彦，石山和志，早瀬敏幸，荒井賢一，「スパイラル型磁気マイクロマシンの３次元泳動特性解析」，日本応用磁気学会誌，vol.27, pp.142-145, (2003).

(3) 清水潤一，佐藤文博，松木英敏，佐藤忠邦，仙道雅彦，石山和志，荒井賢一，「複数の発熱体を用いたハイパーサーミアの加温領域に関する基礎的考察」，日本応用磁気学会誌，vol.27, pp.456-459, (2003).

(4) 西村一寛，仙道雅彦，石山和志，荒井賢一，内田裕久，井上光輝，「低温フェライトめっき技術の磁気マイクロマシンへの応用」，日本応用磁気学会誌，vol.27, pp.681-685, (2003).

(5) M. Sendoh, K. Ishiyama, K. I. Arai, "Fabrication of Magnetic Actuator for Use in a Capsule Endoscope," IEEE Trans. Magnetics, vol.39, No.5, pp.3232-3234, (2003).

(6) A. Yamazaki, M. Sendoh, K. Ishiyama, K. I. Arai, T. Hayase, "Fabrication of Micropump With Spiral-Type Magnetic Micromachine," IEEE Trans. Magnetics, vol.39, No.5, pp.3289-3291, (2003).

(7) A. Yamazaki, M. Sendoh, K. Ishiyama, T. Hayase, K. I. Arai, "Three-dimensional analysis of swimming properties of a spiral-type magnetic micro-machine," Sensors and Actuators, vol.A105, pp.103-108, (2003).

(8) K. Nishimura, H. Uchida, M. Inoue, M. Sendoh, K. Ishiyama, and K. I. Arai, "Magnetic micromachines prepared by ferrite plating technique," J. Appl. Phys., vol.93, No.10, pp.6712-6714, (2003).

共同プロジェクト研究

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・物理学系）
責任者：大野　英男（東北大・電気通信研究所）
分担者：一宮　彪彦（名古屋大院・工学研究科）
押山　　淳（筑波大・物理学系）
中山　　弘（大阪市立大・工学部）
纐纈　明伯（東京農工大・工学部）
伊藤　智徳（三重大・工学部）
大野　隆央（物質材料研究機構）
中山　隆史（千葉大・理学部）
名西　穂之（立命館大・理工学部）
阿久津典子（大阪電気通信大・工学部）
長谷川修司（東大院・理学系研究科）
木塚　徳志（筑波大・物理工学系）
山口　浩司（ＮＴＴ物性科学基礎研究所）
高柳　邦夫（東工大院・理学研究科）
上田　一之（豊田工大・工学部）
平山　博之（東工大院・総理工）
市川　昌和（東大院・工学系研究科）
三木　一司（物質材料研究機構）
徳本　洋志（北大・電子研）
福井　孝志（北大・量子集積エレクトロニクス研究センター）
成塚　重弥（名城大・工学部）

研究費：校費　50,000円，旅費　531,570円

[2] 研究経過

今日の半導体ナノ加工技術の飛躍的発展によりシリコンデバイスを中心とする半導体デバイスの基本単位はすでにナノスケールに突入している。ナノスケールの世界は量子力学に支配されることが知られており，従来のミクロンサイズで適用されていた常識が通用しなくなる。これはナノ構造体が予想しえない新機能を発現する大きな可能性を秘めていると同時にその機能予測が難しいことを意味している。このように機能予測の難しいナノ構造体を有効利用するには，（1）量子論に基いてナノ構造体をデザインし，（2）デザインされたナノ構造を極微細加工技術によって作製し，（3）作製されたナノ構造体の物性・機能を計測する，という一連の有機的な連携が不可欠である。

このような状況のもと，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，第1回共同プロジェクト研究会が平成15年10月に仙台市内で開催され，半導体ナノ構造体の有効利用を目指して，（1）量子論に基くナノ構造機能デザイン，（2）ナノ成長場制御によるナノ構造の作製，（3）ナノ機能の極限計測，の3分野に従事する一線の研究者が一同に会し，分野間の垣根を越えた活発な討論が行われた。以下の第1回プロジェクト研究会に関して報告する。

[3] 成果

（3－1）研究成果

第1回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15年10月17日（金）～18日（土）の2日間にわたって，仙台市内の作並温泉・岩松旅館にて開催された。研究会では23名の参加者によって熱のこもった討論が展開された。以下に今回の研究会プログラムを記載する。

1）伊藤智徳（三重大・工）
「ウルツ鉱構造を中心とした構造多形に関する一考察」
2）名西穂之　（立命館大・理工）
「InNのRF-MBE成長とその極性」
3）纐纈明伯（東京農工大・工）
「AlNのHVPEは可能か? —バルクAlN成長に向けて—」
4）成塚重弥（名城大・理工）
「MBE成長AlGaAs中への酸素の取り込み」
5）野村晋太郎（筑波大・物理）
「量子ドット超格子の光機能探索」
6）蟹澤　聖，山口　浩司（NTT物性基礎研）
「結合した半導体ナノ構造の電子状態の低温STS測定」
7）中山　弘（大阪市立大学・工）
「有機触媒CVDによる有機・無機ハイブリッド薄膜の低温成長」
8）大野隆央（物質材料研究機構）
「ＤＮＡ電気伝導の理論」

9）長谷川修司（東大院・理）
「表面原子ステップでの電気抵抗」
10）吉村雅満（豊田工大）
「B/Si(111) 超格子構造形成プロセスと水素吸着」
11）中山隆史（千葉大・理）
「Si薄膜成長における積層欠陥4面体構造」
12）一宮彪彦（名大院・工）
「孤立したシリコン・ナノピラミッドの成長」
13）S. Stoyanov, (Institute of Physical Chemistry, Bulgarian Academy of Science)
「The electromigration induced bunching of steps--A key to understanding the processes at the crystal surface」
14）阿久津典子（大阪電通大・工）
「強い表面緩和を引き起こす吸着子（引力系）のある微斜面」
15）三木一司（物質材料研究機構）
「低速電子照射による原子レベル欠陥の回復現象」
16）竹田精治（阪大院・理）
「シリコン・ナノ構造の成長メカニズム」
17）平山　博之　（東工大院・総理工）
「ナノ成長場の制御による界面垂直および平行方向への量子閉じ込め」
18）上田　一之(豊田工大・工)
「シリコン歪場でのナノネット形成」
19）安坂　幸師，木塚　徳志（筑波大・物質工学）
「単層カーボンナノチューブの引張り変形と接合のその場原子直視観察」
20）押山淳（筑波大・物理）
「Multi-wall carbon nanotube の特異な電子構造」
21）大野英男（東北大・通研）
「強磁性半導体における転移温度の現状と課題」
22）白石賢二，岡田晋，榎本雄介，押山淳（筑波大・物理）
「ナノ成長場制御に向けて:表面に出現するNearly Free Electron State」

今回の研究会で目立ったのは歪みの人工的制御やＳＴＭ等を利用したナノ加工技術の飛躍的発展によって半導体ナノ構造が制御性よく実験的に作製されるようになってきた点である。ＳＴＭ利用によるシリコン表面のナノピラミッドの形成（名大院・一宮），歪み場の制御によるシリコン表面のＧｅナノ構造の作製（東工大院・平山），電子線照射によるシリコンナノホールの形成（阪大院・竹田）等である。また，まだ少数であるが量子論に基く理論によってデザインされた新機能の極限計測を目指した研究発表も行われた。具体的には，量子ドット結合系の光機能計測（筑波大・野村）とＳＴＭを用いた新奇量子状態の検出（ＮＴＴ・蟹沢）で，今後の発展が大いに期待される。

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクト研究会の印象として，異なる分野の研究者が新機能ナノ構造体の創生という共通の目的に向けて，問題意識を互いに共有するように努力しており，分野間のバリアが着実に低くなってきていることが実感された。特筆すべきは，本研究会で発表された最新の表面ナノ構造の電子構造に関して理論グループが検討を開始したことである。今回の第１回目プロジェクト研究会が分野を越えた研究者間の有機的連携の機会を与える場となった一例である。

将来的には，本プロジェクト研究会による討論をきっかけとして，量子デザイングループによりデザインされた新奇ナノ構造体のいくつかは，ナノ成長場制御によるナノ構造作製技術によって現実に作製され，さらには，極限計測技術によってその新機能・新物性が観測されることが予想される。これら一連の研究成果は，21世紀のナノサイエンス・テクノロジーに新たなコンセプトを与えることが期待される。

共同プロジェクト研究

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　　聡（岐阜大学工学部）
高草木　薫（旭川医科大学）
多賀厳太郎（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）

研究費：校費　50,000円，旅費　744,480円

[2] 研究経過

実環境下で行動するヒューマノイドロボットには，1）ロボット自体の行動の制御，2）環境の認識・理解，3）目的を達成するための問題解決，4）目的や環境の変化あるいはロボット自身の不測の事態にリアルタイムで対応することの4つが求められている。現在のヒューマノイドロボットは研究が進んだとは言え，あらかじめ想定された状況に対応して，決められた行動をするだけであり，不測の事態や環境変化に対応することは殆ど不可能である。それは逐次的な情報処理に基づいて制御が行われているために，環境や目的が変化する度に複雑なプログラムをリアルタイムで変更することが難しいことによる。本研究では生命システムのように目的や環境変化に対して柔軟に対応して行動するラーニングフリー・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を求めることを目的とした。

我々人間を含めて生物は，動的かつ予測不能的に変動する環境（無限定環境）においても合目的的かつ適応的に行動を自己組織化しながら実時間で対処する「知」を有している。このような「知」の発現原理を求めるために，本年度は生物学とのコラボレーションを行った。生物学の分野では，大脳皮質と大脳半球に着目した，いわゆる「高次脳機能」に関する研究が中心であり，基底核より下位のメカニズム，ならびに上位と下位との干渉メカニズムに関しては依然として詳細かつ体系的には調べられていない。一方，ロボティクスや制御理論を中心とした工学の分野では，運動制御やモデリングといった研究が活発に行われている。しかしながら，これまでに構築されたロボットをはじめとする人工機械は，設計者の想定した範囲内で予定調和的に動作しているに過ぎず，運動制御への志向性の導入方策は未だ明確になっていない。そこで無限定環境における適応的・志向的行動を実現する「知」に焦点を当てることにして，研究会を開催した。プログラムは以下の通りである。

プログラム：
3月11日（木）
13:00-14:00 講師：水波　誠（東北大）
　昆虫の脳の基本設計と学習行動
14:00-15:00講師：青沼仁志（北大）
　昆虫の実時間行動選択機構のシステム的理解
　休憩
15:30-16:30講師：高草木薫（旭川医大）
　情動行動と随意行動の選択機構
16:30-17:30講師：太田　順（東大）
　適応行動とコミュニケーションの発現原理
3月12日（金）
9:00-10:00講師：木村　浩（電通大）
　力学に基づく不整地適応歩行の統合
10:00-11:00講師：近藤敏之（東工大）
　大自由度系の実時間行動生成モデル
　休憩
11:15-12:30 全体討論

[3] 研究成果

多数の自由度を有する自律移動エージェントにとって，目標を実現する動作パターンは無数に存在する。適切な運動を迅速に生成するには，エージェントに対して適切な拘束を付加する必要があるが，工学的にその方法論については未解決であ

る。また，未知な環境への適応的な「見なし情報」を生成し，行動を発現するのかに関する方法論はまったく未解決のテーマである。一方生物は，その大部分が予測不可能的に，しかもダイナミックに変化する実世界の中で，冗長自由度を巧みに制御することで「適切な」移動行動を生成している。生物学的には，前頭前野，運動前野，運動野，大脳基底核，小脳，脳幹等で，どのような情報がコードされているのかを明らかにし，生物がどのような「みなし情報」生成則を用いて適応行動を発現するかを発見することで，冗長自由度を有する自律エージェントの適応行動の設計原理に対する指針を得ることが可能となることを議論した。

「知」を移動行動という観点から明らかにするには，移動知を獲得するための必要十分条件を明らかにする必要がある。一般に，移動行動は，何らかの意思に基づき，前頭前野，運動前野，運動野，大脳基底核，小脳，脳幹等で運動のための「見なし情報」が統合的に生成されると考えられている。実際，前頭前野における作業記憶仮説，運動前野におけるミラーニューロン，運動野ニューロン群による符号化等さまざまな事実が知られている。しかし，これらは「移動知」獲得の必要条件の一部に関する知見に過ぎず，生物の移動により得らる新たな環境・身体情報を適切に脳内に取り込むメカニズムについては明らかになっていない。ここでは，その問題についていくつかの仮説を設定し，人工的なエージェントを用いて評価を行うことで，過去の経験を如何にして汎用的な「みなし情報」として格納する十分条件を構成論的に明らかにすることについて議論した。

以下のような，問題点が指摘された。

コラボレーションを進める上では，相互に興味を持てる対象を特定して，生物系と工学系のお互いの手法で解析・実験するような共同研究が望まれる。行動生成・発現メカニズムに関しては筋張力とCPG活動レベルの統合機構が必要で，これは生物学的に研究することは困難なので，工学的な構成論で行うことが必須である。ただし，時系列を生むためには拘束条件を充足するルールが必要となる。刺激や外部状況に対して適切な一連の行動，ロボットで言えば，人とのインタラクションを適切に生み出す論理が必要である。

みなし情報に基づき制御システムのバックグラウンドをぱっと切り替える。これは同一の制御系が違うOS上で走れば違ったパターンが発生することに相当する。これが実現すれば，これまでのようにパラメータ学習ではなくて，ルールの学習となる。運動における拘束条件は最近実験的に明らかになってきているが，なお断片的なので，構成論的に研究してそれを生物学にフィードバックすることが重要である。

一方，構造と機能が密接に関係しているのが，生物であるが,これを実現する工学的機構の動特性の設計論が貧弱である。特にセンサが重要であるが，工学的手段が有するセンサはいまだ開発が遅れている。通常だと，センサ情報に依存する制御系により信頼性・適応性が低下し，できるだけセンサ情報に依存しない機械的なシステムがデモ等で成功しているようにに見えるが，実際は環境と内部の変化を適切に検知できるセンサが必要となっている。この点に関しては，生物でmulti sensors fusion and integrationはどのように行われているのかを研究する必要がある。

この点，昆虫は構成が哺乳類に比べて簡単なので，行動生成・発現メカニズムは，細部まで見ることが可能である利点を持っている。上位中枢に視覚・嗅覚などのセンサ情報が入り，それにより上位中枢にアミンなどにより修飾（modulator）が起きる。このアミンによって劇的に変化するCPGの内部はまだ不明であるが，入出力はすべて見ることができる。脊椎動物では細部をすべて見ることは出来ないが，情動は意識の状態であることは共通である。したがって，猫などの哺乳類の概念モデルと昆虫の詳細モデルを数理的に構成し，二足・四足ロボットに実装して検証することが重要である。

上記の歩行のようなリズミックな運動が主の場合は協同作業を考え易いが，群ロボット系ではどのようなストーリを考えれば良いのか，議論を詰める必要がある。とくに行動生成・発現メカニズム，空間認知，みなし情報など関しては，同様な協同作業の枠組を考えられるのではないかと思われる。

そうすれば，生物学グループによる

(1) NO等神経修飾物質による行動切替え
(2) 基底核における統合と行動選択
(3) 見なし情報の生成とそれに基づく無限定環境における適応行動

の研究が，工学グループによって構成論的に実現・分析することができる。さらにこれを生物グループにフィードバックすることで，生物学によって，実験的に検証されるループが出来上がる。

このような共同研究を通じて，無限定環境で動作できるヒューマノイドロボットなどの新しい人工システムの設計論が出来る。

共同プロジェクト研究

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）
責任者：末光眞希（東北大学電気通信研究所）
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）
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）
渡部　政行（日本大学理工学部）
斉藤　和史（宇都宮大学工学研究科）
市村　　真（筑波大学プラズマ研）
斉藤　輝雄（筑波大学プラズマ研）
北條　仁士（筑波大学プラズマ研）
池畑　　隆（茨城大学理工学研究科）
豊島　安健（産業技術総合研究所）
荒川　義博（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（宇宙航空開発研究機構）
津島　　晴（横浜国立大学工学部）
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）
佐々木浩一（名古屋大学工学研究科）
上村　鉄雄（核融合科学研究所）
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）
橘　　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（姫路工業大学工学研究科）
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（九州大学先端科学技術共同研）
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　35,000円，旅費　827,420円

[2] 研究経過とその成果

プラズマ生成技術は新しい材料の製造プロセス分野においても欠かせぬ手段として活用されており，半導体集積回路，太陽電池，発光ダイオード，ダイヤモンド合成，セラミック製造，磁性材料，超電導材料など各種薄膜形成，微細加工，表面改質などに積極的に使用され，プラズマは近年のナノテクノロジーの基盤技術となっている。特に大気圧領域で動作する大気圧・高密度プラズマがその反応性や効率の高さなどで強く興味を持たれている。しかし，多様な応用分野があるにも関わらず，その生成法や制御法などが未だ確立されていない。

本研究では，様々な立場で研究が行われてきた高気圧・高密度プラズマの生成・制御法を総合的に理解し，お互いの特性の評価，理論的検討などをすすめ，高気圧下における様々な放電現象を統一的に理解し応用するために，これらの広範なプラズマ分野の研究者が相互理解と討論を目的とした研究会を開催した。

（研究討論会開催状況）
第１回
日時：平成15年8月8日（金）10：00～11:30
会場：東北大学工学部電気情報館451・453室
「核融合研究の最新動向」藤原正巳（核融合科学研究所名誉教授）

高温高密度プラズマ応用の１つとして，核融合研究が挙げられる。藤原氏により，核融合科学研究所の大型ヘリカル装置で行われた研究成果と最近の研究動向についてのレビュー報告があった。

第２回
日時：平成15年10月21日（火）13：00～22日12：15

会場：東北大学工学部電気情報館103会議室
「大気圧プラズマの進展と環境・材料工学への応用」
(1) 「大気圧非熱平衡プラズマによる環境改善技術;ラジカル診断と有機物酸化反応」
小田哲治（東大・工）
(2) 「大気圧放電プラズマの環境改善技術への応用の可能性について; ガス浄化，殺菌，セラミック微粒子薄膜形成，燃料改質など」
水野　彰（岡崎分子研）
(3) 「容量結合多極放電（CCMD）の最近の研究と成果」藤原民也（岩手大・工）
(4) 「大気圧グロー生成に及ぼす流れ場の効果」
石井　裕（東北大・工）
(5) 「水中アーク放電による水質改善への試み」
服部邦彦（東北大・工）
(6) 「環境・エネルギー政策の動向」
浦島邦子（科学技術政策研究所）
(7) 「大気圧マイクロ波励起非平衡プラズマを用いた新しい半導体プロセス：シリコン酸化膜の超高速，超選択比加工，カーボンナノチューブ合成，機能性微粒子の合成等」
堀　勝（名大・工）
(8) 「大気圧プラズマを用いたSiの表面窒化」
藤村紀文（大阪府立大・工）
(9) 「大気圧プラズマを用いたSi薄膜堆積」
末光眞希（東北大・工）

この研究会は，大気圧プラズマを用いた材料処理，環境応用など種々の分野の研究者による意見交換が行われた。

小田氏は，大気圧非熱平衡プラズマによる環境応用のこれまでの研究成果のレビューを行い，さらに現在研究を行っている汚染有機物の処理にプラズマと触媒を併用することにより効率よく分解，処理することが可能である実験結果と内部反応を観察するためのラジカル種の新しい測定法などの報告があった。

水野氏により，環境改善応用に関連した有害ガスの浄化，空気浄化や殺菌処理，材料表面処理や燃料改質など非常に広範な応用についての最近の研究成果についての報告があった。

藤原氏により大気放電プラズマ生成のための新方式，容量結合型多極放電CCMDの最近の研究成果報告がなされた。この放電は誘電体バリア放電DBDと同様自己消弧型放電であるが，DBDに比べてプラズマへの投入電力を容易に制御でき，電極の多数配列が容易なため大面積化が可能な方法であり今後の開発が期待されるとの報告があった。

石井氏により針対平板電極を用いたグロー放電の安定化と高速気流の関係についての実験報告がなされた。

服部氏により，水中パルスアーク放電を用いた水質浄化のための基礎実験についての報告があった。

浦島氏により環境，エネルギー政策に対する行政の取り組みについての現状とこれからの方針についての報告がなされた。

堀氏により，大気圧マイクロ波励起非平衡プラズマを用いた新しい半導体プロセスの構築を目指した応用として，超高速，超選択比エッチングプロセス，カーボンナノチューブの高速合成，ゼロエミッションリサイクル環境調和型エッチングプロセス技術の成果について報告があった。

豊島氏により，赤外分光法を用いたプラズマCVDによる薄膜成長のその場観察についての報告があった。この手法を用い，a-Si:H薄膜表面水素の結合モードの実時間観察と気相における赤外吸収を利用して，混合ガス中の原料ガスの分圧測定を行い，分圧が決まる機構についての報告がなされた。

藤村氏により，常圧において交播パルス電界を平衡平板電極に印加することによって安定な放電を形成するプラズマを用いた研究報告がなされた。このプラズマは，高圧化でも中性種が支配的である特異な活性種の発生が観測され，従来のプラズマにくらべ低い電子温度を有していることを明らかにした。このプラズマを用いて窒素圧力500Torrにおいて単結晶Siの窒化を行い良好な特性が得られ，低温，高速窒化の可能性が示唆されたとの報告があった。

末光氏により，パルス電界によるシラン常圧プラズマを用い，アモルファス（a-Si）及び微結晶（uc-Si）薄膜Si堆積過程を行い，常圧プラズマのため減圧プラズマにはない「流れ」の効果が付加し，流れ方向に沿っての薄膜諸物性の場所依存性を得ることで，表面における製膜素過程に関する有益な情報が得られたとの報告があった。

第3回
日時：平成16年2月20日（金）9：30～16：00
会場：東北大学工学部電気情報館103会議室
(1) 「ホーキング輻射とラバールノズル遷亜音速流とのアナロジー」阪上雅昭（京大院・人環）
(2) 「大気圧気体中ラバールノズル遷音速流における音響実験」

吉田英生（京大院・工），高野健介（京大院・工），阪上雅昭（京大院・人環）

(3) 「超音速磁化プラズマ流中におけるアルヴェン波の励起；分散特性・発散ノズル磁場中高周波加熱と超アルヴェン速度流生成に向けて」犬竹正明（東北大院・工）

(4) 「超音速プラズマ流中におけるアルヴェン波の励起・分散特性；発散ノズル磁場中高周波加熱と超アルヴェン速度流生成に向けて」細川陽平（東北大院・工）

(5) 「MPD Arcjet出口近傍の回転プラズマ流計測とラバールノズル遷音速流；異常イオン加熱・マッハ数限界および小型ノズル付加による遷音速流」戸張博之（東北大院・工）

(6) 「マッハプローブ特性とHutchinsonのPICシミュレーションとの比較」渡辺俊明（東北大院・工）

(7) 「ホーキング輻射の実験室実証に関する討論」

阪上氏により，ブラックホールが引き起こす現象の１つであるホーキング輻射について，horizonの役割についてと，時空を流体に，horizonを流速と音速が等しくなるsonic pointを対応させることで，ホーキング輻射と同じ現象がsonic pointをもつ流れで起こり得ることが示され，ラバールノズルによる具体例が紹介された。そして，量子論的現象であったホーキング輻射に対応する古典的現象と観測量について報告があった。

吉田氏は，ブラックホールと遷音速流とのアナロジーを用いて実験室で類似の現象を観測することによりホーキング輻射を検証する実験を行ったとの報告があった。

斉田氏は，磁場，電流なしの非常に簡単な条件下でのイオン音波を使ったホーキング輻射を起こすための理論的解析から実験への適応を検討した。

犬竹氏により東北大学のHITOP装置において，MPDアークジェットプラズマを用いた高速・高密度プラズマ流生成と制御実験を行い，磁気ノズルによるプラズマ加速やプラズマ中に形成される定在波としてのショック構造の計測を通して，遷音速プラズマ流を用いたホーキング輻射の模擬実験に要求されるプラズマの制御や計測手法について報告がなされた。

戸張氏によりMPDアークジェットを用いた遷音速流生成とマッハ数制御について最近の研究成果が紹介され，特に，MPDプラズマ源近傍での高密度プラズマの回転現象，内部構造の直接計測および磁気ラバールノズルによる熱から流れへのエネルギー変換を経た遷音速流生成の報告があった。

細川氏により超音速プラズマ流を追加熱し，その熱エネルギーを運動エネルギーへ変換するための実験報告がなされた。

渡辺氏により，プラズマ流計測法の１つであるマッハプローブについての実験結果とシミュレーション結果の妥当性についての報告がなされた。

研究会の参加者は，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。各種生成法に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ることで，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。

[成果資料]

(1) R.Ono, T.Oda, J. Phys. D, **37**, 730(2004).

(2) T.Oda, K.Yamaji, T.Takahashi, IEEE Trans. Ind. Appl., **40**, 430 (2004).

(3) H.Mase, T.Fujiwara, N.Sato, Appl. Phys. Lett., **83**, 5392(2003).

(4) K.Takaki, S.Mukaigawa, T.Fujiwara, M.Kumagai, K.Yukimura, Appl. Phys. Lett., 82, 2583(2003).

(5) Y.Kurimoto, N.Matsuda, G.Uchida, S.Iizuka, M. Suemitsu, N.Sato, Thin Solid Films, (2003) in press.

(6) A.Tsushima, M.Kobayashi, T.Hishida, Y.Amagishi, J. Phys. Soc. Jpn., 72, 2229(2003).

(7) A.Okamoto, K.Hara, K.Nagaoka, S.Yoshinuma, et al., Phys. Plasmas, **10**, 2211(2003).

(8) A.Sasoh, N.Urabe, S.S.M Kim, I.-S. Jeung, Appl. Phys. A77, 349(2003).

(9) H.Nishiyama, T.Sato, Y.Shiozaki, Vacuum 73, 691(2004).

(10) K.Ramachandran, N.Kikukawa, H.Nishiyama, Thin Solid Films, 435, 298(2003).

(11) K.Hattori, H.Makino, K.Momose, A.Ando,

M.Inutake, Proc. of 26th International Conference on Phenomena in Ionized Gases, Greifswald, Germany, 3, 217(2003).

(12) H.Tobari, R.Sato, K.Hattori, A.Ando, and M.Inutake, Advances in Applied Plasma Science, **4**, 133(2003).

(13) A.Ando, Y.Hosokawa, T.Yagai, K.Hattori, and M.Inutake, Advances in Applied Plasma Science, **4**, 193(2003).

(14) M.Inutake, K.Yoshino, S.Fujimura, H.Tobari, T.Yagai, Y.Hosokawa, R.Sato, K.Hattori, A.Ando, Proc. of 4th General Scientific Assembly of Asia Plasma & Fusion Association, Hangzhou, China, (2003).

5.1　通研国際シンポジウム

超大容量スピニックストレージシステム国際シンポジウム

International Symposium on Ultra-High Density Spinic Storage Systems

主催　東北大学電気通信研究所

協賛　日本応用磁気学会，電子情報通信学会，映像情報メディア学会

開催期間と会場　平成15年10月30日～10月31日（２日間）
ホテルメトロポリタン仙台

主たる講演者

Jim Miles (University of Manchester, UK)
Sei Miyake (NHK, JPN)
Bruce Terris (Hitachi Grobal Storage Technologies, USA)
Cock Lodder (University of Twente, NL)
Ronald S. Indeck (Washington University, USA)

シンポジウムの概要

本国際シンポジウムは大容量情報ストレージシステムの要素技術の議論と研究推進を図ることを目的として開催された。近年はHDDストレージを用いたマルチメディア製品，ディジタル家電，モバイル情報機器などの社会的要求があり，それを可能とする垂直磁気記録の実用化が急務となっている。シンポジウムでは国内外の40名の研究者による，デバイス作製技術から磁気記録システム構築，さらに次世代ストレージ技術など多岐にわたる講演がなされた。また，2002年度より本所IT21センターにおいて，産学官連携による文部科学省科学技術試験研究（RR2002）「超小型大容量ハードディスクの開発」が実施されているが，本シンポジウムではIT21ストレージプロジェクトの研究者より，その進捗状況も併せて報告された。

招待講演は以下に示すカテゴリーで構成され，活発な議論が行われた。

(1)　超高密度垂直磁気記録媒体
(2)　高感度再生素子
(3)　垂直磁気記録用信号処理技術
(4)　高密度垂直磁気記録HDDの応用
(5)　次世代磁気記録技術

一般講演はIT21ストレージプロジェクトの研究者や本学学生を中心に発表が行われ，垂直磁気記録の実用化に関する研究開発状況が示された。ここでも招待講演と同様に熱心な議論と情報交換がなされた。

本シンポジウムを通じて参加者間で国際的な情報交換も行われており，今後も本学IT21センターを中心に，垂直磁気記録を用いた超高密度記録の研究を継続的に推進していくことを確認した。

シンポジウムの構成

講演40件（海外招待講演７件，国内招待講演12件，国内一般講演21件）

参加国および参加者数

・国内研究者：（講演33名，一般参加97名）
・外国研究者（米国，英国，オランダ等）：講演７名，一般参加３名
・参加者総数　140名

5.2　国際会議等の開催状況

第11回半導体超構造国際会議

開 催 日：2003年７月14日（月）～７月18日（金）
開催場所：奈良新公会堂（奈良）

11th International Conference on Modulated Semiconductor Structures（第11回半導体超構造国際会議）が平成15年７月14～18日の５日間にわたり奈良新公会堂を会場に第15回二次元電子国際会議と同時開催され，大野英男教授はプログラム委員長を務めた。本会議は半導体量子構造の作製・物性評価・素子応用を議論する国際会議として，1981年以来２年おきに開催されている。今回の参加者数は国内外から268名にのぼった。本会議でのトピックスは量子ナノ構造の作製・評価・素子，半導体を用いた量子情報処理，半導体スピントロニクスなど多岐にわたり，従来通り，非常にレベルの高い講演が多くなされた。本会議の1000ページに及ぶプロシーディングスは2004年３月のPhysica E Volume 21, issues 2-4にまとめられている。次回は2005年米国で開催予定。

日欧米シンポジウム／超高速フォトニックテクノロジー

Europe-U.S.-Japan Symposium on Ultrafast Photonic Technology

開 催 日：2003年７月15日
開催場所：Makuhari Messe, Chiba, Japan
主たる講演者
H. G. Weber (Heinrich-Hertz-Institute), E. P. Ippen (MIT)
A. M. Weiner (Purdue Univ.), M. Nakazawa (Tohoku Univ.), T. Morioka (NTT)

シンポジウム概要：
本シンポジウムは，日本，アメリカ，ドイツ，イギリス等の国々から295名の研究者・専門家が参加し，開催された。本研究所の中沢正隆教授が本シンポジウムの実行委員長を務めた。シンポジウムは欧州，米国，日本の３セッションで構成され，160 Gb/s以上の超高速フォトニクスおよびネットワークに関して最先端の研究に携わっている内外の著名な研究者から最新の研究成果が発表された。また次世代の超高速光技術に関しての現状と今後の展望について活発な意見交換・情報交換がなされた。

国際会議等

The 1st Student-Organizing International Mini-Conference on Information Electronics System (Tohoku Univ. 21st Century COE Program)

開 催 日：2003年11月4日（火）～6日（木）
開催場所：五橋会館
主たる講演者：
Frank V. Kowalski (Colorado School of Mines), Kinpui Chan (Yamagata University)

シンポジウム概要：
21世紀COEでは学生主体のミニ国際会議（英語）を毎年１回開催することにしている。21世紀COEには，基礎研究・支援研究，半導体／マグネティクス／光／ディスプレイデバイス研究，コンピューティング・トランスポートシステム研究の３つの研究分野があり，各分野の21世紀ＣＯＥリサーチアシスタント（RA）学生が主体となってこのミニ国際会議を計画，実施した。このミニ国際会議では学生へのレクチャを中心とする招待講演とRA学生の成果発表が行われ，学生の国際的な活動のための能力開発の場を提供するもので英語論文の作成・発表と討論を行う能力を向上させるための機会として開催された。

CLEO/Pacific Rim 2003 The 5th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics

開 催 日：2003年12月15日（月）～19日（金）
開催場所：The Grand Hotel, Taipei, Taiwan

シンポジウムの概要：
本シンポジウムの目的は，レーザー技術の動向，電気光学の基礎科学研究・デバイス研究から工学システムまで含む応用等を検討する事である。また，マルチメディア，環境制御，生体システムといった他の分野との学際展開も視野に入れている。会議では，気体・液体・固体レーザー，半導体物質レーザーおよび関連デバイス，高強度レーザーおよび超短波長放射，量子光学・レーザー分光およびその応用，非線形光学，超高速現象，光学材料と作製技術，ファイバー光学・マイクロ光学および導波光学，光スイッチング・光コンピューティングに関する講演があり，参加研究者による活発な意見交換および情報交換がなされた。

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・技術的問題を解決し，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	伊藤助教授 西村助教授
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	曽根教授 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	阿部教授	田中助手
7	分子デバイス工学研究会	庭野教授	石井助教授
8	テラヘルツ工学研究会	水野教授	荏戸助教授
9	スピニクス研究会	荒井教授	島津助教授 斉藤助手
10	表面界面工学研究会	潮田教授	上原助教授
11	超高密度・高速知能システム工学研究会	潮田教授	
12	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
13	超音波エレクトロニクス研究会	金井教授	長谷川助手
14	ブレイン機能集積工学研究会	中島教授	佐藤助教授 小野美助手
15	情報・数物研究会	海老澤教授	林助教授
18	生体・生命工学研究会	山本教授	中尾教授

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16年3月の時点で470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10回の定期研究会が開催され，2件の特別講演と23件の一般講演（学内21件，学外2件）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　西村竜一，伊藤彰則

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，ディジタル補聴器，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。

2003年度は，主査牧野正三教授，幹事西村竜一助手，伊藤彰則助教授のもとで，研究会7回（第324回～第330回）と通研講演会2回が開催された。会場は，第325回が東北大学工学部電気・情報系451・453会議室，第327回が東北大学電気通信研究所W214会議室，第329回が同講堂，その他は全て同大会議室で行われた。なお，第325回および第328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329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324回は，2003年5月23日（金）に開催され，研究発表4件，参加者は37名であった。第325回は，7月17日（木）に開催され，研究発表5件，参加者は57名であった。第326回は，10月24日（金）に開催され，研究発表5件，参加者は44名であった。第327回は，11月21日（金）に開催され，研究発表3件，参加者は35名であった。第328回は，12月11日（木）に開催され，研究発表4件，参加者は51名であった。第329回は，12月18日（木），19日（金）に開催され，研究発表23件，参加者は延べ106名であった。第330回は，2004年2月26日（木）に開催され，研究発表3件，参加者は31名であった。通研講演会は，2003年12月18日（木）に筧一彦教授（名古屋大学教授）による「声・顔・ことば －感情の表出と知覚－」という題の講演が開催され，参加者は65名であった。また，2004年2月12日（木）に開催された八幡泰彦氏（㈱サウンドクラフト代表取締役）による「音量と感覚について ～なぜ大音量が望まれるのか～」には，23名の参加者があった。

仙台〝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，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15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。大学院生による電気推進機をめざしたプラズマ加速および波動加熱，磁化プラズマ中の波動伝播や不安定性，非線形現象の基礎研究，ダストプラズマの集団構造，カーボンナノチューブや新規フラーレンの創製などの研究発表会を２回開催。国内外研究者による核融合研究の現状や，宇宙プラズマ，微小重力下科学などの「講演会」を５回。さらに新領域プラズマの基礎と応用，核融合研究，環境改善を目指した大気圧・高密度プラズマ応用やホーキング輻射などの基礎研究分野などの「研究発表」を４回開催。以上において，参加者は常時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15年度は，第169回（8月12日），第170回（12月18日）の2回の研究会を開催し，3件の特別講演「高速電力線通信の動向と漏洩電磁界低減対策法」（徳田正満，武蔵工業大学 教授），「レーダによる可視化技術」（佐藤源之，東北大学 教授），ならびに，「地上ディジタルテレビジョン放送とＥＭＣ問題」（都竹愛一郎，名城大学 教授）があった。また，2件の研究発表が行われた。

コンピュータサイエンス研究会

主査　外山　芳人，　幹事　周　　暁

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，5月8日の第104回講演会から3月1日の第108回講演会まで５回の講演会を開催した。

Gaetan Hains 教授（University of Orleans）は，同期相互模倣モデルに基づく情報フロー解析を紹介し，それがセキュリティ解析に有効であることを示した。横山哲郎氏（東京大学）は，高階パターンマッチングが一意に定まる条件について講演し，プログラム変換への応用について説明した。Jacques Sakarovitch 教授（CNRS, Paris）は，Kleene の定理に基づいた有限オートマトンと正規表現の対応関係に関する最近の研究成果を紹介し，新たな問題提起にを行った。Christiane Frougny 教授（Universite Paris 8）は，実数や複素数の表現体系について講演し，その上での効率的な加算や乗算のオンライン・アルゴリズムについて紹介した。富樫敦教授（宮城大学）は，時間プロセス代数における実時間性について講演し，本研究会は。以上のように第一線で活躍する研究者による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　阿部健一，　幹事　田中　明

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通りである。

１）計測制御の理論と応用に関するシンポジウム（富士通研究所　丸山 次人氏による「磁気ディスク装置のヘッド位置決め制御」のほか4件の研究発表），２）東京工業大学電気電子工学専攻客員教授　七原　俊也氏（演題：分散型電源の最新動向，主催：先端電力工学（東北電力）寄附講座），３）（講演会）日立製作所中央研究所畑岡信夫氏による「モバイル時代に向けた音声技術による新コンセプトサービス」のほか３件の講演，４）（通研講演会）東京大学大学院工学系研究科電気工学専攻教授　仁田　旦三　氏（演題：大学における電気工学科と産学連携，共催：先端電力工学（東北電力）寄附講座）。

また，共催で，研究集会（計測自動制御学会東北支部第213回研究集会）を行った。この研究集会では，19件の研究発表があった。

分子デバイス工学研究会

主査　庭野　道夫，　幹事　石井　久夫

本研究会は，分子ナノ構造製造プロセスの開発，ナノ構造を利用した有機半導体エレクトロニクス素子・バイオエレクトロニクス素子の開発を課題として，物理・化学・生物の幅広い分野の研究者の英知を結集して討論することを目的とする。本年度は研究会を5回開催し，當摩照夫氏の通研講演会を開催した。各研究会の題目は以下のとおりである。

［第10回］「変位電流と赤外分光測定からみた有機電界効果トランジスタのキャリアの挙動」小川賢（東北大・通研），「ナノカーボン材料のドーピングと電界効果トランジスタ」岩佐義宏（東北大・金研），「プローブ顕微鏡を用いた有機材料の局所電気物性評価」中村雅一（千葉大・工）［第11回］電気通信研究所共同プロジェクト研究H15/B04「ナノ・バイオエレクトロニクスに関する研究」研究会との共催，（特別講演）「ナノバイオデバイスの創成と次世代医療への展開」馬場　嘉信（徳島大学），その他研究報告10件。［第12回］（特別講演，通研講演会）「有機ELの開発の現状と将来展望」當摩　照夫（東北パイオニア）。［第13回］（特別講演）“Overview of the electronic structure of some materials for polymer-based electronics” W. R. Salaneck（リンチェピン大，瑞国）。［第14回］電気通信研究所共同プロジェクト研究H15/A05「有機半導体デバイスの基礎と応用」研究会との共催（特別講演）（特別講演）「医療分野におけるバイオセンサーのニーズ」片岡正俊（徳島大学ゲノム機能研究センター），（特別講演）「フレキシブル有機デバイスの進展と展望」工藤一浩（千葉大・工），その他研究発表９件

テラヘルツ工学研究会

主査　水野皓司，　幹事　荏戸　立夫

本研究会は，テラヘルツ領域の技術開発を目的として設置されたもので，実用的な技術開発のガイドを得るための講演会及び研究をさらに押し進めるための議論の場としての研究会の二種類を開催しており，これまで通算66回の研究会を行った。以下に全体のまとめを記す。

テラヘルツ（サブミリ波）領域の技術は，長年その開発の必要性が言われてきている。しかし，今までこの領域の技術は，あまりにもその未開拓であることが強調され過ぎ，その為この領域の技術開発に甘えがあったように思う。実際には，光と電波（マイクロ波）の両領域の中間に位置するこのスペクトルには，それら両領域からの延長として様々な多くの技術が存在しており，各種技術は1970年代に核融合プラズマの研究に刺激されて大きく進歩した。新材料の評価・分析，分光学，超高密度プラズマの測定等，従来からの応用分野に対しては，既存の技術でほぼその要求を満足し得るように思われる。

通信分野への応用を考えると，その技術への要求は格段に厳しいものとなる。先ずテラヘルツ波をキャリア波として用いることは，大気伝搬特性等により困難であろう。次いで，光通信技術との融合 - テラヘルツ・フォトニクスとでもいうべき分野 - を考えると，現在のWDM 方式でテラビット伝送が可能であること，また現在はテラヘルツ帯で動作する真に実用的な電子デバイスが存在しないことなどより，この分野への応用は，今後の社会的要請，技術開発にかかっている。一方，ミリ波領域の技術は今後社会的に大きな要請があると考えられるが，実用的な（高効率など）ミリ波帯デバイスを開発するためには，テラヘルツ帯の技術は不可欠であり，この点でテラヘルツ帯技術の開発は大きな意義がある。

従来，サブミリ波・テラヘルツ領域の主要な研究は分光学である。特に分子分光学では大きな成果をあげ，宇宙論を論じる電波天文学を支えているのは，この領域の分光学である。近年この分光学の対象を生体高分子へのばす動きが大変盛んに行われており，各種のタンパク質，アミノ酸等にテラヘルツ領域の指紋スペクトラムが見つかってきており，疾患検査装置開発への展開が期待されている。また，短ミリ波帯からテラヘルツ波帯にかけては，各種イメージング技術（セキュリティー，材料・生体計測を含む）の分野に於いて重要な応用が存在し，この分野においても技術開発が活発に行われているところである。

今後の技術開発に携わる者は，他の領域では当たり前とされている次のキーワードを念頭において開発を進める必要があろう：常温・高速動作（10 GHz 以上），コヒーレント光，連続波（cw），そして周波数同調可能であること。

スピニクス研究会

主査　荒井賢一，　幹事　島津武仁，斉藤　伸

スピニクス研究会は，微細磁気物性に基づくさらなる磁性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（1回で3件程度）による一般研究会のほか萌芽的研究に関する討論を目的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との協賛も含め，全6回の研究会を開催した。最初の研究会は6月13日に「磁気記録の再生ヘッドとスピンエレクトロニクス」をテーマに開催され，福澤氏（東芝），伊藤氏（日立）および佐久間昭正教授（東北大）より，それぞれ，次世代の高感度再生ヘッドの構造，ヘッドへの応用を意図した高偏極スピン材料，および，スピンエレクトロニクスの理論に関する講演が行なわれた。第2回目（9月26日開催）の研究会では，「最近の話題から」と題し，製膜プロセス，磁気光学および磁性半導体材料に関する報告があった。第3回目（10月16日開催）は，国立癌センター総長の垣添忠生氏に「がん治療と先端技術」に関する講演をお願いした。第4回目（特別講演会）は11月13～14日に秋田県高度技術研究所をお借りして開催し，電力用磁気，プロービング，RF帯応用，薄膜物性，磁気記録，等の広範に及ぶ合計27件の講演が2日間にわたって討議された。第5回目の講演会は通研講演会に協賛し，オランダ国Twente大学のJ. C. Lodder教授より，将来の磁気記録デバイスのシステムと材料物性に関する最近の研究成果について講演がなされた。また，第6回目（12月18～19日）はマイクロ磁気デバイスに関する電気学会主催の研究会を協賛し，当分野における15件の最近の話題を得る機会を得た。

表面界面工学研究会

主査　潮田資勝，　幹事　上原　洋一

ここ30年の表面科学の長足の進歩により表面界面に特有な物性現象が数多く発見されている。また，分子線エピタクシー技術を代表とする薄膜成長技術の進歩は原子層オーダーで制御された超格子のような人工物質の作製を可能にし，そこでも新しい表面界面物性の発現が観測され，その工学的な応用が活発になされている。表面界面工学研究会は表面界面でみられる興味深い物性やその応用について議論し，表面界面物性の工学的応用について研究することを目的として，毎年幾人かの研究者をお呼びし研究会を開催している。

以上のような主旨に沿って平成15年度は2名の講師をお招きし，以下の研究会を開催した。

平成16年2月13日　「グラフェン・h-BN・BC3単原子層エピタキシャル膜の物性」（大島忠平・早稲田大学理工学部・教授）

平成16年3月16日　「光-金属微小構造相互作用の電磁界解析」（田丸博晴・東京大学 先端科学技術研究センター・助手）

超高密度・高速知能システム工学研究会

主査　潮田　資勝

本研究所では，極微細構造電子回路加工技術を発展させると共に，極微新機能電子デバイスの開発と，それらの性能を十分に活用して高度な知的処理を行い得る超高密度・高速知能システムを構築することを目的として，超高密度・高速知能システム実験施設を平成６年度に新設した。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，広く超高密度・高速知能システム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。

平成15年度は以下の講演会を実施した。なお回数は本研究会発足よりの通し番号である。

第41回　平成15年7月10日
「Intersubband Transitions in InAs/AlSb Quantum Wells」
Cun-Zheng Ning　博士（Center for Nanotechnology, NASA Ames Research Center）

第42回　平成15年10月7日
「Spin Photocurrents in Quantum Wells」
Prof. S.D.Ganichev (Institut fuer Experimentelle und Angewandte Physik, Universitaet Regensburg)

第43回　平成15年11月20日
「Elementary magnetolectronics」
Prof. Gerrit E.W. Bauer (Department of Applied Physics and DIMES, Delft University of Technology)

第44回　平成15年11月21日
「Dynamics of magnetic nanostructures」
Prof. Gerrit E.W. Bauer (Department of Applied Physics and DIMES, Delft University of Technology)

第45回　平成15年12月18日
「単電子帯電効果のデバイス応用とジョセフソンデバイスとの双対性」
水柿　義直　氏（電気通信大学　電子工学科）

第46回　平成16年2月3日
「金属多層膜とスピンエレクトロニクス」
井上　順一郎　先生（名古屋大学大学院工学研究科）

第47回　平成16年2月16日
「Carbon nanotube-based molecular electronics」
Dr. Po-Wen Chiu (Max-Planck Institute for solid state research)

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15年度は以下の4回を開催した。

第36回　平成15年7月25日（木）東北大学電気情報館　通研講演会
演題：「ディジタル信号処理用プロセッサーの動向」
講演者：原田 正親（日本テキサスインスツルメンツ）

第37回　平成15年8月9日（土）はこだて未来大学
研究発表 9件

第38回　平成15年10月21日（火）東北大学工学部電気情報館
平成15年度情報処理工学セミナーと共催。ポスターセッション 35件

第39回　平成16年3月13日（土）東北大学工学部電気情報館
研究発表 10件

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37回
日　時：　平成15年6月5日（木）13:00～15:00
会　場：　東北大学工学部電気・情報系103会議室
演　題：
1．「接触インピーダンス方式振動子センサーの周波数式の統一的考察」
青柳良二(仙台電波工業高等専門学校)，吉田哲男（㈱アクシム）
2．「動脈壁組織性状診断を目指した動脈壁ずり粘弾性特性の超音波計測 －シリコーンゴムチューブを用いた基礎実験－」
砂川和宏，金井　浩（東北大学大学院工学研究科），小岩喜郎（東北大学大学院医学系研究科），田中元直（東北厚生年金病院）
3．「直線集束ビーム超音波材料解析システムによるガラス材料の評価」
櫛引淳一，荒川元孝，大橋雄二，岡部亮一（東北大学大学院工学研究科）

第38回
日　時：　平成15年7月17日（木）13:00～16:30
会　場：　東北大学工学部電気・情報系451・453会議室
演　題：
1．「マルチパス音響モデルによる自然発話音声の認識に関する研究」
大河雄一（東北大学大学院教育情報学研究部），吉田明弘（東北大学大学院情報科学研究科），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．「健聴者と難聴者の単語了解度における親密度の影響に関する考察」
坂本修一（東北大学電気通信研究所／東北大学大学院情報科学研究科），鈴木陽一（東北大学電気通信研究所），天野成昭，近藤公久（NTT CS研），牧野正三（東北大学大学院工学研究科）
3．「強誘電体ナノドメインの超高速スイッチング特性」
藤本健二郎，長　康雄（東北大学電気通信研究所）
4．「超高周波平面超音波材料解析システムによる固体試料の音響特性の測定」
櫛引淳一，荒川元孝，岡部亮一（東北大学大学院工学研究科）
5．「生体超音波スペクトロスコピー・システムによる生体物質の音響特性の周波数依存性解析法」
明石尚之（一関工業高等専門学校），櫛引淳一（東北大学大学院工学研究科），Floyd Dunn（イリノイ大学）

第39回
日　時：　平成15年11月20日（木）13:00～14:20
会　場：　東北大学工学部電気・情報系103会議室
演　題：
1．「SNDMを用いたアンチパラレル分極反転の観測」
森田　剛，加藤未来，長　康雄（東北大学電気通信研究所）
2．「薄いLiTaO3回転Y板を伝搬するSH型バルク弾性波の温度特性」

藤原浩人，山崎大輔，中村僖良（東北大学大学院工学研究科）

第40回

日　時：　平成15年12月11日（木）13:00～15:50
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．「複数雑音環境下において頑健な音響モデルに関する検討」
加藤裕介，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．「音像が視覚刺激による自己運動方向に与える影響」
斎藤英之，坂本修一，鈴木陽一（東北大学大学院情報科学研究科），行場次郎（東北大学大学院文学研究科）

3．「ヘッドホン装着による音響負荷変動に関する一考察」
渋谷亮輔，岩谷幸雄，鈴木陽一（東北大学大学院情報科学研究科）

4．「内皮依存性血管弛緩反応による血管壁弾性率変化の超音波計測」
杉本昌隆，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15年11月5日に東京大学大学院理学系研究科教授・佐野雅己氏を招いて「DNAと遺伝子ネットワーク：実験から解析まで」と題して通研講演会を行った。その概要を以下に示す。ゲノム情報の大規模解読や細胞内プロセスの観測技術の急速な進歩に伴い，生命科学の対象は分子レベルからシステムレベルへと大きく転換を始めている。生命現象を定量的に理解し予測するためには，細胞の運命を支配している遺伝子発現のダイナミクスを観測する技術を確立し，その定量的記述法を構築してゆく必要がある。講演では，まず制御された外部環境条件の下で，人工的な遺伝子ネットワークの状態がどのように時間発展するかについての実験結果の紹介があった。次にモデル方程式との定量的な比較について議論がなされた。この実験結果はノイズの大きい環境下でシステムがロバストに動作するための機構，すなわち生命が獲得した戦略に関する知見を与えてくれるなど，活発な討論がなされた。

情報・数物研究会

主査　海老澤丕道，　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：時田恵一郎（大阪大学サイバーメディアセンター）“ランダム群集モデルにおける多種共存と個体数の豊富さのパターン”，今野紀雄（横浜国立大学工学部）“量子ランダムウォークの数理”，佐藤俊治（東北大学大学院工学研究科）“物体検出モデル”，K. Y. Michael Wong (Hong Kong University of Science and Technology) “A deterministic model of adaptive multi-agent systems with random strategic preferences and near optimal performance”，福島孝治（東京大学大学院総合文化研究科）“Jarzynski等式のある正しい使い方”，小暮兼三（東京大学宇宙線研究所）“離散ランダムエネルギー模型のレプリカ数に対する解析性”，伊庭幸人（統計数理研究所）“量子連想記憶 -複数の量子化軸で記憶させると”，森道康（東北大学金属材料研究所）“多層系銅酸化物超伝導体の電子状態”，青西亨（理化学研究所脳科学総合研究センター）“樹状突起を逆伝搬する活動電位の神経間相互作用への影響”，神田 晶申（筑波大学物理学系）“多層カーボンナノチューブの電気伝導”，大熊哲氏（東京工業大学極低温物性研究センター）“乱れた第2種超伝導体のボルテックス系で見られるゆらぎ現象（通研講演会）”，広瀬賢二（NEC基礎・環境研究所）“ポイントコンタクトでの電気伝導理論”。

生体・生命工学研究会

主査　山本　光璋，　幹事　中尾　光之

第9回は平成15年11月20日（木）（14:00-18:00）に東北大学附属図書館工学分館視聴覚室で開催され，主査の山本光璋（情報科学研究科）により「生体・生命工学研究会への期待」と題して特別講演が行われた。引き続いて6件の一般発表があった。参加者は33名であった。第10回は平成16年3月3日（水）（13:00-17:00）に東北大学電気通信研究所W214号室で行われた。日本大学大学院医学研究科の泰羅雅登先生に「三次元世界を見る脳内メカニズム」について（通研講演会），電気通信研究所の川上進先生に「運動立体視を行う大脳神経網のモデル――移動すれば片目でもなぜ立体的に見えるのだろう？――」についてそれぞれ特別講演をして頂いた。引き続き2件の一般発表があった。参加者は26名であった。それぞれ，特別講演者の多彩な顔ぶれとともに，広範な分野からの参加者があり，活発な討論がなされた。

5.4　通研講演会

A Brief Introduction to Wireless Systems in New Zealand and Some Recent Results on Multi-input and Multi-output (MIMO) Antenna Systems

Dr. Mansoor Shafi (Principal Advisor Wireless, Telecom New Zealand)

月日　平成16年7月15日(火)
場所　東北大学電気・情報系103会議室

ニュージーランドにおける移動通信システムの現状について紹介された後，multi-input and multi-output (MIMO)システムの最近の研究成果が発表された。MIMOシステムは周波数利用効率を著しく増大できる技術として注目されている。

本発表に引き続き，活発な議論が行われた。

声・顔・ことば　―感情の表出と知覚―

名古屋大学大学院メディア科学専攻　教授　篤　一彦

人間同士の対話において，言語情報は勿論のこと音声に随伴する感性情報や表情などの感情の知覚も，対話の進行や理解において重要な役割を持っている。本発表は，「声」，「顔」，「ことば」の3つの部分からなっており，それぞれが持つ感性情報について，講演者らが展開して来た研究を感情の表出と知覚という視点から紹介した。「声」については，1）音声による感情表出の発達，2）感情情報の表出理解に関する言語依存性，3）モーフィング法を用いた音声感情知覚のカテゴリ性について検討した。「顔」については，顔画像処理技術を用いた表情認知過程とさらにfMRIやERPを用いた表情認知における脳内処理過程の研究を紹介した。「ことば」については，音声の言語情報処理過程と感性情報処理の相互作用を明らかにし，相互作用のモデルについて述べた。

音量と感覚について　～なぜ大音量が望まれるのか～

㈱サウンドクラフト代表取締役　八幡　泰彦

音楽ホールやコンサート会場において，拡声音響用機器をどこに配置し，どれぐらいの音量に設定するのかが，娯楽としてのそのコンサートの成否に影響を及ぼすのは言うまでもない。しかし，そればかりでなく，聴取者の難聴のような健康面にも影響を与えるものであることから，現状を調査し適切な規準を制定することが必要不可欠である。

そこで，本発表では，拡声音響用機器の開発の目的とその経緯から，現在の傾向について述べ，合わせて大会議場で展開する音楽の実態を概観した。また，音圧制御の観点から実測音圧分布の例を挙げ，音場のあり方を述べた。これらを通して，なぜ大音量が望まれるのかについて，人間の感覚や知覚という心理物理学的視点も加味しながら，大音量が意味するものについて考察を行い紹介した。

核融合プラズマにおける閉じ込め改善とITERの閉じ込め予測

日本原子力研究所　炉心プラズマ実験計測開発室室長　三浦　幸俊

次期大型実験装置として期待されている国際熱核融合実験炉（ITER）についての講演が行われた。ITERでは，燃焼プラズマ実験が行われる予定であり，想定している標準的な運転モードは，Hモード呼ばれる改善閉じ込め状態である。この状態のプラズマ境界では，著しく輸送が減少する輸送障壁が形成される。その形成は，プラズマ中の電場分岐による状態変化であり，「電場分岐 → 揺動の減少→閉じ込めの改善」のプロセスで起こると考えられている。講演では，磁気閉じ込め装置であるトカマクの原理，Hモードと電場の関係に関する研究結果，世界のトカマク装置のHモードデータによるITERの性能予測に関する研究について議論された。

通研講演会

地上ディジタルテレビジョン放送とＥＭＣ問題

名城大学理工学部　教授　都竹愛一郎

平成15年12月18日に，名城大学の都竹愛一郎教授を講師に招いて，標記講演会が行われた。平成15年12月1日より地上デジタル放送が開始されたが，デジタル放送は，変調方式が高画質，多番組，双方向，移動受信といった特長を持つ。これらを実現しているのが変調方式OFDMであり，従来のアナログTV放送で最大の課題であったゴースト障害が，OFDMを使うことにより大幅に解決されている。本講演では，このOFDM伝送方式に関する詳細な解説とともに，デジタル放送の動向や，EMC関連のトピックスについて講演いただいた。講演後，出席者との討論が行われ，地上デジタル放送について，より深く議論する貴重な機会が得られた。

Relating processes with real-time property

宮城大学　教授　富樫　敦

日　時：平成16年3月1日（月）15：30―17：00
場　所：東北大学・電気通信研究所・2号館・2階 W214

実時間性を反映する時間プロセス代数におけるプロセス間の相模倣関係について考察し，速度に関してプロセスが機能同等と見なせる関係を提案する。このような関係は Moller によってすでに提案されているが，実時間性の一部分しか反映していない。ここでは，異なる実時間性を反映する6つの関係を提案し，Moller の提案した関係を一般化する。さらに，動作遷移と時間遷移上で定義されている関係を完全に反映した操作的意味論を与える。さらに，これらの関係が合同関係となることを明らかにし，実時間システムへの応用例について説明する。

大学における電気工学科と産学連携

東京大学大学院工学系研究科電気工学専攻　教授　仁田　旦三

本講演は，先端電力工学（東北電力）寄附講座主催の座談会：「東北地域における電機工学分野の連携について」に先立って行った基調講演である。

講演では，大学（教育・研究面）から見た電気工学の過去から現在，他学科との関係，研究の形態（持ち出し研究と持ち込み研究），産学連携の種類（持ち出し研究開発か持ち込み研究開発か），産学連携の２，３の例，および大学を取り巻く現状と教育研究等について論じ，最後に大学の教育研究への配慮や大学の人件費といった観点から，講師自身の産学連携への現状認識を紹介した。

有機ELの開発の現状と将来展望

東北パイオニア株式会社・取締役・OEL開発室室長　當摩　照夫

日時：平成15年10月10日
場所：電気通信研究所２号館大会議室

1987年にKodak社のDr.Tangらによって発表された高効率積層型有機薄膜発光素子に端を発して，近年，薄膜有機ELの研究が，ディスプレーパネルへの応用を主なターゲットとして盛んに行われている。既に市場導入が進み,その優れた視認性，高速応答性，省電力性そしてシンプルな構造など，ディスプレーパネルとしてLCDをも凌駕する潜在能力を有し，将来が大いに期待されている。

しかしながら，発光効率や寿命等の材料性能の改善とその劣化機構の解明，デバイス構造や生産プロセスの確立など，課題が山積している。それらの有機ELディスプレーの開発の現状と将来展望について概観した。

通信産業の動向について

㈱村田製作所 取締執行役員　石川　容平

平成16年3月18日に，㈱村田製作所取締執行役員石川容平氏を講師としてお迎えし，標記の講演会を開催した。現在のグローバル化に係る光と影の部分，メガコンペティションの弊害について示され，将来の人口増加に関して環境と地球が対処できなくなることが予想される現在，緩やかでひずみを生じない発展，すなわち，環境との共生，保全を目指して日本が果たせる役割，日本に期待されている物作り，エンジニアは何を目指すべきか，そして以上に関連した通信産業のこれからの動向といった幅広い見地に立った講演がなされた。さらに，㈱村田製作所のキーテクノロジーとして，RF-MEMS，ミリ波PDIC（Planar Dielectric IC），ミリ波レーダー，アンテナ（誘電体チップアンテナ，アダプティブアンテナ），TELE（Thin Film Layered Electrode）等に関する紹介があり，以上に関して活発な議論がなされた。

通研講演会

「Magnetic storage meets Nano Technology (磁気記録とナノテクノロジー)」

オランダ国　Twente大学　教授　J. C. Lodder

日時　平成15年11月13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，Lodder教授の研究グループが提案した，強磁性中の電子の輸送現象と半導体のハイブリッドデバイスであるスピンバルブトランジスタの原理とその研究の進展，ならびに，磁気トンネル効果を利用したトランジスタへの発展についての講演がなされた。さらに，MEMSのアクチュエータ技術等を取り入れたデータストレージ（microScanning Probe Array Memory）の最近の研究成果についても紹介があり，同氏が所属するMESA+における機械系および化学系のグループと有機的な研究連携の成果が披露された。また，講演に先立ち，Lodder教授がリーダを務めるTwente大学のSMI（Storage and Materials for Information storage）とMESA+の組織，設備・スタッフ数・研究費等の規模等の紹介もあり，ヨーロッパと日本の大学における研究・教育の比較についても議論がなされた。

光-金属微小構造相互作用の電磁界解析

東京大学 先端科学技術研究センター　田丸　博晴

近年，波長よりもずっと小さいサイズの構造体と光（電磁波）との相互作用が注目され，科学的な興味だけからではなく，技術的観点からも活発な研究がなされている。光と物質の相互作用領域のサイズが波長よりも小さくなると解析的な解が得られる場合は希であり，多くの場合数値解析的な手法に頼らざるをえなくなる。

通研講演会では，Finite Difference Time Domain (FDTD) 法による金属ナノ粒子と可視光との相互作用の解析の現状と問題点，そして将来の可能性に関してご講演いただいた。強い波長依存性を示す金属微粒子の誘電関数をどのようにFTDT法に反映させるかや得られた数値結果が物理的にどこまで信用できるかを判定する手法の詳細についてもご講義いただき，今後の研究に大変参考になる講演会であった。

単電子帯電効果のデバイス応用とジョセフソンデバイスとの双対性

電気通信大学大学院電気通信学研究科　助教授　水柿　義直

微小トンネル接合において発現するクーロン閉塞を利用した単電子デバイスは，その高密度集積性，高感度性，低消費電力性，量子コヒーレンス性から，次世代の電子デバイスとして盛んに研究が行われている。講演では，まず単一電子の帯電効果研究の歴史と基本的な単電子デバイスについて解説があった。つぎに，最も基本的な単電子デバイスである単電子トランジスタの回路応用として，フラッシュ型A/D変換器について紹介がなされた。続いて，単電子デバイスとジョセフソンデバイスとの双対性について解説があり，上述のA/D変換器が双対関係を利用したデバイス開発の一例であることが紹介された。最後に，単電子ポンプとの双対関係から導かれた単一磁束量子ポンプの試作について紹介があった。単電子デバイスの将来の応用可能性などについて活発な討論がなされた。

ディジタル信号処理用プロセッサーの動向

日本テキサスインスツルメンツ　原田　正親

ディジタル処理用プロセッサーは情報化社会のなかであらゆるところに使用されている。最近，特に情報家電に組み入れられるようになっている。しかしながらDSP単体ではシステムが構成できない為にCPUとの混成かあるいは信号処理用のコプロセッサーとCPUの混成が一般的となっている。そこで，本講演ではSOCに向けたディジタル信号処理用プロセッサーの動向についてアーキテクチュアーを中心に述べる。

通研講演会

Active learning in teaching of MRI, X-ray, CT, Ultrasound, SPECT and PET -Use of phantoms and creation of references-

デンマーク工科大学　助教授　Jens E. Wilhjelm

日　時：　平成15年10月30日（木）13:00～16:00
会　場：　東北大学 工学部 電子・応物・情報系103会議室
概要（日本語訳）：　A phantom with unknown formalin fixed porcine tissue is scanned with clinical MRI, X-ray, CT, Ultrasound. Subsequently, a reference anatomical image of exactly the same scan plane is created by slicing the tissue. This provides the possibility of observing how the same tissue appears on different imaging modalities. This procedure is used at our university for the purpose of providing active learning.（部位が分からないホルマリン固定された豚の組織を含むファントムに関して, MRI, X線, CT, 超音波を用いてそれぞれ断層画像を計測した。次に, 同じ断面の組織画像を作成した。これらの結果を比較することにより, ある組織が, 異なるイメージング手法でどのように描出されるか検討することができる。デンマーク工科大学には，このような手法を学生の能動的な学習に用いている。）

DNAと遺伝子ネットワーク：実験から解析まで

東京大学大学院理学系研究科　教授　佐野　雅己

日時　平成15年11月5日
場所　東北大学電気通信研究所　2号館4階　中会議室
ゲノム情報の大規模解読や細胞内プロセスの観測技術の急速な進歩に伴い，生命科学の対象は分子レベルからシステムレベルへと大きく転換を始めている。生命現象を定量的に理解し予測するためには，細胞の運命を支配している遺伝子発現のダイナミクスを観測する技術を確立し，その定量的記述法を構築してゆく必要がある。講演では，まず制御された外部環境条件の下で，人工的な遺伝子ネットワークの状態がどのように時間発展するかについての実験結果の紹介があった。次にモデル方程式との定量的な比較について議論がなされた。この実験結果はノイズの大きい環境下でシステムがロバストに動作するための機構，すなわち生命が獲得した戦略に関する知見を与えてくれるなど，活発な討論がなされた。

乱れた第2種超伝導体のボルテックス系で見られるゆらぎ現象

東京工業大学極低温物性研究センター助教授　大熊　哲

平成16年１月30日に，東京工業大学極低温物性研究センター助教授 大熊 哲氏を講師としてお迎えし，標記講演会を開催し，最近の興味深い実験結果についてのお話を伺った。特に，従来の実験ではあまり注目されてこなかった，電気抵抗の「ゆらぎ」に着目した実験は新しい観点からの成果として興味深かった。具体的には，渦糸液体状態の電気伝導においては，渦糸グラス状態のそれに比べて，電圧のゆらぎが顕著になり，1/fゆらぎの傾向を示すことが報告された。さらにこれを用いて，従来確認が難しかったマイスナー相に隣接する渦糸液体相の存在が確認されたことについてもお話があった。また，コルビノ形状という特殊な形をした系での実験では，通常の測定系には見られない新奇な現象が観測され，渦糸のダイナミクスを調べる新しい手段として注目されることが示された。当日は学内各所からご来聴頂いた。

三次元世界を見る脳内メカニズム

日本大学大学院　医学研究科　泰羅　雅登

ほ乳類において三次元世界を知覚するために重要な立体視の脳内メカニズムについて講演して頂いた。立体視について，心理学領域ではたくさんの研究成果があるが，その脳内メカニズムは未知なままであった。一方，神経生理学の領域では，視差検出のメカニズムがある程度わかった時点で，立体視についてはほぼわかったとされ，その後しばらく発展がなかった。しかし，単に視差検出のメカニズムがわかっただけでは，奥行き知覚に関する脳内メカニズムがすべて解明されたわけではない。ここ数年，認知の側面から奥行き知覚・立体視の問題をとりあげた研究が行われるようになってきた。講演ではこうした背景を説明して頂いた後，講演者等の研究について御紹介頂いた。ほ乳類がいかにして三次元世界を知覚しているかを考える上で得るところが大きく，活発な質疑応答がなされた。

結　言

今年度は，2004年（平成16年）4月の「国立大学法人」化直前の年度であり，本研究所も，この国立大学法人「東北大学」の一部局となる準備を進めてきました。同時に10年目の改組とも時を同じくしていることから，法人化に合わせて新しい組織体制の整備を行い，できうる範囲での試行を行いました。具体的には審議・執行の迅速化と効率化のため，本研究所の最高議決機関である教授会は，人事と基本問題だけを扱うこととし，運営に関しては，所長，２副所長，評議員，４部門長，２施設長，１センター長，および総務，予算，環境の３委員長，さらに事務部長と総務，経理各課長とからなる運営会議で，審議・決定・執行する新たな体制を導入することとしました。

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2004年（平成16年）度に改組を行い，法人化後も学術研究の中核的研究拠点として維持・発展に勤めます。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（基礎研究）

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)　ＩＴ－21センターの中間評価と新規プロジェクト（応用・実用化研究）

３つの５年間プロジェクトを推進中の21世紀情報通信研究開発センター（ＩＴ－21センター）は，次年度から３年目に入ります。そのため中間評価へ向けた研究の推進とともに，次に続く新規プロジェクトの議論も必要となります。

(3)　競争的資金の獲得と財政的な自立（経営基盤）

法人化後は，文部科学省から本研究所に配分される予算が年々減少し，予算項目ごとに申請し，競争的に評価され採択される仕組みとなることが予想されます。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，競争的資金の獲得を真剣に考える必要があります。これは，本研究所の財政的な自立へ向けた基盤となる方策です。