第 1 章　緒　言

緒　言

情報通信分野を担う唯一の全国共同利用研究所として

いよいよ21世紀の幕が開けた。我が国にとっては，少子高齢化，経済財政，地球環境，教育など，20世紀から様々な問題を持ち越してのスタートである。国立大学においても，独立行政法人化，少子化による学生数の減少，大学間競争の激化及び大学評価，第２期科学技術基本計画など，取り巻く環境は厳しい。

今世紀初頭にスタートした我が国の第２期科学技術基本計画では，目指すべき国の姿勢として，「知の創造と活用により世界に貢献できる国」，「国際競争力があり持続的発展が出来る国」，「安心・安全で質の高い生活が出来る国」の３点が挙げられている。それを実現するための政府研究開発投資の総額を平成13年度から17年度の5年間で24兆円とし，さらにライフサイエンス，情報通信，環境，ナノテクノロジー・材料などを国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点分野として挙げている。一方，政府のＩＴ戦略会議では，我が国を５年以内に世界最先端のＩＴ国家にするための「e-Japan 重点計画」を示している。

このような状況下で本電気通信研究所は，国立大学附置研究所の中でのＩＴ分野における唯一の中核的研究拠点機関として，これまでにも増して積極的な社会貢献を果たすことが期待されている。本研究所がこれに応えるには，これまでの基礎・基盤研究および基盤技術の研究開発体制に加え，真の産官学連携，研究組織の一層の流動化，ニーズとシーズのマッチング，ＩＴ技術者の人材養成，地域連携など，実用化研究のための新たな研究開発システムの構築が不可欠である。このような認識から，私たちは21世紀情報通信研究開発センター（略称：IT-21センター）設置構想を提案し，さらに現在，21世紀に本研究所が進むべき道を教授会で議論している。

いま国立大学は法人化の波に揺れているが，これについては現在，文部科学省に「国立大学等の独立行政法人化問題に関する調査検討会議」が設けられ，夏までに中間報告，今年度中に最終報告を提示する予定で，鋭意検討が重ねられている。その論点の主なものは，①制度設計に関しては，すでに枠組みが設定されている「独立行政法人」，あるいは大学という特殊性から独自の「国立大学法人」，のどちらを選ぶか，②管理運営の形態では，経営と教学の一体か，分離か，③人事問題では，職員の身分は公務員型か，あるいは非公務員型か，④目標・評価に関しては，文部科学省に設ける独立行政法人評価委員会による行政的評価か，あるいは既存の大学評価・学位授与機構によるアカデミックな評価か，などである。

法人化が実施されるに当たっては，新たな仕組みが導入されることによる多少の混乱は避けられないと思われるが，法人化を国立大学の改革の一貫として前向きに

捉えるべきである。国家行政組織から離れ，大学の自主性がより拡大されると共に，投じられた国費に対する十分なアカウンタビリティの確保，多元的な評価システムの確立，および競争的環境の中での個性ある大学の再構築などが期待される。

附置研究所としても，大学内における位置づけと存在意義を踏まえつつ，国立大学の法人化をプラス指向に捉えて，研究と教育および社会貢献にどのように生かして行くかが重要なテーマである。

大学評価・学位授与機構による大学の評価がすでに始まり，平成12年度には，全学テーマ別評価については「教育サービス面における社会貢献」および「教養教育」が，また分野別教育評価および分野別研究評価においては「理学系」および「医学系の医学」が，それぞれ実施された。平成13年度には，全学テーマ別評価として「研究活動面における社会との連携及び協力」と「教養教育（継続）」が，分野別教育および研究評価には「法学系」と「教育学系」,「工学系」が予定されている。始まってまだ2年目であるが，やがて附置研究所もその対象になる。昨年の全国付置研究所長会議において「大学評価機関による研究評価について」のアピール文を決議した。この中で，評価が既存の専門分野毎に行われるのは，研究教育の学際性，独創性，あるいは総合性などを特徴とする研究所の特殊性を考えたときには必ずしも適切ではない，としている。大学評価は未だ緒についたばかりで，今後，回を重ねて洗練されたものになることを期待したい。

本研究所においては，平成6年の改組以来，外部の方のご参加も頂いた運営協議会を年2回開催している。これは一面では，外部評価を常時頂いていることであり，ときには厳しいご指導ご指摘を頂いて，その都度，それを本研究所の運営に反映して改善を図ってきた。お陰様で，研究体制についても，また研究活動についても，今年度の活動報告でご覧いただけるように，着々と成果を上げてきている。建物や施設・設備，人的資源など足りない部分も多々あるが，第2期科学技術基本計画やe-Japan計画に応えられる研究内容や体制は十分に整っている。

従来からそうであったように，本研究所は工学研究科の電気・通信工学専攻と電子工学専攻，および情報科学研究科の情報基礎科学専攻とシステム情報科学専攻，さらに平成13年度の新たに設置された情報シナジー機構と一致協力して教育と研究に当たっており，今後も，我が国の情報通信分野の進展に所員一丸となって寄与していく所存である。これまで同様のご支援ご鞭撻を御願い申し上げると共に，本活動報告について，忌憚のないご意見を頂ければ幸甚である。

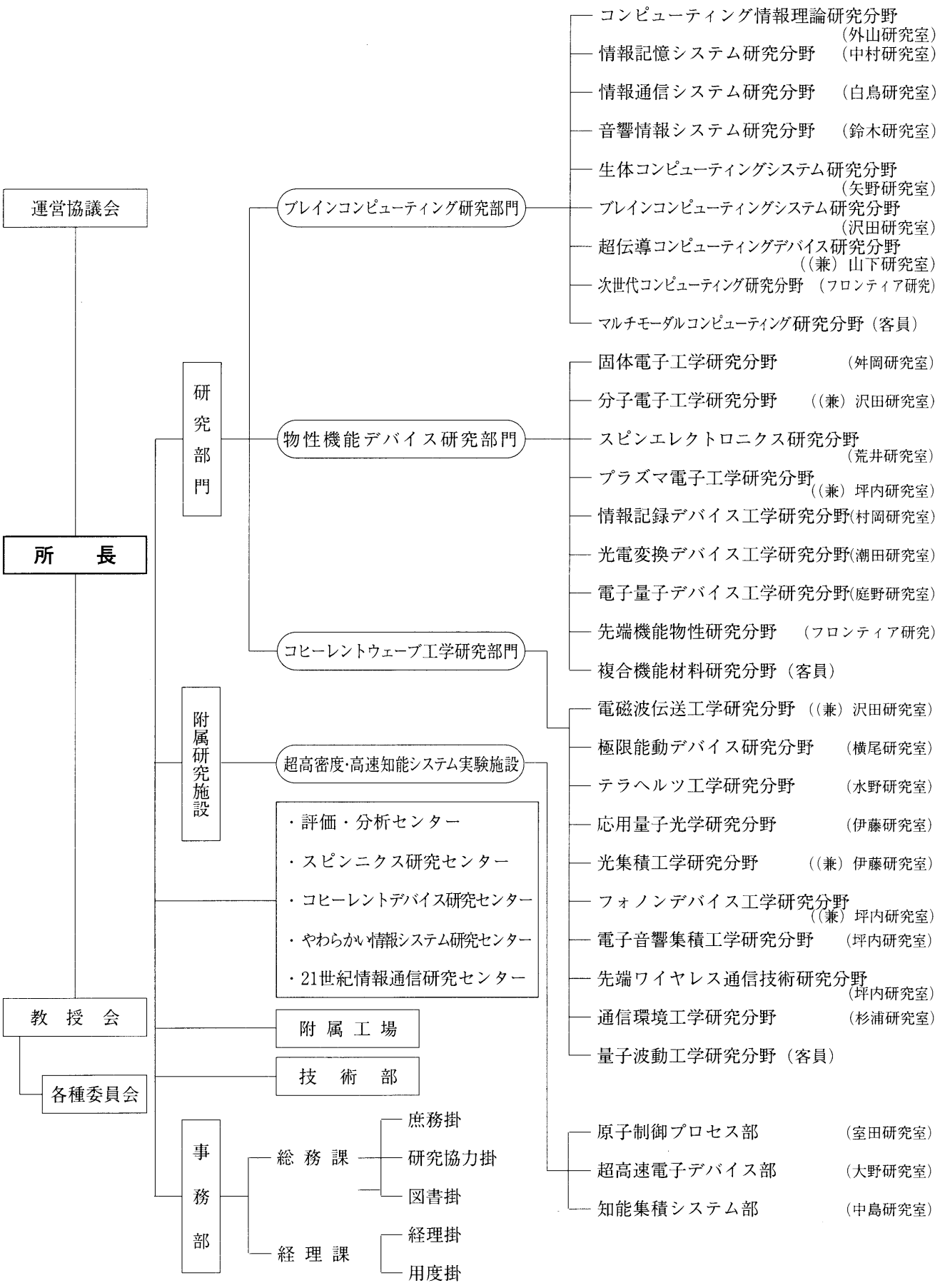
平成13年6月

電気通信研究所

中　村　慶　久

第 2 章　　組織・運営

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（沢田研究室）
超伝導コンピューティングデバイス研究分野（（兼）山下研究室）
次世代コンピューティング研究分野（フロンティア研究）
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（（兼）沢田研究室）
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(庭野研究室)
先端機能物性研究分野（フロンティア研究）
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）沢田研究室）
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）
光集積工学研究分野（（兼）伊藤研究室）
フォノンデバイス工学研究分野（（兼）坪内研究室）
電子音響集積工学研究分野（坪内研究室）
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）
・評価・分析センター
・スピン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
・やわらかい情報システム研究センター
・21世紀情報通信研究センター
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。

主席者：	浅井彰二郎	（委員長）	㈱日立製作所常務（研究開発本部長）
	甘利　俊一	（委　員）	理化学研究所　脳科学総合研究センター 脳数理研究チームデイレクター
	飯田　尚志	（委　員）	郵政省　通信総合研究所長
	池田　克夫	（委　員）	京都大学　情報学研究科長
	伊藤　龍男	（委　員）	カリフォルニア大学教授
	笠見　昭信	（委　員）	㈱東芝　副社長
	児玉　皓雄	（委　員）	通商産業省　工業技術院電子技術総合研究所長
	坂内　正夫	（委　員）	東京大学　生産技術研究所長
	進藤　秀一	（委　員）	NTTドコモ　常務取締役
	山崎　　功	（委　員）	松下電器産業㈱知的財産権センター長
	山田　　宰	（委　員）	NHK　放送技術研究所長
	渡辺　久恒	（委　員）	日本電気㈱支配人
	佐藤　　繁	（委　員）	東北大学大学院理学研究科長
	中塚　勝人	（委　員）	東北大学大学院工学研究科長
	猪岡　　光	（委　員）	東北大学大学院情報科学研究科長
	井上　明久	（委　員）	東北大学金属材料研究所長
	田中　通義	（委　員）	東北大学科学計測研究所長
	根元　義章	（委　員）	東北大学大型計算機センター長
	阿部　健一	（委　員）	東北大学工学研究科教授（運営委員長）

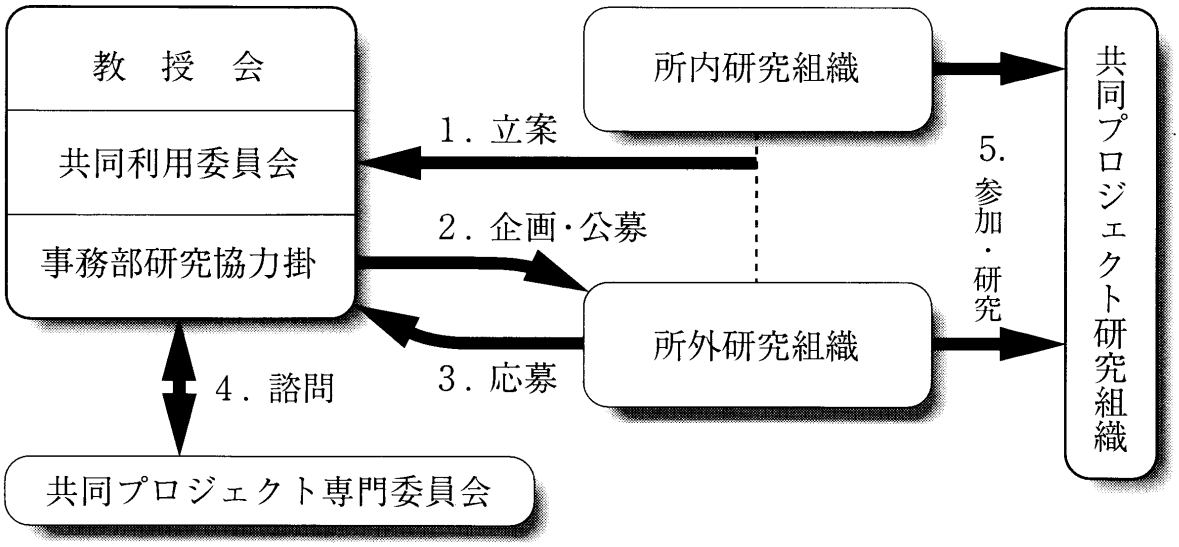
2.3　共同研究組織

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「事務部共同利用掛」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

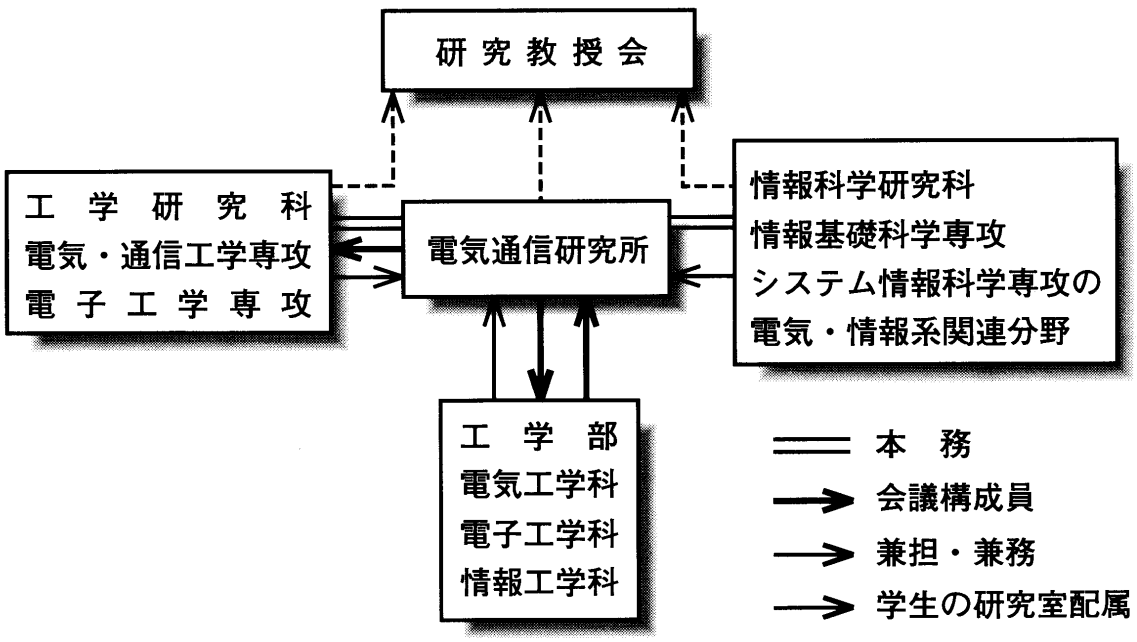
東北大学電気通信研究所（以下，通研と略称）は，発足時から設立母体である電気工学科と協力体制をとり，教育・研究の成果を挙げた。その後，通信工学科，電子工学科，情報工学専攻，情報工学科が順次設立されたが，「一体運営」の協力関係は維持された。

現在，通研と電気・情報系との間には下図に示す教育組織がある。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，情報科学研究科が本務の教官は工学研究科を兼担することになった。その結果，2000年度は，通研の21研究分野のうち６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，１研究分野が情報科学研究科基礎情報科学専攻に，４研究分野がシステム情報科学専攻に所属し，通研で研究指導を受けた大学院学生の総数は199名，一研究室当たり平均9.4名に達した。

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・情報系の教官が通研兼務であるので，学部学生が通研の各研究室に配属される。学生にとって選択の幅が広がり，余裕のある研究指導が受けられる。一方，通研にとっても若い行動力は魅力があり，後継者発掘の機会も多くなる。通研が電気通信の分野で多くの成果を挙げてきた背景には，このような教育面での協力関係があった。

通研と電気・情報系の中枢に，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分野と協力体制をとり，研究のみならず教育でもＣＯＥとしての責務をはたしている。



第 3 章　　研究活動

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「誰もが，何時でも，何処からでも，誰とでも，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。本部門は，このバリアフリー情報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。本部門の研究は視覚・聴覚をはじめとする五感による認識機能や身体の運動機能を備えたヒューマン・インタフェイスに関する研究と，脳の柔軟な情報処理機能を有したブレインコンピューティングに関する研究に大別できる。このため本部門では，これまで，情報格差すなわちデジタルデバイドを生じさせないような「人に優しいネットワークを実現」する研究と，複雑な実環境に対応できるような「脳型コンピュータ」を実現してコミュニケーションの高次化を図る研究を行ってきた。

「人に優しいネットワークを実現」に関する研究では，通信される情報もきわめて大量であり，しかもマルチモーダル情報を世界的規模で通信することが必要となる。しかもコミュニケーションを図る人間も多様である。デジタルデバイドを生じさせないためには，高齢者や機能障害者であっても，この情報社会から阻害されないように技術的に十分支援出来るシステムでなければならない。このためには，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出来る情報システムでなくてはならない。
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）効率や機能，経済性などを評価基準として発展してきたこれまでのモダン情報システムは，利便性や豊かさをもたらした反面，人間性の喪失や環境破壊などの負の側面を持つ。これを発展的に解決するために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フレキシブル・コンピューティングの概念を創成提唱し，知的で動的なネットワーク環境を構成するための研究，
2）デジタルデバイドを回避するためには，容易に情報が発信できるシステムが必要であるし，だれもが容易にプログラミングが出来るようにならなければならない。その解決するための，必要な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する研究，

などに成果を得た。

また「脳型コンピュータ」の研究では，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」できる機構を研究している。これには記憶ベースの帰納的推論，概念形成，自然言語処理，判断，などの研究が含まれる。そのためには脳の神経生理学的研究や生体の超並列分散自律システムなどの研究を統合して理論的に体系化し，その成果を「脳型コンピュータ」のアーキテクチャに活かすことで高次情報処理システムを実現することを目指している。

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）脳における高次の情報処理機構における最大の特徴の一つであるリアルタイム・ロバスト・アクティブな情報処理機構を生命の自己組織的な観点からその計算論を解明し，アーキテクチャを構築するべく研究している。特に，学習・記憶システムの生理学的な解明や，それを数理学的に構成する研究，
3）人の脳機能を解明し，脳機能障害などを的確に診断するなど，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将来のコンピュータシステムを超伝導デバイスで実現するための研究，
4）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，

などに多くの成果を得ている。

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，この研究を確実に進める一方で，自在なコミュニケーションに必要なコンピュテーションとインタラクションを予測による情報の生成と意味的な情報処理などの機能を中心として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。さらにこれらの成果は，現在日本が早急に成し遂げなければならない社会資本としてITを充実させる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。

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

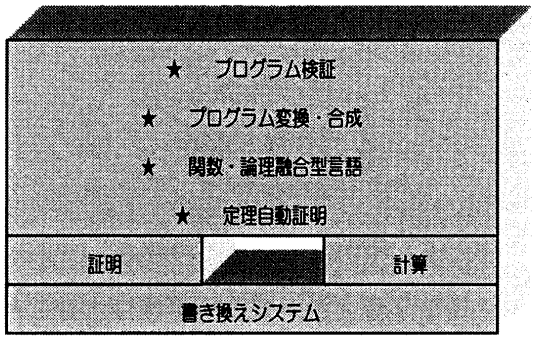


図1．計算・証明融合によるソフトウェア構成

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（2000年4月から2001年3月まで）の主な成果

2.1. 書き換えシステムの基礎理論

書換え系の停止性を自動証明するため有力な手法として，依存対を利用した停止性判定法が知られている。ここでは，結合律と交換律をもつような項書換え系に対しても，依存対の概念が拡張可能となることを示し，等式論理と書換え系を組み合わせた計算・証明系の新しい停止性判定法を明らかにした。

2.2. プログラムの自動変換

関数型プログラムの有望な自動変換法である融合変換法の実験を行い，定理自動証明に基づく方法で多くのプログラムが効率の良いプログラムに自動変換可能であ

ることを明らかにした。また，２階パターンマッチングによるプログラム変換の基礎実験も行った。

2.3. 関数・論理融合型言語

遅延評価に基づく関数・論理型プログラミング言語の計算モデルとして，計算機上での効率良い実装に適した新たな高階ナローイング計算系を提案した。

2.4. 定理自動証明の基礎

帰納的定理の自動証明手法で広く利用されている潜在帰納法と書き換え帰納法の形式的モデルを作成し，両者の証明メカニズムの比較を理論的に行なった。さらに，プログラム検証のための新しい自動証明手法を検討した。

3．職員名

教授：外山　芳人（2000年より）
助手：鈴木　大郎（2000年より）
助手：草刈　圭一朗（2000年より）

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（2000年4月から2001年3月まで）の主な発表論文

(1) K.Kusakari, Y.Toyama, On Proving AC-Termination by AC-Dependency Pairs, Trans. of IEICE, Vol. E84-D, No.5, pp.604-612, 2001.
(2) Y.Toyama and M.Oyamaguchi, Church-Rosser Property and Unique Normal Form Property of Non- Duplicating Term Rewriting Systems, Trans. of IEICE, Vol. E84-D, No.4, pp.439-447, 2001.
(3) Taro Suzuki and Aart Middeldorp, A Complete Selection Function for Lazy Conditional Narrowing, Lecture Notes in Computer Science 2024, pp.201-215, 2001.
(4) H.Koike, Y.Toyama, Comparison between Inductionless Induction and Rewriting Induction, JSSST Computer Software Vol.17, No.6, pp.1-12, 2000 (in Japanese).
(5) K.Kusakari, Y.Toyama, On proving AC-Termination by Argument Filtering Method, IPSJ Transactions on programming, Vol.41, No.SIG4 (PRO7), pp.65-78, 2000.

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

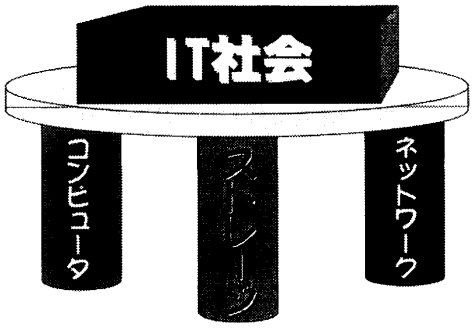


図1　IT社会を支える情報ストレージシステム

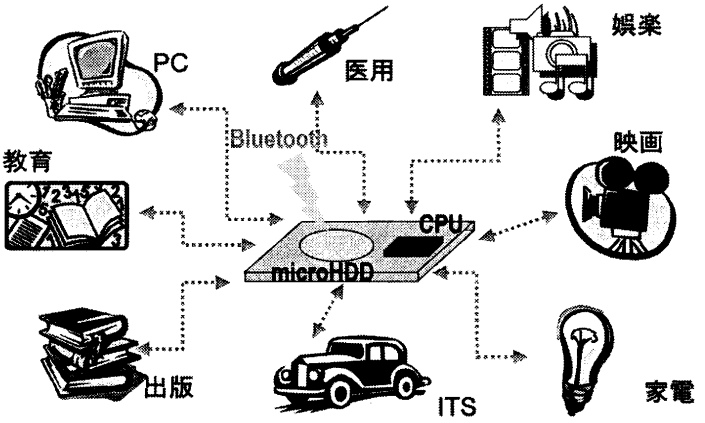


図2　ユビキタス・ストレージ・システム

情報ストレージ（蓄積）技術は，情報処理および情報伝達技術と共に，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，さらにネットワークがブロードバンド化されて情報インフラの整備が進むと，これを如何に活用するかが今後のIT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，それを支えるのがコンテンツを蓄積するHDDや光ディスク，磁気テープ装置などの情報ストレージ技術である。蓄積されたコンテンツからは，また新たな情報が加工，生成され，発信される。

各種サーバなどに見られるように，年々情報ストレージ装置は巨大化し記録容量は100テラバイト級に増大している。ブロードバンド化するネットワークの中で，まさに情報貯蔵庫として重要な役割を果たしている。一方で小型化も進み，ポケットに入るような携帯端末用の数ギガバイト級PCカード型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記録され，日々の生活に不可欠のものになる。

情報記憶システム分野では，映像を中心とする膨大なコンテンツを記録あるいは蓄積し，高速で読み出せる，新たな超大容量情報ストレージシステムを構築する研究を進めている。平方インチ当たりの記録密度がテラ級で，1秒当たりの書き込みレートがギガ級の超大容量高速ファイルシステムの実現である。

本分野では，磁気ストレージメディアを構成する直径10ナノメータ程度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．高密度垂直磁気ストレージシステムの研究

本分野では，ここ数年，情報記録デバイス工学研究分野と協力し，本研究分野が以前から提案してきた単磁極形書き込み磁気ヘッドによる垂直磁化方式による100ギガビット／平方インチ超の高密度HDDシステムの実現を目指している。ようやく本年度，日立製作所中央研究所および秋田県高度技術研究所のご協力で，60ギガビッ

ト／平方インチ以上での実用化の可能性を実証できた。これは現在市場にでているものの数倍の記録密度である。

本分野では，このための設計ツールを開発すると共に，実用化を妨げる種々の課題の解決に当たってきたが，同時に記録密度をさらに高めるための課題も明らかにしてきた。なかでもメディアノイズの低減と熱耐性の向上が大きな課題である。高密度化とノイズの低減のためにはメディアを構成する磁性粒を微細化し，大きさを揃える必要があるが，これは熱安定性を損なう。この要因と解決法を計算機シミュレーションや実測を通じて明らかにし，新たな媒体設計法を提案した。これに基づいて試作されたものを実測・評価し，高SN比と熱耐性の両方を満足するものの見通しを得た。今後さらに，100ギガビット／平方インチ超の実現に向けて，実証実験を重ねていく予定である。

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ネットプロジェクトに参加し，NTSCビデオサーバシステムを用いて高速ネットワーク接続実験を行って，ストレージシステムにおける転送性能の調査を開始した。

本年度は予備的なネットワーク接続試験として，NTSCアナログ映像をMPEGキャプチャでディジタル化し，HDDに一旦ストレージして，ギガネットを通じてPC対PC間で接続試験を行った。まだシステムの立ち上げ作業中で，確保したギガネットの帯域が狭かったため，ネットワーク制約の下での映像転送であったが，高速転送が実現されれば大画面映像でも30枚／秒のフレームレートで転送できることが確認できた。今後は，高画質な映像を高速転送レートで書き込み読み出せる垂直磁化方式によるHDDの実現を図り，これを用いた本格的実験を行うための環境整備を進める予定である。

【職員】

教　授　　中村慶久
助　手　　山田　洋
客員研究員　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。同年東北大学助手電気通信研究所，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および記録再生デバイスの研究開発に従事。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。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，情報処理学会会員。IEEEフェロー。

【主な研究発表】

[1] Y. Nakamura, “Analytical model for estimation of isolated transition width in perpendicular magnetic recording”, *J. Appl. Phys.*, vol.87, No.9. pp.4993-4995, 2000.
[2] 三浦健司，村岡裕明，杉田　愃，中村慶久，“垂直二層膜媒体の時間軸ノイズ解析”，日本応用磁気学会誌，Vol.24，No.4-2，pp.255-258，2000.
[3] 中川　健，村岡裕明，杉田　愃，中村慶久，“PR等化における垂直記録のノイズ特性”，Vol.24，No.4-2，pp.227-230，2000.
[4] Y. Okamoto, H. Sumiyoshi, M. Akamatsu, H. Osawa, H. Saito, H. Muraoka, and Y. Nakamura, “A Study on PRML Systems for Perpendicular Recording Using Double Layered Medium”, *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 36, No.5, pp.2164-2166, 2000.
[5] Hisashi TAKANO, Yasutaka NISHIDA, Atsuko KURODA, Hideki SAWAGUCHI, Hiroaki MURAOKA, Yoshihisa NAKAMURA, Kazuhiro OUCHI, “A Practical Approach for Realizing High-Recording-Density Hard Disk Drives by using Perpendicular Recording”, Digests of the 5th Perpendicular Magnetic Recording Conference, 2000,

情報通信システム研究分野

知的で動的なネットワーク環境の構成論

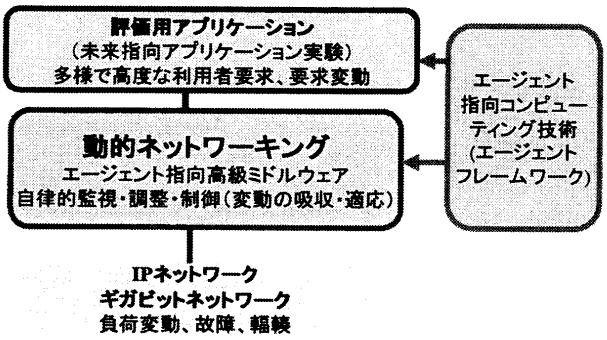


図1　動的ネットワーキングの概要

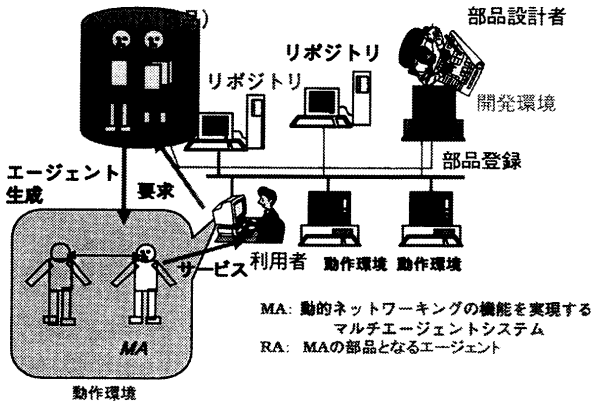


図2　エージェントフレームワークの構成

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「Flexible Computing」の概念を創生し提唱している。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）を評価基準として発達してきた。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21世紀へ向けた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，失ったものを取り戻し，人類と自然が調和しながら発展するための考え方であり，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「Flexible Computing」に基づいた人間とコンピュータが共生する情報システムの構成論を確立することである。

〈研究テーマ〉

(1) フレキシブル・コンピューティング: 理論と応用
(2) 情報通信ネットワークとサイバースペース
(3) マルチエージェントシステム
(4) マルチメディア・ヒューマンインタフェース

2. 過去1年間(1999年4月から2000年3月まで)の主な成果

2.1 未来開拓プロジェクト

日本学術振興会の未来開拓学術研究推進事業研究プロジェクト「動的ネットワーキング」に関する研究を推進した。本プロジェクトは5ヶ年プロジェクトで予算総額は約7億円である。メンバーはプロジェクトリーダー白鳥教授，コアメンバ2名，研究協力者11名により構成される。本年度は1年目にあたり，次の項目についての基

礎的研究を行い，基本概念とフレームワークを構成した。
(1)動的ネットワーキングアーキテクチャ（図1）
(2)エージェントフレームワーク（図2）

2.2 JGN（研究開発用ギガビットネットワーク）プロジェクト

郵政省・通信放送機構(TAO)のプロジェクトであり，東京大，高知工科大，慶応大，岩手県立大，山梨大，会津大，千葉工大と共同で研究を進めている。本年度は1年目であり，以下のサブテーマに関して実験環境の整備，予備実験，基礎的研究を行った。
(1)ネットワークおよびアプリケーションのための効率的な運用と管理
(2)やわらかいビデオ会議システムにおけるQoS制御
(3)高速映像サーバにおけるストレージシステム
(4)高齢者向きヘルスケアカンファレンスシステム

2.3 フレキシブル・コンピューティング: 理論と応用

やわらかさの定量化へ向けて，応用例を含めて検討を行った。また，プロトコルの仕様，検証，試験の統一的な構成論について，理論的研究を推進した。具体的には，1）プロトコルの自動合成環境の構成，2）ネットワークトラフィックの変動に応じた最適なルーティング方式の提案と検証，3）アプリケーション指向の柔軟なネットワーク操作，管理手法の提案，4）アプリケーションの通信履歴に基づくネットワーク性能の予測手法と，それを利用したアプリケーションの性能向上方法の確立，などの興味深い知見が得られた。

3. 職員名

教　授：白鳥　則郎（1993年より）
助教授：木下　哲男（1996年より）
助　手：菅沼　拓夫，杉浦茂樹
秘　書：工藤裕子

4. 教授のプロフィール

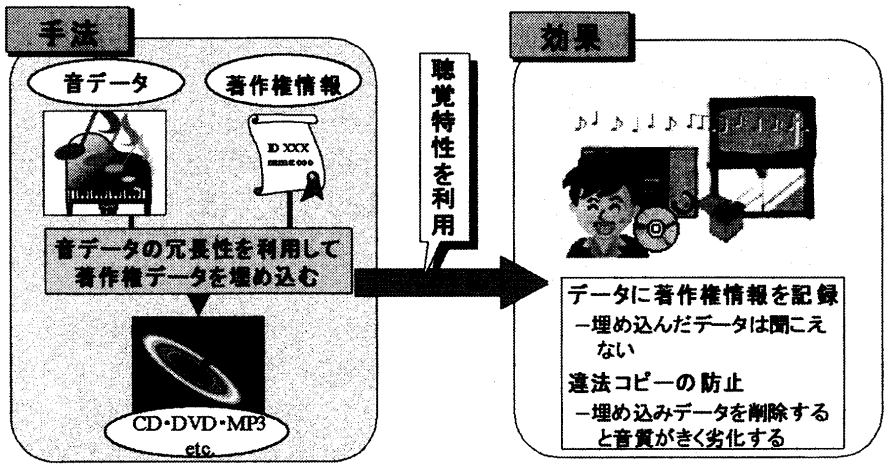
1946年宮城県生れ。1977年東北大学大学院博士課程修了。1984年東北大学助教授（電気通信研究所）。1990年東北大学教授（工学部情報工学科）。1993年東北大学教授（電気通信研究所）。1997年IEEE Fellow 。2000年情報処理学会フェロー。昭和60年情報処理学会25周年記念論文賞受賞。平成3年第6回電気通信普及財団賞(テレコムシステム技術賞)受賞。平成9年平成8年度情報処理学会論文賞受賞。平成10年IEEE ICOIN-12最優秀論文賞受賞。平成12年 IEEE ICPADS 2000 最優秀論文賞など。

5. 過去1年間（1999年4月から2000年3月まで）の主な発表論文

[1] Kentaro Go and Norio Shiratori, "A Decomposition of a Formal Specification: An Improved Constraint-Oriented Method," IEEE Transaction on Software Engineering, Vol.25, No.2, pp.258-273, 1999.
[2] Debasish Chakraborty, Norio Shiratori, Goutam Chakraborty and Chotipat Pornavalai, "Optimal Routing for Dynamic Multipoint Connection," European Transaction on Telecommunications (ETT), Vol.10, No.2, 1999.
[3] Norio Shiratori, Tetsuo Kinoshita, Takuo Suganuma and Glenn Mansfield, "Towards Application-Centric Flexible Network Operation and Management," IEICE Transaction on Communications, Vol.E82-B, No.6, pp.800-805, 1999.
[4] Ahmed Ashir, Glenn Mansfield and Norio Shiratori, "Estimation of Network Characteristics and Its Use in Improving Performance of Network Applications," IEICE Transaction of Information and System, Vol.82-D, No.4, 1999.
[5] Bhed Bahadur Bista, Kaoru Takahashi and Norio Shiratori, "A Composition Approach for Constructing Communication Services and Protocols," IEICE Transaction on Fundamentals, Vol.E82-A, No.11, 1999.

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



本分野で開発を進めている音信号電子透かしのイメージ図

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なかで，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，このような視点に立って，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12年度の主な研究成果

2.1 ディジタル音信号用高性能電子透かしの開発

この研究は科学技術庁（現文部科学省）のミレニアム技術開発提案公募プロジェクト（http://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/shisaku/kakukajy.htm）によるものである。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，上図に示すように，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手法の開発を行う。平成12年度は，特に音信号の位相に着目して研究を進めた。

2.2 等ラウドネスレベル曲線の精密測定

この研究はNEDOの国際共同研究グラント（http://www.nedo.go.jp/www/itd/grant/index.html）によるもので，ドイツ，デンマーク，アメリカとの国際共同研究である。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る。本研究では，等ラウドネスレベル曲線の全面的な精密再測定を行い，ISO 226の全面改定を目指す。

2.3 3次元音空間認識と制御手法の研究

音空間の認識過程の解明に関する研究では，聴取者の頭部運動の役割の解明を行っている。我々は頭部を動かすことによって，聴取音の特性を時間的に変化させ，これにより，より多くの音空間情報を得ている。本年度は，実音像と聴覚ディスプレイによって合成された音像とについて，聴取時の頭部運動の異同を聴取実験により検討した。また，3次元音空間の制御に関しては，高精度聴覚ディスプレイの開発を進めている。我々は先に，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を提案したが，本年度は，その再生性能を定量的に解析すると共に，汎用DSPを用いた実装に着手した。

2.4 音空間内における特徴抽出機構の解明

我々は前年度までに，聴覚において，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場合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。本年度は更に，このような聴覚探索課題に係る脳活動を明らかにすることを目指し，fMRIを用いた実験を進めた。

2.5 音環境の認識・知覚におけるクロスモダリティ情報の役割

我々が音環境を理解する場合の，視覚情報や言語情報などクロスモダリティ情報が及ぼす影響について検討している。平成12年度の研究では，映像中の音源の動きと音の関係など，クロスモダリティ情報の整合性が，音の臨場感などの聴覚的な評価に影響を及ぼすことが示された。

2.6 音声知覚過程の解明とディジタル補聴器の研究

バリアフリー通信の観点からも重要な課題である高性能で快適な補聴システムの開発を，本学の耳鼻咽喉科と共同研究で進めている。本年度は，適応ビームフォーミングを用いた不要音抑圧手法のほか，単語の親密度と視覚情報を併用して難聴者の聴力を精密に評価する手法についても研究を進めた。

3. 職員名

教　授　鈴木　陽一（1999年から）
助　手　西村　竜一，坂本　修一
技　官　斉藤　文孝

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。

5. 過去１年間の主な発表論文

1．N. Sasaki, T. Kawase, H. Hidaka, M. Ogura, T. Takasaka, K. Ozawa, Y. Suzuki, T. Sone, “Apparent change of masking functions with compression-type digital hearing aid,” Scandinavian Audiol., **29** (2000), 159-169.

2．Tetsuaki Kawase, Masaki Ogura, Hiroshi Hidaka, Ryo Yuasa, Yu Yuasa, Hiroshi Hidaka, Yôiti Suzuki, Tomonori Takasaka, “Effects of contralateral noise on measurement of the psychophysical tuning curve,” Hearing Res., **142** (2000), 63-70.

3．小澤賢司，金澤永治，鈴木陽一，“ヘッドホンを用いたバイノーラル再生における個人性補正の効果，” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, **5** (2000), 949-956.

4．安倍幸治，小澤賢司，鈴木陽一，曽根敏夫，“視覚情報が環境音知覚に与える影響，” 日本音響学会誌, **56** (2000), 793-804.

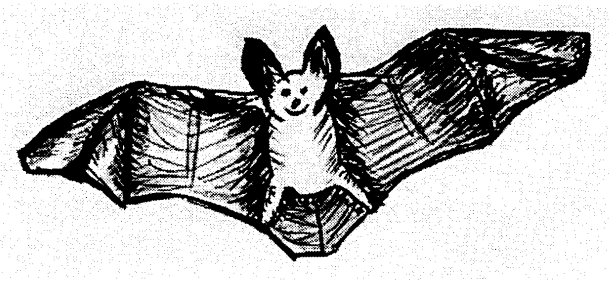
5．金海永，鈴木陽一，高根昭一，曽根敏夫，“拡張輻輳角モデルによる音像距離定位の制御，” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, **5** (2000), 911-918.

生体コンピューティングシステム研究分野

脳のコンピューティングに範を求めて
― 音響情報の新展開 ―

脳の情報処理機構を明らかにすることは，現代の科学や工学における中心的な課題の一つである。脳の聴覚情報処理は視覚情報処理とならんで，外界認識の重要な情報処理様式である。視覚にせよ聴覚にせよ複雑な外界を認識する際「分節化」する事で行われる。分節化とは感覚入力を帰属すべき知覚対象へ分離する働きのことである。現在の情報システムはこの分節化のはたらきが劣っているために，脳の情報処理に遠く及ばない。我々は音響情報で特に重要であると思われる課題を二つ取り上げて研究を行った。一つはコウモリのように音響情報を用いて外界を認識する音響定位の研究であり，もう一つは不特定話者の音声認識に向けた研究である。

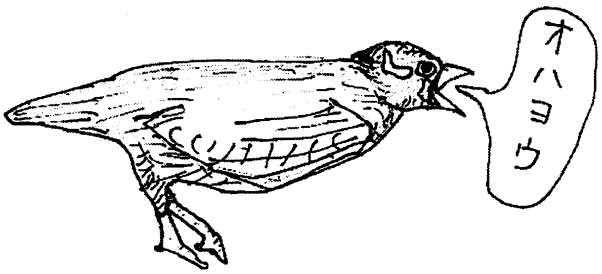
光が使えない環境下での３次元空間や物体を音響情報を用いて探索する技術は産業や医療分野などで広く用いられている。これまでのエコー定位技術はレーダーコンセプトに基づき指向性の強い音波を用い，そのエコーの到達時間から３次元空間を再構成している。このため探索する空間をスキャンすることが必要となり，時間分解能と空間分解能はトレードオフの関係になる。



コウモリは音で外界を見る

したがって，探索空間が大きい場合や動いている物体を含む複雑な空間をリアルタイムで認識することは従来技術では不可能である。これを解決するには，広がりを持つ音波の１回の発射により得られるエコーから，環境をリアルタイムで定位する計算論が必要になる。コウモリは暗闇の中でもエコーを用いて枝の間を飛び回る昆虫や小さな蚊を捕獲することが出来ることから，コウモリがどのようにして音響情報を外界認識をするのかを研究し，コウモリの聴覚中枢神経系の生理学的な知見を参考にして任意の複数ターゲットを定位する事の出来る計算論を作った。一般的には複数のターゲットが外界に存在すると，各々のターゲットから戻ってくるエコーは干渉する。つまり，20kHz～120kHzのＦＭ変調波によるエコーと方向依存的に変化する外耳のノッチ周波数の重ね合わせとなる。これを時間―周波数パターンに変換すると時間軸上で分離できる。この分離されたエコーのグループの奥行き距離を計算する。また，方向の情報として重要な外耳のノッチ周波数が限られた領域で生じることを利用して，各エコーグループのターゲット間の干渉と外耳による干渉を分離することで，ターゲットの方向の情報が得られるようになる。このことにより任意の数のターゲットが瞬時に定位出来ることを示した。近接したターゲットの奥行き分解能は4.1 μ sec（1.4ｍｍ）で，これはシステムを構成する要素の時定数より一桁良い結果である。また，ノイズに対してもロバストである。これをさらに発展させることで空間の物体の形態に関する情報も視覚と同様にとることが出来るようになるので，暗闇だけではなく地中や水中などでも瞬時に環境が認識できるアクティブソナーが可能になると思われる。

聴覚情報処理として重要なことに音声認識がある。これはバリアフリーの情報システムのヒューマン―マシン・インタフェイスとして重要なばかりでなく，言語の違う人間のコミュニケーションツールとしても欠かせない。現在広く行われている音声自動認識機械はＨＭＭ（隠れマルコフ法）と呼ばれるアルゴリズムに基づいて作られ，その成果の一部はすでに製品として世の中に出荷されている。しかしこの方法は入力の物理的な特性，すなわちスペクトラム，を確率的にマッチングする方法である。このスペクトラムには個人差があり，さらに同じ個人でも状況によって変化するので普遍的に応用することは出来ないという構造的な問題があることはすでに指摘されているところである。これは人間が音声を知覚する際に「何をどのように」聞いているのかということに基づいていないことによる。すなわち，人間の音声情報処理の機構を明らかにしないことには，人間のように柔軟に音声認識が出来ないことを意味している。



人間は九官鳥の声も理解できる

たとえば，母音知覚理論の基礎はホルマント周波数という概念を基に作られている。ホルマントは音声波形の共振周波数のことであり，これにより音声の生成，音響的特徴，知覚の３つの過程が結びつけられる美しい理論を形成している。しかしこの理論もいくつかの困難を抱えており，人によって声道の形が異なるので，この共振周波数の違いがあったり，必ずしも共振周波数が捉えられない場合も多い。極端な例は九官鳥やオウムなど真似声を出す鳥類の音声スペクトルは人間のそれとは大きく異なるにも関わらず，我々はそれを音声として認識する。これは人間が音響情報の全体の特徴を聞いていることを意味しており，スペクトルの全体情報こそが重要であることを明らかにした。また九官鳥や人間の音声に共通な全体情報がどのように表されるかも明らかになった。これらは音声認識の方法に新しい展開をもたらすものと考えられる。

＜職員＞

教授　矢野　雅文　（1992年より）
助手　牧野　悌也
助手　坂本　一寛
助手　三浦　治己

＜矢野雅文；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の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, Junji Tani and Masafumi Yano A model of echolocation of multiple targets in 3D space from a single emission (2001, J.Acoust.Soc.Am. vol. 110, 607- 624)
2. Masashi Ito, Jun Tsuchida and Masafumi Yano On the effectiveness of whole spectral shape for vowel perception. (2001, J.Acoust.Soc.Am. vol. 110, in press)
3. Naoyuki Sato & M. Yano ; A Model of binocular stereopsis including a global consistency constraint., (2000, Biol. Cybernetics, 82, 357- 371)
4. Yoshinari Makino, Masanori Akiyama and Masafumi Yano ; Emergent Mechanism in Multiple Pattern Generation of the Lobster Pyloric Network (2000, Biological Cybernetics, 82, 443-454)
5. Kazushi Akimoto, Shigemichi Watanabe, Yoshinari Makino and Masafumi Yano ; An Insect Robot Controlled by Emergence of Gait Patterns., (1999, Artificial Life and Robot, Vol.3,102-105)

ブレインコンピューティングシステム研究分野

脳の情報処理機構の解明とブレインコンピューティングアーキテクチャの構築を目指して

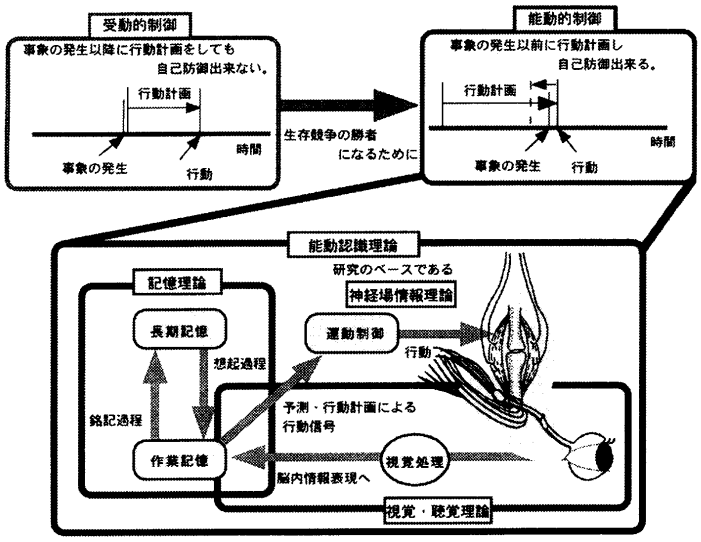


図　リアルタイムアクティブ処理

分野の研究目標；

脳における高次情報処理メカニズムを工学的に実現するために，その最大の特徴の一つであるリアルタイムアクティブ処理機構を数理的に解明しアーキテクチャを構築しなければならない。本分野においては脳のグローバルなアーキテクチャ，学習方式，記憶システムを生理学的知見を参考にしつつ，数理学的に構成する研究を行ってきた。また，脳は生命維持装置として進化した生物の一部であることから生命の自己組織機構，さらに脳を含む生物の複雑なシステムを理解する手法を開発するための複雑系の研究を同時に行っている。本年度の成果は以下の通りである。

「I」ブレインコンピューティング

1）外部環境に先行する感覚器ー運動系制御

実時間情報処理は生物が生存するのに必要な機能であり，またこれを模した制御系を作ることは工学の目的の一つである。しかし現段階では，実時間制御の定量的設計論が欠如していた。本研究は，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，生物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む意識的に先行し，且つその先行度合いは，ターゲット運動の変化によるトランジェント誤差を最小にするように脳内のパラメータが設定されているという驚くべき結果を明らかにした。

2）学習方式

従来から継続している局所微分まで取り入れるLFLアルゴリズムによる学習方式に加え，明確な教師信号なしに目的動作を学習する強化学習の新しい方式を提案し，ラットの目的探索行動において海馬の役割を明確化し海馬切除ラットの生理実験と

の良い一致を示した。また従来困難とされている非マルコフを有する問題にマルチエージェント間の状態可視化手法を導入することで成果を収めた。

「II」生命状態の自己組織

1）生物系における初めてのチューリングパターン

生物の形態形成の基本モデルとして1952年に提案されたチューリングパターンは1990年に化学反応系において生成されたものの，生物系に於てはこれまで実証されていなかった。本研究では細胞性粘菌のアメーバ集団を多孔質ガラスとカバーガラスの間の2次元空間に閉じ込め，この集団に供給される酸素量を制限し，細胞の運動機能をていかさせることにより，世界で始めてチューリングパターンを実現した。

2）生物形態の比例制御

多細胞生物の組織は一般に異種の細胞から成っていてその比率は制御されている。この制御過程における細胞-細胞間のシグナル伝達の分子機構については解明されつつあるが，その比率を制御するグローバルなメカニズムの研究は進んでいなかった。本研究は細胞性粘菌をモデルシステムとして用い，細胞種の制御と組織レベルでのパターニング機構の研究を行ってこのメカニズムの解決に貢献した。

3）培養神経細胞系におけるネットワークの自己組織

培養神経系は脳内の神経系を構成的に再構築できる点で実験系として優れた側面を持ち，脳内計測を補完するものとして有用である。本研究では，マウスの胎児の脳神経細胞を培養し，ネットワークを形成するダイナミックスと形成に伴う神経細胞の発火活動の変化を測定した。各神経細胞の発火時系列の相関係数を用いた主成分分析によって，数種の同期する細胞群を同定した新しい結果は今後の神経細胞集団の活動分析に有用な成果である。

[III]複雑系の研究

1）価格変動の線形モデルと普遍性

経済現象を複雑系として捕らえ，その一手法として本来非線形である系を乗算ノイズと加算ノイズを持つ線形系として扱い，価格変動の統計的性質が説明できることを示した。また，このような系が示す級数的分布に関する普遍的性質を明らかにした。

2）一分子DNAの熱力学的特性と構造変化の研究

生体高分子の1分子計測に関する研究は，生体高分子の機能解明の観点から重要視されている。DNAの折り畳み機構に関係する凝縮転移については，これまでに化学的手法を用いた多分子系での測定や蛍光観測，モデル化した系における理論的研究が重点的に行われてきたが，熱力学的変数の直接測定による1分子レベルでの研究はわずかであり，その熱力学的解明が待たれていた。本研究においては，DNAの凝縮転移の熱力学的性質について，1分子DNAの詳細な張力測定を行い，この問題の解明に貢献した。

職員

教　授　　沢田　康次（1972年より）
助　手　　早川　吉弘
COE研究員　古市　望

教授のプロフィール：

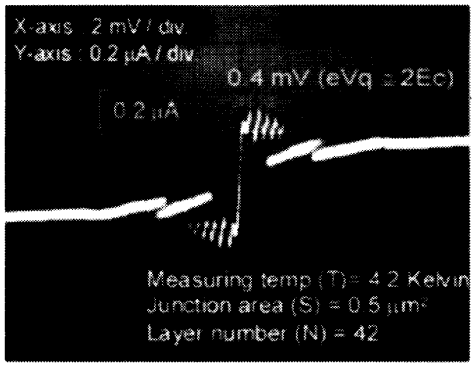
60年代に固体中のプラズマの研究からスタートし，70年代に液体ヘリウムの超流動現象や各種音波の研究，ソリトンの研究，化学反応系や流体系に代表される非線型非平衡系の散逸構造の研究を行う。80年代は，非線形系のカオスやフラクタルの創生期の研究に貢献し，生物の形態形成，超伝導量子磁束による量子コンピュータの開発を経て，現在までブレインコンピュータの原理と設計の研究を行っている。

過去1年間の主な発表：（他14件）

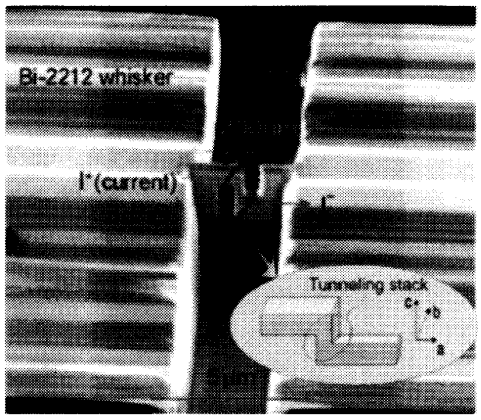
1．A.-H. Sato, H. Takayasu and Y. Sawada, "Invariant power law distribution of Langevin systems with colored multiplicative noise", Physical Review E, Vol. 61, No. 2, 2000, 1081-1087
2．A.-H. Sato, H. Takayasu and Y. Sawada, "Power law fluctuation generator based on analog electrical circuit",Fractals, Vol.8, No.3, 2000, 219-225
3．佐藤 彰洋, 高安 秀樹, "統計物理から見た人工市場", 人工知能学会誌, Vol.15, No.6, 2000, 958-965
4．Yoshinori Hayakawa and Yasuji Sawada, "Learning-induced sychronization of a globally coupled excitable map system", Physical Review E, Vol. 61, 2000, 5091-5097
5．Jean Paul Rieu, Arpita Upadhyaya, James A Glazier, Noriyuki Bob Ouchi and Yasuji Sawada, "Diffusion and Deformations of Single Hydra Cells in Cellular Aggregates", Biophysical Journal 79 (2000) 1903-1914
6．S.Sawai, Y.Maeda and Y.Sawada, "Spontaneous Symmetry Breaking Turing-Type Pattern Formation in a Confined Dictyostelium Cell Mass", Phys. Rev. Lett. 85(2000), 2212-2215
7．Yoshihiro Murayama and Masaki Sano, "Force Measurements of a Single DNA Molecule in the Collapsing Phase Transition", Journal of the Physical Society of Japan, Vol. 70, No. 2, February, 2001, 345-348
8．Nozomu Furuichi, "Dynamics between two kinds of motile elements.", Progress of Theoretical Physics 105(3), 2001, 525-529
9．伊藤真,三宅章吾,沢田康次, "ラットの空間探索課題における海馬?大脳基底核モデル", 電子情報通信学会論文誌, D-II（印刷中）
10．山名智尋,早川吉弘,中島康治,沢田康次, "環状結合ニューラルネットワークのアトラクターとその流域構造", 電子情報通信学会論文A（印刷中）
11．I. Rafols, A. Amagai, Y. Maeda, H.K. MacWilliams and Y. Sawada, " Cell type proportioning in Dictyostelium slugs: lack of regulation within a 2.5-fold tolerance range. Differentiation", in press.
12．Marisciel Litong, Yoshinori Hayakawa and Yasuji Sawada, Effects of noise coherence on stochastic resonance enhancement in a bithreshold system", Phys. Rev. E., in press

超伝導コンピューティングデバイス研究分野

超伝導を利用した高速，低消費電力，超高感度電子デバイスとシステム



Bi-2212　単結晶を用いた単電子対トンネル素子の電流（I）-電圧（V）特性



集束イオンビーム加工により作製した高温超伝導Bi-2212　単結晶素子

＜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，これまでにない大規模かつ高密度の人工集積回路には高速性はもちろん熱発生の極端に少ない演算素子が求められる。また，人工神経回路の規範となる，脳の機能には未解明な点が多く残されており，脳機能障害等を的確に診断する上からも，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。

超伝導体を利用した演算デバイスは，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，超伝導体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(脳磁界)を検出する能力を持っている。

本分野では，脳神経活動を計測可能な超高感度超伝導磁気計測デバイスの研究を行うとともに人工脳ともいうべき大規模な超伝導コンピュータシステムを目指した超高速・低消費電力超伝導演算デバイスおよび超伝導デバイスの高速・高感度性を利用した高周波デバイスの研究を行う。

＜本研究分野の研究成果＞

高温超伝導体内の磁束量子運動に伴う電磁波の超放射現象の基礎となる磁束量子の高速運動を$Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$高温超伝導体固有ジョセフソン接合により実現した。これまでに1Tの磁場下において最大1.15×10^6m/secの磁束量子速度を観測している。この速度は周波数にして750GHzに対応する。（中島）

高温超伝導接合のジョセフソン効果により，液体ヘリウム温度（4.2K）から液体窒素温度（77K）の低温における平面型アンテナの特性について詳細に評価した。その結果，ジョセフソン接合の電気特性上に幾つかの共振構造が明瞭に計測され，定量的な計算から，その現象はジョセフソン効果と集積されたアンテナの形状共振であることを判明した。これにより，低温デバイスの高周波応答を改善するために必要となる平面型アンテナの低温特性の評価法を確立した。（陳）

C-axis junction-stacks were patterned on $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$ single crystals. We measured the current voltage characteristics with irradiation at a few to 100 gigahertz. At a few gigahertz and very high power level, current steps were stimulated and the voltage separations of a few mV between them were independent of the microwave power. Under irradiation at 100 GHz, we successfully performed harmonic mixings between the 100 GHz signal and up to the 100th harmonic of a local oscillator at about 1 GHz. These experimental results show that intrinsic Josephson junctions can be good candidates for high frequency applications, and harmonic mixing may be a useful probe to investigate plasma phenomena inlayered superconductors. The intrinsic Josephson effects and the microwave response were studied in oxygen deficient $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ thin films as well.（王）

異方性被加工材料を用いた，立体的電子素子の作製方法及びその製造装置を考案し，高品質のｃ軸配向薄膜及び単結晶の積層構造を用いた微小トンネルデバイスの作製プロセスを確立した。（金）

Theoretical and experimental results for LSCO samples show that the resistance peak effect in HTSC seems to be the result of the critical current anisotropy along and perpendicular to CuO planes.（BUZEA）

銅酸化物超伝導体$La_{2-x}Sr_xCuO_4$単結晶と金属超伝導体Nb間のジョセフソン接合特性において，多重アンドレーエフ反射に由来する特異構造を観測し，デバイス応用上重要なパラメータである超伝導ギャップの評価に成功した。（植松）

＜職員＞

教　授	山下　　努	(1991年より)	助　手	水柿　義直	(1998年より)
助教授	中島　健介	(1993年より)	ＪＳＴ研究員	金　相宰	
助教授	陳　　健	(1998年より)	ＪＳＰＳ研究員	Cristina BUZEA	
助教授	王　　華兵	(2001年より)	ＪＳＴ研究員	植松　裕	

＜山下努教授プロフィール＞

1939年（昭14）4月11日（62歳）生まれ，専門＝電子デバイス工学，電子材料工学。研究分野＝超伝導エレクトロニクスと超伝導材料。最終学歴＝東北大学博士課程・電子工学専攻，1963年修了。工学博士＜東北大学＞1969年。学位論文「ジョセフソン素子に関する研究」。学会＝応用物理学会，電子情報通信学会，電気学会。略歴＝電気通信研究所助手を経た後，長岡技術科学大学電気系教授を歴任。南京大学情報物理系客員教授。現在，東北大学未来科学技術共同研究センター及び電気通信研究所教授。著書「超伝導回路」共立出版（1981），「薄膜ハンドブック」オーム社（1983），「ジョセフソン効果の物理と応用」近代科学社（1988），「高温超伝導の科学」　裳華房（1998），新潟日報文化賞受賞（1985）。

＜主な発表論文＞

1）"Microwave Responses of BSCCO-2212 Intrinsic Josephson Junctions at Frequencies Up to 100 GHz", H. B. Wang, T. Tachiki, Y. Aruga, Y. Mizugaki, J. Chen, K. Nakajima, T. Yamashita and P. H. Wu, Advances in Superconductivity, pp.1108-1110, April 2000

2）"Universal Correlations of Tc Ion Mass Scaling with Distance", C. Buzea, T. Yamashita, Journal of Superconductivity: Incorporating Novel Magnetism, Vol.13, No.1, pp.181-192, 2000, "Intrinsic Josephson effect and single Cooper pair tunneling", T. Yamashita, S-J Kim, Y. Latyshev, K. Nakajima, Physica C 335, pp.219-225, 2000

3）"Individual Shapiro steps observed in resistively shunted intrinsic Josephson junctions on Bi2Sr2CaCu2O8+x single crystals", H.B. Wang, Y. Aruga, J. Chen, K. Nakajima, T. Yamashita and P.H. Wu, Applied Physics Letters, Vol.77, No.7, pp.1017-1019,

4）"Switching Device Based on RF-Field-Driven High-Tc SQUID", T. Kondo, Y. Mizugaki, K. Saito, K. Nakajima and T. Yamashita, IEICE TRANSACTIONS on Electronics, VolumeE84-C, No.1, pp.55-60, January 2001

5）"固有ジョセフソン効果　―新現象と応用の可能性―", 山下　努, 応用物理, 第70巻, 第1号, 2001年

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）

Ⅳ族半導体量子ヘテロ構造に関する研究

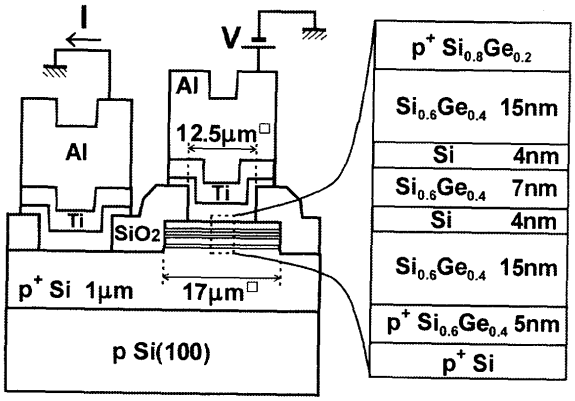


図１　二重障壁共鳴トンネルダイオードの断面図

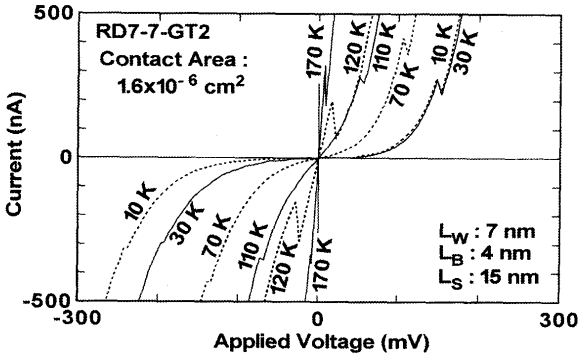


図２　試作したダイオードの電流ー電圧特性

＜本研究分野の研究目標＞

SiGeC系Ⅳ族半導体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。現在，SiGeC系Ⅳ族半導体やそれらへの不純物ドーピング及びそれらを基とした絶縁膜，並びに金属膜等を組み合わせた極限ヘテロ構造の形成が可能になりつつある。特に，表面マイグレーションや原子ミキシングを最低限まで抑制した表面・界面制御技術が実現されつつある。本研究分野では，高清浄減圧CVD法によるSiGeC系Ⅳ族半導体エピタキシャル成長と不純物ドーピング技術を駆使して，原子オーダで表面・界面制御された高品質Ⅳ族半導体量子ヘテロ構造を実現することを目指している。さらに，形成した量子ヘテロ構造から発現する新しい電子物性の探索を行う。

＜本研究分野の研究成果＞

SiH_4-GeH_4-B_2H_6を原料ガスに用いた高清浄減圧CVDによりpSi(100)基板上にp^+SiGe／SiGe（スペーサ層）／Si（障壁層）／SiGe（量子井戸層）／Si（障壁層）／SiGe（スペーサ層）／p^+SiGe／p^+Siの二重障壁共鳴トンネル構造をヘテロエピタキシャル成長させた。（図１）このような層構成においては，SiGe混晶はSi結晶より格子定数が大きいことから，SiGe層は面内方向に圧縮歪を受けており，またSiはSiGe中のホールに対して障壁層となると考えられる。このようにして試作した共鳴トンネルダイオードの電流－電圧特性においては，10～170Kの幅広い温度領域において明瞭な電流ピークが観察された。（図２）これは，ホールが２つのSi障壁層とSiGe量子井戸層を透過する際に，ある特定のバイアス条件においてSiGe量子井戸層中の量子準位を介してトンネルすることによりホールのトンネル確率が大きくなるという共鳴トンネル現象により生じたものと説明できる。このように共鳴トンネル現象は半導体中のキャリアの波動性に起因したものであることから，その電気特性は障壁層や量子井戸層の組成や原子配列構造に大きく影響を受けるものと考えられる。これを利用して種々の元素を局所的に挿入することにより共鳴トンネル現象に

変調を加えられることが期待される。実際に不純物として3%のCを均一ドープしたSi層を障壁層に用いると，その電流－電圧特性が大きく変わることをすでに見いだしている。今後，不純物としてC, N, B, P, Wなどをその候補として想定しており，また，均一ドープのみならず原子層状に不純物をドープすることで，不純物の存在が共鳴トンネル現象に与える影響を調べることが可能であり，さらに原子層ドーピング技術の進展とともにその物性制御の自由度が広がっていくものと期待される。このように本研究を進めることにより，SiGeC系ヘテロ構造に起因する新しいⅣ族半導体電子物性の学問分野の開拓に寄与するものと期待される。

＜職員＞ 客員助教授　韓　　平（Ping Han，2000年より）

＜韓平客員助教授のプロフィール＞

1962年生まれ。南京大学物理系より1984，1987年に理学学士号，理学修士号を取得。1987～1988年中国電子工業部第55研究所助理工程師。1988年中国科学院上海技術物理研究所に入所，1991年理学博士号取得。1991年より南京大学物理系において講師，副教授を歴任。その間，1993～1994年にLinköping大学物理学測量技術学部客員研究員，1997～1999年に東北大学電気通信研究所研究員，2000年7～9月に同COE研究員を併任。2000年10月より現職。

＜最近の研究発表＞

1．P. Han, M. Sakuraba, Y.C. Jeong, K. Bock, T. Matsuura and J. Murota, "Observation of Sharp Current Peaks in Resonant Tunneling Diode with Strained $Si_{0.6}Ge_{0.4}$/Si(100) Grown by Low-Temperature Low-Pressure CVD", J.Crystal Growth, Vol.209, No.2-3, pp.315-320, (2000).

2．P. Han, C. Xue-Mei, M. Sakuraba, Y.C. Jeong, T. Matsuura and J. Murota, "Effect of Si/$Si_{1-y}C_y$/Si Barriers on the Characteristics of $Si_{1-x}Ge_x$/Si Resonant Tunneling Structures", Chin. Phys. Lett., Vol.17, No.11, pp.844-846, (2000).

3．2　物性機能デバイス研究部門の目標と成果

21世紀の情報化社会を支える通信技術の根底には，超高速電子情報処理システムと超高密度情報記録システムが不可欠である。電気通信研究所は文部科学省におけるＩＴ関係の唯一の附置研究所として，これまで電子デバイスや磁気デバイスなどの研究において世界をリードしてきた。

本研究部門は平成６年の研究所改組において新たに設立されたもので，来世紀に向けてのＩＴ革命を先導しそれを推し進めるため，従来電気通信研究所で行われてきた伝統的な半導体，磁性体，誘電体の物性研究と，それに基づく新しい材料，加工プロセス，デバイスの開発研究を行うとともに，究極的な超高速・高密度通信用デバイスの実現を目的としている。すなわち半導体や磁性デバイスの高速化，高密度化，高集積化そして低消費電力化をはかる一方，全く新しいタイプのデバイスの提案と，超高速度電子情報処理・超高密度情報記録のシステム化の研究を行っている。またこれらの研究との関連の深い分子間相互作用プロセスと電子－光相互作用プロセスなどのミクロなレベルでの基礎的研究，ならびに微小磁性体の非接触可制御性を利用した微小医学用デバイスなどの特徴ある研究もおこなっており，目標に向けて研究は順調に進められつつあるといえる。

本年度の各分野の主な研究成果は以下の通りである。

１．固体電子工学研究分野

本研究分野では，知的情報化社会の基盤を支える新しい半導体デバイス，高機能システムの実現を目標として，シリコン集積回路におけるアクティブデバイス技術，回路技術，アーキテクチャー技術，材料技術に関する研究を行っている。

2000年の成果を以下に述べる。システムＬＳＩに必要不可欠な新しい降圧回路を提案した。この降圧回路はＣＭＯＳ型集積回路にて試作し，96.5％以上の高変換効率を実現していることを実験的に検証した。また，新しい３次元構造MOSデバイスであるSURROUNDING GATE TRANSISTORをパストランジスタロジックに適用することで，回路性能の指標である電力遅延積が従来の平面ＭＯＳＦＥＴを用いた場合と比較して，約30％にまで飛躍的に向上する事を明らかにした。また，ＤＲＡＭの集積度を飛躍的に向上させる新しい３次元型メモリアレイ技術，及び，フラッシュメモリの集積度を飛躍的に向上させる新しい３次元型メモリ素子を提案し，その動作原理を明らかにした。各研究テーマいずれも目標を達成しつつある。

２．分子電子工学研究分野

Siプロセスと互換性を持ちながらSiにない新たな電子・光物性の発現が期待されるSi系混晶・化合物の成膜プロセスに関し，その原子・分子過程の解明，表面・界面制御技術の確立，及び新たな成膜技術の創成を目的としている。本年度は電力用半導体材料として注目される炭化ケイ素（SiC）のSi基板上エピタキシーに関して有機シラン原料ガスの吸着過程を微視的に明らかにし，この知見に基いて，同プロセスに不可欠なSiC/Si界面バッファ層を600℃以下という，従来法より300℃以上低温で形成できる有機シランバッファ法を開発した。またSi(001)表面と酸素分子の反応をリ

アルタイムUPS法で調べ，表面酸化物の微視的配置によって反応モードがSi酸化から酸化膜分解へと変化することを初めて見出すとともに，これが２種類の表面泳動種の動的な競合反応によるものであることを明らかにした。

３．スピンエレクトロニクス研究分野

スピンエレクトロニクス分野では，磁気的ナノ構造の制御された磁性体を開発し，単位面積当りの機能集積度を局限まで高めた次世代情報通信デバイスと新しい医療福祉システムを開発することを目標としている。本年度はまずデバイスとして，生体内を想定し液体・ゲル中をコードレスで駆動可能な磁気マイクロマシン，2GHzでL=7.9nH, Q=13の高性能を示すRF集積化インダクタ，世界最高の3×10^{-7} Oe (3×10^{-11} T)の磁界分解能を持つ高周波キャリア型薄膜磁界センサ，および磁歪薄膜センサと圧電素子を組合せたハードディスク用ヘッドアームアクチュエータの試作に成功した。一方，複数の永久磁石をマーカとする位置検出装置を開発し医療システムへの展開を開始した。また高周波近傍磁界計測用に開発した多層平面型シールディドループコイルがIEC TC47/WG9において半導体評価の世界規格に採用される見通しとなった。以上のように，通研改組時の目標を順調に達成しつつある。

４．情報記録デバイス工学研究分野

＜分野の目標＞

桁違いに膨大な情報量を持つ動画等のマルチメディア情報を蓄積するために超高密度ストレージを研究目的としている。記録媒体の磁性微粒子１個に１ビットの情報を記録できるスピニックストレージによって記録密度を数テラビット毎平方インチにすることが目標である。

＜昨年度の成果＞

垂直磁気記録による超高密度記録デバイスについて，昨年度までに記録ディスクの磁気構造を微細化して低ノイズ化することにより，200Ｇビット（毎平方インチ）以上の記録が可能なことを理論的に示した。

＜目標達成度＞

上記の200Ｇビットは目標密度の1／5～1／30程度である。記録ディスク中の磁性粒子がクラスタリングを起こして１粒子１ビットの理想的な高密度記録を阻害していることを明らかにしており，クラスタリングを分解できる高分解能記録デバイスを探索している。

５．光電変換デバイス工学研究分野

＜目標＞

固体表面における電子と光の相互作用に起因するエネルギー変換機構を研究し，光電変換デバイスの基礎となる物理・化学現象と物性を解明する。

＜目標達成度＞

70％

＜成果＞

AlGaAs/GaAs量子井戸構造，Cu(110)-(2x1)O表面に吸着したO原子，表面に吸着したC60分子などの個々のサイトを走査型トンネル顕微鏡（STM）の像中で特定し，そこに局在する電子遷移エネルギーのサイトによる違いをSTM発光分光法によって観測することに成功した。さらに，STM探針の形状による発光効率の違いを理論と実

験から解明し，STM発光分光法をナノ構造評価の手法として確立するための基礎を築いた。このような原子スケールの位置分解能で個々のサイトの電子遷移を観測する手法により，ナノテクノロジーで要求される一つ一つのナノ構造の物性評価が可能になる。

6．電子量子デバイス工学研究分野

本分野では，構造規定された固体表面・界面での分子レベル反応制御によって原子・分子レベルのナノ構造を構築することを目標に，表面・界面反応のその場観察や反応制御法の開発研究を行っている。また，分子デバイスの基盤となる新しい物性機能を有する高分子薄膜電子材料の開発にも取り組んでいる。本年度は昨年度に引き続き，①シリコン表面の原子・分子吸着状態の解明，②シリコン固液界面反応過程のその場観察，③半導体表面上の高分子薄膜形成過程の研究，④半導体ウェーハ表面汚染検査装置の開発に取り組んだ。高感度赤外内部反射分析装置を用いて，シラン系分子や有機高分子（生体分子も含む）のSi表面吸着過程を調べ，シランやジシランの吸着過程については，吸着種の再分解過程の解明に成功した。また，電気化学エッチングによるシリコン表面上ナノ構造形成法の研究や，エンチング反応過程の解明を行い，電気化学エッチングにより簡便にナノ構造が形成できることを示した。さらに，現在開発中の半導体ウェーハ表面汚染検査装置の性能向上を図り，Siウェーハ表面上有機汚染の局所分布評価に成功した。本分野の目標達成度は約50%である。

7．複合機能材料研究分野（客員研究分野）

＜目標＞

複合機能材料（SiGeC等）を用い，人間とシステムLSIとのインターフェイスの機能をシステムLSIに組み込む多機能化新デバイス構造を実現する。

＜目標達成＞

＜成果＞

SiGeCを用いたシリコンヘテロバイポーラトランジスタの新構造を考案し，シミュレーションで超高周波特性を予測し，試作を開始した。ゲート長sub-10nm級超低エネルギーMOSFET/SOI新構造を考案した。この試作のための主要要素プロセスである，nm級ソースおよびドレインコンタクト窓開（セルフアライン）技術を考案・検証した。

8．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

＜目標＞

半導体デバイスの微細加工を原子スケールで制御する技術の研究開発を行い，原子制御プロセス基盤技術を創生する。

＜目標達成度＞

70%

＜成果＞

Ⅳ族半導体（Si,Ge,C）及びドーパント（P,B）さらに絶縁膜化元素（N）・金属元素（W）について，原子制御できるCVDプロセス条件・プラズマプロセス条件とその吸着・反応過程を系統的に明らかにしつつある。特に本年度は，Pを多数層原子層ドーピングしたSiエピタキシャル薄膜の形成に成功し，超高濃度不純物半導体を実

現した。また，Siの原子オーダプラズマ低温窒化過程や微細エッチングでの共ドーピング効果を明らかにした。一方，CVDSiGe混晶成膜へのCの導入とB及びPの高濃度ドーピング制御について，表面吸着・反応に結合サイト依存性を考慮した拡張Langmuir型定式化が体系的に可能であることを明らかにした。さらにこれらを基に，SiGe(C)を主要部に導入したナノ構造デバイスを製作し，そのさらなる高性能化を進めた。

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

—超インテリジェントLSIをもちいた人間の脳の実現を目指してー

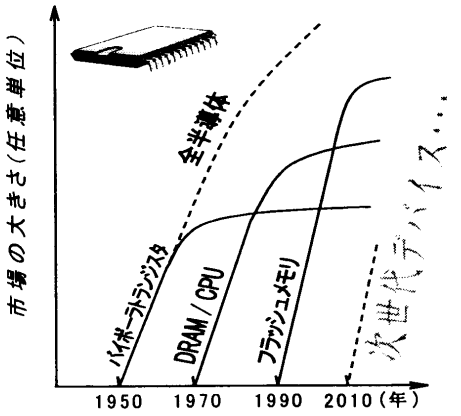


図1　DRAM, CPU, Flash Memoryに代表されるLSIは，この50年にわたり爆発的な発展を遂げました。Flash Memoryは，本研究室の舛岡教授により発明され，日本人の発明による唯一の世界標準LSIです。固体電子工学研究分野の目標は，次世代の世界標準集積回路を提案することです。

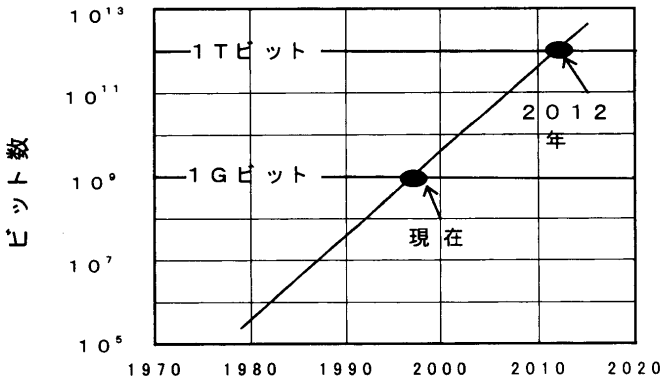


図2　Flash Memoryの集積度（ビット数）は，これまで，3年で4倍のペースで増えています。このペースでいくと，DNAと同じ1Tビットを越えるのは，2010年以降になる予測です。

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を初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（2000年４月から2001年３月まで）の主な成果

１．システムＬＳＩに必要不可欠な新しい降圧回路を提案した。本提案の降圧回路は参照電圧を発生する回路と降圧電圧の変動を抑制する新しい低消費帰還回路の２つの回路から構成されている。この帰還回路は，充放電電流で降圧電圧を安定化させるとともに，待機時においては電力を消費しない。この降圧回路はＣＭＯＳ型集積回路にて試作し，96.5%以上の高変換効率を実現していることを実験的に検証した。これにより，システムＬＳＩの各回路ブロック毎に，最適な電圧を安定にかつ高効率に供給する事が可能となった。

2．ＤＲＡＭの集積度を飛躍的に向上させる新しい３次元型メモリアレイ技術，及び，フラッシュメモリの集積度を飛躍的に向上させる新しい３次元型メモリ素子を提案し，その動作原理を明らかにした。また，その設計技術を提案した。
3．5.1ｎｍ～9.6ｎｍの薄膜シリコン酸化膜におけるストレスリーク現象に関する定量的な解析モデルを提案し，その正当性を実証した。
4．新しい３次元構造MOSデバイスであるSURROUNDING GATE TRANSISTORをパストランジスタロジックに適用することで，その回路性能の指標であるpower-delay productが従来の平面ＭＯＳＦＥＴを用いた場合と比較して，約30％にまで飛躍的に向上する事を明らかにした。

3．職員名

教　授　　舛岡富士雄（1994年より）
助教授　　遠藤哲郎（1997年より）
助　手　　桜庭弘（1996年より）
助　手　　レンスキ・マルクス（1998年より）
COE研究員　　ミトラ・ヒリシケシュ（1999年より）

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を受賞し,市村産業賞 本賞を受賞。電子情報通信学会IEEE会員

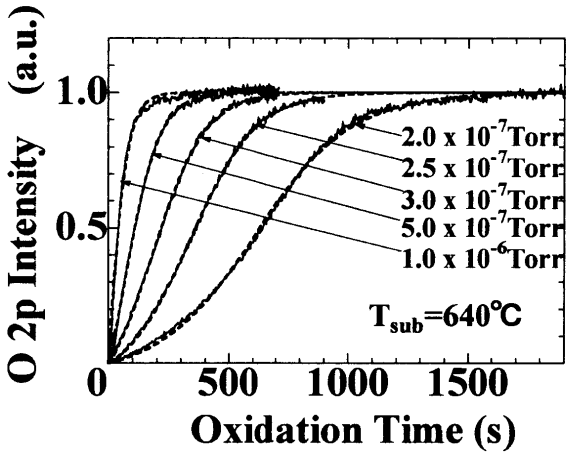
5．過去一年間（2000年４月から2001年３月まで）の主な論文発表　　他１４件

(1) T. Endoh, K. Sunaga, H. Sakuraba, and F. Masuoka, "An On-Chip 96.5% Current Efficiency CMOS Linear Regulator Using a Flexible Control Technique of Output Current", IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, Vol. 36, No. 1, pp. 34-39, January, **2001**.
(2) 遠藤哲郎, 中村広記, 船木寿彦, 桜庭弘, 舛岡富士雄, "新しい基板コンタクト型パストランジスタを用いた全加算器", 電子情報通信学会論文誌C, Vol. J84-C, No. 2, pp. 158-159, 2月, **2001**.
(3) K. Sunaga, T. Endoh, H. Sakuraba, and F. Masuoka, "An On-Chip 96.5% Current Efficiency CMOS Linear Regulator", Asia and South Pacific Design Automation Conference 2001, pp. 297-301, February **2001.**
(4) 遠藤哲郎, 船木寿彦, 中村広記, 桜庭弘, 舛岡富士雄, "新しい基板コンタクト型パストランジスタ", 電子情報通信学会論文誌C, Vol. J84-C, No. 3, pp. 192-198, 3月, **2001**.
(5) M. Lenski, T. Endoh, and F. Masuoka, "Analytical modeling of stress-induced leakage currents in 5.1-9.6-nm-thick silicon-dioxide films based on two-step inelastic trap-assisted tunneling", JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Vol. 88, No.9, pp. 5238-5245, November, **2000**.
(6) M. Hioki, T. Endoh, H. Sakuraba, M. Lenski, and F. Masuoka, "An Analysis of Program and Erase Operation for FC-SGT Flash Memory Cells", 2000 International Conference on Simulation of Semiconductor Processes and Devices, pp. 116-118, September, **2000**.
(7) T. Endoh, T. Funaki, H. Sakuraba, and F. Masuoka, "A High Signal Swing Pass-Transistor Logic Using Surrounding Gate Transistor", 2000 International Conference on Simulation of Semiconductor Processes and Devices, pp. 273-275, September, **2000**.
(8) I. Fujiwara, H. Sakuraba, M. Umetani, T. Ogura, K. Kataoka, A. Tanabe, T. Endoh, and F. Masuoka, "0.2μm nMOSFET using EB Exposure for All Lithography Processes", 2000 22nd International Conference on Microelectronics, Vol. 2, pp. 439-442, May, **2000**.
(9) T. Endoh, H. Sakuraba, K. Shinmei, and F. Masuoka, "New Three Dimensional (3D) Memory Array Architecture For Future Ultra High Density DRAM", 2000 22nd International Conference on Microelectronics, Vol. 2, pp. 447-450, May, **2000**.
(10) T. Endoh, H. Sakuraba, K. Shinmei, and F. Masuoka, "The 1.44F^2 Memory Cell Technology with the Stacked-Surrounding Gate Transistor (S-SGT) DRAM", 2000 22nd International Conference on Microelectronics, Vol. 2, pp. 451-454, May, **2000**.

分子電子工学研究分野

半導体成膜プロセスの原子オーダ制御

——単結晶からアモルファスまで——



Siドライ酸化における酸化膜被覆率時間発展の圧力依存性と自己触媒反応モデルによる解析.
(M. Suemitsu et al., Phys. Rev. Lett. 82 (1999) 2334)

本分野の目標

今日の半導体産業の中心をなすSiデバイスの，より一層の微細化・高速化を図るには，デバイス製造プロセスの基幹となる微細構造形成技術をさらに高度化する必要がある。またSiプロセスと互換性を持ち，かつSiにない新たな電子・光物性が期待されるSi系混晶・化合物を実用化するにも，成膜，ヘテロ界面制御における微細構造形成技術を確立する必要がある。本研究分野では微細化に適した成膜技術であるガスソース (GS) MBE法を中心に，Si，SiGe，SiC，アモルファスSi，微結晶Si，Si酸化膜，Si酸窒化膜——等のSi系薄膜の成膜機構を原子・分子レベルで明らかにするとともに，これら材料の低温・高品質形成を実現する新たなプロセス技術を創成することを目的に研究を行っている。

本研究分野で現在行っている研究テーマは以下のとおりである。

1．Si，Si系混晶薄膜エピタキシーの表面化学と原子制御プロセス技術の開発
2．Si熱酸化膜形成初期過程の解明と制御技術の確立
3．プラズマCVDによるアモルファス，微結晶シリコン太陽電池の開発
4．化合物半導体バルク点欠陥・表面欠陥の評価と制御技術の確立

過去1年間の主な成果

(1) Si ガスソースMBEに関する研究

Si表面からの水素脱離過程は水素化原料ガスを用いたエピタキシープロセスに不可欠な表面素過程である。当該分野では超高真空中プロセスであるガスソース(GS)MBE法を用い，大気圧近くを用いる従来のCVD法では不可能だった表面水素「その場」観察を行ってきた。本年度はSi表面からの水素脱離過程の反応次数が水素化原料ガス及び表面の熱履歴に強く依存することを初めて見出し，これらプロセス条件による表面水素ペア密度変化を骨子とする表面水素ペアリング理論によって現象の定量的説明に成功した（文献5)。

(2) Si基板上SiCヘテロエピタキシーに関する研究

有機Si化合物ガスを用いたSi基板上SiC薄膜のGSMBEヘテロ成長研究を行ってい

る。本年度は有機Si化合物のSi表面吸着過程を微視的に解明した（文献3）ほか膜質の評価研究を行い，同法による成膜がきわめて高品質であることを確認した（分献1,2)。

(3) Si初期酸化過程に関する研究

リアルタイム光電子分光法を用いて酸素分子によるSi表面初期酸化過程を研究している。本年度は本来なら酸化が起きないような高温・低酸素圧の状況下であっても，ある臨界膜厚以上のSi酸化物を予め表面に堆積させることで酸化が進行し得ることを始めて発見した。同時に，この現象が表面泳動する酸素モノマーとSi原子がそれぞれSi酸化物の成長と分解に競合的に寄与するためであること，したがってこれはエネルギー論的にではなくカイネティクス的に支配されたユニークな臨界現象であることを，独自に開発した自己触媒反応モデルを用いて明らかにした。(文献4,6)

(4) 光音響分光法による半絶縁性GaAs結晶の深い準位検出に関する研究

デバイス特性に大きな影響を持つ半絶縁性GaAs基板中の深い準位に関し，光音響分光法による高感度検出法を開発し，携帯電話に用いられる半絶縁性GaAs基板中の深い電子準位であるEL2のフォトクエンチング現象を微視的に議論した(文献7)。

職　員

助　教　授　　末光眞希（1990年より）
COE非常勤研究員　中澤日出樹

主な研究発表

1. H. Nakazawa, M. Suemitsu, and S. Asami
Gas-Source MBE of SiC/Si using monomethylsilane
Thin Solid Films, 369(2000), pp.269-272.
2. H. Nakazawa, M. Suemitsu, and S. Asami
Formation of High Quality SiC on Si(100) at 900C using Monomethylsilane Gas-Source MBE
Materials Science Forum 338-342(2000) pp.269-272
3. H. Nakazawa, and M. Suemitsu
Dissociative adsorption of monomethylsilane(MMS) on Si(100) as revealed by comparative temperature-programmed-desorption studies on H/, C_2H_2/, and MMS/Si(100)
Appl. Surf. Sci., 162-163(2000) pp.139-145
4. M. Suemitsu, Y. Enta, Y. Miyanishi, Y. Takegawa, and N. Miyamoto
Transition from random to island growth mode during Si(100)-2x1 dry oxidation and its description with autocatalytic reaction model
Appl. Surf. Sci., 162-163(2000) pp.293-298
5. H. Nakazawa, M. Suemitsu, and N. Miyamoto
Role of hydrogen prepairing in the hydrogen desorption kinetics from Si(100)-2x1: effects of hydrogenating-gas and thermal history
Surf. Sci., 465(2000) pp.177-185
6. M. Suemitsu, Y. Enta, Y. Takegawa, and N. Miyamoto
Mode transition between growth and decomposition of oxides on Si(001): Kinetically determined critical coverage for oxidation
Appl. Phys. Lett., 77(2000) pp.3179-3181
7. A. Fukuyama, Y. Akashi, M. Suemitsu and T. Ikari
Detailed observation of the photoquenching effect of EL2 in semi-insulating GaAs by the piezoelectric photoacoustic measurements
Journal of Crystal Growth, 210(2000) pp.255-259

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

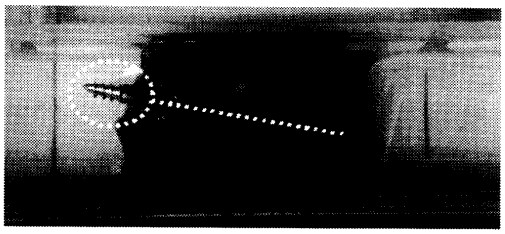


図1　マイクロマシンが牛の筋肉中を推進する様子。外部から回転磁界を印加することでマシンは回転し，推進する。20秒程で，マシンは長さ牛肉（長さ約20㎜）を貫通した。

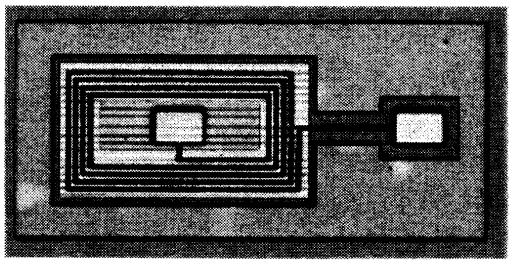


図2　RF集積化インダクタ　マイクロパターン化磁性膜によって，2GHz帯でL=7.9nH, Q=13を実現した。昨年に比べ面積は1/2，帯域は2倍となった。

分野の目標　本分野では，ナノスケールの磁気的微細構造の制御された磁性薄膜をキーマテリアルとしたマイクロデバイスの微細加工プロセスを開発し，情報通信機器に数多く使用されているバルク状のコイル，トランス，磁気センサ，磁気アクチュエータなどをマイクロ化・集積化した磁気デバイスに置換し，デバイスの単位面積・単位体積当たりの機能集積度の局限化を推進する。これをベースに電子スピンとエレクトロニクスを融合させた高度高機能デバイスシステムとして，次世代情報通信システム並びに医療福祉システムへの入出力インターフェースに関わるマイクロ磁気センサ・アクチュエータシステムならびにモーションキャプチャシステムを具現化することを目標としている。

過去１年間の主な成果

(a) 医用マイクロマシン（医薬品機構プロジェクト等）：生体内を想定した液体中あるいはゲル中をコードレスで駆動可能な磁気マイクロマシンの開発に成功した。駆動磁界の振幅と方向によって，泳動方向を自在に制御できる。三次元流れ場解析によりマシン周辺の流体速度･圧力とマシンの駆動特性が算出できることを見出し，マシンの最適設計に道を開いた。自己発熱機能を持つ温熱治療マシンへ展開中。

(b)RF集積化時勢薄膜インダクタ（科研費基盤研究A等）：次世代携帯電話やBluetoothで益々利用が拡大するアナログ高周波回路では，集積化空心インダクタの小形化と低損失化が重要課題である。今年度は，昨年開発したマイクロパターン化磁性膜をサンドイッチ構造の集積化磁性薄膜インダクタに適用し，2GHzでL=7.9nH, Q=13を実現した。昨年に比べ面積は1/2，帯域は2倍となった。今後更なる小形・高Q化を進めつつ，直線性や温度特性などのシステム要求にも対処する。

(c)マイクロ磁気センサ（宮城県地域結集型共同研究事業等）：CoNbZr磁性薄膜を用いた高周波キャリア型薄膜磁界センサによって3×10^{-7} Oe (3×10^{-11} T)の磁界分解能を得た。これはキャリア抑制回路を用いて出力信号の位相雑音を低減した結果得られたもので，昨年度より3倍も高感度である。また，二層膜構造によって短冊状磁区構造を5μm幅まで保つことができた。今後は熱雑音による10^{-9} Oe（10^{-13} T）台の感度限

界に挑む。上述(a)と次項(d)のセンサヘッドへ展開中である。
(d)磁気モーションキャプチャシステム（宮城県地域結集型共同研究事業等）：複数の永久磁石をマーカとする位置検出システムを開発した。一方，多チャンネル用として電池と発振回路を内蔵した交流磁性マーカも試作し，(c)のマイクロ磁界センサによって交流マーカの発生磁界を距離1.2mの広範囲まで計測できた。マーカは電気的に無配線で，光学的な隠蔽空間での位置検出が可能なため，無配線情報入力機器，放射線照射用追尾システム，および口腔運動計測装置等へ展開している。
(e)薄膜透磁率測定（通信・放送機構プロジェクト等）：1999年に製品化した1MHz-3.5GHz透磁率測定装置とフランスCEAによる透磁率測定装置によって，試料交換による相互測定を行い，複素透磁率が3GHzまで一致する事を確認した。一方，(c)で述べた磁界センサの出力から逆にセンサヘッドの透磁率を高感度計測する方法を考案し，短冊幅10μm～100μmのCoNbZr薄膜について原理確認を終了した。従来の透磁率計測法に比較して理論上2桁まで高感度計測が可能である。
(f) EMC計測技術（企業共同研究，NEDO－ASETプロジェクト等）：上述の透磁率測定装置で開発した多層平面型シールディドループコイルは，その寸法を高密度実装プリント配線板やLSI回路近傍の磁界計測用に扁平化し，10×1㎟および1×0.2㎟の形状で製品化された。集積回路からの放射性電磁雑音測定用としてIECへ規格提案もされている（TC47/WG9）。一方，(c)の高周波キャリア型薄膜磁界センサも高周波高空間分解能近傍磁界プローブとして展開中である。
(g) 磁歪-圧電複合薄膜を用いたスマートアクチュエータ（NEDOプロジェクト）：金属歪みゲージに比べ数百～数千倍の感度を有する超高感度磁気弾性歪みセンサを開発した。このセンサと圧電素子を組み合わせ，センサ機能を有するハイブリッドアクチュエータを試作し，自らの検出した歪みを信号源として動作するハードディスクヘッドアームアクチュエータへの応用を目指している。

職　員

教　授　荒井　賢一（1986年から）
助教授　山口　正洋（1991年から）
助　手　石山　和志
助　手　薮上　　信
技　官　師岡ケイ子
技　官　我妻　成人

荒井賢一教授のプロフィール

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

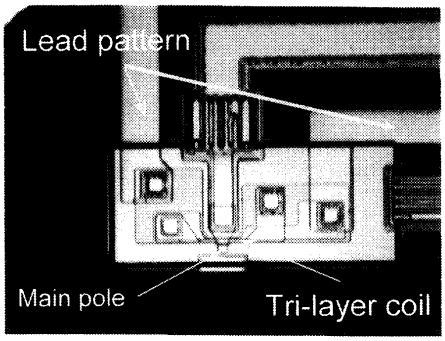
過去1年間の主な発表論文

1. "Magnetic Films for Planar Inductive Components and Devices," Masahiro Yamaguchi, Handbook of Thin Film Devices, Volume 4: Magnetic Thin Film Devices, Chapter 5, pp. 185-212, Academic Press, San Diego, USA, 2000.
2. "Magnetic Actuators for Medical Applications," K. Ishiyama and K. I. Arai, Ferrites: Proceedings of The Eighth International Conference on Ferrites, The Japan Society of Powder and Powder metallurgy, pp.1099-1101, (2000). (Invited ICF8).
3. "Application of Bi-Directional Thin-Film Micro Wire Array to RF Integrated Spiral Inductors," M. Yamaguchi, K. Suezawa, M. Baba, K. I. Arai, Y. Shimada, S. Tanabe, and K. Itoh, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 36, No. 5, pp. 3514-3517, 2000.
4. "Motion Capture System of Magnetic Markers Using Three-Axial Magnetic Field Sensor", S. Yabukami, H. Kikuchi, M. Yamaguchi, K. I. Arai, K. takahashi, A. Itagaki, and N. Wako, IEEE Transactions on Magnetics, vol. 36, No. 5, pp. 3646-3648,2000.
5. "Properties of a new soft magnetic materials," S. X. Wang, N. X. Sun, M. Yamaguchi, S. Yabukami, Nature, vol. 407, 14 September 2000, pp. 150-151.
6. "Elastically coupled magneto-electric elements with highly magnetostrictive amorphous films and PZT substrates", Kwang-Ho Shin, Mitsuteru Inoue and Ken-Ichi Arai, Smart Mater.Struct., vol. 9, pp. 357-361, 2000.

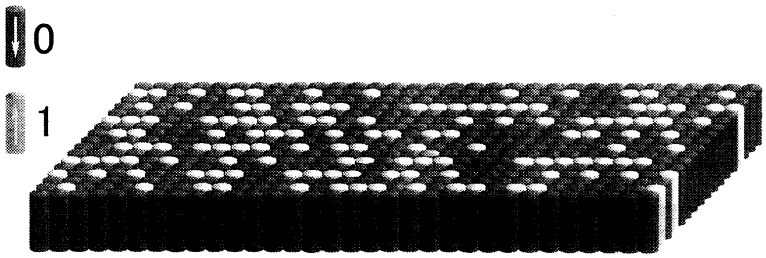
書籍1件，原著論文26件，国際会議口頭発表20件（内，招待講演4件）。

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



開発した高分解能・低インダクタンス垂直ヘッド



微細磁性粒子に情報を蓄えるスピニックストレージ

情報ストレージの一貫した目標はその高記録密度化にある。最近では量産製品でも１平方インチ当たり30ギガビット（一平方ミクロン当たり46ビット）の記録面密度に達しようとしており，さらに５年で30倍以上の早いペースを保って進歩している。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。これに応えるには磁気ストレージデバイスの飛躍的な性能向上が必須である。しかし，最先端のデバイスではサブサブミクロンオーダの微小構造を制御して作製されており，これまでの延長での性能改善には原理的にも技術的にも限界がある。今後は，ナノスコピックレベルでの磁性薄膜物性の本質を踏まえた研究による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じ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。平成12年度には、日立製作所と秋田県高度技術研究所との共同研究により実用性の高い高密度垂直磁気記録のデモンストレーションを行った。これには本分野でのデバイス研究と記録理論の寄与が大きいと考えている。さらに高記録密度を目指して、最重要デバイスであるヘッドディスクを中心に幅広い情報ストレージの研究を行っている。

１）高分解能・高記録能力単磁極ヘッドの研究

本分野で提案した薄膜単磁極ヘッドの高性能化を続けている。今年度は、記録磁極を外部磁界から遮蔽するための磁極を配した新しい単磁極ヘッドを開発して、これまでの実用上の問題であった外部磁界に対する安定性を高めた。本研究は、共同プロジェクト研究による秋田県高度技術研究所との共同研究である。また、今後重要になる高周波化についても２ＧＨｚまで調べて問題がないことをコンピュータシミュレーションで示している。

また，磁気ヘッド応用で重要な数十ｎｍ以下の薄い軟磁性薄膜における磁気特性の制御に関して，昨年までのパーマロイ膜に加えて一般的に軟磁性膜では20ｎｍ以

下の薄膜領域では異方性磁界が低下するとともに，比較的低温の熱処理でも磁化容易軸方位が変化しやすくなることも見出した。

2）高分解能垂直記録メディアの研究

垂直媒体については、本所附属工場と協力して立ち上げた高真空スパッタ装置による垂直磁気記録媒体について、今後の高密度化への検討を加えている。本年度は、高密度記録媒体の性能限界を与えている熱擾乱による記録磁化の減衰について、パルス磁化率測定装置などの最先端解析装置を組み上げて実験的・理論的な検討を行った。その結果、記録媒体の垂直異方性エネルギーが垂直膜の静磁エネルギーの3倍以上とすることで記録磁化を安定に保つことが可能になることを示している。これは今後の高密度媒体材料の設計指針となる。

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100ギガビット毎平方インチを超える高密度磁気記録を垂直磁気記録で実現するために、昨年までに得た記録再生理論に基づいて検討を行った。その結果、媒体ノイズの低減によって高密度記録化が可能であり、これは記録媒体の磁気構造を微細化することで得られる見通しを得た。垂直磁気記録の可能性は現状の記録方式を逸脱することなく1平方インチ当り200ギガビットの可能であることを明らかにした。この実現に取り組むとともに、新たな方式導入して1テラビット毎平方インチの超高密度記録を目指している。

【職員】

教授　村岡　裕明（2000年より）
助手　渡辺　功
助手　島津　武仁

【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，映像情報メディア学会、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) Kazuyuki Ise, Kiyoshi Yamakawa, Kazuhiro Ouchi, Hiroaki Muraoka, and Yoshihisa Nakamura, 36, 2520-2523, 2000.
(2) T. Shimatsu, S. J. Greaves, K. Muramatsu, I. Watanabe, H. Muraoka, Y. Sugita, and Y. Nakamura, IEEE Trans. Magn., 36, 2375-2377, 2000.
(3) 島津武仁, 駒込博泰, 村松孝一, 渡辺 功, 村岡裕明, 杉田 愃, 中村慶久, 日本応用磁気学会誌, 24,, 239-242, 2000.
(4) 三浦健司, 村岡裕明, 杉田 愃, 中村慶久, 日本応用磁気学会誌, 24, 231-234, 2000
(5) 中川 健, 村岡裕明, 杉田 愃, 中村慶久, 日本応用磁気学会誌, 24, 227-230, 2000.
(6) H. Katada, T. Shimatsu, I. Watanabe, H. Muraoka, Y. Sugita, and Y. Nakamura, IEEE Trans. Magn., 36, 2905-2908, 2000

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

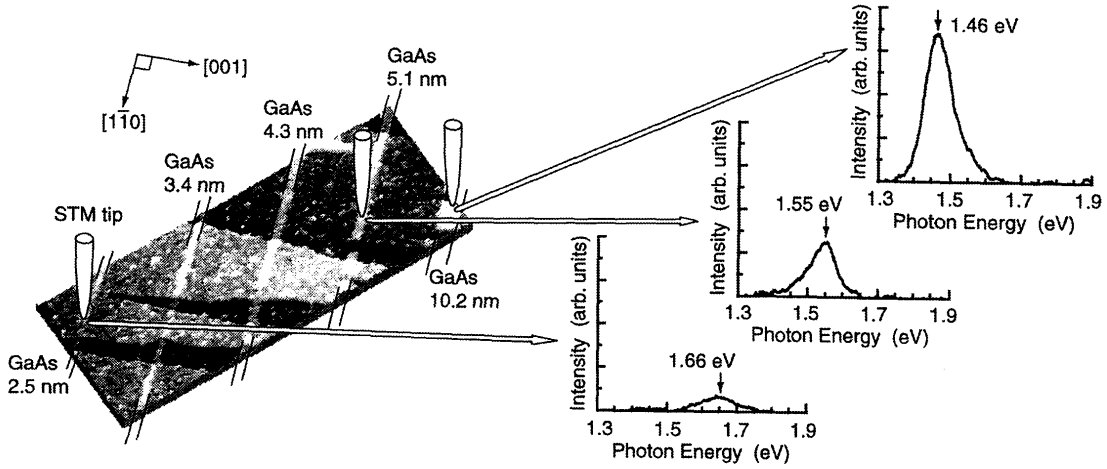


図1　AlGaAs/GaAs量子井戸劈開(110)面のSTM像(200 ×65 nm^2)と個々の量子井戸層のSTM発光スペクトル

1．分野の目標

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が本分野の現在の目標である。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（2000年4月から2001年3月までの）主な成果

2.1 半導体量子井戸構造のSTM発光

半導体量子構造中のキャリアの輸送特性は，電子デバイスの性能を決定する重要な指標の一つである。我々は，AlGaAs/GaAs量子井戸劈開(110)面上を局所的な電子注入源であるSTM探針を移動させながらSTM発光スペクトルを計測した。その結果，探針位置の関数として求めた各井戸層からの発光強度は，井戸幅に依らず二つの減衰長によって表されることがわかった。モンテカルロ計算による解析から，注入電子の拡散長は主にAlGaAs中での谷間散乱と結合プラズモン-光学フォノン散乱によって決まることがわかった。

2.2 原子分解能STM発光

Si(111)-(7×7)表面は積層欠陥のあるユニット(FH)とないユニット(UFH)から構成される。各々のユニットでSTM発光分光を行い，顕著な違いのあるスペクトルが観測された。この違いはフォノン-電子散乱の様子がFHとUFHで大きく異なっていることを示す。

また，Cu(110)-(1×1)表面の上に吸着した個々の酸素原子のSTM発光分光を行った。Cu(110)表面に吸着した酸素原子のSTMイメージは探針の状態により反転することが知られているが，酸素原子からのSTM発光スペクトルは探針の状態によらず同じであった。以上の成果は，STM発光により固体表面の個々の原子種の同定や注入キャリアの振る舞いの原子スケールでの研究が可能になることを示す。このような技術は将来のナノテクノジーにとって極めて重要である。

2.3 液晶分子の光配向

直線偏光紫外光をポリイミド膜に 照射すると偏光方向に平行に配向したポリイミド分子鎖が優先的に分解し，膜に異方性が誘起される。その膜上の液晶分子はポリイミド膜の異方性によって配向する。我々はポリイミド分子鎖の光分解を詳細に調べ，紫外光の照射量とポリイミド分子鎖の配向分布の関係を記述する経験的な式を提案した。この式を用いることにより液晶分子の光配向制御性の向上が期待される。

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，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。

5．過去1年間の発表論文，解説記事，著書

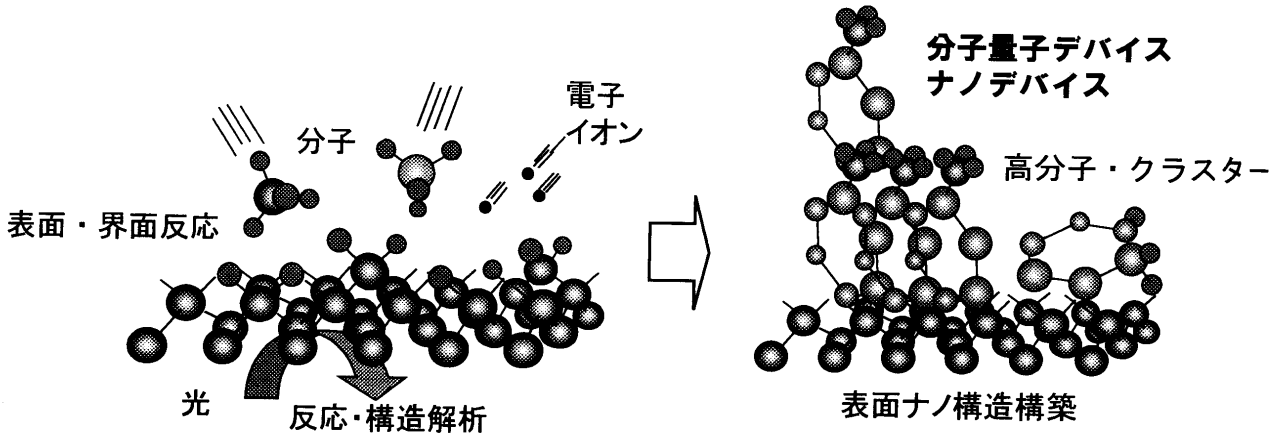
1．Light emission by tunneling Cooper pairs across a vacuum gap, Y. Uehara, T. Fujita, M. Iwami, and S. Ushioda, Solid State Commun. **116**, no. 10, 539-542 (2000).
2．Characterization of surface nanostructures by STM light emission: Individual GaAs/AlGaAs quantum wells, S. Ushioda, T. Tsuruoka, and Y. Ohizumi, Appl. Surf. Sci. **166**, 284-289 (2000).
3．Relation between the radius of tip curvature and the light emission efficiency from scanning tunneling microscope, M. Iwami, Y. Uehara, and S. Ushioda, Jpn. J. Appl. Phys. **39**, no.8, 4912-4913 (2000).
4．Scanning tunneling microscope light emission spectroscopy with picosecond time resolution, Y. Uehara, A. Yagami, K. J. Ito, and S. Ushioda, Appl. Phys. Lett. **76**, no.18, 2487-2489 (2000).
5．Relation between the molecular orientations of a very thin liquid crystal layer and an underlying rubbed polyimide film, N. Ito, K. Sakamoto, R. Arafune, and S. Ushioda, J. Appl. Phys. **88**, no. 6, 3235-3241 (2000).
6．Anisotropic decomposition of polyimide molecules induced by irradiation of linearly polarized UV light, K. Usami, K. Sakamoto, and S. Ushioda, Mol. Cryst. Liq. Cryst. **347**, 25-35 (2000).
7．Probing individual nanostructures with STM-induced light emission, S. Ushioda, Solid State Commun. **117**, 159-166 (2001).
8．Time-resolved STM light emission from an evaporated Au film, Y. Uehara, A. Yagami, K. J. Ito, and S. Ushioda, Appl. Surf. Sci. **169-170**, 198-201 (2001).

9. Spatially resolved STM light emission spectra of cleaved (110) AlGaAs/GaAs heterostructures, T. Tsuruoka, Y. Ohizumi, R. Tanimoto, and S. Ushioda, Appl. Surf. Sci. **169-170**, 193-197 (2001).
10. STM light emission from Si(111)-(7×7) surface using a silver tip, M. Iwami, Y. Uehara, and S. Ushioda, Appl. Surf. Sci. **169-170**, 188-192 (2001).
11. Single NbO nano-crystal formation on low temperature annealed Nb(001) surface, Y. Uehara, T. Fujita, M. Iwami, and S. Ushioda, Surf. Sci. **472**, no. 1-2, 59-62 (2001).

他論文5編，解説記事1編。

電子量子デバイス工学研究分野

表面・界面反応プロセスの原子・分子レベル制御と表面ナノ微細構造の設計・解析



電子量子デバイス研究分野　説明図

1．分野の目標

21世紀に向けて，高次機能を有する情報処理電子デバイスの開発が重要な研究テーマとなっている。その開発におけるキーテクノロジーの一つが，ナノスケールや分子スケールの微細構造構築，そしてその機能制御である。また，微細構造創成反応プロセスの分子レベルでの制御と解析も重要である。原子・分子レベルで制御された反応プロセスで構築されるナノ構造体は，これまでにない新しい物性機能の発現が期待できる。本分野では，構造規定された固体表面・界面での原子・分子レベル反応制御によってナノ構造デバイス，分子デバイスを構築することを目標に，表面・界面反応のその場観察や反応制御法の研究を行っている。また，生体分子や高分子・クラスターも視野に入れた，新しい物性機能を有する分子薄膜電子材料や分子量子デバイスの研究開発にも取り組んでいる。本分野の研究テーマは，①半導体表面・界面の構造と機能の研究，②固体表面と分子の反応ダイナミクスの研究，③有機分子・クラスターを用いた分子エレクトロニクス，④機能性分子デバイス材料の形成と評価，⑤高感度表面センシング・システムの開発研究である。

2．過去1年間の主な研究成果

(1)　シラン系分子のシリコン表面における吸着状態・吸着過程の解明－Si表面に分子はどのように吸着するか？

シリコン・テクノロジーにおいて，様々な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り，そのためにはシリコン表面における化学反応の微視的な解明が必須である。本研究分野では，これまでに表面反応過程をリアルタイムで追跡できる超高感度赤外分光解析システムの開発に成功している。この装置を用いて，昨年度に引き続いてシリコン表面におけるシラン系分子の吸着・分解反応を調べた。Si-H伸縮振動領域の赤外吸収スペクトルの測定と，第一原理計算による伸縮振動数の計算結果との比較から，シラン系分子の解離吸着の様子を詳細に分析し，新しい吸着状態の存在や，解離吸着によって生成されるシリコン水素化物が生成後に再度

分解していく過程を明らかにした。現在，有機高分子や生体高分子の吸着過程の解明を行っている。

(2) Si電極固液界面反応を用いたナノ構造の構築－溶液中でSi表面を加工できないか？また，溶液中で表面はどのような状態にあるか？

Si表面にナノ構造を形成する簡便な方法の一つが，表面を電気化学エッチングすることである。この電気化学的ナノ構造構築法を確立するために，エッチング過程の原子レベルの解明を試みている。Si表面はフッ酸溶液中では水素で終端され，水素化物で覆われている。この表面に陽極電圧を印加すると，最表面のシリコン原子が次々と剥離していく。例えば，Si(100)表面はエッチング前に主にダイハイドライド（SiH2）で覆われている。電極電圧を印加するとそのダイハイドライドが剥離して，表面第２層目の原子がモノハイドライドとして表面に現れてくる。その様子をSi-H伸縮振動スペクトル解析からはじめて明らかにすることができた。現在，それぞれのハイドライド成分密度の時間変化を分析することにより，エッチング過程の更に詳細な分析，また，その結果を利用したナノ構造構築法の研究を続けている。

(3) シリコン表面を利用した高感度溶液センサーの開発－Si表面を用いて生体分子を識別できないか？

赤外線を溶液中に置かれたSiウェーハ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。水中のアルコールの微量分析やそのクラスター状態の分析を行った結果，溶液の不純物を高感度分析できることが分かった。さらに，シリコン表面をポーラス化すると実効表面積は増大し，検出感度は通常の表面に比べ２桁以上向上することも分かった。この方法は，溶液の微量分析ばかりでなく，Si表面に分子認識機能を持つ薄膜を堆積と，生体物質などの認識センサーとして機能する。

3．職　員

教　授　　庭野　道夫（1998年より）
助　手　　木村　康男（1999年より）
助　手　　鎌倉　　望（2000年より）

4．教授のプロフィール

昭和55年東北大学大学院理学研究科博士課程修了。理学博士。昭55宮城教育大学助手，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，赤外反射分光を用いた表面化学の研究や分子デバイスに力を注いでいる。現在，表面科学会東北支部長。日本物理学会，応用物理学会，日本放射光学会，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] Yasuo Kimura, Yusuke Kondo, Michio Niwano: “Initial stages of porous Si formation on Si surfaces investigated by infrared spectroscopy,” Appl. Surf. Sci., in press.

[2] M. Shinohara, M. Niwano, Y. Neo and K. Yokoo: “Infrared study of adsorption and thermal decomposition of Si2H6 on Si(100),” Thin Solid Films 369, 16 (2000).

[3] M. Niwano, M. Shinohara, Y. Neo and K. Yokoo: “Si2H6 adsorption and hydrogen desorption on Si(100) investigated by infrared spectroscopy,” Applied Surface Science, 162-163 (2000) pp.113.

[4] M. Shinohara, T. Maehama and M. Niwano: “Adsorption and decompotion of methylsilanes on Si(100),” Applied Surface Science, Vol.162-163 (2000) pp.161.

[5] Michio Niwano, Yusuke Kondo, Yasuo Kimura: “In-situ Infrared Observation of Etching and Oxidation Processes at Si Surface in NH4F Solution”, J. Electrochem. Soc. Vol. 147, No.4 (2000) pp.1555-1559.

複合機能材料研究分野

システムLSI多機能化新デバイス構造に関する研究

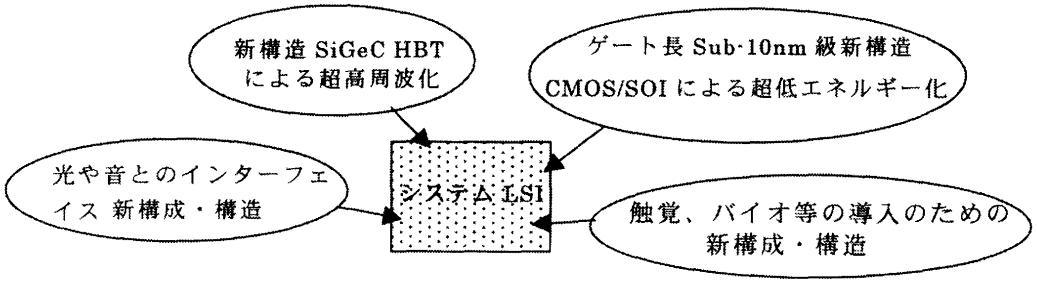


図1．システムLSI多機能化概念図

〈本研究分野の研究目標〉

将来のシステムLSIでは多機能化が重要なポイントである。多機能化は従来の高集積化による機能の増加に加え，無線（超高周波）,光，音をはじめ触覚，バイオ等の機能とも融合された新規な機能のものに進化していくものと思われます。人間とシステムLSIとのインターフェイスの機能をシステムLSIにいかなる構成で組み込んでいくか，大きな課題である。本研究では複合機能材料等（SiGe等）を用いて人間とシステムLSIとのインターフェイスの機能をシステムLSIに組み込む多機能化新デバイス構造について検討する。

〈本研究分野の研究成果〉

SiGeCを用いたHBTの新構造を考案し，デバイスシミュレーションにより高周波特性を予測した。試作を開始したところである。

ゲート長sub-10nm級MOSFET/SOI新構造を考案し，デバイスシミュレーションを用い構造設計を推進し，また，主要要素プロセスであるスペーサ直下のnm級ドレインおよびソースコンタクト窓開技術として新技術を考案・基礎実験で検証し，次年度からのデバイス試作に備えた。

〈職員〉 客員教授 酒井 徹志（2000年4月より）

〈酒井徹志客員教授のプロフィール〉

1942年長野県生まれ。1966年北海道大学工学部電子工学科卒業。同年4月日本電信電話公社電気通信研究所入社。1983年同社武蔵野研究所高速度集積研究室長。1987年NTT LSI研究所微細加工技術研究部長。1991年同所主席研究員。1996年NEL社LSI事業本部統括福本部長。1999年東京工業大学大学院総合理工学研究科教授。2000年東北大学電気通信研究所客員教授（併任）。超高速Si LSIおよび超低エネルギーCMOS/SOI LSIデバイス・プロセス技術の研究に従事。昭和62年渡邊記念奨励賞。平成2年全国発明表彰内閣総理大臣賞。平成3年研究功績者表彰科学技術庁長官賞。平成3年電子情報通信学会業績賞。平成6年財団法人通信協会前島賞。平成8年IEEE/EDS より J. J. Ebers Award受賞。平成9年国際会議ISSDMでSSDM Award。平成9年IEEE/BCTMでBJT 50th Anniversary Award。

〈主な研究発表（2000年度）〉

(1) Tetsushi Sakai, "Current Status and Prospects of High-speed Low-power SOI Devices", Proceedings of the 10th Annual RCJ Reliability Symp., pp.1-6, 2000.

3．3　コヒーレントウェーブ工学研究部門の目標と成果

コヒーレントウエーブ工学研究部門は，平成６年６月本研究所が３大研究部門，１実験施設に改組・転換した折り，３大研究部門の一つとして組織された。本研究部門は，バリアフリーの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，電波，光波による超大容量情報通信技術，及び高速・高効率信号処理技術に関わる研究を目標に掲げている。すなわち，前者は，超高速光通信技術を骨格に超大容量の情報を光ファイバ通信網で伝送するために，光をミリ波・サブミリ波で変調・復調するための技術・システム，光をパーソナルに使えるようにするためのデバイス技術の研究，及び地震等の災害に強い空間利用の大容量情報通信の研究であり，後者は限られた周波数帯域を有効に用いるためのスペクトル拡散通信など，超音波信号処理の特性を活かした小電力通信技術の研究を目的とした。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２研究分野，光波関連の２研究分野，ワイヤレス通信及び音響デバイス関連の各１研究分野，将来錯綜することが予想される通信環境に対処するために平成12年度に発足した通信環境工学研究分野（フロンティア研究分野）の１研究分野と量子波デバイスの基盤研究を目指す１客員研究分野の８研究分野により構成されている。また，超高密度・高速知能システム実験施設の超高速電子デバイス部は，コヒーレントウエーブ工学研究部門の関連分野として，各研究分野と協力して部門の管理・運営，目標の達成に当たると共に，遠赤外電磁波の発生や電子スピン制御による信号処理など新しい領域を開拓している。

これら８研究分野及び施設１部の具体的な研究項目と平成12年度の研究成果の概要は分野毎にまとめられているが，その代表的な研究成果を以下に略述する。

電磁波関連では，高周波数帯域の電磁波の高度利用への要求に応えるべく，サイクロトロン高速波管に新たな動作方式を導入し，ミリ波帯電磁波の高効率発生と広帯域発生を達成した。また，半導体デバイスの機能を利用したマイクロ波，ミリ波帯の変調電子ビームの新しい発生方式を提案し，その原理実証を行った。さらに，ミリ波帯電磁波を用いたイメージング技術に関しては，35GHz帯パッシブ・イメージング方式により，常温物体の観測に成功した．また，60GHz 帯近接場顕微鏡イメージング方式では，誘電体試料の表面波伝送を抑える方法の開発に成功した．これらは，いずれもミリ波帯情報処理技術の根幹をなすもので，今後の展開が期待される。

光波関連では，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電磁波の開拓を一つの目標としており，誘電体ドメイン超格子を用いた光パラメトリック発振(OPO)により，可視域から赤外域の波長可変コヒーレント光発生に成功しているが，新たにストイキオメトリック$LiTaO_3$結晶を用いたドメイン超格子を作製し，そのOPO特性を解明した。また，2つの周期をモノリシック集積した$LiNbO_3$ドメイン超格子を用いた2波長同時発振OPOを開発し，有機DAST結晶における差周波発生により1.9～2.5THzの波長可変コヒーレントTHz波の発生に成功した。一方，フォトニック結晶による３次元光導波路やミリ波帯光変調器の開発においても大きな進展が

得られ，これらの研究は産官学連携による技術開発を目指す東北大学未来科学技術共同研究センターに引き継がれている。

ワイヤレス通信に関しては，バリアフリー通信を目標にスペクトル拡散近似同期CDMA方式（SS-CDMA）の構築を中心に研究を行っているが，送受信回路をワンチップ化して高集積化・低消費電力化を可能とするパケットSS-CDMAモデム用のLSIの開発を行った。さらに，セルラ方式上り回線において，複雑な送信電力制御(TPC)を不要とする近似同期CDMAモデムの開発，及びレイヤ2転送による簡易な分散型ルーティングを実現したプロトコルの提案・実装などを行い，SS-CDMAフレキシブルワイヤレスネットワークの実現へ向けた個別技術を完成させた。

音響関連では，サブナノメータ（０．３～０．５nm）分解能を有する走査型非線形誘電率顕微鏡の開発とナノ分極ドットの作製，電界の4乗応答分布を計測できる高次非線形誘電率顕微鏡の開発，及び非線形誘電率顕微鏡を用いたサブÅ超高感度距離センサの開発に成功するなど，ますます高度化する情報処理技術に対応するための誘電体材料とそのデバイス開発に大きな展望を与えた。

高速大容量通信に適した電波環境を構築するためには，まず無線機器や電子機器から発生する電磁波の強度を正確に測定することが不可欠である。このため，新たに発足した通信環境工学研究分野ではVHF/UHF帯測定用アンテナの精密校正法に関する研究を行い，この周波数帯域での国際標準化に資する成果を得た。今後は，さらに電磁波の精密計測とその国際標準化に関する研究を推進するとともに，現在急務となっている電波環境の実態把握と漏洩電磁波の各種ディジタル通信に及ぼす影響に関する研究に展開する。

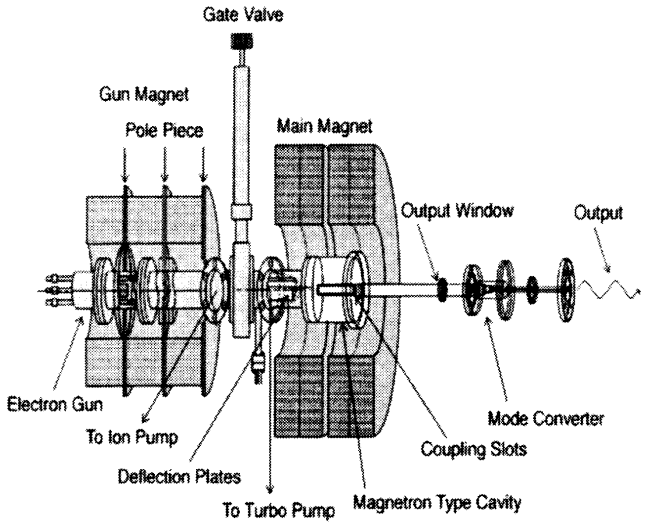
量子波デバイスの開発を目指す客員研究分野では，光ソリトン伝送や超高速光パルス形成技術の研究を行い，分散マネージソリトンによる640 Gbit/sの超大容量伝送や再生モード同期によるサブピコ秒の超高速パルス光の発生など，次世代の超高速・長距離光伝送に向けた研究開発に大きな進展をみた。

超高密度・高速知能システム実験施設の超高速電子デバイス部は，コヒーレントウエーブ工学研究部門の各分野と連携して，高速デバイスの研究開発を行っており，非磁性半導体中のスピンの制御による新たな超高速デバイス開発に向けた研究等に顕著な成果を挙げているが，これについては実験施設の目標と成果の項目を参照して戴きたい。

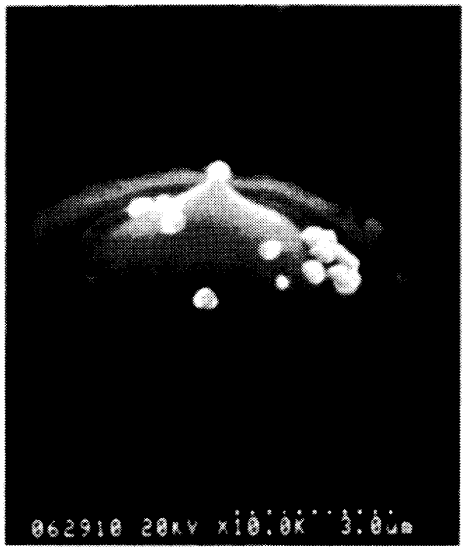
以上が，平成12年度のコヒーレントウエーブ工学研究部門の目標と成果の概要であるが，さらに，超高速・高度通信技術構築への要求に応えるべく，光波通信を含む総合システム技術として展開できるよう部門を越えた研究の連携，及び研究目標の策定を進めている。

極限能動デバイス研究分野

真空エレクトロニクスとその工学的応用の研究



ペニオトロンの構成図



シリコンティップ上へ成長したダイヤモンドエミッタ

情報通信を始めとするエレクトロニクス分野における電子デバイスに対する要求は，周波数，出力，効率，耐環境性等の点で年々ますます高くなっており，要求仕様は半導体デバイスの動作限界を超える領域に踏み込んでいる。

本研究分野では，上記の限界を破るべく真空電子デバイスの研究開発に取り組んでいる。真空電子デバイスでは動作媒質として真空を用いるために，運動電子の高速性から本質的に高速動作が可能で，耐環境性にも優れる長所を有している。さらに物質中を運動する電子と異なり，真空電子は媒質中でのエネルギー損失を伴わないために，高効率の動作が可能である。本研究分野において，これらの特長を生かした真空電子デバイスの開発を目指して，具体的にはサイクロトロン高速波管および真空マイクロエレクトロニクスデバイスの開発研究を行っている。以下に本年度の成果について述べる。

サイクロトロン高速波管の高性能化については，ペニオトロン管のサイクロトロン2 次高調波動作において，リッジ付き平行二線型共振器構造を用いてTEMモードによる自己共鳴動作に成功した。これによって，サイクロトロン高次高調波においても自己共鳴動作による高効率化が可能であることが示された。また，ペニオトロンの高周波数化を目指してサイクロトロン17次高調波および27次高調波動作による発振管の開発研究を進めており，高次高調波動作に必要な微細リッジ構造を有するマグネトロン形空胴共振器の試作を行った。一方，ジャイロトロンの広帯域化に取り組み，E バンド帯 (60～90GHz) において長尺円形空胴共振器の高次縦モードを用いることにより，60GHzから70GHzの範囲において，円形TE_{01}単一出力モードによるステップチューナブル動作に初めて成功した。これによって，ミリ波帯域においても広帯域の大出力電磁波源が実現可能であることが示された。

真空マイクロエレクトロニクス用微小電子源の研究においては，小型，中電力，高効率のマイクロ波，ミリ波帯電磁波源の開発を目指し，電子源から直接マイクロ波，ミリ波帯領域で変調電子ビームを発生できるGaAsのガン効果を用いた微小電子源の開発を行った。横型のGaAsエミッタで原理実証実験に成功したため，さらに実用面からより応用分野の広い縦型のガンGaAsエミッタの開発に着手した。ダイヤモンドやカーボンナノチューブ（CN）などの炭素系陰極は，安定動作，低電圧駆動，大面積成膜，低価格が可能な電子源として注目されている。電子源の高機能化と電子放射機構の解明のため，単１のSiティップ上に成長した単結晶ダイヤモンド粒子からなるエミッタの開発を行い，単１のSiティップ上に単結晶ダイヤモンドを成長させる条件をほぼ見いだした。また，MOSトンネル陰極の高効率化を目指して，２重トンネル酸化膜を持つMOSトンネル陰極の試作を行った。２重トンネル酸化膜を持つMOSトンネル陰極では，トンネル酸化膜の間の多結晶シリコン層に電荷が蓄積され，その結果２つの酸化膜の電界分布が変化し高効率となることが予想される。原理検証実験の結果，多結晶シリコン層に電荷が蓄積され２つの酸化膜の電界分布が変化することが確認された。さらに，微小電子源による小型自由電子レーザの実現を目指して，微小電子源から放射される低エネルギ-ビーム（10 - 40eV）と回折格子を用いて，スミスパーセル効果による可視光放射実験を行った。結果，微小電子源のスミスパーセル効果による可視光放射を世界で初めて観測した。

＜職員＞

教　授　横尾　邦義（1993年より）
助教授　三村　秀典（1996年より）
助　手　佐藤　信之
技　官　寒河江克巳

＜教授の研究歴＞

昭和37年静岡大学工学部電気工学科卒業，昭和46年東北大学大学院工学研究科博士課程修了。東北大学助手，助教授を経て，現在電気通信研究所教授。この間，マイクロ波帯電子ビームデバイス，半導体デバイス，真空マイクロエレクトロニクスデバイスの開発研究に従事。電子情報通信学会，電気学会，応用物理学会，IEEE会員。

＜主な研究発表2000年度＞

○N. Sato, S. Suzuki, K. Endo, K. Sagae, K. Yokoo, and T. Kikunaga, “Devlopment of 5 GHz Permanent Magnet Peniotron”, IEICE Trans. Electron. E83-C, 2000, 1677-1682.
○三村秀典, 嶋脇秀隆, 横尾邦義, “半導体エミッタからの電子放射特性”, 電子情報通信学会論文誌 J83-C, 2000, 673--680.
○H. Ishizuka, K. Kawamura, K. Yokoo, H. Shimawaki and A. Hosono, “Smith-Purcell radiation experiment using a field-emitter array cathode”, Nucl. Instr. and Meth. A 445, 2000, 276-280.
○K.Yokoo, K. Okamura, H. Mimura, O. Yilmazoglu, D. Arslan, H. Hartnagel, and H. Ishizuka, “Field emission studies for microwave aand optical wave generation”, Proc. 8th Int. Conf. on Terahertz Electronics, darmstadt, 2000, p.17-20.
○H. Mimura, K. Okamura, Y. Neo, H. Shimawaki and K. Yokoo, “Resonant tunneling cathodes using GaAs/AlAs quantum structures”, Extended abstract of the 2000 International Conference on Solid State Devices and Materials, Sendai, 2000, p.104-105.
○H. Mimura, K. Okamura, H. Shimawaki, K. Yokoo, O. Yilmazoglu and H. Hartnagel,” GaAs lateral field emitters for generation of modulation beam using Gunn effect”,Technical digest of 13th Internatonal Vacuum Microelectronics Conference, Guangzhou, 2000, p.234-235.
○O. Yilmazoglu, H. Hartnagel, H. Mimura, K. Okamura, H. Shimawaki, K. Yokoo, “GaAs lateral field emitters for generation of modulation beam using Gunn effect”, Technical digest of 2nd European Field Emission Workshop, Segovia, 2000.

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

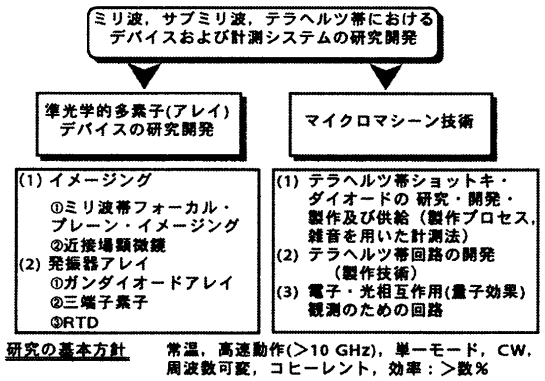


図1　工学研究分野のアウトライン



（上：可視光による画像，下：対応するミリ波画像）

図2　ミリ波画像の例

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，新機能材料の評価，地球環境計測，あるいはプラズマ計測等の諸分野においても，テラヘルツ領域の技術開発が強く望まれている。テラヘルツ工学研究分野では，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，機械的スキャンニング装置等の各部分を綜合し，35GHzにおいて常温物体のイメージングに成功した。対象物体としては，100～200m先の建造物，木，背景の空，人体などであり，さらにミリ波伝搬の特異性を示すために行ったボール紙で隠された人体のイメージングにも成功した。図2はミリ波でみた外の景色と可視光写真との比較を示したものである。光学系レンズの直径と波長とで決定される回折限界までの分解能が得られている。またスペックル，グリントなどの効果が現れていないが，これはパッシブ・イメージング技術の実用上の大きな利点である。さらにミリ波像に関して，受信ミリ波強度と物体の等価放射温度との関係を明らかに出来たので，今後各種物体の等価放射温度を測定していく予定であるが，これはこれからのパッシブ・イメージング技術に対して大きな基礎データを与えるものである。

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，取得画像の定量的評価を目的とし，観測対象である平面物体上の表面波に起因する測定値の揺らぎを低減するため，物体側の構成を改善した。物体を半球レンズ状の台に置くことにより，位置に対する周期的な揺らぎを10%近くから2%前後まで低減することを可能とした。さらに，同軸線路を用いたプローブを製作し，中心導体の端部を先鋭化することにより，60GHz（波長：5mm）で先端部の曲率と同程度の大きさの分解能（~40 μm）で物体を観測することに成功した。

《発振器アレイの研究》短ミリ波，サブミリ波，テラヘルツ帯技術を開発するに際して，コヒーレント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。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，導波管アレイを用いた電力合成器を開発し，94GHz帯において電力合成効率80%，出力450mW（CW）を達成した。

《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，量子効果に制限されて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（$h\nu$=1.6 eV）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。本年度は可視光領域における実験の予備段階として，赤外領域（10.6μm）にて動作する微小間隙回路を設計，製作し，赤外光と電子ビームとの相互作用を実験的に観測することに成功し，諸特性を得た。

〈職員〉 教　授　水野皓司（1984年より）
助教授　裵　鐘石（1992年より）
助教授　莅戸立夫（2000年より）
助　手　濱野哲子

〈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。

〈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．ショットキ・ダイオードの開発
4．光と電子との相互作用に関する基礎研究
5．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] J. Bae, R. Ishikawa, S. Okuyama, T. Miyajima, A. Akizuki, T. Okamoto, and K. Mizuno, "Energy modulation of nonrelativistic electrons with a CO_2 laser," Appl. Phys. Lett., vol. 76, no. 16, pp. 2292-2294, 2000.

[2] T. Nozokido, J. Bae, and K. Mizuno, " Visulalization of photoexcited free carriers by scanning near-field millimeter-wave microscopy," Appl. Phys. Lett., vol. 77, no. 1, pp. 148-150, 2000.

[3] 藤井哲，オルガ・ボーリッチ・ルベキ，裵鐘石，水野皓司，" 直列接続法による共鳴トンネルダイオードのスプリアス発振制御，" 電子情報通信学会誌C, vol. J83-C, no. 10, pp. 946-953, 2000.

[4] A. Mase, M. Ohashi, A. Yamamoto, H. Nagayama, K. Kawahata, K. Watabe, K. Mizuno, H. Matsuura, K. Uchida, and A. Miura, "Application of millimeter-wave imaging system to LHD," Rev. Sci. Instrum., vol. 72, no. 1, pp.375-378, 2001.

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

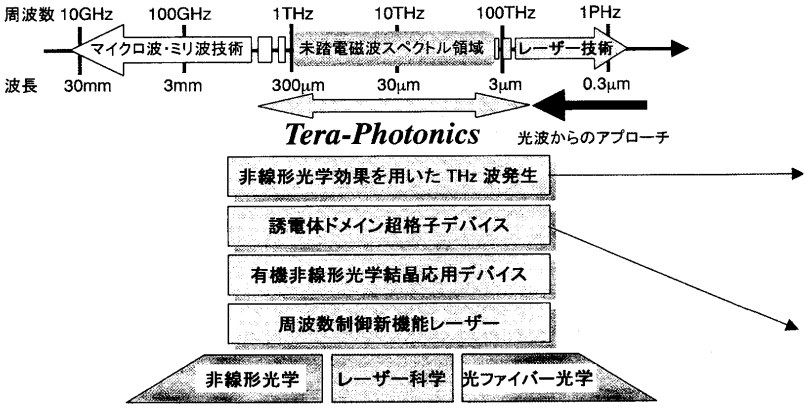


図1 レーザー制御技術による未踏周波数領域の開拓

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（図1）。

《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（QPM）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い、光パラメトリック発振（OPO）による中赤外～遠赤外光の発生に応用している。OPOの高出力化には、結晶開口面積の増大が必要不可欠であり、そのためにこれまで困難であると思われていた、厚さ1 mmの$LiNbO_3$結晶の周期分極反転を行い、高い品質の周期分極反転$LiNbO_3$結晶の作製に成功した。この結晶を用いて光パラメトリック発振を行ったところ、1.5μm帯において6mJ/pulseの高い出力エネルギを得た。

《非線形光学効果を用いた広帯域波長可変コヒーレントTHz波発生》

光波と電波の境界にあるテラヘルツ波（THz波）領域は，未開拓の電磁波スペクトル領域であり，分子科学，物性物理学，生命科学において新たな現象の発見をもたらす可能性がきわめて高く，また環境計測や医療，産業応用等においても幅広い展開が期待される。我々は非線形性に優れた$LiNbO_3$や$MgO:LiNbO_3$結晶を用いたレーザー励起パラメトリック発振により，98～420μm（0.7～3.1THz）にわたる広帯域波長可変性と10mW以上(ピークパワー)の高出力を実現し，さらに連続波シード光源を用いた光注入法を導入してTHz波スペクトルの大幅な狭帯域化にも成功した。また，本光源を用いた高輝度・高分解能THz波干渉分光光度計を構築している。

また，$LiNbO_3$に比べて1桁以上高い非線形光学係数を有する有機非線形結晶

DAST(4-dimethylamino-N-methyl-4-stilbazolium tosylate)の高品質な結晶育成に成功しており，KTPやQPMデバイスを用いた2波長発振OPO光源を用いた差周波混合による波長可変コヒーレントTHz波の発生や，高感度なEO電界センサーを実現している。

《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，共振器内に挿入された音響光学素子（AOM）で周波数シフトした光波をレーザー媒質に帰還させる構成をもつ。我々はその発振機構の解明において先駆的な研究を行っており，圧力や温度等の高精度な光計測への応用研究に取り組んでいる。また，レーザー媒質としてエルビウム添加ファイバー（EDF）を用いたファイバー型FSFレーザーにおける発振に成功しており，モードロック動作でのFSFレーザーの動作解析を行っている。また、このファイバー型FSFレーザーを用いた応用では，光学長 150 kmの光ファイバーを分解能 40 mm で測定することに成功している。さらに，観測されるビートスペクトルの半値幅から，測定対象の群速度分散を測定可能であること，および高速光伝送通信における問題点である偏波モード分散（PMD）の測定が可能であることを提案し，実験的確認にも成功した。これらは既に敷設されている通信用ファイバのPMDの評価にも適用でき，高速通信網の診断に有力な手段となることが期待される。

職　員

教授（兼任）伊藤　弘昌（1993/1～）
教　　授　Yuri AVETISYAN（2001/4～）
助 教 授　谷内　哲夫（1996/1～）
助　　手　四方　潤一，中村孝一郎
技　　官　今野　勇治，田久　長一
技術補佐員　庄子　鉄雄，齋藤美紀子
秘　　書　津田亜紀子

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，助教授を経て現職。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。昭和46年度米澤記念学術奨励賞，平成１年度電子情報通信学会論文賞。応用物理学会，電気情報通信学会，日本光学会，レーザー学会，IEEE各会員。OSAフェロー。

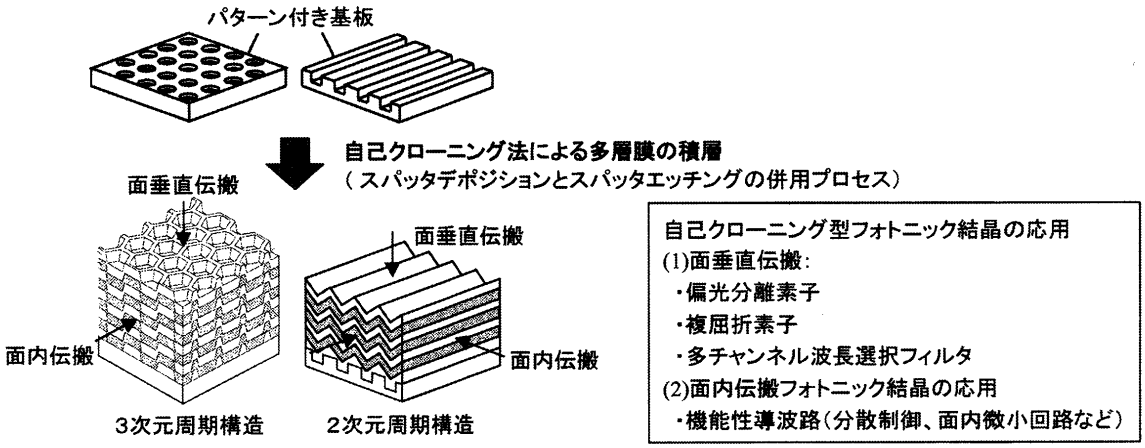
主な発表論文（2000年度）

1．伊藤弘昌，“総論－テラフォトニクスへの歩み－(特集・テラヘルツ光学)”，O plus E, vol.22, no.1, pp.32-33 (Jan. 2000).
2．Koichiro Nakamura, Takefumi Hara, Masato Yoshida, Toshiharu Miyahara, and Hiromasa Ito, “Optical Frequency Domain Ranging by a Frequency-Shifted Feedback Laser”, IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol.36, No.3, pp.305-316 (March 2000).
3．Jun-ichi Shikata, Kodo Kawase, Ken-ichi Karino, Tetsuo Taniuchi, and Hiromasa Ito,” Tunable Terahertz-Wave Parametric Oscillation Using $LiNbO_3$ and MgO:$LiNbO_3$ Crystals”, IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol.48, No.4, pp.653-661 (April 2000).
4．Takaaki Hatanaka, Koichiro Nakamura, Tetsuo Taniuchi, Hiromasa Ito, Yasunori Furukawa, Kenji Kitamura, “Quasi-phase-matched optical parametric oscillation with periodically poled stoichiometric $LiTaO_3$”, Optics Letters, Vol.25, No.9, pp.651-653 (May 2000).
5．T. Hatanaka, K. Nakamura, T. Taniuchi and H. Ito, “Dual signal-wave optical parametric oscillator using periodically poled LiNbO3 with series gratings”, Electronics Letters, 3rd August 2000, Vol.36, No.16, pp.1409-1411.
6．T. Taniuchi, J. Shikata and H. Ito, “Tunable terahertz-wave generation in DAST crystal with dual-wavelength KTP

optical parametric oscillator”, Electronics Letters, 3rd August 2000, Vol.36, No.16, pp.1414-1416.
7. 吉田真人, 宮本敏行, 中村孝一郎, 伊藤弘昌, “周波数シフト帰還型ファイバレーザを用いた光ファイバの分散測定：群速度分散”, 電子情報通信学会論文誌B, Vol.J83-B, No.11, pp.1608-1613, (Nov. 2000).

光集積工学研究分野

フォトニック結晶の作製技術とデバイス応用



格子変調型導波路断面のSEM写真

1．分野の目標

光通信をはじめ，光エレクトロニクスを利用する各分野では，光部品やデバイスの小型化・高効率化の重要性が益々高まっている。現状の技術の壁を打開し，大きく飛躍する方法として，近年フォトニック結晶という新しい人工媒質が注目されている。これは波長の1/2程度の周期性をもつ多次元周期構造体からなり，従来の材料では得ることのできなかった特異な光学性質を有しており，新しい機能の創出や超高効率化が可能となる。本研究分野では，薄膜成膜技術を元にした新しく簡便なフォトニック結晶作製技術（自己クローニング法）を開発すると共に，様々な光学特性を実現し，それを利用した新規の光デバイスを開発する。本学未来科学技術共同研究センター フォトニクス産業創製グループとの連携をとり研究を進めている。

2．平成12年度の主な成果

(1) 面垂直伝搬の応用

偏光分離素子の実用化

自己クローニング型Si/SiO_2系2次元フォトニック結晶を利用した偏光分離素子について，これまでに低損失・高消光比を実証してきた。平成12年度より科学技術振興事業団プレベンチャープロジェクトにおいて，実用化を目指した生産技術の開発を，本学未来科学技術共同研究センターフォトニクス産業創製グループと協力し進めている。

多チャンネル波長選択フィルタ

自己クローニング型３次元フォトニック結晶をミラーとするファブリペロー型共振器フィルタでは，面内の格子定数によって透過ピーク波長が変化する。今年度は，Si/SiO_2系結晶を用いて波長1.55μm帯で動作するフィルタの設計を行なった。実際に，格子定数の異なる領域をもつ基板に一度の積層プロセスを施すことで，透過波長が異なる複数のフィルタを作製し，動作を確認すると共に本フィルタの優位性を示した。

(2) 面内伝搬の応用

自己クローニング型結晶において，実効的屈折率は格子定数や方位により制御できることを数値計算により明らかにした。この性質を元に，今年度は2次元結晶を用いた格子定数変調型および格子方位変調型の2種類の導波路の設計･作製･評価をおこなった。最適なバイアススパッタの条件を細かく探索し，約200層もの総層数を持つ結晶を安定に作製する条件を見出した。導波特性の光学測定では，ほぼ設計どおりの光の閉じ込めを観測した。今後，分散性，バンドギャップを利用した機能性導波路に展開していく予定である。

(3) 要素技術の開発

新材料の開拓

Ta_2O_5/SiO_2フォトニック結晶からなる複屈折素子の動作波長を400nmまで短波長化し，また特性改善を進めた。さらにTa_2O_5が可視域だけではなく近赤外領域においても低損失であることを明らかとし，波長板や偏波選択回折格子等の面型デバイスだけではなく導波路型デバイスへの応用も可能なことを実証した。

形状自由度の拡大

面内の周期性を表面の凹凸形状だけでなく，1層の厚さの変調を加えることができれば，面内に伝搬する光に対してより強い面内周期性を与えることができ，新たな機能を実現することができる。今年度は，従来の自己クローニング法に反応性エッチングを複合させた連続かつ自動化プロセスを開発し，70°の急斜面をもつ構造を数周期積層することを可能にした。

3. 職員名

助教授：花泉　修（1996年より2000年11月まで）
助　手：佐藤　尚
助　手：大寺康夫
秘　書：星　千春

4. 主な発表論文

[1] T. Sato, K. Miura, Y. Ohtera, T. Tamamura, and S. Kawakami, "TiO2/SiO2 photonic crystals and application of their anisotropy," Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference (CLEO/QELS), San Francisco, California, May 9, 2000, paper QTuC5.

[2] O. Hanaizumi, K. Miura, M. Saito, T. Sato, S. Kawakami, E. Kuramochi, and S. Oku, "Frontiers related with automatic shaping of photonic crystals," IEICE Trans. Electron., vol. E83-C, no. 6, pp. 912--919, 2000(invited).

[3] O. Hanaizumi, Y. Sakurai, Y. Aizawa, S. Kawakami, E. Kuramochi, S. Oku, "Embedding of III-V Compound Semiconductors into 3D Photonic Crystals," CLEO/Europe 2000, Nice, France, September 10-15, 2000, paper CME2.

[4] T. Kawashima, K. Miura, T. Sato, and S. Kawakami, "Self-healing effects in the fabrication process of photonic crystals," Appl. Phys. Lett., vol. 77, no. 16, pp. 2613-2615, 16 October 2000.

[5] Y. Ohtera, T. Sato, T. Kawashima, K. Miura, and S. Kawakami, "Recent progress of automatic shaping technology for photonic crystals," Material Research Sience Fall Meeting, Boston, November 27- December 1, 2000, paper E4.2, pp. 98 (invited).

[6] 川嶋貴之，藤村厚，佐藤尚，川上 彰二郎，「フォトニック結晶の自己クローニング法による作製技術」日本結晶成長学会誌，vol. 28, no. 1, pp. 13-18, 2001年1月.

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

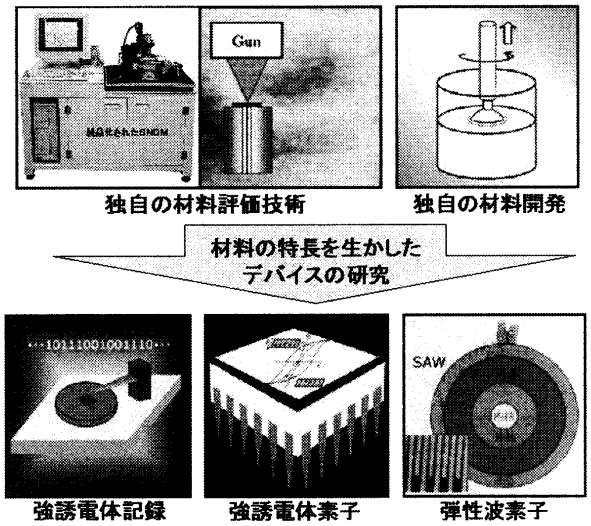


図１．フォノンデバイス工学研究分野の目標

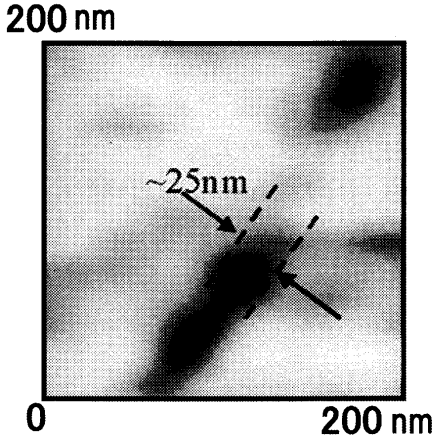


図2.. PZT薄膜に形成された微小分極反転ドメインドット

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超音波デバイス・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．超高分解能走査型非線形誘電率顕微鏡の開発と単一双極子モーメントの可視化の研究
２．走査型非線形誘電率顕微鏡を用いた強誘電体材料・圧電材料の評価法の研究
３．非線形誘電率顕微法を用いた次世代超高密度誘電体記録の研究
４．光（含む電子線）熱誘電率顕微鏡によるマイクロ波用誘電材料の評価法の研究
５．超高結合圧電単結晶・薄膜材料の探索とそれを用いた超音波機能素子の研究

2．過去1年間の主な成果

本年度は，まず，SNDMの一層の高分解能化を行った。その結果0.3nmのサブナノメータの分解能を達成した。強誘電体の単位格子が0.4nm程度の大きさであることより，もはや平均的な分極という概念は適用できなくなり幾つかの双極子モーメントを直接観測している可能性がある。理論的な検討より原子スケールの分解能が期待できかつ高分解能化のために探針半径をいくら小さくしても計測感度が下がることがないということが判明しているため，固体中の単一双極子モーメントの可視化まであと一歩のところまで来ている。次に，従来の3次の非線形誘電率よりも高次の（特に5次の）非線形誘電率を計測する技術について検討を行い，通常の計測方法では知ることが困難であった数格子程度の表面近傍の分極状態（局所的な異方性）の評価が可能となった。更に次世代高密度誘電体記録の研究では，SNDMを用いてPZT薄膜に直径約25nmの微小な分極反転ドメインドットを形成し，その読み出しに成功した。これより，1Tbit/inch^{2}を越える高密度記録の可能性が高まり，来年度以降でこの研究を発展させていく予定である。

3．職員名

教　授　呉　培　亭（2000年より）
助教授　長　　康雄（1997年より）
助　手　小田川裕之

4．過去1年間の主な発表論文

[1]Y.Cho, K.Ohara, S. Kazuta and H.Odagawa: “Image Production Mechanism for Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy with Super High Resolution and its Application to Quantitative Evaluation of Linear and Nonlinear Dielectric Properties of Ferroelectric Materials”, Integrated Ferroelectrics, Vol.32, No.1-4, (2001) pp.133-142.

[2]H.Odagawa, Y.Cho and S.Kazuta:” Observation of Nano-Size Ferroelectric Domains and Crystal Polarity using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, Integrated Ferroelectrics, Vol.32, No.1-4 (2001) pp.225-234.

[3]Y.Cho, N.Oota, H.Odagawa and K.Yamanouchi: “Quantitative study on the nonlinear piezoelectric effect in $KNbO_3$ single crystals for a super highly efficient SAW elastic convolver”, J. Appl. Phys., Vol.87 (2000) pp.3457-3461.

[4]Y.Cho, O.Jintsugawa and K.Yamanouchi: “Scanning Electron-Beam Dielectric Microscopy for the Investigation of the Temperature Coefficient Distribution of Dielectric Ceramics”, J. Am. Ceram. Soc., Vol.83 (2000) pp.1299-1301.

[5]Y.Cho, S.Kazuta, K.Ohara and H.Odagawa: “Quantitative Measurement of Linear and Nonlinear Dielectric Characteristic Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.39, No.5B (2000) pp.3086-3089.

[6]S.Kazuta, Y.Cho, H.Odagawa and M.Kadota: “Determination of the Polarities of ZnO Thin Films on Polar and Nonpolar Substrates Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.39, No.5B (2000) pp.3121-3124.

[7]K.Yamanouchi, K.Kotani, H.Odagawa and Y.Cho:”Theoretical Analysis of Surface Acoustic Wave Propagation Characteristics under Strained Media and Application for High Temperature Stable High Coupling Acoustic Wave Substrates”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.39, No.5B (2000) pp.3032-3035.

[8]H.Odagawa, Y.Cho, H.Funakubo and K.Nagashima: “Simultaneous Observation of Ferroelectric Domain Patterns by Scanning Nonlinear Dielectric Microscope and Surface Morphology by Atomic Force Microscope”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.39, No.6B (2000) pp.3808-3010.

[9]Y.Cho:”Determination of Electrostrictive and Third-Order Dielectric Constants of Piezoelectric Ceramic”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.39, No.6A (2000) pp.3524-3527.

[10]H.Odagawa and Y.Cho” Simultaneous observation of nano-sized ferroelectric domains and surface morphology using scanning nonlinear dielectric microscopy, Surface Science,463 (2000) pp.L621-L625.

[11]H.Odagawa and Y.Cho:” Theoretical and Experimental Study on Nanoscale Ferroelectric Domain Measurement Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.39, No.9B (2000) pp.5719-5722.

電子音響集積工学研究分野

超高信頼性無線通信技術を目指した システム･回路･デバイス･プロセス･材料の一貫した研究

21世紀のワイヤレスマルチメディア社会において，各個人はTele-Padと命名される携帯情報無線端末をもち，Tele-Pad相互間あるいは基幹ネットワークに接続されたスーパー・ワークステーションとの間で，音声・データ・画像などの情報を各自が分散交換機能をもって，「いつでも，どこでも，誰とでも」自由にやりとりするC＆Cのパーソナル化がますます進展すると考えている。本研究分野では，Tele-Padによるフレキシブルワイヤレスネットワークの実現を目的に，システム･回路･デバイス･プロセス･材料の一貫した研究を行っている。(図１) 以下，本年度の成果について述べる。

《超高信頼性スペクトラム拡散(SS)通信システム》
スペクトラム拡散通信方式は，ベースバンドデータを高速の擬似雑音(PN)コードで２次変調し，周波数帯域を拡散して送信し受信側では送信側と同じPNコードを用いて相関をとり(２次復調)，元のデータに復調する。拡散・逆拡散のプロセスによりSS固有のS/N改善であるプロセスゲインが得られ，無線通信区間をロバスト化できる。また，PNコードによるチャネル識別能力，即ち CDMA (Code Division Multi-ple Access) が可能であり，さらに位置検出が可能といった特徴をもつ。ノイズレベル以下になる受信信号を逆拡散により復調するためには相関素子が必要であるが，特に携帯端末には低消費かつ小型相関素子が必須である。本研究分野では，IF(200 MHz)帯で非同期で相関処理を行うデバイスとして，ZnO/Si構造SAWコンボルバを開発・実用化し，国内認可第1号となる2.4GHz非同期SS無線モデムを開発した。
本年度は，SS-CDMA通信方式を用いたラスト１マイルアクセス網・WLL(Wireless-Local-Loop)の基盤技術の構築を目指した。(図２a)　多数の移動局から任意の時間に信号を受け取る必要のある基地局への「Upリンク」側では，チャネル間干渉のない近似同期CDMA符号を使用し，SAWコンボルバを用いた相関回路の試作を行った。システム性能としてセル半径約150mが可能である事を示した。また，近似同期CDMA符号として，相互相関が零であるチャネル数を多く確保できる新たな２相および３

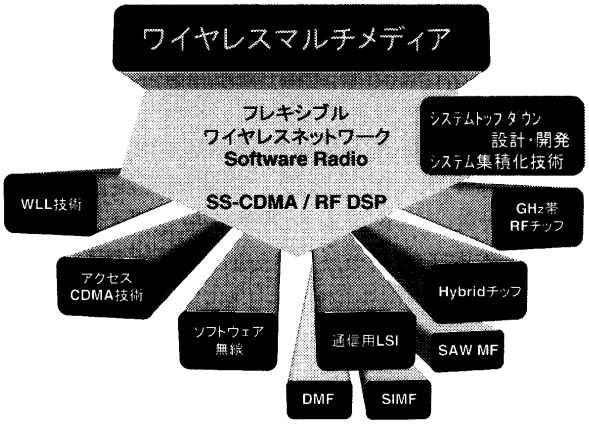


図１ 電子音響集積工学研究分野の研究目標

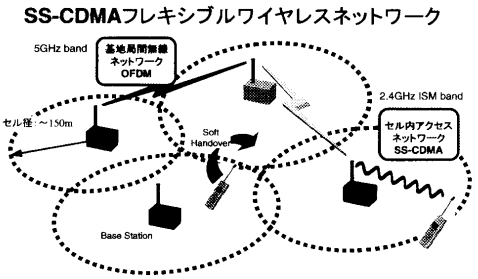


図２a セル化CDMAシステム

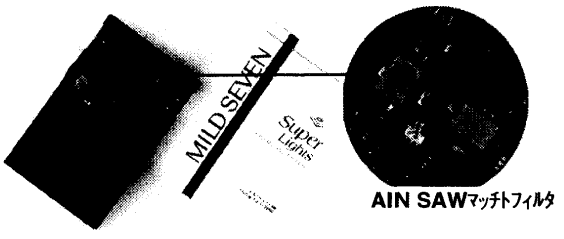


図２b 2.4GHzフロントエンドAIN SAWマッチトフィルタを用いた2.4GHzSS無線カード（PC card type-Ⅱ,2Mbps）

相系列を提案した。
一方受信機に小型･低消費電力復調器が必須となる移動局への「Downリンク」側では，2.4GHz SS信号を直接ベースバンドデータに復調するフロントエンドマッチトフィルタを用いる。本研究分野で開発してきた窒化アルミニウム/サファイア(AlN/Al_2O_3)構造は，約6,000m/secの高音速を有し，かつ本研究分野で見出した零温度係数伝搬遅延時間特性を持つので，2.4GHzフロントエンドSAWマッチトフィルタに最適な材料である。これまで設計・開発したマッチトフィルタを用いて2MbpsSS無線カードを開発している(図2ｂ)。本年度は，拡散符号同期にSAWマッチトフィルタを用いたパケットSS-CDMA方式を提案し，実際に送受信機を構成して通信実験を行い，その実用性を評価した。
また，AlNエピタキシャル成長技術に関して，開発してきた２インチサファイア基板上に膜厚分布±1%でAlN膜を成長させる「クヌーセン圧MO-CVD技術」において問題となる表面クラックの発生について，高温成長による低減を図り，AlN薄膜のSAW伝搬特性評価により伝搬損失の大幅な低減を確認した。

《超低消費電力Si集積回路》
バッテリ動作Tele-Padの実現のためには，アナログ・デジタル信号処理集積回路の低消費電力化が必須である。本研究分野では，10mW以下の消費電力が実現可能なDS-CDMA移動端末用電流モードマッチトフィルタCC-SIMF(Curent-cut switched current matched filter)を提案している。本年度は，128Chip-SIMFを試作し，その相関特性を実測・確認した。またシステムから回路，デバイスレベルまでを一貫して評価する指標として，通信システムの設計・評価に広く用いられているEb/No-BER (Eb: 1ビット当たりのエネルギー，No:1Hz当たりの雑音電力，BER:ビット誤り率）特性を提案し，CMOS集積回路のみならず単一電子トランジスタ(SET)回路にも適用可能である事を明らかにし，超低消費電力回路設計技術へと発展させている。さらに，シリコンLSIにおけるGHz信号伝送方式として高速RFバスラインの開発を行った。

《超微細シリコン技術》
RFからベースバンドまでの信号処理のためにはSi集積回路の高速化が必須である。本年度は，GHz帯CDMAデジタル携帯電話用送信アンプとして，高効率・線形動作が可能なCMOSアンプを提案し，回路構成について試作・シミュレーションにより評価した。またULSI多層配線形成プロセス技術として本研究分野で開発してきた選択AlCVD技術を量産化装置開発として，高速成膜のための有機金属原料の大量供給法であるDLI(Direct Liquid Injection)を導入し，堆積速度1 μm/minを実現した。

＜職員＞教　授　坪内和夫（1993年より）
助教授　益　一哉（1993年より）
助　手　横山道央
助　手　中瀬博之

＜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3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）受賞。平成9年第22回井上春成賞受賞。日本物理学会，日本応用物理学会，電気学会，電子情報通信学会，IEEE会員

＜研究テーマ＞
1. GHz帯SS-CDMAフレキシブルワイヤレスネットワークシステムの研究
2. GHz帯弾性表面波信号処理デバイス及び材料の研究
3. 超低消費電力シリコンアナログLSIの研究
4. シームレスインターコネクト実装技術の研究
5. ソフトウェア無線の研究

＜主な研究発表＞

1. K. Tsubouchi and K. Masu "Wireless Multimedia: SS-CDMA Technology" Proc. of International Symposium on Future of Intellectual Integrated Electronics (March 14-17, 1999, Sendai) p.259-268.

2. K. Masu, S. Shimano and K. Tsubouchi Matched Filter Type SET circuit for Room Temperature Operation Ext. Abst. 1999 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Tokyo, p.82-83 (1999).

3. K.Togura, K. Kubota, K. Masu, and K. Tsubouchi
Nobel Low-Power Switched Current Matched Filter without Current-Transfer-Error Accumulation Ext. Abst. 1999 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Tokyo, p.442-443 (1999).

4. S. Shimano, K. Masu and K. Tsubouchi, Reliability of Single Electron Transistor Circuits Based on Eb/No-BER Characteristics, Jpn. J. Apl. Phys., Vol.38 (1999) pp.403-405.

5. C.-H. Lee, T. Nishimura, H. Matsuhashi, M. Yokoyama, K. Masu and K. Tsubouchi, Crystallographic Structures and Parasitic Resistances of Self-Aligned Silicide TiSi2/Self-Aligned Nitrided Barrier Layer/Selective Chemical Vapor Deposited Aluminum in Fully Self-Aligned Metallization Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor, Jpn. J. Apl. Phys., Vol.38 (1999) pp.5835-5838.

6. J. S. Cha, S. Kameda, K. Takahashi, M. Yokoyama, N. Suehiro, K. Masu and K. Tsubouchi Proposal and Implementation of Approximately Synchronized CDMA System Using Novel Biphase Sequences International Technical Conference on Circuits/System, Computers and Communications (ITC-CSCC' 99), July 13-15, Niigata, Japan.56-59 (1999).

7. M. Yokoyama, T. Saito, R. Tachibana, A. Morimoto, K. Masu and K. Tsubouchi A High-Efficiency CMOS Class-B Push-Pull Power Amplifier for CDMA Cellular System Ext. Abst. 1999 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Tokyo, p.572-573 (1999).

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 ワイヤレスネットワークの実現

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開発，システム集積化技術の確立をコンセプトに，SS-CDMA (Spread Spectrum - Code Division Multiple Access：スペクトル拡散-符号分割多重通信) 技術を核としたネットワーク技術開発，Siによるディジタル，アナログ，ディジタル/アナログ混在LSI設計開発，GHz帯SAWデバイス開発，ネットワークプロトコル開発，を目的として研究開発を行っている。以下，本年度の成果についてまとめる。

【超高信頼SS－CDMAネットワークシステム開発】

ワイヤレスマルチメディア社会におけるラスト1マイルを実現するコンシューマ向け次世代セルラーネットワークシステムとして，SS-CDMA技術を核とした「フレキシブルワイヤレスネットワーク」に関して，無線通信方式を中心に各要素技術の研究開発を行っている。

本年度は，フレキシブルワイヤレスネットワークのセル内通信アップリンク技術として，我々が提案してきた近似同期CDMA方式のシミュレーションを用いた限界特性解明とSAWコンボルバを用いた近似同期CDMAモデム試作を行った。シミュレーションによる特性解明により，送受信機間のキャリア周波数偏差を1ppm以下に抑えることで特性劣化が無視できるほど小さいこと，通信モデムの送信電力制御なしで通信可能な電力マージンは希望信号対非希望波電力費DUR=-21ｄBであること，を見出した。さらに，SAWコンボルバを用いた試作モデムの伝送実験により，白色雑音下の伝送において理論値から1.2dBの劣化に抑えられること，キャリア周波数偏差1ppmの通信実験において電力マージンDUR=-25dBであること，を確認した。

この結果より，150mのセルを仮定した場合，キャリア周波数偏差0.3ppm，15dBステップ，4段階の粗い送信電力制御の導入によりフレキシブルワイヤレスネットワークのアップリンク技術として適用可能であることを明らかにした。

さらに，TCP/IPによるパケット伝送を行う場合のセル間移動を考慮した端末の移動管理プロトコルとして，レイヤ2の物理アドレスを用いた移動管理を提案し，基地局におけるスイッチ機能と移動通知パケットの導入により，アプリケーションレイヤのセッション切断を伴うことなくセル間移動が可能であるプロトコルを実現した。PC UNIXであるFreeBSD上に実装し動作を確認した結果，基地局間移動を行ってもアプリケーションの切断が起こらないことを確認した。

【Si CMOS B級プッシュプルパワーアンプの開発】

通常のSiディジタルプロセスを用いたCDMA用GHz帯動作パワーアンプとして，CMOS構成を用いたB級プッシュプル構成を採用し，W-CDMA向けパワーアンプの設計と，実測・シミュレーションによる評価を行った。その結果，W-CDMAにおける隣接チャネル漏洩電力比(Adjacent Channel leakage Power Ratio: ACPR)の許容値であるACPR=-33dBを確保した状態で，効率52.9%を確認した。さらに，マッチング回路等

への応用が期待できるアクティブインダクタの設計・試作を行い，RF帯でのインダクタンス動作を確認した。また，RF回路実装技術として，マイクロバンプの高周波特性をシミュレーションにより評価し，通過損失が0.2dB以下で20GHzまで実用可能であることを示した。

【MOCVDを用いたAlN単結晶薄膜形成技術の開発】

CDMA用マッチトフィルタ，RF/IF帯域制限フィルタなどGHz帯SAWデバイスへの応用をめざし，高音速かつ良好な温度特性を有するAlN/.Al_2O_3構造の実現のために，MOCVD法によるAlN単結晶薄膜形成技術の開発を行っている。

本年度は，原子層レベルの超平坦化AlN薄膜形成を目指し，高温2段階成長技術に関して検討を行った。その結果，1200/1300℃二段階成長により表面粗さRa=1nmの超平坦化薄膜を得た。

＜職員＞

教　授　坪内和夫（1993年より）
助教授　益　一哉（1993年より，2000年6月東工大へ教授として転出）
助　手　横山道央
助　手　中瀬博之

＜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3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，受賞。日本物理学会，日本応用物理学会，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。

＜研究テーマ＞

1．GHz帯SS-CDMAフレキシブルワイヤレスネットワークシステムの研究
2．GHz帯弾性表面波信号処理デバイス及び材料の研究
3．超低消費電力シリコンアナログLSIの研究
4．超高周波シームレスインターコネクト実装技術の研究
5．ソフトウェア無線の研究

＜主な研究発表＞

学会誌英文論文

(1) Kenji Togura, Hiroyuki Nakase, Koji Kubota, Kazuya Masu and Kazuo Tsubouchi
Low Power Current-Cut Switched-Current Matched Filter for CDMA
IEICE Trans. Electron., Vol E84-C, No.2, 2001, pp.212-219.

(2) Kenji Togura, Koji Kubota, Hiroyuki Nakase, Kazuya Masu and Kazuo Tsubouchi
Nobel Low-Power Switched-Current Matched Filter for Direct-Sequence Code-Devision-Multiple-Access Wireless Communication
Jpn. J. Appl. Phys., Vol.39 Part 1, No.4B, 2000, pp.2301-2304.

(3) Michio Yokoyama, Tetsuya Saito, Ryoichi Tachibana, Akihiko Morimoto, Kazuya Masu and Kazuo Tsubouchi
A High-Efficiency CMOS Class-B Push-Pull Power Amplifier for Code-Division-Multiple Access Cellular System
Jpn. J. Appl. Phys., Vol.39 Part 1, No.4B, 2000, pp.2463-2467.

(4) J. S. Cha, S. Kameda, K. Takahashi, M. Yokoyama, N. Suehiro, K. Masu and K. Tsubouchi,
New binary sequences with zero-correlation duration for approximately synchronized CDMA

IEE Electronics letter, Vol.36, No.11, 2000, pp. 991-993.

国際会議発表

(5) Kazuo Tsubouchi and Hiroyuki Nakase
SAW-Based Wireless Systems (invited)
Int. Symp. Acoustic Wave Devices for Future Mobile Commun. Systems, Chiba, 2001, 213-218.

(6) Suguru Kameda, Kouichi Takahashi, Taketo Kamata, Jae-Sang Cha, Hiroyuki Nakase, Kazuya Masu and Kazuo Tsubouchi
Design and Implementation of Intracell Revearse Link Using Approximately Synchronized CDMA
The 11th IEEE Inter. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC' 00) Proceedings, 2000,

(7) Hiroyuki Nakase, Koji Kubota, Suguru Kameda, Kenji Togura, Kazuya Masu and Kazuo Tsubouchi
Implementation of Low Power Matched Filter LSI for IMT-2000
The 11th IEEE Inter. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC' 00) Proceedings, 2000,

(8) H. Nakase, Y. Iizuka, S. Kameda, S. Tomabechi, A. Komuro and K.Tsubouchi
SS-CDMA Flexible Wireless Network: Packet SS-CDMA Modem Using SAW Matched Filter for Downlink
The 7th Int. Workshop on Mobile Multimedia Commun. (MoMuC2000), Tokyo, 2000, pp.2A-1-1 - 2A-1-6.

(9) A Silicon RF-CMOS Class-B Push-Pull Power Amplifier for IMT-2000
Extended Abstracts of the 2000 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Sendai, 2000, pp. 398-399.

(10) Chang-Hun Lee, Takamasa Nishimura, Kazuya Masu and Kazuo Tsubouchi
Aluminum Chemical Vaper Deposition Technology for High Deposition Rate and Surface Morphology Improvement
Extended Abstracts of the 2000 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Sendai, 2000, pp. 24-25.

(11) S. K. Kim, J. S. Cha, H. Nakase and K. Tsubouchi
Novel FFT LSI for OFDM using current mode circuit
Extended Abstracts of the 2000 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Sendai, 2000, pp. 384-385.

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

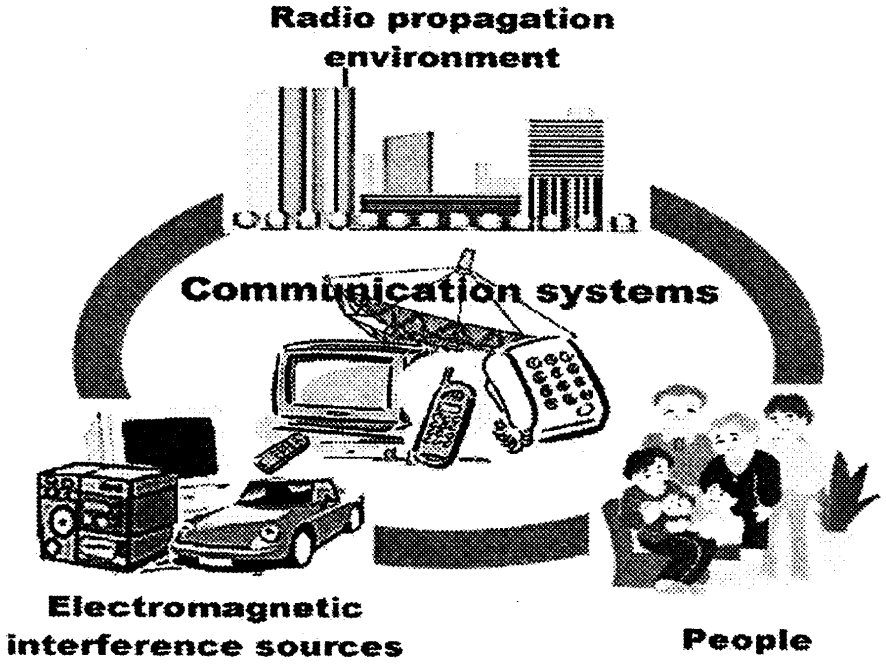
1．分野の目標

携帯電話の急激な普及に加え，高度交通システム（ITS），ホームネットワーク，地上デジタル放送など，21世紀を迎えて新たな通信・放送システムの導入が図られており，我々の身近で数多くの無線通信機器が使用されるようになってきた。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も既に1GHz以上に達している。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，将来の超高速・高信頼性通信を確保するには，無線通信システム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して2000年10月に発足した。

＜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（2000年4月から2001年3月まで）の主な成果

本分野の創設年度に当たる今年度は，主に不要電磁波の計測法に関する研究を行い，これに関する国際標準規格(IEC/CISPR)の作成に有益な資料を得た。

○　電磁波計測用アンテナの校正法の検討

電子機器から放射される不要電磁波の計測において，測定用アンテナの特性に及ぼす大地反射の影響が問題になっている。このため，大地面に電波吸収体を設置する方法が考えられるが，VHF帯では吸収体がアンテナの近傍界に位置するため，従来の吸収体設計法では良好な特性を得ることができなかった。そこで，近傍界を考慮した理論解析法を検討し，適切な吸収体材料を選択することによって反射の影響を大幅に軽減できることを明らかにした。

○　伝導雑音に対するフェライトコア装荷効果の検討

数多くの電子機器の電源線には，これに沿って伝搬する電磁波雑音を阻止するためにフェライトコアが装着されている。また，この伝導性雑音の測定にもフェライトコアが用いられている。フェライトコアの雑音阻止効果や電源線上の雑音電流分布については，従来，伝送線路理論に基づく低周波解析が行われてきた。このため，高周波におけるフェライトコアの阻止効果を電磁界解析法を用いて検討し，電源線からの電磁波放射が無視できないことを明らかにした。

○　電磁波雑音の確率的特性評価法に関する検討

従来，電磁波雑音の強度評価には準尖頭値振幅が用いられているが，これはアナログ通信における受信障害評価値を基にしている。一方，現在主流のディジタル通信の品質評価は，雑音の確率密度分布によって支配される誤り率が一般的であり，準尖頭値に替わる雑音強度評価法が必要となる。このため，種々の確率分布に従う雑音波形に対し，準尖頭値と振幅確率分布の関係を明らかにした。

＜職員名＞

教授：杉浦　行（1999年12月より）
助教授：松本　泰（2000年11月より）

＜教授のプロフィール＞

1966年福井大学工学部応用物理学科卒業。1968年大阪大学大学院修士課程修了。同年郵政省電波研究所（現通信総合研究所）入所。環境電磁工学の研究に従事。1999年　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 H. Takasu, C. Sakakibara, M. Okumura, S. Kamihashi, Y. Matsumoto, and S. Hama, “S-band MMIC active module with small phase variation and low insertion loss for beam forming network,” Trans. IEICE, Vol. E83-C, No. 1, pp. 122-125, 2000.

② 鈴木伸幸，杉浦行，山中幸雄，岩崎俊，“バイコニカルアンテナの校正とそれによる妨害波測定,” 電子情報通信学会論文誌, Vol. J83-B, No. 12, pp. 1739-1746, 2000.

③ Y. Matsumoto, I. Yamazaki, and S. Hama, “Calibration method of mutual coupling in beam forming network for phased array antennas,” Electronics and Communications in Japan, part 2, Vo. 84, No. 1, pp. 40-47, 2001.

④ A. Sugiura, Y. Yamanaka, and T. Iwasaki, “Antenna arrangement for EMC antenna calibration,” Session: Numerical techniques for electromagnetics, ISRE2000, 2000.

量子波動工学研究分野（客員分野）

光ソリトンによる超高速・長距離次世代伝送システムの研究

次世代の超高速光伝送システムの構築を目指して高速光ソリトン伝送技術を確立する。また，超高速パルス技術ならびに分散制御技術を駆使してOTDM(Optical time division multiplexing)のテラビット伝送の基盤技術を確立する。

主な成果

＜光ソリトン伝送技術＞

今年は分散マネージソリトン（DM：Dispersion Managed）により1 Tbit/s (40 Gbit/sx 25チャンネル)で1,750 kmの伝送に成功したことが大きな成果である。分散マネージメントは波長1.3 μm零分散の単一モードファイバ（SMF）と逆分散ファイバ（RDF: Reverse Dispersion Fiber）を組み合わせており，周波数の利用効率は0.4 bit/s/Hzと高い値を実現した。この実験により，DMソリトンは高速長距離伝送ばかりでなく，DWDM分野にも広く利用できることを示した。特に1チャンネル当たりの伝送容量が40 Gbit/s と高いことがDMソリトン伝送の特徴であり，ネットワークの制御の点からも今後この方向が加速されるであろう。また，この伝送技術では伝送路として既設のSMFを使用するものであり，簡単な変更で既存の伝送システムをup-gradeできるのが特徴である。この成果は2001 年3月に米国で開かれたOFC’2001で報告した。

＜超高速パルス技術＞

(1) 高速のネットワークを作るためには高速・超短パルス光源が不可欠である。昨年はAM変調により40 GHzの再生モード同期という手法で波長1.55 μm帯で0.9 psの発振に成功した。今年はさらに超短パルスの発生が可能なFM 変調を利用し，40 GHz-0.85 ps (850 fs) のパルス発生を実現した。

(2) 我々はモード同期レーザの新たな応用として，パルスの繰り返し周波数が波長によって異なるという特徴を利用した多波長レーザを開発してきている。今回AWG(Array Waveguide) を共振器の一部として採用し，波長によって共振器長が異なることを利用して32波長のレーザ発振に成功した。この成果は2001 年3月に米国で開かれたOFC’2001 で報告した。このレーザの特徴は繰り返し周波数を変化させることにより1 μs以下のスピードで波長を可変できることである。

(3) フェムト秒パルスを用いて世界で初めて1テラビット/秒を越える光時分割多重伝送（OTDM）に成功した。これは1ビットのパルス幅を300 fsに圧縮した10 Gbit/sの信号を128 時分割多重したもので1.28 Tbit/s のデータを70 km 線形伝送したものである。本実験のポイントは伝送路の高次分散の補償，特に3次および4次の分散を光位相変調器を用いることによりアクティブ補償したことで，従来より4分散による広がりを大幅に減少させることができた。この成果は2000 年9月のドイツで行われたECOC(ヨーロッパ光通信国際会議)で発表されると同時に国内ではNHK ニュースでも取り上げられている。

(4) 昨年周波数シフト帰還型ファイバレーザにおけるモード同期法を提案し，その

パルス発振に成功したが，今年は発振スペクトルの特徴を詳細に調べ，周波数の時間的変化がステップ状に起こっていることを把握した。

＜分散制御技術＞

(1) 昨年，非線形チャープFBGを２つ組み合わせることにより，光ファイバの分散特性とは逆の特性を作り出し，これにより自動等化が行えることを示した。今年は異なった幅のパルスが入射したときに，基準値からの波形のずれを検出して誤差信号をフィードバック制御することにより，自動的にパルス幅を一定にする自動適応等化の実験を行い，その基本動作に成功した。本分野は世界的にもホットな分野でありさらに注力して研究を進めたい。

〈職員〉 客員教授 中沢 正隆（1999年４月より）

〈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終了 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～1997年 NTT 伝送システム研究所・アクセス網研究所，グループリーダ，特別研究員。現在 NTT R&Dフェロー，未来ねっと研究所，グループリーダ。 平成元年11月 OITDA 桜井健二郎記念賞，平成2年10月 英国 IEE, Electronics Letters Premium Awards，平成6年5月および平成8年5月 電子情報通信学会業績賞，平成9年4月 科学技術庁長官賞（研究功績者賞）など受賞。IEEE およびOSA Fellow。

〈研究テーマ〉

・光ソリトン伝送の研究
・超高速光通信の研究
・モード同期パルスレーザの研究
・FBGによる分散等化技術の研究
・機能性光ファイバの研究

〈2000年度発表論文〉

[1] T. Komukai, T. Inui, and M. Nakazawa, " The design of dispersion equalizers using chirped fiber Bragg gratings", IEEE J. Quantum Electron., vol. 36, pp. 409-417, April (2000).

[2] M. Nakazawa, H. Kubota, K. Suzuki, E. Yamada and A. Sahara, "Ultrahigh-speed, long-distance TDM and WDM soliton transmission technologies," IEEE, J. Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 6, no. 2, pp. 1-34, April (2000).

[3] T. Yamamoto, E. Yoshida, K. R. Tamura, and M. Nakazawa, "100 km transmission of 640 Gbit/s OTDM singal using femtosecond pulses," IEICE of Japan (in Japanese), Vol. J83-B No. 5, pp. 625-633, May (2000).

[4] K. R. Tamura, H. Kubota, and M. Nakazawa, "Fundamentals of stable continuum generation at high repetition rate," IEEE, Photon. Tech. Lett., vol. 36, No. 7, pp. 773-779, July (2000).

[5] H. Inaba, Y. Akimoto, K. Tamura, E. Yoshida, T. Komukai, and M. Nakazawa, "Experimental observation of mode behavior in erbium-doped optical fiber ring laser," Optics Commun., vol. 180, pp. 121-125, June(2000).

[6] A. Sahara, T. Inui, T. Komukai, H. Kubota, and M. Nakazawa, "40-Gb/s RZ transmission over transoceanic distance in a dispersion managed standard fiber using a new inline synchronous modulation method," IEEE, Photon. Tech. Lett., vol. 12 No. 6, pp. 720-722, June (2000).

[7] T. Komukai, T. Inui, and M. Nakazawa, "Group delay ripple reduction and reflectivity increase in a chirped fiber Bragg grating by multiple-overwriting of a phase mask with an electron beam," IEEE, Photon. Tech. Lett., vol. 12, No. 7, July (2000).

[8] M. Nakazawa, H. Kubota, K. Suzuki, E. Yamada, and A. Sahara, "Recent progress in soliton transmission technology," American Inst. of Physics, Chaos (Invited paper), vol. 10, No. 3, pp. 486-514, September (2000).

[9] A. Sahara, T. Inui, T. Komukai, H. Kubota, and M. Nakazawa, "40-Gb/s RZ transmission over transoceanic distance in a dispersion managed standard fiber using a modified inline synchronous modulation method," IEEE/OSA, J. Lightwave Technol., vol. 18, No. 10, pp. 1364-1373, October (2000).

[10] H. Kubota and M. Nakazawa, "Simulation method for optical soliton pulse propagation," IECO of Japan (in Japanese), vol. 83, No. 11, pp. 866-871, November (2000).

[11] H. Kubota, K. Tamura, and M. Nakazawa, "Effect of ASE noise on coherence for supercontinuum light source by soliton compression," Transaction of IEICE of Japan (in Japanese), vol. J83-C, No. 11, pp. 1005-1011, November (2000).

[12] M. Nakazawa, T. Yamamoto, K. R. Tamura, "1.28 Tbit/s-70 km OTDM transmission using third- and fourth-order simultaneous dispersion compensation with a phase modulator," Electron., Lett., vol. 36, No. 24, pp. 2027-2029, November (2000).

[13] M. Nakazawa and E.Yoshida, "A 40 GHz, 850 fs regeneratively FM mode-locked polarization-maintaining erbium fiber ring laser," IEEE, Photon. Tech. Lett.,, vol. 12, No. 12, pp. 1613-1615 December(2000).

[14] T. Inui, T. Komukai, and M. Nakazawa, "A wavelength-tunable Dispersion equalizer using a nonlinearly chirped fiber Bragg grating pair mounted on multilayer piezoelectric transducer," Photon. Tech. Lett., vol. 12, pp. 1668-1670, December (2000).

[15] M. Nakazawa, "Solitons for breaking barriers to terabit/second WDM and OTDM transmission in the next Millennium," IEEE, J, Selected Topics in Quantum Electronics (Millennium Issue invited paper), vol. 6, No. 6, pp. 1332-1343, November/December(2000).

[16] A. Sahara, T. Komukai, E. Yamada and M. Nakazawa, "40 Gbit/s return-to-zero transmission over 500 km of standard fibre using chirped fibre Bragg grating with small group delay ripples," Electron. Lett., vol. 37, pp. 8-9, January (2001).

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。

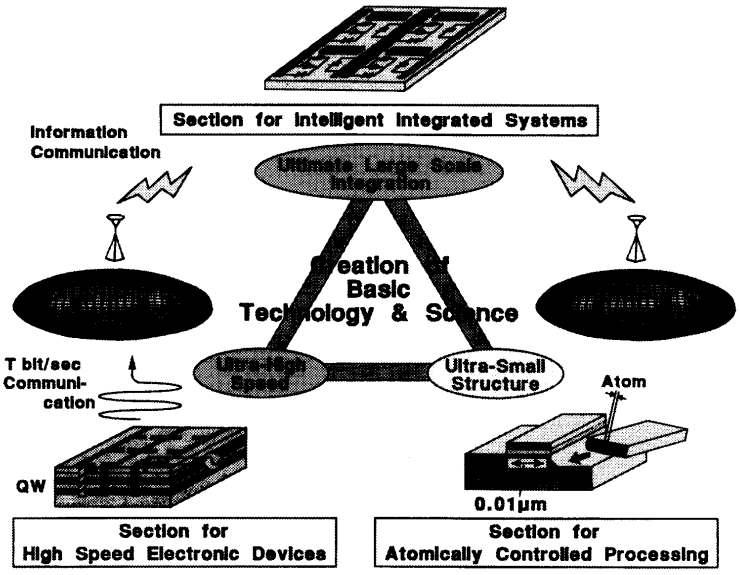
原子制御プロセス部では，原子精度の極微構造（厚さ方向1 nm，面内方向10 nmスケール）を製作するため，新概念の微小領域高精度パターニング技術，表面吸着・反応の解析・制御による原子オーダーの表面処理・成膜・エッチング技術，原子スケールその場観察評価分析技術等を研究開発し，原子制御プロセス基盤技術を創生する。

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10年の時限で設置されて以来，7年が経過した。現在までの研究活動



はおおむね当初の計画どおり，超高密度・高速知能システムの基盤技術の確立に向かって進められている。本施設の上記3部の研究の進展と本施設を利用して研究を進めてきた電気・情報系の研究室の成果を総合すると，当初設定した目標の80%程度が達成されたと言える。

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）及びドーパント（P,B）さらに絶縁膜化元素（N）・金属元素（W）について，原子制御できるCVDプロセス条件・プラズマプロセス条件とその吸着・反応過程を系統的に明らかにしつつある。特に本年度は，Pを多数層原子層ドーピングしたSiエピタキシャル薄膜の形成に成功し，超高濃度不純物半導体を実現した。また，Siの原子オーダプラズマ低温窒化過程や微細エッチングでの共ドーピング効果を明らかにした。一方，CVDSiGe混晶成膜へのCの導入とB及びPの高濃度ドーピング制御について，表面吸着・反応に結合サイト依存性を考慮した拡張Langmuir型定式化が体系的に可能であることを明らかにした。さらにこれらを基に，SiGe(C)を主要部に導入したナノ構造デバイスを製作し，そのさらなる高性能化を進めた。

横尾研究室　（極限能動デバイス研究分野）：ガン効果を用い，微小電子源から直接マイクロ波・ミリ波帯での変調電子ビームを得ることができるGaAs電界放射陰極を製作し，原理実証実験に成功した。

坪内研究室　（電子音響集積光学研究分野）：シリコンアナログ集積回路として，電流モード回路を用いたCDMA用マッチトフィルタLSI，OFDM用FFT演算LSI，RF CMOS B級プッシュプルアンプの開発を行った。窒化アルミニウムを用いた2.4GHGz RFフロントエンドマッチトフィルタの応用として，SS無線スイッチとパケットCDMAモデムの試作を行い，その実用性を確認した。

潮田研究室　（光電変換デバイス工学研究分野）：STM発光計測から，Cu(110)表面に吸着した個々の酸素原子サイトが識別できること，半導体(GaAs, Si)中のマイノリティキャリアーの拡散・緩和過程が原子位置分解能で研究・解析できること，を示した。また赤外吸収分光により，ラビングされたポリイミド膜とその膜上約1分子液晶層の配向分布を決定した。

庭野研究室　（電子量子デバイス工学研究分野）：結晶成長中の半導体表面上の原料ガス分子吸着過程を表面敏感赤外分光法によって調べ，これまでに報告されていない吸着状態や，吸着種の再分解過程を明らかにした。また，電気化学エッチング反応過程中のシリコン表面の化学状態を“その場”分析し，表面Ｓｉ原子が最表面から1個ずつ剥離していく様子を初めて明らかにした。

分子電子工学研究分野：電力デバイス用SiC/Siヘテロエピタキシーに不可欠なSiC/Si界面バッファ層を，600℃以下という，従来法より300℃以上低温で形成できる有機シランバッファ法を開発した。またSi(001)表面と酸素分子の反応をリアルタイムUPS法で調べ，表面酸化物の微視的配置によって反応モードがSi酸化から酸化膜分解へと変化することを初めて見出した。

[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，量子効果を利用したTHz対応発光素子と，半導体スピン制御技術に取り組んでいる。前者については，InAs/GaSb量子カスケード構造における発光強度がその周期数に比例していることを明らかにした。後者では，強磁性半導体(In,Mn)Asをチャネルとする電界効果トランジスタ構造を作製し，温度を一定に保ったまま，磁性（強磁性転移温度）を電界で制御することに初めて成功した。また，Crをドープした新しい希薄磁性半導体GaSb:Crや，強磁性を示すCrSbのGaAs上へのエピタキシャル成長，Si基板上の強磁性(Ga,Mn)Asのエピタキシャル成長に成功した。

伊藤研究室　（応用量子光学研究分野）：伊藤研究室では，強誘電体のドメイン制御を用いた非線形光波長変換による高出力中赤外光源の研究を行っており，最近1 mm厚の周期ドメイン反転ニオブ酸リチウム（PPLN）の作製技術を確立した。この研究を進めるにあたっては，超高密度・高速知能システム実験施設での高精度マスク製作が必要不可欠であった。1 mm厚PPLNによる非線形光波長変換では，波長1.5um帯において出力6.6mJというPPLNによる中赤外光発生の最大出力を実現した。

荒井研究室　（スピンエレクトロニクス研究分野）：スピンエレクトロニクス分野では，磁性薄膜を適用したRF集積化インダクタとしては世界最高性能のL=7.9nH, Q=13（2GHz帯）を200×400 μ m^{2}での寸法で実現した。また世界最高の3×10^{-7} Oe (3×10^{-11} T)の磁界分解能を持つ高周波キャリア型薄膜磁界センサを開発し，医療支援システム用センサヘッドへの展開を開始した。

光集積工学研究分野：〈フォトニック結晶の作製技術と応用デバイスの研究〉 光集積工学分野ではスパッタプロセスを基盤とした，シリコン/酸化物系フォトニック結晶の研究を行っている。本年度は反応性エッチングの導入による周期形状の制御性向上を試みた。更に格子変調型結晶の試作，およびそれを基にした光通信用波長選択フィルタ，光機能性導波路の開発を行った。継続して研究している偏光分離素子については，現在量産化のための要素技術を研究中である。

水野研究室　（テラヘルツ工学研究分野）：ミリ波・サブミリ波帯で発振し得る直径9ミクロンの共鳴トンネルダイオードを本施設の ECR装置を用いて製作した. 2個のダイオードを直列接続することにより，負性抵抗デバイスで起こしやすいスプリアス発振を抑制する効果を実験的に確認できた.

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）の高分解能化の研究では，0.3nmの空間分解能を達成し，格子レベルで強誘電分極分布を計測可能となり，単一双極子モーメントの計測にあと一歩まで近づいた。また，SNDMを用いた次々世代高密度強誘電体記録の研究では，直径25nmの微小分極反転ドットの作製と読み出しに成功した。

[大規模集積化基盤技術]

中島研究室　（知能集積システム部）：集積化人工神経回路網に関して非単調ニューロンモデルにより学習能力を向上させた集積回路のレベルアップをはかり，その製作・測定を通して大規模な人工神経回路の能力を評価するとともに能力向上をもたらす原因についての解析を進めた。量子化され，非対称な結合強度のモデルについては，CMOSベースの電流制御形インバータCCIを用いた多入力多数決回路に基づいて試作されたニューロチップにおいて測定評価を行い，ダイナミッ

なニューロシステムの動作に関する解析結果の実証をチップ上で行った。また電流制御形インバータCCIの動作を129入力まで実測により実証するとともに，アプリケーションの１例として，集積化したメディアンフィルタを試作，測定を通してシステムとしての高い性能を検証した。

大見研究室　（工学研究科）：マイクロ波励起（Kr/O_2）プラズマによって励起された原子状酸素を用いて，単結晶Si(100)面だけでなくSi(111)面にも熱酸化膜と同等の酸化速度・電気的特性をもつ酸化膜の形成が400℃という低温で可能となった。この技術によりポリシリコン上にも高品質な酸化膜の形成が可能となり，従来の熱酸化（～1000℃）によるポリシリコン上酸化膜に比べてJ-V特性・絶縁耐圧が大幅に改善された。

舛岡研究室　（固体電子工学研究分野）：新しい３次元構造MOSデバイスであるSURROUNDING GATE TRANSISTORを用いてパストランジスタ ロジックを構成する事で，従来の平面ＭＯＳＦＥＴを用いた場合と比較して，回路性能の指標である電力遅延積が約30％までに飛躍的に向上する事を明らかにした。また，薄膜シリコン酸化膜におけるストレスリーク現象に関する新しい定量的な解析モデルを提案し，その正当性を実証した。

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）：記録特性の改善には，ヘッド磁界勾配を急峻にすることが効果的なことが明らかになり，昨年度までに試作した全薄膜型の垂直ヘッドの磁極構造の改良を続けている。また，このヘッドを用いて実際に記録再生特性を測定を開始し，100Gbits/inch^{2}の高密度記録の実現を目指している。

山下研究室　（超伝導コンピューティングデバイス研究分野）：固有ジョセフソン接合の新しい作成プロセスを開発し，明確なテラヘルツ帯のシャピロステップの観測に成功したことを公表した。山下教授らはこの成果はテラヘルツ帯超伝導レーザーの可能性につながるものとしている。　この開発では，素子となる領域を両側から加工しボウタイ・アンテナとチョークがついた200nm厚の孤立形$Bi_2Sr_2CaCuO_{8+x}$固有ジョセフソン接合を作成している。

沢田研究室　（ブレインコンピューティングシステム研究分野）：動的メモリの連想記憶を実現するために非対称結合を持つ神経回路の動的安定状態とその引き込み領域を検索するソフトウエアを制作し回路のパラメータによる動的記憶状態を変化を解明し，その一例として循環結合型回路による動的記憶ニューロチップのCAD設計を行った。

亀山研究室　（情報科学研究科）：GHz動作を目指し，低消費電力性と非同期制御性を有する高性能多値電流モード集積回路の開発に成功した。また，チップ内転送ボトルネックを解消するため，不揮発性のリアルタイム・リライタブル多値ロジックインメモリVLSIを考案した。さらに，ロジックインメモリ構造VLSIプロセッサのハイレベルシンセシス法を考案し，ステレオビジョンVLSIプロセッサへの応用を検討した。

樋口研究室　（情報科学研究科）：現在の２値論理VLSIシステムの性能限界を克服することを目指して，演算原理として非２進数ハードウェアアルゴリズムを用いるとともに，回路技術として多値論理集積回路技術を駆使する”Beyond-Binary Computing”に関する研究を行った。具体的には，冗長多進数系に基づく高基数除算器および高基数CORDIC演算器を開発した。さらに，将来の分子コンピューティングデバイスの開発に向けた基礎実験として，人工触媒素子を集積化した反応拡散セルオートマトン（１次元）を試作し，その動作原理を初めて実証した。

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

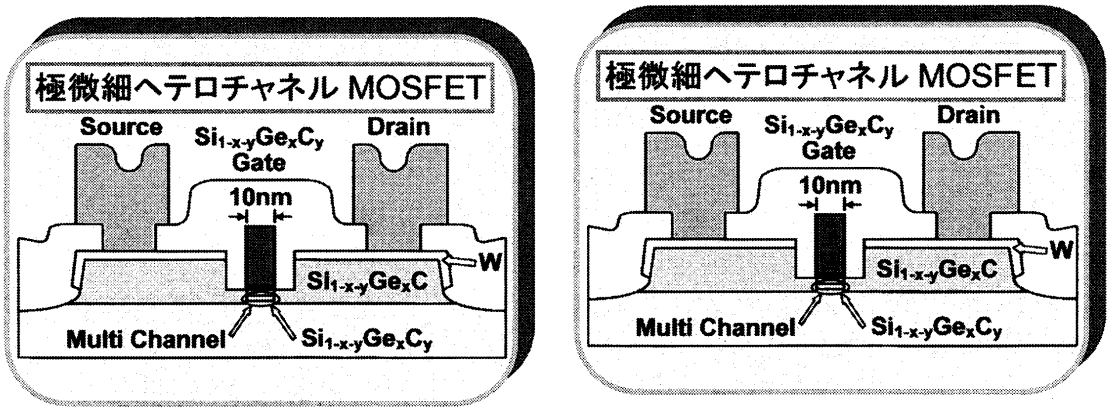


図１．目標とするSiGeC系極微細ヘテロチャネルMOSFETの断面模式図。

表Ⅰ．極微細構造製作を目指した原子制御プロセスのデータベース構築。CVDによる原子層形成条件を示す。

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（表Ⅰ）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】　Pの原子層吸着と450℃での低温Siエピタキシャル成長により面密度$4\times10^{14}cm^{-2}$／層の超高濃度Pドーピングを実現し，平均キャリア濃度が$3\times10^{20}cm^{-3}$を超える超高キャリア濃度Si結晶を実現した。さらに、Ge(100)表面では450℃でのSiH_3CH_3の反応によりSiとCの一原子層が自己制限的に成長し，C原子層の存在によりSiとGeの相互拡散が抑制され，600℃でも一原子層Siが熱的に安定であることを明らかにした。

一方，NプラズマによるSi表面窒化反応において，-80℃の基板冷却時にN吸着量はラジカルによる窒化で一原子層に，イオン入射による窒化で二原子層に飽和することを見いだし，原子層精度でのSi表面窒化制御を可能にした。また，極薄SiO_2絶縁膜のNH_3熱窒化並びにNプラズマ照射による10Åオーダ厚のSi酸窒化膜形成法を構築し，極薄高誘電率ゲート絶縁膜の高精度形成を可能にした。

【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】　SiGeCをSi MOSFETのゲートやソース／ドレインへ導入する際に不可欠となるSiGeC薄膜へのBおよびPの不純物ドーピング制御を研究し，薄膜形成条件と不純物濃度，キャリア濃度，比抵抗，Ge比率，C比率との関係を系統的に明らかにし，ラングミュア型定式化により

不純物原子の取り込まれる機構を解明した。さらに，Ge比率を大きくすると電気的に活性なPの固溶限界が低下し，C比率を大きくすると電気的に活性なBやPが減少することなどを見いだし，不純物ドープSiGeC薄膜形成とその電気特性制御の最適条件を明らかにした。また，Pドープ多結晶Siゲートに微量のBを同時ドープするとゲート加工時に側壁にB偏析層が形成されることを見いだし，この現象を利用することにより，従来，微細加工形状制御が困難であったPドープ多結晶Siに対しても高精度な極微細加工を可能にした。一方，極微細デバイスの製作に関して，不純物ドープSiGe混晶の選択成長層を極浅ソース／ドレイン形成に用いた0.1μm以下の短チャネル極微細MOSFETの自己整合型製作プロセスに改良を加えることにより，*p*チャネルデバイスと*n*チャネルデバイスのいずれにおいても，パンチスルー現象の抑制された良好なトランジスタ動作を実現し，短チャネル化により電流駆動能力が向上することを確認した。現在，CMOSデバイスの低しきい値化に期待される不純物ドープ多結晶SiGeCゲートについて研究を進めると同時に，金属／不純物ドープSiGeC混晶接触抵抗の極小化についても研究を進めている。さらに，超高速通信用ヘテロバイポーラトランジスタやSiGeCヘテロチャネルMOSFETを製作し，そのヘテロ構造に特有の電気伝導特性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　　松浦　　孝（1993年より）
助　手　　櫻庭　政夫

〈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

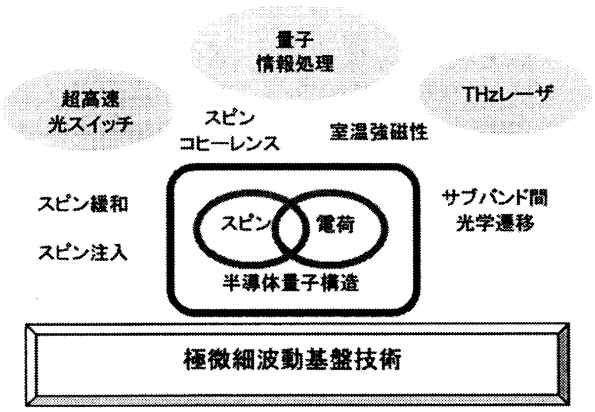
〈主な研究発表（2000年度）〉

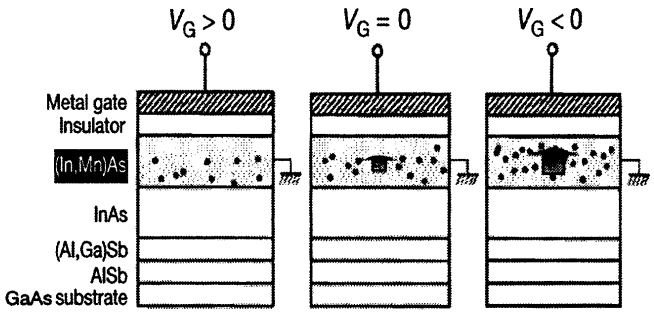
1．Surface Reaction of CH_3SiH_3 on Ge(100) and Si(100), T. Takatsuka, M. Fujiu, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, Appl. Surf. Sci., Vol. 162-163, pp.156-160, (2000).
2．Epitaxial Growth of $Si_{1-x-y}Ge_xC_y$ Film on Si(100) in a SiH_4-GeH_4-CH_3SiH_3 Reaction, A. Ichikawa, Y. Hirose, T. Ikeda, T. Noda, M. Fujiu, T. Takatsuka, A. Moriya, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, Thin Solid Films, Vol.369, No.1-2, pp.167-170, (2000).
3．Segregation and Diffusion of Impurities from Doped $Si_{1-x}Ge_x$ Films into Silicon, S. Kobayashi, T. Aoki, N. Mikoshiba, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, Thin Solid Films, Vol.369, No.1-2, pp.222-225, (2000).
4．Contribution of Ions and Radicals in Etching of $Si_{1-x}Ge_x$ Epitaxial Films Using An Electron- Cyclotron-Resonance Chlorine Plasma, H. Takeuchi, T. Matsuura and J. Murota, Appl. Phys. Lett., Vol.77, No.12, pp.1828-1830, (2000).
5．Doping and Electrical Characteristics of in-situ Heavily B-Doped $Si_{1-x-y}Ge_xC_y$ Films Epitaxially Grown Using Ultraclean LPCVD, T. Noda, D. Lee, H. Shim, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, Thin Solid Films, Vol.380, pp.57-60, (2000).
6．Atomic-Layer Doping in Si by Alternately Supplied PH_3 and SiH_4", Y. Shimamune, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, Thin Solid Films, Vol.380, pp.134-136, (2000).
7．CVD $Si_{1-x}Ge_x$エピタキシャル成長とドーピング制御，室田淳一，櫻庭政夫，松浦孝，日本結晶成長学会誌，Vol.27, No.4, pp.171-178, (2000).

他　学術雑誌7件、国際会議発表論文34件

超高速電子デバイス部

半導体量子構造の研究：THzの発生から半導体スピントロニクスまで





(In,Mn)As/(Al,Ga)Sbをチャネルとする強磁性半導体チャネル電解効果トランジスタ構造と，磁性の電界制御の概念図。$V_G<0$でキャリア濃度が増えると，磁性原子（Mn）間の強磁性的な相互作用が強まる。

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，今後の情報通信に必要な半導体を用いたTHzコヒーレント光源の実現や，スピンと電荷の自由度の両方を使った新しいエレクトロニクス（半導体スピントロニクス）の実現を目指している。

本研究室では，GaAs/AlAsやInAs/GaSb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，(Ga,Mn)Sb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，ブロークンギャップヘテロ構造（InAs/GaSb）中のサブバンド間の光学遷移を世界で初めて電流注入により観測しこの系のレーザ実現へ道を開いた。また，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。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（2000年4月から2001年3月まで）の主な成果

2.1 強磁性半導体(In,Mn)Asをチャネルとする電界効果トランジスタ構造を作製し，高濃度ｐ型の(In,Mn)Asのキャリア密度のゲート制御を確認した。さらに，キャリア濃度を変化させることにより，温度を一定に保ったまま，磁性（強磁性転移温度）を制御することに初めて成功した。

2.2 InGaAsをバッファー層とし，強磁性半導体(Ga,Mn)Asに圧縮歪を加えて磁化容易軸を面と垂直方向に向けた(Ga,Mn)As/(Al,Ga)As/(Ga,Mn)As 3層構造を作製し，巨大磁気抵抗効果やトンネル磁気抵抗など，磁気エレクトロニクスデバイスに応用されている現象を全て半導体で構成されたデバイスにおいて観測した。

2.3 (110)面方位に形成したGaAs/AlGaAs量子井戸に電子を変調ドーピングすることにより，室温で10nsを超える極めて長い電子のスピン緩和時間を観測した。また，このn型変調ドープ(110)GaAs/AlGaAs量子井戸のスピンダイナミクスを時間分解ファラデー効果測定によって調べ，レーザーパルスによって生成されたスピン偏極電子と核スピンの相互作用の共鳴現象を観測した。

2.4 Crをドープした新しい希薄磁性半導体GaSb:Crや，強磁性を示すCrSbのGaAs上へのエピタキシャル成長に成功した。また，Si基板上の強磁性(Ga,Mn)Asのエピタキシャル成長に成功した。

2.5 InAs/AlSb量子井戸構造における光学特性が界面に形成されるボンドとバッファー層の種類に大きく依存することを明らかにした。また，InAs/GaSb量子カスケード構造における発光強度がその周期数に比例していることを明らかにした。

3．職員名

教　　授：大野英男（1994年より）
助　　手：松倉文礼
助　　手：大野裕三
助　　手：大谷啓太
COE研究員：篁　耕司
COE研究員：ザオ　ジェンファ

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（2000年4月から2001年3月）までの主な発表論文

1. H. Ohno, D. Chiba, F. Matsukura, T. Omiya, E. Abe, T. Dietl, Y. Ohno, K. Ohtani, "Electric-field control of ferromagnetism", Nature, Vol. 408, No. 6815, pp.944 - 946, 2000.
2. D. Chiba, N. Akiba, F. Matsukura, Y. Ohno, and H. Ohno, "Magnetoresistance effect and interlayer coupling of (Ga, Mn)As trilayer structures", Applied Physics Letters,Vol. 77, Issue 12, pp. 1873-1875, 2000.
3. H. Ohno and F. Matsukura, "A ferromagnetic III-V semiconductor: (Ga,Mn)As", Solid State Communications, Vol. 117, Issue 3, p.p. 179-186, 2001.
4. H. Ohno, "Ferromagnetic III-V heterostructures", J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 18, No. 4, pp. 2039-2043, 2000.
5. E. Abe, F. Matsukura, H. Yasuda, Y. Ohno, and H. Ohno, "Molecular Beam Epitaxy of III-V Diluted Magnetic Semiconductor (Ga,Mn)Sb", Physica E, Vol. 7, Issues 3-4, pp. 981-985, 2000.
6. F. Matsukura, E. Abe, and H. Ohno, "Magnetotransport properties of (Ga, Mn)Sb", Journal of Applied Physics, Vol. 87, Issue 9, pp. 6442-6444, 2000.
7. K. Ohtani and H. Ohno, "Mid-infrared intersubband electroluminescence in InAs/GaSb/AlSb type-II cascade structure", Physica E, vol. 7, Issues 1-2, pp. 80-83, 2000.
8. K. Ohtani, A. Sato, Y. Ohno, F. Matsukura, and H. Ohno, "Influence of interface bond and buffer material on the optical properties of InAs/AlSb quantum wells grown on GaAs substrates", Applied Surface Science, Vol. 159-160, pp.313-317, 2000.

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

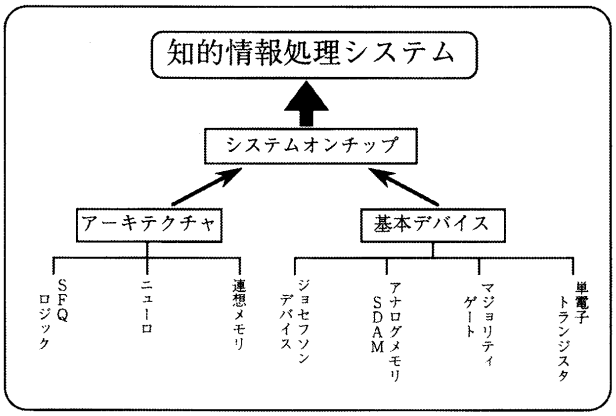


図1　知能集積システム部の研究目標

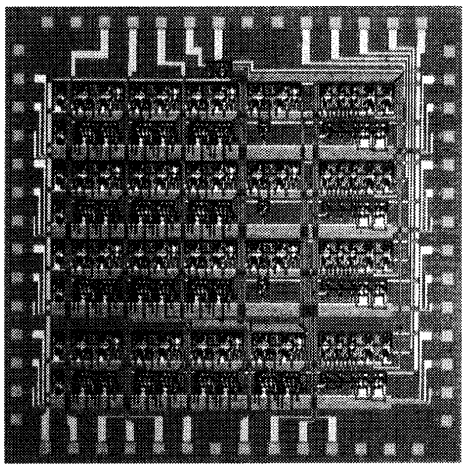


図2　量子化結合ニューロチップ

集積回路の大規模化とデジタルデバイスの高速化は情報処理の量と質を飛躍的に高め，現在の情報化社会を築き上げるとともに将来の発展に向かって前進を続けている。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合わせて行っている。

これまでに神経回路網が目的とする動作を正確に行う設計法と同時に神経回路網のキーデバイスとなる新しいアナログメモリを開発，これらを用いて信頼性の高いパルス出力型でしかも超並列高速演算が可能な電流加算アナログ動作を行う神経回路網をシリコンチップ上に作り出した。このチップの製作にはCMOS集積化技術をベースにフローティングゲートと薄膜トランジスタの製作技術を同時に用いており，知的情報処理システムの集積化を進めるうえで技術的にも重要な位置づけを与えるチップとなっている。また超伝導デバイスを用いた位相モード計算機システムの基本論理回路の集積化にも成功している。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〉

集積化人工神経回路網に関して非単調ニューロンモデルにより学習能力を向上させた集積回路のレベルアップをはかり，その製作・測定を通して大規模な人工神経回路の能力を評価するとともに能力向上をもたらす原因についての解析を進めた。量子化され，非対称な結合強度のモデルについては，連続時間での動作の統一的な

解析をさらに前進させるとともに，CMOSベースの電流制御形インバータCCIを用いた多入力多数決回路に基づいて試作されたニューロチップにおいて測定評価を行い，ダイナミックなニューロシステムの動作に関する解析の結果の実証をチップ上で行った。同時にストカスティック動作のニューロシステムを新たに設計し，デジタルシステムのニューロへの取込みをはかった。そのチップの製作と測定より大規模システム構築の可能性をさらに発展させた。また電流制御形インバータCCIの動作を129入力まで実測により実証するとともに，アプリケーションの１例として，集積化したメディアンフィルタを試作，測定を通して各種動作の評価を行うとともにシステムとしての高い性能を検証した。その他に超伝導位相モード計算機システムについて乗算回路の改良と規模の増大をはかり，その動作の高速性，低消費電力性を解析，FFTシステム構成を前進させ，将来の情報処理システムとしての高い可能性を提示した。また新たに量子計算のための基礎デバイスを検討し研究に着手した。以上，知的情報処理システムの実現に向けての研究開発を継続的に進めた。

〈職員〉

教　授　中島　康治（1995年より）
助　手　佐藤　茂雄
　　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〉

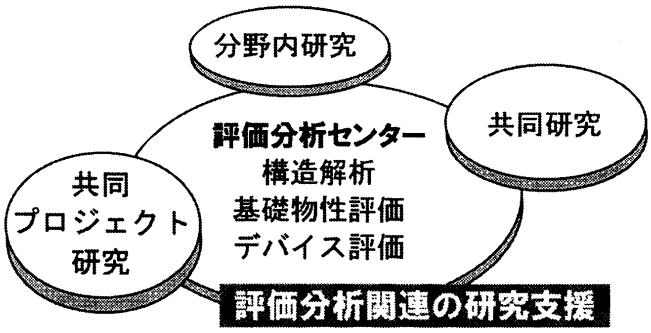
１．集積化ニューラルネットワークの基本構成に関する研究
２．知的記憶システム・ダイナミックメモリの構成に関する研究
３．電流制御形インバータによる高性能画像処理集積回路の構成に関する研究
４．量子計算のための基礎デバイスに関する研究
５．超伝導位相モード計算機システムに関する研究

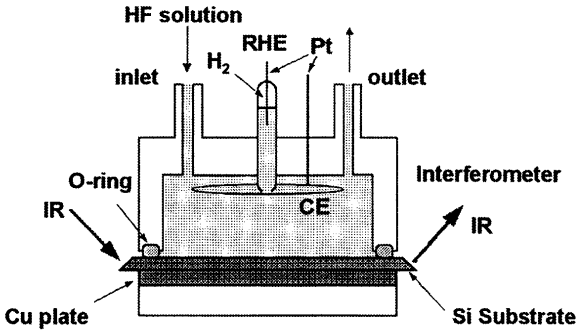
〈主な研究発表〉

1. T. Harada, A. Sato, M. Kinjo, Y. Katayama, S. Sato, and K. Nakajima, “New Nonvolatile Analog Memories for Analog Data Processing”, Japanese Journal of Applied Physics, vol. 39, no. 4B, pp.2291-2296, 2000
2. C. Y. Park and K. Nakajima, “Majority Algorithm: A Formation for Neural Networks with the Quantized Connection Weights”, IEICE Transactions on Fundamentals, vol. E.83-A, no. 6, pp. 1059-1065, 2000
3. 小柳光正，中島康治, “LSI技術で脳型情報処理の実現へ 視覚，学習・連想の各チップを試作”, 日経マイクロデバイス, no.7, pp. 144-148, 2000
4. M. Kinjo, S. Sato, and K. Nakajima, “Characteristics of Small Scale Non-Monotonic Neuron Networks Having Large Potentiality for Learning”, Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks 2000, IEEE Computer Society, p. WE1-4, 2000
5. S. Sato, H. Akima, and K. Nakajima, “Hardware Neural Networks with Single Electron Transistors”, Proceedings 2000 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 409-412, 2000
6. Y. Katayama, K. Suzuki, S. Sato, and K. Nakajima, “Implementation of a Large Fan-in Majority Circuit”, Proceedings 2000 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 413-416, 2000

3.5　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





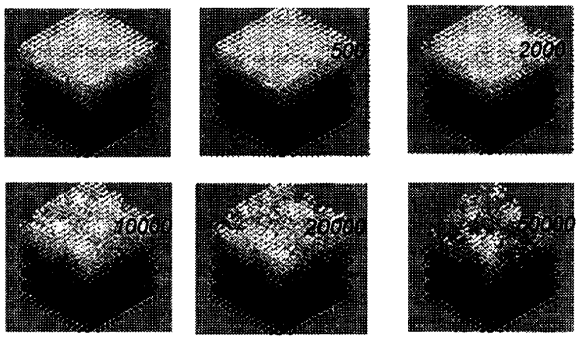
固液界面反応解析用溶液セル

多重内部反射赤外分光法を用いてＳｉ表面のエッチング過程をその場観察できる。

高精度評価分析法の開発

Ｓｉ表面のエッチング

モンテカルロ法で計算したＳｉ表面のエッチング過程。原子が一個ずつ剥離して、表面が次第に荒れていく様子がわかる。固液界面反応解析装置で測定した結果を説明できた。



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，これからますます微細化・高性能化・高機能化の要求が高まり，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。この評価の高度化の課題に取り組むことが評価・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設備・機器の充実も図っている。また，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。

現在本センターには，評価・分析用の装置が数多く設置されている。その一部は研究分野から提供されたものである。現在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。構造解析装置から電気特性測定装置まで，

幅広いニーズに応えられるように体制を整えている。昨年同様，これらの装置を所内外の研究者・院生・学生に公開した。今年度の使用頻度の高かった装置は原子間力顕微鏡である。最近，材料表面の原子レベルでの制御が益々重要になっているためである。

2．本年度の主な研究成果

センターでは，新しい分析・評価手法の開発が研究テーマである。センターではこれまでに，電子量子デバイス研究分野と共同で，赤外反射分光を用いた新しい半導体表面分析法を開発してきた。その一つが，溶液中シリコン電極表面状態のその場観察手法の開発である。昨年度，半導体電極電圧を印加した状態で半導体電極表面がフッ酸溶液中でどのようにエッチングされていくかを，リアルタイムで計測できる装置を開発した。電極電圧を印加しながら電極表面の赤外吸収スペクトルが計測できるため，原子レベルでのエッチング過程の観察が可能になった。また，赤外スペクトルの変化と同時に電極電流の変化もモニターできるため，電荷移動がもたらすエッチングの反応機構がより正確に解明できる。この装置を用いた研究結果については電子量子デバイス研究分野の項で述べている。

溶液中のSi表面の中を赤外線を多重内部反射させ，赤外吸収分光を行うと，Si表面をセンサーとした高感度溶液モニターになる。上述の解析装置を改良して，この溶液モニターを試作した。この装置を用いた研究結果についても電子量子デバイス研究分野の項で述べている。

本センターでは，半導体ウェーハ表面上の汚染を高感度に評価する赤外分光モニタリングシステムの開発も行っている。これまでに，300 mm径のシリコンウェーハの表面分析に成功し，大気中でも測定できること，非破壊で測定できること，測定時間が短いこと，インライン測定が可能であることなどこの測定法は多くの利点があることを示してきた。本年度は，この手法を用いて，ウェーハ表面上の汚染物の分布を評価する計測システムについて研究した。発散する赤外光をウェーハ端の1点から入射させ，ウェーハ円周上の各点で，ウェーハ内を透過してくる赤外線の吸収スペクトルを測定することにより，表面汚染分布が評価できることが分かった。

3．職　員

センター長・教授（兼）　庭野　道夫（1999年から）

4．庭野教授のプロフィール

電子量子デバイス工学研究分野の項を参照。

5．過去1年間の主な研究発表論文

[1] Yasuo Kimura, Yusuke Kondo, Michio Niwano: “Initial stages of porous Si formation on Si surfaces investigated by infrared spectroscopy,” Appl. Surf. Sci., in press.

[2] Michio Niwano, Yusuke Kondo, Yasuo Kimura: “In-situ Infrared Observation of Etching and Oxidation Processes at Si Surface in NH4F Solution”, J. Electrochem. Soc. Vol. 147, No.4 (2000) pp.1555-1559.

3.6　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

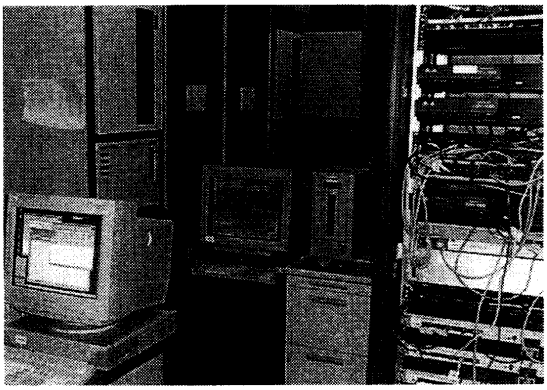


図1 各種情報サービスを提供する本センター電子計算機システム

＜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。本研究の目的は，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合わせて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。

また，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ながら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)　科学技術と倫理に関する研究
(4)　生体の知覚情報処理及び知的UIとOAに関する研究

＜平成12年度の主な研究成果＞

[1] 研究活動

(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

研究情報の収集・組織化・利用・発信及び研究支援環境の構成に関する研究を行った。具体的には，インターネットを用いた学術情報の統一的な収集・組織化・利用・発信に関する研究，自律性をもった機械と人間の共生系に基づく研究活動の支援環境に関する研究などを行った。

(2)　ネットワークの高度な保守・管理・運用に関する研究

コンピュータ及びネットワークの初心者でも快適かつ安心してネットワークを利用できるようにする保守・管理・運用の技術の確立に関する研究開発を行った。

[2] 研究会活動

以下の研究懇談会を1回行った。

日　時：2001年3月2日（金）
場　所：東北大学電気通信研究所2号館W301号室
「マルチエージェントシステムにおけるエージェントの組織化に関する研究」
加藤　貴司（やわらかい情報システム研究センター）

[3] 情報システムの管理運用

本センターでは通研の教官及び学生に最先端の計算機資源（ハードウェア，ソフトウェア）とネットワーク資源を提供するために情報システムの管理運用を行っている。本情報システムはSPARCアーキテクチャのUNIXサーバ8台を中核として構成されている。情報システムの管理運用の内容は以下の通りである。

(1) 電子計算機の保守・管理

本センターの計算機資源を最善の状態で安定して提供するために，a) 利用者のファイルのバックアップ，b) ハードウェア及びソフトウェアの保守と管理 などの電子計算機の保守・管理を行っている。

(2) ネットワークの保守・管理

通研の計算機群は世界規模ネットワークであるインターネットに接続されている。本センターでは本情報システムだけではなく通研全体に対し高速かつ安定したネットワークの利用を可能とするため，a) 通研インハウスネットワークの保守と管理，b) イメージメールの管理，c) 通研内のIPアドレス及びドメイン名の管理などのネットワークの保守・管理を行っている。

(3) 通研文献データベースの構築と保守・管理

通研の研究業績の全世界に対する情報発信のために，インターネットから検索・閲覧が行える通研文献データベースの構築と保守・管理を行っている。

(4) 各種ネットワークサービスの提供

本センターの計算機資源及びネットワーク資源を利用者が有効に活用できるようにするため，a) 通研WWWサーバ，b) メーリングリスト，c) 電話回線からの接続サービス 等の管理・運用を行い，これら各種サービスを提供している。

(5) 技術的支援と広報

通研内の電子計算機に関する，a) 事務電子システムの技術的支援，b) 通研ホームページ及び各研究室のホームページ公開の技術的支援，c) 計算機に関する情報の提供，d) 利用者からの問い合わせの対応 などの技術的支援と広報を行っている。

＜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）　沢田　康次（1997年より）
　　鈴木　陽一（2000年より）　外山　芳人（2000年より）

(2) 実施委員会

委員長・教授　鈴木　陽一（1999年より）
助教授　木下　哲男（1997年より）
助　手　鈴木　太朗，西村　竜一，坂本　謙二，佐藤　茂雄，杉浦　茂樹，加藤　貴司
研究支援推進員　大學　紀子

＜主な研究発表＞

1．Takashi KATOH, Tetsuo KINOSHITA, and Norio SHIRATORI. Dynamic properties of multiagents based on a mechanism of loose coalition. In Chengqi Zhang and Von-Wun Soo, editors, Design and Applications of Intelligent Agents, Vol. 1881 of Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI) 1881,pp. 16-30. Springer, Aug. 2000. Third Pacific Rim International Workshop on Multi-Agents (PRIMA 2000).

2．杉浦茂樹, 宗森純, 木下哲男, 白鳥則郎. 収束的発想法における直感的な分類作業に参加者の知識分布が及ぼす影響の評価・分析法. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2000) シンポジウム論文集, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, pp. 253-258. 情報処理学会 (Jun. 2000).

3.7　21世紀情報通信研究センター

産官学共同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

<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，産官学共同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，東北大学地区を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，3つの柱として，本研究所が得意分野とし実績を積み重ねてきたモバイル・ネットワーク技術とネットワーク・ストレージ技術，加えてディスプレイ技術に重点を置き，各プロジェクトから5年毎に新たな実用化技術の完成により継続的に社会へ還元し，世界のITをリードするジャパニーズスタンダードを生み出す。特に，本センター立ち上げ時の3プロジェクトに関しては，上記の柱の実用化技術に各々関わり，以下のような具体的成果をあげる計画である。

・モバイル・ネットワーク技術の開発

個人規模で導入可能なインターネットアクセス可能な無線技術を基本としたユビキタスネットワークの提供を実現するために，OFDM技術による100Mbps基地局間無線接続技術，送信電力制御を必要としない安価なCDMA技術によるアクセス無線技術と，低コスト超小型端末を実現するSiPシリコン集積実装技術，さらに，全ての無線通信を受信可能なソフトウェア無線用回路技術の開発を核とした無線通信技術を確立し，誰でも安価に導入可能なコンシューマ向けワイヤレスネットワーク構築技術の開発が期待できる。

・ネットワーク・ストレージ技術の開発

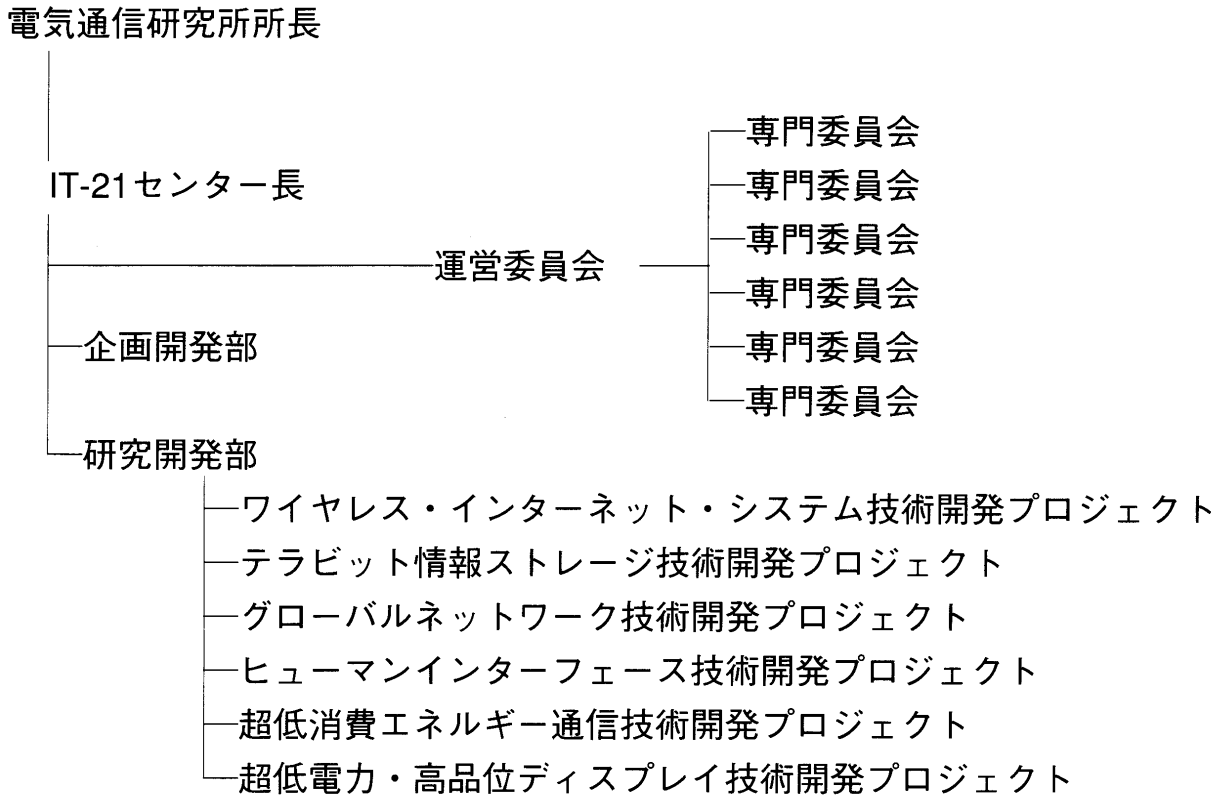
高信頼ペタバイト大容量サーバ，及び超小型テラビットHDDの実現のために，記録方式として垂直磁気記録技術と，記録媒体としてCoCr系磁性薄膜形成技術を核として，超高速アクセス，超高密度記録を可能とする垂直磁気記録用ヘッド構成技術，磁気記録用ディスク形成技術の開発が期待できる。

・低電力・高品位液晶ディスプレイ技術の開発

写真並みの白さとコントラスト，詳細な画像を表現する解像度，高速に動くものを鮮明に表示するレスポンスを実現するために，二軸性位相差フィルムの開発，拡散フィルム方式設計の確立，フィールドシーケンシャルカラーディスプレイ

のセル構成設計法の確立により，モバイル用小型超高精彩ディスプレイ，反射型液晶ディスプレイ技術の開発が期待できる。

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
運営委員
　電気通信研究所 教授　白鳥則郎
　電気通信研究所 教授　鈴木陽一
　電気通信研究所 教授　坪内和夫
　電気通信研究所 教授　荒井賢一
　電気通信研究所 教授　中村慶久
　電気通信研究所 教授　大野英男
　大学院工学研究科　　教授　安達文幸
　大学院工学研究科　　教授　内田龍男
　大学院情報科学研究科 教授　亀山充隆

3.8　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]

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は，分散したプロセッサ間の通信機能と，それを最適化し管理することによって可能となる大容量最速並列情報処理・伝送が不可欠である。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・デバイスの研究および大容量通信媒体の研究を行うことを目的としている。具体的には，以下の内容について研究を行っている。

○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ートワークの開発を目指す。

○レーザおよ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。

○超伝導が呈する超高速性及び低電力性は21世紀の情報・通信技術に極めて重要である。高温超伝導デバイスはミリ波ないしサブミリ波帯での電磁波発振・検出素子として有望であり，大出力の発振デバイス，高感度な計測システム，及びコヒーレント波動デバイスの応用の研究を行う。

○次世代の大容量通信では，固体素子を用いた短ミリ波からテラヘルツ帯にいたる電磁波の発生及び検出技術が必要不可欠となる。そこで，高出力固体発振器および超高速検出器，それらを用いた計測技術の研究開発を進めている。発振器開発では，固体素子を２次元的に多数個配列しその電力をコヒーレントに合成する準光学的共振器を用いた空間電力合成技術を用いている。検出器としては，常温でかつ高速応答特性を持つショットキ・ダイオードを開発しており，その高感度化・低雑音化に取り組んでいる。この周波数帯における計測の技術確立を目指し，２次元検出器アレイシステムや，この周波数帯の回路構成で要求される波長以下の微小な材料の特性評価用近接場顕微鏡の開発を行う。

○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通信用超音波デバイス・誘電体デバイスの研究を行う。

○自己クローニング法を用いたフォトニック結晶の作製と形状自由度の向上を図ると共に，それを応用した光通信用新機能デバイスの開発を目標とする。また材料系

を拡張することで，データストレージ用光磁気ディスクに用いる光ピックアップへの応用研究を行う。

○数 100 GHz 帯の高出力・高効率電子ビームデバイス，真空と半導体の機能を融合した新しいデバイスの研究を行う。具体的には，ミリ波・サブミリ波帯電磁波の広帯域，高効率発生と低エネルギー分散電界放射陰極の開発とその応用研究を行う。

[１年間の主な成果]

○バリアフリー通信を目指すスペクトル拡散近似同期CDMA方式（SS-CDMA）の実用化には，送受信回路のワンチップ化による高集積化・低消費電力化が望まれる。このためパケットSS-CDMモデム用のLSIの開発を行った。

○誘電体ドメイン超格子を用いた光パラメトリック発振（OPO）結晶として，新たにストイキオメトリック$LiTaO_3$を用いたドメイン超格子を製作し，そのOPO特性を明らかにした。また，有機DAST結晶を用いて，光混合法により1.9～2.5THzの波長可変コヒーレントTHz波の発生に成功した。

○高温超伝導の磁束量子の超高速運動を$Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$高温超伝導体固有ジョセフソン接合により実現し，THz帯電磁波の発生に道を開いた。

○ミリ波帯電磁波によるイメージング技術の高度化を目指して，35GHz帯パッシブ・イメージングにより常温物体の観測に成功した。また，60GHz帯近接場顕微イメージングの高精細化に向けて表面波伝送を抑える方法を開発した。

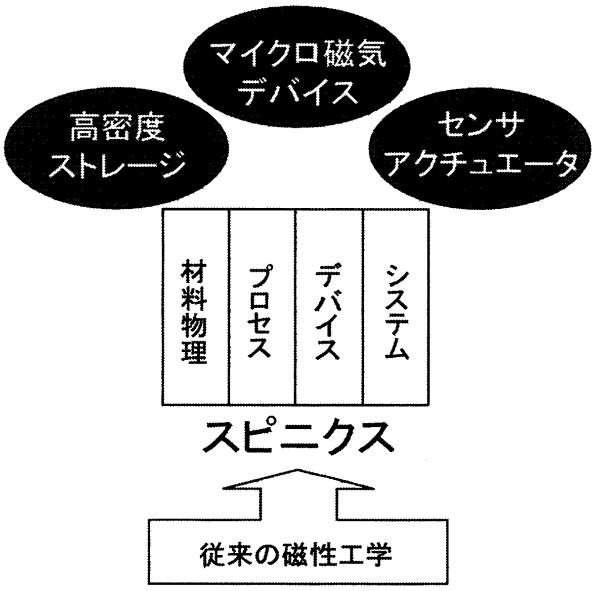
○走査型非線型誘電率顕微鏡の分解能サブナノメータ（0.3～0.5nm）を実現した。また，これを用いてサブÅ精度の超高感度距離センサの開発に成功した。

○自己クローニング法によるフォトニック結晶作製技術を利用して，３次元導波路及びミリ波帯光変調器を開発した。

○GaAs電界放射陰極を製作し，ガン効果によるマイクロ波帯変調電子ビームの発生及び共鳴トンネルによる低分散電子ビーム発生の原理実証を行った。

3.9　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



高密度ストレージ，パワーマグネティックス，マイクロマグネティックス，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における物性の制御を行な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サブサブミクロン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。

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RF帯で使用可能なマイクロパターン化磁性膜について進展があった。今後，超微粒子軟磁性及び硬磁性薄膜，センサ・アクチュエータ用機能薄膜，高感度磁界検出用多層薄膜，人工格子薄膜，高密度垂直磁気記録媒体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，磁気デバイス，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，多層成膜や平坦化処理などの多層化技術の開発を行っており，加工変質や加工劣化の定量的把握についても検討している。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いている。また，集束イオンビーム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。超大容量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。今年度は高飽和磁束密度磁性薄膜を記録磁極にした高記録能力単磁極ヘッドを試作した。メディアについては，記録層の微細構造と異方性を調べ、高密度記録時の主要課題である熱磁気緩和について明らかにし，グラニュラー薄膜とニュークリエーション型薄膜の複合構造が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ヘッド磁界傾斜との相関を明らかにし、ジッタ性ノイズ低減には磁界勾配急峻化が必須であることを示した。近い将来の国際的な目標である100ギガビット／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，電界誘起電圧抑制型マイクロシールディドループコイルの開発によってRF帯における分解能300μmの近傍磁界計測を実現した。一方，スピニックマイクロデバイス関係では，本センターの成膜・微細加工装置を利用して，まずSi－MMIC用GHz駆動超小形磁性薄膜インダクタ，10^{-7}Oe台の磁界分解能を有する薄膜磁界センサなどを開発したほか，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～3.5 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。次に磁気トルクを用いた非接触駆動方式によって，ヒトの組織を摸擬したカンテンならびに動物筋肉組織中で駆動可能なマイクロ磁気アクチュエータを初めて実現した。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ー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　山口正洋（1991）
助　手　島津武仁，石山和志，渡辺功，薮上信，山田洋

【主な研究発表】

1．Masahiro Yamaguchi; Handbook of Thin Film Devices, Vol. 4: Magnetic Thin Film Devices, Chap. 5, 185-212, Academic Press, San Diego, USA, 2000.
2．K. Ishiyama and K. I. Arai; Ferrites: Proceedings of The Eighth International Conference on Ferrites, 1099-1101, 2000. (Invited).
3．M. Yamaguchi, K. Suezawa, M. Baba, K. I. Arai, Y. Shimada, S. Tanabe, and K. Itoh; IEEE Trans. Magn., 36, 5, 3514-3517, 2000.
4．S. Yabukami, H. Kikuchi, M. Yamaguchi, K. I. Arai, K. takahashi, A. Itagaki, and N. Wako; IEEE Trans. Magn., 36, 5, 3646-3648, 2000.
5．Kwang-Ho Shin, Mitsuteru Inoue and Ken-Ichi Arai; Smart Mater. Struct., 9, 357-361, 2000.
6．Kazuyuki Ise, Kiyoshi Yamakawa, Kazuhiro Ouchi, Hiroaki Muraoka, and Yoshihisa Nakamura; IEEE Trans. Magn., 36, 5, 2520-2523, 2000.
7．T. Shimatsu, S. J. Greaves, K. Muramatsu, I. Watanabe, H. Muraoka, Y. Sugita, and Y. Nakamura; IEEE Trans. Magn., 36, 5, 2375-2377, 2000.

8. T. Shimatsu, H. Komagome, I. Watanabe, H. Muraoka, Y. Sugita, Y. Nakamura; J. Appl. Phys., 87, 9, 6367-6369, 2000.
9. H. Katada, T. Shimatsu, I. Watanabe, H. Muraoka, Y. Sugita, and Y. Nakamura; IEEE Trans. Magn., 36, 5, 2905-2908, 2000.
10. S. J. Greaves, H. Muraoka, Y. Sugita, and Y. Nakamura; J. Appl. Phys., 87, 9, 4990-4992, 2000.

3.10　附属工場

先端情報通信研究のための実験機器開発

《附属工場の概要》

電気通信研究所附属工場は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り，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，これまで数々の新しい工作方法を開拓し，微細通信用機器や各種超高真空容器などの精密工作を行い，半導体界面，磁気記録の研究を始め種々の高度情報通信に関わる研究に貢献してきた。

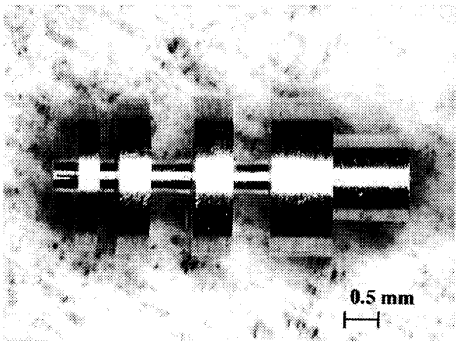
《12年度の実績》

各研究室からの製作要求依頼は156件あった。

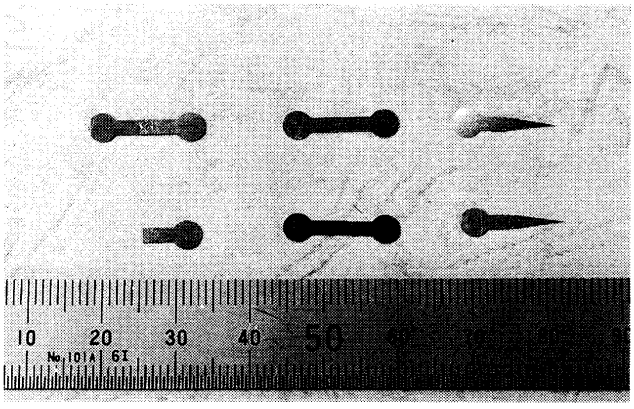
製作した主な製品名は次の通りである

【鈴木研】：立体空間刺激音提示装置，二次元音像音源装置　【矢野研】：多電電極ホルダー，マイク・トランスジューサー取付具，FMRI用頭部固定具　【沢田研】：りん青銅チップ　【山下研】：TPXレンズ，アルミ製変換口，FIB基板ホルダー【分子電子】：電子顕微鏡試料装着具　【中村研】：鋼帯式循環型磁気記録機，アルミスパッタ装置改造　【潮田研】：探針加熱機構，セルシャッター，光ファイバーホルダー，STM劈開サンプルホルダー，水晶振動子ヘット　【庭野研】：ステン四方クロス，ステンチャンバー　【横尾研】：エネルギー分析器，光学ホルダーシステム，シャドウマスクホルダー　【水野研】：94GHz帯共振器用バイアスポスト，94GHz帯共振器モード変換器，94GHz発振器一式，94GHz導波管共振器，60GHz帯カプラマウント　【伊藤研】：DAST加工用マスク，PMD測定用遅延回路，波長板偏向板ホルダー，TPXシリンドリカルレンズ　【坪内研】：シールドケース　【大野研】：冷凍機試料窓，真空装置用治具　【実験施設】：プラズマ測定用メッシュ電極，消化ポンプ呼び水タンク

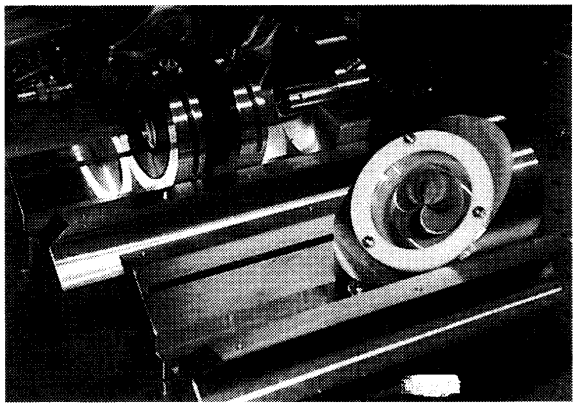
製作した主な製品



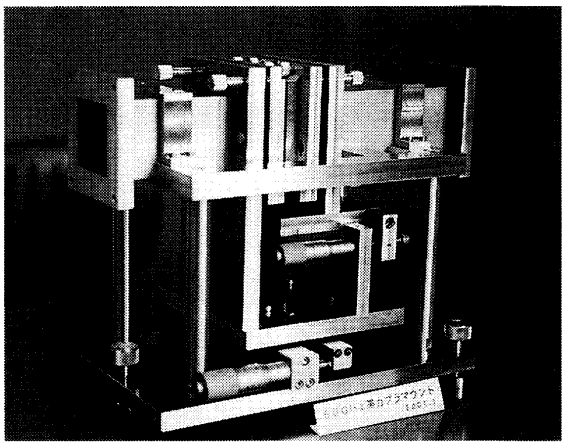
バイアスポスト



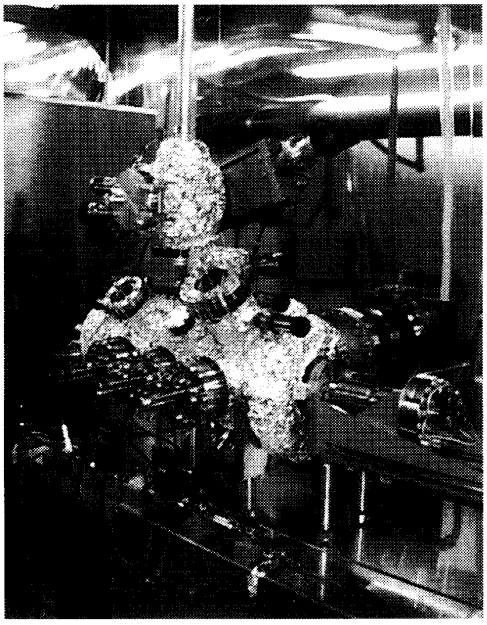
りん青銅チップ（NC加工）



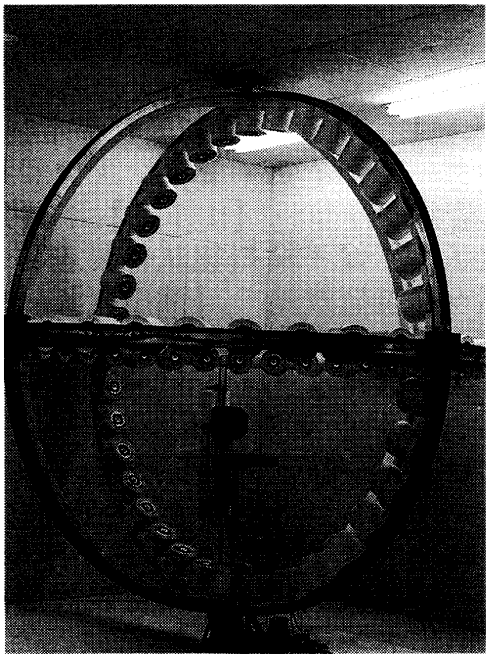
光学ホルダーシステム



60GHz帯カプラマウント



強磁性薄膜用Al製超高真空
3元マグネトロンスパッタ装置
（新しく開発した低ガス放出カソードを搭載）



立体空間刺激音提示装置

《附属工場組織》

工場長（教授）横尾　邦義
（技官）高橋　吉昭　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　横尾　邦義　助教授　末光　眞希
〃　水野　皓司　〃　上原　洋一
〃　庭野　道夫

第 4 章　通研重点推進研究

平成12年度通研重点推進研究

フレキシブルワイヤレスネットワークシステムの構築

SS-CDMAによるセルラー通信技術：ダウンリンク
パケットCDMA通信用ワンチップモデムLSIの開発

1. 本研究の背景と目的

社内LAN環境，インターネットサービスプロバイダによるインターネットへの有線接続に加え，携帯電話，PHS，特にi-Modeの普及，さらにW-CDMA（Foma）の試験サービスの開始により，「誰でも」「どこからでも」インターネットにアクセス可能な環境が整っている。しかしながら，携帯電話からのインターネットアクセスに関しては，通信速度の遅さ，通信料金の高さなど，利用環境の障害があり快適な無線アクセス環境の提供には至っていないのが現実である。例えば，携帯電話の場合通信速度は29.4kbps，128バイトあたり0.3円，W-CDMAでも384kbps，0.05円と高価である。

一方，通話料の必要としない無線通信としては，Bluetoothの出現により，Noteパソコン，携帯電話，ディジタルカメラなど電子機器間の無線接続を提供可能な状況になりつつある。また，2.4GHz帯を利用した無線LAN機器も，低価格化により一般ユーザが利用できる状況になりつつある。しかしながら，電子機器間の通信やLANとしての構成とインフラとしての携帯電話ネットワークとのギャップはまだ大きく，コンシューマ通信としての無線アクセスが実現されているとは言い難い。

本重点研究では，全ての電子機器が無線アクセスにより接続され，高速な光ファイババックボーンで世界中の情報にアクセス可能な環境を提供する「ユビキタスネットワーク」の実現を目指し，その基本技術となるWLL (Wireless Local Loop)の構築目標を安価なセルラーネットワーク「フレキシブルワイヤレスネットワーク」と名付け，1）無線アクセス技術，2）基地局間高速無線通信技術，3）移動通信用プロトコルの開発を目指す。図1に，ユビキタスネットワークの概念図，図2にフレキシブルワイヤレスネットワークの概念とシステム目標を示す。セル内無線アクセス技術としては，SS-CDMA方式を基本として，これまでに我々の研究により基礎技術を確立してきたダウンリンク：パケットSS-CDMA技術，アップリンク：近似同期CDMA技術を完成させる。また，セル間通信技術として基地局間通信：OFDM技術を完成させる。さらに，IPネットワークに適合した独自のプロトコルを実装し，ネットワークシステムと

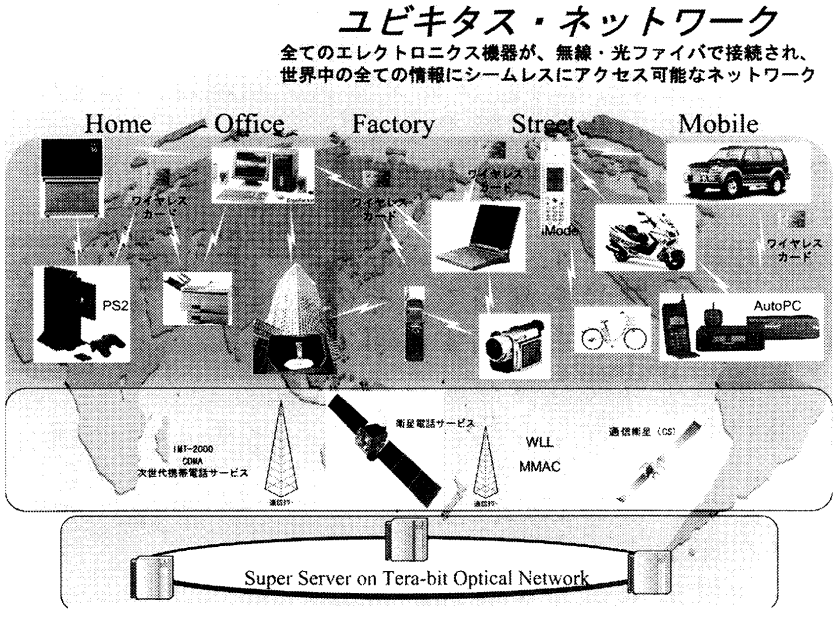


図1　ユビキタスネットワーク

して完成させる。

2. 本年度の研究課題とこれまでの研究経緯

本年度は，フレキシブルワイヤレスネットワークのセル内通信技術を実現する装置開発に重点をおき，特にダウンリンク技術であるパケットSS-CDMA方式のワンチップモデムLSIの開発を行う。

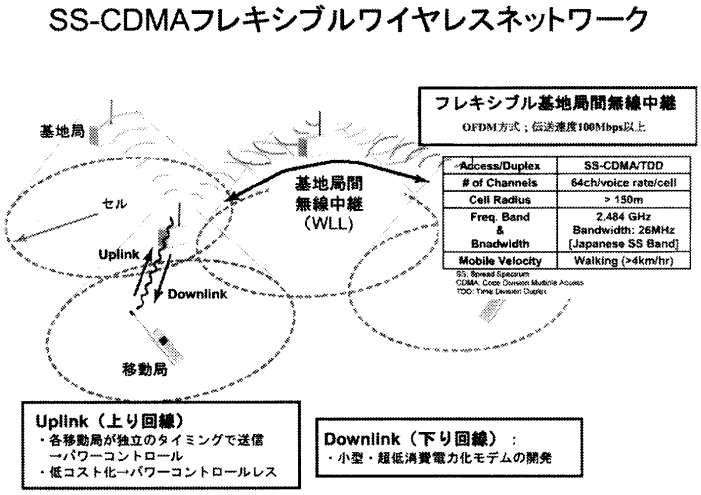


図2　フレキシブルワイヤレスネットワークの概念と目標諸元

図3に，SS-CDMAの概念図を示す。CDMAは，符号分割多重通信方式であり，同一周波数と同一帯域を使って通信を行い各ユーザに割当てられた拡散符号によりチャネル識別を行う。従って，受信側において，複数のチャネル信号が重畳した受信信号から，自分の拡散符号により拡散された信号のみを選択的に抽出し，復調を行う必要がある。この信号検出のキーデバイスとなるのが相関器である。これまでに，我々はSAWを用いた相関器を開発してきた。SAWコンボルバは，二つの入力信号の畳み込み積分をリアルタイムで行うことが可能なデバイスで，参照信号として希望信号の時間反転信号を用いることでSS通信信号検出用マッチトフィルタとして動作する。SAWコリレータは，あらかじめ電極パターンで形成したインパルスレスポンスをもつフィルタであり，パターンを受信信号と同一にすることで，マッチトフィルタとして動作する。どちらのデバイスもキャリアを含んだ状態での相関が可能であるため，RF・IF帯での利用が可能であり，検波を行わずに相関を行うため検出感度が良いことが特徴である。特に，AlN/Al_2O_3は高音速SAW材料であるため，日本のSSバンドである2.4GHz帯RFフロントエンド動作が可能なSAWコリレータとなる。これらのSAWデバイスを用い，これまでにSAWコンボルバを用いた非同期SSモデム，SAWコリレータを用いたカードサイズSSモデムの開発に成功してきた。

以上のような，SS-CDMA技術に関する基本的技術開発を踏まえ，我々はダウンリンク技術としてパケットSS-CDMA方式を提案してきた。図4に，パケットSS-CDMA方式の概念図を示す。ダウンリンク回線は，基地局から移動局への通信であるため，各チャネルの符号同期タイミングは送信パターンのみで決定される。従って，各チャネルの拡散符号にあるタイミングのみ直交する拡散符号を割当て，その直交タイミングを報知する事で多重通信が可能となる。このとき用いる直交符号の代表的なものに，直交m系列，直交Gold系列がある。ここで，同期タイミングを報知する同期チャネルと情報通信チャネルを時間的に分

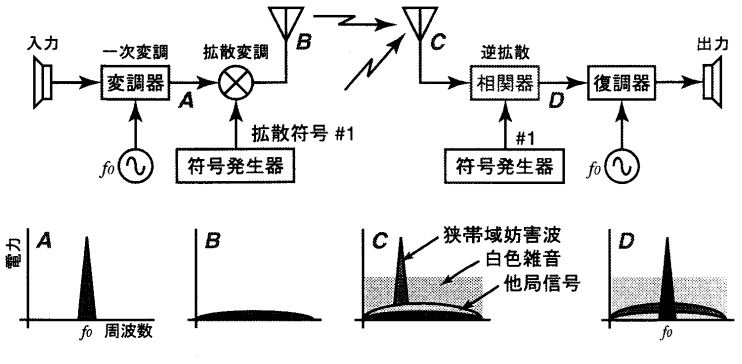


図3　スペクトル拡散通信方式の概略

離し，直交タイミングを報知するための符号として，相関特性が良好で符号長の短い11チップBarker符号を用いる。この構成により，11チップBarker符号の検出により，直交タイミングとシンボルタイミングが同時に捕捉可能なパケットSS-CDMA方式となる。受信回路は，構成を簡略化するため，同期チャネル検出のみ相関器を用い，情報通信チャネルではインライン相関器による逆拡散を行う。我々はこれまでに，同期チャネル検出にSAWコリレータを用い，パケットSS-CDMAモデムの試作を行い，4チャネル多重が可能であることを示してきた。

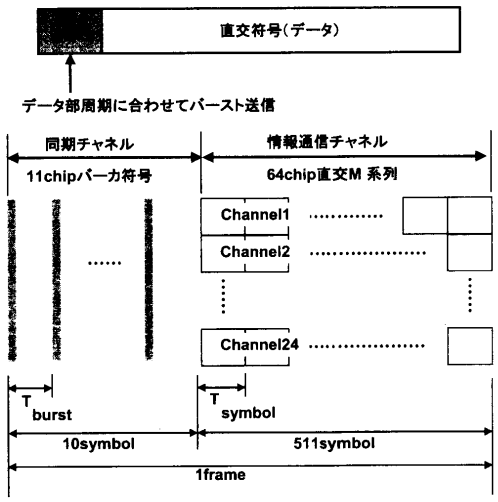


図4　パケットSS-CDMA方式の概略とパケット構成

3. パケットSS-CDMA方式のワンチップモデムLSIの開発

本年度の成果であるワンチップモデムLSI設計に関して述べる。図5に，設計したワンチップモデムのブロック図を示す。送信部は，変調部と帯域制限部からなる。受信部は，ディジタルマッチトフィルタによる同期チャネル検出部とインライン相関による情報通信チャネル復調部からなる。

図6に送信部ブロック図の詳細を示す。タイミング生成部では，送受信TDDのタイミング生成と，同期チャネルと情報通信チャネルのタイミング生成を行う。同期チャネルでは，11チップバーカー符号を10回繰り返し，バーストデータとして発生する。情報通信チャネルでは，入力されたシリアルデータを，シリアルパラレル変換により，2ビットパラレルデータとする。これらのデータに基づき，QPSK変調のシンボルマッピングを行う。ベースバンド処理のため，複素変数としてIチャネル，Qチャネルを用いる。I/Q各チャネルにおいて，FIRフィルタを用いて帯域制限を行う。タップ係数には，符号間干渉が発生しないロールオフフィルタのインパルスレスポンスから4倍オーバーサンプリングを考慮して決定した。この後，LSI外部の直交変調器により2.4GHzキャリアと乗算し，送信する。

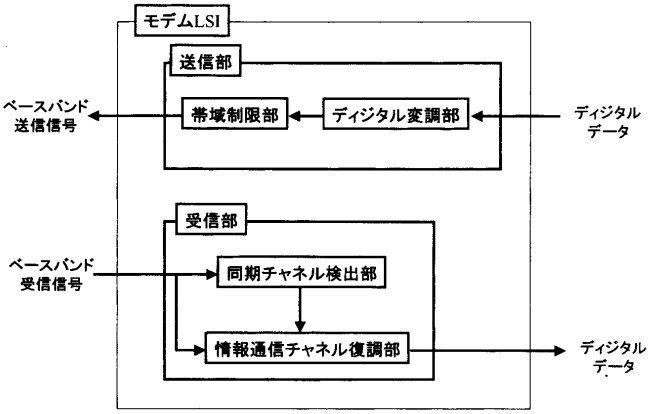


図5　パケットSS-CDMAモデムLSIの構造

図7に受信部ブロック図の詳細を示す。受信信号は，LSI外部で増幅，周波数変換によりベースバンド信号に変換され，アナログ/ディジタル変換（ADC）後LSIに入力する。入力信号は，同期チャネル検出部と情報チャネル復調部に入力される。同期チャネル検出部では，複素相関器により同期チャネルの11チップBarker符号を検出す

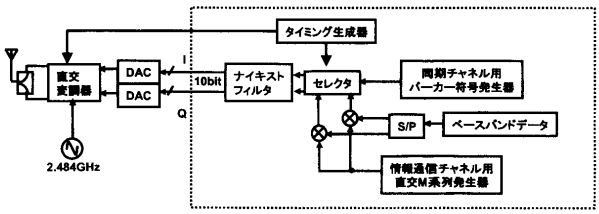


図6　送信部ブロック図

る。ダブルサンプリングにより，相関器を二つ用い，相関出力の大きい方を同期タイミングとして確定する。

10シンボル存在する同期バースト信号は，送信部における絶対位相を含んでいるため，この相関ピーク列から伝送路で発生した位相偏差を推定することで，同期検波が可能となる。複素演算におけるベクトルの位相検出は，直交座標を用いているため通常は$\tan^{-1}$の演算が必要となる。本研究では，位相検出の演算量削減として，位相変調の振幅情報が復調にほとんど影響を及ぼさないことに着目し，加算と乗算のみによる位相検出ブロック構成を提案した。

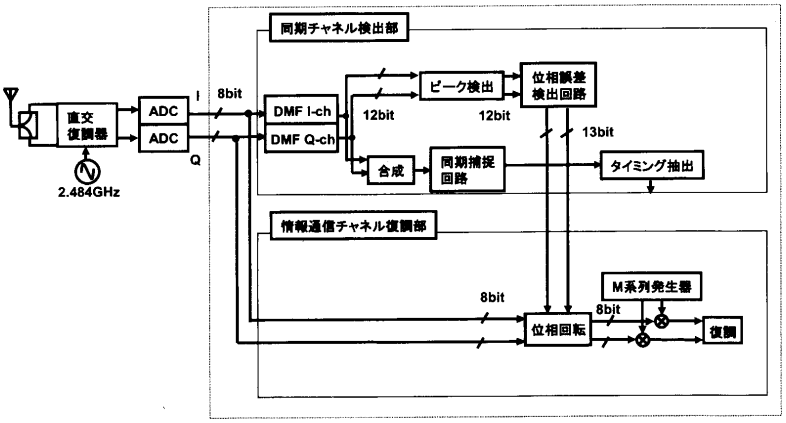


図7　受信部ブロック図

図8に，原理を示す。相関ベクトル（x,y）と原点ベクトル（1,1）との関係は，

$$\begin{bmatrix}1\\1\end{bmatrix} = \frac{1}{a}\begin{bmatrix}\cos\theta & \sin\theta\\ -\sin\theta & \cos\theta\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x\\y\end{bmatrix}$$

となる。ここで，θは位相偏差，aは定数である。ここで，行列の各要素である$\sin\theta$と$\cos\theta$を求める。

$$\sin\theta = \frac{a\ (-x+y)}{x^2+y^2}$$

$$\cos\theta = \frac{a\ (x+y)}{x^2+y^2}$$

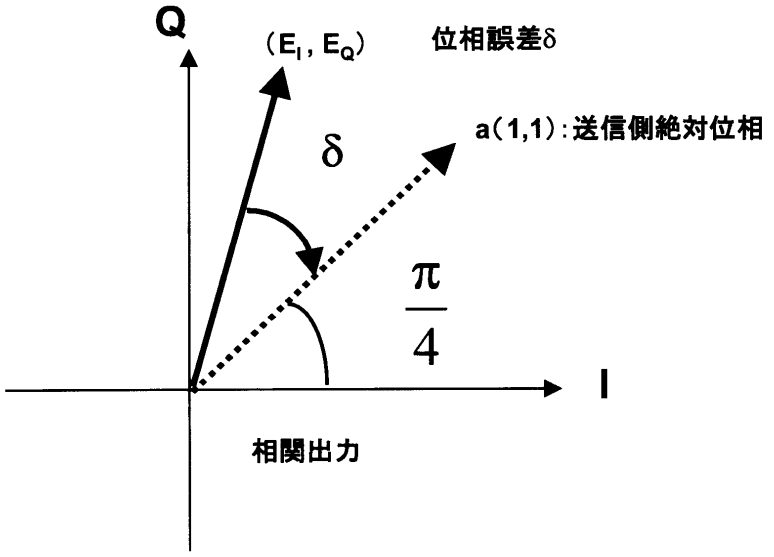


図8　位相補償の原理図

QPSK変調においては，振幅に情報が含まれていないことを考慮すると，$\cos\theta$と$\sin\theta$を求めることで，位相偏差の補償が可能となる。これより，$a = x^2 + y^2$とすると，

$\sin\theta = x + y$

$\cos\theta = -x + y$

と簡略化できる。従って，回転行列は，

$$\begin{bmatrix}-x+y & x+y\\ -(x+y) & -x+y\end{bmatrix}$$

で表すことができ，各要素は加算器一つで求めることができる。

この方式を用いて実現した位相誤差補償回路のブロック図を図9に示す。同期チャネルから算出した回転行列を用いて，加算器，乗算器を一段ずつ用いることで実現でき，遅延の少ない回路構成で受信信号が含む位相偏差を簡単に補償することが可能となる。

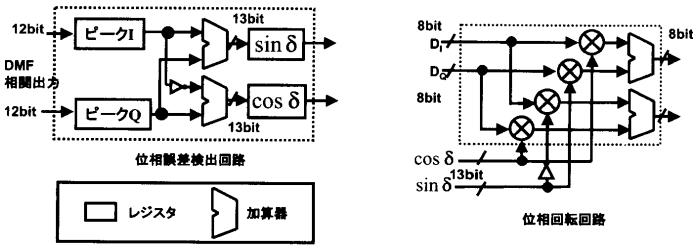


図9　実現した位相補償回路

情報通信チャネルの逆拡散は，同期チャネルで得られた同期タイミングを用いてインライン相関器により逆拡散を行う。逆拡散用の拡散符号は，同期タイミングに基づいて発生させる。符号と受信信号と乗算した後，一シンボルの積分を行い，シンボル点識別を行うことでデータの復調が行われる。上記の位相補償回路は，逆拡散の前に挿入して行う。

4. 特性評価

前節で設計したモデムLSIの特性評価を，Xilinx社製FPGA　Vertex V300に実装して行った。図10に使用したVertex基板を，図11に測定回路ブロックを示す。測定は，ループバックによるビット誤り率(BER)特性により評価を行った。誤り率測定器は，LSI内部に実装した。

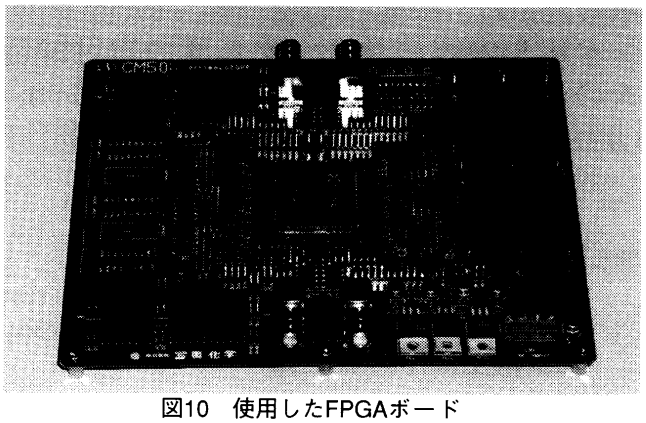


図10　使用したFPGAボード

まず，提案した位相補償回路の特性について評価を行った。送信側に，あらかじめ位相偏差を与えた状態で，BER特性を測定し，提案した位相補償回路の有無による特性劣化を評価した。雑音は，加法性白色ガウス雑音を用いた。図12に，BER特性を示す。提案した位相補償回路により，E_b/N_0で1.7dBの改善があった。

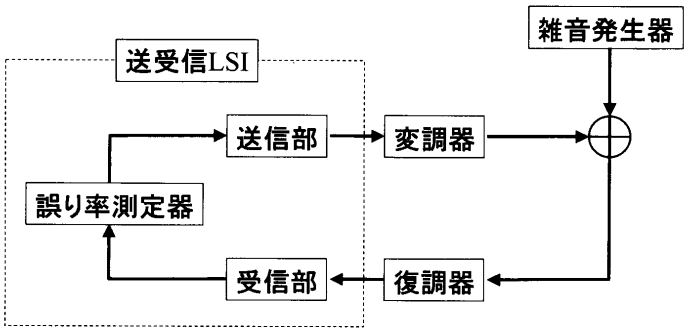


図11　測定ブロック図

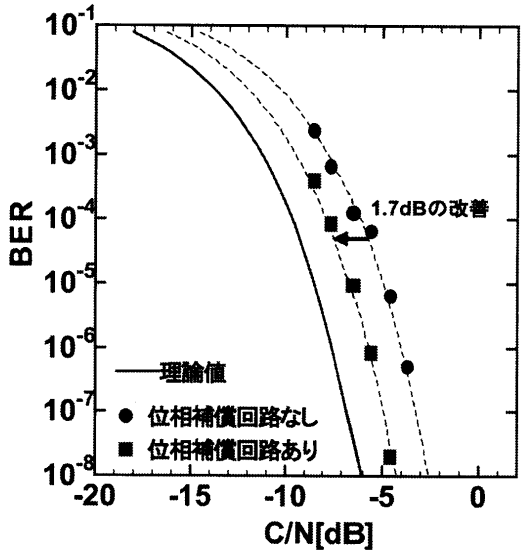


図12　位相補償回路による特性向上

次に，マルチコード伝送による多重通信伝送実験を行った。直交m系列を拡散符号に用い，情報通信チャネルの多重チャネル数を変化させたときの伝送特性を評価した。

図13に，C/N対BER特性を示す。理論特性からの劣化が1.0dB以内の条件で，26チャネル多重が可能であることを示した。これは，全チャネルを束ねてマルチコード伝送することで，10Mbps以上の伝送速度を獲得可能であることを示している。

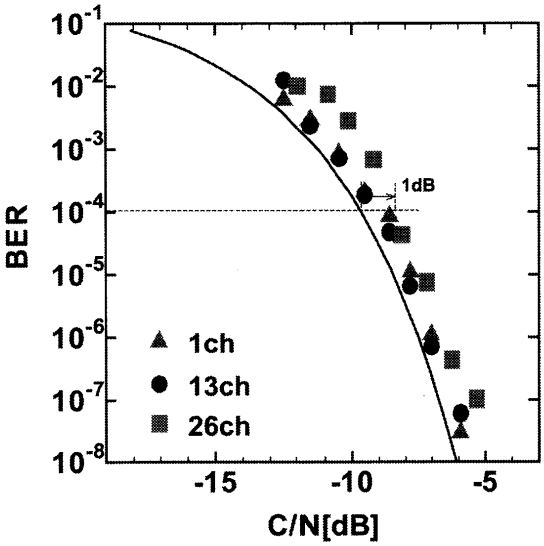


図13　マルチコード伝送特性

5. まとめ

本年度重点研究では，本研究の目的であるユビキタスネットワークの実現のための基本技術である，コンシューマ向けセルラーネットワーク「フレキシブルワイヤレスネットワーク」のダウンリンク技術として提案してきた，パケットSS-CDMA方式のワンチップモデムLSIの開発を行った。FPGAを用いた伝送実験では，10Mbpsを実現可能な26チャンネル多重伝送が，理論値からの劣化1dB以内で実現したことを示した。

本報告内容に加え，次年度の検討課題であるアップリンク：近似同期CDMAモデムの開発の基礎としてシミュレーションによる特性解析，基地局間通信に用いるOFDMモデム開発として低消費電力動作FFT LSIの試作などを行っている。

学会誌英文論文

1．Kenji Togura, Hiroyuki Nakase, Koji Kubota, Kazuya Masu and Kazuo Tsubouchi
Low Power Current-Cut Switched-Current Matched Filter for CDMA IEICE Trans. Electron., Vol E84-C, No.2, 2001, pp.212-219.

2．Kenji Togura, Koji Kubota, Hiroyuki Nakase, Kazuya Masu and Kazuo Tsubouchi,
Nobel Low-Power Switched-Current Matched Filter for Direct-Sequence Code-Devision- Multiple-Access Wireless Communication Jpn. J. Appl. Phys., Vol.39 Part 1, No.4B, 2000, pp.2301-2304.

3．Michio Yokoyama, Tetsuya Saito, Ryoichi Tachibana, Akihiko Morimoto, Kazuya Masu and Kazuo Tsubouchi
A High-Efficiency CMOS Class-B Push-Pull Power Amplifier for Code-Division-Multiple Access Cellular System Jpn. J. Appl. Phys., Vol.39 Part 1, No.4B, 2000, pp.2463-2467.

4．J. S. Cha, S. Kameda, K. Takahashi, M. Yokoyama, N. Suehiro, K. Masu and K. Tsubouchi,
New binary sequences with zero-correlation duration for approximately synchronized CDMA IEE Electronics letter, Vol.36, No.11, 2000, pp. 991-993.

国際会議発表

5．Kazuo Tsubouchi and Hiroyuki Nakase
SAW-Based Wireless Systems (invited) Int. Symp. Acoustic Wave Devices for Future Mobile Commun. Systems, Chiba, 2001, 213-218.

6．Suguru Kameda, Kouichi Takahashi, Taketo Kamata, Jae-Sang Cha, Hiroyuki Nakase, Kazuya Masu and Kazuo Tsubouchi

Design and Implementation of Intracell Revearse Link Using Approximately Synchronized CDMA
The 11th IEEE Inter. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'00) Proceedings, 2000,

7．Hiroyuki Nakase, Koji Kubota, Suguru Kameda, Kenji Togura, Kazuya Masu and Kazuo Tsubouchi
Aluminum Chemical Vaper Deposition Technology for High Deposition Rate and Surface Morphology Improvement
Extended Abstracts of the 2000 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Sendai, 2000, pp. 24-25.

8．S. K. Kim, J. S. Cha, H. Nakase and K. Tsubouchi
Novel FFT LSI for OFDM using current mode circuit
Extended Abstracts of the 2000 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Sendai, 2000, pp. 384-385.

研究会発表など

9．坪内和夫（招待講演）
次世代SS-CDMAフレキシブルワイヤレスネットワーク　～Reconfigurable Network～
電子情報通信学会スペクトル拡散研究会，SST2000-45，2000年10月

10．高橋康一，亀田　卓，中瀬博之，坪内和夫
SS-CDMAフレキシブルワイヤレスネットワーク上り回線技術-近似同期CDMAシステム
電子情報通信学会スペクトル拡散研究会，SST2000-46，2000年10月

11．北岸洋一，亀田　卓，中瀬博之，坪内和夫
パケットSS-CDMA通信用ワンチップモデム
電子情報通信学会スペクトル拡散研究会，SST2000-48，2000年10月

12．飯塚洋介，小室　敦，亀田　卓，苫米地秀一，中瀬博之，坪内和夫
SS-CDMAフレキシブルワイヤレスネットワーク下り回線技術 -SAW MFを用いたパケットSS-CDMAシステム
電子情報通信学会スペクトル拡散研究会，SST2000-47，2000年10月

第 5 章　　共同研究

5.1　共同プロジェクト研究の理念と概要

○共同プロジェクト研究の理念と概要

本研究所は，情報通信分野における COE (Center of Excellence) として，その成果をより広く社会に公開し，また研究所自体がさらに発展するために全国共同利用研究所として所外の研究者と共同プロジェクト研究を遂行している。本所の学問の性格上，単なる設備の共同利用ではなく，本研究所教官との共同研究を前提とした共同利用研究所であるところに特徴がある。本研究所の「共同プロジェクト研究」とは，情報通信分野における技術・システムに関する各種の研究を国内外の優れた研究者の協力のもとに企画・コーディネートし，プロジェクト研究として実施していくもので，大規模な装置・施設の共同使用に重点がある従来の共同利用型研究とは異なり，研究内容主導型の共同研究である。

共同プロジェクト研究は，所内外の研究者の英知を集めて企画され，さらにその積極的な参加を得て実施されることが肝要である。これまで，本研究所の共同プロジェクト研究の提案および実施は，国・公・私立大学，国・公立研究機関，及び民間企業・団体等の教官及び研究者を対象として，公募により行われている。

○共同利用委員会

共同プロジェクト研究の運営のために，共同利用委員会及び共同プロジェクト実施委員会が設置されている。共同利用委員会は，共同プロジェクト研究に関する重要な事項を審議するために設置されており，その構成は，本研究所教授並びに本学工学研究科及び情報科学研究科の教授の計７名の委員よりなっている。共同利用委員会の使命は，本研究所で遂行されている研究内容の特徴を重視しながら，所内外の意見を広く求め，研究所の目的である「高密度及び高次の情報通信に関する学理並びにその応用の研究」の発展に不可欠な共同プロジェクト研究を積極的に推進することにある。これまで，公募研究の内容，採択の基準，外部への広報，企業の参加に関する点等について議論を行ってきており，特に企業の参加に関しては，平成８年度に本所内規「東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究に係る研究者の受入れ等に関する申合わせ」を作成し，公平・公表を原則として，積極的な対応を行ってきている。

今年度は，平成13年度共同プロジェクト研究の公募方法に関して議論を行い，次の２点を重点的に考慮し，公募を行うことにした。

1）公募する共同プロジェクト研究の内容を，外部により具体的に明示することを目的に，メインテーマを次のように変更した：「時・距離・言葉の壁を超えるコミュニケーション技術に関する基礎研究」，

2）より広範囲からの応募を目的として，ホームページ上にて公募要項の掲示を行うこととした。

なお，共同プロジェクト研究の円滑な実施を図るために，本所専任の教官より組織されている共同プロジェクト実施委員会が設置されている。

○平成12年度共同プロジェクト研究

平成12年度の共同プロジェクト研究は，所内外から公募され審議の結果次の30件

(A：17件, B：13件) が採択された。なお，Aタイプは各々の研究課題について行う研究であり，17件のうち12件が外部よりの提案，Bタイプは短期開催の研究会形式の研究で，13件のうち6件が外部よりの提案のものである。また，Aタイプの研究のうち8件に，Bタイプの研究会のうち7件には，民間の研究者が参加している。

平成12年度共同プロジェクト研究採択一覧

H11/A01　IV族半導体極限ヘテロ構造形成と表面・界面制御に関する研究
H11/A02　二波長半導体レーザによるテラヘルツ電磁波生成の研究
H11/A03　周波数シフト帰還型レーザによる光通信用デバイスの特性評価システムの開発
H12/A01　モバイル共有空間によるハイパーコミュニケーションに関する研究
H12/A02　真空マイクロエレクトロニクス用高性能電子源の開発
H12/A03　プラズマ中フラーレン・微粒子の基礎と応用
H12/A04　電子デバイス用高温超伝導単結晶の育成に関する研究
H12/A05　マルチモーダル情報に基づく環境認識過程の解明
H12/A06　冷凍機を用いた高温超伝導高周波検出・発振システムに関する研究
H12/A07　圧電結晶におけるドメインの挙動解明，制御，ならびに応用に関する研究
H12/A08　超大容量垂直スピニックストレージシステムの研究
H12/A09　脳型計算機の構築と人間機械対話環境の実現のための基礎研究
H12/A10　仮想現実環境のための音空間伝送・再生技術に関する研究
H12/A11　ネットワーク協調型3次元仮想ユーザビリティラボに関する研究
H12/A12　超高結合圧電単結晶・薄膜の探索と超高周波弾性波デバイスの次世代通信情報システムへの応用の研究
H12/A13　超低消費電力無線通信ULSI・ハイブリッド集積化実装技術の研究
H12/A14　3次元フォトニック結晶とデバイス応用の研究
H10/B01　半導体エピタキシャル成長の原子レベル制御に関する研究
H10/B02　環境共生型量子反応制御プロセスに関する研究
H10/B03　テラフォトニクスの研究
H11/B01　マイクロ磁気システムの研究
H11/B02　脳の情報原理の解明に向けた基礎的研究
H12/B01　ミリ波通信・計測用アクティブ集積化アンテナの研究
H12/B02　プラズマ加速現象の基礎と応用
H12/B03　ナノ構造磁性体の形成と機能に関する研究
H12/B04　ナノ構造の形成と物性機能に関する研究
H12/B05　超高速・高精度気体絶縁金属基板SOIデバイス・プロセスの研究
H12/B06　シリコン集積回路の高性能化に関する研究
H12/B07　情報の時空間処理と計算パラダイム
H12/B08　発達過程の脳モデルの研究

○共同プロジェクト研究の公募，実施について

共同プロジェクト研究の公募，実施は年度単位で行われている。例年，研究の公募は，11月初旬頃に来年度の研究の公募要項の公開，12月20日前後が申請書の提出締切となっており，採否の結果は3月下旬頃に申請者の所属機関の長を通じて通知される。研究期間は，4月1日より3月15日までであり，研究終了後の4月25日前後までに研究報告書を提出して頂くことになっている。なお，上の「理念と概要」

の項で述べたように，本共同プロジェクト研究は本研究所教官との共同研究を前提としたものであるので，申請にあたっては本所に対応教官がいることが必要である。

なお，本共同プロジェクト研究については，次の web page にて広報している：

www - URL: http://www.riec.tohoku.ac.jp /nation-wide/index-j.html

問い合わせ先：東北大学電気通信研究所総務課研究協力掛
電話：022-217-5422

共同プロジェクト研究

課題番号　H-11 / A-01

Ⅳ族半導体極限ヘテロ構造形成と表面・界面制御に関する研究

［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）
横尾　邦義（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）
末光　眞希（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）
松浦　　孝（東北大学電気通信研究所）
坂本　謙二（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）
米永　一郎（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）
宇佐美徳隆（東北大学金属材料研究所）
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）
秋本　晃一（名古屋大学大学院工学研究科）
池田　浩也（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）
青木　　彪（東京工芸大学工学部）
飯塚　昌之（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（電子技術総合研究所）
三木　一司（電子技術総合研究所）
荒井　英輔（名古屋工業大学工学部）
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）
石谷　明彦（超先端電子技術開発機構）
梶山　健二（イオン工学研究所）
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）
三宅　雅保（福山大学工学部）
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）
大黒　達也（東芝ﾏｲｸﾛｴﾚｸﾄﾛﾆｸｽ研究所）
中川　清和（山梨大学工学部）
伊藤　秀二（沖電気工業半導体技術研究所）
小野　昭一（アルプス電気中央研究所）
尾藤三津雄（アルプス電気中央研究所）
篠井　　潔（アルプス電気中央研究所）
阿部　孝夫（信越半導体株式会社）
宮　　博信（日立国際電気株式会社）
国井　泰夫（日立国際電気株式会社）
森谷　　敦（日立国際電気株式会社）
宮本　光雄（森田化学工業株式会社）
池田　拓也（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）

配分研究費　校費591千円，旅費1,317千円

［2］ 研究経過

［目的］ Ⅳ族半導体極限ヘテロ構造形成プロセスの開発はLSI上への新機能デバイス搭載等のために極めて重要である。本プロジェクトでは，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，原子層オーダで制御されたⅣ族半導体極限ヘテロ構造を形成するプロセス技術を開拓することを目的としている。さらに，形成した極限ヘテロ構造体から発現する新しい光・電子物性の探索を行う。扱う材料としては，Si-Ge-C系多層ヘテロエピタキシャル層やP・Bのドーパント原子を始め，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］ 本年度は本プロジェクトの第2年度として，前年度の成果を踏まえ，引き続きSi-Ge-Cのエピタキシャル膜，Si窒化膜，PやBの原子層ドーピング，WとSiの多層膜を中心に極限ヘテロ構造形成技術・表面界面制御技術の研究を進めた。プロセスにはCVD法・MBE法・ECRプラズマ法を用いて行い，相互の方法の比較を行いながら各々の特徴を生かして最適化を進めた。原子レベルでの平坦性及び表面構造の評価にはSTM／AFM，表面の吸着物質・原子結合の同定にはXPS・FTIR・ラマン分光を用いている。また，共鳴トンネルダイオードの電気特性の測定・評価を行い，Ⅳ族半導体極限へ

テロ構造による新物性の探索を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

本研究により，SiやGe，C等Ⅳ族半導体やそれらへのP・Bのドーピング及びそれらを基とした絶縁膜，並びに金属膜等を組み合わせた極限ヘテロ構造の形成が可能になりつつある。特に，表面マイグレーションや原子ミキシングを最低限まで抑制した表面・界面制御技術が実現されつつある。

具体的にはまず，Si-Ge-C系のエピタキシャル成長やPおよびBのドーピング制御とその電気的特性，それらのエピタキシャル薄膜のエッチング特性の研究を進め，C比率の増加とともに低不純物濃度でも電気的に不活性な不純物原子が増加する傾向にあることを明らかにした。また，Si表面の原子オーダプラズマ窒化・NH_3窒化，Pの原子層吸着制御とその上へのSi薄膜成長の研究を進め，N及びP原子吸着Si表面上へのSiエピタキシャル成長を実現した。この方法によりSi結晶中に$4\times10^{14}cm^{-2}$の超高濃度Pドーピングを実現するとともに，その電気的活性度は約60％にまで達していることを確認した。さらに，不純物ドープ$Si_{1-x}Ge_x$からSiへのPやBの低温不純物拡散と偏析特性を明らかにした。一方，SiGe系の物性研究として，$Si_{0.6}Ge_{0.4}$/Si系二重障壁共鳴トンネルダイオードを製作しその量子構造に特有の電気伝導特性の研究を進めた。さらに，SiGe系デバイスの高性能化への応用として，不純物ドープ$Si_{1-x}Ge_x$からの不純物熱拡散を自己整合型極浅ソース／ドレイン形成に用いたpチャネル及びnチャネル極微細MOSFET（S^3EMOSFET）を試作・改良し，ゲート長を0.1μm以下に極微細化してもパンチスルーの起こらない良好なトランジスタ特性を示すことを確認し，電流駆動能力も増大することを明らかにした。

本プロジェクトの寄与のある研究成果の一部は，後述の主な研究発表等をはじめとする，学術雑誌，国際会議に発表している。本プロジェクト研究の継続・推進により，極限ヘテロ構造に起因する新しいⅣ族半導体光物性・電子物性の学問分野が大きく切り開かれると同時に，次世代Si系極限ヘテロデバイス開発の道をも開拓できよう。

（3－2）波及効果と発展性

本共同プロジェクト研究のメンバーから多数が参加して，申請が認められた文部省科学研究費補助金特定領域研究(B)「人工Ⅳ族半導体の物性制御と超高速光・電子デバイスへの応用」との連携を密にして，研究を進めることにより，この分野の飛躍的発展が期待される。

［国際会議］国際ワークショップFirst International Workshop on New Group IV (Si-Ge-C) Semiconductors Control of Properties and Applications to Ultrahigh Speed and Opto-Electronic Devices (Jan. 21(Sun.)-23(Tue.), 2001, HOTEL JAL CITY SENDAI, Japan)を，本共同プロジェクト研究が中心となり開催することができた。海外16名を含めて134名の参加者を得，以下の13件の招待講演の他，56件の一般講演でSi-Ge-C系Ⅳ族半導体の物性制御とそのデバイス応用に関して広範で深い討論ができ，きわめて有意義であった。なお，ワークショップの詳細はhttp://www.murota.riec.tohoku.ac.jp/ SiGe(C)/default.htmにも公開している。

I-01. Technologies for Wireless: A Value-added Approach, A. Ourmazd, IHP, Germany

I-02. Self-Aligned SEG SiGe HBT and Bi CMOS Technology, K. Washio, Hitachi Ltd., Japan

I-03. SiGe Nanoelectronics: From Increasing CMOS Functionality to Quantum Information Systems Using Self-Assembled Ge Quantum Dots on Si, K.L. Wang, J.L. Liu, and G. Jin, UCLA, USA

III-01. SiGe:C Epitaxy for HBT Applications, B. Tillack, D. Knoll, B. Heinemann, K.E. Ehwald, D. Wolansky, Y. Yamamoto, D. Krüger, and P. Schley, IHP, Germany

III-02. Point Defect Engineering for Dopant Control in Silicon-Based Nanodevices, J.C. Sturm, M.S. Carroll, M. Yang*, E. Stewart, and J. Gray, Princeton Univ., USA

III-03. Growth and Characterisation of Abrupt Doping Profiles in Si and SiGe Epitaxy, C.P. Parry, G. Eifler, M. Oehme, M. Bauer, E. Kasper, T.G. Grasby*, A.D. Lambert*, Univ. Stuttgart, Germany, *Univ. of Warwick, UK

III-04. $Si_{1-x}Ge_x$ Channel Field Effect Transistors Using δ-Doping Technique, S.J. Chang, and S.L. Wu*, National Cheng Kung Univ., Taiwan, *Cheng Shiu Inst. of Technol., Taiwan

V-01. Application of Strained-Si Films and Strained-Si-on-Insulator Structures to Advanced CMOS, S. Takagi, T. Mizuno, N. Sugiyama, T. Tezuka, T. Hatakeyama and A. Kurobe, Toshiba Corp., Japan

V-02. High Ge Content SiGe MODFET Hetero-structures on Virtual Substrates for Device Applications: HOLE MOBILITIES Higher than Electrons in the Room Temperature Range of Operation, O.A. Mironov, M. Myronov, E.H.C. Parker, T.E. Whall, Univ. of Warwick, UK

V-03. SiGe Technology Reduced to Commercial Practice, D.C. Houghton, S. Kovacic H. Lafontaine and N Rowell*, SiGe Microsystems Inc., Canada, *National Research Council, Canada

VII-01. High Spatial Resolution X-Ray Techniques for Semiconductor Studies, S. Lagomarsino[(a)], S. Di Fonzo[(b)], W. Jark[(b)], C. Giannini[(c)], L. De Caro[(c)] and A. Cedola[(a)], [(a)]IESS-CNR, Italy, [(b)]Sincrotrone Trieste, Italy, [(c)]PASTIS-CNRSM, Italy

VII-02. Self-Assembled Si/Ge Quantum Dots: Formation, Ordering and Infrared Applications, K. Brunner, TU Munich, Germany

VII-03. Relationship between Graded Layer Structures and Defects in Silicon-Germanium Virtual Substrates, K. Mizushima, I. Shiono, K. Yamaguchi, and N. Muraki*, Mitsubishi Materials Corp., Japan, *Mitsubishi Materials Silicon Corp., Japan

［4］主な研究発表

1. Surface Reaction of CH_3SiH_3 on Ge(100) and Si(100), T. Takatsuka, M. Fujiu, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, Appl. Surf. Sci., Vol. 162-163, pp.156-160, (2000).
2. Atomic-Layer Adsorption of P on Si(100) and Ge(100) by PH_3 Using an Ultraclean Low- Pressure Chemical Vapor Deposition, Y. Shimamune, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, Appl. Surf. Sci., Vol.162-163, pp. 390-394, (2000) .
3. Epitaxial Growth of $Si_{1-x-y}Ge_xC_y$ Film on Si(100) in a SiH_4-GeH_4-CH_3SiH_3 Reaction, A. Ichikawa, Y. Hirose, T. Ikeda, T. Noda, M. Fujiu, T. Takatsuka, A. Moriya, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, Thin Solid Films, Vol.369, No.1-2, pp.167-170, (2000).
4. Segregation and Diffusion of Impurities from Doped $Si_{1-x}Ge_x$ Films into Silicon, S. Kobayashi, T. Aoki, N. Mikoshiba, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, Thin Solid Films, Vol.369, No.1-2, pp.222-225, (2000).
5. Drain Leakage Current and Instability of Drain Current in $Si/Si_{1-x}Ge_x$ MOSFETs, T. Tsuchiya, K. Goto, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, Thin Solid Films, Vol.369, No.1-2, pp.379-382, (2000).
6. Contribution of Ions and Radicals in Etching of $Si_{1-x}Ge_x$ Epitaxial Films Using An Electron- Cyclotron-Resonance Chlorine Plasma, H. Takeuchi, T. Matsuura and J. Murota, Appl. Phys. Lett., Vol.77, No.12, pp.1828-1830, (2000).
7. Doping and Electrical Characteristics of in-situ Heavily B-Doped $Si_{1-x-y}Ge_xC_y$ Films Epitaxially Grown Using Ultraclean LPCVD, T. Noda, D. Lee, H. Shim, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, Thin Solid Films, Vol.380, pp.57-60, (2000).
8. Atomic-Layer Doping in Si by Alternately Supplied PH_3 and SiH_4, Y. Shimamune, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, Thin Solid Films, Vol.380, pp.134-136, (2000).
9. CVD $Si_{1-x}Ge_x$エピタキシャル成長とドーピング制御, 室田淳一, 櫻庭政夫, 松浦孝, 日本結晶成長学会誌, 日本結晶成長学会, Vol.27, No.4, pp.171-178, (2000).
10. Epitaxial Growth of Pure ^{30}Si Layers on a Natural Si(100) Substrate Using Enriched $^{30}SiH_4$, Y. Nakabayashi, T. Segawa, H.I. Osman, K. Saito, S. Matsumoto, J. Murota, K. Wada and T. Abe, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.39, Part 2, No.11B, pp.L1133-L1134, (2000).
11. Atomic-Order Thermal Nitridation of Si (100) and Subsequent Growth of Si, T. Watanabe, M. Sakuraba, T. Matsuura and J. Murota, J. Vac. Sci. Technol. A, Vol.19, No.4, (in press, 2001).
12. Phosphorus Doping in $Si_{1-x-y}Ge_xC_y$ Epitaxial Growth by Low-Pressure Chemical Vapor Deposition Using a SiH_4-GeH_4-CH_3SiH_3-PH_3-H_2 Gas System, D. Lee, T. Noda, H. Shim, M. Sakuraba, T. Matsuura, J. Murota, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.40, No.4B, (in press, 2001).
13. Effect of $Si/Si_{1-y}C_y/Si$ Barriers on the Characteristics of $Si_{1-x}Ge_x/Si$ Resonant Tunneling Structures, P. Han, C. Xue-Mei, M. Sakuraba, Y.C. Jeong, T. Matsuura and J. Murota, Chin. Phys. Lett., Vol.17, No.11, pp.844-846, (2000).
14. Self-Diffusion in Extrinsic Silicon Using Isotopically Enriched ^{30}Si Layer, Y. Nakabayashi, H.I. Osman, T. Segawa, K. Saito, S. Matsumoto, J. Murota, K. Wada and T. Abe, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.40, Part 2, No.3A, pp.L181-L182, (2001).

課題番号　H11 / A02

二波長半導体レーザによるテラヘルツ電磁波生成

[1] 組織
研究代表者：日高　建彦（湘南工科大学電気工学科）
東北大學通研対応教官：伊藤　弘昌
研究分担者：
伊藤　弘昌（東北大学電気通信研究所）
四方　潤一（東北大学電気通信研究所）
高橋　英憲（東北大學大学院）
水野　麻弥（東北大學大学院）
諸橋　　功（湘南工科大学大学院）
前田　進一（湘南工科大学大学院）

研究費：　校費30万円
旅費27万2千円

[2] 研究経過

いわゆるテラヘルツ電磁波の生成，伝送，検出およびそれらの応用に関する研究は近年ますます重要性が増してきている。まず，テラヘルツ電磁波生成であるが，現在もっとも多く研究されているのは，可視ー近赤外レーザを第一光源とし，その光源をもとにテラヘルツを非線形効果などにより生成せしめるものである。例えば，強力な近赤外短パルス光をLiNbO3 などの物質に打ち込み，オプティカルパラメトリック発振をさせ，その発振周波数がテラヘルツ領域になるように結晶の方位とポンピング光などの相互作用を調節するやりかたや，光パラメトリック発振で得た近接二波長光を DAST のような非線形光学結晶に注入し，その差周波を得る方法，半導体で非対称２層量子井戸を作成し，それを強フェムト秒光パルスで励起し，量子井戸中の電子分布の振動を発生させ，そこからその振動に該当する電磁波を放射させるものである。

ところが，そのようなフェムト秒短パルス光を第一光源とするようなテラヘルツ波発生装置は著しく高価かつ得られるテラヘルツもパルス状であり，必ずしも実用的ではなかった。そこで，安価かつ連続である，半導体レーザを第一光源とするテラヘルツ電磁波生成の試みが各所で始まってきた。例えば，近接する周波数をもつ二台の連続半導体レーザを用意し，その各々のレーザからの光を合波して半導素子に照射して差周波を取り出す方法や，強い非線形性もつ高温超伝導物質に照射してテラヘルツを得る方法などが試みられており，それぞれ初期的成果を得つつある。

本プロジェクトでは，研究分担者の一人である日高がかつて開発した二波長同時半導体レーザと，東北大通研伊藤研究室で開発された，DASTと略称されている非線形光学結晶を用いた，非線形差周波発生法によるテラヘルツ電磁波発生を目的として研究を行いつつある。この方法の特徴は，第一（励起）光源が著しく安価簡便となり，また，二個の独立のレーザを準備してその各々の出力を合波するという，光学的にはかなりやっかいな作業を回避できる。ところが，当二波長連続発振半導体レーザの出力は大きくとも10 mW のオーダーであり，従来用いられてきたフェムト秒発光レーザや，それを用いた，オプティカルパラメトリック発振で得られるパルス光に比すると，そのピーク値は著しく低い。光学非線形効果は入射光のピーク電力の二乗に比例するので，半導体レーザを励起光源として使用することは著しく不利であり，その期待される生成テラヘルツ電力は極めて小さい。しかしながら，将来的には，半導体レーザを励起源とする，差周波法によるテラヘルツ光源の開発は極めて魅力的と思われる。

以上にのべたごとく，連続半導体レーザとDASTのような非線形光学結晶を用いたテラヘルツ電磁波生成の試みは成功すれば画期的と期待されるが，なにぶん，現状にて期待される出力は微小であり，光学系，信号検出系において，更なる改良が必要なことが判明した。これらは現在進行中である。

また，意外に軽んじられていると思われる，テラヘルツ電磁波伝送導波路の開発を開始した。テラヘルツ領域は水分及び酸素の吸収がかなり強いので，その実用化のためには低損失の光ファイバ（ないしは機能的に該当するもの）が必須になると思われる。ところが，従来はいわゆるライトパイプ（単なる金属パイプ）しかなかった。そこで，平成12度から，新原理のテラヘルツ導波路開発を開始した。この原理を以下に述べる。まず，金属ライトパイプであるが，金属においては，斜め入射電磁波に対しては，その反射率は特に平面波に対してはライトパイプとして要求されるほど高く

はないことを数値的に確認し，THz 帯で高反射率が得られる新たなクラッディング材の探索を行った。その結果，強誘電体関連材料のうち，可とう性のあるポリマー強誘電体，例えば Polyvinilydene Fluoride (PVDF) が有望であることが判明した。そこで平成12年度において，内径 8mm，長さ27cm の PVDF で構成された中空ライトパイプを作成，伝送効率を測定した。

また，二波長同時発振半導体レーザは上述のごとく，将来の差周波法によるTHz 電磁波発生光源として有望視されてはいるが，現状では可同調性および差周波の正確な計測において不十分である。そこで，将来を見越して，まず，二波長半導体レーザのマイクロ波変調（注入電流に直接マイクロ波を重畳する）特性の実験を開始した。この趣旨は，もし深いマイクロ波変調（振幅および位相）がかかれば多数の側波帯が発生するはずである。

二波長同時発振の二本の発振ラインに同時に変調が同じ程度に深くかかれば，それぞれの側波帯の適当な組み合わせで低周波のビートが光検出信号内に含まれるはずである。このビート信号を検出すれば二波長レーザ発振の周波数間隔が正確に測定できる。

[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。

第一に，二波長半導体レーザと DAST 結晶を用いたテラヘルツ生成を再三試みた。その前兆らしい信号を得たこともあったがそ，の信号は現状では未だ極めて微弱であり，結論を得ていない。

第二に，テラヘルツ領域で金属パイプより低損失と期待される， PVDF なる有機強誘電体を使った中空導波路の開発を開始し，２ＴＨｚ近傍でたしかに金属パイプよりも低損失であることを確認した。図１にその結果の一例を示す。

第三に，二波長半導体レーザにおいて，特異なマイクロ波変調特性を観測した。すなわち，例えば同一強度で発振している状態において，マイクロ波を重畳していくと低周波（3 GHz 以下）変調では，長波長レーザ光がクエンチされ，高周波（3 GHz 以上）では短波長レーザ光がクエンチされる。このような現象はまったく新しい現象であり，活性層内のキャリアダイナミックスに関する新しい知見を提供する可能性がある。図２その実験装置図，図３，４は変調によって一方の発振線がクエンチされた様子，図５にクエンチ量の変調周波数依存性を示す。

（３－２）波及効果と発展性

本プロジェクトの成果はそれぞれ然るべき国際研究集会，国際的論文誌にて発表あるいは発表予定である。また，その成果はそれぞれ工業的な価値もあると思われるので，特許申請にむけて準備中である。

[4] 成果資料

[1] T. Hidaka, H. Ito et.al., Hollow waveguide for THz waves with feroelectric polymer PVDF as the cladding material”，FST 2000，FA-3, Tsukuba

[2] T.Hidaka，H. Ito et.al.，“Hollow waveguide for THz waves with PVDF as the cladding material”，CLEO Europe 2000 ,CWF0007 (Nice, France.)

[3] 日高建彦，伊藤弘昌他，”強誘電体 PVDF をクラッディング材とする可とう性テラヘルツ帯中空導波路” 電子情報通信学会論文誌ＣJ84-C,No.1, pp57-60(2001)。

[4] 日高建彦，伊藤弘昌他，南出泰亜他”強誘電体 PVDF を壁材とするTHz 導波路の特性評価”応物 (2001 春) 30p-H-10。

[5] 日高建彦，伊藤弘昌他，”二波長同時発振半導体レーザのマイクロ波変調特性”応物 (2001 春) 20p-V-14。

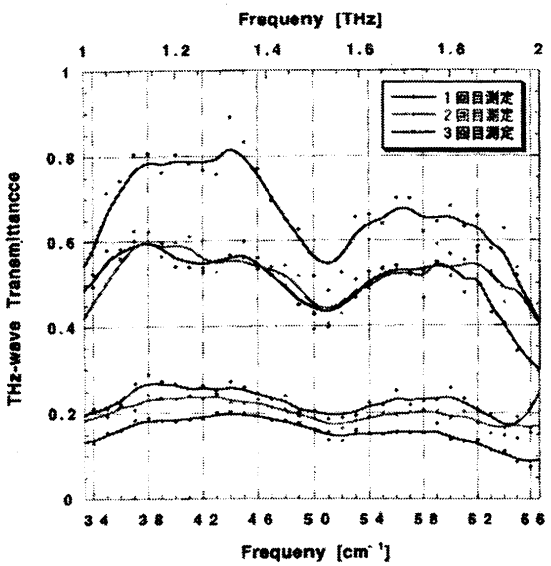


図１．PVDF 中空ライトパイプ の伝送特性。
横軸は周波数，縦軸は規格化された伝送効率。
PVDF 製と金属製に二種のパイプの伝送効率を比較してある。

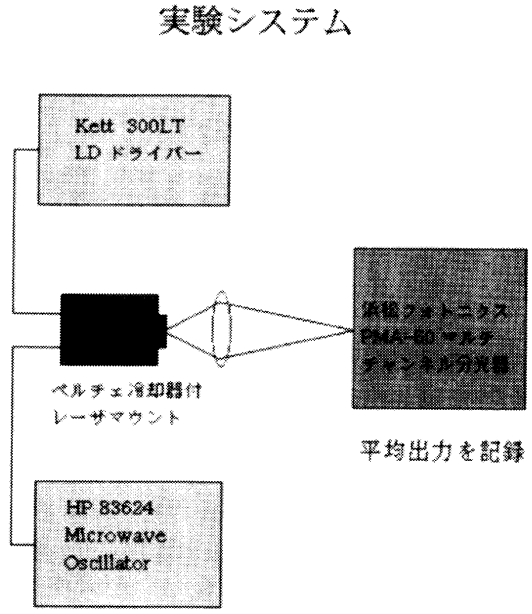


図2．二波長同時発振半導体レーザのマイクロ波変調特性測定装置。

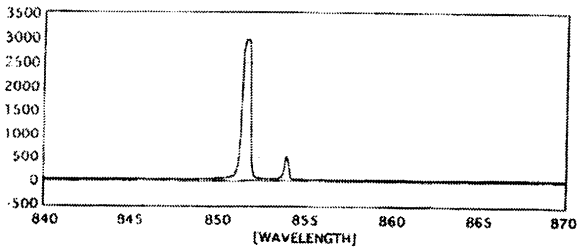


図３．2GHz, 25 dBm のマイクロ波を重畳したときのレーザ発振スペクトル（長波長側がクエンチされている）。

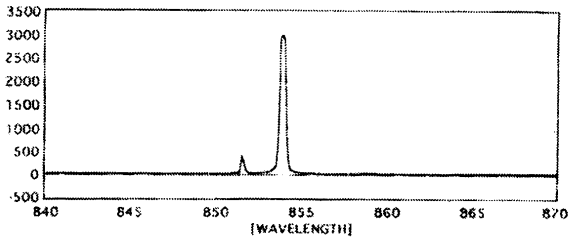


図４．4GHz 25dBm のマイクロ波を重畳したときのレーザ発振スペクトル（短波長側がクエンチされている）。

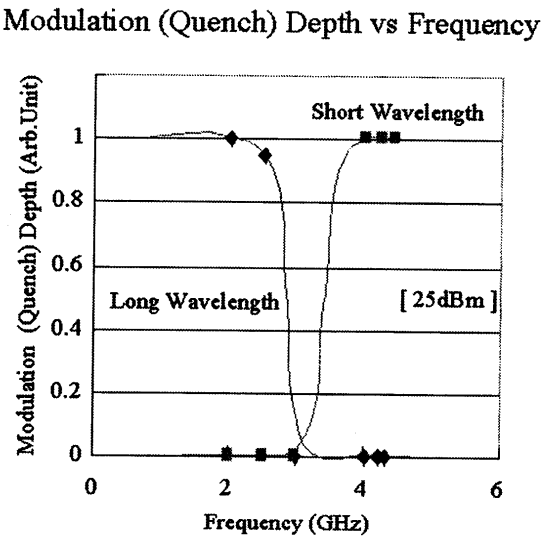


図５．クエンチ量の変調周波数依存性。3GHz を境にクエンチされる発振線が逆転している。

共同プロジェクト研究

課題番号　H11 / A03

周波数シフト帰還型レーザによる光通信用デバイスの特性評価システムの開発

[1] 組織
代表者：飯山　宏一（金沢大学工学部）
責任者：飯山　宏一（金沢大学工学部）
分担者：伊藤　弘昌（東北大学電気通信研究所）
中村孝一郎（東北大学電気通信研究所）
吉田　真人（東北大学電気通信研究所）
高宮　三郎（金沢大学工学部）
金崎　善宏（金沢大学大学院自然科学研究科）
研究費：校費377千円、旅費158千円

[2] 研究経過

超高速光ファイバ通信システム実現に向けた研究開発が活発に行われている。その実現のためには，光の領域で様々な信号処理が可能な光導波路形デバイスの開発や，伝送路である光ファイバの高性能化・高機能化が必要であるが，そのためには，その特性評価が重要である。特性評価法（光リフレクトメトリという）としては，光パルスを用いる時間領域光リフレクトメトリ（Optical Time Domain Reflectometry：OTDR）が実用化されているが，OTDRに代わる可能性のある特性評価法として，光周波数が線形にチャープされた光源を用いる周波数領域光リフレクトメトリ（Optical Frequency Domain Reflectometry：OFDR）がある。OFDRは簡単な構成で比較的高い空間分解能が得られるので，光導波路形デバイスや光ファイバの特性評価法として有望である。OFDRにおいて光源に要求される性能は，光周波数が時間に対して線形に掃引されていることと，光周波数チャープ幅が広いことである。

さて最近，光周波数シフタをレーザ共振器内に内蔵した周波数シフト帰還型レーザ（FSFレーザ）という新しいタイプのレーザ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。FSFレーザは光周波数が時間に対して線形にチャープするという特徴を持っているので，OFDRの光源に最適であり，OFDRにおける性能向上が期待される。本プロジェクト研究は，FSFレーザを用いて光通信用の光導波路形デバイスや光ファイバの特性評価システムを構築することを目的として企画された。

本プロジェクトは本年度が第2年目であった。前年度は光通信の波長帯（1550 nm）での光ファイバによるFSFレーザの構成と光ファイバの特性評価に関する研究を行い，FSFレーザを用いたOFDRでは絶対的な長さ測定より相対的な長さ変化の測定に適していることがわかった。具体的には，分布的な測定距離は約1 mであるものの，5 km遠方においても空間分解能1 cm程度で長さ測定が可能なこと，80 km長の光ファイバの波長分散測定が可能であることを示した。そこで本年度は，前年度の成果を踏まえながら，FSFレーザのモード同期パルスを用いて，分布的な測定距離を延長することを目指した。この方法は，OTDRとOFDRとを有機的に結合させている点に特徴がある。また，FSFレーザのモード同期パルスによる光ファイバ中の非線形現象についても，実験的検討を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

1. 受動モード同期FSFレーザ

本年度も利得媒体にエルビウム添加光ファイバ（EDF）を用いてFSFレーザを構成したが，高利得のEDFを用い，レーザ共振器内に偏光子（ポーラライザ）と偏波面コントローラを挿入して偏波面を調整すると，パルス発振することがわかった。図1にEDFへの励起光パワーに対するパルス幅を，図2にEDFへの励起光パワーに対するパルス繰り返し周波数を示す。●は励起光を増加させたとき，□は励起光を減少させたときの結果である。両図より，励起光パワーに対してパルス幅およびパルス繰り返し周波数ともヒステリシスを持つこと，EDFへの励起が弱いときには自励パルス発振であったが，EDFへの励起が高いときには受動モード同期となることがわかった。さらに，モード同期パルスにおいても光周波数が線形にチャープしていることがわかった。そこで，この周波数チャープモード同期パルスを用いることにより，OTDRとOFDRを有機的に結合した，新しいリフレクトメトリが可能となった。つまり，時間軸上で測定すると通常のOTDRとなるが，周波数軸上で測定することによりOFDRとしての特性評価が可能になる。

図3に，5mの光ファイバの後端に30cmの光ファイバを接続したものを測定対象としたときの測定

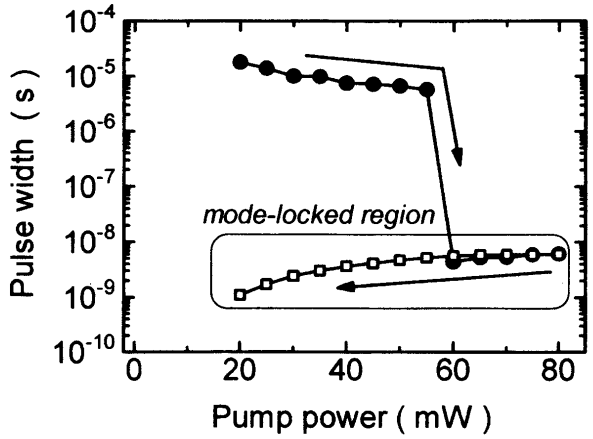


図１：モード同期FSFレーザのパルス幅特性

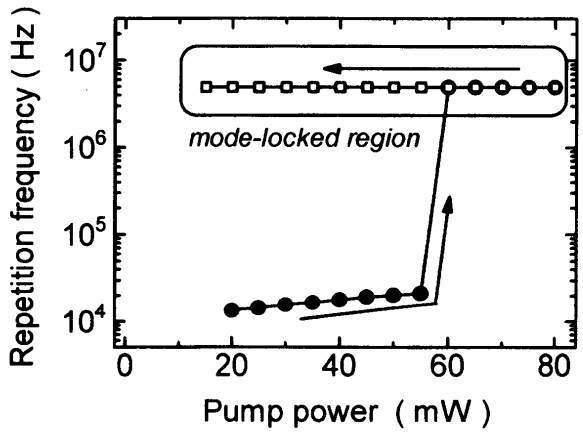
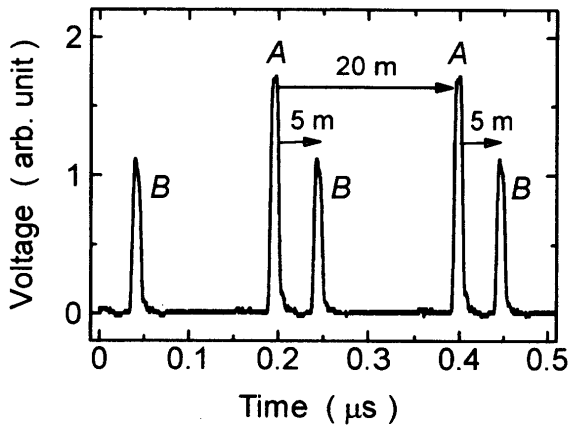
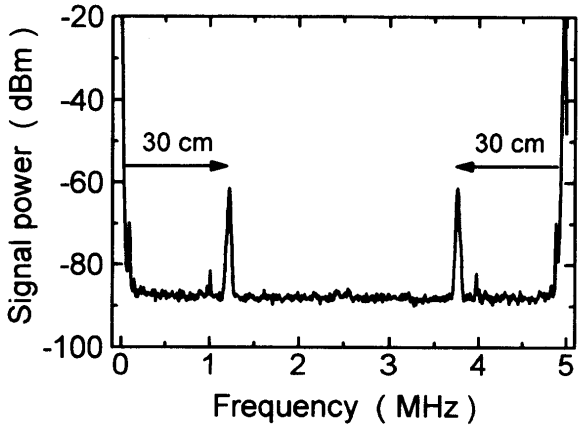


図２：モード同期FSFレーザのパルス繰り返し周波数特性

結果を示す。同図(a)は時間領域での測定結果であり，Aとラベル書きされているパルスはFSFレーザの出力パルス列，Bとラベル書きされているパルスは測定対象の光ファイバの出射端からの反射パルスである。Aのパルスの間隔は20mに相当し，これはFSFレーザの共振器長の半分である。この図より，分布的に測定可能な距離は20mであることがわかり，CW動作のFSFレーザの分布的測定可能距離1mと比べると，20倍に延長されていることがわかる。しかし，Bのパルスには2本の光ファイバの接続点（5m）と30cmの光ファイバの出射端（5.30m）の2つの反射パルスが区別できていない。一方，同図(b)に示す周波数領域での測定結果では，30cmの長さの光ファイバに相当するビートスペクトルが測定されている。このビートスペクトルは，2本の光ファイバの接続点と30cmの光ファイバの出射端でのビート信号である。また，ビートスペクトルのスペクトル幅より，空間分解能は約1cmである。つまり，このシステムでは，分布的測定距離5mに対して空間分解能1cmの性能を持つことがわかる。パ



(a) 時間領域での測定結果



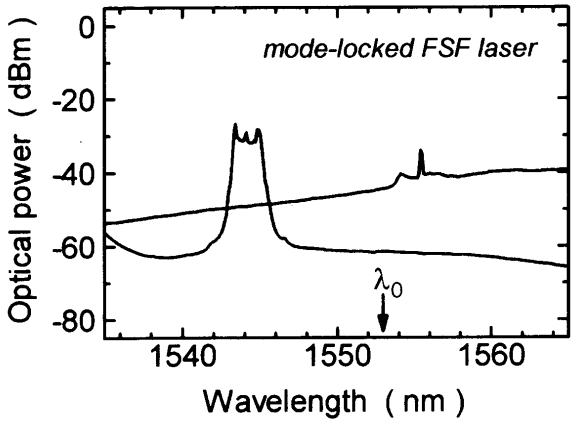
(b) 周波数領域での測定結果

図３：モード同期FSFレーザによるOTDRとOFDR結合システムの測定結果

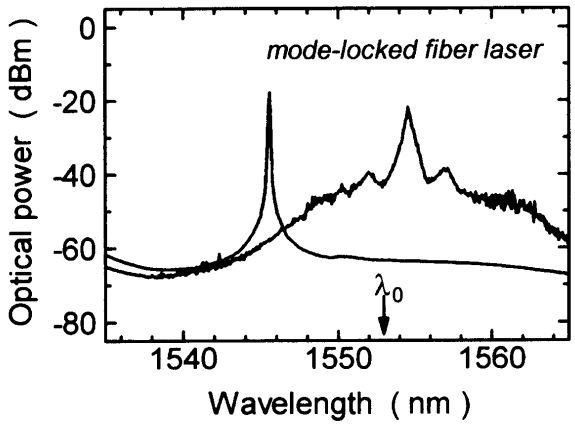
ルス間隔を長くすることにより，長距離かつ高分解能で分布的測定可能なシステムの構築が可能となる。

2. 光ファイバの非線形現象

受動モード同期FSFレーザは光パルス内で光周波数が高速でチャープしている特長を持つため，長尺光ファイバ内を伝搬することにより，通常のパルスレーザとは異なる現象を示すと考えられる。そこで本研究では，光ファイバ内の非線形現象に着目して実験を行った。図4(a)は，受動モード同期FSFレーザからの光パルス（パルス幅6ns，ピーク強度180mW）を80km長の分散シフト光ファイバ（DSF）内を伝搬させた後の出力スペクトルである。また，図4(b)は図4(a)とほぼ同じパルス幅およびピーク強度を持つ通常のモード同期光パルスを，図4(a)と同じ80km長のDSF内を伝搬させた後の光スペクトルである。図4(a)，(b)において，λ0は零分散波長を表す。図4(a)より，正常分散領域および異常



(a) モード同期 FSF レーザの場合



(b) 通常のモード同期レーザの場合

図4：80km長のDSF伝搬後の光スペクトル

分散領域ともDSFからの出射光の光スペクトルは大きく広がり，特に，異常分散領域でのスペクトル広がりが大きいことがわかる。また，出力光スペクトルの広がり方から，伝搬した光ファイバが正常分散なのか異常分散なのかの判定が可能であると考えられる。一方，図4(b)では，従来報告されているとおり，異常分散領域では変調不安定性による側帯波が観測されている。ほぼ同じ光パルス幅およびピーク強度にもかかわらず，出力光スペクトルは大きく異なっている。これは，モード同期FSFレーザにおける光周波数の高速チャープの影響と考えられる。スプリットステップフーリエ法などの数値シミュレーションによる理論的検証が必要である。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクト研究では，金沢大学の研究者と東北大学電気通信研究所の研究者との交流が飛躍的に活性化し，研究者ネットワークが拡大された。また，得られた成果は，FSFレーザの大きな特徴である光周波数の高速線形チャーピングを活かして初めて可能になったものであり，本プロジェクト研究は大変有意義であった。本研究では，パルス化したFSFレーザを用いたOTDRとOFDRを有機的に結合した新しいシステムの基礎研究を行い，その有効性を示した。さらに，FSFレーザのモード同期パルスにより光ファイバの非線形性の影響が大きく現れることを実験的に示し，非線形性を利用した光ファイバ・光導波路の特性評価の可能性も示唆した。

本プロジェクト研究の成果は工学的にも物理的にも興味深いものであり，国際的論文誌に発表予定である。

[4] 成果資料

(1) 飯山，前田，高宮：“波長可変周波数シフト帰還型光ファイバレーザによる光ファイバの波長分散測定”，電子情報通信学会 レーザ：量子エレクトロニクス研究会，LQE2000-13，福井大学（2000年5月）。

(2) 金崎，飯山，高宮：“周波数シフト帰還型ファイバレーザのモード同期パルスを用いた光ファイバの距離計測”，電気関係学会北陸支部連合大会，D-23，北陸先端科学技術大学院大学（2000年9月）。

(3) 飯山，金崎，高宮：“周波数シフト帰還型光ファイバレーザの発振特性の実験的検討”，電気関係学会北陸支部連合大会，D-26，北陸先端科学技術大学院大学（2000年9月）。

(4) K. Iiyama, T. Maeda, and S. Takamiya: “A novel method for measuring chromatic dispersion of long optical fibers by means of high resolution optical ranging system using a frequency-shifted feedback laser” Symposium on Optical Fiber Measurements, Boulder, CO, USA, pp.185-188 (September 2000).

(5) K. Iiyama, T. Maeda, and S. Takamiya: “Chromatic dispersion measurements of long optical fibers by means of optical ranging system using a frequency-shifted feedback laser”, IEEE Journal of Selected Topics on Quantum Electronics (submitted).

課題番号　H12 / A01

モバイル共有空間における ハイパーコミュニケーションに関する研究

［1］組織

代表者：水野　忠則（静岡大学情報学部）
通研対応教官：白鳥　則郎（東北大学電気通信研究所）
分担者：
富樫　　敦（静岡大学情報学部）
渡辺　　尚（静岡大学情報学部）
石原　　進（静岡大学情報学部）
岡田　謙一（慶應義塾大学理工学部）
東野　輝夫（大阪大学大学院基礎工学研究科）
勅使河原可海（創価大学工学部）
石田　　亨（京都大学大学院情報学研究科）
曽我　正和（岩手県立大学ソフトウェア情報学部）
宗森　　純（和歌山大学システム情報学センター）
福田　　晃（奈良先端大学大学院情報科学研究科）
相田　　仁（東京大学大学院新領域創成科学研究科）
小泉　寿男（東京電機大学理工学部）
研究費：校費 471千円 旅費 860千円

［2］研究経過

コンピュータネットワークを利用した分散環境においては，より多くの情報を，より高速に転送できるようにすることも重要であるが，それ以上に，情報交換する相手が遠隔地にいたり（空間的制約），時間的なずれがあったり（時間的制約），あるいは移動中であったりしても，情報が伝達可能なモバイル共有空間を実現する技術が必要となる。本プロジェクトでは，モバイル共有空間の通信機構を応用システム，通信システムの側面から，その概念の確立を目指す。

モバイル空間共有概念の確立により，物理的な地域という疑念でなく，地域とは独立の情報を共に共有する空間を必須とするようになり，これに関するビジネスチャンスを飛躍的に増やすことが本プロジェクトで目指すところである。

本年度は，モバイル共有空間を利用したハイパーコミュニケーション機構実現のための基礎段階として，以下の３つの観点からの検討を進めた。

(1) アプリケーション：電子会議システムを中心としたアプリケーションシステムおよびネットワークを介した円滑な意思伝達手法
(2) ミドルウェア：モバイル端末の場所，状況，送受信者の感情などを考慮して伝達するべき情報を動的に処理するための機構
(3) ネットワーク：現実のネットワーク上で空間的制約，時間的制約，移動による制約を解消するための通信技術およびネットワークアーキテクチャ

以下，研究活動状況の概要を記す。２回の研究推進会議を開催し，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。

(1) 第１回研究推進会議
日時：８月18日～８月19日
場所：東北大学電気通信研究所
１．高度なインタラクティブ性を有し組み合わせが可能な携帯情報端末の開発とその適用
　宗森　　純（和歌山大学）
２．移動メンバーと動的グループネットワーキングの相互関係
　井手口哲夫（愛知県立大）
３．スムーズな再・途中参加を可能とするモバイル電子会議システム
　石原　　進（静岡大学）
４．共有仮想空間を応用した遠隔教育
　佐藤　文明（静岡大学）
５．仮想空間における超伝達
　岡田　謙一（慶應大学）
６．M-pi計算：移動エージェントシステムのための計算体系
　富樫　　敦（静岡大学）

(2) 第２回研究推進会議
日時：12月15日
場所：東北大学電気通信研究所
Ａ．講演と報告
１．大規模分散型モバイルコンピューティング機構
　水野　忠則（静岡大学）
２．グループコミュニケーション
　滝沢　　誠（東京電機大学）
３．マルチメディアコミュニケーションシステム
　白鳥　則郎（東北大学）
４．知の循環を促進するアウェアネス通信の実現研究
　岡田　謙一（慶応大学）

B．自由討論（講演者全員）
1．分担者同士の協力による共同研究の推進
2．研究の進め方と次年度の計画
3．大型プロジェクトへの発展方法
4．その他

［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) アプリケーション
非対面環境における非同期型のコミュニケーション形態と同期型のコミュニケーション形態を組み合わせた同期・非同期型電子会議システムを実現した。このシステムでは，電子会議の発言のダイジェスト版を自動作成しユーザに掲示することによって，ユーザの会議への途中参加直後の会議内容の理解を促進する。

ノンバーバル情報による意思疎通を目指して，平面ディスプレイ上で現実空間に近い空間認識を可能とするための視覚的効果を用いたコラボレーションシステムおよび仮想空間上での嗅覚の再現を行うシステムを実現した。また，遠隔教育を指向したノンバーバルコミュニケーション手法についての基礎的な検討を行った。

さらに，モバイル端末のみを用いたアプリケーションとして，モバイル端末のみの一時的なネットワークにおける通信を用いた発想支援グループウェアを実現した。また，モバイル端末を物理的に接続することで大型のディスプレイを得る手法およびその活用法に関する基礎検討を行った。
(2) ミドルウェア
環境変化に対するデータ通信効率の効率化を目指し，モバイル端末の移動や，アプリケーションの種類に従ってモバイル端末のグループを自立的に変化させるための手法の基礎的な検討を行った。また，モバイル環境のための移動オブジェクトの管理方式を開発した。
(3) ネットワーク
モバイル共有空間上での効率的なデータ通信を実現するマルチキャスト手法を開発した。また，次世代携帯電話網におけるモバイル端末のアドレッシング方式に関する基礎検討を行った。
（3－2）波及効果と発展性など
(1) 新たなコンピュータネットワーク利用法の開拓
マイクロエレクトロニクス技術と通信技術の統合により，マルチメディアに関する新しい市場ができつつある。その一つの理由として，携帯電話の加入者数が固定電話の加入者数を超え，市場の内容が激変していることが挙げられる。本研究の成果である同期・非同期型電子会議システム・PDAによる情報共有システムなどは，通信機能を有した小型端末による新たなコンピュータネットワークの利用法を広げる一因になると期待できる。本研究で実証した同期・非同期型の電子会議システムやノンバーバルコミュニケーションシステムは，教育システム，医療システム，知的生産システムなどに展開が可能である。本研究による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，ネットワーク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る。日本における情報通信技術の新たな技術の萌芽が期待できる。
(2) 大型プロジェクトへの発展
本プロジェクトにより，大学間の研究者の交流が活性化し，科学研究費補助金・特定領域研究研究B（「大規模分散型モバイルコンピューティング機構」および「知の循環を促進するアウェアネス通信の実現研究」の申請を行うに至った。

［4］ 成果資料
(1) 吉野孝，宗森純，湯ノ口万友，泉裕，上原哲太郎，吉本富士市:携帯情報端末を用いた発想一貫支援システムの開発と適用，情報処理学会論文誌，Vol.41，No.9，pp.2382-2393 (2000).
(2) Takashi Yoshino,Jun Munemori,Tomohiro Shigenobu,Kazutomo Yunokuchi:A Spiral-Type Idea Generation Method Support System for Sharing and Reusing Knowledge and Information Among a Group, IPSJ Journal, Vol.41, No.10, pp.2794-2803 (2000).
(3) Munemori, J., Yoshino, T. and Yunokuchi, K.: Development of an Idea Collecting System and the Application to GUNGEN, Proceedings of the Fourth International Conference On Knowledge-Based Intelligent Information Engineering Systems & Allied Technologies, pp. 237-240 (2000).
(4) Munemori, J.: Brain Model Hyper Communication Mechanisms, Proceedings of 2000 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2000), pp. 254-259 (2000).
(5) Yoshino, T., Munemori, J., Yunokuchi, K.:Development of a PDA Based Idea Collecting System and Its Application to an Idea Generation Consistent Support System, The 15th International Conference On Information Networking (ICOIN-15), pp.737-742 (2001).
(6) 宗森純：みんなでPDAのアプリケーション研

究を盛り上げよう！, 情報処理, Vol.42, No.3, pp.333-334 (2001).
(7) 宗森純：自分でつくるアプリケーションの評価法，情報処理, Vol.42, No.3, pp.337-338 (2001).
(8) Gen Kitagata, Jiro Sekiba, Takuo Suganuma Tetuo Kinoshita and Norio Shiratori: Communication Mechanism of Loose Coupled Agents in FAMES, Proc. of ICPADS2000 workshop, pp467-472, Iwate Japan (2000)
(9) A. Ashir, D. Chakraborty, T.K. Roy, G. Mansfield and Norio Shiratori: Some Characteristics of Internet Traffic Data, Proc. of ICECE2001, pp226-229, Dhaka Bangladesh (2001)
(10) Koji Hashimoto Yoshitaka Shibata and Norio Shiratori: Design of Agent-based Flexible Multimedia System, Proc. of ICOIN15, pp889-894, Beppu Japan (2001)
(11) 加藤善大, 石原進, 酒井三四郎, 水野忠則：同期コミュニケーションへの途中参加を支援するダイジェスト作成・提供方式, 情報処理学会研究会報告, 2001-GW-38-8, Vol. 38, pp. 43-48 (2001.1).
(12) 川口明彦、加藤善大、石原進、水野忠則：同期コミュニケーションへの途中参加を支援するダイジェスト作成・提供方式の評価, 情報処理学会研究報告 2001-DPS-102, Vol.2001, No.29, マルチメディア通信と分散処理 102-2, pp.7-12 (2001.3).
(13) 佐藤健哉，最所圭三，福田晃：放送により配信される位置依存情報のキャッシュ方式，情報処理学会論文誌，Vol. 41, No. 9, pp. 2434－2444 (2000, 9)
(14) G.Qiang, F.Guo, Z.Liu, S.Ishihara and T.Mizuno : Enhanced Mobile Protocol Based on IPv6 Addressing Scheme for Third Generation Wireless Network, The 7th International Workshop on Mobile Multimedia Communications, pp. P-4-1-P-4-6 (2000.10).
(15) 音嶋肇, 水野忠則, 佐藤文明: 授業の雰囲気やニュアンス等の表現を伝達する遠隔教育システムの提案, 第62回情報処理学会全国大会特別トラック(1)講演論文集, pp. 特1-115-特1-118 (2001.3).

共同プロジェクト研究

課題番号　H12/A02

真空マイクロエレクトロニクス用高性能電子源の開発

[1] 組織

代表者：山本　恵彦（筑波大学物理工学系）
責任者：横尾　邦義（東北大学電気通信研究所）
分担者：石塚　浩（福岡工業大学工学部）
川崎　温（埼玉大学理学部）
西川　治（金沢工業大学工学部）
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）
浅野　種正（九州工業大学マイクロ化総合技術センター）
安達　洋（室蘭工業大学工学部）
下山　宏（名城大学理工学部）
岡野　達雄（東京大学生産技術研究所）
伊藤　順司（電子技術総合研究所）
江上　典文（NHK放送技術研究所）
谷岡　健吉（NHK放送技術研究所）
富取　正彦（北陸先端科学技術大学院大学）
杉野　隆（大阪大学工学部）
石沢　芳夫（いわき明星大学理工学部）
畑中　義式（静岡大学電子研）
山口　豪（静岡大学工学部）
荻田　正巳（静岡大学工学部）
中西洋一郎（静岡大学電子研）
阪井　清美（郵政省通信総合研究センター）
谷　正彦（郵政省通信総合研究センター）
越田　信義（東京農工大学工学部）
中山　正昭（大阪市立大学工学部）
金谷　敏正（イオン工学研究所）
橋口　原（香川大学工学部）
澤田　和明（豊橋技術科学大学電気・電子工学系）
岡野　健（国際基督教大学教養部）
宮本　恭幸（東京工業大学工学部）
合田　田人（ＡＴＲ環境研）
パブロバッカロ（ＡＴＲ環境研）
大谷　直毅（ＡＴＲ環境研）
佐々木正洋（筑波大学物理工学系）
鈴木　哲（仙台電波高専）
川崎　浩司（仙台電波高専）
斎藤　弥八（三重大学工学部）
蒲生　美香（筑波大学物理工学系）
三村　秀典（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費　58万円8千円，旅費　191万8千円

[2] 研究経過

真空マイクロエレクトロニクスは，マルチメディアに代表される情報通信の新時代を迎えて，性能の限界に到達しつつある半導体や真空デバイス，各種表示素子などに変わる次世代の革新デバイスを提供するものとして期待されている。本プロジェクト研究は，その基盤を開拓するもので，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。

本年度は，本プロジェクト研究の初年度であり，CH_4分子線により修飾されたPT(111)表面の仕事関数の測定，GaAsのガン効果を用いた変調電子ビームの発生，電界放射陰極を用いたスミスパーセル光放射に関する研究を行った。

以下，本年度の主な研究活動状況の概要を記す。

第１回　日時：平成12年6月19日～20日
場所：東北大学電気通信研究所大会議室
テーマ：材料物性と電子放射
(1)　「走査トンネル顕微鏡を用いた微視的仕事関数計測」
筑波大学物・理工学系　佐々木正洋，山田洋一，山本恵彦
(2)　「STM真空ギャップ中の電子定在波の測定」
北陸先端大・材料　富取正彦，菅沼由典
(3)　「カーボンナノチューブからの電界放出」
三重大学・工学部　斎藤弥八
(4)　「半導体ダイヤモンドの合成とその表面―表面化学吸着構造が支配するもの―」
筑波大学物・理工学系　蒲生美香
(5)　「CVD成長層を有するダイヤモンド粒子の２次電子分光と電界放射電子分光」
東北大・科研　A松下電器　河野省三，後藤忠彦，佐藤圭，虹川　匡司，北畠真A，出口正洋A

第２回　日時：平成12年11月17日～18日
場所：東北大学電気通信研究所大会議室
（特定領域研究研究会との共催）

(1) 「高安定真空マイクロ電子源の実現を目指した窒化物・炭化物陰極の開発」
京都大学・工学部　石川順三
(2) 「ビーム支援プロセスによる極微電子源アレイの作製と安定化」
大阪大学・極限センター　高井幹夫
(3) 「分子線技術による仕事関数の原子レベル制御」
筑波大学・物理工学　山本恵彦
(4) 「高輝度電子源材料の表面電子構造解析と電子源アレイの極限動作解析」
室蘭工業大学・工学部　安達洋
(5) 「電子源の高機能化と低エネルギー分散化」
東北大学・通研　三村秀典

第3回　日時：平成12年12月20日
場所：東北大学電気通信研究所ゼミ室
(1) 「NEAの物理」
室蘭工業大学・工学部　宮尾正大
(2) 「ＦＥＤ用蛍光体」
静岡大学・電子研　中西洋一郎

第4回　日時：平成13年2月23日～24日
場所：東北大学電気通信研究所大会議室
（特定領域研究研究会との共催）
(1) 「特定領域研究について」
大阪大学・極限センター　高井幹夫
(2) 「高安定真空マイクロ電子源の実現を目指した窒化物・炭化物陰極の開発」
京都大学・工学部　石川順三
(3) 「ビーム支援プロセスによる極微電子源アレイの作製と安定化」
大阪大学・極限センター　高井幹夫
(4) 「分子線技術による仕事関数の原子レベル制御」
筑波大学・物理工学　山本恵彦
(5) 「高輝度電子源材料の表面電子構造解析と電子源アレイの極限動作解析」
室蘭工業大学・工学部　安達洋
(6) 「電子源の高機能化と低エネルギー分散化」
東北大学・通研　三村秀典
(7) 「ディスプレイ応用に向けたシリコンエミッタアレイの開発と評価」
電総研　金丸正剛
(8) 「リングゲートFET型シリコンエミッタアレイの電子放出特性」
松下寿電子工業　佐藤安代
(9) 「電界放射電子源のブラウン管への応用」
三菱電機　奥田荘一郎
(10) 「FED用ブルー蛍光体ZnS:Ag,Alの輝度劣化機構」
ソニー　梶原和夫
(11) 「電界放射型ディスプレイ用酸化物蛍光体及びその薄膜の形成に関する研究」
静岡大・電子研　中西洋一郎
(12) 「微小冷陰極開発の現状と展望」
東芝　中本正幸
(13) 「ＦＥＤ開発の現状」
双葉電子　伊藤茂生
(14) 「弾道電子面放出型電子源の特性とフラットパネルへの応用」
松下電工　近藤行廣
(15) 「冷陰極HARP撮像板」
NHK放送技術研究所　江上典文

第5回　日時：平成13年3月1日～2日
場所：東北大学電気通信研究所大会議室
(1) 「フォトニッククリスタルによる電磁場伝搬特性の制御について」
ＡＴＲ環境適応研　谷山秀昭
(2) 「GaAs/AlAs非対称二重量子井戸からのサブバンド間遷移発光の観測」
ＡＴＲ環境適応研　西村剛太
(3) 「超格子の電流発振と光物性について」
ＡＴＲ環境適応研　大谷直毅
(4) 「量子ナノ構造の作製と評価」
ＡＴＲ環境適応研　パブロ・バッカロ
(5) 「材料異方性と歪みを利用したマイクロマシーニング技術」
ＡＴＲ環境適応研　久保田和芳
(6) 「香川大学におけるＭＥＭＳの研究」
香川大学・工学部　橋口原
(7) 「Barrier Xによるサブバンド間遷移赤外受光素子の提案」
ＡＴＲ環境適応研　安藤太郎
(8) 「多孔質Ｓｉのエッチング条件と構造」
スタンレー電気　松本貴裕
(9) 「機能性電子源について」
東北大・通研　三村秀典

［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．CH_4分子線により修飾されたPT(111)表面の仕事関数の測定

入射エネルギーの高い分子線を固体表面に照射

すると，分子が衝突した場所で反応が起きる。このような反応（Eley-Rideal機構）が支配する非熱平衡的な反応プロセスは化学反応制御や新物質創製の研究において注目されている。この反応を用い，表面物性の典型である仕事関数の制御を試みている。仕事関数は電子放出特性のみならず，電荷移動，固体表面の電子状態や化学反応性の指標となる重要な物性量である。今年度は，超熱エネルギー（～1 eV）のアルカン分子線をPt(111)表面に照射し，その衝突解離のダイナミクスをヘリウム原子線散乱法（ＨＡＳ）によって明かにした。以下に明かになったことを示す。

・分子線が衝突した場所でのみ表面修飾が行われる。また，反応生成物が単原子層で吸着している。
・エチルダイン基（CCH_3）に覆われたPt(111)表面は低い被覆率にもかかわらず，清浄Pt(111)表面からの仕事関数の減少量が大きい。これはCCH_3から表面への電荷移動によって生じる電気双極子によって解釈できる。

２．GaAsのガン効果を用いた変調電子ビームの発生

マイクロ波・ミリ波帯領域で変調電子ビームが発生できる微小電子源の開発を目指し，GaAsのガン効果を用いたGaAs電子源の開発を行った。まず，マイクロマシーニング技術を利用して横型GaAs微小電子源を製作した。$1x10^{15}cm^{-3}$の不純物濃度のGaAsを用いた微小電子源でガン効果に特徴付けられる電子放射を観測した。そこで，さらに実用面からより応用分野の広い縦型GaAs微小電子源の製作に着手した。現在，異方性ケミカルエッチングを用いたウエッジ構造縦型GaAs微小電子源の製作と，ＥＣＲドライエッチングを用いた針状構造縦型GaAs微小電子源の製作を行っている。

３．電界放射陰極を用いたスミスパーセル光放射

小型自由電子レーザーへの微小電子源（FEA）の応用の可能性を検証するため，スミスパーセル（SP）光放射実験を行った。微小電子源を陰極として生成した電子ビームを回折格子表面に沿って伝搬させ，350-750 nmの波長範囲の光を発生させた。光は電子ビーム・エネルギー15-60 keVの全領域で検出され，光の波長はスミスパーセル放射理論と良く一致した。

（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マイクロエレクトロニクスに飛躍的な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) M. Sasaki, Y. Yamada, Y. Ogiwara, S. Yagyu, and S. Yamamoto, “Moire contrast in the local tunneling barrier height image of monolayer graphite on Pt (111)”, Phys. Rev, B61, 15653, 2000.

(2) T. Hiraoka, S. Yagyu, T. Kondo, T. Ikeuchi, and S. Yamamoto, “Molecular beam time of flight analysis on th ereaction dynamics of alkane molecules interacting with a Pt (111) surface”, Jpn. J. Appl. Phys, B61, 15653, 2000.

(3) 三村秀典，嶋脇秀隆，横尾邦義, “半導体エミッタからの電子放射特性”, 通学論文誌 J83-C, 673-680, 2000.

(4) K.Yokoo, K. Okamura, H. Mimura, O. Yilmazoglu, D. Arslan, H. Hartnagel, and H. Ishizuka, “Field emission studies for microwave aand optical wave generation”, Proc. 8th Int. Conf. on Terahertz Electronics, darmstadt, p.17-20, 2000,.

(5) H. Mimura, K. Okamura, H. Shimawaki, K. Yokoo, O. Yilmazoglu and H. Hartnagel, “GaAs lateral field emitters for generation of modulation beam using Gunn effect”, Technical digest of 13th Internatonal Vacuum Microelectronics Conference, Guangzhou, p.234-235, 2000.

(6) H. Mimura, K. Okamura, Y. Neo, H. Shimawaki and K. Yokoo, “Resonant tunneling cathodes using GaAs/AlAs quantum structures”, Extended abstract of the 2000 International Conference on Solid State Devices and Materials, Sendai, p.104-105, 2000.

(7) H. Ishizuka, Y. Kawamura, K. Yokoo, H. Shimawaki and A. Hosono, “Smith-Purcell radiation experiment using a field-emitter array cathode”, Nucl. Instr. and Meth. A 445, 276-280, 2000.

(8) 石塚　浩, 河村良行, 横尾邦義, 嶋脇秀隆, 細野彰彦, “微小電子源を用いて発生したスミスパーセル光の自動走査計測”, 信学技報ED2000-207,13-20, 2000.

課題番号　H12/A03

プラズマ中フラーレン・微粒子の基礎と応用

[1]組織
企画者：佐藤徳芳　（東北大学工学研究科）
責任者：水野皓司　（東北大学電気通信研究所）
分担者：
庭野　道夫（東北大学電気通信研究所）
畠山　力三（東北大学工学研究科）
飯塚　　哲（東北大学工学研究科）
平田　孝道（東北大学工学研究科）
宮本　信雄（東北学院大学工学部）
八井　　浄（長岡科学技術大学工学部）
真瀬　　寛（茨城大学工学部）
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）
上村　鉄雄（核融合科学研究所）
石黒　静児（核融合科学研究所）
菅井　秀郎（名古屋大学工学研究科）
庄司多津男（名古屋大学工学研究科）
橘　　邦英（京都大学工学研究科）
林　　康明（京都工芸繊維大学工芸学部）
三宅　正司（大阪大学接合科学研究所）
奥　　健夫（大阪大学産業科学研究所）
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
河合　良信（九州大学総合理工学研究科）
渡辺　征夫（九州大学工学研究科）
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 492千円，旅費　1,553千円

[2]研究経過

近年，電子と正イオンに加えて高質量分子や種々のサイズの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スとして注目されている。本プロジェクトでは第一に，これまでのフラーレンプラズマ生成・制御に関する研究を発展させ，ナノメートルオーダーのフラーレンから始まりミクロンオーダーの微粒子に至るまで，特徴的なサイズ・構造を持つ粒子を含む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。第二に，その成果を基に新機能光・電気・電子デバイスなどへの応用に繋がるナノスコピック／メゾスコピック物質・材料創製に資する研究と，次世代超微細電子工学の開拓に不可欠な産業応用プラズマ中ダストの精密制御法の確立を目指した研究を行うことを目的とする。以上の先駆的プロジェクト研究を展開するためには，全国のプラズマ工学者の英知を集めて実行する必要がある。

初年度のプラズマ生成・制御の成果を基に，イオン直径の異なるLi^+，Na^+，K^+とC_{60}^-から成る各フラーレンプラズマ中で基板バイアス制御実験を行うことにより，アルカリ金属内包フラーレンの高効率形成条件を探索し，内包フラーレン形成機構解明とその高純度抽出を目指す。また，アーク放電周辺プラズマ制御実験を継続し，半導体原子Si内包フラーレン，SiC及びGe内包ナノカプセルの高効率形成を目指す。第二に，プラズマ中の電場制御による，ミクロンサイズ微粒子の集団的挙動とクーロン強結合構造解明の実験を行う。すなわち，直流放電および高周波放電プラズマ中に微粒子を導入し，電場，磁場印加に伴うプラズマの構造変化と強結合微粒子の集団運動との関係を詳細に観測する。また，微粒子浮上電極周辺に円筒型電極を設置し，プロセシングプラズマ中微粒子群制御に有用な新静電的ダスト除去法の開発を目指す。

[3]成果

（3－1）研究成果

Ⅰ．アルカリ－フラーレンプラズマに関する研究

我々は，現在までにフラーレンへの原子内包化機構とプラズマ効果の関係解明を目的としたアルカリ－フラーレンプラズマの生成・制御と，プラズマ中へ挿入した基板への直流バイアス電圧の印加によるアルカリ金属内包フラーレン($M@C_{60}$)の形成に成功し，更なる高効率形成に関する研究を展開してきた。本年度は，高効率で形成されたNa内包フラーレン($Na@C_{60}$)を含むNa－フラーレン複合物質($Na\text{-}C_{60}$)の分離・単離実験とその評価・分析を目的とした光学的分析並びに高分解能電子顕微鏡(HREM)による直接観察を行った。

金属内包フラーレンを含む物質の評価・分析の方法としては，レーザー脱離飛行時間型質量分析装置(LD-TOF MS) に代表される直接的な分析法の他に，間接的方法，例えば，赤外，可視，紫外領域の光による吸収分光分析がある。実際，高速液体クロマトグラフィ(HPLC) における内包フラーレン分離では，紫外／可視吸収分光による吸収強度から分離時間のタイミングを見積もっている。そこで，金属内包フラーレンの分析に有効な方法の1つである紫外／可視 (UV/VIS) 吸収分光測定を行った。

Na-C_{60} 薄膜における吸収スペクトルのピークは，図1中のA及びBに示すように，高純度 C_{60} のピークに比べて短波長側に約 3 ～ 4 nm 移動することが観測された。このことは，Sc 原子内包フラーレンの吸収ピークが短波長側に移動するという報告例より判断して，Na 原子が内包されている可能性が極めて高いことを示している。金属内包フラーレンがピーク移動を示す要因としては，内包原子の位置がフラーレン分子内面から遠いことによる電荷移動係数の増大が考えられる。一方，C_{60} 蒸着膜にナトリウムをドーピングした場合(図1中のC)，ピーク移動は起こらなかったことから，Na-C_{60} 膜におけるピーク移動は，ナトリウムが C_{60} 表面に外接したものではなく，内包したためであると考えられる。また，基板バイアス電圧 $\Delta\phi$ ap （直流電圧 ϕ ap－プラズマ空間電位 ϕ s ）を変化させた場合の高純度 C_{60} と Na-C_{60} 薄膜の吸収強度ピーク差 $\Delta\lambda$ を測定した結果，LD-TOF MS による質量分析とほぼ一致した値（$\Delta\phi$ ap ≈ +3 V）に最大値をもつことが判明した（図2)。

また，金属内包フラーレンを含む新規フラーレン複合物質の分離・単離は，HPLC 法を代表とした化学的な分離・単離が主流である。しかし，ある特定のフラーレン分取に対しては有効であるが，化学反応による物質・物性変化等の問題点がある。そこで，昇華法による金属内包フラーレンの分離に関する実験を行った。

まず，アーク放電により生成した高次フラーレンを含む煤を用いて昇華実験を行った結果，昇華用オーブン温度の上昇に伴い，回収容器に付着するフラーレンの種類が高次側に移動する結果が得られた。したがって，精密な温度制御により，フラーレンを分離することが可能であると考えられる。以上の観点から，金属内包フラーレンについても同様の手法が有効であるか否かを判定するために，Na@C_{60} の昇華・分離実験を行った。

超高真空排気装置内に設置したフラーレン昇華

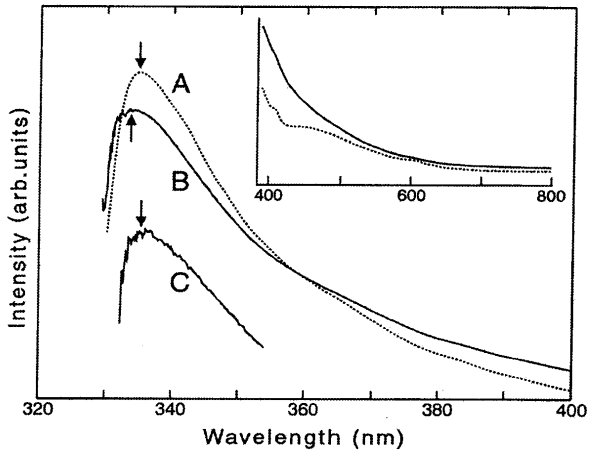


図1．薄膜を溶解させたアニリン溶液の UV/VIS 吸収スペクトル［図中の右上は可視領域］。A：高純度C_{60}膜，B：Na-C_{60}膜，C：NaをドープしたC_{60}膜

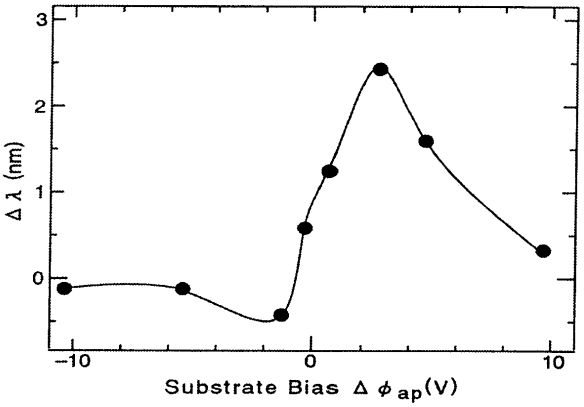


図２．吸収ピーク波長差Δλの基板バイアス依存性。

用オーブンに，Na-C_{60} 薄膜を入れて加熱 (加熱温度は，T_o ＝ 500 ～ 600 ℃) することにより，昇華した Na@C_{60} を含むフラーレン類を回収用基板に付着させて回収した。その結果，アーク放電により生成された煤に比べて良好な実験条件ではなかったが，C_{60}分子内に黒点を有するものが数多くみられるHREM像が得られたことから，効率の良い Na@C_{60} の分離が可能であると考えられる。

Ⅱ．微粒子プラズマに関する研究

微粒子プラズマ中において，微粒子と周辺プラズマは電気的，力学的に相互に作用し合い，様々な物理現象を示し，近年研究が盛んに行われている。我々はこれまで，直流放電プラズマを用いて径方向電界を制御することにより，微粒子の集団的挙動解析を目的として実験をすすめ，結晶構造解析や電場によって発生する回転・渦流などの集団的現象，糸状微粒子群の回転運動などの基礎的な研究を行ってきた。一方，微粒子プラズマに磁場を印加した場合にも，同様の回転運動発生が実

験的に観測されている。しかし，この磁場印加時に観測される回転運動に関しては，回転方向，速度などがどのように決定されるかは未だ不明である。従って本研究の目的は，磁場印加時の微粒子雲の回転メカニズムとプラズマ空間構造の関係を明確にすることである。

図３に実験装置の概略図を示す。実験は，強磁場を印加した場合でも安定に生成される高周波(RF)放電プラズマ（Arガス圧力76mTorr，RF電力5W）中に外部から粒径10μmの単分散アクリル微粒子を注入して行っている。アノード電極は同心円状に２つに分割されており，外側の電極は接地，中央の透明電極には外部から直流電位(V_A)を印加できるようになっている。微粒子の挙動は径方向から半導体レーザを微粒子雲に照射し，その散乱光をCCDカメラで撮影して観測した。

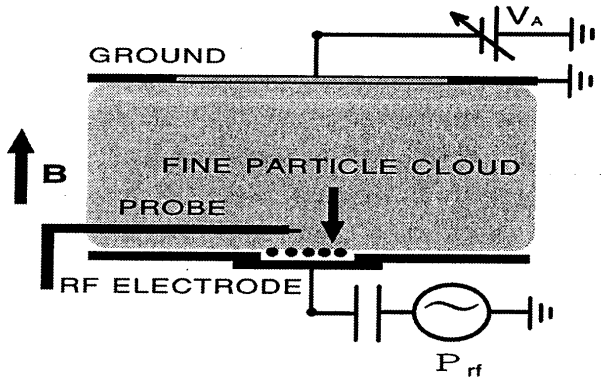


図３．実験装置概略図。

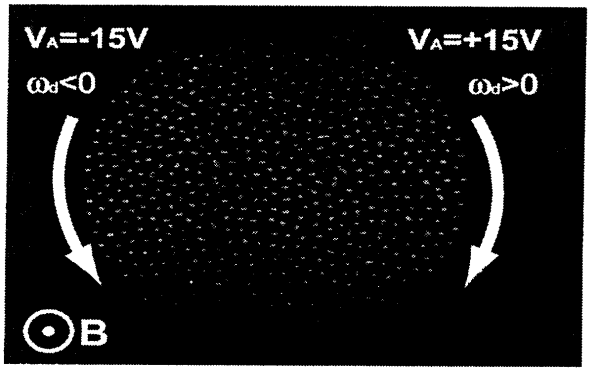


図４．磁場印加時の微粒子雲回転の様子。

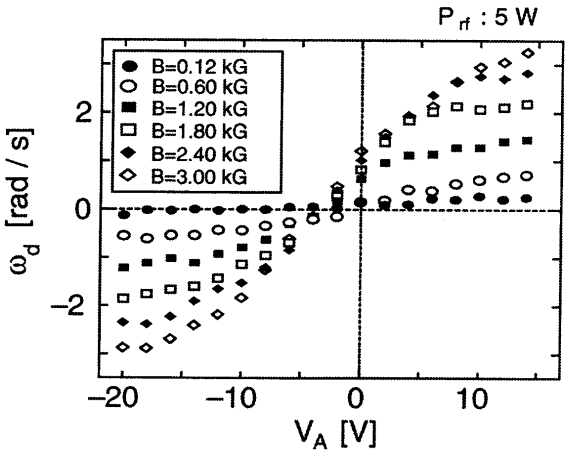


図５．微粒子雲回転角速度の透明電極電位依存性。

透明電極に正電位(V_A>0)を印加し，垂直磁場を印加すると，ほぼプラズマ中心部に浮遊している微粒子雲(微粒子雲直径～5mm)が水平面上で上方から見て時計回り(ω_d>0，ω_d：微粒子雲回転角周波数)に回転を始める様子が観測された(図４)。さらに，透明電極に印加する電位を負に変化（V_A<0）させると，微粒子雲の回転が逆転する（ω_d<0）ことが分かった。この現象をさらに詳細に観測するために，磁場強度を変化させながら，V_Aを負から正に連続的に掃引し，微粒子雲の挙動を調べた。その結果，図５に示すように回転方向はV_Aに依存しており，ある境界値V_{cr} (< 0) を境に回転方向が逆転することが分かった。$V_A = V_{cr}$ の場合には回転はほぼ停止しており，個々の微粒子も電気的なポテンシャルで捕捉されクーロン結晶を形成している。また，ある一定のV_Aの下で磁場強度を変化させると，磁場強度の増加に伴って回転速度が速くなることが明らかになった。

この微粒子の回転運動のメカニズムを明らかにする目的で，V_Aの変化に伴うプラズマ(イオン)密度及び空間電位の半径方向分布を測定した。その結果，特に空間電位がV_Aにより大きく変化することが観測され，この空間電位が変化した場合の微粒子に衝突するイオンの運動量を，実験結果を基に計算した結果，その周方向成分がおよそV_A=V_{cr}を境に反転し，微粒子雲の回転方向と一致する結果が得られた。また，磁場強度を変化させた場合にも，イオンのラーモア半径と中性ガスとの衝突平均自由行程との関係から，磁場強度の増加とともに微粒子に衝突するイオンの運動量の周方向成分が増大していくことが明らかになった。

以上の結果から，磁場印加時の微粒子の回転運動は，プラズマ中のイオンが微粒子に衝突することによって駆動され，プラズマ空間構造の変化によりイオンの密度，速度が変化することで，これらが回転方向および速度に関与していると考えられる。これらの微粒子雲回転駆動機構の解明は，プロセスプラズマ中での微粒子除去や宇宙空間プラズマ中での微粒子の挙動解明に大きく寄与できるものと考えている。

[4]成果資料

（4－1）主な研究会

日　時：平成12年8月7日（月）14:00～18:00
場　所：ホテルカネカ会議室
参加者：18名
(1) 微粒子プラズマ研究者組織に関する討議
(2) 講演会「Rotation in Strongly Coupled Dusty Plasma in a Magnetic Field and Shadow Effects」
講　師：西川　恭治（近畿大学）

日　時：平成13年2月19日（月）13:30～18:10
場　所：東北大学大学院工学研究科 電気・情報館 451・453号室
参加者：30名

1.「企画者挨拶」佐藤徳芳（東北大・院工）
2.「ECRフラーレンプラズマの基礎特性とその応用」
　佐藤直幸，真瀬　寛（茨城大・工）
3.「炭素クラスターの効率的合成と応用」
　三重野　哲（静岡大・理）
4.「低気圧メタン・水素プラズマ中電子温度制御によるカーボン同素体の生成制御」
　清水鉄司，飯塚　哲，佐藤徳芳（東北大・院工）
5.「パルスイオンビーム蒸着法によるフラーレン作製」
　八井　浄（長岡技科大・極限エネ研センタ）
6.「異種アルカリ金属を用いるフラーレンプラズマ生成と金属内包ﾌﾗｰﾚﾝ合成の相関関係」
　平田孝道，畠山力三，佐藤徳芳（東北大・院工）
7.「アーク放電法におけるフラーレンの形成過程を考える」
　松尾廣伸（静岡大・工）
8.「BCNフラーレン材料における構造及び機能性評価」
　成田一人，奥　健夫，菅沼克昭（大阪大・産研）
9.「プラズマイオン照射による新規構造単層カーボンナノチューブ創製」
　畠山力三，鄭　求桓，平田孝道，田路和幸，川添良幸A，佐藤徳芳（東北大・院工，東北大・金研A）
10.「まとめ」

（4－2）主な研究発表

1. "Formation and Structure of Ag, Ge and SiC Nanoparticles Encapsulated in Boron Nitride and Carbon Nanocapsules", T. Oku, T. Kusunose, T. Hirata, R. Hatakeyama, N. Sato, K. Niihara and K. Suganuma, Diamond and Related Materials, 9 911-915 (2000).
2. "Ab Initio Molecular Dynamics Simulation for the Insertion Process of Si and Ca Atoms into C_{74}", K. Shiga, K. Ohno, Y. Kawazoe, Y. Maruyama, T. Hirata, R. Hatakeyama and N. Sato, Materials Science and Engineering, A290 6-10 (2000).
3. "Formation of Carbon Nanostructures with Ge and SiC Nanoparticles Prepared by Direct Current and Radio Frequency Hybrid Discharge", T. Oku, T. Hirata, N. Motegi, R. Hatakeyama, N. Sato, T. Mieno, N. Y. Sato, H. Mase, M. Niwano and N. Miyamoto, N. Sato, J. Mater. Res., 15 2182-2186 (2000).
4. "Si-Fullerene Compounds Produced by Controlling Spatial Structure of an Arc-Discharge Plasma", T. Hirata, N. Motegi, R. Hatakeyama, T. Oku, T. Mieno, N. Y. Sato, H. Mase, M. Niwano, N. Miyamoto and N. Sato, Jpn. J. Appl. Phys. 39 L1130-L1132 (2000).
5. "Constituent Analysis and Structure Observation of Alkali-C_{60} Compound Materials Formed in Alkali-Fullerene Plasma", T. Hirata, T. Oku, R. Hatakeyama and N. Sato, ミニ国際シンポジウム（魅力あるフラーレンとナノチューブに関するワークショップ），（東北大学，2000）。
6. "Generation of Fullerene-Based Novel Nano-Materials by Controlling Arc Plasma Structure", R. Hatakeyama, T. Hirata, T. Mieno, N. Y. Sato, T. Oku, H. Mase, M. Niwano, N. Miyamoto and N. Sato,ミニ国際シンポジウム（魅力あるフラーレンとナノチューブに関するワークショップ），（東北大学，2000）。
7. "Correlation between Fullerene-Plasma Production Using Different Alkali Metals and Endohedral Metallofullerene Generation", T. Hirata, R. Hatakeyama, and N. Sato, Proc. Plasma Sci. Symp. 2001 / 18th Symp. on Plasma Processing, Kyoto, Japan, January 2001, pp.741-742.
8. "Control of Rotational Motions of Fine-Particle Clouds Confined in a Weakly-Magnetized DC Discharge Plasma", G. Uchida, S. Shimizu, T. Kaneko, S. Iizuka, and N. Sato, Proc. 11th Int. Toki Conf., Toki, Japan, December 2000, p.152.
9. "Potential-Driven Fine-Particle Behaviors in a DC Discharge Plasma", G. Uchida, S. Iizuka, and N. Sato, Proc. 2000 Int. Congress Plasma Phys., Quebec, Canada, October 2000, p.5.
10. "Effect of Plasma Parameter Profiles on the Rotation

of Fine-Particle Cloud", T. Kaneko, S. Shimizu, G. Uchida, S. Iizuka, and N. Sato, Proc. Plasma Sci. Symp. 2001 / 18th Symp. on Plasma Processing, Kyoto, Japan, January 2001, pp.403-404.
11. "Rotation Control of Fine-Particle Clouds in a Magnetized RF Plasma", S. Shimizu, G. Uchida, T. Kaneko, S. Iizuka, and N. Sato, Proc. Plasma Sci. Symp. 2001 / 18th Symp. on Plasma Processing, Kyoto, Japan, January 2001, pp.401-402.
12. "磁化高周波放電プラズマ中に浮遊する微粒子雲の回転制御", 清水慎也, 内田儀一郎, 金子俊郎, 飯塚哲, 佐藤徳芳, プラズマ・核融合学会第17回年会, 北海道大学, 2000年11月, 27pA14p, p.81。
13. "磁化プラズマ中空間構造制御による微粒子雲回転運動の駆動", 内田儀一郎, 金子俊郎, 清水慎也, 飯塚哲, 佐藤徳芳, 日本物理学会 第56回年会, 中央大学, 2001年3月, 28aXG1, p.176。
14. "磁化プラズマ中微粒子雲回転に対する微粒子密度依存性", 清水慎也, 内田儀一郎, 金子俊郎, 飯塚哲, 佐藤徳芳, 日本物理学会 第56回年会, 中央大学, 2001年3月, 28aXG2, p.177。

共同プロジェクト研究

課題番号　H12/A04

電子デバイス用高温超伝導単結晶の育成に関する研究

［1］組織

代表者：田中　　功（山梨大学工学部）
責任者：山下　　努（東北大学電気通信研究所）
分担者：
道上　　修（岩手大学工学部）
大嶋　重利（山形大学工学部）
岸田　　悟（鳥取大学工学部）
酒井　滋樹（電子技術総合研究所）
戸叶　一正（金属材料技術研究所）
羽多野　毅（金属材料技術研究所）
綿打　敏司（山梨大学工学部）
A.T.M.N. ISLAM（山梨大学工学部）

研究費：校費43万3千円，旅費64万1千円

［2］研究経過

酸化物高温超伝導体の単結晶に特有な性質として固有ジョセフソン接合やジョセフソン・プラズマ現象が知られている。これらの性質を応用して酸化物高温超伝導体単結晶を用いた超高速マイクロ電子デバイスが東北大学電気通信研究所の山下努教授らによって考案された。この超伝導電子デバイスを開発するために，酸化物高温超伝導体の高品質単結晶が必要不可欠である。本研究では，種々の方法で作製されたバルク状や薄膜状の酸化物高温超伝導体単結晶についてデバイス特性などを測定して，電子デバイスとして最適な酸化物高温超伝導体単結晶の作製技術を確立することを目的として研究を行った。

本共同プロジェクト研究は，本年度が初年度であり，各共同研究者が現在行っている高温超伝導体単結晶の育成に関する研究をもとにして，その中で得られた単結晶を用いてデバイス特性などの物性測定を行った。

以下に，研究活動状況の概要を記す。

単結晶など試料作製は，各共同研究者の所属機関で行い，デバイス加工およびデバイス特性測定は，主として東北大学電気通信研究所で行った。

試料作製については，(1)$La_{2-x}Sr_xCuO_4$高温超伝導体バルク単結晶のTSFZ法による育成，(2)$La_{2-x}Sr_xCuO_4$高温超伝導体単結晶膜の液相エピタキシャル成長，(3)Bi系酸化物高温超伝導体バルク単結晶のブリッジマン法による育成，(4)Bi系酸化物高温超伝導体単結晶ウィスカーの合成，(5)Bi系酸化物超伝導体薄膜の作製，(6)$YBa_2Cu_3O_7$超伝導体の薄膜作製を行った。

デバイス加工では，主に集束イオンビーム加工によりブリッジ型接合スタックの作製および新しいジョセフソン接合法の開発を行った。デバイス特性測定では，(1)ジョセフソンプラズマ共振，サブギャップ構造の測定，(2)固有ジョセフソン効果の測定および理論的解釈，(3)新現象の観測，(4)電気抵抗や交流ジョセフソン効果の測定による結晶品質の評価を行った。

本年度の研究成果および進捗状況を総括するために，本共同プロジェクト研究の研究会を平成13年2月1日に開催した。約40名の研究者および学生が参加して「電子デバイス用高温超伝導単結晶の育成に関する研究」の研究成果発表と討議・意見交換を行い，さらに，次年度の研究計画について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。

まず第一に，$La_{2-x}Sr_xCuO_4$バルク単結晶は，図1に示すような金属光沢のある黒色の単結晶が得られた。そして，この単結晶の固有ジョセフソン接合でサブギャップ構造を観測することに成功した。また，$La_{2-x}Sr_xCuO_4$単結晶のTHz帯ジョセフソンプラズマの励振・検出を目的として固有ジョセフソン接合の電流電圧特性を詳細に評価した結果，$La_{2-x}Sr_xCuO_4$固有接合の交流ジョセフソン振動で励起されたジョセフソンプラズマ波を固有接合により自己検出していることが明らかになった。

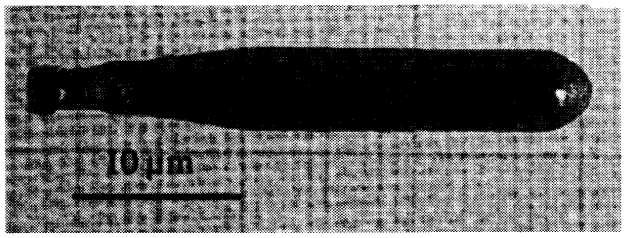


図1. $La_{2-x}Sr_xCuO_4$バルク単結晶

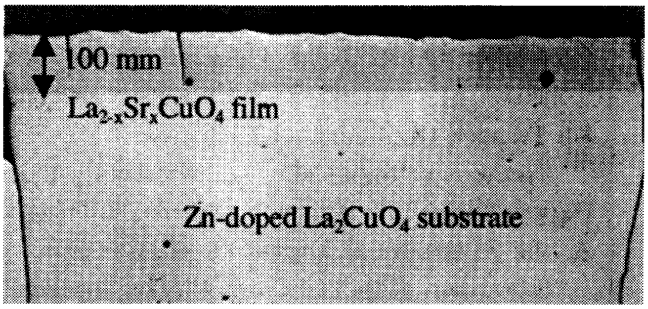


図2. $La_{2-x}Sr_xCuO_4$単結晶膜

$La_{2-x}Sr_xCuO_4$単結晶膜の作製では，Zn置換La_2CuO_4単結晶基板上に膜厚50～250 μ mのa軸配向単結晶膜を作製することに成功した（図2)。現在，この単結晶膜を用いてデバイス加工・作製法およびデバイス特性測定について検討を進めている。

第二に，Bi系酸化物超伝導体の単結晶育成については，バルク単結晶の育成では，従来行われているフラックス法のほかに垂直ブリッジマン法により行った結果，ルツボを10rpmで回転させることによりΔT_cを約6Kまで向上した良質な単結晶が得られた。

Bi系酸化物超伝導体単結晶ウィスカーの合成では，880℃，240時間の最適合成条件において図3に示すような長さ8mmの単結晶ウィスカーを得ることができた。そして，得られた単結晶ウィスカーを用いて固有ジョセフソン接合を作製し，磁束フロー速度，準粒子注入効果，Dc-SQUIDの磁場変調特性を調べることができるようになった。また，単結晶ウィスカーの固有ジョセフソン接合作製法として，図4に示すように2本の単結晶ウィスカーを十字状に重ねて850℃，30分間熱処理することにより簡単に固有ジョセフソン接合を作製する方法を見いだした。図5に示すように同方法により作製した固有ジョセフソン接合のI-V特性を測定した結果，固有ジョセフソン効果特有のヒステリシスと電圧の跳びが観測された。

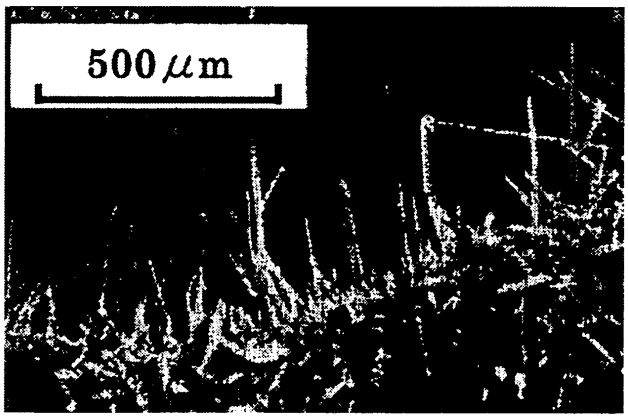


図3. Bi系酸化物超伝導体ウィスカー

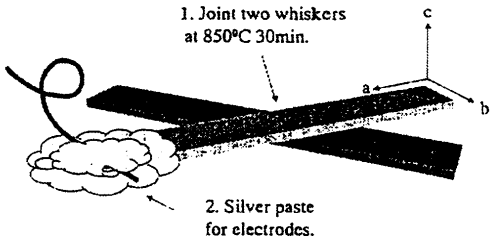


図4. Bi系酸化物超伝導体ウィスカーの接合法

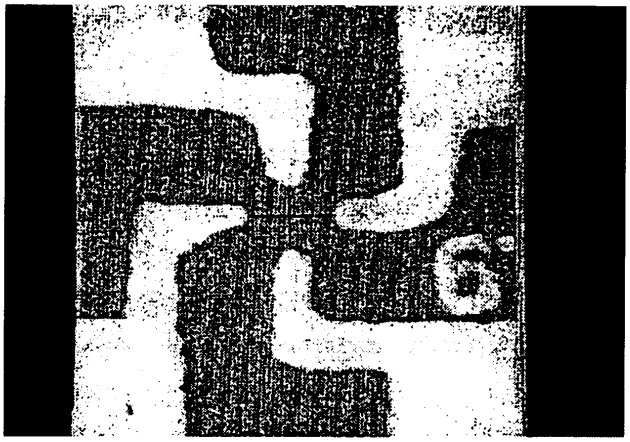


図5. Bi系酸化物超伝導体ウィスカーのクロスジャンクション

Bi系酸化物超伝導体薄膜の固有ジョセフソン接合は，バルク単結晶に匹敵するような特性であり，j_c=1.2～3.0kA/cm^{2}で面幅1 μ mの固有ジョセフソン接合では各バリア層に進入した磁束量子間に相互作用が存在することが明らかになった。

第三に，レーザアブレーション法による$YBa_2Cu_3O_7$超伝導体薄膜作製では，マイクロ波デバイス用低表面抵抗膜をめざして結晶粒の面内配向を制御するための最適なバッファ層の探索を行った結果，MgO基板上に$BaSnO_3$や$SrSnO_3$のバッファ層を用いることにより面内配向を制御できることを見いだした。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトは，単結晶育成やデバイス作製を専門とする学外研究者との交流を飛躍的に活性化し，専門を異にする研究者のネットワークの拡大につながった。本プロジェクトで明らかになった酸化物超伝導体単結晶の固有ジョセフソン特性は，THz発振デバイスのほかに微小単電子対トランジスターや準粒子注入デバイスへの応用開発に結びつき，今後の発展が期待されている。

［4］成果資料

(1) "The Effect of B_2O_3 Addition on $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ Single-Crystal Growth", Maljuk, S. Watauchi, I.

Tanaka and H. Kojima, J. Crystal Growth **212**(2000) 138-141.

(2) "Plasma Resonance and Flux Dynamics in Layered High-T_c Superconductors", N. F. Pedersen and S. Sakai, Physica C **332(1-4)** (2000)297-301.

(3) "Prediction of Half Harmonic Generation in Stacked Josephson Junctions and $Bi_2Sr_2CaCu_2O_x$ Single Crystals", N.F. Pedersen and S. Sakai, Phys. Rev. B **61(17)** (2000) 11328-11331.

(4) "Submicron Scale High-T_c Superconducting Stacks for Single Cooper-Pair Tunneling", S.-J.Kim, Yu.I. Latyshev, T.Yamashita, N.Sato and S.Kishida, Physica B, **284-8** (2000) 1814-1815.

(5) "Fabrication of Low Surface Resistance YBCO Films and Its Application to Microwave Devices", S. Ohshima, K. D. Develos, K. Ehata, M. I. Ali and M. Mukaida, Physica C **335** (2000) 207-213.

(6) "Growth of Large $Bi_2Sr_2CaCu_2O_y$ Single Crystals by a Vertical Bridgman Method", S. Kishida, M. Nakamura and W.Y. Liang, J.Crystal Growth, **216** (2000) 220-224.

(7) "Chemical Oxidation on the Surface of La_2CuO_4 Single Crystals", K. Ashizawa, I. Tanaka, S. Watauchi and H. Kojima, Advances in Superconductivity XII (Proc. 12th Int. Symp. on Superconductivity (ISS' 99)) (2000) 140-142.

(8) "Study of $Bi_2Sr_2CaCu_2O_y$ Single Crystal Surfaces by X-ray Photoelectron Spectroscopy", Y. Yamauchi, S. Kishida and H. Tokutaka, Advances in Superconductivity XII (Proc. 12th Int. Symp. on Superconductivity (ISS'99)) (2000) 143-145.

(9) "Growth of $Bi_2Sr_2CaCu_2O_y$ Superconducting Whiskers and Their Characterization", N. Sato, S. Kishida, T. Hirao, S.-J. Kim, T. Yamashita, S.F.W.R. Rycroft and W.Y. Liang, Advances in Superconductivity XII (Proc. 12th Int. Symp. on Superconductivity (ISS' 99)) (2000) 542-544.

(10) "Growth of $Bi_2Sr_2CaCu_2O_y$ Single Crystals by The Vertical Bridgman Method and Its Modified Methods", M. Nakamura, S. Kishida, H. Tanaka and W.Y. Liang, Advances in Superconductivity XII (Proc. 12th Int. Symp. on Superconductivity (ISS'99)) (2000) 545-547.

(11) "Flux Flow of Josephson Vortices in $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ Single Crystals", T. Tachiki, K. Nakajima, T. Yamashita, I Tanaka and H. Kojima, Advances in Superconductivity XII (Proc. 12th Int. Symp. on Superconductivity (ISS'99)) (2000) 1117-1119.

(12) "High-Temperature Resistance of $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ Films under Various Oxygen Pressures", M. Mukaida, S. Oikawa, M. Kusunoki and S. Ohshima, Supercond. Sci. Technol. **13** (2000) L5- L9.

(13) "Synthesis of $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ Whiskers without Oxygen Stream", T. Hatano, Y. Takano, A. Fukuyo, A. Ishii, S. Arisawa, K. Togano, Physica C in print.

(14) "Fabrication of Bi2212 Cross Whisker Junction", Y. Takano, T. Hatano, A. Ishii, A. Fukuyo, Y. Sato, S. Arisawa, K. Togano, Physica C in print.

(15) "Development of a Synthesis Technique and Characterization of $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ Whiskers", T. Hatano, Y. Takano, A. Fukuyo, S. Arisawa, A. Ishii, K. Togano, IEEE Trans. Superconductivity in print.

課題番号　H12/A05

マルチモーダル情報に基づく環境認識過程の解明

[1] 組織
代表者：小澤　賢司（山梨大学工学部）
通研対応教官：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）
金　　海永（秋田県立大学システム科学技術学部）
研究費：校費42万2千円，旅費76万7千円

[2] 研究経過

ブレインコンピューティングは，例えば歩行中の姿勢制御などのような無意識の過程と，環境を理解した上でどの方向に歩くべきかを決めるといった意識が働く過程に分けることができる。本プロジェクト研究では，後者の過程における前段部分，すなわち環境を理解する過程に焦点をあてるものである。つまり，ヒトが五感を通じて常に外界から情報を得て自分を取りまく環境を認識するという，マルチモーダル情報に基づく環境認識過程を，心理物理学的手法により解明することを目的としている。そのために，本研究では以下のような作業仮説を設け，その妥当性を検証することとした。

環境認識過程は，次の3段階からなる階層構造をなすと仮定する。

(1) 五感を通じて得た膨大な情報から重要な情報を抽出する。この情報抽出は，五感ごとに独立した過程である。
(2) 他の感覚との間のクロスモダリティ情報照合により情報修飾が行われた結果として，マルチモーダル情報を得る。
(3) 記憶・知識の蓄えである脳内データベースとの照合が行われ，環境の認識に至る。

(1)の段階については，従来の研究によって，かなりの程度まで明らかとなっている。本研究の興味は，主に(2)および(3)の段階にある。

本プロジェクトは，本年度が初年度である。そこで，まず，感覚間のクロスモダリティ情報照合による情報修飾を解明するために，聴覚と視覚に限定して以下の二つの研究テーマを立ち上げた。

(A) 聴覚における環境音知覚に及ぼす視覚情報の影響の解明
(B) 聴覚臨場感に及ぼす視覚情報の影響の解明

また，記憶・知識の蓄えである脳内データベースとの照合が環境音の知覚に及ぼす影響の解明にも着手し，次の研究を行った。

(C) 聴覚における環境音知覚に及ぼす言語情報の影響の解明

さらに，本研究を推進する上では，環境音など実在する音を精密に再生することが重要であると考え，次の研究を遂行した。

(D) 環境音の精密再生手法の開発

次節では，それぞれの研究について得られた成果を述べる。

なお，研究遂行状況の確認および得られた結果について討論するために，平成12年8月22日に東北大学電気通信研究所にメンバー全員が集まり打ち合わせを開催した。それ以降は，通研対応教官である鈴木をリエゾンとして個別のメンバーによる打ち合わせを行った。

[3] 研究成果

（3－1）研究成果

(A) 聴覚における環境音知覚に及ぼす視覚情報の影響の解明

聴覚における環境理解に関しては，カナダのBregmanを中心とする研究グループが，「聴覚情景分析」という立場から研究を行ってきた。この研究では，同時に複数の音源からの音を聴取した場合でも我々はそれぞれの音を聞き分け音源を識別することが可能であり，そのための心的プロセスが研究対象となっている。しかし，我々の知覚に関していえば，音源の識別という知性としての側面だけを考えるのは不十分であり，その音を聴いてどのような感情を抱くかといった感性としての側面も考えることが必要である。そこで，本プロジェクト研究では，音から得られる知性情報に加えて，音色や音を聞いた際に生起する感情といった感性情報も対象として研究を行った。

まず，滝や波の音などの自然音，および自動車・新幹線の走行音などの人工音を含む66種類の環境音を収録した。それらを実験室内で再生し，その個々の音について，「音の持つ情報に関する評価語（11種類）」，「音の性質を表す音色評価語（15

種類)」，そして「音を聴いた際に生じる感情に関する評価語（13種類)」の計39種類の評価語に関して，SD法によって評価を行った。実験結果を因子分析により分析した。

この実験を，まず音だけを聴取するという条件下で行い，次に同時に収録しておいた映像を付加した条件下で行った。両条件の下で得られた実験結果を比較することにより，視覚情報が環境音知覚に及ぼす影響を定量的に検討した。

因子分析の結果，両条件の場合について共通した7因子が抽出された。それらは，従来の研究によって知られていた音色の3因子（美的・量的・明るさ因子）に加えて，音像の定位情報に関する因子，音源情報に関する因子，音の存在意義に関する因子，懐古・郷愁因子であると解釈した。このことから，視覚情報の付加は音知覚の因子を変化させるものではないことが明らかとなった。

一方，視覚情報の付加によって，個々の刺激に関する因子得点には統計的に有意な変化が観測された。その視覚情報の影響は刺激音ごとに異なるが，映像を見て音源・音場を認識することにより，その音に対して元々持っていたイメージが与えられることが評価に影響を及ぼすものと結論した。この傾向は，水音に関して顕著であった。つまり，音だけでは広帯域な雑音として理解され評価されるのに対して，映像が付加されて水音として認識されると概ね好ましい音として知覚されることが示された。さらには，明るさといった映像の質や，映像と音の整合性が，聴覚における音の評価に影響を与えることも明らかとなった。

(B) 聴覚臨場感に及ぼす視覚情報の影響の解明

臨場感という言葉は，現在のマルチメディア機器の性能を述べる際のキーワードであるにも関わらず，実際にはどのような感覚であるかが十分に明らかにされているとは言い難い。その性質を明らかにするために，本プロジェクトのメンバーは，本年度以前に，聴覚刺激だけを用いた場合の臨場感の性質について検討を行ってきた。本年度は，視覚情報を映像によって付加することにより，聴覚臨場感がどのように変化するかについて以下の二つの観点から検討を行った。

まず，映像を付加することによる臨場感の変化を検討した。刺激として用いるために，自動車の車内や通過する様子など，屋内外において17種類の映像と音を収録した。それらのうちからランダムに選定した一対の刺激を継時的に被験者に提示し，両者の臨場感を7段階で評価させるというシェッフェの一対比較法の手続きにより実験を行った。その実験結果を尺度構成し，各刺激の臨場感尺度値を得た。以上の実験を，音だけを提示して行った後，1ヵ月に映像も付加して行った。両実験結果について算出された臨場感尺度値を比較したところ，付加された映像が音源などを含むなど録音場の状況を正確に伝えるものである場合には，聴覚臨場感が大きく変化することが示された。特に，付加された映像に動きがある場合には，臨場感が高くなる傾向が顕著であった。

次に，再生音圧レベルと映像の関係が臨場感に及ぼす影響について検討した。屋内外で収録した7種の映像と音について，音圧だけを5段階で変化させた刺激を用意した。やはり，シェッフェの一対比較法の手順に従い，臨場感尺度値を求めたところ以下のことが明らかとなった。被験者に音のみを提示して評価させた場合には，臨場感尺度値は音圧レベルと共に単調に増加する傾向が見られた。これは，聴覚臨場感を構成する聴覚要因のうちの，「量的因子」が支配的であることを示唆している。一方，映像を付加して同じ実験を行ったところ，原音場における本来の音圧レベル付近で臨場感尺度値が最大となった。この場合には聴覚臨場感を構成する聴覚要因のうちの，「情報に関する因子」が支配的であることを示している。以上から，聴覚臨場感に及ぼす視覚のクロスモダリティの存在が更に明白なものとなった。

(C) 聴覚における環境音知覚に及ぼす言語情報の影響の解明

上記の(A)の研究の結果として，聴覚における音知覚に視覚が及ぼす影響が明らかとなった。また，視覚情報により音源が認識され，その音に対して元々持っていたイメージが与えられることが聴覚における音の評価に影響すると結論された。その結論の妥当性を検証するために，以下の実験を行った。

上述の結論が妥当であるならば，音の聴取時に視覚情報を与えるのではなく，聴取に先立ち音源の情報を言葉により教示するだけでも，記憶として脳内に蓄えられている音に対するイメージが喚起され，音知覚に関して同様な変化が生じるはずである。そこで，(A)と同様に，音源に関する情報を一切与えずに聴取実験を行った結果と，音源情報を言語により与えてから行った聴取実験の結果を比較した。

その結果，音源情報の言語による予示の影響は，多くの刺激音について映像を与えた場合に見られ

た因子得点と同様なものであった。これは，先に述べた結論の妥当性を示すものである。ただし，映像を与えた場合と異なるものもいくつかあり，それが純粋な視覚と聴覚のクロスモダリティを表すものと考える。概要については，すでに国際会議において発表済みであり，現在は詳細について検討中である。

(D) 環境音の精密再生手法の開発

上記(A)～(C)の研究を遂行するために，原音場における音を聴取実験に参加した被験者に対して精密に再生することが必要とされた。そのために，本プロジェクトでは，原音場においてダミーヘッド（等身大の人形）の鼓膜位置に設置したマイクロホンを使って録音を行い，再生音場ではヘッドホンにより再生を行った。しかし，単にヘッドホンにより再生した場合には，録音時と再生時に外耳の音響特性が重複してかかるという不都合が生ずる。そこで，その不都合を補償するために音響特性の個人差までを補正する信号処理手法を考案し，従来の補償方法よりも優れた性能を有することを示した。本年度は，特に，その補償の精度が性能に大きく影響することを示した。

（3－2）波及効果と発展性

本研究の成果により，自己のおかれた環境を記述する膨大な情報の中から重要な変量が抽出されるものと考える。脳内においては，それらの変量に加えて，所望の現象を記述する変量を変数として用いた評価関数を定義することにより，環境を理解した上で次に自分がとるべき行動の最適解を求めることができるものと期待される。このように，本研究の成果は，ブレインコンピューティングにおける一つのプロセスを解き明かすための礎を与えるものと考える。

電気通信という観点から見た場合には，本研究の成果は，新しい通信方式の設計に大きく寄与すると考えている。なぜならば，マルチメディア通信が今後の通信形態のキーポイントと予想されることを考えると，高品位通信のためには膨大な情報量の伝送が必要となるからである。例えば，発信者のおかれた環境までを受信者宛に伝送することを目的とした通信系を設計する際に，重要な情報だけを送ることを規範した高能率情報圧縮を実現するために，本研究の成果は情報の取捨選択の指標を与えるものと考えている。

[4] 研究資料

(1) Yoiti Suzuki, Koji Abe, Kenji Ozawa, and Toshio Sone, "Comparison between the effects of additional verbal and visual information on the perception of environmental sounds," Proceedings of Inter-Noise 2000, pp. 2285-2291 (2000).

(2) Koji Abe, Kenji Ozawa, Yoiti Suzuki, and Toshio Sone, "Effect of verbal and visual information on the perception of environmental sounds," Proceedings of 7th West Pacific Regional Acoustics Conference, pp. 879-882 (2000).

(3) 安倍幸治, 小澤賢司, 鈴木陽一, 曽根敏夫, "視覚情報が環境音知覚に与える影響," 日本音響学会誌, Vol. 56, No. 12, pp. 793-804 (2000).

(4) 安倍幸治, 小澤賢司, 鈴木陽一, 曽根敏夫, "マルチモーダル情報が環境音知覚に及ぼす影響," 東北大学電気通信研究所工学研究会第309回音響工学研究会資料 309-5, pp. 1-16, (2000).

(5) 小澤賢司, 大竹聡, 鈴木陽一, 曽根敏夫, "聴覚臨場感に及ぼす視覚情報の影響," 音響学会講演集 2000年9月, pp. 353-354 (2000).

(6) 廣田尚亮, 小澤賢司, 鈴木陽一, "個人差補正の精度がバイノーラル再生に及ぼす影響について," 音響学会講演集 2000年9月, pp. 419-420 (2000).

(7) 小澤賢司, 金澤永治, 鈴木陽一, "ヘッドホンを用いたバイノーラル再生における個人性補正の効果," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 5, No. 3, pp. 949-956 (2000).

(8) 廣田尚亮, 小澤賢司, 鈴木陽一, "個人差補正の精度がバイノーラル再生に及ぼす影響," 信学技報 EA2000-30, pp. 25-32 (2000).

(9) 小澤賢司, 宮坂学, "再生音圧レベルと映像の関係が臨場感に及ぼす影響," 音響学会講演集 2001年3月, pp. 429-430 (2001).

(10) 廣田尚亮, 小澤賢司, 鈴木陽一, "ヘッドホン逆特性における個人性がバイノーラル再生に及ぼす影響," 音響学会講演集 2001年3月, pp. 643-644 (2001).

共同プロジェクト研究

課題番号　H12/A06

冷凍機を用いた高温超伝導高周波検出・発振システムに関する研究

[1] 組織

代表者：山本　寛（日本大学理工学部）
責任者：山下　努（東北大学未来科学共同技術研究センター）
分担者：
安岡義純（防衛大学校電子工学科）
井上龍夫（アイシン精機株式会社）
陳　　健（東北大学電気通信研究所）
中島健介（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費 42万7千百円，旅費32万1千円

[2] 経過経過

酸化物高温超伝導体をデバイス応用する上で最も大きな利点は動作温度の上昇であり，それによって取り扱いが難しく稀少資源でもある液体ヘリウムを寒剤として使用せずに，超伝導デバイスの優れた特性を利用することができることである。最近の冷凍技術の進歩によって高温超伝導デバイスが動作できる温度において十分な冷凍能力を有する小型で高性能な冷凍機が開発されつつある。本研究では，種々の高温超伝導デバイスの中でも，動作周波数がTHz領域まで達することが期待される高周波デバイスと最新の冷凍機とを組み合わせて，完全に寒剤フリーの高温超伝導高周波検出・発振システムの開発することを目的としている。

平成12年度は，日本大学において開発中の小型パルスチューブ型冷凍機と東北大学電気通信研究所で研究の進んでいる高温超伝導粒界ジョセフソン接合型THz検出器，THz磁束フロー発振器それぞれの特性の改善を図るとともに実装試験に向け冷凍機，デバイス双方の情報交換を行ない試験装置の設計を行った。またこれらと併せ，磁束フロー発振器からの放射が予想される数100GHzから数THzの電磁波を高感度で検出することのできる高周波検出システムの構築と検出限界の評価を行った。

研究会：
平成13年2月2日　14:00～17:30
東北大学電気通信研究所，2号館4階大会議室
（未来科学技術共同研究センター特別講演会併催）

(1) ナノエレクトロニクスの行方，CMOSとSETの場合
東北大学未来科学技術共同研究センター
蔡　兆申
(2) アイントホーヘン工科大学におけるクライオクーラ研究の現状
アイトフォーヘン工科大学
アルフォンソ　デバエレ
(3) パルス管冷凍機の冷凍性能予測
日本大学・原子力研究所
松原洋一

[3] 研究成果

研究課題ごとに今年度得られた研究成果と今後の展望は以下のとおりである。

[3－1] パルス管冷凍機

高温超伝導デバイスの実用化に不可欠な小型で高効率かつ信頼性の高い冷凍機として冷却機構に可動部を持たないパルス管冷凍機の開発を行った。高温超伝導エレクトロニクスデバイスの能力を十分に発揮させるのに必要とされる低温を小型のGM型一段パルス管冷凍機で安定に得ることを目指して位相シフト機構の最適化を計った結果，図1に示すような冷凍能力のある一段パルス管冷凍機の試作に成功した。出力1.7kWの圧縮機による運転に対して到達最低温度25.5Kを記録すると共に高温超伝導エレクトロニクスデバイスの運転に十分な温度30Kにおいて0.6Wの冷凍能力を得ている。

[3－2] 固有ジョセフソン接合磁束フロー発振器

パルス管冷凍機に搭載して運転する高温超伝導固有ジョセフソン接合磁束フロー発振器を$Bi_2Sr_2CaCu_2O_y$単結晶の上に作製し，その電圧-電流特性や磁束フロー動作を低温物理物性測定装置を用いて詳細に評価した。その結果，動作温度40K，印加磁場1Tにおいて100GHz以上の発振周波数に相当する高速な磁束フローが起こることを確認した。これをもとに市販の40K級パルス管冷凍機と永久磁石を利用した最大磁場1Tの可変磁場印加装置とを組み合わせた磁束フロー発振器用サブシステムを製作した。図2に装置の外観を示す。このシステムを用いて現在までに試料ホルダーの温度で約43K，また，試料位置において最大1Tの磁場を磁場

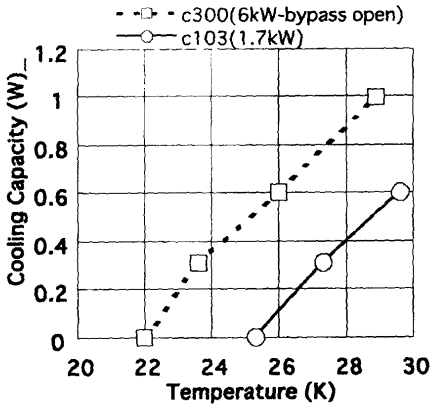


Fig.1 一段パルス管冷凍機の冷凍特性

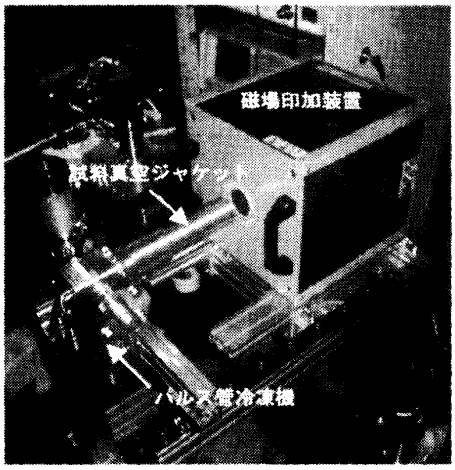


Fig.2 磁束フロー発振器用磁場中低温測定サブシステム

回転分解能0.1度で印加できることを確認すると共に実際に高温超伝導固有ジョセフソン接合を搭載して磁束フローを観測することに成功した。

なお，本システムは，磁場印加装置を取り外すことによって高温超伝導粒界ジョセフソン接合を用いた高周波検出器の冷却システムとしても利用することができる。

［3－3］高周波検出システム

パルス管冷凍機に搭載した高温超伝導固有ジョセフソン接合磁束フロー発振器から放射が期待される100GHzから数THz電磁波放射を高感度で検出することを目的にミリ波波・サブミリ波帯の高周波システムの設計と評価を行った。

100GHz帯近傍の周波数に対する検出器としては，常温で動作可能なショットキー・ダイオード・ミキサーを，それ以上の周波数帯に対してはSiボロメーターを採用することで発振が予想される広い周波数領域に対応している。また，高温超伝導デバイスからこれらの検出器までの伝搬による高周波減衰をできる限り少なくするように準光学システムを取り入れたシステムとなっている。100GHz帯の検出に使用するショットキー・ダイオード・ミキサーの検出感度は，ガン発振器をLO信号源として用いた中間周波数f_{IF}=1.5GHzへのテロダインミキシング特性から評価した。また，Siボロメーターは4.2Kで動作させ，その検出感度は196GHzの信号を照射したときのボロメーター出力から評価した。その結果，ショットキー・ダイオード・ミキサーとSiボロメータそれぞれに対して約0.8pW，0.4nWという検出限界を得た。現在までのところ，ショットキー・ダイオード・ミキサーは高温超伝導デバイスから得られるであろう高周波放射を十分に検出できる性能をもっているのに対して，Siボロメーターの検出感度は不充分である。ボロメーター素子自身の等価雑音電力はこの検出限界値よりもまだ3桁近く低いことから測定回路の雑音やバックグラウンドからボロメーターへの熱輻射による影響を低減することでボロメーター検出システム全体の検出限界を改善する余地が有るものと期待される。

［4］主な研究発表

1.Y. Matsubara and S. L. Zhou: Feasibility Study of Applying Thermal Compressor to 4 K Pulse Tube Cooler, Proc. Of the Eighteenth International Cryogenic Engineering Conference (ICEC 18), Mumbai, India 2000, pp.535-538.

2.Y. Hiratsuka, Y. M. Kang, N. Fujiyama, T. Sotojima, and Y. Matsubara: DEVELOPMENT OF A 5 W AT 80 K STIRLING PULSE TUBE CRYOCOOLER, Advances in Cryogenic Engineering, Vol. 45, Eds. By Shu et al., Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2000, pp.57-63.

3.S. L. Zhou, G. Thummes, and Y. Matsubara: EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF LOSS MECHANISMS IN A 4 K PULSE TUBE, Advances in Cryogenic Engineering, Vol. 45, Eds. By Shu et al., Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2000, pp.81-88.

4.S. Fujimoto, T. Oodo, Y. M. Kang, T. Kanyama, and Y. Matsubara: EXPERIMENTAL INVESTI-GATION OF SOME PHASE SHIFTING TYPES ON TWO-STAGE GM PULSE TUBE CRYO-COOLER, Advances in Cryogenic Engineering, Vol. 45, Eds. By Shu et al., Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2000, pp.127-133.

5.S. Zhu and Y. Matsubara: REPLACEMENT OF REGENERATOR WITH A STACK IN A STIRLING REFRIGERATOR, Advances in Cryo-genic Engineering, Vol. 45, Eds. By Shu et al., Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2000, pp.357-364.

共同プロジェクト研究

課題番号　H12/A07

圧電結晶におけるドメインの挙動解明，制御，ならびに応用に関する研究

[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：伊藤　弘昌（東北大学電気通信研究所）
分担者：山田　　顕（東北大学大学院工学研究科）
　　櫛引　淳一（東北大学大学院工学研究科）
　　山田　一博（三井化学株式会社）
　　斉藤　繁実（東海大学海洋学部海洋工学科）
　　宇野　武彦（神奈川工科大学）

研究費：校費376,000円，旅費243,000円

[2]研究経過

本研究代表者中村は，$LiNbO_3$や$LiTaO_3$の単結晶に熱処理を施すだけで，電界を加えなくても結晶の一部の分極が反転する現象を見出した。分担者宇野は，水晶においても結晶表面につけた膜の応力により結晶軸の反転が生じる現象を見出した。また中村は，$KNbO_3$結晶が特定のカットでこれまでの最高の電気機械結合係数を示すことを見出したが，90°ドメインや60°ドメインが形成されやすく，その挙動はよくわかっていなかった。このような圧電結晶のドメイン反転の現象は比較的最近見出された現象で，その機構は，まだ完全には理解できていない。機構解明はむずかしい課題であるが，ドメインの挙動が少しでも解明されればその学問的意義は大きい。また，ドメインの制御法が確立されれば，ドメインを積極的に利用したデバイスなどへの応用が拓ける可能性がある。本研究では，強誘電ドメインの興味ある挙動を解明し，その制御法の研究を行うとともに，ドメインを応用したデバイスの開発を行うことを目標として研究を行った。

中村らは，$LiTaO_3$のプロトン交換と熱処理により生ずるドメイン反転現象を調べ，反転ドメイン厚さの制御条件の検討を行った。また，斎藤らと協力し，層状反転ドメインを積極的に応用した広帯域超音波トランスデューサを開発し，これを用いて音波の非線形伝搬によって発生する第2高調波を受波する実験を行った。また，$KNbO_3$結晶について，ドメインの挙動を調べ，その制御法の研究を行った。一方宇野らは，水晶表面にNi-Crなどの膜を付けて熱処理したときに生ずる結晶軸反転現象について，制御法およびそのモノリシック・フィルタへの応用の研究を行った。本研究参加者は，平成12年11月6日～8日に仙台で会合ならびに研究会を開き，互いの研究経過・成果について報告と討論を行い，今後の研究の進め方を話し合った。

[3]成果

(3-1)研究成果

1．$LiTaO_3$のプロトン交換と熱処理により生じるドメイン反転に処理条件がどのように影響するかを明らかにするため，プロトン交換時間を変えた場合とプロトン交換温度を変えた場合について，プロトン交換層の厚さd_{pe}と反転層の厚さhの関係を調べた。その結果，処理条件が異なっても反転層厚さとプロトン交換層の厚さは一定の関係

$$h^2=-517+2170d_{pe}[\mu m^2]$$

があることがわかった。上式は，分極反転層が形成されるためのプロトン交換層の厚さに閾値が存在し，反転層の厚さはプロトン交換層の厚さの数十倍であることを示している。

次に，厚さ500μmの$LiTaO_3$Z板においてプロトン交換時間を3時間一定とした時の分極反転層の厚さと熱処理時間の関係を調べてみた。その結果，熱処理時間が1～10時間ではほぼ同じ厚さの反転層が形成され，熱処理時間にはあまり依存しないことがわかった。

さらに，プロトン交換時間および熱処理温度を一定にし，室温からキュリー点直下までの昇温速度を種々変えて実験を行い，反転分域の厚さと昇温速度の関係について調べてみた。昇温過程の時間が3時間以上になると，反転層は薄くなり，5時間では反転が起こらないことがわかった。このことは，昇温速度が遅いとキュリー温度に達するまでの間にプロトンが基板内部あるいは外部に拡散してしまうために反転が生じにくいものと推察される。

またプロトン交換法が$LiNbO_3$の場合にも適用できるかどうか調べるため，$LiNbO_3$のZ板を220℃で3時間プロトン交換 した後，1030℃で3時間熱処理してみた。その結果約24μmの反転層が＋c面に形成されていることが確認された。

2．通常，水中超音波に用いる圧電板は厚み方向に一様なので，基本共振の倍周波の音波を発生・検出できない。そのため集束超音波などの反射・

散乱波に含まれる非線形伝搬第２高調波を検出することは困難であり，非線形現象の超音波計測への応用を狭めている。この不都合を解消するため，分極反転層を形成した厚さ0.19mmのニオブ酸リチウム圧電板を固体音響レンズに接着し，20MHz送波超音波に対して40MHzの第２高調波音波を受信できる集束音源を試作した。特に，実験や解析の単純化のため，本音源では電極を20ポイントの星型にエッチング加工し，音源音圧が径方向にガウス分布となるよう励振強度を重み付けした。試作したトランスデューサにより集束超音波の送受実験を行ったところ，音波の非線形伝搬によって発生する第2高調波を受波することが確かめられた。

３．$KNbO_3$単結晶の電気機械結合係数のカット依存性を求め，平板の厚み縦振動の電気機械結合係数k_tが49.5o回転X板において69%とこれまで知られている中で最大であることを見出した。このカットは，擬立方晶の$(001)_{pc}$カットにかなり近い。そこで，$KNbO_3$の単分域$(001)_{pc}$カットの歪-電界特性を測定した。結果を図１に示す。最初，最大約4.5 kV/cmの電界を印加したときの特性は図１(a)に示すように直線的になった。勾配から計算した圧電歪定数約80 pC/Nであり，理論値87.2 pC/Nと近い値になった。しかし，一旦5.5 kV/cmを超えるような電界を加えた後では，歪-電界特性は図１(b)に示すよ

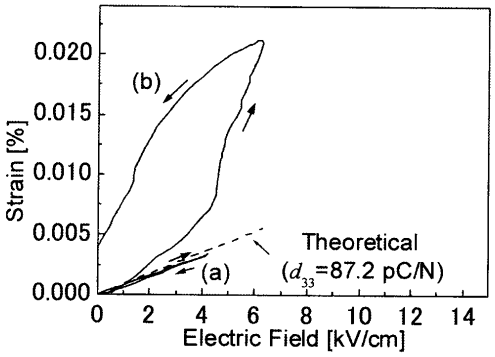


図１．横寸法の小さな単分域 $(001)_{pc}$結晶の歪ー電界特性

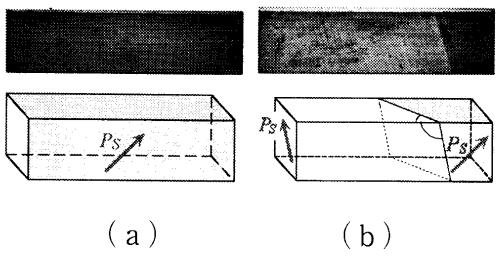


図2. $(010)_{pc}$面（側面）から観察した偏光顕微鏡写真
(a)電圧印加前　(b)大きな電界印加後

うになり，大きな歪が発生するもののヒステリシスが生じた。この原因を探るため，結晶を偏光顕微鏡で観察した。図２は結晶の$(010)_{pc}$面（側面）から観察した偏光顕微鏡写真である。電圧を印加する前は図２(a)に示すように単分域であったが，図１(b)の特性を測定した後では図２(b)に示すような分域構造になっていた。この分域壁は，その角度から60°分域壁である。結晶表面のマイクロクラック部に微小な60°分域が存在し，これを核として60°分域が成長したのではないかと推測される。歪ー電界特性のヒステリシスは，この60°分域の発生によると考えられる。そこで単分域$(001)_{pc}$結晶に化学エッチングを施し結晶表面のマイクロクラックを除去すれば分域が発生しにくくなり，ヒステリシスのない特性が得られるのではないかと考えた。歪ー電界特性を測定した結果，予想通り高い電圧を印加したときでもヒステリシスのない直線的な特性が得られた。この特性から求めた圧電歪定数d_{33}は92 pC/Nであり，理論値に近い。この実験から，エッチングを施して分域を発生しにくくすることにより，ヒステリシスが生じなくなることが立証された。

最近，PZN-PT結晶を擬立方晶$<001>_{pc}$軸方向にポーリングした，いわゆるEngineered Domain構造の結晶では，圧電性が増大することが報告され，大きな関心を集めている。Orthorhombic結晶である$KNbO_3$も，類似の擬立方晶の結晶構造を有していることから，分極方向と異なる$<001>_{pc}$軸方向にポーリングすることにより，PZN-PTと類似のEngineered Domain構造，すなわち4つの等価な微小分域からなる有極性多分域構造が得られる可能性がある。そこで有極性多分域$(001)_{pc}$カットの歪ー電界特性を測定した。ポーリングは，結晶を240℃まで加熱し，$[001]_{pc}$方向に750 V/cmの電界を印加しながら室温まで戻した。この結晶を $(010)_{pc}$面から偏光顕微鏡で観察した結果，$(010)_{pc}$面に平行な多数の分域壁が観測された。この分域構造は90°分域から

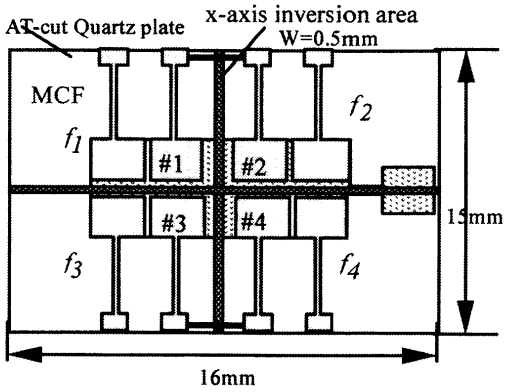


図3. モノリシック集積化フィルタアレー

成っていると考えられ，予想されたEngineered Domainとは異なる。この有極性多分域$(001)_{pc}$結晶の歪－電界特性を測定した結果，多少ヒステリシスはあるものの，単分域$(001)_{pc}$結晶の場合と同様に特性はほぼ直線的となった。勾配から計算した圧電歪定数はやはり理論値に近い。従って，自発分極方向に電界を加えた場合に比べて圧電性が大きいのは，有極性多分域構造によるものではなく，むしろ結晶のカット角依存によるものであると考えられる。

4．宇野らは，ATカット水晶板にCr等の金属薄膜を形成し，薄膜形成部にレーザ照射を施すことにより薄膜直下にx軸反転領域を形成する技術を適用し，弾性波デバイスの集積化に関する実験的検討を行った。

図3に示す集積化フィルタアレーを作製した。これは1枚のAT基板上に，弾性振動を分離するための壁となる十字の結晶軸反転領域を形成し，4つのMCFを集積化したサンプルである。分離のために用いた反転領域の幅は500μm(基板厚さの約3倍程度)である。4つのMCFは結晶軸反転領域によって弾性的な結合を分離されるため，個々独立のMCFとして機能することが期待できる。各MCFの通過帯域の中心周波数をわずかに変化させることにより，4つのMCFが独立した特性を示す。同一基板上の4個のMCFを並列接続して測定した結果を図4に示す。フィルタ#1～#4の挿入損失のばらつきが非常に大きいため，応答レベルの差が顕著であるが，4個のフィルタの特性が現れ，集積化フィルタアレーとして機能することが実験的に確認された。

今後は反転領域の細線化，微小化に関する検討を進めつつ，集積化デバイスのマスプロダクトを実現するためのプロセスについても検討する予定である。

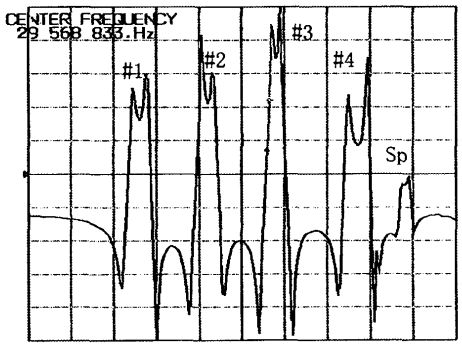


図4．MCFアレーの励振結果（span 150kHz，5dB/div）

(3-2)波及効果と発展性

本年度の研究により，圧電結晶のドメイン形成についていくつかの重要な成果が得られた。特に非常に大きな圧電性を持つ$KNbO_3$結晶のドメイン構造の解明が大幅に進んだ。これらの成果は，最近注目されているエンジニアド・ドメイン構造研究に新たな領域を形成するものと予想される。また，反転ドメインを利用したハーモニックイメージング用超音波トランスデューサは今後の実用化が大いに期待される。

[4]成果資料

(1) 中村: 日本音響学会誌, **56**, 8, pp579-584 (2000)
(2) K. Nakamura, Y. Kawamura: IEEE Trans. on UFFC, **47**, 3, pp750-755(2000)
(3) K. Nakamura, T. Tokiwa and Y. Kawamura: Proc. 12th IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics (ISAF 2000), (2000)
(4) S. Saito, K. Ohshika, Y. Kotani, Y. Kunihiro, K. Nakamura, K. Ishikawa: Proc. Seventh Western Pacific Regional Acoustics Conference, pp1289-1294, (2000)
(5) K. Yamada, D. Yamazaki, and K. Nakamura: Jpn. J. Appl. Phys., **40**, pp. L49-L52, (2000)
(6) J. Kushibiki, T. Okuzawa, J. Hirohashi, and Y. Ohashi: J. APPL. PHYS., **87**, 9, pp4395-4403 (2000)
(7) J. kushibiki and M. Miyashita: J. APPL. PHYS., **87**, 4, pp2017-2024, (2001)
(8) 野毛，栗田，宇野: 日本学術振興会弾性波素子技術第150委員会第71回研究会資料, pp53-56, (2001)
(9) S. Noge and T. Uno: Jpn. J. Appl. Phys. , **39**, pp3056-3059 (2000)

課題番号　H12/A08

超大容量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：
○共同研究者所属氏名
杉田　　愃（東北工業大学電子工学科）
大沢　　寿（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）
村岡　裕明（東北大学電気通信研所）
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）
山川　清志（秋田県高度技術研究所）
伊勢　和幸（秋田県高度技術研究所）
沼澤　潤二（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）
内田　　博（日本アイビーエム）
松崎　幹男（ＴＤＫ）
高野　研一（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）
竹尾　昭彦（東芝）

研究費：校費448千円，旅費1,985千円

[2] 研究経過

磁気記録研究は，材料やデバイスの議論から，信号処理やシステムの検討まで幅広い領域を含むので，本共同研究では参加研究者の研究分担をヘッドディスク系のデバイス研究と信号処理系の方式研究の二つに大きく分けている。今年度は、垂直磁気記録国際会議を開催される年に当たり，本共同研究メンバーが招待講演者および座長を多数務めて大きな貢献があった。また，日立製作所中央研究所，東北大学電気通信研究所，秋田県高度技術研究所の3者による50ギガビット毎平方インチ以上の高密度記録デモをカナダで開催された国際応用磁気会議で報告し，その後も東芝を含めて実用性の高い研究成果を世界に発表している。その意味で大きな発展のための成果を収め始めていると期待される。

研究集会は4回を開催して最新の研究結果を持ちより議論を重ねた。開催日程は以下の通りである。

研究集会
第1回　　9月27日（水）
第2回　　12月4日（月）
第3回　　1月25日（木）
第4回　　3月1日（木）

[3] 成果

(3-1)　研究成果

本研究は本所提案の高密度垂直磁気記録方式を中心に，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て進めた。

本年度は以下に示す成果を得た。

(1)　垂直磁気記録によるプロトタイピングの検討

垂直磁気記録は優れた記録特性が数々のデータで示されてきたが，未だに実用性の高いデバイスと評価方法による検討がもとめられていた。本プロジェクトでは，すでにエラーレートを測定し垂直磁気記録を実用的な装置環境で用いることができることを実証したが，その記録密度は必ずしも従来装置を大きく凌駕するものではなかった。本年度はこの点で大きな進捗があった。以下に記載する研究成果は，デバイス試作と記録再生特性評価を日立製作所中央研究所が担当し，記録再生理論とデバイス基本構造の提供を東北大が，ヘッドディスク系の実際的な改良を秋田県高度技術研究所が担当したものである。

まず二層膜媒体を低ノイズ磁気ディスクとしての完成度を高めて達成記録密度の向上を図った。特に，熱磁気緩和現象による信号減衰が小さいことが必須であり，磁気異方性を大きく保ちながら粒子の微細化と磁気分離を促進した。もう一つのキイデバイスである単磁極型記録ヘッドについても，ヘッド構造を工夫して従来の作製プロセスを

適用できるようにし，狭ギャップＧＭＲ再生ヘッドとマージした実用磁気ヘッドを試作した。これらの新デバイスに加えて，信号処理系も垂直磁気記録に適したものを開発して記録再生特性の評価を実施したところ，50Gbits/inch^{2}を越える高い面密度で十分なエラーレートを確保できることを示して，垂直磁気記録の高密度記録再生能力を実証した。その後，さらにデバイスに改良を加えることで面密度を63Gbits/inch^{2}に向上させている。

なお，同じく本共同研究のメンバーである東芝では，ヘッドとディスクを実機ドライブに組み込んで検討をしており，さらに実用性の高い成果を得つつある。ディスクに磁気分離を促進した高異方性材料を採用し，ディスクの軟磁性裏打ち層における磁壁ノイズの抑圧に成功している。

これまで，実用デバイスがないために，実際的な問題点の抽出には取り掛かれなかったが，これらの成果は次年度以降での研究の新たな糸口を与えるものとして期待される。

(2) 垂直磁気記録の媒体ノイズの記録条件依存性の検討

垂直磁気記録のエラーレート測定からエラーレート制限要因は媒体ノイズであることが明らかになっており，緊急の課題の一つに媒体ノイズの低減がある。昨年度までの検討から垂直磁気記録媒体では媒体中の磁気単位が大きいために生じる転移性のノイズが顕著であり，この微細化が対策となることを明らかにしている。

本年度はこの転移ノイズに対してヘッドの記録磁界分布の影響が無視できないことを実験的に明らかにした。媒体ノイズは基本的には記録媒体の微細磁気構造とマイクロマグネティックスに関わる問題であるが，いくつかの反転磁界強度の近い粒子がまとまって磁化反転し，粒子サイズよりも大きな磁気単位を形成していると予測している。記録時のヘッド磁界傾斜が急峻であればより小さな反転磁界でも分離して小さな磁気単位が実現できるはずであり，実際に記録ヘッド磁界傾斜の大きな条件では，転移の乱れに対応する再生信号のジッタが小さくなった。これは媒体の改良と併せて，記録ヘッド磁界も信号ＳＮ比の改善に重要な因子であることを見出している。

(3) 垂直磁気ヘッドの研究

垂直磁気記録用単磁極ヘッドは，すでに薄膜型単磁極ヘッドを東北大から提案済みであるが，秋田県高度技術研究所と東北大学を中心にこれを改良する研究に取り組んでいる。昨年度までに，記録能力や分解能などでは成果を得ているが，単磁極ヘッドの実用上の課題の一つに外部磁界によって記録ビットに擾乱を与える点が指摘されており，解決しなくてはならない点であった。

本ヘッド構造は２つのパンケーキタイプの薄膜励磁コイルを具備するとともに，この主磁極・コイル部の両サイドに軟磁性膜磁束リターンを２つ配置している点に特長がある。励磁磁束は互いに逆極性に接続された２つのコイルによりいわゆるカスプ型の励磁磁界を発生して主磁極を効率的に磁化する構造である。本試作ヘッドについて，直流磁界を印加しながら記録磁化の減磁を測定したところ，測定範囲である20［Oe］程度までの磁界でも記録磁化が安定であり，従来よりも大きく向上することが確かめられた。これまで外部磁界による擾乱は主磁極部分での裏打ち層との磁気的相互作用により，外部磁界が媒体記録層内部で1000［Oe］程度にまで強調されてしまうことを計算機シミュレーションで明らかにしている。本ヘッドは記録に関与する主磁極に作用する外部磁界をリターンポールがバイパスする効果により改善が図られている。

(4) 垂直磁気記録媒体の研究

最近の高密度媒体の重要な高密度制限因子は記録磁化の熱緩和現象による減磁である。垂直磁気記録はこの減磁が小さいことが期待されており，十分な性能を示すことが必須である。昨年度までにも記録層の磁気特性と減磁の関連を明らかにしてきたが，本年度は本質的な材料定数である磁気異方性について十分なＳＮ比が保証されると考えられる10ｎｍ程度の粒子サイズで具体的な目標値を得ることを試みた。

まず，残留保磁力の印加磁界角度依存性からc軸の角度分散による影響を見積もり，熱擾乱による低下と併せて考えることにより，熱緩和の指標であるKuV/kTを80程度の値となる場合に，材料が持つ固有の異方性磁界の1/3程度が実際的な材料で実現できる残留保磁力値になることが分った。

さらに最大の減磁界4πが働く場合でも，安定性を確保する条件である角形比を１にするためには，異方性エネルギーが$2\pi Ms^2$となる材料系を選択する必要があることを示した。

さらに，CGCと呼ぶ交換結合磁性膜を用いる新たな媒体構造を提案し，超高密度記録の可能性を検討している。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトの成果はすでに国際的な垂直磁気記録研究への注目として現れている。特に米国では大きな反響であり，主要な装置メーカーが再び研究を再開している模様である。今後はさらに実用的な研究により実用化のための貢献が必要である。また，一方では垂直磁気記録には超高密度記録の期待が高く近未来の目標を超えて可能性を明らかにしておく必要がある。このための産学共同研究の場として本プロジェクトは重要な位置付けにあると考えている。

ここでの成果を基礎にして，平成11年度より開始された大型プロジェクト「日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業」も本プロジェクト代表者中村慶久教授を中心とする研究組織で研究が開始され，開始から2年を経過している。この面でも着実な研究による成果が求められている。

[4] 研究成果

(1) Y. Nakamura, "Analytical model for estimation of isolated transition width in perpendicular magnetic recording", J. Appl. Phys.,Vol. 87, No. 9, pp.4993-4995, 2000.

(2) S. J. Greaves, H. Muraoka, Y. Sugita, and Y. Nakamura, "High frequency effects in perpendicular recording media", J. Appl. Phys., Vol. 87, No. 9, pp.4990-4992, 2000.

(3) K.Ise, K.Yamakawa, K.Ouchi, H. Muraoka, Y.Nakamura, "High Writing-Sensitivity Single-Pole Head with a Cusp Field Coil", IEEE Trans. Magn., Vol. 36, 2000 (in press)

(4) T. Shimatsu, et al., "Experimental and Theoretical Analysis of Rotational Hystereses Loss in CoCrTa Perpendicular Recording Media", IEEE Trans. Magn., 36, 2375-2377, 2000.

(5) T. Shimatsu, H. Komagome, I. Watanabe, H. Muraoka, Y. Sugita, Y. Nakamura, "Effect of a Ti seed layer on the magnetic properties of CoCrTa double-layered perpendicular media",, J. Appl. Phys., 87, 6367-6369, 2000.

(6) 島津武仁, 駒込博泰, 村松孝一, 渡辺 功, 村岡裕明, 杉田 愃, 中村慶久 "CoCrTa垂直磁気記録媒体の磁化の熱擾乱と磁気特性", 日本応用磁気学会誌, 24, 4-2, 239-242, 2000.

(7) 駒込博泰, 島津武仁, 吉田亮一, 渡辺 功, 村岡裕明, 杉田 愃, 中村慶久, "CoCrTa/Ti/M (M:CoZrNb, Fe, Co)垂直二層膜媒体の磁気特性と記録再生特性",日本応用磁気学会誌, 24, 4-2, 243-246, 2000.

(8) 中村慶久, "20世紀の映像記録技術の進展", 映情メディア誌, 54, 10,1364-1370, 2000.

(9) Y. Okamoto, H. Sumiyoshi, M. Akamatsu, H. Osawa, H. Saito, H. Muraoka, and Y. Nakamura "A Study on PRML Systems for Perpendicular Recording Using Double Layered Medium", IEEE Trans. Magn., 36, 2164-2166, 2000.

(10) 中川 健, 村岡裕明, 杉田 愃, 中村慶久 "PR等化における垂直磁気記録のノイズ特性, 日本応用磁気学会誌, 24,4-2,227-230, 2000.

(11) 三浦健司, 村岡裕明, 杉田 愃, 中村慶久 "垂直二層膜媒体の時間軸ノイズ解析, 日本応用磁気学会誌, 24, 4-2, 231-234, 2000.

(12) 片田裕之, 島津武仁, 渡辺 功, 村岡裕明, 中村慶久, 杉田 愃, "数nm膜厚のパーマロイ薄膜の誘導磁気異方性,日本応用磁気学会誌, 24, 4-2, 539-542, 2000.

(13) H. Katada, T. Shimatsu, I. Watanabe, H. Muraoka, Y. Nakamura, "Induced Uniaxial Magnetic Anisotropy Field in Very Thin NiFe and CoZrNb Films," IEEE Trans. Magn., 36, 5, 2905-2908, 2000

共同プロジェクト研究

課題番号　H12/A09

脳型計算機の構築と人間機械対話環境の実現のための基礎研究

[1]　組織

代表者：矢内　浩文（茨城大学工学部）
責任者：中島　康治（東北大学電気通信研究所）
分担者：沢田　康次（東北大学電気通信研究所）
矢野　雅文（東北大学電気通信研究所）
佐野　雅巳（東京大学大学院理学研究科）
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）
山崎　義武（東北大学工学部）
合原　一幸（東京大学大学院工学系研究科）
岡部　洋一（東京大学先端科学技術研究センター）
和久屋　寛（佐賀大学理工学部）
阿江　　忠（広島大学工学部）
八木　哲也（九州工業大学情報工学部）
島　　健（神奈川大学工学部）
近藤　由和（三菱電機先端技術総合研究所）
岩田　　穆（広島大学工学部）
森江　　隆（広島大学工学部）
平井　有三（筑波大学電子・情報工学系）
米津　宏雄（豊橋技術科学大学電気・電子系）
臼井　支朗（豊橋技術科学大学電気・電子系）
北嶋　龍雄（山形大学工学部）
田中　　敦（山形大学総合情報処理センター）
大森　隆司（北海道大学大学院工学研究科）
斎藤　利通（法政大学工学部）

[2] 研究経過

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）の可能性の理論的検討を行い，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ース）実現のための基礎研究を行っている。これまでの実験的および理論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さまざま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。

研究は，(A)脳機能の研究，(B)モデル研究，(C)超知的集積回路の試作，(D)人間機械環境の研究，に分類される。(A)には，脳の神経生理学的研究，脳の生体情報工学的研究が含まれる。(B)には脳の代表的組織であるニューロンとシナプスを抽象化して構成し，情報工学的に研究する。また，デジタルとアナログ，活性感受性と時間感受性，そしてそれらが複合したシステムのモデルを研究すると共に，その集積化実現のための研究を行う。(C)は(B)の知見を活かして生体方式超知的集積回路の試作研究を行う。そして(D)では(A)～(C)を人間と機械の共存する環境（例：ヒューマンインターフェース）に適用するための基礎研究を行う。(B)および(C)では「超高密度・高速知能システム実験施設」を利用する。

本プロジェクトは，本年度が初年度であり，個々の研究の紹介を行うと同時に，研究者間の幅広くしかも深く掘り下げた議論を通して，各分野の研究の有機的な結合を達成し，より深い研究成果につなげるために，平成12年12月25(月)，26(火)に東北大学電気通信研究所において学術研究集会を開催した。そのプログラムを以下に記載する。

－プログラム－

12月25日（月）

○「海馬顆粒細胞におけるシナプス入力惹起カルシウム濃度変化の長期増強」
小沢雅人・片山統裕・中尾光之・山本光璋（東北大）

○「神経回路網モデルにおける学習と想起のダイナミックス---学習則のモジュレーション---」
北嶋龍雄（山形大）・原健一（石巻専修大）

○「パルス結合弛張発振回路の同期現象について」
斉藤利通（法政大）

○「動き検出機能の集積回路化---方向選択性を有する動き検出細胞と物体の接近情報の生成---」
米津宏雄（豊橋技術科学大）

○「パルス変調方式VLSIによる自然画像認識シス

テム」
森江隆（広島大）
○「多入力多数決回路の集積化とその応用」
鈴木康介，佐藤茂雄，中島康治（東北大）
○「非単調ニューラルネットワークの集積化」
金城光永，佐藤茂雄，中島康治（東北大）
12月26日（火）
○「脳型計算モデルによる理解可能性と離散計算モデルにおける可解性について」
阿江忠・荒木宏行（広島大）
○「最適問題と脳型計算機---デモを含めて---」
田中衛（上智大）
○「イベント駆動型内部処理仮説にもとづく語彙獲得加速過程のモデル化」
大森隆司（北海道大）
○「脳型計算機と人間機械対話環境」
矢内浩文（茨城大）

さらに平成13年3月8日(木)に以下3件の講演会を開催した。

○「脳とヒューマンインターフェイス」
矢内浩文（茨城大）
○「視覚ターゲット追従時の手の先行運動」
石田文彦（東北大学）
○「プリズム適応のメカニズム」
阪口豊（電気通信大学）

[3] 研究成果

上記の学術研究集会と講演会を開催し，研究者間の幅広くしかも深く掘り下げた議論を通して，各分野の研究の有機的な結合を達成し，より深い研究成果につなげる努力を行った。個々の成果の例としては次に代表的ものの概要を述べる。○ニューロンの細胞内カルシウムイオンは，さまざま細胞内過程の調節・制御に関与している。本研究では，レーザー走査顕微鏡を用いたカルシウム蛍光イメージング方により，海馬スライス標本内歯状回顆粒細胞において，貫通枝へのバースト刺激によって惹起される細胞内カルシウム濃度変化（Δ[Ca]I）を測定した。その結果，テタヌス刺激により，Δ[Ca]Iが約1時間にわたって増強される現象が見出された。顆粒細胞のΔ[Ca]Iがその活動電位発生と相関しているという知見を考慮すると，この結果は，テタヌス刺激によって貫通枝シナプスの長期増強現象が生じたことを反映しているものと考えられる。○時変発火ベースを有するスパイク発振回路を紹介し，同回路が多彩な分岐現象やカオスを呈することを示した。次に，この発振回路でパルス結合ネットワークを構成し，それが呈する興味ある同期現象を分類し，その基本発生メカニズムを示した。この研究は”電子回路の呈する同期現象の分類と認識”という重要な問題へのひとつのアプローチであり，新しい人工ニューラルネット構成への応用が可能である。○複数の人の顔が含まれる自然な情景画像から，おおまかな領域を抽出し，そのうちの顔領域を認識する集積システムの研究を行った。大まかな領域を抽出する技術としては，細かい領域を潰し大局的なエッジを残す抵抗ヒューズネットワークを用いる。また，顔などの認識のための特徴抽出技術として，人の視覚系でも使われていると言われているガボールウェーブレット変換を用いる。これらは計算量が膨大なので，通常のソフトウェアではリアルタイム処理が困難である。一方，これらの処理は，画素に対応する処理ユニットを隣接結合したネットワークモデル(セルラーニューラルネットワーク;CNN)で効率的に実行できることが知られている。独自に開発したパルス変調方式VLSIアーキテクチャを用い，任意の変換関数を有するCNNセル回路を設計し，それを用いて抵抗ヒューズネットワークとガボールウェーブレット変換回路を設計・試作し，基本機能を確認した。○多数決論理はフォールトトレラントシステムやニューラルネットワークなどにおける基本原理である。また，多数決回路は様々な情報処理に効率よく用いることにより諸性能の向上を期待することができる。バイナリの電圧モードで簡単に動作する2つの多数決回路を設計し，そのシミュレーション結果の比較をすることによってその特徴を調べ，その結果からそれぞれの用途に最適な多数決回路を検討した。また，実際に2つの多数決回路のチップの製作を行い，その動作を確認した。○離散計算モデルの代表であるチューリングマシンには可解性（決定可能性）という問題があり，チューリングマシンに問題を入力したとき，（停止して）解を出力出来るかどうかは一般的には保証されない。脳型計算モデル，連続すなわち実数の上のモデルは（離散モデルである）チューリングマシンを超えるが，チューリングマシンでは非可解（決定不能）な問題が連続モデルでは可解（決定可能）であり得るか，という問題が提起された。この問題については連続モデルの研究者からの議論（Dubois et al.）のみで，離散計算モデルの研究者は（ほとんど）無関心なのが現状である。そこで，まず問題点を整理して両者の関係が説明可能なものを述べたのち，未解決な問題を要約した。興味深い予想として，２つのシステム（モデル）が等価かどうか（等価性決定問題）が，脳型計算モデルの場合，精度の良い近似解を得るアルゴリズムが存在するか

も知れないことである。○実世界で機能するグラウンドされたシンボル様処理を実現するために，幼児の知能発達過程をモデル化し，それをニューラルネットで実現する戦略について議論した。これまでの議論から，五歳児程度までの知能が実現できるのではないかと期待できる。○脳は環境と相互作用することではじめて意味のある情報処理をすることができる。その意味で，脳←→身体←→HI（ヒューマンインターフェイス）という相互の作用を調べることは，脳の理解に有効な方法であろう。"Human" インターフェイスをローマ字読みすれば「不満」インターフェイスとなるが，現状はこの表現があてはまることは多いその「不満」は脳の期待と現実の食い違いを反映しているから，脳の情報処理方針を探る素材として用いる意義があるだろう。この方向の研究の入り口として，人にとって負担の大きな作業である携帯電話への文字入力の過程を分析した。○脳の高次機能の一つと考えられる先読み機能を定量的に解明するため，運動する視覚ターゲットを追従する手の運動に関する心理物理実験を行った。視覚ターゲットの運動として，振幅一定の単振動を用いた場合，手の運動は，入力信号に対し先行する傾向にあった。ターゲットの運動が変化した場合，変化前の手の運動の先行度と変化後の運動誤差には相関があり，ある先行度の値で運動誤差は最小値をとった。この先行度の値は，先行度の分布のピーク値におおよそ一致した。この結果から，ターゲットの運動が予期しない変化をするとき，誤差を減らすように脳が手の運動を先行させていると考えられる。○プリズム適応現象は，脳の運動学習メカニズムを探る題材として広く用いられている。この学習過程は従来，教師あり学習の枠組みで捉えられてきたが，強化学習と教師あり学習を組み合わせた新しい学習モデルに基づいて，プリズム適応過程での被験者の振舞いを説明することを試みた。このモデルは，「文脈切替え」と「内部モデルの信頼度」という二つの概念を用いることにより，ゆっくりとした環境変化に対する連続的な追随と，急激な環境変化に対する動作の切替えという二つの機能を実現している。

[4] 成果資料

(1) 矢内浩文，春原健一，" 携帯電話へのひらがな入力過程の分析とより効率の高い設計あるいは方式の検討"，シンポジウム「ケータイ・カーナビ利用性と人間工学」，pp.71-74 (2001)

(2) Naoyuki SATO and Masafumi Yano, "A model of binocular stereopsis including a global consistency constraint", Biological Cybernetics, 82, pp.357-371 (2000)

(3) Shin'ichiro Kanoh, Makoto Imai, Ryoko Futami, Nozomu Hoshimiya, "VLSI Implementation of Hardware Neuron Model Based on CMOS Negative Resistance ～Layout Design and Model Improvement ～, Proc. of the Seventh Int. Conf. on Neural Information Processing, pp.607-612 (2000)

(4) T. Kodama, Y. Honda, M. Nakao, S. Sato, M. Yamamoto, "Relative power contributions of unit discharges simultaneously recorded in the mesencephalic reticular formation", Psych. and Clin. Neurosci., 54, pp.265-267 (2000)

(5) Takashi Kanamaru and Yoichi Okabe, "Associative memory retrieval induced by fluctuations in a pulsed neural network", Physical Review E, 62, pp.2629-2635 (2000)

(6) Hiroshi Wakuya and Jacek M. Zurada, "Time series prediction by a neural network model based on the bi-directional computation style" Proc. of the IEEE-INNS-ENNS International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'2000), 2, pp.225-230 (2000)

(7) Tadashi Ae, Hiroyuki Araki, Keiichi Sakai, "Automaton-Based Anticipatory System", Int. Journal of Computing Anticipatory Systems, 6, pp.67-74 (2000)

(8) T.Morie, M.Miyake, S.Nishijima, M.Nagata and A.Iwata, "A Multi-Functional Cellular Neural Network Circuit Using Pulse Modulation Signals for Image Recognition", Proc. 7th Int. Conf. on Neural Information Processing, pp. 613-617 (2000)

(9) Y. Hiraiand K. Nishizawa, "Hardware implementation of a PCA learning network by an asynchrounous PDM digital circuit." Proc. of the Int. Joint Conf. on Neural Networks 2000 (IJCNN2000), (2000)

(10) S. Usui, Y.Arai, and S.Nakauchi, "Neural networks for device-independent digital color imaging, Information Science, 123.pp.115-125 (2000)

(11) T.Kitajima, K.Hara, "A generalized Hebbian rule for activity-dependent synaptic modifications", Neural Networks, 13, pp.445-454 (2000)

(12) T.Omori, T.Shimotomai, "Simulation of Human Language Acquisition Process by Brain Like Memory System, Proc. of ICONIP-2000, pp.428-433 (2000)

(13) K.Mitsubori and T.Saito, "Mutually Pulse-coupled Chaotic Circuits by using Dependent Switched Capacitors, IEEE Trans. CAS-I, 47, 10, pp.1469-1478 (2000)

課題番号　H12/A10

仮想現実環境のための音空間伝送・再生技術に関する研究

[1] 組織

代表者：高根昭一（秋田県立大学システム科学技術学部）
通研対応教官：鈴木陽一（東北大学電気通信研究所）
分担者：浅野　太（電子技術総合研究所）
　　宮島　徹（清水建設技術研究所）
　　岩谷幸雄（秋田大学工学資源学部）
　　西村竜一（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費426千円，旅費680千円

[2] 研究経過

我々が普段行っている高度なコミュニケーションを，インターネットに代表される通信インフラを通じて仮想的に実現することを指向した研究が近年多く行われている。しかし，ヒトとのインタフェースの役割を果たすヒューマンインタフェースデバイス，それを制御するための制御装置，および伝送する信号を処理するためのコンピュータの信号処理能力などの制約を受けているのが現状である。また，ヒトが感覚系を通じて知覚する臨場感といった高度な情報のコミュニケーションを行う技術は十分に確立されているとはいえない。特に，音に関しては，ヒトの知覚において画像と並び最も重要な役割を果たすメディアであるにもかかわらず，このような技術に関する研究は遅れていると言わざるを得ない。

以上のことから，本研究では，音というメディアにおける高度なコミュニケーションを，情報ネットワークを通じて実現するための技術を大きな目的とする。特に，本研究では，ヒトが音を通じて知覚する空間的な情報を伝送・再生するための技術について重点的に検討するべく，企画されたものである。

平成12年度は，本研究の第一年度であった。本年度は，人間が音を通じて知覚する空間的な情報を伝送・再生する手法を検討する際の基礎を固めることを目指し，音場の物理的な特性を解析・制御するための技術について検討を行った。また，音を通じた空間的な情報の知覚に重要な役割を果たすと考えられる両耳音圧を，音の波動性を考慮して精密に再生することが可能で，なおかつ聴取者の頭部移動による両耳音圧の動的な変化にも追従可能な，新しい聴覚ディスプレイの実現に向けた検討を行った。加えて，このようなシステムで音像の方向を制御する際に重要となる，聴取者の頭部回転の影響を考察した。さらに，必要となる頭部伝達関数を，情報伝送に適したかたちに効率よく圧縮し，符号化する手法について考察を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

反射音抑圧を実現するためのアクティブコントロール手法の考案

音場の物理的な特性を解析し，その特性を制御するための技術について考察を行った。本研究では，室内の音場に存在する不要な反射音を抑圧する手法について，制御対象とする音場の性質に着目した考察を行った。室内音場における反射音は，音の響きをサポートするという意味において，コンサートホールなど，音響的配慮を必要とする空間において重要な要因である。しかし，その一方で，音源から直接到来する音に比べ，同等あるいは大きな反射音の存在は，室内音場における音の響きの主観的印象を悪化させることが知られている。仮想的に，あるいは現実に存在する空間において不必要な反射音を取り除き，知覚上好ましい音空間を創成する技術を確立することは，バーチャルリアリティへの応用を考える上で，極めて重要である。

本年度は，そのための基礎的検討として，反射音を完全に抑圧することを目指した手法を考察した。その結果，2つの手法を考案するに至った。

一つは，音場の幾何的形状および境界条件を（有限要素法などの手法を用いて）離散化し，モデル化される音場における音圧およびその時間微分を状態変数として，現代制御理論の適用により，特定の壁面からの反射音を抑圧するための制御則を導くものである。本手法を一次元音場に適用した結果，高い抑圧が実現されることが示された。また，2次元音場においても，反射音のエネルギを吸収できる可能性が示された。

もう一つの手法は，Kirchhoff-Helmholtzの境界積分方程式から導かれる性質をもとに，対象となる

音場を，無響音場に等化するというものである。2次元音場におけるコンピュータシミュレーションの結果，高い反射音抑圧効果があることが示された。

高精度聴覚ディスプレイの開発

本研究グループでは，音を通じた空間的な情報の知覚に重要な役割を果たすと考えられる両耳音圧を，音の波動性を考慮して精密に再生することが可能で，なおかつ聴取者の頭部移動による両耳音圧の動的な変化にも追従可能な，新しい聴覚ディスプレイを提案し，その有効性を，理論的な検討を通じて示してきた。本手法は，聴取者を中心とした任意の大きさの球形の境界を仮想的に設定し，それによって，室内における音源から両耳までの音響伝達系を，頭部伝達関数と室内伝達関数に分けることから，仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイと呼んでいる。

本研究においても，仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイについて，引き続き両耳音圧の再生精度の検討を行った。簡単化のため，聴取者の頭部を音響的に剛な球と仮定し，自由空間における任意位置の音源からの伝達特性の再生を試みたところ，現実的な再生条件で，-20～-30 dB程度の誤差レベルとで再生できることが明らかとなった。

さらに，聴覚ディスプレイを構築する際に重要となる，聴取者の頭部回転の影響を，リアルタイム処理の観点から考察した。具体的には，聴取者の頭部回転による音源から両耳までの音響伝達系の動的変化を，どの程度の時間遅れで補償するべきかを，聴取実験をとおして検討した。その結果，100 ms程度の遅延時間で，実音源によって生じる両耳音圧との間に差が生じはじめることや，音源信号に含まれる周波数成分によって，頭部回転による音像方向の知覚改善の程度には差があることが明らかとなった。

全方向の頭部伝達関数の効率的符号化

上述のような聴覚ディスプレイを構築する際には，聴取者の頭部や胴体形状の音響伝達系への影響を表すものとして，頭部伝達関数が必要となる。任意位置にある音源によって生じる音場を再生することを考えれば，頭部伝達関数は，聴取者を取り囲む全方向からのものが必要となる。これらを，聴覚ディスプレイシステムにおいて精密に用いるのは，膨大な情報量を必要とし，聴取者の頭部回転による系の変化に追従するためにも，大きな障害となる。これは，当然ながら，音に含まれる空間的な情報の精密な伝送においても大きな問題である。このことから，本研究では，全方向の頭部伝達関数を，その精度を大きく悪化させることなく，かつ効率的に符号化する手法について検討を行った。

具体的には，羽田らによる先行研究で有効性が示されている共通極・零モデルを，全方向の頭部伝達関数の符号化に用いた。共通極・零モデルは，複数の伝達関数の群を，群の中で共通な極と，その群の特定のパラメータに依存する零点でモデル化するものである。頭部伝達関数における極は，両耳の外耳道および耳介などによる共振で主に説明ができると考えられ，共通極・零モデルの性質によく妥当すると考えられる。本研究では，共通極・零モデルによって頭部伝達関数をモデル化するだけではなく，それを測定されていない方向の頭部伝達関数の補間に用いたときの精度についても考察を行った。その結果，角度ごとの頭部伝達関数を単純にFIRフィルタで近似した場合に比べて，同等あるいはそれ以上の補間精度を実現しながら，頭部伝達関数のモデル化に用いるパラメータを数十分の一に圧縮できることを示した。

また，この検討の過程でデータベース化された全方向の頭部伝達関数を，WWW上で公開するに至った（ただし，利用制限あり）。
http://www.ais.riec.tohoku.ac.jp/lab/db-hrtf/ で公開されている。

(3-2) 波及効果と発展性

本年度は，音場の物理特性を制御するための方法として，室内音場に存在する反射音を抑圧する手法について検討し，新たな手法を考案するに至った。また，我々が提案する仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイの理論的な解析および再生精度の検証を行った。さらに，聴取者を取り囲む全方向の頭部伝達関数を効率的に符号化する手法について考察し，共通極・零モデルに基づいて，効率的に圧縮・符号化できることを示した。これらの手法は，音を通じた高度なバーチャルリアリティを実現する上で，重要な基礎技術として波及するものと考える。

本年度の成果に基づき，仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイをリアルタイム動作するシステムとして実現するとともに，ヒトの聴覚特性をより反映した頭部伝達関数の符号化および聴覚ディスプレイの構成法へと発展させ，ヒトが音を通じて知覚する空間的な情報の量と，システムで考慮すべき情報量を比較することが必要であろう。ま

た，頭部伝達関数を，測定によらず，数値的に推定する手法についても，考察の必要があると考えている。室内音場における反射音の抑圧にとどまらず，任意の音場を生成するための技術へ発展させる予定である。

[4] 成果資料

1. 高根昭一，鈴木陽一，宮島徹，曽根敏夫，“仮想球モデルに基づくバイノーラル聴覚ディスプレイの精度に関する検討,” 日本音響学会講演論文集，411-412(2000.9).
2. Shouichi Takane, Yôiti Suzuki, Tohru Miyajima and Toshio Sone, “Analysis of accuracy of sound reproduction by using binaural auditory display base on the virtual sphere model,” Proc. 7th Western Pacific Regional Acoustics Conference, 1, 301-304(2000).
3. 高根昭一，曽根敏夫，“Kirchhoff-Helmholtzの積分方程式に基づく室内音場の無響化のための一手法,” 日本音響学会講演論文集，527-528(2001.3).
4. 渡邉貫治，高根昭一，鈴木陽一，“共通極・零モデルに基づく頭部伝達関数の補間手法に関する検討,” 日本音響学会講演論文集，629-630(2001.3).
5. 高根昭一，新井大輔，宮島徹，渡邉貫治，鈴木陽一，曽根敏夫，“上半球における全方向の頭部伝達関数のデータベース,” 日本音響学会講演論文集，633-634(2001.3)
6. Hironobu Takahashi, Y^oiti Suzuki, Shouichi Takane and Futoshi Asano, “Active control of sound intensity for suppression of reflected sound waves based on the state feedback control,” IEICE Trans. on Fundamentals, E84-A(4), 1017-1025(2001).

共同プロジェクト研究

課題番号　H12/A11

ネットワーク協調型３次元仮想ユーザビリティラボに関する研究

[1] 組織

代表者：今宮　淳美（山梨大学工学部）
通研対応教官：白鳥　則郎（東北大学電気通信研究所）
分担者：
鈴木　陽一（東北大学電気通信研究所）
木下　哲男（東北大学電気通信研究所）
小澤　賢司（山梨大学工学部）
寺田　信幸（山梨医科大学情報処理センター）
安藤　英俊（山梨大学総合情報処理センター）
菅沼　拓夫（東北大学電気通信研究所）
郷　健太郎（山梨大学工学部）
研究費：校費44万4千円，旅費51万5千円

[2] 研究経過

インターネットに代表される近年の情報通信技術の進展に伴い，以前は専門家だけが利用していたネットワークを，専門的知識を持たない一般ユーザが利用するようになってきている。このような一般ユーザに対して易しく使いやすい情報システムを設計するためには，既存のシステム，あるいは開発中のシステムのプロトタイプを，定量的・定性的に利用試験し，そのシステムのユーザビリティ（システムに対するユーザの，学習しやすさ，利用効率の良さ，思い出しやすさ，エラーの少なさ，主観的な好み）を評価することが必要である。ユーザビリティラボとは，このような対話型の情報システムのユーザビリティを試験・評価するために使われる実験設備である。

本研究の目的は，ユーザビリティラボを，情報ネットワーク上に実現されたサイバースペース中に構築することにある。特に，人間の持つ多様なモダリティを評価材料とするため，視線・身振り・音声といったデータを，ネットワークを通して獲得できる環境を開発する。そして，ネットワークを介した協調作業における，システムの本質的な使いやすさに影響する主要因の解明を試みる。本プロジェクトは，本年度が初年度にあたるので，上記目的の達成へ向けて，プロジェクト全体の方向性の明確化と基本要素技術の確立を中心に，研究活動を展開した。
以下，本年度の研究活動状況の概要を記す。

[視線・身振り情報の伝達技術を利用したユーザビリティの評価支援]
（今宮，白鳥，木下，菅沼，郷）

ユーザビリティの観測・評価者の分析支援システムとして，視線・身振り情報を組み入れた３次元仮想空間を構築する。仮想空間内には，試験室の仮想モデルが構築されているため，実験の準備や実験後の分析作業が，あたかも試験室内に観測・評価者がいるかのように実行できる。また仮想空間内では，観測・評価者が時間的・空間的に制約されることなく計測データにアクセスできる。この機能の実現のため，大量の高画質ビデオ画像を対象とした観測データベースの構築をおこなう。

本分析支援システムの構築のため，以下の研究打ち合わせをおこなった。

(1)　仮想実験室の設計会議
日時（場所）：７月12日～13日（東北大学）
１．分析支援システム実現に関するネットワーク要素　白鳥則郎（東北大学）
２．山梨大学におけるネットワーク環境の現状と今後の見通し　郷健太郎（山梨大学）
３．仮想実験室の分散的構築について　菅沼拓夫（東北大学）

仮想実験室はネットワーク上の3次元仮想空間として実現される予定である。この仮想空間のモデルを決定し，あわせてネットワーク上の技術的問題点を明らかにするために，下記の2つの研究打ち合わせをおこなった。

(2)　３次元仮想空間モデルの設計会議
日時（場所）：８月16日（東北大学）
１．３次元仮想空間の設計と実装について　今宮淳美（山梨大学）
２．遠隔ラボに関するネットワークの技術的問題　白鳥則郎（東北大学）

(3)　ネットワークに関する技術的問題の検討会議
日時（場所）：１月４日～６日（東北大学）
１．仮想ラボでの高品質ビデオ画像配信の可能性　今宮淳美（山梨大学）
２．仮想実験室におけるネットワークQoS　菅沼拓夫（東北大学）

[音響情報の伝達技術を導入したユーザビリティの評価支援]
(鈴木，小澤，寺田，安藤)

ネットワークを利用した協調作業において音響情報は重要な役割を果たしているにもかかわらず，現状で一般的に利用されているステレオ録音－再生系では，音場の空間的特性が十分には伝送されていない。そこで，本グループにおいては，音場の空間的特性までを伝送するシステムを提案し，そのユーザビリティを評価することとする。
本システム提案の準備として，つぎの研究討論会をおこなった。

(4) 音場の空間的特性とシステムのユーザビリティに関する検討会議
日程（場所）：12月12日（山梨大学）
1．仮想実験室におけるユーザビリティ評価
今宮淳美（山梨大学）
2．ネットワーク伝送後の音像知覚について
小澤賢司（山梨大学）
3．仮想実験室での遠隔カメラ制御手法
郷健太郎（山梨大学）
4．仮想実験室利用におけるストレス要素
寺田信幸（山梨医科大学）
5．ネットワークを利用した仮想オブジェクト共有について
安藤英俊（山梨大学）

また，プロジェクトの進捗状況を把握し，プロジェクト全体の方向性と連携体制を確認するために，つぎの全体会議をおこなった。

(5) プロジェクト全体会議
日程（場所）：10月11日～13日（東北大学）
1．ネットワーク協調型３次元仮想ユーザビリティラボ全体構想　今宮淳美（山梨大学）
2．頭部位置を利用したネットワークカメラ制御
郷健太郎（山梨大学）
3．仮想実験室の構築に関するネットワーク関連技術の諸問題　木下哲男（東北大学）
4．音場の空間特性伝送手法について
鈴木陽一（東北大学）
5．分析支援システムおけるネットワークサービス品質　白鳥則郎（東北大学）

[3] 成果

（3－1）研究成果

専門的知識を持たない一般ユーザが現在までの情報通信技術の恩恵を享受するためには，ユーザにとって易しく使いやすい情報システムを設計・開発し，提供しなければならない。そのために，既存のシステム，あるいは開発中のシステムのプロトタイプを，定量的・定性的に利用試験し，そのシステムのユーザビリティを評価し，システムの設計に反映させる必要がある。

本共同研究プロジェクトでは，このようなユーザビリティを評価する実験環境をネットワーク上に構築ことを目的とし，初年度の本年度は，以下に示す研究成果を得た。

第一に，ネットワーク上の仮想ユーザビリティラボの基本構造を提案した。情報ネットワーク上に３次元仮想空間をモデル化し，その中にオブジェクトモデルとして，評価対象のシステムと被験者，それらを写すカメラを設置し，地理的に離れた観測者が操作の指示をおこなう環境をプロトタイプとして構築した。

第二に，地理的に離れた観測者が，ネットワークを介して，被験者観測用カメラの制御をおこなう手法を提案した。この手法を通信ソフトウェアとして実装し，観測者の頭部の位置でカメラの制御をおこなった。さらに，東北大学と山梨大学の間で，独立した２つのネットワーク（インターネットとJGN）を利用した利用実験をおこなった。その結果，本制御手法が実用に耐えうることを明らかにできた。

第三に，音響情報に特化したユーザビリティ評価技法確立の第一歩として，音像定位に及ぼすTwinVQ符号化の影響を明らかにした。本符号化法は，ネットワーク伝送時の符号誤りに対して高い耐性をもつため，仮想実験室での音響情報の再現におおきな役割を果たすことが期待される。実験の結果から，符号化をおこなわない音声と比較して，符号化をおこなった音声は，音像が広がってユーザから知覚されることが明らかになった。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトにより，研究者ネットワークの拡大を図ることができた。具体的には，山梨医科大学の寺田助教授の参画により，医療情報通信分野への応用の第一歩となった。

共同研究による効果として，新たな研究に関するアイデアが創出された。本プロジェクトの研究打ち合わせや討論会では，プロジェクトの内容に特化した議論から発展し，多くの萌芽的研究の議論になることも多々見うけられた。このような議論から得られた研究の知見をさらにすすめるために，新たに，システムの使いやすさという観点から「マルチモーダル情報環境下における利用者誤

りからの回復技法に関する研究」プロジェクトを日本学術振興会科学研究費補助金・基盤Cに申請し，平成13年度から3年間のプロジェクトとして採択された。

次年度以降も本年度同様，ネットワーク協調型3次元仮想ユーザビリティラボ実現へ向けた研究活動をおこない，下記のような技術に関して，さらなる発展が期待できる。

(1) システムのユーザビリティに影響を及ぼす，各種メディアのパラメータの制御手法。
(2) アプリケーションレベルでの，マルチモーダル・マルチメディアＱｏＳ（Quality of Service: サービスの品質）の高品質化。
(3) 音響情報に特化したユーザビリティ評価技法。
(4) 超高速ネットワークを利用した応用アプリケーションにおける通信管理モデル。
(5) 大量の高画質ビデオ画像を対象とした観測データベース。

[4] 成果資料

(1) 矢部正行, 朴美娘, 岡崎直宣, 井手口哲夫, 厚井裕司, 白鳥則郎,” 同期データの伝送遅延時間特性を改善する改良型Timed Token Protocolの提案と評価”, 電気学会論文誌, Vol. 120-C, No.5, May, 2000
(2) Suganuma, T., Lee S. D., Karahashi T., Kinoshita T. and Shiratori N., “An Agent Architecture for Strategy-centric Adaptive QoS Control in Flexible Videoconference System”, will be appeared in New Generation Computing Journal.
(3) Suganuma T., Kinoshita T. and Shiratori N., “Flexible Network Layer in Dynamic Networking Architecture,” Proc of The 1st International Workshop on Flexible Networking and Cooperative Distributed Agents (FNCDA2000), pp.473-478, 2000.7.
(4) Koji Hashimoto, Yoshitaka Shibata, and Norio Shiratori,“Flexible Multimedia System Architecture with Adaptive QoS Guarantee Functions”, 2000 International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS'00), Proc. of ICPADS2000 pp119-126, July, 2000.
(5) Koji Hashimoto, Yoshitaka Shibata and Norio Shiratori, “Design and Implementation of Agen-Based Flexible Multimedia System”, 11th International Workshop on Database and Expert Systems Applications (DEXA 2000), Eleventh International Workshop on Database and Expert Systems Applications pp68-72, 2000.
(6) 中貝順一, 小澤賢司, “TwinVQ音声符号化が音像知覚に与える影響,” 電子情報通信学会技術報告 EA2000-34, pp. 55-62 (2000)
(7) 中貝順一, 小澤賢司, “音像定位に及ぼすTwinVQ符号化の影響,” 音響学会講演集 2000年9月, pp. 469-470 (2000).
(8) 郷 健太郎, John M. Carroll, 今宮 淳美. ユーザの視点を取り入れる技術：システム開発におけるシナリオの役割, 情報処理, Vol. 41, No. 1, pp. 82-87, 2000.
(9) Kentaro Go, Tomokazu Takahashi, and Atsumi Imamiya. A Case Study on Participatory Redesign of Web Site with Scenario-Based Techniques, Proceedings of the Seventh International Conference on Parallel and Distributed Systems: Workshops, pp. 161-166, Iwate, IEEE Computer Society, 2000.
(10) Ken Go, John M. Carroll, and Atsumi Imamiya, Familyware: Communicating with someone you love, Sloane, A. and van Rijn,, F. (eds.), Home Informatics and Telematics: Information, Technology and Society. pp. 125-140, Kluwer Academic Publishers, 2000.
(11) Masaki Omata, Kentaro Go, and Atsumi Imamiya. A Gesture-Based Interface for Seamless Communication between Real and Virtual Worlds, Proceedings of the 6th ERCIM Workshop on “User Interfaces for All”, pp. 122-134, Florence, Italy, 2000.
(12) Hisanori Masuda, Atsumi Imamiya, Kentaro Go, and Xiaoyang Mao. An Evaluation of a Graphical History Tool with an Eye Tracker, Proceedings of the 6th ERCIM Workshop on “User Interfaces for All”, pp. 201-206, Florence, Italy, 2000.
(13) Xiaoyang Mao, Yuji Hatanaka, Atsumi Imamiya, Yuki Kato, and Kentaro Go. Visualizing Computational Wear with Physical Wear, Proceedings of the 6th ERCIM Workshop on “User Interfaces for All”, pp. 110-121, Florence, Italy, 2000.
(14) Xiaoyang Mao, Hidenori Higashida and Atsumi Imamiya, Fast Placement of Evenly Spaced Streamlines on Curvilinear Grid Surfaces, Proceedings of Visual Data Exploration and Analysis VII, IS&T/SPIES Electronic Imaging 2000, pp. 280-289, January, 2000.
(15) Xiaoyang Mao, Makoto Kikukawa, Kouichi Kashio

and Atsumi Imamiya. Automatic Generation of Hair Texture with Line Integral Convolution, Proceedings of Information Visualization 2000, July, 2000.

(16) Kentaro Go, John M. Carroll, and Atsumi Imamiya. Surveying scenario-based approaches in system design, IPSJ SIG Notes, HI-87-8, pp. 43-48, 2000.

(17) 小俣 昌樹, 田上 和典, 郷 健太郎, 今宮 淳美. 情報ネットワーク上の遠隔ユーザビリティ評価システム開発, 電子情報通信学会技術報告, MVE99-63, pp. 1-6, 2000.

(18) 茅暁陽, 東田秀憲, 畑中雄二, 今宮淳美. 3次元面上におけるストリームラインの均等配置, 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No.3, 2000.

共同プロジェクト研究

課題番号　H12/A12

超高結合圧電単結晶・薄膜の探索と超高周波弾性波デバイスの次世代通信情報システムへの応用の研究

[1] 組織

代表者：山之内和彦（東北工業大学）
通研対応教官：
　　坪内　和夫（東北大学電気通信研究所）
分担者：中村　僖良（東北大学大学院工学研究科）
　　櫛引　淳一（東北大学大学院工学研究科）
　　長　　康雄（東北大学電気通信研究所）
　　小柴　正則（北海道大学院工学研究科）
　　小池　卓郎（玉川大学工学部）
　　竹内　正男（玉川大学工学部）
　　清水　康敬（東京工業大学大学院社会理工学研究科）
　　高木堅志郎（東京大学生産技術研究所）
　　山口　正恆（千葉大学工学部）
　　中川　恭彦（山梨大学工学部）
　　皆方　　誠（静岡大学電子工学研究所）
　　塩嵜　　忠（奈良先端科学技術大学院大学）
　　宝川　幸司（神奈川工科大学）
　　安達　正利（富山県立大学工学部）
　　得永　嘉昭（金沢工業大学大学院工学研究科）
　　小松　隆一（山口大学工学部）
　　加藤　俊治（ミヨタ（株））
　　竹間　清文（パイオニア（株））
　　鈴木　幸俊（ヤマハ（株））
　　熊谷　博彦（旭ガラス（株））

研究費：校費　52万1千円，旅費　93万1千円

[2] 研究経過

本プロジェクト研究は，平成6～8年度まで実施された共同プロジェクト研究，「フォノン集積デバイス・材料の研究」，及び，平成9～11年度まで実施された「新圧電単結晶・薄膜の探索と弾性波デバイスの高度情報通信システムへの応用の研究」の研究成果，即ち，超高周波帯の音響波に対するフォノン波動，種々の境界条件のもとで伝搬する境界波の線形・非線形挙動の解明，この波動を高度に集積化したデバイス，及びこの境界波と光・電磁波或いは半導体キャリアとの相互作用を用いたデバイスの研究，大きな電気機械結合係数をもつ圧電単結晶及び薄膜の研究，高周波フォノン波動の発生・検出電極を作製するためのナノメータリソグラフィプロセスの研究などの成果を基盤として，本年度から発足したプロジェクトである。今までの成果を発展させ，次世代通信情報システムへの応用の研究を行うことを目的としている。そのために，研究会を下記のとおり開催した。

日時：平成13年1月30日（火）
場所：東北大学電気通信研究所

(1)　「電気機械結合係数が100%に近い弾性表面波圧電単結晶基板の解析と実験的検討」山之内和彦（東北工業大学），小田川裕之（東北大学電気通信研究所）
(2)　「ランガサイト基板の第2漏洩弾性表面波の伝搬特性」張漢坤，室田真男，清水康敬（東京工業大学大学院社会理工学研究科）
(3)　「GHz帯境界波デバイスの試作」加藤雅則，大森達也，橋本研也，山口正恆（千葉大学工学部）
(4)　「半導体結合SAWプログラマブル素子に関する一検討」宝川幸司（神奈川工科大学）
(5)　「2.4GHzフロントエンドAlN/Al_2O_3 SAWマッチトフィルタを用いたSS無線スイッチ」坪内和夫，苫米地秀一，小室敦，今野隆，中瀬博之（東北大学電気通信研究所）
(6)　「ソニック結晶導波路の伝搬特性解析」小柴正則，齋藤晋聖（北海道大学大学院工学研究科）
(7)　「縦―屈曲モードを利用する圧電アクチュエータ」高野剛浩（東北工業大学），富川義朗（山形大学工学部）
(8)　「静磁波ソリトンの分散性伝搬の等価回路解析」小池卓郎（玉川大学工学部）
(9)　「圧電結晶のカオスとソリトンの研究」得永嘉昭（金沢工業大学大学院工学研究科）
(10)　「動的光散乱におけるフォノンスペクトルの精密測定」小俣一由，酒井啓司，高木 堅志郎（東京大学生産技術研究所）
(11)　「新圧電結晶$LiRbB_4O_7$の探索とその結晶成長」小松隆一，池田　攻（山口大学工学部）
(12)　「ナノメータ分極反転制御とその応用(Ⅲ)-電子ビーム照射による分極反転とその機構-」皆方誠，粟野春之，中田善一，小田大輔，細野徹朗（静岡大学電子工学研究所）
(13)　「非線形誘電率応答と圧電応答による強誘電

分極分布の観測」松浦かおり，長康雄，小田川裕之（東北大学電気通信研究所）

⑭「MOCVD法によるMgO基板上$KNbO_3$結晶薄膜の配向制御」尾上篤，竹間清文（パイオニア㈱総合研究所）

⑮「新圧電性Ta_2O_5薄膜の複屈折性」中川恭彦，五十嵐朝美（山梨大学工学部）

⑯「ランガサイト結晶のAl添加による圧電特性向上」塩嵜忠，武田博明（奈良先端科学技術大学），熊取谷誠人（㈱村田製作所）

⑰「タングステンブロンズ型強誘電体$K_3Li_2Nb_5O_{15}$バルク単結晶およびファイバーの作製と圧電特性」　安達正利，松倉誠，仲辻真由美，唐木智明（富山県立大学工学部）

⑱「LFB/PW超音波材料解析システムによる$LiTaO_3$単結晶の音響特性のポーリング電界依存性の評価」高長和泉,太田川真則,氏家敬明,櫛引淳一(東北大学大学院工学研究科)

⑲「有極性多分域$KNbO_3$結晶とその圧電特性」常盤豪，中村僖良（東北大学大学院工学研究科）

[3] 成果

(3-1) 研究成果

○電気機械結合係数が100%に近い圧電材料の探索を目的として，$KNbO_3$単結晶を例にとり，圧電定数を仮想的に大きくすることにより数値解析により検討を行った。また，温度特性が良好な$SiO_2/LiTaO_3$基板について検討を行い，より薄い薄膜で零温度係数を得ることができた。

○ランガサイト基板を伝搬する第2漏洩弾性表面波の全てのカット，伝搬方向における特性について理論的に検討し，オイラー角(90,90,0),(90,90,19)及び(20,100,171)で零温度係数を有することがわかった。

○Si_3/N_4パイレックスガラス/128°YX-$LiNbO_3$構造を有するGHz帯境界波デバイスの作製に関して実験的検討し，試作に成功した。この結果，2GHz帯の境界波発生，伝搬，検出を確認した。

○エピタキシャルリフトオフ方を用いて作製可能な半導体結合SAW素子によるプログラマブル素子の実現性について検討を行った。今後$KNbO_3$のような高結合基板を用いることにより優れた素子の実現が期待できる。

○2.4GHzフロントエンドAlN/Al_2O_3 SAWマッチトフィルタを用いたスペクトル拡散無線スイッチを提案した。低消費電力化を行い，無線検針システムへの要請に応える，電池寿命10年，通信距離30mを満たす性能を得た。

○ランガサイト基板NSPUDEならびに一方向性電極構造の一つであるEWD-RDTのモード結合パラメータの励振電極依存性を調べ，電極厚みと電極幅を適当に選択することで，励振中心と反射中心のずれを理想的な1/8波長にできることを理論的に明らかにした。また，ランガナイト基板上のNSPUDTについても，モード結合パラメータの電極膜厚ならびに電極幅依存性を理論的に算出した。

○平板振動子の縦—屈曲振動を利用する超音波モータの構成法について検討した。この構成はステータ振動子とロータが2つの接点で接触することに特長があり，安定かつ小型化や直線移動型モータへの展開も容易であるため，発展が期待される。

○静磁ソリトンの非線形伝搬の等価回路的な解析法と具体的にソリトン波形を生ずる計算について考察を行い，ソリトンの伝搬に伴う包絡線波形の変化を求めて，実験結果をよく説明できることを確認した。これらの結果は，近い将来の非線形静磁波デバイスに重要である。

○GaAsやCdSのような圧電半導体は，GHz帯超音波増幅や音響ドメインを形成できるという性質がある。本研究では，n-CdSのカオスとソリトンについて検討し，形態形成された音響電気ドメインが一種のソリトンと考えてよいという結論に至った。また，$LiNbO_3$におけるカオスとソリトンの発生の可能性についても検討を行った。

○光ビート分光法によりサーマルフォノンのスペクトルを高分解能で測定可能である。本年度は熱平衡下の揺動に固有なスペクトルにおける非対称成分の検証ならびに，緩和に関する情報を含むマウンテン成分の直接観察について検討を行った。マウンテン成分の観察は新たなる緩和現象の測定となるため今後の発展が期待される。

○$KNbO_3$は大きな電機機械結合係数も示ため注目されているが，しかし融液からの結晶成長では，2つの相転移があるために，大口径の単分域単結晶が得られにくい。本研究では，K_2NbO_3Fを水中で攪拌し，斜方晶$KNbO_3$を自然核形成で生成することに成功した。この結晶が強誘電体斜方晶に属し，水中での自然核形成による成長であれば，エピタキシャル成長も可能であると考えられる。

○電子ビームを照射して分極反転ドットを作製する方法について詳細な検討を行った。その結果，分極反転の際には，反転核を形成する「核形しきい値h_n」と反転領域を広げる「領域拡張反転しきい値h_{th}」が存在し，その値は，h_n=204kV/cm，h_{th}=120kV/cmであることがわかった。

○走査型非線形誘電率顕微鏡(SNDM)による強誘電

分極分布計測と，従来行われている圧電応答による分極計測について，分解能を比較検討した。その結果，探針直下の信号が得られる有効な領域の違いからSNDMの方が遙かに高分解能であることがわかった。また，SNDMによる微小分極反転ドメインドットの形成と観察の研究を行い，直径約25nmの微小なドットの形成に成功した。次世代高密度誘電体記録への応用が期待される。

○酸化物CVD法によるMgO基板上の$KNbO_3$膜成長において$KT_xNb_{1-x}O_3$を中間層として用いることにより，(110)MgO基板上に配向制御された(010) $KNbO_3$膜を得ることができた。この膜は光導波路として使用可能である。また，$KNbO_3$光導波路と$KNbO_3$の大きな電気機械結合係数を利用した次世代SAW素子への応用が期待できる。

○Ta_2O_5薄膜の単結晶化とSAWデバイスへの応用を目的としたリニア型高速熱処理法を用いた研究を行った。この熱処理法によって，黒色石英基板上のTa_2O_5薄膜に異方性を持たせることができた。また薄膜は面内に大きな光学的異方性を持つことを実験，数値解析から確認した。

○Al置換ランガサイト結晶（$La_3Ga_{5-x}Al_xSiO_{14}$）の回転引上げ法による単結晶作製，単結晶X線回折による結晶構造解析，バルク弾性波共振法を用いた圧電特性評価を行った。単結晶作製はAl置換量$x \leqq 0.9$まで可能であった。AlはLaサイト以外の全てのサイト（4及び6配位席）に分布することが分かった。電気機械結合係数はいずれもAl置換により大きくなった。Al置換は高価な原料であるGa_2O_3使用量を減少させ，且つ圧電特性が向上することから有望な圧電単結晶材料である。

○$0.3K_2O$-$0.18Li_2O$-$0.52Nb_2O_5$の組成を持つニオブ酸カリウムリチウム単結晶を連続チャージCz法により非コングルエントメルトから均一組成で育成する事ができた。電気機械結合係数k_{15},k_{31},k_{33},k_tはそれぞれ0.35,0.21,0.56,0.61が得られた。

○いくつかの異なるポーリング電界下で作製された，Z-cut $LiTaO_3$基板にたいして漏洩弾性表面波の速度及び縦波音速の測定を行った。その結果，各音速のポーリング電界依存性をとらえ，単分域結晶を得るために必要なポーリング電界を求めることができた。

○PZN-PT結晶を分極軸とは異なる$<001>_{pc}$軸方向にポーリングして有極性多分域構造にすると圧電性が高められることが報告されているが，$KNbO_3$についての検討を行った。その結果，4種類の等価な分域から成る分域構造ではなく，2種類の分域からなる層状多分域構造を取ることが明らかになった。圧電性が大きくなるのは有極性多分域構造によるものよりはむしろ結晶のカット角依存性によるものであると考えられる。

(3-2) 波及効果と発展性

本研究では，圧電デバイスの基礎となる大きな電気機械結合係数をもつKN，KLN, LGS，AlN, TaO, LN, LTなどの圧電単結晶・薄膜の研究と高度通信情報システムへの応用の研究を行い非常に大きな成果が得られた。これらの材料は，今後の高機能素子への発展に不可欠な材料であり本研究による本分野への貢献度は非常に高いものである。

[4] 成果資料

(1) K.Yamanouchi et.al., Jpn.J.Appl.Phys. Vol.39 pp.3032-3035(2000).

(2) Y.Cho, N.Oota, H.Odagawa and K.Yamanouchi, J. Appl. Phys., Vol.87 pp.3457- 3461 (2000).

(3) Y.Cho etl.al., Integrated Ferroelectrics, Vol.32, No.1-4, pp.133-142(2001).

(4) H.Odagawa and Y.Cho, Surface Science, 463 pp.L621-L625 (2000).

(5) K.Inagawa, K.Hasegawa and M.Koshiba, Jpn.J.Appl.Phys. No.39 pp.3014-3019 (2000).

(6) K.Hasegawa, K.Inagawa and M.Koshiba, Jpn.J.Appl.Phys. No.39 pp.3020-3023 (2000).

課題番号　H12/A13

超低消費電力無線通信ULSI・ハイブリッド集積化実装技術の研究

[1]　組織

代表者：堀池靖浩（東京大学大学院工学系研究科）
責任者：坪内和夫（東北大学電気通信研究所）
分担者：岩井　洋（東京工業大学大学院総合理工学研究科）
名取研二（筑波大学工学システム学類）
須賀唯知（東京大学先端科学技術研究センター）
浅野種正（九州工業大学マイクロ化総合技術センター）
小柳光正（東北大学大学院工学研究科）
山口正洋（東北大学電気通信研究所）
益　一哉（東北大学電気通信研究所／東京工業大学精密工学研究所6月より）
横山道央（東北大学電気通信研究所）
中瀬博之（東北大学電気通信研究所）
大見忠弘（東北大学未来科学技術共同研究センター）
須川成利（東北大学大学院工学研究科）
小谷光司（東北大学大学院工学研究科）
平山昌樹（東北大学大学院工学研究科）

[2]　研究概要

21世紀の情報通信社会において，世界中のどこにいても高速で映像情報，音声情報，データベースへ自由にアクセスできる環境を提供するユビキタスネットワークの実現が必須である。ユビキタスネットワークは，大容量光ファイバ通信によるテラビット級超高速バックボーンネットワークと，ユーザへのアクセス回線「ラスト１マイル」を実現する高信頼無線通信ネットワークとの融合により実現するものと考える。

本プロジェクトは，高信頼無線通信技術の確立を目的とし，ユーザが持つ超低消費高性能無線端末を実現するための超低消費電力無線通信ULSIの設計・開発と，ベースバンドディジタルデバイスからRF/IFアナログ信号処理デバイスまで無線通信に必要なコンポーネントを超高密度小型化実装するためのハイブリッド集積化実装技術を開発する。

具体的には，(1)Ｓｉディジタル・アナログ回路素子，高・強誘電体素子，SAW機能素子などをワンチップにハイブリッド集積化するグローバルインテグレーション技術，(2)Si集積回路における，機能材料として，高誘電体，強誘電体膜，無機及び有機の低誘電率薄膜，高熱伝導率薄膜などの微細加工技術，(3)高音速弾性表面波素子材料AlNについて，特に金属材料との選択加工技術，(4)GHz信号伝送Si ULSI多層配線技術，及び高密度グローバルインテグレーション実装技術，を確立することを目指す。

本年度は，超低消費電力無線通信システム実現のためのグローバルインテグレーション３次元高密度実装技術の開発研究として，異種分野統合技術，微細素子・配線設計技術，異種素子間接合バンピング技術について以下の研究を行った。

通信用システムインパッケージ開発の基礎として微細素子積層技術・GHz信号伝送多層配線設計技術・３次元実装基盤技術・マイクロバンプ実装技術・バンプ接合部評価技術・GHz高信頼無線通信システム技術について研究を行った。

今後，超小型GHz無線通信用システムインパッケージ実現のための基盤技術を築く。

[3]　研究会活動

研究討論会を一回行った。
日時：平成13年3月18日
場所：電気通信研究所一号館　S306号室
プログラム
13：00「超機能化チップ混載(Chip Embedded Chip; CEC)チップ」岩井　洋（東工大）
13：40「超高速LSIのための次世代多層配線技術」益　一哉（東工大）
14：20「歪みゲージによる超音波フリップチップ接合における接合挙動」浅野種正（九工大）
15：00　休憩
15：10「グローバル・インテグレーション―半導体デバイスにおける異種分野の統合―」堀池靖浩（東京大）
15：50「３次元実装によるグローバルインテグレーション」小柳光正（東北大）
16：30「３次元システムインパッケージ・マイクロバンプ実装技術」横山道央，坪内和夫，中瀬博之（東北大）

[4] 主な研究成果

1. A. Oki, S. Adachi, Y. Takamura, K. Ishihara, H. Ogawa, Y. Ito, T. Ichiki, Y. Horiike, Electroosmosis Injection of Blood Serum into Biocompatible Microcapillary Chip Fabricated on Quartz Plate, Electrophoresis 22 (2001), 341-347.
2. P. W. Lee, S. S. Kim, S. H. Seo, C. S. Chang, H. Y. Chang, T. Ichiki and Y. Horiike, A New Inside-Type Segmented Coil Antenna for Uniformity Control in a Large-Area Inductively Coupled Plasma, Jpn. J. Appl. Phys. 39, (2000), L548-L550.
3. T. Ujiie, T. Kikuchi, T. Ichiki and Y. Horiike, Fabrication of Quartz Microcapillary Electrophoresis Chips Using Plasma Etching, Jpn. J. Appl. Phys. 39, (2000), 3677-3682.
4. Y.Chinzei, M.Ozawa, T.Kikuchi, K.Horioka, H.Shindo, T.Ichiki andY. Horiike, High Aspect Ratio SiO2 Etching with High Resist Selectivitiy Improved by Addition of Organicsilane to Tetrafluoroethyl ether (HFE 227), J.Vac.Sci.Technol. A18(1), (2000), 158-165.
5. 堀池靖浩，沖　明男，高村　禅，一木隆範，日々の健康管理　－ヘルスケアデバイスの創製－，高分子，49，(2000)，652-655
6. T. Koidesawa, T. Ichiki and Y. Horiike, Production and Diagnostics of VHF-driven Microplasmas, Proc. Plasma Sci. Symp. 2001 /18th Symp. Plasma Processing, (2001) 663-664.
7. R. Taura, T. Ichiki and Y. Horiike, Planar-type ICP Production Using Internal Rectangular Antennas, Proc. Plasma Sci. Symp. 2001/18th Symp. Plasma Processing, (2001), 321-322.
8. Y. Sugiyama, T. Ujiie, T. Ichiki and Y. Horiike, Deep Glass Etching for MEMS Fabrication, Proc. Plasma Sci. Symp. 2001/18th Symp. Plasma Processing, (2001), 459-460.
9. T.Ichiki, Microfabrication technologies for health care chips, Abstr. First International Conference on Molecular electronics and Bioelectronics, March 5-7, Hyogo, Japan, (2001), 174-175.
10. T. Ichiki, T.Ujiie, T.Okuda and Y.Horiike, Immuno-Electrophoresis of Blood Cells on Micro-Capillary Chips, Micro TAS 2000, The Netherland, (2000), 119-122.

課題番号　H12/A14

3次元フォトニック結晶とデバイス応用の研究

[1] 組織

代表者：川上彰二郎（東北大学 未来科学技術共同研究センター）
責任者：伊藤　弘昌（東北大学 電気通信研究所）
分担者：
黒川兼行
榊　裕之（東京大学生産技術研究所）
花泉　修（群馬大学 工学部）
玉村敏昭（NTTエレクトロニクス）
横浜　至（NTT 物性基礎研究所）
竹中久貴（NTTアドバンステクノロジ）
土屋治彦（トーキン）
水野皓司（東北大学 電気通信研究所）
宮城光信（東北大学 大学院工学研究科）
谷内哲夫（東北大学 電気通信研究所）

研究費：校費 40万4千円、旅費： 22万9千円

[2] 研究成果

フォトニック結晶は複数種類の誘電体からなる光の波長スケールの周期構造体であり，光波のブラッグ反射に起因する様々な魅力的な特性（高い分散性，異方性，フォトニックバンドギャップ）を有する。このため次世代の光通信素子や光情報処理機器用素子を創出する鍵として，近年急速に注目を集めている。本プロジェクトでは，代表者のグループが提案･実証した新しい3次元フォトニック結晶の作製技術の確立およびそれを用いた応用デバイスの提案と開発を目的として研究を行った。

本プロジェクトは本年度が第3年度であった。初年度はrfバイアス・スパッタリング法による3次元フォトニック結晶の生成機構の解明と，作製プロセスの確立，およびいくつかの応用素子の作製の基礎実験を行った。前年度は，面垂直伝搬型の応用デバイスの開発，機能性材料とフォトニック結晶の融合化などについて研究を行った。今年度の成果としては，格子変調型フォトニック結晶を利用した導波路の実証，フォトニック結晶の単位構造の自由度を拡大するプロセス開発，伝搬特性の解析的解の発見などが挙げられる。

以下，研究活動状況の概要を記す。研究成果の報告およびディスカッションとして下記の研究会をおこなった。

期間： 2月16日（金）～17日（土）
場所： 宮城蔵王ロイヤルホテル

2月16日(金)
(1)「成膜装置の状況」
（金子隆司　NTTアドバンステクノロジー）
(2)「基板のエッチング技術」
（小澤　章　NTTアドバンステクノロジー）
(3)「ユニットセル形状自由度の現状」
（川嶋貴之　東北大学未来科学技術共同研究センター）
(4)「穿孔交互積層型3次元構造の進捗状況」
（倉持栄一　NTT物性基礎研究所）
(5) フリー討論1（機能物質の集積）
2月17日(土)
(1)「有機フォトニック結晶レーザの2次元DFB発振」
（納富雅也　NTT物性基礎研究所）
(2)「2次元Siフォトニック結晶」
（横浜　至　NTT物性基礎研究所）
(3) フリー討論2（導波路の低損失化）
(4)「格子変調導波路の考えと実験結果」
（大寺康夫　東北大学電気通信研究所）
(5)「導波路理論の現状分析と基準構造の解析解」
（川上彰二郎　東北大学電気通信研究所）
(6)「分散関係の新しい変分表現」（黒川兼行）

[3] 成果

(3-1) 研究成果

(a) 格子変調型導波路

自己クローニング型結晶において，格子形状と結晶の実効的屈折率の関係を数値的に求めた。得られた知見を元に，2次元結晶を基盤とした格子定数変調型，格子方位変調型の2種類の導波路の設計をおこなった。続く試作では最適なバイアススパッタの条件を細かく探索し，約200層もの総層数を持つ結晶を安定に作製する条件を見出した。導波特性の光学測定では，ほぼ設計どおりの光の閉じ込めを観測した（図1）。

(b) フルバンドギャップの実現

昨年度購入したバイアススパッタ・反応性エッチング複合プロセスの行うことのできる装置の立ち上げを行い，前年度の準備実験で得られたものと同様の結果を連続かつ自動で行えることを確認した。その結果，従来は40度程度の斜面を持つ形状しか得られなかったものが，70度程度の急斜面の実現可能となった（図2)。また従来のような膜を積み重ねた構造だけではなく，柱状の構造が2次元的に並んだ構造などが実現可能となり，作製できる形状の自由度が飛躍的に向上した。さらにその形成メカニズムについても，実験的に解明した。

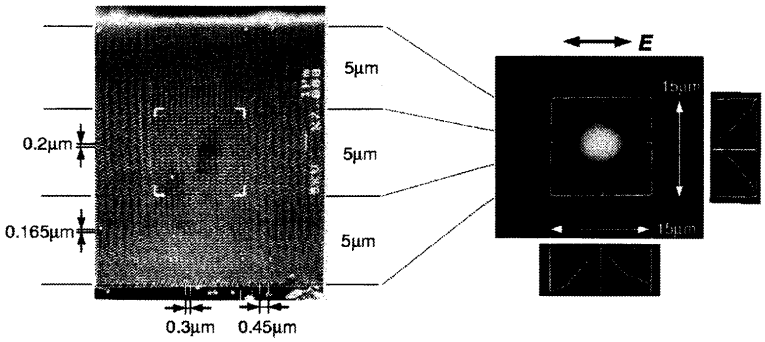


図1．格子変調型導波路の断面と導波光

(c) 多チャンネル波長選択フィルタ

自己クローニング型3次元フォトニック結晶における，面内周期とバンドギャップ波長帯の関係をFDTD法にて求めた。Si/SiO_2系結晶の場合，光ファイバ通信用の波長1.55μm帯では面内周期が500nm付近でバンドギャップ波長が格子形状の変化に最も敏感になることを見出した。続いて面内周期が領域ごとに異なるような格子配列を持った基板上への多層膜の成膜を繰り返し，安定な膜形状実現のための指針を得た。光学評価の結果，透過の中心波長における素子の損失も非常に低いことも実験的に確認した（図3)。

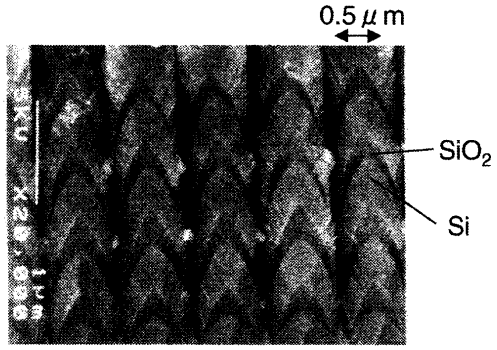


図2．バイアススパッタ・反応性エッチング複合プロセスによる周期構造

(d) フォトニック結晶の解析的な解の発見

フォトニック結晶の伝搬特性は従来，強力な計算機パワーにたより巨大な数値計算を行なうことでしか求めるのことができなかった。そのため物理的なイメージを得ることができず，一般的な性質を議論することができなかった。今回，ある屈折率の周期関数を仮定すると，変数分離することにより分散関係を解析的に求まることを見出した。これよりフォトニック結晶導波路のカットオフ特性について新たな知見を得ることができた。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトを通して他大学および企業の研究者との交流が活発に行なうことができた。特にNTTグループとは作製・解析技術に関して実質的で密な協力関係をもつことで相互の研究展開に大変役に立った。また，フォトニック結晶の実用的な応用について，企業からの視点でトーキンとの意見交換を行なえた。今後も，本プロジェクトを継続することで，フォトニック結晶の基礎的な技術と応用技術の両面について，益々の発展が期待できる。

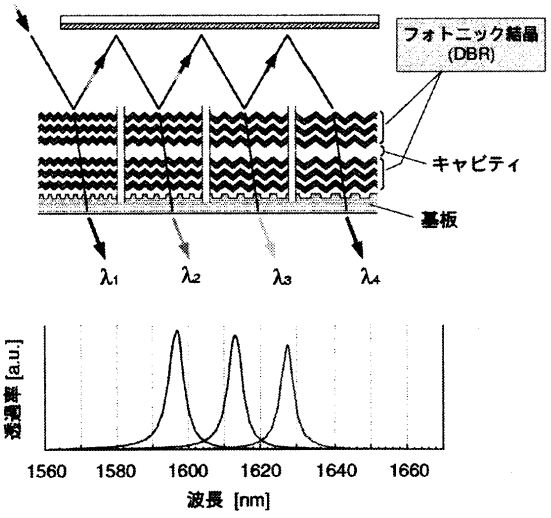


図3．多チャンネル波長選択フィルタ

[4] 成果資料

(1) 酒井 義剛, 大寺 康夫, 玉村 敏昭, 小澤 章, 川上彰二郎, "格子変調型フォトニック結晶導波路の解析と作製," 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会, OPE2000-56, 2000年8月.

(2) 三浦健太, 石野直人, 佐藤　尚, 大寺康夫, 玉村敏昭, 小澤　章, 川上彰二郎, "Ta2O5/SiO2系フォトニック結晶からなる青紫色波長用複屈折素子の作製とその特性," 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会, OPE2000-57, 2000年8月.

(3) 大寺康夫, 川嶋貴之, 佐藤　尚, 花泉　修, 三浦健太, 酒井義剛, 鵜養和邦, 石野直人, 川上彰二郎, "自己クローニング型フォトニック結晶とその応用素子の現状," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, SC-4-11, 2000年10月1日.

(4) 大寺康夫, 川嶋貴之, 酒井義剛, 玉村敏昭, 小澤章, 川上彰二郎, "格子変調型フォトニック結晶の作製と波長選択フィルタへの応用," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, SC-4-14, 2000年10月1日.

(5) T. Kawashima, T. Sato, K. Miura, Y. Ohtera, N. Ishino, and S. Kawakami, "Autocloning technology : Fabrication method for photonic crystals based on sputtering process," Erice, Italy, July 2000(Invited).

(6) S. Kawakami, Y. Ohtera, T. Kawashima, and T. Sato, "Lattice modulation of auto-cloned photonic crystals," CLEO/Europe 2000, Nice, France, September 10-15, 2000, paper JStuB1.

(7) T. Sato, K. Miura, N. Ishino, Y. Ohtera, T. Kawashima, and S. Kawakami, "Photonic crystals: novel electromagnetic environment for visible/IR devices," The 10th Seoul International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications -2000 (ISPSA-2000), Cheju, Korea, November 1-3, 2000.

(8) Y. Ohtera, T. Sato, T. Kawashima, K. Miura, and S. Kawakami, "Recent progress of automatic shaping technology for photonic crystals," Material Research Sience Fall Meeting, Boston, November 27- December 1, 2000, paper E4.2, pp. 98.

(9) O. Hanaizumi, K. Miura, M. Saito, T. Sato, S. Kawakami, E. Kuramochi, and S. Oku, "Frontiers related with automatic shaping of photonic crystals," IEICE Trans. Electron., vol. E83-C, no. 6, pp. 912--919, 2000(invited).

(10) T. Kawashima, K. Miura, T. Sato, and S. Kawakami, "Self-healing effects in the fabrication process of photonic crystals," Appl. Phys. Lett., vol. 77, no. 16, pp. 2613-2615, 16 October 2000.

(11) 倉持栄一, 納富雅也, 高橋淳一, 高橋千春, 横浜至, 川嶋貴之, 川上彰二郎," 穿孔自己クローニング型３次元フォトニック結晶の透過スペクトル特性," 応用物理学関係連合講演会 29p-ZH-8, 2001年3月29日

(12) 川嶋貴之, 藤村厚, 佐藤　尚, 川上彰二郎," 拡張型自己クローニング法の提案," 応用物理学関係連合講演会 29p-ZH-11, 2001年3月29日

(13) 横浜　至, 納冨雅也, 新家昭彦, 山田浩治, 高橋淳一, 高橋千春," 幅変化型線欠陥SOIフォトニック結晶導波路の伝搬損失測定," 応用物理学関係連合講演会 30a-YK-5, 2001年3月30日

(14) 金子隆司, 小澤章, 吉崎知未," 自己クローニング成膜によるフォトニック結晶構造作製技術の検討," フォトニック結晶の開発と輻射場の制御 第5回公開シンポジウム, 2001年1月31日

(15) 川上彰二郎," Why photonic crystal, why photonic crystal waveguide," 応用物理学関係連合講演会 28p-A-6, 2001年3月28日(招待講演).

共同プロジェクト研究

課題番号　H10/B01

半導体エピタキシャル成長の原子レベル制御に関する研究

[1] 組織

企画者：白石　賢二（ＮＴＴ物性基礎研）
責任者：大野　英男（東北大・通研）
分担者：西永　　頌（名城大・理工）
一宮　彪彦（名大院・工）
押山　　淳（筑波大・物理学系）
中山　　弘（大阪立大工）
纐纈　明伯（東京農工大・工）
伊藤　智徳（三重大・工）
大野　隆央（金材研）
金子　忠明（関西学院大・理）
平岡　佳子（東芝研究開発センター）
五明　明子（NEC光・超高周波デバイス研）
中山　隆史（千葉大・理）
常行　真司（東大・物性研）
秋本　晃一（名大院・工）
上羽　牧夫（名大院・理）
名西やすし（立命館大・理）
阿久津典子（大阪電通大・工）
田中　雅明（東大院・工）
本間　芳和（ＮＴＴ物性基礎研）
吉村　雅満（豊田工大・工）
酒井　　朗（名大院・工）
入沢　寿美（学習院大・計算機センター）
長谷川修司（東大院・理）
長我部信之（日立基礎研）
目黒多加志（理研）
市川　昌和（アトムテクノロジー研究体）
松浦　　孝（東北大・通研）

研究費：校費15万円，旅費100万6320円

[2] 研究経過

今日の情報処理技術において中心的役割を果たしているのは半導体ＣＰＵ，半導体メモリーに代表される半導体デバイスである。近年ではこのような半導体デバイスの微細化のニーズの高まりに伴い，原子レベルで制御可能な半導体デバイス製造技術が求められるようになってきた。ところが，半導体微細加工を担う代表的な技術であるエピタキシャル成長をひとつとってみても，原子スケールでの機構が十分に理解されているとは言いがたい。これは，エピタキシャル成長それ自体が「吸着」，「拡散」，「島形成」，「新たな再構成表面の形成」等，多くの素過程が複雑に絡み合った現象だからである。このため，「半導体エピタキシャル成長の原子レベル制御」の実行には，まず，「表面物理」，「結晶成長」，「電子デバイス」，「第一原理計算」，「統計力学」等，広範な分野の研究者が一同に会して「半導体エピタキシャル成長」について有機的に議論する機会を設けることが第一歩であると考えられる。

このような状況の下，平成10年度に「半導体エピタキシャル成長の原子レベル制御に関する研究」という研究課題で共同プロジェクト研究が採択され，第１回目の研究会が平成10年の10月22日～23日に秋保温泉で，第２回目の研究会が平成11年の11月11日～12日に松島で開催され，エピタキシャル成長に関わる分野間の垣根を越えた活発な議論がなされた。第１回目，第２回目の研究会の成果を踏まえて，本プロジェクト研究会の総まとめとして第３回目の研究会が平成12年7月13日～14日に秋保温泉で開催された。
以下に第３回の研究会に関して報告する。

[3] 成果

（３－１）研究会の成果

第３回研究会は第１回及び第２回研究会と同様，研究分担者に「半導体エピタキシャル成長」に関する研究発表を募集して，平成12年７月13日（木）～14日（金）の２日間にわたって秋保リゾート・ホテルクレセントにて開催された。研究会では３２名の参加者によって活発な討論が行われ，熱のこもった議論が展開された。以下に研究会のプログラムを示す。

７月13日（木）
１．「はじめに」
大野英男（東北大通研）
２．「新リソグラフィ法による３次元周期積層構造形成」
松浦孝，松田一美，室田淳一（東北大通研）
３．「Stress-induced restructuring in the Si(110) surface」
Masamichi Yoshimura and Toshu An（豊田工大）

4．「Si(001)表面における不飽和環式炭化水素の吸着」
赤木和人，常行真司（東大物性研）
5．「シリコン上のナノピラミッドの崩壊過程」
一宮彪彦，林和彦，鈴木雅士，西田俊介（名大院工）
6．「原子層Si酸化膜を用いた超高密度のGeナノアイランドの形成」
市川昌和（ＪＲＣＡＴ）
7．「混晶結晶の組成と微少クラスタ形成過程シミュレーション」
入澤寿美，松本喜以子（学習院大），纐纈明伯（東京農工大）
8．「グラヴィメトリック法を用いたGaN表面分解のその場測定」
真弓美帆，熊谷義直，纐纈明伯（東京農工大工）
9．「MOHVPEによるGaAs(111)面上GaN成長における極性依存性」
熊谷義直，村上尚，纐纈明伯（東京農工大工）
10．「GaNのECRプラズマ励起MBE成長における水素添加効果と成長過程」
名西博之，荒木努，千葉恭男（立命館大理工）
11．「GaとNH$_3$を用いたGaNのガスソースMBE：気相・表面反応と表面構造」
中山弘，間下浩充（大阪市大工）
12．「RDSを用いたSiの層状酸化過程の観測の理論的予言」
中山隆史（千葉大理），村山美佐緒（電通大）
13．「界面Si原子放出を取り込んだ酸化プロセスシュミレーション」
植松真司，影島博之，白石賢二（ＮＴＴ物性基礎研）
14．「Si(001)表面の炭化における3C-SiC核発生機構（招待）」
高桑雄二（東北大・科研）
15．「固相エピタキシー法を用いたSiC成長」
金子忠昭（関西学院大理）
16．「GaAs(111)B微傾斜基板上への強磁性MnAsのエピタキシャル成長」
菅原聡，田中雅明（東大院工）
17．「Si半導体基板上への強磁性MnAs薄膜成長の初期過程」
アーサン M. ナズムル，A.G. バンシチコフ，清水大雅，田中雅明（東大院工）
18．「GaSb:Mnの分子線エピタキシとその性質の成長温度依存性」
松倉文礼，阿部映子，大野裕三，大野英男（東北大・通研）
19．「表面反応への計算科学的アプローチの現状」
奈良純，大野隆央（金材技研）
20．「ZnSe/GaAsヘテロエピタキシーにおける欠陥生成シミュレーション」
中山隆史，佐野和亮（千葉大理）

7月14日（金）
21．「低角入射MBEによるGaAsのマイクロチャネルエピタキシー」
西永頌（名城大理工），G.Bacchin（東大先端研）
22．「III-V族混晶の秩序形成における成長表面構造の役割」
五明明子，鈴木徹（NECシステムデバイス・基礎研究本部）
23．「ビーム誘起表面反応と結晶成長」
目黒多加志（理研）
24．「Ge/Si系エピタキシャル成長と歪緩和のメカニズム」
酒井朗（名大院工）
25．「微斜面における吸着子効果?」
阿久津典子（大阪電気通信大学工学部）
26．「GaAs(001)微斜面の成長シミュレーション」
伊藤信（学習院大計算機センター），大野隆央（金材技研）
27．「エピタキシャル成長：原子間ポテンシャルでわかること」
伊藤智徳（三重大工），寒川義裕（学習院大計算機センター），白石賢二，田口明仁（NTT物性基礎研）
28．「おわりに」
白石賢二（ＮＴＴ物性基礎研）

今回の総まとめの研究会で目立った研究の進展についてその簡単に述べる。今回特に注目すべき結果は中山ら（千葉大理）によって発表されたRDS法によるシリコン／酸化膜の界面ラフネスの非破壊観測制御法の理論提案である。現在ＬＳＩ技術において大きな問題となっているのは「数原子層にまで薄層化しているゲート酸化膜の絶縁耐性をいかに向上させるか？」ということである。絶縁破壊に悪い影響を与える要因の一つとしてシリコン／酸化膜界面のラフネスがあげられる。本理論提案はRDS法を用いることによって，熱酸化工程中にシリコン／酸化膜界面ラフネスを非破壊で観測，制御できる可能性を示したインパクトのある成果である。現在では本理論提案を受けて半導体製造装置メーカーとして名高い東京エレクトロン株式会社よって半導体製造装置に本観測制御

法を組み込む試みが行なわれている。この成果は3年間の本プロジェクト研究会での議論を通して理論と実験の密接な連携が行われた結果として，半導体表面・界面のRDSスペクトルの計算手法が確立されたことが重要な基礎となっていることも追記する。

酸化現象自体の解明においても大きな進展が見られた。植松ら（ＮＴＴ物性基礎研）は第一原理計算によって得られたミクロスコピックな酸化機構をマクロスコピックな拡散方程式に取り込むことにより40年近くにもわたって解明することができなかった「初期増速酸化現象」を説明することに成功した。今後は本理論に基づいた酸化シミュレータの開発が期待されるところである。

成長中の島の形成崩壊過程の解明に関しても大きな進展が見られた。一宮ら（名大院工）はSi(001)表面上にSTMによって形成されたピラミッド状の島の崩壊が条件によっては拡散律速によって支配されることを臨界指数を実験的に観測することによって明らかにした。酒井ら（名大院工）はSi/Ge界面に形成されたミスフィット転位の歪み場がGe島の形成の大きなきっかけとなることを示した。また市川ら（JRCAT）は酸化膜マスクを用いたSelective Area Growthによって高密度のGe島が形成されることを示した。

磁性半導体のエピタキシー（大野英男グループ・東北大通研，田中グループ・東大院工）表面におけるエピタキシャル成長の素過程（大野隆央グループ・金材研，伊藤グループ・三重大工，西永グループ・名城大，etc.)の研究等にも大きな進歩が得られ，興味深い報告が多くなされた。

（3－2）波及効果と発展性など

3年にわたる共同プロジェクト研究会の議論によって，「理論研究」と「実験研究」の間の垣根が著しくに低くなったことが実感される。さらに，今回は現実に理論と実験が密接なタイアップした研究成果の報告もいくつかなされ，本研究会が目指している「有機的な研究者間の協力」の一端が実現されたことを実感できた。特筆すべきは，原子レベルの理論研究とマクロスコピックな実験研究のタイアップが実現され，さらには実用化につながる可能性のある研究結果までもが得られたことである。これらの例は，「理論」と「実験」，「ミクロ」と「マクロ」，さらには「基礎」と「応用」さらには「実用化」をつなぐ今後の研究のモデルケースになってゆくと考えられる。

今後は本プロジェクト研究会を通して得られた成果を基礎に，さらに一層の「分野と越えた研究協力」を発展させてゆきたいと考えている。

［4］まとめ

本プロジェクト研究会は，「表面物理」，「結晶成長」，「電子デバイス」，「第一原理計算」，「統計力学」等，広範な分野の研究者が一同に会して「エピタキシャル成長」について有機的に議論する機会を設けることにより，「半導体エピタキシャル成長の原子レベルでの制御技術」の確立に資することを目的として組織された。計3回のプロジェクト研究会が平成10年10月22日～23日，平成11年の11月11日～12日，平成13年7月13日～14日に行われ，活発で有機的な討論が行われた。3年間のプロジェクト研究会の討論の結果として「理論研究」と「実験研究」の間の垣根が著しくに低くなり，理論と実験が密接なタイアップした研究成果の報告がなされるようになった。

最後に3年間の実りある共同プロジェクト研究会の場を設けて下さった東北大学電気通信研究所に心から感謝する。

課題番号　H10/B02

環境共生型量子反応制御プロセスに関する研究

[1] 組織

代表者：後藤　俊夫（名古屋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：
佐藤　徳芳（東北大学工学研究科）
室田　淳一（東北大学電気通信研究所）
難波　秀利（立命館大学理工学部）
宇理須恒雄（分子科学研究所）
尾嶋　正治（東京大学工学研究科）
上野　信雄（分子科学研究所）
竹田　美和（名古屋大学工学研究科）
堀　　勝（名古屋大学工学研究科）
石川　順三（京都大学工学研究科）
河合　良信（九州大学総合理工学研究科）
渡辺　征夫（九州大学工学研究科）
真壁　利明（慶応義塾大学理工学部）
今西　信嗣（京都大学工学研究科）
岩崎　裕（大阪大学産業科学研究所）
奥山　雅則（大阪大学基礎工学研究科）
黒木　幸令（九州大学システム情報科学研究科）
八百　隆文（東北大学金属材料研究所）
飯塚　哲（東北大学工学研究科）
高桑　雄二（東北大学科学計測研究所）
前濱　剛廣（琉球大学工学部）
関根　誠（超先端電子技術開発機構）
今村　隆史（国立環境研究所）
寒川　誠二（日本電気㈱マイクロシステム研究所）

研究費：校費150千円，旅費　866,180円

[2] 研究経過

【概要】

電子デバイスの製造技術は飛躍的に発展してきた。しかし，豊かな人間生活を支える科学技術の急速な発展の代償として，資源・エネルギーの浪費，およびそれに伴う環境の破壊が大きな問題となっている。この問題を解決するために，今後あらゆる科学技術の分野で，省エネルギー・低負荷の「環境共生型」技術を開発していくことが焦眉の急となっている。

本プロジェクト研究は，この要請に答えるべく，現在用いられているプロセス用の各種材料ガスおよびそれの代替となる原材料を用いた，プラズマ・イオン・光プロセス中の量子反応過程を系統的に研究し，低環境負荷・高効率反応経路を見出し，その反応の制御法を開発ことにより，次世代の電子デバイスを創製できる「環境共生型量子反応制御プロセス」を確立するためのストラテジーを構築することを目的とした。

環境問題は今や人類の最も重要な課題となっており，材料・エレクトロニクスのような先端技術に関わる研究者もそれに対する強い問題意識を持っており，その解決策を模索していると思われる。しかし，この問題は，問題の複雑さ・深刻さにより，個々の研究者が個別に取り組むことは極めて難しい状況にある。そこで，本研究プロジェクトでは，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，物理・化学分野の研究者の英知も結集して，新しい環境共生・ゼロエミッション型の反応プロセス制御法の開発のためのストラテジーを構築するための討論を行うことを目的とした。また，必要に応じ，環境問題の専門家を特別講師として招聘し，地球規模の環境問題についての認識も深めることも目的とした。

21世紀の電子デバイス製造技術は，何らかの形で省エネルギー・低環境負荷の「環境共生型」技術となることが強く求められてくる。そして，生産される電子デバイスも省エネルギー型のものになっていくであろう。このような大きな流れが始まっている中で，様々な分野で環境にマッチした科学技術の研究が開始されようとしている。本研究プロジェクトは，このような背景の中で，これからの材料・デバイスプロセス技術が今後どのように進展すべきかを，様々の角度から総合的に検討した。

【本年度の成果】

本共同プロジェクト研究「環境共生型量子反応制御プロセス」のシンポジウムを平成11年12月8日，9日の二日間にわたって開催した。シンポジウムの趣旨は，新しい半導体プロセス制御技術についての今後の展望，戦略を検討することとした。今年度は，特に表面反応制御を中心に討論した。

シンポジウムの前半はプラズマ反応の基礎について，最近大きな進展が見られる原子・分子レベルの反応過程の解明についての議論を行い，後半は具体的な反応制御法についての議論を行った。

シンポジウム参加者は，民間研究機関からの参加者，大学院生を含め50名で，二日間にわたって活発な討論が行われた。最後にシンポジウムのプログラムを付記する。

12月8日(金)
開会挨拶　プロジェクト研究代表者　後藤 俊夫（名古屋大学院工）（代理：庭野道夫）
セッション1　反応の基礎
「ハロゲンによるSi表面のエッチング：エッチング速度の表面濃度依存性」(特別講演)　中山幸仁（東北大学金研）
「ナノスケール選択成長のための極薄マスク作製におけるプラズマの利用」　安田哲二（融合研，JRCAT）
「赤外反射分光による半導体表面反応ダイナミクスの解明」　庭野道夫（東北大通研）

セッション2　反応の制御
「プラズマエッチング技術の高精度化へのチャレンジと今後の展望」（特別講演）　寒川誠二（東北大流体研）
「反応性プラズマ中電子温度制御による薄膜堆積と膜質制御」　飯塚　哲（東北大院工）
「エッチング，CVDにおける現状と課題，展望」大森　達夫（三菱電機）
「微細銅配線形成用CVDの現状と課題」　白谷正治（九大院工）

12月9日(土)
討論会　「サブサーフェス科学の開拓に向けて」
基調講演　「プラズマプロセスにおけるサブサーフェスの科学への挑戦」藤山　寛（長崎大学）
自由討論
話題提供　堀　勝（名大工院），伊達広行（北大），節原　裕一（阪大接合研），小松正二郎（科学技術庁無機材質研究所）

[3] 成果

（3－1）研究成果

「環境共生型量子反応制御プロセス」は簡単に結論が出るテーマではなく，その解決の糸口を見出すだけでも数年の研究期間が必要である。また，これから21世紀に向けて，環境問題とエネルギー問題が人類に課せられた大きな研究テーマになることは間違いない。その意味で本研究テーマは21世紀の研究課題といえる。したがって，本共同研究プロジェクトは，21世紀の研究課題の問題設定を行う意味で非常に重要な役割を担っている。

本プロジェクト研究は一昨年からの継続課題である。本年度はプラズマ表面反応のについて集中的に討論した。特に，プラズマ反応の場合，反応が進行するのは従来言われている表面ばかりでなく，サブサーフェスと呼ぶ固体側及びプラズマ側に広がった空間での反応の挙動が重要であるという認識から討論し，これからの環境共生型プラズマ反応の制御にはこのサブサーフェスの理解が必要不可欠であるという結論に至った。さらに，このプロジェクトを，サブサーフェスをテーマとした新たなプロジェクト研究につなげていくべきであることが結論された。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクト研究をベースとして，文部省特定領域研究（B）「サブサーフェス制御知能プラズマプロセス—3次元ナノデザインシンセシスに向けて—」を藤山寛教授（長崎大）を領域代表者として申請した。
研究の概要は以下の通りである。

21世紀の量産ナノ加工技術として期待されているプラズマプロセスにおいて，気相・固相界面と固相バルク及び気相バルクの間に存在する遷移相（サブサーフェスと呼ぶ）が膜質や加工結果に対して決定的な役割を果たしていることが最近明らかになってきた。バルクと表面の科学は，20世紀に大きく発展したが，サブサーフェスの科学は，ほとんど解明されていない。本特定領域研究の目的は，3次元ナノデザインシンセシス実現のために，プラズマプロセスで発生するサブサーフェスの科学を理解し，その理解をもとにインテリジェントなプラズマ制御を行い，量産ナノ加工にブレークスルーをもたらす技術としてプラズマプロセスを発展させることである。具体的には研究項目A：サブサーフェス時空間反応制御で，量産ナノ加工技術としてプラズマプロセスを発展させるためにサブサーフェスを自在にコントロールするためのインテリジェントなプラズマ制御手法を確立する。研究項目B：サブサーフェスナノモニタリングで，サブサーフェスの科学を明らかにするためサブサーフェスのモニタリング手法を確立する。研究項目C：時間発展サブサーフェスナノデザインで，プ

ラズマプロセス中に生じるナノ加工形状の3次元経時変化とサブサーフェスとの関わりを明らかにするためサブサーフェスのモデリング，シミュレーション手法を確立する。

[4] 成果資料

本プロジェクト研究は環境共生型量子反応制御プロセスに関する調査研究に主眼が置かれているため，主に，プロジェクト研究参加者のこれまでの研究の成果をまとめる作業を行った。そこで，参考資料として，本プロジェクト研究で行ったシンポジウムの報告書を添付する。

共同プロジェクト研究

課題番号　H10/B03

テラフォトニクスの研究

[1] 組織

企画者：伊藤　弘昌（東北大学電気通信研究所）
責任者：伊藤　弘昌（東北大学電気通信研究所）
分担者：
平川　一彦（東京大学生産技術研究所）
野田　　進（京都大学工学研究科）
小林　喬郎（福井大学工学部）
佐々木孝友（大阪大学工学研究科）
萩行　正憲（大阪大学超伝導エレクトロニクス研究センター）
日高　建彦（湘南工科大学）
猿倉　信彦（分子科学研究所）
平等　拓範（分子科学研究所）
井筒　雅之（郵政省通信総合研究所）
阪井　清美（郵政省通信総合研究所）
小野寺紀明（郵政省通信総合研究所）
K.S.アベディン(郵政省通信総合研究所）
伊藤日出男(通産省電子技術総合研究所）
田代　英夫（理化学研究所）
和田　智之（理化学研究所）
上杉　　直（NTT基礎研究所）
永沼　　充（NTT光エレクトロニクス研究所）
中沢　正隆（NTT光ネットワークシステム研究所）
横山　弘之(日本電気光エレクトロニクス研究所）
小川　　洋（沖電気 半導体技術研究所）
平野　嘉仁(三菱電機情報技術総合研究所）
丹羽　英二（電気磁気材料研究所）
鈴木　　哲（仙台電波高専）
宮城　光信（東北大学工学研究科）
斎官清四郎（東北大学理学研究科）
横尾　邦義（東北大学電気通信研究所）
水野　皓司（東北大学電気通信研究所）
大野　英男（東北大学電気通信研究所）
谷内　哲夫（東北大学電気通信研究所）
森　　勇介（大阪大学大学院工学研究科）
吉村　政志（大阪大学大学院工学研究科）
四方　潤一（東北大学電気通信研究所）
川瀬　晃道（理化学研究所PDC）
南出　泰亜（理化学研究所PDC）
今井　一宏（理化学研究所PDC）
佐藤　　篤（理化学研究所PDC）

研究費：校費12万円，旅費81万8千円

[2] 研究経過

光波とマイクロ波・ミリ波の境界領域にある1THz～100THzの周波数領域(波長が3～300μm)は，未開拓な電磁波スペクトル空間であり物性物理学，応用物理学，生命科学等の研究分野において新たな現象の発見をもたらす可能性がきわめて高い。

本研究では，非線形光学効果を軸として光波からコヒーレントなテラヘルツ波を発生技術とともに，周辺技術である検出や制御技術およびその応用システムまでの一連の研究を展開し，この電磁スペクトル空間により生み出される新しい科学技術分野である「テラフォトニクス」の確立と体系化をはかることを大きな目的としている。

テラフォトニクスに関する最新の研究状況と将来の研究方向を議論するために，産官学の共同研究者を仙台に招聘し，5回の研究会を開催した。平成12年度の第5回研究会の開催日程とプログラムは次のとおりである。

第5回テラフォトニクス研究会

日時：2000年10月17日(火)
　　13:00～18日(水)15:00
場所：仙台秋保温泉 緑水亭会議室
中心テーマ：「テラフォトニクス計測技術の新展開」

10月17日(火)

1.「光伝導アンテナによる超広帯域電磁波検出」
　谷　正彦（郵政省通信総合研究所 関西先端研究センター)

2.「フェムト秒レーザー励起による半導体からのテラヘルツ電磁波放射」
　大竹秀幸（分子科学研究所）

3.「三日月形状量子細線からのTHz電磁波発生」
　諸橋功1, 2, 3，日高建彦1，小森和弘2, 4，小倉睦郎2, 3，王学輪2，菅谷武芳2，中川格2(湘南工大1，電総研2，CREST-JST3，PREST-

JST4)

4．「時間領域テラヘルツ分光システムによる材料評価への応用」
菜嶋茂喜（大阪大学超伝導フォトニクス研究センター）

5．「テラヘルツ分光と化学への応用」
田中桂一（九州大学大学院理学研究院）

6．「光注入によるテラヘルツ波パラメトリック発生（TPG）の狭線化・高出力化」
川瀬晃道1，四方潤一2，今井一宏1，伊藤弘昌1, 2（理化学研究所フォトダイナミクス研究センター1，東北大学電気通信研究所2）

10月18日(水)

7．「ポンププローブ法を用いた低温成長GaAsにおけるキャリア寿命のアニール温度依存性の評価」
矢野隆治1，平山祥郎1，宮下 宣2，佐々布宏之4，中野秀俊1，上杉 直3，上原信吾4（NTT物性科学基礎研究所1，NTT-AT 2，東北工業大学3，成蹊大学4）

8．「非線形光導波路中での被変調光入力によるミリ波の発生」
堀利浩，朴己煥，川西哲也，井筒雅之（郵政省通信総合研究所）

9．招待講演：「アンテナ結合テラヘルツ波検出素子」
安岡義純（防衛大学校）

10．招待講演：「超伝導体を用いた放射線検出器の開発」
清水裕彦（理化学研究所）

11．招待講演：「テラヘルツ帯における超伝導検出器」
陳　健（東北大学電気通信研究所）

12．招待講演：「テラヘルツ領域での単一光子検出」
小宮山進（東京大学大学院総合文化研究科）

[3] 成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第一に，「テラフォトニクス」の新しいコンセプトを本研究会で議論しながら作り上げていくことができた。第5回研究会では共同研究者の研究状況の紹介と共に，テラヘルツ波検出技術，レーザ・非線形光学技術を議論した。

第二に，九州大学理学部田中桂一教授らの研究グループと共同で，THz波分光システムの分光対象となる気体スペクトルに関する検討を行い，分光システムの優れた性能を引き出すことに成功した。

（3－2）波及効果と発展性など

本研究会から共同研究に発展した事例を以下に記す。湘南工科大学の日高教授らのグループと「可とう性テラヘルツ帯中空導波路」に関する共同研究を行った。また，大阪大学の萩行教授らのグループと「非線形光学結晶のTHz波領域におけるパラメトリック特性」に関する共同研究を行った。また，工業技術院資源環境技術総合研究所の山田研究員と「THz波領域における各種資料の振動モード」に関する検討を進めた。

本研究会により築かれたテラフォトニクスに関する研究討論の場を通して，電磁スペクトルのフロンティアであるテラヘルツ技術に関して，材料研究者からデバイスおよびシステム研究者までの専門研究者間において活発な討論が行われ，共通の課題認識と将来方向を考えることができ有益であった。今後引き続きさらに研究を深め，国際的にも大きく拡大する予定である。

[4] 成果資料

(1) 日高建彦，伊藤弘昌，諸橋功，小森和宏，中川格，”強誘電体PVDFをクラディング材とする可とう性テラヘルツ帯中空導波路，”電子情報通信学会論文誌C，vol.J84-C，No.1，pp.57-60，2001.

(2) 前田進一，南出泰亜，伊藤弘昌，日高建彦，”強誘電体PVDFを壁材とするTHz導波路の特性評価，”第48回応用物理学関係連合講演会, 30p-H-10, 明治大学, 東京 (Mar. 30, 2001).

(3) 菜嶋茂喜，萩行正憲，四方潤一，伊藤弘昌，”時間領域テラヘルツ分光法によるMgO:LiNbO3のTPG特性評価”，第48回応用物理学会関係連合講演会，29p-V-7，明治大学，東京（Mar. 29, 2001）.

(4) K. Imai, K. Kawase, J. Shikata, H. Minamide, and

H. Ito, "Injection-seeded terahertz-wave parametric oscillator," Applied Physics Letters, Vol.78 No.8 pp. 1026-1028 (2001).

(5) K. Kawase, J. Shikata, H. Minamide, K. Imai, and H. Ito, "Arrayed silicon prism coupler for a THz-wave parametric oscillator," Applied Optics, Vol. 40, No. 9, pp. 1423-1426, (2001).

(6) K. Kawase, J, Shikata, K. Imai, and H. Ito, "A Transform-limited, Narrow-Linewidth, THz-wave Parametric Generator," Applied Physics Letters, in print (May 2001).

(7) 今井一宏，菅原郷史，四方潤一，川瀬晃道，南出泰亜，伊藤弘昌，"テラヘルツパラメトリック発振の光注入動作"，電子情報通信学会論文誌, Vol. J84-C, No. 3, pp. 184-191 (Mar. 2001).

(8) J. Shikata, K. Kawase, K. Karino, T. Taniuchi, and H. Ito, "Tunable Terahertz-wave Parametric Oscillators Using LiNbO3 and MgO:LiNbO3 crystals," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques., Vol. 48, No. 4, pp. 653 - 661 (2000).

(9) K. Kawase, T. Hatanaka, H. Takahashi, K. Nakamura, and H. Ito, "Tunable THz-wave generation from DAST crystal using dual signal-wave parametric oscillation of PPLN" Optics Letters, Vol. 25, No. 23, pp. 1714-1716 (2000).

(10) 狩野健一, 四方潤一, 川瀬晃道, 伊藤弘昌, 佐橋家隆, "MgO:$LiNbO_3$を用いたTHz波パラメトリック特性の検討," 電子情報通信学会論文誌, Vol. J83-C, No. 4, pp. 268-275 (2000).

(11) J. Shikata, K. Kawase, M. Sato, T. Taniuchi, and H. Ito, "Enhancement of THz-wave output from LiNbO3 optical parametric oscillators by cryogenic cooling," Optics Letters., vol. 24, pp.202-204 (1999).

(12) K. Kawase, M. Mizuno, S. Sohma, T. Taniuchi, Y. Urata, and H. Ito, "Difference-frequency terahertz-wave generation from 4-dimethylamino-N-methyl-4-stilbazolium-tosylate by use of an electronically tuned Ti:sapphire laser," Optics Letters, vol. 24, no. 15, pp. 1065-1067 (1999).

(13) 川瀬晃道, 廣本宣久, 藤原幹生, "光学研磨法を用いた溶融石英膜による Geおよび GaAsのテラヘルツ波帯無反射コーティング," 電子情報通信学会論文誌C-I, Vol. J82-C-I, No. 5, pp. 260-264 (1999)

(14) 川瀬晃道，伊藤弘昌," パラメトリック発振によるTHz光の発生," 応用物理, vol. 68, no. 12, pp. 1388-1389 (1999).

(15) 森川顕洋，川瀬晃道，四方潤一，谷内哲夫，伊藤弘昌，" 台形非線形光学結晶を用いたテラヘルツ帯パラメトリック発振器"，レーザー研究，vol.27，no.6，pp.426-429(June, 1999).

課題番号　H11/B01

マイクロ磁気システムの研究

[1] 組織

代表者：山口　正洋（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：
山崎二郎（九州工業大学工学部）
阿部正紀（東京工業大学電子物理工学科）
井上光輝（豊橋技術科学大学第３工学系）
内山　剛（名古屋大学大学院工学研究科）
逢坂哲彌（早稲田大学理工学部）
角野圭一（横浜国立大学工学部）
川人祥二（静岡大学電子工学研究所）
菊地新喜（東北学院大学工学部）
早乙女英夫（千葉大学工学部）
笹田一郎（九州大学大学院総合理工学研究科）
佐藤敏郎（信州大学工学部）
島田　寛（東北大学科学計測研究所）
白川　究（財団法人電気磁気材料研究所）
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）
辻本浩章（大阪市立大学工学部）
中野正基（長崎大学工学部）
芳賀　昭（東北学院大学工学部）
本田　崇（九州工業大学工学部）
松木英敏（東北大学大学院工学研究科）
宗像　誠（崇城大学エネルギーエレクトロニクス研究所）
山口　崇（九州産業大学工学部）
山田外史（金沢大学工学部）
山本節夫（山口大学工学部）

研究費：公費15万円，旅費137万８千円

[2] 研究経過

本研究会は平成11年度に発足し，まずこれまで個別に独立したレベルで議論されてきたマイクロ磁気デバイスと磁気マイクロマシンをシステムレベルで捉え直し，半導体回路システムならびに光回路システムなどからみた磁気デバイス・マシンへのニーズを探索した。その結果RF帯薄膜磁性材料，半導体整合プロセス技術，新機能デバイス，マイクロEMCなど，マイクロ磁気システムを構築する上で不可欠の要素技術を洗い出した。

本年度はこれまでの総花的な議論を収束させ，RF集積化インダクタとその材料技術，マイクロ領域におけるEMC問題（マイクロEMC），磁性薄膜の機能性を利用した新デバイス開発，マイクロ電源，生体用磁気マイクロマシンに研究目的を絞る。そして研究会の議論をベースに実質的な研究フェーズに入り，共同プロジェクト研究としての実を挙げる体制を作った。

以下に研究及び研究会活動の概要を記す。

(a) 研究活動

まず平成12年4月21～22日には，逢坂哲彌教授（早稲田大学理工学部）の研究協力者である横島時彦助手と川島麻子氏（大学院学生）が電気通信研究所を訪れ，マイクロ磁気デバイス用及び高密度情報記録システム用記録ヘッド材料として期待される高飽和磁化FeNiCoMoC 薄膜の高周波特性に関する議論と，1MHz～3GHz帯複素透磁率測定装置による材料評価実験を行った。材料電気抵抗率が高いほど高周波特性に優れ，300 MHzまで広帯域な透磁率を示す材料が得られていることが分かった。その成果は平成12年9月に開催された日本応用磁気学会学術講演会で発表された。

平成12年5月17～18日には，三菱電機株式会社先端技術総合研究所の田邉信二氏を招聘し，高周波電磁界の計算方法とマイクロ磁気デバイスにおける電磁干渉問題について講演と議論をして頂いた。とくに磁性膜の表面における磁気シールド効果はマイクロ磁気デバイスの設計およびマイクロEMC対策上極めて重要な現象であり，この点について理解を深めた。

平成12年5月27日および平成13年1月25日には，秋田県高度技術研究所の丹　健二氏が電気通信研究所を訪問し，高周波キャリア型薄膜磁界センサの微細化ならびに自然共鳴周波数以上の超高周波帯における動作機構について議論を行った。東北大通研，秋田県高度技術研究所および九州工業大学は共同で，自然共鳴周波数以上の超高周波帯における動作機構の解明を世界に先駆けて進めており，高感度領域に動作点を設定するためのバイアス磁界強度が動作周波数の平方根に比例して増加すること，これはバイアス電力を増大させ実用上の障害となるがこれを打破する新しい動作メカニ

ズムが存在することなどが明らかになった。研究成果は，[4] 成果資料に示したように，国内外の学会で発表した。

平成12年6月19～22日には，阿部正紀教授（東工大）の研究協力者である来馬大介氏（大学院生）が電気通信研究所を訪れ，低温プロセスによる絶縁性高周波軟磁性材料として期待されるスピンスプレー法によるフェライトめっき膜について議論と高周波複素透磁率の測定実験を行った。その成果は平成12年9月に開催された8th International Conference on Ferrite (ICF8)で発表された（招待講演）。

平成12年8月17～19日には，山崎二郎教授（九工大）の研究協力者である竹澤昌晃助手が電気通信研究所を訪れ，自然共鳴周波数以上の超高周波帯における高周波キャリア型薄膜磁界センサの動作機構について議論した。秋田県高度技術研究所による実験結果とあわせ，日本応用磁気学会誌に投稿した。

平成13年3月5～6日には，宗像誠助教授（崇城大）が東北大通研を来訪し，GHz帯の軟磁性薄膜材料として期待される(CoFeB)-(SiO2)系グラニュラ薄膜材料の材料開発と，RF集積化インダクタへの適用実験の結果について議論した。また研究協力者である古城圭一氏（大学院生）が平成12年9月20～22日に東北大通研を訪れ，同材料の高周波透磁率評価を行った。

平成13年3月5～6日には，川人祥二教授（静大）が電気通信研究所を訪れ，LSIおよび高密度実装プリント配線板上の電磁界計測に関する新しい回路技術について議論を行った。これは静大と東北大通研の新しい共同研究に発展する見込みである。

(b) 研究会活動

以上のような共同研究の遂行とともに，マイクロ磁気システムに関する最新状況を議論するため，平成13年2月8～9日に公開の研究会を開催し，集中的に討議した（共催：東北大学電気通信研究所スピニクス研究会，主査：一ノ倉　理。協賛：電気学会マイクロ磁気デバイスのシステム化調査専門委員会，委員長：東北大 山口正洋。同：電気学会磁気マイクロマシンシステム調査専門委員会委員長：九工大 山崎二郎)。

01-1-1 GeSbTe系相変化型光記録媒体の微細構造制御と記録再生特性，海老名敦（帝人（株）記録メディア研究所）

01-1-2 水溶液中から作製したNiZnフェライト薄膜の高周波透磁率，阿部正紀，来馬大介，松下伸広（東京工業大学・理工学研究科・電子物理工学専攻）

01-1-3 プラズマを活用してのフェライト薄膜の低温製造技術，山本節夫，栗巣普揮，松浦　満（山口大学工学部）

01-1-4 PLD法を用いて作製したSmFeN，NdFeB系磁石薄膜の磁気特性，中野正基，堤慎一，福永博俊（長崎大学）宋在満（韓国海洋大学）

01-1-5 不安定なブロッホ磁壁運動の制御，奥野光，竹村優一，和泉康弘（筑波大学　機能工学系）

01-1-6 永久磁石反発形磁気軸受の小型化とその応用，山田外史，大路貴久，東剛人,岩原正吉(金沢大学工学部)

01-1-7 交流励磁マイクロプローブによる導体微細構造の画像化，笹田一郎（九州大学大学院総合理工学研究院）

01-1-8 GHz帯における薄膜ノイズ抑制材料の開発とその評価，伊藤哲夫（東北学院大院），菊地新喜（東北学院大），島田 寛（東北大科研），小野裕司（TOKIN）安藤 慎輔（TOKIN），吉田栄吉（TOKIN），津田文史郎（環境電磁技術研究所），山口正洋（東北大通研），荒井賢一（東北大通研），大沼繁弘（電気磁気材料研究所），増本　健（電気磁気材料研究所）

01-1-9 電子SI技術プロジェクトにおけるEMC/EMI技術，星野茂樹（技術研究組合　超先端電子技術開発機構(ASET)電子SI技術研究部筑波研究センタ

01-1-10 (CoFeB)-(SiO2)系高電気抵抗膜における透磁率特性の膜厚依存性と基板の影響，宗像　誠（崇城大EE研究所），本山真潮（デルタワークス），八木正昭（崇城大EE研究所），島田　寛（東北大科研），馬場　誠，山口正洋，荒井賢一（東北大通研）

01-1-11 ワンチップ電源用プレーナインダクタの漏洩磁束によるLSI内部配線へのローカルEMIに関する検討，佐藤敏郎，堀内浩，山沢清人（信州大学工学部電気電子工学科）

01-1-12 2ポート型RF強磁性薄膜インダクタ，山口正洋，馬場誠，茂泉孝，栗原崇，荒井賢一(東北大通研)

01-1-13 薄膜電磁機能素子，辻本浩章，山代諭（大阪市立大学 工学部 電気工学科）

01-1-14 弾性板の揺動を利用した電磁駆動型マイクロポンプの開発と応用，薮野厚司，本田崇，山崎二郎（九州工業大学）

01-1-15 GHz帯高周波キャリア型薄膜磁界センサの感度における形状効果，丹　健二，山口正洋*，山川清志，大内一弘，荒井賢一*（秋田県高度技術研究所，*東北大通研）

01-1-16 MIマイクロ磁気センサおよびSIマイクロ

磁気センサ応用の新展開，内山　剛，沈麗平，毛利佳年雄（名古屋大学）

01-1-17 LIGAプロセスによる高周波厚膜磁心の製作に関する研究，瀧本晋輔，上野洋，杉山進(立命館大学)，山口正洋，馬場誠，荒井賢一（東北大学）

[3]成　果

（3－1）研究成果

まず第1に，準マイクロ波帯での応用を目的とした高周波軟性薄膜材料の開発と研究者間の情報交換が進んだ。すなわち，めっき法による$(Ni,Zn,Fe)_3O_4$フェライト膜，放電プラズマ焼結法および反応性ECRスパッタ法によるフェライト膜，パルスレーザ照射法によるフェライト膜，回転基板型二元同時RFマグネトロンスパッタ法による(CoFeB)-SiO_2グラニュラ膜，CoAlPdOグラニュラ膜，マイクロパターン化CoNbZrアモルファス膜，FeNiCoMoめっき膜，およびNiFe/FoCoN/NiFe微結晶膜などが開発され，本研究会を通して高周波特性の評価がなされ，デバイス応用上の特徴が明らかになった。

これらの薄膜は将来，素子・デバイスに応用される。ワンチップ電源用プレーナインダクタ，RF集積化強磁性薄膜インダクタ，薄膜電磁機能素子，GHz帯高周波キャリア型薄膜磁界センサならびに，MIマイクロ磁気センサおよびSIマイクロ磁気センサなどの研究が進展し，動作機構の解明と高周波特性の改善ならびに新たな応用分野の開拓がなされた。

更に，高集積化・高密度実装化に伴う機器内EMCに関する研究が進み，新しいマイクロ磁気プローブ技術，磁界マッピング・解析技術および集積化電磁雑音対策材料・素子が開発された。

（3－2）波及効果と発展性

本研究会は磁気・磁界を機軸としたマイクロシステムに関する議論・情報交換の場としての重要性を年々高めており，今年度は実質的な共同研究に基づく原著論文を13件報告できた（印刷中を含む）。また東工大・阿部正紀教授，静岡大・川人祥二教授，山口大・山本節夫助教授らが新たに参画され，研究者ネットワークが拡充した。共同研究を通して若手研究者の育成・交流も進んだ。

昨年本研究会で提案された概念“マイクロEMC”は，通信・放送機構による平成12年度地域提案型研究開発制度に係る研究開発課題「ナノ構造制御電波吸収薄膜材料のマイクロEMC評価技術」（代表者：島田　寛教授，東北大）に発展した。

本研究会の議論を通して開発されたGHz帯高周波キャリア型薄膜磁界センサは，平成13年度からASETがNEDOから委託されて行っている通商産業省のプロジェクト「超高密度電子SI技術の研究開発」の再委託研究を受けて実施することとなった。

高周波軟性薄膜材料を用いたRF集積化インダクタは，半導体分野の研究者との議論・意見交換が進んだ結果，平成12年度から開始された文部省科学研究費特定領域研究(A)[2]「超機能化グローバル・インターフェース・インテグレーション研究」（領域代表者：堀池靖浩教授，東大）に参画することとなり，今後の発展が期待されている。

[4] 成果資料

(1) “Miniaturization of High-Frequency Carrier- Type Thin-Film Magnetic Field Sensor Using Laminated Film,” M. Takezawa, H. Kikuchi, M, Yamaguchi, and K. I. Arai, IEEE Trans. Magn., 36, 3664-3666, 2000.

(2) “(CoFeB)-(SiO2)系アモルフィス高電気抵抗膜の高周波特性とGHz帯インダクタへの応用”, 宗像誠，八木正昭，島田寛，馬場誠，山口正洋，荒井賢一，電気学会論文誌, vol. 120-A, No. 5, pp. 638- 644 (2000.5)

(3) “(CoFeB)-(SiO2)系高電気抵抗膜の高周波透磁率特性”, 宗像　誠，八木正昭，島田 寛，馬場誠，山口正洋，荒井賢一，日本応用磁気学会誌, vol. 24, pp. 695-698, 2000.

(4) “高周波キャリア型薄膜磁界センサの小形化の検討”, 竹澤昌晃，網代紀行，山口正洋，荒井賢一，若生直樹，阿部岩男，辻　真哉，板垣篤，日本応用磁気学会誌, vol. 24, pp. 727-730, 2000.

(5) “高周波集積化インダクタの研究動向”, 山口正洋，荒井賢一，日本応用磁気学会誌, vol. 25, pp. 59-65, 2001.

(6) “Micro-Size Magnetic Strip for Ultra High Frequency Carrier Type Magnetic Field Sensor,” K. Tan, M. Yamaguchi, K. Yamakawa, K. Ouchi and K.I. Arai, IEEE Trans. Magn., 37 (September 2001, in press).

(7) “Frequency Dependence of Permeability of Highly Electrically Resistive (CoFeB)-(SiO2) Film for GHz- Inductor,” M. Munakata, M. Motoyama, M. Yagi, Y. Shimada, M. Yamagichi and K. I. Arai, IEEE Trans. Magn., 37 (September 2001, in press).

(8) “Fabrication of Structured Thick Magnetic Film for High Frequency Magnetic Cores Using LIGA

Process," Shinsuke Takimoto, Hiroshi Ueno, Susumu Sugiyama, Masahiro Yamaguchi, Makoto Baba and Ken-Ichi Arai, IEEE Trans. Magn., 37 (September 2001, in press).

(9) "Properties of high resistivity CoPdAlO film for possibility of application to RF integrated inductor," Taek Soo Kim, Kenkichi. Suezawa, Masahiro Yamaguchi, Ken-Ichi. Arai, Yutaka. Shimada and Chong-oh Kim, IEEE Trans. Magn., 37 (September 2001, in press).

(10) "High Frequency (10 MHz～3 GHz) Permeability of (Ni,Zn,Fe)3O4 Films Prepared by Ferrite Plating at 90℃ (Invited), D. Kuruma," M. Yamaguchi, S. Yabukami, Y. Kitamoto, N. Matsushita, K. I. Arai, and M. Abe, Proceedings of the 8th International Conference on Ferrite, 19AaII-1 (September, 2000, Kyoto, Japan).

合計：原著論文13件（印刷中を含む），国際会議発表5件，国内口頭発表23件（内，本プロジェクト研究会発表17件）。

課題番号　H11/B02

脳の情報原理の解明に向けた基礎的研究

[1] 組織

代表者：矢野雅文（東北大学電気通信研究所）
分担者：
土屋　和雄（京都大学）
辻田　勝吉（京都大学）
伊藤　宏司（東京工業大学）
石黒　章夫（名古屋大学）
浅間　　一（理化学研究所）
藤井　輝夫（東京大学）
湯浅　秀男（東京大学）
大田　　順（東京大学）
高草木　薫（旭川医科大学）
熱田　祐司（旭川医科大学）
木村　真一（通信総合研究所）
吉田　祥子（豊橋技術科学大学）
牧野　悌也（東北大学電気通信研究所）
坂本　一寛（東北大学電気通信研究所）
三浦　治己（東北大学電気通信研究所）
松尾　行雄（東北大学電気通信研究所）
鈴木　章夫（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費20万円，旅費60万８千円

[2] 研究経過

脳の情報原理の解明は，実世界における認識や制御を柔軟に行う上で不可欠と考えられる。本プロジェクトでは，視覚や聴覚の認識機構，記憶の生成・記銘・想起の機構，運動の制御機構に関する新しい情報処理パラダイムの体系化を目的として研究会を開催した。

本プロジェクトは，本年度が第２年度であった。昨年度は記憶及び神経ネットワーク生成に関する研究会を開催した。本年度は運動制御に関する研究講演会及び研究討論会を行った。また，神経ネットワークの生成に関する研究打ち合わせを昨年度に引き続き行った。

以下，研究活動状況の概要を記す。

—概要—

これまでの運動制御の研究では環境をあらかじめ規定し，必要な情報を埋め込むことで目標を達成する方法がとられてきた。しかしながら，環境は複雑に変化し予測することはできないため，実世界に適応することは困難である。実世界において適応するためには制御情報をリアルタイムで生成する，いわゆる創発的システムが制御系に求められる。このような観点から，平成13年３月７,８日，歩行ロボット制御（土屋和雄，京都大学），群ロボット制御（大田 順，東京大学）及びネコ歩行制御系における生理学的メカニズム（高草木 薫，旭川医科大学）に関する講演会を開催し，さらに，創発的システムに関する討論会（出席者：矢野雅文，土屋和雄，辻田勝吉，伊藤宏司，石黒章夫，浅間一，藤井輝夫，湯浅秀男，大田順，高草木薫，熱田　祐司，木村　真一，牧野悌也，坂本一寛，三浦治己，松尾行雄，鈴木章夫）を行った。

神経ネットワークの生成に関しては，昨年度に引き続き，脳の機能と構造の相関という観点から，in vitro小脳スライス培養系における構造形成に関しての研究打ち合わせを平成13年３月２日（出席者：矢野雅文，吉田祥子，牧野悌也，坂本一寛，三浦治己，松尾行雄，鈴木章夫）に行った。

[3] 成果

—運動制御—

土屋らの研究は，ロボットの各足の制御系に振動子を用い，足が接地した時に振動子の位相をリセットする，というルールのみを設計原理とし４脚ロボットを構築したものである。このロボットでは目標速度を与えるだけで，４足動物の速度依存的な歩行パターンの遷移が再現できること，上り坂や下り坂等の地勢の変化にも対応できることが確認された。また，この原理は10脚ロボットにおいても有効に働くことが示された。通常歩行を実現するためには，倒れないように重心を制御することが必要である。土屋らの制御系ではこれを行っていないにもかかわらず安定した歩行が実現されていることから，各足の位相の制御自体が重心の制御に密接にかかわり，その結果とした歩行パターン生成されるということが明らかとなった。

大田らの研究は，複数のロボットでタスク行う移動ロボット群の行動制御を例とした創発的制御に関するものである。彼らは，他のロボットの状態に関する知識，タスクに関する予知能力，に段

階を設けることで行動計画法を分類し，それぞれの制御法でのパフォーマンスを検討した。制御法は集中管理型，自律分散型，中間型に代表的に分類されるが，すべてのタスク状態に対して万能の制御法は存在せず，行動制御法と走行経路の共進化設計法が必要になることを示した。制御法のタイプはタスクをどういうルールで処理するかを表現している。創発システムにおいては，ルールをどう作るかという問題と同時に，環境依存的にルールを変更するルールダイナミクスを設計しなければならないと考えられる。

高草木らの研究は，歩行時における運動量と筋緊張の統合が大脳基底核で行われるであろうことを示している。動物の歩行は，パターンを生成するだけではなし得ず，筋緊張レベルの制御や意識に上らない様々な運動過程が伴うことによって初めて実現する。大脳基底核は，脚橋被蓋核(PPN)を介して運動に伴う不随意的な過程の制御を行っていることを高草木らは明らかにしている。大脳基底核は中脳歩行誘発野(MLR)にも投射しており，これらの知見は，自律分散型の運動制御系にかかる上位からの拘束を如何に設計するかに関して重要な情報である。

討論会ではこれらの講演を基づき活発な議論を行い，以下の２点が創発的運動制御システムに必要であることを確認した：１）システムに与えるのは目的（拘束；constraints）のみでありそれに応じてシステム自身が制御情報を生成すること，２）複数の目的が共存する場合これらの間の整合を取るルールダイナミクスが必要になること。

—神経ネットワーク生成—

吉田らの研究は，未分化小脳スライス全体に細胞分裂の周期同調を施すことで，細胞の分化および移動が起こり，ネットワーク形成が進むこと，さらにこれらの過程には細胞内 Ca2+ 濃度が本質的に重要であること，を明らかにしている。これは，ネットワーク全体の整合性が小脳の機能発現に不可欠であることを示唆し，脳においては情報が大域的に整合してはじめて処理されうると考えることが出来る。本年度は，この大域整合性にグリア細胞から放出される神経伝達物質グルタミン酸が関与していることを明らかにした。

課題番号　H12/B01

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：野木茂次　岡山大学工学部
　　伊藤公一　千葉大学工学部
　　三浦　龍　郵政省通信総合研究所
　　大堂雅之　郵政省通信総合研究所
研究費：旅費20万円

[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，発表等を通じて行うことを目的とした。

本プロジェクトは，本年度が初年度であった。上記研究項目に関して，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。発表会は2月15日，16日にわたって行われた。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」

場所：（発表・展示）東北大学電気通信研究所
　　（通研N棟3階講義室）
時間：2月15日（木曜日）　14時～17時
　　2月16日（金曜日）　10時～17時

2月15日（木曜日）
14:00～14:10
　研究プロジェクト代表挨拶：川崎繁男
　通研対応教官挨拶　　：水野皓司

座長：荏戸立夫（東北大通研）
1. 14:10　川崎繁男（東海大学）
　PBG構造を用いたアクティブ集積アンテナの検討
2. 14:35　田口光雄（長崎大学）
　テレビ放送受信用小型アクティブアンテナ
3. 15:00　佐薙　稔（岡山大学）
　同期現象を利用した能動フェーズドアレーアンテナ
4. 15:25　山本幸男（大阪産業大学）
　光照射によりビーム放射方向を制御できる2素子アクティブアンテナ
15:50～16:10　休憩
　座長：新井宏之（横浜国立大学）
5. 16:10　関　智弘（NTT未来ねっと研究所）
　多層セラミック・ポリイミド基板を用いたアクティブアンテナ
6. 16:35　寒川　潮（松下技研移動体通信研究所）
　マイクロマシン技術を用いた39GHz帯アンテナ一体型HICと誘電体レンズアンテナ
7. 17:00　岩崎　徹（NHK放送技術研究所）
　ポータブルSNG用薄型アクティブスロットアンテナの検討

2月16日（金曜日）
　座長：田口光雄（長崎大学）
8. 10:00　桜澤成彰（横浜国立大学）
　電磁結合励振素子を有するセルフオシレイティ

ングミクサ
9. 10:25　森　康平（横浜国立大学）
8.45GHz帯DBF用受信機の試作
10. 10:50　藤田昌幸（東北大通研）
94GHz帯導波管アレイ型発振器
11. 11:15　戸田俊一（東北大通研）
ミリ波帯パッシブイメージング装置の開発
12. 11:40　大平　孝（ATR環境適応通信研究所）
携帯型電波到来方向探知機
12:05～13:30　昼食＆展示準備
13:30～17:00　展示
1．長崎大学工学部電気電子工学科　電磁波研究室
2．岡山大学工学部電気電子工学科　野木研究室
3．大阪産業大学工学部電気電子工学科　山本研究室
4．横浜国立大学工学部　電子情報工学科　新井研究室
5．東海大学工学部通信工学科　川崎研究室
6．東北大学電気通信研究所　水野研究室
7．ATR環境適応通信研究所
8．NHK放送技術研究所衛星デジタルシステム
9．松下技研（株）移動体通信研究所

本発表会の特徴は，発表者を含むデモンストレーターが自作の試作品を持ち寄り，発表に関連した実際の基礎理論・設計・試作に関しての議論を来場者と議論しあうことを最大の特徴としている。発表会の参加人数は，延べ44人であり，実物を見ながら活発な議論がなされた。

[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，今後の発展に，期待が高まった。

（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技術の明確化が行える。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を提案することが期待でき，本プロジェクトが核となって，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と思われる。

課題番号　H12/B02

プラズマ加速現象の基礎と応用

[1] 組織

企画者：犬竹 正明（東北大工学研究科）
責任者：横尾 邦義（東北大電気通信研究所）
分担者：
安藤　晃（東北大工学研究科）
服部　邦彦（東北大工学研究科）
佐宗　章弘（東北大流体科学研）
佐鳥　新（北海道工業大）
渡部　政行（岩手大工学部）
西田　靖（宇都宮大工学研究科）
市村　真（筑波大プラズマ研）
斉藤　輝雄（筑波大プラズマ研）
池畑　隆（茨城大工学部）
小野　靖（東京大工学研究科）
荒川　義博（東京大工学研究科）
吉田　善章（東京大新領域研究科）
都木恭一郎（宇宙科学研究所）
竹ヶ原春貴（都立科学技術大）
津島　晴（横浜国立大工学部）
天岸　祥光（静岡大理学部）
大澤　幸治（名古屋大理学研究科）
藤原　正巳（核融合科学研究所）
伊藤　公孝（核融合科学研究所）
上村　鉄雄（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）
際本　泰士（京都大総合人間学部）
田原　弘一（大阪大基礎工学研究科）
永田　正義（姫路工大工学部）
草野　完也（広島大理学部）
佐藤浩之助（九州大応用力学研）
伊藤　早苗（九州大応用力学研）
間瀬　淳（九州大先端科学共同研究センター）

研究費：校費 20万円、旅費 104万4千円

[2] 研究の概要と成果報告

最近、宇宙プラズマや核融合プラズマ研究では時間的に変化する場における動的な電磁流体的挙動が注目され精力的に研究が行われている。なかでもプラズマの加速現象は，荷電粒子の加速と異なり，準中性条件を満たしたプラズマが電磁場との相互作用により超音速領域へ加速される現象で，多くの応用分野があるにも関わらず未だ十分な研究が行われていない。本研究は，様々な電磁場中で起こるプラズマ加速現象を統一的に理解し，これを応用する事を目的としている。宇宙プラズマにおけるプラズマジェットやバウショック等の基礎過程の解明だけでなく，電磁推進機への応用や高密度プラズマ流を使った材料開発など幅広い応用につながる研究である。

本プロジェクトでは，上記の目的を遂行すべく宇宙から実験室プラズマまでの広範囲に渡る基礎的な分野に加え，工学的応用としても核融合発電や宇宙電磁推進機などの分野を統合的に理解するための研究会を行った。

（研究討論会開催状況）
日時：平成13年3月1日（木）～2日（金）
会場：東北大学工学部電気情報館103講義室
(1)「小型ＳＴ装置ＬＡＴＥの開発と実験」
打田 正樹（京大エネ科）
(2)「高温超伝導コイルを用いた磁気浮上内部導体プラズマ閉じ込め装置の開発」
小川雄一（東大高温プラズマ）
(3)「ダブルベルトラミ流と構造形成」
吉田善章（東大新領域）
(4)「磁気プラズマ流中の衝撃波」
大崎秀一（東大新領域）
(5)「HITOP装置での超音速プラズマ流実験」
村上史剛（東北大工）
(6)「天体磁気流体現象」　柴田一成（京大理）
(7)「ＴＳ－３／４におけるプラズマ合体・磁気リコネクション実験」　小野　靖（東大工）
(8)「電磁加速プラズマ流中におけるイオン加熱現象」
芦野正史（東北大工）
(9)「回転する磁化プラズマ中の構造形成」
田中雅慶（核融合研）
(10)「トカマク，ヘリカルプラズマにおける自発的トロイダル流」　居田克巳（核融合研）
(11)「トロイダルプラズマの電場分岐と構造形成」
藤澤彰英（核融合研）
(12)「レーザー推進機の初期実験」
佐宗章弘（東北大流体研）

⑬「プラズマ乱流の統計理論」
伊藤公孝（核融合研）
⑭「バイアス電圧印加による円柱磁化プラズマの密度遷移現象」　篠原俊二郎（九大総理工）
⑮「径方向電場によるドリフト不安定性の抑制」
吉沼幹朗（東北大工）
⑯「ホール加速を用いた宇宙用推進機の研究開発」
田原弘一（阪大基礎工）
⑰「ＥＣＲプラズマの宇宙推進機への応用」
鷹尾良行（九大総理工）

[3]成果

（3-1）研究成果

本年度は，プラズマ加速および流れ現象の理論的考察をはじめとして宇宙および実験室系における観測結果や加速現象を利用した宇宙推進機への応用研究にいたる幅広い領域の発表があり，以下の知見を得た。

理論については，吉田氏は，プラズマの非線形力学は，対流型非線形性によって生み出される複雑な現象に満ちており，その運動を具体的に式で表現することは不可能であるが，プラズマ中に形成される構造は，いくつかの「保存則」によって基本的な特徴が与えられ，その保存則はプラズマ中の電磁場や流れの場に係るトポロジカルな拘束条件に関係付けられる。その中でBeltrami場は，様々なベクトル場のねじれ構造，らせん構造，偏波構造，組みひも構造などを特徴付ける基本的なベクトル場であるとの報告があり，大崎氏は，高速流によって磁場のねじれが空間的に不連続変化するショック構造の解析を行い，誘導方程式から磁場の「絶対値」と「ねじれ」のジャンプを記述するRankine-Hugoniot条件を導き，これを解くことによって，ショック面上で，ねじれ（ヘリシティ）がどのようにジャンプするか求めた。伊藤氏からは，プラズマ乱流と構造形成についての統計的理論についてのレビューと最近のトピックスについての報告があった。

宇宙における電磁流体現象の観測として柴田氏により，「ようこう」をはじめとするスペース太陽観測の近年の発展によって，太陽フレアでは磁気リコネクションの生々しい現場が観測され，コロナではジェットやマイクロフレアなどのダイナミックな電磁流体現象が満ち満ちていることが明らかになった。さらにはるか遠方の宇宙の観測でも，これまで知られていなかった原始星フレアや宇宙ジェットなど宇宙の激しいダイナミックな姿が次々と明らかになり，太陽活動現象と類似の電磁流体現象として統一的に理解しようという試みが始まっているとの報告があった。

実験室プラズマでは，多くの実験成果の報告がなされた。打田氏は，低アスペクト比トカマク装置LATEを用いマイクロ波を入射し，定常な低アスペクト比トカマクプラズマの生成･電流駆動を目指した実験を行い，これまでに，2.45GHz，5kWのマイクロ波電力で，最大3.1kAのプラズマ電流をゼロから立ち上げ，1秒間維持することが出来たとの報告があった。小川氏は，Mahajan＆Yoshidaが，MHD緩和理論をプラズマ流が存在する場合の2流体系に拡張し，一般化されたベルヌーイの法則であるプラズマベータ値(静圧)とプラズマ流の2乗(動圧)の和が一定という条件が成り立つことを基に，これを実験的に具現化する小型の磁気浮上内部導体装置Mini-RTを建設中との報告があった。居田氏，藤澤氏により磁場閉じ込めプラズマ中でのプラズマ流や電場構造形成についての実験報告があった。その１つとして，トロイダルプラズマでは輸送障壁を伴うHモードをはじめとする様々な構造が見つかっているが，ヘリカル型装置CHSでは電位構造が示す多くの分岐パターンが観測され，その中には輸送障壁の形成と関連するものや自励振動を伴うパターンが存在している。この自励振動によって示唆される微細構造の存在，観測されたパターンをプラズマの平均密度の関数としてあらわす試みがを紹介された。また，吉沼氏により各種磁場閉じ込め装置で観測されている閉じ込め改善モードにおいて，径方向の密度分布や電位分布の急激な変化と関係して低周波密度揺動が抑制される現象が観測されているが，これらを統一して理解するために，基礎実験によって低周波揺動に対する径方向電位分布の効果を調べる実験を行ったとの報告があった。また，篠原氏によって大口径RF生成磁化プラズマ中に挿入した10重同心状電極に電圧を印加する事により，ホロー，平坦，ピークなど様々なプラズマ分布制御及び周方向の超音速流，局所流等の制御を行い，電位の遷移も伴う双安定状態での密度遷移現象のグローバルな構造やヒステリシスを観測したとの報告があった。小野氏により，１）異常抵抗現象による磁気リコネクションの高速化，２）電流シートの微細構造，３）電流シートのメカニカルな放出による高速化，４）３次元局所的なＸ点形成による高速化をＴＳ－３プラズマ合体実験により明らかにしたとの報告があった。田中氏はヘリウムを用いたECRプラズマ中で，周方向回転速度がイオン音速程度になると中心軸のまわりに密度の穴（プラズマホール）が

形成されることを観測し，その構造について調べた結果の報告があった。芦野氏，村上氏によりMPD（Magneto-Plasma-Dynamic）プラズマを生成し，磁気ノズル中での加速現象やプラズマ源近傍でのイオン温度および回転速度の測定結果が報告された。

応用分野である電気推進機として，佐宗氏により，管内で加速する新しい方式のレーザー推進（レーザー駆動管内加速装置）システムの実験報告と田原氏よりホール加速を用いた宇宙用推進機の開発，および鷹尾氏により，ECRプラズマ源を利用した宇宙推進システムの報告があった。

本研究会の参加者は学内外を含め60名を超え，活発な議論がなされた。

（3-2）波及効果と発展性など

本プロジェクト研究会では，様々な研究分野の学内外研究者が同一に会し研究者同志の交流が飛躍的に活性化したばかりでなく電磁流体現象およびプラズマ加速現象の広範囲な物理現象を多角的および統一的な描像として把らえ，その問題点を明らかにすることができた。これらの成果は，宇宙から実験室プラズマまでの広範囲に渡る学問的波及効果が期待され，また，工学的応用としても核融合発電や宇宙電磁推進機などの発展へ寄与することが挙げられる。さらに新しい研究領域の拡大と発展が期待される。

[成果資料]

1）T.Taoka, H.Ammi, M.Asakawa, et al., J. Plasma and Fusion Research, Vol.76, No.6, 561 (2000).
2）S. M. Mahajan, Z. Yoshida, Phys. Plasmas, Vol.7, No.2, 635(2000).
3）Z. Yoshida, S. M. Mahajan, J. Math. Phys., Vol.40, No.10, 5088(1999).
4）S. Ohsaki, Z. Yoshida, Phys. Plasmas, Vol.7,No.6, 2404 (2000).
5）K. Shibata, T. Yokoyama, ApJ, 526,L49(1999).
6）K. Nagaoka, A. Okamoto, S. Yoshimura, M. Tanaka, J. Phys. Soc. Jpn., Vol.70, No.1, 131(2001).
7）M.Kono, M.Tanaka, Phys. Rev. Lett.,Vol.84, No.19,4369(2000).
8）K. Ida, A. Fujiwara, H. Iguchi, Y. Yoshimura, T. Minami, et al., Phys. Plasmas, Vol.8, No.1,1(2001).
9）A. Fujisawa, H. Iguchi, T. Minami, Y. Yoshimura, et al., Phys. Plasmas, Vol.7, No.10, 4152(2000).
10）A. Fujisawa, H.Iguchi, T.Minami, et.al., Phys. Rev. Lett.,Vol.82, No.13, 2669(1999).
11）A. Sasoh, Rev. Sci. Instrum., Vol.72, No.3, 1893 (2001).
12）S. Itoh, K. Itoh, J. Phys. Soc. Jpn., Vol.69, No.2, 408(2000).
13）S. Itoh, K. Itoh, J. Phys. Soc. Jpn.,Vol.69, No.2, 427(2000).
14）谷貝　剛，村上史剛ほか，電気学会プラズマ研究会資料，PST-00-28, 1(2000).
15）芦野正史，鷺　雪子ほか，電気学会プラズマ研究会資料PST-00-33,33(2000).

共同プロジェクト研究

課題番号　H12/B03

ナノ構造磁性体の形成と機能に関する研究

[1] 組織

代表者：井上光輝（豊橋技術科学大学）
責任者：荒井賢一（東北大学電気通信研究所）
分担者：
岡田益男（東北大学大学院工学研究科）
宮崎照宣（東北大学大学院工学研究科）
高橋　研（東北大学大学院工学研究科）
深道和明（東北大学大学院工学研究科）
本間基文（東北大学大学院工学研究科）
島田　寛（東北大学科学計測研究所）
藤森啓安（東北大学金属材料研究所）
前川禎通（東北大学金属材料研究所）
大谷義近（東北大学大学院工学研究科）
荘司弘樹（東北大学大学院工学研究科）
杉本　諭（東北大学大学院工学研究科）
北上　修（東北大学科学計測研究所）
高梨弘毅（東北大学金属材料研究所）
山口正洋（東北大学電気通信研究所）
高村　仁（東北大学大学院工学研究科）
亀川厚則（東北大学大学院工学研究科）
角田匡清（東北大学大学院工学研究科）
岡本　聡（東北大学科学計測研究所）
武野幸雄（東北大学科学計測研究所）
三谷誠司（東北大学金属材料研究所）
石山和志（東北大学電気通信研究所）
竹澤昌晃（東北大学電気通信研究所）
石井　清（宇都宮大学工学部電気電子工学科）
田中雅明（東京大学大学院工学系研究科）
阿部正紀（東京工業大学電子物理工学科）
佐藤　駿（東京工業大学金属工学科）
北本仁孝（東京工業大学電子物理工学科）
佐藤勝昭（東京農工大学物理ｼｽﾃﾑ工学科）
角野圭一（横浜国立大学電子情報工学科）
竹村泰司（横浜国立大学電子情報工学科）
逢坂哲彌（早稲田大学応用化学科）
片山利一（東邦大学薬学部物理学教室）
森迫昭光（信州大学情報工学科）
藤井壽崇（豊橋技術科学大学電気･電子工学系）
綱島　滋（名古屋大学大学院工学研究科）
岩田　聡（名古屋大学大学院工学研究科）
神保睦子（大同工業大学材料科学研究所）
辻本浩章（大阪市立大学電気工学科）
本多茂男（島根大学総合理工学部）
縄手雅彦（島根大学地域共同研究センター）
山崎二郎（九州工業大学工学部電気工学教室）
八木正明（熊本工業大学工学科）
福永博俊（長崎大学工学部）
中野正基（長崎大学工学部）
山城康正（琉球大学工学部電気電子工学科）
山本健一（琉球大学工学部電気電子工学科）
伊崎昌伸（大阪市立工業研究所無機化学課）
篠浦　治（TDK⑭開発研究所 ）
梅澤浩光（富士電気化学⑭基礎研究部）

研究費：校費　　万　千円，旅費　　万　千円

[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的とするものである。

本年度は当該プロジェクト研究の初年度であり，表1に記載する活動を行なった。特に，3月7日に行なった研究会は，ナノ構造磁性体に関して形成，特性評価，応用に渡る広範囲な研究討議を行った。この研究会の講演リストを表2に示す。

表1　H12年度プロジェクト研究会活動

月　日	内　容	参加者
H12年 7月27日	ナノ構造磁性体形成に関する研究討論	井上，阿武， 石山
H12年 12月6，7日	ナノ構造磁性体の特性評価に関する研究討論	井上，高橋 石山
H13年 3月7日	共同プロジェクト研究会	石井，平塚，森迫， 伊藤，石田，井上， 本田，田中，八木， ハシャック，中野， 福永，柳井，加島， 伊崎，阿部，松下， 三浦，大西，杤， 藤井，神保，関田， 山内，長田，清水， 西村，中村，竹澤

表2　共同プロジェクト研究会発表論文

題　目	著　者
ナノ粒子系の相互作用と磁性	石井　清
CoPt系グラニュラー薄膜の形成および磁気特性	平塚　信之
いくつかのナノスケール磁性材料のMFM磁区観察	石尾　俊二
FePt系規則相微粒子，超薄膜の合成と磁気特性	島田　寛
選択エピタキシャルＳｉワイヤーアレイの形成と応用	石田　誠
III-V族半導体をベースとしたエピタキシャル磁性ヘテロ構造におけるトンネル磁気抵抗効果	田中　雅明
Fe-SiO2/SiO2積層膜の磁化特性とトンネル伝導特性	本多　茂男
六方晶フェライト薄膜の粒子微細化とその特性	森迫　昭光
常温加圧成形法によるアモルファス粉末のバルク化とその磁気特性	八木　正昭

[3] 成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第一に，ナノスケール構造をもつ磁性体の形成方法として，グラニュラー構造磁性体ではスパッタリング法，クラスター蒸着法，ウエット形成法が示された。また周期性の高い2次元，3次元構造体を得る手法として，アルミナテンプレートを用いる手法や化学合成法，あるいは超微粒子を自然沈降させる手法が討議された。これらナノスケール磁性体の新機能発現に関して，磁気と種々の物理量との相互作用を利用する手法が示された。例えば，磁気光学効果における磁性フォトニック結晶や，電流磁気効果における高周波電流の利用あるいはトンネル磁気抵抗効果の利用が重要であることが示された。また，磁性超微粒子を非磁性酸化物媒体に分散させたグラニュラー磁性薄膜における保磁力の増大現象や，磁性粒子をハイブリッド化させることによる硬質磁性体の実現などが示された。更に，磁性半導体やMRAMなど，磁性とエレクトロニクスが結合したスピントロニクスあるいはスピニクスという新しい分野が開花していることを確認した。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクト研究により，学外研究者との交流が飛躍的に活性化した。また当該プロジェクト研究をきっかけとして，電気学会マグネティックス技術委員会の中に，「ナノスケール磁性構造体調査専門委員会（委員長：井上光輝）」が発足し，本共同プロジェクト研究会と相互補完的な活動を開始した。

また本年度プロジェクト成果を踏まえ，平成13年度も当該プロジェクト研究会を継続し，更に詳細な研究討議を実施することとなった。

[4] 成果資料

(1) M. Jimbo, S. Yokochi, K. Yamagishi and J. Kurita, Improvement of thermal stability of exchange coupling in FeMn/NiFe films by Pt addition, J. Appl. Phys., vol.89 (2001).

(2) M. Izaki and O Shinoura, Room-temperature deposition of defect-free magnetite film by chemical reaction from an aqueous solution, Adv. Mater, vol.13 (2001) p.142.

(3) K. Sugihara, H. Ito, T. Kato, S. Iwata and S. Tsunashima, Structure and magnetic properties of expitaxial CrPt3 and Mn0.2Cr0.8Pt3 alloy films, J. Magn. Soc. Jpn., vol.25 (2001) p.234.

(4) S. Honda, M. Nawate and T. Norikane, Exchange interaction in MnPt/FeCo sputtered multilayers, J. Magn. Magn. Mat., vol.220 (2000) p.85.

(5) Y. Takemura, J. Shirakashi, NiFe-based nanostructures fabricated using an atomic force

microscope, Jpn. J. Appl. Phys., vol.39 (2000) p.L1292.
(6) F. Zhang, F. Kitamoto, and M. Abe, Effect of Zn ferrite underlayers on magnetic properties and recording charactgeristics for Co-Ni ferrite media, Tran. MRS Jpn., vol.25 (2000) p.1175.
(7) G. A. Medvedkin, T. Ishibashi, T. Nishi, K. Hayata, Y. Hasegawa, and K. Sato, Room temperature ferromagnetism in novel diluted magnetic semiconductor Cd1-xMnxGeP2, Jpn. J. Appl. Phys., vol.39 (2000) p.L949.
(8) M. Yagi, I. Endo, I. Otsuka, H. Yamamoto, R. Okuno, H. Koshimoto and A. Shintani, Magnetic properties of Fe-based amorpous powder cores produced by an hot-pressing method, J. Magn. Magn. Mat., vol.215-216 (2000) p.284.
(9) H. Shimizu, M. Miyama and M. Tanaka, Magneto-optical properties of a GaAs:MnAs hybrid structure sandwiched by GaAs/AlAs distributed Bragg reflectors: Enhanced magneto-optical effect and theoretical analysis, Appl. Phys. Lett., vol.78 (2001).
(10) A. M. Nazmul, H. Shimizu and M. Tanaka, Magneto-optical spectra of epitaxial ferromagnetic MnAs films grown on Si and GaAs substrates, J. Appl. Phys., vol.87 (2000) p.6791.
(11) B. Gradidier, J. P. Nys, C. Delerue, D. Stievenard, and M. Tanaka, Atomic-scale study of GaMnAs/GaAs layers, Appl. Phys. Lett., vol.77 (2000) p.4001.
(12) 石井清, ガスフロースパッタ法とグラニュラー磁性体の合成, 日本応用磁気学会誌, vol.24 (2000) p.1343.
(13) K. Inomata, Y. Saito, K. Nakajima and M. Sagoi, Double tunnel junctions for magnetic random access memory devices, J. Appl. Phys., vol.87 (2000) p.6064.
(14) H. Fukunaga, and H. Nakamura, Computer simulation for magnetic properties of anisotropic nanocomposite magnets, IEEE Trans. Magn., vol.36 (2000) p.3285.
(15) M. Nakano, J. Song, H. Fukunaga, and Y. Matsuo, Room temperature growth of crystalline Mn-Zn ferrite thin films by laser ablation technique, IEEE Trans. Magn., vol.36 (2000) p.2927.

課題番号　H12/B04

ナノ構造の形成と物性機能に関する研究

[1] 組織

代表者：宇理須恒雄（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：
一宮　彪彦（名古屋大学工学研究科）
関　一彦（名古屋大学理学研究科）
岩崎　裕（大阪大学産業科学研究所）
吉信　淳（東京大学物性研究所）
吉村　雅満（豊田工業大学）
今西　信嗣（京都大学工学研究科）
山崎　義武（東北大学流体科学研究所）
室田　淳一（東北大学電気通信研究所）
小森　文夫（東京大学物性研究所）
松井　真二（姫路工業大高度産業科学技術研）
上野　信雄（千葉大学工学部）
川添　良幸（東北大学金属材料研究所）
前濱　剛廣（琉球大学工学部）
谷村　克巳（名古屋大学理学研究科）
竹田　美和（名古屋大学工学研究科）
尾形　幸生（京都大学エネルギー理工学研究所）
尾嶋　正治（東京大学工学研究科）
服部　正（姫路工業大高度産業科学技術研）
黒澤　宏（分子科学研究所）

研究費：校費150千円、旅費　1,229,950円

[2] 研究経過

【概要】

半導体素子製造技術は，0.1μm以下の微細化が実現されるようになり，21世紀は，量子効果を利用した新しい動作原理のデバイス，回路の考案と，その実現のための従来にない新しいプロセスの開発が必須である。このような状況を考慮して，本研究では，ナノ構造デバイスの構築を目標に，新しいナノ構造製造プロセスの開発とナノ構造体の物性評価，また，ナノ構造を利用したデバイスの設計について，電子工学，物質工学，分子科学等の幅広い研究分野の研究者の英知を結集して，今後の戦略目標を討論することを目標とした。

ナノ構造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。そこで本研究では，薄膜材料プロセスや反応制御に関わってきた，材料・電子工学の研究分野ばかりでなく，物理・化学分野の研究者の英知も結集して，新しいナノ構造体の構築法とその物性機能評価についての研究会を開催することとした。また，必要に応じ，ナノ構造の専門家を特別講師として招聘する。

【本年度の成果】

21世紀は情報通信の時代と言われ，現在の情報通信技術をさらに高度化することが強く望まれている。本研究では，半導体や高分子のナノ構造をベースとした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，将来のその実現が望まれている高集積電子デバイス，量子ドット・デバイス，単一電子トランジスタ，分子デバイスや，更には量子コンピュータなどに代表される新しい計算理論に基づいたデバイスも実現されるであろう。

そこで，本年度は，バイオエレクトロニクスデバイスも含めた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と，ナノ構造体の物性評価などについて，電子工学，物質工学，分子科学等の幅広い研究分野の研究者の英知を結集して，今後のナノ構造研究の戦略目標について討論することを目的とし，『化学反応制御による表面ナノ構造の創製』に関する研究会を開催した。

研究会では，下記のトピックスについて討論した。

1．ナノ構造形成のための原子レベルの表面反応制御
2．ビーム励起ナノ構造形成法
3．自己組織化膜の形成
4．分子エレクトロニクスのための表面制御
5．表面を利用したバイオエレクトロニクス
6．分子認識
7．その他，表面反応やナノ構造に関するテーマ

シンポジウム参加者は，大学院生を含め60名で，二日間にわたって活発な討論が行われた。最後に

シンポジウムのプログラムを付記する。

2月26日(月)
開会挨拶　プロジェクト研究代表者　宇理須恒雄（分子研）

半導体表面ナノ構造の構築と応用

1.「BML-IRRASによるSi表面の観察とナノバイオエレクトロニクスインターフェイス研究への応用」
宇理須恒雄（分子科学研究所）
2.「ナノ構造集積化へ向けた表面構造制御」
荻野俊郎（NTT物性科学基礎研）
3.「バイオ化学イメージセンサおよびタンパク質チップの開発」岩崎裕（大阪大学産研）
4.「半導体中の水素分子」斎藤峯雄（ＮＥＣ基礎研）
5.「半導体固液界面反応場を利用したナノ構造構築と分子認識センサー」庭野道夫（東北大学通研）

ナノクラスターの構築と応用

1.「表面修飾による金属ナノクラスターの安定化と機能化」佃　達哉（分子科学研究所）
2.「金属内包フラーレン・ナノチューブ系のナノメーターサイズの化学」久保園芳博（岡山大学理学部化学科）
3.「量子ビームを用いたナノファブリケーション」田川精一（大阪大学産業科学研究所）
4.「内殻励起による結合切断制御の可能性」
和田真一，田中健一郎（広島大学院理）

特別講演

「味覚センサー」　都甲　潔（九州大学大学院システム情報科学研究院）

2月27日(火)

ナノ構造構築における表面・界面反応制御

1.特別講演「STMおよびNC-AFMによるTiO2(110)およびTiO2(001)表面上のナノ構造の生成と挙動および触媒作用の研究」岩澤康裕（東大院理）
2.特別講演「表面ＸＡＦＳ，光電子分光を用いた表面化学反応の研究」（通研講演会）
太田俊明（東大院理）
3.「金属単結晶表面上の触媒活性点の特定と化学的機能」中村潤児（筑波大学物質工）
4.「有機半導体/金属界面の構造と電子構造」石井久夫，関一彦（名古屋大学院理）
5.「酸素分子の並進運動エネルギーを利用したSi(001)表面の初期酸化制御」寺岡有殿，吉越章隆（原研　放射光科学研究センター）

有機薄膜の自己組織化とナノ構造

1.「界面錯体化学による固体表面での自己組織化」芳賀正明（中央大学理工）
2.「金／チオール系自己組織化膜の構造」
野副尚一（物質工学工業技術研究所）
3.「原子間力顕微鏡 (AFM) による液相吸着過程の観察」小宮山　政晴（山梨大学工）
4.「最表面電子分光法を中心とする有機薄膜界面の最近の研究」解良聡，上野信雄（千葉大学工）

[3] 成果

（3－1）研究成果

ナノ構造の形成とその物性機能の解明は現在焦眉の課題となっている。本研究は，化学反応制御をベースとして，固体表面上にナノ構造を構築し，それをエレクトロニクスや新しい機能を有する分子デバイスに応用することを目的としている。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，ナノ構造構築法や新規な物性発現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

現在，無機材料のナノ構造ばかりでなく，超分子や生体高分子を利用したナノ構造の構築が注目されている。このようなナノ構造の構築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，それを新しい分子エレクトロニクスや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ところである。

[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シ報告書を添付する。

課題番号　H12/B05

超高速・高精度気体絶縁金属基板 SOIデバイス・プロセスの研究

[1] 組織

代表者：大見忠弘（東北大学未来科学技術共同研究センター）
責任者：坪内和夫（東北大学電気通信研究所）
分担者：
益　一哉（東京工業大学精密工学研究所）
横山　道央（東北大学電気通信研究所）
須川　成利（東北大学大学院工学研究科）
小谷　光司（東北大学大学院工学研究科）
平山　昌樹（東北大学大学院工学研究科）
柴田　直（東京大学工学系研究科）
森田　瑞穂（大阪大学大学院工学研究科）
森　勇蔵（大阪大学大学院工学研究科）
片岡　俊彦（大阪大学大学院工学研究科）
遠藤　勝義（大阪大学大学院工学研究科）
山内　和人（大阪大学大学院工学研究科）
杉山　和久（大阪大学大学院工学研究科）
山村　和也（大阪大学大学院工学研究科）
佐々木　守（熊本大学工学部）
久保田　弘（熊本大学工学部）
山部紀久夫（筑波大学物質工学系）
石原　宏（東京工業大学精密工学研究所）
徳光 永輔（東京工業大学精密工学研究所）
鳳 紘一郎（東京大学大規模集積システム設計教育研究センター）
藤島　実（東京大学大規模集積システム設計教育研究センター）
平本　俊郎（東京大学大規模集積システム設計教育研究センター）
黒岩　鉱一（東京農工大学工学部）
上野　智雄（東京農工大学工学部）
服部 健雄（武蔵野工業大学工学部）
原　徹（法政大学工学部）
荒井　英輔（名古屋工業大学）
土屋　敏章（島根大学総合理工学部）
寺内　衛（広島市立大学情報科学部）
安田　幸夫（名古屋大学大学院工学研究科）
財満　鎮明（名古屋大学先端技術共同研究センター）
池田　浩也（名古屋大学大学院工学研究科）

研究費：校費150千円，旅費1,488千円

[2] 研究経過

従来から精力的に推し進められてきた半導体デバイスの微細化により，集積回路はその動作周波数を格段に向上してきたが，微細化による配線抵抗の増大は，微細化による高速化する半導体デバイスの恩恵を打ち消し，結果として消費電力が増大する一方で集積回路全体の性能が向上しないという事態を引き起こしている。微細化技術そのものも，技術的あるいは物理的な限界を目前に迎えており，従来技術の延長線上にない全く新たなブレークスルーが求められている。

本研究の目的は，半導体集積回路の高速化・低消費電力化を図る上で理想的なデバイス構造およびプロセス，材料を研究開発することにより，従来１ＧＨｚ程度が上限と考えられていた集積回路の動作周波数を20GHz程度まで高速化した極限超高速高集積ギガスケールインテグレーション（ＧＳＩ）技術を確立することを目的としている。本年度は，超高速・超微細配線が抱える問題と，これらの配線が半導体デバイスに与える影響を理論的に解析した。配線距離を極力短くするために３次元ＬＳＩ構造が必要であり，これを実現するための低温酸化技術を確立した。半導体デバイスにおいては，メタルゲートSOIMOSFETのゲート電極の成膜方法に着目して研究を行い，Taゲート SOIMOSFETにおいて，従来，低抵抗であるbcc-Taを得るために40eV程度必要であったイオン照射エネルギーを20eVにまで低減した。

本年度に行った研究会活動を以下に示す。

日時：平成13年2月28日（水）　10:00～17:50
場所：東北大学電気通信研究所大会議室（2号館4階）

「高性能3次元LSI実現のための低温酸化技術」○濱田龍文，斎藤祐司，須川成利，Herzl Aharoni，平山昌樹，大見忠弘（東北大学）

「酸窒化膜／シリコン界面の構造」 高橋健介，井上幸多，加藤寛久，西崎京子，○服部健雄（武蔵工業大学）

「メタルゲート高誘電率ゲート絶縁膜デバイスの低温形成」○中川宗克，中尾慎一，島田浩行，大嶋一郎，大見忠弘（東北大学）

「プラズマCVMによるSOIの数値制御薄膜化」森勇藏，山村和也，○佐野泰久，森田瑞穂（大阪

大学）

「貼り合わせSOIにおける埋込み酸化膜界面近傍のキャリア分布」○市村正也，伊藤慎也，内田秀雄，荒井英輔（名古屋工業大学）

「SOI Siデバイス層の評価　－ホール移動度とESR－」○原 徹，細田達也，山辺真幸（法政大学），和泉富雄，佐々木志保（東海大学）

「SOI MOSFETにおけるダイナミックパスリークの評価」○平本俊郎，更屋拓哉（東京大学）

「Self-Body-Biased（‘SBB’）SOI MOSFET構造とその応用」○寺内衛，船越七郎，寺田和夫（広島市立大学）

「金属ゲート・ショットキーS/D・SOIMOSトランジスタの相補型集積」○鳳紘一郎，藤島実，松浦研，福岡哲也，田辺亮（東京大学）

「SOI基板に作製したFET型強誘電体メモリの特性」○石原宏，尹聖民，小笠原悟（東京工業大学）

「GHz帯シリコンアナログRFCMOS高効率パワーアンプ」○横山道央，立花良一，坪内和夫（東北大学）

「シリコン表面の窒化初期過程」○財満鎭明，松下大介，池田浩也，酒井朗，安田幸夫（名古屋大学）

[3] 成果

(3-1) 研究成果

超高速・高精度ＳＯＩデバイスを実現するためには，トランジスタのしきい値が完全に揃っていることはもちろんのこと，トランジスタが存在する半導体層の電位変動があってはならない。基板電位変動がトランジスタのしきい値に作用してトランジスタが誤動作するためである。理論解析の結果，半導体層の直下に絶縁膜を介して金属層を導入した金属基板SOI構造により，半導体デバイスが存在する基板表面の電位を60μV以下の一定に保つことができることを明らかにした。また，究極の低誘電率材料である気体(He)を配線の層間絶縁層として用いることにより，配線容量の低減を図ることが可能な気体絶縁金属基板デバイスの具体的構造を提案した。電気的に絶縁体であり，熱のみを効率的に伝導する熱スルーホール構造の導入で気体分離配線における熱の問題を解決することが可能になる。

デバイス研究においては，メタルゲートSOICMOSを試作しその良好な特性を確認した。窒化タンタル（TaNx）をバッファ層として挿入することにより，低抵抗(～15μΩcm)な体心立方(*bcc*)相の金属タンタル(Ta)層がヘテロエピタキシーすることが示された。試作したキャパシタから界面準位密度を測定すると，窒素分圧1%のTaNxゲートデバイスで極小値を示し，ほぼポリシリコンゲートと同等であることが確認された。また，TaNxゲートの仕事関数はβ-Taのそれよりも大きく，よりシリコンのミッドギャップに近いことがわかった。そこで，低抵抗(<1Ω/□)な TaNx/*bcc*-Ta/TaNx積層メタルゲート電極を使ったFDSOI-CMOSデバイスを試作したところ，60mV/dec.台のＳ値(L=0.35um)を達成する等，良好な特性を得ることができた。また，CMOSインバータリング発振器(熱酸化膜厚3.8nm)での正常な動作も確認された。以上のことから本プロセスによるトランジスタは，ゲート空乏化フリー，低ゲート抵抗，低温プロセスによる急峻な接合を簡単なプレーンゲート構造で実現しており，sub-0.1umデバイスでの有望な候補の１つであるといえる。

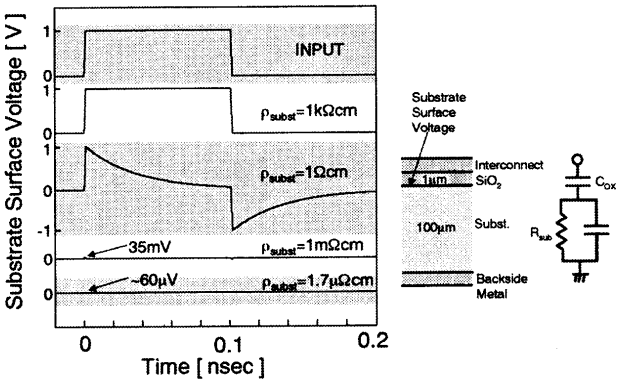


図１　基板表面電位の基板比抵抗依存性。金属基板のみが基板表面電位を一定に保つことができる。

[4] 成果資料

(1) Yuji Saito, Katsuyuki Sekine, Masaki Hirayama and Tadahiro Ohmi, “Low-temperature Formation of Gate-grade Silicon Oxide Films using High-Density Krypton Plasma”, “Extended Abstracts, The 197th Meeting of The Electrochemical Society”, p.453,

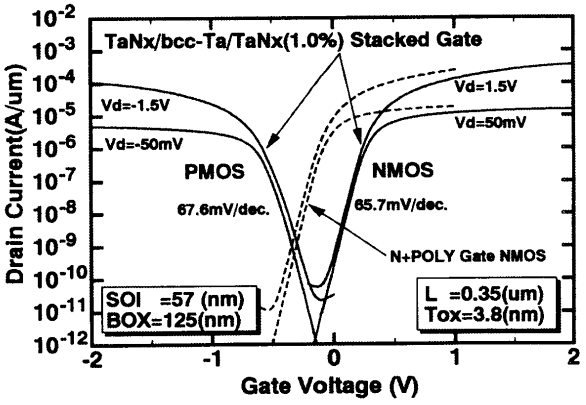


図２　試作したFD-SOI CMOSのゲート長0.35umにおけるサブスレッショルド特性。

2000.

(2) Yuji Saito, Katsuyuki Sekine, Naoki Ueda, Masaki Hirayama, Shigetoshi Sugawa and Tadahiro Ohmi, "Advantage of Radical Oxidation for Improving Reliability of Ultra-Thin Gate Oxide", Digest of Technical Papers 2000 Symposium on VLSI Technology, p.176, 2000.

(3) Tetsuhiro Nanbu, Katsuyuki Sekine, Yuji Saito, Shin-ichi Nakao, Masaki Hirayama, and Tadahiro Ohmi, "Ultra-thin Silicon Oxynitride Films as Cu Diffusion Barrier for Lowering Interconnect Resistivity," Extended Abstract of the 2000 International Conference on Solid State Devices and Materials, p.32, 2000.

(4) Katsuyuki Sekine, Yuji Saito, Masaki Hirayama, and Tadahiro Ohmi, "Highly-Robust Ultra-Thin Silicon Nitride Films Grown at Low-Temperature by Microwave-Excitation High-Density Plasma for Giga Scale Integration," IEEE Transaction on Electron Devices, Vol.47, No.7, pp.1370-1374, 2000.

(5) Kazuo Ohtsubo, Yuji Saito, Katsuyuki Sekine, Masaki Hirayama, Shigetoshi Sugawa, Herzl Aharoni and Tadahiro Ohmi, "Ultra-Thin Silicon Oxynitride film grown at Low-Temperature by Microwave-Excited High-Density $Kr/O_2/N_2$ Plasma," Extended Abstract of the 2000 International Conference on Solid State Devices and Materials, p.176, 2000.

(6) Tatsuhumi Hamada, Yuji Saito, Katsuyuki Sekine, Herzl Aharoni and Tadahiro Ohmi, "Low Temperature Gate Oxidation MOS Transistor Produced By Kr/O_2 Microwave Excited High-density Plasma," Extended Abstract of the 2000 International Conference on Solid State Devices and Materials, p.184, 2000.

(7) Yuji Saito, Katsuyuki Sekine, Masaki Hirayama, Shigetoshi Sugawa, Herzl Aharoni and Tadahiro Ohmi, "High-Reliability Ultra-Thin Gate Oxide grown at Low-Temperature (400℃) using Microwave -Excited High-Density Krypton Plasma," International Conference on Materials Science and Technology (AGIL2000), p.43, 2000.

(8) T. Hamada, Y. Saito, K. Sekine, H. Aharoni and T. Ohmi, "MOS Transistors on Different Si Oriented Surfaces Fabricated with Low Temperature Gate Oxide for Future System on Glass Realization," International Conference on Materials Science and Technology (AGIL2000)", p.69, 2000.

(9) KAZUO OHTSUBO, YUJI SAITO, KATSUYUKI SEKINE, MASAKI HIRAYAMA, SHIGETOSHI SUGAWA, HERZL AHARONI and TADAHIRO OHMI, "LOW TEMPERATURE (400℃) IMPROVED ULTRA-THIN OXYNITRIDE FILMS FOR MOS GATE INSULATORS," International Conference on Materials Science and Technology (AGIL2000)", p.123, 2000.

(10) YUJI SAITO, KATSUYUKI SEKINE, MASAKI HIRAYAMA, SHIGETOSHI SUGAWA, HERZL AHARONI and TADAHIRO OHMI, "MICROWAVE-EXCITED HIGH-DENSITY PLASMA SYSTEM FOR HIGH-QUALITY THIN DIELECTRIC FILM GROWTH AT LOW-TEMPERATURES," International Conference on Materials Science and Technology (AGIL2000)", p.127, 2000.

(11) Akihiro Morimoto, Koji Kotani, Shigetoshi Sugawa, and Tadahiro Ohmi, "Interconnect and Substrate Structure for High Speed Giga-Scale Integration," Extended Abstracts of the 2000 International Conference on Solid State Devices and Materials, Sendai, 2000, pp.418-419.

(12) Tadahiro Ohmi, Shigetoshi Sugawa, Koji Kotani, Masaki Hirayama, Akihiro Morimoto, "New Paradigm of Silicon Technology," Proceedings of the IEEE, Vol.89, No.3, pp.394-412, March 2001.

(13) Hiroyuki Shimada, Ichiro Ohshima, Takeo Ushiki, Shigetoshi Sugawa, and Tadahiro Ohmi, "Low Resisitivity PVD TaNx/Ta/TaNx Stacked Metal Gate CMOS Technology Using Self-Grown bcc-Phased Tantalum on TaNx Buffer Layer," Extended Abstracts of the 2000 International Conference on Solid State Devices and Materials, Sendai, 2000, pp.460-461.

(14) Takeo Ushiki, Kunihiro Kawai, Ichiro Ohshima, and Tadahiro Ohmi, "Chemical Reaction Concerns of Gate Metal with Gate Dielectric in Ta Gate MOS Devices: An Effect of Self-Sealing Barrier Configuration Interposed between Ta and SiO_2," IEEE Transactions on Electron Devices, Vol.47, No.11, November 2000, pp.2201-2207.

(15) Takeo Ushiki, Hideaki Ishino, and Tadahiro Ohmi, "Effect of Starting SOI Material Quality on Low Frequency Noise Characteristics in Partially Depleted Floating-Body SOI MOSFETs," IEEE Electron Device Letters, Vol.21, No.12, December 2000, pp.610-612.

共同プロジェクト研究

課題番号　H12/B06

シリコン集積回路の高性能化に関する研究

[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（東京工業大学大学院総合理工学研究科）
遠藤　哲郎（東北大学電気通信研究所）
桜庭　弘（東北大学電気通信研究所）
マルクス　レンスキ（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費20万０千円，旅費３万９千円

[2] 研究経過

シリコン集積回路は，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，シリコン集積回路は，次世代電子システムには必要不可欠であり，シリコン集積回路の高性能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，シリコン集積回路は，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，シリコン集積回路の高性能化に関する研究は，世界中で精力的に行われている。例えば，現在のシリコン集積回路に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。

従来のシリコン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来ている。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12年度に「シリコン集積回路の高性能化に関する研究」という研究課題で共同プロジェクトが採択された。本年は初年度である。そして，平成13年１月11日に以下に示す研究会を開催し，シリコン集積回路の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，今年度の研究成果を踏まえて活発な議論がなされた。また，同年１月12日には，引き続き議論を行った。

第１回高性能シリコン集積回路研究会
日　時：2001年　１月11日
　　14：00～18：00
場　所：東北大学電気通信研究所
　　２号館４階大会議室

以下に上記研究会で得られた成果を述べる。

[3] 成果

（３－１）研究成果

シリコン集積回路の高性能化に関する最新の研究状況と研究方向を議論するために，第１回高性

能シリコン集積回路研究会を開催し，初年度である本年は，以下に示す研究成果を得た。

まず，本共同プロジェクト研究会での研究状況も踏まえて，現在までに提案され，実用化されてきたシリコン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，現在のシリコン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，今後シリコン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を，①プロセス設計，②デバイス設計，③回路設計，④アーキテクチャー設計の各4項目に対して，幅広く議論した。

（3－2）波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究会の目標とする成果は，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ー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活性化した。

今後，初年度に得た知見を元に，次年度も本共同プロジェクト研究会を継続し，さらに継続的に研究を深めてゆく予定である。

[4] 成果資料

(1) T. Endoh, K. Sunaga, H. Sakuraba, and F. Masuoka, "An On-Chip 96.5% Current Efficiency CMOS Linear Regulator Using a Flexible Control Technique of Output Current", IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, Vol. 36, No. 1, pp. 34-39, January, 2001.

(2) 遠藤哲郎, 中村広記, 船木寿彦, 桜庭弘, 舛岡富士雄, "新しい基板コンタクト型パストランジスタを用いた全加算器", 電子情報通信学会論文誌C, Vol. J84-C, No. 2, pp. 158-159, 2月, 2001.

(3) 遠藤哲郎, 船木寿彦, 中村広記, 桜庭弘, 舛岡富士雄, "新しい基板コンタクト型パストランジスタ", 電子情報通信学会論文誌C, Vol. J84-C, No. 3, pp. 192-198, 3月, 2001.

(4) K.Sunaga, T. Endoh, H. Sakuraba, and F. Masuoka, "An On-Chip 96.5% Current Efficiency CMOS Linear Regulator", Asia and South Pacific Design Automation Conference 2001, pp. 297-301, February 2001.

(5) M. Lenski, T. Endoh, and F. Masuoka, "Analytical modeling of stress-induced leakage currents in 5.1-9.6-nm-thick silicon-dioxide films based on two-step inelastic trap-assisted tunneling", JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Vol. 88, No.9, pp. 5238-5245, November, 2000.

(6) M. Hioki, T. Endoh, H. Sakuraba, M. Lenski, and F. Masuoka, "An Analysis of Program and Erase Operation for FC-SGT Flash Memory Cells", 2000 International Conference on Simulation of Semiconductor Processes and Devices, pp. 116-118, September, 2000.

(7) T. Endoh, T. Funaki, H. Sakuraba, and F. Masuoka, "A High Signal Swing Pass-Transistor Logic Using Surrounding Gate Transistor", 2000 International Conference on Simulation of Semiconductor Processes and Devices, pp. 273-275, September, 2000.

共同プロジェクト研究

課題番号　H12/B07

情報の時空間処理と計算パラダイム

[1] 組織

代表者：阿曽　弘具（東北大学大学院工学研究科）
責任者：白鳥　則郎（東北大学電気通信研究所）
分担者：
丸岡　　章（東北大学大学院情報科学研究科）
徳山　　豪（東北大学大学院情報科学研究科）
伊藤　貴康（東北大学大学院情報科学研究科）
西関　隆夫（東北大学大学院情報科学研究科）
根元　義章（東北大学大学院情報科学研究科）
牧野　正三（東北大学大型計算機センター）
瀧本　英二（東北大学大学院情報科学研究科）
天野　一幸（東北大学大学院情報科学研究科）
定兼　邦彦（東北大学大学院情報科学研究科）
大里　延康（日本大学工学部情報工学科）
五十嵐 善英（群馬大学工学部情報工学科）
長野　　徹（日本アイ・ビー・エム株式会社東京基礎研究所）
月本　　洋（株式会社東芝 研究開発センター）
上田　修功（NTTコミュニケーション科学基礎研究所）
斉藤　和巳（NTTコミュニケーション科学基礎研究所）
渡辺　　治（東京工業大学大学院情報理工研究科）
塚田　　稔（玉川大学工学部情報工学科）
西野　哲朗（電気通信大学電子情報学科）
戸田誠之助（日本大学文理学部応用数学科）
平田　富夫（名古屋大学大学院工学研究科）
佐藤　雅彦（京都大学大学院情報学研究科）
橋口攻三郎（岡山大学工学部情報工学科）
神保　秀司（岡山大学大学院自然科学研究科）
篠原　　歩（九州大学大学院システム情報科学研究院）

研究費：校費　15万円，旅費　24万9千円

[2] 研究経過

Turing機械という計算モデルに端を発する計算科学は大きく発展はしているが，計算を含む情報処理の諸側面である認識，学習，記憶等に関しては現象論的・対処療法的技術の発展はあるもののその原理的理解には至っていない。一方で，並列処理アーキテクチャなど逐次的計算とは異なる計算機構が提案され，パーセプトロン，ニューラルネットワークなどアルゴリズム自体を学習により構成する情報処理モデルが提案され応用技術が研究されている。

本研究プロジェクトでは，基本処理単位を時間軸上及び空間軸上に配しアルゴリズムとして組み立て，所望の機能を実現するという，計算科学のボトムアップの方法論を踏襲しながら，従来の計算科学が対象とし得なかった計算現象の解明を目指している。

計算科学の分野にはこれまでに，アルゴリズムの効率化，決定性アルゴリズムの確率化，NP完全性，近似計算，擬似ランダム，対話型証明系，情報の表現形式等に関して，豊富な概念や手法の蓄積がある。

本プロジェクト研究では，これらの蓄積された成果をもとに，次のテーマについて研究し，新しい計算パラダイムの確立を目指して企画された。

(1) 並列分散処理モデル
(2) 認識，学習，記憶のためのネットワーク状分散モデル上の計算
(3) データと知識の階層化とネットワーク状記憶層への埋め込み
(4) 大規模ネットワーク上に分散する大量情報の蓄積とアクセス

本年度は以下の研究集会を開催し，情報の時空間処理及び新しい計算パラダイムについて，活発な討論が行なわれた。

日時：平成13年２月16日(金)
場所：東北大学工学部青葉記念会館大会議室501
演題と講師：

1．“テキストマイニング技術とその活用事例
—膨大なテキストデータからの知識発見—”
長野　徹副主任研究員（日本アイ・ビー・エム株式会社東京基礎研究所）

2．“変分ベイズ学習”
上田　修功主幹研究員（NTTコミュニケーション科学基礎研究所）

3．“Compressed Suffix Array：データ圧縮とデータ検索の両立”
徳山　豪教授（東北大学大学院情報科学研究科）

4．“圧縮データ上の高速文字列照合アルゴリズ

ム”
篠原　歩助教授（九州大学大学院システム情報科学研究院）
5．“論理回帰分析法を用いた脳機能画像からの知識発見”
月本　洋主任研究員（株式会社東芝　研究開発センター）
6．“隠れマルコフモデルのオンライン推定”
瀧本英二助教授（東北大学大学院情報科学研究科）

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度開催した研究集会で報告された成果は次の通りである。

学習・適応アルゴリズム，知識発見アルゴリズムに関しては，まず，未知データに対する予測を予測値ではなく予測分布として推定する学習法であるベイズ学習について，多次元の期待値計算を伴うという実用上の問題を解決するため，変分ベイズ法が提案報告され，その理論と応用が紹介された。

適応の問題の理論的な枠組みを与える問題として，記号列が１つずつ与えられるたびに隠れマルコフモデルのパラメータを逐次的に更新する問題を考え，これを解決するためBaum-Welch 法に基づいたアルゴリズムが提案され，話者適応に優れた性能を示したことが報告された。さらに，知識発見手法である論理回帰分析法（回帰分析+ルール抽出）が提案され，この手法を用いて，f-MRIの脳機能画像から脳の機能と部位に関する規則を自動的に発見するアルゴリズムを開発し，実際に適用した結果が報告された。

大規模ネットワーク上に分散する大量情報の蓄積とアクセスに関しては，主に，テキストマイニングについて成果が得られた。テキストマイニングは膨大なテキストからの知識発見を目的とした技術である。テキストデータは数値データやカテゴリカルデータと異なり，解釈が曖昧であり，様々な意図を含む。従って，「高速にルールを発見する」ための従来のデータマイニングの技術に加え，「テキストから効率よく情報を抽出する」ための技術が必要とされる。新しい情報抽出技術が報告された。また，知識発見を行う目的で巨大なデータを蓄え，利用する時，データ圧縮とデータ検索は共に重要な機能であるが，通常は検索の高速化にはデータスペースの増加を伴なう。そこで，文書データを圧縮し，なおかつ圧縮したまま高速に検索を行うことができる蓄積法が必要であり，そのための理論的なデータ構造が提案され，報告された。さらに，圧縮データを陽に展開せず直接文字列照合を行う手法とそれに適した圧縮法に関して，種々の辞書式圧縮法を統一的に取り扱う枠組みであるCollage Systemとそれに対する汎用の圧縮照合アルゴリズムが提案された。検証実験により十分な性能をもつことが報告された。

研究集会で発表されたもの以外の研究では，ニューラルネットワークの自己組織化学習のための平均場理論とモンテカルロ手法，並列分散処理のためのタスク割当手法を新しく得た。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトのメンバーには特定領域研究「発見科学」や「アルゴリズム工学」に加わっているものも多い。これらの特定領域研究グループが開催する国際学会での発表等を通して，本プロジェクトは，他の関連分野とも大きな係わりをもちつつ，活動してきた。特に，企業の研究機関からの研究者との交流が活発に行われ，理論的成果が実際問題の解決に役立つ例が多数報告され，理論面の追求と同時に具体的な情報技術の展開があり，今後の発展が期待されている。

[4] 成果資料

(1) 上田修功；“最良モデル探索のための変分ベイズ学習”，人工知能学会論文誌，Vol.16, No.2, (2001) pp.299-308
(2) Ueda, N., Nakano, R., Ghahramani, Z., and Hinton, G. E. ; “SMEM Algorithm for Mixture Models”, Neural Computation, Vol.12, No.9, (2000) pp.2109-2128
(3) M. Takeda, Y. Shibata, T. Matsumoto, T. Kida, A. Shinohara, S. Fukamachi, T. Shinohara, and S. Arikawa ; “Speeding up string pattern matching by text compression: The dawn of a new era”, Trans. Information Processing Society of Japan, 42 (3), (2001) pp.370-384
(4) G. Navarro, T. Kida, M. Takeda, A. Shinohara, and S. Arikawa, ; “Faster Approximate String Matching over Compressed Text”, Proc. Data Compression Conference 2001, (2001) pp.459-468
(5) Kunihiko Sadakane ; “Algorithms on Strings Based on the Compressed Suffix Arrays”, 情報処理学会研究報告，AL74, (2000) pp.73-80
(6) Kunihiko Sadakane ; “Compressed Text Database with Efficient Query Algorithms Based on the

Compressed Suffix Array", Springer Lecture Notes in Computer Science, LNCS-1969, (2000) pp.410-421

(7) Jun Mizuno, Tatsuya Watanabe, Kazuya Ueki, Kazuyuki Amano, Eiji Takimoto and Akira Maruoka ; "On-line Estimation of Hidden Markov Model Parameters", Lecture Notes in Artificial Intelligence, LNAI-1967, (2000) pp.155-169

(8) Eiji Takimoto and Manfred Warmuth ; "The Last-Step Minimax Algorithm", Lecture Notes in Artificial Intelligence, LNAI-1968, (2000) pp.279-290

(9) 長野 徹, 武田 浩一, 那須川 哲哉 ; "テキストマイニングのための情報抽出", 情報処理学会研究報告 SIG-FI-60, Vol.2000, No.91, (2000) pp.31-38

(10) 那須川 哲哉, 諸橋 正幸, 長野 徹 ; "テキストマイニング —膨大なデータの自動分析による知識発見—", 情報処理, Vol.40, No.4, (1999) pp.358-364

(11) Tohru Nagano, Kohichi Takeda, Tetsuya Nasukawa ; "Knowledge Discovery using Robust Natural Language Processing", Pacific Association for Computational Linguistics 2001, (PACLING2001), (2001) (掲載予定)

(12) 森田千絵, 柿本満, 菊池吉晃, 月本洋 ; "論理回帰分析法による脳機能画像からの知識の発見", 人工知能学会論文誌, Vol.15, No.2, (2001) pp.212-219

(13) H. Tsukimoto, M. Kakimoto, C. Morita, Y. Kikuchi, E. Hatakeyama, Y. Miyazaki ; "Knowledge Discovery from fMRI Brain Images by Logical Regression Analysis", The Proceedings of The Third International Conference on Discovery Science, LNAI-1967, (2000) pp.212-224

(14) J. Kuroiwa, S. Inawashiro, S. Miyake and H. Aso; "Mean Field Theory and Self-Consistent Monte Carlo Method for Self-Organization of Formal Neuron Model", Journal of the Physical Scoety of Japan, Vol.69, No.6, (2000) pp.1917-1924

(15) 菅谷至寛, 阿曽弘具 ; "非均一ネットワークにおけるタスク割当て手法", 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.9 (2000) pp.2592-2602

課題番号　H12/B08

発達過程の脳モデルの研究

[1] 組織

代表者：大森　隆司（北海道大学 工学研究科）
倉田　耕治（琉球大学 工学部）
鈴木　宏昭（青山学院大学 文学部）
安井　湘三（情報工学部）
郷原　一寿（北海道大学 工学研究科）
開　　一夫（東京大学 総合文化研究科）
今井むつみ（慶応大学 環境情報学部）
池上　高志（東京大学 総合文化研究科）
船橋新太郎（京都大学 総合人間学部）
矢野　雅文（東北大学 電気通信研究所）
沢田　康次（東北大学 電気通信研究所）

研究費：校費 15万円，旅費 62万円

[2] 研究経過

幼児の知能発達，特に言語や思考などのいわゆるシンボル処理は高次機能と呼ばれているが，その脳過程については不明なところが多く，多様な側面からの研究が必要とされている。今回，その脳モデルの研究会を組織するにあたり，

- 脳の生理実験
- 人間の行動分析
- ニューラルネットのモデル
- 複雑系の数理

の四つのタイプの研究者の発表を総合し，その交流によって個々の側面からは見えづらい脳のシンボル処理過程の発現とその発達過程の解明をめざした議論を企画した。結論として，その意図は狙いどおりに機能し，異なる分野の研究者による多角的な議論が展開された。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

以下に要約するように，多様な立場からの発表が行なわれた。

倉田：階層的学習ネットが事象の異なる側面を自己組織・抽出できることを示した。
鈴木：人間が経験のまとまった単位を適切に切出して単位化できることを示した。
安井：神経回路網がある種の類推を学習的に獲得できることを示した。
矢野：帰納的推論の効果について議論した。
郷原：フラクタル的な動的システムがオートマトンを形成することを示した。
開　：幼児の期待違反実験パラダイムの限界について議論した。
今井：幼児の語彙獲得の初期加速機構の実験的な検証方式を示した。
池上：動的システムが内部に離散状態を発生させることを示した。
澤田：こころとよばれる機構の特性について考察した。
船橋：サル前頭前野における空間表象の特性を示した。
大森：脳シンボル処理の背景にある脳アーキテクチャについて論じた。

これらの講演を受け，それぞれの研究と関連研究の関係について議論し，以下にあげるいくつかの成果がえられた。

(3-2) 波及効果と発展性など

- 今井の語彙獲得，鈴木の洞察の実験のモデルとして，大森が「脳内手続きの機能部品組合せ仮説」を提示し，言語獲得や手続き獲得といった異なるタイプの知的行動の背後には同一の脳シンボル処理メカニズムがあるのではないかという意見が示された。
- 類推や帰納推論，状態遷移といった高次機能の基盤として，脳神経回路の持つ自己組織化機能のより深い理解，さらに強化学習としてのタスク要請にもとづく自己組織化の制御の理解が必要であるとの議論があった。この議論は結果としてタスク要請をみたす脳回路の形成手法につながるものであるが，具体的なモデルについては今後の議論にゆだねられた。

今後は，上記のような議論の成果をもとに新たな課題の設定，多様な分野からの研究の集積のためのプロジェクト設定が必要であるとの議論があった。

[4] 成果資料

光武眞意，紀田馨，和田浩司，倉田耕治：多重マップモデルによる2種の情報の分離抽出，日本神経回路学会誌，Vol.6(4), pp.196-202, 1999

鈴木宏昭，植田一博，堤江美子：日常的な機器の繰作の理解と学習における課題分割プラン，認知科学，Vol.5(1),1998,pp.14-25

Syozo YASUI：Abstraction based connectionist analogy processor, International Jounal of Applied Mathematics and Computer Scienceに印刷中

Kazutoshi GOHARA and Arata OKUYAMA: Dynamic System Excited by Temporal Inputs: Fractal Transition between Excited Attractors, Fractals, Vol.7(2),1999, pp.205-220

開一夫，鈴木宏昭：表象変化の動的媛和理論：洞察メカニズムの解明に向けて，認知科学，Vol.5(2),1998,pp.69-79

Mutsumi IMAI : Constraint on Word-leaming Constraints, Japanese Psychological Research, Vol.41(19, 1999,pp.5-20

Ichiro IGARI and Takashi IKEGAMI: Coevolution of Mind and Language, Submitted to the International Conf. On Evolution of Language (Paris 2000)

伊藤　真，三宅章吾，沢田康次：ラットの空間探索課題における海馬-大脳基底核モデル,電子情報通信学会論文誌に投稿中

Yshinori HAYAKAWA and Yasuji SAWADA: Learning-inspired Synchronization of Globally Coupled Excitable Map System, Physical Review E, Vol.61(5), 2000, pp.5091-5097

Shintaro FUNAHASHI and Kisou KUB0TA: Working Memory and Prefontal Cortex, Neuroscience Research, Vol.21, 1994, pp.1-11

Shintaro FUNAHASHI and Masato INOUE: Neuronal Interactions Related to Working Memory Processes in the cross correlation analysis, Cerebral Cortex ,Vol.10(6), 2000, pp.535-551

Omori. T., Mochizuki A., Mizutani K., Nishizaki M.：Emergence of symbolic behavior from Brain like memory with Dynamic Attention, Neural Networks, Vol.21, 1999,pp.1157-2273

大森隆司，下斗米貴之：文法を利用した語彙獲得における加速現象の脳モデル化，認知科学，Vol.7(3), 2000, pp.223-235

第 6 章　　シンポジウム

6.1　通研国際シンポジウム

「半導体中のスピン関連現象の物理と応用に関する国際会議」

International Conference on the Physics and Application of Spin-Related Phenomena in Semiconductors (PASPS2000)

開 催 日：2000年9月13日～15日
開催場所：仙台国際センター

近年，半導体中のキャリアのスピン自由度を活用し，新しいエレクトロニクスを開拓しようとする研究が国内外で高まりつつある。本会議は，平成9年～11年に行われた特定領域研究「スピン制御半導体」（領域代表者東北大学電気通信研究所大野英男）に参加した国内の研究者を中心に毎年開催されていた同名のシンポジウムを，国際会議として開催したものである。「半導体中のスピン関連現象」とテーマが特定されているにもかかわらず，発表論文総数は132件（うち招待講演17件），会議の総参加者数は162名で，うち海外からが69人あったことから，海外からも非常に高く注目されていたことがうかがえる。

会議の構成は，3件の基調講演と，大きく分類して①非磁性半導体関連，②磁性半導体関連，③磁性金属／非磁性半導体ハイブリッド構造関連，④量子情報関連，⑤スピン注入関連のセッションからなっている。

カリフォルニア大のAwschalomは，会議冒頭の基調講演の中で、半導体中のスピン偏極の寿命が数100ナノ秒以上となり，100μm以上の距離を輸送できることを示し，半導体中のスピン状態を利用する上での実用上のネックが少ないことを示した。また，東大の樽茶は，半導体量子ドット系の輸送現象にスピンに起因する効果として理解できる現象が現れていることを示し，それらのデバイス応用について議論した。応用上重要な室温強磁性半導体については，ポーランド科学アカデミーのDietl教授が，p-d交換相互作用をベースとするモデルからZnOやGaNが有望であることを指摘した。第一原理計算に基づいた理論検討からはGaCrAs（阪大・白井），Mnドープの GaN（阪大・加藤，吉田），遷移金属添加のZnO（阪大・佐藤，吉田）が有望な材料系であることが報告された。実験では，阪大の田畑らがCo添加のZnOにおいて，また，農工大の佐藤らがMnを固相拡散させたCdGeP2において室温強磁性を報告し注目された。一方，アトムテクノロジーの秋永らは，ハーフメタルのバンド構造を有すると理論的に予測される閃亜鉛鉱型構造のCrAsをGaAs基板上に作製することに成功し，キュリー温度が400K以上であることを確認している。

磁性半導体を用いた磁気抵抗素子に関して，東大の肥後らがGaMnAs/AlAs/GaMnAs TMR構造において低温で70%以上の磁気抵抗比を実現したことも注目された。さらにアトムテクノロジーの秋永らはGaAs表面上に作成したMnSbグラニュラー構造において室温で10000%以上の超巨大磁気抵抗を観測して注目を集めた。

会議の中日には「半導体スピントロニクスは何をもたらすか」というテーマで開

催されたランプセッションでは，電総研の安藤とIMEC（Interuniversity Microelectronics Centre）のJ. De Boeckがそれぞれオプトエレクトロニクスとエレクトロニクス応用の立場から半導体スピントロニクスの有用性，重要性を主張した。またDARPA (Defense Advanced Research Projects Agency)のS.A. Wolfからは，米国におけるスピントロニクス関連の研究状況が紹介された。

今回の会議の議論からもこの分野の研究は今後もますます拡大するものと期待される。欧米諸国の研究者の強い要請から、２年後の2002年に，ドイツ・ビュルツブルグ大のMolenkamp教授を議長としてビュルツブルグで開催されることが会議中に決まった。

生命科学と脳科学への力学的アプローチ

International Conference on Dynamical Aspects of
Complex Systems from Cells to Brain

（主催） 東北大学電気通信研究所
（後援） 日本物理学会，日本生物物理学会，日本神経回路学会
（開催期間と会場） 2000年11月29日～12月1日（3日間）仙台国際センター

（主たる講演者）

T.Yanagida (Osaka Univ.), D. Bensiomon (ENS), K. Sekimito (Kyoto Univ.)
M. Matsushita, (Chuo Univ.), H. Levine(UCSD),
J. Glazier (Notre Dame Univ.), Y. Kuramoto (Kyoto Univ.),
S. Amari (RIKEN), Y, Hushimi (Saitama Univ.),
U. Alone (Weizmann Institute, Rehovot), K. Kaneko (Univ. of Tokyo),
W. Bialek (NEC Research Institute), J. Tanji (Tohoku Univ.),
Ad Aertsen(Albert-Ludwigs Univ.),
S. Ogawa (Bell Lab.), A. Guo (CAS, Beijing), Y. Sawada (Tohoku Univ.)

（シンポジウムの概要）

生命科学と脳科学の両分野において理論科学の必要性が叫ばれ，特にヒトゲノム解析プロジェクトが残りわずか1～2年で終了としている現在，次の大きな課題は，遺伝子の発現を制御している生体内反応ネットワークの解析であると言われている。生体内の複雑な化学反応ネットワークに共通する規則を見いだし，予測を行うためには，非線型力学系の手法や，計算機シミュレーションを手段とする複雑系のアプローチが欠かせない。

一方，脳研究においても，脳の動的な側面に関する知見が拡大している現在，意識や注意など脳の自律メカニズムを明らかにするためには，力学的アプローチが欠かせない。このように生命，脳に関する新たな実験データが次々と提出され，非線

型物理学や複雑系の研究者がこの研究分野に挑戦を開始した時期に，物理学，工学，医学，生物学等の多岐にわたるこの分野をリードする研究者が一同に会して活発な議論を行うことは極めて意義が大きい。

このような主旨で開催された本国際会議は，生命科学と脳科学の最先端の話題が紹介されるとともに，討論後の質疑，プログラム以外でのインフォーマルな議論も含めて実に活発な討論と情報交換が行なわれた。

本国際会議を通じて生命科学と脳科学という二つの大きな分野に関して，現在の世界最先端の情報を得ると同時に，日本の優れた研究成果を発信できた。また，数理物理や非線型という共通の言葉がこの二つの分野において今後ますます重要となってくることを全ての参加者が確認できたことも今回の大きな成果である。

（シンポジウムの構成）論文数80件（外国人招待者8件，国内招待者9件，ポスター63件）

（参加国および参加者数）

日本，アメリカ，イスラエル，インド，中国，ドイツ，スウェーデン，フランス

海外参加者			国内参加者			合計
招待者	一般参加者	計	招待者	一般参加者	計	157人
8人	6人	14人	9人	135人	143人	

6.2　国際会議等の開催状況

第1回新Ⅳ族半導体(Si-Ge-C)国際ワークショップ

（室田　淳一・松浦　孝）

開 催 日：2001年1月21日～23日
開催場所：Hotel JAL City Sendai

The First International Workshop on New Group IV (Si-Ge-C) Semiconductors: Control of Properties and Applications to Ultrahigh Speed and Opto-Electronic Devices (SiGe (C) Workshop)は，SiGe混晶にさらにC原子を添加した人工Ⅳ族半導体（$Si_{1-x-y}Ge_xC_y$やSiGe (C)などと表される）に関する国際ワークショップである。文部科学省と東北大学電気通信研究所の共催で開催された。SiGe(C)は，Si LSIの高性能化のために最近ますます注目を集めている材料である。これは，SiGe (C)ヘテロ構造の導入により構造的な微細化だけに頼らずにデバイス高性能化が可能なこと，従来のLSIプロセスに一部追加するだけでデバイス製造が可能であることなどのためである。本国際ワークショップでは，特定領域研究「人工Ⅳ族半導体」の分担者・関連メンバーや関連分野の海外からの研究者134人が集まり，69件（内招待講演13件）の論文発表を通して，集中的に活発で有意義な議論が交わされた。詳細は
http://www.murota.riec.tohoku.ac.jp/SiGe(C)/　に掲載されている。

The Fifth Perpendicular Magnetic Recording Conference

（中村慶久）

開 催 日：2000年10月23日～26日
開催場所：宮城蔵王ロイヤルホテル

垂直磁気記録国際会議は1989年に第1回を開催して以来，これまで4回の開催実績を積み重ねてきており，垂直磁気記録を中心とする高密度磁気記録のための充実した討議を行ってきた。平成12年度は第5回目を開催した。産学官の磁気記録研究者を網羅した実行委員会体制に基づき，主要な国際的な顔ぶれの研究者の参加を得て継続されているユニークな国際会議である。いずれの会議においても，本所教官が組織委員長，副委員長，あるいは部会長を務めて主体的な運営に関与するとともに招待講演者及び座長としても積極的な貢献をしてきた。
平成12年度の第5回は，既存方式による高密度化が限界に達しつつある中で，国内外から実用性の高い研究報告がされた点に特徴があった。本学名誉教授岩崎委員長と米ミネソタ大Judy教授による垂直磁気記録の研究の原点とその発展の経緯を述べる招待講演が行われている。本所からは，最先端トピックスとして，2名の招待講演者

が記録再生理論と高密度媒体技術で講演を行うとともに，日立製作所・秋田県高度技術研究所との共同研究による，50ギガビット毎平方インチ超の高面密度垂直磁気記録の研究結果を発表した。他にも，国内外のディスクドライブ装置メーカーの研究者が完成度の高いプロトタイプ研究を披露した。記録密度限界を決めている記録ビットの熱擾乱による減磁についても，多くの研究者から垂直磁化が本質的に持つ高い安定性が報告された。これらには，全体の20%を越える米国からの参加者など，国際的に高い注目が集まった。

The Seventh Western Pacific Regional Acoustics Conference

(略称WESTPRAC Ⅶ，第7回西太平洋地区音響学会議)

(鈴木陽一)

開 催 日：2000年10月3日～5日
開催場所：熊本，メルパルク熊本
組織委員長：曽根敏夫，実行委員長：江端正直，論文委員長：鈴木陽一

第7回西太平洋地区音響会議が初めて日本において開催され，西太平洋地区各国を中心に総計17カ国から502名の参加者があり，301件の論文発表が行われた。会議のテーマである“Pan-Pacific Winds ——Filling the sails of acoustics for the 21st century”に対応した形で，会議開会式に引続き城戸健一東北大学名誉教授とネビル・フレッチャー オーストラリア国立大学名誉教授による基調講演が行われ，3日間の会議が始まった。初日の午後からは，6ないし7会場で同時に研究発表が行われた。また，ミュンヘン工科大学のフゥーゴ・ファッスル教授を始め，韓国，アメリカ合衆国，日本の計4名の方から，2日目および3日目に特別講演をいただいた。また，一般の講演では，鉄道・道路・航空機等の交通騒音の予測，交通騒音の制御，地域社会における騒音問題と政策，ホール音響，仮想三次元音響，音響情報の視覚化・可聴化，環境音における心理学側面，耐環境音声通信における音響，聴覚における音響信号の時間周波数処理，音楽演奏および楽音の物理音響と心理音響，海洋音響学と海洋音響トモグラフィの合計12テーマのスペシャルセッションを設けた。これらのスペシャル・セッションには，西太平洋地区を始め，欧米諸国から多数の招待講演を招くと共に，多数の一般講演も行われ，大変活発な研究討論がなされた。特に，環境音における心理学的側面と題したスペシャルセッションは，特別講演者であるファッスル教授と桑野園子大阪大学教授がオーガナイズを担当され，招待講演 4件を含め，16件の研究発表がなされた。このセッションでは，中華人民共和国，台湾，韓国，日本を始め各国における環境音に関するさまざまな取り組みが発表された。参加国は，先に述べたように，西太平洋地区を中心に，欧米各国からも含め合計17カ国であった。そのなかで，経済的な困難など種々の要因で，通常あまり活発な研究活動が行われていない国からも，非常に少数ではあるが参加者があった。2日目には会場となったメルパルク熊本にてバンケットが実施され，当初の見込みを上回る参加者を得て相互の歓談に花が咲いた。

会議は，10月5日午後6時からの閉会式を以て，すべての行事を無事終了した。会

議の成果は，会議論文予稿集として，総ページ1200以上の印刷物およびキーワード検索や著者・所属・論文題目等による検索機能を持つCD-ROM版として出版し，広く各国の音響学研究者に利用できるようにした。

2nd International Symposium—Intrinsic Josephson Effects and Plasma Oscillations in High-Tc Superconductors (Plasma 2000)

（山下　努）

開 催 日　平成12年8月22日～24日
開催場所　東北大学金属材料研究所　２号館　１Ｆ講堂
主催団体　東北大学電気通信研究所，日本科学技術振興事業団
後援団体　日本学術振興会第146委員会，（財）テレコム先端技術研究支援センター
組織委員長　山下　努

会議概要

酸化物高温超伝導体は，その結晶中に固有ジョセフソン接合が形成されており，その新しい電磁気的特性が注目を集めている。特に結晶内に励起されるプラズマの周波数帯域がTHz帯に及ぶことが理論的に予測され，またその基礎特性の一部が実証されている。そこで，この国際シンポジウムにおいては，固有ジョセフソン効果とプラズマ励起に関して，物理学，化学，応用等の立場から多角的に検討を加え，この新しい現象の現状を討論すると共に，この現象を用いた将来の超高速電子デバイスの可能性を検討することを目的とした。具体的には，（１）高品質な銅酸化物超伝導単結晶及び薄膜に関係した作成方法と特性評価，（２）高温超伝導体における異方的な電気，磁気特性と固有ジョセフソン効果，（３）層状超伝導体での磁束フローとプラズマ励振，及び（４）ミリ波，サブミリ波帯における電子デバイス等の課題について研究成果の報告と討論を行い，これらを総合して，高温超伝導銅酸化物の物性の解明やデバイスへの応用研究の，一段の発展を促進するものとなった。

本研究所では，上記のシンポジウムテーマに関する第１回国際シンポジウムを1997年2月に主催し，当該分野の研究進展に大きく寄与した。今回のシンポジウムは当初から計画されたものであり，参加者も日本，中国，米国，韓国，シンガポール，英国，ドイツ，ロシア等１２ヶ国からの約100名で，発表論文数も70件（内，口頭発表40件，ポスター発表30件）となり，内外から高い評価を得た。

1st Sino-Japanese Joint Workshop on Superconductor Electronic Devices

The Applications in High Frequency Analog Circuits and High Speed Digital Circuits

（山下　努）

開 催 日　平成12年10月30日～11月4日
開催場所　中国南京大学
主催団体　南京大学，通信総合研究所，東北大学
組織委員長　呉　培亨，王　鎮，山下　努

会議概要

アジア諸国，特に中国，日本などの超伝導エレクトロニクスの研究レベルは近年目覚しい成長が見られている。特に，超伝導高周波デバイスや高速デジタル回路等の研究では欧米で開かれている国際会議でも積極的に発表し，高い評価を得ている。しかしながら，中国では，まだまだ海外での参加・発表は経済的な困難を伴い，国際会議への参加・発表者が限られている。もし，中国でレベルの高い超伝導エレクトロニクスの国際会議が企画されれば，経済的な問題が少し軽減され，質の高い発表が集まるものと思われる。また，日本と中国の経済をはじめとする文化的連携の強化が重要となっている。そこで日本と中国の超伝導エレクトロニクスの研究者が一同に会し，研究成果発表，学術情報交流，親睦等を行う国際研究会を主催することは重要，かつ緊急性を有するものと考えられる。本国際研究会の目的は，日本と中国の超伝導エレクトロニクスのアクティビティをより高めるために，成果発表，情報交流，親睦等を行うことであった。

本国際研究会において，（１）超伝導材料の作製及び特性評価，（２）超伝導高周波デバイス，（３）超伝導量子干渉デバイス，（４）超伝導高速デジタルデバイス，（５）高温超伝導固有ジョセフソン効果及びそのデバイス応用，（６）新しい超伝導デバイス等のテーマについて成果の報告と討論を行い，超伝導デバイスの物性解明やエレクトロニクス応用開発の一段の発展を促進し，学術的非常に有意義であったと考えられる。また，参加者も中国の各研究機関から多く集められ，日本からも通総研，東北大学，電総研，野辺山天文台，NEC，名古屋大学，山形大学などの研究機関から約20名となり，更にドイツからも2名研究者が加えられ，盛会となった。

通研シンポジウム

The 7th International Display Workshops Workshop on Field Emission Display

（横尾邦義）

開 催 日：平成12年12月1日
開催場所：神戸国際会議場

国際ディスプレイワークショップは種々の個別のワークショップからなるディスプレイ技術全体を取り扱う国際ワークショップである。本ワークショップは，そのなかの一つでフィールドエミッションディスプレイ技術（エミッタ，蛍光体，アッセンブリも含む）の基礎から応用までを取り扱う国際ワークショップである。今年度は27件（招待6件）の講演があった。国別には，日本16件，韓国５件，台湾３件，米国1件，英国1件，フランス1件で，フィールドエミッションディスプレイ分野における韓国，台湾の関心の深さが伺われる。

6.3 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、技術者が相互に連絡・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	備考
1	伝送工学研究会	宮城教授	松浦助教授	
2	音響工学研究会	鈴木教授	西村助手 鈴木助手	
3	仙台〝プラズマフォーラム〟 (旧名称 プラズマ研究会)	佐藤（徳）教授	飯塚助教授	
4	EMC仙台ゼミナール	根元教授	曾根助教授	
5	コンピュータサイエンス研究会	阿曽教授	周　講師	
6	システム制御研究会	阿部教授	吉澤助教授	
7	電子ビーム工学研究会 (旧名称 大電力マイクロ波ミリ波研究会)	横尾教授	佐藤（信）助手	
8	放射光工学研究会	庭野教授	木村助手	
9	テラヘルツ工学研究会 (旧名称 ミリ波デバイスと半導体プロセス技術研究会)	水野教授	裵　助教授	
10	スピニクス研究会 (旧名称 磁気工学研究会)	一ノ倉教授	荘司助教授 薮上助手	
11	表面・界面工学研究会	潮田教授	上原助教授	
12	ブレインコンピューティング研究会	沢田教授	佐野助教授	
13	超伝導工学研究会	山下教授	陳　　助教授 中島（健）助教授	
14	超高密度・高速知能システム工学研究会	大野教授		
15	ニューパラダイムコンピューティング研究会	亀山教授	青木助教授	
16	超音波エレクトロニクス研究会	中村（健）教授	金井助教授 松本助教授	
17	情報・数物研究会	海老澤教授	本田助手	
18	インテリジェントマルチメディア 電子システム・デバイス研究会	大見教授	坪内教授	
19	ブレイン機能集積工学研究会	中島教授	佐藤助手	
20	生体・生命工学研究会	山本教授	中尾助教授	

伝送工学研究会

主査　宮城光信，　幹事　松浦祐司

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12年12月の時点ですでに437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招待講演や研究報告を行ってきた。今年は学内から16件，学外から7件の発表論文が寄せられ，研究討論が活発に行われた。また，学術講演会も3回開催され、それぞれ最新の研究動向と成果が報告された。

音響工学研究会

主査　鈴木陽一，　幹事　西村竜一，鈴木基之

音響工学研究会は，音波，固体振動，超音波などの弾性波を対象とする研究の成果を発表し，討論や意見交換をする場として，1950年頃に発足した研究会である。関連する分野は，電気音響，聴覚・心理音響，建築音響，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。

2000年度は，主査鈴木陽一教授，幹事西村竜一助手，鈴木基之助手のもとで，研究会6回（第306回～第311回）と通研講演会1回が開催された。会場は，第308回が東北大学工学部電気情報館451・453会議室であり，その他は全て東北大学電気通信研究所大会議室であった。なお，第308回と第310回は超音波エレクトロニクス研究会と合同で開催された。

第306回音響工学研究会は，2000年4月25日(火)に開催され，Juergen Hellbrueck教授（Catholic University of Eichstaett, Environmental and Health Psychology）による講演が行われた。第307回音響工学研究会は，2000年5月19日(金)に開催され，研究発表4件，参加者は38名であった。第308回音響工学研究会は，2000年7月19日(水)に開催され，研究発表6件，参加者62名であった。第309回音響工学研究会は，2000年11月2日(木)に開催され，研究発表5件，参加者31名であった。第310回音響工学研究会は，2000年12月21日(木)に開催され，研究発表7件，参加者63名であった。第311回音響工学研究会は，2001月2月14日(水)に開催され，研究発表4件，参加者28名であった。通研講演会は，2001年1月15日(月)に開催され，Finnish Institute of Occupational Healthの Heli Laitinen 研究員による講演があった。参加者は，21名であった。

仙台“プラズマフォーラム”

主査　佐藤徳芳，　幹事　飯塚　哲

本研究会は，プラズマ，放電，核融合，その他のプラズマ応用の最新の研究成果に関して，特別講演及び特別企画を催すとともに，刺激的な研究討論と研究発表を行うことを目的としている。以下に，2000年度の活動概要を記す。

学部学生を中心とする，既刊論文に基づいたプラズマ生成，閉じ込め，加熱，計測及びプラズマ応用に関する「研究討論会」を5回開催。大学院及びスタッフを中心とするプラズマ中の波動伝播及び不安定現象，フラーレンプラズマ生成とその基礎的性質，プロセス用プラズマの生成と制御，微粒子プラズマの挙動制御，高周波放電プラズマによるダイアモンド形成，高速プラズマ流の生成と測定法の開発に関する「研究発表会」を2回開催。

国外研究者による，特別企画「International Symposium on Research and Education in the 21st Century / International Workshop on Exotic Fullerenes and Nanotubes」を1回開催。国内，国外研究者による，電磁流体現象，回転するプラズマの構造形成，非中性プラズマ実験，新材料としてのフラーレン類合成，大気圧グロー状放電プラズマ，プラズマ中の流れと不安定性などに関する「特別講演会」を2回開催。その他，国内，国外研究者による「研究発表」を2回開催。

以上において，参加者は特別講演会（約80名）を除いて常時50名前後であった。

ＥＭＣ仙台ゼミナール

主査　根元義章，　幹事　曽根秀昭

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。この問題がわ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であるかを調査し，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の成果はわが国や世界のＥＭＣ研究の牽引力の役目を果たしている。たとえば，電磁界環境の定量的測定，ノイズ源のモデル化と耐ノイズ性試験法，耐ノイズ性信号伝送システムなどについて，独創的研究成果をこの研究会から世に送り出してきた。

平成12年度には，第162回（12月26日)の１回の研究会を開催し，１件の特別講演「電磁界の生体影響と健康リスク評価」（多氣 昌生先生）を含む，3件の講演・研究発表があった。研究発表の主な話題は，放電によるアンテナの数値解析，電気接点のアーク放電現象の分析などである。

コンピュータサイエンス研究会

主査　阿曽弘具，　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，通研及び電気・情報系に所属する研究室の学問の交流を図ることを目的としている。

2000年度は，6月16日の第89回講演会に始まり，3月1日の第93回講演会まで，8名の講師による5回の講演会を行なった。

まず，グラフアルゴリズムに関して，Chul E. Kim教授（ポハン工科大学，韓国）による講演では，互いに素な道を求める近似アルゴリズムとその計算量が示された。Md. Saidur Rahman教授（BUET, バングラディッシュ）による講演では，長方形描画可能な平面グラフの必要十分条件と線形時間描画アルゴリズムが紹介された。また，計算幾何学に関して，Janos Pach教授（クーラント研究所，アメリカ）による講演では，平面において交差している複数直線に関するラムゼイ型性質が紹介された。

理論計算機科学の話題に関して，Stefan Naher教授（マックスプランク情報学研究所，ドイツ）による講演では，幾何学的述語の，数値計算による近似的評価法にかわる効率的で正確な評価法として構造的フィルタリングが紹介された。Jiri Wiedermann氏（チェコ科学アカデミー）による講演では，認知システム及び脳や心の計算論的モデルに関する現状が紹介され，Ernst W. Mayr教授（ミュンヘン工科大学，ドイツ）による講演では，形式的書き換え系についての多項式イデアルによるモデル化と最近の成果が紹介された。さらに，実際の問題に関係して，Tak-wah Lam教授（香港大学，中国）によるオンラインスケジューリング法に関する講演では，未来についての情報の欠落を補う手法により実行保証されることが示された。John E. Savage教授（ブラウン大学，アメリカ）による講演では，有限要素法において適応的にメッシュを構成するための並列グラフ再分割アルゴリズムが紹介された。

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基に，活発な討論，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　吉澤　誠

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）King's college(London)講師　Dr. James Whidborne（演題：Multi-Objective Robust Control System Design，共催：計測自動制御学会東北支部など），2）職業能力開発大学校教授　見城尚志氏（演題：小型モータ技術の最新動向，共催：スピニクス研究会），3）Workshop on Power Systems（共催：先端電力工学（東北電力）寄附講座），4）テキサス大学エネルギーリサーチセンター所長 Dr. Mo-Shing Chen（演題：米国およびテキサス州における電力市場自由化，主催：先端電力工学（東北電力）寄附講座，共催：電気学会東北支部），5）Shiraz University(IRAN)助教授, Dr. Abdolhossein Jahanmiri（演題：Application of BP and RBF Neural Networks For Fault Diagnosis of Distillation Column），6）（通研講演会）北海道東海大学工学部助教授　岡本 英治氏（演題：人工心臓のIT化，ほか3件の研究紹介）。

また，共催で，研究集会（計測自動制御学会東北支部第129回研究集会）を行った。この研究集会では，17件の研究発表があった。なお，3）のワークショップは，東北大学が主催する「21世紀の研究と教育に関する国際シンポジウム」（ISRE2000）における個別シンポジウムの一つとして開催したもので，韓国慶北大学校工科大学教授 Young-Sik Baek教授，東北大学内田直之教授および斉藤浩海助教授が，韓国と日本における電力技術の将来動向についてそれぞれ講演を行った。

電子ビーム工学研究会

主査　横尾邦義，　幹事　佐藤信之

本研究会は，近年における核融合プラズマの加熱及び計測，セラミック材料のマイクロ波を用いた焼結など，基礎科学分野から工業分野にわたる広い方面でのミリ波～サブミリ波領域の大出力電磁波源の開発要求をうけて，大出力マイクロ波・ミリ波源を中心とした基礎的，技術的諸問題を採り上げ，議論を重ねることを目的として1987年に「大電力マイクロ波・ミリ波研究会」として設立された。その後，多方面での電子ビームの生成，制御及び応用技術の研究の必要性をうけて，1995年に名称を「電子ビーム工学研究会」と改め，最近の極微細冷陰極の研究開発の進展や，これに伴う真空マイクロエレクトロニクスといった新たな研究分野も視野に入れて研究会の活動を行ってきた。平成12年度においては，大出力のミリ波源の開発とプラズマ加熱及び計測への応用，電界電子放射ビーム源の基礎物性等に関して，核融合科学研究所共同研究「ミリ波プラズマ応用技術」と共催で研究会を開催した。以下に平成12年度に開催された研究会で発表，討議されたテーマを記す。

○STMをもちいた微視的仕事関数計測　○STM真空ギャップ中の電子定在波の測定
○カーボンナノチューブからの電界放出　○ダイヤモンドの合成とその表面
○NEAの物理　○FED用蛍光体開発の動向
○CVD成長層を有するダイヤモンド粒子の2次電子分光と電界放射電子分光
○プラズマのECRH　○電子プラズマの渦運動

放射光工学研究会

主査　庭野道夫，　幹事　木村康男

本研究会は，シンクロトロン放射光（以下「放射光」という。）を用いた材料創製・加工や物性評価に関する技術的諸問題を討論する目的で活動を行っている。放射光を用いた評価分析技術の開発，放射光リソグラフィやLIGAプロセスなどの微細加工技術の開発，光励起表面反応過程の解明や光励起プロセスの研究などを研究討論のテーマとしている。本研究会は昭和62年4月に第1回研究会を開催して以来，これまでに通算46回の研究会を開いてきた。放射光科学分野の全国の第一線の研究者を招き，特別講演会も多数回開催してきた。本年度は，研究会を3回開催し，太田俊明氏の通研講演会を開催した。講演会の題目は以下のとおりである。

[第46回]□「最小フラーレンC_{20}の理論的同定と電子構造」斎藤峯雄（NEC情報システムズ）□「グラフェン，ｈ－ＢＮおよびカーボンナノリボンのフォノンと物性」大島忠平（早稲田大学理工学部）

[第47回]□【特別講演】「超コヒーレント電子ビームの開発」大島忠平（早稲田大学）

[第48回]□「Si(100)表面へのジクロロシラン分子吸着過程」鎌倉望（東北大通研）□「シリコン絶縁薄膜のSi 2p内殻準位スペクトル（２）」遠田義晴（弘前大理工学部）□【特別講演】「MBE成長した化合物半導体表面・ナノ構造のIn situ放射光光電子分光」小野寛太　（東大院工応化）

[第49回]【特別講演（通研講演会）】「表面ＸＡＦＳ，光電子分光を用いた表面化学反応の研究」太田俊明（東大院理）

テラヘルツ工学研究会

主査　水野皓司，　幹事　裵　鐘　石

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いる。2000年には前者について7件，後者について6件の講演，討論の機会を得，これまで通算59回の研究会を行ったことになる。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。むしろ，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。それらの技術が現在真の意味で実用的なものになっていない理由は，実は明確な応用分野が存在しないからであろう。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，大気伝搬特性等より困難であろう。次いで，光通信技術との融合ーテラヘルツ・フォトニクスとでもいうべき分野ーを考えると，現在のWDM 方式でテラビット伝送が可能であること，またテラヘルツ帯で動作する実用的な電子デバイス実現の可能性が低いこと，などより，この分野への応用は将来性があるとは思われない。ただ，ミリ波領域の技術は短ミリ波領域を含め十分社会的な応用また要請があると思われる。この時，実用的なミリ波帯デバイスを開発するためには，デバイスの遮断周波数はテラヘルツ帯に入っている必要がある。この点でテラヘルツ帯技術の開発は意味があろう。

なお，我々が行っているテラヘルツ帯技術（検出器，光源）開発の指針は次のキーワードに要約される：常温・高速動作，コヒーレント光，cw，そして tunable であること。

スピニクス研究会

主査　一ノ倉　理，幹事　荘司弘樹，薮上　信

本年度のスピニクス研究会は，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た。第64回研究会では急速な高密度化が進展する磁気記録において，物性の基礎に立ちかえるとともに，理想的な構造を作りこむ成膜プロセスについて議論された。東北大科研の北上助教授から磁性薄膜の異方性についての既存の考え方の不備が問題提起され，引き続いて東北大工学研究科のジャヤプラウィラ助手から超高真空成膜プロセスについての最新の研究成果が紹介された。最後に，秋田県高度技術研究所の鈴木氏より，次世代の超高異方性垂直薄膜であるFe-Pt膜について高密度記録媒体としての可能性が紹介された。第65回研究会では，日本国内の消費電力の1/2を占めるといわれるモータの高効率化と高機能化について議論した。最近のモータの技術動向を概観し，高性能化に不可欠な磁性材料技術と解析設計技術について討議した。本年度の特別研究会（第66回）は，秋田大学工学資源学部で行われ，電力用磁気，リニアモータ・アクチュエータ，高周波磁気，磁気計測，薄膜物性，磁気記録，モータ等，広い分野に及ぶ合計29件の講演が２日間にわたって討議された。第67回研究会では電子機器のさらなる薄型化・軽量化を目指す観点から数MHz～数GHz帯において有用な磁性材料の開発，磁性材料の高周波特性の評価，磁気デバイスの高機能化，高周波化，電子回路相互の電磁干渉，周辺への電磁雑音の放射，EMC計測技術等について総合的な討論を行った。

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１２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12年11月21日　「光が駆動する強相関電子系の伝導現象」（宮野　健次郎，東京大学大学院工学系研究科・教授）

平成12年11月28日　「有機分子を用いたクーロンブロッケイド・発光と観測」（根城均，科学技術庁金属材料技術研究所・ユニットリーダー）

ブレインコンピューティング研究会

主査　沢田康次，　幹事　佐野雅己

１．会の目的

情報化社会の肥大化に伴い，情報処理システムの硬直性の顕在化が社会の危機管理と関連した大きな問題となっている。その硬直性を打破するため，脳機能の生理学的研究を基礎に超並列ブレインアーキテクチャを確立し，それをマイクロチップ化するまでの技術を一貫して研究し，緊急の判断と柔軟な対処を要求する社会的危機管理に資する高次情報処理システム（ブレインコンピュータ）を開発することが望まれている。

本研究会では，生体機能に学ぶ自律分散制御，電気生理学実験による脳機能の解明，しきい値理論などに基づくブレインアーキテクチャの確立，及びそのシステム開発を目的として，全国の生体情報工学，非線型物理学，神経回路網理論，半導体・超伝導体集積回路の研究分野の研究者の意見交換をし，それらの有機的結合によりその目的を達成する。

２．2000年度の活動概要

平成13年2月15日に東北大学電気通信研究所中会議室において，北海道大学工学研究科教授の大森隆司先生を講師に迎えて，「脳におけるシンボル様処理（処理モジュール組合せによる手続き探索仮説の検討）」について講演，討論会が行われた。人間の初期の言語獲得過程は，その獲得までに必要な言語経験の量や範囲を考えると非常に速くかつ一般的で有り，通常の脳神経回路網の学習モデルでは説明できない。この言語獲得の過程を処理モジュール組合せによる手続き探索により理解しようとする研究手法とその成果が述べられ，参加者との活発な議論が行われた。

超伝導工学研究会

主査　山下　努，　幹事　陳　　健，中島健介

本研究会は，超伝導の工学応用に関して材料，デバイス，プロセス技術など幅広い分野にわたる最新の研究に関する討論と研究開発動向の調査を通して超伝導応用の推進に資することを目的にしている。平成12年度は下記のように計8回の研究会・講演会を開催した。研究会の開催日時，場所，講演件数及び講演者は以下のとおりである。

第35回　平成12年1月24日（月）東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室　1件
Hu-Jong Lee（韓国，ポハン科学技術大学・物理）
第36回　平成12年6月1日（木）東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室　1件
蔡　兆申（東北大・未来センター）
第37回　平成12年8月24日（木）東北大学金属材料研究所2号館1階講堂　1件
蔡　兆申（東北大・未来センター）
第38回　平成12年9月1日（金）東北大学電気通信研究所，2号館4階大会議室　2件
C. K. Ong（シンガポール国立大），蔡　兆申（東北大未来センター）
第39回　平成12年10月20日（金）東北大学電気通信研究所，2号館4階大会議室　1件
Michael Siegel（ドイツ，ユーリッヒ国立研）
第40回　平成12年11月27日（月）東北大学電気通信研究所，2号館4階大会議室　2件
酒井滋樹（電子技術総合研究所），蔡　兆申（東北大・未来センター）
第41回　平成13年2月21日（水）東北大学電気通信研究所，2号館4階大会議室　1件
Tord Claeson（スウェーデン，チャルマース工科大学）
第42回　平成13年3月8日（水）東北大学電気通信研究所，1号館4階通研講堂　1件
Niels F. Pedersen（デンマーク，デンマーク工科大学）

工学研究会

超高密度・高速知能システム工学研究会

主査　大野英男

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12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26回　平成12年9月16日

1 「Introduction to Quantum Computing」

2 「Current Status and Future Prospects of Quantum Computing」

Prof. Isaac Chuang (IBM Almadem Research Centre, USA)

第27回　平成12年8月28日

「Dopant Diffusion in SiGe and SiGeC Device Processing」

Prof. Dr.H.Rucker, Dr.B.Heinemann, Dr.D.Knoll, and Dr.B.Tillack (IHP: Innovations for High Performance, Frankfurut (Oder),Germany)

ニューパラダイムコンピューティング（NPC）研究会

主査　亀山充隆，　幹事　青木孝文

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12年度は以下の5回を開催した。

第22回　平成12年4月24日（月）　東北大学工学部電気情報館　招待講演
　演　題：　“A Multi-Standard Set-Top Box Channel Decoder”
　講演者：　Prof. Glenn P. Gulak (University of Toronto, Canada)
第23回　平成12年9月18日（月）　東北大学工学部青葉記念会館
　　平成12年度情報処理工学セミナーと共催。ポスターセッション32件。
第24回　平成13年1月13日（土）　東北大学工学部青葉記念会館
第14回　多値論理とその応用研究会と共催で，研究発表15件を開催。
第25回　平成13年1月29日（月）　東北大学工学部電気情報館　招待講演
　演　題：　「システム集積化技術と集積システム」
　講演者：　小柳 光正　教授（東北大学大学院工学研究科）
第26回　平成13年2月16日（金）東北大学工学部電気情報館　通研講演会
　演　題：　「システムLSIフロントエンドにおけるニューパラダイム」
　講演者：　川人 祥二　教授（静岡大学電子工学研究所）

超音波エレクトロニクス研究会

主査　中村僖良，　幹事　金井　浩，松本　泰（～28回），小田川裕之（29回～）

第27回／講演会
日　時：平成12年7月19日（水）13：30～17：10
場　所：東北大学工学部電気・情報系451会議室
演　題：
1．「状態フィードバック制御に基づく音響インテンシティに着目した反射音抑圧手法の提案」高橋弘宜，鈴木陽一（東北大学電気通信研究所／大学院情報科学研究科），高根昭一（秋田県立大学システム科学技術学部），浅野　太（電子技術総合研究所）
2．「HMnetにおける最適な状態数の自動決定法」鈴木基之，牧野正三（東北大学大学院情報科学研究科／大型計算機センター）
3．「動脈壁厚変化計測における壁の内膜側と外膜側での超音波パルスの干渉の影響の検討」渡辺　優，金井　浩（東北大学大学院工学研究科）
4．「オーバートーン厚み振動子を利用した薄膜の音響特性評価」小林英晃，中村僖良（東北大学大学院工学研究科）
5．「直線集束ビーム超音波材料特性解析システム用標準試料の音響特性―合成石英ガラス―」岡部亮一，荒川元孝，櫛引淳一（東北大学大学院工学研究科）

6．講演会「2乗積分の効用」東京大学生産技術研究所　橘　秀樹 教授

第28回/通研講演会
日　時：平成12年10月12日（水）13：00～16：10
場　所：東北大学工学部電気・情報系451会議室
演　題：
1．「血管内超音波検査術(IVUS)における動脈壁弾性特性の計測法―摘出血管における病理との対照実験―」三田仁士，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），市来正隆（JR仙台病院血管外科），手塚文明（国立仙台病院臨床検査部）
2．「$KNbO_3$結晶[001]pcカットの圧電特性」中村僖良，常盤　豪（東北大学大学院工学研究科）
3．「$LiNbO_3$単結晶の音響関連物理定数の化学組成比依存性」小松崎晋路，高長和泉，櫛引淳一（東北大学大学院工学研究科）
4．通研講演会「強誘電体薄膜の特性の方位依存性」
講　師：東京工業大学大学院総合理工学研究科物質科学創造専攻　舟窪　浩先生

第29回
日　時：平成12年12月21日（木）13：00～17：10
場　所：東北大学電気通信研究所大会議室
演　題：
1．「共通極・零モデルに基づく頭部伝達関数の補間手法に関する検討」渡邉貫治（東北大学電気通信研究所/大学院情報科学研究科），高根昭一（秋田県立大学システム科学技術学部），鈴木陽一（東北大学電気通信研究所/大学院情報科学研究科）
2．「音系列の短期保持に関するミスマッチ応答の計測」荒井俊則，加納慎一郎，二見亮弘，星宮　望(東北大学大学院工学研究科)
3．「走査型非線形誘電率顕微鏡を用いた強誘電体ドメインエンジニアリング」数田聡，長　康雄，小田川裕之（東北大学電気通信研究所），北村健二（無機材質研究所）
4．「SAW周期構造におけるエネルギー蓄積効果の実験的検討」廣田和博（東北大学大学院工学研究科，東洋通信機株式会社水晶技術本部SAW技術部）
5．「実音源聴取時の音像定位における被験者の動的要因に関する考察」木村大助，鈴木陽一（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）
6．「直線集束ビーム超音波顕微鏡による42° YX-$LiTaO_3$単結晶の評価」氏家敬明，大橋雄二，櫛引淳一（東北大学大学院工学研究科）
7．「音素認識におけるLSPの有効性の検討」石岡大乗，鈴木基之，牧野正三（東北大学大学院情報科学研究科／大型計算機センター）

情報・数物研究会

主査　海老澤丕道，　幹事　本田　泰

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，工学部管理棟316号室において計13回の講演会を開催した。学外から招いた講師および講演題目は次の通りである。岡部　豊氏（都立大 理学研究科）“有限サイズスケーリング関数における形状効果と境界依存性”，田中利幸氏（都立大 工学研究科）“平均場近似の情報幾何”，黒岩丈介氏（広島大 総合科学）“確率的入力に対するカオスニューラルネットワークの応答特性”，M. R. Wegewijs 氏（オランダ・デルフト工科大）“Coherent transport of strongly correlated electrons through three coherently coupled quantum dots”，香取眞理氏（中央大理工学部）“自己組織化臨界性を持つ可解砂山モデル”，伊藤伸泰氏（東大 工学系研究科）“非平衡緩和法とその応用”，鎮目 浩輔氏（図書館情報大）“Decoherenceと量子古典対応”，川畑史郎氏（工業技術院電総研）“量子コンピュータと量子誤り訂正”。

また，学内からは次の諸氏にご講演をいただいた。今村裕志氏（情報科学研究科）“強磁性微小構造におけるスピンに依存した電気伝導”，柴田絢也氏（理学研究科）“メゾスコピック磁壁の量子力学”，静谷啓樹氏（情教センター）“現代暗号系の基本的な道具について”，D. Loison氏（情報科学研究科）“Phase transitions in Frustrated Spin Systems”。さらに平成12年11月30日には東工大理工学研究科の岡本清美氏を招き，“歪んだダイヤモンド型スピン鎖”というテーマで通研講演会を開催した。

インテリジェントマルチメディア電子システム・デバイス研究会

主査　大見忠弘，　幹事　坪内和夫

本研究会は，自然界との柔軟なインターフェイス，高速情報通信ネットワークとの超高速インターフェイスを装備したA/V・通信融合形インテリジェントマルチメディア情報処理電子システムの実現を目指し，新しい原理に基づくデバイス・回路およびシステム技術，ソフトウェア技術，通信技術分野を網羅した研究討論会を開催することにより，各分野の研究者の英知を結集することを目的として1998年度に発足した研究会である。

3年目となる2000年度は，集積回路設計分野の第一線でご活躍の，大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻教授の白川 功 先生をお招きし，研究会を兼ねた講演会を開催した。講演では，白川教授が中心になって起業した集積回路設計ベンチャー「シンセシス」におけるマルチメディア集積回路開発事例の紹介と共に，今後の進展が大いに期待されている情報家電を取り巻く業界の現状と今後の動向について発表があった。講演終了後，聴講者を交え，産学連携ベンチャーを成功させる必要条件（秘訣）について活発な議論が行われた。

日　　時：平成13年3月15日（木）　14:00～17:00
会　　場：東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室
講演題目：産学連携ベンチャーと情報家電
講 演 者：白川 功　大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻 教授

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

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に，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律修正，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12年11月24日に静岡大学工学部教授・浅井秀樹氏を招いて「高速伝送線路網解析に関する最近の動向　－ディープ・サブミクロン時代のシグナル・インテグリティに向けて－」と題して通研講演会を行った。近年の集積回路の大規模高速化に伴い，回路シミュレーションにおける配線シミュレーションの高精度化とその高速化が極めて重要となっており，その大規模線形回路網の解析的手法に関する研究動向の紹介及び活発な討論が行われた。

生体・生命工学研究会

主査　山本光璋，　幹事　中尾光之

生体・生命工学研究会は平成12年9月より発足した研究会である。21世紀は現代人間の生存をかけた世紀となると思われる。このような時代の要求に応えるべく，遺伝子レベルから行動学的レベルまでを見渡せる透徹した理念を，工学的な観点から確立することを目指す生体・生物・生命関連の工学研究会である。

平成12年度は発足の年であることから，平成13年1月5日（金）（13:00-16:00）通研4階大会議室で開催された第一回の研究会において，沢田教授（通研・情報科学研究科），星宮教授（工学研究科），阿部教授（工学研究科），矢野教授（通研），牧野教授（情報科学研究科），松木教授（工学研究科），中島教授（通研・情報科学研究科），鈴木教授（通研・情報科学研究科），山本教授（情報科学研究科）によって，それぞれの研究室で行われている研究の紹介と討論を行ない，生体・生命工学研究の現状認識を行った。また，沢田教授（通研・情報科学研究科）による特別講演「Structure, Function and Living State of Biological Organisms」が行われ，活発な討論がなされた。出席者は42名であった。平成13年3月8日（木）（14:00-17:00）電気・情報系208講義室で開催された第二回研究会では，山形大学医学部の伊藤憲一助教授に「シナプス可塑性と細胞内カルシウム動態」（通研講演会）と題して講演をして頂き，学習・記憶の生理学的基礎であるシナプス可塑性と細胞内カルシウムとの関係を最新の研究成果を交えてレビューして頂いた。また，東北大学加齢医学研究所の佐竹正延教授に「遺伝子工学から遺伝子情報工学を目指して」と題して講演して頂き，遺伝子工学の基礎からゲノム解析などの最近の話題までを網羅してお話頂いた。参加者は23名であった。

6.4　通研講演会

レーザー医療の最近の動向

防衛医科大学校助教授　佐藤俊一

新しいレーザー蒸散治療を中心に，各種レーザーを応用した医療技術を紹介した。経心筋的レーザー血行再建術（TMLR）においては，重度の心筋梗塞患者の心筋に強力なレーザー光を照射することにより，血行を改善し組織の正常化を行う手法を紹介した。超短パルスレーザー蒸散の応用においては，ピコ秒，フェムト秒といった超短パルスレーザーを患部に照射することにより，組織の損傷を抑制しながら精密手術を行うことができることを示した。また，薬剤を塗布した患部の表皮にレーザーを照射し，経皮的ドラッグデリバリーを行うことにより，薬剤投与の最適化，副作用の低減などの可能性を示した。この他にも，眼科，脳神経外科，歯科，皮膚科などにおける最新のレーザー応用技術を紹介した。

Music as noise in professional musicians

フィンランド労働衛生研究所研究員　Heli Laitinen

クラシック音楽も騒音性難聴（NIHL, noise-induced hearing loss）の原因となることが知られている。フィンランド労働衛生研究所では，フィンランド国立オペラの団員を対象に，騒音としてみた音楽の暴露レベル，聴力に関する諸問題，聴力保護への取り組みなどについて調査研究を行った。リハーサルや練習も含めた演奏による騒音暴露レベルは，弦楽器，木管楽器，金管楽器の演奏者で，それぞれ，83～87dB，89～95dB，92～94dBと高いレベルであった。アンケートの結果からは，20%が騒音性難聴の自覚を持ち，72%が聴力への懸念を持っていた。ヒアリングプロテクタの使用割合は低かったが，それは，演奏の邪魔になる，装着感がよくない，装着が面倒などの理由からであった。音楽家にとっては，軽い騒音性難聴でも支障となることから，聴力保護の重要性とヒアリングプロテクタの使用の啓蒙が重要である。

通研講演会

天体磁気流体現象

京都大学大学院　理学研究科教授　柴田一成

最近，宇宙プラズマや核融合プラズマ研究では時間的に変化する場における動的な電磁流体現象や加速現象に関する研究が精力的に行われている。京都大学花山天文台の柴田一成先生から宇宙における電磁流体現象の観測結果と理論研究の最新の成果について講演していただいた。太陽観測衛星「ようこう」をはじめとするスペース太陽観測の近年の発展によって，太陽フレアでは磁気リコネクションの生々しい現場が詳細に観測されるようになり，太陽コロナではジェットやマイクロフレアなどのダイナミックな電磁流体現象が満ち満ちていることが明らかになった。さらにはるか遠方の宇宙の観測でも，これまで知られていなかった原始星フレアや宇宙ジェットなど宇宙の激しいダイナミックな姿が次々と明らかになり，太陽活動現象と類似の電磁流体現象として統一的に理解しようという試みが始まっているとの報告があった。

電磁界の生体影響と健康リスク評価

東京都立大学大学院　工学研究科教授　多氣昌生

平成12年12月26日に，東京都立大学大学院工学研究科教授の多氣 昌生先生を講師に招いて，標記講演会が行われた。電磁界安全問題に関し，電磁界の生体作用は刺激作用と熱作用が部分的にも確立され規制値が定められているが，生体機能への変調作用について未確立とされている。多氣先生は，生体への影響に着目され，特に携帯電話端末による電磁波曝露に関する問題について取り組まれてきた。

この日の講演では，電磁界の生体作用や電磁界ドシメトリの研究を概観し，携帯電話端末の安全性評価などの研究を解説してくださった。特に，発がん性や記憶・学習への影響について健康リスクが問題とならないことを示された。また，未解明の不確かなリスクについて適切な評価が必要との考え方を示された。本学の同分野の研究者と熱心な討論が行われ，生体影響に関するEMC研究への取組みを学ぶ貴重な機会であった。

人工心臓のＩＴ化

北海道東海大学工学部情報システム学科助教授　岡本英治

米国では医療事故の多発が大きな社会問題となっており，多くの重傷心不全患者が体内埋込型人工心臓を装着し社会復帰を果たしているが，病院外で生活する患者体内の人工心臓のトラブルへの対策が課題となっている。一方，最近の移動体通信技術の進歩は著しく，携帯電話やPHSは通話を主体とする使用から携帯型情報通信端末と進化し我々の生活に定着した。そこで我々は病院外で生活する体内埋込み型人工心臓適用患者を対象に，PHSを応用した遠隔管理システムの開発を行っている。患者がどこにいても人工心臓駆動情報(モータ電流，モータ回転角度，人工心臓発生音)より患者血行動態の推定や早期異常診断を行うシステムで，人工心臓と体外模擬循環回路を搭載した車による移動伝送実験で良好な結果を得ることができた。従って本システムは人工心臓装着患者の安全確保に有効な手段であると思われる。

色々な磁場配位でのECRH

京都大学理学部　畷道　恭

核融合プラズマのサイクロトロン加熱および計測においては，ミリ波帯からサブミリ波帯における大出力の電磁波源が必要であるが，講演者はこの領域の研究における初期の段階からその必要性を認識し，大出力高周波電磁波源としてのジャイロトロンの可能性に着目し，国内で初めてその開発を手がけるとともに，ジャイロトロンを用いた核融合プラズマのECR加熱および計測について先導的役割を果たしてきた。特にECRHを用いたプラズマの電流駆動は，従来のトカマクプラズマに対して，プラズマ電流を定常的に維持しうる方法として高く評価された。本講演においてはこれまでの研究成果を総括するとともに，最近の研究であるカスプ磁場等の様々な磁場配位におけるECRHと，プラズマの物性についての解説を行った。

表面XAFS，光電子分光を用いた表面化学反応の研究

東京大学大学院理学研究科　太田俊明

講演者らは，主として表面ＸＡＦＳを用いて金属やシリコン表面に吸着した分子の構造や電子状態を調べたり，表面化学反応を追跡する研究を行ったりしてき，多くの研究成果を挙げている。最近，ＰＦ（フォトン・ファクトリー）の東京大学スペクトル化学研究センター所属軟Ｘ線ビームラインを改造し，これに高分解能光電子分光装置（ SCIENTA2002）を取り付けて，Ｘ線光電子分光，表面 XAFSの研究を始めたところである。特に，新しくエネルギー分散型表面ＸＡＦＳ法を開発し，単分子層以下の吸着のO-K NEXAFSを5-10秒で測定する事に成功している。講演では，その研究の成果について紹介があった。さらに，この方法を用いた表面化学反応の追跡について，今後の研究計画の紹介があった。

次世代携帯電話を支える要素技術

三菱電機株式会社　移動通信統括事業部　伊藤健治

近年におけるワイアレス通信特に携帯電話を用いた通信量の増大は急激で，これに対応するべく次世代の方式としてW-CDMA（IMT-2000）が我が国を中心として研究開発され，いよいよ実用に供されようとしている。本講演では，先ず世界各国における携帯電話使用量の伸びなどに関しての解説の後，TDMA, CDMA など各通信方式，次いでセルラー方式についての解説があり，その後，W-CDMA 方式携帯電話を構成している各要素技術について，アンテナ，高周波回路，ベースバンド回路部などに分けて現在の特性また今後の開発課題などについての紹介がなされた。現在世の中で実際に使用されている携帯電話を分解したものを示しながら，次世代方式の技術がどのように変わっていくか，についての説明があった。

小型モーターの現状と開発動向

職業能力開発大学校教授　見城尚志

本講演では最近の小形モータの技術動向を紹介した。現在よく使われている小型モータはブラシ付きDCモータ，かご型誘導モータ，ステピングモータ，ブラシレスDCモータの4種類である。この中で，さまざまな形状に設計しやすいのがブラシレスモータであって，インナ・ロータ，アウタ・ロータ，偏平型，アキシャルギャップ型，局所ステータ型，細長型，埋め込み磁石形などさまざまなものがある。パソコン周辺に使うモータ設計のノーハウが，ほかの分野のモータ設計にも波及する可能性が濃厚である。このような小形モータでは，機器の軽量化は振動が起きやすい構造となるので，モータの内部，駆動・制御回路，機構部分まで含めたシステム解析と，それに基づく無振動整定の技術が要求される。

有機分子を用いたクーロンブロッケイド・発光と観測

金属材料技術研究所　根城　均

有機分子をはじめとするナノ微細構造中における光と電子の相互作用を主題とする講演がなされた。最初に，銅表面に吸着したPorphirin 分子のSTM（トンネル電子励起）発光の紹介があった。観測されたスペクトルは光励起スペクトルとは異なっていた。この結果は，励起方法の違いにより発光過程が異なることを示す。個々の分子系では光励起と電子励起を分けて（両方について）研究を行なうことが必要である。次ぎに，Porphirin分子とカーボンナノチューブの単電子帯電効果の測定結果が示された。興味ある結果が得られたが，単分子系の単電子帯電効果の解析手法の確立は今後の課題である。最後にこれらの分子系を実際のデバイスとして構築する上で必要な「ナノ構造とマクロ構造を結合するための技術」が紹介された。

思考推論・記憶の形式とダイナミクス

北海道大学　津田一郎

平成13年２月15日に東北大学電気通信研究所中会議室において，北海道大学理学研究科・津田一郎先生を招いて表記研究会が開催された。
脳の高次機能と考えられる心理過程（心）の問題は，脳を理解する上で重要な課題である。津田先生は数学的な理解を目指して，この脳と心の内部論理に対する枠組みを構築するために，心理過程を表現する抽象的な形式としての関数方程式を構築し，外部観測者によるこの内部論理の客観的な理解又は解釈についての方法が提案された。また，先生から動物の推論実験にこの考えを適用した場合ついての説明が行われ，約40名の出席者のもと公演後活発な議論が行われた。

通研講演会

固有ジョセフソン接合中のプラズマ振動と磁束量子の運動

電子技術総合研究所　酒井滋樹

日時：11月27日（月）　13：30～15：30
会場：東北大学電気通信研究所、2号館大会議室

高温超伝導体では，超伝導層と常伝導あるいは絶縁的な非超伝導層とが格子サイズレベルで積層し，超伝導層同士が自然にジョセフソン結合して固有ジョセフソン効果と呼ばれる現象が発現する。固有ジョセフソン接合中のジョセフソンプライズマの振舞いや磁束量子のダイナミクスは格子レベルのジョセフソン接合の機能を応用した新しいデバイス応用を考える上から極めて重要な研究テーマである。本講演では，酒井氏の提案した金属系超伝導体の積層トンネル型ジョセフソン接合の電磁気特性を結合サイン・ゴードン方程式によって記述するいわゆる酒井モデルが，固有ジョセフソン接合の特性理解にも有用であることが紹介された。また，高温超伝導体の特性を考慮した解析の結果得られた固有ジョセフソン接合中における磁束量子ダイナミクスとプラズマ振動の特徴について解説された。

Introduction to Quantum Computing & Current Status and Future Prospects of Quantum Computing

Dr. Isaac Chuang, IBM Almaden Research Centre, USA

日時　平成12年9月16日（土）　9：00～12：00
場所　東北大学電気通信研究所　2号館4階大会議室

近年，量子コンピュータや量子暗号など，量子力学的に情報処理・伝送を行う「量子情報通信技術」が世界的に注目されるようになった。とくにこの数年ではその重要性が認知され，広範な分野の研究者が参加する国家プロジェクト研究が各国で行われ始めている。本講演では，核スピン共鳴を用いた量子コンピュータの実験で先駆的な成果を数多く成しているIBMアルマーデン研究センターのI. Chuang博士を招待し，量子コンピュータや量子通信など量子情報処理の数学的基礎についての講義と，量子もつれあい状態を送信者と受信者で共有することにより情報伝送効率の向上を可能とする，量子テレポーテション技術に関して最近の研究成果を解説して頂いた。本講演会には，学内外から49名の参加があり，活発な討議がなされた。

システムLSIフロントエンドにおけるニューパラダイム

静岡大学電子工学研究所　教授　川人祥二

平成13年２月16日（金）に開催された標記講演会の概要は次のとおりである。

ムーアの法則に従って，ディジタルシステムの性能は今後も着実に向上する。しかし，情報の入力部であるセンサやアナログ回路の性能は必ずしもこれに追従できず，システム全体の性能がこれらにより支配されるようになる可能性がある。その解決のため，今後システムのフロントエンド部の設計には，センサ・アナログ・ディジタルを統合した新しい回路・アーキテクチャの考え方が必要になる。本講演では，このような新しいシステムLSIフロントエンドを考える上での基礎として，画像入力デバイスとアナログ回路についてのチュートリアルを含めながら，最近の研究動向が紹介された。特に，画像入力と処理を統合することでフロントエンド部の性能向上を図る実例として，低消費電力動画像圧縮イメージセンサが紹介された。また，並列パイプライン方式に基づき，高速A/D変換器を可能な限り低消費電力かつ小面積で設計する手法とその応用についても紹介された。

強誘電体薄膜の特性の方位依存性

東京工業大学大学院総合理工学研究科助教授　舟窪　浩

強誘電体メモリ(FeRAM)の実用化に向けてPZTやSBTなどの酸化物強誘電体薄膜を，MOCVD法により低温で高品質に得る研究を推進し，有益な成果を次々に上げている舟窪浩氏の講演会が開催された。PZT薄膜は組成によって結晶構造が異なることが知られており，Zr含有量の増加に伴って正方晶から菱面体晶に変化する。このときに分極方向も(001)から(111)方向へと変化するため，方位により特性が変化することが予想される。舟窪氏は，原料供給を断続的に行うパルスMOCVD法を開発し，正方晶及び菱面体晶それぞれのエピタキシャル薄膜を(100)，(110)，(111)の任意の方向に配向して作製する技術を完成し薄膜の特性を評価された。興味深い講演で，講演後具体的なプロセス条件等について活発な質疑応答があった。

通研講演会

歪んだダイヤモンド型スピン鎖

東京工業大学大学院理工学研究科　岡本清美

平成12年11月30日に，東京工業大学大学院理工学研究科 岡本 清美氏を講師として迎え，「歪んだダイヤモンド型スピン鎖」という題目で通研講演会を開催した。最近，三量体スピン鎖 $Cu_3\ Cl_6\ (H_2O)_2 \cdot 2H_8C_4SO_2$に対して，歪んだダイヤモンド型鎖モデルが提案されている。このモデルは三量体性とフラストレーション性を併せ持っているので，両者のからみで多彩な磁気的性質を示し，興味深い。岡本氏はこのモデルに対して解析的および数値的方法を用いて研究を進め，基底状態が非磁性的である理由はフラストレーション性であり，三量体性は非磁性的であることの直接の原因ではないことを解明された。当日のご講演では，その他，異方性とのバランスによる逆転相（相互作用をXY的にするとNeel 相が現れる，など）の存在などをわかりやすく紹介された。当日は院生の参加も多く，活発な質疑応答がなされた。

産学連携ベンチャーと情報家電

大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻 教授　白川　功

白川教授が中心になって起業した集積回路設計ベンチャー「シンセシス」におけるマルチメディア集積回路開発事例の紹介と共に，今後の進展が大いに期待されている情報家電を取り巻く業界の現状と今後の動向について発表があった。「シンセシス」の経験に基づいて，企業を顧客とした集積回路設計業務により，集積回路に対する世の中のニーズが分かること，それが大学における研究のシーズと成り得ること等が紹介された。また，聴講者を交え，産学連携ベンチャーを成功させる必要条件（秘訣）について活発な議論が行われた。ベンチャー起業家に必要な心構えとして，大志，理念，貫徹心，闘争心が重要であること，また，成功するためには，知力，腕力，機動力，人脈が必要であることなどが紹介された。

高速伝送線路網解析に関する最近の動向 —ディープ・サブミクロン時代のシグナル・インテグリティのに向けて—

静岡大学工学部教授　浅井秀樹

近年，デバイス，インターコネクトの微細化とその動作速度の高速化に伴い，トランジスタによる信号伝搬遅延に比べ，配線による遅延の割合が大きくなってきている。従って，LSI，MCM(Multichip module)，PCB(Printed circuit board)等に関する回路シミュレーションにおける配線シミュレーションの高精度化とその高速化が極めて重要となってきている。しかしながら，精度に耐えるようなモデル化を使用した場合，これをSpice系シミュレータで解析することは，非現実的に高価となる。そこで，近年，非線形素子により終端された大規模線形回路網を効率的に解析する手法が開発されている。本講演では，先端的解析手法であるAWE(漸近的波形評価)法やその数値安定性を改善するためのKrylov-subspace技法による減次モデルの合成手法とその応用について述べられた。

シナプス可塑性と細胞内カルシウム動態

山形大学医学部助教授　伊藤憲一

本講演では，海馬CA1領域のシャーファー側枝シナプスの可塑性を中心に，基礎から最先端の話題までご紹介いただいた。電流刺激時の細胞内Ca濃度増加は，NMDA受容体やCaチャネルからの流入成分と，細胞内の小胞体(ER)からRyanodine/IP3受容体(R-I受容体)・Caチャネルを経由して放出される成分とからなることが分かる。ところが，R-I受容体をもたないノックアウトマウスにおいては，正常マウスにくらべてLTPが生じやすく，また細胞内Caイオン濃度増加も大きいという逆説的な結果が得られている。これはERによる細胞内Caイオン濃度のホメオスタティックな制御機構のシナプス可塑性への寄与の仕方を明らかにしている。今後は，Caイオンの流入速度やピーク値，持続時間，濃度増加部位などさまざまな要因について検討していく必要があることを指摘された。

第 7 章　　評価と課題

7.1　運営協議会報告

第12回東北大学電気通信研究所運営協議会（平成12年７月24日）

出席者：浅井彰二郎（委　員）　㈱日立製作所常務（研究開発本部長）
飯田　尚志（委　員）　郵政省　通信総合研究所長
伊藤　龍男（委　員）　カリフォルニア大学教授
進藤　秀一（委　員）　NTTドコモ　常務取締役
山崎　　功（委　員）　松下電器産業㈱知的財産権センター長
山田　　宰（委　員）　NHK　放送技術研究所長
中塚　勝人（委　員）　東北大学大学院工学研究科長
猪岡　　光（委　員）　東北大学大学院情報科学研究科長
井上　明久（委　員）　東北大学金属材料研究所長
根元　義章（委　員）　東北大学大型計算機センター長
阿部　健一（委　員）　東北大学工学研究科教授（運営委員長）

陪席者：沢田　康次　東北大学電気通信研究所長
中村　慶久　東北大学電気通信研究所教授（評議員）
潮田　資勝　東北大学電気通信研究所教授（実験施設長）
中島　康治　東北大学電気通信研究所教授（総務委員長）
室田　淳一　東北大学電気通信研究所教授（予算・環境委員長）
坪内　和夫　東北大学電気通信研究所教授（研究企画委員長）
鈴木　陽一　東北大学電気通信研究所教授（部門主任代理）
舛岡富士雄　東北大学電気通信研究所教授（部門主任）
横尾　邦義　東北大学電気通信研究所教授（部門主任）
外山　芳人　東北大学電気通信研究所教授
山下　　努　東北大学電気通信研究所教授
庭野　道夫　東北大学電気通信研究所教授
杉浦　　行　東北大学電気通信研究所教授
水野　皓司　東北大学電気通信研究所教授
大野　英男　東北大学電気通信研究所教授

主たる審議事項

１．電気通信研究所のあり方について

①　国立大学の独立法人化について，②大学評価について，③次期科学技術基本計画について，④東北大学及び電気通信研究所の対応について，それぞれ資料に基づき説明後次のような意見や指摘があった。

・国立大学の中にある附置研究所として，世界に先行した研究を推進し，論文で発表すると共に知的財産権を取得し日本企業の活性化に寄与して欲しい。と同時に，特定企業との共同研究もいいが大きな視点で国民のためになる研究活動も積極的に行って欲しい。そういう意味でもIT－21センター構想は

是非実現を期待したい。
・東北大学における研究科と附置研としての通研の役割・位置付け，更には国立研究所との違い，特徴はどんなところか。
・大型の研究を進めることも大事だが，その陰でほとんど個人でやっているような研究について芽を摘むようなことが無いようにしなければならない。
・ドクターの待遇とも関連するが，なによりもその人が行った研究や仕事を適正に評価するシステムの確立が必要である。
・教官の任期制導入に関して，その分野に任用された教官は，学生を修士課程又は博士課程に受け入れるときに，この任期があることによる教育上の問題はないのか。
・他機関での独立法人化の話題で，研究公務員特例法の制定はできないのかについて，教育公務員特例法が掲げる理念は，学問の自由だというが，研究公務員特例法はなにを掲げるのかの議論があった。学問の自由は場合によっては，当面の国益に反することだって本当は必要ではないのか。

2．研究所の運営等について
資料に基づき，研究所の運営及び研究活動について，教授の充足率，予算の状況，共同プロジェクト及びシンポジウム等について説明があり，その後次のような質問があった。
・教官の充足率に関して，欠員が出来た時はすぐに埋めるようにアクションするとのことだが，どういうプリンシプルで空席を埋めるのか。
・受託研究，奨学寄付金，科研費等を合わせると約10億位になるが，これを通研の教官１人当たりにすると幾らぐらいか，また，東北大学内での外部資金と比較してはどうなのか。

3．電気通信研究所の現状と将来計画について
①　研究所の現状と将来計画　②研究部門の現状と将来計画　③実験施設の現状と将来計画についてそれぞれ資料に基づき説明。また，電気通信研究所の研究成果の上がっている研究の一つとして，大野教授から「スピンの向きの揃った電流を半導体に流す」研究内容の報告があり，その後次のような意見と指摘があった。

・ブレインコンピューテイングとなると視覚とか聴覚，言語処理とか翻訳的なもの，認識とか検索等いろいろ要素技術があって初めてブレインの推進が可能になるのではないか。その為にも，特に医学部とか，あるいはヒューマンサイエンス的な研究所との連携が重要ではないか。
・３研究部門の協力・連携はどうなっているのか，研究分野同士の協力はあるのだろうが，部門同士で協力して行う研究とかを考えると３部門に分ける必然性はあるのか。
・携帯電話というか，ワイヤレスインターネットの組み合わせが日本から自然発生的に発信したものを，更に，通研自身又は他機関との協力により発展させて欲しい。
・通信のアプリケーションとか，使い方，インターネットの研究とか使われ方，その中で非常に大事なセキュリティをどうするとか，東北大学電気通信研

究所にとっても，あるいは日本国，あるいは世界にとっても非常に大事なことで，この面でも通研がリードすることに期待したい。

・日本の研究機関に共通していることだが，割と物理が強くてアプリケーションが弱い。通研もある領域は非常に強いが，ある領域はまだ弱いところがあるのではないか。こうした領域を評価し，弱みを補強する方法についても具体的に検討を進めて欲しい。

第13回東北大学電気通信研究所運営協議会（平成13年２月16日）

出席者：	浅井彰二郎（委員長）	㈱日立製作所常務（研究開発本部長）
	笠見　昭信（委　員）	㈱東芝　　副社長
	児玉　皓雄（委　員）	経済産業省　工業技術院電子総合研究所長
	山田　　宰（委　員）	ＮＨＫ　放送技術研究所長
	渡辺　久恒（委　員）	日本電気（株）支配人
	佐藤　　繁（委　員）	東北大学大学院理学研究科長
	中塚　勝人（委　員）	東北大学大学院工学研究科長
	猪岡　　光（委　員）	東北大学大学院情報科学研究科長
	井上　明久（委　員）	東北大学金属材料研究所長
	根元　義章（委　員）	東北大学大型計算機センター長
	阿部　健一（委　員）	東北大学工学研究科教授（運営委員長）

陪席者：	沢田　康次	東北大学電気通信研究所長
	中村　慶久	東北大学電気通信研究所教授（評議員）
	潮田　資勝	東北大学電気通信研究所教授（実験施設長）
	中島　康治	東北大学電気通信研究所教授（総務委員長）
	室田　淳一	東北大学電気通信研究所教授（予算・環境委員長）
	坪内　和夫	東北大学電気通信研究所教授（研究企画委員長）
	矢野　雅文	東北大学電気通信研究所教授（部門主任）
	舛岡富士雄	東北大学電気通信研究所教授（部門主任）
	横尾　邦義	東北大学電気通信研究所教授（部門主任）
	外山　芳人	東北大学電気通信研究所教授
	白鳥　則郎	東北大学電気通信研究所教授
	鈴木　陽一	東北大学電気通信研究所教授
	山下　　努	東北大学電気通信研究所教授
	庭野　道夫	東北大学電気通信研究所教授
	杉浦　　行	東北大学電気通信研究所教授
	水野　皓司	東北大学電気通信研究所教授
	村岡　裕明	東北大学電気通信研究所教授
	大野　英男	東北大学電気通信研究所教授

Ｉ　研究所内視察

審議に先立ち，最近の研究成果を踏まえた最先端の開発研究及び基盤技術の創生を目指している次の研究分野並びに実験施設の視察をした。

・生体コンピューティングシステム研究分野（ブレインコンピューティング研

究部門）
・光電変換デバイス工学研究分野　（物性機能デバイス研究部門）
・先端ワイヤレス通信技術研究分野（コヒーレントウェーブ工学研究分野）
・超高密度・高速知能システム実験施設

Ⅱ　主たる審議事項
(1)　電気通信研究所の現状と将来計画について
前回（第12回）の運営協議会で，①通研の研究領域で，強いところはより強く，そうでないところはどう補強するのか。②研究内容の強化として「IT－21センター」の提案が，ハードに比べてソフトの研究が少ないとのそれぞれの指摘に対し，所長及び関係教授から，次のような研究体制の強化と将来計画への取り組み方等について説明。
①　情報シナジーセンターの設立とやわらかい情報システム研究センターの強化について，②21世紀情報通信研究開発センター（IT－21センター）について，③将来計画の策定と推進について，それぞれ資料に基づき説明後，次のような意見及び指摘があった。

・大学の附置研究所として，独法化をかなり意識しての考え方は賛成であり，研究教育等基本的な概念及び施設を含めた改善・改革並びに他の研究機関との連携も積極的に推進して欲しい。
・世界の競争環境の中で，個性が輝き，特徴ある研究所，研究室が基本的価値観であると同時に，大学も研究と教育をやった上で社会への還元をする仕組みを作る必要がある。
・IT－21センターのような仕組みが通研の歴史の集大成として見えるが，シーズの部分も重視し，柔軟性のある組織にしていった方がいいのではないか。
・情報シナジーセンターとの協力体制により東北大学らしい情報基盤をいかに作るか，発信するかについては，電気通信研究所の役割に大いに期待したい。
・IT－21センターは，学生にとっても勉学研究の成果が実用化につながるというのが見え，非常に強いインセンティブになり期待している。
・ITの時代は流れが非常に早く，技術だけ幾らやってもだめな部分がある。研究というのは競争であり相手が何を考え何をやろうとしているのかをよく調査し，国レベルで戦略を考え，その中で東北大学の得意な分野とか歴史性，地域性あるいは新分野をやっていくということが，特にIT－21センターでの「戦略」となるのではないか。
・電気通信研究所が，これから21世紀のIT技術を戦略的に担っていくという宣言は，具体的な研究活動範囲のデフイニションということになり，重要な活動としての方向付けを行ったことに敬意を表したい。
・IT－21センターにおける東北大学内での人事の流動性については，全東北大学の交流とすればいいし，通信のソフトや制御，コンセッションの問題等非常に具体的なソフトの問題を扱うことを強化して欲しい。

(2)　科学技術基本計画とその対応について及び電気通信研究所の地域貢献について
科学技術基本計画による①「重要施策の計画的な実施」について電気通信研究所がどういう理念と目的で行っているか。また，教育に関した地域貢献では，

現在，小中高の関係者とIT教育の構想を検討していること。②「科学技術基本計画の着実な実行と総合科学技術会議の役割」では，東北大学リサーチフロンティアという学部を超えた研究組織を作る構想が検討されていることの説明があった。

また，地域貢献としての片平まつり，産官学連携の推進等についてそれぞれ資料に基づき説明があり，その後次のような質問及び意見があった。

・企業マインドのある人がドクターに進学し，卒業後活躍するためには大学の活性化が必要だが，企業マインドがあってドクターに進学を希望する人たちはいるのか。また，どのように教育・育てようとしているのか。
・３年でドクターを取る教育の場合，３年間どういう教育をするかが問題である。企業としては，基礎的な考えを持ち，現在世界がどういう内容で競争をしているかが分かる人が欲しい。
・企業では，博士課程をでたドクターと卒業後ドクターを取ったものが，どちらが優秀かの統計をとる場合もあるが，大学側も同様の追跡調査を行いその結果を教育に反映させて欲しい。

7.2　現在の課題

国立大学の独立法人化問題は，この夏までに文部科学省の調査検討会議が中間報告をすることになっている。これを目前に，学内でもこれから急激に議論が深まると思われる。また本年度から第2期科学技術基本計画がスタートしたが，その研究費の多くは公募型の競争的研究資金になる。このような状況下で，附置研究所の大学内での位置づけ，存在意義，すなわち学部や研究科と何処が違うか，が改めて問われている。

共同利用型の附置研究所が法人化後も引き続き学術研究の中核的研究拠点として維持・発展できるかは，それぞれの研究所が大学に存在する意義にかかっている。国が世界最先端のIT社会を目指す中，「高密度及び高次の情報通信に関する学理並びにその応用の研究」を設置目的とする本研究所こそ，その中核となるべき大きな責務を負っている。その基本的役割である情報通信分野での研究と教育，そして社会貢献に対し，如何に実績を上げていくかが，今後益々問われる。

教育に関して本研究所は，創設以来工学部の電気系学科と，さらに大学院重点化以降は工学研究科および情報科学研究科の電気・情報系4専攻と一体になって研究教育に当たってきた。先端的な研究を通じての学部・大学院教育に，研究所教官全員が応分の負担で当たることが伝統的になっており，これは他の附置研究所とは大きく異なる特徴でもある。

一方研究に関しては，諸先輩方のご努力により，従来から本研究所が情報通信のハード技術，デバイス技術に強いことには定評がある。しかしハード技術もこれからは，性能や数値を競うだけでなく，それをどのように使うかを示すことが求められている。ハードにソフトをどう組み込むか，ソフトをハードでどう活かすか，すなわちハードとソフトとの融合が益々重要になる。これができるのは，文部科学省傘下の共同利用研究所の中で本研究所だけであり，本研究所がこの分野での世界のCOEとして維持・発展できるかは，これができるかどうかに懸かっている。

本研究所では，平成16年度に実験施設の時限を迎えるに当たり，施設を含む研究所の改組・再編について，現在，教授会ならびに将来計画委員会で議論している。情報通信分野において，学術研究，人材育成，社会貢献などの課題にどう応えて行くかが，組織編成に大きく関わってくる。

現在，文部科学省に設置をお願いしている21世紀情報通信研究開発センター（IT-21センター）は，それに応える第一段目である。真の産官学連携による実用化研究開発の場をつくり，これを軌道に乗せることで，本研究所の研究成果を世に送り出すだけでなく，技術開発を通じての地域貢献，さらには，世界最先端の研究開発を通じての大学院教育や産業界の研究者，技術者への再教育など，優れた人材を育成する場を提供するなど，本研究所の存在意義を多方面で示すことができる。関連するベンチャー企業が生まれるようにでもなれば，さらに大成功である。

最先端の実用化研究からは，解決すべき新たな課題とその結果もたらされるであろう新たな目標が生まれる。これはまた新しい研究の種となり，学術発展の基礎になる。こういった新たな学問の芽を，研究所の各部門分野で時間をかけて数多く育て，実験施設ではこれを具現化するための最先端の基盤技術を創り上げる。さらに，これらから生まれた実用化直前の成果を，再びIT-21センターに移し産業化を目指す。

このようなサイクルが順調に動くようになれば，法人化後の東北大学で，電気通信研究所が存在する意義をさらに高めることになろう。

このような意味からも，この1～2年が，電気通信研究所の21世紀における発展の基礎をつくる上でも非常に大切な時期と考えている。

所　長

資　料　編

第１章　予算の概要

本研究所の予算の概要

（千円単位）

項目＼年度	平成８年度	平成９年度	平成10年度	平成11年度	平成12年度
人件費	925,401	991,748	1,217,790	1,175,263	1,050,873
物件費	869,099	856,701	841,560	787,982	767,669
奨学交付金	215,882	212,258	187,473	138,281	138,265
共同利用研究施設運営費	48,869	49,512	48,975	46,017	43,592
その他物件費	604,348	594,931	605,112	603,684	585,812
産学連携等研究費	110,384	233,626	317,814	496,175	521,095
計	1,904,884	2,082,075	2,377,164	2,459,420	2,339,637
科学研究費補助金	228,100	309,650	292,000	371,825	279,200
合計	(554,366) 2,132,984	(755,534) 2,391,725	(797,287) 2,669,164	(1,006,281) 2,831,245	(938,560) 2,618,837

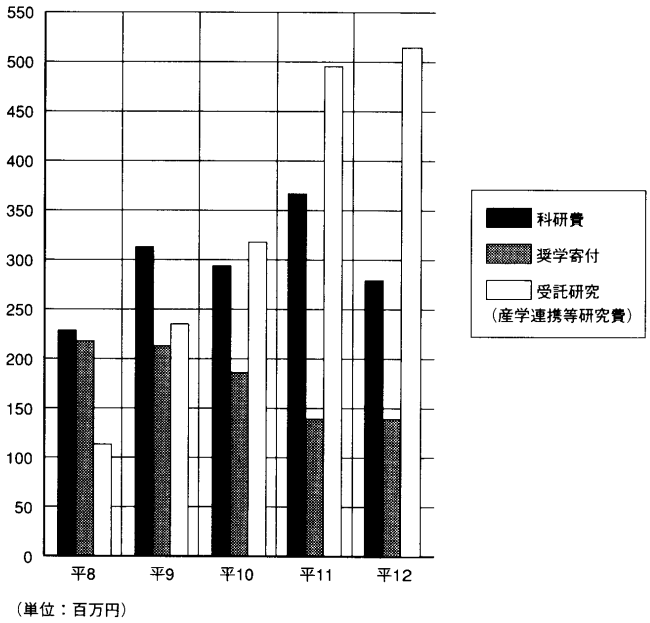
※共同利用研究施設運営費：研究所（校費）　15,763千円
〃　（研究員等旅費）　27,829千円
※その他物件費は，経常的な物件費及び各種旅費を計上。
※合計欄の上段（　）書きは競争的研究資金の合計で内数。

本研究所の過去５年間の予算は上の表に示したとおりである。

この内容を平成12年度について大まかに分析すると，その他物件費約5.9億円の中1.9億円が実験施設の維持費，２億円が光熱水道料及び事務経費を含む共通経費，1.1億円が営繕費，設備整備費，その他の経費であり，各研究分野で校費として使用した経費は全体で約0.9億円であった。

研究部門に配分された校費（0.9億円）に，科学研究費2.8億円，奨学交付金1.4億円，及び産学連携等研究費5.2億円を加えた総額10.3億円が直接の研究経費として研究部門で使用された。直接研究経費に占める校費の割合は昨年度と今年度ではそれぞれ9.0％と8.7％である。平成11年度の直接研究費総額は11.1億円で，本年度は約7.2％減少したことになる。この減分は科学研究費の減少によるところが大きい。

本研究所の研究活動をさらに発展させるために重要なのは科学研究費，奨学寄付金及び受託研究費であり，研究所の活動の活性度を反映すると考えられる。下に示した過去５年間のグラフに見えるように，これら３種目の予算は奨学寄付金を除き継続的に増加の傾向にある。特に平成９～12年度の受託研究の大幅な伸びは提案公募型受託研究の増加によるところが大であり，本研究所の全国共同利用研究所としての活性度が増していることの証であると考えられる。



1.1 科学研究費補助金

研究種目	代表者	2000年度交付金額	補助金総額（千円）	研究課題	採択年度
特定領域研究(A)	大野　英男	3,000	3,000	スピン制御による半導体超構造の新展開	H12
特定領域研究(B)	谷内　哲夫	18,800	50,600	非線形光学効果を用いたコヒーレントテラヘルツ波センシングの研究	H11
	室田　淳一	54,600	138,800	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	H11
	長　康雄	10,600	19,900	超高分解能走査型非線形誘電率顕微鏡法を用いた強誘電体中のドメイン構造の解析	H12
	三村　秀典	16,900	30,800	電子源の高機能化と低エネルギー分散化	H12
基盤研究(A)一般	庭野　道夫	7,900	36,400	多重内部反射赤外分光による半導体表面水素反応ダイナミクスの研究	H11
	坪内　和夫	14,500	38,700	RF/アナログ/デジタル混在グローバルインテグレーション技術の研究	H11
	中村　慶久	6,000	41,000	柔軟なスピンクラスター配列からなる超高密度磁気記録メディアの研究	H11
	大野　英男	15,800	37,000	半導体超構造における電子のスピンコヒーレンスとその制御	H12
	山口　正洋	28,700	40,800	集積回路用GHz駆動磁性薄膜インダクタの開発	H12
基盤研究(A)展開	水野　皓司	2,700	23,100	ミリ波帯イメージング技術の研究開発	H10
	大野　英男	9,000	27,100	InAs/GaSbを用いた量子カスケード型遠赤外～テラヘルツ帯発光素子	H11
	伊藤　弘昌	10,500	35,200	次世代レーザー津波計測ネットワークシステムの開発研究	H11
基盤研究(B)一般	谷内　哲夫	1400	16100	フォトンミキシングによるデジタルイメージ交換の研究	H10
	室田　淳一	2,400	7,600	高集積通信システム製作のためのSiGe系MOS-HBT技術の開発	H11
	櫻庭　政夫	7,400	12,800	Si-Ge-C-N系原子層積層による共鳴トンネルダイオードの製作	H12
	長　康雄	7,400	14,800	走査型非線形誘電率顕微鏡法を用いた単一永久双極子モーメントの可視化	H12
	小田川裕之	5,200	12,100	$KNbO_3$単結晶を用いた10GHz広帯域SAWデバイスと製造プロセスの最適化	H12
基盤研究(B)展開	庭野　道夫	1,700	12,100	Siウェーハ表面汚染インライン赤外診断装置の開発研究	H10
	小田川裕之	4,300	13,800	$KNbO_3$圧電薄膜の作製と次世代移動体通信用弾性表面波デバイスの研究	H11
	佐藤　尚	4,300	6,400	自己クローニング型フォトニック結晶を用いた偏向分離素子とシステム応用	H12
	山下　努	3,600	13,700	テラヘルツ帯超伝導高速・高分解能計測システム	H11
	山下　努	8,300	11,000	高周波磁界励起型超伝導量子干渉素子の研究	H12
	花泉　修	2,900	15,600	自己クローニングによる3次元フォトニック結晶・作製	H11
基盤研究(C)一般	大野　裕三	1,000	3,600	磁性・非磁性半導体ヘテロ構造の作製と半導体スピンデバイスへの応用	H11
	嶋脇　秀隆	800	3,300	半導体電界放射陰極を用いた変調電子放射に関する基礎的研究	H11

研究種目	代表者	平成11年度交付金額	補助金総額（千円）	研究課題	採択年度
基盤研究(C)一般	外山　芳人	500	1,000	プログラム検証のための帰納的定理自動証明法の研究	H12
	末光　眞希	3,300	3,800	有機ケイ素を用いたSiCエピタキシャル成長の表面化学	H12
	鈴木　陽一	1,700	3,200	マルチモーダル環境下における３次元音空間知覚過程の解明	H12
	木下　哲男	1,300	3,400	マルチエージェントシステムの動特性の解析と制御に関する研究	H12
萌芽的研究	室田　淳一	900	2,100	Si-Ge系エピタキシャル成長による超高濃度不純物半導体の形成とその物性	H11
	小田川裕之	2,100	2,100	強誘電体単結晶を用いた双極子記録メディアの基礎的検討	H12
	中島　康治	1,100	2,000	Si-LSIによる量子計算機実現に関する基礎的研究	H12
	花泉　修	1,400	2,000	３次元サブミクロン周期構造中へ活性材料を取り入れる技術と素子応用の研究	H12
奨励研究(A)	松倉　文礼	900	2,200	高温で磁気転移する半導体の創製	H11
	中村孝一郎	500	2,400	高感度分光システム用高速変調光パラメトリック発振器の研究	H11
	佐藤　茂雄	700	2,100	単電子トンネリング現象を利用した集積化神経回路に関する基礎的研究	H11
	佐藤　尚	800	2,300	平面光導波路に多並列集積化した光非相反デバイスの研究	H11
	濱野　哲子	1,000	2,100	紫外線硬化樹脂を応用したサブミリ波帯回路素子の開発に関する研究	H11
	山田　洋	1,000	2,100	垂直磁化方式による超高面密度ハード磁気ディスクシステムの研究	H11
	菅沼　拓夫	900	1,700	利用者と環境に適合する自己組織型ビデオ会議支援環境に関する研究	H11
	鈴木　太郎	800	800	完備化に基づく自動証明技術の研究	H12
	鶴岡　徹	1,100	2,100	強磁性金属表面上の極薄絶縁膜の初期形成過程	H12
	四方　淳一	1,400	2,200	テラヘルツ・パラメトリック発生光を光源とする高分解能テラヘルツ波干渉分光計の研究	H12
	小野　美武	1,200	2,000	超伝導クーパー対のコヒーレントトンネリングを利用した量子理論ゲートの研究	H12
	石山　和志	1,400	2,400	リモート温度計測システム	H12
	早川　吉弘	1,200	2,100	実用的学習速度を達成する新学習則の開発	H12
特別研究員奨励費	築館　巖和	900	1,800	シリコンガスソースMBEにおけるドーピング機構と原子オーダ制御	H11
	岸本　修也	900	1,800	二重量子井戸構造を用いた低次元電子系間のトンネル現象に関する研究	H11
	山本　裕司	900	1,800	金属薄膜の原子層成長制御とその応用に関する研究	H11
	伊藤　真	900	1,700	新皮質ー海馬における記憶システムの研究	H11
	島宗　洋介	900	2,700	IV族半導体への原子層ドーピングと超格子デバイスに間する研究	H11
	佐藤　彰洋	800	1,700	長距離・長時間の相互作用を有する系の統計動力学的研究	H12
	大泉　善嗣	1,000	3,000	半導体単一量子構造の発光分光	H12
	山下　努	1,200	2,400	高温超伝導体の異方性に起因する種々電気的特性	H12

研究種目	分担者	2000年度交付金額	補助金総額（千円）	研究課題	採択年度
特定領域研究(B)	末光　眞希	3,000	10,000	人工IV族半導体の物性制御と超高速・電子デバイスへの応用	H11
厚生科学研究費補助金	荒井　賢一	5,000		がん治療のための新技術の開発	H12

1.2　2000年度受託研究費の内訳

（他省庁・県・市町村等公的機関からの受入実績）

機　関　名	研究代表者	受　託　研　究　事　項	受託金額(千円)
日本学術振興会（未来開拓）	大野　英男	非平衡表面層の原子スケールダイナミクスと新物質の創生	75,000
日本学術振興会（未来開拓）	中村　慶久	超大容量高速垂直ストレージシステムの研究	10,663
日本学術振興会（未来開拓）	白鳥　則郎	動的ネットワーキング	89,755
通信・放送機構	杉浦　行	自由空間環境におけるVHF/UHF帯アンテナの較正法に関する研究開発	29,602
通信・放送機構	伊藤　弘昌	光波と未来開拓電磁波の超高速変換・制御の研究	9,200
通信・放送機構	室田　淳一	超高速無線通信用SiベースIV族半導体極微細デバイスに関する研究	24,900
通信・放送機構	横山　道央	グローバルインテグレーション無線通信システムチップに関する研究	29,000
通信・放送機構	佐藤　尚	可視波長フォトニック結晶と応用デバイスの研究	24,300
技術研究組合超先端電子技術開発機構	中村　慶久	超高密度記録方式の基礎技術に関する研究	9,030
技術研究組合超先端電子技術開発機構	山口　正洋	超高速・高分解能マイクロ磁界プローブに関する研究開発	4,998
技術研究組合超先端電子技術開発機構	松浦　孝	チップ内光配線技術の基礎研究	5,250
医薬品副作用被害救済・研究振興調査機構	荒井　賢一	生体内で自律動作可能な医用インテリジェント磁気マイクロ・ロボット開発のための総合的基礎研究	51,365
日本電信電話㈱NTT物性科学基礎研究所	室田　淳一	Si-Ge系表面構造の原子レベル制御の研究	1,500
科学技術振興事業団（戦略的）	潮田　資勝	STM発光分光法と近接場光学分光法による表面極微細構造の電子物性の研究	4,000
科学技術振興事業団	佐藤　茂雄	量子ビットを用いた知能デバイス	1,000
㈱インテリジェントコスモス研究機構	荒井　賢一	超高密度情報ストレージコンポーネント	4,725
郵政省通信総合研究所	花泉　修	フォトニック結晶のデバイス展開に関する研究	7,292
秋田県高度技術研究所	中村　慶久	電子計算機を利用した高密度磁気記録機構の解明及びその解析手法の応用	3,000
㈳電波産業会	横尾　邦義	ミリ波ーサブミリ波帯電磁波源の高性能化に関する研究	4,000
㈳電波産業会	ペイ　鍾石	オーバーサイズ導波管を用いたミリ波・サブミリ波帯電力合成器の研究	4,000
日本原子力研究所	長　康雄	非線形誘電率顕微鏡を用いた単一永久双極子モーメントの可視化	1,800

機関名	研究代表者	受託研究事項	受託金額(千円)
工業技術院電子技術総合研究所	中島　康治	位相モード論理回路を用いた高速フーリエ変換に関する研究	8147
新エネルギー・産業技術総合開発機構	鈴木　陽一	２次元等ラウドネス曲線の全聴野精密決定	19700
文部科学省	鈴木　陽一	ディジタル音信号用高性能電子透かしの開発	14000
科学技術振興事業団	山下　　努	銅酸化物超伝導体単結晶を用いる超高速電子集積デバイス	3960
NEDO（経済産業省）	山口　正洋	機能性磁性薄膜を用いた空間分解能10μmのマイクロ磁界プローブの開発	4998

機関名	研究分担者	受託研究事項	受託金額(千円)
日本学術振興会（未来開拓）	長　　康雄	新圧電単結晶・薄膜素材の探索と次世代高度情報システム用高機能弾性波デバイスの研究	5,300
日本学術振興会（未来開拓）	坪内　和夫	新圧電単結晶・薄膜素材の探索と次世代高度情報システム用高機能弾性波デバイスの研究	12,000
日本学術振興会（未来開拓）	室田　淳一	非平衡表面層の原子スケールダイナミクスと新物質の創生	42,468
通信・放送機構	山口　正洋	ナノ構造制御による高性能電波吸収薄膜材料の開発	8,351
日本学術振興会	白鳥　則郎	ホロニック光通信網に関する基礎的研究	2,000
NEDO（経済産業省）	荒井　賢一	磁歪ー圧電複合薄膜を用いたスマートアクチュエータに関する研究	4,500
中小企業総合事業団（経済産業省）	石山　和志	磁気トルクにより屈曲する能動多機能内視鏡とその操作システムの研究開発	1,000
科学技術庁	三村　秀典	マルチナノプローブ加工法による高性能単電子デバイスに関する研究	3,000
NEDO　産業技術研究助成事業助成金	木村　康男	半導体ウェーハ表面汚染インライン・モニタリング・システムの開発研究	29,026

1.3　COE関連研究経費（2000年度分）

事項	予算額	備考
	千円	
中核的研究機関支援プログラム	４２，６１８	
非常勤研究員経費	２６，７９８	９名分
外国人研究員経費	１５，８２０	３名分
先導的研究設備経費	0	

1.4　奨学寄付金の受け入れ

㈱アドバンテスト
㈶井上科学振興財団
㈶石田記念財団
㈱ＮＴＴドコモ
九州松下電器㈱技術本部開発研究所
沖電気工業㈱
㈶小笠原科学技術振興財団
情報ストレージ研究推進機構
新日本製鉄㈱技術開発本部鉄鋼研究所
シャープ㈱液晶開発本部
㈶Ｃ＆Ｃ振興財団
ソニー㈱厚木テクノロジーセンター
大宏電機㈱
中央精機㈱
TDK㈱
TDK㈱通信技術開発センター
㈱テラテック
㈱テクノファイン
㈶電気通信工学振興会
㈶電気通信普及財団
㈱トーキン
㈱東芝セミコンダクター社
㈱東芝光・磁気ストレージ開発センター
㈱東芝研究開発センター
㈱東北テクノブレインズ
㈶東電記念科学技術研究所
㈶中谷電子計測技術振興財団
日本電気㈱
日本電気㈱　インターネット研究所
日本電気㈱　光・無線デバイス研究所
㈱日本コンラックス
東日本電信電話㈱
日立金属㈱磁性材料研究所
㈱日立製作所システム開発研究所
日立造船㈱
日立電子㈱
㈱日立超ＬＳＩシステムズ
㈱日立国際電気
㈱日立国際電気富山工場
㈶光科学技術研究振興財団
㈱富士通研究所
富士通東北ディジタル・テクノロジ
㈱本田技術研究所和光基礎技術研究センター
松下電器産業㈱マルチメディア開発センター
松下通信工業㈱
㈶松尾学術振興財団
㈶丸文研究交流財団
ミヨタ㈱
三菱化学㈱横浜総合研究所
三菱電機㈱情報技術総合研究所
三菱電機㈱通信システム開発センター
三菱電線工業フォトニック研究所
三菱重工業㈱技術本部基礎技術研究所
みやぎ産業科学振興基金
㈶村田学術振興財団
村田製作所㈱
リオン㈱

計　　１０８件　　１３８,２６５,０００円

第2章　研究活動状況

2.1　国際活動

区　　分		1996年度	1997年度	1998年度	1999年度	2000年度	合　計
国際的研究集会・学会等での招待者数		34	33	44	59	64	234
国際共同研究の実施状況（件数）		7	16	17	30	19	89
外国人研究者の来訪状況（人数）	1か月以上滞在	8	9	11	7	11	46
	1週間以上1か月未満	6	20	8	19	11	64
外国人研究員の受入状況（人数）		9	9	4	8	8	38

2.2　発表論文数

区　　分	1996年度	1997年度	1998年度	1999年度	2000年度	合　計
掲載された論文数						
学会誌	139	148	175	197	184	843
国際会議議事録等	91	155	140	202	288	876

2.3　外国の大学等との学術交流部局間協定締結一覧

代表者	協定校		協定締結年月日	研究課題	協定の主な内容
	国名	研究機関名			
教授 津屋　昇 (荒井賢一教授)	ポーランド	ポーランド 科学アカデミー	1976.8.3	磁性体における磁性弾性結合に関する研究	教官等の交流 共同研究の実施 研究指導 刊行物の交換
教授 沢田康次	アメリカ 合衆国	シカゴ大学 ジェームス・フランク研究所	1987.4.27	カオスと乱流	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換
教授 白鳥則郎	中国	ハルピン工業大学 計算機科学工程系	1987.6.15	計算機ネットワーク構築に関する研究	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換
教授 水野皓司	イギリス (文部省と英国科学工学研究会議との学術交流企画に参加)	ロンドン大学 クイーンメアリー・ウェストフィールドカレッジ	1990.4.3	サブミリメートル波の測定に関する研究	教官等の交流 共同研究の実施 学術資料の交換
教授 白鳥則郎	韓国	成均館大学 情報通信技術研究所	1995.9.13	ユーザインタフェースとエージェントの知的化	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換
教授 山下　努	オランダ	トウェンテ大学 応用物理学部 材料科学研究所	1998.1.27	超伝導材料と電子素子に関する研究	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換 学部学生及び大学院学生等の交流
教授 山下　努	ロシア	ロシア科学アカデミー 通信電子工学研究所	1998.2.23	超伝導電子通信デバイスの研究	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換 学部学生及び大学院学生等の交流
教授 山下　努	中国	南京大学	1998.4.16	超伝導ミリ波・サブミリ波デバイスの研究	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換 学部学生及び大学院学生等の交流
教授 中島康治	韓国	大邱大学校 工科大学	1998.11.6	ニューラルネットワークと知的情報処理に関する研究	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換 学部学生及び大学院学生等の交流
教授 室田淳一	ドイツ	アイエイチピー（半導体物理学研究所）	2000.1.22	高集積通信システム製作のためのSiGe系MOS-HBT技術の開発研究	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換

2.4 COE研究員および学振特別研究員

日本学術振興会特別研究員（ＤＣ）（2000年度）

氏名	任用期間	研究内容
伊藤　真	H.11.1.1～H.13.3.31	新皮質ー海馬における記憶システムの研究
山本裕司	H.11.1.1～H.13.3.31	金属薄膜の原子層成長制御とその応用に関する研究
岸本修也	H.11.1.1～H.13.3.31	二重量子井戸構造を用いた低次元電子系間のトンネル現象に関する研究
築舘厳和	H.11.1.1～H.13.3.31	シリコンガスソースＭＢＥにおけるドーピング機構と原子オーダ制御
川嶋貴之	H.11.1.1～H.13.3.31	フォトニック結晶の作製とその応用に関する研究
島宗洋介	H.11.4.1～H.14.3.31	Ⅳ族半導体への原子層ドーピングと超格子デバイスに関する研究
佐藤彰洋	H.12.4.1～H.13.3.31	長距離・長時間の相互作用を有する系の統計動力学的研究
大泉善嗣	H.12.4.1～H.15.3.31	半導体単一量子構造の発光分光

ＣＯＥ非常勤研究員（2000年度）

氏名	任用期間	研究内容
鈴木章夫	H.12.4.1～H.13.3.31	視覚形態情報処理の研究
岩田一樹	H.12.4.1～H.13.3.31	感覚遮断環境におけるヒトの生理学的状態の特異性に関する研究
中澤日出樹	H.12.4.1～H.13.3.31	SiC薄膜形成法に関する研究
李　昌勲	H.12.4.1～H.13.3.31	超微細Al CVD技術の研究
荒川元孝	H.12.4.1～H.13.3.31	高精度超音波計測法に関する研究
篁　耕司	H.12.4.1～H.13.3.31	III-V族希薄磁性半導体の結晶成長と物性に関する研究

ＣＯＥ外国人研究員（2000年度）

氏名	任用期間	研究内容
ミトラヒ・リシケシュ	H.12.4.1～H.13.3.31	高集積半導体デバイスに関する研究
元　光	H.12.4.1～H.12.3.31	炭化物陰極に関する研究
韓　平	H.12.7.1～H.12.10.31	シリコン・ゲルマニウム薄膜の形成とその応用に関する研究
トロスヤン・ガリク	H.12.9.1～H.13.3.31	非線形工学エンジニアリングによるテラヘルツ波発生の研究

2.5　特別研究員・大学院生の受入状況

区　　分	1996年度	1997年度	1998年度	1999年度	2000年度	合　計
特別研究員の受入状況	7	5	１４	１４	１４	５４
大学院生の受入状況	２０１	２０１	２００	１９８	１９９	９９９

第3章　論文題目

3.1　修士論文

題　　目	著　者	指導教官
電気・通信工学専攻		
強磁性半導体を用いたスピン注入発光素子に関する研究	荒田　育男	大野教授
高集積3次元型フラッシュメモリに関する研究	岩井　　信	舛岡教授
3次元超高密度Multi-Pillar SGTの設計に関する研究	太田　人嗣	舛岡教授
ZnO薄膜トランジスタとその界面評価に関する研究	大巻　雄治	大野教授
ミリ波パッシブイメージング装置の回路構成の研究	長内　辰夫	水野教授
タングステン探針を用いた走査型非線形誘電率顕微鏡の開発とその応用	数田　　聡	坪内教授
CDMA通信用ベースバンドLSIの研究	北岸　洋一	坪内教授
周波数シフト帰還型レーザーを用いた大気温計測の研究	木林　知子	伊藤(弘)教授
薄膜シリコン酸化膜における構造解析に関する研究	木村　康隆	舛岡教授
準光学型光制御マイクロ波変調器の研究	見目　敏夫	水野教授
Au(111)及びAu(111)上の有機分子からのSTM発光	佐藤　　実	潮田教授
垂直磁気記録におけるオーバーライト記録機構の研究	重松　宏亮	荒井教授
シリコン系絶縁膜の原子層積層に関する研究	神通川　治	室田教授
SS-CDMAワイヤレスネットワークの研究	鈴木　　聡	坪内教授
SS-CDMAワイヤレスアクセスモデムの研究	高橋　康一	坪内教授
RFシリコン集積回路の研究	立花　良一	坪内教授
STMによる半導体微細構造の同定と発光分光	谷本　　亮	潮田教授
電子工学専攻		
ミリ波帯パッシブイメージング技術に関する研究	戸田　俊一	水野教授
Stacked－SGT型DRAMのメモリアレイに関する研究	中村　広記	舛岡教授
オーバーモード導波管を用いたミリ波帯電力合成法の研究	藤田　昌幸	水野教授
オンチップ光配線のための3次元微細構造形成プロセスに関する研究	松田　一美	室田教授
有機結晶DASTの非線形光学効果の研究	水野　麻弥	伊藤(弘)教授
ドメイン制御光導波路型非線形光学デバイスの研究	宮脇　秀一	伊藤(弘)教授
偏波特性を測定可能なミリ波帯近接場顕微鏡に関する研究	渡邊　文夫	水野教授

情報基礎科学専攻

エージェントフレームワークのリポジトリ機構に関する研究	打矢　隆弘	白鳥教授
やわらかいネットワーク層における多重経路通信に関する研究	越智　大介	白鳥教授
既存ソフトウェアのエージェント化機構に関する研究	鎌田　幹夫	白鳥教授
ネットワーク監視エージェントの構成に関する研究	川端　邦明	白鳥教授

システム情報科学専攻

情報圧縮によるパターン探索の効率化	高橋　伸行	沢田教授
計算機シミュレーションによるＭＲヘッド再生分解能の研究	夏　衛　星	中村教授
垂直磁気ストレージのリードチャネルに関する研究	飯田　　敬	中村教授
ＤＮＡ分子を用いた論理演算に関する研究	清原　正伸	沢田教授
神経回路網における内部表現の研究	佐藤　雅樹	沢田教授
電流制御形インバータを用いた多入力多数決集積回路に関する研究	鈴木　康介	中島教授
音信号へのディジタルデータの埋め込み手法に関する基礎的研究	鈴木真奈美	鈴木教授
2次元細胞性粘菌移動体とその細胞の運動	土屋　　薫	沢田教授
視覚による空間認識のための強化学習	冨田　　望	沢田教授
情報交換するマルチエージェント系の強化学習	中村　健太	沢田教授
垂直磁気記録媒体の磁化機構とＳＮ比に関する研究	村松　孝一	中村教授
培養神経ネットワークの集団活動計測と情報解析	吉田　　篤	沢田教授
垂直磁気記録媒体の裏打ち軟磁性層に関する研究	吉田　亮一	中村教授
頭部伝達関数の符号化に関する基礎的研究	渡邉　貫治	鈴木教授
音像定位における聴取者の動的要因に関する基礎的研究	木村　大助	鈴木教授

論文題目

3.2 博士論文

題目	著者	指導教官
電気・通信工学専攻		
ミリ波帯電磁波の高効率発生に関する研究	遠藤 邦浩	横尾教授
電子工学専攻		
走査型トンネル顕微鏡を用いた分光学的手法による極微領域物性評価	伊藤 啓司	潮田教授
ポリイミド膜を用いた液晶の光誘起配向	宇佐美清章	潮田教授
微小金属スリットを用いた光と電子ビームとの相互作用に関する研究	石川 亮	水野教授
シングルステップMOVPE法によるS3型赤色半導体レーザに関する研究	穴山 親志	坪内教授
チャネル容量解析によるDS−CDMA移動体無線の方式設計に関する研究	工藤 栄亮	坪内教授
SS-CDMA通信モジュールの研究	苫米地秀一	坪内教授
SiおよびSiC結晶成長反応素過程に関する研究	篠原 正典	庭野教授
周波数シフト帰還型ファイバレーザの動作機構とその応用に関する研究	吉田 真人	伊藤(弘)教授
情報基礎科学専攻		
マルチエージェントシステムにおけるエージェントの組織化に関する研究	加藤 貴司	白鳥教授
ネットワークの障害診断方式の高度化に関する研究	橋本 和夫	白鳥教授
やわらかいマルチメディアシステムとサービス品質に関する研究	橋本 浩二	白鳥教授
Basic Framework of Agent-based E-Commerce and Its Application (エージェントに基づく電子商取引の基本的枠組とその応用)	周 廣顯	白鳥教授
システム情報科学専攻		
一分子DNAの熱力学的特性と構造変化の研究	村山 能宏	沢田教授
2次元細胞性粘菌集合体の細胞分化と運動	澤井 哲	沢田教授
ランダム乗算過程の統計的性質とその応用	佐藤 彰洋（短縮）	沢田教授
Study on the Proportion Regulation of Cell Types in Dictyostelium (粘菌における細胞種の比例制御に関する研究)	Ismael Rafols	沢田教授
高機能化非単調ニューロンによる集積化神経回路の研究	金城 光永	中島教授

第4章　受章・受賞

賞　名　等	受賞者氏名	所属分野・部	研究課題名・功績名等
IEC活動推進会議 運営委員長賞	中村　慶久	情報記憶システム研究分野	IEC/SC100B国内委員会委 員長・ WG3国際コンビナーとしてデジタル VTRやディスク記録システムのフォー マット，評価システムの規格化など
ICPADS2000最優秀論文賞	白鳥　則郎	情報通信システム研究分野	Flexible Multimedia System Architecture with Adaptive QoS Guarantee Functions
平成12年度電子情報通信学会 東北支部学生奨励賞	小出　和秀	情報通信システム研究分野	
市村産業賞　本賞	舛岡富士雄	固体電子工学研究分野	大容量NAND型フラッシュメモリの 開発とその応用分野の開拓
科学技術庁長官賞 研究功労者	荒井　賢一	スピンエレクトロニクス 研究分野	平面形シールディド・ループコイルと その磁界計測への応用に関する研究
Best Paper Award (The Eighth International Conference on Ferrites)	石山　和志	スピンエレクトロニクス 研究分野	Magnetic Actuators for Medical Applications
電気学会優秀論文 発表賞A	仙道　雅彦	スピンエレクトロニクス 研究分野	ゲル中を駆動するスパイラル型磁気 マイクロマシンの試作
電気学会優秀論文 発表賞B	馬場　　誠	スピンエレクトロニクス 研究分野	平坦化処理プロセスと磁気異方性の 制御を適用したRF集積化インダクタ
電気学会電子情報 システム部門大会企画賞	水野　皓司	テラヘルツ工学研究分野	企画セッション；ミリ波通信技術の 現状とその動向
第55回応用物理学会 東北支部学術講演会 講演奨励賞	宇佐美　威	応用量子光学研究分野	「1 mm厚Conguruent $LiNbO_3$周期分極 反転の制作」
電子情報通信学会 論文賞	原田　知親 佐藤　茂雄 中島　康治	知能集積システム部	A Content-Addressable Memory Using "Swcitched Diffusion Analog Memory with Feedback Circuit"

教官の最終学歴（大学または大学院等）

最終学歴	教授	助教授	講師	助手	計
東北大学	12	8		27	47
ペンシルバニア大学	2				2
東京大学	1	2		4	7
北海道大学	1			1	2
筑波大学				1	1
名古屋大学	1				1
北陸先端科学技術大学院大学				1	1
阪大	1				1
九州大学	1				1
東京工業大学				1	1
大阪府立大学		1			1
日本大学		1			1
朝鮮大学		1			1
静岡大学		1			1
福井大学				1	1
長岡技術科学大学		1			1
東北学院大学				1	1
仙台電波高校				1	1
千葉工業大学				1	1
インド技術研究所				1	1
フランクフルトヨハンゲーテ大学				1	1
モスクワ物理科学研究所				1	1
南京大学	1				1
仙台工業高校				1	1
合計	20	15	0	43	78

第5章　トピックス

日立　世界最高の記録密度　小型HD開発に成功　東北大通研の技術を利用

日立製作所（本社東京）は五日、東北大電気通信研究所（仙台市青葉区）が二十年前に提唱した技術を利用し、世界最高の記録密度を誇る小型ハードディスク（HD）の開発に成功した、と発表した。HDの大容量化や小型化が容易になり、パソコンや携帯電話などへの応用が期待される。

電通研の技術は「垂直磁気記録方式」と呼ばれ、磁性体を面と垂直にさせる。現在のHDは磁性体を面と並行に寝かせる米国発祥の「水平方式」が主流だが、発生する熱で記録した情報が消える問題点があり、一平方㌅当たりの記録密度は一五〇―一〇〇㌐ビットが限界とされてきた。

日立製作所は電通研や秋田県高度技術研究所の協力を得て、記録・再生ヘッドや媒体技術などを新たに開発した結果、五二・五㌐ビットの記録密度を達成した。直径一㌅の小型ディスクで、デジタルビデオディスク（DVD）並みの記憶容量に相当するといい、水平方式による記録密度の世界最高五〇㌐ビットをも上回った。

インターネットの普及で、パソコンで大容量の映像や音声処理が頻繁に行われるようになった現在、HDに求められる記憶容量は増大する一方。日立製作所は二年後の製品化を目指す八〇―一〇〇㌐ビット級のHDに、電通研の垂直方式を採用していく予定という。

一元電通研所長で当時、垂直方式の開発に携わった岩崎俊一東北工業大学長（東北大名誉教授）は「世界の恩返しできた」と話している。

家電、コンピューター市場に与える影響は大きいはず。これまで日本の科学技術は欧米からの輸入に頼ってきたが、ようやく

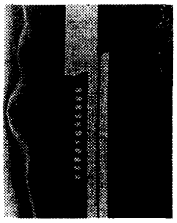
河北新報　2000年4月6日掲載

面内を超える高密度　日立とASET　垂直磁気記録技術を開発

日立製作所と超先端電子技術開発機構（ASET）は5日、東北大学中村慶久教授、秋田県高度技術研究所（AIT）の指導で面記録密度1平方㌅当たり52・5㌐ビット（1平方㌅当たり8・14㌐ビット）の垂直磁気記録技術を開発したと発表した。垂直磁気記録で従来の面内記録を上回る高密度化を達成したのは初めて。垂直記録用ヘッドは二つの磁極で書き込み磁界を発生する単磁極型薄膜ヘッドと再生用の高性能巨大磁気抵抗（GMR）ヘッドを一体化したものを微細加工技術で作製した。トラック幅は記録ヘッドが0・25㍃、再生ヘッドが0・20㍃で、再生ヘッドのシールド間隔は80㌨と直磁気記録方式の実用化の突破口を開く成果。同社は2002年に製品化を予定。

今回、達成した記録密度は直径2・54㌢（1㌅）の小型ディスクにデジタル・ビデオディスク（DVD）に匹敵する5㌐の大容量記録に相当する。試作ヘッドは一つの磁極で書き込みという。

記録媒体は記録層と裏打ち層の二層からなる独自の二層膜垂直媒体で、低ノイズ、熱ゆらぎの少ない安定な垂直記録媒体を実現。これを垂直磁気記録特有の再生波形を新に開発した信号処理方式で再生時に実用的な誤り率を確保できることを確認したという。従来の面内記録方式は熱ゆらぎにより1平方㌅当たり50―100㌐ビットの面記録密度で限界を迎えるとされる。垂直磁気記録技術はこれに代わる技術。1平方㌅当たり1㌜ビットも可能といわれ、小型ディスクに大容量記録が可能になるので、携帯端末などの大容量記録装置に期待される。



垂直記録用ヘッドの断面

日刊工業新聞
2000年4月6日掲載

（第三種郵便物認可）　2001年（平成13年）3月5日（月曜日）

極細磁石でがん治療

直径0.8ミリ

＊東北大の研究チームが開発

ドリルで掘り進み病巣撃退



開発したマイクロマシン。磁場をかけるとドリルのように回転して進む

直径わずか〇・八ミリという極細のドリルを患部に送り込み、がん組織を直接たたく治療などに活躍できるマイクロマシンを、東北大電気通信研究所の荒井賢一教授らの研究チームが開発した。

真ちゅう製のドリルには、微小磁石の長い軸が付いている。これに約十㌢の距離から、MRI（核磁気共鳴映像法）の約百分の一という百―百五十ガウスの磁場をかけると、磁石はモーターと同じ原理で回転し、ドリルは自在に方向を変えながら掘り進んでいく。

磁石に酸化鉄合金を付けるなどの工夫を施すと、マシンの温度は七氏一〇〇度まで上がるため、熱でがん細胞を消滅させる「温熱療法」への応用が期待されている。

研究チームは同大医学部放射線科と協力し、これまで困難だった深部のがん温熱療法を目指し、年内にも動物実験を始める。

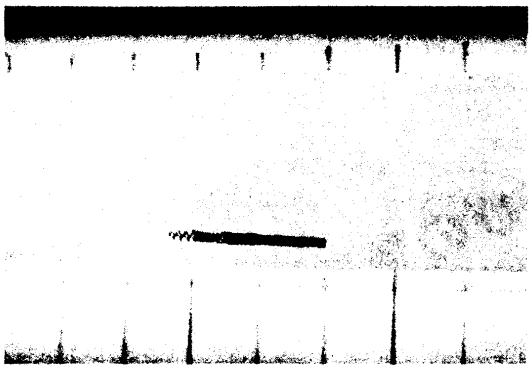
読売新聞　2001年3月5日夕刊掲載

平成１３年(2001年)3月１日（木曜日）

直径0.8ミリ 磁力で移動自在

マイクロマシン試作

東北大 電通研 がん治療に応用期待



周囲から加えられた磁場で、回転しながら寒天の中を進み先端が飛び出したマイクロマシン（1目盛りは5㍉）＝仙台市青葉区の東北大電気通信研究所

がん組織に見立てた寒天や牛肉の中を自在に動き回るマイクロマシン（微小機械）を、東北大電気通信研究所の荒井賢一教授（磁気工学）のグループが試作した。マシンは本体が強い磁石でできており、周囲から磁場を加えると回転しながら移動する。磁力を熱に換えれば、組織を〝焼死〟させることも可能で、グループは年内にも動物実験を始めたい考えだ。

細長い磁石（直径〇・八㍉、長さ十二㍉）でできたマシンの先端には高さ二㍉の小さなねじが取り付けてある。マシンを中心に回転するような磁場をかけると、マシンはモーターの原理で回り始め、先端のねじが回転しながら移動する。

実験では、マシンは寒天や牛肉の中を一直線に進行した。磁場の向きを制御することで前進、後退するのはもちろん、斜めに進路を曲げることもできる。マシンを生体内に入れ、現在位置を検知するシステムも開発した。

さらにマシンの一部に磁性体を取り付けると、目標まで到達した後、磁力を熱に変換することが可能だという。がん組織は熱に弱いということが知られており、患者への負担がかからない治療法として期待される。

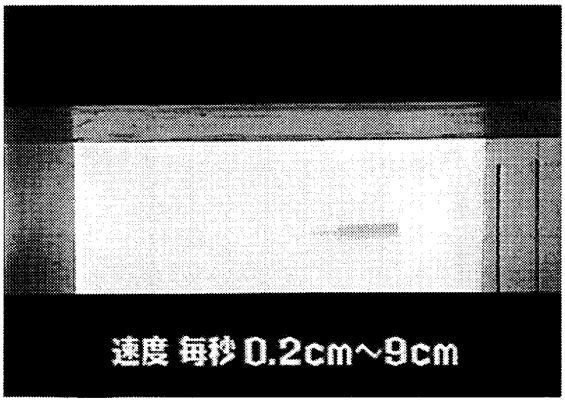
注射針の内径に収まるサイズに収めてあり、実際の医療では患部の近くにマシンを注入、治療後に再び注射器を使い、マシンを体外に回収する流れを想定している。

磁石自体は人体に有害なため、マシン全体を金でメッキしたり、シリコンや樹脂などで被覆することも検討中だ。マシンを生体内に入れ、がん組織の位置が正確に分かり、より効果的な放射線治療にも貢献できるという。

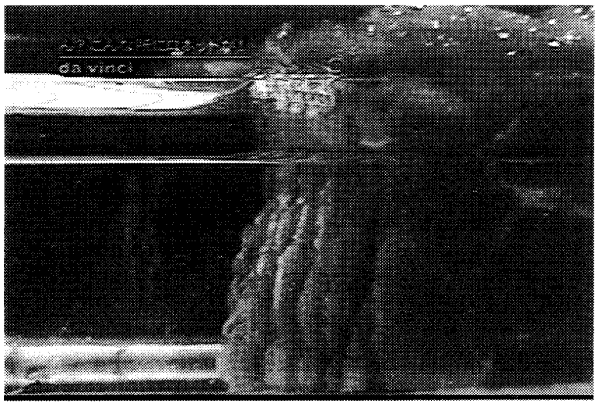
研究グループの信沢相志助手は「マシンには電源や駆動装置が一切なく、構造が極めてシンプルなため、故障しにくい。安全性も申し分なく、医師との協力を得ながら臨床応用を目指したい」と話している。

河北新報　2001年3月1日掲載





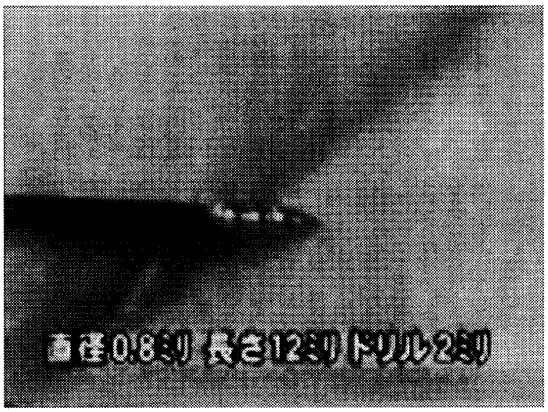
テレビ朝日　2000年5月11日22:00～23:15
「ニュースステーション」





テレビ朝日　2000年5月27日11:20～11:45
「ダビンチの予言」





東北放送　2001年2月27日18:20～19:00
「ニュースの森」

プリズム

舛岡　富士雄

①

フラッシュメモリー
社会生活支える基盤

フラッシュメモリーが今地上から消えたら、われわれの生活はどうなるでしょう？

例えば車、携帯電話等の携帯通信機器、エアコン、冷蔵庫、炊飯器、電気ポット、電子レンジ、ミシン、ラジカセ、テレビおよびラジオ等の家電製品、パソコン等が動かなくなり、電力、都市ガス、工場の自動化製造ライン等社会のインフラすべてが停止します。この結果われわれは、現在の生活水準を全く維持できなくなります。なぜでしょうか。理由は簡単です。前記の車等すべてにフラッシュメモリーが使われているからです。

フラッシュメモリーはもちろん十年以上前に生産された車などには使われていません。

フラッシュメモリーの開発を、一九八四年米国における国際学会の発表後、最初に強い興味を示したのは米国の自動車メーカーです。米国では強い環境対策として排ガス規制が新車に求められています。かつ米国は北の極寒のアラスカから熱射の砂漠まで極めて厳しいあらゆる気象条件において排ガス規制をクリアすることが求められます。この現在の唯一の解決法がフラッシュメモリーを使用することでした。

フラッシュメモリーは内容を一括して消去し、再書き込みすることができる半導体メモリーです。今回のシリーズで、このように社会の基盤を支えているフラッシュメモリーの動作原理及びなぜこれほどまでに広く使われるようになったかをわかっていただけると幸いです。



ますおか・ふじお氏　東北大学電気通信研究所教授。昭和18年群馬県高崎市生まれ。41年東北大学卒、46年同大学院博士課程修了。同年株式会社東芝総合研究所入社、平成6年同社退社、同年東北大学大学院情報科学研究科教授、8年から現職。専門は半導体集積回路工学、半導体システム工学、半導体メモリ工学。著書に「躍進するフラッシュメモリ」ほか。57歳。

河北新報　2000年9月4日掲載

プリズム

舛岡　富士雄

②

排ガス規制の切り札
最小にする手順記憶

フラッシュメモリーはなぜ車の排ガス規制の切り札なのでしょう？

車はガソリンを燃やしそのエネルギーを動力として使用しています。排ガスは燃えた後に残る燃えかすです。ガソリンが完全に燃えれば原理的には水と二酸化炭素になり無害です。しかし燃えかすには一酸化炭素、炭化水素、窒素酸化物、粒子状物質などさまざまの化合物が含まれています。もちろん二酸化炭素も空気中に増加すれば有害です。

一酸化炭素は家庭のガス湯沸かし器などでも不完全燃焼の時出るガスで、人間の呼吸を不可能にする大変な有毒ガスです。炭化水素および窒素酸化物は光化学スモッグの原因となる有害ガスです。このような有毒ガスはガソリンの不完全燃焼によって起こります。

車の不完全燃焼がおこる理由を考えてみましょう。車のエンジンはシリンダーの中でガソリンと空気を混合してピストンで圧縮した後、電気火花で点火して爆発的に燃焼させて動力を得ています。始動時には、エンジンは通常車の置かれている状態による温度になっています。すなわち冬のアラスカでは氷点下四〇度以下、夏のテキサスの砂漠では七〇度以上になっているでしょう。

現在のエンジンはこれらの状況、例えばエンジンの温度、回転数、供給されるガソリンの量すなわちアクセルの踏み具合等をすべて感知して、供給する空気の量、点火するタイミングをコンピュータで決めます。

エンジンの冷却装置によって一定の温度になります。しかし、どのような状況においても上記有害な排ガスを最小になるようにコントロールしています。フラッシュメモリーは、このように排ガスを最小にコントロールするための手順を記憶しているのです。

（東北大学電気通信研究所教授）

河北新報　2000年9月18日掲載

プリズム

舛岡富士雄

③

半導体産業の発展

旧来の技術置き換え

トランジスタが米国のベル研究所で発明されて五十年を越えます。通常の技術はその産業が起こってから三十年でその成長が止まるという、いわゆる三十年説から見ると、半導体産業が五十年以上も連続して成長を維持していることは異常な部類に属すると言われています。半導体産業のこれまでの発展は、一つの半導体技術と言うより別のジャンルの半導体技術によると言えます。従来の三十年説が否定されているわけではないのです。

半導体産業の発展は、その一回目はトランジスタを牽引（けんいん）車ととらえ、二回目はDRAM（ランダム読み出し、書き込み可能な半導体メモリー）を牽引車としてきました。これから来る三回目の牽引車はフラッシュメモリーと考えられ、今後少なくとも三十年は半導体産業の成長は続くでしょう。

はじめはトランジスタが単体として真空管を置き換え、ラジオ及びテレビに革命をおこし一回目の発展期を迎えました。一九七〇年代には、米国のインテル社の開発した半導体メモリーであるDRAM等、及び一個の爪（つめ）の先に乗るようなシリコンチップに乗るコンピューターの開発により、半導体事業は二回目の発展期を迎えました。

半導体産業の発展の歴史には、このように共通の大きい磁気メモリーであるハード・ディスク及びフロッピーディスクを置き換えることにより、三回目の半導体産業の牽引車となります。

すでに携帯電話、デジタルカメラなどは、フラッシュメモリーを使用することにより日本が世界をリードし、日本の産業再生に大きな貢献を行っています。従来米国などで開発された製品を日本が後追いをすると言われてきたのに対し、半導体産業の発展を担うデバイスが初めて日本から生まれたことになるのです。

（東北大学電気通信研究所教授）

河北新報　2000年9月25日掲載

プリズム

舛岡富士雄

④

発明物語（上）

性能よりコスト優先

フラシュメモリーの発明までのいきさつを説明しましょう。私は、東北大学西澤研究室で半導体に関して恩師である西澤潤一先生に六年間薫陶を受けた後、昭和四十六年に企業の研究所に就職しました。昭和四十六年は現在の半導体集積回路の基本デバイスである半導体マイクロコンピューター、半導体メモリーであるDRAM（記憶保持動作が必要な随時書き込み読み出しメモリー）などを米国インテル社が開発した時期です。

日本の各企業は追いつくのに全力を挙げていました。

私は、入社後五年を経たころから米国で開発されたDRAMの高性能化の研究を行い、自分としては自信のある商品化まで行いました。ところが開発したDRAMは全く売れません。それなら自分で売ってくると販売部門に転籍を願い出、半導体メモリーの営業部門にめでたく転籍になりました。

今から考えれば一介の研究者が何の実績もない日本企業の初めての製品を、いきなり米国の大手計算機メーカーに売れるわけがありません。知らないということは強いもので、英語も話せない一介の研究者が必死になって米国、日本の計算機メーカーに営業活動を行いました。結果は明らかで一年も経つと上司もあきらめ、普通であれば研究所に戻されるのに対して工場の製造部門に転籍となりました。

この苦労したメモリーの営業の仕事は、売れる商品とは何ぞやとの良い勉強になりました。言葉にしてしまえば当たり前のことですが、どんなに性能が良くても売れない。売れるのは最終商品に必要最小限の機能を持つコストの安い商品ということになります。

半導体の不揮発性メモリー（電気を切っても記憶を保持するメモリー）は、フラッシュメモリーが初めてではありません。上記インテル社が開発した半導体不揮発性メモリーがありました。このメモリーは非常に使いやすく高性能なのですが、コストが非常に高くそれほど使われませんでした。これに対してフラッシュメモリーは性能は格段に落ちるのですがコストが安く、広く使われるようになりました。次回に技術の違いを説明します。

（東北大学電気通信研究所教授）

河北新報　2000年10月2日掲載

プリズム

弁岡富士雄

⑤

発明物語（下）

コスト大幅削減実現

最初にインテル社によって開発された半導体の不揮発性メモリー（電気を切っても記憶を保持するメモリー）は、一ビットごとに書き換えができ、かつ一ビットごとに読み出し可能でした。一方磁気メモリーであるハードディスクおよびフロッピーディスクは、ある固まり（セクターと呼んでいます）、例えば二五六バイト（二〇四八ビット）単位でしか書き換えも読み出しもできません。

磁気メモリーは円盤状のディスクをモーターによって回転させ、磁化素子と磁気検知素子によって書き換え読み出しを行います。このため機械的には衝撃に弱く、電気的に見ると消費電力が大変大きく書き換えおよび読み出し速度も遅く、かつセクター単位でしか書き換えができません。

半導体メモリーのコストは、シリコン半導体面積を占めるかによります。これは住宅の価格が何坪の土地を占めているかと同じ感覚です。先に開発された半導体不揮発性メモリーと比較すると性能的には大変な欠点を持っています。

しかしデータ蓄積用のメモリーに要求されるのは、ある固まりのメモリーを書き換えも読み出しもできる機能と、ビットごとの書き換えを可能にするために、一ビットあたり二個の素子を使っていました。このため一ビットのメモリー占有面積が大きくなり、コストが高くなり売れませんでした。

あたりのコストが安いことです。このため磁気メモリーは年間五兆円を超える世界市場を持っていました。

フラッシュメモリーは、単純に磁気メモリーと同じく、ある固まりでしか書き換えができないようにし、一ビットを一個の素子で構成できるようにしました。この結果メモリーの占有面積を大幅に縮小することが可能になり、コストを大幅に下げることができました。その結果、大きな市場を生み出したのです。これこそ必要最小限の機能を持つコストの安い商品開発の実践です。

（東北大学電気通信研究所教授）

河北新報　2000年10月9日掲載

プリズム

弁岡富士雄

⑥

メモリーとは

情報を入力、読み出し

最も簡単で身近なメモリーはメモです。自分の身近な事を忘れないために簡単な文章を書きとめる。メモリーとはまさに忘れないようにデータを入力し、次に必要な時に読み出すことです。このように一度データを書き込むと内容を変えられないメモリーを読み出し専用メモリーと言います。本はこれら機能をメモリーと言って良いと考えています。この意味でメモリーは古代から存在していたわけです。

文化の発展上、革命的発明の一つとして印刷が挙げられています。すなわち印刷された文字は通常消えません。この消えない事を不揮発性メモリーと言います。また本は印刷されている内容を後から書き換えられません。このように一度データを書き込むと内容を変えられないメモリーを読み出し専用メモリーと言います。本はこれらの機能を備えていますので、読み出し専用不揮発性メモリーです。

他の身近のメモリーの例としてレコードの盤があります。レコード盤の溝は工場でプレス機械によって大量生産されます。しかし現在のようにテープレコーダーが一般的でなかった時代では、レコードの盤も読み出し専用メモリーばかりでありませんでした。

例えば一九四五年八月十五日、終戦の日の玉音放送があります。天皇陛下は、その前日玉音放送の内容をある一定速度で回転させながらレコード針が順になぞって溝の形の変化を読みとっています。これと言われています。このように、レコードの盤の読み出し方式がいわゆるシリアル読み出し方式、すなわち順番に読み出す方式です。

再生は、目に見えるメモリーの再生の基本原理を理解するのに非常に便利です。レコードの盤には幾重もの溝が彫ってあります。録音された音楽のデータは変換されてレコードの盤の溝に彫り込まれているのです。

レコードの盤の溝は工場でプレス機械によって大量生産されます。しかし現在のようにテープレコーダーが一般的でなかった時代では、レコードの盤も読み出し専用メモリーばかりでありませんでした。

例えば一九四五年八月十五日、終戦の日の玉音放送があります。天皇陛下は、その前日玉音放送の内容をレコードの盤に録音したと言われています。このように、レコードの盤も工場から出荷された後、一回限り録音できる用途に使われていました。（東北大学電気通信研究所教授）

河北新報　2000年9月25日掲載

プリズム

⑦

メモリーの発展

光の利用で大容量化

弁岡富士雄

磁気テープは一本のテープからなり、テープの表面には磁気材料が塗布されています。磁気メモリーの書き込みおよび再生はテープの端部から順番に行います。もちろんレコード盤と同じく、高速で途中を送った後の書き込みおよび再生も可能です。

しかしその後はまた順次書き込みおよび再生を行います。磁気テープは、工場で音楽を入力したり、またわれわれが自由に書き換えたりすることが可能です。かつ電源を切っても内容を忘れない不揮発性メモリーでもあります。以上のように磁気テープは記憶の動作が目に見える形で書き込み及び再生が行われる書き換え可能なメモリーです。

コンパクトディスク（CD）が出現してからレコード盤が実質的に消えてしまいました。CDの録音および再生は原理的にはレコード盤と全く同じです。データはCD盤の溝に彫り込んであります。ただ、レコード盤は針で擦ってデータを読み出すのに対して、CDは光をCD盤の溝に照射してデータを読み出します。このため何回読んでも溝は破壊されることなく読み出せるのです。

CD盤は原理的にはレコード盤と同じ不揮発性読み出し専用メモリーですが、データがアナログでなくデジタルで録音されていることが大きな違いです。CDの読み出しは光を照射して行うので溝の間隔を狭くでき、一枚当りの集積密度を上げることができました。

最近成長が著しいDVD（デジタルビデオディスク）も読み出し原理的にはCDと同じです。CDが機械的に彫り込みによってデータを書き込んでいたのに対して、DVDは光によってデータを書き込みますのでデータの間隔をCDよりさらに狭くできます。すなわち小さいDVD盤に多量のデータを詰め込む事ができるようになり、高精細な画像の長時間録画が可能になったのです。以上身近なメモリーの発展の例を説明しました。これからのメモリーの理解の助けにしたいと思います。

（東北大学電気通信研究所教授）

河北新報　2000年10月23日掲載

プリズム

⑧

キルビー氏にノーベル賞

社会への影響を評価

弁岡　富士雄

二〇〇一年五月、中国の上海において米国電気化学会主催の半導体技術に関する国際学会が開催されます。その学会開催の論文募集要項のトップに、集積回路技術の発明者としてジャック・キルビー氏（米国）と、フラッシュメモリーの発明者として弁岡富士雄が講演すると書かれています。

学会の論文募集要項は、これから開催される会議に多数の質の高い論文の投稿を勧誘することを目的にしています。そのため募集要項には招待論文としてその分野の権威者を並べ、いかに高いレベルの学会であるかをアピールしています。

キルビー氏は二〇〇〇年のノーベル物理学賞を受賞しました。もちろんこのポスターが公表されたのはノーベル賞の発表前ですので、だれもキルビー氏の受賞を予測しなかったでしょう。予測できない大きな理由があったのです。

キルビー氏の発明は直接的には物理学上の発見とは思われません。キルビー氏の発明を概説します。従来まず部品を別々に作り、その後完成した部品を使って電子回路を組み立てていました。キルビー氏は、個々の部品を作り込む工程と電子回路に組み立てる工程を同時に同一基板上に制作する方法を発明したのです。もっと単純に言ってしまえば、最初に別々に作っていたものを一緒に作ってしまえ、という発想です。

最初の発明は四十二年前に行われ、抵抗とトランジスタを同一半導体基板上に作りそれぞれに電気配線を行う電子回路でした。本発明により電子回路の高集積密度化が可能になったのです。この結果は人類社会発展に大きな貢献をもたらしました。

発明以来四十二年経て世の中に貢献した実績の大きさから考えますと、ノーベル賞に値すると今ではだれでも十分納得がいきます。しかし従来の常識ではノーベル賞としては考えられない分野です。今回の受賞は、その意味で人類社会に大きな影響をもたらす発明はノーベル賞に値するとの宣言ともとらえることができます。

（東北大学電気通信研究所教授）

河北新報　2000年10月30日掲載

プリズム

弁岡　富士雄　⑨

電気釜とメモリー

複雑な手順を覚える

電気釜（がま）になぜフラッシュメモリーが使われているのでしょう。

ご飯の炊き方には昔から「はじめちょろちょろ、中ぱっぱ、親が死んでも蓋（ふた）とるな」の格言があります。まず、米に水を吸わせるために比較的弱い火力で炊く、すなわち初めちょろちょろです。次に一気に沸騰させる中ぱっぱ。徐々に火を弱めて余分な水分がなくなったところでとめて蒸らす時間、中ぱっぱの強火の時間、徐々に火を弱めて余分な水分をなくす時間、および蒸らす時間をそれぞれの米の量、水の量および火力の強さに応じて最適の時間を設定しなければなりません。

どのような場合でも感知器が働いて計算機に状態を伝え、最適条件で炊けるようフラッシュメモリーに手順を記憶させているのです。

この手順を実際の電気釜に適用しようとすると、問題となるのは米の量が変わり、水の量も変わることです。このため初めちょろちょろの弱火の時間、中ぱっぱの強火の時間、徐々に火を弱めて余分な水分をなくすこと②計算機が直接データを読み込めるほど高速読み出し可能なメモリーであること③コストが安いことーです。

性能的には電源を切っても読み出せるメモリーとして磁気メモリーがあります。しかし磁気メモリーはモーターで駆動しているため読み出し速度が遅く、計算機は直接データを読み込めません。

また磁気メモリーは、電気釜で使うような小容量の場合コストが高くなるので使えません。

何よりもフラッシュメモリーを使うことにより、計算機もメモリーも五ミリメートル平方の一個のシリコン片にすべての機能を集積できてしまうのです。このため数百円もしないほど安く、数百ミリワット以下という低消費電力のコントローラーを実現できたのです。

（東北大学電気通信研究所教授）

河北新報　2000年11月6日掲載

プリズム

弁岡富士雄　⑩

冷蔵庫とメモリー

省エネ化の「立役者」

冷蔵庫とエアコンの消費電力は、ここ二十年間に五分の一にも省エネルギー化が進んでいます。この省エネルギー化が可能になった立役者もフラッシュメモリーです。もちろんコンプレッサーや霜取りなどの人間の動作が必要なくなり、かつ消費電力が五分の一もの省エネルギー化が可能になったのです。

一九六〇年代にそのようなことができなかったのでしょうか？　答えは冷蔵庫内の温度を検知し最適な冷却方法を採用できるような手順をフラッシュメモリーに記憶し霜取りは、温度と霜の量を検知し最適な時期に霜取りを開始する手順を記憶したフラッシュメモリーを持つ計算機によって行います。こうした運転方法を採用することで、冷蔵庫の省エネルギー化は可能でした。一九六〇年代、月に人間を送り無事に帰還させるのに成功しました。

現在冷蔵庫についている計算機のコストは数百円以下と安く、同じく消費電力も数百ミリワット以下と冷蔵庫本体に比較して省略できるぐらい少ないので、冷蔵庫に使用できるのです。

このように安い計算機が可能になったのは、電源を切っても記憶を忘れないフラッシュメモリーと、コントロールするための計算機を、同一シリコン片に組み込めるようになったためです。

（東北大学電気通信研究所教授）

河北新報　2000年11月20日掲載

プリズム

弁岡富士雄 ⑪

半導体と磁気メモリー

信頼性高いシステムへ

計算機を起動するとき、外部記憶メモリーから計算機を動かすソフトおよびデータを読み込み、計算を開始します。外部記憶メモリーとしては、ハードディスクおよびフロッピーディスクのような磁気メモリーが使われています。

ディスクメモリーは、名前が示すようにレコードの盤やCD盤と同じく円盤であり、その表面に磁気媒体が塗布されています。その表面を、書き込み消去し読み出すための磁気ヘッドが、レコードの針と同じように順番になぞっていくのです。

例えば、銀行の現金自動払い出し機でお金を払い出そうとする時、顧客の預金残高が記憶されているハードディスクを探索し確認した後払うのです。

ハードディスク面と磁気ヘッド間の距離を〇・一マイクロ㍍(百万分の一㍍)以下まで近づけディスクを高速回転しています。これはジャンボジェット機が地上一㍍の高さで飛行しているのと同じくらいの精度を有している言われています。この言でないぐらい、重要な装置となっています。

もちろん銀行などでは、例えば仙台、青森および沖縄など数カ所にハードディスク装置を配置して信頼性を確保しています。現在の大型計算機の占有面積の大きさは、ハードディスクの容量で決まっていると言って過

フラッシュメモリーはこの外部記憶メモリーとして、磁気メモリーの置き換えを進め、計算機から機械動作部分を完全に排除した信頼性の高いネットワークシステムの構築を可能にします。

しかし、ハードディスクは高速かつ大メモリー容量を実現するため、ハードディスク装置を並列運転しているのが実情です。

ため衝撃には弱く、原則的に一切衝撃をあたえてはいけないことになっています。一度破壊が発生すると通常ディスクのデータがすべて失われるので修復ができません。従って常に複数のハードディスク装置を並列運転しているのが実情です。

（東北大学電気通信研究所教授）

河北新報　2000年11月27日掲載

プリズム

弁岡　富士雄 ⑫完

30年後の予測

「鉄腕アトム」まだ先

鉄腕アトムはいつ実現するでしょう。

例えば、三十年後を考えるために三十年前から現在までの変化を見てみます。三十年前の計算機は三十㌧の重さと中学校一校分の大きさがあり、三十億円以上もしました。

さて現在もスーパーコンピューターと言われる超高速計算機がありますこの計算機の重さは五十㌧、大きさは教室一室分で、値段は十億円を超えます。このスーパーコンピューターが三十年後には〇・一㌘の重さで指の先に載るぐらい小さくなり、数百円もの値で表すと重さで三億倍、大きさで二億倍、価格で一千万倍となります。平均して二億倍の進歩と言ってよいでしょう。

もちろん大きさ及び重さは無視してです。鉄腕アトムすなわち人間と同じような働きをするロボットは現在できません。これは三十年後、現在のスーパーコンピューターからの研究が精力的に行われているのです。

その大きな理由の一つは、現在の計算機はノイマン型と言われ、メモリーにあらかじめ記憶させた動作しかできないことです。例えば人間は常に思いもかけないことに遭遇し瞬時に判断して行動します。このように人間の行動の一例だけでさえ、現代のスーパーコンピューターを使っても実現できないのです。

今後計算機を小さくすることだけでなく新しい動作方法の開発が必要なことがわかります。現在世界中でこれだけでは鉄腕アトムを実現できないことを示しています。

（東北大学電気通信研究所教授）

河北新報　2000年12月4日掲載

朝日新聞

永久磁石 磁性制御 「究極メモリー」開発期待

初の成功 東北大教授ら

永久磁石を電気的に制御して磁性をなくしたり元に戻したりすることに、東北大学電気通信研究所の大野英男教授（半導体工学）らのグループが世界で初めて成功した。小電力で機能する大容量メモリーの開発につながる研究で、コンピューターの高性能化が期待できる。二十一日付の英科学誌ネイチャーに発表される。

素材として選んだのは、ハードディスクなど外部記憶装置に使われている磁性体と、演算用回路や内部メモリーに利用されている半導体の両方の特性をもつ「磁性半導体」。零下二五〇度で電圧をかけて内部の電子数を変化させた。そのかけ方によって、永久磁石の性質を消したり、元に戻したりすることができた。

大野教授によると、室温での制御が可能になれば、磁気ランダムアクセスメモリー（MRAM）に応用できる。MRAMは大容量だが小型で読み書きが早く、「究極のメモリー」ともいわれる。

今回の方法は、これまで研究されているやり方に比べてはるかに少ない電力ですむという。

東京大学生産技術研究所の榊裕之教授（半導体工学）は「電圧で磁性の有無を制御するのは革新的だ。魅力的な制御法で、発展次第で応用も期待できる」と話す。

朝日新聞　2000年12月21日掲載

Magnetic Semiconductors Enable Efficient Electrical Spin Injection

Semiconductors doped with manganese may provide the answer to a long-standing question in magnetoelectronics.

Dreams of exploiting the spin of the electron in solid-state devices underlie the nascent field of "spintronics." Aspirations for semiconductors have been spurred by the development, in metals, of giant magnetoresistance devices—as found in the read heads of current high-density computer hard drives—and nonvolatile magnetic memory (see the PHYSICS TODAY special issue on magnetoelectronics, April 1995).

A central hurdle for spin-polarized transport in semiconductors has been finding an efficient method of spin injection—that is, polarizing the electrons or holes in the semiconductor to begin with. But last December, two groups reported progress in overcoming this obstacle. Using a paramagnetic semiconductor as a spin injector, Laurens Molenkamp and his coworkers at the University of Würzburg in Germany have observed nearly 90% polarization of electrons in gallium arsenide[1] in a field of 3 T. And a collaboration between the research groups of Hideo Ohno at the University of Tohoku in Japan and David Awschalom at the University of California, Santa Barbara, have seen polarized hole injection into a quantum well from a ferromagnetic semiconductor, which does not require an applied magnetic field.[2]

Early efforts

The behavior and manipulation of spins in semiconductors has been extensively studied by optical means for several decades. Circularly polarized light can preferentially promote electrons of one spin orientation into the conduction band of a semiconductor, and the net polarization in the material can be revealed in the polarization of the emitted light or in the induced rotation of an incident probe laser (see the article by Awschalom and James Kikkawa in PHYSICS TODAY, June 1999, page 33). But for many real-world applications, an electrical means of injecting spins is desirable.

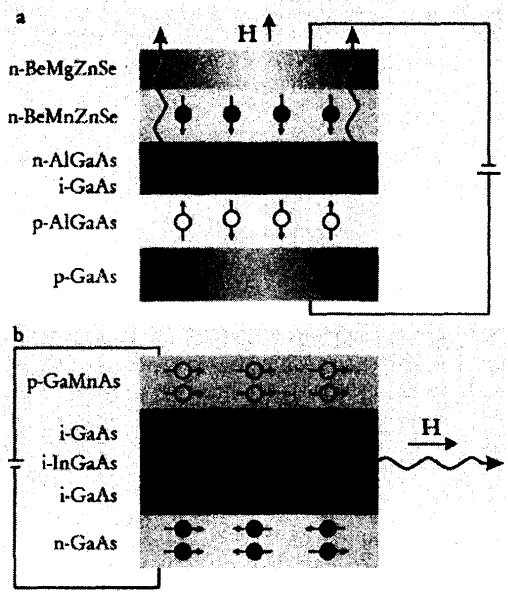
For electrical spin injection, one relies on an applied voltage to pull more electrons of one spin orientation than the other into the device. One therefore needs either a spin-dependent interface or a material that has different densities of states for the two spin orientations—in other words, a magnetic material.

Attempts at direct electrical injection of polarized electrons and holes have, over the last decade, focused on using a ferromagnetic metal—such as iron, cobalt, or permalloy (80% Ni, 20% Fe)—in contact with a semiconductor. That approach has yielded more controversy than success to date. "The putative spin polarization effects that have been seen have been minuscule—of order 1% or less," comments Michael Roukes (Caltech). "And at that level, there's a host of other parasitic mechanisms that can give rise to the effects seen."

Georg Schmidt, working with Molenkamp and colleagues at the University of Groningen in the Netherlands, has shown theoretically that there are fundamental difficulties to achieving better results with a ferromagnetic metal–semiconductor system.[3] Nearly total spin polarization is needed, but the typical polarization in ferromagnets is only 40–50%. Small devices, in which the transport is ballistic instead of diffusive, might not be subject to the same limitations, however.

The new advances in spin injection come from using all-semiconducting devices incorporating magnetic semiconductors. This approach offers several advantages. Interface properties, such as lattice matching and conduction band offsets, are well understood and controllable. Furthermore, all-semiconducting devices may be integrated better with existing semiconductor and fabrication technology.

The recent electrical spin injection experiments use two different schemes, both involving doping with manganese for polarizing the carriers. The Würzburg group uses a paramagnetic II–VI semiconductor, $Be_xMn_yZn_{1-x-y}Se$, as a spin filter for electrons. The Tohoku–UCSB collaborators use the Mn-doped III–V compound $Ga_xMn_{1-x}As$, which is ferromagnetic, to inject spin-polarized holes. (See the figure at left.)



ELECTRICAL SPIN INJECTION has been observed using magnetic semiconductors in different layered light-emitting diode structures. (a) Manganese-doped BeZnSe is paramagnetic, and has been used to inject spin-polarized electrons into GaAs quantum wells. Unpolarized holes from the other side of the well combine with the polarized electrons to give off circularly polarized light. (Adapted from ref. 1.) (b) GaMnAs is a ferromagnetic p-type semiconductor (for a certain range of Mn concentrations) and serves as a source of polarized holes for this InGaAs quantum well. (Adapted from ref. 2.)

Paramagnetic semiconductors

Like Zn, Mn is divalent, and thus the partial substitution of Mn for Zn in ZnSe does not add carriers—but it does make the semiconductors paramagnetic. These materials have high g factors (which quantify the coupling of the electron spins to an applied magnetic field)—about 100 times higher than in nonmagnetic semiconductors. Fields of a few tesla create nearly total spin polarization at the Fermi level. The g factors in the Würzburg Mn-doped II–VI compounds are highly temperature-dependent, however, and for the materials to provide efficient spin injection, they must be cooled down to liquid helium temperatures.

The group added n-type dopants to their magnetic semiconductor, making it a source for spin-polarized electrons. Electrons are the preferred carriers in these materials because they

Physics Today 2000年4月号掲載

have longer spin coherence times than holes, which suffer from strong dephasing due to spin-orbit coupling.

The Würzburg experimenters used a light-emitting diode (LED) structure to monitor the efficiency of spin injection. (A US patent for a spin-LED was issued last year to Berry Jonker of the Naval Research Laboratory.) At the heart of the Würzburg diode is a GaAs quantum well. Because it has a lower conduction band energy and a higher valence band energy than the adjacent layers, the well traps electrons and holes entering it. When the electrons and holes recombine, they emit light.

The paramagnetic semiconductor was put on one side of a GaAs quantum well and p-type nonmagnetic semiconducting layers on the other. When a bias voltage is applied across the device, electrons enter the Mn-doped layer and scatter into the lower Zeeman level; for a sufficiently thick layer, the electrons are spin-polarized by the time they enter the quantum well. The paramagnetic semiconductor thus acts as a "spin aligner." Unpolarized holes enter the well from the other side.

The polarization of the emitted light from the quantum well—about 45% in the Würzburg experiments—is a measure of the polarization of the recombining carriers. The quantitative relationship between the polarizations has one complicating factor, however. In GaAs and other semiconductors with the same zincblende structure, there are two valence bands that are degenerate in the bulk, but become split in energy in narrow quantum wells.

Molenkamp tells us that in the device discussed in their paper, he and his coworkers did not see any splitting between the valence bands in the excitation spectra, and so they took them to be degenerate. Due to an additional transition allowed by the degeneracy, they concluded that the electron spin polarization in the well is twice the optical polarization, or roughly 90%. In subsequent experiments with narrower quantum wells, adds Molenkamp, they do have band splitting, but observe an optical polarization of up to about 90%, indicating a comparable spin polarization.

At a spintronics workshop in Santa Barbara in January, and at the annual meeting of the American Association for the Advancement of Science in February, Jonker reported that he and his coworkers at NRL and the State University of New York at Buffalo have performed similar experiments using paramagnetic ZnMnSe as the spin aligner.[4] They, too, observe about 50% optical polarization. Accounting for the valence band splitting in their quantum well, the researchers quote a lower bound of 50% on their electron polarization. Jonker notes that the paramagnetic material they used, $Zn_{0.94}Mn_{0.06}Se$, has a 0.5% lattice mismatch with the underlying GaAs layers, which is relatively large by semiconductor standards. "The spin transport across the interface is a fairly robust process," concludes Jonker. "It happens in spite of this rather large lattice mismatch."

Fully lifting the degeneracy between the spin-up and spin-down states in the Mn-doped II-VI compounds requires external magnetic fields on the order of 3 T. One possibility for providing this polarizing field may be to use a ferromagnetic metal contact—not to provide the polarized spins, but the fringe field required for full spin alignment in the Mn-doped paramagnetic semiconductor.

Ferromagnetic semiconductors

Whereas Mn and Zn are divalent, Ga is trivalent. Thus, substitution of Mn for Ga in GaAs, which at the 5% level makes the semiconductor ferromagnetic, also makes the material heavily p-type. GaMnAs is therefore a potential source of spin-polarized holes, rather than polarized electrons.

GaMnAs has a Curie temperature of up to 110 K, which may allow for spin injection at much warmer temperatures than the II–VI compounds. And because GaMnAs is ferromagnetic, the device does not require an external magnetic field. The trade-off is that one has to work with polarized holes, whose shorter polarization lifetimes can limit the range of applications.

An LED geometry was also employed by the UCSB–Tohoku team, which sandwiched an InGaAs quantum well between layers of GaMnAs and n-doped GaAs that provided unpolarized electrons. The circular polarization of the emitted light was proportional to the temperature-dependent magnetic moment of the GaMnAs and showed telltale hysteresis in an applied external magnetic field. "It's surprising that it works at all," says Awschalom. "After travelling hundreds of nanometers, the holes should have no polarization left."

The orientation of the ferromagnetic LED was different from that used in the II–VI experiments: The magnetic field was parallel to the layers instead of perpendicular (see the accompanying figure), and the experimenters measured the light emission parallel, not perpendicular, to the surface. This geometry was necessary because the magnetic GaMnAs layer would have altered the polarization of any light passing through it, masking the polarization of the carriers producing the light.

Although the horizontal geometry avoids many possible ambiguities, it is not without its own difficulties. The selection rules relating the polarization of the light to the polarization of the carriers are straightforward with vertical emission, but are more complicated for edge emission. Consequently, it is difficult to infer an actual spin polarization—and hence the injection efficiency—from the measured 2% change in optical polarization.

Tomasz Dietl of the Institute of Physics at the Polish Academy of Sciences, working with Ohno and collaborators at the University of Grenoble 1, has recently developed a model for the ferromagnetism of GaMnAs.[5] They have used their model to predict the Curie temperatures for other Mn-doped semiconductors. For two of them—GaN and ZnO—the calculated Curie temperatures are above room temperature, a definite advantage for device applications.

Although these efforts report achieving spin injection electrically, they are still relying on optical detection. "This work hints at the possibility for real electrical spin injection devices," notes Roukes, "but they're still very far away." Research toward them continues, though, including efforts to better understand spin transport in the solid state, develop higher-temperature magnetic materials, and inject spins into two-dimensional electron gases and quantum dots.

RICHARD FITZGERALD

References

1. R. Fiederling, M. Klein, W. Ossau, G. Schmidt, A. Waag, L. W. Molenkamp, Nature **402**, 787 (1999).
2. Y. Ohno, D. K. Young, B. Beschoten, F. Matsukura, H. Ohno, D. D. Awschalom, Nature **402**, 790 (1999).
3. G. Schmidt, L. W. Molenkamp, A. T. Filip, B. J. van Wees, available at http://xxx.lanl.gov/abs/cond-mat/9911014.
4. B. T. Jonker, Y. D. Park, B. R. Bennett, H.-D. Cheong, G. Kioseoglou, A. Petrou, preprint available.
5. T. Dietl, H. Ohno, F. Matsukura, J. Cibert, D. Ferrand, Science **287**, 1019 (2000). ■

Physics Today 2000年4月号掲載

news feature

Meet the spin doctors . . .

A small band of researchers is plotting a revolution in electronics — one that exploits the spins of electrons, rather than their charges. Philip Ball profiles the emerging field of spintronics.

The last time electronics was reinvented was in 1948, when Ralph Bown, research director of Bell Laboratories in New Jersey, announced "the electrical equivalent of a vacuum tube amplifier". "We have called it the transistor," he told the press.

At the time, not even the transistor's inventors, Bell Labs researchers John Bardeen, Walter Brattain and William Shockley realized just how revolutionary their semiconductor device would be. It changed the conceptual landscape of electronics. No longer would electronic engineers think in terms of electrons travelling along metal wires or through a vacuum. Instead, they were able to construct gates and interfaces with which to manipulate the 'charge carriers' in semiconductors — electrons and positively charged 'holes'.

The latest reinvention of electronics may herald a similar conceptual revolution. Some call the field magnetoelectronics. But it is the catchier tag of 'spintronics' that best illustrates the new discipline's departure from conventional electronics. Rather than using electrical fields to manipulate a flow of electrons using their charge as a handle, spintronics marshalls electrons through their spin.

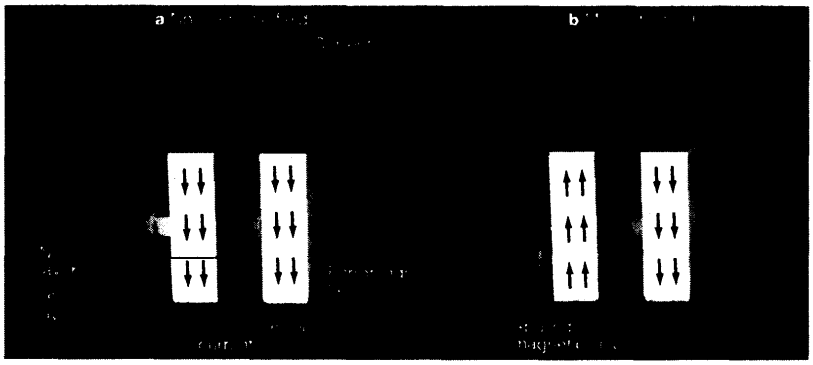
Metaphorical marvel

The spin of an electron is a quantum-mechanical metaphor that arises from Paul Dirac's relativistic wave equation, derived in the late 1920s. Spin is a characteristic as fundamental as charge, but has no analogue in the macroscopic world. An electron does not spin like a top, but it can nevertheless be described by a quantum number characteristic of its intrinsic angular momentum. And because the spin of an electron imparts a magnetic moment, electrons can be manipulated by magnetic fields.

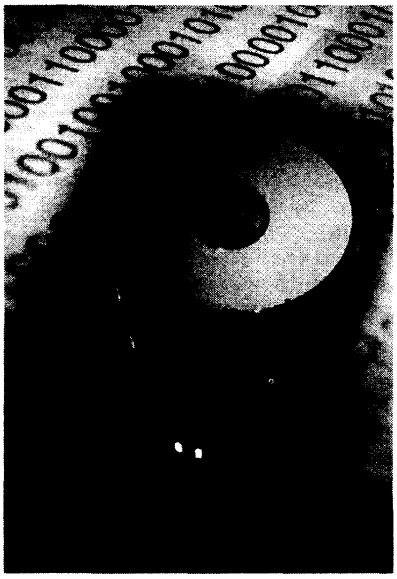
It is still too early to say whether spintronics will sound the death knell for conventional microelectronics, just as silicon devices did for the vacuum tube. But in principle, it could move electronics from a technology grounded in classical physics to one that fully exploits the quantum nature of electrons — perhaps preparing the way for ultrapowerful quantum computers.

Yet even if this young field produces nothing more spectacular than a handful of useful devices, it should have a powerful impact on information technology. Companies including IBM and Motorola are investing heavily. The US Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), the high-tech research arm of the Pentagon, plans to spend "well over US$100 million" on the field over the next few years, according to Stuart Wolf, who oversees the agency's spintronics projects.

Indeed, magnetoelectronic devices are already in commercial use, as read-out heads for computer hard drives. The market for these devices, which were introduced by IBM in 1997, is now worth around $1 billion per year. The read-out heads exploit an effect called giant magnetoresistance (GMR), which occurs in multilayer 'heterostructures' composed of alternating thin films of a ferromagnetic metal, for example cobalt or iron, and a non-magnetic metal such as copper. The electrical resistance of these structures can be altered profoundly by a magnetic field.



A spin valve in action. a, With no magnetic field, the spin-polarized current can flow. b, When a magnetic field is applied, the spin-polarized current cannot pass through both ferromagnetic layers.



Well read: spintronics has dramatically increased data storage densities in hard drives.

Like all spintronics devices, GMR multilayer structures rely on spin-polarized transport: a flow of current in which electrons are in a spin-aligned state, either spin 'up' or 'down'. This arises naturally in ferromagnets. When such a material is magnetized, the spins of its constituent atoms all align in one direction. Electrons passing through a thin film of the magnetized ferromagnet acquire this same spin bias, creating a partially spin-polarized current.

In GMR hard-drive read-out heads, a current of this type is created when electrons pass through the first magnetic layer. Whether this current passes through the next ferromagnetic layer depends on whether the spins of its electrons are aligned with those of the atoms of the layer. Only if this is so can the current pass freely. In GMR multilayers, the magnetization — and therefore the orientation of the atomic spins — in successive ferromagnetic layers alternates. So the passage of a spin-polarized current is hindered. (Because the spin polarization conferred on a current is only partial in ferromagnetic metals, a small amount current still flows.) But if an external magnetic field is applied, which aligns the spins of all the ferromagnetic layers, the barrier to spin-polarized transport is removed and the resistance drops.

Nature 2000年4月27日掲載

HONEYWELL

The result is an electronic device that is very sensitive to external magnetic fields. Hard-drive read-out heads based on this principle can register smaller magnetized domains than the previous generation of devices, which used a much more modest magnetoresistive effect in permalloy, an alloy of iron, nickel and molybdenum. Already, this has allowed storage densities of commercial hard drives to be increased by a factor of three. Given recent laboratory findings, Stuart Parkin of IBM's Almaden Research Center in San Jose, whose group pioneered work on GMR read-out heads, has no doubt that it will be possible to improve storage densities a further several-fold.

Memorable events

In the early 1990s, Parkin's group proposed that, for fully spin-polarized currents, a mere three-layer device of this sort can act as a 'spin valve'. These devices comprise a film of non-magnetic metal sandwiched between two films of ferromagnetic material. A spin-polarized current will pass when the magnetization is aligned in the two ferromagnetic layers, but will be totally blocked if the magnetization of just one of them is flipped, for example by a nearby electromagnetic induction loop (see diagram). This is, in essence, the GMR effect taken to its extreme.

Once flipped, the magnetic film in a spin valve retains its direction of magnetization until it is switched once again. This means that the device can act as a memory element. Switching is fast and easy but, unlike the switching in transistors, the device retains its switched configuration when the power is turned off. This means that spintronics could furnish computers with 'non-volatile' magnetic random-access memories (MRAMs), which are not wiped clean by a power failure. They would be particularly valuable on board satellites, where a temporary loss of power can be catastrophic.

Prototype MRAMs consisting of arrays of electrically connected spin valves have been developed by Honeywell, IBM and Motorola. In terms of storage capacity, Honeywell has led the way: for military use, it is producing MRAMs in the megabit range. These are too expensive for consumer applications, but IBM has achieved affordable MRAMs of about 1 kilobit capacity with access times of less than 3 nanoseconds — comparable to those of conventional semiconductor RAMs. These devices all use a subtly different and stronger magnetoresistive effect that depends on 'spin-dependent electron tunnelling'. This is a quantum-mechanical property of electrons that allows them to travel across an interface between two materials even when, according to classical physics, they do not have sufficient energy to do so.

In theory, similar spintronic devices might be used not just for information storage, but also as logic gates — the building blocks from which the circuitry of a microchip is constructed. Not only are spintronic logic gates potentially very fast, but they could also be reconfigured by applying magnetic fields. A prototype device of this type was reported in February by Russell Cowburn and Mark Welland of the University of Cambridge[1]. "But no one has demonstrated that you can reliably write and reconfigure a processing function in such a circuit," cautions Parkin. He believes this may prove very difficult to achieve.



Ohno: pioneering semiconductor spintronics.

Semiconductor sandwiches

Another obstacle for spintronics is that electronics companies are geared up to working with semiconductors, not metals. So one important goal is to make devices using semiconductors that are compatible with existing chip technology. The problem is that the conventional semiconductors used in integrated circuits — primarily gallium arsenide (GaAs) and silicon — are not magnetic. At least, they never used to be. Now, however, several research groups are exploring ways of turning these semiconductors into ferromagnetic materials.

Hideo Ohno of Tohoku University in Japan is one of the pioneers. In 1996, his team showed that ferromagnetic atoms such as manganese can be introduced into GaAs chips fabricated by molecular-beam epitaxy (MBE) — a technique that deposits materials one atomic layer at a time. The solubility of manganese in GaAs is normally very low, but MBE can create a material in which up to 7 per cent of the gallium atoms are substituted for manganese[2]. This alloy behaves as a ferromagnet at temperatures up to 110 K.

Spintronics will offer completely new kinds of functionality in microelectronics.

Using this doped material, Ohno and his colleagues have made a three-layer device based entirely on GaAs, in which the non-magnetic layer consists of aluminium gallium arsenide. Earlier this month, they reported observing a magnetoresistive effect[3]. But "it's not giant, yet", says Ohno — the device does not behave as a fully switchable spin valve.

The biggest problem in building such devices is sustaining spin-polarized transport across the interfaces between different materials. Interfaces between semiconductors and ferromagnetic metals, where a double layer of charge carriers forms, are especially problematic. This 'Schottky barrier' lets current flow in only one direction and can scatter charge carriers moving across the interface, which leads to loss of spin polarization. Last year, however, a team led by Mark Johnson of the US Naval Research Laboratory in Washington DC claimed to have injected a spin-polarized current from a nickel–iron alloy into a semiconductor[4]. But the reported efficiency was low, which would make spin valves based on such composite structures extremely leaky.

Injecting spin across the interface between two semiconductors — one magnetic and one non-magnetic — should be easier, because there is no Schottky barrier. And late last year, two groups succeeded in transporting a spin-polarized current across such a junction. Laurens Molenkamp and colleagues at the University of Würzburg in Germany used▶

Magnetic memory: Honeywell uses spintronics in its RAM chip.

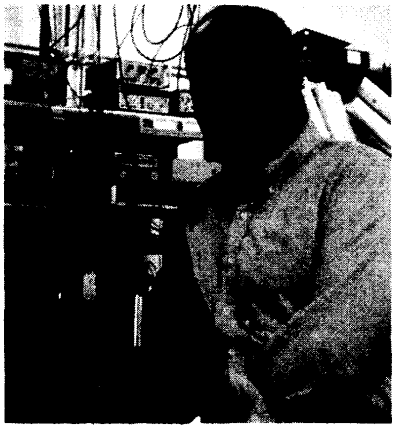
Nature 2000年4月27日掲載

the magnetic semiconductor zinc selenide doped with beryllium and manganese as the spin-aligning ferromagnetic layer[5]; Ohno, working with David Awschalom's team at the University of California, Santa Barbara, used manganese-doped GaAs[6]. In both cases, the researchers passed their spin-polarized current into a GaAs-based light-emitting diode with an efficiency of about 90 per cent. Their success was confirmed by the fact that the emitted light was circularly polarized — a direct consequence of the spin polarization of the current.

These results imply that fully switchable all-semiconductor spin valves should be feasible, and Awschalom cautiously predicts that such devices will be demonstrated within the next few years. He also believes that a semiconductor spin transistor, which would amplify a current rather than merely switching it on and off, will be developed on a similar timescale.

Beyond MRAMs and spin transistors, there is an even more ambitious vision for spintronics: fully exploiting the quantum-mechanical nature of spin. Interest in this possibility has been stimulated by the idea of quantum computing. This offers the prospect of massively powerful information processing by manipulating quantum objects in a 'superposition' of states. Using the language of classical physics, a spin is either up or down, but quantum mechanics means that it can also be held in a superposition that is simultaneously up and down. This makes spin an ideal candidate for the quantum bits (qubits) of quantum computing. Whereas the binary-encoded bits of classical computing have two available states, 1 and 0, qubits have more — greatly expanding computing power.

But processing information with many qubits requires that they are all maintained in a 'coherent' superposition — an interweaving in which none of the qubits is allowed to collapse into its up or down state. This is the hard part, because any interactions of the qubits with their environment tends to induce this 'decoherence', losing information.



Awschalom: a "genuine quantum electronics" would exploit electrons' wave-like properties.

However, recent studies have raised hopes that it might be possible to sustain spin coherence among charge carriers in solid-state circuits. This is not the same as simply imposing spin polarization on a current, just as polarized light is not the same as a laser beam. Coherent spin carriers are not simply aligned but are coupled in a collective quantum state, described by a single wavefunction.

Extending the range

In 1997, Awschalom's team reported that electron spins could survive in a coherent state for more than 100 nanoseconds[7]. Then last year Awschalom and his colleague James Kikkawa managed to transport a coherent 'spin packet' of electrons over a distance comparable to the size of a typical electronic device[8]. They used a laser pulse to excite a spin packet in a sample of GaAs, and dragged it along using an electric field.

Awschalom's team has also succeeded in trapping coherent spin packets in semiconductor 'quantum dots' — crystals of cadmium selenide between 2 and 8 nanometres across[9]. This shows that qubits could be temporarily stored in a quantum computer without becoming scrambled.

Awschalom believes that creating coherent spin packets using light and probing for their existence optically, as his team has done, will become increasingly important. It will allow spintronics to interact with the field of optoelectronics, important in telecommunications. Information is generally transmitted over long distances as a series of light pulses in optical fibres. But at present, the signals must be converted back to electronic form for processing and storage, and this is an inefficient process. "The bottleneck is the photon-to-electron conversion," Awschalom explains. He believes this conversion can be achieved more efficiently in optically controlled spintronic devices.

Spin is an ideal candidate for the quantum bits of quantum computing.

For quantum computing, meanwhile, many of the theoretical proposals invoke the manipulation of the spins of atomic nuclei, rather than those of electrons. This can be done using nuclear magnetic resonance, which usually relies on flipping nuclear spins using pulses of radio waves. However, Awschalom and Kikkawa have shown that it can also be achieved using light: by pulsing an optical beam at an appropriate resonant frequency, they were able to flip nuclear spins in GaAs[10]. The light pulses create packets of spin-coherent electrons, whose magnetic fields then influence the nuclear spins.

While practical quantum computers remain a distant prospect, spin coherence could be applied in simpler spintronic devices. Awschalom foresees a "genuine quantum electronics". Rather than treating electrons like tiny billiard balls, this would exploit their wave-like properties. In a coherent spin packet, the electron waves are all in phase. This might offer a new switching mechanism, using destructive interference effects to 'cancel out' two out-of-phase coherent spin packets. Awschalom predicts that this will offer "completely news kinds of functionality" in microelectronic and optoelectronic devices. For example, a team led by Sasha Hallstein of the Max Planck Institute for Solid State Physics in Stuttgart has already used electron spin coherence to construct an ultrafast optical switch[11].

With GMR read-out heads now in widespread use and MRAM devices soon to reach the market, spintronics is already starting to make its presence felt. Whether the microelectronics industry will embrace the vision of quantum electronics remains to be seen. But Wolf at DARPA is confident that the future is bright. "Spin hopefully will provide a host of new devices for very-high-speed, low-power electronics and optoelectronics," he says. ■

Philip Ball is a Consultant Editor of *Nature*.

1. Cowburn, R. P. & Welland, M. E. *Science* **287**, 1466–1468 (2000).
2. Ohno, H. *et al. Appl. Phys. Lett.* **69**, 363–365 (1996).
3. Akiba, N. *et al. J. Appl. Phys.* (in the press).
4. Hammar, P. R., Bennett, B. R., Yang, M. J. & Johnson, M. *Phys. Rev. Lett.* **83**, 203–206 (1999).
5. Fiederling, R. *et al. Nature* **402**, 787–790 (1999).
6. Ohno, Y. *et al. Nature* **402**, 790–792 (1999).
7. Kikkawa, J. M., Awschalom, D. D., Smorchkova, I. P. & Samarth, N. *Science* **277**, 1284–1287 (1997).
8. Kikkawa, J. M. & Awschalom, D. D. *Nature* **397**, 139–141 (1999).
9. Gupta, J. A., Awschalom, D. D., Peng, X. & Alivisatos, A. P. *Phys. Rev. B* **59**, R10421–R10424 (1999).
10. Kikkawa, J. M. & Awschalom, D. D. *Science* **287**, 473–476 (2000).
11. Hallstein, S. *et al. Phys. Rev. B* **56**, R7076–R7079 (1997).

Nature 2000年4月27日掲載

日本工業新聞
平成12年(2000年)12月22日 金曜日
研究開発

東北大 永久磁石に外部から電界 磁力をオン・オフ

東北大学電気通信研究所は、強磁性体（永久磁石）に外部から電界をかけることで磁力をオン・オフすることに世界で初めて成功した。これにより、将来は磁気ランダムアクセスメモリー（MRAM）などが実現される可能性があるという。同研究所超高密度・高速知能システム実験施設の大野英男教授らの研究グループの成果で、英科学誌「ネイチャー」最新号に掲載された。

研究グループは、磁性半導体と呼ばれるインジウムマンガンヒ素をマイナス二五〇度Cに冷却して行った実験で磁力のオン・オフに成功した。

磁性スピン（原子レベルの微小な磁石）を含む物質を磁性体と呼び、このうち磁性スピンが相互作用して自発的にそろう物質が永久磁石である。これに対し相互作用が小さく磁性スピンがそろわないものは常磁性体で、永久磁石にはならない。また電流による磁界を用いて磁石にするのが電磁石である。

現在知られている強磁性体のほとんどは金属あるいは絶縁体であり、どちらも電界を加えても磁性スピンの相互作用を変化させることはできない。

大野教授らはインジウムマンガンヒ素を用いて電界効果トランジスタを作成し、電界によって磁性半導体中にある電子（性格には電子の抜けた穴＝正孔）の量を変化させた。

電子は磁性スピンをそろえる役割をし、増やすと磁性半導体が永久磁石になり（永久磁石オン）、減らすと常磁性体になる（同オフ）ことを実験的に突き止めた。

強磁性体では電子が大量に存在する（金属）か、全く存在しない（絶縁体）かのどちらかであるため、電界を加えても電子の数を変化させられないのが磁性を制御できない理由と考えられる。

磁性半導体では強磁性体に比べて電子の量が格段に少ないが、この少数の電子の量を電気的に制御できるため磁力のオン・オフが可能になっている。

今回の成果はマイナス二五〇度Cという低温環境での成果であるため、そのまま実用化には結びつかない。しかし、今後室温での磁性制御が可能になれば磁性材料を使ったMRAMの実現や、スピンを使った演算への応用が期待される。

日刊工業新聞
2000年12月21日掲載

磁性半導体を電気的に制御

東北大電気通信研・大野教授ら成功

自在に磁石化・非磁石化



大野英男教授

磁性体と半導体の性質を併せ持つ「磁性半導体」を電気的に制御し、永久磁石にしたり永久磁石ではない状態にしたりする実験に、東北大電気通信研究所の大野英男教授（半導体工学）らの研究グループが初めて成功した。磁性体には永久磁石になる「強磁性体」と、永久磁石に引きつけられる「常磁性体」がある。磁性体の性質を外部から変えることはできないが、磁性半導体では電気的に制御可能なことが分かった。

情報技術（IT）を支えるコンピューターでは、情報の記録に磁性体、情報の処理には半導体を使う。磁性半導体を利用することで、記録と処理の二つの役割を果たす新型メモリーも開発できそうだ。研究成果は二十一日発売の英国科学誌ネイチャーに掲載される。

研究グループは今回、磁性半導体の「インジウムマンガンヒ素」で、約一〇〇ミクロン（一ミクロンは千分の一ミリ）大の電界効果トランジスタを製作。マイナス二五〇度の低温下で電圧をかけ、インジウムマンガンヒ素中の電子の量を変化させた。

この磁性半導体では、中に含まれているマンガン原子の一つ一つが、磁性体としての性質を備えている。電圧をかけて電子を減らすと、ばらばらだったマンガン原子が一方向にそろい、相乗効果で強磁性体になる。

逆に電子を増やすとマンガン原子の向きが再びばらばらになり、磁性が相殺されて常磁性体に切り替わる。酸化亜鉛、窒化ガリウムなどの半導体とマンガンを組み合わせて磁性半導体を作れば、理論的には常温で同様の制御が可能という。

新型メモリー開発に道

大野教授は「人類と磁石の歴史は長いが、電気的に磁石化、非磁石化を制御したのは初めて。磁性体の原子をうまく制御できれば、従来のコンピューターが不得意な因数分解などを迅速に処理する『量子コンピューター』へも応用できる」と話している。

河北新報　2000年12月21日掲載

東北大 新制御法を発見

磁性体 ランダムメモリーに道

【仙台】東北大学電気通信研究所の大野英男教授らは、磁性半導体と呼ばれる磁性体インジウムマンガンヒ素を用いた電界効果トランジスタを作製し、低温下で電気的に永久磁石（強磁性体）をオン・オフさせることに成功した。電界によって半導体中にある電子（電子の抜けた穴＝正孔）の量を調整。電気的に物質を強磁性体にしたり、常磁性体にする制御方法を発見した。室温での動作が可能になれば「磁性体材料を使った磁気ランダムアクセスメモリーなどへの応用が見込める」（東北大）としている。

マイナス250度Cで実現 常温下が課題

現在、エレクトロニクス研究では、情報の処理に使われる半導体と、情報の記憶に使われる磁性体を一つのデバイスにしようとする動きがある。しかし、磁性体は電気的に抵抗を制御できる半導体とは違い、ひとたびつくられると外部からその性質を変えたり、元の状態に戻したりすることはできず、永久磁石の新たな制御方法が求められていたという。

今回、東北大の研究グループはマイナス250度Cの低温下による実験により、電気的に永久磁石をオン・オフさせることに成功したもの。

実験では磁性半導体インジウムマンガンヒ素をベースに電界効果トランジスタ（100×200ミクロン）を作製。電界によって半導体中にある電子（正孔）の量を変化させ、スイッチング機能を調べた。具体的には電子の量を増やすことで磁性半導体は永久磁石となり（オン）、逆に電子の量を減らすことで永久磁石にならない（オフ）ことを確認した。

今後、研究グループでは、室温において永久磁石をオン・オフさせる実用化に向けた研究などを進める考え。

今回の研究成果は、97年度の日本学術振興会未来開拓学術研究事業などの取り組みによるもので、21日発行の英科学誌「ネイチャー」に掲載される。

日刊工業新聞
2000年12月22日掲載

付録　構成員

（平成13年２月１日現在）

所長（併）・教授　沢　田　康　次

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

教　授	外　山　芳　人
〃　（兼）	丸　岡　　章
〃　（〃）	阿　曽　弘　具
助教授（〃）	大　町　真一郎
〃　（〃）	瀧　本　英　二

■情報通信システム研究分野

教　授	白　鳥　則　郎
〃　（兼）	伊　藤　貴　康
〃　（〃）	根　元　義　章
助教授	木　下　哲　男
〃　（兼）	斎　藤　浩　海
〃	加　藤　　寧
助　手	石　垣　久四郎
〃	菅　沼　拓　夫
〃	杉　浦　茂　樹
〃	杉　山　達　彦
〃	ロイ　タルン　カンティ
〃	加　藤　貴　司
リサーチアソシエイト	アハメッド・アシル
〃	チャクラボルティ・デバシシュ
研究支援推進員	大　學　紀　子
事務補佐員	工　藤　裕　子

■情報記憶システム研究分野

教　授	中　村　慶　久
〃　（兼）	樋　口　龍　雄
助教授（兼）	青　木　孝　文
助　手	山　田　　洋
事務補佐員	長　崎　京　子
〃	茨　木　加　奈

■音響情報システム研究分野

教　授	鈴　木　陽　一
〃　（兼）	牧　野　正　三
助教授（兼）	曽　根　秀　昭
〃　（〃）	金　井　　浩
助　手	西　村　竜　一
〃	坂　本　修　一
技　官	斎　藤　文　孝
事務補佐員	佐　藤　亮　子

■生体コンピューティングシステム研究分野

教　授	矢　野　雅　文
〃　（兼）	堀　口　　剛
助教授（〃）	福　井　芳　彦
助　手	牧　野　悌　也
〃	坂　本　一　寛
〃	三　浦　治　己
〃	松　尾　行　雄
中核的研究機関研究員	鈴　木　章　夫
〃	岩　田　一　樹
研究支援推進員	遠　藤　千　春

■ブレインコンピューティングシステム研究分野

教　授	沢　田　康　次
〃　（兼）	阿　部　健　一
助教授（兼）	吉　澤　　誠
〃　（〃）	郭　　海　蛟
〃　（〃）	田　中　和　之
〃　（〃）	早　川　美　徳
助　手	早　川　吉　弘
学振特別研究員(PD)	伊　藤　　真
学振特別研究員(DC)	佐　藤　彰　洋
中核的研究機関研究員	古　市　　望
事務補佐員	中　井　直　子

■超伝導コンピューティングデバイス研究分野

教　授（兼）	山　下　　努
〃　（〃）	島　本　　進
〃　（〃）	村　瀬　　暁
助教授	中　島　健　介
〃	陳　　健
助　手	水　柿　義　直
〃	B. パブレンコ

技　官	土田貞夫
事務補佐員	小澤美加

■次世代コンピューティング研究分野

■マルチモーダルコンピューティング研究分野

客員助教授	韓　平

物性機能デバイス研究部門

■固体電子工学研究分野

教　授	舛岡富士雄
〃　（兼）	江刺正喜
助教授	遠藤哲郎
助　手	桜庭弘
〃	マルクス・レンスキ
学振特別研究員(DC)	築舘厳和
COE外国人研究員	ミトラ・ヒリシケシュ
技　官	酒井俊章
研究支援推進員	平間美香
事務補佐員	鈴木敦子

■分子電子工学研究分野

教　授（兼）	沢田康次
〃　（併）	佐野雅己
助教授	末光眞希
中核的研究機関研究員	中澤日出樹

■スピンエレクトロニクス研究分野

教　授	荒井賢一
〃　（兼）	高橋研
〃　（〃）	一ノ倉理
〃　（〃）	松木英敏
助教授	山口正洋
〃　（兼）	荘司弘樹
〃　（〃）	角田匡清
助　手	石山和志
〃	薮上信
技　官	師岡ケイ子
〃	我妻成人
事務補佐員	八重樫文

■プラズマ電子工学研究分野

教　授（兼）	坪内和夫
〃　（〃）	山本光璋
助教授（兼）	中尾光之
〃　（〃）	飯塚哲
〃　（〃）	安藤晃

■情報記録デバイス工学研究分野

教　授	村岡裕明
〃　（兼）	西関隆夫
〃　（併）	益一哉
助教授（兼）	周暁
助　手	島津武二
〃	渡邉功

■光電変換デバイス工学研究分野

教　授	潮田資勝
〃　（兼）	海老澤丕道
助教授	上原洋一
講　師（兼）	阿部光衛
〃　（〃）	林正彦
助　手	坂本謙二
〃	鶴岡徹
学振特別研究員(DC)	大泉善嗣

■電子量子デバイス工学研究分野

教　授	庭野道夫
〃　（兼）	佐藤徳芳
助　手	鎌倉望
〃	木村康男

■複合機能材料研究分野（客員）

教　授（併）	酒井徹志

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

教　授（兼）	沢田康次
〃　（〃）	澤谷邦男
〃　（〃）	安達文幸
助教授（兼）	陳強

■極限能動デバイス研究分野

教　授	横尾邦義
〃　（兼）	内田龍男
〃　（〃）	畠山力三
助教授	三村秀典
〃　（兼）	大沼俊朗
〃　（〃）	宮下哲哉
助　手	佐藤信之
〃	嶋脇秀隆
COE外国人研究員	元光
技　官	寒河江克巳
事務補佐員	多賀谷宏子

構成員

■テラヘルツ工学研究分野

教　授	水野皓司
教　授（兼）	犬竹正明
助教授	裵鐘石
〃	荏戸立夫
助　手	濱野哲子
技　官	我妻壽彦
中核的研究機関研究員	李載廣
事務補佐員	猪股久美子

■応用量子光学研究分野

教　授	伊藤弘昌
〃　（兼）	星宮望
助教授	谷内哲夫
〃　（兼）	二見亮弘
講　師（〃）	渡邉高志
助　手	中村孝一郎
〃	四方潤一
技　官	今野勇治
〃	田久長一
研究支援推進員	庄子鉄雄
技術補佐員	齋藤美紀子
事務補佐員	津田亜紀子

■光集積工学研究分野

教　授（兼）	伊藤弘昌
〃　（〃）	宮城光信
助教授（兼）	馬場一隆
〃　（〃）	松浦祐司
助　手	佐藤尚
〃	大寺康夫
研究支援推進員	相澤芳三
事務補佐員	星千春

■フォノンデバイス工学研究分野

教　授	呉培亨
〃　（兼）	坪内和夫
〃　（〃）	中村僖良
助教授	長康雄
〃　（兼）	山田顕
講　師（〃）	田中治雄
助　手	小田川裕之
技　官	我妻康夫

■電子音響集積工学研究分野

教　授（兼）	沢田康次
〃　（〃）	櫛引淳一
中核的研究機関研究員	荒川元孝

■先端ワイヤレス通信技術研究分野

教　授	坪内和夫
助　手	中瀬博之
〃	横山道央
事務補佐員	氏家紘子

■通信環境工学研究分野

教　授	杉浦行
助教授	松本泰

■量子波動工学研究分野（客員）

客員教授	中沢正隆

附属研究施設

超高密度・高速知能システム実験施設

施設長（併）	
教　授	潮田資勝
事務補佐員	木村典江
研究支援推進員	鎌田幸恵

■共通部

助　手	目黒敏靖

■原子制御プロセス部

教　授	室田淳一
〃　（兼）	亀山充隆
助教授	松浦孝
〃　（兼）	羽生貴弘
助　手	櫻庭政夫
学振特別研究員(DC)	島宗洋介
学振特別研究員(DC)	山本裕司
研究支援推進員	高橋裕美
事務補佐員	山岸明

■超高速電子デバイス部

教　授	大野英男
〃　（兼）	大見忠弘
助教授（〃）	小谷光司
〃　（〃）	須川成利
助　手	松倉文礼
〃	大野裕三
学振特別研究員(DC)	岸本修也
〃	川嶋貴之
中核的研究機関研究員	篁耕司
リサーチアソシエイト	大谷啓太

〃	菅原　聡
〃	ザオ　ジェンホア
事務補佐員	佐々木　延子

■知能集積システム部

教授	中島　康治
〃（兼）	川又　政征
助手	佐藤　茂雄
〃	小野美　武
事務補佐員	今野　真裕美

附属施設

■評価・分析センター

センター長(兼) 教授	庭野　道夫
技官（兼）	赤間　洋助
研究支援推進員	千葉　綾子

■附属工場

工場長（兼） 教授	横尾　邦義
技官	高橋　吉昭
技官	渡邉　博志
〃	米澤　隆二
〃	菅原　宗朋
〃	庄子　康一
〃	末永　保

事　務　部

事務部長	霜山　忠男
総務課長	安斎　純一
庶務掛長(主査)	津村　宜邦
事務官	鈴木　敦
事務補佐員	五十嵐　綾子
〃	寺島　弘美
〃	生亀　富弥子
研究協力掛長	加茂　敬一
主任	濱田　宣子
図書掛長	南舘　義孝
事務官	山本　衆子

研究支援推進員	阿部　敦子
経理課長	本郷　幸雄
経理掛長	大槻　宏
主任	佐藤　利信
事務官	長岡　幸司
事務補佐員	小島　紫津子
〃	沓澤　倫子
用度掛長	佐藤　貞志
主任	庄子　浩
技官	阿部　良勝
事務官	大場　泰行
事務補佐員	川北　久美子
〃	角田　郁子
〃	白鳥　千亜紀