

cue

京都大学電気関係教室技術情報誌

NO.18 OCTOBER. 2007

[第18号]

.....
卷頭言

佐々木昭夫

.....
大学の研究・動向

自律分散マルチホップネットワークの
研究とその展開

.....
産業界の技術動向

ブロードバンドワイヤレス
通信業界で何が起きているのか？

研究室紹介

平成18年度修士論文テーマ紹介

高校生のページ

学生の声

教室通信

助賛会員の声

編集後記

cue：きっかけ、合図、手掛かり、という意味
の他、研究の「究」（きわめる）を意味す
る。さらに KUEE (Kyoto University
Electrical Engineering) に通じる。

cueは京都大学電気教室百周年記念事業の一環として京都大学電気教室百周年記念事業基金と賛助会員やその他の企業の協力により発行されています。

巻頭言

研究のあとさき

昭和30年卒 名誉教授 佐々木 昭夫



研究のあとさきについて、逸話を交えながら記す。新しい課題の研究を始めるに「さき」立って、その分野が何処まで解明されているのか、これまでに発表されている文献調査により知っておく必要がある。企業においては、他社の製品性能、価格等を資料により調査して、新しい製品開発に乗り出すのに相当する。所謂、市場調査である。こうした調査を怠れば、重複したことを行い、何の成果も得られない。文献、資料の調査を十分行う必要がある。昭和30年頃は、文献を写真に撮り、現像・焼付けて、コピーを作ったものである。結構、時間を費やすため、自分用の文献コピーが出来た頃には、文献を読んだことのように錯覚したものである。また、その頃には自分の書いた論文に対して、外国から別刷り請求が何枚来たかを競ったものであり、共産圏からの請求が多かった。その頃、共産圏の研究所を訪れたとき、文献を手書きで写しているのを見て、びっくりしたものである。

点接触トランジスタの発明と超電導理論の導出で、ノーベル物理学賞を2回受けているJohn Bardeenは、「先ず実験結果に目を向けよ。文献を注意深く読み、指導的実験グループと個人的な交流を計れ。」と云っている。しかし他方、文献ばかり読んでいては何も新しいことは生まれず、とも言われている。これはどちらも正しいと思う。文献をどう読むかによって異なってくる。特に若い研究者にとって、学術雑誌に載せられている論文は総て正しく、完成したものと思っている節がある。論文には確かに新しい結果が報告されているけれど、間違いがあるかもしれないし、解明されるべく部分が多く残されている。何が新しく、何が未解決かを読み取る必要がある。それを読み取らなければ、何も新しい事を生む動機が得られない。

カリフォルニア大学バークレイ校で、学位(Ph.D.)を取得するのに、研究を始めるに際して、学位論文完成までに、少なくとも関連文献100編程、読めと言われた。学位取得までには、各種のテストを経なければならず、その一つに、論文完成提出の前のQualifying Examinationと云うのが有った。この折に他の学術論文3編を読み、その論文の未解決部分を見出し、それに対する解決策を提案発表し、試問されるテストである。これにより、研究者としての能力が験されたものである。

さて、文献調査を終え、研究結果が得られたものとする。現在第一線に活躍している若い研究者に、研究成果を得た「あと」の事について記す。研究には、基礎研究、応用研究、特定課題研究、プロジェクト研究等いろいろな形態がある。そのいずれにおいても、何故だろう、どうしてなのか、どうすれば問題が解決するだろうか、と言う好奇心が大きな動機となっている。好奇心を満たす結果が得られた場合、その処置の仕方が大事だと思う。得られた成果を、その研究の背景、何をどういう手段で得られたかを論理的に記述して、論文に纏め上げるのに、もうひと苦勞が要る。往々にして、優秀な研究者には、好奇心を満たしてくれる研究には励むが、論文に纏める段になると、なかなか纏めようとしないう傾向が見られる。仲間たちと結果を語って楽しんでいだけでは、井戸端での会話と同じであり、また他で発表されたとき、慌てて論文に纏め、実は自分たちは、既に結果を得ていたと言っても後塵を拝するだけである。

たとえ論文に纏め上げていても、他の人に結果を利用、さらに発展される保証は無い。特に、情報技術が発展していない昔では、地球の何処かでの研究成果がなかなか知られない。さらに、欧米系の言語と異なる漢字言語による公表では、世界の多くの研究者の目に留まり、利用される機会が、非常に少なくなる。研究成果が生かされることなく、次への段階への貢献が閉ざされることになる。

トランジスタの発明に係わり、ノーベル賞を受賞した3名の研究者、J. Bardeen, W. H. Brattain, W. B. Shockleyにまつわる話を記しておく。電流を流していたゲルマニウムの棒を折り、折った面同士を押し付けて、電流を流そうとしても、殆ど流れなかった。J. Bardeenは、折られた表面に何かが生じたことによると提唱した。W. H. Brattainが、その表面に針を2本立てて、測定していた所、電流増幅現象を観測した。1947年のことである。これが、点接触トランジスタの発明となった。因みに、W. B. Shockleyは接合トランジスタの提唱と、その増幅原理を明らかにしている。

ところが、表面に何かができることは、既に1932年にI. Tammが表面に新しいエネルギー準位が生じる可能性を指摘している。J. Bardeenの提唱は、最初ではなかった。I. Tammの研究成果が生かされなかったとも云える。現在のように、論文のデータベースが整い、計算機により検索というものが無かった故、致し方の無い出来事である。しかし、J. Bardeenの表面に何かが存在すると言う提唱が、トランジスタ発明の契機となったことは事実である。研究成果の貢献は、こうした時代では、得られた成果の時期或いは、タイミングと言ったことが貢献度を左右するものである。早すぎても、遅すぎても駄目であった。

得ている結果に対して、一度、物理的洞察を十分加えておく必要がある。H. A. LorentzとA. Einsteinは、同等の式を導いていた。前者はエーテルの存在の基に光の速度を説明しようとしたローレンツ変換の式であり、後者はエーテルに関係なく、光速は一定であるとする相対論の式で、物理学に新しい考えをもたらした。これにより、A. Einsteinは雑誌TIMEに、「Person of the Century」に選ばれている。

さて、関連論文の検索が計算機により可能な現在では、I. Tammのような事柄が無くなるものと思う。しかし、新たな問題が生じていることに気が付かなければならない。例えば、データベース「Web of Science」を使って、特定の研究課題にどのような論文が、既に発表されているかを調べるとき、キーワード(Keyword)を入力して検索を行う。例えば、高周波MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)に対して、HF MEMSとRF MEMSで出てくる論文が全く異なる。日本語と英語の言葉の用例の違いに由来することに注意をしなければならない。さらに量子井戸のキーワードとして、Quantum Well とQuantum Wellsで検索されて出て来る論文が異なる。さらにプロジェクト研究において、特別な注意が必要である。例えば、プロジェクト名に「Mesoscopic」と云う用語が使われているとき、Mesoscopic と同時に、Quantum WellとかQuantum Dotというキーワードをその論文に与えておかないと、他の研究者がQuantum で検索すると、論文の存在すら認識されなくなる。論文の存在を知って貰い、新しい展開がなされてこそ、研究成果が生かされ、研究成果の貢献が生じることになる。

現在、計算機による論文検索では、特にどのようなキーワードを論文に付帯するかが大変重要になってくる。どうすれば良いか、一つの方法として、関連論文で、どのようなキーワードが付帯されているかを良く調べておくことだと思う。さらに自らの新しい成果を表すキーワードを付帯しておくことも忘れずに。

自律分散無線マルチホップネットワークの研究とその展開

情報学研究科 通信情報システム専攻 通信システム工学講座 デジタル通信分野
教授 吉 田 進
准教授 村 田 英 一
助教 山 本 高 至

1. はじめに

最近の情報通信ネットワークのブロードバンド化には目を見張るものがある。とりわけ、空間を縦横無尽に駆け巡る電波によるワイヤレス技術の進展により、ネット接続が日常生活の隅々にまで浸透しつつある。“Ubiquitous”、“Embedded”などと言われる言葉には近距離ワイヤレス通信技術が暗黙のうちに仮定されている。また、WWRF (wireless world research forum、<http://www.wireless-world-research.org/> 参照) のビジョン “7 trillion wireless devices serving 7 billion people by 2017” (2017年までに7兆個の無線デバイスが70億人の生活を支援) から明らかなように、身の回りのあらゆる“もの”に無線通信機能が付与され、さまざまなマイクロな無線通信機能がついたセンサーや砂粒大の無線ICチップが生活空間に埋め込まれようとしており、日常生活の隅々にまでインターネットの恩恵が広まりつつある。このように多数の無線チップを相互に接続しようとする、集中制御方式では限界があり、自律分散制御型のネットワーク、すなわちいわゆるアドホック (ad hoc) なネットワーク (固定インフラを持たずに、その時々で臨機応変にネットを組む) に頼らざるを得ない。アドホック・ネットワークでは通常情報はマルチホップ接続を用いて伝送される。そして、今後無線LAN基地局間を無線で接続しカバーエリアを拡大するIEEE802.11sや固定インフラに必ずしも依存しない車車間通信に見られるように次世代無線通信ネットワークの重要な一翼を担うことが期待されている。

そこで、本稿では、自律分散ワイヤレス・アドホック・ネットワークを対象とし、当研究室で進めてきたアドホック・ネットワークの基本的な特性や、マルチホップ伝送のもつ本質的な特性の解明に向けた研究成果について紹介する。

まず第2章でマルチホップ伝送の(面的)周波数利用効率を解析し、真にマルチホップ伝送が有利な条件を明らかにする。第3章では、複数の送受信ペアが同時に通信ルートの選択を行おうとする場合に、ルート間の相互干渉により、より良いルートを求めて頻繁にルート変更が起こりえる現象をゲーム理論により解析し、達成可能なスループットを明らかにした。次に、その一つの展開例として、マルチホップ伝送の中継ノード周辺の通信端末が協調することにより、送信ダイバーシチ効果を実現し、無線伝送の高信頼化を狙った協力中継に関する研究について第4章で紹介する。この研究は、昨年10月に当研究室に加わった村田准教授が東工大ですすめていた研究を継続発展させつつあるものである。

2. マルチホップ無線ネットワークの周波数利用効率

無線中継通信であるマルチホップ伝送を用いた無線通信システムの容量を評価した。無線中継通信としては、既に衛星中継や携帯電話システムの中継増幅器(ブースタ)がある。衛星中継と比べると、マルチホップ伝送は複数回の中継が前提とされ、経路選択の重要性が増す。また、ブースタは受信し

た信号全てを増幅中継するため基本的に電波干渉を増加させるのに対し、マルチホップ伝送は所望信号のみを転送するため効率の向上が期待される。

2.1 マルチホップ伝送の周波数利用効率

マルチホップ伝送の最大の目的はサービスエリアの拡大である。直接通信できない無線局間において、中継局を用いたマルチホップ伝送を行えばその間の通信が可能になることは、直感的にも分かりやすい。しかしながら、マルチホップ伝送で実現可能なサービス品質は、直接通信の場合と必ずしも等しいとは言えない。例えば、直接通信であれば送受信局間で常に伝送が可能であるのに対し、マルチホップ伝送時は中継局の受信と送信タイミングを分ける必要があり、単純にはスループットは半分になってしまう。逆に直接通信であってもレート制御（例えば伝送速度を下げる）を行えば、遠方でも通信が行える可能性がある。すなわち、マルチホップ伝送とレート制御はスループットを下げることで通信距離を拡大するという点で同じ技術と言えよう。従って同じ通信品質を考えた場合に、マルチホップ伝送とレート制御のどちらがより広いサービスエリアを実現できるかという問題の答えは、直感的に分かるほど明白ではない。

情報理論におけるシャノン容量を用いてこの問題を簡易に考えてみる。シャノン容量とは、通信チャネルの帯域幅 B とSNR（信号対雑音電力比）によって決まる伝送容量の最大値であり、 $B \log_2(1+SNR)$ によって与えられる。次に、2局間を n 等分する位置にある中継局を用いる n ホップ伝送を考える。送信タイミングを n 分割する必要があるため、中継局あたりの等価的な帯域幅は B/n となるが、自由空間では距離の2乗に比例して増大する伝搬損を考えれば、それぞれの送受信局間のSNRはエンドツーエンドのSNRより n^2 だけ大きい。この場合、容量は $(B/n) \log_2(1+n^2SNR)$ となる。図1のように直接通信とマルチホップ伝送の容量を比較すると、SNRが高い場合は送信タイミングを分けることによるロスが大きく、直接通信の方が高い容量を得られるが、SNRが低い場合は送受信局間の距離が短くなることによるゲインが大きく、マルチホップ伝送を用いる必要性が高まる。

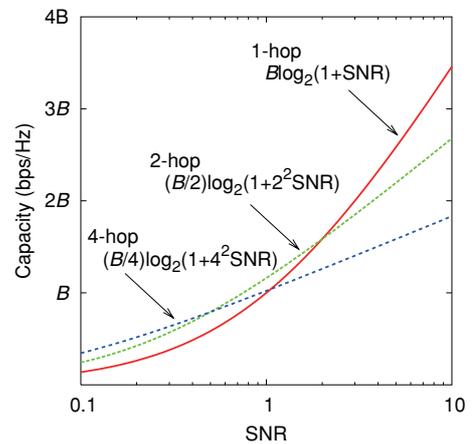


図1：マルチホップ伝送の周波数利用効率

2.2 干渉存在下のマルチホップ無線ネットワークの面的周波数利用効率

携帯電話システムのように無線通信の面展開にあたっては、周波数帯域を空間的に離れた位置で再利用することで周波数帯域の有効利用を図る。携帯電話システムがセルラシステムと呼ばれる所以である。一般により高速の無線通信を行うためには、受信SNRを上げる必要がある。再利用する距離を離せば干渉の影響が減り、より高効率の伝送方式が使えるようになる一方、面的にカバーするために多くのチャンネルが必要となる。逆に近い距離で周波数帯域を再利用すれば必要なチャンネル数は少なくなるものの、各々の通信については干渉を強く受けるため、誤り率を一定以下に抑えるためには低効率の伝送方式を用いる必要がある。そこで、従来知られているこのトレードオフの関係が、マルチホップ伝送の導入によってどのように変化するかを調べた[1]。

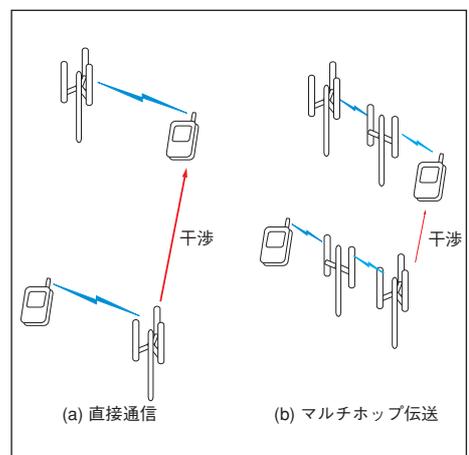


図2：面的周波数利用効率の向上

直感的な理解としては図2のように、2ホップ伝送を行った場合には通信距離が直接通信時の半分になるため、再利用距離を半分にして密に同時送信を行っても各通信の受信品質は下がらない。送信タイミングを2分割する必要があるため、エンドツーエンドではスループットは半分になるが、再利用距離を半分にするため同時通信密度はおよそ $2^2=4$ 倍となる。スループットと密度の積で与えられる面的周波数利用効率という基準で言えば $1/2 \times 4 = 2$ 倍になっており、マルチホップ伝送の導入でシステム容量を向上しうることが分かる。

3. ゲーム理論による分散適応経路制御の解析

無線通信システムの規模によっては、携帯電話システムのような集中制御ではなく、分散制御によって実現した方が効率がよい。例えば、今日普及している無線LANでのアクセス制御としては、分散制御であるCSMA（搬送波検知多元接続）が用いられている。今後無線デバイスの密度がより一層増加することが予想され、各無線局が自律分散的に周波数資源を有効に利用できる制御方式が望まれる。

各無線局が高いスループットを得られるよう、通信経路を分散制御によって適応的に決定する状況を評価した。この場合、最適な通信経路や伝送速度は他の無線局の通信方法に左右される。これは制御決定主体が複数存在することが原因であり、複数の意志決定主体間の競争を扱うゲーム理論を導入することで解析を行った。ゲーム理論では各プレイヤーが自分の選択できる戦略のうち、自らの利得が最大になる戦略を選ぶ状況の解を与える。この場合、各プレイヤーが自己の利得の最大化を追求する限り、必ずしも全体の利得の最大値とは一致しない局所最適点（いわゆるナッシュ均衡点）に落ち着く可能性がある。具体的には無線局をプレイヤー、選択しうる経路を戦略、各経路で得られるスループットを利得とした場合について、このナッシュ均衡点を用いた評価を試みた。

この評価で明らかとなったことは二つある。一つ目は、図3のように分散適応経路制御が収束しない可能性である。どのような条件でも少なくとも1局が別の経路に変更した方が高いスループットを得られる状況があり、経路変更が繰り返し起こる。このような経路変更の繰り返しは制御オーバーヘッドの増大に繋がりうる。二つ目は、分散適応経路制御によって得られるスループットは、送信電力が低ければ集中制御の場合に近いスループットを得られることである。送信電力が低ければ互いに与える影響が小さく、自らのスループットのみの上昇により、全体最適に近づく[2]。

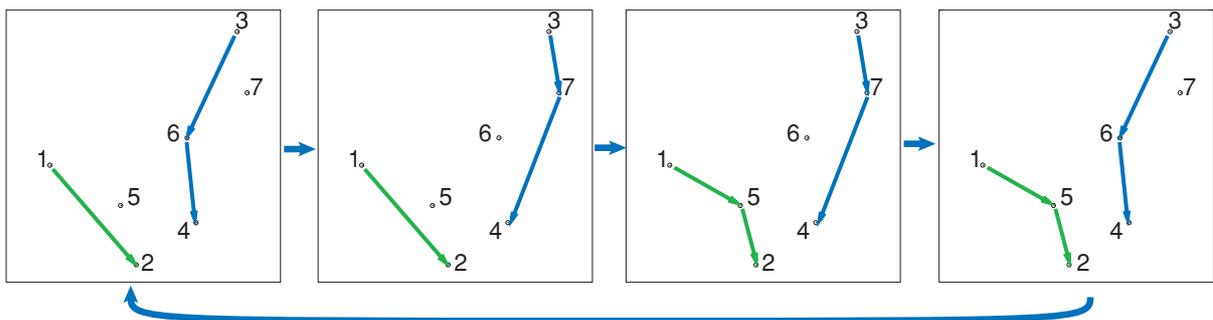


図3：適応経路制御が繰り返し起こる例

4. 時空符号化協力マルチホップ伝送方式の研究

4.1 電波を広げさせない

マルチホップ伝送の利点を簡単な例で示す。2点間の通信について、直接に電波を飛ばす直接通信と、その通信区間を等間隔に10中継（ホップ）させるマルチホップ伝送を比較する。障害物等のない自由空間においては、受信信号電力は距離の2乗に反比例する。等間隔の10ホップ通信では各ホップ

の距離が10分の1になっているため、各ホップにおいて必要な送信電力は100分の1で済み、10ホップ分の合計送信電力は直接通信の10分の1である。このようにマルチホップ伝送は総送信電力の削減効果があるが、これは見方を変えると「電波を広がらせない」効果となっている。

送信点から広がる電波の強さを図4に示す。図4の左は直接通信の場合であり、中央の黒い部分に発信局、矢印の先端に目的局がある。図4の右は10ホップ通信の場合であり、10個の小さな黒い点の部分に発信局と中継局がある。直接通信の場合は電波は同心円状に広がっている。一方10ホップ伝送では、電波の強い部分が目的局の方向、つまり通信方向に延びている。このことから、マルチホップ伝送では電波の空間的な広がりが抑えられることが分かる。似た効果を持つものとして従来から指向性アンテナがあるが、扇形に電波が広がってしまっていた。一方、マルチホップ伝送は通信点間を結ぶ線分付近に電波を集中させる効果がある。

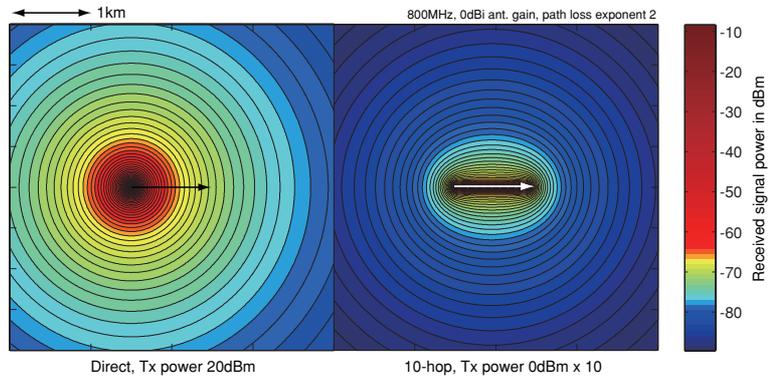


図4：直接通信とマルチホップ伝送での電波の広がり方の違い

4.2 特性劣化を克服する

しかしながら、マルチホップ伝送は中継を繰り返す結果としてEnd-to-Endの伝送特性が劣化してしまう。この劣化を克服するために、各ホップにおいて複数の中継局を利用する協力中継が考えられている。ここでは現在試作を進めている方式について説明する。ある2台の無線局A,Bが無線局Cに向けて協力して送信する手法として、AとBが同時に同じ周波数で同じ情報を送信する送信ダイバーシチを利用する。無線通信路は不安定であるため、このように2系統から信号が得られると大幅に安定した通信が可能となる。この際に、全く同じ波形をAとBから送信すると受信側において打ち消しあってしまう場合が生じ、伝送特性の改善効果は限定的となる。このため、空間的に異なった場所からの同時送信において、それぞれの信号に異なる符号化を施す。この技術は時空符号化と呼ばれている。これによって、2信号の打ち消しあいが起こらなくなりダイバーシチ効果と呼ばれる特性改善効果が得られる。

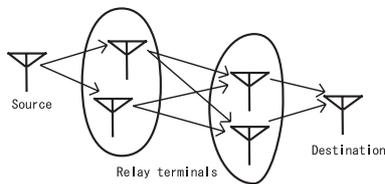


図5：協力マルチホップ伝送方式（協力台数N=2, 3ホップ）

さらに、図5に示すような協力伝送を繰り返す協力マルチホップ伝送では、ホップを繰り返してもEnd-to-Endの伝送特性がほとんど劣化しない性質が得られる[3,4]。伝送特性の一例を図6に示す。全ての受信機のSN比を等しく設定しており、図の横軸がそのSN比である。これは例えば、各ホップを等距離とし、かつ各ホップ毎の協力送信局合計の送信電力をどのホップでも等しくした場合に相当する。

この条件に当てはめて解釈すると、2ホップよりも4ホップの方が総送信電力が2倍であり、End-to-Endの距離も2倍となっている。

図6を見ると、協力送信台数Nが2の場合でも4の場合で

さらに、図5に示すような協力伝送を繰り返す協力マルチホップ伝送では、ホップを繰り返してもEnd-to-Endの伝送特性がほとんど劣化しない性質が得られる[3,4]。伝送特性の一例を図6に示す。全ての受信機のSN比を等しく設定しており、図の横軸がそのSN比である。これは例えば、各ホップを等距離とし、かつ各ホップ毎の協力送信局合計の送信電力をどのホップでも等しくした場合に相当する。この条件に当てはめて解釈すると、2ホップよりも4ホップの方が総送信電力が2倍であり、End-to-Endの距離も2倍となっている。

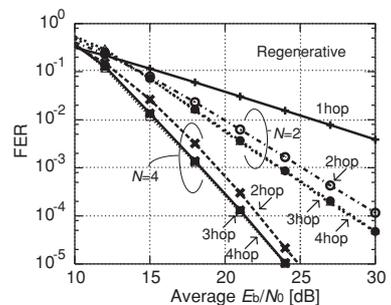


図6：協力マルチホップ伝送のEnd-to-Endフレームエラーレート（FER）特性（横軸はSN比に相当する値）

も、2ホップよりも3ホップや4ホップの方が優れたフレームエラーレート(FER)特性を示している。この不思議な特性の原因は、各ホップの伝送特性が同一ではないことにある。途中の中継では送信2局対受信2局の伝送による4次のダイバーシチ効果が得られ伝送特性が良好であるが、最初と最後のホップの伝送特性は2次のダイバーシチ効果しか得られない。このため、End-to-Endの伝送特性は最初と最後のホップによって支配され、途中のホップにおける特性劣化はほぼ無視できる。このため、ホップ数を増しても伝送特性がほとんど劣化しない性質が得られる。この結果は、ホップ数に比例した総送信電力によって伝送特性を保ちつつ伝送距離を伸ばすことができることを意味しており、従来は基本的に距離の2乗以上の送信電力が必要であった無線伝送が、1乗(比例)で可能であることを示している。

研究室ではこのような協力マルチホップ伝送の基本システムの試作を行っており、屋外でのフィールドトライアルに向けた作業を進めている。また、模擬伝搬路での特性確認や中継方式の改善、伝送特性の明確化等の点から研究を進めている。図7に試作中の実験用無線機を示す。



図7：試作中の協力マルチホップ伝送実験装置(写真は2台のみ)

5. おわりに

あらかじめ計画的・組織的に設置された通信インフラに加えて、無線により臨機応変に通信インフラを構築可能な無線アドホック(マルチホップ)ネットワークが今後社会のさまざまなところで重要な役割を担うことが期待されている。特に、無線端末が遍在するユビキタスネットワークの時代を見据え、近くにいる無線端末同士が連携し、場合によっては協力し合う(協力)マルチホップ伝送の特性解明に向けた研究を進めており、その成果の一端を紹介した。今後は、(協力)マルチホップ伝送のフィールドトライアルを通じてその更なる可能性を探ると共に、アクセス系に依存しない真に固定網と移動網が融合したネットワークを想定し、高信頼度かつセキュアなワイヤレス情報伝送に向けて研究を継続していく予定である。

(参考文献)

- [1] Koji Yamamoto and Susumu Yoshida, "Tradeoff between area spectral efficiency and end-to-end throughput in rate-adaptive multihop radio networks," IEICE Trans. Commun., vol.E88-B, no.9, pp.3532 - 3540, Sept. 2005.
- [2] Koji Yamamoto and Susumu Yoshida, "Game-theoretic approach to capacity and stability evaluations of decentralized adaptive route selections in wireless ad hoc networks," IEICE Trans. Commun., vol.E88-B, no.3, pp.1009 - 1016, March 2005.
- [3] 宮野 剛, 村田英一, 荒木純道, "時空符号化協力マルチホップ通信における再送同期制御方式," 電子情報通信学会論文誌 B, vol.J89-B, no.6, pp.920 - 925, June 2006.
- [4] 風澤柳太, 村田英一, 荒木純道, "送信ダイバーシチを用いた協力マルチホップ無線ネットワークの伝送特性解析," 2006年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, B-5-121, p. 481, Sep. 2006.

産業界の技術動向

ブロードバンドワイヤレス：通信業界で何が起きているのか？

13年ぶりの携帯無線事業の新規参入のケースから
-ものづくりの視点も併せて

イー・アクセス株式会社
代表取締役社長 安井敏雄

1. はじめに

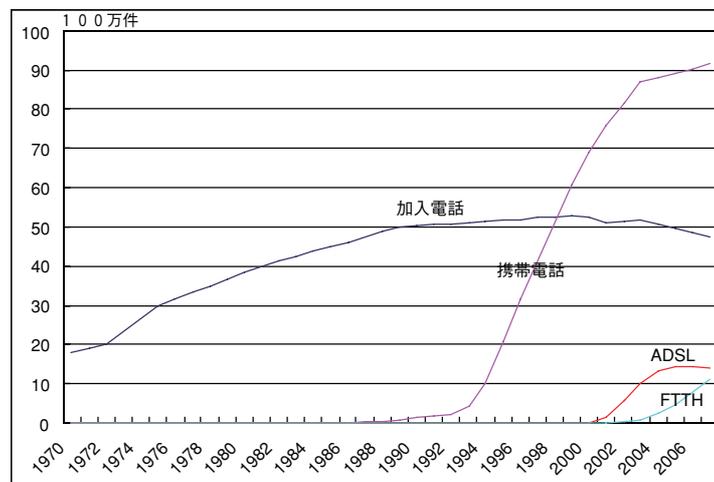
本年3月31日、弊社の関連会社イー・モバイル(株)は、世界的にも先進的だと思われており、その市場規模9兆円と言われている日本の3G携帯市場に参入した。既存の業者（NTTドコモ、KDDI au、ソフトバンク）の3社が既に大きく事業を進めている中での通信ベンチャーの新規参入はいろいろな観点から注目を集めている。

ここではそのモバイル事業の参入を準備してきた経営陣の一員として、日本の通信業界で何が起きているか、特に今後も大きく技術革新とビジネス成長が期待されるブロードバンドワイヤレスの分野をテーマに書いてみたい。

筆者はThinkPadやその基幹部品である液晶ディスプレイ、ハードディスク、光磁気ディスクの開発・製造にかかわり、又、EMS（電子機器受託製造サービス）ビジネスでも日本の携帯電話端末や世界のパソコン・通信メーカー各社の端末や地上局無線設備などの海外工場での生産や台湾のメーカーにも携わってきた。こうしたものづくりの経験からも最近の日本の国際競争力低下についての考察を加えたい。

2. 日本のモバイル市場・環境とその特徴

日本の携帯電話加入者は平成12年固定電話を追い抜き、固定の高速ブロードバンドADSL、光ファイバーFTTHとともに大きな成長を続けている。（図1参照）



（出典：平成19年版情報通信白書より）

図1. 携帯電話加入者が固定電話加入者をすでに追い抜いている

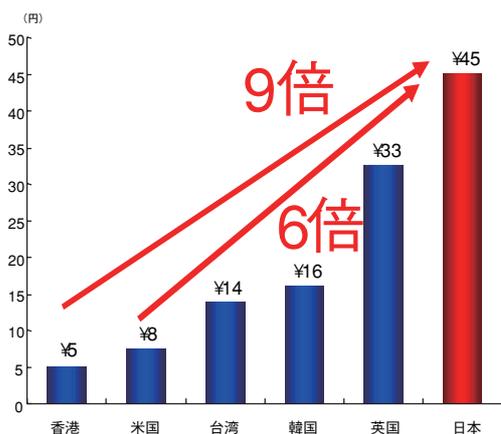


図2. 1分あたり料金の世界との比較
(出所: Merrill Lynch
“Global Wireless Matrix 3Q06”)

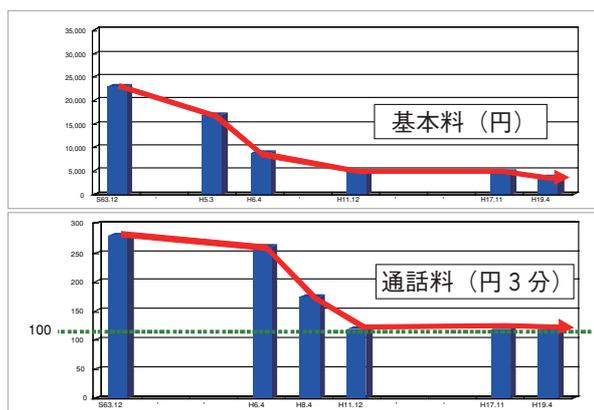
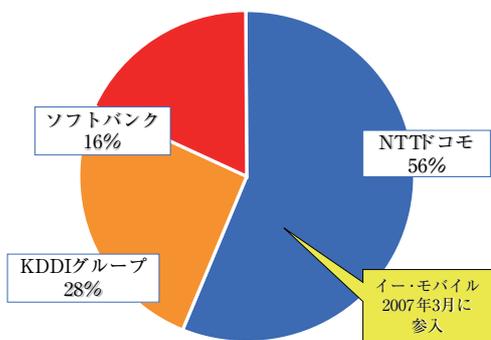


図3. ユーザー料金の推移
(出典: NTTドコモの料金より抜粋)



(出所: TCA (2006年8月末))
図4. 移動体通信市場 (9,350万人加入) 市場規模8.8兆円、3社

一方、その電話料金は諸外国に比べ大変高いものになっているだけでなく (図2参照)、ここ10年近く料金は下がってない (図3参照)。その市場規模は9兆円となっており、現在NTTドコモが50%以上 (56%) のシェアを持ち、au (28%)、ソフトバンク (16%) が続き3社の市場寡占状況である (図4参照)。これを図5にあるように諸外国と比べるといずれも最低4社が参入し、しかも1社が50%以上のシェアを持っているような国はない。

つまり進んでいると言われている日本の第三世代の携帯電話も日本にいと気づかないが3社の寡占状況でユーザーはその高価格に甘んじているとみることが出来る。ベンチャー企業の弊社はこの環境を異常と捉え、新規参入の機会でもあるとして挑戦し

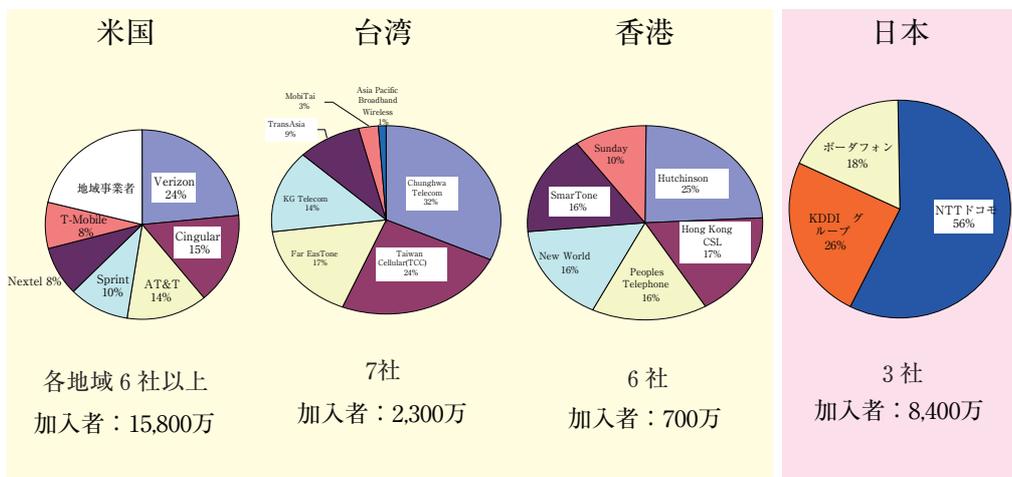


図5. 各国の通信事業者の数

ている動機付けにもなっている。

最近アメリカの通信行政についてサンディエゴ大学Peter Cowhey教授（イー・モバイル社外取締役）による講演（弊社主催WiMAXセミナー、6月28日@国際文化会館）を聞く機会があったが、それによると米国の免許行政は：

- ① 一社に与える周波数巾域は最大35%にする。
- ② 参入している業者は5社を目標に。
- ③ ベンチャー含む小さな事業者も入れる。

など考え方の紹介があったが日本の行政にもいろいろ参考になると思う。

〔ADSL 競争原理が働いた実例〕

このように通信事業者の競争促進の環境整備の為に国の方針や施策、その継続した実行も大変重要であるが、ADSLの実例を例にとって示したい。

ADSLサービスは2000年に入ってブロードバンド・インターネットのビジネス・ブレイクスルーを果たした例である。ISDNの後は光ファイバーFTTHといったNTTの戦略の合間にDSL技術を開花させたのはイー・アクセスはじめソフトバンクなどの新規参入者だと自負している。実際、諸外国と比較しても最高速（50Mbps）、最低価格（月額2,000円程度）という世界一のサービスを提供するにいたり7年間（2000年－2007年）でユーザー数もインターネットの成長と共に約2400万人になった。図7に100kbpsあたりの各国の月額料金を示す。現在の市場規模は8000億円で300社が参入しているが競争原理の働いた結果だと思う（図8参照）。これを先ほどの携帯電話市場の9兆円4社の参入状況と比べると規模は10倍、参入業者は10分の1になっている。

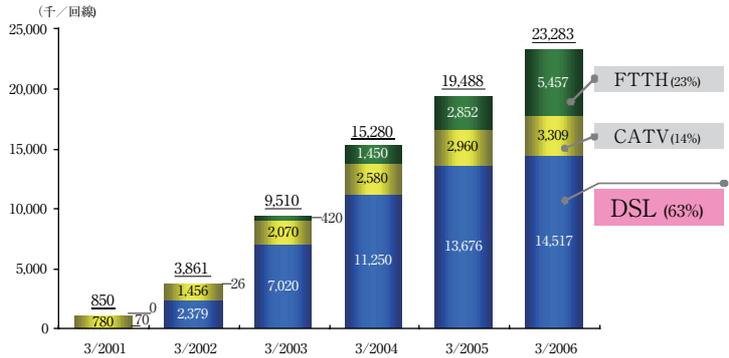


図6. ADSL市場の急成長 (Source: 総務省)

ADSL/ブロードバンドの料金比較

日本のブロードバンドは世界で最も低価格で 100kbpsあたり8円

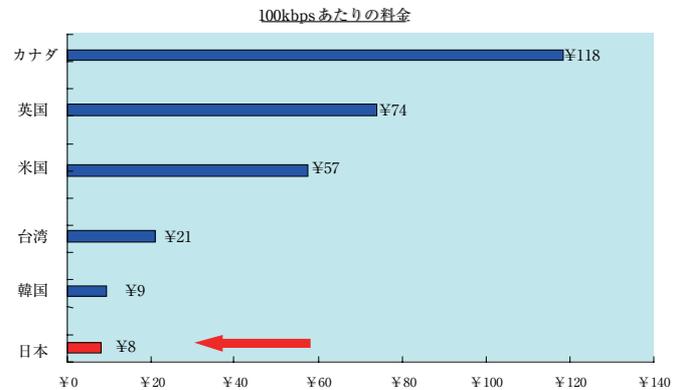


図7. 各国のスピードあたりの料金 (出典: ITU)

移動体通信市場の規模は固定ブロードバンド市場の約10倍

固定ブロードバンド市場 (約2400万加入)

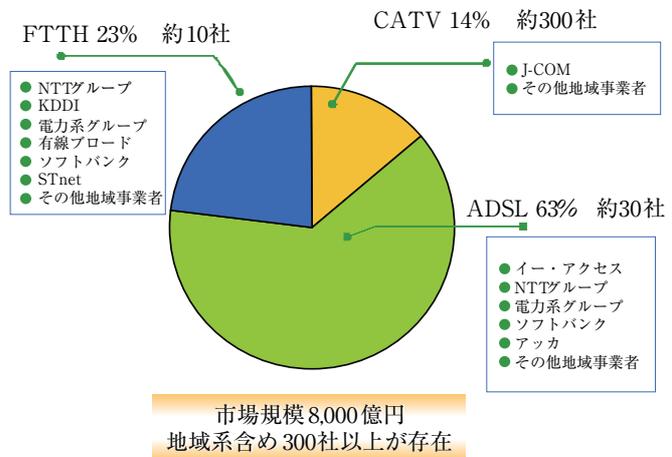


図8. 固定ブロードバンドの市場性 (出所: 総務省, 2006年6月末)

3. 第3世代携帯電話の特徴

日本の第3世代の携帯電話は世界的にもそのアプリケーションなど進んでいると言われている。そ

3G アプリケーション	・消費者にフォーカスしており、世界をリードして普及している
端末	・技術的にも進歩しており、使いやすく高品質の端末
携帯端末ベンダー	・通信事業者と端末ベンダーが密接な関係のモデル：脱却可？ 例) 開発コストの負担/ SIMカードの扱い/ 販促費用の負担
ネットワーク	・高い品質及び信頼性を求められる
ソフトウェアシステム	・従来のRYO型からオープンAP型のアーキテクチャーへ
通信事業者のビジネスモデル	・「アクセス」から「コンテンツ」までの垂直統合モデル
世界的競争力	・日本メーカーは世界的競争力が減退し挑戦者の立場にある

図9. 日本の第3世代携帯市場の特徴

の特色を図9に纏めてみた。それらを支えている携帯電話、地上局の無線設備については日本のメーカーは国内では大変大きなシェアを持っているにも係らず国際競争力は大変残念な結果になっている。これらの状況について書いてみたい。

〔携帯電話端末〕

図10に見られるように日本のメーカーすべて合わせても世界的シェアは9%しか満たない。かつて23%もあったことと思うと大変な競争力の低下である。ノキア、サムソンなどは自国の市場規模の小ささから当初より世界市場

を目指してきた。モトローラも超薄型のRazorの成功で大きく世界的シェアを戻した。Ericssonも低調になった時、ソニーと合弁を組みSony-Ericssonとして再出発、その成果も目覚ましいようである。

もう一つの大きなトピックはアップル社のiPhoneである。筆者も早選手に入れていた。その感性の冴えた素晴らしい意匠など流石Steve Jobsと思わされるが、残念ながら筆者が楽しみにしているマルチ・スレッド・マルチ・タスキングのソフトウェアによる数々のユーザビリティは執筆中の日本では評価出来ない。次のUSへの旅行時の“楽しみ”である。

〔iPhoneとEMS－電子機器受託製造サービスによるものづくり〕

大きく会社再生を果たしたMotorolaのRazorもiPhoneも、日本の“ものづくり”と全く違う作り

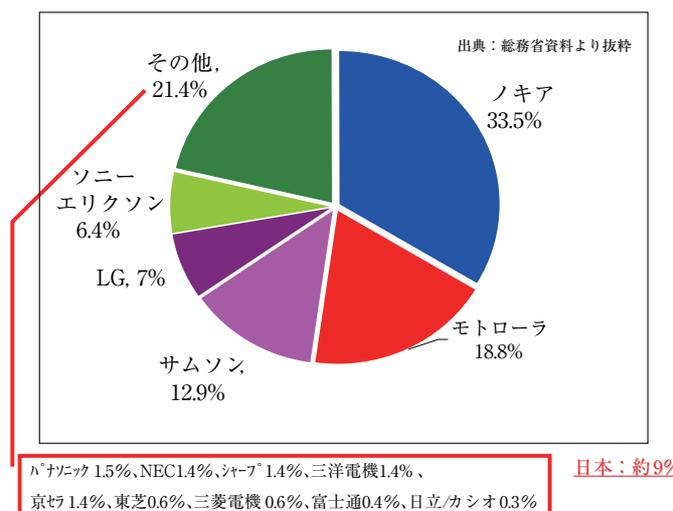


図10. 携帯電話端末（全体）のシェア：2005年

方をしていることを述べておきたい。ともに“商品企画・詳細設計”はMotorola, Apple自身の部門で行うが、それらのプロトタイプを試作→少量生産→（使用する部品調達含め）工場での大量生産→そしてアップルやモトローラが指定する納入先まで出荷するのは中国に工場を持つ台湾企業Foxconn（鴻海精密工業）となっている。そしてこれら商品の販売・マーケティングは再びアップルやモトローラが行うのである。

つまりiPhoneやRazorはブランド商品の商品企画・詳細設計、及び販売に経営リソースを集中させ生産をアウトソースするEMS（電子機器受託製造サービス）のモデルになっている。これはiPhoneやRazorなどを製造している台湾企業FoxconnのみならずUSのFlextronics（EMS業界のパイオニアと言われるソレクトロン社を本年5月に買収）、Celestica, Jabil など1990年代～2000年に誕生した業界である。これらのメーカーは巨大な生産工場を中国に持つだけでなく、80から100といった桁違いに大きな工場を世界中に持ち、サプライチェーンの最適化を目指して“ものづくり”の専門工場として業界を確立した。又、その生産量たるや、たとえばFlextronicsは1工場で世界の携帯電話の1/30を出荷している。昨今日本の通信キャリアが“垂直統合モデル”と言われているが、“水平分業”と“垂直統合”という言葉はもともとITメーカーの“ものづくり”に対して1990年はじめから使われた言葉である。

コンピュータの開発の歴史を例に取ってみよう。システムのコンセプト・アーキテクチャ作りから始め、ハードウェアシステム設計・製造、LSIチップ開発、O/Sはじめソフトウェアをテクノロジー開発からシステム設計→生産→出荷→販売までをしていたかつてのIBMの大型コンピュータは完全な垂直統合モデルであった。だが、1970年代に出現したPCはインテル（マイクロプロセッサ）、マイクロソフト（O/S）、ハードディスク（シーゲート）、液晶（サムスン、シャープなど）などの各々の専門メーカーが大きく水平分業モデルで育ち技術革新とそれに基づくビジネス成長を担ってきたのである。

残念ながら日本のメーカーもこのEMSが騒がれた時以来、何度か使いこなそうと挑戦したが筆者の知る限り日本のメーカーではソニーのPS2, PS3がFoxconnを使いこなしているぐらいではないだろうか？（任天堂のWiiも最近Foxconnを使っていると聞いている）。

このように分業することで、例えばApple社はiPhoneなどのように設計に徹して生産面での工場投資をせず、経営資源の有効率化を図りi-Pod, i-Pod nano, i-Pod Videoと次々と新製品の開発と市場投入を早め見事会社を変革させた。

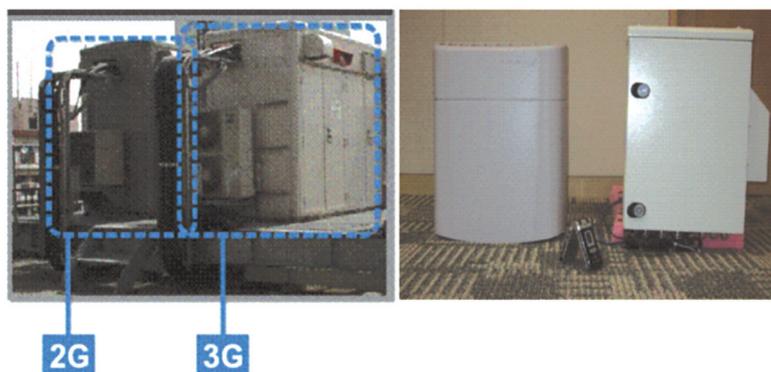
ところでアメリカ、台湾、中国などのEMSメーカーを使いこなすというのも諸外国のチームとプロジェクトを組んで実行するわけだが、それら諸外国の異文化、異業種への理解が必須となる。日本のメーカーはややもすると日本の良さを保つ事に重きをおいたり自己流にこだわり、結局日本に閉じこもることになっているのではないかと思う。これらをもう少し敷衍して考えると、結局日本のメーカーは歴史的にも戦後重電機器、自動車、コンピュータ、パソコンなどモノを「どう作るか」（品質改善活動）に重きを置きすぎて「何を作るか」（商品企画）にシフトしていないのではと思わされる。これは国民性であろうか？

〔無線地上局設備〕

先進的だと思われる第三世代の携帯電話端末について日本の国内メーカーの世界的シェアが低下していることは述べた。第三世代の地上局無線設備については、日・米・欧・中国の10メーカーほどのうち精査して残った6社ほどからのイー・モバイル(株)の最終選定に私自身も多くの時間を費やした。各メーカーのR&Dセンターや生産工場の現場訪問を行った。驚いたのは第三世代の設備に際しても、商品の品揃え・使われているテクノロジー、仕様に魅力的なものではなく実際がっかりした。

日本のメーカーは日本の通信キャリアに大きなシェアで導入されているのではあるが、“軽・薄・短・小”を得意として“製品の開発スピード”を誇っていた日本のものづくりの強さがここにはみられなかった。結局、日本の通信キャリア大手だけを顧客とした結果、品質重視して魅力ある商品での競争力を喪失していると思った。

例えば、通信設備機器は“世界的標準化”された“I/O規格”であるので半導体の集積度をあげ



現在のキャリア使用のもの イー・モバイルの使用設備

図11. 地上局無線設備比較 (Source : Company Homepage)

(つまり Sweep して) Compactな基板設計をし続けなければならないという面があるのだが、比較して見ると日本のシステムは巨大である(図11の写真参照)。

イー・モバイル社は結局、EricssonとHuaweiの2社を選択した。Ericssonについては日本でのコアネットワークでの経験を含め世界的に大変な老舗でありサービ

ス・メンテナンス体制も充実している。又Huawei社の商品はハードウェア的にもアーキテクチャもその製品品質も含め大変立派なものと満足している。

ちなみにHuawei Technology (為華技術)社は1988年に設立された中国シンセンを本拠地とする会社である。製品としては通信設備全般にわたるが、特に無線系、伝送系が強い。世界に50箇所以上の支社、8箇所のR&Dセンタが各々に役割を持って研究開発にあたる。3万人以上の従業員をかかえ、半数が技術者であり博士も多い。毎年数千人の若い優秀な技術者を採用し、巨額の研究開発費を使って次々と製品を生み出す積極的な経営は他に例を見ない。CEOのMr. Renによるとグローバルな会社になりたい、そのためには中国古来の楽器を捨てて西洋音楽を学ばないと... の例えで、HP, Microsoft, Intel, IBMと自身で会社訪問し、結局IBMと10年にわたるコンサルタント契約を結んで現在8年目になった。IBMが30年かけて作ってきた“製品開発システム”そのものをHuaweiは導入している。従ってものづくりの“Process”は私自身が経験し使ってきたIBMの方法と全く同一のものであることに驚いた。とにかく中国を世界の生産工場でなくR&Dセンターとして見るが大変重要である。

一方、Ericssonはストックホルムに本拠地をもつ会社で、創業は1876年、電話機メーカーとして誕生した。1990年代に第2世代携帯電話GSMの台頭で業績を伸ばし、同じく北欧のメーカーであるNokia, 米国Qualcommと並びGSMベースの第3世代携帯電話WCDMAの特許を相当数保有している。WCDMA設備の販売実績は世界1位である。

〔知財関係〕

知財の一つの評価であるパテント関係はどうなっているのだろうか? 図12に見られるように、3G-WCDMA技術についてはノキア、エリクソン、クアルコムが各々の大きなパテントを有している。私は日本は脱工業化社会のリーダー国家群の一員になっていないのではと危惧しているが、現在一部のハイテク、自動車、デジカメ、電子部品、素材、設備の健闘が目立っている。

だが、現在の日本の好況は全般的には日本の30年前と言われている国家建設途上の中国に対する建設機械、設備、各種資材の輸出によるもので、これら知財の重要性は昔から言われているが通信でも

まだまだのようである。

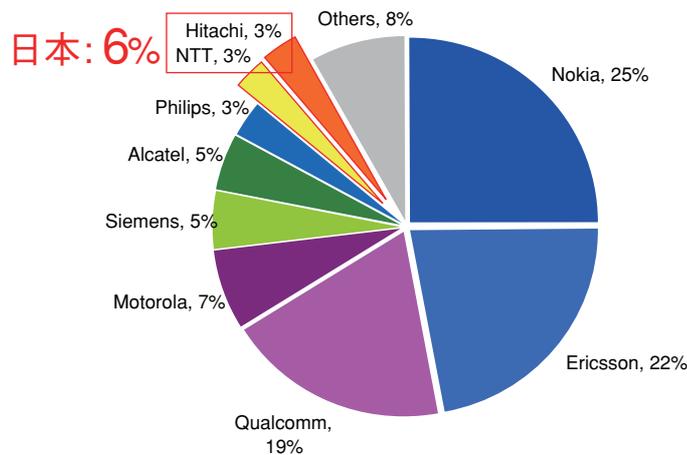


図12. 世界のIPR (知的財産権) シェア (出典: CREDIT SUISSE “3G economics”)

4. WiMAXについて

最大75Mビット/秒の伝送速度、最長50kmまでの伝送距離、なおかつ120km/hで移動可能——。こんな夢のような無線通信技術「WiMAX」(ワイマックス)が日本を始め世界で注目を集めている。WiMAXの技術、ビジネス、そして今秋付与される事業者免許の方針の観点から少々ページをさいて解説したい。

ADSL, CATV, 光FTTHなど固定ブロードバンドの高速データインターネット・サービスが成長し、ラップトップ型PCやPDA、スマートフォンといった新しいタイプのモバイル端末の登場により、「モバイル」と「インターネット」を融合させた“モバイル・インターネット”への期待が高まっている。モバイル・インターネットを通じて、室内、屋外、そして移動中の車からでも、高機能、高品質なブロードバンド・サービスが利用できるようになれば、私たちの生活やビジネスは、これまで以上に便利なものになるだろう。

このような市場の要求に応えるべく開発された技術がWiMAXである。その技術仕様は米国を本拠とする電気・電子・情報分野における世界最大の学会IEEEの802.16という専門委員会が規定され、現在も技術改良のための検討が継続している。802.16 (WiMAX) 委員会が組成されたのは2001年、最初の固定向けWiMAX規格が発信されたのはわずかに委員会発足から3年余りである。これは国際規格作りとしては異例の速さである。IEEE規格で他に有名なのは802.11委員会の無線LAN仕様であるが、検討のスピードは同様に速い。これまで、通信の世界標準規格は基本的にジュネーブを本拠とするITU (International Telecommunication Union) で、技術のみならず各国の政治的思惑を長時間かけて調整していくのが通常であったのに対して、最近は無線系ではIEEE、インターネット系ではIETFがITUにない速度感をもって規格作りに取り組み、結果的にその規格が世界標準となる例が多く始めている。

ちなみに、ITUが3G携帯電話の技術検討にかけた期間は10年以上である。「少人数で素早く規格を作り世に出す、それが良いものであれば後に必ず発展、普及する」というIEEE規格の基本的考え方は、コンセンサス重視の欧州文化の代表であるITUのそれとは全く異質であるが、いかにも米国らしく、インターネット登場以降の考え方として浸透してきている。

WiMAXは、無線LAN規格の802.11と同じOFDM (orthogonal frequency division multiplexing) という変調方式を採用している。これは、現在、次世代携帯電話でも検討されており、限られた周波数

で大容量の通信が可能となる周波数利用効率の高い変調方式である。1チャンネルの帯域幅を最大20MHzとすると、理論的には最大74.81Mビット/秒の伝送速度が実現可能であり、無線LANと異なり、無線基地局あたりで数km四方をカバーできるWAN (Wide Area Network) の技術である。つまり、面的にカバーしたエリア内で無線LANのような高速無線データ通信を比較的容易に実現することを目的とした技術である。

モバイルWiMAXをITUが定める3G携帯電話の標準規格IMT-2000のひとつに加える活動も行われている。同時に、次世代のモバイルWiMAXの規格となる802.16mをIMT-Advancedの標準規格に提案する準備も進められている。これが実現すれば、携帯電話と同様に世界規模でローミングの実現が可能となり、モバイルブロードバンドを世界中で利用することも可能となる。

WiMAXの日本導入方針については、総務省が過去2年ほどかけて議論してきており、その集大成として最近2.5GHz帯の無線を利用した「広帯域移動無線アクセスシステム (BWA)」に関する免許方針を最近発表した。BWAシステムにはWiMAXのほか、通称、次世代PHS、i-bust、Qualcomm-TDDなどが含まれるが、免許取得を希望する事業者の大半はWiMAXの事業化を検討している。移動体通信向けの割当は最大2社までで、新規参入事業者に割り当てる方針が示された。新たな無線サービスの展開と市場活性化を図るため、既存の第3世代移動通信事業者やグループ会社以外の企業を対象とすることが示された。ただし、既存事業者およびグループ会社でも3分の1以下の出資による事業参加は許容するとした。従って弊社はじめ、NTTグループ、KDDI、ソフトバンクの各社は、出資による事業参加は可能だが、直接の割当対象からは外れることになる。要件審査項目も3年以内にサービス開始、5年以内に各管内のカバー率を50%以上にするという非常に厳しい内容となっている。そのほか、開設計画の適切性と計画実施の確実性、MVNOへの無線設備開放なども示され、先進性の高い免許方針となっている。WiMAXでは、これまでの携帯電話ビジネスの特徴であった端末からコンテンツ・アプリケーションまでを一体サービスとして事業者が提供する垂直統合モデルから、ネットワーク運用事業者と端末、コンテンツ・アプリケーション提供会社を分離する水平分業モデルへのシフトが期待されており、結果としてMVNOも免許方針に盛り込まれることとなった。

通信業界の世界的構図を大雑把に言うと、第3世代WCDMAが日欧の既存キャリアベースにITU連合、垂直統合型ビジネスなのに対し、WiMAXは、韓国、台湾、米国、新興国のキャリアをベースにIEEE、インターネット中心のオープン水平分業型モデルと比較され、インテル、モトローラ、サムスンといった企業が大変注力している。

弊社イー・アクセスではWiMAXを使ったビジネス構築に向けて様々な取り組みを行ってきた。総務省での技術基準策定に関する議論にも積極的に貢献し、WiMAX Forumなどの国際会議でも少なからず存在感を示してきた。技術開発面では、東京港区において過去1年以上にわたりフィールド実験を繰り返し、事業化に必要とされる多くの無線技術のノウハウを蓄積することができた。今年6月からは、慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス (SFC) で産学協同のフィールド実験を開始し、無線技術のみならず高速モバイルということで新しいアプリケーションの開発も期待される実験に積極的に取り組んでいる。

5. おわりにかえて

日本では通信サービスにおいてあまりにもユーザーが外国との比較が見えにくい市場環境がユニークになっていて、料金だけでなく携帯端末メーカー、地上局設備、知財などすっかり取り残されてきていると思う。パソコンやソフトウェア関連のITの世界ではグローバルな競争力がないと即、メーカーは市場退場・崩壊する破目にあうが通信キャリアビジネスではその状況がなかなか起こらないある意味では“ノン・グローバル・ビジネス”である。日経新聞編集委員兼論説委員の関口和一氏によ

ると「国滅んで通信キャリア残る」と揶揄されているが、国内通信メーカーの方が最近も皮肉っぽく“私どもは奴隷です、完全に破壊されないとこの構造は直らない”と仰っていたのが耳に残る。

日本人がグローバルにモノを見、行動するというのは簡単なことではない。技術内容で優劣を論じ、ビジネスで交渉し、相手を説得し、プロジェクトを纏め上げるリーダーシップを発揮出来る日本人の数は今の日本では限られているのではと思う。

総務省発行の2007年版日本の情報通信白書によるとIT製品の世界でのシェアの低下もここ10年で

ノートパソコン	15%→10%
半導体	28%→14%
液晶パネル	52%→10%
DVD	30%→15%

と著しい。今やものづくりは世界的な規模の水平分業モデルで急進している。

台湾がITで52州目の米国と言われて久しく、今や世界のノートパソコンの90%、WiFi製品では95%のシェアを持つに到っている。一方世界の動きではシリコンバレーでIT、ソフトウェア中心に台湾、中国、韓国、インドの出身者が活躍していることは良く知られているが、最近ではWirelessの技術者で活躍するイスラエル人とイラン人（正確にはペルシャ人）には驚かされる。イスラエルは国の軍事技術と人の流れ、ペルシャ人は多くがホメイニ革命で米国に難民として移住した家族の子弟が教育受け、世界的なWireless技術者を輩出している。

弊社創業者、千本倅生会長は京都大学電子工学科での同期であるが、NTTに身を置き母校で学んだ基礎をベースにフロリダ大学に留学、学位を取得した。その留学中に後の人生に転機を起こす大きなショックを受けたという。その原点がKDDI、ウィルコム、イー・アクセス、イー・モバイルという4つの通信ベンチャー会社を創業させ成功させてきている。私は菊地誠氏の「現代の技術者」という著書に触発されアメリカのPh.D.を取得したいとイリノイ大学に留学、IBMでITやシステム設計、ものづくりに身を置いてきた。歩いた道は異なるが、共通の思いは日本の国の産業競争力がもっと強くなり、通信業界一つにしてもドメスティックな思いにとらわれず真の世界の一員として仲間に入っていく若者がより多く輩出するようにと願っている。この小論文が少しでも役に立てば幸いである。

研究室紹介

このページでは、電気関係研究室の研究内容を少しずつシリーズで紹介して行きます。今回は下記のうち太字の研究室が、それぞれ1つのテーマを選んで、その概要を語ります。

(*は「新設研究室紹介」、☆は「大学の研究・動向」のページに掲載)

電気関係研究室一覧

工学研究科

電気工学専攻

複合システム論講座

電磁工学講座電磁エネルギー工学分野

電磁工学講座超伝導工学分野

電気エネルギー工学講座生体機能工学分野 (小林研)

電気エネルギー工学講座電力変換制御工学分野 (引原研)

電気システム論講座電気回路網学分野 (和田研)

電気システム論講座自動制御工学分野 (萩原研)

電気システム論講座電力システム分野 (大澤研)

電子工学専攻

集積機能工学講座 (鈴木研)

電子物理学講座極微真空電子工学分野 (石川研) ☆

電子物理学講座プラズマ物性工学分野 (橋研)

電子物性工学講座半導体物性工学分野 (木本研)

電子物性工学講座電子材料物性工学分野 (松重研)

量子機能工学講座光材料物性工学分野 (川上研) *

量子機能工学講座光量子電子工学分野 (野田研)

量子機能工学講座量子電磁工学分野 (北野研)

光・電子理工学教育研究センター

ナノプロセス部門ナノプロセス工学分野 (高岡研)

情報学研究科 (大学院)

知能情報学専攻

知能メディア講座言語メディア分野 (黒橋研)

知能メディア講座画像メディア分野 (松山研)

通信情報システム専攻

通信システム工学講座デジタル通信分野 (吉田研) ☆

通信システム工学講座伝送メディア分野

通信システム工学講座知的通信網分野 (高橋研)

集積システム工学講座情報回路方式分野

集積システム工学講座大規模集積回路分野 (小野寺研)

集積システム工学講座超高速信号処理分野 (佐藤研)

システム科学専攻

システム情報論講座画像情報システム分野 (石井研)

システム情報論講座医用工学分野 (松田研)

エネルギー科学研究科 (大学院)

エネルギー社会・環境科学専攻

エネルギー社会環境学講座エネルギー情報学分野

エネルギー基礎科学専攻

エネルギー物理学講座電磁エネルギー学分野 (近藤研)

エネルギー応用科学専攻

応用熱科学講座エネルギー応用基礎学分野 (野澤研)

応用熱科学講座プロセスエネルギー学分野

エネルギー理工学研究所

エネルギー生成研究部門粒子エネルギー研究分野

エネルギー生成研究部門プラズマエネルギー研究分野 (水内研)

エネルギー機能変換研究部門複合系プラズマ研究分野 (佐野研)

生存圏研究所

診断統御研究系レーダー大気圏科学分野 (山本研)

診断統御研究系大気圏精測診断分野 (津田研)

開発創成研究系宇宙圏電波科学分野 (山川研)

開発創成研究系生存科学計算機実験分野 (大村研)

開発創成研究系生存圏電波応用分野 (橋本研)

京都大学ベンチャービジネスラボラトリー (KU-VBL)

産官学連携センター

研究戦略分野 §

先進電子材料分野 (藤田研)

高等教育研究開発推進センター

情報メディア工学講座情報可視化分野 (小山田研)

学術情報メディアセンター

情報メディア工学講座複合メディア分野 (中村裕研)

注 § 工学研究科電子工学専攻橋研と一体運営

電磁工学講座 電磁エネルギー工学分野

<http://www.kuee.kyoto-u.ac.jp/outside/annai/teacher.php?id=7>

「磁気スカラポテンシャルを用いた 3次元非線形磁場解析の高速化」

計算機性能の急速な進歩を背景として、電気機器類の設計・開発において計算機を用いた電磁場解析が大きな役割を果たしている。同時に、先端的な高精度・大規模解析における計算コストの面での制約は最新の計算機をもってしても大きく、より効率的な計算技術の開発が強く求められている。当研究室では、強磁性体材料の磁気特性の正確かつ効率的なモデル化技術、モデルの複雑化に対応するための高度有限要素解析手法の開発、有限要素解析において現れる大規模代数方程式の高速解法等に関して研究を行ってきた。本稿では、最近の研究成果の一つである 3次元非線形磁場解析の高速化技術を紹介する。

マクスウェル方程式などの偏微分方程式に対する有力な数値的解法として有限要素法があるが、電気機器の磁場解析においては一般に、磁性体材料の非線形磁気特性を考慮することが必要である。このとき、有限要素法による離散化の結果として大規模な非線形代数方程式が導かれる。この代数方程式に対する高速解法の開発が、解析の高速化のために必要不可欠である。

最近では磁場解析において磁気ベクトルポテンシャルによる定式化手法が主流となっているが、本研究では、磁気スカラポテンシャルによる定式化を用いた。磁気スカラポテンシャルによる定式化手法では、非線形代数方程式の未知数の数を大幅に削減できる一方、方程式の性質が悪く標準的なニュートン・ラフソン法による反復求解では収束性が不安定となることが知られている。ここでは、ニュートン・ラフソン法に直線探索を導入し、反復の収束性を安定化した。つまり、ニュートン・ラフソン法における近似解 x の更新において、緩和係数 a を用いて、 $x_{\text{new}} = x + a\Delta x$ とする。 $a = 1$ のときが標準的なニュートン・ラフソン法に対応する。本研究ではさらに、AMG (Algebraic Multi-Grid) 法を用いることで解析の高速化を図った。ニュートン・ラフソン法における修正ベクトル Δx を求める際にはヤコビアン行列を係数行列とする線形代数方程式を解く必要があるが、この際の求解手法として AMG法が有効である。

電気学会実規模電磁界解析のための数値計算技術調査専門委員会において、磁気シールドに関するベンチマークモデルが策定されている (図 1)。このベンチマークモデルについて磁場解析を行い、解析に必要な計算時間を表 1 に示した。AMG法を用いることで、従来法と比較して大幅に解析が高速化されることが示されている。

参考文献

T. Mifune, T. Iwashita, and M. Shimasaki, 16th Int. Conf. on the Computation of Electromagnetic Field (Compumag), PA2-7, Aachen, June 2007.

表 1 解析に要した計算時間の比較 [s]

解法	AMG法	従来法
求解部	1024	6468
行列の生成	615	616
緩和係数の決定	1530	1525
全体	3167	8610

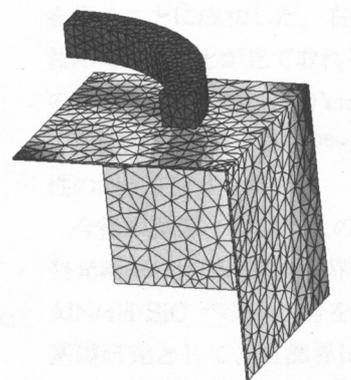


図 1. 磁気シールドモデル

電気エネルギー工学講座 電力変換制御工学分野（引原研究室）

<http://www-lab23.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

「レドックスフロー電池の反応速度論に基づくモデル」

レドックスフロー（RF: Redox Flow）電池は、充放電を行うセルと電解液を貯蔵するタンクが分離された構造をとり、ポンプを用いて電解液をタンクとセル間で循環させ、金属イオンであるバナジウムイオンの価数変化により充放電する二次電池である。このため、電気再生型燃料電池とも呼ばれる。図1 (a) にRF電池の充放電回路と電解液循環系図、(b) に実験装置を示す。RF電池は電力システムにおいて負荷平準化や出力平均化、瞬時電圧低下対策として用いられることが期待される。特に、高速応答特性を持つため、瞬時電圧低下補償装置として実用化が検討されて来た。

RF電池に関するこれまでの研究では、Kazacos氏らはイオン交換膜における水の移動に関して定量的検討を行っている[1]。また、本間氏らは、電極反応論に基づいて、電池反応が拡散律速で決められる過程および過電圧が十分小さく、局所的に過電圧と電流が比例すると見なせる範囲について単電池の過渡状態を表す偏微分方程式を導出した[2][3]。さらに、榎本氏らはある特定の電池に対して、充放電時のステップ電流入力による電圧の出力特性からモデル化を行い、電池の等価回路定数を求めると同時に、定電流充放電を数値的に模擬する結果を得ている[4]。しかしながら、RF電池の構造に基づく電気系、化学系、流体系の連成を考慮した適当な動的モデルが確立されておらず、実用上のさまざまな問題への検討を難しくして来た。

本研究では、RF電池の充放電セルと電解液を貯蔵するタンクが分離された構造的特徴より、その動特性を支配する電気系、化学系、流体系の影響を記述する。すなわちRF電池の動的モデルを物理的現象、反応速度論に基づき、電解液流量による濃度変化および電気回路による外的制約を考慮した上で、モデル式を導出した[5][6]。また、導出したモデルがRF電池の動作原理をきちんと表していることを数値計算結果と実験結果の比較検討より確認した。図2に、負荷変動時におけるRF電池の出力電圧の流量依存性を示す。この数値計算結果より、電解液流量を大きくすることで電池の利用効率と出力電圧を高くでき、流量の変化可能な範囲を定量的に検討できる[6]。導出した電池の動特性を表したモデルは、電池の運転・設計に理論的指針を与えると共にエネルギー変換のメカニズムの定量的把握を可能とし、種々の充放電状態における電池動作の制御に関する検討を可能にすることが期待される[6]。

謝辞 実験装置の製作には、関西電力（株）および住友電工（株）の協力を得た。ここに謝意を表します。

参考文献

- [1] T. Sukkar and M. Skyllas-Kazacos, *J. Membr. Sci.* **222**, pp.235-247 (2003). [2]本間, 電学論 B **107**, pp.449-456 (1987). [3]本間, 趙, 大澤, 電学論B **102**, pp.265-272 (1989). [4]榎本, 佐々木, 重松, 出口, 電学論 B **122**, pp.554-559 (2002). [5] M. H. Li, T. Funaki, and T. Hikihara, *The Fourth Power Conversion Conference, Nagoya Congress Center, Nagoya, Japan, April 2-5 (2007)*. [6] 李, 引原, *NLP* **8**, pp.43-47 (2007).

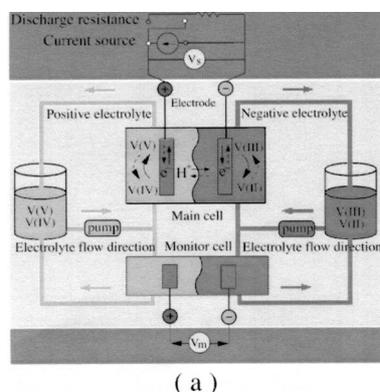


図1. (a) RF電池の充放電回路と電解液循環系図、
(b) 実験装置

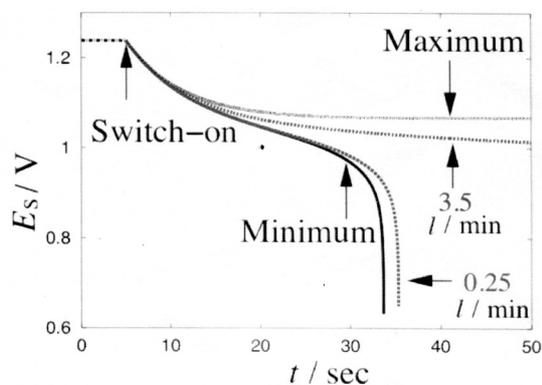


図2. RF電池の出力電圧の流量依存性

集積機能工学講座（鈴木研究室）

<http://sk.kuee.kyoto-u.ac.jp/index.html>

「高温超伝導体固有ジョセフソン接合のスイッチング確率と脱出温度」

超伝導は巨視的量子効果の発現である。超流動濃度が一定の振幅と位相をもってあたかも1粒子の波動関数のように基底状態に凝縮している。レーザーが振幅と位相で表されるように、超伝導も振幅と位相で表され、位相は其中でとりわけ重要な働きを示す。たとえば位相はベクトルポテンシャル（その回転が磁場）の経路積分で表され、少し変化すると（すなわち微小な磁場で）位相が大きく変化する。レーザーでは位相の制御が光学的に種々方法があるのに対して、超伝導ではこの位相の検出方法が限られており、唯一ジョセフソン効果があるのみである。ジョセフソン効果により位相の変化が電気信号に変換されるため、たとえばジョセフソン接合による微弱磁場の高感度検出が可能となっている。このようにジョセフソン接合があってはじめて巨視的量子効果の応用が可能となっていると言ってもよい。

このジョセフソン接合に新しいもう一つの応用の可能性が出てきた。ジョセフソン接合の位相は、ジョセフソンが理論的に見いだした関係式を使って運動方程式を導くと、ちょうど放物型のポテンシャルの谷を振動する粒子とみなすことができる。これは量子的には離散化された準位に粒子が存在しているということができる。この準位のうち、エネルギーの低いほうから2つとりあげ、そのうちのどちらか一方に存在するような重ね合わせ状態を作ると、これは量子コンピュータのエレメントとなる量子ビット (qbit) 素子なることを示している。また読み出しにはポテンシャルをトンネル効果で粒子を脱出させる巨視的量子トンネル効果 (MQT) を用いて可能なことが確かめられている。

これまでの研究ではこれらの動作が実現する温度は10mKほどの極低温が必要であり、そのためには希釈冷凍機が必要とされている。しかし、希釈冷凍機を用いて量子コンピュータを構成することはかなり困難とされており、もっと高い温度で上記の動作が可能な工夫が求められている。最近、高温超伝導体の固有ジョセフソン接合を使用すると従来の低温超伝導体のジョセフソン接合よりも1桁以上高い温度でMQTが観測されることが報告された。われわれはなぜこれまでよりも高い温度でMQTが起こるのかを理解するために、あるいは現在1K程度であるが、これをさらに高い温度にするために固有ジョセフソン接合を用いて研究を進めている。

これまでMQTの実験に用いられてきた固有ジョセフソン接合素子は収束イオンビーム (FIB) で加工された素子であるが、われわれはより現実的な微小メサ構造を対象としている。図1はBi₂Sr₂CaCu₂O_{8+δ}単結晶から固有ジョセフソン接合を2層取り出した素子の電流電圧特性である。図2はこれを用いてジョセフソン接合が電圧状態にスイッチする電流の確率分布を種々の温度で測定した結果である。これから脱出温度がわかるが、その温度依存性はほぼ試料の温度と同じで熱活性的脱出を示しており、実験した温度の下限5KではMQTへのクロスオーバーに達していない。詳細は次の機会に述べる。

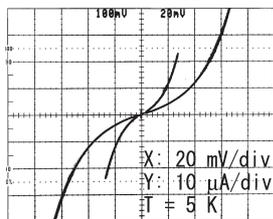


図1. 固有ジョセフソン接合2層のIV特性

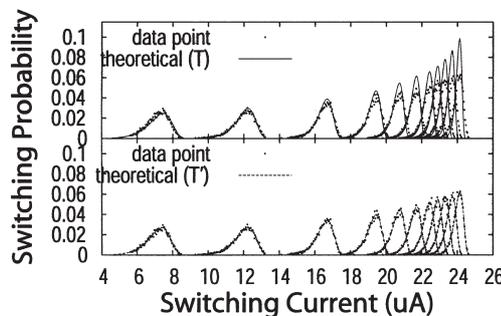


図2. 種々の温度におけるスイッチング電流の確率分布

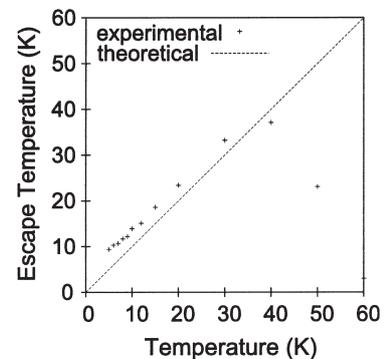


図3. 脱出温度の環境温度依存性

電子物性工学講座 半導体物性工学分野（木本研究室）

<http://semicon.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

「新しい結晶構造を持つ高品質無極性面AlNの結晶成長」

半導体発光素子の短波長化は、可視短波長の青、紫から紫外線の領域に進みつつある。既に、水銀ランプのi線に相当する365nmの紫外線発光ダイオードは実用化されており、水銀ランプを置き換えつつある。さらなる短波長化を目指して世界中で研究が行われているが、波長250nm以下の深紫外（DUV）光領域が大きな（困難な）挑戦と考えられている。

DUV発光材料としてはいくつかの候補があるが、その中でも6.2eV（200nm相当）と大きなバンドギャップを有する窒化アルミニウム（AlN）が有力視されている。高効率の発光素子を実現するためには、極めて高品質な結晶を作製することが重要であるが、窒化物半導体においては、その強いイオン性による分極に起因した内部電界の抑制も重要である。すなわち、一般に用いられている（0001）極性面上に量子井戸構造を作製すると、分極に起因する内部電界により電子と正孔が空間的に分離され、発光効率が低下してしまう。この問題を回避するには、（0001）極性面に直交する（1-100）や（11-20）などの無極性面上に量子井戸構造を作製することが必要となる。

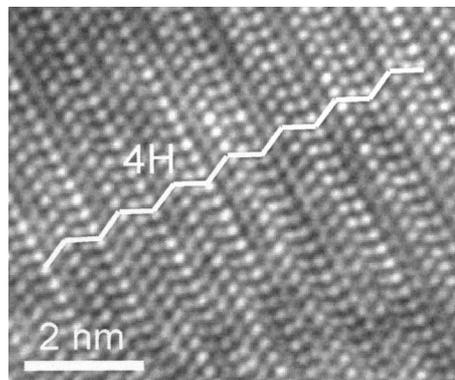
本研究グループでは、この要請、すなわち、高品質無極性面AlNの結晶成長方法として、SiC基板上のAlNのヘテロエピタキシャル成長を提案している。SiCはバルク単結晶成長技術が進んでおり、現在、4インチという大口径ウエハーが量産されており、また、SiCとAlNの格子不整合は1%以下であり、入手可能な異種基板として最も整合性が良いという特長がある。結晶成長における唯一の問題は、SiCとAlNの結晶構造の違いである。SiCバルク結晶成長では、4Hもしくは6Hという結晶構造のものが得られるが、一方、AlNの熱力学的に安定な結晶構造は2H（ウルツ鉱構造）である。この結晶構造の不一致のために、良好な格子整合性を持ちながら、SiC上に成長したAlNの結晶性は、サファイアなどの（格子不整合の大きな）他の基板に成長したものと大差ないという状況であった。

本研究グループでは、本来2HのAlNの結晶構造をSiC基板に合わせて4Hや6Hにできないかという逆転の発想でこの課題に挑んできた。SiCの無極性面の結晶模型を作るとすぐに気がつくのだが、SiCから出ている結合手は、SiCの結晶構造を反映している。この結合手に沿ってSiC上にAlNの模型を組み立てて行くと、SiCの結晶構造がAlNへと複写され、AlNはSiCと同じ結晶構造になる。すなわち、結晶成長が完全な形で進行していれば、AlNがSiCと同じ結晶構造になるのがむしろ自然なのである。この「完全な結晶成長の実現」という方針の下、我々は、SiC基板表面にガスエッチングを施し、原子レベルで超平坦な表面を準備し、その表面上にAlNを層状、つまり、平坦性を損なわないように工夫して成長を行った。その結果、4H-SiC基板の上に、基板と完全に同一な4H構造を持つAlNを得ることに成功した。右図に高分解能透過電子顕微鏡（TEM）写真を示す。4層周期でAl-N原子対が並んでいることが見て取れる。詳細な評価から、この4H-AlNの貫通転位密度は $8 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ と極めて低く、過去に報告されている無極性面AlN ($10^9 \sim 10^{10} \text{cm}^{-2}$)と比較すると格段の結晶性の向上を達成した。[1]

今後の展開としては、この高品質4H-AlN層を用いたDUV発光素子の作製に加え、界面欠陥のほとんど存在しない4H-AlN/4H-SiCヘテロ接合を用いた新規電子デバイス、また、基礎研究として、自然界に存在しない新規結晶である4H-AlNの物性解明などを考えている。

参考文献

- [1] M. Horita, J. Suda and T. Kimoto, *Applied Physics Letters*, **89**, 112117 (2006).



光・電子理工学教育研究センター ナノプロセス部門 ナノプロセス工学分野
(高岡研究室)

http://cib.kuee.kyoto-u.ac.jp/nanoprocess_eng/index.html

「クラスターイオンビームを用いたナノバイオ材料の創製」

一般に、人工材料を骨の欠損部に埋入すると、生体はこれをコラーゲンの被膜で取り囲み、周囲の骨から隔離しようとしています。これは、我々の身体の正常な防御反応ですが、このために人工骨などの人工材料を骨欠損部に安定に固定することが困難になります。しかし、ある種のセラミックスは、骨欠損部に埋入されると、線維性被膜で取り囲まれることなく、骨と直接接し、強固に結合します。これらは「生体活性セラミックス」と呼ばれ、既に重要な骨修復材料として実用化されています。生体活性セラミックスと生体骨との界面を詳細に観察してみると、セラミックスと骨とが直接結合しているのではなく、両者の界面には、骨の無機成分であるアパタイトに似た構造と組成を有するセラミック層（骨類似アパタイト層）が存在することが分かります。このことから、人工材料が骨と結合する（生体活性を示す）ための条件は、体液環境下でその表面に骨類似アパタイト層を形成する（アパタイト形成能を示す）ことであるといえます。

近年、ある種の官能基（Si-OH、Ti-OH、COOH基等）が生体環境下でのアパタイト形成に有効であることが明らかとなりました。一方、クラスターイオンビーム技術は、イオン照射による損傷を与えることなく、材料表面を効果的に改質できるので、医用材料の表面に所望の官能基を形成させ、アパタイト形成能を付与する方法として有効であると期待されます。そこで本研究室では、クラスターイオンビーム技術を医用材料（有機高分子や金属）の表面改質に応用する試みを行っています。例えば、ポリエチレン（PE）基板に酸素モノマー・クラスターイオンビームを混合照射（O₂ mcイオンビーム照射）し、これをヒトの体液の約1.5倍の無機イオン濃度を有する擬似体液（1.5SBF）に36.5℃で7日間浸漬すると、図1に示すように、未照射のPE基板はアパタイトを形成しませんが、O₂ mcイオンビーム照射したPE基板はナノサイズの微結晶からなる骨類似アパタイトを形成します。これは、O₂ mcイオンビーム照射により、アパタイトの核形成を誘起するCOOH基などの官能基がPE基板表面に生成するためと考えられます（図2）。現在、アパタイト形成に最適なクラスターイオンビーム照射条件を見出す研究や、アパタイトの接着強度の向上を目指す研究を進めています。クラスターイオンビームは、新たなナノバイオ材料を創製する新規な手法として大いに期待されます。

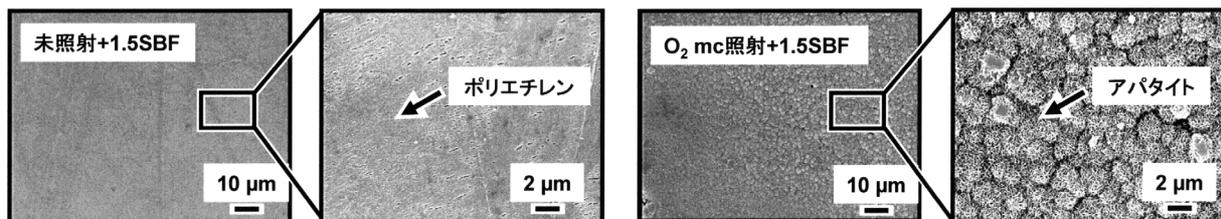


図1. O₂mcイオンビームを照射後、1.5SBFに7日間浸漬したPE基板の走査型電子顕微鏡写真

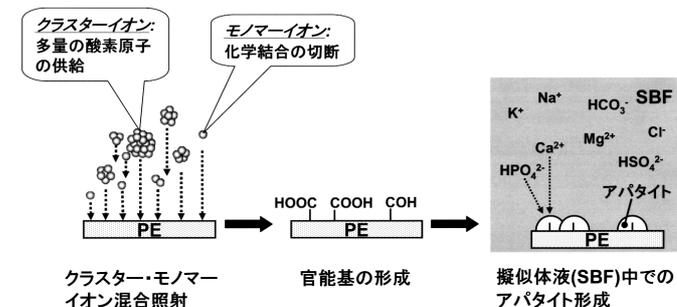


図2. クラスターイオンビームを照射したPE基板上でのアパタイト形成機構

国際融合創造センター 創造部門 先進電子材料分野（藤田研究室）

<http://www.iic.kyoto-u.ac.jp/sozo/fujita/>

「深紫外領域新半導体材料の開発」

GeやSiの開発に端を発した半導体材料の開発は、多様な化合物・混晶半導体開発の歴史をたどり、各種の光・電子デバイスの実現に貢献してきた。なかでも禁制帯幅が広い半導体（ワイドギャップ半導体）は、省エネルギー・省資源の社会の動きに合わせ、高効率光源、パワーデバイス等への応用が期待され、GaNやSiCなど著しい進展を見せている。あわせて最近では、紫外～深紫外領域の発光・受光いづれについても高効率化と短波長化に強い要望がある。発光機能は高密度光記録システム、高効率白色光源、殺菌やバイオ計測などへの応用、また受光機能は環境計測、ヘルスケア、炎検知、紫外光源の制御などへの応用が期待されている。この観点で、AlGaInN混晶による短波長化が大きな話題で発光波長280nm程度の深紫外LEDが報告されているが、量子効率が1%以下と低い。その理由として1100°C以上の高温成長と格子不整合による歪の増加、結晶性の劣化、欠陥の発生などが考えられている。

本研究室では、深紫外領域に光機能を持つ新しい半導体材料の開発という観点で、Ga₂O₃に着目している。この半導体は禁制帯幅約4.9eV（波長250nm）の直接遷移型のバンド構造を持ち、800°C以下の温度で成長でき、InまたはAlを加えた混晶により禁制帯幅の制御が可能で、また最近Ga₂O₃基板が開発されたという大きな利点がある。この半導体は無添加でn型伝導を示すため、p型伝導を得ることが問題になると予想されるが、GaNと同様、GaサイトをZnやMgで置換する方法が考えられる。実際には光デバイスを念頭としたGa₂O₃半導体薄膜の成長や混晶化についての研究はほとんどなく、特性は未知といえるが、高品質の結晶成長に向けたアイデアを含めつつ本材料の開拓を行う研究を行っている。

結晶成長は分子線エピタキシ（MBE）で行い、基板にはc面サファイアを用いた。Ga₂O₃は各種の結晶形をもち、β型斜方晶系結晶が最も安定である。成長温度800°Cにおいてβ-Ga₂O₃薄膜を得ることができたが、現状では回転ドメインが残留する。しかし、可視～紫外領域にはほぼ完全に透明で、その光機能を示すために光伝導特性を調べたところ、量子効率14%の深紫外光検出器としての特性を示した。

この材料の大きな特徴はβ-Ga₂O₃基板が比較的容易な方法（浮遊帯溶融法）で得られることである。そこで、β-Ga₂O₃基板を用いたホモエピタキシャル成長を行っている。この場合はサファイア基板上で見られたような回転ドメインや異相の混入なく単結晶であり、表面にステップ・テラス構造を保ったままでステップフロー成長する。得られた結晶表面の一例を図に示す。このように理想に近い形で新材料Ga₂O₃半導体薄膜の結晶成長が可能となり、今後深紫外機能の探索・応用に向けて京大発の研究を続けてゆく予定である。

なお、国際融合創造センターは、平成19年7月1日付け改組により産官学連携センターにその多くの機能が引き継がれた。

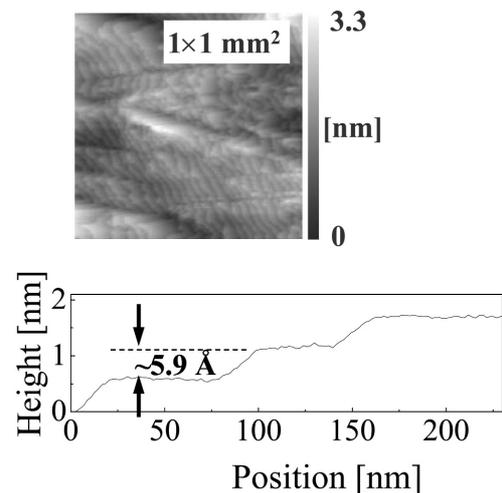


図4. Ga₂O₃表面とイメージと段差プロファイル。(100)面間隔の半分の大きさのステップが形成されている。

知能メディア講座 言語メディア分野（黒橋研究室）

http://nlp.kuee.kyoto-u.ac.jp/

「開放型検索エンジン基盤TSUBAKIの構築・運用および新しい情報検索支援システムの開発」

近年、World Wide Web (WWW) 上には膨大な量の情報が氾濫しており、その中から必要とする情報を探し出すためには検索エンジンが必要不可欠なツールになっています。既存の検索エンジンは、利用者から与えられた数個の検索キーワードをもとに、それらを含む文書へのリンクをリスト形式で提示することしかしてくれません。そのため利用者は複数のページを横断的に見て周り、そこから得られた情報を総合的に解釈・判断する必要がありますが、WWWの規模を考えると、そのような解釈・判断を行うことは大変難しいというのが現状です。検索結果をページの内容ごとに分類してユーザへ提示するクラスタリングシステムなどの新しい情報検索支援システムの実現は、情報を効率的に取得するためには必須になると考えられます。



クラスタリングシステムのような新しい情報検索支援システムの実現には、その基盤となる検索エンジンが必要です。現在、いくつかの商用検索エンジンで、その検索結果を得るためのAPIが提供されていますが、APIの利用回数や取得可能な検索結果数などの制限が設けられており、新しい情報検索支援システムを研究・開発するための基盤として、既存の検索エンジンを用いる際の障壁となっています。

そこで当研究室では、特定科研「情報爆発」において、既存の検索エンジンAPIの抱える問題点を解決し、新しい情報検索支援システムの研究・開発を支援するために、大規模日本語ウェブページ群（2億ページ）を検索対象とする開放型検索エンジン基盤TSUBAKIの構築・運用を行っています。ここで「開放型」とは、APIの利用等に何ら制限を設けていないことを意味しており、TSUBAKI APIの利用者は、1日のAPI利用回数や、取得可能な検索結果の制限を受けることなく、検索エンジンTSUBAKIの検索結果を自由に利用することが可能です。検索エンジンTSUBAKIのもう一つの特徴として、深い言語処理を用いた検索が挙げられます。例えば、「英会話学校」と検索キーワードが入力された場合、単に「英会話」と「学校」の出現分布を基に検索するだけでなく、「英会話」と「学校」の修飾関係や、「学校」と「スクール」が同じ意味を表すとといった同義関係を考慮した検索を行うことが可能です。

さらに、検索エンジンTSUBAKIを基盤とし、その上にクラスタリングシステムの構築も進めています。このシステムは、通常は把握が困難であった検索結果の全体像を、クラスタ（分類されたページの集合）に付けられたラベルを見るだけで容易に俯瞰することを可能にします。さらに、特定のクラスタ

を対話的に追うことで、利用者は、自分の興味のある情報だけを素早く得ることも可能です。

数百CPUを駆使して動作する検索エンジンの開発・運用は想像以上にタフかつチャレンジングなテーマであり、また、その上で動く次世代情報検索支援システムの構築はまだ確立されていない未知の領域です。今後も、現在のキーワード型検索のパラダイムを払拭するような次世代情報検索支援システムの研究・開発に取り組んでいきたいと考えています。

WebClustering

語学留学 件 [ヘルプ](#) [検索履歴](#)

オプション

語学留学の検索結果 2000件をクラスタリング 0件をサンプリング TSUBAKI から (計1047秒, 検索86 取得&P)

語学留学 (2000) ・ 海外留学 (473) 専門学校留学, 正規留学, アメリカ留学 ・ 親子留学 (396) オーストラリア留学, 留学 オンライン運営事務局, 日本語教師アシスタント ・ 語学学校 (386) 英語力, 語学力 ・ 留学生 (347) 日本人, 中国語, 留学先	クラスタ 1. 海外留学 専門学校留学 正規留学 アメリカ留学 (473件中 1 - 50 件目を表示) ★ このクラスタをさらに分類する ★ 文書を重心からの距離でソートする 4. 留学 / FSD 無料ディレクトリ検索サービス cache ID=0028 vector size(200) show elements http://www./RMC留学申し込みセンター/バンク・オブ・スクール /http://jp./自由が丘./com//中国・韓国・アジア留学情報を /http://www./net//全国各地にて留学説明会がある。/html/ 相談など留学希望者のための情報提供や現地留学生、留学体験者が集まる 京都武蔵野市。/カウンセリングと英会話コースの案内。/3から大人ま 材育成プログラムをコーディネート。/国際交流サポートセンター/http://
---	--

通信システム工学講座 伝送メディア分野

<http://www.imc.cce.i.kyoto-u.ac.jp/>

「商用電源に同期した屋内電力線通信路の短時間変動とその影響」

屋内電力線通信とは、商用電源供給に利用されている屋内電力線を通信利用する技術を表します。本研究室では図1に示すような屋内電力線通信によるホームユビキタスネットワークの実現を目指しています。図1のネットワークが実現すれば、家庭内の商用電力供給と通信が統合することにより身の周りの配線地獄から解放され、どの部屋からでも映像、音楽、インターネットアクセスを楽しむことができるようになります。そのためには、現状の屋内電力線通信の伝送速度を高速化し、その通信品質をさらに高めなくてはなりません。本研究室では、屋内電力線通信によるホームユビキタスネットワークを実現するための基礎的な研究として、伝送メディアとしての屋内電力線通信路の特性解析を行っています。

屋内電力線通信は、家庭内の電化製品のスイッチング電源の影響を受けます。電化製品によっては、商用電源に同期した伝達関数や雑音統計の短時間変動が生じます。本研究室では、屋内電力線通信路の商用電源周波数に同期した時間周波数解析手法を提案しています[1]。図2は研究室に構築した屋内電力線通信の実験系に携帯電話をACアダプタを介して充電しているときの伝達関数の時間周波数解析結果です。横軸は時間（電源2周期分）、縦軸は周波数（屋内電力線通信の周波数帯2～30MHz）です。図2より商用電源AC100Vの電圧絶対値がある閾値を越えるときに、伝達関数が切り替わることが分かります。次に、市販されている電力線通信モデムへの伝達関数の短時間変動の影響を見ます。評価対象とする電力線通信モデムはHD-PLC方式のPanasonic BL-PA100KTとUPA方式のNETGEAR HDXB101です。データ伝送プロトコルはUDP (User Datagram Protocol) とし、各電力線通信モデムの伝送速度を携帯電話のACアダプタを接続しない場合と携帯電話のACアダプタによる充電時と比較しました。比較結果を図3に示します。横軸は送信伝送速度であり、縦軸は受信伝送速度です。図3の結果から、伝達関数の短時間変動が生じていない場合はUPA方式モデムがHD-PLC方式モデムより伝送速度が高いことを示しますが、生じている場合はその関係が逆転することが分かります。このことは、通信方式の違いにより、伝達関数の短時間変動の影響が大きく異なることを示唆しています。今後は、伝達関数の周期的短時間変動を含めた屋内電力線の伝送メディアとしての特性に対する洞察を更に深め、ホームユビキタスネットワークを実現可能な屋内電力線通信技術の研究開発を進めていきます。

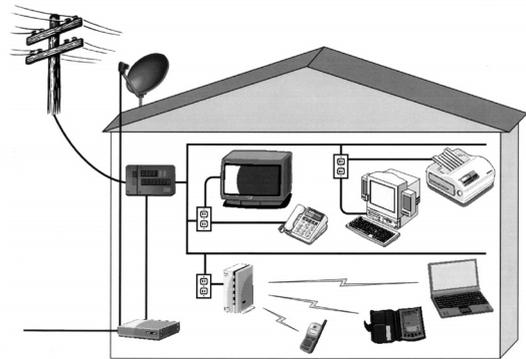


図1. 屋内電力線によるホームユビキタスネットワーク

参考文献

- [1] 早崎太郎, 梅原大祐, 本田慎也, 田野哲, “屋内電力線通信路の電源周波数に同期した時間周波数解析,” 2007年電子情報通信学会総合大会, B-8-4, 2007年3月.

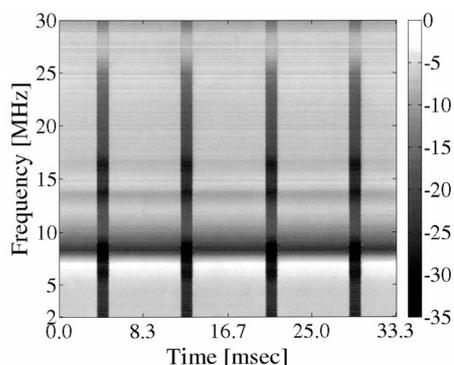


図2. 電力線通信路の周期的短時間変動

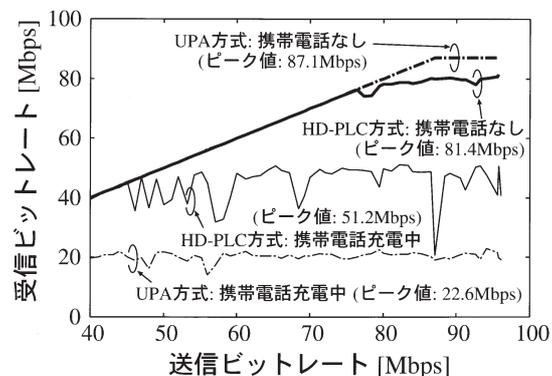


図3. 市販電力線通信モデムへの影響

集積システム工学講座 大規模集積回路分野（小野寺研究室）
<http://www-lab13.kuee.kyoto-u.ac.jp/>
 「再構成デバイスによるばらつき活用設計技術」

当研究室では、集積回路の微細化にともない深刻となっているデバイス特性のばらつきを、FPGA (Field Programmable Gate Array) に代表される再構成デバイスの速度と歩留まりの向上に利用する技術についての研究を行なっている。

集積回路の微細化は、ムーアの法則とともに年率数倍という速度で進んでいる。これは、MOSトランジスタの微細化とLSIのチップ面積の増大という2つの要素による。MOSトランジスタの特性のばらつきを左右する要因のひとつであるチャンネル不純物数のばらつきは不純物数 n_a の平方根 $\sqrt{n_a}$ に比例する。従って微細化に伴うデバイス特性のばらつきは避けて通れない。

このデバイス特性のばらつきを抑えるための様々な研究が行なわれているが、我々はこのばらつきを逆に利用して、回路特性の向上に利用するという逆転の発想を元にした研究を行なっている。図1に、研究の概念図を示す。図左は、従来の固定機能、固定配置のASIC（特定用途向けLSI）の場合、ばらつきによりチップ毎に特性が異なり、歩留まり（正常動作率）が下がる。一方、提案手法では、まず再構成デバイス（FPGA）を製造する、ASICと同様にばらつきの影響を受けるが、製造後に特性を測定し、ばらついた特性に応じてFPGA上に実装する回路の配置位置、ならびに配線トポロジを変更する。

本研究は、平成17年度より半導体理工学研究センター（STARC）との共同研究として採択され、2年以上にわたって研究を継続してきた。図2は、90nmプロセスにより試作を行なったFPGAのチップ写真である。5mm角のLSI中に48×48の論理ブロックが集積されており、FPGAのばらつき特性を測定して、その特性に応じた回路の配置ならびに配線を行なうことが可能である、測定したばらつきを元に、簡単なモデル回路の配線経路の最適化を行なったところ、3%程度の回路特性の向上を実測により確認した。

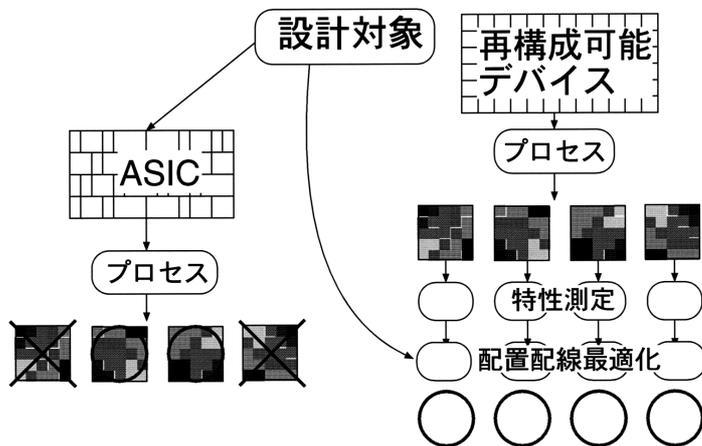


図1. 研究の概念図。固定機能固定配置のASICはばらつきによりチップ毎に特性が変動し、歩留まりが下がる。提案手法では製造後に測定したばらつきに応じて実装する回路の配置と配線を最適化する。

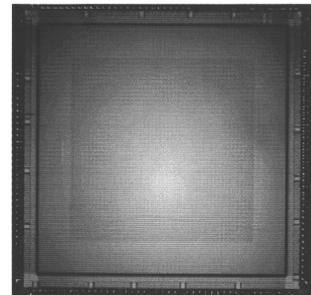


図2. 90nmプロセスにより試作したFPGAのチップ写真。FPGA内の特性変動を測定する機能を有する。

システム情報論講座 医用工学分野（松田研究室）

<http://www.bme.sys.i.kyoto-u.ac.jp/>

「生体情報シミュレーション」

1. 研究の背景

当研究室では、心筋細胞の精密な数理モデルの研究を行っている医学部生理学教室と共同で、生体組織、特に心臓の機能をモデル化してシミュレートする研究を進めている。

80年代以降、パッチクランプ法等の発展により細胞内部の微細構造であるイオンチャネルやポンプ等の機能が直接計測可能になり、急速に機能が定量的に解明されるようになってきている。この流れは現在も続いており、より微細な構造、詳細な解析へと向かっている。一方、臨床的には全身状態や臓器に関する情報は豊富に計測されるようになってきているが、臓器が細胞や細胞内微細構造とどのように関係しているかという点については、定量的な解析は極めて少ない。本研究では、心臓を対象に、京大医学部で研究されているKYOTOモデルと呼ばれる心筋細胞の詳細なモデルを元に、心筋組織あるいは臓器としての心臓の機能がどのように細胞と関係しているかを、シミュレーションにより解析している。

2. 心臓シミュレーション

心筋細胞は細胞長により発生収縮力が変化することが知られており、この関係は長さ張力関係と呼ばれる（図1）。生理学的には、全身の血液需要の増大に伴って左心室に還流する血液量が増大すると、個々の細胞長は増大し、血液を拍出する力が増加し、拍出速度を維持する制御系に寄与すると説明されており、この法則はフランク-スターリング則と呼ばれている。

心臓は、右心房付近にあるペースメーカー細胞から生ずる周期的な興奮が、電気的な刺激を伝える刺激伝導系を經由して心臓全体に伝播することにより、収縮運動を行う。心臓の病気によっては、この興奮伝播現象が障害を受けることがあり、この場合、機械的な運動の同期が損なわれるため心臓のポンプ機能が低下すると考えられている。

我々は、興奮伝播現象がポンプ機能に与える影響を解析するため、長さ張力関係を再現可能な心筋細胞モデルを利用した1次元ケーブル状の心筋組織モデルを構築し、興奮伝達時間（全細胞の興奮に要する時間）と発生する最大収縮力の関係を調べた。この結果、興奮時刻が遅延する細胞は、初期細胞長が引き延ばされるため、長さ張力関係により収縮力が増大し、興奮伝達時間の増大に対し、非線形に最大収縮力が低下し、興奮伝達時間低下の影響が緩和される効果があることがわかった（図2）[1]。近年、興奮伝播の異常に対する治療として心臓に二つのペースメーカー電極を導入する両室ペーシング療法が注目されているが、本研究の結果は、両室ペーシングの効果の一部は、興奮伝達時間の減少による機械的効率の上昇による可能性を示唆していると考えている。

現在は、より大きなモデルであるリング状の左心室モデル、あるいは左心室全体のモデルを構築し、バチスタ手術等の心臓に対する治療において、最適な治療方法を評価するためのツールを構築するため、精密な細胞モデルを用いたモデルにおける心室壁応力分布の評価等を行っている（図3）。

参考文献

- [1] 陸建銀、西俊文、芦原貴司、シュナイダーナタリー、天野 晃、松田哲也、小寺秀俊:心室筋興奮到達時間の組織収縮力への影響：シミュレーションによる解析, 生体医工学, 44 (1) : 170-176, 2006.

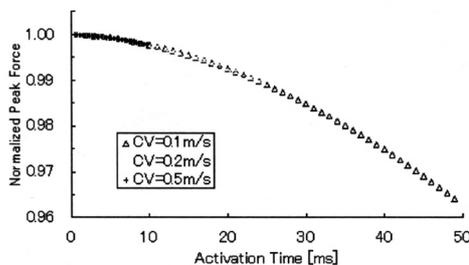
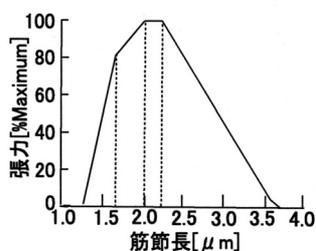


図1. 心筋細胞の長さ張力関係

図2. 興奮伝達時間(Activation Time)に対する心筋組織最大収縮力

図3. 左心室壁における応力分布

エネルギー社会環境学講座 エネルギー情報学分野

http://hydro.energy.kyoto-u.ac.jp/

「エネルギー・環境教育のためのディベート型議論支援システムの開発」

近年、人類の持続可能な発展のために、地球規模でのエネルギー・環境問題が重要視されている。しかし、これらの問題の解決には、エネルギーや環境関連技術の研究開発だけでなく、エネルギー・環境教育による人々の意識向上が必須である。エネルギー・環境に関連する問題は様々な要因が複雑に絡み合っているため、その解決には、多角的視点、論理的思考、情報収集整理等の能力が必要となる。しかし、従来の講義型の授業でこれらの能力を醸成するのは難しい。そこで、論理的・批判的思考、情報収集整理、コミュニケーション、多角的視点等の能力の醸成方法として競技ディベートを用いた学習に着目し、将来エネルギー・環境分野での第一線の研究者となることが期待される京都大学大学院エネルギー科学研究科の学生を対象として、情報通信技術を用いて効果的に上記能力の醸成を目指すディベート学習支援システム（DEEV）を開発した。

DEEVは、(1) 学習者の論理的・批判的思考、情報収集整理、コミュニケーション、多角的視点等の能力を醸成できること、(2) 1回のディベートが授業時間内（大学院教育を想定して90分とする）に実施できること、(3) 論理的な議論を支援できること、(4) 多人数が同時に参加できること、(5) 教師が各学習者の議論内容を容易に評価できること、の実現を目標として開発してきた。具体的には、大学の授業に容易に導入できることを目指してWebベースのサーバー・クライアント構成とした。システムソフトウェアはサーバー側に導入し、学習者はインターネットに接続されたPCとWebブラウザがあればDEEVを利用することができる。DEEVでは、学習者が与えられた論題に対して、賛成側3人反対側3人の計6人が参加するが、基本的に一対一で議論を行うため、相手側3人と同時並行で議論を進めることになる。また、論理的な議論展開を支援するため、主張・証拠・論拠からなるツールミンモデルを用いている。図1にDEEVシステムによるディベート学習の概念図を、図2に立論入力画面例を示す。

DEEVは、平成15年から京都大学エネルギー科学研究科の授業科目である「エネルギー社会・環境科学通論I」「同II」「国際エネルギー論」等の大学院教育や高大連携科目にて利用することにより延べ500人以上の受講生にディベート教育を実施してきた。この間、毎年受講生にアンケート調査を行い、DEEVによる教育効果を検証するとともに、システムを改良してきた。今後は、議論した論題に関するブレインストーミング支援システムへと発展させ、さらに創造的思考力の醸成効果を目指したい。



図1. DEEVシステムによる議論の概念

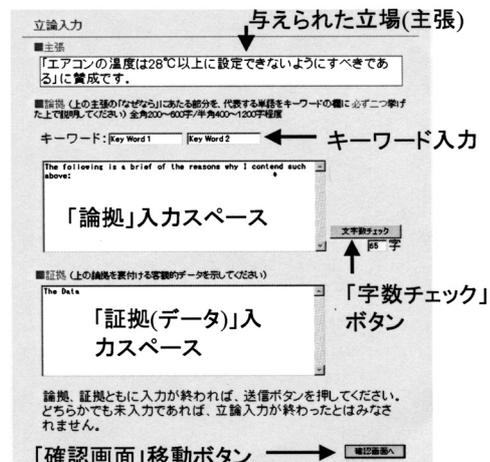


図2. 立論入力画面インタフェース

応用熱科学講座 プロセスエネルギー学分野

<http://www.pe.energy.kyoto-u.ac.jp/>

「アルミ安定化大型超電導導体の過渡的安定性」

化石燃料に代わる将来のエネルギー源として期待されている核融合炉においては、一億度に近い超高温プラズマを閉じ込めておくために強い磁場を必要とし、超電導マグネットの利用が不可欠である。この超伝導マグネットの過渡的安定性は、導体の構成、熱的特性と過渡熱伝達によって決定されると考えられる。超伝導体設計は、定常的な交流損失やある条件下でのモデルに基づいて行われるが、過渡的安定性は、特に大型導体の場合複雑となる導体構成や表面処理などに依存するために普遍的な評価手法は確立していない。たとえば、ヘリカル型核融合炉用LHD導体では、銅とアルミニウムを安定化材として複合し、定常的には十分な安定化を図っているが過渡的な不安定要因が観測されている。図1は先のLHD導体の断面図である。定常運転時にはこれに数十kAの電流を流すが、そのすべてがNbTi超電導部を流れている。しかし、何らかの原因で熱擾乱が与えられると、その電流はまわりのAlやCuに分流し過渡的な発熱を抑えようとする。この時、導体断面あるいは長手方向内での構成メンバーの電流拡散特性、ホール効果を考慮した過渡的な電流分布が、ジュール発熱分布、安定化材中の過渡熱伝導とシース表面冷却等に影響を及ぼし、結果として常伝導部伝搬速度など過渡的安定性に与えると考えられる。一般の、高磁場・大電流大型超伝導体においても、この影響を評価することは有用である。

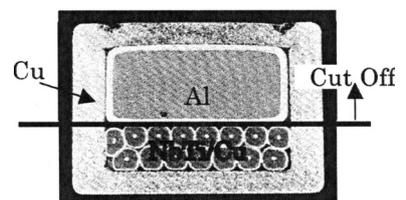


図1. LHD導体

本研究は、大型超電導マグネットにおける巻線の機械的不安定に起因する局所的擾乱に対する安定性評価基準を確立するため、コイル巻き線の局所的加熱による常電導転移が拡大伝播するか否かを指標として、超電導導体の冷却安定性の外部磁場（3～7 T）、ヘリウム温度（超流動He1.8K～常流動He4.2K）、およびヒータ入力に対する依存性を評価することを目的として、核融合科学研究所と共同で進めている。

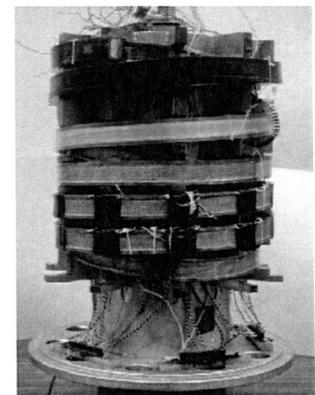


図2. テストコイル

例えば、LHD導体から安定化材であるAl部をカットしたテスト導体を作成（図1）し、これを用いた小型コイル（図2）で安定性試験を行い、本導体の試験結果と比較検討することで、その過渡的安定性への効果を検証した。その結果、常流動He冷却ではクエンチ電流値が半分以下に低下し、Al安定化材の効果が大きいことが示された。一方、超流動He冷却では超電導部が直接冷却される効果が大きく安定性を改善し、Alがないほうがクエンチ電流値はわずかながら高い結果となった。また、本導体で観測された、常伝導となった部分が導体長手方向の片側だけに伝搬していく現象（片側伝搬現象）は、AlとCuのホール係数の符号の違いにより大きな異方性となって現れると考えていたが、Alをとった場合でも片側伝搬現象は確認され導体内部の電磁現象を考える上での大きな知見となった。

またシミュレーション解析（図3）も併せて行い、導体内部の電流分布、発熱分布をモデル化してマクロ的な観測現象と導体内部の現象の整合性を検討している。これらから得られる知見は、将来の大型超電導導体の設計に役立つものと考えている。

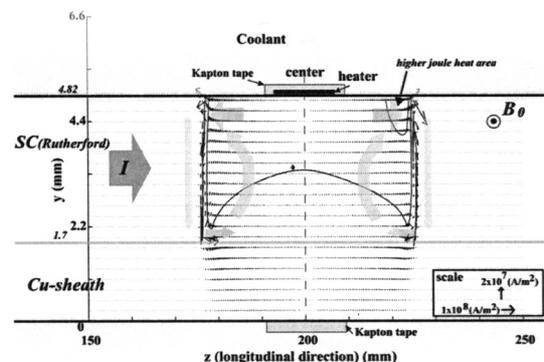


図3. 2次元安定性解析結果の例
(ホール電流と発熱分布)

エネルギー機能変換研究部門 複合系プラズマ研究分野（佐野研究室）
<http://www.center.iae.kyoto-u.ac.jp/sanok/index.html>
 「ヘリオトロンJ装置におけるトロイダル電流の研究」

今、世界中では地球温暖化等の環境問題がさかんに取り上げられています。エネルギーは環境と密接に関わっており、環境に優しいエネルギーの構築が環境問題解決の一つとして考えられています。太陽のエネルギー源である核融合プラズマを使った発電は、環境に優しい未来のエネルギーとして期待され、その実現にむけて世界中で精力的に研究が進められています。その中で、私達の研究室では「先進ヘリカル装置におけるプラズマ閉じ込め磁場配位最適化」を理念として、ヘリオトロンJという装置を使ったプラズマ実験を行っています。ヘリオトロンJの特徴として、1つの螺旋形状のヘリカルコイルに電流を流して作られる磁場によってプラズマを閉じ込めること、プラズマは3次元的に捻られたトロイダル（ドーナツ）形状をしていること、が挙げられます（図1）。

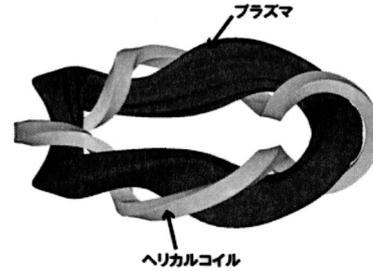


図1. ヘリオトロンJプラズマの鳥瞰図

トロイダルプラズマ中を流れるトロイダル電流の制御は高性能プラズマの実現に向けての重要な課題の一つです。ヘリオトロンJのようなヘリカル系装置ではプラズマ生成に際し、閉じ込め磁場を外部コイルのみで生成するため、トロイダル電流を必要としません。しかしながら、自発的なトロイダル電流も存在し、これがMHD平衡・安定性に影響を与えるため、結果としてプラズマパラメータが変化する可能性があります。したがって、電流機構を理解し、制御することは重要な問題です。ヘリオトロンJでは、図2 (a) に示すように数kAのトロイダル電流が実験的に観測されています。トロイダル電流にはプラズマの圧力勾配によって流れるBootstrap電流やプラズマ加熱の際に駆動される電子サイクロトロン電流駆動（Electron Cyclotron Current Drive, ECCD）等が挙げられます。

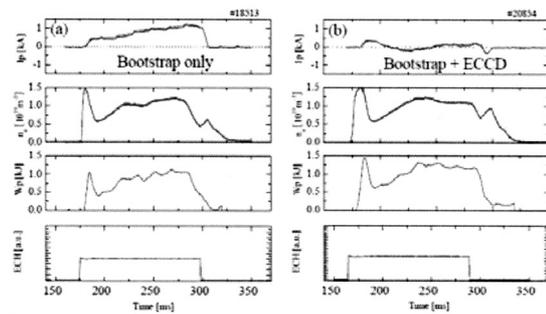


図2. トロイダル電流、電子密度、プラズマ蓄積エネルギーの時間発展

ヘリオトロンJ装置の磁場配位は多種多様に決定することができます。磁場配位は主にバンピネス、ヘリシティ、トロイディシティと呼ばれる磁場周期成分を持っています。トロイダル電流にはこれらの磁場配位の依存性が示唆されます。

図3にECCDのバンピネス依存性を示します。高バンピネス配位（●）では正の方向に流れ、中（▲）・低バンピネス（■）配位では負の方向に流れていることが分かります。ECCDの駆動には2つの効果があり、トロイダル方向への周回粒子によってもたらされるFisch-Boozer効果と捕捉粒子によってもたらされるOhkawa効果とがあります。両効果による駆動方向は相反するため、ECCDの駆動はそれらのバランスによって決まっています。正方向はOhkawa効果の方向を、負方向はFisch-Boozer効果の方向を示しています。バンピネスの違いによる駆動方向の違いは定性的に説明が可能であり、今後数値計算との比較を行ってさらに検証を進める予定です。今回の結果は、バンピネスがそれらのバランスを変え、ECCDの駆動を制御することが出来ることを示唆しています。このような実験結果のもと、例えばBootstrap電流とECCDを相反させて無電流プラズマをつくることに成功しています（図2 (b)）。今後は、さらにトロイダル電流がプラズマに与える影響について調べる予定にしています。

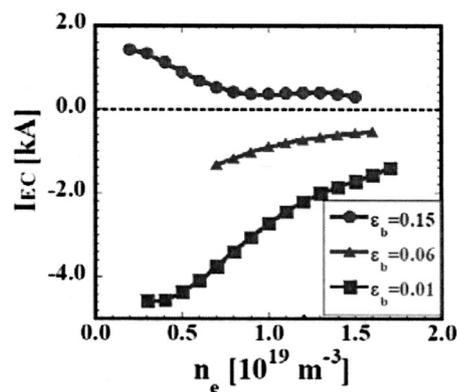


図3. ECCDのバンピネス依存性

情報学研究科 通信情報システム専攻 地球電波工学講座 地球大気計測分野
 生存圏研究所 中核研究部 診断統御研究系 大気圏精測診断分野（津田研究室）
http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/labs/tsuda_lab/
 「フィールド観測用小型ラマンライダーの開発」

当研究室では、レーダーをはじめとする地球大気の様々な領域や現象の光および電波リモートセンシングをおこなってきた。本稿では最近取り組んでいる小型可搬の水蒸気観測用ラマンライダーの開発について述べる。水蒸気は対流圏内で大きく変動し潜熱によるエネルギー輸送や降雨などの気象現象にかかる役割が大きいにもかかわらず、その遠隔観測法は十分に確立してないため、当研究室では電波や光を用いた水蒸気のリモートセンシングの開発に力を注いできた。

ライダー（レーザーレーダー）は、レーザー光を送信しターゲットで散乱される光を受信することでターゲットの情報を得るリモートセンシングである。大気中の分子やエアロゾル・雲粒子などを散乱体として大気の情報を得るものを大気ライダーという。自然光の吸収や放射を計測する受動的な光学観測に比較して、アクティブリモートセンシングであるライダーは、大気の情報観測点からの距離の関数として得られることが特徴であり、高い空間分解能で大気を観測できる。我々はアジア域最大の大気観測用レーダー「MUレーダー」のある信楽MU観測所に出力30W (Nd:YAGレーザーの第2高調波532nm, 600mJ, 50Hz)、受信口径82cmの大型レイリー/ラマン/ミーライダーを設置して、大気からのレイリー散乱、純回転ラマン散乱、水蒸気分子の振動ラマン散乱の各光を分光系と光電子増倍管（PMT）で受信し地上から高度90km付近までの温度や対流圏の水蒸気プロファイルを観測してきた。さらに水蒸気は地上付近の低高度に多く存在する上にその空間変動時間変動は大きいため、小型のラマンライダーを開発してフィールド観測への応用を目指した。0.6Wの小型Nd:YAGレーザーを用い、口径35cmの望遠鏡による「車載」移動可能なラマンライダーを開発し、昼夜24時間の高度300-400m付近までの水蒸気の観測と夜間に高度3-4kmまでの水蒸気をモニターできるシステムを開発した。高度範囲を限定してターゲットを絞ることで、微弱な水蒸気ラマン散乱光を効率的に受信するシステムを得ている。現在、情報通信研究機構の沖縄亜熱帯計測技術センター大宜味大気観測施設に設置し自動計測でアジアモンスーン域の水蒸気モニターを行なっている。一方、車でアクセスできないような森林内や火山の火口などでの水蒸気やエアロゾルの観測の要求も高く、GaAsPの高感度のPMTを用い、口径を20cmと小さくしてマンパワーで移動可能なシステムを開発した。火山から放出される水蒸気は噴気中の90%以上を占め、火山から大気へのエネルギー輸送の主役であり、また火山活動の指標ともなるにもかかわらず、周辺大気中の水蒸気との区別が難しいため計測が困難であった。開発したライダーは京都大学理学研究科地球熱学研究施設火山研究センターや北海道大学大学院理学研究科附属地震火山研究観測センターとの共同研究で阿蘇山中岳での観測での噴気内の水蒸気量が周囲の大気と比較して1.5~5 g/kg程度増加していることを水蒸気の距離分布が観測可能なライダーの特徴を活かして計測し、火口からの水蒸気のフラックスを求めることに成功した。今後種々の火山火口でのフィールド観測を行う他、森林圏と大気圏の相互作用が注目される森林内での観測も行なう予定である。

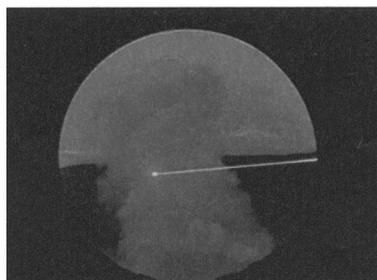


図1. 阿蘇山中岳での火山噴気の水蒸気ライダー観測の様子

宇宙電波工学講座 電波科学シミュレーション分野 (大村研究室)

<http://www.kurasc.kyoto-u.ac.jp/plasma-group/labo-o.html>

「大振幅電磁波ビームの強度空間勾配による宇宙プラズマ擾乱に関する計算機実験」

将来のエネルギー問題・環境問題の解決策のひとつとして宇宙太陽発電所 (SPS) が提案されている。SPSとは、静止軌道上で太陽電池パネルを用いて発電を行い、得られた電力をマイクロ波に変換し地球に送電するシステムである。SPSでは既存の衛星に比べ非常に大振幅の電磁波を地球に向かって放射することとなるため、その大振幅電磁波と宇宙プラズマの非線形相互作用が問題となると考えられる。そこで本研究では、それらの問題のうちの一つである大振幅電磁波ビームの強度空間勾配によって発生するポンドロモーティブ力によって生じるプラズマの穴あき現象に着目し、計算機実験によりその現象メカニズムを解析し、SPSにおける発生レベルの調査を行った。

本研究では、電磁粒子コードを用いて計算機実験を行った。2次元シミュレーション空間の一端から一様なプラズマ中に電磁波を放射するモデルを用いてシミュレーションを行ったところ、電磁波ビーム伝搬領域のプラズマ密度が低下するプラズマの穴あき現象を確認することができた。さらにプラズマ流体理論を用いて、このプラズマの穴あき現象によって生じる密度変化についての理論解を導き出し、この理論解と計算機実験結果との比較を行った。それにより、プラズマの穴あき現象に関するいくつかのパラメータ依存性などの特性を明らかにし、さらに等温プラズマではイオン音波のランダウ減衰が原因となり、理論と計算機実験が異なる結果となることが明らかになった。

また理論解を用いてSPSでのプラズマの穴あき現象による密度変動量を試算すると、プラズマ温度1500K、密度 $10^{12}/\text{m}^2$ の等温プラズマで、マイクロ波の最大電力密度を $400\text{W}/\text{m}^2$ 、周波数を5.8GHzとした場合には密度変動量は初期密度の $2 \times 10^{-3}\%$ 程度となった。このようにSPSではプラズマの穴あき現象による密度変動量は非常に小さいものとなり、SPSではこの現象は問題とならないと考えられる。

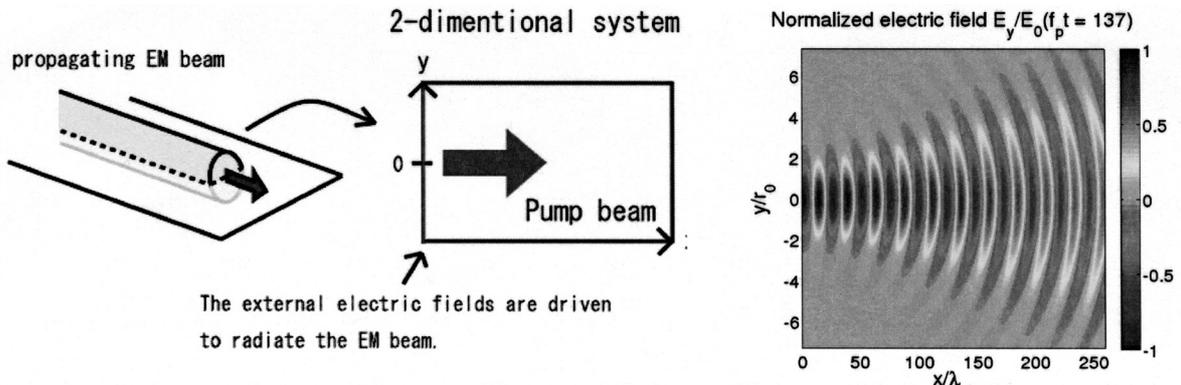


図1. 2次元計算機実験モデル (左図) と放射される電磁波ビームの電界 (E_y) の分布 (右図)

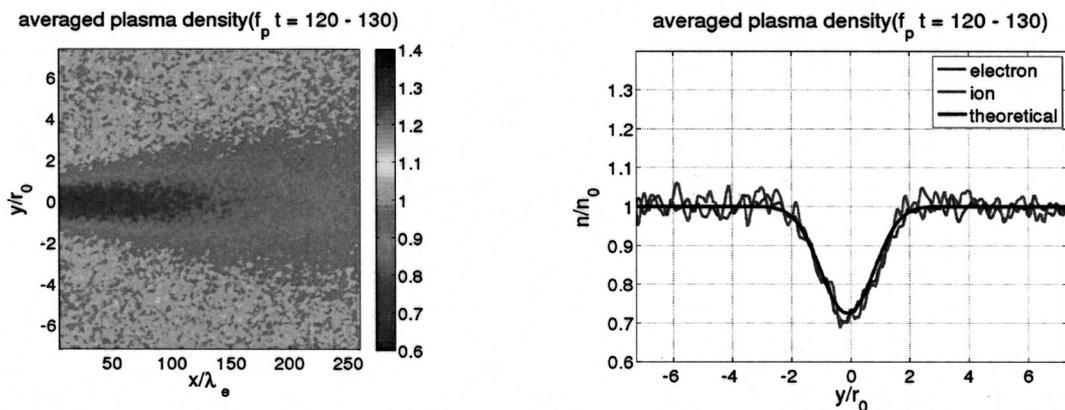


図2. 電子密度分布 (左図) と $x=50 \lambda_e$ 上でのプラズマ密度分布とその理論値 (右図)

情報メディア工学講座 情報可視化分野（小山田研究室）

<http://www.viz.media.kyoto-u.ac.jp/>

「ボリュームコミュニケーション技術に関する研究」

本研究では、ボリュームコミュニケーション技術に基づく遠隔協調研究支援環境の構築を目標とする。ボリュームコミュニケーションとは、シミュレーション計算から生成される膨大な数値データ（以降ボリュームデータ）というメディアを使った情報交換のことであり、遠隔協調可視化環境は、テレビ会議システムに可視化システムを融合したものである。

シミュレーション技術は、特に横断型研究分野で見られる複雑高度化された問題を解決する糸口を与えるものとして期待がますます大きくなっている。横断型研究の例としては、地球規模の循環・環境変動の予測、次世代モノづくりの支援、効率的な創薬のプロセスの実現、そして個人毎に最適な薬剤や治療法を見出すテーラーメイド医療の実現などがある。これらを支援するシミュレーション技術は、高精度・高分解能化されていく傾向があり、結果としてそのボリュームデータは大規模化する。そこで、大規模ボリュームデータを共有し、物理的距離を越えて関連する複数の専門家による議論を行うことのできる遠隔協調研究支援環境が求められている。

本研究で対象とする可視化技術としては全体的な現象把握に向くボリュームレンダリングを考えるが、ボリュームデータの大規模化に対しては現在十分な技術が開発されていない。また、現在提案されている遠隔協調研究支援環境においては、高臨場感の追及が優先し、遠隔参加者全体を3次元データとして表現するために、スムーズなコミュニケーション実現の観点で有効であるとはいえない。

以上の問題を解決するために本研究で開発すべき要素技術としては、

- | | |
|--------|--------------------------|
| 要素技術1. | 粒子ボリュームレンダリング技術 |
| 要素技術2. | 代理人表示装置による対面コミュニケーション技術 |
| 要素技術3. | ボリュームデータ向け直感的操作インタフェース技術 |

を考える。

要素技術1については、前回の研究紹介にて報告した[1]。要素技術2については、参加者がボリュームデータを取り囲んで議論を行う環境を仮想的に実現することを目標とする。本研究では、遠隔協調研究を支援するという目的から考えると参加者についての正面顔の表情と向きに関するデータを各サイトに転送することで十分であると考えられる。このため、各コミュニケーション地点において、ボリュームデータ・各参加者それぞれに対応した表示装置（ボリューム表示装置・代理人表示装置）を設置する。コミュニケーション参加者がどこを向いているかを実時間で取得し、それらを他地点での代理人表示装置の回転角度に反映させる。本研究で開発を行う対面コミュニケーション環境では、参加者が特別な機器を装着する必要がなく、グループ討論に集中できることが特徴である。

要素技術3については、指の動きも含めた手のジェスチャによるコミュニケーションの実現を目指す。データ内部の場所の指定だけならば3次元マウスの利用も選択肢のひとつとなるが、ボリュームコミュニケーションではある点を通る面を説明する状況が多く発生する。人体の動きを実時間で取得し、遠隔転送・表示する研究については国内外で研究事例[2]があるが、ボリュームデータ操作に手のジェスチャを取得する研究例は見当たらない。

本研究における学術的特色は、大規模ボリュームデータに対する遠隔協調研究支援環境構築についての方法論を提案する点であり、ボリュームコミュニケーションの場に、代理人表示装置を用いて実体化された研究者や直感的操作インタフェースを提示する枠組みは独創的なものである。図1に概念図を示す。



図1. 遠隔協調研究支援環境の概念図

参考文献

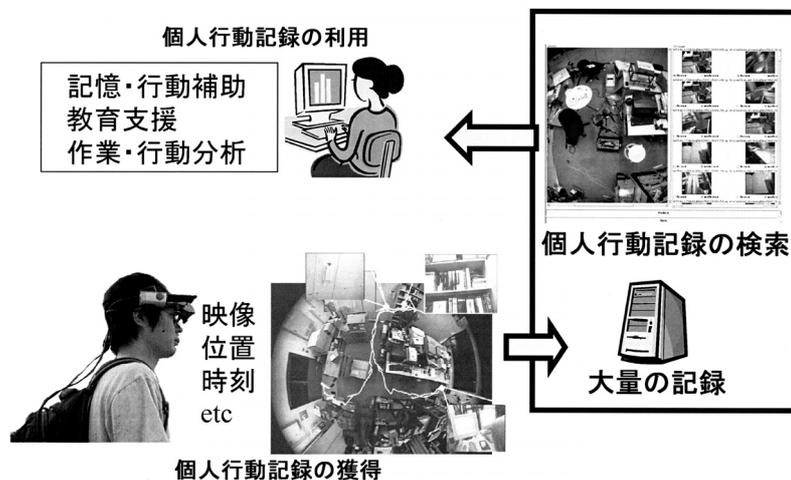
1. 小山田耕二, “粒子ボリュームレンダリング”, cue 第16号, 2006
2. W. Chen, H. Towles, L. S. Nyland, G. Welch, H. Fuchs, “Toward a compelling sensation of telepresence: demonstrating a portal to a distant (static) office,” IEEE Visualization 2000, pp.327-333.

情報メディア工学講座 複合メディア分野 (中村 (裕) 研究室)

<http://www.ccm.media.kyoto-u.ac.jp/>

「ウェアラブル機器による個人行動蓄積と利用」

計算機の小型化や記憶装置の大容量化が進んだことにより、ウェアラブル（着る）コンピュータという概念が使われるようになって来ました。我々の研究室では、このようなコンピュータの一つの形として、身につけた各種のセンサや映像を取得して、装着者の行動を長時間記録していく研究を行っています。このような記録は個人行動記録、あるいはライフログと呼ばれており、情報支援記憶の補助、訓練・教育、経験の共有などへの様々な応用が期待されています。



このような研究の一つのポイントは、大量に記録されるデータの要約、検索、提示と言った処理です。個人行動記録として蓄積されるデータには「いつ、どんなものを見ながら、何をしていたか」に関する有用な記録が多く含まれますが、記録が長時間かつ膨大なデータ量になるため、必要な情報に素早くアクセスすることが難しくなってきます。そこで、効率的な要約や検索を可能にする必要が出てきます。

我々のこれまでの研究では、装着者が何かに注目しようとした行動を検出し、そのシーンを使って長時間の記録を簡潔に要約したり、検索を容易にする手法を提案してきました。何かをしっかりと見ようとしている場面だけでも、記憶の良いインデックスになるということがわかってきています。また、屋内外の環境に備え付けられた広視野のカメラを併用することで、詳細な位置情報や装着者周辺の状況を同時に記録することで、「どこで、(どのような経路で)」と「周辺がどのような状況であったか」という情報を補う方法を提案してきました。これにより、記憶の補助だけでなく、経験の共有や訓練などにより使いやすい記録を得ることができます。

さらに、このような要約・構造化の処理を行なったとしても、記録量が膨大になるにつれ、さらに効率的に個人行動記録を検索することが必要になってきます。そのために、我々は個人行動記録が本来持つ性質を利用した検索手法を提案しています。記憶や記録をたどる最も有効な方法の一つは、強く関連する情報を芋づる式に引き出すことです。例えば、本棚と本、冷蔵庫とペットボトルといった対象は強い関連性を持っており、それは物理的環境や人間の行動からわかるはずですが、そこで、大量のデータに対してこのような関連性の検出を行う手法を手がけています。また、何らかの指示を受けながら作業をするような場面を記録し、発話内容をインデックスとして自動的に付与することで、「なぜ」や「何が重要か」などの情報を補足することを試んでいます。

このような検索技術を用いて欲しい場面を素早く検索できるようにすることで、個人行動記録は簡単に扱えるメディアとなり、様々な場面で応用されていくものとなります。

参考文献

小泉敬寛, 中村裕一, “隣接性に基づく個人行動記録の構造化類似検索”, 情報科学技術フォーラム (FIT2006), LI-010, pp.197-200, 2006年

平成18年度修士論文テーマ紹介

工学研究科 電気工学専攻

浅田 康介 (古谷助教授) 「脳波に基づく修正型電気痙攣療法の治療効果指標に関する基礎的研究」
難治性精神疾患の治療法である電気痙攣療法の治療効果を表す指標を構成することを目的として、脳波に基づくさまざまな指標と、治療効果と密接な関係があるとされる脳性痙攣持続時間および重症度を表す臨床的指標との相関を調べ、相関の高い新たな指標の構成を試みた。

夏山 正純 (古谷助教授) 「需要の不確定性を考慮した発電機起動停止計画問題に対するハイブリッド解法」

本研究では、総発電費用を最小にするよう発電機の起動停止パターンおよび出力を決定する発電機起動停止計画問題において、需要に不確定性が存在する場合を考え、ラグランジュ緩和とシミュレーテッド・アニーリング法を組み合わせたハイブリッド解法を提案した。

森島 和史 (古谷助教授) 「麻酔薬の相互作用を考慮した麻酔鎮静度のモデル予測制御の試み」

静脈麻酔薬と吸入麻酔薬を併用する麻酔法における鎮静度の自動制御を目的として、複数薬剤の相互作用を考慮した薬物濃度と効果の関係を表す新たなモデルを提案するとともに、モデル予測制御法を用いた鎮静度制御システムを構成し、シミュレーションによる検討を行った。

楊 大智 (古谷助教授) 「2次形式評価関数に基づく離散時間最適スライディングモード制御系の一設計法」

離散時間スライディングモード制御系について、スライディング平面に到達する条件を満たす制御則の設計法の比較を行うとともに、状態と操作量を含む2次形式評価関数について最適なスライディング平面の設計法を提案し、入力むだ時間がある場合に拡張した。

小畑 信彦 (島崎教授) 「節点要素および辺要素を用いた準定常磁界解析におけるAMG法の並列化に関する研究」

並列計算環境における高速準定常磁界解析のためのAMG法を提案した。A法、A- ϕ 法による解析のそれぞれについて、節点ベース、辺ベースの多色順序付け法を用いることを提案し、その妥当性を数学的に示した。数値実験によっても提案手法の有効性を示した。

白石 亮一 (島崎教授) 「三角形メッシュを用いたFIT法による電磁波計算の陽解法化に関する研究」

有限積分法 (FIT) により、三角形計算格子を用いた電磁波計算手法を開発した。計算効率の向上のため、副格子の電束から主格子の起電力を陽的に算出する手法を検討した。誘電率テンソルを対角近似することにより、FDTD法と同程度の計算効率を実現した。

平 尾 啓 (島崎教授) 「誘導機固定子を用いた電磁鋼板2次元磁気特性測定に関する研究」

誘導電動機の固定子をヨークとして用いた、電磁鋼板のベクトル磁気特性測定装置を開発した。円形試料の円周部に切込みを入れることにより、測定部の磁束密度の一様性を改善した。回転磁束および各方

向の交番磁束を印加した時の特性を磁気特性計測した。

三 室 直 紀 (島崎教授)「磁区構造モデルを用いた磁性体薄膜の磁化過程表現に関する研究」

磁区構造モデルでは、磁壁を磁化の不連続面とし、磁気エネルギーを極小にする磁区内磁化ベクトルの角度と磁壁の位置とを求めることにより磁性体の磁化状態を表現する。同モデルの改良を行い、マイクロ磁気学計算との比較により、その有効性を検証した。

小 蒲 義 夫 (中村助教授)「かご型回転子を有する高温超伝導電動機の誘導ならびに同期回転特性に関する基礎研究」

本論文では、2次巻線を高温超伝導化したかご型誘導機の基礎検討を行った。詳細な試験の結果、本電動機が定トルクに近い垂下加速特性ならびに同期トルクを有することを実証することに成功した。また、実験結果の一部について、メカニズムの解明に成功した。

佐 藤 隆 彦 (中村助教授)「Y系次世代線材を適用した高温超伝導SMESコイル開発のための基礎検討」

本論文では、高温超伝導磁気エネルギー貯蔵 (SMES) 用コイル開発のための基礎検討を行った。短尺試料を適用した実験的検討により、イットリウム系次世代高温超伝導線材特有の偏流や、機械特性の一部を明らかにし、コイル設計の知見として役立てることができた。

井 前 直 人 (小林 (哲) 教授)「脳機能イメージングへの統合を目指した拡散テンソルMRIによる神経線維解析」

磁気共鳴拡散テンソル画像 (MR-DTI) に基づく脳神経線維追跡法について、神経線維の交叉における追跡エラーの問題を解決する手法を提案した。シミュレーションによって神経線維の交叉における有効性を確認した。また、機能的磁気共鳴画像 (fMRI) との統合解析法についても検討を行った。

大 橋 俊 平 (小林 (哲) 教授)「機能的MRIと脳磁図を統合した脳神経活動の高精度解析法」

ヒトの高次脳機能に関与する大脳皮質における複数の神経活動部位のダイナミクスを高精度に解析するため、機能的磁気共鳴画像法 (MRI) と脳磁図を統合する新たな手法の提案を行った。シミュレーションならびに視覚認知実験により得られた実測データに新手法を適用してその有効性が確認できた。

林 泰 隆 (小林 (哲) 教授)「真空中固体絶縁物の絶縁・帯電特性におけるシールドリングの効果」

真空中の円筒型絶縁物の沿面絶縁耐力を上げるため、シールドリングの形状を変えてその帯電抑制効果を検討した。帯電分布と陰極電界を計算するとともに、静電プローブを用いて陰極電界を測定したところ両結果は良く一致し、シールドリングが帯電抑制に効果的であることを明らかにした。

甲 本 亜 矢 子 (小林 (哲) 教授)「視知覚に関わるfMRI賦活領域及びその機能的結合の解析に関する研究」

多安定視知覚現象の脳内機構を解明することを目的として、機能的磁気共鳴画像 (fMRI) による脳神経活動部位の同定を行った。加えて複数の脳領域におけるfMRI信号間のウェーブレットコヒーレンスから機能的結合を検討した。その結果、前頭並びに頭頂連合野ネットワークの関与が示唆された。

松崎 俊太郎 (引原教授) 「回路応用に向けた SiC-SBD/JFET のモデリングに関する研究」

本論文の目的は、SiC パワーデバイスの利点を十分に引き出す回路設計のため、その定常およびスイッチングにおける過渡特性を、素子の従う物理の考察に基づきモデリングすることである。また、試作した電力変換回路の動作を、作成したモデルを用いた回路シミュレーションによって定量的に評価した。

村上 勇 蔵 (引原教授) 「チョックコンバータの受動性を考慮したデューティ比制御による並列化に関する研究」

本研究では、並列化したチョックコンバータの制御手法について検討を行っている。チョックコンバータに蓄えられているエネルギーに着目して散逸を与える制御 (= 受動性に基づく制御) を適用し、デューティ比制御則を導出した。そして、導出した制御則が有効であることを数値的に確認した。

冨田 達 也 (引原教授) 「圧電薄膜カンチレバーのパラメータ制御に関する基礎研究---原子間力顕微鏡への応用に向けて---

本論文では、圧電素子と一体化することでカンチレバー振動の自己検出・自己駆動を可能とした圧電薄膜カンチレバーのパラメータ制御について検討した。また、パラメータ制御を応用することによって、パラメトリック共振や周期倍分岐と呼ばれる非線形現象に基づく、原子間力顕微鏡の測定モードの可能性を検証した。

中川 公 人 (引原教授) 「TCR-SVC における非線形現象の発生メカニズムに関する研究」

本研究では、TCR-SVC において発生するスイッチング時間分岐、正負非対称波、分数調波といった非線形現象の発生メカニズムについて数値的に検討を行っている。非線形現象発生パラメータが Hill 方程式の解の性質に関係することを示すと共に、離散写像を用いて分数調波の発生メカニズムを説明している。

林 一 真 (和田教授) 「時間解像度と量子化レベルを関連付けた $\Delta\Sigma$ 変換のための適応デシメーション」

$\Delta\Sigma$ 型 AD 変換器のデシメーションにおける時間解像度と量子化レベルの関連性に注目し、信号波形の傾きに基づいて時間解像度と量子化レベルを適切に変化させることにより、誤差の少ない信号表現ができることを提案した。また、そのアルゴリズムのハード化を行ない FPGA に実装した。

梅田 紘 章 (萩原教授) 「非因果的周期時変スケーリングに基づくサンプル値系のロバスト安定解析と安定化」

本論文では、非因果的な周期時変スケーリングを導入し、サンプル値系の安定性を保証する不確かさの解析問題が近似的に離散時間系の最適化問題に帰着できることを示す。さらに発展的課題として、不確かさに対してサンプル値系の内部安定性を保証する補償器の設計を行う。

牧野 徹 (大澤教授) 「長周期電力動揺のパラメータ同定に関する考察」

フェーズ計測装置 (PMU) によって 3 地点で観測した電圧位相の情報を用いて 2 つの電力動揺モードの性質を表す動揺方程式をモデル化し、それに含まれる各種のパラメータを同定する手法を提案するとともに、実測結果によって提案手法の妥当性を検証している。

佐竹 佑 介 (大澤教授) 「電力系統の構造特性に基づく電圧変動の上下界解析」

本研究は、電力系統における電力方程式の二次関数表現を用いて微小電力擾乱に対する母線静的電圧変動範囲の上下界を調べた。主な結果は、電力系統構造行列の最大最小特異値に基づく静的電圧変動の二次不等式とその幾何学的な解釈である。数値例により、提案法の上下界の有効性も検証された。

巢 組 将 広 (大澤教授)「実系統の広域位相計測によるオンライン安定度監視」

2地点間の位相差変化速度を用いて電力動揺の固有値を推定する手法を提案し、フェーザ計測装置(PMU)による電圧フェーザの実測結果から各モードの周波数と制動係数の推定を行うとともに、電力潮流や臨界故障除去時間との関係を導くことによって安定度監視を行う方法を検討している。

和 田 研 一 (大澤教授)「風力発電を連系した電力系統における周波数変動抑制用蓄電池の制御手法に関する検討」

風力発電の出力変動による系統周波数の変動を抑制するための蓄電池の電力制御手法として、風力発電出力平滑化手法、系統周波数を直接入力とする手法、ニューラルネットワークによって蓄電池出力目標値を導出する手法について、シミュレーションによる比較検討を行ったものである。

宮 川 哲 也 (山川教授)「建物内無線配電システムのための小型大電力レクテナの開発研究」

革新的な電力供給方法としての建物内無線配電システムの実現に向けて、64分配型大電力用小型レクテナ整流回路を開発し、DC-DCコンバータ、蓄電池と組み合わせて、受電アダプタとして高効率で長時間動作することを確認した。

今 久 保 洋 (山川教授)「科学衛星搭載用プラズマ波動観測器アナログ回路部の集積化に関する研究」

科学衛星搭載用プラズマ波動観測器の超小型化を目指して、そのアナログ回路部の集積化に取り組み、構成要素である帯域制限gm-Cフィルタ、オペアンプをASIC内に実現し、所望の性能が得られていることを確認した。

大 畑 良 行 (橋本教授)「マイクロ波電力伝送のためのソフトウェアレトロディレクティブシステムの研究」

受電点から到来するパイロット信号の位相検出と送電ビーム形成を計算機上で行うソフトウェアレトロディレクティブシステムの研究開発を行った。一連のシステム実証実験を行い、ビーム方向の高精度化および送電アレイの位相誤差較正システムについて考察した。

中 本 成 洋 (橋本教授)「大振幅電磁波ビームの強度空間勾配による宇宙プラズマ擾乱に関する研究」

宇宙太陽発電所 (SPS) 及びその実証実験において発生が示唆されている、大振幅電磁波ビームの強度空間勾配によって生じるポンデロモーティブ力による電離層プラズマ擾乱現象に着目し、計算機実験や理論的考察によりその物理現象のメカニズムや特性を解析した。

古 家 直 樹 (橋本教授)「Test Particle Simulations on Acceleration of Relativistic Electrons by Coherent Whistler-Mode Waves in the Earth's Radiation Belt (地球放射線帯におけるホイッスラーモード波による相対論的電子加速のテスト粒子シミュレーション)」

テスト粒子シミュレーションにより、地球放射線帯における相対論的電子の加速過程を発見した。この加速過程は、地球のダイポール磁場におけるコヒーレントなホイッスラーモード波との非線形共鳴によって電子が捕捉され、波の伝搬方向と同じ方向に運動することにより起こる。

松本 陽史 (大村教授) 「宇宙電磁環境モニターに関するアナログ集積回路の開発・研究」

「宇宙電磁環境モニターシステム」のアナログ処理部にASIC (Application Specific Integrated Circuit : 特定用途向け集積回路) 技術を用い、その小型・軽量化を図る。実プロセスを用いてASIC回路の試作を行い、ASIC化による問題点の調査およびその改善を図った。

湯 風 亮 (大村教授) 「Simulation study on dynamics of high energy particles in the Earth's magnetosphere (地球磁気圏における高エネルギー粒子ダイナミクスの計算機シミュレーション)」

ツイガネンコモデルなどの現実的な地球磁場モデルおよび朝側-夕方側電界を取り入れたモデル空間において、3次元テスト粒子シミュレーション手法により、磁気圏尾部から地球近傍領域への電子、イオンの流入、その拡散、加速などの粒子ダイナミクスを解析した。

大山 哲平 (大村教授) 「宇宙太陽発電衛星軌道への太陽光およびマイクロ波放射圧の影響に関する研究」

太陽光放射圧およびマイクロ波放射圧が宇宙太陽発電所 (SPS) 軌道に及ぼす影響を力学的に解析した。太陽電池パネルの傾きを利用したSPSの静止軌道維持・制御方法の検討や、常に太陽指向にSPSを置いた場合の長周期的な軌道の変化について定式化を行い、SPSの運用への応用を検討した。

安原 幸生 (小山田教授) 「シーングラフを利用したパイプライン管理機構に基づく可視化システムの開発」

本論文では、複数ボリュームデータの統合表示といった従来可視化システムでは困難であった可視化手法を実現するためにシーングラフを利用した複数の可視化パイプラインの統合管理機構を提案した。数値シミュレーション結果や3次元医用画像データに本手法を適用しその有効性を検証した。

山下 由起子 (小山田教授) 「階層型応答曲面法によるパラメータ最適化手法の改良—細胞シミュレーションへの適用—」

本論文は、階層型応答曲面法に対して、正定性判定を利用した計算コスト削減手法やモデル化対象領域拡大による精度向上手法を提案したものである。その研究成果はKYOTOモデルにおける心筋細胞の活動電位算出シミュレーションのパラメータ最適化へ適用され、その有効性が示された。

宮田 康志 (中村 (裕) 教授) 「作業支援システムのための人工エージェントとのインタラクションを援用した物体認識」

作業や生活を見守りながらさりげなく支援するメディアを実現するために、作業支援システムとそれを用いる人間の間に人工エージェントを介在させる枠組みを提案する。システムとユーザが自然に協力することを可能にし、従来の自動認識によるユーザ支援の問題点を克服する。

工学研究科 電子工学専攻

大 牧 正 幸 (鈴木教授) 「 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ 固有ジョセフソン接合の微小構造作製とその特性に関する研究」

量子ビット素子への応用をねらいとして、層状結晶構造を有する高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ 単結晶から数層の固有ジョセフソン接合の微小メサおよび微小クランク構造を作製し、接合のスイッチング電流確率分布を5Kまで測定した。接合大きさが $2\mu\text{m}^2$ 以下のときに単接合熱励起型の理論に従う振る舞いを確認した。巨視的量子トンネル効果へのクロスオーバーは5K以下であった。

車 谷 幸 二 (鈴木教授) 「高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+\delta}$ 固有ジョセフソン接合の単結晶育成と固有トンネル分光に関する研究」

BaZrO_3 ルツボを使うことにより、 CuO_2 層が1層の高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+\delta}$ で T_c が35Kと高い単結晶を育成することに成功した。この結晶を用いて、1辺 $10\mu\text{m}$ 、厚さ5-6層の微小メサ構造を作製して固有トンネル分光を行った。その結果、この系の超伝導ギャップが20meVであることがわかった。また、これまでの超伝導体の分光スペクトルと著しく異なることを見いだした。

辰 巳 龍 (鈴木教授) 「衝撃イオン抑制中間プレートを用いたスパッタ法による $\text{La}_{2-2x}\text{-Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ 強磁性薄膜のc軸エピタキシャル成長に関する研究」

層状構造強磁性体 $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ のトンネル磁気抵抗素子への応用をねらいとして、衝撃イオン抑制中間プレートを用いたマグネトロンスパッタ法によるc軸エピタキシャル成長を検討し、基板温度 900°C で SrTiO_3 (100) 基板上にスパッタ法では初めてc軸エピタキシャル薄膜の成長に成功した。150Kにおいて、磁化および抵抗率により強磁性転移を確認した。また約200%の磁気抵抗を観察した。

中 村 裕 司 (鈴木教授) 「 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3/\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ 強磁性超伝導二層エピタキシャル構造の作製とスピン偏極準粒子注入効果に関する研究」

SrTiO_3 (100) 基板上に高温超伝導体 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (LSCO) と巨大磁気抵抗強磁性体 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_{1+2x}\text{MnO}_3$ (LSMO) の2層エピタキシャル接合構造を作製し、これを用いてLSMOからスピン偏極準粒子をLSCOに注入し、面内方向のLSCO臨界電流および面と垂直方向の接合特性を測定し、準粒子注入効果を観察した。その結果、準粒子注入効果による発熱効果と非平衡効果がほぼ同程度現れていることが明らかになった。超伝導層が十分薄くないことの効果として考察した。

瀬戸島 範 幸 (石川教授) 「窒化ハフニウムフィールドエミッタアレイの作製および評価」

窒化ハフニウムを陰極材料として有するゲート付きフィールドエミッタアレイの作製プロセスを確立した。作製した素子の電子放出特性を超高真空中で調べた。特に高温デバイスとしての可能性を検討し、 100°C までの使用に耐えることを示した。

中 塚 博 之 (石川教授) 「ゲルマニウム負イオン多重注入したシリコン酸化膜からの発光に関する研究」

100nm厚のシリコン酸化膜にゲルマニウム負イオンを3つのエネルギーで多重注入し、その発光特性をカソードルミネッセンスおよびフォトルミネッセンスにて測定した。 800°C 程度の熱処理後に400nm近傍に青色CL発光やPL発光を観測し、電界発光素子開発の可能性を示した。

服部 光高 (石川教授) 「炭素負イオン注入によるポリスチレン表面での間葉幹細胞の選択的接着制御と神経細胞への分化誘導」

炭素負イオン注入によりポリスチレン薄膜上に微細な注入パターンを形成し、多分化能を有する間葉幹細胞を注入パターンに沿って接着させ、かつ、神経細胞への分化誘導することを達成した。これにより、間葉幹細胞を用いた人為的神経回路網形成の可能性を示した。

箕谷 崇 (石川教授) 「単電子素子開発を目指した負イオン注入法によるシリコン酸化膜中でのゲルマニウムナノ粒子の形成」

単電子メモリ開発を目的として、厚さ25nmの極薄シリコン熱酸化膜にゲルマニウム負イオン注入を行い、直径2nmのGeナノ粒子を深さ12nmに形成した。また、電気的特性評価を行い、クーロン階段の電流電圧特性および容量電圧特性では電荷保持能力が認められた。

伊藤 陽介 (橘教授) 「同軸型誘電体バリア放電の大気圧動作とその応用に関する研究」

大気圧プラズマ源として、環状電極内にガス流が存在する同軸構造の誘電体バリア放電を研究した。巨視的に均一なシート状構造及び長尺の低温ジェット状構造に対して、レーザー吸収分光法・ミリ波透過法により放電基礎過程を明らかにし、その応用展開についても示した。

川崎 亮 (橘教授) 「レーザー誘起蛍光法を用いた酸素添加C₂Fプラズマ中のラジカル密度測定」

レーザー誘起蛍光法を用いて、ドライエッチング用途の酸素添加C₂F₆プラズマ中のラジカル密度測定を行った。主要ラジカルであるCF・CF₂及び酸素ラジカルの密度分布を測定し、それらのパラメータ依存性から各種ラジカルの生成・消滅・輸送過程を明らかにした。

西村 好康 (橘教授) 「プラズマ重合低誘電率薄膜の堆積過程と膜物性の解析」

ULSI用低誘電率絶縁膜形成のためのシロキサン系モノマーやアダマンタンを含むプラズマをその場赤外吸収分光法により診断し、その解離過程の一部を明らかにした。また、プラズマの低電子温度化による解離抑制が膜の低誘電率化に有効であることを見出した。

橋本 真樹 (橘教授) 「ACPDPにおける放電特性と発光効率の電極構造及び駆動方法依存性」

ACPDPの新規構造に対して、レーザー吸収分光法ならびに近赤外発光像の高速高空間分解能測定を用いてその診断を行った。2つの新規の維持電極構造に対して補助電極を追加して配置し、瞬時的カソード・アノード電極の選択駆動により発光効率の改善を確認した。

甘利 浩一 (木本教授) 「分子線エピタキシー法で作製したGaN/SiCおよびAlGaN/SiCヘテロ接合バイポーラトランジスタに関する研究」

SiCバイポーラトランジスタの格段の高周波化を実現する方法としてSiC/III族窒化物ヘテロ接合の利用に着目し、分子線エピタキシャル成長によるGaN/SiCおよびAlGaN/SiCヘテロ接合の作製、ヘテロ接合バイポーラトランジスタの試作および特性評価を行った。

福永 勝彦 (木本教授) 「単結晶SiCの異方性および選択エッチングとSiC光MEMSの作製」

薄膜堆積が容易な多結晶SiCを用いたMEMSの開発は進んでいるが、単結晶SiCを用いたMEMSの研究例はほとんど無い。本研究では、単結晶SiCのマикроマシーニングの基本となる異方性エッチングおよび選択エッチング技術の基礎確立を進めると共に、それらを用いた光MEMS基本構造の試作を行った。

中 井 章 文 (松重教授) 「周波数検出型原子間力顕微鏡を用いた強誘電体分極領域の電気特性評価」
本研究では、強誘電体結晶 (TGS) および強誘電体有機薄膜 (P (VDF/TrFE)) のドメイン構造を周波数検出型原子間力顕微鏡 (FM-AFM/KFM) を用いた電気特性測定およびエネルギー散逸測定を同時同一領域において行い、TGSドメイン境界における誘電率変化を、さらに温度可変計測により誘電体表面で検出される電位が試料表面における電荷状態に強く依存することを明らかにした。

西 尾 太 一 (松重教授) 「カーボンナノチューブ電気物性の外場効果に関する研究」

カーボンナノチューブ (CNT) をチャンネルとして用いた電界効果トランジスタ (FET) において、その近傍での有機強誘電体薄膜の分極ドメイン形成や、局所的な応力印加がFET特性に及ぼす影響を評価し、CNTを用いたナノ電気機械システムの実現に向けた基礎的な知見を得た。

能 崎 信一郎 (松重教授) 「電界誘起される有機強誘電体薄膜の構造変化と分極疲労メカニズムに関する研究」

本研究では、低温クエンチ法により成膜したVDFオリゴマー薄膜の強誘電特性を調べ、結晶構造や分子配向の変化と残留分極量の減少に相関があることを明らかにした。また電極界面の変化から電極の酸化やピニング現象を誘起する可動電荷や注入電荷の制御が分極疲労の抑制に重要であることを示した。

松 本 有 史 (松重教授) 「低分子有機強誘電体を用いたフレキシブル焦電型赤外線センサの開発」

本研究では、低分子強誘電体 VDF オリゴマー薄膜を用いた焦電型赤外線センサの開発を行った。プラスチック基板種や電極構造と赤外線センサ特性との相関を調べ、光学的・熱的・電氣的観点からのセンサ素子構造の最適化を行った。また有機材料の可塑性を生かしたフレキシブル赤外線センサとしての応用を検討した。

金 井 聡 庸 (川上助教授) 「マイクロミラーアレイを用いたInGaN/GaN単一ナノコラムの分光」

マイクロミラーアレイを開発し、おのこのナノコラムに番地をつけた上で、InGaN/GaNナノコラム一本一本からの発光を観察する手法を確立した。その手法を用い、単一ナノコラムの時間分解分光を行い、キャリアダイナミクスを明らかにすることに成功した。

近 藤 剛 (川上助教授) 「GaNマルチファセット構造上へのInGaN多色発光ダイオードの作製」

有機金属気相成長法を利用した再成長法により、多数の結晶面からなるマルチファセット構造上にInGaN量子構造を形成し、発光色が広い範囲で制御できることを見出し、多波長発光ダイオード試作に成功した。将来のテイラーメイド光源開発に繋がるものと期待している。

石 崎 賢 司 (野田教授) 「3次元フォトリック結晶による自然放出制御に関する研究」

3次元フォトリック結晶による自然放出制御について、構造揺らぎや有限性を考慮した計算を行い、実験的に期待される特性を明らかにした。また、発光体を導入した17層の3次元結晶を評価し、発光強度の30dB抑制などを示した。さらに、電子・光子の双方からの自然放出制御を目指し、量子ドットと3次元結晶の融合を検討した。

永 島 拓 志 (野田教授) 「2次元フォトリック結晶ナノ共振器のQ値の動的制御と光パルストラップに関する研究」

パルス制御光を用いてピコ秒程度の短い時間に2次元フォトリック結晶ナノ共振器のQ値を 10^3 から 10^4

へと変化させることに成功した。このQ値動的制御に同期させて信号光パルス共振器へ入射し、その6割程度が共振器に捕らえられたことを示す結果を得た。これらの成果は将来的に光バッファメモリー等の素子へと応用可能である。

松原 一平 (野田教授) 「繰り返し回折効果をもつフォトニック結晶有機ELデバイスに関する研究」
有機ELデバイスの出射面にフォトニック結晶を導入することで光取り出し効率の改善を試みた。理論検討では、デバイス内部での繰り返し反射により光が何度もフォトニック結晶面に到達しうる効果を利用して効率を1.4倍に改善できることを示した。またその構造を実際に作製し、従来素子と比較して約1.3倍の光取り出し効率向上を得た。

山口 真 (野田教授) 「量子ドットと2次元フォトニック結晶ナノ共振器の電子・光子相互作用に関する研究」

量子光学に基づく理論検討を行い、真空Rabi振動の半周期が共振器光子寿命に一致するときに発光遷移割合が最大となることを見出した。実験では、個々の量子ドットと共振モードの相互作用を評価し、Purcell効果に基づく発光強度の増大を観測した。またその増大割合は量子ドットの位置に依存することを明らかにした。

小林 弘和 (北野教授) 「2光子光電流による時間相関光子対の検出」

光電子増倍管の光電面における2光子吸収を利用した光子対検出法を提案する。2光子吸収による光電流の入射パワー依存性は光子の統計的性質に依存するため、コヒーレント光と時間相関光子対で特性差が現れる。これを利用して時間相関光子対の検出を行なう。

中村 泰裕 (北野教授) 「外部共振器型モード同期自励発振半導体レーザの繰り返し周波数安定化」

我々の研究室で開発した小型で安価なモード同期レーザのパルス繰り返し周波数を安定化した。ピエゾ素子による外部共振器長制御と注入電流制御を併用して制御帯域160kHzを実現し、タイミングジッタを測定限界の2倍程度の9.6ps (測定帯域100mHz-10kHz) まで減少させた。

橋本 健太郎 (北野教授) 「1オクターブ光コムの周波数安定化」

モード同期レーザは、パルス繰り返し周波数の間隔で発振する多数のモードの集合体で、各モードは共通のオフセット周波数をもつ。フォトニック結晶ファイバでスペクトル幅を1オクターブに拡大してオフセット周波数を検出し、これを安定化した。これにより改善される光パルス中の相対位相雑音を評価した。

荒木 怜 (高岡教授) 「クラスターイオンビームによる高分子基板の表面照射効果とその応用」

本研究では、PET、PC、シリコーンゴムなど、医用材料としても注目されている高分子材料の表面改質をクラスターイオン照射により行い、超親水性付与による骨類似アパタイト形成能の促進を図った。また、クラスターイオン照射特有の高スパッタリングおよび低損傷照射効果なども明らかにした。

岡田 全史 (高岡教授) 「液体クラスターイオンビーム照射によるスパッタリングと表面改質に関する研究」

本研究では、水やアルコールからクラスターイオンを生成し、固体表面に照射して、物理的、化学的スパッタリングの表面反応ダイナミクスを明らかにした。また、それぞれの液体材料の異なる官能基を表

面に付与し、表面修飾や表面改質について明らかにすると共に、次世代の材料プロセス技術への応用についての検討を行った。

川 島 義 生 (高岡教授)「液体多原子分子イオンの生成と固体表面照射効果に関する研究」

本研究では、イオンビームと固体表面との衝突過程をイオンの構成原子数との関係から実験的・理論的に明らかにした。また、イオン液体やパラフィンなどの特異な構造を有する液体材料から多原子イオンビームを生成し、固体表面への照射効果を明らかにした。

能 勢 知 道 (高岡教授)「クラスターイオンビーム援用蒸着法による機能性酸化物薄膜形成に関する研究」

本研究では、酸素クラスターイオンビーム援用蒸着法によって、酸化チタンや酸化アルミニウムなどの機能性薄膜を低基板温度で作製することに成功した。特に、酸化チタン薄膜作製では、クロムをドーピングしてバンドギャップを縮小し、紫外線照射による高い光触媒反応を示す薄膜が得られた。

大 島 孝 仁 (藤田教授)「分子線エピタキシー法による酸化ガリウム系薄膜の作製と評価」

分子線エピタキシー法による結晶成長を行い、サファイア基板上に禁制帯幅約5eVの結晶を得た。またインジウムを混合して禁制帯幅が制御可能なことを示し、光デバイスとしての機能を明確にした。

堀 口 嵩 浩 (藤田教授)「新規 π 電子系有機材料の二光子吸収型光メモリ特性に関する研究」

三次元光メモリへの展開を念頭に、有機ホウ素ポリマーの二光子吸収特性を利用した導波炉型光メモリを試作し、特性を調べた。共焦点書込み系を開発し焦点位置に1 μ m以下の記録ビットを書込み、一括再生方式で31.4Mbps (DVDの約3倍)の再生速度を実現した。

情報学研究科

注 連 隆 夫 (黒橋教授)「機械学習を用いた日本語機能表現検出および係り受け解析」

従来の日本語解析においては、「にあたって」のような、二語以上からなり非構成的働きを持つ機能表現の扱いが不十分であった。本論文では、機械学習手法を用いて機能表現を自動検出し、その結果に基づいて構文解析を行う手法を提案し、日本語解析の性能改善を実証した。

浅 野 哲 (松山教授)「Mind Probing:能動的な働きかけと反応観察による人の内部状態推定」

本研究では、人の選択行動に注目し、システムが人に対して働きかけを行い、それに対する反応を観察することで、能動的に心的状態を推定する枠組み(プローブ)を提案した。まず、心的状態を「認知」と「興味」に分け、認知の状態を考慮することで、精度良く興味が推定できることを明らかにした。次に、認知状態をより鮮明にしながら興味推定を行うために、情報提示タイミングの変化によるプローブについて提案し、有効性の評価を行った。

西 川 猛 司 (松山教授)「円滑な会話実現を目的とした落語における役柄交替タイミング構造の解析」

円滑な会話を進める上では、自然な間合いでの話者交替が必要である。本研究では、演者が一人である

にもかかわらず、複数の役柄間での自然な話者交替を表現している落語に着目し、演者の身体動作によって冗長な間合いが補間されているとの仮説を立て、頭部の動作と音声発話の時間的構造（タイミング構造）を解析した。さらに、映像と音声に遅延が生じる遠隔対話において、話者交替の冗長な間合いを補間するための映像刺激（Visual Filler）を話者に提示する方法を提案した。

松 村 和 機（松山教授）「広域移動対象の3次元形状復元のためのパン・チルト・ズームカメラ群によるセル方式追跡撮影」

広域移動対象の高精度な3次元形状復元を行うためには、対象を様々な方向から見た画像を復元に必要な条件を満たしながら継続的に撮影することが必要である。そのためにはパン・チルト・ズームカメラによる追跡撮影が有効と考えられるが、追跡と3次元形状復元の精度保証を同時に行うことは容易ではない。本研究では、撮影空間をセルと呼ばれる離散的な空間に分割、各セルに対応するカメラ姿勢を設定しておき、対象の移動に伴って姿勢の切替をスケジューリングするというセル方式を提案し、実験によってその有効性を示した。

山 口 辰 久（松山教授）「近赤外線分光法による脳機能イメージングを用いた自動車運転者の内部状態推定」

機械が人の作業支援を円滑に行うためには人の内部状態推定が必要である。本研究では作業支援の一場面として自動車運転をとりあげる。運転中の人の状態を詳しく知るためにNIRS（近赤外線分光法）を用いて脳活動を計測した。内部状態としては動揺と緊張を扱った。実験にはシミュレータを用い、飛び出し車両を出現させることで動揺状態を、駐車車両で道を狭くすることで緊張状態をそれぞれ誘起し、観測された脳活動の解析を試みた。また、香り提示により脳活動を変化させることも試みた。

魯 陽（松山教授）「SkinOff#: An Efficient 3D Video Compression Method Based on Global Geometric Structures (SkinOff#:大域的幾何構造に基づいた効率的な3次元ビデオ圧縮法)」

3次元ビデオの圧縮アルゴリズムとしてこれまでに提案されたSkinoffでは、対象表面の局所的な曲率に基づいて、対象表面を切り開くcut pathが計算された。本研究では、対象の大局的な3次元形状を表すReeb Graphに基づいて、cut pathを計算するアルゴリズムを考案し、実験によってその効果を評価した。

神 崎 元（吉田教授）「MIMO移動通信における最適重み付き最小二乗伝搬路推定の研究」

MIMO移動体通信においてより正確な伝搬路推定が可能である、伝搬路の統計的相関を利用した統計的平均伝搬路推定誤差を最小化する最適重み付き最小二乗伝搬路推定を導出し、本手法で利用する相関値推定法を提案した。また、OFDMへの拡張を行った。

能 田 康 義（吉田教授）「MIMOシングルキャリア伝送におけるブロック等化に関する研究」

MIMO伝送での周波数領域線形等化における演算量削減法として、周波数軸上での適応間隔ウェイト線形補間方式の有効性を示した。また、協力中継伝送で問題となる中継局間でのキャリア周波数オフセットを、信号を分離しながら繰り返し等化により補正する方式を提案し、有効性を示した。

藤 井 昌 宏（吉田教授）「エリア端通信不安定性を考慮したCSMA/CA無線ネットワークの性能解析」

キャリア検出率やデータパケット受信成功率を考慮した無線アドホックネットワークの解析を行い、スループット劣化要因となる不安定なリンクはリンク品質に適応的なルーティングを用いることで使用を排除でき、結果として低遅延化が可能であることを明らかにした。

徐 亮 (吉田教授)「自律分散無線通信システムにおける広帯域アクセス制御およびチャンネル割当に関する研究」

アドホックネットワークにおいて、チャンネル結合及びマルチチャンネル技術がネットワークの通信性能に与える影響について比較検討を行った。また、マルチレート通信環境でマルチチャンネル技術を用いる場合に適したレート基準チャンネル割当法を提案し、効果を確認した。

佟 寧 (吉田教授)「広帯域メッシュネットワークに向けたチャンネル結合及びマルチチャンネル技術の研究」

広帯域技術のチャンネル結合技術とマルチチャンネル技術の比較評価の結論に基づいて、階層型構造を持つメッシュネットワークにこれら2つの技術を導入し、上層ではチャンネル結合技術、下層ではマルチチャンネル技術を導入する構成を提案した。提案方式はメッシュネットワークの特性改善に効果がある。また、フレーム・アグリゲーション技術及びBlock ACK方式との親和性が高いことを明らかにした。

**清 水 隆 史 (吉田教授)「LDPC符号およびMIMO伝送ターボ等化の収束特性解析に関する研究」
平成18年9月修了**

繰り返し復号を行う誤り訂正符号であるLDPC符号について、その復号特性を解析し、符号のパラメータが復号特性に与える影響について評価を行った。また、LDPC符号化ターボ等化についてその挙動を解析し、効率的な繰り返し方法を明らかにした。

泉 啓 太 (田野助教授)「電力線通信路におけるWavelet OFDMの適応等化」

Wavelet OFDMは信号帯域内に急峻なノッチを形成できるため、無線システムとの共存という観点で、屋内電力線通信に適した変調方式である。本論文では、Wavelet OFDMにおける等化係数推定のためのプレアンブルを短くすることが可能な等化係数推定手法を提案した。

植 山 大 輔 (田野助教授)「CSK/PAMシステムに適した実数拡散系列とその屋内電力線通信への応用」

屋内電力線通信における漏えい電波低減の手段として、実数拡散系列を利用したCSK/PAMシステムを考案した。同一システム間干渉を抑えることが可能な実数拡散系列を探索するための規範を提案し、探索された実数拡散系列によるシステムを電力線通信路上で評価した。

阪 口 正 悟 (田野助教授)「アダプティブアレーにおける誤り率最小化法の特性解析」

従来、実験により検証されてきた、非線形適応アルゴリズムである誤り率最小化法の特性を理論的に解析し、理論特性を明らかにした。そして、アダプティブアレーに適用した場合に最小自乗推定法より優れた特性を達成するメカニズムを解明した。

藤 村 勇 樹 (田野助教授)「高速フェージングチャンネルにおけるFFT等化の特性改善法」

FFT等化は簡易なハードウェア構成で優れた等化特性を達成するが、フェージング変動が大きくなるにつれ特性を劣化させる。そこで、この劣化を抑圧する等化器構成を提案した。提案法はBERが0.01以下

の領域で大きな特性改善効果があることを明らかにした。

古川 智也 (田野助教授) 「ヘテロダイナミックマルチモード受信における同期捕捉法」

単一の受信機で複数の搬送波帯の信号を受信できるヘテロダイナミックマルチモード受信機における、タイミング同期法を提案した。提案法の特性を理論解析し、所望信号より80dB大きなイメージ干渉の存在下においても同期が確立できることを明らかにした。

大林 功実 (高橋教授) 「ユーザの嗜好を考慮したP2Pネットワーク制御方式」

ファイル共有型P2Pネットワークにおいて個々のユーザの嗜好を考慮した分散的コンテンツ配置法およびネットワーク構成法を提案した。提案技術により、コンテンツ探索の効率化およびダウンロード時間の短縮化が可能となる。

寒川 知生 (高橋教授) 「無線アクセスにおける電波環境に基づくユーザ位置制御方式」

ユーザを良好な電波環境に誘導することで移動したユーザのみならず全体の効用(満足度)を向上する方式を提案した。移動したユーザにおいて発生する移動コストを加味してサービス価値(ユーザの総合的な満足度)をモデル化し、そのモデルを用いた評価から提案方式の有効性を示した。

茶木 悠紀子 (高橋教授) 「センサネットワークにおける測定データの空間的・時間的相関を考慮した経路制御方式」

地域的に分散配置されたセンサにおいて測定されたデータの空間的・時間的相関を考慮した経路制御方式の提案を行った。提案方式では、センサノード間に転送されるメッセージ数を削減することにより、省電力型のセンサネットワークを実現する。

山田 貴之 (高橋教授) 「車々間パケット中継による路車間移動通信の品質改善の検討」

路車間通信システムにおいて、車両移動速度のより低い端末を経由する中継伝送によって受信通信品質を改善する方式を提案した。提案方式は、送受信間の相対移動速度を低減することで、通信路の変動を抑制できる。数値解析とシミュレーションによる評価からその有効性を示した。

山田 将人 (高橋教授) 「無線アクセスのサービス品質改善のためのユーザ協調メカニズム」

ユーザ同士の協力を必要とするP2P情報共有サービスと無線マルチホップネットワークを対象に、ユーザに望ましい行動を選択させるための「誘導」とそれに従う動機「誘因」の研究を行なった。シミュレーション評価と理論解析から、設計した誘導・誘因制御機構の有効性を示した。

山本 洋之 (高橋教授) 「光パケットネットワークのための適応的フロー制御プロトコルの公平性に関する研究」

光パケットネットワークに適した新しいフロー制御方式を提案した。本技術では、ネットワーク品質の変動に対して、ウィンドウサイズだけでなくパケットサイズを適応的に変更し、高スループットの維持とフロー間の公平性を確保可能としている。

菅野 裕揮 (中村(行)教授) 「カラーヒストグラムに基づく確率的物体追跡手法の高速化」

本研究では、カラーヒストグラムを用いた確率的物体追跡手法を高速化する。まず追跡処理における尤度計算の単純化を行い、次に並列化可能な処理を検討し、メッセージパッシングインターフェイスと

Cell Broadband Engineを用いた並列処理による高速化をそれぞれ行う。

中原 健太郎 (中村 (行) 教授) 「自律修復による耐故障再構成可能デバイス」

機能の更新が可能な再構成可能デバイスは宇宙での利用が期待される一方、放射線などの影響で構成情報の破損が頻発する。本研究では、構成情報の破損を自律的に検知し修復する機構を再構成可能デバイスに組み込むことで、既存のデバイスと比べ大幅な耐故障化を達成した。

廣瀬 元紀 (中村 (行) 教授) 「クロストークキャンセル処理の組み込み実装向け演算量削減手法」

本研究では、組み込みシステム上での2チャンネルスピーカ再生による立体音響処理向けクロストークキャンセル処理の演算量を削減するべく、位相歪みを許容したフィルタを設計することと、クロストークキャンセル処理を行う周波数帯域を限定することを提案する。

Phan Linh (中村 (行) 教授) 「IEEE802.16e規格のLDPC復号器のためのメモリバンク数削減手法」

本研究では、マルチレート、マルチモードに対応できるIEEE802.16E準拠のLDPC復号器アーキテクチャを提案する。メモリ構成の工夫とメモリバンク数の削減により、既存手法と比べFPGA実装時の回路規模を削減することができた。

劉 載 勳 (中村 (行) 教授) 「高精度可変ウィンドウステレオマッチングのための専用プロセッサアーキテクチャ」

ステレオマッチングには多くの演算量を必要とするが、既存の実時間処理システムでは十分な精度を実現できない。本研究では、可変ウィンドウステレオマッチングを用いた高精度かつ実時間処理可能な専用プロセッサアーキテクチャを提案する。

小野 拓也 (小野寺教授) 「順方向に基板電圧を制御するCMOS回路の最適設計技術」

シリコン基板に順方向に電圧をかけて回路の高速化を行なうための、基板コンタクトの配置手法について検討を行なった。試作した回路の測定結果より、基板の等価回路の構築を行ない、ラッチアップや基板電圧ばらつきを考慮した最適な基板コンタクト配置間隔と順方向基板電圧印加手法を示した。

香月 和也 (小野寺教授) 「チップ内遅延ばらつきを利用した配置配線最適化によるFPGA高速化手法の検討」

チップ内遅延ばらつきを利用した配置配線最適化によりFPGAの動作速度や歩留まりを向上させる手法を提案した。90nmプロセスにてばらつき測定機構を組み込んだFPGAの試作を行ない、遅延ばらつき測定結果を利用して、パス遅延が高速化できることを実証した。

濱田 隆行 (小野寺教授) 「クロック生成向け低ジッタPLL設計手法 -VCOの位相雑音とループ伝達関数の最適化-」

クロック生成に用いる位相同期ループ (PLL) の最適設計手法の提案を行なった。まず要素回路であるVCOについてもジッタと消費電力のトレードオフを明らかにした。その結果を用いてPLL全体のループパラメータについて検討し、各パラメータとジッタの関係からPLLの設計指針を提示した。

牟田博和（小野寺教授）「製造容易性を考慮したスタンダードセルLSI設計手法」

スタンダードセルを用いたLSIのセミカスタム設計に着目し、個々のセルの製造容易性を考慮したレイアウト設計手法の提案を行なった。ゲートのパターンを規則的にすることで、65nmプロセスにおいては、面積オーバーヘッドなしにばらつき幅が35%改善することを示した。

磯田健太郎（佐藤教授）「スペースデブリレーダーのための効率的信号検出法及び高精度軌道推定法」

地球周回軌道上の不要物体（スペースデブリ）をレーダーで観測する際に、物体の移動を考慮して信号を加算することにより検出感度を向上させる手法を開発した。推定軌道に沿う加算後の電力を最大化することで、軌道推定も同時に行えることが明らかとなった。

岡田紘明（佐藤教授）「自己/相互位相変調の誤り率に対する影響の評価法」

光ファイバ通信の強度変調方式において、ファイバ非線形効果である自己位相変調を考慮に入れた上で相互位相変調の誤り率に対する影響を高速に評価する方法を提案した。提案法を用いると、計算時間を短縮可能な上、Q値誤差を0.3dB以下に抑えることが出来る。

関鷹人（佐藤教授）「UWBパルスレーダによる高速画像化手法のためのカルマンフィルタを用いた特性改善」

超広帯域（UWB）パルスレーダーを用いた物体像推定アルゴリズムであるSEABED法の主な課題である複雑形状物体の推定精度改善を行った。多数の干渉波が存在する環境での擬似波面の分離にカルマンフィルタを導入し、識別能力を向上することに成功した。

吉田剛（佐藤教授）「波形劣化した光差動位相変調信号に対するQ値推定法の改良」

光ファイバ通信では、伝送速度の向上に伴ってファイバ非線形効果による波形劣化が大きくなる。差動位相変調信号について、短時間で測定可能な領域のしきい値-誤り率曲線から、最小誤り率（最適Q値）を推定できるよう従来法を改良した。提案法では、波形劣化によらず高精度に推定できる。

河村高道（深尾教授）「赤道大気レーダーによる低緯度電離圏E領域イレギュラリティと背景電離大気・中性大気との関連に関する研究」

低緯度電離圏E領域及びF領域の沿磁力線イレギュラリティと中性大気の関連と、E・F領域の電磁気的結合の解明を目指し、インドネシアに位置する赤道大気レーダー、流星レーダー、アイオノゾンデ観測データを解析・比較し、諸現象の定量化について優れた成果を得た。

永田肇（深尾教授）「赤道大気レーダー（EAR）・95GHz雲レーダー（SPIDER）による熱帯対流圏の巻雲観測」

大気の鉛直方向の運動（鉛直流）が測定可能なVHF帯レーダー（赤道大気レーダー）と巻雲内の雲粒が検出可能なミリ波帯（95GHz）ドップラーレーダーの同時観測をインドネシアで実施し、巻雲内の雲粒の正確な落下速度の導出が可能であることをはじめて示した。

山口智大（深尾教授）「MUレーダー観測強化システムを用いた大気乱流層の3次元イメージング観測」

MUレーダーのアンテナ面を最大25分割し、さらに送信パルス毎に5周波数に変化させることで、分解

能を飛躍的に向上させたイメージング観測が可能になる。本論文では観測データをもとに1次元、2次元、3次元イメージングの解析プログラムを開発し、初期的な成果を得た。

高井 智明 (津田教授) 「ラマン・ミーライダーとMUレーダーを用いた対流圏内における散乱層の特性の研究」

532nmのレーザー光を送信するラマン・ミーライダーとVHF46.5MHzのMUレーダーとの高高度時間分解能の同時観測を信楽MU観測所で行い、対流圏内の電波散乱層とライダーによる散乱層、水蒸気変動などとの対応関係を明らかにした。

松ヶ谷 篤史 (津田教授) 「Frequency domain interferometric imaging to monitor detailed temperature profiles with the MU radar-RASS」 (周波数干渉計映像法を用いたMUレーダー・RASSによる高高度分解能大気温度の観測)

電波と音波を組み合わせた大気温度推定法であるRASS観測に、複数の送受信周波数を用いたアダプティブアレイ技術である周波数干渉計映像法 (FII) を組み合わせることで、MUレーダーを用いたRASS観測の高度分解能を向上させた。

城尾 文崇 (杉本助教授) 「k空間データの時間軸方向補間と呼吸同期による心臓MR画像の画質改善」

4次元心臓MRタギング画像の画質改善を目的として、心電図同期と呼吸同期を組み合わせた方法を提案した。また、K空間の時間的な歪みを補間により補正することで再構成画像の画質改善を行った。コントラストやSN比に関し、従来より良好な結果が得られた。

田中正長 (杉本助教授) 「肺結核進行度の評価のための肺野領域CTの孤立性陰影抽出」

肺結核進行度の定量評価を目的とし、肺結核の画像所見のひとつで、肺野領域CT画像に孤立性陰影として表れる結節影に注目し、抽出を行う。抽出にはn-Quoitフィルタと閾値処理を用いた。66例の画像に対し、同一のパラメータで処理を行うことができた。

前川 泰之 (杉本助教授) 「樹種識別のための木材顕微鏡画像の処理と特徴量抽出」

木材顕微鏡画像から抽出した樹木特有の特徴量をもとに樹種識別を行う。特徴量には道管の配置に代表される形状情報と、同時生起行列から求まる特徴量に代表される統計的統計量を用いた。本手法を20樹種の識別に適用した結果、7割を超える識別率が得られた。

飯田 智子 (松田教授) 「ヒト胚子連続切片標本に基づく高解像度3次元画像の効率的再構成システムの構築」

発生に伴うヒトの形態形成の機序を解明するために、ヒト胚子・胎児標本から3次元画像を取得しその変化や特徴を解析することは有用である。本研究では、連続切片標本から高解像度の3次元画像を効率的に再構成することを目的とし、プレパラートからの連続切片画像系列の抽出と、これを用いた3次元画像の再構成を半自動的に実現するシステムを構築した。

中村 陽一 (松田教授) 「Region-based Contour Treeに基づく3次元デジタル画像の簡単化」

本研究の目的は、3次元デジタル画像の等値面集合により表現される形状の把握手続きの確立である。形状の把握を容易にするため、Region-based Contour Treeによりデジタル画像の等値面構造を記述

し、重要な等値面集合のみを選択し他を除去する手続きについて検討した。

信 秋 裕 (松田教授) 「心筋細胞 β 刺激系モデルを導入したヒト乳児循環動態シミュレーションシステムの構築」

本研究では、全身の血圧を制御する圧受容体反射において、能動的な血圧上昇を促す心臓 β 刺激系シグナル伝達系を導入した心筋細胞モデルを利用し、ヒト乳児循環動態シミュレーションモデルを構築した。起立負荷試験の結果、生理実験に近い結果が得られることを確認した。

藤 森 友 貴 (松田教授) 「位置変化と反力変化に基づく能動触形状知覚モデル」

本研究の目的は、器具を用いた柔軟物体表面のなぞり操作に伴う、能動触による形状知覚機構の解明である。力覚デバイスを用いて被験者に対象物体表面を走査させ、記録した位置と反力の軌跡から、走査過程における位置変化と反力変化の関係が形状知覚に寄与しているとのモデルの妥当性を検証した。

エネルギー科学研究科

鶴 田 将 之 (下田助教授) 「頭部への振動触覚刺激を用いた空間情報提示手法に関する研究」

頭部に装着した振動モータを用いて空間情報を提示する際の最適な方法や、提示時間と精度の関係を被験者実験により調べた。その結果、同時振動させるモータは1個、提示方向がモータから $\pm \pi/32$ に入る際に振動させる方法が精度の面で最適であり、提示時間は4秒程度必要であることが分かった。

中 井 俊 憲 (下田助教授) 「拡張現実感技術を利用した原子カプラントの解体支援手法の提案と評価」

拡張現実感を用いた原子カプラントの解体支援手法を提案し、試作システムを用いて評価した。その結果、スタイラスペンを用いて解体箇所を記録する手法は、簡単かつ効果的である一方、提案手法を実用化するにはより軽量かつ大画面の新しいタブレットPCが必要であることが分かった。

川 口 哲 司 (近藤教授) 「簡約化MHD方程式によるヘリカル系プラズマのMHD安定性解析」

ヘリカル系トーラスプラズマのMHD平衡データと矛盾しないように簡約化MHD方程式の改良を行い、有限要素法を用いた数値解析により線形MHD安定性解析を行った。とくにプラズマ電流を考慮したLHDプラズマに対して、電流駆動型モードが不安定性となる可能性を示した。

竹 中 康 二 (近藤教授) 「非線形最適化法を用いたヘリカル系プラズマの最適化」

Levenberg-Marquardt法を用い、ヘリオトロンJプラズマの新古典輸送に関してコイル電流比の最適化計算を行った。その結果、低衝突周波数領域の新古典輸送を約30%低減する配位を見いだした。このことは、現在の標準配位が最適化された配位に近いことを示している。

戸 田 昭 宏 (近藤教授) 「非軸対称プラズマにおけるブーツトラップ電流」

トーラスプラズマにおける新古典的自発電流（ブーツトラップ電流）を漸近的手法と運動論的方程式(DKE)の数値計算によって解析し、磁場の非軸対称成分の影響を調べた。とくに、漸近計算とDKE数値解析との関係および径電場の影響について明らかにした。

松岡 諭史 (近藤教授) 「ヘリオトロンJにおける荷電交換中性粒子分析器を用いたイオン計測」
ヘリオトロンJ装置の磁場構造を特徴つけるバンピネス成分を変えたときのイオン温度の挙動を荷電交換中性粒子エネルギー分析を行い明らかにした。バンピネスを高くすることにより高エネルギー粒子の閉じ込めがよくなり高いイオン温度が得られることがわかった。この結果はヘリカル型閉じ込め装置の設計指針として重要な知見を与えるものである。

渡邊 伝超 (近藤教授) 「三次元MHD平衡プラズマにおける磁力線追跡法による磁気座標系の構築」
高精度三次元MHD平衡計算コードHINT2によって得られた平衡磁場に対して、磁力線追跡法を用いて磁気座標系を効率的に構築する手法を開発した。これにより、HINT2で得られた有限ベータのプラズマ平衡に対して、高精度に粒子軌道、輸送、MHD安定性解析が可能となる。

生田 良 (白井助教授) 「Stability of Aluminum Stabilized Large Scale Superconducting Conductor -Electromagnetic Phenomena in the Conductor- (アルミ安定化大型超電導導体の安定性—導体内の電磁現象—)」

アルミ安定化大型超電導導体の過渡安定性に関して、核融合科学研究所のLHD導体を例にとりこれからアルミ安定化材を除去した導体を用いて試験、電磁界解析を行い比較することで、導体断面内の電流・発熱・温度分布からアルミ安定化材が導体の常伝導部伝播現象や安定性に及ぼしている影響を明らかにした。

土肥 大祐 (白井助教授) 「Experimental and Analytical Studies on Heat Transfer in Liquid Helium (ヘリウム中の熱伝達に関する実験的及び解析的研究)」

超流動ヘリウム (HeII) 冷却超電導マグネットを想定し、流路に急激な収縮部を設定した片側開放断熱長方形ダクトの一端に位置する平板発熱体をHe II冷却した場合の定常臨界熱流束を求める実験を行うとともに、二流体モデルによる三次元熱流動数値解析コードを開発し解析結果との比較を行った。

古芝 邦充 (白井助教授) 「Power System Characteristics of Superconducting Fault Current Limiter - Current Limiting Effect and Improvement of Power System Stability- (超電導限流器の系統特性 — 限流効果と系統安定度向上効果 —)」

変圧器型超電導限流器に抵抗とZnO素子を並列することで、事故電流抑制による遮断器の負担低減による系統信頼性の向上や事故端の電圧維持による過渡安定度の向上という特徴に加えて、抵抗でのエネルギー消費による安定度の向上が見込める限流器を設計し、実験及び数値解析を用いて系統特性を調べた。

森田 友輔 (白井助教授) 「微小電力注入による多機電力系統における固有値オンライン計測と安定度評価」

高速電力制御可能なエネルギー貯蔵装置 (例えばSMES) から電力系統に微小電力を注入し、これに対する系統応答からシステム同定の手法を用いて、系統の固有値情報をオンラインで得ることを提案した。多機くし形系統を模擬したアナログ型系統シミュレータで実証試験を行いその有用性を示した。

野作 雅俊 (水内教授) 「ヘリオトロンJにおけるECE分布のECHパワー吸収依存性」

ヘリオトロンJプラズマからの電子サイクロトロン放射 (ECE) 分布計測を行い、電子温度分布評価を行った。電子サイクロトロン共鳴加熱電力吸収分布を中心部へ集中させることにより、中心電子温度が

上昇し、分布も急峻化することが分かった。

友 清 喬 (佐野教授)「ヘリオトロンJにおけるイオンサイクロトロン周波数帯加熱による高速イオン閉じ込めとイオン加熱効率の研究」

ヘリオトロンJプラズマに電磁波を入射し、少数イオン加熱モードで高速イオン生成とイオン加熱効率に対する加熱位置、磁場配位、アンテナ位相差依存性を調べた。配位については「高バンピーネス」で高速イオン閉じ込め、バルクイオン加熱ともに効率が高い。

松 山 顕 之 (佐野教授)「ヘリオトロンJ磁場におけるイオンのドリフト軌道と新古典輸送の数値シミュレーション」

本研究ではヘリオトロンJ装置について磁気座標系でイオン閉じ込めの数値シミュレーションを行うことで、特に衝突領域でのトロイダル方向のミラー磁場（バンピーネス）制御による輸送の低減を明らかにするとともに、低衝突領域におけるロスコーン損失の重要性を示した。

大 石 琢 也 (吉川教授)「慣性静電閉じ込め核融合 (IECF) 装置における D^3He 反応率の強度分布」
陽子検出器と可動遮蔽板とを用いた計数結果から陽子発生密度分布を再構成する手法を開発し、慣性静電閉じ込め核融合装置内の D^3He 核融合反応率の空間分布を明らかにした。その結果、D-D反応とは異なり、電極表面付近で高い D^3He 反応率を示すことが判明した。

西 哲 也 (吉川教授)「レーザー誘起蛍光計測による電界計測用 2^1S 励起Heパルスビームの特性評価」

シュタルク禁制遷移を利用した電界計測のためのヘリウム励起原子ビーム生成法の高度化に関して、ビーム特性評価やレーザー誘起蛍光計測による励起原子密度評価を行い、特に、励起効率と励起源プラズマ電流との相関を明らかにするなど、重要な知見を得た。

高校生のページ

真空へのいざない

－ 不思議な粒子：電子ビーム・イオンビーム －

極微真空電子工学分野
石川 順三

1. 真空とは

「真空」は、概念的には“物質の存在しない空虚な空間”のことですが、実際にはそのような空間は存在しないので、一般的には大気より数桁程度以上ガス粒子密度が低くなった空間を意味します。真空の程度を表す方法として、ガス粒子密度を使わず、便宜上大気圧力を標準としてその空間がどれだけの圧力を示すかということによって表現する方法が長年用いられてきました。真空の程度を示す単位としてよく使われる“Torr”という単位は、1気圧が760mmの水銀柱の高さに相当することを発見した実験で有名なトリチェリ（図1）の名前に由来しており、1 Torrは1/760気圧のことです。最近は絶対圧力（Pa）で表現する場合も多いのですが、ここでの説明は大気や固体との比較が容易なTorrを用いることにします。



図1. エヴァンジェリスタ・トリチェリ

では、電子やイオンビームを扱う場合、どのような真空圧力（真空度ともいう）だと良いのでしょうか。ビーム粒子が残留ガス粒子と衝突すると、それまでの軌道に関する記憶を失うため、ビーム粒子ではなくなってしまいます。ビーム粒子が考えている空間を走行する間に、そのほとんど（ふつうは1%以下）が残留ガスと衝突しないことが、真空の条件です。一般に電子やイオンビームを扱うデバイスの大きさは、扱い易さから人のサイズ（約1 m）に近い場合が多いのです。また、ガス粒子の大きさは、原子の大きさ（直径2～3 Å：1 Å=10⁻¹⁰m）程度なので、衝突に際してそれらが剛体のように振る舞うと考えると、電子やイオンビームを扱うための真空は、10⁻⁵～10⁻⁶ Torr程度の真空度が必要であることが分かります。この真空度が、従来の電子やイオンビームを扱う場合の尺度として使われてきました。

ところが最近、電子やイオンビームを扱うデバイスの寸法が大幅に変わってきました。ビームが走行する距離が、短いものではμm以下（真空ナノエレクトロニクスデバイス）から大きいものでは数km以上（蓄積リング：電子やイオンをリング状の真空容器内に閉じ込めながら超高周波で高い運動エネルギーに加速する装置）にもなるので、これらの装置に適切な真空度は上述の尺度とはかなり異なってきています。

さらに、電子やイオンが相手粒子と衝突する際の断面積は、電子やイオンの運動エネルギーの大きさが数eVより非常に大きくなると、急激に小さくなることを知っておく必要があります。原子は、正電荷をもつ原子核（原子の大きさに比べて一万分の一から十万分の一程度の大きさしかない）とその周りを取り巻く負電荷をもつ電子により構成されています。高運動エネルギーの電子やイオンが原子（ガス状の場合もあるし固体の場合もある）と衝突する現象は、これらの電荷粒子同士がお互いにクーロン衝突する現象です。クーロン衝突では、相対速度が大きくなるほど衝突断面積が急激に小さ

くなるという特徴があります。したがって、電子やイオンのエネルギーが高くなると、衝突する相手の原子は一見とても小さく見えることになるのです。

たとえば、運動エネルギーが数eV以下の電子は大気中では数十 μ m走行すると空気分子に衝突してしましますが、1 MeVに加速された電子は大気中でも10 m程度走行できます。この性質を利用して、電子を大気中に取り出して物体に照射することもできます。もっと極端な例として、炭素イオンを数GeVまで加速すると、人間の体（大気より約1000倍原子の密度が高い）の中を数cmから10cm程度走行します。イオンの運動エネルギーが高いときは、ほとんど体の中の原子と衝突しない透過状態のため、それ経路上の細胞が死ぬことはほとんどありません。ある程度エネルギーが少なくなったところから集中的に衝突が起こり、炭素イオンが止まる直前で細胞を破壊することになります。ちょうどその場所に癌細胞があれば、癌治療を行うことができます。この方法は重粒子線治療といって、副作用が少なく、短期間で癌治療ができるので、これからとても期待されている治療法です。

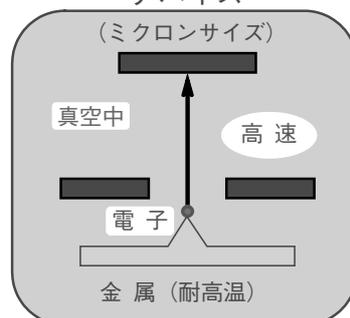
このように、高運動エネルギーのイオンビームは、固体中にほとんど無傷で潜り込むことができる不思議な粒子です。しかも、その入る深さや量は、イオンビームのエネルギーと電流で正確に制御ができます。この特徴を活かした技術が、シリコンのような単結晶半導体へp型やn型となる異種元素をほぼ無傷で打ち込むことができるイオン注入技術です。イオン注入によりシリコン単結晶にはイオンの経路に多少原子の乱れができますが、少し温度を上げてやると（アニール処理）、また元の単結晶状態に戻ります。このイオン注入という方法によって、微小な領域に精度良く異種元素を注入する方法を駆使することによって、現在の大型集積回路が実現できるようになったことは、注目すべきことです。

2. 真空中の電子と固体中の電子の違い

トランジスタは固体である半導体中の電子の動きをうまく制御することにより、信号の増幅やスイッチングができる素子です。応答速度の早い（周波数特性の良い）トランジスタを作ろうとすれば、電子が電極間を移動する時間がその応答速度時間より短くないといけませんので、電極間距離をどんどん短くしたトランジスタが作られてきました。現在その電極間距離が65nm程度となっており、微細加工の限界に近い状態です。電極間の電子の移動時間を短くするには、電子の移動速度が早くなって良いので、より電子の移動速度が速い半導体を使う工夫もされていますが、それでもせいぜい2～3倍程度の改善しか見込めません。実は、図2に示すように、半導体中の電子の速度は、格子散乱などの影響で、真空中の電子の速度に比べるととても遅いのです。電極間に同じ電圧をかけたとき、その間を電子が移動する時間は、真空中の方が半導体中より10倍から100倍早いのです。

このことから出てくる発想は、現在のトランジスタと同じ寸法で、電子が移動する媒体を半導体から真空中に替えれば、超高速のトランジスタが実現できるかも知れないということです。このようなデバイス（真空トランジスタとも呼ばれています）を実際に実現しようという研究が十数年前から始まっており、この分野のことを真空ナノエレクトロニクスと呼んでいます。ここでの重要な課題は、このような微小な真空領域に、いかに制御性よく電子を放出させるかということです。つまり、安定な微小電子源を開発することです。

極微真空エレクトロニクス デバイス



半導体デバイス

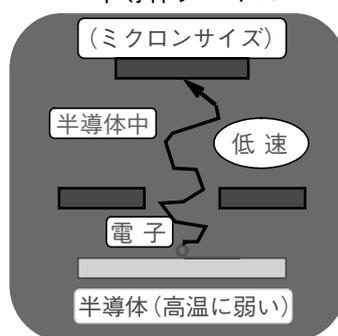


図2. 真空中の電子と半導体中の違い

一方、真空中の電子は残留ガスと衝突をしない弾道性をもった状態で利用するので、信号を増幅させるメカニズムとしてトランジスタにおけるメカニズムとは全く異なる方法を用いることができます。電子ビームを、その走行中に信号に応じて密度を変調するという方法なのですが、扱う信号の周波数がとても高くても大型の装置（電子管）にできるため、大出力のデバイスができます。それに対して半導体では、動作周波数が高くなればなるほど小型化しないとけないため、出力はどんどん下がってきます。この出力の差は、周波数が高くなればなるほど顕著です。たとえば、半導体ではGHz動作で最大数十W程度ですが、電子管ではMWクラスのものができます。さらに周波数が高い100 GHzでも電子管では100 kW程度のものでできます。この周波数帯になると、半導体ではmW程度がせいぜいです。

3. 電子ビームの応用分野

真空中の電子は、電界や磁界を利用してその運動エネルギーや軌道を好みに応じて制御できます。このように最小の質量を持った粒子である電子の運動エネルギーを自由に操ったり、その軌道を自由に操ったりできることは、人類が持ち得た道具としては、最も高速で、最も微小で、最も制御性のよいものであると言えます。しかも、地球上の全ての物質の構成要素である原子に数多くの電子が含まれているので、それを無尽蔵にしかも至る処から取り出すことができます。このように電子が特殊な粒子では無いことも、電子の利用や応用が幅広く盛んになってきた大きな理由の一つです。

では、電子ビームは我々のどのようなところで役立っているのでしょうか。図3に電子ビームが工学分野で応用されている装置やデバイスを示します。大出力の超高周波電子管についてはすでに述べましたが、その中でも我々の生活に身近なものとして、料理加熱用電子レンジのマイクロ波を発生させるマグネトロンがあります。電子は高い運動エネルギーまで加速でき、また電界や磁界で精度よく集束させることができるので、非常にエネルギー密度の高いビームを形成することができます。それ

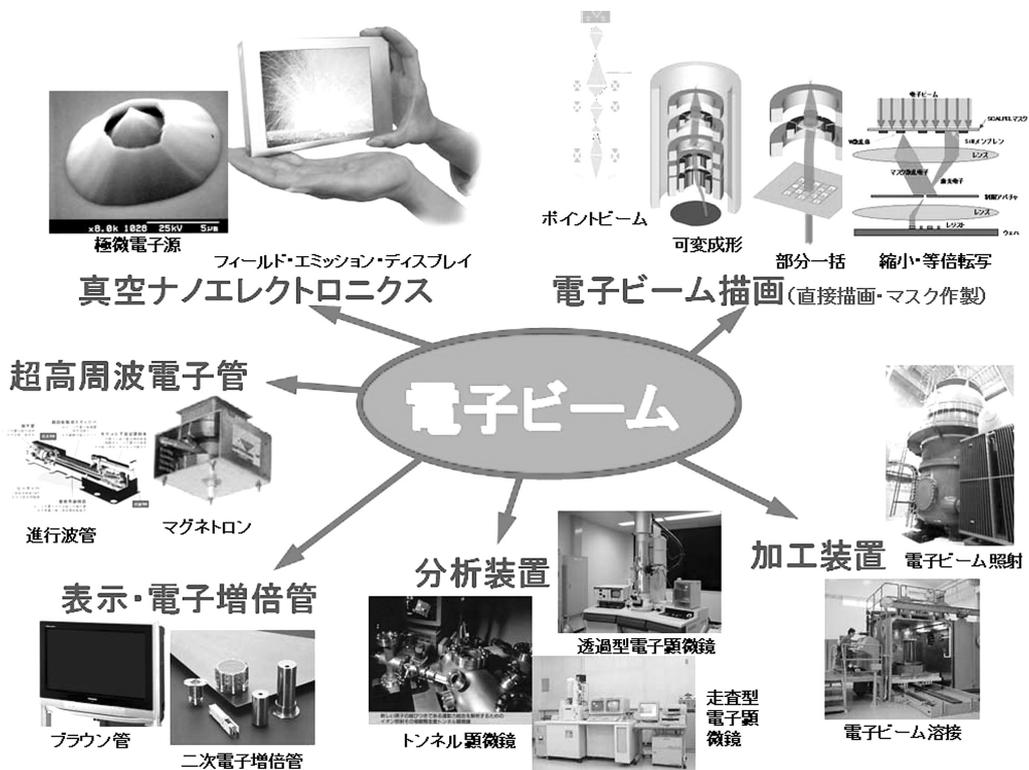


図3. 電子ビームの工学的応用分野

を金属などに当てると瞬時に金属原子が蒸発します。この現象を使うと、電子ビームにより金属の高精度な溶接ができます。初期には高精度を要する人工衛星部品の溶接に利用されていましたが、現在では自動車部品の溶接にも使われています。すでに述べましたが、高い運動エネルギーに加速した電子は、薄い金属箔を通して大気中に取り出すことができます。これをプラスチックに照射すると非常に耐熱性の高い材料に変わります。私たちがよく利用する高耐熱性プラスチックはこの方法で作られている場合が多いのです。電子ビームは電界や磁界によりうまく制御すると原子のサイズに近い数Åの細さまで絞ることができます。この性質を利用して、高分解能の電子顕微鏡や、次世代の微細加工において重要となる電子ビーム描画技術（半導体集積回路の作製プロセスにおけるレジストの露光法として、光露光で対応できなくなった場合の次の技術）が開発されています。さらに、すでに紹介した、真空ナノエレクトロニクス（ミクロン～ナノ寸法の電子源アレイを利用した真空デバイス）は、これからとても期待できる電子ビームの応用分野です。

4. イオンビームは“とても熱い”粒子

イオンは中性原子あるいは分子からその構成電子が外れるか（正イオン）外部から電子が余分に着く（負イオン）ことによって造られます。イオンとなることによって、中性原子や分子より余分に2種類のエネルギーを持つことになります。その一つは、電子の出入りにより生じる電離エネルギー（内部ポテンシャルエネルギー）と、イオンが加速電圧によって得る運動エネルギーです。電離エネルギーは、正イオンにおいては電離電圧と呼ばれておりその絶対値は約10 eVです。負イオンにおいては電子親和力と呼ばれその絶対値は約1 eVです。正イオンの電離電圧は、いろいろな反応を促進します。これに対して、負イオンの電子親和力は、反応を抑制する働きがあります。

一方、イオンは荷電粒子ですから、外部から電界をかけることにより、どのような運動エネルギーにでも加速することができます。工学分野では、普通1 eV程度の比較的低エネルギーから1 MeV程度まで加速したイオンを利用することが多いのですが、特別な場合には、さらに高いエネルギーまで加速したイオンを使うこともあります。常温（300 K）で粒子が熱運動しているエネルギー（熱エネルギー）は、eV単位に直すと約0.03 eVなので、イオンにすることにより2～8桁大きな運動エネルギーを持つ粒子を容易に得られることになります。地球上の空気や固体材料の原子が常温の熱運動エネルギーしか持っていないことを考えると、桁違いに大きな運動エネルギーを持ったイオンと常温の固体材料原子との相互作用では、すでに述べたように固体材料の中へ無傷で侵入するとか、物質形成反応においても常識と考えられている熱化学平衡反応過程とは全く異なる現象が生じます。

このようにイオンは運動エネルギーと電離エネルギーが共存しているため、固体材料と相互作用するときに多様性があり、工学的にとっても利用価値が高いので、多くの材料プロセスに利用されています。

イオン注入による半導体への不純物元素導入法についてはすでに述べましたが、半導体以外の材料にもイオン注入を行って表面を改質し新しい表面物性を持つ材料がつぎつぎと開発されています。イオンと固体原子の質量はそれほど大きく変わらないので、弾性衝突によって比較的大きな運動エネルギーを得る固体原子も存在し

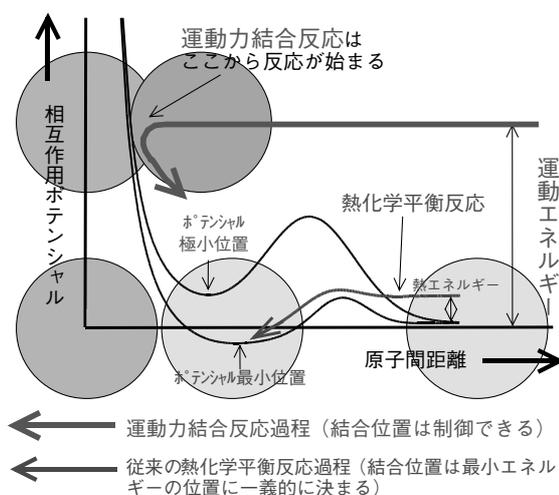


図4. 運動力結合の説明図

ます。複数回の衝突によって運動方向が表面脱出方向になったものは、表面から飛び出る場合があります。この現象はスパッタリングと呼ばれており、原子オーダーでの加工（穴掘り）技術として、現在の大規模半導体集積回路の製造には欠かせないプロセスの一つとなっているのです。また、原子同士の結合エネルギー程度（数eV）の低運動エネルギーイオンと固体原子の相互作用では、運動エネルギーが主体となって原子間結合が生じる運動力結合が起きる可能性があります。この運動力結合は、地球上の全ての物質が形成されたと考えられている熱化学平衡反応とは全く異なる物質形成過程です。熱化学平衡反応では原子間結合は形成エネルギー障壁を熱エネルギーによって越えたものが、相互作用ポテンシャルが最小となる原子位置に落ち着きます。ところが、原子結合エネルギー程度の運動エネルギーを持つ原子は、形成エネルギー障壁を容易に越え、まず原子間距離が運動エネルギーが零となる位置まで近づきます。そこから原子結合過程が始まり、相互作用ポテンシャルが極小の位置に落ち着く場合があります。このような結合状態の材料を準安定物質と呼びますが、準安定物質は従来物質と結合状態が異なるので今までにない新しい性質を持った材料になります。例えば、炭素原子が安定に結合した物質は黒鉛ですが、準安定結合した材料はダイヤモンドです。イオンビームを利用するとこの準安定材料を制御性よくできる特徴があります。

5. イオンビームの応用分野

イオンビームは、半導体集積回路の製造ではイオン注入技術なしでは不可能な状況にあることはすでに述べましたが、イオン注入によって母材表面に異なる元素を導入したり、母材表面にイオンビーム援用蒸着などによって新たなコーティング膜を被覆することにより、材料の機械的特性や光学的特性などを変えることができます。イオンビーム処理によって、炭化、窒化、硼化したり、窒化チタン、炭化チタン、炭窒化チタン、ダイヤモンドライク膜、窒化炭素膜、窒化硼素膜などを形成して、耐環境・耐摩耗特性を大幅に向上させることができます。



図5. イオンビームの工学的応用分野

これらの技術は切削工具の長寿命化、タービンブレードの耐酸化性向上、ベアリングの無潤滑性向上など工業応用に広く利用されているだけでなく、シェーバーのような家電製品でも表面コーティングによる長寿命化が行われています。また、光学レンズの表面にコーティング膜を被覆して光学特性を改善したり、保護膜として利用されています。将来的には、自動車エンジンの内部を低摩擦表面材料で被覆しオイルレスエンジンの実現への研究がなされています。このようにイオンビームを利用した材料の表面改質は広く利用されており、我々の生活に深く関連しています。

さらに、人工関節、人工歯根などの表面にカルシウムや銀などをイオン注入して、その寿命や抗菌性を大幅に向上させることができます。生体に適合する人工材料があれば、生体材料の補助として利用できますが、イオン注入で表面の生体適合性を向上させたカテーテルや人工血管は近未来に利用できるまでできています。イオンビーム処理した高分子材料表面に神経細胞を任意に配列させることもでき、神経情報伝達などの解明や神経情報と電子回路を結ぶバイオインターフェースの可能性も出てきています。イオンビームの医療応用として、イオンビームを人体に照射して実際に癌治療に利用され始めていることはすでに述べました。

また、ラザフォード後方散乱分析法や二次イオン質量分析法などイオンを用いた分析技術も広く利用されています。核融合プラズマを水素の中性粒子ビーム入射により加熱する研究も進んでいます。

6. 電子・イオンビームの新しい研究分野

電子・イオンビームの新しい研究分野として、研究室では、電子ビーム関係の研究として“真空ナノエレクトロニクスの研究”を、イオンビーム関係の研究として“負イオン注入の研究”と“イオンビームを用いた新材料形成の研究”を行っています。

6. 1 真空ナノエレクトロニクスの研究

この研究分野における最も重要な課題は、安定に電子放出ができる微小な電子源アレイの開発であることはすでに述べました。研究室では、安定な微小電子放出源のための陰極材料開発をイオンビームアシスト蒸着法やスパッタリング法を用いて行うと同時に、次世代イオン注入装置の帯電緩和素子としての全シリコン製微小電子源の開発も行っています。また、微小電子源の新しい評価法として、FNプロットの切片と傾きを両軸として描いたS-Kチャート法を提案し、現在では世界の多くの研究者に利用されるようになってきました。

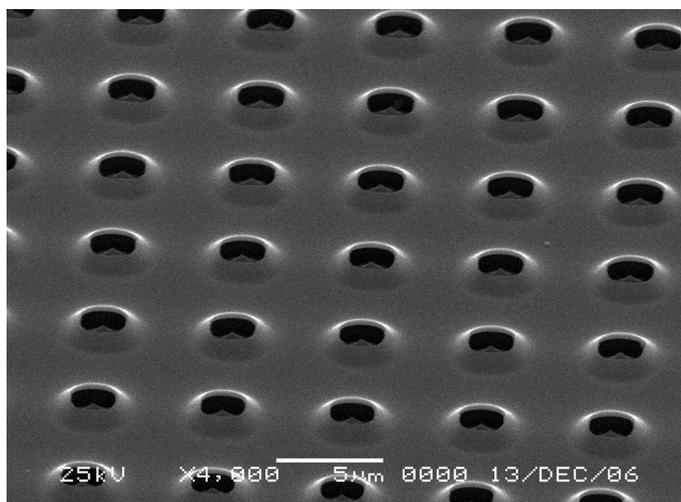


図6. 研究室で開発した微小電子源アレイ

6. 2 負イオンビーム技術の開発と負イオンビーム材料プロセス技術の研究

負イオンビーム技術は、研究室が世界に先駆けて開発してきた独創的な研究の一つです。負イオンの発生に関する基礎的研究から、大電流負重イオン源開発、負イオン注入装置開発など、負イオンビームの装置開発において、この研究領域の発展に大きく貢献してきています。

負イオンを絶縁性の材料表面に照射したとき、表面の帯電電圧が数V程度と低く、正イオン照射の場合（正イオンの加速電圧まで帯電する）に比べると桁違いに低くなることを明らかにしてきました。

この特長を活かすことにより、いろいろな新しい材料プロセスの可能性（帯電緩和素子不要の半導体負イオン注入、微粒子表面の負イオン注入による改質など）が出てきます。さらに負イオン注入技術を、ナノ粒子を用いた量子効果デバイス開発や、高分子材料表面の生体適合性制御に適用する研究を行っています。

また研究室では、この運動エネルギーが主体となって原子間結合反応が促進されるプロセスを“運動力結合”と命名し、この運動力結合を積極的に制御して、新しい性質をもった材料（準安定材料）の形成を目指して研究を進めています。

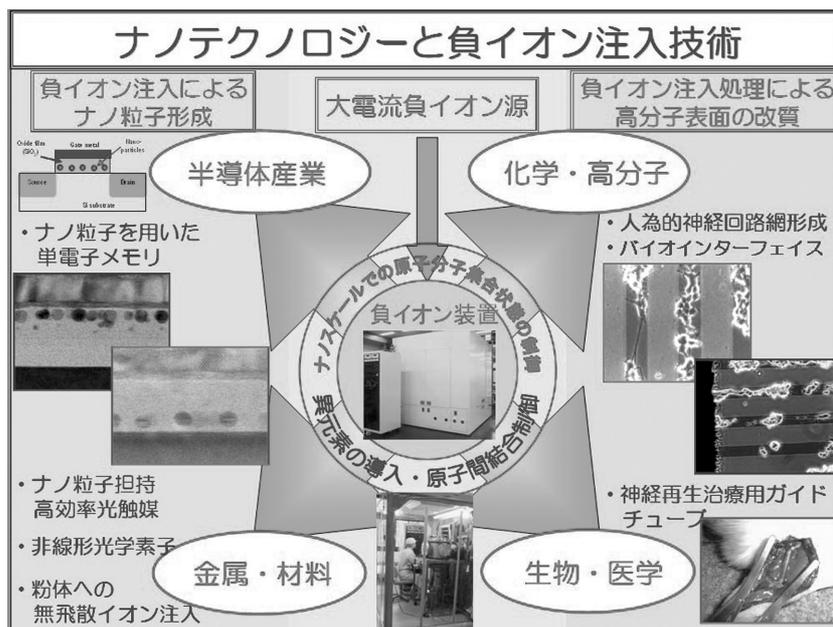


図7. 負イオン注入技術の応用分野

学生の声

「博士課程に進学して」

工学研究科 電気工学専攻 和田研究室 博士後期課程3年 八木 将 計

早いもので私が博士課程に進学して2年が経ち、現在は、学位論文に向けて準備をととのえているところです。今年度で長かった学生生活が最後になると思うと、感慨深いです。思い返すと博士課程進学については大変悩んだ記憶があります。修士のときには、進学を決めるまで就職活動もしておりました。私自身、漠然としてますが、社会の為になるような仕事をしたいと強く感じており、かねてから、実際のモノの製造やサービスなどの第一線で活躍したいと考えておりました。しかし、情報化が進み、何事も高速化している現代や将来では、そのような最前線に立ち続けるのは、なかなか困難な事だと思います。そこで私は、そのような困難に打ち勝つためには、博士課程での知識や経験が必要になるのではないかと考えました。最終的には、研究に対する知的好奇心、日本経済の状況、社会的に博士が求められることなどを総合的に判断した結果の進学でしたが、私としては、前述のように自分自身のスキルアップが最も大きな決断理由でした。

現在では、国際会議をはじめ発表の機会を多くいただけ、発表のノウハウを学ぶとともに、多数の講演を聞くことができるなど、修士までは得ることができなかった数々の知識と経験を得ることができました。今は、充実した学生生活を送ることができたと思っています。また、私事ではありますが、先日、就職が決まり、来年からは企業に勤めることになりました。来年以降は、当初の希望通りに最前線に立っていけるよう、この博士課程3年間で得たスキルを活かして頑張っていこうと思っています。

「進学した理由」

工学研究科電子工学専攻 木本研究室 博士後期課程2年 登尾 正 人

2006年4月に博士後期課程へと進学しました。現在、ワイドギャップ半導体SiCを用いた電子デバイス、特にMOSFETの高性能化に関する研究を行っています。

SiCは実用化に向けて（ダイオードなどは既に市販されている）精力的に研究が進められており、大学で基礎研究を続けるか、企業に就職するかで悩んだ時期がありました。しかし、企業では実用化を急ぐあまり、基礎的検討が不十分なまま研究が進められているように感じられることがあります。一方、大学ではもちろん成果も求められますが、納得できるまで自分の研究に取り組むことができます。自由な時間を、自分のペースで、自分の考えを確かめるため費やすことができるというのは博士課程の大きなメリットだと考えました。将来は研究職に就きたいと考えていたことから博士課程への進学を決めました。

博士課程へと進学した理由は他にもあります。修士課程1年生のときにイタリアでの国際学会で発表する機会があり、その場で国内外の研究者と議論できたこと、自分の研究結果が世界中の研究者に興味を持ってもらえたことは素直に嬉しく思いました。より深くこの研究を進めてみたいと感じたことは、博士課程進学のも動機の一つでもあります。研究設備が整っていることも、自分の考えた実験ができるということで大きな利点でもあります。一大学の研究室でありながらパワーデバイスの設計、作製ができるということは魅力的です（初めて作製したMOSFETが動作したときの喜びと感動は現在でも忘れることができません）。

博士課程に進学して1年が過ぎました。（自らの意思で進学するものだと思うので）私は博士課程を勧めるつもりはありませんが、このような恵まれた環境で研究ができることは自分にとって大変貴重な経験だと思います。時間がたつにつれて研究、勉強ともにやりたいことは（やらなくてはならないことも）増えてくるばかりですが、これからもマイペースで頑張っていきたいと思っています。

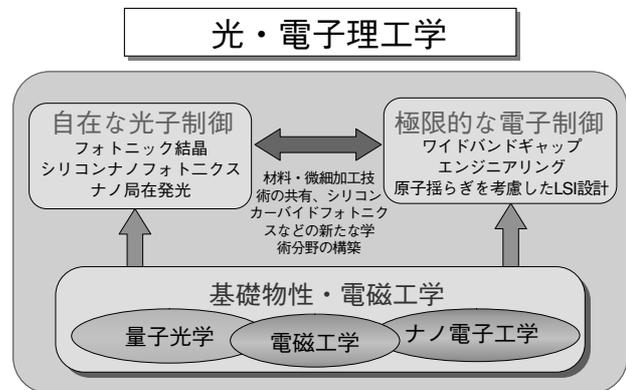
教室通信

光・電子工学の教育研究拠点形成

拠点リーダー 電子工学専攻 野田 進

グローバルCOEに表記拠点が採択された。本拠点の前身は、H14～18年度の21世紀COEにおいて電子材料・デバイス分野、特に、フォトニック結晶、ワイドバンドギャップ半導体を中心とする光・電子分野の教育研究が世界水準にあるとの高い評価を受けた。本拠点形成の目的は、これらの世界水準の教育研究を核に、京都大学ならではの深い物理的思考に基づく教育研究の背景をもつメンバーを結集し、“物理限界への挑戦と新機能/コンセプトの創出”をキーワードに、光の自在な制御および電子の極限的な制御を目指す「光・電子工学」(図参照)の学術拠点の構築と国際的な人材育成を行っていくことにある。

人材育成計画：本拠点形成に際し、H19年4月より工学研究科に「光・電子工学教育研究センター」を設置した。本センターを核として、“物理限界への挑戦と、新機能/コンセプトの創出”のマインドをもち、かつ今後の情報量の飛躍的な増大やエネルギー問題の解決の一助となるような重要な成果を生み出すことのできる国際級の人材育成を目指す。そのため、後述の研究活動計画と並行して、次のような各種の人材育成プログラムを実施する。(i) 大学院修士・博士融合教育コースを開設。(ii) 複数の教員による集団指導体制の構築。(iii) COE特任助教として、優れた人材を雇用。(iv) 優秀な博士学生を、リサーチアシスタント(RA)として雇用。(v) コミュニケーションスキル向上プログラムの設置、(vi) 国際共同研究ネットワーク参画プログラム、等。



光・電子に関わる物理限界への挑戦と新機能の創出

研究活動計画：既存の概念を超える新しい光・電子機能を創出する国際研究拠点の形成と、国際的に活躍可能な人材の輩出を目指した研究活動を実施する。具体的には、上述の「光・電子工学教育研究センター」を核として、3つの研究グループ：自在な光子制御グループ、極限的な電子制御グループ、およびそれらを支える基礎研究グループを形成し、“物理限界への挑戦と新機能/コンセプトの創出”をキーワードに、グループ間の有機的な連携によるピーク相乗効果促進と国際連携を積極的に推進していく。国際連携においては、若手研究者の積極的な参画をベースとした国際共同研究ネットワークの構築を目指す。

以上により、今後の爆発的な情報量増大やエネルギー問題の解決の糸口を与えるような革新的な光機能、電子機能の創出(例えば、光をそのまま蓄えることのできる光チップの創出、シリコンナノフォトニクスの新展開、超波長分解能光源・イメージングの創出、固体照明技術の新展開、数100℃で動作可能な電子デバイスおよび超高効率デバイスの創出、次々世代LSIチップの基礎の創出等)と、その国際拠点の構築および国際級の人材の輩出が可能になるものと確信する。

賛助会員の声**「イノベーション志向」**

フジテック株式会社 取締役会長 (昭和41年卒) 大谷 謙 治

昨年、「コンピュータに感覚を」との標語の下、文字、図形、音声などのパターン情報処理研究の系譜が、京都大学の総合博物館に展示されました。その案内用ポスターに、30数年前、坂井利之教授の研究室のコンピュータをバックにして長尾眞前総長を始め諸先輩とともに写っている我が姿を発見して、嬉しく、懐かしく思いました。当時、畳数枚分もあった大型コンピュータは、クロック周波数が数MHz、メモリーは数十Kバイトでした。現在私たちが机の片隅で使っているパソコンに対して、スピードは千分の一、メモリーは万分の一で、隔世の感がいたします。膨大なパターン情報処理のため、コンピュータ・ルームで何度も夜を明かしたことを思い出します。

私は、丁度30才を区切りとして、そのような研究者生活から、縁あって昇降機メーカーであるフジテック(株)に転身しました。まるで、異次元の世界でしたが、当時、リレーで制御されていたエレベータのコントローラを、IC化、LSI化し、ソフト化、知能化する技術革新の中で、技術者としてその推進に幾ばくか貢献できたかと思っています。

都市の高層化、高密度化に伴って、その縦(上下)の動線を司る昇降機の役割はますます重かつ大になってきました。高速化を追求する一方、より静粛で、滑らかな走行、正確な着床が求められます。多数のエレベータ群をいかに効率的に動かし待ち時間を短縮するか、人工知能が活躍する舞台となっています。ユニバーサル・デザインや用途に応じた意匠性などのニーズにも応えていかねばなりません。

一方、都市に潜む様々なリスクの顕在化に伴って、昇降機には絶対の安全と安心が強要されています。地震などの天災に対する安全の確保と復旧のしくみ、また人災に備えた様々なセキュリティ機能や信頼性の確保が求められるようになりました。私たちはメーカーとして、またメンテナンス会社として、このような社会ニーズの方向性をしっかりと見据えて仕事に取り組みねばならないと自戒しているところです。

さて、国の経済力は、人口×資本蓄積×イノベーションで決まります。これまで我が国は人口×資本蓄積の積に頼ってやってきました。しかし、人口は今や減少過程に入っています。現在、世界人口のシェア2%を有していますが、50年後には1%に半減すると予測されています。また、資本蓄積は労働人口の減少と高齢化に伴って、貯蓄を取り崩す人々が多くなりますから、これには多くを期待できません。従って、今後の我が国はイノベーションを拠り所として、先を行く米国、後から迫る中国に負けないようにしなければなりません。

その中心的な役割を担うのは大学です。学術・技術に関わる教育の質と量を一層充実いただくとともに、例えばイノベーションのための物の見方、考え方、それを開花させる技術マネジメント(MOT)、その成果を保護する知的財産管理、事業化のための起業プロセスなど、今後、カリキュラムとして検討いただく余地もあるのではないのでしょうか。そして、学生の皆さんには、それぞれの能力を高め、個性を磨き、イノベーションに参画する準備をしていただきたいと思います。

私たち企業人は、事業、RDと知財の三位一体経営をしっかりと推進していかなければなりません。国の“知財立国宣言”、そして“イノベーション25戦略”に歩調を合わせ、企業風土をイノベーション志向型に変えていくことが大事だと考えています。

米国宇宙協会が至極真面目に研究している“月まで届くエレベータ”や、我が国でも50年後に実現しそうな科学技術に挙げられている“宇宙ステーションと地球をつなぐエレベータ”など、現在ではSFの世界のものが、いずれ現実のものとなるのを楽しみにしている次第です。

編集後記

厳しい京都の夏も漸く峠を越え、朝夕はめっきり秋めいてきた。今が一年で最も過ごしやすい時期だが、残念なことに直ぐに冬に突入してしまう。京都の冬は底冷えがして、夏の暑さとは違ったつらさがある。吉田兼好は「京の家は夏向きに」と言ったいうから、京の人々は夏の暑さの方が辛かったのだろう。夏と冬のどちらが耐え難いかと聞かれれば、私は冬と答えるだろう。何故なら、昔と違ってエアコンや冷蔵庫等の文明の利器があるから、なんとか夏の暑さは耐えられる。無論、冬の寒さ対策としての文明の利器もあるので、冬の寒さ自体は大きな問題はない。それよりも、冬の日照時間の短さが私にとって冬を好きになれない理由である。ドイツのミュンヘンでは陰鬱な冬を乗り切るために、9月の終わりから10月の始めかけて「オクトーバフェスト」なるビール祭りを催し、大騒ぎをするそうである。京都にはそのような大騒ぎする機会がないのは寂しい限りである。但し、秋口にCUEが完成し、発行時期延伸に頭を悩ませることなく冬を迎えられることが唯一の救いである。

[S.D.記]

協力支援企業

NTTコミュニケーションズ株式会社
新日本製鐵株式会社
ダイキン工業株式会社
鉄道情報システム株式会社
日本電業工作株式会社
日立電線株式会社
フジテック株式会社
株式会社 村田製作所
ローム株式会社
(アイウエオ順)

発行日：平成19年10月

編集：電気系教室cue編集委員会
橋本 弘蔵、高橋 達郎、和田 修己、
山田 啓文、田野 哲、舟木 剛、
杉山 和彦、川下 将一
京都大学工学部電気系教室内
E-mail: cue@kuee.kyoto-u.ac.jp

発行：京都大学電気関係教室
援助：京都大学電気教室百周年記念事業基金

印刷・製本：株式会社 田中プリント