

# cue

京都大学電気関係教室技術情報誌

NO.14

MARCH 2005

---

[ 第14号 ]

.....  
卷頭言

大阪工業大学学長・京都大学名誉教授 西川 禎一

.....  
大学の研究・動向

通信システム工学講座・伝送メディア分野

地球電波工学講座 地球大気計測分野

.....  
産業界の技術動向

(株)日立ディスプレイズ 衣川 清重

研究室紹介

博士論文概要

学生の声

教室通信

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  
の一環として発行されています。

## 巻頭言

## 技術創造と知財戦略

大阪工業大学学長・京都大学名誉教授 西川 禎 一



2002年初頭、政府の重要な戦略的政策として、“知的財産（知財）立国”が浮上した。同年2月4日、国会での施政方針演説で、小泉首相が「わが国は既に、特許権など世界有数の知的財産を有している。研究活動や創造活動の成果を、知的財産として戦略的に保護・活用し、わが国産業の競争力を強化することを国の方針とする。」と宣言したのが政府の動きの始まりである。

その後直ちに“知的財産戦略会議”が発足し、同年7月には“知的財産戦略大綱”が決定され、引き続き11月には“知的財産基本法”が制定された。大綱及び基本法に示された政策の要点は、知的財産の創造、保護及び活用それぞれに関する戦略を明確にし、またそれらを実体化していくための人的基盤の整備を推進する、というものである。

つまり、まず大学・研究機関や企業などにおいて、知的財産創出の基盤と環境を整備・拡充し、質の高い知的財産の創出を促進する。次いで技術的発明の成果等を知的財産としての確に評価し、新規性と進歩性に富みかつ商品化の可能性が高いものは、特許権などによって保護する。そのうえで産学公が連携して早期の商品化を図り、社会的な資産として有効に活用する。そしてさらに、その経済的果実を発明者に還元して、つぎの段階の創造や開発活動を支援する。

そのような創造・保護・活用の一連の仕組みは“知的創造サイクル”と言われるのであるが、そのサイクルをしっかりと構築し絶え間なく回し続けること、それが知的財産立国戦略の本質である。そして、それを実際に担い得る人材の養成が急務とされている。

ところで従来、わが国の大学では工学者や技術屋は新技術の創造や発明などは行うが、それを特許権などに結びつけるのは弁理士など別の専門家の仕事であると、そのように教えてきたと言ってもよいだろう。殊に、工学部など理工系学部では知的財産とか特許申請とかについては殆ど何の教育も施されず、学生のみならず先生方も大方は無知ないしは無関心であった。だから、未だに知財創造立国とか創造サイクルとか言われてもピンとこない人達も多いようである。

しかしわが国でも、企業、特に大規模企業はグローバル競争時代における知財戦略の重要性をつとに認識している。つまり、今や技術のR&D戦略だけではダメで、技術開発戦略に加えて事業戦略と知財戦略が三位一体となって機能しなければ、安定的な企業活動は成り立たない、そういう状況を把握していると言ってよい。例えば電話器にしても、音声通話のみの黒電話時代とはまったく異なり、いまどきのケータイには音声のほか、メール、TV、録音、カメラ、カラオケ、さらには決済等々の機能がぎっしり詰め込まれているので、関係する特許の数も毎年数千件が新しく加えられるという程、膨大なものなのである。知財リスクは急増し、開発投資、知財投資も巨額に上るから、経営の高いレベルで上記の三位一体を実効あるものにならなければならない。

そのような状況の中で、これからは大学の理工系学部でも知財の基礎教育を重視する必要があるだろう。さもなくば、今でさえ貧弱なわが国の知財戦略は、欧米先進国のみならず急速な発展を遂げつつある中国など、途上国にも遅れを取ることに兼ねない。

**大学の研究・動向**

## 衛星通信アクセス系における大容量データ伝送実験

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・伝送メディア分野

教授 森 広 芳 照

morihiro@i.kyoto-u.ac.jp

助教授 田 野 哲

denno@i.kyoto-u.ac.jp

助手 梅 原 大 祐

umehara@i.kyoto-u.ac.jp

### 1. はじめに

高速通信回線、いわゆる「ブロードバンド」の普及に伴い、エンドユーザにおいても数Mbps～100Mbpsの回線速度が確保できるようになってきている。データが流れる通信回線は、各種の伝送メディアにより構成される。これらの伝送メディアは、光ファイバー、同軸ケーブル、平衡ケーブル、無線などがキャリアの目的やユーザの用途に合わせて用いられている。当研究室では、ユーザが利用しやすい通信システムの構築を目指して、様々な伝送メディアの特性解析、伝送メディアに適合する通信方式、異なる伝送メディア間の統合に関する研究を行っている。

本稿では、これらの研究のうち、大容量データを伝送するための衛星通信アクセス系に関する研究について紹介する。この研究は、ギガビットネットワーク利活用研究開発制度の研究開発課題「宇宙科学観測のための超高速ネットワークに関する研究開発」(研究期間：平成11～13年度)の一環として行われた。

### 2. 大容量データ伝送のための衛星通信アクセス系

自然科学のあらゆる領域において、科学データの量は膨大になりつつある。例えば、岡山県南西部の美星町にある宇宙デプリの光学観測施設では、データが平均して1ヶ月2TB(テラバイト)程度出力されると見積もられている。このような大量の観測データを、遠隔の研究施設で処理・解析するためには、観測施設を光ファイバーによる高速ネットワークに収容する必要がある。しかしながら、観測施設は一般に電波や光の背景雑音が少ない山奥などの僻地に建設されるため、高速ネットワークへの有線アクセス系の敷設が困難な場合が多い。そこで、高速ネットワークへのアクセス系として通信衛星を利用した宇宙科学観測用システムの研究開発を京都大学情報学研究科通信情報システム専攻超高速信号処理分野、大阪工業大学、財団法人日本宇宙フォーラムと分担して行った。

宇宙科学観測用システムの想定構成を図1に示す。対象となった観測施設は、岡山県北部の上斎原スペースガードセンターと同県南西部の美星スペースガードセンターである。これらの観測施設を日本の高速ネットワークであるJGN(Japan Gigabit Network)に収容するためのアクセス系として衛星回線を利用し、大容量の観測データを観測施設から各地の研究施設に伝送するシステムの実現方法について検討を行った。衛星回線としては、広い周波数帯域が利用可能な、すなわち、高速通信が可能なKaバンドを利用した。Kaバンドは送信周波数が30GHz帯、受信周波数が20GHz帯である。通信衛星は、JSAT(株)と(株)NTTドコモが共同保有する通信衛星N-STAR a号機を使用した。研究開発は、衛星通信アクセス系、データ伝送方式及びネットワークの利用に関して行った。当研究室で

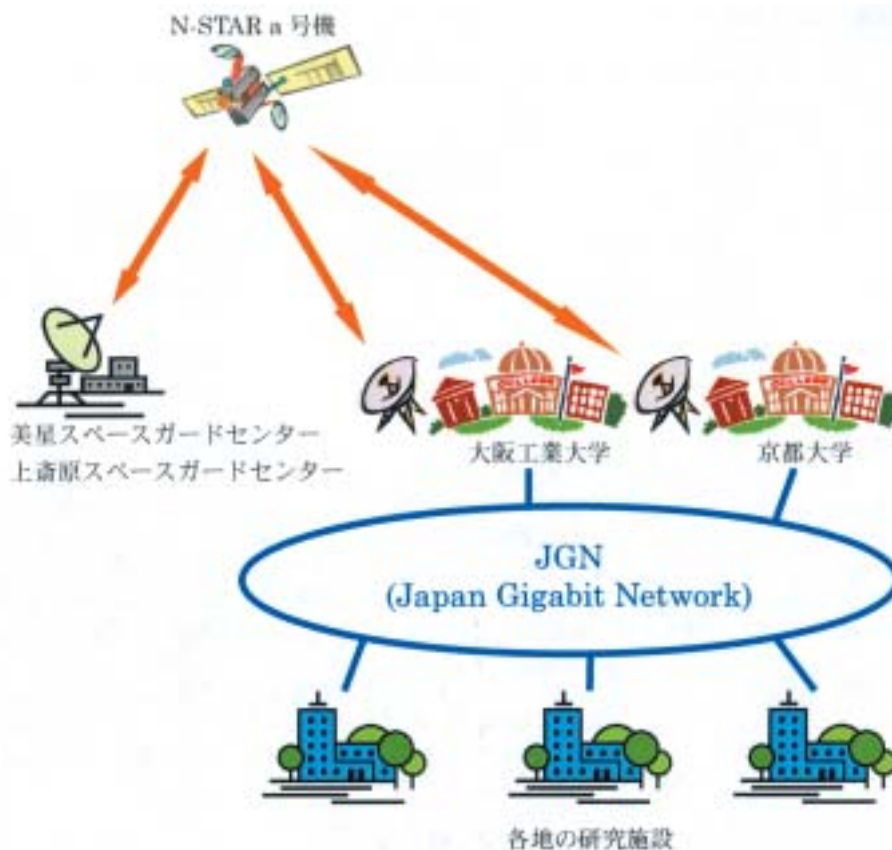


図1．宇宙科学観測用システムの想定構成

は、主にJGNに收容するための衛星通信アクセス系に関する研究開発を担当し、衛星通信アクセス系の実験システムの構築及び衛星通信アクセス系の伝送特性の解析を行った。以降では、その検討内容に関して述べる。

### 3．実験システムの構築

京都大学に送受信地球局、大阪工業大学に受信専用地球局を導入した。京都大学に設置した送受信地球局の諸元を表1に、屋外ユニットの概観を図2に示す。送受信地球局の屋外ユニットは工学部3号館南館屋上に設置し、屋内ユニットは同館のS401号室に設置した。従来、高周波数帯を利用するKaバンドでは降雨減衰に対するマージンの確保が重要な課題であったが、この衛星通信アクセス系では可搬性を考慮して地球局の小型化を優先し、降雨マージンは最小限に設定している。通信衛星の中継器はN-STAR a号機のマルチビーム中継器を利用した。さらに、構築した衛星通信アクセス系をJGNへと收容し、京都大学と大阪工業大学との間にJGNの通信回線を通信・放送機構けいはんな情報通信研究開発センター経由で設定した。これにより、京都大学と大阪工業大学間で、衛星回線及びJGN回線の接続が確立された。

衛星通信アクセス系の実証試験の一環として、2001年10月に衛星回線及びJGN回線を用いて、京都大学と通信・放送機構けいはんな情報通信研究開発センターとの間でMPEG2を利用したテレビ会議実験を行った。大学とセンター間の回線は、衛星回線経由ありと経由なしの2通りの回線を設定した。このテレビ会議実験は、IT教育に積極的に取り組んでいる京都市立紫野高校が生徒の進路指導の一環として企画し、センター側の被験者は同高校生、大学側の被験者は同高校の卒業生を含む大学生であった。この実験時の大学側およびセンター側の様子を図3に示す。被験者は、衛星回線経由あり

と経由なしの映像・音声を同時に比べることにより、36,000km 離れた通信衛星経由であっても映像・音声品質が同等であることや衛星通信経由ありと経由なしの間の距離差が映像・音声の遅延として現れることを体感した。このテレビ会議実験により、本実験システムを通信技術の啓蒙活動に役立てることができた。

表1．地球局の諸元

| 項目     | 仕様   |
|--------|--|
| 送受信周波数 | 29.505 ~ 30.425 / 18.505 ~ 19.425GHz       |
| アンテナ   | オフセットパラボラ (開口径1.2m)                        |
| 最大送信出力 | 40W  |
| 受信雑音温度 | 200K                                       |
| 変調方式   | QPSK                                       |
| 誤り訂正方式 | 外符号：リードソロモン (208, 188)<br>内符号：畳み込み符号/ビタビ復号 |
| データ速度  | 符号化率 (1/2, 2/3, 7/8)<br>1.5Mbps ~ 60Mbps   |



図2．屋外ユニットの概観



図3．テレビ会議実験の様子 (左:京都大学, 右:けいはんなセンター)

#### 4．大容量データ伝送のための通信プロトコル

衛星通信アクセス系において大容量データを信頼性高く伝送するための通信プロトコルとしては、地上ネットワークで広く用いられているTCP (Transmission Control Protocol) の利用が考えられる。そこで、TCPを用いて衛星回線経由でデータを伝送したときのスループットを測定した。京都大学に送受信のワークステーション2式を用意し、衛星折り返しの構成とした。このとき、送信端末の物理的な最大送信速度を14Mbpsとし、送信電力を調節することで複数のビット誤り率 (Bit Error Rate, BER) に対して測定を行った。BER=0の場合とBER= $10^{-8}$ の場合のスループット特性を図4に示す。TCPは、ネットワーク上でパケットが氾濫する輻輳を回避するために、ウィンドウサイズにてネットワーク上に流れるデータサイズを制限している。ウィンドウサイズをWnd[byte]、ラウンドトリップ時間をRTT[sec]とした場合、TCPの最大スループットの理論値 $Th_{max}[bps]$ は、 $Th_{max}=8 \times Wnd/RTT$ で与えられる。それ故、地上ネットワークに比較して大きいRTTを有する衛星回線では、最大スループットが大幅に制限される。地上ネットワークで一般的に使用されるウィンドウサイズの最大値は64kbyteであり、RTTが約500msecの衛星回線に適用すれば、その最大スループットは約1Mbpsとなる。実際に、図4よりウィンドウサイズが64kbyteのときの最大スループットが約1Mbps程度であることが確認される。このことから、地上ネットワークで利用されているTCPをそのまま

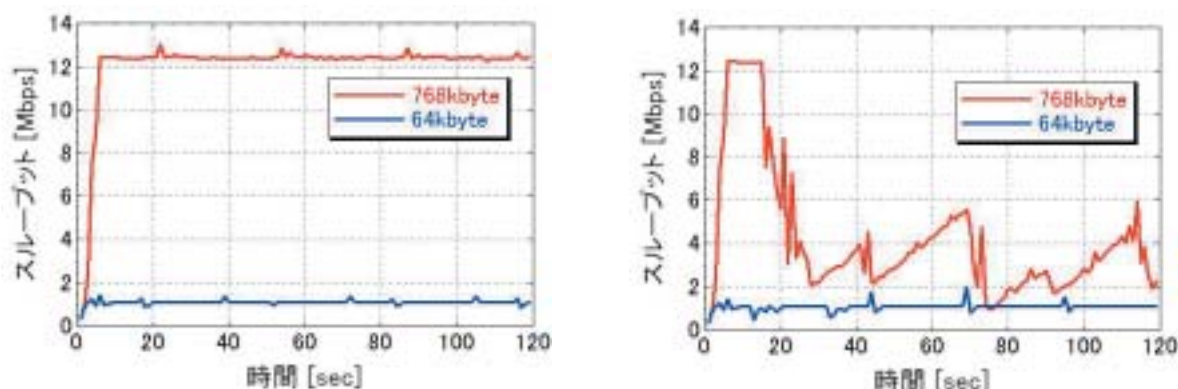


図4. TCPのスループットの時間変化 (左:BER=0 , 右: BER=10<sup>-8</sup>)

衛星回線上で利用した場合、データの高速伝送ができないことが分かる。一方、TCPのウィンドウスケールオプションによりウィンドウサイズの上限值を約1Gbyteまで上げることが可能である。そこで、RTTが大きい衛星回線上でTCPを利用する場合には、このウィンドウサイズを上げることが有効であると考えられる。ウィンドウサイズを768kbyteとした場合のスループットを図4の赤線にて示している。この結果、BER=0では安定した高スループットを与えていることが分かる。しかしながら、BER=10<sup>-8</sup>ではパケットに誤りが生じたときに輻輳と推定されることが原因で、時間が経過すると低スループットに落ち着くことが分かる。

TCPでは、データの信頼性は得られるが、衛星通信アクセス系による大容量データ伝送の高速化には限界がある。また、降雨による信号減衰などが原因でデータ誤りが生じる場合に、TCPが持つ輻輳回避機能により必要以上に低スループットになる。そこで、UDP (User Datagram Protocol) を利用し、アプリケーション層で信頼性を保証したデータ転送プログラムを設計・作成した。このUDP転送プログラムには輻輳回避機能は実装しなかった。UDPデータ転送プログラムの特性評価のため、図5に示される3台のコンピュータを用いて衛星通信アクセス系をエミュレートするシステムを構築した。衛星回線エミュレータでは、帯域幅を46Mbpsに制限し、さらに248msecの遅延を発生させた。また、このエミュレータ上ではパケットロス率を設定できる。この衛星回線エミュレーションシステム上で、UDPデータ転送プログラムを用いて各BERに対するデータ伝送特性を測定した。100Mbyteのデータに対し、UDPパケット長を変更し、スループットの測定を行った。

図6に、TCP及びUDPデータ転送プログラムのそれぞれを用いた場合のBERに対する平均スループットを示す。TCPでは、ウィンドウサイズを上げることにより平均スループットが向上する。しかし、ウィンドウサイズが大きい場合、BERが大きくなるに従い、輻輳回避機能のため、平均スループットが急激に低下する。一方、UDPデータ転送プログラムでは、UDPパケット長を大きくした場合にスループットが改善される。特に、パケット損失が発生しない場合には、UDPパケット長と平均スループットは比例関係にあることが分かる。また、輻輳回避機能がないため、BERの上昇に伴う平均スループットの低下はTCPに比べて緩やかである。

衛星回線エミュレーションシステム上の実験結果より、TCPよりUDP転送プログラムが優れていることが分かる。衛星回線で利用するデータ転送プロトコルとして作成したUDP転送プログラムを用いて、外部のネ

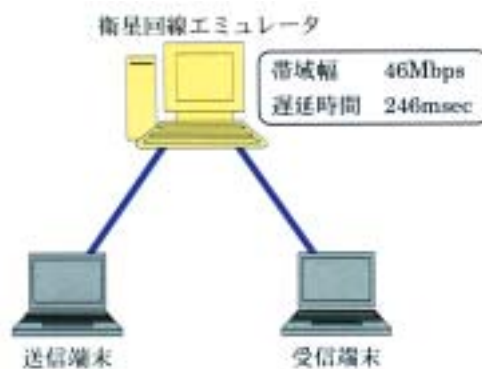


図5. 衛星回線エミュレーション構成図

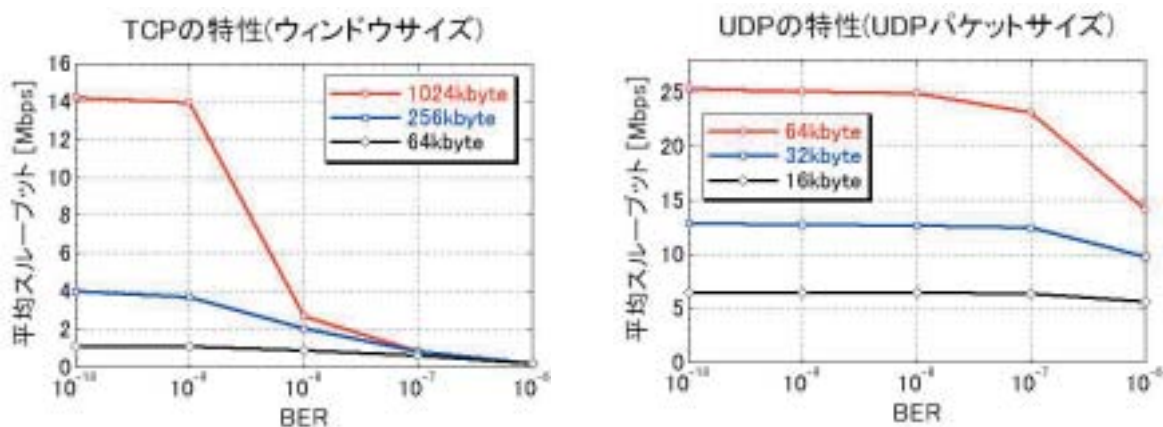


図6. BER に対するTCP (左)とUDP (右)のスループット特性

ネットワークで用いるデータ転送プロトコルであるTCPと分離すれば、衛星通信アクセス系において大容量データ伝送の高速化が図れる。

## 5. おわりに

大容量データを伝送するための衛星通信アクセス系に関する当研究室の取り組みを述べた。この取り組みの中で、衛星回線上にUDP転送プログラムを用いることにより、大容量データの高速化が図れることを示した。

これまで述べたように、本研究課題の終了時(平成14年3月)までの検討は、通信衛星を用いた1対1の大容量データ伝送が主たる対象であった。現在は、衛星通信の同報性を有効に活用したマルチキャスト通信による複数地点への高速データ伝送を目指して、Tornado符号などの研究を進めている。

最後に、本研究課題をとりまとめたこられた立命館大学情報理工学部の川合誠教授(当時、当研究室助教授)をはじめ、通信・放送機構(現NICT)、日本電信電話株式会社、JSAT株式会社、通信総合研究所(現NICT)、新世代通信網実験協議会、通信・放送機構けいはんな情報通信研究開発支援センターの関係各位には、感謝の意を表したい。



# 生存圏研究所としての新たなスタート

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

教授 津田 敏隆

tsuda@rish.kyoto-u.ac.jp

助教授 中村 卓司

nakamura@rish.kyoto-u.ac.jp

助手 堀之内 武

horinout@rish.kyoto-u.ac.jp

## 1、はじめに

当研究室（通信情報システム専攻地球電波科学部門地球大気計測分野）は、研究組織では宙空電波科学研究センター・地球電波科学部門・大気圏光電波計測分野として、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。国立大学の法人化に先立ち、平成14年より木質科学研究所と宙空電波科学研究センターの統合・再編の議論が始まり、平成16年4月1日付け、すなわち国立大学法人京都大学の誕生とともに両部局が統合再編した「生存圏研究所」が発足し、これにともない、当研究室は生存圏研究所・中核研究部・生存圏診断統御研究系・大気圏精測診断分野となった。研究の内容は従来からのものを展開・発展させつつも、生存圏研究所の目指す方法を見据えて新しい方向性を出しつつある。本稿ではこのような最新の研究動向をお伝えしたい。



図1 生存圏研究の概要

## 2、生存圏研究所

人口の急激な増大、生活水準の向上により、人類の生存そのものが今世紀中の近未来に深刻な危機的状态に陥る恐れが高まっている。生存圏研究所は、人類の生存に必要な領域と空間を「生存圏」としてグローバルにとらえ、その状態を正確に診断するとともに、それに基づいて生存圏の現状と将来を学術的に正しく評価・理解し、さらにその生存圏の「治療・修復」を積極的に行うことを目指した研究を行うことを目的として発足した。「生存圏」は、「宇宙圏」「大気圏」「森林圏」「人間生活圏」の4つの圏から成り立つとして捉えられている。旧宙空電波科学研究センター時代は、電波を中心とする電磁波等のリモートセンシングで「宇宙圏」や「大気圏」を個別に研究していたが、生存圏研究所では、旧木質科学研究所の守備範囲である「森林圏」「人間生活圏」を含めて組織的、包括的に捉えて研究を行うように内容が広がっている。

生存圏研究所では、問題解決型の研究の柱「ミッション」を設定して分野横断的な研究を推進している。これらは、ミッション1「環境計測・地球再生ミッション」、ミッション2「太陽エネルギー変換・利用」、ミッション3「宇宙環境・利用」、ミッション4「循環型資源・材料開発」の4ミッションである。当研究室はミッション1の環境計測・地球再生に深く関係しているが、ミッション4「循環型資源・材料開発」のミッションにも一部絡んでいる。

## 3、これまでの研究と新しい研究

当研究室では、電子工学・通信情報の最新技術を地球大気科学に応用することを中心的に行い、地球環境変動を測定し監視する技術を通じて地球環境問題に貢献することを目指してきた。すなわち、1) 情報を収集する部分である計測技術の開発、とくに電波・光・音波などに関する最新の電子技術を用いることで地球大気の高精密観測を目指した。2) 計測データの綿密な解析・情報処理、またモデリング(シミュレーション)によって種々の大気物理過程を明らかにし、またそのためのソフトウェアを開発した。3) さらに海外における拠点観測、衛星観測、国際観測ネットワークなどにより全地球的な情報収集を図り地球大気変動を解明してきた。これまで顕著な成果を上げてきた実績をもとに、生存圏研究所改組後、下記のような新たな研究を始めている。

### 3.1 大規模森林内での大気微量成分のフローの観測(アカシアプロジェクト)

森林は有機物を生産して、地表付近の炭素・水・酸素循環の重要な一翼を担い、環境保全の機能と共に、再生可能な木質資源供給の役割を果たしている。しかし、世界の森林資源は枯渇の一途を辿り、とくに熱帯林において著しい。このため熱帯域では成長の早い早生樹を造林することが盛んに行われており、このような産業造林は、持続的、循環的な木材資源の生産基盤として期待され、地元住民の



図2. アカシアプロジェクトの概念図



図3. 開発中の可搬型水蒸気ラマンライダー

経済活動や福祉にも大きく貢献している。反面、大規模一斉植林による生物多様性の減少の危惧に加えて、栄養塩・無機物の林地からの収奪など地域環境への負荷による木材生産の持続性について懸念されている。生存圏研究所では、「アカシアプロジェクト」を旧木質研、旧宙空研の研究者の共同プロジェクトとして進めている。これは、インドネシアのスマトラ島にある19万ヘクタールの（東京都面積に相当）のアカシヤマンギウム人工造林地をフィールドとした調査研究プロジェクトで1）広大な人工林の動態を衛星観測、大気観測により俯瞰的に把握し、2）そこで行われる木質生産を土壌、森林および大気間の炭素、酸素、水蒸気などの物質循環を精査し、3）物質フロー解析やライフサイクル評価による環境負荷影響評価を行い、4）地域の環境と木材の生産を維持するための技術開発およびその最適化を図る研究組織・研究手法について、これまでの研究成果を踏まえ、調査、整理するものである。当研究室では、とくに1）の森林での大気観測に、これまで手がけてきた光（レーザー）によるレーダー観測（ライダー）、その他光学計測を応用して取り組み、森林におけるCO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>Oなどの大気微量成分のフローについて精密に計測し、種々の樹齢や自然林、人工林、さらに人工林伐採後に作った2次人工林など広大なフィールド中の種々の樹相の森林について炭素循環等を把握するとともに、これまで試みられなかった大規模な人工林地域の乱流輸送等の大気現象を捉える。現在、近距離（500m以下）の水蒸気を計測する可搬型ラマンライダーを開発し、移動観測の準備を進めている（図3）。

### 3.2 年輪画像の解析による熱帯気象の研究

多雨・少雨、高温・低温など年毎の変動により、毎年の木の生長は少しづつ異なり、それが年輪の幅として木に記録される。したがって、年輪を解析すれば、それをもたらした過去の気候状態を調べることができる。当研究室では、これまでの種々のデータ解析・画像処理の技術やノウハウを活かして、これまであまり行われていない熱帯の樹木の年輪計測方法を開発し、観測データの少ない熱帯域の過去の気候を調べる年輪気候学に取り組むことを始めた。これまでに年輪間隔を1次元的に計測するのではなく、年輪全周の面積を計測する手法を開発し、多雨・少雨との相関を調査している。

このほか、正倉院における室内温度・湿度変動の研究においては、旧木質科学研究所の研究者らと共同でこれまでレーダーその他のデータ処理で活かしてきた技術を他分野に応用する試みがなされている。正倉院の校倉作りの優秀な調湿・調温機能の仕組みについては未だ解明されておらず、最近になってようやく内部の大気の様子が調査されるようになった正倉院はまた新しい発見の宝庫かもしれない。

以上のように、積極的に森林圏や人間生活圏を含めた広い生存圏への研究へと現在研究分野を拡張中である。

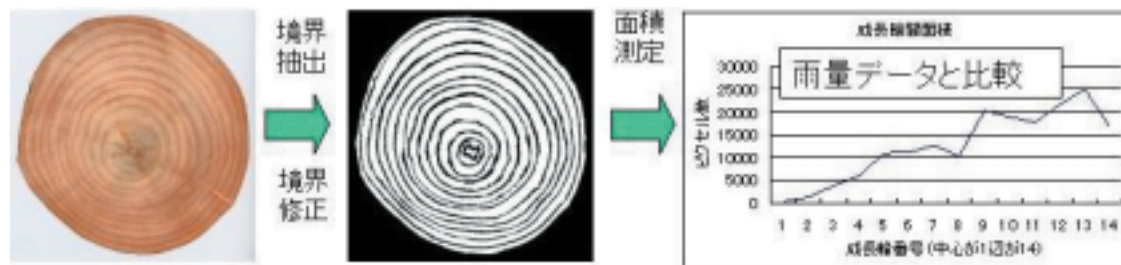


図4 年輪画像の解析例

## 4. おわりに

以上、簡単に本年度発足した生存圏研究所での当研究室の活動状況をご紹介します。「人類の持続可

能な発展」は21世紀の我々の挑戦すべき火急な課題であり、大学法人化と同時に新研究所の分野として新たなスタートを切った本研究室は、新たな目標のもと新しい方向性を求めた第1歩を踏み出すことができた。すなわち、これまではどちらかというと工学の理学（地球科学）への応用というのが我々の研究室のスタンスであったが、これからは、さらに農学、生命科学、そして人文・社会科学と幅広い視点で電気電子工学を基礎とした技術の応用を図っていくように心がけたい。

## 産業界の技術動向

# F P D 技術及び産業の動向

株式会社 日立ディスプレイズ  
衣川 清重

## 1. はじめに

FPD (フラットパネルディスプレイ) は従来のCRT (ブラウン管) ディスプレイに対比する言葉でいわゆる平面型のディスプレイです。近年各種報道に記事が出ない日はないような状況になっています。何故このように騒がれるのか?。多分(1) CRTの国内生産が'03年 '04年で終了し明らかにFPD-TV時代が幕を開いたこと、(2) 従来のLCD (液晶) だけでなくPDP (プラズマディスプレイ)、有機EL (エレクトロルミネッセンス)、FED (フィールドエミッションディスプレイ) など新たなFPDの可能性が出てきたこと、(3) PCからデジタル家電の移行期の中で大形FPD-TV等が日本に残す産業として着目されていること、(4) その中で韓国・台湾等アジア勢の台頭が著しくLCDの生産規模などでは日本勢が追い越されたこと、等かと思えます。日本に残すべき産業 = FPDをどのようにしていくか、これは産業界・官界・学会でも色々と議論がなされています。

筆者は昭和44年に電気第二工学科、昭和46年に電気系修士課程を卒業し、日立製作所電子管事業部に入社して以来、LCDを中心としたFPDの開発にたずさわり、現在は有機ELやFEDの開発についても一部たずさわっています。本稿ではこのような経験の中から「FPD技術及び産業の動向」の最近の状況について述べます。

なお現所属会社の(株)日立ディスプレイズは日立製作所のディスプレイ部隊(最終製品は含まずディスプレイデバイス専業)が'03年10月日立製作所100%資本の子会社として分社したものです。

## 2. ディスプレイ技術概要及び市場規模

図1にディスプレイデバイスの種類を示します。ディスプレイデバイスは大きく自ら発光する発光型と、外部の光を変調する受光型に分かれます。PDPやEL、FEDはこの部類に属します。更にはこれらは材料或いは構成の違いによりいくつかに分かれます。ELの場合無機材料か有機材料か?、有機材料の場合低分子か高分子か?等です。平面CRTとも言うべきFEDは電子発生源の種類により分類されます。スピント、SED、MIM、CNT等です。受光型では今のところLCDが圧倒的優位を誇っています。

ディスプレイデバイスの難しさは、デバイスにより技術(主に材料・プロセス)が大きく異なり方式選定の誤りが致命傷になることです。

次に図2に現在FPDの主流であるLCDの種類



図1 ディスプレイデバイスの種類

を示します。LCDは二枚の電極の間に液晶材料をはさんだパッシブマトリックスとトランジスタ等アクティブ素子（スイッチ）を介して液晶材料をはさんだアクティブマトリックスに分かれます。詳細は省略しますが高精細表示やカラー表示になるとアクティブマトリックスが必須です。アクティブマトリックスの問題はガラス基板上に画素と同じ数のトランジスタ（或いはダイオード）を作り込まないといけなことです。トランジスタは基本的には半導体LSIと類似のプロセスで形成します。半導体LSIに比べ巨大な基板を扱うため設備投資金額が非常に巨額になることが大きな問題です。現在のトランジスタの主流技術はa-Si TFT（アモルファスSiによる薄膜トランジスタ）です。また近年急激に伸びつつあるのがLTPS（低温ポリクリスタルSiによる薄膜トランジスタ）です。LTPSはTFTの性能が良いため周辺駆動回路等もガラス基板上に積層できるためです。このようなものを最近システムインディスプレイとも呼んでいます。詳細は省略しますが有機ELも高精細表示にはアクティブマトリックスが必須とされています。

次に図3にFPD市場予測（CRTは除く、ディスプレイサーチ社）を示します。図でPDP以外は現状はほとんどがLCDです。図に主要な用途も示されています。CRTがTVとコンピュータモニタ以外に大きな市場を見いだせなかったのに対しLCDはCRTができない領域から参入し更にCRT自体の市場も奪いつつあります。更にこの巨大市場に対し、PDP、有機EL、FED、・・・の参入が始まりつつあるのが現状かと思えます。市場規模、図も含めてこの種のデータはディスプレイデバイス（部品）メーカーの出荷金額で示するのが一般的です。'04年度で約5兆円の規模でこれだけでも巨大ですが、FPDを応用したPCモニタやTV等最終製品の出荷金額はその数倍になると予想されその経済波及効果は非常に大きいと言えます。

3. LCD産業の動向と問題点

次に現在主流のa-Si TFT LCDの現状について説明します。これは原理は欧米であるものの、産業として育てたのは日本、日本発の産業と言えます。

LCDの歴史は既に巨大市場があったCRT市場への参入でした。その壁は性能と価格。特に価格、図4にPCモニタ用LCDの価格動向を示します。急激な価格ダウンにより予想通りPC用のCRTモニタの市場を奪いました。2-3年後にはTVの市場も奪うでしょう。ではこの価格ダウン



図2 LCD（液晶ディスプレイ）の種類

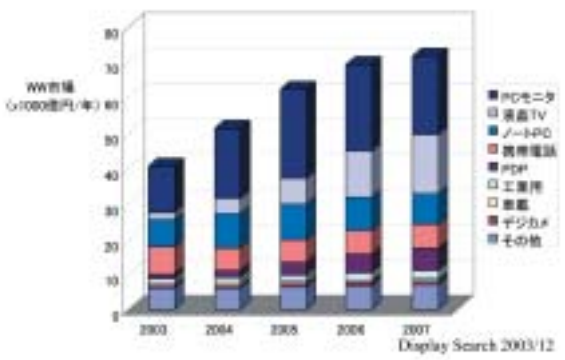


図3 FPD市場予測

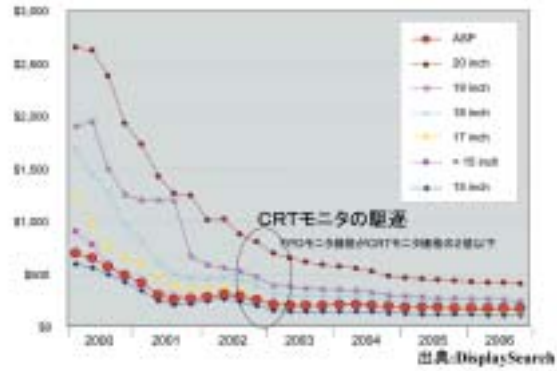


図4 液晶モニタ用パネル価格動向

は何で成し遂げて来たか？。色々な要因がありますが一番はガラス基板サイズ（マザーガラスサイズ）の大形化と自動化です。図5に最近の動向を示します。単純に言うと面積が倍になっても設備価格は倍にはなりません。それだけ投資効率が上がります。これでいけいけどんどんでやってきたのがこの10年くらいの日本企業の姿でした。しかしこの間に設備メーカーや材料メーカーにどんどん技術ノウハウがたまって行きました。

気が付いて見るとあっという間に少なくとも生産規模ではアジア企業に追い越されてしまった。図6に大形TFT LCDの出荷実績を示します。色々入り組みはありますが明らかにトップ4は韓国2社、台湾2社の状況が固まりつつあります。図7に今後の設備投資計画を示します。これを見てもこの格差はますます開いていくものと予想されます。

では過去の問題点は何だったのか？。 設備部材・技術提携・人材流出による日本からの技術流出、 設備投資金額・設備能力の急激な増大、 多すぎるプレイヤーによる分散投資、コストに占める高い材料比率と材料メーカーの寡占化、等であろうと考えられています。

別の観点から見ますと製品・技術がコモデティ化（日用品化）してくればコストの安いアジアに出て行くか別のビジネスモデルを考えるか更なる技術革新を目指すかくらいしかないわけですがまさに今日本のLCD産業は岐路にたついていると言うのが現状かとかと思えます。

では解は何か？。

先日新聞報道でもありました（株）IPSアルファテクノロジー設立は一つの解ではないかと考えています。これは日立・松下・東芝が合併で

TV用LCDの専門会社を作るものです。これは単に合併と言うことではなくそれぞれのTVセット部門と日立のディスプレイデバイス部門がLCD - TVの疑似垂直統合化を図るものです。

もう一つの方向はガラス上にシステムまで集積したシステムインディスプレイや有機ELやFEDや3次元ディスプレイや有機TFTや・・・、常に先端のディスプレイ製品・技術で日本が先頭を走ることが重要と考えています。

4. 次世代ディスプレイに向けて産・官・学共同

このような状況の中で、「ディスプレイは日本に残す産業」との観点から次世代ディスプレイに向

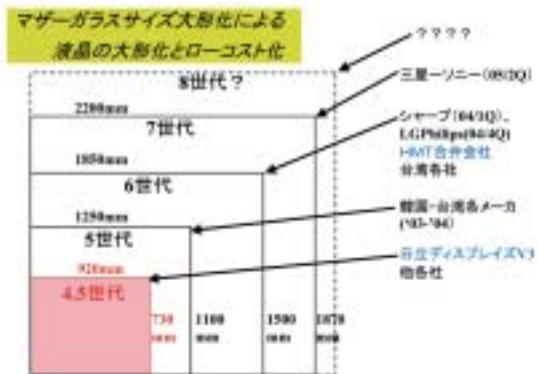


図5 a-Si TFT 液晶製造ラインの大形化

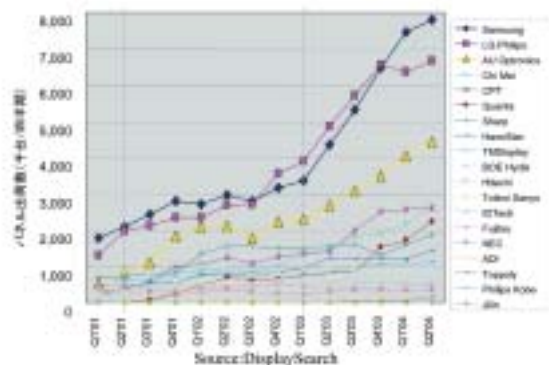


図6 大形TFT - LCD 出荷実績

|              | 第4世代  | 第5世代                 | 第6世代                 | 第7世代                    |
|--------------|---|----------------------|----------------------|-------------------------|
| 最大ガラスサイズ(mm) | 1100*1200(1300)   | 1200*1600(1650)      | 1650*2200            | 2200*2200<br>2200*2200  |
| パネル数         | 1780(1200)1980(1400)  | 1770(1200)1200(1400) | 1170(1400)1170(1200) | 1170(1200)              |
| ライン数         | 218(1400)   | 128(1200)127(1400)   | 118(1200)140(1400)   | 128(1180)128(1200)      |
| 稼働率          |   | 70-75%               | 70-75%               | 70-75%                  |
| 稼働時間         |   | 10000時間/月            | 10000時間/月            | 10000時間/月               |
| 稼働コスト        |   | 10000円/月             | 10000円/月             | 10000円/月                |
| 稼働設備         | LPL(1100万)<br>LPL(1100万)                                      | LPL(1000万)           | 10000万円/月            | LPL(1000万)<br>10000万円/月 |
| 稼働設備         | 10000万円/月<br>10000万円/月<br>10000万円/月<br>10000万円/月<br>10000万円/月 | 10000万円/月            | 10000万円/月            | 10000万円/月               |
| 稼働設備         | 10000万円/月<br>10000万円/月  |                      |                      |                         |

図7 第5世代以上の液晶パネル工場 (電波新聞)

けて産・官・学の様々な取り組みも始まっています。私の知るものを図8に示します。私自体このうち2件（ALTEDEC、CNT-FEDプロジェクト）に関係しています。

ディスプレイは材料・デバイスから回路システム・設備まで含む総合技術、まずはその足腰の所の基礎・基盤技術をしっかりさせ積み上げていかないと本物のディスプレイにはなりません。これはなかなか一企業の力ではできません。そういう意味で大学の基礎研究に期待をしています。

5. 今後の動向

FPDの近い将来の棲み分け予測図を図9に示します。ディスプレイと半導体LSIとの一番大きな違いはディスプレイがマン・マシンインターフェースであり直接人間の目に触れる所です。このためそのサイズとピクセル数（画素数）が重要です。+画質（コントラストや色調や・・人間の感性に触れる部分）+コストが重要です。このサイズとピクセル数で各種ディスプレイの棲み分けの可能性を示したのがこの図です。

1形前後のプロジェクション用マイクロディスプレイは高温p-Si或いはLCOS技術をベースにするLCDが主流になるであろうと言われています。2形から40形前後の領域はa-Si TFT或いはLTPS（低温p-Si TFT）をベースとするLCDが現在主流です。LTPS基板が共通に使えることから、この領域で小さいサイズから徐々に有機ELが使われる可能性が大きいと考えています。40形前後から上のホームシアタ用などの大画面FPD TVは激戦区です。現在はLCDとPDPが40形前後を境に棲み分けていますが、この分野を狙ってプロジェクション、FED等の開発が進められています。

図10は製品・技術の成熟度からディスプレイを模式的に見た図です。成熟度が高いことはその製品がコモディティ化（日用品化）した事でもあり最後は価格が優先する世界になっていきます。CRTは無くなったわけではなく普及型TV用としてアジアを中心に膨大な量が作られています。日本での生産がコスト高から困難になっただけです。世界一高賃金国の日本で例えばLCDはいつまでやっていけるのか？。コモディティ化した製品を少しでも長く日本で生きのびさせる方策と、海外シフトした製品の穴を埋める先端製品の継続的導入の両方が求められています。

フォーカス21 in Japan 色様々な国家支援、産官学共同開発

- NEEDO-(株)液晶先端技術開発センター(ALTEDEC)
    - 80G(システムオンガラス)LCD
  - (独)産研研、低消費電力次世代ディスプレイ製造技術共同研究推進機構—
    - (株)フューチャービジョン
  - NEEDO—省エネ型次世代PDPプロジェクト
  - NEEDO—カーボンナノチューブ(CNT)FEDプロジェクト
  - NEEDO—高効率有機デバイスプロジェクト(有機TFT, 有機EL)
- 新材料からのディスプレイへのアプローチ
- ナノテクノロジー 例 CNT
  - 有機エレクトロニクス 例 京大—日立との共同研究

図8 ディスプレイは日本に残すべき産業

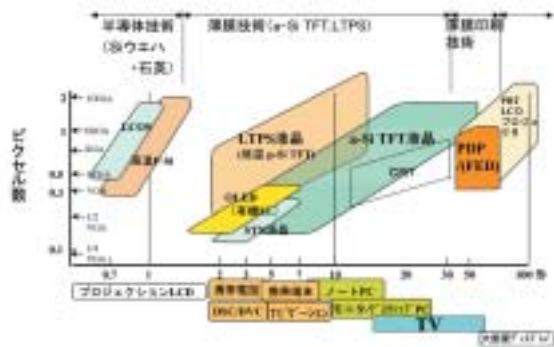


図9 ディスプレイの用途による棲み分け？



図10 製品サイクルモデルにおけるTFT液晶の現状



## 6. おわりに

今エレクトロニクス産業の柱の一つであるFPD業界で何がおこっているか、本稿が少しでも理解の一助になれば幸いです。

また今後の動向については誰にもわからずと言うことが多分本当の実態で100人の意見を聞けば100通りの答えが出てくるでしょう。本稿5項の「今後の動向」についてはあくまで私の私見であり、(株)日立ディスプレイズの公式見解ではないことを申し添えておきます。

FPDだけでなく多分他エレクトロニクス分野も同じだと思いますが「世界一高賃金で無資源の日本」が生きて行くには、常に革新的な「新しい技術や製品」を出し続ける事が必要です。私の今一番の危機感はこの力が徐々に日本から失われてきているのではないかと言うことです。

## 新設研究室紹介

### 情報メディア工学講座 情報可視化分野（小山田研究室） 「ポリウムコミュニケーション技術を使った協調可視化環境の構築」

本研究室[1]は、後述するポリウムコミュニケーションのコンセプトの下、高臨場感のある協調研究支援環境づくりに向けて研究開発を推進し、研究成果の実用化・普及を目指している（図1に概念図を示す）。

異分野連携や協調的研究の成果として求められているのは、新たな知識の創造を行うための有効な場の構築である。知識創造プロセスは、形式知と暗黙知のスパイラル・アップとして提唱されている。形式知とは、文書などの形式にまとめられ、表出化している知識であり、暗黙知とは、匠の技に代表される勘・コツ・経験など個人の内側に蓄積された知識である。新たな知識とは、異分野連携や協調的研究において、これらの形式知と暗黙知がスパイラル・アップにより生み出されるものであり、その成果物のことである。

スパイラル・アップ過程は暗黙知と暗黙知の交換・継承、暗黙知から形式知への変換、形式知と形式知の結合と進化、形式知から暗黙知への変換と内面化の4つの知識変換プロセスとして説明されている。遠隔地にいる異分野研究者による知識変換プロセスを促進するにあたって、ナレッジメントシステムを含む既存のIT基盤は有効に機能する。ただし、このうち、暗黙知と暗黙知の交換・継承については、現実感を伴わないテレビ会議システムのような通常の遠隔地共同作業環境では実施が難しい。本研究は、遠隔地における研究者間の協調に際し、対面型コミュニケーションにおいて「相手が目の前にいるかのような現実感」と、研究者個々の日常の研究活動において「相手がすぐ隣にいるかのような一体感」を得られる環境の実現により、暗黙知と暗黙知の交換・継承をスムーズに行い、研究開発スタイルに革新をもたらし、新たな知識創造の場を構築することを狙いとす。なお、詳細は解説[2]をご参照いただきたい。



図1 遠隔知識創造支援環境概念図

**ポリウムコミュニケーション** ポリウムコミュニケーションとは、ポリウ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、協調可視化環境は、高臨場感あふれる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。ポリウムコミュニケーションでは、計算機または実世界から生成されるポリウムデータを高速ネットワークにより実時間転送し、ポリウムビジュアライゼーション技術を使って、遠隔地にいる研究者に情報を提示する。ポリウムデータの生成では、遠隔地にあるスーパーコンピュータ等で計算された数値シミュレーション結果を、また、遠隔地にいる研究者を多視点カメラで撮影し、複数のビデオストリームとし、これらをポリウムデータに変換する。従来、ポリウムデータ変換後直ちに等値面生成を行ったり、またさらに画像生成を行ったりして、ポリゴンや画像をネットワーク転送の対象とすることが多かった。ポリゴン転送の場合、可視化パラメータの変更ごとに転送が発生し、その転送データ量の予測は、一般に困難である。画像転送の場合、可視化パラメータに加えて、視点位置を変更するだけでデータ転送が発生する。さらに、どちらの場合も複数人による可視化を行う場合、可視化パラメータや視点位置を変更できるのは一時点ではひとりに限定される。これらの問題解決のために、我々は、ポリウムデータをネットワーク転送の対象とする。また、可視化処理を効率化するため、さらに、必要ネットワークリソースの見積もりを容易にするためにボクセルという規則格子で定義されたポリウムデータを利用する。現在開発中の**ポリウムデータ生成手法**の詳細については参考文献[3]をご覧ください。また、ボクセルで表現された大規模なポリウムデータに対する効率のよいリモート可視化技術を実現するために“ストリーミング”の考え方を利用した。“ストリーミング”とは、ネットワークを介して、オーディオ、ビデオなどのマルチメディアデータを、ダウンロードの完了を待たずに実時間に再生することを意味する。この“ストリーミング”の考え方を利用した**ストリーミング可視化手法**についての詳細は参考文献[4]をご覧ください。遠隔協調空間においては、同じシーンに対するそれぞれ違った視点からの映像が提示されるようになっていなければならない

いという要請がある。このような映像提示に適した表示装置として、我々は、多視点対応裸眼立体視表示装置を注目している。現在商品化されているものとしては、Actuality社の開発した全方位型表示装置（Perspecta）と三洋電機が開発した多視点方式表示装置がある。前者は、全周からの鑑賞が可能な全方位型表示装置（360-degree-viewable volumetric 3D display）であり、透明な球体中にある円形の回転式スクリーンにボリュームデータのスライス像（198スライス、768x768）が投影されることにより立体映像が表示される。これらの表示装置はCG映像の表示に用いられており、カメラで撮影された実映像表示には用いられていない。遠隔協調空間では、相手の表情を伝えるために多視点カメラで撮影された映像を表示する必要がある。多視点映像向け裸眼立体視表示技術に関する研究の詳細は参考文献[5]をご覧ください。上記の研究概要およびその他の取り組みは当研究室のホームページに記載されている（<http://www.viz.media.kyoto-u.ac.jp/>）。

#### 参考文献およびURL

- [1] <http://www.viz.media.kyoto-u.ac.jp/>
- [2] 小山田耕二、酒井晃二、“ボリュームコミュニケーション技術を使った協調可視化環境の構築”、可視化情報、Vol.24, No.95, 2004（10月） pp.228-233
- [3] N. Sakamoto, K. Koyamada, K. Sakai and K. Kikugawa, “Voxelization of Hexahedral Cell with the Two-Pass Rasterization Technique,” The 4th IASTED International Conference on VISUALIZATION, IMAGING, AND IMAGE PROCESSING (VIIP 2004), pp. 178 - 181, 2004.
- [4] Y. Watashiba, J. Nonaka, N. Sakamoto, Y. Ebara, K. Koyamada and M. Kanazawa, “A Streaming-based Technique for Volume Rendering of Large Datasets,” Proceedings of the IASTED CGIM2003, pp. 187-192, 2003
- [5] H. Hazama, N. Sakamoto, H. Horii, Y. Ebara and M. Koyamada, “Multi-Viewpoint Videos Merging System Using Auto-Stereoscopic Display in Tele-Immersion,” The 4th IASTED International Conference on VISUALIZATION, IMAGING, AND IMAGE PROCESSING (VIIP 2004), pp. 719 - 724, 2004.

## 情報メディア工学講座 複合メディア分野（中村 裕）研究室

### 「映像コンテンツの自動取得 ～人間の行動の観測による映像の自動撮影・編集～」

コンピュータや通信技術の進歩により、映像(動画)やそれを基にしたマルチメディアコンテンツが教育コミュニケーションの手段として重要な位置を占めるようになってきました。企業、教育機関、個人やその他のコミュニティでも、映像を製作することに対する関心が高まっています。しかし、映像の撮影は、世界で起こっている出来事の一部(時間、空間的な一部分)を切り出し、編集する行為であり、真面目に取り組むとかなり難しい問題だとも言えます。単純に撮り流したホームビデオが、他人にとって見るに耐えない代物となることから、それはよくわかります。

この問題に対する我々のアプローチは、映像の自動撮影、自動編集を行うシステムを構築すること、得られる映像データの新しい利用方法をサポートすることです。そのために、図のような自動化スタジオを構築しています。現在は、プレゼンテーション、トレーニング、ミーティングのような教育に関連する場面を想定し、そこでの実応用を目的としています。

この研究のポイントの一つは、自動カメラマンの機能をシステムに持たせたことです。システムが撮影対象、つまり人間の顔や手先などを追跡し

ながら撮影しますが、人間のカメラマンとは違い、種々のセンサからの計測結果、画像認識、音声認識の結果を使って、複数の自動カメラを制御することによって、映像データを取得します。

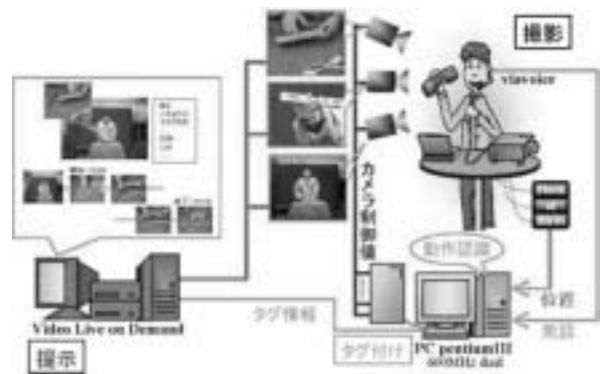
また、ただ撮影しただけでは、多くのカメラから得られる大量の生データが残るだけです。そこで、複数のカメラで撮影されたデータの中から最も重要そうな部分、つまり視聴者(ユーザ)に見せるべき部分を検出し、自動的に映像の編集をする機能についても研究を行っています。注目すべき部分は、時間的・空間的に常に変化するため、人間の行動(体の動きや発話等)を観測し、動作・発話・物体の動きなどを統合的に認識するマルチモーダルな認識技術が重要なポイントとなっています。

さらに、得られたデータは、様々な視点から人間の行動の様々な部分をとらえたものとなっています。つまり、様々な人の様々な要求に対して適切な情報を提供するという意味からも、面白いデータとなっており、質問応答などの研究への応用を試みています。

このような技術が進めば、人間の先生の講義、実演、アドバイスなどを自動撮影し、その言動や知識を仮想化(様々な形で利用コンピュータの中に取り込む)することが可能になります。本や現在のマルチメディア教材との違いは、先生を仮想化することによって、質問に答えたり、利用者の状況に合わせてアドバイスする機能を持たせることが可能になる点です。これによって、自動化システムが生徒の様子をじょうずに見守りながら必要かつ的確なアドバイスをするバーチャル実験室やトレーニングルームの実現も夢ではないと考えています。

#### <参考文献>

- 尾関、中村、大田、机上作業シーンの自動撮影のためのカメラワーク、信学論D-II-J86, 2003
- 尾形、中村、大田、制約充足と最適化による映像編集モデル、信学論D-II-J87, 2004
- 尾関、中村、大田、注目喚起行動に基づいた机上作業映像の編集、信学論D-II-J88, 2005



## 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 (荒木研)
- 電磁工学講座 電磁エネルギー-工学分野 (島崎研)
- 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
- 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)
- 電子物理工学講座 極微真空電子工学分野 (石川研)
- 電子物理工学講座 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
- 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
- 量子機能工学講座 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)

#### 附属イオン工学実験施設

- 高機能材料工学講座 クラスティオン工学分野 (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
- 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 (森広研)
- 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 (中村研)
- 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 (英保研)
- 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 (吉川榮研)

#### 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)
- 基礎プラズマ科学講座 核融合エネルギー制御分野

#### 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 (塩津研)

### 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 (吉川潔研)
- 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 (深尾研)
- 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 (松本研)
- 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)

### 国際融合創造センター

#### 融合部門

- ベンチャー分野 §

#### 創造部門

- 先進電子材料分野 (藤田静研)

### 高等教育研究開発推進センター

- 情報可視化分野 (小山田研)\*

### 学術情報メディアセンター

- 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（島崎研究室）  
 「ストップモデルを用いた磁気ヒステリシス特性のモデル化」

現代社会の電力消費の過半数がモーターによるものであり、また今後、電気自動車の普及が予想されることから、モーターの一層の高効率化ならびに小型軽量化が求められている。しかし、電気機器の鉄心材料である電磁鋼板は磁気ヒステリシス特性を持ち、その中でも、異常渦電流損を含む交流特性や、PWM制御や空間高調波に由来するマイナーヒステリシスループなどを正確に表現することは容易でない。現在、電気機器の設計には電磁界解析が不可欠であるが、ヒステリシス特性の表現精度が不十分なため、解析精度の向上が阻害されている。そこで、本研究室では、ストップモデルおよびプレイモデルを用いた、電磁鋼板の磁気ヒステリシス特性の簡潔で正確な表現手法の開発に取り組んでいる。ここでは、ストップモデルによる表現手法の紹介を行う。

ストップモデルは、磁束密度 $B$ を入力として磁界 $H$ を出力とするのに適したモデルであることから、磁気ベクトルポテンシャルを用いた解析に有用であり、次式のように与えられる。

$$H = \sum_{k=1}^M f_k(s_k(B)) \quad , \quad s_k(B) = \max(\min(B - B^0 + s_k^0, \eta_k), -\eta_k)$$

ここで、 $s_k$ は高さ $\eta_k$ のストップヒステロン（図1）、 $B^0$ と $s_k^0$ は前時点での $B$ と $s_k$ の値、 $M$ はストップヒステロンの数、 $f_k$ は $s_k$ に対する形状関数（一価関数）である。本研究室では、まず、このモデルの数学的な性質を明らかにしてモデルの表現能力の限界を示すとともに、モデルの同定法（形状関数の決定法）を開発した。次に、形状関数の拡張を行うことにより、ストップモデルの表現能力を改良した。また、この改良モデルの数学的な性質を明らかにするとともに、改良モデルの同定法を開発した。さらに、これらのモデルは直流モデルであるので、これを交流特性表現へ拡張する手法を開発した。

無方向性電磁鋼板のマイナーループを含むヒステリシス特性の表現についてはcue 12号にて紹介済みであるので、今回は、方向性電磁鋼板の磁気特性の表現について紹介する。図2と図3は、方向性電磁鋼板（JIS: 30P105）の圧延方向と直角方向の直流ヒステリシス特性の表現結果である。図の上部は従来モデル、下部は改良モデルによる表現である。改良モデルでは、図3のような複雑なヒステリシス特性も精度良く表現できている。次に、交流特性の表現結果を図4に示す。図4の上部と下部は異常渦電流損の考慮の有無の比較である。異常渦電流損の考慮により、交流ヒステリシスループの表現が正確になっていることがわかる。今後の課題としては、モデルのベクトル化が重要である。

参考文献: T. Matsuo, Y. Terada, and M. Shimasaki, IEEE Trans. Magn, 40(4), pp. 1776-1783, 2004, 他。

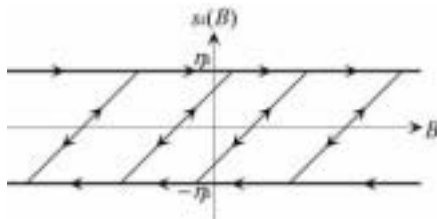


図1 ストップヒステロン

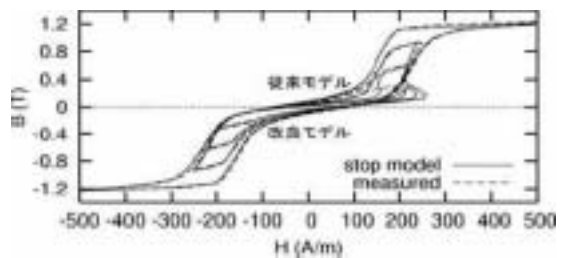


図3 方向性電磁鋼板の直角方向特性の表現

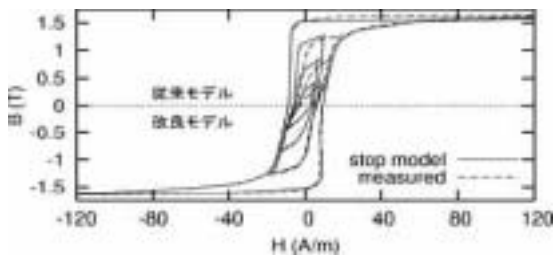


図2 方向性電磁鋼板の圧延方向特性の表現

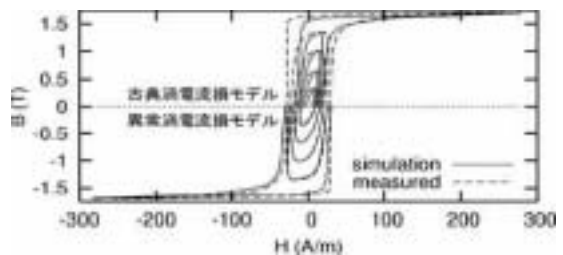


図4 交流ヒステリシス特性の表現

## 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） 「SiCパワースイッチング素子の電力変換回路への適用」

電力の高効率利用や多機能化を目的として、インバータに代表されるパワエレ機器を用いた電力変換制御が広く導入されるようになってきました。これらの機器が電力変換を行なうにはパワーMOS-FET、IGBT等のスイッチング素子が不可欠となります。これらSiを基板材料としたパワースイッチング素子は目覚ましい性能向上を遂げていますが、Siの物性値が持つ限界に近づいてきています。ワイドバンドギャップ半導体の採用によりこの限界を超えることが可能となり、パワースイッチング素子として特にSiCが最も実用化に近い半導体材料として期待されています。SiC素子は、従来のSi素子に比べ高耐電圧・高速・高温動作等の様々な潜在的な能力を持っていますが、その真価を発揮させるためには、素子を利用する側である電力変換回路も素子特性に応じた回路設計・実装・制御が必須となります。すなわち、デバイス開発・実装・回路設計の三位一体での研究開発が必要です。我々の研究室では、京都大学21世紀COEプログラム「電気電子基盤技術の研究教育拠点形成」に含まれる事業のひとつとしてSiCデバイス開発を行なっている学内の電子物性工学講座半導体物性工学分野の研究室及び、それとは別にSiCデバイスのモデリング・実装の研究を行なっている米国アーカンソー大学Mantooth教授らの研究グループ、電力変換器のアプリケーションを検討している民間企業と研究プロジェクトを共同して推進しています。ここでは特に、昨夏アーカンソー大学との共同研究において実施した450 という超高温でのSiC JFETの動作特性実験によって得た結果を紹介します。

図1にSiC JFETの高温動作特性試験を行なうために構成した実験装置の概略を示します。SiC JFETを高温動作実験に供するため、Niメッキされた高温パッケージに実装した上で電気炉内に配置しています。素子の各端子は耐熱電線で外部から電源等に結線され、ソース共通接地回路を構成しています。素子の自己発熱による測定中の温度変化を極小とするため、パルスジェネレータで発生させた25  $\mu$ s幅のパルスをゲートドライバ回路を通してJFETのゲート-ソース間に加えています。これら機器はGPIBでPCに接続されており、自動制御・計測が行なえるようなシステム構成となっています。

今回用いたSiC JFETは、ゲート電圧を印加しない状態  $V_{gs}=0$  V)で導通状態であるノーマリ・オンタイプの素子です。図2は450 において測定した素子の $V_{ds}$ - $I_{ds}$ 特性であり、同図より450 というSiでは不可能な超高温まで能動素子としての機能を失わず動作可能であることが分ります。また素子をオフ状態に保つために必要なゲート電圧も室温に比べ約1V大きくするだけで済むことも分りました。但し、素子の飽和電流は室温時の約20%まで低下しますので、高温動作回路の設計時には電流量の設定について十分注意する必要があります。今後は、実験より得たデータを基にして回路設計用のJFETをはじめとするSiCの素子モデリングを行なっていく予定です。

<参考文献> Tsuyoshi Funaki, J. Balda, J. Junghans, A. Kashyap, F. Barlow, A. Mantooth, T. Kimoto, T. Hikiyara "SiC JFET dc Characteristics Under Extremely High Ambient Temperatures", IEICE Electron. Express., Vol. 1, No. 17, pp.523-527, (2004)

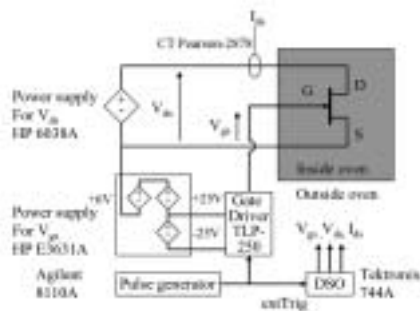


図1. SiC JFET高温特性試験回路構成

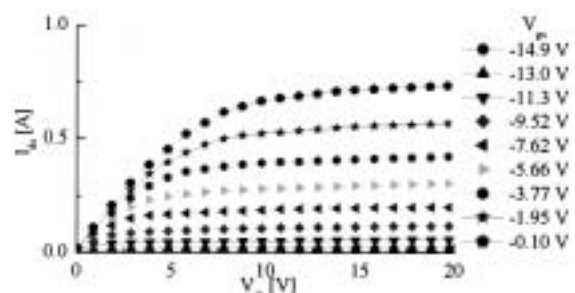


図2. SiC JFETの450 における $V_{ds}$ - $I_{ds}$ 特性

電気システム論講座 電気回路網学分野  
「可逆論理回路を用いた算術演算」

1. はじめに

通常の論理回路は非可逆です。つまり、入力から出力へは信号は伝わりますが、逆に出力から入力へは信号が伝わりません。それに対し、可逆な論理回路の研究が最近活発に行なわれています。その方向性は2つに分けられ、一つは物理的可逆性を利用して低消費電力回路を設計する研究です。もう一つは、量子計算が可逆計算であるため、量子計算に関連した可逆計算の研究です。当研究室では、可逆回路のもつこれらの特徴を意識しながら新しい可逆回路を提案しています。

2. 可逆論理回路

通常の可逆回路は入力端子数と出力端子数が等しいものを考えますが、当研究室では図1に示すような3端子の回路を基本に考えています。3端子の回路では、任意の2入力が与えられれば、残りの端子から出力される場合に可逆であると定義します。可逆論理回路を実現するためには、論理が可逆であることと回路が可逆であることの両方が必要になります。

論理について考えてみると、3端子の場合の可逆論理は表1に示す2種類の論理のみが可逆となります。上がExOR論理、下がExOR論理の否定です。次に回路を作ることを考えます。通常のCMOS回路では、入力と出力が対称ではないため、可逆な論理は組めません。そこで、新たに2線式の単調回路を用いて可逆回路を設計する手法を提案しています。

図3はExOR回路の例ですが、3つの端子が対称な構造であることがわかります。

3. 可逆演算回路

可逆回路の応用として開発したのが、可逆演算回路です。例えば、加算回路( $a+b=c$ )可逆回路を用いて作製し、信号の向きを逆にすると減算回路( $a=c-b$ )として動作します。また、乗算回路( $a \times b=c$ )を作製して、信号の向きを逆にすると除算回路( $a=c/b$ )として動作します。

すでに、実際にこれらの演算回路を作製し、その動作を確認しています。現在では、これらの回路の低消費電力性に注目した研究をCOE予算の援助により進めています。

<参考文献>

[1] T. Hisakado, and K. Okumura: "Logically Reversible arithmetic circuit using pass-transistor," Proc. ISCAS, Vol. II, pp.853-856, 2004.

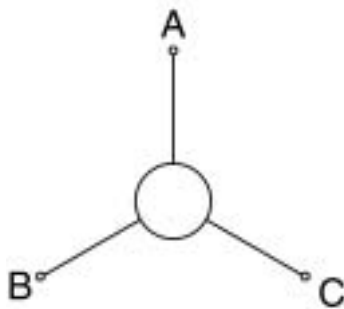


図1: 3端子回路

| A | B | C |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

| A | B | C |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

表1: 可逆論理

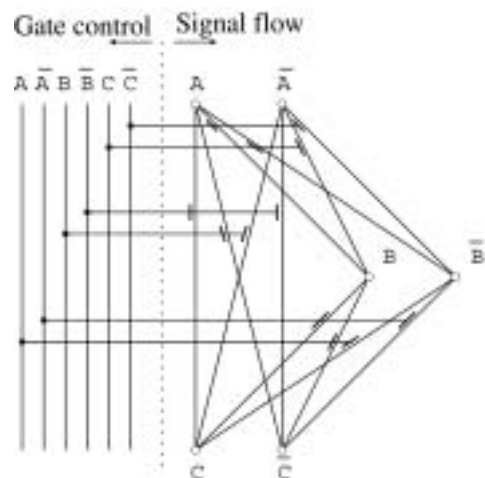


図2: 可逆ExOR回路



## 集積機能工学講座（鈴木研究室）

### 「高温超伝導体の異常なジョセフソン効果」

超伝導のエレクトロニクス応用ではジョセフソン接合が重要な役割を果たす。高温超伝導体でも、従来の金属低温超伝導体と同様なジョセフソン効果を示すが、最大ジョセフソン電流は従来の超伝導体を用いたジョセフソン接合よりも1桁以上小さい。理論によれば、最大ジョセフソン電流 $J_c$ は低温で $J_c = 1/2eR_N$ である。 $R_N$ は常伝導トンネル抵抗で、トンネル接合の抵抗である。 $\Delta$ は超伝導オーダーパラメータでその自乗が超流動濃度に比例する。従来の超伝導体では $\Delta$ が1meV程度、高温超伝導体では30meV程度である。同程度の接合を作製すれば高温超伝導体の $J_c$ は従来超伝導体のジョセフソン接合よりも10倍以上大きくなるはずであるが、実際には従来超伝導体の場合と同程度かむしろ小さく、したがって理論よりも1桁以上小さい。これは全く異常なことで高温超伝導体特有なこととされるが、まだその理由は明らかになっていない。われわれはこの異常なジョセフソン効果の原因が、高温超伝導体では超伝導状態がナノスケールで不均一であるためであると考え、これを実験的に検証しようとしている。これが明らかになるということは、高温超伝導のジョセフソン効果応用に非常に有意義であるばかりでなく、高温超伝導発現機構を明らかにする上でも極めて重要である。

超伝導の不均一性を実験的に検証することは大変難しい。超伝導のために電気抵抗に至るところゼロになってしまうからである。この困難を解決するために、われわれは固有ジョセフソン接合に着目した。固有ジョセフソン接合は結晶構造そのものであるから、結晶全体を探索することができ、かつ、ジョセフソン電流は接合の両側が超伝導の時のみ流れるので、もし超伝導状態に不均一性が存在すればこれを検知することが可能である。実験では $J_c$ 、 $\Delta$ 、 $R_N$ を求める必要があるが、 $J_c$ は単結晶から微小加工で形成した微小メサ構造を用いて観察できる。また、 $\Delta$ と $R_N$ はわれわれが開発した層間トンネル分光を用いて測定することができる。高温超伝導体として $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ を取り上げ、不均一性が現れやすいと考えられるキャリア濃度の少ない場合（不足ドーピング）を対象とした。試料はSrを一部Laで置換した単結晶である。図1は単結晶の劈開表面に作製した $10\ \mu\text{m}$ 角、厚さ約12nmの微小メサの電流電圧特性で、微小メサの中に固有ジョセフソン接合が8層含まれていることを示している。また、最大ジョセフソン電流も通常の転移温度が最高となる最適キャリア濃度の場合（最適ドーピング）に比較して1桁以上小さい。図2はこの微小メサを用いて測定した層間トンネル分光特性である。トンネル導電率には、最適ドーピングでは大きく鋭い超伝導ピークが観察されるのに対して、不足ドーピングでは小さな肩構造のみが観察されるだけである。また背景に大きな擬ギャップ構造が観察され、それが $T_c$ 以下で突然大きくなることを見いだされた。これらのふるまいは均一な超伝導を考えた場合には説明することができない。しかし、ナノスケールの構造で超伝導の不均一性が存在すれば説明可能である。つまり、これらの実験結果は高温超伝導では本質的なナノスケールにおける不均一超伝導が起こっていることを示している[1]。高温超伝導の異常なジョセフソン効果はこうした全くエキゾチックな不均一超伝導に由来していると考えられる。

[1] Y. Yamada and M. Suzuki, submitted.

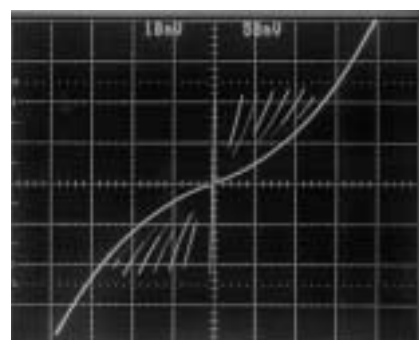


図1 不足ドーピング固有ジョセフソン接合微小メサ( $10\ \mu\text{m}$ 角、12 nm厚、8層)のI-V特性 (0.1 mV/div, 50 mA/div)。

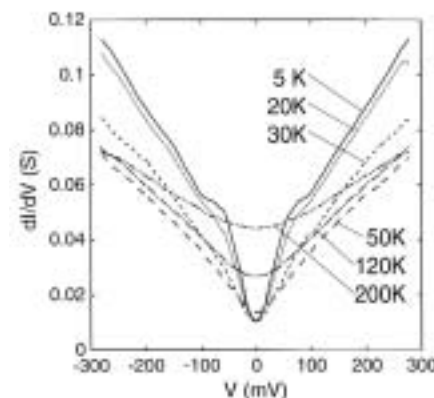


図2 同じ試料のトンネル特性

電子物理工学講座 極微真空電子工学分野（石川研究室）  
「負イオンビーム蒸着による機能性薄膜形成に関する研究」

材料の性質を決定づけるのは、それを構成している原子そのものの性質に依ると思われがちですが、実際には原子と原子の結合の仕方も材料の性質に非常に大きな影響を及ぼしています。例えば、炭素原子の結合によってできる代表的な物質として、黒鉛、ダイヤモンド、フラーレン、ナノチューブなどがあります。この4つの物質は原子同士の結合の仕方である結晶構造が違っただけで、材料の性質が全く異なり、またその商品価値にも雲泥の差があります。つまり、物質の原子間の結合状態はその性質に強く関わっており、これを幅広く制御できれば好みの性質を持った材料を創ることができると考えられます。

普通、ほとんどの材料は熱化学平衡反応によってできおり、その反応によって形成された原子間結合状態を私たちはその材料の普遍的原子間結合状態すなわち材料の性質であると考えています。しかし、原子間の結合エネルギー程度の運動エネルギーを持つイオンビームが関わる反応（運動力結合）では、図1に示すように熱化学平衡反応とは全く異なった反応プロセスを経由するので、今まで私たちが当然と考えていたものと異なる原子間結合状態の物質（準安定物質）ができる可能性が高いのです。特に活性な内部エネルギーを持たない負イオンを使用すると、原子間結合形成における運動エネルギーだけの効果を明確に知ることができます。

そのような目的のために、研究室では図2に示すような負イオンビーム蒸着装置を開発し、超低エネルギー炭素系負イオンビームを用いた材料形成に関する研究を行っています。例えば、炭素負イオンビーム蒸着では、図3に示すように炭素原子負イオン1個当たりの運動エネルギーが約70eVにおいて、最もダイヤモンド構造に近い（sp<sup>3</sup>結合が最大）炭素膜が形成されます。sp<sup>3</sup>とsp<sup>2</sup>結合の割合は、炭素負イオンの運動エネルギーにより自由に制御することができます。この炭素膜は、基板温度を400以上にするると、sp<sup>3</sup>結合がほとんどなくなるので、準安定物質であることが分かります。図4は、CN負イオンビーム蒸着によって作製したCN膜のN/C比のイオンの運動エネルギー依存性です。

研究室では、熱化学平衡反応ではできなかった新しい原子間結合状態をもつ新機能材料を、いろいろな負イオンを用いて作製し、また、その制御法を解明していこうとしています。

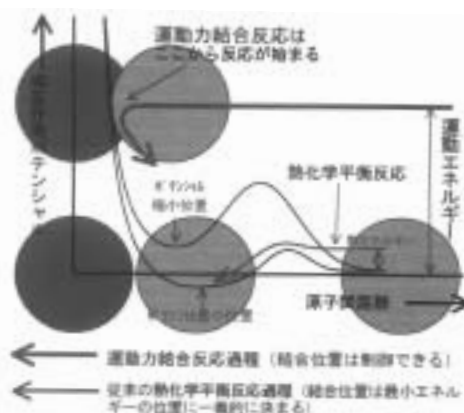


図1．運動力結合の説明図

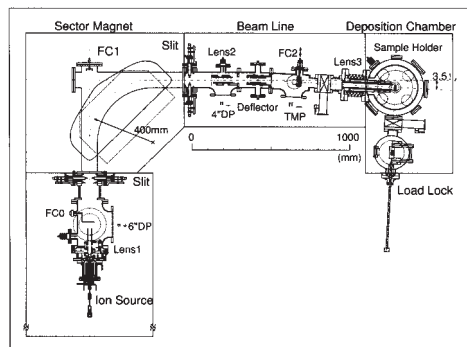


図2．負イオンビーム蒸着装置

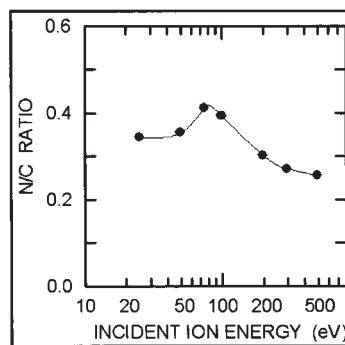
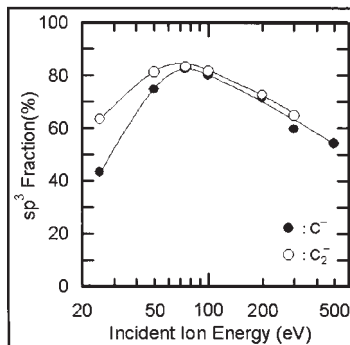


図3．炭素負イオンビーム蒸着膜

図4．CN負イオンビーム蒸着膜

## 電子物性工学講座 半導体物性工学分野

### 「ワイドギャップ半導体SiCへのAl, Bイオン注入によるp型領域の形成」

シリコンカーバイド (SiC) は、高い絶縁破壊電界や熱伝導度を有するワイドギャップ (広禁制帯幅) 半導体であり、これを電力変換用パワーデバイスに適用すれば、現用のシリコン (Si) デバイスの性能を大きく打破する高耐圧・低損失・高速の電力変換システムを構築するキーデバイスを実現できると期待されている。近年のSiC結晶成長およびデバイス作製技術の進展により、300～1200V級ショットキーダイオードの市販が始まったが、物性制御やデバイスプロセスの物理的理解はあまり進んでいない。例えば、SiCパワーMOSFET等を作製するためには、イオン注入によって選択的にp型領域を形成する必要があるが、代表的なアクセプタであるAl, Bのどちらが優れるのか明確になっていない。

本研究では、SiCにAl, Bイオン注入を行い、p型注入層の電気的性質を系統的に評価した。まず低濃度p型SiC成長層へのAl, Bイオン注入により、注入不純物密度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、深さ $0.2 \mu\text{m}$ の矩形分布を形成した。イオン注入は室温で行い、注入後のアニールは1700 Kで1～30分間行った。注入原子の深さ方向分布はSIMS測定、アクセプタ密度はTi/SiCショットキー障壁の容量 電圧 (C-V) 特性により求めた。また、注入層内の深い準位 (点欠陥) はDLTSあるいはICTS測定により評価した。

図1に、Alイオン注入試料のAl原子密度およびAlアクセプタ密度の深さ方向分布を示す。アニールによってわずかな内方向拡散が観測されるが、注入層表面から注入飛程端 (テール部) までの領域に亘ってAlアクセプタ密度はAl原子密度にほぼ完全に一致する。すなわち、注入されたAlの電気的活性化率はほぼ100%であると言える。DLTS測定により、Alイオン注入層中の深い準位の密度はAlアクセプタ密度より三桁以上低く、注入層は高品質であることが判明した。

図2にBイオン注入試料のB原子密度およびBアクセプタ密度の深さ方向分布を示す。アニールによって著しい外方向拡散と内方向拡散が生じ、矩形分布は完全に消失している。また、深さ $0.2 \sim 0.4 \mu\text{m}$ の領域でアクセプタ密度の大幅な低下が見られる。ICTS測定によりBイオン注入層中の深い準位を評価したところ、価電子帯上 $0.47 \text{eV}$ に正孔トラップ (Dセンター) が存在することが分かった。このトラップ密度の深さ方向分布も同図に示す。Dセンター密度はアクセプタ密度の数分の一と高く、特に深さ $0.2 \sim 0.4 \mu\text{m}$ の注入飛程端ではB原子密度と同程度に達している。したがって、注入飛程端におけるBアクセプタ密度の低下は、このDセンターによる補償効果であると考えられる。本研究では、Cイオン共注入によるB原子の拡散抑制を確認したが、高密度点欠陥発生の問題は解決されなかった。したがって、p型SiCを形成する際には、Alイオン注入が優れていると結論できる。

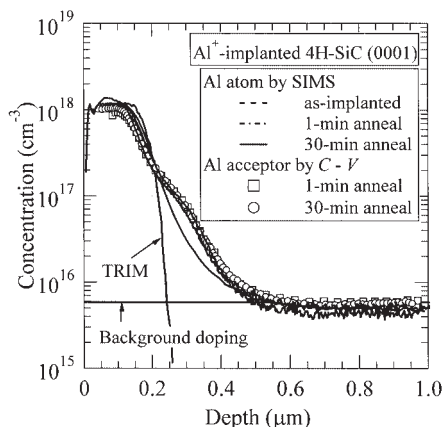


図1 . Alイオン注入SiC中のAl原子密度とAlアクセプタ密度の深さ方向分布

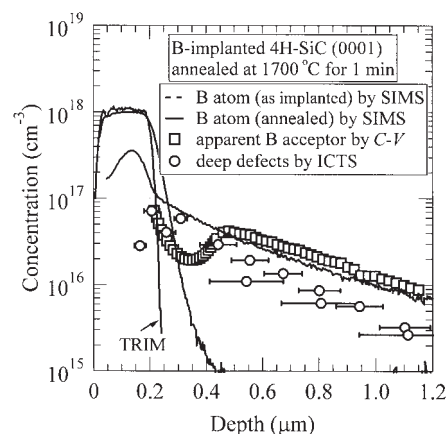


図2 . Bイオン注入SiC中のB原子密度、アクセプタ密度、トラップ密度の深さ方向分布

## 量子機能工学講座 光材料物性工学分野

### 「III族窒化物半導体を用いた微小光学素子の作製」

GaNを中心とした III族窒化物半導体によって近紫外～青緑色の発光ダイオードやレーザ・ダイオードが実用化に至り、既にディスプレイ、照明、情報記録などの広い応用分野で強いインパクトを与えている。この III族窒化物半導体の新しい展開として、当研究分野では微細化が一つのキーワードではないかと考えている。というのも、素子を集積化した光回路、三次元的な微小構造を利用した高効率発光素子や多色発光素子などの高付加価値化が可能であると期待されるからである。微細化へのアプローチとしては、大きなものを小さく削り込む微細加工（トップダウン型アプローチ）と最初から小さなものを作製する結晶再成長（ボトムアップ型アプローチ）を試みている。ここでは、前者の結果を中心に報告する。

**微細加工：**微細加工法は複数あるが、ここでは集束イオンビーム（FIB）法を採用した。FIB法はGaイオンを試料に照射しスパッタリングする方法であり、加工損傷が入りやすいという欠点はあるもののマスクレスで簡便にnmオーダの加工ができるという大きな特長を持っている。まず、加工条件を損傷の低減と加工精度の観点から最適化し、任意の構造が加工できることを平面および円柱構造の作製によって確認した。その後、微小光学素子をいくつか試作した。図1は、平面と曲面の最も単純な組み合わせとしてシリンドリカルレンズをストライプ形状のレーザ共振器端面に作製し、走査型電子顕微鏡（SEM）で観察した結果である。レーザ光を整形して出射できる可能性があると考えている。また、別の例としてレーザ共振器の端面にエアギャップ/GaN分布ブラッグ反射鏡（DBR）を作製した。そのSEM像を図2に示す。周期によって寸法にばらつきが多少存在するが（エアギャップ：275-305nm、半導体層：260-290 nm）、このばらつきを考慮してもDBRの理論反射率は発振波長である400nm付近において97%であった。通常のレーザ共振器で端面反射鏡としてしばしば用いられる劈界面の理論反射率（17%）と比べて格段の向上が見込める。実際、光励起によりレーザ発振させたところ、DBRのない従来型レーザの発振閾値41 kW/cm<sup>2</sup>に対して、DBRを作製したことにより閾値が30 kW/cm<sup>2</sup>と約30%低減された。この結果を元にDBRの反射率を計算すると62%であった。理論値（97%）には及ばないものの、過去に報告された窒化物系DBRの反射率の中では世界最高の値であった。今後は、FIB加工条件の更なる検討による反射率の向上、新たな光素子構造の試作を行う予定にしている。

**発表論文：**“Fabrication and characterization of GaN-based distributed Bragg reflector mirrors for low lasing threshold and integrated photonics”, T. Kotani, Y. Hatada, M. Funato, Y. Narukawa, T. Mukai, and Y. Kawakami, *Physica Status Solidi(c)* (in press)

**結晶再成長：**再成長法により複数の結晶面上に発光層である量子井戸を作製した。結晶面により発光色が異なり、さらに、従来構造に比べて発光効率の高い面があることがわかってきている。詳細は別の機会に譲り、ここでは発表論文のみ紹介する。

**発表論文：**“Efficient radiative recombination from <11-22>-oriented In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N multiple quantum wells fabricated by the re-growth technique”, K. Nishizuka, M. Funato, Y. Kawakami, Sg. Fujita, Y. Narukawa, and T. Mukai, *Appl. Phys. Lett.* 85, pp.3122-3124 (2004)

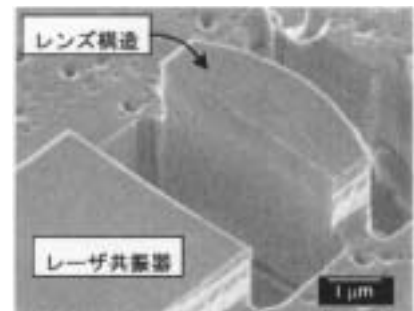


図1 . FIBによって試作した微小光学素子の例：シリンドリカルレンズ

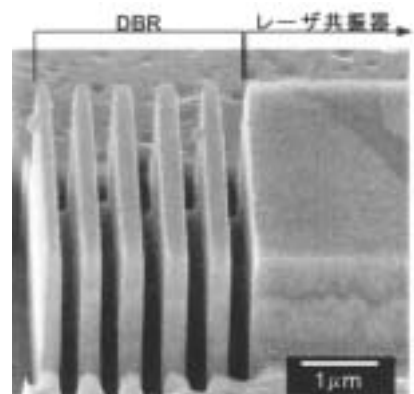


図2 . FIBによってレーザ共振器端面に作製したDBRのSEM像

## 高機能材料工学講座 クラスタイオン工学分野（高岡研究室） 「クラスタイオンビームによる光触媒材料創製の研究」

### 1. 研究の背景

クラスタイオンビーム蒸着法では、数十個から数千個の塊状原子集団であるクラスタをイオン化し、加速して基板に照射して薄膜を形成するので、基板に入射する原子の運動エネルギーを自由に制御できます。特に、クラスタイオン照射では、従来の原子状のイオンビームでは得られない照射効果（例えば、高密度照射効果、多体衝突効果、超低エネルギー照射効果など）を活用でき、低基板温度での高品位な薄膜が形成できます。一方、チタン酸化物（ $\text{TiO}_2$ ）は、ルチル型、アナターゼ型、ブルッカイト型の結晶構造をもつ半導体材料であり、特に光分解反応や光親水性など、優れた光触媒特性を示す材料として注目されており、さらに、防曇カガミや防露ガラス、防カビタイル用薄膜材料として、光学、環境、医用分野などに幅広く応用されています。当研究室では、このような特徴をもつ $\text{TiO}_2$ 薄膜を酸素クラスタイオンビーム援用蒸着法によって作製し、高活性な光触媒材料の開発を行っています。

### 2. 研究の成果

$\text{TiO}_2$ 薄膜表面にバンドギャップに対応する波長より短い紫外線を照射すると、紫外線は吸収され、表面に水酸基ラジカルが生成されます。この水酸基ラジカルは極めて強い酸化力をもつため、 $\text{TiO}_2$ 薄膜の表面に付着した有機物などを $\text{CO}_2$ や $\text{H}_2\text{O}$ に分解します。このような $\text{TiO}_2$ 薄膜の光分解反応を明らかにするために、メチレンブルー水溶液を用いてその透過特性を調べました。具体的には、波長660nm付近の吸収強度について、 $\text{TiO}_2$ 薄膜の光分解反応による変化を調べました。図1は、種々の基板温度で作製した $\text{TiO}_2$ 薄膜を浸漬したメチレンブルー水溶液の吸収強度が、紫外線（波長が360nmの紫外線）の照射時間によって変化する様子を示します。なお、基板温度を室温から200℃まで変えて作製した $\text{TiO}_2$ 薄膜は非晶質状態であり、基板温度300℃で作製した薄膜はアナターゼ型とルチル型の混在した多結晶状態です。図に示すように、基板温度300℃で作製した薄膜では、ルチル型の $\text{TiO}_2$ （100）単結晶基板の場合と同様に、紫外線照射時間の増加と共に、吸収強度の変化は増加し、光分解反応が促進されているのが分かります。

$\text{TiO}_2$ 薄膜の光親水性を明らかにするために、接触角測定を行いました。図2は、基板温度を変えて作製した $\text{TiO}_2$ 薄膜の接触角の紫外線（波長が254nmの紫外線）の照射時間依存性を示します。基板温度を室温から200℃まで変えて作製した $\text{TiO}_2$ 薄膜では、紫外線照射による接触角の時間変化はなく、約75°のままです。一方、基板温度300℃で作製した薄膜では、紫外線照射時間の増加と共に、接触角は15°まで大きく減少しています。なお、ルチル型の $\text{TiO}_2$ （100）単結晶基板については、接触角の変化はありません、これらの結果から、紫外線の照射時間を増加することによって超親水性の表面が形成されていることが分かります。

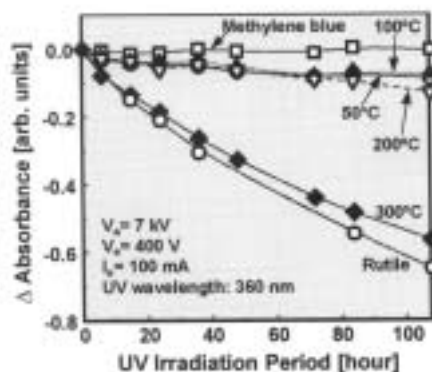


図1 吸収強度の紫外線照射時間依存性

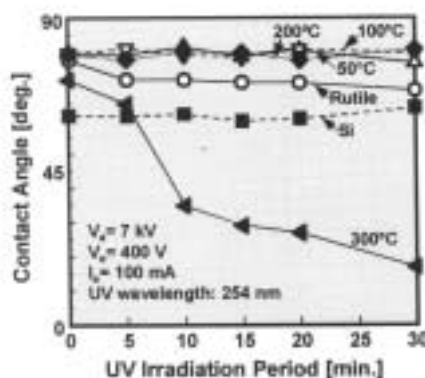


図2 接触角の紫外線照射時間依存性

知能メディア講座 画像メディア分野（松山研究室）

「装着型アクティブ・ビジョンセンサによる3次元注視対象の検出」

1. 背景

本研究では、視線測定装置とコンピュータ制御可能な2台の首振りカメラで構成される装着型アクティブ・ビジョンセンサを開発した。このセンサを使えば、システムが装着者と視点を共有することができ、装着者が注視している対象の3次元位置や形状を認識することができるようになる<sup>[1]</sup>。

2. 研究成果

開発したセンサは図1の様な外観である。視線測定装置としては、非接触型で、瞳孔/角膜反射法を実装したNac製EMR-8を用い、右眼の視線情報を獲得する。カメラは、コンピュータ制御によって、パン（水平回転角度±30°）、チルト（垂直回転角度±15°）方向に、カメラの撮像系全体を物理的に回転することができる。視線測定装置で検出された、装着者の右眼の視線方向と2台のカメラでそれぞれ撮影された画像が計算機に入力され（図2）、視線情報とステレオカメラの立体視を組み合わせた、これまでにない新しい視覚情報の獲得を行うことができる。

たとえば、人の視野は広く、視線は高速に移動し、かつ、視線中央部では解像度も高いため、人の視点での画像取得においては視野・空間解像度・時間解像度のバランスを取ることが課題である。このセンサを用いて視線の移動を解析した結果に基づいて、人が注目している対象に合わせて最適な映像を取得する機能を開発した。人の視線が何かを長時間注視している場合には、注視対象までの距離を考慮した撮像倍率を設定し、撮像対象とその周囲の映像を高解像度で取得する。また、人の視線が次々と移動している時には、人の視線の動きに追従して広い視野の映像を取得する。

また、人が手に何かを持って観察しているときに、人が観察している短時間の映像から手持ち物体の3次元モデルを生成する手法を開発した。そのためには、人が手で持った物体は、その一部は必ず手によって覆い隠されてしまい、全部を同時に見ることができないという問題と、人が見ている時間が限られており十分多くの映像を取得できないという問題を解決しなければならない。物体表面の特徴点をステレオカメラで三次元的に追跡し、三次元空間内での物体の移動を解析すると、手持ち物体の映像シーケンスを物体の回りを手とカメラが別々に移動しているシーケンスへと変換できること、その際、手の動きがランダムであり手と物体との分離ができなくても、複数の映像を統合することで手を消去できることを理論的に示した。図3に示すような手持ち物体の映像から、図4に示すような形状モデルを生成することができた。

参考文献【1】 K. Sumi, A. Sugimoto, and T. Matsuyama: Active Wearable Vision Sensor: Recognition of Human Activities and Environments, Proc. of International Conference on Informatics Research for Development of Knowledge Society Infrastructure, pp.15-22, Kyoto, 2004.3

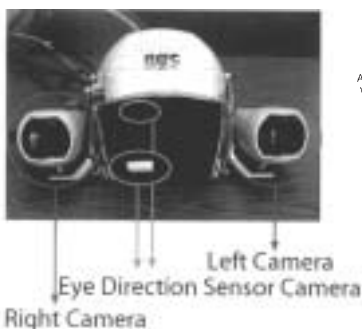


図1. センサのヘッド部

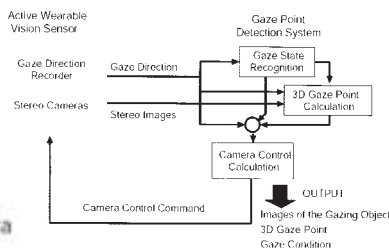


図2. アクティブカメラ制御系



図3. 装着ビジョンから見た手持ち物体の映像



図4. モデリング結果

## 通信システム工学講座 デジタル通信分野（吉田研究室） 「ゲーム理論を用いた無線アドホックネットワークの解析」

近年、携帯電話や無線LANに代表される無線ネットワークの発展やインターネットの普及により、あらゆる場所に無線デバイスが遍在するユビキタスネットワークの実現が現実味を帯びている。このような無線ネットワークを実現する重要な技術として、無線端末自身に中継機能を持たせマルチホップ伝送により情報を伝達する、無線アドホックネットワークが注目されている。現在の無線LANにおける無線伝送は、有線ネットワークに接続されたアクセスポイントと端末間の直接伝送であるが、このアクセスポイントをマルチホップ伝送を用いて接続すれば、有線ネットワークの導入が難しい場所にも無線LANの導入が可能になると考えられる。無線LANの標準化を行うIEEE 802.11委員会においても無線メッシュネットワークとして標準化が進められており、産業界でも注目度の高い技術である。

ところで、周知の通り周波数資源の有効利用が無線通信技術の大きな課題であり、一般には基地局等による集中的なアクセス制御を行えば、高い利用効率が得られる。一方、無線デバイスの密度が増加すると、最適なアクセス制御は計算量が膨大になることが知られている。このため、各無線デバイス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。

本研究では、無線アドホックネットワークにおいて、各無線デバイスが周波数有効利用を目的として、通信経路、ならびに伝送速度を分散制御によって適応的に決定する状況を評価した。このような場合、最適な通信経路や伝送速度は、他の無線デバイスがどのような通信を行うかによって左右される。これは、制御決定主体がシステム内に複数存在することが原因であり、経済学で用いられるゲーム理論を導入することによって解析が可能と考えた。具体的にはノードをプレイヤー、選択しうる経路を戦略、各戦略に対するスループットを利得とした場合に、各プレイヤーが自分勝手に自己の利得の最大化を追求する限り、必ずしもネットワーク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り、このナッシュ均衡点を用いた評価を試みた。

例えば図1のような無線デバイス配置の場合には、矢印で示す経路が均衡状態にある。様々な無線デバイス配置に対して、このような均衡状態にある経路を用いた場合の平均スループットを、集中制御の場合と比較したものを図2に示す。集中制御の場合、無線デバイス間の直接伝送（図2中（1））の代わりにマルチホップ伝送（同（2））を導入することでスループットが増大する。これを分散制御（同（3））によって実現すると、送信電力が高い場合はスループットが低下する反面、送信電力が低い場合は集中制御を行った場合に近い、高いスループットが得られることが確認された。現在、伝送速度制御、経路制御に加えて電力制御を行った場合等の検討を進めている。

（参考文献）山本高至、吉田進、“マルチホップ無線ネットワークにおける自律的経路選択法の解析” 信学技報RCS2003-338、pp.29-32、March 2004

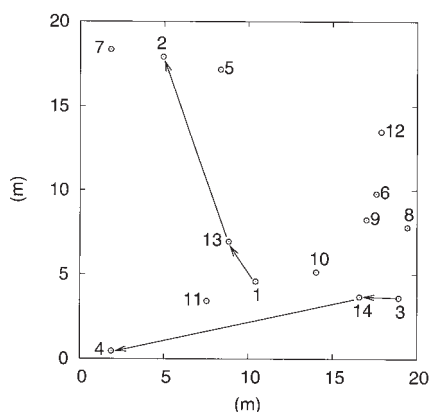


図1．分散適応経路制御の結果例

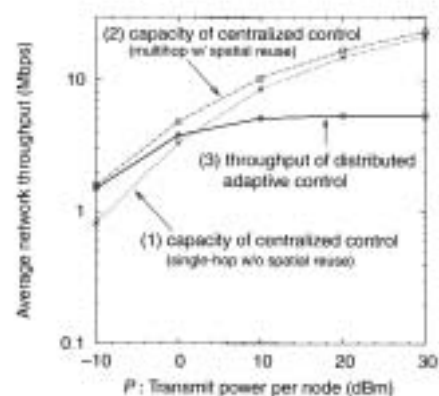


図2．分散適応経路制御によるスループット特性

### 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） 「ハードウェアを共有化して消費電力あたりの性能をあげる並列プロセッサ」

近年の集積回路の向上により、プロセッサの性能は飛躍的に上昇してきた。集積度に応じたハードウェアの投入により、これまでは性能向上が続いてきたが、それも限界に近づきつつある。全体としての処理能力を向上させるため、複数のプロセッサを一つのLSI上に搭載するオンチップマルチプロセッサが一般化しつつある。INTEL社のプロセッサにおいても、Hyper Threadingと呼ばれるオンチップマルチプロセッサ技術が用いられている。これは、ハードウェアを一部共有化することで、面積を2倍にすることなく、性能を2倍近くまで向上させる技術である。

Intel社のX86互換プロセッサに用いられているHyper Threading技術は、ハードウェアにより命令レベルの並列性を抽出するSuper Scalar プロセッサ向けである。Super Scalar プロセッサは、ハードウェアを用いるために、ハードウェアの規模が大きくなる。一方、コンパイラによりソフトウェアであらかじめ並列性を抽出しておき、実行時には並べられた命令列を単に並列に実行する方式を、VLIW (Very Large Instruction Word) と呼ぶ。本研究では、VLIWプロセッサにおいて、並列実行に用いるハードウェアを共有するResource-Shared VLIW Processor (RSVP) アーキテクチャ(図1)の提案を行ない、その性能分析、ならびに0.18μm プロセスにおいて、2並列のRSVPのLSI(図3)の試作を行った。

集積回路の微細化により、ハードウェアが停止しているときには消費電力が0であるというCMOS回路の常識が崩れ、リーク電流と呼ばれる回路が静止しているときの電流が支配的になるうとしている。このような環境下では、ハードウェアの面積が大きいほど、リーク電流による電力が支配的となる。研究においては、現在の最新プロセスである90nmのパラメータから、ロードマップにしたがって、スケーリングを行なった場合の消費電力あたりの性能について考察を行なった。図2にその結果を示す。25nm プロセスにおいては、RSVPが3割程度消費電力あたりの性能が向上していることがわかる。

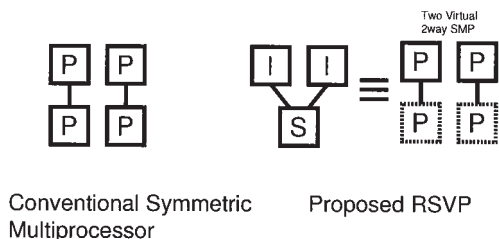


図1: RSVPの基本アーキテクチャ

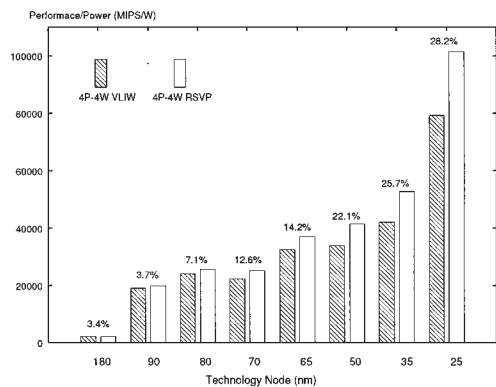


図2: 通常のVLIWプロセッサと、提案のRSVPプロセッサにおける消費電力あたりの性能。ロードマップにしたがってスケーリング

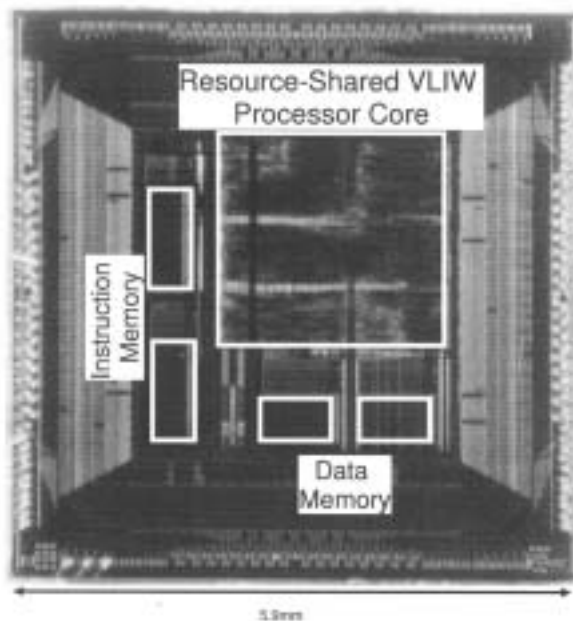


図3: 0.18μm プロセスにて試作を行なったLSIのチップ写真



## システム情報論講座 医用工学分野（松田研究室） 「MRIを用いた生体組織弾性率の計測」

当研究室では、情報技術を医学・医療に応用するいくつかの研究課題に取り組んでいるが、ここでは本学再生医科学研究所と共同で開発を進めている核磁気共鳴画像法（MRI）を用いた生体組織弾性率測定法（MR Elastography）について紹介する。

生体組織の硬さを表す弾性率（ヤング率や剛性率）は、主として骨や軟骨などの比較的固い組織を対象に、採取した標本を力学的な方法で計測し、外傷に対する強度や骨粗鬆症などの疾病における強度変化が計測されてきた。また、軟部組織については触診による評価を行い、肝硬変の程度や硬く変化した腫瘍の広がりなどの診断に利用されてきた。しかし、触診は医師が自らの手指を用いて感覚的に評価するものであり、曖昧な診断指標にすぎなかった。この様な生体組織の弾性率をMRIにより定量的に計測する試みがMR Elastographyである。

MR Elastographyは1995年にMayo Clinicの研究グループによって考案された方法で、生体の表面から与えた数十Hzの微細な振動が深部に伝播する際に組織の弾性率によって振動波の伝播速度が異なることを利用し弾性率を定量化する。従来のMR Elastographyでは、数cm程度の大きさの接触面を持つプローブを皮膚に密着させ、皮膚に平行に振動させることによって横波として深部へ伝播して行く振動波を画像化し、剛性率を計測している。しかし、この様に波源が局在すると振動波は球面状に広がるため、伝播の方向によっては横波だけではなく縦波が混在することになり、ヤング率と剛性率を広範囲で独立に計測することができなかった。そこで、当研究室では振動波が人体の深部組織へ平面状に伝播して行くようなベッド型振動発生装置を開発している。現在は、寒天状の弾性モデル物質を計測するための小型プロトタイプが完成した段階であるが、ベッド型振動発生装置では、モデル物質全体に振動波が均等に伝播して行く様子を確認している。

図1,2に、従来のプローブ型およびベッド型振動発生装置を用いて撮影したMR Elastography画像を示す。プローブ型振動発生装置を用いて得られたMR Elastography画像では、プローブから深部へ垂直に伝播して行く振動波は横波、表面に広がる振動波は縦波であり、これら以外は両者が混在していることになる。縦波は横波に比べて伝播速度が大きいため、振動波の広がりには扁平な球面状になっていることに注意されたい。剛性率は横波の波長から算出されるが、このような振動の伝播ではプローブ面から垂直な方向の部分しか剛性率を計測できない。しかし、ベッド型振動発生装置を用いて撮影したMR Elastography画像では、振動波が平面状に伝播して行く様子が確認でき、広範囲にわたって効率よく剛性率を計測できる。今後、全身を振動させるようベッド型振動発生装置を大型化して行く予定であるが、MRI撮影装置内の高磁場中という特殊な環境下で稼働させるためには、様々な工夫が必要と考えられる。

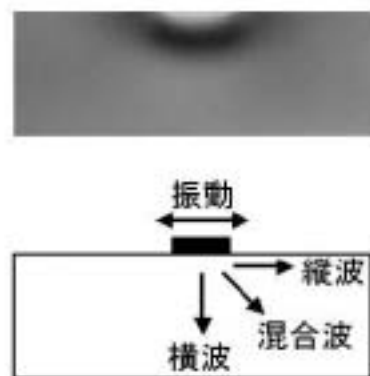


図1：プローブ型振動発生装置を用いて得られたMR Elastography

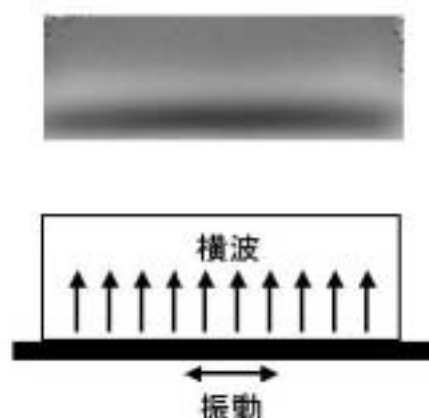


図2：ベッド型振動発生装置を用いて撮影したMR Elastography

## エネルギー社会環境学講座 エネルギー情報学分野（吉川榮研究室） 「マルチレベルフローモデルに基づくプロセスシステム分析支援システムの研究」

発電プラントや化学プラントのようなプロセスシステムの中での各種の物質とエネルギーの流れを、図式的に意味表現するための機能論モデルであるマルチレベルフローモデル（Multilevel Flow Model: MFM）を基本概念にして、知識工学、マルチメディア表現およびネットワーク技術を統合したプロセスシステムの分析支援システムの開発を、次の3つの視点に着目して進めている（図1参照）。

シンボルレベルの開発支援 プロセスシステムの持つ機能や目標など意味を表すシンボルを重視して表現することによって、ヒトに心理的に分かり易くより高い操作性を実現する。

異常兆候指向の支援 プロセスシステムの異常の検知や診断を直観的で分かり易くする。

カスタマイズ化できるシステム開発 個別の対象システムに応じ、そのオペレーション支援のための各種概念機構や処理内容をグラフィカル手法によってカスタマイズする。

以上のような人間中心の概念に基づいて、グラフィカルインタフェースを駆使したプロセスシステムの分析支援のために、マルチレベルフローモデルスタジオ（MFMS）の開発を進めている。開発したMFMSは、主として3つのコンポーネントから成る（図2参照）。すなわち、1）各種の物質とエネルギーの流れで構成されるプロセスと、その目的、挙動、機能、構造に着目して図式表現するMFMモデルの編集およびその更新管理を支援するための知的エディター、2）MFMモデルの持つ情報構造をデータベースとして表わすために拡張マークアップ言語に基づいて知識ベース化したファイル構造に変換するKB化したMFMモデル、そして3）MFMモデルを構築した後に、診断やモニタリングおよび運用手順を生成するための各種のアプリケーションプログラムを構築し組み込むためのエクゼキュータの3つである。このようにMFMSにより生成されるMFMモデルは、対象システムの基本的な機能的、構造的および振る舞い特性を表現するばかりでなく、それを基本として対象システムから逐次データや信号を取り込んで、状態認識や異常状態の影響の分析、運転手順のガイダンスなどのさまざまな用途のアプリケーションプログラムを生成するために必要な情報や機能も含んでいる。

以上のように開発したMFMSを用いて、本研究室では、これまでにコジェネレーション用の小型ガスタービンシステムの故障監視支援システムや原子力発電所のオンライン異常監視診断システムを作成し、その機能を検証している。

なおこのような研究は、内外のMFMモデル研究の典型であるプラント診断への応用研究であるが、MFMの持つ意味論的な表現機能を活用して大規模なエネルギー環境システムの種々の多角的な問題の評価分析のために応用をはかっている。その実例としてガス事業の規制緩和と政策導入による我が国の天然ガス供給インフラ発展の傾向分析や、原子力政策の重要課題である核燃料サイクルシステムの分析のような新たな問題にもMFM手法を適用する新たな方向の研究を最近進めている。



図1 人間中心の開発



図2 マルチレベルフローモデルスタジオ

## 応用熱科学講座 プロセスエネルギー学分野（塩津研究室） 「SMESを用いた電力系統の固有周波数のオンライン把握」

近年の電力自由化や循環型エネルギーによる環境保全という社会のニーズによって、電力系統には太陽光発電や風力発電、マイクロガスタービンなどの小型で制御性に富む分散型電源と呼ばれるエネルギーシステムが導入され、その数は今後ますます増加するものと考えられる。分散型電源の導入によって、複雑になる系統の固有周波数を把握することは電力系統の運用上、有用なことである。固有周波数をもとめる方法としては、現在オフラインでのシミュレーションによる方法があるが、系統は時々刻々と変化しているためオンラインによる測定方法が望まれる。そこで本研究では、超電導エネルギー貯蔵装置（SMES: Superconducting Magnetic Energy Storage）を用いて、系統の固有周波数の把握をオンラインで行うことを提案し、アナログ型電力系統シミュレータにおいて、模擬SMES（図1）を用いて実験を行った。模擬装置は、電力系統に対して有効電力と無効電力を独立に、また高速でやりとりできるというSMESの特性を示すよう作成されている。

図2に検討に用いた電力系統を示す。発電機G1～G4の出力を変化させることにより、系統の運転状態を変化させ実験を行った。固有周波数を把握する手法は、SMESより電力系統に微小なある周波数の正弦波状の電力変動を与え、この周波数が系統の固有周波数と一致するとき、変動に対する系統の応答（送電線1の潮流）は励振電力とほぼ90度位相がずれたものとなるのがわかっているので、上記の2信号の位相差を、ロックインアンプを用いて測定、フィードバックすることにより、位相差が常に90度となるようSMESの励振周波数を制御するものである。このように系統の固有周波数とSMESの励振周波数を一致させるよう制御することで、系統の固有周波数を追従把握できる。図3の実線は発電機1～4の出力上昇時に追従させたSMESの励振電力周波数である。図中黒丸はそれぞれの出力点の定常状態で求めた系統の固有周波数を示す。発電機出力が上昇して系統の運転状態が安定限界に向かい、固有周波数が低下していく様子がオンラインで追従把握できていることがわかる。

今後、さまざまなタイプの分散型電源が導入された場合の電力系統の運転状態・安定性のオンライン把握を検討していく予定である。

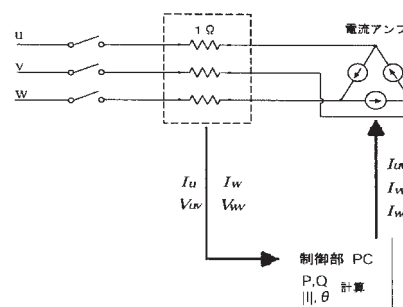


図1 模擬SMES

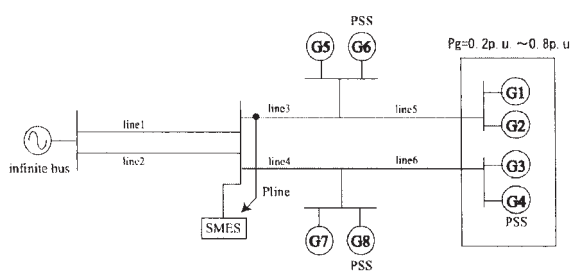


図2 対象模擬電力系統（シミュレータ）

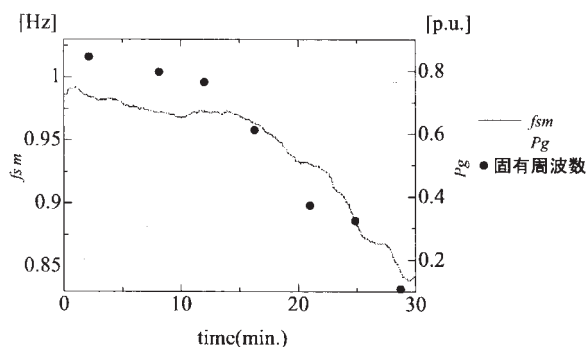


図3 実験結果

## 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）

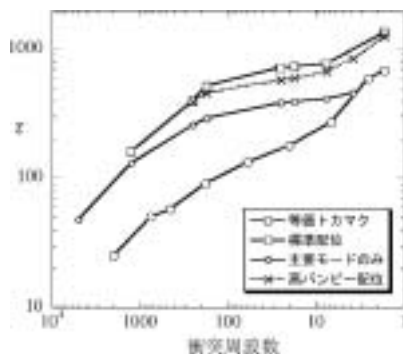
### 「ヘリオトロン」における粒子閉じ込めのモンテカルロ・シミュレーション

プラズマの閉じ込め性能を評価する上で拡散係数や閉じ込め時間は有用な指標である。しかしロスコーン損失の存在する系では、磁気面ごとの局所的な拡散係数の評価が、直接軌道損失が存在するため困難であるという原理的問題があった。そこで本研究では閉じ込め時間に注目し、定常状態における荷電粒子のグローバルな閉じ込め時間を計算できるコードを開発すること、そしてヘリオトロンJの磁場配位に適用して閉じ込め性能の評価をおこなうことを研究目的とした。

案内中心軌道解析への準備として、フーリエ解析によりヘリオトロンJ標準配位の磁場スペクトルを計算してデータ化した。この磁場スペクトル・データをもとに、磁気座標系における単一粒子案内中心軌道解析のコードを走らせた。コードの検証のために、粒子損失割合を求めるために単一粒子計算コードを拡張して、モンテカルロ法による多粒子シミュレーション・コードを開発した。計算例として、まず500個のイオン（数100eV～1keV）を磁気軸近傍から入射し追跡して、損失すれば再度入射する。入射のピッチは $\pm 0.5$ をランダムにとる。定常状態（すべての粒子が少なくとも1回損失）の時間の数倍まで追跡し、単位時間あたりの損失粒子数をカウントして損失割合を計算する。なおシミュレーションに含まれる粒子のクーロン衝突はピッチ角散乱のみでエネルギー散乱は考慮していない。

トカマク・モデル磁場のリップル有/無を使って閉じ込め性能の違いを確認することで計算コードの検証をおこなった。その結果、トロイダル・リップルの有るトカマクで相対的に閉じ込め性能が悪いことが確認できた。またヘリオトロンJの標準的な配位に等価なトカマク・モデルを使って計算をおこない、この値をヘリオトロンJ磁場配位の閉じ込め性能の比較基準とした。ヘリオトロンJ標準配位に適用した結果、ヘリオトロンJの配位に対して人為的にバンピー成分を高めたものに適用した結果、高次モードを省略し主要モードのみを残した配位に適用して得た閉じ込め時間の衝突周波数依存性を図に示す。

ヘリオトロンJのフーリエスペクトルには、ヘリカル軸ヘリオトロン磁場に特徴的なヘリシティ成分、トロイディシティ成分、バンピー成分などの主要モードがあらわれる。閉じ込め時間の計算結果では、リップル有/無2種類のトカマクモデルにおいて、トロイダル・リップルによる損失を原因とする差がにおいて確認できて、今回開発した計算コードの動作が検証された。ヘリオトロンJ標準配位では等価なトカマクのプラトー領域の値よりも0.1～0.2倍程度、閉じ込め時間が小さい。これは磁力線に沿った磁場強度変化のリップルによる粒子損失に起因すると解釈できる。またトロイダルコイル電流値を下げた高バンピー配位で閉じ込めが改善されていることが分かった。人為的に磁場データのバンピー成分のみを高めた配位でも改善がみられた。これらの結果から、バンピー成分が粒子軌道の磁気面からのずれを抑える働きがあることを、今回開発した計算コードによる閉じ込め時間の評価で確認した。フーリエ・ハーモニクスのうち主要モードのみを残して高次モードを省略した配位では、標準配位に比べて閉じ込め時間の20～40%程度の改善が見られた。



以上まとめると、軌道損失の存在する系において、拡散係数を求める代わりにグローバルな閉じ込め時間を評価するコードを開発した。また開発した計算コードをモデル磁場で検証したのちヘリオトロンJに適用した。バンピー成分が閉じ込め性能に寄与していることが、今回の閉じ込め時間計算コードによる評価で確認できた。また高次モードが閉じ込めに影響すること、人為的に磁場スペクトル（バンピー成分）を変化させると改善がみられることを確認した。これによって拡散係数の計算とは異なる閉じ込め時間による評価方法を確立することができた。

## 開発創成研究系 宇宙圏電波科学分野（松本研究室） 「次期科学衛星ミッション用チップ型波動粒子相関計の開発」

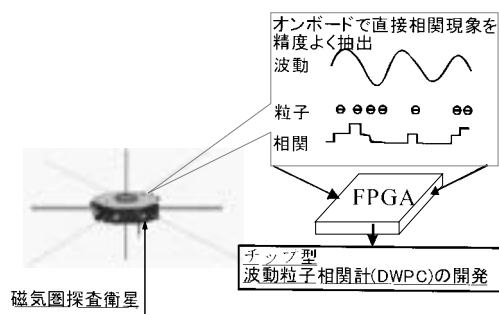


図1: チップ型波動粒子相関計

波動成分である電波を媒体として、粒子同士がエネルギーの授受を行うためです。つまり逆に言うとこれらの場の量を観測することによって、そこで発生しているエネルギー変換過程を知ることができます。宇宙での環境というのは、これら電磁気的な現象が顕著にみられる環境なのです。このことからちょうど地上で風を観測したりするのと同じで、人類の生存圏として宇宙空間を利用する上で、そこでの電磁気的なエネルギー交換過程を把握することは、非常に大切なことです。

特に電波(波動)とのエネルギー交換過程を波動-粒子相互作用と呼びますが、これを宇宙に打ち上げた観測装置でとらえることは、さほど簡単なことではありません。特に電子の運動が関与するような「速い現象」に対してはなおさらです。たとえば、地球周辺の宇宙空間で、電子とエネルギー授受をする典

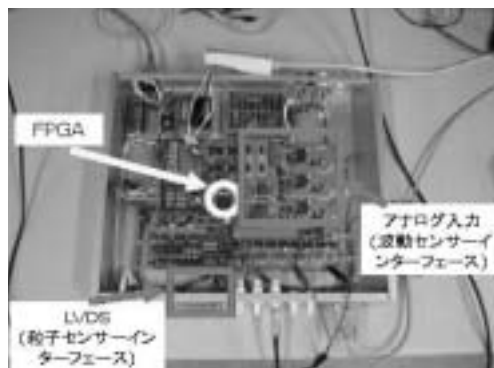


図2: チップ型波動粒子相関計の試作器

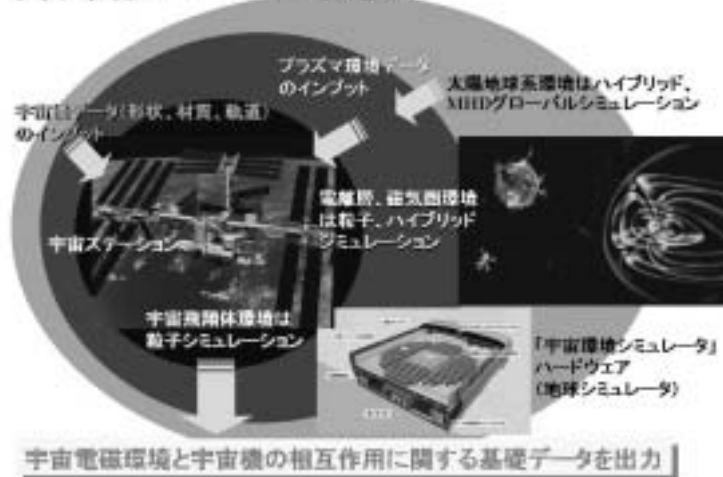
型的な波動の周波数は、5kHz程度です。時間にして、200マイクロ秒の周期です。波動観測器はこの波動をとらえますが、エネルギー授受の相手となる電子の観測器から求まる速度分布関数の時間分解能は、そのセンサーの仕組み上、がんばっても数10msecです。ここに2桁の時間分解能の差があり、これらのデータを使って波動-粒子相互作用を定量的に議論することは、なかなか難しいものです。そこで私たちの研究室では、衛星の機上で、波動の「観測波形」と、粒子一個々々の観測パルスとの直接相関をとることにより、通常、地上で「波形データ」と「速度分布関数」の比較によって解析している波動-粒子相互作用を、更に時間分解能をあげて観測する装置の開発を行っています。しかも将来の軽量化衛星への発展を考え、FPGAチップ内に基本処理をすべて含めてしまうため、本装置を「チップ型波動-粒子相関計」と呼んでいます(図1)。現在、概念設計、動作原理確認のためのシミュレーションなどを終え、試作品の開発に取り組んでいます。試作品では既にハードウェアの開発は終了し、現在、FPGA 内部に組み込む、「波動の帯域を制限するフィルタ」、「非同期で入ってくる粒子パルスの取り扱いと波動との相関計算」、「内部で発生する時間遅れの補正」などの諸機能の構成が終わり、基本動作確認を行っているところです(図2)。現在の開発品は、試作品とはいえ、実際に衛星で利用するプラズマ粒子計測器、プラズマ波動計測器が接続できるようにインターフェース部も実際のものに合わせて製作されており、FPGA内論理が完成次第、プラズマチャンバー内に設置された粒子計測器からのデータを使った動作チェックを行う予定です。

## 開発創成研究系 生存科学計算機実験分野（大村研究室） 「宇宙環境シミュレータの開発」

人類の持続的発展を維持するためには、その生存できる領域を拡大してゆく必要があり、宇宙開発・宇宙利用を進めてゆくことは不可欠です。宇宙は宇宙プラズマと呼ばれる希薄な電離気体で満たされており、この宇宙プラズマ空間中に生起する様々な現象を定量的に理解する上で、宇宙プラズマ計算機シミュレーションは非常に有効な研究手段です。これまで宇宙プラズマシミュレーションは、衛星観測により発見された様々なプラズマ現象の詳細解析用ツールとして主に用いられてきました。本研究では、それを発展させた形で、宇宙開発・宇宙利用に不可欠な飛翔体環境の定量理解とその宇宙技術開発へのフィードバックを目指し、工学的かつ実際の宇宙仮想実験が出来る数値チェンバーである「宇宙環境シミュレータ」のプロトタイプ構築を目標としています。この試みにより、これまでの宇宙プラズマ物理学の深化のための学術的なシミュレーションから、将来のエネルギー問題の解決策として検討されている宇宙太陽発電衛星等、将来の宇宙利用・技術開発に対して基礎的データを得ることができるシミュレーションへの質的変換をはかることを目指しています。宇宙環境における飛翔体特性の定常解はプラズマシミュレーション以外でも得られますが、宇宙プラズマ特性を考慮した相互作用、非定常な応答等の解析には、宇宙プラズマ中の電子運動論的效果を取り入れた粒子モデルのプラズマシミュレーションが不可欠です。本研究では、これまでの宇宙プラズマシミュレーションの知見を最大限に利用し、これに衛星やステーションなどの飛翔体や宇宙利用に関連する工学的要素をシミュレーションモデル内に取り込むことにより、宇宙プラズマ環境との相互作用を可能な限り正確に取り入れた形で飛翔体環境のシミュレーションを行うことを目指しています。

「宇宙環境シミュレータ」では、主に3次元の電磁粒子シミュレーションを行います。この解析ツールにおいては、宇宙プラズマを構成している電子およびイオンの個々の運動方程式を解き、それをもとに電流密度を計算して、電磁界のマクスウェル方程式を解き進めます。従来のスーパーコンピュータシステムでは、電離層領域の高々約25m立法の3次元空間モデルしか扱うことができず、衛星の壁面などの一部しかモデル空間に取り込めません。電離層モデルでは、最低限10m立方体ほどの空間領域を扱う必要です。また静止軌道領域では宇宙太陽発電衛星などの大型建造物を想定するとkmオーダーの空間領域がシミュレーション空間として必要になります。これらの空間領域を計算機内の仮想空間に実現し、その空間において十分な宇宙プラズマ粒子数を取り扱うためには、10テラバイト近い主記憶容量が必要となります。これを実現するために、世界最速レベルの「地球シミュレータ」を用います。現在、地球シミュレータを用いて、イオン推進エンジンからの排出重イオンによる地球磁気圏への影響に関するシミュレーション解析を行っています。また、これと平行して、非構造格子シミュレーションコードの基本設計とそれによる飛翔体近傍環境解析も行いつつあります。これは、宇宙航空開発研究機構（JAXA）の衛星帯電解析ツール（MUSCAT）開発プロジェクトとも関連しており、宇宙プラズマ環境における衛星帯電の厳密解を検証する役割を担っています。

### 宇宙環境シミュレータ 概念図



## 国際融合創造センター 創造部門 先進電子材料分野（藤田静研究室） 「酸化亜鉛半導体による融合機能の創成」

次世代のデバイスに求められる機能はますます多様化し、そのためには先進的かつ多様な機能を持つ材料の開発、さらには材料の持つ機能の融合により新しい機能を創り出すという指針に基づいた材料研究が強く望まれる。この観点から現在われわれが着目している材料の一つが酸化亜鉛（ZnO）である。ZnOは、バンドギャップが室温で約3.4eVの直接遷移型のバンド構造を持ち、紫外領域の光機能を持つ。この材料は、古くから圧電体、光導波路、蛍光体などに用いられてきたが、最近の成膜技術の進歩から、新規多機能材料としての特徴が明らかになってきた。例えば、(i)導電体、半導体、圧電体、誘電体として多様な電子物性を示す、(ii)励起子や励起子分子の結合エネルギーが大きく、高効率の発光、非線形光学効果を用いた光応用が期待できる、(iii)可視領域で透明のため、透明のデバイスを作製できる、(iv) Mnなど磁性元素のドーピングにより、励起子と磁性との相互作用に基づく光磁気効果が期待される、(v) Si上に配向の優れた膜が得られ、新しい光電子集積素子への応用が期待できる、といった点である。また、酸化物の多くは環境に優しい材料で、Znは地球上に多く存在する元素であることから、環境負荷の少ないデバイス材料としての意義も高い。以下に、この分野に関するわれわれの研究内容について記す。

- (1) **酸化亜鉛系半導体のバンドギャップエンジニアリング** ZnOの機能を活かすためには、MgOとの混晶化によりバンドギャップを制御し、多層構造を作製することが不可欠である。しかし、ZnOとMgOの結晶系の相違から、MgZnO混晶の組成制御が困難である。われわれは、分子線成長による精密な成長制御のもとで、バンドギャップを3.4eVから4.45eVまで制御することに成功し、紫外光（とくに自然界に存在しない波長270nm以下のソーラブラインド光）検出器としての機能を示した。また、ZnO/MgO超格子により擬似的なMgZnO混晶としてバンドギャップを4.6eVまで拡大しえた。さらに、ダブルヘテロ、FETなどのデバイス応用について研究を進めている。
- (2) **酸化亜鉛半導体ナノ構造の制御** 酸化亜鉛ナノ構造の特徴を活かし、ナノ構造間の近接場光伝播を用いたナノ光回路やナノ電子デバイスへの応用が期待されている。しかしそのためにはナノ構造の位置、サイズを制御することが不可欠である。われわれは、集束イオンビームを用いて基板表面を数nmの深さにナノエッチングを行うというトップダウンテクノロジーとZnOナノドットの自己形成というボトムアップテクノロジーの融合により、エッチングされた位置に選択的にZnOナノドットを形成するという技術を開発した（図参照）。またそのサイズはエッチング深さで制御できる。今後、光・量子機能の創成と応用に向けた研究を展開する予定である。
- (3) **酸化亜鉛透明導電膜の新規成膜技術** インジウム資源の枯渇の問題から、ITOに代わりZnO透明導電膜の開発が待望されている。われわれは、安全な原料を用いた気相法により大面積基板に対応可能な新しい成膜技術の研究を行っている。

酸化亜鉛は今後広い分野で応用が見込まれる基盤材料であり、われわれの研究も、科学研究費補助金のほか、知的クラスター創成事業「京都ナノテククラスター」、高知県地域結集型研究開発事業等、事業化・産業化を念頭に置いたプロジェクトのもとで推進している。また、国際融合創造センターで化学工学、材料工学等を専門とする他教員との交流を持ちながら研究を進めている。



図 位置の制御されたZnOナノドット

## 博士論文概要

### 【課程博士一覧】

|                          |  |             |
|--------------------------|--|-------------|
| 黒川 悟                     | 「超広帯域パルスを用いた時間領域空間計測法と小型プリント基板電磁界センサの開発」   | 平成15年11月25日 |
| 佐藤 宣夫                    | 「PZT薄膜カンチレバーを用いた多機能走査プローブ顕微鏡の開発およびその応用に関する研究」  | 平成16年1月23日  |
| 伊藤 浩                     | 「計算論的初期視覚モデルに基づく符号化画像の画質評価法と符号化のための解像度制御法」   | 平成16年1月23日  |
| 米本 明弘                    | 「Study on Numerical Laplace Transforms and Their Applications to Analysis of Transmission Lines」   | 平成16年3月23日  |
| 田口 秀文                    | 「2自由度PID制御系の調整法に関する研究」   | 平成16年3月23日  |
| 立松 明芳                    | 「数値電界計算法の高度化と帯電電荷測定法への応用」  | 平成16年3月23日  |
| 韓 相逸                     | 「Basic Studies on Optimal Design of Superconducting Synchronous Machines」<br>(超伝導同期機の最適設計に関する基礎的研究)  | 平成16年3月23日  |
| Khosru Mohammad Salim    | 「Studies on Rectifier Type Superconducting Fault Current Limiters Using Variable Reactor」<br>(可変リアクトルを用いた整流型超伝導限流器に関する研究)  | 平成16年3月23日  |
| Kim, Sang-Woo<br>(金 湘 祐) | 「Study on Fabrication and Characterization of Self-and Artificially-Assembled ZnO Nanodots」<br>(ZnOナノドットの自己形成と人為形成およびその物性評価に関する研究)                                       | 平成16年3月23日  |
| 小野島紀夫                    | 「Heteroepitaxial growth of High-Quality AlN on SiC by Molecular-Beam Epitaxy toward Electronic Device Application」<br>(電子デバイス応用へ向けた分子線エピタキシー法によるSiC上高品質AlNのヘテロエピタキシャル成長) | 平成16年3月23日  |



|                  |   |            |
|------------------|---|------------|
| 山本 俊明            | 「A fast and accurate method for evaluating Raman crosstalk in wavelength-division-multiplexed optical transmission systems」<br>(波長分割多重方式光伝送システムにおけるラマンクロストークの高速かつ高精度な評価法) | 平成16年3月23日 |
| 後藤佐知子            | 「マンモグラフィにおける乳腺組織の定量化に関する研究」   | 平成16年3月23日 |
| Francesco Voci   | 「Analysis and Implementation of Non Linear Spatial Filtering for Image Processing」<br>(非線形空間フィルタの解析と画像処理への適用)   | 平成16年3月23日 |
| 上田 義勝            | 「Study on High Performance System of Plasma Wave Receiver for Satellite/Rocket Observations」<br>(衛星/ロケット搭載用高性能プラズマ波動観測器に関する研究)  | 平成16年3月23日 |
| 梅田 隆行            | 「Study on Nonlinear Processes of Electron Beam Instabilities via Computer Simulations」<br>(計算機実験による電子ビーム不安定性の非線形過程に関する研究)   | 平成16年3月23日 |
| 武市 統             | 「マイクロ波送電技術による小電力情報機器給電に関する研究」   | 平成16年3月23日 |
| 手柴 充博            | 「ウィンドプロファイラ観測に基づく台風の立体構造に関する研究」   | 平成16年3月23日 |
| 横山 竜宏            | 「A study of midlatitude ionospheric E-region irregularities with rocket/radar experiment and numerical simulation」<br>(ロケット/レーダー観測と数値シミュレーションによる中緯度電離圏E領域不規則構造に関する研究)     | 平成16年3月23日 |
| 加山 英俊            | 「無線パケット通信方式のアクセスプロトコルの研究」   | 平成16年3月23日 |
| Benjebbour Anass | 「Efficient Signal Processing Techniques for MIMO Systems」<br>(MIMOシステムにおける高効率信号処理技術)  | 平成16年3月23日 |
| 郭 賢善             | 「Study on Access Protocols for Multi-hop Wireless LAN」<br>(マルチホップ無線LANのアクセスプロトコルに関する研究)   | 平成16年3月23日 |

|       |  |            |
|-------|--|------------|
| 伊藤 京子 | 「エネルギー・環境教育のための電子ネットワークコミュニケーションに関する研究」  | 平成16年3月23日 |
| 小澤 尚久 | 「新しい人間情報行動計測法とプラント運転教育の計算機支援への応用に関する研究」  | 平成16年3月23日 |
| 森本慎一郎 | 「CO <sub>2</sub> 削減型グローバルエネルギーシステムの総合的評価に関する研究」  | 平成16年3月23日 |
| 川染 勇人 | 「Spectoscopic Study of Neutral Hydrogen Atoms in Helical Plasmas」<br>(ヘリカルプラズマ中の中性水素原子の分光学的研究)   | 平成16年3月23日 |
| 岡野 誠  | 「3次元フォトリック結晶光共振器及び光導波路に関する理論解析」  | 平成16年7月23日 |
| 太田 裕朗 | 「Molecular dynamics simulation of the plasma-surface interaction during plasma etching processes」<br>(プラズマエッチングプロセスにおけるプラズマ-表面相互作用の分子動力的計算による研究)   | 平成16年7月23日 |
| 武田 和雄 | 「Intermittent Thermal Transport Generated by Ion Temperature Gradient Driven Turbulence」<br>(イオン温度勾配駆動乱流により生じる間欠的な熱輸送)   | 平成16年7月23日 |
| 杉立 厚志 | 「二次元フォトリック結晶線欠陥レーザに関する研究」  | 平成16年9月24日 |
| 宋 奉植  | 「Hetero Photonic Crystals and Their Applications」  | 平成16年9月24日 |
| 杉山 敬三 | 「OSI 応用ソフトウェア実装方式とネットワーク管理に関する研究」  | 平成16年9月24日 |
| 佐藤 高史 | 「Modeling and experimental studies of the electro-magnetic coupling on on-chip interconnections for accurate noise-aware delay calculation」<br>(雑音を考慮した高精度遅延計算のためのLSI内配線の電磁氣的結合に関するモデル化と実験的検証) | 平成16年9月24日 |
| 設楽 弘之 | 「Development of a 70 GHz ECRH System on the Heliotron J Device」<br>(ヘリオトロンJ装置における70 GHz ECRH システムの開発)  | 平成16年9月24日 |

## 黒川 悟（佐藤享教授）

### 超広帯域パルスを用いた時間領域空間計測法と小型プリント基板電磁界センサの開発 平成15年11月25日授与

本論文では、UWB（Ultra wide band：超広帯域）パルスを用いた時間領域での電磁波計測とFDTD法数値計算に基づいて行った、UWBパルスを用いた通信に関する研究、人体の電磁波被曝量の低減手法に関する研究、ならびにGHz帯での機器の設計に利用可能な電磁界センサの開発に関する研究について述べている。ここでは、本論文の一部を紹介する。

#### 1 数値計算と時間領域計算による電波シールド衣服のシールド特性評価（第2章）

UWBパルス測定法を応用した計測技術として、人体の電波被曝量を低減する目的で開発した電波シールド衣服の衣服形状での電波遮断周波数特性を計測する手法を開発した。本手法は、UWBパルスを用いた時間領域計測により、測定に不要な反射波を取り除き、直接到来する電波のみによる評価を可能とする手法であり、電波暗室等高価な設備は不要である。衣服のシールド特性を決定する要因が、衣服を直接透過する直接透過波と首の開口部分から侵入する回折波の合成波により決定されることが示された。さらに、それぞれの波をウィナーフィルタによるパルス圧縮法により、直接透過波と回折波を別々に評価可能となった。シールド衣服の周波数特性評価結果の例を図1示す。図中[L=200mm]は、電波シールド衣服の遮断特性を、[Direct]は衣服を直接透過する電波の遮断特性を、[Diffract]は首開口部の遮断特性を、[residual]は首開口部の遮断特性評価限界を示している。

#### 2 方向性結合器型プリント基板上電磁界センサ（第4章）

動作周波数がGHz帯へと至る電子機器の設計に利用可能な電磁界センサとして、UWBパルスを用いたFDTD法数値計算による最適化設計により、方向性結合器型電磁界センサの開発を行った。開発センサは、プリント基板上の線路を伝搬する信号の進行波と反射波を分離して測定することが可能な超小型センサであり、高周波回路で問題となる回路間のマッチング不良の存在等を知ることが可能である。センサの概要を図2に、マイクロストリップ線路上を伝播する信号を測定した場合のセンサの周波数特性を図3に示す。進行波（図中「ポート3出力」）と反射波（図中「ポート4出力」）の分離性能を表す方向性（図中「方向性」）が、6GHz以下で25dB以上、7GHz以下では17dB以上を実現するものである。

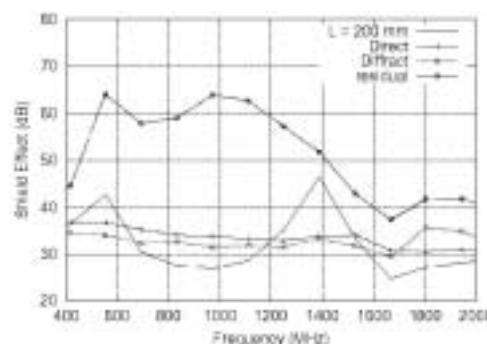


図1 電波シールド衣服の電波遮断特性例

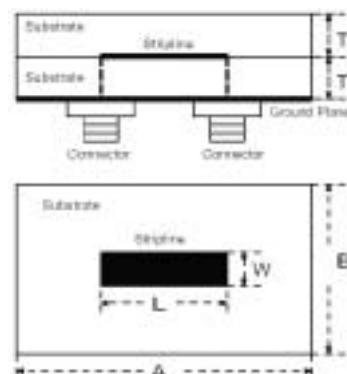


図2 センサの概要

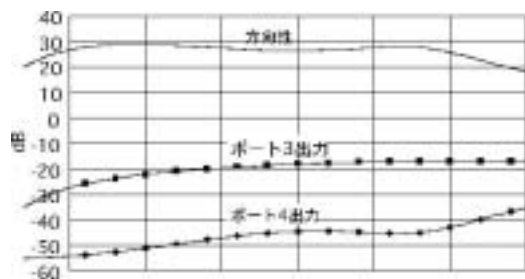


図3 試作センサの周波数特性

佐藤 宣 夫 (松重教授)

「PZT 薄膜カンチレバーを用いた多機能走査プローブ顕微鏡の開発およびその応用に関する研究」

平成16年1月23日授与

走査プローブ顕微鏡 (Scanning Probe Microscopy ; SPM) はナノテクノロジーにおける必須のツールであり、様々な研究・開発が続けられている。特にナノスケールで3次元形状を捉えるだけでなく、光物性あるいは電子物性をナノスケールで評価する方法は、ナノテクノロジーによって作製される光・電子デバイスの評価に必須である (図1参照)。

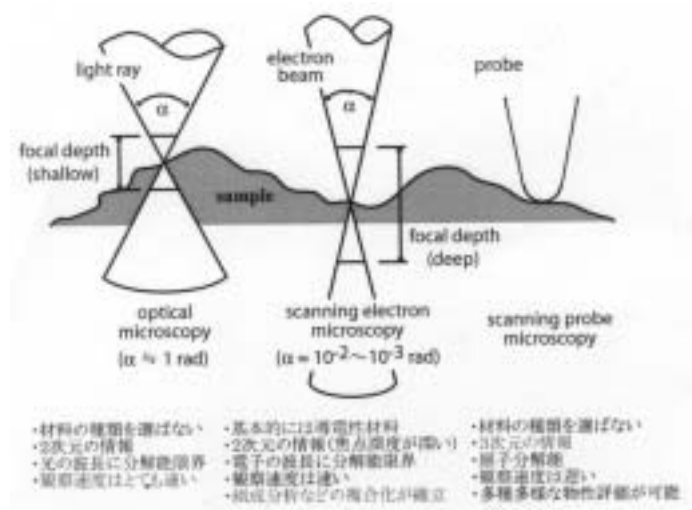
本研究では、自己検出型カンチレバーである、PZT (ジルコン酸チタン酸鉛) 薄膜カンチレバーを用いたダイナミックモード (dynamic-mode) 動作型のAFMを構築する。ナノスケール構造の物性評価としては、表面形状の観察のほかにナノスケールでの光学特性評価を行うために、本研究装置を散乱型の近接場光学顕微鏡 (Scanning Near-field Optical Microscopy ; SNOM) として利用する。またナノスケールでの電気特性の評価を行うために、同装置をケルビンプローブ表面力顕微鏡 (Kelvin-probe Force Microscopy ; KFM) としても利用する。さらに探針 - 表面距離制御に高感度で安定性の良いFM検出方式を採用しており、これらによって、ナノスケールでの局所的な光・電子物性の同時評価を実現しうる。

PZT 薄膜カンチレバーを用いた多機能SPMを構築に際し、重要なプローブとなるPZT 薄膜カンチレバーの構造や特性を詳細に調べた。また自己検出型のPZT 薄膜カンチレバーを含めた本研究装置によって観測できる表面形状、光物性、電子物性の評価性能を十分に把握するために、ナノスケールの構造を有する既知材料 (マスクパターン、CD-ROM表面、LiNbO<sub>3</sub> 導波路、ナノ粒子など) の観察を行った。

さらにナノスケールでの機能性材料として期待される強誘電体材料 (単結晶、無機薄膜、有機薄膜) を、それぞれ本研究装置で観察した。特に強誘電体薄膜の観察に応用することによって、ナノテクノロジーにおけるSPMの具体的な利用用途として提示した。

一方、AFMの本質的な問題点である、その走査速度 (観察時間) についてもPZT 薄膜カンチレバーの、PZT 薄膜を変位検出ではなく、マイクロアクチュエータとして利用しフィードバック (feedback) 制御機構を担わせることで、その打開策を提案し、高速で表面形状像を取得できるAFMを実現した。

このように本研究では、PZT 薄膜カンチレバーを用いた多機能SPMを新規に構築し、ナノスケールでの材料評価方法を確立した。具体的には、PZT 薄膜カンチレバーを用いたダイナミックモードAFMを構築し、ナノスケールでの同一箇所での表面形状像ならびに、微小光学像 (SNOM像)、表面電位像 (KFM像) の観察ツールとしての用途を確立し、さらに高速走査へと展開した。加えてPZT 薄膜カンチレバーを用いたAFM/SNOM/KFMとしての理論的な分解能の限界を指摘し、具体的な改善方法を提案したことから、今後の進展も期待されるところである。



## 伊藤 浩（松山教授）

### 「計算論的初期視覚モデルに基づく符号化画像の画質評価法と符号化のための解像度制御法」

平成16年1月23日授与

私たちの脳が視覚情報を処理するモデルに基づいて、画像符号化の画質を最大とする問題を取り上げ、客観的な画質の評価尺度とそれに基づく符号化パラメータの制御方法を導く。

画像符号化はDVDやデジタル放送などに用いられる、信号を圧縮するための技術である。従来、その画質は、符号化前後の信号差分とそれがどの程度知覚されるかという心理実験的な視覚特性に基づいて評価されてきた。しかし、私たちは、物体の境界、テクスチャ、動きなどに連続性や組織性の乱れが

起きると瞬時にその変化に気づくように、信号差分だけを歪みとして知覚しているわけではない。

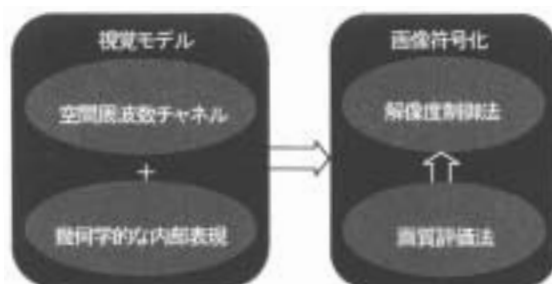
D. Marrが提唱する計算論的視覚モデルは、脳で何が計算されているのかを重視するモデルである。このモデルによれば、初期視覚において重要な内部表現は、空間周波数チャンネルによって分解される帯域通過信号と、それが符号を反転する点の集合として定義される零交差である。画像符号化がこのような内部表現に与える変化は、単なる信号差分よりも直接的な品質の尺度となるであろう。

そこで、本研究では、まず、これらの内部表現に基づく画像の品質尺度を定義した。零交差の再現性については、その形状の変化を知覚される量に変換して歪みの客観尺度とした。零交差は、多くの場合、物体のエッジに対応する。符号化では、しばしば幾何学的な歪みが生じ、エッジの滑らかさが失われるので、この尺度はこのような滑らかさの欠如を捉えることができる。また、空間周波数チャンネルにおける信号の変化は、しばしば高域周波数成分の減衰として生じるので、知覚されるエッジの勾配の変化からそれを定量化した。これらの歪みをそれぞれXとYとし、その線形結合 $aX+bY$ を総合的な品質の尺度として定義する。

次に、これらの歪みを制御する画像符号化の解像度制御アルゴリズムを導出した。解像度制御は、符号化の前に低域通過フィルタを用いて、入力信号の周波数スペクトルを制限する手法である。このような制限を行えば、歪みYは増加するが、歪みXを減少させることができる。解像度制御の手法は従来から提案されていたが、本研究では、そこで生じる歪みをXとYに関連付けて定義し、これらの関係を明確にした。

最後に、符号化画像を用いた主観評価実験を行って、XとYによる客観的な尺度と主観的な総合画質との関係を明らかにするとともに、総合画質の観点から解像度制御の有効性を明確にした。ここで得られた主要な結論は次の3点である。1) X、Yと総合画質の主観評価の間には強い相関が存在する、2) 解像度制御は符号化画像の主観評価を向上させることができる、3) この向上は $aX+bY$ から予測できる。解像度制御による主観評価値の向上は、符号化において解像度を適切に選択することの重要性を示す。また、最適な解像度の選択が零交差の再現性を含む客観尺度で説明できることは、画像の滑らかさや規則性などの視覚の上位の概念を符号化パラメータの最適化の中に組み込むことの有効性を示唆する。

本研究は、民間企業に勤務するかたわら、社会人学生として京都大学で行ったものである。この研究を通じて、日常とかく忘れがちな物事の本質を追及する哲学的な発想について多くのことを学ぶことができた。



米本明弘(奥村教授)

「Study on Numerical Laplace Transforms and Their Applications to Analysis of Transmission Lines」

(数値ラプラス変換とその伝送線路解析への応用に関する研究)

平成16年3月23日授与

情報およびエネルギーの伝送はこれまでになく重要な問題となりつつあり、それらを担う半導体の高速信号配線や電力システムの解析では、伝送線路モデルを用いた過渡解析の必要性が高まっている。また、そのような線形システムの過渡解析にはラプラス変換が有効であり、同時にその高速かつ高精度な数値計算手法が望まれる。本研究では、まず数値ラプラス変換についてFFT型逆変換の誤差を大きく改善し、効率的な変換対を新たに提案するとともに、ハードウェアへの実装を行った。また、伝送線路解析への応用として短絡故障時の過渡解析を行い、過渡波形の直交性にもとづいた故障点標定法を提案した。

数値逆ラプラス変換は化学反応や地質解析等でも用いられ、様々な方法が提案されている。その一つであるFFT型逆変換は、対応する数値順変換が存在するという他にはない特徴を持つが、無限和の打ち切り誤差が指数関数的に増大する欠点が知られている。本研究では、図1に示すように $s$ 関数 $R(s)$ をあらかじめ $s^i$ で割ること( $i$ 階積分に相当)で $s$ での減衰を加速し、打ち切り誤差を著しく低減する手法を提案した。特に積分により不連続点が解消され、ギブスの現象を回避できる利点がある(図2)。

一方、数値ラプラス変換対により $t$ 領域のたたみ込み演算を $s$ 領域で高速に行うことができる。従来の変換対では、逆変換時の誤差によりデータ点が半数に棄却され、それを内挿によって補間する。本研究では補間されたデータ点が次段の変換で棄却されることを示し、補間処理を省き、提案する逆変換法を用いる変換対を構成した。これにより計算効率を向上するとともに誤差を改善することができ、データの有効範囲が広まった(図3)。また、数値ラプラス変換のリアルタイム処理を可能とするため、VHDLにより専用ハードウェアをプロトタイプ実装し、FPGA上で動作を確認した。フーリエ変換とは異なり、ラプラス変換では指数関数が存在するため固定小数点数による実装では精度が著しく低下するが、これをFFTのバタフライ構造に着目し、擬似浮動小数点数を用いることで改善した。

また、電力システムにおける雷撃による短絡故障を想定し、伝送線路における短絡時の過渡現象について解析を行った。まず、図4のような無損失単相線路において送端に現われる過渡電圧波形(図5)が直交関数系として知られるラゲール関数となることを明らかにし、その直交性を利用した故障点標定法を提案した。また、数値逆ラプラス変換を用いて大地の表皮効果を数値的に評価し、単相線路では過渡波形が著しくなまり直交性が満たされなくなるが、三相線路では大地の影響の少ない線間モードの存在により、提案する故障点標定法が有効であることを数値シミュレーションによって示した。

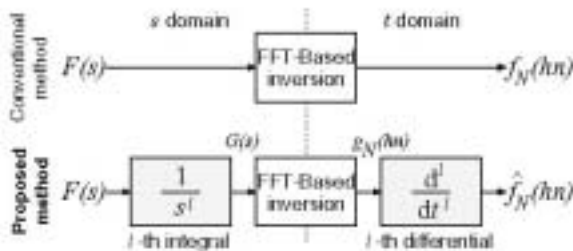


図1: 数値逆ラプラス変換の提案手法

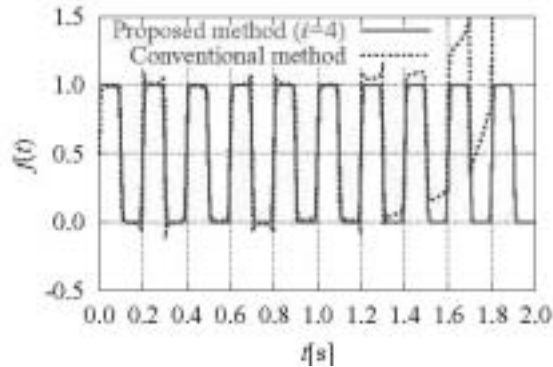


図2: 矩形波の数値逆ラプラス変換

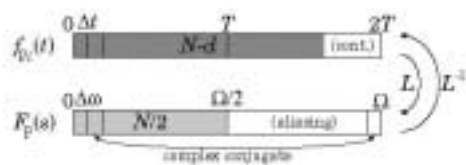


図3: 提案する数値ラプラス変換対



図4: 単相線路における短絡故障

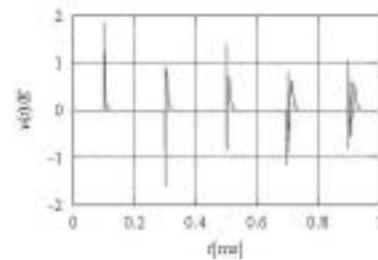


図5: 送端電圧の短絡時過渡波形

**田口秀文(荒木教授)**  
**「2自由度PID制御系の調整法に関する研究」**  
 平成16年3月23日授与

本論文は、目標値応答と外乱応答を同時に良好にすることができる2自由度PID制御系(図. 1)に関して、そのパラメータ調整法についての研究をまとめたものである。

PID調節計は、比例(Proportional) 積分(Integral) 微分(Derivative) の3つの動作を含む制御装置である。比例動作は現在の値に基づく判断、積分動作は過去の値の記憶に基づく判断、微分動作は未来の値の予測に基づく判断と解釈できる。PID調節計の始まりは1939年に遡り、その後広く産業界で使われてきた。実際、1990年の調査では、産業界で実際に使われている制御装置の90%がPID(改良形を含めて)であった。

2自由度PID調節計は、Horowitzにより研究されていた2自由度制御装置の構造をPID調節計の枠組みの中で利用しようとするもので、1984年に荒木によって提案された。これとともに、従来のPID調節計は1自由度PID調節計と呼ぶべきものであることが認識され、「目標値に対する応答と外乱に対する応答を同時に満足すべきものとすることができない」という従来型PID調節計の問題が、制御装置の構造自体に由来するものであることが明確に説明された。2自由度PID調節計は、1980年代の末頃から徐々に産業界に広がり、今では、目標値の変更がひんぱんに起こる場合に対応できる標準的な制御装置として広く供給されている。

制御装置は、パラメータ調整がうまく行えて初めて意味のある動作を行うことができる。PID調節計が広く使われてきた背景には、いろいろな最適調整則が提唱され、それが多くの実用的場面で有効に機能してきたという事実がある。これと同様に、新しく提案された2自由度PID調節計についても、使い易い調整則が整備されて初めてその能力を十分に生かすことが可能となる。本論文の著者は、2自由度PID調節計が提案された直後から、その調整法の研究に携わってきた。本論文は、その研究をまとめたものである。成果の一例を表1に示す。

表1 2自由度PID調節計の最適パラメータ値

$$( \text{制御対象 } P(S) = \frac{Ke^{-Ls}}{1+Ts} )$$

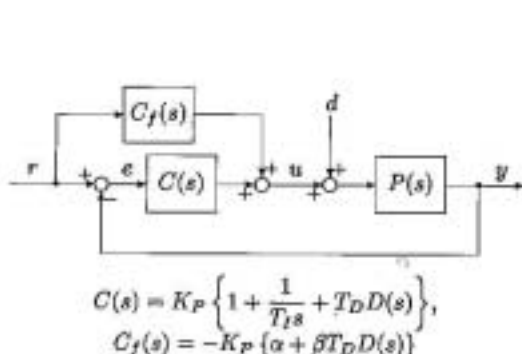


図1 フィードフォワード型 (FF型) 2自由度PID制御系

| $L/T$ | $K_P \cdot K$ | $T_I/T$ | $T_D/T$ | $\alpha$ | $\beta$ |
|-------|---------------|---------|---------|----------|---------|
| 0.1   | 12.57         | 0.22    | 0.04    | 0.64     | 0.66    |
| 0.2   | 6.32          | 0.40    | 0.08    | 0.61     | 0.64    |
| 0.3   | 4.24          | 0.56    | 0.12    | 0.59     | 0.62    |
| 0.4   | 3.21          | 0.69    | 0.16    | 0.56     | 0.61    |
| 0.5   | 2.59          | 0.81    | 0.19    | 0.54     | 0.59    |
| 0.6   | 2.18          | 0.91    | 0.23    | 0.51     | 0.57    |
| 0.7   | 1.89          | 1.01    | 0.26    | 0.49     | 0.56    |
| 0.8   | 1.68          | 1.09    | 0.30    | 0.47     | 0.54    |
| 0.9   | 1.51          | 1.17    | 0.33    | 0.45     | 0.53    |
| 1.0   | 1.38          | 1.24    | 0.36    | 0.43     | 0.52    |
| 1.2   | 1.18          | 1.37    | 0.42    | 0.39     | 0.49    |
| 1.4   | 1.05          | 1.49    | 0.48    | 0.36     | 0.48    |
| 1.6   | 0.95          | 1.61    | 0.54    | 0.33     | 0.48    |
| 1.8   | 0.87          | 1.71    | 0.59    | 0.30     | 0.46    |
| 2.0   | 0.81          | 1.81    | 0.64    | 0.29     | 0.47    |
| 2.5   | 0.71          | 2.06    | 0.76    | 0.25     | 0.51    |
| 3.0   | 0.64          | 2.30    | 0.86    | 0.23     | 0.55    |
| 4.0   | 0.56          | 2.78    | 1.01    | 0.19     | 0.63    |
| 5.0   | 0.51          | 3.26    | 1.12    | 0.15     | 0.66    |
| 7.5   | 0.45          | 4.43    | 1.29    | 0.07     | 0.67    |
| 10.0  | 0.41          | 5.59    | 1.37    | 0.01     | 0.67    |

## 立松 明 芳（島崎教授）

## 「数値電界計算法の高度化と帯電電荷測定法への応用」

平成16年3月23日授与

高電圧絶縁機器では高圧導体を支持するための固体絶縁物の存在が不可欠である。近年普及するようになったガス絶縁、真空絶縁などの絶縁方式においては、薄板でない（以下「バルク状」と呼ぶ）絶縁物表面に生じた帯電電荷の存在が沿面放電から絶縁破壊を引き起こす原因となり得る。そのため、帯電を生じても絶縁破壊に至らない機器の開発や絶縁性能の評価を行うために、バルク状絶縁物表面の帯電電荷測定法の確立が必要とされる。

最も一般的な帯電電荷測定法は静電プローブを用いる方法であるが、フィルムのようなシート状絶縁物の場合と異なり、バルク状絶縁物では静電プローブ出力（帯電電荷がセンサに静電的に誘起する電荷量）と帯電電荷量との間に1対1の対応関係が成り立たない。このため、バルク状絶縁物の帯電電荷測定では、数値電界計算を用いてプローブによる多点の測定値 $b$ と、数値離散化して表現した帯電電荷 $x$ （未知数）との間の関係 $Ax = b$ を表す係数行列 $A$ を計算した上で、測定値から逆計算により電荷分布を推定する必要がある。このような測定原理は20年以上も前に明らかにされながらも推定精度、実用性ともに高レベルの測定法として確立されていない。

本研究の目的は汎用性、信頼性の高い帯電電荷測定法を確立することであり、主な成果は次のとおりである。（1）係数行列の計算に必要な計算量（演算量、メモリ容量）は未知数の増加（電荷分布表現の詳細化）に伴って膨大になり、三次元配置での係数行列の計算の実行は容易ではない。さらに、逆計算では係数行列に含まれる数値誤差や測定誤差によって推定値（帯電電荷）が容易に発散し得るために高精度の係数行列が求められる。そこで係数行列の計算に高速度化・高精度化・大容量化した数値電界計算法を適用することで、高速に高精度の係数行列の計算を可能とした。（2）逆計算において安定した推定を実行するために、元方程式に解の拘束項を付加したペナルティ付き最小二乗法（RLS）を用い、平滑化効果を有するフィルタに基づいてRLSの拘束項を設計する手法を与え、係数計算誤差および測定誤差の推定値への影響について逆問題解析の立場から定量的に検討した。

図1に示す測定配置において、円柱形絶縁物を針電極からの負コロナで帯電させたのち、1794の未知数で電荷分布を表現（測定点数3042）した場合の帯電電荷測定を実施した。測定値からRLSで推定した帯電電荷分布を図2（円柱絶縁物側面の展開図）に示す。

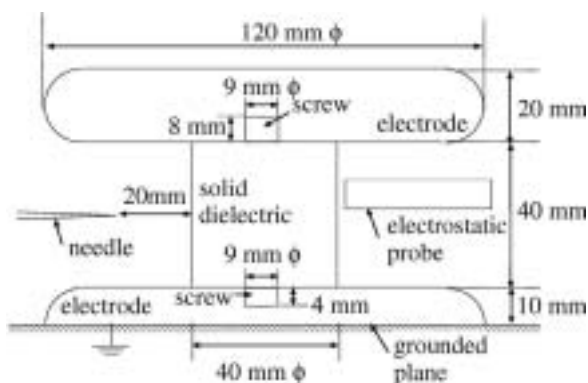


図1：測定配置

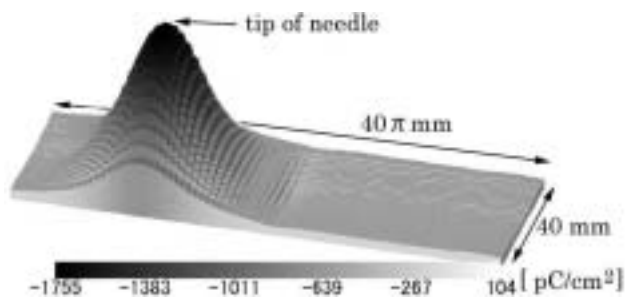


図2：推定帯電電荷分布



## 韓 相 逸 (牟田教授)

### 「Basic Studies on Optimal Design of Superconducting Synchronous Machines」 (超伝導同期機の最適設計に関する基礎的研究)

平成16年3月23日授与

本論文は、超伝導同期機の設計に関して、これまで経験的に行われてきた設計を体系的に行う手法を構築するもので、設計モデルに対する構成式を明らかにするとともに最適化手法を用いた設計方法を論じた結果をまとめたものである。序論では、本研究の背景として現用同期機に比べて超伝導同期発電機及び超伝導同期電動機が持つ長所のためこれまで世界で研究開発されてきた成果とその現在状況を述べている。また、超伝導同期機の設計方法に関して経験的に行われた設計法の問題点を示し、その問題点を解決するために最適化手法を提案している。

つぎに、超伝導応用に用いられる超伝導材料の一般特性を述べている。特に、超伝導発電機の界磁巻線を構成する低温超伝導線材であるNb-Ti線材と超伝導電動機の界磁巻線を構成する高温超伝導線材であるBi2223テープ材の特性を述べている。さらに、超伝導同期機設計において設計項目として考慮する超伝導線材の特性に関して述べている。

超伝導同期機設計に適用する最適化手法として解の広域探査法である遺伝的アルゴリズムと焼きなまし法を用い、最適化過程中実行不可能解が出る場合に実行可能解へ差換える補修過程を入れるという修正アルゴリズムを提案し、最適解への収束性を高める有効な手法であることを実証している。さらに、多目的関数を最適化する場合、通常の重み付け法ではいずれかの目的関数の最適解に近いものになってしまう。これに対し、補正係数を導入した可変重み付きmin-max法を提案し、得られる変数解の偏りを解消できることを検証してその有効性を確かめている。

さらに超伝導発電機と超伝導電動機の最適設計に関して述べている。2次元設計モデル上で電磁界解析によって導出された電気的特性式ならびに機械的特性式から設計パラメータを与える表式を導出し、低温超伝導線材の特性を考慮した設計項目も導入した設計式を再構成することにより、超伝導発電機と超伝導電動機の設計関連式を明らかにしている。また、修正遺伝的アルゴリズムと焼きなまし法を超伝導発電機と超伝導電動機の設計に適用して高効率及び小型化のため効率ならびに出力密度を目的関数とし、線材特性と製作上の制約条件を考慮して行った最適設計を述べている。実際に製作されて性能試験が行われたモデル機にこの最適化手法を適用し、試行錯誤による現状の設計法の妥当性を検証するとともに本設計方法の有効性を示している。効率と出力密度の多目的関数を最適化する場合、通常の重み付け法ではいずれかの目的関数の最適解に近いものになってしまうが、提案する可変重み付きmin-max法は、得られる変数解の偏りを解消できることを検証している。さらに、超伝導発電機の設計仕様と設計結果からその機器パラメータが効率ならびに出力密度に及ぼす影響を明らかにし、超伝導発電機に対する電気的な特性すなわち、効率特性、遮蔽特性、無負荷特性、短絡特性、外部特性、出力特性などを検討して超伝導発電機の特徴を明らかにしている。さらに、超伝導電動機の設計仕様と設計結果からその機器パラメータが効率ならびに出力密度に及ぼす影響を明らかにし、超伝導電動機に対する電気的な特性すなわち、効率特性、遮蔽特性、出力特性、V曲線特性などを検討して超伝導電動機の特徴を明らかにしている。

Khosru Mohammad Salim (牟田教授)

「Studies on Rectifier Type Superconducting Fault Current Limiters Using Variable Reactor」

(可変リアクトルを用いた整流型超伝導限流器に関する研究)

平成16年3月23日授与

本論文は、電力系統において、事故電流を抑制し、系統運用の自由度を増すことのできる機器のである限流器のうち、超伝導整流器型限流器の得失について論じている。また、当該限流器の電流制限素子として用いる直流可変リアクトルの実現方法について考案し、その有効性を論じたものであって、7章からなっている。

第1章は序論であり、研究背景を述べ、限流器の各種方式を紹介・比較し、半導体遮断器と親和性の高い超伝導整流器型限流器を選択した経緯について述べている。研究の出発点となった回路方式は、直流電流源を必要とするが、整流器の直流側に入るため、対地絶縁された電源である必要があった。電力系統で用いる場合は絶縁電源の実現が困難であるため、バイアス電流源を持たない回路方式について、検討している。

第2章では、直流バイアス電源を持たない場合に、直流インダクタンスの値が大きいと通過(負荷)電流が増加する場合に限流作用が発現し、瞬時電圧降下が起きることを理論的・実験的に確認し、その大きさと限流インダクタンスの関係を明らかとした。この問題を解消するため、インダクタンスの値を電流値によって変化させればよいことを指摘し、そのための方式を考案し紹介した。

第3章では、可飽和リアクトルを用いて可変リアクトルを実現する方法を提案し、100V、10A級小形試験装置を試作し、実験的にも解析的にもその動作を検証・確認した。さらに、設計法を提案すると共に、6.6kV、100A級の配電系統規模の限流器を設計し、適用性を検討した。

第4章では、超伝導無誘導リアクトルを用いて可変リアクトルを実現する方法を提案し、かつ小形試験装置を試作して、実験的にも解析的にもその動作確認を行い、有用性を立証した。提案したのは、一式の混合単相ブリッジの直流リンクに逆並列接続された2つのコイルを接続したもので、もう一方は、夫々のコイルを別のブリッジに接続するものである。四巻線変圧器として製作されたコイルを用いたため、100V、100A級小形試験装置で動作試験し、さらに、それらの成果をもとに6.6kV、1kA級の配電系統規模の限流器を設計し、適用性を検討した。

第5章では、概念として提案されている超伝導短絡巻線を持つリアクトルや超伝導磁気遮蔽体を新規に整流型限流器の可変リアクトルとして実現する方式について、小形モデルによる原理動作試験・素子特性を見極める実験や解析を行い、得失を比較した。超伝導短絡巻線を持つリアクトルは、いわゆる変圧器型であり、第4章で試験に用いたのと同じコイルを使用して比較試験を行った。トリガコイルは、常伝導転移するが、電流は急速に減衰し、発熱が抑えられるため、事故除去後に問題なく再開路できることが示された。また、Bi2223バルク円筒を遮蔽体として用いる方式については、遮蔽特性把握試験を行い、PSCAD/EMTDCを用いて計算機模擬実験をし、その結果について論じている。

第6章では、第3章から第5章まで提案された各種方式について、得失を論じ、その結果、現時点では、超伝導無誘導可変リアクトルを用いた整流型限流器が最も有望であるとの結論を導き出している。第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

## 金 湘 祐 (藤田静教授)

「Study on Fabrication and Characterization of Self- and Artificially-Assembled ZnO Nanodots」

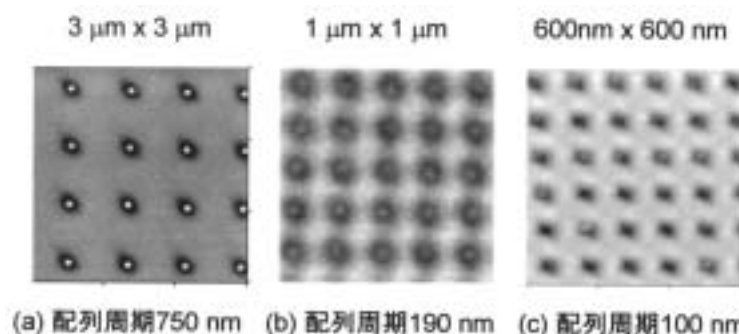
(ZnOナノドットの自己形成と人為形成およびその物性評価に関する研究)

平成16年3月23日授与

酸化亜鉛 (ZnO) は、広範に電気特性が制御でき、ガスセンシングや光触媒機能を持ち、ドーピングにより磁性の発現が期待されるといった多機能光・電子材料である。最近になって注目されているのが、電子と正孔がクーロン力で結合した、いわゆる励起子が室温においても安定に存在するという特性で、これは紫外領域における高効率の発光デバイス、光非線形デバイスにつながるものである。一方、ナノサイズのロッド、ワイヤ等が自然に形成 (自己形成) することが明らかになり、ナノデバイスへの応用が期待されている。本研究は、励起子が三次元的に強く閉じ込められることによって、強い量子効果や励起子効果を発現する場を提供することを目指し、ナノサイズのZnOドット (ナノドット) を形成する基礎技術の確立、また人為的にその位置、サイズを制御する技術の開拓を目的に行った。

ZnOの成長は、有機亜鉛と亜酸化窒素 (または二酸化窒素) を原料として、有機金属気相成長法により行った。非晶質SiO<sub>2</sub>膜上に成長を行うと、成長初期に三次元的な核成長をする傾向が強く、この成長モードを応用して、幅数十nm以下、高さ10nm以下というZnOナノドットの自己形成に成功した。このようなドットの形成機構として、ZnOとSiO<sub>2</sub>の異質性によって凝集が生じるという、いわゆるVolmer-Weberモードが考えられる。また、このナノドットは、欠陥をほとんど含まない単結晶で、これはZnOの強いc軸配向性によると思われる。サイズが幅20nm以下の小さいナノドットに対する光物性測定から、ゼロ次元量子ドットの形成による量子効果の発現を示唆する結果を得るとともに、強励起のもとで、励起子効果に基づく誘導放出を観測して光デバイス応用への可能性を示した。

このような自己形成ナノドットの位置およびサイズを人為的に制御する手法として、集束イオンビームによってSiO<sub>2</sub>表面に深さ2~10nmの溝状または穴状の加工を施し、この上へZnOの成長を行うという手法を提案した。その結果、溝の内部にナノドットが周期的に配列し、また、穴の内部に選択的に単一ナノドットを形成することができた。図(a)、(b)ではそれぞれ直径130 ± 10nm、42 ± 7nmのナノドットが750nm、190nmの周期で配列していることを示している。これは、穴の部分では反応種が核形成し、平坦な部分では反応種が再蒸発または穴の中へマイグレーションするという機構に基づいた選択性であると思われる。サイズ分布も小さく、人為制御という本研究の目的に適うものである。他方、図(c)のように配列周期が100nmを目指した場合には、穴の中に形成される確率は未だ64%である。これは、穴が小さく平坦な部分とのポテンシャル差が小さくなったためと考えられ、穴の中で核形成が生じる条件、例えば低温成長によってより完全なドットの位置制御が達成できるものと思われる。単一ドットからのカソードルミネセンスも観測され、ナノ光回路や単一電子トランジスタ等への応用に進展することが期待される。また、他の材料系へこの制御技術を適用することも考えられる。



図．配列制御されたZnOナノドットの原子間力顕微鏡像

## 小野島 紀 夫（野田教授）

「Heteroepitaxial Growth of High-Quality AlN on SiC by Molecular-Beam Epitaxy toward Electronic Device Application」

（電子デバイス応用へ向けた分子線エピタキシー法によるSiC上高品質AlNのヘテロエピタキシャル成長）

平成16年3月23日授与

今日の情報通信や電力供給をハード面で支えているのは、半導体を核とするエレクトロニクスである。21世紀に入り、社会はさらなる高度化を続ける中、半導体ハード技術にも飛躍的な発展が期待される。微細化やデバイス構造の工夫・改善により目覚ましい発展を遂げた半導体SiやGaAsは、その材料的性質からくる制約のためにデバイス性能の限界が見えてきており、これからは新規材料の研究、基盤技術の構築により、半導体デバイスの新たなブレークスルーを図る必要がある。

本論文で取り上げた窒化物半導体やSiCは、従来の半導体を凌駕する優れた性質を持ち、高出力の高周波トランジスタや超低損失のパワートランジスタなどの実現が期待される。このような新規材料の研究では、従来の半導体で培われた成熟した技術から習うことは多いが、すべての技術を踏襲することはできない。例えば、SiCではSiと同様に熱酸化による絶縁性の良いSiO<sub>2</sub>膜の形成が可能のため、MOSFETを作製できるが、SiO<sub>2</sub>/SiC界面の品質がSiO<sub>2</sub>/Siほど良好ではなく、走行する多くの電子が界面準位（トラップ）に捕獲されるため、電気抵抗の増大が問題となる。また、窒化物半導体GaNにおいては、バルク単結晶の作製が困難であるため、材料的性質の異なる異種基板上に結晶を成長（ヘテロエピタキシー）してデバイス構造が作製される。ここでSiCは、熱伝導率が高いため、GaN系高出力デバイス用基板としても期待される。特に、窒化物半導体AlNとの結晶格子定数が近く、化学的親和性も高いため、AlN核形成層を介したSiC上GaNの結晶成長が研究されている。また、非常に大きなバンドギャップを持つAlNをSiO<sub>2</sub>に代わる絶縁層として活用した、AlN/SiC MISFETという窒化物半導体とSiCを融合したデバイスの実現が期待される。

このような背景をふまえ、本論文ではSiC上高品質AlNのヘテロエピタキシーに重点を置き、また、AlN/SiC界面電子物性の制御に取り組み、AlN/SiC MISFETの実現に向けて研究を行った。

図1はSiC表面の原子ステップ構造と化学的状態を制御することで可能となったAlNの2次元初期成長の様子、図2は界面形成条件やデバイス構造の工夫により実現した世界で初めてのAlN/SiC MISFETの良好なトランジスタ動作特性を示している。

本研究を通じ、結晶成長から半導体界面物性、実際のデバイス評価まで一貫して行い、非常に多くの興味深い研究ができました。お世話になりました先生方、研究室の方々に感謝いたします。

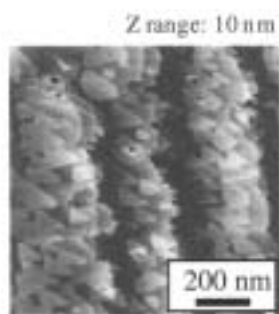


図1 SiC上に8分子層成長したAlNのAFM像（三角状のAlN 2次元核が形成されている）

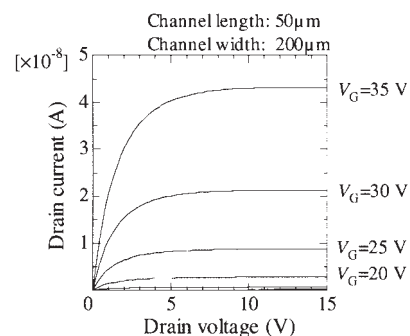


図2 SiO<sub>2</sub> (58nm) / AlN (4nm) stack-gate構造を用いたAlN/SiC MISFETのI<sub>d</sub>-V<sub>d</sub>特性

## 山本俊明(佐藤享教授)

「A fast and accurate method for evaluating Raman crosstalk in wavelength-division-multiplexed optical transmission systems」

(波長分割多重方式光伝送システムにおけるラマンクロストークの高速かつ高精度な評価法)

平成16年3月23日授与

光ファイバ通信において波長分割多重(WDM)により通信容量を拡大する際、光ファイバ非線形効果による伝送特性劣化が問題となる。光ファイバ非線形効果の一つである誘導ラマン散乱(SRS)は従来の利用波長域では利得が小さく、主要な劣化要因とはならなかったため、これまで詳細に検討されることがなかった。しかし、利用波長域の拡大や他の非線形効果を抑圧する分散マネージド伝送路の開発に伴い、今後はSRSによる伝送特性劣化を無視することができないと考えられる。

光ファイバ非線形効果を評価する方法には、光信号の伝搬を伝送路に沿ったシミュレーションにより数値的に解く方法と、伝送後の光強度や位相の変化を近似の導入により解析的に解く方法がある。前者では高精度な解を得るためには膨大な計算時間が必要となり、後者は計算量が少ないものの、その精度は導入した近似に依存する。そのため、計算効率と近似精度とを両立した評価法の開発が求められている。

本論文は、SRSによる伝送特性劣化を高速かつ高精度に計算できる解析的手法の導出と改良についてまとめたものである。まず、システム性能制限の要因となるSRS波形劣化を統計的に評価する方法を確立した。さらに、近年盛んに研究が行われている分散マネージド伝送路や分布ラマン増幅伝送路といった一般的な伝送路への適用を行い、SRS波形劣化を低減する観点からみた有効な伝送路構成について提案を行った。例えば、図1に示す4種類の伝送路の中ではType-1のファイバ構成を採用するのがよいことがわかる。最後にSRS波形劣化と非ガウス雑音を考慮した誤り率の計算法を確立し、SRS波形劣化によるシステム性能制限を明らかにした。

本論文で提案する評価法は、SRSによる伝送特性劣化を高速かつ高精度に計算することが可能であり、任意のシステムに適用できる高い拡張性をもつ。従来の数値計算法では年単位の計算時間が必要となるシステムパラメータの最適化を、提案法では誤差を許容範囲に抑えながら数分以内に完了できるため、光ファイバ通信システムの設計において大変有用な指針を与える。

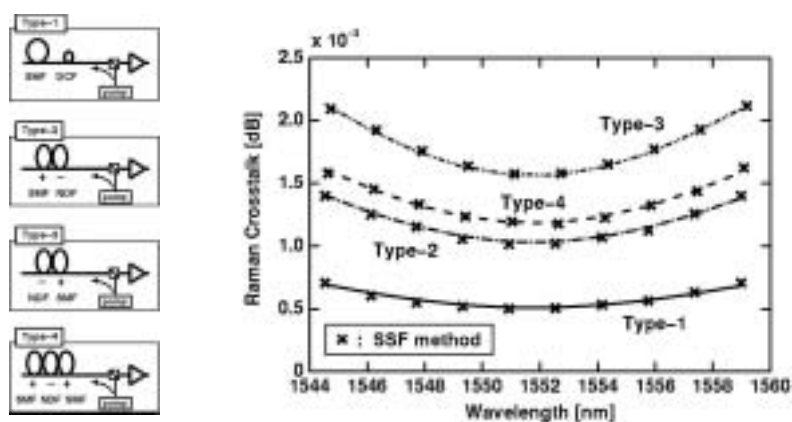


図1.分布ラマン増幅伝送路におけるSRS波形劣化量  
(line: 提案法、point: 数値計算法(SSF method))

## 後 藤 佐知子（英保茂教授）

### 「マンモグラフィにおける乳腺組織の定量化に関する研究」

平成16年3月23日授与

本論文では、乳がんの早期発見を目的としたマンモグラフィを対象に、乳房組織等価ファントムを用いた乳腺組織の定量化を軸として、個人における医療被曝の推定、およびリスク分類に寄与できる画像解析システムを構築した。

マンモグラフィは、乳がんの描出を目的としたX線撮影法であり、胸部、骨部などといった一般撮影とは異なり、乳房という軟部組織を撮影する特殊撮影法の一つに画する。使用するX線エネルギー、X線発生装置（図1を参照）などの撮影システムは特殊であり、得られるX線画像も特殊であるが、乳がんの早期発見においてマンモグラフィは画像診断の中軸をなすものであり、現在、乳がん検診において最も威力を発揮している。その一方で、放射線を使用する検診は多くの自覚症状のない健康な人が被曝するという点で、放射線防護の最適化を保証する必要がある。そのためには、マンモグラフィにおける医療被曝を推定し、把握することが最重要となる。マンモグラフィでの被曝線量は、放射線感受性が最も高い乳腺組織の量に比例する。

乳房は乳腺組織と、これを取り巻く脂肪組織とに大別でき、乳がんの約90%が乳腺組織に発生するとされている。このため、放射線画像診断学的には乳腺組織からの画像情報が重要視され、乳がん病因論に関する疫学研究では、乳腺組織量が多ければ多いほど乳がんリスクが高くなるという強い相関が示されている。このため、乳腺組織量の多少に関するパターン分類（図2を参照）が放射線科専門医によって視覚的に行われており、また、自動分類を目指したCAD（Computer aided diagnosis）研究も盛んに行われている。

本研究では、マンモグラムごとの乳腺組織を乳房全体に対する割合（乳腺含有率）として定量するシステムを、X線吸収が乳房組織と等しいファントム（乳房組織等価ファントム）を用いて構築した。本システムは、画像の持つグレイレベル値を1ピクセルごとに既知の乳腺含有率に変換することが可能であり、したがってマンモグラフィを施行された個人ごとの乳腺量の定量が可能である。臨床例93画像に対し本システムを適用し、視覚評価による定量評価との比較によって、本システムの有効性を確認した。また、本システムを用いてマンモグラフィの医療被曝の推定システム、および乳腺組織パターンの自動分類システムの構築を行った。とくに、医療被曝の推定システムは、従来では行えなかった個人被曝線量の推定が可能となった。



図1 専用マンモグラフィ装置

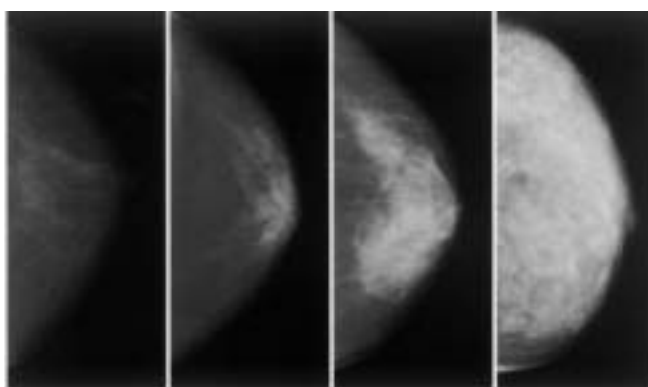


図2 典型的な乳腺組織のパターン分類例

Francesco VOCI（英保茂教授）

「Analysis and Implementation of Non Linear Spatial Filtering for Image Processing」  
 （非線形空間フィルタの解析と画像処理への適用）

平成16年3月23日授与

本研究は、各種の非線形空間フィルタを画像処理への適用を目的として解析したものであり、得られた成果は以下のように要約される。

- 1．非線形フィルタであるモルフォロジカルフィルタについて考察し、種々の画像に対して用い、十分な強調効果があり、対象物抽出への前処理として有効であることを具体的に示した。
- 2．ファジー論理において画像処理に適合したメンバーシップ関数の自動調整法について述べた後、マンモグラムにおける石灰化部分の強調のためのルールを構成し明瞭な強調効果のあることを示した。また、電子基板画像上の短絡部の検出にも有効なことを示した。
- 3．第二層の応答関数がガウス関数タイプで代表される三層構造のニューラルネットワークを用いた画像処理システムを提案し、その分散と平均値を学習させることにより、肌色領域の抽出が外部照明条件の変動にもロバストである検出システムを構成出来ることを示した。
- 4．Perona-Malikモデルで表現される拡散方程式を用いて多重解像度解析を行い、ノイズ低減とセグメンテーションに適用する手法を述べ、特に、拡散係数を近傍領域の微分値により変更する種々の方式を説明し、提案手法が、繰り返し適用の回数を増大させても誤差が増大することなく収束し、強調効果が持続する安定した手法であることを示した。もう少し詳しく述べると、熱拡散方程式は平滑化効果を持ったシステムと捉えることができるが、中でもPeronaとMalikにより提唱されたPM方程式が、境界をぼかさずにノイズを平滑化する特徴を有している（図1参照）。これは拡散係数を領域境界部では小さくし、平坦部では大きくするような非線形平滑化によるものであり、この平滑化係数の変更をガウスタイプの関数で定めるものとし、その広がり（分散）を制御するわけであるが、従来のヒストグラムから導き出されるものに対し、モルフォロジカル演算による微分要素に基づく方式、Pノルムを用いて計算される方式を提案し、いずれも繰り返し回数の増加と共に誤差が減少することをシミュレーションで示した。Pノルム以外の方法は、拡散回数の増加と共に平滑化が領域境界にまで及んできて、誤差が増大する可能性が大であるが、Pノルム法は、繰り返し適用の回数を増大させても誤差が増大することなく、強調効果が持続する安定した手法であり、計算コストも少なくすむことを述べ、種々の適用例に対して、その平滑強調効果がめざましいことを示した。

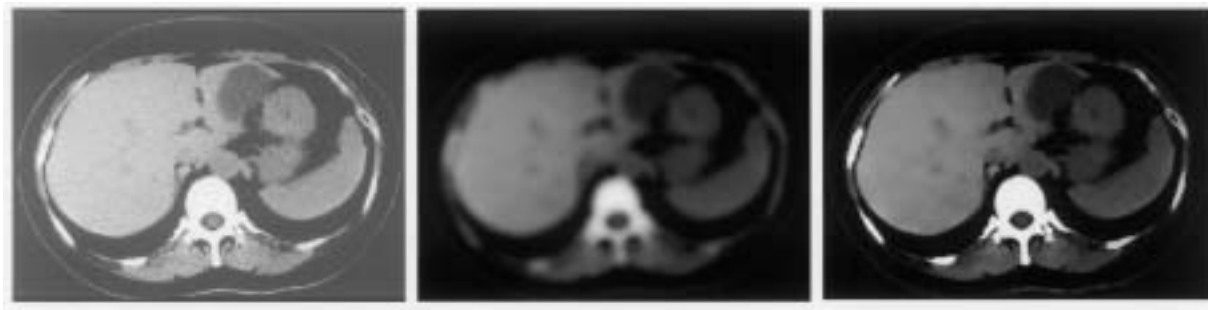


図1.(a) 原画 (b) 線形フィルタ (c) PM非線形フィルタ

参考文献 F. Voci, S. Eiho, N. Sugimoto, H.Sekiguchi: Estimating the Gradient Threshold in the Perona-Malik Equation, IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 21 No.5, pp39-47, 2004

## 上 田 義 勝（松本紘教授）

「Study on High Performance System of Plasma Wave Receiver for Satellite/Rocket Observations」

（衛星・ロケット観測用高性能プラズマ波動受信器に関する研究）

平成16年3月23日授与

科学衛星や観測ロケットに搭載されるプラズマ波動受信器は、宇宙空間におけるプラズマの振る舞いや、その磁場や電場との相互作用を観測する上で非常に重要な測定器の一つである。従来のプラズマ波動受信器は、アナログ回路中心の設計方式を採用しており、時間分解能・消費電力・重量などにまだ改良の余地があるため、新しい観測システムを開発、検討することは必須の研究事項として挙げられていた。本論文では、近年技術革新の著しいデジタル処理技術を用いることで、ソフトウェア制御方式を用いたプラズマ波動受信器の開発について述べた。また、本研究で開発したデジタル処理技術を更に応用することで、デジタル型波動粒子相関計測器について提案し、その設計と検討結果についても述べた。

2000年12月、ノルウェースヴァルバード諸島において、SS-520-2号機ロケット実験が行われた（図1）。本論文ではこのロケット実験用に開発したデジタル型プラズマ波動観測器について述べた。このロケット実験は、北極カスプ領域での重イオンの加速加熱機構を解明することを目的としており、我々は観測器の一つとして、プラズマ波動受信器（Plasma Wave Analyzer, 以下PWA）を開発した。PWAはソフトウェア制御方式のデジタル処理型波動受信器であり、電界波形を地上にリアルタイム送信するためのデータ圧縮アルゴリズム（約1/4に圧縮）や、高速に広帯域のスペクトルデータを得るためにPDC（Programmable Down Converter）を用いたデジタル型スペクトル観測機（掃引時間約450msec）など新しいデジタル処理方式を採用している。また、日本では初めて一対の電界モノポールデータを使用したインターフェロメトリタイプの観測も行うことが出来る。このロケット実験では、PWAは予定された処理プログラムは全て完全に動作し、全ての観測データを地上で受信することが出来た。

本論文では前述で開発したプラズマ波動観測器から得られた電界波形データ（図2）に関する解析も行った。極域でしばしば観測されるオーロラヒスと呼ばれる。本ロケット実験では、この波動の低周波数側にそれとは別の単色波が観測され、電子密度や背景磁場強度と比較することで、観測された波動が低域混成波（LHR）周辺の波動である事がわかった。また、先に述べた2軸の電界波形同時観測を用いることで、観測波形の偏波について調べ、着目する波動が静電波動としての性質を持つことを示し、インターフェロメトリ観測により波動の位相速度と波長について解析した。線形分散解析から、電子ビームで励起されるLH波動が、観測した位相速度、波長によく一致することを示し、昼間側極域周辺におけるLH波動励起機構モデルを提案した。

デジタル処理技術を応用することで、地上では不可能な高時間分解能での波形-粒子相関計測を機上で行うことができる。本論文ではFPGA（Field Programmable Gate Array）を用いて、機上で生成される波形データと粒子の観測パルスとの相関を直接デジタル的にとるシステムを設計・検討した。FPGAを用いることにより、チップ内で相関をとることができ、また、柔軟性に富んだ相関をとることができる。この設計により、デジタル型の「波動-粒子相関計」の開発を提案できるようになり、その試作器についての設計が完了した。



図1．SS-520-2号機ロケット  
（ノルウェースヴァルバードにて）

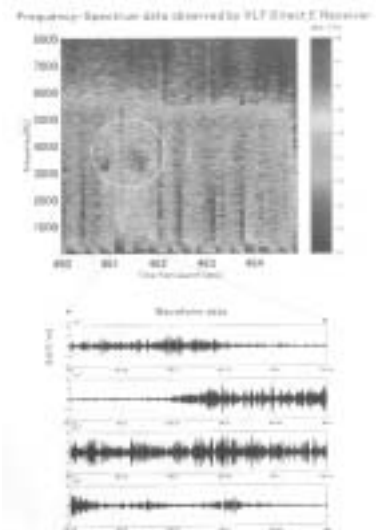


図2．PWAで観測された電界  
波形とスペクトル



## 梅田 隆行 (松本紘教授)

「Study on Nonlinear Processes of Electron Beam Instabilities via Computer Simulations」

(計算機実験による電子ビーム不安定性における非線形過程の研究)

平成16年3月23日授与

宇宙空間で普遍的に存在する高エネルギー電子ビームは、背景の宇宙プラズマと相互作用して様々な波動を励起します。背景電子の温度及び電子ビームの密度により、電子ビーム不安定性は孤立した静電ポテンシャルを形成するケースと正弦波的なラングミュア波 (電子プラズマ波) の乱流を励起するケースの2つへと発展します。両者とも実験室プラズマ中及び地球磁気圏内において観測されている現象であり、電子ビームの非線形挙動を理解することは、今後のより詳細な地球磁気圏の衛星観測により得られるデータを解析により電子ビームの発生領域さらには電子ビーム生成機構、宇宙プラズマ加速機構の解明する上で重要な情報となることが期待されます。本研究の目的は、宇宙プラズマ中の微視的非線形過程を研究するためのより高効率なシミュレーションコードを開発すること及び、電子ビーム不安定性の非線形過程についてより詳細な知見を得ることです。

本論文ではまず、電磁粒子コードと呼ばれる、個々の荷電粒子とそれら自身が作る電磁界との相互作用を解き進めるシミュレーションコードについて、省メモリかつ高速な計算アルゴリズムの開発を行い、計算時間の大幅な短縮に成功しました。また、個々の荷電粒子の運動を解く代わりに荷電粒子の速度分布関数の時間発展を直接解き進める数値ノイズのより少ないシミュレーションコードも開発しました。これらの研究成果により5年以上前にスパコンを用いて行われていた計算機実験のほとんどが、現在の個人所有のパソコンで実行可能になります。

図1は本計算機実験で得られたラングミュア高調波の分散関係です。実線は複雑な非線形理論より導かれた非線形分散曲線を表しますが、理論と計算機実験結果の非常によい一致が確認できます。これは、プラズマの非線形分散関係という新しい非線形理論を証明することとなりました。また図2は、GEOTAIL衛星で観測された宇宙プラズマ中の静電孤立波の励起を再現した計算機実験結果です。本論文ではさらに、孤立波が発生領域から遠方へと伝播していく過程での空間ポテンシャル構造の発展及び孤立波発生領域での波動特性などを明らかにしました。「計算機実験」は、非線形理論の証明や衛星観測・実験結果の再現 (シミュレート) の手法のみならず、理論や観測結果のみでは解明できない複雑な物理過程を解明し得る強力かつ不可欠な研究手段であるという認識を強く持ちました。

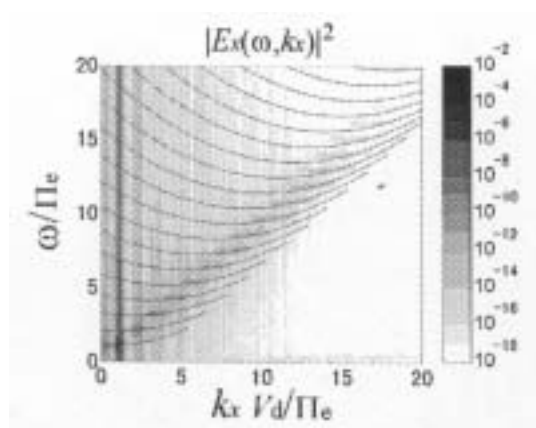


図1 ラングミュア高調波の周波数 - 波数スペクトル (実線は非線形理論分散曲)

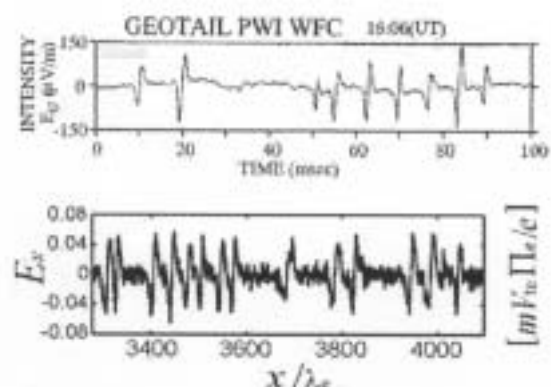


図2 GEOTAIL衛星で観測された孤立波 (上段) とその計算機実験結果 (下段)

## 武 市 統（松本紘教授）

### 「マイクロ波送電技術による小電力情報機器給電に関する研究」 平成16年3月23日授与

マイクロ波送電技術とは、マイクロ波を用いて離れた場所に電気エネルギーを伝送する技術です。本論文では、特にマイクロ波を利用した小さな電力の伝達に関する研究やそれらの応用研究を行った成果を取りまとめました。

電波を利用する技術には、同技術以外に無線通信技術がありますが、その大きな違いは、無線通信技術が情報を伝搬させることを重視していることに対して、同技術は送信した電磁波そのものをエネルギーとして受信し利用するためシステム全体の効率が高いことが要求されることにあります。したがって、同技術を利用したシステムの構築には、(1)効率良くマイクロ波を発生させる送電部の高効率化、(2)離れた受電箇所だけに電波を伝搬させるビーム形成、(3)マイクロ波を効率良く直流の電気に整流する受電部の高効率化、これら三つの基礎技術が不可欠でありその研究を行いました。更にそれらの応用研究は、内部にレクテナ（受電部）構造を持つ今後のユビキタス社会を支えとされるRFIDに着目し、RFIDへの給電を行うためのユビキタス電源を同技術により実現した場合の有用性を明らかにしました。

(1)送電部は、小信号増幅用FETを用いた発振回路の開発ならびにそれらを用いた図1に示す発振器アレーの開発を行いました。発振器はコルピッツ回路を用いた極めて簡素な構造で、その効率は70%程で高効率を実現しています。発振器アレーは発振器間を帯域阻止フィルターで接続する新たな同期方法を採用入れて、同期の他に外乱に強いなど良好な特性を実現させています。



図1 発振器アレー  
(上：パターン面、下：GND面とアンテナ)

(2)電波伝搬部は、アレーアンテナからパルス波を送信し鋭いビームが形成できることを明らかにしました。アレーアンテナの素子間隔を広げた場合、グレーティングロブ（GL）が生じるが、そのGLはパルス送電によって抑圧させられることを計算機シミュレーションにより実証しました。

(3)受電部は、レクテナの高効率化および小型軽量化を行いました。回路型式は1素子全波整流回路を用い、基板はガラスエポキシ材質の0.25mm厚さ基板を使用し、図2に示す回路パターンの整流回路を開発しました。効率と重量の両特性を評価する指標として重量・電力比を用いた結果、ブラウンが達成した1g/Wの記録を凌ぐ0.7g/Wを得ることに成功しました。

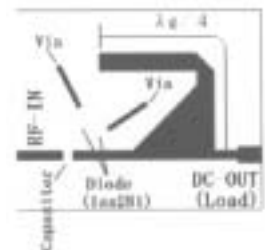


図2 レクテナ回路パターン  
(最大効率63%)

応用研究は、小電力情報機器（RFID）への給電に関する研究を行いました。RFIDの持つ課題の1つは読み書き機器からの操作距離が短いことであり、その解決方法として、補助的給電機器（チャージャー）を用いる新たな給電方法の提案及び廊下の自動認識システムへの適用を図る基本設計を行いました。廊下に配列させたチャージャーから連続波及びパルス波を送電させる計算機シミュレーションを行った結果、チャージャーから連続波を送電した場合よりもパルス送電を行う方法がチャージャー近傍を一樣に給電可能であることが明らかとなり、パルス送電方法がより良いと結論付けました。

手 柴 充 博（深尾教授）

## 「ウィンドプロファイラ観測に基づく台風の立体構造に関する研究」

平成16年3月23日授与

台風に関する様々な研究は古くから行われているが、数値モデルによる台風の強度や進路予報は未だ十分な精度が得られていない。この最大の要因は台風の立体構造が観測的に十分解明されていないことである。気象衛星観測は広域観測を可能にしたが雲に覆われた台風内部を観測することは出来ない。一方、気象レーダー観測には降水粒子のない台風眼域の観測が不可能である。また従来の観測器では台風のような様々な時間・空間スケールの擾乱が含まれる現象を時間・空間的に連続して観測することも不可能であった。

これに対して本論文は、大気からの散乱を受信できる大気レーダーを用いることにより、上述の観測的な困難の克服を目指すものである。用いたレーダーは京都大学MUレーダー、及び京都大学が開発した下部対流圏レーダー（ウィンドプロファイラ）を全国にネットワーク展開した気象庁の現業ウィンドプロファイラ網（WINDAS）である。まず一観測点で境界層から成層圏に至る高時間・高度分解能の連続的な風プロファイルを求め、次いでウィンドプロファイラ複数台を用いて空間的に密な風プロファイルを取得して、初めて台風の非軸対称構造を直接観測により明らかにした。

本論文により得られた主な成果は次の通りである。

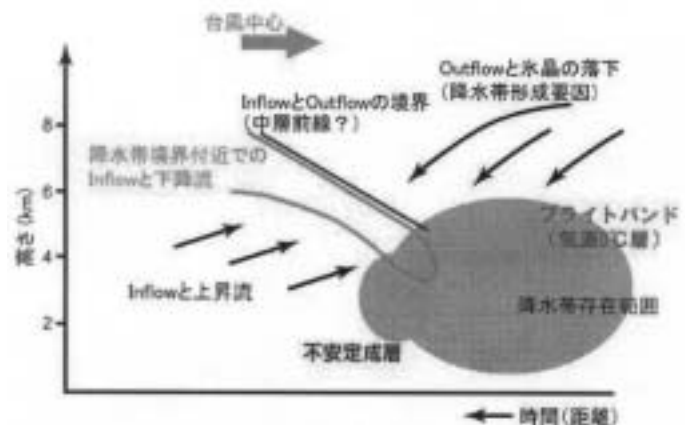
1. 信楽MU観測所に接近した台風では、台風の渦循環に対して地形の摩擦が働くことによる水平風の変形、及び摩擦が働かない高度では絶対角運動量を保存する運動が維持されていることが観測的に明らかになった。

2. 一観測点での観測結果で、台風前・後面での非対称な風速分布は観測されていたが、複数地点による同時観測結果でも同様な台風前・後面での非対称性（動径風の下層での吹き込みや低気圧性回転の風が台風前面で強い）が示された。また、他の観測結果では示されていない、台風左・右側での非対称性、低気圧性回転の違いだけでなく、動径風の分布の違いについても初めて明らかにされた。

3. 台風のような広範囲にわたる降水分布を持つ擾乱について降水帯の分類を行い、それに伴う風速変動を示した。特に台風後面で発達した降水帯については、茨城県水戸市で突風を伴ったが、その降水帯の発達度合いと対流圏下層での動径風収束との関連があることが明らかとなった。また、台風北側象限でのメソスケール前線構造の存在が示され、この構造は他の研究結果と合わせると、台風の温低化に伴う温暖前線構造であることが分かった。

4. 台風に伴う降水帯の西側境界付近で見られた線状降水帯について、今まで観測が行われておらず数値モデルによる再現実験が行われたのみであった。これに対して今回観測データによる解析を行い数値モデルによる再現結果の検証を行った他、数値モデルでは再現できない微細構造を示した。（図）

以上、ウィンドプロファイラ観測による解析データに基づき、台風内部の非対称構造やメソスケール構造を初めて明らかにした。さらに、これらの観測結果を数値モデルにより再現することにも成功した。



図：降水帯西側境界での風速変動と降水帯との関係

## 横山 竜 宏 (深尾教授)

「A study of midlatitude ionospheric E-region irregularities with rocket/radar experiment and numerical simulation」

(ロケット/レーダー観測と数値シミュレーションによる中緯度電離圏E領域不規則構造に関する研究)

平成16年3月23日授与

地球を取り巻く大気分子や原子は、地表付近ではほとんどが中性粒子として存在しているが、高度60kmから約1000kmまでの領域では太陽からの紫外線放射を吸収することにより一部が電離した状態で存在しており、電離圏と呼ばれている。電離圏を通過する電波は電子密度の存在による電波屈折率の変化による遅延を伴う。従って電離圏内に電子密度の不規則構造(irregularities)が存在すると衛星通信やGPS等に用いられる電波は大きな影響を受けることになる。電子密度の不規則構造は種々のプラズマ不安定により引き起こされることが知られているが、その生成機構や予測手法は未だ充分明らかにされていない。本研究では京都大学MUレーダーで発見された、中緯度電離圏E領域(高度80~150km)に固有の不規則構造を対象とし、ロケット、レーダー観測、数値シミュレーションを用いてその特徴と生成機構を明らかにすることを目的とした。

中緯度電離圏の高度100km付近にスプラディックE(E<sub>s</sub>)層と呼ばれる、層厚が薄く電子密度が高い層が頻繁に出現することが知られている。特に夏期の夜間にこれに伴う急峻な電子密度勾配が原因となるプラズマ不安定が発生し、周期5~10分程度で発生と消滅を繰り返す特徴的なレーダーエコーが出現する。1996年と2002年に実施されたロケット/レーダー同時観測では、下図に示すようにレーダーでこの現象の出現をモニターし、現象の発生時にロケットを打ち上げるという実験を行った。ロケットで測定された電界は高度方向に波長10~15km程度の構造を持ち、同時に観測された電子密度やレーダーエコーの構造と特徴が良く一致した。電離圏内では電界は地球磁場に沿ってほぼ減衰することなく伝搬する。日本上空では地球磁場は約45°傾いていることから、Es層が水平方向に10~15km程度の構造を持つとき、この構造に伴って分極電界が高度方向の構造を形成することが示唆された。このEs層における分極電界の生成に関して数値シミュレーションにより定量的な検証を行い、観測された値と同程度の電界がEs層内で生成され得ることを示した。

Es層の水平構造を形成する原因として下層大気から上方へ伝搬する大気重力波が考えられる。大気重力波の伝搬を再現する中性大気のシミュレーションモデルと電離圏の分極電界を計算するモデルを組み合わせることにより、中性大気と電離圏の結合過程の検証を行った。その結果、ロケット観測で得られた電界の波状構造が良く再現され、生成されたEs層の水平構造も過去の観測結果と良い一致を示した。このことは下層大気の現象が電離圏に強い影響を与えていることを示唆している。

本研究により、中緯度電離圏における不規則構造の生成機構が明らかとなった。また中性大気と電離大気の結合過程に関する本シミュレーションは、下層大気や電離圏の異なる領域間にまたがる研究の重要性を示した。本研究の成果は、今後Es層による通信障害発生の予測等に寄与することが期待される。

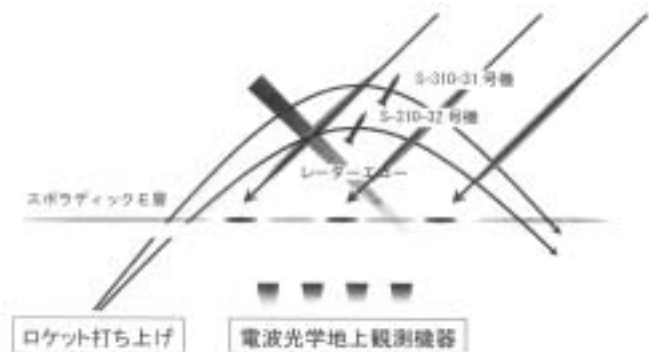


図 レーダー/ロケット同時観測の概観図

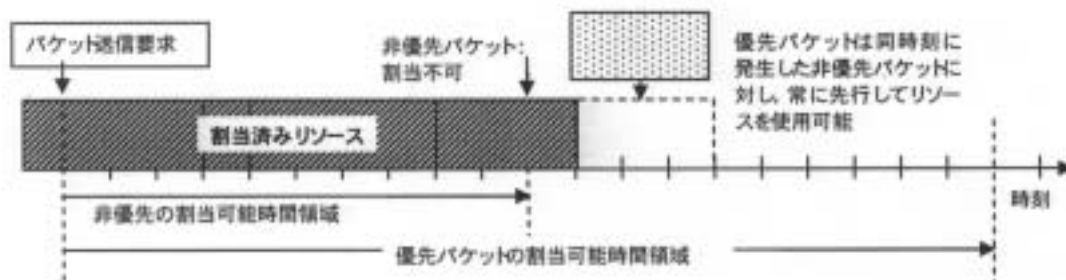
加 山 英 俊（吉田進教授）

「無線パケット通信方式のアクセスプロトコルの研究」

平成16年3月23日授与

[ 研究の目的 ] : インターネットの普及に伴い、携帯電話のインターネット接続サービスや無線LAN 等、パケット無線を用いたサービス・製品が一般生活に浸透してきた。これらパケット無線では回線交換と異なり共通チャネル上でパケットが多重されるため、パケット同士の干渉（衝突）によるチャネル効率の低下が発生する。そこでパケットの衝突を回避し、効率を向上させるためのアクセスプロトコルに関する研究が、70年代頃から盛んに行われるようになった。本研究では(1) セルラーシステム、(2) マイクロセルラー、(3) マルチホップ無線LAN、(4) 高速CDMA パケット（第4 世代）の4 システムを対象とし、それぞれの条件に適合した高効率無線パケットアクセスプロトコルを明らかにする事を目的としている。

[ 研究の成果 ] : 一般にランダムアクセスではチャネルに過度の負荷がかかった場合、スループットが極端に減少する問題がある。一方セルラーシステムでは基地局からの制御信号による端末のアクセス制御が可能である。そこで輻輳規制法としてトラフィック負荷及びチャネル状態（アイドル/ビジー）に応じて基地局が端末のパケット送信確率を適応的に制御する方法を提案した。シミュレーション評価を行った結果、トラフィック負荷に応じた制御によって過剰な衝突によるスループットの低下を防ぐと共に、チャネル状態を考慮した制御を組み合わせる事によってスループットのピーク値を向上させることができる事を明らかにした。次にPHS に代表されるマイクロセルラーについてであるが、この場合セルラーと大きく異なるのはチャネル設定毎に共用チャネルの中から未使用のチャネルを選択・使用するダイナミックチャネルアサインが用いられる事である。そこで回線交換と共存しながらパケット生起に合わせてパケットチャネルを設定する方式を提案し、その有効性をシミュレーションと実験により確認した。さらに無線LAN においてはマルチホップの機能を用いてカバーエリアを広げる事ができる点に着目し、この場合の効率的なパケット転送方法について検討を行った。具体的には複数の周波数チャネルを用いる場合に各チャネルにかかるトラフィック負荷を均一化する方法、及びAP 間の転送にポーリングを用いる方法を提案し、その有効性を明らかにした。最後に第4 世代移動通信に適したアクセスプロトコルについて検討を行った。多重方法としてはCDMA パケット無線を想定し、CDMA 伝送に必要な電力制御等を行いながら同時にパケット送信数を制御して所要CINR を満足すると共に、特に音声や画像などのリアルタイム通信を対象としたパケット優先機構（下図）を組み合わせたプロトコルを提案した。提案方式を上位レイヤの制御と組み合わせる事で、トラフィック変動によらず安定したスループットの維持と回線交換と同等のリアルタイム通信が実現できる事をシミュレーション及び実験により明らかにした。



Anass Benjebbour (吉田進教授)

「Efficient Signal Processing Techniques for MIMO Systems」

(MIMOシステムにおける高効率信号処理技術)

平成16年3月23日授与

研究の意義と内容: 本研究は無線通信MIMO (Multiple Input / Multiple Output) 伝送方式における高効率なデータ復号・チャネル推定技術に関する研究成果をまとめたものである。MIMO伝送方式では送受信側に複数のアンテナを用いる。送信側で異なったデータストリームを同じ周波数と時刻において異なったアンテナから並列に送ることにより、周波数利用効率が送信アンテナ数に比例して増加する。MIMO伝送方式を利用することによって無線伝搬路上でもGbps台の高速伝送の実現が期待されている。しかし、本方式の実現まではいくつかの課題が残る。MIMOシステムではパフォーマンスが伝搬路の性質と受信側の処理に大きく依存する。特に、受信側で複数のストリームが混信しながら受信されるため、伝搬路の情報を用いてマルチストリームの分離、復調が必要となる。さらに、マルチパス環境では、受信側でマルチパス処理も必要となる。送信ストリーム数・チャネルのパス数が増加するに連れて、受信機の演算量が膨大なものになる。近年、効率的なマルチパス対策として、OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) とMIMOを組み合わせた技術が注目を集めている。本研究ではMIMO技術をマルチストリーム復調の観点から、またMIMOをOFDMと組み合わせた場合についてチャネル推定の観点から取り上げた。具体的に、マルチストリーム復調については順次復号方式 (Successive Detection) チャネル推定についてはMIMO-OFDMのチャネルトラッキングの簡略化と性能向上について検討した。マルチストリーム復調方法として順次復号方式に着目した。この方式は最適受信機に比べて比較的演算量が少ないが特性が劣っている。そこで特性を改善させるために、情報ストリームを適切なメトリックにより順序づけする。これを順序付け順次復号OSD (Ordered Successive Detection) と呼ぶ。OSDをMMSE (Minimum Mean Square Error) とZF (Zero Forcing) 基準について検討する。以下ではそれぞれの方式をOSD (MMSE) 及びOSD (ZF) と表記する。最初に、OSDにおける順序付けの効果について解析した。その結果、OSD (MMSE) がOSD (ZF) より優れた特性を示しているのはMMSEウエイトがZFウエイトに対して優れているためであり、順序付けの違いが基本的には関係していないこととノイズ強調の低減が順序付けの効果を発揮するために重要であることを示した。次に、OSDの演算量削減法について検討した。順次復号受信機において混信したM個のストリームを分離するには受信信号の相関行列の逆行列を求める必要がある。これを直接求める方法 (Direct法) と逐次的に求める方法 (Adaptive法) が考えられるが、直接求めるDirect法の場合には演算量がMの4乗オーダーとなるが、ウエイト生成の精度が良いほかに順序付けの更新が簡単に行える利点がある。これに対して、逐次的に求めるAdaptive法の場合には演算量をMの3乗に抑えることができるが、ウエイト生成の精度が劣化する他、順序付けの更新が不可能である。本研究では、これらのウエイト生成をうまく組み合わせたSemi-Adaptive法を提案している。これにより特性を劣化させることなく演算量を4乗から3乗オーダーまで削減することが可能となった。最後に、MIMO-OFDMシステムにおいて低演算量で高精度なチャネルトラッキング法を提案した。提案の方式は従来の方式より特性が優れている上に、PSKとQAM変調のどちらの場合でも適用可能である。

研究を通しての感想: 本研究を通じて、研究の面白さと難しさを肌で覚えた。研究を成し遂げるためにはいろいろな問題に対するチャレンジ精神と自分が選んだ道に対する信念が重要だと感じた。強い精神とかたくな信念で、常識の範囲を超えて不明な領域に足を踏み出すことができる。なお、研究はたどり着く先がわからない、しかし、計画を立てることが重要である。当初に立てた計画と違い、途中でいろいろなハプニングが起きる。なお、面白いことには立てた計画よりもこれらのハプニングへの対応がほとんど研究成果の手がかりになる。これは人の一生と似た過程である。これを教えてくれたのは研究である。

## 郭 賢 善 (吉田教授)

### 「Study on Access Protocols for Multi-hop Wireless LAN」 (マルチホップ無線LANのアクセスプロトコルに関する研究) 平成16年3月23日授与

近年、近距離無線通信技術の著しい進展に伴い、いつでもどこからでもきわめて容易にインターネットに接続し、必要な情報を送受信することが可能になってきた。なかでもIEEE802.11a/b/g規格に代表される無線LANは、煩わしい配線が不要で電波が届く範囲であれば誰でも容易に高速インターネットアクセスが可能な手段として注目を浴びている。本論文では主としてIEEE802.11規格に含まれているアクセスポイントによる集中制御(ポーリング)を仮定したPCFモード、および時分割制御を用いたHiperLAN/2の2種類の無線LANプロトコルを取り上げている。一方、身の回りの多数の機器に無線通信機能が搭載されるに伴い、全機器を集中制御するのではなく、機器同士が臨機応変に自律分散的に通信ネットワークを構成するいわゆるアドホックネットワークが注目されつつある。そこでは、情報をバケツリレーの原理を用いて固定の通信インフラを用いなくて伝送可能なマルチホップ接続が用いられる場合が多い。マルチホップ接続は、特に既存のネットワークのサービスエリアを広げるのに有効であるほか、建物や什器等により電波が遮蔽(シャドウイングと呼ばれる)されて受信信号強度が劣化し、アクセスポイントと直接通信できない場合にも近くにいる端末に中継を依頼することによりアクセスポイントと通信が可能になる利点がある。しかしながら、一般にマルチホップネットワークでは、同一情報を多段中継するためにホップ数に反比例してスループットが落ちるほか、周波数利用効率も劣化する。そこで、スループットの低下を補償するために空間的に周波数を再利用することを考え、周波数利用効率の劣化を補償するとともにさらなる改善の可能性について検討している。すなわち、本論文では、将来このマルチホップ技術が無線LANに導入される可能性に鑑み、マルチホップ無線LANの性能改善につながる新しいアクセスプロトコルや、空間的な周波数の再利用を導入した場合のスループット特性、さらには全体スループットとマルチホップ端末毎のスループット公平性との間のトレードオフについて研究を行いその基本的な特性を解明している。得られた主な研究成果は次の通りである。

- (1) ビジートーン信号を活用して空間的な周波数の効率的な再利用を実現する方式を提案し、IEEE 802.11の集中制御型のプロトコルPCFの上りリンクのスループット特性の改善量を明らかにした。
- (2) HiperLAN/2のプロトコルを仮定し、各端末で受信した受信電力レベルから計算されるCIR(所望信号対干渉信号電力比)を利用して、周波数の空間的な再利用を実現する方式を提案し、上りリンクのみならず下りリンクの特性の改善量を明らかにした。また、シャドウイングの影響について検討し、シャドウイングにより、特性の改善量がさらに増加することを明らかにした。
- (3) 計算機シミュレーションのみならず理論的な解析により、空間的な周波数再利用の有効性を明らかにした。即ち、提案方式を利用することにより、無線LANのサービスエリア内では約20%の性能改善をはかることができた。また、隣接した無線LANのサービスエリア間では最大2倍の性能の改善が得られることを明らかにした。その結果、ネットワーク条件によっては、空間的な周波数の再利用により、マルチホップネットワークのほうがシングルホップネットワークよりも優れた性能が得られる場合があることを示した。
- (4) マルチホップネットワークは、シングルホップネットワークと異なり無線資源の配分方法が複雑である。全体のスループットを優先すると端末間の不公平性が増す。ホップ長が異なる端末間の公平性を優先すると全体のスループットが低下する。そのトレードオフについて明らかにするとともに、一定の無線資源を公平に配分し、残りをスループット優先に配分する方式を提案した。

## 伊藤京子(吉川榮教授)

### 「エネルギー・環境教育のための電子ネットワークコミュニケーションに関する研究」 平成16年3月23日授与

持続可能な社会に向けて、エネルギー消費量の見直しや二酸化炭素排出量の削減などエネルギー・環境問題への人々の問題意識を高めることは重要である。その方法として、学校教育、社会教育が重要だといわれているが、現状では、エネルギー・環境問題を学ぶための適切なカリキュラムや方法論は確立していない。また、日々進歩する科学技術と関連の深いエネルギー・環境問題の教育手法として、単なる知識の詰め込みでは不十分だといわれており、単方向の情報の流れにより、人々の問題意識を高めることは困難である。

そこで、本研究では、エネルギー・環境問題に対する問題意識を高める手法として、双方向の知識や情報の交流に着目し、相互交流を通じてエネルギー・環境問題に対する問題意識を高めるためのコミュニケーション支援手法に関する研究を行った。本研究では、近年、爆発的に普及した電子ネットワークに着目し、エネルギー・環境問題を話し合うための、電子ネットワークを用いたコミュニケーション支援手法を検討した。エネルギー・環境問題の特徴を捉え、これらの問題に適した電子ネットワークを用いたコミュニケーション支援手法を検討することにより、21世紀の時代に適した、利便性が高く効率のよい方法を用いて、エネルギー・環境問題に対する問題意識の向上や動機づけが期待できる。

具体的には、電子ネットワークを利用した情報の提供方法やコミュニケーション支援の要素技術などを検討した後、エネルギー・環境問題に対する問題意識を高めるためのコミュニケーション支援手法の提案を目指し、以下の3つを研究課題とした。

(1) エネルギー・環境問題の社会教育への電子ネットワークコミュニケーションの適用として、エネルギー・環境問題に特別関わりのない一般の人々が、エネルギー・環境問題に対する興味や関心を深めるために、インターネット上で活発に議論する場を提供する手法の提案

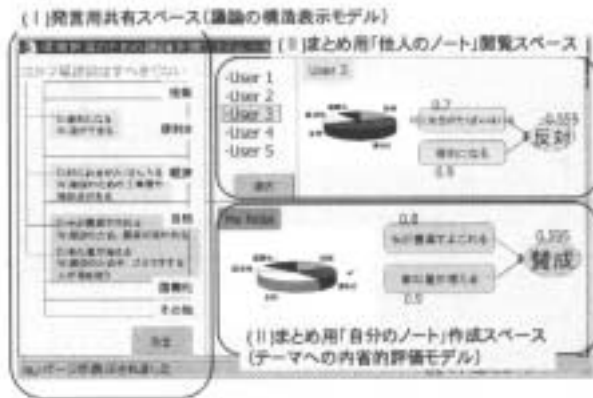


図1．提案手法に基づく議論支援システムのユーザ  
インタフェース画面設計

ネットワークコミュニケーションの適用として、エネルギー・環境問題に関して学習した知識を利用し問題を多様な観点から捉えるための専門教育を対象とした議論支援手法の提案

以上、本研究では、エネルギー・環境問題のための新しいソフトウェアの開発と、開発したソフトウェアを利用して実際にフィールド実験を行ってそれらの機能と効果を確認し、エネルギー・環境問題の社会教育、学校教育、専門教育のための有用な電子ネットワークコミュニケーションの適用方法を提言し、このような電子ネットワークコミュニケーションが、エネルギー・環境教育に有効であり、エネルギー・環境問題への意識の向上、ひいては、持続可能な社会の構築につながることを示した。



小澤 尚久 (吉川榮教授)

## 「新しい人間情報行動計測法とプラント運転教育の計算機支援への応用に関する研究」 平成16年3月23日授与

本論文は、プラント運転に関わるヒューマンインタフェースにおいて、人間の内面的な情報行動を"追跡し"、"推定し"、"模擬する"新しい人間情報行動計測法を提起した。そして、提起した手法をプラント異常診断技能の教育訓練支援システムの構成要素に適用して、実験によりその効果的な応用法を考察した結果を纏めたもので、得られた主な成果は次のとおりである。

- (1) 人間の内面的な情報行動を追跡し、推定し、模擬する手法として、それぞれ「人間の注視点位置の検出」、「プラント異常診断の思考過程の推定」、および「プラント診断思考を模擬するヒューマンモデルシミュレータ」を新たに提起することともに、これらを実時間処理するシステムを開発した。
- (2) 眼球や瞳孔の運動を計測できるEye-Sensing Head-mounted Display (ES-HMD) を利用した瞳孔中心位置検出方法、視点位置較正法を新たに提案し、リアルタイム処理システムを開発した。そして、被験者実験による評価で、従来手法に比べてノイズに対するロバスト性と視点位置の予測精度の向上を確認した。
- (3) 「パラメータ因果関係図」と名づける運転員のプラント異常診断に用いる知識モデルを考案するとともに、発話の自動認識と(2)の注視点情報を利用して、運転員の異常診断タスク遂行中の思考過程をリアルタイムで推定し、かつその推定した異常事象の根本原因の「確信度」を推定する手法を提案した。そして、この手法のリアルタイム処理システムを開発し、被験者実験を通して手法の有効性を検証した。
- (4) 専門知識を有する被験者の行動データから、プラント運転員が机上教育をもとに構成するプラント異常診断用知識モデルとそれを用いた思考形式を導出し、これらをもとに運転員の診断行動を模擬するヒューマンモデルシミュレータを開発した。さらに、このシミュレータによる診断の信頼度をDempster-Shafer 証拠理論を適用して網羅的に検討する計算機シミュレーション実験を行った。その結果、単一故障の場合には人間の異常診断の信頼性は保証されるが、プラントの制御系が複雑に相互干渉する場合や多数のプラント計装値が斉時的に変動する場合には、机上学習により修得したプラント知識だけでは異常診断の信頼性は保証されないことを指摘した。
- (5) 上記の(2)から(4)に示した3つの人間情報行動計測手法を、プラント運転教育の計算機支援に適用し、熟練者がネットワークを介して初心者にプラントの異常診断知識を効果的にマンツーマン教育できる実験システムを構築した。さらに、このシステムを用いて、実機プラントの当直長経験者を招聘した実験を行い、熟練者が初心者の内面状態を把握するためには、特に視点位置と思考発話の情報提供が有効であることを確認した。

以上、要するに本論文は、人間と機械システムの調和への「人間中心の自動化」を志向し、その要素技術としての人間情報行動計測法の開拓において、インタフェースにおける人間情報行動を追跡するための視点位置計測法、人間情報行動を推定するための注視点情報と発話情報を組み合わせた思考過程の自動推定法、人間のプラント異常診断行動を模擬するヒューマンモデルシミュレータを提起し、それぞれのソフトウェアの有効性を実験によって確認したもので、これらの成果は、ヒューマンマシンシステム高度化の観点から、学術上、實際上、資するところが大きい。

森 本 慎一郎（吉川榮教授）

「CO<sub>2</sub>削減型グローバルエネルギーシステムの総合的評価に関する研究」

平成16年3月23日授与

地球温暖化に対する懸念や、日本におけるエネルギー供給構造の脆弱性から、環境保全に対応しつつエネルギーの安定供給を実現する事は日本にとって最も重要なエネルギー政策となっている。本論文は、環境保全に対応しつつエネルギーの安定供給を実現することを目指して提案されたCO<sub>2</sub>グローバルリサイクルシステム（以下、C-GRSと呼ぶ）の経済性向上を目的としてシステム設計および最適化を行い、さらにC-GRSの導入可能性を評価する新しい評価手法について研究した成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1．C-GRSを構成する要素技術の一つであるCO<sub>2</sub>分離回収・液化システムについて、膜分離法を用いたCO<sub>2</sub>分離回収・液化システムのシステム設計および最適化を行い、現在実用化されている方式より、膜分離法CO<sub>2</sub>分離回収・液化システムによって構成されるC-GRSは経済性の向上が期待できることを定量的な根拠のもとに示した。

2．C-GRSを構成する要素技術の一つである水素製造システムについて、天然ガス水蒸気改質型水素製造システムについて非平衡反応系に基づくシステムの提案およびシステム解析を行った。その結果、提案システムは改質反応後のガスからCO<sub>2</sub>を分離しない場合は工業的に成立せずC-GRSを構成する要素技術として妥当でないものの、天然ガス水蒸気改質型水素製造システムの経済性向上を目指すならば、実用可能性の高いシステムとなることを定量的な根拠のもとに示した。

3．C-GRSの各評価指標に大きく影響を与えるシステム運転条件としてCO<sub>2</sub>分離回収・液化システムにおけるCO<sub>2</sub>回収率と圧力比および水素製造システムにおける電流密度を選定し、これらについて全体システムの挙動を考慮した各種評価指標に対する最適運転条件を算出した。さらに全体システムの最適化を行う場合、メタノールコストが最小となるように運転条件を設定することが最も効果的であるという、C-GRSの経済性向上に効果的なシステム運転条件設定のための指針を得ることが出来た。

4．C-GRSの基本概念は活かしつつ自然エネルギーの種類およびメタノール合成のための炭素源を調達するサイトについて工夫して設計した風力・バイオマス利用型システムは従来型発電からのCO<sub>2</sub>分離回収を行う場合と比べて、CO<sub>2</sub>削減の費用対効果の上で十分に競合しうることを示し、C-GRSについてCO<sub>2</sub>削減の費用対効果の上で経済的に実用可能性の高いシステム構成を見出すことが出来た。

5．従来型エネルギー供給システムとの比較によりC-GRSの導入可能性を評価するためにエネルギー安定供給のリスクを定量評価する新しい評価指標として「航行障害リスク」に着目し、その新しい評価手法を開発した。航行障害が発生する「航行障害シナリオ」を専門的分析者のブレインストーミングにより抽出して、イベントツリー解析（ETA）手法を基にしてそれぞれのシナリオの発生する主観的確率を導出するとともに、シナリオ発生抑制政策を評価するまでの一連の評価手法を実際実施することで、その有効性を示した。

本論文ではC-GRSの外部性評価を行うための新たな評価指標を提案したが、今後は外部性評価を行うための主観を抽出する合理的な手法の開発を中心に、研究を進展させていきたいと思っている。

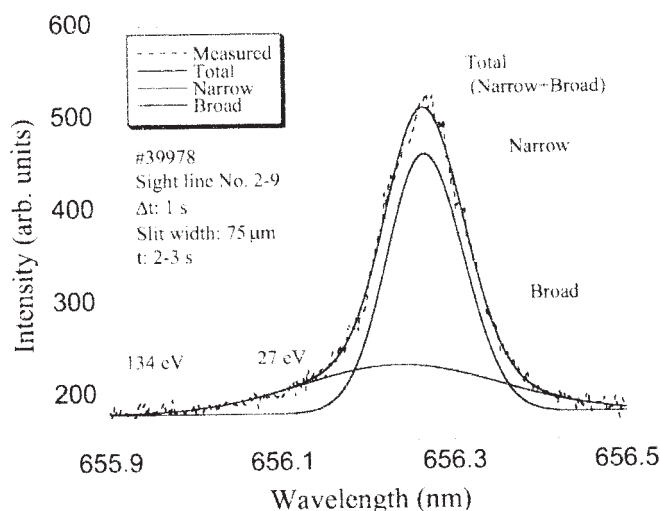
## 川 染 勇 人 (近藤教授)

## 「Spectroscopic Study of Neutral Hydrogen Atoms in Helical Plasmas」

## (ヘリカルプラズマ中の中性水素原子の分光学的研究)

平成16年3月23日授与

磁場閉じ込め方式による核融合炉の実現には、高温、高密度のプラズマを生成し長時間維持しなければならず、プラズマ中の不純物及び中性水素原子の制御が必要となる。本研究の目的は、ヘリカル系装置における不純物及び中性水素原子の挙動を分光学的手法により明らかにすることである。実験は、京都大学エネルギー理工学研究所のヘリオトロンJ装置と文部科学省核融合科学研究所の大型ヘリカル装置で行った。ここでは、大型ヘリカル装置でのH $\alpha$ スペクトルプロファイルの測定について報告する。水素原子の挙動を理解するうえで重要なパラメーターの一つとして、その速度分布を挙げるができる。水素原子は主に周辺領域に存在しており、速度分布から水素原子の閉じ込め領域への浸入長を評価できる。また、発光に寄与している原子の原子・分子過程に関する情報も含んでいる。本研究では詳細なH $\alpha$ スペクトルプロファイルを測定するために、高分解能エッセル型可視分光器システムを構築した。分光器システムの絶対波長較正は、永久磁石による1.13 Tの磁場中での水素及び重水素によるホロカソード放電を光源として行った。得られた逆線分散は、0.1nm/mmであり高分解能を実現できた。大型ヘリカル装置の周辺プラズマ領域において測定されたH $\alpha$ スペクトルプロファイルを図に示す。測定されたスペクトルプロファイルは中心波長に対して左右非対称であり、高温 (Broad) と低温 (Narrow) の二つのガウシアン成分に分解することができた。これは、水素原子の速度分布が空間的に一様でないことを示している。高温、低温成分の温度はそれぞれ29.0eVと4.0eVであり、中心波長は共に短波長側にシフトしている。また、スペクトルプロファイルの短波長側の裾野に対する水素原子の運動エネルギーは27 ~ 134eVであり、エネルギーの高い水素原子が存在することが分かる。測定視線との関係より短波長側のシフトは周辺領域から閉じ込め領域に向かって移動する原子が寄与していることが分かった。低温成分の温度はフランク・コンドンエネルギー程度であり、分子からの解離により発生した原子からの発光であることが分かった。一方、高温成分は真空容器の壁面やプラズマ対向材で反射した原子及び荷電交換反応により生成された原子からの発光であることが分かった。特に高温成分は、閉じ込め領域からの磁力線がプラズマ対向材に当たる位置において発光強度が強くなること確認し、高温成分にはプラズマ対向材で反射した原子からの発光が大きく関与していることが分かった。

大型ヘリカル装置で測定されたH $\alpha$ スペクトルプロファイル

## 岡野 誠（野田教授）

### 「3次元フォトニック結晶光共振器及び光導波路に関する理論解析」

平成16年7月23日授与

3次元フォトニック結晶（3D PC）は全方向に対する光の伝播を禁止する周波数帯域、フォトニックバンドギャップ（PBG）を形成することが可能であり、工学的のみならず、物理的観点からも注目を集めている。本論文は、3D PC内に点状、線状欠陥を導入することにより形成される点欠陥共振器及び線欠陥導波路に関する理論解析を目的としている。本研究により得られた主な成果は以下の通りである。

#### （1）電磁界解析への群論の導入

群論を用いたモード分類法が電流源（および磁流源）を含む時間領域のMaxwell方程式に対して適用可能であることを明らかとした。モードを分類し、それぞれを別個に取り扱うことで、解析を大幅に簡便化することができる。時間依存項を $\exp(i\omega t)$ とおいた周波数領域での群論の定式化は既に報告されていたが、電流源を含む場合、及び時間領域に対する群論の定式化は、本研究により初めて成されたものである。本方法は、フォトニック結晶解析のみならず、一般の時間領域電磁界解析に対しても適用可能な方法である。

#### （2）3D PC点欠陥共振器の理論解析

3D PC中に点状欠陥を導入（余分な誘電体を付加）することにより形成される共振器に関して、平面波展開法、時間領域差分法を用いて解析を行い、点欠陥の形状、位置を工夫することにより、シングルモード共振器が実現可能であることを示した。この共振器を用いることにより、無閾値レーザの実現が期待される。さらに、3D PCの周期数が有限である場合の共振器のQ値について解析を行い、実際のデバイス実現のために必要とされる周期数を明らかとした。また、解析においては、筆者自らが作成した並列計算プログラムを用いることにより、3次元電磁界解析における計算時間を大幅に削減させた。

#### （3）3D PC点欠陥共振器と線欠陥導波路の結合解析

線欠陥導波路を用いて、点欠陥共振器内の光を取り出す方法について解析を行った。点欠陥モード、線欠陥モードの対称性が異なる場合には、両者が結合しないことを示した後、構造に非対称性を導入することで、結合状態が形成されることを明らかとした。本解析は、点欠陥共振器レーザを3D PC超小型光回路用の発光デバイスとして使用することを想定したものであり、超小型光回路の実現に対して重要な役割をもつ。

以上、本論文は、3次元フォトニック結晶点欠陥共振器及び線欠陥導波路に関して解析を行うと共に、新たな電磁界解析手法を提案するものであり、当該分野に大きく寄与するものと期待される。



図1 3D PC点欠陥共振器（欠陥層を被う3D PCを除いた図）

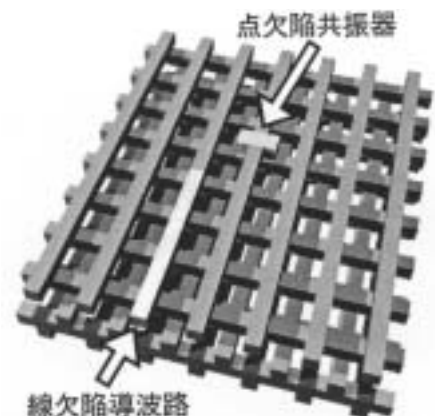


図2 3D PC点欠陥共振器と線欠陥導波路の結合構造

## 太田裕朗(近藤教授)

「Molecular dynamics simulation of the plasma-surface interaction during plasma etching processes」

(プラズマプロセスにおけるプラズマ-表面相互作用の分子動力学計算による研究)

平成16年7月23日授与

ULSIなどの半導体デバイス製造工程において、プラズマを用いるドライエッチングは微細加工技術として重要な役割を果たしている。この際用いるプラズマは化学反応性を有しており、このようなプラズマと表面との相互作用は十分には理解されていない。本論文の目的は、古典的分子動力学法を用いた数値シミュレーションにより、プラズマ-表面相互作用を原子レベルで理解することである。

古典的分子動力学シミュレーションを行うためには、原子間相互作用ポテンシャルが必要である。本研究では、これを構築するための方法を検討し、従来からある手法の拡張と新しい方法の開発とを両方行った。また、ここで行った手法は、Gaussianなどの量子化学計算によるデータをもとにポテンシャル関数を構築するものであり、その意味で第一原理的である。具体的には、ハロゲンによるSi/選択エッチングのシミュレーションを行うためのSi/O/F系およびSi/O/Cl系のモデルと、 $CF_x$ ビームによる $SiO_2$ エッチング過程についてシミュレーションを行うためのSi/O/C/F系のモデルを新たに開発した。これらによって、Si系デバイスのドライエッチングを同じ枠組みで一通りシミュレーションすることが可能になった。計算結果として得られるエッチレート等は、実験と定量的にもよい一致を得ている。定性的な結論としては、反応特性は原子間の結合の強さと原子の大きさによって決まることが明らかになった。實際上重要な役割を果たすラジカルの影響も部分的にシミュレーションに組み込まれ、定性的な解析がなされた。 $CF_x$ ビームによる $SiO_2$ エッチング過程についてシミュレーションについては、分子間力を無視することができないことが明らかにされ、これを導入することでアモルファスC:F膜の堆積過程を再現することに成功した。エッチレート等を求め最新のビーム実験との比較を行って、モデル・結果が妥当であることを確認し、さらに、エッチレートに関する経験則を求めるなど、現状で複雑で困難とされる $SiO_2$ エッチング機構の解明に貢献する知見を与えた。また、エッチング過程と堆積過程が競合する反応過程をシミュレーションで再現したことは非常に大きな成果といえる。

このように、本論文ではプラズマ-表面相互作用を数値シミュレーションによって理論的に研究する手法を確立し、これを用いた解析によって、Siおよび $SiO_2$ ドライエッチングの反応機構を原子レベルで理解する知見を与えた。これらの方法は今後微細加工技術の発展のために有用なものであり、さらなる発展が期待される。

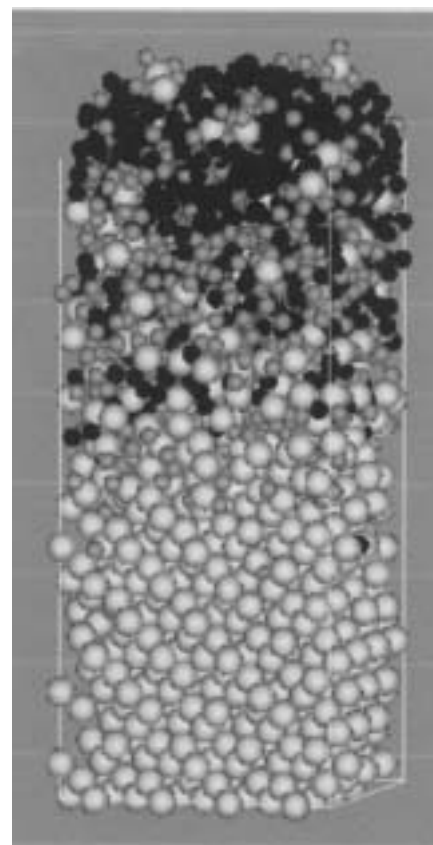


図  $CF_x$ ビームによる $SiO_2$ エッチング過程についてシミュレーション例。入射イオンが低エネルギーである場合であり、表面に堆積が見られる。黒色は炭素、灰色はフッ素、白はシリコン(大)と酸素(小)である

**武田 和 雄 (近藤教授)**

**Intermittent Thermal Transport Generated by Ion Temperature Gradient Driven Turbulence**

**(イオン温度勾配駆動乱流により生じる間欠的な熱輸送)**

平成16年7月23日授与

磁気閉じ込め核融合の研究において、プラズマに生じる微視的乱流とそれがもたらす異常輸送の理解と制御は重要な課題の一つであり、現在精力的に研究が続けられている。

本研究では、トカマクプラズマに生じる微視的乱流の一種である、イオン温度勾配 (ITG) 駆動乱流により生じる異常輸送を数値計算により解析した。イオン温度勾配  $K_i$  が十分大きく、系が強乱流状態にあるとき、熱輸送が間欠的に大きくなる現象が観察された。このような現象が生じる  $K_i$  領域において、ヌセルト数 (規格化された熱流束)  $Nu$  の  $K_i$  依存性を調べると、図1に示されるように  $Nu \propto K_i^{1/3}$  のスケーリング則が得られた。これは中性流体におけるレイリー・ベナール対流による熱輸送のスケーリング則  $Nu \propto Ra^{1/3}$  と同様である。ここで、 $Ra$  はレイリー数であり、ITG乱流においては、 $Ra \propto K_i$  となる。このことから、トカマクプラズマに生じる乱流の性質が熱対流のそれと類似している可能性が示唆された。

このような現象が生じる物理機構を調べるため、勾配方向 (トカマクの半径方向に相当) のダイナミクスと準線形効果を取り入れた1次元のモデルと、最も不安定ないくつかのフーリエモードのみを抜き出した少数自由度モデルの計算を行った。1次元計算から得られるヌセルト数のスケーリングは上述の結果ととても近い結果が得られている。このことから、ITGモードの非線形相互作用により生じる帯状流とそれによるITG乱流の抑制機構は、勾配方向のダイナミクスにより、その性質の多くが決まることが分かった。少数自由度モデルの計算から、各フーリエモードの持つ運動エネルギーの時間発展が図2のように得られた。図において、(a) 全運動エネルギー、(b) シアー流のエネルギー、(c) (d) (e) は各フーリエ成分のエネルギーを示している。この図から、系の間欠性がITG乱流とシアー流との相互作用により生じている様子がよく分かる。

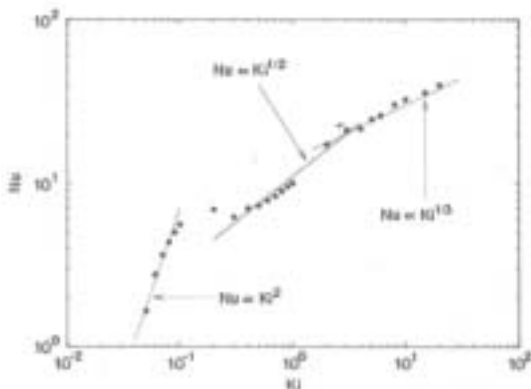


図1：イオン温度勾配  $K_i$  に対するヌセルト数  $Nu$  のスケーリング

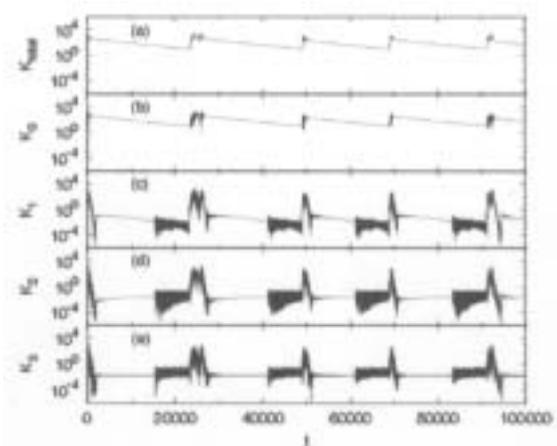


図2：少数自由度モデルから得られた運動エネルギーの時間発展

## 杉立厚志(野田教授)

### 「二次元フォトニック結晶線欠陥レーザに関する研究」

平成16年9月24日授与

この論文は、半導体レーザや微小共振器レーザの高機能化を目的とし、さらに将来の光集積回路への適用を視野に入れ、二次元スラブフォトニック結晶線欠陥と活性媒体を組み合わせた超小型レーザに関する研究成果をまとめたものです。

フォトニック結晶とは、周期的な屈折率分布構造を持つ新たな光材料であり、近年大きな注目を集めています。その特徴として、特定の波長の光に対して、その存在そのものを許さない光の禁制帯(フォトニックバンドギャップ)をもつこと、また、光の従来材料では得られない高い分散特性をもつことが挙げられます。このフォトニック結晶に周期の乱れ、すなわち欠陥を導入することで、フォトニックバンドギャップ中に特定の光を局在させることが可能となります。

本研究で取り組んだレーザは、二次元薄膜(スラブ)構造による屈折率光閉じ込めと、二次元面内の屈折率周期構造によるフォトニックバンドギャップ光閉じ込め、とを利用した二次元スラブフォトニック結晶を基本構造とします。この二次元フォトニック結晶の周期構造に線状の周期構造の乱れ、つまり線欠陥を形成して図1に示す二次元フォトニック結晶線欠陥レーザを作製しました。二次元スラブフォトニック結晶により図2に示すフォトニックバンドギャップが形成され、さらに線欠陥モードはそのバンドギャップ帯域内に線欠陥モードを形成します。バンド構造図は光の波数と周波数の関係を表わすためモードの傾きが光の群速度を示します。3次元時間領域差分法を用いた解析により、線欠陥導波路モード端における群速度零に起因してレーザ発振することを明らかにしました。

この原理に基づき、量子井戸活性層をスラブ構造内部に形成したデバイスを作製し、世界で初めてレーザ発振しました。その結果を図3に示します。

更に、線欠陥共振器の線欠陥幅を僅かに変化させることでレーザ発振波長を大きく変化させることが可能であることを見出し、微小共振器としての特質と組み合わせて、超小型波長可変レーザへの展開可能性を示しています。また、本レーザに点欠陥を集積してレーザ光を垂直方向に取り出すことにも成功しました。

これらのレーザ発振成果はすべて光励起により実現していますが、実用化への重要なステップとして電流励起による二次元フォトニック結晶線欠陥レーザの取り組みも行いました。温度特性に基づいた発熱解析や、スラブ内電流シミュレーションを行うとともに、実際のデバイス作製検証を行うことに成功しました。

本研究は、光を自在に制御することの可能なフォトニック結晶と活性媒体を組み合わせた新たな超小型高機能レーザの実現に成功した結果であり、将来の光集積回路の発展の重要な基礎になるものと考えています。

最後にお世話になった多くの先生方に感謝の意を表し、論文紹介の締めくくりと致します。

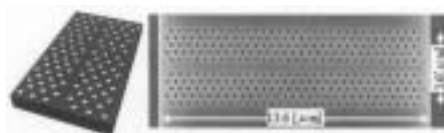


図1 二次元スラブフォトニック結晶線欠陥レーザモード図(左)と作製したレーザのSEM写真(右)

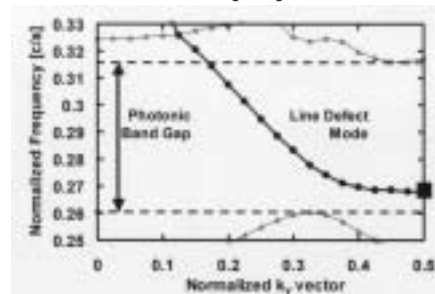


図2 二次元スラブフォトニック結晶のバンド構造図

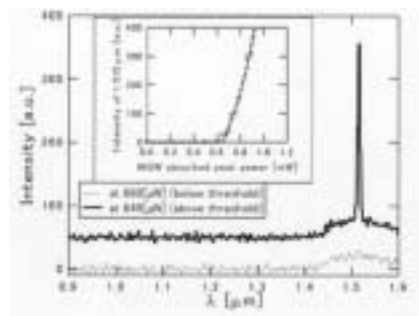


図3 二次元フォトニック結晶線欠陥レーザのスペクトルおよびL-L特性(挿入図)

## 宋 奉 植（野田教授）

### 「Hetero Photonic Crystals and Their Applications」（ヘテロフォトニック結晶とその応用）

平成16年9月24日授与

近年、光エレクトロニクスに革新をもたらす新しい光ナノ構造としてフォトニック結晶が大きな注目を集めている。フォトニック結晶とは、周期的な屈折率分布を形成した人工結晶であり、光子に対してその存在を禁止するフォトニックバンドギャップを有するという特長がある。このフォトニック結晶内に様々な欠陥を導入することにより、極微小領域に光共振器や光導波路を集積することが可能であり、従来にない高機能かつ超小型光デバイスの実現が期待される。しかしながら、これまで、フォトニック結晶の研究は単一周期からなる結晶が主流であった。本研究はさらに一歩進んだ概念として、周期の異なるフォトニック結晶を組み合わせた「ヘテロフォトニック結晶」を提案するとともに、ヘテロフォトニック結晶における光子の振る舞いを解明し、それに基づいた新機能をもつ超小型デバイスに関する理論解析及び実験を行った。得られた主な成果は以下の通りである。

1. まず、ヘテロフォトニック結晶の基礎となる単一周期の結晶について理論および実験を行った。特に設計した通りの構造を精度良く実現することを目指して、半導体デバイスで広く用いられているシリコンのナノ微細加工技術について検討を行い、設計した構造通りで、かつ構造揺らぎが極めて小さいフォトニック結晶デバイスを作製する微細加工技術を確立した（図1参照）。

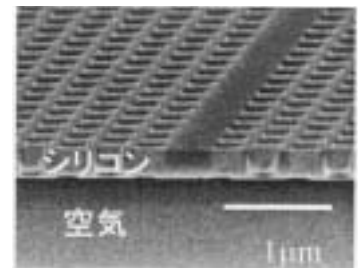


図1：作製したデバイスのSEM像

2. 続いて単一周期のフォトニック結晶の特性に基づいて、異なる周期をもつ結晶を組み合わせたヘテロフォトニック結晶を形成し、ヘテロ界面における光の振る舞い（光の透過・反射現象等）について理論解析を行うとともに、ナノ微細加工技術を用いて、実際にヘテロフォトニック結晶を作製し、ヘテロ界面における透過・反射特性等を明らかにした。

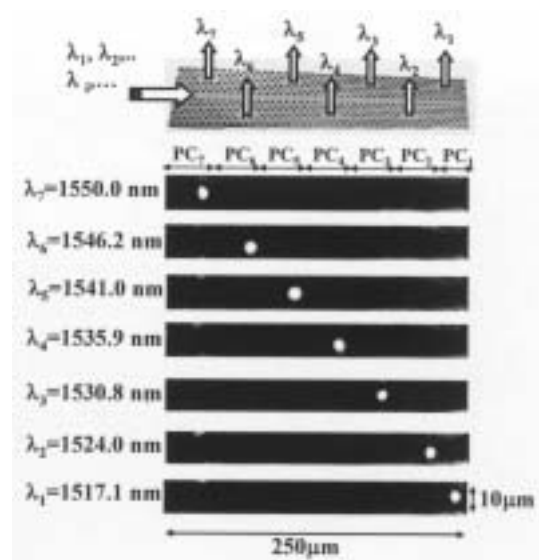


図2：ヘテロフォトニック結晶を用いたデバイスの一例

3. 以上の検討を踏まえて、ヘテロフォトニック結晶の具体的な応用例を3つ示し、ヘテロフォトニック結晶の応用性を示した。(a) 1.25ナノメートルという極めて小さな周期の差をもつ7つの結晶を多段接続したヘテロフォトニック結晶からなる超小型波長分合波デバイスを試作し、高い波長分解能・効率を一定に保ったままで5ナノメートルの波長間隔で多波長分合波動作を実証することに成功した（図2参照）。(b) ヘテロ界面において、特定波長の光のみが反射されるという特長を利用することで、点欠陥からの光取り出し効率を大幅に向上させることが可能なことを理論的に示すと同時に実験的に実証した。(c) 半導体ヘテロ構造との類似性に着目し、ダブルヘテロフォトニック結晶を用いた微小共振器を提案・検討するとともに、さらに発展した構造として、格子整合と多段ダブルヘテロ構造について検討を行い、共振器のモード体積をほぼ一定に保ちながら、Q値を大幅に増加できることを示した。

以上のように、本研究を通じてヘテロフォトニック結晶という新しい構造の特性を明らかにするとともに、その有用性を示し、今後さらなる発展が期待できる。



## 杉山 敬三(高橋教授)

### 「OSI 応用ソフトウェア実装方式とネットワーク管理に関する研究」

平成16年9月24日授与

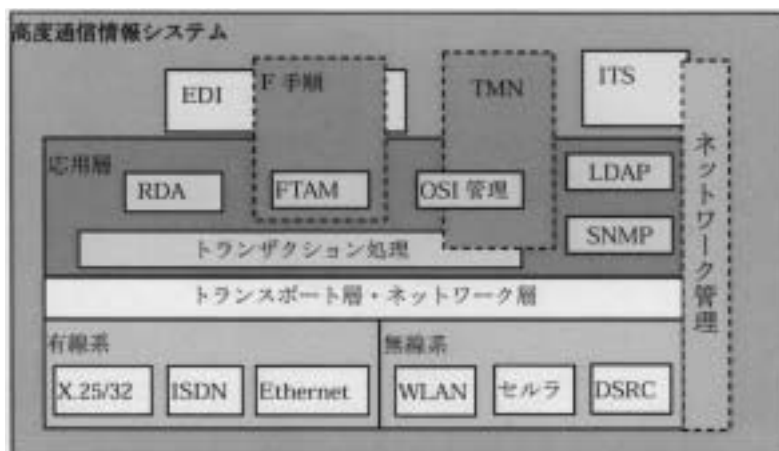
TCP/IPに代表される通信プロトコルの実装が広く普及し、通信処理と情報処理が融合することで、応用業務の高度化、多様化が進んでいる。本研究は、ISO/ITU-Tで標準化されたOSI(開放型システム間相互接続)プロトコルの応用業務を対象に、高度通信情報システムを構築するために重要な応用ソフトウェアの効率的な実現方法と、高度通信情報システムを円滑に運

用するために重要な電気通信網のネットワーク管理手法に関する一連の研究成果をまとめたものである。

まず、異企業のコンピュータ間で受発注や決済等の商取引に関する情報を交換するような応用業務において、会話型の通信を実現するためのプロトコルとして利用頻度の高いトランザクション処理や、バッチ的に帳票データを交換するEDI(電子データ交換)を対象とし、OSIのTP(トランザクション処理)プロトコルやEDI用のファイル転送手順であるF手順、またEDIにおいて企業内のデータフォーマットと企業間の標準フォーマットを変換するトランスレータの実現方法を示した。ここでは、パソコンのような計算機資源に制約のある環境下で、FTAM(ファイル転送、アクセスと制御)やRDA(遠隔データベースアクセス)といった種々の応用や利用形態に対応可能な汎用性を実現する応用ソフトウェアの設計方法を明らかにし、実装したシステムの評価を通して実用的な性能が達成できることを示した。

次に、ネットワーク管理においては、通信キャリアのネットワークで使用される伝送装置などの網要素(NE)の管理手法としてITU-Tで規定されているTMN(電気通信管理網)に基づき、NEにおける管理情報の集合であるMIB(管理情報ベース)が、標準に従って正しく実装されているかを試験するための適合性試験方式を提案するとともに、同方式に従った試験ツールを実装し、試験作業が大幅に効率化されることを示した。また、TMNはOSI管理プロトコルを採用しているが、情報通信技術を用いて人と道路と車両とを情報でネットワークするITS(高度道路交通システム)では、路側機器等の監視・制御にインターネットの管理プロトコルであるSNMP(Simple Network Management Protocol)の使用が検討されており、これに対して提案した試験方式が適用可能であることを示した。さらには、ネットワーク管理の応用事例として、ITSの高度な応用を提供するのに必要な車両の位置などのアドレス情報を管理するためにLDAP(Lightweight Directory Access Protocol)とXML(eXtensible Markup Language)を組み合わせた方式を提案し、プロトタイプシステムの実装により有効性を示した。

以上、本研究は、EDIやTMN、ITSといった応用業務を実装面や運用面で支援するための通信情報システムを、効率的に開発可能とする体系的な手法を示したものである。



佐藤 高 史 (小野寺教授)

「Modeling and experimental studies of the electro-magnetic coupling on on-chip interconnections for accurate noise-aware delay calculation」

(雑音を考慮した高精度遅延計算のための LSI 内配線の電磁氣的結合に関するモデル化と実験的検証)

平成16年9月24日授与

微細加工技術の進展により、約 1cm 角の大規模集積回路 (LSI) には、数億以上のトランジスタが集積されるようになっている。トランジスタ間を接続する配線も同時に高密度化し、着目する配線と隣接する配線との距離は100nm 程度にまで近付いている。一方、LSIのクロック周波数が向上することにより、回路の遅延時間に対する制約はますます厳しくなっている。

配線間の電磁氣的な結合による雑音は、回路遅延を変化させる。これまでは配線間の距離が大きいいため、またクロック周期が大きいために考慮が不要であった現象が、近年の高速 LSI では回路動作に大きく影響を与え始めている。なかでも、容量性のクロストーク雑音とインダクタンスによる遅延変化の効率良い検証、および電源・グラウンド配線の最適化は、今後の LSI 設計において欠く事の出来ない特に重要な要素技術となりつつある。

本論文では、雑音を考慮した高精度な回路遅延計算を実現するモデルと計算手法を提案する。計算機シミュレーションに加え、テストチップの試作・測定を行って提案するモデルの有効性を実験的に評価している。本論文中で報告している主な成果は以下の通りである。

1. LSIの配線間クロストーク雑音が信号の遅延時間に与える影響を明確化し、雑音波形と信号遅延の変動量を、雑音と信号の相対的なタイミングの関数としてモデル化した。このモデル式により、雑音を考慮した遅延計算を大規模な製品設計に適用できる高速性を実現している。
2. LSI内の配線インダクタンスが遅延変動に与える影響の考慮が必要であるか否かを、統計的に判定する手法を考案した。本手法では、配線が確定してインダクタンスが抽出可能な検証段階だけでなく、配線設計中にもインダクタンスが影響する範囲を適切に予測できるため、遅延変化の小さい設計が可能となる。
3. 最新の 0.13 μm プロセスを含む 3 世代の製造プロセスでテストチップを試作し、上記モデルおよび計算手法の有効性を測定により実証している。テストチップ設計のために、汎用的な測定回路を新たに考案することで、高精度の遅延測定を実現した。こうしたノイズの影響を測定する回路は、今後の LSI 設計の検証技術の一つとして、実用的見地から特に重要である。

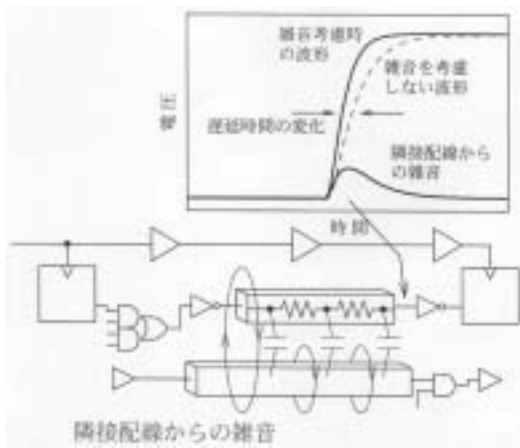


図 1 . 隣接配線の影響

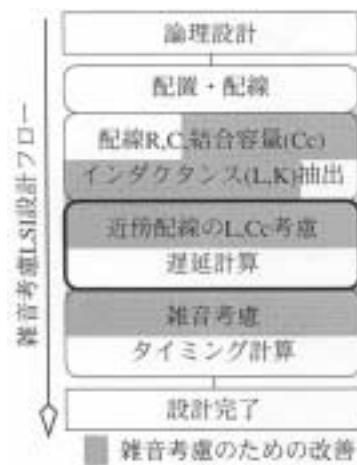


図 2 . 雑音考慮設計フロー

## 設 楽 弘 之 (水内亨教授)

「Development of a 70 GHz ECRH system on the Heliotron J device」

(ヘリオトロンJ装置における70 GHz ECRH システムの開発)

平成 16 年 9 月 24 日授与

核融合炉を目指したプラズマ閉じ込め磁場配位であるトカマク方式、ヘリカル方式等において、電子サイクロトロン共鳴加熱 (Electron Cyclotron Resonance Heating, ECRH) はプラズマ加熱・電流駆動の手法として広く用いられている。本研究では、ヘリカル方式の一つであるヘリカル軸ヘリオトロン磁場閉じ込め装置、ヘリオトロンJにおいてプラズマの生成・加熱を行うため、さまざまな実験目的に要求される条件を満たすECRHシステムの開発、レイ トレーシング計算による加熱効率の評価、プラズマ実験結果との比較を行った。複雑な三次元形状を持つトラス形状のプラズマに十分に集束させた高電力ミリ波を入射した場合、プラズマでの吸収を制御するため、入射方向の幅広い制御性、入射電磁波の偏波モード制御性、システムの高い安定性などがECRHシステムに要求される。これらは、電磁波の吸収位置、吸収効率の制御を行うために重要な物理的要求であり、実機での設置条件の厳しい制約下で要求される性能を十分に満たすことが必要である。

構築した70GHz ECRHシステムの概要を図1に示す。低電力、高電力試験により、要求される性能を満たすものであることを確認した。特に、図2のような入射システムの採用により、磁力線に対して垂直方向から平行方向近くまで、局所化したビームの入射方向を変化させることが可能となった。また、ビームの上下方向スキャン実験からヘリオトロンJ 装置においてプラズマ生成可能領域が幅広いことを示した。入射波の偏波モードを入射条件にあわせて詳細に設定することにより、プラズマを一回通過することにより吸収される電磁波の割合を制御することも可能となった。本ECRHシステムにより、種々の磁場配位条件におけるプラズマ生成、加熱が行え、最適な閉じ込め磁場配位を探求するヘリオトロンJ装置の性能を十分に調べる事が可能となっている。

電磁波の電力吸収効率を高めることはプラズマの制御に非常に重要であるため、レイトレーシング計算により電力吸収率および吸収位置の評価を行った。プラズマ加熱の磁場依存性は実験結果と良い一致を示しており、レイトレーシング計算が実験解析に利用できることを示した。得られた計算結果から、本ECRHシステムにより、種々の実験条件下において、高い一回通過電力吸収効率をもち、局所的な吸収、加熱が可能となっていること、また、種々のECRH実験に観測されたプラズマの特徴は、一回通過電力吸収により理解できるものであり、プラズマの性能制御が可能であることがわかった。

現在 (2004年12月現在) スイスのローザンヌ連邦工科大学にて博士研究員として研究活動を行っており、学位論文の研究を通して得た知識はもとより、文面に現れない知識、経験が非常に役立っている。当地のやり方になるほどと納得することもあれば、行き詰まりかけたときに私の知っている手法により解決するといったこともあり、全てに亘り非常に有り難い、貴重な経験であったと感じている。

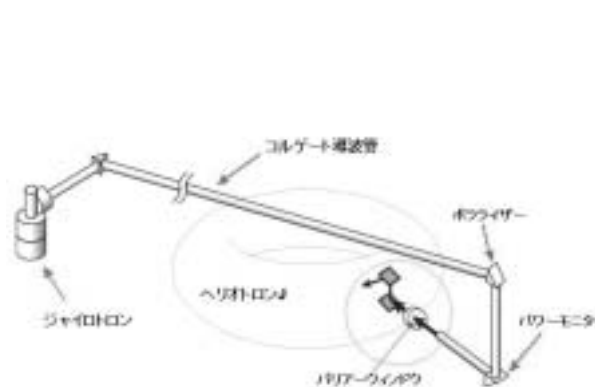


図1 70GHz ECHシステム概要

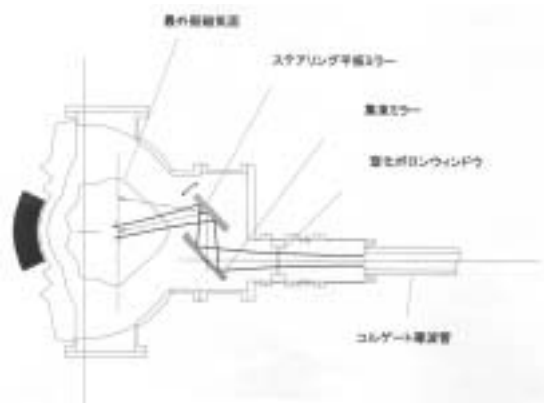


図2 70GHz ECH入射システム

**【論文博士一覧】**

|       |   |             |
|-------|---|-------------|
| 藤沢 浩訓 | 「MOCVD法により作製した強誘電体 $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ 薄膜及びナノ構造の物性に関する研究」   | 平成16年 1月23日 |
| 東島 智  | 「Study of Impurity Control and High Density Plasma Formation with High Confinement by Impurity Injection in JT-60 Upgrade」<br>(JT-60Uにおける不純物制御と不純物入射による高閉じ込め高密度プラズマ生成の研究) | 平成16年 1月23日 |
| 内元 清貴 | 「Maximum Entropy Models for Japanese Text Analysis and Generation」<br>(日本語テキスト解析・生成のための最大エントロピーモデル)   | 平成16年 3月23日 |
| 関口 博之 | 「医用画像データの3次元領域抽出とその表示に関する研究」  | 平成16年 3月23日 |
| 長松 隆  | 「人工システムに人的要因への情報技術の適用に関する研究」  | 平成16年 3月23日 |
| 諫山 明彦 | 「JT-60Uにおける電子サイクロトロン放射測定による新古典テアリングモードの抑制に関する研究」  | 平成16年 3月23日 |
| 苗村 昌秀 | 「オブジェクト抽出技術とその応用に関する研究」   | 平成16年 9月24日 |

## 学生の声

### 「博士後期課程への進学」

情報学研究科 システム科学専攻 松田研究室 博士課程2回生 笈田 武 範

私が博士後期課程に進学した最も大きな理由は、自分が興味を持つ研究を行う上で非常に良い研究環境を、現在所属している研究室が提供してくれていたことにあると思います。私は大学入学時より、計算機科学やプログラミングに興味があり、これらを医学や医療に応用する医用画像や医用VRシステムというのを知り、興味を持ちました。私が所属する松田研究室は、このような医学・医療における工学や情報学の応用を目指す医用工学という領域の研究を行っており、私は当研究室において生体組織の弾性を磁気共鳴画像法(MRI)を用いて計測する研究を行っております。当研究室では、この他にも生体シミュレーションやヒト胎児標本データベースの構築など、医学・生物学と工学・情報学の融合が重要となる研究を行っており、様々な分野の研究者の方々と連携して研究を進めています。これは、研究活動を始めて間もない学生にはとても良い環境だと思います。全く異なる分野の研究者の方々と議論したり、お話を伺ったりできることは、研究を進める上でも非常に参考になりますし、知識も広がります。

また、研究を進める中で自分の考えを形にし、実験を通してその有効性を確認していく過程のおもしろさも進学した理由の一つといえます。これは、企業に入って研究・開発を行っていても同じなのかもしれませんが、大学は時間や資源利用に対する自由度が高く、自分のやる気次第で主体的に研究を進めることができます。実験の結果が思い通りにうまくいくこともあれば、全然見当違いの結果になることもあり、あまりうまくいかないことが続くと、これから研究者としてやっていけるのか不安になることもあります。しかし、指導教官や共同研究者の方々に意見や批判をいただき、研究のさらなる発展を目指すのは、とても楽しく、貴重な経験になっていると思います。

### 「謙虚に野心をもって」

工学研究科 電気工学専攻 超伝導工学研究室 博士課程1回生 東川 甲 平

「君、博士課程に進むつもりはない？」

指導教官の何気ない、いや、私にとっては何気なくおっしゃられたように聞こえたその一言が、私の頭のとっぺんをチクリと刺しました。不意を突かれた心地でした。当時の私の人生設計は、普通にサラリーマンになり、3年くらい経てば結婚して、できれば子供も授かって、願わくは出世して...そのような平凡なものでしたから。私は悩み始めました。決め手が出て来ないので、いつもやるようにメリットとデメリットを正直に挙げてみることにしました。

博士課程に進学するメリット：

- 何かを発明したい、発見したい、解明したいという研究好きな私の性に合っていること
- 研究の世界では、経歴や肩書きが全てではなく、平等にチャンスが与えられること

博士課程に進学するデメリット：

- いわゆるクラスの天才グループには所属していなかった自分がやっていける自信がないこと
- 同級生が社会人として立派にやっている一方、学生であり続けることに引け目を感じる
- 勝手な予想だが、就職するよりも出会いが少なそうなこと

3ヶ月間考えた末、私は進学への道を選びました。メリットは変わらないことですが、デメリットは覚悟さえあれば克服できることばかりだったからです。せっかく選んだ道です。楽観的な私は、デメリットを他の表現に言い換え、メリットを修飾することにしました。博士課程に進学する私は、謙虚で控えめにしつつも好きな研究で一花咲かせようと...尚、最後の項目については解決済みです。今年度秋、私は博士課程1回生25歳にして1児の父になりましたから。

博士課程はやはり厳しいところですが、私は今の生活を本当に満足して過ごしております。学会で賞を頂いたり、論文がジャーナルに掲載されたりした時には、自分の存在意義を確認できたいめで、うれしさのあまりに顔が火照ってきます。そのような生活は、いつも気にかけてくださる先生方、両親や家族の理解なしでは成立しないことであり、本当に感謝しております。皆様の期待に応えられるよう、「謙虚に野心をもって」をキーワードに頑張っていきたいと思っております。

## 教室通信

21世紀の人類が直面する地球温暖化、環境破壊、資源の枯渇などは、人類の生存そのものを脅かす怖れがあります。これらの深刻な問題に対し、人類の生存基盤について中長期的視野に立ち研究開発を進め、社会に対して積極的に提言、および還元を行うことが今後、大学にとって肝要です。

人類社会の持続的発展と福祉に貢献すべく研究を進めてきた「宙空電波科学研究センター」と「木質科学研究所」両部局は、平成16年度より統合・再編して改組し、「生存圏研究所」として発足しました。電気関係教室と関係が深い前者は宇宙圏・大気圏の学術研究および電波応用の新技術開発の研究を全国共同利用研究、先端研究を中心に進めてきました。後者は地球保全と木質資源利用の調和と生物生産基盤の持続的社会的構築を理念とし、国際および国内共同研究プロジェクト研究を中心に森林圏と人類生活圏に関わる学術技術の研究を進めてきました。昨年夏に審査があり、17年度から全国共同利用研究所になることが、文部科学省で正式に認められました。

「生存圏科学」とは、人間生活圏、森林圏、大気圏、宇宙空間圏を人類の「生存圏」として組織的、包括的に捉え、生存圏の状態を正確に「診断」し、生存圏の現状と将来を学術的に正しく評価・理解するだけでなく、生存圏を新たに開拓・創成するための先進的技術開発を目指す分野横断的な学際総合科学です。「生存圏研究所」は、社会的な要請を背景にして、人類の生存と繁栄を脅かす諸問題の解決に取り組めます。そのような必要性から農学系、工学系、情報学系、理学系、生命科学系など多様な背景を持った研究者が相互に連携するため、中核研究部、開放型研究推進部、生存圏学際萌芽研究センターを設けています。詳細はホームページ (<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp>) をご覧ください。

電気教室の大学院との関連では、リモートセンシング工学分野（教授：深尾昌一郎，助教授：橋口浩之，助手：山本真之）と地球大気計測分野（教授：津田敏隆，助教授：中村卓司）と山本衛助教授は従来どおり情報学研究科通信情報システム専攻の地球電波工学協力講座に属し、同宇宙電波工学協力講座に属していた2分野は16年度から工学研究科電気工学専攻の電波工学協力講座として、宇宙電波工学分野（教授：松本紘，助教授：小嶋浩嗣，助手：上田義勝），マイクロ波エネルギー伝送分野（教授：橋本弘藏，助教授：篠原真毅，助手：三谷友彦），電波科学シミュレーション分野（教授：大村善治，助教授：臼井英之）として、学生の教育や指導に当たっています。学部においては実験・演習のほか数学や電波関係の講義も担当しています。

本研究所の理念は、生存基盤研究の中で、人類の生存を支える「圏」という概念を重視し、生活圏、森林圏、大気圏、宇宙圏についてそれぞれの研究を深化させると同時に、それぞれの有機的連関に広がりをもたせ、生存圏の正しい理解と問題解決型の開発・創成活動に統合的、流動的かつ戦略的に取り組み、人類の持続的発展と福祉に貢献することにあります。とりわけ電気教室と関連が深い研究目的の具体例を挙げますと以下の通りです。

- (1) 環境変化と密接に関係がある、地球の大気ダイナミクスを高性能レーダーにより研究し、地球の状態を正確にモニターする。
- (2) 太陽光エネルギーを宇宙で直接変換しクリーンで大規模な電気エネルギーを地上へマイクロ波送電する宇宙太陽発電所の研究開発を行い、温暖化ガスの抑制を図ると同時に増大する電気エネルギーの需要に応える。また、将来の宇宙空間における人類活動とその先に見える宇宙空間生存圏の基礎研究として、宇宙空間の電磁環境観測や大型宇宙建造物のシミュレーションなどによる正しい宇宙環境の研究も行う。
- (3) インドネシアを中心に、木質科学の拠点校プログラムと、レーダー等による赤道大気科学研究を融合して、生存圏に関わる新たな木質炭素の循環解析に関する国際共同研究プロジェクトの立ち上げ、木材を用いた軽量マイクロ波アンテナなどの木質材料の宇宙電波科学への応用、電磁波の生物に対する影響の積極的な利用といった、種々の農学系、生命科学系とも融合した萌芽的な研究も意欲的に開始されています。

新しく生まれました「生存圏研究所」に対し、皆様方のご支援をお願い申し上げます。

## 編集後記

国立大学法人化が始動してほぼ1年。「cue」の果たすべき役割が大きくなったわけですが、私たちは以前に増して多忙になって過ぎていきます。定常状態になるには、しばらく掛かりそうです。

(K.H.記)

発行日：平成17年3月

編集：電気電子広報委員会

鈴木 実、中村 行宏、橋本 弘蔵、  
山田 啓文、朝香 卓也、舟木 剛、  
杉山 和彦

京都大学工学部電気系教室内

E-mail: cue@kuee.kyoto-u.ac.jp

発行：電気電子広報委員会，  
洛友会京都大学電気百周年  
記念事業実行委員会

印刷・製本：株式会社 田中プリント