

# cue

京都大学電気関係教室技術情報誌

NO.20 SEPTEMBER 2008

---

[第20号]

.....  
卷頭言

矢島 脩三

.....  
大学の研究・動向

電気エネルギー工学講座 電力変換制御工学分野

.....  
産業界の技術動向

トヨタ自動車株式会社

稲津 雅弘

研究室紹介

平成19年度修士論文テーマ紹介

高校生のページ

学生の声

教室通信

賛助会員の声

編集後記

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

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

## cue 20号 目次

### 巻頭言

「デジタルとゆとり」

.....京都大学名誉教授 矢島脩三..... 1

### 大学の研究・動向

「電力変換技術による工学・物理システムの制御を目指して」

.....電気工学専攻 電気エネルギー工学講座 電力変換制御工学分野..... 3

### 産業界の技術動向

ハイブリッド車の現状と今後.....トヨタ自動車株式会社 HV電池ユニット開発部 稲津雅弘..... 8

研究室紹介 ..... 12

平成19年度修士論文テーマ紹介 ..... 32

### 高校生のページ

「電子材料開発における性能と環境の調和」.....工学研究科 藤田静雄..... 51

### 学生の声

「博士課程への進学」.....工学研究科 電子工学専攻 博士後期課程2年 小林弘和..... 57

「博士課程への進学について」

.....情報学研究科 通信情報システム専攻 博士後期課程1年 廣本正之..... 57

### 教室通信

「松本紘先生が第25代総長に選出」

.....生存圏研究所 小嶋浩嗣・通信情報システム専攻 高橋達郎..... 58

### 賛助会員の声

「電気通信事業における法人営業と技術概要」

.....NTTコミュニケーションズ株式会社 金沢敬治..... 59

「ロームにおけるSiCパワーデバイスの研究開発」.....ローム株式会社 三浦峰生..... 61

編集後記 ..... 63



## 巻頭言

# デジタルとゆとり

京都大学名誉教授 <平成9年(1997年)3月停年退官> 矢島 脩 三



### 吉田山の百年と千年

京大吉田キャンパスの東にある吉田山に、三高同窓会が建立した、三高の歌を記念する立派な石碑「紅もゆる丘」があります。この6月には、加えて新たに、歌詞の石碑「逍遙之歌」が立てられました。“「紅もゆる百年」を記念して”、と刻んであります。その歌詞は、若さと希望に溢れています。この歌碑から少し南にいったところに、「後一条天皇陵」があります。今年はこの帝の生誕千年です。源氏物語の作者の紫式部の日記に登場する帝です。

吉田山から御所や町を眺めていると、ふと、こんな小さなところで、どうして千年間も日本の都であり続けられたのかと不思議な気持ちにとらわれます。これには京の優雅な文化が大きく貢献しているのかなと考えたりします。千年生きるには「雅なゆとり」がいるのでしょうか。

さらに千年の情報のアーカイブにおいて、「和紙に墨書と写本」がよかったのでしょうか。時空間での通信や記憶には、冗長度やコピーという「ゆとりの知恵工夫が必須」と思います。

### デジタルの万能性

最近の科学ニュースのトップは山中伸弥博士の「iPS細胞—万能セル」発見です。医学の進歩には本当に驚かされます。「もう一人のあなた」のクローンのことが狙上へのぼるかもしれず、心配もあります。さらに加えて、コンピュータが、「あなた」をコピーして、もう一人の「意識」をもった「あなた」を現出させるかもしれません。それとも「もう一人のあなた」は、ウェブの世界での「アバタ(化身)」か、アーカイブされた「デジタル化石」とでもいうようなものなのでしょうか。

半世紀も前、「マシンは考えることができるか」の議論が噴出しました。つぎの議論は、生命現象を機械論的に説明できるかでした。ノイマンは「セルオートマトン」または「(セル)スペース」という論理回路網で、ある種の証明に成功しました。このスペースで、コンピュータの理論モデルの「万能チューリングマシン」が実現できます。それが、このスペースで自己増殖できるかどうか、という問題です。この証明の過程に「万能コンストラクタ」があったのです。

万能チューリングマシンは、そのマシンたった一台で、任意のアルゴリズム(単能チューリングマシン)をシミュレートできるマシンです。コンピュータはたった一台で、任意のプログラムを実行できるということです。例えば、1960年設置の京大の最初のマシンKDC-Iの名称は「京都大学デジタル型万能電子計算機第1号」でした。コンピュータは万能マシンなのです。万能性は、計り知れないほどの大きい影響のある成果でした。

万能セルも、人類や広く生物全体に計り知れないほど大きい影響を及ぼす可能性があるのでしょうか。そんな大発見が大学で、なにかんづく京大でなされたということで、本当に感動します。

### シミュレーションサイエンス

セルオートマトンのモデルはそれから半世紀を経て、さまざまな分野におけるシミュレーションで実

用されています。複雑な現実世界の様相の解明に、シミュレーションが有力な手法となっています。「地球シミュレータ」が映し出す地球の未来の様相には驚愕感激しました。IBM社のチェスマシンDeep Blueや、遺伝子からタンパク質が生成されるのをシミュレートしようというBlue Geneが有名です。日本でも創薬の研究にスーパーコンピュータが設置されると報道されています。これらは、1 Peta Flops（1秒間に算術演算などの浮動小数点演算を10の15乗回実行する能力）レベルのマシンというからすごい時代になってきたと思います。

昔は、ペダゴギックなセルオートマトンでしたが、いよいよ、「万能セルシミュレータ」の登場となるのでしょうか。世は「シミュレーションサイエンス」の時代なのでしょう。

電気工学科卒業の筆者としては、目に見えない電気や電波の存在を信じて一生お世話になりました。この目に見えない電気が、厳密な物理現象として導線の中を流れているさまを可視化したものを見たいと思っています。さらに、電波や光がアンテナから送受されるさまも見たいのです。

### クリティカルなゆとり

情報通信の超有名な定理として、20世紀半ばに示された雑音のある場合の「シャノンの通信路容量の定理」があります。この容量までならば、知恵と工夫により、いくらでも小さな誤り確率でもって通信できる、そのような、データの符号化が存在する、という存在定理です。

この定理を規範として、知恵の塊のような多くの「誤り制御符号」が発明されて実用化されました。時空をまたぐ通信や記憶にデジタルの世界を可能にしている基本技術です。

多くの実用例では、誤り制御用データを、もとの情報データの量の1割5分前後を付与しているようです。それによって、物理的には達成が非常に難しいレベルの高い信頼性を、この知恵によって達成しています。この知恵のつまった「冗長度」または「ゆとり」によって、そのように達成できるというのが凄いことと思います。通信路にはクリティカル、臨界確率的なチャンネル容量が存在するというのも示唆的と感じます。

物理現象、自然界の現象、社会現象などなどは大変に複雑怪奇ですが、臨界確率の存在する問題も知られているようです。「ゆとり」と「その効用」の間にはクリティカルな因果関係があるような問題も多いのではないかと感じるのです。

「ゆとり」をもたせれば、何とかハザードの確率を大幅に低減できないものか、何とかパニックの確率が激減しないものか、集中に対する分散という「ゆとり」の効用がクリティカルかどうかをシミュレーションサイエンスでもって解明する、などなどです。

このような「ゆとり科学」、とりわけ「1割5分のゆとり」仮説の「クリティカル確率」の解明を夢んでいます。

### 優雅なゆとり

人類は宇宙にまで活動範囲を広げています。一方において、全てのことは、夢幻かもしれない頭脳活動です。頭脳活動はコンピュータで支援されています。コンピュータの知能指数が上昇して、それ無しでの人間活動が困難といえるくらいになっています。「コンピュータ可能範囲が人間の活動の範囲である」とまで思うほどです。人間というところを、大学とか会社とか国に置き換えると、また違った感じになります。

テレビによれば、子供さんの「ゆとり」が日々減っていくのだそうですが、老人にはとくに「優雅なゆとり」が大切と思う日々です。

## 大学の研究・動向

# 電力変換技術による工学・物理システムの制御を目指して

工学研究科 電気工学専攻 電気エネルギー工学講座 電力変換制御工学分野  
教授 引原 隆 士  
hikihara@kuee.kyoto-u.ac.jp  
助教 齋藤 啓子  
keiko@kuee.kyoto-u.ac.jp  
助教 佐藤 宣夫  
n-satoh@kuee.kyoto-u.ac.jp  
助教 薄 良彦  
ysusuki@kuee.kyoto-u.ac.jp

## 1. 本研究室の概要

本研究室の分野名である「電力変換制御工学」では、パワーエレクトロニクスと呼ばれる電源・電力機器に関わる回路・システム技術やモーターなどの電気機器の制御技術が従来からの研究対象である。本研究室では、上記の所謂電力変換技術の観点から工学・物理における制御を追求することを目的として、制御対象であるシステムの力学の数理解析から制御系の設計・実装および実験まで幅広く進めている。具体的な制御としては電力システムのようなマクロレベルのシステム運用からマイクロ・ナノレベルの物理操作までを含み、新しいデバイスの物性を最大限引き出すための回路技術の開発なども率先して行っている。以下に現在の研究テーマを示す。

- A. パワーエレクトロニクス：SiCなどのワイドバンドギャップ半導体のデバイスモデルの構築からSiを越えた優位的物性の利用を可能にするドライブおよび回路実装技術の開発、電気自動車の開発研究
- B. 電磁機械およびMEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems)：原子間力顕微鏡の力学と制御、マイクロ・アクチュエータや非接触アクチュエータの開発、マイクロ電気機械共振器の開発
- C. 電気エネルギーネットワーク：分散電源連系技術とマイクログリッドの開発研究、二次電池（レドックスフロー電池）の系統連系システムの開発
- D. 非線形システムの数理：時間遅れ系・分布系・ハミルトン系などの大域解析、同期・周波数引き込み現象などの解析、カオス振動の統計論

## 2. 電気エネルギーネットワークの力学

本紹介は紙面が限られていることもあり、マクロレベルの制御の研究対象である電力システムに特化し研究内容を詳述する。電力システムの研究は前述のC. およびD. に属するものであり、本研究室のテーマを全て網羅するものではない。本紹介の目的は、電力システムを通して、冒頭で述べた「制御対象であるシステムの力学の数理解析」を具体的に説明することにある。なお、電力システムの研究は大澤靖治教授の主宰されている電力システム分野研究室で進められており、本研究室では電力供給に関わるシステムの力学と電力変換制御を用いた要素技術について研究を進めてきた。以下では力学に関する研究成果を紹介する。

## 2-1. 同期運転の原理

交流送電ネットワークの動作原理は三相交流発電機の同期運転である。近年、電力システムを含めて物理・生物・工学システムに生起する同期現象に注目が集まっている。また、本電気系教室では電気電子回路に生起する同期現象が古くから研究されてきた [1、2]。電力の安定供給において、交流発電機の同期運転の原理を物理現象の観点から理解することは重要である。ここで交流発電機の同期運転は、従来の解析対象であったVan der Pol方程式のような自励振動系に関する同期現象と異なり、回転系のエネルギー結合に基づく同期現象である [3] との指摘がなされている。上記の指摘は示唆に富むものであるが、同期現象とシステムを構成する振動子のエネルギー変換・授受特性との関係は、本電気系教室の倉光正巳先生、高瀬冬人先生が提唱された平均ポテンシャルによる振動現象の解析 [4] を除いて残念ながら十分に検討されていない。倉光先生、高瀬先生の結果は同期現象を含む振動現象とシステムの損失パワーの関係をBryton-Moser方程式により解析的に記述する重要な結果である。また、電力工学では同期化力などの定量的概念を用いて同期運転が説明されてきた。しかしながら、上記概念は同期運転時のエネルギー変換特性の一条件に過ぎず同期運転の原理に関して知見を与えるものではない。本研究室では、同期運転の原理の理解に向けた第一歩として、Van der Pol方程式及びPLL方程式で記述される強制自励振動系のエネルギー変換特性と周波数引き込み現象との関係を検討した [9]。PLL方程式が表す自励振動は第二種周期解（自励回転運動に相当し、交流発電機の運動の一近似）で表され、振幅応答はVan der Pol方程式の場合と異なる特性を示す [5]。[9] では、振幅応答曲線の差異が強制自励振動系のエネルギー授受特性から説明可能であることを示した。本結果から、システムのエネルギー変換特性と周波数引き込み状態の安定性との関係が明らかになりつつある。現在は機械システムや生物システムに解析の対象を広げ、システムのエネルギーおよびパワー変換の観点から同期・周波数引き込み現象の検討を進めている。また、分散電源のインバータを用いた系統連系システムに関する上述の同期運転の観点から検討を進めている [10]。

## 2-2. 故障波及防止の手法

電力システムに生起するダイナミクスと制御手法にはハイブリッド性を有するものが数多く知られている。重要な一例として、広域大停電を引き起こす故障波及のダイナミクスが挙げられる。2003年8月北米で発生した広域大停電は、電力の安定供給の重要性を我々に再認識させた出来事であり、大停電発生に関わる力学の解明と抑制手法の確立という重要な研究課題を提起した。大停電を引き起こすダイナミクスは極めて複雑であるため、本研究室では故障波及のダイナミクスのハイブリッド性という一側面に着目し上記課題に挑戦している [11-14]。ここで言うハイブリッド性とは、故障波及の時間発展を記述する数理モデルに周波数変化などを記述する連続値変数と送電ネットワークの不連続な構成変化を記述する離散値変数の両方が必要であることを意味している。連続値および離散値変数が混在したシステム（力学系）はハイブリッドシステムと呼ばれ、計算機科学と制御工学の融合した研究領域として注目を集めてきた。本研究室では、スイッチング回路におけるハイブリッドダイナミクスの解析 [6、7] の成果を生かし、発電機の電気機械的動揺と故障発生・故障箇所の除去・再開路というネットワークの構成変化の相互作用をハイブリッドオートマトンでモデル化し、故障発生時にシステムの安定性を評価する手法を提案した [11、12]。図1にその一例を示す。提案手法では、safety-critical（安全性が重大）なシステムの検証に用いられる可到達性解析を採用している。電力システムはsafety-criticalな大規模実システムであり、解析と制御の安全性の観点からの枠組みは将来の電気エネルギーネットワークの構築に向けて重要と考えられる。また、過渡不安定性の回避に向けた再開路操作の検討も行い、過渡不安定性の回避に向けた再開路操作の手順の決定において可到達性解析に基づく提案手法が有用であることを示した [13]。さらに2003年イタリアで発生した広域大停電

を対象に、故障波及のダイナミクスを記述するハイブリッドシステムを構築し故障波及を支配する力学の理解を目指すとともに、波及防止制御の可能性を検討している [14]。

### 2-3. 動揺不安定性の現象

最近、生体分子の構造変化や自己組織化に関わる力学の研究結果が報告された [8]。本研究室では上記を出発点として、過渡安定性解析モデルである多自由度動揺方程式系に大域不安定性が生じることを示した [15]。本不安定性は、従来十分に指摘されていない電力システムの力学を含むものである。図2に不安定性の一例を示す。重要な点の1つは、局所的な外乱に対して全ての同期機がほぼ同時に脱調に至る点である。これは、従来の脱調伝播シナリオ“ハイブリッドシステムに基づいて検討した故障波及の力学”と異なっており、従来のシステム運用では不安定性の回避が困難と考えられる。また、本不安定性が送電ネットワークと比較して小容量の発電施設および負荷が密集したシステム構成において発生する点も重要である。例えば、需要地に近くかつ分散電源などの小容量の発電施設を多数含むシステム構成が考えられる。このようなシステムの知見を提示することは、将来の電気エネルギーネットワークの構築に向けて重要と考えている。現在は、大域不安定性の伝播現象および抑制手法を検討している。

### 3. まとめ

以上、本研究室で得た電気エネルギーネットワークに関する研究成果を紹介した。本紹介は解析に関わる成果であるが、はじめに述べたように、本研究室の目的は工学・物理における制御あるいは設計にある。電力システムでは、対象自身が成熟しかつ実用に供されているものであるため、導入のコストや運用の安全性などを考えるとき、新規の電力機器を制御系として新たに導入することは必ずしも最適とはいえない。よって、既存の電力システムに対しては、与えられた制御の目的が現状のシステム構成と要素を用いてどこまで達成できるのかを明確にし、その目的の達成に向けて現状の要素をどのように活用すべきかを提案することが必要である。一方、本研究室で進めているマイクロ・ナノレベルの研究では、マイクロ・ナノデバイス自体を所望の機能を満足する様に設計することが可能であり、応用上重要である。

21世紀の技術はバイオ、ナノテクノロジー、エネルギー・環境分野で大きな進展を見せ、今後多くの成果が期待されている。これらを支えるのはエネルギー・電力を供給する技術と情報を操作する技術であり、電力変換制御工学の貢献が求められる対象である。同時に、我々はエネルギー・環境に関わる多くの課題に直面し、早急な取り組みが必要とされている。現在のエネルギー利用の多くが電気エネルギーを介していることをふまえるとき、電力変換制御工学は課題の解決に向けて積極的に技術を開発していく分野でもある。エネルギー・環境問題を含め我々が生み出してきた負の遺産を解消し、地球上で他の生物と共存していく方策を見つけ出すことは人類共通の課題であり、「システム」や「制御」という概念を積極的に活用してきた電気電子工学の一つの使命と考えている。

### 参考文献

- [1] C. Hayashi, Nonlinear Oscillations in Physical Systems (McGraw-Hill, 1964).
- [2] 上田 皖亮, カオス現象論 (コロナ社, 2008).
- [3] 高木 純一, 同期現象研究の歴史と今後の課題, 電気四学会連合大会講演論文集, vol. 6, 1974.
- [4] 倉光 正巳, 高瀬 冬人, 平均ポテンシャルを用いた多自由度発振器の解析法, 信学論A, vol. J66-A, no. 4, pp. 336-343, 1983.
- [5] Y. Susuki and Y. Ueda, Amplitude response curves of frequency-locked rotations, IEICE T. Fundamentals, vol. E90-A, no. 10, pp. 2250-2252, 2007.

- [6] 引原 隆士, パワーエレクトロニクスと非線形力学の接点, システム/制御/情報, vol. 41, no. 7, pp. 240-245, 1997.
- [7] 引原 隆士, スイッチング回路の非線形ダイナミクスとその解析, 計測と制御, vol. 44, no. 7, pp. 440-445, 2005.
- [8] I. Mezic, On the dynamics of molecular conformation, Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A., vol. 103, no. 20, pp. 7542-7547, 2006.

#### 本紹介に関する発表文献

- [9] Y. Susuki, Y. Yokoi, and T. Hikiyara, Energy-based analysis of frequency entrainment described by van der Pol and phase-locked loop equations, Chaos, vol. 17, article no. 023108, 2007. <http://hdl.handle.net/2433/49149>
- [10] T. Hikiyara, T. Sawada, and T. Funaki, Enhanced entrainment of synchronous inverters for distributed power sources, IEICE T. Fundamentals, vol. E90-A, no. 11, pp. 2516-2525, 2007.
- [11] 引原 隆士他, 電力系統解析へのハイブリッドシステム理論の適用 [I] - [V], 電気学会 全国大会, 徳島, 2005, 横浜, 2006.
- [12] 薄 良彦, 引原 隆士, 電力ネットワークのハイブリッドダイナミクス: モデル, 解析, 制御, システム/制御/情報, vol.51, no.11, pp.478-492, 2007. <http://hdl.handle.net/2433/48897>
- [13] 崎山 卓也, 植村 卓司, 越智 孝志, 薄 良彦, 引原 隆士, 可到達集合に基づく過渡安定性評価手法に関する検討—1 回線事故時における事故復旧方法の評価—, 電気学会 電力・エネルギー部門大会, 沖縄, 2006.
- [14] Y. Susuki, Y. Takatsuji, and T. Hikiyara, Hybrid dynamical system as model for cascading outage in a power system, 40th North American Power Symposium, Calgary, Canada, 2008 (発表予定).
- [15] Y. Susuki, I. Mezic, and T. Hikiyara, Global swing instability of multimachine power systems, 47th IEEE Conference on Decision and Control, Cancun, Mexico, 2008 (発表予定).

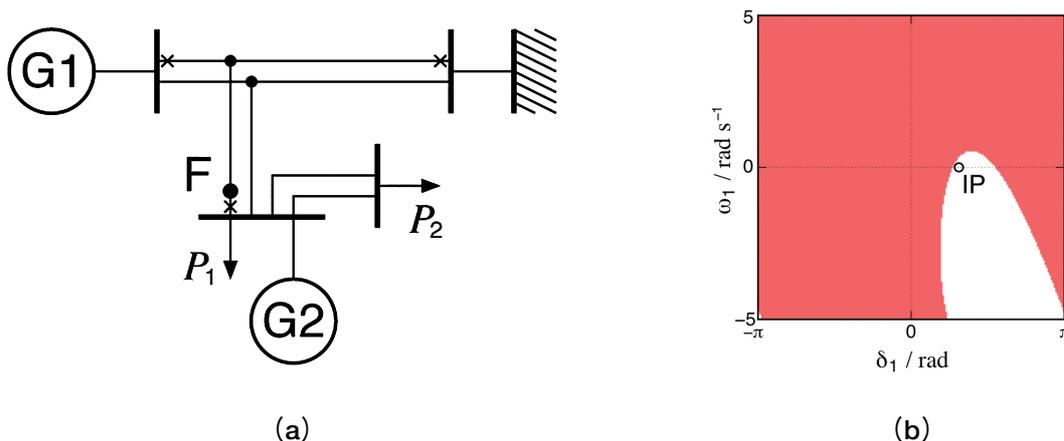


図1 : 二機無限大母線系統(a)と可到達性解析に基づく二機脱調不可避領域の検討結果(b)を示す。運転中に(a)の点Fにおいて故障が発生し、故障回線を開放した場合を考える。(b)は発電機G1の故障発生時刻における動作点集合であり、赤色の領域がリレー操作を用いても二機脱調が不可避の動作点を表す。(b)の解析結果により故障発生時刻の発電機の動作状態を把握することにより将来の不安定性の可能性を判定できる。例えば、故障発生時刻に発電機G2がIPで示された通常動作点に存在するならば、二機脱調に至ることはない。[13] より転載。

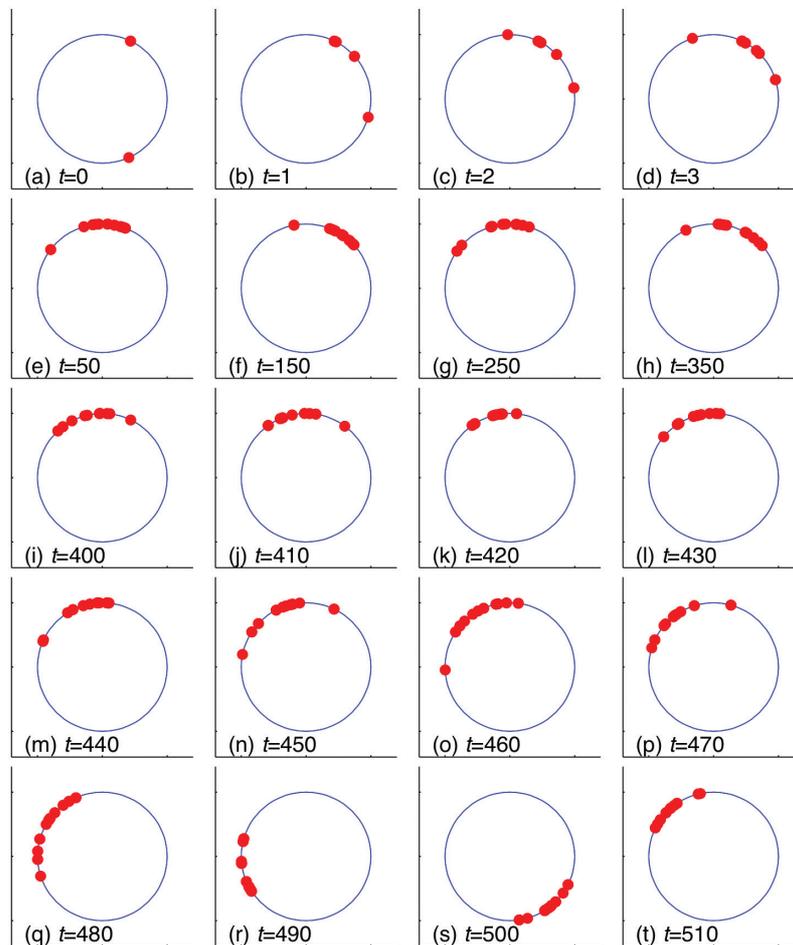
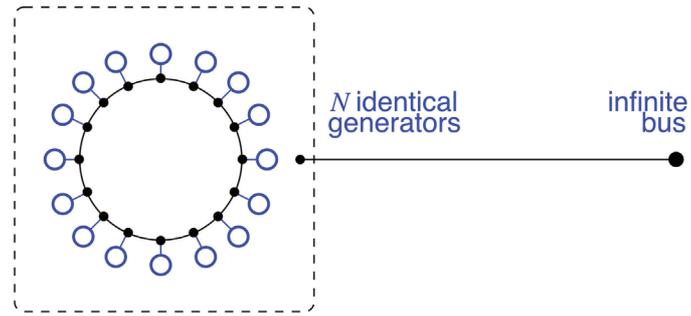


図 2 :  $N=20$ 機の同期機を含むループ状電力システム(a)の電気機械的動揺の大域不安定性(b)を示す。(b)の赤点が同期機の動作点(無限大母線を基準とした相角)を表す。ある同期機へ初期時刻に擾乱を加えると(b-a)、擾乱に伴い加えたエネルギーがネットワークを介して伝播し他の同期機の動揺を生み((b-b)~(b-d))、動揺がインコヒーレントに続いた((b-e)~(b-h))後、全ての同期機がほぼ同時に(コヒーレントに)無限大母線に対して脱調へ至る((b-i)~(b-t))。[17]より転載。

**産業界の技術動向**

## ハイブリッド車の現状と今後

トヨタ自動車株式会社 HV電池ユニット開発部  
稲津 雅弘

### 1. はじめに

1997年に量産型ハイブリッド車として発売されたトヨタプリウス以降、ハイブリッド車は急速に市場を拡大し、昨年、その累計販売台数は百万台を超えるまでになった。また、昨年秋以降の欧州、米国でのモーターショーに見られるように、欧米の自動車メーカーもハイブリッド車の市場投入を宣言し、地球温暖化対策の有力な対応策としてその地位を確立しつつある。



この背景として地球環境に対する意識の高まりのみならず、原油供給への不安、燃料価格の高騰による低燃費志向が追い風となっていることが上げられる。さらに、進化型として、クルマの外部からの充電を可能としたプラグインハイブリッド車に対する期待感も米国を中心に高まりを見せている。以下では、トヨタのハイブリッド車に対する現状と今後の取り組みを紹介する。

### 2. ハイブリッド車の種類

ハイブリッドシステムの基本構成は、シリーズ型とパラレル型に分かれる。シリーズ型はエンジンを発電システムの駆動動力として用い、発電された電力により電気モータを駆動して走行する方式である。発電電力が余剰時には電池を充電し、発進加速など大電力を必要とする場合にはこの電池からの出力を併用して走行する。基本的には電気自動車に発電システムを追加した方式とも言える。

パラレル型のハイブリッドシステムは、エンジンの出力を機械動力として直接駆動軸に伝達する経路と電池などからの電力によるモータ駆動力を伝達する経路が並列に構成される方式である。プリウスのハイブリッドシステムは、エンジンの動力をプラネタリギヤで分割する方式であり、パワースプリットハイブリッドとも呼ばれる。この方式はトヨタハイブリッドシステムとして知られているが、最近ではGM、ダイムラー、クライスラー、BMWアライアンスの開発による2モードハイブリッドが登場してきた。この2モードハイブリッドはトヨタの方式に対して、プラネタリギヤの構成をもう一つ追加した構成であり、動力分割による機械動力と電気動力の分配制御の範囲をより広げたものと言える。

ハイブリッド車を機能から分類する場合、ストロングハイブリッド、マイルドハイブリッドと呼び分けることが多い。ハイブリッド車の特長として、①車両停止時のエンジン停止、②制動時のエネルギー回収（駆動モータによる回生ブレーキ）、③加速時のモータ動力によるアシスト、④電池からの供給電力によるモータ走行（EV走行）がある。マイルドハイブリッドは、これらのうち①、②及び③の機能が主体であり、ストロングハイブリッドは④の機能が追加されている（図1）。言い換えれば、マイルドハイブリッドは電気システムが小出力に対して、ストロングハイブリッドはエンジンと同等程度の出力設計が必要とされる。そのため、ストロングハイブリッドの構成ではモータ、発電機、これ

らの電力供給および制御装置であるインバータユニットの小形・軽量化が技術課題となる。

トヨタハイブリッドシステムの作動原理を図2に示す。燃費の画期的向上の達成手段は、①エンジンの最適効率運転により発電された余剰電力を電池に充電（エネルギーの一時的貯蔵）、②エンジンプレーキ走行を含む制動時のエネルギー回収、③走行中のエンジン停止（間欠運転）と電池からの供給パワーでのモータ走行である。ハイブリッド車の制御は、クルマを運転するドライバーの要求に応じて、これらの作動を燃費向上が最適になるように制御するシステムと言える。

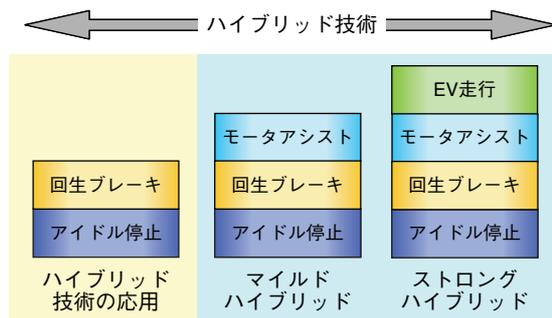


図1. ハイブリッドシステムの種類

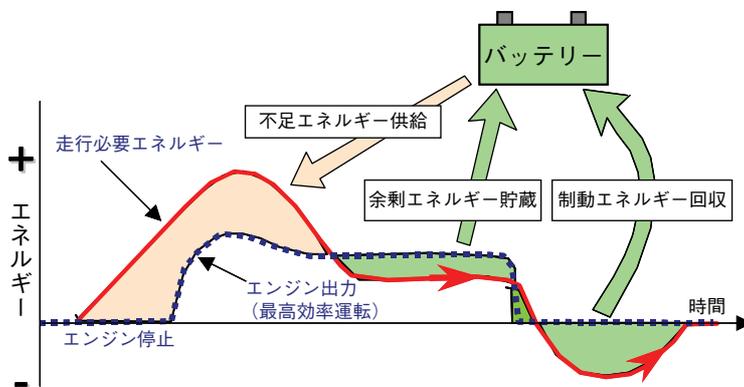


図2. ハイブリッドシステムの動作

### 3. ユニット技術の動向

燃費向上を実現するには、電気系システムの損失を極力低減していくことが技術課題のひとつである。また、ハイブリッドシステムは従来のシステムにアドオンする形で構成されることから、軽量化、限られた車載スペースへの搭載、コスト低減が高いハードルといえる。

#### 1) モータ

現在の主流は、ネオジウム磁石を用いたPMモータである。構成要素の主なものは、ステータおよび巻線、回転ロータと内蔵される永久磁石、ステータとロータを積層で構成する電磁鋼板、そしてロータの回転角度位置を精密に検出するレゾルバである。モータに発生する損失は、通電部の抵抗損失（銅損）と、誘導磁界による電磁鋼板内部の誘導電流（鉄損）である。この鉄損を抑制するためには、磁石配置の最適化設計と電磁鋼板の薄板化が要求される。

ハイブリッド車の適用拡大には、エンジン排気量の大きなカテゴリーへの対応が要求される。すなわちモータの高出力化である。このため、2005年のハリアーハイブリッドから、モータ最高回転数を従来の2倍以上とした高回転化設計とし、同時にモータリダクション機構を追加することで、ハイパワーパフォーマンスを実現した。2006年およびその翌年に販売開始されたFRハイブリッド車では駆動軸出力の大出力化に対応するため、モータの2段変速リダクション機構が採用された。これらの高速、高出力への対応を行うことにより、高速走行が要求される欧州市場においてもトップレベルのパワーを引き出し、画期的な燃費の向上との両立を図っている。図3はトヨタハイブリッド車における体格当たりの出力の変遷で、初代プリウスに比べて、約6倍にまで出力密度が高まっている。

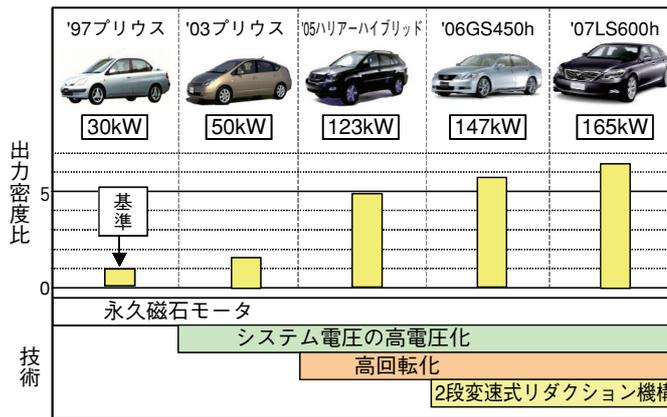


図3. ハイブリッド用モータの出力密度の向上

2) インバータ

インバータは電池の直流電力を三相交流に変換し、モータを駆動する装置である。インバータを構成するパワートランジスタは、初代プリウスよりIGBTが採用されてきたが、より高出力かつ低損失のモータ駆動システムを構成するために、電池の直流電圧を昇圧（降圧）する昇圧コンバータが2003年のプリウスより採用され、現在プリウスは500V、それ以降のハイブリッドシステムでは650Vのモータ作動電圧に引き上げられている。昇圧電圧は電池電圧から作動電圧まで出力要求と損失抑制を最適に制御するように可変電圧制御される。出力向上を実現するためには、冷却設計の改良も必要となり、LS600hに採用されたインバータでは、従来のヒートシンク方式から、素子（パワーカード）を直接冷やす直冷方式を採用した。

3) 電池

現在の主流はニッケル水素電池である。初代プリウスでは単一乾電池サイズの円筒形セルをモジュール化したものが採用された。2000年のプリウスでは樹脂電槽ケースに6セルを組み込んだ角型モジュールが採用され、その後のハイブリッド車へ適用されている。2005年のハリアーハイブリッドでは、SUVとしての車室スペースを最大限優先するため、セルの高さを低減した金属電槽電池セルを開発した。モジュール化には隣接するセルの端子を溶接する方式とし、モジュール当たりのセル数を車載のスペース要求に柔軟に対応できるようになり、車両搭載設計の自由度の拡大が可能となった。

次の電池として期待されるのがリチウムイオン電池である。この電池は作動電圧が高く、出力密度およびエネルギー密度が高いことから、小型軽量かつ高出力な電池として開発が進められている。米国においても、次世代電池としての開発プロジェクトがエネルギー省

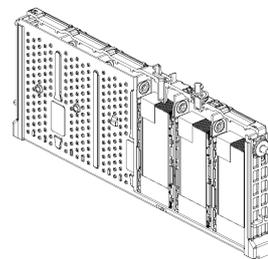


図4. 角型ニッケル水素電池モジュール

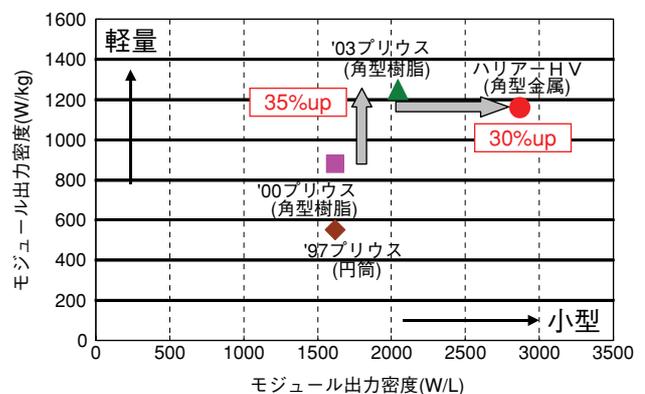


図5. 出力密度の推移

の予算の下に進められており、欧州、中国、韓国、日本など世界規模での開発競争が始まっている。

エネルギーデバイスとして駆動用電池に求められる要求性能は、小型、軽量すなわちエネルギー密度の向上だけでなく、低コストであり、かつ長寿命であることが要求される。電気自動車用電池では、深い充放電の繰り返しは電池の容量低下を招くことから長寿命化が実用化への高いハードルとなっていた。ハイブリッド車では、バッテリーのSOC (State of Charge) に応じて制御することで寿命を飛躍的に伸長している。

#### 4. プラグインハイブリッド車

より環境性能に優れた次世代自動車として注目を集めているのがプラグインハイブリッド車である。従来のハイブリッド車のバッテリー容量を大幅に増加させ、さらに家庭電源などからの充電装置を追加し、短距離走行では「電気自動車走行 (EV走行)」を、急加速、登り坂走行など大きな動力が必要な場合や電池の充電量が低下した場合には、「ハイブリッド車 (HV走行)」として走行する、電気自動車とハイブリッド車の双方の機能をもっている (図6)。

EV走行可能距離の拡大により、短距離走行の際は、ガソリンを消費しないEV走行が可能である。これにより、燃費の向上による、CO<sub>2</sub>排出量の削減や燃料の消費抑制、大気汚染の防止に加え、深夜電力の使用により、電気代も含めたトータルの燃料代が安くなるといった経済的な効果も期待できる。さらに多様なエネルギー源から得られる電力を使うことができることから、石油エネルギー問題への対応性が期待されている。

実用化のためには、EV走行距離をどの程度にすればよいか、すなわち搭載する電池容量の決め方や充電の利便性向上などの課題がある。EV走行距離は車載する電池のエネルギー量に比例することから、限られたスペースに、より大きな容量の電池を搭載するためには、電池エネルギー密度の飛躍的向上が不可欠である。これらの課題への取り組みとして、2007年7月にトヨタ自動車は国土交通省大臣の認可を取得して、プラグインハイブリッド車の公道試験を開始した。次世代自動車としての意義が高まる中で、その実用化へ向け、着実な取り組みを進めている。

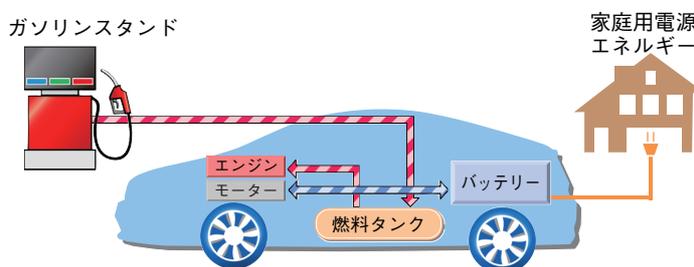


図6. プラグインハイブリッド車

#### 5. ハイブリッド車の将来

二十世紀初頭に自動車産業が勃興し、蒸気自動車、電気自動車、ガソリンエンジン、ディーゼルエンジンなど石油エネルギーを用いた内燃機関自動車が淘汰の時代を乗り越えて、現在の内燃機関を中心とした自動車文明があることは周知の通りである。しかしながら、今世紀、石油エネルギーから代替エネルギーへの転換を迫られている状況の中で、既存の技術であるガソリンエンジン、ディーゼルエンジンの効率をさらに高めていくと同時に、ハイブリッド車の普及による環境問題、エネルギー問題への対応が求められている。

ハイブリッド技術は複数の動力源の組み合わせという考え方であり、互いの短所を補い、それぞれを組み合わせることでより高い性能を実現するという技術思想であることが理解されつつある。自動車が人類の文明を支える利器として発展していくために、ハイブリッド技術を将来の軸に世界の各地域の市場特性に合った自動車の導入を図っていくこと、すなわち「適時、適地、適車」の考え方が今後益々重要になってくると思われる。

## 新設研究室紹介

電気工学専攻 電磁工学講座 超伝導工学分野（雨宮研究室）

<http://www-lab04.kuee.kyoto-u.ac.jp/index.j.html>

「超伝導応用のエネルギー分野、医療・バイオ分野への展開」

今から20余年前の高温超伝導フィーバーを記憶されている方もいらっしゃるかと思います。これは、安価で取り扱いも容易な液体窒素（77K）冷却で、ある種の酸化物が超伝導状態になるという物理、化学上の大発見でした。高温超伝導フィーバーが世間の耳目を集めたのに比べ、その後の地道な研究開発により、本来脆い高温超伝導材料をたくみに複合材料として加工し、数百メートルからキロメートルを超える長さの電線（超伝導線）にすることが可能になり、近年、ようやく高温超伝導が材料科学の研究対象から電気工学の研究対象となってきたことは存外知られておりません。本研究室では、高温超伝導を中心とした超伝導を使いこなし、エネルギー分野、医療・バイオ分野に応用するための研究、ならびにそれらに関連する分野の基礎的な学識と応用力を備えた研究者、技術者の教育を進めて参ります。

近年、地球環境問題に関連して低炭素社会実現の必要性が広く認識され、石油価格の高騰からエネルギー利用の高効率化への関心が高まっています。本研究室では、抵抗ゼロという超伝導のメリットを生かし、エネルギーの高効率利用、低炭素社会実現に寄与する超伝導電気機器実用化に向けた研究を進めて参ります。基礎的側面では、超伝導を交流で用いたときに超伝導体の内部に侵入した磁束量子線が動くことにより発生し、無（極低）損失という超伝導のメリットを損なう交流損失の研究を行います。写真は本研究室にある交流損失測定システムで、同様な装置としては世界でトップクラスの装置です。これを用いた実験的研究と計算機シミュレーションによる超伝導体内部のミクロな電磁現象の可視化を組み合わせ、交流損失の発生メカニズムとその低減技術の研究に取り組みます。応用的側面では、超伝導送電ケーブル等の超伝導電気機器の研究を進めます。超伝導送電ケーブルは、低損失・大容量・コンパクトな送電ケーブルであり、高温超伝導応用電力機器として世界的に期待が持たれています。本研究室では、経済産業省の研究開発プロジェクトにも主要大学メンバーとして参画し、超伝導ケーブル実用化に向けた研究を進めます（モータについてはバックナンバー参照）。

エネルギー分野への超伝導応用の研究も重視しつつ、医療・バイオ分野への超伝導応用に関連した研究も展開して参ります。一つめのテーマとして、重粒子線がん治療装置への超伝導応用について研究します。重粒子線がん治療装置は、炭素イオン等荷電粒子をシンクロトロンで加速し治療室まで輸送し患者に照射しがんを治療する装置で、荷電粒子を所定の軌道で周回、輸送、照射するためにローレンツ力を利用します。ローレンツ力を作用させるためのマグネットを超伝導化すれば高磁界が得られるために装置の小型・軽量化が可能になり、任意の方向から患部へ照射するための回転ガントリーの実現、システム小型化による治療普及に繋がります。二つめのテーマとして、たんぱく質の構造解析等に用いるための超高分解能NMR実現に向けたマグネット技術の研究を行います。超高分解能NMRでは30Tを越える磁界の発生が必要ですが、そのために高温超伝導マグネットを適用した際のミクロな電磁現象が磁界の精度や安定性に与える影響を中心に研究を進めます。三つめのテーマとして、磁気誘導ドラッグデリバリーについての研究を進めます。これは、抗がん剤のような薬剤の粒子に磁性を持たせそれを磁界によって患部に誘導することにより副作用を抑えつつ治療効果を向上させようとするものです。

以上のテーマ以外にも、超伝導という電気工学のイノベーションに繋がる技術シーズの様々な応用を目指しており、皆様との共同研究等歓迎致しますので、ぜひお声掛け下さい。



通信システム工学講座伝送メディア分野（守倉研究室）  
<http://www.imc.cce.i.kyoto-u.ac.jp/>  
 伝送メディアの研究

本研究室では有線・無線通信システムにおける物理層と媒体アクセス制御層を対象に研究を行っています。主な研究テーマは次の3項目です。

(1) 無線アクセス技術                      本研究ではデジタルデバインド解決を図るため、複数中継による無線アクセスネットワークを用いて目的とする地域と光ファイバー網で構成されるコアネットワークを接続することを目指します。

具体的にはネットワーク層で主に研究されてきたネットワークコーディング技術をその下の層である媒体アクセス制御層や物理層に適用するクロスレイヤ技術を用いることにより、伝送容量の拡大を図ります。そのため、媒体アクセス制御層ではランダムアクセス技術やTDMA技術とネットワークコーディングとの組み合わせによる特性改善の研究を行い、物理レイヤでは既存伝送方式とネットワークコーディング技術を駆使する研究を行い、無線アクセスネットワークのブロードバンド化・高品質化を達成するよう取り組んでいます。

(2) ソフトウェア無線技術                      ソフトウェア制御により任意の周波数帯にある無線信号を単一のRF受信機により受信できるマルチモード・マルチバンド無線機の研究を行っています。任意の周波数帯の信号を受信するには受信帯域を広げる必要があるため、任意の信号を受信できる一方、余分な信号（以降、これを干渉波と呼ぶ）が受信されてしまいます。例えば、ヘテロダイン構成の受信機ではイメージバンド干渉が所望信号に混入し、特性を大きく劣化させます。そこで我々は、搬送波同期やタイミング同期が確立する前にイメージバンド干渉除去を可能にする、ブラインド型の干渉補償器を提案しました。この干渉補償器は決定論的な推定を行うため、高速に干渉補償が行えます。図2に補償器をOFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplex）に適用した場合の良好なる収束特性を示します。

(3) 電力線通信技術                      屋内電力線通信とは、商用電源供給に利用されている屋内電力線を通信利用する技術を表します。本研究室では図3に示すような屋内電力線通信によるホームユビキタスネットワークの実現を目指しています。図3のネットワークが実現すれば、家庭内の商用電力供給と通信が統合することにより身の周りの配線地獄から解放され、どの部屋からでも映像、音楽、インターネットアクセスを楽しむことができますようになります。そのためには、現状の屋内電力線通信の伝送速度を高速化し、その通信品質をさらに高めなくてはなりません。本研究室では、屋内電力線通信によるホームユビキタスネットワークを実現するための基礎的な研究として、伝送メディアとしての屋内電力線通信路の特性解析・通信品質改善を行っています。

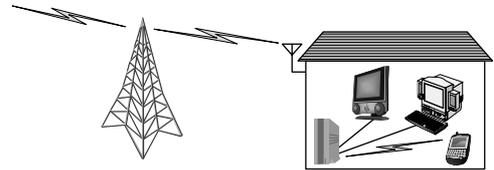


図1：デジタルデバインドを解消する無線アクセスシステム

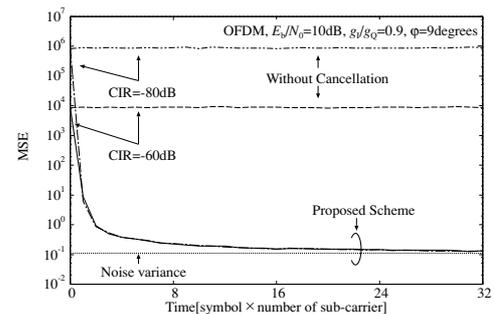


図2：提案干渉補償器の収束特性

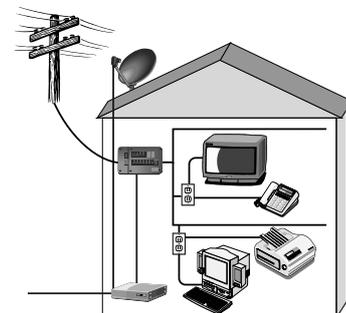


図3：屋内電力線によるホームユビキタスネットワーク

## エネルギー科学研究科 エネルギー応用科学専攻・応用熱科学講座・プロセスエネルギー学分野（白井研究室）

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

### 「新しいエネルギーインフラを目指した先進エネルギーシステムへの挑戦」

本分野は、「エネルギー科学研究科」の電気電子工学科兼担講座の一つとして1996年にスタートしました。「エネルギー問題」は、持続的な発展と人類共存、ひいては世界平和につながる地球規模での喫緊のものであり、その解決に向けて我々の研究科では、エネルギー政策・経済から自然エネルギー・核融合・資源・材料など幅広い研究領域を融合させ、新たな展開を進めています。発足から十余年、近年の莫大なエネルギー消費の拡大とそのコスト高騰は、大きなパラダイムシフトを必要としています。この問題には個々の研究者によって様々な見方があることを改めて実感していますが、いずれにせよ戦略的で有効な政策提言にはしっかりした技術的基盤が重要であり、特にエネルギーの発生・輸送・分配・利用というエネルギーインフラのすべてのフェーズで重要な電気エネルギー技術の進展が果たす役割は大きいものといえます。当研究室は、電力システム・エネルギー機器という電気工学と熱科学に基礎をおいた新しい視点からエネルギー問題を捉え、積極的にコミットしていきます。

#### 1. 超電導工学を基礎とした先進エネルギー機器に関する研究

超電導工学は極低温技術からシステム技術まで扱う広範な学問領域であり、エネルギーシステムの大変革を招来するキーテクノロジーの一つであるといえます。超電導の応用技術に関して特に電力システムに注目し、超電導発電機、超電導エネルギー貯蔵装置、超電導スイッチ、超電導限流器など、超電導を応用することによって、全く新しい特性が期待されるエネルギー機器について、超電導材料の特長からみた観点と応用された機器のシステムの両面からの検討を進めています。

同時に、これら超電導応用先進エネルギーシステム（核融合炉を含む）の実現に不可欠な液体ヘリウム、液体窒素、液体水素など種々の極低温冷媒の工学的極限状態（超高温、高圧、高流速、極低温等）における定常・非定常熱流体力学諸問題を、実験を踏まえて解明するとともに理論モデルの確立を目指した研究を進めています。さらに、これらの冷媒特性を基礎として、核融合炉用超流動ヘリウム冷却大型超電導マグネットの安定性、導体の設計指針に関する研究や、液体窒素冷却高温超電導体による超電導マグネット・ケーブルなど電力機器の設計並びにその安定性の研究を進めています。今後は、液体水素の冷却基礎特性、さらに液体水素冷却超電導体も視野に入れた研究を進める予定です。

#### 2. 新しいエネルギーインフラシステムに関する研究

電力業界・技術の自由化・グローバル化とともに近年のエネルギーコストの押し上げ圧力もあいまって、自然エネルギーを主とした再生可能エネルギーによる分散電源の導入が進められています。複雑化する電力システムにおいて供給信頼性と電力品質を確保するためより柔軟な運用が求められています。そのため、電力貯蔵や電力制御機器を含めた自律分散型制御を基盤とし、天然ガス・水素ガスインフラとも協調した新しいエネルギーシステム構成の研究が盛んとなっています。我々も、1) 分散電源の導入されたシステムにおけるエネルギー貯蔵装置の有効利用に関する研究、2) 複雑化する電力システムのオンラインデータによる運用状態評価法に関する研究、3) 分散電源や各種能動型負荷の導入された負荷システムの動特性評価法に関する研究などを進めています。

新設を機に実験設備を宇治から北部キャンパスに移設しました。詳しくはホームページをご覧ください。

## 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」、#は「高校生のページ」に掲載)

## 電気関係研究室一覧

### 工学研究科

#### 電気工学専攻

複合システム論講座

電磁工学講座電磁エネルギー工学分野

電磁工学講座超伝導工学分野 (雨宮研) \*

電気エネルギー工学講座生体機能工学分野 (小林研)

電気エネルギー工学講座電力変換制御工学分野 (引原研) ☆

電気システム論講座電気回路網学分野 (和田研)

電気システム論講座自動制御工学分野 (萩原研)

電気システム論講座電力システム分野 (大澤研)

#### 電子工学専攻

集積機能工学講座 (鈴木研)

電子物理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 (木本研)

電子物性工学講座電子材料物性工学分野 (松重研)

量子機能工学講座光材料物性工学分野 (川上研)

量子機能工学講座光量子電子工学分野 (野田研)

量子機能工学講座量子電磁工学分野 (北野研)

#### 光・電子理工学教育研究センター

ナノプロセス部門ナノプロセス工学分野 (高岡研)

### 工学研究科

機能創製工学講座 先進電子材料分野 (藤田研) #

### 情報学研究科 (大学院)

#### 知能情報学専攻

知能メディア講座言語メディア分野 (黒橋研)

知能メディア講座画像メディア分野 (松山研)

#### 通信情報システム専攻

通信システム工学講座デジタル通信分野 (吉田研)

通信システム工学講座伝送メディア分野 (守倉研) \*

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

集積システム工学講座大規模集積回路分野 (小野寺研)

集積システム工学講座超高速信号処理分野 (佐藤研)

#### システム科学専攻

システム情報論講座画像情報システム分野 (石井研)

システム情報論講座医用工学分野 (松田研)

### エネルギー科学研究科 (大学院)

#### エネルギー社会・環境科学専攻

エネルギー社会環境学講座エネルギー情報学分野

エネルギー基礎科学専攻

エネルギー物理学講座電磁エネルギー学分野 (近藤研)

エネルギー応用科学専攻

応用熱科学講座エネルギー応用基礎学分野 (野澤研)

応用熱科学講座プロセスエネルギー学分野 (白井研) \*

### 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 (長崎研)

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 (山本研)

診断統御研究系大気圏精測診断分野 (津田研)

開発創成研究系宇宙圏電波科学分野 (山川研)

開発創成研究系生存科学計算機実験分野 (大村研)

開発創成研究系生存圏電波応用分野 (橋本研)

### 京都大学ベンチャービジネスラボラトリー (KU-VBL)

### 産官学連携センター

研究戦略分野 §

注 § 工学研究科電子工学専攻橋研と一体運営

### 高等教育研究開発推進センター

情報メディア工学講座情報可視化分野 (小山田研)

### 学術情報メディアセンター

情報メディア工学講座複合メディア分野 (中村裕研)

電磁工学講座 電磁エネルギー工学分野

<http://www.s-ee.t.kyoto-u.ac.jp/ja/information/laboratory>

「磁性材料特性のマルチスケールモデリング」

ハードディスクに代表される磁気記録材料から、電気機器の鉄心材料に至るまで、磁性材料は広範な分野で用いられており、取扱われるスケールも、ナノスケールの微細構造から数メートルの電気機器まで広い範囲に亘っている。電子のスピンに由来する磁性は、最近ではスピントロニクスと呼ばれる研究分野を産み、新しいデバイスの研究開発が盛んである。スピンの集合的な振る舞いはLandau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 方程式によって記述され、これを用いたマイクロ磁気学シミュレーションは、スピントロニクスの分野で欠かすことのできない解析手法として用いられている。他方でマクロなスケールに目を転じると、電磁鋼板に代表される鉄心材料の磁気特性に関しては、計測結果に基づく現象論的なマクロモデルが存在するのみで、鉄心材料のヒステリシス特性・ベクトル特性・異常渦電流損などの複雑な磁気特性を精確に表現するモデルは現在も確立されていない。これは、材料内のミクロな磁区構造を反映した物理モデルが存在しないことによる。

このような観点から、本研究室では、ミクロな磁区の振舞いが磁性体全体に及ぼす影響を記述することができるマルチスケール磁気特性モデルの開発を目指している。前述のマイクロ磁気学シミュレーションは磁壁や磁区の振舞いを記述できるが、計算コストの面から、鉄心材料のマクロな磁気特性を表現することは不可能である。そこで、まず、マイクロ磁気学シミュレーションが適用可能なスケールと鉄心のスケールの中間スケールのモデルの構築を目的として、磁区構造モデルの開発を行っている。

磁区構造モデルでは、磁壁は磁化の不連続面として扱われる。磁区内で磁化ベクトルは一定とし、磁区の境界面である磁壁の移動と、磁区内の磁化ベクトルの回転により、磁性体の磁化過程が表現される。たとえば、図1のような磁区構造を仮定すると、これら磁壁の位置および磁区内の磁化ベクトルは、全体エネルギーが極小となるように決定される。磁区構造モデルは、マイクロ磁気学シミュレーションと比較して変数の数が少なく、はるかに効率的に解析を行うことができる。図2は、磁区構造モデルによる磁性体薄膜の磁化過程解析結果（図中DSM）をLLG方程式による結果（図中LLG）と比較したものである。磁区構造モデルは全体的にLLG方程式から得られる磁気特性と等しい特性を与えている。また、磁区構造モデルにより得られる磁区を図3に、LLG方程式により得られる磁区を図4に示す（印加磁界はともに $-4 \times 10^4$  A/m）。両者はよく一致していることが分かる。今後、磁区構造モデルの集合としてマクロスケール磁気特性モデルを構築する予定である。

参考文献：T. Matsuo, N. Mimuro, M. Shimasaki, "A micromagnetic study of domain-structure modeling," J. Magnetism and Magnetic Materials, Vol.320, pp.e1029-e1033(2008).

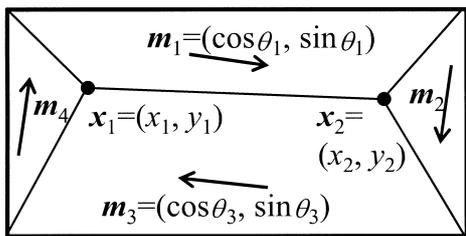


図1. 磁区構造モデル

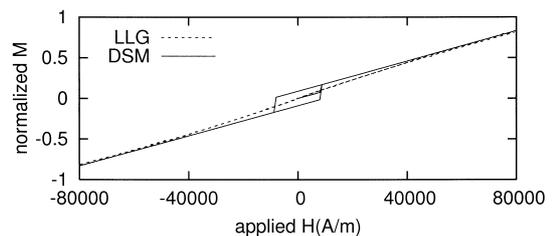


図2. 磁化過程解析結果の比較

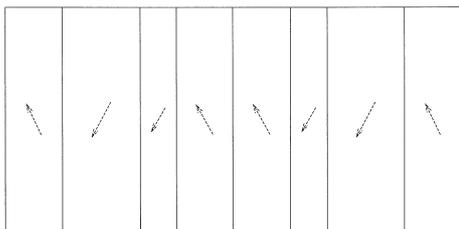


図3. 磁区構造モデルによる磁区

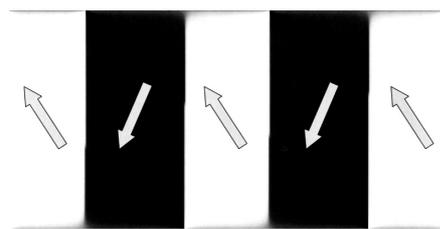


図4. LLG方程式より得られる磁区

## 集積機能工学講座（鈴木研究室）

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

## 「層状構造巨大磁気抵抗マンガン酸化物強磁性体薄膜のエピタキシャル成長」

巨大磁気抵抗効果は大容量記録装置の磁気記録の読み出しなどに応用されている重要な現象である。特に、強磁性体のトンネル接合におけるトンネル磁気抵抗効果は高速不揮発高集積メモリの性能向上に重要な現象であり、そのためにスピン散乱の少ないトンネル接合の形成が重要と考えられている。われわれは、スピントンネル現象の理解を目的として、まず、コヒーレントトンネルが実現可能な固有トンネル接合を有する層状構造巨大磁気抵抗マンガン酸化物強磁性体薄膜のエピタキシャル成長をマグネトロンスパッタ法で達成した。

この強磁性マンガン酸化物はRuddelsden-Popper系列  $A_{n+1}B_nO_{3n+1}$  の中で  $n=2$  に対応する  $La_{2-2x}Sr_{1+2x}Mn_2O_7$  (LSMO327) である [Aは (La, Sr)、BはMn] (図1)。LSMO327は層状結晶構造物質で、(La,Sr) O層と  $MnO_2$ 層が交互に2回積層した後 (La,Sr) O層が続いて2回積層してその後は同じ積層を繰り返す秩序性を有する。また、 $MnO_2$ 層は金属的で、導電層間はトンネル効果によって電流が流れる。 $x=0.4$ では層間のスピンの平行になり強磁性体となる。また、二重交換相互作用によりスピン偏極率はほぼ100%という特徴を有する。

LSMO327の薄膜成長では秩序構造の形成が重要である。高エネルギー粒子は秩序構造を破壊し、 $n=1$ や $n=2$ 相の混在 (intergrowth) を多く引き起こすことになる。そこで高秩序性を得るために、衝撃イオン抑制中間プレートを配置する新しいスパッタ配置を考案し、intergrowthの少ないLSMO327のエピタキシャル薄膜を実現した。また、X線回折図形のシミュレーション (図2) により、intergrowthに依存する回折ピークのシフト量と半値幅をもとにintergrowthの含有量 (%) を評価する方法を考案した。最も良いエピタキシャル薄膜のintergrowth量はこの評価法で $n=1$ 相の含有量が10%、 $n=2$ 相の含有量が10%であった (図3)。エピタキシャル薄膜は表面が平坦で (図4)、熱処理を施して酸素を補うことによりキュリー温度、磁気抵抗効果などバルクとほぼ特性を示した。

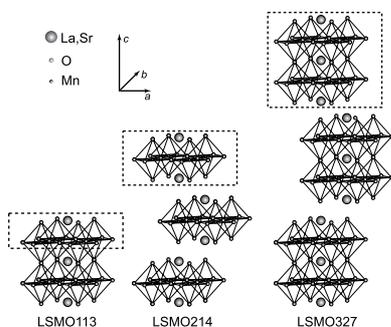


図1. Ruddelsden-Popper系列の結晶構造

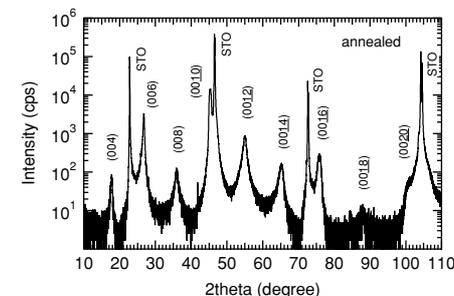
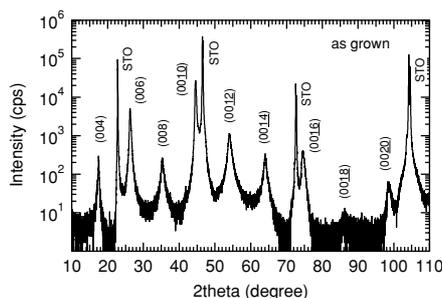


図2. intergrowthを含む場合のX線回折のシミュレーション

図3. エピタキシャル成長したLSMO327のX線回折図形

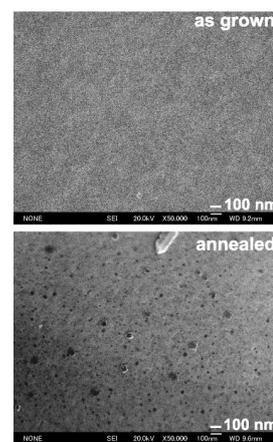


図4. LSMO327エピタキシャル薄膜表面SEM

電子物理工学講座 極微真空電子工学分野 (石川研究室)

[http://www.kuee.kyoto-u.ac.jp/lab16/index\\_j.html](http://www.kuee.kyoto-u.ac.jp/lab16/index_j.html)

「Si:C-FEA電子源を用いた超低エネルギーイオンビームの空間電荷中和技術」

次世代半導体集積回路では、45～32nmのデザインルールが適用されるため、最小イオン注入エネルギーが0.2～0.5keVと極端に低エネルギー化します。超低エネルギーイオンビームは空間電荷による発散効果が著しいため、イオンビームを平行に輸送することが困難になるので、その空間電荷を中和する必要性が出て来ました。石川研究室では、シリコン系電界放出アレイ (Si:C-FEA) 電子源を用いて、超低エネルギーイオンビームの空間電荷中和を実現するための技術開発を行っています。Si:C-FEA電子源を用いれば、イオン照射領域へのガス粒子の混入や金属不純物の混入を避けることができる利点があるからです。

シリコン電界放出電子源は超高真空中では安定に長時間動作しますが、イオン注入雰囲気のように残留ガス中に酸素が残っている真空中では表面が酸化され急激に動作電流が減少してしまいます。それを避けるため、図1に示すように、シリコンエミッタ表面をCHF<sub>3</sub>プラズマや炭素負イオン注入により炭素化することにより、イオン注入雰囲気相当の残留酸素ガス圧力中においても、長寿命動作が可能なSi:C-FEAを開発することに成功しています。

また、シリコン電界放出電子源は、放出電子のエネルギーのピークシフトやエネルギー幅の大きいことが、中和用の低速電子を形成する場合に問題となりますが、シリコン表面の炭素化処理によりピークシフトやエネルギー幅の特性が大幅に改善されることも分かりました。

さらに、エミッタだけでなく、ゲート電極もシリコン化した、オールシリコン製FEA電子源の開発にも成功しています (図2参照)。

このようにして開発したSi:C-FEA電子源からの電子を、図3に示すイオンビーム空間電荷中和原理実験装置において形成した500eVのネオンイオンビームに放射してイオンビームの空間電荷を中和したところ、図4に示すように、ビーム下流におけるビームのプロファイルが電子の中和により先鋭になることが観測されました。これは、Si:C-FEA電子源により、超低エネルギーイオンビームの空間電荷中和を行うことができる可能性を示唆しています。

研究室では、この技術を更に発展させ、実用化レベルにまで進展させていく予定です。

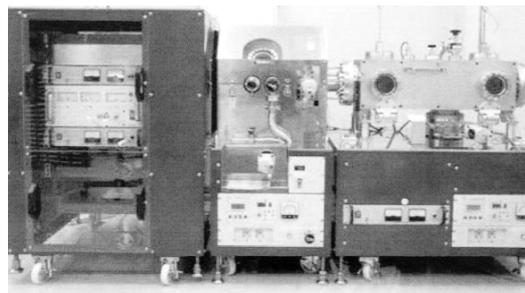
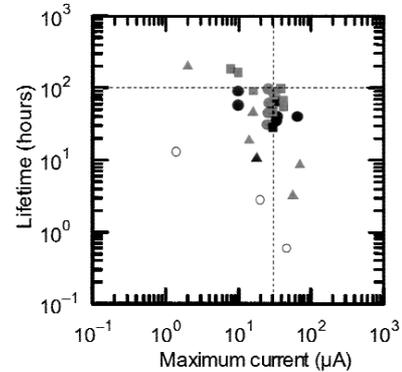


図3. 空間電荷中和原理実験装置



- as-fabricated
- ▲ C<sup>-</sup> impla. 5keV 1E16 ions/cm<sup>2</sup>
- ▲ C<sup>-</sup> impla. 5keV 3E16 ions/cm<sup>2</sup>
- ▲ C<sup>-</sup> impla. 5keV 1E17 ions/cm<sup>2</sup>
- CHF<sub>3</sub> 15s
- CHF<sub>3</sub> 30s
- CHF<sub>3</sub> 60s
- C<sup>-</sup> impla. 5keV 1E16 ions/cm<sup>2</sup> + CHF<sub>3</sub> 15s
- C<sup>-</sup> impla. 5keV 3E16 ions/cm<sup>2</sup> + CHF<sub>3</sub> 15s
- C<sup>-</sup> impla. 5keV 3E16 ions/cm<sup>2</sup> + CHF<sub>3</sub> 30s
- C<sup>-</sup> impla. 10keV 3E16 ions/cm<sup>2</sup> + CHF<sub>3</sub> 30s
- C<sup>-</sup> impla. 5keV 1E17 ions/cm<sup>2</sup> + CHF<sub>3</sub> 30s

図1. 種々の炭素化処理によるシリコン電界放出電子源の長寿命化

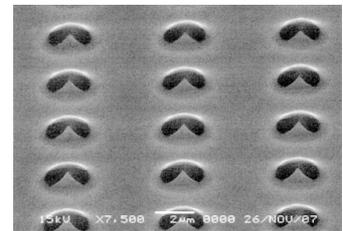


図2. オールシリコン製FEA電子源のSEM写真

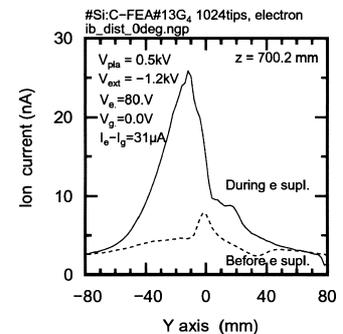


図4. イオンビーム下流におけるプロファイル

## 電子物性工学講座 半導体物性工学分野（木本研究室）

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

## 「SiCを用いた10kV PiNダイオードの作製」

シリコンカーバイド (SiC) は、高い絶縁破壊電界を有するワイドギャップ半導体であり、シリコン (Si) の限界を打破する高耐圧・低損失の電力用半導体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り、縦型MOSFETやJFETの開発が活発になっている。一方、将来の電力系統応用を目指した超高耐圧デバイスの基礎研究も重要性を増している。本稿では、超高耐圧SiCバイポーラデバイスの基礎として、10kVの耐圧を有するPiNダイオードを試作した結果を紹介する。

高い絶縁破壊電界を有するSiCといえども、10kVの耐圧を得るためには、高純度で厚い（約100 $\mu\text{m}$ ）活性層が必要となる。当研究室では、独自の化学気相堆積法を用いて、従来の約5倍に相当する50 $\mu\text{m}/\text{h}$ の高速で高品質SiCエピタキシャル成長層を形成することに成功している [1]。本研究では、低抵抗n型SiC基板上に厚さ92 $\mu\text{m}$ 、ドナー密度 $5 \sim 7 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ のn型層を成長し、表面に高ドーズAlイオン注入を行うことによりpn接合を形成した。高耐圧デバイスでは、接合端部での電界集中により設計値よりかなり低い電圧で絶縁破壊することが多いので、接合終端構造の形成が重要となる。本研究では、傾斜メサを形成し、その斜面近傍に低濃度p型のJTE (Junction Termination Extension) 構造を形成し、電界集中の抑制を試みた。図1に形成したSiC PiNダイオードの断面構造の模式図を示す。傾斜メサは、ウェットエッチングにより形成したSiO<sub>2</sub>マスクを用いた反応性イオンエッチングにより「富士山」形の形状とし、JTE領域はAlイオン注入により形成した。表面は厚い堆積酸化膜でパッシベーションした。なお、JTE領域のドーズ (JTEドーズ) には最適値 (約 $1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ ) があることを二次元デバイスシミュレーションにより確認した。

図2に作製したSiC PiNダイオードの電流密度-電圧特性を示す [2]。逆方向耐圧として10.2kVの高耐圧が得られた (実用化されているSiダイオードの最高耐圧は6~8 kV)。順方向のオン抵抗は95m $\Omega \text{cm}^2$ とやや高いが伝導度変調効果が見られ、少数キャリア注入による青色発光が確認された。JTEドーズを変化させたダイオードを作製したところ、シミュレーションによる予測通り、JTEドーズが低い場合はメサ端部、JTEドーズが高い場合はJTE外周部で絶縁破壊することが分かった。今後は、より厚いエピタキシャル成長層を活用することにより一層の高耐圧化を目指す。また、エピタキシャル成長によるpn接合形成、あるいはイオン注入領域の深い準位の低減により注入効率を向上させ、オン抵抗の低減を目指す予定である。

[1] T. Hori, K. Danno, and T. Kimoto, J. Crystal Growth, Vol.306 (2007), pp.297-302.

[2] T. Hiyoshi, T. Hori, J. Suda, and T. Kimoto, IEEE Trans. Electron Devices, Vol.55, No.8 (2008).

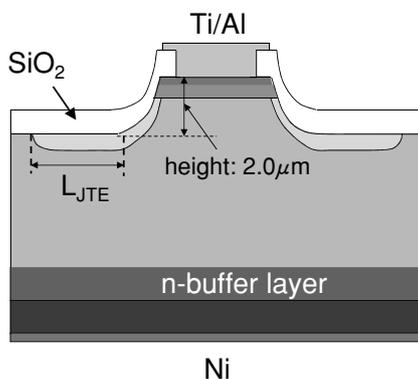


図1. 作製したSiC PiNダイオードの模式図

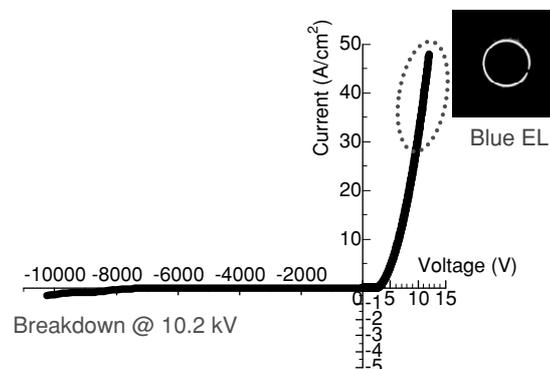


図2. 作製したSiC PiNダイオードの電流-電圧特性

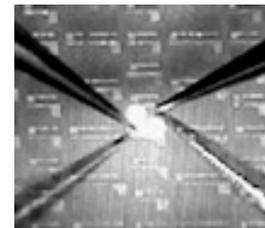
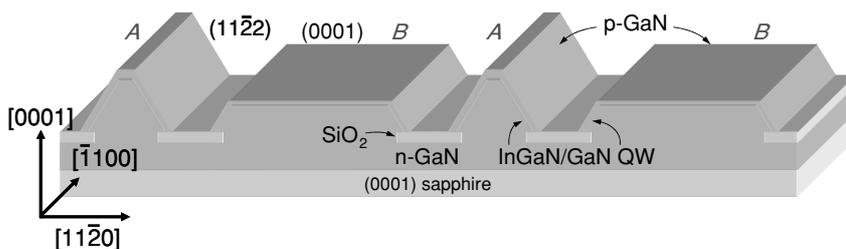
## 量子機能工学講座 光材料物性工学分野（川上研究室）

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

## 「スペクトルを自在に合成できる白色LED —テイラーメイド光源の実現に向けて—」

発光ダイオード（LED）の発光色は、発光層の材料や量子井戸構造を決めたときにその禁制帯に対応した単色光、つまり色純度の高い鮮やかな色となります。一方、白色光は、RGBの三原色や、青と黄、緑と赤など補色の関係にある発光色を混ぜることで得られます。現在の白色LEDは補色の原理を利用しており、窒化物半導体青色LEDで黄色YAG蛍光体を励起し、それらの発光を混ぜることで白色を得ています。最近では、蛍光灯をはるかに凌駕する発光効率（169lm/W）の報告もなされ、固体照明光源の中心的役割を果たすものと期待されています。しかし、この白色LEDには赤色成分が少ないため、例えば赤いりんごを照らすと、黒っぽく不自然に見えてしまいます。これは、照明工学における演色性の問題であり、物体色を自然に見せたり、所望の物体色を強調したりするとき、光源スペクトルを目的にあうよう合成する必要があることを示しています。われわれは、このような指針で設計・作製された光源をテイラーメイド光源と呼んでおり、一般照明はもとより、医療、バイオなどより高品位な固体照明の基盤技術となると考えています。

そのような目的に対して、現行の白色LEDはいくつかの問題を含んでいます。例えば、(a) 蛍光体での色変換に伴うエネルギー損失、(b) ブロードな蛍光体発光に起因したスペクトル調整の困難さが挙げられます。これらの解決には、蛍光体フリーの白色LEDが望ましいのですが、RGB三原色に個別のLEDを用いる方法は、駆動回路が3系統必要であり集積化にも限界があります。これに対して私たちのグループは、窒化物半導体に微細な凹凸を持たせることにより、一つのLEDから青、黄、赤色などの複数の色を同時に出すことに成功しました。このようなGa<sub>2</sub>Nマイクロ構造は、有機金属気相成長法を利用した結晶再成長によって得ることができ、通常、(0001)面や(11 $\bar{2}$ 2)面など、いくつかのファセット結晶面で囲まれた蒲葺状の三次元構造から形成されています（図参照）。試作したLEDは、n型Ga<sub>2</sub>Nマイクロファセット構造上のInGa<sub>2</sub>N/Ga<sub>2</sub>N量子井戸発光層、p型Ga<sub>2</sub>Nキャップ層で構成されています。発光層のInGa<sub>2</sub>N膜厚や組成がファセットに依存するため、各ファセット量子井戸から異なる発光色が得られます。この多色発光を加色混和することにより、さまざまな発光色を実現しようというのが基本的なアイデアです。写真は、マイクロファセットLEDからの発光の様子を示しており、色温度5000Kの純白色を呈しています。今回開発した新LEDは、これまでに高効率発光を実証してきた(11 $\bar{2}$ 2)面を利用しており、しかも、三次元構造が発光の外部への取り出しを容易にするため、現在使われているあらゆる照明よりも、エネルギー利用効率の高い光源となる可能性を秘めています。任意の色を自由に表現できる高効率テイラーメイド光源を目指して、日夜研究が続いています。



光・電子理工学教育研究センター ナノプロセス部門 ナノプロセス工学分野（高岡研究室）  
[http://cib.kuee.kyoto-u.ac.jp/nanoprocess\\_eng/index.html](http://cib.kuee.kyoto-u.ac.jp/nanoprocess_eng/index.html)  
 「パルス電着法による骨類似アパタイト薄膜の創製」

近年、高齢化社会を迎え、寝たきりになる原因として挙げられている骨折や関節疾患の早期治療として、人工骨や人工関節が有用であると考えられており、新しい医療用材料に対する関心が高まっている。こうした人工骨や人工関節は大きな荷重のかかる生体内で利用されるため、機械的強度や耐摩耗性、あるいは生体骨との結合や生体適合性などが優れていることが重要となっている。一方、水酸アパタイトは、骨の生体硬組織の無機成分とほぼ同じ組成であり、骨と直接結合し、優れた生体活性を示すセラミックスである。また、骨類似アパタイト層として、金属やセラミックス、高分子など様々な基板材料表面に形成することによって、様々な医療用材料の開発が可能となる。こうした特徴を有する水酸アパタイトの作製方法として、体液とほぼ同じイオン成分を有した電解質溶液（擬似体液）を用いた電気化学的手法（電着法）が注目されている。しかし、直流電圧印加の電着法によるアパタイト薄膜形成の場合、成長速度が遅い、付着力が弱いなどの欠点が挙げられている。本稿では、こうした欠点を解決するために、パルス電圧印加による電着法を開発し、高付着力の骨類似アパタイトの作製に成功したので、その成果を紹介する。

実験方法としては、ダイヤモンド研磨したTi基板を75%の濃硫酸で表面エッチングし、洗浄した後、擬似体液の中に陰極として設置した。さらに、Ti陰極と白金の陽極電極との間に、パルス幅が10ms,100ms,1s,15sのパルス電圧を印加して、アパタイト薄膜を作製した。蒸着時間は1.5時間とし、膜厚は数 $\mu\text{m}$ であった。図1は作製した薄膜のX線回折パターンを示す。アパタイト薄膜の(002)面や(211)面など、それぞれの面からの回折ピークが現れている。また、回折強度はパルス幅が短くなるほど弱くなっており、結晶成長が抑制されていることが分かる。図2はパルス幅が(a) 10msおよび(b) 15sで作製したアパタイト薄膜表面の走査電子顕微鏡（SEM）像を示す。パルス幅の減少と共に、結晶粒径は小さくなり、クラックは見られなくなっている。また、作製した薄膜の引き剥がし実験を行った結果、パルス幅が10msで作製した薄膜では剥離は見られず、比較的高い接着強度を持った薄膜が形成されていることが分かった。これは、Ti基板表面上の濃硫酸エッチングによって形成された微小な凹凸によるアンカー効果によって、膜の接着強度が増大したと考えられる。また、パルス幅の減少と共に、擬似体液中のカルシウムイオンの電気泳動が抑制され、微小なアパタイト粒径が形成され、残留応力が少ない膜が形成されたと考えられる。

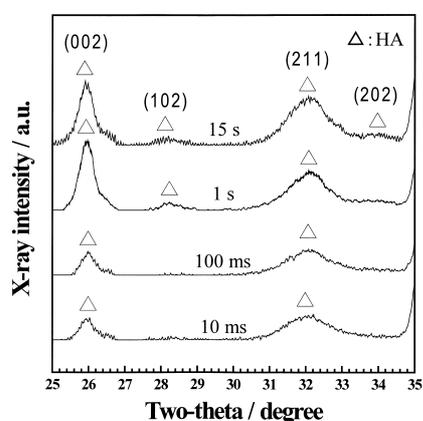


図1. パルス幅を変えて作製したアパタイト薄膜のX線回折パターン

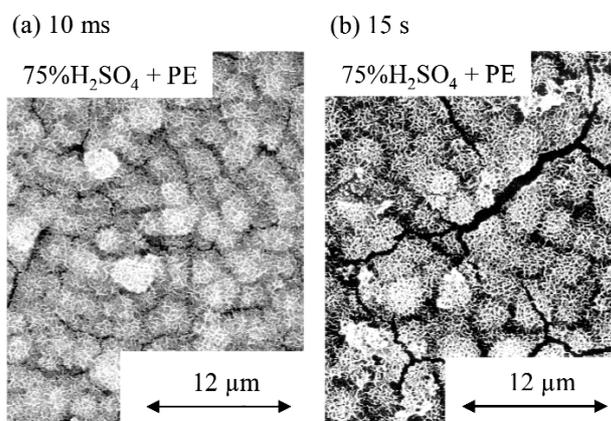


図2. パルス幅が(a) 10msおよび(b) 15sで作製したアパタイト薄膜の表面状態

知能メディア講座 言語メディア分野 (黒橋研究室)

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

「構造的言語処理を指向する用例ベース機械翻訳システムの研究開発」

言語の自動翻訳は古くからの人類の夢である。交通手段の発達やインターネットの爆発的普及によってグローバル化した現代社会では高精度な自動翻訳システムへの期待がますます高まっている。異なる言語の間には、膨大な個別的、例外的翻訳関係があり、これを人手による少数の規則で扱うことは不可能である。そこで、過去の人間の翻訳を模倣する形で新たな翻訳を行う「アナロジーに基づく翻訳(用例ベース翻訳)」が1981年に長尾真によって提案された。この枠組みで翻訳システムを構築するためには大規模な対訳データと十分な計算機パワーが必要であるが、近年、計算機と計算機ネットワークの進歩によってようやく本格的な研究開発が行えるようになってきた。

用例ベース翻訳の基本的なアイデアは、入力文をいくつかの部分に分解し、その部分ごとに類似した用例を用いて翻訳を行い、それらを組み合わせるといったものである。例えば図1の例では、3つの用例を組み合わせることによって翻訳文を作り出している。我々が開発している翻訳システムでは入力文を構文解析し、句同士の依存関係を明らかにした上で、用例を適用する。入力文の分解の仕方には様々なパターンが考えられるが、用例ベース翻訳はできるだけ大きな用例の組み合わせを優先しようとする。また同じ大きさの用例が複数得られた場合には、さらにその外側の表現が類似している方がよいという尺度を考える。このようにして、できるだけ大きな文脈で用例を用いることによって正確な翻訳を得ようとするのである。

翻訳に利用する用例は、対訳文集合から自動的に学習する。用例を獲得するためには、対訳文間の単語や句同士の対応関係を明らかにする「アライメント」という処理が必要となる。対訳辞書の利用や数字表現の一般化などの情報を利用することにより対応関係を得るが、1文内に同じ単語が複数回出現する場合や文脈によって単語の意味が変わる場合など、対応関係には頻繁に曖昧性が生じる。この曖昧性の解消には、句の依存関係を基に対応関係の整合性を定量的に評価する指標を定義し、文全体が整合的に対応付くような対応関係を選択している。

他の多くの機械翻訳手法では文を単純な単語列として扱っているのに対し、我々のシステムでは文を構文解析し、句を単位としてアライメントおよび翻訳を行なっている点が特徴である。日本語と英語のように言語構造の大きく異なる言語間では、我々の手法のように構造的言語処理を利用する方法が適切であると考えられる。

図1では日英翻訳の例を示したが、本研究室では逆方向である英日、さらには中国語を対象とした日中・中日翻訳の研究も行っている。利用している対訳コーパスは、日英で約100万対訳文(論文抄録)と約180万対訳文(特許)、日中では約40万対訳文(情報系論文)などである。また平成18年度から科学技術振興調整費による「日中・中日言語処理技術の研究開発」に中核機関として参加しており、翻訳エンジンの研究開発を担当している。近い将来この翻訳エンジンを実用化し、日本語、中国語の論文を相互に自動翻訳することにより日中間の科学技術交流の促進に寄与することが目標である。

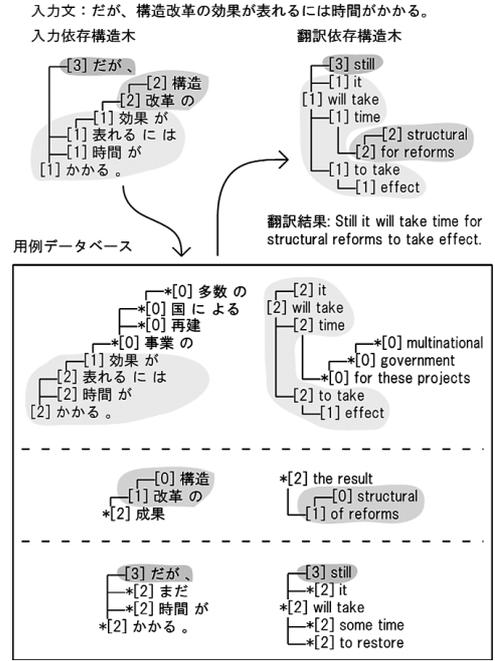


図1. 用例ベース機械翻訳例

## 通信システム工学講座 デジタル通信分野（吉田研究室）

<http://www-lab14.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

### 「システム間周波数帯域共有を可能とするコグニティブ無線技術」

電波の世界では、行政による各無線サービスへの専用周波数帯域の割り当ておよび帯域外不要輻射等の規制によって各サービス間の干渉を抑え通信品質を確保している。車で例えるなら専用車線であり、走行可能な車線が車種毎に決まっていることに相当する。単純なアナログ式無線機には混信を防ぐために必要なこれら規制も、高度にデジタル化が進んだ将来の無線通信システムにとっては非効率な方法となる。

技術の進展によって一部放送用等を除きデジタル化が達成され、システム内では高度な制御が行われている。例えば一般の携帯電話でも、接続している基地局から1ミリ秒以内の間隔で送信電力の上げ下げの指示を受けており、これによって携帯電話がたとえ移動していても、基地局においてほぼ一定の受信電力となっている。このような状況に対応した高度な制御を、無線システム間で行えば電波の有効利用に繋がる。これが近年「コグニティブ無線」と呼ばれるものの一つの形態である。電波の利用状況を認識 (cognitive) し、それに適応する無線システムである。これによって、通常車がそうであるように、空いている車線 (周波数帯域) への進路変更が可能となる。

しかし、この「状況認識」は簡単ではない。フェージングと呼ばれる場所的、また多くの場合は時間的にも起きる電波強度の大幅な変動は予測不可能であり、比較的近くで送信されている電波が必ず遠くからの電波よりも強いとは限らない。ある時強かった信号がいつまでも強いとも限らない。クリアな視界での車線変更というよりは、土砂降りの夜の車の車線変更に近い。何とか安全な車線変更をと、技術的な挑戦が世界的に活発化しており、例えば他の信号の検出方法としてエネルギー検出、相関検出、周期定常性を利用した検出などが研究されている。システム的な対策として周辺無線機との協調検出等も研究されている [1]。図1はその様子を示しており、図2はSAとSBの送信機間距離に対する干渉を受けたSA受信機の割合である。

コグニティブ無線では単なる周波数帯域の共有に留まらず、異なった無線システム間の相互接続を行うことが可能となる。これは、従来の無線通信システムには存在しなかった概念である。相互接続された無線ネットワークでは、従来の一対一通信ではなく多対多の通信をできる限り自律分散的に実現する必要がある。当研究室では、他システムへの干渉を低減できるマルチホップ協力ダイバーシチ伝送や通信路容量を拡大可能なMIMO伝送技術などを利用した高度なコグニティブ無線システムの研究を行っている。目標とする将来の無線通信システムは、相互に接続され、状況を認識し、帯域を共有し、協力して周波数利用効率の高い伝送を行うシステムである。今後、必要とされる要素技術の高度化を進める。

#### 参考文献

- [1] Youngjin Yu, Hidekazu Murata, Koji Yamamoto, Susumu Yoshida, "Interference information based power control for cognitive radio with multi-hop cooperative sensing," IEICE Transactions on Communications, vol.E91-B, no.1, pp.70-76, Jan. 2008.

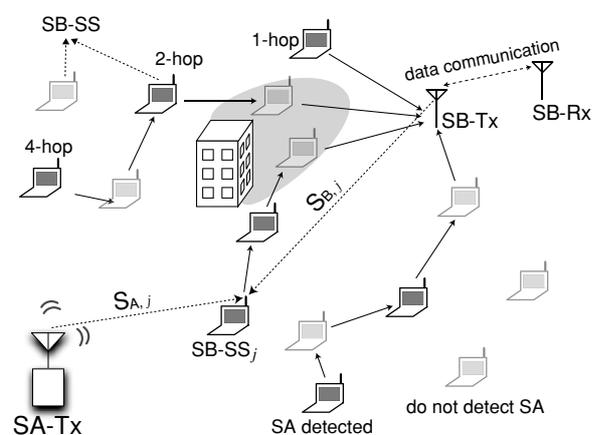


図1. SA-Txからの信号を多数のSBが協力して検出する

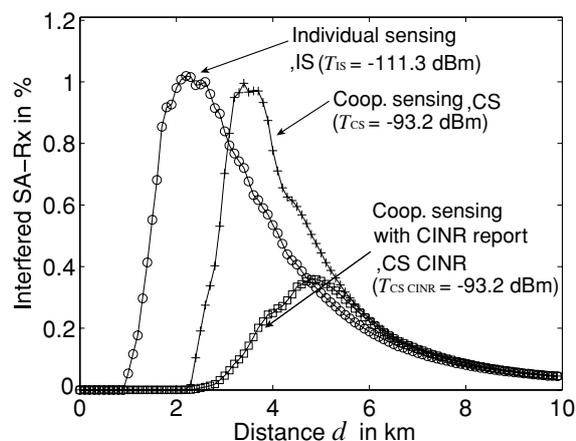


図2. 検出情報の交換 (Coop. sensing with CINR report) によってSA-Rxへの干渉が大幅に低減できる

集積システム工学講座 大規模集積回路設計分野  
<http://www-lab13.kuee.kyoto-u.ac.jp/>  
 「超高速チップ内信号伝送技術」

コンピュータが日常生活に深く入り込んだ現代では、計算機に求められる性能は日々増大している。演算の中核となるプロセッサは半導体製造技術の微細化やアーキテクチャの発達により、その要求に応じて急速に発展してきた。2005年に発表されたCell Broadband Engine は1チップに合計9個の演算コアを搭載し、その演算性能は約300GFLOPSに達する。これはわずか10年前にはスーパーコンピュータでしか実現できなかった演算性能である。このような性能向上に大きく寄与しているのが、マルチコア技術である。これは1つのチップに複数のCPUを搭載し、並列処理によって演算性能を向上させる。現在市販されているプロセッサでは、前述のCellが9コア、Xeonなどが4コアであるが、学会レベルではすでにIntelが80コアのプロセッサを試作しており、1チップの数十～数百のコアが集積される「メニーコア (Many Core)」時代が到来しようとしている。

メニーコア世代のプロセッサにおける重大な問題は、コアとコアの間、またチップと外部でどのようにして情報を転送するか、にある。図1のように、1つにチップ内に複数のコアが存在する場合、当然それぞれのコア同士は通信し、情報をやりとりできなければならない。また、処理されたデータは外部のメモリやネットワークなどともやりとりしなければ意味がない。将来的に必要とされる通信帯域は数百ギガビット/秒からテラビット/秒と言われ、どのような接続方法がよいのか、また、チップ内の限られたリソースでいかに実現するかが重要課題となっている。

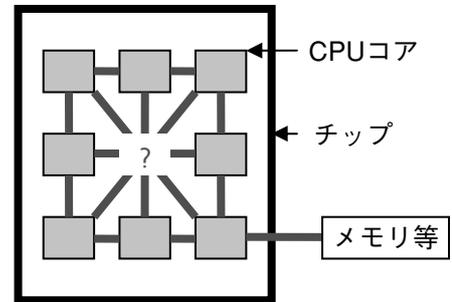


図1. マルチコアと相互接続

当研究室では、チップ内高速通信に向けた基礎技術として、信号送受信回路の物理設計を行っている。GHzでの信号伝送を行う場合、チップ内の数mmの配線でも単純な配線ではなく、伝送線路とみなした設計を行わなければならない。実験では差動伝送線路とCML (Current Mode Logic) を用い、3mmの距離で1チャンネルあたり12.5Gbpsの信号伝送に成功した。試作したチップの写真を図2、実測で得られた波形を図3にそれぞれ示す。また、CMLは高速動作が可能な反面消費電力が大きいという問題がある。このため低消費電力化についても検討し、インピーダンス整合の条件を緩和した最適設計により従来の回路に比べて約30%の消費電力削減に成功した。

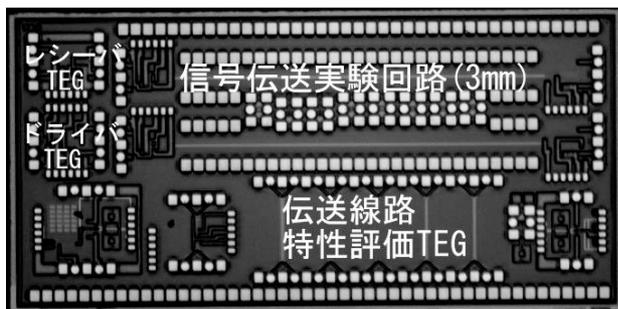


図2. 試作チップ写真 (90nmプロセス)

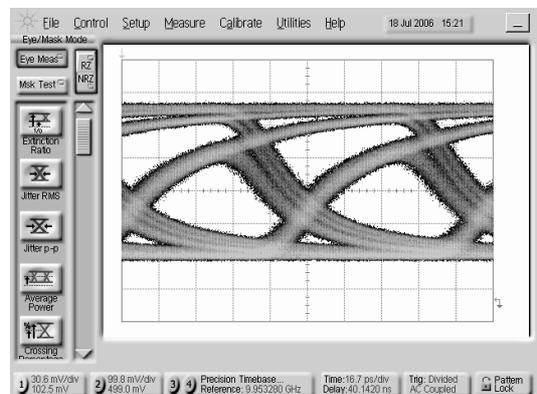


図3. 12.5Gbps伝送の実測波形 (3mm)

## システム情報論講座 医用工学分野（松田研究室）

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

## 「MRIによる高次生体イメージング」

平成18年度より工学研究科を中心とし、キヤノンとの産学連携により開始された科学技術振興調整費「先端融合領域イノベーション創出拠点の形成」プログラムである「高次生体イメージング先端テクノハブ」において、当研究室は主としてMRIによる高次生体イメージングの開発に関する研究を進めている。本研究プロジェクトでは、近年における基礎医学の進歩により得られた様々な知見を工学・情報学における最先端の技術・研究成果の導入により臨床医学領域の医用画像診断法として実用化させることを目的とし、新しい医用画像診断法の開発というテーマのもとに、医学・生物学と工学・情報学という学術分野の連携のみならず基礎的な研究領域と応用研究との間をも結びつける学際的な融合研究領域の創造を目指している。基礎医学と工業化学系の研究室が連携し、様々な疾病の生物学的な特徴を効果的に利用して正常な状態にある細胞・組織と差別化して可視化させる薬剤（分子プローブと呼ばれる）の開発を進めるとともに、工学・情報学の基礎的な理論や基盤技術に基づく新たな画像化原理を確立し、最先端の臨床医学が求める様々なニーズを満たすような新しい画像診断法の開発を行っている。

様々な生化学反応に特有の物質に結合する部分や生理学現象における特異な状態に密接に関与する部分と、各種の画像診断法により容易に検出できる部分とを併せ持つように合成した分子プローブを投与し、様々な疾患における異常物質や病態に狙いを定めて可視化する画像診断法は分子イメージングと呼ばれるが、次世代の医療を大きく変える新しい臨床技術として注目され、欧米のみならず我が国でも活発な研究が行われている。癌の早期発見を目的としたPET（Positron Emission Tomography）が我が国でも普及しはじめているが、これは生体にフッ素の同位元素<sup>18</sup>Fで標識したブドウ糖の類似物質（<sup>18</sup>F-FDG：フルオロデオキシグルコース）を投与すると、増殖・分裂の激しい癌細胞が代謝のエネルギー源であるブドウ糖と認識して取り込んでしまうことを利用し腫瘍を可視化するものである。FDG-PETでもすべての癌を確実に検出するわけではないが、FDGはもっとも簡単な分子プローブの一つであり、腫瘍の生物学的な特徴を利用した分子イメージングの一例といえる。

当研究室では、本研究プロジェクトの開始に伴って、一般臨床に用いられる1.5Tの4-5倍という強力な磁場を持つ7Tの動物用MRI装置（図1）を導入し、工業化学系の研究室が開発するMRI用分子プローブや新しい造影剤のin vitroおよび小動物を対象としたin vivoの評価を行っている。図2は本装置で撮影したラット頭部のMRI画像であるが、156 $\mu$ m $\times$ 156 $\mu$ mの高い空間分解能を持ち、脳の内部構造も詳細に観察できる。また、新たな画像化原理に基づく画像診断法の開発としては、電気工学専攻生体機能工学分野（小林研究室）が開発を進めている超高感度磁気センサーを利用し、次世代のMRI装置としてシステム化を進める予定である。



図1. 7T 動物用MRI装置



図2. 7T 動物用MRI装置を用いて撮影したRat頭部のMRI画像

## エネルギー社会環境学講座 エネルギー情報学分野

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

### 「拡張現実感技術を用いた原子力発電プラント解体支援システム」

原子力発電プラントの解体作業を行う際には、詳細な作業計画が立案され、解体作業員は、立案された作業計画に沿って安全・確実に作業を進めると同時に、作業の進捗状況を適切に記録することが求められる。しかし現状では、作業現場には紙の作業要領書を持ち込み、紙を参照しながら解体作業を進め、また、作業の進捗状況も紙に記録している。この方法では、作業要領書と作業現場を見比べる必要があるため、参照ミス・記録ミスが起こり、不適切な解体作業・記録が行われてしまう可能性がある。

そこで本研究では、日本原子力研究開発機構との共同研究として、拡張現実感と3次元CADデータを利用して解体作業を支援する手法を開発・評価している。拡張現実感とは、コンピュータで生成した仮想の物体や情報を、あたかも現実の世界に存在するかのように見せることで、現実の世界を拡張する技術である。この支援手法では、作業員が、ビデオカメラが接続された小型タブレットPCを作業現場に携帯する。カメラで解体する機器を撮影すると、小型タブレットPCの画面上に、カメラの映像が映し出され、さらにその映像の上に、撮影した機器の3次元CADが自動的に位置・方向・大きさを合わせて重畳表示される（拡張現実感による重畳表示）。重畳表示される3次元CADは、予め設定された切断箇所、解体禁止箇所の情報を元に色分けされる。これにより、紙の作業要領書を参照する場合に比べ、「提示情報と実物機器を、視点を移動させながら見比べる」動作が必要なくなるため、より直感的に切断箇所と解体禁止箇所を理解できるようになると期待される。また、1日の解体作業が終わった時点で解体途中の機器をカメラで撮影すると、小型タブレットPCの画面上に、カメラの映像が映し出され、さらにその映像の上に、その日の作業開始前の状態の機器の3次元CADが自動的に位置・方向・大きさを合わせて重畳表示される。ユーザは、既に解体されたために作業現場（現実世界）には存在していない部分と、3次元CAD上では残っている部分の境界線を小型タブレットPC上で電子ペンを用いて指定することにより切断箇所を入力する。この方法では、小型タブレットPCの画面上で実際の映像と3次元CADの映像の間の違いを見つけるだけで切断箇所が記録できるため、より直感的に作業の進捗状況を記録できると期待される。

本研究では、図1に示す様に上記支援手法を実現するプロトタイプシステムを開発し、実際に日本原子力研究開発機構・原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）内で、作業員の方々にシステムを試用して頂き、支援手法の有用性・問題点等を調べる研究を行っている。



図1. 拡張現実感技術を用いた原子力発電プラント解体支援システム

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

環境問題やエネルギー問題を解決するため、近年、持続可能な社会および地球環境の構築が求められている。特に、低環境負荷かつ枯渇問題の無い電気エネルギー源の開発と実用化が必要不可欠と考えられている。水素等の軽い原子核同士を互いに衝突させることで起こる核融合反応を磁場で閉じ込めた高温プラズマ中で起こさせ、その生成されたエネルギーを発電に利用する方式が核融合発電である。核融合発電は低環境負荷、燃料が無尽蔵そして高エネルギー密度といった特徴を有することから、持続可能な社会環境を支える基幹的な発電方式となる可能性を秘めており、世界的に研究開発が積極的に進められている。そして、実際に核燃焼プラズマを生成、保持する国際熱核融合実験炉 (ITER) の建設が始まり、30年計画で建設、実験が進められる予定である。効率良く核融合反応を起こさせるにはプラズマの高性能化が欠かせない。このプラズマの性能は基本的にはプラズマを閉じ込める磁場容器 (磁場配位) の性質に依存する。そのため、本研究室では、より核融合炉に適した磁場配位の探索と高性能プラズマ閉じ込めを実現すべく、京都大学独自のヘリオトロン磁場配位を発展させた立体磁気軸ヘリオトロン磁場配位を用いた高温プラズマ閉じ込めの研究を行っている。それら研究の中から、今回はプラズマの電磁流体力学的 (MHD) 安定性に関する研究について紹介する。プラズマは荷電粒子の集合体であり電磁流体として振る舞う。この電磁流体は何らかのエネルギー源からエネルギーを授受された際に不安定化すると、磁場と電場が大きく揺れることから閉じ込め磁場に影響を与えることが考えられ、場合によっては高性能プラズマ保持に支障をきたすことが考えられる。エネルギー源としてはプラズマや加熱源である高速イオンの圧力勾配、そしてプラズマ電流勾配が挙げられる。我々のヘリオトロン配位では特にプラズマや高速イオンの圧力勾配によるMHD安定性が重要である。図1 (a) が磁気プローブと呼ばれるソレノイドコイルで検出したMHD不安定性 (磁場揺動) の時間発展である。プラズマを加熱するためにプラズマ中に入射した高エネルギーイオンによりプラズマ中のMHD波動であるアルヴェン波が不安定化していることを示している。この現象は粒子と波動の共鳴の相互作用であり物理的にも大変興味深い。また、図1 (c) ~ (e) はMHD不安定性発生時に高速イオンが閉じ込め領域の外側に向かって逃げ出してきたことを示唆するデータである。将来の核融合炉では高速イオンであるHeの原子核 (アルファ粒子) によりプラズマが自己加熱されることから本研究は重要で、この不安定性の性質解明と安定化に向け現在研究を進めているところである。特に、昨年度から国際共同研究のもと金融などの異分野で用いられているデータマイニング手法をMHD不安定性解析に適用することで、より正確な解析手法を確立しつつある。今後、この手法によりMHD不安定性のパラメータ依存性などの特性を明確化するとともに、安定化に向けた実験的、数値計算的な研究を進めていく予定である。

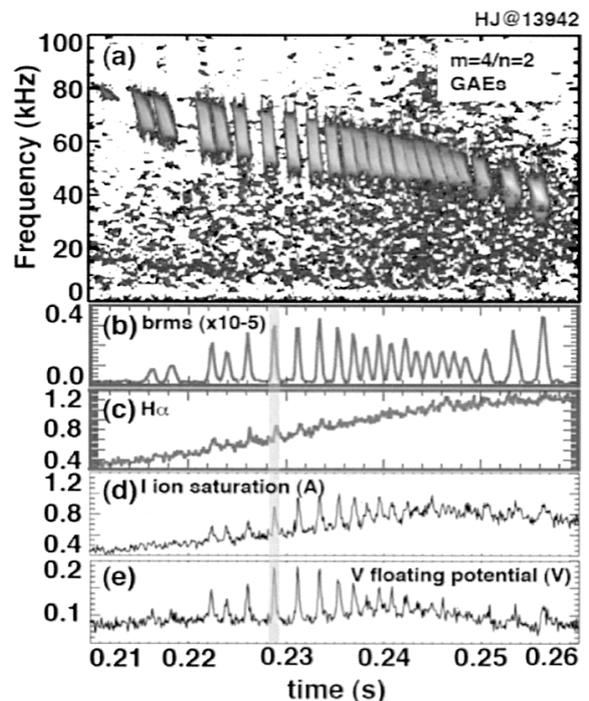


図1. MHD不安定性とそれに関連したプラズマパラメータの時間発展

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 生存圏診断統御研究系 大気圏精測診断分野 (津田研究室)  
[http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/labs/tsuda\\_lab/](http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/labs/tsuda_lab/)

「電波と音波を用いた大気風速、温度、水蒸気のリモートセンシングの国内外への展開」

地球大気中に発生する前線、降雨など様々な気象現象の振舞いは、風速、気温、水蒸気といったパラメータにより支配されています。これらの現象のメカニズムを理解しその発生を予測するには、これらのパラメータを同時測定することが重要です。特に、台風や集中豪雨など時に災害をもたらす我々の生活に大きな影響を与える現象はその寿命が短く比較的水平的スケールの小さい現象であるため、これらを理解するには短い時間間隔で測定することが特に重要です。本研究室では、レーダーを用いることで風速、気温、水蒸気を同時かつ高い時間分解能で測定する測定技術の開発を行っています。

大気レーダーは大気中に存在する乱流に電波を照射して散乱される電波を受信します。大気乱流は背景の風により流されているため、受信電波のドップラー周波数遷移から三次元風速を測定することができます。さらに大気レーダーに音波を組み合わせるRASS (Radio Acoustic Sounding System) 技術により気温を測定することも可能です。これは、地上から音波を放射し、上空に形成された音波面による散乱電波を受信します。音速は気温により変化するため散乱電波のドップラー周波数遷移から気温を測定することができます。さらに、津田研究室では大気レーダーを用いて水蒸気を推定する新測定技術を開発しました。これは乱流により散乱される電波強度が水蒸気の情報を含むことを利用して水蒸気量を導出します。

大気レーダーを用いた気温、水蒸気の推定手法の開発は、京大生存圏研究所信楽MU観測所に設置された大型VHFレーダーであるMU (Middle and Upper atmosphere) レーダーや1.3GHz帯ウインドプロファイラ等を用いて行われてきましたが、近年は、国内外の研究機関と協同して開発された気温、水蒸気観測技術の他の大気レーダーへの展開を積極的に進めています。

地球上で最も多くの太陽放射エネルギーを受けて積雲対流活動が活発な赤道域においては、京都大学がインドネシア・スマトラ島に設置した赤道大気レーダーや、インド国立大気科学研究所と共同でインドのMSTレーダーによるRASS観測を行っています。

さらに日本で唯一亜熱帯気候に属する沖縄亜熱帯域への観測展開を計るため、情報通信研究機構 (NICT) と協力して沖縄県国頭郡大宜味村のNICT沖縄亜熱帯計測技術センター・大宜味大気観測施設に設置された400MHz帯ウインドプロファイラ (図1) を用いたRASS観測を行っています。これにより、台風や梅雨に伴う集中豪雨などの顕著気象擾乱の頻発域である沖縄の気象擾乱の微細構造を観測することが期待されます。図2に沖縄のRASS観測で得られた温度の高度分布を示します。破線は、同時観測された気球観測の値です。両者は高度1.5km付近に見られる気温高度勾配の変化する構造を含めて良く一致します。

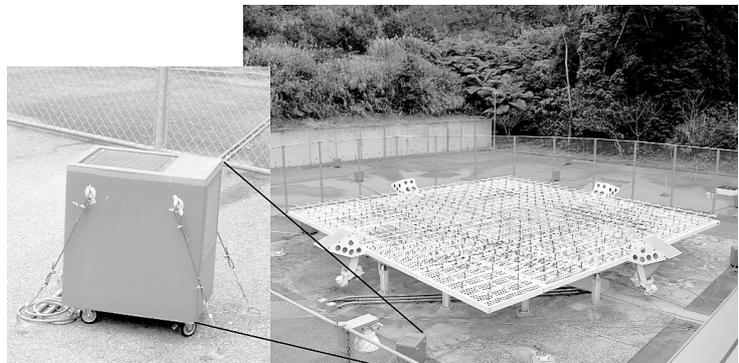


図1. 沖縄の400MHz帯ウインドプロファイラの外観 (右)。中央の四角がレーダーアンテナである。アンテナの周囲にRASS用ホーンスピーカーを配置している。左図は新開発したRASS用のホーンスピーカーの外観。

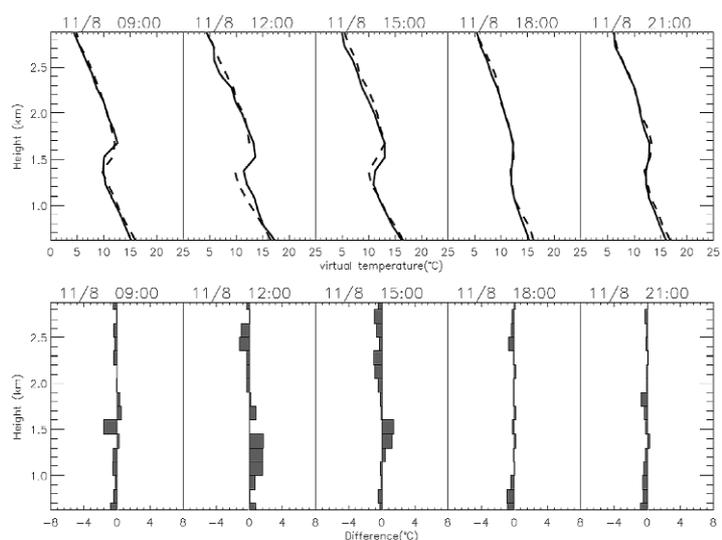


図2. (上) 沖縄のRASS観測で得られた温度の連続高度分布 (実線)。破線は、同時観測された気球観測値を示す。下図は両者の差を示す。

## 生存圏開発創成研究系 生存科学計算機実験分野（大村研）

<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/space/labo-o.html>

### 「地球磁気圏におけるホイッスラーモード・コーラス放射の研究」

地球磁気圏の内部で観測される数kHzの周波数のホイッスラーモードと呼ばれる電波の中には、大幅に周波数が変動するコーラス放射（図1）という電波が観測されています。この電波現象は宇宙開発が始まる以前の1953年にStoreyによって報告されており、この電波は数kHzの周波数をもった電波であり、その信号をオーディオアンプに入力すると夜明けの鳥のさえずりの声のように聞こえることからコーラスと呼ばれています。一般的には、これは太陽活動の変動を受けて地球磁気圏の磁場が変動するために、太陽風のプラズマの一部が磁気圏後方から内部磁気圏に注入されるためにサイクロトロン共鳴によって励起されると考えられてきましたが、その周波数変動のメカニズムは、過去50年余りにわたる謎でした。当研究分野では、これまで開発してきた電磁粒子シミュレーションの技術を駆使し、最近のスーパーコンピュータの能力を最大限に活用した大規模な計算機実験により、コーラス放射を再現し（図2）、その詳細な発生機構を解明することに成功しました。これは、多数の共鳴電子の運動と電磁界のマクスウェル方程式をそのまま解き進める電磁粒子シミュレーションに地球のダイポール磁場の効果を取り込むことによって実現したものです。さらに、図2に示したシミュレーションでは、高エネルギー電子の運動エネルギーの一部が電磁界にエネルギーに変換されてコーラス放射が励起される一方で、その電磁界のエネルギーが高エネルギー電子の一部を加速し、相対論的なエネルギー（MeV）をもつ電子が生成されることが明らかになりました。このコーラス放射は、特に最近では宇宙環境利用の観点から、地球放射線帯が人工衛星等の運用に悪影響を与えることから、その相対論的電子の生成機構の一つとして注目され、盛んに研究されています。

#### 参考文献

Y. Omura, Y. Katoh, and D. Summers, Theory and simulation of the generation of whistler-mode chorus, *Journal of Geophysical Research*, vol. 113, A04223, doi:10.1029/2007JA012622, 2008.

Y. Katoh and Y. Omura, Relativistic particle acceleration in the process of whistler-mode chorus wave generation, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L13102, doi:10.1029/2007GL029758, 2007.

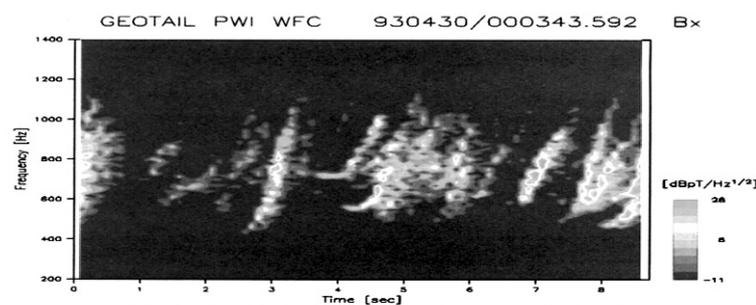


図1. GEOTAIL衛星で観測されたコーラス放射

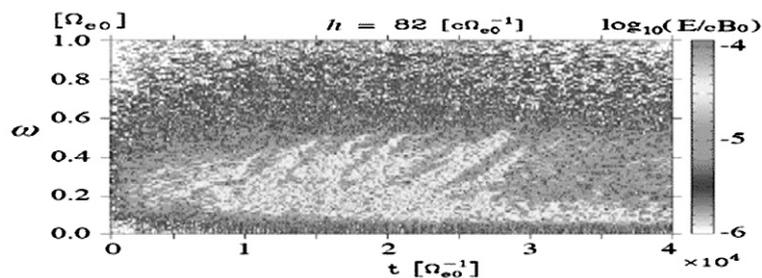


図2. 計算機シミュレーションで再現されたコーラス放射

## 情報メディア工学講座 情報可視化分野 (小山田研)

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

## 細胞死過程の時空間的解析のための可視化技術の研究

細胞死（アポトーシス）は生体の発生過程における器官形成や臓器形成、あるいはウイルス感染や傷害から生体を防御するために必要不可欠な生命現象である。また、アポトーシスの抑制や過剰は、がん・免疫疾患、劇症肝炎・アルツハイマーなどの神経疾患といった様々な疾患に関連することも知られている。アポトーシスを解明することはこれら疾患の予防や治療につながる事が期待されている。

細胞生物学の分野においては、アポトーシスの刺激を受けた細胞は、細胞の委縮、小胞化、核の断片化といった形態変化が起こり、最終的に消失することが知られている。この一連のアポトーシス過程において、それぞれの現象ごとの実験や解析は数多く行われているが、包括的な時空間変化における情報発現の基本原理は未だ解明されていない。

最近では、蛍光タンパクを利用することによって細胞内の機能的変化や形態的变化を画像化し、生きた細胞に対する経時変化を実時間で観察することが可能となってきた。一般的に、蛍光タンパクを利用した細胞の形態変化の解析においては、撮影した画像を時間軸に沿って連続的に配置して表示する方法や動画像として提示することが多い。そのような解析においては、アポトーシス過程における細胞形状の時間変化を映像として観察することはできるが、時空間的な変化を包括的に観察することは困難である。

一方、科学技術可視化の分野においては、ビデオビジュアライゼーションと呼ばれる動画像に対する可視化手法がいくつか提案されている。この技術では、時間的に変化する複数の画像を時間軸に沿って並べ、それらを1つのボリュームデータとして可視化する。しかし、それらは監視カメラなどの映像を対象としたものが多く、1つの視点から撮影された1つのボリュームデータを対象として扱うものがほとんどである。

本研究では、複数の蛍光タンパクを利用し細胞内の複数の組織を標識した画像を同時に計測することで、それぞれを別のボリュームデータとして扱い、それらを合成して可視化する（図1）。そうすることにより、アポトーシス過程において、細胞内の複数組織の時空間的形態変化を同時に解析することが可能となる（図2）。本研究では、細胞の機能的な経時変化においても同様に扱うこともできるため、これらを同時に可視化することによって、機能的変化および形態的变化を包括的に解析することも可能となる。本研究は、アポトーシス以外の様々な生きた細胞の時空間解析への利用も期待される。

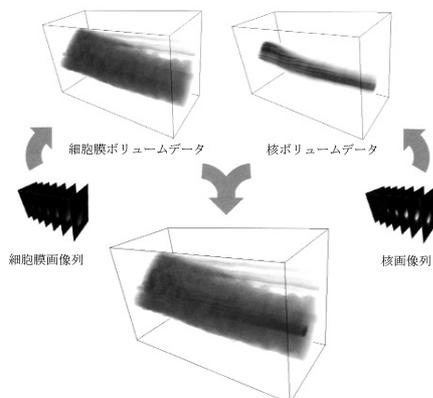


図1. 細胞膜と核を表すボリュームデータの合成可視化

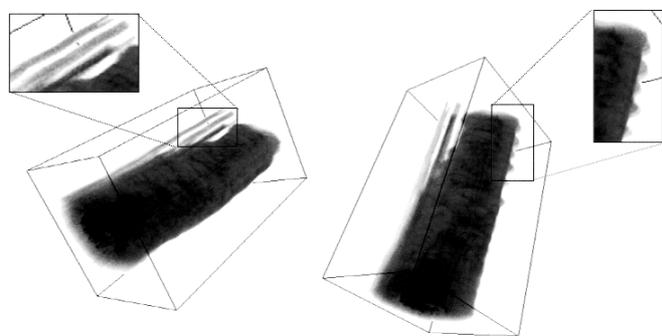


図2. 可視化結果例。3つの小胞が細胞本体から分離し3本の線として軸に沿って伸びている（左図）。小胞が分離することなく同じ位置で伸長・収縮を繰り返している（右図）。

情報メディア工学講座 複合メディア分野（中村（裕）研究室）  
<http://www.ccm.media.kyoto-u.ac.jp/>  
 「さりげない支援を実現する環境メディア」

人間と人間をとりまく情報システムの間意思疎通を円滑にすることの重要性は古くから認識されてきた。効率を保ちつついかに人間にストレスやミスが生じないようにするかなど、ユーザインタフェース、人間工学、認知科学その他種々の観点から議論されてきている。

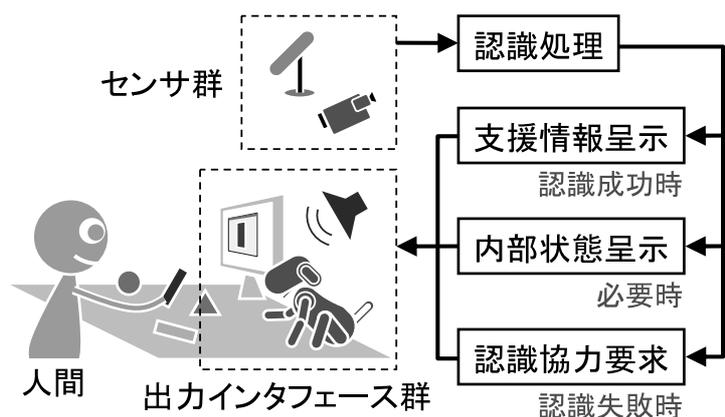
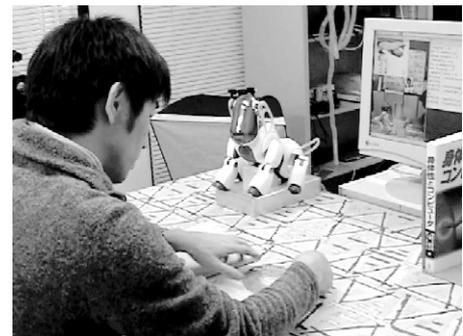
しかし、ユビキタス社会と呼ばれるように、一桁も二桁も多くシステムが身の回りに遍在するようになると、人間が一つ一つのシステムに意識を向けることが難しくなり、これまでとは異った枠組みが必要となる。そこでは、人間を取り囲む環境としてのシステムやメディアの集合体を設計することが重要な課題となるだろう。これによって、人間を見守り、本当に必要な場合にのみ支援することが目的となる。例えば、福祉などの分野では、本人ができることは（わざと）支援しないという選択も不可欠である。

このような背景から、我々の研究室では、人間が自然に振る舞っている状況で、過不足なくでしゃばらずに支援をする「さりげない支援」を実現する研究を行っている。これまでの研究では、（１）人間を系に取り込み、人間の認識能力やコミュニケーション能力を機能の一部とするシステムの設計、（２）人間の内部状態に合わせて人間を支援するモデルの提案等を行っている。

そのうち、今回は（１）について紹介したい。

人間の状態に応じて適切な支援を行うためには、高度に知的な認識処理が必要となる。画像や音声、自然言語の認識の高度化が必要であり、我々もそれを手がけているが、それだけでは能力が足りないのも事実である。そこで図のようにエージェントを介在させ、人間が自然に振る舞いながらも必要な場合にはシステムと協力できるように、システムの内部状態（認識や支援の状況）を呈示しながら、問題が起きた場合には人間の協力を仰ぐ仕組みを試作してきた。これはユーザーに有用な情報を与えるために、ユーザーの力を借りる仕組みになっている。

種々の実験を行った結果、利用者の評判は良く、また、従来ならば失敗していた認識もかなりの割合で成功することがわかってきた。現在はまだ簡単な作業支援を想定した試作段階であり、扱える状況も少ないが、将来的には家庭やオフィス、街頭のような場所で広く使われる枠組みとなることを期待している。



#### 参考文献

M.Ozeki, Y.Miyata, H.Aoyama, Y.Nakamura: Collaborative Object Recognition through Interactions with an Artificial Agent, Proc. International Workshop on Human-Centered Multimedia, pp.95-101, 2007

## 平成19年度修士論文テーマ紹介

### 工学研究科 電気工学専攻

#### 鎌谷 英輝 (古谷准教授) 「個人差に対応した上腕モデルの構成と有限要素法による軟組織の力学的特性の解析」

人体を圧迫する医療・福祉機器の人体への影響を解析する方法の検討のため、上腕を対象として、個人にあわせた形状と力学的特性を持つモデルの構成法を提案した。また、提案モデルを用いて、圧迫時の上腕各組織における応力や変形を有限要素法により解析し、結果の検討を行った。

新藤 雅人 (古谷准教授) 「Propofolとsevofluraneを併用した麻酔鎮静度のモデル予測制御の研究」  
麻酔薬propofolとsevofluraneを併用する麻酔法において、鎮静度の自動制御を適切に行うため、薬理学に基づいて麻酔薬の相互作用を表すモデルを導出するとともに、麻酔導入時に各患者のモデルパラメータを同定する機能を持つモデル予測制御法を用いた鎮静度制御システムを構成した。

藤熊 修司 (古谷准教授) 「遊休時間を考慮した1機械スケジューリング問題に対する厳密解法」  
生産スケジューリング問題に対する研究として、遊休時間（機械が仕事を処理していない時間）を考慮した一般的な1機械スケジューリング問題を扱い、動的計画法に基づく厳密解法を提案した。そして、数値実験により既存解法との比較を行って、その有効性を確認した。

#### 横川 寧伴 (古谷准教授) 「脳波に基づく電気痙攣療法の治療効果指標の研究—前処理フィルタの改良と新たな指標の検討—」

難治性精神疾患の治療法である電気痙攣療法の適切な治療効果指標の構成を目的として、測定脳波に含まれるさまざまな雑音を除去するための前処理フィルタの改良を行い、脳性痙攣持続時間と臨床的病状評価尺度への病気の種類、患者の年齢、治療回数などの影響を検討した。

#### 後藤 大輔 (松尾准教授) 「マイクロ磁気学解析における静磁界計算の多重極近似を用いた高速化に関する研究」

マイクロ磁気学解析の際に多大な計算時間を要する静磁界計算に対して、高速多重極展開法および多重極FFT法を適用した。後者は、直交等間隔格子においても従来手法と比較して大きな時間増加はなく、非構造格子の使用時に有効であると考えられる。

#### 須磨 隆富 (松尾准教授) 「高度反復解法を用いた磁気モーメント法及び有限要素法による磁界解析に関する研究」

磁気モーメント法及び有限要素法を用いた磁界解析について、導出される線形代数方程式に対する高速求解法に関する比較・検討を行った。テストモデルの解析において、マルチグリッド法を用いた有限要素法が高速性の面で優位であることを示した。

#### 長野 哲志 (松尾准教授) 「均質化法を用いた積層電磁鋼板の渦電流解析に関する研究」

まず磁区構造の均質化により異常渦電流損を考慮した電磁鋼板の交流磁気特性モデルを開発し、計測結果とよく一致する特性を得た。次に、均質化モデルを有限要素解析に組み込み、積層電磁鋼板の鋼板毎の

計算格子分割を回避する効率的な渦電流解析法を開発した。

**守 口 聡 一 (松尾准教授)「偏平要素を含む有限要素磁界解析のための陰的及び陽的誤差修正を用いた反復線形解法」**

陰的及び陽的誤差修正を用いた反復法の収束性について理論的検討を行い、収束性を改善するために補助行列が満たすべき条件を示した。偏平要素を含む有限要素解析において効果的な補助行列を提案し、2次元及び3次元磁界解析においてその有効性を確認した。

**馬 場 猛 (中村(武)准教授)「常伝導/超伝導ハイブリッド2重かご型回転子を有する誘導/同期機の基礎検討」**

本研究では、高温超伝導線材ならびに常伝導(銅)線材を併用した常伝導/超伝導ハイブリッド2重かご型誘導機を提案した。また、試作機によって詳細な試験を実施し、常伝導状態ではすべりモード、超伝導状態では同期モードで回転可能なことを実証した。

**真 鍋 智 之 (中村(武)准教授)「SMES応用を指向したY系高温超伝導コイルの熱損失特性」**

本研究では、NEDOのプロジェクトとして推進されたY系高温超伝導SMES開発のための基礎検討を行った。特に、Y系線材の非線形通電特性を詳細に計測するとともに、同線材を適用したコイルの熱損失特性を数値計算ならびに実験で検討し、重要な知見が得られた。

**岡 田 雄 介 (小林(哲)教授)「脳磁図と機能的MRIを相補的に用いた複数皮質領域における動的神経活動の高精度推定法」**

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

**折 尾 大 樹 (小林(哲)教授)「脳機能計測を目指した拡散強調MRIの最適撮像条件に関する研究」**

近年注目を集めている拡散強調MRIを用いた脳機能計測法の有効性を確認すると共に、拡散強調MRIの最適撮像条件を検討するためMonte-Carlo法による制限拡散シミュレーション実験およびファントム実験を行い、信号強度に対する撮像パラメータの影響を確認した。

**柏 井 茂 達 (小林(哲)教授)「光ポンピング原子磁気センサの磁気光学回転に関する基礎的検討」**

光ポンピング原子磁気センサについて、種々のセンサ動作条件による磁気光学回転への影響について実験値と理論値の比較、検討を行った。実験値と理論値は良く一致し、センサ動作条件の最適値を示すことで、センサ感度の向上を実現した。

**北 野 允 大 (小林(哲)教授)「等価多重極モーメント法による損失性誘電体偏心多球モデル内外の電界磁界解析」**

人体頭部を表現する損失性誘電体偏心多球モデル内外の電界磁界を解析的手法により数値解析した。外部磁界印加時の頭部内誘導電界と、脳活動電流が誘起する頭部外部磁界とを、50~100kHzの周波数領域で計算し、導電電流成分と変位電流成分の寄与を明らかにした。

**小室 正之 (引原教授) 「インバータシステムの受動性に基づく制御に関する研究」**

本研究では、インバータとコンバータで構成される回路を対象として受動性に基づく制御の検討を行った。回路の蓄積エネルギーに着目し、適切な散逸を加えることで対象システムの制御則を導出した。その結果、回路のサブシステム単体時の制御則に基づいた制御則を得、その制御則の有効性を数値的及び実験的に検討した。

**澤田 高志 (引原教授) 「SiCパワー・ダイオードの特性の評価とモデリングに関する検討」**

SiCパワー・ダイオードの電力変換回路への応用に向けて、特性の評価と、そのモデルについて検討を行った。従来のSiを用いたパワー・ダイオードよりも低いオン抵抗や高速な逆回復といった特徴を実験的に確認した。これらの特性を表現するモデルを構築し、その妥当性を回路シミュレーションにより検証した。

**西尾 彬 (引原教授) 「SiCパワーモジュールの高温動作に向けた電気-熱連成解析」**

本研究では、複数のSiC-SBD素子をセラミック基板に実装し、素子温度の変化にともなう発熱量の変化を考慮したときのセラミック基板内部における熱伝導を数値的に検討した。また、実験によりSi半導体の動作限界温度を越える高温領域において電気回路解析、および熱伝導解析の妥当性について検証を行った。

**横井 裕一 (引原教授) 「周波数引き込み現象のエネルギーおよびパワーに基づく解析」**

電気電子工学分野において、同期現象は不可欠な物理現象である。本研究では、同期現象の一つである引き込み現象に対して、エネルギーに基づく解析により現象を支配する物理量を特定した。また、パワーに基づく解析から現象の発生に関わる位相方程式を物理的な意味を有する形で導出することで、現象のメカニズムを解明した。

**小山 敦 (和田教授) 「複素ホモトピーによる周期解探索における動く特異点に着目した考察」**

非線形回路における周期振動をパラメータ空間において系統的に探索するために、状態変数だけでなく時間も複素化したホモトピーを提案した。時間の複素化により、特異点を用いた振動の分類を可能にし、実数解と等しいクラスに注目した効率的探索を実現した。

**笹岡 邦徳 (和田教授) 「 $\Delta\Sigma$ 変換された信号を用いたArithmetic Fourier Transformのハードウェア化」**

メビウス関数を用いたフーリエ変換であるArithmetic Fourier Transform (AFT) の誤差を改善するために、オーバーサンプリングされた $\Delta\Sigma$ 変換信号を利用する方法を提案した。また、実際にFPGAを用いて試作を行なうことにより、その有効性を確認した。

**新谷 亨 (和田教授) 「1エンド測定法によるグラウンド非共通多ポート受動配線系の高周波インピーダンス測定」**

LSIパッケージなどの受動配線系の高周波伝達特性の実測法として、共通グラウンドを使用せず、伝送系の片方からの測定結果から全体の特性を推定する1エンド測定法につき、2ポート回路に対してその有効性を示し、さらに多ポート回路の等価回路モデルを抽出した。

**船戸 是宏 (和田教授) 「Sパラメータ測定によるLSIの内部結合を考慮したインピーダンスモデル抽出」**

LSI内部を線形等価回路と等価電流源で表現した電源系電流シミュレーションモデルの開発を行った。

GNDが共通でない回路のSパラメータ測定法と、多電源ピンを持つマイクロコントローラのSパラメータ測定結果からコアロジック部のインピーダンスモデルを抽出する方法を示した。

#### 山本 純也 (和田教授) 「設計情報に基づく多電源ピンLSIノイズモデルの簡略化」

LSI設計情報を元に作成された詳細なLSI電源供給系のノイズモデル回路の簡略化を行った。複数の電源・グラウンド接続を持つLSIコアロジック系について、ポートの位置等の情報を活用して内部を複数の領域に分割して簡略化する手法を提案し、高周波対応モデルを作成した。

#### 大西 祐輔 (萩原教授) 「不確かな線形時不変系の双対LMIに基づくロバスト性能解析」

不確かなパラメータを有する線形時不変系のロバスト性能解析問題に対し、標準的な手順で導かれる線形行列不等式 (Linear Matrix Inequality; LMI) の双対を考えることで、数値計算により算出された解析結果が厳密であることを保証するための条件を導出し、数値例を通してその有効性を示している。

#### 岡田 幸一郎 (萩原教授) 「Fast-Lifting Approach to General Sampled-Data Systems and Robustness Analysis with Noncausal Linear Periodically Time-Varying Scaling (一般的なサンプル値系に対する高速リフティングアプローチと非因果的周期時変スケーリングによるロバスト性能解析)」

直達項を有する一般的なサンプル値系に対する準最適な準有限ランク近似手法について、高速リフティング手法の枠組みにより論じ、この近似に基づく $H_\infty$ 離散化法ならびに非因果的周期時変スケーリングによるロバスト安定性解析手法を導出し、それらの有効性を示している。

#### 金盛 且洋 (萩原教授) 「2軸型空圧人工筋アームの軌道追従制御における圧力情報の利用と追従性能の向上」

空圧人工筋により駆動される2軸型アームについて、プラント変数最適制御系を適用した軌道追従制御について考察し、人工筋の圧力情報を利用したオブザーバと周波数依存型の定常偏差補償ゲインにより制御性能の大幅な改善が可能であることを、実験を通して実証している。

#### 神崎 誠 (萩原教授) 「反復学習制御手法による空気圧シリンダの目標値追従制御」

空気圧シリンダにおいて周期的目標軌道にテーブルを追従させるための反復学習制御について考察している。新たな学習則、ならびに、短いサンプリング周期の場合に生じる不安定零点に起因した問題を回避するための補正型の学習則の有効性について、実験で検証している。

#### 佐々木 庸介 (大澤教授) 「送電系統での無効電力消費を考慮した発電機・調相設備の系統電圧維持貢献度の評価」

発電機、調相設備などから供給される無効電力を、送電線などで消費される無効電力と、実際に負荷点まで届く無効電力に分離し、後者の大きさによって電圧維持貢献度を評価する手法において、電流の流れを追跡して両者を分離する方法を提案し、例題計算によってその有効性を検証した。

#### 竹田 大輔 (大澤教授) 「パルス電圧による真空中固体絶縁物の帯電特性」

高電圧真空遮断器の開発を目的として、絶縁性能を支配すると考えられている真空中の絶縁物の表面帯電特性の研究を行った。試料として定格電圧が7.2kVの真空遮断器用の実バルブを用い、シミュレーションによって電荷分布を解析するとともに、可動プローブによって電荷分布を測定して両者を比較検討した。

**山田 真 (大澤教授) 「改善型動揺方程式を用いた電力系統の位相平面解析及び安定評価」**

1 機無限大母線系統の動揺特性を解析するため、従来型動揺方程式の問題点をまとめた。続いて改善型動揺方程式の平衡点及び位相平面を調べた。La Salle安定定理とHamiltonian最小値定理を用いて動揺収束時間を短縮する制御法を考案した。最後に、例題で有効性を検証した。

**山本 貴 (大澤教授) 「静止型無効電力補償装置を用いた電力系統の安定化制御」**

1 機無限大母線系統の同期安定性向上のため、等面積法の問題点を分析し、リアプノフ法に基づく静止型無効電力補償装置を用いた安定化制御手法を提案した。提案法はロバスト性を保ち、制御の実現はユニークではなく複数の方式によって可能であるという利点を有する。例題で有効性を検証している。

**Netra Prasad Gyawali (大澤教授) 「Operational Strategies of a Microgrid with Inverter Interfaced Distributed Generators (インバータを用いた分散型電源からなるマイクログリッドの運用方策)」**

マイクログリッドの制御方式として連系線電力制御方式を取り上げ、電力制御と電圧無効電力制御の各方式を確立するとともに、周波数復旧制御ならびに高R/X比線路の場合の電力制御方式を提案し、単純なモデルにおける数値シミュレーションによって提案手法の妥当性を明らかにした。

**工学研究科 電子工学専攻**

**熊野 哲 弥 (鈴木教授) 「高誘電体 $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ 薄膜のスパッタ法による作製とその特性に関する研究」**  
強誘電体ではないものの室温で誘電率が80000に達する高誘電体 $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ の薄膜をマグネトロンスパッタ法で初めて作製し、そのエピタキシャル薄膜の成長に成功した。10 $\mu\text{m}$  line&spaceのインターデジタル電極を用いて誘電率を測定し、室温、1kHzで90000の値を得た。また、薄膜では誘電率が大きな温度分散と周波数分散を示した。

**竹村 亮 太 (鈴木教授) 「 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ 固有ジョセフソン接合微小構造作製とその特性測定に関する研究」**

量子ビット素子などへの応用をねらいとして、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ 単結晶から数層の固有ジョセフソン接合を含む大きさ5 $\mu\text{m}$ 角の微小構造を両面劈開加工法で作成し、均一な5層の特性を観察することに成功した。またこれらの微小構造を用いてスイッチング確率分布、トンネル分光特性、磁場中分光などを測定し、高温超伝導の特異な物性を明らかにした。

**多田 知 弘 (鈴木教授) 「 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 高温超伝導体/ $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 巨大磁気抵抗体c軸二層膜の作製に関する研究」**

これまでの超伝導/強磁性2層薄膜の展開として、超伝導層に $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ を選びそのエピタキシャル成長と積層化を検討した。現在の技術では超伝導転移温度 $T_c$ が50K程度であり、また、組成ずれがあって表面も平坦性に欠けるなど、超伝導層に $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ を用いた場合における平坦界面2層膜作製の問題点を明らかにした。

**大和田 淳 (石川教授) 「イオン注入装置の空間電荷中和素子応用を目的としたシリコン電界放出電子源の開発と表面炭素化の検討」**

次世代イオン注入装置におけるイオンビーム空間電荷中和用素子としてシリコン電界放出電子源を取り上げた。CHF<sub>3</sub>プラズマ処理とC<sup>-</sup>負イオン注入処理により動作寿命を伸ばすことができることを示すとともに、寿命が動作電流に反比例することを見出した。

**神 澤 太 郎 (石川教授) 「冷陰極材料としての窒化ハフニウム薄膜の作製と評価」**

高周波マグネトロンスパッタ法およびイオンビームアシスト蒸着法により窒化ハフニウム薄膜を形成して窒素組成、電気抵抗率、仕事関数、内部応力、スパッタ率などの薄膜物性を評価した。その結果から上記の二種類の成膜方法のもつ得失について議論した。

**小 嶋 研 史 (石川教授) 「負イオン注入法によるゲルマニウム添加シリコン酸化薄膜の発光特性向上に関する研究」**

ゲルマニウム負イオン注入した二酸化シリコン薄膜からの発光特性を、添加ゲルマニウム量と後熱処理の条件を変えてカソードやフォトルミネッセンスを測定した。その結果、波長400nm近傍の発光特性の向上の条件を見出し、電界発光で青色のEL発光を観測した。結果として、Ge注入による青色発光材料開発の可能性を得た。

**山 田 哲 也 (石川教授) 「炭素負イオン注入処理による医療用シリコンラバー上での間葉系幹細胞のパターン接着と神経細胞への分化誘導」**

不活性なシリコンラバーに炭素負イオン注入処理を行い、表面親水性を向上させて、間葉系幹細胞の接着性を向上し、マスク注入により注入パターンに沿った幹細胞の自発的な配列接着を得た。また、接着パターンを保持したまま神経細胞への分化誘導にも成功した。結果として、間葉系幹細胞から人為的神経回路網形成の可能性を得た。

**木 村 優 (橘教授) 「水面及び水中気泡内における放電の生成とその応用」**

水面及び水中での新規反応場の創成を目指して、電極の設計及びプラズマ生成を行った。大気圧下の水面上や電気分解により生成された気泡中において、誘電体バリア放電によりプラズマを生成して発光スペクトル分析を行い、またそれを用いた有機化合物の分解を行った。

**田 邊 浩 平 (橘教授) 「Mnドープ透明導電ITO薄膜の作製と磁気特性に関する研究」**

透明導電膜ITOにMnをドープすることにより、低抵抗かつ透明な室温強磁性半導体を作製することに成功した。薄膜の構造解析に加えて、磁気・電気・光学物性のMnドープ量依存性を調べることにより、その室温強磁性発現のメカニズムの解明を行った。

**中 西 博 保 (橘教授) 「テラヘルツ時間領域分光法を用いた複素誘電率スペクトル測定によるプラズマ診断」**

超短パルス状のTHz波を用いて時間領域分光法を適用し、数十GHz帯からTHz波の周波数領域でプラズマの複素誘電率を測定して、その周波数スペクトルがドルーデ型であることを確認した。さらに、マイクロプラズマの2次元周期構造の診断へ応用し、電子密度の測定を行った。

**本 間 紘 平 (橘教授) 「Pr<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>MnO<sub>3</sub>薄膜の作製と電気パルス誘起抵抗スイッチング特性に関する研究」**

化学気相成長法ならびにマグネトロンスパッタ法を用いてペロブスカイト型マンガン酸化物 (PCMO) 薄膜を作製し、電気パルス誘起抵抗 (EPIR) 変化を確認した。そのEPIR効果の発現に関して、交流インピーダンス法等を用いてバルク部ならびに電極界面部の寄与を明らかにした。

**鈴 木 亮 太 (木本教授) 「抵抗変化型不揮発メモリ用NiO薄膜の物性と抵抗スイッチング機構に関する研究」**

NiO薄膜の物性と膜の抵抗スイッチング特性の関係を解明することを目指した。高周波スパッタ法により堆積したNiOの組成や結晶性、欠陥準位を調べ、基礎データを取得した。NiO膜の電気的性質の温度依存性から電気伝導機構について考察した。

**千 賀 景 (木本教授) 「AlN第二次高調波発生素子応用に向けたSiC分極反転構造の作製」**

深紫外域レーザー光発生素子の実現に向けて、そのテンプレートとなるSiC分極反転構造作製の基盤技術の確立を目指した。水素イオン注入を用いたSiC薄膜剥離に取り組み、ポイド形成や剥離の結晶面方位依存性を明らかにした。また、ヘテロエピタキシャル成長によりSiC/Si/SiC構造を形成し、配向制御を行った。

**堤 卓 也 (松重教授) 「化学吸着法により形成した有機半導体オリゴチオフェン単分子膜の構造と電気特性」**

自己組織化法を用いた有機電界効果トランジスタ作製プロセスの開発を目的として、新規合成オリゴチオフェンモノエトキシシラン分子の化学吸着膜の作製、構造評価、電気特性評価を一貫して行い、有機単分子膜トランジスタ実現に向けた数々の知見を得た。

**常 見 英 加 (松重教授) 「ナノスケール物性計測に向けた多探針走査型原子間力顕微鏡システムの開発」**  
ナノ構造試料に対する「多端子電気測定」や「刺激-応答計測」等を目的として、多探針原子間力顕微鏡を開発した。また、2探針同時の表面形状像取得および、有機半導体 (無置換オリゴチオフェン6量体) 薄膜に対する電気物性評価を行い、今後の応用計測への可能性を示した。

**堀 内 喬 (松重教授) 「液中動作周波数変調方式AFMの動作解析とその生体分子高分解能観察への応用」**  
液中で動作する周波数変調 (FM) 方式原子間力顕微鏡 (AFM) における信号および雑音を定量的に解析し、生体分子を高分解能観察するための最適な動作条件を明らかにした。また、紫膜上のバクテリオロドプシン分子を液中で観察し、分子分解能を得ることに成功した。

**本 所 卓 也 (松重教授) 「トランジスタ型有機強誘電体メモリでの自発分極によるキャリア変調とデバイス特性」**

有機強誘電体であるフッ化ビニリデンオリゴマーと有機半導体のペンタセンを用いた、金属/半導体/強誘電体/金属の積層キャパシタデバイスとトランジスタ型強誘電体メモリを実現し、強誘電体/半導体界面での自発分極によるキャリア変調と不揮発性メモリ特性との相関について、詳細な評価及び考察を行った。

**加 門 宏 章 (川上教授)「極性・非極性面AlGaIn系半導体における紫外発光の異方性」**

深紫外発光材料として有力な窒化物半導体AlGaInに関して、とくに光学遷移の異方性の結晶面方位依存性に注目し、 $k \cdot p$ 摂動法によるバンド構造の計算と発光および反射測定による検証実験を行った。その結果、この材料系を用いた光学素子の設計指針を得た。

**林 敬 太 (川上教授)「マイクロファセットを用いた三次元構造InGaIn系発光素子に関する研究」**

GaN微細構造上にInGaIn量子井戸を発光層を持った発光ダイオードを試作した。微細構造を形成する複数のファセット結晶面から異なる発光が同時に得られることを利用し、白色を含む多彩な発光色を実現した。また、レーザの作製に向けて偏光特性の評価を行った。

**蘇 嵐 (川上教授)「微細加工によって作製したナノピラーInGaIn/GaN量子井戸の発光再結合過程」**

直径数100nmから数ミクロンのナノピラー構造中に存在するInGaIn/GaN量子井戸におけるキャリア再結合過程を光学的に調べ、歪みの緩和による内部量子効率の改善やナノ構造に起因した光取り出し効率の改善のメカニズムを明らかにした。

**柏 木 淳 一 (野田 (進) 教授)「2次元フォトリック結晶面発光レーザの高出力化に関する研究」**

Junction Down実装および窓型電極の導入により光取り出しを改善し、二等辺三角形格子点の導入によりフォトリック結晶の光閉じ込め効果を最適化した。これにより室温パルス駆動下において高出力で発振するレーザが得られた。

**中 森 毅 (野田 (進) 教授)「2方向斜めエッチング型3次元フォトリック結晶への発光層導入に関する研究」**

Siからなる3次元フォトリック結晶にInP系という異種材料からなる薄膜発光層を導入し、発光を観測することに成功した。また理論検討により発光層厚が30nmと薄い場合には10%程度の完全フォトリックバンドギャップが維持されることが分かった。

**萩 野 裕 幸 (野田 (進) 教授)「2次元フォトリック結晶面共振器の高Q値化に関する研究」**

共振器を構成する空気の半径や位置の作製揺らぎがQ値に与える影響について評価し、揺らぎに強い共振器構造を検討した。さらに作製プロセスの改善により損失の低減を行った結果、ナノ共振器における世界最高の実験Q値である250万を達成した。

**望 月 敬 太 (野田 (進) 教授)「量子井戸のサブバンド間遷移とフォトリック結晶場による熱輻射制御の研究」**

通常の黒体輻射と比較して狭い輻射帯域をもち、かつその帯域では黒体に近い強度の輻射を生じる効率的な熱輻射源を実現する方法を理論および実験の両面から検討した。最終的に作製した試料からの輻射スペクトルは黒体の数分の1の幅でありかつそのピーク強度は黒体の6割程度であった。

**Upham Jeremy (野田 (進) 教授)「2次元フォトリック結晶の動的制御」**

光パルスを用いてピコ秒程度の中に2次元フォトリック結晶デバイスの性質を動的に変化・制御することに成功した。具体的にはフォトリック結晶共振器へ捕らえた光パルスの意図的な解放およびフォトリック結晶導波路を伝搬する光パルスの波長の変換機能を実証した。

**池田浩司 (北野教授) 「Yb<sup>+</sup>の量子計算遷移用半導体レーザーの開発」**

寿命10年のYb<sup>+</sup>S-F遷移(波長467nm)を量子計算に用いるには、発振線幅が極めて狭く高出力の青色レーザーが必要である。高出力の外部共振器型テーパー半導体レーザーの第二高調波で19mWを発生させ、電気光学変調器の自作や光共振器の鉛直設置など狭窄化実験を進めた。

**酒見和生 (北野教授) 「フォトリック結晶ファイバによる光子対の生成と2光子干渉」**

量子相関をもつ光子対をフォトリック結晶ファイバにおける四光波混合によって生成する方法とその2光子干渉について研究した。実験において、光子対の生成および、古典限界を超える83%の明瞭度の2光子干渉縞の観測に成功した。

**野呂周一郎 (北野教授) 「Yb<sup>+</sup>時計遷移用レーザーの線幅評価のための狭線幅半導体レーザーの開発」**

光時計では基準遷移の自然幅より狭い発振線幅がレーザーに要求され、Yb<sup>+</sup>の<sup>2</sup>S<sub>1/2</sub>-<sup>2</sup>D<sub>5/2</sub>遷移では20Hzである。広い制御帯域と高い周波数弁別能力を2台の光共振器で分担して実現した狭線幅半導体レーザーシステムを2台構築し、それらのビート信号から線幅を10kHz以下と評価した。

**吉武惟之 (北野教授) 「量子計算実現に向けたリニアイオントラップ中Ba<sup>+</sup>のレーザー冷却及びトラップの小型化」**

光イオン化を導入してトラップするイオン数の制御性を改良し、個数を数100個まで低減させて2K程度までレーザー冷却を進めた。量子計算で必要となる波長サイズ以下への閉じ込めのために、大きさ1mm以下の微小トラップの最適な電極形状をシミュレーションで決定した。

**光・電子理工学教育研究センター****杉山和道 (高岡教授) 「クラスターイオンのサイズ分離・分析と固体表面照射効果」**

本研究では、エタノールクラスターやアルゴンクラスターのサイズ分離・分析に関して、飛行時間型質量分析法や減速電界法、あるいは四重極高周波電界法を用いて実験を行い、クラスターサイズの蒸気圧やガス圧力依存性などを明らかにした。また、エタノールクラスターイオン照射特有のスパッタリング効果のサイズ依存性を明らかにした。

**多田啓志 (高岡教授) 「水クラスターイオンのビーム輸送特性とスパッタリング現象に関する研究」**

本研究では、水クラスターイオンの基本的特性として、クラスターサイズ分布やイオンビーム輸送特性を明らかにした。また、イオン化・加速した水クラスターイオンビームをSi、SiO<sub>2</sub>、FET基板に照射し、基板のスパッタリング現象の加速電圧依存性、ドーズ量依存性、入射角依存性などを明らかにした。

**早川友康 (高岡教授) 「パルス電着法による骨類似アパタイト薄膜の作製と特性評価」**

本研究では、医療材料としても注目されているチタン基板材料に、パルス電着法によって骨類似アパタイト薄膜の形成を行い、薄膜の付着力や成長速度の改善に成功した。また、薄膜形成メカニズムを明らかにすると共に、複雑形状のチタンメッシュ表面への骨類似アパタイト薄膜形成に成功した。

## 情報学研究科 知能情報学専攻

### 村 脇 有 吾 (黒橋教授) 「形態論的制約に基づく実テキストからの語彙の自動獲得」

本研究では、実テキストから語彙を逐次獲得し、その場で形態素辞書を自動更新するという枠組みと、その具体的な実装として、日本語の形態論的制約を用いる手法を提案した。提案手法により、比較的少量の用例から精度良く語彙獲得が行えることを示した。

### 馬 場 康 夫 (黒橋教授) 「キーワード蒸留に基づく大規模ウェブ情報の集約」

本研究では、ウェブ検索結果の数千ページを対象として、キーワードを自動抽出し、検索結果をクラスタリングする手法を提案した。特に、表記揺れ、同義表現、包含関係等を考慮することにより高精度なキーワード抽出を実現した。

### 大 西 哲 朗 (松山教授) 「合意形成対話における意図確認行為とその応答行為のタイミング構造分析」

2者の合意形成対話において、応答タイミングが心的状態に従って調整されるという仮説を立て、発話と身体動作に基づく意図確認と応答のタイミング構造を分析した。不同意応答が同意応答のタイミングより遅く、顔向けを伴う意図確認に対してさらに遅くなることを明らかにした。

### 畑 中 陽 介 (松山教授) 「照明変動基底を用いた運動物体上の特徴点追跡」

動画像における対象追跡では、各時刻の画像における特徴点を相互に対応付ける必要がある。本研究では、追跡点周辺の照明変動基底を獲得、更新し、それを追跡に利用することで、従来法では難しかったテクスチャレス領域の特徴点追跡が実現できることを示した。

### 三 井 健 (松山教授) 「動画像における時空間ダイナミクスのモデル化」

動画像における複雑なテクスチャ変化を表現することを目的として、対象領域の形状変化を表現する「領域ダイナミクス」のモデルと、固定領域における2次元信号の変化を表現する「テクスチャダイナミクス」のモデルとを統合した新たな枠組みを提案した。

### 宮 本 新 (松山教授) 「3次元モデルを用いた重度の接触を含む複雑な人体動作の推定」

多視点画像を元に復元された人体の3次元形状からその動作を推定する問題に対して、観測不可能領域の推定手法を提案し、これを用いて体節同士が重度に接触する複雑な動作に対しても適用可能なアルゴリズムを提案した。

## 情報学研究科 通信情報システム専攻

### 清 嶋 耕 平 (吉田教授) 「マルチホップ協力通信における中継局間周波数オフセット対策の研究」

マルチホップ協力通信における中継局間の周波数オフセット問題について、周波数領域等化による受信を行う場合の対策を検討している。また、中継送信時における簡易な補正処理による対策方式を提案し評価を行っている。

**田中 悠介 (吉田教授) 「マルチホップ無線ネットワークにおける高効率周波数利用を実現するチャンネル選択法の研究」**

シングルホップ無線ネットワークに適したチャンネル選択法であるSC-ADPアルゴリズムのマルチホップ無線ネットワークにおける導入効果を評価している。その特性評価を基にマルチホップ無線ネットワークに適したチャンネル選択法としてPB-SC-ADPアルゴリズムを提案し、その有効性を確認している。

**単 麟 (吉田教授) 「Study of Relay Strategies and Fair Resource Allocation in Cooperative OFDMA Cellular Networks (協力中継を導入したOFDMAセルラ網における中継戦略と公平な資源割当に関する研究)」**

マルチセル環境における非再生中継であるamplify-and-forwardおよび再生中継であるdecode-and-forwardの中継方式を適用したシステムの伝送容量及び公平性の比較を行っている。また、公平性を考慮したOFDMAサブキャリア割当と送信電力分配によるシステム容量及び公平性の向上効果を確認している。

**劉 泳 眞 (吉田教授) 「コグニティブ無線における情報交換による共存制御法に関する研究」**

他システムの信号検出による送信開始制御に加え、自システムの無線局の協力により把握した他システムの推定被干渉情報に基づく送信電力制御を行う帯域共有方式を検討している。さらに、システム全体の安定な通信環境を構築し維持するために必要な情報項目についての検討も行っている。

**林 大 祐 (守倉教授) 「デュアル周波数変換型ヘテロダインマルチモード受信機」**

本論文では、一つの端末で複数の無線通信システムで利用可能な受信機に関して、アナログ無線回路に含まれるヒルベルト変換器の不完全性を補償し、イメージバンド干渉抑圧を行う際に、従来方法に比較し収束時間が短い方式を提案し所望の特性を計算機シミュレーションにより得た。

**藤田 隆 史 (守倉教授) 「擬似直交STBCと誤り訂正符号の連節化に関する研究」**

本論文では、高速・高品質な移動無線方式の実現を目指し、畳み込み符号と擬似直交STBCを接続した符号を提案する。最適な誤り率特性を得るために従来独立に復号されていた符号を一括して復号する方法を提案し、計算機シミュレーションにより良好な特性を得た。

**本田 慎 也 (守倉教授) 「電力線通信における電源周期ビットローディングアルゴリズム」**

屋内電力線通信の通信品質が家庭内で接続される電化製品のスイッチング電源により影響を受ける。本論文ではこのような通信路において送信電力一定という条件のもとで伝送速度を改善するアルゴリズムの提案を行い、従来法より優れた伝送速度が得られることを示した。

**尾曾越 雅 文 (高橋教授) 「光パケットネットワークのための高スループットTCP実現に関する研究」**

超高速大容量化を可能にする光パケットネットワークが注目されているが、定常的パケット廃棄など従来の電気ネットワークとは異なる課題がある。可用帯域推定やRTT(往復遅延)短縮、パケット送出間隔制御を施したTCPによって、スループットを大幅に向上できることを示した。

**河村 篤 志 (高橋教授) 「高品質・高効率無線マルチキャストの研究」**

無線マルチキャストは多端末に同時にデータを伝送する技術であるが、その電波資源利用効率やサービス品質は個々の端末の電波環境に左右される。マルチセル環境やメッシュ環境に適用可能なパス制御ア

ルゴリズムを開発し、品質・効率の向上に成功した。

**田 尻 敏 寛 (高橋教授) 「モバイルP2P情報共有のためのダウンロード方式」**

モバイル端末同士が対等に直接情報交換を行うモバイルP2P (Peer-to-Peer) 情報共有が期待されている。本論文では、モバイル端末の負荷軽減と転送速度の高速化を同時に達成するダウンロード方式を提案し、その有効性をシミュレーションによって示した。

**李 云 (高橋教授) 「Adaptive MAC for Fairness Improvement in WLANs with Hidden Stations」 (無線LANの隠れ端末トポロジにおいて公平性を改善する適応アクセス制御)**

無線LANのアップリンクでは、端末が互いに電波を検知できない隠れ端末関係によって、スループットが不公平になる問題がある。平均スループット・衝突率といった共通情報のみを用い、各端末のパラメータを動的制御することで、その問題を解消した。

**チャン フ ソン (越智准教授) 「並列パイプライン処理に特化した粗粒度再構成アーキテクチャ」**

本研究ではマルチメディア処理に多く含まれるループ演算に着目し、ループレベル並列実行を可能にするスケーラブルな粗粒度再構成アーキテクチャLERAを提案する。ベンチマークを用いた実験より、既存アーキテクチャと同程度以上の性能面積比が得られることを示唆する結果が得られた。

**原 悠 記 (越智准教授) 「多段粒子フィルタを用いた物体認識の並列化検討」**

近年、精度の低い識別器を用いて候補領域の絞り込みを行うことで、高い精度を維持しながらも高速に物体認識を行う多段粒子フィルタが提案された。本研究では並列化によって更なる高速化を行うことを検討し、その実装例としてCell/B.E.上での並列実装を行った。

**日 向 文 彦 (越智准教授) 「物体境界に基づく全方位画像向けステレオマッチング」**

2台の全方位カメラを用いて高精度な距離計測を行うため、物体境界を用いることで比較的頑健な対応が得られるステレオマッチングを用いる。このとき、一般的に行なわれるパノラマ展開を行わず、全方位画像のままステレオマッチングを行うことで距離精度向上を達成した。

**久保木 猛 (小野寺教授) 「CMLを用いた高速信号伝送用CMOSドライバ回路の設計手法」**

本論文では、集積回路で用いられる電圧および電流モード素子の高速駆動回路の設計について述べる。電圧モード素子の駆動回路として、チップ内通信用駆動回路の低消費電力設計を提案し、実測で消費電力削減を確認した。電流モード素子の駆動回路として、チップ外の光通信用LDの駆動回路設計を検討した。

**杉 原 有 理 (小野寺教授) 「ランダムばらつきを利用した配線入れ替えによるFPGAの性能向上手法」**

集積回路の微細化に伴い、製造ばらつきが問題となっている。本論文ではFPGAにおいてランダムばらつきが支配的な場合に高速な配線トラックを用いることによって性能を向上する手法を提案している。ベンチマーク回路による評価の結果、ばらつき幅10%で30.13%の歩留まり向上、2.58%の速度向上を達成した。

**関 良 平 (小野寺教授) 「基板電圧制御によるCMOS回路のばらつき補償低電力化設計」**

基板電圧制御時のCMOS回路の動作速度制御性を実測し、微細化が進んだ90nmプロセスで高い制御性が得られた。省電力・省面積化を狙い基板電圧を電源電圧相当印加するか一切印加しないかで制御する

回路を設計した。電源電圧0.8V以下においてこの設計手法が有効であることを示した。

**福 岡 孝 之 (小野寺教授)「論理ゲート動作モデルを詳細化した統計的な回路遅延解析」**

本論文では、遷移時間ばらつきと同時スイッチングの影響の考慮により、統計的静的遅延解析 (SSTA) の精度を向上させる手法を提案した。トランジスタレベルの回路シミュレーションのモンテカルロ解析との比較により、提案手法を使用したSSTAによって誤差が低減できることを示した。

**小 嶋 武 郎 (佐藤教授)「光差動位相変調方式に対する相互位相変調の影響の統計的評価法」**

光差動位相変調 (DPSK) 方式に対する相互位相変調 (XPM) の影響の統計的な評価法を提案した。提案法では高速な評価が可能となる。また、XPMによるDPSK信号の伝送特性の大きな劣化要因は、XPMによる位相変化ではなく、パワー変化であることが分かった。

**原 田 知 幸 (佐藤教授)「マルチスタティック大気レーダーと適応信号処理による高空間分解能3次元風速場推定法」**

大気観測において、各散乱点でのエコーを同時に3箇所を受信するマルチスタティック方式では風速一様性を仮定しないため、空間分解能は大きく向上する。本論文では赤道大気レーダーの観測データから3次元風速場を推定するための信号処理技術の開発を行った。

**前 島 宗 久 (佐藤教授)「モード結合を考慮した選択モード励起法による多モードファイバ伝送」**

選択モード励起法を適用した多モード光伝送システムに対して、モード結合を考慮したシミュレーションを行い、モード結合の伝送特性への影響を検討した。選択モード励起法を改良し、広い範囲の伝送路において有効であることを明らかにした。

## 情報学研究科 システム科学専攻

**小 林 良 樹 (松田教授)「Watershed Lake Treeを用いた3次元MRI時系列データを対象とする左心室およびその周辺領域の抽出システム」**

3次元MRI時系列データから左心室、左心房および大動脈の容積変化を解析するため、マーカを用いて各領域を選択し、Watershed Lake Treeを用いてこれらの同時抽出を行うシステムを構築し、その有効性を評価した。

**高 田 康 弘 (松田教授)「心臓ポンプ機能の効率評価のための循環動態シミュレーションシステムの構築」**

現実的な計算時間で、エネルギー代謝の評価に必要な精密心筋細胞モデルを用いた左心室拍動シミュレーションモデルを計算するため、クロスブリッジ近似モデルを提案した。シミュレーションの結果、収縮末期圧容積関係、PVA酸素消費関係等の生理特性が再現できた。

**冨 田 幸 子 (松田教授)「低酸素状態再現のために解糖系を導入した心筋細胞モデルの構築」**

低酸素に対する心筋細胞の応答を再現するため、心筋細胞モデルKyoto modelに解糖系モデルを導入した。動物実験の実験条件に従いペーシングを行っていない心筋細胞の低酸素に対する応答のシミュレーションを行い、動物実験結果の傾向と高い類似性を示す結果を得た。

## エネルギー科学研究科 エネルギー社会・環境科学専攻

近 藤 佑 樹 (下田准教授)「オフィス環境評価のための新知的パフォーマンステストの開発と評価」  
オフィスワークの知的生産性を定量的に評価することを目的として、新知的パフォーマンステスト (CPTOP2) を開発した。被験者実験により、CPTOP2実施中の脳活動状態をNIRS (近赤外分光法) で計測し、照明環境を改善した時の知的生産性の向上効果をCPTOP2で評価した。

### 松 田 亘 司 (下田准教授)「リスクコミュニケーションにおける相互理解促進のためのディベート支援システムの応用に関する研究」

ディベート支援システムを用いてリスクコミュニケーションを成功させる必要条件である相互理解を促進する手法を提案し、被験者実験により評価した。その結果、提案手法は「低減対策・事故時対応」について相手を理解することに効果があることがわかった。

楊 首 峰 (下田准教授)「拡張現実感用画像マーカの3次元位置自動計測システムの開発と評価」  
原発内での使用を想定した拡張現実感用画像マーカの3次元位置を、レーザ距離計測器とカメラを用いて自動的に計測するシステムを開発し、実験室内および原発内で各種性能評価を行った。その結果、本システムは高い実用性があり、計測労力を大幅に低減できることが分かった。

## エネルギー科学研究科 エネルギー基礎科学専攻

片 山 大 輔 (近藤教授)「ヘリオトロンJ装置におけるイオンのエネルギースペクトルに関する研究」  
ヘリオトロンJのICRF,NBIプラズマでそれぞれ高速イオンの空間分布、ピッチ角分布を求めることにより、イオンの加速方向の異なる加熱によって生じる高速イオンのピッチ角依存性を明らかにした。

中 嶋 祥 乃 (近藤教授)「ヘリオトロンJにおける軟X線波高分析法を用いた放射スペクトルの研究」  
ヘリオトロンJプラズマから放射される軟X線のエネルギースペクトルから電子温度の評価を行い、その空間分布加熱方法による違いを明らかにした。更にFe、Cr、Ti のK $\alpha$ 線からこれら不純物量の評価を試みた。

### 松 岡 浩 然 (近藤教授)「ヘリオトロンJにおける不純物挙動に関する分光学的研究」

ヘリオトロンJプラズマで見られる不純物イオンの発光スペクトルを真空紫外分光器で同定を行い、加熱方式による発光の違いを明らかにした。偶発的にプラズマ中に混入する不純物の時間変化から不純物閉じ込め時間の評価を行った。

山 田 裕 康 (近藤教授)「ヘリオトロンJプラズマにおける電子バーンシュタイン波加熱の数値解析」  
立体磁気軸装置では3次元MHD平衡を考慮してRF波のプラズマ吸収を計算しなければならない。VMECコードのためのinverse-mappingコードを開発しray-tracingの数値解析を行い、プラズマ中でモード変換が起こることを確かめた。

## エネルギー科学研究科 エネルギー応用科学専攻

石川 博之 (白井准教授) 「New Methods of Identifying Power System Characteristics Based on Data Measured On-line (オンライン計測データに基づいた電力系統の新しい解析手法)」

高速電力制御可能なエネルギー機器から電力系統に微小電力を注入し、これに対する系統応答からシステム同定の手法を用いて、オンライン計測データに基づいた系統特性同定手法を提案し、分散電源を含んだ系統を模擬したアナログ型系統シミュレータで実証試験を行いその有用性を示した。

正野 由美 (白井准教授) 「Basic Studies on the Design of Superconducting Fault Current Limiter in Power System (電力系統用超電導故障電流限流器の設計に関する基礎研究)」

実験データに基づいたシミュレーションによって超電導故障電流限流器の電力系統における効果を検証するとともに、高温超伝導線材を用いて巻き戻しコイル構造を持った新しい変圧器型限流器の提案と設計製作を行い、基本特性試験を行ってその特長、有用性を示した。

## エネルギー理工学研究所

椎山 拓己 (増田准教授) 「三極管構造による熱陰極型高周波電子銃生成ビームの高輝度長パルス化」  
高周波三極管構造を導入した熱陰極電子銃の最適設計を行った。長パルス化の際に発生する輝度劣化の課題を克服するため、ウェーネルト構造採用を提案してその最適形状を数値解析により導き、約10倍の長パルス化と約16倍の高輝度化の同時達成の可能性を示した。

藤本 武士 (増田准教授) 「慣性静電閉じ込め装置における核融合反応分布計測の高度化」  
慣性静電閉じ込め装置において核融合反応陽子検出の雑音低減に成功し、従来のD-3He反応陽子に加え、低エネルギーで計測困難であったD-D反応陽子の同時計測を可能にした。その結果、両反応が異なる空間分布であることを明らかにした。

濱上 史頼 (水内教授) 「ヘリオトロンJにおける荷電交換再結合分光法を用いた不純物イオン温度・回転速度計測」

ヘリオトロンJにおいて荷電交換再結合分光システムを構築し、イオン温度・プラズマ回転速度の空間分布計測を行った。炭素イオンの荷電交換再結合に起因した発光を観測し、プラズマ中心付近でその温度が140eVと評価された。

向井 清史 (水内教授) 「ヘリオトロンJ装置における電子密度分布計測を目的としたマイクロ波AM反射計の開発」

ヘリオトロンJプラズマの電子密度分布計測を目的としたXモードマイクロ波AM反射計の設計および構成部品の性能試験を行った。また、計測される位相変化量の相対値から密度分布を再構築するプログラムを作成した。これらの結果、プラズマ計測に対しての見通しを得るに至った。

**村 井 謙 介 (水内教授) 「複数の方向性プローブによるヘリオトロンJ周辺プラズマ解析」**

複数の方向性プローブを用いることにより、ヘリオトロンJ装置の電子サイクロトロン加熱プラズマで生じる自発的閉じ込め状態遷移前後で、周辺プラズマ分布並びにプラズマ流れに特徴的な変化があること、それらの変化は、トーラス上均一ではないことなどを初めて明らかにした。

**安 田 弘 之 (水内教授) 「ヘリオトロンJにおけるECHパワー吸収分布の共鳴位置依存性」**

ヘリオトロンJにおいて、ECEラジオメータを改良することによりプラズマ中心領域を常時測定すると同時に弱磁場側計測を可能とした。ECHパワー吸収位置が磁気軸に位置した場合に電子が高効率に加熱されることが実験で得られ、レイトレーシング計算結果と傾向が一致した。

**高 橋 裕 (佐野教授) 「ヘリオトロンJのイオンサイクロトロン周波数帯加熱における高速粒子挙動の実験的研究」**

ヘリオトロンJのイオンサイクロトロン周波数帯加熱の高効率化を目的として、2本のアンテナ間電流位相差特性および少数イオン比特性等を実験的・理論的に検討し、高バンピネス配位の優位性およびモンテカルロ法によるドリフト軌道計算予測との良い一致を検証した。

**生存圏研究所****青 木 裕 一 (山本 (衛) 教授) 「統合観測FERIX-2による中緯度電離圏E-F領域相互作用に関する研究」**

中緯度電離圏E領域、F領域における沿磁力線イレギュラリティ (FAI) の相互作用について調べた。2007年夏季に、MUレーダーによるF領域FAI観測と山形県酒田市からの小型レーダーによるE領域FAI観測を同時実施し、レーダーイメージングを用いてその詳細構造を明らかにした。

**岸 豊 久 (山本 (衛) 教授) 「VHF帯大気レーダーとライダーによる非降水雲内及び周辺の風速観測」**

晴天域・雲域を問わず大気風速を観測可能なVHF帯大気レーダー (MUレーダー及び赤道大気レーダー) と、粒径が数百 $\mu\text{m}$ 以下と小さい雲粒を検出可能なレーザーレーダー (ライダー) の観測データを用いて、非降水雲内及び周辺における風速変動の詳細を示した。

**田 畑 悦 和 (橋口准教授) 「Wind Profiler Radar Observations over Indonesian Maritime Continent (インドネシア海洋大陸域におけるウィンドプロファイラー観測)」**

「海大陸レーダーネットワーク構築」により設置されたポンティアナとビアクのウィンドプロファイラーデータの解析を行った。前者は海洋大陸における陸域の、後者は海域における日変化の特徴を持っていた。ビアクでは超雲団通過時に西風強化と共に降雨が集中していた。

**東 洋 佑 (津田教授) 「GPS掩蔽データの格子点化手法の開発」**

2006年に6機のGPS受信衛星群からなるCOSMICが打ち上げられ、気温、水蒸気等の鉛直プロファイルを求めるGPS掩蔽観測が、以前より飛躍的に高頻度で行われるようになった。本研究では、COSMICの軌道特性まで考慮して、大量のデータから気温等の時空間変動をこれまでにない分解能で導出する手法を開発した。

**佐藤 陽介 (津田教授) 「小型ラマンライダーによる沖縄亜熱帯域下部対流圏の水蒸気分布の観測」**  
小型の水蒸気ラマンライダーを沖縄の亜熱帯域で長期定常観測を行なうように無人観測システムを構築し、約2年間にわたり夜間の高度3-4kmまでの水蒸気プロファイルと後方散乱係数の連続観測を行なった。観測データから水蒸気の時間空間変動の特性を明らかにし、またGPS衛星掩蔽観測の地上検証を行なった。

**児島 淳一郎 (山川教授) 「マイクロ波を用いた電気自動車無線充電システムの高効率化」**  
地上のスロットアンテナからマイクロ波を電気自動車の下面のレクテナに送信し、直流に変換する無線充電システムの高効率化について研究を行った。地上設備と自動車の具体的な形状を考慮してスロットアンテナの最適化を行い、レクテナの整流器を再設計することで全体効率を16%から22%に上昇させた。

**南 祐一郎 (山川教授) 「超電導コイルを用いた磁気セイル宇宙機の推力特性に関する研究」**  
磁気セイル宇宙機は、超電導コイルにより人工的に磁場を生成し、太陽風のエネルギーを推進力に変換する宇宙システムである。本研究で、超電導コイルを2本の線電流で近似する2次元の簡易推力モデルを構築し、超電導特性の有無による推力の大きさの違いを評価した。また、推力と超電導コイルのサイジングの関係を導いた。

**今里 康二郎 (大村教授) 「3次元粒子シミュレーションによる極域衛星帯電の能動的緩和に関する研究」**  
極域ではオーロラ電子により衛星帯電が生じ、太陽パネルでの誘電体-金属間の部分帯電が放電原因となる。本研究では衛星プラズマ放出による帯電緩和プロセスを数値シミュレーションを用いて検討した。低エネルギー高密度電子とイオンの放出により、帯電が効率よく緩和されることがわかった。

**齋藤 悠人 (大村教授) 「宇宙電磁環境モニター用アナログフィルタ回路の集積化に関する研究」**  
宇宙電磁環境を、小型のモニター装置で計測するために必要となるアナログ回路フィルタ部を、アナログASICによって小型化する研究を行った。特に、3mm角のASIC内に多チャンネル帯域通過フィルタを実現し、それらの中心周波数を外部からの信号によって切り替えることのできるチップの開発に成功した。

**湯 銘 (大村教授) 「Computer Experiments on Nongyrotropic Ion Beam Instabilities in Space Plasmas (宇宙プラズマの非リングイオンビームによる波動不安定性の計算機実験)」**

地球磁気圏や彗星周辺などに存在する非リングビームプラズマによる波動不安定性に着目した。本研究では、ハイブリッドモデル計算機実験により、非リングイオンビームが宇宙プラズマ中に非平行入射する際の低周波波動励起と波動粒子相互作用によるプラズマ加熱機構の解析を行った。

**川井 重明 (橋本教授) 「アクティブ集積フェーズドアレイアンテナ用小型高出力増幅器の開発研究」**  
本研究では回路部とアンテナ部を集積し小型化したアクティブ集積フェーズドアレイアンテナ (AIPAA: Active Integrated Phased Array Antenna) に注目し、5.8GHz用AIPAAと14GHz用MMICを設計、試作しその特性を検討した。加えて、折り曲げ基板と5.8GHzMMICを用い、厚み2.5cmで従来よりも薄く高利得な高出力AIPAAを提案した。

**平野 敬寛 (橋本教授) 「ソフトウェアレトロディレクティブ方式マイクロ波送電屋外実験系の開発」**  
ソフトウェアレトロディレクティブシステムを搭載した小型で軽量の、マイクロ波送電屋外実験機を開

発した。到来方向部と送電部の16素子フェイズドアレイアンテナを組み合わせ、ソフトウェアレトロディレクティブシステムを用いた、マイクロ波電力伝送実験システムについて、暗室で実験ならびに結果の検証を行った。

**華 政 鵬 (橋本教授) 「Research on a fast method of phase control process for microwave power transmission (マイクロ波電力伝送の基準位相の制御に向けた並列化法に関する研究)」**

宇宙太陽発電所のような大規模システムにおいては、マイクロ波送電を単一の発信器の信号の分配は無理で、多くの発信器が必要になる。これらの発信器の位相同期を高速にとることができる並列化法について、有線並びに無線環境で、実験的に実証した。

**山 本 剛 司 (橋本教授) 「低温焼成セラミックス基板を用いたアクティブ集積フェーズドアレイアンテナ用小型移相器の研究」**

本研究では、低温焼成セラミックス (LTCC: Low Temperature Co-fired Ceramics) 基板を用いた多層回路構造によって4ビットの5.8GHz帯での各種デジタル移相器、12GHz帯や14GHz帯のRF-MEMSをスイッチング素子に用いる12GHz帯多層経路長変化型LTCC移相器基板を設計・製作・評価した。

## 産官学連携センター

**鎌 田 雄 大 (藤田教授) 「電子デバイス応用に向けたミスト気相エピタキシャル成長酸化亜鉛系薄膜の研究」**

安全性に優れたミスト気相法によりサファイア基板上ZnO、ZnMgO単結晶の成長を達成し、気相法での最高レベルの移動度 $70\text{cm}^2/\text{Vs}$ を得て実用への優位性を示した。移動度の制限要因として残留不純物と表面導電層の存在をあげ、電子デバイス応用に向けた課題を提言した。

**篠 原 大 輔 (藤田教授) 「超音波噴霧CVD法を用いたサファイア基板上 $\alpha$ 型酸化ガリウム単結晶薄膜の作製とその深紫外光機能」**

超音波噴霧CVD法を用いることでサファイア基板上に同じ結晶形を持つ $\alpha$ 型酸化ガリウム単結晶薄膜を得ることに成功した。X線ロックアップカーブ半値幅は $60\text{arcsec}$ と結晶性に優れ、禁制帯幅は $5.3\text{eV}$ で波長 $220\text{nm}$ 以下の深紫外光検出機能を示した。

## 高等教育研究開発推進センター

**河 村 拓 馬 (小山田教授) 「粒子ベースボリュームレンダリングの高画質化に関する研究」**

粒子ベースボリュームレンダリングは、大規模非構造ボリュームデータを効率よく可視化できる手法である。しかしこの手法は、粒子密度を計算できず、画像を一意に決定することが困難であった。この問題を解決するため、粒子のモデル化を行い、粒子密度推定式を導出した。

**高 木 志 保 (小山田教授) 「情報可視化技術を用いた脳疾患診断補助システムの構築に関する研究」**

本研究では、脳疾患により影響を受けると考えられる脳組織範囲および治療可能領域の推定支援を行い、

医師の診断補助が可能なシステムを開発した。本システムでは、解析結果を階層型一覧表示することにより、研究用・画像管理用ツールとしての有効性を確認した。

#### **田 中 哲 平 (小山田教授)「情報可視化技術を用いた階層型応答曲面法の高速度化」**

階層型応答曲面法は、決定係数の値を用いて全解空間を再帰的に分割するため計算コストが高いという問題があった。情報可視化技術を用いて大域解の存在する領域を絞り込むことで、階層型応答曲面法の高い探索精度を維持したまま、大幅な計算コストの削減を実現した。

### **学術情報メディアセンター**

#### **青 山 秀 紀 (中村 (裕) 教授)「さりげない支援のためのユーザの内部状態認識」**

ユーザの状態に応じて過不足なく支援を提供するためのモデル“Interaction Reproducing Model”を提案し、実際に良好な動作をすることを示した。これは、人間の熟練者による支援を模擬するために、ユーザとシステム間のインタラクションを再現するモデルとなっている。

#### **鴻 野 大 地 (中村 (裕) 教授)「遠隔対話型行動記録の構造化」**

「遠隔対話型行動記録」として、遠隔通信を行いながら行動を行い、その様子をウェアラブル機器で記録する枠組みを提案した。支援者と作業者との対話情報を含んだ行動記録を画像、言語の両面から解析し、統合することで、質の良いデータが得られることを示した。

#### **前 田 俊 一 (中村 (裕) 教授)「仮想アシスタントを用いた作業映像の製作支援システム」**

料理などの作業映像の製作を支援する人工エージェント「仮想アシスタント」を提案した。テレビ番組を参考にし、簡単なCGエージェントが質問などを行う自動化システムを試作した。実際の料理映像製作において評価実験を行い、情報に富んだ映像が得られることが分かった。

## 電子材料開発における性能と環境の調和

工学研究科電子工学専攻（協力講座）  
機能創成工学分野  
藤田 静雄

### 1. はじめに

1997年12月11日、国立京都国際会館における第3回気候変動枠組条約締約国会議（地球温暖化防止京都会議、COP3; The 3rd Session of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change）の議論をふまえ、その後の地球環境保護に関する議定書が議決されました。京都で研究に従事する私たちにとって、環境保護への寄与は私たちの責任です。折しもこの原稿を書いているのは洞爺湖サミットの最中で、その大きな話題が「環境問題」です。いまさら1900年前半の暮らしに戻れない私たちは、その解決には科学技術の進歩に頼ることが必要です。

私たちの豊かな暮らしは、半導体をはじめとする多くの電子材料に支えられています。コンピュータや携帯電話の高性能化、インターネットの普及、ハイビジョン映像の放送・録画、大型フラットパネルディスプレイ、太陽電池、低燃費の自動車など、例は限りありません。1947年にゲルマニウム（Ge）を用いたトランジスタが発明されて以来、研究者たちは新しい半導体を開拓し、用途を広めてきました。それはひたすら新しい性能、高い性能を求めるレースであったといっても過言ではありません。

しかしいま、地球温暖化、資源の枯渇という人類の危機とさえ比喩される問題に直面している私たちは、この輝かしい半導体・材料技術に新しいパラダイムを求められるようになってきました。それは、環境にできるだけ優しい方法で高性能を求めること、高性能をもって環境保護に貢献すること、つまり「性能と環境の調和」です。これを果たす新しい技術を世に出すことが、研究者に対する大きな責務として懸けられるようになってきました。

### 2. レアメタルに支えられる私たち

私たちの暮らしにあるさまざまな電気製品、機械製品では、多様な元素がその性能を支えています。鉄（Fe）にクロム（Cr）やニッケル（Ni）を加えると耐蝕性が増し、これがステンレス鋼として厨房器具や車両の外面等に利用されています。チタン（Ti）合金は軽量で強度に優れ、飛行機の部材に用いられ燃費と性能の向上に寄与しています。高性能バッテリーにはリチウム（Li）、コバルト（Co）、ニッケル（Ni）、超小型スピーカーにはネオジウム（Nd）、ハードディスクにはコバルト（Co）、白金（Pt）などが用いられています。

一方、さまざまな金属資源には埋蔵量や産出量に限界があります。なかでも、地球に存在量が少ない、精錬が難しい、高純度の鉱石がない、といった理由で安定的に大量の材料を手に入れることが難しい元素を、希少金属すなわちレアメタル（rare metal）と呼んでいます。レアメタルは図1に示すように31種類あります。これらレアメタルは、古くにはステンレス鋼の例のように母体金属の特性を改善するための添加剤として少量利用されていました。ところが最近ではレアメタル自体の特性を主材料として利用する分野が増し、いっそうその使用量が増すことになっています。

いま、私たちが面している大きな問題の一つとして、インジウム（In）への不安があげられます。

H																	He																												
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne																												
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar																												
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																												
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																												
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																												
Fr	Ra	Ac																																											
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Ce</td> <td>Pr</td> <td>Nd</td> <td>Pm</td> <td>Sm</td> <td>Eu</td> <td>Gd</td> <td>Tb</td> <td>Dy</td> <td>Ho</td> <td>Er</td> <td>Tm</td> <td>Yb</td> <td>Lu</td> </tr> <tr> <td>Th</td> <td>Pa</td> <td>U</td> <td>Np</td> <td>Pu</td> <td>Am</td> <td>Cm</td> <td>Bk</td> <td>Cf</td> <td>Es</td> <td>Fm</td> <td>Md</td> <td>No</td> <td>Lr</td> </tr> </tbody> </table>																		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																

図1. 31種類のレアメタル（緑色掛けの元素）。ただし、Sc、Yおよびランタノイドをまとめて1種類と数え、これらはレアアース（rare earth）と分類されている。他方橙色掛けの9種類の元素は地球上に多く存在する、精錬が容易、高純度の鉱石がある、古くから用いられている、といった理由でコモンメタル（common metal）と呼ばれている。

インジウムの酸化物 $\text{In}_2\text{O}_3$ と錫（Sn）の酸化物 $\text{Sn}_2\text{O}_3$ を混合した材料は、ITO（indium tin oxideの略）と呼ばれ、透明な膜であるにもかかわらず優れた電気伝導を示します。一般に電気伝導の大きい材料といえば、金属をはじめ光を通さない物質ですが、それらに比べるとITOはきわめて特徴的な性質を持つわけです。そのため、光を透過しながら電気を流す必要のある部品、具体的には液晶やプラズマなどのフラットパネルディスプレイ、太陽電池などの電極に広く用いられています。フラットパネルディスプレイの大型化と普及がどんどん進んでいることから、インジウムの利用も加速しています。インジウムは亜鉛や鉛、錫を精錬するときの副産物として得られますが、わが国では100%輸入に頼っています。このまま進めばインジウムの供給がひっ迫することが明確に見えています。そのため、廃棄されたフラットパネルディスプレイからインジウムを取り出すリサイクル技術が進む一方、ITOを代替しレアメタルに多くを頼らないような透明導電膜の開発が待望されています。

半導体の材料もいまやレアメタルの利用が増えています。半導体で最も多く広範に利用されているのはシリコン（Si）で、これは地球上に豊富な資源です。しかし、超高速の信号処理や光通信においては、ガリウム（Ga）やインジウムの利用が不可欠となっています。白色や青色の発光ダイオードにもガリウムやインジウムが用いられています。

このように、現代の私たちの暮らしはレアメタルに大きく支えられています。もしレアメタルが枯渇したら、と考えると大変なことになります。液晶テレビ、携帯電話、インターネット、衛星放送、ハードディスクなど、これらが無い暮らしを想像できるでしょうか。もっとも現実にはレアメタルを全く使わないことはまず不可能です。せめて使用量を最低限にすること、リサイクルを徹底すること、これが未来の私たちの暮らしを守る大きな鍵です。

### 3. 地球に優しい材料に支えられる半導体技術に向けて

半導体が現在の情報化社会をハードの面から支える主役の一つであることは言うまでもありません。半導体として圧倒的に利用されているのはシリコンで、CPUやメモリなど超LSIをはじめ、太陽電池としても広く利用されています。ところが、衛星放送や携帯電話に用いられる高周波での通信や発光ダイオード・レーザのように光を出すという用途には、シリコンは性能上の限界から利用できま

せん。そこで開発されてきたのが複数の元素から構成される化合物半導体です。ガリウム砒素 (GaAs)、インジウム燐 (InP) はその代表で、携帯電話、DVD/CDプレーヤ、光通信などに広く用いられています。しかし、砒素や燐は毒性の強い元素で、ガリウムやインジウムはレアメタルです。毒性については、機器の中では化合物として利用され量も少ないためあまり危険ではありませんが、鉱石をもとに超高純度のガスを製造し、またそれを用いて実際の半導体を製造する過程での危険や環境汚染を避けるため、大規模な安全施設や高度な廃棄物処理が必要で、その分地球に過度のエネルギー負担をかけていると言えます。

それなら安全で地球に優しい材料を使った半導体で現在の半導体を置き換えることはできないでしょうか。残念ながら、GaAsやInPの素晴らしい性能を他の半導体で実現することは現時点では不可能です。しかし、本当に不可能なのか、さらにもっとすばらしい性能を持つ半導体があるのではないかと、そこに研究者の挑戦があります。このような観点で研究の対象とされている半導体を「環境半導体」と言います。具体的にはシリサイドと呼ばれるSi化合物 ( $Mg_2Si$ 、 $FeSi_2$ 、 $Ca_2Si$ )、炭化ケイ素 (SiC)、酸化物 ( $Cu_2O$ 、 $ZnO$ ) などがあげられます。この中でSiCは本学科で世界をリードする先端的な研究が行われ、地球に優しい材料を用いて電気エネルギーの効率的な利用に貢献することが期待されています。

最近になって、酸化物の半導体を開発しようとする動きが活発になってきました。私たちもこの点に注目しています。多くの元素は容易に酸化物を形成し、また酸化物は物質にとってもっとも安定な形です。「地球上に多く存在する元素の酸化物」を半導体として利用することができれば、資源の有効利用、地球への優しさ、という点で理想的であると言えるでしょう。しかし、酸化物というと半導体とはほど遠いものと考えられてきました。長い間「酸化物」のイメージは「セラミック」＝「陶器」でした。瀬戸物は $SiO_2$ です。CuOは陶器の着色剤です。歯科で詰めものに使われるセメントは $ZnO$ です。「錆」のイメージもあります。 $Al_2O_3$ 、 $Fe_2O_3$ などはいわば「錆」です。しかし最近の研究でいくつかの酸化物が「半導体」としての性質を持つことが明らかになってきました。いろいろな元素の酸化物が半導体として用いられたら、地球への優しさという点でとてもすばらしいことと思いませんか？

#### 4. 半導体を作るためのエネルギーを減らしたい

半導体を作るためには膨大なエネルギーが必要です。大型装置、真空装置、安全対策、廃棄物処理などの要求からです。その大きな理由は「酸素との戦い」と「毒物を外に出さない」なのです。例えばGaAsを作ることを考えてみます。GaAsを作る装置に少しでも酸素が入ってしまうとGaAsではなくGaの酸化物ができてしまいます。装置に少しでも漏れがあると毒物のAsが外に出て大変なことになります。これを防ぐために、外界と完全に遮蔽された複雑なシステムで半導体の育成を行う必要があります。それに加え、育成に用いた原料の余りを絶対に外に出さないための廃棄物処理システムが必要です。

それなら、半導体として酸化物を使うのならどうでしょう？「酸素歓迎」なのです。しかも大気中でものを加熱すると必ず酸化されます。大気中の窒素と化合する(窒化)ことはありません。つまり、「酸素との戦い」と「毒物を外に出さない」という姿勢を大幅に緩めることができます。それだけ装置は簡単、使うエネルギーは少なく、廃棄物処理も不要です。あとは性能です。酸化物がなんとか半導体として使うことができたら・・・

#### 5. 酸化亜鉛 (ZnO) :化粧品やセメントが半導体になる!

いま、世界的に注目を集め積極的な研究開発が進められている半導体材料があります。それは酸化亜鉛 (ZnO) という半導体です。ZnOは地球に大量に存在する元素 (Zn) の酸化物で、上で述べてき

た地球への優しさという観点にマッチする材料です。しかしZnOが注目されるのは単に元素の観点だけでなく、現在の半導体の性能を上回る働きが期待されるからです。その例を以下にいくつか示します。

- (1) 紫外線の光を出す、光を受ける、という性質に優れています。
- (2) 可視の光に対して透明です。見えない半導体というわけです。
- (3) 同じ材料で絶縁体から半導体、導体までの幅広い電気的性質を制御することができます。
- (4) 磁性を持つことで、スピンをを用いる新しい原理の動作が期待されています。
- (5) 電子の移動度（半導体中での走行速度）が大きいと期待されています。
- (6) 放射線への耐性が強く、宇宙空間で使う半導体として優れています。
- (7) 化学物質を吸着し検出する能力に優れています。
- (8) プラスティックフィルム、ガラスの上にも半導体の性質を持つ膜を作ることができます。
- (9) 直径数nm～数十nmの構造が自然に形成され、これらを極微小の素子として利用できます。

このような性質ゆえに、紫外線の発光・受光、電子タグ、ヘッドアップディスプレイ、液晶・有機ELディスプレイ駆動回路、電子ペーパー、透明の太陽電池、低消費電力論理回路、超高周波回路、光論理回路、宇宙船制御、ガス・バイオセンサなどの広い分野で従来の半導体を環境に優しい半導体で置き換える、あるいは従来の半導体にはない働きをする、という大きな期待が寄せられています。また、上記(3)の性質により、レアメタルを使うITOに代わり透明の電極・配線材料としてフラットパネルディスプレイに用いる計画が進んでいます。

実はZnOは10年あまり前までは半導体であると思われていませんでした。ZnOは単なる「白い粉」(図2)だったのです。その主な用途は、文字どおりの白粉(おしろい)、日焼け止めクリーム、ベビーパウダー、歯科治療用セメント、陶器、ゴム添加剤、傷スプレー、帯電防止塗料などなど。もっとも圧電性(圧力を加えると電気信号が発生する、およびその逆)を利用して周波数標準やフィルタなど電子部品にもかなり用いられてはいましたが、いわゆる半導体としての応用はありませんでした。それが「半導体として利用できたら素晴らしい」という研究者の挑戦意欲をかきたて、世界的な研究開発競争がわきあがったのです。

半導体としてのZnOの開発は、原子を丁寧に制御良く積み重ねるといふ、これまでに培われてきた半導体製造技術に支えられて急速に進んでいます。図3は私たちがZnO半導体の作製に用いている装置です。(a)はZnを含むガスとOを含むガスを基板の上で反応させてZnOを作製するもの、(b)は真空中でZn固体を加熱して得られるZnのビームとOとを基板の上で反応させてZnOを作製するものです。いわば近代の技術がこれまで化粧品やセメントとして用いられてきた材料に半導体としての命を与えたのです。

## 6. 環境に優しい方法でのモノづくりを目指して

図3に示すような装置を用いてたしかに品質に優れたZnO半導体を得られるようになり、世界的に見れば、5年前くらいから青色や紫外の発光ダイオード、紫外線センサ、高速のトランジスタ、ガスセンサなどが出来るようになってきました。しかし、レアメタルや毒物を含まない酸化物なのに、それを作るためにこれまでの半導体製造技術を使っていたのでは勿体ない気がします。3(a)の装置ではZnOを作製する原料として発火性の強い危険な材料を使います。図3(b)の装置では装置を真空に



図2. ZnOの粉末

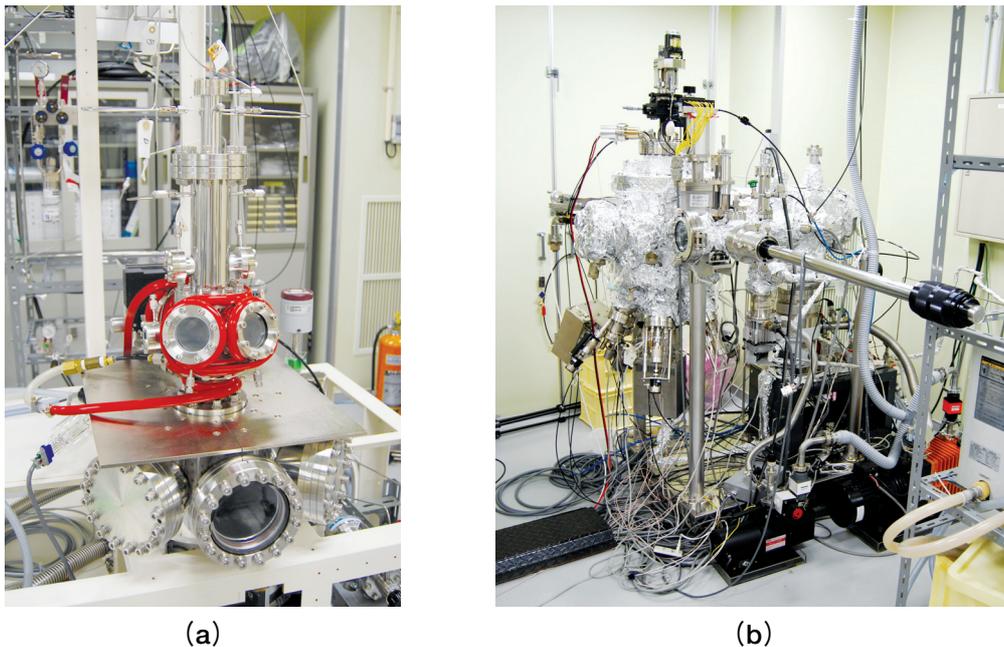


図 3. ZnOの作製に用いられている装置の例

保つための膨大なエネルギーが必要です。酸化物の原点に戻って、「酸素歓迎」であることを考えると、これまで「酸素との戦い」を元に確立してきた半導体清掃技術とは、まったく異なった方法で、エネルギー消費が少なく安全な技術で酸化物の半導体が作製できるのではという発想が生まれてきます。

ひとつの鍵は「大気の中で半導体を作る」。これで大掛かりな真空装置は不要になります。次に安全な原料の探索です。ZnOを作るには、Znを含むガスを原料として準備する必要があります。しかしZnを含むようなガスは発火性の強いものがほとんどです。そこでもう一つの鍵は「霧」(図4)。「霧」は液体が微粒子状になったもので、ガスではありませんが、風に乗って流れて行く挙動はガスのようなものです。そこで酢酸亜鉛など安全な原料の水溶液に超音波を加えて「霧」を作り、これを酸素ガスなどで基板の上へ送り届けます。喉を痛めた時に「ネブライザー」から薬液を吸入すると同じ原理です。

このようにエネルギー消費が少なく安全な技術でZnOを作製することができるようになりました。しかし半導体に求められるのはその性能です。わたしたちはこの技術に改良を加えつつ、得られたZnO半導体の物性を仔細に解析してその高性能化を追求しています。面白いことに、これまでの半導体製造技術である「外界から遮蔽された空間」ではZnOは酸素の不足に苦しんでいます。それに対してわたしたちの技術では十分な酸素に恵まれてZnOが育ちます。まさに「酸素歓迎」なのです。図5は単なるガラスのようですが、ガラスの上にZnO半導体が形成されています。この技術では、ZnOだけでなく、さまざまな元素の酸化物を作ることができます。その多くはもしかしたら半導体として素晴らしい性質を持つかもしれない、と期待されるものです。酸化物という安全な半導体を安全な技術で作製し、それらがわたしたちの将来の暮らしを支えてくれることは夢ではなさそうです。



図 4. 液体に超音波を加えることで得られる「霧」

7. できたモノが私たちの環境を守る

ZnOを例にとって、「環境に優しい材料を環境に優しい方法で作る」という将来の社会に向けたわたしたちのメッセージを述べてきました。それに加えてこのZnOは、さまざまな半導体機能を示すとともに、私たちの環境を守ることに寄与してくれると期待されています。半導体としてのZnOは紫外線の検出に適しています。わたしたちがこれから向き合わなければならない環境問題の一つに、オゾン層の破壊があげられます。オゾン層は地球に降り注ぐ紫外線を防ぐ役割をしていますが、その破壊により危険な紫外線の量が増してきます。図6に紫外線の波長を示しますが、紫外線はその波長が短いものほど危険です。危険な紫外線がどの程度増しているのか、ZnOはそれを私たちに教えてくれます。おそらく将来は携帯電話に紫外線のモニタが付き、今日は紫外線が多いので危険ということを教えてくれるようになるでしょう。また水道水の殺菌に、現在用いられている塩素に代わり、紫外線を照射するという技術が使われるようになっていきます。そうなるに常には十分な紫外線が照射されて殺菌されていることを保証する必要があります。そのためにZnOによる紫外線モニタが期待されます。さらにガスセンサ、バイオセンサへの応用も進んでいます。このようにこの半導体は私たちの健康が外界によって侵されることのないよう守ってくれるのです。

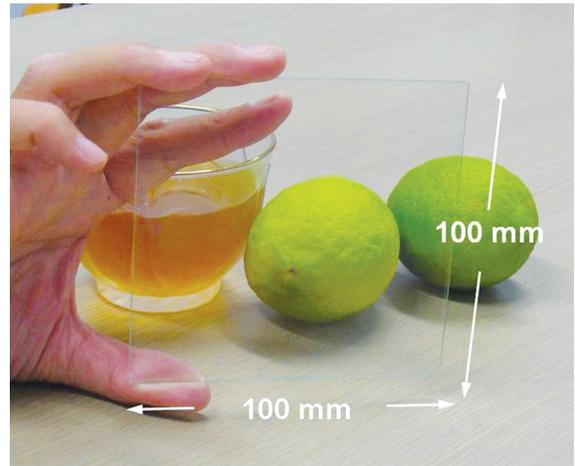


図5. ガラス基板の上に作製されたZnO半導体

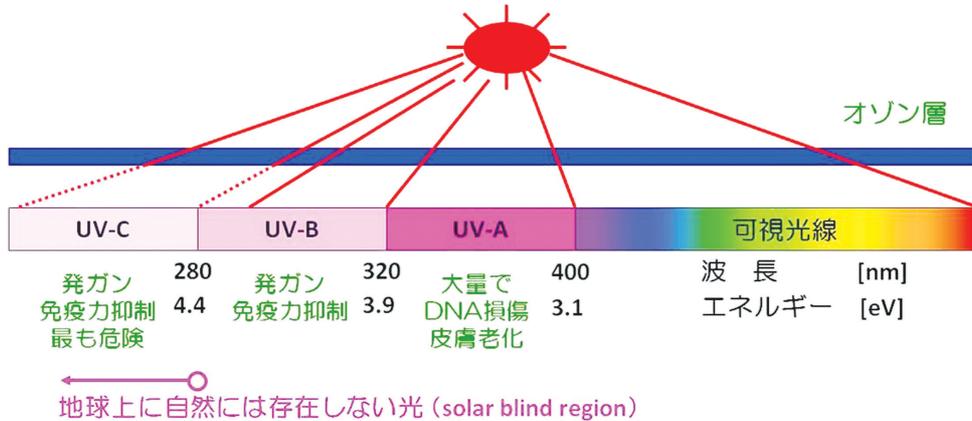


図6. 紫外線の波長

8. おわりに

環境に優しい酸化物を半導体として開発してゆく、それを作るのに環境に優しい技術を使い、応用として将来のわたしたちの環境を守るのに役立てて行く、この一連の意義ゆえにわたしたちの研究開発に各界から多くの期待をいただき、共同研究を進めています。そのため現状をお知らせする限界にきました。私たちは今の豊かな生活を捨てることはもはやできないところに居ます。それならば、この豊かさと、環境・地球への優しさをどのように両立してゆくのかということが、科学技術の大きな課題です。それを支えるのは若い人たちであり、地球の未来はその手に委ねられていると言っても決して過言ではないでしょう。

## 学生の声

### 「博士課程への進学」

工学研究科 電子工学専攻 北野研究室 博士後期課程2年 小林 弘 和

私は学部生の頃から、直感に反する現象を内包する量子論、特に光速伝搬する光子を量子的に扱う光の量子論に興味を持っていたため、電子工学専攻の中で、量子力学の研究を専門的に行なえる北野研究室への配属を希望しました。配属後は光子対と呼ばれる非局所的な相関を持つ双子の光子の検出系を研究テーマとしました。光子対は量子テレポーテーションなど、今までSFでしかなかったような技術の実現を可能にするものとして、近年盛んに研究が行なわれています。

北野研究室での生活は基本的に学生の自主性が重んじられており、自分のペースで実験や理論の検討を行なうことができるため、私にとっては非常に研究しやすい環境でした。また学生のみで行なわれる勉強会（輪講）や、学生部屋で突発的に起こる日常的な疑問に対する問答などは、大学でしかできないことであり、自分の知的欲求を満たし、さらに好奇心を掻き立てる有意義なものでした。このような環境の良さに加えて、学部、修士と培ってきた知識をもっと磨きたいという向学心や、修士ではやり残しの感が強かった研究を論文としてまとめられるまで続けたいという一念から、あっさりと博士課程への進学を決めてしまいました。少し軽率な判断であったようにも思えますが、自分のペースでじっくりとやりたい研究、学びたい学問に取り組むことのできる博士課程での経験は、自分にとって有益であるに違いないという思いが強かったのです。

さて、博士課程へ進学してから1年が経過しました。進学当初は周りの友人が皆就職してしまっていることもあり、自分だけが取り残されたような不安にかられました。しかし、同じ分野の若手研究者が集まる機会に、飲み会の席で話を聞くと、皆それぞれにある種の不安を抱えつつ、自分の価値観に照らし合わせて折り合いをつけているのだと知り、不安を払拭することができました。現在は論文執筆、国際学会、実験とやることが山積みですが、将来を考える重要な時期でもあります。自分で選んだ道、悔いを残さないよう精進します。

### 「博士課程への進学について」

情報学研究科 通信情報システム専攻 情報回路方式分野 博士後期課程1年 廣本 正之

私が博士後期課程に進学したのは昨年十月で、もうすぐ一年が経とうとしています。博士課程への進学を考え始めたのは比較的早く、修士に入った頃にはほぼ進学するつもりでいました。まだ研究に取り掛かり始めたばかりでしたが内容が非常に興味深く、是非博士課程まで継続して取り組みたいという気持ちがあったことが大きな理由でした。そのため修士一回生の間は就職活動はほとんど行わず、マイペースに研究に取り組んできました。

しかし修士一回生から二回生にかけての春、これまで漠然と博士課程に進もうと思っていた考えを少し見直す機会がありました。ちょうどこの時期は各企業の見学会や面接が盛んに行われている時で、企業はどんな雰囲気だろうと少し興味があったこともあり、就職を考えている同期と数社の見学を行いました。始めは本当にただの見学のつもりで就職先としての意識はほとんどありませんでしたが、見て回っているうちに、案外企業も面白そうだなと思い始めました。特に、ある企業の研究部門を見学した際に内容、雰囲気共に良い印象を持ち、これまでほとんど考えてこなかった就職という選択肢も考えるようになりました。

進学か就職か、おそらくこの時初めて真剣に考えました。しばらく悩みましたが、最終的に私は進学を選択しました。一番大きな理由としては、私が企業に行ってやりたいと思っていたことはほぼ全て大学に居ても実現できるだろう、という結論に達したからです。幸い私の所属する研究室では企業や他大学との共同プロジェクトが活発に行われており、アカデミックな研究はもちろん、企業で行うような内容にもやろうと思えば取り組むことができる環境にありました。このような状況もあり、大学に残る方がより幅広い研究が行えると思ひ、この時改めて博士課程に進学する決断をしました。結果的には当初の考えのまま進学という形になりましたが、様々なことを考えるきっかけにもなったことは有意義であったと感じています。

その後は進学後に向けて学振にも応募し、さらに、既にある程度の研究成果がまとまっていたので修士課程の短期修了にも挑戦し、その年の十月から博士課程に進学することができました。現在は自身のメインの研究を始め、いくつもの興味深いプロジェクトにも関わり、充実した研究生生活を送っています。もちろん就職していた場合との比較はできませんが、今は自身の選択に満足しています。博士課程の残りの期間も学位取得に向け、さらに頑張ってゆきたいと思ひます。

**教室通信****松本紘先生が第25代総長に選出**

2008年5月15日に行われた学内予備投票、22日の学内意向投票を経て、5月23日の総長選考会議において、松本紘理事・副学長が、第25代京都大学総長に選出されました。任期は10月1日からの6年間です。

松本先生は1965年に京都大学工学部電子工学科を卒業、67年に同修士課程を修了され、直ちに工学部助手に任用されました。その後工学部助教授、超高層電波研究センター教授、同センター長、生存圏研究所長などを歴任され、2006年10月から京都大学理事・副学長（研究・財務担当）を務められています。ご専門は宇宙プラズマ物理学、宇宙電波工学で、2007年には紫綬褒章を受章されています。学生時代から通算すると半世紀にわたり京都大学の教育・研究に多大な貢献をされてきました。

電気系教室のメンバーとして、講義や研究指導にも情熱を注がれ、特に卒業研究の研究室配属では、松本研究室は常に高い人気を誇ってきました。

副学長になられてからは、研究・財務担当理事として、さまざまな改革に尽力されました。競争的研究資金獲得に向けた大学としての支援体制の確立、産学連携本部の立ち上げ、重点事業アクションプランの作成、そして、最近ではiPS細胞の研究拠点づくりとそれに係る知的財産権管理・活用会社の設立など、従来と比べると異次元とも思われるスピードで、矢継ぎ早に施策をまとめられたことは、記憶に新しいものがあります。

松本紘先生からは、次期総長就任に向けた意気込みとして、本誌に「くしくも、この10月より、総長として京都大学の舵取りをさせていただくことになりました。学術の府として、京都大学が担う社会的な責任を自覚しながら、自由の学風の下、時流に流されることなく『京都大学らしい』高度な学術研究の推進、多様な人材の育成とそれを現実にする教育の充実など、常に前向きな姿勢で取り組んでいきたいと思っています。」という抱負をいただきました。また電気系教室に対しても、「OBの一人として電気系教室の動向は常に気にしております。グローバルCOEの拠点採択など、先生方の人材育成への意識の高さや、広範囲にわたる高度な研究成果を耳にするたびに、大変誇らしい気持ちになります。総長という京都大学全体をあまねく見渡していく立場となりましたので、電気系教室のみをとりあげることはできなくなりましたが、別人格に変わるわけではありませんので、今まで同様、気軽にお声がけいただければうれしいです。」というメッセージを頂いています。

長尾真第23代総長に続き、電気系出身者が総長に選出されたことは、電気系教室としても誇りとするところです。松本先生の今後の一層のご活躍を祈念します。

(cue編集部 高橋達郎・小嶋浩嗣)

## 賛助会員の声

# 電気通信事業における法人営業と技術概要

NTTコミュニケーションズ株式会社 第三法人営業部 第二営業部 担当部長(平成2年卒) 金 沢 敬 治

## 1. はじめに

「電気通信事業における法人営業」と聞いて具体的なイメージが湧いてくる方は少ないかもしれません。個人のお客様にご利用いただいている電話やインターネットアクセスなどのサービスに比べ、法人のお客様にご提供するサービスは一般的に ①回線数が多い、②構成が複雑、③個別のご要望に応じたカスタマイズが必要になる、といった特徴があります。このため、法人のお客様の場合は単純にWebで注文をするだけで完了するといったケースはほとんど無く、お客様のご要望を伺いながら最適なソリューションを提案する人的な介在が不可欠であり、このための窓口機能として法人営業の機能が用意されています。

さらに、昨今のインターネットの急速な普及や広帯域化・低廉化、コンピュータやNW機器の高機能化・低廉化が進む中で、法人のお客様にとってもベストソリューションがわかりにくい時代になっており、法人営業を通じたコンサルティングを伴うソリューションの重要性が一層増しています。

本稿を通じて普段はあまり目にする事の無い「電気通信事業の法人営業」についてご興味を持っていただけると幸いです。

## 2. 電気通信事業の法人営業が扱う商品の技術概要

一言で「法人」といっても、企業の規模や業種（金融・製造・流通など）、地理的条件（地域密着企業～多国籍企業）により、必要とするソリューションは千差万別です。ここでは比較的企業規模の大きなお客様にご利用いただいているサービスを中心に、その技術の概要を説明します。

### ①IP-VPN、広域イーサ

今の時代、全国に展開する法人のお客様は、本社～支店間や各地の小売店間など「多拠点をクローズなネットワークで接続する」ことが必須の条件となっています。この要望に応えるのがIP-VPNと広域イーサです（文字通り、IP-VPNはIPベースでの接続、広域イーサはイーサベースの接続を提供します）。

ネットワークの故障が即ビジネス上の損失につながる可能性が高い現在、大切なのは信頼性です。このため、これらのネットワークはいわゆるインターネットとは独立した設備で構成されており、外部からアタックを受ける心配はありません。また、故障した時などのバックアップも考慮されており、99%以上の可用性を誇ります。更に、お客様からの故障のお問合せや故障時の対応は24時間365日の体制をとり、最小限の故障時間で復旧することを可能にしています。

### ②オフィスセキュリティ

ここ数年、法人のセキュリティ意識が飛躍的に高まっています。これは、Webサイトの改ざんやハッキング、DoSアタックといった外部からの攻撃だけでなく、社内の人間による情報漏洩の多発や、Winny等のP2Pソフトを経由したウイルス・ワーム起因の情報拡散、業務を委託している企業からの間接的な情報漏洩など、内部要因によるセキュリティインシデントに目が向けられるようになったことが原因であると考えられます。また、個人情報保護法や日本版SOX法など法の整備が進んだことも背景にあります。

このような状況の下、ネットワーク経由での外部アタックやウイルスの蔓延などを検知し、適切な

対策をとるセキュリティオペレーションサービスを基本として、総合的なオフィスセキュリティソリューションが求められています。具体的には、各企業のセキュリティポリシーを制定するコンサルティングに始まり、社屋そのものや機密情報を扱う部屋への入退出を管理する非接触ICカードソリューション、社員のパソコンを集中的に管理するPC一元管理ソリューション、外出時に社内のネットワークに安全にアクセスできるリモートアクセスソリューション、シンクライアントソリューションなどが構成要素です。

### ③コンタクトセンタ

Web経由でのEC（電子商取引）が盛んになれば、電話で注文を受けるいわゆる「コールセンタ」は廃れると考えられた時期がありました。しかしながら、実際にはコールセンタは廃れるどころか増加の一途です。ECの普及が通信販売そのものの市場を拡大していること、またECで購入した商品の問合せやサポートを電話で受け付ける機会が増えたことなどが要因だと考えられます。

最近ではコスト面で有利なIP電話を基本とし、発信電話番号から過去の購入履歴や故障履歴などを検索・表示することでオペレータが即時に参照できるCRMソリューションを組み合わせることで、単なるコールセンタではなく「コンタクトセンタ」ソリューションとして提供しています。市場には、通話内容を音声認識し、会話内容を解釈して適切な応対スクリプトを表示する機能を持ったものなども存在するようです。

### ④グリーンデータセンタ

近年の環境保護意識の高まりは法人にも及んでいます。通信機器やサーバを耐震性能の高いビルに万全の保守体制でお預かりするデータセンタについても、電力消費量を削減する様々な工夫が取り入れられ始めています。

具体的には、通信機器やサーバなどの電源直流化の推進（交流を直流化する際のロスが減らせる）、エアフローを工夫することによる冷房電力の削減などが上げられます。また、最近ではサーバ類をハードウェアエミュレーションソフトにより「仮想化」し台数を削減する取り組みも広く普及し始めており、これらの取り組みを進めているデータセンタは「グリーンデータセンタ」と呼ばれています。

## 3. おわりに

インターネットの普及は今も様々な形で法人のビジネスに影響を与え続けています。電気通信事業に関わる私たちにとってはお客様をサポートする機会や手段が飛躍的に拡大し、法人営業の質も量も高めることが求められています。一方で、お客様と共に取り組んだ課題を見事に解決できた時には無上の喜びを感じられる、これが法人営業の醍醐味です。そういう意味ではいい時代になったものだと感じます。

最初にも書きましたが、法人のお客様の要望は多種多様であり、ここでご紹介した物はほんの一部にすぎません。技術のウェイトがハードウェアからソフトウェアに大きく移行している現在、皆さんが大学で研究されているテーマも、私たちが扱う商品と非常に近くなっていると感じます。海外では大学発の商品が実際に導入されている例もあります。是非、法人向けの商品化をにらんだ研究にご興味を持っていただき、推進してください。

なお、法人ソリューションの具体的な事例は弊社HPでも紹介しておりますので、ご興味があれば覗いてみてください。(http://www.ntt.com/ict/)

# ロームにおけるSiCパワーデバイスの研究開発

ローム株式会社 研究員（平成14年卒） 三浦 峰 生

## 1. はじめに

先進国を中心とした科学技術、産業の発展で人々の生活レベルは大きく進歩してきた一方で、この数十年の地球環境は過去にないほどの急速なペースで大きく変化してしまったといわれています。近年では発展途上国の急速な経済発展も後押しし、エネルギー消費量は著しく増加、これらの結果地球温暖化とエネルギーの問題は身をもって肌で感じられるほどになってきました。原油価格の高騰、食料危機、異常気象などわれわれの生活に身近な問題としてニュースで取り上げられる機会が増えてきたように思えます。

エネルギー問題や地球温暖化はもはや目を背けることのできない、まさにわれわれ人類が全力で早急に取り組まねばならない共通の課題になってきました。電気系教室で勉強をされている学生の皆さんが、将来このような問題に貢献できる方法はたくさん存在するはずです。その一例として、現在私たちが取り組んでいるシリコンカーバイド（SiC・炭化珪素）を利用したパワーデバイスの研究開発に関してご紹介します。

## 2. 電力エネルギーの有効利用に向けて

エネルギーの電力化の傾向は、その使いやすさやCO<sub>2</sub>排出量削減の見方からも、一層その割合を高めていくと考えられています。ハイブリッド自動車、燃料電池車の登場などにより具体的になってきましたが、自動車分野でも明確に電動化の方向へ向かっていることはご存知のとおりでしょう。このような状況の中で、電力エネルギーの浪費を減らすことは世界に大きく貢献できる技術であるといえます。われわれが現在開発に取り組んでいるSiCを利用したパワーデバイス（数百V以上、数A以上のダイオードやトランジスタ）は、電力エネルギーの変換・制御を行うインバータ、コンバータなどにおける電力損失を大幅に削減し、効率を高められるキーテクノロジーとして注目を集めています。

発電所や自動車、鉄道、産業機器、家電などさまざまな分野で、供給された電力はその形を一旦変換（直流⇄交流など）され、使いやすく制御されたのち製品に供給されています。この変換過程では電力をなるべく損失しないことが望まれます。現在このようなパワーエレクトロニクスを支えているのはSiで作製された、一般にパワーデバイスと呼ばれる半導体部品ですが、そのデバイス特性（オン状態での抵抗、スイッチング速度、高温動作など）はもはや材料物性で決まる理論限界に直面しており、これ以上の飛躍的な改善は見込めない状況にあります。SiCは絶縁破壊電界がSiの10倍、バンドギャップがSiの3倍などパワーデバイス応用に向けた材料物性をもつため、高耐圧デバイスを作製するとSiデバイスの限界をはるかに超えるような低損失化や高温動作が実現できるといわれています。普及したときの省エネ効果は日本全体で年間原子力発電所4基分にもなると試算されています。

## 3. SiC-MOSFETの研究開発

パワーデバイス応用でのSiC材料の持つポテンシャルの高さは早くから認識されていた一方で、実際にSiCでパワーMOSFETを作製してみると理論的な特性から大きくはずれた特性しか得られない状況が長く続き、世の中の見方は「まだ研究レベル」というのがSiCデバイスの実情でした。私が学生の時代も多く課題（ウェハに結晶欠陥が多い、MOSFET特性が悪い、歩留まりが低い、プロセス温度が高温であるなど）に囲まれた状態で、行き詰った感じを多くの研究者がもっていたのではと思います。そのような状況の中でわれわれも開発をスタートさせましたが、将来環境に貢献できるテーマであることには意義を感じられ、このことがいつも課題を乗り越えるための支えになります。

半導体デバイスの研究開発では半導体のことはもちろん、材料・物性、プロセス、シミュレーション、さらにアプリケーションのことまで考えると電気回路や測定など本当に多くの知識や技術を必要とします。新しいアイデアを出すのにLSIや光デバイスなど、他の研究テーマの技術者からヒントを得たりすることも多々あります。また、ロームでの研究開発は、大学との連携、顧客との連携を強めることで開発を加速していくという方針が進められています。つまり、一口に半導体といっても、社内外のいろいろな分野の出身の技術者が集まってひとつの商品を生み出しているのです。実際にSiC-MOSFETの開発ではサブミクロンの微細加工技術や、量産工場の製造・管理技術、装置メーカーと連携した装置開発、分析・解析技術などさまざまな連携と後押しをもらいながら開発をしてきました。このようにして開発競争に先行できるような技術を蓄え、現在世界初の製品化を目指しているところです（まだまだ克服すべき点は多いですが）。

#### 4. 企業における研究開発

企業における研究開発では基礎技術段階でとどまっていたのでは駄目で、製品として完成させ、量産して世の中に普及させることが目的であることは言うまでもありません。その様な背景の中で、企業研究の魅力は、ユーザーが開発したデバイスを実際に手にとってもらって、使っていただいて「これはすごい」と言ってもらえることだと思います。実際SiC-MOSFETの試作品をはじめユーザーに評価していただき、生の声（良いところも悪いところも）をいただいたときは自分のやっていることに意味を見出せた瞬間でした。

将来地球環境に貢献できること、それからユーザーの声から得られる喜びは困難な課題にチャレンジしていく上で大きな励みになります。現在学生の皆さんも、ぜひこうした喜びを研究成果で、そして企業人となった後は世の中に普及させるという大きな目的の中で味わってってください。貴重な在学中の時間に多くのことを学び取ってほしいと思います。

## 編集後記

学生の電気系離れを耳にする機会が増えていますが、その一方、産業界に目を向けると、電気系・情報通信系のみならず化学・機械・建設・食品・医療など、様々な分野で電気系人材への需要は高まっているように感じられます。この需要と供給のずれの一因としては、そもそも電気系では何を学び何をやるのかが一般によく知られていない、という側面があります。電気系教室では、高校生向けオープンキャンパスや中学生のためのジュニアキャンパス、そして本誌「cue」など、さまざまな機会を利用して情報発信を行い、社会のインフラとしての電気だけではなく、ロボットを動かし自動車の便利な機能を実現し新しい医療を実現するなど、色々な明日を切り開くイノベーションの基盤としての電気系を知っていただく機会を増やすように務めています。本号もOBの方々にもご協力をいただいて、電気系の今と未来を見ていただく機会になれば幸いです。今後とも宜しく願いいたします。

(電気電子工学科ホームページアドレス：<http://www.s-ee.t.kyoto-u.ac.jp/>)

[O.W.記]



## 協力支援企業

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

発行日：平成20年9月

編集：電気系教室cue編集委員会  
橋本 弘蔵、高橋 達郎、和田 修己、  
船戸 充、田野 哲、後藤 康仁、  
中村 武恒、木村 磐根（洛友会）  
京都大学工学部電気系教室内  
E-mail: cue@kuee.kyoto-u.ac.jp

発行：京都大学電気関係教室  
援助：京都大学電気系関係教室同窓会洛友会  
電気教室百周年記念事業基金

印刷・製本：株式会社 田中プリント

