ISSN　1882- 5214

cue

京都大学電気関係教室技術情報誌

NO.28　　SEPTEMBER 2012

[第28号]

巻頭言
上田　晥亮

大学の研究・動向
パワーエレクトロニクスからパワープロセッシングへ
工学研究科　電気工学専攻
先端電気システム論講座

産業界の技術動向
株式会社東芝 研究開発センター
知識メディアラボラトリー室長
梅木　秀雄

新設研究室紹介

研究室紹介

平成 23 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

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 28 号 目次

巻頭言
電気関係教室の皆さんに期待する
…… 昭和 34 年卒　名誉教授　上田　睆亮…… 1

大学の研究・動向
パワーエレクトロニクスからパワープロセッシングへ
…… 工学研究科 電気工学専攻 先端電気システム論講座…… 3

産業界の技術動向
音声言語処理
…… 株式会社東芝 研究開発センター　知識メディアラボラトリー室長　梅木　秀雄…… 8

新設研究室紹介…… 13

研究室紹介…… 15

平成 23 年度修士論文テーマ紹介 …… 34

高校生のページ
太陽光発電のいま、そしてこれから
……光・電子理工学教育研究センター　デバイス創生部門　先進電子材料分野
……藤田　静雄…… 54

学生の声
「博士とはなんぞや」
……情報学研究科　通信情報システム専攻　小野寺研究室　博士後期課程 2 年　西澤　真一…… 60

「制御理論という大海原」
……工学研究科　電気工学専攻　萩原研究室　博士後期課程 2 年　細江　陽平…… 60

教室通信
グローバル COE「光・電子理工学教育研究拠点」活動の纏め
… 拠点リーダー・電子工学専攻教授　光・電子理工学教育研究センター・センター長　野田　進…… 61

編集後記…… 62

巻頭言

電気関係教室の皆さんに期待する

昭和 34 年卒　名誉教授　上　田　睆　亮

今回、歴史と伝統および実績のある京都大学電気関係教室技術情報誌の巻頭言の寄稿にあたり、適正さの欠如を自覚している吾身に多大な重圧を感じながら筆を執っている。昨年の大災害以来、今まで以上に何事についても曖昧模糊とした予測困難な時代に突入したと感じている。斯様な時代において、如何にして大学が生涯学習力と主体的な考察力を育成しうるのか、についての審議が中央教育審議会大学分科会、大学教育部会でなされ、そのまとめが去る三月に公刊された。

先ず、内容の一部を筆者なりに要約させて頂く。予測が困難な時代と大学の責務について、近年大学の教員は教育に多くの時間を割き、授業（講義）改善の工夫も進んでいるにもかかわらず、国民、企業そして学生自身の学士課程教育に対する評価は総じて低いと言わざるを得ない、と厳しく評価されている。背景には、大学に対して社会の期待が従来とは質的に異なる形で高まっていることや、進学率の増加の中で学士課程教育の質の保証が要求される事情の存在が指摘されている。

つまり、経済のグローバル化、少子高齢化、情報化といった急激な社会の変化の中で、労働市場や産業・就業構造の流動化の時代を生きる若者や学生にとって、大学での学修が次代を生き抜く基盤となるか否かは切実な問題であるが故、変化に対応したり未来への活路を見いだしたりする原動力となる有為な人材の育成が大学に求められる。

かつ、大学には機能別分化を進めつつ学士課程教育の質を如何にして高めていくかが高等教育政策の中心課題であり、若者や学生の「生涯学び続け、どのような環境においても“答えのない問題”に最善解を導くことができる能力」を育成することが、大学教育の直面する大きな目標であると報告している。学生の思考力や表現力を引き出し、その知性を鍛え、課題の発見や具体化からその解決へと向かう力の基礎を身につけることを目指す能動的な授業を中心とした教育が保証されるよう、質的に転換する必要が学士課程教育に求められ、これこそまさに喫緊の課題とされている。

次に、筆者の読後感に移る。個人的には問題点を整理し抽出されたことは評価したいと思う。しかし、いざそれらの実践となれば、教員の質の向上が前提となり、一朝一夕に叶うことでないと感じた。この問題は大学以前の教育のあり方、つまり国家百年の大計に繋がるものであり、大学の教育では時すでに遅し、と思えるからである。小学校の教員を社会から尊敬され、若者の憧れの職業にすることが、わが国の将来にとって最大の幸せをもたらしてくれるもの、と確信している。さらに大学の、教員の質の転換を判断し、評価する基準は、既成のパラダイムでしか行なうことが困難なことに恐怖感を抱いた（教学マネジメント、ガバナンスについては触れずに置く）。理系の学士課程教育の質的向上が求められることに異論を唱えるつもりは毛頭ない。しかし、良質の教育には教育者の品性が最も重要であり、学生は品性ある教育者の背中を見て育つのでないだろうか、と信じている。IT を駆使し、（見せ掛けの）効率を競うのでなく、（泥臭い）肌身に伝わる肉声を以っての以心伝心が大切だと思う。その観点では、学生さん達にとって電気関係教室は切磋琢磨の TPO として国内では稀有の環境であることを自覚させ

ることが喫緊の即実行可能策と感じる。言うまでもなく、報告書は、国内すべての大学を対象としている。

さらに言えば、審議のまとめに書かれていることは、概ね尤もなことだが、近年教員が本来業務を真っ当に行うのに、（不要とまでも言えないが）形式を整える儀式的雑務に如何ほど貴重な時間が割かれ本来業務遂行の妨げになっているのではないだろうか、との危惧の念が増大するこの頃である。教員にも一日は 24 時間で、万能でない。講義・実習・研究指導に加え、研究面では対外的、国際的ライバル間との競争にしのぎを削って行かねばならない、などなどの現状認識が欠けているように感じた。

筆者は人生大半の 45 年間を電気系学科で過させて頂いた。在学・在職時は国立大学だったので、その延長線上で現状を観ていることは止むを得ないが、ここから現在電気関係教室構成員の皆さんへ、常日頃感じている期待を記させて頂きたい。

電気関係教室の教員には己の良識と信念に忠実に毎日の貴重な時間を真摯に費やして頂きたい。学士課程の学生には、internet での検索能力を磨くより、物事の本質を察知、理解、咀嚼し、理解達成度を仲間との切磋琢磨で確認しあうことに励んで頂きたい。修士課程の院生には、研究課題は指導教員が長年培って来られた問題に触れさせて頂いていることを自覚し、高利息を付けてお返しする積りで日々研鑽を心がけて頂きたい。博士課程の院生には、一人前の研究者であるとの気概をもって研究に没頭して頂きたい。時代の移ろいとは言え、若手教員数が減ったことは、わが国が将来にかける夢が減ったことと感じ、任期・短期間の成果の要求…は目先の答えが分かる（真の研究に値しないような）課題しか見えなくなっていき…、夢を壊しているのでは…、との危惧の念が膨らんでいる。

修士課程の院生には、気に障るであろう記述を行った。それは、研究課題の設定が如何に困難かつ重要なことかを自覚していただきたいからである。 factory でなく laboratory でしか行えない研究課題・環境を学生達に与えることが、担当教員の重要な責務である。通常、修士課程の成果は院生自身のみならず担当教員が対となって評価されている。

よく使われる実学・虚学の定義、ならびに線引きは定かでない。しかし、真の実学は大学で為され得るのだろうか。「研究とは所詮、遊び心（知的好奇心）の具現化の過程である」とは過言の極みかもしれない。が、上記の本来業務と表した文言の真意は、職位と周囲事情によって異なるだろうが、電気関係教室の教員さんは正確に理解して下さるものと信じている。冒頭に引用した類の、世の中の流れに過度に捕われることなく、更なるご発展を祈念し拙文を閉じたい。

大学の研究・動向

パワーエレクトロニクスからパワープロセッシングへ

工学研究科 電気工学専攻 先端電気システム論講座
教授 引 原 隆 士
講師 薄 良 彦
助教 齋 藤 啓 子
特定助教 高 橋 亮

1. はじめに

本研究室は2001年の発足以来、非線形力学、電力変換制御工学（パワーエレクトロニクス）、電気エネルギーネットワーク等に関連するシステム領域において、電気工学と他の分野との境界領域にある工学・物理システムも含めた研究を推進してきた。具体的にはマイクロからマクロまで様々なシステムのモデル化、解析、設計、制御、さらには実験による実証を行い、これに基づき次の展開を行っている。その中でもパワーエレクトロニクスは時代の要請もあって、重要な課題と捉え、従来の断続回路理論の域を超えた研究の方向性を模索してきた。本解説では、現在推進している研究テーマの中から表題に沿って研究室の研究動向を説明する。オン・ゴーイングの研究であるため経過説明的な表現となることをお許し頂きたい。

2. 新しいパワーデバイスの可能性

2-1 SiC パワーデバイスの物理的優位性

パワーエレクトロニクスは、1960 年代に半導体素子が開発され、従来の真空管を半導体に置き換えたスイッチ駆動の実現が可能にした電力（パワー）変換と電力制御による産業応用分野である。比較的大きな容量の電力を扱える半導体素子をパワーデバイスと呼ぶ。電子デバイスと同様に、パワーデバイスも大容量化、集積化、高速化を目指した開発が続けられてきた。Si を半導体材料とするデバイスが産業界で利用されるデバイスのほとんどであるが、デバイス特性がその半導体材料の物理的理論限界にまで達するに及び、その限界を超えるための加工技術による構造上の工夫や新しい半導体材料の模索が続いて来た。その中でワイドバンドギャップ半導体の開発が注目され、SiC、GaN を用いたパワーデバイスが昨今市場に提供されるに至っている。本研究室において、2001 年に引原が旧電力変換制御工学分野の教授に就任以来、COE21、GCOE のプログラム、複数の補助金の支援を受けて、いち早く SiC パワーデバイスの回路応用を実現するための研究を推進してきた。その経緯と現在の状況を以下に述べる。

SiC の回路応用を主張する時、2001 年当時、産業界では従来の Si 半導体パワーデバイスの置き換えを主眼とした開発目標が設定されてきた。 Si パワーデバイスの物理限界を越える性能要求が無い時点で、デバイス置き換えによる省エネ・メリットの主張は、Si 半導体デバイスが設備投資の意味からも廉価であることを考えるとほとんど期待できないということを多くの技術者は薄々感じていた。その中で筆者らは上記プロジェクトや講演、講義を通じて SiC パワーデバイスの回路応用に関する意識の変革を求めてきた。あれから 10 年、漸く筆者が続けて来た「SiC パワーデバイスの物理的優位性を生かした応用分野の創成」の主張が、産業界からも出始めるに至っている。2001 年当時、新規参入者である著者

らの発表は、学会でも企業の物性関係の研究者からは歯牙にも懸けてもらえなかった。今ではその状況が懐かしい。

SiC 半導体パワーデバイスが Si 半導体パワーデバイスに比して持ち得る物理的優位性は、高耐圧、低オン抵抗、高速・高周波動作、耐高温特性である [1]。この半導体の開発は言うまでもなく京都大学大学院工学研究科電子物性工学専攻（（現）電子工学専攻）の松波弘之名誉教授に始まり、木本恒暢教授らの研究グループにより我国、世界をリードする研究開発が進められている。つい 6 月 4 日には 20、000V 世界最高耐圧の PiN ダイオードの成果発表がなされたばかりである [2]。

半導体工学では、デバイスの開発は高耐圧や低オン抵抗に伴う大容量化に向けた方向性が設定されがちである。しかしながら、デバイスの耐高温特性、高速・高周波動作は回路実装の要でありながら、物性値以上には応用のための回路実装がなされてこなかった。同時に、パワーエレクトロニクスの分野では、負荷に合わせた回路設計が主体で、直接の目的の無い高温実装や RF 領域のスイッチングなどは全く意識の外にあったと言える。筆者らのグループではまず、デバイスの高速･高周波動作を目指すために、そのスイッチング損失による高温化に対するデバイスの耐性を確認するための研究を VBL の支援を受けて、舟木剛准教授（当時）、電子工学専攻・木本恒暢教授と共に米国 Arkansas 州立大学との共同研究で推進した。その結果、図 1 に示す様に、400℃においてもスイッチング動作が可能であることを示した [3]。これは期待されていた 250℃を遥かに越える、当時世界最高の温度環境での通常変換器動作を達成したものであった。この結果を受けて産業界で研究が進み、追試や同様の試みがなされた。産業利用のための課題は半導体チップそのものではなく、デバイス基盤、絶縁封止材（充填材）、パッケージなどの温度特性にあり、その後京都環境ナノクラスター事業を通じて、舟木剛教授（大阪大学）らを中心に新たに研究が進められている。筆者らは得られた高温特性に基づきスイッチング損失に基づく周波数余裕を評価し、数十 MHz のスイッチングでも十分にパワーデバイスとして利用できると評価した。これが、SiC パワーデバイスの物理的優位性を活かす回路応用への道を開くこととなった。

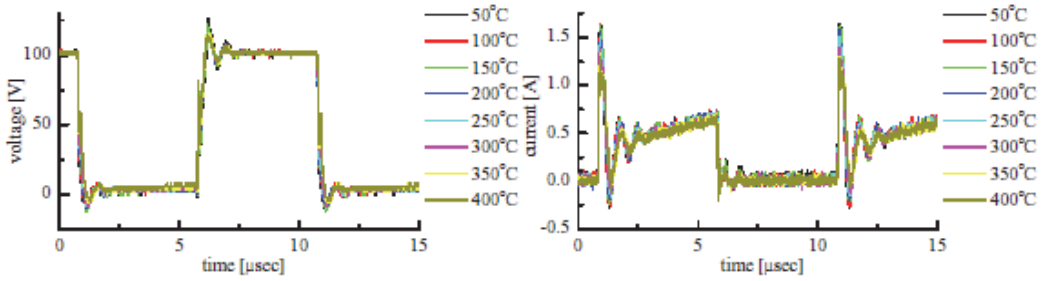
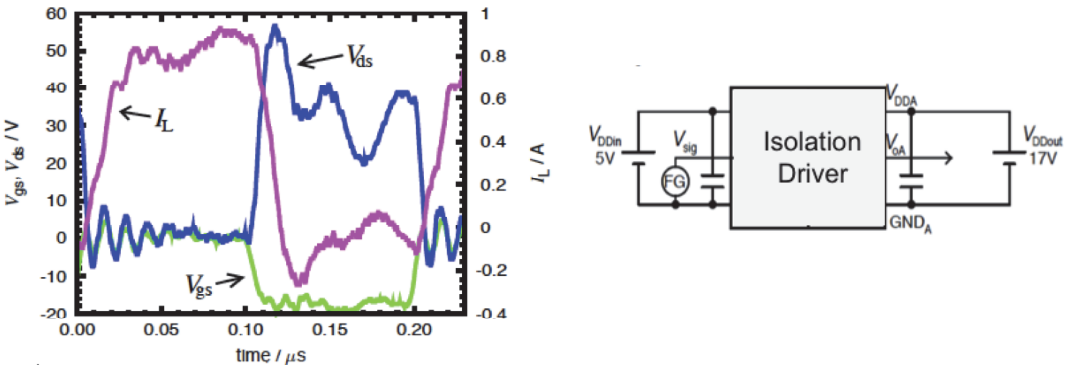


図 1　パワーデバイスの高温動作特性。



(a)　　(b)

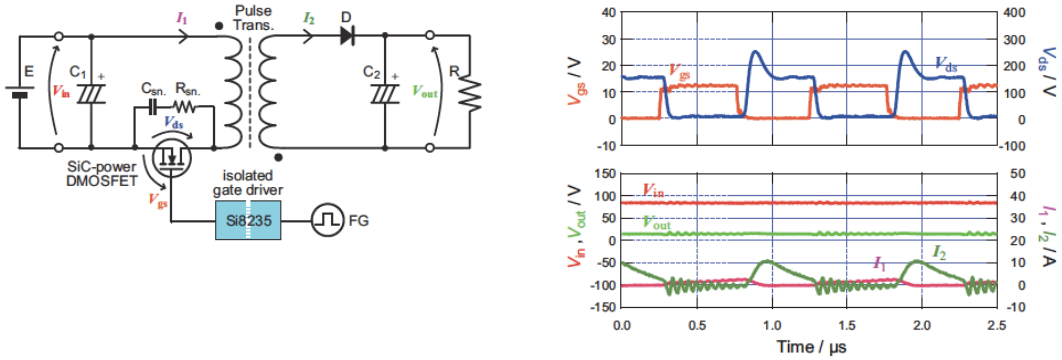
図 2　SiC-JFET による 5MHz のスイッチング波形（図（a））、および開発したノーマリーオン動作の JFET に疑似ノーマリーオフ動作を実現するゲートドライブ回路（図（b））。

2-2　SiC パワーデバイスの高周波応用

パワーデバイスの高速・高周波スイッチングへの要求は、Si 半導体ベースの現在のパワーエレクトロニクスの分野でさほどあった訳ではない。しかしながら、MHz を越えるパワーデバイスのスイッチング周波数を実現するために必要な技術の開発は、メーカーによる提供が当たり前と考えられているゲートドライブ回路の開発、集積化技術の向上ばかりでなく、パワー主回路における高周波特性の良いコンデンサーの探索、パワー回路のインダクタの空芯化の実現といった受動素子の再考を促し、デバイスのキャパシタの低減、構造の再検討と言ったデバイス開発へのフィードバックも生む。

図 2 は、SiC-JFET による 5MHz のスイッチング波形、および開発したノーマリーオン動作の JFET に疑似ノーマリーオフ動作を実現するゲートドライブ回路を示している。この回路の開発は、JFET の不利な特性よりもその高周波特性を活かすことを求めた結果である [4]。この開発はその後の高周波駆動に道を開き、現在 SiC-JFET では 15 MHz を越えるスイッチングを実現している [5]。これが、ISM 周波数（13.56MHz）を越えるスイッチング周波数であり、たとえば無線給電への適用などへの夢を膨らませ、産業界に「できる」という意識を与えたという点で非常に大きな意味がある。

図 3 は、SiC MOSFET を適用したフライバックコンバータの動作を示している。フライバックコンバータはノートパソコン用のアダプタ等に適用されている良く知られた変換回路である。 SiC MOSFET の高周波ゲートドライバを検討し、MHz のスイッチング動作が可能であることを示している。その結果、実用コンバータ回路の小型化への可能性が示されたと同時に周辺も含めた問題点も明らかとなった [6]。



(a)　　(b)

図 3　SiC MOSFET を適用したフライバックコンバータ（図（a））とその動作波形（図（b））。

3.　パワープロセッシングへ

さて、上記の流れは、既存のパワーエレクトロニクスの分野で物理的優位性を持つパワーデバイスが何を実現できるかを検討したものである。しかし、これは SiC パワーデバイスの新しい応用分野を切り開いているとはいえない。すなわち筆者らが主張する従来に世の中に無い分野を生み出したものではない。

筆者らのグループは、前節で説明した SiC パワーデバイスの高周波駆動特性に着目し、エネルギーと情報の統合技術 [7] の一つとして、電力（パワー）を情報とともに処理するパワープロセッシングの技術への提案を行っている。この研究の考え方は現在、情報通信機構（NICT）の受託研究において実現を図っている。その検討課題の一つとして取り上げている、電力をパケットで伝送する電力パケット伝送について以下説明する。これは今後スマートグリッド関連の電力マネージメント技術の一つとなることも期待される。

電力パケットのアイデアは 1990 年代に東北大学　豊田淳一教授（（現）名誉教授）が電力系統におい

てその可能性を提案されたと理解している [8]。残念ながら技術的に時期尚早で、Si パワーデバイスの特性も不十分、情報系や通信系の技術も未熟、さらに提案の必然性もなく忘れ去られていた。筆者らは SiC のパワーデバイスの特性評価およびその回路実装の技術的裏付けに基づいてこの研究提案に注目し、高周波スイッチングが可能な変換回路自体がそのスイッチングにより伝送する電力にタグ付けすることができることを示し、電力伝送を実証した [9]。同様の考えは交流電力に電力線通信を重畳し、擬似的なパケットを形成することによっても実現することを実証した [9、10]。2011 年 3 月に東日本大震災が発生し、その後の電力事情の大きな変化の中で、いろいろな研究者から同様な意見が出てきている。多くの方に不可欠な電力ネットワークのあり方に、分散系としてロバストであった情報ネットワークの考えが入らないかという思いがあるものと思われる。残念ながらそれらの多くは、物理的に実現する手段を伴なっておらず、現実に今電力をどうするかという場面において責任を持った提案とはなっていない。その意味でも大学における研究や提案は、明確な技術論と手法論の上に学問領域として電気電子工学の全ての技術の統合の中で確立する必要がある。

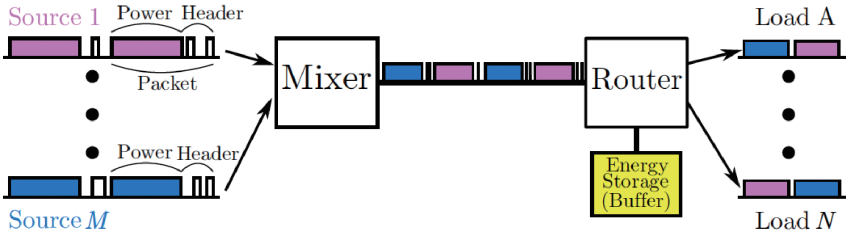


図 4　電力パケット伝送系の概念図

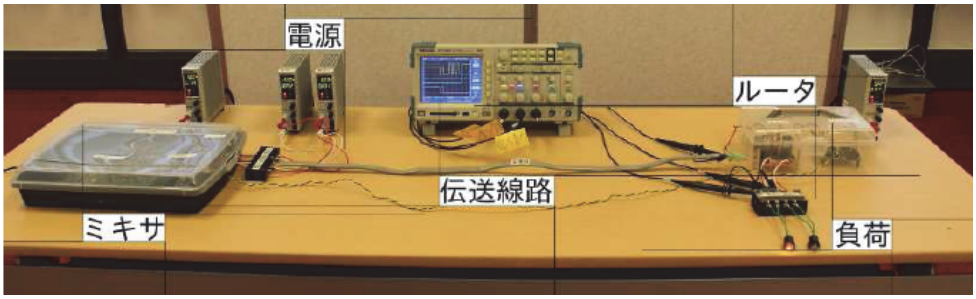


図 5　電力パケット伝送系のデモ

図 4 に電力パケット伝送系の概念図を示す。図 5 は複数電源の電力をパケット化しタグ付けし、複数の負荷に時分割同一配電線を介して配電できることを実験的に確認するデモの写真である。このスイッチ素子として SiC JFET を用いている。このようなスイッチ回路は通信系のミキサーやルーターの機能を持つものに相当し、損失があっては意味が無い。SiC パワーデバイスの適用はその低損失を実現し、パワー回路であっても集積化を可能にすることが期待される。パワーを情報と同時に処理することで物理的同一性を担保する、これまでに無いパワープロセッシングの考え方である。

電力のパケット化が何を生み出すかを従来技術の範囲で議論しても意味はない。ディジタル通信が出てきた時には、それらは成熟したアナログ通信技術から見て十分であったとは言えない。その時点でディジタル通信の今の様な繁栄を正確に予測できていた人はそう多くないであろう。同様と言えるかどうかわからないが、電気工学の技術の歴史を眺めた時電力パケットの化の提案は必然と考えられる。

4. おわりに

従来の電力制御として電圧、電流波形の生成を目標とするパワーエレクトロニクスではなく、その電力自体が情報を持つパワープロセッシングの提案は、関連分野にゲームチェンジを生むと同時にパラダイムシフトを引き起こす可能性がある。若い人にはその様な夢をリアルに描いて示すことが重要である。研究者として常識や完成された理論に常に疑問を持ち、今後も限界を超えると同時に、そこから見えてくる新しい分野の創造に向けて研究を進めて行きたい。

謝辞：本研究は、研究推進の期間に研究室から巣立った若手研究者、博士、修士課程学生に負うところが多大である。舟木剛先生（現　大阪大学・教授）、佐藤宣夫先生（現　千葉工業大学・准教授）、博士課程を修了された Dr. Nathabhat Phankong、宅野嗣大博士、修士課程を修了された学生の方々にこの場を借りて謝意を表します。また、現在研究室において関連研究を推進頂く大学院生の方々にも感謝します。また日頃、有意義な意見を頂戴する木本恒暢教授（電子工学専攻）には、この場を借りて御礼申し上げます。最後に、デバイスを提供頂くとともに、研究に協力頂いた　住友電気工業（株）、（株）ローム　に御礼申し上げます。最後に、本関連研究は COE21、GCOE、科学研究費補助金、環境ナノクラスター事業、NICT の研究助成を受けたものであることを記します。

文献

[1] 松波弘之，半導体 SiC 技術と応用，日刊工業新聞社（2003）.

[2] http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/news_data/h/h1/news6/2012/120604_1.htm

[3] T. Funaki, J. C. Balda, J. Junghans, A. S. Kashyap, H. A. Mantooth, F. Barlow, T. Kimoto, and T. Hikihara, "Power Conversion With SiC Devices at Extremely High Ambient Temperatures", IEEE trans. on Power Electronics, Vol.22, No.4, pp.1321-1329（2007）.

[4] T. Takuno, T. Hikihara, T. Tsuno, S. Hatsukawa, HF Gate Drive Circuit for a Normally-On SiC JFET with Inherent Safety, 13th European Conference on Power Electronics and Applications（EPE2009）, Barcelona Spain, Sep.8-10（2009）.

[5] T.Takuno, High Frequency Switching of SiC Transistors and its Application to In-home Power Distribution, *PhD dissertation*, Kyoto University, March（2012）.

[6] 佐藤 宣夫 , 文野 貴司 , 大嶽 浩隆 , 中村 孝 , 引原 隆士 , SiC 製 DMOSFET を用いた絶縁型フライバックコンバータの 1MHz スイッチング動作 , 平成 24 年電気学会全国大会 ,4-158, 広島工業大学（2012）.

[7] 情報処理，特集「エネルギーの情報化」，Vol.51, No.8（2010）.

[8] 斎藤浩海，宮森敏，島田亘，豊田淳一，開放型電力ネットワークにおける自律分散的電力流通を実現する機構の基礎検討，電学論誌 , Vol.117-B, No. 1（1997）.

[9] T. Takuno, M. Koyama, T. Hikihara, In-home Power Distribution Systems by Circuit Switching and Power Packet Dispatching, 1st IEEE International Conference on Smart Grid Communications, 4-6 Oct., Maryland, USA（2010）.

[10] T. Takuno, Y. Kitamori, R. Takahashi, and T. Hikihara, AC Power Routing System in Home Based on Demand and Supply Utilizing Distributed Power Sources, Energies, 4（5）, 717-726（2011）.

産業界の技術動向

音声言語処理

株式会社東芝 研究開発センター　知識メディアラボラトリー室長
梅　木　秀　雄

1. はじめに

「7時に起こして」と言えばアラームを翌朝7時にセットし、「明日傘は要るか？」と問い掛ければ天気予報サービスから現在位置の明日の天気を調べて音声で答えてくれる音声アシスタントあるいはコンシェルジュと呼ばれるサービスが2011年頃からスマートフォンで急速に広がりつつある。利用範囲はまだ限定的だが、多くの一般ユーザが音声インタフェースに触れる機会となり、音声認識が意外に使えると感じているはずだ。

音声認識をはじめとする音声言語処理技術は、特にここ5年ほどの性能向上が著しい。大規模データの収集と活用を支える、インフラ、サービス、アルゴリズムの三位一体の進化の結果と言える。

「インフラ」とは、音声、映像を含む膨大なデータの効率的な蓄積・処理・配信を可能にしたクラウド基盤とモバイル通信インフラである。このインフラの需要を牽引してきたのは、スマートフォンなどを介して世界規模の多くのユーザが日常的に情報を登録･共有するソーシャルメディア等の新たな「サービス」の出現と拡大に他ならない。

こうしたインフラとサービスの共進化に伴って、音声・映像・画像・言語の主に認識に関するアルゴリズムは、大量の事例（コーパス）を前提とした統計モデルと機械学習に基づくアプローチにシフトしてきた[1]。これにより、それまで主流だった方法、すなわち代表的なサンプルから人が注意深く抽出したルールに基づくアプローチではとても到達できないレベルの「表現のカバレージ」を実現できる可能性が出てきた。もちろん、そのためには可能な限り多くの事例やデータを必要とする。「量が質を左右する」時代の到来である。

2. 産業応用拡大の波

音声言語処理技術にとってこの2010年代は、20年前の1990年代に次ぐ産業応用の拡大期となるであろう。市場調査会社（GIA）によれば、音声処理技術の世界市場規模は2017年で約313億ドル（1ドル80円換算で約2.5兆円）になると見積もられている[2]。

表1は音声言語処理技術の産業応用について機能別に整理したものである。実用性や普及の程度差はあるものの、産業応用の対象自体は20年前からあまり変わっていない。音声で道案内をし、問い掛けに音声で答えるとルート探索できるカーナビゲーション製品が登場したのは1990年前半、汎用の音声入力ソフトがパソコンに搭載されたのは1990年後半のことだ。しかし、当時の音声認識の性能は実際には汎用の音声入力に期待されるレベルには達しておらず、ブームは一時的なものに終わった。その後、大規模コーパスの蓄積と活用が容易になったことで「現実の音声言語表現」を捉える精度が大幅に向上し、クラウド、端末機器、デバイスなど音声に関わる利用環境も大きく変化してきた。音声言語処理の古くて新しい産業応用拡大の動きについて、以下で簡単に紹介する。

表１：音声言語処理技術の産業分野

機能分類	産業用途、市場	要素技術
音声読み上げ	メール、ウェブ、電子書籍などのアクセシビリティ向上、発音など教育分野、歌声合成のエンタメ応用	音声合成
音声識別・分析	セキュリティシステムにおける音声認証、会議音声の話者分離、音声によるヘルスケア・情動分析	音声特徴分類、音声認識
索引生成	映像コンテンツ、音声レコーダなどにおける音声での索引やメタ情報の自動付与で、頭出しや検索を支援	音声特徴分類、音声認識
機器操作	情報家電やスマートフォンなどのハンズフリー／アイズフリーでの音声操作、高齢者・障がい者支援	音声認識、対話管理
文字入力（ディクテーション）	スマートフォンでのメール入力、医療電子カルテの入力、報告書など文書作成省力化	音声認識
会話・講演支援	会議音声の自動字幕生成／書き起こし、講演やTV放送の字幕生成（聴覚障がい者向け）、外国語理解	音声認識、機械翻訳、音声合成
ナビゲーション・自動音声応答	カーナビやスマートフォンでのハンズフリー／アイズフリーの道案内、問合せや予約など電話音声自動応答	音声認識、対話管理、情報推薦、音声合成
課題解決型知識検索	医療情報検索（症例、投薬）、判例／特許検索、コンテンツ／商品検索などを柔軟な表現で対話的に解決	音声認識、対話管理、情報推薦、知識処理

音声合成による読み上げ機能は、大規模データの活用により自然性と正確性の向上が行われてきたが、準定型コンテンツ読み上げなどの基本機能はコモディティ化が進んでおり、音質以上にマルチプラットフォーム化、多言語化、低コスト化が重視されることになる。一方で、音声合成自体に「コンテンツ価値」を見いだそうとする動きも今後活発になると思われる。すでに歌声合成では一定のエンターテインメント市場が立ち上がっており、電子書籍／メッセージングにおける読み上げや音声対話では、合成音の話者性や感情表現など多様性と編集容易性のニーズが高まるであろう。

これまでカーナビ組込向け音声合成開発で実績のある東芝では、高品質で話者バリエーション、似声生成、カスタマイズを実現する音声合成クラウドサービス ToSpeak Online（トゥースピークオンライン）を展開している（図１）。また、電子書籍向けでは、見出しや箇条書き、本文とセリフなどの文書構造に応じて、適切なポーズを入れ、音声を切り替えて読み上げるなど、自然で聞きやすい朗読エンジンの開発を進めている [3]。文章の感情推定に基づいて読み上げ音声を自動で切り替え

図１：高品質音声合成クラウドサービス ToSpeakTMOnline

ることで、手間を掛けずに感情豊かな朗読が可能だ。感情推定部では、予め大量のテキストを解析・学習し、セリフに相当する文毎に、平静／怒り／哀しみ／喜びの４種類の感情を自動で推定する。さらに出版／編集元や読者自身が音声読み上げスタイルのカスタマイズと流通が容易にできるプラットフォームを目指したい。

音声認識に関しては、最近のスマートフォン向けの機能呼び出しや検索などの音声入力アプリケーションが注目を集めている。一方で、ビジネスとしては、特定の業種・用途向けで必要な用語や表現を辞書化・学習して、限定された状況と環境下で実用に耐えうる精度を出すことが優先されてきた。たとえば、医療機関、官公庁、企業における次のようなニーズである。

- 医師による検査所見の入力や、企業／官公庁での顧客対応レポート作成など、多くの数を日常的にこなす必要のあるテキスト入力業務　→ 実際に利用される語彙や表現はある程度パターン化されることが多い。
- 顧客窓口に掛かってきた問合せの電話や、講演録／議事録など、大量の音声データから必要なところだけを聞きたい　→ 音声録音自体は資料もしくは証跡的な必要性から行われる。検索用途や索引作成が目的で、キーワード付けができればよいケースと全文書き起こしが必要なケースがある。

これらは、文字入力（ディクテーション）、索引生成、会話・講演支援の分野である。会議や会話内容すべての正確な書き起こしは、現在でも難しい領域であることには変わりないが、マイクなどの環境や使い方によって実用性が高いユースケースも存在する。ユーザインタフェースやシステム構成を含めて、トータルでの確認・修正作業のコストをいかに削減できるかがソリューションの鍵となる。

ハンズフリー／アイズフリーの機器操作・自動案内に関連した製品は、新たなハードウェアを含めて今後次々登場してくるであろう。車載向けでは、道案内のほか情報検索や通話・車載機器操作などすべての操作が統一的な音声対話で実現できるようになる。業務向けでは、作業状況に応じた最適な作業指示を自動的に音声で行うシステムが、点検や配送業務向けですでに実用化されている。さらに拡張現実（AR）機能を搭載しためがね型端末による情報ナビゲーションの開発も盛んだ。観光、教育、エンターテインメント、業務支援などで継続的な需要を創出できるかがポイントになる。いずれにしても、スマートフォンなど既存汎用機器との情報連携、劣悪な音環境下でも確実に音声を捉えるマイク・音響処理は重要な要素である。

最初に述べた音声アシスタントサービスについては、スマートフォン向けの個人生活サポートに留まらず、専門知識データベースに対する問合せシステムとしても様々なビジネス応用が進むであろう。IBM の質問応答システム Watson が人間にクイズで勝利したのは 2011 年 2 月のことで、スマートフォン向け音声アシスタントサービス拡大の年と奇しくも同じだ。医療情報、法律情報、その他事例検索などの膨大な専門知識に対して、より柔軟な表現でかつ漏れの無い探索をしたいというニーズは高く、産業応用分野として今後注視が必要である。

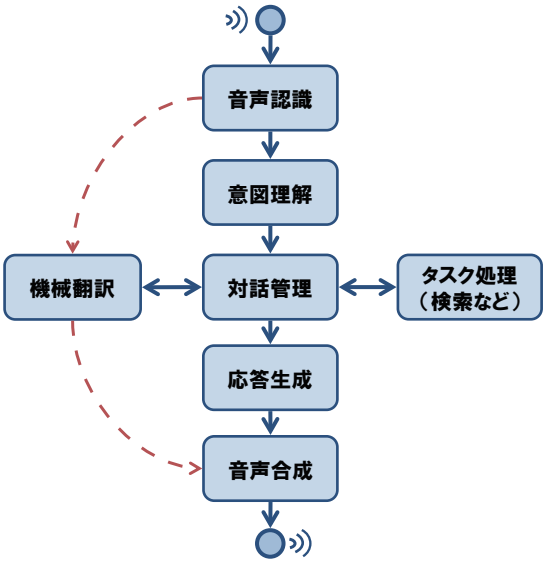


図２：音声言語処理のプロセス全体構成

当時 Watson には音声対話は搭載されていな

かったが、知識処理と音声対話は密接に関係している。音声言語処理プロセスの全体像（図 2）を考えると、音声対話のメインプロセスである意図理解、対話管理、応答生成の背後には知識データベースの存在が不可欠であり、対話を通じてその参照と更新が行われる。音声翻訳についても、音声対話のやりとりを翻訳するような場合には、音声認識と合成の間で表層的に変換するのではなく、意図理解と対話管理を介した機械翻訳が求められる。

3. 産業成長のための課題

音声言語処理の精度向上においては、いかに多くのデータ（コーパス）を確保し、学習させるかが重要で、ビジネスの参入障壁の点でも同じことが言える。一般に膨大なデータを収集・確保するには相応の費用と時間が掛かるためだ。しかも、画像処理技術と違って、音声言語処理は文字通り言語依存であるため、グローバル事業展開には多言語対応が必須で、相当額の研究開発投資が必要となる。実際のところ、音声言語処理技術で数十カ国語以上の多言語対応とグローバルビジネス展開ができている企業は世界にほんの数社しかない。米国の情報検索サービス会社、ユーザインタフェース開発会社、コンピュータ・メーカー、コンピュータ・ソフトウェア会社など、いずれもグローバルでユーザ確保を狙い、大規模データ蓄積・活用に必要なクラウド対応も早くから進めてきた企業である。

こうした現状では、広く薄く平均的なユーザの利便性向上を狙って、彼らと同じ土俵で多言語開発を自前で行う戦略は得策ではない。これからは、より生活や状況に合ったきめ細かい柔軟なサービス提供が求められる時代である。多言語対応より先にやるべきことは多いはずだ。

音声言語処理技術についてはデータコーパスの「量が質を左右する」と冒頭で述べたが、もう一歩進めて「できるだけ質の良い量を集める」ことが差異化につながる。ウェブにすでにある情報を収集するのではなく、ユーザにサービスを提供して得られる「真の生きたデータ」が本当に必要な統計情報を提供してくれるはずだ。音声認識による文字入力アプリや音声対話システムは、サービスでユーザメリットを提供しながら、実際に入力されたデータの分析を行うことで着実に性能向上につなげている。東芝で現在 β 公開中の「音声書き起こしクラウドエディタ」ToScribe$_{TM}$（トゥースクライブ）もそうしたシステムの一つである（図 3）。このサービスは自動書き起こしをするのではなく、あくまでユーザ自身が行う書き起こし作業を省力化するもので、裏で音声認識を使ってまだ書き起こしていない音声位置の頭出し、話者分離などの機能をクラウドで提供している。これにより、音声とテキストの対応付けされ

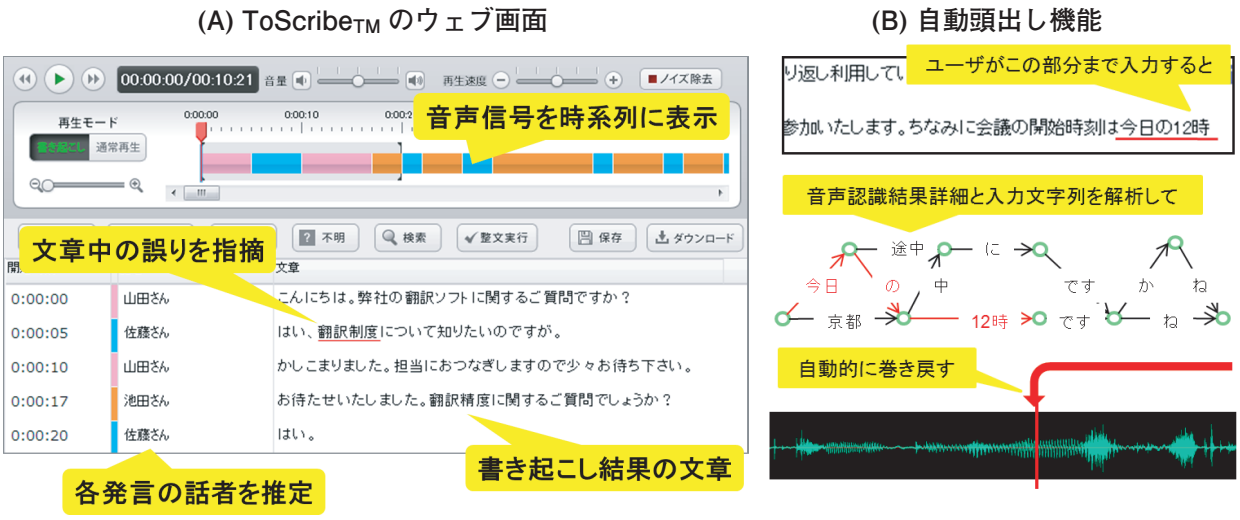


図 3：音声書き起こしクラウドエディタ ToScribe$_{TM}$

たデータコーパスを収集し、より精度の良い音声認識を提供することを狙っている。現在は登録制だが、間もなく一般公開の予定だ。

ユーザサービスの提供とデータ蓄積にはもちろん運用コストが掛かり、大学などが様々なサービス提供を継続的に行うことは難しい。音声言語処理分野で米国や中国に負けない産業振興を図る上でも、産学で実サービスを介した連携を積極的に進める必要があるだろう。

[1] Web 時代の音声・言語技術 , 電子情報通信学会誌 Vol.94, No.6, 2011.

[2] Speech Technology - A Global Strategic Business Report, Global Industry Analysts Inc., 2012. Press Release: http://www.prweb.com/releases/speech_technology/speech_recognition_system/prweb9268220.htm

[3] 自然で聞きやすい電子書籍読み上げのための文書構造解析技術 , 東芝レビュー pp.32-35, Vol.66, No.9, 2011.

新設研究室紹介

エネルギー社会環境学講座　エネルギー情報学分野　（下田研究室）
http://hydro.energy.kyoto-u.ac.jp/
「ヒューマンインタフェースにより切り開く新しいエネルギー社会システムの創成」

エネルギー資源の確保、安定供給、地球温暖化問題の対策等のエネルギー・環境問題の解決には、理工系の知識や技術だけではなく、エネルギーを利用する人間や社会をも含めた「エネルギー社会システム」という観点から総合的に問題を捉える必要があります。また、近年の情報通信技術の著しい発展と普及を鑑みると、エネルギー・環境問題の解決にはこれらの技術の活用が重要です。エネルギー情報学分野では、原子力発電をはじめとする大規模エネルギーシステムの安全で効率的な運用の問題から、私達の日常生活でのエネルギー消費行動まで、幅広く人間や社会にかかわるエネルギー・環境問題を解決するための新しい情報通信技術やヒューマンインタフェース技術の開発とその活用に関する研究を推進しています。具体的には、下記のような研究を実施しています。

1. 拡張現実感技術を用いた発電プラント現場作業支援

福島第一発電所の事故以来、我が国の多くの原子力プラントが停止する一方で太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギーが十分に普及していない現状では、いまだ大規模集中型の発電プラントの安全で効率の良い運用が求められています。これまで、原子力プラントをはじめとする発電プラントの運転にかかわる作業支援として情報技術を用いた自動化やインタフェース設計等の研究が行われてきており一定の成果を挙げてきましたが、保守作業のような現場作業はまだ支援が不十分です。この研究では、計算機で生成した情報を現実世界に重畳して提示することにより情報的に人の知覚を拡張する拡張現実感技術を用いて、発電プラントの現場作業を支援する新しい手法の研究開発を進めています。

2. 人々の環境配慮行動の促進

我が国の部門別エネルギー消費を見ると、産業分野は省エネルギー活動の効果が表れているものの、私たちの日常生活である家庭部門のエネルギー消費は1970年に比べて一人あたり2倍にもなっています。省エネルギーや環境に優しい未来社会を構築するためには、まず私たちの意識や行動を変革する必要があります。ここでは、近年広く普及しているスマートフォンやインターネットを使って、社会規範意識等の社会心理学の知見を活用して参加者の日常生活における環境配慮行動を促進・継続するオンラインコミュニティの構築、京都市内勤務者を対象とした自動車通勤から自転車通勤へのモーダルシフトを促す自転車専用ハイウェイ制度の提案、個人の日常生活におけるエネルギー消費を対象とした新しい二酸化炭素排出許可枠制度の設計・評価など、私たちの日常生活行動を変革し環境に優しいライフスタイルとエネルギー社会システムの構築に寄与する研究を進めています。

3. オフィス環境と執務者の知的生産性向上

家庭部門でのエネルギー消費の増加とともに、民生部門でのエネルギー消費も増え続けています。これは、知識やアイデアが価値を持つ情報社会の到来とともに、オフィスビルが増加しているためです。オフィスでの人々の労働はデスクワークのような知的作業ですが、近年オフィス環境によって執務者の知的生産性が変化することがわかってきました。もしかすると夏のクールビズは知的生産性を著しく低下させているかもしれません。ここでは、定量化が難しい知的生産性の計測方法から、オフィス環境と知的生産性の関連の実験的評価、さらには知的生産性変動メカニズムの数理モデル化等の研究を進め、知的生産性とエネルギー効率向上の両立を図る新しいオフィス環境の研究開発に取り組んでいます。

本研究室では、これからも上記のような未来のエネルギー社会システムの創成を目指す研究を進めていきます。

エネルギー材料学講座　エネルギー応用基礎学分野　（土井研究室）
http://www.device.energy.kyoto-u.ac.jp/
「結晶方位制御技術を活用した高性能高温超伝導線材の開発」

超伝導体は冷却することで電気抵抗がゼロとなる画期的な材料です。この性質を使うことによって、強力で安定な磁場を発生することが可能になり、核磁気共鳴画像装置（MRI）、核磁気共鳴装置（NMR）、粒子加速器、リニアモーターカーなどの様々な製品が作り出されています。

超伝導体の中でも、特に高温超伝導体と呼ばれる１群の材料はどこでも入手可能で安価な液体窒素に漬けて冷却するだけで電気抵抗ゼロの状態になるので、この高温超伝導体を用いた電線（超伝導線材）を実用化できれば、従来は冷却コストが掛かりすぎるためにその使用が断念されていた電気機器に対しても超伝導線材の使用が広がることが確実視されています。また、世界各地の砂漠に太陽光発電装置を設置し、それらの太陽光発電装置群を高温超伝導線材で構築した全地球的送配電網に組み込んでしまえば、地球上の全てのエネルギーをまかなうことができるといった試算もあります（GENESIS 計画：Global Energy Network Equipped with Solar cells and International Superconductor grids [1] ）。

我々は材料加工技術と成膜技術を融合することで、安価で工業生産に向いた結晶方位制御技術の開発を行ってきており、高温超伝導体の結晶方位を数 km の長さに渡って単結晶のように（3 軸結晶配向）揃える新技術の開発に成功しています。具体的には圧延と加熱によって 3 軸結晶配向した銅テープを作製し、その表面にバッファ層を数層エピタキシャル成長させ、最後に高温超伝導体（$YBa_2Cu_3O_7$）の 3 軸結晶配向膜をエピタキシャル成長させた高温超伝導線材の開発に成功しました（図 1）。この線材を液体窒素に漬けて冷却（77 K）したところ、断面積 1 mm^2 当たり 200A 以上の電流を電気抵抗ゼロで流せることが確認できています。現在、企業との共同研究等を通じて、実用化に取り組んでいます。

また、このような結晶配向化技術は高温超伝導体に限らず、様々なデバイスの性能向上に役立つ技術になる可能性を秘めています。現在、太陽電池や熱電発電素子、燃料電池などへの応用も研究中です。

参考文献

[1] Yukinori Kuwano, Prog. Photovolt. Res. Appl. 8（2000）53-60.

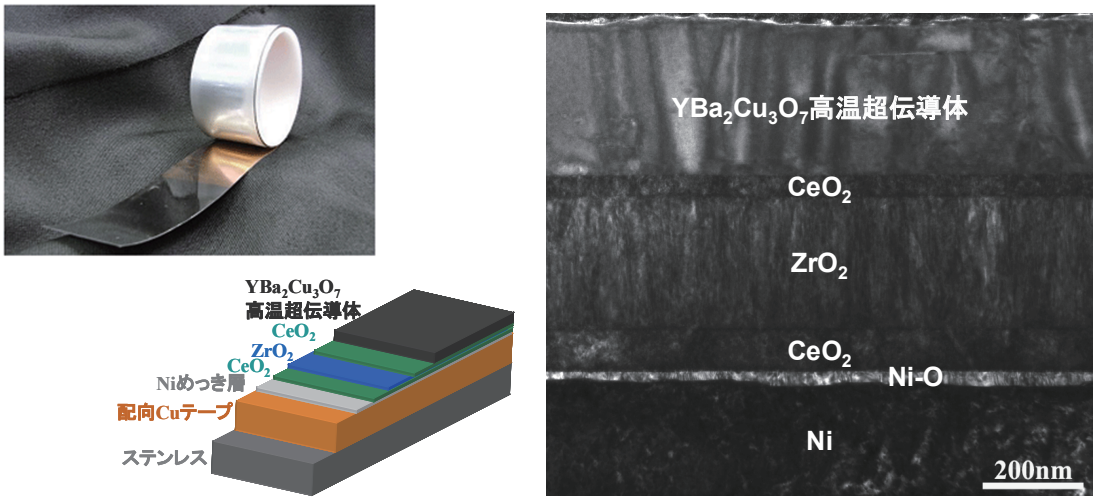


図１　開発した高温超伝導線材の概観、構造の概略図および断面の透過型電子顕微鏡写真

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（大学院）
電気工学専攻
先端電気システム論講座（引原研）☆
システム基礎論講座自動制御工学分野（萩原研）
システム基礎論講座システム創成論分野
生体医工学講座複合システム論分野（土居研）
生体医工学講座生体機能工学分野（小林研）
電磁工学講座超伝導工学分野（雨宮研）
電磁工学講座電磁回路工学分野（和田研）
電磁工学講座電磁エネルギー工学分野（松尾研）

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
電子物理工学講座プラズマ物性工学分野
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
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）
デバイス創生部門先進電子材料分野（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ィジタル通信分野（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（佐藤高研）
集積システム工学講座大規模集積回路分野（小野寺研）
集積システム工学講座超高速信号処理分野（佐藤亨研）

システム科学専攻
システム情報論講座論理生命学分野（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（下田研）＊

エネルギー基礎科学専攻
エネルギー物理学講座電磁エネルギー学分野（中村祐研）

エネルギー応用科学専攻
エネルギー材料学講座エネルギー応用基礎学分野（土井研）＊
エネルギー材料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
中核研究部
生存圏診断統御研究系レーダー大気圏科学分野（山本研）
生存圏診断統御研究系大気圏精測診断分野（津田研）
生存圏開発創成研究系宇宙圏電波科学分野（山川研）
生存圏開発創成研究系生存科学計算機実験分野（大村研）
生存圏開発創成研究系生存圏電波応用分野（篠原研）

ベンチャービジネスラボラトリー

高等教育研究開発推進センター
情報メディア教育開発部門（小山田研）

学術情報メディアセンター
教育支援システム研究部門遠隔教育システム研究分野（中村裕研）

電磁工学講座　超伝導工学分野　（雨宮研究室）
http://www.asl.kuee.kyoto-u.ac.jp/index.html
「高温超伝導集合導体の交流損失特性」

高温超伝導線は液体窒素で冷やすことにより超伝導になる電線です。これを使って発電機、モータ、変圧器、送電ケーブルといった電気機器を構成することで、銅線を使った場合に比べて電気機器の高効率化（省エネ化）や小型化が可能になります。また、これを用いてマグネット（電磁石）を巻くことにより、銅線を用いたマグネットでは得られないような高磁界が、従来の低温超伝導線を用いたマグネットよりも簡単な冷却システムで得られ、また、低温超伝導線よりも高い磁界で使うことも可能なことから、MRI 用マグネット、粒子加速器用マグネット、核融合装置などへの応用も期待されています。

しかし、これまで実用化された高温超伝導線はいずれもテープ形状をしており、かつ、線１本が超伝導状態で輸送することができる電流はたかだか数十アンペアから二、三百アンペア程度であり、大型の電気機器やマグネットを構成するためには十分な電流容量を有するとは言えません。そこで、このような高温超伝導線を並列集合化して電流容量の向上を図りたいわけですが、テープ形状の高温超伝導線をたんに積み重ねただけでは、それぞれの線のインダクタンスにばらつきが生じてしまい、線間の電流分布が不均一になってしまいます。このような偏流問題を解決するために、ジグザク形状に切り出し加工した高温超伝導線を素線として、これを編みこむように組み合わせた高温超伝導 Roebel ケーブルとよばれる集合導体が世界的に注目を集めています（図 1）。このようにすれば、全ての素線は、幾何学的な形状・相対的位置関係の点で、長手方向にずれている点以外は等価になり、全素線のインダクタンスも等しくなって、結果として偏流も防止できます。

しかし、Roebel ケーブルはその複雑な３次元的な構造故、特に交流の電流を流したり、交流の磁界にさらされたりしたときには、その内部でミクロスケールの複雑な電磁現象が展開されます。このミクロスケールの電磁現象は、交流損失とよばれる、交流で超伝導体を用いたときに発生する特有の損失発生機構とも関連しています。我々の研究室では、計算負荷は抑制しつつ、Roebel ケーブルの３次元的幾何学構造を考慮できるようなモデルを提案し電磁界解析を行うことにより、Roebel ケーブルを構成する素線のミクロスケールの電磁現象を可視化し、交流損失を理論的に求めています。また、平行して、交流磁界下で交流電流を輸送するというもっとも一般的な条件下で、Roebel ケーブルの交流損失を実測し、解析結果との比較検討を進めています。なお、これらの研究は、ニュージーランドの Industrial Reseach Limited（民営化された国立研究所のような機関）と共同で進めているもので、研究を通して、グローバルに活躍できる学生の教育につながればとも願っています。

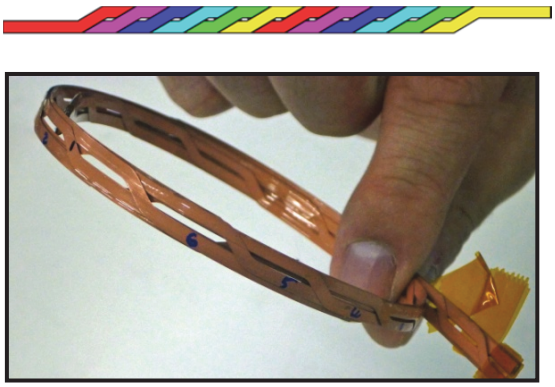


図１　Roebel ケーブル

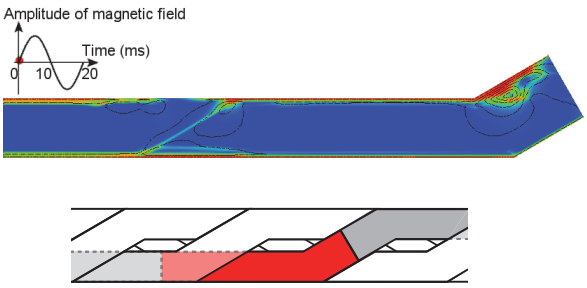


図２　Roebel ケーブルの電磁界解析結果（電流分布）

電磁工学講座　電磁エネルギー工学分野　（松尾研究室）
http://fem.kuee.kyoto-u.ac.jp/EMEE-lab/index.html
「時空間計算電磁気学」

近年、メタマテリアルなど電磁波の波長程度あるいはそれ以下のサイズの人工構造により、電磁波（あるいは光）に対する媒質の特性を人工的に制御する手法が注目されています。その際、構造物の形状を正確にモデル化するために、計算格子を細かくするとともに適応的な格子形状を用いることが求められます。電磁界の時間依存計算手法としてFDTD法が代表的ですが、一般に均一な直方体格子が用いられるため適応的な格子の利用は容易ではありません。また、空間刻み幅を小さくすると、時間刻み幅も小さくする必要があり、計算時間が大幅に増加します。これに対して、有限積分法は、FDTD法を包含する手法でありながら、様々な格子形状を許容する方法であり、一般的な格子形状に対する時間依存計算の手法の開発が行われています。ただし、有限積分法においても、時間と空間については別々に扱われることが通常で、時間方向には一様な時間刻みによる逐次的な処理にとどまっているのが現状です。

他方で、電磁界を記述するマクスウェル方程式においては、両者を時空間として統一的に取扱うことができます。時空間で計算格子を構成することにより、柔軟な計算格子の生成が可能になり、電磁界計算の自由度は大幅に向上します。たとえば、必要に応じて時間刻み幅を場所によって変えることを自然に行うことができます。

図1は空間2次元の3次元時空間格子（主格子）の例です。時間刻みが場所によって異なっており、プリズム型の時空間格子が用いられています。図2は時間刻みを半減する部分の時空間格子で、主格子（実線）ともに用いられる双対格子を破線で示しています。これを空間3次元の4次元時空格子としたのが図3です。3次元時空間[1]では主格子の面と双対格子の辺、4次元時空間[2]では主格子の面と双対格子の面が、ローレンツ計量にて直交するように格子を構成すると、簡明で効率的な計算スキームが得られることを我々は見出しました。図4は電磁波散乱の計算例です。図（a）は三角形状の散乱体付近のみを空間および時間的に細分化した格子による計算結果、図（b）はFDTD法による結果、図（c）は空間全体を細分化したFDTD法による結果です。図（b）では空間の解像度が不足して十分な計算精度が得られていませんが、図（a）では図（c）と同程度の計算精度がおよそ半分の計算時間で達成されています。

参考文献

（1）T. Matsuo, IEEE Trans. Magn., vol. 46, pp. 3241-3244, 2010.
（2）T. Matsuo, IEEE Trans. Magn., vol. 47, pp. 1530-1533, 2011.

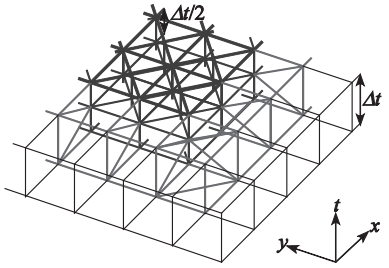


図1　3次元時空間格子の例（主格子のみ）

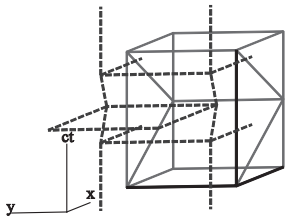


図2　3次元双対時空間格子（実線：主格子，破線：双対格子）

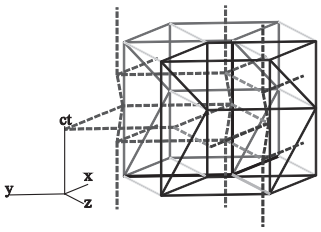


図3　4次元双対時空間格子（実線：主格子，破線：双対格子）

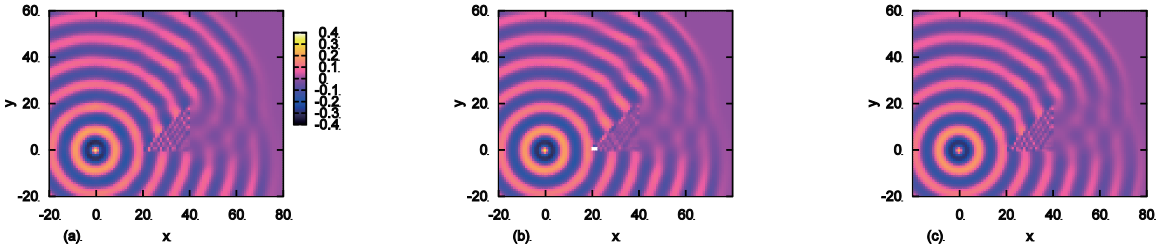


図4　電磁波散乱の計算例：（a）時空間有限積分法（b）FDTD法（粗分割格子）（c）FDTD法（細分割格子）

集積機能工学講座　（鈴木研究室）
http://sk.kuee.kyoto-u.ac.jp/index.html
「固有トンネル分光で見る高温超伝導の k 空間不均一性」

銅酸化物高温超伝導体は最高で 135K にもなる高い超伝導転移温度 T_c で超伝導に転移します．なぜ金属の超伝導体よりも 100K 近く高い温度で超伝導になるのか，その理由はまだわかっていません．これを理解するには高温超伝導が従来の超伝導とどのように違っているのか実験で見出す必要があります．

超伝導状態を表す重要な量として超伝導オーダーパラメータ Ψ があります．Ψ は超流動成分の濃度ならびに対形成の方向依存性を示しています．この Ψ は磁場侵入長や光学吸収あるいはトンネル分光による超伝導エネルギーギャップΔから，または最大ジョセフソン電流密度 J_c から知ることができます．我々は微細加工により高温超伝導体 $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ の固有ジョセフソン接合を微小メサ構造に加工し，これと短パルス法による固有トンネル分光を利用し，J_c とΔを同一の試料からほぼ同時に測定して比較することにより，超伝導オーダーパラメータ Ψ が銅酸化物高温超伝導体では不均一にならざるを得ないことを見出しました．

図 1 は不足ドープ（キャリア濃度が低い）の異なる 3 種類の試料から得られたトンネルスペクトルです．ピークの位置からΔがわかります．また同じ試料から図 1 のような電流電圧特性が得られ J_c がわかります．ΔはΨの強度を反映し，J_c は量を反映します．得られたΔを用いて均一な超伝導を仮定して理論的な J_c^{th} を計算し，実験値と比較した結果を図 2（a）に示します．実験と理論には最大 2 桁の乖離が存在し，均一な超伝導ではもはや J_c の実験結果を説明することはできません．これから高温超伝導体の超伝導オーダーパラメータΨは均一とはいえないことがわかります．我々は，高温超伝導体のキャリアが k 空間で偏在していること（図 2（b）（c）の空色の領域）と Ψ の対称性に d 波を考えることにより，図 2（b）に示すようにドープ量が小さくなると超流動濃度への寄与（赤い太い線）が少なくなり，超流動濃度が激減し，したがって J_c も著しく減少することを説明できることを見出しました．このような Ψ は k 空間における超伝導の不均一性を示しています．非常に強い電子間引力相互作用があっても，k 空間におけるキャリアの偏在によってキャリアの局在を抑制され，その結果として不均一な Ψ の形で高い T_c が実現されるものと考えられます．

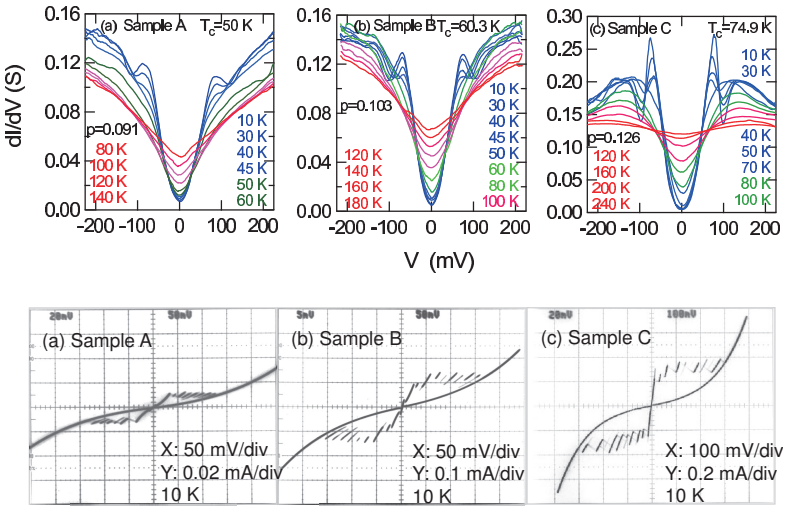


図 1. 上段 :$Bi_2Sr_2CaCu2O_{8+\delta}$ の固有トンネルスペクトル．下段 : 同電流電圧特性とジョセフソン電流 . 試料は不足ドープ領域でそれぞれドープ量（p:Cu1 個当たりのホール数）が異なる．

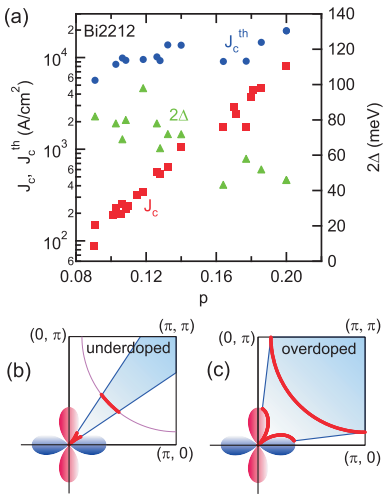


図 2. (a) 実験で得られたΔと Jc および理論的な J_c^{th} のドープ量 p 依存性．(b)(c) d 波対称Ψとキャリア偏在するフェルミアークおよびフェルミ面のモデル．

電子物理工学講座　極微真空電子工学分野
http://www.s-ee.t.kyoto-u.ac.jp/ja/information/laboratory/gse/ese/beam
「ナノレベルイオン注入による発光材料の形成」

当研究室では、発熱のない省エネルギーで極微な電子源開発とその応用として放射線などに強い耐環境素子としての微細な増幅素子の開発を、また、極微な領域での材料物性制御を目的として負イオン注入法を開発し、新しい細胞接着制御の提案や半導体製造プロセスに適合した新たな材料による発光材の開発を主な研究課題としています。その中でも今回は、負イオン注入法を用いたナノメートル深さ制御による低電圧での紫―青色領域の発光材料の開発について説明します。シリコン（Si）ベースの集積回路では配線による遅延は計算速度を低下させるため、光通信の利用が望まれています。そして、その光源としてはSi半導体やその製造プロセスに適合した4族元素によるものが求められています。この課題に対して、本研究室では、ゲルマニウム（Ge）を負イオンとして二酸化シリコン（SiO_2）層に注入することで、ナノメートルレベルの極浅い深さに発光サイトを形成して、10V程度の低電圧での発光を目指すとともに、100 eV程度の低エネルギー電子ビームに対する蛍光材料の開発を目指しています。本研究室で開発した負イオン注入法は異種元素を負イオンとして固体中に注入する方法で、対象が絶縁物であっても帯電現象が大きく緩和され、ほぼ無帯電で注入することができます。つまり、ナノメートルレベルの極浅領域でも精度良く注入できるという特徴を有しています。基材としてSi基板上の50 nmという極薄SiO_2膜を用い、表面から10～50 nmの深さにGe負イオンを注入して、平均濃度3～5 at.%の極浅Ge添加層を形成しました。そして、加熱処理によりGeナノ粒子の形成とその部分的酸化した結果、発光サイトが極浅領域に形成されていることをフォトルミネッセンスにより確認しました。そして、SiO_2表面にITO透明電極をSi裏面にAl電極を形成して電圧印加を可能とし、十数Vの電圧印加で青色の発光（エレクトロルミネセンス，EL）が得られることを証明しました。一例として直流15Vで発光している様子と発光スペクトルをそれぞれ図1と図2に示します。また、Ge負イオンをSiO_2ガラス表層の数～20 nmの極浅領域に注入することで、280 eVという低速電子ビームで発光することを肉眼で確認しており、低速電子線蛍光材料としても応用できることを示しました。

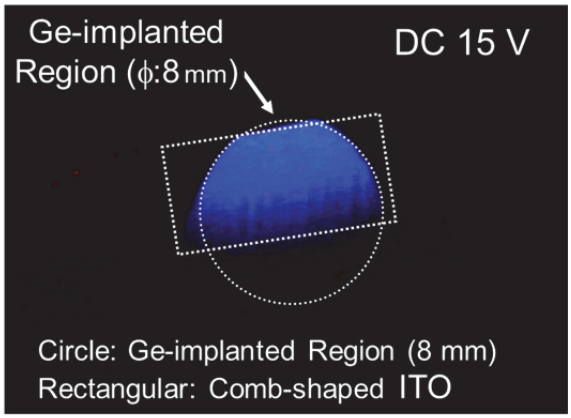


図1. Ge注入した極薄SiO_2層にDC15Vを印加した発光部の写真

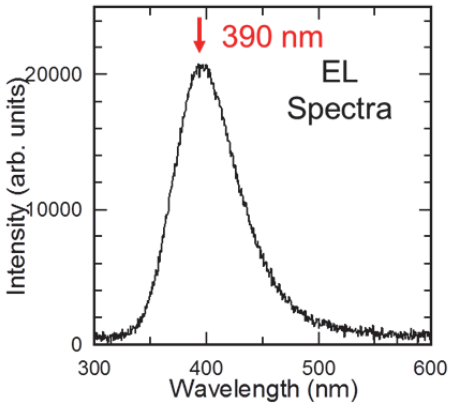
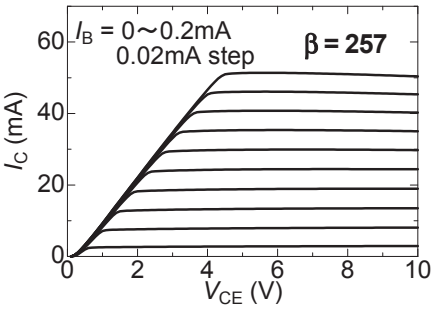


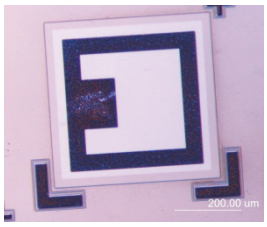
図2. ELの発光スペクトル

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/
「ワイドギャップ半導体 SiC の新しい展開」

ワイドギャップ半導体のシリコンカーバイド（SiC）は次世代パワーデバイス用材料の最有力候補である。SiC パワーデバイスは、既存の Si では実現不可能な高耐圧と低オン抵抗を両立したデバイスを実現可能であり、精力的な研究開発が進められている。SiC デバイスの実用化はこの 12 年間にめざましい進展を遂げた。例えば、SiC ショットキーバリアダイオード（SBD）は、京都大学での世界初の試作成功を受けて、2001 年に Infineon が生産を開始し、現在では国内外の複数メーカから供給されている。トランジスタに関しては、Si IGBT の置き換えを目指した SiC MOSFET の開発が進んでおり、量産も開始されている。家電製品、電気自動車への応用については、SiC SBD、SiC MOSFET が中心となる。当研究室では、SBD、MOSFET に関する研究も行っているが、さらにその先を考えた SiC デバイスの新たな展開も進めているので紹介したい。



現在の Si パワーデバイスの主役は MOSFET と IGBT であるが、20 年ほど前まではバイポーラトランジスタ（BJT）が主役であった。しかし BJT は、安全動作領域が狭いために、MOSFET の高性能化と新構造デバイスである IGBT の登場により、その役割を終えたという歴史がある。一方、材料を SiC として BJT を考えると、物性値の違いから、Si の場合に問題となっていた二次降伏現象は SiC BJT の場合には起こらない。SiC BJT には、伝導度変調による SiC MOSFET を超える低オン抵抗が原理的に可能性であり、鉄道や電力インフラなど、高耐圧・大容量パワーデバイスとしての潜在性がある。しかしながら、過去の研究では、SiC BJT の電流増幅率は最高でも 134 しかなく、大電流を扱うパワー応用には不十分という問題があった。当研究室では、単なるデバイス構造の最適化ではなく、より深く物性・材料に踏み込み、結晶成長、パッシベーション、点欠陥制御による電流増幅率向上の研究を進めた結果、257 というこれまでの報告の倍の高電流増幅率を達成し、学会で大きな注目を集めた[1]。現在は、SiC BJT の高耐圧化に関する研究や、SiC BJT の設計の基礎となる物性や現象の解明とその制御の体系化を進めている。



SiC は高温、腐食性雰囲気、放射線照射下などの過酷な環境でも半導体デバイスとして動作可能である。この点に注目して、厳環境センサー・MEMS デバイスについての研究も進めている。例えば、室温～数百℃の広い温度範囲で動作可能で、しかも、感度の温度依存性をほぼゼロにした紫外線フォトダイオードの提案や[2]、MEMS の基本構造である、ブリッジやカンチレバー構造を高品質な単結晶 SiC で作製し、その機械的特性を詳細に評価するなどの研究を行っている。

SiC と比較されるワイドギャップ半導体として III 族窒化物（III-N）がある。当研究室では 10 年以上にわたって、SiC 上への窒化ガリウム（GaN）や窒化アルミニウム（AlN）のエピタキシャル成長の研究を行っている。最近、SiC 上に極めて高品質の AlN や AlN/GaN 超格子構造を成長することに成功した[3]。これは研究室独自の III-N/SiC 界面制御手法の成果であるが、この高品質 III-N/SiC ヘテロ接合をデバイスに応用する研究も進めている。二つのワイドギャップ半導体材料の利点を活かした機能デバイスや高性能デバイスの実現を目指して取り組んでいる。

参考文献

[1] H. Miyake, T. Kimoto and J. Suda: *IEEE Electron Device Lett.*, **32**, 841（2011）.
[2] N. Watanabe, T. Kimoto and J. Suda: *Int. Conf. SiC and Related Materials*, Th-3B-2（2011）.
[3] R. Kikuchi, H. Okumura, M. Kaneko, T. Kimoto and J. Suda: *APEX*, **5**, 051002（2012）.

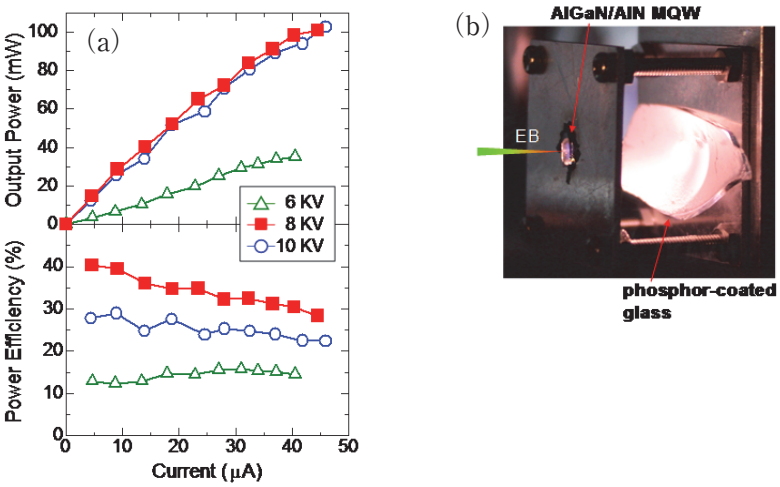
量子機能工学講座　光材料物性工学分野（川上研究室）
http://www.optomater.kuee.kyoto-u.ac.jp/
「AlGaN 量子井戸の電子線励起による紫外光源の開発」

紫外光は、LSI プロセス、キュアリング、殺菌・消毒など、エレクトロニクスからバイオニクスまで、われわれの生活を支える必要不可欠な光である。現在、水銀ランプやフッ素・塩素系のエキシマランプなどが用いられているが、低い発光効率、有害な構成元素、短寿命といった問題を抱えている。このランプ方式に対して、われわれは、AlGaN 量子井戸（QW）構造を用いた固体光源に注目している。この QW は、波長 210nm から 350nm 程度の紫外光をカバーできる有望な材料系であるが、AlGaN 系発光ダイオード（LED）の発光の外部量子効率は、波長 250nm 以上で高々 5% であり、それより短波長化するに従い低下する。（可視域で実用に至っている InGaN 青色 LED では 80% 超）この主因は、AlGaN の本質的な性質として、短波長化するに従って十分な正孔が形成されなくなり、「ダイオード」としての特性が劣化することである。この問題に対するわれわれのアプローチは、ダイオード方式ではなく、古くからブラウン管における蛍光体励起に採用されていた電子線を利用することである。

試料は、サファイア（0001）基板に成長した AlGaN/AlN QW（Al 組成 69%）である。室温においてほぼ 240 nm で紫外発光する。また、室温と低温での発光強度比から内部量子効率を見積もると 57% であり、InGaN に匹敵していた。これを電子線励起すると、図（a）に示したように、照射電流値を上げると出力は上昇し、加速電圧 8 kV、電流値 45 μA のときに紫外光出力 100 mW が達成された。ただし、さらに加速電圧を 10 kV に上げても光出力は上昇しない。これは、照射電子が QW 発光領域を突き抜けてしまうためであり、シミュレーションの結果とも一致する。一方、電力効率は電流値が小さいときに高く、8 kV、5μA の電子線条件のときに 40% であった。電流値を上げると効率が低下する原因については、今後の検討課題である。図（b）には、電子線励起された AlGaN QW からの発光によって励起された蛍光体の発光の様子を示した。蛍光体の明るい白色発光が、AlGaN QW からの強い紫外線発光を示している。得られた特性は、既に AlGaN LED を凌駕しており、次世代の固体紫外光源として、ダイオードに加え、この材料系と電子線励起の組み合わせが有望であることを示している。

参考文献

T. Oto, R. G. Banal, K. Kataoka, M. Funato, and Y. Kawakami, *Nature Photon.* **4**, 767　(2010).



図．(a) AlGaN/AlN QW からの光出力と電力効率の照射電流依存性。加速電圧は 6, 8, 10 kV とした。(b) AlGaN/AlN QW を電子線励起して得られる紫外光により，ガラスに塗布した蛍光材料を励起した様子。電子線は，8 kV，45 μA であった。

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
「イオン液体イオン源の開発」

イオンは多種・多様な荷電粒子としてよく知られています。電荷をもった粒子ですので、電圧を印加することによってエネルギーを自由に制御でき、また電流量として１個ずつ計測でき、走行するビームを集束したり拡げたりできます。また、基本的に１種類しか存在しない電子と異なり、原子核の周囲に存在する電子の数や電子軌道の形状によって、多種・多様なイオンが存在します。周期律表に表される各原子の正イオンは、１価イオンとしても 100 種類以上あります。また、同じ原子でも電子が付加されると負イオンになり、電子が２個以上取り出されると多価イオンになり、イオンの利用範囲が広がります。さらに、原子状や分子状のイオン、あるいはクラスター状のイオンなど、原子軌道の違いによって多様なイオンが存在します。こうした多種・多様なイオンは、エネルギーや物質を輸送できるビーム応用技術として、例えば蒸着・加工・注入技術、あるいは分析・評価技術として、様々な学問分野や産業分野で利用されています。その中で、我々は種々の官能基を持つ多原子分子イオンやクラスターイオンに着目し、荷電粒子としての特質を活用して、原子軌道からの電子の移動や原子軌道の重なりの違いによる表面反応ダイナミクスの研究を行っています。本稿では、新しい溶媒材料として注目されているイオン液体を取り上げ、正・負の多原子分子イオンやクラスターイオンを生成しましたので、その結果について紹介します。

イオン液体は陽イオン（カチオン）と陰イオン（アニオン）からなる塩ですが、透明で電気伝導性を持ち、蒸気圧が極めて低く、また、水や油、アルコールなど他の溶媒材料にも混ざらない新奇な液体材料です。また、イオン液体の分子は種々の官能基を有しており、それぞれの官能基特有の化学的性質を示す液体材料です。本研究では、種々のイミダゾリウムのイオン液体として、BMIM-PF_6、EMIM-BF_4、EMIM-N（CN）$_2$ の３種類を用いました。図１は、イオン液体イオン源装置の外観図です。曲率半径が約 100 μm、長さが数 mm のカーボン製の短針に電圧を印加し、電界放出によってイオン液体の正および負のイオン生成を行っています。また、短針に供給するイオン液体の流量を制御するために、空隙率の異なる多孔質状のキャップを短針に被せてあります。最適化が十分でありませんが、引き出される正・負イオン電流は、それぞれ引き出し電圧 8kV で数百 nA の電流が得られています。これは１個の短針の場合ですが、複数個（本装置では４個）の短針を設けて 10 倍以上の大電流化を図ることができます。

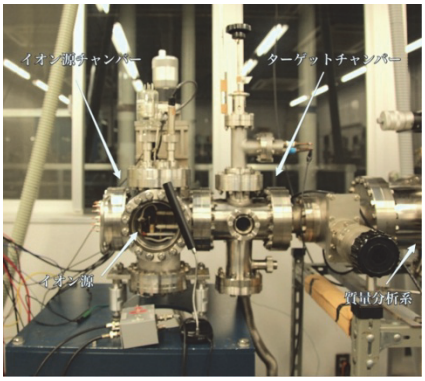


図１．イオン液体イオン源装置

図２はイオン液体（BMIM-PF_6）の正および負イオンビームの質量分析スペクトルを示します。正イオンおよび負イオンいずれの場合も、質量電荷比が 5000 付近にピークを持っています。正イオン（$C_8H_{15}N_2$）の分子量は 139.22、負イオン（PF_6）の分子量は 144.96 ですので、このピークは１価イオンと仮定しますとイオン液体（BMIM-PF_6）17 分子程度のクラスターイオンに対応します。イオン液体のカチオン（BMIM: $C_8H_{15}N_2$）やアニオン（PF_6）の多原子分子イオン以外に、サイズが数分子～数百分子の正および負のクラスターイオンが生成できることが分りました。また、断熱膨張現象によるファン・デル・ワールス結合したクラスターの生成と異なり、電界放出によってイオン結合（あるいは水素結合）したイオン液体クラスターの生成に成功しました。

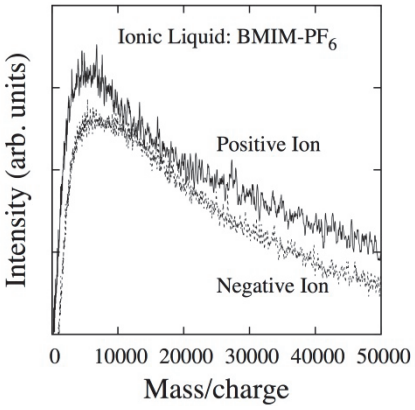


図２．質量分析スペクトル

知能情報メディア講座　言語メディア分野　（黒橋研究室）
http://nlp.ist.i.kyoto-u.ac.jp/
「実テキスト解析をささえる語彙知識の自動獲得」

ある自然言語（例えば日本語）が産出し得るテキストは無限にあります。これはC言語のプログラムが無限に存在し得るのと同様です。無限にあるテキストを捉えるために、自然言語についても、プログラミング言語の場合と同じく還元主義的な扱いが行われてきました。つまり、テキストを有限個の語、および語同士を結び付ける有限個の文法規則に分解することで捉えようとしてきました。もちろん、自然言語にはプログラミング言語と異なる点があります。よく知られているのは曖昧性の問題ですが、ここでは語彙の問題を取り上げます。

プログラミング言語の字句解析では、語は無限にありますが、少数の規則（主に正規表現）で捉えられます。一方、自然言語では語をこのような規則で捉えるのは難しそうです。そこで、語をあらかじめ辞書に登録するという手法が広く使われています。テキスト解析時には、テキスト中に出現する語は基本的に辞書に登録ずみという仮定が置かれます。もちろんこの仮定は実際には成り立ちません。その証拠に、Heapsの法則という経験則があります。語数Nのテキストについて、語の異なり数Vは

$$V=kN^{\beta}$$

で近似されます（$\beta<1$, kは適当なパラメータ）。つまり、テキストを増やせば語の異なり数も増えるといういたちごっこが止まりません。

辞書は誰が作っているのかというと、研究者が自分で書いたり、日本語学や言語学を学んだ人を雇って作業してもらったりしてきました。昔はそれでも何とかなりました。対象テキストが小規模、具体的には、語数が10^6オーダの新聞記事だったからです。

こうした小規模テキストは実用的な精度で解析ができるようになってきたので、次は実テキストを解析したくなります。しかし、例えばWebテキストでは語数が10^{10}オーダはあたりまえです。辞書を自分たちで書くという方針はもはや採れません。そこで、当研究室では、主に二つの方針により、人手で整備した基本語彙辞書を補完して、実テキストにおける語彙の問題を解決しようとしています（図1）。

一つは既存の知識源を自動変換して辞書を構築するという方針です。具体的にはオンライン百科事典Wikipediaに着目しています。「爽健美茶」のような事典的な語は数が多いのですが、Wikipediaには10^6オーダの見出し語があります。また、事典的な語は次々と生まれますが、利用者参加型の編集によりすばやく変化に追従しています。ただし、事典の見出し語には複合名詞が多いため、語の基準を我々のもの（形態素）に合わせるための処理が必要です。また、「2012年」のような不要な見出し語を取り除く必要もあります。

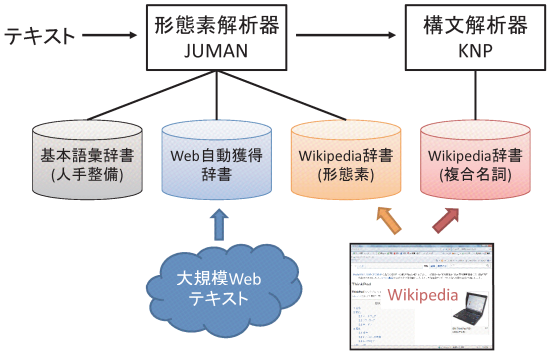


図1. Wikipediaからの語彙の自動獲得（右下）と大規模Webテキストからの自動獲得（中ほど下）

もう一つはテキストから語彙を獲得させるという方針です。人間がテキストを読みながら新しい語を覚えるのと同じように、計算機にも自分で語彙を獲得させるというものです。未知の言葉を計算機に認識させるのは難しいのですが、テキスト中での複数回の出現を比較することで精度を高めています。この手法により、解析対象テキストからその場で語彙獲得するとともに、大規模Webテキストからも頻出する語を収集しています。その結果獲得される語には、新聞のようにきれいなテキストには出てこない「ググる」のような俗語や、「讀む」のように常用外漢字を使った表記などがあります。こうして自動構築された辞書は解析器に同梱し一般に配布しており、将来的には辞書の自動更新も計画しています。

通信システム工学講座　ディジタル通信分野　（吉田研究室）
http://www.dco.cce.i.kyoto-u.ac.jp/
「コヒーレント CoMP による無線分散ネットワークの研究開発」

スマートフォンの普及により携帯電話システムはこれまでとは比較にならないトラフィック急増にさらされており、以前にも増して周波数の有効利用が求められている。お伽噺の感があった 256 通りの位相と振幅の組み合わせを利用する 256QAM までもが劣悪な移動体通信路において利用されようとしている。このような伝送技術の高度化と並んで、システム側ではより多くの無線基地局を設置して面的な周波数利用効率の向上を図るアプローチが採られている。この際のキーテクノロジーが同一周波数において複数の信号の送受信を行う MIMO（Multi-Input Multi-Output）伝送技術である。空間の異なる点からより多くの信号を送受信することによって、その送信信号数に比例して周波数利用効率を改善できる。しかし、無線端末に多数のアンテナを搭載することには限界があるため、基地局側が予め伝搬路状況を測定して無線端末での信号分離が容易になるよう波形の整形を行うことが考えられており、プリコーディングと呼ばれる。

多数のアンテナを基地局に集中配置するのではなく、基地局を小型化して地理的に分散して設置する分散アンテナシステムはプリコーディングを行うマルチユーザ MIMO システムと親和性が高く送信電力の低減や干渉の局在化など多くのメリットがある。しかし、プリコーディングを行うためには無線端末側から瞬時にチャネル情報のフィードバックを得る必要があり、チャネル推定技術、フィードバック技術、相互の干渉を制御する技術など重要な研究課題が山積している。

当研究室と守倉研究室が中心となって総務省戦略的情報通信研究開発推進制度（SCOPE）による「コヒーレント CoMP による無線分散ネットワークの研究開発」を実施している。本プロジェクトでは、市街地に密に設置された小型基地局が連携して多数の無線端末と MIMO 伝送を行うために必要となる要素技術の研究開発に取り組んでいる。フェージングエミュレータを用いた実験室内での伝送実験のみならず、実際に屋外において伝送実験を行うために 5.1GHz 帯において特定実験試験局免許を取得し実特性の把握を行っている。今後はクラスタ間干渉制御技術などネットワークレベルの制御技術も含めて研究を推進し、携帯端末の負担が小さく周波数利用効率が極めて高い無線通信システムの実現を目指す。

参考文献

Masato Taniguchi, Hidekazu Murata, Susumu Yoshida, Koji Yamamoto, Daisuke Umehara, Satoshi Denno, Masahiro Morikura, “Field experiments of linearly precoded multi-user MIMO system at 5 GHz band,” to be presented at IEEE VTC2012-Fall, Quebec City, Sept. 2012.

図 1. 実験装置の一部

図 2. 京都大学構内での伝送実験の様子

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/
「ENTERPRICE M2M ネットワークの提案」

環境に優しく安全安心な社会を構築するために、様々な分野に情報通信技術を駆使した社会インフラを構築することが重要である。特に、仮想空間の情報通信技術を実空間に結びつけたスマートグリッド、自然災害予防システム、図１のようなヘルスケアシステムなどの早期実現が必要である。これらの監視制御アプリケーションの普及のためにはアプリケーション毎に要求条件に大きな幅をもつ一方で、これらに対する統一的な社会プラットフォームが必要と考えられる。このプラットフォームのコアネットワークは光ファイバを中心に構築されるが、アクセス網は経済性、利便性、サービス展開の早さから、M2M（Machine to Machine）無線ネットワークが中心になると考えられる。

監視制御アプリケーションはそれぞれ多種多様なシステム要求条件を有する。すなわち、数百台から数万台に及ぶ端末数、数 kbit/s から数 Mbit/s に及ぶ伝送速度、エネルギーハーベスティングからワイヤレス電力伝送による様々な給電方法などである。これら全ての監視制御アプリケーションの要求を統一的に一つの無線ネットワークで満足する M2M 無線ネットワークを、ENTERPRICE M2M ネットワーク（M2M network consisting of Enormous Number of TERminals without PRImary CElls）と呼ぶこととする。

ENTERPRICE M2M ネットワークの要求条件の一つは、移動体通信システムや無線 LAN で要求される高速大容量と比較して、1 端末あたりは低速であるものの通信距離が長いことである。加えて、通信距離が長いために競合する端末数が莫大となる。これは、IEEE802.11ah や IEEE 802.15.4k において新たな標準規格の策定に向け議論が開始された注目すべき分野である。これと並行して、電子タグシステム及び図１のようなスマートメータシステムのための帯域として、日米欧中韓を含む各国で 920 MHz 帯を中心とした帯域の割り当てが進んでいる。従って、この要求条件の実現は、ここ数年の喫緊の課題である。

ENTERPRICE M2M ネットワークのもう一つの要求条件は、莫大な端末のメンテナンスフリーのためにバッテリレスが望まれることである。このため、一次電池や電力線以外の、何らかの形でその場で充電するキャパシタなどの利用が長期的にはより現実的と考えられる。給電方法としては、近年研究・実用化が進んでいるワイヤレス電力伝送やエネルギーハーベスティングなどが考えられる。ここで特に重要なことは、ワイヤレス電力伝送では無線通信と干渉が発生することと、常時給電でなく間欠給電になりうることである。このために給電と通信の間にスケジューリングが必要となろう。これは、製品展開が加速しつつあるワイヤレス電力伝送やエネルギーハーベスティングの将来的な課題であり、比較的長期的な課題と位置づけている。これら二つの要求条件の実現を目指し、共同研究も含めて検討を進めている。

参考文献

山本高至，守倉正博，“数万端末競合環境を実現する ENTERPRICE M2M ネットワークの提案”, 電子情報通信学会技術研究報告，RCS2011-294, pp. 153--158, Jan. 2012.

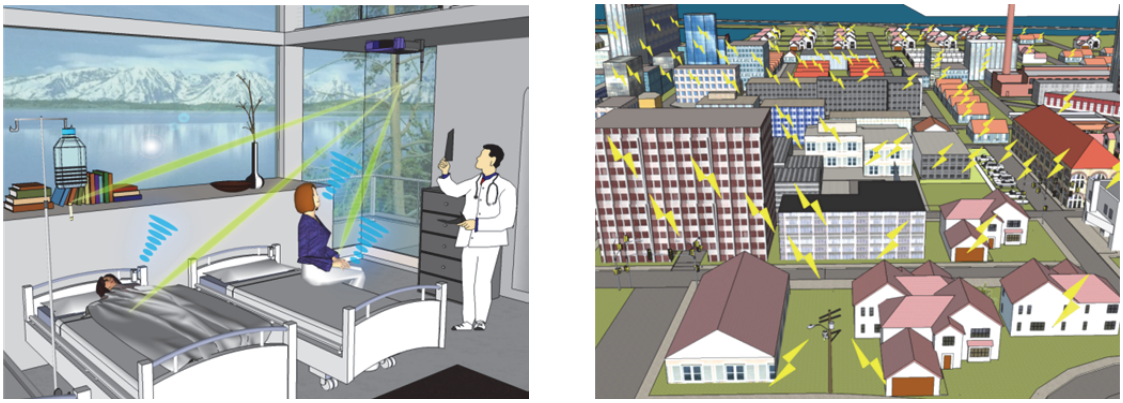


図 1. 電子タグシステムおよびスマートメータシステム

集積システム工学講座　大規模集積回路分野　（小野寺研究室）
http://www-lab13.kuee.kyoto-u.ac.jp/
「超低消費エネルギー高性能マイクロプロセッサの開発」

経済産業省は、2025 年に IT 機器の消費電力が全消費電力の 20% を占めるまでに増大すると試算しています。IT 機器の中でも特に大きな電力を占めるのがマイクロプロセッサとメモリです。今日のネットワーク機器や携帯型情報端末は非常に高い性能を必要としますが、時間によってはほとんど何も仕事をしていません。つまり、動物と同じで、狩りをする時や敵から逃げる時のようないざという時には高い性能を必要としますが、ほとんどの時間はのんびり過ごしています。しかし、従来の高性能マイクロプロセッサはのんびりしていても大きな電力を消費してしまい、低消費電力指向のマイクロプロセッサはいざという時でも十分な性能が出せません。本研究では、ピーク時の性能が高く平均消費電力の小さいメリハリの効いたマイクロプロセッサを開発しました。具体的には、電源電圧の異なる複数の中央演算装置（CPU）をチップ上に搭載したマルチコアプロセッサを基に、各々の CPU が使用する電源電圧とメモリのサイズを瞬時に切り換える機構を開発しました（図 1)。CPU の電源電圧を下げると消費電力は電圧の 2 乗に比例して小さくなりますが、性能も電圧にほぼ比例して悪化します（図 2)。メモリに関しても、使用するサイズを小さくすることで消費電力を抑えることが出来ますが性能は悪化します（図 2)。このような消費電力と性能のトレードオフ関係を考慮することによって必要最小限のメモリサイズと電源電圧を適切に選択して使用することが重要です。本研究では、マイクロプロセッサのハードウェアだけでなく、CPU の最適な電源電圧とメモリサイズを実行時に選択するソフトウェア技術を開発しました。具体的には、マイクロプロセッサ上で動作するリアルタイムオペレーティングシステム（RTOS）が、CPU の最適な動作電圧とメモリサイズを計算する方法を開発しました。RTOS は、マイクロプロセッサ上で動作する複数のアプリケーションプログラムをタスクと呼ばれる実行単位に分割して、個々のタスクに与えられた制限時間内に全てのタスクを実行します。従って、RTOS は個々のタスクがいつまでにその仕事を終えれば良いかを知っています。本研究で開発した方法は、個々のタスクの制限時間と CPU の性能を基に、各タスクの実行に最低限必要な電源電圧とメモリサイズを算出し、それらを CPU に使用させます。

マイクロプロセッサの電源電圧をソフトウェアによって制御する技術は 15 年以上前に提案され、携帯電話やノート型コンピュータ向けのプロセッサに既に応用されています。しかし、これらの技術は電圧変更に数百マイクロ秒の時間を必要とするためリアルタイム制御が難しいという問題がありました。本研究で開発したマイクロプロセッサは電源電圧とメモリサイズの変更を 1 マイクロ秒で実現します。また、低電圧動作時のマイクロプロセッサの消費エネルギーを従来型より 30%以上低減することに成功しました。産業用ロボットや自動車などのリアルタイム制御を行うマイクロプロセッサの省エネルギー化に大きく貢献する技術です。

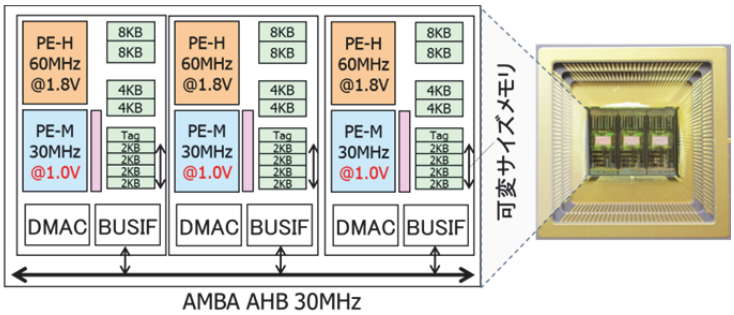


図 1: 0.18 μm プロセスで試作したマルチコアプロセッサ

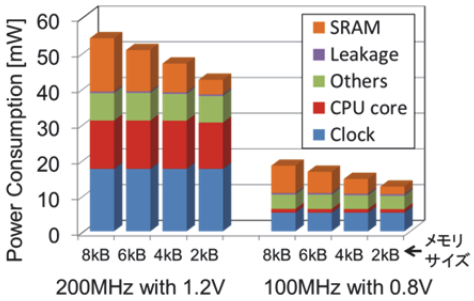


図 2: 65nm プロセスで試作した
プロセッサの消費電力

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
「デジタル通信技術の MRI 運動解析法への応用」

磁気共鳴画像法（MRI）は、生体内の様々な臓器・組織の形態診断や腫瘍をはじめとした病変の組織性状診断のみならず、機能的 MRI（functional MRI）による脳機能の計測や心・血管系の運動および血流計測など、様々な生体機能診断にも用いられている。拡張期に磁気的な標識を印加した後に心臓を動画像として撮像し、収縮に伴って標識が変形・移動して行く様子を観察することにより、壁運動の詳細な解析が可能となる tagging MRI と呼ばれる撮像法がある（図 1）。本法では、得られた動画像上で標識した tag の数多くの交点を抽出して追跡を行う必要があるが、交点の完全な自動抽出は困難で、医師による抽出点の確認・修正作業が煩雑であるため、臨床における利用は詳細な壁運動解析が必要な症例などに限定されている。当研究室では、tagging MRI における非標識／標識領域が画像上で明暗 2 値のデジタル符号とみなせることに着目し、デジタル通信に利用されている様々な技術を tagging MRI に応用して自動処理を可能とする新たな tagging MRI 撮像・解析法を提案し、実用化に向けた開発を行っている。

一般に tagging MRI では、空間的に一定の周期を有する明暗の標識を心筋組織に印可するが、我々は図2のように周期と位相が異なる7通りのtagを用いた撮影法を提案した。本法では7回の撮影を行い、このうち 1 系列を破棄することにより 7 bit の符号列 A-F が 6 画素ごとに繰り返す M 系列となる。このような tag を用いて拡張期に心筋組織を標識するが、規則正しく拍動を繰り返す心筋組織は 7 回の撮影を行っても各撮影で同一の位置に移動するため各画素の符号は保存され、心周期の各時相で得られた画像上で各画素の符号を復号すれば画素単位で組織の移動を検出できることになる。提案手法の有効性を示すため、数 mm 程度の振幅で単振動を行う運動 phantom を対象に、7 通りの tag パターンを用いた MRI 画像を撮影し、得られた画像から提案手法を用いて phantom の運動検出を行った。tagging MRI では、標識を行った後、時間の経過とともに撮影対象の T1 緩和によって標識部の信号強度が回復し、非標識部との画像コントラストが低下して行くが、対照として撮影した同一の撮影時間を要する 7 回加算画像と比較したところ、提案手法はコントラストの低下に対して頑健であり、また従来法と同等以上の精度で運動検出が可能であった。さらに、提案手法では運動検出の自動化が可能で、検出処理も極めて高速に実行できることを確認した。まだ、空間的には 1 次元の運動のみを対象とした位置検出に関する実験的検証を行ったに過ぎず、さらに 7 回の撮影を繰り返す必要があるため、実用化には 2 次元および 3 次元への展開や必要とする撮影回数の低減などの課題を残しているものの、標識を 2 値のデジタル符号とみなすという新しい概念を tagging MRI 導入した手法として今後の発展が期待できる。

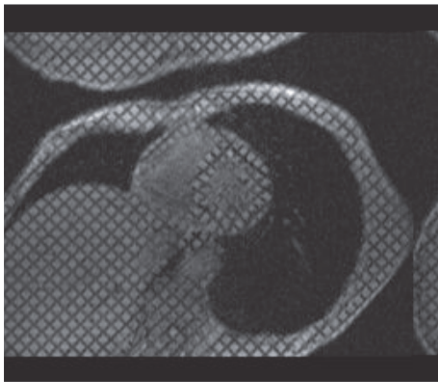


図 1. 心臓の tagging MRI 画像

系列	A	B	C	D	E	F	破棄
撮影 1	1	0	1	0	1	0	1
撮影 2	0	1	1	0	1	1	0
撮影 3	0	1	1	1	0	0	1
撮影 4	1	1	0	0	0	1	1
撮影 5	0	0	0	1	1	1	1
撮影 6	1	0	1	1	0	1	0
撮影 7	1	1	0	1	1	0	0

図 2. 撮影に用いた tag パターン

エネルギー科学研究科（エネルギー応用科学専攻）　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/

「液体水素冷却超電導機器に関する研究」

1. はじめに　先の東日本大震災によって、電力システムの現状と問題点がクローズアップされてきている。環境負荷の小さい水素エネルギーシステムと電力システムを融合した地球環境調和型水素・電力協調エネルギーシステムの構築は、温室効果ガス排出削減のためばかりでなく、エネルギーインフラの柔軟性を高める解決策の１つである。われわれの研究グループ（京大・JAXA・JAEA）では、（独）科学技術振興機構の先端的低炭素化技術開発事業として、「新しいエネルギーインフラのための液体水素冷却超電導機器に関する研究」というテーマで研究をスタートさせたところである。

本研究では、これまで行われていなかった液体水素の冷媒としての特性把握、高温超電導機器冷却形態と冷却システム、液体水素中での高温超電導線材特性、導体設計を段階的に進め、要素機器の検証モデル開発とその実証試験までを視野に入れている。安全性、関連法規による規制などの問題点を、超電導機器冷媒の観点から明らかにする。

2. 液体水素熱流動実験装置　図に液体水素熱流動特性試験装置の概略図、写真を示す。試験装置は試験体を設置する実験槽、サブタンク、これらをつなぐ流量調整弁付断熱輸送配管、水素圧力供給用のガスライン、ガス放出用ベントラインからなる。実験装置に液体水素を供給する LH2 コンテナ、H2 ガスカードル、ベントスタックは実験装置室外に設置している。これを用いて、液体水素の冷却特性、高温超電導材料の特性に関する実験を行っている。これらは JAXA 能代ロケット試験場に設置され、バルブ操作、電源操作、計測制御、モニターはすべて光 LAN を用いた遠隔操作で行えるようにし、安全に十分留意して実施している。

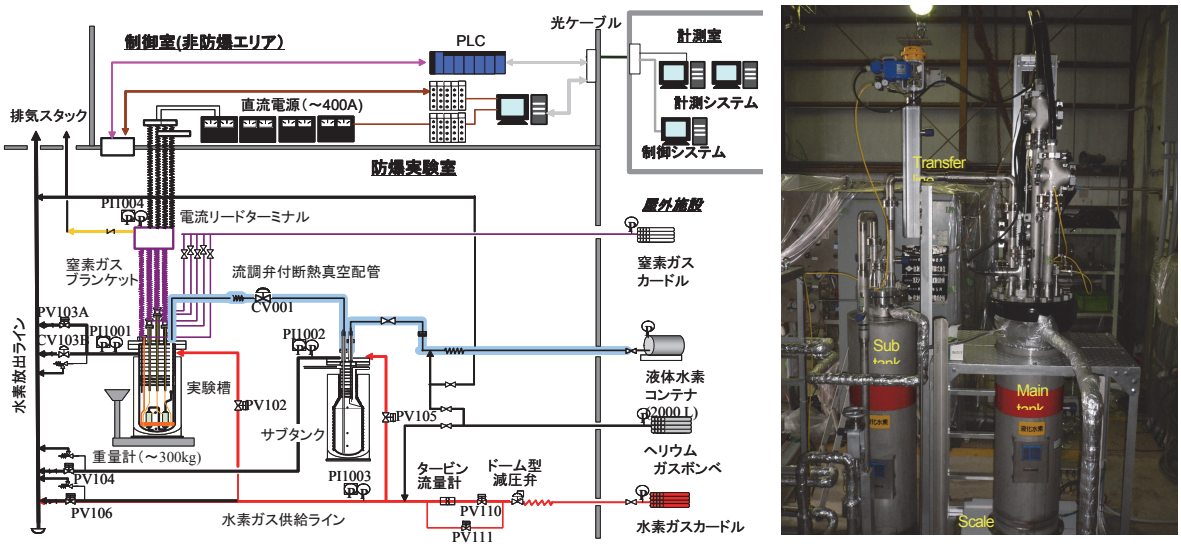


図　液体水素熱流動実験装置の概要とクライオスタットの写真

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.iae.kyoto-u.ac.jp/ksoshiki/complex.html
「ヘリオトロン J 装置の閉じ込め最適化と MHD 不安定制御」

最近のヘリオトロン J 実験の成果の概要を紹介する [1]。先進ヘリカル配位の学術研究、特に立体磁気軸ヘリカル系の異常（乱流）輸送の解明と、プラズマ性能の向上、特に閉じ込め改善と高ベータ化を目指している。

これまでの成果として

（1）プラズマ構造形成・不安定制御について、最外殻磁気面内側において半径方向に局在化（～2cm）し、トロイダル方向に長距離相関を有する静電揺動（～ 20kHz）のメゾスケール構造を確認したが、ビーム放射分光（BES）計測から（a）プラズマ断面のほぼ全域に分布する密度揺動（～ 90kHz）、（b）主にコア領域に分布する密度揺動（～ 70kHz）、（c）周辺部に局在する密度揺動（～ 20kHz）の 3 種が見出され、高エネルギーイオン励起 MHD 不安定性（GAE/EPM）や抵抗性交換モードなどの理論的予測との比較研究を開始した。

（2）高エネルギーイオン励起 MHD 不安定性について、上記とは別途に多チャンネル SX 計測、トロイダル / ポロイダル磁気プローブ・アレイ計測の結果を基に、STELLGAP 及び AE3D などのコードによる 3 次元磁場配位効果を含む予測と比較し、励起周波数（50-250kHz）の回転変換角依存性の詳細な実験的・理論的調査から、モード数 m/n=2/1（または 1/1）の GAE の発現を検証し、コードの予測精度を確かめた。なおコードで予測される 50kHz 以下の GAE 及び 100kHz 以上の領域の HAE モード等が実験では観測されないため、対応を検討中である。

（3）低密度 NBI プラズマを対象とする周辺プラズマ揺動計測から、広帯域の背景揺動が高エネルギーイオン励起 MHD 不安定性と結合し、その結果としてバルクの揺動駆動（異常）粒子輸送が、高エネルギーイオン励起不安定性の影響を受けている可能性が判明した。

（4）2.45 GHz マイクロ波を活用する NBI プラズマ着火実験による比較的高いベータ値（$<\beta>_{dia}$ ～ 1%）のプラズマについて、圧力駆動 MHD 不安定性（<20kHz）が調べられた。局所モード解析では $<\beta>_{dia}$ ～ 1% において標準配位（$\iota/2\pi=0.56$）ではプラズマ全領域が安定（$D_I<0$）であるが、実験においても磁気プローブで計測可能なレベルのコヒーレントな磁場揺動は観測されないことを再確認した。なお $\iota/2\pi=0.50, 0.60$ 近傍では比較的強いコヒーレント揺動が見出される。

（5）入射角可変 ECH システムによる ECCD 実験において、ECCD の入射角（$N_{//}$）依存性および磁場配位（バンピー磁場）依存性をシミュレーション予測（TRAVIS コード）と比較した結果、概ね良い一致を示した。

（6）ガス・パフ・モジュレーションによる ECH プラズマの粒子輸送特性を、AM 反射計による密度分布変化の実験解析を基盤に実施し、密度低下とともに粒子拡散係数 D 及び対流速度 V（外向き）が増大することを明らかにした。

（7）局所プラズマ分布計測の整備の一環として新規 CXRS を開発・設置し、プラズマの平行流速度（$V_{//}$）の分布及び関連する運動量輸送について調べている。NBI プラズマのプラズマ平行流速度（概略、トロイダル回転速度に等しい）分布はプラズマ中心にピークした分布で CO- 入射の条件で $V_{//}(0)$ ～ 10 km/s 程度であり、CO- 入射、CTR- 入射のそれぞれについて、概略、運動量入射分布に相関している速度分布を持つことを確認し、実験的に観測されるプラズマ粘性と、新古典粘性との比較を進めている。特に、径方向の運動量輸送の検討が必要である。

参考文献

[1] 佐野史道,「先進ヘリカルによるプラズマ構造形成・不安定制御と閉じ込め磁場最適化の研究」, 核融合科学研究所双方向型共同研究報告会、平成 24 年 1 月 26 日、土岐市
（http://www.nifs.ac.jp/kenkyo/kyodo-kenkyu/houkokukai/ h23/sou_pdf/sou_1-1.pdf）.

生存圏研究所　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
「人間生活圏を取り巻く大気微量物質の動態把握」

生存圏研究所が進めている「生存圏科学の新領域開拓」では、人を取り巻く生存環境（生存圏）の特性変化が、人の健康や安心・安全に及ぼす影響を科学的に解明し、問題解決につながる技術開発を行っています。とりわけ、大気質、バイオマス由来物質、および電磁場の生体影響、また、健康な木質居住環境の構築など、生存圏研究所の特徴を生かした多様な分野の新規課題に取り組んでいます。

ここでは、新領域開拓研究の一環として実施されている、人間生活圏を取り巻く大気の、微量気体および粒子状物質（エアロゾル）の動態把握に関する研究について述べます。大気質の悪化は、健康や植生に対する毒性、気候変動への関与など、多岐に亘って影響を及ぼすことが懸念されています。そのため、安全で安心な大気環境を確立・維持するためにも、大気の質を決める大気微量物質の動態を詳細に把握し、将来的な変動を正しく予測することが求められています。従来、微量成分の観測は、地上の大気汚染常時監視測定局や航空機をプラットフォームとして行われてきました。しかしながら、法令による制約のため航空機によるアクセスが困難な、地上から高度 100 m 付近に存在する接地境界層の観測例は多くありません。そのため、微量気体とエアロゾル粒子の変質・拡散過程など、地表付近の大気成分の化学的性状の理解には未解明な部分も多く残されています。そこで本研究課題では、人間生活圏に近い接地境界層における微量物質の分布・変動特性を精緻に理解することを目指した、新しい観測手法の開拓を進めています。

その一例として、京都大学生存圏研究所の大気グループと、名古屋大、富山大、国立極地研究所の各機関が連携して、平成 23 年 9 月に生存圏研究所信楽 MU 観測所（滋賀県）で実施した「接地境界層における微量気体およびエアロゾルのプロファイル観測（AEROGAP）」を紹介します。この観測では、サブミクロン以上のエアロゾル粒子特性や水蒸気量の高度分布を計測するライダー（レーザー・レーダー）、および物質輸送に関連する風を計測するドップラーソーダーが有効に用いられました。一方で、粒径 100 nm 以下のナノ粒子や、植物・人間活動由来の揮発性有機化合物（VOCs）などの微量気体は、その散乱特性から電波や光を用いたリモートセンシング手法では検出することができません。そこで、これらの微量成分を高感度で分析できる装置を地上に配置し、係留気球を試料空気吸引用のプラットフォームとして活用することで、高度別に連続計測できるシステムを構築しました。リモートセンシング観測と直接観測を融合的に組み合わせることで、気象要素の変化と関連づけた微量成分の変動特性の考察が可能となります。AEROGAP では、微量物質の鉛直不均質分布とその時間変動をトレースできました。これらの新しい観測手法により、従来の観測では捉えきれなかった接地境界層における微量物質の変質・拡散過程の理解が、大きく進展することが期待されます。

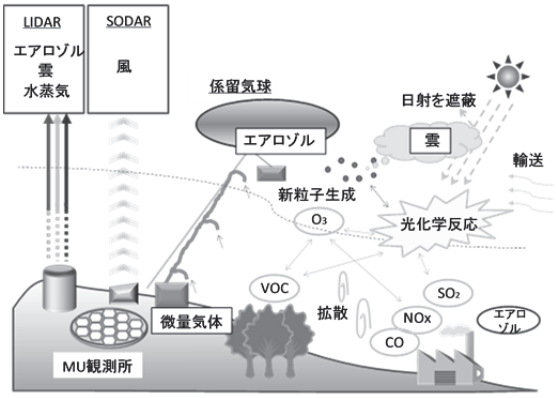


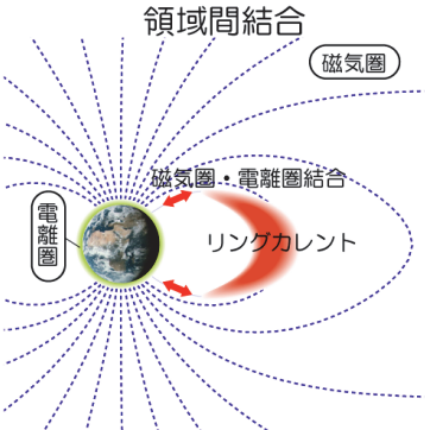
図 1.　接地境界層における微量気体およびエアロゾルのプロファイル観測（AEROGAP）の概要

生存圏開発創成研究系　生存科学計算機実験分野　（大村研究室）
http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/space/omura-lab/
「近宇宙の粒子環境をシステムとして捉える」

ヴァンアレン帯と知られる高エネルギー粒子群をはじめ、様々なエネルギーを持つ荷電粒子が地球磁場に捕捉されています。これらの荷電粒子には二つの側面があります。一つは地球物理的な側面です。地球磁場に捕捉された荷電粒子が作る電流をリングカレントと呼び、フレア等の太陽擾乱の影響が地球に到来するとリングカレントは発達します。リングカレントの発達は地球磁場の乱れとして観測され、数日間続く地球磁場の乱れを磁気嵐と呼びます。もう一つは工学的な側面です。宇宙の荷電粒子は人工衛星の深部帯電・表面帯電の原因となることが指摘され、関連した事故が少なからず報告されています。これら荷電粒子の動態を理解することは人類の生存圏を宇宙へ向けて拡大する上で重要な課題となっています。

私達が知るべきことは荷電粒子の「起源」「輸送」「加速」「消失」過程です。荷電粒子の運動は線形ではなく、場とともにその時間発展を解かねばなりません。私達は、複雑なものを複雑なまま取り扱い、地球近傍の宇宙環境をシステムとして捉えるアプローチを進めてきました。明らかになった重要なフィードバック過程として、宇宙空間と電離した超高層大気（電離圏）の結合過程が挙げられます。宇宙空間で閉じることのできないリングカレントの余剰電流が電離圏に流れ、電離圏で作られた電場が磁力線に沿って宇宙空間に帰還するというものです。実際の磁気嵐にシミュレーションを適応し、短波レーダー観測結果と良く一致する結果を得ました。この帰還過程を無視すると地球近傍に粒子が過剰に蓄積され、観測結果と矛盾することも示しました。また、リングカレントとヴァンアレン帯の結合過程も重要です。宇宙空間は大変希薄で粒子間の弾性衝突は殆どおこらないのですが、リングカレントが作る磁場によって高エネルギー粒子が断熱的に加速すること、つまり磁場を介して（自分自身を含む）他の粒子に影響を及ぼすことも人工衛星観測との比較を通して実証しました。

今後は、太陽風・地球磁場相互作用を自己無撞着に解くことができるグローバル電磁流体シミュレーション及び波動粒子相互作用を解くことができる粒子シミュレーションを結合し、領域間結合、スケール間結合、エネルギー間結合をなるべく矛盾なく考慮した統合シミュレーションの開発を行い、宇宙粒子環境の予測可能性を検討していきたいと考えています。



高等教育研究開発推進機構　（小山田研究室）
http://www.viz.media.kyoto-u.ac.jp
「海洋シミュレーション結果向け可視化技術の開発」

地球温暖化による気候変動が大きくなっていることより、漁場分布に変化が表れている。このために海洋シミュレーション結果をもちいた精度の高い漁場予測が求められている。日本近海では、東シナ海から太平洋を北上する暖流の黒潮と、千島列島から太平洋を南下する寒流の親潮とがぶつかりあう潮目の位置が、捕獲される魚の種類や漁獲高に大きな影響を与えるとされている。為石は、潮目付近の衛星画像の解析を通して、湧昇流を伴う微細渦が形成される時期に漁場を形成することを発見し、漁場と海洋流における渦の位置との間の関連について示唆した。湧昇流は、海底付近に沈殿する栄養素を、太陽光の届く海洋表層部に運ぶ役割を果たす。

本研究では、海洋シミュレーション結果における渦と湧昇流との関係について明らかにするための可視化技術の開発を行った。開発した技術は、シミュレーション結果の概要を把握するための俯瞰ビューと詳細を分析するための渦フィルタから構成される。俯瞰ビューでは、多次元データ向け可視化技術である平行座標を使った。平行座標は多次元における点を折れ線で業減するものであり、それぞれの軸上で範囲を対話的に設定することにより、対応する変数間の関係を可視化することができる。これにより注目すべき領域を明らかにすることができる。渦フィルタでは、海洋シミュレーション結果から渦の抽出を行う。渦抽出においては、まず、渦中心として、速度ベクトルがゼロとなる特異点を探索する。次に、探索された特異点において速度勾配テンソルを計算し、その固有値・固有ベクトルにより、特異点が渦かどうかを判定する。固有ベクトルに平行する渦の中心軸にそった流れを可視化することにより、湧昇流の存在を確認することができる。渦中心に流れ込む場合は渦中心から中心軸方向に流出し、流れ出す場合は逆の結果となる。今後は、日本近海での海産物の漁場における複雑な海洋流に本システムを適用して、漁場付近における３次元海洋場の構造を明らかにする予定である。

参考文献

[1] 為石日出生,"PALSAR による三陸沿岸微細渦の発見とサンマ初漁場形成との関係,"写真測量とリモートセンシング 46（3）, 20-26, 2007-07-02

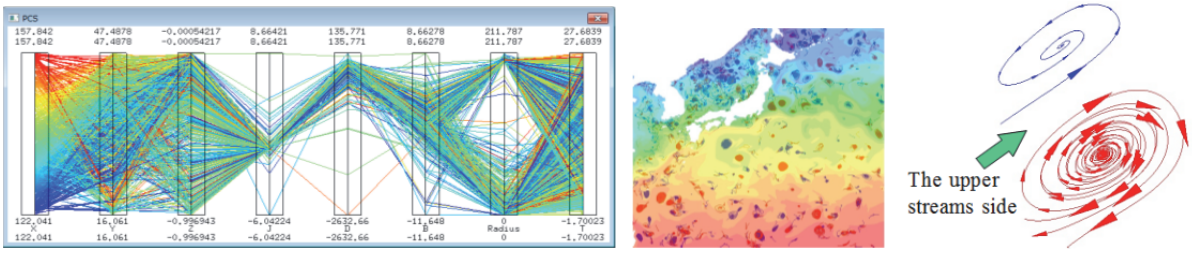


図 1. 海洋シミュレーション結果における渦と湧昇流との関係について明らかにするための可視化システム。ユーザは平行座標（左）を使って興味領域（中央）を特定し、渦フィルタで海洋シミュレーション結果から渦（右）を抽出し、可視化する。

情報メディア工学講座　複合メディア分野　（中村研究室）
http://www.ccm.media.kyoto-u.ac.jp/
「状況の良さを用いたジェスチャインタフェースのフィードバック設計」

身振りや手振りを用いたジェスチャインタフェースが広く用いられ始めている。例えば、自身の体をゲーム機のコントローラとするための画像センサなどが開発されている。このようなインタフェースにより、コンピュータや機械の操作が直感的で易しくなることが期待されている。しかし、人間から一方向的にジェスチャを提示し、機械がそれを一意に認識することは依然として難しい問題となっている。これは、人間の行動や周囲の環境には幅広い多様性があり、全てを考慮したシステム設計を行うことが本質的に困難であることに起因する。

このような問題に対し、本研究では、認識を行う状況の「良さ」を指標化し、「良さ」を維持または回復する方法を機械から人間に提示することにより、良好な認識を保つ方法を提案している。これは、人間が機械をうまく使いこなせるように利用マニュアルを提示するのに似ているが、機械が状況を判断して動的に行うことが特徴である。

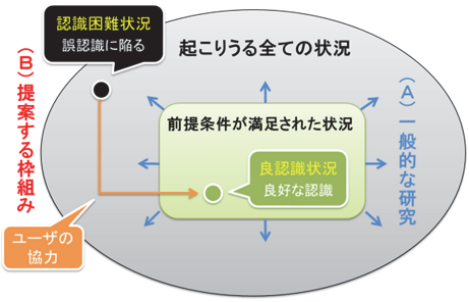


図 1. 想定された状況への誘導

ここで、状況の「良さ」は、人間の振舞い、光学的・幾何学的な条件、環境の乱雑さ、その他種々の要因によって変わり、それをシステムの設計や認識アルゴリズムの前提条件から直接導き出すのは困難である。そのため、以下のような方法をとる。

1）　認識精度に影響する可能性のある種々のパラメータを軸にした「状況空間」を構成し、その空間内の位置に対して「良さ」を指標化する。

2）認識の正答率またその推定値を「良さ」とする。そのため、事前に多数のサンプルを認識システムに与え、状況空間での位置と正答率との関係を学習させる。その際には、サポートベクターマシンなどのパターン認識手法を用いる。

図 2. サンプルを用いた誘導

これによって、様々な状況に対して「良さ」を推定することができる。「良さ」が不十分な場合には、それが改善される位置・方向への修正を人間に示唆すれば良い。ただし、状況空間中の位置・方向を示されても人間には理解できないため、次のような２つの方法をとる。

3）可能な改善方法を人間が適用した場合の「良さ」を推定し、それが十分なものであれば提示する。その改善方法には、「少し左に移動して」、「手をもっと広げて」等、可能なものを多く登録しておく。

4）状況空間内で現在の状況に近く、正答であったサンプルを提示する。上記２で多数のサンプルを登録してあるため、状況空間中の近い位置にサンプルが見つかることを期待できる。

このような考え方に基づいて、大画面ディスプレイを操作するためのジェスチャインタフェースを構成した例を図２に示す。この例では、どのようなポーズをとれば最も認識されやすいかを現在のユーザの状態に重ね合わせて表示している。

平成 23 年度修士論文テーマ紹介

工学研究科　電気工学専攻

河　村　一　秀（土居教授）「神経細胞における活動電位の急激な立ち上がりを再現する数理モデルに関する研究」

電気生理学において広く用いられているホジキン・ハクスリー型のモデルでは、脳における神経スパイクの急激な立ち上がりを再現できない。この問題を解決する新たなモデル化法の確立を目指して、活動電位発生ダイナミクスについて、既存のモデル化法の比較検討を行った。

黒　澤　拓　人（土居教授）「複数の鎮痛度指標を用いた麻酔鎮痛度のモデル予測制御に関する研究」

全身麻酔下の手術時に患者の鎮痛状態を適切に維持する自動制御システムの開発を目的として、さまざまな鎮痛度指標の特徴と有効性を臨床データに基づいて調べるとともに、有効性の高い複数の鎮痛度指標を利用したモデル予測制御による鎮痛度制御法の検討を行った。

津　田　康　志（土居教授）「血糖値の非線形モデル予測制御の研究 ―生体の血糖値調節機構モデルの改良と制御法の検討―」

糖尿病患者の血糖値制御システムの開発を目的として、門脈を独立に扱った血糖値調節機構モデルの改良を行い、また１型糖尿病患者を想定した制御対象に対して、非線形モデル予測制御法を用いた血糖値制御システムを構成し、シミュレーションにより制御性能を確認した。

鶴　岡　敬　悟（土居教授）「モデル予測制御を用いた麻酔鎮静度・鎮痛度制御 ―臨床応用を目的としたパラメータ同定法と制御法の改良―」

日帰り手術において臨床応用可能な麻酔鎮静度と鎮痛度の同時制御システムの開発を目的として、操作量計算方法の変更による計算時間の短縮、各患者のパラメータの同定精度改善と計算時間の短縮、および危険回避機構の付加を行い、シミュレーションにより有効性を確認した。

清　水　辰　吾（松尾教授）「時空間有限積分法における格子形状および数値分散特性に関する研究」

時空間有限積分法における数値分散特性を検討し、時空間格子の構成法を検証した。格子形状と安定性・精度の関係を検討し、非一様格子に由来する非物理的な反射を抑制する格子を提案した。時空間サブグリッド法を導入し、効率的な光学素子解析への応用を行った。

難　波　亮　介（松尾教授）「辺要素電磁界解析のための幾何的ブロック対角前処理の提案と応用」

辺要素電磁界解析で現れる連立一次方程式の求解では、前処理と呼ばれる手順で方程式を変形する手法が広く用いられる。本論文では、有限要素の幾何的情報を用いる幾何的ブロック対角前処理を提案し、静磁界・準定常・高周波解析の各例題についてその高い有効性を確認した。

関　口　大　輔（雨宮教授）「車載応用に向けた 50 kW 級超伝導モータシステムに関する基礎研究」

車載応用を目指した 50 kW 級高温超伝導誘導同期回転機の設計・試作・試験を実施した。設計通りの試験結果を得るとともに、克服すべき技術課題を明確化した。また、非線形抵抗を有する超伝導固定子巻線について、零相電流低減のために電流源励磁が必要であることを示した。

高　橋　慶　多（雨宮教授）「加速器用高温超伝導マグネットの磁界設計法とコイル発熱特性評価」

粒子線がん治療装置などへの応用を目指し、加速器用高温超伝導マグネットの研究を行った。高温超伝導線の特性を考慮した磁界設計法を研究し、FAAG 加速器のマグネットなどを設計した。さらに、高温超伝導線の電流輸送特性を実測し、これに基づきコイルの発熱特性を評価した。

高　村　　豊（雨宮教授）「MR 信号検出用高温超伝導マグネットの設計に向けた発熱特性の検討」

MR 信号検出器を目指した空間均一性の高い高温超伝導マグネットの試設計を実施した。高温超伝導線材における電流輸送特性の温度、磁界ベクトル、および長手方向の統計学的バラつきを考慮した 50 K 運転マグネットの形状を決定することができた。

近　松　光　太（雨宮教授）「高温超伝導送電ケーブルを対象とした液体窒素蒸発法による交流損失測定に関する基礎研究」

交流損失によって蒸発する液体窒素の流量から、薄膜高温超伝導線で構成されたケーブルの交流損失を求める実験法について研究した。窒素ガス捕集・計量時の断熱や圧力損失に注意し、ヒータによる較正を行うことにより、0.1 W/m 以下の感度の交流損失測定に成功した。

泉　岡　太　輔（小林教授）「ブレイン - マシン・インタフェースに向けた定常視覚誘発電位に基づく被注意刺激の判別に関する基礎的検討」

脳神経活動を非侵襲的に捉え機械やコンピュータを制御するブレイン - マシン・インタフェースに向け、異なる周波数で標識された複数の視覚刺激のいずれに注意を向けたかを定常視覚誘発電位に基づいて判別する新たな手法を提案し、シミュレーションと実測により妥当性を検証した。

鎌　田　啓　吾（小林教授）「高感度光ポンピング原子磁気センサによる生体磁気計測」

光ポンピング原子磁気センサによる生体磁気計測システムの開発を目的に、カリウムを用いた原子磁気センサを構築し、センサ特性について検討した上でヒトの心磁信号を計測した。心磁図の磁場分布やその時間変化を捉えることで、原子磁気センサによる生体磁気計測の実現可能性を示した。

藤　原　悠　平（小林教授）「両眼独立呈示された競合・融合運動刺激観察時における脳波と視運動性眼振に関する研究」

左右の眼に独立に呈示された視覚刺激が交互に知覚される両眼視野闘争の脳内機構を探る事を目的に、競合する方向にドリフト運動する視覚刺激ならびに同方向に運動する刺激を両眼に呈示した際の脳波と視運動性眼振を同時計測し、脳神経部位とダイナミクスに関する新たな知見を得た。

山　下　達　也（小林教授）「原子磁気センサを用いた超低磁場 MRI 開発に向けた生体熱雑音の理論的検討」

原子磁気センサを用いた超低磁場 MRI の開発に向け、生体から発生する熱雑音に起因する磁気ノイズの理論的検討を行った。原子磁気センサによる MR 信号計測時の熱雑音を正確に計算可能な新たな手法を提案し、数値シミュレーションによりその信頼性と有効性を示した。

奥　　拓　郎（引原教授）「パラメトリック振子を用いた波動エネルギー・スキャベンジングに関する基礎的研究」

本研究では波と振子との共振による波動エネルギー・スキャベンジングの可能性を検証した。特に、

パラメトリック振子の挙動を模擬した励振機械振子系においてエネルギーの観点から減衰特性の評価とその妥当性を検討し、摩擦のシステム内における記述を試みた。

窪　田　まど華（引原教授）「乱流からのエネルギー収集のための機械–電気システムに関する基礎研究」

本研究では、乱流も含めた流体の流れからエネルギーを回収するシステムとして、非線形振動子を設定した。非線形振動子がスペクトルの面において乱流と類似性を持つという点に注目し、乱流のエネルギーを広いスペクトルから回収できる可能性を検討した。

八　尾　　惇（引原教授）「非線形電気機械共振器を用いたメモリに関する基礎的研究」

本研究では、非線形特性を有する微小電気機械共振器のメモリ応用を目指し、読出し操作、情報保持特性の向上、書込み操作について検討した。共振器の２状態が保持され、保持された２状態の読出しと書込みが可能であることを実験及び数値計算に基づき示した。

柳　　達　也（引原教授）「SiC パワー MOSFET の過渡解析モデルに関する基礎研究」

本研究では、SiC パワー MOSFET の過渡特性を解析できるモデルの検討を行った。そのために従来の解析モデルにおける多くの仮定を明確にした。また数値計算結果と実測結果を比較から差異を確認し、物理現象に基づいたモデルの必要性を述べた。

浅　井　力　矢（和田教授）「SI/PI 解析を目的とした電源供給系グラウンド共振時の LSI パッケージ等価回路モデル」

回路基板と LSI 間の寄生容量に起因する共振現象の等価回路を電磁エネルギーを考慮して導出し、理論・実験の両面から確認した。特にグラウンド間寄生容量に起因する共振をパッケージコモンモード共振と呼び、LSI 電源供給系の信号品質（SI）・電源品質（PI）の劣化要因となることを示した。

生　駒　圭　司（和田教授）「単導体素子モデルを用いた電流伝搬の時間領域解析および反射・透過係数の導出」

単導体上の電流伝搬について、遅延方程式による定式化により時間領域の解析法を提案した。また、この手法が遠方近傍にかかわらず電磁界を表現できることを電磁界解析との比較により確認するとともに、分岐線路では反射・透過係数が定義できることを示した。

川　口　力　也（和田教授）「ポアンカレ写像を用いた三相回路における概周期振動の解析」

概周期振動の解析手法として、トーラスのポアンカレ断面の閉曲線に注目し、閉曲線を等長折れ線近似する手法と、等回転で表現する手法を提案するとともに、安定性の判別法を提案した。また、この手法を用いて三相回路における概周期振動の解析を行った。

山　崎　輝　宣（和田教授）「試作チップの設計情報に基づく機能ブロック単位のLECCS-core モデルの構築」

LSI の設計情報から機能ブロック単位で電源系雑音を表現する線形マクロモデルを構築する方法を提案し、11 万ゲート CMOS 試作チップに適用して、サブブロックモデルと等価電流源およびサブブロック間寄生容量を組み合わせて LSI 全体のモデルを高速に抽出する手法を示した。

李　　愛　花（和田教授）「LSI パッケージにおけるバランス制御による電源系のコモンモードノイズ低減」

LSI パッケージ近傍に存在する寄生結合のインピーダンスバランスに着目した、LSI 電源系に流れる

コモンモードノイズの低減法を提案した。パッケージとプリント回路基板間に非接地導体を配置することで、パッケージ近傍の寄生結合を安定化させ、コモンモードノイズを最大 40dB 程度低減した。

小　野　幹　典（萩原教授）「特異摂動系の LMI を用いた解析と出力フィードバック H ∞制御器設計」

特異摂動系の性能解析に関する既存結果に対して、LMI を用いた別証を与えた。また、H ∞制御器設計に対して、既存の LMI は十分条件であったが、本研究では必要十分条件となる LMI を導出した。さらに、航空機の縦運動制御問題を例に、設計した制御器の性能を評価した。

高　柳　　徹（萩原教授）「一般化プラントの構成の工夫によるパラメータの微分を必要としないゲインスケジュールド制御器設計」

パラメータの微分を必要としないゲインスケジュールド制御器設計のため、等価変換により微分項を相殺する手法と、一般化プラントの構造を制約する手法の二つを提案した。後者に関して、制約下でも一般化プラントの構成の工夫により実際の設計問題を扱えることを示した。

藤　波　徳　也（萩原教授）「動的不確かさを有するむだ時間系の作用素リアプノフ不等式に基づくロバスト安定解析法」

静的な不確かさを有するむだ時間系のロバスト安定解析法を拡張することで、動的な不確かさを有するむだ時間系に対して、系の挙動を特徴づけるモノドロミー作用素に関する作用素リアプノフ不等式に基づくロバスト安定解析法を提案し、その有効性を論じた。

丸　岡　信　晃（萩原教授）「ヘリコプタ実験機の非干渉化に基づくシステム同定」

ヘリコプタ実験機に対して非干渉化に基づく制御系を構成することで、ヘリコプタ実験機のシステム同定問題を簡略化した。そして、実際にヘリコプタ実験機のシステム同定を行い、既存モデルよりも精度が高いモデルを獲得した。

成　瀬　浩　樹（山本講師）「真空中の沿面フラッシオーバ電圧の推定法に関する研究」

沿面放電機構の解明を目的として、脱離ガスを考慮した理論式と、シミュレーションによる帯電電荷密度を用いることによりフラッシオーバ電圧の推定法を検討した。さらに帯電量が少ない試料では真空ギャップ放電に近い現象が起きていることを実験により確認した。

奥　田　裕　司（山本講師）「SVC による一機無限大母線系統のゲインスケジューリング H2 最適制御」

一機無限大母線系統における発電機の動揺方程式を区分的に線形近似し、近似モデルを構成した。これを用いて SVC によるゲインスケジューリング H2 最適制御アルゴリズムを設計した。数値計算の結果、SVC により外乱の影響を抑制することが可能であった。

工学研究科 電子工学専攻

大　向　勇　太（鈴木教授）「$Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ 矩形メサ構造におけるテラヘルツ波励起の電極形状による制御」

高温超伝導体 $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ 単結晶表面に 1.1-1.2×80-100×400 μm^3 の矩形メサ構造を形成し 730 − 800 層の固有ジョセフソン接合スタックを形成した。これに上部電極を通して電流を注入し電圧状態

にした時に 20 − 40K において 0.5THz の電磁波発振を観測した。種々の電極形状を検討し発熱と発振の関係を議論した。

住　田　健　一（鈴木教授）「Pb 置換 $Bi_2Sr_2CaCu2O_{8+\delta}$ 固有ジョセフソン接合のスイッチングダイナミクスに関する研究」

高温超伝導体 $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ の単結晶劈開表面に 1 辺 1 μm 厚さ 7.5nm の固有ジョセフソン接合（5 層）の微小メサ構造を形成し、1.3 K までの温度範囲でジョセフソン接合のスイッチング確率分布を測定し、実効温度が熱的な Kramers 理論から乖離する温度を解析して接合の Q を評価し Pb 置換との相関を議論した。

大　上　　航（後藤准教授）「高温デバイスへの応用を目指したフィールドエミッタアレイの動作特性改善に関する研究」

微小電界放出電子源を用いた高温電子デバイスを実現するために絶縁層に酸化アルミニウムの薄い層を導入し、300℃程度までの温度における絶縁層の絶縁特性の向上を確認した。またデバイス特性を支配する電子ビームの発散性に関する計算機実験も行った。

木　下　翔　平（後藤准教授）「ゲルマニウム負イオンを注入した熱酸化シリコン薄膜におけるエレクトロルミネセンスの低電圧化に関する研究」

シリコン基板上の 25 nm 程度の厚みの薄い二酸化シリコン層にゲルマニウム負イオンを注入・熱処理した試料のエレクトロルミネセンス（EL）、フォトルミネセンス等を評価した。注入条件および熱処理条件を選ぶことにより最小 AC14 V の電圧で発光する EL 素子を作ることができた。

飯　尾　　聡（酒井准教授）「二重分割リング共振器アレイを用いたマイクロ波プラズマの高電子密度化」

メタマテリアル効果をプラズマ生成法に組み込み、これまで実現できなかったマイクロ波プラズマの高密度化に成功した。二重分割リング共振器アレイにより負の透磁率空間が実現していることを確認し、またプラズマ密度測定より空間の誘電率が負となっていることも示され、結果として負の屈折率空間の形成が高密度プラズマ生成と同時になされた。

山　田　慶太郎（酒井准教授）「大気圧プラズマ中の有機物添加による放電遷移現象」

大気圧下でのアルゴンプラズマに揮発性の有機化合物を添加することで、安定な放電に遷移する現象を観測し、その機構解明を行った。添加量を変化すると、フィラメント状放電からグロー状放電に急激に遷移する閾値が存在したが、この遷移条件の前後で負イオン生成が顕著であった。そして、このような現象を説明する非線形性モデルの構築も行った。

加　藤　棟　治（木本教授）「SiC MOS デバイスにおける界面構造解析と酸化膜形成後の高温熱処理・非基底面の利用による特性向上」

SiC MOS 界面構造を複数の手法により分析し、極めて薄い界面遷移層の存在を明らかにした。この知見を元に、酸化後に高温熱処理を施した MOS 構造および非基底面上 MOS 構造を作製し、界面特性の大幅な向上を達成した。また、MOSFET を試作して、界面特性とチャネル移動度の関係を明らかにした。

菅　野　亮　平（木本教授）「Si（111）基板上 AlGaN/GaN ヘテロエピタキシャル成長層を用いた MEMS デバイスの作製」

化学エッチングにより、Si 基板上 AlGaN/GaN ヘテロエピ成長層を用いたカンチレバーおよびブリッジ構造を作製した。共振特性では Si や GaAs に比べて高い Q 値を得た。また、このヘテロ界面の二次元電子ガスが歪みに敏感であることに着目し、AlGaN/GaN 歪みセンサを試作して良好な特性を得た。

菊　地　諒　介（木本教授）「SiC（0001）基板上高品質 AlN 初期成長層導入による AlN/GaN 短周期超格子のコヒーレント成長の実現」

分子線エピタキシー法による SiC 基板上の高 Al 組成 AlGaN 成長について研究した。高品質 AlN 初期成長層を導入し、AlN/GaN 短周期超格子を成長することにより、従来のモデルで理論的に予測される膜厚を大きく越えるコヒーレント成長に成功した。また、得られた AlN/GaN 短周期超格子の欠陥評価を行った。

佐々木　　将（木本教授）「SiC 結晶格子における高濃度ドーピングの影響および深い準位の起源に関する研究」

SiC 結晶の格子定数のドーピング密度依存性および温度依存性を高分解能 X 線回折により測定し、高濃度ドープ結晶における格子の歪みやチルトについて解析した。また、点欠陥に起因する深い準位の生成とアニール過程を詳細に調べ、SiC ポリタイプにおける深い準位の普遍性を明らかにした。

石　田　大　貴（松重教授）「単接合型ナノギャップ電極の作製およびその抵抗スイッチング現象に関する研究」

1nm 程度のギャップ長を有する単接合型ナノギャップ電極の作製に成功すると共に、抵抗スイッチング素子としてのアクティベーションプロセスからスイッチング動作にわたる in-situ 観測を、原子間力顕微鏡及び各種電気特性手法を用いて行い、その知見から抵抗スイッチング現象に関する考察を行った。

伊　藤　正　尚（松重教授）「走査プローブ顕微鏡を用いたカーボンナノチューブ FET チャネル電位計測の定量性向上」

原子間力顕微鏡を用いたカーボンナノチューブ電界効果トランジスタ（CN-FET）のチャネル電位計測において問題となる蓄積電荷の影響を明らかにすると共に、高周波静電気力顕微鏡（FM-HF-EFM）を新たに開発し、CN-FET における蓄積電荷の影響を除去したチャネル電位を可視化することに成功した。

大　橋　泰　洋（松重教授）「有機薄膜トランジスタにおけるチャネル上のナノスケール二次元表面電位マッピング」

有機電界効果トランジスタ（OTFT）の動作状態を局所的に評価するために、原子間力顕微鏡を用いた表面電位、移動度、導電率、ゲートしきい値電圧などの二次元マッピングを行い、その結果を基に、グレインバウンダリや電極／有機半導体界面が OTFT のデバイス特性に与える影響を詳細に議論した。

桂　　成　源（松重教授）「周波数変調方式原子間力顕微鏡を用いた数層グラフェンのナノスケール表面物性評価」

周波数変調方式原子間力顕微鏡を用いた数層グラフェンの局所表面物性計測を行った。水和構造観測結果からグラフェン表面は疎水性であり、分子動力学シミュレーションと一致した結果を得た。また、

表面電位計測を行うことで、グラフェン層数の同定が可能であることを示した。

若　月　雄　介（松重教授）「ボトムコンタクト型 p チャネル有機電界効果トランジスタにおける分子ドーピング効果」

ボトムコンタクト型の p チャネル有機電界効果トランジスタに対して、コンタクト電極直上への高濃度キャリア層（p+ 層）の形成によって ON 電流を大幅に増加できることを、デバイスシミュレーションにより新たに見出すと共に、分子ドーピングによる実験からその効果を実証した。

岩　田　佳　也（川上教授）「高 Al 組成 AlGaN/AlN 量子井戸における深紫外発光ダイナミクスに関する研究」

高 Al 組成 AlGaN/AlN 量子井戸からの深紫外（波長～ 250nm）発光機構について、時間分解分光法で評価した。強励起するに従い発光遷移過程が変化し、キャリア再結合寿命が数 100ps から数 10ps に変化することを見出した。速度方程式を用いて実験結果を理論的に解析し、非輻射再結合の関与を示唆する結果を得た。

髙　田　暁　彦（川上教授）「表面プラズモンを利用した窒化物半導体の光機能性制御」

紫外発光 AlGaN 量子井戸の表面に Al を蒸着し、励起子からプラズモンへのエネルギー移動に伴う発光効率の増強を実証した。また、可視発光 InGaN 量子井戸の表面に、ナノ構造を形成した後 Ag を蒸着すれば出射方向が制御できることを FDTD 計算に基づき提案し、実現に向けた問題点を実験的に明らかにした。

藤　本　　亮（川上教授）「近接場光学顕微鏡を用いた素励起の空間ダイナミクスの可視化に関する研究」

金属 Ag 導波路における表面プラズモンポラリトンの伝搬を FDTD 法によりシミュレートし、2 本のプローブを持った近接場光学顕微鏡（SNOM）により検証した。また InGaN 量子井戸でのキャリア注入に伴う効率低下の一因が、励起子の非輻射中心への拡散であることを SNOM 下でのポンププローブ法により解明した。

松　田　和　久（川上教授）「無極性 AlN および AlGaN/AlN 量子井戸構造のホモエピタキシャル成長と発光特性」

有機金属気相成長法により、AlN（1-100）無極性面基板上での結晶成長条件を検討し、平坦性に優れた AlN の成長を確立した。その上に AlGaN/AlN 量子井戸を作製し、特に結晶の異方性に起因した光学異方性に着目して発光特性を評価したところ、ほぼ線形に偏光していることを見出した。

吉　田　新　平（川上教授）「AlInN/GaN エピタキシャル膜における不均一広がりに関する光学的評価」

格子定数が著しく異なる AlN と InN は非混和性が高く、それらの混晶 AlInN では不均一性が物性を支配する。AlInN の発光および吸収特性、顕微鏡下での発光特性の可視化により不均一広がりを定量した。また、偏光特性が理論と一致せず、不均一広がりにより特性が変化していることを示唆する結果を得た。

信　岡　俊　之（野田教授）「ビーム出射方向可変フォトニック結晶レーザの高性能化に関する研究」

フォトニック結晶レーザによるビーム出射方向制御において、正方格子 M 点を用いた複合フォトニック

結晶を検討し、出射方向制御範囲を45度以上に拡張した。また、逆格子空間における上方回折を考え、適切な波数ベクトルを与えるフォトニック結晶との複合により、2軸でのビーム出射方向制御を実現した。

Kang Dong Yeon（野田教授）「2次元フォトニック結晶における光と機械振動の相互作用に関する研究」

フォトニック結晶ナノ共振器の共振波長が熱励起されたフォトニック結晶スラブの機械振動によって時間的に変化することを実験的に確かめるとともに、その定量評価から、フォトニック結晶の初期たわみにより共振波長変化の振幅が大きく変わることを見出した。

興　村　昌　樹（野田教授）「3次元フォトニック結晶における積層型斜め光導波路の設計とそれによる3次元光伝搬制御」

3次元フォトニック結晶における自在な3次元光伝搬制御に向けて、光を垂直方向に広帯域で伝搬可能な積層型斜め導波路を設計した。さらに、新たな導波路と面内方向の導波路とを高効率に接続可能な構造を提案し、立体的な光回路における光伝搬を初めて実現することに成功した。

園　木　悠　司（野田教授）「SiCフォトニック結晶ナノ共振器 における非線形光波混合に関する研究」

SiCフォトニック結晶ナノ共振器において、二光子吸収を抑制しつつ共振器内電界を高めることによって、第二高調波発生および和周波発生の観測に成功した。またその偏光特性や放射パターンに関して、3次元FDTD法を用いた理論計算を行い、実験と対応する結果を得た。

山　本　裕　史（野田教授）「2次元フォトニック結晶への面内pin構造の導入と動的光制御の可能性の検討」

フォトニック結晶共振器に面内PIN構造を付加し、その特性の電気的制御を試みた。順方向電圧をかけてキャリアを注入することで共振波長を50 pmシフトさせ、また逆電圧による引抜きによって光励起キャリアによる共振波長変化の持続時間を0.6 nsまで短縮させることに成功した。

浜　崎　裕　夫（北野教授）「Resolution of dilemmas in multi-player game utilizing quantum game theory（量子ゲーム理論を用いた多人数ゲームにおけるジレンマの改善）」

2者間の量子ゲーム理論を拡張した多者間の量子ゲーム理論について研究を行った。量子力学的な定式化を行い、2者間のゲーム理論では解消できないジレンマの解消について研究を行った。また、デコヒーレンスがゲームに及ぼす影響についても研究した。

池　田　雄　輝（北野教授）「幾何学的位相および弱測定を用いた高感度計測」

量子干渉を利用した高感度計測を目標として、2種類の干渉計測手法に関する検証実験を行った。第1に、光子対に対する幾何学的位相を用いた計測を行い、偏光状態の変化を高感度に読み出せることを実証した。第2に、弱測定を用いて干渉計の光路変化を検出する光学系を製作し、性能の評価を行った。

松　本　　海（北野教授）「単一 $^{171}Yb^{+}$ のレーザー冷却」

Yb^{+} の同位体171には磁場に対する周波数シフトが鈍感な共鳴があり、この共鳴周波数を基準として不確かさの小さい光時計を構築できる。超微細構造に対処するために冷却用レーザーを2系統用意し、適切な磁場を印加して、温度7.6 mKまで冷却した。

信　岡　裕　也（北野教授）「差周波混合による Ba^{+} 時計遷移励起用光源の開発と量子跳躍の観測」

Ba^+ 光時計で基準周波数を与える遷移の波長は 1762 nm である。この波長の光を半導体レーザーとネオジウム YAG レーザーの差周波混合で 200 μW 以上発生させた。単一 Ba^+ に照射し、時計遷移駆動に伴う量子跳躍信号を観測した。

光・電子理工学教育研究センター

糸　崎　俊　介（高岡教授）「アセトンクラスターイオンの生成と表面照射効果の研究」

コニカルノズルを用いてアセトンクラスターを生成し、そのイオンビーム特性を明らかにした。また、加速エネルギーを変えてシリコン基板やテフロン基板に照射し、アセトンクラスターイオン特有の表面照射効果を明らかにした。

市　橋　　岳（高岡教授）「水クラスターイオンのサイズ分離・分析と固体表面との相互作用の研究」

水クラスターイオンのサイズ分布を TOF 法によって明らかにし、またサイズ分離を QMS 法によって行った。さらに、生成した水クラスターイオンをシリコン基板や PMMA 基板に照射し、その表面反応過程を明らかにすると共に、水クラスターイオンの特異性を明らかにした。

植　田　　亨（高岡教授）「イオン液体イオン源の開発と応用に関する研究」

新しい溶媒材料として注目されているイオン液体を用いた電界放出型イオン源の開発を行い、時間的に安定で連続したイオンビームを得ることに成功した。また、正および負のクラスターイオンの生成に成功し、そのサイズ分析を行うと共に、シリコン基板やガラス基板に照射して表面改質を行った。

古　谷　健　悟（高岡教授）「酸素イオンビーム照射による高分子基板の表面改質と細胞接着の研究」

酸素のモノマーイオンとクラスターイオンを併用して、ポリイミド基板やポリスチレン基板に照射し、基板の表面改質を行った。また、表面改質した基板上に成体幹細胞の選択的接着を行い、細胞培養に成功した。

井　川　拓　人（藤田教授）「溶液ソースプラズマ法による透明導電膜の作製に関する研究」

溶液ソースの成膜法にプラズマ援用技術を適用する研究を行った。有機高分子 PEDOT のプラズマ重合を達成したとともに、超音波噴霧ミスト CVD 法に大気圧誘電体バリア放電を併用して ZnO 透明導電膜の成膜速度増加と移動度向上を得た。また大気圧プラズマジェットの併用で 100°C における成膜も実現した。

伊　藤　大　師（藤田教授）「デバイス応用に向けた酸化ガリウム半導体の物性制御に関する研究」

サファイア基板上に高品質のコランダム型酸化ガリウム薄膜を得て、界面で格子緩和が生じ、らせん転位の少ない単結晶薄膜が得られることを実証した。また酸化アルミニウムガリウム混晶の組成制御を行い、Al 組成 0.81、禁制帯幅 7.8 eV の薄膜を得て、デバイス応用に向けた有益な特性を実証した。

情報学研究科 知能情報学専攻

江　頭　勇　佑（黒橋教授）「強化学習を用いた応答生成モジュールの選択に基づく雑談対話システム」

ニュース記事やWikipediaをもとに発話を生成する応答生成モジュールを複数用いて雑談対話を行うシステムを構築した。システムは強化学習によって対話戦略を自動獲得し、ユーザ発話に対して適切な応答生成モジュールを選択できることを確認した。

中　村　紘　規（黒橋教授）「機能表現との共起分布に基づく述部の類義性判定」

分布類似度計算において従来研究では名詞や動詞などの内容語との共起分布が用いられていたが、本研究では機能表現との共起分布を用いて述部の類義性判定を行った。述部の核である用言とその意味を補足するモダリティそれぞれの類義性判定において提案手法が有効であることを示した。

二階堂　　遍（黒橋教授）「括弧パターンを用いた人工物に関する知識獲得」

固有名詞の中でも認識が難しい人工物に関する知識を獲得する研究を行った。そのためにまず、括弧パターンを用いてWebコーパスから人工物候補と属性候補を収集した。Wikipediaから抽出した人工物に関する知識を基に、人工物候補と属性候補から人工物の上位概念と、人工物の製造元、作り手などの知識を獲得した。

金　　弓　冶（河原准教授）「A Framework of Automatic Case Frame Construction From a Raw Corpus（生コーパスを用いた格フレーム自動構築の枠組）」

計算機による自然言語理解のためには、述語と項の関係を整理して記述した格フレームが重要な知識源となる。本研究では、さまざまな言語について、格フレームを生コーパスから自動構築する枠組を提案した。実験では、英語と中国語について格フレームを構築し、その有効性を示した。

伊　藤　　均（松山教授）「カラー及び深度情報を用いた遮蔽環境下における人物モデル推定」

歩行者通路壁面に設置された情報提示システムが、提示情報に興味を持った歩行者を特定して声を掛けコミュニケーションを始めるという状況を想定し、群衆の中から人物を特定するための人物モデル獲得法を提案し、実世界実験によって有効性を示した。

高　橋　康　輔（松山教授）「鏡映変換群がもたらす直交制約を用いたカメラの位置姿勢推定」

カメラの視野外にある物体を参照物体としてカメラの位置姿勢を推定する手法として複数の平面鏡を用いた計算アルゴリズムを提案し、従来手法と比べ提案手法がより高精度に位置姿勢を推定できることを実験によって実証した。

土　師　浩　平（松山教授）「Interval-based Switching Kalman Filtersによる家電の電力変動モデル推定」

多様な動作モードを持つ電気機器の消費電力パターンをモデル化する手法として、確率時間オートマトンによって複数の線形システムを切り替えるInterval-based switching Kalman flltersを提案し、エアコンや洗濯機などの家電を対象とした実験を通じて、提案手法の有効性を示した。

情報学研究科 通信情報システム専攻

伊　藤　昌　範（吉田教授）「マルチユーザMIMO伝送に用いる伝搬路予測手法と屋外実測データに基づく評価」

双方向伝搬路推定法を用いるマルチユーザMIMO伝送において、基地局連携MIMOプリコーディン

グを精度良く行うために伝搬路予測手法を双方向伝搬路推定法に導入し、屋外伝搬環境の実測データを基に伝搬路予測手法を導入したマルチユーザ MIMO 伝送の有効性を明らかにした。

上　田　啓　喜（吉田教授）「周波数共用システムにおける通信容量配分の最適化および干渉制御」

同一周波数帯を共用する無線通信システムに関する研究が述べられている。1 つは通信オペレータ同士が連携することにより周波数を共用するシステムであり、もう 1 つは異なる優先度をもつシステムが周波数を共用するシステムである。

小　林　正　寛（吉田教授）「分散 MU-MIMO における面的周波数利用効率の最大化に関する研究」

基地局アンテナを地理的に分散して配置する分散 MU-MIMO の面的周波数利用効率について検討した。クラスタリングについては、セルラシステムのセル半径の設定と同様に見なせることに着目して評価を行った。プリコーディングについては、従来の MMSE 基準の改善を検討した。

中　平　俊　朗（吉田教授）「周波数チャネルの動的割当による MU-MIMO システムの伝送特性改善」

MU-MIMO における線形プリコーディング伝送について、ZF ウェイトノルムを最小化する周波数割当パターンを選択することで伝送特性を改善できることを示し、伝搬路係数行列同士の相関を用いて周波数割当に要する逆行列演算回数を低減する手法を提案した。

馬　　江　波（吉田教授）「分散及び集中アンテナを仮定した MIMO システムのチャネル容量の比較」

シャドウイングのより現実的な空間相関特性を得るため、送信機と受信機の場所により精密なシャドウイングを計算し、MIMO-DAS と MIMO-CAS のチャネル容量に関する分析と検討を行った。その結果、空間相関シャドウイングを考えた場合でも DAS のチャネル容量は CAS のチャネル容量よりも大きいことを確認した。

大　西　遼　太（守倉教授）「仮想伝搬路方式を用いた MIMO 空間多重伝送における演算量低減法」

移動無線通信で仮想伝搬路方式を用いる MIMO 受信機の消費電力低減を目的として、効率的なアルゴリズムと復号に用いる空間フィルタの生成法を提案した。また同受信機と、Thomlinson-Harashima Precoding と最適送信電力配分を組み合わせる方式も提案した。

小　菅　陽　平（守倉教授）「ヘテロダインマルチバンド受信機におけるフィードフォワード型ブラインドイメージ干渉補償」

AGC を備えたヘテロダインマルチモード受信機におけるイメージ干渉の抑圧法を提案した。ヒルベルト変換器の誤差推定しベースバンド領域でデジタル信号処理により補償することで、信号電力対干渉電力比を改善できることを示した。

中　戸　裕　基（守倉教授）「2 ホップ無線 LAN における QoS 制御とグループ制御の研究」

本論文ではネットワークコーディングを用いた 2 ホップ無線 LAN において VoIP の伝送品質を確保しながらもデータ通信のスループットを改善可能な QoS 制御方式を提案した。また、無線局をグループ化する方式を提案し、スループットを向上させながらも消費電力を低減可能であることを示した。

藤　井　陽　平（守倉教授）「無線 LAN と無線センサネットワークの共存方式」

無線 LAN と無線センサネットワークが同一周波数で共存する際に無線センサネットワークを保護す

ることを目的とし、RTS/CTS/CTS-to-self を用いることで無線 LAN の通信を一時的に止めて無線センサネットワークを通信させる方式について提案し、無線 LAN のトラヒックが大きい状態であっても効果があることを示した。

吉　川　尚　吾（守倉教授）「格子基底縮小を用いた MIMO 受信機の空間多重数増大法およびその演算量低減法」

移動無線通信におけるダウンリンク通信の高速化を目的とし、格子基底縮小を用いた MIMO 受信機について、送信ストリームの数が受信機のアンテナ数より大きい場合にも適用が可能となるような方式およびその演算量低減法を提案した。

筧　　武　志（高橋教授）「移動経路上の無線帯域共用技術の研究」

公衆エリアに分散配置されている無線スポットを有効に活用するため、複数のモバイルユーザが無線スポットを共用する問題を定式化し、提案する協調メカニズムがこの問題を解決できることをシミュレーション評価により示した。

高　田　善　規（高橋教授）「情報通信利用者間の相互作用に関する研究」

ソーシャルネットワーキングサービスなどで見られる情報通信システムを利用する人々の間に生じる相互作用に関して、そのメカニズムをモデル化し、社会実験を通じてその影響を定量的に評価した。

高　野　奨　太（高橋教授）「光パケットネットワークにおけるエッジバッファおよび遅延線バッファ構成に関する研究」

ガードタイムの短縮による光パケットネットワークの高効率化を目的とした複合パケット伝送方式と、遅延線バッファの利用頻度に着目した部分共有型遅延線バッファ方式を提案し、その評価により性能向上効果を明らかにした。

西　尾　理　志（高橋教授）「Cooperative Bandwidth Sharing in Wireless LANs（無線 LAN における帯域協調利用技術の研究）」

無線 LAN などの無線アクセスネットワークにおいて、各ユーザがそれぞれの要求品質を満たせるよう、対応している端末同士で協力し送信機会を交換する方式を提案し、その有効性をシミュレーションによって示した。

丹　波　　健（高橋教授）「ユーザの嗜好情報を用いた Peer-to-Peer コンテンツ共有」

Peer-to-Peer コンテンツ共有サービスにおいて、コンテンツ検索のヒット率向上を実現するためのセマンティック情報を用いた効率的検索手法の提案と、ユーザのコンテンツ嗜好関係を考慮したユーザのモデル化手法の提案を行った。

片　山　健太朗（佐藤（高）教授）「複数パーティクルフィルタによる高精度回路歩留り解析の研究」

本論文では、逐次重点的サンプリング（SIS）法を用いた回路歩留まり解析の高速化手法を提案する。本手法では、SIS における再抽出処理を複数のパーティクルフィルタ上で独立に行うことにより、不良領域が複数ある場合にも高速に解析を行うことができる。

宮　川　哲　朗（佐藤（高）教授）「準ゼロ分散推定を用いたランダムウォークによる線形回路解析の高速化」

本論文では、ランダムウォークによる線形回路解析に重点的サンプリングを適用する手法を提案する。準ゼロ分散推定によりDC解析と過渡解析を高速化し、複素数の確率を実数の確率と複素数の重みに分離することによりAC解析を実現した。

湯　浅　洋　史（佐藤（高）教授）「モンテカルロ法に基づく統計的静的タイミング解析の専用演算器並列実装による高速化」

本論文では、モンテカルロ法を用いた統計的静的タイミング解析の専用演算器実装による高速化手法を提案する。提案ハードウェアにおいては、複数の静的タイミング解析用演算器を実装し、この演算器を試行毎に並列動作させる事で高速化を達成する。

松　田　進　也（越智准教授）「ウエハスケールマスクROMにおけるデータ読み出し方式の検討」

本論文ではマスクROMを用いた長期保存用記憶メディアを12インチウエハで実現する時のデータ読み出し方式について提案する。メディアの記憶密度の最大化と、長距離配線時のデータ読み出しに対して、シーケンサを用いた階層的アーキテクチャを提案し、評価した。

藤　本　秀　一（小野寺教授）「LSIの低電圧安定動作に向けたチップ内特性ばらつきのモデル化手法」

微細集積回路における動作特性のチップ内ばらつきを、標準電圧から閾値電圧付近までの広い動作電圧範囲において再現するモデルについて検討した。特性ばらつき情報を効率的に取得するために、非均質な構造を持つリングオシレータ回路を新規に考案した。

北　島　和　彦（小野寺教授）「チップ内トランジスタ特性ばらつきへの耐性を高めたフリップフロップの設計手法」

フリップフロップのタイミング特性がトランジスタ特性のチップ内ランダムばらつきに対して脆弱であることを明らかにし、ばらつき耐性を高める設計手法を示した。また、ばらつき耐性を高めたフリップフロップを45 nmおよび65 nmプロセスで開発した。

釜　江　典　裕（小野寺教授）「セルベースLSIのチップ内ばらつき補償をめざした基板電圧生成回路」

チップ内ばらつき補償を目的として、細粒度基板電圧制御に用いる電圧生成回路を開発した。セルベース設計の環境でディジタル回路と混在して自動設計できる回路と、面積最小化をねらった回路の2種類を設計・試作し、65 nmプロセスでの動作を確認した。

宮　脇　成　和（小野寺教授）「相互結合インダクタを用いた利得可変なトランスインピーダンスアンプの設計手法」

光通信の受信回路に使われるトランスインピーダンスアンプ（TIA）の高速化について検討した。相互結合インダクタを用いた帯域延伸手法および利得可変回路を開発し、高い帯域と高い入力ダイナミックレンジの両立を達成した。

中　原　晃　宏（乗松准教授）「光コヒーレント検波方式における電気・光フィルタを考慮したビット誤り率評価法」

直接検波方式で有用なForestieri法を拡張することで、任意波形に対して電気・光フィルタを考慮した誤り率評価法を検討し、高速かつ誤差0.1dB以内という高精度で計算可能なことを示した。また、光

源の位相雑音も考慮した誤り率評価法を示した。

橋　本　大　志（佐藤亨教授）「南極大気レーダートレーニングシステムを用いた航空機クラッター抑圧」

本研究では南極大気レーダーの電離圏観測における大気・FAIエコーの分離受信への応用を踏まえ、大気レーダーに適した適応的信号処理法を発展させて航空機からの散乱波を抑圧する手法を提案した。また、これを実観測データに適用して従来法に対する特性改善を定量的に示した。

藤　田　修　平（佐藤亨教授）「壁面多重反射波を利用した影領域の高精度UWBレーダイメージング」

室内監視システムへの応用を想定したUWBレーダによる形状推定アルゴリズムの開発を行った。本来は妨害波となる壁面の多重反射波を活用し、ドップラー効果及び干渉計法、時間逆転法を利用することで、部屋の死角に存在する目標の高精度な画像化を実現した。

本　間　寛　明（佐藤亨教授）「UWBドップラーイメージングレーダを用いた複数歩行人体の高精度分離識別」

複数の人体が歩行する条件下で時間周波数解析を行った後、散乱中心の位置を推定し機械学習を用いることにより3素子での高精度な目標分離が可能なことを示した。また分離した目標の外輪郭を抽出する形状推定法を提案し、精度を評価した。

森　本　潤　一（佐藤亨教授）「赤血球のランダム変化を考慮した相関による医用超音波血流速度推定法」

本研究では、相関を用いて血流速度推定を行う手法を提案した。その結果、従来法では考慮されていなかった赤血球のランダム変化を考慮して速度推定を行うことで従来法に比べて精度が大きく改善し、高精度、かつ広範囲の血流速度推定が可能となった。

情報学研究科 システム科学専攻

安　藝　俊　介（石井教授）「スパイク発火列からのネットワーク構造の推定ー group LASSOによるアプローチー」

複数の神経細胞のスパイク発火時刻系列データに基づく統計的処理によって、神経細胞間の機能的結合ネットワーク構造を推定することができる。本研究では group LASSO 法の応用によって、観測時間が短い場合の推定性能を大幅に向上させた。

安　富　正　博（石井教授）「探索搾取切替モデルによる部分観測環境下での意思決定過程の解析」

迷路課題において、被験者は自分の居場所が不確実である場合には探索行動をとり、確実であれば最短でゴールに向かう搾取行動を取る。このさいの被験者の行動系列から被験者の主観的な不確実性を読み取る手法を開発し、fMRIによる脳活動との関連を調べた。

神　原　　聡（石井教授）「視覚における注意資源配分の空間的分布表現」

視線固定下で、視野上さまざまな位置における認知課題の正解率を調べることで、人間の周辺視野における注意資源の空間的配分が分かる。空間解像度の高い表現を工夫し、事前指定した分布と実際との違いを細かく比較することで、配分形状改変の実態を調べた。

河　野　正　行（石井教授）「Microscopic neural image restoration based on tensor factorization of rotated patches（パッチ画像に回転を加えたテンソル因子化による神経細胞顕微鏡画像の修復）」

神経細胞の顕微鏡画像に含まれるノイズを除去して画質改善を行う手法を開発した。局所的パッチ画像の低ランク因子化が既存手法であったが、パッチ画像を回転して細胞繊維構造にフィットさせる工夫と、パッチをテンソルとして扱う工夫を加えて性能を改善した。

石　垣　雄　大（松田教授）「段差形状記述に用いる反力方向の触知覚に対する影響」

器具を用いて柔軟物体表面のなぞり走査を行う際の能動触による形状知覚機構の解明を目的に、段差知覚に対する垂直・水平方向反力の影響を検討した。形状知覚に寄与する特徴量は段差勾配の最大値で、その絶対閾には垂直、水平および両者を組み合わせた形状記述の間で差異が認められないことを明らかにした。

武　下　大　毅（松田教授）「薬剤の催不整脈性推定を目的とした心筋細胞モデルのパラメタ解析」

薬剤の催不整脈性推定を目的に、不整脈発生の原因となる遅延後脱分極とよばれる活動電位波形の異常に着目して心筋細胞モデルのパラメタ解析を行った。薬物の効果や生理状態の変化が遅延後脱分極の発生に与える影響を解析したところ、静止状態における細胞内カルシウム濃度が重要であるとの知見が得られた。

吉　木　優　太（松田教授）「磁気共鳴位相画像を用いた生体組織における異方性導電率の推定に関する研究」

筋肉の導電率異方性の確認を目的として、直流電流印加による MRI 信号の位相変化に着目した等方性導電率法を改良し、異方性導電率推定法を提案した。異方性導電率の推定には至らなかったが、筋肉の線維方向に導電率の異方性があることを示唆する電流分布画像が得られた。

吉　田　真　樹（松田教授）「ヒト胚子３次元モデルのフィッティングによる胚子標本の形状パラメタ推定に関する検討」

胚子標本の形状を定量的に評価することを目的に、胚子の各発生段階における標準的な形状を表現するヒト胚子３次元モデルに形状パラメタを導入し、標本外表ポリゴンとのフィッティング実験により本手続きによる形状パラメタ推定が実現可能であることを確認した。

エネルギー科学研究科 エネルギー社会・環境科学専攻

伊　藤　達　理（下田准教授）「自転車専用ハイウェイ導入によるモーダルシフト効果とコストの定量的評価」

自動車から自転車へのモーダルシフト促進方策として、既存の道路の一部を自転車のみ通行可能とする自転車専用ハイウェイを提案し、シミュレーションによりその導入の影響を定量的に評価した。その結果、CO2 削減効果などの点で有効であることを確認した。

小　野　義　人（下田准教授）「仮想空間内シミュレーションによる自然特徴点トラッキング手法の精度予測」

自然特徴点を用いた拡張現実感用トラッキング手法の精度や安定性を評価する手法として、レーザレンジファインダとカメラを用いて現実を忠実に反映した詳細な3次元モデルを作成し、それを用いてシミュレーションによりトラッキング精度を予測する手法を実現した。

河　野　　翔（下田准教授）「意識的な休息に着目した知的生産性変動モデルの提案と評価」

本研究では人間を情報処理システムとして捉え、知的作業時の情報処理プロセスを考慮した知的生産性変動モデル、長期休息重視モデルを提案した。長期休息重視モデルに基づいた計算機シミュレーションにより、過去のモデルよりも忠実に実験結果を再現できた。

北　村　尊　義（下田准教授）「個人を対象とした二酸化炭素排出許容枠制度の提案と評価」

個人を対象としたCO2排出許容枠固定価格取引型PCA（FIT-PCA）を提案した。FMEAを用いてFIT-PCA運用時の行政情報システムの頑健性を評価した後、インターネットアンケート調査を実施し、FIT-PCA運用がもたらす効果およびFIT-PCAの支持・不支持に影響を与える要因を明らかにした。

藤　原　央　樹（下田准教授）「環境配慮行動促進のためのオンラインコミュニティ「エコ部」の提案と評価」

環境配慮行動（PEB）を促進・継続させることを目的とした部活動を模したオンラインコミュニティの実現手法を提案した。提案手法を実装して評価実験を行った結果、すべての参加者にPEBの促進効果が確認され、約半数の参加者にPEBの継続効果が確認された。

満　　智　遠（下田准教授）「拡張現実感を用いたプラント解体協調作業シミュレーションシステムの開発」

作業の現場で複数の作業員が協調しながら解体作業の計画立案を行える拡張現実感を用いたプラント解体協調作業シミュレーションシステムを開発した。開発したシステムを実際の解体作業に従事する作業員の方に評価して頂き、システムの有用性を確認した。

エネルギー科学研究科 エネルギー基礎科学専攻

礒　江　祐　一（中村（祐）教授）「高速イオンの閉じ込め改善を目指したヘリオトロンＪ磁場配位の最適化」

ヘリオトロンＪ装置にトリムコイルを付加し、高速イオンの閉じ込めをこれまで以上の改善することを念頭に磁場配位の最適化を試みた。その結果、高エネルギー粒子の軌道損失を50％以上減少させ、新古典輸送も大幅に減少させる配位を見出した。

阪　上　幸　弘（中村（祐）教授）「ヘリカル系プラズマの一次元輸送シミュレーション」

ヘリオトロンＪプラズマにおいてバンピー磁場成分が輸送に及ぼす影響を一次元輸送シミュレーションによって解析し、径電場の重要性を示した。また、LHD装置に対するシミュレーションにおいて、三次元磁気面形状が輸送に及ぼす影響を明らかにした。

エネルギー科学研究科 エネルギー応用科学専攻

高　田　佳　明（野澤教授）「三次元強誘電体機能メモリセル構造に関する研究」

FeRAM の微細化に伴う読み出し電荷量減少の問題を打開するため、3 次元 chain FeRAM セルを設計し、検討した。本研究で考案した 3 次元セル構造を用いることによりデザインルールの縮小に対して読み出し電荷量をほぼ一定に保ちながらセル面積を大幅に縮小することができる見通しが得られた。

渡　邉　寛　明（野澤教授）「機能メモリを用いたソートアルゴリズムにおける電力遅延積の評価」

算術演算回路を取り付けた機能メモリは処理速度向上のための有力な技術であると考えられる。本研究では機能メモリの特性を活かした新しいソートアルゴリズムを提案し、電力遅延積を回路シミュレータ *Smart SPICE* を用いて評価し、良好に動作することを確認した。

甲　斐　尚　人（白井教授）「Study on Turbulent Heat Transfer for Heating of Water in Short Tube（短い円管内における水の乱流熱伝達の研究）」

水平に支持した白金及び SUS304 円管発熱体を用い、限界熱流束に及ぼす発熱体姿勢の影響を明らかにした。また垂直に支持した白金円管発熱体を用い、円管内水の過渡乱流熱伝達表示式を導出した。さらに、以前に行われた実験と同様な条件で数値解析を行い、円管内水の流動様式の詳細を明らかにした。

竹　上　泰　樹（白井教授）「Heat Transfer of Cryogenic Liquids for Cooling Superconductors（超電導機器冷却を目的とした極低温流体の熱伝達特性に関する研究）」

極低温流体を冷媒とした強制対流冷却試験によりその熱伝達特性を求めた。 種々の圧力、液温、流速および円管発熱体の寸法の条件下で測定した液体水素の実験結果から、強制対流の DNB 熱流束を与える表示式を提示し、この表示式が液体窒素にも適用可能であることを明らかにした。

野　田　　翔（白井教授）「Experimental Study on Current Limiting and Recovery Characteristics of Three-Phase superconducting Fault Current Limiter（三相超電導故障電流限流器の限流及び復帰特性に関する実験的研究）」

巻き戻し構造を有する新しいタイプの三相同軸構造の変圧器型超電導限流器を提案し，モデル器を設計、製作した。各相の限流インピーダンス特性は概ね等しく、ほぼ設計とおりとなった。模擬電力系統を用いた事故電流限流実験を行い良好な特性を確認した。

水　谷　浩　志（白井教授）「Evaluation of Dynamic Characteristics of Distribution System by Small Disturbance Injection Method（微小擾乱注入手法による配電系統の動特性評価）」

能動的な制御特性を持つ負荷や分散型太陽光，風力発電システムを含む配電系統の動特性を評価するため、微小電力注入によるオンラインの応答特性から動特性モデルを導出する手法を提案し、シミュレータを用いた実験で検証した。

エネルギー理工学研究所

羽　田　和　慶（長﨑教授）「トカマクにおける予備電離を用いたプラズマ生成に関する数値解析」

超伝導トカマクJT-60SAにおけるプラズマ着火を調べるため、小半径方向の輸送を考慮に入れた1次元モデルを開発し、数値解析を行った。その結果、プラズマ着火が初期中性粒子密度に依存すること、電子サイクロトロン共鳴加熱によるアシストが有効であることがわかった。

水　野　浩　志（長﨑教授）「ヘリオトロンＪにおけるマイクロ波反射計を用いた電子密度揺動計測」

Kaバンド周波数スキャンが可能なヘテロダインマイクロ波反射計システムを開発し、ヘリオトロンJ装置において電子密度揺動計測を行った。振動板を用いたテストスタンドでの動作確認を行なった後、NBIプラズマ実験に適用し、高速イオン励起MHD不安定性を観測した。

山　垣　　悠（長﨑教授）「慣性静電閉じ込め核融合装置における多段電圧導入端子の設計と性能評価」

慣性静電閉じ込め装置における核融合反応率向上を目的とし、5段分割電圧導入端子を設計して導入、高電圧化と電位分布改善を同時に達成した。また、中性子発生率を計測することによって、グロー放電型における重水素イオンエネルギーの電圧依存性が得られた。

香　川　　輔（水内教授）「ヘリオトロンＪにおけるビーム放射分光法を用いたプラズマ密度揺動分布計測システムの開発」

プラズマ中心部から周辺部まで（$0 < \rho < 1$）、高い空間分解能（$\Delta\rho < \pm 0.07$）を持つビーム放射分光装置を開発した。複数の高速イオン励起不安定性が観測されるにプラズマおいて密度揺動強度の径方向分布を観測したところ、それぞれ固有の揺動強度分布を持つことがわかった。

南　　貴　之（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イオン温度・トロイダル回転速度分布計測」

荷電交換再結合分光法によりプラズマ中の炭素イオン温度および回転速度の空間分布を計測した。磁場配位（バンピー成分）に対するイオン温度の依存性を調べたところ、バンピー磁場強度が高い場合にイオン温度が高いことがわかった。これは中性粒子分析器による水素イオン温度計測と定性的に一致する。

八　代　浩　彰（水内教授）「ヘリオトロンＪプラズマの電子温度・密度分布の時間発展計測のためのYAGトムソン散乱計測装置用ポリクロメータの開発」

ヘリオトロンJプラズマの電子温度、密度分布の時間発展を計測するためにNd:YAGトムソン散乱計測装置を開発している。そのためにトムソン散乱光を分光計測するためのポリクロメータを設計開発し、その性能を評価した。ポリクロメータは10eV-10keV電子温度領域のヘリオトロンJプラズマを、最低$5\times10^{18}\,m^{-3}$の電子密度があれば十分計測できる性能を有することを示した。

和　田　善　信（佐野教授）「ヘリオトロンＪ装置における電子温度分布及び高エネルギー電子スペクトルの計測」

TVトムソン散乱によるプラズマ電子温度計測のノイズ低減法の開発を目的に、小区間画像データの新しい統計処理法を導入し、高精度の温度評価を実現した。また、波高分解（PHA）軟X線計測法をもちい、電子サイクロトロン電流駆動（ECCD）時の高速電子エネルギー分布の変化を実験的に検証した。

生存圏研究所

宮　脇　　力（津田教授）「水蒸気・エアロゾル観測のための紫外・可視域ラマンライダーに関する研究」

気候変動に大きく影響する大気エアロゾルと水蒸気を連続観測可能なラマンライダーを改良した。紫外レーザーを用いて市街域でも安全運用できるようにし、1ヶ月間連続運用し検証観測を実施した。さらに紫外・可視ライダー同時観測によりエアロゾル吸湿に対する粒径変化を計測した。

芦　田　康　将（山川教授）「粒子シミュレーションによる磁気セイル宇宙機の推力特性に関する研究」

太陽風（高速プラズマ流）と宇宙機搭載コイルの相互作用により、高効率な推力発生が期待される磁気セイルの推力特性を、新規開発の定常シミュレーション（Flux-Tube 法）と大規模シミュレーション（Full-PIC 法）により解析し、磁場強度への依存性やピッチングモーメントの特性を明らかにした。

岡　田　　聡（山川教授）「小型プラズマ波動スペクトル観測器に向けたアナログダウンコンバージョン部の集積化に関する研究」

科学衛星搭載用スペクトル型プラズマ波動観測器を極端に小型化するため、そこで必要となる高ゲインアンプ、スイッチトキャパシタ型 BPF、および周波数ミキサをアナログ ASIC 内にワンチップで実現し、小型でありながら十分な性能をもつスペクトル型受信器の要素技術開発に成功した。

八　山　慎　史（山川教授）「ローレンツ力と重力による帯電衛星の姿勢ダイナミクスに関する研究」

地球周回の人工衛星の複数の部位を、イオン・電子エミッタ等で積極的に帯電させて、地球磁場中に起因するローレンツ力によるトルクを発生させることで、帯電衛星を慣性座標系や回転座標系において一定姿勢で維持したり、スピンアップダウンを行う姿勢制御手法の実現性を明らかにした。

宮　下　　優（大村教授）「Acceleration Mechanism of Radiation Belt Electrons by Whistler-mode Chorus Emissions（ホイッスラーモード・コーラス放射による放射線帯電子の加速機構）」

地球磁気圏で頻繁に観測されるホイッスラーモード・コーラス放射によって放射線帯の電子が光速に近い相対論的エネルギーまで加速される非線形過程を、コーラス放射の電磁界モデルでのテスト粒子シミュレーションに基づく数値グリーン関数法により解明した。

石　川　峻　樹（篠原教授）「パネル構造型宇宙太陽発電所のためのパネル位置推定を用いたビーム形成技術の研究」

宇宙太陽光発電所のフェーズドアレーでは、アンテナ面に歪みが発生し、ビーム形成に大きく影響を与える。パネル位置推定を用いたビーム制御について検討を行い、アンテナ面の歪みや位置推定に用いるパイロット信号の測定誤差が大きい場合でもビーム制御が可能な手法を提案した。

高等教育研究開発推進センター

西　村　　純（小山田教授）「確率的アプローチによる非構造ボリュームデータの融合可視化」

確率的アプローチを用いて様々な種類のデータをボリュームレンダリングで融合可視化する手法を提

案した。従来法である粒子ボリュームレンダリングを使った融合可視化と比較し、提案手法が、解像度の増加に対して、従来法ほどの計算資源を必要とせず、高品質の画像を生成することを確認した。

郭　　嘉　禎（小山田教授）「An Efficient Hyperstreamline Visualization Method on Large-Scale Unstructured Datasets（大規模非構造格子データ向け超流線可視化の高速化）」

流線可視化で使われるセルツリーデータ構造を探索する際に前回の探索履歴を参照するための補助データ構造を開発した。本手法を大規模非構造格子で定義されたテンソルデータからの超流線可視化計算の高速化に適用し、その有用性を確認した。

学術情報メディアセンター

中　野　克　己（中村（裕）教授）「状況の認識とユーザの誘導を用いた協調的ジェスチャインタフェース」

ジェスチャインタフェースを認識を行う状況の「良さ」を指標化し、「良さ」とそれを維持または回復する方法を機械から人間に提示することにより、良好な認識を保つ方法を提案した。これは、概念的には、人間がうまく使いこなせるように利用マニュアルを提示するのに似ているが、機械が状況を判断して自動的に行うことが特徴である。

安　　光　州（中村（裕）教授）「個人視点映像を用いたグループログにおける対話関係の推定」

頭部に装着したカメラで学習・訓練のためのグループ活動を記録し、それを活用するための映像解析手法を提案した。特に、複数人が対話したり、お互いに注意を払っている状況を検出するために各々の記録映像を統合的に処理する方法を示した。

高校生のページ

太陽光発電のいま、そしてこれから

光・電子理工学教育研究センター　デバイス創生部門　先進電子材料分野
藤　田　静　雄

1. はじめに

5月のある日、夏には昨年以上の節電が求められている中で、建物を管理して居られる事務室の方と一緒にその対策について話し合いをしました。私たちの研究室がある建物には大きなガラス窓があり、そこから太陽の光が文字どおりsun sunと差し込みます。事務室の人がこう言われました。「このガラスにスプレーで何か吹き付けて赤外線も紫外線も遮断できるようになったらいいのですけどね。」 太陽の光には赤外線、可視光線、紫外線が含まれていますが、赤外線は温度を上げ、紫外線はソファなどの布地を色落ちさせます。この両方を遮断して可視光線だけが窓ガラスを通るようにできたら、窓からの景色はそのままで赤外線と紫外線の影響を除くことができるのです。私はそこで答えました。「私たちの研究が実用化したらそれが可能になるのですがね。」そして「別のものをその上に吹き付けて太陽電池ができたらもっと役に立つと思いませんか。」と付け加えました。「そんな夢よりこの夏への対策ですよ。」と言われてしまいましたが、でもこれは夢ではありません。昨年新聞にこういう記事が出ていました「塗る太陽電池、実用化めど」(朝日新聞 2011年7月19日)。科学技術の進歩は、まず夢を見ること、そしてそれを実現しようと努力することによってもたらされるのです。

地球温暖化対策としての温暖化ガス（CO_2など）削減が必須とされたことを皮切りに、東日本大震災の被害をふまえ、自然界から与えられるエネルギーである太陽光を用いた発電、すなわち太陽電池による太陽光発電への期待が急速に高まっています。期待、というより必須、と言った方が時の流れに叶っているかもしれません。しかし少し考えていただきたいと思います。太陽電池を作るにも使い終わった太陽電池を廃棄するにもエネルギーが必要です。ですから太陽電池は、製造や廃棄にかかるエネルギーよりも、いっそう多いエネルギーを生み出してもらわないと意味がありません。また太陽電池を設置しようとするとコストがかかります。そのコスト以上に利益がないと太陽電池を設置しようとする動機が一気に覚めてしまいます。すばらしい技術であったとしても、それが世の中で普及するためには、技術の良し悪しだけではなく、経済的な価値があるのかどうかという問題がいつもついてまわります。太陽電池はどうなのでしょうか、技術から少し視野を広げ、その今と将来について述べたいと思います。

2. 太陽電池のしくみ

太陽電池を形作る材料は半導体です。半導体には負の電荷をもつ電子を多く持つn型半導体と、正の電荷をもつ正孔[1]と呼ばれる粒子を多く持つp型半導体とがあります。太陽電池の基本構造は、図1（a）に示すように、n型半導体とp型半導体とを縦に積み重ねたもので、電気を取り出すための電極がそれぞれの層に付けられています。集積回路など多くの半導体素子と比べて構造は単純ですが大きな面積を必要とする点で大きく異なります。

太陽電池の上面から光が当たると、光によって半導体の中に電子と正孔が生まれます。ここでn型半導体の中に生まれた電子はn型半導体の中に留まりますが、ここで生まれた正孔はいわばn型半導体の中で異質なもの（少数キャリアと呼びます）ですからp型半導体の方に移動しようとします。逆にp型半導体の中に生まれた正孔はそのまま留まりますが、電子はn型半導体の方に移動しようとします。こ

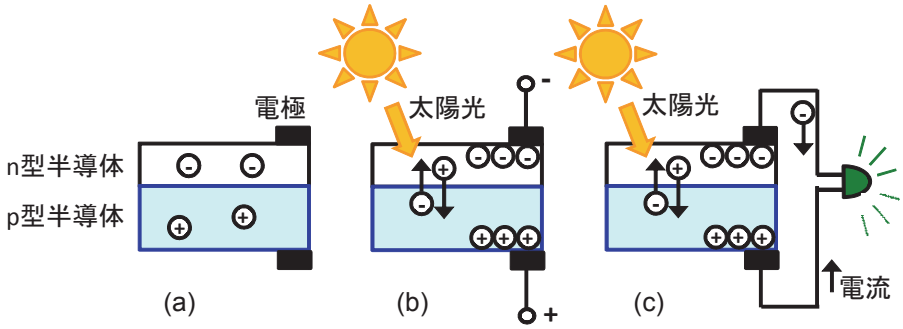


図１　太陽電池の基本構造と動作

うして、図１（b）のように、p 型から n 型に電子が移動し、n 型から p 型へ正孔が移動することによって、n 型がマイナス、p 型がプラスとなる電圧が生まれます。したがって図１（c）のように外部に回路をつなぐと p 型から回路を通って n 型へ電流が流れます。これが太陽電池の原理です。

太陽電池に照射される光の強度に対して、太陽電池から取り出すことのできる電力の比を効率と呼びます。半導体の代表とされるシリコン（Si）を用いた太陽電池モジュールの効率は、14 ～ 18% 程度です [2)]。これを高くするためには、（i）　太陽光が表面で反射することを防ぐ、（ii）太陽光をより多く吸収できる半導体材料を選ぶ、（iii）少数キャリアがうまく移動できる構造をとる、といった工夫がされています。それにしても太陽光の 80% 以上が電気に変換されずに無駄になっているわけですから、これはあまりにもったいない、ということで研究者はこの無駄を減らそうと、熱心な努力を続けているのです。

3. 太陽のエネルギー

太陽は直径 140 万キロ（地球 109 個分）の天然の核融合炉で、表面温度は 6000°C、中心部の温度は 1500 万 °C と言われています。その輻射が地球を暖め、わたしたちが適温のもとで生命を維持できているのです。現在の年齢は約 46 億歳と推定されますが、残りの寿命は約 50 億年と予測されています。一方人類の歴史を考えると、ネアンデルタール人が生まれたのが 50 万～ 30 万年前とされていますので、これからの人類の歴史にとって太陽は永遠に生き続けると思って良いでしょう。

太陽からは熱・光エネルギーが地球に降り注ぎますが、日本に降り注ぐ光エネルギーは晴天の日中で約 1 kW/m^2 です。気象庁の統計によると東京の 2002 ～ 2011 年の平均の 1 年間の日照量は 1,288 kW/m^2 となっています。これを日本の平均と仮定して、日本の陸地面積 38 万 km^2 に 1 年間に降り注ぐエネルギーの量を計算すると、490 兆 kWh となります。一方日本で 1 年間に消費する電気エネルギーは約 1 兆 kWh ですので、その約 500 倍もの光エネルギーが太陽から降り注いでいると言えます。太陽のエネルギーのすごさを実感いただけるでしょうか。しかも重要なのは、このエネルギーを使っても減らない、またこのエネルギーは無料だということです。

4. 太陽電池はエネルギー的に元が取れるのか

太陽電池はこの無尽蔵の太陽エネルギーから電気を取り出す素子ですが、太陽電池を製作し、また設置、廃棄に至るまでにエネルギーが必要です。図 2 に太陽電池のライフサイクルとそこに必要なエネルギーを示します。このライフサイクルにかかるエネルギーに比べ、それ以上のエネルギーを生み出さないと、太陽電池はエネルギー収支の点で価値がないということになってしまいます。太陽電池の寿命は 20 年から 35 年、あるいはそれ以上とされていますが、石油等の化石燃料を用いる場合と根本的に違うのは、運転にエネルギーが不要だということです。つまり一旦設置してしまえば、太陽の光を受けてひたすら電気を作り続けますので、エネルギーが不要だけでなく CO_2 等の排ガス、廃棄物等を一切出さ

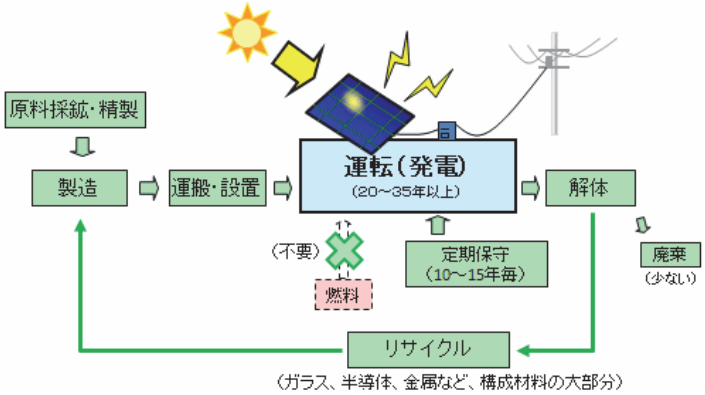


図２　太陽電池のライフサイクル（産総研　太陽光発電工学研究センターによる）

ないということがすばらしいことなのです。

図３は各種太陽電池のエネルギー回収期間（Energy Payback Time; EPT）の報告値を示したものです。エネルギー回収期間とは、製造から廃棄までのライフサイクルにかかるエネルギーを何年で回収できるか、という値です。縦軸は太陽電池の種類ですが、下から上に向かって新しい技術が用いられた太陽電池、より新しい時期に開発された太陽電池、と考えていただいて結構です。1990 年代の製品はエネルギー回収期間が数年と考えられており、それでも太陽電池の寿命を考えるとエネルギー的に十分元が取れると言えます。技術の進歩とともにエネルギー回収期間は短くなり、最近のものでは 2 年程度でエネルギーの元が取れると考えられています。図 4 は各種太陽電池のエネルギー回収比（Energy Payback Ratio もしくは Energy Profit Ratio; EPR）を示したものです。エネルギー回収比とは、素子の寿命のうちに、製造から廃棄までのライフサイクルにかかるエネルギーに対して何倍のエネルギーを生み出すことができるか、という値です。縦軸の並びは図 3 と同じです。1990 年代の製品はライフサイクルにかかるエネルギーの数倍のエネルギーを生み出してくれるとされていましたが、最近の製品では 20 倍以上のエネルギーを生み出します。さらに将来技術では、30 倍以上のエネルギーを生み出すことが期待されます。これは新技術の採用や量産規模の拡大で、製造にかかるエネルギーがどんどん少なくなり、一方、太陽電池がエネルギーを生み出す効率がどんどん高くなっていることによるものです。

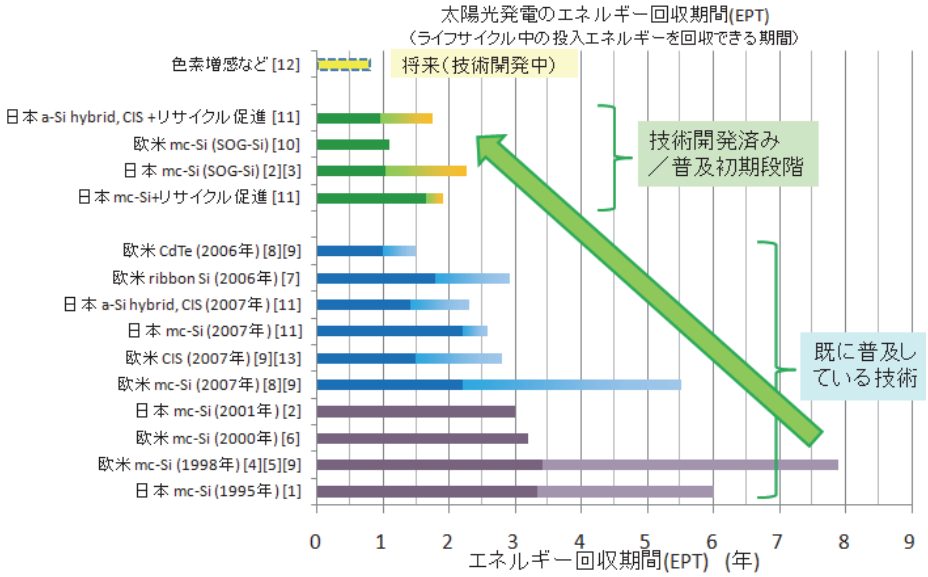


図３　各種太陽電池のエネルギー回収期間（産総研　太陽光発電工学研究センターによる）

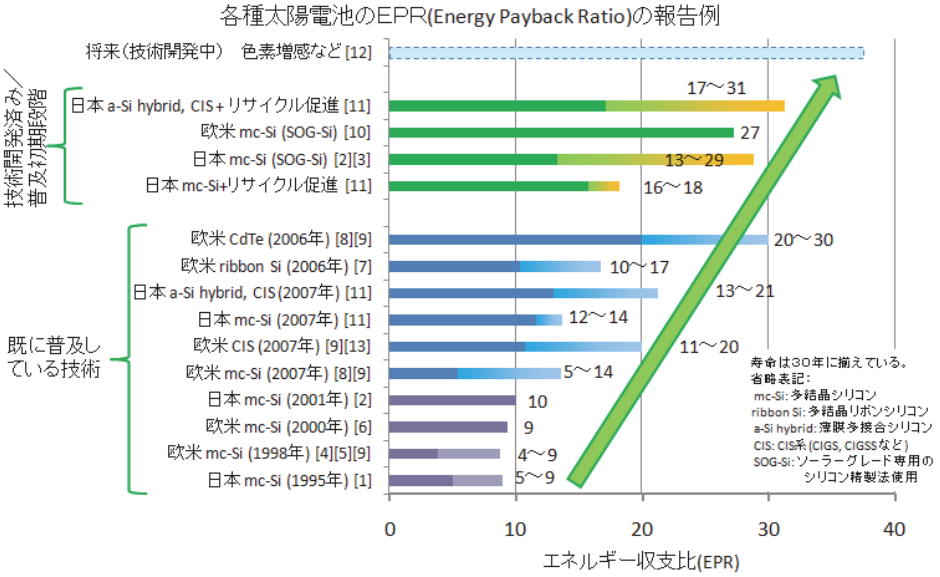


図４　各種太陽電池のエネルギー回収比（産総研　太陽光発電工学研究センターによる）

図５は発電量あたりの温暖化ガス（CO_2 など）排出量を示したものです。石油等の化石燃料を用いる火力発電と比較して、太陽電池を用いる太陽光発電では圧倒的に温暖化ガス排出量が少ないことがわかります。太陽電池の製造、運搬、設置において温暖化ガスを排出しますが、一旦設置してしまえば運転中は温暖化ガスを出さないためにこのような小さな値となるのです。また技術の進歩に連れて温暖化ガス排出量も少なくなっています。太陽光発電以外にも、風力発電や水力発電など自然のエネルギー（再生可能エネルギー）を用いる発電方式ではいずれも温暖化ガスの排出量は少ないことがわかります。

5. 太陽電池はコスト的に元が取れるのか

上でのべたように、太陽光発電は大きなエネルギーを生み出してくれますし、温暖化ガスの排出がきわめて少ないクリーンなエネルギーであるといえます。しかしコストの点で火力発電や原子力発電に負けています。太陽電池の設置・運用にかかる経費を太陽電池が作り出す電気の量で割れば、その電気の価格が出てきます。日本の家庭に太陽電池を設置した場合、現在これは 40 ～ 50 円 /kWh であると試算されています。他方家庭用の電気料金は 20 ～ 30 円 /kWh で、これに比べると太陽電池が作り出す電気はかなり高い電気になってしまいます。別の言い方をすれば、お金をかけて太陽電池を設置するよりは、電気会社から電気を買って使った方が安いということになります。

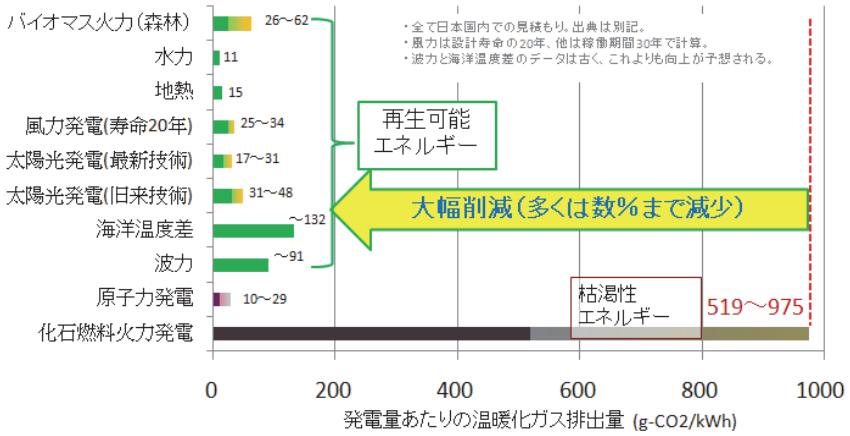


図５　各種発電方式に対し、発電量あたりの温暖化ガス排出量（産総研　太陽光発電工学研究センターによる）

しかし温暖化ガス排出量の削減、自然エネルギーの有効利用を考えると、太陽電池の普及は地球規模で求められる問題と言って過言ではないでしょう。また、火力発電や原子力発電など、枯渇性の原料を用いる発電のコストは今後上昇することはほぼ確実で、一方太陽光発電は技術の進歩と普及で発電のコストは年々下がっています。実際、世界で最も太陽光発電の普及が進んでいるドイツでは、太陽電池の設置にかかる費用は日本の半額以下（出力 1 kW あたり 20 万円以下）になっており、また 2020 年までにはガス火力発電と同等の発電コストになるとみられています。太陽電池設置への補助金、太陽光発電で得られた余剰電力の買い取り制度などは、さまざまな議論はありますが、上で述べてきた太陽光発電の利点を生かすべきであるという考えには多くの賛同があり、研究者・技術者は新しい技術の開発に努め、社会は普及への努力を続けています。

私も電気電子工学に携わる者としての使命と興味から、昨年秋に自宅に太陽電池を設置しました。まだ半年の運転でコストがどうという判断はできませんが、初期投資額は 10 ～ 15 年で回収できるのではないかという発電量を得ています。もちろんこれは余剰電力買い取り制度がなければ達成できない数字です。しかしもし設置費用が半額であれば、この買い取り制度がなくてももっと短い期間で回収できると試算しています。これから初めての夏を迎え、日照が増すことと、高温で発電効率が低下するということとの釣り合いで、どのような結果が得られるのかということを眺めてみたいと楽しみにしています。太陽電池を設置すると、発電量と消費量がわかるモニターが設置されます。これを見ると、無駄な消費が実感され、原因を探ってそれを切ってゆきます。太陽電池設置の効果は意外とここにあるのではないか、という気もしています。

6. 私たちの研究

太陽電池には新しい技術の導入が強く求められており、太陽電池を構成する半導体材料のみならず、電気を取り出すための電極、全体の構造、製造技術など、幅広い観点からの研究開発が世界中で進められています。私たちは企業との共同研究により、太陽電池に用いる新しい電極材料とその製造技術に関する研究を行っています。図 1 に示したように、太陽電池は半導体の効果で得られた電気を外へ取り出すための電極（図中黒塗りの部分）が必要です。Si を用いた太陽電池では、この図のように、太陽光が入射する側（図 1 では n 型半導体の表面）の一部に金属の電極を設ければいいのですが、新しく開発された半導体、例えば Cu-In-Ga-Se という元素でできた半導体を用いた太陽電池では、電極として太陽光も電気も通すという「透明導電体」を半導体全面を覆うように付ける必要があります。この電極の製造技術が大きな課題となっており、太陽電池の効率を落とすことなく、また太陽電池に求められる大きな面積および低い製造コストといった点を満足するような製造技術を共同研究しているのです。図 6 は、横軸が電極材料（実際には酸化亜鉛：ZnO）を形成する温度、縦軸が得られた電極材料の電気抵抗に相当する値です。この研究の目標は 200°C 以下の温度で抵抗が低い「目標」と記された領域です。研究の開始当初（図中○と点線）には、とても遠い目標に思えていましたが、最新結果でこれがほぼ達成できるようになりました。また図にある「別の目標」とは太陽電池の別の構成材料として求められる特性で[3]、これも達成できています。実際の産業に応用されるにはまださまざまな問題を解決する必要がありますが、私たちの研究成果が太陽電池の一層の高性能化と普及につながり、社

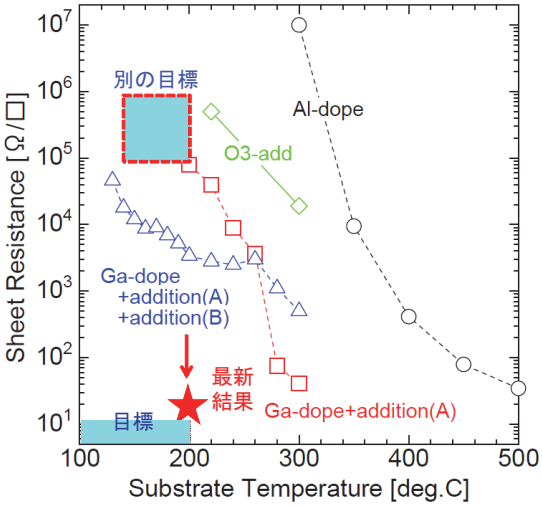


図 6　電極材料の形成温度と抵抗の関係

会に対する使命を果たしてゆければいいと大いに期待しています。それから、最初に記した「ガラスに吹き付けて赤外線も紫外線も遮断する材料」とは、ここで示した酸化亜鉛を意味しています。この成果がもしかしたら活かせるかもしれないという思いがしたのです。

また、2012 年 6 月から、私たちの研究室在籍の修士課程 2 回生の学生が、7 ケ月の予定でヨーロッパの太陽電池関係の研究所で研究に参加しています。私たちが半導体材料の研究で培ってきた技術を、先方での研究に生かしたいと思っています。聞くところによると、同研究所には世界各国の著名な大学の学生がインターンシップを兼ねて研究に参加しているとのことで、これからは国際的な視野で勉学・研究に励むことの大切さを実感しています。

7. おわりに

工学に携わる者は、技術が社会にどのように活かせるのかという価値を十分に認識する必要があります。いま社会からは、豊かな暮らしの実現とともに地球環境の保護との両立を強く求められています。とくにこれから工学の道に進んで行かれる方には、技術で地球を守ることが必須の課題とされてきます。ここで記した太陽光発電は、その観点で社会からの強い要請を受け、多くの研究者・技術者が使命感を持って取り組んでいる課題です。その他にも、効率の良いエネルギー機器、LED 照明、電気自動車、エネルギーマネージメントシステム、省エネルギー製造ライン、レアメタル（希少金属）を含まない新材料など、これからの工学に課せられた課題は山積しています。将来の地球の真の豊かさは、これからの若い人たちの活躍に委ねられていると言って過言ではないでしょう。これを読まれる若い人たちに、「これからの地球をよろしくお願いします」と心の底からのお願いをして本稿を締めたいと思います。

また最後に記しましたように、国を越えた交流はますます盛んとなります。大学生のレベルでもそれにかかわる機会がどんどん増えてくると思います。これからの若い人たちには、自己の回りの小さな社会にとらわれることなく、地球規模の大きな視野を持った活躍をしてほしいと強く願っています。

なお、本稿を記すにあたり、独立行政法人産業技術総合研究所（産総研）太陽光発電工学研究センターの櫻井啓一郎博士（2001 年電気系の博士課程修了）に資料のご提供や数々の助言をいただきました。ここに深く感謝するとともに、同研究センターのスタッフが関与されている著作物等を最後に示し、本稿を読まれる方への参考に付したいと思っています。

参考文献

1. 産総研太陽光発電工学研究センター編：トコトンやさしい太陽電池の本（日刊工業新聞社、2007 年）
2. 櫻井啓一郎著：波に乗れにっぽんの太陽電池（日刊工業新聞社、2009 年）
3. 桑野幸徳・近藤道雄　監修：図解 最新太陽光発電のすべて（オーム社、2011 年）
4. 産総研太陽光発電工学研究センターホームページ http://unit.aist.go.jp/rcpvt/ci/index.html

注

1）実際には電子が存在すべきところに存在しない、電子の抜けがらです。
2）太陽電池を組み込んだパネルの効率で、個々の太陽電池の効率よりは低くなります。個々の太陽電池の効率は研究レベルで 20 ～ 23% 程度です。
3）企業との共同研究のため詳しいことを記せずに申し訳ありません。

学生の声

「博士とはなんぞや」

情報学研究科　通信情報システム専攻　小野寺研究室　博士後期課程２年　西　澤　真　一

学部４年生になると研究室に配属され、何らかのテーマを対象として研究を進める事になります。研究室は学術的もしくは工学的に意義のある研究開発を行うことが大きな目的ですが、従事する学生としては、ある目的を達成するために問題を探し、解析し、解決する能力を身につける場でもあります。さて、大学院には博士前期課程と後期課程があります。博士前期課程の延長線上に後期課程が存在するように見えますが、修士の学位とは異なり博士の学位は名刺等にも明記されます。それでは、博士の学位を取ることとはどういった意味があるのでしょうか。その考えは人それぞれだと思いますが、私は以下の２点と考えています。１つ目は、国際的に「一人前の研究者である」というお墨付きを得る事です。博士後期課程を通じて論理的思考能力と判断力をつける事で、世の中の問題を解決し貢献する事が期待されています。２つ目は、リーダーとしての能力を示すことです。世界的に見ると、博士の学位を取得した人の給与は高く、課長クラスである事もあります。逆に言うと、博士の学位を持つ人は、個人の能力だけではなく関係者の利害をとりまとめプロジェクトを成功に導く能力を会社および社会から期待されており、その期待に応える必要があります。博士後期課程の卒業要件である原著論文の数は、研究者としての論理的思考能力を数値化したものです。一方で、個人の意識は一朝一夕で得られるものではなく、日頃の研究の節々で意識しておかないと身に付かないものです。タイトルの「博士とはなんぞや」という言葉は私が学部生の時に先生方から問われた言葉です。この言葉を時折思い返しては、自分の期待されている立場を考え直すよいきっかけとなっています。多くの方々にとっても、その立場を振り返るよい機会になればいいと思います。

「制御理論という大海原」

工学研究科　電気工学専攻　萩原研究室　博士後期課程２年　細　江　陽　平

私は萩原研配属から現在までの４年間、実験をほとんど伴わない、いわゆる理論研究に従事しています。工学の、特に電気系の分野では、対象となる何等かの実物が存在しない研究というのは比較的少数派であるように感じます。私自身、もともとは航空機のオートパイロットや工場のオートメーション等の技術に憧れて制御工学の研究に従事することを志望したのですが、今ではすっかりこの応用数学的な側面に魅了されています。

私が理論研究にはまっている理由はいくつかあります。まず、何らかの成果を得るまでの研究の過程で必要となるのが、基本的に頭で考えることのみだという点です。数値検証用のプログラミングを除いて作業という作業は必要とならず、紙とペンさえあれば、（むしろそれらすらなくても？）時間や場所を問わず研究に没頭できます。また、これに関連し、研究の遂行上、何等かの装置が必要となるなどの物理的な制約を受けにくいという利点もあります。常に理想的な環境下で研究ができるわけです。また、理論というものがある意味机上の空論であるからこそ、自由な発想のもと、一見無意味なことでも突き詰めて考えることが許される文化がある（ように思う）点も挙げられます。工学の研究ですので、その最終目標は当然ながら実社会で活かせる技術を開発することにあるわけですが、それに至るまでの過程において制約に縛られないさまざまな可能性を試せることは、非常に魅力的だと感じます。どちらかといえば論理的な思考が苦手であった私のような人間が進んで理論研究に従事しているのも不思議な話ですが、その現状に感謝し、残りの学生生活もめいっぱい研究を楽しみたいと考えています。

教室通信

グローバルCOE「光・電子理工学教育研究拠点」活動の纏め

拠点リーダー・電子工学専攻教授　光・電子理工学教育研究センター・センター長　野　田　　進

本グローバルCOEは、「物理限界への挑戦と新機能創出」をキーワードに、光の自在な制御と電子の極限的制御を目指した「光・電子理工学」学術拠点の構築と国際的な人材育成を目指して、H19年度よりスタート致しました。本拠点形成に当たって、「光・電子理工学教育研究センター」を設置しました。本センターを核に以下の人材育成プログラムを実施してきました。まず、物理限界に挑戦し、新機能/コンセプトを生み出しうる若手研究者の育成を早期から一貫して行なうため、(i) **大学院博士課程前後期連携教育プログラム**を開設しました。さらに (ii) **複数の教員による集団指導体制**の構築によって、深い専門知識だけではなく横断的な幅広い教育を行うことをも志向しました。また、異分野の学生が一堂に会して議論するため (iii) **研究萌芽クリエーションルーム**を設置したことも極めて重要なポイントと言えます。また、外部の著名な研究者や事業推進担当者によるレビュー講演を中心とした (iv) **光・電子理工学コロキアム**の開催に加え、(v) **セミナー道場**を開催し、博士課程学生と教員が泊りがけで分野を超えて共通するトピックスについて議論する場を設けました。優れた人材の育成のため、(vi) **RA**として博士課程学生を雇用し、特に優秀な学生に対しては25万円/月を支給し、インセンティブを高めてきました。さらに、(vii) **競争的研究費**を設置し、優れた提案を行なった博士学生に対し、研究費を支給し、年度末には外国人評価者の同席による**英語による成果発表会（コンテスト）**を行ない、最も優れた発表を行なった学生には、次年度の研究費をも与えるシステムを構築しました。さらに、助教・PDに対しては、その年度に最も活躍したものに対し、(viii) **GCOEグラント（奨励賞）**を与えるシステムを構築しました。さらに、国際的な場で活躍するためのプログラムとしては、若手教員・研究員が主体的に企画・運営する (ix) **若手国際シンポジウム**を開催し、若手研究者の国際的な場での活躍のトリガーとしました。さらに、(x) **国際共同研究ネットワーク構築プログラム**として、毎年10-20名程度の若手研究者を海外派遣するとともに、海外連携拠点との学術協力体制の強化のため、本拠点の事業推進担当者が、若手研究者を伴って海外での共同セミナーを開催するシステムを構築しました。また、(xi) **コミュニケーションスキル向上プログラム**として英語専門講師による個人指導をも行ないました。一方、**研究活動**としましては、本GCOE推進のために設立した「光・電子理工学教育研究センター」を核に、研究室の枠を超えた3つの研究グループ、**光子制御グループ**、**電子制御グループ**、**基礎グループ**を形成し、“物理限界への挑戦と新機能/コンセプトの創出”をキーワードに、グループ間の有機的な連携によるピーク相乗効果促進と国際連携を積極的に推進してきました。本プログラムの期間中に、Q値600万という驚異的な光閉じ込め効果を持つ光ナノ共振器やQ値の動的制御、フォトニック結晶面発光レーザによる超波長集光ビームの発生、青紫色発振やビームの自在な制御、Ⅲ族窒化物半導体マルチファセットLEDによる蛍光体フリーの多波長発光、超高効率の深紫外発光、Siでは不可能な耐圧20kVのSiCダイオードの実現、太陽電池の効率を飛躍的に増大させる可能性をもつ熱輻射制御の実現など、**爆発的な情報量増大やエネルギー問題の解決の糸口を与えるような世界水準の研究成果を多数挙げることに成功しました**。以上の成果は、Science、Nature, Nature Materials、Nature Photonicsを始めとする極めてインパクトファクターの高い雑誌に掲載されるとともに、事業推進担当者の受賞48件以上、国際会議の基調・招待講演270件以上、新聞・TV報道185件以上、論文被引用件数の大幅な増大に反映されています。さらに、若手研究者や学生の受賞が105件以上に達するとともに、国際会議で招待講演を行うなど、研究を通じた人材育成効果も顕著となっております。本グルーバルCOEは平成23年度で終了しましたが、引き続き、若い研究者の研究活動を支援すべくこの上述のプログラムを（全てではないが、重要部分を）継続して行っていく予定です。

編集後記

「失われた10年」と言われていた不況が、最近では「20年」と言い換えられるようになっています。スケープゴートを求める犯人捜しの動きの中で、わが国の経済的競争力の低下の責任を、大学教育に負わせる声が大きくなっているように感じます。最近では文部科学省もそれらを無視できなくなったと見えて、大学入試の手法や大学生の学習時間にまでに踏み込んだ「大学改革実行プラン」が提示され、各大学では対応にてんやわんやの騒ぎが始まりました。電気系教室は、これまでもカリキュラムの組織的見直しや高校との連携強化など、学部教育に重点を置いた地道な活動を続けて来ました。表層的で粗雑な改革が実効を挙げるとは思えませんので、今後も雑音に惑わされずに努力を続けてゆくしかないと思います。大学教育の出口で重要なのは社会との連携であり、卒業生の受け皿となる同窓会活動にももっと目が向けられてしかるべきと思います。cueはささやかな情報発信の手段ですが、ぜひ読者の皆様のご支援、ご鞭撻をお願いいたします。

[T.S. 記]

協力支援企業

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
日立電線株式会社
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24年9月

編　　集：電気系教室 cue 編集委員会
佐野　史道、佐藤　　亨、雨宮　尚之
船戸　　充、中村　武恒、浅野　　卓、
河原　大輔、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
www.s-ee.t.kyoto-u.ac.jp/ja/information/cue

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