

京都大学電気関係教室技術情報誌

NO.34 SEPTEMBER 2015

[第34号]

大引 得弘 大引 得弘

大学の研究・動向 第5世代ブロードバンド移動通信システムに関する研究 情報学研究科 通信情報システム専攻 通信システム工学講座 ディジタル通信分野

産業界の技術動向 オムロン株式会社 齊藤 ゆみ

研究室紹介

平成 26 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 34 号 目次

巻頭言	
最近のエネルギー情勢について	
	1
大学の研究・動向	
第5世代ブロードバンド移動通信システムに関する研究 情報学研究科 通信情報システム専攻 通信システム工学講座 ディジタル通信分野	3
産業界の技術動向	
企業のダイバーシティと技術者のキャリアパス	
オムロン株式会社 齊藤 ゆみ	11
研究室紹介	15
平成 26 年度修士論文テーマ紹介	35
高校生のページ	
磁石とスピントロニクス	
工学研究科 電子工学専攻 極微電子工学分野 白石 誠司, 江口 学	56
学生の声	
「海外での研究経験」	
工学研究科 電気工学専攻 宇宙圏電波科学分野 博士後期課程3年 長崎 陽	61
「海外派遣プログラムへの参加」	
工学研究科 電子工学専攻 電子材料物性工学分野 博士後期課程3年 山岸 裕史	61
教室通信	
デザイン学大学院連携プログラム	
······情報学研究科 知能情報学専攻 黒橋 禎夫······	62
編集後記	63

巻 頭 言

最近のエネルギー情勢と今後の研究について

昭和38年卒 京都大学名誉教授 大 引 得 弘



最近、国内におけるエネルギーをめぐる情勢が大きく変化しつつある。電気系教室各位には直接の関連は少ないかもしれないが、エネルギーと言う観点では、教員各位の研究課題の設定、学部・大学院での学生諸君には卒業研究の課題選択や卒業後の進路に密接に関連すると思われるので概観する。

まず、各メディアの報道ですでに周知の通りであるが、電力会社の地域独占が廃止され、電力販売が自由化されることになった。大口電力は2000年から段階的に自由化され、小口電力も2016年4月から自由化される予定である。さ

らに将来、発電と送配電が分離・分社化されることになっている。電力だけでなく、ガス販売も同様に 自由化され、ガス製造販売とガス配送・配管業務も分離・分社化される予定である。このような変化は 電力会社、ガス会社ともに営業形態の大きな変革をもたらすものと思われる。ガス会社の電力販売はす でに行われているが、電力会社のガス販売も計画されている。

このときに一般消費者としての立場から見ると、販売されている電力の成立ちや価格・質が重要となる。例えば、原子力で発電された電力は買いたくない、特定の会社から購入したい、などの希望が出てくる可能性がある。電力だけの販売でなく、ガス、通信などとの複合販売サービスでユーザーにとって有利な販売方法も提案される可能性がある。言うまでもなく、電力料金がどうなるかは大きな問題であるが、万一の場合を考えると料金が多少高くとも、非原発電力を選ぶユーザーの割合は無視できない可能性がある。すなわち、販売が自由化されたあかつきに如何に顧客を維持獲得するか、ということが企業にとって重要であるためである。この場合、販売者、購入者の立場を含めて幾つかの視点から考慮する必要がある。

- 1. 原発に代わるエネルギーとして将来どの様に考えるか。
- 2. 石油資源などが有限であるため、その節減、すなわち省資源をどの様に向上させるか。
- 3. 産業用、家庭用各種機器の高効率化、省エネルギー化を如何にして進展させるか。 などが挙げられる。これらは新しい概念・原理の創出や、新鮮な意識に基づく独創的な開発

などが挙げられる。これらは新しい概念・原理の創出や、新鮮な意識に基づく独創的な開発研究が必要 となる。

原子力発電は、直ちには停止できないが、将来的にはその割合を減少し、ついには停止せざるを得ないのではないか。何故なら、如何に厳しい安全基準を制定したとしても、人為的、自然的に発生する可能性のある予測不可能な危険要素を排除できないと言う現実があり、事故の起こる確率をゼロには出来ないためである。ここで問題になるのは、いつ頃までに全停止できるのか、と言うことになる。この見通しは容易ではなく、原子力発電に代わるエネルギー開発がどのように進展するかに依存する不確定要素があり今後の研究が必要である。

原子力発電に代わるエネルギー源の選択に際しては、多くの観点から検討する必要がある。身近な項目としては、発電所の建設費、運用及び発電コスト、プラントの耐用年数、事故時及び解体費用などがあげられる。さらに、技術的・経済的な要素や関連項目を総括的に評価するために、「エネルギー収支

比(Energy Profit Ratio/EPR)」や「エネルギー回収時間(Energy Payback Time/EPT)」などが提案され評価に用いられている。このうち、EPR/EPT は計算に使用する数値の見積もりに幅があるためおおよその目安と考えるべきである。とくに、太陽光発電や風力発電のEPR は数値としては比較的高く出るが、これ以外の要素、特に重要な出力は時間的な変動幅が大きく、単独では安定した基盤電力とはなり得ない。現在、すでに実用化されている、あるいは実用化をめざしている再生可能エネルギーは全てEPRが天然資源利用発電や原子力発電を下回っている。これらを如何にして改良するか、如何に経済的に運用するかが今後の極めて重要な課題である。上記のEPR などの指標は、値が低い場合は当然代替エネルギーとはなりえない。また、数値が比較的大きかったとしても、必要条件であるにすぎず、それだけで代替エネルギーとはならない。

また、開発・応用が進んでいるスマートグリッドなどの技術も系統の制御は行えるが、系統に接続できる発電プラント出力総量が系統に必要な全電力量より下回る場合はやはり需要を満たせず、停電に至る危険性がある。原子力発電を停止した場合の代替エネルギーとしては単一のものでは困難で、複数の種類のエネルギーの併用を考慮する必要があり、その開発をどのようなタイムスケジュールでどのように進めるのかと言うロードマップを構築しなければならない。

電気系教室と直接関連がないように思われる電力自由化は、新しいビジネスシーンの展開の一端と考えられ、エネルギーの製造・配送などの研究課題の早期の解決を必要としている。それと併せて、省エネルギー、省資源、すなわち高効率化を実現するため、および機器の製造原価を下げるための技術開発研究とともに、今までにない新しい概念による基礎研究や学理的研究、素子などの要素開発や材料開発などの基礎分野面での研究、さらに情報分野など広範囲な専門分野を包含した総合的な研究が必要となる。以上のことは、すでにご承知であるかもしれないが、再確認としてご容赦いただきたい。

本来、新しいソフトウェア、ハードウェアの創出、すなわち、シュンペンターの概念としてのイノベーションが新しいビジネスシーンを展開することが望ましいが、社会の要請に即した研究開発を加速することも必要である。加えて、大学などの基礎研究は、直ちに何の役に立つかわからない研究の重要性をも念頭において進める必要がある。このような状況のもとで、いずれのアプローチも重要であると言う観点から、エネルギー分野を含む広範囲かつ総合的な研究・教育の発展に電気関係教室各位の多大な貢献・寄与が期待される。

大学の研究・動向

第5世代ブロードバンド移動通信システムに関する研究

情報学研究科 通信情報システム専攻 通信システム工学講座 ディジタル通信分野

教授 原 田 博 司

准教授 村 田 英 一

助教水谷圭一

1. はじめに

昨今、誰もが携帯電話を所持する時代となり、音声通話やメール機能のみならず、ソーシャルネットワーキングサービスや動画コンテンツ、ソーシャルゲームや株・金融サービスなど、伝送情報量の爆発的増大とともに、より高信頼性およびリアルタイム性のある通信サービスが要求されています。また、これまでの様に人と人の通信のみならず、物と物との通信など、新たな次元の無線サービス創出も期待されています。しかし、無線通信用途に使用出来る周波数資源には限りがあるため、今後益々周波数の枯渇逼迫が重要な問題になります。現在、第4世代移動通信システムとしてLTEやWiMAX2などの高速移動通信網の普及が先進国を中心に急速に進んでいますが、先に述べた厳しいユーザ要求に応えるためには更なる技術革新が必要です。そこで現在、2020年代の実用化を目指した次世代の移動通信システム、いわゆる第5世代移動通信システムの研究開発が国際的に始まっており、そこでは単にセルラシステムの進化という枠に収まらない、固定通信網や無線LAN、無線PAN、および無線M2Mセンサネットワークなども包括的に議論が行われています。この様な国際的な動向も踏まえ、当研究室では第5世代ブロードバンド移動通信システムに関する研究として、超広域ブロードバンド移動通信システム、高周波帯を活用した端末共同超多重MIMO伝送技術、高能率スマート無線M2M通信システム、の3つのテーマを中心に研究活動を進めています。本稿では当研究室の研究動向およびその成果の一部を紹介致します。

2. 超広域ブロードバンド移動通信システム

解決する必要があります。一つは、さらなるブロードバンド移動通信の実現です。LTEにおいては、5MHz/Chのチャネルを最大 4 チャネル利用して、下り最大伝送速度が約 300Mbps、上り最大伝送速度が約 75Mbps(いずれも 64QAMを用いる場合)を実現します。そして、LTE-Advancedにおいては、さらにこのチャネルを最大で20 チャネル東ねる事で、下り最大伝送速度 3Gbps、上り最大伝送速度 1.5Gbps の実現を目指しています。第5世代移動通信システムでは、さらに10倍以上の伝送速度、すなわち 10Gbps オーダーの通信速度の実現が必要となる

第5世代移動通信システム(図1)においては、第4世代移動通信で実現出来なかった2つの項目を

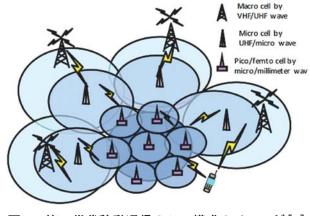


図1 第5世代移動通信のセル構成のイメージ[1]

と言われています。

もう一つの解決すべき課題は、センサやメータ、モニタなどの人間以外の機器を携帯電話などのネットワーク基盤で収容する方策を検討する必要性です。しかし、この機器数は膨大であり、場合に寄っては現在の携帯電話網の加入者数を超える可能性すらあります。しかし、その伝送速度は決してブロードバンドではなく、高々一機器あたり数 100kbps で収容出来るものが多数です。

この2つの問題点を解決するためには、新しい周波数帯の利用を検討する必要があります。前者の問題を解決するためには、10GHz 帯以上の高い周波数帯の利用を検討するか、各周波数帯に存在する利用可能な周波数チャネルを複数利用(周波数アグリゲーション)し、合計で目標とする伝送速度を実現するかのどちらか、もしくは両方を行う必要があります。この場合、各周波数帯で行っている情報伝送をどのように制御するのかという問題が発生します。もしこの制御情報を広域で伝送できれば、制御の一元化が可能となります。すなわち、ブロードバンド伝送用の周波数帯と、制御情報等を伝送するための広域通信システム用の周波数帯を持つことで、より効率的な伝送が可能となります。また、後者の問題を解決するためには、低速の通信速度ではあるものの、広域に伝送し、できるだけ多くのセンサやメータ、モニタなどの機器を収容する無線通信システムが必要となります。

本研究室では、この第5世代移動通信システムにおける広域通信網の必要性に着目し、第5世代移動通信システムにおける制御信号を広域に伝送するための手段として、また、多数のセンサ、メータ、モニタなどの機器を広域に収容するための広域通信システムとして、VHF帯を利用した超広域ブロードバンド移動通信システムの利活用を提案しています。

VHF帯における移動通信システムに関しては、2007年6月に「地上テレビジョン放送のディジタル化により空き周波数となるVHF/UHF帯における電波の有効利用のための技術的条件」として一部答申されました。この答申においては、170-205MHzを移動通信、特に公共、公益分野における共同利用型ブロードバンド移動通信システムの用途に割り当てられています。この答申を受け、「公共ブロードバンド移動通信システムの技術定条件」としてその技術基準が2011年3月に策定されました[2][3]。この規格、ARIB STD-T103には、IEEE 802.16-2009[4]をベースとして、IEEE 802.16 規格そのものを



猿谷ダム基地局鉄塔



猿谷ダム基地局から小代下端末局方面



可搬型基地局収容架



可搬型基地局



小代下固定端末鉄塔



小代下固定端末収容架



小代下固定端末



移動局測定車

図 2 開発した VHF 帯移動通信システムのフィールド (奈良県五條市) 実証実験

利用するモード 1 と、IEEE 802.16 規格が主に想定しているマイクロ波帯から、VHF 帯に移行する場合に必要とるパラメタ最適化を行ったモード 2 とがあります。さらにモード 1 の中にも、元々 IEEE 802.16 規格がもつ 5MHz 帯域幅で 512 ポイントの FFT サイズを使用するモードと、10MHz 帯域幅で 1024 ポイントの FFT サイズを使用するものを 5MHz 帯域幅に圧縮して VHF 帯の周波数選択性フェージングに対応するモードの 2 つがあります。これまでに、このシステムに関するコンセプト提案 [5] や、電波伝搬特性取得 [6] が行われ、送信電力 20W、6dBi の 3 段コリニアアンテナを地上高 45m に設置したときに、受信電力 -80dBm(10MHz/Ch)を満足する範囲が基地局から 10km 弱であることが確認されています [6]。また、この規格に対応する無線機の開発も行われていますが [7]、64QAM まで完全動作し、移動通信環境下でも動作する無線機の設計開発は行われていませんでした。

本研究室では、VHF 帯ブロードバンド移動通信システム規格 ARIB STD-T103 に準拠した、QPSK-、16QAM、64QAM-OFDMA システムの 200MHz 帯移動通信環境における運用を検討し、チャネル推定等化法の検討、前方誤り訂正符号利得の評価、システム全体としての通信品質シミュレーション評価を行う[8]とともに、実際に当該条件で運用可能な無線装置を開発しました[9]。開発した装置は、フェージングエミュレータを用いた伝送特性試験を行い、周波数選択性マルチパスフェージング環境においても 10-6 の誤り率が得られる事を実機により証明し[8][9]、屋外伝送特性、特に山間部でほとんど見通しのきかない NLOS 環境において奈良県五條市にて実証フィールド試験を行い(図 2)、このような過酷な通信環境でも 2km 以上のエリアにおいて数 Mbps の伝送が実現可能であることを、図 3 に示す通り実証しました[10]。

今後、さらに高度な復調信号処理の提案や、規格そのものの変更、新規提案、標準化を行いながら、 さらなる超広域ブロードバンド化を目指します。

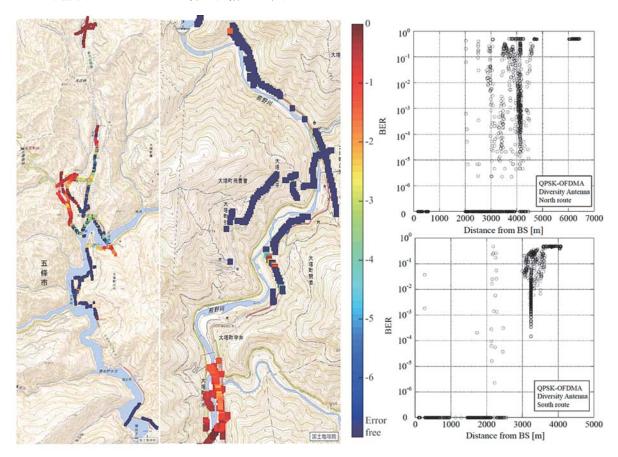


図3 山間部見通し外環境における広域伝送実証実験結果

3. 高周波数帯を活用した端末共同超多重 MIMO 伝送技術

携帯端末(3G HSDPA 系、LTE)や無線 LAN(IEEE 802.11n、802.11ac)では、周波数利用効率を向上する MIMO(Multi-Input Multi-Output)多重伝送が実用化されています。ある瞬間に同じ周波数を利用するのは 1 つのユーザ端末のみであるためシングルユーザ MIMO と呼ばれています。LTE では 2 ストリーム多重(同じ周波数で情報を 2 系統)伝送が、802.11n では 3 ストリーム多重伝送までが一般に普及しています。

MIMO多重伝送に利用できるストリーム数は伝搬環境に依存しており、多くのストリームを効率よく利用するためには伝搬路の多様性が必要です。実際、無線 LAN 802.11n の例でも、3 ストリームが可能な機器を用いた際の伝送速度改善効果は環境に強く依存することが体験できます。同時に効率よく利用できるストリーム数を拡大し周波数利用効率を向上させるには、受信アンテナ数を増加させることやアンテナ間相関低減を狙ってアンテナを空間的に離して配置することが効果的です。しかし、これらでは物理的なサイズが増大してしまうため、携帯端末等では現実的ではありません。

このため、基地局から多ストリームを送信しつつ、少ないアンテナ数の携帯端末を複数同時に収容するマルチユーザ MIMO が盛んに研究されてきました[11,12,13]。マルチユーザ MIMO では携帯端末側での信号分離を補助するために基地局側においてプリコーディングが行われます。このプリコーディングは伝搬路状況に合わせて行う必要があるため伝搬路の変化に弱く、携帯端末の移動速度が大きく制限されてしまう課題があります。

移動による伝搬路変化がユーザ間干渉を引き起こしますが、 十分な受信アンテナ数(受信信号数)が利用できれば無線信 号処理によってこの干渉を効果的にキャンセルできます[14]。 一方、ユーザが密集している電車・バス内では対地速度は速 いもののユーザ間の相対位置関係に大きな変化はなく、携帯 端末間には安定した通信が期待できます。このことを利用し て図4のように各ユーザの携帯端末間に近距離の安定した協 力関係を築き、共同信号処理グループとして利用することに よって同一移動体内に超多素子の仮想アレイアンテナを構成 すれば飛躍的に伝送特性が向上する可能性があります。それ

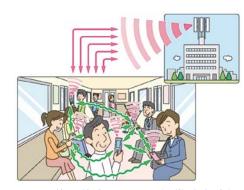


図 4 移動体内における携帯端末連携

だけでなく、十分なアンテナ数が確保できれば携帯端末側に十分な信号分離能力が得られるため、プリコーディング送信自体が不要となります。

携帯端末のグループを構成するネットワーク技術は、アドホックネットワーク関連技術として研究が蓄積されています。特に移動環境においては MANET (Mobile Ad hoc Networks) や車々間通信ネットワークとして活発に研究されてきました。本研究は、このアドホックネットワーク技術を活用して携帯電話システムの周波数利用効率を改善するものと捉えることができます。特に、この携帯端末間の連携に用いるアドホックネットワークの周波数帯として、今後 5G で利用が検討されている高周波数帯の利用に着目している点が特徴です。

高周波数帯は、主にアンテナ開口が減少することに起因して伝搬損が増加するため近距離での利用が主となりますが、これまでよりも広い周波数帯域を確保できるため高速な伝送が可能となります。5Gではカバー範囲の狭いスモールセルでこの周波数帯を利用することが考えられていますが、本研究のシステムでは、スモールセルのカバー範囲外において、この高周波数帯を端末連携アドホックネットワークに活用します。これにより、端末間連携で問題となる、連携に要する周波数資源の確保と、連携に要する時間の問題を大幅に軽減できます。

以上のように、本研究では近傍の携帯端末間で受信信号を共有することにより等価的なアンテナ数を

増加させ、基地局との通信における周波数利用効率を格段に向上することに取り組んでいます[15]。この際、共有信号数を増加させるほど伝送特性が向上するものの、一方で共有に要する時間や電力などが増大するため、この削減が重要となります。そこで、伝搬路状況に応じて効果的な携帯端末をリアルタイムに選定し、適応的に受信信号を共有することに取り組んでいます。(端末間で受信信号そのものを共有することは簡単な一例であり、無線信号処理の観点からは種々の方法が考えられます)

例えば、伝搬路状況を知るための最小限の情報としてトレーニング信号のみを最初に携帯端末間で共有することが考えられます。この共有したトレーニング信号に基づき基地局からの信号の受信処理に有効な受信信号を適応的に選択する2つの手法を検討しました。本稿では、この手法の伝送実験結果を紹介します。

基地局アンテナを 3 号館南棟の塔屋屋上(地上高約 25.5m)に設置し、等価等方輻射電力 1W で 4 つの QPSK 信号を空間多重で送信しました。6 台の携帯端末を車両に搭載し京都大学本部キャンパス外周を走行しました。図 5 に基地局アンテナおよび車両内部を示します。二つの信号選択手法との特性比較のため、全ての信号を共有する全受信信号共有法と、状況によらず単純に全ての組み合わせを順に選択するラウンドロビン(RR)法の特性も取得しています。できるだけ近い伝搬路において比較するために1フレーム 50ms 毎に 4 つの共有手法を切り替えました。現在、携帯端末間通信には無線 LAN を用いていますが、今年度中に 12.8GHz 帯に移行する計画です。

基地局からの信号を受信した携帯端末は、その受信波形中のトレーニング信号部分を 1.7ms 間隔で他の携帯端末に送信します。あらかじめ定められた携帯端末 1 台がそれらトレーニング信号から受信状況を把握し基地局信号の受信信号処理に最も適した受信波形組を決定し携帯端末に通知します(8ms 区間 TCP)。選択された携帯端末のみが基地局からの受信波形全体を 1.7ms 間隔でブロードキャストによって他の携帯端末に送信します。図 6 に各手法 10 パケット平均のビット誤り率(BER)の累積分布関数 (CDF) を示します。予め定められた固定順で 4 信号を共有する 4slot-RoundRobin 法は、6 信号を用いる全受信信号共有法(図中 6slot-FullCollabo)よりも BER 特性が大きく劣化しています。一方、適応的に 4 信号を選択し共有する 2 つの手法(4slot-MinError, 4slot-MaxMinSINR)では BER 特性の劣化を抑えられていることがわかります。

今後は、高周波数帯を用いた携帯端末間連携を実現し、この連携に適した無線信号処理方式、信号共 有プロトコルなどについて研究を進めます。

4. 高能率スマート無線 M2M 通信システム

第5世代移動通信システムには人と人同士の通信以外にも、物と物同士の通信(M2M: Machine-to-Machine) も包括的統合的に組み込まれる予定です。この M2M 通信では、図7に示すように、各種メータ、センサ、モニタに無線デバイスを具備させ、この無線デバイス間を SUN(Smart Utility Network)



図 5 基地局アンテナと車両内の移動局

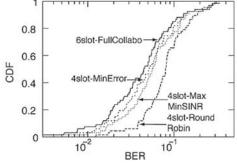


図 6 BER の CDF 特性

と呼ばれるネットワークを用いて接続し、各種メータ、センサ、モニタで取得した情報を広域に収集します。その収集した情報の解析結果をもとに、逆に各種メータ、センサ、モニタの制御を行う、双方向ネットワーク Wi-SUN(Wireless Smart Utility Network)の研究開発が国際的に行われています[16]。Wi-SUN は低消費電力通信が実現可能な IEEE 802.15.4g 規格[17]をベースにしており、その応用範囲は、最初は電気、ガス、水道などの次世代メータ、スマートメータからであったが、農業[18]、防災、交通などにも適用することが検討されています。農業、防災における Wi-SUN を考える場合、アクセスポイントからセンサ端末までの通信距離、すなわち通信エリアはできるだけ広い方がよい。IEEE 802.15.4gを用いたシステムは、日本においては 920MHz 帯を用い、送信出力は免許不要の場合は 20mW であるため、通信距離はオムニアンテナ使用時で約 500m である。この距離を数 km 程度まで拡大し、さらに交通などへの利用を考える場合、すなわち移動体通信を行う上で必要となる機能を研究開発する必要があります。

本研究室では、低 SNR・移動通信環境でも運用を可能とするために、搬送波周波数オフセット除去やシンボル同期を高精度に実現する高能率同期技術[19]や、アンテナダイバーシチ技術、前方誤り訂正技術などの復調信号処理を端末の低消費電力性を担保しつつ実現する技術[20]の研究開発を行っており、図 8 に示すように、開放地において現在の約 1.7 倍となる 6.5km、都市部において現在の約 2.0 倍となる 0.8km 程度の通信エリア拡大を見込んでいます。現在は既に開発しているプロトタイプ機[21]に随時提案技術を追加実装を行い、様々な実証フィールドにおける評価を進めています。

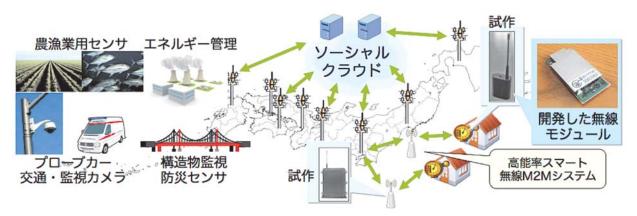


図7 Wi-SUN が産み出す新たな社会アプリケーション

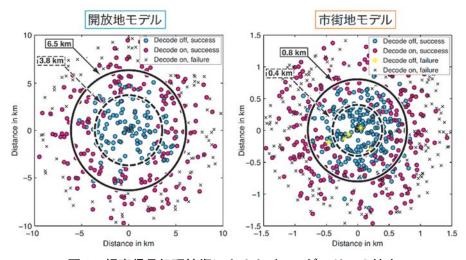


図8 提案信号処理技術によるカバレッジエリアの拡大

5. おわりに

原田研究室での研究概要についてごく簡単ながらも紹介させていただきました。皆様のご理解とご支援をたまわれますと幸いです。今後とも何卒よろしくお願い申し上げます。

参考文献

- [1] 原田他, "次世代移動通信システムにおけるワイヤレスクラウドを用いたダイナミックスペクトルアクセスに関する研究開発,"信学技報, SR2013-95, pp. 109-216, 2014年1月.
- [2] ARIB STD-T103.
- [3] 大堂他, "VHF帯広帯域移動通信システム(可搬型)の物理層仕様について,"信学技報, RCS2011-3, pp. 13-18, 2011 年 4 月.
- [4] IEEE 802.16-2009.
- [5] 原田他, "VHF 帯ブロードバンド移動通信システム〜概要〜,"信学技報, RCS2008-87, pp. 205-210, 2008 年 8 月.
- [6] 大堂他, "VHF帯ブロードバンド移動通信システム実現に向けた電波伝搬実験,"信学技報, SR2008-21, pp.21-28, 2008年7月.
- [7] M. Oodo and H. Harada, "Current Status of 200 MHz band Public Broadband Wireless Communication System in Japan," WPMC 2014, Sept, 2014.
- [8] 牧野, 水谷, 原田, "VHF帯ブロードバンド移動通信システムの受信機設計に関する検討," 信学技報, RCS2014-333, pp. 189-194, 2015 年 3 月.
- [9] 原田, 水谷, "VHF 帯ブロードバンド移動通信システムの開発,"信学技報, RCS2014-276, pp. 43-48, 2015 年 1 月.
- [10] 原田, 水谷他, "ルーラルエリアにおける VHF 帯ブロードバンド移動通信システムの伝送特性," 信 学技報, RCS2015-45, pp. 119-124, 2015 年 5 月.
- [11] Satoshi Nishino, Hidekazu Murata, "Experimental evaluation of low complexity user selection schemes for multi-user MIMO systems," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E98-A, no.2, pp.606-610, Feb. 2015.
- [12] 佐藤 弘基, 村田 英一, "マルチユーザ MIMO におけるタイミング同期及び推定タイミングに基づ く周波数オフセット補償法," 電子情報通信学会論文誌, vol.J98-B, no.2, pp.188-196, Feb. 2015.
- [13] 齊藤 俊,村田 英一, "ユーザ選択を用いた線形及び非線形 MU-MIMO プリコーディングに関する 実験的研究," 電子情報通信学会論文誌, vol.J98-B, no.2, pp.197-204, Feb. 2015.
- [14] Hidekazu Murata, Ryo Shinohara, "Performance improvement of ZF-precoded MU-MIMO transmission by collaborative interference cancellation," IEICE Commun. Express, vol.4, no.5, pp.155-160, May 2015.
- [15] 林 勇治, 村田英一, "線形及び非線形信号処理を用いた端末共同干渉キャンセルの屋外伝送実験," 電子情報通信学会論文誌, vol.J98-B, no.7, July 2015.
- [16] 原田, "スマートユーティリティネットワーク: 概要と標準化動向," 信学技報, SR2010-48, pp. 57-64, 2010 年 10 月.
- [17] IEEE 802.15.4g-2012.
- [18] 原田, "ソーシャル ICT を実現する Wi-SUN 農業モニタリングシステム," 信学技報, SR2010-48, pp.57-64, 2014 年 8 月.
- [19] 小幡, 水谷, 原田, "広域 M2M 無線通信システムにおける搬送波周波数オフセット推定法に関する

- 検討,"信学技報, SRW 研究会, 2015年6月発表予定.
- [20] 望月, 水谷, 原田, "IEEE 802.15.4g システムの広域化に関する検討," 信学技報, SRW 研究会, 2015年6月発表予定.
- [21] 原田, 水谷, 望月, 小幡, "IEEE 802.15.4g を用いた広域・移動 Wi-SUN 通信システム," 信学技報, SRW2014-54, pp. 43-48, 2015 年 3 月.

産業界の技術動向

企業のダイバーシティと技術者のキャリアパス

オムロン株式会社 齊 藤 ゆ み

1. はじめに

本稿では、昨年秋の電気系懇話会でお話させていただいた「企業におけるダイバーシティの現実と企業技術者のキャリアパスについて」という講演会の内容をベースに、女性や技術者を取り巻く状況について、述べさせていただきたいと思います。ダイバーシティには、広い意味が含まれていますが、私自身が、男女雇用機会均等法の施行の翌年に社会人になったという経緯を持っていることから、女性・技術者という立ち位置から述べさせていただきます。『産業界の技術動向』という従来の内容とは異なりますが、今後、ますます女性の活用が期待されている中、それぞれのお立場の方々に一つの事例を提示することで、幾ばくかの参考にしていただけることを期待して寄稿させていただきます。

2. 企業における女性活用

みなさんよくご存知だとは思いますが、女性活用に対する政府の取り組みについて、振り返ってみたいと思います。男女雇用機会均等法は、1987年に施行され、それを機に、女性は、総合職と一般職という職種別採用になりました。法整備に伴い、総合職女性は男性と同じように働き、勤続年数も増え、指導的立場の女性の比率も時間の経過に合わせて増加することが見込まれていました。しかしながら、実際には期待したほどの効果は上がらず、厚生労働省は、2000年代初頭から『女性活躍推進協議会』を設置し、ポジティブアクションの提言や事例紹介などの活動を行っています。弊社に置いても2003年度から、リーダ(係長)クラスを中心とした総合職の女性社員を対象に、経営人財の育成を狙った研修プログラムが実施されています。また、女性が退職する3大理由である、結婚、出産、介護等対しても、休暇や休職に係わる法整備や企業制度の改善、企業内保育所の設置など様々な努力がなされてきています。



図1 厚生労働省発表の役職別の女性比率

そうした努力にもかかわらず、指導的役割(管理職)の女性の割合は、期待したほどには、向上していません。政府は、2020年に指導的役割における女性比率を30%とおいていますが、達成不可能な目標と思われます(図1)。弊社においても、女性活用のための諸制度や環境整備を図ったものの、一般職女性の継続勤務年数はほぼ倍増したものの、総合職女性の継続勤務年数は、微増にとどまっています(図2)。これは、一般

職女性の職務が、キャリアを中断しても、再開時の戸惑いが比較的小さいのに対して、総合職女性については、キャリアの中断に対する躊躇があるように感じています。たとえば、技術系であれば、技術の

変遷が早い現在では、キャリアの中断や育児と並行した開発業務への復帰時には技術キャッチアップの 負担と育児の負担が重なることから、現実的な解決手段が見えないことが不安要素としてあると思いま す。また、技術職によらず、どのような職種であっても総合職女性にとって、リーダ的な役割や担当業 務の拡大を経験する時期と育児の時期が重なってしまうため、休職や時短勤務による業務負荷軽減以上 にキャリア形成の観点でデメリットが生じていることが想定されます。こうした状況を解決するべく、 キャリア形成の時期を早め、30代前半には、キャリア形成を完了し、出産・育児を挟んでも、継続的に キャリア復帰できる環境に変革しようとしています。キャリア形成の早期化は、外国人社員にとっても 歓迎され、外国人社員の離職率減少にも効果が期待されています。

また、観点は異なりますが、一般職女性の勤続年数が倍増しているにも関わらず、従来の総合職/一般職という区別が、一般職女性の成長意欲を阻害している可能性もあります。この課題を解決するべく、今年度から、総合職/一般職の区別をなくし、全員総合職となっています。(ただし、希望により、勤務地を限定的にする制度は残っています。)

働きやすい環境と意欲のある人の能力を発揮する環境の構築を女性活用の両輪として、今後も、種々の施策がとられていくでしょうし、それに対する提言も受け入れられる状況になりつつあると思います。

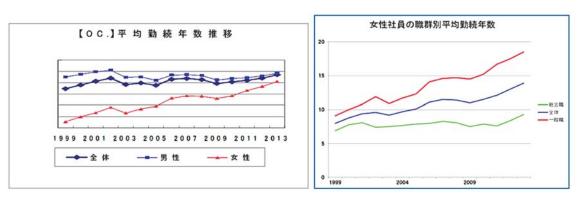


図2 オムロンの平均勤続年数の推移(男女別と女性社員の職群別)

3. 女性に対するポジティブアクションに関する考察

女性活用に向けた、もしくは、女性管理職育成に向けたポジティブアクションと聞くと、一般的には、 女性社員も男性社員も、必要性に疑問を持ち、逆差別的に無理やり女性登用しようとしているという印 象を持つと思います。

実際のところ、弊社で最初に総合職女性のリーダ研修として女性総合職社員10人が集められた時、私も含めて全員が、批判的な印象を持っていました。批判的というのは、『無理やり、管理職にされたくない。』という意味です。反面、全社で限られた人数であったにも関わらず、半数以上は初めてお会いする方々で、いろんな部署に同じように孤軍奮闘(?)している

京大工学部の女子学生比率は、将来の女性管理職比率? • 京都大学工学部の女性比率 > 1984年(入学時):1.7% (16/965) > 2011年 :8.5%(82/970) • オムロングループ(日本国内)の2014年の数値 > 管理職 : 1.8% (27名) > 係長相当職 : 約6% (291名) > 全社員 : 約21% (2499名) • 日本国内企業では?(日経ウーマン2013年調査回答489社) > 全社平均 : 8.4% > 電気25社平均: 3.1%

図3 弊社における女性管理職比率

女性がいたことを心強く感じ、研修後も、交流が続いている点は、大変良かったと思います。社内では、 非組織ネットワークがいろいろありますが、この研修で、女性リーダ層のネットワークができたことは、 とりわけ業務以外の場面で、有効に機能していると思います。

話をポジティブアクションに戻しますと、能力に見合わず、女性を取り上げるのは、大いに問題がありますが、積極的に機会を与えると言う意味でのポジティブアクションは、場合によっては必要であると考えます。一般に、機会を与える対象の選定は、部門の上司が決めており、選択者がほとんど男性であることからも、機会が男女平等とは言い切れないためです。

数字遊びに近い感覚ですが、私が京都大学に入学した当時と現在の工学部の女子学生の比率を見て、 現在の弊社の管理職、リーダクラス、全社員の女性比率、さらには、電気系メーカの女性管理職の平均 値を見ても、政府目標と現実の乖離は実感できます(図 3)。だからと言って、やみくもに数値目標を設 定するより、実際の社員比率を鑑みて、選抜的に育成を図りつつ女性の活躍する場を増やしていくのが 現実的な取り組みのようです。

4. 技術者のキャリアパスについて

私自身が総合職の女性技術系社員という当時は比較的少数派の社員であったにも関わらず、キャリアパスについては、深く考える機会を持たずに過ごしてきました。ただ、なんとなく子供ができると仕事は続けられなさそうだと漠然と考えているレベルでした。

技術者として入社し、最初は、モータ制御や温度制御といった制御系の仕事をしたものの、90年代には、ファジィやニューロといった目新しい情報処理技術をいろいろな商品に適用することで、商品の機能や性能を向上するといった技術開発を行ってきました。企業の技術者は、扱う商品や企業の特質により、異なる部分はあると思いますが、年齢や実績を積むにつれて、プロジェクトを推進する役割や、部門の管理職となる場合が多いと思われます。弊社の場合は、管理職と同等の扱いで、専門職という枠組みが2005年度にできたことにより、技術者の選択の幅が広がりました。技術専門職の場合、管理的な仕事が無いわけではありませんが、管理職に比べると、かなり技術開発の比重を高くした業務が可能です。管理職の長期リフレッシュ休暇(1ヶ月以上3ヶ月まで)に対して、最長1年間の探究休暇という制度もあり、専門職に登用されてから6年目に、専門性を高めるための休暇を取ることができます。

私も、今年度は、休暇をいただき、英語の強化と制御技術の強化を行う予定です。制御技術については、まとまった時間を使った論文調査や国際学会での情報収集の実行などを計画しています。

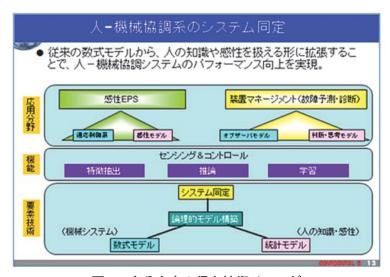


図 4 自分自身の保有技術イメージ

技術職としてのキャリアという意味では、名称や仕組みは異なりますが、どの企業も同じような制度があると思います。弊社の場合、技術専門職といっても、基礎研究よりも応用研究に重きがあるため、一つの技術を極めたというよりも、自社で取り扱うさまざまな商品・技術の開発に20年近く携わり、自分の専門性を定義し認めていただく必要があります。

前述した通り、制御技術から徐々に信号処理と知識処理を関連付けた 判別や認識といった仕事を含めて、 いろいろなアプリケーション開発を行いました。そんななか、専門職として自分の業績を見直すと同時 に、技術の特徴を整理し、他の人に理解してもらえるように、制御をベースとしたシステム同定の観点 で整理しました。具体的には、暗黙的な人の判断

知識や感性といった情報を取得データと関連付けて、統計モデルとして扱うという形にまとめました。 現在は、技術スタッフとして、オムロンが 2011 年にスタートした VG2020 という 10 年間の経営計画 の中で、強化する技術領域として設定した 10 領域の中で、制御技術に関する戦略策定を担当しています。

4. 最後に

今回は、特に女性を中心としたダイバーシティと技術者のキャリアパスの観点で述べさせていただきました。本来の産業界の技術動向とは異なりますが、女性の進出という社会動向の観点で、ご参考にしていただける点がありましたら幸いです。私が入社した80年代後半や90年代と異なり、育児休業や短時間勤務制、あるいは、企業内保育園など、女性が勤務を継続できる環境はそろってきています。また、様々なハラスメントを防止する取り組み努力も行われています。

また、女性のポテンシャルという意味でも、入社時、非常にポテンシャルの高い優秀な女性が企業に入社されています。このことからも、今後、ますます女性がいきいきと活躍し、比率が増えることで、より重要な職務を担当する女性が増えていくことを期待したいと思います。

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「大学の研究・動向」、#は「高校生のページ」、*は「新設研究室紹介」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

電子物理工学講座極微電子工学分野(白石研)# 電子物理工学講座応用量子物性分野(竹内研) 電子物性工学講座半導体物性工学分野(木本研) 電子物性工学講座電子材料物性工学分野(山田研) 量子機能工学講座光材料物性工学分野(川上研) 量子機能工学講座光量子電子工学分野(野田研) 量子機能工学講座量子電磁工学分野(北野研)

光・電子理工学教育研究センター ナノプロセス部門ナノプロセス工学分野(高岡研) デバイス創成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(原田研)☆ 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 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情報凹路万式分野(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

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航行システム工学分野(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)

学術情報メディアセンター

コンピューティング研究部門ビジュアライゼーション研究分野 (小山田研究室)

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)

先端電気システム論講座(引原研究室)

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

「データから機能を実現する力学系モデリング~データ駆動型ネットワーク分割~」

近年、計測技術・情報通信技術の飛躍的発展に伴い、実システムに生起する複雑な物理現象を観測し、大規模時系列データとして利用することが可能になっている。システム工学の観点では、大規模時系列データから複雑現象の本質部分を数理的に抽出し理解した上で、その理解に基づき所望の動作を行うシステムを設計することが求められる。このシステム設計には、予測、制御、診断などの様々な機能をデータから実現することが必要である。このような機能を多種多様な観測データから系統的に実現するためには、個別問題の具体的検討に加えて、観測データから機能の実現に至るメカニズムを記述する数理的基盤が必要となる。ここには、簡素なモデルを対象とする伝統的な非線形動力学とは異なる問題設定があり、実験は困難なものの実データを規範とする意味で現象に根差し、実システムのデザインを指向する新しい非線形動力学の芽がある。

本研究室では、電力・エネルギー分野の様々な実問題への適用を通して、データから機能を実現するための系統的な方法論「力学系モデリング」の研究を進めている[1]。この方法論は、非線形力学系に対して定義される Koopman 作用素[2]に基づく。Koopman 作用素とは、非線形力学系の観測量(系の相空間と観測データの空間を対応させる関数)の時間発展を表す線形作用素であり、エルゴード理論に関連し純粋数学や数理物理学の分野で研究されてきた。近年、Koopman 作用素のスペクトル構造と系の力学的性質との関係について研究が進みつつあり[3]、観測時系列データから Koopman 作用素のスペクトル構造を近似計算することにより、データから現象の本質部分を数理的に抽出するという応用研究への展開が可能となってきた。本研究室では、Koopman 作用素の固有値から導出される Koopman モード分解[4] などを用いて、送電・配電ネットワーク、洋上ウィンドファーム、火力発電プラント、ビルディングのデータ利用に関する実問題に取り組んでいる。

本紹介では、データから診断及び制御機能の実現を目的とした送電ネットワークのデータ駆動型分割アルゴリズム[5,6]について述べる。最近、電力システムではフェーザ計測装置(Phasor Measurement Unit: PMU)を用いた広域状態監視に注目が集まっている。PMUでは送配電ネットワーク内の多地点における電圧フェーザの同期計測が可能となることから、送電・配電ネットワークのモニタリングや運用技術などへの展開が期待されている。本研究では、送電ネットワークを構成する各母線で計測される電圧位相データからネットワークの分割(partition)を決定するアルゴリズムを提案した。本アルゴリズムでは、電圧位相データから前述の Koopman モードを求めることにより、電圧位相の時空間変動に基づいて母線群のクラスタを同定し、この同定したクラスタにネットワークを分割するカットセットを決定する。これにより、従来のグラフ論的方法とは異なり、ダイナミクスを考慮した分割をデータから直接決定することが可能となった。これは、ネットワーク構造の観測データに基づくオンライン診断の

みならず、ネットワークに生起するダイナミクスの制御につながる結果である。実際、本アルゴリズムで得られたネットワーク分割の Controlled Islanding と呼ばれる緊急時制御への適用可能性を検討している[6]。

参考文献

[1] 薄,シミュレーション,32 (3),185-192 (2013). [2] 例えば, Lasota and Mackey, Chaos, Fractals, and Noise, 2nd ed. (Springer, 1994). [3] 最近では,Susuki and Mezic, Ergodic partition and invariant sets in quasi-periodically driven dynamical systems (準備中). [4] Rowley et al., J. Fluid Mech., 641, 115-127 (2009). [5] Raak et al., Data-driven partitioning of power networks via Koopman mode analysis, IEEE Trans. Power Syst. (2015,掲載予定). [6] Raak et al., Multi-way partitioning of power networks via Koopman mode analysis, IFAC Symposium CPES (2015,発表予定).

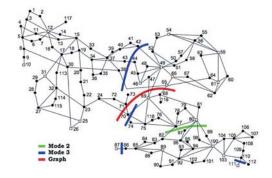


図: Koopman モードに基づく提案アルゴリズムにより得られた IEEE-118 母線モデルの分割[5]。異なる振動モード(時空間変動; Mode2 及び Mode3) により異なる分割が得られる。Graph はグラフラプラシアンに基づく従来法で得られた分割を表している。

電磁工学講座超伝導工学分野(雨宮研究室)

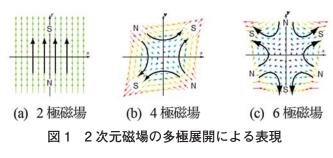
http://www.asl.kuee.kyoto-u.ac.jp/index.html

「重粒子線がん治療装置への超伝導マグネットの応用を目指して

ートピック:高温超伝導線で作った 2 極マグネットの磁場安定性評価ー」

重粒子線がん治療は、高エネルギーに加速した炭素イオンなどの荷電粒子ビームを用いる放射線治療の一種で、体内深部の病巣に線量を集中できることなどの利点があります。一方で、荷電粒子を加速し、さらに患部まで導く際に、ローレンツ力により荷電粒子ビームの軌道を曲げる必要がありますが、従来の銅マグネットでは発生磁場が最大 1.5T 程度に制約されるため軌道を大きく曲げることが困難で、治療装置を小型化できませんでした。我々は、高温超伝導線を用いたマグネットにより高い磁場を発生させ大きなローレンツ力を得ることにより、重粒子線がん治療装置を小型化するための研究を進めています。このような目的の高温超伝導マグネットにおいては、所望の形状の時間的に安定な磁場を再現よく発生することが大きな技術課題となっています。以下では、このような課題に対する取り組みのひとつとして、液体窒素で冷却した小型 2 極マグネットの磁場安定性評価について紹介します。

マグネットがビーム方向に無限に長いと仮定すると、それが発生する二次元磁場は一般に図1に示すような多極磁場成分の重ね合わせで表現できます。2極マグネットは、荷電粒子ビームの軌道を曲げる機能を持ったマグネットであり、4極以上の高次多極磁場は不要な誤差磁場となります。従って、2極磁場を安定に再現よく発生すること、高次多極磁場はできるだけ小さくかつ安定で再現性があることが必要です。図2にマグネットの電流を増減させたときの2極磁場成分と6極磁場成分のヒステリシスを示します。このようなヒステリシスはテープ形状をした高温超伝導線の中に誘導される減衰が大変遅い遮蔽電流(テープに印加される磁場を遮蔽しようとする電流)に起因しています。この遮蔽電流は、磁場の形状(高次多極成分の大きさ)や安定性に影響を与えます。図3は、マグネットを繰り返し4回50Aで1時間ずつ励磁したときの磁場の時間変化を示したものです。この磁場は遮蔽電流の影響を受けたものではありますが、初回励磁を除いて、再現性は良好で、かつ、遮蔽電流の緩やかな減衰に伴う磁場変動も0.01%のオーダとなっており、これは適切な磁場補正技術と組み合わせればマグネットとして実用となるレベルであると考えられます。今後、さらに実用レベルに近いマグネットでの実験を進めていく予定で、その結果は別に機会に紹介させていただきます。



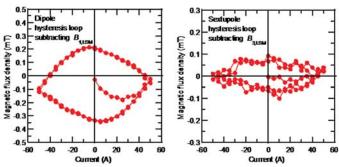


図 2 電流を変化させたときの 2 極磁場と 6 極磁場のヒステリシス

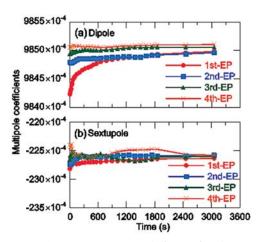


図3 繰り返し4回励磁時の2極磁場と 6極磁場の時間変化

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 「鉄芯材料交流磁気特性の等価回路表現」

現在、パルス幅変調(PWM)方式などスイッチングによる電力制御が一般的になっている。そのため、 鉄芯材料である電磁鋼板ついても、厚み(0.3~0.5mm 程度)方向を有限要素分割した渦電流解析によ り交流特性を算出する方法が開発されている。しかし、スイッチング周波数が数十kHz以上に達すると、 表皮厚さの減少に対応してより細かな有限要素分割が必要となるため、効率的なモデル化手法が望まれ る。文献[1]では、線形理論から、電磁鋼板の交流磁気特性を等価回路で表現する効率的な手法が導出さ れている。今回、その手法を、ヒステリシス特性を持つ電磁鋼板の交流磁気特性表現に適用した。厚み d、 透磁率 μ、導電率 σの磁性薄板において、磁気特性が線形のときは渦電流磁界の理論解が存在し、その 結果から、電磁鋼板の平均磁束密度 B と表面磁界 H の関係は、図 1(a) のような無限 RL 梯形型回路で 表現される $^{\square}$ 。ただし、 $\mathrm{d}B/\mathrm{d}t$ が端子電圧、Hが端子電流に置き換えられる。また、L= μ 、R= $4/(\sigma d^2)$ である $(L \, \triangleright \, R \,$ は単位長さあたり)。この回路は、 $Cauer-I \,$ 型回路、または、標準 $Cauer \,$ 回路と呼ばれる。 電磁鋼板の直流磁気特性が非線形性を持ち $H=h_{dc}(B)$ で表される場合には、図1の Cauer 回路のイ ンダクタLの素子特性を i_1 = h_{dc} (Φ_1)のように表せばよい。インダクタL/5の部分については、Cauer-I 型回路の物理的意味から表現方法を導出する必要がある。PWM 入力の場合を想定すると、Φ₁に対し て Φ_2 は高調波成分による補正量と考えることができる。この場合、L/5 の特性は、 i_2 =5 $u(\Phi_1)\,\Phi_2$ のよう に近似される。ここで、 $\nu(\Phi_1) = dh_{dc}(\Phi_1)/d\Phi_1$ である。しかし、 h_{dc} がヒステリシス関数である場合 には上記のようにΦ1のまわりで単純に一次近似することはできない。そこで、高調波成分によって生 じるマイナーループに対する微分磁気抵抗率の近似として、 $\nu(\Phi_1) \approx dh_{rev}(\Phi_1)/d\Phi_1$ とおくことにする。 ここで、 h_{rev} は h_{dc} の可逆成分を表す一価関数である。

無方向性電磁鋼板(JIS: 35A300)の交流磁気特性を図 1(b)の打切り Cauer-I 型回路によって表現する。ヒステリシス関数 h_{dc} はプレイモデルによって表現する。キャリア周波数 5kHz の PWM 入力に対する BH 曲線の計算結果を図 2 に示す。ただし、1 周期あたりの鉄損の計測値は $162J/m^3$ である。従来法の古典渦電流モデル(図中 classical)では、マイナーループが計測値より大きく、鉄損を過大評価している。これに対して、Cauer-I 回路では高精度な表現が得られている。今後、より高い周波数における手法の検証や、交流ベクトルヒステリシスモデルへの拡張を進める予定である。

[1] Y. Shindo, O. Noro, Simple circuit simulation models for eddy current in magnetic sheets and wires, *IEEJ Trans*. FM, vol.134, pp. 173-181, 2014.

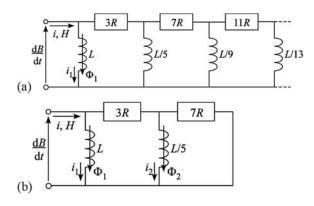


図1 Cauer-I型回路:(a)無限梯子形回路,(2)打切り回路

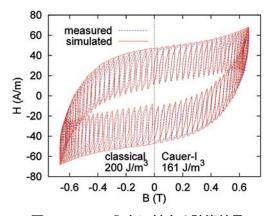


図2 PWM入力に対する計算結果

集積機能工学講座

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

「高温超伝導テラヘルツ光源の温度分布と発振強度の相関の解明」

電波と光の中間の周波数に位置するテラヘルツ(THz)領域はこれまでに1mWを超える実用的な強度を持つ固体光源が得られていませんでした。マイクロ波領域のようにキャリアのダイナミクスを利用しようとしても半導体の易動度の上限から周波数が制約され、LEDのように量子効果を利用する場合にもそのエネルギーは10ケルビン以下の温度に相当するので、極低温が必要であるからです。超伝導体のトンネル接合であるジョセフソン接合では、交流ジョセフソン効果により直流電圧を交流電流に変換することが可能であるだけでなく、超伝導ギャップにより集団励起状態が保護されるので、散逸の少ないコヒーレントな電磁波が励起されることが期待されてきました。2007年に高温超伝導体Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+d}(Bi2212)からの結晶外へのTHz 波放射が初めて観測されました。THz 発振のメカニズムは、交流ジョセフソン効果により励起された電磁波がBi2212 単結晶からなる空洞共振器の共振条件に一致した時、積層するジョセフソン接合で同期した振動が起こると考えられています。これまでの研究で、周波数範囲 0.3-1.6THz、最大出力 0.6mW の単色電磁波の放射が報告されています。高温超伝導 THz 光源は超伝導体に電流を注入して有限電圧で動作させるため、ジュール発熱を原因とする温度上昇が超伝導状態を破壊して、光源の出力が低下してしまうと言う問題が指摘されていました。

私たちは、電流を注入する条件による温度分布と発振強度を精密に比較するために、100K 以下の極低温環境でも素子表面の微細な温度分布を観測できるイメージング装置を構築しました。これは、蛍光強度が強い温度依存性を示す Eu-TFC ポリマーと呼ばれる希土類元素を含む物質を素子表面に薄く塗布して、蛍光の空間分布を観察する実験手法です。素子は2つの電極を有しており、ひとつの電極から電流を注入する非一様(non-uniform)条件とふたつの電極から同じ電流量を注入する一様(uniform)条件における温度分布と発振強度を比較できるようになっています。図に示すように、電流値が20mA 前後の発振領域では、素子表面の温度は一様条件の方が明らかに高く、 T_c を超えている部分の面積は広く

なっています。一方、図(b)のように、発 振強度は非一様条件と比較して 20% 程度弱 くなっていることがわかりました。また、 図(c)に示すように、電流値が 5mA 程度の 発振領域において温度分布、発振強度共に 有意な差は見られませんでした。この結果 は、数値シミュレーションでも再現され、 素子表面における過剰な温度上昇が発振強 度を抑制することを明らかにしました。こ のことは、高温超伝導 THz 光源を効率的 に冷却することが発振強度を向上させると 言うことを意味しており、高出力 THz 光 源の実現に繋がると考えられます。

Physical Review Applied 誌で公表された本成果は、2014年10月22日付けで京大ホームページにおいて紹介され、翌日付日刊工業新聞などに掲載されました。

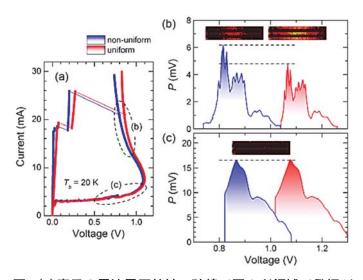


図:(a)素子の電流電圧特性。破線で囲んだ領域で発振が起きる。青(非一様)と赤(一様)の違いは、素子に由来しない。(b)高バイアス領域での発振強度と温度分布の比較。温度上昇がより顕著である一様条件での発振強度が低い。(c)低バイアス領域での比較。両者に差は見られない。

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

「光らない現象を測る一過渡レンズ法とシミュレーションによる非輻射過程の定量」

窒化物半導体 GaN の禁制帯幅は $3.4 \mathrm{eV}$ (波長 $365 \mathrm{nm}$ 相当)、 InN のそれは $0.6 \mathrm{eV}$ ($2 \mu \mathrm{m}$)であることから、それらの混晶 InGaN は、可視 LED などの光デバイス材料として非常に注目されている。2014 年のノーベル物理学賞が、"For the invention of efficient blue light-emitting diodes which has enabled bright and energy-saving white light sources" との理由で、この材料系を用いた青色 LED の開発に与えられたことは記憶に新しい。実際、青色 LED の電力一光変換効率は、研究室レベルでは室温でも約 80% と高い。しかし、いまだ 20% のロスがあり、しかも緑色など他の発光波長域では効率が数 10% 以下に低下するため、その要因である光らない過程(非輻射過程)を解明することが学術的には重要であると考えている。ただし、非輻射過程の観察は、輻射過程の観察ほど容易ではなく、従来は「低温での発光効率は 100%」という比較的強い仮定のもと定量をおこなっていた。それに対して本研究では、そのような仮定をせずに非輻射過程を定量する手法を提案・実証した。

試料は、市販LEDのベースであるサファイア基板上GaNを用いた。パルスレーザで光励起すると、キャ リアが生成され、それが非輻射過程で定常状態に戻るときに熱を発する。(つまり、熱を定量できれば 非輻射過程を定量できる。)これら「光生成キャリア」と「熱」は、材料の屈折率にそれぞれ負および 正の変化を及ぼすため、材料中に等価的な凹型および凸型レンズを形成することになる。ここで、別の プローブ光をこの等価レンズ部分に照射し、透過光の広がり具合を観察すると、照射部分に形成されて いるレンズの状態を知ることができる。とくに、励起レーザパルスが On から Off に変化する時、屈折 率変化はある時定数で緩和するため、レンズ効果も過渡的な現象となる。しかも、熱の時定数がキャリ アのそれに比べて著しく遅いため、時間発展を観察することにより、それらの効果を切り分けることが できる。観察例を図1に示した。一方シミュレーションでは、熱とキャリアの拡散方程式を数値的に解 くことにより、結果的に屈折率の時空間発展を記述することが可能である。その分布に対してプローブ 光を照射したときの透過光を光線追跡シミュレーションすることにより、熱あるいはキャリアと透過光 の観測量を関連付けることができる。以上の準備により、実験的に得られた観測量(過渡レンズ信号) に対応する、熱あるいはキャリアの量を定量することが可能となる。さらに熱は、先述のように非輻射 再結合の結果であることから、ただちに発光効率に換算できる。このようにして求めた、発光効率とキャ リア密度の解析の例を図2に示した。他の測定でもこの解析が妥当であることを確認した。従来、過渡 レンズ法は定性的な非輻射過程マッピングにしか使用されていなかったが、シミュレーションとの併用 により定量評価にも適用できることを実証できた。しかもこの手法は材料を選ばないことから、今後、 さまざまな発光素子開発に貢献できるものと期待される。[ref: JAP117, 105702(2015)]

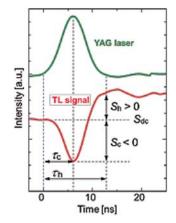


図 1 YAG レーザで励起した GaN からの TL 信号。 S_c がキャリア、 S_h が熱による過渡レンズ信号に相当する。熱信号が遅れて発生するため $(\tau_c < \tau_h)$ 、両者の切り分けが可能となる。

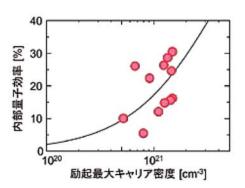


図 2 過渡レンズ法とシミュレーションの併用により定量した GaNにおける発光内部量子効率。

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(髙岡研究室) http://pesec.t.kyoto-u.ac.jp/nanoprocess_eng/index.html 「クラスターイオン照射による発光スペクトル測定」

固体試料へのイオンビーム照射時に強いルミネッセンスが観測されることが知られており、これをプローブとして用いた分析法やイオン注入時のその場観察法が研究されている。一方、固体表面に対して様々な照射効果を示すことが知られているクラスターイオンビームにおいても、クラスターイオンビーム自身をプローブとして利用するその場観察が可能であれば幅広い応用につながると考えられる。ところが、強いルミネッセンスが生じる MeV 領域のエネルギーを持つイオンビームを照射する場合と比較して、固体表面加工や修飾に用いられるクラスターイオンビームによる発光は微弱であることが分かっている。このためクラスターイオンビーム照射時にその場観察を行うためには、高感度な測定器が必要になる。また、クラスターイオンビーム照射時の発光には固体表面の欠陥、不純物等によるものの他に、クラスターイオン自身を起源とするものも含まれると考えられるため、発光スペクトルを測定する必要がある。さらに、固体表面への衝突時にクラスターが極めて高温になることが分子動力学計算によって予想されており、クラスターイオンビーム照射時の発光スペクトル測定によりこれを実測出来る可能性

がある。そこで、微弱な発光に対してスペクトルを測定することが出来る、高感度のスペクトロメーターを 開発した[1]。

図1にクラスターイオンビーム照射装置内に設置したスペクトロメーターの模式図を示す。12組のシングルフォトン検出が可能な光電子増倍管とバンドパス光学フィルターを試料の近くに設置し、クラスターイオンビームを照射する。光電子増倍管としては測定する波長領域によってマルチアルカリ光電面を持ったものとバイアルカリ光電面を持ったものを使い分け、約300nmから700nmの波長領域を一度に測定する。スペクトロメーターの校正には中心波長520nmのストロンチウムアルミネートからの蛍光及びタングステンフィラメントからの輻射光を用いた。

図2にアルゴンクラスターイオンビームをシリコンに照射した際のスペクトルを示す。点が測定値であり、棒はNISTデータベース[2]のアルゴン原子スペクトル強度を測定波長領域で足し合わせたものである。アルゴンクラスターは超音速自由噴流法で生成し、酸化物カソードから生じた電子を用いてイオン化した。アルゴンクラスターイオンビームの加速電圧は9kVである。波長430nm付近を中心とするブロードなピークが観測された。このピークに相当するピークがNISTデータベースのアルゴン原子のスペクトルにもみられる。したがって、固体表面との衝突によって高温になったアルゴンクラスターイオンからの発光が観測されたと考えられる。クラスターイオンビーム照射による発光スペクトルを測定することにより、反応メカニズムが明らかになることが期待される。

- [1] H. Ryuto et al., Rev. Sci. Instrum. 86, 023106 (2015).
- [2] NIST Atomic Spectroscopy Databases.

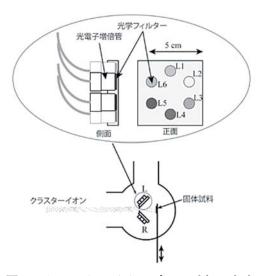


図 1 クラスターイオンビーム励起ルミネッセンス用スペクトロメーターの模式図。

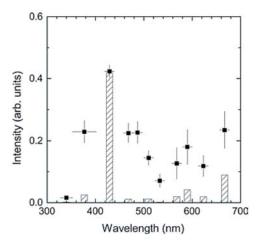


図2 アルゴンクラスターイオンビームを シリコンに照射した場合のスペクトル。

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 (藤田研究室) http://pesec.t.kyoto-u.ac.jp/ematerial/index.html 「非真空・大気開放型成膜プロセス/ミストデポジション法の開発」

光・電子デバイスには多様な薄膜が用いられているが、成膜にかかるエネルギーの削減が次世代のプロセスにおける重要な課題である。とくに太陽電池や液晶パネルのような大面積デバイスにおける透明導電膜などの成膜において、一般に用いられている真空プロセスでは、装置の大型化により消費電力の増大、スループットの低下がデバイスコストに加算される。そこで、非真空で大気開放型の新しい成膜プロセスのニーズが企業から寄せられ、当研究室の持つ成膜技術をシーズとして研究開発を行っている。下地へのダメージが少なく、膜厚の制御性に優れた成膜技術の代表は気相成長(CVD)である。しかし、透明導電膜に用いられる ZnO の成膜を考えると、原料として強い可燃性を持つ有機金属を用いる必要があり、真空技術をもとにした装置が不可欠で大気開放型のシステムなど不可能である。そこでわれわれが用いたのは安全な原料の溶液に超音波を印加し、得られたミスト(霧)を輸送して成膜原料とする技術である。研究開発の当初には、大面積化につながる基本技術、半導体デバイスの母体として利

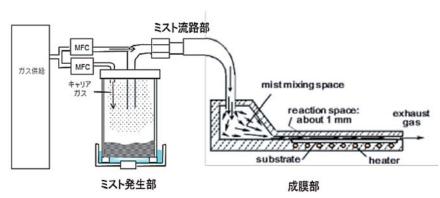
将来のエネルギー問題に対応して、ワイドギャップ半導体パワーデバイス応用が注目されている 3 。酸化ガリウム(Ga_2O_3)は約 5eV の広いバイドギャップを持つことから高耐圧のデバイス材料として期待されているが、成膜技術においてもミストデポジション法による省エネルギー、低コストが期待される。これに注目して、(株) $FLOSFIA^4$ が事業化を目指す研究を行い、SiC、GaN デバイスの補完を期している。またミストデポジション法を広い産業分野で応用するための技術開発を合わせて行っている。

用可能な高い品質を持つ単結晶への展開など、基盤技術の確立を行い本技術の広い適用性を示した¹²⁰。 その後、この成膜技術をミストデポジション法と称し、新しい材料への適用を進め、多様な酸化物薄膜、

酸化物単結晶半導体、有機薄膜、硫化物薄膜等への広い応用を示してきた。

現在、NEDOの「エネルギー・環境新技術先導プログラム」のもとで、制御性に優れた実用的な装置 開発を進めている。多くの企業からさまざまな材料の成膜に係る関心が寄せられ、共同研究も実施して いる。また早い時期から共同研究を行っている東芝三菱電機産業システム(株)では、200℃で低抵抗

のZnO透明導電膜の成膜を達成し、製造プロセスの の参入を進めている。この ように、いわば当研究室が 先導的な開発の役割を成成 した技術が、次世代の分野で 省エネルギーと高機能して 実用する成膜技術として進 展して行くことを予期して いるところである。



ミストデポジション装置の概要

- 1) 川原村敏幸:京都大学博士論文 (2008) http://hdl.handle.net/2433/57270
- 2) 西中浩之:京都大学博士論文(2009) http://hdl.handle.net/2433/124538
- 3) 藤田静雄:応用物理 82,836 (2013); S. Fujita: Jpn. J. Appl. Phys. 54, 030101 (2015)
- 4) http://flosfia.com/index/

知能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/

大規模テキストからの事態間知識の自動獲得

計算機によるテキスト理解の実現のためには、大規模テキストから計算機が自動的に知識を獲得する必要があります。必要な知識の一つには「誰が何をどうする」(以降、事態と呼びます)という述語と項(「誰が」、「何を」など)の関係があり、これは格フレームという形で自動獲得されています。例えば、「拾う」という動詞には意味ごとに以下のような格フレームが獲得されています。

- ・{人,子供,...}が{海岸,...}で{ゴミ,空き瓶,...}を拾う
- ・{マイク,..}が{音,声,..}を拾う
- ・{男,女の子,...}が{財布,電話,...}を拾う

さらに高次な知識として、事態間の知識、すなわち、「誰が何をどうすると、(しばしば) 誰が何をどうする | という知識が必要となり、例えば、

 $X:\{B, \phi, ...\}$ が $Y:\{B, \phi, ...\}$ を拾う $\to X:\{B, \phi, ...\}$ が $Y:\{B, \phi, ...\}$ を警察に届ける というものです。ここで、前に現れる事態と後に現れる事態で共有する項があり、それらの対応をとることが、事態間知識を言語解析に利用する上で重要となります。上記の X, Y は前後の事態で共有する項であることを示しています。

このような知識をテキストから自動獲得する際に問題となるのは日本語では省略が頻繁に生じることです。上記の知識を抽出するもととなる文は以下のような文(ϕ で省略されている項を示しています)ですが、項が頻繁に省略されているため、項の対応付けをとるのが困難です。

- ・彼が財布を拾って $(\phi \dot{m})(\phi \dot{e})$ 警察に届けた
- \cdot (ϕi) 財布を拾ったので (ϕi) (ϕe) 警察に届ける

そこで、事態間知識を二段階で自動獲得する手法を考案しました(図 1)。上記で述べたように省略が頻繁に生じますが、動詞の意味を決定するような重要な項(「財布を」や「警察に」など)はあまり省略されないことから、まず、アソシエーション分析を用いて、よく共起する述語ペアとその項を取り出します。すると、以下のような核となる部分を獲得することができます。

財布を拾う→警察に届ける

次に、格フレームを用いて、項の対応付けをとります。一段階目で獲得された項に基づき、述語それぞれに対して適切な格フレームを選択し、選択された格フレーム間で、同じような名詞が出現する項の対応をとります。この例ですと、「拾う」のガ格と「届ける」のガ格、「拾う」のヲ格と「届ける」のヲ格が対応するとわかります。この手法を用いることにより、Webl 億ページから約30万ペアの事態間知識を獲得することができました。図2は「普及する」という事態の前後にどのような事態が生じるかを示したものです。

本研究室は、CREST「知識に基づく構造的言語処理の確立と知識インフラの構築」プロジェクトを推進しており、そこでは、様々なテキストの横断的な関連付けや検索・比較を可能とする知識インフラの構築を目標としています。今後は獲得された事態間知識を利用し、省略解析などの言語解析の精度向上に取り組んでいきます。

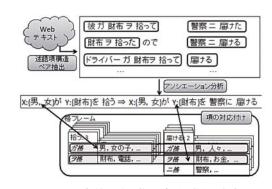


図1 事態間知識の自動獲得手法

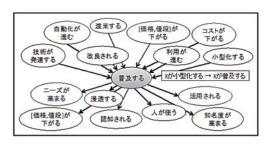


図2 "普及する"の前後に生じる事態

参考文献

Tomohide Shibata, Shotaro Kohama and Sadao Kurohashi: A Large Scale Database of Strongly-related Events in Japanese, Proceedings of LREC2014, pp.3283-3288, Iceland, (2014.5).

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/

「マイクロ波給電を用いた無線 LAN 端末への給電」

無線通信機器のバッテリレス動作を実現することで、有線電源ケーブルの施設に要するコストや定期的な電池交換に要するコストなどの管理コストを削減することが可能となる。その削減効果は、バッテリレスに動作する機器の数が増えれば増えるほど大きくなる。

我々は無線LAN通信を行う無線端末をバッテリレス動作させることを目的に、この無線端末をマイクロ波電力伝送で給電することに関して、生存圏研究所・生存圏電波応用分野(篠原研究室)と共同して検討を行った。無線端末をマイクロ波で給電する際には、無線通信・マイクロ波給電ともに無線周波数帯域を用いて運用されることから、双方を同時運用した際の電波干渉による無線通信の性能劣化が起こることが懸念される。

まず、マイクロ波給電が無線LAN通信にどのような影響を及ぼすかを調査するべく、中心周波数2.457GHzの帯域を用いてデータを送信する端末に向けて、2.4GHz帯の様々な周波数のマイクロ波を放射し、無線通信の性能評価を行う実験を実施した[1]。なお、本実験は電波暗室 METLAB 等を利用させて頂き、我々

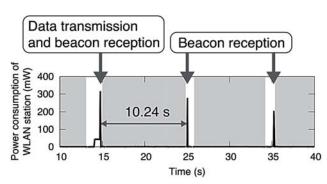


図 1:実装した時分割運用法の動作、灰色領域に給電 波を放射

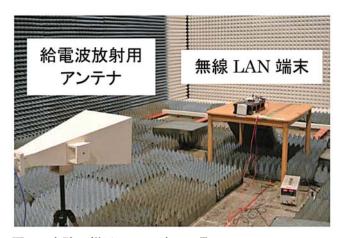


図 2:実験の様子、2013年10月17日 METLAB にて

の用意した無線通信機器を持ち込んで実施した。実験の結果、無線端末がさらされている給電波電力密度が小さい場合には、通信と給電が周波数共用している際のみに無線通信が妨害され、給電波電力密度が大きい場合には、給電波がどの帯域でも無線通信が妨害されるという知見を得た。

その後、我々は無線 LAN 通信とマイクロ波給電とを時分割的に運用する手法を提案した[2]。本提案法では、給電波電力を受け取る端末と給電波を放射する側とで無線端末が通信を行うタイミングの情報を共有し、図1に示すようにそのタイミングを避けるように給電波を放射させる。本提案法の動作検証を目的とした実験を、同様に電波暗室 METLAB 内で行った。なお、この実験においても図2に示すように給電システムを構築した。実験の結果、図1に示すような通信と給電の時分割動作が確認された。

(参考文献)

[1] N. Imoto, et al., "Experimental investigation of co-channel and adjacent channel operations of microwave power and IEEE 802.11g data transmissions," IEICE Trans. Commun., vol.E97-B, no.9, pp.1835-1842, Sept. 2014. [2] S. Yamashita, et al., "Implementation and feasibility study of co-channel operation system of microwave power transmissions to IEEE 802.11-based batteryless sensor," IEICE Trans. Commun., vol.E97-B, no.9, pp.1843-1852, Sept. 2014.

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/

「情報通信機器向けエネルギーハーベスティングシステムの開発|

自然環境から電力を採取するエネルギーハーベスティング技術が注目を集めている。防犯監視システムなどのセンサネットワークはセンサ自体のコストよりも電源敷設コストの方が大きくなることが多いため、エネルギーハーベスティングにより電源の敷設コストを低減できればシステム全体の低コスト化が期待できる。体に貼り付けたセンサが長期にわたって常時我々の健康状態を診断することができれば病気の早期発見に繋がる。このようなセンサには体温や振動あるいは圧力から生成した電力を効率良く利用する仕組みが重要である。

エネルギーハーベスティングの最大の問題は、出力電力および出力電圧が環境に依存して変わるため 安定しないことである。従ってエネルギーハーベスティングによって得た電力をセンサやプロセッサな どの情報通信機器の電力源として利用するためには電力を安定化させる蓄電システムと電圧を安定化さ せる電圧変換システムが重要である。

本研究では、太陽光などの自然環境から採取した電力を低い電力損失で蓄電し、一定の電圧を持った電力として取り出して使用するシステムを開発した。複数の電源電圧を使用し、平均10mW程度の電力を消費する組込みシステムを対象とした。試作したエネルギーハーベスティングシステムの構成を図1に示す。太陽電池が発電する電力の供給経路には、チャージャを経由してスーパーキャパシタに蓄電する経路と、DC-DCコンバータを経由して負荷となるプロセッサやセンサなどへ供給する経路がある。また、スーパーキャパシタに蓄電された電力はDC-DCコンバータを経由して負荷に供給される。太陽電池が発電する電力が負荷によって消費される電力より大きい場合はSW1をオン、SW2とSW3をオフし、発電電力をスーパーキャパシタと負荷の両方に供給する。この時、チャージャが太陽電池の出力電流を調節しMaximum Power Point Tracking(MPPT)により出力電力を最大化する。発電電力が負荷より小さい場合はSW2をオン、SW1とSW3をオフし、太陽電池が発電する電力とスーパーキャパシタの電力を足し合せて負荷に供給する。この時、SW2の上部に接続されたDC-DCコンバータがMPPTにより太陽電池の出力電力を最大化する。太陽電池の発電電力がSW2に接続されたDC-DCコンバータの電力損失より小さい場合はSW3をオン、SW1とSW2をオフし、スーパーキャパシタのみから電力を供給する。

開発したエネルギーハーベスティングシステムの最大の特徴は、システムの実行状況に応じて太陽電池セルとスーパーキャパシタセルの直並列接続を変更する点である。チャージャ回路と DC-DC コンバータ回路の電力損失はその入出力電位差におよそ比例するため、太陽電池の発電量やキャパシタの蓄電量および負荷の電力消費量に応じて太陽電池とスーパーキャパシタの直並列接続を変更することにより電力損失を削減することができる。シミュレーション実験では、上述のようにシステムの状況に合わせて太陽電池セルとスーパーキャパシタセルの直並列接続を変更することにより電力の蓄電と電圧変換に伴う電力損失を平均約40%削減できることを確認した。

本研究では 10mW 程度を消費する小型の組込みシステムを対象としたが、同様のアイデアは Home Energy Management System(HEMS)や Community Energy Management System(CEMS)などの大型システムへも適用可能と考える。将来的には家庭や町全体の省エネルギー技術としての展開を目標に研究を進めている。

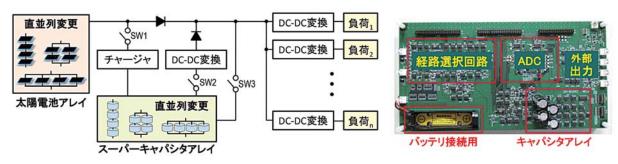


図1 低損失エネルギーハーベスティングシステムの構成図とプロトタイプボードの写真

システム情報論講座医用工学分野(松田研究室)

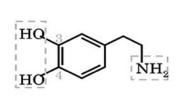
http://www.bme.sys.i.kyoto-u.ac.jp

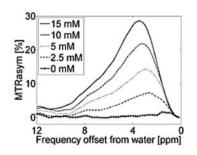
「CEST-MRI 法によるドパミン検出の可能性に関する基礎的検討」

脳内のドパミン(dopamine)の不足により様々な運動障害をきたすパーキンソン病(Parkinson's disease)では、CT や MRI に特異的な異常は認められず、画像診断としては主に SPECT(Single Photon Emission Computed Tomography)や PET(Positron Emission Tomography)などの核医学検査が用いられている。しかし、これらは放射性同位元素を用いており、また空間分解能も低いため、より無侵襲で空間分解能も高い MRI による診断法が期待されている。当研究室では、パーキンソン病の MRI による診断や治療効果判定の実現を目指して、生体内の様々な化合物の MRI による新たな検出法として期待されている CEST(Chemical Exchange Saturation Transfer)法を用いたドパミン検出および定量化の可能性に関する基礎的検討を行っている。

CEST 法では、例えば生体組織のように水溶液中に様々な化合物が溶解している場合、溶質を構成する水素原子の一部が溶媒である水の原子と常に交換しているという化学交換現象を利用し、大量に存在する水からの信号を通じて目的の溶質の存在を検出する。核磁気共鳴(NMR)法では、他の原子との結合状態によって測定対象とする原子の共鳴周波数が変化する化学シフトを利用して化合物の原子組成を同定するが、生体のように周囲に大量の水が存在する場合、測定対象の水素原子と水の水素原子の共鳴周波数が近接していると大量に存在する水の信号と分離できないことも多く、この様な場合に CEST 法は有効な手段となる。 CEST 法では、水の水素原子の共鳴周波数付近の様々な周波数で予め水素原子の励起を行うが、測定対象とする化合物の水素原子の化学シフトに一致した周波数の電磁波の場合のみ測定対象の水素原子が励起され飽和(Saturation)状態に陥る。これが化学交換によって水の水素原子の一部を置換するため、その周波数では本来は影響を受けない水の信号の低下に繋がる。この信号低下の大きさから測定対象物の定量化を行うが、大量に存在する水の信号変化を利用するため検出感度が高く、水の信号を分離あるいは消去するなどの必要性が無い。

図1にドパミンの化学構造式を示すが、3,4位の水酸基および側鎖のアミノ基の水素が水の水素原子と交換可能である。文献値を参考に濃度 $0.15 \, \mathrm{mM}$ のドパミン水溶液を対象として、 $7 \, \mathrm{T}$ の動物用 MRI装置を用い CEST-MRI 法によるドパミン検出の可能性について検討した。CEST 法の飽和に用いる電磁波の強度や照射時間の実験的最適化を行ったところ、 $10 \, \mu \, \mathrm{T}$ の強度で $8 \, \mathrm{秒}$ 間の電磁波照射により $2.5 \, \mathrm{mM}$ 以下まで検出可能であることが明らかとなった。また、得られた CEST 信号の変化は、図 $2 \, \mathrm{CEST}$ 法により生体におけるドパミン濃度の定量化が可能であることを明らかにした。





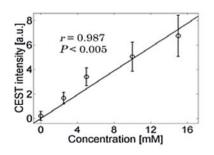


図 1. Dopamine の化学構造式

図 2. 様々な濃度の Dopamine 水溶液の CEST 信号

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/

「組織学習につながる雑談の誘発方法の研究|

近年、多くの企業で組織学習の重要性が認識され、組織学習を促進するための取り組みが実践され始めています。組織学習とは、特定の目的を達成するための集団、つまり企業のような組織に所属するメンバーが、その組織に関係した知識を習得するだけにとどまらず、組織文化を改善し、組織全体のパフォーマンスを高めるために行動することです。本研究室では、勤務中の休憩時間などに偶発的に発生し、意図しない形で有用な知識や情報を組織内のメンバーに提供する可能性のある「雑談」を効果的に活用して、組織学習を促進する方法を研究しています。

組織内のメンバーの間で発生する雑談の内容は様々ですが、この雑談の内容を業務に関連した方向へ誘導し、それぞれのメンバーが持つ知識や経験を共有できれば、特別な負担もなく組織学習につなげられると期待できます。組織学習につながる雑談を誘発するためには、まずメンバーの間で雑談を発生させる必要があります。そこで、今回の研究では、メンバー同士を会話がない状態では気詰まりに感じられる場に滞在させることにより、雑談を誘発できないかと考えました。そして、メンバーに対して業務に関連した情報を提示し、その提示された情報から彼らの持つ経験や知識を連想させることで、雑談の内容を業務に関連した方向へ誘導し、組織学習につながる雑談を誘発します。

この提案方法を実現するために、図1に示すように、大型ディスプレイから業務に関連したウェブ上のニュースやブログのタイトルを提示するシステムを開発し、これを職場の休憩場所に置くことにしました。休憩場所で偶々居合わせたメンバー同士が気詰まり感を解消するために、大型ディスプレイに表示された情報を手掛かりにして雑談を始めることを期待するものです。また、ウェブ上のニュースやブログは多様な視点から記事が記述されているため、メンバー自身の経験と照らし合わせることにより、様々な連想を促せると考えています。

開発したシステムを用いて、業務に関連した雑談が発生したか、組織学習につながる雑談が発生したかの2点を評価するための2件のケーススタディを行いました。ケーススタディには、それぞれ専門職である保育士の女性2名とマッサージ師の女性2名が参加しました。参加者には、ダミータスクを行わせ、その休憩時間に滞在する部屋にシステムを設置しました。

休憩時間に発生した雑談を、業務に関連した発言か業務 以外に関連した発言かに分類した結果、普段から業務に関 連した雑談をする参加者に対してシステムを導入すること により、業務に関連した発言を増加させられる可能性があ ることがわかりました。また、保育士同士の参加者の間で は、システムが提示した情報により、保育園の授業で歌う 歌の歌詞を補完しあい、学習している様子も確認できまし た。今後は、提案方法を実際の企業に導入し、その効果を 検証していきます。

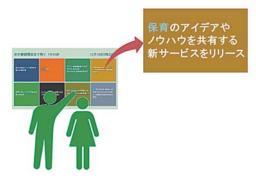


図 1:業務関連雑談誘発システム

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/

「集合組織金属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浸漬し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])。

我々は半導体製造分野で発展させられてきた成膜技術(エピタキシャル成長技術)と材料加工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[2]。具体的には圧延と加熱によって3軸結晶配向させ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(YBa₂Cu₃O₇)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。このようにして単結晶的に結晶方位を揃えた高温超伝導層を電気抵抗ゼロで流れる電流の電流密度は液体窒素中(77K)で30,000A/mm²以上に達しています。昨年、高性能を維持しながら劇的な低コスト化を達成するために銀を不使用とした新規構造(図1)の開発に成功し[3]、現在、国プロ等活用し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、様々なエネルギー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.
- [2] 土井俊哉、東山和寿、"配向基板上へのタリウム系高温酸化物超伝導厚膜の形成", 応用物理, 第65巻, 1996, pp.372-376.
- [3] 土井俊哉、堀井滋、" 金属系および高温超電導線材の高性能化", 応用物理, 第85巻, 2015, pp.419-422.

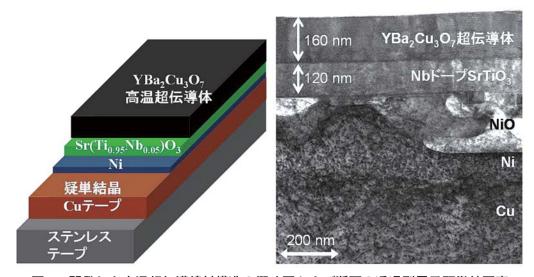


図 1 開発した高温超伝導線材構造の概略図および断面の透過型電子顕微鏡写真

エネルギー材料学講座プロセスエネルギー学分野(白井研究室)

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

「変圧器磁気遮蔽型超電導限流器の限流特性」

1. はじめに

当研究室では、エネルギー問題にコミットする視点として、超電導応用エネルギー機器とこれらを導入した先進エネルギーシステムをテーマとしている。今回は、分散電源の導入による故障電流の増大問題を解決する電力機器である超電導限流器(SFCL: Superconducting Fault Current Limiter)の研究について紹介する。SFCLは通常時にはインピーダンスがゼロで、事故時に高インピーダンスを発生し故障電流を限流する。我々は、良好な復帰特性を示すFCLとして変圧器磁気遮蔽型 SFCL を提案してきている。本稿では、この SFCL の二次コイルに使用する線材の選択によって限流インピーダンスの向上が期待できることを実験的に示したので紹介する。

2. 提案する変圧器磁気遮蔽型超電導限流器の限流性能の向上

提案する限流器は、同軸に二つの超電導コイルを配置し、一次コイルを系統に接続し、二次コイルを短絡したものである。平常時は一次、二次とも超電導状態にあり、二次側に誘導電流が流れて一次コイルによる磁束は打ち消され、限流インピーダンスはほぼゼロとなる。故障電流が流れると、二次側が常伝導転移し、一次コイルによる磁束を打ち消すのに十分な誘導電流が流れなくなり、限流インピーダンスとしてリアクタンス成分が現れる。今回は、DI-BSCCO線材を用いた一次コイルに対し、二次コイルに同様のDI-BSCCO線材を使用したFCL-BBとGdBCO薄膜線材を使用したFCL-BGを製作し、二次側コイルの超電導線材による限流特性を比較した。製作したFCLの写真を図1に示す。



図1製作した限流器

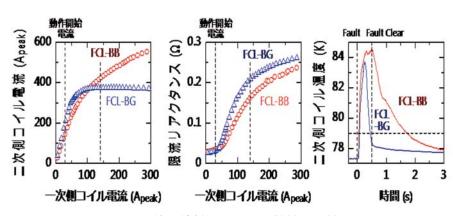


図2 使用線材による限流特性の比較

FCL-BBとFCL-BGの通電電流 peak 値に対する限流動作特性を図2に示す。FCL-BGが同じ電流 peak 値に対して大きなリアクタンス成分が得られ、二次コイル電流は抑制され線材温度の上昇も小さくなり、待機状態への復帰が早いことが確認された。

エネルギー機能変換研究部門複合系プラズマ研究分野

http://www.center.iae.kyoto-u.ac.jp/sanok/index.html

「発光分光法による核融合エネルギーを目指したプラズマ中の不純物モニタリング」

2011年の東日本大震災に起因する東京電力福島第一原子力発電所事故により、我が国はエネルギー政策の転換を余儀なくされている。いわゆる再生可能エネルギーへのシフトは究極の理想ではあるが、資源の乏しい我が国においては、当面、より環境負荷が小さく、かつベースロード電源となりうる代替エネルギーの開発が急務である。核融合エネルギーは、原子力発電と同じく核変換によって質量エネルギーを運動エネルギーとして取り出し、熱エネルギーに変換する原理に基づく。水素同位体を資源とするため、マイナーアクチニド等の長寿命の高レベル放射性廃棄物を生じず、崩壊熱密度も原子力発電に比べて小さいため、メルトダウンのリスクも低い。発電時に二酸化炭素を放出せず、燃料は海水からとり、炉内で増殖させることができ、中性子により放射化した炉内機器などの低レベル廃棄物は廃炉後100-200年程度で再利用が可能と見込まれるため、中長期的観点で「ゼロ・エミッション」構想に沿う、「再生可能に近い」エネルギーとも言える。

磁場閉じ込め方式による核融合研究は、プラズマの制御、加熱、計測、炉工学に分類される。京都大学で1950年代に発案され、その後一貫して発展を続けてきたヘリオトロン磁場方式は、磁気軸が平面上にあり、現在、自然科学研究機構核融合科学研究所(NIFS)で大型化路線へ引き継がれ、世界的成果を収めている。本研究室では特に、より高効率を目指して90年代に考案された「立体磁気軸へリオトロン磁場」によるプラズマ制御を追求している。現有のヘリオトロンJは、このいわば最適化路線に則った装置であり、実験・理論・数値解析それぞれのアプローチでプラズマ加熱、計測、閉じ込め制御に関する様々なテーマを推進している。

それらの研究の中から、発光スペクトルを利用したプラズマ診断についての結果を紹介する。プラズマからの発光は、燃料である水素のスペクトル以外にも、プラズマ・壁相互作用によって容器内に発生、混入する不純物が存在する。不純物はプラズマの熱エネルギーを輻射のエネルギーとして損失させるため(放射損失)、適切にモニタリングし、制御することが肝要である。特に多価イオンはエネルギー準位が大きいため、波長が短い真空紫外(VUV)領域に輝線スペクトルを多数有する。一般に、不純物の輝線スペクトルは、電子密度とその価数の不純物イオン密度、およびその価数における励起速度係数(電子温度の関数)の積に比例するため、同一の電子密度、電子温度下ではその価数の不純物イオン密度を反映する。

真空容器壁はプラズマ放電によって不純物が放出され、排気されることによって徐々に状態がよくなり、不純物の少ない、よって放射損失の少ないプラズマ生成が可能となっていく。VUV 領域の輝線スペクトルには C, O, Ti, Fe, Cr 等の多価イオンからの発光が含まれるため、実験日毎に同じ生成条件(電子サイクロトロン加熱)および平均電子密度のプラズマ(参照放電)で VUV スペクトルによる容器壁のモニタリングを行っている。

2014年度の実験においては、磁場の条件を変更した際に、プラズマの輻射損失が有意に増大し、放電を続けても下げ止まる傾向が観測された。そこで、VUVのスペクトルを調べたところ、FeやCrの多価イオンの発光が特に増大していることがわかり、放電管内部のステンレス構造物からの不純物放出が示唆された(図)。実際、実験期間後に真空容器を空けて内部を確認したところ、ステンレス部位の部分的な溶融が確認された。

<推薦書籍(Kindle 版)>

「核融合:宇宙のエネルギーを私たちの手に」 ASIN: B00TNZCKD8

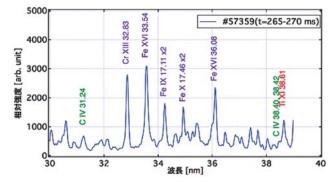


図 2014 年度のある参照放電(#57359)における不 純物の VUV スペクトル。元素記号の後のローマ数字 は価数、続くアラビア数字は波長 [nm] を表す(I は 中性原子、II は 1 価、III は 2 価…と続く)。

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

「アジア・オセアニア域における中間圏・下部熱圏レーダーネットワーク観測」

我々人類の生活圏としての地球大気圏は、太陽から地球に降りそそぐ電磁波としての太陽放射と物質としての太陽風のエネルギーを受けて、様々な擾乱現象(例えば、積雲対流、台風、オーロラ)が発生しています。荷電粒子からなる太陽風は、地球磁場の影響を受けて極域の大気圏に侵入し、大気との相互作用によって我々を魅了させる極光(オーロラ)を発生させています。一方、太陽放射は、地球磁場の影響を受けずに、直接、地球大気圏に侵入することができるため、大気圏が受け取る太陽放射エネルギーが赤道において最大になります。そのため、赤道域の下層大気では、強烈な太陽放射に伴って活発な積雲対流現象が励起され、そこで発生した大気波動が上層の大気層へ伝搬することによって、エネルギーや運動量を上方の大気層へ輸送しています。

近年の研究結果から、地表付近の地球温暖化に対応して、中層大気(高度 10-100km)では寒冷化することが予想され、さらには、中間圏・下部熱圏(MLT: Mesosphere and Lower Thermosphere)大気(高度 60-150km)ではその影響が大きくなると考えられています。したがって、地球温暖化による地球大気の構造変化が大気波動の上方伝搬過程に与える影響、または大気波動の励起過程への温暖化の影響を調べることは、単に、大気波動そのものの特性を理解するだけでなく、地球温暖化の監視という意味でも重要です。一方、MLT領域の平均流に太陽活動周期と思われる長周期変動も認められています。

本研究室では、地表付近の変化と太陽活動の影響を同時に受けている MLT 領域の平均風の長期変動や大気波動の励起、伝搬機構を解明するために、インドネシア、オーストラリアとの国際共同でアジア-オセアニア域に流星・中波(MF)レーダーを中心とした赤道大気レーダーを展開してきました。具体的には、インドネシア航空宇宙庁と共同で、1992年に信楽流星レーダーをジャカルタ近郊に移設し、1999年まで観測を実施しました。その後、インドネシア、オーストラリアとの協力を通じて1995年に

MLT radar network in the Asia-Oceania region 120 165 180 -165 20 6 40 30 30 20 20 10 10 -20 -20 8 30 40 40 白抜き: 観測終了または休止中 *(灰色): 建設予定または計画中 -50 75 90 105 135 150 165 180 -165 地理経度

図 1: アジア・オセアニア域における赤道大気レーダーネットワーク。

ポンティアナに MF レーダー、 および 2002 年にコトタバン流 星レーダー、2004 年にパムン プク MF レーダー、さらに 2011 年にビアク流星レーダー を建設しました。

これらの大気レーダーで取得された観測データ、およびメタデータが、大学間連携プロジェクト「超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究(IUGONET)」によってデータベース化され、インターネット上に公開されています。今では、これらのMLT領域の風速データを用いた、中層・超高層大気の力学過程に関連した様々な研究に活かされています。

生存圈開発創成研究系生存科学計算機実験分野(大村研究室)

http://space.rish.kyoto-u.ac.jp/omura-lab/ 「磁気嵐の研究」

地球を取り囲むように流れる電流をリングカレントと呼び、電流が数日間にわたって増える現象を磁気嵐と呼びます。リングカレントは地磁気誘導電流を流し地上の電力網に影響を与え、リングカレントを構成する粒子は人工衛星の表面を帯電させ放電の原因となります。リングカレントを理解することは安心・安全な宇宙利用と電力設備の運用にとって重要であると言えます。リングカレントの発達を理解する上で重要な要素が二つあります。一つは粒子の供給過程です。観測によればリングカレントを構成する粒子は太陽風と地球超高層大気の双方に起源を持ち、何らかの過程を経て地球固有の磁場が支配する磁気圏に流入すると考えられています。二つ目は粒子の輸送過程です。磁気圏に印可される大規模電場によって粒子がゆっくり地球向きに輸送されるモードと、サブストームと呼ばれる数10分スケールで起こる過渡現象によって突発的に輸送されるモードの二つが考えられています。磁気嵐がおこると地球由来の酸素イオンが急激に流入し、リングカレントを強めることが知られていましたが、その流入・輸送過程はよく分かっていませんでした。

オーロラの爆発的増光で象徴されるサブストームと呼ばれる現象に着目し、高精度な電磁流体シミュレーションを用いて磁気圏中の電場・磁場変動を再現したところ、磁気再結合によって発生した磁気張力によってプラズマが地球方向に加速されると同時に、磁束が地球方向に運ばれて磁場が強まり地球近くで電場が強まることがわかりました。地球由来の冷たい酸素イオン約12億個を磁気圏に投入し、スーパーコンピューターを用いて軌道計算を行いました(図1)。サブストーム中に強まった電場によって10分以内に運動エネルギーが4桁近く上がり、サブストーム中のリングカレント内で観測される微分フラックスを再現することに成功しました(図2)[1]。

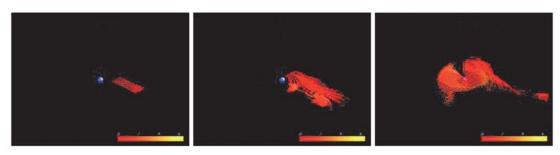


図1 サブストーム時における酸素イオンの加速・輸送過程。酸素イオンの位置を点で示す。色はイオンの運動エネルギーを、青い球は地球を示している。

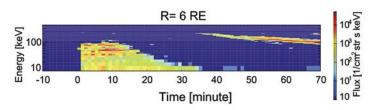


図 2 サブストーム時の静止軌道付近で急増する酸素イオンの微分フラック

[1] Nakayama, Y., Y. Ebihara, and T. Tanaka, J. Geophys. Res, **120**, 4825–4840, 2015. doi: 10.1002/2015JA021240, 2015.

コンピューティング研究部門ビジュアライゼーション研究分野(小山田研究室)

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

「評価構造の可視化技術」

現在、多くの組織では、満足度調査を用いた改善活動が盛んになっています。モノづくり企業では、これまでの生産性・効率性重視から脱却し、顧客満足度重視の経営によってサービス経済社会を生き抜こうとしています。大学では、授業用アンケートをもとに学生の満足度調査により、学生からのニーズを教員に反映させて、授業改善に活用しようとしています。ニーズの把握のために、アンケート調査がしばしば、行われますが、この調査を行うにあたって、何を明らかにしたいかという目標を忘れることがしばしばあり、結果として取集したデータを生かし切れない状況が発生します。調査項目を絞り込むために、少ないサンプル数で予備調査を行うためによく用いられているのが、評価グリッド法です。

評価グリッド法は、半構造化インタビューを用いた定性評価手は化手に生評価手はいりです。半構造化インタビューとは、る程度決まって無力がある程度決まって評していいです。オリングの神出とラダーリングの操い評価を引き出いるが、ラダーリングとは、インタビューの起点とがというがです。サールを引き出すための手順です。インタビューを引き出すための手順です。インタビューを引き出すための手順です。



Figure1 評価グリッド法における半構造化インタビュー

ビューにあたって、いくつかの調査対象物を刺激要素(Figurel では A と B)として準備します。快適なオフィスに関する調査であれば、いくつかのオフィスの写真を用意するといった方法が取られます。この結果、回答者ごとに、各エッジが因果構造を表現するグラフ構造ができあがります。

現在は、インタビューアが、因果関係を示すエッジとともに、調査項目の記載された付箋を模造紙などに貼り付けていきます。このあと、回答者数だけの模造紙などに描かれたグラフ構造をノードにかかれた評価項目の類似度で統合し、大きなグラフ構造を作り上げます。このグラフ構造より、重要な因果関係を示す部分グラフを抽出し、そのノードにかかれた評価項目を質問項目とするアンケートを作成し、その結果に対して、統計分析法を適用することにより、エッジに対応する因果関係の強さを算出します。これにより、注目すべき因果関係が明らかになります。この作業において、回答者ごとのグラフ構造の統合やその粗視化作業に膨大な時間を費やしていました。

我々は、この一連の作業を支援するために、インタビューにおけるグラフ構造作成・グラフ構造の統合・粗視化などをグラフィックスインタフェースで支援する可視化システムを開発しました。さらに重要な調査項目を対話的に選択し、アンケートを自動作成し、その回答結果を用いて、因果関係の強さを可視化できるようにしています。我々は、このシステムを、学会の満足度調査、企業研究所のオフィスデザイン評価、ユーザインタフェースデザイン評価に用いています。現在は、アンケート調査結果など観測可能な因子のみ扱いますが、将来は、潜在因子なども取り扱えるようにする予定です。

参考文献

- 1) Sanui, J.: Visualization of users' requirements: Introduction of Evaluation Grid Method, in Proceedings of the 3rd Design & Decision Support System in Architecture & Urban Planning Conferencepp.365-374. (1996)
- 2) 尾上, 久木元, 小山田, 可視化情報学会における会員満足度の因果関係分析, 可視化情報学会論文集, Vol. 34, No. 12, p. 43-51 (2014)

教育支援システム研究部門遠隔教育システム研究分野(中村裕研究室)

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

「映像通信を用いて遠隔地の作業を支援する映像対話型行動支援と行動の解析」

図1のように作業者と支援者が映像を用いて対話しながら作業を進める形態を我々は「映像対話型行動支援」と呼ぶ。このような形態は様々な用途、例えば、狭い場所や危険な場所で、直接現地に呼ぶこ

Acting person (worker)

とが難しい専門家に指示を出してもらう 場合に活用できる。このような形態で作業 が円滑に進むためには、作業者と支援者が 同一の対象に注意を向け、それぞれの意図 が正確に伝達されることが望ましい。した がって、コミュニケーションの状態を客観 的に評価して、作業者と支援者に対して訓練を行ったり、失敗や事故の原因を探ったり、またその予防をすることが大いに役立 つ。さらに、それらが自動化・実時間化されば、実際の作業の場で、状況の良さを 作業者や支援者に知らせたり、問題点を注意したりすることも可能になる。

Head-mounted camera and Headset

Pc

Speech

Wireless network

Speech

Wireless network

"Wait until boiling" "To start the system, "Where to connect lines?"

図1:映像対話型行動支援

このような背景から、我々は、映像対話

型行動支援における作業者と支援者の振る舞いを調査してきた。まず、作業者と支援者の発話、見る行動、動作などを検出し、それらを時系列のパターンとして記述する。この時系列のパターンからデータマイニングの手法を用いて、頻出する組み合わせ(以下、頻出パターンと呼ぶ)を抽出する。これにより、例えば、「作業方法を説明する発話」、「見回す行動」、「手による作業」が近接して現れるというようなパターンが多く抽出される。

このような頻出パターンの出現頻度やタイミングを統計的に調べると、作業者と支援者の態度や状況をよく表すことがわかった[1]。例えば、作業者が支援者の指示に依存して行動しているかどうか、支援者が作業者の意図を先読みして指示しているかどうか、などが統計量に現れる。本来ならば発話や行動の意味的な理解を必要とする解析が、このような表層的なパターンの頻度や時間的性質から可能となることが興味深い。また、これらと失敗の起こりやすさとの相関があることも示唆されている。

さらに、比較的短時間のコミュニケーションに対する良さを評価するために、「作業者と支援者の注意が同一の対象に向けられ、その対象に関する言動がタイミング良く現れていること」を「一貫性(coherence)」として考え、それを評価することを試みた[2]。これも、頻出パターンを利用する。頻出パターンの各要素(発話や動作)が統計的に現れやすいタイミングで出現しているかどうかを定量的に評価し、その和や最大値などを指標にする。これも表層的な手がかりであるが、実際のコミュニケーション例に適用してみるとかなり良い指標となっていることが実験で示された。現在は基礎的な研究を行っている段階であり、発話や動作の自動処理を適用していないが、これらを自動化するとともに、リアルタイムでの評価を実装していけば、映像対話型行動支援のための良い支援ツールとなることが期待できる。[1] 小泉ほか:"映像対話型行動支援における頻出パターンに基づいたコミュニケーションの分析",情報処理学会論文誌, Vol. 56, No. 3, pp. 1068-1079, 2015

[2] 小泉ほか: "映像対話型行動支援におけるインタラクションの一貫性に関する考察", HCG シンポジウム 2014, pp. 49-56, 2014

平成 26 年度修士論文テーマ紹介

工学研究科 電気工学専攻

石 原 浩 毅 (引原教授)「コンバータ・インバータシステムの受動性に基づく並列化に関する研究」 本研究では、コンバータ・インバータシステムにおいて受動性に基づいた安定化手法を導出し、単一 システムでの安定化手法が並列システムにも適用できることを示した。さらに、並列システムの過渡状

態を検討し、定常状態に復帰させる方法を提案した。

長 岡 晃 平 (引原教授)「GaN HEMT の高速ゲートドライバおよび電源回路への応用|

本研究は SiC MOSFET の高速ゲートドライブ回路について検討したものであり、ゲートドライブ回路 GaN HEMT を用いること及びゲートドライブ回路の回路構成を提案し、その試作器を用いた実験において SiC MOSFET の高速駆動を実現した。

藤 居 直 章 (引原教授) 「電力パケット伝送ネットワークとそのサーボモータ駆動への適用」

給電における効率化および省配線化を背景に、電力パケット伝送システムのネットワーク化とサーボモータ駆動へ適用した。ネットワーク化により電力パケットの複数経路伝送による障害耐性の向上を達成し、ロボットアームへ適用することで省配線化を実現した。

安 原 一 貴(引原教授)「特性の異なるリチウムイオン電池を用いた組電池の放電電流挙動に関する研究」

本研究では、特性の異なるリチウムイオン組電池の放電電流挙動について検討する。まず、組電池を抵抗放電した場合の放電電流挙動を実験的並びに数値的に検討した。次に、組電池の切り替え制御時の放電電流挙動を実験的並びに数値的に検討した。

島 本 拓 和 (萩原教授)「通信遅延を有する結合非負システムの外部入力応答解析と移動体のフォーメーション制御」

結合経路に通信遅延を有する結合非負システムの外部入力応答解析を行い、ステップおよびランプ状の外部入力に対して、出力がそれぞれ所望のステップおよびランプ状となるための条件を導出した。また、その解析結果を移動体のフォーメーション制御に応用した。

松 尾 圭 祐 (萩原教授) [1入出力系の H∞制御における LMI を用いた性能限界の解析]

線形行列不等式(LMI)を用いた制御系の性能限界解析に関する研究を行った。制御対象 P, 制御器 K に対して P/(1+PK) の形で表される閉ループ系を対象とし、制御対象が不安定零点を有する場合には達成可能な H_{∞} ノルムの下界値を解析的に表現できることを示した。

宮本光曜(萩原教授)「サイクリングに基づく周期時変スケーリングによるロバスト安定解析の 性質とロバスト出力推定器設計」

離散時間線形周期時変系のロバスト安定解析のアプローチのひとつである、サイクリングに基づく周期時変スケーリングの性質を無限行列の枠組みを介して解明した。さらに、それを応用して周期時変系に対して時不変なロバスト出力推定器を設計するための方法を論じた。

山 本 率 矢 (萩原教授)「サンプル値系の非因果的周期時変スケーリングに基づく周期時変制御器 設計と台車型倒立振子制御実験」

離散時間リフティングの考え方を取り入れることで、時不変制御器設計を対象として展開されてきた 非因果的周期時変スケーリングに基づく手法を周期時変制御器設計にも適用できるよう拡張した。さら に台車型倒立振子を用いた制御実験を通してその有効性を示した。

荒 木 賢 輔 (土居教授) 「2 種類のモチーフ検索問題に対する効率的解法 ― ワイルドカードを許す問題と編集距離に基づく問題― |

複数の入力文字列に(ある程度の変異を許しながら)共通して出現する部分文字列を探索するという モチーフ検索問題において、全ての文字と一致するワイルドカード文字を許す問題、および変異の尺度 に編集距離を用いる問題を考え、効率的な解法を提案した。

大 田 敏 嗣 (土居教授)「鎮痛度制御に用いる指標の検討と薬の相互作用を考慮に入れた鎮痛度お よび鎮静度制御の研究」

手術中の麻酔鎮痛度制御に関して、心拍間隔変動、脈波、および筋電信号に基づく鎮痛度指標の特徴と有効性を臨床データに基づいて検討するとともに、鎮痛薬と鎮静薬の相互作用を考慮に入れた鎮痛度・ 鎮静度制御法を構成して、シミュレーションによりその有効性を確認した。

酒 井 智 衣 (土居教授) 「鎮静状態維持のための最小麻酔薬濃度の経時的変化を考慮した鎮静度制 御の研究 |

全身麻酔下手術における聴覚誘発電位に基づく鎮静度制御に関して、覚醒と非覚醒の判別精度に基づく最適な薬物動態モデルの検討、鎮静状態維持に必要な麻酔薬濃度の推定法と経時的変化のモデル化およびそれらを用いた制御法の構成を行い、妥当性を臨床データに基づいて検討した。

上 野 雅 仁 (小林教授) 「機能的 MRI に向けたスピンロック撮像法による振動磁場計測」

スピンロック撮像法による機能的 MRI の応用可能性を検証した。シミュレーション実験およびファントム実験により、複数のコヒーレントかつ微弱な振動磁場を検出可能なことから、脳の機能的結合の計測にも応用可能であることを示した。

久 保 佑 樹 (小林教授) 「スタンバーグ課題を用いた仮名短期記憶走査に関連する脳波信号源活動 の検討!

短期記憶における走査様式の影響の検討を目的に、仮名文字を音韻的・図形的に記憶し走査する過程の脳波信号源再構成波形に基づく解析を行った結果、呈示された感覚領域と短期記憶走査との関連及び意識的な記憶想起に関わる脳領域に関する新たな知見が得られた。

佐藤大地(小林教授)「生体磁気多点同時計測に向けた光ポンピング K-Rb ハイブリッド原子磁気 センサ」

光ポンピング K-Rb ハイブリッド原子磁気センサを用いた生体磁気の多点同時計測について研究した。 数値計算により K と Rb の密度が計測に与える影響を調べ、実験により検証した。さらにヒトの心磁図 の多点同時計測を行い、その有効性を示した。

高 田 裕 人(小林教授)「光ポンピング原子磁気センサのバイアス磁場調整による帯域制御」

光ポンピング原子磁気センサの帯域制御に勾配磁場を用いる手法およびバイアス磁場の歪みを補正するシムコイルを使用することを提案し、勾配磁場による光ポンピング原子磁気センサの計測帯域拡張およびシムコイルによる磁場分布補正の有効性を確認した。

伊藤信吾(雨宮教授)「車載誘導モータの最適駆動制御に関する基礎研究」

本研究では、車載用常伝導かご型誘導機を対象として、その車載応用と最適駆動制御に関する基礎研究を行った。24kW 級試作機について、電磁界解析と等価回路解析を適用して永久磁石モータに対する 優位性を示した。さらに、実機試験を行い、解析結果の妥当性を明確化した。

佐 野 拓 也 (雨宮教授) 「伝導冷却された高温超伝導 2 極マグネットにおける磁化電流による多極磁 場変動」

重粒子線がん治療用などの粒子加速器に高温超伝導マグネットを用いる際に問題となる磁化電流による多極磁場の時間変動について、小型冷凍機により伝導冷却された小型マグネットを用いて実験的に調べた。運転温度、線材経験磁場が磁場変動に与える影響について解明した。

張 哲 銘 (雨宮教授) 「薄膜高温超伝導線材の通電特性を考慮した固定磁界強集束加速器用超伝 導マグネット設計の基礎研究 |

重粒子線がん治療装置用固定磁界強集束加速器のマグネットの設計を行った。遺伝的アルゴリズムを 用いて、要求される磁場分布を実現する薄膜高温超伝導線材の断面配置を探索し、さらに、薄膜高温超 伝導線材の通電特性を考慮して線材への通電電流を決定し設計の修正を行った。

西 村 立 男 (雨宮教授)「低炭素輸送機器実現に向けた直接駆動超伝導モータに関する研究」

輸送機器向け高温超伝導誘導同期モータについて、リラクタンストルクを付与するアイデアの実証や 大電流超伝導固定子巻線の検討を実施した。さらに、20kW 級プロトタイプ機の回転特性および冷却特 性の健全性を明確化するとともに、50kW 級モデル機の電磁設計にも成功した。

枝 川 卓 也 (和田教授)「P2P エネルギー伝送システムのための双方向 AC-DC 変換モジュールの 協調制御 |

情報通信を用いて送り手と受け手が互いに協調してエネルギー授受を行うための双方向 AC-DC 変換モジュールの協調制御手法を提案した。また、それを用いて電圧源と電力源のシームレスな入れ替え機能や2台のモジュールを用いたネットワーク分割機能を実現した。

八 十 広 輔 (和田教授)「電力潮流の時間変化を用いた分散型電源を含む分岐送電線の等価回路パラメータ推定」

分岐をもつ送電線に対して末端の測定値から等価回路パラメータを再帰的に推定する手法を提案し、 感度解析により推定に用いる適切な潮流状態の選択法を示した。また、電源を含むマクロな等価回路パ ラメータ推定手法として、ダイナミックフェーザを用いる方法を提案した。

池 原 伸 明(和田教授)「伝導性妨害波に起因する定電圧 IC の誤動作解析用マクロモデルの構築」

伝導性妨害波による LDO 電圧レギュレータの出力電圧変動メカニズムを明らかにした。さらに、外 部測定もしくは内部回路の情報から誤動作状態を表現するマクロモデルを構築し、DPI 法による実測に よってモデルの有効性を検証した。

前 田 真 彰 (和田教授)「フルブリッジ型電力変換器におけるコモンモードノイズの発生機構解明 および低減し

フルブリッジ型電力変換器に発生するコモンモードノイズの発生機構が MOSFET とヒートシンク間の寄生容量による結合を含んだブリッジ回路にあることを見出し、インピーダンスバランスの調整によるコモンモードノイズ低減手法を提案した。

戸 水 真 哉 (松尾教授)「穴空き導体を含む T-Ω 有限要素解析に対する陰的誤差修正法の適用に関する研究 |

T-Ω有限要素解析において穴空き導体が存在する場合に反復解法の収束性が悪化する問題に対して、 陰的誤差修正法による解決を検討した。陰的誤差修正法で用いる補助行列の適切な決定法を提案し、2 次元及び3次元のテスト解析においてその有効性を確認した。

中 村 友 洋 (松尾教授) 「磁区構造の分岐を考慮したマクロ磁化過程シミュレーションの高速化に 関する研究」

結晶粒スケールの2磁区粒子の集合としてマクロ磁化過程を表現する集合磁区モデルの計算高速化に取り組んだ。分岐理論に基づいて単位粒子の磁区構造をスイッチすることによりエネルギー極小化計算を高速化した結果、計算時間を86%削減することに成功した。

宮 崎 達 也(松尾教授)「PWM 励磁下における電磁鋼板動的ヒステリシス特性の等価回路表現に関する研究 |

スイッチング電源の高周波数化に対応するため、鉄芯材料の動的ヒステリシス特性を Cauer 回路を用いて効率的にモデル化する手法を開発した。開発手法を用いて、正弦波励磁および PWM 励磁下における電磁鋼板の高精度な交流磁気特性表現に成功した。

工学研究科 電子工学専攻

中 川 裕 也 (掛谷准教授) 「トポロジカル絶縁体相実現に向けた BaBiO₃ へのフッ素ドープ効果に関する研究 |

ペロブスカイト構造を持つ BaBiO₃ は Bi³+ と Bi⁵+ の 2 種類の陽イオンがサイトオーダーすることによる電荷密度波が存在する。ホールドープにより超伝導が発現することが知られているが、最近電子ドープによりトポロジカル絶縁体になるという理論的な提案があり、これを試みた。その結果、O 原子を F原子に部分置換して、エピタキシャル成長させることに成功した。

吉 岡 佑 介(掛谷准教授) 「Bi 系固有ジョセフソン接合テラヘルツ素子の偏波特性と円偏光発生法 に関する研究」

ビスマス系高温超伝導体テラヘルツ光源の多機能化を目指して、移動体間通信や異性体の分光に有用な円偏光発振を目標とする研究をおこなった。メサ構造をパッチアンテナとみなしてメサ構造の形状を設計した。発振した周波数範囲 0.43-0.44THz において、電場の長軸と短軸の振幅比(楕円比)e は最大 0.5 となった。

曽根輔(白石教授)「電界電離イオンビームの飛行時間形質量分析技術の開発|

有機材料の元素と構造を同時に解析する新しい顕微質量分析手法に必要な飛行時間形質量分析器を開発した。タングステン針を用いた電界電離により生成したアルゴンイオンビームの質量分析が可能であることを示すとともに、電界蒸発により生成したタングステンイオンも検出した。

藤原将(白石教授)「窒化ハフニウム薄膜の仕事関数に対する窒素組成および吸着分子の影響」

高周波マグネトロンスパッタ法により窒素組成の異なる窒化ハフニウム薄膜を作製し、その仕事関数をケルビン法で評価した。加熱やスパッタリングにより表面の吸着分子等を除去することで窒化ハフニウム本来の値を求めるとともに、吸着粒子が仕事関数の値に与える影響を調べた。

伊 丹 豪 (竹内教授) 「2 次元メタルホールアレイ内の表面波伝搬に関する実験的評価および誘電率分布イメージングへの応用」

貫通穴の2次元アレイ状構造を持つ導体板へのミリ波照射に伴う表面近傍での波動伝搬について、実験的に調べた。実験で検出された表面近傍での波動空間分布が分散関係より予想される波動解析から説明できることがわかり、表面近傍での誘電率情報取得にも有用であることを明らかとした。

西 尾 祐 介(竹内教授)「荷電微粒子の作製と帯電性制御およびその診断」

ミクロンサイズの誘電体微粒子の作製・電荷付与・帯電量診断を実験的に行った。フッ素樹脂を含む 微粒子を作製して電子ビームを照射したところ、微粒子群の表面電位が負の値で制御され、電荷は長期 にわたって保持された。直流および低周波電界印加による診断手法の提案も行った。

沖 元 直 樹 (木本教授)「TiO₂ 薄膜を用いた抵抗変化素子の微細化プロセスの確立および評価」

抵抗変化型不揮発性メモリ用材料として有望な TiO₂ 薄膜の電気的性質を調べると共に、クロスバー構造を有する微細抵抗変化素子を作製する基本技術を確立した。サイズの異なる抵抗変化素子の電気的特性を調べ、抵抗変化を支配する導電性フィラメントに関する重要な知見を得た。

河 原 知 洋 (木本教授) 「フォトルミネセンスを用いた SiC 結晶における拡張欠陥の挙動および物性評価」

フォトルミネセンス撮像法を用いることにより、SiC エピタキシャル成長層および基板に存在する転位と積層欠陥の位置および種類を非破壊・高速に検出することに成功した。さらに、SiC 結晶中の基底面転位の挙動や、各種の拡張欠陥がキャリア再結合に及ぼす影響を定量的に明らかにした。

小 林 拓 真(木本教授)「異なる伝導型およびドーピング密度を有する SiC の酸化速度と MOS 界 面電子物性に関する研究」

SiC の伝導型 $(n \ \mathbb{Z}/p \ \mathbb{Z})$ およびドーピング密度が酸化速度に与える影響を明らかにし、その物理的要因を様々な分析結果を元に議論した。また、Si 面、A 面、M 面上に作製した MOSFET を用いて MOS 界面特性を精密に評価し、不純物ドーピングが MOS 界面特性に与える影響を明らかにした。

佐藤孝 売(木本教授)「厳環境センサ応用に向けた単結晶 4H-SiC 自己検出型マイクロカンチレ バーの作製および評価」

伝導型の違いによる選択的エッチングを活用して、4H-SiC 単結晶からなるカンチレバーを作製し、 静電駆動に成功した。作製した SiC カンチレバーは極めて高い共振 Q 値を示し、かつ高温でも良好な 共振特性を示すことを明らかにした。また、共振時のエネルギー散逸要因についても考察した。

田中 一(木本教授)「Geナノワイヤにおける正孔輸送特性の原子論的計算による解析」

次世代 CMOS 素子のチャネル材料として有望な Ge ナノワイヤのバンド構造とフォノン分散を原子論的アプローチにより計算し、フォノン散乱制限移動度やラフネスが移動度に与える影響を定量的に明らかにした。様々な形状を有するナノワイヤ MOSFET 特性の計算も行い、その設計指針を提示した。

野 田 晃 浩 (山田准教授)「原子間力顕微鏡による金属内包フラーレン分子の表面電位評価および 分子内構造観察」

フラーレン分子(C_{60})薄膜上に堆積した金属内包フラーレン分子($Gd@C_{82}$)を対象に、原子間力顕微鏡により $Gd@C_{82}$ 分子の表面電位が吸着状態の違いにより異なることを明らかにし、 $Gd@C_{82}$ 分子の5 員環構造の可視化に成功した。

木 南 裕 陽(山田准教授)「FM-AFM を用いた IgG 抗体分子会合体形成の一般性および抗原抗体反応に関する研究」

原子間力顕微鏡を用いることで IgG 抗体分子自己組織化の一般性を明らかにした。また、抗原吸着量の吸着時間依存性から抗原抗体反応の結合定数を算出した。さらにその特異性を実空間内で明らかにし、抗原抗体反応をナノメートルの分解能で可視化することに成功した。

石 戸 亮 祐 (川上教授) 「InGaN 薄膜におけるキャリアダイナミクスのフォトルミネッセンス法と ラマン散乱分光法による複合顕微評価 |

InGaN 薄膜における局在励起子の発光エネルギー分布とポテンシャル揺らぎを直接的に関連付けるため、フォトルミネッセンスとラマン散乱分光の複合測定を提案した。二つの異なる共鳴波長で励起することで、発光とラマン信号を分離する方法を開発し、ポテンシャル揺らぎのマッピングに成功した。

柴 岡 真 実(川上教授)「サファイア基板の in-situ 窒化処理による高品質 AIGaN/AIN 量子井戸の 成長および光物性評価」

サファイア c および a 面基板を結晶成長炉内で窒化処理することにより、厚み数ミクロン、貫通転位密度 $10^9/cm^2$ 台前半の AIN が結晶成長できること見出し、そのメカニズムを解析した。これにより、 AIN 上 AIGaN/AIN 量子井戸からの弱励起発光強度が、従来構造に比べて 10 倍以上向上することを示した。

平 貴 之 (川上教授) 「青色・緑色レーザダイオード品質の (0001) 面 InGaN 量子井戸における 顕微分光マッピングに関する研究 |

青および緑色レーザ向けのInGaN/GaN単一量子井戸において、共焦点顕微鏡および近接場光学顕微鏡によるフォトルミネッセンスマッピングを行い、異なる空間階層のポテンシャル揺らぎが共存していること、ほとんど均一な空間分布を持った非輻射再結合中心が効率を決定していることを見出した。

松 藤 浩 平 (川上教授)「半極性(1122) InGaN量子井戸発光素子におけるキャリア注入機構の解明」 p型伝導制御のための成長および活性化条件を検討し、半極性(1122) 面上に InGaN 発光素子を再現 性良く作製する条件を確立した。発光色の異なる二層の量子井戸を持った(1122) 面 LED を作製し、 発光特性から、従来のc面 LED と異なり、二つの量子井戸に比較的均一にキャリア注入されているこ

とを実証した。

梅 田 尚 実(野田教授)「フォトニック結晶を有する微結晶シリコン太陽電池の作製と評価」

薄膜太陽電池の変換効率向上のため、フォトニック結晶構造を太陽電池に導入し、光吸収を増大させることを検討した。材料に微結晶シリコンを用いた試料の作製および評価を行うことにより、数 100nm程度の非常に薄い太陽電池において、8.7%の変換効率が得られることを実証した。

越 智 賢 明 (野田教授) 「2 次元フォトニック結晶ナノ共振器の熱処理および表面処理による光吸 収損失低減の検討」

2次元フォトニック結晶ナノ共振器の損失の主要因と考えられる光吸収損失に着目し、共振器の表面酸化膜除去前の共振器表面や内部の状態が共振器の損失に影響を与えることを明らかにした。また、吸収損失の温度依存性測定により、不純物準位からの励起キャリア等の吸収損失要因の存在を提示した。

北 野 圭 輔 (野田教授) [3次元フォトニック結晶の多層化と光制御]

3次元フォトニック結晶を利用した光制御の、光漏れ損失の主要因と考えられる有限の層数について、その増加を検討した。3次元フォトニック結晶の形成手法として多方向同時エッチング法を採用し、12層に相当する2周期の構造を形成した。また、さらなる多層化を実現する指針を示した。

橋 本 康 平 (野田教授) 「ロッド型シリコン狭帯域熱輻射光源に関する研究 |

半導体 Si のバンド間遷移をロッド型フォトニック結晶によって制御する構造を提案し、波長 $1 \mu m$ 付近の近赤外領域に熱輻射を限定できる狭帯域熱輻射光源を実証した。また、この光源を用いることで、より効率的に太陽光を利用可能となる、太陽光熱光発電システムを提案した。

畑 中 修 平(北野教授)「オクターブ光コムによる光周波数比計測システム」

高速で動作するピエゾ素子を開発し、レーザー光に光周波数コムを位相同期させることに成功した。 位相同期させたコムと離れた波長の別のレーザーとのビートから、2つのレーザーのスペクトル線幅の 比較、および両者の周波数比の測定が可能であることを示した。

濱 田 健(北野教授)「Classical Simulatability of Quantum Computation based on Normalizers」 (正規化群に基づく量子計算の古典シミュレーション可能性)

古典的にシミュレートできる量子計算の系の代数構造は、正規化群を用いて一般的に捉えることができることを示した。既に知られているいくつかの古典的にシミュレートできる量子系が、提案する統一的な見方で説明できることを示した。

東 谷 祥 平 (北野教授)「Yb+光時計の不確かさ評価に向けた3次元冷却型RFトラップ」

冷却レーザー光に垂直な速度成分が冷却されないという問題を解決するために、冷却レーザーを2方向から照射可能なトラップを立ち上げ、時計遷移の単一イオン分光まで達成した。また、2台のトラップ中のYb⁺を同時に冷却するために、冷却レーザーのパワーを増強した。

藤 崎 広 豊 (北野教授) 「単一 Ba⁺ の ²S_{1/2} - ²D_{5/2} 時計遷移分光」

時計遷移分光用の波長 1.76 μm 外部共振器型半導体レーザー (ECLD) の線幅狭窄化を、波長 881nmECLD を光共振器の共鳴に線幅狭窄化し、これに波長 1.76 μm 光を、第 2 高調波を発生させて位

相同期させて実現した。このシステムで単一Ba⁺の時計遷移の励起に成功した。

光・電子理工学教育研究センター

小 林 弘 樹(高岡教授)「水和クラスターイオンの生成と固体表面照射効果に関する研究」

本研究では、メタンや二酸化炭素ガスをバブリングして水蒸気中に導入し、断熱膨張による過冷却過程を通して水和クラスターを生成した。さらに、イオン化・加速した水和クラスターイオンを金や銅の基板表面に照射し、クラスターイオン照射特有の高密度照射効果や表面平坦化効果による表面処理を行った。

中 川 穣(高岡教授)「電子線回折によるクラスターの構造解析とサイズ分析に関する研究」

本研究では、電子線回折法を用いて水クラスターや炭酸ガスクラスターの回折パターンの観察に成功した。さらに、シミュレーションによる構造解析から、水素結合の水クラスターやファンデルワールス力結合の炭酸ガスクラスターの結晶構造を明らかにした。

松本雄介(高岡教授)「イオン液体中における金属ナノ粒子の合成と結晶学的・電気的特性評価」

本研究では、種々のイオン液体中に熱蒸発によって金や銀のナノ粒子を合成し、その結晶構造を透過型電子顕微鏡観察によって明らかにした。さらに、金ナノ粒子を含むイオン液体の電気的、磁気的、光学的特性を測定し、金属ナノ粒子の特異な性質を明らかにした。

林 恭 平 (高岡教授) 「炭化水素多原子分子イオンビームの固体・液体表面照射と材料プロセス 応用に向けた研究」

本研究では、微小クラスターの炭化水素多原子分子イオンを Si 基板表面に照射し、クラスターイオン照射特有の高密度照射効果や多体衝突効果のサイズ依存性を明らかにした。さらに、種々のイオン液体表面に照射し、イオンミキシングされたイオン液体膜や自立型の炭素系薄膜の形成に成功した。

伊藤義人(藤田教授)「ミスト CVD 法によるサファイア基板上コランダム構造酸化インジウム MOSFET の作製と評価」

広いバンドギャップ(3.8eV)を持つコランダム構造 In_2O_3 薄膜の電子デバイス応用を目指し、 Ga_2O_3 バッファ層の適用によりサファイア基板上に移動度 $130cm^2/Vs$ の In_2O_3 薄膜を得て、ピンチオフ特性を示しオンフ比 10° の MOSFET を実証した。電界効果移動度は $60cm^2/Vs$ であった。

鈴 木 健 太 (藤田教授) 「デバイス応用に向けたコランダム構造酸化アルミニウムガリウム薄膜の成長と評価 |

 Ga_2O_3 をベースとするコランダム構造 $(Al, Ga, In)_2O_3$ 混晶系におけるヘテロ構造デバイスを念頭に置き、サファイア基板上 $(Al, Ga)_2O_3/Ga_2O_3$ 構造の特性を調べた。膜厚 100nm $o(Al, Ga)_2O_3$ は Al 組成 38% までコヒーレント成長し、タイプ I 型のバンド不連続を持つことを示して、デバイス応用への指針を与えた。

情報学研究科 知能情報学専攻

坂 ロ 智 洋 (黒橋教授) 「時間表現の解釈に基づく言明の抽出と整理」

Web上の言明を比較・整理するためには、その言明や言及されている出来事がいつのものであるかを明らかにする必要がある。本研究では、機械学習を用いて日本語テキスト中の時間表現を自動で抽出・正規化する手法を提案し、時間軸を利用した言明の整理を行った。

小 浜 翔太郎 (黒橋教授) 「項の対応付け学習による事態間知識の構築 |

自然言語システムのさらなる高度化に不可欠な知識に、因果関係や時間経過の関係をもつ出来事の知識、事態間知識がある。本研究では、クラウドソーシングによって正解データを構築し、機械学習によって項を対応付ける手法を提案した。既存手法と比較して、質の良い知識が獲得された。

町 田 雄一郎 (黒橋教授) 「自動獲得と集合知を併用した関連語知識の高度化と評価」

計算機による自然言語理解を実現する上で重要となる関連語知識について、自動獲得した関連語の妥当性を評価するためにスマートフォン上の対話システムを利用した連想ゲームをデザインした。実験の結果、ゲームログの集約によって自動獲得結果の妥当性の評価が可能であることを確認した。

川 原 僚 (松山教授)「水中アクティブステレオのための画素依存型バリフォーカルカメラモデル」 本研究は水中カメラなどにおける平面屈折層を介した投影過程を簡潔に表現するための仮想カメラモ デルを提案するものであり、このモデルに基づいた水中カメラ・プロジェクタの位置姿勢推定法と、これを用いたアクティブステレオによる水中3次元物体の形状計測を実現した。

西 村 真 衣(松山教授)「交差3平面を用いた Ray-Pixel カメラの線形キャリブレーション」

本研究は未知の屈折・反射過程を含む光学系において、画素と計測空間の光線の対応関係を推定するための新たな手法を提案するものであり、計測空間に置かれた校正用3平面の交線を用いた線形解法と、撮影画像から交線を検出するためのアルゴリズムを考案した。

矢 野 智 彦 (松山教授) 「多視点画像を用いた半透明水中物体の3次元形状・透過率分布推定 |

本研究は多視点画像を用いて半透明水中物体の3次元形状およびその内部の透過率分布を推定するために、対象空間を離散化したボクセルそれぞれが透明度と散乱現象を近似した点光源強度を持つと仮定した計測モデルを提案し、透明度と点光源強度の同時推定法を考案した。

黒 瀬 祐 平(松山教授)「An Asynchronous Control Method for the Power Flow Coloring over a Grid with Fluctuating Power Sources and Loads」(電源・負荷変動に対応した電力カラーリングのための非同期制御方式)

電力グリッド上の電源と負荷を協調的に制御することで、電力の供給元と消費先を区別して配送する 分散協調電力カラーリングについて検討した。電源や負荷の電力変動、通信遅延・損失、配線上の損失 を考慮した現実的な手法を提案し、実験により有効性を示した。

Zhong Yanghong(松山教授)「3D Visual Tracking System for Fish Collective Behavior Analysis」(魚群行動解析のための3次元視覚追跡システム)

水槽内の魚群の行動を解析することを目的として、複数カメラを用いた魚の3次元追跡システムを構

築した。各個体の詳細な3次元形状モデルと、画像への投影過程における水槽での屈折を考慮することで、各個体の位置や速度、および形状変化の頑健な追跡を実現した。

情報学研究科 通信情報システム専攻

藤 本 裕 真 (原田教授) 「複数ストリームの分離特性に基づく適応的な共有信号選択手法」

複数の移動局間で受信信号を共有し干渉抑圧を行う共同干渉キャンセルにおいて、連携コスト軽減の ために共有信号を選択する手法を提案し、エミュレータを用いて特性を評価した。屋外伝送実験を行い、 提案方式の有効性を示した。

永 野 裕 規 (原田教授) 「周波数領域繰り返し等化を行う端末共同干渉キャンセルに関する研究」

端末共同干渉キャンセルシステム上で、同一チャネル干渉及びシンボル間干渉を周波数領域の繰り返し等化により抑圧し、伝送特性を向上させる手法について計算機シミュレーションによる特性の評価を行った。さらに、伝送実験を行うことでこの手法が実環境でも有効であることを確認した。

西 野 智 (原田教授) 「端末グループを形成する無線通信システムのエネルギー効率に関する研究」 マルチユーザ MIMO システムにおいて、移動局側のフィードバックを要するプリコーディングシス テムと端末側でのデータ共有を行う端末共同干渉キャンセルシステムの双方の送信電力による特性の違 いを示すことにより、端末共同システムの有効性を示した。

田 中 利 樹 (原田教授) 「送受信空間フィルタリング技術の時変チャネルにおける特性改善」

伝搬路予測や判定指向形チャネルトラッキングを用いることで時間変動する伝搬路における伝送特性を改善できることを実験的に確認した。特に、基地局移動局間の残留周波数オフセットが伝搬路予測に与える影響を指摘し対策を提案した。

荒 井 亮 平 (守倉教授) 「Proactive Communication Control Schemes for Next-generation Network Applications」 (次世代ネットワークアプリケーションのためのプロアクティブ通信制御法)

ICT を用いたアプリケーションであるスマートグリッドにおいて、微分ゲームを適用し情報の取得可否に応じて制御手法を議論した。また、ICT アプリケーション増加による周波数枯渇の解決策として、コグニティブ無線およびミリ波通信に関する研究も行った。

井 上 文 博 (守倉教授)「無線 LAN と無線 PAN の共存方式の研究」

2.4GHz 帯での無線 LAN と複数の無線 PAN 共存方式を提案した。多数の無線 PAN が無線 LAN と共存している状況において、提案方式を用いることで無線 PAN の通信特性に信頼性を与えることができ、無線 PAN と無線 LAN の両方のスループットが向上することを明らかにした。

塩 谷 郁 弥(守倉教授)「無線 LAN 高密度化のための同時リソース制御の解析」

無線 LAN の高密度化を背景として、空間的チャネル再利用のための送信電力及びキャリア検出閾値の同時制御をゲーム理論を用いて解析を行った。送信電力とキャリア検出閾値を反比例の関係で設定する方法が、スループット改善と公平性の観点で有効であることを示した。

西 岡 良(守倉教授) 「カメラを用いた可視光通信による無線 LAN メディアアクセス制御」

IEEE 802.11 無線 LAN 機器のメディアアクセス制御方式として、カメラと LED を用いたアクセス方式を提案した。端末は LED を用いてアクセス要求し、基地局がそれをもとに送信権を割り当てることでスループット改善できることを明らかにした。

山 下 翔 大(守倉教授)「無線 LAN とマイクロ波送電の共存システムの実験」

周波数共用を前提としたマイクロ波電力伝送を用いた無線 LAN 端末の給電について、通信タイミング情報共有に基づく時分割運用法を提案した。更にスループット改善を目的としたレクテナ出力に基づく適応レート制御法を提案した。

原 直 也(高橋教授)「割り当て粒度が小さい光パスネットワークにおける通信品質向上に関する研究」

エラスティック光パスネットワークは、細かい粒度の周波数スロットを組み合わせ光パスごとに柔軟に帯域を提供する。本論文では、変調方式別の帯域を設けかつ各帯域幅を棄却率に基づいて動的に制御する周波数割り当て手法を提案し、公平性の問題を解決できることを計算機シミュレーションによって示した。

大 森 裕 介(高橋教授)「通信ログを用いた通信機会予測手法の研究」

蓄積される通信ログから次の通信を予測することはサービスやネットワーク運用において有用である。本論文では仮想通信ネットワークの概念とそれに基づくリンク予測システムを提案し、実際の通信ログのデータセットを用いた評価によりその有効性を示した。

田 嶋 翔 太(高橋教授)「劣環境ネットワークにおける優先制御方式」

DTN (Delay/disruption Tolerant Networking) では、通信相手が近くにいない場合はデータを保持し通信可能時に転送を行うストア・アンド・フォワード方式を用いた通信を行う。本論文では、バッファの優先制御方式を提案し、全体の到達率を維持したまま高優先データの到達率を向上できることをシミュレーションによる評価で示した。

呉 祺 深(高橋教授)「Renewable Energy-aware Communication Systems(再生可能エネルギー適応型通信システムの研究)」

通信システムの消費エネルギーが問題になる中、再生可能エネルギーの有効活用が検討されている。本論文では、再生可能エネルギーによる発電量に応じてトラヒック量を適応的に制御する新たな通信システムを提案した。計算機シミュレーションにより従来エネルギーの消費を大幅に削減できることを示した。

王 梓(高橋教授)「Dynamic Color Mixing for Modeling Social Influencing(人の社会的作用をモデル化するための混色モデルの研究)」

人々は行動を選択する際、社会的要因に影響を受ける。社会的要因特に相互作用をモデル化できれば様々な分野での活用が考えられる。本論文では、社会的オブジェクト間の相互作用を混色モデルでモデル化することを提案した。数値評価と実データを用いた評価により、提案モデルの有効性を示した。

清 水 裕 史 (佐藤 (高) 教授) 「分散共有型混合ガウスモデルを用いた MOS トランジスタ界面状態数の推定手法」

MOSトランジスタの微細化に伴い、RTNと呼ばれる閾値の時間変動が顕著となっている。この現象をモデル化するため、分散共有型混合ガウスモデルと EM 法によりトランジスタの界面状態を推定する手法を提案した。また情報量基準を用いることで混合分布におけるモデル数の自動推定を実現した。

岡 崎 剛(佐藤(高)教授)「ランダムウォークと反復法の交互実行による高速電源網解析」

ランダムウォークを用いた電源網解析は並列性が高いが収束速度の遅さが課題である。本研究ではランダムウォークによる電圧推定と反復法による誤差平滑を交互実行し、高速収束させる手法を提案した。 提案手法を16並列で実行することにより、直流解析で45倍の高速化を達成した。

佐 川 善 彦(佐藤(高)教授)「パワーゲーティングによる非接触チップ間通信の低電力化」

非接触チップ間通信の低電力化を実現する、オンチップ通信回路を提案した。送信回路と受信回路において受信信号に応じたパワーゲーティングをそれぞれ行うことで、送信回路の通信時消費電力を16%、回路全体の平均消費電力を39%削減した。

曹 效 倫(佐藤(高)教授)「Interdigital Capacitance Sensor with Capacitance-to-Voltage Amplifier for Heartbeat Detection」(心拍検出のための交差指型静 電容量センサおよび容量電圧変換回路)

静電容量センサを用いた非侵襲での心拍検出手法を提案する。電極に交差指型構造を、容量測定回路に電荷ベース容量測定法をそれぞれ用いることにより、高感度な静電容量センサを実現した。試作センサによる実験の結果、センサ表面に触れた指先の微小振動から心拍を検出できることを示した。

竹 下 俊 宏 (小野寺教授) 「集積回路のエネルギー効率を最大化するための電源電圧としきい値電 圧の設定指針 |

与えられた遅延制約のもとで集積回路の消費エネルギーを最小化する電源電圧としきい値電圧の設定 指針を示した。商用の 28nm プロセスを対象とした回路シミュレーションと 65nm プロセスで試作した 暗号回路の実チップ測定により電圧設定指針の正当性を確認した。

中 西 晋 一 (小野寺教授)「リングオシレータの発振周波数ゆらぎの統計的解析に基づくランダム テレグラフノイズのモデル化|

ランダムテレグラフノイズ(RTN)と呼ばれるトランジスタ閾値電圧の時間的な揺らぎを、リングオシレータの発振周波数揺らぎとして観測した。測定した周波数変動量から閾値電圧変動量を算出し、回路の動作中に発生する RTN のトランジスタ寸法依存性をモデル化した。

今 坂 良 平(佐藤亨教授)「UWBドップラーレーダを用いた呼吸と心拍の同時推定法|

UWBドップラーレーダを用いて、呼吸中の人体表面を観察し、呼吸と心拍数を同時かつ高精度に推定する方法を提案した。様々な体位・呼吸状態での心拍数を測定し、トポロジー相関を用いて波形変動を含む心拍信号から正確な瞬時心拍数を推定することに成功した。

奥 村 成 皓 (佐藤亨教授) [High-accuracy imaging techniques for medical ultrasound using spatial domain interferometry with adaptive signal processing]

超音波経頭蓋骨ドップラ法による脳内血流測定において、大きな障害となる頭蓋骨からの反射波を適 応的信号処理により抑圧し、正確な血流速度を推定する手法を開発した。シミュレーションによりその 性能を検証すると共に、演算量を大幅に削減する手法を開発した。

加納 佑一郎 (乗松准教授)「任意のしきい値での光ホモダイン受信において位相雑音を考慮した高速な誤り率評価法

光ホモダイン検波に対する相補誤差関数を用いた誤り率評価法について、受光素子のばらつきの影響を考慮できるよう拡張した。さらに、位相雑音を考慮した場合に、任意のしきい値設定が必要な変調方式にも適用可能な計算手法を確立した。

山 崎 宥 記(佐藤亨教授)「UWBマルチドップラーレーダ干渉計を用いた歩行人体の断面形状推定」 UWBドップラーレーダを用いた屋内での移動人体の形状認識において、従来は妨害波とみなされて いた壁面反射波を利用して複数の鏡像干渉を構成し、歩行人体の各部位を独立に追跡することで、正確 な人体の水平断面形状を推定する手法を開発することに成功した。

情報学研究科 システム科学専攻

東 良 樹(石井教授)「状態遷移モデルを用いた脳磁図信号からの3次元手指運動の再構成」

脳磁図の信号からヒトの多指運動を再構成するために、独立成分分析で脳活動特徴量を抽出し、隠れマルコフモデルで複数の脳状態に分類後、隠れ状態ごとに特徴量と各関節位置との線形回帰モデルを学習させた。結果、従来法に比べ少ない数の特徴量で高い再構成性能が得られた。

清 川 正 徳(石井教授)「局所的基底学習を用いたシングルフレーム超解像」

1枚の低解像度画像を高解像度化するシングルフレーム超解像法の開発を行った。与えられた低解像 度画像と類似した低解像度画像に対応する高解像度画像のみから局所的な基底学習を行うことで、少数 基底の学習で正確な高解像度画像を推定できることを示した。

小山田 創 哲 (石井教授) 「Principal sensitivity analysis and its application to knowledge discovery in functional neuroimaging (主感度解析とその脳機能イメージングにおける知識発見への応用)」

教師有り学習によって他クラス識別器を構築したのち、これを用いてクラスを特徴付ける知識を可視 化する手法、主感度分析(Principal Sensitivity Analysis; PSA)を提案した。提案手法の有効性を示す と共に脳機能イメージングへと応用した。

村 瀬 晃 生 (石井教授)「創傷治癒における周期的信号に誘導される細胞集団移動メカニズムの考察」 創傷治癒の過程において生じる協働的な細胞集団移動と外部から与えられる分子シグナルの寄与との 関連を表す数理モデルを構築し、これを調べた。傷周辺部位から生成するトラベリングウェーブ状の分子シグナルが効率的な細胞集団移動を誘導しうることが分かった。

伊 藤 洋(石井教授;ATR 連携)「上肢動作時系列に基づく搭乗型移動ロボット制御 |

車椅子上の要介護者と介助者の間に存在する身体的インタラクションを模擬して電動車椅子のコントローラに応用することで、電動車椅子が要介護者の身体動作に基づいてアシストする新しいインタフェースを提案した。

小 澤 和 樹(石井教授;理化学研究所連携)「ニューロン新生を伴う Extreme Learning Machines によるパターン認識 |

脳の学習に深い関係があるとされている海馬内のニューロン新生を模擬して Extreme Learning Machine というニューラルネットワーク構造にニューロン新生の要素を加える事で機能向上を図った。 手書き文字認識の学習における性能向上を示した。

遠 藤 翔 大 (松田教授) 「手術時の切削による形状変化を重畳した拡張内視鏡画像に関する研究」

椎骨に対する内視鏡手術の支援を目的として、切削時の術具先端位置の履歴に基づいて残切削量を実時間で内視鏡画像に重畳可視化する拡張内視鏡画像生成法を提案した。被験者実験を通して、提案方法が切削の正確性の向上や切削所要時間の短縮に有効であることを確認した。

水 野 貴 志(松田教授)「MR Elastography 用ベッド型振動発生装置を用いたブタ筋線維の異方性 弾性率テンソルの計測 |

異方性をもつ生体組織の弾性率テンソルの計測を目的に、圧電素子を用いたベッド型縦波発生装置とベッド型横波発生装置を提案し、ポリウレタン製弾性繊維を用いて作製した横等方性ファントムおよびブタ筋線維を対象に異方性弾性率テンソルの計測および検証を行った。

門 間 翔 太 (松田教授)「MR Spectroscopy を用いた腫瘍内グルコース代謝の温度依存性に関する 研究 |

がん細胞におけるグルコース代謝は解糖系への依存度が高く、また低体温で成長が促進されるという 従来研究に基づき、がん細胞と腫瘍モデルマウスを対象に異なる温度条件下で MRS 法により解糖系代 謝産物である乳酸を経時的に測定したところ、解糖系活性には体温による差異は認められなかった。

エネルギー科学研究科 エネルギー社会・環境科学専攻

半 田 大 樹(下田教授)「VR Earthquake Experience System with Automatic Reconstruction of Indoor Environment(室内環境の自動再構築手法を用いた VR 地震体験システム)」

地震体験手法のうち人工現実感を用いる既存手法は環境のモデリングコストが高いという問題がある。そこで、モデルを 3D スキャンから自動で再構築し物理シミュレーションを行うことで安価に地震の体験が可能なシステムを提案し実験により評価した。

瀬 尾 恭 一 (下田教授) 「知的作業中の生理指標計測による作業成績推定手法の検討 |

知的生産性評価手法の基礎検討として、事務作業を模した認知タスク遂行中の瞳孔径及び心拍変動成分から、機械学習手法を利用してタスク解答数を推定する手法を検討した。被験者実験の結果、サポートベクター回帰を用いた場合、高い推定精度が確認された。

井 上 弘 輝 (下田教授)「環境配慮行動促進のためのオンラインコミュニティの活性化・継続手法|

環境配慮行動促進のため、承諾誘導理論に基づいたオンラインコミュニティの活性化・継続手法を提案した。評価実験を通して、提案手法によるオンラインコミュニティの活性化・継続効果と参加者の環境配慮行動の頻度の向上を確認した。

池 野 裕 俊 (下田教授) 「消費者価値観を考慮した環境配慮商品の推薦手法の検討」

環境配慮商品が人々にあまり買われていないという問題を解決するために、消費者価値観を用いた環境配慮商品の推薦手法を考案し評価した。消費者価値観を用いた推薦手法は、消費者属性を用いた推薦手法よりも有効であることが分かった。

島 村 祐 太(下田教授)「気流制御環境下における知的生産性変化の客観的・定量的評価」

本研究では知的生産性向上効果を期待する気流環境を提案し、その効果を客観的かつ定量的に評価した。評価実験の結果、気流環境では標準環境と比較して知的生産性が6.5% ポイント有意に高いことを客観的かつ定量的に示すことができた。

高 松 貴佐雄(下田教授)「個人を対象とした二酸化炭素排出許容枠制度のケーススタディ」

個人を対象とした固定価格型二酸化炭素排出許容枠制度(FIT-PCA)が制度対象者に及ぼす影響を調査するために、FIT-PCA による行動変容モデルを作成し、約半年間、FIT-PCA を仮想的に導入するケーススタディをおこなった。

エネルギー科学研究科 エネルギー基礎科学専攻

ることを示した。

上打田内 啓允 (中村 (祐) 教授)「トカマクプラズマにおける HINT2 コードを用いた MHD 平衡解析」 ヘリカル型プラズマの MHD 平衡を磁気面の存在を仮定することなく計算できる三次元 MHD 平衡 コードとして開発された HINT2 コードを、トカマクプラズマにおける非軸対称性の影響の解析に適用するために、計算領域境界における境界条件の改善を試みた。トカマクではヘリカル系とは異なり、大きなプラズマ電流が流れているため、矛盾のない境界条件を与えることがより重要となる。本研究ではビオ・サバール則に基づき境界条件を更新することで、HINT2 を用いたトカマク平衡計算が改善され

高 橋 志 英(中村(祐)教授)「Virtual Casing 法を用いたトカマクプラズマの周辺磁場解析」

ポロイダルコイルや制御用コイルに流れる電流や真空容器に誘導される渦電流とのカップリングを考慮したトカマクプラズマの MHD 平衡ダイナミクス解析を行うことを最終的な目的として、プラズマ電流がプラズマ外部に作る磁場解析を高速で行う手法の開発を行った。三次元 MHD 平衡コード VMEC で得られたトカマクプラズマ内の平衡磁場データを用いて、Virtual Casing 法に基づき周辺磁場解析を行い、プラズマ近傍における特異性の除去に関して考察を行った。

田 中 暁 大(中村(祐)教授)「反復法を用いた MHD 平衡コードの開発」

VMECや HINT など既存のコードの問題点を解消した新しい MHD 平衡コードを反復法に基づき開発することを目的とし、その初期段階として軸対称トカマクを対象とした2次元コードの開発を行った。このコードは磁気島や磁気面の乱れの解析を行うことができるように、入れ子状の磁気面の存在を仮定せずに平衡計算を行うため、MHD 平衡方程式を直接、反復法により解いており、座標系は円柱座標系

を用いた。トカマクのリミター配位に対する平衡計算により、計算手法の有用性を示した。

原 雄二郎(中村(祐)教授)「垂直移動現象(VDE)を伴うトカマクディスラプション時の電流 減衰時間の決定機構」

トカマク装置 JT-60U で実際にディスラプションが起こった放電を例に、電流減衰開始直前のプラズマ条件を変化させたとき、ディスラプション時の VDE やプラズマ減衰時間がどのように変化するか数値シミュレーションコード DINA を用いて解析した。その結果、外部ポロイダルコイルにより作られた磁場の減衰インデックスと初期プラズマ電流分布が、VDE の速さと強い相関関係があることが明らかになった。

エネルギー科学研究科 エネルギー応用科学専攻

青 木 翔 太(土井教授)「電子ビーム蒸着 MgB₂ 膜の臨界電流特性に与える C, Ni, Fe 添加およびア ニール効果」

MRI 診断装置用の MgB_2 超伝導線材の開発のため、C, Ni, Fe ナノパーティクル添加およびアニールの有効性を実験的に検討した。Ni, Fe は臨界温度 T_c を低下させるものの量子化磁束線のピン止め効果が高く臨界電流密度 J_c を向上させることを明らかにした。

内 間 貴 之(土井教授)「{110}<001> 集合組織 Fe を基材とした YBa₂Cu₃O_y 線材における中間層 構造の開発 |

高性能低コスト高温超伝導線材の開発を目指し、珪素鋼テープ上に3軸結晶配向 YBa₂Cu₃O_y 厚膜層を作製することを目的に、テンプレート基材の結晶配向度を維持したまま基材と YBa₂Cu₃O_y 厚膜層の 反応を防止する新規なバッファ層構造を開発した。

中 順 平(土井教授)「Fe を基材とした YBa₂Cu₃O₄ 超伝導線材の高臨界電流密度化」

珪素鋼テープ上に 4 層のバッファ層を介して 3 軸結晶配向した $YBa_2Cu_3O_y$ 厚膜層を形成した新規構造の高温超伝導線材の開発を行い、各バッファ層と $YBa_2Cu_3O_y$ 厚膜層の成膜条件の最適化により臨界電流密度の向上に成功した。

松 浦 瞬(土井教授)「磁場中コロイドプロセスによる高次配向性希土類系高温超伝導体の作製」

3種類のコロイドプロセスと磁場配向法の組み合わせによって、異方的な磁化率を有する希土類系高 温超伝導体を3軸結晶配向させることを試み、間欠回転磁場中でコロイド溶液を乾燥させる方法で3軸 配向体が作製可能であることを見出した。

米 村 直 樹(白井教授)「希土類系高温超電導線材を用いた変圧器磁気遮蔽型超電導限流器の限流 特性ならびに高安定磁場マグネットシステムの基礎検討」

変圧器磁気遮蔽型超電導限流器において、二次側コイルに希土類系高温超電線材を用いることで、限流リアクタンスが増大し復帰特性が向上することを明らかにした。また、電源駆動低温超電導 MRI マグネットの磁場安定度を計測し、小型高温超電導コイルの遮蔽電流磁場を評価した。

松 澤 崇 之(白井教授)「Critical Current Properties of MgB₂ Wire Cooled by Liquid Hydrogen under External Magnetic Field(液体水素冷却 MgB₂ 線材の外部磁場下における臨界電流特性)」

MgB₂ 超電導線材の基礎特性評価として、液体水素冷却条件で製法・形状の異なる MgB₂ 線材の外部 磁場下での臨界電流特性を測定した。複数の温度・磁場条件で液体水素の冷却効果及び各線材の臨界電流密度、n 値を評価した。

米 田 和 也(白井教授)「Over Current Characteristics and Thermal Stability of REBCO Tape Cooled by Liquid Hydrogen or Liquid Nitrogen(液体水素または液体窒素冷却下での REBCO テープ線材の過電流特性及び熱的安定性の検討)」

液体水素冷却 REBCO 超電導応用機器の実用化に向けて、REBCO 線材の過電流特性をさまざまな液温、磁場下で評価した。また、液体窒素冷却超電導限流器の設計を目指して、REBCO 線材の常電導転移後の復帰特性に対する冷却フィンの影響を検討した。

堀 江 裕 輝 (白井教授) 「Forced Flow Heat Transfer Characteristics of Liquid Hydrogen from a Heated Wire set in the Central Axis of a Vertically-mounted Pipe (円管 流路の中心に設置した円柱発熱体における強制対流液体水素熱伝達特性)」

液体水素冷却超電導機器の冷却設計に必要な強制対流下での液体水素熱伝達特性を CICC 導体模擬の 供試体を用いて幅広い流速、圧力およびサブクール度で計測した。実験結果から臨界熱流束、膜沸騰熱 伝達、超臨界圧下での熱伝達の表示式を検討した。

エネルギー理工学研究所

犬 飼 元 晴(長崎教授)「光陰極高周波電子銃におけるビームローディングによる0モードの励振 及びビーム特性への影響」

高周波電子銃において電子加速のために外部電源で励振する π モードの縮退モードである0モードの、電子ビームの空間電荷効果による励振を解析可能な数値解析手法と計算コードを開発した。これを光陰極型高周波電子銃に適用し、励振された0モードが電子ビーム特性に与える影響を明らかにした。

中 松 良 太 (長崎教授) 「特定核物質非破壊検知システムのための IEC 中性子源のパルス動作特性 と中性子計測・解析技術に関する研究 |

核テロ対策のための特定核物質非破壊検知システムに必要とされる放電型核融合中性子源のパルス動作特性を実験的に明らかにした。また、海運コンテナ内に隠匿された特定核物質を検知するための中性 子検出器配置を数値シミュレーションにより検討するとともに、必要な検査時間等を評価した。

元 嶋 誠(長﨑教授)「ヘリオトロン」における静電プローブを用いた周辺プラズマ乱流揺動に 対する水素同位体効果に関する研究」

乱流揺動に対する同位体効果を調べるため、ヘリカル装置ヘリオトロン J において水素 / 重水素比率に対する周辺プラズマの揺動構造の違いを観測した。水素 / 重水素比率に対する乱流揺動の波数の変化、および観測箇所によってその波数変化の様相が異なることを明らかにした。

鈴 木 文 子 (水内教授) 「ヘリオトロン J における電子密度揺動計測用様 Ka バンドマイクロ波反射計の構築 |

ヘリオトロン J 装置において電子密度揺動計測を行うためのマイクロ波反射計の開発を行った。同装置における典型的なプラズマ電子密度領域を考慮し、Kaバンド O-mode 伝搬のマイクロ波反射計を設計・製作し、初期データとして MHD 揺動起因の電子密度揺動の観測に成功した。

桐 本 充 晃 (水内教授) 「ビーム放射分光計測を用いたヘリオトロン J プラズマにおける密度揺動 の波数ベクトル解析 |

ヘリオトロンJのビーム放射分光計測において、ポロイダル方向×径方向に2×16の視線を配して密度揺動の波数ベクトル解析を行った。高速イオン励起 MHD 揺動に起因した揺動の空間構造を同定でき、従来の磁気計測では評価が難しかったプラズマ中心部でのポロイダルモード数の推定に成功した。

安 枝 樹 生 (水内教授)「ヘリオトロン J における高速イオン損失研究のための荷電交換中性粒子 分析器の高時間分解能化」

プラズマ中から発生する高速イオン起因の荷電交換中性粒子束を高速で計測することを目指し、シリコン半導体をベースにした検出器を導入し、荷電交換中性粒子の可能性を示唆する信号の検出に成功した。また、今後の課題として、軟 X 線による信号の除去が必要であることを示した。

原 田 伴 誉(水内教授)「ヘリオトロン」における荷電交換再結合分光法を用いたポロイダルフロー計測 |

高分散なエシェル分光器を導入し、ポロイダル方向のプラズマ流速を計測するシステムを構築した。 電子サイクロトロン波加熱の重畳により流速の向きの反転が観測された。これは径方向電場がイオン ルートから電子ルートへ変化したことを示唆する。

LU XIANGXUN (水内教授)「Heliotron J における荷電交換再結合分光法を用いたイオン温度分布計測」 高密度プラズマ放電におけるイオン温度分布の変化を調べた。超音速分子性ビーム入射時にプラズマ 密度の上昇に伴って周辺部のイオン温度の上昇を観測した。この時イオンへの単位粒子あたりの加熱パワーは減少しているため、閉じ込め・輸送の変化が示唆される。

程 崧 明(水内教授)「ヘリオトロン J における Nd: YAG トムソン散乱計測装置を用いた ECH プラズマ分布の研究 |

ヘリオトロン J 装置において電子サイクロトロン波加熱により生成されたプラズマの電子温度・密度 分布を新たに開発した Nd: YAG トムソン散乱計測装置を用いて詳細に計測、閉じ込め改善現象である 電子内部輸送障壁形成の特徴を持つプラズマ分布が形成されていることを見出した。

強 重 遠 (佐野教授)「真空紫外分光によるヘリオトロン J プラズマの不純物挙動に関する研究」 真空紫外分光器を用いてヘリオトロン J プラズマ中の Ti、Fe、O、C などの不純物線スペクトルを計 測し、プラズマ実験初期の不純物減衰、磁場反転時の Fe、Cr の不純物増加を明らかにした。また、高

密度プラズマにおいて制動放射評価を試みた。

中 山 裕 介 (佐野教授) 「ヘリオトロン J におけるファラデーカップ型損失高速イオンプローブを用いた高速イオン励起 MHD 不安定性起因の高速イオン損失に関する研究」

開発したプローブをヘリオトロン J プラズマに適用し、間欠的なアルヴェン固有モード(AE)と損失高速イオンとの関係を調べた。発生した AE と損失高速イオンの変化との同期が確認され、揺動強度と損失高速イオンとが比例関係にあることを示した。

木 谷 壮 志 (佐野教授) 「ヘリオトロン J におけるヘリウム原子輝線強度比法のための低分散・高 スループット可視分光計測システムの開発 |

ヘリウム原子輝線強度比法により、電子温度、電子密度分布の時間発展計測のための分光器の設計・開発を行い、性能評価を行った。当該分光器をヘリオトロンJのヘリウムプラズマ測定に用いて447.1nmから728.1nmまでの7本のヘリウム原子輝線を確認した。

西 川 幸 佑 (佐野教授) 「ヘリオトロン J の高密度プラズマにおける軟 X 線計測を用いた MHD 平 衡および安定性の研究」

マルチチャンネル軟 X 線検出器を 3 台用いて軟 X 線トモグラフィを行うため、検出器配置を検討し計測システムを開発した。さまざまな粒子補給法によって生成された高密度プラズマを測定し軟 X 線分布を求め、分布の差について検討した。

生存圏研究所

阪 本 洋 人(山本教授)「比良おろし予報システムの開発に関する研究」

比良おろし(比良山地から吹き降りる強風)に関して、気象庁配信データを初期・境界値として、非静力学数値予報モデルWRFを用いて、200m水平分解能で12時間先までの予報システムを構築した。 比良おろし発生の判定手法を開発し、適中率を従来の50%から82%にまで向上させた。

吉 川 賢 一 (津田教授)「気温鉛直分布測定のための多波長検出器を用いたラマンライダーの開発」 回折格子と 32 チャネルのアレイ状光電子増倍管で構成される多波長検出器を用いて、大気分子から の回転ラマン散乱スペクトルを捉える気温ライダーを開発した。ラジオゾンデとの比較観測から、ライ ダー信号から求まる気温鉛直分布の推定精度を評価した。

Yutong LIU (津田教授)「Aerosol Size Distribution Determined from Multiple Filed-Of-View Lidar (マルチ視野角ライダーによるエアロゾル粒径分布の導出)」

多重散乱信号を計測するマルチ視野角ライダーを構築して、信号に含まれるエアロゾル粒径分布の情報を抽出する手法を開発した。ライダーの光源に波長 266nm のレーザーを使うと、粒子直径 100nm 以下の粒径分布の推定精度が向上することを確かめた。

上 杉 拓 麿 (津田教授) 「波長 266nm レーザーを光源とした水蒸気ラマンライダーの開発」

下部対流圏の水蒸気を昼夜連続で観測することを目的として、ソーラーブラインド領域となる波長 266nm のレーザーを用いた水蒸気ラマンライダーを新開発した。ラジオゾンデ・地上観測との比較観測 から、構築した水蒸気ライダーの計測精度を検証した。

松 本 直 樹 (津田教授) 「レーダー長期観測による赤道域の中間圏・下部熱圏における大気力学過程」

赤道中間圏・下部熱圏域の高度 70-110km における風速の周期振動とそれら不規則変動の発生機構を解明するため、アジア・オセアニア域における流星レーダー等の長期データを用いて、東西と南北平均風の相関解析、並びに Hocking 法による運動量フラックスの導出を行った。

松 田 貴 文 (津田教授)「ジャワ島西部バンドン盆地での集中観測によるメソスケール対流現象の 研究 |

インドネシアのジャワ島西部に位置するバンドン盆地のメソスケール対流現象を理解するため、気象要素の時空間変動を把握するための複合観測から対流発生メカニズムを推論し、メソスケール数値モデルによる再現実験の結果を参照して検証した。

星 賢 人(山川教授)「地球静止軌道環境における宇宙機の能動帯電特性の解析」

通常は回避すべき現象である宇宙機の帯電現象を積極的に行うことで、地球磁場との相互作用によるローレンツ力や、複数の宇宙機間のクーロン力を利用することを提案した。三次元 Full Particle-in-Cell 法による計算シミュレーションを用いて、宇宙機の帯電特性を明らかにした。

頭 師 孝 拓(山川教授)「宇宙電磁環境を計測する小型センサーシステムの研究」

宇宙空間における電磁環境変化を反映するプラズマ波動を小型センサープローブで多点同時に観測できるシステムの設計・開発研究を行った。特に、プローブ内に収めるプラズマ波動観測チップの開発やシステムの設計開発を行い、十分な性能であることを示した。

赤 司 陽 介(山川教授)「ローレンツカを用いたスペースデブリ除去手法に関する研究」

積極的に帯電させ、地球磁場との相互作用によって発生するローレンツ力を用いて、人工衛星等の残骸であるスペースデブリの高度を低下させる手法について検討した。効率的に軌道高度を低減させるために、軌道のエネルギーや離心率に注目したオンオフ制御手法を提案した。

河 原 淳 人(山川教授)「信楽 MU レーダを用いたスペースデブリの形状推定に関する研究」

スペースデブリは、国際宇宙ステーションや人工衛星の運用にとって問題となっている。本研究では、 信楽 MU レーダを用いて、スペースデブリの大きさ・形状について把握することを目標として、推定の 理論的考察を行い、実際の観測を実施して、受信信号のデータ解析手法を提案した。

木 村 葵 (大村教授)「FDTD 法を用いた電離圏電流による地磁気誘導電流の解析」

電離層電流によって地面に誘導される電磁場、電流、電荷分布を3次元FDTD法により導出した。 複雑な電気伝導度分布を持つ地下構造を仮定した数値実験を行い、日本列島を含む中緯度域における地 磁気誘導電流の評価に応用可能であることを示した。

久保田 結 子(大村教授)「Relativistic electron precipitation induced by EMIC triggered emissions in the Earth's magnetosphere(地球磁気圏の EMIC トリガード放射によって誘発された相対論的電子の降り込み現象)」

地球磁気圏で観測されている電磁イオンサイクロトロン・トリガード放射とダイポール磁場モデルを 使って相対論的電子のテスト粒子シミュレーションを実行し、大量の放射線帯電子が数分のタイムス ケールでピッチ角散乱を受けて極域大気に降下することを示した。

岩清水 優(篠原教授)「火星飛行探査機への自動追尾型マイクロ波無線電力供給用送電システム の研究|

火星上での飛行探査を目指した探査機への電力供給手段としてマイクロ波無線電力伝送方式を実験的に研究した。送電システムのフェーズドアレー化や飛行機の方向検知手法を検討し、飛行機を自動追尾することによるマイクロ波送電ビーム方向の自動制御に成功した。

中 島 陵(篠原教授)「マイクロ波化学反応に用いる広帯域小型電磁波照射容器の開発」

電磁波化学反応実験を広い周波数範囲で実施するための広帯域小型電磁波照射容器を開発した。計算機実験により反射率 10% 以下の容器を設計し、製作した。実証実験より、周波数 1.7GHz、2GHz、2.45GHz において 5~6 分程度で超純水を 100℃まで加熱できることを確認した。

吉 野 純 樹 (篠原教授) 「宇宙太陽発電のための小型実験衛星のビーム形成に関する研究」

小型実験衛星を想定したマイクロ波ビーム方向制御精度の検討、衛星から地上に送電した際の地上でのビーム方向推定精度の検討、位相制御のみでマイクロ波ビームのサイドローブを抑制する手法の検討を計算機実験および電波暗室での実証実験にて実施した。

高等教育研究開発推進センター

双 見 京 介(小山田教授)「対話的可視化技術を用いた漁場形成因子の分析支援システムの開発」

漁場形成因子については、これまで空間的な分析が主となっており、時間的な分析は行われていなかった。この問題を解決するために、漁獲位置に至る流跡線をもとにして、漁獲に関する因果関係を時空間的に分析するためのシステムを開発した。このシステムの有効性を検証するうえで、実際のモデル開発研究者に利用してもらい、漁場形成因子についての仮説構築において有用であるとのコメントを得た。

学術情報メディアセンター

市 田 大 貴(中村(裕)教授)「筋電位を用いた上腕における同時活性の力学的分析」

肘の曲げ伸ばしに関わる筋束の協働作用、拮抗作用を解析するために、Hill モデルに基づいて筋肉のパラメータを同定する方法を提案した。その結果、同時活性時や負荷が変動する場合でも比較的精度良く筋活動を解析できることを示した。

保 澤 圭 亮 (中村 (裕) 教授)「人間の動作モデルを用いたポインティングシステムの設計と性能予測」 画像によって指差しジェスチャを計測し、ポインタを表示するジェスチャインタフェースにおける、 人間の動作特性、認知特性をシステム的にモデル化することにより、計測誤差の大きなシステムでもユー ザビリティを高めるための方法論を提案した。

村 邦(中村(裕)教授)「Modeling Attention Diversity and Measurement by Image Sensing」(注意分配のモデル化と画像センシングによる計測)

リハビリテーションへの応用を目指した注意分配の計測手法を検討した。作業中の人間の状況を画像で観測し、頭部、手、体幹の方向の変化や変化の同期を定量化することにより、複数の対象へ注意を分配する状態を推定する方法を提案した。

高校生のページ

磁石とスピントロニクス

工学研究科 電子工学専攻 電子物理工学講座 極微電子工学分野 白 石 誠 司、江 □ 学

1. はじめに:磁石のはなし

「磁石はくっつく」ことは古代ギリシャの時代から知られ、現行の理科教育の初年度に習うよく知られた事実です[1]。しかし「なぜ磁石はくっつくのか」という問題は、多くの人は触れる機会がないまま修了し社会に出ていくと思います。磁力は重力、電気力とあわせ私たちがふだんの生活の中で感じる三つの「力」のうちのひとつですが(ここでいう「力」は古典力学できちんと定義された物理量で、人が「重さ」として感じるものに相当します)、重力には質量という引「力」の源、電気力には電荷という引「力」ないし斥「力」の源が存在する一方、磁力の源に相当する「磁気モノポール」は今日でもその存在は確認されていません。磁力の起源に関する問題は十九世紀から存在する古いもので、科学の根幹に関わる非常に奥深い問題です。本稿ではこの「磁力の起源」をめぐる話題について紹介した後、「スピントロニクスデバイス」と呼ばれる近年急速に発展している新しい磁気デバイスについて紹介します。

私たちは磁石の N極と S極が引き合い、N極どうしあるいは S極どうしが斥け合う力を磁力として認識します。そして一本の棒磁石を二つに割れば、それぞれが新しく N極、S極をもつ二本の磁石になることも知っています [図 1(a)]。仮に磁石を細かく割っていき、最終的に原子一個まで割ればどうなるか ——この答えは、実はまだ誰も確かめたことはありません。しかし二つに割っても同じように N極と S極が現れるならば、一本の磁石は小さな磁石がたくさん集まって固まったもので、各々の微小磁石が同じ方向を向いて全体として一つの磁石になっている、と考えても良さそうです。実際この考え方は途中までは正しく、磁石を電子顕微鏡で観察すると数 μ mの大きさの微小磁石が集合した状態であることが分かります [図 1(b)]。しかし数 μ mの微小磁石とはいえ、まだ一兆個程度の原子で構成されています。さらに小さな磁石を作る試みは今日も続けられていますが、原子一個もしくは数個程度の微小磁石を作るには至っていません。

視点を変え、私たちにとって最も身近な素粒子である「電子」に目を向けてみましょう。電気を操作する技術体系はエレクトロニクスと呼ばれますが、これは電子の流れである「電流」を制御、操作して様々な機能を引き出す技術といえます。興味深いのは電子が二種類の違った状態をとるという事実であり、これは1922年に行われたシュテルン=ゲルラッハの実験により直接的に確認されました[3]。実験

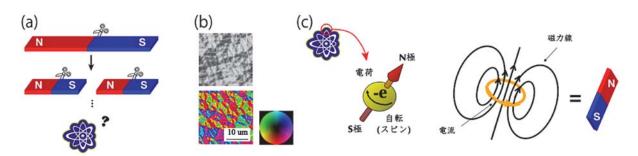


図 1. (a) 磁石を割っていくと? (b) 強磁性体中の微小磁石[2].(c) 電子のスピンと等価な微小円電流.

によると、電子には磁力に引きつけられるものと斥けられるものの二種類があります。これは「電子一つひとつが微小磁石になっており、上向きと下向きの二つの状態をとる」と解釈することができます。本稿では詳しく述べませんが、この有限(いまの場合二つ)の状態しかとらない現象は「量子化」と呼ばれ、数 nm 以下の小さな世界でのみ現れる不思議な現象です。この、磁力に反応して変化する二つの状態は今日「スピン」と呼ばれる物理量で表され、これを固体中で制御、操作する技術体系こそがスピントロニクスと呼ばれる研究分野です。

スピンという名前の由来は電磁気学のアンペールの法則に関係します(電流の周囲では磁力が生じる、という法則です)。具体的には「電子が自転(スピン)しているならばその回転運動を微小円電流と見なすことができ、これに起因する磁力が生じている」という考え方です(厳密に正確とまでは言えませんが、高校までで習う物理の世界では概ねこの理解で良いです)。大切なことは、この「微小円電流」と先に述べた「微小磁石」は同じ磁力を発生するため測定上区別がつかないことです。言い換えれば電子の「回転の右回りまたは左回り」の状態と「微小磁石の上向きまたは下向き」の状態は区別できない、ということです。これは磁力の起源は「電子の自転」か「電子がもつ微小磁石」のどちらかということを意味しますが、実際にどちらであるかは現在も未解明です。しかし、いずれの場合も電子が磁力の発生源であることに違いなく、従って磁力の起源は「電子が微小磁石であるため」と考えて不都合は生じません[図1(c)]。この考えに基づき、今日私達はこの微小磁石のことをスピンと呼び、磁石は固体中電子のもつスピンが数兆個以上、同一方向に凍結された状態と理解しています。

上記は「磁力の起源」に関する話しであり、「なぜ磁石はくっつくのか」という問いには何の答えも与えていません。実はこの問いには、熱力学の第二法則に基づく現象論的な説明が与えられています。熱力学の第二法則は、進化論、エネルギー保存則(= 熱力学の第一法則)と並び人類が19世紀に発見した偉大な経験則です。より詳しく知りたい人は大学で物理学を学び、その深淵な世界をのぞいてみて下さい。次は、磁石が現代社会でどのように活用されているのか紹介します。

2. 磁石と現代社会

磁石といえば各家庭の冷蔵庫や学校の黒板に張り付いているマグネットを思い浮かべると思いますが、磁石の用途はもちろんこれだけではありません。磁石は現代社会における最も重要な材料といえ、その重要な用途が発電機です[図 2(a)]。2004年以降の日本の発電電力量構成比をみてみると、国内の電力は90%が火力、原子力発電でまかなわれていることがわかります[4]。これらの大規模発電は高圧高温の蒸気を用いて磁石を高速回転させ(西日本で60Hz,東日本で50Hz)、「電磁誘導」という現象を利用して回転のエネルギーを電気エネルギーに変換しています。つまり各家庭の電源コンセントより供給される電気は、磁石の回転運動により生産されていることになります。

電磁誘導は磁石を介して力学運動と電気を相互変換する現象であり、電気モーターを含む「電動機」

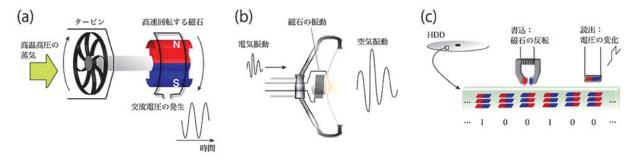


図 2. (a) 発電(タービン式)の原理.(b) イヤホンの原理.(c) ハードディスクドライブ(HDD) の記録と読み出し.

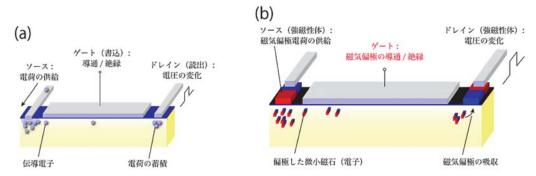


図 3. (a) ソリッドステートドライブ (SSD) 中の電界効果トランジスタ (FET). (b) スピントランジスタ.

と名のつく機器は電磁誘導を利用しています。パソコンの冷却ファンや携帯電話のバイブレーションもこれに該当します。自動車や飛行機などのハイパワー動力源はガソリンより力学回転を生み出すもので、従って電動機ではありません。しかしここでも回転部分に磁石が搭載され、発電機として利用されます。スピーカーやイヤホン、マイクといった音響機器は力学振動と電気振動を相互変換する装置であり、やはり電磁誘導が利用されています。イヤホンを例にとると、コイルに流れ込んだ電気振動が磁力を発生し、磁石がその磁力にあわせ高い精度で力学振動を起こします[図 2(b)]。この振動が空気振動として私たちの鼓膜に伝わり、音として認識されるという原理です。このように電磁誘導は日常生活のあらゆる場面で利用されており、私たちは磁石から多くの恩恵を受けています。

ナノテクノロジー分野でも磁石は重要な選択肢のひとつで、その代表的な例はハードディスクドライブ (HDD) です[図 2(c)]。HDD は 0、1 の二進数データを磁石の N 極、S 極で記録する装置です。記録部である磁気ディスクには今日では数十 nm に達する微小磁石が並んでおり、書き換え部である磁気ヘッドからの磁力に反応して N 極、S 極が反転されます。磁気ヘッドには読み出し部もあり、これは逆に微小磁石の N 極、S 極が発する磁力に応じて異なる電流を出力することで二進数データを取り出します。ここで重要となるのは、より強力で小さな磁石ができればデータの高密度化や読み出しに必要な電力の低減が図れることです。本稿のはじめに述べた微小磁石の開発は、実用面からも重要な課題といえます。

3. エレクトロニクスとスピントロニクス

コンピュータの大規模記録装置として最近、HDD の他にソリッドステートドライブ(SSD)と呼ばれるものが登場しています[図3(a)]。SSD は電荷の蓄積の有無で0.1の二進数データを記録する装置で、記録素子には電界効果トランジスタ(FET)が用いられています。FET のゲート電圧で電荷の蓄積を切り替え、この蓄積の有無を二進数データとして書き込み、読み出しを行います。ここで重要となるのは電子を閉じ込めておく「井戸」となる FET の性能で、FET を小型化、高速化することでデータの高密度化や省電力化が図られます。SSD は「電子を制御、操作して機能を引き出す」というエレクトロニクスの粋を集めたデバイスであり、中央処理装置(CPU)と並ぶ半導体エレクトロニクス技術の結晶と言えるでしょう。

ここまで HDD と SSD について紹介し、前者は磁力、後者は電気力を利用したデバイスであることを示しました。しかしはじめに述べたように、電子はそれ自身が微小磁石であり二つの状態をとるのでこれを制御、操作できればさらに多くの機能が期待できます。大雑把な表現ですが、HDD と SSD を融合したようなデバイスを考えてみようというわけです。スピントロニクスデバイスはこの考えに則った概念であり、最近になって従来には無い省電力で磁極の反転を実現させたり、スピン流(スピンのみが流れている状態)すなわち微小磁石の流れで信号を伝搬させたりといった新しい機能が報告されています。

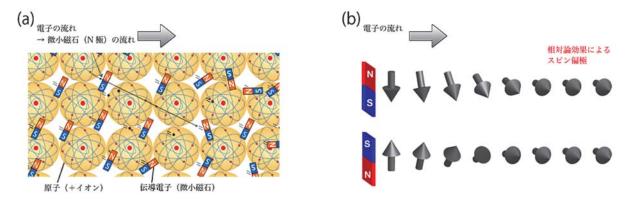


図 3. (a) 固体中の電子 (= 微小磁石) の流れ (b) 相対論効果による微小磁石 (= スピン) の変化 .

ここでは、最近になって室温動作が達成されたスピントランジスタについて簡単に紹介します[図3(b)]。上にスピン流は「微小磁石の流れ」と書きましたが、もう少し正確に述べれば「磁極が揃った微小磁石の流れ」です。通常の電流では電荷は一方向に流れますが、電子がもつスピンの向きはバラバラであるためスピンは特定の方向に流れていません。もしスピンが同じ方向に揃った状態であれば、電流はスピン流を伴うことになります。このような状態にするには電流の途中で磁力を加えれば良いわけで、最も簡単な方法として磁性体中を通過させる方法があります。電極に強磁性体を用いる方法がこれにあたり、トランジスタのソースに強磁性電極を用い、非磁性体にスピン偏極電流を注入します。スピントランジスタではこのスピン偏極した電流をゲート電圧で制御し、ドレインにたどり着くスピンの向きを操作します。スピントランジスタはまだ試作段階ですが、室温でスピン輸送と制御が可能な段階まで進展しています。

4. スピンと相対性理論

先程「スピントランジスタでは電圧(=電気力)でスピン(=微小磁石)の向きを制御する」と述べましたが、実はこれはとても不思議なことで、実は電子の相対論効果として現れる現象です[図4]。この効果は1928年にポール・ディラックによって特殊相対論を包含する量子力学が提案された際に同時に指摘され、今日「スピン軌道相互作用」と呼ばれます。スピン軌道相互作用は「磁力を伴わずにスピン偏極状態が実現できる効果」として現在、スピン制御の主役のひとつに数えられています。1905年にアインシュタインによって提案された相対論は、100年という時を経て固体中電子のスピン制御に利用されるまで身近になっています。

最後にスピン流に関する重要な未解決問題に触れておきます。ここまでスピン流を利用したデバイスについて説明しましたが、実際の測定では「スピン流に起因して生じる電圧」を観測しておりスピン流を直接観測しているわけではありません。またスピン流は量子力学で厳密に定義される「実験で観測できる量」の前提条件を満たさず、その意味ではじめに述べた「力」のような、きちんと定義された物理量とは言えません。しかし一方で、スピン流の概念はスピン偏極を伴う現象を説明するのに便利で、実際に観測された結果ともよく合うことからその存在に異議を唱えるのは難しいでしょう。このスピン流の解釈はいわゆる「観測問題」のひとつであり、現在も議論が続く興味深い話題です。

5. おわりに

本稿では磁石とスピンについて、その起源や実用例、さらに最先端デバイスへの応用例について紹介し、基礎科学に関する興味についても触れました。スピンをめぐる話題はまだまだ未解決の部分が多く、現代物理における主要な話題のひとつとして今後の発展が重要です。磁石の研究はその長い歴史ととも

に、現在も科学の新しい地平を切り開いています。

最後に、このような研究に興味を持った高校生諸君は是非白石研究室の門を叩いてください。今から 楽しみにしています。

参考文献と注釈

- 1) 文部科学省「小学校学習指導要領解説 理科編」 (2008).
- 2) 株式会社日立製作所ニュースリリース(http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2010/09/0921c.html) より転載(2010).
- 3) 量子力学の教科書を適宜参照のこと.
- 4) 電気事業連合会「電源別発電電力量構成比」(2014).

学生の声

「海外での研究経験 |

工学研究科 電気工学専攻 宇宙圏電波科学分野 博士後期課程3年 長 崎 陽

私は博士後期課程2年次に、JAXAおよび京都大学大学院工学研究科馬詰彰奨学寄附金の支援によって、NASAAmes研究センターにて8ヶ月間研究インターンシップを行いました。Ames研究センターはアメリカ航空宇宙局(NASA)の研究施設の一つであり、航空宇宙工学に限らず宇宙生物学、宇宙科学、理学、電気、情報工学など多様な分野における最先端の研究が行われています。私は専門とは異なる分野である宇宙生物学に関連した部局に所属し、NASAが計画する有人火星探査に向けたプロジェクトに関わっていました。

このような環境下で行う研究は、毎日が刺激的であると同時に自分の未熟さを感じる日々でした。一線で活躍する NASA の研究者との議論には付いていくのが大変で、自身の語学能力・処理能力が圧倒的に不足していることを痛感させられました。

参加していたインターンシップは研究以外にもプログラムが充実しており、SpaceX などの民間宇宙企業や、NASA の研究施設を見学するアメリカ宇宙産業ツアーをはじめ、NASA の権威や宇宙飛行士らと直接話す機会も与えられました。世界の宇宙開発の歴史を作って来た偉人たちとの出会いは、研究者を志す自分にとって夢のような経験でした。

今回のインターンシップでは若いうちから海外で経験を積むことの大切さを身を持って感じました。 語学能力をはじめとした自分自身の未熟さ、世界の研究情勢における現在の日本の立ち位置など、実際 に海外に出て経験しなければわからないことが数多くあると感じました。少なくとも私にとって、この インターンシップに参加したことが自身の価値観や視野を変え、今後の人生の選択を変える経験となっ たことは間違いないと言えます。読者の中に研究者を志す方がいれば(研究者に限りませんが)、ぜひ 学生のうちから積極的に海外に出て経験を積んで欲しいと思います。

「海外派遣プログラムへの参加」

工学研究科 電子工学専攻 電子材料物性工学分野 博士後期課程3年 山 岸 裕 史

少し前になりますが、2014年の3月から4月にかけての約3週間、イギリスのオックスフォード大学への大学院生派遣プログラムに参加する機会に恵まれました。短期間だったこともあり、長期の研究留学とは異なった視点からではありますが、海外の学術・研究教育機関の環境や現地の人々の考え方を知る良い機会になりましたので少しだけ報告させて頂きたいと思います。

イギリスのオックスフォード大学とケンブリッジ大学には、大学独自のシステムとしてカレッジ制と呼ばれる制度があります。これは大学の学生と職員の多くが学部・学科以外にカレッジという寄宿舎のような施設に所属し、専攻・専門の異なる人々と共に生活するというものです。今回オックスフォード大学のカレッジの一つに滞在し、その雰囲気を直に感じることが出来ました。近年、分野横断的な研究の重要性が広く認知されていますが、前述の二大学ではカレッジ内の多様なバックグラウンドを持つ人達の交流によってそうした学際的研究の種となるアイデア・議論が生まれやすい環境が歴史的にも古くから育まれ、今に至るまで連綿と続いているのが印象的でした。

私が参加したプログラムは、京都大学のジョン万プログラムという海外派遣プログラムの中の一つで、派遣期間中は学内の他の部科の学生との交流の機会にも恵まれました。研究者志望の学生のみならず、多様な将来展望を持つ人達と交流することが出来ました。普段の研究室での研究環境はどうしても閉塞的になりがちな様に感じるのですが、異なる価値観を持った多くの人と接触することで、異なる視点を取り入れて自分の研究や価値観を客観的に見つめ直す機会にもなった様に思います。

最後になりましたが、プログラム参加に際してお世話になった国際交流センター国際学生交流課の 方々と、私の希望を聞き入れてプログラム参加をご了承下さった研究室の先生方に、この場を借りてお 礼申し上げます。

教室通信

デザイン学大学院連携プログラム

情報学研究科 知能情報学専攻 黒 橋 禎 夫

本稿では、文部科学省の博士課程教育リーディングプログラムに採択され 2012 年秋からスタートした「デザイン学大学院連携プログラム」についてご紹介します。本プログラムには、情報学研究科、工学研究科、教育学研究科、経営管理大学院が参加し、プログラムコーディネータは石田亨教授(情報学研究科社会情報学専攻)が務めておられます。電気系教室としては情報学研究科の知能情報学専攻、システム科学専攻、通信情報システム専攻が参加しています。

今日の社会には一つの専門領域では解決できない複雑化した問題が山積しています。このことは東日本大震災後の復興の難しさからも実感されます。博士課程教育リーディングプログラムは、5年一貫の教育によって俯瞰力と独創力を備え、産学官にわたりグローバルに活躍する人材の育成を目指す学位プログラムです。その中で「デザイン学大学院連携プログラム」では、情報学、機械工学、建築学、経営学、心理学などの多様な領域の教員が結集し、異なる分野の専門家との協働によって「社会のシステムやアーキテクチャ」をデザインできる博士人材を育成することを目的としています。その人材像を、突き抜けた専門性を持ち、かつ専門領域を超えて協働できる専門家という意味を込めて「十字型人材(+-shaped people)」と呼んでいます。

本プログラムではいわばバーチャルな組織によってその教育・運営が行われています。参加する学生は、まず、上記専攻の修士課程にそれぞれの入試を経て入学し、入学直後の4月にデザイン学プログラムへの願書を提出して、書類・面接審査を経てプログラムの予科生となります。そして、半年間さまざまな教育プログラムに参加し、デザイン学の目指すところを理解し、また、博士後期課程への進学を決意した上で、修士1回生の10月から本科生となります。博士後期課程進学には再度、各専攻の入試に合格することが必要で、その上で、デザイン学に関して修士課程で学んだこと、また博士後期課程での研究計画などをQualifying Exam(博士論文研究基礎力審査)によって審査し、認められた場合にプログラム後半に進むことができます。

デザイン学プログラムの教育カリキュラムは、修士課程においては、デザイン学領域科目(各専門領域でデザインに関わる科目)、デザイン学共通科目(領域横断的なデザイン理論とデザイン手法に関わる科目)、さらに、演習科目である FBL(問題発見型学習)、PBL(問題解決型学習)から構成されます。また社会問題の解決をデザインする実体験の場として、修士1回生ではデザインスクール in 沖縄、修士2回生ではデザインスクール in 香港があります。博士後期課程では、自分の専門領域以外のデザイン学領域科目の履修や、海外を含むフィールドインターンシップ、リサーチインターンシップ、複数領域の専門家の議論をファシリテートするオープンイノベーション実習などを行います。さらに、社会の大きな課題に挑戦する産官学リーディングプロジェクトに参加し、複数領域の指導教員のもとで博士研究を行い学位論文をまとめます。このような活動の拠点として、京都リサーチパーク内にデザインイノベーション拠点、吉田キャンパス内にデザインファブリケーション拠点を設け、また産学の連携推進のために企業約50社が参加するデザインイノベーションコンソーシアムを立ち上げています。

2013 年春から学生募集を始め、現在は1期生の博士1回生が14名、修士2回生が16名、修士1回生(予科生)が15名在籍しています。いよいよこの春から博士学生が誕生し、社会的課題に取り組むリーディングプロジェクトを通した博士研究も始まっています。一方で、このような文科省プログラムの常として、その期間は6.5年、すなわち博士修了生が2回出たところで予算は終了となります。本プログラムが当初の目標どおりの人材育成を行えるのか、それが産業界などからも広く受け入れられるのか、そして何よりもプログラムが自立し、継続的なものとなり得るのか、この1~2年がプログラムの正念場です。産官学の先輩諸氏の一層のご支援とご鞭撻を頂戴できれば幸いです。なお、本プログラムには博士後期課程からの編入も可能ですので、社会において多様な専門家の協働の必要性を痛感しておられる若手OB諸氏の挑戦も歓迎致します。

[1] デザイン学大学院連携プログラム ホームページ: http://www.design.kyoto-u.ac.jp/about/

編集後記

Cue34号をお届けします。本号の「巻頭言」「大学の研究・動向」「産業界の技術動向」では、それぞれ最新のエネルギー問題、高速移動通信技術の最前線、さらには女性技術者のキャリアパスなど、社会と科学技術とのつながりを強く意識させ、現在幅広く関心を集めているトピックスについて触れており、非常にタイムリーな話題を提供できているのではないかと思います。大学も、実社会とのつながりやその社会的役割を明確にすることがますます重要になっており、こうした流れの中で、研究・教育の特定分野への重点化が進められつつあるようです。話しは変わりますが、生物進化の歴史を読んでいると、劇的な環境変動に対応する不連続な進化は、常に主系統から外れた派生的系統から生じており、常に種の多様性の確保が、予想を超える進化の駆動力になっていることに気付かされます。科学技術の歴史においても、花粉の運動解析が現在の非平衡統計力学や数理ファイナンスに発展したように、主要な流れからは遥かに遠い問題が、予想もできない大きな展開につながった例は枚挙にいとまなく、学問の発展あるいは技術的イノベーションにおいても多様性の確保が非常に重要であることを示しています。もちろん人的・経済的リソースは限られてはいますが、今後、学問の多様性の確保の重要性が広く理解されることを願うばかりです。最後になりましたが、今回ご執筆いただいた皆さまには厚く御礼申し上げます。

[H.Y.記]

協力支援企業

新日 鐵 住 金 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 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27年9月

編 集:電気系教室 cue 編集委員会

大村 善治、松尾 哲司、守倉 正博、 山田 啓文、掛谷 一弘、石原 亨、 薄 良彦、荒木 光彦(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