

CUE

京都大学電気関係教室技術情報雑誌

NO.42 SEPTEMBER 2019

[第42号]

.....
卷頭言

島崎 眞昭

.....
大学の研究・動向

回転機を基軸とした

エネルギーイノベーションを目指して

工学研究科 電気工学専攻 優しい

地球環境を実現する先端電気機器工学講座

.....
産業界の技術動向

産業界における新しい

新事業創出の取り組みについて

NPO 法人 HAB (高周波・アナログ半導体
ビジネス) 研究会 理事長 南部 修太郎

研究室紹介

平成 30 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 42号 目次

巻頭言

コンピューティング雑感

…………… 昭和 41 年卒 京都大学名誉教授 島崎 眞昭…………… 1

大学の研究・動向

回転機を基軸としたエネルギーイノベーションを目指して

……………工学研究科 電気工学専攻 優しい地球環境を実現する先端電気機器工学講座…………… 4

産業界の技術動向

産業界における新しい新事業創出の取り組みについて

……………NPO 法人 HAB (高周波・アナログ半導体ビジネス) 研究会 理事長 南部 修太郎…………… 9

研究室紹介

…………… 18

平成 30 年度修士論文テーマ紹介

…………… 40

高校生のページ

医療とコンピュータ —医用画像を中心に—

情報学研究科 システム科学専攻 システム情報論講座 医用工学分野

……………中尾 恵、松田 哲也…………… 60

学生の声

Introduction to My Research

…………… 生存圏研究所 橋口研究室 博士後期課程 3 年 Nor Azlan bin Mohd Aris…………… 64

海外で得たもの

……………工学研究科 電子工学専攻 竹内研究室 博士後期課程 2 年 野原 紗季…………… 64

教室通信

「先端光・電子デバイス創成学」卓越大学院

……………電子工学専攻 木本 恒暢…………… 65

編集後記

…………… 66

巻頭言

コンピューティング雑感

昭和 41 年卒業 京都大学名誉教授 島崎 眞 昭



科学技術の進歩に従い、種々の機械の性能が向上しますが、コンピュータと情報通信ほど性能向上の著しいものは他にはないでしょう。京都大学では初めてのスーパーコンピュータとして、1984年4月大型計算機センターに演算パイプライン方式ベクトルコンピュータ FACOM VP100 が設置されました。(翌年 VP200 にアップグレードされました。) 筆者は当時大型計算機センターの助教授として、スーパーコンピューティングの普及に努め、多忙な日々を送りました。米国 CDC 社の高速計算機 CDC6600, 7600 の設計者シーモア・クレイは 1972 年ベンチャ企業 CRAY 社を起こし、1976 年演算パイプライン方式の CRAY-1 を完成させ、当時画期的な高性能を達成しスーパーコンピュータとして著名になり、わが国でもその実現が大変熱望されていたところでした。1982-83 年日立、富士通、NEC により、大型汎用機技術を用いて、演算パイプライン方式ベクトルコンピュータが発表され、順次全国共同利用大型計算機センターに設置され、わが国でもスーパーコンピューティングの時代が到来しました。当時我が国のスーパーコンピュータはハードウェア、自動ベクトル化コンパイラの性能が高く、世界で高く評価されました。最初に述べた FACOM VP200 の理論最大性能は 533MFLOPS (1 秒間に、得られる浮動小数点演算結果の個数を 10^6 を単位として表現したもので) 当時画期的なものでしたが、現在はそれを超えるノート PC を個人で購入できる時代になり、PC の目覚ましい発達と当時コンピュータが如何に貴重であったかがわかると思います。PC の高速化だけでなく、国のフラグシップとなるコンピュータの能力拡大が続いています。1993 年に発足した TOP500 は年 2 回 6 月と 11 月に国際会議で発表される HPL (High Performance LINPACK ベンチマーク) 上位 500 のリストです。TOP1 を達成した我が国のコンピュータは、航空宇宙技術研究所 NWT (数値風洞) (1993/11 : 124GFLOPS ; 1994/11-1995/11 : 170GFLOPS)、東京大学 SR220/1024 (1996/6 : 220.4GFLOPS)、筑波大学 CP-PACS (1996/11 : 368.2GFLOPS)、海洋研究開発機構地球シミュレータ (2002/6-2004/6 : 35.86TFLOPS)、理化学研究所 京 (K Computer) (2011/6 : 8.162PFLOPS ; 2011/11 : 10.51PFLOPS) で、G, T, PFLOPS とまさに桁違いの処理能力拡大が続いています。京コンピュータ以前は疑似ベクトル方式を含めてベクトル方式と並列方式ですが、京コンピュータはスカラ並列方式で、技術の潮流の変化が明確になっています。京コンピュータも 2019 年 8 月末に運用を停止し、後継機は 2021 年ごろから運用予定となっています。なお 2018 年 6 月には産業技術研究所の ABCI (AI Bridging Cloud Infrastructure) が TOP500 の第 5 位を達成していますが、特に Deep Learning 計算も目標になっており注目に値すると思えます。

PC も含めてコンピュータは大変複雑なシステムになっており、応用プログラムの進歩もあって、動かすプログラムをすべて自作するのではなく一部いわばブラックボックス的に使う場合も増加しています。筆者の現役時代の演習等の経験に基づくものですが、計算結果を得たときプログラムミスや使い方のミス、またまれにシステムの不具合で計算結果に問題のあることがあり、原因の追及には計算に対する‘センス’の良し悪しが大いに関係します。ここでセンスが良いとは、対象システムの基本モデルが

頭によく入っていて、次の状態、動作に関し、調べるべきマニュアルの個所がすぐわかり、効率よく作業できることです。計算に関するセンスを磨くといっても、プログラムに関する論理的な詰め慣れ、いろいろ経験を積むしか良い方法はないのが実際でしょう。

2020年4月より、小学校でプログラミング教育が必修化されます。学習指導要領の変更の中で行われるもので、資料からその経緯を簡単にまとめると以下ようになります。2014年11月に中教審に諮問があり、中教審で審議が行われるとともにパブリックコメント（意見公募手続き）が行われ、2016年12月答申、2017年3月改訂されました。そして、小学校では2020年4月実施、中学校では2021年実施、高等学校では2022年4月実施とされています。資料は文部科学省のホームページから得られます。本稿では情報関係で、1) 小学校でのプログラミング教育の必修化、2) 高校での改訂に触れます。高校では従来からあった情報関係の科目を情報Ⅰと情報Ⅱに分け、情報Ⅰ〔プログラミング、ネットワーク（情報セキュリティを含む。）やデータベース（データ活用）の基礎等の内容〕を必修化しています。小学校でのプログラミング教育に関して2016年4月に「小学校段階における論理的思考力や創造性、問題解決能力等とプログラミング教育に関する有識者会議が文科省に設置され、2016年6月に「小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について（議論のとりまとめ）」が公表されています。小学校段階における「プログラミング教育とは、子供たちに、コンピュータが意図した処理を行うよう指示することができるということを体験させながら、将来どのような職業に就くにしても、時代を超えて普遍的に求められる力としてのプログラミング的思考」などを育むことであり、コーディングを覚えることが目的でない。」とされています。2018年3月と11月には、「小学校プログラミング教育の手引き」（第一版）、（第二版）が公表され、「小学校を中心としたプログラミング教育ポータル」を通じた実践事例の発信も行われています。教員向けの民間の参考書も多数出版されています。教科担任制をとらない小学校で全国一斉に実施するについては、授業担当者の大変な努力が必要であろうと想像されますが、先行事例報告なども肯定的で、論理的思考の重視は関連教科の学習にも有効であると予想されます。このような教育を受けた学生が大学に進学するようになるとき、大学教育への良い影響を期待したいと思います。

高等教育に関しては、2017年3月に文科大臣が中央教育審議会に「我が国の高等教育に関する将来構想について」諮問し、2018年11月に「2040年に向けた高等教育のグランドデザイン（答申）」が提出されました。第4次産業革命¹の進行、本格的な人口減少社会の到来を念頭に、「①各高等研究機関の機能強化に向けて早急に取り組むべき方策、②変化への対応や価値の創造などを実現するための学修の質の向上に向けた制度等の在り方、③今後の高等教育全体の規模も視野に入れた、地域における質の高い高等教育機会の確保の在り方、④高等教育の改革を支える支援方策」を主な検討事項として審議されました。答申では、「I. 2040年の展望と高等教育が目指すべき姿—学修者本位の教育への転換—、II. 教育研究体制—多様性と柔軟性の確保—、III. 教育の質の保証と情報公表—「学び」の質保証の再構築—、IV. 18歳人口減少を踏まえた高等研究機関の規模や地域配置—あらゆる世代が学ぶ「知の基盤」—、（以下略）」について述べられています。答申の重要性は当然ですが、議論の基礎となる統計データ等の関係資料が示されており、貴重で大変興味深く一読の価値があると思います。2030年頃には、第4次産業革命ともいわれる、IoTやビッグデータ、人工知能²等をはじめとする技術革新が一層進展、「1.0: 狩猟、2.0: 農耕、3.0: 工業、4.0: 情報」に続く、人類史上5番目の社会であるSociety5.0の到来が予想されています。cueの読者特に現在20歳代の若い読者にあっては、今後社会の大きな変化に遭遇され、今までにない新しい選択を迫られることも予想されます。その際賢明な選択をするには、適切な情報の収集が基礎になります。インターネットでは、各府省庁の白書、審議会への諮問と答申等の行政の公表資料、また外国の情報が、容易に得られ、インターネットは情報の宝庫と言えるでしょう。もちろんインターネットの情報には、更新の必要な情報、誤った情報、悪意のある偽情報など不適切な情報も一杯ありま

すので、検索エンジンに習熟し、‘情報に関するセンス’を磨き、不適切な情報を排除し、インターネットを活用されることが望まれます。

脚注 1：第4次産業革命：例えば平成29年版 情報通信白書第1部第3章 第4次産業革命がもたらす変革 pp. 106-114 参照

脚注 2：岩本晃一：人工知能（AI）等と「雇用の未来」「人材育成・働き方」, cue41号, pp. 10-20, 2019

大学の研究・動向

回転機を基軸とした エネルギーイノベーションを目指して

工学研究科 電気工学専攻 優しい地球環境を実現する先端電気機器工学講座

特定教授 中村 武恒

特定助教 魏 亮亮

1. はじめに

当研究室は、日本電産（株）の寄附講座として2017年4月に設置され、回転機を中心とする先端電気機器とそのシステム化に関する研究を推進しています。即ち、電気-機械エネルギー変換過程の基礎的理解から出発して、それを回転機という有限空間構造の中で磁束の時空間制御に展開する回転機設計と制御法の実現、そしてインバータや冷却系など周辺システムまで含めて動的に整合するシステム化まで、精力的研究を実施しています。

我が国における電力供給の殆どは巻線界磁形同期発電機によって担われており、一方で同消費の実に50%以上はモータ駆動に依ります。つまり、私たちの生活に不可欠な電力の発生から消費に至る一連の流れにおいて、回転機の運動エネルギーの役割が非常に大きいことが分かります。さらには、上記電力系統の枠組みだけでなく、自動車や船舶、航空機など、分散型システムとして運転される輸送機器などの電気駆動化率も益々高まると考えられ、それら機器の駆動源がモータであることから、上記傾向がさらに高度かつ複雑に加速していくと予想されます。従って、電力を軸としたこれからのエネルギー問題を考える際には、回転機の存在を直接的あるいは間接的に意識しなければなりません。本稿では、当研究室が取り組んでいる研究の内、回転機に関する事例（基礎研究は除く）をご紹介します。

2. 永久磁石補助スイッチトリラクタンスモータ

スイッチトリラクタンスモータと呼ばれるモータの固定子の一部に、アルニコ磁石等の安価な磁石を導入した永久磁石補助スイッチトリラクタンスモータ (Permanent Magnet Assisted Switched Reluctance Motor: PM-SRM) の研究開発を行っています。本研究は、JST の研究成果展開事業“産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム：OPERA”「超スマート社会実現のカギを握る革新的半導体技術を基盤としたエネルギーイノベーションの創出」の一環として実施しており、PM-SRM の回転原理の解明と最適化設計法・制御法の開発、SiC パワーデバイスと組み合わせたシステム構成の検討、電気駆動式自動車への適用可能性の検討他を実施しています。

図1には、PM-SRM の概略図を示します [1,2]。本機のアイディアは、固定子のバックヨークの一部にアルニコ磁石を配するという単純な構造です。同磁石は、その残留磁束密度がNd系磁石と同等に高いものの、保磁力の小さなことが大きな課題でしたが、上記モータ構造における磁場変化の小さな場所に設置することで、出力密度、効率、および力率の全てを大きく改善出来ることが分かりました。また、

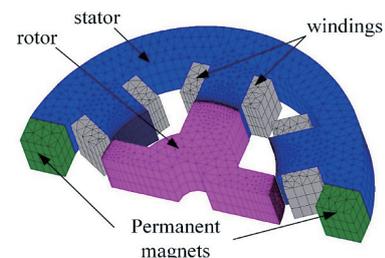


図1 永久磁石補助スイッチトリラクタンスモータ (PM-SRM) の3次元概略図 [1,2]

SRM で問題となるトルクリップルに関しては、例えば直接瞬時トルク制御などで低減することを考えていますが [3]、そもそもリップルが発生しない制御方法も検討中です。現在は、さらに種々のアイデアを投入して性能改善を図っており、その内 1 件は京都大学単独承継として特許出願準備中です。

3. 車載用誘導機の研究開発

企業との共同研究として、10 年以上に亘り車載駆動用誘導機の研究開発を実施してきました。現在のハイブリッド自動車や電気自動車駆動モータの主流は永久磁石モータであり、Nd 系磁石の強力な着磁束を利用して、高回転高出力化や可変速に対する高効率特性を実現しています。一方で、上記磁石の供給不安から、今後の電気駆動化率増加に対応できるモータ生産を維持できるか不透明な状況です。さらには、高速回転時には巻線に大きな逆起電力が発生するため、それを打ち消す必要もあります。

一方で、永久磁石を使用しないモータとして誘導機があり、その簡易な構造や保守の容易性などの理由から産業用モータとして広く使用されています。しかしながら、同機の回転子に吸収されたエネルギーの一部は回転エネルギーに変換されるものの、同変換には回転子に埋め込まれた導体に電流を誘導する必要があり、導体が有する抵抗によって Joule 損失が発生してしまいます。従って、永久磁石モータの特性が誘導モータに対して常に優れているという認識が一般的でした。しかしながら、我々の研究では、特に高速領域において上記認識が必ずしも正しいとは言えない条件を見出しています。

図 2 には、試作した最大出力 24 kW 級誘導機の外観写真を示します [4]。回転数は 1 万 rpm です。同機の最大効率マップの解析例を図 3 に示しますが、低速領域を除く広範な駆動領域において高効率であることが示されています。現在は、パーミアンス法と有限要素法を連成した免疫遺伝アルゴリズムに基づく最適化設計を実施しています。

4. 低速高効率永久磁石発電機の開発

2011 年より、企業との共同研究として小水力発電用低速発電機の研究開発を進めています。図 4 には、ダリウス水車を想定したシステムを対象として、タービン効率と発電機効率のピーク値を整合する考え方を示しています。本シナリオを具現するためには、タービンの効率特性を設計によってコントロールすることが困難であることから、低速で高効率の発電機を実現する必要があります。一般に、低速における回転機の効率は、巻線の Joule 損失が支配的になって低下してしま



図 2 最大出力 24 kW 級誘導機の外観写真 [4]

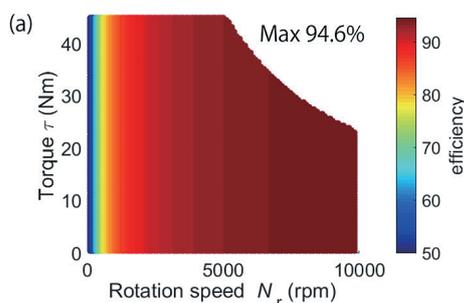


図 3 最大出力 24 kW 級誘導機の効率マップの解析例 [4]

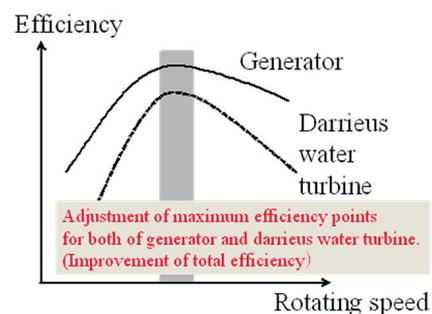


図 4 ダリウス水車一体型水力発電システムにおける効率最大化の考え方



図5 1 kW 級低速高効率発電機の外観写真 [5]



図6 200 W 級ダリウス水車一体型発電機の外観写真

います。従って、同損失の低減を目標として発電機の開発を実施しました。図5には、開発した1 kW 級発電機の外観写真を示します [5]。本機によって、回転数 200 rpm で 1 kW 程度の整流後発電電力が実現されており、誘電起電力定数は 1.715 V/rpm です。本発電機によれば、水力資源さえあれば災害時に1家庭分の電気を賄えます。さらに、図6には200 W クラスのダリウス水車一体型発電システムの外観写真を示します。本機は実用化レベルにあり、複数地域にて保安電灯用などの目的でフィールド試験を実施しています。

5. 高温超伝導誘導同期回転機の研究開発

高温超伝導材料の非線形電流輸送特性を利用して、それをかご形誘導機に適用した高温超伝導誘導同期回転機 (High Temperature Superconducting Induction/Synchronous Machine: HTS-ISM) の基礎ならびに応用研究開発を推進しています [6,7]。本機は、かご形誘導機の構造ながら高温超伝導材料の臨界電流密度に伴う損失ゼロ特性を利用することによって、図7のように回転子 (かご形) 巻線に磁束を捕捉することが可能になり、同期回転可能であることを特長とします。また、本機は高温超伝導材料のゼロ抵抗特性だけでなく非線形磁束フロー特性も巧みに利用した唯一の回転機であると考えられ、①本質的特性として同期回転とすべり (非同期) 回転の両立性 [8]、②飛躍的なトルク密度の改善 [9]、③過負荷耐量や短時間定格の概念の成立 [10]、④“自律安定制御性”の概念の提唱 [11,12]、⑤非超伝導状態でも低出力で運転継続可能性 [13] 等、当研究室は HTS-ISM の研究を牽引しています。さらに、HTS-ISM の種々応用研究開発を産官学連携プロジェクトとして進めており、例えば液体水素移送ポンプの開発ならびに世界発の同移送試験成功 (平成 20 年度産業技術研究助成事業 (若手研究 Grant) (NEDO); 超伝導モータの研究開発は当研究室が担当) [14] や、輸送機器用モータシステムの研究開発を推進しています [15]。図8には NEDO の委託事業 “H21 年度省エネルギー革新技術開発事業 (第二次公募)” 「冷凍機一体型高温超伝導誘導同期駆動システムの研究開発」の一環として開発したプロトタイプ機を、また図9には JST の事業 “H24 年度戦略的創造研究推進事業 先端的低炭素化研究開発プロジェクト: ALCA” 「低炭素社会を支える輸送機器用超伝導回転機システム」として研究開発したプロトタイプ機をそれぞれ示します [15]。上記 ALCA プロジェクトでは、さらに 50 kW 級全超伝導機の開発に成功し、前人未到の負荷試験や急可変速試験に成功しています [16,17]。

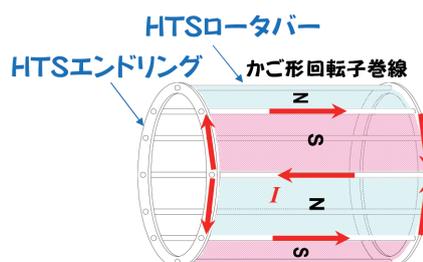
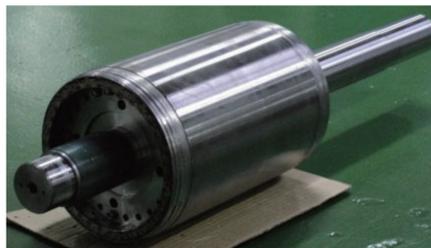


図7 高温超伝導かご形巻線への磁極形成のイメージ図



(a) 銅固定子



(b) 超伝導回転子

図8 NEDO プロで開発した 20 kW 級機の外観写真 [15]

6. その他

MW 級システムへの応用を目指し、風力発電発熱機の研究開発を実施しています [18]。本機は、変動する風力エネルギーについて、ある一定のエネルギーを電力として取り出し、残りの変動分を熱流体媒体によって蓄熱槽に導き、計画発電を実施するというアイデアです。熱を利用することから、その分エントロピーが大きくなってしまふものの、風力エネルギーの有効利用やあるいは電力システムに与える影響の最小化の観点から意義があると考えており、現在は大型システムを対象として発電と発熱量を自在にコントロールするアルゴリズムの研究を実施しています。また、ドローンへの適用を目指した Halbach 磁石配列の高出力密度モータの研究開発も実施しており、高さ 16 m の当研究室実験室での試験を目指して研究開発しています。



図9 ALCA プロで開発した 20 kW 級機の外観写真 [15]

7. むすび

本稿では、回転機の研究を中心として、当研究室の取り組みをご紹介しました。回転機の研究は、その基礎からそれを実現する材料特性、設計・制御技術、システム化、そしてシステム間の協調制御など、多角的に考える必要があります。さらには、対象とする現象をマルチスケールやマルチフィジックスを意識して考える必要があります。当研究室では、回転機が電力の主流を支えているという強い意識を持って上記課題に妥協することなく挑戦し、エネルギーイノベーションを実現できるようにこれからも取り組んでいきたいと考えています。

- [1] F. Kucuk and T. Nakamura, "Torque Density and Efficiency Improvement of a Switched Reluctance Motor via Low-cost Permanent Magnets," Proceedings of 23rd International Conference on Electrical Machines (ICEM'2018), pp. 2318-2322, Sep. 2018.
- [2] 中村 武恒, "アルニコ磁石を固定子に利用したスイッチトリラクタンスモータの高性能化," 京都大学電気関係教室技術情報雑誌 (cue), **40**, p. 22, Sep. 2018.
- [3] F. Kucuk and T. Nakamura, under review
- [4] M. Tobita, K. Ikeda, S. Itoh, T. Nakamura and G. Ma, "Characterization of 24 kW Class Squirrel-cage Induction Motor for Electric Vehicles," Proceedings of 23rd International Conference on Electrical Machines (ICEM'2018), pp. 97-103, Sep. 2018.

- [5] L. Wei, T. Nakamura and K. Imai, "Development and Optimization of Low-Speed and High-Efficiency Permanent Magnet Generator for Micro Hydro-electrical Generation System," *Renewable Energy*, accepted for publication.
- [6] 中村武恒, "高温超電導誘導同期回転機の開発現状," *低温工学*, **47** (6), pp. 384-391, Jun. 2012.
- [7] 中村武恒, "輸送機器用高温超伝導誘導同期モータの研究開発－マクロ非線形現象と高機能回転機システム－," *応用物理*, **82** (7), pp. 579-582, Jul. 2013.
- [8] T. Nakamura, Y. Ogama, H. Miyake, K. Nagao and T. Nishimura, "Novel rotating characteristics of a squirrel-cage-type HTS induction/synchronous motor," *Superconductor Science and Technology*, **20** (10), pp. 911-918, Oct. 2007.
- [9] T. Nakamura, K. Matsumura, T. Nishimura, K. Nagao, Y. Yamada, N. Amemiya, Y. Itoh, T. Terazawa and K. Osamura, "A high temperature superconducting induction/synchronous motor with a ten-fold improvement in torque density," *Superconductor Science and Technology*, **24** (1), 015014, Dec. 2010.
- [10] T. Nakamura, K. Ikeda, T. Karashima, S. Guo, M. Yoshikawa, Y. Itoh, T. Terazawa and Y. Ohashi, "Experimental and analytical study on torque density maximization of high temperature superconducting induction/synchronous motor," *Proceedings of 2018 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM 2018)*, pp. 1179-1184, Jun. 2018.
- [11] K. Kitano, T. Nakamura, D. Sekiguchi, N. Amemiya, Y. Itoh, M. Yoshikawa, N. Okumura and Y. Ohashi, "Controllability of HTS Induction/synchronous Machine for Variable Speed Control," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, **23** (3), 5202505, Jun. 2013.
- [12] K. Ikeda and T. Nakamura, in preparation
- [13] H. Shimura, T. Nakamura, H. Kitano, T. Nishimura, N. Amemiya and Y. Itoh, "Calculated Characteristics of HTS Induction/synchronous Machine below and above Its Critical Temperature," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, **23** (3), 5201705, Jun. 2013.
- [14] K. Kajikawa, H. Kuga, T. Inoue, K. Watanabe, Y. Uchida, T. Nakamura, H. Kobayashi, M. Hongo, T. Kojima, H. Taguchi, Y. Naruo, T. Wakuda and K. Tanaka, "Development of a liquid hydrogen transfer pump system with MgB₂ wires," *Cryogenics*, **52** (11), pp. 615-619, Nov. 2012.
- [15] T. Nakamura, Y. Itoh, M. Yoshikawa, T. Nishimura, T. Ogasa, N. Amemiya, Y. Ohashi, S. Fukui and M. Furuse, "Tremendous Enhancement of Torque Density in HTS Induction/Synchronous Machine for Transportation Equipments," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, **25** (3), 5202304, Jun. 2015.
- [16] 日経産業新聞「超電導の動力 車に船に 京大や住友電工 効率向上と小型化期待」(2018年4月3日付, 18面)
- [17] T. Nakamura, M. Yoshikawa, K. Ikeda, T. Karashima, T. Ogasa, R. Nishino, Y. Itoh, T. Terazawa, M. Furuse and S. Fukui, "Load Test and Variable Speed Control of a 50 kW Class Fully Superconducting Induction/Synchronous Motor for Transportation Equipment," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, **29** (5), 5203005, Aug. 2019.
- [18] T. Okazaki, Y. Shirai and T. Nakamura, "Concept Study of Wind Power Utilizing Direct Thermal Energy Conversion and Thermal Energy Storage," *Renewable Energy*, **83**, pp. 332-338, Nov. 2015.

産業界の技術動向

産業界における新しい新事業創出の取り組みについて

NPO 法人 HAB（高周波・アナログ半導体ビジネス）研究会

理事長 南 部 修太郎

1. はじめに

令和元年が始まったとき、多くのマスコミが様々な経済指標を平成元年と比較して、「失われた 30 年」という言葉と共に、平成 30 年間の間にいかに我国の経済が衰退したかを報じた¹⁾。確かに表 1 に示すように、平成元年に世界の時価総額ベスト 50 に 32 社入っていた日本企業は、令和元年にはわずかトヨタ 1 社と、その衰退の速さは衝撃的である。

表 1 世界の時価総額ランキング TOP50（平成元年と平成 30 年）

平成元年				平成30年			
順位	企業名	時価総額 (億ドル)	国名	順位	企業名	時価総額 (億ドル)	国名
1	NTT	1,638	日本	1	マイクロソフト	7850	アメリカ
2	日本興業銀行	715	日本	2	アップル	7485	アメリカ
3	住友銀行	695	日本	3	アマゾン・ドット・コム	7344	アメリカ
4	富士銀行	670	日本	4	アルファベット	7232	アメリカ
5	第一勧業銀行	660	日本	5	パークシャー・ハサウェイ	5026	アメリカ
6	IBM	646	アメリカ	6	テンセント・ホールディングス	3817	アメリカ
7	三菱銀行	592	日本	7	フェイスブック	3773	アメリカ
8	エクソン	549	アメリカ	8	アリババ・グループ・ホールディング	3553	中国
9	東京電力	544	日本	9	ジョンソン&ジョンソン	3461	アメリカ
10	ロイヤル・ダッチ・シェル	543	イギリス	10	JPモルガン・チェース	3246	アメリカ
11	トヨタ自動車	541	日本	11	ビザ	2908	アメリカ
12	GE	493	アメリカ	12	エクソン・モービル	2887	アメリカ
13	三和銀行	492	日本	13	ウォルマート・ストアーズ	2706	アメリカ
14	野村証券	444	日本	14	中国工商銀行	2679	中国
15	新日本製鉄	414	日本	15	ファイザー	2523	アメリカ
16	AT&T	381	アメリカ	16	ネスレ	2487	スイス
17	日立製作所	358	日本	17	ロイヤル・ダッチ・シェル	2432	オランダ
18	松下電器	357	日本	18	バンク・オブ・アメリカ	2418	アメリカ
19	フィリップ・モリス	321	アメリカ	19	ユナイテッドヘルス・グループ	2397	アメリカ
20	東芝	309	日本	20	ベライゾン・コミュニケーションズ	2323	アメリカ
21	関西電力	308	日本	21	P&G	2290	アメリカ
22	日本長期信用銀行	308	日本	22	ノバルティス	2181	スイス
23	東海銀行	305	日本	23	ウェルズ・ファーゴ	2169	アメリカ
24	三井銀行	296	日本	24	インテル	2142	アメリカ

25	メルク	275	アメリカ
26	日産自動車	269	日本
27	三菱重工業	266	日本
28	デュポン	260	アメリカ
29	GM	252	アメリカ
30	三菱信託銀行	246	日本
31	BT	242	イギリス
32	ベル・サウス	241	アメリカ
33	BP	241	イギリス
34	フォード・モーター	239	アメリカ
35	アモコ	229	アメリカ
36	東京銀行	224	日本
37	中部電力	219	日本
38	住友信託銀行	218	日本
39	コカ・コーラ	215	アメリカ
40	ウォルマート	214	アメリカ
41	三菱地所	214	日本
42	川崎製鉄	213	日本
43	モービル	211	アメリカ
44	東京ガス	211	日本
45	東京海上火災保険	209	日本
46	NKK	201	日本
47	アルコ	196	アメリカ
48	日本電気	196	日本
49	大和証券	191	日本
50	旭硝子	190	日本

25	ロシュ・ホールディング	2130	スイス
26	シェブロン	2079	アメリカ
27	AT&T	2077	アメリカ
28	サムスン電子	2075	韓国
29	中国建設銀行	2072	中国
30	コカ・コーラ	2015	アメリカ
31	メルク	1987	アメリカ
32	チャイナ・モバイル	1970	香港
33	マスターカード	1948	アメリカ
34	シスコ・システムズ	1948	アメリカ
35	ホーム・デポ	1941	アメリカ
36	台湾・セミコンダクター・マニュファクチャリング	1910	台湾
37	トヨタ自動車	1906	日本
38	ボーイング	1831	アメリカ
39	ペトロチャイナ	1828	中国
40	中国農業銀行	1805	中国
41	HSBC・ホールディングス	1652	イギリス
42	ウォルト・ディズニー	1632	アメリカ
43	オラクル	1620	アメリカ
44	ペプシコ	1560	アメリカ
45	コムキャスト	1549	アメリカ
46	ユニリーバ	1543	英/蘭
47	中国平安保険	1541	中国
48	LVMH モエ・ヘネシー・ルイ・ヴィトン	1494	フランス
49	中国銀行	1467	中国
50	トタル	1420	フランス

(ダイヤモンドオンライン <https://diamond.jp/articles/-/177641?page=2> と、
ファイナンシャルスター <https://finance-gfp.com/?p=6595> を参考に作成)

また我国の生産性についても図1に示すように、1970年以來ずっと、先進7か国中最下位が続いている。その結果1990年から2018年の間に、我国のGDPは1.2倍にしか成長しなかった。また1990年に世界第13位だった我国一人当たりのGDPも、現在は世界第26位と悲惨な状況である。一方、中国のGDPは46.4倍になり、2010年には我国は中国に抜かれ3位になった。この間、米国のGDPは3.4倍になり、依然としてトップであり続けているにも関わらず、である。特に最近の中国の躍進は目覚ましい。先端技術分野でも米国に迫り、いまにも追いつき追い越す勢いである。一方で我国の産業は沈み続けている。何故、我国の成長性が上がらないのだろう。

その最大の原因は、我国が新しい高付加価値産業を育てられていないことにあると思われる。その結果我国では、世界の産業構造の変化に対応した、米国が実現しているような高付加価値産業構造への変革が遅れている。では何故我国では、新しい高付加価値産業を育てられないのだろう。それは我国の官による成長戦略が、常にピント外れで失敗続きであることや、官民含めて社会全体が時代の変化に対応できていないこと、高付加価値産業の担い手となるべき技術ベンチャー創出システムが、我国では依然としてお粗末なままであること等が原因であろう。いずれにしろこのままでは、我国に未来はない。

しかし最近ようやく、産業界の新しい動きとして、我国の多くの有力企業で、効率的な高付加価値産業の創出のためこれまでの自前主義を捨て、優れた独自技術を持つ技術ベンチャーを探索して連携を図ろうとするオープンイノベーションやCVC（コーポレート・ベンチャー・キャピタル）の取り組みが

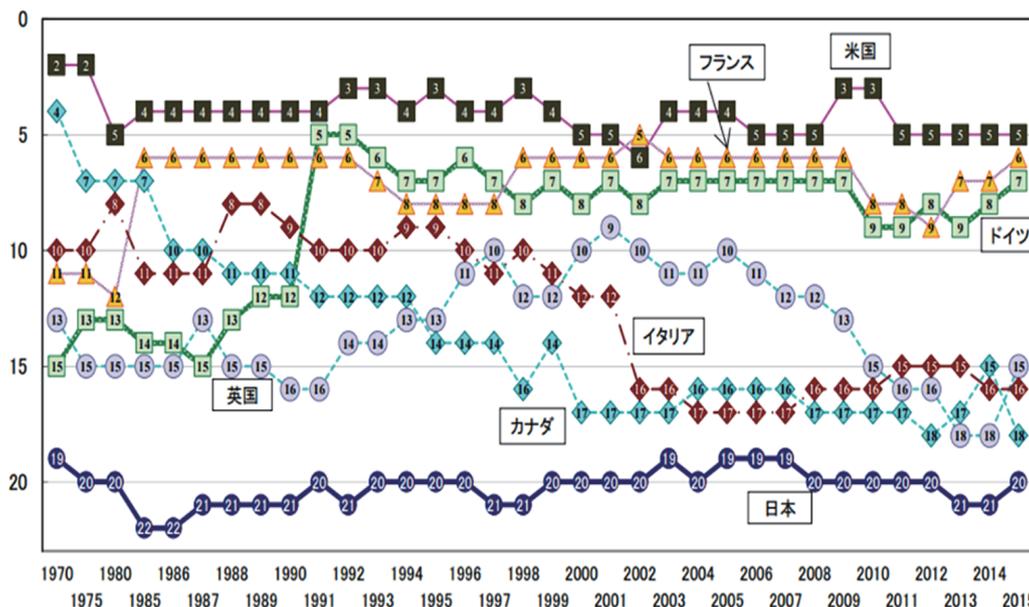


図1 主要先進7カ国の時間あたりの労働生産性の順位の変遷
(出所) 公益財団法人 日本生産性本部「労働生産性の国際比較 2016年」

活発になってきた。このような活動を総称してコーポレート・ベンチャーリングと呼ぶが、それは20年程前、我国が第一次ベンチャーブームだった頃、おそらく私が初めて、米国で一般的な有力企業の新事業創出手法として紹介したものである²⁾。その時は、ベンチャーとの連携に馴染みのなかった大企業が、大手VC（ベンチャーキャピタル）にファンド運用を委託する形態が一般的で、新事業育成や事業連携のスキル不足のため、結局失敗に終わった。それに対し最近の取り組みは、有力企業自らが出資活動も行う、本来のCVCの活動である。

本稿では、我国産業界におけるこの新しい新事業創出の取り組みについて述べると共に、その取り組みの課題について述べる。またその課題を補強しようと取り組むNPO法人HAB研究会の活動についても紹介する。

2. 何故、我国で高付加価値産業が育たないのか

2-1. 官による高付加価値新産業育成政策失敗の原因

我国で高付加価値産業が育たないのは、先述のように、まず我国の官によるこれまでの様々な高付加価値新産業育成政策の失敗が原因であろう。一般に官の様々な政策は、構想は素晴らしいのだが、その運営で失敗している場合が多いのではないだろうか。それは主に官の政策を運営する、人材選別のやり方に問題があると思われる。

これまでの官の政策運営では、失敗したときの批判を恐れるためか、安易に大企業等の既存の権威に頼り、本来、高付加価値産業の育成に必要なスキルを軽視し、結果として同じ失敗を繰り返しているように見える。例えば図2に示す現政権の成長戦略の目玉政策である、「ベンチャー・チャレンジ2020」も、大変素晴らしい構想である。しかしやはり大幅にその運営を大企業や有力VCに依存しているためか、もう既に官製ファンドの巨額の赤字が問題視される等、その目標達成が危ぶまれている。

またリスクの高いアーリーステージのベンチャー育成のため、様々な助成事業が実施されているが、高付加価値産業創出のためにアーリーステージの技術ベンチャーを育てるという観点からは、必ずしも十分に機能しているとは言えない。こちらもその運営を、既存の権威ある金融機関やコンサルタントに、安易に頼り過ぎることが原因ではないだろうか。

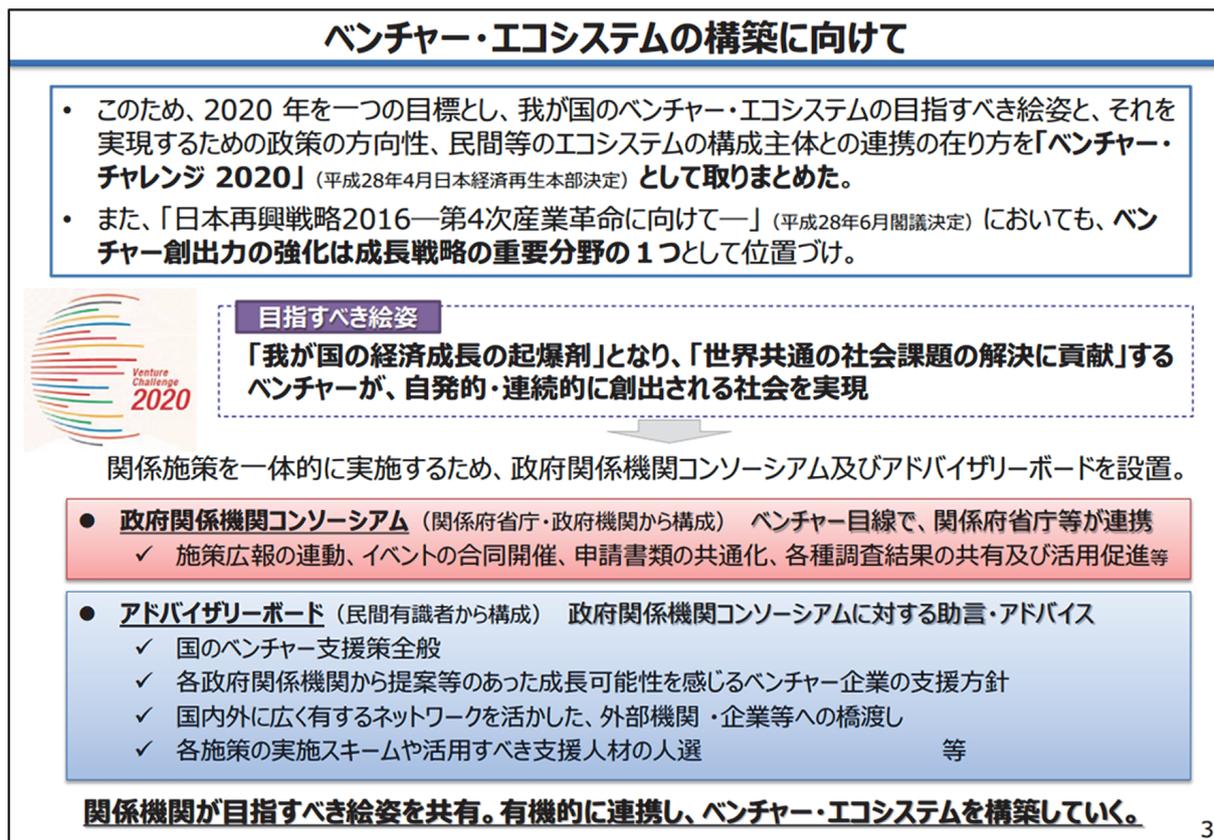


図2 「ベンチャー・チャレンジ2020」概要

(出所)「ベンチャー・チャレンジ2020」にかかる政府関係機関コンソーシアム及びアドバイザーボード
(第1回)配布資料1：事務局説明資料
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/venture_challenge2020/venture_challenge/dail/siryoul.pdf

以上の現状を鑑みれば、むしろ今我が国が、高付加価値産業創出のため最も優先すべきなのは、様々な政策の成果を上げるため、高付加価値産業育成のスキルを真に有するプロ人材を、多数育成するような政策ではないだろうか？もっとも、リスクを恐れるだけでなく失敗しても反省しない公的機関の体質に、問題の本質があるのかもしれないが。

2-2. 民間の高付加価値産業育成システムの課題

高付加価値産業育成に必須の我が国の民間のベンチャー育成システムも悲惨である。図3は、世界各国の機関投資家によるベンチャー投資金額の対GDP比率を示したものである。またベンチャー投資金額では、米国の投資金額は我が国の約50倍、中国の投資金額も我が国の15倍と、比較にならない。我が国のベンチャー投資の悲惨な状況がよく分かる。特に我が国では、高付加価値産業創出の要である技術ベンチャーへの投資が極端に少ないことが、問題を一層深刻にしている。

何故、我が国では技術ベンチャーへの投資が極端に少ないのか。それは我が国のベンチャー投資では、投資判断をするキャピタリストに必要な能力として、先端技術による新事業創出のスキルや、経験や、実績よりも、むしろ投資家保護を優先しているからではないだろうか。アーリーステージの技術ベンチャーに投資する投資家達には、投資家保護より、リスクは承知で新事業創出の夢に期待する人が多いにも関わらず、である。その結果我が国のVCは先端技術に対するリスクマネジメント能力に劣り、技術ベン

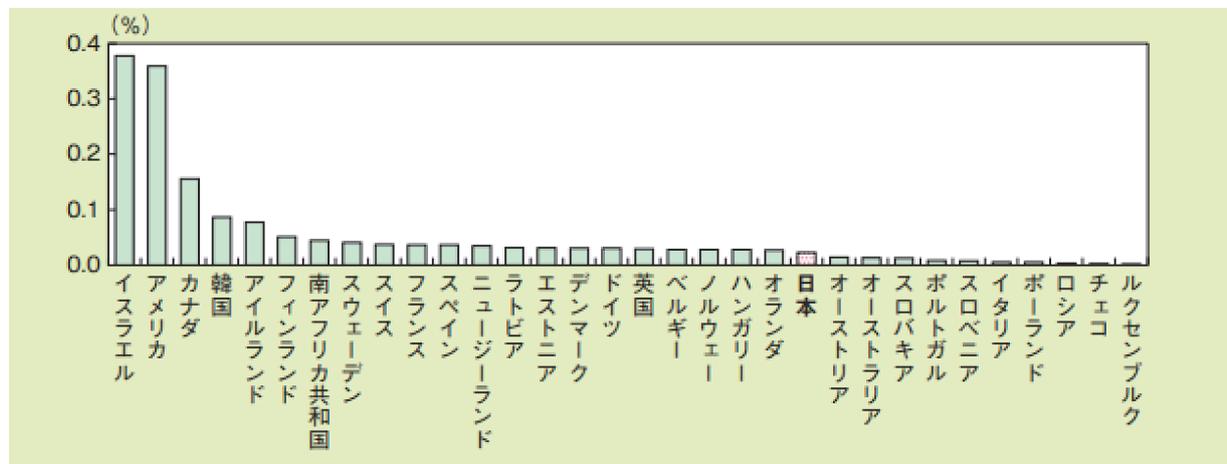


図3 ベンチャーキャピタル投資額（対 GDP 比）

※日本及びイスラエルは2014年、その他は2016年の値。

(出所) 内閣府 平成30年度年次経済財政報告 <https://www5.cao.go.jp/j-j/wp/wp-je18/pdf/p03023.pdf>

チャーへの投資に対しては、過剰にリスクを恐れて投資しないか、あるいは無謀な投資をして大失敗に終わるケースが多いように思う。

2-3. 我国の社会風土の課題

もっともリスクに挑戦を避ける傾向は、我国の社会全体にある。我国の人材の素質は紛れもなく優秀である筈なのに、なぜかリスクに挑戦し、社会を大きく変えようとする人材は育っていない。多分、育て方に問題があるのだろう。昭和の大成功で、大企業や、大組織であることを過信しそれに安住してしまい、世界の産業構造が激変しているのに、日々進行する我国の地盤沈下に気付かず、結局、ゆでガエル状態になっていることにも気付いていないのだろう。

3. CVC 等、産業界における新事業創出の新しい取り組み

3-1. 何故、新産業創出の新しい取り組みが必要になったのか

我国の産業の地盤沈下に危機感を覚えたのか、先述のように、ようやく我国の産業界でも、高付加価値産業創出のために、これまでの中央研究所に象徴される自前主義を捨て、オープンイノベーションやCVCの考えを積極的に取り入れる新しい動きが始まっている。それはイノベティブな高付加価値産業は、中央研究所システムからは生まれえないという現実が、ようやく我国でも認知されてきたからであろう。

中央研究所が事業の現場から遊離しがちで、企業というよりは大学に近い存在であり、新事業創出には向いていないという事実は、米国では既に30年以上前から常識になっている。そしてその代わりの新しい組織として、事業会社にCVCや新事業開発部門が生まれ、自前主義を捨て新事業創出の効率を重視するオープンイノベーションの取り組みが一般的になった。

その動きが我国の産業界でも活発になったのは、我国の産業界でも産業のグローバル化により、経営が従来の売上高重視からROI（投資利益率）重視に代わり、経営の効率化が強く求められるようになったからである。そしてその結果として新事業創出活動についても、その効率化が大変重要な経営課題になってきた。

3-2. CVC や新事業開発部門の取り組み

CVC や新事業開発部門の仕事は、事業会社が新事業創出のため、自社事業とのシナジー効果が見込めそうな社外の技術ベンチャーを探索し、まず社内の事業部門との事業連携をアレンジすることである。そして事業会社として事業連携を加速するため、外部技術ベンチャーに出資しその開発資産を有効活用して、新事業開発を効率的に行う。出資だけでなく、状況に応じて M&A による買収も行う。通常の金融機関の VC とは異なり、社内の事業部門と共に投資対象ベンチャーの技術&事業評価を行うため、技術ベンチャーの目利きや育成に関するリスクはかなり減少する。

しかし一般に事業会社の事業部門は、現業で多忙なため、特にイノベティブな新事業開発には消極的になりがちである。そのため CVC や新事業開発部門には、事業会社として長期的な新事業創出戦略に基づく取り組みが必要とされる。

3-3. 最近の社会の変化

最近 CVC や新事業開発部門の取り組みが活発になったのは、我国でも社会全体に、ようやく技術ベンチャーが注目されるようになってきたからかもしれない。

我国では最近、これまで信じられなかったような超優良企業で、急激な経営悪化やリストラが頻発するようになった。その結果として、大企業や大組織であれば安心という、従来の考え方や既存の権威に疑問を持つ人が増え、人材の流動化が始まり、技術ベンチャーに対する見方も変わってきた。最近、東大や京大等、優秀な大学の学生達の間でベンチャー人気が高まっているが、同じ理由かららしい。

有望技術ベンチャーと連携して新事業創出の効率アップを図ろうとする、CVC や新事業開発部門の取り組みが活発になったのも、おそらくその動きと連動していると思われる。

4. それでも難しい高付加価値産業創出の課題

4-1. 新事業育成のスキルを有する技術と経営のプロ人材が不足

我国でも、ようやく CVC や新事業開発部門による活動が活発になり、技術ベンチャーに対する関心も高まってきたが、残念ながらそれでも、我国で高付加価値な新産業創出がうまくいくとは思えない。なぜなら一般にコア技術を有する新産業の育成では、経験と勘に裏打ちされた新事業育成のスキルやノウハウを有する技術と経営のプロ人材が必要であるが、残念ながら我国のベンチャー育成の現場では、そのような人材が圧倒的に不足しているからである。

高付加価値な新産業創出の要となるものづくり系等の、独自コア技術を有する（ディープテック）技術ベンチャーの育成には、一般にサービス系ネットベンチャーの育成とは全く異なるスキルが必須である。それはディープテック系の技術はサービス系の技術に比べ、その構成要因が格段に多くかつ複雑だからである。だからこそ競争優位性を高くでき、高付加価値産業の創出に繋がるのである。従って特にアーリーステージのディープテック系技術ベンチャーの発掘と育成には、成功体験に裏打ちされた新事業育成のスキルやノウハウを有する技術と経営のプロ人材が必須になる。

勿論、米国では、そのようなアーリーステージのベンチャーへの出資と育成を行う、エンジェルという個人投資家が多く存在する。このエンジェルは、新事業創出での成功体験を有する技術と経営のプロ人材であることが多く、そのベンチャーへの投資金額も、機関投資家の金額とほぼ同程度に上ると言われている。また米国では、このエンジェルによるアーリーステージのベンチャー育成に特化したベンチャーファンドも多く、有力な技術ベンチャーが育ちやすい環境ができて³⁾いる。

我国でも、独自コア技術による新事業開発での成功体験を持つ人材は多い。しかし残念ながら我国では、そのような技術と経営のプロ人材は一般に大学や公的機関とは縁が薄く、技術ベンチャーや新事業創出活動との係りも少ないため、折角実用化の成功体験があってもそれをベンチャー育成に活かしては

いない。

CVCや新事業開発部門の強みのひとつは、そういう成功体験を持つ人材を社内から登用し、技術ベンチャーとの連携を進めながら、新事業創出のスキルを有する人材に開発・育成できることであろう。しかし大企業では組織が大きく複雑なため、どうもそれは口で言うほど簡単ではないようである。

4-2. アーリーステージの技術ベンチャーとの事業連携の難しさ

イノベティブな新産業創出では、経営環境の動きに素早く対応することが重要である。そのためには事業情報や技術の動きを迅速に把握すると同時に、その真贋を見抜く高い見識が必要である。また真贋を見抜くと共に、その動きに対応する素早い経営判断が要求される。イノベティブな新産業創出に必要なこれらの対応や判断は大企業では難しく、一般にイノベティブな新産業創出は、小さな組織のベンチャーから生まれることが多い。そのためCVCや新事業開発部門にとっても、アーリーステージのベンチャーを発掘し育成することが、イノベティブな新産業創出には必須になる。

しかし現業で多忙な事業部門にとって、特にアーリーステージの技術ベンチャーとの事業連携による新事業創出は難しい。そのためCVCや新事業開発部門の活動では、事業展開の見通しが立て易いミドルステージか、レイターステージのベンチャーとの連携が中心になり、どうしてもリスクが高いアーリーステージのベンチャーには消極的にならざるを得ない。また前述のように我国では、アーリーステージの技術ベンチャーに対する投資育成環境が劣悪で、そのため有望な技術ベンチャーが育ちにくい。その結果、我国のCVCや新事業開発部門の活動は、どうしても海外の技術ベンチャーに注力する傾向が高くなってしまっているようである。

しかしそれでは、折角CVCや新事業開発部門の活動が活発になっても、我国における高付加価値産業の創出には繋がらない。高付加価値産業の創出のため今我国に必要なのは、CVCや新事業開発部門の活動を活かすためにも、まずアーリーステージ技術ベンチャーの投資・育成環境を整えると共に、米国のエンジェルのような、有力なアーリーステージ技術ベンチャーを育てる新たな仕組みを造ることではないだろうか。

5. NPO 法人 HAB 研究会の取り組み

5-1. NPO 法人 HAB 研究会の活動

我国でそのよう有力な技術ベンチャーを創出するため、筆者が新事業開発での成功体験を持つ仲間たちと行っている、NPO 法人 HAB 研究会の活動を紹介します⁴⁾。

NPO 法人 HAB 研究会では、IT、環境、エネルギー等、今後の我国を担う高付加価値産業の創出を目指し、アナログ技術をキーテクノロジーとする技術ベンチャーの振興と、その生態系の構築を目指す活動を行っている。ここでいうアナログ技術とは、イメージセンサや各種センサ、アナデジ混載 LSI や高周波 / 高速 LSI、MEMS、電力用デバイス、LED 照明、太陽光電池、蓄電池、省エネデバイス等、多岐にわたる。また具体的な産業として、最近では、5G、IoT、AI、エネルギー、EV 等の、高付加価値産業の創出に注力している。

その活動内容は、オープンイノベーションによる新事業創出活動や、ITRI（台湾工業技術院）と連携した日台連携による有力技術ベンチャー支援活動、日台の有力技術ベンチャーの情報収集とその紹介活動等である。

またそれらの活動紹介のため、最新の技術・事業のトレンド情報や有力技術ベンチャーの情報を紹介するアナログ技術トレンドセミナーを、年4回、京都で開催している。その活動には、これまで有力企業を含め500社近い企業の参加を頂いている。またコア技術による新事業創出に関心が高く、事業化での成功体験を持つ人材達の広いネットワークも特長としている。この活動の概要を図4に示す。

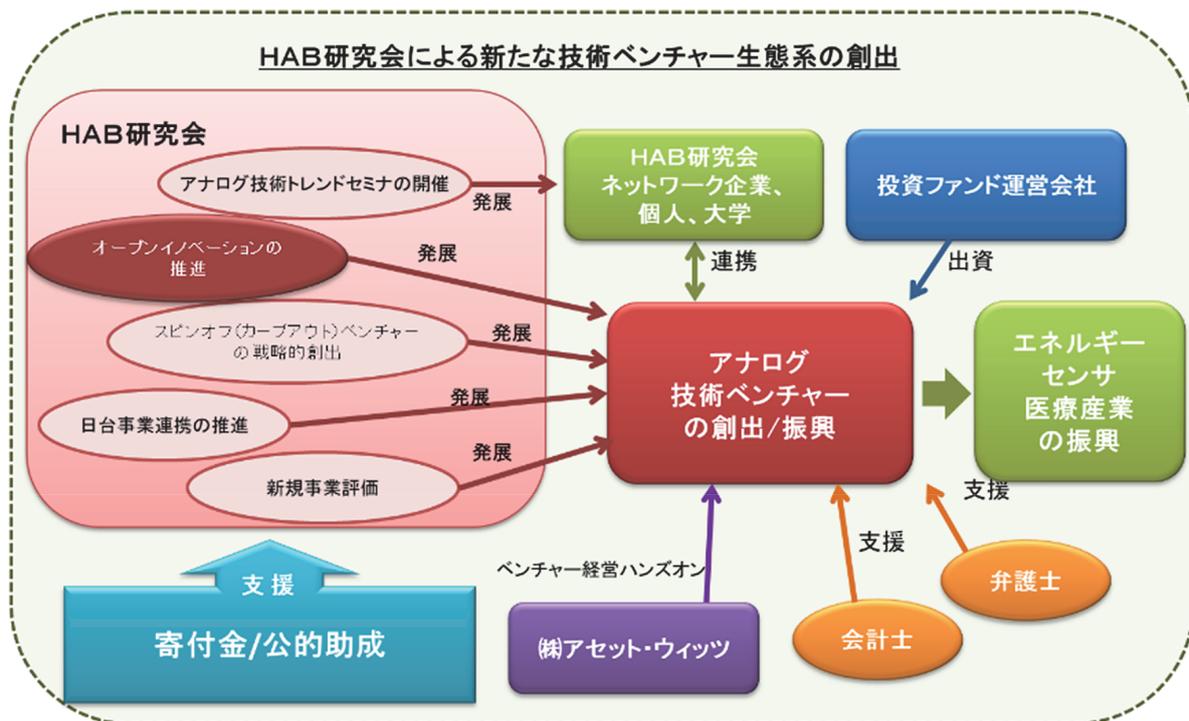


図4 NPO 法人 HAB 研究会 アナログ技術ベンチャーの創出／振興活動

5-2. アーリーステージの技術ベンチャーの発掘と育成

最近では、我国や台湾のCVCや新事業開発部門、更には技術ベンチャー投資に関心のある金融機関の人達との交流も活発になっている。そこでの様々な意見交換の中で、我国の高付加価値な新産業創出のためには、やはりアーリーステージの有力な技術ベンチャーを発掘し育成する、技術と経営のプロ人材による新しい仕組み造りが必要という意見が大きい。勿論我国でも、既にアーリーステージに特化したベンチャーファンドはいくつか存在するが、米国にあるような新事業創出の成功体験を有する技術と経営のプロ人材によるファンドは、まだないようである。

そこでHAB研究会では、様々な金融機関や、CVCや新事業開発部門と連携して、その幅広い人材ネットワークを活かし、真にイノベティブで高付加価値産業の創出が可能なアーリーステージの有力技術ベンチャーの発掘と育成を行う、技術と経営のプロ人材によるベンチャーファンドを造る検討を始めている。このようなベンチャーファンドは、CVCや新事業開発部門の活動を補完し、高付加価値な新事業創出を可能にするプロ集団として、我国の成長性の向上に大きく貢献すると期待される。

6. おわりに

我国の産業が沈み続ける最大の原因は、新しい高付加価値産業を育てられていないことにある。その結果我国では、世界の産業構造の変化に対応した、米国が実現したような高付加価値産業構造への変革が遅れている。

最近ようやく産業界から、CVCや新事業開発部門等、自らの新事業創出活動を効率化する大企業中心の新しい取り組みが活発になってきた。本稿ではその活動内容を紹介した。その動きのきっかけになったのは、経営の効率化が強く求められるようになり、新事業創出活動についてもその効率化が重要な経営課題になってきたからである。また従来の大企業や大組織に対する信頼が薄れ、人材の流動化が始まったこと、そしてその結果として、ようやく我国でも新産業創出の要である技術ベンチャーに対する関心が高まってきたこととも連動している。

ただそれでも、我国での技術ベンチャーによる高付加価値産業創出は難しく、CVCの活動には限界があると思われる。特に我国では、アーリーステージの技術ベンチャーの発掘と育成が大きな課題である。そのためにも、まずアーリーステージ技術ベンチャーの投資・育成環境を整え、米国のエンジェルのような有力なアーリーステージ技術ベンチャーを育てる新たな仕組みを造ることが必要と思われる。

本稿ではその課題解決のため、アーリーステージの技術ベンチャー育成を行う、技術と経営のプロ人材によるベンチャーファンド創成を検討中の新事業創出プロ集団 NPO 法人 HAB 研究会の活動も紹介した。従来の金融機関、CVC や新事業開発部門の活動を補完する活動として、今後、技術ベンチャーによる我国の高付加価値産業の創生や、成長性の向上に貢献できることを願う。

参考文献

- 1) 野口 悠紀雄、“平成はなぜ失敗したのか「失われた 30 年」の分析”、幻冬舎
- 2) 南部 修太郎、“ベンチャー興しによる日本構造改革のシナリオ 第 1 回『日本の大企業からベンチャーは生まれるのか?』”、メールマガジン『テック・ベンチャー』、<http://www.asset-wits.co.jp/techventure.pdf>
- 3) 南部 修太郎、“日本版エンジェルの創成が日本の新産業創出を活性化する!”、産学官連携ジャーナル、2011 年 10 月号 Vol.7、https://sangakukan.jst.go.jp/journal/center_contents/author_profile/nanbu-s.html
- 4) NPO 法人 HAB (高周波・アナログ半導体ビジネス) 研究会 ホームページ <http://www.npo-hab.org/>

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

先端電機システム論講座 (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)

優しい地球環境を実現する先端電気機器工学講座 (中村武研) ☆

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

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

デバイス創生部門先端電子材料分野 (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 (西野研)

通信情報システム専攻

通信システム工学講座デジタル通信分野 (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 (大木研)

集積システム工学講座情報回路方式分野 (佐藤高研)

集積システム工学講座大規模集積回路分野 (小野寺研)

集積システム工学講座超高速信号処理分野

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 (松田哲研) #

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プラズマエネルギー研究分野 (長崎研)

エネルギー生成研究部門複合系プラズマ研究分野

エネルギー機能変換研究部門ナノ光科学研究分野 (松田一研)

生存圏研究所

中核研究部

生存圏診断統御研究系レーダー大気圏科学分野 (山本研)

生存圏診断統御研究系大気圏精測診断分野 (橋口研)

生存圏開発創成研究系宇宙圏航行システム工学分野 (小嶋研)

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ルライゼーション研究分野

(小山田研)

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/>

「電力パケットに基づく負荷制御システムの構築」

持続可能な社会を目指す取り組みとして、再生可能エネルギーの利用が推進されている。さらに、それに伴い分散化される電源と負荷の需給を最適に制御することを目的として、情報通信技術の活用が盛んに研究されている。このような状況は、従来単方向的であった電気エネルギー供給システムにおいて、電力と情報の双方向の流れを生む。これらを適切に制御する技術の確立は重要な課題である。

本研究室では、上記課題の解決策の一つとして、電力のパケット化とそのルーティング [1] に関する研究を行っている。電力パケットとは、パルス状の電力を運ぶペイロードに対し、電圧波形により物理層で情報タグを付与した伝送単位である (図 1)。情報タグには、電力の由来や宛先、その他任意の情報を示す信号を付与する。これら情報をもとに、電力パケットはネットワークを構成するルータと呼ばれる機器により所望の宛先負荷へと伝送される。ここで、電力のパケット化およびルーティングは、ワイドバンドギャップデバイスを用いた回路スイッチングにより実現される。

電力パケット伝送システムの応用に向けて、パケット化された入力による負荷制御システムの構築は重要な課題である。従来システムでは、パルス幅変調等に基づく連続フローを前提として給電系および制御系が設計されてきた。一方、電力パケット伝送システムでは、離散量の電力単位により電力のやり取りが行われる。すなわち、負荷の側から見れば、パケットを単位とするパルス密度変調により電力が供給される。さらに、伝送される電力の利用法に関する情報はタグとして各電力パルスに直接付与される。

上記の特徴を踏まえ、電力パケットの伝送ネットワークと負荷とをつなぐインターフェイスとなる負荷制御システムを開発した [2]。図 2 に提案した電力パケットに基づく負荷制御システムを示す。情報タグの指令値とローカルに得られるセンサフィードバックをもとに、各パルスの供給をデジタル値として制御する。このとき、動的量子化器を用いた密度変調により、制御対象出力に現れるデジタル化の影響を最小限に抑えることができる [3]。本システムは 2 自由度マニピュレータの駆動にも応用され、実験による動作検証に成功している。そこでは、パケット化の利点の例示として、複数負荷への供給状況をデジタル値として扱うことで、デマンドレスポンス動作による消費電力のピークシフトが可能であることが確認された。

Internet of Things や Cyber Physical System などの文脈で、情報通信技術と現実世界の物理との相互作用とその制御がますます重要になると予想される [4]。そこで本質的に重要となるのは、サイバー空間と現実世界を切り離すのではなく、統合して扱うことである。電力パケットはその実現手法の一つとなり得ると期待される。

[1] T. Takuno, M. Koyama, and T. Hikiyara, *Proc. 1st IEEE Int. Conf. Smart Grid Commun.*, pp.427-430, 2010.

[2] S. Mochiyama and T. Hikiyara, *Int. J. Circuit Theor. Appl.*, Vol.47, No.4, pp.612-632, 2019.

[3] S. Azuma and T. Sugie, *Automatica*, Vol.44, No.2, pp.396-406, 2008.

[4] K. Kim and P. Kumar, *Proc. IEEE*, Vol.100, pp.1287-1308, 2012.

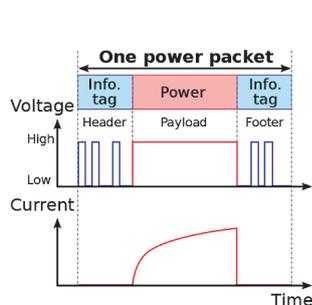


図 1 電力パケット伝送システム

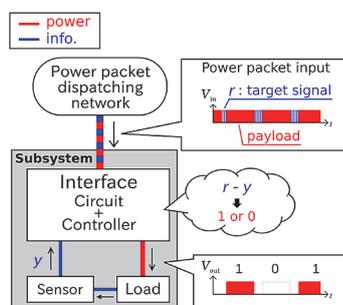


図 2 提案する負荷制御システム

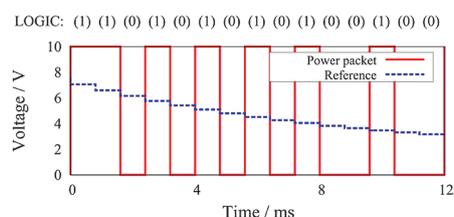


図 3 パルス密度変調による供給電圧 (赤線) と従来法による連続値入力 (青線)

システム基礎論講座 システム創成論分野

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

「レーダと畳み込みニューラルネットワークによるジェスチャーの時間領域識別技術」

コンピュータや家電のインターフェースとして、ジェスチャー認識技術が注目を集め、近年では主に家庭用ゲーム機のための距離カメラ Microsoft Kinect など、エンターテインメント分野で広く普及している。一方、カメラによる常時撮影にはプライバシーの懸念があり、電波などの別の手法の開発が望まれていた。近年、Google Soli と呼ばれるレーダによるジェスチャー識別プロジェクトが進められ、スマートフォン等の非接触操作への応用が注目を集めた。従来のワイヤレスジェスチャー識別技術では、ミリ波等の高周波による感度向上、MIMO アレイによる空間分解能向上、時間周波数解析によるドップラー特徴量の抽出といった手法が主流であったが、ミリ波 MIMO アレイレーダの導入による高コスト化や時間周波数周解析の計算負荷が課題となり、民生用途への実用化を阻んでいた。そこで本研究では、低コストの単一素子マイクロ波レーダを用い、周波数領域ではなく時間領域での処理による高速処理を可能にする手法を開発した [1]。

図 1 にレーダによるジェスチャー識別実験の様子を示す。被験者 10 名は送受信アンテナから 1.2m 離れた位置に着座し、6 種類のジェスチャーを各 150 回おこない、2.45GHz の無変調モノスタティックレーダにより反射波を計測した。反射波は直交検波され、複素時系列として保存される。図 2 には、6 種類のジェスチャーに対する複素平面上の I-Q プロット軌跡各 3 例を示す。時間周波数解析を経ずとも、各ジェスチャーに固有の特徴が存在することが見て取れる。図 3 に示す 2 層畳み込みニューラルネットワークによる学習および識別を行い、その識別精度を表 1 のとおり交差検証により評価した。データ全体の 90% を学習に用いた場合、10 名の被験者の平均識別精度は 91% を超えている。この精度は時間周波数解析による従来法と同程度であるため、時間領域での高速処理を可能とする提案手法の有効性が実証された。

参考文献

[1] T. Sakamoto, et al., IEEE Sensors Letters, vol. 2, no. 3, doi:10.1109/LSENS.2018.2866371 (2018).



図 1 ジェスチャー識別実験風景

(1) Stand-up gesture			
(2) Palm rotating			
(3) Fist and palm			
(4) Palm back and forth			
(5) Bye gesture			
(6) Push gesture			

図 2 識別対象の 6 種類のジェスチャーと IQ 軌跡

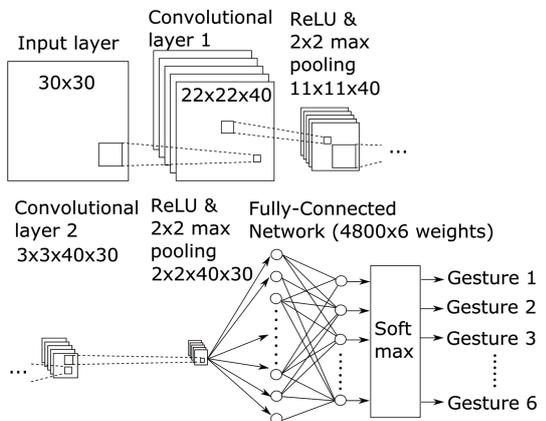


図 3 畳み込みニューラルネットワークの構成

表 1 被験者 10 名に対するジェスチャー識別精度

Training data	Classification accuracy (%)		
	90 (10%)	450 (50%)	810 (90%)
Subject 1	84.1	89.8	91.6
Subject 2	83.7	89.6	90.4
Subject 3	88.8	93.2	94.9
Subject 4	77.9	85.7	88.2
Subject 5	88.2	92.6	94.7
Subject 6	94.7	97.6	98.6
Subject 7	80.6	85.8	89.0
Subject 8	82.5	90.0	93.1
Subject 9	78.6	85.9	85.0
Subject 10	73.7	83.2	87.1
Average	83.3	89.4	91.3

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>

CORC 導体の特性評価

高温超伝導線は、比較的高い温度（例えば液体窒素の温度である 77 K）で超伝導状態を保持できたり、従来の低温超伝導線（液体窒素による冷却では超伝導にならず、4.2 K の液体ヘリウムで用いられることが多い）が使えないような 20 - 30 T 以上の高磁界で使えたりする超伝導線です。冷やすための電力が小さくて済むという利点を生かした各種の電気機器への応用や、高磁界を発生できるという利点を生かした各種高磁界マグネットへの応用を目指した研究開発が内外で進められています。

ただ、ほとんどの高温超伝導線は幅が 4mm 程度のテープ形状をしており、実用的な条件下（磁界、温度など）において、一本あたり数十～二百アンペア程度の電流しか流すことができません。その一方で、多くの応用先では、ときには数キロアンペアから数十キロアンペアに及ぶ大きな電流を流す必要があります。また、テープ形状をした高温超伝導線は、細い円断面の低温超伝導線に比べて、複雑な形状のコイルに巻くことが難しいという問題も抱えています。このような問題の解決先の一つとして、図 1 に示すような直径数ミリメートルの銅線のコアのまわりにテープ形状の希土類系薄膜高温超伝導線を多数本巻き付けた CORC 導体と呼ばれる導体がアメリカで開発されて注目を集めています（図 1）。CORC 導体は多数本の超伝導線を集合化しているため大きな電流を流すことができ、円断面の柔軟な導体であるため、複雑な形状のコイルに巻くことも可能です。

我々の研究室では、CORC 導体の交流損失の研究を進めています。交流損失とは、超伝導線に交流の電流を流したり、超伝導線に交流の磁界が加わったりしたときに、超伝導線内部の磁束分布の変化に伴って、磁束量子が出入りする際の損失で、小さいながらも、超伝導体を低温に保持する冷却装置の低い効率（熱力学の法則から、到達温度が低いほど効率は低くなってしまいます）を考えると無視できないものです。我々は、保有するユニークな交流損失の測定装置で、交流損失を測定し、また、計算サーバと独自に開発したソフトウェアで交流損失を計算しています。図 2 の赤い点によるプロットは 200 A の交流電流を輸送する CORC 導体に交流磁界を印加したときの交流損失の実測値を示しており、青い点と緑の点は交流損失の数値解析値を示しています。両者は磁界が小さい領域を除きよく一致しています。

今後は、交流損失の研究に加えて、米国のローレンスバークレー国立研究所との共同研究として、CORC 導体のクエンチ（常伝導転移とその拡大）の実験研究を、我々の研究室が保有する伝導冷却テストスタンドを利用して実施する計画です。

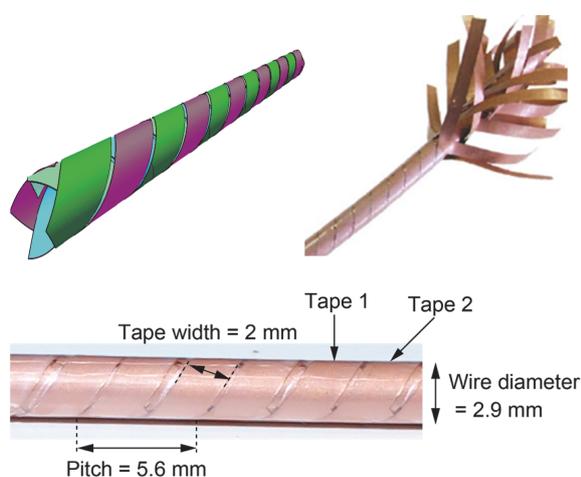


図 1 CORC 導体

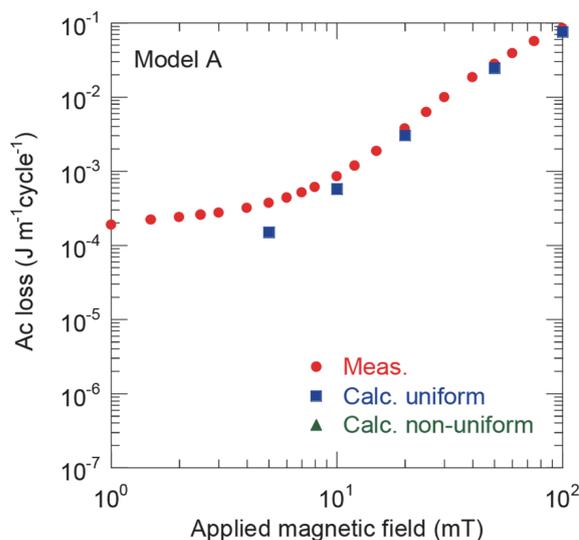


図 2 CORC 導体の交流損失

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/>

「モデル縮約法とクリロフ部分空間法の数理」

CUE 第 40 号で紹介したように、電気機器の動作を表現する大規模微分方程式に対してシステムの自由度を効率的に削減するモデル縮約法に関する研究が盛んに行われている。Cauer Ladder Network (CLN) 法 [1] は、そのようなモデル縮約法の一つであり、使用する基底が三項漸化式に基づいて効率的に生成されることから、縮約されたシステムが梯子回路として表現される特徴を持つ。本研究室では、CLN 法の入出力多ポート化、モータ等の可動部を含むシステムへの応用などに取り組んでいるが、ここではクリロフ部分空間法 [2] の観点から明確にされる CLN 法の数理について簡単に紹介する。

有限要素法などによって導かれる電気機器の離散化モデルは、多くの場合、下記の形で記述される。

$$(K + j\omega M)\mathbf{x} = \mathbf{b} \quad (1)$$

ここで $\mathbf{x}, \mathbf{b} \in \mathbb{R}^n$ はそれぞれシステムの自由度と入力を表すベクトル、 K, M は $n \times n$ 実対称行列である。通常 n は大きいので自由度を削減するため、 p ($\ll n$) 個の基底ベクトル $\mathbf{v}_i \in \mathbb{R}^n$ ($i = 1, 2, \dots, p$) を並べた $n \times p$ 行列 V を与えて \mathbf{x} を $V\mathbf{u}$ ($\mathbf{u} \in \mathbb{R}^p$) によって近似する。加えて、式 (1) の残差に対して以下の直交条件を課す。

$$\mathbf{b} - (K + j\omega M)V\mathbf{u} \perp \mathbf{v}_i \quad (i = 1, 2, \dots, p) \quad (2)$$

これによって縮約されたシステム

$$V^T(K + j\omega M)V\mathbf{u} = V^T\mathbf{b} \quad (3)$$

が得られる。

一方、基底ベクトルについては、以下の漸化式により生成する (アーノルディ法と呼ばれる)。

$$\mathbf{v}_1 = K^{-1}V^T\mathbf{b} / h_{1,0} \quad (4)$$

$$\mathbf{v}_{i+1} = (K^{-1}M\mathbf{v}_i - \sum_{j=1}^i h_{j,i}\mathbf{v}_j) / h_{i+1,i} \quad (5)$$

ただし係数 $h_{j,i}$ は、グラムシュミットの直交化法と同様にして、基底ベクトルが直交性 $V^TKV = I$ (I は $p \times p$ 単位行列) を満たすよう与えるものとする。 $h_{j,i}$ を (j, i) 成分とするような $p \times p$ 上ヘッセンベルグ行列を H とすれば、式 (5) は

$$K^{-1}MV = VH + h_{p+1,p}\mathbf{v}_{p+1} \quad (6)$$

と表すことができる。基底ベクトルの直交性 $V^TKV = I$ と、式 (6) に V^TK を乗ずることにより得られる $V^TMV = H$ とから、縮約されたシステム (3) は

$$(I + j\omega H)\mathbf{u} = V^T\mathbf{b} \quad (7)$$

と表される。さらに、 $V^TMV = H$ の左辺が対称行列であることから上ヘッセンベルグ行列 H が実際には対称三重対角行列であることが示され、したがって式 (7) が梯子回路の方程式を表すことが確かめられる。実際、式 (7) は CLN 法で導出される梯子回路の方程式と等価である。

上記の議論は、実のところ、式 (1) を連立一次方程式として扱いクリロフ部分空間法の一つである Concus-Golub-Widlund (CGW) 法 [2] を適用した際に行われる議論を、CLN 法と整合する形に変換して述べたものである。このように CLN 法の数理的基盤をクリロフ部分空間法の視点から捉えることにより、クリロフ部分空間法の洗練された理論体系と豊富な数学的ツールを利用することが可能となる。例えば多入力化された CLN 法を CGW 法のブロック化に基づいて導出することが可能である。また、CLN 法を CGW 法と対比してみたとき興味深いのは、CLN 法では CGW 法と異なり生成する基底ベクトル全てを保存することが前提とされていることである。クリロフ部分空間法については、基底ベクトルの多数化によって起きるコスト増大や数値不安定性を扱うための様々な手法が開発されている。それらの知識を CLN 法に対して有効活用することは、有力な検討課題の一つである。

[1] A. Kameari, H. Ebrahimi, K. Sugahara, Y. Shindo, and T. Matsuo, *IEEE Trans. Magn.*, vol. 54, 7201804 (2018).

[2] Y. Saad, *Iterative Methods for Sparse Linear Systems*, 2nd edition, SIAM (2003).

電子物理学講座 極微電子工学分野 (白石研究室)

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

[Spin transport and manipulation in semiconductor based spintronic devices]

Spintronics, or spin-electronics is an emerging field, which adds an additional spin degree of freedom to conventional electronics. The study of spintronics already led to information storages applications such as hard disk drive (HDD) and more recently Magnetic Random Access Memory (MRAM). It is very promising for the information processing or logic applications, particularly using semiconductor channels. One of the main advantages of semiconductor spintronic devices is that both charge and spin transport properties can be modified by an external electric field, *i.e.* gate voltage. Semiconductor-based spin device promises non-volatile memory and reconfigurable logic circuit.

In our laboratory, we were the first to demonstrate the room temperature operation of silicon (Si) based spin transistor. As shown in Fig (a), Si-based spin transistor consists of two ferromagnetic electrodes, *i.e.* spin-polarizer and detector on the top of Si channel. The charge electrons are spin-polarized by the ferromagnetic electrodes and electrically injected into the Si channel. However, spin-polarized electrons prefer to decay into the ferromagnetic material with high conductivity. Thereby most of the spin-polarized electrons are not injected into semiconductor. This is due to the large difference of conductivity of conductivity between ferromagnetic metal and semiconductor, so called conductivity mismatch. The conductivity mismatch was solved by the introduction of the interface resistance, commonly tunnel barrier, which prevents spin absorption into the spin polarizer and forces the spin polarized electrons to be injected in semiconductor. During the transport in the semiconductor channel, the spin-polarized electrons are scattered and have probability to lose the spin polarization. Drift velocity of electron in semiconductor channel reduces scattering event that electron experiences during their transport. If spin-polarized electrons reach other ferromagnetic detector, spin voltage is measured depending on relative configuration between spin direction of electrons and the orientation of the magnetization of ferromagnetic detector (parallel or antiparallel, Fig (b)). Taking the advantage of semiconducting properties, we experimentally modulated the spin signal by gate voltage. Our research group made significant achievements to improve spin-dependent signal amplitude and its gate manipulation in spin transistor over recent years which paves a path towards logic and information technology.

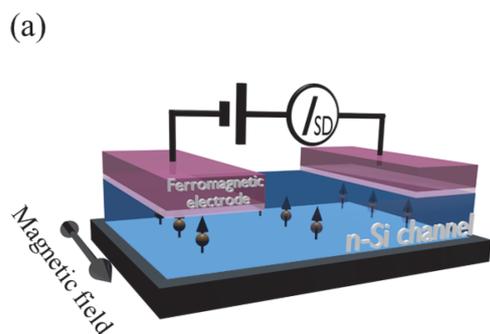


Fig. (a) Schematic of a spin transistor.

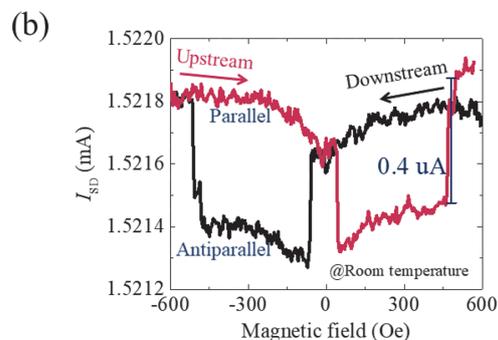


Fig. (b) Room temperature operation of spin transistor with an applied magnetic field.

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>

「深紫外近接場分光法の開拓」

染色フリー生細胞イメージング、分子の選択分析、および超ワイドバンドギャップ半導体の光物性評価を可能とする深紫外顕微分光法に注目が集まっている。ここで、深紫外光とは波長 200~300 nm の光を指し、人間が視ることのできる可視光（波長 380~780 nm）よりも波長が短い。深紫外領域では、広帯域で色収差補正された高開口数対物レンズの作製が困難であるため、通常の（遠視野）深紫外顕微分光法の空間分解能は低く留まっている [1]。この問題を解決する手法として近接場光学を利用する方法がある。近接場光学を深紫外顕微分光法に応用した例はこれまでにいくつかあるものの、波長 240 nm 以下の深紫外光を分光評価できる深紫外近接場分光法は確立されていなかった。そこで本研究では、波長 210 nm で発振するレーザを励起光源とし、波長 240 nm 以下の深紫外光を分光評価できる深紫外近接場光学顕微鏡を開発した [2]。

本研究目的を達成するためには、深紫外分光特有の問題である、ミラーやレンズといった光学素子の経時劣化および低いスループットを克服する必要がある。そこで本研究では、2つのネガティブフィードバック機構を組込むことにより、励起光源のビーム位置・強度を安定化させた。また高いスループットを有する深紫外用分光ミラーやフィルタを独自開発した。そして近接場分光の要となる光ファイバプローブについては、日本分光株式会社と共同で、深紫外光を入射しても経時劣化せず高いスループットを有するものを開発した。我々の開発した深紫外近接場光学顕微鏡を図1と図2に示す。

この深紫外近接場光学顕微鏡を用いて、超ワイドバンドギャップ半導体の1つである窒化アルミニウムガリウムのフォトルミネッセンスマッピングを行なった。すると、従来の遠視野光学顕微鏡では観察できなかった個々の局在発光中心（らせん転位と呼ばれる結晶欠陥に起因する）からの発光を可視化することに成功した。

波長 240 nm 以下の深紫外光はバクテリアの不活性化や窒素酸化物検出に有用であることが見出されており、当該波長領域で発光する深紫外LEDの研究開発が近年活発である。しかしながら、その発光効率極低なのが現状であり、その原因究明が求められている。我々の開発した深紫外近接場光学顕微鏡は、とりわけ本問題の解決に大きく貢献できると考えている。

[1] 京都大学電気関係教室技術情報雑誌 cue 40号 大学の研究・動向 光材料物性工学分野 P3-10 (2018).

[2] Ryota Ishii, Mitsuru Funato, and Yoichi Kawakami, APL Photonics 4, 070801 (2019).

本論文は本誌の注目記事（Featured）に選出され、AIP 出版社全体の注目記事（Scilight）にも選出された

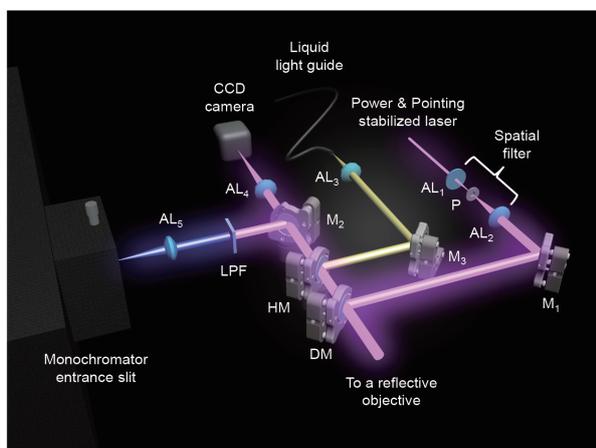


図1. 開発した深紫外近接場光学顕微鏡の励起・照明・結像・検出光学系

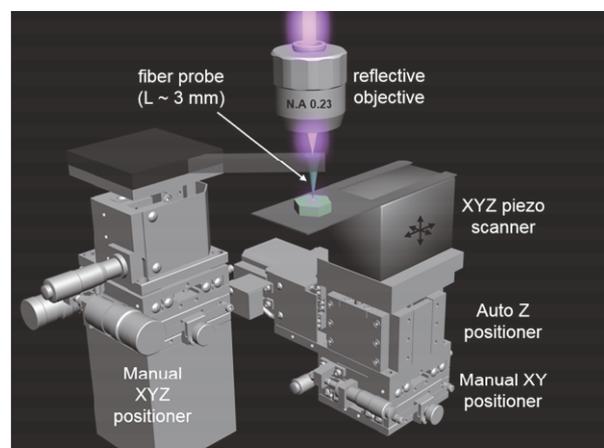
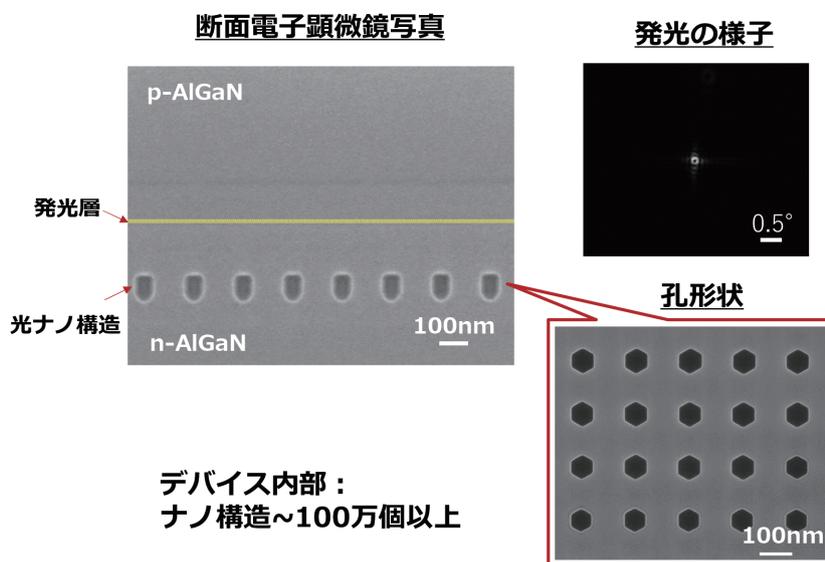


図2. 開発した深紫外近接場光学顕微鏡の対物光学系と走査プローブ制御系

工学研究科 附属光・電子理工学教育研究センター ナノプロセス工学分野
<http://www.nano.kuee.kyoto-u.ac.jp/>
 「光ナノデバイスの開発」

物質をナノメートル精度で微細加工する技術、すなわちナノプロセス技術は、電子デバイス製造、医療、エネルギー等、あらゆる産業を支える基盤技術です。当研究室では、半導体や金属材料のナノプロセス技術を駆使した光ナノデバイスの開発を行い、ナノ構造に特有の光物理現象の探求や、従来のデバイスでは実現不可能であった新しい機能の創出を目指しています。

従来のデバイスとは異なる全く新しい機能をもつ光ナノデバイスを実現するためには、目的の機能を有するナノ構造の設計手法の開発と、設計した光ナノ構造を正確に実現する作製技術の構築が重要となります。当研究室では、光ナノ構造の設計のために、3次元結合波理論、厳密結合波解析法や時間領域差分法など、複数の電磁界シミュレーション法を駆使しつつ、これらを拡張した新たな理論解析手法を開発し、新たな機能をもつ光ナノ構造の提案を行っています。また、設計した構造を、ナノメートル精度で安定して作製するために、電子ビーム描画装置やプラズマエッチング装置等のナノプロセス装置を活用した、微細加工技術の構築を行っています。一例として、設計に基づいたフォトリソグラフィを導入した、青紫波長領域で動作する窒化ガリウム系新型レーザーの断面電子顕微鏡写真を図に示します。ナノ構造は、結晶成長技術を活用することで、窒化ガリウム半導体中に埋め込まれています。このような新型デバイスにおいて、青紫波長領域における大面積コヒーレント発振に成功するなど、従来の光デバイスとは動作原理や機能が異なる次世代光源の開発を、世界に先駆けて行っています。なお、本研究室は、電子工学専攻光量子電子工学分野と連携をとりながら教育研究を行っています。



図：窒化ガリウム系の光ナノ構造を導入した新型レーザーの電子顕微鏡写真、発光様子

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>
 「遠紫外発光半導体材料の開発」

1962年にGaAsを用いた赤外発光ダイオード（LED）が実現されて以来、半導体をベースとする発光材料・デバイスの研究ターゲットは、より波長の長い赤外、遠赤外に向かう方向と、より波長の短い可視、紫外に向かう方向の両側に拡大してきた。後者についてはさまざまな材料研究の中でGaNという材料に出会い、これをベースとする混晶半導体AlGaN、InGaNによるバンドギャップエンジニアリングにより、可視全域はもとより深紫外領域まで各種波長の発光が可能となり、LEDが開発されている。しかしいくら優れた材料にも物理的な限界がある。この材料系で言えば、最大のバンドギャップはAlNの約6.0 eVであること、つまり発光可能な最短波長は約210 nm だということである。しかし、それより短波長の光も、水銀ランプの185 nm、ArFエキシマランプの193 nm など、社会では重要な役目を果たしている。これらは水銀や希ガスの放電をベースとし、発光波長は原子の種類で決まっている。ここに半導体からの発光を用いたいという発想はいかなるものだろうか？

われわれが200 nm以下の遠紫外をターゲットに半導体発光材料の研究を始めた頃、マーケットが小さい、殺菌は260 nmで十分、といったご意見をいただいたが、われわれは半導体の可能性を拡めたい研究者であり、水銀ランプの185 nmの代替は必須、という考えもあった。幸い科研費をいただくことができ、2017年度からこの課題に取り組むようになった。

波長200 nm以下の遠紫外発光を目指すには、バンドギャップが6.2 eV以上の半導体が必要である。図1に示すように、これは $(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ あるいはMgZnOという半導体で実現できる。一方、遠紫外の光は当然目に見えないし、空気中の酸素に吸収されるために（それゆえオゾンを生じて殺菌や洗浄に効果を持つわけであるが）発光・分光の測定系を真空または窒素の雰囲気下に置く必要がある。これらの点は、共同研究者である工学院大学の尾沼教授にお願いし、緊密な共同研究の体制で研究を進めている。図2はMgZnOのカソードルミネセンス（CL）スペクトルで、6Kにおいて199 nmの発光が得られている。引き続き、量子井戸の作製・光物性の測定を通じて、半導体にとって未知の波長領域の光を得ることを目指しているところである。

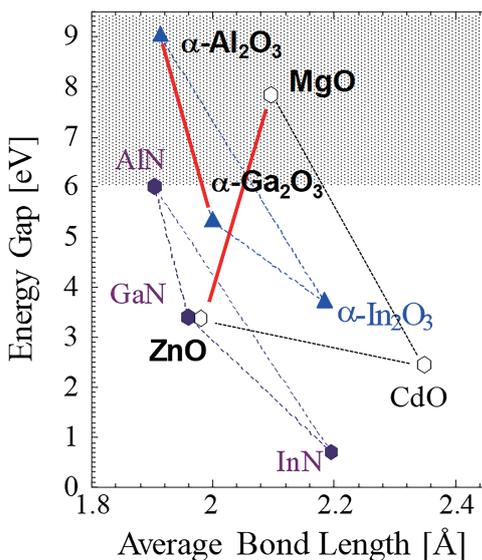


図1 $(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ あるいは MgZnO で実現可能なバンドギャップ領域（赤色の線）。網掛けはAlNよりバンドギャップが大きく遠紫外発光が期待される部分である。

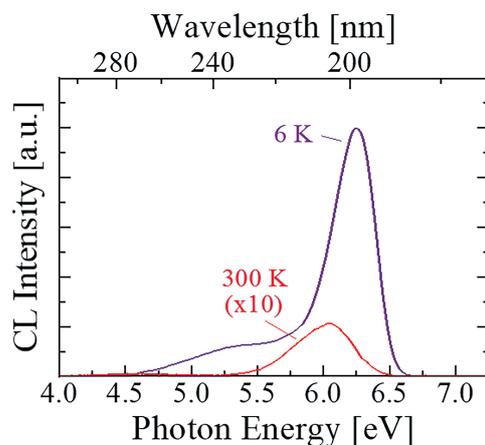


図2 MgZnOの遠紫外発光（CL）

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/>

行政対話ボットの研究

コンピュータが人間と対話をする「対話ボット」を活用したサービスが社会的に普及し、コンピュータとの対話を通して情報を入手する場面が増えています。言語処理分野でも対話研究が盛んに行われており、対話ボットの実際の対話事例からフィードバックを得ることがますます重要になってきています。本稿では、本研究室で行っている行政対話ボットの共同研究の取り組みを紹介します。

この対話ボットは行政や市民生活に関する市民からの問合せに自動応答するもので、2018年6月から兵庫県の尼崎市と丹波市で実証実験を行っています [1]。市民の発言の内容は、行政手続きに関する典型的な質問から、「娘の生涯のパートナーを見つけたい」といった相談、施設の開館時間などの情報照会や挨拶まで多岐にわたります。それに対して対話ボットは、行政ホームページの「よくある質問」(FAQ)などを基に構築したデータベースから、回答として適切な項目を選択し、対話的に返答します。サービスはメッセージアプリ LINE 上で提供されており、市が配信するイベント情報なども同じ媒体で受け取れます。配信内容に関する問合せに対話ボットが応答するケースも見られ、住民サービスの向上や情報支援の円滑化に活用されています。

開発にあたっての技術的な課題の1つは、ユーザーの問合せにマッチする内容を FAQ データの中からどのように検索するかという点です。実際の問合せの言い回しは非常に多様で、FAQ データ中の適切な項目と対応づけるのは容易ではありません。そのため、行政対話ボットでは2つのシステムを組み合わせることで検索を実現しています。1つは、本研究室で開発した TSUBAKI というシステムで、文構造や語の同義性を考慮して、問合せと各 FAQ 項目の質問文との類似度を計算します。もう1つは、問合せに対して各 FAQ 項目の回答部分の関連性を計算するもので、近年発表された深層学習言語モデル BERT を用いています。この2つのシステムの統合による精度向上が実験から明らかになり [2]、実際の運用においても、「市の魅力を教えて」などの抽象的な問合せに回答できるようになるといった効果がありました。

今後、この実証実験で得られる対話データの分析をさらに進めつつ、複数発話間での問合せ内容の連続性の認識や、対比などの情報構造を考慮した対話の実現などについて研究を進める予定です。

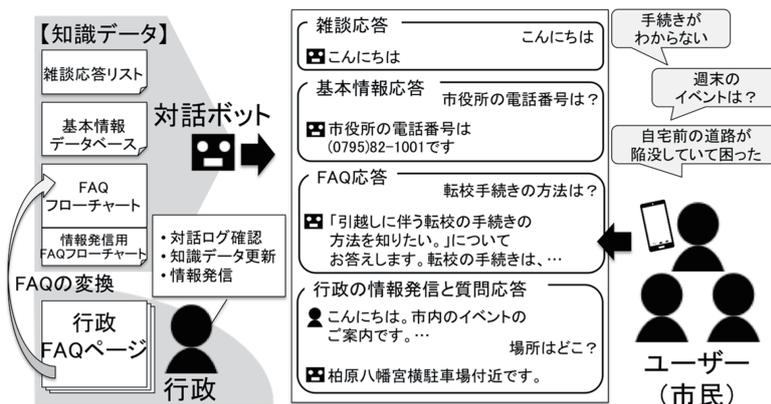


図1 行政対話ボットの概要

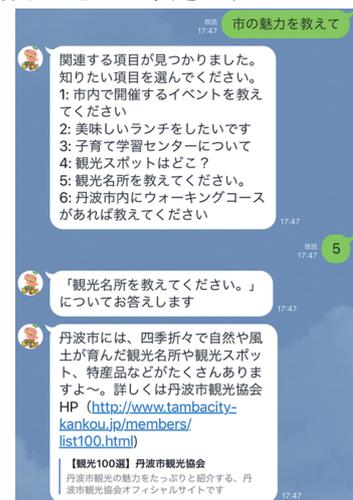


図2 対話画面

[1] https://www.nii.ac.jp/research/upload/cris-report_20190606.pdf

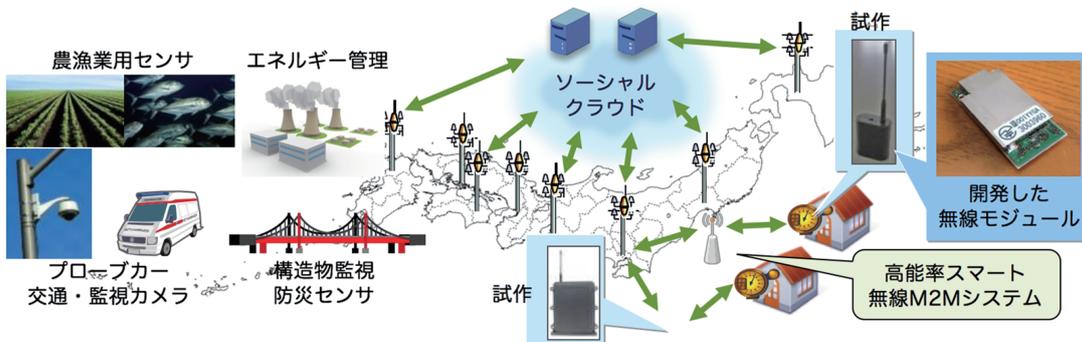
[2] Wataru Sakata, Tomohide Shibata, Ribeka Tanaka and Sadao Kurohashi. FAQ Retrieval using Query-Question Similarity and BERT-Based Query-Answer Relevance, in SIGIR2019 (2019.7).

通信システム工学講座 デジタル通信分野（原田研究室）

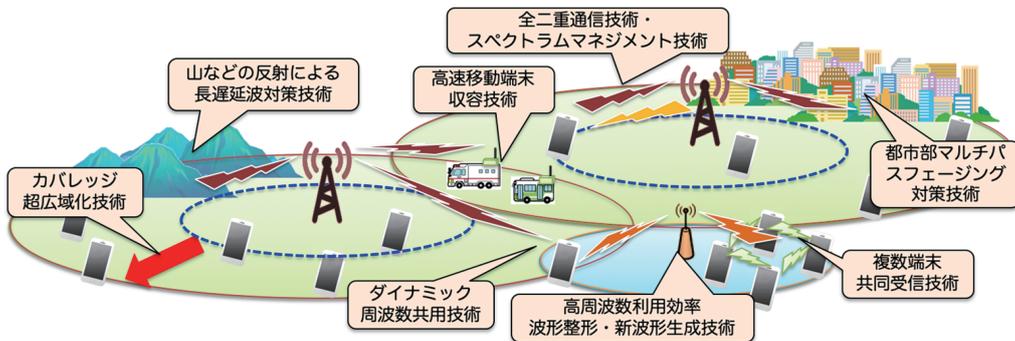
<http://www.dco.cce.i.kyoto-u.ac.jp/>

第6世代ブロードバンド移動通信システムに関する研究

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ク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（M2M）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可能な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（4G）としてLTE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おり、2020年代からは第5世代移動通信システム（5G）のサービスが本格的に開始されます。そして既に研究開発分野ではそのさらに先、いわゆるBeyond 5Gや6Gといった次世代システムの検討が開始されています。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Beyond 5G / 6Gに関する研究として、究極的な周波数利用効率の実現を目指す、ダイナミック周波数共有や全二重複信（Full-duplex）セルラ、新信号波形・新物理層方式をはじめ、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多重MIMO伝送技術、広帯域高速アンテナ近傍界測定技術をコアとする空間電波モニタリング技術、高能率スマート無線M2M通信システム、などの研究テーマを中心に研究活動を進めています。なお「ダイナミック周波数共有」に関する研究開発は主に総務省から受託した「電波資源拡大のための研究開発」および「戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）」によって実施しています。また、Full-duplexセルラに関する研究開発は主に総務省から受託した「電波資源拡大のための研究開発」によって実施しています。さらに「高能率スマート無線M2M通信システム」に関する研究開発は主に総務省から受託した「戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）」によって実施しています。



本研究室における Beyond 5G / 6G ブロードバンド移動通信システムに関する研究開発概要



本研究室におけるスマート無線 M2M システムに関する研究開発概要

通信システム工学講座 伝送メディア分野 (守倉研究室)

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

「深層強化学習による車車間ミリ波通信のリレー長拡大」

自動運転技術の普及とともに、自動車にはGPS (Global Positioning System) や赤外線レーダ、カメラ、LiDAR (Light Detection and Ranging) など多種多様なセンサが搭載されるようになった。これらのセンサから得られる自動車自身や周囲の情報はその自動車の走行のみならず、ビッグデータとして社会応用されることが期待されている。一台の自動車に搭載されるセンサ数の増加に伴いデータ量は膨大になり、車載ストレージに貯蓄することは困難になるため、随時インターネット上のクラウドサーバにアップロードしなければならない。一方で、現在利用可能な自動車向けの通信規格である DSRC (Dedicated Short Range Communications) や C-V2X (Cellular Vehicle to Everything) は小容量データの通信を高信頼、低遅延で送信することを目的としており、ビッグデータの送信には不向きである。さらに、通信帯域が限られていることを考えると、ビッグデータの共有やクラウドへのアップロードに DSRC や C-V2X を利用すると、自動運転向けの高信頼通信の帯域を圧迫してしまい、安全確保のための情報共有ができなくなる可能性がある。

こうした問題を解決するため、当研究室では車載センサのビッグデータの送信にミリ波帯電波を利用する研究を行っている。従来の自動車向け通信規格が利用するマイクロ波帯に比べてミリ波帯電波は広い帯域が利用可能で大容量データの送信に向いている。また、既存の通信規格と異なる帯域を利用するため、安全確保のための通信を圧迫することがない。しかしながら、ミリ波帯電波は距離減衰や遮蔽による電力の減衰が大きく、通信可能距離が短いため、路上基地局 (RSU: Road Side Unit) のカバレッジが狭くなり、インターネット接続できる範囲が狭くなるという課題がある。少ない RSU でカバレッジを確保するためにマルチホップ通信の利用が考えられるが、遮蔽による通信品質の劣化が生じるミリ波通信ではマイクロ波帯のマルチホップ通信とは異なり、遮蔽のないマルチホップリレーを形成しなければならない。特に送受信車両の間に他の車両があると遮蔽によりマルチホップリレーが途絶えてしまう。本研究では、自動運転が可能な車両を想定し、車両自らが周囲の車両位置を考慮して臨機応変に遮蔽を回避して長いリレーを形成する手法を提案している。図1は提案手法のコンセプトを示している。白色の三台の車両がミリ波リレーを形成しようとしているが、ミリ波通信機能を備えていない黒色の車両が間にいるため、一番後続の車両だけリレーに参加できておらず、RSUとも接続されていない。ここで、二台目の車両が車線変更を行うことで、三台目の車両と見通しが効き三台でリレーを形成できる。提案手法は車両自身にリレー拡大のための意思決定機構を搭載し、車線変更などの相対位置変更による遮蔽回避を促す。意思決定にはディープラーニングを利用した深層強化学習を採用しており、車両自身が過去の経験からどのような移動が良いか学習し、学習が進むことでリレー長を拡大できることを確認した。

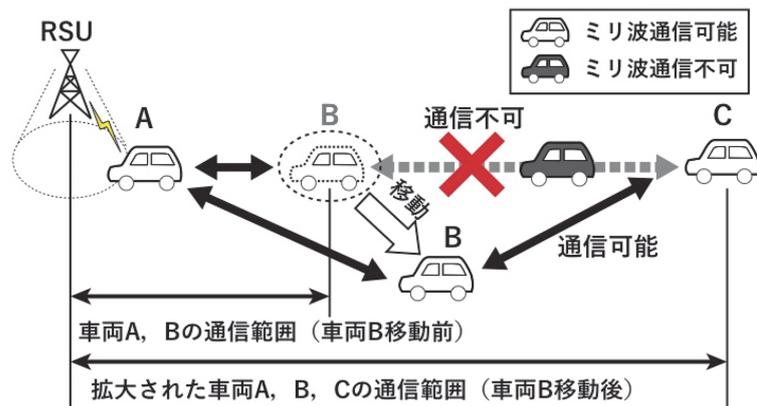


図1. 車両移動によるミリ波リレー拡大

参考文献

A. Taya, T. Nishio, M. Morikura, and K. Yamamoto, "Deep-reinforcement-learning-based distributed vehicle position controls for coverage expansion in mmWave V2X," IEICE Trans. Commun., Vol.E102-B, No.10, Oct. 2019. (to be published)

集積システム工学講座 大規模集積回路分野（小野寺研）

<http://www-lab13.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

「ランダム・テレグラフ・ノイズに起因する集積回路の遅延時間変動」

Society 5.0 を支える基幹デバイスである集積回路は、着実な微細化、大規模化、高機能化が進んでいます。しかし、デバイスの寸法がナノスケールとなり、微細化に伴う各種の物理限界が顕在化しています。当研究室では、デバイス構造内に原子レベルの揺らぎや欠陥が存在しても安定に動作しうる集積回路の実現に向けて、微細デバイスに内在する本質的な特性ばらつきや製造性の劣化、信頼性の低下などの物理的フォールトを克服する設計技術に取り組んでいます。今回は、トランジスタ特性の時間的な変動を引き起こすランダム・テレグラフ・ノイズ（RTN）が集積回路の遅延時間に及ぼす影響を評価する技術について説明します。

RTNとは、トランジスタのチャネルを移動するキャリアが、ゲート酸化膜に存在する原子レベルの構造欠陥（トラップ準位）に捕捉または放出されることにより、トランジスタを流れる電流が離散的に変動する現象です。図1に、65nm プロセスで製造された最小寸法のトランジスタを流れるドレイン電流を60秒間にわたって測定した結果を示します。ゲート電圧は0.9 V、ドレイン電圧は0.1 Vとし、最大電流値で正規化した値を示しています。測定開始後すぐに2%程減少し、その後さらに2%程の減少が数回観測されています。このような離散的な変動がRTNの特徴です。RTNを回路的な視点で見ると、トランジスタのしきい値電圧が時間とともに離散的に変動する現象と見ることができます。

微細化によりチャネル内を流れるキャリアの数が減少し、RTNの影響が顕在化しています。特に、微細な素子が高密度に集積されるCMOSイメージセンサやSRAMでは深刻な問題となっています。より大きな寸法のトランジスタが使用されるデジタル論理回路でも、微細化や低電圧化の進展に伴いRTNによる動作遅延の変動量が大きくなると予想されます。実際にテストチップを試作して、RTNが遅延時間に及ぼす影響を評価しました。

デジタル回路を模擬する回路として、インバータで構成したリング発振回路を採用しました。発振周波数の揺らぎを観測することで、遅延時間の揺らぎを評価します。65nmの製造プロセスを用いて、1チップ上に様々な種類の多数個のリング発振回路をアレイ状に集積化しています。例えば、最小のトランジスタで構成した7段のリング発振回路は、12,852個搭載されています。図2にチップ写真と回路構造を示します。今回、12チップの測定を行い、合計154,224個の7段リング発振回路について、発振周波数の変動量を観測しました。電源電圧は0.5Vで、1msの間の発振回数から周波数を測定し、10秒間における最大変動量を測定しました。このような多数の回路に対するRTNの影響評価は世界初の試みです。図3に観測された周波数変動のヒストグラムを示します。大部分の回路では、3%程度以下の変動量ですが、最大では12%の遅延変動が観測されています。遅延変動量は、対数正規分布に従う事が判明しました。デジタル集積回路内では、大部分の回路はRTNによる遅延変動量は少ないのですが、大きな変動量を示す回路部分も存在することがわかります。この遅延変動による動作不良が懸念されます。今後、RTNの影響を考慮した設計指針の開発に取り組めます。

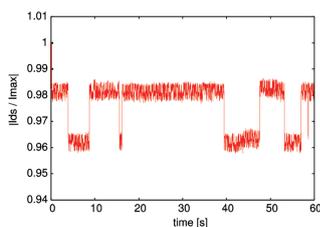


図1. ドレイン電流の変動

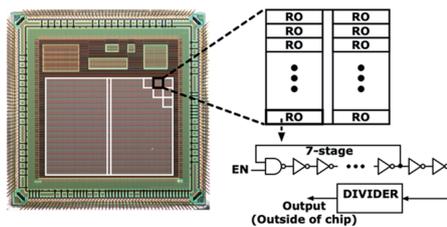


図2. RTN 評価回路

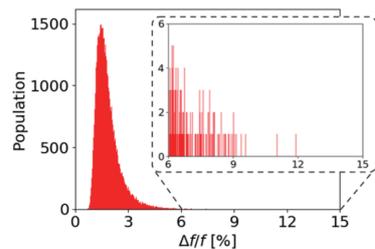


図3. RTN による遅延変動量のヒストグラム

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/>

「知的集中を向上させるオフィスの統合温熱制御」

21世紀では情報社会が進展し、情報、データ、アイデア、知識等の無形の知的生産物がますます価値を持つ社会になっています。このような社会では知的生産性が重要であり、特に近年では、働き方改革により労働時間が短縮される方向にあるため、ますます知的生産性の向上が求められるようになってきました。知的生産性を向上させるには様々な方法がありますが、その中でも比較的導入が容易な方法としてオフィスの物理的な環境を適切に制御する方法があります。すなわち、執務者にとって快適なオフィス環境に整えることによって、知的作業に集中しやすい環境を作ろうとする試みです。知的集中に影響を与えるオフィス環境としては、温熱、空気質、照明、音等が考えられ、これまでも知的集中を向上させる環境として様々なものが提案されてきましたが、知的集中がどの程度向上するのかを客観的かつ定量的に計測する方法がありませんでした。

私たちの研究室では、定型的なオフィスワークで求められる言語能力、判断能力、数字取り扱い能力等を必要とする認知タスクの解答時間分布が集中の程度によって変化することを応用して、仕事時間中に集中して知的作業に取り組んでいる時間の割合 CTR（Concentration Time Ratio）という集中指標を開発し、これを用いて温熱、照明、音等が知的集中に与える影響を定量的に評価しています。ここでは、執務室と休憩室の室温を適切に制御することにより、図1のように執務中は仕事に集中しやすいように少し涼しい環境に、休憩の際には疲労回復効果が高くなるように少し暖かい環境に、再び仕事に戻るときには冷刺激を与えてリフレッシュと気分転換をはかるような統合温熱制御について、どの程度知的集中を向上させる効果があるのか実験的に検証した研究について簡単に紹介します。

この統合温熱制御の効果を調べるために、38名の方が参加する実験を実施しました。この実験では、統合温熱制御を導入した環境条件と導入していない標準条件の双方で実験参加者が認知タスクを実施することにより、集中指標 CTR にどの程度の差があるのかを調べました。実験の結果、図2のように標準条件と統合温熱制御条件では、平均で2.3%ポイントの集中時間延長効果があることがわかりました。2.3%ポイントというとあまり効果がないように思えますが、労働賃金が高い我が国では決して小さな効果ではありません。私たちの研究室では、今後も知的生産性の向上を目指して研究を進めていきます。

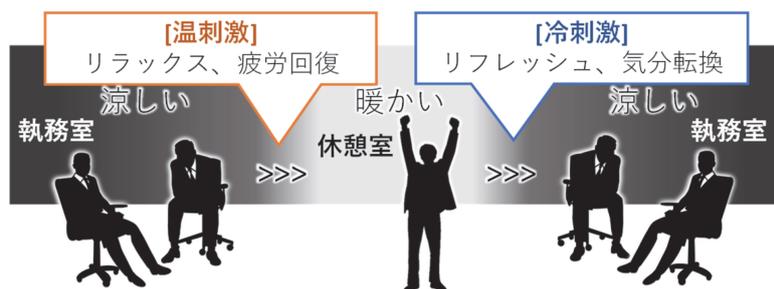


図1：統合温熱制御の概念図

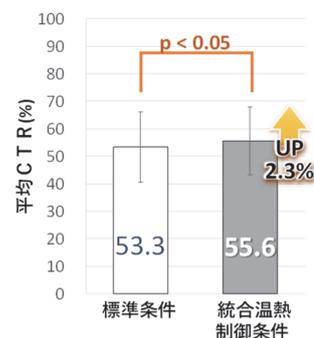


図2：比較評価実験の結果

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/>

「Cuテープ上に導電性酸化物をバッファ層としてエピ成長させて作製する高温超伝導線材」

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）、リニア中央新幹線、核磁気共鳴装置（NMR）、粒子加速器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、これを用いた電線（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薄膜成長技術（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け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の長さによって単結晶のように揃える（3軸結晶配向）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（ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ）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（77 K）で $30,000 \text{ A/mm}^2$ 以上に達しています。これまでに、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貴金属を不使用とした新規構造（図1）の開発に成功し [3, 4]、現在、国プロ等を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、太陽電池やバッテリー、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。

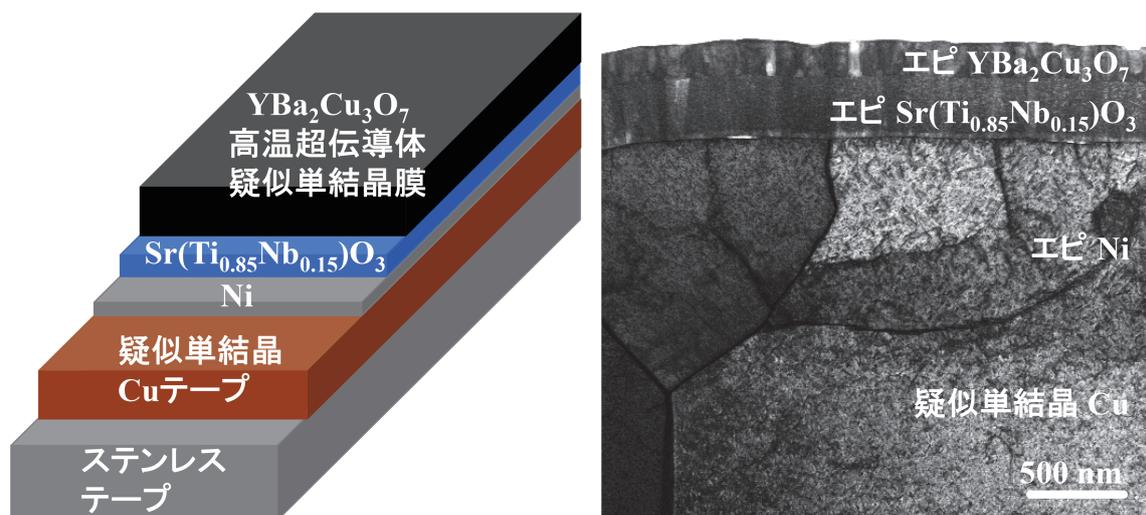


図1 開発した高温超伝導線材の概略構造および断面の透過型電子顕微鏡写真

エネルギー科学研究科 (エネルギー応用科学専攻) プロセスエネルギー学分野 (白井研)
<http://www.pe.energy.kyoto-u.ac.jp/>
「GdBCO 超電導抵抗型限流器の復帰特性向上に関する検討」

1. はじめに

当研究室では、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、分散電源の大量導入によって複雑化する電力潮流状態における保護協調の柔軟化を目的として研究開発を進めている超電導限流器 (SFCL : Superconducting Fault Current Limiter) に関する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。抵抗型超電導限流器の実用化にあたっては、故障電流の遮断の後素早く超電導状態に復帰することが求められる。超電導線材表面への PTFE (Polye-Tetra-Fluoro- Ethylene) コーティング、液体窒素加圧によって復帰特性が向上することを確認した。

2. 復帰特性試験

本実験に使用した無誘導巻コイル試験体 (住友電工) を図 1 に示す。超電導線材は幅 3 mm、厚さ 0.13 mm、長さ 2480 mm で単位長さ当たりの常温抵抗値が 278 mΩ/m の GdBCO 線材である。線材表面に PTFE を塗布した試験体を PTFE 試験体、しないものを Bare 試験体とよぶ。

交流電圧を 100 ms (7 サイクル) の間試験体に印加し交流過電流によってコイルをクエンチさせた。印加電圧値はクエンチ直後の抵抗値が 600 mΩ になるように調整した。復帰特性を観察するため、線材が超電導状態に戻るまで、微小な一定 DC 電流 (100 mA) を通電し抵抗を計測した。液体窒素の圧力は 0.10 MPa (大気圧) から 0.50 MPa まで 0.05 MPa 刻みで変化させた。

3. 実験結果と考察

図 2 に圧力 0.10 ~ 0.50 MPa でのクエンチ後の Bare 試験体の抵抗値の時間変化を示す。液体窒素を加圧するに従い復帰時間が短縮している。各圧力下において、復帰開始直後にみられる抵抗値の減少の傾きが緩やかな領域 (膜沸騰域) は加圧により冷却が加速されている。傾きの急な領域 (核沸騰域) への移行時の抵抗 (温度) も高くなり、復帰特性が改善されている。また、PTFE 試験体でも同様の実験を行い、Bare 試験体より良好な復帰特性を確認した。

参考文献

- [1]. C. Maeda, et. al., "Recovery Characteristics of GdBCO Tape in a Pressurized Liquid Nitrogen", IEEE Trans. on ASC, AUG. 2019, Vol. 29, Issue:5, Page (s): 1-5, doi:10.1109/TASC.2019.2901894

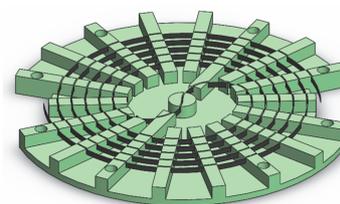


Fig.1 Non-inductive coil

図 1 無誘導巻 GdBCO 超電導コイル (液体窒素浸漬冷却)

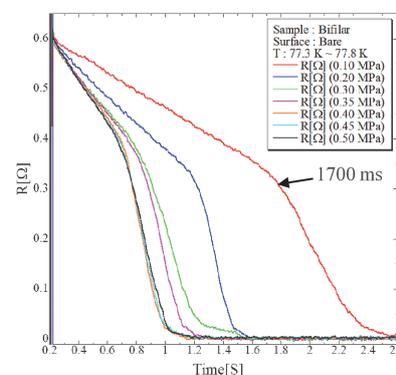


図 2 復帰特性 (過電圧印加後の抵抗変化) : Bare試験体 ; 0.1 ~ 0.5MPa

エネルギー生成研究部門 複合系プラズマ研究分野*

<http://www.iae.kyoto-u.ac.jp/complex/>

「核融合エネルギーを目指したプラズマの計測への近赤外分光法の適用 (II)」

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 年程度で再利用も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、ベースロード電源となりうる「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、世界的成果を取めている。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「立体磁気軸ヘリオトロン磁場」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の一例について紹介する。昨年 CUE 40 号 (p.34) において、プラズマからの近赤外領域の発光 (主に輝線スペクトル) を利用する新しい試みについて紹介した。本稿では、その後得られた近赤外分光による連続スペクトルの検出結果について紹介する。本研究に用いている近赤外分光器 (Ocean optics, Inc., NIRQuest512-2.2) で計測可能な波長 900 - 2100 nm 付近は 3200 - 1400 K の黒体放射のスペクトルのピーク波長に対応する (ウィーンの変位則) ので、このピークを含む両サイドのスペクトルを測定することで精度の高い温度計測が期待できる。この温度領域には様々な材料の融点 (鉄 1536°C、モリブデン 2623°C、タングステン 3407°C 等) が存在するため、装置保護の観点においても有用となり得る。

電子サイクロトロン加熱を比較的低密度でおこなうと、加速された電子がプラズマにエネルギーを与えられず、容器壁の特定部分にホットスポットを形成する場合がある。本システムをヘリオトロン J に適用したところ、プラズマのモニタ映像にホットスポット形成が認められた放電において、近赤外分光器で黒体放射のスペクトルが観測された (図)。感度較正で定量性が満足される波長領域においてプランクの輻射式でフィッティングを行い、2400 K の黒体放射が同定された [1]。

ホットスポットはプラズマ対向壁の溶損や不純物発生の原因となり得るため、その観測・制御が不可欠であり、近赤外分光の有用性が高められた。

[1] Kado *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **89**, 10D129 (2018), doi: 10.1063/1.5039320

<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

*) 改組によって分野・構成員が再編成されています。

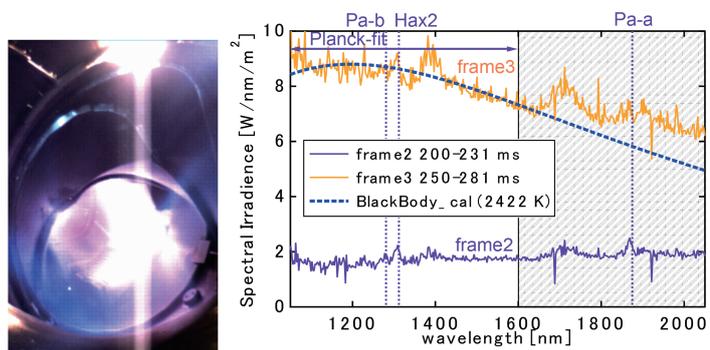


図: (左) プラズマモニタで上部に観測された ECH によって生成された高速電子と壁との相互作用によると推定されるホットスポット。(右) ホットスポット生成時に計測された近赤外スペクトル (放電番号 #69029)。近赤外の分光視線はプラズマの内壁下部を向いており、ホットスポットの反射光 (照り返し) を検出したと推測される [1]。

エネルギー理工学研究所 エネルギー機能変換研究部門
<http://www.iae.kyoto-u.ac.jp/conv/>
 ナノ光科学研究分野（松田（一）研究室）

近年、持続的に発展可能な社会の実現に向けて、社会受容性の高いエネルギー生成・利用・変換に資する研究の重要性がますます増している。本研究室では、物性物理・物質科学・デバイス工学を基盤とし、ナノサイエンスに立脚した新しい光科学の学理追求とそのエネルギー応用を目標として研究を進めています。特に、従来の延長線上にはない極限ナノ物質・量子光物性・デバイス機能、などの新しい要素を取り入れる事が革新的な光エネルギー応用に向けて、必要不可欠であると考えています。我々は、わずか原子数層の薄さのカーボンナノチューブやグラフェン、原子層物質などの極限ナノ物質を対象に、そこで発現する特異な量子光学現象の開拓とその背景にある物理の理解を通して、新しい光科学やエネルギー科学の地平を目指して、次のような研究を展開しています。

[1] 極限ナノ物質における光物性物理とバレースピンのフォトニクスへの応用：

単層遷移金属ダイカルコゲナイドに代表される原子層物質は、*beyond graphene* と呼ばれ極限的な量子閉じ込め効果の発現や波数空間での谷（バレー）とスピン自由度の結合など特徴的な物性が発現する（図1上）。このようなバレーとスピンの自由度が結合したバレースピンによって、従来の電子の電荷の自由度のみを利用した電子（エレクトロニクス）・光（フォトニクス）応用とは大きく異なる、バレートロニクスと呼ばれる新たな研究分野へと発展しつつある。我々は、バレースピンを利活用した新しいフォトニクス（バレースピン・フォトニクス）の実現に向け、その第一歩として、原子層物質の光学的性質を詳細に調べ、わずか原子三層の非常に薄い物質であるにも関わらず、約10%におよぶ強い光吸収を示す事を明らかにしている。さらに、バレースピン緩和の物理メカニズムを明らかにし、そこで得た指針を発展させる形で、バレースピン制御に成功するなど（図1下）、バレースピン・フォトニクスに向け鍵となる研究を進めている。

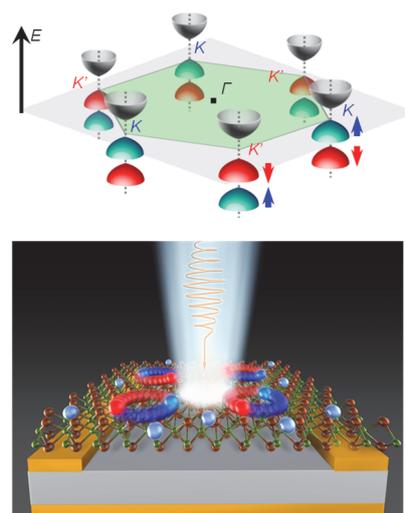


図1 バレースピン自由度の結合、バレースピン制御の模式図

[2] 極限ナノ物質のエネルギーデバイス・バイオイメージング応用：

カーボンナノチューブなどの新しい原子層ナノ物質は、エネルギーデバイスやバイオイメージング利用において、高いポテンシャルを有している。特に、原子層ナノ物質は、エネルギー変換において既存の物質では困難な量子効果を活用できる可能性とともに、高い透明性・導電性を両立するなど、高性能・機能な光電変換デバイスに利用しうる側面を兼ね備えている。まず、カーボンナノチューブを利用したヘテロ構造（カーボンナノチューブ/Si）太陽電池をモデルケースとして研究を進め、光電変換メカニズムを詳細に理解することで、光電変換性能（効率）を向上するための新たな指針を得た。その結果、カーボンナノチューブヘテロ構造太陽電池として17%を超える光電変換効率を達成する（図2）など、新しいエネルギー科学に向けた研究を推進している。

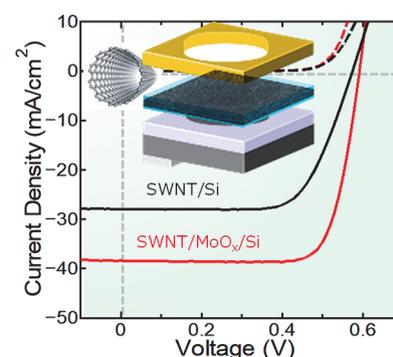


図2 ナノチューブを利用したヘテロ構造太陽電池

地球電波工学講座 地球大気計測分野（橋口研究室）

http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/labs/hashiguchi_lab/

「光・電波複合観測システムによる水蒸気時空間変動の把握」

西日本で起きた「平成 30 年度豪雨」や局地的な「ゲリラ豪雨」など、人の生命や社会基盤に甚大な被害をもたらす気象水災害が増えています。近年では、気象レーダーによる精緻な雨滴の空間分布計測が行われるようになってきたものの、集中豪雨の詳細な過程は、観測システムの観測点やメソ数値予報モデルの格子点の間隔が粗すぎるため十分に捉えきれれていません。局地的豪雨を引き起こす積乱雲は、湿った気塊が冷たい気流に持ち上げられる過程などにより発生するので、大気境界層内の水蒸気量の増加を高頻度・高分解能で把握することが重要になります。

当研究室では、水蒸気の動態を把握するための光と電波を用いたリモートセンシング技術の開発に取り組んできました。水蒸気の鉛直分布計測には、光学計測であるラマンライダー手法を適用しています。ラマンライダーは、大気に照射したレーザーの散乱光のうち、大気分子に固有の波長遷移を示すラマン散乱を望遠鏡にて受光し、光電子増倍管で検出する装置です。パルスレーザーを直上に射出してから散乱光を受光するまでの時間より高度を、水蒸気分子および乾燥大気の指標になる窒素分子や酸素分子のラマン散乱強度から水蒸気混合比を求めます。光を用いた計測手法は、背景光ノイズが大きい日中の観測が難しいという課題があります。そこで、成層圏オゾン層の吸収により地上に到達する太陽放射が少ない深紫外波長領域に対応したシステムを開発して、計測可能な時間の拡大を図ってきました。水蒸気の水平分布計測には、GPS (Global Positioning System: 全地球測位システム) に代表される人工衛星を用いた測位システム (GNSS: Global Navigation Satellite System) からの電波を受信する地上型の稠密観測網を活用しています。電波は真空中では光速で伝搬しますが、大気中では速度が遅くなります。高度約 10 km 以下の対流圏における伝搬遅延は、経路上の気圧・気温・水蒸気によって決まります。この遅延量から気圧と気温の寄与を差し引くと、時空間変動が大きい水蒸気の高高度積分値 (可降水量) が求められます。

本研究グループでは、平成 22 年から平成 25 年にかけて、京都府南部地域に水平間隔 1 ~ 2 km 置きに配置した GNSS 受信機群による稠密観測網を独自展開して、国土地理院の GNSS 連続観測システム (GEONET、水平間隔約 20km) では解像できない詳細な水蒸気水平分布観測を実現しました。平成 27 年からは、京都大学生存圏研究所信楽 MU 観測所 (滋賀県甲賀市) を中心とする半径 15 km 内に GNSS 稠密観測網を移設して観測を行っています。信楽 MU 観測所では、水蒸気の鉛直分布を時間連続で計測するラマンライダーのほかにも、風速 3 成分や気温のプロファイルを計測するリモートセンシング装置が複数運用されています。これら光電波複合観測システムが、雨滴が生成されるより前の水蒸気の収束を測定できる特長を活かして、強雨をもたらす降水系の前兆現象や積乱雲の急激な発達過程に関する研究を行っています。

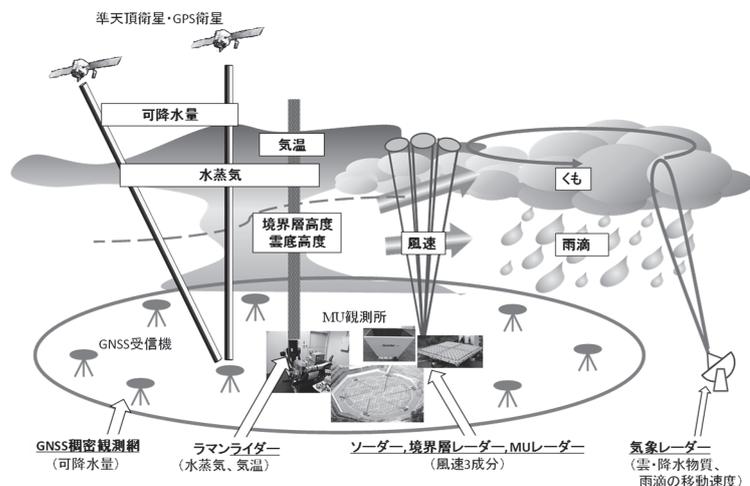


図1 雨滴が生成される前の水蒸気動態を計測するラマンライダーおよびGNSS稠密観測網を含む光電波複合観測システム

生存圏開発創成研究系 生存科学計算機実験分野 (大村研)

<http://space.rish.kyoto-u.ac.jp/omura-lab>

「プラズマ圏ヒスはインコヒーレントか？」

地球磁気圏のプラズマ波として観測された電磁波の波形は、オーディオアンプを通すことで私達が聴くことのできる音に変換することができます。このプラズマ波が出す「宇宙の音」は、電磁場と相互作用する荷電粒子の集団的な動きを支配する非常に重要な物理現象です。

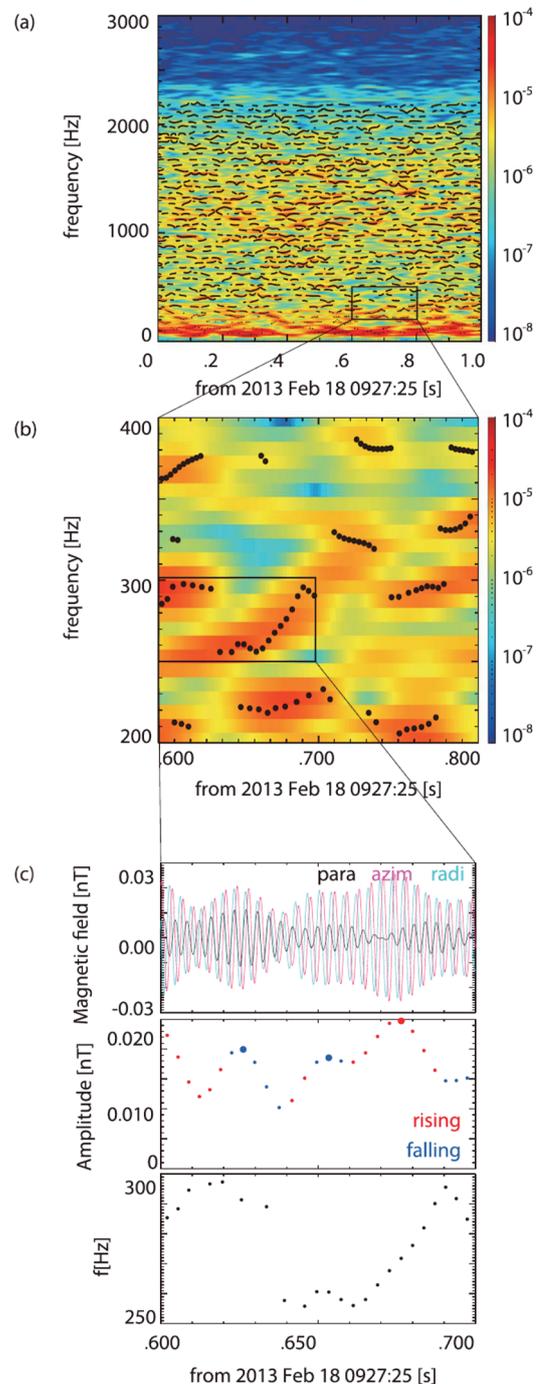
非常に多彩な音色（スペクトル）のプラズマ波が観測されてきましたが、ホワイトノイズに似た音からヒス (hiss) と呼ばれるものがあります。ヒスは ELF/VLF 帯 (数 100- 数 kHz) の周波数、数 pT の振幅を持ち、ほぼ常にプラズマ圏内で観測されます。これまでヒスは“インコヒーレント”で特徴的なスペクトルがなく、粒子と効果的に共鳴しないと予想され、研究対象として注目されていませんでした。その発生機構についても、落雷によるものやプラズマ圏の内側に入りこんできたコーラス波が重なり合ったものなど明らかにされていませんでした。

ところが、2012年に打ち上げられた Van Allen Probes 衛星が約 60kHz という非常に高時間分解能の波形データでヒスを観測したところ、これまでの理解と全く異なる描像が見えてきました。右図に示したようにヒスのスペクトルを拡大すると、ヒスは非常に短いエミッションの集合で構成されていることがわかりました。これらは数 10 ms の時間スケール、数 10 pT の振幅、明瞭な周波数変動を持っており、互いにほとんど重なり合わず、コヒーレントなエミッションです。こうした特徴は磁気圏で最も注目されているホイスラーモードコーラスと呼ばれる現象とよく似ています。過去の理解は、分解能が不足していたため平均的なスペクトル描像しか得られなかったためでした。今回得られたようなコヒーレントなエミッションの集合は非常に効果的に高エネルギー粒子と相互作用することが期待されます。

私達の研究グループでは、これらのエミッションの振幅及び周波数変動・時間スケールについて、コーラスに適用されてきた非線形成長理論と比較し、よく一致することを示しました。さらにこのエミッションの集合の粒子のピッチ角散乱などへの影響を定量的に見積もる計算を進めています。

参考文献

Nakamura, S., Y. Omura, D. Summers, and C. A. Kletzing (2016), *Geophys. Res. Lett.*, 43, 10,040–10,049.



(a) ヒスの磁場ダイナミックスペクトラム、(b) ダイナミックスペクトルの拡大図、(c) 磁場変動・振幅・周波数の時系列データ

学術情報メディアセンター 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/>

「非線形状態空間再構成による状態遷移可視化とその適用」

本研究室では、生命科学や神経科学、生態学のデータに対して、各分野の先端的な解析と可視化技術を統合的に用いる視覚的分析の研究を行っています。視覚的分析とはインタラクティブな可視化システムを用いたユーザー主導型プロセスによるデータ理解を重視した解析手法です。本稿では米国カリフォルニア大学サンディエゴ校（UCSD）との共同研究内容について紹介します。

様々な分野において計測された時系列データを用いてデータ間の関係性を調べることで、背景のシステムについての理解が進められていますが、データ間の関係性がStaticではなくDynamicで状態依存的に変化する場合において、時間変化する関係性を同定するのは容易ではありません。生態学の例を挙げると、種間競争関係は常に一定ではなく、環境要因や被食捕食者の個体数に依存して時間的に変化する事が知られています。このような問題に対して、2016年に非線形状態空間再構成法に基づきデータ間の時間変化する関係性を計算する手法（Empirical Dynamic Modelling: EDM）がUCSDのグループにより発表され、従来の線形のVARモデルよりも精度よく推定できることが報告されています。この手法では時系列データを状態空間上に埋め込み（embedding）を行うことで構成されたアトラクタに沿って、ヤコビアンを計算することで、変数間の関係性の変化を定量化します。このとき、入力となる複数の時系列データに加え、出力となる関係性の変化のデータ（これも時系列データ）からなる高次元のデータを解釈し、システムの特徴を効率よく把握するには可視化技術とユーザーインタラクションが有効です。

我々はEDMの解析を支援し、システム状態の同定し、その遷移を可視化する視覚的分析システムを開発し、様々な分野への分析システムの適用を進めています。このシステムは高次元情報をt-SNEやPCA、Isomap等を用いて二次元にマッピングし、ネットワークの特徴を表す時系列プロットやノードリンクダイアグラム、散布図等との連携可視化・ユーザーインタラクションを実現することで、システムが有する状態を同定し、その特徴を把握することができます。さらに現在はデータのダイナミクスを表す抽象表現としての状態遷移グラフを提案し、データ理解を促進する仕組みを開発しています。

上述のシステムを、個体群動態をシミュレートした食物連鎖網の時系列データに対して適用したところ、二次元マッピングにより、被食者の数が少ないときに捕食者間の競争関係が増大するといった、エコシステムの状態が同定されました（図1）。興味深いことに、この結果は分析システムを使わずに生態学の専門家が特定した知見と対応し、ツールを用いることで生態学的な知識無しで、背景のシステムの特徴的な状態を同定できることが分かりました。さらに、状態遷移グラフを用い分析することで、エコシステムの状態間の遷移パターンを可視化することができ、新たな科学的発見を促進させます。

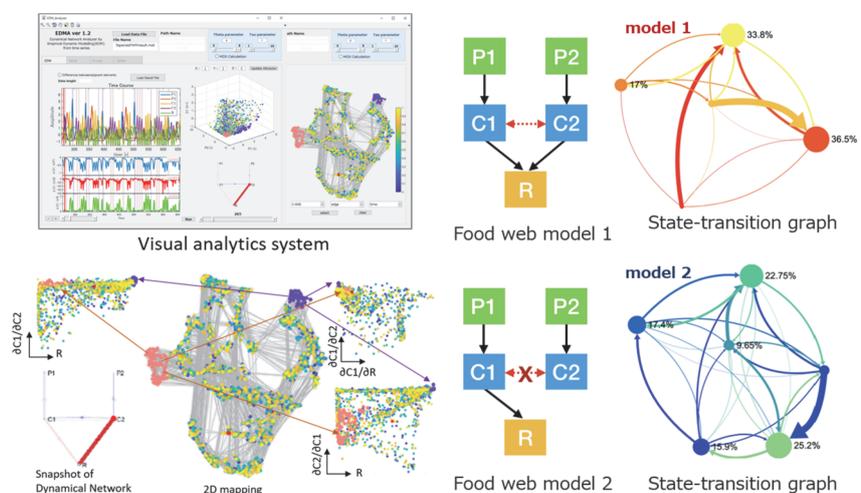


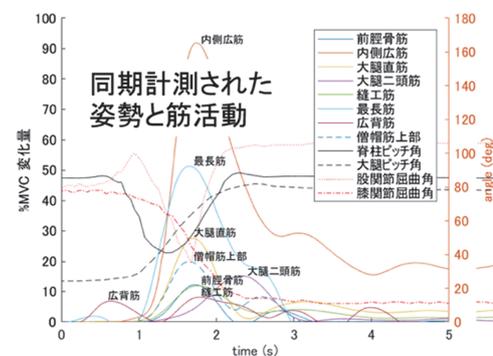
図1：連携可視化によるシステムの状態の同定と状態遷移の可視化

学術情報メディアセンター 教育支援システム研究部門 遠隔教育システム研究分野 (中村研究室)
<http://www.ccm.media.kyoto-u.ac.jp/>
 「筋電位と姿勢を用いた立ち上がり動作の計測と予測」

立ち上がり動作は、座位（特に椅子座位）から立位に至るまでの継ぎ動作である。椅子座位からの立ち上がり動作は毎日 60 回以上行われており、我々の日常生活において頻繁に現れる動作である。歩くためにはまず立ち上がる必要があり、トイレ動作、入浴など、最も基本的な日常活動の多くに関与していることから、生活の QOL を大きく左右する要因とされている。このような背景から、患者や被介護者の立ち上がり動作やその意図を早めに検出する手段が望まれている。介助者が余裕を持って対応することや、種々の機器によって立ち上がりを補助したり、危険を回避する動作を行うことが可能にするためである。しかし、立ち上がりの意図や動作の検出は簡単ではない。まず、立ち上がる前や初期段階で検出できなければ、補助をすることが難しいこと、日常動作の中には立ち上がりと紛らわしい動作が種々存在することなどが原因である。

この問題に対し、本研究ではまず、立ち上がり動作を詳細に計測し、その性質を調査することを行った。図上部にそのためのシステムを示す。慣性センサ、光学センサ、筋電位センサを用いて、姿勢、筋張力（推定値）が計測される。計測対象は、下肢と体幹の姿勢（股関節屈曲角、前傾角）と立ち上がりには主要な役割を果たす、大腿・下腿の筋（大腿二頭筋、前脛骨筋、その他）、背骨まわりの筋（最長筋、その他）である。立ち上がり動作の実測例を図下部に示す。まず、最長筋がわずかに賦活し、その後、前脛骨筋が賦活するとともに状態が前屈方向に傾き、次に内側広筋などの大腿の前側の筋（内側広筋など）が賦活することによって臀部が離床する体勢ができあがる。ほぼ立位になった時点で、各筋の筋張力が弱くなるが、大腿の前側の筋、背中の筋は一定の筋力を発揮し続ける。以上は、安定戦略と呼ばれる最も安全な立ち上がり方の例である。

このような計測システムを用いて動作例を蓄積し、機械学習を適用することによって、立ち上がりを予測・識別することを試みた。実際に集めた動作例は、(1) 立ち上がり（成功）、(2) 立ち上がり（失敗）、(3) まぎらわしいその他の動作、である。(2) は補助の必要性が最も高い状況として、(1) や (3) とともに区別できれば良いとの考え方である。(2) としては、市販の高齢者体験キットを被験者に装着してもらい、うまく立ち上がれなかった場合を集めた。集めた動作例の数が少なく、予備的な実験にとどまっているが、安定戦略をとった場合には、臀部離床の前（立ち上がりの第 1 相）に、(1) と (3) の間の識別がある程度可能（個人によっては 80% 程度の精度）であることが示された。また臀部離床の後では精度がさらに上がる。しかし、(1) と (2) の識別は (1) と (3) ほど簡単でないことも明らかになってきつつあり、今後、より詳細な計測を行いながら、精度の良い識別手法を提案していくとともに、現場での計測方法を検討していく必要がある。



平成 30 年度修士論文テーマ紹介

工学研究科 電気工学専攻

朝山和香 (引原教授) 「可到達集合に基づくマイクログリッドの運用に向けた数値的検討」

マイクログリッドとは、再生可能エネルギーの導入拡大など様々な観点から期待される新しい電力供給システムである。本論文では、マイクログリッドモデルに対し可到達集合を用いた発電機の過渡解析手法を適応し、可到達集合に基づく補償動作により発電機の角周波数変動抑制を実現した。

奥津泰志 (引原教授) 「交流電力ルータによる降圧変換を利用した出力電圧および位相の調整」

交流電力ルータは、スイッチ動作による分散型電源の運用促進を目的に開発された機器である。本論文では交流電力ルータの使用を想定した降圧変換回路を検討対象とし、回路特性に基づき出力調整を行った。シミュレーション結果より、交流電力ルータに電圧調整機能を付与できる可能性を示した。

片山慎治 (引原教授) 「電力パケット伝送系における分散オンデマンド配電に関する検討」

電力パケットは、パルス電力に情報タグを物理的に付与した伝送単位である。本論文では、電力パケットの分散配電を行うアルゴリズムを提案し、実験によって検証を行った。本結果により、電力パケットを用いた配電システム内における電力の分散管理の実現可能性が示された。

前田凌佑 (引原教授) 「表面電位に基づく SiC MOSFET デバイスモデルを用いた高周波電力変換回路設計」

ワイドバンドギャップ半導体である SiC を用いたパワーデバイスにより、電力変換回路の高周波化が期待されている。本論文では、提案した表面電位に基づく SiC MOSFET デバイスモデルを用い、スイッチング波形の解析を行った。解析を基に、回路とデバイスの双方の視点から高周波電力変換回路の設計指針を示した。

井上博貴 (萩原教授) 「バックブーストコンバータの入力に関する多項式近似を施した離散化モデルと非線形制御」

DC-DC バックブーストコンバータの制御入力に関する多項式近似を施した離散化モデルを導出し、それに基づき同定実験を行なった。また、同定により得られたモデルに対してオブザーバと制御則を設計し、シミュレーションと実験を通して有効性を検証した。

檜垣周佑 (萩原教授) 「連続時間線形周期時変系の L_∞/L_2 準ハンケルノルムの性質とその計算法」

連続時間線形周期時変系を対象として、過去の入力から未来の出力への写像として L_∞/L_2 準ハンケル作用素について論じ、そのノルムの連続性および計算法について明らかにした。また、上記ノルムに密接に関連した H_2 ノルムを複数導入し、その計算法を与えた。

福井章悟 (萩原教授) 「確率的動特性をもつ離散時間系の厳密な期待値処理に基づく出力フィードバック制御器設計」

確率的動特性をもつ離散時間系に対する出力フィードバック制御器を、厳密な期待値処理に基づいて設計する際の難点を可能な限り明らかにした。また、系の確率的動特性を定める確率変数の値を反映し

たゲインスケジュールド安定化出力フィードバック制御器設計手法を提案した。

山内 敏嗣 (萩原教授) 「確率的動特性をもつ離散時間ディスクリプタシステムの安定解析および制御器設計」

確率的動特性をもつ離散時間ディスクリプタシステムに対する安定解析のための条件式を、確定系に関する既存理論に基づいて導出した。また、導出した条件式に基づいて、安定化フィードバック制御器設計のための条件式を導出し、その条件式の有用性を確認した。

ヤン ウソン (萩原教授) 「非負制約のもとでの H_2 準最適状態フィードバック設計と凸緩和による下界値解析」

線形時不変の制御対象に対して、閉ループシステムに関する非負制約のもとでの H_2 準最適状態フィードバックゲインの設計手法を考案した。また、非負制約のもとでの H_2 性能限界の下界値を特徴づける非凸最適化問題に凸緩和を行って H_2 性能限界の下界値解析を行った。

稲岡 有佑紀 (土居教授) 「現実的なクレーン動作を考慮したブロック積み替え問題の定式化および分枝限定法による厳密解法」

積み上げられたブロックをクレーンを用いて効率よく運び出すことを目的とするブロック積み替え問題を対象とし、現実的なクレーンの動作モデルのもとで総処理時間を最小化する問題を整数計画問題として定式化するとともに、分枝限定法による厳密解法を提案した。

猪師 陸太郎 (土居教授) 「Hodgkin-Huxley 型ヒト心房筋細胞モデルにおけるイオン濃度変数の扱いに関する検討とイオン濃度値が膜電位に及ぼす影響の解析」

ホジキン-ハクスリーの神経モデルを拡張した、近年の電気生理学モデルにおいては、種々のイオン濃度が動変数として扱われている。本研究では、このモデル化における問題点を明らかにするために、ヒト心室筋細胞モデルを用いて種々の観点から検討を行った。

田中 宗一郎 (土居教授) 「柔軟な非線形結合振動子の端点加振による非線形局在振動の生成に関する研究」

変形可能な1次元の非線形結合振動子において、端点を周期外力で加振すると非線形局在振動が励起され、結合振動子上を伝搬していく。本研究では、端点加振の条件や結合振動子のパラメータに対して局在振動の生成条件や寿命などを数値的に明らかにした。

保川 拳人 (土居教授) 「重症患者を対象としたインスリン感度推定法と持続血糖値測定器の誤差を考慮した血糖値制御法の検討」

重症患者のインスリン感度を血糖測定値とインスリン投与速度に基づいて推定する方法を提案するとともに、持続血糖値測定器のドリフトなどの誤差を考慮に入れて目標維持範囲を設定する範囲モデル予測制御を用いた高血糖回避のための血糖値制御法について検討した。

伊藤 笙 (小林教授) 「ハイブリッド型原子磁気センサのセンサ特性に及ぼす原子密度・密度比依存性の検討」

K-Rb ハイブリッド型光ポンピング原子磁気センサの原子密度及びその密度比が、センサ特性に与える影響について理論的・実験的に検討した。数値計算により最適な条件を求め、原子密度比の異なる複

数のセンサセルを用いて、実験的に理論の妥当性を検証した。

上 田 博 之 (小林教授) 「二次的な磁気共鳴現象を用いた脳機能計測法における磁化ダイナミクスの解析と検討」

従来の fMRI の問題を解決するために神経磁場を直接計測する stimulus-induced rotary saturation (SIRS) 法に着目し、磁化の挙動の解析解を導いた。またシミュレーションによりバンド状のアーティファクトの発生機序を解明した。

長谷川 直 樹 (小林教授) 「原子磁気センサを用いた超低磁場 MRI による超偏極 Xe の画像化に関する検討」

低周波数でも高い感度を有する原子磁気センサを用いて超低磁場 MRI における超偏極 Xe の FID 計測および勾配エコー法による画像化を行った。両計測の結果、超偏極 Xe ファントムの有無による再構成画像の相違が確認できた。

森 口 司 (小林教授) 「光ポンピング磁気センサを用いた遠隔超低磁場 NMR 信号計測の感度向上」

光ポンピング磁気センサを用いた遠隔超低磁場 NMR 信号計測において、フラクストランスフォーマを数値解析により最適化し、信号対雑音比 (SNR) の向上を目指した。数値計算および参照磁場計測の結果、数値解析により SNR の向上が可能である事が確認された。

溝 端 悠 大 (雨宮教授) 「銅メッキ付き多芯薄膜高温超伝導線で巻かれたコイルにおける遮蔽電流磁界の時間変動測定法構築及びコイル形状依存性解析」

超伝導マグネットにおける遮蔽電流磁界の低減を目的として銅メッキ付き多芯薄膜高温超伝導線で巻かれたコイルを対象とした精密な磁界の時間変動の測定法を構築した。また、コイル形状によって遮蔽電流磁界の振る舞いが変わることを電磁界解析により明らかにした。

羅 照 捷 (雨宮教授) 「短尺線材を用いた高温超伝導コイルのクエンチ保護模擬実験法の構築及びクエンチ・熱暴走の原因が保護可能電流値に与える影響の解明」

薄膜高温超伝導線材で巻かれたコイルのクエンチ初期段階を短尺線材による実験で模擬する方法を構築した。構築した方法によって、局所的・過渡的熱擾乱や線材の局所的劣化などのクエンチ・熱暴走の原因やクエンチ検出後の電流減衰時定数が保護可能電流値に与える影響を明らかにした。

青 木 麻由美 (和田教授) 「TLP 法を用いた ESD 保護素子のシステムレベル評価法」

車載 IC 等の静電気放電 (ESD) 試験として検討されている TLP-HMM の理論検討と TLP 装置試作を行った。シミュレーションにより、標準負荷で同等の電流波形を与える従来の ESD ガンと TLP-HMM でも ESD 保護素子の過渡応答波形には差異があることを示した。

川 西 航 平 (和田教授) 「CAN FD トランシーバのデータフレームに同期した妨害波注入によるイミュニティ評価」

車載 CAN FD 通信の高周波耐性評価に関して、正弦波および台形波パルス注入時のエラー発生原因を検討し、妨害波がデータフレームに当たるタイミングにより見かけ上のジッタが変動し、高速通信状態では僅かな周波数差でイミュニティが大きく変化することを示した。

田 代 大 貴 (和田教授) 「進行波とその放射の反作用の端点効果を考慮した単導体線路モデル」

帰路線をもたない有限長の細線単導体に対する分布定数線路モデルとして、外部電磁界による励振、放射の反作用を含むモデルを提案した。このモデルはよく知られる円柱導体に沿う主波、円柱導体による散乱、放射とも対応がとれる回路モデルになることを示した。

松 島 さやか (和田教授) 「Ethernet 信号線に対するイミュニティ試験時の通信品質への影響」

車載 Ethernet への外来高周波妨害が通信品質に与える影響を調べるために、差動信号線への妨害波印加法を提案し、パルス性妨害波のパラメータと通信品質劣化について検討した結果、パルス性妨害波の影響は Ethernet の通信方式に依存することを示した。

鈴 木 惣太郎 (松尾教授) 「時空間有限積分法における数値分散特性を補正したサブグリッド接続に関する研究」

時空間有限積分法におけるサブグリッド接続の際の数値分散に基づく誤差の低減手法を検討した。TF/SF 法において、サブグリッド部の速度補正を行うことにより、非物理的な散乱波の抑制に成功した。さらに接続部の速度補正と格子最適化により精度向上を果たした。

福 間 諒 (松尾教授) 「電磁界有限要素解析における線形反復誤差修正法に用いる写像行列の構成法に関する研究」

電磁界有限要素解析における線形反復解法の性能を改善する手法として、解法中に現れる方向ベクトルを誤差ベクトルと併用して誤差修正の基底とする手法を提案した。提案手法を 3 次元電磁界解析の複数の例題に適用し、その収束性改善効果を確認した。

藤 原 嵩 之 (松尾教授) 「行列型カウアーネットワークを用いたマルチポートモデル縮約法の研究」

モデル縮約法である CLN 法の複数ポート化の手法を開発し、単一ポート CLN 法より速い収束が得られることを示した。リニアモータを固定子側と可動子側に領域分割して、空隙部の調波成分について複数ポート CLN 法を構成することにより、モータのモデル縮約を実現した。

黒 田 健太郎 (中村 (武) 特定教授) 「トロイダル固定子巻線構造を適用した 50kW 級全高温超伝導誘導同期モータの基礎特性評価」

トロイダル固定子巻線構造を採用した輸送機器用 50 kW 級高温超伝導誘導同期モータの試作と試験を実施した。液体窒素浸漬状態で回転試験を行ったところ、世界初となる 39 kW 負荷試験 (1200 rpm) と軽負荷時可変速試験に成功した。

工学研究科 電子工学専攻**藤 田 秀 眞 (掛谷准教授) 「高温超伝導体メサ構造アレイの同期発振に関する研究」**

高温超伝導体からなるテラヘルツ光源は、メサ構造アレイの同期発振により、1 mW に及ぶ放射強度が得られている。本研究では、この同期発振時の偏光を精密に評価することにより、単独発振時とは本質的に異なる定在モードが励起されていることを指摘した。

中 神 真 陽 (白石教授) 「直流電界を用いたフェニルアラニンのアトムプローブ分析」

強電界印加による有機分子の電離機構を調べる目的で、フェニルアラニンを真空蒸着したタングステ

ン針を用いて直流電圧印加によるアトムプローブ分析を行った。検出されたイオンは大部分がカルボキシ基イオンであり、フェニル基イオンは検出されないことを明らかにした。

前田 然波 (白石教授) 「短焦点発散静電レンズを用いた平面構造拡大投影手法の開発」

平面電極上の位置情報を拡大投影する手法として、開口電極を極めて近い距離まで近接させて単孔レンズを形成する手法を提案し、計算機実験により倍率や分解能を見積もってこの手法の可能性を示した。効果検証のための電極間隔制御装置の製作も行い装置の動作を確認した。

森 藤 瑛 之 (白石教授) 「高線量率の放射線照射下におけるフィールドエミッタアレイの電子放出特性の評価」

耐放射線撮像素子のための電子源として期待されるフィールドエミッタアレイの電子放出特性を X 線やガンマ線照射下において評価した。放射線によるエミッタ表面の若干の変化は見られたが、1 kGy/h の高い線量率の下においても電子放出特性に大きな変化は見られないことを明らかにした。

外 園 将 也 (白石教授) 「イオンゲートを用いた白金超薄膜におけるスピンホール伝導度の巨大変調」

厚さ 2 nm 程度の超薄膜白金にイオン液体による強電界をゲート電圧として印加することにより、白金は金属であるにもかかわらず伝導度を 50%、スピン軌道相互作用の指標であり物質固有の物理量と思われていたスピンホール伝導度を 280% 以上変調するという、従来の固体物理の常識を打ち破る成果を得た。

山 田 暉 馨 (白石教授) 「横型スピンバルブ構造を用いた酸化銅中のスピン流—電流交換効率に関する研究」

スピン軌道相互作用が小さい銅でも酸化することにより、スピンホール効果やラシュバエデルシュタイン効果が増大するとの報告がある。そこで銅スピンバルブを用いてその表面に酸化状態の異なる銅酸化膜を作製し、スピン流—電流変換現象を系統的に評価した。

川 口 蓉 子 (竹内教授) 「 $3\mu\text{m}^3$ の分解能をもつ量子 OCT システムの実現」

本研究では、まず、量子 OCT において、高い深さ方向分解能を維持したまま横方向分解能を向上させるための検討と検証を行い、適切な実験系を設計・構築した。その結果、横方向分解能約 $2.43\mu\text{m}$ 、深さ方向分解能 $3.19\mu\text{m}$ での量子 OCT の二次元イメージングを実現した。

福 田 純 (竹内教授) 「高 Q 値ナノファイバブラッグ共振器の実現と高効率単一光子源への応用」

本研究では、ヘリウムイオン集束イオンビーム装置を用いることで、ナノ光ファイバ上に光共振器を組み込んだナノ光ファイバブラッグ共振器 (NFBC) の高 Q 値化を実現した。また、シリコン欠陥含有ナノダイヤモンドを開発、NFBC との結合にも取り組んだ。

鐘ヶ江 一 孝 (木本教授) 「過渡容量分光法による Si ドープ n 型 GaN 成長層中の正孔トラップ密度の精密定量評価」

次世代パワーデバイス用半導体として有望な GaN 中の深い準位の精密評価と起源解明に関する研究を行った。光照射を活用することにより n 型 GaN 中の正孔トラップ密度を定量評価する手法を提案した。また、多角的な評価を通じて、主要な正孔トラップの起源が炭素原子であることを示唆する結果を得た。

立 木 馨 大 (木本教授) 「SiC MOSFET の短チャネル化および界面準位の低減に関する実験的研究」

SiC MOSFET の特性解析と MOS 界面欠陥に関する研究を行った。MOSFET のゲート特性から伝導帯極近傍の界面欠陥密度を導出し、これを用いることにより短チャネル MOSFET のしきい値電圧を定量的に予測するモデルを確立した。また、独自の高温熱処理プロセスを施すことにより、MOS 界面欠陥を低減することに成功した。

遅 熙 倫 (木本教授) 「SiC pn 接合におけるバンド間トンネルおよびアバランシェ増倍現象の解析」

SiC pn 接合の絶縁破壊機構に関する研究を行った。高濃度ドーパされた pn 接合におけるフォノンアシスト・トンネル電流をモデル化し、実測データを定量的に再現することに成功した。また、高電界におけるキャリア増倍係数から衝突イオン化係数を求め、これが結晶方位に大きく依存することを明らかにした。

院 南 皓 一 (山田教授) 「原子間力顕微鏡を用いた有機薄膜トランジスタの時間分解電位測定」

外力によって引き起こされる原子間力顕微鏡のカンチレバーの共振周波数シフトを、瞬時周波数法を用いて算出する静電気力顕微鏡を開発し、有機薄膜トランジスタにおけるキャリア挙動を可視化することに成功した。

杉 本 千 奈 (山田教授) 「原子間力顕微鏡を用いたフォースマッピング法によるタンパク質分子の特異結合能評価」

原子間力顕微鏡の探針を生化学修飾し、この修飾分子に対して特異的な親和性を有するタンパク質分子をターゲットとするフォースマッピングを実施することで、単一分子間にはたらく特異結合力を直接測定することに成功した。

田 中 暉 之 (山田教授) 「原子間力顕微鏡によるフラーレン分子の分子内構造の可視化に関する研究」

超高真空原子間力顕微鏡を用いて金属内包フラーレン分子の分子内構造観察に成功した。また、ケルビンプローブフォース顕微鏡を用いた局所表面電位計測により分子の配向方向を推定できることを示した。

横 町 伝 (山田教授) 「走査型容量原子間力顕微鏡による有機薄膜トランジスタのキャリア挙動評価」

走査型容量原子間力顕微鏡を用いて有機薄膜トランジスタの局所容量計測を行い、ドレイン電極近傍における空乏層の可視化に成功した。さらに、時間分解計測を行うことによって、そのキャリアダイナミクスが可視化できることを示した。

小 林 敬 嗣 (川上教授) 「極薄 GaN/AlN 量子井戸の MOVPE 成長と深紫外発光特性の基板依存性」

AlN で挟まれた、分子層レベルで薄い GaN 量子井戸構造を、MOVPE 法で制御性良く作製する方法を確立した。 r 面基板上では輻射再結合が促進され、微傾斜 c 面基板上では非輻射再結合が抑制されることを見出した。その結果、それらの結晶面上では高効率な深紫外発光が得られることを実験的に示した。

小 山 友 二 (川上教授) 「広い温度領域で測定可能な顕微分光系の構築による InGaN 量子井戸の評価」

10 ~ 500 K の温度域において顕微分光が可能な測定装置を構築した。青色発光 InGaN 量子井戸では、

素子温度を室温以上にしたとき、はじめて貫通転位が非輻射再結合中心として機能することを見出した。ハイパワー照明など素子温度が高くなる応用において、効率を改善するための指針を与える結果である。

橘 木 竜 也 (川上教授) 「選択成長法を用いた半極性 GaN 系レーザ構造に関する研究」

GaN 系レーザの長波長化を目指すには、発光層の結晶性の改善と光閉じ込めの向上が必要である。それらを実現する方法として、SiO₂ マスクを用いた GaN の選択再成長法を検討した。再成長 GaN 上での InGaN 量子井戸において、格子緩和による結晶品質の劣化が抑制されることを実験的に示した。

山 崎 一 人 (川上教授) 「フォトルミネッセンス測定と固体伝搬光音響波検出による窒化物半導体の再結合機構に関する研究」

光励起したときの発光と非発光プロセスを同時に検出する系を構築し、GaN や InGaN 量子井戸において信号の取得に成功した。非発光プロセスで発生した音響波を試料直下に設置した圧電素子で検出することを特徴としており、今後、低温・高温測定や顕微測定など詳細な光物性評価への展開が可能である。

田 中 建 悟 (野田教授) 「2次元フォトニック結晶ナノ共振器の統計評価と高 Q 値化に関する研究」

2次元フォトニック結晶共振器の高 Q 値化に向けて、構造設計や作製方法の検討を行い、多数のフォトニック結晶ナノ共振器の Q 値を測定して統計的な評価を行った。その結果、共振器の構造最適化および吸収損失の低減により、平均 Q 値を従来の 600 万程度から 800 万程度まで向上させることに成功した。

福 原 真 (野田教授) 「変調フォトニック結晶レーザーの 2次元マトリクスアレイ化の研究」

変調フォトニック結晶レーザーの 2次元ビーム走査を可能とする新たな 2次元マトリクスアレイ化を提案・実証した。10 × 10 領域からなるマトリクス構造を作製し、任意の領域を電氣的に駆動させることで、出射角 ± 5 ~ ± 45 度、方位角 0 ~ ± 180 度の範囲で出射ビームの走査に成功した。

森 田 遼 平 (野田教授) 「可飽和吸収効果導入によるフォトニック結晶レーザーの自励パルス発振動作」

フォトニック結晶レーザーの短パルス・高ピーク出力動作の実現に向け、可飽和吸収効果を有する領域を内部に導入した新たなデバイス構造を提案した。また、デバイス構造の適切な設計および作製の結果、ピーク出力 8 W、パルス幅 100 ピコ秒程度の短パルス発振の実証に成功した。

渡 辺 晃 平 (野田教授) 「近接場熱光発電システム実現に向けた熱輻射光源と太陽電池の近接手法の実験的検討」

近接場熱輻射伝達を利用した高出力・高効率熱光発電の実現に向けて、熱輻射光源と太陽電池の作製手法ならびに両者の近接手法を検討した。中間基板を有する InGaAs 太陽電池構造及び Si 熱輻射光源構造の作製プロセスを確立し、これらを用いて近接場熱光発電システムの実験系を構築して発電実験を行った結果、近接場熱輻射伝達による光電流の増強を示唆する結果が得られた。

大 里 奈 穂 (杉山准教授) 「VO₂ を利用したメタ表面の補対構造間転移とスペクトル・偏光操作への応用」

二酸化バナジウムを導入した補対構造間転移を引き起こすメタ表面に関して研究した。動的スペクトル操作を実現するチェッカーボード型メタ表面のシミュレーションおよび温度・電気変調実験と動的ヘリシティスイッチングを実現する I 型メタ表面のシミュレーション検証を行った。

柴田 修平 (杉山准教授) 「Yb⁺ ²S_{1/2} - ²D_{3/2} 時計遷移励起用レーザーの線幅改良」

線幅狭窄化の基準に用いる光共振器の防音・除振を独立に可能とするため、レーザー光を光ファイバーで光共振器へ伝送する方式として、レーザーの線幅狭窄化を行った。制御帯域幅が半分程度に減少したものの、誤差信号から評価した相対線幅 1 Hz 以下が得られた。

畠 将也 (杉山准教授) 「フォトニック結晶ファイバーを利用した光周波数コムの特長と均一化」

オフセット周波数検出に必要なスペクトル幅 1 オクターブへの拡大と、スペクトル内すべてで周波数計測を可能とする均一化の両立を目指して、計算によりファイバーの種類と長さを決め、実験で実証した。性能の異なる 2 種類のファイバーを組み合わせる、均一性がより高い方法を提案した。

工学研究科 光・電子理工学教育研究センター**石井 恭平 (藤田教授) 「岩塩構造 MgZnO 薄膜の成長と深紫外光物性に関する研究」**

炭素フリーの原料を用いて MgZnO の成長を行い、可視領域に発光がなく深紫外域でのカソードルミネセンス (CL) を示す試料を実現した。また、MgZnO/MgO 多層構造を用いて、内部量子効率が 16% と高い深紫外での室温 CL を得た。研究を通じて、6K において 199 nm の最短波長発光を実現した。

韓 欣一 (藤田教授) 「Fabrication and physical properties of p-type iridium oxide and α -Ir₂O₃/ α -Ga₂O₃ heterostructure」 (p 型酸化イリジウムおよび α -Ir₂O₃/ α -Ga₂O₃ ヘテロ構造の作製と物性に関する研究)

異なる Ir 原料を用いて α -Ir₂O₃ を成長し、いずれについても p 型伝導を実現した。 α -Ir₂O₃/ α -Ga₂O₃ ヘテロ構造の格子定数差が 0.27% と小さく、タイプ II 型のバンド不連続をとることを明らかにし、pn 接合の整流性を実証した。またその立ち上がり電圧とバンド不連続との関係を議論した。

情報学研究科 知能情報学専攻**ALKHALDI Tareq (黒橋教授) 「Using Global Representations with Dynamic Mention Detection for Coreference Resolution」 (共参照解析における大域表現と動的メンション検出の利用)**

共参照解析は自然言語処理における重要な基礎解析の一つである。本研究では、動的にメンションを検出し、そのエンティティレベルの大域表現を学習する手法を提案した。実験により、提案手法はベースライン手法よりも高い精度を達成したことを確認した。

清丸 寛一 (黒橋教授) 「常識に基づく言語理解に向けた概念間関係知識と事態間関係知識の獲得」

言語理解の基盤となる概念間関係知識と事態間関係知識の獲得に取り組んだ。それぞれの知識の特性を踏まえ、前者は現存する知識ベースの翻訳、後者はニューラルネットワークに基づく知識モデルの学習による知識獲得手法を提案し、それらの有効性を確認した。

高橋 憲生 (黒橋教授) 「ドメインを限定した機械読解モデルに基づく述語項構造解析」

本研究では、特定のドメインに限定し、そのドメインでは十分な量のデータセットを構築することで、述語項構造解析の精度向上を目指した。機械読解モデルを用いて、述語項構造データセット及び文章読

解データセットを統合学習することで、高い精度を達成できた。

中 川 裕 貴 (黒橋教授) 「大喜利の面白さの構成要素の定量的分析と自動推定の試み」

本研究では、クラウドソーシングを用いて大喜利の面白さを相対的にわかりやすい構成要素に分解することを試みた。その結果、「関係性」「わかりやすさ」「新しさ」が面白さに関連することが示唆された。さらに、それらを参考に機械的な特徴量を用いて面白さの自動予測を試みた。

水 谷 勇 介 (黒橋教授) 「クラウドソーシングを用いた習得時期の想起質問に基づく単語難易度データベースの構築」

本研究では、クラウドソーシングを用いて単語の習得時期に関する想起質問を行い、単語難易度データベースを構築した。得られた各単語の習得時期は、単語親密度などの既存のリソースと比べて、我々が考える単語の難易度とより密接に関係していることがわかった。

奥 野 琢 也 (延原講師) 「屈折による歪みを考慮した学習に基づくステレオマッチング」

本研究は水中物体の3次元形状をステレオ計測によって推定することを目的としたものであり、画像分類の考え方に基づいた機械学習による屈折に伴う見えの変化に頑健な特徴抽出法を提案するとともに、効率的な対応点探索が可能であることを示した。

中 村 和 輝 (川嶋准教授) 「生体信号と視聴覚情報からの表情予測」

本研究では、顔映像を直接撮影することなく、生体信号や視聴覚情報から表情を推定する手法を提案するとともに、生体信号と視聴覚情報を組み合わせることで、それぞれを単独で用いる場合に比べ表情予測精度の向上が可能であることを確認した。

村 井 聖 (延原講師) 「近赤外光を用いた水中物体の法線・形状復元」

本研究は水中物体の3D形状復元を目的としたものであり、複数の光源から波長の異なる近赤外光を照射した際の水による吸収率の差に起因する観測輝度の変化を手掛かりとして、被写体の深度と法線を同時復元する手法を提案し、実験によりその有効性を示した。

情報学研究科 通信情報システム専攻

荒 井 将 弘 (原田教授) 「端末連携 MIMO 受信における適応端末選択法に関する研究」

携帯端末間の連携により MIMO 空間多重数を拡大する伝送システムにおいて、全ての端末の中から連携を行う端末をチャネル行列の特異値と端末間通信品質に基づいて選択する手法を提案し、伝送特性を確保しつつオーバーヘッドが削減できることを示した。

泉 直 樹 (原田教授) 「マルチパス低遅延環境を志向した LTE 上りリンクシステムにおける波形整形技術」

現在広く普及している LTE システムの周波数利用効率を改善するためには帯域外輻射を抑圧し、ガードバンドを削減する必要がある。本研究では上りリンクシステムを対象とした帯域外輻射を高効率に削減する波形整形技術を提案し、低いピーク対平均電力比と高い通信品質を保ちつつ、帯域外輻射を抑圧可能であることを示した。

JUNJALEARNVONG Thidarut (原田教授) 「Network Configuration and Routing in Multi-hop Wireless Field Area Network」(マルチホップワイヤレスネットワークにおけるネットワーク設計及びルーティング方式)

マルチホップに対応したスマートシティ向け IoT 通信規格である Wi-SUN FAN において、ネットワーク構築オペレーションを解析することでネットワーク構築時間の改善法を提案した。さらに端末移動に対応するダイナミックなルーティング方式を提案し、端末移動時にも End-to-end 通信成功率を改善できることを示した。

水谷 侑二 (原田教授) 「Time Window-based Transmission Technology for LTE Systems with Low Out-of-band Emission」(高帯域制限 LTE システムを実現する時間窓処理伝送技術)

5G 以降のシステムを志向し、帯域外輻射を抑圧することで周波数利用効率を改善する通信方式として、周波数軸で設計するフィルタと時間軸で設計する時間窓を組み合わせたフィルタ畳み込み時間窓を適用した方式を提案し、低計算量で帯域外輻射抑圧と通信品質改善を両立できることを示した。

吉戸 章人 (原田教授) 「ユニバーサル時間軸窓を適用した OFDM 方式における周波数高効率利用信号処理技術」

周波数利用効率を改善するために、少ない計算量で帯域外輻射を抑圧する Simplified UTW-OFDM 方式を提案し、さらに送信波形生成時に発生するキャリア間干渉を受信機においてキャンセルする手法を提案し、マルチパス低遅延環境において通信品質を維持しつつ帯域外輻射を十分抑圧できることを示した。

岩田 基暉 (守倉教授) 「Stochastic Geometry Analysis of Spatial Reuse and Physical Layer Security in Non-Poisson Networks」(非ポアソンネットワークにおける空間再利用と物理層セキュリティの確率幾何解析)

無線 LAN における空間再利用に向けたキャリア検出閾値の最適な設定を、確率幾何学を用いて導出した送信成功確率などに基づいて検討した。また、送信局がクラスタ状に配置する際の物理層セキュリティ性能について、秘密保持劣化率を定式化し、評価を行なった。

傅 宇翔 (守倉教授) 「Interference Analysis in One-Dimensional Poisson Networks for Cognitive and mmWave Wireless Systems」(コグニティブ無線及びミリ波無線システムのための一次元ポアソンネットワークにおける干渉解析)

周波数共用型車車間通信における干渉を、確率幾何学に基づき解析し、一次利用者排他領域の設計を提案した。また、一般道路環境を想定し、ミリ波無線通信ネットワークのカバレージ確率を、中継局および基地局の密度や道路幅に関する理論式として導出した。

山田 仰 (守倉教授) 「周波数共用に向けた不均衡データに対する一次利用者排他領域の学習方式」

異種無線通信システム間の周波数共用において、周波数の新規利用者の通信履歴に対する既存利用者の受けた干渉の有無の関係を、機械学習によりモデル化する手法を提案した。また、提案手法の有効性を計算機シミュレーションにより評価した。

山 中 豪 (守倉教授) 「カメラを用いた位置に基づく無線 LAN/bluetooth アクセス制御」

カバレッジホール存在環境下において、カメラ情報からのユーザ検出を利用した Bluetooth ハンドオーバー制御を提案した。さらに、カメラ情報から得られるユーザの位置・属性情報を用いた無線 LAN 向け geo-fencing システムを提案した。

吉 川 慧 司 (守倉教授) 「Stochastic Geometry Analysis of Interference in Spectrum Sharing for UAV networks」 (UAV ネットワークにおける周波数共有のための 干渉の確率幾何解析)

無人航空機 (UAV) 通信が一次利用者の存在する周波数帯を二次利用する場合について、確率幾何学により干渉を解析し、最適化問題による排他領域の設計を提案した。また、空間をグリッド分割するモデルを提案し、分割しない場合と比較し送信可能な UAV 数の増加を示した。

稲 垣 悠 一 (大木教授) 「IoT Device Resource Management Based on Importance Extraction」 (重要度抽出に基づく IoT デバイスリソース制御)

様々なデバイスがネットワーク接続される IoT (Internet of Things) が世界で広がっているが、IoT デバイスの通信やバッテリーのリソースは限られている。そこで、リソースを使用するデータの重要度を抽出し、重要度に基づいてリソースを制御する手法を提案し、実データを用いた評価により有効性を示した。

上 林 将 大 (大木教授) 「実空間情報のリアルタイム予測のためのエッジ間連携」

交通トラヒックなどの実空間情報を機械学習によりリアルタイムに予測するサービスの需要が高まっているが、通信や計算に要する遅延が問題となる。そこで、ネットワークのエッジに配置された複数のサーバを連携させる手法を提案し、実データを用いた評価により有効性を示した。

宮 野 功 晟 (大木教授) 「無人航空機システムにおけるスケジューリング手法」

無人航空機 (UAV) は災害時や防犯に有用であるが、広大なカバーエリアに対し台数が制限されるため効率的なスケジューリングが求められる。そこで、UAV システムを用いるユーザの視点で目標値を最大化する手法を提案し、実データを用いた評価により有効性を示した。

山 田 祥 允 (大木教授) 「Prioritized traffic control in mobile network management」 (モバイルネットワーク管理における優先度に基づくトラヒック制御)

モバイルトラヒックは今後も増加し続けると予想されているが、通信帯域には厳しい制限がある。そこで、データの重要度に基づいたトラヒック制御手法を提案した。本手法は、重要度の低いデータの送信を品質が許容される範囲で後回しにする。実データを用いた評価により有効性を示した。

齊 藤 成 晃 (佐藤 (高) 教授) 「有機薄膜トランジスタにおける電流特性変動の測定及びモデル化」

有機薄膜トランジスタの電流特性の経時的変化を測定し、大気成分とストレス印加による特性変化を定量化した。これら特性変化をしきい値と移動度の劣化として表現するデバイスモデルを提案し、回路動作の経時的変化を回路シミュレーションで予測することを可能とした。

田 中 悠 貴 (佐藤 (高) 教授) 「抵抗変化型メモリを用いた等価な応答を返す PUF 回路方式」

製造ばらつきを用いた複製困難な物理的関数として機能する PUF 回路は、関数をデータとして 1 保

存する必要があった。本論文では、製造時のみ複製が可能であり、製造後は従来の PUF 回路と同様に機能することでデータ保存を不要とする新たな PUF 回路の方式を提案した。

松本 章吾 (佐藤 (高) 教授) 「スピン間の全接続を実現するクロスバ型 RRAM イジング計算機」

クロスバ構造の抵抗変化型メモリ (RRAM) を用いて、既存手法では困難であったスピン間の全接続による相互作用を考慮できるイジングモデル計算機を提案した。パラレル・テンパリング法と組み合わせ、組合せ最適化問題の解を高精度かつ低消費エネルギーで求められることを示した。

三宅 哲史 (佐藤 (高) 教授) 「周波数領域表現による畳み込みニューラルネットワークの演算量削減」

畳み込みニューラルネットワークの演算量を削減することを目的として、畳み込み演算をフーリエ変換により要素積に変換して演算量を削減すると同時に、非線形な処理であるプーリング層や活性化関数についても一貫して周波数領域で演算する方法を提案し、その精度と計算量を評価した。

江川 巧 (小野寺教授) 「光論理回路の多段化による遅延と消費電力の削減手法」

集積ナノフォトニクスに基づく超低遅延光論理回路の実現が期待されている。シリアル接続主体の従来手法で大規模回路を設計すると、遅延と消費電力が極端に悪化する。光リピータを用いた回路の多段化手法を提案し、遅延と消費電力をともに削減する光論理回路設計手法を解明した。

XU Hongjie (小野寺教授) 「On-Chip Cache Architecture Exploiting Hybrid Memory Structures for Near-threshold Computing」 (ハイブリッドメモリ構造に基づくしきい値近傍電圧動作のためのオンチップキャッシュアーキテクチャ)

スタンダードセルメモリ (SCM) は低電圧動作し省エネルギーだが、実装密度が悪く単体ではキャッシュメモリに適さない。SCM, SRAM をそれぞれレベル 0, 1 とした 2 レベル命令キャッシュを提案し、同じ面積制約下で SRAM ベースの従来キャッシュより低い平均アクセスエネルギーを実現した。

岡村 陽介 (小野寺教授) 「n ウェルと p ウェルの独立基板電圧設定によるリークエネルギーの削減手法」

CMOS 集積回路は、電源電圧が一定でも、n ウェルと p ウェルの基板電圧を調節することにより、動作速度とリークエネルギーの変更が可能である。所定の速度で動作し、リークエネルギーが最小となるよう両基板電圧を独立に設定する方法を明かにした。

小柳 卓也 (小野寺教授) 「標準セル方式に基づく基板バイアス生成回路の設計手法」

デジタル回路の実装には、標準セル方式が用いられる。回路の動作特性を調節するための基板バイアス生成回路はアナログ回路であるが、標準セル方式で実装するための回路設計およびレイアウト設計方式を開発し、テストチップにて所望の動作を確認した。

樋口 達大 (小野寺教授) 「デバイス・回路・アーキテクチャ最適化のためのバイアススイッチ FPGA 性能評価モデル」

バイアススイッチとよばれるプログラム可能スイッチで配線接続や固定論理値をプログラムするバイアススイッチ FPGA が開発途上にある。開発対象 FPGA で用いるデバイスの特性や回路構造、配線本数などのアーキテクチャを最適化するための性能評価モデルを開発した。

大石 健太郎 (佐藤 (亨) 教授) 「UWB レーダを用いた非接触心拍間隔推定における不要成分除去法」

UWB (超広帯域) レーダにより被験者の体表面変位を測定し、心拍間隔を推定するアルゴリズムの改良を行った。特に問題となる呼吸成分などを効率的に除去するフィルタを複数の被験者データから設計した。さらに運動補償によって体動成分を除去し、SN 比を向上させた。

塩 野 佑 貴 (佐藤 (亨) 教授) 「ミリ波 UWB ドップラーレーダを用いた身体各部位におけるバイタル測定」

ミリ波 UWB (超広帯域) レーダによる日常生活環境におけるバイタルモニタリングを確立するため、人体を各方位から観測し、それぞれについて心拍推定に適した信号処理法を検証した。特に心拍に伴う頭部の振動モードを詳細に解析し、最適な測定方向を決定した。

田 村 和 仙 (佐藤 (亨) 教授) 「ミリ波 UWB ドップラーレーダを用いた多人数のバイタル信号同時推定」

ミリ波 UWB (超広帯域) レーダにより複数人体を観測する手法を研究した。MIMO アレイにおける素子間干渉を定量的に評価し補償する手法を提案して、距離と角度分離の併用により 6 人の同時計測を可能とした。さらに保育所において乳児を測定し、その有用性を実証した。

森 本 和 志 (佐藤 (亨) 教授) 「多次元適応的信号処理を用いた高精度 UWB ドップラーレーダイメージング」

UWB (超広帯域) ドップラーレーダ干渉計法における高分解能イメージングのために、時間・空間・速度に関する 4 次元 Unitary ESPRIT 法を用いた適応的信号処理法を開発した。異なる次元で推定される目標ペアリングの新手法を提案し、シミュレーションにより性能を検証した。

情報学研究科 システム科学専攻**内 田 滋穂里 (石井教授) 「動的環境における逆強化学習と行動決定のモデリング」**

動物の行動決定の過程は強化学習によってモデル化される。また、行動データから強化学習におけるパラメータを推定することを逆強化学習と呼ぶ。本研究では、パラメータの時間的変動を想定した動的環境における逆強化学習手法を、変化点検出を利用して実現した。

佐 々 木 航 (石井教授) 「敵対事例を用いた深層強化学習の正則化」

深層強化学習は高次元入力から方策を効率的に学習することができる。しかし、意図的に性能を低下させる敵対事例が存在するなど、ノイズに対するロバスト性が問題となっている。本研究では、敵対事例から元画像を復元する正則化を深層強化学習に導入し、この問題を解決した。

西 本 崇 志 (石井教授) 「教師なし学習に基づく脳波ベース個人識別に関する研究」

脳活動信号に含まれる測定環境や時間経過による変動は個人識別性能を低下させる。本研究では、これらの変動を含んだ脳活動データを取得し、共通辞書学習や t-SNE といった教師なし学習を用いた解析を行うことで、測定環境や時間経過による変動が個人特徴に与える影響の程度を評価した。

山 森 聡 (石井教授) 「スパース非線形システム同定によるオンライン最適制御」

自律的多自由度ロボットの実用化に向けて環境や制御目的の変化に迅速に対応する制御器が求められ

ている。本研究では、システム同定と最適制御を逐次的に繰り返すことで、環境や制御目的の変化に対して適応的に制御できる SINDy-iLQG を実装し、評価を行った。

岩井 泰児 (松田 (哲) 教授) 「複数周辺臓器の形状特徴に基づく膵癌変形推定法の提案」

膵癌の変形を周辺臓器である肝臓、胃、十二指腸、腎臓の形状特徴に基づいて推定する方法を提案した。時系列 3 次元 CT 画像から変形を解析可能な多臓器統計変位モデルを構築し、臓器の微小領域単位で変形を学習する枠組みが膵癌変形の推定精度の向上に有効であることを確認した。

堀 隆昌 (松田 (哲) 教授) 「局所識別可能な Tagging MRI 法の計測特性に基づく改良」

生体組織に磁気的な標識を付加して変形や動きを観測する Tagging MRI 法において、局所運動の識別を目指してシミュレーションによる網羅的な探索を行い、高精度で局所識別が可能な空間パターンを提案するとともに、先行研究に比べ運動の推定精度が大きく改善することを実証実験で示した。

エネルギー科学研究科 エネルギー社会・環境科学専攻

井上 純輝 (下田教授) 「安全意識の醸成を目的とした VR 訓練における訓練生の心理モデルの構築と評価」

本研究では、VR 安全訓練環境を効率的に開発する為の、開発指針を提示することを目的とし、VR 訓練による訓練生の心理変化のモデルを構築・評価した。評価実験の結果から、現実感よりも、恐怖心を高める方に注力する方が効率的であることなどが分かった。

川本 聡真 (下田教授) 「執務時と休憩時の気流制御が知的集中へ及ぼす影響の実験研究」

執務中と休憩中で温冷感の差を作る室内気流環境を夏季用と冬季用で提案し、知的集中に与える影響を評価した。その結果、夏季においては知的集中の客観的な向上が確認された一方で、冬季においては知的集中の客観的な向上は確認されなかった。

日下部 曜 (下田教授) 「複数の生理指標による知的集中状態の推定」

本研究では複数の生理指標を用いて知的集中状態を推定する手法を提案した。生理指標には、瞳孔径、心拍変動、脳波、体動を用い、推定には機械学習を用いた。精度を検証する実験を行った結果、7 割程度の精度で推定を行うことが可能であった。

原園 友規 (下田教授) 「3 次元再構成モデル作成のための拡張現実感を用いた環境撮影支援システムの開発」

本研究では、専門知識のないユーザでも容易に 3 次元再構成モデルを作成するために必要な撮影を可能とする環境撮影支援システムを開発した。本システムでは、環境内の未撮影領域等の現在の状況を、拡張現実感技術を用いてリアルタイムに提示し撮影を支援する。

エネルギー科学研究科 エネルギー基礎科学専攻

浦野 大介 (中村 (祐) 教授) 「微視的乱流のベータ値依存性へのローカルシアの影響」

核融合反応率に関わる重要なパラメータである規格化プラズマ圧力により磁場構造が変化する点に着目し、プラズマ閉じ込め悪化の主要原因である乱流輸送を調べた。その結果、従来の理解と異なり、規格

化プラズマ圧力の増加とともに乱流輸送が減少しないことを示した。

遠藤雄星(中村(祐)教授)「トカマクにおけるヘリカルコア形成機構としてのMHD不安定性解析」

近年、トカマク型の磁場閉じ込めにおいて非軸対称なプラズマが観察されている。本研究では非軸対称なプラズマが形成される過程を理解する事を目的として電磁流体不安定性解析を行い、プラズマに流れる電流が駆動する不安定性が主な原因で形成されることを示した。

垣田光輝(中村(祐)教授)「LHDプラズマのエッジ領域における交換型不安定性解析」

核融合科学研究所の大型ヘリカル装置の実験において、プラズマ表面近傍で温度上昇に伴い揺動が減衰することが観測された。二流体モデルを用いて不安定性解析を行い、二流体効果に影響された交換型不安定性で、この揺動の減衰が説明できる可能性を示した。

高尾 怜(中村(祐)教授)「トカマクの真空容器を流れる非軸対称渦電流の数値解析」

核融合プラズマの真空容器には、プラズマ電流の変化に伴い渦電流が生じ、この渦電流はプラズマの時間発展にも影響する。本研究では、薄壁に近似した真空容器上を流れる面電流が従う方程式を考案し、このモデルに基づく渦電流シミュレーションコードを開発した。

エネルギー科学研究科 エネルギー応用科学専攻

井上 嵩人(土井教授)「立方体集合組織Cuテープを用いた $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 超伝導線材におけるチタン系複合酸化物中間層の化学溶液堆積法による作製条件検討」

[100]<001> 集合組織をもつNi/Cu/SUS316貼合せテープを基材とした新規YBCO線材構造の開発を目的とし、CSD法を用いたNb-STO、Nb-TiO₂、Nb-BCT導電性中間層の成膜条件を検討し、常圧下でエピタキシャル成長させることが可能な作製条件を見出した。

出店 純弥(土井教授)「薄膜型 MgB_2 超伝導線材における安定化層と MgB_2 層間反応防止層の検討」

薄膜型 MgB_2 超伝導線材の実用化に向けて、基板に線材の高強度化の役割を、 MgB_2 薄膜の保護層に安定化の役割を兼ねさせる線材構造を検討した。基板には高強度金属であるSUSを用い、保護層にCu、Ni、Nbを使用することを検討した結果、Cu、Niは MgB_2 層と反応し、Nbは反応しないことを見出した。

野津 乃祐(土井教授)「回転変調磁場の最適化による高い2軸配向度を有する(Y,Er) $\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 超伝導厚膜の作製」

樹脂中に分散させたRE123高温超伝導粉末に回転変調磁場を印加することによって3軸結晶配向体の作製を行った。磁場強度、印加方法、樹脂粘度、粉末作製条件などを検討した結果、良好な3軸結晶配向に成功した。

樋口 甲太郎(土井教授)「珪素鋼板上に配向制御層と酸素拡散防止層を介して $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ を形成した超伝導線材の研究」

電磁鋼板を基材とするYBCO超伝導線材の作製のための中間層物質として、従来のYSZより酸素拡散定数が小さい Y_2O_3 、STOを中間層に使用することで、電磁鋼板と中間層界面での酸化物生成を抑制

することに成功し、従来より良好な YBCO エピタキシャル層の作製に成功した。

山口 滉 太 (土井教授) 「Ni めっき {100}<001> 集合組織 Cu テープを用いた YBa₂Cu₃O₇ 超伝導線材用チタン系導電性複合酸化物中間層の組成および作製条件の検討」

{100}<001> 集合組織 Cu テープ上に導電性中間層を介して YBa₂Cu₃O₇ 超伝導層を形成する新構造超伝導線材において、導電性中間層に用いる酸化物の検討とその成膜条件の検討を行い、Nb ドープ SrTiO₃ 単独、もしくは Nb ドープ SrTiO₃/ Nb ドープ TiO₂/ Nb ドープ SrTiO₃ が好ましいことを明らかにした。

坂本 拓 哉 (白井教授) 「変圧器磁気遮蔽型超伝導限流器の限流特性」

超伝導限流器の限流特性を調べるために超伝導線材の短尺試験を行い、特性を調べた。また XTAP を用いて超伝導線材モデルを作成し、実験結果と比較することでモデルの評価を行った。さらにパンケーキコイルを用いた変圧器磁気遮蔽型超伝導限流器の設計、製作し、基礎特性実験を行うことで設計通りの限流動作を確認した。

前田 知 滉 (白井教授) 「抵抗型超伝導限流器を目的とした液体窒素冷却 GdBCO 無誘導巻コイルにおける復帰特性向上に関する検討」

抵抗型超伝導限流器の実用化に向けた基礎研究として、無誘導巻コイルを用いて圧力下及び超伝導線材表面の状態変化による、復帰特性の改善を実験より確認し、同時に復帰特性に大きく影響を与える沸騰現象の観察を行った。

松本 航 輝 (白井教授) 「システム同定による配電システムの動的負荷モデリングと固有値法に基づく安定度解析及び三相不平衡補償を目的とした無効電力補償装置の検討」

システム同定による配電システムのモデリング手法を用いて、電力システム全体の定常安定度を評価する手法を考案し、本手法を用いて、無効電力補償装置を含む動的なシステムの安定度について、シミュレーションにおいて検討を行った。

松本 太 斗 (白井教授) 「液体窒素冷却超伝導機器の開発を目的とした液体窒素熱伝達特性の把握」

液体窒素冷却による超伝導機器の開発を想定して、液体窒素強制対流下での DNB 熱流束や膜沸騰熱伝達、超臨界窒素等の幅広い熱伝達特性の測定を行い、熱伝達特性の表示式の提示を行った。また、超伝導線材の冷却安定性把握を目的として、液体窒素浸漬冷却下での MgB₂ 線材の常伝導伝搬速度および最小クエンチエネルギーの測定を行い、過渡的冷却安定性を把握できるシミュレーションモデルを作成した。

吉田 周 平 (白井教授) 「微小擾乱注入手法時の応答解析を用いた二機無限大システムの動特性評価」

電力システム解析シミュレーター上で構築した一機無限大システム及び二機無限大システムに対して、微小擾乱を注入した際の電力システムの応答が、発電機出力や送電線の長さなどの電力システムの状態変化にどのように影響されるのかを調査し、またその際の影響がシステム同定で作成した電力システムのモデルにどのように反映されるかについての検討を行った。

神代 明 暢 (長崎教授) 「自己線形化現象による電子銃高輝度化のための熱陰極温度分布の高分解計測法の検討」

自己線形化現象から生ずるビームエミッタンスの低減による電子銃高輝度化を目指し、可動集束光学

系と InGaAs フォトダイオード検出器を用いて熱陰極表面温度分布を測定するシステムを開発し、LaB₆ テスト熱陰極の表面温度測定結果から十分な空間分解能を持つことを示した。

エネルギー理工学研究所

世 良 悟 (長崎教授) 「BNCT 薬物動態評価のための張力準安定流体検出器による B-10 定量分析法の検討」

ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) における薬物動態を評価するため、¹⁰B (n, α)⁷Li 核反応によって生成されたアルファ粒子を京都大学原子炉 (KUR) からの熱中性子と張力準安定流体検出器 (TMFD) を用いて計測し、10 μg/mL の B-10 を定量的に測定できる可能性を示した。

的 池 遼 太 (長崎教授) 「三次元周辺輸送コードによるヘリオトロン J 周辺プラズマモデリング」

三次元トラスプラズマのダイバータ領域での輸送機構解明を目指し、周辺領域でのプラズマ・中性粒子分布のモデリングを進めた。ヘリオトロン J 磁場の三次元グリッドを開発、三次元輸送コードを適用することで、電子温度・密度や水素原子分布と磁力線構造との関係を示した。

竹 内 裕 人 (岡田准教授) 「ヘリオトロン J における NBI プラズマに対する ICRF 重畳加熱による高速イオンの解析」

ヘリオトロン J プラズマにおいて、NBI と ICRF の重畳加熱による高速イオンの速度空間分布解析を行った。実験とシミュレーションの両方から Low-ε_i 配位が高速イオンの生成・閉じ込めに適していることを示し、また NFREYA コードを用いたより正確なシミュレーションを試みた。

溝 川 ゆ き (岡田准教授) 「ヘリオトロン J プラズマにおける軟 X 線波高分析装置による電子エネルギースペクトルの電流駆動及び磁場配位に対する依存性の研究」

磁場配位および電子サイクロトロン加熱電磁波の入射方向を変化させ、視線可変の軟 X 線計測を行い、低バンピネス配位の場合に高速電子の生成が最も多く電流駆動に寄与していること、高バンピネス配位では高エネルギー成分が最も小さく電流駆動も小なることなどの結果を得た。

八 谷 健 吾 (松田 (一) 教授) 「カーボンナノチューブの温度依存近赤外発光を用いた生体深部温度計測手法の開拓」

カーボンナノチューブで見出したアップコンバージョン発光を、バイオイメージングや温度計測に利用する事を目的として研究を進めた。実際に、生体を模擬した状況で非接触かつ精密な温度計測を行えること、さらに、マウス深部のイメージングなどを実証した。

木 山 健 (松田 (一) 教授) 「MoS₂/WSe₂ ヘテロ構造における光電変換特性と太陽電池応用」

わずか原子数層からなる原子層物質を重ねた MoS₂/WSe₂ ヘテロ構造を用いて、極めて薄い p-n 接合構造を作製し、その光電子特性を詳細に調べた。光電変換特性から太陽電池として動作すること、さらに光電変換効率などの更なる向上に向けた指針を得た。

生存圏研究所

岩 本 尚 大 (山本 (衛) 教授) 「実気象ラージ・エディ・シミュレーションを用いた大気境界層の

微細構造に関する研究

メソスケール気象予報モデルの結果を初期値・境界値とし、建物の高さを含む地表面データを反映した実気象条件下のラージ・エディ・シミュレーションを構築し、200 m 級の高層ビルがある大都市における大気境界層の超高解像度実気象シミュレーションを実現した。

北 藤 典 也 (山本 (衛) 教授) 「近距離のエアロゾル分布計測に対応した高距離分解能ライダーの開発」

レーザー光軸と望遠鏡視野の重なりを近傍の特定領域に調整する光学系を考案し、近距離からの計測を可能とする高距離分解能ライダーを開発した。屋内での線香煙拡散過程の計測や草地上でのエアロゾル立体観測を通じて、開発したライダーの有用性を検証した。

上 埜 拓 仁 (小嶋教授) 「MU レーダーを用いたスペースデブリ 3 次元形状推定精度向上に関する研究」

MU レーダーによるスペースデブリ観測において、その 3 次元形状推定精度を向上させた。形状推定にあたり、RCS 法、SRDI 法に加え、複数方向レーダービーム観測を組み合わせることにより、エコーから推定されるスペースデブリの形状精度を向上させることに成功した。

鎌 田 俊 介 (小嶋教授) 「波形捕捉型プラズマ波動受信器の集積化に関する研究」

ASIC (特定用途向け集積回路) によりチップ化した、「科学衛星に搭載する波形捕捉型プラズマ波動受信器」の高性能化に成功した。チップ内にインターフェロメトリ観測モード回路を組み込んだことに加え、受信器帯域の拡大・低ノイズ化、そしてデジタル部の組込も実現させた。

鳥 居 拓 哉 (小嶋教授) 「MU レーダーによるスペースデブリ軌道特定手法の高精度化に関する研究」

MU レーダーによって観測されるスペースデブリ軌道の特定手法について高精度化をはかった。算出される軌道パラメータと観測精度との関係を明らかにした上で、大気レーダーにおける Range-Weighting Function を考慮した軌道特定手法を提案し、観測により得られる軌道パラメータ精度向上に成功した。

萩 原 達 将 (小嶋教授) 「磁気ノズル型プラズマセイルの推進性能評価に関する研究」

将来の深宇宙探査ミッションなどへの利用が期待されている推進システム「磁気ノズル型プラズマセイル」の推進性能をプラズマチェンバー実験によって解析・評価した。LaB6 をカソードに用いた低消費電力プラズマ源を実現したことにより推力の増加に成功した。

池 田 拓 也 (大村教授) 「磁気圏擾乱時におけるホイッスラーモード・コーラス波成長領域の時空間分布」

放射線帯再生に対して重要な役割を担っていると考えられているホイッスラーモード・コーラス波が非線形過程によって効率良く成長することをグローバル電磁流体シミュレーションとドリフト移流シミュレーションを組み合わせで明らかにした。

栗 栖 一 樹 (大村教授) 「三次元 FDTD 法を用いた地磁気誘導電流の研究」

大気・地下・送電線が一体となった三次元 FDTD シミュレーションを用い地磁気誘導電流 (送電線を通る電流) を求めた。地磁気誘導電流に対する送電線電気伝導度、地下電気伝導度等の依存性を調べ、

従来研究における仮定の有効範囲を明らかにした。

岡崎 光 汰 (篠原教授) 「多層基板フィルタを利用した小型マイクロ波整流回路の開発」

本研究では提案した新しい多層基板フィルタについて動作特性と動作原理の検討を行い、設計手法を考案、確立した。さらに考案した設計手法を活かし、整流回路用4層基板フィルタをシミュレーションにより設計、製作し、最後に4層基板フィルタを利用した整流回路をシミュレーションにより設計し、従来型の整流回路に比べて小型化が実現可能であることを確認した。

高林 伸 幸 (篠原教授) 「Development of Microwave Power Transfer System with High Efficiency for Drone Application」 (ドローンアプリケーションのための高効率マイクロ波無線電力伝送システムの開発)

ドローンアプリケーションのために、WLM法を用い2.45 GHzでフラットトップビーム形成に成功し、照度分布によるレクテナアレイ整流効率の比較した結果、フラットトップビームにより接続効率 η_c が5pt改善した。最後にマイクロ波無線電力伝送システム全体効率の評価を行い、フラットトップビームの優位性を示した。

望月 諒 (篠原教授) 「マイクロ波帯におけるベルトラミ場の研究」

本研究では一般解および境界条件の2つの視点から電磁場におけるベルトラミ場の理論構築を行った。さらに、ベルトラミ場の理論を構築する過程で得られた知見からマイクロ波帯におけるベルトラミ場の応用として新しい動作原理の共振器を提案した。

学術情報メディアセンター

上野 裕 貴 (小山田教授) 「生体情報に基づいたグラフ描画における探索行動の分析に関する研究」

これまで可視化技術のユーザインタラクション分析では、可視化から得られる1つの情報がタスクパフォーマンスに影響を与える場合を対象にしていた。本研究はこのような情報が複数になった場合のタスクに対して、タスク正答率やタスク遂行中の視線追跡データを取得し、分析を行った。この結果、設計者が意図していない可視化要素がタスクパフォーマンスに影響を与えることが明らかとなった。

GUAN Yuqing (小山田教授) 「Visual Analytics of Topic Evolution in Twitter Data related to Fukushima nuclear disaster」 (福島原発事故におけるツイッターデータの話題遷移のビジュアル分析)

現在の福島原発事故に関するTwitter分析は個々の話題に対してであり、複数の話題がどのような状態を形成し、それらがどのように遷移するのかを分析することができなかった。この問題を解決するために、自然言語処理と次元圧縮技術を用いた視覚的分析システムを開発し、その有用性をケーススタディにより確認した。

武田 健 資 (中村 (裕) 教授) 「筋電位と姿勢を用いた立ち上がり動作の計測と予測」

高齢者の運動補助を目的に、立ち上がりの意図やその失敗をできるだけ早く予測・検出することの可能性を調査する。姿勢と筋電位を同時に計測するシステムを構築し、両データを用いたときおよび片方のみを用いたときの、予測精度と予測時刻について比較・検討を行った。

大 和 祐 己 (中村 (裕) 教授) 「認知症患者の QOL 評価に向けた CNN による表情と発話の認識システム」

認知症者の客観的 QOL 評価を目的に、日常生活を撮影した映像から表情を認識し、笑顔を検出するシステムの構築とその精度の検証を行った。時系列変化を考慮した深層学習 (CNN) を用いることで、発話と笑顔が混在した状態でも 80% 程度の識別率が得られることを確認した。

医療とコンピュータ － 医用画像を中心に －

情報学研究科 システム科学専攻 システム情報論講座 医用工学分野
中尾 恵、松田 哲也

1. 医療におけるコンピュータ

近年におけるコンピュータの処理能力の向上や通信・ネットワーク技術の進歩により、スマートフォンや様々な家電製品のようにコンピュータの関わりが容易に想像できるものだけでなく、金融、小売業、飲食店、運輸、サービス業など、社会における幅広い領域で情報技術（IT）は不可欠なものとなっています。医学・医療の分野も例にもれず、学術的な研究領域のみならず一般臨床の場にも IT 化の波が押し寄せています。病院の診察室で医師が紙のカルテではなくコンピュータに診療内容を記入している様子を見たことがあるかもしれません。これは電子カルテとって、複数の医師がいる病院では、他の医師が行った診療内容を共有するために既に必須のものとなっており、最近では開業医でも広く普及しています。このような電子カルテは診療内容の記録だけではなく、医療費の計算の自動化にも役立っていますし、薬剤師への処方箋データの自動送付、看護師や他の医療スタッフへの指示、注意事項の伝達など、様々な情報のやりとりが行われます。大きな病院では多くの検査装置や診断装置あるいは治療支援システムなどにコンピュータが利用されており、現代の医療はコンピュータ無しには成立しないと言っても過言ではありません。このようなコンピュータの医療への関わりの中でも、医用画像はコンピュータが最も活躍している領域で、コンピュータが社会に広く普及する以前から利用されてきました。

様々な疾病の診断に用いられる画像を医用画像と呼びますが、X線画像は最も普及している医用画像で、みなさんも学校の検診時などに撮影された経験があると思います。他にも超音波を用いて人体の内部を観察する超音波断層像、放射線同位元素を含む製剤を注射し同位元素が放出する放射線を検出器で捉えて画像化する核医学画像、脳の電気活動を磁力の変化として捉える脳磁図、強力な磁場の中で磁場と人体の水や脂肪に含まれる水素原子核との相互作用を利用したMRI（Magnetic Resonance Imaging）など、病院では様々な医用画像が用いられており、これらの撮影装置を画像診断装置と呼びますが、これらはすべてコンピュータによって画像化されています。健診で撮影するようなレントゲン写真についても、レントゲンフィルムに匹敵するほどの高精細の画像デジタル化技術が実現し、フィルムを用いない放射線科診療が一般的になっており、高速の院内ネットワークを整備した近代的な医療施設では、様々な画像診断装置で撮影したデジタル画像データを直ちに診察室で観察できるようになっています。

このような様々な画像診断装置の中でも X線コンピュータ断層撮影（X線CT, CT: computerized tomography または computed tomography）はコンピュータが活躍する画像診断装置の代表と言えます。X線CTは、対になったX線照射管と検出器が人体を取り囲むように一回転することにより人体を透過するX線の強弱を様々な方向から観測し（図1）、得られた各データを放射線の照射方向に基づいてコンピュータで再構成計算して断層像（断面図）として画像化する方法で、1972年に英国EMI社の技術者であるハンスフィールド氏が開発し、1979年にノーベル医学生理学賞の対象となりました。従来のX線画像は投影像であり、X線が照射された奥行き方向の情報は検出できないため人体内部の様子を立体的に捉えることはできませんでしたが、X線CTは人体内部の3次元構造を画像化できるため、画像

診断の進め方を大きく変える画期的な装置でした。そして、製品化されると急速に普及し、今やその稼働台数は国内だけでも1万台を超えています。最近ではさらに進歩を遂げ、平面的な断層像のみならず3次元の画像を撮影できる装置も臨床的に用いられるようになってきました。

コンピュータは医用画像を生成する際に利用されるだけではなく、得られた医用画像に対して様々な処理や解析を行い、診断に役立つ情報を抽出して提示する画像処理にも利用されています。次節では、日常診療の幅広い領域で利用されているコンピュータの中でも特に関わりの深い医用画像処理の現状を紹介します。

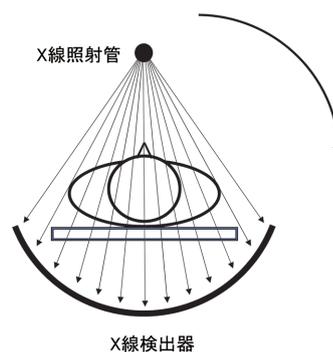


図1：X線CTの撮像原理

2. 医用画像処理の現状

様々な画像診断装置で撮影された医用画像から疾病や傷害の診断につながる情報を導き出す画像処理技術は、情報技術の中でも代表的な研究領域のひとつであり、画像をデジタル信号の行列として取り扱うことによって、様々な処理や解析を実現しています。最先端の画像診断装置では、人体全体を1 mm以下の細かさで3次元画像として撮影することも可能となっています。仮に1 mmの細かさの3次元デジタル画像を考えると、約2 mの身長の人であれば、1 mm毎の輪切りの断層画像として2000枚の画像から構成される膨大な量の3次元データとなります。X線CTのように短時間で撮影が可能な画像診断装置では、10-20分程度で2000枚もの断層像が取得できますが、画像を詳細に観察して異常の有無を判断しなければならない放射線科医にとっては、このように膨大な数の画像は大きな負担となります。そこで、様々な画像処理技術が活躍します。

コンピュータハードウェアの進歩によって、このように大きなデジタル画像データを取り扱うことも容易となり、膨大な数の断面像を積み重ねて3次元画像データとして取り扱うことにより、放射線科医が診断に用いるコンピュータ端末では輪切りの断面だけではなく任意の方向の断面として表示したり、各臓器を立体的に表示するなど、人体内部の様子を容易に観察できるよう様々な方法で表示されます。また、情報科学の研究者が蓄積してきた膨大なデジタル画像処理技術を活用することによって、各種臓器や骨あるいは血管などを自動抽出して(図2)、必要な臓器・組織のみを表示することも可能となっています。ほかにも、腫瘍の境界を自動的に判別してその体積を算出し抗がん剤による治療効果の判定に利用したり、心臓のように運動する臓器では拡張期と収縮期の内容積を自動検出し、心臓から拍出される血液量を算出して機能評価に利用されています。

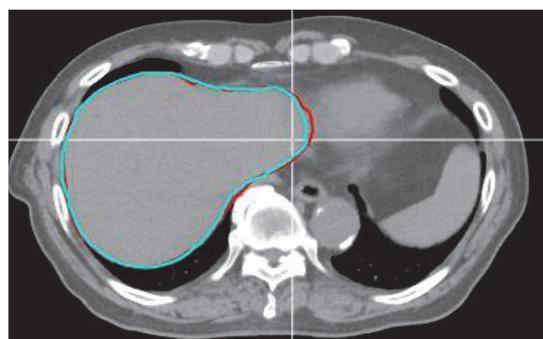


図2：CT画像における肝臓領域の検出
赤：医師が指定した輪郭、青：自動抽出された輪郭

さらに最近では人工知能(AI: Artificial Intelligence)の技術も画像解析に利用されるようになっており、様々な疾病について、これまでに蓄積されてきた膨大な画像データを参照して病変部の特徴を抽出し、画像上で異常が疑われる部分を自動的に候補領域として医師に提示する診断支援システムも活発な研究対象となっています。このようなシステムでは、過去に診断が確定している類似病変を参照例とし

て提示したり、画像に現れた異常を引き起こし得る候補病名を順位付けしてリストアップしたり、さらに自動推定の確かさやその根拠を示すなど、診断が容易となるような様々な工夫が提案されており、医用画像の自動診断も夢ではなくなりつつあります。

3. 3次元医用画像の応用

人体の3次元画像は疾病の診断に加えて、病変部に対する治療の目的においても様々に利用されています。例えば、がん病変部位の切除を目的とした外科手術や、放射線のがん細胞に対して局所的に照射することによって、切らずに治す治療として知られる放射線治療においても、コンピュータによる医用画像の処理は必要不可欠となっています。

臓器個別の3次元形状や動き、変形などの幾何学的あるいは力学的な情報はベクトルデータとしてコンピュータ内で扱われます。個人差が大きい臓器の形や動きに関する情報をコンピュータ内で正確に扱うために、臓器や血管、病変部位などの3次元構造を記述した形状モデル(図3)が3次元画像から自動生成され、利用される機会が増えています。例えば、放射線治療において、動画のように時系列的に撮像されたCT画像からがん病変とその周辺の正常な臓器の位置や呼吸に伴う動きの情報を抽出し、正常な臓器を避けてがん病変のみに効率的に放射線を照射できるような計画を自動算出する方法や、治療当日の姿勢や呼吸の状態に基づいて治療内容をカスタマイズすることによって、治療効果の向上を目指す研究が行われています。

外科手術では、病変部位をできるだけ正確かつ迅速に切除することが望まれます。しかし、多くの病変部位は臓器内部に位置し、外科医は手術開始時には目視することができません。個人差が大きい臓器内部の血管構造を頭の中だけでイメージして必要な部分だけを正確に切除することは熟練した外科医であっても難しく、時間を要する場合があります。このような外科手術における課題に対して、個人の医用画像から切除対象の腫瘍や血管構造を表現した3次元臓器モデルを手術前に作り出し、臓器

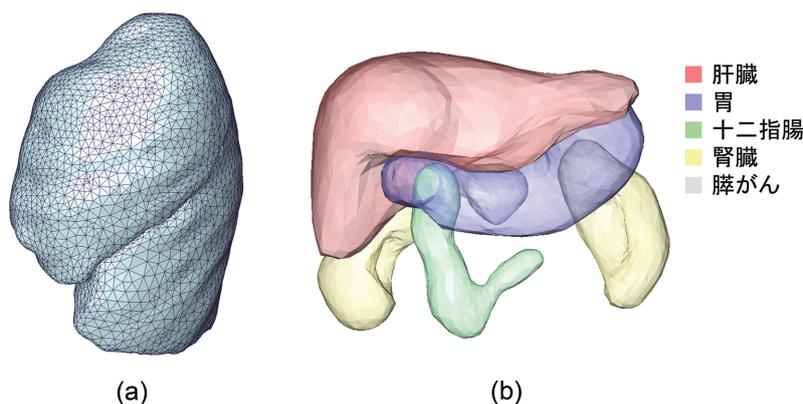


図3：臓器の3次元形状モデル
(a) 肺の上葉と下葉のメッシュモデル、(b) 腹部臓器の形状モデル

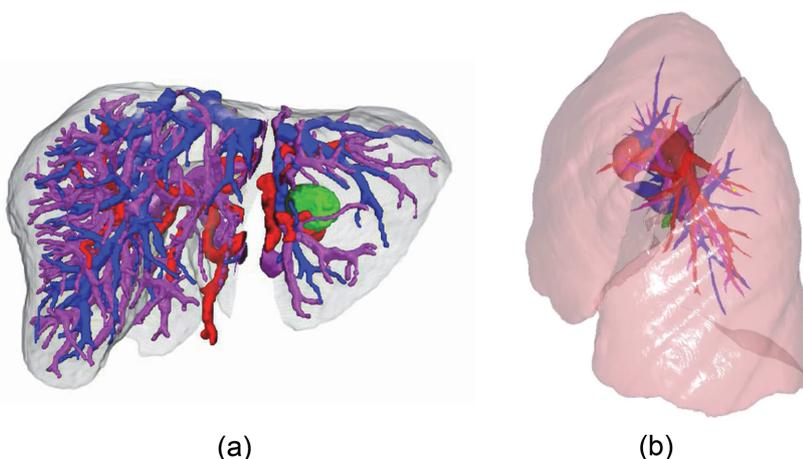


図4：がん病変に対する臓器切除シミュレーション (緑：がん病変)
(a) 肝切除術、(b) 肺切除術

に対する手術操作や切除をシミュレートすることによって、病変部位に対する手術の流れを事前に計画できるシステムが開発されています（図4）。また、手術室内でモニターに3次元臓器モデルを表示して病変部位との位置関係を確認しながら手術を進める手術ナビゲーションもまだ適用可能な手術は限られているものの実利用がなされ始めています。

3次元医用画像の計測技術とコンピュータによる画像処理や数理モデル化の技術は世界的にも日進月歩で研究が進められています。医用画像に基づいて診断や治療を支援する医用システムのさらなる深化によって、患者への負担が少ない高品質な医療がより多くの医療機関で提供されることが期待されます。

4. むすび

医療の場で利用されているコンピュータや情報技術について、医用画像を中心に実例を挙げながら簡単に紹介しました。私たちの研究室でも、より高度な医療を目指して、様々な医用画像に対する画像処理や画像提示法の開発を行っています。医師に対して、様々な疾病の診断が容易となるよう画像を自動解析したり、コンピュータ上で画像をバーチャルに取り回し病変部を切除する過程について試行錯誤できるような環境を提供するなど、高度な医療を安全に、正確に、容易に行うための様々な方法を提案しています。また、これらの技術は、医師だけでなく患者さんにとっても自分の病状の理解を助けることに繋がると期待されます。近い将来の新しい医療の一端を担う技術として、現在進めている研究が少しでも役に立つことを願っています。

学生の声

Introduction to My Research

生存圏研究所 橋口研究室 博士後期課程3年 Nor Azlan bin Mohd Aris

My name is Nor Azlan bin Mohd Aris or in short, Azlan. I am currently a third year PhD student at Atmospheric Sensing and Diagnosis Laboratory (Hashiguchi Lab). I worked as a lecturer at Faculty of Electronics and Computer Engineering, Universiti Teknikal Malaysia Melaka (UTeM) since 2013 before pursuing my PhD at Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University.

My research topics directed towards the utilization of Universal Software Radio Peripheral (USRP) and GNU Radio in the development of multi-channel receiver system for the Equatorial Atmosphere Radar (EAR) which is located at equatorial site in Kototabang, Indonesia (0.20°S, 100.32°E). A single receiving channel of the existing EAR limits the applicability of the observation techniques thus requires an upgrade in term of number of channels. Few advantages of multi-channel receiver system for the EAR include enabling Spaced-Antenna (SA) method and spatial imaging interferometry.

Currently, a four-channel receiving system using two USRP X300, a personal computer (PC) and GNU Radio as a software platform for the signal processing has been successfully installed at the EAR which works concurrently with the existing EAR system. All four channels are synchronized with 1 pulse per second (PPS) signal and 10 MHz reference clock. The SA method has been applied using Full Correlation Analysis (FCA) to obtain the horizontal wind speed with the maximum observable height reaching up to about 8 km. Further analysis is undergoing to improve the performance of the multi-channel receiver system.

Doing PhD at Kyoto University until now has been tremendously fulfilling for me considering the number of skills I gained. Working with hardware, programming and signal processing among others, boost my confidence as a researcher. The support that I receive from my supervisor has been outstanding so far. Certainly, I am still far from being an expert, but I know there are a lot of things to explore from this moment onwards.

海外で得たもの

工学研究科 電子工学専攻 竹内研究室 博士後期課程2年 野原紗季

私は、5年連携型の博士課程前期後期連携教育プログラムで修士課程、博士後期課程へと進学しました。この教育プログラムのおかげで、多くの貴重な機会を頂き、様々な経験をしたのですが、その中でも私は、海外へ行く機会を多く与えて頂いたのがとても刺激的でした。

これまでに「魅力・活力・実力ある京都大学を支える光・電子理工学人材育成プログラム」にてイギリス、国際会議でドイツ、アメリカへと行きました。日本で海外の研究者の方と交流することはあったのですが、実際に海外に行って研究室訪問をするのは、知らない世界を知れたようでとても面白く楽しいものでした。特に、イギリス・ブリストル大学へ10日間研究室訪問した際は、英語で講演を聞いたり、議論を交わしたりするだけでなく、研究後に卓球やバドミントンをして体を動かしたり、日本で私が過ごしていた研究生活とは違う生活スタイルを知ることができました。普段、研究ばかりで体を動かす機会がほとんどなかったのが、体を動かすことで生活にメリハリがつくことに気づき、日本に帰ってきてからジムへ通うきっかけとなりました。

またイギリスでの研究者の方との出会いにも感謝しています。その後国際会議で再会した際には、一緒にランチに行って近況を報告しあったり、所用で京都に遊びに来ていた時には連絡を取り合い、一緒に京都観光をしたりしました。海外の研究者の方と出会えただけでなく、今でも連絡を取り合い交流し合える関係となれたことが、海外の研究室を訪問した際の最も大きな財産だと感じています。

このように海外での交流は非常に有意義な時間でした。これからも、海外経験だけに限らず、与えられた機会を大切に、より素敵な研究者になれるように、井の中の蛙にならないように研究に励んでいきたいと改めて思いました。

教室通信

「先端光・電子デバイス創成学」卓越大学院

電子工学専攻 木本恒暢

「卓越大学院プログラム」は、文部科学省から提唱された5年一貫の博士学位プログラムです。「各大学が自身の強みを核に、これまでの大学院改革の成果を生かし、国内外の大学・研究機関・民間企業等と組織的な連携を行いつつ、世界最高水準の教育力・研究力を結集した5年一貫の博士課程学位プログラムを構築することで、あらゆるセクターを牽引する卓越した博士人材を育成するとともに、人材育成・交流及び新たな共同研究の創出が持続的に展開される卓越した拠点を形成する取組を推進する事業」¹⁾と定義され、平成30年度に初回の公募がありました。全国の大学から50件を越える応募（医学、薬学、理学、工学、農学、文系など多岐に亘る分野）があり、15件が採択されました。京都大学では幸いにして、電気系が中心となって提案した「先端光・電子デバイス創成学」1件が採択されました。この4月に19名の第一期生を迎え、様々な人材育成事業を進めております。

IoT（Internet of Things）革命、ウェアラブル情報機器、車の自動運転や電動化、スマートグリッドや再生可能エネルギー導入によるエネルギー革命など、現在、人類社会は大きな変革期を迎えています。このような社会では、無数の高性能光・電子デバイスがハードウェアの中核として有機的に一体化しながら機能しており、今後、さらなる高性能化と新機能の創出が要求されます。一方で、近年の科学技術の進歩による知の爆発的拡大の結果、専門分野の細分化が著しく、総合的視野の欠如という問題を生んでいます。とりわけ、高度情報化社会・環境・エネルギー・人工知能といった人類社会の広範な分野に亘る課題を解決するためには、特定の学問領域における専門教育だけでは十分でないと考えられます。基礎学理からシステム応用までを俯瞰しながら正しい判断を下し、挑戦的課題に取り組み、将来は当該分野を牽引できる人材を育成することが大切です。

京都大学電気系教室では、本学発祥とも言うべき多くの独自の学術概念やキーテクノロジーを有しており、約7年前に終了したグローバルCOEプログラム「光・電子理工学」におきましてもトップクラスの評価を獲得しました。本卓越大学院プログラムでは、これをさらに発展させ、「物理限界への挑戦と情報・省エネルギー社会への展開」を共通理念として、光・電子デバイス分野を中心としながら、その基礎物理・理論の深化からシステム・情報の制御・応用にまたがる融合・垂直統合型の教育を推進します。中でも基礎物理の教育を担当する理学研究科（物理学・宇宙物理学専攻）から通信情報システムの教育を担当する情報学研究科（通信情報システム専攻）までの「融合・垂直統合教育」が本プログラムの大きな特徴になっています。また、我が国を代表する民間企業、最高水準の研究力を有する国公立研究所、トップクラスの海外有力大学と連携し、京都大学の枠を超え、産・官、さらに国の枠を超えた学びの場を学生に提供します。

具体的には、理学、工学、情報学研究科のカリキュラムを尊重しながら、本プログラムの特色である研究科間の壁を取り払った融合教育を推進します。修士課程入学直後から複数教員指導制を開始し、研究室ローテーションにより視野を広めます。学年が上がるに従って、本プログラムを履修する学生全員が泊り込みの合宿形式で海外研究者と研究課題を議論する「国際セミナー道場」で切磋琢磨し、国内の連携機関や海外の連携大学に短期滞在して武者修行をする「連携機関／国際フィールド・プラクティス」を経験します。学位審査に関しては、多段階のQualifying Examination（QE）に加えて、海外著名研究者による国際審査を実施し、国際的な卓越性も担保します。この他、学生の自由な着想に基づく研究提案を審査の上、研究助成を行う「光・電子デバイス創成学研究グラント」制度を導入するなど、多様な教育プログラムを実施します（詳細は本卓越大学院HP（<http://www.e-takuetu.ceppings.kyoto-u.ac.jp/>）をご覧ください）。産官学の皆様方におかれましては、本卓越大学院プログラムへのご支援と御鞭撻を賜ることができれば幸いです。

1) http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/kaikaku/takuetudaigakuin/index.htm

編集後記

本号の「産業界の動向」については、少し方向を変えて、さまざまな産業界に通じる新産業創出の動きについて、南部修太郎氏にご執筆をいただきました。南部氏はパナソニック（株）をご退職後に、有限会社（後に新会社法に基づき株式会社へ商号変更）アセット・ウィッツを設立され、新規事業開発、大学の研究成果の技術移転・産学連携推進等を進めておられます。また、平成17年にNPO法人高周波アナログ半導体ビジネス研究会を設立され、関連の新規事業開発に理事長として関わっておられます。ご多忙の中、次の産業界の創成に向けた氏のご意見として、示唆ある原稿をいただきましたことに深く感謝いたします。

一方で、編集委員の中から以下のような意見がありました。「新産業の創出については、ベンチャーによる直接の活動に加えて、政府による経済環境の整備が重要ではないでしょうか。減税・インフレ誘導・官需の追加などによって、イノベーションが誘発される適切な環境づくりが進むことが期待されます。」これもたいへん大切なことではないかと、私は個人的に思いました。これからの日本にとって、新産業を創出し、経済の進展を図るにはどうしたらいいのか；世界の情勢の中でこれはさまざまな方向から議論し、取り組むべき課題であることはいまでもありません。

実は私は本号の編集後記の執筆をお受けしながら、怠慢ゆえにすっかり失念しており、いまアメリカで開催されている学会へ出張中にこれを記しています。アメリカのホテルの宿泊費はどんどん高くなり、学会が開かれているホテルは高すぎて足が出るために、30分歩いて別のホテルから通っている日本人が、私を含めて何人も居ます（その方が健康的だという別の考えもありますが）。ここで、南部氏の原稿を再度拝読し、日米間での経済の変化がどう違うのかという興味を持ちました。インターネットで調べてみると、実質賃金の伸びについてのデータが見つかりました。1997年の実質賃金を100として、2016年において日本のそれは89.7、アメリカは115.3とのことでした*。これは、南部氏をご指摘されたことと無関係ではないことかな、と学会で得る知識と別のものを得ました。

これからの産業界では、自動運転やロボットなどで明らかなように、多様な技術の融合が進んでくると思います。このcueは文字どおり技術情報誌として、広い分野の最新技術に触れ、特徴ある技術の創成、そこからの新産業創出につながる一助になれば幸いと、編集委員の立場から強く願います。

[S. F. 記]

*全労連 HP: http://www.zenroren.gr.jp/jp/housei/data/2018/180221_02.pdf

協力支援企業

鉄道情報システム株式会社
日本製鉄株式会社
株式会社 村田製作所
ローム株式会社

発行日：令和元年9月

編集：電気系 cue 編集委員会

大木 英司、白井 康之、藤田 静雄、
山本 衛、後藤 康仁、田中 俊二、
村田 英一、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

