



京都大学電気関係教室技術情報雑誌

NO.35

MARCH 2016

[第35号]

..... 卷頭言

安田 豊

..... 大学の研究・動向

トーラス型磁場閉じ込めプラズマにおける非軸対称性
エネルギー科学研究科 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

..... 産業界の技術動向

関西新空港株式会社
専務取締役 安部川 信

新設研究室紹介

研究室紹介

博士論文概要

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 35 号 目次

巻頭言

開発途上国支援の中で思うこと

..... 昭和 48 年卒 KDDI 財団 理事長 安田 豊..... 1

大学の研究・動向

トーラス型磁場閉じ込めプラズマにおける非軸対称性

.....エネルギー科学研究科 エネルギー基礎科学専攻..... 3
エネルギー物理学講座 電磁エネルギー学分野

産業界の技術動向

世界の空の環境変化と最近の関空の概況

..... 新関西国際空港株式会社 専務取締役 安部川 信..... 9

新設研究室紹介..... 15

研究室紹介..... 16

博士論文概要..... 34

高校生のページ

電波と電気とエネルギー

生存圏研究所 生存圏電波応用分野篠原 真毅, 三谷 友彦..... 57

学生の声

「T 型人材の縦横比」

情報学研究科 通信情報システム専攻 情報回路方式分野 博士後期課程 3 年 栗野 皓光..... 63

「モンテリオールの歩き方」

工学研究科 電子工学専攻 電子材料物性工学分野 博士後期課程 3 年 木村 知玄..... 63

教室通信

就職・採用活動時期の変更 続報

.....工学研究科 電子工学専攻長 竹内 繁樹..... 64

編集後記..... 65

巻頭言**開発途上国支援の中で思うこと**

昭和 48 年卒 KDDI 財団 理事長 安 田 豊



私は、一昨年 6 月より KDDI 財団（公益財団法人）にて、開発途上国支援や留学生支援、ICT（情報通信技術）に関わる普及啓蒙活動や研究開発助成などの仕事をしている。KDDI 財団はカンボジアやミャンマーの子供達への教育支援にも力を入れており、毎年日本で開催するチャリティコンサートの売上金を寄付することによりカンボジアに小・中学校（KDDI スクール）をこれまでに 10 校建設してきた。

その関係で私も現地を何度か訪問して子供達への絵画教室の様子などを視察し、そこで学ぶ多くの子供達の笑顔に接してきた。今後もこのような子供達への教育支援活動を継続していきたいと考えているが、そのためには、特に都市部以外の田舎の村などにおいて親の生活の安定や先生の確保なども大変重要な課題となっており、このような面も含めた多面的なサポートが必要である。

先日、日本での情報通信業界の若手交流会で「グローバルとローカルの競合と融合」と題して 1 時間ほど話をし、その後、ディスカッションをする機会があった。その事前の概要には以下のように書いた。

グローバルというのは国際的な視点、世界統一仕様と共通化のような視点（例えばスマホ的）
ローカルというのは地域社会に特化した独自性、地産地消のような視点（例えばガラケー的）
それらのバランスをどうとるのか？世界の中で日本の強みを発揮するにはどうすればいいのか？
先進諸国の事例に学びつつ、開発途上国への支援・ICT 利活用などを推進することによって、世界の人々に喜ばれ、且つビジネスとしても可能性のある戦略があるのでは？

実際に開発途上国の多くでは国の将来に向けて子供達の教育を推進していくためにも、親の生活の安定や貧困からの脱出施策が重要である。そのために、モバイルネットワークやインターネット、センサーや IoT（Internet of Things）技術、ロボットやドローン技術、さらには再生可能エネルギーの活用技術などを駆使して、農業生産の効率化や品質向上を推進したり、その他の産業振興を図ったりすることが強く望まれている。また、河川の水の流量監視や非常災害対策の一つとして衛星も活用したアラームシステムを充実することなども含めて、最新の ICT 技術が役立ちそうな事例は数多く存在する。

これらについては、一時的な資金援助、技術協力はいろいろ行われているが、それを本当にその国や地域において持続的なサステナブルなものにしていくためには、そのビジネス性についても十分に検討し、そのような施策が長期にわたって継続発展するようにしていくことが重要である。つまり、先進諸国における成功サービス、事業などの押しつけではなく、その国や地域に固有の事情も考慮したきめ細かなビジネスモデルの構築が必要になる。

これは、先進諸国においてベンチャービジネスをうまく成功・発展させていくことにも似ており、また、

開発途上国中心に多数存在する（国際的マジョリティ層である）貧困層に目を向けた「BOP（Bottom/Base of the Pyramid）」の考え方や、開発途上国でのビジネス成功例を逆に先進諸国に持ち込む「リバースイノベーション」と呼ばれるビジネス手法などにもつながる。

このような状況の中で日本の技術が生かせる場所や事例がまだまだ多くあるのではないだろうか？リバースイノベーションに限らず、海外の開発途上国関連施策と日本の地方（ローカル：過疎・高齢者地域）関連施策には互いに共通するところがあり、そのような施策は応用範囲が広い（日本での施策が海外でも役立つ、あるいは海外での施策が日本のローカルでも役立つ）と考える。

このように、先進諸国だけに目を向けるのではなく開発途上国にも目を向けたいろいろな研究・技術開発やビジネス施策は、今後の日本国内における地方創生にもそのままつながる重要テーマであろう。そして、このような時代にこそ、京都大学の持つ「自由闊達、自主独立、独創と反骨の精神」がより一層生きるのではないだろうか？

過日、米国サンフランシスコにある名門私立小学校を訪問する機会があったが、その教室の中に、以下のような標語が貼られているのを見つけた。

“The important thing is not to stop questioning!”

子供の頃から、「常に疑問を持て！自分で考えなさい！」と教えているのである。これが、アメリカの独創的な技術革新の強さの源泉だな、と納得した。

最近の日本を覆う閉塞感を打破し世界の中での日本の存在感を増していくためにも、グローバル社会での様々な出来事を敏感に感じ取りつつ、ローカルなことも含めたあらゆることに常に疑問を持ち続けて自分で考え行動する、ということを私達も心がけていきたいものである。

大学の研究・動向

トーラス型磁場閉じ込めプラズマにおける非軸対称性

エネルギー科学研究科 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

教授 中 村 祐 司

准教授 石 澤 明 宏

1. はじめに

1.1 エネルギー問題と人工太陽（核融合炉）

周知のとおり、1970年代のオイル・ショック以来、エネルギー問題が注目されるようになりました。近年ではそれに人口問題と環境問題も加わり、エネルギーの将来をどうするかは人類にとって最重要課題の一つとなっています。日本では、電力源として太陽光発電などの再生可能エネルギーの利用も着実に進んでいますが、福島原発事故以降、石炭や石油など所謂「化石燃料」と呼ばれる炭化物を燃やす火力発電の割合も増加しています。再生可能エネルギーの多くは出力変動が大きく、ドイツにおける実例で示されるように再生可能エネルギーの電源構成比が20～30%としても瞬間最大発電量としては70%を超え得るため、大規模蓄電技術などにより出力変動を吸収できなければ、これ以上増やすのは困難ではないかとの指摘もあります。日本は2100年には人口が半分程度になるので大丈夫だとの冗談半分の指摘もありますが、世界的には現在73億人の人口が2050年には90億人、2100年には100億人を超えるとの予測されており、電源構成のベストミックスは当然として、環境・経済性・資源も考慮して中長期的に基幹一次エネルギー源をどうするのが問題となります。そのため我々は将来のエネルギーに対する複数の選択肢を用意しておく必要があり、私たちはその選択肢候補の一つとして人工太陽（核融合炉）を考えています。

地球上の生命にとって不可欠な太陽は天然の核融合炉であり、巨大なプラズマの塊です。核分裂反応と異なり、核融合反応では正の荷電粒子である原子核同士が融合するため、地上で熱核融合炉を実現するには、1億度を超える超高温プラズマを、太陽と全く比較にならないほど狭い装置内で如何に効率よく閉じ込めるかが鍵となり、その実現は容易ではありません。しかし、プラズマが荷電粒子の集合体であることは、磁場による閉じ込めを可能にしました。

長らく「夢」のエネルギー源と考えられてきた人工太陽ですが、現在、人工太陽の科学技術的実証を目的とした人類初の核融合実験炉であるITER（イーター：国際熱核融合実験炉）がフランスのカダラッシュ（マルセイユに近いプロヴァンス地方にある町）に建設中であり、2022年頃最初のプラズマ実験が行われる計画です。「トカマク」と呼ばれるプラズマ磁場閉じ込め方式を採用したITERは欧州・日本・ロシア・米国・韓国・中国・インドが国際協力で進めているプロジェクトで、約1グラムの燃料プラズマを閉じ込め、500メガワットの核融合出力を得ることを目標にしており、将来の発電炉の技術的見通しを得ることを目的としています。

1.2 トーラス型磁場閉じ込めプラズマ

高温プラズマを磁場により閉じ込めるための基本的アイデアでは、荷電粒子がローレンツ力により磁力線に巻き付いてサイクロトロン運動する性質を用います。この性質により、磁力線がある閉空間内に

閉じ込められるような磁場配位を構築できればプラズマを閉じ込めることができます。磁場のわき出しはないため、このような閉空間は幾何学的にトーラス（ドーナツ型）でなければならず、磁場閉じ込めでは主にトーラス・プラズマを考えます。このサイクロトロン運動を利用したプラズマ閉じ込めの描像は分かりやすく、プラズマ閉じ込めは単純なように見えますが、不均一磁場中では、荷電粒子は磁力線から離れる「ドリフト」運動をするほか、荷電粒子同士はクーロン衝突しますのでその挙動は複雑です。さらに、プラズマ中の荷電粒子自身の運動も磁場を作るため、自己無撞着な平衡磁場配位とその安定性解析が必要となります。

有望なトーラス磁場閉じ込め方式として、主に外部コイルに流す電流だけで、ドーナツ状のプラズマ（トーラス・プラズマ）の閉じ込めに適した磁場配位をつくる「ヘリカル系方式」と、外部コイル系だけでなくトーラス・プラズマ中に大きな電流を流すことで、磁場配位をつくる「トカマク方式」とが、挙げられます。一般に、プラズマ中に大きな電流を流す（通常は電磁誘導を用いる）トカマク方式では、回転対称性のある軸対称な磁場配位でプラズマを閉じ込めることができますが、主に外部コイル系に流す電流だけで閉じ込めに適した磁場配位を作るヘリカル系方式では、プラズマ電流を駆動する必要が無く、定常運転に適しているなど多くの利点があるのですが、磁場配位を軸対称とすることができないので、その実験・理論解析には対称性を利用することができず、三次元解析が必要となります。このような非軸対称ヘリカル系プラズマの例として、京都大学エネルギー理工学研究所のヘリオトロンJ装置で閉じ込められるプラズマの形状を図1に示します。また、近年は、実験解析および理論解析の精度が上がったため、トカマクにおいても離散的なトロイダルコイルや様々な制御用非軸対称コイルの影響が重要な研究課題となっています。そこで、私たちの研究室では磁場閉じ込め超高温プラズマ、とくに軸対称性を持たないトーラス・プラズマの閉じ込めに関して理論・シミュレーションと実験解析の立場から研究しています。以下では、当研究室が取り組んでいるいくつかの研究内容について紹介させていただきます。

2. 三次元 MHD 平衡解析

前節で説明したように、サイクロトロン運動を利用したプラズマ閉じ込めの描像は分かりやすいですが、プラズマ中の荷電粒子の集団的振舞を説明するには不十分です。とくにプラズマ中の諸現象を解析するには、最初にプラズマ中の磁場構造を自己矛盾なく求める必要があります。そのためにはプラズマ流体の力学的平衡を解析する必要があります。プラズマ流体の最も基本的な性質は、磁気流体力学（magnetohydrodynamics:MHD）で記述されます。

超高温プラズマを真空容器内といった比較的狭い領域に閉じ込めるために、プラズマの圧力分布には

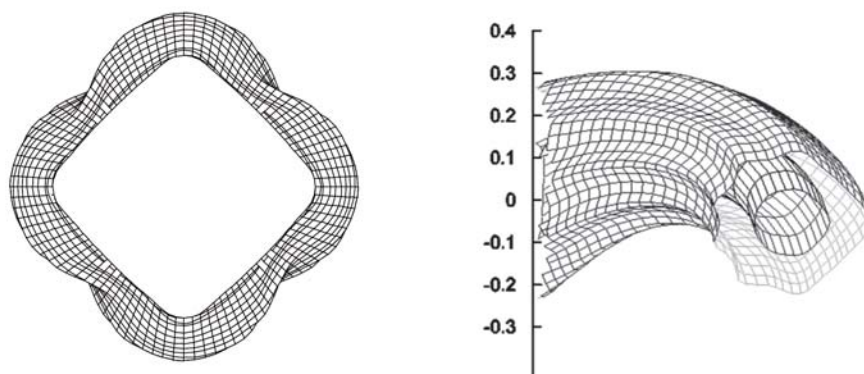


図1：ヘリオトロンJプラズマの上面図と断面図（磁気面）

急峻な勾配が存在し、プラズマはこの圧力勾配による力 ($-\nabla p$) により外に拡がろうとします。これを電磁力 ($\vec{j} \times \vec{B}$) で抑えようとするのがプラズマの磁場閉じ込め装置です。したがって、磁場閉じ込めを考える場合、最初に検討する必要があるのは、これらの力がバランスした状態 ($-\nabla p + \vec{j} \times \vec{B} = 0$)、すなわち MHD 平衡を見つけることです。この MHD 平衡の式は、見た目は簡単で、たとえば一次元計算が可能な無限平板状プラズマに対しては容易に解析解を求めることができるのですが、二次元計算が必要なトカマク・プラズマのようなドーナツ状の軸対称トーラス・プラズマ (図 2) に対しては、その計算は容易でなくなり、特殊な解析解を除いて一般的にはコンピュータによる数値計算が必要となります (平衡計算は非線形問題となり、繰り返し計算が必要です)。このような平衡計算の例として、ITER の磁気面と周辺磁場ベクトルを図 3 に示します。図のセパトリックス構造を持つ緑線より外では磁力線は開いていますが、内側では閉じており、このセパトリックスがプラズマ閉じ込め領域の境界です。セパトリックス内の赤線は磁力線の織り成す面 (磁気面) の R-Z 平面での断面を表し、プラズマ圧力の等高線と一致します。ITER に代表されるトカマク配位では、外部コイルの作る磁場とプラズマ中を流れる電流が作る磁場の双方が組み合わさって図のような閉じ込め磁場構造を形成しています。

トーラス・プラズマの中でも軸対称性を持たないヘリカル系プラズマの平衡計算では、三次元計算が必要となるため、数値計算はさらに難しくなります。理論的にも対称性が欠如 (解析力学でいうサイクリック座標が欠如) した三次元配位では理想的な MHD 平衡は存在しない (近可積分系) と考えられており、その解析は質的にも量的にも困難を極めます。また、通常は軸対称性が成り立つと考えられるトカマクの平衡においても、トロイダル磁場コイル (TFC) の離散性に起因する磁場の弱い非軸対称性が存在するだけでなく、プラズマの安定性を目的としたコイルなど非軸対称な制御用コイルが用いられることがあり、非軸対称な 3 次元 MHD 平衡の解析の重要性が高まっています。そこで、私たちの研究室では、ヘリカル系プラズマやトカマク・プラズマなどのトーラス・プラズマを対象に、三次元 MHD 平衡解析に関する研究を進めています。とくに最近では、三次元 MHD 平衡計算コードの高精度化、新しい三次元 MHD 平衡計算アルゴリズムの開発、トカマク・プラズマのデイスラプションにともなう MHD 平衡の三次元ダイナミクス解析とその制御に関する研究を進めています。図 4 には様々な非軸対称コイルが作る磁場を考慮した ITER の三次元 MHD 平衡計算から得られた非軸対称性な磁場強度分布を示します。図に示したのは、TFC の離散性による磁場強度のリップルを低減するためのフェライト鋼 (FI) とフェライト製のテスト用ブランケット・モジュール (TBM) の影響を考慮した平衡計算の結果で、青で示した領域で磁場強度が弱くなっていることが分かります。このような磁場構造がプラズ

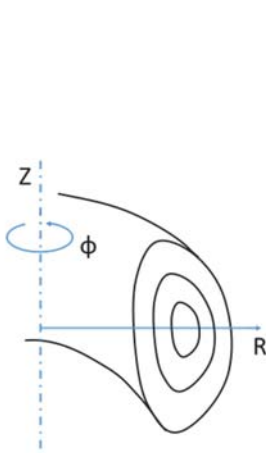


図 2 : トーラス配位

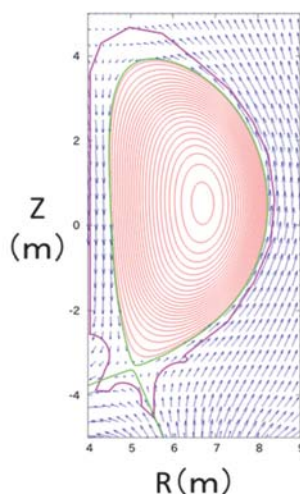


図 3 : ITER の MHD 平衡

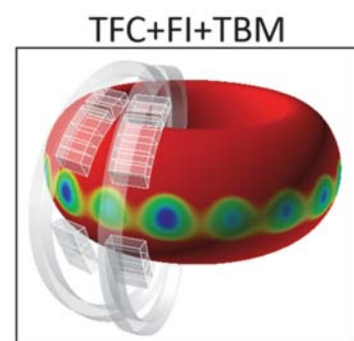


図 4 : ITER の三次元 MHD 平衡から得られた磁場の非軸対称性

マの加熱・閉じ込め性能に及ぼす影響を明らかにする上で、三次元 MHD 平衡計算はその基盤となる解析です。

3. ヘリカル系プラズマにおける新古典フローと粘性

磁場閉じ込めプラズマの閉じ込め性能を決める重要な要素として、プラズマの輸送過程が挙げられます。超高温プラズマを真空容器内といった比較的狭い領域に閉じ込めるため、プラズマの温度・密度分布には急峻な勾配が存在します。これらの勾配は「熱力学的力」と呼ばれ、プラズマ粒子やエネルギーの外向きの流れをもたらします。たとえば、一様磁場中ではプラズマ中の荷電粒子はローレンツ力によって磁力線に巻き付きませんが、荷電粒子同士のクーロン衝突を考慮すれば磁力線を横切る粒子拡散が起こるため、磁力線に垂直方向に密度勾配があれば、密度の高い方から低い方へと粒子の流れが生じます。このような衝突性の粒子輸送は「古典輸送」と呼ばれます。さらにトーラス・プラズマのように磁場に非一様性があるとドリフトと呼ばれる粒子の磁力線を横切る運動が生じ、これが衝突性輸送を増大させます。これは「新古典輸送」と呼ばれています。実際のトーラス型磁場閉じ込めプラズマでは様々な微視的不安定性により渦ができ、この渦による対流が「乱流輸送」をもたらしており、特にプラズマの周辺に近い領域ではこの乱流輸送がプラズマの閉じ込め性能を支配していると考えられています。

近年、多くのプラズマ磁場閉じ込め装置において、「閉じ込め改善モード」と呼ばれる乱流輸送が抑制された状態が見つっています。この乱流抑制には大きな渦を引きちぎり、小さな渦に分裂させるようなプラズマの強い流れが重要な役割を果たすため、プラズマ中のフローとその大きさを決める粘性の研究が様々な装置においてなされています。ヘリオトロン J 装置でも、プラズマ中に不純物として存在する炭素イオンが荷電交換再結合時に放出する光を分光学的に測定することにより、炭素イオンのフローが計測されています。我々の研究室ではこのプラズマ中のフローを対象として、新古典輸送理論に基づいた理論解析を行っています。

前述の通りプラズマの径方向の輸送現象では、多くの場合乱流輸送が支配的ですが、新古典輸送の影響も無視できず、とくに磁力線方向の運動量保存に関係した物理量、たとえばブートストラップ電流と呼ばれる自発電流や磁力線方向のフロー・粘性は新古典輸送理論で説明できると考えられています。しかし、ヘリオトロン J プラズマのような非軸対称で複雑な形状を持つプラズマ中に、水素、重水素、不純物など複数のイオンが存在し、さらに中性粒子ビーム入射などによる外部からの運動量源も存在する場合、この新古典輸送理論に基づく解析も大変難しくなり、複雑な数値解析が必要となります。我々の研究室ではこの理論解析に成功し、実験で観測された炭素不純物のフローが、中性粒子ビーム入射による外部運動量源を考慮すれば、新古典輸送理論でおおよそ説明できることを初めて示すことができました。

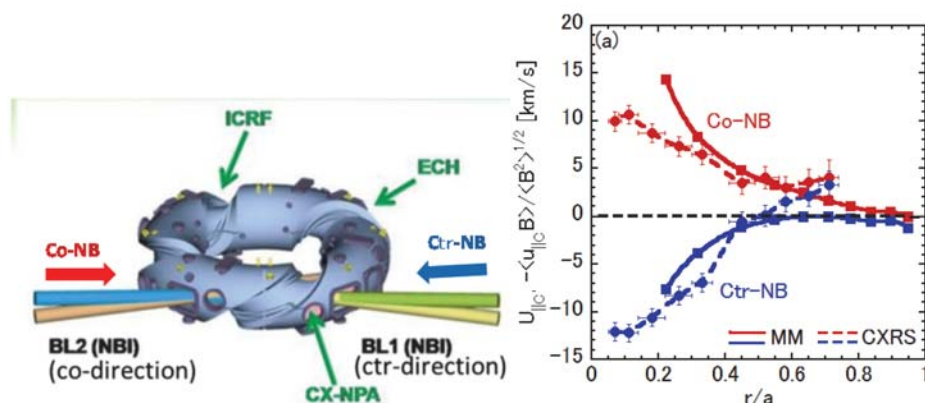


図5：ヘリオトロン J における NBI 加熱プラズマ中の炭素不純物のフロー

た（図5に実験で計測された磁力線方向のフロー（破線）と計算結果（実線）の比較を2ケース示します）。図の赤線はCo方向に中性粒子ビームを入射したとき、青線はCounter方向に入射したときの炭素不純物のフローを表しています。また、閉じ込め磁場配位を変えた場合の結果も解析しており、実験で得られたフローの配位依存性も新古典理論の予測と一致することが分かりました。今後、これらの成果を核融合科学研究所の大型ヘリカル装置（LHD）の実験解析に適用するとともに、その物理メカニズムを明らかにしていく予定です。

4. ヘリオトロンJにおける電子バーンシュタイン波加熱のレイトレーシング解析

磁場閉じ込めプラズマの加熱法は色々ありますが、その中の一つに電子加熱を目的とした電子サイクロトロン波共鳴加熱（ECH）があります。これは電子レンジとよく似た原理を用い、電子サイクロトロン波（ECW）と呼ばれる電磁波をプラズマに入射し、共鳴により電子を加熱する方法です。しかしこの方法は、プラズマ密度がある程度高くなると、電磁波が反射されプラズマ中に入っていかなくなる欠点があります。これを克服する方法として、入射したECWをプラズマ中で電子バーンシュタイン波（EBW）と呼ばれる静電波にモード変換する方法が考えられています。EBWにモード変換することのできるECWは異常波（Xモード）と呼ばれ、これがプラズマ中に伝播するには強磁場側からECWを入射する必要があります。しかし多くの場合、工学的制約のためECWの入射は弱磁場側から行うことが望ましいため、弱磁場側からプラズマ中に入っていける正常波（Oモード）というECWを入射し、プラズマ中でXモードに変換し、さらにこれをEBWにモード変換する方法も考えられており、ヘリオトロンJ装置でもこの方法を用いた加熱実験が計画されています。OモードからXモード、XモードからEBWへのモード変換が起こるためには、それぞれいくつかの条件があるため、それらの条件をすべてクリアし、プラズマ中心領域をうまく加熱するには詳細な理論解析が必要となります。これらの解析には、先に述べた三次元MHD平衡の数値解を用いた数値解析が不可欠です。

ECWの波長はプラズマ中の物理量が空間的に変化する特性長より十分に短いため、多くの場合、幾何光学近似が成り立ち、レイトレーシング（光線追跡）法による数値解析が可能です。そこで、現在ヘリオトロンJにおける電子バーンシュタイン波加熱のレイトレーシング解析を行っています。ヘリオトロンJ装置で閉じ込められるプラズマに対して求めた三次元MHD平衡を用いてレイトレーシング計算を行います。今回考えている加熱法では、OモードからXモードへのモード変換が重要で、うまくレイの入射角度を選ばないとモード変換は起こらず、単にOモードが反射されてレイはプラズマ内部に

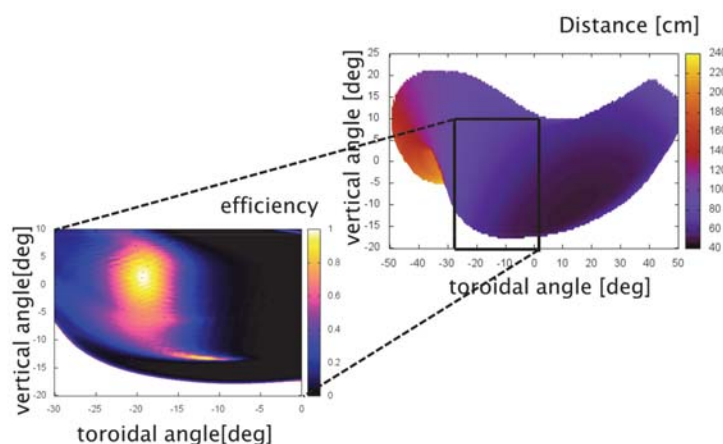


図6：ヘリオトロンJにおけるO-X変換効率分布

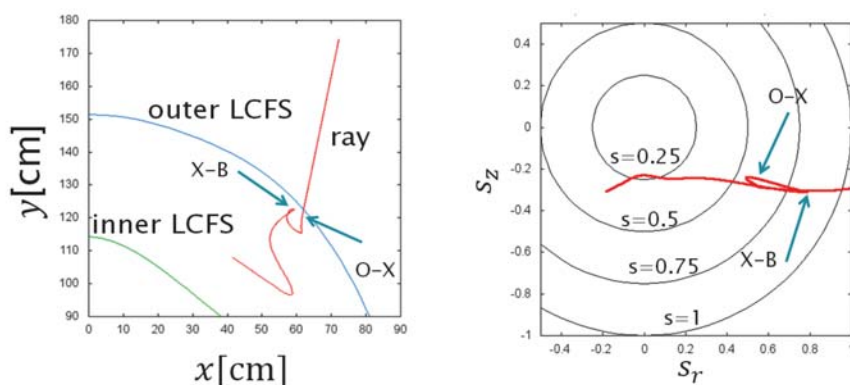


図7：ヘリオトロンJにおけるレイの軌跡
(左：トップビュー、右：磁気座標におけるポロイダル断面)

入らないことになります。図6の右上図はレイの入射点から見たヘリオトロンJプラズマであり、左下図はOからXへの変換効率のカラーマップグラフです。カラーマップにおいて白い、狭い領域がXモードへの変換が可能な入射角を示しています。レイトレーシング計算の結果、この角度で入射すればXモードに変換されたECWが、プラズマ内部領域でさらに電子バーンシュタイン波に変換され、ヘリオトロンJにおいても電子バーンシュタイン波加熱が可能なが示されました。図7に、そのようなレイの軌跡を示します。左図はレイのトップビューを表し、青と緑の曲線で囲まれた領域がプラズマ内部を表しています。右図は、レイの軌跡を磁気座標におけるポロイダル断面に投影した図です。これらの図より、Oモードで入射された電磁波はプラズマに入るとXモードに変換され、さらに電子バーンシュタイン波に変換されたのち、その波のエネルギーはプラズマの中心領域で吸収されることが示されています。これらのモード変換は逆過程も起こるため、プラズマ計測の手段としても有用であると考えられています。

5. おわりに

以上のように、当研究室が非軸対称トーラス・プラズマを対象に取り組んでいる研究内容の一部について紹介させていただきました。参考となる文献を下記に示します。

今後とも、皆様のご指導、ご鞭撻をお願いいたします。

参考文献

- [1] M. Bunno; Y. Nakamura; Y. Suzuki; K. Shinohara; G. Matsunaga; K. Tani, Plasma Science and Technology, **15**, 2 (2013) 115-118.
- [2] M. Bunno, Y. Nakamura, Y. Suzuki, K. Shinohara, G. Matsunaga, K. Tani, Physics of Plasmas, **20**, 8 (2013) 082511.
- [3] M. Bunno; Y. Nakamura; Y. Suzuki; K. Shinohara; G. Matsunaga, Nuclear Fusion, **52**, 8 (2012) 83009.
- [4] Kenji NISHIOKA, Yuji NAKAMURA and Shin NISHIMURA, Plasma and Fusion Research, **9** (2014) 1403145.
- [5] S. Nishimura; H. Sugama; H. Maaßberg; C.D. Beidler; S. Murakami; Y. Nakamura; S. Hirooka, Physics of Plasmas, **17**, 8 (2010) 082510.
- [6] N. Fujita, Y. Nakamura, K. Nagasaki, プラズマ・核融合学会 第29回年会 (2012年11月27日～30日、クローバープラザ (福岡県春日市)) 予稿集 28pA04

産業界の技術動向

世界の空の環境変化と最近の関空の概況

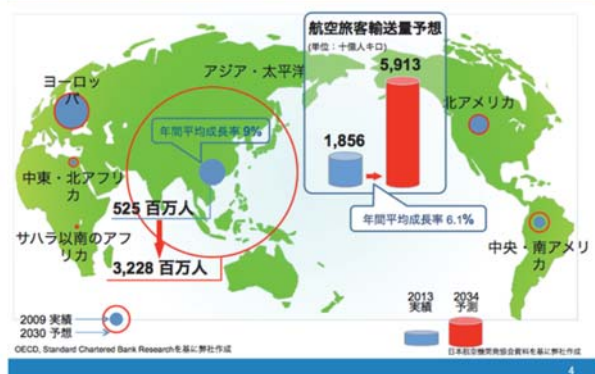
新関西国際空港株式会社 専務取締役
安部 川 信

1. はじめに

現在、世界の航空マーケットにおいて、アジアの発展が著しく、世界の注目を集めている。そこで、本稿では産業界の技術動向から少し離れるが、日本、関西の発展の起爆剤ともなっている中国人を初めとしたインバウンドの原点とも言える空の環境変化と関空の概況について述べてみたいと思う。まず初めに、世界の空港・航空会社を取り巻く環境について述べ、続いて関西空港の最近の概況について述べたいと思う。

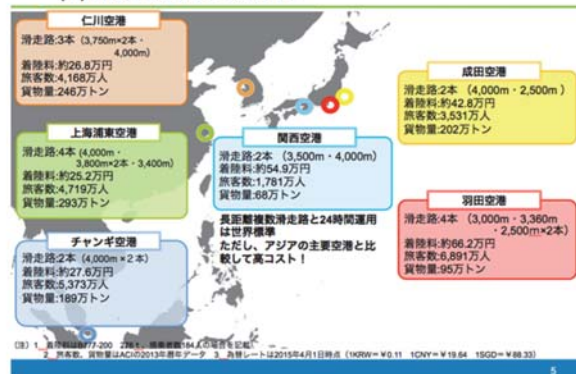
2. 世界の空港・航空会社を取り巻く環境の変化

1. 世界の空港・航空会社を取り巻く環境の変化 (1) アジアにおける中間所得層の拡大によりアジアが最大の航空市場に



といった、航空機を利用して移動する機会が多くなり、航空需要が拡大していくものと考えられる。まさに、これからは、アジアが世界最大の航空市場になると予想される。

1. 世界の空港・航空会社を取り巻く環境の変化 (2) 国内外で激化する空港間競争



まず、航空マーケットの変化であるが、ひと言で言うアアジアが世界最大の航空マーケットになるという事である。左の図の円グラフに示すようにアジアの中間所得層は2009年の5億人から2030年には32億人へと拡大が予想されている。また、世界でどれくらい航空需要が伸びるかと言うと、航空旅客数の予測は、先ほどの比較年と少しずれるが、2013年と2034年比では、中間所得者層の拡大等に伴いアジアの伸びが著しく年平均6%、3倍以上となり、アジアが世界の最大の航空需要になると予想されている。これらの背景には経済の成長やLCCなどの拡大等が考えられる。つまりこれらによりビジネスでの移動や観光

下図は、韓国の仁川空港、上海浦東空港、シンガポールのチャンギ空港、そして関西空港及び成田、羽田の首都圏空港の規模や料金などである。

仁川、上海浦東空港では滑走路が3、4本もあり、4千万人～5千万人超の旅客、また貨物量も200万トンを超すところもあり、また、チャンギ空港では3本目の滑走路の建設に着手している。このように、アジアの主要空港は成長著しいアジアの航空旅客や貨物を取り込もうと、国家戦略としてネットワークの拡大をめざし、滑走路の増設や、着陸料を下げるなど取り組んだ結果、旅客数も貨

物量も日本よりもはるかに大きく伸びている。一方、日本の成田空港と羽田空港の首都圏空港では、この数年で発着容量（空港のキャパシティ）を1.4倍に拡大した。また、成田空港では、先日3本目の滑走路建設の話が報道されている。

1. 世界の空港・航空会社を取り巻く環境の変化

(3) 航空業界再編の構図 ～空港を取り巻く世界の環境～

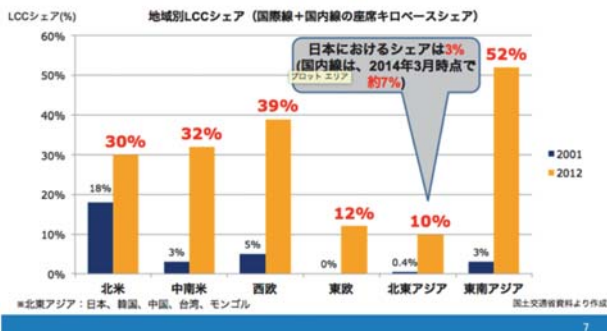


キャリア）が台頭して来ており、ご存知の通り、日本においては2012年3月に国内初の本格的LCCのピーチさんが関西空港を拠点として運航を開始したのを皮切りにジェットスター・ジャパンやバニラエア、春秋航空日本などが続々と就航している。

1. 世界の空港・航空会社を取り巻く環境の変化

(4) 世界のLCC（格安航空会社）のシェアの推移

日本を含む、北東アジアにおけるLCCシェアは10%程度（日本は3%）。一方、欧米、東南アジアは30%以上を占めている。



2. 関西国際空港の概況

(1) 関西国際空港・大阪国際空港の概況

- ・民営化へ向け、関西国際空港と大阪国際空港は2012年7月に経営統合
- ・新関西空港は、都市型空港として高い利便性を持つ大阪国際空港、2本の4,000m級滑走路を有し、完全24時間空港である関西国際空港を運営

KIX	4,000 m 3,500 m		滑走路	3,000 m 1,828 m		ITM
	91	24時間		50	7:00 - 21:00	
	2,005万人 (87%、37%)	14.5万回	旅客数 (国際、国内)	1,462万人 (8%、100%)		
	74.1万トン		発着回数	13.9万回		
			貨物取扱量	13.3万トン		
			定時運航率 (2013年度実績)	93% (世界第2位)		

その一方で、航空業界を取り巻く環境も変化している。

現在、航空業界は、スターアライアンス、ワンワールド、スカイチームという大きく3つのアライアンスに分かれているが、ご覧のように、世界の大きな航空会社でも経営破たんや統廃合を繰り返している。日本においても、2010年の日本航空（JAL）の破たんや、最近のスカイマークなど、厳しい状況となっている。また北陸新幹線の開業など、新幹線の整備が着々と進んでおり、航空業界においては、今まで以上に厳しい競争環境になってきている。またそんな中、LCC（ローコスト

これは2001年～2012年における世界の各地域におけるLCCのシェアの推移を表したものである。欧米では30%以上を占めており、特に東南アジアでは著しい伸びを見せている。一方日本では、ピーチが就航した2012年が日本のLCC元年と言われているが、まだ全体で3%、国内だけ見ても7%にしか過ぎない。LCCは、簡素なサービスのかわりに運賃が安いという新たな価値を生み出すことで既存の旅客を奪うのではなく新たな新しいマーケットをつくり出し旅客を着実に増やしていることがお分かり頂けるかと思う。

3. 関西国際空港の概況

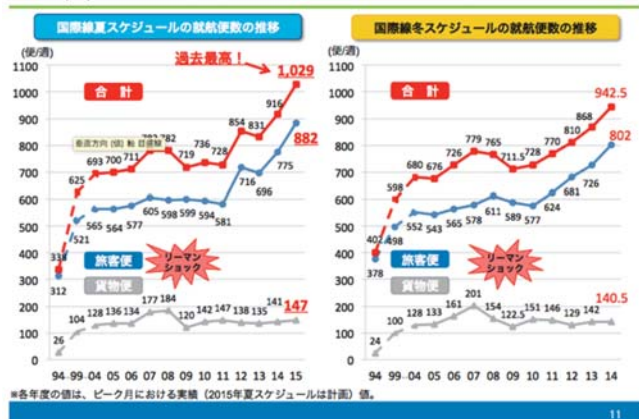
続いて、関西空港と、伊丹空港の概況について簡単にご説明する。KIXとして知られる関西空港は、沖合5Kmに位置しているため、航空機による騒音問題がほとんどない世界で初の本格的な海上空港である。また、日本で最長の4,000mと3,500mという2本の滑走路を有し24時間運用可能な世界標準になった国際空港である。

一方、伊丹空港は、西日本の国内拠点空港で、国内における都市型空港として、効率的で環境や安全にも十分配慮された運用が行われており、大阪の中心部に近いという高い利便性を誇っている。

この後は関西空港の概況について順次ご説明する。

2. 関西国際空港の概況

(2) 関西国際空港における国際線就航便数の推移



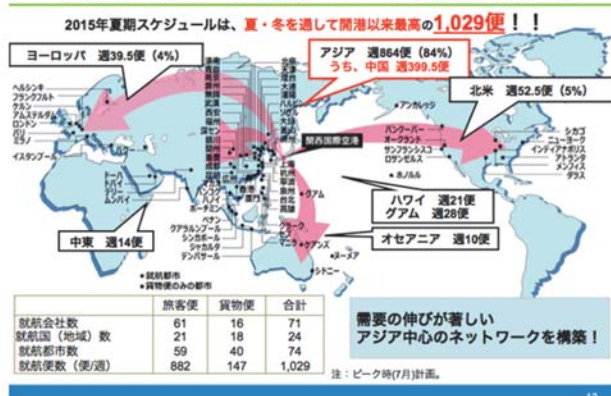
2. 関西国際空港の概況

(3) 関西国際空港における航空旅客数の推移



2. 関西国際空港の概況

(4) 国際線ネットワーク（2015年夏期）～アジアのゲートウェイに～



左図は関西空港の2015年夏ダイヤの便数と2014年冬ダイヤの実績を、1994年からの国際線就航便数の推移と共に表したグラフである。関西空港からの便数については、地元自治体や、経済界の皆様方の多くのご支援を頂き、お陰様でLCC効果やインバウンド効果（外国人旅客数の増加）等により大きく成長している。今年の夏ダイヤでは、夏・冬通じて過去最高の週1,029便と開港来初めて週1,000便を超える計画であったが、夏ダイヤの発表以降、中国、アジアを中心とする多くの新規就航、増便があり、当初の1,029便を大きく超えて、1,100便を超えるものと見込んでいる。

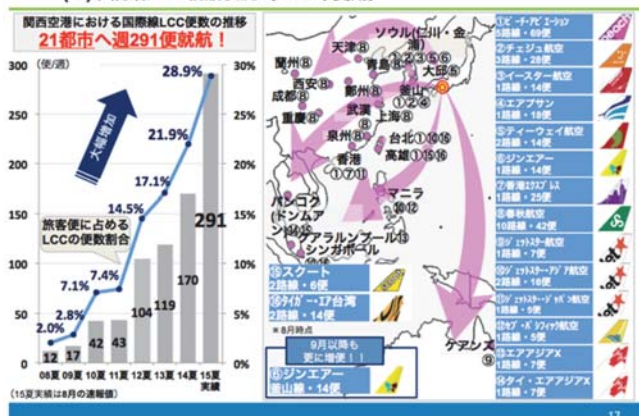
続いて旅客数の推移であるが、2014年度の国際線、国内線合計の旅客数は、2,004万人と14年ぶりに2,000万人を超え、歴代2番目の旅客数を記録した。

その内、国際線をご利用いただいたお客様数は1,352万人と3年連続で前年を上回り、年度として過去最高を記録した。特に、外国人の旅客数は、アジアからの旅客数が大幅に伸び、過去最高の699万人（前年比141%）となり、年度として初めて外国人旅客が日本人旅客数を上回った。

次に、国際線ネットワークについてご説明する。こちらは、先程の2015年夏スケジュールの便数をネットワークとしてご紹介したものである。就航都市数は、24か国地域の74都市、就航エアラインは71社で、方面別で見ると、アジアとは経済的かつ歴史的にもつながりが深く、時間的にも近いという関西空港の特徴を活かし、アジア路線が全体の80%以上を占めている。アジアに強い空港でアジアのゲートウェイとしての位置づけを現在では確たるものにしていく。

2. 関西国際空港の概況

(8) 国際線LCC就航状況 (2015年夏期)



2. 関西国際空港の概況

(9) LCCターミナルの概要

LCCに対するニーズの急速な高まりを踏まえ、第3ターミナルの整備を2013年12月に発表。2016年度中の供用開始に向け、整備を推進!

コンセプトは「機能性・経済性・安全安心」



2. 関西国際空港の概況

(11) FedEx北太平洋地区ハブの開設

FedExがアジアと米国間を輸送する貨物を集約し、仕分け・積み替えを行う新たな拠点「北太平洋地区ハブ」を2014年4月1日にオープン



次に、LCCの就航状況についてご説明する。こちらは、最新の関西空港基点の国際線LCCの就航便数の割合の推移とネットワークを表したものである。関西空港発のLCC就航便数は、2012年に関西空港を拠点とするピーチ・アビエーションが就航したことにより大幅に増え、この2015年国際線夏期スケジュールでは、アジア圏を中心に、現在16社が21都市へ週291便就航しており、全旅客便の28.9%を占め、日本の空港では最大のLCC就航空港となっている。現在、ピーチ、ジェットスター、春秋航空に拠点空港としてご利用いただいている。

LCCについては、お乗りになられた方も多いと思うが、フルサービスエアラインにはない、低運賃で、気軽に、気楽に旅行を楽しむという、新しい旅行スタイル、ライフスタイルを創出している。私共は拠点LCC事業を戦略事業と位置付け、2012年10月に日本で初の本格的なLCC専用ターミナル、第2ターミナルを建設し、その供用を開始した。このターミナル2は、「LCCのビジネスモデルに最適化した本格的な専用ターミナルビル」であり、「安全・安心」「LCCの特徴である機材の高稼働を支える機能性」、そして「エアラインに低コストで使用して頂く経済性」等を重視して、ローコストターミナルビルとして設計した。お客様、特に若い女性のお客様からは、オシャレで利便性が高いとご評価もいただいている。今後、増加するLCC需要に対応すべく、またアジアを代表するLCC拠点空港を目指し、現在、ターミナル3の整備に着手しており、2016年度中の供用開始を予定している。

続いて、当社の航空貨物事業の取り組みについてご説明する。関西空港においては、関西空港の強みを活かし、貨物の24時間ハブ

空港の実現を目指し、貨物事業を成長戦略の大きな柱として位置づけ、その具体的戦略として、集貨、創貨、通貨というコンセプトで取り組んでいる。お陰様で、2014年度の貨物量は前年比110%の74万トンとなった。

少し具体的事例を一つご紹介したいと思う。

通貨の取り組みとして、フェデックスがアジアと米国間を輸送する貨物を集約し、仕分け、積み替えを行う新たな拠点、北太平洋地区ハブを昨年4月にオープンした。この北太平洋地区ハブは仁川空港との誘致競争に打ち勝って誘致に成功したが、これにより、北米ーアジア間の物流が関西空港を中継して輸送される流れができ、地元企業の国際競争力の向上にも貢献できたのではないかと考えている。

2. 関西国際空港の概況 (14) 経営概況



最後に、当社の経営概況を簡単ではあるが、ご報告させていただく。2014年度の当社の連結決算については、関西空港の航空機発着回数、国際線の旅客数とも過去最高となり、商業事業を中心に増収となった。また、OATグループとの統合もあり、全体の営業収益は270億円増の1538億円（前年比121%）営業利益は116億円増の443億円（前年比136%）と、大幅な増収増益となっている。以上、簡単ではあるが、関西空港の概況を述べさせて頂いた。

4. おわりに

本稿では、産業界の技術動向から少し離れ、最近の空の状況と関空の現況について述べさせて頂いた。今後は、インバウンド旅客の急増によりいくつかの課題はあるものの2020年の東京オリンピック・パラリンピックに向けて今のインバウンドに誘発された景気は今後も続くかと思われる。ただ、ここで述べたように2020年以降についても、アジアの成長を考えると、観光を中心にインバウンドのマーケットはまだ大きく広がって行くと考えられる。

日本全体としては、観光立国として、ホテル問題、アクセス問題等々と当面の課題の解決が急務かと思われる。

また、当社すなわち関西空港としても、少し述べさせて頂いたように、現在中国に軸足を置いた営業政策をとっているが、カンントリーリスク等も踏まえ、フィリピン、インドネシアを初めとする中国以外の東南アジアの国々やタイ、台湾等への積極的な誘致活動、プロモーション等による相手国へのアプローチが当面解決すべき大きな経営課題ではないかと考えている。

※参考文献 関空調査会「関西圏における訪日旅客への取り組みと関空への期待」

新設研究室紹介

電子工学専攻 電子物性工学講座 電子材料物性工学分野（山田研究室）

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

「有機分子・バイオ系材料の高分解能構造・物性評価およびその新規物性探索」

われわれの研究室では、新機能材料として期待されている有機分子・バイオ系材料に注目し、これら材料のナノスケール構造・物性評価および新規物性探索を中心に研究を進めています。また、原子・分子スケールでの物性研究に必要不可欠となる走査型プローブ顕微鏡（SPM）による物性・機能可視化技術の開発にも力を入れています。具体的には以下のような研究を行っています。

（1）ナノ構造・物性・機能を可視化する SPM を用いた新規計測法開発

近年、SPM とりわけ周波数検出型原子間力顕微鏡（FM-AFM）技術は飛躍的に発展し、測定空間分解能、信号感度は大幅に向上しました。こうした FM-AFM の発展により、真空中、ガス中、液中などあらゆる環境での高分解能計測が可能となり、半導体等の電子素子の局所電子物性評価はもちろんのこと、燃料電池やリチウムイオン電池などの電極界面反応の *in-situ* 評価など、その測定対象の範囲は大きく広がりつつあります。現在、測定試料表面上の全 3 次元相互作用力を計測する 3 次元フォースマッピング法を開発し、新規のナノ物性探索への応用に向けて研究を進めています。

（2）超高密度分子メモリ等のナノスケール素子、有機電子材料による高機能素子の研究開発

有機分子がもつ電気双極子や局在電荷は、有機電子素子における界面キャリア注入やキャリア伝導における支配要因となっており、素子性能に直接影響を与えます。従って、素子内の分子の局所電荷や電位分布を評価し、その制御に結びつけることは本質的に重要となります。われわれは、SPM の一つであるケルビンプローブフォース顕微鏡（KFM）を用いることで、素子内電位／電荷分布をナノメートルスケールで計測し、分子配向と電位分布との関係を明らかにしています。さらに、これらの知見から、分子を配向制御することによって素子内電荷分布を制御することが可能であることが分かり、今後のデバイス性能の向上につなげるよう研究を進めています。

（3）生体高分子を用いた、新規バイオセンサーなどバイオナノデバイス開発に向けた先端研究

前述したように、FM-AFM 技術の急速な発展に伴い、液中環境においても個々の生体分子の直接観察が可能となり、生機能の発現する生理環境下での生体分子の挙動を明らかにすることができるようになりました。さらに現在、生体分子構造とその機能情報を分子レベルで識別し、（疑似）細胞膜上でのさまざまな分子機能を直接可視化する、新たな分子機能イメージング法が確立されつつあります。生体分子の分子認識機能および自己組織化過程を解明することで、これら分子認識性、自己組織性を利用した新たなバイオナノデバイスの構築を目指して研究を進めています。

（4）ナノスケール固液界面に関する研究

電解質中の電極などの固体表面上に形成される電気二重層は、電極近傍のイオン伝導や電極上の表面電荷密度と直接に関連していることから、電気二重層の微視的構造・性質を探ることは、各種電池における電極や電気二重層キャパシタなど固液界面系における電気化学的挙動を理解する上で必要不可欠なこととなります。われわれは、新たに光熱励振型 FM-AFM を開発し、分子スケールで定量的な電気二重層力計測を可能にしました。これによって、高性能燃料電池やリチウムイオン電池などの電極界面反応の *in-situ* ナノスケール評価への応用が可能となり、新たな固液界面計測へと研究を展開しています。

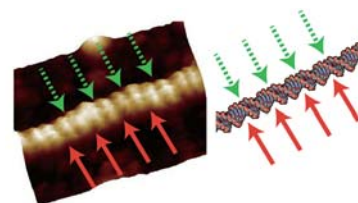


図1 FM-AFMにより得られた、溶液中の DNA 二重らせん構造の直接観察像。右の模式図は、DNA 分子モデルを示す。実線および破線矢印は、各々二重らせんに沿って存在する主溝および副溝を示す。

研究室紹介

このページでは、電気関係研究室の研究内容を少しずつシリーズで紹介して行きます。今回は下記のうち太字の研究室が、それぞれ1つのテーマを選んで、その概要を語ります。

(☆は「大学の研究・動向」、#は「高校生のページ」、*は「新設研究室紹介」に掲載)

電気関係研究室一覧

工学研究科 (大学院)

電気工学専攻

先端電気システム論講座 (引原研)

システム基礎論講座自動制御工学分野 (萩原研)

システム基礎論講座自システム創成論分野

生体医工学講座複合システム論分野 (土居研)

生体医工学講座生体機能工学分野 (小林研)

電磁工学講座超伝導工学分野 (雨宮研)

電磁工学講座電磁回路工学分野 (和田研)

電磁工学講座電磁エネルギー工学分野 (松尾研)

電子工学専攻

集積機能工学講座

電子物理工学講座極微真空電子工学分野 (白石研)

電子物理工学講座プラズマ物性工学分野 (竹内研)

電子物性工学講座半導体物性工学分野 (木本研)

電子物性工学講座電子材料物性工学分野 (山田研) *

量子機能工学講座光材料物性工学分野 (川上研)

量子機能工学講座光量子電子工学分野 (野田研)

量子機能工学講座量子電磁工学分野 (北野研)

光・電子理工学教育研究センター

ナノプロセス部門ナノプロセス工学分野 (高岡研)

デバイス創成部門先進電子材料分野 (藤田研)

情報学研究科 (大学院)

知能情報学専攻

知能メディア講座言語メディア分野 (黒橋研)

知能メディア講座画像メディア分野 (松山研)

通信情報システム専攻

通信システム工学講座デジタル通信分野 (原田研)

通信システム工学講座伝送メディア分野 (守倉研)

通信システム工学講座知的通信網分野

集積システム工学講座情報回路方式分野 (佐藤高研)

集積システム工学講座大規模集積回路分野 (小野寺研)

集積システム工学講座超高速信号処理分野 (佐藤亨研)

システム科学専攻

システム情報論講座論理生命学分野 (石井研)

システム情報論講座医用工学分野 (松田研)

エネルギー科学研究科 (大学院)

エネルギー社会・環境科学専攻

エネルギー社会環境学講座エネルギー情報学分野 (下田研)

エネルギー基礎科学専攻

エネルギー物理学講座電磁エネルギー学分野 (中村祐研) ☆

エネルギー応用科学専攻

エネルギー材料学講座エネルギー応用基礎学分野 (土井研)

エネルギー材料学講座プロセスエネルギー学分野 (白井研)

エネルギー理工学研究所

エネルギー生成研究部門粒子エネルギー研究分野 (長崎研)

エネルギー生成研究部門プラズマエネルギー研究分野 (水内研)

エネルギー機能変換研究部門複合系プラズマ研究分野 (佐野研)

生存圏研究所

中核研究部

生存圏診断統御研究系レーダー大気圏科学分野 (山本研)

生存圏診断統御研究系大気圏精測診断分野 (津田研)

生存圏開発創成研究系宇宙圏航行システム工学分野 (山川研)

生存圏開発創成研究系生存科学計算機実験分野 (大村研)

生存圏開発創成研究系生存圏電波応用分野 (篠原研) #

国際高等教育院

教養教育部 (小山田研)

学術情報メディアセンター

教育支援システム研究部門遠隔教育システム研究分野 (中村裕研)

システム基礎論講座 自動制御工学分野（萩原研究室）

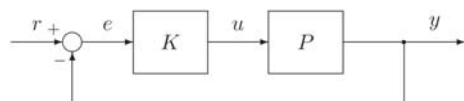
<http://www-lab22.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

「半正定値計画問題の解析解の導出による制御系の性能限界解析」

数理工学的手法に基づいた制御系設計においては、与えられた制御対象に対して制御目的の満足度を定量的に表すための評価関数を導入し、この評価関数を最小（最大）にする制御器を設計する。制御系設計の一例として、図で表される 1 入出力で線形時不変の制御対象 P に対するフィードバック制御系を考えよう。 K は設計すべき線形時不変の制御装置を表している。図における目標値 r から制御偏差 e までの閉ループ伝達関数は感度関数とよばれており、この関数の大きさ（ H_∞ ノルム）が小さいほど目標値追従が良好という意味で望ましいといえる。感度関数に関する性能限界解析問題とは、線形時不変の制御装置 K を適切に設計することにより感度関数の H_∞ ノルムをどこまで低減できるかを、制御対象 P の特徴量を用いて解析的に表現することを問う問題である。

性能限界を解析する問題は、フィードバック制御によって制御性能をどこまで高めることができるかという制御の本質を問う問題であり、複素解析などの手法により古くから研究が盛んである。上記の感度関数の性能限界に関する研究成果も得られており、制御対象 P が不安定零点として 1 位の z のみを、不安定極として 1 位の p のみを持つ場合には、性能限界が $|z+p|/|z-p|$ で表されることなどが示されている。しかし解析解を探索するアプローチには限界があり、感度関数とは異なる様々な閉ループ伝達関数の取り扱いや、制御対象が高位の不安定零点・極を有する場合の扱いは難しいことが知られている。一方、計算機性能の飛躍的な向上にともない、1990 年代以降、制御分野において数値計算の利用を前提とした制御理論が大きく発展した。制御における解析・設計問題を凸最適化問題に帰着させ、数値最適化によって解（制御性能の最適値や最適な制御装置のパラメータ）を求めるというものである。とくに制御分野の問題は半正定値計画問題（Semidefinite Programming Problem, SDP）と親和性が高く、解析的な求解が困難であった多くの問題を SDP に帰着させることで数値解を得ることができるようになった。個々の制御系設計問題に対しては、SDP を解くことで性能限界を数値的に求めることが可能になったのである。

しかしながら、数値最適化に頼る方法では、制御対象のどのような性質（極・零点の配置、ゲイン・位相特性など）が着目する制御性能に密接に関連するのかを把握することが難しい。また、数値最適化には必ず計算誤差がともなうため、数値最適化による計算結果を厳密な性能限界として採用することには不安も残る。このような背景のもと、当研究室では制御系設計において現われる SDP を“解析的に解く”ための数学的手法に関する研究を行っている。詳細は省略するが、制御系設計において現われる標準的な SDP の Lagrange 双対問題を考え、制御対象の極や零点の情報を用いて双対許容解（可能であれば双対最適解）を具体的に構成するというものである。この手法により、例えば制御対象 P が不安定零点として 2 位の z のみを、不安定極として 2 位の p のみを持つ場合の感度関数の H_∞ ノルムに関する性能限界の下界値を、 z と p の関数として解析的に導出している。表に、この条件を満足する様々な制御対象に対して SDP による数値解と解析的表現による下界値を求めた結果を表しているが、両者はよく一致しており、提案手法により性能限界を表現できていることがうかがえる。SDP の解析解の導出に関する研究は情報幾何の分野と密接に関連することが知られており、本研究の先には深淵な数学の世界が広がっていると思われる。



図：フィードバック制御系

表：SDP による数値解と解析的表現による下界値

	数値解	下界値
制御対象 1	9.736022	9.736022
制御対象 2	44.494947	44.494947
制御対象 3	8.384446	8.384446

生体医工学講座 複合システム論分野（土居研究室）

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

1 型糖尿病患者の食事に対する血糖値変化モデルの研究

1 型糖尿病は、血糖値を下げるホルモンであるインスリンの分泌機能を失うことが原因で高血糖状態となる病気です。1 型糖尿病患者は生命維持のためにインスリンの投与が必要ですが、血糖値を適切な範囲まで低下させられないと脳血管障害、心筋梗塞、神経障害などのさまざまな病気を引き起こすことになり、また低血糖になると死に至る可能性があります。インスリン投与は食事時を含めて日に数回行われますが、とくに食後の血糖値変化は大きく、また食事内容によって異なるため、インスリンの適切な投与量を決めるのは容易ではなく、患者にとって大きな負担となっています。従来食事時のインスリン投与量は主に摂取する炭水化物量に基づいて決定されていましたが、この方法では正確な血糖値調整が行えないので、われわれは食事内容にあわせたインスリン投与を可能とするため、食事内容に基づいて食後の血糖値変化を精確に求められるモデルの研究を行っています。

まず、血糖値変化に直接的な影響のある炭水化物中心の食事について血糖値変化を精確に表せるモデルを構成しました [1]。このモデルは、図 1 のように炭水化物の消化・吸収モデル、皮下投与インスリンの血中への移動モデル、およびグルコース・インスリン代謝モデルの三つからなり、とくに炭水化物の消化・吸収モデルの部分は、図 2 のように炭水化物量とその種類、グリセミック指数 (GI) と呼ばれる血糖値上昇への影響の大きさから決まる実効グルコース量と吸収の速さ、および胃内容排出の遅れを考慮に入れて、食事内容による血糖値変化の違いを表せるようにしました。その結果、図 3 のようにさまざまな食事に対する血糖値変化を精確に表せるモデルを構築できました。

また、食事に含まれる脂質や蛋白質も血糖値変化に影響を及ぼすことがわかってきています。大きな影響としては、脂質についてはインスリンの効果の低下と血糖値上昇の遅れが、蛋白質については血糖値を上昇させるグルカゴンというホルモンの分泌促進による血糖値上昇があります。そこで、これらを考慮に入れた血糖値変化のモデルの検討も進めています [2, 3]。以上のように、精確な血糖値変化のモデルを構成することでより精確な血糖値の予測を可能とし、さらには食事時に望ましい血糖値制御を行えるシステムの開発につなげていきたいと考えています。

参考文献

- [1] C. C. Yamamoto Noguchi, et al.: SICE JCMSI, 7-6, 314/320 (2014)
- [2] 國兼ほか: SCF 15, 115-5 (2015)
- [3] C. C. Yamamoto Noguchi, et al.: IEEE EMBC 2015, 8058/8061 (2015)

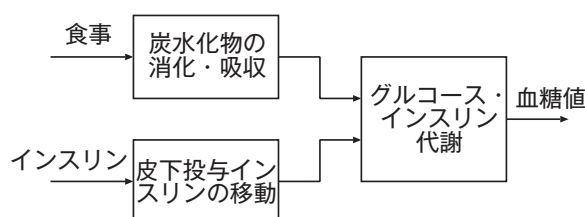


図 1 1 型糖尿病患者の糖代謝モデル

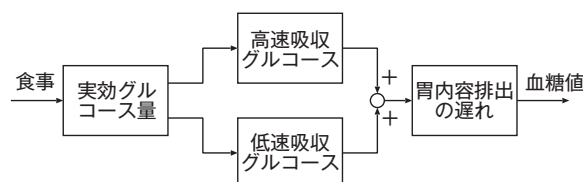


図 2 炭水化物の消化・吸収モデル

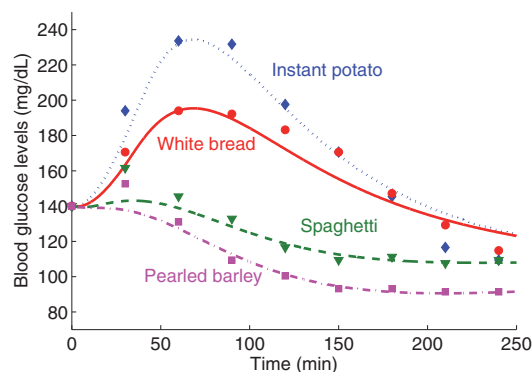


図 3 グリセミック指数の異なる食事に対する血糖値変化（点は測定値、線はモデル出力）

生体医工学講座 生体機能工学分野（小林研究室）

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

「機能的 MRI に向けた神経磁場計測法の検討」

ヒトの脳機能を計測する手法として、BOLD 効果を用いた機能的 MRI (fMRI) が広く用いられているが、脳神経細胞が賦活する際に生じる血行動態の変化を捉えるため、実際の脳活動よりも広範な領域を賦活部位として検出することが知られている。それゆえ、脳活動をより直接的に計測するための手法として、脳神経磁場を計測する fMRI (NMFD-fMRI) の実現が期待されている。当研究室ではスピロック撮像法による NMFD-fMRI について検討を進めている。スピロック撮像法は、スピロックパルスと撮像対象に生じる神経磁場との共鳴現象による MR 信号の変化を捉える手法である [1, 2, 3]。

図 1 に示すのが、スピロック撮像法のシミュレーション結果であり、上段が実験室座標系、中段が回転座標系における磁化の挙動、下段が磁化の z 軸方向成分の時間変化である。MR 信号は磁化の z 軸方向成分に依存するが、 z 軸方向に神経磁場がある場合、神経磁場がない場合と比べて MR 信号強度が低下するため、これにより脳の賦活部位を検出することができる。

図 2 に 7T-MRI 装置でスピロック撮像法を行った結果を示す。撮像対象には、生理食塩水を満たしたループコイルファントムを用いた。磁場が印加されている場合は、されていない場合に比べてループコイル内の信号強度が低下している。我々は、この手法を用いて 0.2 nT 程度の磁場や、ダイポールファントムに生じる磁場を実験的に検出することに成功している。実際の脳神経磁場は大きさが約 0.1 ~ 1 nT で、周波数が数 Hz ~ 数百 Hz であるので、本研究の結果はスピロック撮像法の脳神経磁場計測への有用性を示すものであるといえる。

本手法では、通常の fMRI で利用される BOLD 効果がノイズとなるため、それを抑制することが必要となってくる。BOLD 効果は静磁場強度が大きければ大きいほど強くなるため、低磁場 MRI で行われることが望ましい。そこで、今後我々は 0.3T-MRI を用いて、さらにこの手法の研究を進めていく予定である。

参考文献

- [1] S. Nagahara, M. Ueno and T. Kobayashi, Adv. Biomed. Eng. **2**, 63-71 (2013).
- [2] 上野、伊藤、小林、電子情報通信学会技術報告 **114** (361), 27-32 (2014).
- [3] 小林、VISION **27** (2), 73-79 (2015).

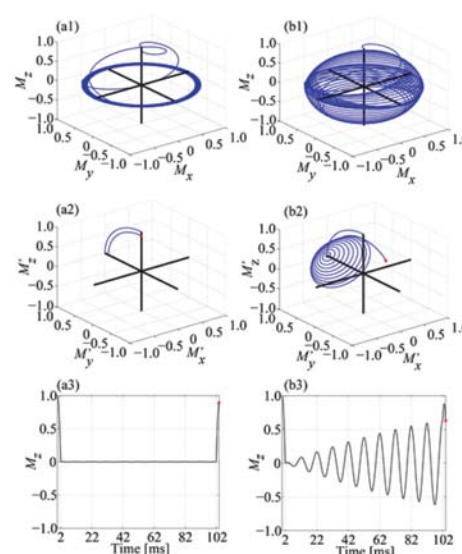


図 1. スピロック撮像法のシミュレーション結果。(a) 神経磁場がないとき。(b) 神経磁場があるとき。

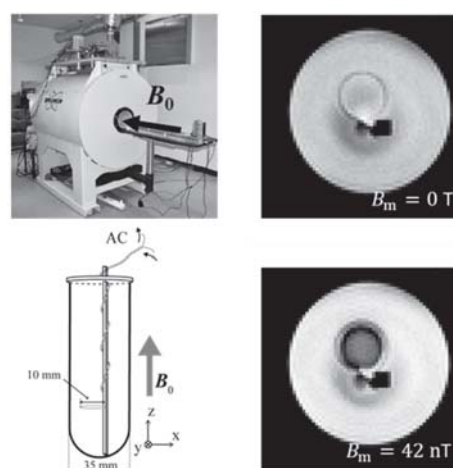


図 2. 撮像実験に用いたファントムとスピロック周波数が 100 Hz のときの撮像結果。

電磁工学講座 電磁回路工学分野（和田研究室）

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

「高速高周波回路のモデル化と設計法：電子回路の電磁妨害耐性（イミュニティ）」

最近、自動車の衝突防止システムや自動運転システムなどが注目を浴びています。これは、従来のエンジンの電子制御系やエアバッグなどの電気電子制御の安全装置に加えて、たくさんのセンサー系や信号処理・情報処理システムを組み合わせ、メカ（機械）系と電気電子回路・機器系およびデータ処理系の連携による複座なシステムにより構成されています。これらのシステムにとっては、安全性・信頼性の確保が非常に重要な課題となります。たとえば、自動車の外部からレーダーの電波などの意図的な電磁波が飛び込んできたとき、センサー系や信号処理系がこの電磁波に反応して正常ではない出力を出してしまったとすると、もはやシステム全体がどんな応答をするのか分からなくなり、安全性が保たれなくなります。

つまり、複雑なシステムが実際の環境の中で正常かつ安全に動作するためには、周辺の環境に影響されない安定した動作が要求されます。これはもちろん、真夏の高温や真冬の低温の環境でも動作する、という従来の環境安全性能も含まれますが、最近は様々な電波を利用する電子機器が多数使用されており、自動車自体も電波を発して周辺の環境を観測して運転に活用し、また「意図的な電磁放射」では無くても電気自動車の充電用の「無線電力伝送（Wireless Power Transfer）システム」や太陽光発電の電力を利用するための「パワエレ（Power Electronics）システム」など「非意図的な高周波電磁波」を発する機器・システムがたくさんあります。これらの高周波を利用するシステムが多数存在する環境の中で安全かつ安定した動作を保証する性能が、「電磁妨害耐性」です。通常、電気電子系の専門的用語としては、医療分野での病原菌などに対する免疫・耐性（Immunity）という言葉を用いて、電磁妨害に対する「イミュニティ」とカタカナで呼びます。

例えば図1のような自動車の電子制御ユニットやセンサーなどに対しては、国際規格としてイミュニティへの要求があり、その規格を満足する機器・システムのみが使用できる、ということになります。したがって、これらの機器・システムの設計者は、「イミュニティ特性を満足する」ことを確認して設計を行う必要があります。現在までの技術では、このイミュニティ特性には電子部品や回路基板・ケーブルなどの様々な構成要素の特性が影響を与えるため、設計時に十分な性能を確保できているかどうかを確認する手法が確立されておらず、実測に頼っている部分があります。当研究室では、このイミュニティ特性（電磁耐性）を評価するための、回路素子や制御ユニットなどの特性のモデル化と、これを用いて信頼性のある回路・システムを設計するためのシミュレーションに基づいた設計手法の確立を目標とした研究をおこなっています。たとえば、図2は電子制御ユニットなどに良く使用される直流電圧安定回路（Voltage Regulator）ICの電磁耐性（出力電圧変動 $\pm 2\%$ ）の測定結果と、回路素子モデルを用いたシミュレーション結果の比較を示しています。この例では50~100MHz 近辺では比較的低い（10 数 dBm の）高周波電力の入力により出力変動が起きており、シミュレーションにより正しく再現・評価できています。

[1] T. Matsushima, 他, "Macro model of LDO voltage regulator for estimation of immunity to conducted disturbance," IEICE technical report, vol.115, no.114, EMCJ2015-30, pp.73-78, June 2015.

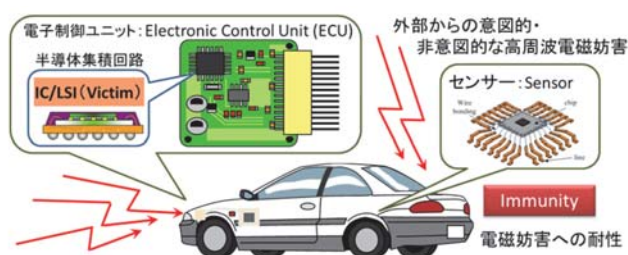


図1：外来の高周波電磁妨害に対する電子回路・機器の耐性(Immunity)

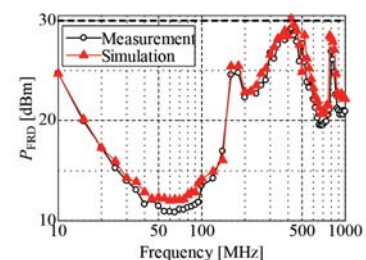


図2：電磁耐性の評価例(定電圧 IC)

電子物理工学講座 応用量子物性分野（竹内研究室）

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

「超広帯域共鳴波長可変ナノ光ファイバ共振器へのナノ発光体の高効率結合」

光は、光子の集まりで出来ています。近年、この光子を自在に制御することで、盗聴不可能な通信を実現する量子暗号通信や、既存のコンピュータでは解けない問題を解く量子コンピュータの実現に向けた研究が進められています。そこで鍵となるのが、光子を制御するためのデバイスです。特に、人工原子などの単一発光体から発生した光子を、光子の通路である単一モード光ファイバへと結合することは非常に重要な課題でした。

我々は以前、単一モード光ファイバの一部を直径 300nm まで引き延ばしたナノ光ファイバの表面に単一発光体を付着させることで、発生した光子を 7.4% 以上の効率で、光ファイバに結合させることに成功しました。また、ナノ光ファイバに光共振器を組込むことで、結合効率をさらに高めることが可能なことを理論的に提案してきました。

今回、我々は、ナノ光ファイバ上に、集束イオンビーム装置を用いて周期構造を作製、図 1 に示すように共振器構造を組込んだナノ光ファイバブラッグ共振器 (NFBC) を実現しました [1]。また、NFBC に加える張力を調整するだけで、従来の固体微小共振器では困難だった可視光領域で 20nm を超える超広帯域共鳴波長制御を実現できることも見出しました。さらに、NFBC の共振器部分に、単一発光体として量子ドットを付着させることで、図 2 に示す通り、共振器の共鳴波長において、発光強度を 2.7 倍に増強させることに成功しました。この成果から、共振器の共鳴波長にのみ発光する単一発光体を用いた場合、発生する光子の 50% 以上を単一モード光ファイバへと結合できると推定されます。さらに、この効率は、共振器の性能を高めることにより、理論上 100% へと近づけることも可能です。

本研究は、量子暗号通信や光量子コンピュータなどの実現にむけた最大のボトルネックである、100% に近い効率で光子を発生する、オンデマンド単一光子源の実現に向けた大きなステップになると考えられます。

[1] A. W. Schell, H. Takashima, S. Kamioka, Y. Oe, M. Fujiwara, O. Benson and S. Takeuchi, “Highly efficient coupling of nanolight emitters to a ultra-wide tunable nanofiber cavity”, Scientific Reports, **5**, 9619 (2015).

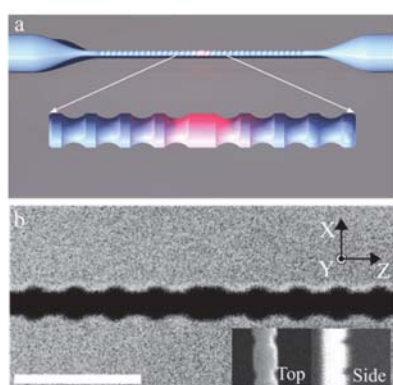


図 1 実現した NFBC。a. 模式図 b. 走査イオン顕微鏡 (SIM) 像。白い線は 1 μ m。ナノ光ファイバの直径は 270 nm。溝の深さと周期は、それぞれ、45 nm と 300 nm。

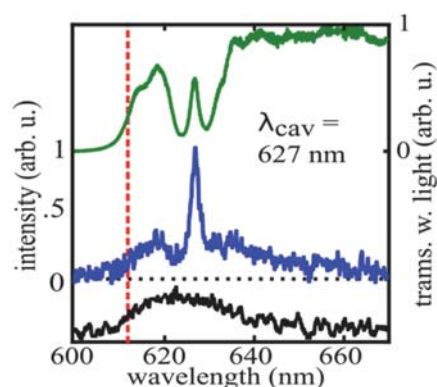


図 2 単一発光体からの発光スペクトル。光ファイバからの出力(青)には、共振器の共鳴波長(緑色線の窪みの中のピーク)に対応した波長で、顕微鏡による検出(黒)にはない鋭い増強ピークが存在する。

電子物性工学講座 半導体物性工学分野（木本研究室）

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

「Ge ナノワイヤの正孔移動度に関する理論的検討」

Si MOSFET を核とした LSI 微細化・高集積化の限界を突破するために、新しいチャネル材料や新規デバイス構造が研究されています。材料に関しては、電子、正孔共に Si より 2 倍以上の高い移動度を有し、かつ Si プロセスとの親和性に優れた Ge が有望です。また、デバイス構造に関しては、ゲートでチャネル側壁を覆ってチャネルの静電制御性を高めるナノワイヤ（量子細線）MOSFET（図 1）が有力と考えられています。したがって、これらを組み合わせた Ge ナノワイヤ（NW）MOSFET は、短チャネル化に強く高いオン電流を達成できると期待されています。しかしながら、ナノワイヤは量子閉じ込め効果によりエネルギーバンド構造がバルク状態から著しく変化するため、有効質量や移動度がナノワイヤの形状や方位に大きく依存することが分かっています。したがって、特に Ge ナノワイヤにおけるキャリア輸送特性の理論モデルを構築し、デバイス作製の指針を与えることが重要です。

本研究では、原子論的アプローチにより Ge ナノワイヤの電子状態とフォノン分散を計算し、正孔-フォノン相互作用や表面ラフネス散乱の影響を考慮して低電界における正孔移動度を算出し、そのナノワイヤ形状・方位依存性を明らかにしましたので紹介いたします。

Ge ナノワイヤのエネルギーバンド構造は最近接 $sp^3d^5s^*$ 強束縛近似法、フォノンの分散関係は原子価力場モデルを用いて計算しました。次に、正孔-フォノン相互作用ハミルトニアンを求め、フェルミの黄金律により正孔の散乱確率を算出しました [1]、この後、ボルツマン輸送方程式を低電界、室温下で解くことで、正孔移動度を求めました。表面のラフネス散乱 (SRS) については、典型的な相関長と粗さを考慮し、そのラフネス形状に応じたポテンシャルの摂動を取り込むことで計算しました [2]。なお、本計算には全て自作の計算プログラムを用いています。断面形状や結晶方位の異なる様々な Ge ナノワイヤについて移動度を計算し、その依存性を調べました。なお、計算したナノワイヤの断面サイズは約 2~10nm です。

図 2 に、(a) フォノン散乱のみ、(b) フォノン散乱とラフネス散乱を考慮した場合の移動度のナノワイヤ形状（幅）依存性を示します。断面形状が正方形に近い場合は [111] ナノワイヤ、長方形の場合は [110] ナノワイヤが高い移動度を示すことが分かりました。これは、量子閉じ込めによる価電子帯構造と有効質量の変化で説明できます。次に、実際の素子で重要となるラフネス散乱の影響に着目すると、フォノン制限移動度の高いナノワイヤほどラフネス散乱の影響が小さく、高い移動度を維持できることが分かりました。移動度の高いナノワイヤでは、輸送方向の p 軌道の寄与が大きく、この方向の有効質量が小さいのに対して、閉じ込め方向（輸送方向と垂直）の有効質量が重くなるためにラフネスによるポテンシャル揺らぎが低減されるからであると解釈できます。当グループでは Ge ナノワイヤの電子移動度の計算も行っており [1]、 n チャネル、 p チャネルデバイスで高い移動度を示す Ge ナノワイヤの方位と形状がほぼ共通であることも見出しています。

[1] H. Tanaka et al., IEEE TED, **61**, 1993 (2014). [2] H. Tanaka et al., IEEE Silicon Nanoelectronics Workshop, 3-5 (2015).

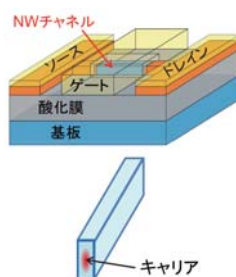
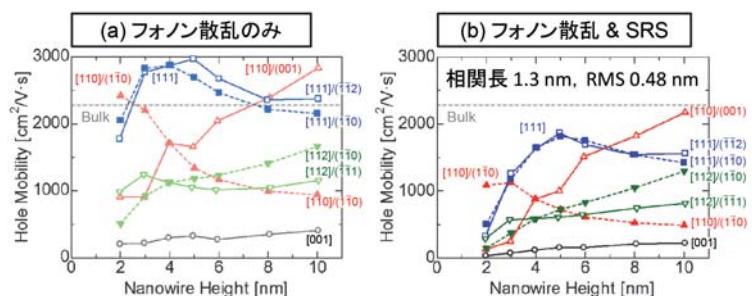


図 1 ナノワイヤ MOSFET の模式図

図 2 Ge ナノワイヤの正孔移動度の形状・方位依存性
(a) フォノン散乱のみ、(b) フォノン散乱+ラフネス散乱

量子機能工学講座 光量子電子工学分野（野田研究室）

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

「単一モード高出力フォトニック結晶面発光レーザー」

半導体レーザーはその誕生以来これまでに、波長域の広帯域化や応答速度の高速化などの波長軸、時間軸における目覚ましい性能向上が成し遂げられている。その結果、情報通信・光記録分野を中心に広く利用され、社会に大きく貢献している。今後は製造、医療、生命化学といった分野への展開も期待されるが、そのような応用においては、従来は十分に進んでいなかった光出力を軸とした研究開発が鍵となる。一般に半導体レーザーの出力は、その光出射面の面積に比例して最大値が決まる。しかしながら、従来の半導体レーザーでは、出射面積拡大に伴って高出力時の横モードが多モード化して出射光ビームの品質が低下するため、集光したときのスポットサイズが拡大してしまい、製造加工分野等の高い光密度を要求する分野への応用に不向きという問題があった。

1999年に我々はビーム品質の劣化を最小限に抑えつつ高出力化が可能なフォトニック結晶を用いた新規なレーザの基本概念を提案し、その基本動作の実証に成功した。その後、デバイス物理の詳細な理解、性能向上へのフィードバック、出力ビームの形状・偏光の制御、様々な波長への展開、ビーム操作機能の付与といった、様々な可能性・機能性を次々に実現してきた。さらに今回、図1に示す再成長によるフォトニック結晶構造の埋め込み、直角三角形穴形状のフォトニック結晶の採用、穴形状の立体的制御等を組み合わせることにより、図2(a)に示すような室温連続条件において1.5Wというワット級の出力を達成することに成功した。図2(b)のスペクトル特性から、単一波長で動作していることも分かる。また、図2(c)には様々な駆動電流における遠視野像を示している。電流を増やすと僅かながらビーム広がり角の増大が見られるが、それでも3度以下という狭放射角の動作が得られていることが分かった。なおビーム品質の指標である M^2 は出力0.5W程度までは1.0であり、非常に高いビーム品質が得られている。このような半導体レーザにおける高ビーム品質かつワット級動作の実現は、加工製造分野への応用に向けた重要な礎となる成果であるだけでなく、波長変換、光励起、バイオ、分析などの幅広い分野へも応用の裾野が広がるものと考えられる。

参考文献：K. Hirose, Y. Liang, Y. Kurosaka, A. Watanabe, T. Sugiyama, and S. Noda, “Watt-class high-power, high-beam-quality photonic crystal lasers,” *Nature Photonics* **8** (2014) 406.

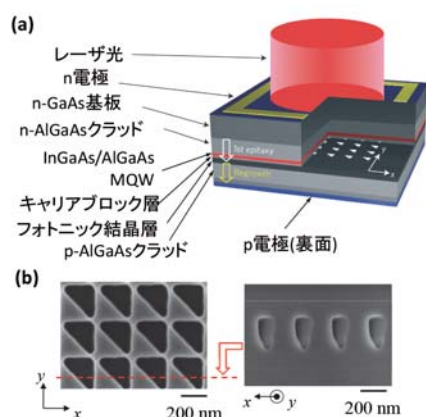


図1：高出力フォトニック結晶レーザーの構造

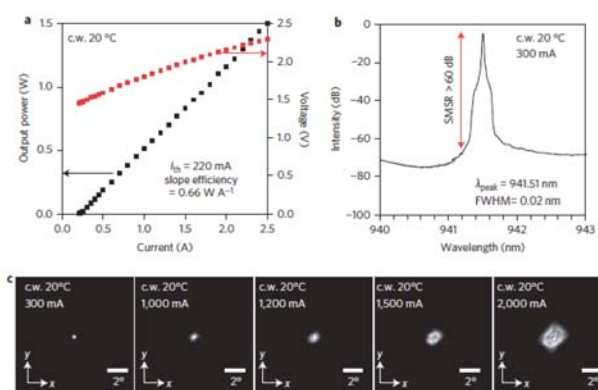


図2：レーザー発振特性

量子機能工学講座 量子電磁工学分野（北野研究室）

<http://www-lab15.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

「真の電磁誘起透明化現象を実現するメタマテリアル」

メタマテリアルとは電磁波の波長に対して十分小さい構造体の集合体を指し、自然の媒質にはない電磁波の応答を実現できることから注目されている。構成要素が電磁波に対して応答することで媒質のように振る舞うので、要素1つ1つはメタ原子と呼ばれることがある。一方、電磁誘起透明化現象（以下EIT現象）は元々原子系で研究されてきた現象で、コントロール光と呼ばれる補助的な電磁波の入射によって、媒質が狭帯域で透明化するという現象である。この透明化帯域内で光の群速度が非常に遅くなるという性質があり、光の媒質への保存、いわゆる「光メモリ」といった応用が広く研究されている。このEIT現象を人工原子系であるメタマテリアルで模擬するという研究が近年盛んに行われている。これらの研究では、EIT現象に特有の狭帯域透過現象やそれに伴う低速伝搬が実現されているが、元々の原子系のEIT現象とは異なり、電磁波の保存に不可欠なEIT現象の動的制御が実現できていなかった。これに対して我々は、直流電場を加えることでEIT現象を制御する方法を考案し、マイクロ波領域で電磁波の保存と再生を実現した [1]。しかしながら、この方法においても透明化現象は電磁波の入射で誘起されるわけではなく、本当の意味でのEIT現象とは言えない。

これに対して、我々は原子系のEIT現象と全く同様に、補助的な電磁場（コントロール波）を入射することでメタマテリアルを透明化する方法を考案した [2]。図1(a)にその概念図を示す。同図左のように通常は電磁波を吸収するが、コントロール波が入射している場合にはメタマテリアルが透明になり、被測定波は透過する。この現象は、非線形光学現象であるために、メタマテリアルにも非線形要素が必要となる。研究では、基礎原理を示すために作成の容易なマイクロ波領域で動作するメタマテリアルを設計した。図1(b)にその基本構造を示す。構造は基本的には金属で形成されているが、可変容量ダイオード（図中varactorと表示）が導入されている。可変容量ダイオードは、通常のキャパシタンスと異なり、印加されている電圧に応じて容量が変化するためにここで非線形効果が生じる。実験においては、導波路内にメタマテリアルを設置し、コントロール波がある場合とない場合で被測定波の透過率を測定した。実験結果である図1(c)が示すように、コントロール波を入射することでメタマテリアルの透過率が狭帯域で増加していることが分かる。検証は、マイクロ波領域で行ったがこの研究を発展させることで光領域でも同現象が実現できると考えており、光メモリのメタマテリアルによる実現も可能であると期待している。

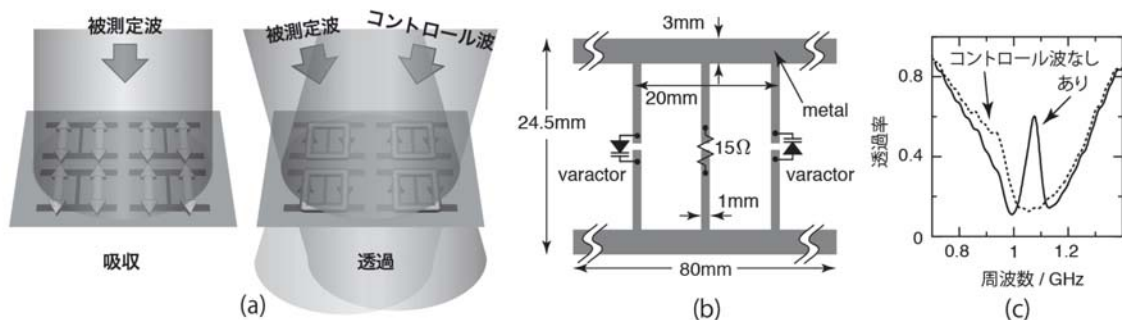


図1 (a) 概念図 (b) 単位構造 (c) メタマテリアルの透過率（点線：コントロール波のない場合。実線：パワー11dBm、周波数480MHzのコントロール波が入射している場合。）

[1] T. Nakanishi, T. Otani, Y. Tamayama, and M. Kitano, “Storage of electromagnetic waves in a metamaterial that mimics electromagnetically induced transparency,” *Phys. Rev. B*, vol. 87, no. 16, p. 161110 (2013).

[2] T. Nakanishi and M. Kitano, “Implementation of Electromagnetically Induced Transparency in a Metamaterial Controlled with Auxiliary Waves,” *Phys. Rev. Appl.* vol. 4, no. 2, p. 024013 (2015).

知能メディア講座 画像メディア分野（松山研究室）

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

「電力カラーリング：電力の由来別制御を目指して」

本研究室では、10年ほど前から、家庭／オフィス／工場／地域コミュニティといった需要家サイドにおける電力エネルギーマネジメントのコンセプトとして「エネルギーの情報化 [1]」を提唱し、研究開発を進めています。最近では、図1.に示すように、需要家が太陽光、蓄電池、電力会社などといった電力の由来を選び、好きな比率で組み合わせて利用することを可能とする「電力カラーリング [2]」技術の研究開発を行っています。

一般に電力は異なった電源から供給される電力も同じ電線を通して配送されるため、それらを区別することはできません。本研究では、図2.に示すように、電源と負荷に電力ディストリビュータと呼ぶ電力制御装置を接続し、配送元の供給電力と配送先の消費電力の変動パターンが常に一致するように、リアルタイム協調制御することによって、仮想的に電力カラーリングを実現します。これによって、例えば、太陽光発電など出力が変動する電源からの電力を、蓄電池や蓄熱装置など消費電力が自由に制御できる機器で消費させることによって、システムの安定性を保ちつつ、変動電源を有効に利用することができるようになります。現在、図3.に示すような電力ディストリビュータによって、実験室でのカラーリングの実験に成功しています（図4）。

参考文献

[1] 松山隆司：エネルギーの情報化とは－背景、目的、基本アイデア、実現手法－，情報処理学会誌，vol.51 No.8, pp.926-933, 2010.8.

[2] JAVAID Saher, KUROSE Yuhei, KATO Takekazu and MATSUYAMA Takashi, “The Power Flow Coloring: Giving a Unique ID to a Power Flow from a Specific Power Source to a Specific Power Load,” Singapore-Japan Joint Workshop on Ambient Intelligence and Sensor Networks, 2015.12.5.

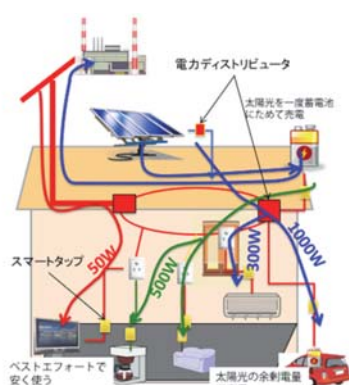


図1. 電力カラーリング



図3. 開発中の電力ディストリビュータ



図2. 分散協調電力カラーリング

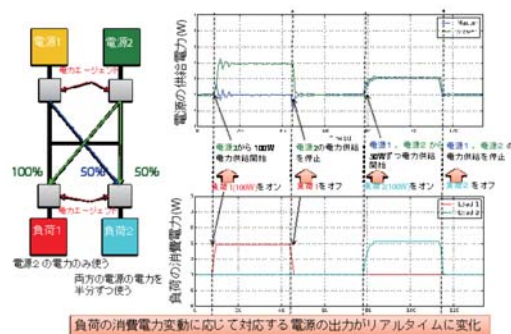


図4. 実験結果

通信システム工学講座 知的通信網分野

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

仮想モバイル事業者間の周波数資源共有メカニズム

仮想モバイル事業者 (MVNO: Mobile Virtual Network Operator) は、自身の物理的な通信インフラやライセンスバンドを所有せずに、モバイル通信事業を提供する事業者である。仮想モバイル事業者は、通信インフラやライセンスバンドを所有するモバイル事業者 (MNO: Mobile Network Operator) からこれらを借りてサービスを提供している。仮想モバイル事業者は利用者の利用形態やニーズに合わせて柔軟に料金体系を設定できるため、モバイル事業市場を活性化する存在として期待されている。しかしながら、スマートフォンの普及などによりモバイルデータトラフィックは増え続けているため、仮想モバイル事業者は限られた周波数を効率的に利用することを求められている。そこで、我々は、NFV (Network Functions Virtualization) というネットワーク機能の柔軟な共用・分割を可能にする技術を前提に、仮想モバイル事業者間で周波数資源を共用するメカニズムを提案した [1]。ゲーム理論のナッシュ交渉解に基づいた確率で互いに協調することで公平な周波数資源の共用が実現される。

図1のとおりに、仮想モバイル事業者はモバイル事業者から通信インフラを借りて、仮想的なモバイル通信サービスを提供している。図2のように、2つの仮想モバイル事業者は通常時は、それぞれのサービスと契約する利用者からの周波数資源要求 (BR: Bandwidth Request) を受け付ける。ただし、一方の仮想モバイル事業者に対する周波数資源要求が過度になると、他方の仮想モバイル事業者に対して協調を要求する。協調を求められた仮想モバイル事業者はある確率で協調を受け付け、図のCのスイッチをONにして、周波数資源要求を受け入れる。図3が周波数資源要求の発生率に対する受け付け確率であり、ゲーム理論のナッシュ交渉解に基づいて求められている。この確率に従って協調を行なうことで、仮想モバイル事業者間で常に公平な資源共有が可能である。

[1] W. Liu, R. Hu, R. Shinkuma, and T. Takahashi, "A Fair Resource Sharing Mechanism between Mobile Virtual Network Operators, IEICE Trans. Commun, vol.E98-B, no.11, Nov. 2015.

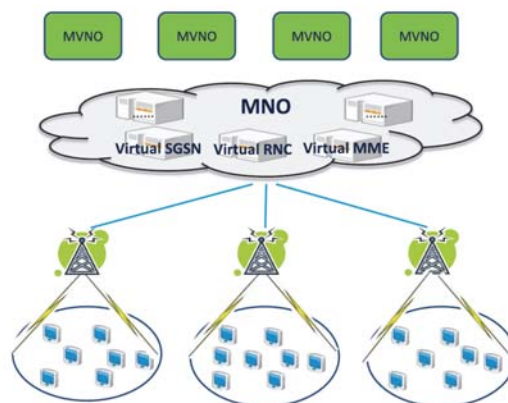


図1：仮想モバイル事業者

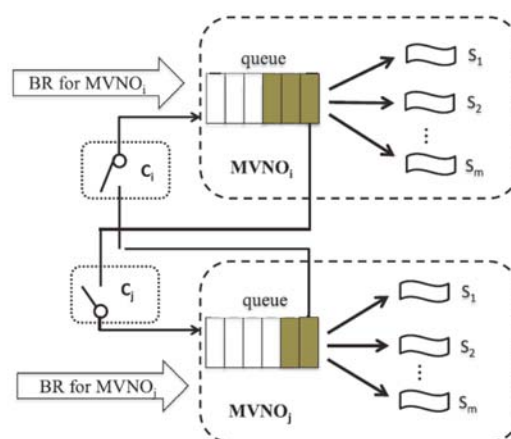


図2：仮想モバイル事業者間の資源共用モデル

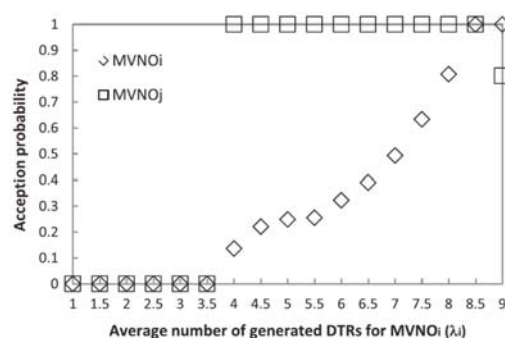


図3：資源要求の負荷に対する受け付け確率

集積システム工学講座 情報回路方式分野（佐藤高史研究室）

<http://www-lab09.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

「デバイス特性推定に基づく適応型動作周波数テスト」

大規模集積回路（LSI）の普及に伴い、その信頼性の確保が重要な課題となっている。正しく動作しない LSI は、社会に大きな影響を与えることにもなりかねない。個々の LSI が正しく製造されたか否かを確認することをテストといい、LSI の信頼性を確保するための重要な工程となっている。LSI におけるテストは、LSI チップの入力ピンにテストパターンを印可し、その応答を期待値と比較することで行われる。現在は、全てのテスト対象チップ（DUT）に対して同じテストパターンを与える固定的なテストが主流である。一般に、固定的テストのテストパターンは様々な最悪条件を想定して作成されるが、製造プロセスの微細化に伴う素子特性ばらつきの増大によりテストパターンが増加してテストに大きなコストを要するようになってきた。そこで我々は、適応型テストと呼ばれる新たなテスト手法に注目している。適応型テストは、DUT の特性に応じてテストパターンを動的に変更するテスト手法であり、これによりテストコストの大幅な削減が期待される。

本研究室では、特性ばらつき推定に基づく適応型動作周波数テストを提案している [1,2]。動作周波数テストは、クリティカルパスの動作周波数が製品規格内であることを確認するテストである。適応型動作周波数テストの概念図を図 1 に示す。提案手法では、トランジスタの特性ばらつきを事前に測定または推定し、これを元に DUT 毎の回路性能を推定する。推定した回路性能に応じ、DUT 毎に最適なテストパターンを用いて動作周波数テストを行う。従来の動作周波数テストでは特性ばらつきによらず常に悲観的な条件を想定するため、多くのクリティカルパスを考慮する必要がある。結果として、数多くのテストパターンが必要となっていた。提案手法では、特性ばらつきを元に DUT に適するテストパターンを選択して用いることで、テスト品質を損なうことなくパターン数を削減しテストコストを下げる。例えば、推定特性ばらつきにより DUT が高い周波数まで動作可能であることが分かれば、製品規格を下回る可能性は低い。このためテスト対象パスを限定でき、テストコストを低減できる。

提案した手法を用いて、テスト対象パスを 10 クラスタにまとめた結果の例を図 2 に示す。似た特性ばらつきを持つ DUT 間ではテストすべきパスが類似することを利用して、パスをまとめることでクラスタを作成する。図 2 の横軸と縦軸は nMOS トランジスタと pMOS トランジスタのしきい値電圧のばらつきを示しており、同色の領域には同じテストパターンを用いる。右下は動作周波数が低くなるためにテスト対象パスが多い。左上はその逆である。多くの DU において、悲観的な場合に対してずっと少ないパスをテストすればよいことが分かる。適応型動作周波数テストの効果を表 1 に示す。テストパスを 10 クラスタとする場合には、固定型テストと比べ、テスト品質を変えないままテストパターン数の期待値を 94% 以上削減できた。

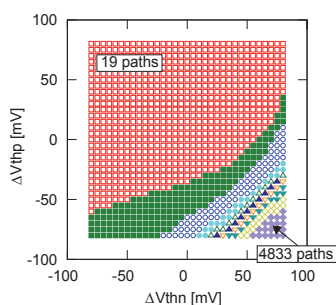
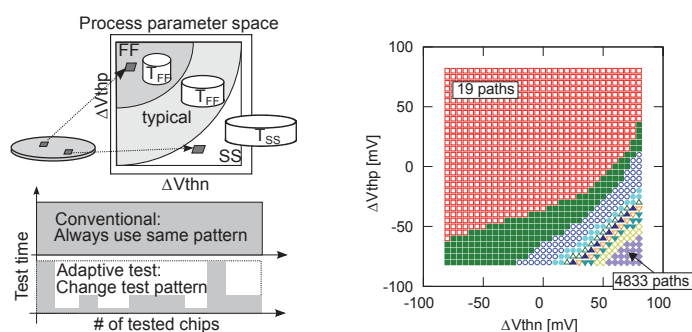


表 1：適応型テスト結果

# of clusters	Test quality[%]	Expected # of test patterns
1 (固定)	83.53	164
3	83.60	9.41 (94%)
5	83.11	5.54 (96%)
10	83.56	3.07 (98%)

図 1：提案する適応型テスト 図 2：パスまとめ上げ結果の例

参考文献

- [1] M. Shintani et al., "A Variability-Aware Adaptive Test Flow for Test Quality Improvement", IEEE Trans. CAD, 2014.
- [2] T. Uezono et al., "Path Clustering for Adaptive Test", Proc. of IEEE VTS, 2010.

集積システム工学講座 超高速信号処理分野（佐藤亨研究室）

<http://pub-asp.cce.i.kyoto-u.ac.jp/>

「ミリ波レーダーを用いた遠隔生体情報モニター」

疾病の予防や健康管理のために、呼吸数や心拍数などの生体情報（バイタル）データを定常的にモニターすることが重要となっています。特に一拍ごとの心拍間隔を表す瞬時心拍数の変動量は、老化や睡眠時無呼吸症候群の重要な指標とされ、突然死の予防などの観点からも注目されている他、睡眠中など安静時には変動が大きくなることから、居眠り運転の防止などにも利用できると期待されています。従来の心電計に加え、アップルウォッチや衣服型のセンサーなど、装着型のバイタルモニターは多様化しつつありますが、就寝時の装着に対する抵抗感や乳幼児への装着の困難などがあり、遠隔モニターに対する社会的要請が強くなっています。

当研究室でパナソニック社と協同して進めている、ミリ波超広帯域（UWB）ドップラーレーダーを用いた心拍の高精度な遠隔計測システムの開発について、その現状を紹介します。従来のCW波もしくはインパルス波を用いた手法に対して、開発した手法は不要波の抑圧能力を有し、複数の人が存在する環境でも正確な心拍の測定が可能である点が大きな特徴です。レーダーと心電計の同時計測実験により、開発した手法が瞬時心拍数を高精度に計測する能力を有することが明らかとなりました [1]。図1は心電計電圧およびレーダー受信信号の位相変化の例を示します。レーダー信号位相の1ラジアンの変化は、約0.9mmの目標距離変化に対応します。レーダー信号位相の変化は呼吸による変位が卓越しますが、心電計に見られる鋭いピーク（R波）に対応する微小な変動が重畳しています。この成分を新たに開発した信号処理手法 [2] により抽出し推定した瞬時心拍間隔を、心電計のR波の間隔と比較した結果を図2に示します。心電計による瞬時心拍には呼吸周期に対応した周期的な変動が見られますが、これがレーダーによって極めて高精度に再現されていることがわかります。

参考文献

- [1] T. Sakamoto, R. Imasaka, H. Taki, T. Sato, M. Yoshioka, K. Inoue, T. Fukuda, and H. Sakai, "Accurate heartbeat monitoring using ultra-wideband radar," IEICE Electronics Express, vol.12, no.3, pp.1-7, 2015.
- [2] T. Sakamoto, R. Imasaka, H. Taki, T. Sato, M. Yoshioka, K. Inoue, T. Fukuda, and H. Sakai, "Feature-based correlation and topological similarity for interbeat interval estimation using ultra-wideband radar," IEEE Trans. Biomed. Eng., in press, 2015.

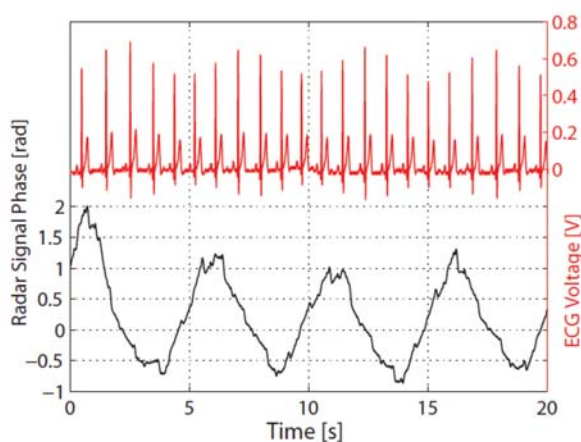


図1. 心電計電圧（上線および右軸）およびレーダー受信信号位相（下線および左軸）時系列の例

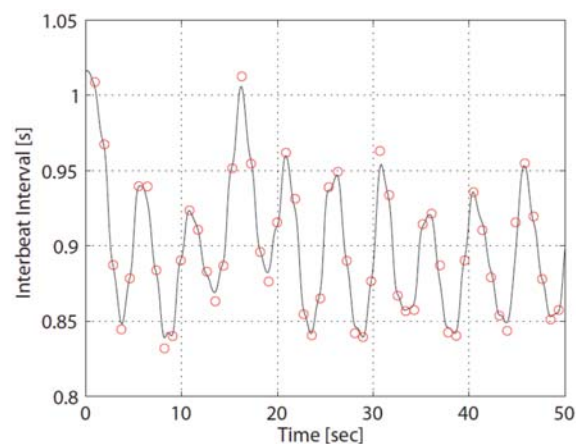


図2. 心電計（黒線）及びレーダー（丸印）による瞬時心拍間隔変動の測定例

システム情報論講座 論理生命学分野（石井研究室）

<http://ishiilab.jp>

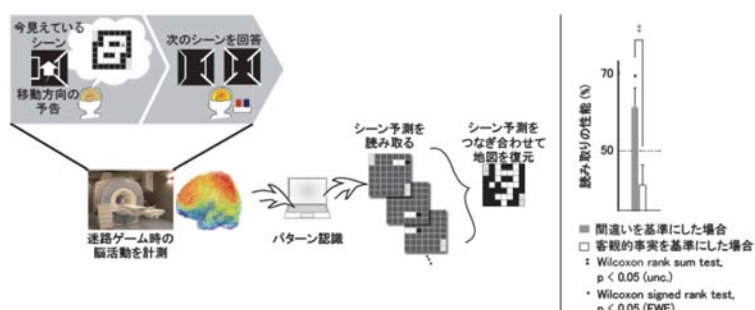
パターン認識で脳活動から思い込みを解読

当研究室では、知性の数理解理解を目指しています。昨今、機械学習など機械の知が注目を集めています。私たちは、機械の知を活用した、自然な知（脳）の理解に取り組んでいます。人間の脳の優れた点の1つに、将来を見通す、予測する力があります。職場や家などの目的地に向かう時、もう少し行くと右手にコンビニが見える、その先にポストがあって、というように、やがて出現するシーンを思い描きながら移動していきます。見るより先にシーンを予測し備えることで、素早く適切な移動が実現できます。もし、他者の予測を知ることができれば、脳の認知メカニズムの解明に繋がるだけでなく、予測の間違いから適切でない行動をとってしまうことを予防するなど、生活の質向上へ活かせると考えています。しかしながら、予測は各人の脳の中にしかない個人的・主観的なもので、直接計測することはできません。そこで、機械の知の1つであるパターン認識、特に画像など多変量のデータから特徴を学習して特定のクラス（例えば、風景や人物など）に振り分ける技術、を用いることにしました。これまでに、今見えている画像や夢の内容を脳活動からパターン認識する研究がされてきましたが、予測のように主観に関わる情報の読み取りは成功していませんでした。

私たちは、迷路ゲームに取り組んでくれる実験参加者を募り、ゲーム中に機能的磁気共鳴画像（fMRI）を撮像しました。fMRIは、脳の活動の変化を記録した、数万要素からなる三次元画像の時系列データです。予測を担う脳の領域では、シーンを予測しているときに、予測したシーンによって異なる活動パターンを示すと考えられます。どのシーンを予測しているのかを、fMRI 脳活動を入力としてパターン認識で見分けることを試みました。

各シーンを表現する脳活動の特徴を学習したパターン認識器は、学習に用いたデータではないデータであっても正しく分類することができました。さらに、予測が間違っている時の脳活動からは、客観的事実とは異なる予測、つまり、「思い込み」を読み取ることができました。また、迷路内の各地点で得られた脳活動から読み取ったシーンの予測を迷路上に配置してつなぎ合わせることで、脳内にある地図の復元に取り組みました。実験に用いた3種類の地図のいずれでも7割以上のマスで実際の地図と同じ構造でした。読み取った地図は、シーン予測の正答率が高い実験参加者ほど実際の地図に近いものでした（ $r = 0.05, p < 0.05$ ）。このことは、実験参加者ごとのシーン予測の巧みさは、脳活動パターンのシーン間での違いの程度によって説明できることとなります。

これまでの、壁と通路しかないシンプルな迷路を用いてきましたが、今後はパターン認識技術の洗練化により、複雑なシーンやシーン以外へと対象を広げていきます。客観的事実と異なる主観の読み取りは、言語化困難な視覚イメージを脳活動から読み取り共有する、といったコミュニケーションツールとしての発展が期待されます。なお、この研究は主に鹿内友美（博士後期課程）が実施しました。



図：迷路ゲーム中の脳活動からシーン予測を読み取る。迷路ゲームは、壁（黒マス）と通路（白マス）からなる。現在位置（灰色三角）からは周辺のマスの状態だけをワイヤーフレームのシーンとして見ることができる。移動方向を予告されたのちに、移動後に得られるシーンがどちらかを回答する。この時の脳活動を計測し、パターン認識によって予測した

シーンを読み取る。読み取れるのは移動後に見えてくる前方の3つのマスの状態である（左図）。実験参加者が間違ったシーンを選択した時は、正解のシーンではなく間違ったシーンが読み出される（右図）。

エネルギー生成研究部門 粒子エネルギー研究分野（長崎研究室）

http://www.iae.kyoto-u.ac.jp/beam/index_j.html

核融合プラズマにおけるプラズマ着火のモデリング

核融合発電はほぼ無尽蔵な資源である重水素を燃料としており、将来のエネルギー源として期待されている発電方式です。核融合には、さまざまな閉じ込め方式の検討が行われており、その中の一つとして、トカマクと呼ばれる磁場閉じ込め方式があります。従来は常伝導コイルを用いてプラズマ実験が行われてきましたが、定常運転を可能とするべく、近年、超伝導コイルが用いられるようになってきました。超伝導トカマクは常伝導トカマクに比べトロイダル電場が低いため、真空容器壁等の状況によってはプラズマ着火が行えない可能性があります。例えば、現在、日本原子力研究開発機構（JAEA）・那珂核融合研究所にて建設が進められている JT-60SA トカマクは超伝導コイルを用い、トロイダル電場が 0.5 V/m に制限されており、プラズマ着火が難しい状況が考えられます。この問題を解決するため、我々の研究室では、JAEA との共同研究で電子サイクロトロン共鳴加熱（Electron Cyclotron Resonance Heating, ECRH）を用いた予備電離を提案しています。予備電離とは、プラズマ生成前の重水素ガス中の少数の電子を加熱し、前もって中性粒子を電離させることで、電子サイクロトロン周波数のマイクロ波を電子に共鳴吸収させることで行われます。0 次元及び 1 次元モデルを用いた数値計算の結果、図 1 に示すように、プラズマ着火のために ECRH パワーに閾値が存在し、約 1MW 程度の EC パワーが必要であること、また、初期密度に強く依存するものの、エラー磁場や炭素・酸素といった不純物量への依存性は弱いことを明らかにしました。この結果は、JT-60SA だけでなく ITER、KSTAR といった超伝導トカマクにも適用でき、プラズマ着火に関する普遍的な物理過程が明らかになるものと期待しています。

トカマクと同じ磁場閉じ込め方式の一つであるヘリカル系においても信頼性あるプラズマ着火は重要な課題です。近年、中型ヘリカル装置であるヘリオトロン J において、2.45GHz マイクロ波アシストにより中性粒子ビーム（NB）入射によって生成・維持できることが実験的に確認されました。NB 入射によるプラズマ着火物理過程を調べるために、0 次元モデルを構築し、実験結果との比較を進めています。図 2 のように中性粒子の遮蔽効果を取り入れた 0 次元モデルの数値解析を行ったところ、ターゲットプラズマ密度閾値の実験結果を再現しました。このモデリングはドイツで建設中の大型ヘリカル装置 W7-X にも適用可能で、垂直入射 NBI によるプラズマ生成の可能性を示せると考えています。

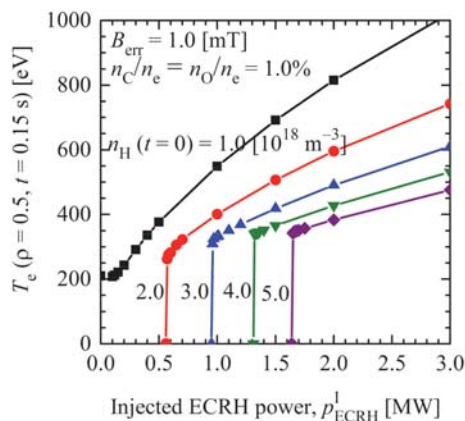


図 1 JT-60SA トカマクにおけるプラズマ着火の ECRH パワー依存性

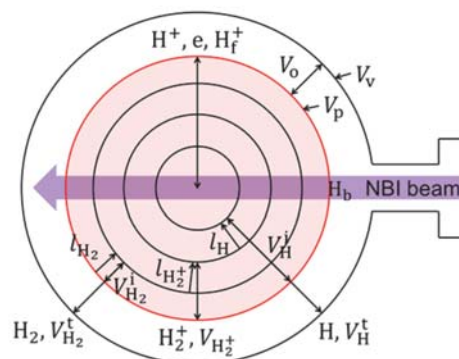


図 2 ヘリカル系における NBI プラズマ着火の原子・分子分布モデル

エネルギー生成研究部門 プラズマエネルギー研究分野（水内研究室）

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

先進ヘリカルプラズマの閉じこめ改善 —電子内部輸送障壁の形成—

私たちの研究室では先進ヘリカル磁場プラズマ閉じ込め実験装置（Heliotron J）を用いて、核融合炉実現に向けた磁場閉じ込めプラズマ制御の研究を行っています。プラズマ閉じ込めの性能向上には、閉じ込め劣化の一因であるプラズマ乱流の抑制が重要な課題です。乱流抑制のためには、いくつかの方法が知られています。ヘリカルプラズマでは特にプラズマ流により乱流抑制が可能です。図1はイオン、電子の粒子束とプラズマ中の径電場の関係を表しています [1]。両極性拡散条件によりイオンと電子の粒子束を常に等しくするための径方向電場が生成されます。電子とイオンの温度がほぼ等しい場合は負の電場が生成されますが、イオン温度に比べて電子温度が高い場合は図1のように大きな正の径電場となります。そこで、電子サイクロトロン波（ECW）によりプラズマ中心部を電子加熱し電子温度がイオン温度に比べて高い状態を作り出すことで正の径電場をプラズマ内部に形成、この径電場による $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ 流でプラズマ乱流を抑制できることが期待されます。この場合、プラズマの中心領域において局所的に拡散が低減しますので電子内部輸送障壁と呼ばれます。CHS 装置 [2] 等による先行研究により、電子内部輸送障壁形成が可能なことは実験的に確かめられています。そこで、立体磁気軸を持つ先進ヘリカル装置、Heliotron J において、中心部 ECW 加熱により内部輸送障壁の形成条件を調べる実験を行いました。

図2は、この時の電子温度分布（(a)、(c)）、密度分布（(b)、(d)）です。これらは、Nd:YAG トムソン散乱計測装置を用いて計測しています。ここでは ECW 入射（330kW）によりプラズマ中心を加熱しました。図 (a)、(b) はプラズマの線平均電子密度 $1.0 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ の場合、図 (c)、(d) は $1.3 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ の場合です。電子密度が僅かに高い場合の電子温度分布 (c) に比べ、電子密度が低い場合の電子温度分布 (a) は中心部電子温度が高く約 2keV に達し、プラズマ小半径 $r/a \sim 0.2$ 付近に急な電子温度勾配が見られます。一方、急勾配が形成されている領域の外側では、図 (a) と (c) に見られるように、電子温度に大きな違いは見られません。これらの結果は電子密度が低い場合、ECW 加熱によりプラズマ中心領域でのみ輸送特性が変化し閉じ込め性能が向上したことを示しています。また障壁形には電子密度に閾値が存在し、密度が閾値より下がる時、遷移的に障壁が形成されることもわかりました。これらは、先行研究 [2] と類似の特徴であり、Heliotron J プラズマにおいても電子内部輸送障壁が形成されることが確認されました。今後、形成条件の詳細な研究を行い、プラズマ閉じ込め性能の制御性向上を目指したいと思います。

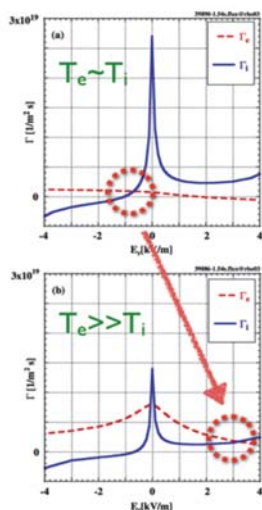


図1 電子(Γ_e)、イオン(Γ_i)の粒子束の径電場に対する依存性(a)は電子温度とイオン温度が、ほぼ等しい場合、(b)は電子温度がイオン温度に比べて高い場合 [1]

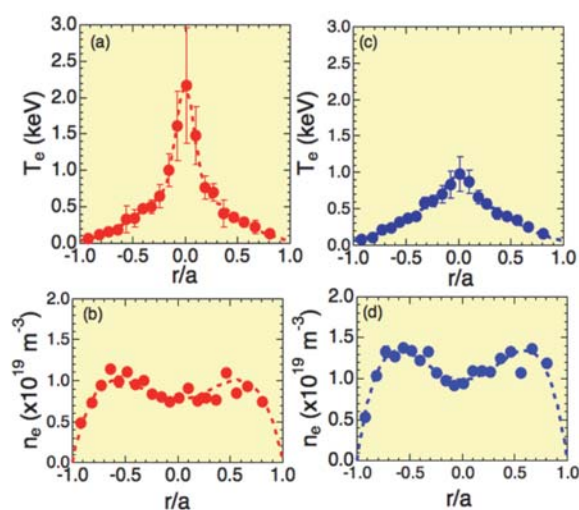


図2 ECH プラズマの電子温度分布・密度分布。(a) (b) は低密度、(c) (d) は高密度のプラズマに対する計測結果。低密度の場合中心領域で電子温度分布がピークする。

参考文献

- [1] M.Yokoyama et al, "Core electron-root confinement (CERC) in helical plasmas" Nucl. Fusion **47** (2007) 1213-1219
- [2] T.Minami et al, "Increased understanding of neoclassical internal transport barriers in CHS" Nucl. Fusion **44** (2004) 342-349

生存圏診断統御研究系 レーダー大気圏科学分野（山本研究室）

<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/labs/yamamoto-lab>

「無人小型航空機と MU レーダーによる大気乱流の同時観測実験」

MU レーダーは、イメージング（映像）観測により高レンジ分解能での観測が可能である。乱流混合は熱や物質の鉛直輸送に寄与する重要なプロセスであるが、そのスケールが極めて小さいことから観測が難しい現象の一つである。世界最高性能の大気観測用大型レーダーである MU レーダーは現在のところ乱流を最も正確に映像化でき、それらの発生・発達・形成メカニズムや、メソ～総観規模現象との関連を研究する上で最も強力な測器である。

2015 年 6 月に、米コロラド大及び仏トゥーロン大・LATMOS と協同で、コロラド大で開発された無人小型航空機（UAV）を用いて、MU レーダーとの同時観測実験（ShUREX (Shigaraki, UAV-Radar Experiment) キャンペーン）を行った。UAV は、小型（両翼幅 1m）、軽量（700g）、低コスト（約 \$1,000）、再利用可能、GPS による自律飛行可能で、ラジオゾンデセンサーを流用した 1Hz サンプルングの気温・湿度・気圧データに加えて、100 Hz の高速サンプルングの気温センサーによる乱流パラメータの高分解能データを取得可能である。UAV の離着陸は、信楽 MU 観測所から南西へ約 1km の利用休止中の牧草地を借用して行った。UAV は自ら滑走して離陸することはできないため、図 1 に示すようにゴムで引っ張って離陸させる方法（Bungee 法）か、ヘリウムを詰めた気象気球で上空に持ち上げ適当な高度に達したところで切り離す方法（Balloon 法）で行う。UAV と地上との間の通信は無線 LAN によって行われ、ゾンデ気象センサーによる 1Hz サンプルングデータその他、GPS による位置情報など UAV の飛行状態に関するデータをリアルタイムに得る。飛行方法は予め離陸前にプログラムしておくが、状況に応じて離陸後に飛行方法を変更することも可能である。着陸はいわゆる胴体着陸により行う。

図 2 に MU レーダーのレンジイメージングモードで得られたエコー強度の時間高度変化を示す。8 時 10 ～ 40 分頃の下層の三角形のエコーは UAV によるものである。高度 4 ～ 5km の雲底付近で強いエコー（乱流）が観測されている。現在、MU レーダーと UAV の観測データを詳細に解析しているところである。大気乱流は至るところに存在し、人間生活に及ぼす影響も小さくなく、航空機の安全運航のためにもその観測・予測は重要な課題である。



図 1. UAV の離陸の様子。（左）Bungee 法。（右）Balloon 法。

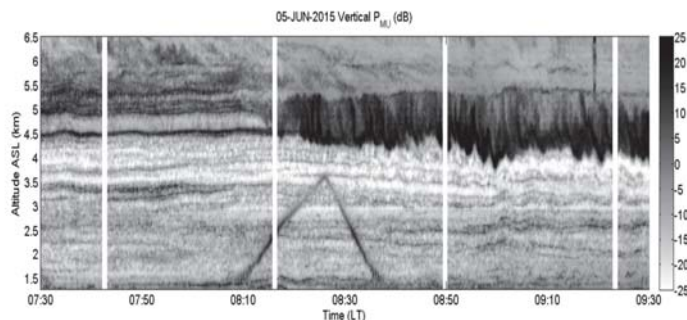


図 2. 2015 年 6 月 5 日 7 時 30 分～9 時 30 分に MU レーダーレンジイメージングモードで得られたエコー強度の時間高度変化。

生存圏開発創成研究系 宇宙圏航行システム工学分野（山川研究室）

<http://space.rish.kyoto-u.ac.jp/people/yamakawa/>

「宇宙由来危機に取り組む ～地球接近小惑星とスペースデブリ～」

1908年、直径約100メートルの隕石がシベリア上空8キロほどで爆発したと推定され、半径30キロ程度の森林が炎上しました。爆発は大気圏突入時の加熱や圧力、振動などで発生し、もしこれが大都市で起きたら、大きな被害が出るでしょう。数十メートル級の隕石が地球に落ちる確率は100年に一度ぐらいと言われています。実際に、2013年、ロシア上空に飛来した隕石は、直径約17メートルで、上空約20キロで爆発したと推定され、多くの方が負傷しました。この例に見られるように太陽を周回する小惑星が、将来、地球に衝突すると推定された時、工学的にどのように対応できるかについて研究をしています。以前であればScience fictionの話で終わったでしょうが、小惑星の観測技術、軌道推定技術、そして、宇宙技術の進歩によって、地球衝突の可能性を検知でき、なおかつ、衝突回避の対応ができる可能性が高まってきています。このような取り組みは、諸外国ではplanetary defenseと呼ばれ、国連の宇宙空間平和利用委員会においても議論がなされている状況です。対策は非常に単純で、小惑星に何らかの外力を与えることでその軌道を僅かに変更させ、その結果として、数年あるいは数十年先の地球との衝突を回避するのです。極短い時間で軌道を変える手法として、小惑星近傍あるいは表面で爆発物を使う手法、あるいは、高速で宇宙機を衝突させることで運動量を与える手法が提案されています。爆発現象は制御ができず、また、小惑星が破壊によって多数の破片と化す可能性があり、お勧めできません。当研究室では、高速で宇宙機を衝突させる手法を中心に検討をしています。高い衝突速度を実現するために、太陽光を利用するソーラーセイル推進や、太陽風を利用する帯電セイル推進の利用の可能性を探っています。同じ軌道変更でも、微小な力を長時間与えることも考えられています。これは、時間は要するものの軌道変更を高精度で調整できるメリットがあります。例えば、小惑星に向けてのイオンビーム照射、レーザ照射、小惑星近傍への宇宙機配置による重力牽引等、さまざまな手法が提案されています。当研究室では、重力牽引手法の効率化のために積極的帯電によって静電気力を付加する手法を研究しています。

小惑星は自然現象ですが、もう1つの宇宙由来危機は、人間が作り出した宇宙ごみ、スペースデブリです。使い終わったロケットや人工衛星などのスペースデブリは、10センチ以上のものだけで、2万個ほど地球を周回しています。現に国際宇宙ステーション（ISS）は年に数回、スペースデブリとの衝突を避けるため軌道を変えており、また、故障した人工衛星が活動中の人工衛星に衝突する事故も起きています。これら宇宙ごみの増加に伴い、運用中の人工衛星や国際宇宙ステーションの安定的な利活用のために、未知スペースデブリの発見と、既知スペースデブリの定常的観測、さらに、積極的なスペースデブリの低減は、緊急の課題となっています。当研究室では、レーダーによる観測を通して、宇宙ごみの軌道推定ならびに宇宙ごみの種類を判別する手法に関する研究を行っています。具体的には、京都大学生存圏研究所の大型大気観測レーダーであるMUレーダーによる観測を通して、数m規模の大型のスペースデブリのスピン状態等の推定原理について研究しています。また、1mm前後の微小なスペースデブリに注目して、その軌道推移の検討を行うことで、人工衛星との衝突リスク予測における新たな指針を与えることを考えています。さらに、軌道上望遠鏡によるスペースデブリ観測の可能性やスペースデブリの積極的な低減、つまり、大気圏再突入の手法も検討しています。



地球接近小惑星やスペースデブリが存在する
地球周辺の宇宙環境（山口皓平氏提供）

博士論文概要

[課程博士一覧]

Alexandros Kordonis	「Dynamic Analysis and Modeling of AC/AC Power Converters for Applications to Smart-Grid Solutions」 (スマートグリッドへの適用のための AC/AC パワーコンバータの動的解析とモデル化)	平成 27 年 3 月 23 日
窪 田 まど華	「Energy Harvesting Characteristics of Nonlinear Oscillators under Excitation」 (外力を受ける非線形振動子のエネルギー収集特性)	平成 27 年 3 月 23 日
八 尾 惇	「Logic and memory devices of nonlinear microelectromechanical resonator」 (非線形微小電気機械共振器を用いたロジック及びメモリデバイス)	平成 27 年 3 月 23 日
金 正 勳	「Performance Analysis and Sampled-Data Controller Synthesis for Bounded Persistent Disturbances」 (有界持続的外乱に対する性能解析およびサンプル値制御器設計)	平成 27 年 3 月 23 日
鎌 田 啓 吾	「超高感度光ポンピング原子磁気センサの開発と生体磁気計測」	平成 27 年 3 月 23 日
岩 田 佳 也	「深紫外分光技術の確立と AlGaIn 系量子井戸の再結合ダイナミクスの研究」	平成 27 年 3 月 23 日
Chenhui Chu	「Integrated Parallel Data Extraction from Comparable Corpora for Statistical Machine Translation」 (統計的機械翻訳におけるコンパラブルコーパスからの対訳データの統合的抽出)	平成 27 年 3 月 23 日
井 上 保 彦	「Efficient Access Control Techniques for Distributed Wireless Communication Networks」 (分散型無線通信ネットワークのための高効率アクセス制御技術)	平成 27 年 3 月 23 日
劉 巍	「Cooperative Resource Sharing in MobileCloud Computing」 (モバイルクラウドコンピューティングにおける協調的資源共有)	平成 27 年 3 月 23 日
久保木 猛	「巻き込み型インダクタを用いた CMOS レーザダイオードドライバ回路の研究」	平成 27 年 3 月 23 日
Kornyanat Watthanasangmechai	「Ionospheric study based on total electron content observations in Southeast Asia」 (東南アジアにおける全電子数観測に基づく電離圏研究)	平成 27 年 3 月 23 日
黄 勇	「Development of a Rectenna Adapted to Ultra-wide Load Range for Microwave Power Transmission」 (マイクロ波無線送電に適用した超広負荷範囲に対応できるレクテナの開発)	平成 27 年 3 月 23 日
趙 堃	「Visualization techniques for large-scale and complex volume data」 (大規模・複雑ボリュームデータのための可視化技術)	平成 27 年 5 月 25 日

周 燕 子	「Power Packet Dispatching Based on Synchronization with Features on Safety」 (同期に基づく安全性を考慮した電力パケット伝送)	平成 27 年 9 月 24 日
奥 田 貴 史	「Enhancement of Carrier Lifetimes in SiC and Fabrication of Bipolar Junction Transistors」 (SiC のキャリア寿命向上およびバイポーラトランジスタの作製)	平成 27 年 9 月 24 日
呉 珮 岑	「Development of a novel growth method for AlN bulk single crystals using elemental aluminum and nitrogen gas」 (Al 元素と窒素ガスを用いた AlN バルク単結晶の新規成長方法の開発)	平成 27 年 9 月 24 日
小 川 和 久	「Optical Interferometric Measurements Inspired by Time-Reversal Symmetry of Quantum Mechanics」 (量子力学の時間反転対称性を用いた光干渉測定)	平成 27 年 9 月 24 日
武 笠 知 幸	「Mesoscopic Surface Characterization for Skeletal Kinematics Estimation from 3D Video」 (3次元ビデオからの骨格的運動学推定のためのメソスコピック表面特徴記述法)	平成 27 年 9 月 24 日
Kourosh Meshigi	「Particle Filter-based Tracking to Handle Persistent and Complex Occlusions and Imitate Arbitrary Black-box Trackers」 (複雑な長時間の遮蔽に対応可能でかつ任意の追跡器を模倣可能なパーティクル・フィルターに基づく物体追跡)	平成 27 年 9 月 24 日
長 崎 陽	「Study on High Temperature Superconducting Coil System for Magneto Plasma Sail Spacecraft」 (磁気プラズマセイル宇宙機搭載用高温超伝導コイルシステムに関する研究)	平成 27 年 9 月 24 日
Gan Tong	「Study to improve measurement accuracy and resolution of atmospheric radars」 (大気レーダーの測定精度と分解能の向上に関する研究)	平成 27 年 11 月 24 日

Alexandros Kordonis (引原教授)

「Dynamic Analysis and Modeling of AC/AC Power Converters for Applications to Smart-Grid Solutions」

(スマートグリッドへの適用のための AC/AC パワーコンバータの動的解析とモデル化)

平成 27 年 3 月 23 日授与

The dissertation starts by giving an introduction about the main ideas that are going to be analyzed such as AC/AC conversion, nonlinear dynamics, and power routers. Power router is a prototype device which can distribute on-demand power from the desired source to the desired load. By this way, we can achieve maximum operation of the renewable resources, constant power supply of the critical loads, and control localisation.

Next, the fundamentals of a 1-phase buck type AC/AC converter are analyzed. An open-loop control is confirmed both in simulations and experiments. One key factor of the converter operation is the switching frequency and its advantages. More specifically, operating in higher switching frequency makes the passive components smaller in size. In addition, the harmonics tend to have smaller amplitudes so that it is easier to attenuate them. Moreover, during transient response the higher the switching frequency is the faster the decay time becomes and also there exist smaller in amplitude overshoots.

Closed-loop feedback control is considered in the followings by deriving a discrete time iterative map. The novelty lies on the applications of nonlinear dynamics through this model and the results cover a whole range of new operation regimes, which include period doubling operation and chaotic oscillations besides the conventional steady state. By this way, the switching harmonics are not gathered into high peaks as in the conventional steady state but instead, they are distributed into a wider area with smaller amplitudes (as the electromagnetic regulations also recommend). As a result, their elimination is an easy task. It will be shown that even during the chaotic operation the fundamental harmonic is maintained and it is the main responsible one for the power flow. The performance improvement of the converter operation is discussed again with simulated and experimental approach.

The motivation for the next step lies on the research of a 3-phase AC/AC converter. A matrix converter is chosen because it is quite a new converter but it is very promising for the actual realisation since it is a very compact device, with low harmonic content, without DC link since the direct topology is used and so on. Some fundamental control modulations are presented in the beginning and of course a dynamic model of it, too. The experimental and simulation results have good agreement and show the advantages of its operation. Efficiency can be increased if we exploit the resonances that are proven through the dynamic model. Transient behavior is also tested showing how the converter can respond to sudden scenarios such as voltage sags and frequency changes. Some drawbacks are also presented such as the inability of the control to reach the ideal voltage ratio limits. Finally, the switching frequency has undesired effect on the efficiency since as the former is increasing the latter one is decreasing.

The final main topic presents an application which is the combination of a matrix converter with a power router attached to its output. Different switching scenarios are tested and the experimental results show good agreement with the simulation ones. The purpose of this application is to show that there is great potential in the smart on-demand power supply by switching on and off the equivalent power sources according to the power the loads require.

窪 田 まど華 (引原教授)

「Energy Harvesting Characteristics of Nonlinear Oscillators under Excitation」

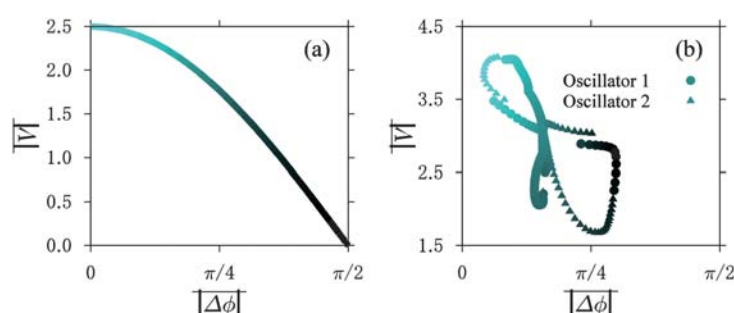
(外力を受ける非線形振動子のエネルギー収集特性)

平成 27 年 3 月 23 日授与

本研究は、環境中に遍在する振動エネルギーを収集するエネルギー・ハーベスティング技術に着目し、その典型的な周波数分布を持つ振動エネルギーを収集できる機構の提案をしたものである。対象とする振動は、周波数成分が複数重畳、または連続的な周波数分布を有する振動としている。それらの振動エネルギーの収集において、線形振動子の共振をエネルギー収集機構の原理としてそのまま適用した場合、特定の周波数の振動エネルギーしか吸収することができないことは周知である。しかしながら、共振現象の物理メカニズムに基づく非線形振動子や結合振動子の特性に着目した結果、周波数成分が複数重畳、または連続的な周波数分布を有する振動に対しても、これらの振動子によるエネルギー収集の可能性があることを示している。本研究はこれらの検討結果をまとめたものであって、得られた主要な成果は以下の通りである。

- (1) エネルギー収集率を高める典型的な例である共振において、外力と外力を受ける物体の位相差が一定である場合、エネルギー収集率が高い。同様に、外力の周波数が複数ある場合においても複数周波数からなる外力の位相を定義することにより、その位相がエネルギー回収率を支配することを数値的に明らかにした (図を参照)。
- (2) 低周波を多く含むカラーノイズの振動からエネルギー収集を行う機構として、樹木構造の結合振動子を提案している。この機構には外力が有する周波数帯域を狭める働きがあることを理論かつ実験的に明らかにし、効率の良いエネルギー回収の手段を与えることを実験的に示した。また本機構が、電磁誘導や圧電素子など固有周波数を持つエネルギー変換器の適用に適していることを示している。
- (3) エネルギーが拡散した周波数の連続する振動からエネルギーの収集を試みる検討を行っている。連続スペクトルからなる微小な振動の励振を受けた振動子が確率共鳴を生じる原理が、エネルギー収集機構に適用できることを提案している。その構造において収集率を増大化する手法をエネルギーの時間変動を表す電力の力率調整の原理に基づいて提案している。

上記のように本研究は、振動エネルギーの収集システムにおいて非線形振動子および結合振動子の特性を活かすことができる可能性を、理論、数値計算、実験によって原理的に明らかにしており、非線形力学および振動論の基礎学理が応用に寄与することを示したものである。



図：位相差（横軸）が小さいほど、また振動子の振幅（縦軸）が大きいほど、エネルギー吸収が高い。色の濃淡は明るいほど大きなエネルギー吸収を表す。(a) 線形振動子、(b) 非線形振動子。

八 尾 惇 (引原教授)

「Logic and memory devices of nonlinear microelectromechanical resonator」

(非線形微小電気機械共振器を用いたロジック及びメモリデバイス)

平成 27 年 3 月 23 日授与

近年、非線形 MEMS (microelectromechanical systems) 共振器を用いたメモリ及びロジック応用に高い注目が集まっている。図 1 に一例を示す MEMS 共振器は、半導体微細加工技術を用いて電気要素と機械要素を融合した MEMS デバイスの一つであり、機械的共振現象を利用した様々な応用がある。ここで、図 2 に示すように、非線形性により MEMS 共振器は、大振幅振動と小振幅振動の共存状態を持つ。この 2 種類の振動を“1”と“0”に定め、ロジック及びメモリデバイスとして使用する提案がある。MEMS 共振器を用いたロジック及びメモリデバイスは、ナノレベルの構造においては、既存の半導体メモリやロジックデバイスより消費電力が低くなると期待されている。また、すべてを機械構造で作製可能となると、高温環境や宇宙空間などにおいて使用可能、すなわち過酷環境に適している。さらに、並列計算や演算形メモリ操作などの動的な操作を実現できるなど、MEMS 共振器を用いたロジック及びメモリデバイスは次世代のキーデバイスとなる可能性がある。

以上の観点より、本研究では、非線形 MEMS 共振器を用いた機械式計算の原理検証を行い、1. メモリの読出し操作、2. メモリの書込み操作、3. カウンタ操作、4. 多機能デバイスである演算形メモリの開発、の 4 点で先駆的結果を得た。主要内容は以下の通りである。

1. 非線形 MEMS 共振器を用いたメモリの読出し操作である変位測定を、セルフセンシングにより実現した。
2. 非線形 MEMS 共振器の 2 種類の安定周期振動間の切り替え制御はメモリの書込み操作を意味する。本研究では、閉ループ系の変位フィードバック制御により切り替えを実験的に達成し、ノイズに強い書込み操作を実現した。また、遅れフィードバック制御システムについても、目標信号を必要としない閉ループ系である特性を活かして、2 種類の振動の切り替え制御が可能であることを数値計算により示した。
3. 非線形 MEMS 共振器 2 個を電氣的に結合し、順序回路である 2 ビットバイナリカウンタを実現した。図 3 に示すように、外部から与えたクロック毎に、2 つの MEMS 共振器の振動状態を“00”、“01”、“10”、“11”の順に切り替わる操作、すなわちカウンタ操作を、数値計算及び実験的に実証した。
4. 単一の非線形 MEMS 共振器を用いた多機能デバイスとして演算機能を有するメモリである演算形メモリを開発した。具体的には、非線形 MEMS 共振器により OR ゲート機能を有するメモリが実現可能であることを、数値計算及び実験的に示した。合わせて、同一の共振器を用いてリプログラム可能な演算形メモリが構成できることも明らかにした。

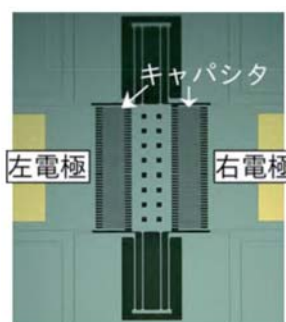


図 1 MEMS 共振器

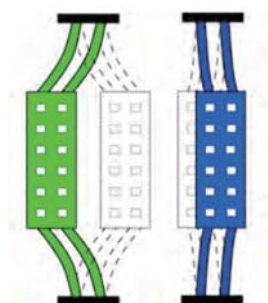


図 2 共存状態

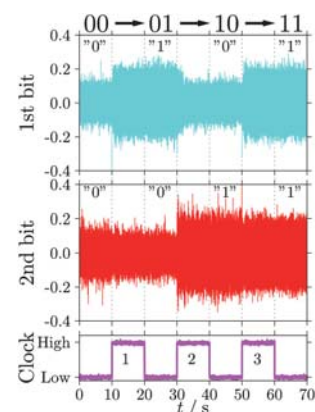


図 3 カウンタ操作結果

金 正 勳 (萩原教授)

「Performance Analysis and Sampled-Data Controller Synthesis for Bounded Persistent Disturbances」

(有界持続的外乱に対する性能解析およびサンプル値制御器設計)

平成 27 年 3 月 23 日授与

ステップ外乱や正弦波外乱などは実際の制御系においても頻繁に現れる。これらをより一般的に有界持続的外乱として取り扱って制御性能について論じるための制御理論の構築は、重要な課題である。このような問題の取り扱いでは、通常、振幅が任意の時刻で 1 以下の外乱のうちで最悪なものに対する制御出力の最大振幅をもって制御系の性能が評価される。これは、信号に対しては L_∞ ノルムを考え、制御系に対してはそれに対応する誘導ノルム、すなわち L_∞ 誘導ノルムを考えるという立場である。そこで本論文では、多入力多出力の連続時間時不変系およびサンプル値制御系の L_∞ 誘導ノルムに関する計算手法および L_∞ 誘導ノルムを最小にするサンプル値制御器の設計手法について論じる。得られた成果は以下の通りである。

1. 多入力多出力連続時間時不変系の L_∞ 誘導ノルムに関する計算手法について論じている。具体的には、入力近似手法および核関数近似手法という 2 つの近似手法を与え、これらのそれぞれにおいてさらに、信号の高速リフティング表現に基づく扱いのもとで、区分的な定数関数近似および区分的な一次関数近似という 2 つの考え方を適用している。これら 4 つの手法により、 L_∞ 誘導ノルムの上界値と下界値が簡単に計算でき、その上界値と下界値のギャップが、高速リフティングパラメータ M に関して、区分的な定数関数近似では $1/M$ のオーダーで、区分的な一次関数近似では $1/M^2$ のオーダーで、ともに 0 に収束していくことを示している。これは、入力近似手法と核関数近似手法の両方に共通の性質であり、収束オーダーに関しては両者が定性的には同等であることを意味している。しかしながら、より詳しい議論を通して、核関数近似手法が定量的には入力近似手法より効果的であることを明らかにしている。
2. 連続時間系がサンプル値制御系の特殊なものであることに留意し、連続時間系で考えられた入力近似手法と核関数近似手法のサンプル値制御系への展開について論じている。すなわち、信号を区分的な定数関数あるいは区分的な一次関数に近似するような手法が、入力近似および核関数近似の両方に共通な考え方としてサンプル値系の解析においても適用できることを示している。これらの手法をまとめることで、サンプル値制御系の L_∞ 誘導ノルムの計算に関する 4 つの定理が得られている。それらの手法より、サンプル値制御系においてもやはり L_∞ 誘導ノルムの上界値と下界値が簡単に導かれ、そのギャップも、区分的な定数関数近似では $1/M$ のオーダーで、区分的な一次関数近似では $1/M^2$ のオーダーで、0 に収束することが示されている。また、入力近似と核関数近似の間の優劣に関して、連続時間系の場合と同様の関係が成立することを明らかにしている。
3. 閉ループ制御系の L_∞ 誘導ノルムを最小にするサンプル値制御器の設計について論じている。上記 2. の議論はサンプル値制御器がすでに与えられているときの L_∞ 誘導ノルムを計算するという解析問題に関するものであり、その成果は、 L_∞ 誘導ノルムを最小化するサンプル値制御器を設計する目的には直接利用できないものである。そこで本研究では、サンプル値系 L_∞ 誘導ノルムの解析で用いられた入力近似手法について、サンプル値制御器設計における利用へと拡張する方法について論じ、その数学的妥当性を示す 2 つの重要な不等式を予随伴作用素の議論を用いて導いている。そして、 L_∞ 誘導ノルムを最小にするサンプル値制御器設計問題が、高速リフティングパラメータ M に関して、区分的な定数関数近似においては $1/M$ のオーダー、区分的な一次関数近似においては $1/M^2$ のオーダーの誤差を許容すれば、近似的に等価な離散時間系の l_∞ 誘導ノルムを最小にするような離散時間制御器設計問題に帰着させられることを示している。

鎌 田 啓 吾 (小林教授)

「超高感度光ポンピング原子磁気センサの開発と生体磁気計測」

平成 27 年 3 月 23 日授与

高次脳機能の解明や神経・精神疾患の診断を目的としたニューロイメージングの分野では、様々な非侵襲脳機能計測法が使用されている。その中でも脳磁図 (MEG) に代表される生体磁気計測技術は高い精度で生体活動を捉えることが可能であり、臨床応用に向けて盛んに研究されている。生体磁気信号は非常に微弱なため、計測には超電導量子干渉素子 (SQUID) を用いた磁気センサが主に使われてきた。そうした中、近年、アルカリ金属原子の電子スピン偏極を利用して磁気信号を計測する光ポンピング原子磁気センサ (optically-pumped atomic magnetometer: OPAM) が注目を集めている。このセンサは、SQUID を凌ぐ感度を実現することができるとともに、SQUID と異なり極低温での冷却を必要としないため、装置の小型化が可能、維持コストが低いなど様々なメリットを有し、生体磁気計測用の新たなセンサとして期待されている。

本研究では、OPAM による生体磁気計測システムの実現に向けて、K 原子を用いたポンプ・プローブ型の OPAM を開発し、センサ特性や高感度化、生体磁気計測の実施など、OPAM の実用化に向けて必要と考えられる事項について多角的に検討した。その主な内容を以下に示す。

1. 生体磁気計測に適した動作条件を決定するため、OPAM の出力信号及び、計測帯域を中心としたセンサ特性の動作条件依存性に関して検討を行った。計測原理に基づくシミュレーションにおいて、アルカリ金属原子を封入したガラスセル内でのスピン偏極やレーザ光強度の空間分布を考慮することで、センサ特性の複雑な挙動を再現し理論値と計測値が一致することを示した。それらの結果を踏まえ、OPAM の計測帯域はポンプ光と平行に印加するバイアス磁場により中心周波数を決定し、ポンプ光強度により帯域幅を調整することで任意の範囲に設定できるという結論に至った。
2. ヒト用の計測システムを構築し、レーザ光の照射方法やアルカリ金属原子の加熱機構の改良によりセンサシステムノイズを低減し、生体磁気計測を実現可能な感度を達成した。その上で、ヒトの心臓から発生する心磁図を計測し、上述したセンサ特性を補正する信号処理を実施することで、R ピークや T 波といった典型的な特徴や生理学的な知見とも矛盾しない磁場分布を観測した。また、図 1 に示すモジュール型 OPAM を用いて MEG 計測を実施し、開閉眼の切り替えに伴う α 波帯の事象関連脱同期及び聴覚刺激に対する事象関連脳磁界を観測し、OPAM による生体磁気計測システムの実現可能性を示した。加えて、既存の SQUID-MEG システムによる計測結果と比較することで、センサ構造の違いからくる計測結果の差異も含めた妥当性を検証し、既存システムに劣らない検出性能や多チャンネル配置における柔軟性など OPAM の利点を示した。
3. センサシステムの更なる高感度、及び実用化に向けた応用として図 2 に示す光学的グラジオメータを構成した。光学的グラジオメータにより $25 \text{ fT}_{\text{rms}}/\text{Hz}^{1/2}$ 以上の環境磁場ノイズを $9.3 \text{ fT}_{\text{rms}}/\text{Hz}^{1/2}$ にまで低減し、5 倍以上の SNR 向上効果を示した。

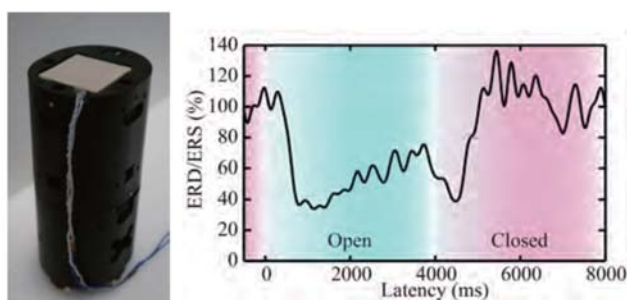


図 1 モジュール型 OPAM 及び MEG 計測結果

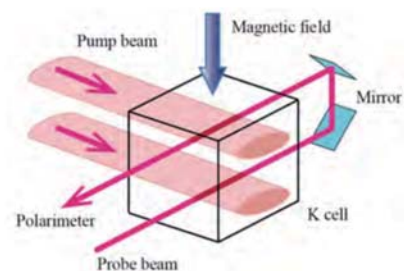


図 2 光学的グラジオメータ構成

岩 田 佳 也 (川上教授)

「深紫外分光技術の確立と AlGa_N 系量子井戸の再結合ダイナミクスの研究」

平成 27 年 3 月 23 日授与

深紫外光 (200-300 nm) は、物質に対する化学作用に富み、水や空気の清浄・殺菌に利用されるなど、応用先は多岐にわたる。ただし、その光源は水銀やフッ化物など有害物質を使用し、環境負荷が大きい。近年、この問題を解決すべく、窒化物半導体の AlGa_N を用いた光源への置き換えが期待されている。しかしながら、デバイス実現に向けて重要な構造である高 Al 組成 AlGa_N 量子井戸における発光機構には未解明な部分が多い。その大きな理由として、励起光源、光学部品の不足により、深紫外領域における光学測定技術が未熟であることが挙げられる。そこで本研究では、深紫外領域における光学測定技術を確立し、高 Al 組成 AlGa_N/AlN 量子井戸の発光機構を解明することを目指した。得られた成果を以下に示す。

1. 励起光源として、ピコ秒 Ti:sapphire レーザの第四高調波発生装置と、光学パラメトリック発振器を用いた深紫外光源を構築した。これにより、広範囲の励起キャリア密度条件におけるフォトルミネッセンス (PL) や時間分解 PL (TRPL) 測定が可能となった。また、反射光学系に着目し、反射型対物レンズを用いた共焦点光学顕微鏡の構築を行った。これにより、発光機構に大きな影響を及ぼす空間的不均一性の評価が、深紫外領域でも可能となった。
2. 10^{12} – 10^{21} cm⁻³ という広範囲の励起キャリア密度条件における PL 測定を行った。図 1 に示した時間積分 PL (TIPL) 積分強度の励起強度 (初期キャリア密度) 依存性における超線形領域 (ii) の観測から、極低温においても非輻射再結合過程が存在することが示唆された。非輻射再結合中心密度や輻射再結合確率の定量化のため、レート方程式による再結合過程のモデル化を行った。ヘテロおよびホモエピタキシャル AlGa_N 量子井戸の比較から、極低温における非輻射再結合は、主として貫通転位に起因したものであることが分かった。
3. 共焦点光学顕微鏡を用いた顕微 PL マッピング測定を行った。図 2 のように、AlGa_N 量子井戸内における結晶不均一性の定量化を行い、数ミクロンオーダーの空間不均一性を可視化した。また、空間分解能の異なる CL 測定と組み合わせることにより、AlGa_N 量子井戸において、数ミクロンおよびサブミクロンオーダーの不均一性が混在することを初めて実験的に証明した。
4. ホモエピタキシャル AlGa_N 量子井戸の顕微 PL スペクトルにおいて、顕著な LO フォノンレプリカが観測された。LO フォノンカップリングの理論との比較から、一般的な窒化物半導体の励起子とは異なり、フレンケル励起子に近い性質を持っていることを提案した。

以上のように、本研究では、深紫外領域における光学測定技術を確立し、AlGa_N 量子井戸の発光機構を解明した。確立した測定技術は、AlGa_N はもちろん、他の深紫外発光材料の物性解明にも大きな貢献をするものと期待される。

Ref) Y. Iwata, Y. Kawakami *et al.* J. Appl. Phys. 117, 075701 (2015) および J. Appl. Phys. 117, 115702 (2015).

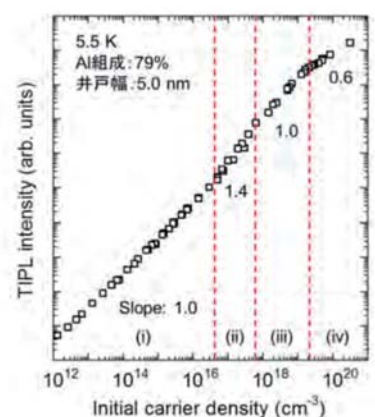


図 1 : AlGa_N/AlN 量子井戸における PL 積分強度の励起強度依存性

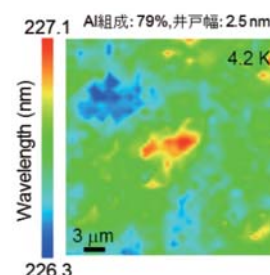


図 2 : AlGa_N/AlN 量子井戸における PL 発光波長の空間マッピング

Chenhui Chu (黒橋教授)

「Integrated Parallel Data Extraction from Comparable Corpora for Statistical Machine Translation」

(統計的機械翻訳におけるコンパラブルコーパスからの対訳データの統合的抽出)

平成 27 年 3 月 23 日授与

Machine translation (MT), as a high level application of natural language processing (NLP), is a powerful tool to improve the efficiency and reduce the cost of translation. Over the last decade or two, statistical machine translation (SMT) has been the main approach in both the research community and the commercial sector. In SMT, translation knowledge is automatically acquired from parallel corpora (sentence-aligned bilingual texts), making the rapid development of MT systems for different language pairs and domains possible once parallel corpora are available. Because of the high dependence on parallel corpora, the quality and quantity of parallel corpora are crucial for SMT. However, except for a few language pairs and some specialized domains, high quality parallel corpora of sufficient size remain a scarce resource. This scarceness of parallel corpora has become the main bottleneck for SMT.

Comparable corpora are a set of monolingual corpora that describe roughly the same topic in different languages, but are not exact translation equivalents of each other. Exploiting comparable corpora for SMT is the key to addressing the scarceness of parallel corpora. The reason for this is that comparable corpora are far more available than parallel corpora, and there is a large amount of parallel data contained in the comparable texts. The main focus of this thesis is extracting the parallel data from comparable corpora to improve SMT. Comparable corpora potentially contain three types of parallel data: bilingual lexicons, parallel sentences and parallel fragments. In this thesis, we propose novel approaches to extract these three types of parallel data from comparable corpora in an integrated framework.

The overview of our framework is presented in Figure 1. As initial, we have comparable corpora and a small seed parallel corpus. We first generate a bilingual dictionary from the seed parallel corpus. As the coverage of this dictionary is low, we further extract bilingual lexicons from comparable corpora ((1) in Figure 1) and combine them with the generated dictionary. Using the combined dictionary, we can apply cross-lingual information retrieval to generate parallel sentence candidates from comparable corpora. Next, we apply parallel sentence extraction that can classify the parallel sentence candidates into parallel and comparable sentences ((2) in Figure 1). Finally, we apply parallel fragment extraction to extract parallel fragments from the comparable sentences ((3) in Figure 1). The combined dictionary can be used for both parallel sentence and fragment extraction. Moreover, the extracted parallel sentences can be used to support parallel fragment extraction. The extracted parallel sentences and fragments are used as training data for SMT. Also, they can be appended to the seed parallel corpus for bootstrapping. Experiments verify the effectiveness of the proposed approaches for the scarceness of parallel corpora that SMT suffers.

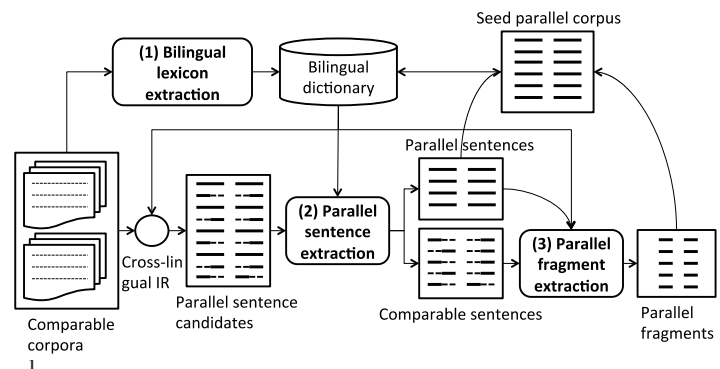


Figure 1: Integrated parallel data extraction framework

井 上 保 彦 (守倉教授)

「Efficient Access Control Techniques for Distributed Wireless Communication Networks」

(分散型無線通信ネットワークのための高効率アクセス制御技術)

平成 27 年 3 月 23 日授与

近年、スマートフォンをはじめとする高性能携帯端末の普及とアプリケーションの多様化により、インターネット上のトラフィックが急増している。特に、モバイルデータトラフィックの増加は著しく、セルラーシステムに加えて無線 LAN (Local Area Network) のようなアンライセンスバンドを使用するシステムを活用しながら、様々なサービスやアプリケーションをサポートしてゆくことが急務となっている。ライセンスバンドを使用して高品位なサービスを効率よく提供することができるセルラーシステムとは異なり、アンライセンスバンドを利用する無線 LAN などのシステムでは、周波数共用の観点から自律分散型のアクセス制御が用いられるが、これに伴う大きな制御オーバーヘッドや、通信品質の確保が困難であるといった課題も存在する。本論文では、モバイルデータ通信を効率良くかつ高信頼にサポートするために、自律分散型制御を行う MAC (Medium Access Control) 層の高効率化と高機能化の研究をおこなった。本研究の成果は下記の通りである。

1. 複数の伝送速度をサポートする無線システムにおける効率改善策の一つとして、マネジメント機能を強化したレートスイッチングアルゴリズムを用いることで、伝送誤りを低減しシステム容量が改善すること示した。
2. IEEE 802.11 無線 LAN 規格で規定されているポーリングによる集中制御手順、ならびに CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) プロトコルを用いた分散制御手順を拡張し、無線区間での帯域幅や遅延など特定の通信品質を満足するためのスケジューリング方法、ならびに優先制御の実現方法を示した。
3. 自律分散型ネットワーク上での高信頼マルチキャスト通信を行うための方法を検討し、受信端末のグループ化と端末グループをベースとした確認応答手順を用いることにより、マルチキャストデータの配信を高信頼、かつ高効率に行う方法を提案・評価し有効性を示した。
4. 分散型ネットワークの一つの応用例として、走行する自動車の間で情報交換を行うための車両間通信ネットワークについて検討した。R-ALOHA (Reservation-ALOHA) プロトコルを基に自律的な通信スロット選択手順と、スペクトル拡散によるデータ送受信手順を考案し、高速道路での利用を想定した計算機シミュレーションにより有効性を示した。



図 1 分散ネットワークにおける多様なトラフィックのサポート



図 2 車両間通信ネットワーク

劉 巍 (高橋教授)

「Cooperative Resource Sharing in MobileCloud Computing」

(モバイルクラウドコンピューティングにおける協調的資源共有)

平成 27 年 3 月 23 日授与

Recent advances in hardware, communication, and software technologies make our living world be full of “smart devices” like smart phones, sensors, actuators, and autonomous vehicles. These smart devices own heterogeneous resources to accomplish different tasks like sensing physical environments, processing information, and data transmission. However, resources reside in these smart devices are not always be used by their users, e.g., smart phones are not always busy, and vehicles are not always running on the road. Therefore, efficient utilizations of these idle resources nearby us are not only helpful to increase the Quality of Experience (QoE) of end users, but also capable of offloading data transmission and computational tasks to the edge of networks. This thesis discusses different aspects of cooperative resource sharing among smart devices as well as centralized data centers.

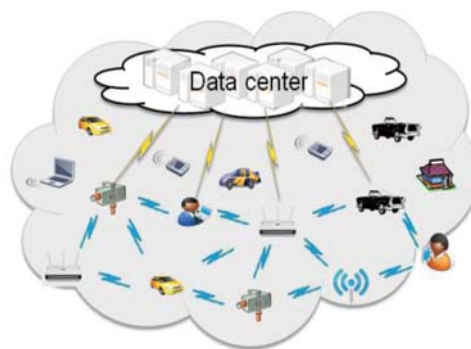


Fig. 1 Resource sharing among smart devices

Particularly, this thesis discusses resource discovery, local resource sharing and opportunistic resource sharing mechanisms:

Resource discovery: In order to implement resource sharing among smart devices, a smart device (resource seeker) that requires for certain kind of resources has to first discover other devices in which the required resources are idle. We propose an adaptive resource discovery mechanism that automatically transforms between different discovery modes (i.e. centralized mode and flooding mode) according to real-time network statuses.

Local resource sharing: After resource discovery, the resource seeker has to select suitable resource providers among all candidates. The proposed local resource sharing mechanism automatically selects optimal resource providers to compose a local resource sharing platform, and improves task processing efficiencies from the view of resource seekers.

Opportunistic resource sharing: M2M communications between smart devices are usually constrained by limited communication ranges. As a result, it is difficult to ensure a persistent connection between a resource seeker and its resource providers. The proposed opportunistic resource sharing mechanism utilizes short and intermittent connection opportunities between smart devices to share their idle resources and improve their task processing efficiencies.

Finally, there is no doubt that the research on cooperative resource sharing among smart devices is still in its infant stage. However, due to its huge potential in the coming era of pervasive computing, this field has attracted more and more attentions from both academic researchers and industrial engineers. It should be an exciting and challenging work to practice this idea in the near future society.

久保木 猛 (小野寺教授)

「巻き込み型インダクタを用いた CMOS レーザダイオードドライバ回路の研究」

平成 27 年 3 月 23 日授与

本論文は、光通信システム用レーザダイオードドライバ回路の小面積化を目的として、小面積 CMOS ドライバ回路を実現するための回路設計手法の検討を行い、試作チップによる評価により提案手法の有効性をまとめたものである。光通信システムは、SDH/OTN/SONET 等 WAN から GbE/10GbE/FC/10GFC 等 LAN に至るまで幅広く適用され、その高速化・小型化・低電力化が推進されている。光通信用ドライバ回路には高速にレーザダイオードを駆動する能力が求められるため、従来より化合物半導体による回路設計の研究が進められてきた。一方で、CMOS トランジスタの微細化の進展により、多機能、かつ、低消費電力な CMOS 光通信用ドライバ回路の実現が期待される。しかし、ドライバ回路に必要なインダクタは広大なチップ面積を必要とするため、高速な CMOS ドライバ回路の実現に課題がある。そこで本研究では、光通信用 CMOS ドライバ回路の高速化と小面積化を両立して実現するための回路設計法を検討した。

回路の高速化のための帯域向上手法について検討を行い、CMOS ドライバ回路の帯域向上手法としてオンチップインダクタによる帯域向上効果について着目した。一方でオンチップインダクタはチップの占有面積が大きいため回路面積の増大につながり、また大きなインダクタンスを得ることが難しい。本研究では、インダクタの小面積化を実現するための、複数のインダクタを搭載可能な、巻き込み型インダクタの構成を提案した。

提案した巻き込み型インダクタでは複数のインダクタを 1 カ所に配置できるため回路面積の縮小につながり、またインダクタと回路素子との配線を縮小できるため寄生成分を削減できる。さらに、相互結合インダクタンスを有効に活用することで、従来手法では実現困難なインダクタンスを実現することができる。しかし、相互結合インダクタンスと回路の性能低下の要因となるインダクタ間容量にはトレードオフの関係があるため、このトレードオフ関係を明らかにし、最適な構造を検討した。

提案手法の実証実験として、巻き込み型インダクタを用いた長距離光通信向けの直接駆動型 LD ドライバ回路、および、短距離光通信向けの間接駆動型 VCSEL ドライバ回路の設計の検討を行った。前者の実証実験における試作回路では、先行研究と比べて、回路面積を 30% 削減、1.6 倍の動作速度の実現、および、60% 以上の電力効率の向上を達成した。後者の実証実験では、広い周波数範囲で群遅延の偏差を抑制する巻き込み型インダクタの設計を検討し、試作回路の評価において、30% の回路面積の削減、低速の信号から 25Gb/s までの信号伝送を達成した。

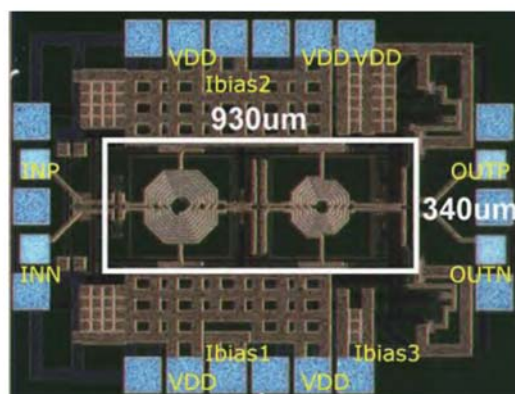


図 1：巻き込み型インダクタを用いた試作 VCSEL ドライバ回路 (0.18um CMOS)

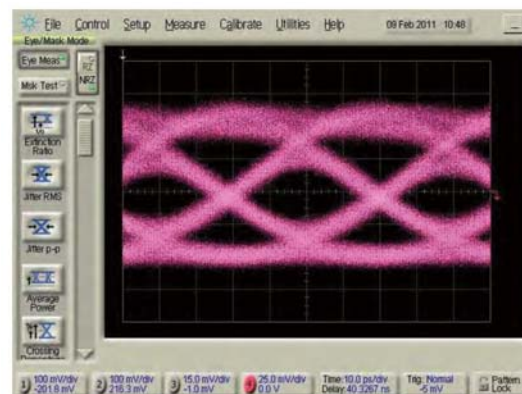


図 2：試作 VCSEL ドライバ回路の 25Gb/s 伝送実験実測結果

Kornyanat Watthanasangmechai (山本教授)

「Ionospheric study based on total electron content observations in Southeast Asia」
(東南アジアにおける全電子数観測に基づく電離圏研究)

平成 27 年 3 月 23 日授与

Low latitudes' ionosphere most often shows the occurrence of large plasma density fluctuations with a broad range of scale sizes and amplitudes. In Southeast Asia, a number of phenomena that could significantly disrupt radio communication and GPS navigation systems such as ionosphere disturbances and plasma bubble frequently occur. The GPS positioning/navigation system is increasingly used for critical missions like the air-traffic navigation in Japan and all around the world. To avoid an unexpected scenario, understanding the generation and evolution of the ionospheric irregularities over the South-East Asia is important to nowcast/forecast of the space weather. This thesis focused on development of the data processing technique for analysis of ground-based TEC observations, and on investigating the development and dynamics of Equatorial Ionization Anomaly (EIA), Plasma Bubble (PBB), and mesoscale and/or sub-mesoscale ionospheric structures.

The new bias estimation technique for the total electron content (TEC) from the dual-band beacon network has been intensively researched. An experiment of dual-band beacon over Southeast Asia was started in March 2012 in order to capture and analyze ionospheric structures and irregularities. Five GNU Radio Beacon Receivers (GRBRs) were aligned along 100°E geographic longitude. The distances between the stations reach more than 500 km. The field of view of this observational network covers $\pm 20^\circ$ geomagnetic latitude including the geomagnetic equator. The observational network was too sparse to attain a benefit of the classic two-station method, a so-called Leitinger method, in order to estimate TEC offsets of dual-band beacon experiment. Moreover, the least-squares approach used in the two-station method failed in many cases. We thus proposed a new technique to estimate the TEC offsets with the supporting data from absolute GPS-TEC from local GPS receivers and the ionospheric height from local ionosondes. The key of the proposed technique is to utilize the brute-force technique with weighting function to find the TEC offset set that yields a global minimum of RMSE in the whole parameter space. Comparisons between the beacon TEC and TEC reconstructed by using ionosondes and the in-situ density data from Communications/Navigation Outage Forecasting System (C/NOFS) satellite were made. Both TECs are very consistent as the beacon TEC well match with the reconstructed TEC. As a result, the latitudinal TEC shows double-hump distribution because of the EIA. The EIA formation was revealed. The small-scale fluctuations during an ESF appearance are captured at nighttime in equinox seasons considered as the structures of plasma bubbles. It is a significant step, which can make the beacon data a dependable tool to study the low-latitude features.

A temporal change of the EIA asymmetry was monitored by a multipoint satellite-ground beacon experiment along the meridional plane of the Thailand-Indonesia sector. This is the first EIA asymmetry study with high spatial resolution using the GRBR observations in Southeast Asia. GRBR-TECs from 98 polar-orbit satellite passes in March 2012 revealed the rapid evolution of the EIA asymmetry especially during the geomagnetic disturbances. The meridional wind is found to be the main source of the EIA asymmetry. Besides, the geomagnetic activity possibly played an important role on the rapid evolution of the EIA asymmetry during the daytime. The physical mechanism that controls the temporal change of the EIA asymmetry during the daytime and the nighttime is possibly different. Also the EIA asymmetry had a quasi three-day variation at 21 LT, which suggests the forcing from the lower atmosphere. Precise capturing of the crests' locations and the asymmetry evolution enhances an understanding of the temporal change of the EIA asymmetry in local scale. It contributes to a local modeling of the ionosphere in Southeast Asia.

黄 勇（篠原教授）

「Development of a Rectenna Adapted to Ultra-wide Load Range for Microwave Power Transmission」

（マイクロ波無線送電に適用した超広負荷範囲に対応できるレクテナの開発）

平成 27 年 3 月 23 日授与

レクテナはマイクロ波無線送電システムに最も重要な素子の一つであるが、RF-DC 変換効率は入力電力または接続した負荷抵抗に強く依存する特性がある。言い換えれば、レクテナが最大効率で動作する最適負荷が存在する。本論文は、マイクロ波無線送電に適した超広負荷範囲に対応できるレクテナを開発することを目的とし、定入力抵抗特性を保つ DC-DC コンバータを接続することで、負荷に依存せずに最大効率で動作することができるレクテナを開発したものであり、成果は以下の通りである。

1. レクテナの整流回路と DC-DC コンバータを一つの回路として Harmonic Balance 法を用いてシミュレーションモデルを確立した。その結果、370-1300Ω の広負荷範囲で整流ダイオードにかかる最大逆電圧が制限でき、ダイオード逆耐電圧を越えることなく安定に整流動作を行うことができる効率 70% 以上の整流回路の設計に成功した。シミュレーション結果により、DC-DC コンバータを用いて、整流回路のインピーダンス整合を行い、効率を改善することが可能であることが確かめられた。
2. 一般には他の目的のために用いられる昇圧、降圧、昇降圧コンバータの入出力電圧と入出力抵抗関係の理論式を導いた。その結果、レクテナに使うために最適なのは、出力電圧及び入力抵抗が入力電圧及び接続負荷と無関係に設計できる昇降圧コンバータであることを初めて明らかにした。外部 DC 電源を用いた反転非連続昇降圧コンバータを用いて、レクテナの最大効率点の追従に成功し、100-5000 Ω の広負荷範囲で効率が 60% を超える DC-DC コンバータ付整流回路の開発に成功した。
3. 電力自給型の非反転非連続昇降圧コンバータを用いて、外部 DC 電源不要で RF-DC 変換効率が負荷に依存しないレクテナを開発した。200-10000Ω の広負荷範囲（1: 50、他研究結果（1: 10 以下）に比べ 5 倍以上広負荷範囲）で効率 66% 以上の DC-DC コンバータ付整流回路の開発に成功した（図 1）。
4. 開発した広負荷範囲に対応できるレクテナ整流回路を用いて、アンテナに接続してレクテナを開発し、トルクによって実際負荷特性が変動する DC モータへのマイクロ波無線送電実験を行った。実験のために 2 種類のマイクロ波受電用アンテナを新たに開発、最適なものを選択し、同時に整流回路を小型化し、合わせて平面型のレクテナを開発した。マイクロ波無線送電実験では複数の整流回路とコンバータを組み合わせることで最適な組み合わせを求め、レクテナアレーを開発し、最適な組み合わせにおいて、DC モータの負荷変動に依らず、高効率のマイクロ波無線給電に成功した。また、マイクロ波の連続波とパルス波無線送電実験（図 2）の両方とも検証し、成功した。

以上要するに本論文は、マイクロ波送電に対する要求であった負荷変動に効率が影響されないレクテナの開発の成功したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。

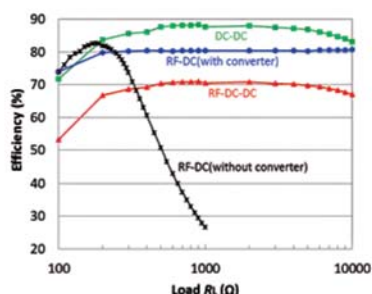


図 1 改善前後の整流回路の効率比較

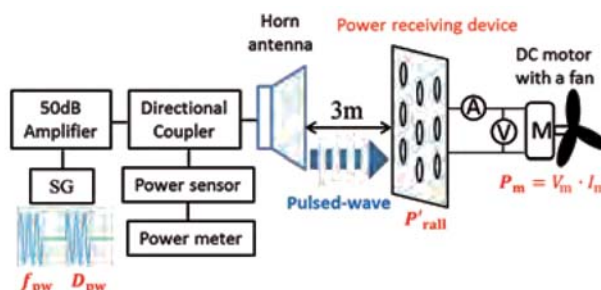


図 2 DC モータへマイクロ波パルス波送電のブロック図

趙 堃 (小山田 授)

「Visualization techniques for large-scale and complex volume data」

(大規模・複雑ボリュームデータのための可視化技術)

平成 27 年 5 月 25 日授与

Recently, visualization of large-scale and complex volume data becomes a hot topic in many research fields. Volume data can be found in scientific simulation, measurement, and other fields. An efficient visualization can play a guiding role to understand the knowledge from the volume data. However, volume data may have a large scale and contains a highly complex structure. The value array may be scalar, vector or tensor type, and may consist of multiple variables (multi-variate data). The data value or structure may vary temporally (time-varying data). Moreover, sometimes the volume data may be combined with several different volumes (fused volume data). Due to these features, the visualization of such kind of large-scale and complex volume data has numerous difficult problems.

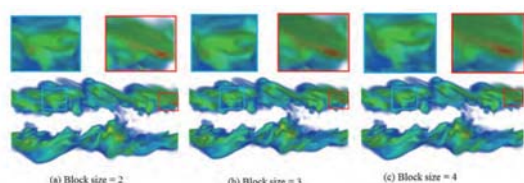


Fig.1 Compression results for the turbulent volume data with different parameters.

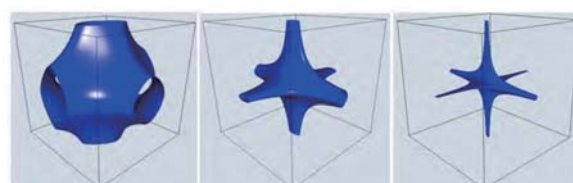


Fig.2 Analysis of the degenerate surface for tensor volume data.

Even though various related works have been proposed to visualize volume data, the works related to data compression, data analysis and volume rendering, which are necessary in volume visualization, still have numerous challenges. This paper tackles these challenging problems and proposes several techniques to visualize different kinds of large-scale and complex volume data such as time-varying volume data, tensor volume data, multi-variate volume data and fused volume data. As the data compression technique, we present a time-varying volume compression method in spatio-temporal domain. This compression technique can obviously decrease the data size of large-scale time-varying volume data and achieve fast decompression and efficient visualization (Figure 1). As the data analysis techniques, we propose a function-based feature extraction system to analyze the tensor volume data (Figure 2) and a voting-based ensemble-averaging system to analyze the multi-variate ocean volume data (Figure 3). The analyzing results show that the meaningful features can be extracted efficiently from the large-scale and complex volume data. Last, as the volume rendering technique, we propose an adaptive particle-based rendering technique to render large-scale fused volume data. The rendering results show the fusion visualization for different volumes in the fused volume data can be performed at an interactive frame rate while maintaining a good image quality (Figure 4). As a result, several challenging problems in scientific fields are solved by these proposed visualization techniques.

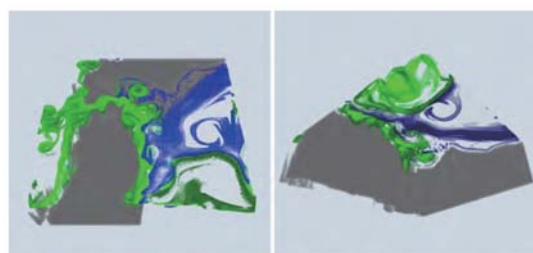


Fig.3 Analysis of water masses from multi-variate ocean volume data

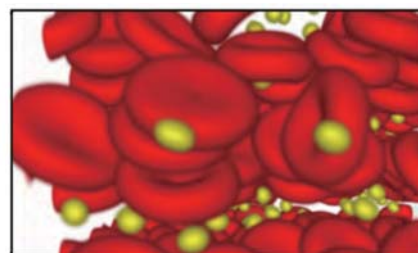


Fig.4 Fused visualization for the large-scale blood flow volume data with adaptive particle-based rendering

Yanzi Zhou (引原教授)

「Power Packet Dispatching Based on Synchronization with Features on Safety」

(同期に基づく安全性を考慮した電力パケット伝送)

平成 27 年 9 月 24 日授与

In the context of liberalized power market, the environment of power systems at present is more decentralized than that of conventional ones. Accordingly, the power distribution and power control become more complicated. For the purpose of power management between power sources and consumers, a modernized power distribution network integrated with information and communications technology (ICT) is highly expected.

This dissertation discusses power packet dispatching system, clock synchronization, and safety of power packet dispatching. The power packet dispatching system is proposed to manage low direct current (DC) power sources, including multiple power sources for adjusting to demands. In this system, the introduced mixer and router request the clock synchronization to achieve the exchange of information attached in a power packet and power. Furthermore, the concept of safety of power packet dispatching is proposed for protecting the information of power packets as well as keeping the loads safe regarding supplied power from power packets. As a potential approach to achieve the information safety and the power safety, modulation of power packets is proposed.

A model of a digital clock synchronization method, referred to as the primitive model, is derived according to the principles of CPPLL (Charge Pump Phase Locked Loop). Applying a first-order control to the primitive model, we achieved the clock synchronization between two clock signals: REF (reference clock signal) and NCO (output clock signal of a numerically-controlled oscillator). Through experiments, it is found that the setting time of the first-order controlled clock synchronization is around 10 reference clock cycles and further it is independent on the initial relationships between REF and NCO. For improving the clock synchronization in a shorter time, we applied a second-order control to the primitive model and confirmed the stability of the model. Through embedding the model into a router, the power packet dispatching under autonomous clock synchronization is experimentally verified.

In addition, we investigate the power packet dispatching in a modified power packet dispatching system, where two mixers and one router are included. The attempt is to demonstrate the feasibility of system expansion based on autonomous clock synchronization. Power packet dispatching under different scenarios are discussed in experiments. Particularly, we focus on the congestion of packets and the corresponding regulation. It is confirmed that power packets are dispatched as expected or as regulated. As a result, one may conclude that it is feasible to expand the power packet dispatching system into a network system based on the achieved autonomous clock synchronization method for power dispatching.

The safety of power packet dispatching is also an important feature, which can be considered from two aspects: protecting the information of packets from attackers (information safety) and keeping the loads safe regarding power (power safety). The dissertation proposed the concept of safety related to power packets, in particular, the concept of power safety. For the purpose of achieving information safety and power safety, we introduce a simple modulation of power packets at the packetization. At first, we modulate the preamble and the header of packets using DCSK (Differential Chaos Shift Keying) scheme, a typical non-coherent chaos-based communication scheme, so that the information safety can be achieved. Then, we propose whole packet modulation aiming to achieve the information safety and the power safety, simultaneously. In whole packet modulation, pulse width modulation (PWM) is suitable to the payload first for managing the amount of transferred power of packets. After the power modulation, the whole packet is further modulated using the DCSK. The consideration appears that the information of packets is protected and the spectrum of noise existing in the modulated packets is spread as well. This dissertation remains the realization of the power packet modulation in practical system for the design and development of power packet dispatching system.

奥 田 貴 史 (木本教授)

「Enhancement of Carrier Lifetimes in SiC and Fabrication of Bipolar Junction Transistors」
(SiC のキャリア寿命向上およびバイポーラトランジスタの作製)

平成 27 年 9 月 24 日授与

炭化ケイ素 SiC は Si に比べて絶縁破壊電界が 10 倍大きく、通電損失を Si デバイスの 1/300 程度に低減することが出来るため、次世代パワーデバイス用材料として注目されている。SiC では、国内外の大学・企業により電界効果トランジスタ (MOSFET) の研究開発が進められ、低いチャネル移動度や高温での信頼性不足といった課題を残しつつも、実用化が間近となっている。一方、本研究では別のデバイス構造である SiC バイポーラトランジスタ (SiC BJT) に注目している。SiC BJT は、伝導度変調により SiC MOSFET を超える低損失のデバイスを実現できる可能性があり、より高温 ($>300^{\circ}\text{C}$) での動作も可能である。SiC MOSFET に比べると研究は少なく、解決すべき課題を抱えているが、次世代パワーデバイスとして大きな可能性を秘めている。

SiC BJT では、耐圧 1kV 級を中心に研究が行われ、すでに低オン抵抗のデバイスが報告されている。SiC BJT の大きな課題のひとつはエミッタ接地電流増幅率 (β) の向上である。BJT は電流駆動型デバイスであるため実用化に向けて 300 を超える増幅率が必要である。デバイス構造の最適化などにより向上してはいるものの、過去の研究では $\beta \sim 100$ 程度にとどまっておらず十分ではない。現状、増幅率はベース層のキャリア寿命やエミッタメサ側壁の表面再結合などで制限されていると推測されているが、いまだ多くの物性が明らかになっておらず、増幅率を制限する要因について十分な議論がなされていない。

本論文では、高耐圧・低オン抵抗・高電流増幅率である SiC BJT の実現にむけて、キャリア寿命や表面再結合などの基礎的な物性を詳細に調べた上で、SiC BJT を作製し性能向上を目指した。主要な内容を以下に示す。

1. p 型 SiC エピ層におけるキャリア寿命向上手法として、新たに水素熱処理による水素パッシベーションを見出した (図 1)。p 型エピ層には未知のライフタイムキラーが存在しており、水素熱処理によって不活性化することで、キャリア寿命を向上することが出来たと考えている。
2. デバイス作製におけるプロセスにおいて生成する点欠陥について詳細に調べ、その低減を目指した。
3. 表面パッシベーションの手法として、酸化膜堆積後に POCl_3 熱処理を行うことで、表面再結合速度の飛躍的な低減に成功した (図 2)。
4. キャリア寿命向上プロセスを SiC BJT のコレクタ層 (耐圧維持層) に適用することで、明瞭な伝導度変調を観測し、オン電圧の低減を実現した。

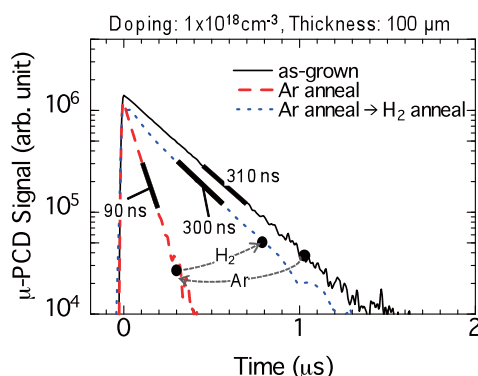


図 1 p 型 SiC エピタキシャル層におけるキャリア寿命の向上(1000°C 10 分間の水素熱処理による)

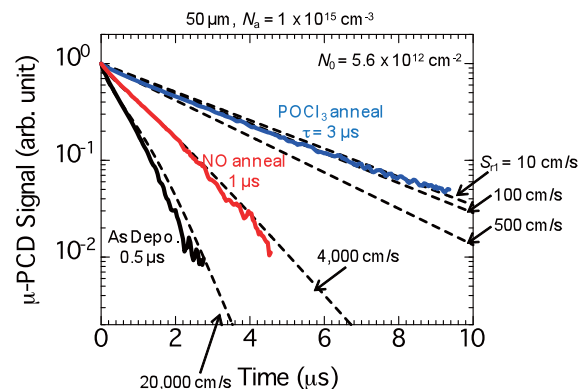


図 2 POCl_3 雰囲気での熱処理による表面再結合速度の低減

呉 珮 岑 (川上教授)

「Development of a novel growth method for AlN bulk single crystals using elemental aluminum and nitrogen gas」

(Al 元素と窒素ガスを用いた AlN バルク単結晶の新規成長方法の開発)

平成 27 年 9 月 24 日授与

紫外光源として、現在、水銀ランプが主に用いられているが、2013 年制定の「水銀に関する水俣条約」によると、2020 年までに水銀含有製品の製造や輸出入が原則禁止されることから、これに換わる固体光源の開発が待望されている。この目的に対して、窒化物半導体 AlGaIn 有望である。[窒化物半導体 InGaIn を用いた発光ダイオード (LED) やレーザダイオードは可視域で既に実用化され、2014 年のノーベル物理学賞を受賞している。] 構成元素の環境負荷は小さく、加えて、InGaIn 可視発光素子の実績から高効率発光も期待される。ところが実際には、AlGaIn LED の効率は、最高でも 15% 程度 (発光波長 280 nm) であり、その改善が必要とされている。この効率を決める要因の一つとして、本研究では発光素子の基板に注目した。

通常、発光素子は、ある基板上に薄膜成長技術によって形成される。この際、理想的には素子と同一材料の基板を用いるべきであり、紫外固体光源の場合、それは AlN である。しかしながら、現在開発途上の AlN 基板の結晶成長法 (ハイドライド気相成長法および昇華法) では、塩素系ガスや 2000°C を超す高成長温度など、環境負荷や安全性の観点から、いくつかの問題がある。これらの問題を解決するため、本研究では、Al と N₂ ガスという基本的な原料から AlN 結晶を作製する方法を提案、実証した。得られた主な結果は以下の通りである。

- (1) **新 AlN バルク単結晶成長装置の設計と開発:** Al+1/2N₂ ↔ AlN の反応性を熱力学的に検討し、約 2000°C 以下では AlN が形成される方向に反応が進むことを確認した。それを受け、Al 蒸気を Ar ガスによって基板へ輸送し、N₂ ガスは独立したチャンネルから基板に供給する方式を考案し、Al 原料部と基板部の温度を、2 台の高周波加熱装置によって独立に制御可能な結晶成長装置を設計・試作した。
- (2) **AlN の作製:** 開発した成長装置にて、まず Al 原料を直接窒化したところ、三次元状の AlN 微結晶が形成できた。熱力学解析の妥当性を示している。さらに、Al 蒸気と N₂ ガスを分離供給した場合、それら原料の供給比である V/III 比を小さくしたときは一次元状のウイスカー (細線) 状 AlN が、V/III 比を大きくしたときは二次元状の (0001) 配向した AlN エピタキシャル膜が成長することを明らかにした。
- (3) **厚膜 AlN 単結晶の成長と高品質化:** V/III 比 2200、基板温度 1550°C など成長条件の最適化によって、約 20 μm/h の成長速度と結晶の高品質化 (らせん転位密度: 約 1×10⁸ cm⁻²、刃状転位密度: 約 5×10⁸ cm⁻²) を実現した。この転位密度は、同程度の膜厚の AlN では世界最高レベルにある。
- (4) **光物性評価:** 波長 370~400 nm (3.1~3.4 eV) 付近にピークを持つブロードな発光スペクトルを観測し、浅いドナー準位と深いアクセプター準位が関与したドナーアクセプター対 (DAP) 発光であると同定した。この発光の内部量子効率最大で約 60% に達するため、近紫外蛍光体としての可能性も見出した。

以上により、非常に簡便な反応を利用した AlN バルク結晶作製への指針を提示することができたと考えている。今後は、サブ mm から mm 程度の厚みを持った、実際に基板として用いることのできる結晶の作製を目指すことが重要である。Ref) P.-T. Wu *et al.* *Sci. Rep.* **5**, 17450 (2015).



(左から) 装置の概略と写真、サファイア基板上に 1 時間で形成した AlN 厚膜の断面走査電子顕微鏡像

小 川 和 久 (北野教授)

「Optical Interferometric Measurements Inspired by Time-Reversal Symmetry of Quantum Mechanics」

(量子力学の時間反転対称性を用いた光干渉測定)

平成 27 年 9 月 24 日授与

近年、光の量子性を利用した光計測技術である「光量子計測」に注目が集まっており、古典光を用いた場合よりも高度で精密な光計測の実現に向けた研究が行われている。しかし、光量子計測には光源である量子もつれ光子対の生成効率が低いため、低出力であるという問題がある。本論文は、この量子もつれ光子対を用いて実現される量子光計測手法を、始状態と終状態の役割を入れ換えて、時間発展を逆にたどる「時間反転光学系」を用いることで、古典光学的に高出力光源で実現する手法について論じたものである。

まず、量子もつれ光子対を用いた光学系について、同じ検出確率を持つ時間反転系を構成するための一般論を構築した。その理論から、元の量子光学系の検出確率を古典パルス光を用いて再現する手法である「時間分解パルス干渉法 (TDPI)」を提案した (図 1)。

次に、光量子計測の基礎となる量子光学現象である「位相超分解」、「分散消去 Hong-Ou-Mandel (HOM) 干渉」について、これらの干渉パターンを TDPI を用いて古典光学的に再現する実験を行い、量子もつれ光子対を用いた順方向系に比べはるかに大きい出力の測定結果を得た。

さらに、光量子計測の一種である「量子もつれ光子対における幾何学的位相の非線形変化の観測」および「分散消去 - 光干渉断層撮影 (OCT)」を、TDPI を用いて古典光学的に実現する実験を行った (図 2)。前者は「位相超分解」、後者は「分散消去 HOM 干渉」を基礎としており、前実験系を応用した。いずれの測定結果も、量子もつれ光子対を用いた場合よりもはるかに大きい出力の測定結果を得た。

本研究では、従来量子もつれ光子対の量子相関を利用して達成されてきた光量子計測の幾つかが、実験的に扱いやすい古典光学系を用いて高出力で実現できることが実験的に示された。本論文で提案した手法は、今後、光量子計測を実用化するための有用な手段となることが期待される。

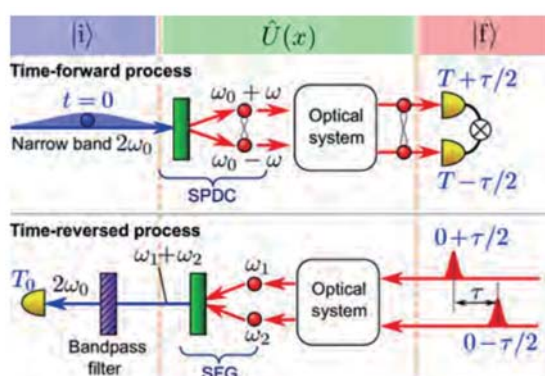


図 2 光量子計測における、順方向過程 (上)、時間反転過程 (下) の概念図。

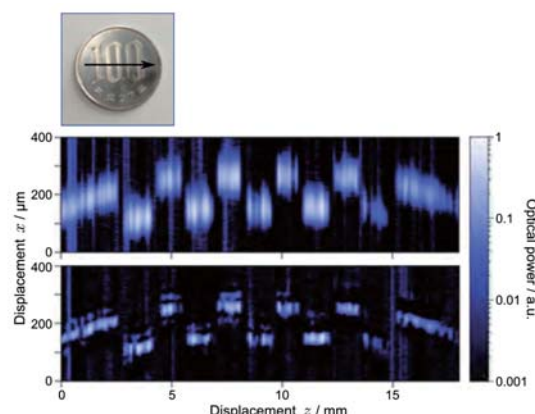


図 1 分散媒質存在下での 100 円玉表面の OCT 画像。(上) 従来法、(下) 本研究結果。

武 笠 知 幸 (松山教授)

「Mesoscopic Surface Characterization for Skeletal Kinematics Estimation from 3D Video」

(3次元ビデオからの骨格的運動学推定のためのメソスコピック表面特徴記述法)

平成 27 年 9 月 24 日授与

3次元ビデオは、3D テレビのように映像が飛び出して見えるステレオ映像、もしくはコンピュータグラフィックスで作成された人工的な 3D アニメーションではなく、自由に運動する対象の 3次元形状と動き、および表面テクスチャを全周囲に渡って記録した完全な実写 3次元映像である。しかし対象の動きは表面形状の時間的な変化として記録され、そのような変化を生じさせた内部の骨格構造とその運動は得られていない。したがって 3次元ビデオで撮影された対象各部位の運動を記述すること、あるいは骨格構造に基づいて 3次元ビデオに写された対象の動作を直接編集することはできない。

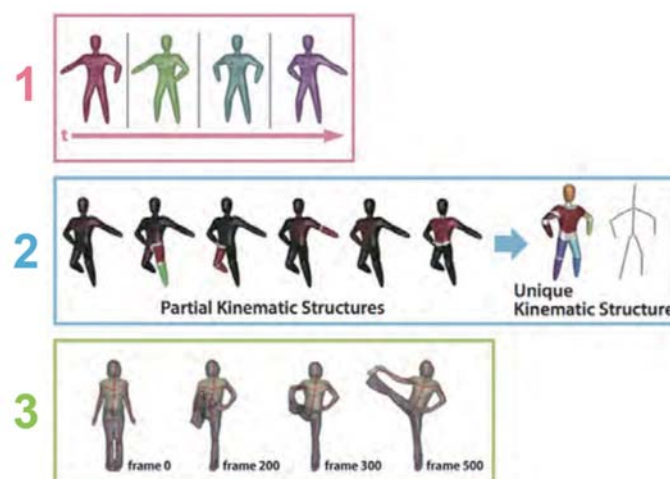
本論文は、自由に運動する対象を撮影した 3次元ビデオから、その運動学的骨格構造、すなわち表面形状およびその変化と整合性のある骨格の構造および運動を同時に推定するアルゴリズムについてまとめたものであり、得られた成果は以下の通りである。

(1) Part-wise Geodesic Histogram Shape Descriptor (PGH-SD) と呼ばれる新たな特徴量を考案し、これを用いることによって 3次元ビデオとして撮影された 3次元表面形状系列を、表面上の各点の運動軌跡が安定に推定できるような時区間に分割するためのアルゴリズムを示した (図上段)。

(2) PGH-SD によって分割された各時区間それぞれにおいて、剛体・非剛体領域とその接続関係を推定するためのアルゴリズムを考案した (図中段左側)。

(3) 各時区間において得られた剛体・非剛体領域を時系列全体にわたって統合するアルゴリズムを示すとともに、得られた剛体・非剛体領域を基に、3次元表面形状を、木構造として表される骨格構造へと変換する問題が、最小全域木探索問題として定式化できることを示した (図中段右側)。

(4) 以上の処理で得られた対象の運動学的骨格構造を用いることにより、身体部位同士の重度な接触を伴う複雑な運動を行う対象の 3次元ビデオから、対象の運動を推定するアルゴリズムを示すとともに、実画像を用いた実験によってその有効性を示した (図下段)。



図：3次元ビデオからの骨格構造およびその運動推定の流れ

Kourosh Meshigi (石井教授)

「Particle Filter-based Tracking to Handle Persistent and Complex Occlusions and Imitate Arbitrary Black-box Trackers」

(複雑な長時間の遮蔽に対応可能でかつ任意の追跡器を模倣可能なパーティクル・フィルタに基づく物体追跡)

平成 27 年 9 月 24 日授与

Occlusions, one of the most challenging problems in visual tracking, degrade the performance of many trackers significantly. Taking various spatial and temporal forms, occlusions have not been modeled completely yet. State-of-the-art solutions fail to handle persistent and complex occlusions, and any comprehensive study over occlusion handling is deemed missing.

To address these, this study first presents a comprehensive review on the literature. Next, we propose a tracker to detect emergent occlusions, address difficult occlusion scenarios, and perform rapid target recovery after occlusion. This novel method builds upon a particle filter tracker and significantly improves its resilience against various types of occlusions, including persistent and complex occlusions. The objective of this tracker is to extend particles to include an occlusion state, switch observation and motion models based on the occlusion state, weight the observation based on the observation confidence, and employ robust feature fusion. We also proposed a novel data-driven occlusion mask that enhances the observation of any appearance-based tracker, and improves its accuracy significantly during occlusions. The obtained mask prevents the observation to be contaminated by data from occluder or background, and works well along with a general occlusion handling scheme in the main tracker.

Another part of this study is to find the optimal feature set to maximize the tracker performance in various situations even under occlusion. We found that most of the trackers can be imitated by one framework with interchangeable features and their weights. This method minimizes the mismatches between the target and imitating tracker while preventing the overfitting to limited training data. This mimicking approach is able to shadow many of the state-of-the-art trackers, while it sheds light on the possible inner mechanism of black-box trackers. The imitating tracker also outperforms its multiple target trackers by using their collective tracking knowledge.

In summary, this study proposed an occlusion-aware framework to predict and manage various types of occlusions, which was found to enhance the observation quality to be used by arbitrary appearance-based trackers. Applied on the Princeton RGBD tracking benchmark, our tracker, *OAPF*, achieves superior performance and beats the state-of-the-art trackers in terms of tracking performance and speed as shown in Fig. 1.

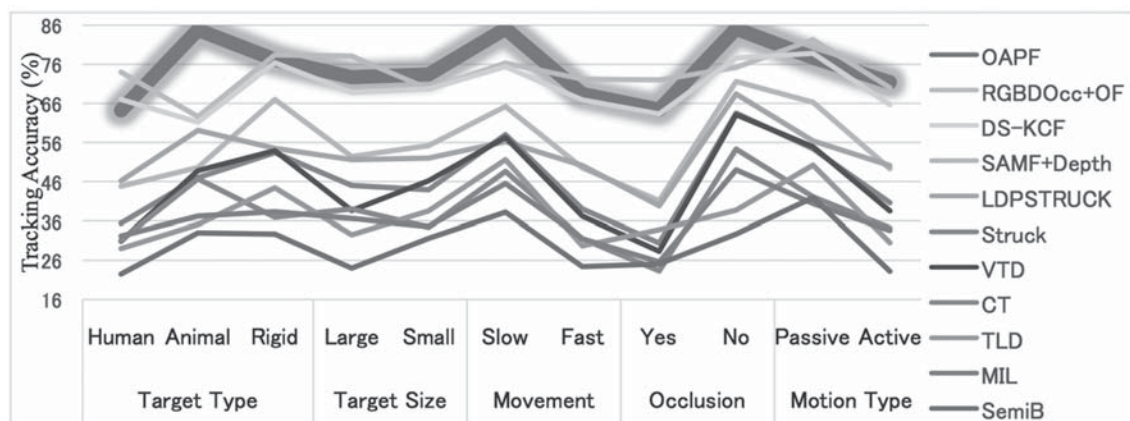


Fig 1. Accuracy on Princeton RGB-D Tracking Dataset

Tracking accuracies for various type of target are shown. Each line corresponds to each tracking method.

長 崎 陽（山川教授）

「Study on High Temperature Superconducting Coil System for Magneto Plasma Sail Spacecraft」

（磁気プラズマセイル宇宙機搭載用高温超伝導コイルシステムに関する研究）

平成 27 年 9 月 24 日授与

磁気プラズマセイルとは、超伝導コイルが作る強力な磁場で太陽から吹き出す太陽風（高速なプラズマ流）を受け止め推力を得る、次世代の宇宙推進システムである。太陽エネルギー（太陽風運動量）を直接推力に変換するため、高い燃料効率が達成でき、太陽系の外縁部、更には系外の探査を比較的短期間・低コストで遂行することが期待されている。本論文は、磁気プラズマセイルの推進性能（推力質量比）向上を目的として、同宇宙機用高温超伝導コイルシステムの研究開発についてまとめられたものである。具体的には、(1) 実験結果との比較により高温超伝導コイルの電磁的熱的特性を解析するモデルを構築し、(2) 宇宙機用に高温超伝導コイルシステムを最適化することで、磁気プラズマセイルの推進性能（推力質量比）最大化に取り組んでいる。本論文で得られた主な成果は以下のとおりである。

(1) 高温超伝導コイルの非線形な通電特性は、自身の作る磁場、その向き、温度および応力などに複雑に依存するため、同特性を正確に解析するモデルが確立されていなかった。本論文では、磁気プラズマセイル用コイルシステム設計に際して、高温超伝導コイルの通電特性、熱安定性、交流損失、コイル内遮蔽電流などの電磁的熱的特性を考慮した正確なコイル設計モデルを新たに構築している。また、磁気プラズマセイル用スケールダウンモデルコイルを用いて、構築したモデルの妥当性の実証に成功している（図 1）。さらに、構築したモデルを用いて、高温超伝導コイルの様々な電磁的熱的特性の解明に取り組んでいる。

(2) 磁気プラズマセイルによって得られる推力は、搭載するコイルの磁気モーメント（電流 × ターン数 × コイルが囲む面積）に比例することがわかっている。本論文では、磁気プラズマセイルの推進性能（推力質量比）向上を目的として、高温超伝導コイルシステムの磁気モーメント質量比最大化に取り組んでいる。具体的には、構築したコイル設計モデルを用いて、コイル内発熱、太陽光輻射熱など外部からの熱侵入、冷却条件を考慮し、システム全体の熱安定性を制約条件とした上で、磁気モーメント質量比が最大となるコイルシステム構成を検討している。コイルシステム最適化の結果、高さが大きくレーストラック型と呼ばれる超伝導コイル（使用線材：イットリウム系）を温度 20 K で運用した際に、先行研究による成果に比べて磁気モーメント質量比約 3 倍の向上が可能であることを明らかにしている（図 2）。

以上のように、本論文では新たな高温超伝導コイルの解析モデルを構築し、宇宙機用超伝導コイルシステムを最適化することで、次世代の宇宙推進システムの大幅な性能向上が可能であることを示しており、今後の宇宙利用の拡大・科学技術の発展に大きく貢献するものと期待される。

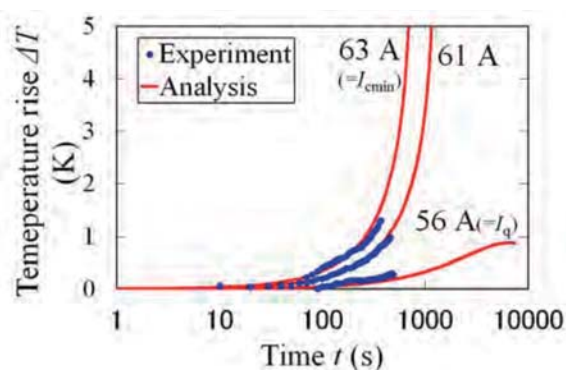


図 1：電流通電時における超伝導コイルの温度変化（解析および実験結果の比較）

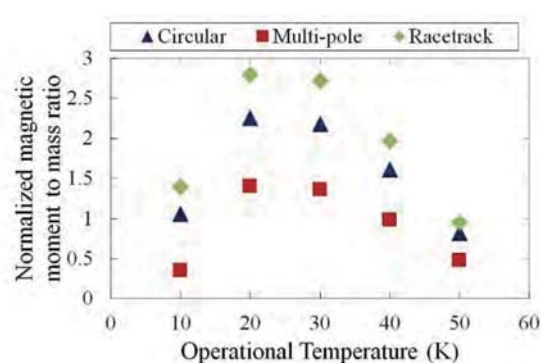


図 2：磁気モーメントのコイル運転温度依存性

Gan Tong (山本教授)

「Study to improve measurement accuracy and resolution of atmospheric radars」

(大気レーダーの測定精度と分解能の向上に関する研究)

平成 27 年 11 月 24 日授与

Radars operated at VHF (30-300 MHz) or UHF (300-3000 MHz) frequency bands (atmospheric radars; ARs) are sensitive to refractive index perturbations caused by atmospheric turbulence. From a Doppler spectrum collected by a AR, echo power, Doppler velocity, and spectrum width of echoes scattered by the refractive index perturbations (clear-air echo) can be measured. These parameters are referred to as spectral parameters. Because the refractive index irregularities can be produced by temperature and humidity perturbations caused by atmospheric turbulence, ARs can be used to measure turbulence parameters (e.g., dissipation rate and diffusivity). In this study, we developed a new radar digital receiver which can perform range imaging (RIM) and oversampling (OS) on a 1.3-GHz AR (RIM LQ-7). The new radar digital receiver contains a general-purpose software defined radio receiver and a commercial personal computer. Software developed for the digital receiver was written in the C++ language and that developed for signal processing was written in the Python language.

Because high-resolution ARs collect a huge amount of Doppler spectra, methods for calculating the spectral parameters must be simple and fast. Using numerical simulations, we investigated a method for calculating the spectral parameters from Doppler spectra collected in the clear air region. The proposed method has two steps in general. In the first step, the echo range (R_{echo}), in which the Doppler spectrum point with peak intensity is contained and all the smoothed Doppler spectrum points have intensities that are greater than the noise intensity, was determined. The smoothed Doppler spectrum was obtained by a running average with equal weight (RA). In the second step, the spectral parameters were calculated using the Doppler spectrum points within R_{echo} . Estimation error of the spectral parameters depends on the determination accuracy of the Doppler spectrum peak and R_{echo} . Furthermore, for the case of a 512-point Doppler spectrum and 13-point RA, the estimation errors tend to be independent of the signal-to-noise ratio (SNR) when the detectability (D) is 6 or larger. For a D range of < 2.5 , the estimation errors are significantly large. It is recommended that number of incoherent integration times is determined by considering both D and the SNR. By using the method we proposed, data collected by the vertical beam of the RIM LQ-7 was processed. Measurement using a $1\text{-}\mu\text{s}$ subpulse width, an 8-bit optimum binary code, five frequencies, and the vertical beam was carried out at Shigaraki MU Observatory. Measurement results indicated that the high range and time resolution of the RIM LQ-7 are useful for observing the boundary layer.

In the precipitation region, ARs can receive clear-air echoes and Rayleigh scatterings from hydrometeors (hydrometeor echoes) simultaneously. The clear-air echo must be separated from the hydrometeor echo well. Therefore, we proposed methods (top method and two-echo method) for calculating the spectral parameters in precipitation region. The top method is used when raindrops or solid hydrometeors with small echo intensities exist. The top method sets an echo cut level by using the peak intensity of a clear-air echo. The echo cut level is used for separating clear-air echoes from hydrometeor echoes. The two-echo method is used when solid hydrometeors with large echo intensities exist. The two-echo method sets the echo cut level by using the local minimum of echo intensity between the clear-air echo and the hydrometeor echo. In order to determine the optimum echo cut levels for the top method and two-echo method, numerical simulations with different simulation conditions were carried out. Measurement results obtained by the vertical beam of the MU radar during the precipitation on 26 October 2009 were used for evaluating the performance of the top and two-echo methods. The measurement results demonstrate that the top method and two-echo method are useful for reducing the errors of spectral parameters.

高校生のページ

電波と電気とエネルギー

生存圏研究所 生存圏電波応用分野
(工学研究科 電気工学専攻 電波工学講座 マイクロ波エネルギー伝送分野)
篠原 真毅, 三谷 友彦

1. はじめに：電波のはなし

皆さんは「電波」と聞くと何を思い浮かべるでしょうか？テレビの電波？携帯の電波？宇宙を観測する電波望遠鏡？電波は何か分からなくても、電波によってどこか遠くの放送局からテレビの内容が届いたり、遠く離れた人とも電話線が無くても電話やメールが出来たり、宇宙の果てから届く何らかの情報を得て宇宙を調べたりする、ことは実感していると思います。遠く離れていても線でつながなくても何か情報が届くというとなんだか魔法使いになったような気がします。しかし、実際は情報を送る人と受ける人との間には「電波」があり、この電波が情報を伝えているのです。

「電波」とは漢字だけ見ると「電気」の波ということになります。電波とはもっと広い単語として「電磁波」という物理現象のうち、私たち人間がいろいろと使いやすい種類のものを電波と呼んでおり、少し狭い意味で使われています。電磁波には光も含まれます。それでは「電磁波」とはなんのでしょうか？これはやはり漢字の通りで「電気と磁気の波」ということになります。電気と磁気、と2つ並ぶと授業で習った内容で思い浮かべるのは電磁石や発電機ではないかと思います。電磁石は、釘等にコイル(電線)を巻き、そのコイルに電流を流すと釘等が磁石になるというものです(図1(a))。発電機はコイルのそばで磁石を回転させるもしくは動かす(もしくはコイルと磁石の関係が逆)と、その磁石の回転/運動によってコイルに交流電流が発生するというものです(図1(b))。つまり電気と磁気はそれぞれがそれぞれを生み出す関係になっています。電磁石はアンペールの法則という法則で定式化され、発電機はファラデーの電磁誘導の法則で定式化されます。電気が磁気を作り、磁気が電気を作るのであれば、電気→磁気→電気→磁気→…と連鎖します。磁石のおかげで磁気は遠く離れたものにも効くのは実感していると思いますが、実は電気も同じく遠く離れても間に何も無くても効くのです。その場合、電気というよりも「電場(もしくは電界)」と呼び、磁気は「磁場(もしくは磁界)」と呼びます。この電場と磁場が連鎖して遠くへ伝わっていくもの、これが電磁波ということになります(図1(c))。ただしこの図1(c)のイメージは正確ではありません。電場も磁場も時間と空間で複雑に関係しながら電磁波は空間を伝わっていきますので、こんなにきれいに電場と磁場は分かれません。電波の送信受信には金属製のアンテナを用います。残る漢字「波」は、上下に揺れるもののイメージだと思いますが、「磁石を回転させる」等がこの「揺れる」ことに相当し、電気では交流(プラスとマイナスで揺れている電気)ということになります。アンペールの法則とファラデーの電磁誘導の法則を一般化し、さらに他の物理法則をも統合した電磁波を記述する統一理論がマクスウェル方程式と呼ばれる4つの方程式系です。

電磁波は電気と磁気の波ですから、電気も含まれることになり、電気もマクスウェル方程式を用いて説明できます。電気というとオームの法則を習ったと思いますが、オームの法則は実用上有用な式で、マクスウェル方程式の一部になります。電磁波(電波)は、電気も含まれますから、電気であるともいえます。それでは電気と電波、何が違うのでしょうか？電気は線を伝わり、電波は空間を飛んでくる、これは本質ではありません。電波もアンテナで受信した後は電気回路の中を伝わります。一番の違いは周波数です。周波数とは波が1秒間に何回揺れるか、の指標で、単位はHz(ヘルツ)です。コンセン

トから来ている電気の周波数は 50/60Hz で、FM ラジオの電波の周波数は例えば 80.2MHz です。(MHz=10⁶Hz) 最近必ず家にある無線 LAN は多くは 2.45GHz (GHz=10⁹Hz) を使っています。この周波数が低く、線を伝わると電気と呼び、周波数が高く空間を飛びやすいものを電波と呼んでいるだけです。違いはこれだけですので、電波は電気である、と言ってしまってもあながち間違いではありません。そして知ってのとおり電気は電気エネルギーというエネルギーの一つです。電気は明るくしたり、ものを暖めたり、力を生み出すこと（発電機の逆でモーターの原理）もできます。エネルギーは他に位置エネルギー、運動エネルギー、熱エネルギー等がありますが、電気は、そして電波はこのエネルギーの仲間なのです。電子レンジが一番の例です。電子レンジはマイクロ波と呼ばれる電波（2.45GHz の電波）を使い、ものを暖めます。つまり、電波エネルギーが熱エネルギーに変換されているのです。このように、電波は電気であり、エネルギーでもあるということになります。

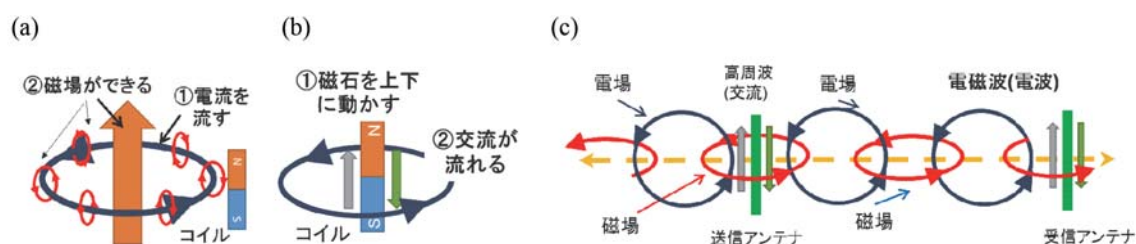


図 1 (a) 電気→磁気（アンペールの法則）(b) 磁気→電気（ファラデーの電磁誘導の法則）(c) 電磁波（マクスウェル方程式）

2. 電波で電気を送る（無線で電気を送る）

電波は私たちの目には残念ながら見えませんが、私たちの周りは今電波まみれです。テレビ、ラジオ、携帯電話、無線 LAN、車のレーダー等々。電波は実は人間が自ら作り出したもの以外には自然界にはほとんど存在しません。ですので、NASA が宇宙人を探すときは電波を受信するのです。知的生命体が存在しないと強い電波はないからです。電磁波の一種である光は太陽があったため、太古の昔から存在していました。そのため地球上の生物はその目で光を認識できるように発生しましたが、電波は自然界には存在していなかったため、生物は電波を見ることができないと勝手に考えています。マクスウェル方程式を作った J. C. マクスウェルは光の研究をしていて、アンペールの法則（1820 年）とファラデーの電磁誘導の法則（1831 年）の関連に気づき、マクスウェル方程式を立てることで逆に電波の存在を予言したのです（1864 年）。実際に電波の存在が確認されたのはマクスウェル方程式の発表の約 20 年後です（1888 年）。周波数の単位にもなっている H. ヘルツが実験によって電波の存在を確認し、始めて電波の存在が確認されました。そしてその約 10 年後にはもう無線通信が実用化され始めます（G. マルコーニによる大西洋横断通信実験の成功は 1901 年）。電波は宇宙の果てからでも届く性質があり、大西洋すら横断して情報を伝えられるため、電波を使った無線通信が私たちの生活を一変させました。

無線通信においては電波は情報を乗せる乗り物に過ぎません。光通信は電波ではなく光を乗り物として情報を送るのに使います。しかし、説明してきたように、電波は電気でありエネルギーであり、そして無線で遠くまで届きます。ですので、電波を使うと無線で遠くまで電気を届けることが出来ます。この技術を実無線電力伝送やワイヤレス給電技術と呼びます [1]。電波まで使わなくても、アンペールの法則とファラデーの電磁誘導の法則で近似できる非常に短い距離を磁場や電場でワイヤレスで給電する技術もあります [2]。例えば「Qi 規格」という規格の、置くだけ携帯電話の充電器はいくつかのスマートフォンに標準装備されていたり、後付けタイプが電気屋さんで買うことが出来ます。IC カードもこの磁場を用いたワイヤレス給電を行っています。しかし、これらのワイヤレス給電は数 cm も電気を無

線で送ることが出来ません。電波を用いれば何万 km 先にも電気を届けることが出来ます（通信と同じです）。

効率よく電波で電気を送るためには、アンテナ技術が重要となります。効率よく電波で電気を送るためには通常マイクロ波と呼ばれる GHz 程度の周波数の電波を用います。マイクロ波を用いたワイヤレス給電をマイクロ波無線電力伝送と呼びます。そして電波の周波数を電気の周波数に変換し、効率よく電気として使うためにはマイクロ波回路技術や半導体技術が必須となります。アンテナは最適化設計をすることで効率よく電波を出し入れするようにするのですが、空間を飛ぶ電波はすべてマックスウェル方程式に従い伝播しますので、実は工学的には手が付けられません。アンテナの大きさと距離、周波数を決めてしまえば電波の伝送効率はもう決まってしまう。例えば周波数が高ければ電波をビームのように絞れ、同じアンテナ同じ距離で効率は高くなります。マックスウェル方程式そのものに現在のところ疑問の余地はありません。マックスウェル方程式を何とかしたい人は工学部ではなく理学部向きだと思います。逆に理論と実際が非常によく合うために、工学的な設計はやりやすく、工学者の腕の見せ所です。そして効率よく電気として使うためのマイクロ波回路技術や半導体技術は工学者の腕の見せ所です。エネルギー保存則がありますので変換効率 100% 以上には勿論なりませんが、回路や半導体を組み合わせ、いかに 100% に近い電波→電気変換（周波数変換）を行なうかが研究となります。一般に半導体を用いた周波数変換回路では周波数が高いほど効率は下がります。しかし、これは理論的な限界ではなく、よい半導体が出来たり、新しい回路方式が提案されたりすれば同じ周波数でもまだまだ効率を高くすることは出来ます。周波数が高くなると電波を飛ばすところはマックスウェル方程式により伝送効率は上がり、回路の変換効率は下がります。マックスウェル方程式には逆らえません。今の技術力ではマイクロ波程度の周波数の電波が総合効率（伝送効率と回路の効率との掛け算）では最大となるため、今はマイクロ波を使った研究が多いですが、工学者の今後のがんばりで無線電力伝送用にもっと高い周波数を使えるようになるかもしれません。

無線電力伝送は、携帯電話やドローンや電気自動車という移動する相手にも無線で電気を送ることが利点です。電波を用いた無線電力伝送は大きく分けると図 2 のように 3 つに分けることが出来ます。図 2 (a) は「電気を送る」イメージに一番近い、1 箇所の送電点から 1 箇所の受電点に全電波エネルギーを集中させ、電線に負けない伝送効率を実現しようとするもので、ビーム型と呼んでいます。しかし、このビーム型は「思っているよりも」アンテナの大きさが理論的に大きくなってしまったために、まだ実用化には研究が必要です。そこであえて電線との勝負を避け、無線通信的ないつでもどこでもの良さを使う無線電力伝送が図 2 (b) です。テレビや携帯電話のように同時にたくさんのユーザーが、どこにいても電気を無線もらえるシステムで、ユビキタス型と名付けました。ユビキタスとはラテン語で「いたるところに存在する」という意味です。これであれば無線で電気を送るという利点をより生かすことが出来ます。またインターネット・オブ・シングス (IoT) というすべてのものをネットにつなぐ夢の構想にも応用できます。IoT とは何兆個のセンサーをいたるところに設置するイメージです。IoT ではすべてのものが無線通信する必要がある、すべてのものが電気を必要とすることになりますが、電池を何兆個もばら撒くよりも無線で電気を送った方がいいでしょう。携帯電話を部屋の中のどこにいても無線で充電する装置は複数のアメリカのベンチャー会社が製品化を始めていますし、電池レスセンサーは日本のメーカーも商品化しています。無線通信と同じように電波で電気を送るのであれば、最初からもう私たちの周りにある無線通信用の電波を使って電気を作り出すことも可能です。これは図 2 (c) に示す電波エネルギーハーベスティングと呼ばれています [3]。これは専用が送電器も要りませんし、新しく電波を放射しないので新たな電波の干渉問題はすでにクリアされており、最も実用化に近いといわれています。日本やアメリカのベンチャーがハーベスティングを用いた農業用湿度センサー（日本）や携帯の充電補助装置（アメリカ）を販売しようとしています。ハーベスティングは今ある通信用の電波

を利用するため、その電力密度が非常に小さいのが難点とされます。

私たちの研究室ではマイクロ波無線電力伝送の研究を先代から数えてもう 30 年以上行なっています。最近ではドローンを利用して火山観測センサーや被災者位置センサーをマイクロ波で駆動するビーム型とユビキタス型の間のようなシステムの実証実験に 2015 年 7 月に成功しました (図 3 (a))。このドローン実験は 2016 年には福島で野外実験も計画しています。ZigBee という無線センサーを電池レス化し、さらに電波の干渉を避けられる新しいシステムの実験も 2012 年頃から始め、2014 年には実証実験にも成功しました (図 3 (b))。マイクロ波よりも一桁高い周波数を用いて高効率に電波→電気回路変換をするチップの開発にも企業との共同研究で成功しています (図 3 (c))。2013 年から京都大学が推進する Center of Innovation (COI) という大きな産学連携研究プロジェクト (「活力ある生涯のための Last 5X イノベーション拠点」) で医学研究科の先生とも協力し、2015 年にはお年寄りがよく使う電動車いすのマイクロ波充電システムの開発や、医療用各種センサーの電池レス化を目指したユビキタス型マイクロ波無線電力伝送センサーの開発にも成功しました。

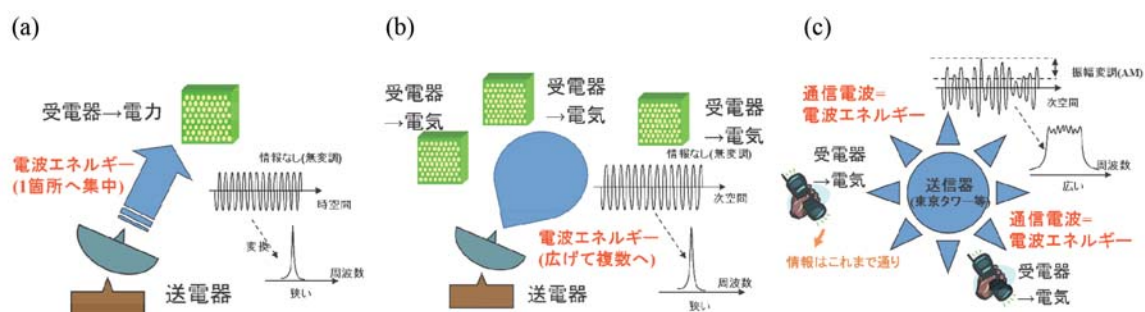


図 2 (a) ビーム型無線電力伝送 (b) ユビキタス型無線電力伝送 (c) 電波エネルギーハーベスティング

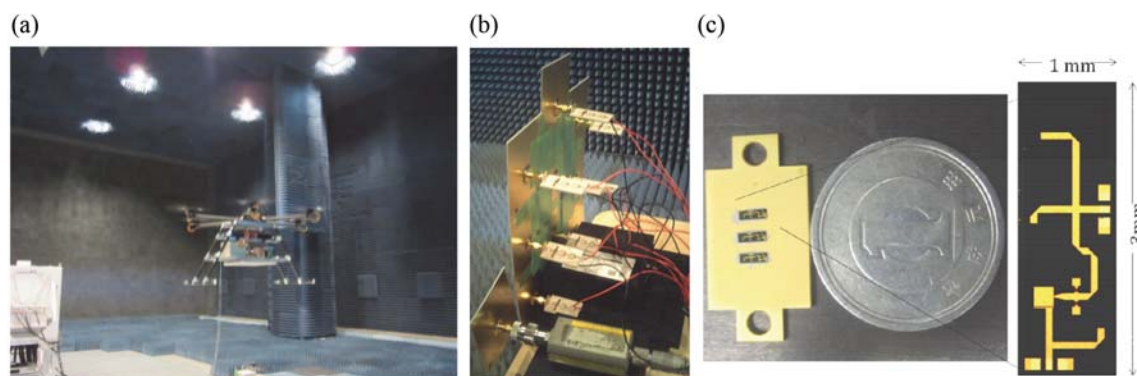


図 3 (a) ドローンから地上のセンサーへの無線電力伝送実験 (2015) (b) 干渉低減型電池レス ZigBee ワイヤレスセンサー (2014) (c) 24GHz MMIC チップ型整流回路 (2013)

3. 電波で電気を送る未来にある宇宙開放系の持続可能な生存圏—まとめにかえて—

今は電話やインターネットがほぼすべて無線で使えてあたりまえになりました。10 年ほど前に比べるとなんと私たちは自由になったことでしょう。しかし、まだ私たちは電池を持ち運び、電池が切れる心配をして、コンセントを探して毎日充電しなければなりません。私たちは電池が切れて誰かと繋がらなくなることをまだ恐れて暮らしています。もし電気すら無線で届き、いつでもどこでも電池切れの心配をしなくてもいい社会が実現できればどんなにいいことでしょう。先述の京都大学の COI プロジェクトで、無線電力伝送研究は大きな研究グループの一部に過ぎませんが、この漠然とした不安を様々な技

術で解消し、「しなやかほっこり社会を実現する」をキーワードに研究をしています。

さらに無線電力伝送が実現するのは「しなやかほっこり社会」だけではありません。ビーム型の無線電力伝送を用いると、宇宙空間に浮かべた太陽電池で発電した莫大な電力（100 万 kW 程度）を地上に無線で送るという宇宙太陽発電所 SPS（Solar Power Satellite/Station, 図 4）も実現できる可能性があります [4]。太陽電池を宇宙に浮かべマイクロ波無線電力伝送を行なうと、宇宙はほぼ夜がありませんし、マイクロ波は雨雲で減衰することはほぼありません。メガソーラー発電所の問題は、昼夜天候で発電量が大きく左右されるため、安定性にかけ、そのためバックアップ用の他の発電所を必要とし、結果とても電気代が高くなることです。SPS は同じ太陽電池でも昼夜天候に関係なく発電できるようになるため発電が安定し、ロケット代を加えても発電コストを下げる事が出来ます。もちろん地球温暖化の原因の二酸化炭素もほぼ排出しません。SPS は地球環境問題を解決できる一手法なのです。しかし、100 万 kW の太陽光発電所である SPS は、マックスウェル方程式によって数 km サイズの大きさとなり、重量 1 万トン程度の超巨大な衛星となる点が問題とされています。私たちの研究室を含め世界中で研究がされているにもかかわらず、SPS プロジェクトそのものに GO サインはまだ出ていません。しかし、逆にこれだけ大きな衛星を作れる技術を人類が持てば、いずれ宇宙コロニーや月移住だってできるようになるかもしれません。このままでは人間がその活動を継続すれば、地球はその限界にすぐなってしまう。環境問題はもとより、食料やエネルギーも取り合いになってしまうでしょう。そうなる前に、私たちは宇宙環境を早く利用して、私たちが生きるのに必要な「生存圏」を大きくするべきと思っています。これを「地球閉鎖系」から「宇宙開放系」へのパラダイムシフトと呼び、宇宙開放系の持続可能な生存圏の構築を考えており、そのため私たちの所属は「生存圏研究所」という名前になっています。そして宇宙開放系の持続可能な生存圏の構築するために必須なのは科学技術であり、特にマイクロ波無線電力伝送技術だと考えます。最近「科学技術は悪」的な雰囲気がありますが、私たち人間は科学技術を駆使しなければ生存を維持できません。良くも悪くも私たち人間は科学技術を利用しなければならないと私たちは考えます。そして人間と地球と自然とを共存させる新しい宇宙開放系の持続可能な生存圏の実現を目指し、私たちはマイクロ波無線電力伝送の研究を行なっているのです。

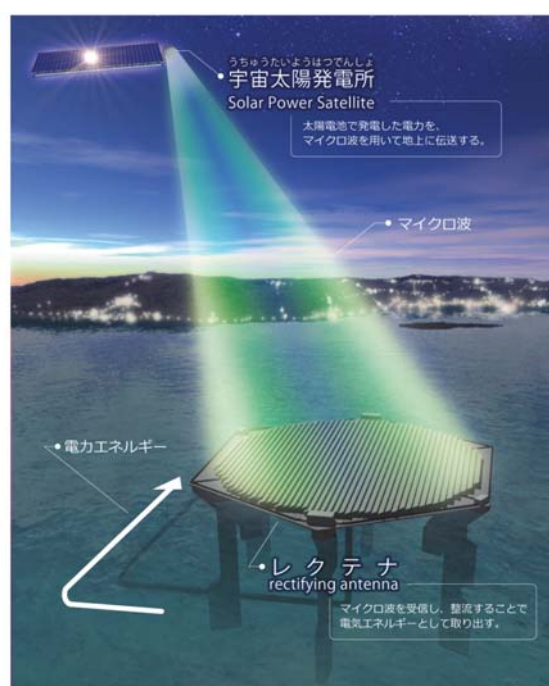


図 4 宇宙太陽発電所 SPS とマイクロ波無線電力伝送

参考文献

- [1] 篠原真毅, 小紫公也, “ワイヤレス給電技術—電磁誘導・共鳴送電からマイクロ波送電まで— (設計技術シリーズ)”, ISBN978-4-904-77402-1, 科学情報出版, 2013.2
- [2] 篠原真毅 (監修), “電界磁界結合型ワイヤレス給電技術—電磁誘導・共鳴送電の理論と応用—”, ISBN978-4-904774-28-1, 科学情報出版, 2014.12
- [3] 堀越智, 竹内敬治, 篠原真毅, “エネルギーハーベスティング 身の周りの微小エネルギーから電気を創る” 環境発電 “”, ISBN978-4-526-07309-0, 日刊工業新聞社, 2014.10
- [4] 篠原真毅 (監修), “宇宙太陽発電 (知識の森シリーズ)”, ISBN978-4-274-21233-8, オーム社, 2012.7

学生の声

「T 型人材の縦横比」

情報学研究科 通信情報システム専攻 情報回路方式分野 博士後期課程3年 栗 野 皓 光

最近、世間ではジェネラリストの育成が重要視されているように思う。研究者にも、自分の専門以外について広くカバー出来るような「T 型」人材が望まれているようである。T 型と言っても一世を風靡した乗用車のことではない。T の横棒が周辺知識への理解を、縦棒が専門性の深さを表現しているとのことだ。要素技術の進歩が飽和し始め、異なる技術の組合せが求められ始めた今の様な時代には、ある種の何でも屋さんが求められるのであろう。

では、T の横棒と縦棒はどのように伸ばしていけば良いのだろうか？研究者と言うからには、1 つのことを突き詰めることも重要であり、突き詰めないと見えないことも当然出てくる。同時に、横の広がりにも気を配れ、というのは中々難しい要求であらう。僕は、学生で居られる期間は T の横棒を伸ばすことに注力したほうが良い、と考えている。柵にとらわれずに、色々な分野を“摘み食い”させてもらえるのも、(学費を払って時間を買っている) 学生の特権では無いだろうか。

「ちはやぶる 神代もきかず 龍田川 からくれなゐに 水くくるとは」在原業平が紅葉の美しさを詠んだ歌である。「ちはやぶる」という枕詞の意味には諸説あるらしいが、某かるた漫画には、独楽の回転に例えた説明が紹介されていた。「ちはやぶる(千速振る)」は高速回転する独楽の微小な振動のことで、まるで静止しているように見えながら、周囲に偏りなく力が集中している様子を表すらしい。いつの日か、自分だけの安定した軸を持った「ちはやぶる」研究者になれる日を目指しつつ、残り少ない学生の間に、思う存分、摘み食いしてやろうと企んでいる。

「モントリオールの歩き方」

工学研究科 電子工学専攻 電子材料物性工学分野 博士後期課程3年 木 村 知 玄

私は『京都大学大学院工学研究科馬詰彰奨学寄附金』の支援を賜り、博士課程3年次の9月から6週間、カナダはモントリオールにあるマギル大学 (McGill University) での海外研修を受けさせていただくことができました。私は滞在の間、物理学科の物性物理に関する研究室にお世話になりました。このマギル大学の物理学科はノーベル賞も受賞した原子物理学の大家であるラザフォード氏の名を冠す建物に入っており、毎週開かれる著名な研究者を招いてのセミナーへの姿勢からは、その名に恥じない学生たちの学問への熱心さが伺えました。

博士課程での研究は自分用にカスタマイズした装置を用いて実験を行っているため、当初はこのような海外研修で直接的な成果、または自身の研究へのフィードバックとなるような寄与は難しいと考えていました。しかし、先方の研究者が取り組んでいる内容の一つに私にも関係するものがあったため、まず理論や数値解析の面から対応できないか考えました。このことを通して、先方の研究者のバックグラウンドである物理学とは異なる、電気や制御面からの考え方が、活き活きとした議論を生み出しました。本来研修をする際、事前に内容を決定しておくことが短い期間で研究を進める鍵となりますが、このようにその場で議論しながら新しい視点を生み出すことも、非常に「研究」らしさ溢れているということを感じたものです。

この海外研修で私の得たものは、研究成果でなく、英語力でもなく、「対話」ではないかと考えています。これまでの研究生活は基本的に一人で行うものであり、自身で解決できることが多かったため研究に関して人と議論する機会は少なかったように思います。しかし、たとえ煩雑であっても、その時は無駄と感じるとしても、何かが進んだり変わったりするきっかけになることは間違いありません。それには言語は関係ないのです。

最後に、モントリオールは歩くだけでもとても面白い街です。少し歩けば繁華街から学生街、旧市街のたたずまいや、すぐそばにモンロワイヤル山があります。異国の地で歩き、見て、何かを感じればそれが経験になるということを思わせてくれた渡航となりました。

教室通信

就職・採用活動時期の変更 続報

電子工学専攻長 竹 内 繁 樹

1 年前に発行されました Cue33 号の中の、和田修己電気工学専攻長が執筆された教室通信にありましたように、平成 27 年度に卒業・修了（平成 28 年 3 月卒業・修了）の学生諸君から、就職活動の時期が大きく変更されました。本稿では、続報として、その経緯、結果について振り返ってみたいと思います。なお、下記の内容は、工学研究科電気工学専攻・電子工学専攻の修士課程学生への対応を中心にまとめています。

1. 平成 27 年度の、就職・採用活動時期の変更とその背景

平成 26 年度までは、企業から学生に対して就職情報を伝える、いわゆる「広報活動」は、前年度の 12 月に解禁になり、また実際に面接などが行われる採用選考は、4 月 1 日に開始でした。この日程に対しては、学部生の場合 3 回生後半、修士学生の場合修士 1 回生後半から実質的に開始となる就職活動が、場合によっては翌年の 9 月まで続くなど、勉学・研究活動への障害となっていることへの強い懸念が、大学界から出されていました。

この状況の改善を目指し、平成 27 年度は、広報活動の解禁が平成 27 年 3 月 1 日、選考活動の解禁が平成 27 年 8 月 1 日に変更されました。これは、国立大学協会も参加している「就職問題懇談会」による議論・申し合わせを元に、経団連への申し入れが総理大臣よりなされ、それを受けて経団連より加盟企業宛に通知されたという流れになっています。詳細は、Cue33 号の教室通信をご覧ください。その中で、和田教授は就職活動時期の後ろ倒しによる、卒論・修論作成や学会活動への影響について懸念を表明されています。また 3・4 月および 7・8 月の春・夏休暇を活用した重点的な採用活動についての協力要請もされていました。

2. 平成 27 年度の、就職・採用活動の実際

平成 27 年度就職活動は、就職担当教員、学生、企業のいずれもが手探りの対応となりました。電気工学専攻・電子工学専攻は、3 月 1 日の広報活動解禁までは、OB 訪問も含めた広報活動の自粛を要請するとともに、3 月 1 日以降についても、勉学・研究活動に配慮し、夕方以降におこなっていただくこと、またゼミなどへの支障をさけるために、企業説明会は近隣の有料会議室等を活用して頂くことを、各社に依頼しました。各企業には御理解、ご協力をいただき、おかげさまで静謐な環境を維持できました。また学生に対しては、1 月に進路説明会を実施、就職活動時期の変更について周知すると共に、博士後期課程進学の特典についても説明しました。3 月中旬には洛友会主催の交流会が開催され、各企業と学生の活発な交流がなされました。一方で、企業側の対応はさまざまでした。紳士的に「申し合わせ」を遵守し 8 月 1 日まで選考活動を一切行わない企業もある一方、専攻長との面談時に「当社は 5 月に面接による選考を予定しています（明らかな申し合わせ違反）」と断言され、驚き抗議する場面もありました。6 月～7 月の企業訪問時に、一種のマッチングを行うケースも見られました。

結果としては、おかげさまで電気系専攻の学生に関しては、8 月 1 日の選考活動解禁後、速やかに内々定を頂くケースが多く、8 月中には殆どの学生が内々定を得られました。一方で、3 月の広報活動解禁から 8 月の選考活動解禁の 5 ヶ月間は、多くの学生が就職活動に多くの時間を費やす状況が生まれました。また経団連申し合わせにある「学業への影響をさけた」広報活動が遵守されていないケースが多く目についたのは大変遺憾でした。

3. 平成 28 年度の、就職・採用活動にむけて

報道によれば、平成 28 年度について、広報活動解禁は 3 月 1 日で維持するが、選考活動の解禁を 6 月 1 日とする方針を経団連会長が平成 27 年 11 月 9 日記者会見で明らかにしました。突然の変更に、大学側での対応も現時点（平成 27 年 12 月）でまだ決定できていない状況です。また、広報解禁から選考解禁までの期間が平成 27 年度の 5 ヶ月から 3 ヶ月と、平成 26 年度以前の 4 ヶ月よりも短縮されます。一層の短期決戦が予想され、特に 4 月、5 月の授業期間における勉学・研究への影響が強く懸念されます。今年度を見ても、日程変更などの制度の改変そのものは学生に大きなストレスとなります。最後に、OB の皆様におかれましては、平成 28 年度就職活動に関しましても、なにとぞご理解・ご協力を賜りますようお願い申し上げます。

編集後記

cue35 号をお届けします。本号掲載の「世界の空の環境変化と最近の関空の概況」でも述べられていますように、アジアが急速に発展するとともに技術競争力も強まっています。日本の産業界も生き残りをかけて競争を進めていく必要があります。産業界に優秀な人材を送り出すため、大学と産業界の交流はますます重要になります。このためにも、情報誌 cue が一助になればと願っています。今後とも電気関係教室にご支援をいただけますようお願いいたします。

[M.M. 記]

協力支援企業

新日鐵住金株式会社
ダイキン工業株式会社
鉄道情報システム株式会社
株式会社 村田製作所
ローム株式会社
(アイウエオ順)

発行日：平成28年3月

編集：電気系教室 cue 編集委員会
大村 善治、松尾 哲司、守倉 正博、
山田 啓文、掛谷 一弘、石原 亨、
薄 良彦、荒木 光彦（洛友会）
京都大学工学部電気系教室内
E-mail: cue@kuee.kyoto-u.ac.jp
www.s-ee.t.kyoto-u.ac.jp/ja/information/cue

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

印刷・製本：株式会社 田中プリント

