

cue

京都大学電気関係教室技術情報誌

NO.23

MARCH 2010

[第23号]

.....
卷頭言

市原 達朗

.....
大学の研究・動向

エネルギーの情報化

—電力ネットワークと情報ネットワークの統合—
知能情報学専攻 知能メディア講座 画像メディア分野

.....
産業界の技術動向

パナソニック株式会社 本社 R&D 部門 技監

安本 吉雄

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

賛助会員の声

編集後記

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

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

cue 23号 目次

巻頭言

- 「最近の産学官連携活動に思うこと」
..... 京都高度技術研究所 産学連携事業本部長 市原 達朗..... 1

大学の研究・動向

- 「エネルギーの情報化 ―電力ネットワークと情報ネットワークの統合―」
..... 知能情報学専攻 知能メディア講座 画像メディア分野..... 3

産業界の技術動向

- 「情報家電とホームネットワーク」
..... パナソニック株式会社 本社 R&D 部門 技監 安本 吉雄..... 9

研究室紹介..... 16

博士論文概要..... 38

高校生のページ

- 「囲碁名人の頭脳とコンピュータ」..... エネルギー応用科学専攻 野澤 博..... 57

学生の声

- 「慣れても馴れるな」
..... 工学研究科 電子工学専攻 博士後期課程2年 玉山 泰宏..... 63

- 「博士後期課程学生2年になった私が思うこと」
..... 工学研究科 電気工学専攻 博士後期課程2年 横井 裕一..... 63

教室通信

- 「エレクトロニクス・サマーキャンプ開催報告」
..... 須田 淳、蛭原 義雄、山末 耕平、佐藤 宣夫..... 64

賛助会員の声

- 「ロームにおけるフォトリソグラフィ研究開発」
..... ローム株式会社 大西 大..... 65

編集後記..... 67

巻頭言

最近の産学官連携活動に思うこと

昭和 42 年卒 京都高度技術研究所産学連携事業本部長 市原 達朗



ご縁あって、文科省が平成 14 年にスタートした知的クラスター創成事業の事業総括として京都高度技術研究所にお世話に成っている。日本でも、公開企業が 4 半期ごとの業績で評価されるなか、中長期的テーマにじっくりと挑戦する機会が激減している。国、地域行政からの補助金、委託費が、この傾向を少しでも緩和する形で利用出来ればと願っている。もとより、企業が比較短期のリターンを求め勝ちであり、大学研究者が比較長期のしっかりした研究テーマに取り組みたいとの立場の差は過去、現在、将来に亘り存在する。私は、21 世紀の置かれた状況に鑑み、今ほどに大学が宇宙、森羅万象の原理原則の探求に立ち戻る中で、真の意味で画期的な発明発見に挑戦することが必要とされた時期はなかったと感じている。しかしながら、最近使われる『産学連携事業』と言う言葉には、むしろ極めて短期間中にそのリターンを事業量として求めるニュアンスが強い。勿論、大学の英知が比較短期に実事業を生み出す可能性を否定する気は全く無いが、今は、あまりにも拙速に走ることで、むしろ本来的に役立てられるはずの大学の英知の活用機会を減らしている気がしてならない。イギリスで、同じ様な状況に陥りかかった時、大学の本来的な役目を政府に説得したのは、大学当局の力のみならず、むしろ心ある企業からの『大学の存在価値』に関する強力なアピールが奏功したと聞く。日本企業が戦後の復興のために、効率主体で経営され、その結果、世界から驚嘆される発展を遂げた。その見返りに『ことの本質』を考え抜く力を失ったことを認識し、新たな価値観で産学連携を進めるべき時期にきている。行政のみならず、現場を預かる我々の見識、判断力、何にも増して行動力の真価が問われている。

ところで、今ほど画期的な発明発見が求められた時期はなかったと前述したが、科学技術に頼るだけで持続的社會が構築できると考えるのは危険である。神のみぞ知ると言ってしまうまでも、近未来に露呈されるであろうエネルギー、材料に関する需要供給の決定的なアンバランスを考えるだけでも、科学技術だけで、秩序安寧をそこそこ享受できる条件をグローバルに作り出すことは難しそうである。つまり、大量生産、大量消費前提の『持つことによる幸せ』を求める考え方自体を変えることが必要とされている。昨今、産学連携活動に関して語られる時、『イノベーション』なる言葉が頻繁に使われる。その殆どが、シュンペーター、クリステンセン等の先駆者達が唱えた創造的破壊、破壊的創造を指向するものであり、その場合の破壊の対象は『現商品の市場価値』である。今、必要とされる創造的破壊の対象は、実は、我々の価値観そのものなのであり、モノづくりに関する基本的認識を変えることが必要なのである。最近の若者に対して『科学離れ』が心配されているが、それ以上に心配すべきは、彼らの『リベラルアーツ離れ』『21 世紀には通用しなくなる価値観への固執』なのである。

もう少し近場に話を戻す。量より質と言われて久しいが、企業においてもその実現は中々難しい。日本にも、ユニークなベンチャー企業、中小企業は数多く存在するはずなのだが、彼らが大きい社会的インパクトを与えるビジネスを育て上げることは稀である。彼らへのサポート、援助の仕組みは数々考

えられ施行されている。しかし、現在実施されている諸施策の殆どは、例が悪いが、潜水夫にボンベを渡す類のものでしかなく、自らの力だけで潜り続けるように仕立てるものではない。このような諸施策が無意味とは言わないが、実は、ブランド志向に囚われず、どんどん新参者の技術、商品を購入する気運が大手企業、既存企業に生まれることが唯一無二の答えなのである。これなしには1000に3つの僥倖狙いからいつまでたっても抜け出せない。他国では、コーポレート・インベストメントなる考え方で、大手が自らのために新参者を利用する。この考え方自体は、もろ手を挙げて賛成できる程には上等のものではないが、日本の現状に較べれば勝負は明らかである。折角、肝いりで産学官連携を唱えるのであれば、弱肉強食的なコーポレート・インベストメントのような野蛮なやり方ではなく、むしろ共存共栄的コミュニティーを目指すなかで、ベンチャー企業が自立出来る文化を構築すること、このことが、日本の現在、将来を救う唯一の道のように感じる。難しく聞こえるかもしれないが、平たく言えば、我々一人ひとりが、江戸、明治の価値観に戻るだけで、その殆どが解決されるはずなのである。

大学の研究・動向

エネルギーの情報化 — 電力ネットワークと情報ネットワークの統合 —

情報学研究科 知能情報学専攻
教授 松山 隆 司

電気電子工学科の理念は、「21世紀のエネルギーと情報社会をハードとソフトで支えることにある。」とホームページに記載されている。本稿では、この理念実現に向けた1つのアプローチとして、筆者が数年前から提唱している「エネルギーの情報化」の基本的考え方を紹介する。

1. 「実世界」と「情報ネットワーク社会」の統合

1. 1 背景と目的

20世紀までの社会では、「実世界 (Physical Real World)」での活動が中心であったが、20世紀末以降、情報通信技術の発展により「情報ネットワーク社会 (Cyber Network Society)」が構築されてきた (図1)。「実世界」における活動は、地球の重力や人間の生理特性など物理化学の法則に従ってどのようなことができるかという発想で世界の仕組みが作られてきた。一方、「情報ネットワーク社会」では、標準、規則、法律等のルールに基づいて活動が展開されるため、ルールをどのように定め、守っていくかが重要となる。

このように、21世紀の社会には、「実世界」と「情報ネットワーク社会」という2つの活動の場があり、「実世界」には物流、人の流れ、あるいはエネルギーの流れ、「情報ネットワーク社会」には情報の流れがある。我々の研究グループでは、これらの流れを相互に関連付け、統合することによって、新たな社会基盤を構築することを目指して研究活動を展開している。

「実世界」と「情報ネットワーク社会」の統合は、21世紀の社会基盤構築という側面だけでなく、学術的にも大きな意義があると考えている。すなわち、「実世界」における法則の解明とその技術化の基礎理論としては、Maxwell方程式などの微分方程式系に代表される物理化学モデルが作られ、大きな成功を収めてきた。一方、「情報ネットワーク社会」を支える学術的基礎としては、Turing機械などの計算理論、Shannonの情報理論などがあり、それらに基づいて多種多様な情報システムが開発され日常生活を支えている。

では、物理化学モデルと計算情報モデルは、どのような関係にあり、両者の統一理論といった新たな理論モデルは考えられないのであろうか？こうした理論的基礎が構築されてはじめて、「実世界」と「情報ネットワーク社会」の統合の指針が示され、健全な21世紀社会が実現されると考えられる。(我々の研究室では、統一理論構築を目指した1つの試みとしてHybrid Dynamical Systemの研究 [1][2]を進め

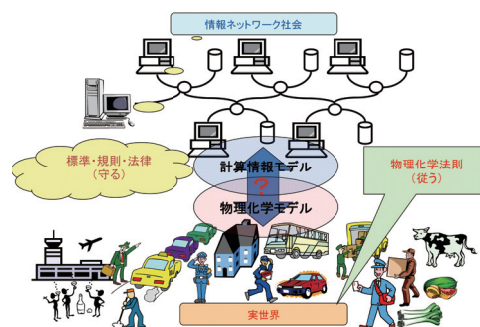


図1 「実世界」と「情報ネットワーク社会」

ているが、それについては、別の機会に述べることにしたい。)

1. 2 実例

「実世界」と「情報ネットワーク社会」の統合は既に始まっており、その代表例が、貨幣・証券等の情報化である。「実世界」では貨幣・証券などモノの流れとして価値が流通していたが、「情報ネットワーク社会」では、情報化された数字として価値が流通しており、その価値を保証するのが、個人（権限）認証や情報セキュリティであり、それらが「情報ネットワーク社会」における情報の流れを意味付けるための重要なルールとなっている（図2）。

また、「実世界」の様々なモノにバーコードやICタグ、RFタグを付け、その位置・種別などを「情報ネットワーク社会」の中の情報として蓄積、管理することによって、食材のトレーサビリティ、ETC、カーナビ、携帯電話など物流・交通・人流の情報化（「ユビキタス社会」）が実現されている（図3）。さらに最近では、情報化の対象がモノから人へと広がっていき、腕時計型の生理・運動状態記録装置などを使った個人の健康・活動状態の情報化実験が行われている。

このように「実世界」と「情報ネットワーク社会」とが統合され、新たな社会基盤が着実に形成されてきている。言い方を換えると、今後の情報通信の研究開発は、便利さ、快適さの追求ではなく、21世紀社会の基盤設計、構築を目指して行われるべきであると言える。

2. エネルギーの情報化

初期の計算機システムや通信ネットワークは、大型計算機・交換機→端末といったスター型（中央集中型）構造であったが、ワークステーションやPCの発展に伴い次第に分散化・双方向化・個人化が進み、現在の超分散型ネットワーク（インターネット）へと移行した。この革命的とも言える変化は、情報通信技術の進歩・発展（「実世界」）とともに、電電公社の分割民営化、各種の規制緩和という社会的ルールの変更・改革（「情報ネットワーク社会」）が並行して行われたことによって、わずか30年ほどで実現された。

こうした視点で「実世界」における社会基盤システムである電力ネットワークの今後を展望してみると、現在は大型発電所→工場・オフィス・家庭といったスター型構造をしているが、風力発電、太陽電池、燃料電池、蓄電池の進歩・発展（「実世界」）、それを後押しする地球温暖化防止に向けた政策（「情報ネットワーク社会」）によって、急速に分散化、双方向化、個人化が進むことが予想される。そこで我々は数年前から、電力ネットワークと情報ネットワークの統合による新たな超分散型エネルギー社会基盤の構築を目指して「エネルギーの情報化」というアイデアを提唱し、研究開発を進めている（図4）。

情報通信技術による電力ネットワークの高度化という考え方は、昨年来米国オバマ大統領が提唱している Green New Deal 政策によって注目を集めている「Smart Grid」と同じであるが、「エネルギーの

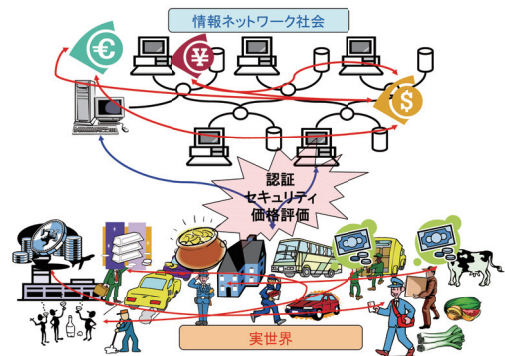


図2 貨幣・証券の情報化

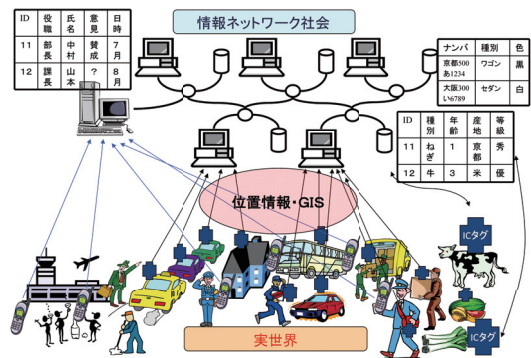


図3 物流・交通・人流の情報化（ユビキタス社会の実現）

情報化」と「Smart Grid」は以下の点で大きく異なっている。

「Smart Grid」:電力事業者が管理・運営する全国的・公的な送電網を対象とし、国内では電気事業法の制約を受け、個人や一般企業が自由にエネルギー・マネージメントを行うことはできない。

「エネルギーの情報化」:個人や一般企業が管理・運営する家庭、施設、地域内における自営線を対象としており、全く新たな発想で高度なエネルギー・マネージメントシステムが実現できる。

一方、日本の二酸化炭素排出量の年次変化を見ると、産業界における削減余地は限られ、家庭やオフィスにおける排出量の削減が課題として挙げられており、その解決を目指しているのが「エネルギーの情報化」であるとも言える。

現在我々は、以下で述べる4段階で「エネルギーの情報化」による新たな生活環境、社会基盤の構築を目指した研究開発、実証実験を進めている [3]。

2. 1 電力センサネットワークによるエネルギー消費の見える化と人間行動の学習・見守り

「エネルギーの情報化」に向けた第1段階として、家庭・オフィス内のあらゆる電気機器に、電力センサと通信モジュールからなる「スマートタップ」を取り付け、詳細な電力消費パターンをモニタリングするセンサネットワークを構築する (図5)。これにより家庭における各電気機器の電力消費状況をリアルタイムに計測・分析・表示すること (図6) が可能となり節電意識の向上が図れるだけでなく、プライバシーを損なうことなく生活者の行動パターンの学習、モニタリングができ、安全・安心のための見守り、さらには電気機器の不具合の早期発見にも役立つ。

図7は情報通信研究機構と共同で開発したスマートタップ、図8は計測されたウォッシュレットの電力消費パターンを示している。一般に家電の使い方は個人によって異なるため、その電力消費パターンを分析すれば使用者を推定することができる。また、これまでの研究で、1交流周期における電流波形を分析することによって、16種類の家電を99%の精度で識別できることが分かっており、家電をコンセントに接続するだけで、その家電が何であるかが判別できる [4]。

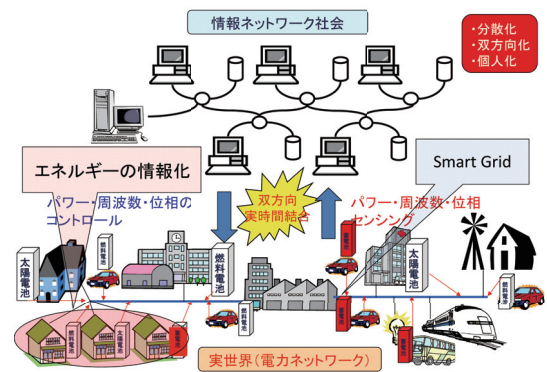


図4 電力ネットワークと情報ネットワークの統合

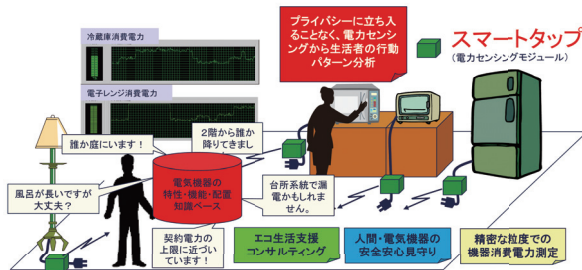


図5 スマートタップを用いた家庭内電力センサネットワーク



図6 家電ごとの電力消費量の見える化 (情報通信研究機構との共同研究)

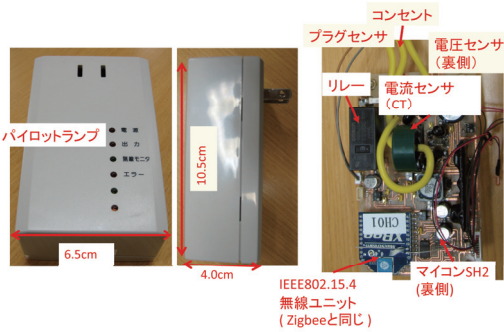


図7 スマートタップ (情報通信研究機構との共同開発)

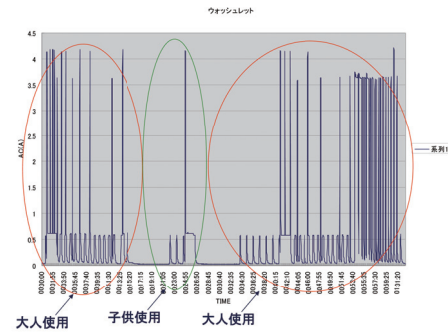


図8 ウォッシュレットの電力消費パターン (情報通信研究機構との共同研究)

2.2 オンデマンド型電力ネットワークによる高度電力マネジメント

前述の電力消費の見える化による節電意識の向上では、無駄な電力が削減されるだけで、その効果は限られている。そこで「エネルギーの情報化」の第2段階として、スマートタップに電力制御機能を付加するとともに (図7のスマートタップにはON/OFFリレーが組み込まれている)、蓄電池をエネルギー・バッファとして活用して家庭内の電力消費を知的に管理し、大幅な省エネを実現する電力マネジメントシステムを構築する (図9)。蓄電池としては、図に描かれているように電気自動車を利用することによって、家庭内での生活と屋外での交通に要する電力エネルギーの管理を統一的行うことが可能となる。

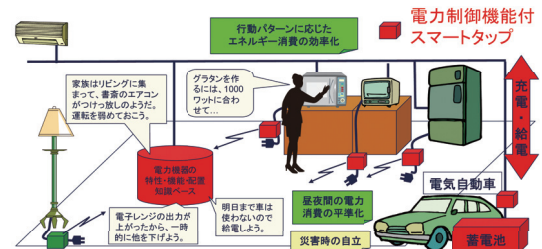


図9 オンデマンド型電力ネットワーク

我々は、エネルギーの知的管理方式として、以下のような「EoD: Energy on Demand (オンデマンド型電力ネットワーク)」を提案している。

1. 電気機器のスイッチを入れると機器の電力要求・機器特性を記した情報パケットが電力マネージャに送信される。(スイッチを入れても直接電気機器がONになるわけではない。)
2. 電力マネージャは、現在の電力需給状態および、前述のセンサネットワークを使って学習された家庭での生活パターンを考慮して、当該機器に利用可能な電力使用量、時間を割り当てる。(「Best Effort」で電力供給を行うため、全ての要求が100%満たされるわけではない。つまり、100Wの要求に対して80Wしか給電されないこともありうる。)
3. 給電開始許可のパケットを受けると初めて、電気機器へ電気が通じる。その際、スマートタップは、許可された電力量の範囲内でしか電気機器に給電しない。
4. 電力マネージャは、他の電気機器の利用状況、要求の重要度に応じて電力供給を継続的にオンライン制御する。(利用者が予め設定した総電力使用量の制限値以下でマネジメントを行う「Cap制」による制御が行われるため、重要度の高い電力要求が発生することによって電気機器への給電が削減、中断されることがありうる。)

EoD方式では、Best Effort、Cap制という現在の送電網制御では考えられなかった方式を導入することによって、大幅な省エネを100%確実に実現することができる。EoD方式では、電力消費を100%カ

ットする（つまり、いかなる電力要求も無視する）ことも可能であるが、それでは生活の質（QoL: Quality of Life）が損なわれてしまう。すなわち、QoLを保ちつつ電力消費をどこまで削減できるかが重要で、そのためには生活パターンの正確な学習とそれに基づいた電力制御方式の開発が不可欠となる。

2. 3 家庭内ナノグリッドによる電力ルーティング

第3段階としては、個々の家庭に設置される発電装置及び蓄電装置をネットワーク結合し、家庭内のトータルな電力マネジメントシステムを構築する。すなわち、現在の家庭内電力ネットワークは木構造であるが、複数電源や蓄電池の導入によってループを持ったグラフ構造へと拡張することが考えられ、多様な電力ルーティング機能を備えた「ナノグリッド」が形成される。図10は、家庭内ナノグリッドを構築するためのスマートタップ群を示したもので、先に示した個々の電気機器に付けるタイプに加え、グリッド制御のための「スマートブレーカ」といった新たな機能を備えたものが必要となる。

家庭内に複数の電力源が設置された場合、各電源からの電力を区別し（電力カラーリング）、量的な省エネだけでなく、二酸化炭素発生量の低減を考慮したエネルギー・マネジメント（自然由来エネルギーを優先的に利用、十分確保できない場合は給電しない、あるいは自家消費せず電力会社へ積極的に販売するなど）を行うことが考えられる。電力カラーリングは物理的には不可能であるが、スマートタップやスマートブレーカで計測・制御された各電気機器での電力消費量や発電機、蓄電池における電力流量を基にグリッド全体における電力エネルギー流を推定し、情報通信分野で培われて来た仮想化技術を利用すれば実現可能ではないかと考えている。

2. 4 地域ナノグリッドによるエネルギー売買市場の創成

一軒の家庭だけでは二酸化炭素の削減効果は限られるが、それを地域に拡げることで、更なる削減が可能となる。これが第4段階で、家庭内ナノグリッドをネットワークで結び、世帯間での電力売買を可能とする地域ナノグリッドを構築する（図11）。すなわち、地域ナノグリッドは、単なるエネルギーを授受するネットワークだけでなく、その売買を行う経済ネットワークを含んでおり、それによって各世帯に省エネ、二酸化炭素削減に向けた大きなインセンティブを与えることが可能となる。たとえば、少々不便であってもエネルギー消費を減らし（Capの値を低く設定し）、余ったエネルギーを売ることによって経済的利益を求めるなどといった行動が誘発され、技術的にはむずかしいレベルまで省エネ、省二酸化炭素が可能となる。これこそ正に新たな社会基盤、生活スタイルの創成といえることができる。

3. 今後の展開

「エネルギーの情報化」は提唱以来数年が経ち、昨年からの「Smart Grid」ブームにも支えられ、経務省や経済産業省で幾つもの研究開発プロジェクトが立ち上がっている。ただ、「エネルギーの情報化」

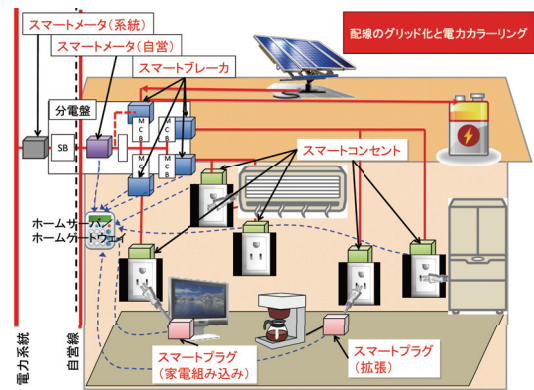


図10 家庭内ナノグリッド構築のためのスマートタップ群



図11 地域内ナノグリッドによるエネルギー売買市場の創成

を実現するには、計算情報モデルに基づく情報通信と物理化学モデルに基づく電力制御といった相異なる学理に則った学術研究分野を統合する統一理論の構築に加え、家電、蓄電池、電気自動車、住宅といった広範な産業分野における協業、さらにはネットオークションのような個人が自由に参加できるエネルギー市場の形成といった多種多様な活動を系統的に進める必要がある。我々は、そのための場として「エネルギーの情報化 WG (URL: <http://www.i-energy.jp>)」を立ち上げ、産学官の連携活動を展開している。特に、我が国は、太陽光発電、蓄電池、電気自動車、家電メーカーなど「エネルギーの情報化」を実現するために必要な要素技術をもつ企業が数多くあり、国際的にも大きな強みを有している。WGでは、各大学、企業が個別に活動するのではなく、その強みを集結し、新しい学問、産業の創出に向けて努力を続けており、皆様の積極的な参加を期待しています。

参考文献

- [1] 川嶋宏彰, 堤公孝, 松山隆司: 動的イベントの分節化・学習・認識のための Hybrid Dynamical System, 第3回情報科学技術フォーラム (FIT2004) 情報科学技術レターズ, pp.175-178, 2004
- [2] H. Kawashima and T. Matsuyama: Multiphase Learning for an Interval-based Hybrid Dynamical System, IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E88-A, No.11, pp.3022-3035, 2005
- [3] 山崎達也, J. Jung, Y. Kim, M. Hahn, 豊村鉄男, R. Teng, 丹康雄, 松山隆司: 家庭における電力センシングネットワークによるエネルギーマネジメント, 信学技報, EE2007-56, 2008
- [4] 加藤丈和, H. Cho, D. Lee, 豊村鉄男, 山崎達也: 情報・エネルギー統合ネットワークのための電力センシング情報からの家電認識とその応用信学技報, vol. 108, no. 399, USN2008-85, pp. 133-138, 2009

産業界の技術動向

情報家電とホームネットワーク

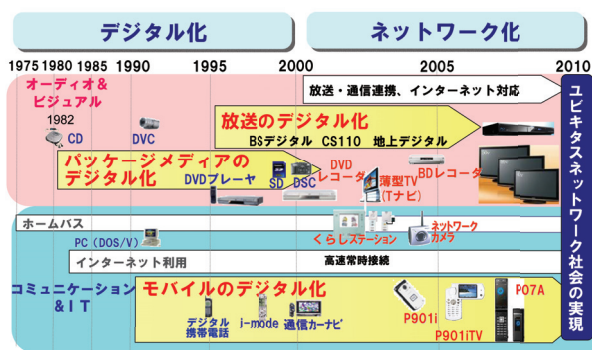
パナソニック株式会社 本社 R&D 部門 技監
安本 吉雄

1. はじめに

情報家電 (Information Appliance) という言葉がいつから使われるようになったかは定かではないが、少なくとも私がパナソニック (当時は松下電器) で仕事を始めた 1976 年には家電という言葉しかなかった。私は 1976 年まで 2 年間、京都大学大学院工学研究科の修士課程で ZnO の薄膜化と弾性表面波の研究をした¹⁾。当時、弾性表面波フィルターがテレビの中間周波数フィルターに使われだした頃で、パナソニックではテレビの開発部門からスタートした。入社まもなくの頃、200 ~ 300 素子程度のアナログ IC を設計した経験があるが、当時は 8 μ m ルールでマスク設計をした。現在、45nm ルールであることを考えると隔世の感がある。その後、一貫してテレビ放送方式からネットワーク関連技術開発に携わったが、アナログテレビの時代からデジタルテレビの時代への過渡期に遭遇し、またグローバルな開発マネジメントも経験した²⁾。本稿では、34 年間の経験を元に、情報家電とホームネットワークの今後の展望について述べる。

2. 情報家電の歴史

情報家電は、メディアのデジタル化の第 1 弾として CD (Compact Disc) プレーヤーが市販された 1982 年から始まったと言ってもよいと思う (第 1 図)。CD の規格は、ソニーとフィリップスが策定したものであるが、それ以前のアナログのレコードを置き換えるという意味で画期的であったとともに、メディアのデジタル化を切り開く最初のものとなった。その後、音声より容量が 3 桁大きい画像のデジタル化が、DVC (Digital Video Cassette) という形で実現した。磁気テープへ記録する DVC から光ディスクへ

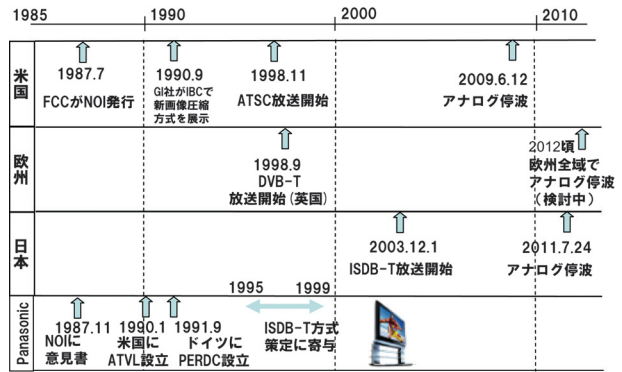


第1図 家電のデジタル化とネットワーク化の流れ

記録する DVD (Digital Versatile Disc) へと発展し、さらには半導体メモリーの小型化・低価格化に伴い SD メモリカードのような半導体メモリーに記録することも可能になった。DVD はその後 BD (Blu-ray Disc) へと発展し、フルハイビジョンの映画の記録も可能となり現在に至っている。一方コミュニケーション & IT のデジタル化について言えば、アナログ方式の第 1 世代の携帯電話がデジタル方式の第 2 世代の方式へと置き換わり、1991 年のインターネットの商用開放とあいまって、携帯電話がインターネットに接続されることとなった。これには日本の i-mode が大きな役割を果たしていると言えよう。

放送のデジタル化についてみると (第 2 図)、1987 年 7 月の米国 FCC (Federal Communication Committee) の NOI (Notice of Inquiry) の発行がそのきっかけとなった。当時は、NTSC (National Television Standard Committee) 方式のテレビが放送開始から 30 年以上経過し、携帯電話が立ち上が

りかけた頃であり、テレビが使用している周波数を携帯電話に使用させようとする圧力が加わった結果、NOIの発行となった。これが、米国ATSC (Advanced Television Standard Committee) 方式の検討のスタートとなった。パナソニックはこのNOIに対して意見書を提出して、アナログ方式の高度化を提案した。提案した手法³⁾は、その後、DSRC (David Sarnoff Reserach Center) のACTV (Advanced Compatible Television) 方式⁴⁾に採用され、他の数社から提案された方式とともに比較検討が始まった⁵⁾。それらはすべて、アナログ方式の改良方式であった。



第2図 アナログTVからデジタルTVへの道

転機が訪れたのは、1990年9月であった。イギリスの避暑地ブライトンで開催された、IBC (International Broadcasting Convention) で当時のGI (General Instrument) 社が新しい画像のデジタル圧縮方式を展示した。これは20Mbps以下で標準画像を圧縮できるというもので、当時は50～60Mbps程度でないと満足な画像を伝送できないと考えられていたので、画期的なものであり、デジタル放送の実現を示唆していた。私も現地で実際に画像を見て、その画質のよさに驚いた。その後、急速にアナログからデジタルシフトが起こり、米国ATSC方式に加え、欧州DVB (Digital Video Broadcasting) 方式の議論もデジタル方式の比較検討となった⁶⁾。パナソニックは、現地での方式開発を目指し、1990年1月に米国フィラデルフィア郊外に、ATVL (Advanced Television Laboratory) を、1991年9月にドイツのフランクフルト郊外のランゲンに、PERDC (Panasonic European R&D Center GmbH) を設立した。私は両ラボの日本側窓口として活躍した。その後、米国のATSC方式での地上波テレビ放送は1998年11月に、欧州DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial) 方式による地上波テレビ放送は、英国で1998年9月に開始された。パナソニックは放送開始と同時に受信機を市販することができた。日本では遅れて、2003年12月1日にISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial) 方式による地上波のテレビ方式が開始された。このように放送のデジタル化は世紀をまたいで、全世界で広まって行った。

21世紀に入り、ブロードバンド・インターネットはその常時接続と低価格化によって広く普及することになった。それに伴って、家庭でのネットワーク接続機器も増加し、DTV、DVD/BD、DSC (Digital Still Camera) は「新3種の神器」と呼ばれ、2005年にはこの新3種の神器の合計台数はPCの台数を上回ることとなった。このように見てみると、20世紀はデジタル化の歴史、21世紀はネットワーク化の歴史と言えよう⁷⁾。

3. 情報家電業界の現状

情報家電は2001年のIT不況からの回復後、順調に成長してきたが、2008年9月のリーマンショック以来、再び不況に陥っている。ここでは、情報家電業界の問題点について考えてみたい。まず第1にあげるべきは、グローバルな競争激化により価格が急速に下落していることである。情報家電の価格推移を見ると、ブラウン管テレビでは、価格が半額になるまで13年かかったのに対して、プラズマテレビでは4年であり、VHS - VTRでは6年であったが、DVDプレーヤーは4年、DVDレコーダはわずか2年で価格が半減している。これは「価格下落からの脅威」と言える。一方、機能は融合化、高機能化が進展し、使用するシステムLSIは、この10年で0.25μmルールから45nmルールへと進化して、今や25倍程度の2億5千万トランジスタが1つのチップに集積されている。その上に組み込まれるソ

ソフトウェアも爆発的に増加し、DVDレコーダの最新機種では1200万行となりPCと匹敵するまで巨大化している。それに伴い、開発費が爆発的に増大している。これは「開発・供給からの脅威」と言えよう。またオーディオ製品にみられるように、iPodの出現により従来のCDやMDプレーヤーなどの製品が急速にそれに置き換わってきた。これは「代替品からの脅威」と言えよう。また情報家電の流通を見ると、大規模な量販店が増大し市場を支配するようになったし、インターネットの普及などにより顧客の知識も飛躍的に増えた。これは「顧客からの脅威」と言えよう。このように、情報家電業界は4つの脅威に囲まれ、商品のコモディティ化の進展、参入多数の過当競争が繰り広げられる消耗戦の状態となっている。

4. 情報家電の技術戦略

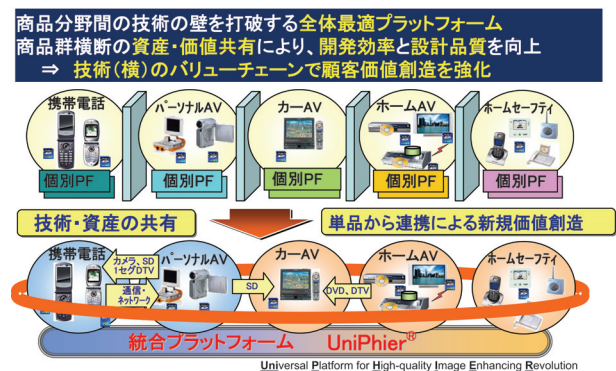
ネットワークのインフラは今後も進展し、日本では2008年3月より始まったNGN（Next Generation Network）サービスが広く普及し、2010～2011年には光ブロードバンド化が完了する見込みである。また新世代ネットワークの研究開発も進展している。モバイル網においては、現在サービスされている、いわゆる、3.5世代の携帯電話方式が、2010年には3.9世代へと進化し、2015年頃には第4世代の方式によるサービスが開始されることが予想される。これらのサービスにより、固定網、モバイル網を問わず、1Gbps程度の下りのスピードが確保され、それに応じたサービスが提供される予定である。

情報家電メーカーは、これらの今後のネットワークのインフラの進展に応じた商品を提供すべく、また上で述べた4つ脅威に対処するため各種の対策を講じている。ここでは、技術面に限定し、パナソニックの取り組みを紹介する。

まず上げるべきは、「プラットフォーム戦略」である（第3図）。パナソニックは商品毎に閉じた、開発から生産・サービスまでの責任体制（ドメイン体制と呼ぶ）をとっているが、ドメイン間での交流は少なく、例えば、携帯電話、デジタルTV、DVD/BDレコーダ、カーAVなど、それぞれのドメインで個別のプラットフォームを用いてきた。これは部分最適ではあったが、全体最適ではなかった。特にソフトウェアは、同じような機能を持っているにも関わらず、別々に開発してきたので非常に効率が悪かったと言

える。このような商品分野間（ドメイン間）の技術の壁を打破して、全体最適なプラットフォームを構築するのが、プラットフォーム戦略である。各種の商品群の横断で、ハードウェアとソフトウェアの資産と価値を共有することにより、開発の効率化と同時に設計品質の向上を目指すものである。この統合プラットフォームを、UniPhier[®]と称している。

次に上げるべきは、「オープンイノベーション戦略」である。従来、パナソニックのような大企業では、すべて自前で研究し開発し製造し販売するというのが通常であった。21世紀に入り、4つの脅威に対処するため、選択と集中に加えてスピード開発が重要なファクターとなった。先に述べたように、広くグローバルに人材を求めべく海外に研究所を設立することは比較的早い時期から行ってきた。特に21世紀に入り国内、海外を問わず産学連携を組織的に実施するようになった。また、海外でのベンチャーリング企業に対する投資なども積極的に実施してきた。これらは、すべてを自前で開発するのではなく、あらゆる手段を使い、スピードある開発をしようという試みである。一例を示すと、2001年設立のハリウッド研究所で開発した、MPEG4-AVCハイプロファイルに準拠したアルゴリズムの、UniPhier[®]によ



第3図 パナソニックのプラットフォーム戦略

る LSI 化、および BD レコーダの商品化がある。これはハリウッド研究所に自由に集まる近隣の映画技術者の肥えた目を活かし、画像の評価を実施した上で、現地にいるパナソニックの技術者がアルゴリズムを開発し、MPEG の場でその方式を提案して標準化したのが、MPEG4-AVC ハイプロファイルであり、これを最先端の 45nm プロセスによる新世代 UniPhier[®] による LSI 化でエンコーダ・デコーダを実現して 1 チップで BD レコーダに実装した。最新プロセスによる低消費電力という特徴と、新しい方式による低ビットレートでの長時間高画質録画を実現し、小型のレコーダを 2007 年という早い時期に商品化することができた。また、2008 年には、ベルギーの世界的な半導体コンソーシアムである、IMEC[®] 内にパナソニック IMEC センターを設立して、ネットワーク技術などの共同研究を開始した。今後の成果が期待できる。このように、グローバルかつ社内外を問わず広く知恵と知識を求めることにより、開発を加速しようという試みが、オープンイノベーション戦略である。

5. 2020 年のホームネットワーク向けサービス⁹⁾

情報家電はネットワークにつながり、各種のサービスが提供されることが期待される。デジタル TV 受信機は、単にデジタル放送を受信するのみならず、今ではネットワーク経由の番組配信も受けることができる。パナソニックでは、2003 年以降、日本で市販される大型テレビのすべてに LAN ケーブルの端子 RJ-45 を付け、「T ナビ」というサービスを実施してきた。2006 年には、日本のテレビメーカー 5 社が出資して、「アクトビラ」という配信プラットフォームの会社¹⁰⁾ を設立すると同時に、「アクトビラ ベーシック」という静止画像に基づいた各種のサービスを開始した。これは天気、株式情報、地図、ニュースなどの情報を提供するものであり、TV 受信機が放送を受信するだけでなく、家庭の情報端末として利用できるように意図したものである。続いて、2007 年からは「アクトビラ VOD」を開始し、リモコンの操作で好みの番組の視聴を可能にしたもので、TV 受信機に課金、コンテンツ保護のしくみなどを組み込むことにより実現した。さらには、2008 年より、DVD/BD レコーダ向けに「アクトビラ DL」を開始し、購入したコンテンツを BD に保存できる（セルスルー）ようになった。このようにデジタル TV 受信機やレコーダは、フルハイビジョンの放送番組が受信できるだけでなく、ネットワーク機能を使うことにより、より多種多様な番組が視聴できるようになってきた。

このようなコンテンツ多様化の流れは 3 次元画像ホームシアターの実現でさらに加速するものと思われる。米国では DVD の普及などにより劇場での収益が低下傾向にあった。またデジタルシネマの普及により配給コストが削減されていた。そこで魅力的なコンテンツの配給により興行収入のアップが求められていたところに、3 次元アニメーションが 2008 年ごろより出現し、2 次元映画の興行に比べて 3 - 4 倍の収益を得る劇場も出てきた。このような背景の元、3 次元映画を BD で配布することが考えられるようになり、3 次元 BD のフォーマット、対応した BD プレーヤー、プレーヤーとテレビを結ぶ HDMI 規格、テレビ受信機が開発されるに至り、2010 年よりそれらが市販される見込みとなっている。この 3 次元映画は、ステレオカメラ撮影によるメガネ装着による 3 次元視聴である。また BD による番組配布だけでなく、放送やネットワークによる配信も検討されている。この方式は、左右のフルハイビジョン映像をメガネによって左右の目に交互に振り分けて見せることにより 3 次元映像を実現している。フルハイビジョンの 2 倍の容量が必要となるが、左右の画像の相関を利用して 1.3 倍程度に抑えているので、最大 50GB の BD ディスクに映画が収まるように設計されている¹¹⁾。

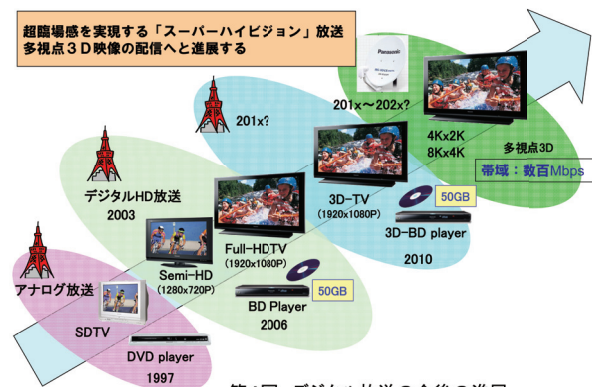
次の進化は、メガネなしの 3 次元映像、すなわち多視点画像の伝送であろう。実現ためには、方式、ディスプレイなど今後の開発に負うところが多いが、少なくとも 20 - 30 画像を同時に提示する必要がある、数百 Mbps の伝送容量、あるいは数百 GB の蓄積容量が必要となろう。衛星によるデジタル放送は、現行のフルハイビジョン、1920 画素 X 1080 画素（すなわち 2K X 1K）から「スーパーハイビジョン」、4K X 2K あるいは 8K X 4K へと進化し、さらには多視点画像へと発展するかもしれないが、容量的に

はブロードバンドネットワークによる VOD が先行する可能性もある。その意味では、2020 年ごろに盛んになっているホームネットワーク向けサービスのひとつとして、この多視点画像 VOD が位置づけられると考える（第 4 図）。

温室効果ガスの排出削減は緊急の課題と認識されている。鳩山首相は、日本の排出量を 2020 年までに 25%削減することを表明した。実際、世界の二酸化炭素排出量は中国と米国で各 20%程度を占めていて、日本は第 5 位の 4.5%程度となっている。ただし日本のエネルギー消費量は

1990 年に比べて 2007 年には 8%程度増加している。そのうち、運輸部門が 114%、民生部門が 135%と大きく増加している。家電製品の消費電力の削減の努力は 1990 年以降も精力的に進められてきた。パナソニックではプラズマ TV の発光効率を上げたり、斜めドラム洗濯機のモーターの高効率化、同時に水の使用量の削減、あるいは先に述べたような、UniPhier[®] による低消費電力化などの活動をしてきた¹²⁾。一般家庭で使用される家電製品から出される二酸化炭素は 1991 年で年間 9.7 トンであったが、2009 年には 5.4 トンまで削減されている。ただし、この 2 - 3 年、その削減量は飽和してきているのが現状である。このような省エネルギーの試みは限界があるのも事実で、省エネ機器の導入に加えて創エネ機器、蓄エネ機器の普及が不可欠と言える。家庭用創エネ機器とは、家庭で発電することであり、太陽電池や燃料電池の導入がそれである。パナソニックでは燃料電池の実用化に注力をしてきた。ただし、これらの創エネ機器は発電する時間と電力を使用する時間が必ずしも一致しないため、時間シフトが必要となる。そのために、蓄エネ機器の導入が不可欠で、CO₂ ヒートポンプ給湯器や家庭用蓄電池がそれにあたる。一方、これらの機器をうまく制御するためにはネットワーク化が必須となる。幸い、PLC (Power Line Communication) や ZigBee などの有線無線のモデムが安価、かつ低消費電力化が実現され、各種の機器に内蔵することも可能となってきた。

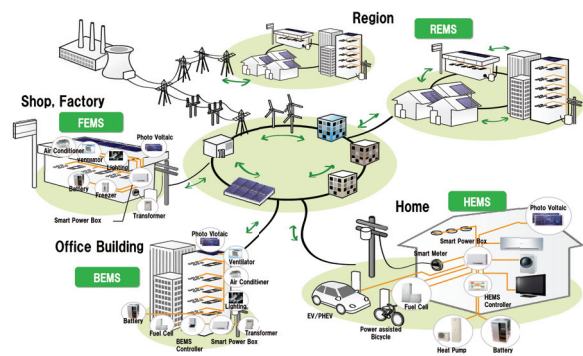
情報家電や白物家電をネットワークで接続し、制御する試みは 20 年以上前からある。パナソニックは ECOHNET というコンソーシアム¹³⁾ を 10 年前から主導して立ち上げ、国際標準としているが、それを使用した機器は現在まで普及していない。最近では、HEMS (Home Energy Management System) を実現するシステムとして「くらし安心ホームシステム ライフィニティ」を販売している。これは配電盤に電流検出素子を設置し、電力配線のブランチ毎の使用量を測定することによりそれにつながる各機器の消費電力を TV や専用のパネルに表示するシステムである。ただし、接続されている機器を自動的に制御することではなく、人手により ON/OFF を促すものとなっている。本システムはこのように家庭内の家電機器を接続し、消費電力を「見える化」することによって省エネを促すものとなっている。「見える化」だけでも、約 10%の省エネが図られることが過去の実証実験で明らかになっている¹⁴⁾。今後は、この HEMS を創エネ機器や蓄エネ機器も接続することによって、自動的に制御することを目指している。この HEMS は、家庭だけでなく、ビルやマンションに適用して、BEMS (Building Energy Management System)、工場や店舗に適用して、FEMS (Factory Energy Management System)、地域に適用して、REMS (Regional Energy Management System) と発展させることが必要である。エネルギーの地産地消のための REMS を実現するためには、制御プロトコルなどの標準化が必要となり、現在議論されている。2020 年ごろに盛んになっているホームネットワーク向けサービスのひとつとして、このような REMS サービスが考えられる（第 5 図）。



第4図 デジタル放送の今後の進展

6. まとめ

情報家電の歴史と、アナログからデジタル放送、さらには3次元映像配信・多視点映像配信への進化と、地球の環境保護の取り組み特に温室効果ガスの削減の家庭からの取り組みの必要性とその方法について述べた。地球の持続可能性を考えた社会への変革の中でも、従来より増した快適性とより高度なエンターテインメントの必要性は言うまでもない。それらを犠牲にすることなく、持続可能性を求める活動をグローバルかつオープンに続けていきたいと願う。



第5図 HEMS からREMSへ

参考文献など

- 1) Tadashi Shiosaki, Yoshio Yasumoto, Hideharu Ieki and Akira Kawabata, "Low-frequency piezo-electric-transducer applications of ZnO film," The 6th Conf. on Solid State Devices, Tokyo, Sep.1974, pp.57-58 (1974)
- 2) 1995年から2000年までシンガポールに滞在し現地研究所の責任者であった。その間のトピックスとしては、
安本吉雄、李作裕「シンガポールにおけるデジタルテレビ」シンガポール日本商工会議所月報2000年2月号、pp.22-26(2000)及び
安本吉雄、陳重平「広帯域ネットワーク・プロジェクト「シンガポール・ワン」について」シンガポール日本商工会議所月報1998年3月号、pp.1-5(1998)
また、1983年から1985年にわたる2年間の留学経験も含めた体験談として、
安本吉雄「私の海外経験」洛友会会報第206号(2004年10月)
(http://www.rakuyukai.org/kaiho_backnumber/206/5.htm)を参照
- 3) Y.Yasumoto, S. Kageyama, S.Inouye, H.Uwabata, and Y.Abe, "An Extended Definition Television System Using Quadrature Modulation of the Video Carrier with Inverse Nyquist Filter", IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol. CE-33, no.3, pp.173-180 (1987)
- 4) M. Isnardi, J. Fuhrer, T. Smith, J.Koslov, B. Roeder, and W. Wedam, 'A Single Channel NTSC Compatible Widescreen EDTV System', presented at the HDTV Colloquium, Ottawa, Canada (1987)
- 5) 福井清健、安本吉雄「欧米における次世代テレビ方式の動向」、テレビ誌、Vol.46, No.3, pp.276-283(1992)
- 6) 安本吉雄、「デジタル放送テレビ」工業調査会刊「画像圧縮技術のはなし」第4章第5節(1993)
- 7) 2006年前後のデジタルネットワークについては
安本吉雄「デジタルネットワークの現状と技術開発」松下テクニカルジャーナル Vol.52, No.5, pp.8-13(2006) (<http://panasonic.co.jp/ptj/v5205/pdf/p0101.pdf> 参照)
- 8) IMECについては、<http://www2.imec.be/> 参照
- 9) Yoshio Yasumoto "Home Network Services in 2020, -A Consumer Electronics Manufacturer's Perspective- " 2009 Keynote Speech in ICIN Conference, (2009)
- 10) アクトビラ株式会社については、HP <http://actvila.jp/> を参照
- 11) 解説記事としては、

-
- 安本吉雄「映像産業におけるデジタル技術・3D技術の活用 ～日本の映画・映像産業における3Dの活用～」2009 | Korea | Japan | China Cultural Content Industry Forum 予稿集、pp.332-335 (2009)
- 12) 情報家電の省エネの取り組みについては、
Yoshio Yasumoto “How can we reduce energy consumption of information appliances in home?”
Panel: Power Consumptions in Future Network Systems, The 2008 International Symposium on Applications and the Internet (SAINT) , Turku, Finland, 28 July - 1 Aug. (2008)
- 13) ECOHNET コンソーシアムについては <http://www.echonet.gr.jp/> を参照
- 14) 石田建一、伊藤善朗「HEMSによる家電連動制御」 「空気調和・衛生工学」 Vol.80, No.5 (2006)

新設研究室紹介

複合システム論講座（土居研究室）

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

「生体・生命システム工学 ～電気工学と生物の因縁から医工学の革新へ～」

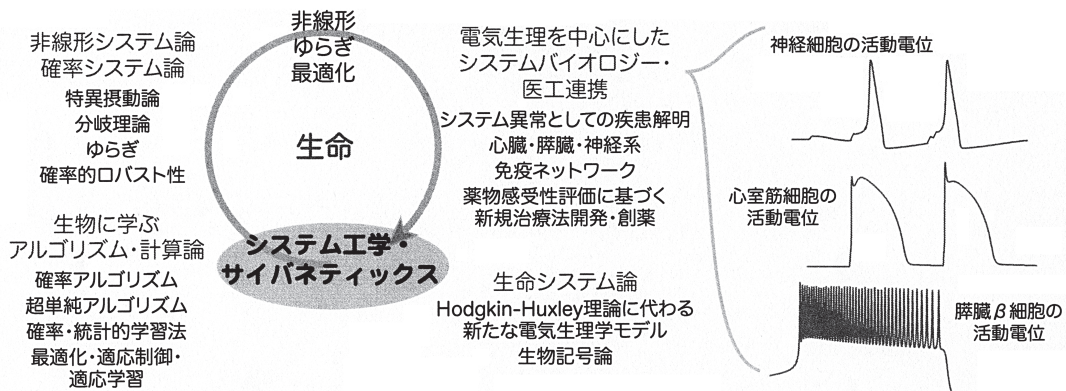
電気工学・計算機科学と理論生物学・生体システム工学との「因縁」は深くて古い。サイバネティクスを提唱した電気工学者ウィーナーの名前を持ち出すまでもなく（さらに、CUE20号の矢島先生による記事「デジタルとゆとり」に紹介されている、フォン・ノイマンの自己増殖オートマトンもそのような因縁の代表例である）、例えば、私が学生時代を過ごした本学理学部理論生物物理学講座の教員は4人のうち2人が京大電気出身であった。その後所属した阪大基礎工学部生物工学科にも、やはり京大電気出身の教員が2人いた。このような因縁の深さは、もちろん、電気工学の方法、いや、そもそも工学の方法論が、生命を理解する上で極めて有効であり、生命を理解することが（システム）工学の発展につながることに関係しているのであるが、ここで、それらについて語る紙面の余裕はない。

これまで、非線形・ゆらぎ・最適化をキーワードに、広くシステム工学に関する研究を行ってきた。以下の図は、これまでの研究とこれから目指す方向性を説明する概念図である。生命を中心としながら、一見生命から掛け離れたものまで、生命とシステム工学との因縁の深さを示している。これまでの研究の中で、最も精力を注いできたものが「電気生理学」の理論研究である。細胞の膜には、イオンチャネルという特定のイオンを通すタンパク質の孔が開いている（動的に開閉する）。ここをイオンが通ることで、細胞膜内外の電位差が変化し、細胞は活動電位と呼ばれる100mV程度の電気信号を発生させる。図の右側に示したように、この活動電位は脳・神経系のみならず、心臓や膵臓ランゲルハンス島のインスリン分泌細胞など、生命の維持に重要な役割を果たしており、活動電位の異常が様々な疾患を導く。活動電位は、イオンチャネルを非線形抵抗と見なした等価回路モデルで表現できる。モデルを用いた理論研究により、活動電位の異常の原因解明や治療法開発への貢献が期待できる。特に、イオンチャネルの遺伝的・後天的異常により発現した疾病（イオンチャネル病）は、神経系疾患・心臓病・糖尿病など広範囲にわたり、イオンチャネルをターゲットとした治療薬開発など、現代社会が抱える医療の問題へのインパクトは大きい。これら「計算論的電気生理学」に関する詳しい内容は、2010年春出版予定の拙著 [1] を読んでほしい。

以上、2009年4月に着任した土居の研究を中心に紹介したが、最後に一言、ウィーナーがサイバネティクスを提唱した原動力は「細分化した専門分野の枠を超えた（医学と工学の）交流」であった。「学際的研究こそが革新を生む」ことは、当時から半世紀以上を経た今日でも真理であると信じて止まない。また、「役に立つこと」「社会的有用性」の説明を強要される応用指向の時代、敢えて応用を叫ばない辛抱強さが大学人には求められているように思う。このような観点での教育・研究を推進したい。

参考文献

[1] S. Doi, J. Inoue, Z. Pan and K. Tsumoto, *Computational Electrophysiology: Dynamical Systems and Bifurcations*, Springer (2010) in press.



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）

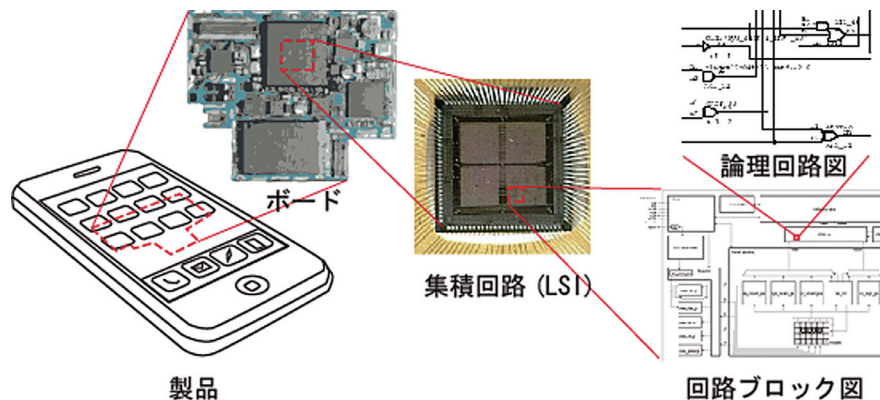
<http://www-lab09.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

「集積回路の構成と設計技術」

私たちの周囲にはパソコン、携帯電話、デジタルカメラ、デジタルテレビ、ビデオ録画・再生機器、電子辞書、ゲーム機など、様々な情報機器があり、私たちの生活に欠かせないものとなりつつあります。高速な通信や、画像、音声などを扱う高度なメディア処理を実現するために、これらの情報機器の中で共通して用いられている中核部品は集積回路（LSI）です。LSIは2センチ角ほどの小さな部品ですが、その中には数億個ものトランジスタと配線がきわめて密度高く配置され、高度な情報処理が実現できるように接続されています。このような大規模で複雑なLSIが、高性能で低消費電力となるにはどのような構成をとればよいか、誤りなく動作するものとなるべく短期間に設計するにはどうしたらよいか、が非常に重要な技術となっています。さらに、自動車、ロボットや医療用途など、LSIの応用が広がるにつれて、高い信頼性も同時に達成する必要があります。

我々の研究室では、高性能、低消費電力、かつ高信頼性を実現する集積回路の構成技術、設計技術と、そのシステム応用についてデバイスレベルからシステムレベルまで一貫して考えることにより、高い付加価値の実現、すなわち、より便利、快適、安心な情報機器の実現を目指しています。

- (1) 超高集積・超可用性を保証する回路設計技術：自動車、ロボットや医療用途等では、高性能と高信頼性の両立が強く要求されます。数十億もの素子を相互接続して実現する回路を、効率良くしかも特性を保証しながら設計するには、物理が支配する素子レベルのミクロな視点から、システム全体を俯瞰するマクロな視点までを的確に抽象化して回路を最適化する技術が必要となります。本研究室では、素子物理を正確に、または大規模回路を適切にモデル化し解析するための数的手法、回路構成手法、および設計手法について、ハードウェアとソフトウェアの両面から研究しています。
- (2) リコンフィギャラブルシステム：リコンフィギャラブルシステムとは、機能の「書き換え」が可能な回路を用いたシステムです。汎用プロセッサ並みの柔軟性と、専用ハードウェアエンジンに匹敵する高速性の両立を狙って、本研究室では、回路動作中に自分で自分の機能を書き換えることが出来る動的自己再構成アーキテクチャをはじめ、様々なリコンフィギャラブルデバイスのアーキテクチャ（演算器の機能やその粒度、配線資源、再構成方式等）と、そのための設計手法を含む応用技術について研究している。宇宙等でのリコンフィギャラブルデバイスの利用に不可欠な高信頼化に関する研究も行っています。
- (3) 画像認識技術：集積回路を用いる典型的な応用システムとして、画像認識技術があります。画像認識は、車載、ロボティクス、セキュリティ等の組込み分野において広い応用がありますが、一般に膨大な演算量を必要とするので、消費電力が制限される組込み用途では、動作周波数を低く抑えたまま高い演算性能を実現するための並列処理技術が重要となります。本研究室では物体検出と追跡などを対象とし、並列性が高くかつ認識性能の高いアルゴリズムの研究を行い、そのシステム構成手法や専用プロセッサの開発を行っています。



研究室紹介

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

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

電気関係研究室一覧

工学研究科

電気工学専攻

複合システム論講座(土居研) *

電磁工学講座電磁エネルギー工学分野

電磁工学講座超伝導工学分野(雨宮研)

電気エネルギー工学講座生体機能工学分野(小林研)

電気エネルギー工学講座電力変換制御工学分野(引原研)

電気システム論講座電気回路網学分野(和田研)

電気システム論講座自動制御工学分野(萩原研)

電気システム論講座電力システム分野(大澤研)

電子工学専攻

集積機能工学講座(鈴木研)

電子物理工学講座極微真空電子工学分野

電子物理工学講座プラズマ物性工学分野

電子物性工学講座半導体物性工学分野(木本研)

電子物性工学講座電子材料物性工学分野(松重研)

量子機能工学講座光材料物性工学分野(川上研)

量子機能工学講座光量子電子工学分野(野田研)

量子機能工学講座量子電磁工学分野(北野研)

光・電子理工学教育研究センター

ナノプロセス部門ナノプロセス工学分野(高岡研)

デバイス創生部門先端電子材料分野(藤田研)

情報学研究科(大学院)

知能情報学専攻

知能メディア講座言語メディア分野(黒橋研)

知能メディア講座画像メディア分野(松山研) ☆

通信情報システム専攻

通信システム工学講座デジタル通信分野(吉田研)

通信システム工学講座伝送メディア分野(守倉研)

通信システム工学講座知的通信網分野(高橋研)

集積システム工学講座情報回路方式分野(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

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

エネルギー応用科学専攻

応用熱科学講座エネルギー応用基礎学分野(野澤研) #

応用熱科学講座プロセスエネルギー学分野(白井研)

エネルギー理工学研究所

エネルギー生成研究部門粒子エネルギー研究分野(長崎研)

エネルギー生成研究部門プラズマエネルギー研究分野(水内研)

エネルギー機能変換研究部門複合系プラズマ研究分野(佐野研)

生存圏研究所

中核研究部

生存圏診断統御研究系レーダー大気圏科学分野(山本研)

生存圏診断統御研究系大気圏精測診断分野(津田研)

生存圏開発創成研究系宇宙圏電波科学分野(山川研)

生存圏開発創成研究系生存科学計算機実験分野(大村研)

生存圏開発創成研究系生存圏電波応用分野(橋本研)

京都大学ベンチャービジネスラボラトリー(KU-VBL)

産官学連携センター

研究戦略分野 §

注 § 工学研究科電子工学専攻橋研と一体運営

高等教育研究開発推進センター

情報メディア教育開発部門(小山田研)

学術情報メディアセンター

ネットワーク研究部門ネットワーク情報システム研究分野(中村研)

電気エネルギー工学講座 生体機能工学分野 (小林研究室)

http://www.kuee.kyoto-u.ac.jp/~lab03/

「脳磁図・MRI 計測を目指した超高感度光ポンピング原子磁気センサの開発」

現在、脳の様々な働きが解明されつつあるが、なお多くの謎が残されている。特に、意識や精神、創造性といった、人間を特徴づける高次機能に関しては、謎ばかりといっても良い。高次脳機能の解明は、科学の進展に寄与する事はもとより、認知症や統合失調症といった精神疾患の診断・治療をはじめ医療や福祉にとっても極めて大きな意義がある。ヒトの脳神経活動を非侵襲的に調べる手法 [1] の中で、大脳皮質のニューロンから発生する極微弱な磁場を計測する脳磁図 (MEG) は、その時空間分解能の高さから大変重要な役割を果たしている。現在、この MEG 計測には磁気センサとして $1 \text{ fT/Hz}^{1/2}$ オーダの感度を有する SQUID (超伝導量子干渉素子) が広く使用されてきている。SQUID を用いることで、脳から生じる磁場のマッピングや、生体内の基礎的な電気的活動に関する知見を得ることが可能となっている。しかし、SQUID は超伝導量子干渉効果を用いるため、液体ヘリウムにより極低温状態にして動作させる必要があり、装置や維持費が高くなるという問題があることは否めない。

一方、近年光ポンピング法により生成したアルカリ金属原子のスピンの偏極を用いて磁場を測定する光ポンピング原子磁気センサ (optically-pumped atomic magnetometer) に注目が集まっている。光ポンピングされたアルカリ金属原子はスピン偏極し、そこに印加される磁場が直線偏光の偏光面を回転させるため、この回転角により磁場を検出できる。近年、スピン偏極の緩和レートが小さくなる状態 (SERF: spin-exchange relaxation-free) を利用すれば、センサの感度が $\text{subfT}/\sqrt{\text{Hz}}$ オーダまで到達可能であるという報告がなされ、SERF 状態で動作する超高感度光ポンピング原子磁気センサに期待が寄せられている。このセンサは測定体積が小さくても十分な感度を保つことが期待でき、多チャンネル化により高い空間分解能を持った磁場計測が可能になると予想される。また、このセンサは原理的に SQUID を凌ぐ測定感度 ($\sim 0.01 \text{ fT/Hz}^{1/2}$) を有し、冷却装置を必要とせず、MEG のみならず MRI 装置のセンサとして小型化や低コスト化を可能にし、当該分野にイノベーションをもたらすと期待される。当研究室では、2006 年度から科学技術振興調整費「先端融合領域イノベーション拠点の形成」プログラムとしてキヤノンと京大の協同で実施している「高次生体イメージング先端テクノハブ」において、このセンサによる MEG と超低磁場 MRI 装置の開発を進めている。図 2 は、開発中のセンサ実験系 (図 1) により初めて計測されたラットの心磁図 [2] である。

参考文献

- 1) Tetsuo Kobayashi, et al (eds.), "Brain Topography and Multimodal Imaging", (Kyoto Univ. Press, Kyoto 2009)
- 2) S. Taue, et al., "Measurement of biomagnetic fields in small animals by use of an optical pumping atomic magnetometer", Biomagnetism: Interdisciplinary Research and Exploration, (eds.) Kakigi, R. et al. (Hokkaido Univ. Press), pp.9-11. (2008)

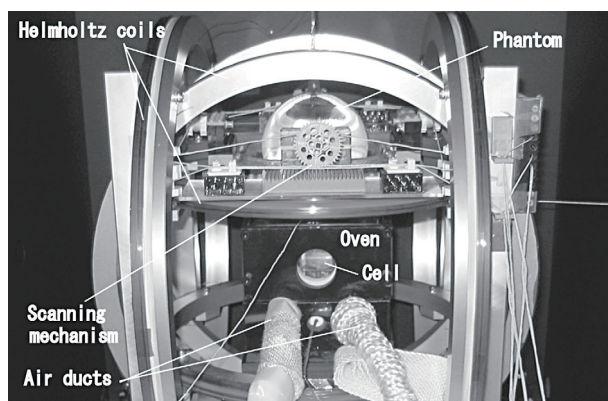


図 1. 光ポンピング原子磁気センサ実験系による生体ファントムからの極微弱磁場分布計測の様子

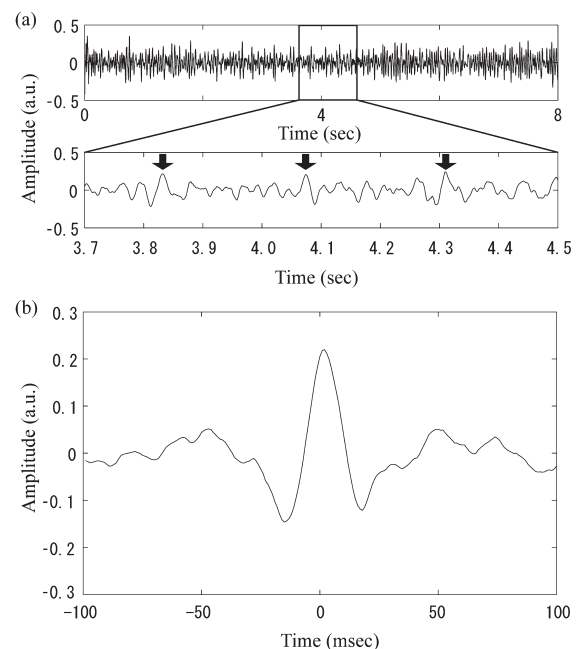


図 2. ラットの心磁図計測結果の一例。(a) 原波形 (矢印が R 波)、(b) 加算平均波形

電気システム論講座 電気回路網学分野 (和田研究室)

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

「デジタル集積回路の EMC 設計：線形マクロモデル LECCS」

今日、携帯電話や無線 LAN・パソコン・デジタル家電など、デジタル機器と通信が融合した環境が当然になっている。デジタル機器には多くの集積回路 (IC：Integrated Circuit) が使用される。今日の大規模集積回路 (LSI) は数 100 万トランジスタを含み、また 1 ナノ秒 (10^{-9} s) 以下のスイッチング速度で高速動作している。これを周囲の機器や回路に干渉を起こすことなく正常に動作させるためには、回路基板の高周波設計や電磁雑音低減設計、すなわち EMC 設計 (Electromagnetic Compatibility Design) が必須である。しかし、個々の回路素子を表現する回路モデルで IC/LSI を表現したのでは、複雑かつ大規模すぎてとても対応できない。そのため、IC/LSI の高周波特性を考慮した簡略モデル、すなわち高周波マクロモデルの開発が進められている [1]。

本来、デジタル回路の動作は、電圧が閾値レベルより高いか低いかで出力を切り替えるスイッチングが基本である。たとえばデジタル回路の基本であるインバータは図 1 に示すように 2 個のトランジスタが入力電圧に従いオン・オフする。そのときのトランジスタの抵抗値や容量値は時間とともに変化する時変で非線形な特性を持つ。しかし、そのマクロな特性が線形モデルにより表現可能であることが経験的に知られており、当研究室ではこの線形マクロモデル LECCS を高周波まで拡張するとともに、その適用可能範囲を明確にするための研究を進めている。最近、線形マクロモデル化できる条件が明らかになってきた。また、その精度向上のためには、図 2 図 3 に示すようなチップ内の回路ブロック間とチップ・パッケージ間の寄生結合を含むモデル化が重要であることを示した [2]。このモデルは日本では LECCS、ヨーロッパでは ICEM と呼ばれ、これを統合したものとしての国際標準化が進んでいる [3]。近い将来、実際の回路設計への適用が進むものと期待される。

[参考文献] [1] S.B.Dhia, M. Ramdani, E. Sicard (Editors), Electromagnetic Compatibility of Integrated Circuits, Chap. 5, Springer, 2006. [2] 齊藤ほか, “多電源ピン LSI のブロック間結合を考慮した 3 ポート LECCS-core モデル”, 信学論 (B), Vol.J93-B, No.02, Feb. 2010 (掲載予定). [3] IEC 62433-2 (2008-10) Ed. 1.0, EMC IC modelling - Part 2: Models of integrated circuits for EMI behavioural simulation - Conducted emissions modelling (ICEM-CE).

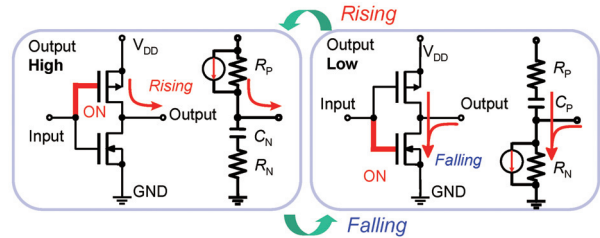


図 1 デジタル回路インバータの線形モデル

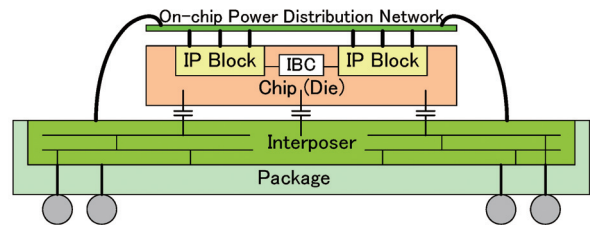


図 2 集積回路チップとパッケージのモデル

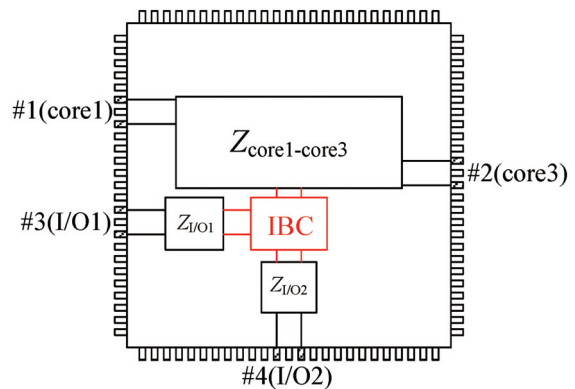


図 3 ブロック間結合 (IBC) のモデル化 [2]

電気システム論講座 自動制御工学分野 (萩原研究室)

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

「非因果的周期時変スケーリングに基づくサンプル値制御系の解析と設計」

1. モデルに基づく制御と、モデル化誤差に対するロバスト制御

本研究室では、さまざまな実システムの制御における性能向上を可能とするための制御理論に関する研究を展開している。制御理論とは、一言でいえば、制御対象の動的な入出力関係をなんらかの形で表現した数学的モデル化に基づき、制御対象からできるだけ高い性能を引き出すようなフィードバック制御器を合理的手段で設計するための方法を与える数学的理論といえる。設計手段を与える「解」は数学的に解析的な形で表されるとは限らないが、コンピュータの能力を活用すれば実用的には十分に解けるような形での（場合によっては近似的な）「解」を与えることが、研究の基本的目標といえる。

このようなスタンスは、産業界でも数多く利用されているPID制御器において、熟練者の経験と試行錯誤に基づくパラメータ調整を通して性能向上を図るといった方法とは対極にあり、引き出しうる性能を最大限引き出している保証を与え得る点で意義が大きい。しかし、熟練者によるパラメータ調整では、必然的に存在するはずのモデル化誤差への配慮も暗黙のうちになされるのに対して、コンピュータを活用しての設計では、モデルが完璧なものであるという理想化した仮定に立つことになる結果、非現実的な設計に至る可能性も懸念される。そのような事態を避けるため、モデルが持ちうる不確かさをあらかじめ見積もった上で、その不確かさの範囲では所望の性能が達成されることを厳密に保証するという考え方、すなわち、モデル化誤差に対してロバスト性を有する制御器の設計（ロバスト制御器設計）を可能とするような手段を提供することも含めて制御理論の役割といえる。

2. スケーリングに基づくロバスト性の取り扱いと非因果的周期時変スケーリングによる性能向上

制御対象のモデル化誤差を Δ と表し、フィードバック制御系の Δ 以外の部分（制御対象の理想モデルと、それをもとに設計された制御器からなる部分）を G と表すことにすれば、現実の制御系は図1のように表現することができる。以下、話を単純化するため、制御系に対する要求としては安定性のみを考えることにする。直感的に言って、信号が図1の系におけるループを巡回するにつれて発散していくことが制御系の不安定性を意味しており、逆に言えば、 G と Δ の（適切な形で定義される）ゲインの積が1未満であれば、制御系は安定である。したがって、不確かさ Δ に関して、そのゲインが適当な値 α 以下であると見積もられているならば、 G のゲインを $1/\alpha$ 未満とするように（ G に含まれている）制御器を（すでに確立されている手法により）設計すればよいことになる。このような考え方は、 Δ に関する事前情報がゲイン α 以外に一切存在しないと仮定すれば、数学的にはロバスト性に関する必要十分条件を扱ったこととなっており、特段の不都合はない。しかし、実際には、不確かさ Δ は、制御対象の複数の局所的な不確かさに帰着されることがしばしばであるなど、利用しうるより詳細な事前情報が一般にはある。そのようなケースでは、十分条件に基づく考え方に陥っていることになり、 G のゲインを $1/\alpha$ 未満とするだけでは、本当に最大の性能を引き出せているかどうか定かでないことになってしまう。

この難点を避ける考え方がスケーリングであり、もっとも単純化した説明としては、「適当な W 」を用いて、図1における G, Δ をそれぞれ $G_W := WG W^{-1}$, $\Delta_W := W \Delta W^{-1}$ に置き換えた系を考えるというものである。信号の流れに関しては W はキャンセルされるため、現実のロバスト性には影響を与えないが、数学的な取り扱いとしては、 W を自由に選べる分だけ、より必要十分条件に近いものとなる。このような W として、（ G や Δ の複数の入力信号間での）空間的スケーリングを行う方法が従来より知られているが、本研究室では、これに代って時間軸方向に、しかも「非因果的」かつ「周期時変」な形でスケーリングを行うことが、とくにデジタル制御器を持つサンプル値制御系の解析と設計に対して極めて有効であることを見だし、この考え方を活用した研究を展開している。

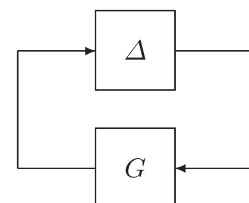


図 1: 不確かさを持つ制御系

電気システム論講座 電力システム分野 (大澤研究室)

<http://www.kuee.kyoto-u.ac.jp/~ohsawa/index.html>

「風力発電システムへの短期／長期ハイブリッドエネルギー貯蔵の適用」

地球温暖化防止対策の一つとして太陽光発電、風力発電などの自然エネルギー発電の導入が推進されています。自然エネルギー発電のなかでも風力発電は発電コストが安価なために実用化の段階にありますが、大容量の風力発電機が多数系統連系されると、出力の変動性のために電力系統の周波数や電圧の変動などが問題となる可能性があります。これらの問題に対する抜本的な対策は、エネルギー貯蔵装置の導入です。また、マイクログリッド（分散型電源やエネルギー貯蔵装置などからなる局地的電力供給システム）の自立運転モードのように、電力システムから独立して地域的に運転される場合にも、エネルギー貯蔵は必須です。この研究では、電力需給の短期的過渡不平衡に対しては比較的小容量で応答の速い電気二重層キャパシタ（UC）で、長期的定常不平衡に対しては水素ガスをエネルギー貯蔵媒体とした、比較的容量が大きく応答が遅い燃料電池／水電気分解（FC/ELZ）で対応するという、ハイブリッドエネルギー貯蔵方式を対象とし、風力発電に適用したシステムについて検討を行っています（図1）。

風力発電システムとしては、二次励磁誘導発電機を用いた可変速風力発電を仮定して、このシステムを数学的にモデル化し、制御方式を提案し、その動的な応答をシミュレーションによって検討しています。図2に動的応答の例を示します。風力発電出力 P_{ig} 、負荷電力 P_{load} のステップ状変化（それぞれ10秒、5秒および15秒）に対するUCの電力 P_{uc} （充電の場合を正）、FCの出力 P_{fc} 、ELZの消費電力 P_{elz} を示しています。UCが変動の過渡的な部分を補償しているのに対して、FC/ELZは電力需給不平衡の定常的な部分を補償するように制御されています。このように、定常的な不平衡はFC/ELZで吸収することによって、UCの電力は定常的にはゼロになるように制御することが可能になります。つまり、電気二重層キャパシタUC/燃料電池FC/水電気分解ELZのシステムは、風力発電を負の負荷とみなすと、供給が過剰なときはELZで消費して水素を製造し、供給が不足するときは水素を使用してFCで供給する電力供給システムと考えることができます。

本研究の主なポイントは、非線形性の強いシステムの運転・制御方式をどのように確立していくかです。上で示した例では風力発電のみを考えていますが、各種の発電方式が含まれるシステムについて、それぞれの制御方式を検討する必要があります。また、各種の構成要素の容量など、最適な構成方法を確立することも今後の課題です。

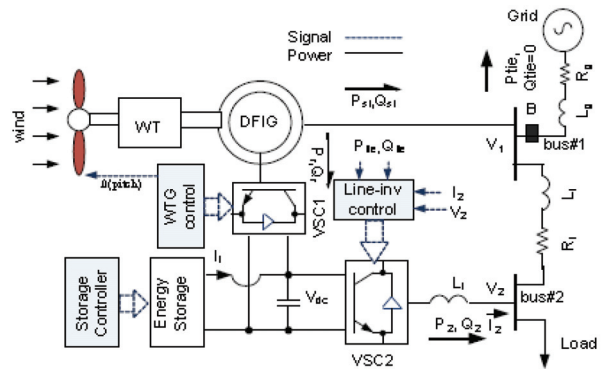


図1. 提案システムの構成

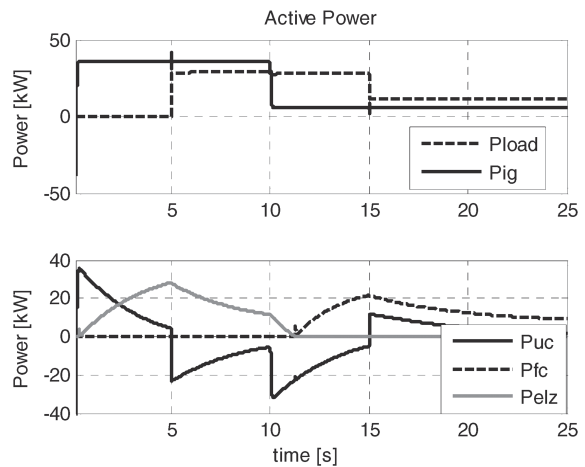


図2. 風力発電出力と負荷の変化に対する応答例

電子物理工学講座 プラズマ物性工学分野

<http://plasma1.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

「炭素循環系構築へ向けた液中溶解二酸化炭素のプラズマ還元処理」

燃焼機関等の産業活動で人為的に放出される二酸化炭素は、地球温暖化の主要因と言われており、最近では世界の大勢もわが国の政府もその削減策の立案に取り組んでいることは周知の事実です。鉄鋼業などの高付加価値産業の発展を妨げないためには、二酸化炭素のある一定量の排出は避けようがなく、その処理策の提案がこれまでに様々な形態でなされてきました。現在最も有力とされる方法の1つは、高濃度排気ガスからの隔離後の地中岩盤への貯蔵と考えられておりますが、二酸化炭素の再資源化による炭素循環系を構築できればよりよい解決策となり、いわゆる低炭素化社会にさらに一步近づくことができます。この二酸化炭素の排出削減法として、当研究室の研究テーマである“プラズマ”を用いて行う解決策として、我々は以下のような提案を行っております。

- (1) 工場からの排出ガス中の高濃度二酸化炭素を水（電解液、海水等）に溶解させる（高い溶解度を利用）。
- (2) 自然光エネルギーにより電気分解で水素を発生させる。
- (3) 発生した水素を水中のプラズマ生成電極で保持し、大気圧プラズマを生成して溶解二酸化炭素を還元する。
- (4) 生じた生成物（一酸化炭素、メタン等）及び反応に用いられなかった剰余分の水素を再資源化する。

このうち、図1に示しますように、我々はすでに水中の水素泡を電極上に整列させ、その中に大気圧水素プラズマを生成することに成功しております（本誌 cue No. 19 の研究室紹介をご参照ください）。このとき、水素泡は、外部から水素ガスを供給することなく、電解液の電気分解により生成しております。

そして、最近、同様にして生成した液中の水素プラズマにより、液中に溶解している二酸化炭素の還元処理に成功しました [参考文献]。図2に、液中水素プラズマの発光スペクトルを示します。このスペクトルには、水素原子のスペクトルの他に二酸化炭素のスペクトルが多く観測され、溶解していた二酸化炭素が水素泡内に輸送されていることがわかります。さらに、スペクトルには、一酸化炭素由来のラインが数多く検出されており、一酸化炭素が生成されていることがうかがえます。この結果を再確認するため、上方置換法により収集した気体をガスクロマトグラフにより分析したところ、図3に示すように、一酸化炭素が確かに検出されました。この一酸化炭素の生成の機構としては、プラズマ中で解離した水素原子ラジカルによる二酸化炭素の還元反応の他に、プラズマ中電子による二酸化炭素の付着解離現象も寄与しているものと考えられます。

今後は、自然光エネルギーによる電気分解過程についても新たな提案を行い、前述の炭素循環システムの構築につなげていきたいと考えています。

【参考文献】

O. Sakai, T. Morita, N. Sano, T. Shirafuji, T. Nozaki and K. Tachibana, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **42**, 202004 (2009) .

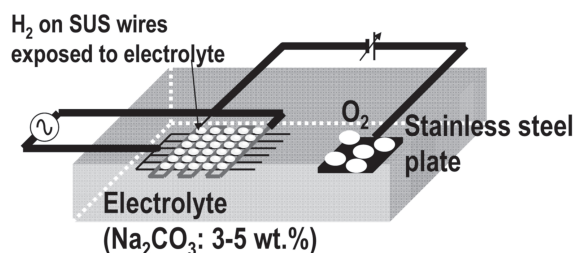


図1. ファブリック電極を電気分解電極として併用した液中気泡中のプラズマ発生方法。

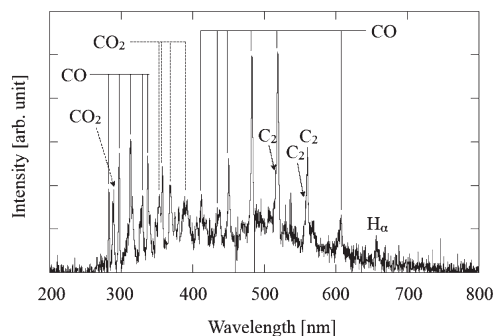


図2. 液中水素プラズマの発光スペクトル。

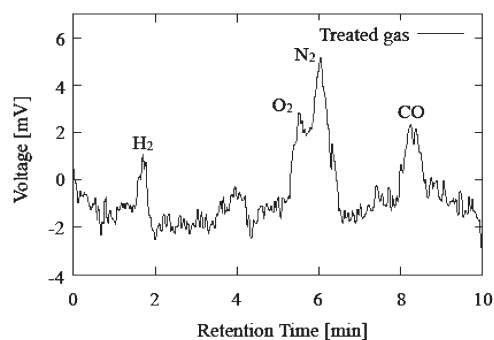


図3. 処理気体のガスクロマトグラム。

電子物性工学講座 電子材料物性工学分野（松重研究室）

[http:// piezo.kuee.kyoto-u.ac.jp/](http://piezo.kuee.kyoto-u.ac.jp/)

「カーボンナノチューブ電界効果トランジスタのチャンネル電位可視化」

単層カーボンナノチューブ（SWNT）は理想的な1次元特性を有し、バリスティック伝導や単一電子トンネリングなどの特異な物性を示すことから、基礎・応用の両面から注目されている新機能材料です。特に、SWNTをゲートチャンネルに用いるカーボンナノチューブ電界効果トランジスタ（CN-FET）は次世代のナノ電子デバイスとして期待されています。CN-FETの特性は金属電極とSWNTとの界面電子状態によって支配されるため、接合界面およびSWNTチャンネルにおける電子状態を解析することは本質的に重要な課題となっています。本研究室では、原子間力顕微鏡（AFM）の一種であるケルビンプローブ原子間力顕微鏡（KFM）という表面電位計測法を用いて、動作状態にあるCN-FETのチャンネル部の電子状態を評価しています。ここでは、動作状態にあるCN-FETチャンネルの電位を、周波数検出方式のKFM（FM-KFM）により可視化した実験結果について紹介します。

一般にCN-FETは図1(a)のような構造を持っています。Si基板をバックゲート電極として用い、基板上的SiO₂絶縁膜の上にソースおよびドレインとなる2つの金属電極を作製します。SWNTはこれらの電極を接続するFETチャンネルとして動作します。図1(b)は、Ti電極間にSWNTを誘電泳動法（電気泳動の一種）により架橋して作製したCN-FETの一例（AFM像）です。A-Bに沿ってのAFM形状プロファイルから示されるチャンネル部の高さは約4 nmであり（図1(c)）、このチャンネルが複数のSWNTから構成されるバンドルであることが分かります。また、ゲート電圧依存特性の測定から、このCN-FETは両極性特性をもつことが分かりました。図2は、FM-KFMによる可視化された、このCN-FET試料の表面電位像です。ドレイン電圧を一定に保ち、ゲート電圧 V_g を変化させて、表面電位観察を行っています。その結果から、ドレイン電極端で、ゲート電圧に依存する顕著な電位変化が生じることが分かりました。

SWNTの仕事関数の典型値は4.8 eVであり、Tiの仕事関数4.3 eVより大きいために、p型領域でキャリアとなるホールに対して、Schottky障壁を形成すると考えられます。KFMにより測定された、チャンネルに沿った表面電位は、チャンネル上のバンドの傾き／曲がりを反映することから、得られた電位プロファイルからSWNTのバンド構造を推察することが可能です。ドレイン端に表れた大きな表面電位は、SWNTの電子状態がゲート電圧に依存して大きく変化することを示しています。実際、このCN-FETのドレイン電流-ゲート電圧特性は、ゲート電圧が-2 Vから+2 Vの間で空乏領域特性を示し、ドレイン電流は大きく変化します。これらの結果は、ドレイン端に存在するSchottky障壁における障壁厚さが、ゲート電圧に依存して変化することを意味しています。つまり、ドレイン電極端からSWNTに注入されるホールのトンネル注入確率がゲート電圧により変調されることで、ドレイン電流変化が引き起こされたと考えられ、いわゆる「Schottky障壁変調モデル」を支持する結果が得られたことになります。

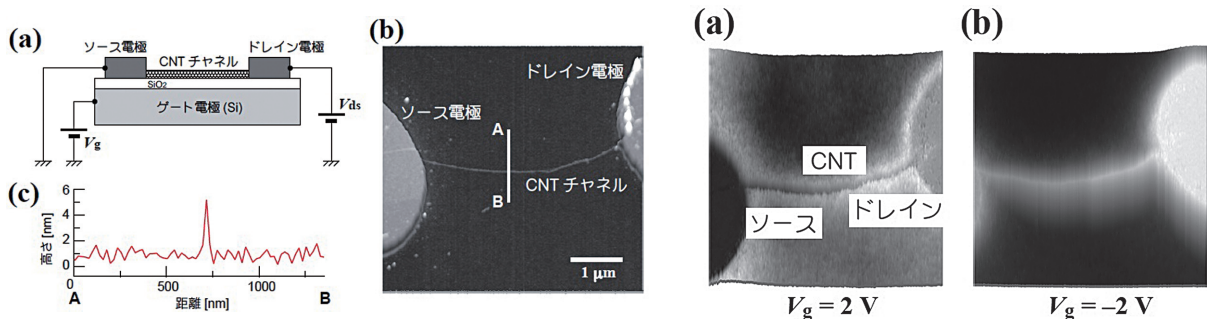


図1. (a) CN-FETの構造。電子に対してソース電極を定義 (b) 誘電泳動法で作製されたCN-FETのAFM像。 (c) (b) 図中のA-B間の断面プロファイル。CNTの高さ（直径）が4nmあることが分かる。

図2. FM-KFMにより測定されたCN-FETの表面電位像。ドレイン電圧を1V、ゲート電圧を (a) 2V, (b) -2Vとしたときの結果。ソース電極の電位は常に0V。

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/>

「フォトニクス：3次元フォトニック結晶の「表面」における光子の操作」

3次元フォトニック結晶は、光の波長と同程度の周期的屈折率分布をもち、いわゆるフォトニックバンドギャップを有することを特徴とする。これは、丁度、周期的な静電ポテンシャル分布をもつ半導体等の固体結晶中を運動する電子に対してエネルギーバンドギャップが形成されることと類似している。このような3次元フォトニック結晶は、光子を制御・操作するための基本要素として注目を集め、様々な光回路の実現の鍵を与えるものと期待されている。これまで、3次元フォトニック結晶を用いた光制御を行うには、結晶の「内部」に人工欠陥や発光体を埋め込み、3次元的な全ての方向のバンドギャップ効果を利用することが不可欠と考えられてきた。しかしながら今回、我々は、周期性が終端される3次元フォトニック結晶の「表面」においても、光子を制御・操作することが可能であることを示すことに成功した。この成果は、全く新たな光子の操作法の実現に繋がるものである。

まず、エバネッセント結合法により、3次元フォトニック結晶の「表面」のフォトニックバンド構造をマッピングし、確かに「表面」に光が安定して存在し、これらの表面状態を介して光子が伝搬可能であることを見出した。さらに、表面構造を工夫することで、これらの表面モードにギャップを形成し、その上で人工的な表面欠陥構造を導入することによって、表面の任意の位置に光子を局在させることに成功した（図1）。驚くことに、このような表面欠陥モードは、これまで報告されている全ての3次元フォトニック結晶ナノ共振器を凌駕する世界最高のQ値を示した（Q値は約9,000以上に達する）。

今回の我々の研究結果は、フォトニック結晶による新しい光子操作方法を与えるのみならず、金属表面におけるプラズモンポラリトン効果やその他の表面光現象とも関連するものであり、物理的にも大変興味深いものと言える。さらに、通常の金属表面とは異なり、3次元フォトニック結晶表面は吸収がないため、新しいセンシング応用や、高効率な光-物質の相互作用を実現する場を与えるものとしても大いに期待される。

参考文献

[1] K Ishizaki & S Noda, Nature, vol.460, pp.367-370 (2009) .

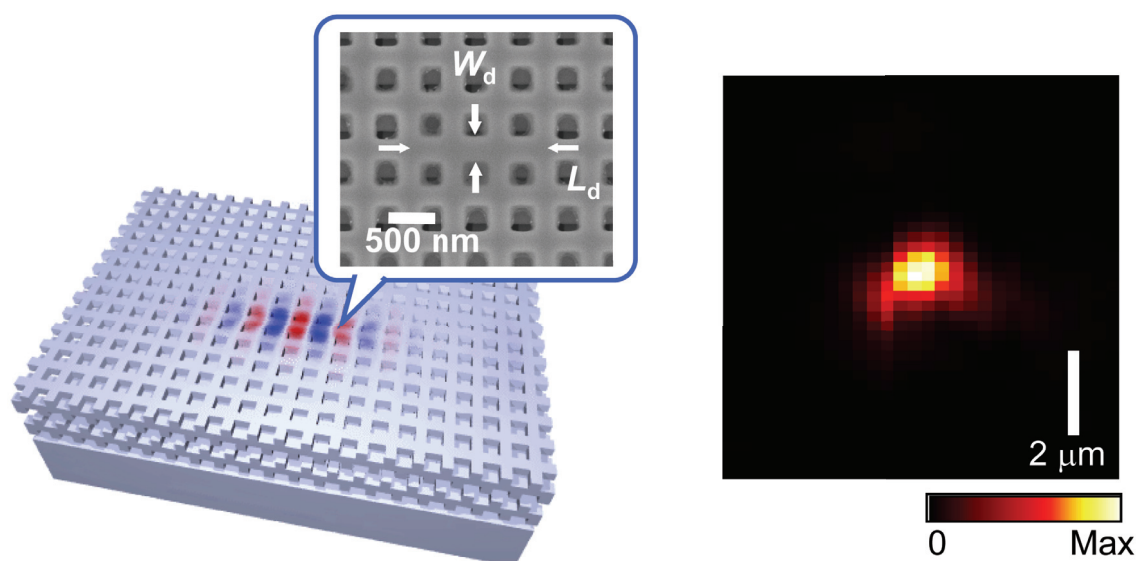


図1. 3次元フォトニック結晶の表面における光局在現象。

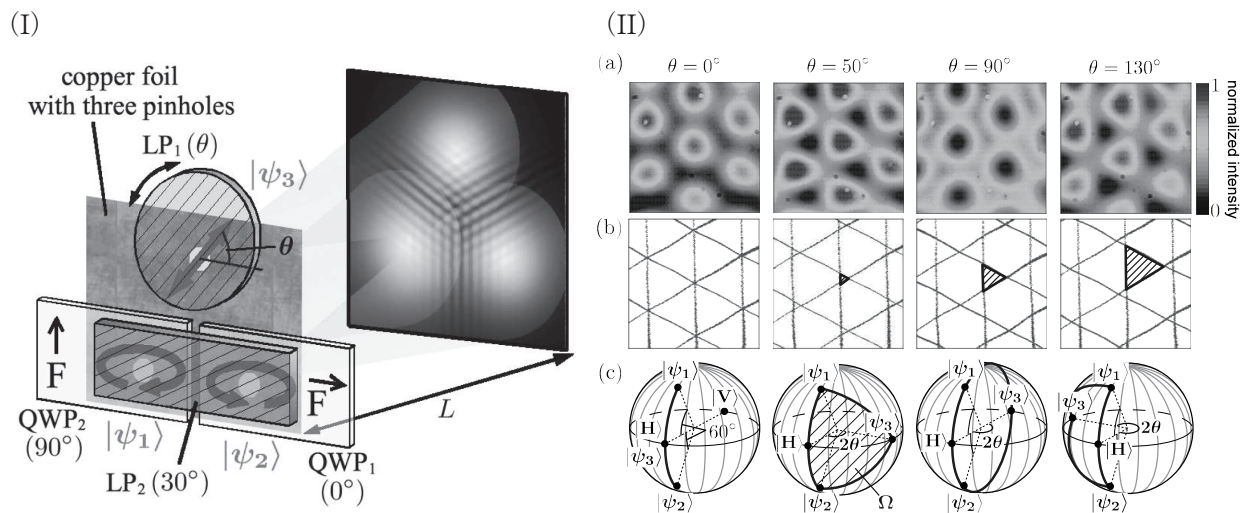
量子機能工学講座 量子電磁工学分野 (北野研究室)

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

「3 光束干渉計における幾何学的位相の直接観測」

量子状態を表現する状態ベクトル (状態ケット) の位相の取り方には自由度があるが、この自由度には幾何学性質が内在している。この性質に由来する位相変化は幾何学的位相もしくは Berry 位相と呼ばれ、基礎から応用までさまざまな分野で研究されている。これまでは、量子系が段階的 (あるいは連続的) に変化したときに発生する幾何学的位相を対象とした研究がほとんどであった。しかし、幾何学的位相は量子状態の状態空間内の幾何学的な位置関係のみで定義されるものであり、量子系の時間発展は必ずしも必要としない。このような考えにもとづき、我々の研究室では、時間発展を必要とせずに幾何学的位相を観測する方法を考案した。研究では、量子系として最も単純な 2 状態系である光の偏光状態を利用し、3 状態 (3 偏光) で定義される幾何学的位相を対象とした。

下図 (I) に示すような、3つのピンホールを透過した光 (3 光束) の干渉を考える。図上の $|\psi_1\rangle$, $|\psi_2\rangle$, $|\psi_3\rangle$ がそれぞれの光の偏光状態を表している。実験では、 $|\psi_1\rangle$, $|\psi_2\rangle$ は横長の楕円偏光で固定されており、 $|\psi_3\rangle$ は、直線偏光でその偏光方向を偏光子 LP_1 の角度 θ を変えることで制御することができる。ヤングの干渉実験 (2 光束の干渉実験) では、2つの穴に垂直な方向に干渉縞が形成されるが、3 光束の干渉では、3 光束の2つが組となり1つの干渉縞を形成するために、3方向の干渉縞の重ね合わせが投影される。この干渉パターンは偏光 ($|\psi_1\rangle$, $|\psi_2\rangle$, $|\psi_3\rangle$) に依存し、例えば偏光板 LP_1 の角度 θ を変化させた場合には下図 (II) (a) のように変化する。この干渉信号より、3方向の干渉縞を画像処理によって抽出すると下図 (II) (b) のようになる。偏光などの 2 状態系の任意の状態はポアンカレ球と呼ばれる球上の 1 点として表現することが可能で、それぞれの θ に対して下図 (II) (c) のように表現される。幾何学的位相 Δ_3 はこのポアンカレ球上の 3 状態 ($|\psi_1\rangle$, $|\psi_2\rangle$, $|\psi_3\rangle$) のなす球面三角形の面積として現れるが、下図 (II) (b) に網かけした三角形の面積 S がこの幾何学的位相 Δ_3 と関係している ($S \propto \Delta_3^2$)。干渉縞に形成される三角形の面積 S は、3つのピンホールの直後にガラス板などを挿入し、それぞれ独立な光路差を導入しても変化することはない。このことは、幾何学的位相がそれぞれの偏光状態の位相の取り方に依存しないゲージ不変な量であることを表している。



[1] H. Kobayashi, et al., to be published in Phys. Rev. A (arXiv:0906.0212)

[2] S. Tamate, et al., New. J. Phys. 11, 093025 (2009)

知能メディア講座 画像メディア分野 (松山研究室)

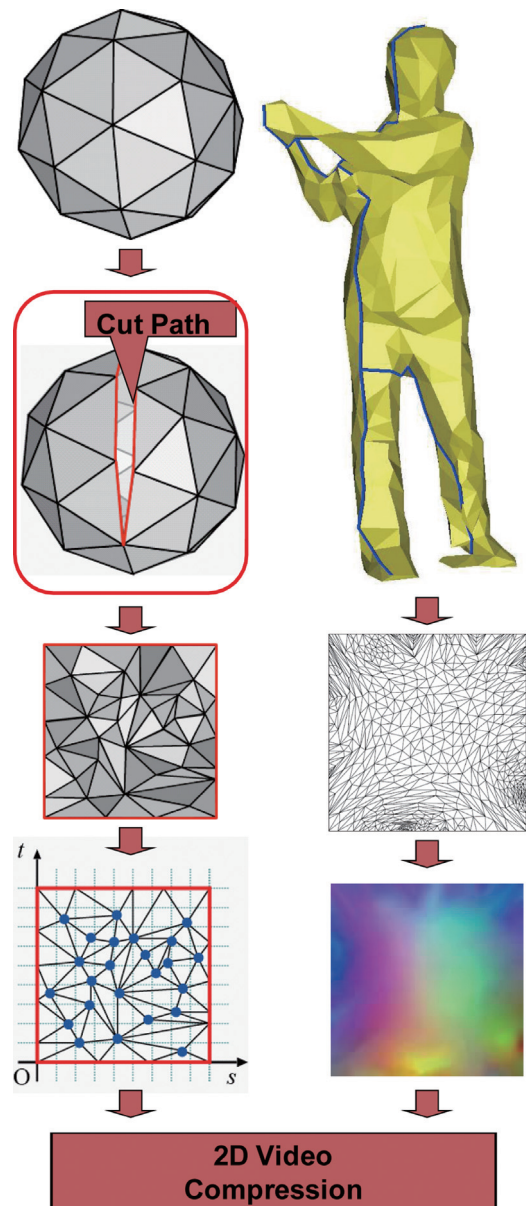
<http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/japanese/index.html>

「3次元ビデオの圧縮符号化」

3次元ビデオとは、対象を取り囲むように配置した多数のビデオカメラで撮影した実写多視点映像から(裏側を含めた)完全な3次元立体映像を生成する技術であり、これまでに舞妓の踊りのような無形文化財のデジタルアーカイブ化などを実現してきた。3次元ビデオは通常の2次元映像と比較して膨大なデータ量となるため、非圧縮のままでは保存・伝送に多大なコストがかかる。たとえば、非圧縮のハイビジョン映像が約470Mbps、これをMPEG2で圧縮した地上デジタル放送のハイビジョン映像が約15Mbpsであるのに対して、非圧縮の3次元ビデオは約3000Mbpsと桁違いに大きい。本研究ではこれを圧縮符号化するアルゴリズムの開発を目指している。

3次元ビデオを構成するデータは主に3次元表面形状を表す幾何学的な情報と、表面色などを表す光学的な情報の2種類に分類され、そのうち特にデータ量が大きく圧縮法が確立されていないのは形状情報である。一般に3次元形状情報は多面体(3角形ポリゴンモデル)で表される。我々が提案するSkin-offアルゴリズムではこれを以下の手順で2次元画像に変換することでデータ圧縮を実現する。(1)多面体(図1段目)に切れ目(カットパス)を入れる(図2段目)。(2)切り開かれた多面体を平面矩形へと引き延ばして展開する(図3段目)。このときカットパスは矩形の縁となり、矩形内は元の多面体を構成していた3角形が変形されたもので埋められる。(3)矩形内を適当な密度で格子状にサンプリングし、各サンプリング点に対応する元の多面体表面上の点の3次元座標値(x,y,z)を計算する(図4段目)。(4)サンプリングで得られた各点の(x,y,z)の値を画像の3原色(R,G,B)に読み替えると、通常の2次元画像と同様に(R,G,B)値が格子状に並んでいると見なせるため、これを既存の画像/映像圧縮法(JPEGやMPEG)で圧縮する。

ここで問題となるのは、①「3次元表面形状を2次元の平面に展開する」という操作は、球体の地球が様々な図法で平面地図へと変換できるように一意でないこと、②元の3次元形状がドーナツのように穴(ハンドル)を持つ場合、平面に展開するには切れ目をハンドルの数だけ追加する必要があるということの2点である。Skin-offではこれらの問題点を考慮しながらカットパス選択を最適化することで圧縮率向上を図っている。また得られた平面映像の圧縮は、既存の符号化ハードウェアやネットワーク配信技術との親和性が高いという利点がある。今後はこの特長を生かしてインターネットを通じた3次元ビデオの配信などへの応用を目指す予定である。



左：Skin-offの概念図。多面体(1段目)に切れ目(カットパス, 2段目)を入れて平面へと展開する(3段目)。元の多面体を持っていた(x,y,z)座標値を画像の3原色(R,G,B)に読み替えると、画像/映像として圧縮保存できる。右：実際の例。

通信システム工学講座 知的通信網分野 (高橋研究室)

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

「TCP/IP ネットワークにおけるフローサイズを考慮した優先制御方式の提案」

近年、通信ネットワークの広帯域化及びインターネット関連技術の発展によって、ネットワーク上で利用されるサービスは量・種類共に増加しています。2000年頃からはP2P (Peer-to-Peer) 型のファイル共有アプリケーションが登場し、それによって生じる膨大なトラフィックが問題視されるようになってきました。P2Pアプリケーションでは一般的にマルチメディアファイルの共有が行われ、Webアプリケーションのトラフィックに比べてフローサイズが圧倒的に大きいという特徴があります。そのため、P2Pアプリケーションによって発生するサイズの大きいフロー (以下、エレファントフロー) が、Webアプリケーションにおいて発生するサイズの小さいフロー (以下、マイスフロー) の帯域を圧迫し、Webアプリケーションにおいて遅延の増大やスループットの低下が発生して通信品質が劣化するという問題がでてきました。

P2P ネットワークでは個々のクライアントノードが完全に自律的に振る舞うため、P2Pトラフィックの識別が容易ではありません。利用ポート番号を用いた識別方式やシグネチャ方式による識別などが提案されていますが、いずれもP2Pトラフィックを完全・容易に識別できる方法とは言えず、そのため、ISPにおけるP2Pトラフィックの規制が困難となっているのが現状です。それに対して、P2Pアプリケーションのトラフィックをあらかじめ識別しなくてもフローサイズを考慮することにより、マイスフローの品質を改善できる方式としてLAS (Least Attained Service) が考案されました。LASではルータに到着している各フローの転送データ量を保持しておき、転送データ量が少ないフローから優先的に転送します。これによって、エレファントフローの存在下でも、マイスフローは他のフローと同じ転送データ量になるまで優先して転送され、帯域の圧迫を防ぐことができようになりました。しかしながら、LASでは全てのフロー情報を記憶する必要があるため、ルータの負荷が増加してしまうという問題がありました。

この問題を解決するため、本研究では、各フローの転送データ量を参照するパケットをサンプリングし、ルータ負荷を削減したSLAS (Sampling LAS) を提案し、さらに、フロー情報の集約に基づきルータ負荷を削減するSLAS with FA (SLAS with Flow Aggregation) の二つの方式を提案しました。前者では、フローテーブルの更新を行うパケットをサンプリングによって削減することで、ルータにおける負荷を削減しています。また、後者では全てのフローにおいて共通のタイマを持つ、一定時間間隔ごとに各フローにおけるパケットの到着状況を調べ、その間に到着がなかったフローは送信完了とみなしてエン트리から削除します。これにより、フローテーブルの記憶領域を大幅に削減することができ、パケットの到着ごとに必要だったタイマのセットも必要なくなりました (図1参照)。さらに、本研究では、平均スループットやルータ負荷をシミュレーションによって比較評価し、提案方式の有効性を確認しました (図2参照)。

参考文献

横田健治, 朝香卓也, 高橋達郎, " ネットワークの品質を改善するエレファントフロー制御方式, " 電子情報通信学会論文誌, Vol.J92-B No.4, pp. 760-769, 2009.

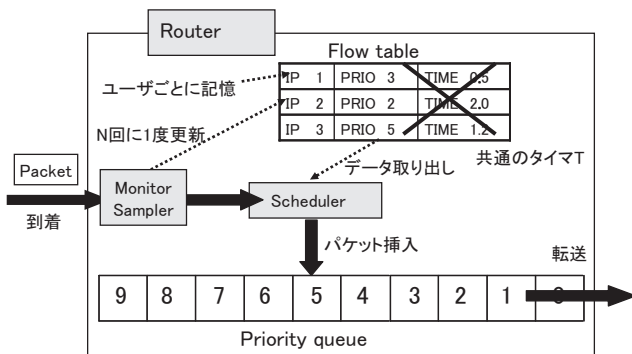


図1. SLAS with FA のアルゴリズム

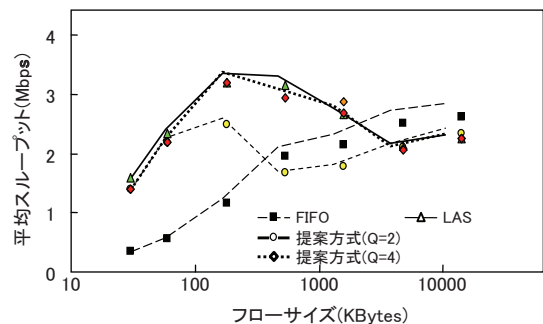


図2. フローサイズごとの平均スループット

集積システム工学講座 超高速信号処理分野（佐藤亨研空室）

<http://www-lab26.cce.i.kyoto-u.ac.jp/>

「ファイバ非線形効果の誤り率への影響の高速評価法」

インターネットの普及に伴う加入者系伝送路の光化の進展により、長距離光伝送システムの大容量化がさらに望まれています。このようなシステムとして有望視されているのが、図1に示すようなファイバによる光パワー損失を光増幅器で補償する光多中継システムです。光ファイバは低損失ですが、数十kmも伝送すると、さすがに光パワーが弱まってしまいますので、光信号を光のまま増幅して、さらに伝送します。この光増幅器間を1スパンと呼びます。1本の光ファイバで1種類の信号だけを伝送するのはもったいないので、通常は周波数の異なる光それぞれに異なる種類の信号を載せ、図1のようにそれらすべてを1本の光ファイバで伝送します（各々を“チャンネル”と呼びます）。

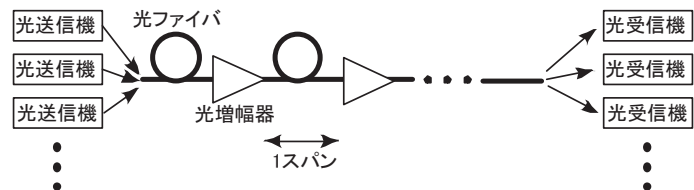


図1：長距離光ファイバ伝送系の概要

しかし、光ファイバの直径は数十 μm と非常に細く、光増幅器により光ファイバ内の光パワー密度が増大するため、非線形効果が起こり、波形劣化が生じてしまいます。多くの光増幅器を用いると、さらに非線形効果の影響が大きくなってしまいます。デジタル信号は、誤って受信される確率である“誤り率”で評価を行います。波形劣化が生じると誤り率の劣化につながります。伝送速度を増大させることは光パワーの増加を伴いますので、非線形効果の影響は今後益々増加することになります。

以上のようなシステムを設計する場合、伝送路である光ファイバの種類を変え、ファイバ非線形効果が起こりにくい組合せをシミュレーションにより求めます。1チャンネルだけの伝送であればよいのですが、複数チャンネルのシステムでは信号の組合せを変えてシミュレーションを行う必要があります。伝送路の長さにより数時間～数日もかかります。

そこで、複数チャンネルの場合の非線形効果の影響が雑音を増加させたように見なせることと、その大きさが1チャンネルの光パワーに依存することを見出しました [1]。そこで、これらを利用して、計算機内で適切な雑音を発生させ、その影響を計算することで、従来よりも高速に誤り率への影響を評価できることを示しました [1]。

図2に結果の一例を示します。縦軸は誤り率に対応する Q 値で示しており、大きいほど誤り率が良くなります。横軸はスパン数で、1スパン80kmで示しています。35スパン程度まで提案法が有効であることが分かります。これより長い伝送では別の非線形効果が効いてきますので、十分な長さと考えられます。また、計算に要する時間は、シミュレーションにかかる時間の1/400となります。これにより、伝送路の設計において容易に最適な構成とすることが可能となります。

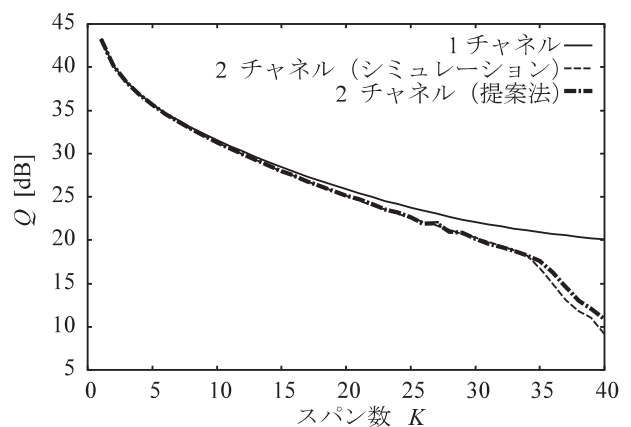


図2：スパン数に対する Q 値

参考文献 [1] 乗松, 岡田, 小田, 信学論 Vol.J91-B, No.2, pp.140-150, 2008.

システム情報論講座 論理生命学分野 (石井研究室)

<http://hawaii.sys.i.kyoto-u.ac.jp/home>

「遮蔽に強いベイズ超解像」

当研究室では、不確実な環境に対して学習によって適合するシステムとしての「生命」と「知性」の計算原理を明らかにすることを目的に、多岐にわたる研究を行っています。また、学習するアルゴリズム（機械学習）の研究、学習する「人工的知性」を持つ知能ロボットの研究なども行っています。

表題の超解像は、複数の観測画像の情報を統合することで、観測画像より高解像度の画像を得る情報処理手法をいいます。この手法は、動物の視覚情報処理機構、および機械学習の研究から生まれたもので、例えば顕微鏡画像や衛星画像の高解像度化に貢献することが期待されます。

我々は、ベイズ統計を用いた超解像法の開発を行っており、これをベイズ超解像と呼んでいます。確立された方法論である統計学に立脚することで、推定の良さについて保証された手法を用いることができます。ベイズ統計を用いない統計学においては、最尤推定がある種の最適性を持ちますが、この最適性は観測される標本数（超解像の場合、観測画像枚数）が無限大に近づくときにのみ成り立ちます。現実にはせいぜい数十枚の観測しか得られないため、観測のみから真の高解像度画像を推定した場合、同程度に尤もらしい高解像度画像が無数に存在することになります。最尤推定ではそれらから最も尤もらしい候補を選びますが、ノイズに強く影響されて不安定になるため、しばしば、正解である真の高解像度画像とかけ離れたものが得られてしまいます。そこで真の高解像度画像に関する知識を用い、かつその知識の不確実性をも考慮して、無数の可能性から適切に絞り込むのがベイズ統計です。真の高解像度画像は未知ですが、その統計的性質は全くの未知ではありません。例えば、隣接する画素間は近い値をとりやすいなどの強い相関をもっています。こうした知識を組み込むことで推定精度を向上させることができます。また、観測過程を工夫することで遮蔽物が混入した観測画像から適切に遮蔽物を除去し、背景画像の超解像を行うことができます。以下に遮蔽物除去を行う超解像の一例を紹介します。図1は背景の本棚の前を横切る女性を断続的に撮影した9枚の観測画像を表示したもので、図2,3はそれぞれベイズ推定により推定された遮蔽パターンと縦横各々4倍の画素数に増大した高解像度画像です。ベイズ超解像では、遮蔽物の混入の有無に関する推定の曖昧性を考慮して画像復元を行います。我々は、このように画像の知識と推定の不確実性を考慮する数学的手法を開発することで、超解像の限界に挑んでいます。

参考文献

"Superresolution with Compound Markov Random Fields via the Variational EM Algorithm", A. Kanemura, S. Maeda, and S. Ishii. *Neural Networks*, 22 (7), 1025-1034, (2009)

"ベイズ超解像と階層モデリング", 兼村厚範, 福田航, 前田新一, 石井信. *日本神経回路学会誌*, 15 (3), 181-192, (2008)



図1 観測画像

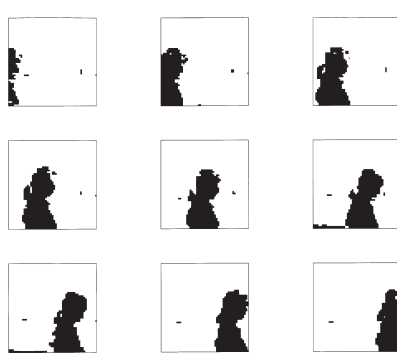


図2 推定された遮蔽パターン



図3 ベイズ超解像で推定された高解像度画像

エネルギー物理学講座 電磁エネルギー学分野

<http://www.center.iae.kyoto-u.ac.jp/kondok/index-j.html>

「ヘリカル系プラズマにおける三次元 MHD 平衡とプラズマ電流分布の時間発展」

太陽のエネルギー源である核融合エネルギーを地上で利用する人工太陽炉を実現するには、燃料を制御熱核融合反応に必要な一億度以上に加熱する必要がある、このような状況では物質はプラズマ状態になっています。したがって、人工太陽炉実現には、このような超高温プラズマを閉じ込める必要があります。プラズマは荷電粒子の集合体なので、これを閉じ込める手段として磁場を用いた方法が検討されています。そのための方法として、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（トラスプラズマ）の閉じ込めに適した磁場配位（MHD 平衡）をつくる「ヘリカル系方式」と、外部コイル系だけでなくト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、有望な磁場閉じ込め方式として挙げられます。一般に、プラズマ中に大きな電流を流すトカマク方式では、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（通常は電磁誘導を用いる）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。本研究分野での主な研究テーマの一つが、このような非軸対称トラスプラズマであるヘリカル系プラズマの実験・理論解析です。ここではその中から三次元 MHD 平衡とプラズマ電流分布の時間発展に関する研究を紹介します。

ヘリカル系プラズマの研究において、最も重要なものの一つに MHD 平衡解析があります。先に述べたとおり、ヘリカル系方式では主に外部コイル系に流す電流で閉じ込めに適した磁場配位を作りますが、プラズマ自身が荷電粒子の集合体ですので、これらの運動は電流や磁場を作ります。したがって、高い圧力のプラズマが存在するときの磁場配位は、外部コイル系が作る磁場だけでなく、プラズマ自身が作る磁場も自己無撞着に考慮する必要があります、これを MHD 平衡解析と言います。また、ヘリカル系プラズマではプラズマ電流を積極的に流す必要はないのですが、現実には自発電流などいろいろな要因でプラズマ電流が流れています。しかし高温プラズマは電気伝導度が大きいことと磁束の変化による誘導起電力のため、プラズマ電流分布の時間発展の時定数は長く、容易に定常状態になりません。プラズマ電流分布は磁場配位を変化させるので、ここで示したような電流分布の過渡応答解析は、プラズマの磁場閉じ込めを研究する上で非常に重要となります。私たちの分野ではこれらの解析ツールを開発し、ヘリカル系プラズマの実験解析に適用し、実験における電流分布の過渡応答の重要性を示しました。

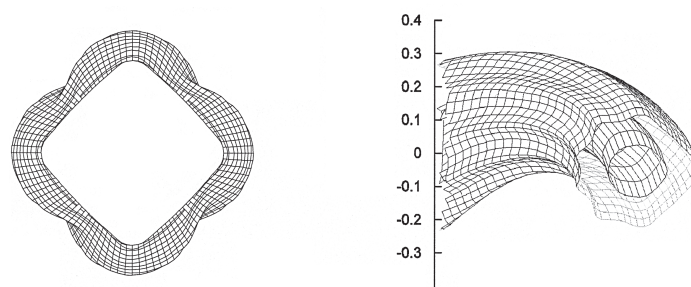


図 1 ヘリオトロン J プラズマの上面図と断面図（磁気面）

応用熱科学講座 応用基礎学分野（野澤研究室）

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

「ビット直列・ワード並列方式機能メモリを用いた新しい検索・整列アルゴリズム」

並列演算処理による電子計算機高性能化の一環としてビット直列・ワード並列方式機能メモリを用いた新しい検索（サーチ）・整列（ソート）アルゴリズムなどが実現可能な新しい情報処理システムの完成を目指した研究を行っています。従来の計算機では逐次型演算処理をおこないます。キーワード検索の場合、いわゆる順検索を用いて n 個の被検索サンプル全てを走査するため、 n 回ワード単位での一致・不一致判定を必要とします。一方整列の場合にはバブルソートおよびクイックソートやマージドソートなどがあります。これらの演算処理性能を 2 ワードずつ大小比較の演算回数で表すとよく知られているようにバブルソートの場合は $O(n^2)$ 回でクイックソートやマージドソートのように改良されたアルゴリズムでも $n \log n$ のオーダーになります。現在のところこれが理論的限界といわれています。

ビット直列・ワード並列方式機能メモリを利用して検索・整列を行う場合、並列処理演算が可能になるため、処理速度が向上することは容易に予測できます。ここでは演算回数がどうなるか考察します。検索の場合、ビット列毎に全ワード一括して一致・不一致を判定することができるため、サンプル数を単純に $n=2^m$ 個と置いて考察すると $m=\log n$ 回となり劇的に減少することができます。整列（ソート）の場合も若干複雑度が増えますが検索同様にビット列毎に演算を行う動作を利用します。同様にサンプル数を単純化のため $n=2^m$ 個と置いて大小比較を行い数の小さいものをワード行でいうと下方に並び替える操作について考察します。まずどこかに、できれば機能メモリ内で確保できれば一番いいのですが、とりあえず主メモリ内に被整列データ容量と同じ大きさのデータ領域を確保しておきます。次に処理するデータを機能メモリ内に移動します。この場合通常 move の機能を使いますが、この機能がないシステムでは read により主メモリから CPU に一旦データを取り込んだ後 write 命令により機能メモリに書き込む動作を連続して実行することと等価になります。その後最上位のビット列から比較を行います。ビット単位で大小比較するので 2 進数 “0”, “1” のどちらであるかを判定します。従って参照データとして “1” を用いて最初の列は全ワードのデータにつき局所比較器を用いて一致・不一致を判定し、一致するもの、不一致のものを主メモリ内の上下 2 領域に振り分けます。そして次の位のビットを処理します。以降、全ワードを一括移動しワード線分割方式を採用することも可能ですが、とりあえず簡明を期し、最上位の位が “1” のものと “0” のものに 2 分割して主メモリから機能メモリに移動し同様に “1”, “0” 判定を行い、その結果に基づき主メモリに振り分けて格納します。3 番目の位、ビット列では 4 分割したデータについて同様に “1”, “0” 判定しデータを振り分ける。この操作を全部の位、ビット列について繰り返し実行することにより、主メモリの一番上のワードに一番大きな数のデータが来て、一番下の位置にあるワードに一番小さな数のデータが来ますので大小の順番で並び替えが完了します。このソートアルゴリズムでの大小比較の演算回数は $1+2+2^2+\dots+2^{(m-1)}=2^m-1$ となります。従って、現在の理論的限界を超えて $O(n)$ 回にまで減少することができます。

検索・整列のアルゴリズムを比べると共通性が多く同じ回路を使った処理が可能と考えられます。さらに、機能メモリでの操作を並列に行い処理速度を高めることも考えられます。また、インターネットの普及により、ブラウザからキーワード検索をする機会も増えています。ヒットする項目数はキーワードの普遍性、特殊性にもよりますが数万、多いときには百万を超える時もあります。この数は今後も増加の一途をたどるものと考えられています。検索といっても同時に整列も行っているので、機能メモリを使ったこの種の情報処理を効率良く行うための研究を鋭意進める必要があります。

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
 「相対論的電子ビームを用いた新量子放射エネルギーの発生」

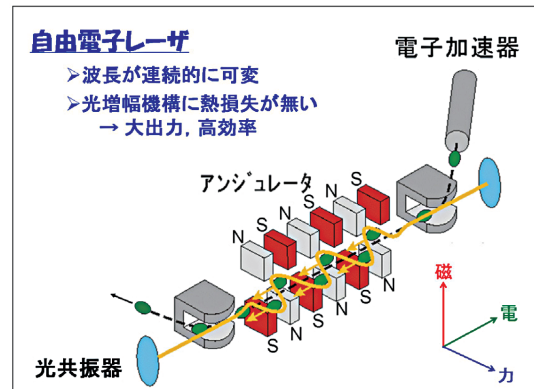
本研究室では、荷電粒子と電磁界との相互作用の高度・高精緻制御による先進科学技術の開発を目指して、電磁波によって生成・加熱された核融合プラズマの閉じ込め性能の改善と理解、プラズマ加熱・電流駆動システムの開発、危険物検査から医療まで多様な応用が期待される超小型核融合中性子・陽子源や、ここで紹介する高輝度・高エネルギー電子ビームの生成とそれを用いた新量子放射エネルギーの発生などの研究を行っています。

高エネルギー電子ビームを用いることによって、従来のレーザー等にはない機能、波長領域、強度の新しい放射源が実現します。例えば、SPring-8に代表されるシンクロトロン放射は既に盛んに利用されています。

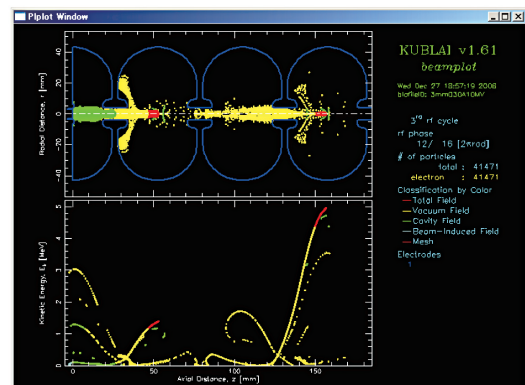
レーザー逆コンプトン散乱による準単色ガンマ線源や、広い波長領域でのコヒーレント光の発生が可能な自由電子レーザー（Free Electron Laser: FEL）も世界中で研究開発が行われています。従来のレーザーは原子や分子に束縛された電子が高エネルギー準位から低い準位に遷移するときに発生しますが、FELは言わば準位を人工的に作り出すことによって得られ、様々な新たな要求に応える柔軟性を具えています。

右上図のように、FELは電子加速器、アンジュレータ、光共振器から成ります。高エネルギー電子は、アンジュレータの周期的交代静磁場の中を蛇行し、その周期（数cm）に応じた波長の電磁波を放出しますが、このとき相対論的ドップラーシフトの効果により、前方に放出される電磁波（自発放射光）の波長は電子エネルギーに応じてTHzから可視、X線領域にも達します。さらに、蛇行する電子は横方向の速度成分を持ちますので、自発放射光の横方向電界と相互作用してエネルギーの授受が起り、条件が整えば光の増幅が起こります。また、光の磁界とそれに直角な横方向の速度成分によって電子には進行方向にも力が働き、電子は光のある位相に集群化されます。その位相が光の増幅条件下にあれば光はコヒーレントなレーザーになります。

FELは相対論的電子の運動エネルギーを、より付加価値の高い量子放射エネルギーに無損失で変換したものとさえ、右上図中に示したような従来のレーザーにない特長があります。私たちが宇治キャンパスで開発しているFELでは、平成20年3月に約40 MeVの電子ビームを用いて波長12.4 μm の中赤外FEL発振に成功しました。現在は、波長4～20 μm 連続可変FEL発振を目指した研究開発とFELの利用研究を進めています。さらに、コヒーレントTHz光や準単色ガンマ線の発生も将来計画しています。これらの先進量子放射源の性能の鍵を握っている高輝度電子ビーム生成の数値シミュレーション研究においても、本研究室は世界をリードする研究成果を挙げています。国内シミュレーションコードのベンチマークを高輝度光科学研究センター/SPring-8と共催していますので、そのホームページ<http://acc-web.spring8.or.jp/~workshop/e-gun/>も参照してください。



自由電子レーザー（FEL）の概念図と特



本研究室で開発した有限要素法粒子シミュレーションコード

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/>

「高繰り返し YAG トムソン散乱計測による磁場閉じ込め核融合プラズマの高性能化」

磁場閉じ込め核融合装置によって核融合炉を実現するためにはプラズマの閉じ込め性能を向上させることが重要な課題である。近年、通常のプラズマの閉じ込め性能を向上させる様々な閉じ込め特性改善モードが発見されてきた。さらに優れたプラズマ閉じ込めを実現する閉じこめ改善モードはプラズマ内部の構造に密接に結びついていることがわかってきた。

図1はヘリカル型磁場閉じ込め核融合装置 CHS において観測された内部輸送障壁による閉じこめ改善のプラズマ分布である。図1 (a) (b) は、それぞれプラズマの電子温度と電子密度の分布を示している。この実験は、プラズマの密度を低く保持しながらプラズマ中心部のみを電子サイクロトロン波によって加熱することによって行った。このとき図1 (a) に特徴的に示されているようにプラズマの電子温度が中心部でのみ上昇し通常の約0.7keVの温度から約3.6keV（約4000万度）まで上昇している。対照的にプラズマの外側領域では温度上昇がみられていない。これは、ちょうど分布が屈曲しているところにあたる境界領域でプラズマ中の乱流が抑制され閉じ込め性能が向上したため、このようなプラズマ分布が形成されたのである。原因はプラズマの電場にあると考えられている。図1 (c) は、このときのポテンシャル分布の計測結果であるが温度の屈曲点あたりで大きく変化し、この領域で大きな電場が形成されていることがわかる。このように閉じこめ改善モードを探究するにはプラズマの分布を高精度で計測することが必要である。加えて閉じこめ改善モードは放電の途中でプラズマパラメータの変化にともなって遷移的に変化する現象や、早い時間周期で急速に変化するものなどがありプラズマ分布のみならず、その時間発展を計測できなければ物理特性を解明することが困難である。

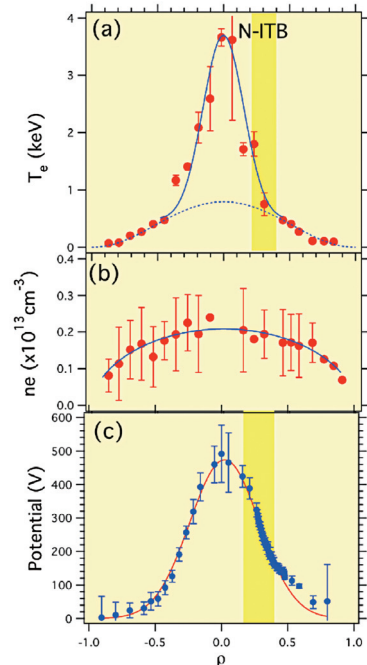


図1

そこで新しく高繰り返し発振が可能な Nd:YAG レーザーを用いたトムソン散乱計測装置の開発を行いプラズマ分布の時間発展を計測することを計画している（図2）。Heliotron J 装置の放電時間は約200msであるため550mJ, 50HzのNd:YAG レーザーを二台使用し、レーザービームを合成することによって100Hz（10ms）の時間間隔でプラズマ分布の時間発展を計測することをめざしている。また Heliotron J 装置は上下に架台が存在するため水平方向にのみトムソン散乱計測が設置に必要な十分なスペースが存在する。そこで図2で示したようにプラズマの斜め下方からレーザーを入射しプラズマからの後方トムソン散乱光を水平方向から検出する配置をとることにした。散乱光の検出効率をあげるため大型の凹面鏡（直径80cm）によって集光し、25台のポリクロメーター（分光器）で散乱光のドップラー広がり解析することによって空間25点、約1cmの空間分解能でプラズマ分布と、その時間発展を計測することができる。このNd:YAG レーザートムソン散乱装置を用いて閉じこめ改善モードの物理機構を解明し Heliotron J 装置の高性能化を実現するのを研究目標としている。

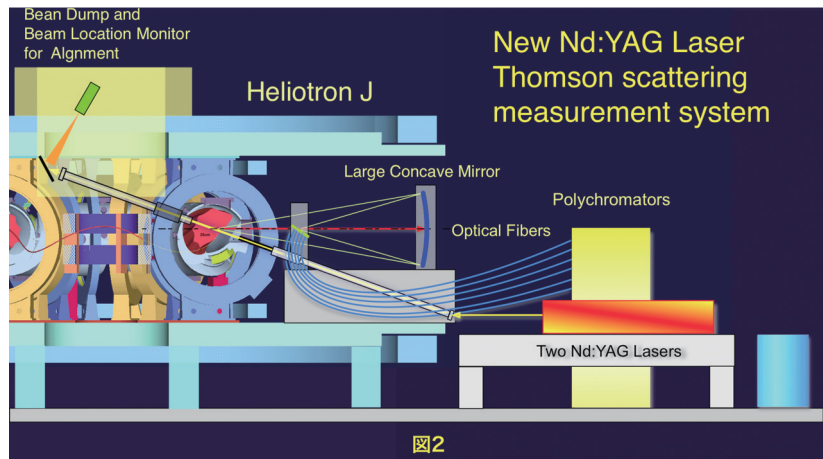


図2

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>

「人工降雨・降雪のためのミリ波レーダー雲観測技術に関する研究」

当研究室は、先端的大気レーダー・リモートセンシング技術を開発し、大気圏の未知・未解決の諸現象の解明に挑んでいる。ここでは、その一例としてミリ波レーダーを用いた人工降雨・降雪に適した雲の観測技術の研究について紹介する。雲粒は粒径が雨粒に比べてはるかに小さいため、気象観測で一般的に用いられるCバンド（～5GHz）やXバンド（～10GHz）等の気象レーダーでは観測できない。当研究室ではメーカーと協力で波長の短いKaバンド（～35GHz）の車載型ミリ波レーダーを開発した。

将来の水資源不足は深刻で、2025年までに世界の人口の約2/3が水不足に直面すると言われている。日本においても、国民1人当りの降水量は世界平均の1/4と少なく、しかも急峻な地形により降水は短時間で海洋に流失するため、水資源としての利用率も低い。多くの人口密集地域は潜在的な水不足の状態にあり、雨不足・雪不足が続くと容易に渇水となる。渇水は10年に2～3回と頻発しており、およそ10年に1回の割合で深刻な渇水が発生している。地球温暖化が進むと少雨・渇水や豪雨・洪水などの現象が起り易くなることも指摘されており、今後益々水不足が深刻になると予想される。安定的水資源確保を目的とした人工降雪技術や、渇水対策に即効性のある人工降雨技術について研究し、今後予想される水不足問題・干ばつ等の災害軽減対策を講じる必要がある。当研究室では、気象研究所などと協力して、「渇水対策のための人工降雨・降雪に関する総合的研究」（平成18～22年度科学技術振興調整費；気象研究所 村上正隆代表）を推進している。本研究では、山岳性降雪雲の人工調節手法の高度化を図り、水資源確保のための人工降雪技術の確立を目指している。また、渇水の度に強く望まれる人工降雨について、その可能性を明らかにするための基礎的研究を行う。特に、当研究室では、ミリ波レーダー観測により、人工降雨・降雪に適した雲を判別するための技術開発を担当している。

平成19年度の冬季を対象とした航空機を用いたシーディング実験時に、12月2日～20日に車載型ミリ波レーダーを群馬県みなかみ町宝台樹（標高1050m）に設置し、観測を行った（図1）。レーダーは中心周波数34.75GHz、ピーク送信電力100kWであり、直径2mのカセグレンアンテナを全天走査可能である。図2にシーディング実験の行われた12月17日に方位角305°方向でRHI観測されたエコー強度鉛直断面の時間変化を示す。シーディングは16時07分03秒～16時10分26秒に海拔3.3kmで行われ、その高度での風向・風速は297°・18m/sであった。シーディングはほぼ風向に直交する方向に直線状に行われた。16時16分にシーディングに伴うと思われるエコーが距離23km、高度2km辺りに現れ（レーダーの海拔高度が1kmであることに注意）、それが背景風に流されるようにレーダーに近付きながら発達・衰弱する様子が、レーダー直上に達する16時38分まで捉えられた（図は16時31分までのみ示す）。今後、シーディングにより発達・降雪に至る雲の判別方法を明らかにしていく。



図1. 群馬県みなかみ町宝台樹における車載型ミリ波ドレーダーによる観測の様子

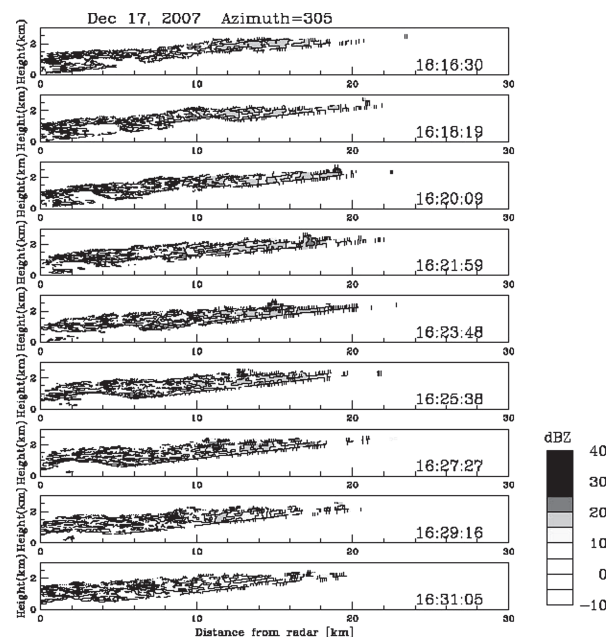


図2. 2007年12月17日16時16分～31分の方位角305°方向におけるエコー強度の鉛直断面

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://www.rish.kyoto-u.ac.jp/space>

「燃焼性ガスセンサ利用のための二酸化マンガンの電気特性解析」

二酸化マンガンは MnO_2 の化学組成をもち、電池材料として一般にもよく知られた物質です。ところが、二酸化マンガンの結晶構造には α 型、 β 型、 ε 型、 γ 型、 λ 型、 δ 型、R 型と 7 種類の異なる結晶構造が存在し (図 1)、それぞれの結晶構造毎に、導電性やイオン交換性など多くの物理・化学的性質が全く異なるという事実は、無機材料の専門家の間でもあまり知られていません。近年、Spring-8 に代表される放射光施設や中性子利用施設の高性能化が進み、従来、十分な解析が困難であった二酸化マンガンにおいても局所的な結晶構造の違いを解析することが可能になってきました。その結果、アール (R) 型結晶構造を有する二酸化マンガンのナノ粒子 (RMO) は、酸化物であるにもかかわらず室温下においてプロトン伝導性を示し、電気的特性が他の結晶構造と比較して異なる事が明らかにされつつあります。本研究では、RMO に特有の電気特性を利用することで、水素ガス等の燃焼性ガスに対する反応の基礎特性を計測します。また、常温型水素センサや燃料電池への応用を見据え、将来的にはロケット打ち上げ時の水素燃料の監視や、小型燃料電池の実現など、宇宙圏での使用も考慮に入れた研究を進めています。燃焼性ガスに対する反応を示す物質は、高分子化合物や金属酸化物など様々な物がありますが、室温で十分なプロトン伝導性を持つ金属酸化物としては、R 型二酸化マンガンが初めてであり、その化学的性質を解析することは将来の科学技術の発展に貢献出来る物だと期待されています。

これまでの研究の結果、RMO に対するプロトン伝導性に関する特性の一つとして、水素ガスに対する反応特性が判明しました。基礎特性解析として、RMO のナノ結晶粉末を直径 2cm のペレット上に圧縮加工し、白金メッシュで挟み込む事で (図 2)、常温 (約 25°C) 下における水素ガスの濃度依存性について計測しました。それにより、濃度反応域が 1% ~ 99.9% と広範囲の濃度領域に対して電圧反応特性が得られる事が判明し (図 2)、その特性傾向を基にした水素ガスセンサを現在開発中です。また、RMO は結晶構造的に 100°C 以上の中温域下においてプロトン伝導特性が向上する事がわかっていますので燃料電池的な性能も併せ持つため、これまであまり使用されていない温度域 (100°C から 300°C 程度) での新しい酸化物型燃料電池材料としても期待されつつあります。また、今後はメタンやジメチルエーテル等の他の燃焼製ガスに関しての調査・研究も進めて行く予定です。

参考文献

[1] Yoshikatsu Ueda, M. Tsujimoto, K. Takeuchi, H. Koyanaka, and M. Takano, Hydrogen gas sensor using nano-sized R-MnO₂ powder, ECS Trans. vol. 16, no. 11, pp.287-pp.292 (2008)

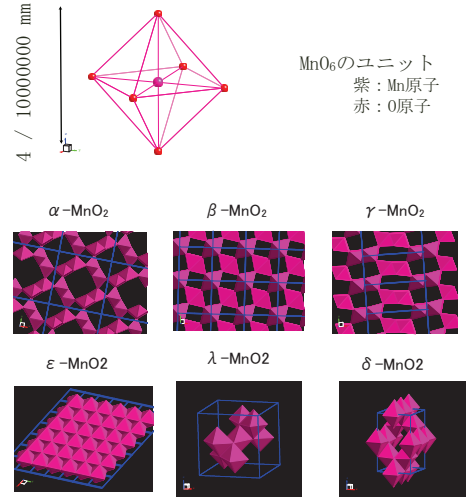


図 1. MnO_2 の組成と、代表的な結晶構造

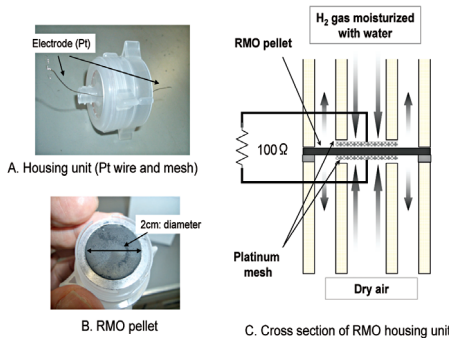


図 2. 水素ガス反応治具と実験概略図

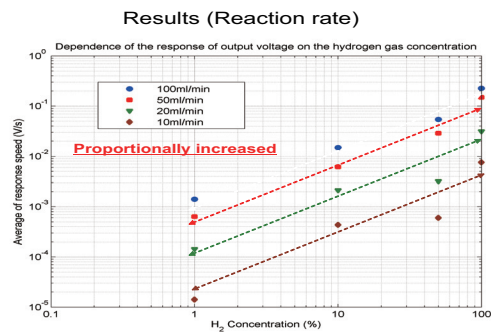


図 3. 水素ガス特性結果の例

生存圏開発創成研究系 生存圏電波応用分野（橋本研究室）

<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/labs/hashimoto.html>

「GaN ショットキーダイオードを用いた建物内マイクロ波配電システム用レクテナの開発」

当研究室では、電波をエネルギー伝送媒体として利用し、エネルギー・環境問題の一つの解である太陽発電所 SPS の研究をはじめ、マイクロ波無線電力伝送を応用した新しい生存基盤に関する研究開発を行なっている。橋本研では 2006 年度より鹿島建設、徳島大学、岡山大学のグループで建物内の床下の空間を利用したマイクロ波配電システムの研究を行っている。既存建物構造（デッキプレート）を利用してマイクロ波電力を伝送することで、電気配線工事の省略による初期投資の削減メリットと電気配線改修工事費の削減メリットが得られる新しい電気配線設備として提唱し、JST より 2006-2008 年度に資金を得て研究を行った。建物内マイクロ波配電システムは「コードレス建物」ともいえる。

建物内マイクロ波配電システムでは床下のデッキプレート閉空間送電網内を伝搬するマイクロ波を、レクテナ（Rectenna = Rectifying Antenna）でピックアップと整流して電気に変換し、安定化のための蓄電池を通して直流コンセントとして利用する。マイクロ波は現在 2.45GHz を用いている。レクテナでマイクロ波を電気に変換するにはショットキーバリアダイオードで直流に変換することが最も効率が良い。本提案システムではレクテナを「コンセント」として利用するために通常の Si や GaAs のショットキーバリアダイオードを用いては電力が不足する。そこで徳島大との共同研究で開発した世界に例のないワイドバンドギャップ半導体である GaN ショットキーバリアダイオードを用いたレクテナを開発した（図左下）。これまでは Si ショットキーバリアダイオードを用いて電力分配器と組み合わせ、多数のダイオードを用いてかつダイオードへの入力電圧を小さくすることで大電力高効率化を図るレクテナを開発してきたが（図右下）、256 素子ダイオードで 100W 整流であり、これに対し、GaN ショットキーバリアダイオードを用いたことでレクテナを大電力化（1 素子 5W=Si の約 10 倍）し、小型化・高効率化に成功した（図右上）。

マイクロ波配電システムで用いたレクテナ他の各要素は SPS につなげることが出来、橋本研では今後もマイクロ波送電の地上応用とともに SPS という宇宙応用を推進する。

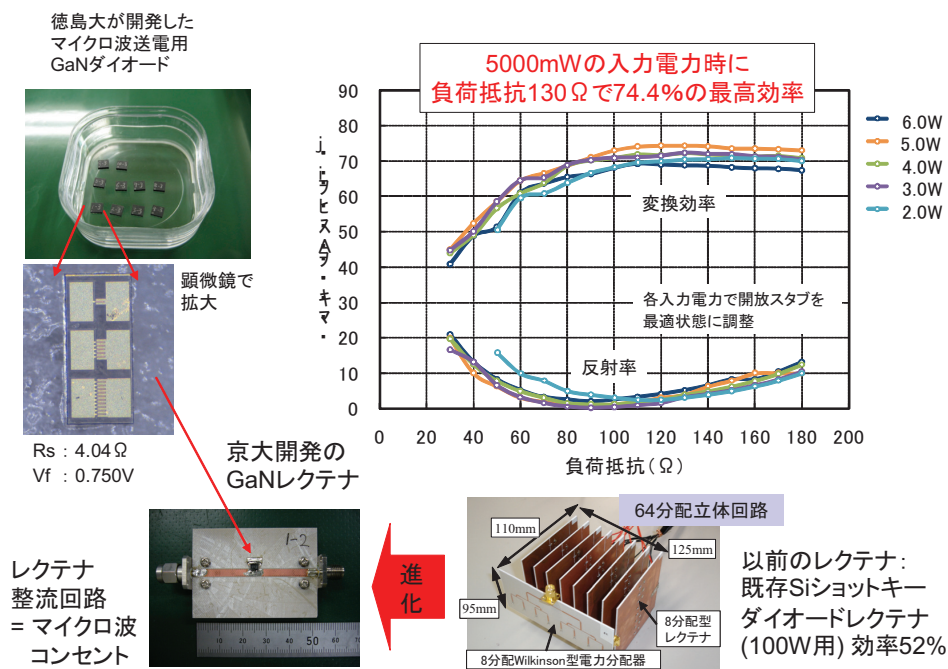


図 GaN ショットキーバリアダイオードを用いた建物内マイクロ波配電システム用レクテナ

博士論文概要

【課程博士一覧】

李 明 華	「レドックスフロー電池の化学反応に基づく動的モデルに関する基礎研究」	平成 21 年 3 月 23 日
神 納 祐一郎	「Development of Electron LINAC system for Image Guided Real-time Tracking Radiation Therapy system」 (動体追尾画像誘導放射線治療装置用 電子加速器システムの開発)	平成 21 年 3 月 23 日
三 宅 洋 平	「Computer Experiments on Electric Antenna Characteristics in Space Plasma Environment」 (宇宙プラズマ環境における電界アンテナ特性の計算機実験)	平成 21 年 3 月 23 日
木 村 真 之	「Studies on the Manipulation of Intrinsic Localized Modes in Coupled Cantilever Arrays」 (カンチレバーアレイにおける空間局在モードの操作に関する研究)	平成 21 年 3 月 23 日
西 中 浩 之	「ミストデポジション法による薄膜形成技術に関する研究」	平成 21 年 3 月 23 日
上 田 雅 也	「半極性 GaN バルク基板上への InGaN 量子構造の成長と偏光物性」	平成 21 年 3 月 23 日
Ryan Ganipan Banal	「MOVPE Growth of AlN and AlGaN/AlN Quantum Wells and their Optical Polarization Properties」 (AlN および AlGaN/AlN 量子井戸の有機金属気相エピタキシャル成長とそれらの光学偏光特性)	平成 21 年 3 月 23 日
登 尾 正 人	「Fundamental Study on SiC Metal-Insulator-Semiconductor Devices for High-Voltage Power Integrated Circuits」 (高耐圧パワー集積回路を目指した SiC 金属 - 絶縁膜 - 半導体素子の基礎研究)	平成 21 年 3 月 23 日
高 橋 重 樹	「2 方向斜めエッチングによる 3 次元フォトニック結晶に関する研究」	平成 21 年 3 月 23 日

黒坂剛幸	「フォトニック結晶レーザにおけるビーム出射方向制御に関する研究」	平成21年3月23日
Stumpf Wolfgang Constantin	「Studies on Fundamental Technologies for Fabrication and Evaluation of Combined Photonic Crystal Nanocavity-Quantum Dot Devices」 (フォトニック結晶ナノ共振器と量子ドットの融合系の作製および評価法の確立)	平成21年3月23日
堀田昌宏	「4H-SiC 無極性面基板上への同一ポリタイプを有する4H-AlN 成長とデバイス応用」	平成21年3月23日
増崎隆彦	「JPEG2000 処理システムの構成法に関する研究」	平成21年3月23日
李大成	「A study on the Application of Microplasmas to Novel Optical Devices」 (マイクロプラズマの新規光デバイスへの応用に関する研究)	平成21年5月25日
全炳俊	「Generation of High Quality Electron Beam Using a Thermionic RF Gun for Mid-Infrared Electron Lasers」 (熱陰極高周波電子銃による中赤外自由電子レーザ用高品質電子ビーム生成)	平成21年5月25日
川添雄彦	「Highly Efficient Data Transmission Schemes for Integrated-Media Systems」 (統合メディアシステムにおける高能率データ伝送方式に関する研究)	平成21年9月24日
兼村厚範	「Inversive and Synthetical Bayesian Methods for Image Estimation」 (画像推定のための逆転・合成ベイズ的方法)	平成21年9月24日

【論文博士一覧】

松永高治	「III-V 族化合物半導体 FET を用いたマイクロ波高出力増幅器の高性能化に関する研究」	平成21年7月23日
------	--	------------

李 明 華 (引原教授)

「レドックスフロー電池の化学反応に基づく動的モデルに関する基礎研究」

2009年3月23日授与

1. 研究背景および概要

レドックスフロー (RF) 電池は、酸化還元反応を利用し、電解液を循環させることで充放電する二次電池である。電気再生型燃料電池とも呼ばれる。RF 電池は負荷平準化や出力平均化、瞬時電圧低下対策に適していることが知られている。RF 電池に関するこれまでの研究では、Kazacos 氏らがイオン交換膜における水の移動に関して定量的検討を行っている。また、本間氏と大澤氏は、主に電極反応論に基づいて、電池セル内の電解液イオンの濃度分布に関する偏微分方程式を線形化できる範囲において解析し、理論上の知見を得ている。さらに、榎本氏はある特定の電池に対して、充放電時のステップ電流入力による電圧の出力特性からモデル化を行い、電池の等価回路定数を求めると同時に、定電流充放電を数値的に模擬する結果を得ている。本研究の目的は、物理現象、反応速度論、電気回路による外的制約を考慮した電池モデルを構築し、電池の内部状態と出力特性を把握した上、電池の設計・評価に示唆を与えることである。本論文では、電気系、化学系、流体系の連成を考慮した RF 電池のモデルを構築し、電池の内部状態、出力特性、組電池システムのユニット間の相互作用を把握することで最終的に電池システムの設計・制御に有用な示唆を与えることを目標に研究した成果をまとめたものである。

2. 研究成果

本論文において得られた成果を以下にまとめる。

(1) 供試 RF 電池システムを用いて、充放電電流の広い範囲における出力電圧の実験結果に基づいてその応答特性を表わす実験式を導出し、実験式の電気化学的、物理的意味を検討した。モニタセル電圧に関しては、電気化学的な観点から考察し、Nernst の式を用いた評価値を得た。この値を実験結果と比較し、妥当性を確認した。そして、モニタセル電圧と主セル電圧の差に関しては、近似式を求め、実験値と比較検討した。特に、過渡時の電池の電氣的応答特性に注目し、充放電セル内の過渡状態に関して時定数を考察し、過渡状態を支配する主因は充放電切換え時の平均濃度 (分布) の変化によるものであることを明らかにし、充放電切換え時の過渡状態を表現可能な実験式を得た。

(2) RF 電池の充放電セル内における電解液の濃度変化に注目し、化学反応論に基づいて電池の内部状態を表す電解液の濃度に関するモデル式を導出した。そして、導出したモデル式を用いて数値計算を行ない、実験結果との比較によりモデル式の妥当性を確認した。さらに、このモデル式を用いて RF 電池の過負荷運転特性と実験では困難とされる低周波数応答特性に関して検討した。この検討より、前述の実験における RF 電池の過渡特性で得られた時定数とモデルより得られた濃度変化の減衰項における時定数が同程度であることを明らかにした。

(3) RF 電池の組電池システムにおける電解液濃度のモデル式を導出し、直列、並列、直並列運転時に関して数値計算を行った。これらの検討より、組電池システムの充電深度を高めるためには、ユニットの体積及び流量の均一化が最も重要であることを示した。また、過渡時において、高い出力電圧を得るためには電池ユニット内の電解液の初期濃度によって流量を制御する必要があることも明らかにした。RF 電池の化学反応速度論モデルを用いた解析手法は、実験では困難な様々な運転状態におけるセル間の相互作用の把握を可能とした。

神 納 祐一郎 (石川教授)

「Development of Electron LINAC system for Image Guided Real-time Tracking Radiation Therapy system」

(動体追尾画像誘導放射線治療装置用 電子加速器システムの開発)

平成 21 年 3 月 23 日授与

現在の放射線治療の主流である医療用電子リニアックは、1980 年代初頭には、加速器技術としてはほぼ完成の域に達しているが、高精度放射線治療の観点からは、自由度の高い線量分布の形成、高精度照準という問題を解決する必要があり、IMRT (Intensity Modulated Radiation Therapy)、IGRT (Image Guided Radiation Therapy) 及び動体追尾照射治療が将来技術として開発されつつある。将来の普及型放射線治療装置としては、これらを高度に統合化し、高精度の放射線治療が容易に施行できるようにする必要があるが、これを実現するために、その心臓部である超小型の電子加速器システムの開発を行い、臨床用の実用機として纏め上げた。

全体システム

治療線を体動に追尾させて高速に移動するために、図-1 に示す「ジンバル支持 X 線ヘッド方式」を考案し導入した。X 線ヘッドは、その重心位置で Pan 軸及び Tilt 軸の 2 軸のジンバル上に支持されている。ジンバルは、図-2 に示すように高剛性の O-Ring 構造で支持されている。O-Ring 上には、2 組の kV X 線管球とアイソセンターを挟んでこれと対向するように置かれた FPD (Flat Panel Detector) から構成されるイメージング・サブシステムが装備されている。X 線ヘッドには、アイソセンターにおいて 5 mm のリーフ幅の 30 リーフ対を持つ MLC (Multi Leaf Collimator) を装備して IMRT を可能としている。

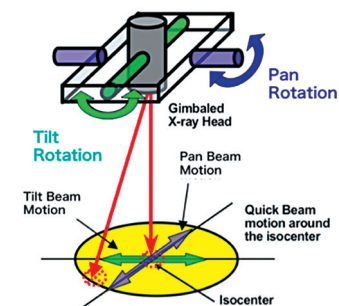


図-1 ジンバル支持 X 線ヘッド方式

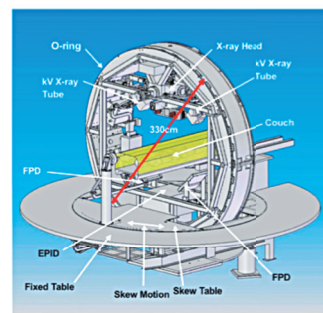


図-2 装置全体の構成図

電子加速器システム

X 線のエネルギーとしては、脳、頭頸部、肺野及び IMRT による体幹部治療を前提として 6 MV を選定した。図-3 に電子加速器システムの主要部分である X 線ヘッドの概要図を示す。電子加速管の全長は、電子銃まで含めて約 40 cm に制約される。動体追尾照射治療に必要なジンバル角速度を実現するため、X 線ヘッドの重量は極力軽くしかも、ジンバル軸周りの慣性モーメントも極力小さくする必要があり、超小型の C バンド電子加速管を開発した。また、本超小型電子加速管は、熱密度が高くその動作は不安定であるが、これを補償して高精度の線量投与を可能とするために、新規の AFC (Automatic Frequency Controller) やビーム・エネルギー安定化機構を開発して採用した。

C バンド電子加速管

一般の医療用電子リニアックでは、伝統的に S バンド (2.8 ~ 3 GHz) のマイクロ波が使用されているが、共振空洞は周波数に反比例して小型化でき、加速管の小型化が可能である。また、真空中の放電破壊電界はほぼ周波数の平方根に比例して上昇し、より短い管長で目標の加速エネルギーが得られる。一方、給電導波管系は、ロータリー・ジョイント等の可動部が存在し、スペースやコストの制約のために高真空に保つことができず、SF₆ 等の絶縁ガスを使用する場合が多い。この場合、経験上、S バンドでの実用的な耐電力の上限は 7 ~ 8 MW であり、C バンド (5 ~ 6 GHz) ではその半分の 3 ~ 4 MW、X バンド (8 ~ 11 GHz) では更に 1.5 MW ~ 2 MW 程度に低下する。また、マイクロ波源の入手性も重要な点であり、高品質の国産クライストロンが安定に入手可能な C バンドを選択した。電子加速管の構成を図-4 に示す。加速構造は定在波型で、同軸結合型のインジェクタ部と側方結合型の加速空洞部から構成する。インジェクタ部はビーム品質を決定する重要部位であるが、良好なビーム品質を確保するため、1 個のプリバンチャ空洞と 2 個のバンチャ空洞及びこれらを同軸結合する 2 つの結合空洞の計 5 個の空洞から構成される特殊なインジェクタ部を開発し、ビーム・ダイナミクスの詳細な数値計算により最適化した。

本システムは、動体追尾照射機能を除いて 2007 年 8 月 29 日付で米 FDA (Food and Drug Administration) の型式承認を取得し、続いて 2008 年 1 月 16 日付で厚生労働省の薬事承認を取得して、国内外の臨床現場で活躍している。

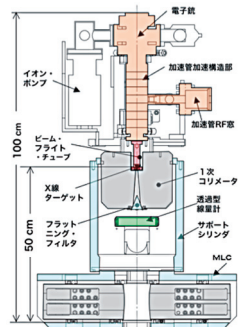


図-3 X 線ヘッド構成図

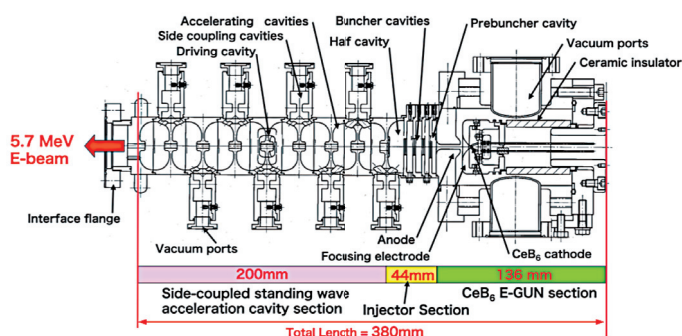


図-4 C バンド加速管構成図

三宅 洋平 (大村教授)

「Computer Experiments on Electric Antenna Characteristics in Space Plasma Environment」

(宇宙プラズマ環境における電界アンテナ特性の計算機実験)

平成 21 年 3 月 23 日授与

本研究では、科学衛星に搭載される電界アンテナの波動受信特性を、スーパーコンピュータを用いた大規模数値実験により高精度に解析する方法を提案した。また提案手法により、現実には起こりうる衛星周辺の宇宙プラズマ環境擾乱を再現し、それがアンテナ電気特性へ及ぼす影響を定量的に評価した。得られた主な成果は以下のとおりである。

1. 無衝突宇宙プラズマ中のアンテナ特性を正確に求めるためには、プラズマの運動論効果を矛盾無く解く事のできる電磁粒子計算機実験手法をアンテナ解析用に拡張する必要がある。本研究では、金属表面での電流計算の境界処理方法、得られた電流データを基礎とする電荷・静電界更新アルゴリズムを新たに開発し、上記目標を達成した。
2. ダイポールアンテナのインピーダンス数値解析を行い、プラズマ波動放射、またはイオンシースの影響によるプラズマ周波数付近での特性変化を調査した。この結果、アンテナ幅に対してシース幅が十分に大きい場合には、実際のアンテナ容量値が従来のシース理論モデルの予測値より大きくなることを見出され、本数値手法がより一般のシース環境に適用可能であることが実証された。
3. 衛星表面からの光電子放出環境での特性解析を行い、アンテナ表面周辺の光電子自身の運動に伴う電流成分が低周波インピーダンス変化に寄与していることを見出し、その周波数特性を明らかにした。この結果は、太陽光が照射する通常の科学衛星システムにおいて、光電子がアンテナや衛星など複数の導体間で形成する複雑な電流ループを考慮したアンテナ電気特性を初めて定量的に評価したものであり、将来の衛星搭載電界アンテナの精密設計を行う上で、重要な知見である。
4. 次世代衛星ミッションにおいては、上記に述べた光電子による予測困難なアンテナ特性変化を防止するため、光電子ガード電極が搭載予定となっている。本研究ではこれらの機構も含めたアンテナ特性解析を可能とするため、上記機構の数値モデルを構築し、それらが正しく機能することを確認した (図参照)。また、数値解析により光電子電流によるセンサー・衛星導体間のカップリングの度合いがガード電極により変化することを見出した。

以上のように、本論文は高精度の3次元計算機実験を用いて、プラズマや衛星周辺の光電子の運動が、電界アンテナの電気特性に与える影響を詳細に解析したものであり、衛星システム・プラズマ間相互作用の定量理解や波動観測用アンテナ精密設計など、学術上、実際上寄与するところが少なくない。

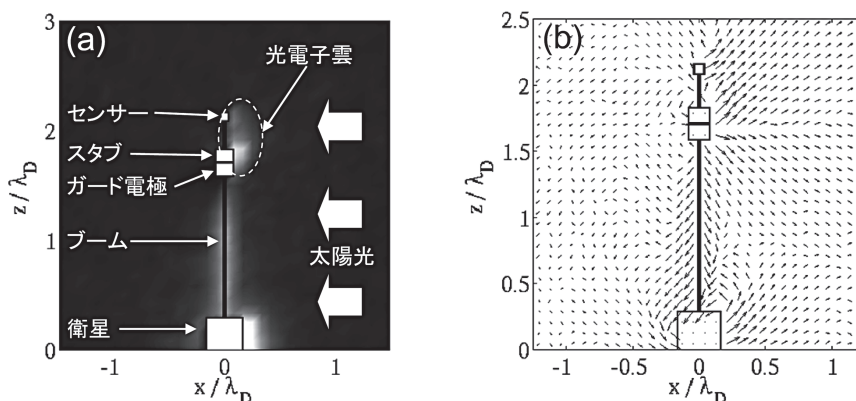


図. 次期衛星ミッション搭載用アンテナ周辺の電子密度分布 (左) と光電子フラックス分布 (右)

木村 真之 (引原教授)

「Studies on the Manipulation of Intrinsic Localized Modes in Coupled Cantilever Arrays」

(カンチレバーアレイにおける空間局在モードの操作に関する研究)

平成 21 年 3 月 23 日授与

空間局在モード (ILM: Intrinsic Localized Mode) とは、非線形性を有する結合振動子におけるエネルギーの局在した振動である (図 1 参照)。空間局在モードは、物質の結晶格子を模したモデルにおいて最初に発見され、近年では種々の物理系においてその存在が確かめられている。それらの物理系の一つに、マイクロカンチレバーアレイが挙げられる。マイクロカンチレバーアレイは、半導体製造技術を基礎とした技術によって作製されたものであり、微小なカンチレバーが機械的に相互結合されたものである。微小なカンチレバーは、構造が単純で作りやすく、MEMS (MicroElectroMechanical System, 微小電子機械系) デバイスにおける振動子として広く利用されている。近年は、このような MEMS デバイスにおいて、カンチレバーの変形に対する復元力の非線形性を積極的に利用するものや、複数のカンチレバーを相互結合し、結合系固有の現象を利用したものが新たに提案されつつある。そのような非線形系や結合系の利用により、これまでにない高い性能を持つ MEMS デバイスが実現できると期待されている。空間局在モードは非線形結合振動子系固有の現象であり、工学的に応用できれば、全く新しい高機能なデバイスを創成できると考えられる。しかしながら、空間局在モードの振る舞いには未解明な点も多く、未だ応用されるには至っていない。そこで、本研究では、空間局在モードの工学的応用を目指し、マイクロカンチレバーアレイにおける空間局在モードの性質や操作手法について解析および提案を行った。得られた成果は以下の通りである。

A) 空間局在モードの移動メカニズム

空間局在モードを結合常微分方程式における周期解として捉え解析を行った。その結果、不安定な解の持つ不変多様体によって特徴付けられる相空間の大域構造によって、空間局在モードの移動が支配されることを示した。

B) 空間局在モードの安定性交替

空間局在モードは振幅分布の空間対称性によって安定性が異なることが知られている。この安定性が、系の非線形性の大きさによって交替しうることを明らかにした。

C) 安定性交替を用いた空間局在モード操作の提案

上記の結果に基づき、空間大域的なパラメータ操作で空間局在モードを操作できることを示した。

D) マクロ電磁機械系による空間局在モードの励起実験

マイクロカンチレバーアレイと力学的にアナロジーの成り立つマクロ電磁機械系を製作し、空間局在モードの励起に成功した。

以上のように、本研究はマイクロカンチレバーアレイにおける空間局在モードの制御へ向けた基礎的研究である。

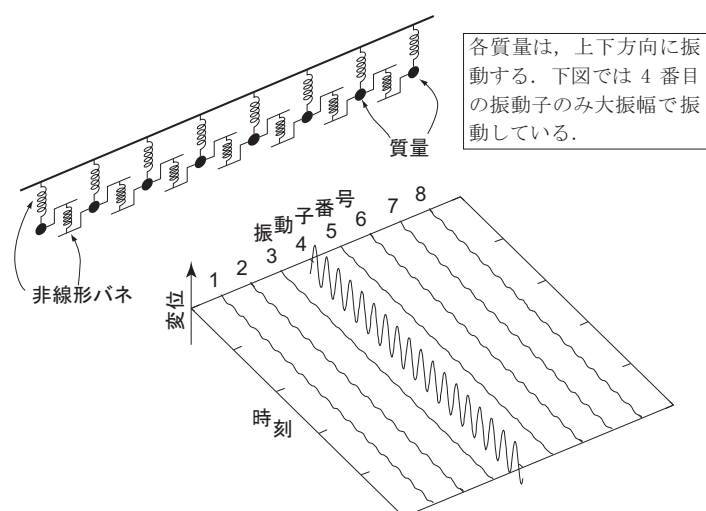


図 1. 空間局在モード

西 中 浩 之 (藤田教授)

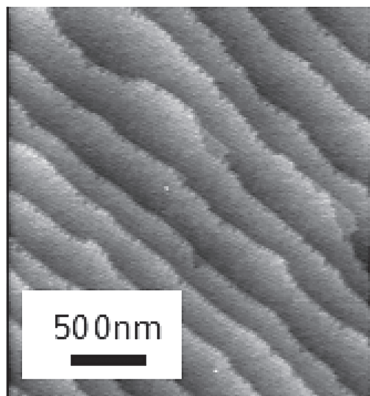
「ミストデポジション法による薄膜形成技術に関する研究」

平成 21 年 3 月 23 日授与

半導体産業は膨大なエネルギーを必要とし、われわれの豊かな暮らしと引き換えに地球環境に重い負荷を課している。半導体の製造にかかるエネルギーの低減と共に、安全な原料をもとに、非毒性かつ資源が豊富な元素で構成される新材料を開発して利用することが、これからのわたしたちに強く求められている。本研究は、酸化物半導体が今後の光・電子デバイスを支える多様な機能を持つことに注目し、有機金属や高真空を必要とせずに高品質の半導体育成を可能とする技術開発を行ったものである。

われわれの研究室では、成長の原料として目的の半導体構成元素を含む安全なものを用い、その水溶液またはアルコール溶液を超音波で霧化してキャリアガスで反応部に輸送し基板上で成長させる、というミストデポジション技術の開発を行ってきた。本研究では、紫外光デバイス、パワートランジスタ、環境センサ等に応用が期待され、豊富で安全な元素に支えられている酸化亜鉛 (ZnO) をベースとした単結晶薄膜成長にこの技術を応用し、そのポテンシャルを明らかにして高品質薄膜の作製をまず目指した。サファイア基板へのヘテロエピ成長では、バッファ層の効果により移動度 $90 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ と、従来の有機金属気相成長法を含む気相法の中で最大クラスの値を持つ ZnO 薄膜を得ることができた。また、ZnMgO 混晶による $3.4\sim 4.0 \text{ eV}$ に亘るバンドギャップエンジニアリングも達成できた。さらに ZnO 基板へのホモエピ成長において、気相法ではこれまで困難であったステップフローによる成長を実現し、表面にステップ・テラス構造を持ち(図 1)、基板と比べ結晶性の劣化がほとんどない高品質の ZnO 薄膜の成長を実現した。ただ、原料が半導体成長用に準備されたものではなく、純度に問題があることから、薄膜中に不純物の混入があることが問題として残され、今後高純度原料の利用が必要であると考えられた。

ミストデポジション法は、ZnO に限らず多様な酸化物半導体の成長に応用可能と考えられる。そこで最近注目されている非晶質酸化物薄膜の作製を試みた。対象として In-Ga-Al-O 薄膜を選び、ガラス基板上に成膜を試みた。その結果、組成変化により吸収端およそ $4.0\sim 6.0 \text{ eV}$ の制御が可能となった。他方、ミストデポジション法を有機薄膜、例えば導電性高分子 PEDOT:PSS や蛍光性分子の成膜に応用し、従来の真空蒸着やスピコートに比べて原料の利用効率を高め、メタルマスクを用いることでリソグラフィレスのパターニングを行うことができた(図 2)。さらに、In-Ga-Al-O 薄膜とメタルマスクを用いた PEDOT:PSS の成膜を合わせ、ショットキー型深紫外光検出器を安全かつ省エネルギーのもとで作製することができた。光検出器の効率は 210 nm の光に対して 9% と実用上十分な値を示した。



0 nm 1.19

図 1

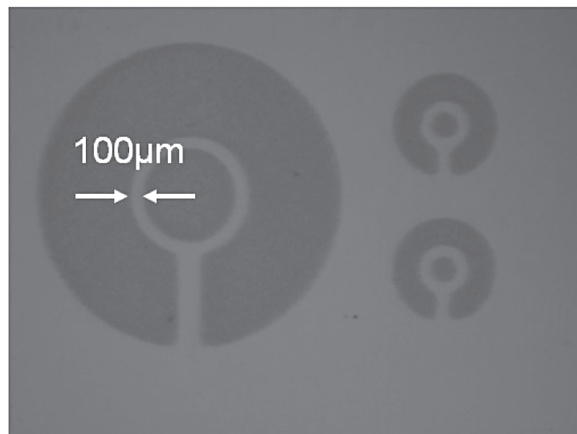


図 2

上 田 雅 也 (川上教授)

「半極性 GaN バルク基板上への InGaN 量子構造の成長と偏光物性」

平成 21 年 3 月 23 日授与

本研究で扱う材料は III 族窒化物半導体のうち、主に紫外発光の GaN と赤外発光の InN、およびそれらの混晶である InGaN である。この InGaN を光デバイスの発光層として用いることで全可視域を再現可能であり、発光ダイオード (LED)、レーザーダイオード等の光デバイスに広く応用されている。

しかし、従来 LED 等に広く用いられている (0001) InGaN/GaN 量子井戸 (QW) 構造では、青から緑、赤色と長波長ほど (高 In 組成ほど) 発光効率が低下することが光デバイス応用上の問題となっている。この発光効率低下の原因の一つが、InGaN/GaN QW に内在する圧電分極由来の大きな内部電界である。一方で、従来の極性面である (0001) に比べて傾いた面 (半極性・無極性面) を用いることで内部電界が低減されることが理論的・実験的 (微細構造上 {11 $\bar{2}$ 2}InGaN/GaN QW において) に示唆されてきた。それを受けて異種基板上への結晶成長により半・無極性面 (In) GaN を作製する研究が広く行われてきた。しかし、異種基板上への半極性面の結晶成長自体の難しさから欠陥密度が非常に高く、良い結晶性が得られていなかった。そこで、本研究では有機金属気相成長法による同種基板上への結晶成長、つまり GaN バルク基板を用いた {11 $\bar{2}$ 2}InGaN 量子構造の作製を提案した (図 1)。

(1) 実用レベルの半極性 {11 $\bar{2}$ 2}InGaN/GaN LED (図 2)

半極性面において転位密度が非常に低い {11 $\bar{2}$ 2}GaN バルク基板を用いた同種基板上への結晶成長を行った。GaN バルク基板は量子構造を作製するには表面が荒かったため、まず成長条件等を最適化した結果、GaN および InGaN/GaN QW 構造において非常に結晶性の良い薄膜が得られた。その後、{11 $\bar{2}$ 2}InGaN/GaN QW LED を作製した結果、極性面以外で初めて、実用レベルの外部量子効率 (例えば緑色発光で 4%) を得た (他研究機関における異種基板上結晶成長では 0.05% 程度)。

この成果はプレスリリースされ、新聞やテレビなどマスメディアから取り上げられた。また、この内容で第 29 回応用物理学会 JJAP 論文賞を受賞、窒化物半導体国際会議である IWN2006 (2006 年、京都) で招待講演となった。

(2) 半極性 {11 $\bar{2}$ 2}InGaN/GaN QW における偏光反転現象

{11 $\bar{2}$ 2}InGaN/GaN QW における偏光特性を詳細に調べ、①バルクに比べて大きな偏光度をもつこと、②従来の理論では予測されていなかった「偏光反転」現象を実験的に見出した。この知見は偏光を利用したデバイスへの応用、さらに半極性 InGaN/GaN QW をレーザーの活性層として用いた場合のレーザーキャビティの作製方向に指針を与える結果でもある。

また、この内容で第 22 回 (2007 年春季) 応用物理学会講演奨励賞を受賞し、窒化物半導体国際会議の IWN2008 (2008 年、スイス) および ICNS-8 (2009 年、韓国) において招待講演となった。

(3) 半極性 {11 $\bar{2}$ 2}InGaN 量子ドット

半極性面 InGaN/GaN 量子ドットでは、①極性面や無極性面に比べて全方位的に内部電界が低減していることが示唆されている。さらに②キャリアの閉じ込め効果により QW に比べてさらなる高効率化が期待できる。本研究では分子層揺らぎを利用した自己形成法で {11 $\bar{2}$ 2}InGaN/GaN 量子ドットを作製できた。また、自己形成法の波及効果として、量子ドットのサイズや In 組成の揺らぎが生じ、光励起により、QW よりも③ブロードな発光が得られた。これら①-③より、高発光効率で蛍光体不使用の白色 LED 等への応用が考えられ、環境負荷の低減が期待できる。

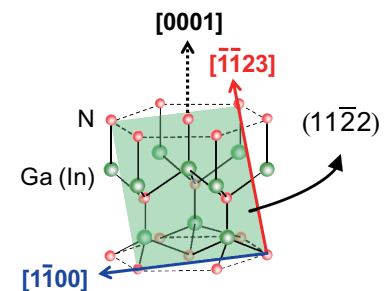


図 1. (In) GaN の結晶構造であるウルツ鉱構造と (11 $\bar{2}$ 2) 面。



図 2. (11 $\bar{2}$ 2)InGaN/GaN QW LED の電流注入による発光の様子 (緑色)

Ryan Ganipan Banal (川上教授)

「MOVPE Growth of AlN and AlGa_xN/AIN Quantum Wells and their Optical Polarization Properties」

(AlN および AlGa_xN/AIN 量子井戸の有機金属気相エピタキシャル成長とそれらの光学偏光特性)

平成 21 年 3 月 23 日授与

In recent years, research toward deep-ultraviolet (DUV) emission range (200-300 nm) using III-V nitride materials (InN, GaN and AlN) has gained momentum driven by the necessity for compact, robust and high-efficiency DUV emitters which are targeted for various applications such as water sterilization, air purification, biological detection, data storage and medical treatment. For such devices, Al_xGa_{1-x}N is the most suitable material where the emission wavelength can be tuned down to 200 nm with increasing Al content (x). Moreover, the use of AlGa_xN/AIN quantum well (QW) structures is necessary to enhance devices' emission efficiency. For DUV emission ($\lambda < 290$ nm), an Al-rich Al_xGa_{1-x}N/AIN QW is required where notable improvements in the growth technology based on metalorganic vapor phase epitaxy (MOVPE) have enhanced the internal quantum efficiency (IQE), thereby improving the external quantum efficiency (EQE). However, the IQE is still low brought by defects in the epilayer which act as non-radiative recombination centers.

Obtaining low dislocation density AlN epilayer is a big challenge aggravated by heteroepitaxial growth which induces lattice mismatch thus, degrading the structural quality and emission probability. To improve the quality of AlN epilayer and AlGa_xN/AIN QWs, a new growth method was developed called modified migration enhanced epitaxy (modified MEE), which is characterized by an overlap supply of TMA and NH₃ precursors in-between the perfectly alternating supply of both precursors. This method effectively controls the migration of Al-adatoms thus obtaining an atomically-smooth (RMS: 0.12 nm, 5 μ m x 5 μ m) and defect-free AlN as evidenced by very narrow FWHM linewidth of (0002) plane (32.8 arcsec). The growth of AlN and AlGa_xN/AIN QWs by this method is shown in Fig. 1. For QW, the emission wavelength was varied by changing the aluminum composition (x) from 0.69-0.94 and well-width from 0.7-16 nm. Fig. 2 shows an atomically-smooth surface obtained in QW (RMS: 0.17 nm), replicating that of AlN epilayer. Furthermore, photoluminescence (PL) measurements confirmed their high quality where the estimated IQE (at 200 kW/cm²) was above 5% and as high as \sim 57%, suggesting that modified MEE is effective in improving the quality of the epilayer. Moreover, as a consequence of high-quality QW, the polarization anisotropy has been clarified in c -plane AlGa_xN/AIN QW. As shown in Fig. 3, an intense surface emission ($E \perp c$) can be expected for QW with x as high as 0.82. This demonstrates that [0001]-oriented AlGa_xN/AIN QWs can be used as surface emitters ($\lambda > 225$ nm). Because of the great impact, these results were published in highly reputed physics journals such as Applied Physics Letters, Physical Review B, conducted seminars at Technical University-Berlin and Fraunhofer Braun Institute, and an invited talk at ICNS 8.

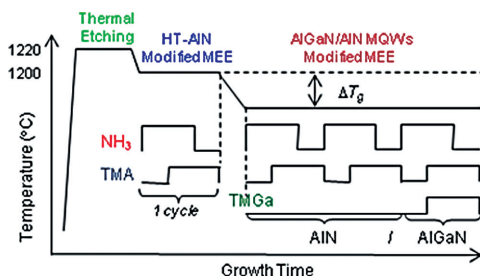


Fig. 1. Modified MEE for AlN and AlGa_xN/AIN QWs.

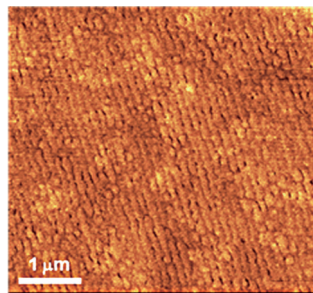


Fig. 2. AFM of Al_{0.82}Ga_{0.18}N/AIN QWs.

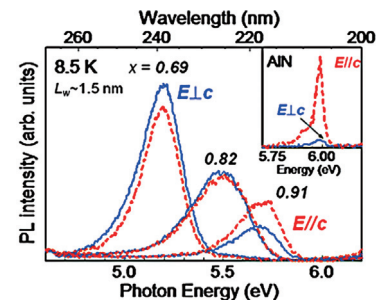


Fig. 3. PL polarization anisotropy in AlN (inset) and AlGa_xN/AIN QWs.

登 尾 正 人 (木本教授)

「Fundamental Study on SiC Meta-Insulator-Semiconductor Devices for High-Voltage Power Integrated Circuits」

(高耐圧パワー集積回路を目指した SiC 金属 - 絶縁膜 - 半導体素子の基礎研究)

平成 21 年 3 月 23 日授与

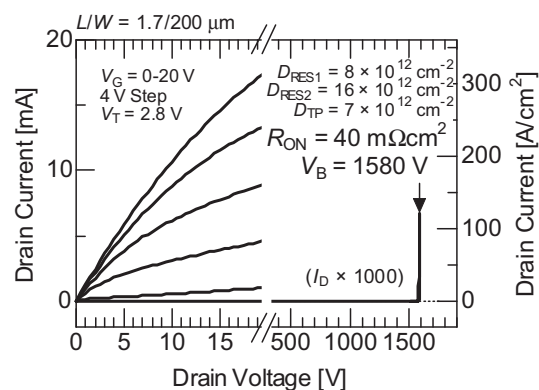
第二次世界大戦以後の急速な経済発展に伴い、我々を取り巻く地球環境は悪化している。我々が直面している喫緊の課題である温暖化の問題だが、主原因は温室効果ガス（主に CO₂）の排出である。CO₂ 排出量低減を実現するために、今後より重要性が高まるのがエネルギー利用の高効率化である。特に、エネルギーの電力化が進んでいることから、電力変換回路等に使用されるパワー半導体デバイスの高効率化が、CO₂ 排出量の低減に直結する。

現在、パワー半導体デバイスは主に Si を材料として作製されているが、既にその性能は材料物性から決まる理論限界（Si リミット）に近づきつつある。一方、ワイドギャップ半導体である SiC（炭化珪素）は、Si の 10 倍の絶縁破壊電界を有し、Si リミットを打破する高性能パワーデバイスを作製可能な材料として期待されている。パワーデバイス応用の一つの潮流として、パワーデバイスを単一素子として使うのではなく、その制御回路や保護回路等を 1 チップ上に集積化したパワー IC（集積回路）がある。SiC パワー IC を実現することができれば、Si パワー IC に比べて効率向上だけでなく、高速化、冷却システムの小型化なども期待できる。しかし、SiC パワー IC を実現するには、未解決の課題が多数残されている。

パワー IC の基本的な構成要素は CMOS 回路と、高耐圧横型 MISFET である。素子の微細化は MISFET 特性を向上する上で最も効果的な方法だが、微細化に伴い顕在化する短チャネル効果の研究は SiC MIS デバイスの分野では未だ行われていない。また、従来熱酸化で形成されていたゲート絶縁膜であるが、熱酸化膜 / SiC 界面には多数の準位（トラップ）が存在し、MISFET 特性の劣化（移動度の低下）を招いている。SiC パワー IC の最も重要な構成要素である高耐圧横型 MISFET であるが、十分な高耐圧化と低損失化が進められているとは言いがたい。上記背景を鑑み、SiC MISFET における短チャネル効果、堆積法により形成した絶縁膜 / SiC 界面と同絶縁膜を有する MISFET の特性、および、新構造を有する高耐圧横型 SiC MISFET に関して研究を行った。

SiC MISFET における短チャネル効果の発現条件は Si MISFET と同様の式で記述されることが分かった。また、SiC 特有の問題として、絶縁膜 / SiC 界面に存在する準位（に捕獲された電子）の影響で、Si の場合に比べ、より長チャネルで短チャネル効果が発現することを独自のチャージシェアモデルを用いて明らかにした。また、堆積条件、および堆積後の熱処理条件を最適化することで、絶縁膜 / SiC 界面準位密度を従来より 2 桁以上 ($10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ から $10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 以下へ) 低減し、MISFET 移動度を 3 倍以上 ($10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ から $30 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上へ) 増加させることに成功した。新構造を有する横型高耐圧 MISFET を作製するため、デバイスシミュレーションを用いて構造を最適化した。実際に作製した MISFET では耐圧 1580 V、オン抵抗 $40 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$ という特性を実現した（右図）。この特性はこれまで作製された横型高耐圧 MISFET として最高の特性であり、Si リミットと比較しても 10 倍以上優れている。

このように、本論文では基礎から応用まで SiC MIS デバイスに関する幅広い研究を行った。将来の SiC パワー IC 実現へ向けて大きな一歩を踏み出すことができたと言える。



作製した 4H-SiC ダブル RESURF MISFET の特性

高橋重樹 (野田教授)

「2方向斜めエッチングによる3次元フォトニック結晶に関する研究」

平成21年3月23日授与

本論文は、2方向斜めエッチングによる3次元フォトニック結晶の新たな作製法とその応用について報告している。3次元フォトニック結晶は、全方向に光の禁制帯フォトニックバンドギャップ (PBG) を形成し、光の伝搬と輻射を自在に制御することが可能である。しかしながらその実現には3次元ナノ構造を高精度に形成する必要がある、作製工程が多くなってしまいう問題があった。本論文ではこれを解決するため、新たな微細加工技術を開発し、2回の斜め方向エッチングにより3次元フォトニック結晶を一括作製することに成功している。本研究で得られた成果は以下のようにまとめられる。

1. 理論解析により、新たな作製法の特徴を明らかにした上で、反応性イオンエッチング (RIE) 装置による斜めエッチング技術の開発に着手した。通常のRIE装置では斜めエッチングは不可能であるが、本論文ではイオンシース制御板によってイオンシース近傍の電界を制御することを提案し、高アスペクト比かつ高精度の斜めエッチングを実現した。この技術を用いて3次元フォトニック結晶の一括作製を試みた結果、その試料は世界でもトップクラスの光学特性を示し、2方向斜めエッチングによる作製法の有用性を明快に示すことに成功した。

2. 本論文で提案した斜めエッチング技術の理論解析を行い、実应用到に適したイオンシース制御板構造を検討した。まず、本技術を効果的に解析するため、自己無撞着法によるイオンシースシミュレーション手法を構築した。これにより、本技術の本質がイオンに対する偏向レンズの形成であることを示し、その特徴を定性・定量的に明らかにした。また、大面積処理が可能な制御板の設計を行い、本技術が工業的にも有用であることを示した。

3. 3次元フォトニック結晶の重要な応用の一つである発光制御について検討を行った。まず基礎となる自然放出の抑制とエネルギー再分配について検討し、上下非対称構造の導入によって抑制率と分配率を独立に制御できるという3次元フォトニック結晶ならではの特徴を明らかにした。また、非発光再結合と発光体積の減少という実用上の問題を回避するために、平板状の発光層が有効であることを理論的に示した。そして、系統的な研究展開に必須となるPBG帯域制御を実験的に試み、光通信波長帯を網羅して任意の帯域に完全PBGを形成することに成功した。

以上の成果は、3次元フォトニック結晶の作製と応用に新たな道を切り開くものである。特に、斜め方向の反応性イオンエッチングは、新たな微細加工技術として他の半導体デバイスへの応用も期待され、今後の工学に広く寄与するものと期待される。

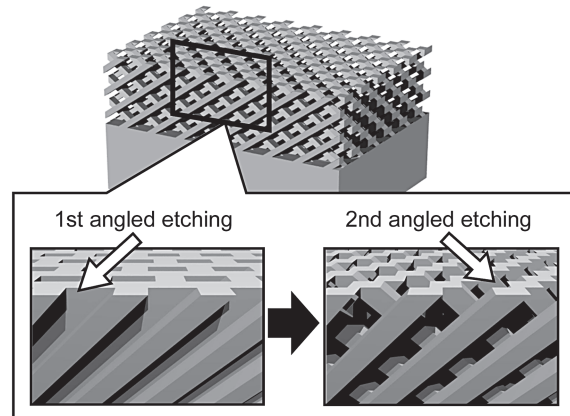


図1. 2方向斜めエッチングによる3次元フォトニック結晶作製法

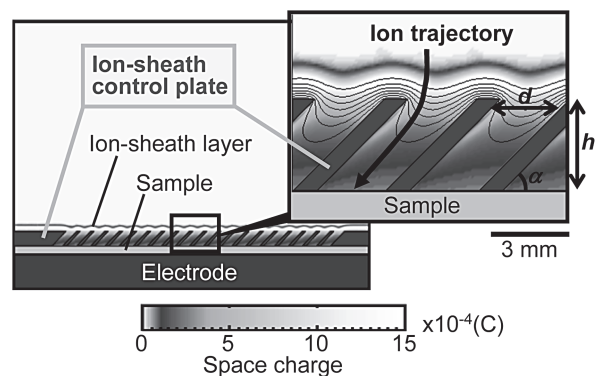


図2. 斜めエッチング時のイオンシースシミュレーション結果

黒坂 剛 孝 (野田教授)

「フォトニック結晶レーザーにおけるビーム出射方向制御に関する研究」

平成 21 年 3 月 23 日授与

本論文は、オンチップでビーム出射方向制御を行うというレーザー分野における長年の課題に対して、これを解決する独自の構造の提案から作製手法確立、原理検証までをまとめたものである。フォトニック結晶レーザーは、大面積での単一モードコヒーレント動作が可能であり、既存の半導体レーザーでは実現が困難な 1° 未満の小さいビーム拡がり角を実現することが出来る。本論文では、この小さいビーム拡がり角を維持したままビーム出射方向制御機能を持たせるための検討を行い、動的にビーム出射方向を制御するデバイスの実現に成功した。本研究で得られた成果は、以下のようにまとめられる。

1. フォトニック結晶レーザーの格子間隔と波長が一致する定在波状態においては、ビーム出射方向は面垂直方向となるが、両者が一致しない定在波状態を作ることが出来れば、斜め方向への出射ビームが得られる。このとき、ビーム出射方向は格子間隔と波長のずれ量に対応して変化するので、格子間隔と一致しない任意の波長での定在波状態を作ることによって、ビーム出射方向を制御可能であることを見出した。これを実現するための具体的構造として正方格子と長方格子という格子定数の異なる2つのフォトニック結晶を組み合わせた異周期複合フォトニック結晶(図1参照)を提案し、両者の格子定数差に応じた任意の波長での定在波状態を確かに形成可能であることを理論的に示した。
2. 続いて、異周期複合フォトニック結晶レーザーを作製するため、活性層の上下に位置精度よくフォトニック結晶を作製するための手法を確立し、デバイスの作製を行った(図2参照)。次に、そのフォトニックバンド構造上に理論的に予測した複合フォトニック結晶特有の構造が存在することを見出し、ビームパターンの評価によりビーム出射方向が理論予測に従って変化することを確認した。また、近視野像が2次元的に広がっていることから大面積コヒーレント発振が維持されていることを示した。さらに、理論的に予測した通り波長がほとんど変化しない発振スペクトルが得られるなど実験的な評価結果が理論的予測と良く対応していることを示し、ビーム出射方向制御原理を実証することに成功した。
3. 格子定数差が連続的に変化する異周期複合フォトニック結晶を用いた多電極デバイスを作製し、単一デバイスからのビーム出射方向制御を実験的に示し(図3参照)、動的にビーム出射方向を制御するデバイスの実現に成功した。

以上、本論文は、フォトニック結晶レーザーのビーム出射方向制御に関して極めて有効な手法を確立したものであり、レーザーの応用・融合分野の発展に大きく寄与するものと期待される。

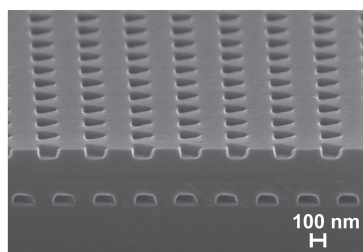


図1 異周期複合フォトニック結晶のSEM像

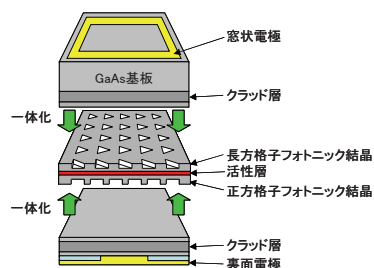


図2 異周期複合フォトニック結晶レーザーのデバイス構造

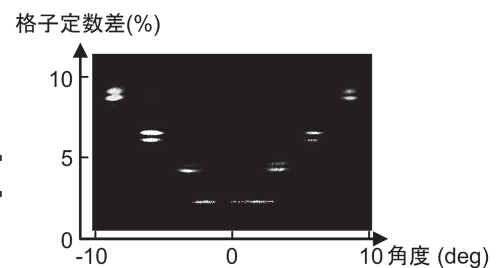


図3 ビームパターン実測結果

Stumpf Wolfgang Constantin (野田教授)

「Studies on Fundamental Technologies for Fabrication and Evaluation of Combined Photonic Crystal Nanocavity-Quantum Dot Devices」

(フォトリソニック結晶ナノ共振器と量子ドットの融合系の作製および評価法の確立)

平成 21 年 3 月 23 日授与

State of the art information technology (IT) is physically limited in speed and bandwidth by electronics. Although, optical fibers and photonics are increasingly used in IT – integrated optical routing, storage, and computing demand for nanostructured materials and device development. Two-dimensional (2D) photonic crystals (PCs) have a periodicity in their refractive index which is on the order of the optical wavelength and thus gives rise to a 2D photonic bandgap (PBG) – similar to the electronic one in semiconductors – that can guide and confine light. The 2D PBG can also control spontaneous emission (SE) from embedded active materials like quantum dots (QDs). QDs are “artificial atoms” of tens of nanometer size, which can confine carriers i.e. excitons point-like in bulk material and act as ultrahigh efficient light emitters. When placed in a PC NC i.e. a resonator of a cubic optical wavelength in size, SE from QD can be modified by cavity quantum electrodynamic (CQED) effects that scale with the resonators’ quality factor Q over mode volume V_m . The QD-NC interaction mechanisms of SE phenomena in solid state, as preferred for optical integrated circuits, are not entirely clarified. Thus, this work focuses on the step-by-step investigation of the emitter-cavity interaction, which has to be controlled in future IT devices utilizing CQED effects. First, InAs QDs of high optical quality, i.e. of narrow inhomogeneous broadening and bright photoluminescence (PL), were embedded in a GaAs PC slab by molecular beam epitaxy. Second, after optimization of the PC fabrication process, the 2D PBG effect, which yields out of plane emission enhancement by SE energy redistribution, could be demonstrated. In the third step, the introduction of a NC was shown to create artificial emission channels that demonstrated improved device efficiency. Next, in order to investigate the interaction of QD emitters and a PC NC, only QDs inside V_m had to be excited, but QDs of high optical quality have high densities. By development of a polarization resolved resonant excitation technique, the ratio of NC mode over unwanted background PL from the surrounding PC could be improved up to 20dB. By scanning higher order NC modes in resonant excitation, individual QD were selectively excited as seen from exciton peaks and could be tuned into resonance with the NC’s fundamental mode, resulting in 65x SE enhancement of the Purcell effect. Comparing this data with spectral and spatial overlap of the modal electric field distributions, potential QD position within the nanocavity could be narrowed down. At the final stage, the reflection measurement technique (RMT), that avoids intraband carrier relaxation processes, was developed and extensively tested. Resonant NC wavelengths in PL were found to agree well with RMT. Also Q factor statistics reproduced theory well. Coupled mode theory could explain the trend of reflected intensities in the experimental spectra due to a slab coupling effect. RMT is considered potentially useful to gain fundamental insight to the interaction mechanisms of single, deterministically aligned QDs and yield future IT applications.

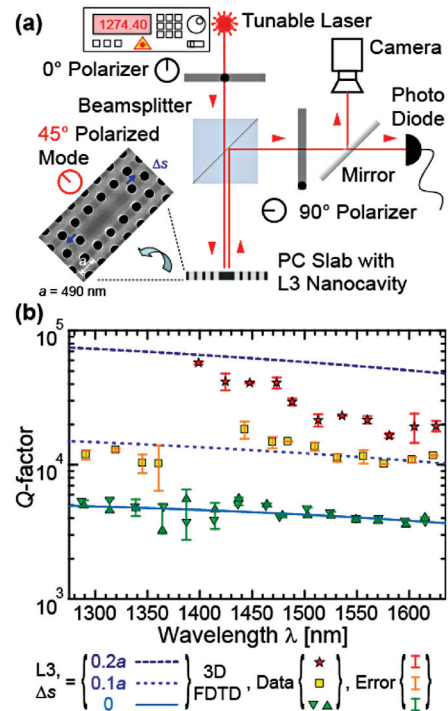


Fig.1 (a) Experimental setup (b) Q factors: theory & RMT.

堀田 昌 宏 (木本教授)

「4H-SiC 無極性面基板上への同一ポリタイプを有する 4H-AIN 成長とデバイス応用」
平成 21 年 3 月 23 日授与

波長 300 nm 未満の深紫外領域の光は、化学分析や殺菌などの用途に利用されており、半導体を用いた発光デバイスにより深紫外発光を実現することで、装置の小型化、低消費電力化が可能である。これを実現する材料として、III 族窒化物半導体である AIN が着目されている。AIN は、禁制帯幅 6.2 eV (波長 200 nm 相当) を有する直接遷移型半導体であり、GaN (禁制帯幅 3.4 eV) と任意の割合で混晶を作製することが可能である。実用的な発光効率を有するデバイス実現のためには、結晶の高品質化と量子閉じ込め構造の採用が重要であるが、AIN には高密度の転位が含まれており、また、一般的に用いられる極性面上に量子閉じ込め構造を作製すると、内部電界によって発光効率が低下するという問題がある。この内部電界を回避する方法として、極性面に対して 90° 傾いた無極性面の AIN 成長がある。過去の研究において、無極性面 4H-SiC を基板として、分子線エピタキシ成長を行うことで、同じ無極性面を有する X 線回折半値幅の小さい AIN が得られ、また、その AIN の結晶構造が、安定なウルツ鉱 (2H) 構造ではなく、基板と同一の 4H 構造であること (同一ポリタイプ成長) が報告された。しかしながら、成長した AIN には高密度の拡張欠陥が存在しており、欠陥の低減が課題となっていた。また、4H-AIN は過去に報告例がなく、欠陥構造や基礎物性に関する知見は皆無である。そこで、本研究では、無極性面 4H-SiC 基板上に同一ポリタイプ成長した 4H-AIN をデバイスへと展開していくための基礎を築くことを目的として研究を行い、以下の成果を得た。

- (1) HCl ガスエッチングによる基板表面の原子レベル平坦化、および AIN 成長条件の最適化を行い、同一ポリタイプ成長を促進させることで、拡張欠陥の飛躍的低減に成功した。(図 1)
- (2) 得られた高品質 4H-AIN に対して、X 線回折や TEM 観察、ラマン分光によって、無極性面 4H-AIN の欠陥構造や通常の 2H-AIN とは異なる 4H-AIN の物性を観測することに成功した。
- (3) 4H-AIN の発光デバイス応用の基礎検討として、4H-AlGaIn 成長および AIN/AlGaIn 多重量子井戸 (MQW) 構造の作製を行った。MQW の光学特性評価において、内部電界の影響を受けていないバンド端に相当する強い発光を得ることに成功した。(図 2)
- (4) 無極性面 4H-AIN は、電子デバイスへの応用も可能であると考え、金属/絶縁体/半導体 (MIS) デバイスの作製を試みた。無極性面で実現可能な低欠陥密度 4H-AIN/4H-SiC 界面をチャネルとした MIS 電界効果トランジスタ (FET) を作製し、初めて FET 動作を示すことに成功した。

以上のように、4H-AIN の高品質化を実現し、基礎物性、欠陥構造に関する知見を得るとともに、デバイスの基本構造を実現したことで、4H-AIN の光・電子デバイス応用の可能性を示した。

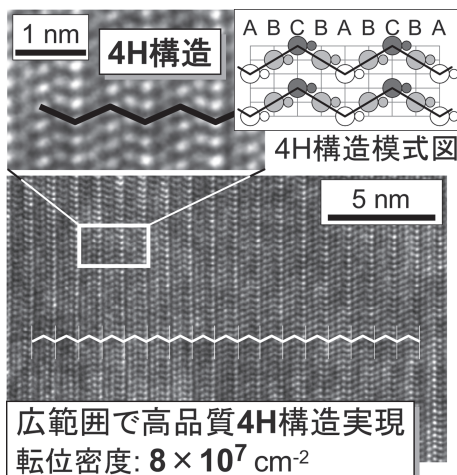


図 1 : AIN の高分解能 TEM 像

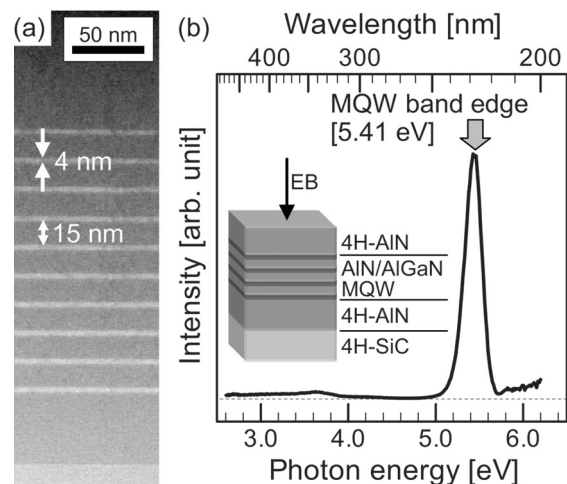


図 2 : (a) MQW TEM 像, (b) CL スペクトル

増 崎 隆 彦 (小野寺教授)
 「JPEG2000 処理システムの構成法に関する研究」
 平成 21 年 3 月 23 日授与

近年のデジタル画像に対する高圧縮率，高階調，高いスケーラビリティ性能などの要求を背景に，画像符号化方式 JPEG2000 が 2001 年 1 月に国際標準化された．本論文では，JPEG2000 に着目し，計算量やメモリ使用量が大きいといった問題を解決し効率的なシステムを構成する手法について述べた．

JPEG2000 では，計算の複雑さ及びメモリ使用量を抑えるために，タイルと呼ばれる矩形領域に分割して処理を行うことが可能であるが，その場合，低ビットレート時にタイル境界でのノイズが発生する．そのため，本論文では，タイル分割無しのシングルタイルでの JPEG2000 コーデックのシステム構成（図 1）を提案した．一定の幅で画像を短冊状に分割し，境界についてはオーバーラップ処理を行い離散ウェーブレット変換（DWT）を行うことで，メモリ使用量と入出力データ量のバランスの良いシステム構成を提案した．提案システム構成を実際にチップに実装した例（図 2）を示し，ワンチップで 8,192×8,192 の画像をシングルタイルにて符号化／復号化できることを示した．

また，本論文では，組込み向けに計算量及びメモリ使用量が少ない JPEG2000 向けレート制御（符号量制御）手法を提案した．従来の最適化手法では，最初に全パス（データ片）を符号化し，その後，画質への寄与度の低いパスを切り捨てる．この手法では，精密なレート制御が可能である反面，計算量及びメモリ使用量に大きな無駄がある．そこで，パスの切り捨て位置をあらかじめ予測して符号化の処理を省略することにより，処理量の削減を図る手法を提案した．一例として，前もって典型的な画像の特質を分析し，画質（PSNR）とパス数，パス数とバイト数の関係（図 3，4）から画質への寄与度の高いパスを予測するという方法で実験した．従来手法と比較して，若干の画質の低下があるが，ビットレートが 0.5bpp の場合，エントロピー符号化の計算量は従来の 1/3 程度に削減でき，ストリームを保持するためのメモリ量は従来の 1/7 以下に削減することができた．

画像データの受信に伴い，徐々に高階調な画像に変換する処理を SN 比プログレッシブ復号（図 5）と呼ぶ．本論文では，JPEG2000 の SN 比プログレッシブ復号を高速化する手法を提案した．従来は，データを受信する度に最初からエントロピー復号を行う必要があったが，提案手法では，中間データを効率的に保持することにより繰り返し処理を避けた．その結果，画像サイズが 1,280×1,280 で非可逆圧縮の場合，メモリの使用量は従来に比べて 26.3% 程度増加してしまうが，エントロピー復号の計算量は最大で 50% の削減ができることを示した．

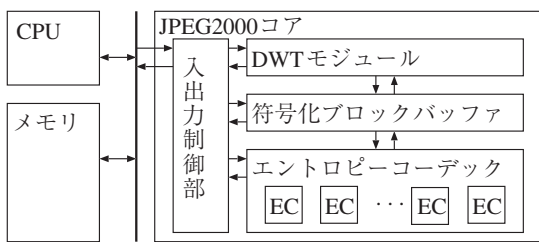


図 1：JPEG2000 コーデックの構成

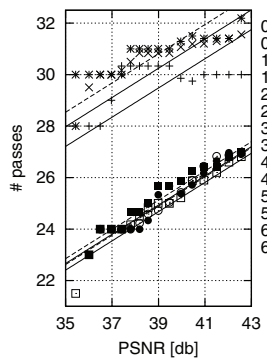


図 3：画質 - パス数

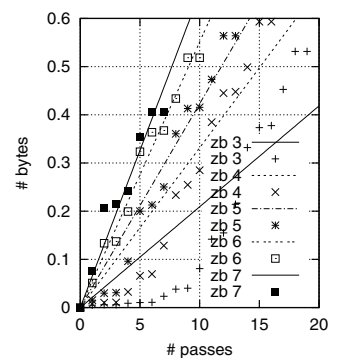


図 4：パス数 - バイト数

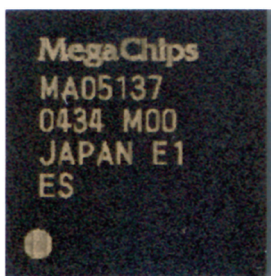


図 2：実装 LSI のパッケージ



図 5：SN 比プログレッシブ復号

李 大成 (橘教授)

「A Study on the Application of Microplasmas to Novel Optical Devices」

(マイクロプラズマの新規光デバイスへの応用に関する研究)

平成 21 年 5 月 25 日授与

この博士論文は、マイクロメートルからミリメートルのサイズを持つ、従来用いられていたプラズマよりも小さい“マイクロプラズマ”のデバイス応用に関するものです。すなわち、微細加工技術の進展により、プラズマ生成用電極を微細に設計・製作できるようになり、プラズマのサイズを小さくすることで各種デバイスの構成要素としてプラズマを用いる応用を想定することができるようになってきました。この博士論文では、その内でも発光デバイスとしての応用とミリ波帯からテラヘルツ波帯の電磁波制御デバイスとしての応用を目指した実験研究を行いました。

発光デバイスとしては、これまで電子デバイスで汎用されてきたシリコン基板を基材とし、その表面に放電セルを電子ビーム描画法により作製しました。ここで、構造としては2つの放電電極と絶縁層を基板の厚み方向に積層することで全くフラットな構造を実現しています。そして、特に、放電電極から絶縁された浮遊電極をこの構造の中に設置することで発光特性を大きく制御できることを明らかにしました。また、電磁波制御デバイスとしては、疑似表面プラズモン（金属表面に伝搬する表面プラズモンを電磁波帯で疑似的に実現したもの）の支持体である整列穴アレイを持つ金属板をプラズマ生成用電極として併用し、穴アレイ内に疑似表面プラズモンの伝搬周波数スペクトルの制御を実現しました。

図 1 に、高速ゲート CCD カメラによる観測された、発光パターンのネオンガス動作圧力依存性を示します。外側の四角の外側領域が両極性パルス電圧が印加される放電電極、内側領域が下部の接地電極に絶縁層が被覆された領域です。この絶縁層領域内に内側の四角領域で示す浮遊電極を設置しています。浮遊電極の果たす1つ目の役割として、接地電極がカソード電極となる極性の時に、浮遊電極上の発光強度が数倍に増強されることがわかりました。これは、前の極性パルスでその領域に蓄積した荷電粒子が、極性切り替え時に再分布して次の逆極性パルス時に放電中電界を強くすると推定され、2次元流体シミュレーションでも同様の結果を確認しました。さらに、浮遊電極の2つ目の役割として、低圧力条件下では、カソード電極極性時のみならず、アノード電極極性時も浮遊電極上にプラズマ発光をもたらしかつ増強する機能のあることがわかりました。その様子を図 1 に示します。この極めて特異な現象は、プラズマ空間が電極が囲われていることによりプラズマ生成の重要パラメータである換算電界（電界／ガス圧力）が強められ、かつ浮遊電極の存在が換算電界を増加させていると解釈できます。このように、電極構造の微細設計を行うことでプラズマ発光強度を大きく制御できることがわかり、超高強度点光源への応用などが期待されます。

本論文では、先にも述べましたように、電磁波制御に対するプラズマの誘電的性質が果たす可能性も実験・理論の両面で明らかにしており、広周波数範囲におけるマイクロプラズマと光・電磁波の関係に新たな知見をもたらす研究と総括できます。

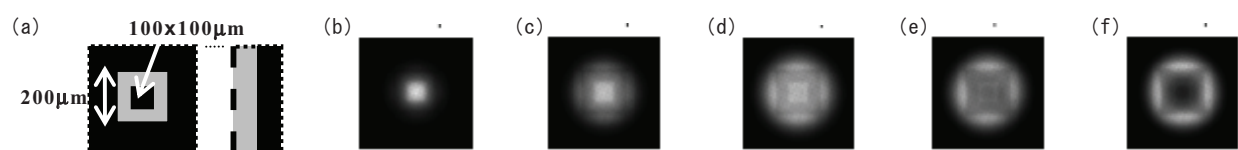


図 1. シリコン基板上に形成された浮遊電極付きプラズマ発光セルの電極構造 (a) と、ネオンガス圧 100 Torr (b)、150 Torr (c)、200 Torr (d)、250 Torr (e)、および 350 Torr (f) での発光分布。

全 炳 俊 (増田准教授)

「Generation of High Quality Electron Beam Using a Thermionic RF Gun for Mid-Infrared Free Electron Lasers」

(熱陰極高周波電子銃による中赤外自由電子レーザ用高品質電子ビーム生成)

平成 21 年 5 月 25 日授与

熱陰極高周波電子銃 (RF Gun) は図 1 の様に高周波共振空洞の一端に熱陰極を配置した構造を持ち、熱陰極から供給される電子を高周波電場により加速する電子銃である。この電子銃は従来の静電型電子銃と比べ、高い電界強度により電子を加速する事が可能であり、小さな構造で数 MeV の高エネルギー電子ビームを生成可能であること、空間電荷効果による電子ビーム特性の悪化が低減されるなどの利点があり、エネルギー科学に有用な中赤外自由電子レーザ (Free Electron Laser; FEL) を駆動するための電子源として研究されてきた。しかし、熱陰極 RF Gun では、熱陰極から引き出された電子の一部が逆加速され、陰極に衝突し、陰極が電子により加熱され、陰極温度が上昇、電子ビームエネルギーが低下するという Back-bombardment と呼ばれる現象に酷く悩まされていた。自由電子レーザ発振には電子ビームパルス持続時間が長く、電子ビームエネルギーが一定な電子ビームが要求されており、Back-bombardment 現象の解決が熱陰極 RF gun を用いた自由電子レーザ発振には必要であった。

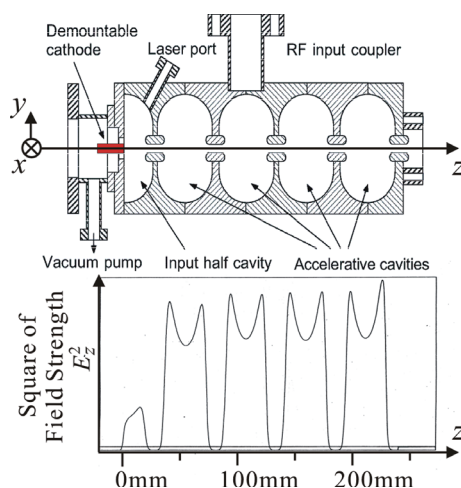


図 1：熱陰極高周波電子銃の概略図

本研究では、以下の 2 つの手法を導入し、Back-bombardment 現象によって生じる電子ビームエネルギー低下を補償することにより、熱陰極 RF Gun を用いてレーザ発振に要求されるパルス持続時間が長く、エネルギーの均一な電子ビームを生成することに成功した。

- 1) 電子ビーム電流増加に伴い熱陰極 RF gun に供給する高周波電力を増加させる。
- 2) 共振空洞の共振周波数と外部から供給する高周波電力の周波数とに一定の周波数差を与え、高周波負荷特性を利用して電子ビーム電流変化に対してビームエネルギーが変化しない条件を与える。

また、これら二つの手法を同時に適用してやることにより、最終的に図 2 に示すようにエネルギー一定な電子ビームパルス長を従来 $1 \mu s$ 以下であったものを $5 \mu s$ に延ばすことに成功した。また、電子ビームの横方向特性、ピーク電流などを実験的に評価した。

加えて、上記のようにエネルギー補償法を用いて京都大学エネルギー理工学研究所にて開発が進められている熱陰極中赤外自由電子レーザ装置において自由電子レーザ発振実験を行い、同装置初の自由電子レーザ増幅を観測し、図 3 の様にレーザ飽和を達成する事に成功した。

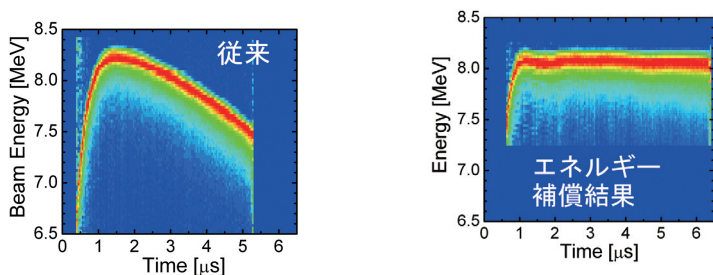


図 2：エネルギー補償による電子ビーム品質改善

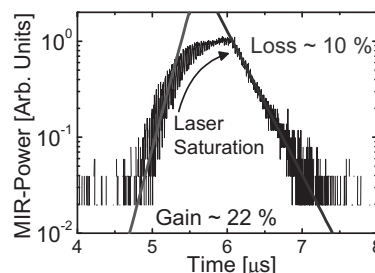


図 3：レーザ飽和達成時のレーザ出力時間発展

川 添 雄 彦 (守倉教授)

「Highly Efficient Data Transmission Schemes for Integrated-Media Systems」

(統合メディアシステムにおける高能率データ伝送方式に関する研究)

平成 21 年 9 月 24 日授与

映像配信サービスなどのブロードバンドサービスの普及に伴い、通信システムで伝送するトラフィックは年々増大している。本研究では、統合メディアシステム(図1)におけるデータ伝送効率を改善するために、ネットワーク層、メディアアクセス層、物理層など各層の特徴を活かして改善を図り、システムの総合性能の向上を可能とする新方式の提案及び性能解析手法を検討した。

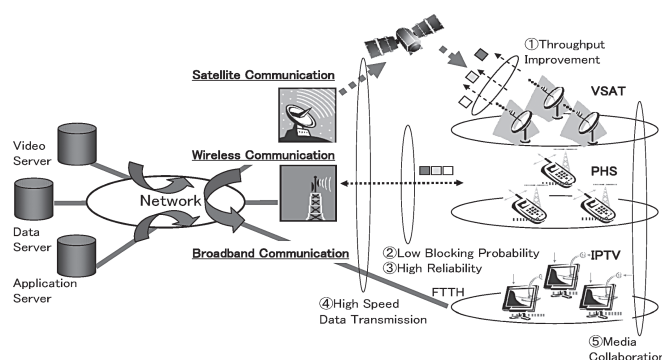


図1 統合メディアシステム

1. 可変長パケット信号の無手順高能率伝送を可能とする多重スロット付きアロハ方式

衛星通信用に可変長パケット信号伝送時のスループットの向上を可能とする多重スロット付きアロハ方式を考案した。本方式は信号長に応じて送信タイミングを制御する。従来のスロット付きアロハ方式と比較し信号長の分布によらずスループットを大きく改善でき、信号長が変化した場合においても特性が安定している。最大スループットは従来方式と比較して約20%向上可能である。

2. ワイヤレスパーソナル通信向け TDMA-TDD-AF 方式

ワイヤレスパーソナル通信システムに適用する TDMA-TDD-AF 方式を考案した。本方式では TDMA フレームのフルスロットを送受信で使用するために、タイムスロット毎にアンテナ共用器の送信及び受信で利用可能な周波数帯域を切り替える。提案方式により TDMA フレームで割り当て可能なタイムスロット数は倍以上となりユーザ当たりの最大伝送速度が向上し呼損率を大幅に改善する。

3. ワイヤレスマルチメディア通信向け高信頼バースト伝送方式

ワイヤレス通信システムにおいて高信頼なバースト伝送を可能とする TDMA バーストアサイン方式を考案した。提案方式ではパケットのフレームエラー率を改善するためにパケット長に応じて割り当てる TDMA バースト数を決定しバーストダイバーシティー技術を適用する。制御チャンネルに提案方式を適用した際の効果を解析した結果、フレームエラー率は約25%と大幅に改善されることを示した。

4. 超高速・汎用ビタビ復号方式

無線通信回線の誤り訂正方式にビタビ復号を適用する際に、高符号化率の畳み込み符号に対して高速復号を可能とする方式及び復号器の構成法を考案した。考案した簡易復号器により、ゲート回路の動作率は符号化率 7/8、復号後誤り率 10^4 で従来型の 40% に低減し、ビタビ復号器の低消費電力化が可能となった。

5. 通信放送融合サービスを実現するメディア連携方式

アプリケーション層における伝送効率の向上が可能な方式として通信と放送の融合及び固定と移動の連携を実現するメディア連携方式を考案した。提案方式は異なる伝送メディア間でのデータ伝送を実現するためにメディア毎の特徴を示すメタデータ技術を適用する。統合メディアシステムにおける提案方式の適用例として、IPTV システムを基に具体化を行った。

兼 村 厚 範 (石井教授)

「Inversive and Synthetical Bayesian Methods for Image Estimation」

(画像推定のための逆転・合成ベイズ的方法)

平成 21 年 9 月 24 日授与

撮像機器から得られた画像に直接表されていない情報を抽出する画像推定の技術は、過去半世紀にわたりたゆまず研究されてきた。初期に提案された手法はヒューリスティック的に設計されたものが多いが、近年では統計推測法に基づく洗練された方法も多い。ベイズ統計は、古典統計学が大きな役割を果たしてきた統計データ解析のみならず、人工知能、ロボティクス、コンピュータビジョンなどの分野にみられる各種問題の解決法として近年注目を集めている。

本論文は具体的な画像推定問題として解像度向上問題を取り扱い、ベイズ統計に基づいた方法を提案した。論文は第 1 部と第 2 部から構成される。第 1 部では複数枚の劣化画像を用いて高解像度画像を推定するマルチフレーム超解像問題 (図 1) に取り組んだ。高解像度画像の復元のために、劣化画像が観測される物理過程を順過程 (図 2) としてモデリングし、高解像度画像に対する事前知識を利用して、逆問題を解く逆転ベイズ的方法を記述した。とくに、画像中にはオブジェクトの重なりなどにより画素値の急峻な変化 (エッジ) が存在することを事前知識としたエッジ保存超解像法と、観測過程に起こりうる遮蔽を空間相関のあるノイズ過程としてモデリングすることで効果的に遮蔽物を除去できる超解像法を提案した。

第 2 部では画像拡大の 1 手法を提案した。提案法は、画像拡大を低解像度画像から高解像度画像へのフィルタリング問題として定式化し、フィルタの台をスパース性を導きながら同定するスパースベイズ法を利用した合成ベイズ的手法である。

将来は、逆転的視点と合成的視点の統合によるフレキシブルな画像推定法などへの発展が期待される。

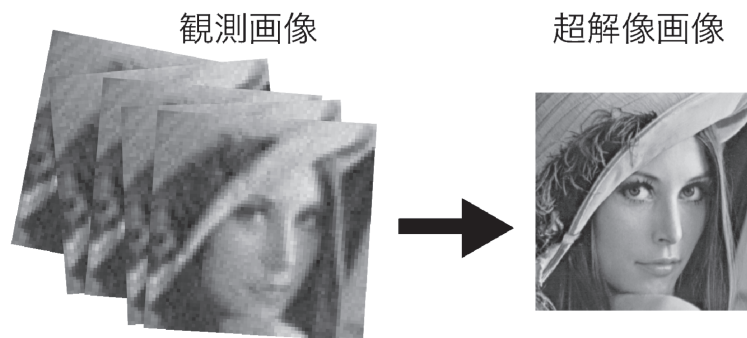


図 1 超解像のイメージ図。劣化した観測からオリジナルの解像度を復元する。



図 2 順過程。原画像に幾何的な変換 (位置ずれ)、ぼけ、画素減少 (縮小)、ノイズ付加が実行されて観測画像になる。

高校生のページ**囲碁名人の頭脳とコンピュータ**エネルギー応用基礎学分野
野澤博**インターネットの時代**

近年、囲碁を嗜む人が増えているとのこと。この原稿を依頼されたころ、ある全国紙を発行する新聞社が主催する囲碁名人戦で挑戦者が勝利し、最年少記録を更新し、20歳の若き名人が誕生したニュースで賑わっていました。囲碁の世界では名人・本因坊などの名跡は心技体ともに充実する円熟の境地に達した年齢でなければふさわしくないとかなれないとかいろいろと理屈があって、その最高位に弱冠20歳の青年が就任することなど一昔前には考えられないことでしたから、高校生の間でも話題になっていることと思います。いずれ近い将来高校生名人や高校生本因坊が誕生することでしょう。一方年齢のことだけでなく、名人位が箱根の山を越えて関西に移ることも初めてのことであるとのこと。これに限らず、なにかと初めてづくしのことが増えています。

この新名人誕生のもとには天賦の才能や人並み以上の努力があったのはもちろんでしょう。伝え聞くところによればプロ入りのきっかけはある全国ネットTV放送局が主催する冠杯戦小学生の部での優勝だったそうですから。その後専門棋士として師匠について中学・高校時代はインターネットで指導を受け、対局数は千回を超えたということです。その努力の成果があってメキメキと上達したとのこと。新名人に限らず、昨今第一線で活躍する棋士はインターネットを十分活用して研鑽の効果を上げているようすが。

こういった頂点に立つ名人や本因坊に限らず専門プロ棋士の頭の中は一般の人と比べてどうなっているのかと興味・関心を持つ人もいようそれはそれなりに研究されています。現段階では明瞭な結論が出たというわけではありませんが、概略、次のようなことのように。あまたある布石・中盤・寄せといった局面で使われる定石、手筋といったものをどういう風に組み立てて対局しているかというよりは一般の人と違って一流の棋士はそういった定石、手筋といったものを2次元パターンとして記憶しているため、読みが早く、ずっと先の手までも読めるということになっています。一般の我々クラスの打ち手は一手先もなかなか読めない、3手先まで読めればアマ有段者相当というレベルではなく、プロの打ち手は大体20～30手先が読めなければ務まらないということです。これができるのは1手ずつ、こう打てばどう打ち返されるかあるいは手を抜かれた場合はなどと時系列的に手順を追って考えていては追いつかないため、こういう局面ではどういう絵柄、模様が考えられるかというのをいくつかの2次元パターンとして記憶しているようです。従ってプロ同士の対局では一般の人が想像もつかないような速さと深さでの読み比べの競争をしているといった状況であろうということです。

専門棋士の世界でもインターネットの出現により、こういった囲碁の至芸がゲームとして閉じた世界から開かれた世界に広まると同時に棋士のレベル向上にも大いに貢献し最高位の若年化といった変革の波に洗われているということです。逆をいうならばインターネットをさらにたどってPC(Personal Computer)の進歩・発展がなければこういった劇的な変化はなかったであろうといえます。

2 進数とブール代数

インターネットでは人と人がPCを介して対局することはもちろんですが、人がPCを相手に対局

することも可能です。PCが棋士として囲碁などのゲームを人と同じようにできるのはPCが人と同じように考えることができるからです。

PCのような機械が考えるということはPCが持つ記憶と演算という機能を使ってある入力に対する出力を求めるということになります。これを可能にするのがモノのもつ属性を数値で表しそれをデジタル（離散値）化する学問領域です。デジタルとはアナログ（連続値）に対する言葉で人間の感覚からは10進数で取り扱うことが自然な感じですが、実際のエレクトロニクス機器内部ではデバイス（素子）の性質から2状態系として取り扱うほうが便利なが多く、その結果2進数（バイナリ）が、この学問領域の基礎になります。10進数は2進数に変換できるので10進数と2進数との違いは本質的なものではなく、回路システムの合成の容易さから2進数のシステムが多用されているという状況です。回路を構成する素子はスイッチのように電流を流すか流せないかのどちらかの状態にできるのでこの素子をトランジスタに置き換えてスイッチのような動作をさせれば実際の回路が完成します。実際の回路を合成する時、トランジスタの2状態をスイッチの“on”、“off”あるいは“1”、“0”に対応させます。

入力変数と出力変数との関係を示す表を真理値表と呼びますが、これから論理関数を導きます。これから2値の回路システムを表現できます。基本の論理演算は否定・和・積の三つです。これから排他的論理和などを派生的に作ることができます。これらの論理回路のことを論理ゲートとも言います。論理関数を命題論理に置き換えて2値の状態を真・偽に対応させることにより人の思考を近似することができます。否定・積・和の基本論理を用いて組み合わせ回路が作れますが、棋士の思考は状況に応じて記憶している棋譜や定石パターンを頭の中でいくつか組み合わせさせて予測図を何通りか作りその是非が棋士の価値基準によって定まれば出力として次の一着を打つことになるので、記憶回路を必要とします。従って、より複雑な順序回路のようなものに対応すると考えることができます。

また論理演算を代数的に取り扱うことができます。これをブール代数といいます。論理式の積・和はブール代数の乗算と加算に対応します。論理演算には減算という概念は存在しませんが、補数というモノを考えて加算することにより減算を実行することもできます。除算は減算を繰り返すことにより実行されます。このようにして、論理演算を拡張して四則演算も可能になります。

さらには碁盤上に碁石を配置したパターンなどは画像として記憶・入出力することができます。画像は空間のある位置における明るさや色の濃淡が連続的に分布した情報です。これをコンピュータが取り扱えるように最少単位となる画素（pixel）ごとにデジタル化したのち、2進数で表現することにより画像の入出力や記憶などが可能となります。文字や記号についても画像とみなせば同じ方法で取り扱えますが情報量が多くなります。文字や記号の数は有限個なので、より少ない資源で取り扱うため予めコード化しておく方法が効果的です。代表的なコードとしてASCIIコードなどが知られています。これは8桁の2進数を使用して256個までの文字・記号を取り扱います。

電子計算機と集積回路

2状態系で論理演算や四則演算を実行する計算機は機械式と電子式の2種類に分けられます。電子デバイスで構成したものが電子（式）計算機です。機械式計算機の原型を作成したのは「人は考える葦である」という格言で知られるフランスの哲学者、パスカルといわれ、時期的には17世紀までさかのぼることができます。一方、電子計算機の作成はごく最近で1940年代に作られたENIAC（Electrical Numerical Integrator AND Calculator）が世界の歴史上で第1号とされています。これは電子デバイスとして真空管を用いています。真空管は消費電力が大きいのが特徴で、この電子計算機ENIACを設置した米国ペンシルバニア大学所在地のフィラデルフィアではこの装置が稼働するとき「町中の灯りがグークブラウン」になると新聞記事に残っているほどです。電気エネルギーの供給が電子機器増加による需要の増加に対応しきれないのではないかと懸念・危惧が生じ、電子デバイスを真空管から固体

デバイスに転換する必要に迫られていることが米国を中心として唱えられました。時を同じくして量子理論が完成するとともに固体中の電導電子も真空中の電子と同様にニュートンの運動法則に基づく挙動を近似的に示すことが証明されました。その後広く知られているように半導体結晶を用いたトランジスタが発明され、電子計算機を構成する電子デバイスも真空管から（半導体）トランジスタに置きかわってきました。

その後も科学技術の画期的進歩により電子計算機の機能も論理演算や四則演算をするものから急速に進化・発展し、今ではいろいろな情報処理ができるようになりました。その基礎となったのが電子デバイスの進歩です。一口に電子計算機といっても現在では多種多様なものがありますが、ここでは電子計算機、コンピュータといえば主に中速のデスクトップやノート型 PC で代表されるものを指しています。コンピュータや PC で使われている電子デバイスは単体のトランジスタからそれを複数個半導体チップ上に搭載した集積回路に、またそれをさらにより大規模化した超 LSI (Large Scale Integrated circuits) に移り替っていきました。近年の非平衡プラズマイオン工学や光工学分野における最先端微細加工技術の進歩によりトランジスタの寸法はナノスケールにまで縮小されました。

一つの超 LSI には数百万個のトランジスタが集積されていることも少なくありません。このような分野で用いられるトランジスタは MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor) です。これは入力抵抗がギガΩ以上と非常に高いのが特徴です。この MOSFET には P 型と N 型とがあります。P 型 MOSFET は入力信号が "0" の時電流が流れるのでスイッチでいえば "on" に対応し、入力信号が "1" のとき電流を流さませんので同じくスイッチでいえば "off" に対応します。一方それとは逆に N 型 MOSFET は入力信号が "1" の時電流が流れるので "on" に対応し、入力信号が "0" のとき電流を流さませんので "off" に対応します。従って N 型と P 型 MOSFET とを組み合わせることにより効率の良いスイッチができます。このような構成で回路を合成したものを CMOS (Complementary MOS) 回路と呼び、構造的に入出力の伝達特性が極めて良好なことから低電圧動作に適しているといわれ低消費電力用途に適した回路として超 LSI に広く用いられています。

近年の動向として CMOS 回路の消費電力をさらに低下し、省エネルギー化を推し進めるため断熱的動作を取り入れた ACL (Adiabatic CMOS Logic) についての研究が注目されています。トランジスタ回路を RC 回路で近似するとステップ (階段) 波形の入力に対し消費電力 P は $P = \frac{1}{2}CV^2$ となりますが、立ち上がり時間 T のランプ (傾斜) 波形をもつ入力では $P = \left(\frac{RC}{T}\right)CV^2$ となります。従ってこの原理を用いることにより $T \gg RC$ では消費電力は限りなく小さくすることが可能になります。

メモリと並列処理

高度な情報処理を PC にさせる上で記憶装置 (メモリ) の存在は欠かせません。電子計算機のシステム構成要素としてノイマン型の電子計算機では中央処理装置 (CPU)、演算装置 (ALU)、メモリ (Memory)、各種インタフェースがビット列の数に等しい数のバスラインと呼ばれる共通データ線を介して結ばれています。記憶装置にプログラムや大量のデータを記憶しておき CPU がメモリからデータ線を介してプログラムを読み取り、そのプログラムに従って各装置を制御します。例えば、大量のデータを読み込み、演算装置に送り、処理したデータを記憶装置に書き込む、あるいはインタフェースを活性化しモニターに表示あるいはプリンターに印字させる等です。メモリはデータをデジタル化したものをさらに 2 値データに変換した状態をシステム内で保存します。2 状態系を安定して作るものとして例えば磁性体などがありますので、必ずしもメモリは半導体である必要はありません。実際にいろいろな媒体 (メディア) が存在します。しかし、記憶データを大容量で記憶するためメモリの記憶単位 (メモリセル) の大きさは加工限界に達するまで小さくなります。従って取り出す信号量もそれに比例して小さくなりますので、記憶装置からデータを取り出す場合、記憶信号を増幅する必要があります。トラン

ジスタは非線形素子ですから増幅作用があります。従って半導体でメモリを構成する場合は同じ半導体上にトランジスタを作って微弱な記憶信号を増幅して信号線が駆動できるような回路を設けて一体化することが容易に可能となります。この点から半導体メモリが多用されています。

半導体トランジスタでメモリのような2状態系を安定して作る方法として双安定回路があります。これはトランジスタをたくさん使います。またMOS構造を静電容量と見なしてこれに電荷を蓄えて検出する回路と組み合わせる方法も広く使われています。これらは電源を切ると記憶データも失われるので揮発性メモリと分類されます。一方磁性体などでは電源を切っても記憶データは失われず、保存することができます。こういうデバイスは不揮発性メモリとして別の分類に属します。システム設計の容易さからは半導体不揮発性メモリがあると便利なのでいろいろと研究されています。

現在はフラッシュメモリといいますが、MOS構造のM層を二重にした構造のものが普及しています。この構造では消費電力、性能の点からまだ不完全なところがあり将来的には強誘電体の分極を検知する回路と組み合わせる方式が消費電力、性能の点から有力なので研究されているところです。

近年のPCでは集積度の向上によりCPUとALUを一体化してマイクロプロセッサユニット(MPU)として構成したもの、これをシングルボードプロセッサといいます、が一般的に使われています。さらに並列処理による情報処理の高速化を図る傾向が強まっています。いくつかの流れがありますが、マルチコアという方法では複数のMPUと記憶システムをバスラインで結ぶことで並列処理が可能になります。MPUの数を増やすことで処理する性能は増強されます。その分バスラインにアクセスが集中し、究極的にはこのバスラインでの稼働率が全体の性能を律速し始めます。これをノイマン型ボトルネックといいます。これを解決する方法としてメモリの基本単位であるワードごとに局所ALUを配置し簡単な演算はメモリ内の局所ALUで処理し結果のみをバスラインを介した通常の方法でMPUに戻すことが提案されています。このようなメモリを機能メモリと呼び、通常メモリに内部演算回路用の選択トランジスタおよび内部演算回路専用の局所配線を付けくわえることにより、データの書き込み・読み出しなど通常メモリ動作に加え、局所ALUを用いたワード並列処理が可能になるのでどんな用途に対してどれだけの効果が期待できるのかについて関心が高く多方面から研究されている段階です。本分野では強誘電体を記憶素子として用い機能メモリとして必要な機能をCMOS回路で構成することにより高密度、低電圧動作、不揮発性といった近未来型コンピュータとしての要件を満たすべく断熱型の回路動作を含め基礎的な観点から研究を行っています。

情報処理と頭脳

囲碁名人といえども普段は一社会人として日常生活を送っていますし、それはなんら通常の社会人一般のものと変わりはありませんが、ひとたび対局となると頭の中がガラッと変わって天才的な頭脳へと変貌していくわけです。これをコンピュータの情報処理で置き換えて考えると通常の生活は四則演算、論理演算をノイマン型のプログラム式逐次処理で行い、対局時の思考は特定の領域を指向して働く特別な処理を行っていることとなります。これは一人の人間が汎用コンピュータと特定用途向きの専用コンピュータを演じているのと同じです。従ってノイマン型の逐次処理と非ノイマン型の並列処理が同じシステムで適宜使い分けできるようになると通常のコンピュータではありながら、ある特定の処理はめっほう強いという汎用コンピュータと専用コンピュータとを兼ね備えたハイブリッド型コンピュータという新しいカテゴリが生まれてきます。ハイブリッド型コンピュータが機能メモリのように並列処理もできるメモリを内蔵することにより実現できるとすれば、どんな用途に向いているのかということに興味・関心が移っていきます。

現在PCはどのように使われているのでしょうか。電子メール、ワープロ、ゲーム、シミュレーション、・・・といろいろと出てくることでしょう。でも一番頻度が高い用途といえばインターネットとな

るのは間違いのないでしょう。ではインターネットではどんなことをしていますか。PCのディスプレイにブラウザのホームページが出てきました。さあどうしましょうか。とりあえず、検索の窓に「名人戦」と入力するとキーワード入力補助という窓が出てきて中に「名人戦 囲碁」とありますのでそれを選択して検索を実行します。するといっぱい出てきます。該当する項目は255万件です。そのうち10件のみが並んで表示され、何故かトップは〇〇新聞社：囲碁ニュースのサイトです。おそらくネットワーク上に存在する数千万件以上ものサイトからなる膨大なデータベースを照合し、その中からキーワード検索でヒット（一致）したサイト255万件についてある評価基準、例えば引用回数、信頼度、リンク数・・・などにより評価した各サイトのスコアを比べ、そのスコアが高い順に並べ替え（整列）たのち、画面に表示する処理をしています。利用頻度が最も高いと思われるサイトがなるべくトップに来るように評価基準が作られているので、この場合、ピンポイントでドンピシャリとお目当てのサイトが見つかりましたという具合です。インターネットでは検索・整列（ソート）という情報処理が相当な頻度で使われていますので、機能メモリの用途としてこういった分野はかなり面白いのではないのでしょうか。

アルゴリズムと計算量

次に機能メモリを使うことでどれだけ処理時間が短縮されるのか調べましょう。一般に情報処理の速さ、時間はPCの性能に依存しますので処理の方式による速さを比較するときはそのアルゴリズム（計算手順）からその計算量を求めその大小でよし悪しを判定する方法が使われます。また計算量は簡明を期すためオーダ法による表記が一般的に用いられています。また、逐次処理型と並列処理を比べる際、いろいろと条件が細かいところで異なります。まず、データがメモリ・アレイにマトリクス上に格納されている場合、行と列の数をそれぞれ n 、 m 個とすればワード行 n 個、ビット列は m 個とします。従って一つのデータ例えば10進数表記やアルファベット表記のデータを2進数表示したものが一つのワード行の m 個の列に亘って2進数表記で記録されることになります。逐次型演算方式では一つのワード行のデータがバスラインを介してメモリからMPUに送信され、そこで比較、一致・不一致または大小判定を2進数で演算したのち結果をMPUからメモリに返信することが繰り返し行われます。一方、機能メモリを使った並列演算では同じく n 行 \times m 列のマトリクスとしてメモリ・アレイにデータが格納されメモリ同様バスラインでMPUやメモリに接続されているものとします。この方式では m 個ある列の一つの列が n 個の行に亘って局所ALUにデータが送られやはり2進数レベルで比較、すなわち一致・不一致あるいは大小判定し、これを全ての列に亘って繰り返し処理したのち結果をMPUに送信します。処理により、例えば整列の場合などは少し複雑な処理、一時的な並び替えをMPUとメモリを使って行うなど、が付け加わりますが、局所ALUでの処理は兼用可能となりますのでハードウェア的には同じシステムでプログラムを少し変更することで対応できることになります。通常演算アルゴリズムの計算量は比較演算の回数で表すことになっていますので、この場合、比較演算を逐次型では行単位で処理し、並列型では列単位で処理するという違いはあるもののその違いは無視することにします。さらに結論を単純明快にするため、データ数は $n=2^m$ 個とします。

逐次型演算方式では検索の場合、キーワード検索に必要な計算量は順検索といってキーワードを全てのデータと総当たり方式で比較することになるのでオーダ記法を用いて表すと $O(n)$ になります。また、整列に必要な演算回数は大小の順に並べ替えをする場合バブルソートといわれる方式では全てのデータの中から一番大きなデータを探し、1番目に置き、次に残りのデータの中から一番大きいデータを探して2番目に置き、さらに残ったデータの中から・・・という具合にデータが尽きるまで繰り返すので比較する回数を計算すると計算量として $O(n^2)$ が求められます。この計算量ではデータ数 n が増加すると爆発的に計算量が増加するので改良された整列のアルゴリズムも知られています。例えばクイックソートなどです。これら改良アルゴリズムでは計算量は $O(n \log n)$ で、減少することが知られています。しかし、

これより減少できるアルゴリズムはまだ知られていません。これがいまのところ理論的限界とされています。

一方、並列型演算処理方式では検索の場合総当たりが必要なキーワード検索の場合でも全ての列を調べれば良いので計算量は単純に $O(m \log n)$ となります。また整列の場合、大小順に並べ替えを行うときは、最上位の桁に相当する列から順に大小を判定していきます。大小といっても2進数ですので"1","0"を判定するのでこの場合は"1"に一致する行を上、"1"に一致しない、すなわち"0"を持つ行を下になるように2グループに分けた後、次の列は前の列で"1"のグループに分類された行について、2番目の桁に相当する列を対象にやはり"1"をもつ行のデータは上、"0"をもつ行は下にと分け、次に残った前の列で"0"のグループに分類された行についても同じ操作をします。その結果2番目の桁は4グループに分けられます。引き続き3番目の列についても同様な操作を行って8つのグループに分けます。これを繰り返して最下位に相当する列についてグループ分けするまで続けます。その結果一番上の行に一番大きなデータが来て、一番下の行に一番小さなデータが現れます。ということで並べ替えを完了します。この場合の演算回数を計算すると計算量 $O(n)$ が得られます。この計算量は逐次処理型での理論的限界を超えて小さくなっています。この差はデータ数 n が大きいほど顕著になります。

以上をまとめると、インターネットでの検索・整列といった情報処理等を担当する機能メモリを内部に組み込んだハイブリッド型PCという新しい分野が開拓されるのも間近に迫っているのではないのでしょうかと楽しみにしているところです。また、インターネットはその起源に遡ってもまだ40年ほどの歴史でしかありませんが、この10年間の普及の速さには目を見張るものがあります。これからも社会のインフラ（基盤）として多くの人々が利用し、また様々な恩恵を受けられるようにハードウェアやソフトウェアを含めいろいろな視点から整備される余地があるというか必要を感じる次第です。

(以上)

学生の声

「慣れても馴れるな」

工学研究科 電子工学専攻 北野研究室 博士後期課程2年 玉山泰宏

私が普段意識していることの一つに「慣れても馴れるな」ということがあります。しばしば聞く言葉かもしれませんが、この言葉について考えてみたいと思います。

まず、単語そのものの意味について調べてみました。旺文社の国語辞典（第八版）に拠りますと、「慣れる」には熟練するという意味があり、「馴れる」には珍しくなくなるという意味があるとのこと。これを基に「慣れる」や「馴れる」が何を表しているのかを考えることにします。料理が上手になる、楽器の演奏が上達するなどは「慣れる」で表されるでしょう。このような意味であれば色々なことに「慣れて」おいた方が良いでしょう。では、「馴れる」はどうでしょうか？少し強引かもしれませんが、その人の言動が珍しくなくなると考えれば、環境に同化する、周りの色に染まることを表すと解釈することができるのではないのでしょうか？つまり、周りの人と同じような考え方をもったり、周りに合わせた行動をとったりする状態であると考えられると思います。これは反対意見が衝突したりすることが少なく、何か決断しなければならないときもなんとなく周りに流されて決めることができるので、居心地の良い楽な状況であるとも見ることができます。この「馴れた」状態を良いと思うか悪いと思うかは人によって違ってくるとは思いますが、私は良くないと考えています。「馴れて」しまうと、自分と他人の差が少なくなってしまうので、自分の代わりはたくさんいるということにつながってしまいます。自分自身の存在価値を重要視する場合は「馴れて」しまうのはだめであるといえるでしょう。

まとめると、楽であることが大事であるのならば「慣れて馴れる」で良いのかもしれないですが、自分の存在意義を高めたいのであれば「慣れても馴れるな」でないといけないということになると思います。「馴れる」のは良くなさそうだった方は、一度自分が「馴れて」しまっていないかどうか考えてみてはいかがでしょうか？

「博士後期課程学生2年になった私が思うこと」

工学研究科 電気工学専攻 引原研究室 博士後期課程2年 横井裕一

博士後期課程に進学して約2年が経ちました。指導教員である引原教授のおかげで、様々な経験を積ませていただいております。3年前に就職か進学か悩みましたが、今は進学してよかったなあと感じております。博士後期課程学生として2年間過ごして来た今になって、見えてきたことがいくつかあります。この学生の声では、その中の2つについて書きたいと思います。

1つ目は「研究指導」です。私は研究の1テーマを学士4年の学生と遂行しています。彼は研究を行ったことがないので、研究とは何か、どのように進めて行けば良いのかなど、私の独断と偏見で、時にはこちらが教わりながら、指導しています。現在2人で行っている古典力学の勉強会で、彼が理解できた目を輝かせているのを見て、私も充実感を得ています。教科書をありのまま受け入れそれを覚えるという受験勉強法から脱却できたことが彼にとって大きいと思います。このような先輩から後輩への指導は、私が研究室に配属された当初からありました。しかし、最近では学生間で深く指導するということが失われているように感じます。引原研究室は各学生で研究テーマが大きく異なることもあり、学生間の自発的な指導と議論が不可欠です。自分の研究を後回しにしてでも後輩を親身になって助けることが互いの研究テーマを深く理解し、また自分の知識を広げることにも繋がると思います。正に「情けは人のためならず」(?)です。教育もまた同じなのかもしれません。

2つ目は「研究環境」です。私は平成20年の冬に3ヶ月間、イギリスのアバディーン大学に研究滞在する機会を頂きました。その主な理由は受け入れ機関に実験設備が充実しているからでしたが、実状は全く違いました。実験装置は分解され、必要な測定装置はないという環境で、かなり工夫を要しました。また誰も助けてはくれませんでした。このような経験を通して、私がある引原研究室の研究環境が如何に素晴らしいかに改めて気付くことができました。この研究環境が当たり前ではないということを常に念頭に置きながら、残りわずか(?)になった学生としての研究生活を堪能したいと思っています。

教室通信**エレクトロニクス・サマーキャンプ開催報告**

須田 淳・蛭原 義雄・山末 耕平・佐藤 宣夫

エレクトロニクス・サマーキャンプを9月28～30日の3日間の日程で吉田キャンパスにて開催しました。このイベントは、電気電子工学科が主催する在学生のための課外学習プログラムで、学生本人の意志で自主参加する形を取っています。目標達成型の課題に3日間かけてじっくりと取り組み、創意工夫や試行錯誤を繰り返しながら、最終的に目標を達成するという体験をしてもらうという趣旨で、昨年度から始めました。3日目の午後にはコンテスト（学生、教員、洛友会会員に公開）という形で学生達に成果を披露してもらい、優秀なチームや個人には学科長名で賞を授与しています。（洛友会の後援を得て副賞として図書カードも贈呈。）昨年は1回生のみの実施でしたが、参加した学生から大変好評だったので、今年は、2回生、3回生向けのテーマも用意して、3学年に対して実施しました。基本方針は電気電子工学科企画・広報委員会で議論し、具体的な企画・運営は、4名の若手教員と約10名のTAで行いました。キャンプと称していますが、実際に宿泊するわけではありません。時間を気にせず、仲間とコミュニケーションを密にしてキャンプの気分で充実した時間を過ごしましょうという意味でこの名称を使っています。（今回、2日目に徹夜で製作・調整に取り組んだ学生が数名いましたので、名実共にキャンプとなりました。）各学年の課題は以下の通りです。

1回生「LEGO Mindstorms によるロボット製作」 去年に引き続き、柿ピーナッツの柿の種とピーナッツを分別するロボットを製作するという課題に、8チーム、22名の学生が挑戦しました。最終日には、ルールや採点方法が規定された本格的な競技会が、TAによる司会と審判のもと開催されました。うまく動いていたものが本番で誤動作したり、競技の僅かな待ち時間にプログラムを組み替えるなど、波乱や緊迫感に富んだ競技会で、観戦者も大いに楽しむことができました。最優秀賞、優秀賞に輝いた2チームのロボットの完成度は非常に高く、ほぼ満点に近いスコアを獲得しました。その他、独創的なロボットを作成した2チームには技術賞ならびにうけたDE賞が授与されました。

2回生「Programmable System-on-Chip を使って音のでるものを作ろう」 アナログ、デジタル機能ブロックをもつワンチップマイコン（Cypress PSoc）を用いて、何でも良いから音のでるものを作ろうというテーマに12名の学生が個人で取り組みました。最初の1日半は、PSocの活用方法についてのセミナーが開催され、その後、学生達が各自のアイデアを実現すべく製作に取り組みました。多機能オルゴールやゲーム、楽器、脈拍を音にする装置など、技術、アイデアに優れた多数の作品がコンテストで披露されました。高校時代から電子工作やプログラミングをしているような猛者もいましたが、ワンチップマイコン、電子工作は全くはじめてという学生も賞を受賞しており、経験を問わず幅広い学生に対応できる課題であることが確認できましたので、来年もこの課題で実施する予定です。

3回生「走査型プローブ顕微鏡の製作」 これまでに授業や学生実験で習った制御工学と電子回路の知識を用いて、走査型プローブ顕微鏡の試料-表面間距離制御系の設計と製作を行いました。ナノスケールの表面形状像という結果が目に見える形で得られることもあり、参加者全員で驚きと満足感を共有することができました。初めて像が得られた際には、自然と拍手がわき起こりました。3回生向けサマーキャンプは今回が初回ということで少人数での開催でしたが、教員、TAの目が行き届き、参加した学生間の交流も密で全体の一体感が感じられる良いキャンプとなりました。

学生達が、苦勞の末に目的を達成する喜びを自然に感じ取ってくれる様子を見て、企画・運営にかかわった教員、TAも大きな達成感を味わうことができました。サマーキャンプの様子についての詳細は、以下のURLをご参照下さい。 <http://www.s-ee.t.kyoto-u.ac.jp/ja/summercamp>

賛助会員の声

ロームにおけるフォトニクス研究開発

ローム株式会社 フォトニクス研究開発センター センター長 大 西 大

1. はじめに

ローム株式会社は、LSIをはじめとする電子部品の生産、販売をする会社です。LSIはシリコンを材料として用いていますが、それ以外にも、化合物半導体を材料とする発光ダイオード、レーザーダイオード等の光デバイスの生産、販売も行っています。私の所属するフォトニクス研究開発センターでは、現在生産、販売している光デバイスの次世代を担う、新製品の研究・開発を行っています。本稿では、我々が取り組んでいる光関連の研究開発について、その一部をご紹介します、企業へ就職を考えておられる方々の参考になれば幸いです。

2. 研究開発テーマの種類

入社して研究開発部門に入社した人は、まず、研究開発テーマを決定します。テーマは、トップダウンで決まっているものもあれば、ボトムアップで決まるものもあります。企業研究ですので、最終的には会社の売り上げとなり、社会に貢献できることが必須です。研究開発テーマにも段階があり、事業化に目処が付き始めている「開発」に近いもの、まだまだ未知の要素がたくさん残っている「研究」に近いもの等があります。「開発」に近いテーマは、当然、売り上げの見込みが見えてきており、試作品に対するお客様からの評価を直接聞けるなど、自分の仕事が社会に与える影響を肌で感じることができます。一方、「研究」に近いテーマでは、頻繁に発生する未知の現象をどう解釈して、どう対処するか、大学での研究と似た面白さを感じることができます。何れの段階のテーマでも、それぞれの楽しみが存在します。

3. ロームでのフォトニクス関連の取り組みについて

フォトニクス研究開発センターでは、レーザーダイオードの新機種に関する設計・検討、表面プラズモンを用いた新しいバイオセンシングデバイスの開発、室温で動作する小型で簡便なテラヘルツ受発信素子の開発、従来よりも高精度なジャイロセンサーの開発等を行っています。

また、シミュレーションを専門に行うチームもセンター内に置いています。問題点の洗い出し、その解決手法の模索を日々行いますが、実験と並行してシミュレーションを多用することで、複雑に絡み合うパラメータの中から問題となるパラメータを早期に見つけ出すことができ、実験回数の削減（開発時間の短縮）にもつながります。全ての開発テーマに対して、実験とシミュレーションの両面から取り組んでいます。

メンバー間の情報交換、データに関するディスカッションの場も重要と考えています。メンバーが密に連携できる雰囲気作りにも積極的に取り組んでいます。

4. 社外との交流と産学連携

情報交換は社内だけにとどまらず、社外とも積極的に行っています。例えば、お客様が事業部門との打ち合わせで来社される際に、研究開発テーマも併せてご紹介することがあります。世の中のニーズを

いち早く捉え、研究開発テーマの方針へフィードバックします。担当している研究開発品をお客様にどのような形態でお使い頂くのか、出口を常に意識しながら研究開発することが大切だと考えます。

また、産学連携も積極的に取り組んでいます。大学や研究所には、最先端で、かつ広い分野の多種多様な英知がそろっています。デバイスの開発に必要なのは、ある特定の分野の知識だけではありません。例えば、私の担当している部門では、すべてのテーマに光や電磁波が絡んでいますが、決して電気系の知識だけで成り立ってはいません。デバイスは温度により示す特性が異なることから、熱や応力に関する知識も必要としますし、材料物性に関する知識、時には生体反応や蛋白質に関する知識も必要です。専門的で広範囲な分野に渡る問題を早急に解決するには、大学や研究所の力をお借りするのが良い手法と考えます。

京都大学とも、フォトニック結晶に関する産学連携を行っています。長期にわたり様々なご指導を賜り、現在は新型レーザーの量産化に向けて準備しているところです。

5. 在学生の皆様へ

上述のような職場にて働いており、会社でも多くのことを教わってきましたが、実は大学の先生から教えて頂いた言葉を2つ、今も大切に実行しています。1つは、「人の1.2倍頑張る。これを繰り返していると、長い年月が経った後、ライバルとの大きな差となって現れる。」というものです。自分で目標と設定しているところより、1.2倍ほど仕事を多くこなすよう努力しています。その結果、充実した社会人生活を送ることができていると感じています。もう1つが、「必ずできるという信念をもって取り組む。」というものです。物理的に間違ったことをしていなければ、という前提付きですが、必ずやり遂げるという信念を持っている人が、身の回りでは成功している確率が高いと思います。一度きりの人生ですので、自らの信念を持って頑張りぬきたいものです。

在学生の多くの方が企業へ就職されることでしょう。ともにエンジニアとして、社会に貢献できる日が来ることを楽しみにしています。

編集後記

編集のお手伝いをさせて頂いて約2年になります。編集作業の中で、学生さんの学位論文紹介記事を読ませて頂くのですが、これが割と良い勉強になっていることに最近気付きました。博士論文で1ページ、修士論文で120字程度なのですが、研究室のアクティビティーを簡潔に理解する良い機会になっています。自分の研究に生かせるのでは無いかと感ずることも多くあります。この分量ならば、忙しくてもちょっとしたときにパラパラとめくって読むことができるので、分野横断的な研究につながるのではないかと期待されます。その他、色々な活用法があると思います。今後とも、様々な形で是非CUEをご活用頂ければ幸いです。

[T.N. 記]

協力支援企業

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

発行日：平成22年3月

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

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

印刷・製本：株式会社 田中プリント

