

cue

京都大学電気関係教室技術情報誌

NO.16 OCTOBER 2006

[第16号]

.....
卷頭言

木村 磐根

.....
大学の研究・動向

.....
高機能材料工学講座 クラスターイオン工学部門
集積システム工学講座 大規模集積回路分野
エネルギー理工学研究所 複合系プラズマ研究分野

.....
産業界の技術動向

.....
洛友会副会長 IEC評議会日本代表委員 松下電器客員 三木 弼一

研究室紹介

博士論文概要

学生の声

教室通信

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。

巻頭言

時間の使い方の今昔

昭和30年卒 名誉教授 木村 磐根



私の卒業研究は50年あまりも前のことである。その頃には計算といえば計算尺かタイガー計算機程度、コピー機もなく、卒業論文は勿論自筆であり、原稿の段階で十分推敲して清書をする必要があった。図面は烏口を使って手描きであり、卒論提出日の直前には図面作成に2晩徹夜をした記憶がある。今の学生には高速の計算機があり、研究のための計算も勿論超高速に行われる。論文の原稿は計算機のワープロ機能を使うと簡単に推敲もできる。またLATEXなどを使うと活版印刷したような綺麗な原稿が完成する。図面も計算機で意のままに作図できる。学生一人が学部卒業あるいは修士課程修了までに研究に使う時間の昔と今の比を考えると、おそらく何十分の一かに減っていることになる。このように時間の使い方の効率が良くなったので、現在の学生にとって残りの時間がどのように有効に使われているのだろうか気になるところである。

私が京大を10年前に定年で退職してから9年間お世話になっていた私立大学でも多人数の卒業研究、修士課程学生の研究指導を担当してきた。その対象になった学生の範囲だけでみても、大部分の学生は4年生に関しては、就職が決まってからも、後のほとんどの時間をアルバイトに当てていたように思えた。自分の時間の使い方の優先度はクラブ活動なども稀にはいたが、まずはアルバイトであり、勉学や卒業研究のために使う時間の順位は最後の方である。勿論アルバイトにも価値のあるものもあるだろう。ただ大昔のように学資のために苦学する学生は少ないし、大学時代に何を身に付けるべきかをちゃんと考えている学生も意外に少ないように思われた。従って昔苦労した時代の時間が、コンピュータのお蔭で節約できた分、無為(?)なアルバイトなどに回っている人が多いのではないかという印象が強い。

先述のように昔は一見効率の大変悪い勉学と研究を行っていたことになるが、時間の流れも今よりずっと遅く感じ、結構ゆっくり考える時間的余裕があった様に思う。

一方研究者にとっても分野にもよるが、計算機を道具として活用できる研究は進捗も早いのではないだろうか。ただ国立大学の先生方にお聞きすると、大学が法人化になってからは、研究費を自ら獲得したり、その後の評価のための資料作成などに使う時間が昔と比べて大幅に増加したそうである。良し悪しは別にしてこれも時間の使い方の大きな変化である。

私は昨年3月に第2の就職先も退職し、自由度の大きい身分になった。お蔭で新しい発見などもある。例えば昼間にテレビを見る機会もしばしば出来た。午後早々に、ある放送局に「スタジオパークからこんにちは」と言う番組があり、毎回芸能人や有名な科学者など一人をゲストに招き、男女二人のアナウンサーが対談しながら過去からのエピソードや、現在までの経緯・動機などを紹介する番組である。それらの人々の生き様を見ると、動機は人により大いに異なるが、若いときの大変な苦労と努力は共通している。大阪工大在職中、船井電機株式会社船井哲良社長の学生向けの講演をお聴きする機会があった。若い頃大変な苦労をなさって今の大会社を作られた方である。お話の中で特に若い人に「偉人や成功した人の伝記を読みなさい」というアドバイスがあった。偉人や成功した人は苦労をした人が多いから参考になることが多い。学生諸君には時間の有効利用としてお勧めしたい。

IT社会でいろいろな面で時間の使い方の効率が昔に比べて格段に上がったことは先述したが、今後の社会ではその環境が当たり前であり、その傾向が助長されてゆく。その意味では各自が自由に使える時間が増えていっている筈である。一方趣味や、学ぶ内容が昔に比べて圧倒的に多彩になり、そのようなところにも時間を有効に使って創造性豊かな人生を送るといふ、新しい時間の使い方が可能となった。要は時間をどの様に有効に使うかがその人の将来の豊かな生き方とも結びつくのであろう。

大学の研究・動向

イノベティブ材料・プロセスの開発 —— クラスタイオンの基礎から応用 ——

イオン工学実験施設 高機能材料工学講座 クラスタイオン工学部門
教授 高岡 義寛
gtakaoka@kuee.kyoto-u.ac.jp
講師 川下 将一
kawashita@kuee.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

将来世代の人々にとって幸せで便利な社会を構築するために、人間生活を支える材料・デバイスの分野において、ナノテクノロジーを駆使した物作り技術の革新（イノベーション）が掲げられている。原子・分子レベルでの材料プロセス技術や分析・評価技術の進展は、これまでの科学技術の限界を突破し、革新的なナノプロセス技術の開発を促進させると考えられている。また、近未来の資源枯渇を回避し、持続可能な社会を構築するために、再生・再利用可能な材料の創製が注目されている。（例えば、イオン液体は、蒸気圧は極めて低く、透明で電気伝導性を有しており、水やアルコールなどの液体とは混ざらない、しかも何度でも再利用できる新しい溶媒材料として注目されている。）また、現在の半導体デバイスの製造工程では、洗浄過程は全工程の3分の1を占める重要な工程であるが、次世代デバイスの製作には洗浄機能以外の機能を持った液体材料の開発が注目されている。さらに、21世紀に入って、高齢化社会の到来や自然環境との共生が叫ばれる中で、革新的なバイオ材料や環境関連材料の開発への関心は高く、それらの材料を創製するプロセス技術への要求も益々厳しくなっている。

イオン工学実験施設は工学研究科の附属施設であり、クラスタイオン工学部門ではナノサイズの塊状原子集団であるクラスタイオンの基礎から応用に関する研究を行っている。クラスタは固体、液体、気体、プラズマでもない第5の状態として物理的・化学的に特異な性質を持っている。また、我々の周囲の巨視的な世界と原子・分子が活動する微視的な世界を繋ぐ役割を果たしており、材料科学的に解明すべき重要な研究対象になっている。このような特徴を持つクラスタの生成方法には、図1に示すように、断熱膨張現象を用いたノズルビーム法など種々の方法がある。また、クラスタをイオン化・加速して材料表面に照射するクラスタイオンビームプロセスは、クラスタイオン特有の照射効果（例えば、高密度照射効果、多体衝突効果、超低エネルギー照射効果など）を活用することができるの

各種クラスタの生成と応用

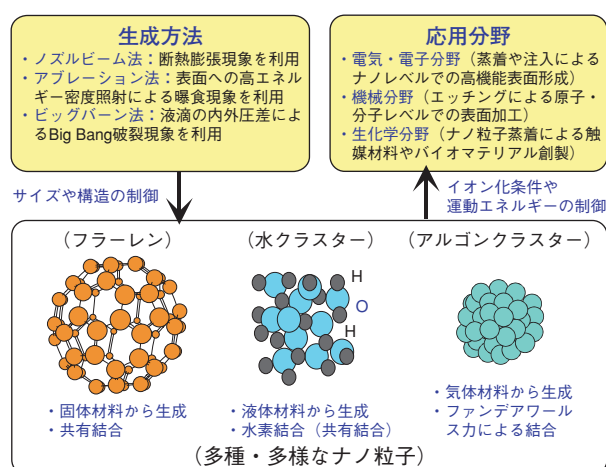


図1. 各種クラスタの生成方法と応用分野

で、様々な応用分野が拓けてくる。したがって、クラスターイオンビーム技術は、従来のイオンビーム技術の限界を打破するナノ材料プロセス技術として注目されている。このような研究背景の中で、当研究室では、革新的な材料・プロセスの探索として液体材料に着目し、液体クラスターイオンの生成と工学応用の研究を展開している。また、社会的・技術的要請に応えるために、種々のクラスターイオンを援用した高機能材料創製の研究を行っている。本稿では、これらの研究内容の概要を紹介する。

2. クラスターイオン生成

新しい材料探索の中で注目されている液体材料については、液体有機化合物のように、多種・多様な構造や化学的性質を有した物質が存在する。これらの液体有機化合物の質量分析に関する研究は古くから行われているが、原子、分子あるいはクラスター状のイオンを用いるイオンビームプロセスでは、液体材料はあまり検討されていなかった。むしろ、邪魔物扱いされていたために、また、得られるイオン電流量が極めて少ないために、液体材料のイオンを材料プロセスへ応用する研究は少なかった。当研究室では、ソフトマターとしての液体材料の多種・多様性に着目し、材料プロセス用の液体イオン源として、電界放出型や電子衝撃型のイオン源を開発している。イオン化が容易な電子衝撃型液体イオン源の場合、電子衝撃による液体分子の崩壊が生じ、分子そのものの性質が失われる。我々は、この問題を解決するキーテクノロジーとして、等価的に低エネルギーで大容量のイオンビームの輸送ができる液体クラスターイオンビーム技術の開発を行ってきた。一方、クラスターはバルク状態とは異なる特異な物理的・化学的性質をもっている。我々が目にする水であって水でない、アルコールであってアルコールでない、新しい機能を有した水やアルコールの生成がクラスター状にすることによって実現できると期待されている。これまで、水を始め、アルコール類（エタノール、メタノール）やパラフィン類（オクタン）の液体クラスターイオンの生成に成功し、その生成機構の解明や材料プロセスへの応用に関する研究を行ってきた。

図2は液体クラスターイオンビーム照射装置の概略図である。細管を通して液体物質を液体ソースに導入し、ガラス製の覗き窓を通して目視にて所定の導入量を確認した後、バルブを閉じる。さらに、液体ソースの温度は周囲に巻かれたヒーターに電流を流すことによって制御でき、200℃まで加熱できる。加熱された液体物質の蒸気は、液体ソースの一端に接続されているノズル喉部の小孔を通して真空中に噴射される。このとき、断熱膨張によって塊状分子集団すなわちクラスターが生成される。さらに、生成されたクラスターは、形状がコーン状のスキマーを通過してイオン化部に導入され、電子衝撃によってイオン化される。イオン化されたクラスターイオンは、イオン化部から引き出された後、質量分離器に導入され、減速電界法によってサイズ分離される。サイズ分離されたクラスターイオンは加速され、ファラデーカップ内に装填された基板に照射される。

1個のクラスターを構成する分子数（クラスターサイズ）について、減速電界法や飛行時間型質量分析法によってサイズ測定を行った。ここでは、クラスターイオンは1価イオンと仮定しており、殆どの構成分子は中性状態と考えている。その結果、クラスターサイズは数百～数万分子に分布し、ピークサイズとしては、水クラスターイオンでは約2500分子、エタノールクラスターイオンでは約1000分子であることが分かっている。エタノールは水に比べて表面エネルギーは小さく、安定に存在できる最小の核（臨界核）ができやすいため、比較的小さなサイズのクラスターが生成される。なお、比熱比が小さなオクタンの場合、オクタン蒸気のみではクラスター

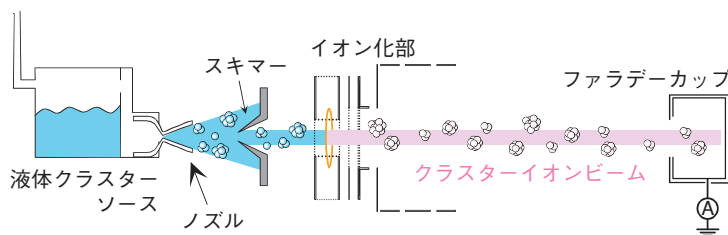


図2. 液体クラスターイオンビーム装置の概略図

を生成することが難しく、ヘリウムガスと混合してノズルから噴射させる必要がある。これまで、種々の液体クラスターイオン以外にアルゴン、酸素などの気体クラスターイオンの生成も行っている。

3. 表面反応プロセス

クラスターイオンと固体表面との相互作用はピコ秒からナノ秒の瞬時の多体衝突過程である。液体クラスターイオンの場合、その化学的特性を併用することによって、瞬時の反応速度にも対応できる化学反応の活性化や選択性の制御、あるいは固体表面の親・疎水性や潤滑性などの制御、付加・置換反応による表面改質などを行うことができる。また、固体表面への1個のクラスターイオンの照射領域は、ナノメートルオーダーの極微細領域である。しかもイオンの運動エネルギーを利用することができるので、固体表面の特定の原子結合を切断したり、表面を局所加熱したりすることが可能となる。したがって、従来のイオンビーム技術では得られないクラスターイオン特有の表面反応や表面照射効果が得られる。

図3は、種々の金属や半導体表面に水やエタノールクラスターイオンを照射したときのスパッタリング率を示す。イオンの入射エネルギーは9 keVで、比較のためにアルゴン (Ar) のモノマーイオンを照射した場合も示してある。図に示すように、クラスターイオン照射では、Arモノマーイオン照射に比べて10倍から数百倍のスパッタリング率となっている。特に、エタノールクラスターイオンをシリコン (Si) やアルミニウム (Al) に照射した場合、極めて高いスパッタリング率が得られており、固体表面で化学的スパッタリングが生じていると考えている。半導体分野で用いられているウエットプロセスでは、水やエタノールは固体表面の洗浄に用いられているが、表面をエッチングすることはできない。液体クラスターイオン照射では、照射領域が等価的に極めて高い温度になるため、化学反応が促進されて表面エッチングが生じやすくなると考えている。

さらに、水やエタノールクラスターイオンをSi表面に照射した場合、図4に示すように、水の接触角が大きく変わる。水クラスターイオン照射では、接触角が5°以下の超親水性となり、エタノールクラスターイオン照射では90°以上の撥水性になる。液体クラスターイオン照射では、材料表面の親・疎水性などを照射条件によって制御することができ、液体材料自身の化学的性質を活用した表面改質を実現できる。また、エッチングされた表面は、平均の表面粗さが1 nm以下の超平坦な表面が形成されている。このように、液体クラスターイオンビームプロセスは、従来のウエットプロセスでは実現できない表面処理を可能にする表面反応プロセスとして注目されている。

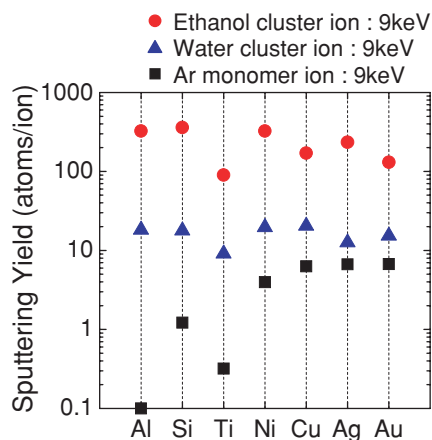


図3. クラスターイオンおよびArモノマーイオン照射によるスパッタリング率

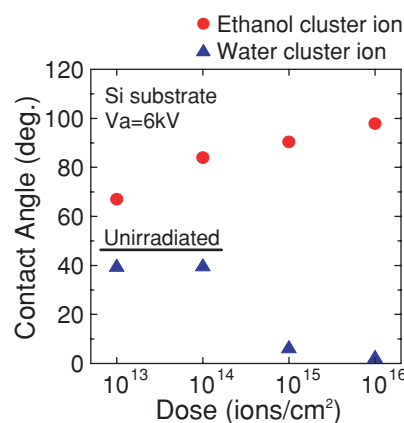


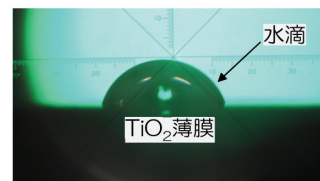
図4. クラスターイオン照射したSi基板表面上の水の接触角のドーズ依存性

4. 高機能材料創製

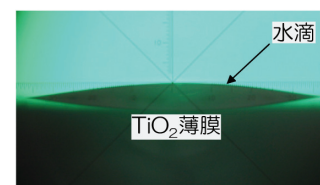
高度情報化時代におけるデバイスは、益々高密度化、高集積化が要求されている。また、材料については材料自身の性質のみならず、その表面・界面をも原子レベルで制御された高機能材料の創製が要求されている。その中で、超微細領域の表面・界面を原子・分子レベルで制御できる材料プロセス技術として、クラスターイオンビーム技術は注目されており、様々な工学分野や生化学分野で応用されている。ここでは、環境・バイオ時代への対応として、クラスターイオンビームを援用した光触媒材料や医用材料の創製について紹介する。

4.1 光触媒材料創製

チタン酸化物 (TiO_2) は、ルチル型、アナターゼ型、ブルックサイト型の結晶構造をもつ半導体材料であり、特に光分解反応や光親水性など、優れた光触媒特性を示す材料として注目されている。例えば、 TiO_2 薄膜表面にバンドギャップに対応する波長より短い紫外線を照射すると、紫外線は吸収され、表面に水酸基ラジカルが生成される。この水酸基ラジカルは極めて強い酸化力をもつため、 TiO_2 薄膜の表面に付着した有害な有機物などを CO_2 や H_2O に分解する。そのため、抗菌・殺菌作用もあり、環境に優しい材料として注目されている。さらに、光親水性の触媒機能を活用した防曇カガミや防露ガラス、防カビタイル用薄膜材料として、光学、環境分野などに幅広く応用されている。当研究室では、このような特徴をもつ透明な TiO_2 薄膜を酸素クラスターイオンビーム援用蒸着法によって作製し、高活性な光触媒材料の開発を行っている。図5に示すように、結晶構造や結晶性を制御して作製した TiO_2 薄膜上に滴下した水滴は、紫外線照射によって薄膜表面に広がっており、超親水性の表面形成が行われているのが分かる。すなわち、紫外線照射によって、水滴付着による TiO_2 薄膜表面の曇りを防止できることが分かる。また、 TiO_2 薄膜の光分解反応を明らかにするために、メチレンブルー水溶液を用いてその透過特性を調べ、アナターゼ型とルチル型の混在した多結晶状態の TiO_2 薄膜では、紫外線照射によってバルク状態と同程度の有機分子の光分解反応を示すことが分かっている。



照射開始時 接触角約80°



照射30分後 接触角約15°

図5. 紫外線照射した TiO_2 薄膜上に滴下した水滴の形状変化

4.2 骨類似アパタイト創製

一般に、人工材料を骨の欠損部に埋入すると、生体はこれを線維性被膜で取り囲み、周囲の骨から隔離しようとする。これは、我々の身体の正常な防御反応であるが、このために人工骨などの人工材料を骨欠損部に安定に固定することが難しい。しかし、ある種のガラスやセラミックスは、骨欠損部に埋入されると、線維性被膜で取り囲まれることなく、骨と直接接し、強固に結合する。これらは生体活性セラミックスと呼ばれ、既に重要な骨修復材料として実用化されている。生体活性セラミックスと生体骨との界面を詳細に観察してみると、セラミックスと骨とが直接結合しているのではなく、両者の界面には、骨の無機成分であるアパタイトに似た構造と組成を有するセラミック層（骨類似アパタイト層）が存在することが分かる。このことから、人工材料が骨と結合する（生体活性を示す）ための条件は、体液環境下でその表面に骨類似アパタイト層を形成する（アパタイト形成能を示す）ことであるといえる。

一方、現在、人工靭帯には、ポリエチレンテレフタレート（PET）の2次元織物が主に用いられている。しかし、PETは、そのままでは生体活性を示さないので、移植後、PET織物表面を覆う線維

性組織を介して周囲の骨と結合する。従って、骨との結合は弱く、生体との一体性に乏しい。その結果、回復までの治癒期間が長期化するという問題点がある。そこで、PETに生体活性（アパタイト形成能）を付与できれば、PET織物は、移植後、アパタイト層を介して骨と直接結合するので、回復までの治癒期間が著しく短縮できると期待される。これまでに、PETなどの高分子材料にアパタイト形成能を付与する方法としては、生体活性を示す無機層をゾル・ゲル法により高分子上にコーティングする方法が提案されてきたが、アパタイトがゲル層を介して形成するため、アパタイトと高分子との接着強度があまり高くないという問題点がある。

クラスターイオンビーム技術は、ダメージを与えることなく、高分子表面を効果的に改質できるので、高分子材料にアパタイト形成能を付与する方法として有効である。例えば、ポリエチレン（PE）基板に酸素モノマー・クラスターイオンビームを混合照射（ O_2mc イオンビーム照射）し、これをヒトの体液の約1.5倍の無機イオン濃度を有する擬似体液（1.5SBF）に36.5℃で7日間浸漬すると、図6に示すように、未照射のPE基板はアパタイトを形成しないが、 O_2mc イオンビーム照射したPE基板は骨類似アパタイト層を形成する。これは、 O_2mc イオンビーム照射により、アパタイトの核形成を誘起するCOOH基などの官能基がPE基板表面に生成するためと考えられる。

また、基板のアパタイト形成能は、イオンビーム照射後の $CaCl_2$ 処理により向上する。これは $CaCl_2$ 処理によりアパタイトの核形成を促進する Ca^{2+} イオンが基板表面に導入されるためと考えられる。以上より、疎水性のPE基板に O_2mc イオンビームを照射し、これを $CaCl_2$ 処理することにより、同基板に高いアパタイト形成能を付与できることが分かる。現在、アパタイト形成に最適なイオンビーム照射条件を見出す研究が進められつつある。本手法は、高分子材料に生体活性を付与する新規な手法として国内外から注目されている。また、本研究の成果が実用化されれば、これまで主に半導体分野で用いられてきたイオン工学的手法を生体材料に応用する道を切り拓くものとして、新たな医療産業のシーズとなると期待される。

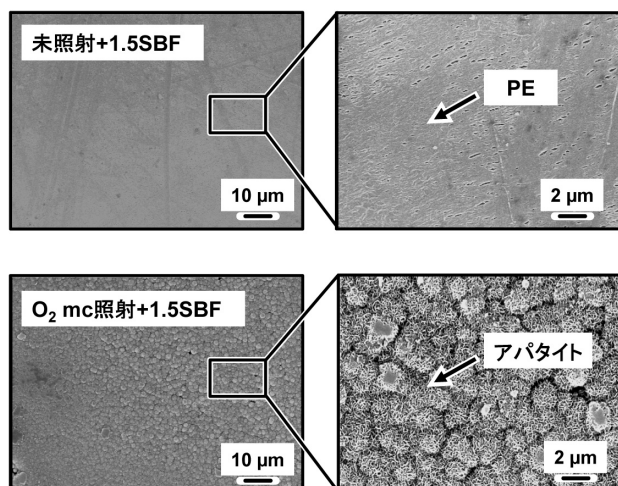


図6. O_2mc イオンビーム照射後、1.5SBFに7日間浸漬したPE基板の走査型電子顕微鏡写真

5. おわりに

革新的な材料・プロセスの探索として、クラスターイオンの基礎から応用に関する研究を行っている。ここでは、次世代の材料表面プロセスとして注目されている液体クラスターイオンビームプロセスの特徴の一端を紹介した。また、クラスターイオンビームを用いた光触媒材料やアパタイトの高機能薄膜創製では、従来のゾル・ゲル法による薄膜とは異なり、表面が平坦で、固体表面との接着力も良く、均一で高機能な薄膜が形成されることを紹介した。イノベティブ（革新的）材料創製には、従来の熱的、化学的手法では自由度が少なく、クラスターイオンビームプロセスのように、クラスターイオンの種類やサイズ、運動エネルギーなどを自由に制御できる革新的なプロセス技術の開発が重要となっている。

高度情報化社会を支える集積回路

情報学研究科 通信情報システム専攻 集積システム工学講座 大規模集積回路分野
 教授 小野寺 秀 俊
 助教授 小 林 和 淑
 助手 土 谷 亮

1. はじめに

1959年に数個の素子の集合として誕生した集積回路（LSI）は、今や1億以上の素子を集積したシステムLSI（SoC: System-on-Chip）が開発されている。当研究室で1984年に設計したLSIは、ゲート長が $3\mu\text{m}$ であった。一方、2004年に設計したLSIでは 100nm ($0.1\mu\text{m}$)であり、30分の1に微細化した（図1参照）。20年前のコンタクト穴の中に、インバータゲートが3個入る。このような集積度の劇的な向上はいわゆるムーアの法則として知られており、今後も同様のペースで続くことが期待されている。本稿では、まず、LSIの技術動向を概観し、その設計技術が直面する課題を説明する。ついで、当研究室における取り組みの幾つかを紹介する。

2. 集積回路の技術動向と課題

集積回路関連の産業界では、半導体技術ロードマップが定期的に作成されている。これは、中長期に渡る集積回路の発展動向と、それを可能にするための各種技術の開発目標をまとめたものである。このロードマップでは、2004年に 90nm であった技術世代（図1右）が、2016年には 22nm に縮小すると予想している。この世代で量産されるDRAMは、 16GB の容量を持っており、世界人口の2倍以上のトランジスタが1チップ上に集積化される。また、プロセッサのクロック周波数は 40GHz であり、ミリ波の領域に入っている。1クロックの周期は 25ピコ秒 しかなく、チップ内の信号（電磁波）は、1クロックでは約 4mm しか届かない。このような微細化・集積化トレンドを実現するためには、LSI設計技術に関して数多くの課題が存在する。微細化や大規模化に関係した本質的な問題としては、消費電力の増大、配線特性の劣化、製造性の劣化と素子特性ばらつきが増大が挙げられる。

消費電力の増大 LSIの低消費電力化は、これからのLSI設計における最重要課題といっても良い。電池駆動の携帯機器用LSIの低消費電力化はもちろん、据置き機器用LSIでも、消費電力の制約により集積度が制約される状態になりつつある。例えば、あるサーバー用プロセッサの消費電力は 130W である。チップ表面の熱密度は、ホットプレートの30倍以上になっている。プロセス技術や回路設計

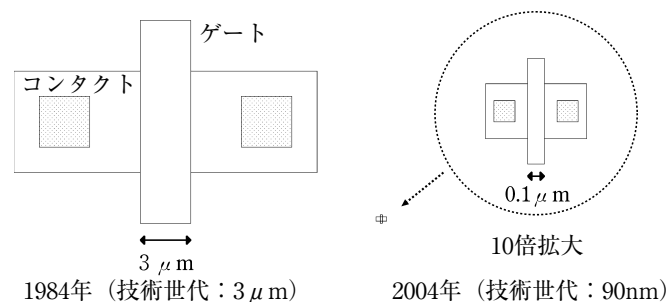


図1. 1984年と2004年における最小寸法トランジスタの比較

技術、アーキテクチャやシステム設計技術、ソフトウェア設計技術など、すべての技術階層における消費電力削減努力の積み重ねが重要である。

配線特性の劣化 トランジスタの微細化と共に、配線も微細化されている。微細かつ密集した配線では、配線抵抗と配線容量が増加し、配線における信号遅延の増大や、配線間クロストークノイズが発生する。特に、長距離配線における遅延時間の増加が深刻な問題となっている。現在は、長距離配線の途中にバッファを挿入し、配線1本あたりの長さを短く押さえる方法が用いられている。しかし、微細化と共に必要なバッファ数が急増しチップ面積や消費電力も増加する。

製造性の劣化と素子特性ばらつきの増加 現在、フォトリソグラフィ用光源は限界近くまで短波長化が進んでいるが、その波長は193nmである。現在の最先端プロセスは65nmで、波長の数分の1の寸法の加工を行っている。各種の解像度拡張技術を駆使して、ようやく加工しているのが現状であり、微細素子の製造性が劣化している。また、素子形状や不純物原子数のゆらぎなどによる素子特性のばらつきが増加している。従来は、素子特性の最悪値を用いて設計をしてきたが、ばらつき幅の拡大に伴いもはやワーストケースでは設計出来ない状況になってきた。ばらつきの統計的性質を考慮した設計技術や、ばらつきの補償、更には積極的に活用する設計技術が必要である。

3. 高性能集積回路の設計技術

前章で説明した課題に対する当研究室での取り組みの中から、回路設計における低消費電力化設計技術、チップ内高速信号伝送技術、再構成デバイスにおけるばらつき活用技術について説明する。

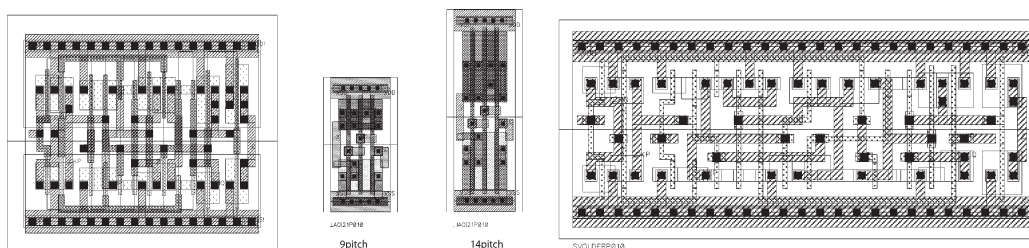


図2. 生成したスタンダードセルライブラリの例。左より：0.18 μm プロセスのDフリップフロップ、0.35 μm プロセスのAOIゲート（2種類）、0.13 μm プロセスのリセット機能付Dフリップフロップ

3.1 オンデマンドライブラリを用いた低消費電力回路設計技術

システムLSIは、スタンダードセルと呼ばれる規格化された論理ゲートのライブラリを用いて設計するのが一般的である。通常、このライブラリは製造プロセス毎に予め用意され、そのプロセスで製造される製品に共通に用いられる。しかし、設計対象の回路規模や要求特性は多岐に渡るため、望ましいライブラリは回路毎に異なる。そこで、設計対象毎に最適なライブラリをオンデマンドで生成することにより、無駄な電力消費のない高性能回路を設計する技術を開発し、実際のチップ試作によりその効果を実証した。更に、設計途中に個々の論理ゲートの最適化を行い、無駄な電力を極限まで削減する方法を開発した。本技術により、消費電力を約半分に削減することが可能である。現在、生成ライブラリの製造容易性を向上する技術の開発に取り組んでいる。

なお、本技術は、通常のスタンダードセルライブラリの開発にも適用可能で、品質の高いライブラリ

を短期間で設計できる。0.35 μm から 90nm に至る各種のプロセスでライブラリを作成した。このうち、0.35 μm と 0.18 μm のライブラリは一般に公開しており、国内の大学等で実際の設計に用いられている。自動生成したセルライブラリの一例を図 2 に示す。

3.2 チップ内高速信号伝送技術

従来から、チップ上の配線特性の劣化はチップ全体の性能を低下させると言われてきた。それに加え、近年マイクロプロセッサはマルチコア化の傾向にあり、チップ内で高速・大容量の通信を行なうことができる信号伝送技術の開発が求められている。この問題に対してはアーキテクチャから物理的な回路設計まで様々な検討が行なわれており、当研究室では物理的な設計技術とモデル化技術について検討している。

高速・大容量を実現する技術として考えられているのが、チップ内高速シリアル伝送である。例えばパラレルバスが USB や IEEE1394 によって置き換えられているように、通信のシリアル化によって高速化を実現した例は多い。そのため、チップ内でもシリアル化によって高速信号伝送が可能になると期待できる。これまで、チップ上では図 3 のようなパラレル伝送が行なわれてきた。しかし、この方

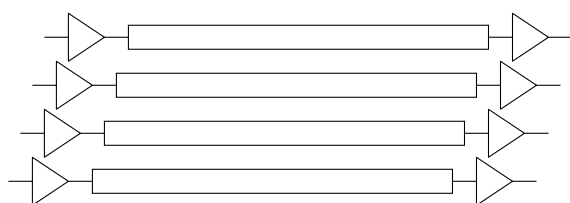


図 3. パラレル伝送のイメージ

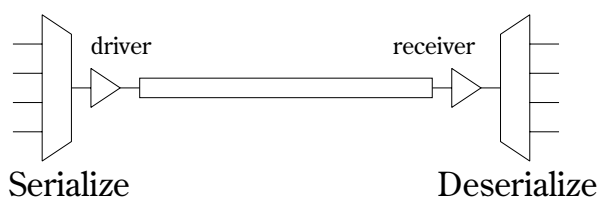


図 4. シリアル伝送のイメージ

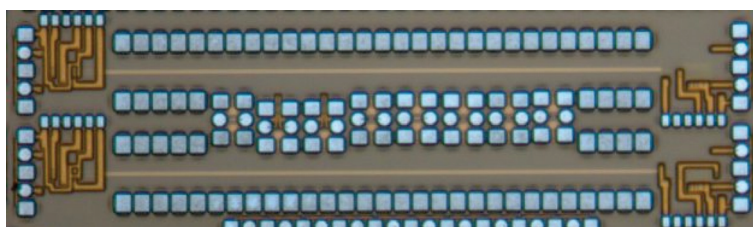


図 5. 90nm プロセスで試作した信号伝送回路（線路長 3mm）

式はノイズの影響や電源電圧のゆらぎなどの影響により各配線の同期が難しい。また、配線の面積も多く必要とする。これを図 4 のようにシリアル伝送にすることで高速化する。当研究室では、このシリアル通信の核となる配線、ドライバ回路、レシーバ回路を 90nm プロセスを用いて試作し、実際に信号伝送を確認した。また、実際に試作を行なう一方で設計手法の確立を目指し、各要素のモデル化、最適化技術についても検討を進めている。

3.3 再構成デバイスにおけるばらつき活用技術

近年の 100nm 以下まで微細化された半導体製造プロセスにおいては、チップ内の特性ばらつきによる動作不良、歩留まりの低下などが深刻化している。基板バイアス制御など、回路側からばらつきによる速度の変動をキャンセルする技術に関する研究も盛んである。当研究室では、チップ内ばらつきをそのまま利用するという逆転の発想を元に、研究を進めている。FPGA（プログラム可能なハード

ウェア)に代表される再構成回路は、NRE(初期)コストの増大とともに利用範囲を広げ、据え置きの民生品のみならず携帯電話などにもその利用が進んでいる。ある機能を持つ回路をFPGA上に実現するさい、通常はすべてのFPGAチップにおいて回路の構成情報は同じである。しかし、同じ機能の回路を実現する回路の構成情報は一つだけではない。各チップの特性ばらつきに応じて速度を最大化するように構成情報を作成すれば、各FPGAの動作速度は向上し、結果として歩留まりも向上する。

この考えに基づき、90nmプロセスにおいてチップを試作し、その動作を確認した。図6は、試作した2個のLSIのチップ写真である。左は、チップ内ばらつきを測定するためのLSI(LUTアレイ)であり、右はばらつき測定機構を組み込みかつ完全なFPGAとして動作するLSIである。



図6. (右) LUTアレイLSI、(左) ばらつきを測定可能なFPGA

4. むすび

1965年、集積規模は年率約2倍で増加するとGordon Mooreは予測した。これは、1975年までの予測として述べられたものであるが、同様の増加は現在も続いている。本稿では、設計技術分野に焦点をあて、大規模・微細化に伴う技術課題として、消費電力の増大、配線特性の劣化、製造性の劣化と素子特性ばらつきの増加をとり上げ、当研究室における取り組み内容を説明した。

集積規模の増加により、集積回路はシステムを構成する部品から、システムそのものを実現するシステムLSIへと変化した。このような集積回路の設計においては、どのようなシステムを開発するのかという本質的な問題もある。集積回路はあらゆるものに埋め込まれ、社会の多様化、分散化、ネットワーク化を促進する。集積回路が実現するサービスは、社会、経済、文化さらには人間の教育や生き方にまで大きな影響を及ぼす。集積回路の開発においても、どのような社会を作っていくのかという問題意識を持つことが大切である。

Heliotron Jの高温プラズマ閉じ込め最適化の研究

エネルギー理工学研究所 複合系プラズマ研究分野

教授 佐野 史道

sano@iae.kyoto-u.ac.jp

助教授 花谷 清

hanatani@iae.kyoto-u.ac.jp

附属エネルギー複合機構研究センター

助教授 岡田 浩之

okada@iae.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

京都大学の核融合研究は1958年に基礎物理学研究所長湯川秀樹教授のご尽力で結成された「高温プラズマ懇談会」のもとで、ヘリオトロン磁場閉じ込め実験装置Heliotron Aをもちいて開始された。その後、Heliotron B (1960年)、Heliotron C (1965年)、Heliotron D (1970年)、Heliotron E (1980年)が逐次建設され、Heliotron Eによる原理検証実験の成功を基礎に、文部省核融合科学研究所(当時)に大型ヘリカル実験装置LHD (1998年)が建設され、現在、期待どおりの良好な成果をあげつつある。一方、京都大学ではエネルギー理工学研究所附属エネルギー複合機構研究センターにヘリカル軸ヘリオトロン装置Heliotron J (2000年)が建設され、先進ヘリカル配位の新たな概念開発実験に取り組んでいる。現在、初期検証フェーズを終了し、高性能化フェーズにおける改善閉じ込め研究が進展中である。本稿ではHeliotron J実験の一翼を担う当研究室が取り組んでいる高温プラズマ閉じ込め最適化に係わる理論的および実験的研究の最近の動向について紹介する。

2. Heliotron Jの粒子閉じ込めに関するMonte Carloシミュレーション

新古典理論にもとづいたプラズマ粒子閉じ込めの性質を磁気座標系の一種であるBoozer座標における案内中心軌道を追跡するモンテカルロ・コードを用いて調べている[1]。モンテカルロ・シミュレーション技法によって、実験に対応する三つのHeliotron J配位でグローバルな閉じ込め時間を計算した。Heliotron J装置は極数 ($\ell = 1$)、周期数 ($m = 4$) のヘリカル巻線をもつquasi-isodynamic配位にもとづいている。Heliotron J磁場配位のフーリエ・スペクトルは、三つの卓越した成分をもつ：則ち、トロイディシティ、ヘリシティ、バンピネスである。このうち、Heliotron Jに特徴的なのはバンピネスであり、この成分はトーラス方向に沿った磁場強度の強弱を与える。Heliotron Jは二種のトロイダル磁場コイル (TAコイル、TBコイル) を備えており、これらのトロイダル磁場コイルの電流比を変えることによってバンピネス磁場成分を制御することができる。これらの磁場のフーリエ・スペクトルに特徴づけられる形で、Heliotron J配位はトーラス方向に磁場強度の大きい〈コーナー部〉と、磁場強度の比較的弱い〈直線部〉を形成する。〈直線部〉ではトロイダル効果は比較的小さく、したがって、良好なプラズマ粒子閉じ込め性能が期待できる。ヘリカル系のプラズマ閉じ込め装置では、いかなる厳密な対称性も存在しないために、個々の荷電粒子の軌道は極めて複雑になる。したがって、このような装置の磁場配位における粒子軌道の挙動を調べるためには、数値シミュレーションが必要になる。ここでは荷電粒子の案内中心を追跡するモンテカルロ・コードを用いる。このとき、

磁気座標系のひとつである Boozer 座標（磁力線を直線に表現できる）におけるドリフトハミルトニアンを用いた方法は、磁力線に沿った速い運動と磁力線を横切るゆるやかなドリフト運動を分離して高速で見通しのよい計算を可能にする。Heliotron J の磁場はビオ・サバルの法則を各々のコイル系について積分することで、三次元空間の位置の関数として計算される。この実空間の関数を磁力線に沿った磁場強度のフーリエ・スペクトルに変換することによって Boozer 座標が構築される。この方法は文献[2]に基づいている。

図 1 は、Heliotron J 配位の標準配位におけるプロトンの代表的な軌道を示す。（それぞれの図について、左側の図がプロトン軌道のポロイダル断面への射影、右側の図はトーラスの赤道面への射影を示す。）これらの粒子は〈直線部〉のトーラス内側の赤道面から 450eV のエネルギーで出発させたものである。図 1 (a) は、通常の通過粒子（passing particle）である。図 1 (c) は、バンピネス成分の効果で、磁場の弱い〈直線部〉に局在した粒子を示す。Heliotron J の〈直線部〉では磁場の非一様性が低減されているので、局在粒子を閉じ込めることができる。一方、図 1 (b) は〈コーナー部〉に進入することのできる粒子で〈コーナー部〉での磁場の大きな非一様性のためにプラズマから失われる。図 1 (d) は深く捕捉された粒子（deeply-trapped particle）であり、磁気面上の磁場強度が最小になるような〈井戸〉に沿って運動しプラズマ内に閉じ込められる[3]。

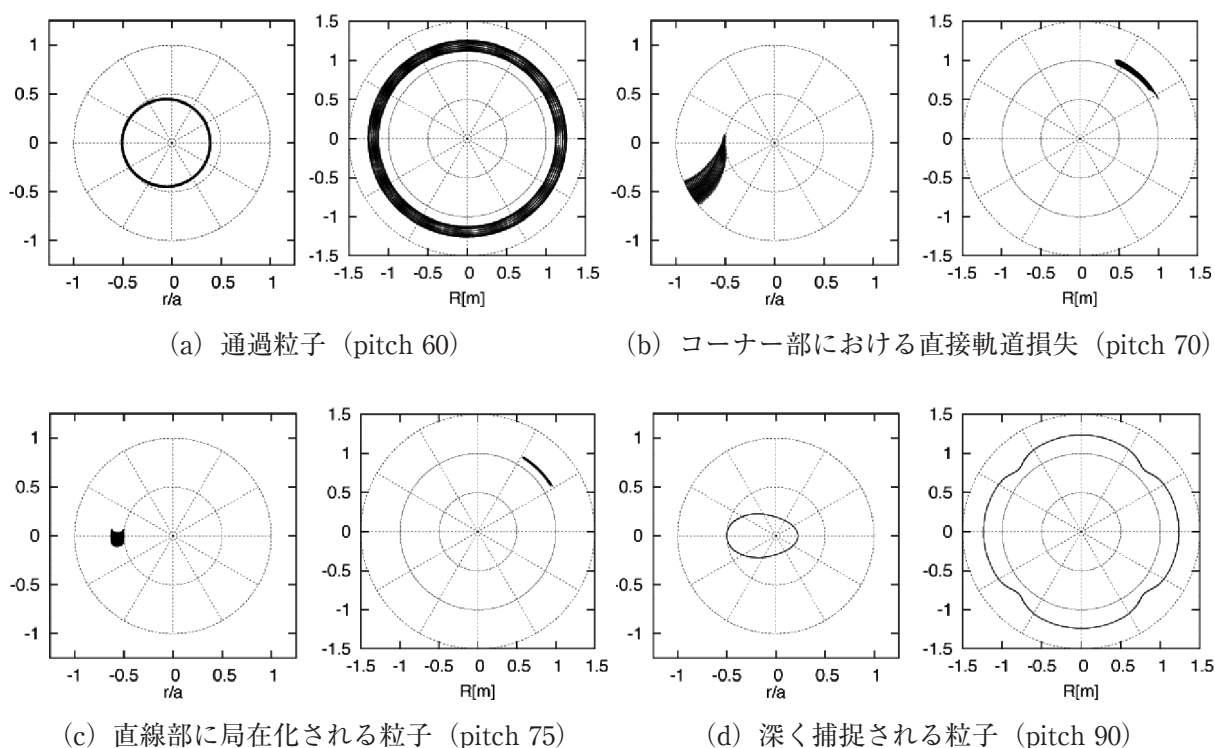
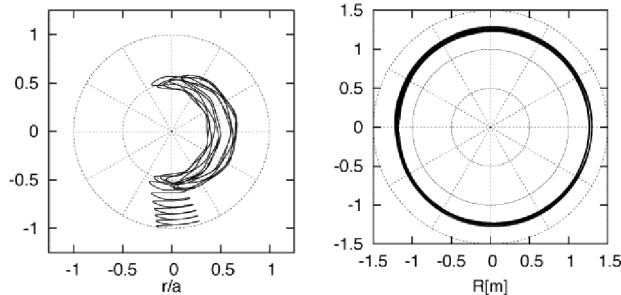


図 1. ヘリオトロン J 装置において直線部トーラス内側から入射された粒子の荷電粒子軌道

一方、トーラスの外側から出発した粒子は複雑な軌道を描く。その理由は、トーラス外側から出発した粒子は主に磁場のトロイデシティに起因したポロイダル方向の磁場勾配のために、磁場のリップル井戸への捕捉と離脱をくり返すからである。このような遷移粒子（図 2）の挙動を定量的に理解することは一般に困難である。

先に述べたように Heliotron J では、磁場のバンピネス成分はトロイダル磁場コイルで制御できる。ここでは、バンピネスの大きさの異なった三種類の磁場配位についての計算を比較した。標準配位で

はバンピネスの大きさは ($B_{04}/B_{00}=0.06$) である。計算のために高バンピネス配位 ($B_{04}/B_{00} = 0.15$) および低バンピネス配位 ($B_{04}/B_{00}=0.01$) についても磁気座標を構築した。磁場のバンピネス成分を制御することにより、荷電粒子のドリフト軌道を変化させることができる。



(e) 遷移粒子 (pitch 70)

図 2. 直接軌道損失を起こす遷移粒子 (直線部トーラス外側から入射)

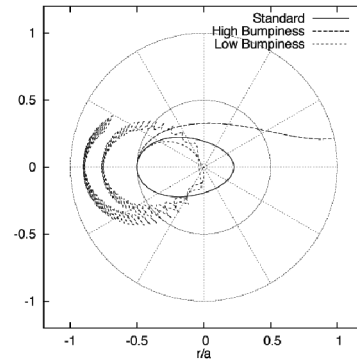


図 3. バンピネスのdeeply trapped particleに対する影響 (粒子はエネルギー450eVで磁場に対して垂直に入射)

トロイダル方向の強い磁場の勾配は〈直線部〉に局在化される粒子の割合を増やす。これと同時に、トーラスを周回するような deeply-trapped particle は〈コーナー部〉で失われる。低バンピネス配位では、磁場強度の井戸が浅くなるために deeply-trapped particle は次第に径方向外側へドリフトする。この効果は低バンピネス配位で粒子輸送を増大させる。deeply trapped particle の粒子軌道のバンピネスによる変化は図 3 に示した。

単一粒子軌道の挙動は、プラズマ輸送を構成する微視的な要素としての役割を果たす。荷電粒子軌道の微視的な情報を巨視的な粒子輸送の性質として理解するために、グローバルな粒子閉じ込め時間をモンテカルロ・シミュレーションによって求めた。先に用いられた単一粒子の案内中心追跡コードを、モンテカルロ・シミュレーション技法を取り入れることによって巨視的な閉じ込め時間を評価するよう改良した。プラズマのクーロン衝突としては、ピッチ角散乱のみを取り入れている。図 4 は三つの異なるバンピネスをもつ Heliotron J 配位について、閉

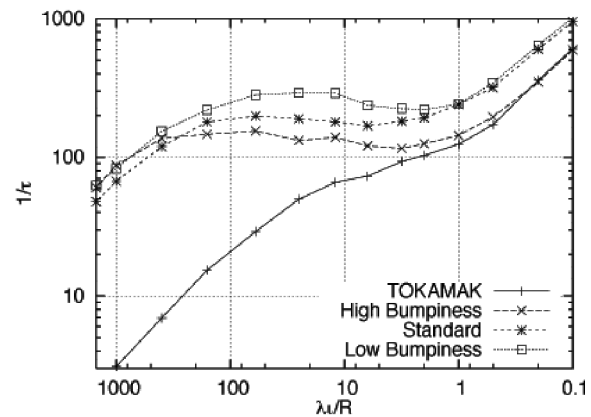


図 4. バンピネスを変えた 3 つの磁場配位におけるグローバルな粒子閉じ込め時間の無次元化平均自由行程に対する依存性

じ込め時間の逆数を無次元化平均自由行程に対して両対数プロットしたものである。平均自由行程は等価な軸対称トカマクの連結長 (connection length) で規格化した。シミュレーションにもちいたテスト粒子は単一エネルギー 450 eV のものである。このとき、図 4 から分かるように、ステラレータのような非軸対称トーラスプラズマで問題とされてきた低衝突周波数領域における $1/\nu$ 依存性をもった損失がみられないことに注意する。これは $1/\nu$ 損失に寄与するような捕捉粒子の、衝突時間よりも速い軌道損失で説明できる[1]。このような場合、実空間での拡散ではなく、速度空間におけるピッチ角散乱 (速度空間の拡散) が支配的になる。(図 4 では、高バンピネス配位で最も小さい粒子損

失を与えているが、このシミュレーションでは無次元パラメータ、 a_p/ρ が一定に取られていないことに注意する。ここで a_p はプラズマ半径、 ρ はラーマ半径である。より具体的には、高バンピネス配位は他の二つの配位に比べ閉じ込め領域全体の平均的な磁場強度が強いことが影響していると考えられる。

Heliotron Jにおける粒子閉じ込めシミュレーションは多角的な観点から研究が進展中である。特筆すべきことは、ここでやっているようなグローバルな閉じ込め時間を評価するシミュレーションでは、非拡散的な軌道損失と拡散的な磁気面を横切る輸送を統一的に扱えることである。今後粒子閉じ込め改善に対するバンピネスの役割の理解をさらに進めるとともに、衝突モデルの拡張や径電場を含めるシミュレーションを行う予定である。

3. Heliotron Jのイオンサイクロトロン周波数帯 (ICRF) 加熱を用いた高速イオン閉じ込め研究

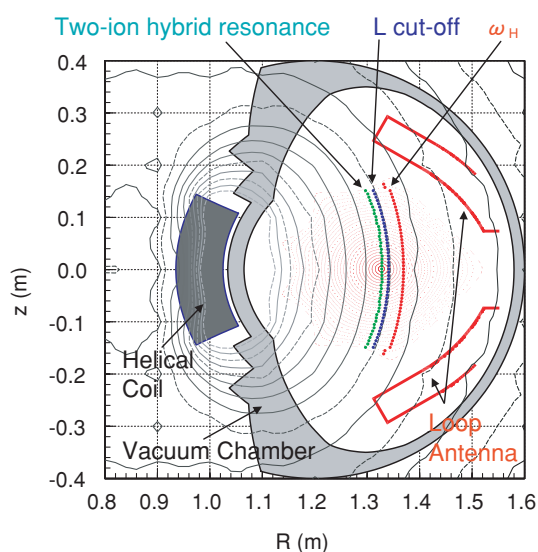


図 5. Heliotron Jのコーナー部に設置された ICRFアンテナ

高速イオンの生成と閉じ込め実験は、重水素と少数プロトンの混合プラズマにICRF加熱を印加して行われた。磁気配位に対する高速イオン閉じ込めの依存性を調べることは、ヘリカル系装置においては最も重要な問題の1つである。粒子閉じ込めを磁場強度のフーリエ成分の1つであるバンピネスを利用することで制御するというHeliotron J配位の設計指針を検証するため、ICRF少数イオン加熱用いて捕捉高速イオンの閉じ込めのバンピネス依存性について調べた結果を紹介する[4]。適当なバンピネスを与えることによって空間磁場変化の小さい領域に捕捉粒子を閉じ込めることができるが、これまでは接線入射のNBIを用いて研究されてきており[5]、捕捉粒子に関しては十分に調べられなかった。ICRFループ・アンテナは図5で示すようにHeliotron Jのコーナー部の低磁場上側に設置された。高エネルギー・イオンは $Ti(0)=0.2\text{ keV}$ $Te(0)=0.8\text{ keV}$ $\bar{n}_e=0.4\times 10^{19}\text{ m}^{-3}$ のECHプラズマにICRFパルスを入射して、最高10 keVまで生成された。図6は線密度、イオン温度と3.9 keVの水素粒子束の時間変化を示している。水素と重水素粒子束は、荷電交換中性粒子エネルギー分析装置 (CX-NPA) で測定される。ICRFパルス中に、CX-NPAで測定されるイオン温度はほぼ倍増し、高速中性粒子束も観測された。高速粒子閉じ込めの磁場配位依存性の研究のために、3つの配位を選択した。バンピーリップル (B_{04}/B_{00}) は $r/a=0.67$ で0.01、0.06、0.15である。 $B_{04}/B_{00}=0.06$ の磁場配位はHeliotron J標準磁場と同一である。実験では、サイクロトロン共鳴層が $r/a=0.2$ 以内になるようICRF周波数を調節した。約0.2MWのICRFパルスをECHプラズマに入射した。観察された水素粒子束と高速イオンテール温度は図7で示すように高いバンピネスの場合に最も高くなる。CXスペクトルから評価したテール温度は $B_{04}/B_{00}=0.15$ 、0.06、0.01場合に対し1.04keV、0.87keV、0.47keVである。

ICRFパワーの振幅変調実験も、高速イオン閉じ込めを評価するため行われた。入射パワーは100Hzで変調した。その結果CX粒子束の変調も確認された。CX粒子束と入射パワーとの位相遅れは、RF波によるイオン加速と衝突減衰を通して生じる。損失項を含んだフォッカー・プランク方程式を用いて高速イオン閉じ込めの評価を行った (図8)。この実験から、高バンピー配位に対する高速粒子

閉じ込めがよいことが分かった。これによりバンピー成分によって高速粒子閉じ込めを制御できることが分かった。この結果はDKESコードを用いた拡散係数の計算結果や磁場強度分布から予測される捕捉粒子ドリフト特性の依存性と一致している。図9で示すように2つのバンピー成分に対しイオン温度が P_{ICRF}/n_{el} とともに増加した。ここで、 P_{ICRF} は入射ICRFパワー、 n_{el} は線積分電子密度である。高バンピー成分の場合のイオン温度増加が $B_{04}/B_{00} = 0.06$ の場合より大であり、それゆえ加熱効率は高バンピーの方が高い。この加熱スキームにおいてはバルクイオン加熱はICRF加熱によって生成された高エネルギー少数イオンとのクーロン衝突によって行われる。高バンピー成分の場合の方が高エネルギーテールが大きいということは、少数イオンからバルクイオンへのエネルギー付与が大きいことを意味する。閉じ込め改善モードを除いたECHプラズマの総括的エネルギー閉じ込め時間は3つの場合に対してほぼ同じである。現在、加熱効率とバルクイオン閉じ込めの検討をさらに進めるためにモンテカルロ法による数値計算を準備中である。

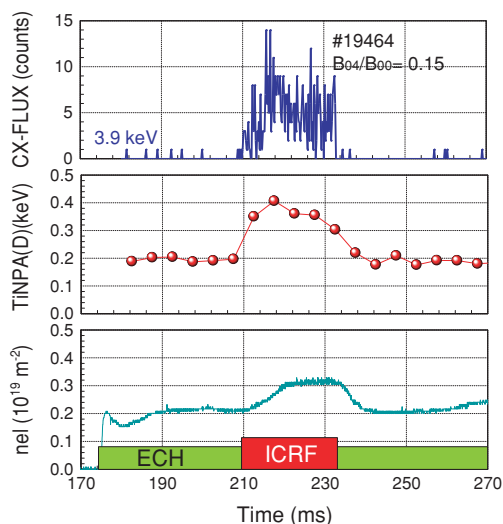


図6. 荷電交換水素粒子束、イオン温度と線積分電子密度の時間変化

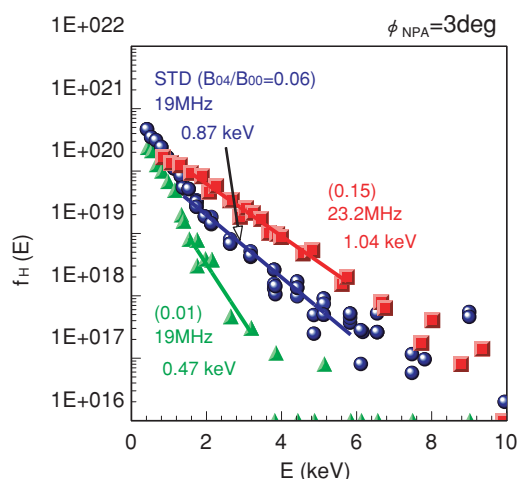


図7. 3バンピー成分に対する少数水素粒子のエネルギースペクトル

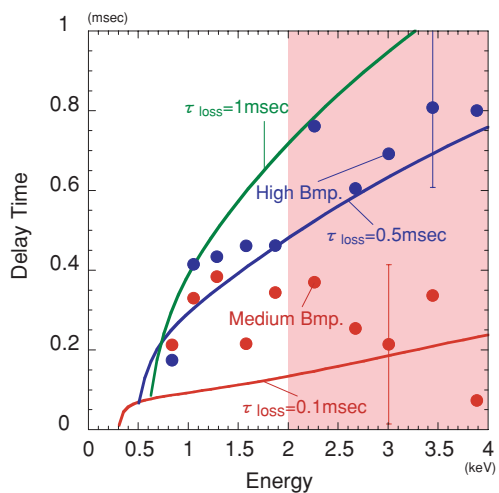


図8. 2バンピー成分に対する入射パワーとCX粒子束との位相遅れ

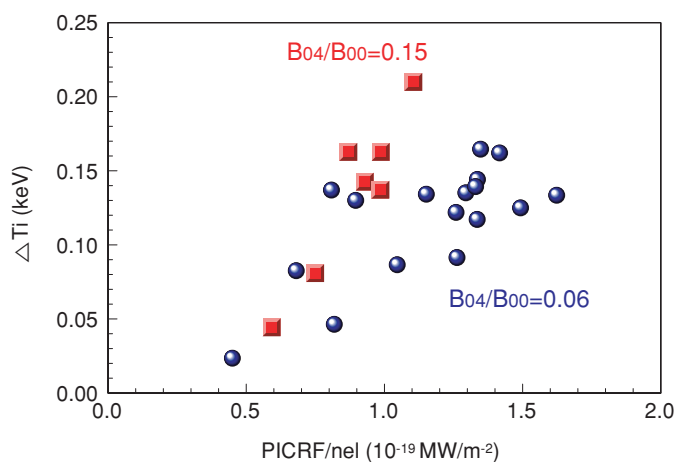


図9. 2バンピーリップルに対するイオン温度増加と入射パワーとの関係

4. おわりに

Heliotron Jグループは、先進ヘリカル（ヘリカル軸ヘリオトロン）における改善閉じ込めの探求を目標に、独自の物理設計に基づく磁場分布制御を用いて、理論的・実験的にトラスプラズマの輸送・安定性の改善を目指す研究を進めている。Heliotron Jをエネルギー複合機構研究センターのセンター共同研究に、また核融合科学研究所の双方向型共同研究に、さらに国際エネルギー機関（IEA）の国際ステラレータ実施協定に基づく核融合国際共同研究活動に提供しつつ、多数の国内外の共同研究者の協力を得て、将来の核融合炉心プラズマに必要とされる重要課題の克服を目指した研究が推進されている。最近の主な成果としては、上記以外にHeliotron E実験では実現できなかった自発的閉じ込め遷移現象（H-mode）をHeliotron Jで実証し、高い閉じ込め改善度（ $1.3 < \tau_E^{\text{exp}} / \tau_E^{\text{ISS95}} < 1.8$ ）を持つH-mode発現領域が周辺回転変換角に依存すること、またそれは主たる低次の有理面よりわずかに離れた回転変換角の条件で実現できることを見出した[6]。更に、高い閉じ込め改善時に最外殻磁気面近傍に負の径電場（ $E_r < 0$ ）形成を確認した。また周辺回転変換角をほぼ一定に保つ条件でバンピー磁場を制御する実験により、L-mode、H-modeにおける実効ヘリカルリップル率 ε_{eff} の閉じ込め改善度への寄与が明らかになりつつある。たとえば、ISS04比例則（L-mode）を基準として、閉じ込め改善度は、実効的リップル率 ε_{eff} の減少で増加する傾向が示唆されている[7]。これらの興味ある成果についての紹介は、次の機会にゆずりたい。これまでに得られた成果は、Heliotron E実験で残された課題である「良好な粒子閉じ込めとMHD安定性の両立性」を探求するため、世界に先駆けて採用したヘリカル軸ヘリオトロン配位（Heliotron J）の新しい研究領域の開拓に大きく寄与するのみならず、異常輸送の改善、高エネルギー粒子閉じ込め等をはじめとするトラスプラズマ閉じ込めの普遍的諸問題に、先進的な磁場分布制御の観点から新たな知見を与えるものとして期待される。

なお本稿で紹介した内容の一部は国内外の共同研究として進められているHeliotron J実験グループの研究成果であり、紙面をお借りして、共同研究者各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] H.Wobig, Z.Naturforsch 37a (1982) 906
- [2] A.H.Boozer and G.Kuo-Petravic, Phys. Fluids 24 (1981) 851
- [3] M.Yokoyama et al. Nucl. Fusion 40 (2000) 261
- [4] H. Okada et al., 15th Intern. Stellarator Conf. , Madrid, 2005.
- [5] S. Kobayashi et al., 20th IAEA Fusion Energy Conf. 2004, IAEA-CN-116/EX/P4-41.
- [6] F. Sano et al., Nucl. Fusion 45, 1557(2005).
- [7] T. Mizuuchi et al., 15th Intern. Stellarator Conf. , Madrid, 2005.

産業界の技術動向

企業の技術戦略（デジタル時代の標準化と特許）

洛友会副会長 IEC評議会日本代表委員 松下電器客員
三 木 弼 一

1. はじめに

本年は、日本が国際標準化活動に参加して丁度100年目にあたることを記念して、経済産業省、学会、産業界を中心に、その重要性を啓蒙しようと様々な催しが企画されている。

京都大学電気工学科も設立されてまだあまり年を経過していない100年前の1906年、ロンドンにおいて国際電気標準会議（International Electrotechnical Commission）の設立会議が開かれ、13カ国の代表が参集した。当時の電気学会と産業界が拠出金を出し、東芝の創業者の一人である藤岡市助氏を送り、国際規約作成に貢献したと伝えられている。

国際標準化の動きは、19世紀から始まるといわれており、特許も同様に国際摩擦となるのは、同じ頃のリンカーン大統領の時代からであり、約50年を周期にその流れを変えながら、現在に至っている。標準化と特許は1面相反する要素をもっているが密接に関係している。その関係は、その時の産業構造によって決定される。産業構造もまた、最近のBRICSの勃興や、急速な市場の国際化、あるいはデジタル化のような技術の本質的な変化によって、大きくうねりながら変化している。

個別企業は、これらの国際的な経営環境変化の中で、最適の選択をし、その経営の立場をいかに強固にするかが課題であり、それが企業の技術戦略となる。

本稿は、国際標準化と国際特許および産業構造の歴史的な変化を観察し、最近の企業の技術戦略の動向を、筆者の携わっていた家電業界を中心に報告する。

なお、これは去る5月28日、京都大学百周年時計台記念館国際交流ホールにて、洛友会関西支部・本部総会開催に先立ち講演した内容を報告書にまとめたものである。

2. 電気電子技術と標準化の歴史および日本の役割

近代の電気電子技術の歴史は、その基本理論を明解にしたマックスウェルの方程式（1856年第1、1861年第2、1864年第3方程式をそれぞれ提出）が発表された1860年前後を起点にするとわかりやすい。それからおよそ150年経過したわけであるが、経済は大きく50年毎の技術革新によって長期波動するとソ連のコンドラチェフが唱えた技術仮説を、筆者が電気電子技術に当てはめたのが図1である。

19世紀の後半から20世紀の初頭までに、ベルの電話や、シーメンスの発電機などに始ま

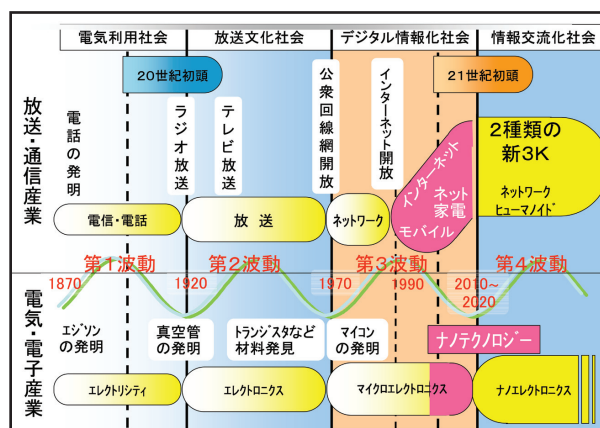


図1. エレクトロニクス産業に見る技術の長期波動

り、エジソンらによる白熱電灯、マイク、コンデンサ、蓄音機、映写機に至るまで現在の電気機器のほとんどが発明されている。いわゆる電気の時代、電信電話の時代が1920年まで続く。

20世紀に入ると、ドフォレの3極管の発明から、検波器、整流器、スピーカ、精密な抵抗、コンデンサの開発が続いて、ついに1920年米国ピッツバーグでラジオ放送が始まり、大統領選挙の開票速報が電波によって、放送の時代となる。それは、より小型精密な電子部品への要求となり、各種の電子材料の開発へと向かう。たとえばマイカ、マイラフィルム、MP、チタン酸バリウムコンデンサー、各種炭素抵抗、蒸着皮膜抵抗、フェライト磁石など枚挙に暇がない。いわゆる電子工学の時代である。そして1947年バーディーン、プラッテンのゲルマニウムトランジスタ実験の成功となる。そしてこの半導体の開発はシリコンという最適材料を得て、ついに、1969年シャープのLSI電卓、1970年インテルの1000個を越す素子数を集積したLSI (1kbit RAM) に至る。

1971年から1973年は、いわゆるマイクロエレクトロニクス時代、あるいはデジタル情報化時代の基本的な発明が集中している。上記マイクロコンピュータ、マイクロオプトのCCD、液晶、光ファイバー、マイクロ磁気の本D、VTRなどである。当時のLSIの設計ルールは約10ミクロンであったが、それ以降ムーアの法則の通り、微細加工化が行われ現在の65nmまで進んでいる。シリコン上のシステム規模は拡大を続け、今や1チップの中に数千万素子が集積される状態となった。その間数字や文字のデジタル化に始まり、各種のデジタル商品を輩出し、最も難しいとされていたハイビジョン動画のデジタル化によって大方のデジタル化は終わりをづけ、定着して現在に至っている。ムーアの法則が行き詰まると予想される2015年からは、ナノエレクトロニクスの時代が始まると多くの識者が予想しているが、本稿ではその趣旨に反するので未来予測は差し控える。

表1は、国際電気標準に関する特記事項を年代順に列挙した。その前史として1864年大英科学振興協会で、マックスウェルらがオーム単位、引き続いて標準抵抗を決定して国際標準化に持ち込んでいる。この持込み方は、最近でも変わっていない。最近の動きとして重要なことは標準化が認証制度とセットになりつつあること、デジタル技術の標準化を、ISO、IEC共同で始めたこと、さらに今年になって、ようやく国際標準3団体 (ITU、ISO、IEC) が特許政策で歩調を合わせたことである。いわゆるRAND条件 (合理的かつ非差別条件) の合意であろう。

IECは、参加68国中、15国で評議会を構成して運営される。日本は、常任評議員を無投票で選出できるAグループ国 (米英仏独日) であり、重要な国として認められている。歴代31の会長のうち、22代目 (1977年、高木) と30代目 (2002年、高柳) を出し、筆者は昨年より、評議員日本代表を務めている。実際の国際標準化の決定に至るプロセスでは、評議会や標準管理評議会のような上層会議ではなく、提案者あるいはTC (技術委員会)、SC

表1. I E C (国際電気標準会議) の歴史

1870	国際標準化予備会談、度量衡と電気
1875	BIPM(国際度量衡局)、メートル
1904	セントルイス国際電気会議 (日本参加)
1906	ロンドンIEC発足13カ国(日本)
1934	IEC、IBU合同CISPR(国際無線障害特別委員会)
1947	ISO(国際標準化機構)発足
1949	工業標準化法制定、JISC(日本工業標準調査会)
1953	日本IEC加盟
1982	IECQ(電子部品品質認証制度)発足
1987	IEC、ISO合同専門委員会(JTC1、情報技術)発足
2006	IEC、ITU(R、T)、ISO特許フォーマットに合意 * * RAND条件 * *

表2. I E Cの構成と日本の貢献

• 参加68カ国:グループA、常任評議員5国(仏独日英米)8%分担 グループB、豪ほか20国、グループC、26国0.8%
• CB(評議会)15国;常任5国+選挙10国(豪加瑞伊中墨韓印フィン蘭)
• SMB(標準管理評議会);常任5国+選挙10国+事務総長
• CAB(適合性評価評議会);12名総会選出
• 会長31代:米6、英仏伊3、日独蘭瑞瑞2(高木、高柳)、豪白羅ソ1
• 事務総長5代:英4、イスラエル1
• TC/SC幹事国引き受け状況
アメリカ25、フランス25、ドイツ25、イギリス25、日本13、イタリア12 スウェーデン6、オランダ5、カナダ5、スペイン4、中国3、韓国3、 オーストラリア2、ベルギー2、ノルウェー2、スイス2、デンマーク2、 ロシア2、南ア2、ハンガリー1、ポーランド1、クロアチア1、ニュージーランド1

表 3. 日本のTC/SC議長

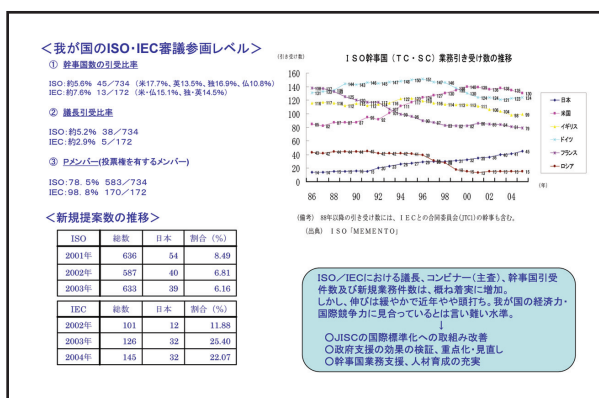
- TC/SC議長
- 1966 アイロンプレス器具、山村(東大)
- 1990 装置用図記号、中村(東芝)
- 1991 太陽光発電、関根(東大)
- 1993 マイクロウェーブ、藤井(日電)
- 1995 AVマルチメディア、片岡(シャープ)
- 1998 電子レンジ、佐々木(松下)
- 1999 フラットパネルディスプレイ、御子柴(電気通信大)
- 2004 デザインオートメーション、唐津(SRI)
- 2005 環境、森(富士通)
- 2005 半導体パッケージ、中村(ユニテック)
- 2005 燃料電池、藤沢(日立)
- 2006 電磁両立性、徳田(武蔵工大)

表 4. 新技術への取り組みプロジェクト未来技術会長諮問委員会(PACT)の活動

- 1994 マルチメディア;リーダー、オランダ
日、仏、独、伊、フィンランド
- 1995 燃料電池;リーダー、ドイツ
日、米、中、独
- 1995 マイクロエレメカ;リーダーアメリカ
日、米、独
- 1995 フラットパネルディスプレイ;リーダー日本
日本、米、蘭、フィンランド
- 1998 ヒューマンインターフェース;リーダー日本
日本、蘭、米
- 2002 鉛フリー半田;リーダー日本
日、伊、英、独、蘭、米、オランダ

(サブ委員会)の幹事国や議長を引き受けるかどうか、重要となる。表2、3、4、5にその状況を記載した。1990年代に入り漸く、日本の技術者の活躍が見てとれる。特にヨーロッパの国々に対して日米の伸長が良くわかる(表5)。

表 5. ISO/IECへの日本の参画状況と課題



3. 国際標準化の目的と企業戦略

ところで国際標準化の目的は何であろうか。第1は国際貿易の進展に寄与することである。それは世界経済の繁栄をもたらし、惹いては私企業、消費者の利便につながるとしてWTO

のTBT (Agreement on Technical Barriers to Trade) 協定でその重要性が謳われている。第2は、技術の信頼性確保である。技術は標準化することにより、品質や安全性が向上する。したがって、それは信頼性確保の必要条件である。ただそれだけで十分かという、そうでは無い。標準文書に記載されるものは、方式や設計のいわゆる外部仕様に関するものであり、実際の製品でその品質や安全を確実に担保するものでは無いからである。その意味で、標準化は、標準文書の作成のみでなく、その普及や認証制度も重要な役割を持っている。

とは言え、その信頼性保証は、最終的に個別企業の努力に委ねられる。この個別企業は、世界的な市場や、コスト競争の中で、技術の信頼性、顧客への信頼性を確保しなければならない。その活動は、さらにアナログからデジタルへの変化にみられるように抜本的な技術の質変化や、製造過程で特許のような知的生産部分が飛躍的に重要になった付加価値の変化等、産業構造の変化に大きく依存する。

したがって個別企業は、国際標準化を、世界経済を支える“縁の下の力持ち活動”として捉える考え方から、自社製品の圧倒的有利を勝ち取ろうとする、いわば制空権確保活動まで、その選択肢の幅は広い。デジュールかデファクトかという問題も常に残る。

その中で企業戦略であるが、その前にここ20年の間に、大きく変化した製造の付加価値変化、すなわち特許価値の時代変化について振り返りたい。

4. 第2次プロパテント時代の到来と産学連携

近代の新しい時代の流れは、アメリカ大統領によってそのきっかけが作られることがある。特許が

比較的重要な時代を、プロパテント時代と呼び、そうでない時代をアンチパテント時代と呼ぶ。第1次のプロパテント時代は、リンカーン大統領の「全米の工業化政策推進の切り札」として提唱された。電球（GE）の日米特許戦争も伝えられている。それは1865年から1930年までの60年間ほど続いた。

フランクリン・ルーズベルト大統領は「特許を悪用してのトラスト対策」のため、アンチパテントを唱えた1933年から1985年までの50年間はアンチパテント時代である。

そして再び、第2次のプロパテント時代がやってくる。強いアメリカ復活を目指す「ヤングレポート」をもとにレーガン大統領が提唱する。この時に起こった光ファイバーの日米特許戦争は記憶に新しいが、図2にその経過を示している。特に特許出願が、自国に対してではなく、他国への出願を奨励することにより、知財立国を目指そうということが、アメリカの外国への特許出願件数の増加の状況からよくわかる。

90年代に入って日本の産業界も気付き、アメリカを追っかけている様子を図3に示す。海外への出願が40万件を超えた年が、アメリカが1993年、日本が1999年で約6年の遅れである。一方知財立国のためには、知の宝庫である大学の知恵の引き出しが鍵であるが、図4は特許出願の日米比較であり、1999年のデータでは30倍の差がある。1980年のバイドール法はそれを推進しようとしたものである。それ以外に技術移転オフィス（TLO）の設置や中小企業技術革新法などとともに法整備の比較を示したのが図5である。約18年の遅れである。この遅れは、最近の産学連携機運の高まりにより、今後急速に回復するものと期

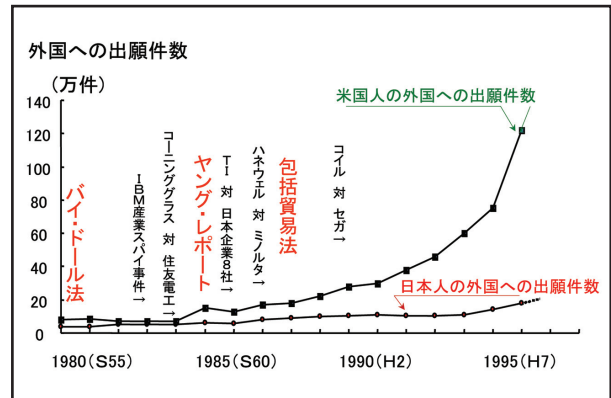


図2. 日米の外国への特許出願

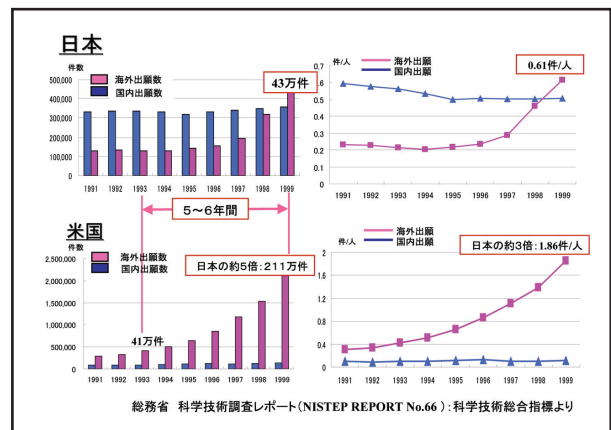


図3. 特許出願の日米比較（産業全体）

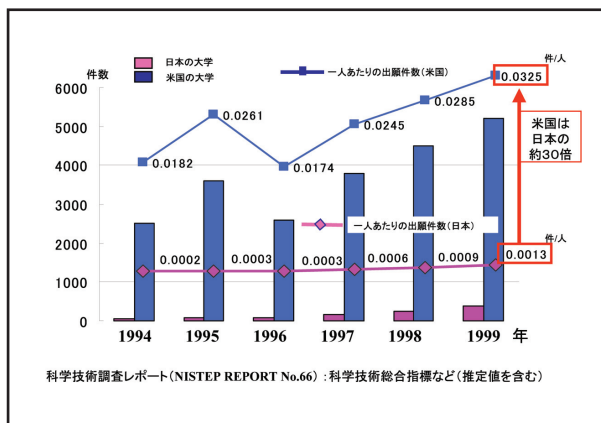


図4. 特許出願の日米大学比較

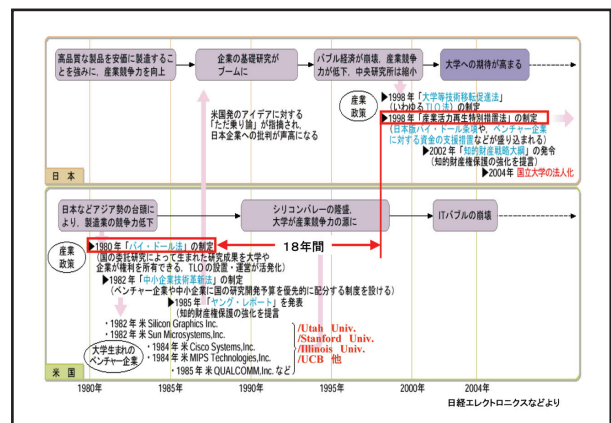


図5. 米国から18年遅れた日本の産学官連携

待する。

5. 産業構造の変化

工業社会から、情報社会への移行は、90年代のインターネットの急速な普及によって誰の目にも明らかになりつつあるが、研究開発とその方法の観点からみると、図6のように1990年がその構造的変化の端境期であったといえる。

研究開発は、特許重視が、図7のようにコスト面からもより鮮明になり、図8のように、アナログからデジタル比率（LSIとソフトウェア）が急速に上がり大規模研究開発となった。

研究開発以外でも、アッセンブリ生産工程のライン形から、セル形へ、より材料プロセス系重視へ

1990年を境目とするR&Dの世界的構造変化

	'50年	'70年	'90年	2000年	2010年
自然資源開拓時代	資源効率的利用時代		環境共存時代		
アナログ主導時代	アナログ・デジタル混在時代		デジタル主導時代	デジタルネットワーク時代	
	改良・研究型R&D		新戦略型R&D（創造開発指向）		
技術	<ul style="list-style-type: none"> 改良・改善技術（日、研究→開発（米）） 商品企画競争 改良特許 小グループ開発 		<ul style="list-style-type: none"> 創造開発指向（日/米/欧同時） ソリューション企画競争 特許ベースの覇権技術競争 大規模開発／アライアンス 		
生産	<ul style="list-style-type: none"> アセンブリ製造工程・合理化/革新（ライン型） 自動化設備ワーカー 		<ul style="list-style-type: none"> 材料プロセス革新/フレキシブル（セル型） 知識ワーカー（ソフト・設計・計測） 		
マネジメント	<ul style="list-style-type: none"> ヒエラルキー型マネジメント 		<ul style="list-style-type: none"> オープン型マネジメント ロードマップ型ベンチマークマネジメント コンサルテーション&アセスメント（リスク管理） MOT（科学的マネジメント） 		

図6. 産業構造の変化（1）

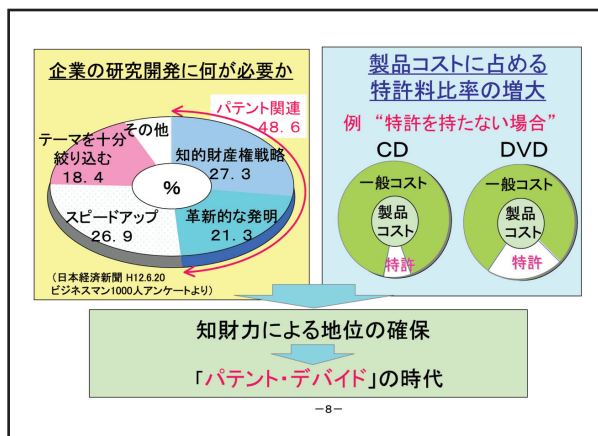


図7. 産業構造の変化（2） 「特許・デパイド」の時代の到来

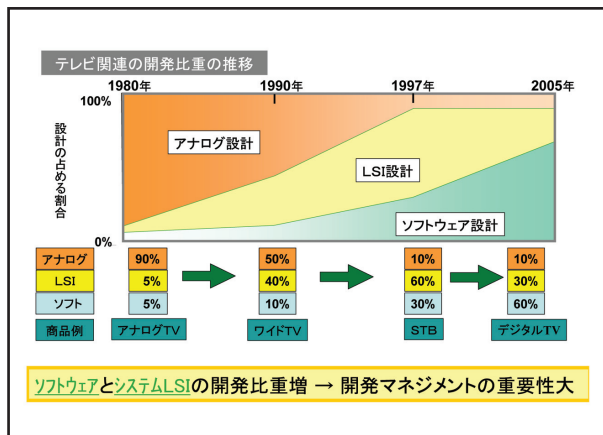


図8. 産業構造の変化（3） 開発の付加価値シフト



図9. 産業構造の変化（4）

となり、さらに図9のインドバンガロールなどに見られるように、技術者レベルでは4分の1、ワーカーレベルでは、10分の1の労働マーケットが開放された。

失われた10年と言われたように、売り上げ規模は全く増えない停滞のなかで、90年代、日本の主要電機メーカーは、営業利益率を下げ続け、ついに2001年軒並み赤字を記録することになった。しかしながら、図10のように、大規模研究開発の圧力のなかで、各社とも売上高研究開発比は7%台でコン

スタントに維持された。

2003年になると、図11のように90年代の研究開発が漸く新3種の神器となって実を結び、日本の電機業界は危機を脱しつつある。デジタル家電3種の神器とは薄型テレビ、DVDレコーダ、デジタ

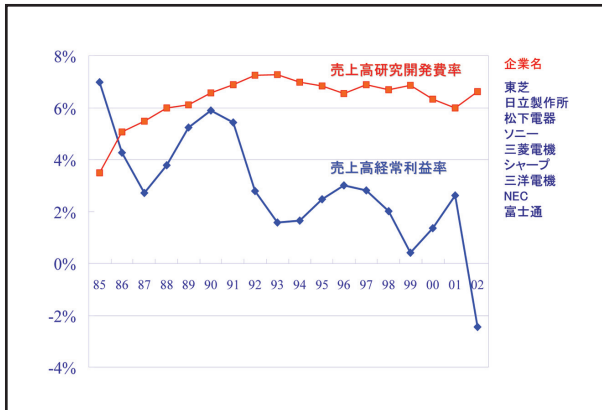


図10. 売上高利益率と売上高研究開発費率
—主要電機メーカーの平均—

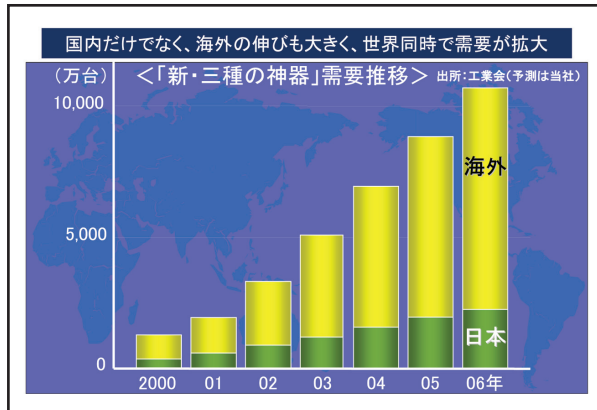


図11. 商品戦略 世界同時拡大するデジタル家電市場

ルカメラであるが、図12、赤色に示すように、これらの製品は、日本の得意な技術で圧倒的に日本発、世界製品である。

6. 企業の技術戦略

これら日本の得意な技術で、標準化も先行し、特許も多く、製造ノウハウも持ったデジタル家電において、かつてのように高い営業利益率を確保できず、低い状態で競争している製品が見受けられる。それはまさに、企業の技術戦略問題である。

図13は、1984年から2003年の20年間の主要電機メーカーの売上高利益率の推移である。各社のグラフの上にある線は、某自動車メーカーの線であり、その傾向は94年までは軌を一にして波打っているが、それ以降、主要電機メーカーは波打ちながら下降を続け2001年に至って軒並みに赤字となる。一方某自動車メーカーは94年を底に完全回復してエクセレントカンパニーの地位を不動にした。92, 93年といえば、日本ではバブル経済の破綻、世界経済も停滞して、IBM始め、OAメーカーなども苦しんでいた頃である。そのため多くの企業で技術戦略が練られた。

図14は薬品業界の例である。薬品業界の場合、一つの製品が内包する特許の数が電機業

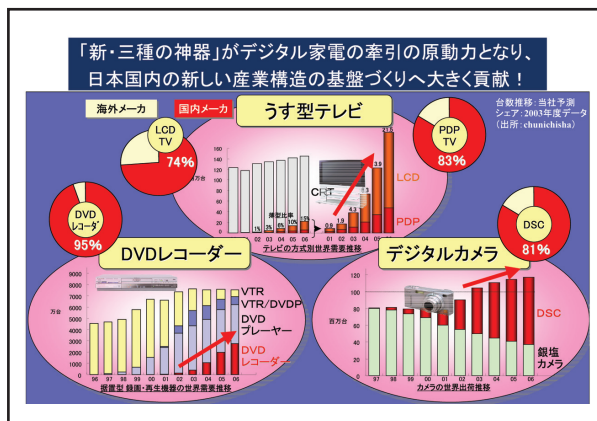


図12. デジタル家電「新・三種の神器」

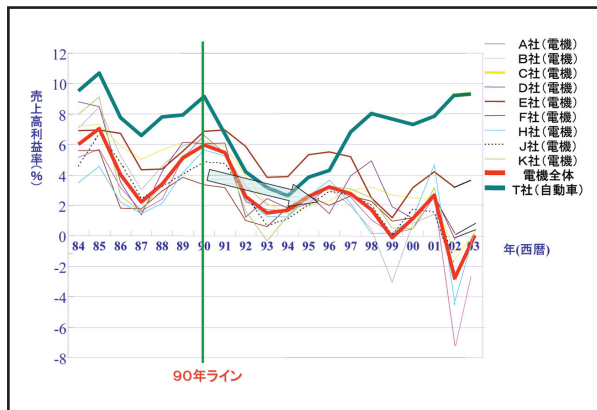


図13. 苦しかった90年代 適正利益率売上高利益率の推移

界に比べて少ないこともあろうが、特許を利用して独禁法を遵守しながら、かつ薬事法を通過するという技術戦略をとることにより、高い営業利益率を誇っている。

標準化は、単なる技術文書のみならば、他社を差別化する付加価値を生まないが、薬事法に基づく技術体系は、単なる標準化文書ではなく、品質や安全性を十分保証して、顧客を満足させる対顧客信頼性技術となっていると推定できる。

図15は、某OAメーカーの技術戦略図である。これは、事業ポートフォリオを描き、それに特許、技術製造ノウハウなどを分析して、選択と集中を行う、正攻法である。

このように、自動車、OA、薬品業界など他業界の技術戦略成功例を述べたが、電機業界での成功例、失敗例を述べる。

1970年から1980年代にかけてアナログ時代の最終期に、標準化や特許、製造ノウハウを含む技術総合力で、初めて世界を制覇したのは、なんとと言ってもビデオテープレコーダ（VTR）であった。放送局用での先行をアメリカのアンペックス社に譲ったものの、家庭用では圧倒的に日本各社が先行し、厚い特許の質量と製造ノウハウを持った。そのため標準化では日本勢だけで、VHS（松下、ビクター）とベータ陣営（ソニー）に2分されて、デファクト競争となった。

特許は、従来の昭和初期から家電業界で続いていたアンチパテント時代の慣例で、お互いの特許は無償許諾であった。また当然独禁法からも何の問題も無かった。2陣営が熾烈な競争をしていたからである。標準化するなわちフォーマット競争のみが、もろもろの技術製造ノウハウに裏打ちされ、顧客にとって2時間あるいは4時間録画の選択と品質競争に集約された。そのフォーマットは、録画テープのカセットの物理寸法が象徴となり、LOGOをつけてそのフォーマットに賛同するファミリー企業にライセンスされた（図16）。

ところが、デジタル時代になると様相は一変する。

ソフトウェアの開発総量が増大してスピード競争となり、かつ特許の数も飛躍的に増加して複合特許化した。また、標準化は、単純な方式や数値文書から、プロトコルなどデジタル規約文書が増え、図17のように従来よりも複雑な総合技術戦略の様相を呈してきた。しかも機能部品の標準化とモ

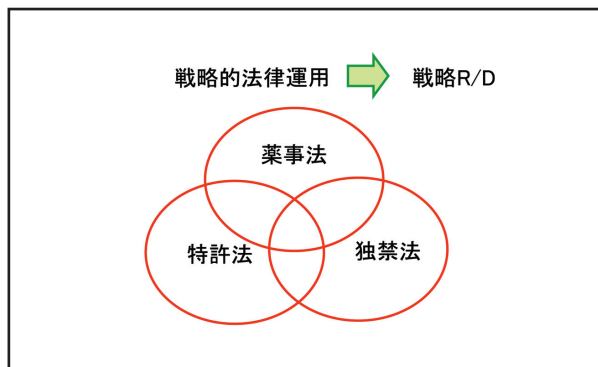


図14. 製薬業界の技術戦略
何故「技術事業計画」か？ ～他社ベンチマーク～

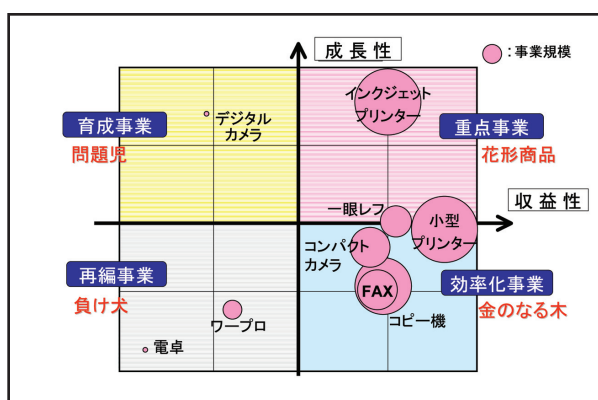


図15. 商品中心の戦略が必要
～事業ポートフォリオ（C社：1995年当時の事例）～

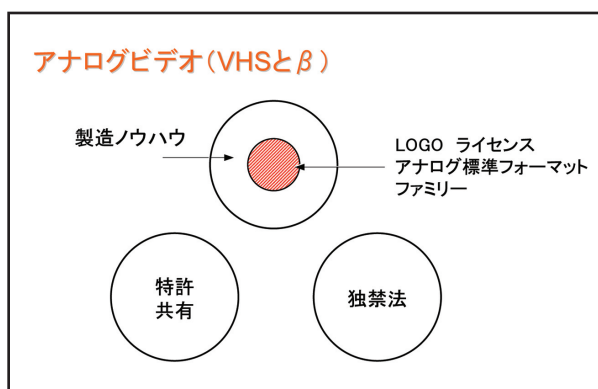


図16. 家電機器の総合技術戦略（1）

ジュール化が進み、セットは製造ノウハウを伴わない誰でも容易に組み立てられるようになった。さらに決定的に重要なことは無料でコピーされると、限りなくコストが下がって、ビジネスが崩壊するという危険に晒されてきたことである。にもかかわらず、DVDの標準化競争では、VTRと形式上同じデファクト競争が繰り返された。ただLOGOライセンスは、フリーのフォーラムで、特許も中国ほか十分に管理されたとは、言えない。過去のアナログ時代を引きずった、戦略であった（図18）。

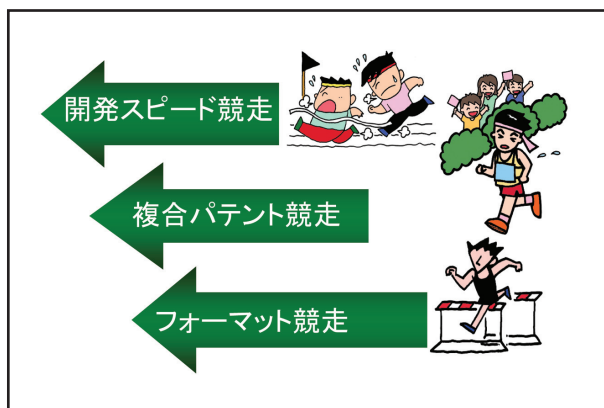


図17. 総合技術戦略（3種のチーム競技）

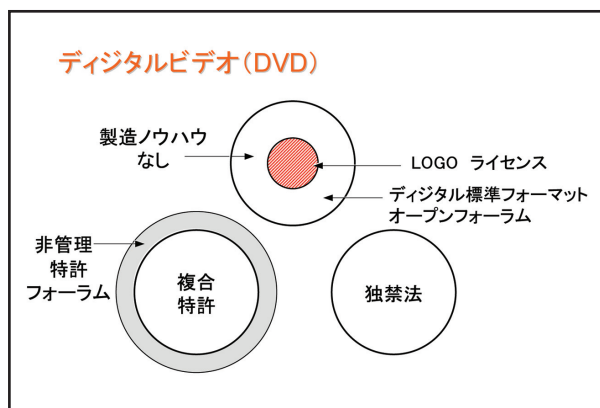


図18. 家電機器の総合技術戦略（2）

企業の技術戦略の失敗例と言えるのではないであろうか。

図19はデジカメやAV機器に使われている、半導体のSDカードの例である。これはDVDの失敗を反省して、最初から特許とロゴライセンス、独禁法遵守の三位一体で構想が練られ、実行に移された。順調に過当競争に陥ることなく発展を続けている。

民生用デジタル機器の出現は、最も簡単であった数字のデジタル化であったため、時計と電卓が先行した。この二つのタイプは対照的で面白い。Aタイプの時計業界は、低級品はデジタル化を進め、高級品はアナログ要素を多くして産業構造を多様化した。Bタイプの電卓業界はデジタルのみの熾烈な競争を通じて寡占型の業界となった。これらはA) 共存戦略、B) 独占戦略の二つの企業戦略の代

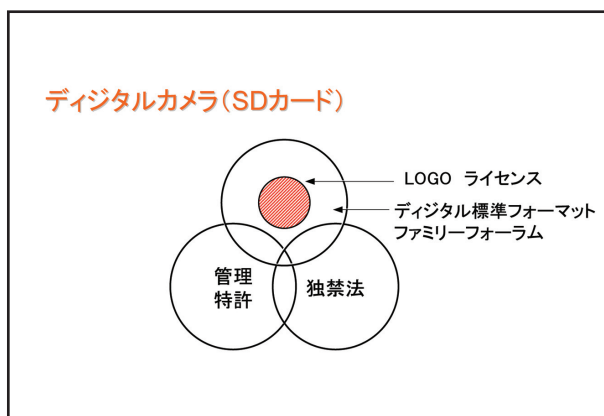


図19. 家電機器の総合技術戦略（3）

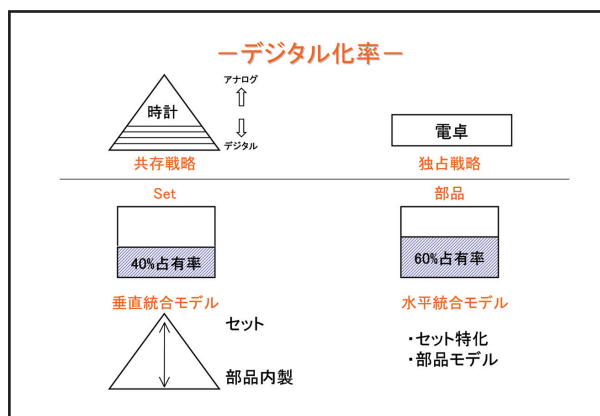


図20. 民生機器の総合技術戦略（4）

表的なものである（図20）。

また、セット製品と部品製品で戦略が大きく異なる。通常セット製品は市場の占有率を40%以上に上げるのは難しい。しかし部品の場合は60%以上の占有率をとるケースも不思議ではない、インテル

やマイクロソフト製品は典型的なものである。

これらはビジネスモデルとして、部品を内製化するC) 垂直統合モデルと、部品のモジュール化を進めるD) 水平統合モデルとなる。

これらの4種類の選択肢は、その個別企業がもっている相対的得意な部分を反映した経営位置によって選ばれ、企業の技術戦略となる。

7. 終わりに

以上のように、標準化や特許を総合した企業の技術戦略は

- 1) 標準化を裏打ちする対顧客信頼性技術
 - 2) 特許など自社得意の付加価値を創出かつ防御する技術
 - 3) 競争他社に対する世界的な商品のポジショニング戦略
- を基に作成されるべきである。

世界的に日々刻々変化する経営環境のなかで、現在あるいは将来の技術責任者やそのスタッフ、または知財や標準化、品質問題にかかわる責任者の技術戦略立案時に参考になれば幸いである。

新設研究室紹介

電子物性工学講座 半導体物性工学分野（木本研究室）

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

「次世代半導体デバイス ～ 情報通信およびエネルギー技術のキーデバイスを目指して～」

現代のエレクトロニクス社会において、各種の半導体デバイスがハードウェアの中核を構成しています。社会の要請に応じて半導体材料・デバイス技術も変遷し、近年では携帯情報機器の小型化と低消費電力化、不揮発性メモリの高性能化、車載用半導体の低損失化に対する要求が大変強くなっています。今後、ハイブリッド車、燃料電池、携帯テレビ等の急激な普及が予測されますが、これを支えるべき半導体Si系デバイスは成熟期を迎え、従来技術の延長では大きな飛躍を求めるのが困難になってきています。Siを中心とした電子デバイスの課題は、①微細化の限界、②熱、③超高周波などです。これらの課題を解決する方法は、大きく分けて2つに分類できます。一つ目は新しい物理現象や概念を活用すること、二つ目は優れた性質を有する新しい材料を導入することです。本研究室では「ポストSi」を見据えて、両方のアプローチで次世代半導体デバイスの基礎研究に取り組んでいます。具体的には、半導体および関連する電子材料を取り上げ、半導体物性の解明と制御、半導体ナノ構造の作製、および超高性能電子デバイスの作製と特性評価に関する研究を行っています。既存のデバイス構造や半導体材料では実現不可能な情報通信技術・エネルギー技術におけるキーデバイスを作製し、エネルギー・環境問題や情報通信の課題解決に貢献することを目標としています。

研究室のテーマは次の5つに大別できます。(1) 半導体低次元構造の作製と無散乱トランジスタへの応用、(2) 抵抗変化を利用した新規不揮発性メモリ、(3) 半導体微細加工を活用したマイクロ/ナノ構造新機能デバイスの設計と作製、(4) 窒化物半導体 (GaN, AlN) のヘテロ界面制御と高周波トランジスタ応用、(5) シリコンカーバイド (SiC) 半導体の物性制御と低損失パワーデバイス応用。ここでは紙面の制約もありますので、(2)と(5)について簡単に紹介します。

図1は反応性スパッタ法で形成したNiO薄膜の電流-電圧特性（模式図）です。成膜直後には高抵抗を示しますが、電圧を印加していくと、ある電圧で瞬時に低抵抗状態に遷移します。次に電圧を印加すると、先ほどより少し低い電圧で再び高抵抗状態に戻ります。高抵抗、低抵抗の各状態は安定に保持され、かつこの抵抗変化を何回も繰り返すことができますので、不揮発性メモリに適用できます。二端子素子単体でメモリとなり、究極の微細化（高密度化）に適していると考えられます。

図2は本研究室で作製したSiC横型MOSFETのドレイン特性です。SiCはSiに比べて約10倍の絶縁耐性を有しますので、適切なデバイス構造設計を行えば二桁以上の高性能化が可能です。図に示す特性（耐圧1380V、オン抵抗66mΩcm²）は、既にSiの理論限界を大幅に突破しています[1]。なお、各テーマの詳細につきましては研究室のホームページをご覧ください。

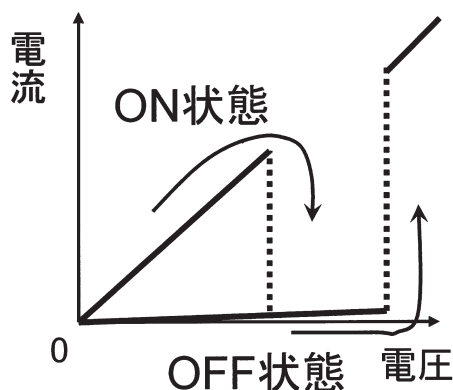


図1. NiO薄膜の電流-電圧特性

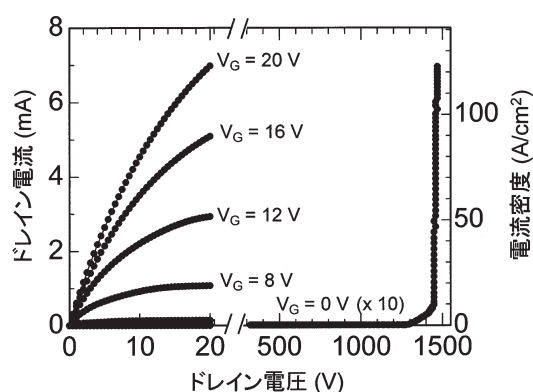


図2. SiC横型MOSFETのドレイン特性

参考文献

- [1] T. Kimoto, H. Kawano, and J. Suda, IEEE Electron Device Lett. Vol. 26, pp. 649-651 (2005).

知能メディア講座 言語メディア分野（黒橋研究室）

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

「本格的に言語の意味を扱う計算機システム」

本研究室では、計算機によって言語を取り扱う、いわゆる「自然言語処理」とよばれる研究を行なっています。自然言語処理の研究は電子計算機の登場とほぼ同時に始まりましたが、その研究環境はこの10年間で飛躍的に進歩しました。15年ほど前には、日本語テキストの最も基本的な処理である単語分割（形態素解析）プログラムが大型計算機センターにしかなく、上限500KB程度のテキストを解析するのにジョブ制御文とともにセンターに送り、翌日結果が得られるという状況でした。また、当時の教科書には自然言語処理の難しさが次のような例で説明されていました。

- a. クロールで泳いでいる彼女を見た。
- b. 望遠鏡で泳いでいる彼女を見た。

この2文は同じ文体ですが「クロールで/望遠鏡で」の修飾先が異なり、このような違いを計算機で認識するためには常識が必要となります。しかし、貧弱な計算機環境で、人手で知識をコツコツ書いていくというアプローチでは常識を網羅できるのはいつのことかわからないという状況でした。

ところが、計算機能力の向上と、電子テキストの蓄積・流通量がある閾値を越えることによって、質的变化が生まれました。すなわち、模擬的にはありますが計算機の上で「常識」が扱えるようになったのです。500KB程度のテキストの形態素解析がパソコンで一瞬に行えることはいうまでもありませんが、最近の我々の試みでは、webから5億文の日本語文を収集し、数百CPUのクラスタ計算機による1週間程度の計算で形態素解析・構文解析・クラスタリングすることにより、「誰が何をどうした」という述語項構造パターンについて、非常に広範囲で、常識ともいえる辞書を構築することに成功しました。この中には「クロールで泳ぐ」「望遠鏡で見る」などのパターンも当然含まれており、上記の問題は解決をみたわけです。

このような環境にあって、いよいよ本格的に言語の意味・知識を扱う研究、別の言い方をすれば、いわゆる人工知能をめざす研究が可能となってきました。私は、この問題に「言葉の意味を言葉で扱う」というアプローチで取り組んでいます。つまり、知識の取り扱いを人工言語で行うのではなく、自然言語を使いこなすもう一段高い能力を計算機に与えることにより、計算機内での知識表現、さらには推論さえも自然言語によって行おうというわけです。

このようなレベルで言語や知識を取り扱うことは、人間とは切り放された、いわばシミュレーション的言語理解であると見られるかも知れません。しかし、言語はその使用の中に意味があるともいわれます。言語の観察を大規模に精緻に行うことによって言語をモデル化することができれば、それはある意味ではその背後にある人間活動にまで踏み込んだモデル化となるはずで、さらに、それによって、情報検索、機械翻訳など、人間の言語・情報活動を支援する言語処理アプリケーションに対しても飛躍的進展をもたらすと確信しています。

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」のページに掲載)

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
- 電磁工学講座 電磁エネルギー工学分野 (島崎研)
- 電磁工学講座 超伝導工学分野
- 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)
- 電子物理学講座 極微真空電子工学分野 (石川研)
- 電子物理学講座 プラズマ物性工学分野 (橋研)
- 電子物性工学講座 半導体物性工学分野 (木本研) *
- 電子物性工学講座 電子材料物性工学分野 (松重研)
- 量子機能工学講座 光材料物性工学分野
- 量子機能工学講座 光子電子工学分野 (野田研)
- 量子機能工学講座 量子電磁工学分野 (北野研)

附属イオン工学実験施設

- 高機能材料工学講座 クラスタイオン工学分野 (高岡研) ☆

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 (森広研)
- 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 (中村研)
- 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 画像情報システム分野
- 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 (近藤研)
- 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

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 (吉川潔研)
- 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

- 診断統御研究系 レーダー大気圏科学分野 (深尾研)
- 診断統御研究系 大気圏精測診断分野 (津田研)
- 開発創成研究系 宇宙圏電波科学分野
- 開発創成研究系 生存科学計算機実験分野 (大村研)
- 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)

国際融合創造センター

- 融合部門
- ベンチャー分野 §
- 創造部門
- 先進電子材料分野 (藤田静研)

高等教育研究開発推進センター

- 情報可視化分野 (小山田研)

学術情報メディアセンター

- 複合メディア分野 (中村裕研)

注 § 工学研究科電子工学専攻橋研と一体運営

電磁工学講座 電磁エネルギー工学分野（島崎研究室）

<http://www.kuee.kyoto-u.ac.jp/outside/annai/teacher.php?id=7>

「スライディングメッシュを用いたモーター磁界解析」

現代社会においては電力の約半分がモーターによって消費されており、また今後、環境への負荷が低い電気自動車の普及が予想されることから、モーターの更なる高効率化と小型軽量化が必要とされている。そのためには高精度電磁界シミュレーションに基づくモーターの小型省エネルギー化設計が不可欠である。しかし、モーターなど可動部を含む対象の電磁界を高精度に解析するためには、位置の変化に応じた計算格子の再構成を必要とすることが通常であり、解析アルゴリズムが煩雑となりやすい。

そこで、本研究室では、モルタル有限要素法を用いたモーターの磁界解析手法を検討している。モルタル有限要素法は領域分割法的一种であるが、領域の境界面で計算格子が整合（一致）している必要がないため、計算格子の柔軟な構成が可能となる。例えば、モーター解析において、回転部と固定部の格子をスライドさせて用いることができる（図1）。このモルタル有限要素法については、非整合格子を用いた定式化法と計算誤差に関する理論的な研究が進んでいるが、これを大規模電磁界解析に実際に適用するにあたっては、帰着する連立一次方程式の解法など解決すべき問題が残っている。例えば、連立一次方程式の解法については、現在最も代表的な解法であるICCG法の適用が容易でない。

そこで、モルタル有限要素法を用いる際に現れる連立一次方程式の効率的な解法を検討した。モルタル有限要素法にICCG法をそのまま適用すると、IC前処理計算に密行列が現れて計算コストが増加する。そこで、密行列の計算を回避する近似IC前処理手法を提案した。その手法により、永久磁石モーターの2次元磁界解析を行った。図2は回転子の回転角が0度の時の計算格子であり、回転に伴って回転子部分の格子がスライドして用いられる。図3にトルク波形の計算結果を示す。格子の非整合があっても、トルクが滑らかに変化していることがわかる。また、図4に、連立一次方程式の解法による計算時間の比較を示す。2次元解析においても、従来法（対角前処理CG法、ICCG法）と比較して、計算時間が大幅に短縮されている。

参考文献

T. Matsuo, Y. Ohtsuki and M. Shimasaki, 12th IEEE Conf. Electromag. Field Comp., PB4-5, 2006.

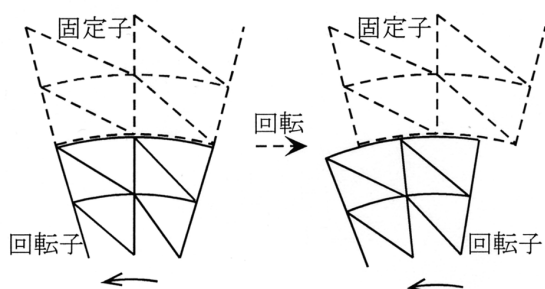


図1. スライディングメッシュ

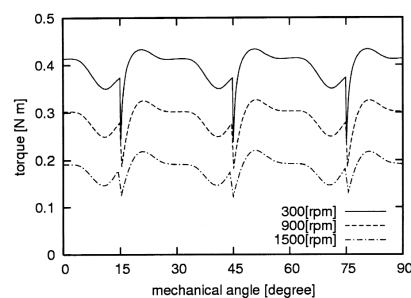


図3. トルク波形

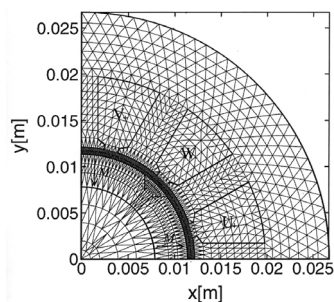


図2. モーターの計算格子（回転角0度）

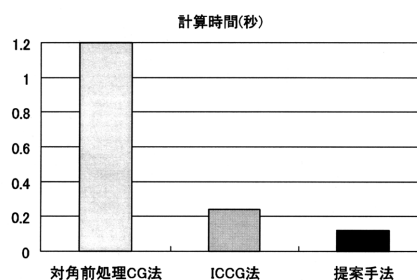


図4. 計算時間の比較

電気エネルギー工学講座 電力変換制御工学分野 (引原研究室)

<http://www-lab23.kuee.kyoto-u.ac.jp/indexJ.html>

「ハイブリッドシステム論を用いた電気エネルギーシステムの解析」

近年、規制緩和にともなう電力自由化や、環境負荷低減をめざした分散形電源の導入など、電力システムをとりまく環境が大きく変化しています。また、2003年に北米・イタリアなどで発生した大規模停電は、電力供給の不確実性が社会へ与えるインパクトの大きさと安定供給の重要性を私達に再認識させています。当研究室では、上記の背景をもとに、電気エネルギーの供給を目的とした「電気エネルギーシステム」の解析手法および設計・制御論の確立を研究テーマの一つとしています。ここでは、当研究室の電力変換・制御工学という観点からおこなっている、ハイブリッドシステム論にもとづく電力システムの解析について紹介します。ハイブリッドシステムとは、シンボリックな変数と連続値変数が混在するようなシステムをいい、切替を含むシステムのモデル化に適しています。電力システムでは、保護リレー動作にともなう送電線切替や電源制限などによりネットワーク構成が瞬時に変化します。一方、発電機・負荷のダイナミクスや直流送電による潮流制御などは連続的なものです。これらは、電力システムに生じるダイナミクスをハイブリッドシステムを用いて解析し、送電線切替や電源制限などの制御手法を検討する可能性を示しています。

以下では、上記研究の一例として同期発電機に関する過渡不安定性の評価手法を紹介します。図1の電力システムにおいて、F点で交流1回線故障が発生した場合を考えます。このとき、発電機G2が過渡不安定(脱調)にいたるか否かを筆者らの提案手法で検討したものが図2です。図2は故障発生時刻における発電機G2の動作点の集合を表しています。灰色の領域に属する動作点で故障が発生した場合、発電機G2の脱調回避は困難であり、一方無色の領域では脱調回避が可能であることを示しています。ここで提案手法を用いることにより、故障発生後の回線遮断や電源制限などの離散的操作(制御)を含めて故障発生時刻に過渡不安定性を評価できる点が重要です。従来の評価手法、例えば電力システムシミュレータを用いた実験的検討では故障発生時における評価は困難であり、エネルギー関数などを用いた直接法では回線遮断などによるシステムのハイブリッド性を考慮できません。本研究の提案手法は上記を克服するものであり、ハイブリッドシステムによるダイナミクスのモデル化と可到達集合とよばれる概念を用いて初めて可能になりました。なお本研究は、21世紀COEおよび科研費の補助を受けるとともに、電力会社との共同研究により遂行したものです。

参考文献

引原, 平17電気学会全大, vol. 6, p. 187 (2005); 崎山 他, 平成18電気学会全大, vol. 6, pp. 269-270 (2006); 薄 他, 平成18電気学会全大, vol. 6, pp. 271-272 (2006)

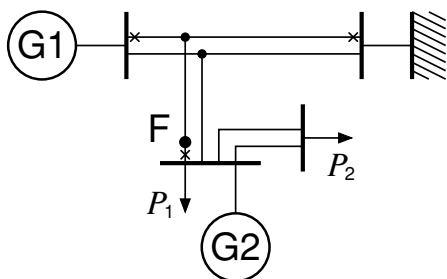


図1. 二機無限大母線系統

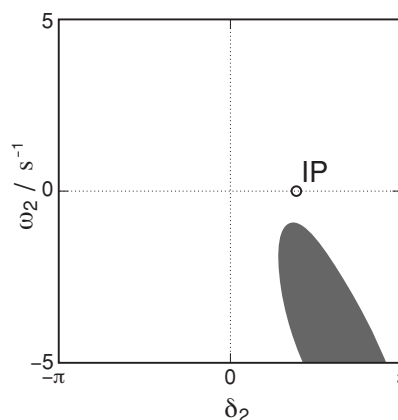


図2. 過渡不安定領域。灰色の領域にある動作点で故障が発生した場合、発電機G2の脱調回避は困難であり、一方無色の領域では脱調回避が可能であることを示しています。

集積機能工学講座（鈴木研究室）

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

「高温超伝導体の固有ジョセフソン接合」

ジョセフソン効果とは、2つの超伝導体を1nm程度の非常に薄い絶縁層を介して接合した時に起こる現象で、絶縁層を通して超伝導電流が流れ、電流が臨界値を超えると1ps以下の高速で接合が電圧状態にスイッチするのが特徴である。このような接合をジョセフソン接合という。超伝導は巨視的量子効果の発現であり、超伝導状態は超流動濃度の位相と振幅で表される。ジョセフソン接合に流れる超伝導電流は2つの超伝導体の位相差を θ とすると $\sin \theta$ に比例して流れる。この効果を利用することにより巨視的量子効果を電気信号として取り出すことができるようになる。つまり、ジョセフソン接合は超伝導という巨視的量子効果を電気信号に変えることのできるほぼ唯一のデバイスである。

従来の金属超伝導体ジョセフソン接合は、表面を薄く酸化した上にもう一度超伝導金属を蒸着することによって作製されていた。ところが、高温超伝導物質は銅を含む酸化物であるために、この方法は利用できない。これまで種々の方法が考案されてきたが、トンネル型の接合に関してはまだ十分な特性を示すものは得られていない。一方、高温超伝導体は超伝導層が絶縁層と交互に積層されている層状結晶構造を有しているため、結晶構造そのものがトンネル型の絶縁層と見なすことができる。実際、微細加工法により原子層数層を取り出してその特性を測定すると理想的なジョセフソン接合特性を示すことを明らかにしてきた。当研究室では固有ジョセフソン接合を取り出す際の微細加工法にさらに改良を加えることにより、10個以下の固有ジョセフソン接合を均一に取り出すことに成功した。図1はビスマス系高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (BSCCO) の単結晶から形成された $10 \mu\text{m}$ 角、厚さ7.5nmの微小メサ構造の電流電圧特性で、5原子層の特性である。高温超伝導体で形成されたトンネル接合のほぼ理想的な特性と言える。

これまで固有ジョセフソン接合特性が観察された高温超伝導物質はホールキャリアをドーピングした高温超伝導体であったが、当研究室では結晶構造や抵抗率の異方性を考慮すると電子ドーピング型高温超伝導体でも固有ジョセフソン接合特性を示す可能性があることから、電子ドーピング型高温超伝導体 $\text{Sm}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4-\delta}$ (SCCO) の単結晶を用いて微小メサ構造を作製し、メサ構造の寸法が約 $2 \mu\text{m}$ 角以下になった場合のみ固有ジョセフソン接合特性を示すことを明らかにした。図2はSCCO電子型高温超伝導体の微小メサ構造において初めて観察された固有ジョセフソン接合特性である。

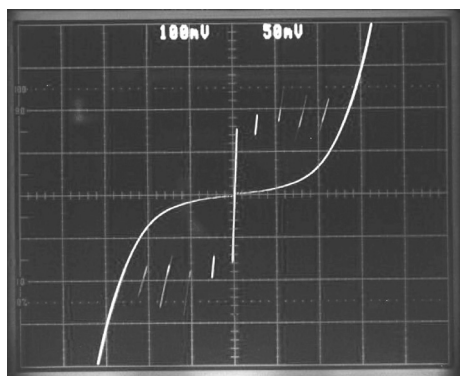


図1. BSCCOの固有ジョセフソン接合特性
(Y軸: 1mA/div, X軸: 50mV/div)

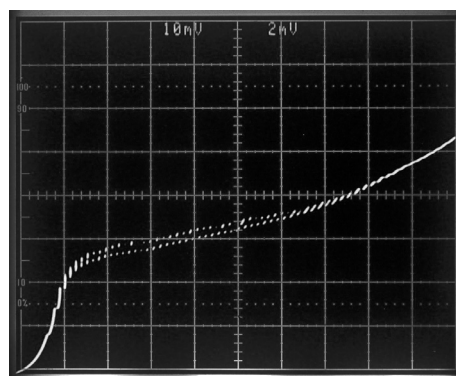


図2. SCCOの固有ジョセフソン接合特性
(Y軸: 0.1mA/div, X軸: 7mV/div)

電子物理工学講座 極微真空電子工学分野（石川研究室）

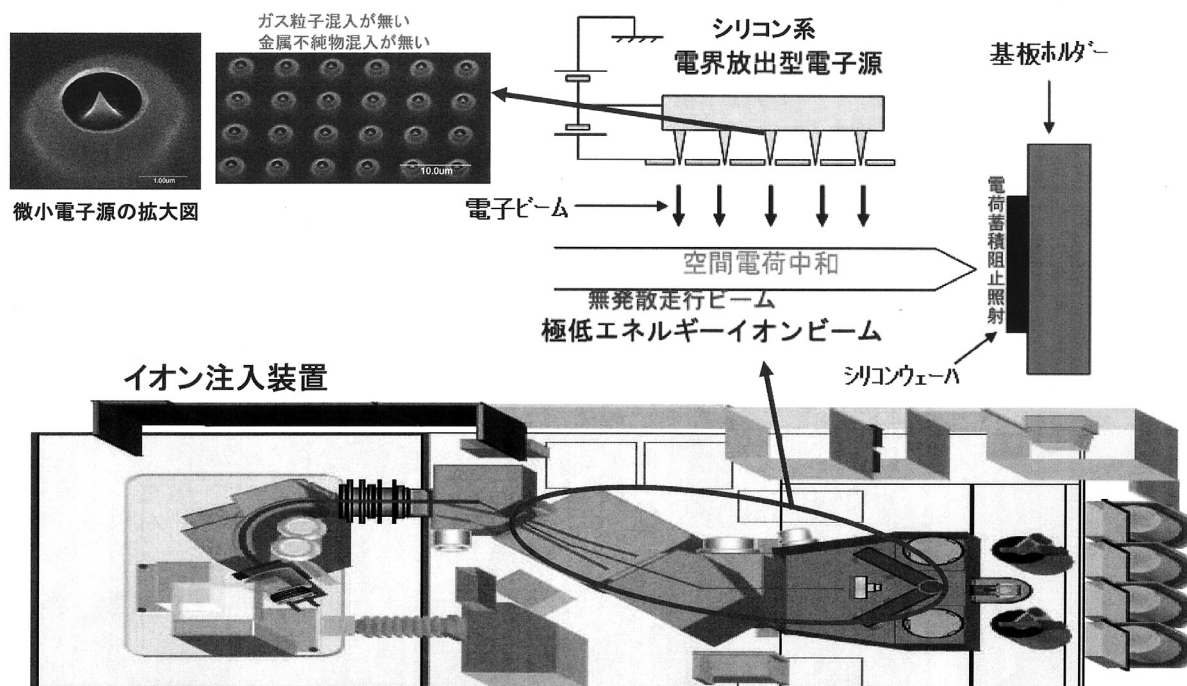
http://www.kuee.kyoto-u.ac.jp/lab16/index_j.html

次世代半導体デバイスに向けた低エネルギーイオンビームの無発散走行照射技術の開発

次世代半導体デバイスの極浅微細接合形成のためには低エネルギーイオン注入（0.2～0.5 keV）が不可欠な技術になってきます。しかし、低エネルギーではイオンビーム自身が持つ正電荷によるイオンビームの発散が顕著となるために、イオンビームの平行度の確保が非常に困難になります。また、従来のイオンビームの電荷中和技術においては、ガス粒子の混入や金属不純物の混入を避けることができないという問題がありました。この開発研究では、下図に示すように、石川研究室で独自に開発したシリコン系電界放出型微小電子線源を、イオン注入装置のイオンビーム輸送経路に配置して、この電子源から得られる低エネルギー幅電子束を用いてイオンの正電荷量を中和することにより、クリーンな空間において半導体基板への平行性ビーム照射と電荷蓄積阻止を実現しようとするものです。

シリコン系電界放出型電子線源によって低エネルギーイオンビームの高効率走行を実現させるこの技術によって、従来イオン注入装置において用いられてきた技術である外部から電磁界力でイオンビームを集束する手法の性能及び複雑性の限界を克服することができるとともに、半導体基板へのイオン注入において粒子汚染のない電荷蓄積阻止も実現できるため、次世代半導体デバイスのイオン注入工程の飛躍的な生産性向上を促すことができ、次世代高度情報通信社会の実現に大いに寄与することができると考えています。

この開発研究は、独立行政法人科学技術振興機構（JST）研究成果活用プラザ京都の平成18年度から3年間の育成研究としてスタートしたもので、石川研究室が中心となり、JST、日新イオン機器株式会社と共同で石川プロジェクトとして開発研究を進めていくことになっています。



量子機能工学講座 光材料物性工学分野

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

「マイクロファセットInGaN/GaN量子井戸構造による多波長発光の実現」

窒化物半導体を用いた発光ダイオードが、紫外から緑色の波長領域ですでに実用に至り、従来のAlGaInP系赤色発光素子と組み合わせたフルカラーディスプレイや信号機などがすでに我々の生活に浸透してきている。これら、半導体を用いた発光素子の特徴の一つは、発光スペクトルの幅が狭く波長純度が高いことである。このため、発光色は鮮やかな色となる一方、中間的な淡い色を出すことが原理的に難しい。そこで、蛍光体を組み合わせたり、複数の発光素子を集積したりするが、いずれの方法も一長一短である。

これに対して当研究室では、最近、結晶再成長技術を用いれば、複数の結晶面（マイクロファセット）で構成された三次元的なGaInが形成できること、その上に発光層となるInGaN/GaN量子井戸を結晶成長すれば、結晶面によってIn組成や膜厚が異なり、その結果、発光色が異なることを見出した。発光効率に影響を与える発光遷移確率を考慮すると、図1の(a)に示すように、通常のC面上へのInGaN/GaN量子井戸では、ピエゾ電界によって電子と正孔がお互いに井戸の垂直方向で引き離されるために、波動関数の重なり積分が小さくなり発光確率を低下させる。とくにInリッチな緑から赤色発光層においては、この影響が顕著であり、素子の効率を大きく左右するファクターとなっている。しかしながら、われわれが提案している構造(b)から形成される無極性面および半極性面では、ピエゾ電界がほとんどゼロになり、貫通転位密度も低減できるため、可視全域で大きな発光効率が期待される。

実際に、有機金属気相エピタキシー(MOVPE)によって作製した{11-22}半極性面マイクロファセットからのフォトルミネッセンスは、中心波長530nm(緑色に対応)で非常に高い内部量子効率(約50%)で発光する。さらにある成長条件では、発光帯は450~650nmと、青から赤色までほぼ可視全域をカバーできることが明らかになった。これを蛍光顕微鏡とバンドパスフィルターの組み合わせによって観察すると、ファセット上部から下部に向けて赤、黄色、緑色、青色と帯状に発光しており、In組成分布によりこのようなブロードバンド発光が実現していることが示され、これをマイクロレインボーカラーと命名している。

この成果は、テイヤード固体光源のための今後有望な技術として発展させられるものと期待しており、[K. Nishizuka, M. Funato, Y. Kawakami, Y. Narukawa, and T. Mukai, *Appl. Phys. Lett.* **87**, 231901/1-3 (2005).]への発表論文が*Nature*誌のResearch Highlights (**438**, p.892, 2005)として紹介された。

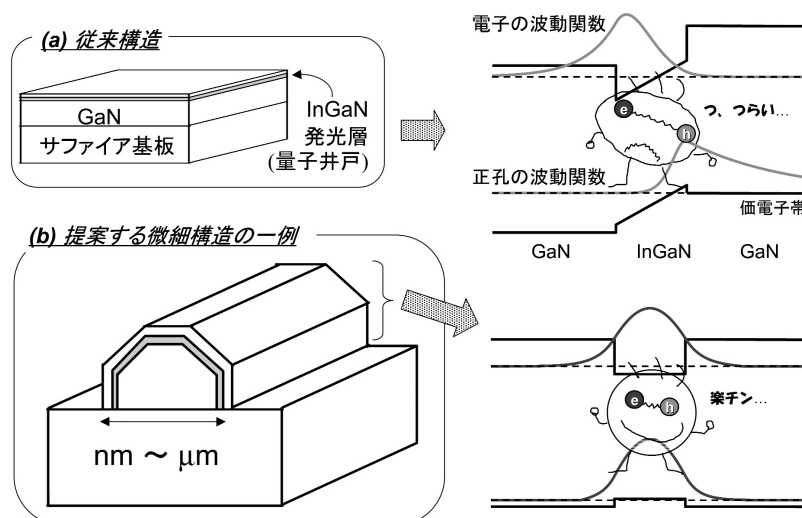


図1. (a) 通常のC面上InGaN/GaN量子井戸, (b) われわれが提案したマイクロファセットInGaN/GaN量子井戸構造

通信システム工学講座 デジタル通信分野（吉田研究室）

<http://www-lab14.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

「無線ネットワークにおけるマルチホップ伝送とレート制御の特性比較」

日常生活のあらゆる局面でネットワークの恩恵が享受できる、ユビキタスネットワークへの期待が高まっている。このようなネットワークでは、無線端末の自律分散制御が望ましい場合が少なくない。具体的には、マルチホップ伝送により情報を伝送する形態が仮定されることが多い。この形態の無線ネットワークとして早期に実現が期待されているものの一つに、無線メッシュネットワークがある。これは無線LANにおけるアクセスポイント間をマルチホップ伝送を用いて相互に接続するものである。これにより、無線LAN設置形態の柔軟性が高まり、さらなる発展につながる可能性がある。無線LANの標準化を行うIEEE 802.11s 委員会において標準化が進められており、産業界でも注目度の高い技術である。

このマルチホップ伝送のメリットの一つはサービスエリアの拡大である。例えば、直接通信（シングルホップ）できない端末との間に、他端末を中継局とするマルチホップ伝送を導入すれば、通信が可能になることは直感的にも分かりやすい。しかしながら、マルチホップ伝送で実現可能なQoS（サービス品質）は、直接通信の場合と必ずしも等しいと言えない。例えば、直接通信であれば送受信局間で常に伝送が可能であるのに対し、マルチホップ伝送時には中継局における同時送受信が困難なため、送信局と中継局の送信タイミングを分ける必要があり、単純にはスループットが半分となってしまう。また、2ホップ伝送を行うために別のチャネルを用いればスループットは下がらないが、元々別のチャネルを用いていたユーザは、通信ができなくなってしまう。

逆に直接通信であっても、市販の無線LAN機器にも用いられているレート制御（例えば伝送速度を下げる）を行えば、遠方でも通信が行える可能性がある。すなわちマルチホップ伝送とレート制御は、スループットを下げることで通信距離を拡大するという点で同じ技術といえよう。従って、同じ通信品質で考えた場合にマルチホップ伝送とレート制御のどちらが通信距離が長いかという問題は、直感的に分かるほどは明白ではない。

本研究では、図1のような直線上等間隔のマルチホップ伝送においてレート制御を行う場合のスループットを評価した。レート制御としては適応変調を考慮した。評価結果を図2に示す。横軸はエンドツーエンドの距離、縦軸はエンドツーエンドのスループットを示す。近距離ではマルチホップ伝送は得策ではなく直接通信がもっとも高いスループットを実現する。そして距離の増加に応じて、高いスループットを実現するためにはより大きいホップ数を用いる必要があることが分かる。現在、この単一通信のスループットの考えを拡張し、システムを構成した場合の単位面積あたりのスループットなどに関する検討を進めている。

参考文献

山本 高至, 楠田 厚史, 吉田 進, “エンドツーエンドの誤り率を考慮したマルチホップ伝送容量の評価,” 2004年 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-70, p.404, Sept. 2004.

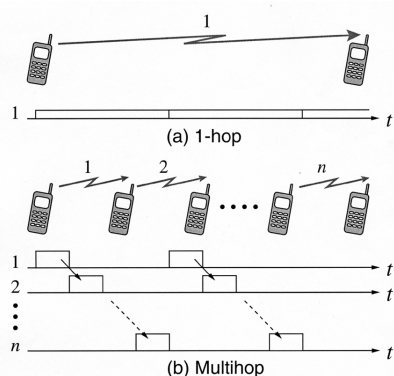


図1. マルチホップ伝送

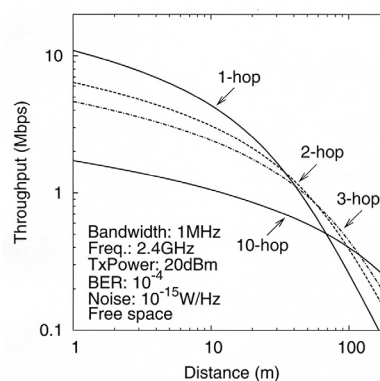


図2. 距離に対するスループット特性

通信システム工学講座 伝送メディア分野（森広研究室）

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

屋内電力線通信における漏洩電界の測定及び解析

屋内電力線通信とは、家屋やビル内の電力配線を用いて通信を行うことを指します。屋内電力線通信は、ネットワーク接続がコンセントを通じて簡単に行えるという利点を有し、海外では短波帯内の4MHzから21MHzの周波数帯を用いた、最大の伝送速度が80Mbpsを越える製品が既に市販されています。しかし、日本においては、電力線からの漏洩電波が無線通信機器に影響を与えることが懸念され、短波帯を利用した屋内電力線通信は禁止されています。無線通信機器への影響を軽減する屋内電力線通信技術を提供するためには、屋内電力線の構成要素と漏洩電波との相関を明らかにする必要があります。本研究室では、屋内電力線の構成要素と漏洩電波との相関について、測定実験を通じて検証し、その解析を行いました。

電力線通信信号は、電力線ケーブルの2導体間に印加されるディファレンシャルモード信号です。ディファレンシャルモード信号は、2導体の片方を往路、もう一つを復路とします。しかし、屋内電力線の構成要素によっては、2導体の両方を往路、グラウンドを復路としたコモンモード電流に変換されます。短波帯において、2導体上を流れるコモンモード電流は、ディファレンシャルモード電流に比べて、電波の輻射が大きいことが知られています。そのため、電力線通信信号がコモンモード電流に変換される屋内電力線の構成要素を明らかにするのが重要な課題となります。電力線通信信号がコモンモード電流に変換されるポイントとして、電力線ケーブル、柱上トランスでの片線接地、家電機器、片切りスイッチなどが挙げられます。そこで、図1に示す電力線モデルModel 0、1、2を電波暗室内に構築し、その漏洩電界強度及びコモンモード電流を測定しました。テレビ、ノートPC、蛍光灯、電子レンジは電源オフ、電話機、電気ポットは電源オンとしています。図2は、図1中のループアンテナによる電界強度の測定結果です。Model 2が測定周波数全体に渡り漏洩電界が非常に強いことが分かります。コモンモード電流発生源として顕著であったのは蛍光灯が接続されているコンセントであり、蛍光灯は片切りスイッチを含んでいることが他の家電機器と異なります。これらの結果から、蛍光灯に含まれる片切りスイッチがコモンモード電流の主要な発生源であることが分かります。従って、屋内電力線通信技術の開発には、屋内電力線に含まれる片切りスイッチの影響を考慮する必要があります。今後は、漏洩電界の測定結果に基づいた、屋内電力線通信における漏洩電界低減技術の開発を進めていく予定です。

謝辞

本研究の実験には、京都大学 生存圏研究所の電波暗室及び実験機器を利用させていただきました。ここに関係各位に感謝を申し上げます。

参考文献

- [1] M. Ishihara, D. Umehara, and Y. Morihira, "The correlation between radiated emissions and power line network components on indoor power line communications," Proc. IEEE ISPLC 2006, pp. 50–55, March 2006.

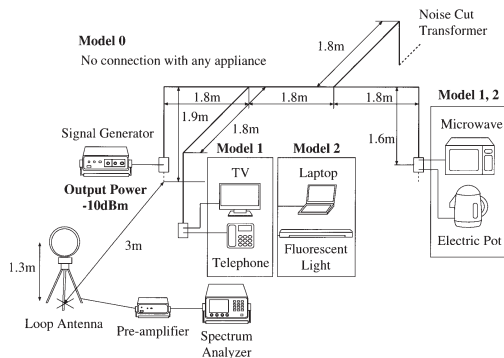


図1. 電力線モデルとその漏洩電界測定系

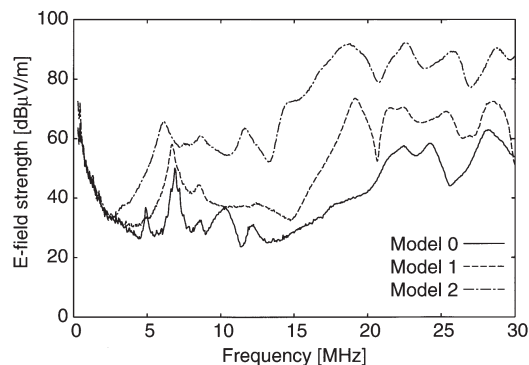


図2. 周波数 vs. 漏洩電界強度

システム情報論講座 医用工学分野 (松田研究室)

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

「Region-based Contour Treeを用いた3次元MRM画像群からのヒト胎児標本領域の自動抽出」

近年、ヒトゲノム解析の進展に伴い、ゲノムが担う遺伝子情報と成長により発現する形態との関係解明が求められている。胎児標本の形態情報をデータベース (DB) 化することは、発生に伴う複雑な形態形成に参与する遺伝子の働きを解明するための貴重な資源となる。我々は現在、京都大学大学院医学研究科附属先天異常標本解析センターが所蔵するヒト胎児標本コレクションを用いた形態DB検索表示システムの構築を進めている。京都大学が所蔵する標本コレクションは総計4万體以上に及び、世界に類を見ない大規模なものである。我々が対象としている標本は胚子期と呼ばれる時期のもので、発生段階の進展に伴いその形状は劇的な変化を遂げる。

システムの構築にあたり検討を進めている課題は多岐にわたるが、その1つに、標本を撮影した3次元画像中からの標本領域の自動抽出がある。これは、胎児標本の体表形状表示などを行う場合に、大量の3次元画像群から胎児標本領域を効率的に抽出することが必要となるためである。我々は、約1000體分の3次元MRM (Magnetic Resonance Microscopy) 画像群を対象に手法の検討を行っている。

我々が提案する領域抽出法は、閾値処理に基づくものである。閾値処理は単純な手法であるが、現在も数多くの検討が進められている。閾値処理の問題点として、抽出領域の連結性が保証されない点が挙げられる。この問題は領域拡張法により解決されるが、この場合も抽出領域内部に空洞が生じ得る。

我々はまず、多次元デジタル画像の等値面構造を記述する手法として、Region-based Contour Tree (RBCT) を提案した[1]。本手法では、デジタル画像を構成する全ての等値面が木構造の枝として表現され、等値面相互の並立・包含関係が木構造に基づいて記述可能となる。適切な条件の下でRBCTは根付木として表され、枝間に定義される親子関係が等値面の包含関係に対応する。

次に、RBCTを用いたインタラクティブな領域抽出手法を提案した[2]。これは、適切な閾値により得られる等値面が囲む領域を抽出する手法であり、連結性と空洞領域の回避が保証される。ある初期等値面に対応する枝から、根付木として表されたRBCTの根に向かって木構造をたどると、経路上の枝に対応する等値面は、包含関係により単調に拡張する。従って、注目する領域内部に初期等値面を設定し、等値面の拡張と観察を繰り返すことで、所望の等値面を効率的に探索することが可能となる。

3次元MRM画像群からの標本領域の自動抽出は、上記のインタラクティブな領域抽出手法を自動化することにより実現している[3]。画像の性質から標本領域内部には画素値の大きな部分があり、またRBCTを根に向かってたどることによる等値面の単調な拡張は、標本領域内外の境界付近で変化率が減少することに注目して、初期等値面の設定と等値面探索の自動化を行った。提案手法により、種々の発生段階を含む3次元MRM画像群から、適切に標本領域が抽出できることを確認した。

参考文献

[1] Mizuta S, Matsuda T, Lecture Notes in Computer Science 3656, pp.549-558 (2005)

[2] 諏訪、水田、松田、電子情報通信学会論文誌D (印刷中)

[3] 杜、水田、松田、塩田、電子情報通信学会技術研究報告 MI2005-57 (2005)

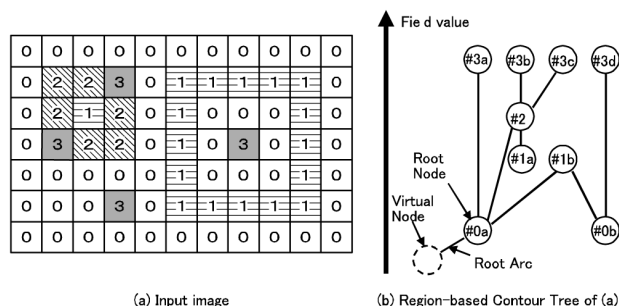


図1. Region-based Contour Tree

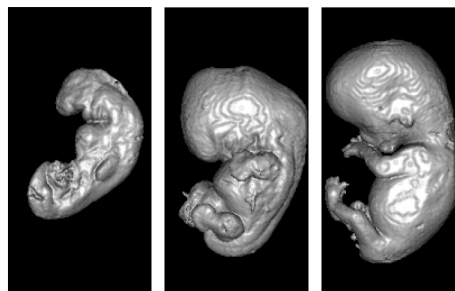


図2. 提案手法によるヒト胎児標本領域の自動抽出

エネルギー科学研究科 エネルギー社会環境学講座 エネルギー情報学分野

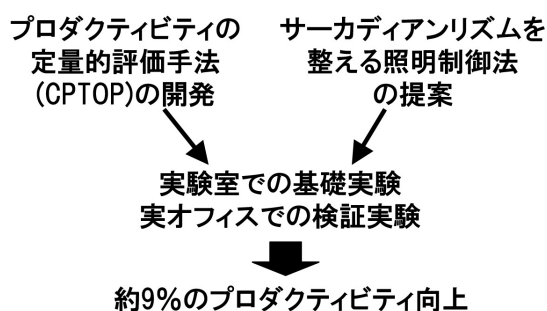
<http://hydro.energy.kyoto-u.ac.jp/>

「オフィスワーカーのプロダクティビティ改善のための照明制御法の研究」

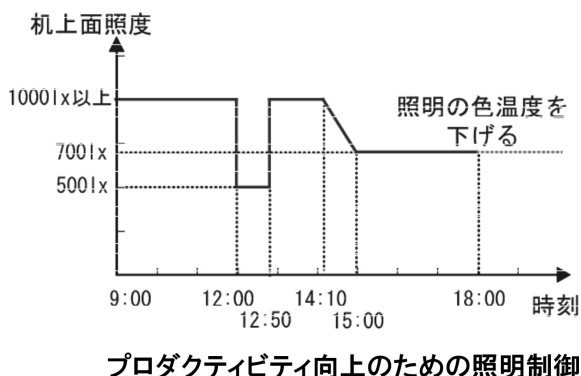
一般に企業では人件費が大きな割合を占め、オフィス環境の改善によりワーカーのプロダクティビティ（生産性）が向上すれば、その金銭的メリットは大きい。しかし、オフィスワーカーの作業効率を評価する手法は確立されておらず、環境改善による金銭的メリットを客観的に評価できないため、オフィス環境の改善は敬遠されがちである。そこで、本研究室では、オフィスワーカーの作業効率を定量的かつ客観的に評価するため、オフィスワークの知的能力を反映するタスクとして11種の基本タスクの組み合わせによるパフォーマンステストCPTOP（Cognitive Performance Test of Productivity）を開発し、これを用いてオフィス環境の改善効果を検証している。

一般に、プロダクティビティに影響する環境要因としては、換気量、室温が主要な要因と考えられているが、これらの改善には多くのエネルギー投資が必要となる。そこで本研究では比較的少ないエネルギー投資でワーカーの生体リズムを改善し、プロダクティビティにも大きな影響を与えようと考えられる照明に着目した。照明のプロダクティビティへの影響として、日中（特に午前中）に1,000lx以上の高照度光を浴びることで体内時計が調整され、10,000lxまでは照度とともに覚醒度が向上するということが知られており、こうした知見をもとに午前中および昼食後の高照度光照射によってサーカディアンリズムを整え、昼食後の眠気を解消することでプロダクティビティの向上を図る照明制御法を提案した。

まず、提案した照明制御法の効果を評価するため6名の被験者で基礎実験を行った。実験は高照度光1,400lx、標準的な700lx、高照度光2,100lxの条件の順で一週間ずつ行った。その結果、CPTOPによるパフォーマンス結果では2,100lxの高照度光条件で700lxの条件よりも有意に好成績となり、約9%のパフォーマンス向上の効果がある事がわかった。さらに、照明制御が実際のオフィスワークに対しても効果を示すかを検証するため、あるオフィスの経理部門において6名の被験者で高照度光3,500lxについて比較検証実験を行った。その結果、実際の経理処理作業に関して提案した照明制御によって成績が向上する傾向が確認された。



CPTOP(パフォーマンス評価テスト)



プロダクティビティ向上のための照明制御



あるオフィスでの比較検証実験の様子

応用熱科学講座 プロセスエネルギー学分野

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

「ZnO素子と抵抗を並列した超電導限流器の基礎特性の研究」

近年の電力需要の多様化や電力自由化の中、超電導限流器（SCFCL：Superconducting Fault Current Limiter）は遮断器の負担低減による系統信頼性の向上のほか、過渡安定度の向上も期待される為、各方面でさまざまな研究・開発が進められている。変圧器型超電導限流器は交流成分の抑制効果が高いことや発熱が小さい為復帰が早いなどといった特徴をもち、抵抗型限流器は事故時のエネルギーを発熱により消費するという特徴をもち、我々はその2つの限流器の特徴をもつような、変圧器型超電導限流器と抵抗を並列に接続した限流システム（図1）を提案し、その基礎特性について実験及び数値解析を行ってきた。

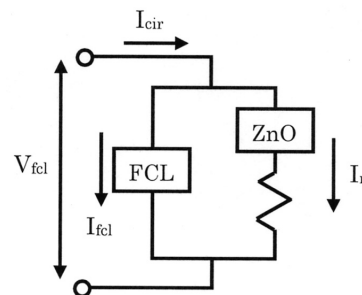


図1. 限流システム

この限流システムの原理を、図2のような限流器両端電圧 V_{fcl} 、抵抗電流 I_r 、回路電流 I_{cir} 、限流器を流れる電流 I_{fcl} の事故後の波形を単純化した図を用いて説明する。尚、ZnO素子は非線形抵抗素子の1つであり、バリスタ電圧と呼ばれる電圧値までは高抵抗であり電流があまり流れず、バリスタ電圧をこえると低抵抗になるという特性をもち、

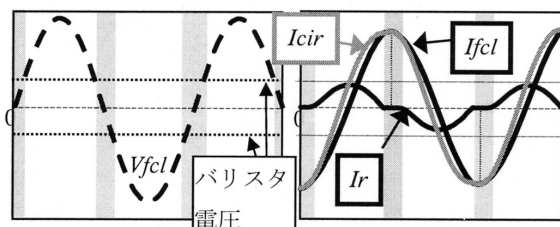


図2. 限流システムの動作原理

本実験では待機時には抵抗側に電流が流れず、動作時にのみ電流を流す為、ZnO素子を用いた。

ここで図2より、 V_{fcl} がバリスタ電圧より低い部分ではZnO素子はOFFとなり、抵抗側に電流は流れない。この部分で I_{cir} がピークをとると、変圧器型限流器のみの限流となっており、変圧器型限流器の特徴である電流抑制効果を保っていると考えられる。また V_{fcl} がバリスタ電圧を超える部分ではZnO素子はONとなり抵抗側にも電流が流れ、抵抗において抵抗型限流器の特徴であるエネルギー消費が起こる。図3の様な単相回路を用いて、短絡事故時の限流動作実験を行った。図中のsw1は事故を、sw2は限流器復帰の為の限流器両端短絡を模擬するものである。実験結果の一例として、抵抗 $2\ \Omega$ ・バリスタ電圧 22V のものを用いた、 $I_{cir} \cdot I_r \cdot I_{fcl} \cdot V_{fcl}$ ・抵抗での消費電力 P について事故付近を拡大したものを図3に示す。これより変圧器型超電導限流器とZnO素子及び抵抗を並列にしてやることで、限流効果を保ったまま事故後のエネルギーを消費する限流システムとなることがわかった。今後は系統への影響を検討する予定である。

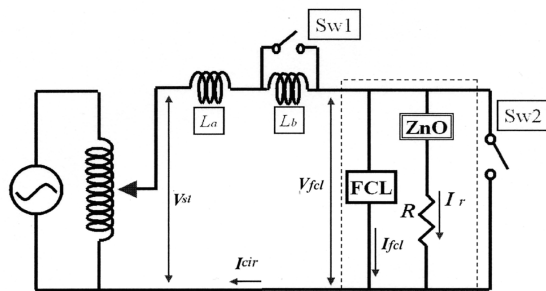


図3. 実験回路

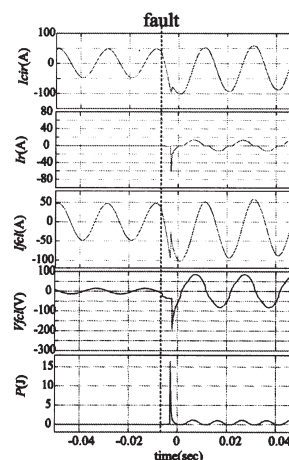


図4. 実験結果

生存圏診断統御研究系 大気圏精測診断分野（津田研究室）

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

「インドネシア域における降雨特性と植生変動の解析」

近年人間活動に伴う環境の悪化が現実のものとなり、地球環境を精測し動態を知ることが重要となっている。この際大気圏、森林圏などの境界領域に着目しその構造と変化を観測し相互作用を理解することが重要である。例えば森林生長は降雨量などの気象条件の影響を大きく受けるが、一方森林は光合成や呼吸を通じ二酸化炭素や水蒸気を大気と交換している。本研究では特に雨量が大きく、その変動が気候変動に大きな影響を与えるインドネシア領域に着目し、降雨特性と熱帯林の植生変化を調べている。

本研究では植生の指標として地球観測衛星による正規化植生指数（NDVI）を利用した。NDVIは葉緑素が赤色光を吸収し緑色光や近赤外光を反射する性質を利用した指数であり0～1の値を変動するが植生の多い部分で大きくなる。また、空気中の塵であるエアロゾルがNDVIに与える影響を調べるために衛星から観測されたエアロゾル指数（AI）を用いた。

図1にインドネシア熱帯雨林域のAI、降水量及びNDVIの平年年周変化を示す。降水量とAIはほぼ反相関の関係がありこれは空気中のエアロゾルが降水粒子に捕獲され地上に落下するためである。一方NDVIと降水量とも年周変化が見られるがそのピーク月は4、5ヶ月の差が見られる。この差を説明するためには、降水発生から植生増加に至るメカニズムの解明が今後重要である。

次にEl-Ninoにより極端な少雨となった1991年1月～1992年5月の時期に着目して、スマトラ、カリマンタン島南部域平均のNDVIと降水量の散布図を図2（左）に示す。1991年8～10月に降水が平年より大幅に低下し、同時にNDVIも低下している。1991年10月には0.2まで減少している。11月になると降水量は350mm/月まで回復するがNDVIは平年値より0.2程度小さいままでありその後数ヶ月をかけて回復している。

図2（右）にAIとNDVIの散布図を示す。1991年8～10月にAIが平年と比べ5倍増加している。AIの増加に伴いNDVIが減少しているがこれはNDVIが植生変化を捉えておらず山火事によるエアロゾル増加の影響を受け低下していると考えられる。しかし1991年11月には雨量は回復し、これに伴いAIは平年値に戻っているにも関わらず、NDVIは0.4でありその後徐々に回復している。

すなわち最も乾燥の強い時期は山火事によるヘイズの影響を強く受けるためNDVIの観測派正確でないが、降雨によりエアロゾル低下したのちも早魃や山火事による植生へのダメージはすぐには回復せずその後数ヶ月をかけて回復することが明らかとなった。

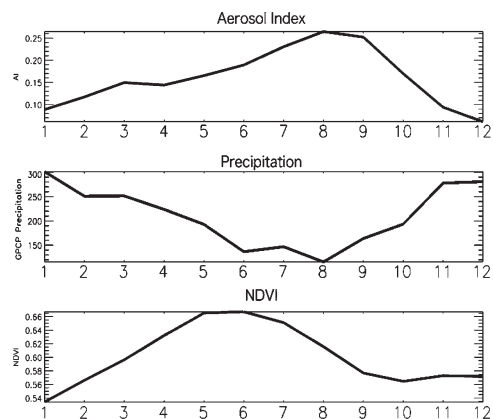


図1. 1981～1993年のAI、降水量、NDVIの平年年周変動。エルニーニョ発生年は平年計算から除外している。

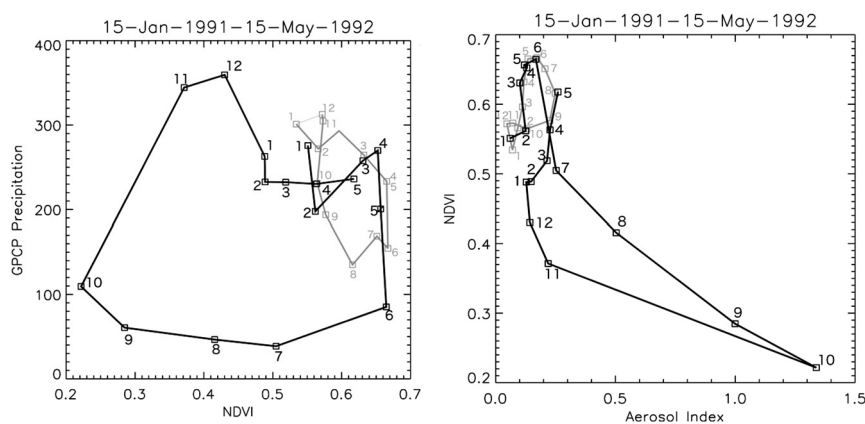


図2.（左図）1991年1月～1992年5月のAIと降水量の散布図（実線）。灰色線はEl-nino期間以外の年の平均年周変動。図中の数字は月を示す。右図はNDVIと降水量の散布図。

生存圏開発創生研究系 宇宙圏電波科学分野

<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/space/labo.html>

「宇宙用導電性木質材料の研究」

私たちの研究室が所属する生存圏研究所は、平成16年度に、旧木質科学研究所と旧宇宙電波科学センターが、発展的に改組・統合して生まれた新しい研究所です。その新しい研究所にあって、新しい研究

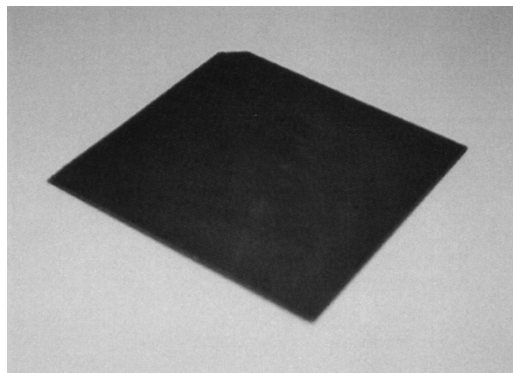


図1. 導電性木質材料のサンプル（カラーで見ると真っ黒である）。

研究テーマが生まれました。それが、今回ご紹介する「宇宙用導電性木質材料の研究」です。一般的に、木質というとは导体ではありません。軽くて丈夫というのは、感覚的にわかりますが、これを宇宙に用いようとする、色々問題があります。例えば、导体でなければ、宇宙空間で使用すると局所的に電荷の集中などが発生し、放電による故障の原因となります。また、宇宙において揮発ガスがあると、これも放電現象の引き金となります。ところが、木質科学系の先生とお話して、「導電性の木質」をつくることのできる、という事実を知りました。しかも、その重量密度は、宇宙で頻繁に使われるアルミニウムのそれよりも小さく、また、非常に頑丈な材料として製作できるとのこと。そこでこの材料を宇宙用に使うことができるかどうかを調べてみよう、ということになりました。

図1がその導電性木質材料のサンプルです。作成方法は、杉などの木材を細かいパウダー状にし、それを炉の中に入れ無酸素化で圧力をかけながらパルス大電流（数千アンペア）を流し、ジュール熱による自己発熱により焼結させてつくります（図2）。温度が600度くらいで急激に電気導電率が上昇し、

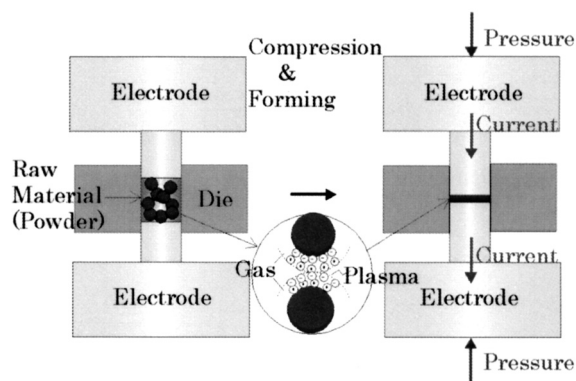


図2. パルス通電加熱法（畑, 2001より）

2000度くらいでは立派な导体になります。また、この焼結中の高温状態のために、木質内部にもつ水分などによる揮発ガスはすべて外部に出てしまい、宇宙に持ち出しても放電の原因になることはありません。昨年度、私たちは、この導電性木質材料を研究している生存圏研究所の畑講師の協力を得て、この材質を宇宙で利用するための特性試験をしました。焼結温度による体積抵抗率の変化、電磁シールド効果の周波数特性、ヤング率などの機械的なパラメータなどです。体積抵抗率はおおむね、 $10^2 \Omega \text{ cm}$ であり、アルミの $10^5 \Omega \text{ cm}$ よりは落ちるもののJAXAの基準はクリアしています。

一方、電磁シールド効果もアルミニウムとほとんど遜色ない効果が数10MHz帯域までみられました。一方、衛星などのBodyにこの材料を使う時に必要なのが、熱設計に必要な α （熱吸収率）、 ε （熱放射率）です。私たちは、宇宙航空研究開発機構の協力を得てこれらのパラメータの測定を行い、 α が0.9程度、 ε が0.15程度、という値を得ました。これは見た目黒色をしているこの材質の通りの値と言えます。かなり熱を吸収するので実際には白色塗料などが必要になるかもしれません。これからは、目的の形状に合わせて製作した材料の振動特性、表面から細かな粉が出てくる対策などについて取り組んでいく予定です。

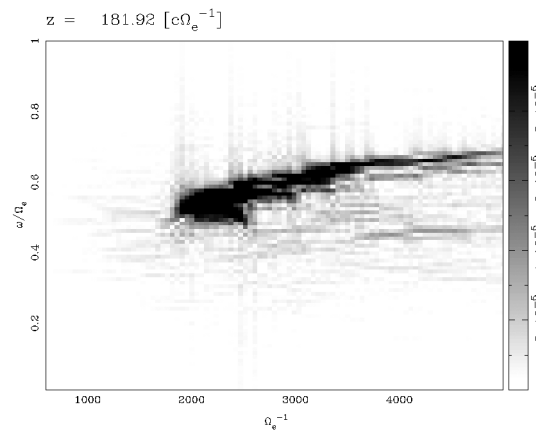
生存圏開発創成研究系 生存科学計算機実験分野（大村研） <http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/space/labo-o.html>

宇宙環境は希薄なプラズマで満たされているのみならず、宇宙線に代表される高エネルギー放射線が飛び交う場であり、通信衛星や宇宙ステーションを構成する部品はこれらの放射線の影響を受けて、劣化や様々な障害を起こしています。本研究分野では人類がその生活の場を宇宙空間へ拡大し、宇宙環境を有効利用してゆくことを前提として、地球周辺の宇宙空間の電磁プラズマ環境を計算機シミュレーションにより定量的に評価することに取り組んでいます。

最近の具体的な研究課題の一つとして、太陽フレアの発生により起こる磁気嵐の回復相において、地球放射線帯を中心として観測されるコーラス放射と呼ばれる特異なプラズマ波動の発生機構と、それと同時に起こる相対論的エネルギーの電子（killer electron）のフラックス変動の機構の研究に取り組んでいます。このコーラス放射は、磁気圏プラズマ中の代表的な波であるVLF帯ホイッスラーモード波の一つであり、数百ミリ秒の間に周波数が大幅に上昇するパターンが繰り返されるため、その周波数スペクトル

を音に変換すると小鳥がさえずっているように聞こえます。このコーラス放射は自然に発生する波ですが、極域・高緯度から人工的にVLF波動が放射される場合にも、それが磁力線に沿って反対半球へ伝播する過程で周波数が大幅に変動する波が二次的に励起されることが観測されており、VLFトリガー・エミッション（TE）と呼ばれています。これらのVLFホイッスラーモード波は地球磁気圏の高エネルギー粒子とのサイクロトロン共鳴によって生成されると考えられており、宇宙環境を理解する上で重要な手がかりとなります。1960年代後半から、京都大学電気系教室の前田研究室、木村研究室、加藤研究室、松本研究室において観測・理論・計算機実験を組み合わせて研究されてきましたが、コーラス放射やTEのような大幅な周波数変動を再現することは出来ませんでした。

最近の研究では、地球磁場の空間変動を取り入れた現実的なモデルの中で非常に多くの電子の運動方程式とマックスウェル方程式を解き進める電磁粒子コードにより、図のように周波数変動するTEを再現することに成功しました。また、このように周波数変動する波によりサイクロトロン共鳴する大部分の電子はエネルギーを失う一方、一部の共鳴電子が非常に効率良く加速されることも分かってきており、周波数変動に関わる長年の謎が解決されると共に、宇宙環境利用に向けて、放射線帯の相対論的電子のダイナミクスの理解と人工的なホイッスラーモード波による電子フラックスの制御という新たな研究が展開されています。



計算機シミュレーションによるTEのダイナミック周波数スペクトル

国際融合創造センター 創造部門 先進電子材料分野（藤田静研究室）

<http://www.iic.kyoto-u.ac.jp/sozo/fujita/>

「新技術による酸化物薄膜の機能創成」

われわれの周りには多様な材料は、新規な機能の発現によってわれわれに安全・安心な社会環境を与えてくれるわけであるが、同時に、地球にとっても安全・安心な材料開発を行うことが特に望まれる時代になってきた。砒素や燐といった危険な元素を含まない半導体の開発、さらに環境負荷の小さい材料育成技術の開発はその一例である。この観点から昨今GaN、InNといった窒化物半導体の研究が盛んであるが、ZnO、Ga₂O₃といった酸化物半導体は、酸素原料の安全性、窒化に比べて酸化の容易さ、といった点から今後の開発が期待されている。さらにほとんどの金属元素は酸化物を形成し、下表に示すような多様な機能を発現させる。

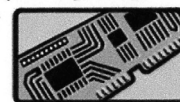
一方、材料育成技術に目を向けると、現在の半導体成長技術は砒素や燐を扱うことや成膜中の酸化を防ぐことを前提とした超高真空技術が基礎となっており、装置が複雑で消費電力が多く、環境負荷も大きい。しかし酸化物に対しても同様の技術が不可欠なのだろうか。酸化物は安定なうえ、成膜中の酸化はむしろ歓迎すべきことであり、地球により優しい育成技術が実現できるのではないだろうか。

このような観点から、われわれは特性が安全で安心して取り扱いできる原料の水溶液を超音波により噴霧し、形成されるミスト（水溶液微粒子）を供給して成膜を行う酸化物育成技術を開発した。超音波噴霧による成膜という基本的な手法は新しいものではないが、われわれは、既存の半導体成長技術に比べてもさらに大面積・高品質の半導体育成に有利となるような新規手法をこの中に取り入れた。

この新技術により、まずZnO透明導電膜の成膜を試み、原料選択によっては室温での成膜も可能となっている。その他、いくつかの酸化物薄膜の成膜やZnMgO混晶によるバンドギャップ制御・紫外光検出器への応用等を示した。現在ではZnOをはじめとするワイドギャップ酸化物半導体の新規育成技術として、既存の技術では困難なp型伝導を実現し、ワイドギャップ酸化物半導体の強い電子-光相互作用を活かした光デバイス作製の基盤技術としての進展を期している。

本研究は、大学の技術をもとに事業化・産業化を目指す知的クラスター創成事業「京都ナノテククラスター」、高知県地域結集型研究開発事業等のプロジェクトのもとで推進している。また、国際融合創造センターで化学工学、材料工学等を専門とする他教員との交流を持ち、各種専門からのアプローチによる融合的な研究を進めている。材料を作る人、使う人、そしてまた地球のすべてにとって、安全・安心をもたらす一助となることに、社会的な意義を強く感じている次第である。

性質	材料	応用例
透明導電膜	ZnO, ITO, SnO ₂	タッチパネル、ディスプレイ、太陽電池
半導体	Cu ₂ O, ZnO, CuAlO ₂	薄膜トランジスタ、センサ、バリスタ
絶縁膜	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , MgO	電子デバイス、コンデンサ
超伝導膜	YBCO	超伝導デバイス、線材
圧電体	STO, PZT, BST, ZnO	SAWフィルター、センサ
磁性体	(Ni,Zn)Fe ₂ O ₄ , CoFe ₂ O ₄	記録デバイス、スピン制御デバイス
光触媒	TiO ₂	エネルギー源、空気清浄、表面保護
反射防止膜	MgO, CeO ₂ , ZrO ₂	光部品、メガネ、紫外線防止ガラス
表面処理膜	Cr ₂ O ₃ , Y ₂ O ₃	表面保護



情報メディア工学講座 情報可視化分野（小山田研究室）

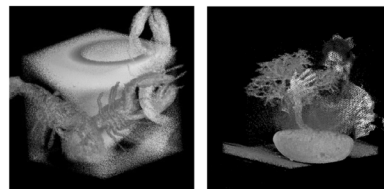
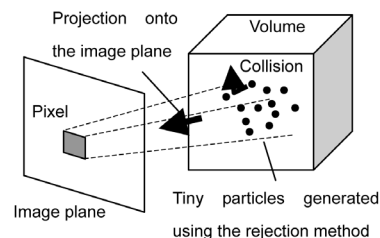
<http://www.viz.media.kyoto-u.ac.jp/>

粒子ベースボリュームレンダリングに関する研究

本研究室で取り組む可視化技術研究のうち今回はボリュームレンダリングに関する研究紹介を行う。ボリュームレンダリングは、数値シミュレーション結果や3次元医用画像のように格子空間で定義された数値データ（ボリュームデータ）をわかりやすく描画する手法として広く利用される可視化手法であり、1988年コンピュータグラフィックスに関する世界的権威である国際会議SIGGRAPHで提案された[1]。ボリュームレンダリングでは、ボリュームデータに対してマッピング操作を施し、色・不透明データに変換する。色データ変換時には、高い数値データには赤・低いデータ値には青といったマッピングが多く用いられる。不透明度データ変換時には、興味のあるデータには高い不透明度値を、そうでないデータには低い値をマッピングする。画像上の全ての画素と視点を結ぶ半直線上で、色・不透明度データをサンプリングし、これらを使って最終画像を生成する。この手法では、対象となるボリュームデータを構成する全ての格子データの寄与を計算しデータ全体の様子を把握することが可能であり、医療、工学をはじめとする様々な分野で利用されている。たとえば、3次元医用画像可視化の場合、骨と臓器に対してのみ高い不透明度を与えることにより、皮膚部分を透明化した画像を得ることができる。1990年から毎年開催されている国際会議IEEE Visualizationでは、ボリュームレンダリングの機能向上に関して、今も多く新しい手法が提案されている。

本研究室では、大規模ボリュームデータ・不規則ボリュームデータ向けボリュームレンダリング技術について研究を行っている[2-4]。これまでのボリュームレンダリングでは、ボリュームデータを発光物質を含む半透明ジェルとしてモデル化し、これらに対し、均質的なサンプリングを施し、画像生成を行うアプローチを採用してきた。この場合、対象とするボリュームデータのサイズが大きくなると、システム資源の不足が顕著化する。また、不規則ボリュームを取り扱う場合には、視点の変更毎のサンプリング点のソーティング処理に多大な計算時間がかかる。これらの問題に対し、我々は、粒子ベースのボリュームレンダリング手法を提案している。提案手法では、非均質なサンプリングを行う。注目したい領域のみに粒子を配置し画像生成を行うため、システム資源が一定の場合、効率の良い資源配分が可能となる。次にサンプリング点で発生させる粒子については、その粒径を画素に比較して十分に小さく、かつ不透明であるとした。これによりソーティング処理が不要となった。これまでのボリュームレンダリング手法では、発光粒子モデルから半透明ジェルモデルを定式化した。20年近く経て、本研究室では、もとの発光粒子モデルそのものを対象とするボリュームレンダリング手法[5]を提案している（下図参照）。

粒子ベースボリュームレンダリングでは、密度場をどうデザインするか、そして、与えられた密度場に対して粒子群をどう発生させるかが研究課題となる。前者では、興味ある領域をなんらかの方法で特定することであるが、ボリュームレンダリングシステムでは、データ値に対する不透明度を対話的に指定し、伝達関数を設定する。この伝達関数に基づき、密度場を計算することができる。または、数理的な手法によりボリュームデータにおける特異点をあらかじめ抽出しておき、その周辺に粒子を集中的に配置することも可能である。次に、その密度場に対して粒子をどのように生成するのかについては、素粒子物理学の研究成果に参照すべき技術を見出すことができる。現在、格子点上で密度場と一様乱数とを比較して点生成の制御を行うHit&Miss法、そして必ずしも格子点上に限定されない場所にも点生成が可能となるMetropolis法を利用している。粒子ベースボリュームレンダリングでは、複数ボリュームデータの同時表示が容易に行える（右図参照）。この特長は、複数のシミュレーション結果や3次元医用画像を空間に配置して比較検討を行うことのできるボリューム一覧空間の構築に有効となるものと考えられる。



参考文献

- [1] R.A.Drebin, L.Carpenter and P.Hanrahan, Volume Rendering, Computer Graphics, vol.22, no.4, pp.51-58, 1988.
- [2] Koyamada, K., "Visualization of Simulated Airflow in a Clean Room", IEEE Visualization' 92 Proceedings, pp. 156~163, 1992
- [3] Koyamada, K., and Itoh, T., "Fast generation of spherical slicing surfaces for irregular volume rendering," Visual Computer, Vol. 11, No. 3, pp. 167-175, 1995
- [4] Watashiba Y., Nonaka J., Sakamoto N., Ebara, Y., Koyamada K., Kanazawa M., "A Streaming-based Technique for Volume Rendering of Large Datasets", Proceedings of the IASTED CGIM2003, pp. 187-192, 2003
- [5] N.Sakamoto, and K.Koyamada, "Particle Generation from User-specified Transfer Function for Point-based Volume Rendering," IEEE Visualization Proceedings Compendium, pp.125-126, 2005.

情報メディア工学講座 複合メディア分野（中村（裕）研究室）

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

「次世代遠隔講義環境 ～ネットワークとアプリケーションの交渉によるマネジメント～」

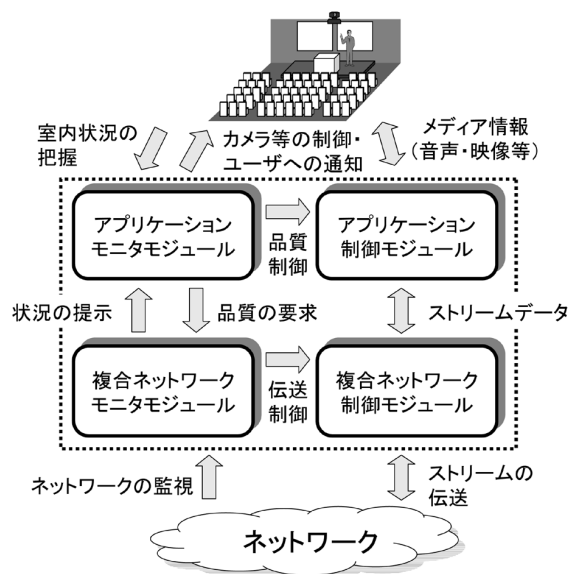
マルチメディア通信技術の進歩やブロードバンドネットワークの普及により、映像と音声によるコミュニケーションが比較的容易かつ安価に実現できるようになりました。このようなコミュニケーション技術は時間的・距離的・経済的制約の中で効率よく会議や講義を実現するために頻繁に使われるようになってきました。しかし、このような遠隔コミュニケーションには、まだまだ多くの課題があります。

参加者全員が同じ場所にいるときと比べて遜色ない遠隔コミュニケーション環境を作るためには、複数の高解像度の映像を低遅延で通信する必要があり、現在一般に普及している映像通信装置、ネットワークよりもずっと高い性能が必要となります。逆に、世界中の国と繋ぐためには、現在の日本よりもずっと悪いネットワーク環境を想定しなければならない場合もあります。このような遠隔通信における典型的な問題の一つとして、通信の安定性があります。現在のインターネットでは通信帯域が保証されていないため、映像のような大量のデータ通信が集中して輻輳が発生するとパケット廃棄や伝送遅延等が起こり通信障害が発生します。このような通信障害は映像の乱れや音声の途切れとして表面化し、相手の様子がわからなくなったり、対話ができなくなったりします。このような状況で円滑な遠隔コミュニケーションを行うためには2つのアプローチがあります。1つはネットワーク側において通信障害の抑制を行う努力をする方法です。例えば、帯域保証や誤り訂正、複数経路の併用といった手法が検討されていますが、これらの方法のみによる抑制には限界があります。もう1つは、アプリケーション側で使う帯域を制御する方法です。例えば送受信する映像の数や解像度、フレームレート、圧縮率等を調整することによって、必要とされる帯域を調整することができます。もちろん、この調整によって品質を落とせば、伝えるべき情報が伝わらなくなる可能性も出てきます。

この2つのアプローチは同時並行的に行うことが重要ですが、これまでの研究ではネットワークの空き帯域にのみ依存した制御が一般的でした。しかし、実際の会議や講義では、その進行に応じて、音声だけでも構わないときもあれば、話者の表情やジェスチャーが重要な意味を持つ場合や、資料の文字が詳細に読み取れることが必要な場合もあり、これらの状況は時間とともに変化します。また、対話を行っている場合は通信遅延を抑える必要がありますが、一方的な発言の場合は遅延が多少あっても大きな問題にはなりません。

そこで、我々はネットワークの空き帯域や輻輳状況の把握と並行して、遠隔会議や遠隔講義の状況の認識を行い、伝送すべき情報や品質に対する要求とネットワークの状況の両方を基に通信の制御を行う仕組みを導入する研究を行っています（右図参照）。

この研究のポイントの1つは、送るべき映像の解像度やフレームレートを変化させるだけでなく、映像の種類や本数も講義や会議の状況に応じて柔軟に変化させるところにあります。このような手法によって、様々なメディア情報を自在に編集し組み合わせながら、より豊富な情報を柔軟に提供することで、参加者に同じ空間を共有しているという臨場感や緊張感を与えたり、必要に応じて映画やTVのような演出を行うことにより効果的・印象的な遠隔コミュニケーションを実現することが目標です。



博士論文概要

【課程博士一覧】

岡村 崇弘	「Forced Convection Heat Transfer of He I and He II up to Supercritical Pressures」(超臨界圧に到るまでの種々の圧力下におけるHe I及びHe IIの強制対流熱伝達)	平成16年11月24日
清田 陽司	「Dialog navigator: A navigation system from vague questions to specific answers based on real-world text collections」(ダイアログナビ: 実世界テキスト集合に基づく漠然とした質問から具体的な回答へのナビゲーションシステム)	平成16年11月24日
阪本 卓也	「Nonparametric Imaging Algorithms for UWB Pulse Radars」(UWBパルスレーダのためのノンパラメトリックな画像化手法)	平成17年1月24日
ウ 小軍	「Parallel Pipeline Volume Intersection for Real-time 3D Shape Reconstruction on a PC Cluster」(PCクラスタを用いた実時間3次元形状復元のための並列パイプライン視体積交差法)	平成17年3月23日
小川 新平	「3次元フォトニック結晶による発光制御に関する研究」	平成17年3月23日
北村 雅司	「人間機械相互作用の認知工学的評価手法とPWR用中央制御盤への適用に関する研究」	平成17年3月23日
鄭 憲俊	「高温超伝導バルク回転子を適用した電動機の駆動機構に関する基礎的研究」	平成17年3月23日
城下 輝治	「データ配信プロトコルの構成法と性能評価に関する研究」	平成17年3月23日
薄 良彦	「Transient Dynamics and Stability Boundaries in Electric Power System with DC Transmission」	平成17年3月23日
高井 勇志	「High Fidelity and Versatile Visualization of 3D Video」(3次元ビデオの高精細・多様な映像化)	平成17年3月23日
筒井 弘	「組込み向けJPEG2000 符号化方式の実装法」	平成17年3月23日

根来 佑樹	「Ion Implantation and Embedded Epitaxial Growth for 4H-SiC Power Electronic Devices」	平成17年3月23日
延原 章平	「Deformable Mesh Model for 3D Shape and Motion Estimation from Multi-Viewpoint Video」(多視点映像からの3次元形状・運動復元のための弾性メッシュモデル)	平成17年3月23日
横山 光	「2次元正方格子フォトリック結晶面発光レーザーに関する研究」	平成17年3月23日
赤羽 良啓	「2次元フォトリック結晶高Q値光ナノ共振器とその応用」	平成17年5月23日
LIM AZMAN OSMAN	「Power and Rate Control in Wireless Ad Hoc Networks」 (無線アドホックネットワークにおける電力とレート制御)	平成17年5月23日
河原 大輔	「Automatic Construction of Japanese Case Frames for Natural Language Understanding」(自然言語理解のための日本語格フレーム自動構築)	平成17年7月25日
矢野 一人	「Study on CDMA Non-Linear Interference Cancellers with Multi-Antenna Reception」(複数アンテナ受信を用いたCDMA非線形干渉キャンセラに関する研究)	平成17年7月25日
小池 俊昭	「Space-Time-Frequency Signal Processing for Spectrum-Efficient Multiple-Antenna Wireless Transmission Systems」(周波数利用効率に優れた複数アンテナ無線伝送システムのための空間時間周波数信号処理)	平成17年9月26日
山本 高至	「Capacity and Spectral Efficiency of Multihop Radio Networks」(マルチホップ無線ネットワークの容量と周波数利用効率)	平成17年9月26日
周 楊平	「プロセスプラントの運用支援システムのためのソフトコンピューティング手法に関する研究」	平成17年9月26日

岡村 崇弘 (塩津教授)

「Forced Convection Heat Transfer of He I and He II up to Supercritical Pressures」
(超臨界圧に到るまでの種々の圧力下におけるHe I及びHe IIの強制対流熱伝達)

平成16年11月24日授与

超流動ヘリウム (He II) は常流動ヘリウム (He I) に比して優れた冷却特性を持ち、核融合炉や加速器などの大型超伝導マグネットの冷媒として期待されている。本研究論文はHe II やHe Iを超電導コイルの冷却流路やコイル巻線の中に強制対流させて冷却する場合の冷却設計や安定性解析の基礎データをを得ることを目標として、超臨界圧に到る種々の圧力下で試験ダクト中の平板発熱体における強制対流熱伝達を求め、熱流動現象を実験的・解析的に論じた結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1) 大気圧下He IIの強制対流熱伝達実験を試験ダクト長さや断面積、ダクト中央内部に貼り付けた平板試験発熱体の表面積等を種々変えて行い、熱伝達や臨界熱流束の流速、液温、試験部寸法依存性を明らかにした。従来、臨界熱流束が流速上昇と共に直線的に増加するモデルが提示されていたが、流速が大きくなると飽和傾向を示すことを初めて明らかにした。こうした実験結果を基に超流体熱輸送と顕熱輸送の効果を考慮した臨界熱流束表示式を提示した。

2) 大気圧下、He IIで強制対流冷却された発熱体に臨界熱流束より高い波高値をもつステップ状熱入力があった場合の過渡熱伝達について実験を行い、定常熱伝達曲線の外挿線上に有限の寿命を持つ準定常状態が存在してから発熱体温度が急上昇し膜沸騰に移行することを明らかにした。ステップ高さが非常に大きい場合は、伝熱面近傍の温度分布が急峻で、温度境界層が層流低層内となるため、寿命は流速の影響を受けず、浸漬冷却の場合の表示式と良く一致するが、ステップ高さが低くなるにつれて流速の影響が顕著に現れることを示した。

3) 二流体モデルと超流動乱流理論に基づくHe II二次元熱流動解析コードを開発し、臨界熱流束解析結果が実験結果と12%以内で一致することを示し、このコードの有効性を確認した。数値解析により、臨界熱流束実験結果が流速上昇に伴い飽和傾向を持つのは、流速が大きくなるに従い、発熱体近傍の温度境界層厚さが薄くなり、臨界熱流束時の発熱体位置における流路断面平均温度がHe IIからHe Iへの転移温度 (ラムダ温度) より低くなって顕熱輸送の上昇が少なくなる結果であることを示した。

4) 2.8 atmの超臨界圧下でHe IIとHe Iの強制対流熱伝達実験を1)と同じ種々の形状の試験部を用いておこない、流速、液温、試験部寸法依存性を明らかにした。He IIの場合、流速、液温、試験部寸法が同じ時の大気圧下のデータと比較すると、臨界熱流束は僅かに低くなり、臨界熱流束以上の熱流束領域の熱伝達は大気圧下より良くなることを明らかにした。一方He Iの場合、臨界温度以下の液温では、熱伝達曲線が勾配の大きい低温域と勾配の小さい高温域からなるが、臨界温度以上では変曲点は観測されないことを実験的に明らかにするとともに、これは極低温でのみ生じる固体表面温度とそれに接する流体温度との間の温度ギャップ (Kapitza抵抗) に起因することを示した。また試験ダクト内の発熱体設置部分は流体力学的には十分発達しており、熱的には助走領域であることを考慮した層流・乱流領域の熱伝達表示式を提示し、層流熱伝達から乱流熱伝達への遷移レイノルズ数を明らかにした。

5) 超臨界圧下He Iの2次元強制対流熱伝達解析コードを開発した。臨界温度以上では流体の圧縮性が強くなるため、圧縮性を考慮した基礎式を計算精度と安定性に注意を払ったアルゴリズムで解析し、実験結果と比較してその有効性を確認した。流体の速度分布や温度分布を求め、流体の粘性が温度が高くなるに従い急激に大きくなることに基づく発熱体近傍の特異な速度分布や温度分布を明らかにした。

以上、本研究は超電導マグネットの強制対流ヘリウム冷却に関し、幅広い冷却条件に対する熱流動特性を実験的・解析的に明らかにしたもので、その成果は学術上、実際上寄与するところが少なくない。

清 田 陽 司 (松山教授)

「Dialog navigator: A navigation system from vague questions to specific answers based on real-world text collections」

(ダイアログナビ：実世界テキスト集合に基づく漠然とした質問から具体的な回答へのナビゲーションシステム)

平成16年11月24日授与

コンピュータ、ネットワークの発達にともなって、私達の日常生活はパソコン、携帯電話、デジタル家電などの複雑な製品に取り囲まれたものとなっていますが、それらを使いこなすことは簡単ではありません。一方で、製品の電子マニュアルも整備されてきており、コールセンターなどに蓄積される対応記録を含めると、製品を使う上で生じる疑問・質問の大部分に対する答えは、テキストとして蓄積されているという状況です。しかし、ユーザの疑問・質問とそれらのテキストとの間にはさまざまなずれがあるため、なかなか求める答えにたどりつくことができません。大きく分けて、表現のずれ、具体性のずれがあります。企業のコールセンターや製品のエキスパートは、これらのずれを質問の柔軟な解釈やユーザとの対話によって解消することができます。一方、現在のテキスト検索システムにはこれらの能力がないため、ユーザ側でこれらのずれに対処する必要がありますが、一般ユーザにとっては困難です。また、人工知能的アプローチによってこれらのずれに対処するエキスパートシステムの研究がかつて行われていましたが、すでに蓄積されている大量のテキストにそれを適用することは不可能です。

本研究では、企業のコールセンターで蓄積されている大規模なテキスト知識ベースをもとに、自然言語処理技術を活用してユーザの質問とテキストの間のずれを解消するシステムの実現に取り組みました。まず表現のずれに対しては、質問とテキストの柔軟で厳密なマッチング手法を提案しました。本手法は、質問文とテキスト文の文構造を考慮した正確なマッチングを行い、同時にフレーズレベルの表現のずれを吸収するというものです。また、重要な言語現象である換喩によって生じる文構造のずれに対処する方法も提案しました。一方、具体性のずれに対しては、上記のマッチング手法にもとづき、トップダウンとボトムアップの2種類の聞き返しを組み合わせてユーザを対話的に求める答えに導く方法(図1)を提案しました。

以上の提案手法を実際にマイクロソフト株式会社のソフトウェア製品に関する対話型質問応答システム「ダイアログナビ」(図2、<http://www.microsoft.com/japan/navigator/>)として実装し、マイクロソフトのWebサイト上で一般公開運用した結果にもとづいて総合的な評価を行いました。その結果、約7割の質問に対しては適切に回答できるという結果を得ました。また、聞き返しを行うための提案手法が有効に働いていることを確認しました。

なお、本研究は筆者が東京大学大学院情報理工学系研究科の特別研究学生、産学連携研究員として、黒橋禎夫助教授(当時、現京都大学大学院情報学研究科教授)の指導のもとで行い、平成14年4月からは「ダイアログナビ」の一般公開運用を開始しました。平成16年には科学技術振興機構(JST)さきがけ研究員として、京都大学学術情報メディアセンターの河原達也教授のもとで「ダイアログナビ」の音声インタフェースの研究に取り組みました。また、本研究の遂行にあたってはマイクロソフト株式会社の方々に多大なご協力をいただきました。実社会で蓄積されている膨大なデータを研究に利用する機会を与えられたことは、貴重な経験となりました。研究を支えてくださった多くの方々に深く感謝いたします。

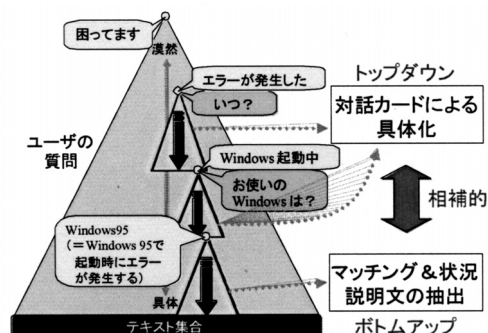


図1. 聞き返しによるユーザ質問の具体化

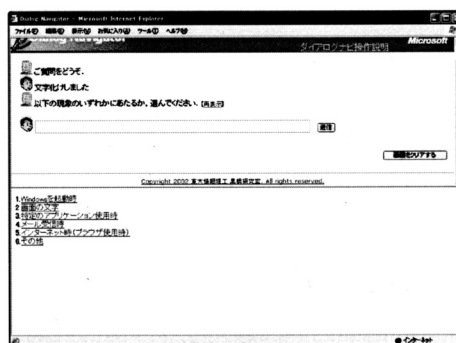


図2. 「ダイアログナビ」の画面

阪本卓也 (佐藤教授)

「Nonparametric Imaging Algorithms for UWB Pulse Radars」
(UWBパルスレーダのためのノンパラメトリックな画像化手法)

平成17年1月24日授与

近い将来、災害現場等での救助用ロボットの活躍が期待されている。カメラ等の光学手法が使用不可能な状況下で機能しうるUWB（超広帯域）パルスレーダをロボットの立体状況測定に使用することは有利である。一般にUWBパルスレーダで近傍の目標物体形状を推定する問題は設定不適切逆問題の一種として知られている。この問題を解くための様々なアルゴリズムが既に提案されている。しかし、従来法の多くは地下探査や非破壊検査などを目的とし、物体の種類に依存せず動作するように反復処理を使用するパラメトリックな手法であるため、画像化に極めて長い計算時間を必要とした。一方、空気中の環境では目標物体の多くは明瞭な境界を有するという特徴を持っている。そこで本研究は明瞭な境界を持つ物体に特化したノンパラメトリックな目標形状推定アルゴリズムの開発を行い、ロボットなどの実時間処理に適した高速な手法を提案した。

単一の無指向性アンテナを2次元走査し、UWB信号であるモノサイクルパルスを送受信する。受信信号へは送信波形により生成した整合フィルタ処理の後、提案信号処理を適用する。xyz座標系内の $z=0$ 上でアンテナを走査し、アンテナ位置 $(x,y,z) = (X,Y,0)$ で受信された信号を $s(X,Y,Z)$ と定義する。ここで $Z=ft/2$ とする。但し、 t は受信時刻、 f は中心周波数である。 x,y,z,X,Y のいずれも中心波数で正規化する。明瞭な輪郭を有する目標境界上の (x,y,z) と $s(X,Y,Z)$ の等位相面上の点 (X,Y,Z) の間には次式の可逆な変換関係が成り立つことを明らかにした。

$$\begin{cases} X = x + z\partial z / \partial x \\ Y = y + z\partial z / \partial y \\ Z = z\sqrt{1 + (\partial z / \partial x)^2 + (\partial z / \partial y)^2} \end{cases} \quad \begin{cases} x = X - Z\partial Z / \partial X \\ y = Y - Z\partial Z / \partial Y \\ z = Z\sqrt{1 - (\partial Z / \partial X)^2 - (\partial Z / \partial Y)^2} \end{cases}$$

左の変換を境界散乱変換、右の変換を逆境界散乱変換と呼ぶ。また、 (X,Y,Z) の描く等位相面を疑似波面と呼ぶ。この逆変換が存在する意義は大きく、疑似波面が抽出されれば逆問題が上式の単純な変換に帰着され、数学的に厳密な解が反復によらず直接得られる。実際には信号から疑似波面をまず抽出し、逆境界散乱変換を適用する。次に、図1に示される完全導体目標に対し、提案手法の適用結果を示す。パルス送信間隔は0.25波長毎とし、 51×51 箇所でのパルス送受信を仮定する。疑似受信信号を数値計算により作成し、提案手法を適用する。推定目標形状を図2に示す。直接散乱波が受信される範囲において形状が推定されることが確認される。計算時間は単一のXeon2.8GHzプロセッサを用いて約0.1秒と高速である。

本研究では上記の原理を元にし、多重散乱による虚像の除去、不規則媒質中での形状推定、および凹面散乱による位相回転効果の補正による高精度化などの諸技術を開発し、それらの性能について詳細な検討を行った。本研究は室内環境でのイメージング用レーダ技術分野での大きな一歩となったと確信する。

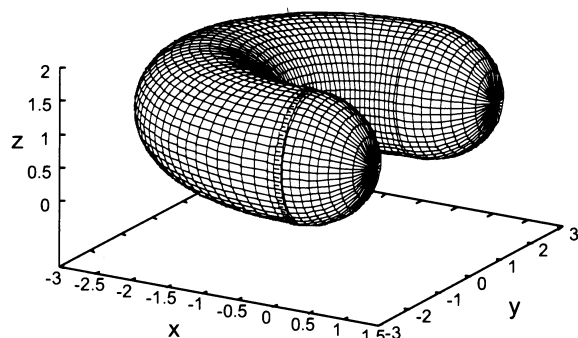


図1. 適用例に用いる真の目標形状

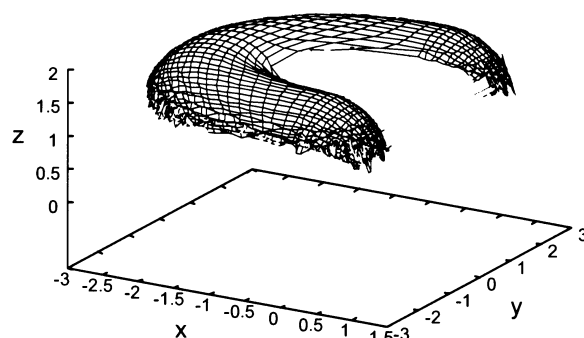


図2. 提案法により推定される目標形状

ウ 小 軍 (Xiaojun Wu) (松山教授)

「Parallel Pipeline Volume Intersection for Real-time 3D Shape Reconstruction on a PC Cluster」

(PCクラスタを用いた実時間3次元形状復元のための並列パイプライン視体積交差法)

平成17年3月23日授与

モーションキャプチャシステムを使った、装着マーカを対象とした3次元点運動計測ではなく、人間や動物の全身の3次元動作をありのままリアルタイムで計測することは、スポーツ解析や舞踊の記録、さらには3次元映像を用いた高臨場感通信など幅広い分野において必要とされる基盤技術となっている。

本論文は、分散配置されたカメラ群を持つPCクラスタによって、多数の異なった視点から対象の動きを撮影し、得られた多視点ビデオから、対象の3次元動作をリアルタイムに復元する並列パイプライン処理システムについてまとめたもので、6章から構成される。

第1章では、多視点画像から対象の3次元形状を復元する手法について概観し、本論文で提案する手法の基本的考え方、独自性について述べている。

第2章では、広い範囲に分散配置されたカメラ群の位置関係を正確に求めるカメラキャリブレーション法として、視点固定型パン・チルトカメラモデルを用いた方法を提案し、実世界を対象とした実験によって高精度キャリブレーションが実現できることを示している。

第3章では、撮影された多視点画像から対象の3次元形状を計算する手法として、3次元空間を平行平面群として表し、各平面上での対象の断面形状を求めることによって対象の3次元形状を復元する平面ベース視体積交差法を提案し、その計算効率の高さを解析的に示している。さらに、その手法を拡張した部分撮影・3平面視体積交差法を考案し、平面ベース視体積交差法における原理的問題点が解決できることおよび、計算の更なる効率化が図れることを解析的に示している。

第4章では、部分撮影・3平面視体積交差法に基づいた3次元形状復元システムを開発するために、(1) シルエット抽出 (2) シルエットの基準平面への投影 (3) 視体積の生成 (4) 視体積の交差 (5) 交差後の視体積の変換 (6) 変換後の視体積の交差の6段階の処理アルゴリズムからなるソフトウェアシステムを設計・開発し、各処理アルゴリズムの計算速度を実データを用いて定量的に評価し、その有効性を明らかにしている。性能評価実験では、カメラによる映像撮影を除くと、9視点から撮影された人物シルエットを1台のPCで処理した場合、空間解像度が2cmでは約15ms、1cmでは約1秒、5mmでは6～8秒で処理が行えることが示されている。

第5章では、4章で考案した処理アルゴリズムを並列化し、PCクラスタを用いたリアルタイム3次元形状復元を実現するために、次の2つの手法を提案している。(1) 基準シルエット複製並列アルゴリズム：平行平面群を部分集合に分割し、各部分集合を1台のPCに割り当てることによって、各平面上での対象の断面形状計算を並列に実行させる。(2) 各PC内での処理をパイプライン化し、更なる高速化を図る。実験では、人物の多様な動作を実際に撮影し、並列化、パイプライン化の効果を詳細に分析している。更に、並列処理とパイプライン処理をうまく同期させ、処理途中で待ち時間が生じないようにするためのパイプライン構成法について検討し、実用性の高い並列パイプライン処理方式を示している。最終的な性能評価実験では、9台のカメラによる撮影から始まるオンライン・リアルタイム処理によって、人物動作が1cmの空間解像度で毎秒12フレームの速度でリアルタイム復元できることが示されており、その実用性の高さを実証している。

第6章では、本論文全体について要約するとともに、今後の課題について議論を行っている。

小川新平(野田教授)

「3次元フォトニック結晶による発光制御に関する研究」

平成17年3月23日

本論文は、全ての方向において光の存在を禁止する完全フォトニックバンドギャップ (PBG) をもつ 3次元フォトニック結晶を用いた発光制御の実証を行った結果を纏めたものである。3次元フォトニック結晶は、これまで完全な光制御を期待されながら、作製の困難さから長年実現されていなかった。本研究の内容は次のように纏められる。

①ウエハ融着法によるストライプ積層型 3次元フォトニック結晶の作製方法を確立し、光通信波長域である $1.55\ \mu\text{m}$ 帯において完全PBGをもつことを実証した。

②完全PBGに与える構造ゆらぎの影響について詳細な検討を行った。ストライプの位相関係にゆらぎが生じた場合、ストライプ形状にゆらぎが生じた場合についてそれぞれ光学特性を評価し、ストライプ積層型 3次元フォトニック結晶が構造ゆらぎの影響を受けにくいこと、大きなゆらぎが生じた場合でも、積層数を増加させることにより、その影響はさらに小さくなることを実験的に示した。

③ 3次元フォトニック結晶を用いた発光制御に不可欠な発光体ならびに欠陥共振器の導入方法について詳細な検討を行った。特に、発光体とフォトニック結晶の融着を阻む原因が、それぞれの基板材料の熱膨張係数の差による熱膨張ストレスであることを突き止め、実験的・理論的な検討によって、基板薄膜化により、回避することが可能であることを実証した。最終的に、基板薄膜化と低温加熱を用いた異種材料融着技術を開発し、発光体ならびに欠陥共振器を 9層フォトニック結晶に導入することに成功した (図. 1 (a) (b))。

④ 3次元フォトニック結晶に発光体と欠陥共振器を導入した試料について発光特性を評価することで、次のことを実証した。完全PBGによって、全ての方向において発光が抑制されること。また、欠陥を導入することによって、欠陥が共振器として作用し欠陥モードが形成されること。欠陥モードの数・波長は、欠陥の形状によって任意に制御が可能であること (図 1 (c))。3次元フォトニック結晶中の欠陥共振器は、特異な 3次元共鳴によって形成されているため、Q値は積層数に大きく依存し、共振器体積を減少させてもQ値の低下を招かないという優れた共振器特性をもつこと。

以上、本論文では、3次元フォトニック

結晶による発光制御を世界に先駆けて実証することに成功した。また、最終的には17層フォトニック結晶に発光体と欠陥共振器を導入した試料の作製に成功した。

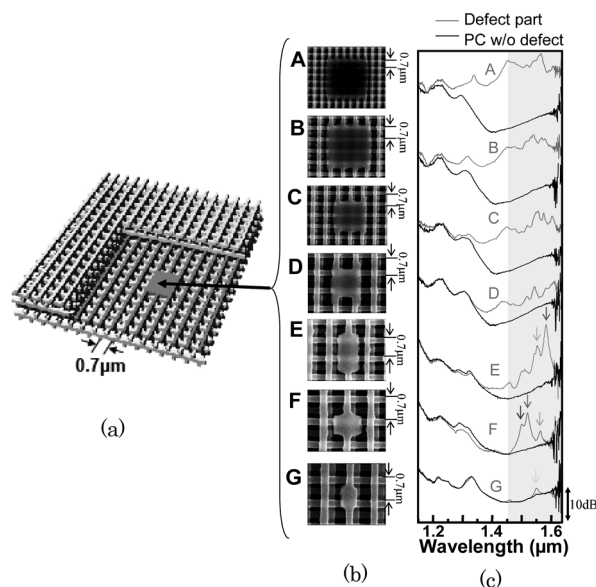


図1. 9層フォトニック結晶中の発光体欠陥の発光特性 (a) 測定試料の模式図 (b) 導入した欠陥のSEM写真 (c) 発光特性

北 村 雅 司 (吉川榮和教授)

「人間機械相互作用の認知工学的評価手法とPWR用中央制御盤への適用に関する研究」
平成17年3月23日授与

原子力プラントの中央制御盤のような大規模システムのヒューマンマシンインタフェースでは、人間機械相互作用の認知工学的評価のための具体的な手法は確立されていない。そこで本研究では、客観的かつ定量的な評価を可能とする新たな認知工学的評価手法を提起し、PWR型原子力発電所の中央制御盤に、それらの手法を適用してヒューマンマシンインタフェース設計の効果的な検証手法の確立することを目的とした。本研究で得られた主な成果は次のとおりである。

1. ヒューマンマシンインタフェースでの人間の内面行動である認知行動の、状態遷移に付随して視覚系その他の生理指標が変動することに着目し、複数の生理指標を組み合わせて人間の認知行動状態を推定する方法として、あいまい推論、統計的推定法、ニューラルネットによる方法を考案し、基礎実験によりそれぞれの推定精度を比較検討した。
2. ヒューマンマシンインタフェースにおける認知行動の状態推移をリアルタイムで推定する方法として、ニューラルネットによる推定法をもとに、ニューラルネット学習に必要な認知状態のサンプルデータ収集のための被験者実験法を考案するとともに、各種生理指標の計測、特徴抽出および認知状態推定を一体化したシステムを構成して、被験者実験によりその機能を検証した。
3. ヒューマンマシンインタフェースにおける人間信頼性の評価指標であるヒューマンエラー率とメンタルワークロードに対して、それぞれヒューマンエラー率の予測解析法であるTHERP手法と人間情報プロセサモデルによるタスク遂行時間の予測によって、簡便に定量評価する方法を構成し、これらを用いる机上評価で各種制御盤の設計代替案の比較検討を行った。
4. 原子力発電所中央制御盤のヒューマンマシンインタフェース設計の検証および妥当性確認を行うための動的検証に用いる事故シミュレータについて、分散型のシミュレータ構成とドリフトフラックスモデルによる気液二相流モデルの適用により、その実時間計算機能の実現と熱流動解析機能の向上を達成し、既存の実験データ等との比較により解析精度を検証した。
5. 原子力発電所中央制御室のヒューマンマシンインタフェース設計の評価基準に関する国際的動向を展望し、その要請である機能設計と詳細設計の2つの段階での検証の反復による評価、人間信頼性解析の組み込み、を反映して、机上評価とモックアップによる動的検証評価を組み合わせた客観評価法、運転員へのアンケート等による主観評価法、で構成される具体的な中央制御盤のヒューマンマシンインタフェース設計の定量的、総合的な評価検証手法を新たに提起した。
6. PWR総合デジタル化システム向け中央制御盤の標準設計仕様の開発において、上述の5.に提起した中央制御盤のヒューマンマシンインタフェース設計の評価検証手法に基づいて、3.による事前の机上評価の実施と、4.により機能向上を行った事故シミュレータを組み込んだ中央制御室モックアップにより実際の原子力発電所運転員を被験者にする動的検証実験、アンケート等による主観評価を実施して、提起した評価手法の有効性を示した。

このように、本研究では、人間機械相互作用の新たな認知工学的評価手法の提起、PWR用プラントシミュレータの機能高度化、および原子力発電所中央制御盤の総合的な設計評価・検証手法の体系化を行った。これらの成果は大規模プラントのヒューマンマシンインタフェース設計評価法の向上に貢献するものと考えられる。

鄭 憲 俊 (大澤教授)

「高温超伝導バルク回転子を適用した電動機の駆動機構に関する基礎的研究」

平成17年3月23日授与

本論文では、近年特性向上が著しい酸化物系高温超伝導バルク体を対象とし、それを回転子に適用したアキシシャル型電動機の駆動機構を実験的・理論的に解明した。主な研究成果は以下のとおりである。

1. アキシシャル型高温超伝導バルク電動機モデル機を試作し、回転磁界中における高温超伝導バルク回転子表面の電磁特性を実験的に調べた。その結果、温度低下に伴って強化された磁束ピン止め力が、中心到達磁界を境として、複雑な磁化特性を示すことを明らかにした。
2. 試作した高温超伝導バルク電動機の動作試験（無負荷試験、回転子拘束試験、負荷試験）を行い、その特性を精査するとともに、上記電磁特性との関係を議論した。まず、空隙磁束密度空間高調波成分と無負荷特性の関係から、従来型常伝導電動機と同様に次同期運転が起こることを確認し、高調波成分低減の必要性を示した。次に、Bi-2223バルク電動機の拘束試験結果から中心到達磁界を評価するとともに、同磁界を閾値として、それ以下の磁界領域ではヒステリシストルクが支配的である一方、それ以上の磁界領域では磁束フローに伴う誘導トルクの影響が大きくなることを示した。即ち、高温超伝導バルク電動機の複雑な動作特性を議論する際に、中心到達磁界を指標とすることの重要性を明らかにした。
3. Bi-2223バルク電動機は、77 K程度の高温度領域では、中心到達磁界以上の磁界において誘導電動機的特性を示すが、運転温度低下（磁束ピン止め力増強）に伴ってヒステリシス電動機的特性へと回転機構が変化していくことを示した。一方、磁束ピン止め力の非常に強いSm-123バルク電動機では、77 Kにおいても同期運転が可能であるだけでなく、捕捉磁束電動機（擬似永久磁石電動機）として動作していることを突き止めた。
4. 等価回路を導入して高温超伝導バルク電動機の特性を解析し、測定から評価することが困難である二次側ソリッド回転子の電氣的諸量を詳細に検討した。まず、回転子拘束時の等価回路パラメータを決定すると共に、その妥当性を静止トルク特性測定結果との比較から検証した。次に、回転子拘束時の結果をもとに回転時の等価回路を導出し、同期時および非同期時における回転子側諸量の特性を詳細に議論した。
5. 2次側高温超伝導バルク回転子の電磁特性を3次元有限要素法によって解析し、その結果を可視化すると共に、バルク電動機の静止トルク発生機構との関係を明らかにした。その結果、静止トルク特性は、その立ち上がり時においてヒステリシストルクが支配的であり、同結果が実験結果と定量的に一致することを示した。さらに、有限要素法解析から評価した中心到達磁界は実験値とほぼ一致し、電動機特性評価における同パラメータの重要性を理論的にも明らかにした。

今後は、上記知見をベースに、主として極低温環境下における利用を指向した最適設計を行っていきたい。

城 下 輝 治 (中村行宏教授)

「データ配信プロトコルの構成法と性能評価に関する研究」

平成17年3月23日授与

ブロードバンドネットワークの普及により、各種デジタル情報を多数の利用者に届ける放送型の通信が可能になってきた。放送型の通信の基盤技術としてネットワークの中でデータを複製転送するIPマルチキャスト技術が確立され、映像ストリームの一般家庭への配信サービスも開始されている。しかしながら、ファイル等の受信後再利用するデータ配信については、パケット紛失等に対しても回復し、送達確認する信頼性保証の技術が必要となる。本研究は、データ配信の信頼性を保証する高信頼マルチキャストを主要課題として、実用の配信サービスに提供可能なデータ配信プロトコルの実現を目的として行った。本論文には以下の研究内容を含む。

データをネットワークで複製転送するIPマルチキャストを補完し、信頼性保証を実現する高信頼マルチキャストプロトコルについて検討し、ファイル形態のコンテンツの配信サービスを対象として、エンドエンド間のデータ再送制御により確実な同報型のデータ配信を実現する高信頼マルチキャスト通信プロトコルRMTP (Reliable Multicast Transport Protocol) を提案した。パケット単位のモデル解析、及び実装システムの実験評価により、数千対地の大規模なデータ配信についての性能評価を行い、提案プロトコルのスケーラビリティ (規模の拡充性) について論じた。

次に、実用的なデータ配信のために、高信頼マルチキャストのプロトコルの拡充について検討した。数百Mbyteの大容量データ配信のためのRMTPの拡充スキーム、及び、ネットワーク共用のためのフロー制御方式について提案した。実験システムの構築、衛星利用の広域ネットワーク上での評価を通して、提案技術の有効性を検証している。特に普及しているTCPプロトコルとの比較評価やデータフローの共存についての評価結果について述べている。また、ネットワークの大容量化による配信性能への影響について論じた。

さらに、高信頼マルチキャストを応用した大規模なデータ配信システム構築と検証実験、実用サービスへの適用について検討した。配信サービスに不可欠な運用機能としてスケジュール管理を提案し、Megacastシステムの構築について述べている。特にスケジュール管理のために性能評価を応用して、配信時間予測の機能を実現している。更に、流通チェーン店舗への実用配信、学校への配信実験、AMF (Asia Multimedia Forum) での国際配信実験など、同システムの導入事例について述べ、実用性について検証した。また、システム構築、導入を通して、API (アプリケーションプログラムインタフェース) などのプログラム形態についても論じた。

以上の研究は、同報型のブロードバンド通信サービスとして最初に普及した衛星ネットワークを利用して行い、いくつかの実用サービスにも配信システムとして提供した。最近、地上のブロードバンドインターネットでもIPマルチキャストによる情報配信が可能となり、本研究の成果も、地上のブロードバンドネットワークを利用したサービスシステムとしても導入されつつある。インターネット等ではブロードバンドとはいえ、帯域のようなネットワークリソースは多数の利用者で共有されており、安価なサービスを提供することもありネットワークだけではデータ到達は保証されていないベストエフォート型のサービス形態が現状である。このようにネットワークの能力が進展、変遷する中でも、品質の高いエンドサービスの実現のために、エンドエンドでの信頼性保証は普遍的な課題である。

なお、本論文には以上の高信頼マルチキャストの研究のベースとして行った(1)上位層プロトコルの階層構造に着目した評価研究、(2)文書、メールなど多様なデータ構成を対象とする上位層プロトコルのデータ構成についての評価研究も含む。プロトコルの構成、性能に関する研究は、社会のインフラとして通信ネットワークが普及する中で、今後も基盤的な研究としていっそう重要性を増すと考えられる。

薄 良 彦 (引原教授)

「Transient Dynamics and Stability Boundaries in Electric Power System with DC Transmission」

(直流送電を含む電力系統の過渡ダイナミクスと安定境界)

平成17年3月23日授与

近年、電力系統を支える技術的基盤・経済的環境の変化が著しくなっています。技術的には、直流送電やFACTS機器などの電力変換機器の導入が進められています。また、環境負荷低減などを目的として太陽光発電・風力発電・燃料電池などの分散形電源の研究開発が積極的に展開されています。さらに、経済的には電力自由化のような電気事業制度の再構築が進んでいます。これらの変化の下では、電力系統に生起する物理現象が従来とは異なった様相を呈することが予想され、2003年イタリアや北欧などで発生した広域大停電は上記との関連性を指摘されています。このような状況において、寡占供給を前提とした従来の電力工学の枠組でそれらを解析し制御することは困難であり、電気エネルギー供給に関わる新たなシステム論の工学基礎に立ち返った再構築が現在強く求められています。

本論文は、上記背景を踏まえ、電力系統のダイナミクスと安定性を工学基礎の観点から検討することを目的として、直流送電を含む電力系統の過渡ダイナミクスと安定境界に関する研究成果をまとめたものです。上述にもあるように、直流送電の既存電力系統への適用がその高機能性を背景として進められており、交直連系系統の過渡安定問題の解明は系統設計・運用の観点から重要です。例えば、過渡安定問題に関わる系統設計上の制約を緩和するために直流送電を導入した場合、交直連系系統という複合システムとしての過渡安定問題を考えることは運用上必要不可欠です。本論文は、現在運用中の交直連系系統のダイナミクスを記述する2種類の解析モデルに対して非線形動力学の観点から検討を加えることで上記問題に取り組んだものであり、得られた主な成果は以下のとおりです。

1. 非自励動揺方程式系に基づく検討により、直流送電電力に依存してフラクタル安定境界が発生することを明らかにしました。これにより、直流送電の運用に伴い交直連系系統の過渡ダイナミクスに不確定性が現れ得ることを示しました。
2. 非自励動揺方程式系を対象とした安定境界の解析的条件を、非線形動力学で知られたメルニコフの方法に基づき導出しました。本条件により、数値計算を援用することなく解析的に非自励系の安定境界を評価することが可能となりました。
3. 微分代数方程式系に基づく検討により、交直変換器の制御手法および交直系統間の電力均衡を考慮した安定境界の大域構造を明らかにしました。特に、微分代数方程式系を近似する特異摂動系を用いて安定境界の特徴付けを与えると共に、それを数値的に検証しました。本検討により、解析対象とした交直連系系統の安定境界が直流送電の非導入時とは定性的に異なる大域構造を有する可能性を示すと共に、その大域構造が交直連系系統の過渡ダイナミクスに対して支配的であることを明らかにしました。
4. 微分代数方程式系の有する不連続解の検討により、交直連系系統に発生し得る故障条件と安定境界の大域構造との関係を明らかにしました。本結果により、上述した安定境界に関する検討結果が実系統の動作検証に対して有用であることを示しました。

以上本論文により、直流送電を含む電力系統の過渡ダイナミクスと安定境界について新規かつ詳細な知見を得ることができました。現在は上記成果を出発点として、新たなシステム論の構築に向けてハイブリッドシステムの観点から電力系統の解析および制御に関する研究を進めています。最後になりましたが、現在もご指導頂いている先生方、ご議論頂いている研究室構成員各位に厚く御礼申し上げます。

高井 勇 志 (松山教授)

「High Fidelity and Versatile Visualization of 3D Video」

(3次元ビデオの高精細・多様な映像化)

平成17年3月23日授与

3次元ビデオは、実世界における人や動物などの形、動き、色を3次元の実写映像として記録した新しい映像メディアであり、教育、医療、娯楽、デジタルアーカイブなど様々な分野での利用が期待されている。

本論文は、3次元ビデオの映像化の方法として、撮影画像に忠実かつ高精度に映像化する方法（高精度映像化）および、幾何学的・光学的編集を行うことによって新たな映像効果を加え映像化する方法（多彩な映像化）についてまとめたものである。本研究による成果は以下の通りである。

1. 高精度映像化を実現するテクスチャマッピング法の開発

撮影カメラと表示視点の位置関係を考慮し、頂点色の補間により対象の色を再現する方法（視点依存頂点ベーステクスチャマッピング法）を考案し、完全に正確とはいえない形状に対してもB影映像とほぼ同等の画質を持った任意視点映像を生成する方法を開発した。

2. 光学的編集のための光源環境推定法の開発

スケルトンキューブと呼ぶ中空の立方体の参照物体を考案し、その陰影を解析することにより実環境における複雑な光源放射強度を安定に推定する方法を開発した。また、より詳細な光源環境推定のために、差分球と呼ぶ仮想的な参照球体を考案し、その陰影の持つ幾何学的な特徴を利用することによる光源種類・位置・放射強度推定法を開発した。

更に、この2つの方法を組み合わせる事による、実践的な実光源環境の推定方法を開発した。

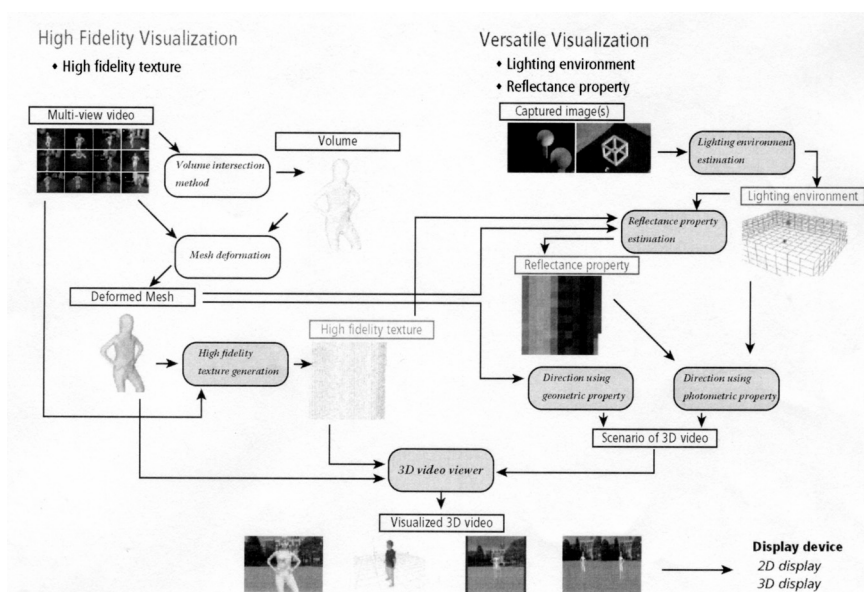
3. 多彩な3次元ビデオ映像化の考案

多彩な映像化を、幾何的編集と光学的編集の2つの視点から捉え検討を行った。その結果、幾何的編集では対象形状を利用したシーン構図決定法を開発し、光学的編集では対象の反射パラメタの推定方法や、撮影時の光源の影響を取り除き新たな光源を加るといった映像化方法を開発した。

4. 3次元ビデオI. ビューワの開発

本論文において開発した技術を実現し、インタラクティブに3次元ビデオを表示できるビューワソフトウェアを開発した。このソフトウェアは、広く用いられている3Dグラフィックス表示ライブラリと、グラフィックスプロセッサを直接操作する命令を駆使することにより、デスクトップパソコンのみならず、比較的性能の劣るノートパソコンにおいてもリアルタイムで3次元ビデオを表示可能なものである。

以上のように、本研究を通じて3次元ビデオの映像化技術は大きく発展し、各種報道機関による紹介や、西陣織工業組合の西陣織会館における着物着付け体験者への3次元ビデオ撮影サービスなどで、広く巷間に知られる存在となった。今後も3次元ビデオ技術に関する研究開発を行い、実社会においてより有効に活用できるものへと発展させていきたいと考えている。



筒井 弘 (中村行宏教授)
 「組み込み向けJPEG2000 符号化方式の実装法」
 平成17年 3月23日授与

画像を統一的に符号化し取り扱うことを目的として2001年1月に標準化された静止画符号化標準JPEG2000は、高圧縮・高機能を特長とし、幅広い新規画像利用分野への応用が期待されている。そこでは、さまざまな形態や性能の機器、サーバ、ネットワーク、端末が存在し、状況に応じたさまざまな要求仕様のもとでのシステム設計が必要となる。そこで、本論文では、さまざまな組み込み機器における実装上の制限及び、アプリケーション上の要求に応じて、それに最適な実装を容易に実現可能なデザインフレームワークを提案する。概念図を図1に示す。本デザインフレームワークを用いれば、プロセスやチップサイズなどの設計上の制限と解像度や処理速度などの要求性能からそれに最適な実装が得られる。

ここで、JPEG2000の符号化手順について簡単に説明する。入力画像はまずタイルと呼ばれる矩形領域に分割され、各タイルは独立に離散ウェーブレット変換 (DWT;Discrete Wavelet Transformation) される。DWTが施された画像は量子化され、符号化ブロックと呼ばれる矩形領域に分割される。符号化ブロックはEBCOTと呼ばれる処理によって圧縮される。復号化はこの逆の手順となる。これらの処理のうち最も処理に時間を要するのはEBCOTおよびDWTである。提案デザインフレームワークでは、このEBCOTおよびDWTに関して、ソフトウェア実装、プロセッサに専用命令を追加して高速化したソフトウェア実装、専用ハードウェア実装が用意されており、これらを機器やアプリケーションの要求、設計上の制限などに応じて選択的に用いる。特に高い性能が要求される場合は複数の専用ハードウェアモジュールを搭載することも可能である。

一方、タイル分割は、符号化の並列化及びDWTに要するローカルメモリ量の削減という観点では有効であるが、図3のように伸張画像においてタイル境界 (タイルノイズ) が目立つという問題があり、タイル分割は高画質が求められる場面では望ましくない。しかし、タイル分割を行わずに画像全体に対してDWTを適用する場合、莫大なローカルメモリ量を要する。そこで、本論文では、タイル分割を行わず、画像全体に対してDWTを行う際に必要となるローカルメモリ量を削減する手法を提案する。本研究成果をベースとし、株式会社メガチップスLSIソリューションズと共同で、タイル分割を行わないシステム構成のJPEG2000コーデックLSIを開発した (図2)。本JPEG2000コーデックLSIは6400万画素といった超高解像度画像を処理する世界初のLSIである。

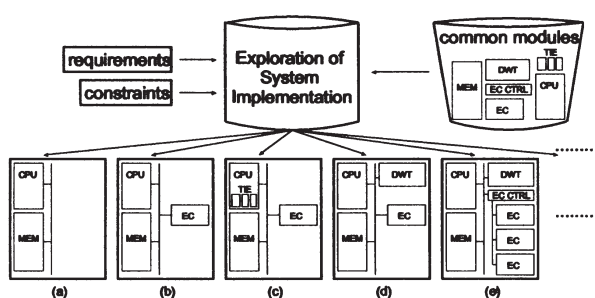


図1. JPEG2000符号化システムのためのデザインフレームワーク (概念図)



図2. ノンタイリングJPEG2000コーデックLSI

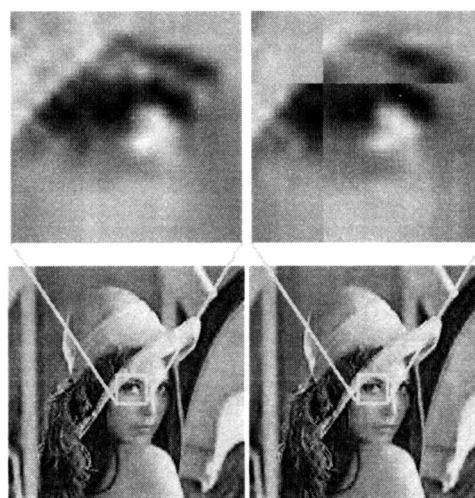


図3. タイル分割による画像の劣化

根 来 佑 樹 (鈴木教授)

「Ion Implantation and Embedded Epitaxial Growth for 4H-SiC Power Electronic Devices」

(4H-SiC パワーデバイスのためのイオン注入と埋め込みエピタキシャル成長)

平成17年 3月23日授与

最近の著しい技術革新はエレクトロニクスの発展によるところが大きい。そのハードウェアの中心が半導体であり、進歩し続ける情報技術の中心的役割を担っている。一方で、全世界規模で進むと予測される高度情報化社会の進展は、エネルギー消費量の増大を伴う。化石燃料からの脱却とエネルギーの高効率利用を図るためには、制御性や効率といった点に優れる電気エネルギーの有効利用が望まれる。電気エネルギーを高効率で制御するパワーエレクトロニクスの中心がパワー半導体デバイスである。現在、パワーデバイスのほとんどが Si を用いて作製されているが、プロセス技術の成熟により、その性能は Si の物性値で決まる理論限界に到達しつつある。そこで、パワーデバイスのさらなる性能向上のため、Si に代わる新材料の開発が期待されており、SiC (silicon carbide: 炭化珪素) が最も注目されている。SiC はバンドギャップが約 3 eV と大きく、絶縁破壊電界が Si の約10 倍であるために、高耐圧かつ超低損失のパワーデバイスの実現が可能である (図1 参照)。そこで本研究では、SiC を用いたパワーデバイスの究極である4H-SiC 超接合デバイスの実現のためのイオン注入の基盤技術確立と埋め込みエピタキシャル成長の基礎検討を目的とした。具体的な課題は、高ドーズイオン注入領域 (n 型および p 型 SiC) の低抵抗化、中ドーズ量イオン注入された p 型不純物の電氣的振る舞いの制御、埋め込みエピタキシャル成長による超接合構造の実現である。上記課題のうち、埋め込みエピタキシャル成長以外ほぼ全ての SiC デバイスの不可欠な基盤技術であり、技術の確立と電子物性の解明はデバイス性能の大幅な向上を可能にする。また、埋め込み成長により実現を目指す超接合構造を SiC パワーデバイスに適用できれば、金属接点級の高耐圧電子スイッチが実現できる。しかし構造が特異なため、従来の技術を転用するだけでは実現が非常に困難であるため、埋め込み成長という全く新しい方法で実現を目指した。

高ドーズイオン注入に関しては、著者ら自ら開発したカーボンキャップ・アニール法を用いることで、SiC 表面をナノレベルで平坦に保ちながら極めて低抵抗な領域の形成に成功した。中ドーズイオン注入においては、電氣的に活性なアクセプタ型不純物の空間分布を精密に制御し、中ドーズ注入に最も適した p 型不純物がアルミニウム (Al) であることを実験的に証明した。超接合構造実現のために埋め込みエピタキシャル成長では、高いアスペクト比のトレンチ内部に SiC を化学気相成長させることに成功した。この成長を促進するのは反応種のマイグレーションであることがわかった。また、トレンチ底部と側壁部では、アクセプタやドナーなど不純物の取り込み量が異なることもわかった。

このように、イオン注入に関しては高性能 SiC パワーデバイスを実現するに十分な基盤技術を確立することができた。一方、埋め込み成長で超接合構造を実現するという全く新しいアプローチについては、いくつか新たな課題が見つかったものの、実現に向けての大きな一歩が踏み出せたと言える。

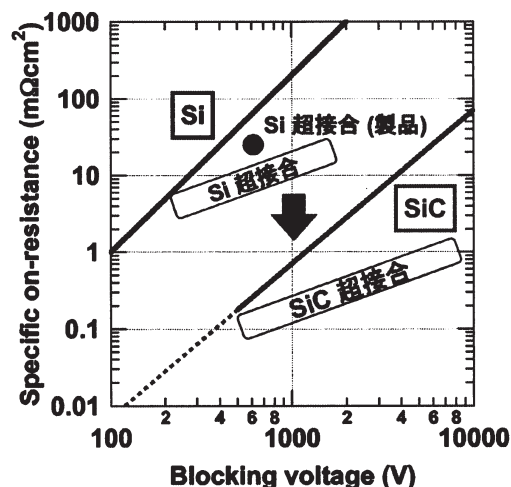


図1. SiデバイスとSiCデバイスのオン抵抗と耐圧の関係

延原章平 (松山教授)

「Deformable Mesh Model for 3D Shape and Motion Estimation from Multi-Viewpoint Video」
(多視点映像からの3次元形状・運動復元のための弾性メッシュモデル)

平成17年3月23日授与

能や日本舞踊では、踊り手の姿勢や動作に加え、袖や裾の微妙な動きが重要な意味を持つと考えられ、その分析・記録のためには、複雑な運動をする対象全体に渡る精密な3次元形状と運動を同時に復元する必要がある。本論文は、多視点ビデオからの対象の3次元形状・運動復元という問題に対して、シルエット、テクスチャ、形状の滑らかさ、素材の剛性度、局所運動情報、向き合った表面間の距離など多様な情報を統合し、詳細な3次元形状と運動を同時に計算することができる弾性メッシュモデルについてまとめたものである。

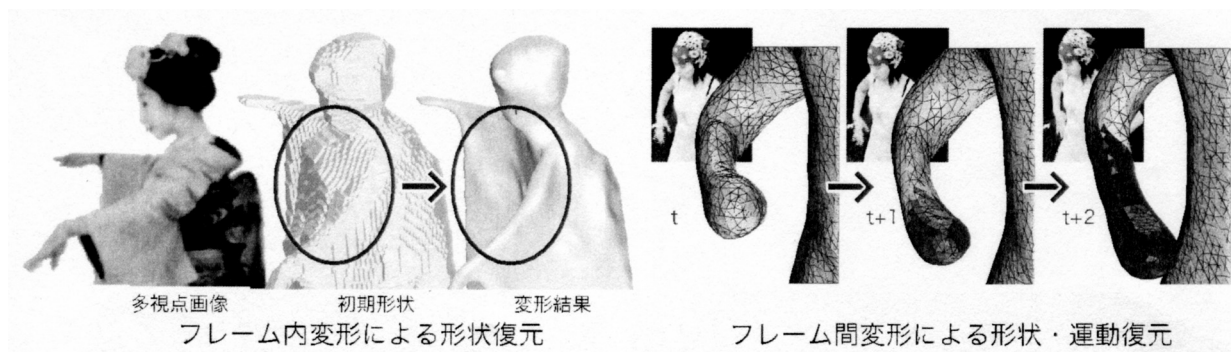
本研究では、“ある時刻の対象形状を表したメッシュモデルを次の時刻の対象形状へと変形させることができるならば、それは次の時刻の対象形状と、時刻間の変形、すなわち運動情報を復元したことになる”という点に着目し、このような変形を実現するために対象形状および運動が満たすべき制約条件をメッシュを構成する各頂点に作用する力として表現することで一つの計算の枠組に統合し、各制約条件を満たす状態へとメッシュモデルを変形する手法を提案した。提案する弾性メッシュモデルの変形アルゴリズムはフレーム内変形用とフレーム間変形用の大きく2種類に分けることができる。前者はある瞬間の対象形状を多視点画像から高精度に求めるためのモデルであり、全体の基本となる。後者は前者を拡張して時刻間での形状の変化、すなわち対象の形状と運動を同時に多視点動画像から求めるためのモデルである。

フレーム内変形用弾性メッシュモデルでは、対象の形状を表現するモデルとしてframe-and-skinモデルを提案した。このモデルは多視点シルエット画像から視体積交差法で求められた粗い3次元形状を初期値とし、

- (1) 復元される形状を各視点に投影すると撮影像と一致すること、
- (2) 対象表面に投影されるテクスチャが複数の撮影画像間で一致すること、
- (3) 表面形状が滑らかで連続であること

を制約条件として対象の正確な3次元形状を復元する。論文ではシミュレーションおよび実画像を用いた実験によって、視体積交差法では原理上復元できない凹部についても正確な3次元形状が復元できることを示した。

フレーム間変形用弾性メッシュモデルでは、前述のフレーム内変形モデルを拡張し、ある時刻の対象形状を表したメッシュを次の時刻の形状へと変形することで、次の時刻の形状と時刻間の運動情報を同時に復元する。ここで初期値として用いるある時刻の対象形状は、先に述べたフレーム内変形によって求める。また運動に対する制約条件として、対象を剛体運動を行う部分と自由変形を行う部分に分割し、それぞれの運動モデルに応じた変形を行うことを仮定した混合変形型弾性メッシュモデルを提案した。論文ではシミュレーションおよび実画像を用いた実験によって、モーショントラッキングシステムでは得られない、詳細な運動情報と対象形状が同時に求めることができることを示した。



横山 光 (野田教授)

「2次元正方格子フォトニック結晶面発光レーザーに関する研究」

平成17年3月23日

本論文は、2次元フォトニック結晶レーザーの動作特性を明らかにすることを目指して行なわれた研究成果を纏めたものである。2次元フォトニック結晶面発光レーザーは、フォトニックバンド構造のバンド端における光の定在波状態を共振器として用いるもので、大面積でコヒーレント動作が可能であるという優れた特長をもつ。しかしながら、これまで、フォトニック結晶レーザーの共振器特性を詳細に解析した例は無かった。そこで、本研究では、この新しい半導体レーザーであるフォトニック結晶面発光レーザーの動作の根本となるバンド端での共振作用を解析することで共振器特性を定量的に示し、さらにフォトニック結晶構造そのものの制御により、発振特性までも制御可能なことを示したものである。本研究の内容は次のように纏められる。

1. 2次元フォトニック結晶面発光レーザーの発振原理について定性的に述べた後、平面波展開法や時間領域有限差分法などの数値解析法を用いて定量的な解析を詳細に行った。その結果、発振点を与えるバンド端が複数存在することを明らかにした。これらの複数の発振可能なバンド端における電磁界分布や、共振器としての性質、すなわち Q 値を定量的に導き、バンド端によってその性質が大きく変わることを示した。さらに、各バンド端における定在波状態と、面発光パターンの関連等を明らかにし、バンド端に応じて Q 値が異なる理由を明らかにした。また、様々なデバイスパラメータと、共振器特性との関連を明らかにし、デバイス設計のための指針を与えることに成功した(図1参照)。

2. 続いて、フォトニック結晶構造を適切に設計することで、直線偏光発振可能な構造の探索を試みた。フォトニック結晶内の電磁界分布は、フォトニック結晶構造の幾何学的な対称性に強く依存していることに着目して、様々な対称性をもつフォトニック結晶構造に対して検討を行い、直線偏光発振が可能となる格子点構造がいくつか存在することを理論的に導き出した。最終的に、最適な格子点構造は楕円形状であることを結論付けた。

3. 2の検討で導き出した楕円形状格子点をもつ正方格子フォトニック結晶面発光レーザーを実際製作し、評価を行った。まず、フォトニック結晶を、活性層近傍に形成するための諸条件を実験により明らかにした後、デバイスを作製し、 $300\mu\text{m}$ 以上と大面積面積であっても、縦横単一モードかつ直線偏光発振をしていることを実証することに成功した(図2参照)。

以上、本論文では、2次元フォトニック結晶面発光レーザーの動作特性の解明と偏光をも含めた発振モードの制御を世界に先駆けて示すことに成功した。

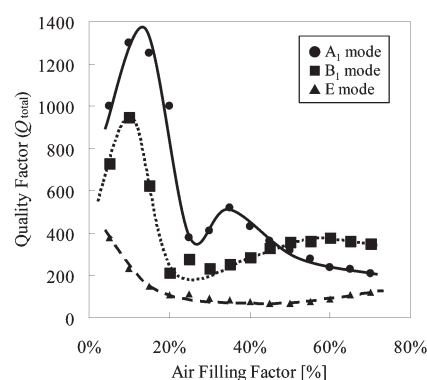


図1. 格子点のフィリングファクターと各モードの Q 値の関係

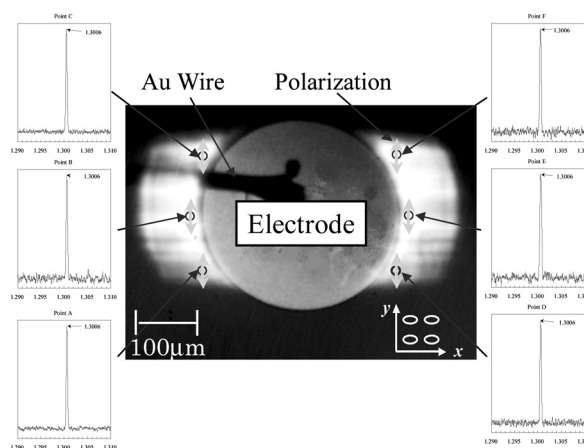


図2. 偏光制御されたデバイスの発振の様子

赤羽良啓 (野田教授)

「2次元フォトニック結晶高Q値光ナノ共振器とその応用」

平成17年5月23日授与

光の波長程度の大きさである光ナノ共振器は、その光閉じ込めの強さを表すQ値が高くなると、波長フィルタやセンサー、バイオ応用、光量子コンピューティングなど様々な工学分野への展開が可能になると期待されている。しかしながら、光の放射損失は一般には共振器サイズに反比例するため、高Q値光ナノ共振器を実現することは困難であると考えられてきた。本論文は、そのQ値を大幅に向上できる決定的な指針を新たに見出すことで世界最高値を実現し、さらに、その応用として超小型波長フィルタの高機能化を実証するに至ったものである。本研究の内容は次のように纏められる。

1. 2次元フォトニック結晶光ナノ共振器内の光は、フォトニック結晶面内方向にはフォトニック結晶によるブラッグ反射で完全に閉じ込められるが、垂直方向には共振器-空気間の屈折率差による全反射で閉じ込められる。全反射条件は必ずしも満足しないため、その条件を満たすことが高Q値化の鍵となる。全反射条件を満たさなくなる理由について、3つの空気孔を直線状に埋めた構造の共振器 (図1参照) で考察した結果、共振器端部での反射が強く、電界強度が急激に減衰するためであることを突き止めた。その知見から、「光ナノ共振器の高Q値化には、共振器形状で決まる電界分布の包絡線関数を、変化が緩やかな関数 (最も理想的にはガウス分布) に近づけることが不可欠である」という重要な設計指針を新たに見出すことに成功した。

2. 上記指針に従って、共振器端部での反射を緩やかにする検討をした結果、共振器端部に位置する空気孔をほんの少しシフト (図2 (a), (b) 参照) することで反射が緩やかになり、包絡線関数がガウス分布に近づくことを明らかにした。さらに、共振器端部付近の6つの空気孔をシフトした共振器では、10万という従来よりも2桁高い世界最高値を実現した (図2 (c) 参照)。一方、モード体積はほぼ不変であること、広い共振波数間隔 (60nm以上) をもつことも示した。

3. 上述の高Q値光ナノ共振器を超小型波長フィルタに応用した。特に、今回非常に高いQ値を実現したことにより、高分解能・高効率化に成功した。一方、必須のフィルタ特性の一つにフラットトップ応答が挙げられるが、その実現には共振器間の相互結合を利用することが有効である。本論文ではその理論を確立した後、高次フィルタ設計に適用することで、フラットトップの応答特性をもつ超小型波長フィルタを実現した。

以上、本研究では光ナノ共振のQ値を大幅に向上する設計指針を新たに見出し、世界最高値の光閉じ込めをもつ2次元フォトニック結晶光ナノ共振器の実現と、その応用により良好な特性をもつ超小型波長フィルタの実現に成功した。

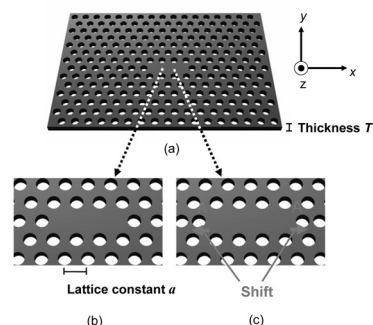


図1. 2次元フォトニック結晶スラブ中の共振器 (a, b) と空気孔シフト (c)

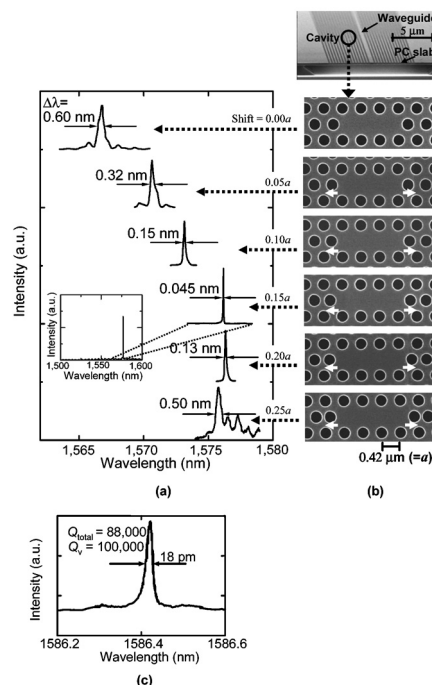


図2. 空気孔シフト共振器の放射スペクトルおよびSEM像の例

リム アズマン オスマン (吉田教授)

「Power and Rate Control in Wireless Ad Hoc Networks」

(無線アドホックネットワークにおける電力とレート制御)

平成17年5月23日授与

パソコンを購入するのが容易になったのと、IEEE802.11a/b/g に代表される無線通信技術の著しい発展に伴い、社会はどんどんユビキタスコンピューティングの時代に近づいている。ユビキタスコンピューティングのひとつの局面として、人々がどこに行っても自分のパソコンを持ち運び、移動しながら遠く離れた情報にアクセスするために、パソコンを使おうとし始めていることが挙げられる。このようなユビキタス環境を実現するために、マルチホップ無線ネットワークはひとつの重要な技術である。マルチホップ無線ネットワークは、固定のインフラを用いずに、互いに通信することができる移動または固定ノードの集合によって形成されるネットワークと定義される。

このネットワークでは、ノード間の通信はCSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) として知られているDCF (Distributed Coordination Function) モードと呼ばれる IEEE802.11のMAC (Medium Access Control) プロトコルの基本的なアクセス方法で実現できる。IEEE802.11のMACプロトコルにおいて、電力とレート制御のアルゴリズムを用いて、スループット劣化を軽減するMACプロトコルのデザインと分析においてある。本研究では、広範囲のチャネル条件に応じた電力とレートの選択を促進することによって、MACプロトコルはいくつかの変調方式を利用するように拡張された。計算機シミュレーションによって、これらのMACプロトコルの性能についての分析は本研究で提示された。得られた主な研究結果は以下の通りである。

(1) 無線アドホックネットワークにおいて、パワー制御な機能プロトコルに関する問題が検討された。メディアアクセスをより効率的に行うために、MACプロトコルを送信電力に応じて変えるべきであることが議論された。電力制御プロトコルを用いると、エネルギー節約に大きな利点があることが示された。電力制御メカニズムの有効性が計算機シミュレーションにより明らかになった。

(2) それぞれのノードの適応的な送信電力を計算することにより、エネルギーの保存を実現するPAMAC (Power Adapted Medium Access Control) 方式はパケットベースに基づいていると主張された。CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) プロトコルと比べて、ノードあたりのスループット効率とエネルギー消費量の改善は明らかになった。数値結果により、PAMACがノードあたりのスループット効率は29.7%上昇し、またノードあたりのエネルギー消費量も83%の大幅な減少をはかれることが示された。

(3) IEEE802.11標準の物理レイヤーのマルチレート機能は伝播モデルに依存することが示された。MACレイヤーによる中継はネットワークレイヤーによる中継よりたくさんの利点があると議論された。無線アドホックネットワークにおいて、マルチホップ概念を用いると大きな効果を得ることが示された。マルチホップ概念の有効性は理論解析によって証明された。

(4) もし直接接続は低い品質と低いレートを持つことであれば、中継概念によって、2PSP (2-Hop Path Selection Protocol) は直接接続よりもっと高速にデータパケットを送送できることが主張された。rDCF (Relay-enabled Distributed Coordination Function) プロトコルと比べて、スループット利得とエネルギー節約の改善が明らかになった。ノード数は100の場合、2PSPは約10%のネットワークのスループット改善を得られることが数値結果により示された。ノード数は500の場合、その割合は次第に約13%まで増える。

河原大輔（松山教授）

「Automatic Construction of Japanese Case Frames for Natural Language Understanding」

（自然言語理解のための日本語格フレーム自動構築）

平成17年7月25日授与

文章で表される内容は、図1のように、もともとネットワーク的な複雑な関係性をもっている。しかし、それを1次元文字列の文章として表現する際に、人間にとって明らかなことは伝達の効率性から明示的に表現されない。このような関係を復元することが、計算機による自然言語理解の重要なステップとなる。

文章中の明示されない関係として、例えば図1には「リンゴ→売り出された」という関係がある。このような関係を解析するには、文法程度の知識では不可能であり、「|会社、メーカー、店、…| から |商品、品、野菜、…| が売り出される」のような常識的な知識が必要となる。このような知識は、語がどのような語と関係をもつかという関連性に関するものであり、格フレームと呼ばれる。これまで、重要な用言の典型的な格フレームについては、人手で作るということが試みられてきた。しかし、用言の数は膨大であり、そのような関係を人手で書き尽くすには非常に大きなコストがかかる。さらには、日々生まれてくる新語や、ドメインごとの専門用語が存在するため、人手による格フレーム作成には限界がある。

本研究では、大規模テキストを自動的に解析することによって格フレームを構築する手法を提案する。自動解析としては、現在のところ実用的な精度を実現している構文解析を用いることができるが、単純に大規模テキストに構文解析を施して、その解析結果を利用するだけでは、幅広い関係を含むような格フレームを得ることはできない。なぜなら、構文解析から得られる関係は当然構文関係でしかなく、それ以上の関係の情報は文章理解を行わないと得られないからである。つまり、文章理解には格フレームが必要であり、一方、格フレーム獲得には文章理解が必要というデッドロックに陥ってしまう。そこで、本研究では、格フレーム構築と文章理解を漸進的に進めることにより格フレームを構築することを考案した。まず、構文解析を行うことによって、「が」「を」などの格助詞が付属している基本的な用例を収集し、第一段階の格フレームを得る。次に、その格フレームを利用した格解析を行うことによって、係助詞句「～は」や被連体修飾詞に関する関係を得、格フレームを高度化する。

このような漸進的処理によって、新聞記事約2600万文から格フレームを構築した。構築された格フレームには、約18,000個の用言が含まれており、1用言あたりの平均格フレーム数は約17.9個である。この格フレームを人手および構文・格・省略解析を通して評価を行い、その結果、高精度かつ実用的なものが構築されていることを確認した。

なお、本研究は、黒橋禎夫先生（当時、東京大学大学院情報理工学系研究科助教授、現京都大学大学院情報学研究科教授）の指導のもとで行った。お世話になった先生方に感謝の意を表したい。

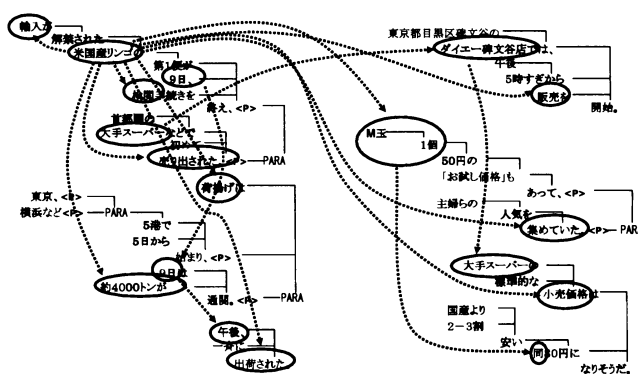


図1. 文章中の様々な関係性

矢野 一人 (吉田教授)

「Study on CDMA Non-Linear Interference Cancellers with Multi-Antenna Reception」

(複数アンテナ受信を用いたCDMA非線形干渉キャンセラに関する研究)

平成17年7月25日授与

第3世代移動通信システム (IMT-2000) である W-CDMA 方式や cdma2000 方式の基となる DS-SS-CDMA (直接拡散符号分割多元接続) 方式のユーザ収容能力は他局干渉量に依存するため、その特性改善には他局干渉抑圧が必須である。レプリカ減算型干渉キャンセラ (RSNIC) は他局信号の伝搬路推定値および送信系列の仮判定値から受信予測値 (レプリカ) を生成し、受信信号から減算することにより他局干渉を抑圧する非線形干渉キャンセラである。RSNIC は比較的簡易な構成ながら良好な特性を有することが知られているが、ユーザ数が超過すればその特性は大きく劣化する。

そこで、RSNIC の大幅な特性改善のために、RSNIC と複数アンテナ受信技術と組み合わせる受信機に関する検討がこれまで複数行われている。しかしながら、個々の特性は別々に評価されているため、いかなる環境においてどのような構成の受信機が良好な特性を示すかはこれまで明らかにされていない。

以上の研究背景から、本論文では複数アンテナ受信 RSNIC である以下の 2 種類の受信機に関して、特性比較および特性改善法の検討を行っている。ひとつは受信アンテナ間の線形合成後に非線形干渉キャンセルを行う線形-非線形受信機であり、具体的にはアダプティブアレーアンテナ (AAA) と RSNIC とを縦列接続する方式である。これは AAA におけるアレーアンテナの適応的指向性制御により所望波の受信 SINR を改善し、後段の RSNIC をより効果的に機能させることを目的としている。もう一方は非線形キャンセル後にアンテナ間線形合成を行う非線形-線形受信機であり、具体的には空間ダイバーシチ受信を行う RSNIC を検討対象としている。これは、各受信アンテナ毎に RSNIC を作動させて他局干渉を抑圧し、その後各アンテナの出力を用いて空間ダイバーシチ受信を行う方式である。

本論文では最初に、受信機が半波長間隔 6 素子アレーアンテナを有し受信アンテナ間のフェージング相関が大きい場合の両受信機のビット誤り率特性の比較を、可変拡散率 DS-SS-CDMA 上りリンクおよびマルチパスレイリーフェージング伝搬路を仮定した計算機シミュレーションにより行っている。シミュレーション結果から、多遅延波・低 SNR といった伝搬路推定が良好に行えない環境では AAA と RSNIC の縦列結合受信機が良好な特性を示し、少遅延波・高 SNR 環境においては空間ダイバーシチ受信を行う RSNIC の方が良好な特性を得ることを明らかにしている。

複数受信アンテナシステムの特性は受信アンテナ間あるいはマルチパス間の空間相関に大きく依存する。そこで、本論文ではアンテナ素子間隔やマルチパスの最大到来角度差を変化させた場合に関しても両受信機の特性比較を行っている。シミュレーション結果から、空間ダイバーシチ受信を用いた受信機は相関特性の変化に対して十分に適応できるのに対し、AAA を用いた受信機は大きく特性が劣化する事を明らかにしている。

最後に、複数アンテナ受信 RSNIC の特性改善のため、干渉除去抑制係数 (CMF) と呼ばれるレプリカ重みの制御方式に関して検討を行っている。CMF は誤って生成されたレプリカの減算による特性劣化を軽減するために、レプリカに乗じる 1 以下の正の値であり、これまで仮判定に起因するレプリカ誤りへの対策法がいくつか考案されている。しかし、複数アンテナ受信をおこなう RSNIC では伝搬路推定誤差がレプリカ誤りの主要因となることから、これを考慮した係数制御方式が必要であると考えられる。そこで、本論文では伝搬路値の推定誤差を予測し、その予測結果から CMF を制御する方法の提案を行っている。

シミュレーション結果から、本手法適用した空間ダイバーシチ受信 RSNIC は、特に多遅延波・多アンテナ受信時において、従来の CMF 制御方式と比較して低演算量かつ良好な特性が得られることを明らかにしている。

小池俊昭 (吉田教授)

「Space-Time-Frequency Signal Processing for Spectrum-Efficient Multiple-Antenna Wireless Transmission Systems」

(周波数利用効率に優れた複数アンテナ無線伝送システムのための空間時間周波数信号処理)

平成17年9月26日授与

研究内容：複数の送受信アンテナを用いるMIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 無線通信技術は周波数利用効率の向上・高速無線伝送の実現・システム容量の増大を可能にする次世代の無線伝送方式として注目を集めている。MIMO多重伝送においては、複数の同一周波数信号を受信機側の信号処理により分離・検出する必要がある。一般に低演算量で実現できるMIMO受信機は所要の通信品質・ビット誤り率を満たすための所要電力が大きくなるため、システム容量の低下を招く恐れがある。そのため、検出能力に優れるとともに低演算量で実現できる実時間アルゴリズムの開発が実用上必須となる。本論文ではMIMO伝搬路における空間・時間・周波数の特徴を利用した低演算量でありながら通信品質特性に優れた受信信号処理に関する研究報告を行った。

研究成果：本論文の主要な研究成果は次の通りである。

- ・トレリス符号化変調の適用により見通し内伝搬におけるMIMO伝送の特性劣化が軽減されることを室内実験により明らかにした。また、見通し外伝搬においては空間インタリーブの適用が最尤系列等化器にとって演算量・特性の面で優れた効果を発揮することが示された。
- ・MIMO特有の送信アンテナ空間を利用した自動再送方式を提案し、見通し内外において高い伝送速度が実現できることを明らかにした。さらに、受信アンテナ空間を利用することで最尤系列推定の生き残り状態毎に行列分解を適用し低演算量化を行う手法を提案し、大きな特性劣化を招くことなく演算量を低減できることを示した。
- ・広帯域伝送時に有効である周波数領域等化を繰り返し適用する手法を検討し、低密度パリティ検査符号の利用により、低演算量で優れた誤り率特性が実現できることを示した。また、周波数領域整合フィルタを導出し、さらなる低演算量化・特性改善が可能であることを示した。
- ・複雑な行列演算を利用せずに低演算量化を実現する最尤受信機の提案を行った。さらに実装に向けた簡易演算法を導出しハードウェア試作を行った上で、ギガビット台の高速処理を実現する単一チップの最尤受信デバイスが構築可能であることを明らかにした。
- ・最尤探索空間の解析を行い、高いダイバシティ次数が得られる場合に局所探索を行う近似アルゴリズムが有効である可能性を示した。さらにニューラルネットワークや山登り探索を行う近似アルゴリズムの有効性を示し、遅延パスダイバシティを利用した広帯域伝送に適した近似最尤繰り返し等化手法を提案した。
- ・近傍の端末が協力して分散MIMO中継を行う方式に関して検討し、リンク容量の増大化を図る上で時空符号・遅延ダイバシティ・空間多重が有効であることを明らかにした。さらに車車間通信システムにおける適用効果を示した。

研究所感：人一人が成し遂げられる処理量には限界がある。限られた時間の中で四苦八苦しながらも他にはない新しい発見をする作業が研究である。信号処理の研究では先人の知恵を拝借し是を駆使して後生に残すべき技術を生産するという純粋な学術的価値が見出せる。個人の能力限界とは対照的に、解法が無数に存在するという科学の無限の自由さに好奇心を憶える。好奇心故に足下に転がっている感動にも気付かずに隣の獲物に憧憬を抱き得る。抽象的理学に専念しては実用的工学に目移りし、工学に没頭しては自然学によく想いを馳せる。動機保持には幾分のバランスも重要そうである。倫理などは追々思慮することにして、若輩者らしく迷いながらも一寸の信念と好奇心を持って無邪気に夢を語れる一人になりたいものだと願う。…などと戯れたる次第。

山本高至 (吉田教授)

「Capacity and Spectral Efficiency of Multihop Radio Networks」

(マルチホップ無線ネットワークの容量と周波数利用効率)

平成17年9月26日授与

端末が自律分散的に無線通信を行う無線アドホックネットワーク、さらに広域エリアをカバーするマルチホップ無線ネットワーク、既存の移動通信システムと融合させたマルチホップセルラシステムと呼ばれる無線通信システムは、日常生活のあらゆる局面でネットワークの恩恵が享受できる、ユビキタスネットワークを実現する技術の一つの候補として注目を集めている。これらの無線通信システムにおいては他局を中継局として用いる無線マルチホップ伝送の適用により、第一にエンド端末間の通信距離拡大が図られている。本論文の目的は、無線マルチホップ伝送の導入が附随的にもたらず、個々の伝送のスループットないしシステム容量への影響を考慮の上で、これらマルチホップ伝送を用いる無線通信システムの特性評価を行い、マルチホップ伝送が有効に働く条件を明確化することにある。

まず、通信距離はマルチホップ伝送のみならず、マルチホップ伝送と比較すれば容易に実装可能なレート制御によっても拡大可能であることに着目し、マルチホップ伝送とレート制御の効果の比較、ならびに適応変調およびシンボルレート制御と併用した無線マルチホップ伝送のスループットの評価が行われている。加えて、無線通信システムにおいて大きな指標のひとつである単位面積あたりのスループットで定義される面的周波数利用効率の特性が評価されている。その結果、干渉制限下におけるマルチホップ無線ネットワークの面的周波数利用効率と個々の通信のスループットの間にはトレードオフの関係があることが示されている。

次に、第3世代移動通信で用いられているような、高精度の送信電力制御が要求されるマルチセル環境CDMA (符号分割多元接続) セラシステムにおいて、マルチホップ伝送を導入した場合の加入者容量が評価されている。特に、セル内ないし他セルからの干渉電力が容量を決定するCDMAセラシステムにおけるマルチホップ伝送の導入は、送信電力制御のためセル内干渉を増加しうるが、他セル干渉を大きく低減しうることが示されている。また、非所望局に及ぼす上りリンク干渉量を、ジオメトリと呼ばれる下りリンクの測定情報より推定する方式、ならびに干渉低減量を最大化する経路選択基準が提案されている。また、この干渉低減効果を加入者容量増加に結びつける経路選択法により、高負荷時においても容量を増大しうるということが計算機シミュレーションにより示されている。

加えて、無線アドホックネットワークにおいて、各々の端末が高いスループットの実現を目的として自律分散的に経路選択を行う状況の解析が、ゲーム理論の導入により試みられている。まず、他端末の決定経路以外のあらゆる情報を各端末が持っていたとしても、端末の配置によっては最高のスループットを実現する経路を一意に定められない場合があることが示されている。また、結果として得られるスループットと、集中制御により実現しうる容量との比較が行われており、各端末の送信電力が小さい場合には分散制御によっても容量に近いスループットが達成可能であることが計算機シミュレーションにより示されている。

周 楊 平 (吉川榮和教授)

「プロセスプラントの運用支援システムのためのソフトコンピューティング手法に関する研究」

平成17年 9月26日授与

発電所および関連企業は、持続可能な環境および社会を守るために、より環境にやさしいエネルギーシステムを確立する重要な役割を果たしている。本新しいソフトコンピューティングアプローチはプロセスプラントの利用寿命の延長、シャット・ダウン時間の短縮および修理と維持費の削減のために、故障診断、アラーム分析および監視コントロールに望ましい方法論およびツールを供給する。これにより、産業プラントの効率、安全性および収益性の改善が期待できる。

本研究では、はじめに、リアルタイム信号及び不完全な知識の状況に対し、ファジィ論理と遺伝アルゴリズムを利用し、多知識を統合する強健な診断方法を提案した(図1)。また、遺伝アルゴリズムの染色体をエンコード・デコードする新しい方法を提案した。この染色体が診断結果の様々な可能性をシミュレートする。そして、交差、変異、および選択のプロセスにより進化する。複合型知識 (If Then 規則、ミニ知識木のモデルおよび故障の兆候) の貢献を統合し、遺伝アルゴリズムの染色体のフィットネスを計算するためにファジィな統合の方法を適用した。ファジィ遺伝フレームワークに基づくトライアル故障診断システムを、米国のShearonハリスユニット1 (950MWの原子力発電所) の実物大のシミュレータの上に開発し、検証した。

次に、実際のプロセスシステムに関して、マルチレベルフローモデルの因果関係分析に基づいて、アラームの検証、兆候の調査および故障識別の3段階で異常を診断する方法を提案した(図2)。そして本診断方法を、2つのプロセスシステムを対象に検証した。1つは、実際の過程データを利用したマイクロガスタービンシステムの「エンジン始動失敗」、「バッテリー直流バス過電圧」および「直流/交流インバータフェーズA過電圧」の故障診断を対象とした。もう1つは、原子力発電所のそれぞれ異ったサイズと異った位置の「冷却材喪失事故」、「蒸気発生器伝熱管破損」および「主蒸気管破裂」を含む19件の事件を、RELAP5コードの利用により、コンピュータ・シミュレーションで診断を行った。

最後に、本研究では統合グラフィカルインターフェースシステム (マルチレベルフローモデルスタジオ (MFMS: Multilevel Flow Models Studio)) を提案した(図3)。本システムは、プラントをモデル化・モニタリング・診断・操作指示するためのアプリケーションの作成を支援する。アプリケーションを生成する汎用システムを利用して、様々なプラント用のオペレーション支援システム (プラントのモニターと診断およびオペレーターに操作指示を供給するシステム) を開発し、保守し、改善することができる。本研究では、プロトタイプ of MFMSシステムを、Visual C++、DirectX SDK、MSXML Parser SDKおよびMicrosoft Agent SDKを用いて開発し、マイクロガスタービンシステムのサポートシステムの開発に適用した。

参考文献

[1] Yangping Zhou, Hidekazu, Yoshikawa, Wei Wu, Ming Yang, Hirotake Ishii. "Modeling goals and functions of micro gas turbine system by multilevel flow models". Transaction of Human Interface Society of Japan, Vol.6(1), pp.59-68, 2004.

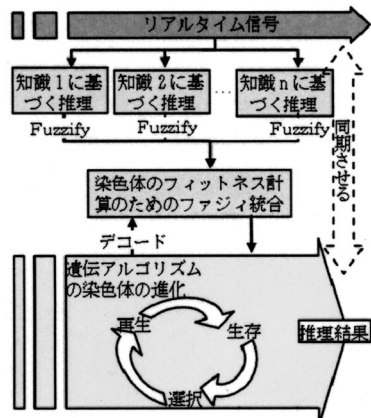


図1. ファジィ遺伝フレームワーク

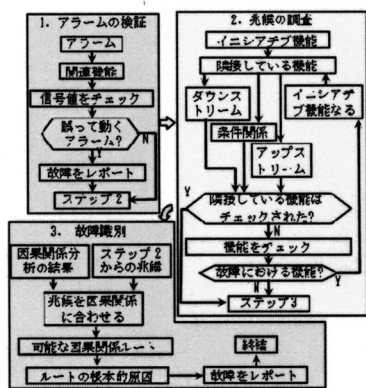


図2. 3段階の診断方法

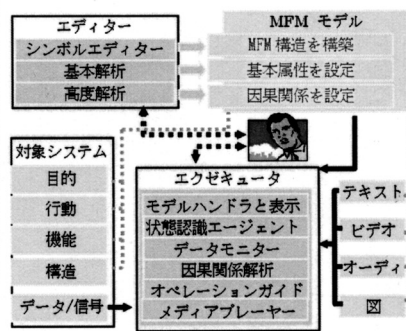


図3. マルチレベルフローモデルスタジオ

【論文博士一覧】

川端 英之	「Compiler Techniques for Large-Scale Numerical Computations」	平成16年11月24日
宮崎 泰典	「Novel InGaAsP Quantum Well Electroabsorption Modulators for Ultrahigh-Speed and Ultralow-Chirp Operation」	平成16年11月24日
布施 優	「光加入者系・高品位映像伝送分配方式に関する研究」	平成17年1月23日
コステン 史江	「High speed computational modeling in the application of UMB signals」(UMB信号への応用のための高速計算モデリング)	平成17年3月23日
高木 康夫	「厳密な状態空間の線形化理論を応用した非線形制御系の実用的設計法に関する研究」	平成17年3月23日
藤森 敬和	「強誘電体を用いたシリコン集積回路の高機能化に関する研究」	平成17年3月23日
藤田 善弘	「並列動画像処理LIS「IMAP」のアーキテクチャと動画像認識システムの開発」	平成17年3月23日
名古屋 彰	「ハードウェアの設計自動化手法に関する研究」	平成17年3月23日
平田 和史	「アンテナ配置最適化による不要波抑圧技術に関する研究」	平成17年5月23日

学生の声

「博士課程進学へのきっかけ」

情報学研究科 通信情報システム専攻 佐藤研究室 博士課程2回生 木 寺 正 平

私は現在、佐藤亨教授の下でUWB（超広帯域）パルスレーダのための画像化技術の研究に従事しております。これは室内ロボット等の環境計測において、測距性能に優れるレーダが光学的な画像化処理では実現不可能な高解像度目標形状推定を達成するための研究であります。私は学部4回生よりこのテーマに取り組みさせて頂いておりますが、非常に面白いテーマであったため博士課程においても同テーマに関して更に研究を深めていきたいという思いが強くなりました。しかし進学を決定するに至るまでには、経済的な理由等で色々と思いを悩み、なかなか決心することが出来ずにおりました。そんな中で進学を決める一つのきっかけとなったのが、ゴッホの「ひまわり」という絵でありました。修士2回生の初春に東京の美術館でその絵を初めて生で見たときに、美しいというより巨大な創造力を肌に感じました。キャンバスに分厚く塗られた絵の具に作者の芸術に対する執念と情熱を感じ、人間の創造に対する大きなエネルギーを感じました。私の個人的な意見として、芸術と自然科学研究ではその創造過程において、巨大な精神的・肉体的エネルギーが必要であるという点で類似していると思います。博士課程に進学する理由は人それぞれであると思いますが、私の場合は研究を通して自分自身を探求したいという気持ちと、また自分自身が可能な限りの創造力と努力によって、現在の研究で何かの成果を残したいという気持ちがありました。そしてこの時出会った絵は、そのことを再確認させ、私の背中を押してくれたと思います。

実際の博士課程での研究は、先生や先輩方の厳しい意見と向き合い、それを克服し、研究を進めるのに必死に努力をしている状況であります。現在は論文作成、国際会議発表、実験準備などの様々な仕事に追われている毎日です。忙しい日々がこれからも続くと思いますが、最初の志を忘れることなく、自分の創造性と努力を結実させた博士論文を完成させるために日々、研鑽を積んでいきたいと思っております。

「博士課程進学への決断」

エネルギー科学研究科 エネルギー社会・環境科学専攻 エネルギー情報学分野 博士課程1回生 藤 野 秀 則

2004年3月に修士課程を修了し、同じ研究室の友人たちとともに就職しました。会社での職場は新たなシステムを企画・設計・開発している部署で、主に新しいビジネスシステムを支えるソフトウェアのプログラミングを担当していました。最近では少々早いながらも、かねてより交際していた現在の妻と結婚し、子供も授かるなど、至極、普通のサラリーマン生活を送っていたと思います。

しかし、私は会社生活に違和感を持ち続けていました。そもそも、修士一回生から二回生の初めにかけて、人並みに就職活動に取り組んでいたときから、心の奥底では「博士号を取って研究者になりたい」という思いがゆらゆらと揺れていたのです。しかし、当時の私はその気持ちを見ないようにしていました。なぜか？私の未熟さでしかないのですが、周囲の友人が就職活動をしていく中で「自分もしないといけない」と根拠なく思ってしまったためです。そのような未熟な心理状態であったのですが、当研究室の先輩がその会社で活躍していたことや、自分自身に自己暗示をかけていたこともあって就職の内定をいただくことができました。しかし、実際に仕事をしていく中で自分自身の本当の気持ちと、サラリーマンをしている自分自身の状況との乖離が大きくなり耐えられなくなってきたのです。

「やはり、修士までに取り組んでいたヒューマンインタフェースという学問領域を深耕していきたい！自分の気持ちに逆らい、今のままサラリーマンを続ければ、人生を終える時に後悔してしまう。」そう強く思った私は、妻子や両親を説得し、大学に戻る決意をしました。

今は、修士まで在籍していた吉川（榮）研究室（現、エネルギー情報学分野）に戻り、修士までの研究を発展させる形で研究を進めています。ヒューマンインタフェースという領域は文理を問わずさまざまな基礎領域を広い視野で見つめなければならない領域で、研究を進める上でまだまだ自分の視野の狭さを痛感する毎日ですが、自分の決意が間違いだったという結果にならないためにも、また、私を支えてくれている妻子のためにも、一角の研究者として身を立てられるように頑張っていきたいと思っております。

教室通信

電気系を取り囲む環境の変化、特に高校生の「電気離れ」については、前号の本欄に前年度学科長の橋先生が詳しく明快な分析をしておられます。そのバトンを引き継いでようやく2ヶ月ですが、今年度はなんとかこの問題に対する教室なりの長期的な対策を考える体制を構築できないかと考えております。一つは教室内部の体制、もう一つは外部との関わりの見直しです。

まず内部については、電気電子工学科のあり方の再検討から始める必要があると考えています。ご承知のように、平成7年の大学院重点化から教職員の所属は大学院に移り、従来の3教室を統合した学部組織としての電気電子工学科が誕生しました。研究に大きな重点を置く大学院と異なり、学科のミッションは教育であることが明確です。その最終ゴールは特別研究であり、単なる学習だけの高校とは異なり自分の力で新しい仕事をする能力を身につけさせることにあります。このようなことは、かつては何も大きな声で言うまでもなく、学生が自然に自覚するようになったものですが、昨今の学生の中には、修士課程を修了する段階になってさえ「どれだけやれば単位がもらえるのですか」という人もいます。

これは最近の受験指導のシステムがますます高度化・最適化され、いかに効率的に与えられた問題を解くか、という技術に関心が集中していることの直接の結果だと思います。大学に入ったとたん、これからは自分で問題を見つけて自分で考えなさい、などと言われては呆然としてしまうのも無理はありません。京都大学は「自由の学風」を掲げ、学生の主体性を尊重してきましたが、どうしてよいか分からない学生を放置しておくのが、この理念にかなうとも思われません。電気系ではこれまでも学生実験をカリキュラムの中核に据え、講義で必要な知識を補う方針を続けてきましたし、これを変える必要性は感じませんが、楽勝科目をつまみ食いして必要単位さえ揃えれば卒業できるという講義の枠組みは改善が必要です。学部教育全体を統一的に考え組織的に教えるための体制として、教務委員会を設置致しました。4年間の講義や実験・実習を通じて何をどのように教えるかについて、電気電子工学とは何か、という観点に立ち返って議論を始めております。学生指導のもう一つの柱としているのがアドバイザー制度で、半期ごとの履修登録に際して、学生がアドバイザーと相談して履修科目を決定する制度です。最近目立つのが、外的な理由がないのに授業に身が入らない学生で、深刻に悩むケースが増えています。教員の指導だけでは手に余る場合もあり、カウンセリングセンターとの連携を深める必要があります。

外部との関わりについては、大学入試のあり方が最も重要と考えています。個人的意見として、現在の入試制度が60年間続いてきたことが社会に対して及ぼしているひずみは、許容限度を超えていると思います。かつてはある程度難しい問題を解かせてみれば、独創性も含めてその学生の総合的能力がおよそ正しく推測できたかもしれません。しかし、この種の問題を短時間に解く能力は、徹底したトレーニングを積み重ね相当向上するのが事実です。東大や京大の入学者数の上位をことごとく6年一貫教育の私学（最近は公立校の中にも同じ路線を志向する傾向があります）が占める現実、このことを如実に示しています。中高の6年間をあたかもゲームのような技術修得に費やすことの代償が、自主性の欠如であることもまた明白でしょう。この問題の本質的な解決のためには、入試制度そのものを廃止することが必要ではないかと思いますが、これは1学科の対応しうる領域ではありません。入学の時点で合格者を絞るという本質をそのままにして、問題の出し方をいかに変えても、受験産業は数年で対応してしまう、との声も関係者からよく聞きます。しかし、仮に合格者の顔ぶれが同じになるとしても、大学がこういう能力を持つ人を求めている、という姿勢を社会に発信する機会は、ほとんど入試しかないのが実情です。何ができるかを検討してゆく必要があると考えています。

自主的学習態度と電気電子工学に対する高校生なりの意識を持った受験生を増やすためには、受験制度の変更と並んで、高校との交流が不可欠と考えます。電気電子工学科を高校生にアピールするための宣伝活動も含めて、高校や予備校との連携を、本学科ではこれまでほとんどしてきませんでした。遅ればせながらこの面の努力も必要です。情報発信の一つとして、学科の名称の再検討も必要でしょう。すでに橋先生が大学の学報に「電理工学」という名前を提唱しておられますが、これも候補の一つとして、学科の本質を一言で言い表すよい名称をご存知であればぜひご教示下さい。これらの長期的な問題を検討する場として、将来構想委員会を設置しました。まだこれから検討を始める段階ですが、辛抱強く議論を続けてゆきたいと思っています。

これらの難題は、いずれも教室構成員のみで解決できる問題ではありません。広く社会でご活躍の同窓生諸兄のお知恵とお力を拝借できれば幸いです。

(文責：佐藤 亨)

編集後記

電気系教室100周年事業の一環として開始した技術情報誌「cue」は創刊後9年目をむかえましたが、その性格には変革が求められつつあるようです。前号から電気系教室のOB・OG会である洛友会との共同発行となりました。賛助会員の募集は（創刊当初の予定にはなかった）継続的な発行を確保するための一助に、と伺っています。また、電気系教室内にも広報誌として期待する声があります。一方、編集作業や研究室で記事を執筆する教員側は、教育研究はもとより多種多様な仕事をこなさなくてはならない状況になっていて、「cue」に関わっていただける時間は限られます。「cue」に限らず様々なことは、よいと思ってもそれらを全てできるような状況にはなく、バランスを考えながら進めていくしかないような気がしています。今後の「cue」あり方に関して、また、現在の「cue」の内容について、ご感想やご意見がございましたら、どうぞcue@kuee.kyoto-u.ac.jpまで電子メールでお寄せください。

[S.K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
日本電業工作株式会社
日立電線株式会社
フジテック株式会社
株式会社 村田製作所

(アイウエオ順)

発行日：平成18年10月

編集：電気系教室cue編集委員会
鈴木 実、中村 行宏、橋本 弘蔵、
山田 啓文、田野 哲、舟木 剛、
杉山 和彦
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