

# cue

京都大学電気関係教室技術情報誌

NO.15      JANUARY 2006

---

[ 第15号 ]

.....  
巻頭言

釜江 尚彦

.....  
大学の研究・動向

電気システム論講座 自動制御工学分野

応用熱科学講座 エネルギー応用基礎学分野

.....  
産業界の技術動向

(株)メガチップス 松岡 茂樹

研究室紹介

平成16年度修士論文テーマ紹介

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  
の一環として発行されています。

## 巻頭言

## 独立法人としての大学 社会への対応力、時代への対応力

1961 電子工学科卒、1963年同修士 釜江尚彦



筆者は企業の研究開発およびその管理に従事しつつ、多くの国の大学と関わり、その先生方ともお付き合いいただいた。その経験から独立法人化した大学の今後の課題を述べることにしたい。

課題の第1は総合大学の大学経営の問題である。いままで国立大学教官は国家公務員として一定の身分保障が与えられ、学部間や分野間で処遇上の格差はなかった。しかし大学間の競争が激しくなると、研究費をもって来る力、いい学生をひきつける実力、社会での知名度などが高い教員がより多く求められ、そのような教員を呼び寄せるため処遇面での配慮が必要になってくるだろう。分野によっても年収に格差があり、年収の高い分野でいい人材を呼び寄せるには他の分野より高い処遇が必要になる。アメリカの大学では同じテニユアのある教授でも学部間、学部内でも給与に100%以上の開きがあることはよく知られていることである。いままで総合大学として統一された価値観のもとに、一元的に行われた運営が、逆に学部間の足の引っ張り合いになりかねない。学部間の関係、場合によっては分野間の関係をもう少し疎な関係にし、学部別に異なった経営をすることが大切になる。総合電気メーカーが事業本部間の投資のバランスをとりすぎ、進展が著しいLSI分野に競争力が確保できる十分な投資をしなかったため、国際間の競争で遅れをとる結果になった例が参考になる。たとえば人類起源の証拠を捜し歩いている研究者と進歩の速度が激しい工学分野の研究者を同じ価値観で評価することの滑稽さがその例である。

課題の第2は教育と研究の乖離への対処である。産業が成熟するにしたがって、産業分野としては大きな地位を占めていても、さほどの先端的研究を必要としない成熟した産業分野が少なくない。こういう分野では教育機関としての大学はその産業を支える技術者を教育し、供給する必要があるが、その分野を研究する教員は少なくてもよい。こうなると優秀な研究者ではなく、優れた教育者である教員への要求度が増す。当然学部内、学科内で研究指向の教員と教育指向の教員を識別することになる。当然両者での評価基準も変えねばならない。研究費も研究指向の教員に重点配分することになる。

第3は大学内でのリストラの問題である。産業分野別に栄枯盛衰がはげしいことは歴史が証明する。石炭産業のようにほとんど姿を消した産業も少なくない。しかし大会社の多くは多角経営、総合経営と称して、衰退が著しい本業を残したまま新しい事業分野に進出し、一定の成功を収めたが、不採算部門である本業を縮小したり、廃止したりする決断を怠ってきた。不採算部門である本業へ成功した事業の収益から赤字補填を続けたため、成功した新規事業まで競争力をなくす結果になるという例が多くみられる。ついには粉飾決算までして本業の赤字を隠蔽した結果、会社全体が破綻する事態に立ち至った事例がマスコミにぎわしている。国立大学のときには新しい分野を新設するか、または改組と称して既存の分野の講座名や学科名を変えるだけで対処し、教官の専門分野を変えたり、教官の退職を促したりするようなことはなかった。しかし時代への対応で、新しい分野への進出が急務になり、有力な人材を多く外部に求めざるを得ないというケースは想定しておかねばならない。こうなるとその資金調達のため既存の学部なり学科を廃止し、新分野進出の経費を捻出せざるを得なくなる。いわゆるリストラが

大学にも必要になり、リストラをスムーズに行えるかどうかで大学の将来が左右されることもありえよう。

第4に会社などとの共同研究の進め方が課題である。共同研究を多く行うことは大学の社会への対応力を強化するため必須事項であろう。大学は特許権に代表される知的財産権にはほとんど関心を示さなかったのが、ここ数年急速に目覚め、過剰ともいえる関心を持ち始めている。会社が費用と技術者を出し、大学が知恵と指導者、研究者を出す形の共同研究を契約する際、発生した特許は共同で出願し、共同の権利とするのが常識的である。ここで問題になるのが、大学は事業をしないので共同で所有する特許を実施することがないという事実である。これは国の助成金で行う研究開発でも起きた問題であり、10年ほど前までは国は不実施補償を要求したが、いまでは成果を広く普及させることが国にとってより大切であるという認識から通常は不実施補償を要求しなくなっている。大学の特許戦略では10年以上の経験をもつアメリカの大学で、大学が特許権を保有することはペイしないという評価が出始め、特許戦略に熱心だった有力大学が特許戦略を大きく変えようとしていると聞く。会社にとっては権利をもっている特許の実施料を支払うという不合理を通さねばならないのでやりたくない。この際大学は下手に不実施補償を要求しないで、共同研究をやりやすくして共同研究の数を増し、不実施補償を要求しない代わりに論文発表の自由度を確保するほうが得策ではなからうか。特許実施後5年程度でそれを再評価し、会社の利益が一定額を超えていると、一定比率の成功報酬を要求するなど柔軟なやり方がありえよう。このような経営上の柔軟性も大学の社会への対応力の重要な部分であろう。

第5の課題は財務基盤であろう。これには非常な長期計画が必要であろうが、まずは少額の寄付でも随時受け付けるファウンデーションを設立し、個人的な寄付を日常的な行為にする努力を始めるべきであろう。寄付額に応じて図書館の書棚、小さな談話室、会議室、講義室、建物などに寄付した人の名前を冠するなど、寄付のインセンティブを高めることも重要であろう。こうして大学を個人レベルでサポートする社会習慣を醸成することができよう。

アメリカの大学は州立大学でも、数十年前から時代の変化を先読みして、巧みに血のでないリストラを行い、教育指向の教官と研究指向の教官を識別し、時代の変化に対応してきている。これは大学全体だけでなく、学部や学科に「経営」を導入した結果であろう。独立法人化でわが国の大学も「経営」を導入せざるを得なくなっている。上に書いたような課題を解決して適切に社会に対応し、タイムリーに時代に対応していくには、「経営」をスムーズに、早く導入することが重要であり、それが大学の将来を左右することにつながろう。

## 大学の研究・動向

# “コンピュータ至当時代”の制御理論研究とその応用

工学研究科 電気工学専攻 電気システム論講座 自動制御工学分野

教授 萩原 朋道

hagiwara@kuee.kyoto-u.ac.jp

助手 蛭原 義雄

ebihara@kuee.kyoto-u.ac.jp

## 1. はじめに

制御工学は、あえて一言で片付けるなら、与えられた「もの」(ハードウェア)をその「もの」ならしめるための工学、すなわち、それが所望の動作を行い、高い効率を発揮することを可能とするための工学であり、最終的にその動作が目に見えるハードウェアが主役であるとするならば、裏方ともいえる技術に関する工学である。その中において、当研究室では、制御技術をさらに下支えし、制御性能の一層の向上を図るための、あるいは、不可能を可能とするための数理的な制御理論・制御手法の開発をベースとする基礎的な研究を行っている。

本稿で当研究室の研究について紹介するにあたり、まずはじめに、2節では、当研究室で実験も含めて取り組んでいる、空気圧サーボ系に関する研究について紹介したい。このことは、この研究テーマが本研究室におけるもっとも主要なテーマであるということを必ずしも意味するものではないが、専門分野の異なる読者に対してもっともわかりやすいと思われる話題からはじめさせていただくと同時に、3節以降で述べるような(純粋理論的)研究テーマの目指す方向性の背景等をご理解いただくための一助になればと考える次第である。続いて、コンピュータを利用することがごく当然の時代にあつての制御理論面での基礎的な研究として、3節においてはロバスト制御系の解析および設計に関する理論的研究、4節においてはコンピュータによる制御のための理論的研究について紹介する。

## 2. 空気圧サーボ系の2自由度LQI制御

サーボ系とは、一般に、制御量(制御したい物理量)を所望の時間関数に沿うように変化させるための制御系のことであるが、ここでいう空気圧サーボ系とは、圧縮空気による駆動力を使った、メカニカルシステムにおける位置・速度・角度等を制御量とする制御系のことである。現状のこういったシステムの多くは、電気(モータ)や油圧などによる駆動力を用いたものであるが、空気圧サーボ系は、圧縮空気の力を用いて作業テーブルやアーム等を駆動するものである。シリンダ等に圧縮空気を送り込むことでピストン等を動かし、その動きを外部に取り出すことで位置決めを行う(図1)。

圧縮空気を使った機器には、電気や油圧を使った機器にはない、1)火花の発生や引火・

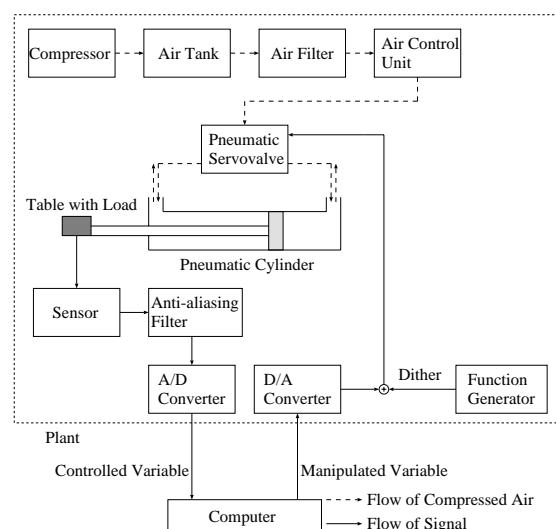


図1. 空気圧サーボ系の構成図

爆発の心配がなく、作業環境によらず安全、2) 駆動のために使用した圧縮空気は、そのまま大気に解放すればよく、とくに油圧機器と比べて配管が単純かつクリーンであり、コスト低減やメンテナンス性の向上が図れる、3) 低重量に比して高い出力が得られる、などの特長があるが、これまで精密な制御を目的とした用途（フィードバック制御）には不向きとされてきた。その大きな理由の一つに、空気の低剛性（圧縮されやすさ）がある。上では、シリンダ内に圧縮空気を送り込めばピストンが動く単純に述べたが、実際には空気が容易に圧縮されてしまうため、（メカニカルシステム全体としての動特性・周波数特性に関する話を切り離して考えても）ピストンがどのように動くかはそれほど単純ではない。また、このことがシリンダとピストン間の摩擦の影響を顕在化させ、jerking motion などと呼ばれる明らかに目視可能なほどの（定常的な）ふらつき・がたつき動作を引き起こしやすい。これを十分に回避することの難しさのため、空気圧機器による制御系は、非常に粗い精度でも十分な場面に限定されて使われてきたが、当研究室で開発された汎用的な制御手法（2自由度LQIサーボ系<sup>1)</sup>）をこれに適用することで、センサーの分解能に迫る極めて高い精度での位置決め制御を実現している。空気の圧縮性は、制御を難しくする大きな要因ではあるが、これが高度な制御手法により克服されるならば、むしろ特長ともなり得るものである。例えば、回転式自動ドアや車の電動ウィンドウでの不幸な事故がかつて報道されたことがあっても、電車のドアでの同様な話は耳にしない。空気の圧縮性は、ハードウェア自身が本質的に安全装置となる「柔らかい装置」としての働きを引き出し得るものである。そのため、すでに述べた他の特長とも相まって、人と通常的生活空間（例えば家庭や病院）で頻繁、密接に触れあう支援ロボットや介護ロボットなどへの応用も期待されるものである。

なお、上述の2自由度LQIサーボ系とは、 $I$  (=integral: 積分) 動作を含むLQ型制御系のことである。ここで、LQ は線形 (linear) システムに対する2次形式(quadratic)評価関数のもとでの最適制御を指す。制御系設計において重要なフィードバック特性と目標値追従特性のそれぞれに対して独立な評価関数を設定し、両者を同時に最適化することを可能とする（2自由度最適性）特別な構造の制御装置を理論的に導出したものである。2自由度最適性に対応する形で、設計を2つのフェーズに分離して進めることができ、各フェーズでの設計と制御仕様との対応関係も明確であるため、ここで紹介した制御系に限らずさまざまな制御系を対象として使いやすい制御手法であるという特長もあわせ持つ。

### 3. ロバスト制御系の解析および設計理論

#### 3.1 ロバスト制御系とは

前節では空気圧サーボ系において良好な制御性能が達成できていることを紹介したが、例えば、作業テーブル上の負荷重量が大きく変動した場合には、jerking motion が押えきれなくなることがある。ごく端的に言えば、現状は負荷が既知である場合（もしくはその不確かさがあまり大きくはない場合）に対して、適切な制御系設計を行うことで高い制御性能が実験的にも得られているということである。このような意味での性能は、ノミナル性能と呼ばれている。しかし、例えば多品種少量生産の現場での利用を念頭におけば、現実には、負荷の質量や性質を最初から細く規定できるとは限らない。制御系としては、さまざまな負荷をあらかじめ想定し、その範囲のいかなる負荷に対しても（できれば負荷には依存しない固定された制御系で）良好な制御性能を発揮するように設計されることが望ましい。このように、理想とする状況から大きく変化しても保証される（すなわち、想定範囲内の状況変化のもとで最悪の）制御性能は、ロバスト性能と呼ばれる。

制御系のおかれた状況が最初に（すなわち、制御系の設計時に）想定した状況からずれてしまう要因（単純に、不確かさと総称する）は上記のような負荷の変動だけにとどまるものではない。他にも例えば、各種パラメータの正確な測定ができないこと、動特性・周波数特性の正確な把握が実験的に困難であること、部品や製品ごとに特性にばらつきがあること、また特性が経年変化すること、等々をあげることができるが、こういった不確かさは前節で取り上げた空気圧サーボ系にとどまらず、あ

りとあらゆる制御系において普遍的なものである。したがって、不確かさが事前に想定する範囲内のものである限り、その影響を極力受けたくない、あるいはその影響が事前に指定した許容範囲にとどまることが保証されるような制御系（ロバスト制御系と呼ばれる）を設計することが望ましい。あるいは、それを事前に保証することが難しい場合であっても、仮に制御系を設計した時点では、想定する範囲内での不確かさに対する最悪ケースのロバスト性能がいかなるものとなるのか（したがって、仮に設計したその制御系は現場において実際に許容できるものなのか）少なくとも事後には正確に解析できることが望ましい。こういったロバスト制御系設計や制御系のロバスト性解析を、できるだけ一般的な状況で、より正確かつより合理的に行うための方法論を発展させるための理論的研究は、前節で紹介した一例を越えた幅広い応用分野を見据え、実用上も極めて重要な課題であり、当研究室でも精力的に取り組んでいる。

### 3.2 ロバスト制御系の理論的な取り扱い

前項であげた設計や解析の問題に関して、とくに後者のような解析ならばそれは簡単なことであると思われるかもしれないので、もう少し補足したい。例えば制御系に含まれるパラメータの不確かさが、上限値・下限値で規定されるある区間で与えられるとき、最悪ケースの性能が、区間の上限値または下限値のいずれかに等しいパラメータ値において生じるという保証は、一般にはない。そのため結局、与えられた（連続）関数 $f(x)$ のある区間内での最大値 $F$ をいかにして求めるかということと同等の話となる<sup>†</sup>。この比喻に基づいて、ロバスト制御の研究に関して簡単に触れておきたい。

$f(x)$ の最大値を（近似的に）求める（ロバスト性能解析）のであれば、その区間内からたくさんのサンプル $x_i (i=1, \dots, N)$ を選び、 $\bar{F} = \max_{i=1, \dots, N} f(x_i)$ を求めればよいと考えるのは自然である。しかし、この方法ではまず、 $(x_i)$ 以外の $x'$ において、実は $f(x')$ の値が $\bar{F}$ よりはるかに大きくなっている心配はないのかという不安が付きまとう。そのためには $N$ を十分大きくとればよからうが、そのようにすることに伴う計算時間の増大が許容できたとしても、こういった方向での単純な取り扱いは、（少なくともその単純さをそのまま利用する限りにおいては）ロバスト性能解析よりさらに難しいロバスト制御系設計に取り組むための理論的な足掛かりをほとんど与えないのである。そういう足掛かりから築いていくためには、 $x_i (i=1, \dots, N)$ のようなサンプル点を考えることなく不確かさの範囲全体を「一網打尽にする」ような解析法の開発が極めて重要である。 $f(x)$ の比喻でいえば、その最大値 $F$ （もしくはその上界値 $U$ ）を厳密に求めようとすることに対応する<sup>††</sup>。

おおざっぱな言い方になるが、当研究室では、コンピュータに基づく制御系解析や設計と親和性の高い方法論、すなわち、このような「一網打尽」を理論的に保証することで「コンピュータの莫大な計算パワーを最大限の効率で活用できる制御系解析や設計のための制御理論」の開発に取り組んでいる。具体的には、“制御系の解析や設計において現れる $f(x)$ ”の性質を線形行列不等式と呼ばれる性質のよい道具立てなどに結び付けることで、解析や設計の問題を数値最適化問題に変換し、できるだけ一般的な状況において効率よく（計算時間だけでなく、できるだけ無用に大きくない $U$ を求めることも含まれる）解析でき、さらにロバスト制御系設計へと発展しうるような各種の手法を開発する、という理論的研究を展開している<sup>2)</sup>。

† 制御系の性能は、通常、小さいほど高い性能に対応するように数値化（非負）される。最大値 $F$ を厳密に求めるのが難しい場合であっても、少なくとも、最悪ケースの性能でさえある基準をクリアしていることを確認したい。よって、最大値がある既知の値 $U$ を越えないという保証が得られれば、それでも意味がある場合もある。なお、実際には、“ロバスト制御系における $f(x)$ ”は $x$ の陽な関数として表されるわけではなく、また $x$ は通常、多変数であることを付言しておく。

†† 上界値 $U$ を厳密に求めるとは、 $F \leq U$ であることが、なんらの近似的な考察を経ることなく確実に断言できるような、そういう $U$ （のうち、合理的な時間内で求められるようななるべく小さいもの）を求めることを指す。

このような研究の一端を簡単な数値例を通して紹介しておく。図2は、不確かな実パラメータ $x_1$ および $x_2$ をもつ制御系のロバスト $H_2$ 性能の解析に関するものである。 $x_1, x_2$ がともに区間 $[-1, 1]$ 内の値をとる場合の“ $H_2$ 性能 $f(x_1, x_2)$ ”の最大値 $F$ を求めることが問題である。図ではパラメータ $x_1, x_2$ を0.02ごとに刻んで、合計 $51^2$ 個の格子点上で計算した $f(x_1, x_2)$ を表示している。このデータを得るのに要した計算時間は14.3秒、格子点上に限った最大値は3.514( $x_1=0.92, x_2=-1.00$ )である。一方、線形行列不等式に基づいて導かれた計算法によれば、格子点以外の $x_1, x_2$ もすべて考慮した $f$ の上界値が3.515であることを、計算時間2.3秒で確認できる。

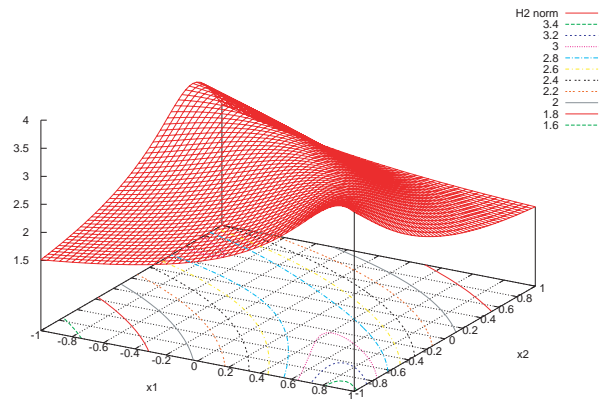


図2．ロバスト $H_2$ 性能解析の一例

#### 4．コンピュータによる制御のための理論

##### 4.1 デジタル制御系とサンプル値制御系

2節で紹介した空気圧サーボ系は、図1に示した通り、コンピュータを制御装置として閉ループ系に組み込んで利用しているが、この例に限らず、今では、制御系のほとんどはデジタル計装となっている。サンプリング周期 $T$ をいったん決めてしまえば、時間 $T$ ごとの制御系内の信号の変化を眺めることで制御系の解析等が行える。これが古くからのデジタル制御系としてのもっとも基本的な考え方である。しかし、前節で紹介したロバスト制御性能について考察する場合

表1．ロバスト性解析の一例（許容されるパラメータ不確かさの大きさの解析）

デジタル制御の考え方による近似解析					厳密解析
近似度 $N$	1	5	10	20	
解析結果	3.111	1.145	0.999	0.968	0.958

場合には、この単純な考え方では不十分であることを、ある実際の制御系のモデルに基づく解析結果の例（表1）を通してまず紹介しておこう。この例は、制御対象のもつ不確かさを考慮しない場合に所望の性能を達成することを保証するよう設計された制御系において、実際にどの程度の大きさまでの不確かさが許容されるか（どこまでの不確かさのもとで所望の性能が保たれるか）を調べたものである。上記の単純な考え方に基づく解析は左端の $N=1$ の欄に示してあり、実際に許容される厳密な範囲の3.2倍以上もの不確かさが許容できるという誤った判定結果となってしまうことがわかる。このことは、この判定結果を信じて実際に制御系を利用した場合には、全く予想もしなかった危機的な状況に至りうる危険性があることを示すものであって、したがって、このような単純な考え方による解析は一般には許容できないと考えるべきである。サンプリング周期ごとの信号に着目するだけでなく、（オンラインの制御におけるサンプリング周期は同じに保ったまま）解析時における1サンプリング周期あたりの信号のサンプル数 $N$ を増やして解析すれば、表1に示したように結果の改善は見られるものの、 $N=5$ では20%程度、 $N=20$ でもまだ1%の誤差が残る。このような問題はつねに生じ得るものであり、それを回避して厳密な制御系の解析や設計を行うことを可能にする理論（表1の右端の欄はそのような方法により解析した結果である）すなわちサンプル値制御系の理論について、本研究室ではその整備に向けて精力的に研究を行っている。

##### 4.2 サンプル値制御系の理論的な取り扱い

前節で述べた比喻に対応させて言うならば、結局、サンプル値制御系の理論とは、サンプリング周



期間での制御系内の各種信号のこまめなサンプルに基づいて解析や設計をするのではなく<sup>††</sup>サンプリング周期の間のあらゆる時刻を「一網打尽にする」形で厳密な解析や設計を行うことを可能とするための理論的基盤であるということが出来る。しかし、同じ「一網打尽」であっても、前節のような不確かさの空間でのそれとは異なり、制御系の動特性（あるいは周波数特性）自身と直接的な関係にある時間軸に関してのそれであるため、様相はかなり異なる。具体的なアプローチとしてはいくつかのものがあるが、基本的には、考慮する信号すべてからなる集合、すなわちある関数空間を考え、サンプル値制御系における外乱信号から制御量への応答を、入力側関数空間から出力側関数空間への写像（すなわち作用素）として取り扱う、関数解析的なアプローチになる。このようなアプローチには、膨大な蓄積を持つ関数解析の成果を利用して解析や設計を行える可能性がある反面、関数空間の無限次元性に由来する数値計算の困難に直面する可能性もある。しかし幸い、多くの実際的な研究課題について、厳密に、あるいは任意に指定した許容誤差の範囲で、（許容誤差に依存しないサイズの）有限次元の問題に帰着されることが明らかになっている。そこにはある種の必然性があると考えられ、さらに一般的な理論の整備へ向けて研究を進めている<sup>3)</sup>。

## 5 おわりに

当研究室では、どちらかといえば、制御技術を向上させるための方法論を制御理論の立場から数理的に研究し、それを実際の制御系に応用して有効性を確認すると同時に、理論面での不足部分を検証してさらなる研究の推進に結び付ける、という立場で研究に取り組んでいる。本稿は、このあたりの様子をご理解いただくための流れとして、ある意味で上記とは逆順の構成とさせていただいた。また、具体的な個々の研究の内容に関しては、これまで同様、本誌にて紹介させていただく機会があると考え、詳細にはほとんど立ち入らず、研究課題の在所とそれへの取り組みについての基本的なアプローチについてごく平易に紹介をさせていただくに留めた。基本となる研究成果や比較的最近の研究成果の一端を残されたスペースで参考文献としてあげさせていただくことでご容赦いただければ幸いである。

## 参考文献

- 1) T. Hagiwara, T. Yamasaki and M. Araki: Two-Degree-of-Freedom Design Method of LQI Servo Systems: Disturbance Rejection by Constant State Feedback; International Journal of Control, Vol. 63, No. 4, pp. 703--719 (1996).
- 2) Y. Ebihara and T. Hagiwara: A Dilated LMI Approach to Robust Performance Analysis of Linear Time-Invariant Uncertain Systems; Automatica, Vol. 41, No. 11, pp. 1933--1941 (2005).
- 3) T. Hagiwara: A Study on the Spectrum of the Sampled-Data Transfer Operator with Applications to Robust Exponential Stability Problems, SIAM Journal on Control and Optimization, Vol. 44, No. 1, pp. 313--327 (2005).

††このように述べると、非常に混乱を招くおそれがあるので付記しておくが、サンプル値制御系というときの「サンプル値」とは、制御装置が利用するデータがあくまでも連続的に変化する信号のサンプリング周期ごとの観測値である「サンプル値」に過ぎないこと、逆に言えば、制御性能を高める上でもっとも重要なものは、時々刻々と変化する連続時間信号自身であることを決して忘れてはならないということを強調するために用いられている術語である。厳密な取り扱いをする手段として、制御装置が実際に観測できるものの他に、サンプリング周期間での信号の離散的な $N$ 点での仮想的な観測値（サンプル）についてまで目を向けて考察する（表1における左側の欄に対応）、という方向を指しているのではないということである。

# 強誘電体メモリ技術のロジック応用と信頼性

エネルギー科学研究科 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  
教授 野澤 博  
nozawa@vega.energy.kyoto-u.ac.jp  
助教授 前田 佳均  
ymaeda@vega.energy.kyoto-u.ac.jp

## 1. はじめに

我々の周りには多くのエレクトロニクス製品が充満している。例えばパソコン、携帯電話、自動車のナビゲーションシステム、など。これらエレクトロニクス機器が身近になったのはごく最近のことである。20世紀初頭に始まるエレクトロニクスの歴史は真空管から半導体に代表される固体デバイスへの進歩発展さらにはそれらデバイスの集積回路化、大規模化に伴う小型軽量化低電力化など技術革新が連続して起きた。半世紀前には一つの電子スイッチを入れるスペースに現在は一億を超える素子が入った集積回路、これを超LSIと呼ぶ、が広く使われている。集積回路は単に数多くの素子を寄せ集めるだけでなくエレクトロニクスの小型軽量化低電力化および高性能化を一挙に達成したことにより、従来の技術、社会のあり方、限界を一気に飛び越え、我々の生活、社会、環境を一層よりよくする可能性を持っている。いままでの電子計算機の進歩発展を振り返るまでもなく、今後も高度情報社会に向けてますます集積回路研究の重要性が増すものと考えられる。中でも、21世紀に向けて来るウェアラブル・コンピューティング社会といわれる情報化社会に求められているシステムオンチップ (SoC) 技術において次世代不揮発性半導体メモリ (NVSM) 技術の研究が重要な課題であり、近年注目を集めているものとして強誘電体メモリ (FeRAM) がある。

## 2 強誘電体デバイス技術

### 2.1 デバイス動作原理

FeRAMは強誘電体性を示す薄膜をキャパシタとしてメモリセルに用いることで電源を切っても記憶データが失われないという不揮発性とメモリの読み出し/書き込み動作をほぼ等しい時間内で行なえるというランダムアクセス性を兼ね備えている。強誘電体は一般に複数の金属元素を含む酸化物で構成され、ペロブスカイト構造と呼ばれる結晶構造をとる。

この強誘電体薄膜の上下に金属電極ではさみ、キャパシタ構造にしたものに電圧を印加、P-V特性を測定するとヒステリシス曲線を示す。データ記憶部にこの強誘電体キャパシタを用い、従来のCMOS技術を用いたセル選択用のMOSFETとを同一シリコン基板上に集積しメモリセルを構成する。図-1(a)に1T/1C型といわれるキャパシタ型FeRAMのメモリセル等価回路図を示す。このセルの構成は広く知られたDRAMセルの回路図と同一であるが、プレート線と呼ばれる分極反転制御用配線にパルスを印加するように設計されている点に特徴がある。

データ書き込み動作はワード線を用いてセルを選択した後にビット線とプレート線との間に電圧を印加、その向きを制御することにより強誘電体キャパシタの分極方向を上あるいは下に向けることで終了する。一方読み出し動作は同じくワード線を用いてセルを選択した後にプレート線にパルス電圧を印加、強誘電体膜の分極反転に伴う電流がビット線に流れるか流れないかをセンスアンプで検知す

るがパルス印加動作で分極の向きが反転したセルはパルスの立ち下がり時に再書き込みが自動的になされることで終了する。強誘電体メモリでは読み出し時に一時的にデータが破壊されるが動作終了時にもとのデータに回復するので、DRAMのようにリフレッシュ動作は必要としない。

## 2.2 機能メモリ技術

機能メモリはノイマン型コンピュータと異なり超並列データ処理が可能となり、従来型コンピュータのボトルネックと言われた配線部でのデータフローレイトの限界を打破する技術として注目されている。さらに1T/1C型強誘電体メモリを原型にして、機能メモリに応用したものを図-1(b)に示す。この機能メモリ回路セルは通常の1T/1C型強誘電体メモリに内部演算回路用に選択トランジスタおよび内部演算回路専用局所配線を付け加えたものである。この機能メモリアレイはビットシリアル・ワードパラレル動作に適した専用局所配線が施されており、この先には簡単な演算回路が結線されている。通常機能メモリは上位ワードと下位ワードの一对のワードをビットシリアルに読み出し対となったワードセルの情報に演算処理をすることが特長である。

誘電体キャパシタ特性のヒステレシス曲線を線形部と非線形部とに分け、1T/1C型強誘電体をFeRAM / DRAMの多重メモリとして用いることも可能である。図-2に多重記憶型1T/1C強誘電体メモリの機能メモリ応用の概念を示すブロックダイアグラムを示す。

ここでは上位ワードを多重メモリのFeRAMモードを用い、一方下位ワードを同じくDRAMモードを用いて設計した。動作は下位ワードに相当するFeRAMモードのデータと上位ワードに相当するDRAMモードのデータを読み出し、これらの排他的論理和をとった結果を下位ワードとして機能するDRAMモードに書き込む。これをビットシリアルに操作し結果を外部に取り出した後新しいデータを下位DRAMモードで書き込み同様な処理をする。

ワードパラレルに演算が実行されるため並列処理が可能になる。したがって、データフロー型M/Cとして機能するので、データ量が大きく比較的簡単な演算処理を必要とする用途に向く

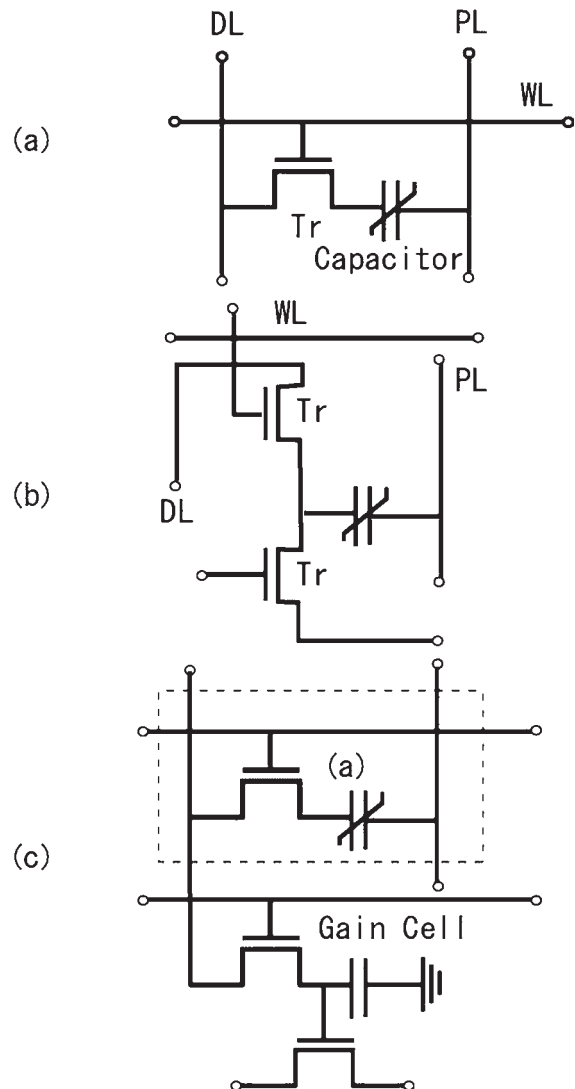


図-1 (a) 1T/1C型メモリセル (b) 機能メモリセル (c) プログラマブルスイッチ

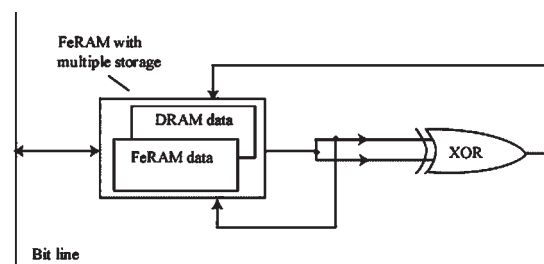


図-2 多重記憶型1T/1C強誘電体メモリの機能メモリ応用ブロックダイアグラム

といわれている。これにより上位ワードと下位ワードにおける一対のメモリセルを1つのFeRAMで置換できるため集積度が2倍になる。また通常の多値メモリを使う方式と比べてペリファイ回路を必要としないなどの点で有利である。

### 2.3 論理LSI応用

論理LSIのカスタマイズ化の要求に伴いFPGAの需要が高まっている。SoCにFPGAの機能をもたせるためFeRAMをゲインセルと組み合わせた不揮発性プログラマブルスイッチセルを図-1(c)に示す。このセルをマトリクス上にレイアウトしたデバイスの特長は高速かつ低電圧でスイッチのパターンを書き換えることが出来ることである。こういったデバイスの特長は機能メモリと同様にデータフロー型M/Cとして優位さを発揮するものと考えられる。情報システムで近年注目を集めているセキュリティシステムの中で必要な暗号処理、特にコード変換を用いるものなどに有効である。計算機でこれを行なうことが一般的ではあるが来るべきウェアラブル情報社会ではポータブル化が求められており、将来的には専用LSIで処理できることが望まれる。こういった観点からRSA暗号処理システムへゲインセルと組み合わせた不揮発性プログラマブルスイッチセルを応用した回路ブロックについて調べ、スイッチブロックがそのデータに従い実時間でパストランジスタのオン/オフを切り替えることにより高速処理が可能になることを明らかにした。

## 3. 信頼性

### 3.1 特性変動モード

今まで述べてきたように強誘電体メモリは理想的なNVSMとして将来の発展が期待され、その実用化が急ピッチで進行している状況である。FeRAMの実用化を進める上で解決しなければならない点もいくつか残されている。国際半導体ロードマップに示された微細化に伴う製造プロセス上の問題や、信頼性上の課題等がある。究極的に半導体デバイスで電源を切ってもデータが失われない、永久にということは実現不可能なためこの分野では10年以上というのが一般的な仕様とされるが、という不揮発性に対する要求を満足する上で最も重要な点は信頼性の確保である。強誘電体キャパシタに関する信頼性上のデータは揃いつつあり、代表的な劣化モードも把握できつつある。1T/1C型強誘電体メモリではデータ“1”または“0”を記憶するメモリセルの分極が読み出し動作ごとに反転を繰り返す。このような破壊読出し動作を採用する限り、分極反転の繰り返しによる強誘電体膜の疲労劣化について避けて通れない。疲労特性(Fatigue)として10年間の動作保証を考えると $10^{15}$ 回以上分極反転させても疲労、劣化しないことが要求される。現状では用途がメインメモリなどを想定しているため、書き換え回数がそれほど多くはないことを想定し、 $10^{12}$ 回程度を実用上のクライテリアとしている。劣化速度は電界を強くすると加速されるが、温度にはそれほど依存しないのが特長である。

### 3.2 信頼性物理モデル

双極パルスの繰り返し印加による、反転可能な分極が減少する信頼性劣化の物理メカニズムについては諸説あるが、定性的には分極ドメインのピンニングによって説明される。すなわち欠陥準位などのトラップ・センターへの可動電荷の捕獲により、分極ドメインの分極方向が固定され、このピンニング効果により分極ドメインの反転が阻止される。

このピンニングモデルに基づき強誘電体の局所電場を考慮した電子運動論的熱電界電子放出速度およびインパクトイオン化による電荷生成を定量的に計算することで強誘電体キャパシタの疲労特性とその電圧/温度依存性を定量的に説明できる。強誘電体薄膜では、印加電圧の極性反転の際に大きな電場が膜にかかる。そこでこの電圧反転の瞬間ごく短時間にのみ熱電子が膜中に放出されると近似、

計算することが可能である。物質の電子に対する表面ポテンシャルのバリア（仕事関数）を越えて放出される熱電子の放出速度はリチャードソン - ダッシュマンの式で表される。

さらに強電界が加わるとポテンシャルが大きく傾き、バリアの幅が小さく、すなわち薄くなる。この薄くなったバリアを電子は量子力学的に通り抜けることが出来る。これをトンネル効果、トンネル電流等と称するが、このトンネル効果による放出確率はファウラ - ノルドハイムの式によって与えられる。したがって、強誘電体薄膜に反転電圧が印加されるようなケースについては、トラップからの熱電子放出速度が電界によって加速されると考えられる。

分極特性疲労特性は大きく次の三段階に分けることが出来る。(1) 潜伏期間：急激な変化が起きるまでの初期的段階で残留分極の変化、現象は比較的緩やかである。(2) 激変期間：残留分極値が累積スイッチング回数の対数に比例して激しく劣化、減少する段階で、この段階に入ると強誘電体キャパシタの残留分極値は回路上検出不可能になりメモリとして機能を失う。(3) 飽和期間：残留分極値の劣化、現象が止まり、飽和傾向を示す。

図 - 3 にこの三段階を区切って示す。同図では分極疲労特性の実測値が計算値と同時にプロットされている。計算は二種類のトラップエネルギー準位分布、単一レベル分布（デルタ関数型分布）およびブロードなエネルギー分布（正方形分布）に対して行なっている。単一レベル分布に対する計算結果は激変期間、段階における変化が急激で、実験に対して一致しているとはいえない。一方、正方形分布に対する計算結果は実験データとの一致度、特に、激変期間における、が良好である。

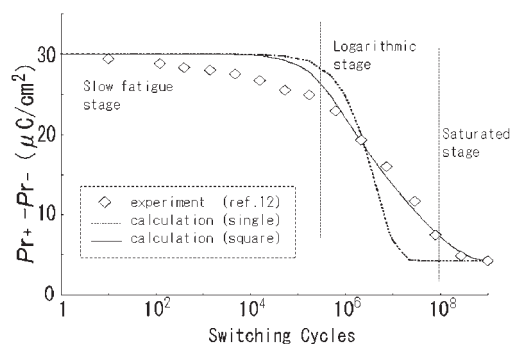


図 - 3 強誘導体キャパシタの分極疲労特性

これからトラップ形成に寄与する原因が一つではなくいくつかの欠陥がランダムに寄与していることがいえるが、具体的な欠陥や元素等を挙げることは出来ないため、これらについては今後の検討が必要といえる。

次にこれらの結果を用いて疲労特性の印加電圧依存性について調べた。実験は5Vから9Vの範囲で行なわれており、計算もそれに合わせて実行された。全般によく一致するという結果が得られた。ちなみにパラメータのフィッティングは5Vで行い、他の電圧では5Vで得られたパラメータを使っているので、これらの結果から疲労現象のメカニズムとしてインパクトイオン化による効果を取り入れたことの妥当性が証明されたといえる。一方、疲労現象は実験的に殆ど温度依存性を示さないことが知られている。このインパクトイオン化による熱電界電子放出加速モデルを用いた計算結果も同じ傾向を示していることから、このモデルの妥当性が強化される。

### 3.3 高信頼性技術

$PbZr_xTi_{1-x}O_3$  (PZT) からなるペロブスカイト型結晶を持つ強誘電体キャパシタの疲労特性は要求仕様の $10^{12}$ 回を保証するのが困難といわれており、強誘電体デバイスの実用化の妨げとなっていたが、様々な改善、提案がなされ、この問題も解決されることが明らかになりつつある。例えば、電極に白金を用いることが一般的であるが、これを導電性酸化物の一種である、イリジウム酸化やルテニウム酸化膜を用いることによって大幅に改善されることが報告されている。

また、ピスマス層状ペロブスカイト材料では、電極に白金を用いても疲労劣化は起こらない。現在、 $SrBi_2Ta_2O_9$  (SBT) や  $Bi_{4-x}La_xTi_3O_{12}$  (BLT) などがFeRAMの強誘電体材料として実用化が進んでい

る。この層状ペロブスカイト型結晶構造ではビスマス酸化膜 ( $Bi_2O_2$ ) 層が導電性であるため、電子の平均自由行程が律速されインパクトイオン化が起きなくなることが予想される。

外部電界が加わった時の電子の運動はPZTではフォノンとの衝突でエネルギーを失うまでエネルギーを獲得し続けるが、SBTのように導電性の膜が内部にあるとそこでエネルギー損失が生じるのでインパクトイオン化による電子、正孔対を励起するに十分なエネルギーを獲得できない。このモデルを基に具体的な数値を基にPZTとSBTの疲労特性を理論的に試算できる。

SBTではPZTの計算で用いたフィッティングパラメータをそのまま利用し、伝導電子をド・プロイ波と考えると、導体中におけるエネルギーの減衰をインパクトイオン化係数に反映する。やや詳しく述べると、インパクトイオン化係数の計算で用いる平均自由行程がSBTの場合ビスマス酸化膜層の存在やペロブスカイト各層のずれによる熱電子の減衰が起きるため、実効的に短くなると考えられるが、ビスマス酸化膜層中で表皮効果による熱電子の減衰とペロブスカイト層中で電界による加速と各層のずれで起こる散乱とのバランスが取れ、熱電子のエネルギーは一定として計算する。

疲労特性の計算結果と実測データとはよく合っている。SBTは白金電極であっても優れた書き換え耐性 ( $> 10^{12}$ ) が得られていることが計算結果により明らかになった。

#### 4. まとめ

強誘電体メモリ技術のロジック応用と信頼性について当研究室の成果を中心に紹介した。この流れの延長線上にウェアラブル・コンピューティングを含む新しい技術分野の創生出現が予測されると同時に、これらの進歩、発展が今後もIT分野のみならずエネルギー・環境分野にも大きく貢献するものと確信する。

## 産業界の技術動向

# 携帯電話用画像処理LSIの動向

株式会社 メガチップス  
松岡茂樹

## 1. はじめに

2000年11月に最初のカメラ付き携帯電話が発売されてから5年弱、カメラ付き携帯電話は幅広いユーザーに受け入れられ国内においてはカメラ無しが珍しいほど普及した。初期は写メールと言う名前の通り、写真をメールに添付して送る利用方法が全面に打ち出されたが、カメラ性能の向上、メモリカードインターフェース付き携帯電話の普及、デジタルプリント機器の普及により、何時でも写真が撮れて、何処でもプリントできるカメラとしての利用方法が主となってきた。

筆者は、昭和54年に電気工学第2学科を、昭和56年に電子工学修士課程を卒業し、株式会社リコーに入社以来、平成2年に設立された株式会社メガチップスに移り今日まで、一貫してLSIの開発、事業に携わってきた。本稿では携帯電話用カメラの進化と、今後必要とされる機能について、当社の開発事例を踏まえながら述べさせて顶きたい。また同時に、エンジニアを目指される学生の皆さんの参考になればと思い、国内におけるファブレス半導体ベンチャーの先駆けである当社のことや、最近の先端LSI開発エンジニアに求められる能力についても述べさせて頂く。

## メガチップスについて

米国では1980年代の半ばから、半導体工場を持たずに生産を全てアウトソースするファブレス半導体メーカーが相次いで誕生し急成長して行った。FPGAで有名なXilinx社も1984年創業のファブレス半導体メーカーの代表例である。当社は1990年に日本初のファブレス半導体ベンチャー企業として設立された。システムオンチップの時代を迎えるに当り、システム（機器）の知識とLSIの知識を融合して、独創的なソリューションを生み出すというのが、当社の設立のコンセプトであった。創業以来、マルチメディア（画像・音声・通信）技術分野に注力し、中でも今後デジタル画像が携帯型機器を含め様々な場所で利用されるようになることを予測して、低消費電力・高性能を特徴に種々の画像関連技術とLSIを開発してきた。

## 2. 携帯電話用カメラ機能の進化

2000年11月J-Phone（現ボーダフォン）がJ-SH04にてカメラ機能を搭載した携帯電話を発売したのをきっかけに、携帯電話にカメラ機能が搭載されるようになった。J-Phoneはこれをきっかけに大きくシェアを伸ばし、AU、ドコモも追従し、その後、海外にも広まり、全世界中で普及し続け、今や携帯電話のおおよそ40%がカメラ機能を備えている。（表1）

画素数としては、11万画素から

表1. カメラ付き携帯普及率（2005年以降は予測）

(単位 万台)	2001	2002	2003	2004	2005	2006
非カメラ付き携帯電話	360	390	410	420	370	330
カメラ付き携帯電話	5	20	80	180	280	290
合計	365	410	490	600	650	620
カメラ付き比率	1.3%	4.9%	16.3%	30.0%	43.1%	46.8%

はじまり、最初はメモ代わりの用途だったカメラ機能が現在では200～300万画素クラスのものまで発売され、デジタルカメラの機能・画質に近づきつつある。この高画素化のトレンドは日本先導ではじまり200万画素あたりまでは先行した。海外市場は画素数がVGA（36万画素）止まりと予測されていたがメガピクセルCMOSセンサの普及により高画素化が進み、今では画素数に関して海外市場と日本市場の差は少ない。

( 図 1 )

現時点ではカメラ機能で特に差別化を図りたい機種はデジタルカメラ用のCCDセンサを用いたりする。例えばSamsung SCH-S250はデジタルカメラ用1/2.5インチ500万画素CCDセンサを使用、カシオ日立 A5406CAは1/1.8インチ300万画素CCDセンサを使用している。一方、CMOSは画質が悪く、普及当初、特に日本国内ではCCDセンサでない携帯カメラは実用的でないと思われていたが、CMOSセンサの画質が急速に改善され、コスト低減、電力消費の削減、実装面積の縮小を狙い、日本市場においてもCMOSセンサ化が進んでいる。今後、CMOSセンサの高性能化に伴いハイエンドタイプも含めCMOSセンサ化が急激に進むと予測される。CMOSセンサは2006年後半には1.75 μmといった微小画素セルが実用化される見込みであり、1/3.2インチサイズならば500万画素クラス携帯カメラの登場の可能性が高い。

携帯電話にはこれらイメージセンサと光学系が一体化されたカメラモジュールと呼ばれる機構部品の形で搭載されている。このカメラモジュールは携帯電話のシステムにおいて、図2のように接続される。最近の第3世代携帯電話ではマルチメディア機能を処理するアプリケーションプロセッサにカメラ画像処理を行うDSPを内蔵するものが多く、カメラモジュールはこのアプリケーションプロセッサにYUV形式の画像データを送出する。

カメラモジュールはイメージセンサと信号処理回路（ISP）から構成される。図3にISPにおける信号処理プロセスの例を示す。イメージセンサからISPに入力されたBayer形式データに対して欠陥画素補正、黒レベル補正、シェーディング補正、WB補正を行う。その後、Bayer補間処理を行いRGB信号を生成し、そのRGB信号に対してγ補正、リニアマトリクス処理を行い、色空間変換によりYUV形式とする。最後に、輝度信号（Y）と色信号（UV）ごとの信号処理を行い、カメラモジュールよりYUV形式の画像データが出力される。

3 . 要求事項と課題

先に述べたようにCMOSイメージセンサの高画素化は着実に進んでおり500万画素携帯カメラ

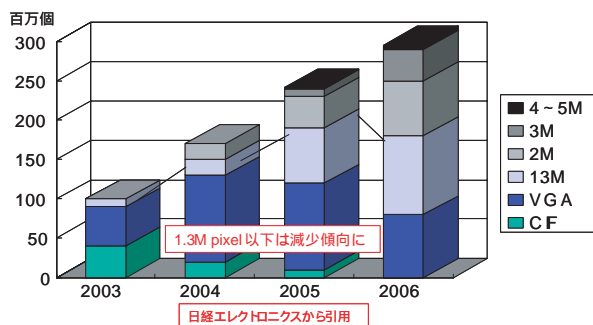


図 1 . イメージセンサ画素数比率

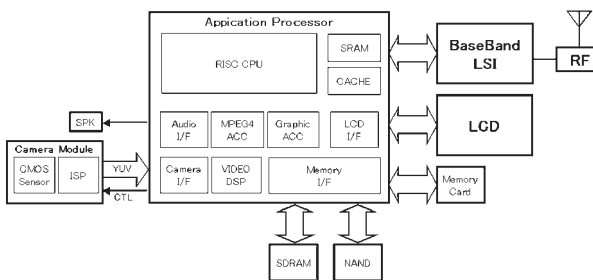


図 2 . カメラモジュール接続

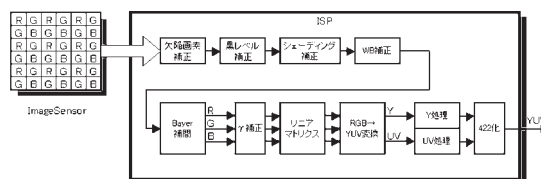


図 3 . ISP 信号処理プロセス例



の登場の可能性が高い。500万画素クラスが登場すれば、コンパクトデジタルカメラの代わりとなることを期待するユーザーも多いだろう。しかしながら単に画素数の増加だけでは、まだまだデジタルカメラの機能と性能を包含しない。いくつかの課題が存在する。(図4)

まず、微小画素化に伴う感度の低下とS/N劣化である。対応としてはマイクロレンズの最適化や後段の画像処理LSIによるノイズ除去に頼るところが大きい。

また、光学系に対してデジタルカメラよりも小型化要求があるため、画面の周辺光量や解像度が落ちるような設計になってしまう場合がある。これらも後段の画像処理で補うことが期待される。また、カメラとしての撮影機能として光学ズームやオートフォーカス制御がデジタルカメラでは、当たり前の機能であり、これらが備わることがコンパクトデジタルカメラとリプレイスする必須条件であろう。

さらには、静止画撮影とともに動画撮影機能が求められるであろう。この動画撮影はQCIF、QVGAなどの比較的少ない画素数のものをMPEG-4化して記録するものが多い。最近ではさらなる差別化としてムービーカメラでおなじみの動画撮影時の手ブレ補正機能や、光学ズームを内蔵した本格的デジタルカメラ並の撮影を行えるものが登場している。

このように考えていくと、デジタルカメラですでに実現されたカメラ会社が長年築き上げた技術と同等のものを、さらに微小化されたイメージセンサと光学系で実現することが望まれる訳である。そのハードルは決して低いものではない。携帯電話がデジタルカメラの機能を包含するのは「夢」なのであるか？

#### 4. 開発事例

さてこの夢の携帯電話カメラを実現するにはどうすればよいであろう。その課題に長年デジタルカメラ用画像処理LSIを提供しているメガチップスが考えた結論はデジタルカメラの最上級の画像処理を携帯電話に導入することである。

コンセプトとして「デジタル一眼レフ級の画像処理を携帯電話に」である。ノイズ処理にしても不自然さが許されないデジタル一眼レフ級のものを活用すれば、厳しい微小画素のS/Nに対しても有効となる。この考えのもとにメガチップスは携帯電話カメラ向け画像処理LSIとして『Pepper』を開発した。(図5, 6) ハードウェアと同等の速度と画像処理DSPに匹敵する柔軟な画像処理を実現するプログラマブルなパイプライン型の画像処理エンジン『Pixessor』をこのLSIに導入した。この『Pixessor』はデジタルカメラ用画像処理LSI『DSC-3H』で、すでに定評ある信号処理モジュールである

この『Pixessor』を活用すれば、通常の撮影時に最高の画像が得られるだけでなく。今まで複雑でハードウェア化が困難とされていた、あるいは処理速度の遅さからDSPでの処理に問題のあったような、高度な局所領域に最適化されたヒストグラムイコライゼーション処理や、パターンマッチング型デジタル多重露光処理なども可能となる。また当社ではデジタルカメラLSI開発で培った豊富な画像処理、絵作り技術

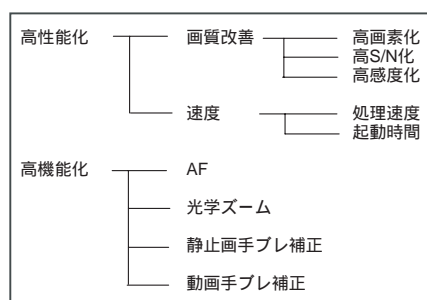


図4. カメラ機能改善

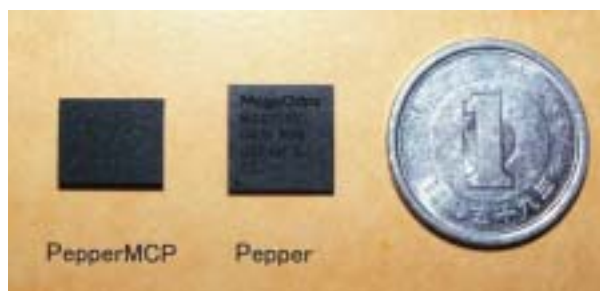


図5. Pepperシリーズ

をベースに、携帯電話カメラ向け標準ファームウェアの開発を行い提供することを計画している。これにより、デジタルカメラの開発経験がない携帯電話メーカー等においても容易に高性能なデジタルカメラ機能を追加することが可能となる。

この『Pepper』を用いたデジタルカメラシステムを構成するためには『Pepper』以外にSDRAMとFlashメモリが必要となる。SDRAMは画像処理用のワークメモリに用い、Flashメモリは『Pepper』のカメラ処理用のプログラムを記憶するために用いている。これらの部品を携帯電話や携帯電話のカメラモジュール内に高密度に実装するために、10mm×8mm×1.4mmの超小型BGAパッケージに3つの部品を内蔵した『PepperMCP』も同時に開発をした。この『PepperMCP』をカメラモジュールに組み込むことによって、オートフォーカス及びズームレンズ制御なども含んだ、完全なスタンドアロン型の超小型カメラモジュールを実現できる。(図7),(表2)

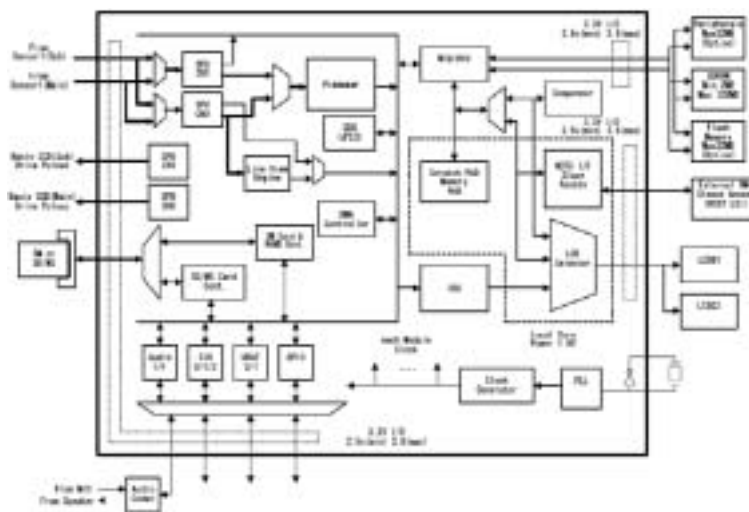


図6 . Pepperシステム図

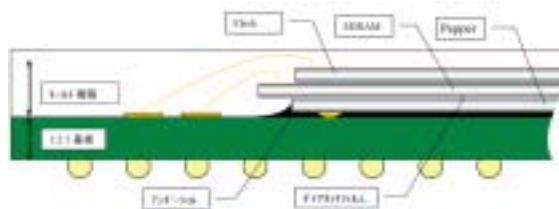


図7 . PepperMCP構成図

5 . 将来技術

高画素化されたCMOSセンサと『PepperMCP』を内蔵したカメラモジュールが携帯電話に搭載さ

表2 . Pepper概略仕様

項目	内容
対応センサ	CCD/CMOSセンサ(最大6400万画素)、2系統センサ同時入力対応
画像処理エンジン	当社独自エンジン Pixessor™搭載
動作クロック	シーケンサ: ~27MHz(可変)、メモリバスクロック: 48MHz、画像処理: 27MHz
JPEG圧縮伸長	エンコード: 27MByte/秒、デコード: 13.5MByte/秒
特殊画像処理	欠陥画素補正、シェーディング補正、iridix(逆光補正アルゴリズム) iridixは英国Apical社の独自技術です。URL: <a href="http://www.ukapical.com">http://www.ukapical.com</a>
その他	LCDセレクター機能(ホストCPUとLCDをシェア) SDカード、メモリスティックに対応
製造プロセス	0.18 μm
電源/消費電力	3.3-2.6V(I/O)、1.8V(内部ロジック)、50m~200mW 動作条件により異なる
パッケージ	Pepper: 240pinBGA、0.5mmピッチ PepperMCP: 209pinBGA、0.5mmピッチ

れることにより、携帯電話がコンパクトデジタルカメラの機能をユーザーにもたらす日は近い。その次のステップとしてユーザーは何を求めようか？ 当社では撮影された画像をどこにでも伝送できることを実現したいと考えている。現在、携帯電話の3G化が進み、携帯電話でのメールの添付ファイルの容量が増加したとはいえ、まだまだ500万画素のデジタルカメラの画像をメールでは送れない。例えば500万画素デジタルカメラのJPEG画像は普通でも1Mbyte程度の容量が必要（圧縮1/10）である。



図8．圧縮画像の比較

当社では次世代の静止画像圧縮方式である JPEG2000 の実装に関して通信情報システム専攻の中村（行宏）研究室と共同で研究、開発している。われわれの検討ではJPEG2000において1/50～1/100の圧縮率においても画像の劣化が極めて少なく、実用的なものと判断している。その成果として、すでに世界で初めて8000×8000画素までタイル分割不要なJPEG2000用LSI『Sesame』を開発している。上述の携帯電話カメラ用画像処理LSI『Pepper』と組み合わせた携帯電話が世間に普及すれば、ユーザーはデジタルカメラを超越した新しい画像活用ができるようになる。いつでも500万画素のカメラ機能を持つ携帯電話で、ストレスフリーに撮影でき、その場から離れた友人のPCに、携帯電話に、プリントショップに、その画像を即座に転送できるのである。

当社は、このJPEG2000圧縮機能を携帯電話カメラ用画像処理エンジンに統合した次世代画像処理エンジンを内蔵したカメラモジュールの開発を次のターゲットとしている。

## 6．最後に ～ エンジニアを志す学生の皆さんへ

以上、近年急速に進化している携帯電話用カメラの動向と、当社の開発事例を含め携帯電話用画像処理LSIの最新の動きについて説明すると共に、携帯電話のカメラ機能をデジタルカメラと同等にして、その次に新たな付加価値をもたらすという、われわれ『夢』を紹介させて頂いた。われわれはこの夢を必ずや実現するであろう。私は夢こそがエンジニアたちの開発の原動力であると考えている。

LSIの微細化により、機器の主要な回路が1チップのLSIに集積されるようになり、機器の機能、性能の多くの部分がLSIによって決まるようになった。このようなシステムレベルのLSIを開発するには、本稿でも示されているように、対象機器に対する深い知識、アルゴリズム開発、LSIハードウェア開発、ソフトウェア開発、半導体メーカーの生産コントロール、アセンブリハウスコントロール、モジュール開発、等非常に広範な知識・技術力が要求される。エンジニアを目指す学生の皆さんには、専門分野の技術を深めると共に、関連周辺技術の幅を広げ、世の中の役に立つ革新的な製品を生み出すことの出来る、視野の広い、遠くまで見通せるエンジニアをぜひ目指して頂きたい。

## 参考文献

- 「高圧縮のノイズ 解消 JPEG2000 対応画像用LSI」、日刊工業新聞、2004年10月27日
- 「ニュースリリース Pepper発表リリース」、メガチップス広報リリース、2005年7月15日

## 新設研究室紹介

### 電気システム論講座 電気回路網学分野（和田研究室）

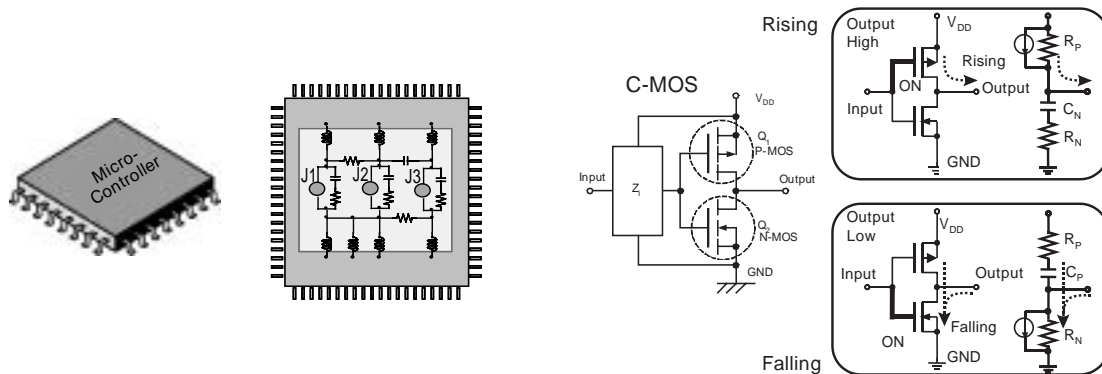
<http://bell.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

#### 「EMC実装工学 ～デバイス・回路・システムを統合した設計環境の構築～」

電気回路学は長い歴史を持ち、電気電子工学の基礎となるものですが、昨今は小さな半導体チップの中に複雑な回路システムが入ってしまいます。その設計には、材料やデバイスの特性から素子配置、さらには周囲との相互干渉までを考慮する必要があります。本研究室では、従来から取り組んでいる非線形回路、分布集中定数混在回路システム、電磁回路などに関する研究[1]に加え、これを発展させる形で、時代の要請に答える新たな回路とシステムに関する理論的・実験的研究を行います。本稿ではそのうちの新しい研究テーマ「EMC実装工学」について紹介します。EMC (Electromagnetic Compatibility) とは、回路やシステムが不要な電磁干渉により周辺システムの動作を妨げたり周辺からの影響を受けたりすること無く、本来の機能を発揮する電磁的両立性を意味する言葉です。高速デジタルデバイスの動作特性や、信号伝送系のノイズ発生機構をうまくモデル化し、回路の実装設計に応用することにより、周辺環境と調和の取れた高機能システムを実現することができます[2]。

#### デジタルICのEMCマクロモデルの開発とデジタル・ノイズシミュレーション

非線形デバイスであるデジタルICがスイッチングするときパルス状の電流が流れ、これが回路の電源やグラウンドの電位をゆすってノイズや誤動作の原因となります。しかし、このノイズ駆動特性を、集積回路を構成するトランジスタのレベルにまで立ち戻って解析することは、系があまりにも複雑になりすぎるため、得策ではありません。我々はデジタル回路のノイズを高速にシミュレーションするために、LECCS (Linear Equivalent Circuit and Current Source) model という簡略化した線形モデルを提案し、これを使用してデジタル回路のノイズを定量評価しノイズ低減設計を実現する方法について研究しています。



また、EMC設計の具体例として、カーエレクトロニクスや情報家電の電子回路ユニット・モジュールにたくさん使用されているマイクロコントローラのLECCSモデルを作成し、回路基板のノイズシミュレーションを行う方法について研究しています。プリント回路基板とデバイスを含めた、EMC特性解析手法と、高周波におけるカップリングの評価法について理論的、実験的に検討します。

#### 高速差動伝送系の不平衡度に着目したノイズ発生メカニズムの研究

昨今の高速デジタル系で多用されている差動伝送系を、より大容量高速データ伝送に使用するためには、そのノイズ発生メカニズムの解明とノイズ制御が非常に重要です。伝送系の不平衡度を上手くコントロールすることにより、ノイズに強く、かつ高密度実装できる伝送系の開発が可能になります。そのための理論的、実験的検討を行なっています。

#### 参考文献

- [1] 研究室紹介, 電気システム論講座電気回路網学分野, 「cue」 No.14, p.22. ( March 2005 ).
- [2] 和田修己, “PCBのEMIシミュレータ”, 電子情報通信学会誌, Vol. 87, No. 10, pp.845-848 ( 2004 ).

## 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 (荒木研)

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)

電子物理工学講座 極微真空電子工学分野 (石川研)

電子物理工学講座 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

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 光量子電子工学分野 (野田研)

量子機能工学講座 量子電磁工学分野 (北野研)

#### 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

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 (吉川榮研)

#### エネルギー基礎科学専攻

エネルギー物理学講座 電磁エネルギー-学分野 (近藤研)

基礎プラズマ科学講座 核融合エネルギー制御分野

#### エネルギー応用科学専攻

応用熱科学講座 エネルギー-応用基礎学分野 (野澤研)

応用熱科学講座 プロセスエネルギー-学分野 (塩津研)

### エネルギー理工学研究所

エネルギー生成研究部門 粒子エネルギー研究分野 (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 (松本研)

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

複合システム論講座（荒木研究室）

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

むだ時間を含むシステムに対する状態予測制御系

自動制御を行う際に制御対象となるシステムには、操作の伝達や測定量の検出に要する時間といった「むだ時間」が存在する場合があります。このようなむだ時間を含むシステムでは、行った操作の結果がすぐにわからないため、単純な制御方法では高い性能を持つ制御系を構成するのが困難です。本研究室では、むだ時間を含むシステムに対する制御法であるスミス制御法、状態予測制御法、モデル予測制御法などを用いた制御系の設計法や解析法に関する研究を行っています。

ここでは、上にあげた制御法のうち、状態予測制御法に関する研究について紹介します。状態予測制御法は、システムの動特性を表す微分方程式を利用してシステムの状態をむだ時間分だけ予測することにより、むだ時間がない場合の状態フィードバック制御と等価な制御を実現する方法です。

状態予測制御系の設計法としては、目標値応答と外乱応答を異なるゲインで調整できる2自由度構成（図1）を与え、目標値応答を決めるゲイン（ $F_0$ と $H_0$ ）と外乱応答を決めるゲイン（ $G$ ）をそれぞれ独立な2次形式評価関数に基づいて最適に設計する方法と、オブザーバについても最適に設計する方法を提案しました[1]。この結果は、むだ時間を除いた制御対象に対して通常の最適設計法でゲインを決めて状態予測制御系を構成すれば、むだ時間を含む制御対象に対して最適な制御系を構成できることを示し

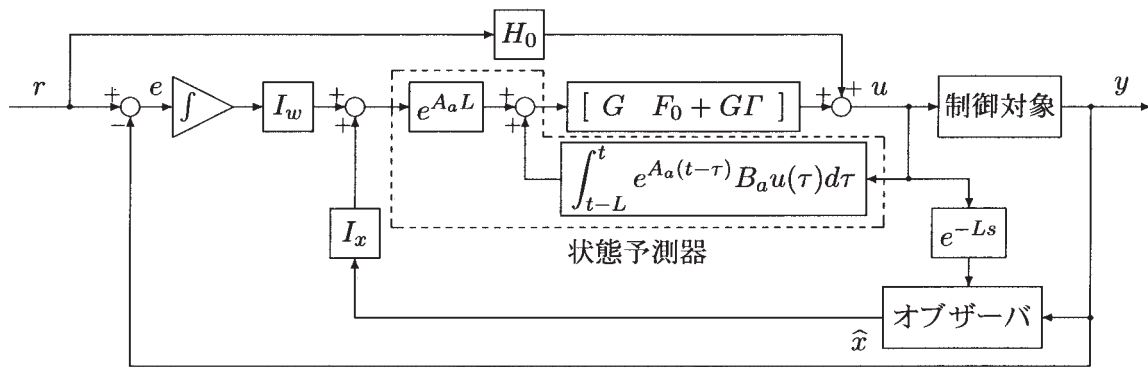


図1．状態予測型2自由度サーボ系

ています。

また、状態予測制御系におけるモデルの誤差の影響を系の安定性に注目して解析するロバスト安定解析法も提案しています[2]。この方法は、制御対象のゲインとむだ時間のみにモデル化誤差があるとして、系が安定であるためのモデル化誤差の許容範囲を図式的に求めるものであり、ゲイン - むだ時間平面上での安定余裕を得ることができます（図2）。

本研究室で行っている制御技術の医療応用の研究では、生体の薬剤に対する反応などにむだ時間が含まれるため、上で述べた設計法や解析法を利用して望ましい特性を持つ制御システムを構成しています。

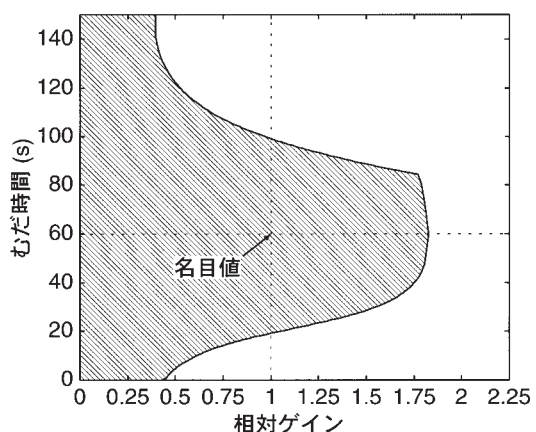


図2．ゲイン - むだ時間平面上の安定領域の例

参考文献

- [1] E. Furutani, T. Hagiwara and M. Araki: IEE Proc. Control Theory Appl., 149-5, 365/378 (2002)
- [2] E. Furutani and M. Araki: Int. J. Robust and Nonlinear Control, 8-10, 907/919 (1998)

## 電磁工学講座 超伝導工学分野

<http://www-lab04.kuee.kyoto-u.ac.jp/index.j.html>

### 「高温超伝導かご型回転子を適用した高機能誘導電動機の開発研究」

かご型誘導電動機は、分数馬力電動機から鉄道車両用主電動機まで広く使用されており、電動機の代名詞的存在として位置付けられています。本研究では、上記電動機の2次側かご型巻線を高温超伝導化することにより、更なる高機能化を目指しています。

高温超伝導材料の大きな特長は、ある臨界値（臨界電流）まで抵抗ゼロの電流を流せること、および臨界値以上では通電電流によって抵抗が大きく変化することにあります。従って、高温超伝導材料で閉回路を作ると、臨界電流以上では高抵抗回路になるとともに、それ未満では抵抗ゼロの電流が流れ続けます（これを永久電流モードと呼びます）。また、永久電流モードでは閉回路中に鎖交する磁束は捕捉されます。そこで、高温超伝導材料で誘導電動機のかご型2次巻線を構成すると、始動時の大きな誘導電流に伴う高抵抗によって大きな始動トルクが得られます。さらに、加速とともに誘導電流が減少し、同期速度付近において高温超伝導巻線が永久電流ループを形成することにより、誘導電動機でありながら大きな同期トルクが得られるという高機能化が実現されます。即ち、すべり運転と同期運転の両立が可能となるわけです。このことは、既に非線形等価回路解析によって理論的に明らかにしており、従来型誘導電動機に比較して大きな始動・加速トルクが得られると共に、同期トルクの定量的評価を行いました [1]。そこで図1のように、市販されているビスマス系高温超伝導テープ材を使用した高温超伝導かご型回転子を試作し、回転試験を行いました。その結果、見事に同期回転可能であることを確認しました（図2） [2]。今後は、負荷試験等を行い、詳細な特性検証ならびに最適設計を行っていきたいと考えています。

#### 参考文献

[1] G. Morita, T. Nakamura and I. Muta, submitted.

[2] T. Nakamura, et al., IEEE Transactions on Applied Superconductivity, accepted.



図1．試作した高温超伝導誘導電動機回転子

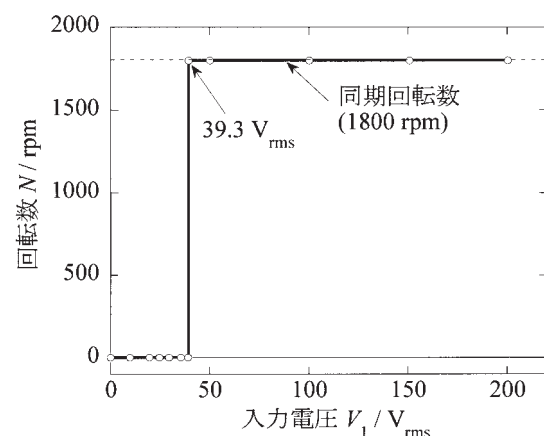


図2．軽負荷における高温超伝導誘導電動機の回転特性 [2]

## 電気エネルギー工学講座 生体機能工学分野（小林研究室）

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

### 「脳機能イメージング技術の統合と高度化」

人間は自らの存在の意味を考え悩む地球上唯一の生物である。さて、それでは考えるとはどういうプロセスなのだろうか。また、自らの存在といった“意識”に関わる脳のメカニズムはどのようなものなのだろうか。このような脳の高次機能を理解するには、脳のどこが、どのようなタイミングで、如何に、ということをつまらかにすることが必要である。そこでは計測技術をはじめ、コンピュータ技術、信号処理技術、画像技術といった工学分野の研究・開発が重要な役割を担っており、近年の脳科学の進展は、様々な技術革新による新たな非侵襲脳機能計測・解析法の寄与によるところが大きい。

現在普及している脳機能計測法は、脳神経活動に伴う電磁気量を計測する方法と脳神経活動に伴って変化する血行動態を計測する方法に大別される。前者には脳波（EEG）と脳磁界（MEG）、後者にはポジトロン断層撮像法（PET）、機能的磁気共鳴画像法（fMRI）、近赤外分光法（NIRS）がある。この他に、局所的磁界に伴う渦電流により脳神経活動を抑制することで脳機能を調べる経頭蓋磁気刺激法（TMS）がある。各計測装置は個別に技術開発が行われている。時間分解能の優れたEEG、MEG計測装置では多チャンネル化による空間解像度の向上が図られている。加えて、MEG計測においては液体窒素温度で動作する高温超伝導SQUIDによる装置の開発が望まれている。fMRIでは、印加する静磁界の増大により更なる空間分解能の向上が図られると共に、静音化やBOLDに代わる機能計測法、例えば perfusion imagingによる血流量変化に基づく機能計測などの試みがある。また、NIRSでも多チャンネル化と信号解析の開発が進んでいる。しかし、各計測法には計測原理に由来する避けられない弱点と限界があり、一つの計測法のみにより、時空間的に変動する脳機能の複雑な仕組みを解明することは困難である。

こうした背景から、近年、異なる計測手法を組み合わせることにより信頼性の高い脳機能計測を行なおうとの機運が高まってきている。基本的には時間分解能の高い手法と空間分解能の高い手法を組み合わせた同時計測が望ましい。しかし、同時計測に関しては計測原理ならびに装置の制約により必ずしも全ての手法が可能な訳ではない。そこで、できる限り実験パラダイムを近づけて異なる手法により計測したデータから、共通の活動を捉えようとするマルチモーダル計測が行われる。我々の研究室では、これまで主に視覚的認知に関わる脳活動をEEG、fMRI、MEGにより計測・解析し、相互の結果を比較・検討するというアプローチでその機構を探ってきた。現在さらに、このマルチモーダル計測を一步進めて、異なるモダリティーによる計測データを同時に扱う解析や、計測原理の異なる装置そのものを融合・一体化するといった脳機能イメージング技術の統合・高度化をめざし、MEG、fMRIならびにMR-拡散テンソル画像の統合解析法の開発を進めている。

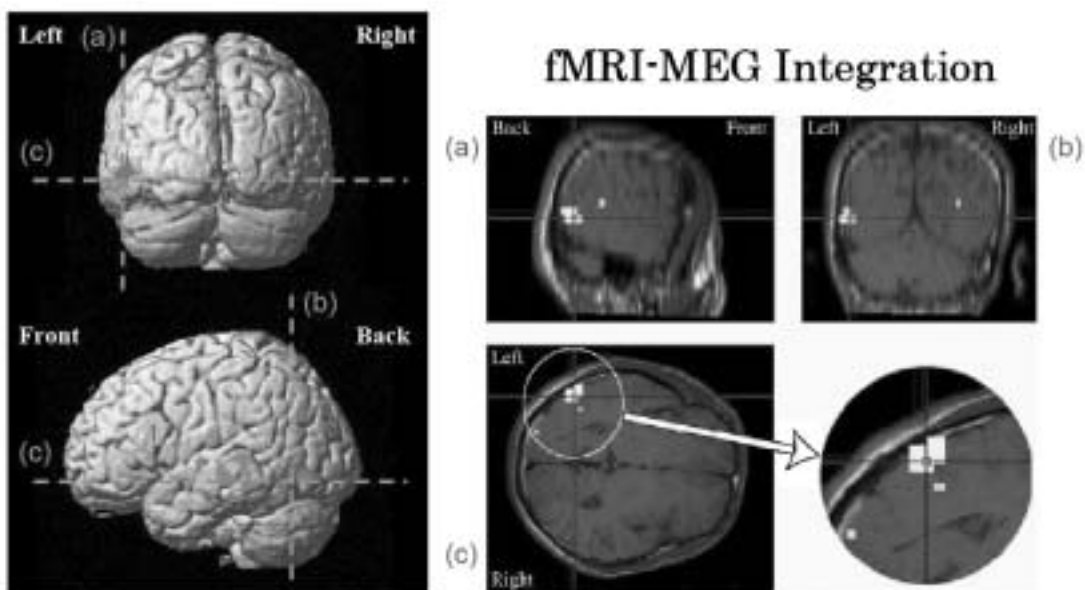


図1．機能的MRIとMEGの解析により運動刺激を観察中に活動する脳部位をイメージングした例



## 電気システム論講座 電力システム分野（大澤研究室）

<http://www.kuee.kyoto-u.ac.jp/outside/annai/teacher.php?id=42>

### 「GPSによる長周期電力動揺の安定性監視」

わが国の60Hz系統には3秒程度の長周期動揺があり、系統の安定性を決める大きな要因になっています。そこで、この動揺の安定性を測定するため、図1のように九州と関西に二つのPMU（phasor measuring unit）を設置しています。二地点間の電圧位相差の時間的な変動を解析することにより、動揺周波数およびそのダンピングを求めることができます。

図2に最近の測定結果を示します。比較のため、昨年7月28日の測定結果も示しています。夏季は需要が増えるため、動揺周波数およびダンピングが下る傾向にあります。いずれの測定結果もダンピングがかなり低下しているのがわかります。このように周波数やダンピングが変化するにはいくつかの要因が関わっています。

図3と4に需要電力と連系線潮流との関係を示します。昨年5月9日、7月28日、11月17日のデータを中西地域各社からご提供いただきました。図から需要電力や連系線潮流の増加にともなって動揺周波数やダンピングが低下していくのがわかります。図には系統を244機で表した詳細な固有値解析の結果も示しています。送電余裕（ATC）の算出に应用できればと考えています。

- [1] N. Kakimoto, M. Sugumi, T. Makino, K. Tomiyama, "Monitoring of interarea oscillation mode by synchronized phasor measurement", IEEE Trans. on Power Systems (submitted).

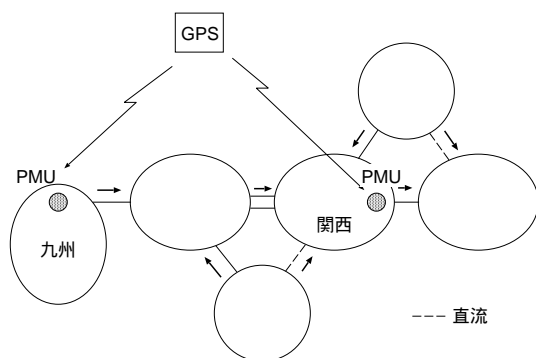


図1．測定方法

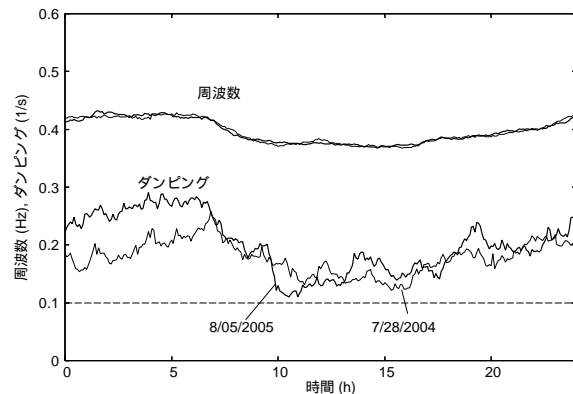


図2．測定結果（8/5, 2005）

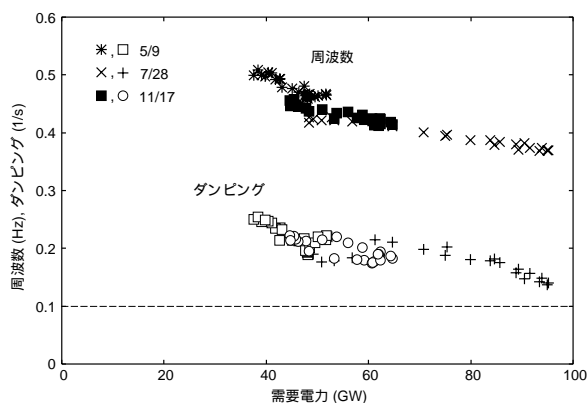


図3．需要電力の影響（2004）

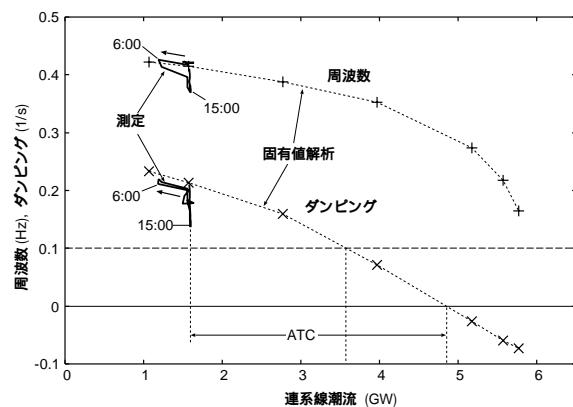


図4．連系線潮流の影響（7/28, 2004）

電子物理工学講座 プラズマ物性工学分野（橋研究室）

<http://www-lab11.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

「マイクロプラズマで構成されたアクティブ型電磁波制御デバイス」

“マイクロプラズマ”とは、ミリメートル以下の微小なプラズマを総称しており、プラズマディスプレイ内のマイクロプラズマのみならず、現在では各種マイクロ加工プロセス源・携帯型マイクロ分析源等に応用範囲を広げて研究が盛んに行われています [1]。当研究室では、プラズマディスプレイ・微小光源・材料プロセス源としての研究に加えて、マイクロプラズマの位置形状制御性と高電子密度である特性に着目した新規デバイス創生の研究に取り組んでいます。具体的には、電子密度の外部制御により、マイクロ波からミリ波・サブミリ波帯での電磁波制御のための誘電率可変媒質としての可能性を追求しています。

まず、マイクロ波の制御に関しては、マイクロストリップ線路上へのミリメートル長のプラズマ生成による電磁波制御素子の提案を行っています。その第一歩として、T分岐素子の1分岐をプラズマで形成し、素子の存在そのものがオンオフ可能な“動的”デバイスが生成可能なことを示しました。図1 (a) にプラズマ分岐が生成されてT分岐が2個形成されている状態を示します。そのとき、図1 (b) のように、プラズマ分岐電流に呼応し、線路上のマイクロ波 (11 GHz) 透過電力の約35%の減衰が確認されました。このように、この動的T分岐素子は有意な大きさの変調作用を示しています。様々な機能性パターンを設計することで、マイクロストリップ線路上の高速可変パターンの形成による新規アクティブ型素子への可能性が拓けてきます。

また、ミリ波からサブミリ波帯の電磁波に対しては、伝播領域にマイクロプラズマの集合体を空間的に制御しながら設置し、電磁波の様々な制御を試みています。まず四角柱状のプラズマを2次元正方格子状に配列させ (図2 (a))、誘電率の周期構造状態を作り出し電磁波の透過現象を測定しています。図2 (b) に、2次元波数面上での等周波数線の理論計算結果と、面上2点での電磁波 (TEモード) の透過波形を示します。格子列方向 ( $x$ 方向) の場合の伝播について、通常はプラズマ中での減衰を受けて検出透過波強度は減少しますが、周波数が33 GHz (電子密度  $1.4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$  の場合のプラズマ周波数に相当) に近づくと、逆に強度が増加します。これは、等周波数線との対応より、電磁波が  $k_x$  軸方向 ( $x$ 方向) の単一指向性となることによると解釈できます。今後は、マイクロプラズマの2次元配置を機能性を考慮して設計し、時間制御性を利用してアレイのアクティブマトリクス駆動を行い、電磁波出力の強度・周波数・指向性等のパラメータを自由自在に制御できるアクティブ型多機能電磁波アンテナの可能性を追求していきます。

[1] 特定領域研究「プラズマを用いたマイクロ反応場の創成とその応用」<http://plasma.kuee.kyoto-u.ac.jp/tokutei429>.

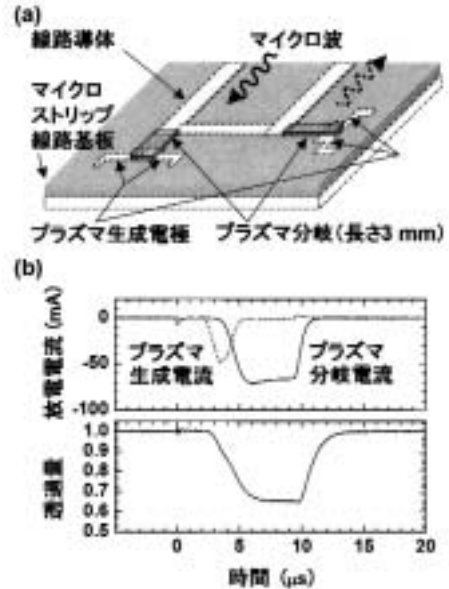


図1 (a) 動的T分岐素子。(b) 放電信号と透過マイクロ波強度の時間変化

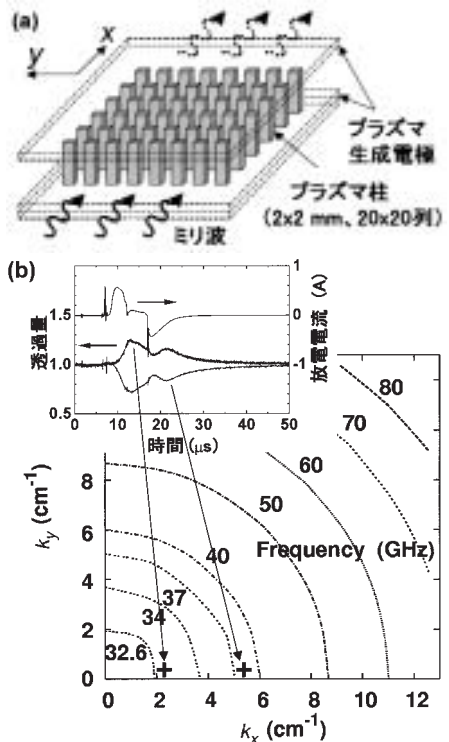


図2 (a) プラズマの2次元アレイ構造とミリ波伝播制御の概念。(b) 放電信号と透過ミリ波強度の時間変化、および2次元波数面上における等周波数線表示。

## 電子物性工学講座 電子材料物性工学分野（松重研究室）

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

### 「走査型プローブ顕微鏡による動作中MOSFETにおける2次元キャリア密度分布解析」

#### 1、序

半導体デバイスの微細化に伴う短チャネル効果の発現により、次世代電子デバイス開発の進展が妨げられ、それらの不良動作のメカニズム解明が急務となっている。デバイスの微視的な内部構造の理解から巨視的な電気特性の究明を目的として、これまで電子顕微鏡、走査型プローブ顕微鏡をはじめ、様々な顕微鏡法が種々の物性を計測可能な手法として提案されてきた。しかし、それらは通常、デバイスの電気特性評価・性能評価とは独立して行われてきたため、これらの相関関係が十分理解されておらず、1次元的な物理モデルに基づく計算機シミュレーションに頼る場合が多かった。そこで、当研究室では、半導体デバイスの動作メカニズムを解明するための有力な手法として、走査型プローブ顕微鏡（Scanning Probe Microscopy: SPM）を用いた動作中MOSFETの2次元キャリア密度解析法を提案してきた。本稿では、走査型容量顕微鏡（Scanning Capacitance Microscopy: SCM）を用いてゲート長500nm, n型Si-MOSFETの動作状態における2次元キャリア密度分布計測を行った結果について述べる。

#### 2、研究内容

SPMを用いた2次元キャリア密度測定法では、ウェハを劈開し、素子断面を露出させる必要がある。そのため、通常、劈開後にLSIに内蔵されたソース、ドレイン、ゲート各電極に繋がるVia配線は残存せず、素子にバイアスを加え動作させることができない。本研究では、ウェハ内部の任意の半導体素子を劈開後も駆動させるために、評価用断面駆動素子を開発した。集束イオンビーム（Focus Ion Beam: FIB）エッチング法及びFIBアシスト堆積（FIB-Chemical Vapor Deposition: FIB-CVD）を用いて、劈開後に残存するような空間配置を持つ立体配線構造を形成させる。SCMを用いてこの評価用素子の2次元キャリア密度計測を行った結果を図1に示す。ドレイン電圧を一定に保ち（ $V_d = 1.0 \text{ V}$ ）、ゲート電圧を上昇させたところ（ $V_g = 1.0, 2.4, 3.8 \text{ V}$ ）、デバイスがOFF状態からON状態に推移する際のチャネル領域における反転層の形成過程を直接計測することに成功した[1]。今後、プローブ顕微鏡のさらなる高性能化、原子レベルで平坦な断面試料作成法、及び断面を介した2次元キャリア密度分布計測の定量化法の確立を試み、次世代のナノ電子デバイス開発における基盤技術とする。

#### 参考文献

- [1] K. Kimura, K. Kobayashi, K. Usuda, H. Yamada, and K. Matsushige, Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Workshop on the Fabrication, Characterization and Modeling of Ultra Shallow Junctions in Semiconductors, p127-132 (2005).

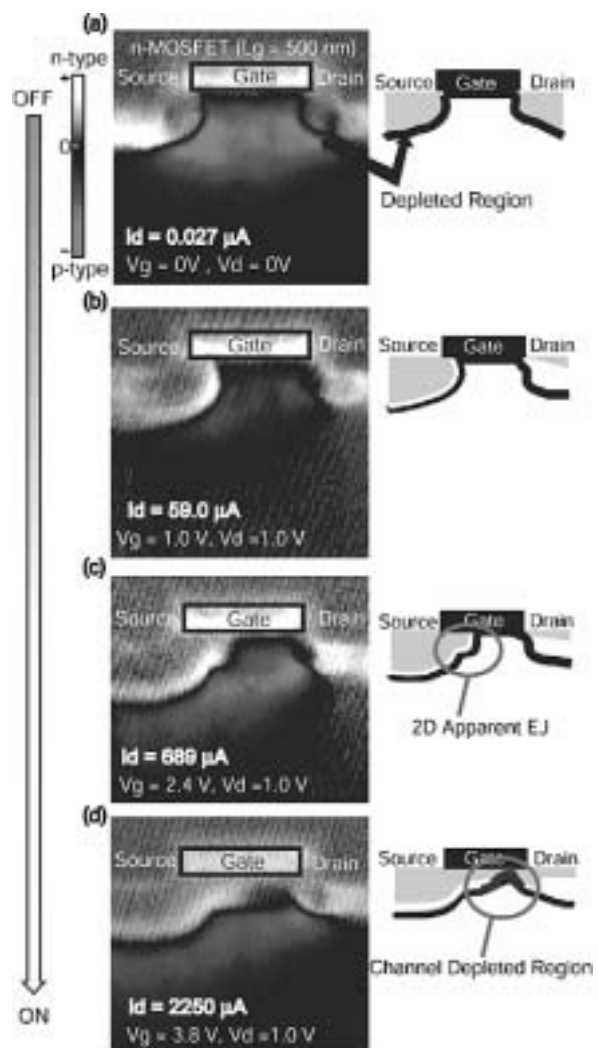


図1 . SCM を用いたSi-MOSFET 動作状態における2次元キャリア密度分布計測

量子機能工学講座 光量子電子工学分野（野田研）

http://www.kuee.kyoto-u.ac.jp/%7Elab05/

フォトリック結晶の点欠陥を用いた高Q値微小共振器

光の波長程度の大きさをもち、かつ光を強く閉じこめることのできる高Q値微小共振器は、様々な科学・工学分野において非常に重要であり、近年関心が高まっている。その応用可能な分野としては、例えば、超小型波長フィルター、単一光子光源、光バッファメモリー等が挙げられる。これらの応用においては(a)高い分解能と広い共振モード間隔の実現、(b)光と物質の相互作用の増強、(c)長い保持時間と集積度の両立等が要求され、これには高いQ値かつ微小なモード体積をもつ共振器が要求される。しかし一般に共振器サイズが小さくなるほど、共振器の端部に光が到達して光が損失を受ける割合が増加するために、波長サイズの高Q共振器を実現することは容易ではない。一方、周期的屈折率分布からなる新しい光材料フォトリック結晶は内部に光のモードの存在しない周波数帯域（フォトリックバンドギャップ）をもち、これにより光を吸収損失なく完全に反射できるため、波長サイズの高Q値共振器を実現する方法として注目されてきた。しかしながら、3次元フォトリック結晶では作製上の困難さから来る周期数の制限のために、そして2次元フォトリック結晶スラブではそもそもバンドギャップ効果の及ばない方向があるために、期待されるほど完全な光の閉じこめができていなかった。これに対して我々は2次元フォトリック結晶スラブを用いた共振器の共鳴モードの電磁界分布をフーリエ解析し、その結果、その電磁界の包絡関数形状を制御することで、光の漏れを劇的に減少できることを実証した<sup>1, 2)</sup>。

2次元フォトリック結晶スラブは誘電体スラブ（薄板）に2次元の周期性（空気穴）を導入した構造であり、スラブの上下に十分に屈折率の低いクラッド（空気）が存在していることが特徴である。この構造に、図1(a)のように局所的に欠陥（点欠陥）を導入すると、そこでは光の存在が許容され、微小共振器として動作する。この共振器では、面内方向においてはフォトリックバンドギャップ効果によって光は完全に閉じこめられるが、上下方向に注目すると、誘電体と空気の屈折率差による全反射によって閉じこめられる光の成分と、全反射条件を満たさず上下方向の放射される成分とが存在する。図1(a)は我々が検討した共振器の主要な電界成分の分布であり、図1(b)はその2次元フーリエ変換である。図1(b)中の灰色の内は、面内方向の波数ベクトルが空気中の伝搬モードと整合しうるため上下への漏れが生じる領域を表す。図1(c)はこれを改良した共振器である。共振器両端の穴を僅かに外側にシフトしてある。これにより図1(d)に示されるように、漏れ領域内の成分が大幅に減少している。これは電界分布をx方向において穴の間隔の2倍程度の周期をもつ基本正弦波とその包絡関数に分けて考えることで説明できる。周期から分かるようにフーリエ空間において基本波は漏れ領域の外に存在するが、包絡関数の畳み込みによってそれが広がり、漏れ領域に入る成分が生じる。穴のシフト（=周期性の乱れ）によってバンドギャップ効果が弱まり、包絡関数が実空間において広がることによって、フーリエ空間においては広がりが減少した結果、漏れ成分が減少している。図2はその実験結果である。穴をシフトさせることにより、Q値の逆数に対応する共振ピーク半値幅が大幅に減少し、最大で固有Q値45,000という値が得られた。また計算によって得られた共振器体積は媒質内波長の三乗程度であり、発表時点<sup>1)</sup>において体積あたりのQ値として世界最高の値であった。その後、さらなるQ値の増大にも成功し<sup>3)</sup>、これら発表を機に、高Q値微小共振器およびその応用の研究が大幅に加速された。

- 1) Y. Akahane, T. Asano, B.S. Song, and S. Noda: Nature, vol.425, pp.944-947, 2003.
- 2) T. Asano and S. Noda: Nature, vol.429, doi:10.1038, 2004.
- 3) B. Song, S. Noda, T. Asano and Y. Akahane, Nature Materials, vol.4, pp.207-210, 2005.

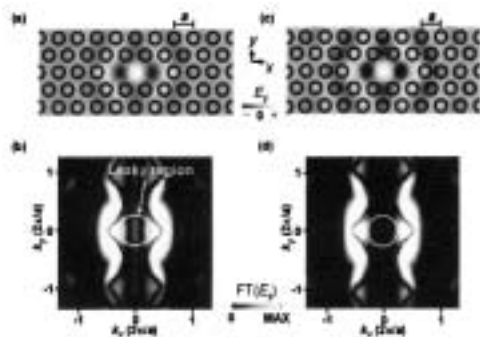


図1. 2次元フォトリック結晶スラブを用いた共振器の空気穴配置および電界分布とその2次元フーリエ変換（灰色の内は漏れ領域を表す）(a) (b) 基本となる共振器、(c) (d) 両端の穴をシフトした改良型共振器

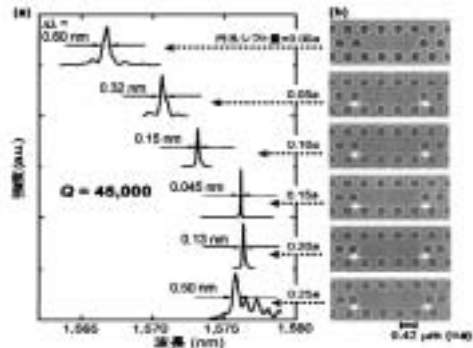


図2. 穴シフト型共振器の実験結果、(a) 共振スペクトル、(b) 共振器のSEM写真

## 量子機能工学講座 量子電磁工学分野（北野研究室）

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

### 「電子回路による波動伝搬のシミュレーション」

近年、光速を越える群速度や非常に遅い群速度といった、光の群速度に関する研究が盛んに行われている。我々は以前、光速を越える群速度と物理的に等価な、負の負群遅延を発生させる電子回路について研究を行った[1]。この回路に適当な電気パルスを入力すると、同じ形のパルスが負の遅延時間で出力される。つまり、出力パルスの方が入力パルスより先に出力される。これは、一見奇妙で因果性を破っているように思えるが、実際は因果性の破れには関係しない問題である[2]。

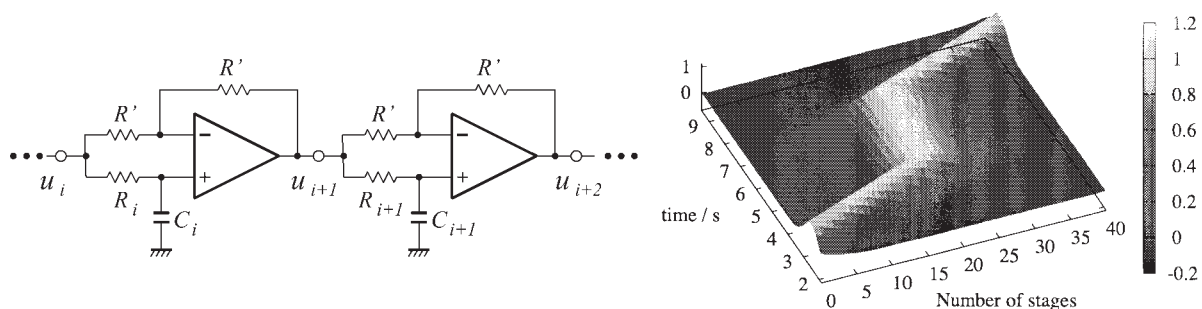
一方、遅い光に関しては、媒質中を電磁気誘導透明化（Electromagnetically Induced Transparency, EIT）を用いて光の群速度を極端に遅くする方法や、光を完全に停止（正確には断熱過程で光の状態を原子の集団スピンの状態に転写）させる方法が考案された。光の量子状態をも媒質中に集団スピンとして保存することができる上、必要なときに光として取り出せる。この技術は（量子）光メモリーとして注目されている。

本研究室では、この非常に遅い光伝搬現象にも目を向け、包絡線の形を変えない波動伝搬を集中定数回路で表現する方法を考案した。オールパスフィルタとして知られる回路を、下図（左）のように縦続接続すれば、波動伝搬をシミュレートできる[2]。 $i$  段目の回路に着目したとき、回路の伝達関数は

$$H_i(\omega) = \frac{1 - i\omega T_i/2}{1 + i\omega T_i/2}, \quad T_i = 2C_i R_i$$

であり、 $1/T_i$  よりも小さい周波数に帯域制限された信号に対して、時定数  $T_i$  が一段あたりの遅延時間になる。抵抗値は回路ごと、そして時間ごとに変えることができるように設計している。それにより、遅延時間  $T_i$  は場所の関数にもなり時間の関数にもなる。これはEITの実験において、カップリング光（制御光）の強度を変え、群速度を変えることに相当する。光を止める実験を回路でシミュレートすることも可能で、その場合は回路定数を一斉に変えて、一段あたりの遅延時間を極めて大きくすればよい。下図（右）がその実験結果を表している。横軸を回路段数、縦軸を時間として、回路の出力値をプロットしている。 $t < 4$  では、回路一段あたりの遅延時間は0.08s にしている。この間では電気信号は一定の速度で回路間を伝搬していることが分かる。時刻  $t = 4$  s に一斉に遅延時間を約20倍の1.6sにすると、信号はほとんど停止状態となる。 $t = 7$  s で再びもとの遅延時間に戻すと、信号は再び伝搬を開始する。

EITの実験と同様にこの回路の実験においても入力パルスの周波数帯域は決まった値より狭くする必要がある。この条件を満たさないパルスを入れると光の実験の場合も回路の実験の場合も同じように波形の減衰と著しい変形がもたらされる。このように、回路でEITにおける光の伝搬をシミュレートできる上、回路では、パラメータを簡単かつ自由に変えることができるという利点があるため、時間的お



よび空間的に同時に群速度を変化させるなど、光伝搬の実験では困難なことも実現できる。

[1] T. Nakanishi et al., Am. J. Phys., 70, 1117 (2002).

[2] M. Kitano, et al., IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 9, 43 (2003).

[2] T. Nakanishi et al., Am. J. Phys., 73, 323 (2005).

知能メディア講座 言語メディア分野

http://www-lab25.kuee.kyoto-u.ac.jp/

「モンゴル語の機械処理の研究」

近年、世界中の様々な言語が計算機上で扱えるようになってつつあり、それに伴って、世界の多様な言語についての自然言語処理の研究が行なわれるようになってきました。しかし、言語解析プログラム等に関する研究が盛んに行なわれている言語は、英語・中国語・日本語や、ヨーロッパ・アジアの主要な言語に限られています。そのような中で、本研究室では、2005年3月に修士課程を修了したモンゴル人留学生Sanduijav Enkhbayar君とともに、モンゴル語の機械処理の研究を行ないました。

現代モンゴル語で使われる文字はキリル文字です。モンゴル語では、自立語の語幹に対して格を表す語尾や動詞の活用を表す語尾・接続助詞等が結合したものが句を構成し、ヨーロッパ言語と同様に、空白で区切られた句の列により文を構成します。そこで、まず最初に実現すべきモンゴル語機械処理として、名詞・動詞の語幹に格を表す語尾や動詞の活用を表す語尾・接続助詞等を結合させて、名詞句・動詞句を生成する(図1の例参照)プログラムを作成しました[2]。

また、図2の日本語・モンゴル語間の句対応の例から分かるように、モンゴル語の語順は日本語と同じSOVで、動詞が文末に位置し、日本語と同様、その他の句の語順は比較的自由です。このように、モンゴル語と日本語の間では、文の構造がかなり類似しているため、英語・日本語のように文の構造が異なる言語対と比べて、自動翻訳の問題がかなり易しくなることが予想されます。そこで、モンゴル語・日本語の双方において文法現象の中心を担う機能表現に注目し、モンゴル語・日本語間の機能表現の翻訳の難易度について分析を行ないました[1]。その結果、日本語からモンゴル語への機能表現の翻訳においては、7~9割という高い割合で、文脈に依存せず一意に訳が決められることが分かりました。例えば、図1に示すように、日本語の「てくる」という機能表現は、文脈に応じて様々な意味・用法を持ちますが、モンゴル語においても、この多様な意味・用法を単一の機能表現によって表現することができ、日本語側での多義性を保持したままモンゴル語に翻訳できます。

モンゴル語の機械処理の研究は、世界的にもあまり例がなく、今回の研究の成果は非常に貴重なものであると言えます。今回の研究の成果をふまえて、モンゴル語の電子化テキストや、日本語・モンゴル語間の対訳テキストを蓄積して、その分析を進めていくことにより、日本語・モンゴル語間の自動翻訳等の応用技術が実現できると期待しています。

参考文献

[1] Sanduijav Enkhbayar, Takehito Utsuro, and Satoshi Sato. An analysis of translation equivalents of Japanese-Mongolian functional expressions. In Proceedings of the Asian Symposium on Natural Language Processing to Overcome Language Barriers, pp. 9-16, 2004.  
 [2] Sanduijav Enkhbayar, 宇津呂武仁, 佐藤理史. 音韻論的・形態論的制約を用いたモンゴル語句生成・形態素解析. 自然言語処理 (言語処理学会論文誌), Vol.12, No.4, 2005.

- (1) 名詞語幹  
xvvxэд (子供)
- (2) 名詞語幹 + 複数語尾  
xvvxдvvд (子供達)
- (3) 名詞語幹 + 複数語尾 + 格語尾  
xvvxдvvдтэй (子供達と一緒に)
- (4) 名詞語幹 + 複数語尾 + 格語尾 + 再帰所属語尾  
xvvxдvvдтэйгээ (自分の子供達と一緒に)

図1. 名詞の語形変化の例

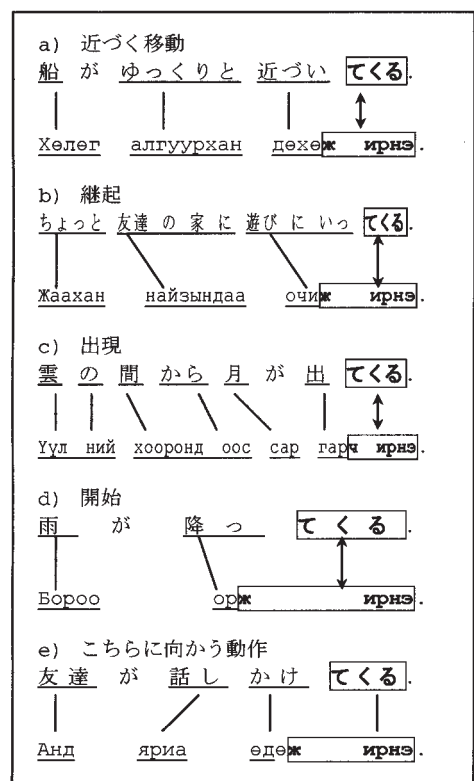


図2. 日本語機能表現「てくる」のモンゴル語訳における多様性保持

## 知能メディア講座画像メディア分野（松山研究室）

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

### 「3次元ビデオによる無形文化財の高精度デジタル化」

#### 1. 3次元ビデオとは

3次元ビデオは、CGによる仮想的・人工的な3次元アニメーションではなく、ダンスやスポーツをする人間、自然界の動物などの生の姿・形・色の時間的変化を3次元的にそのまま記録した実写映像で、実世界における対象の振る舞い・動作を余すところなく記録した実写3次元映像メディアである。3次元ビデオという名前からイメージされるのは映像が飛び出して見える立体映像であり、3次元ビデオは立体ディスプレイ用の特殊なコンテンツだと思われるかもしれないが、通常の2次元のディスプレイを使った場合でも、3次元ビデオを使えば、視聴者が映像を鑑賞する位置や方向、視野をその場でインタラクティブに変えることができる。このようなインタラクティブ性は3次元ビデオの持つ大きな特徴であり、映像の楽しみ方を従来の受動的なものから能動的なものへと変えるものと期待される。

#### 2. 研究成果

現在のシステムでは以下の方法で3次元ビデオの撮影・生成を行っている。

1. 撮影対象を取り囲むように配置された多数のカメラ（図1（a））を用いて、対象の多視点ビデオを撮影する（図1（b））。
2. 撮影されたビデオフレーム画像から対象のシルエットを抽出する（図1（c））。
3. 各カメラの投影中心を中心としてシルエットを3次元空間に逆投影し視体積を求める。この視体積の積集合をもって対象の3次元ボクセル表現を求める（図1（d））。
4. 得られたボクセルデータの表面に小さな3角形の面を張り、対象の表面形状を表す3次元メッシュを求める（図1（e））。
5. 4.で得られた3次元形状は、彫刻の荒削りのようなもので、形が角張っており、細かな凹凸が復元されていない。そこで、3次元メッシュがゴムのような弾性を持っていると考え、各3角形の頂点の位置が真の対象表面に張り付くようにメッシュの変形を行う（図1（f））。
6. 各3角形面上のテクスチャや色は多数のカメラによって写されているため、その面が最もよく写っている画像を選び、その画像上のテクスチャ・色を面に張る（図1（g））。

以上の処理で、1フレームの3次元ビデオが生成される。動画を作るには（1）～（6）の処理を繰り返せばよい。現在研究室では、3次元ビデオの技術を使って、能や日本舞踊などの伝統舞踊や職人の技を3次元的に記録・保存する無形文化財のデジタルアーカイブの構築を進めています。

#### 参考文献

- [1] T. Matsuyama, X. Wu, T. Takai, and S. Nobuhara. Real-time 3d shape reconstruction, dynamic 3d mesh deformation and high fidelity visualization for 3d video. *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 96, pp. 393-434, Dec 2004.

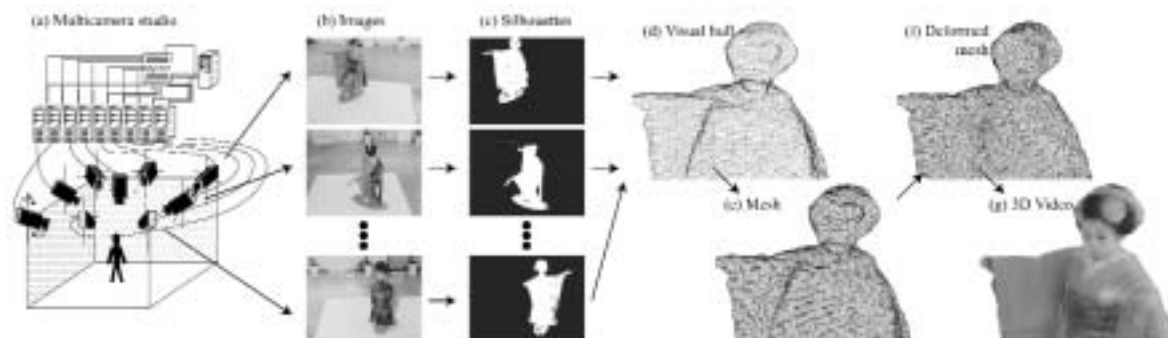


図1. 3次元ビデオの生成過程

### 通信システム工学講座 知的通信網分野（高橋研究室）

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

#### 「マルチコードによるチャンネル割当て・伝送レート制御を行う無線マルチキャスト方式」

第三世代携帯電話などCDMA（Code Division Multiple Access）移動通信システムにおいて動画サービスが利用され始めています。伝送レートの向上や移動局（MS:MobileStation）の計算性能・表示性能の向上が背景にあります。一方、有線アクセス網では、同一の動画を複数ユーザに配信するマルチキャスト技術が研究開発されており、これを用いることで、1対1で動画転送を行うのに比べ冗長なパケット転送が低減され帯域利用効率が向上します。移動通信においても、無線マルチキャストと呼ばれる同様の方式が検討されています（図1）。ただし、単一のチャンネルで全てのMSをカバーしようとする、通信路品質が最低のMSでも動画を正常に受信できるように全体の伝送レートを下げる必要があります。低い伝送レートでは低品質の動画しか伝送できず、無線マルチキャストを行う利点が損なわれます。そこで我々は、同一の動画を受信するMSを高品質動画チャンネル（Hch）を受信するグループと低品質動画チャンネル（Lch）を受信するグループに分割することを考えました。また、2つのチャンネルにCDMAの多重コードを共有させ（図2）、境界より上側をHch、下側をLchに割当てて、チャンネル割当てと伝送レート制御を一元的に行います。この方式では、HchとLchとは周波数が等しく時間同期しているため、MSのチャンネルが切り替わっても瞬断が生じません。一方、コード数が多いほど伝送レートは高くなりますが、所要の通信路品質は高くなり、一定の動画品質を確保するのに必要な受信電力が大きくなります。2つのチャンネルは多重コードのみならず送信電力も共有しているため、適切な多重コード・送信電力割当てが性能に大きな影響を与えます。そこで、我々はMCAP（MultiCode Assignment algorithm for P-MP transmission）という方式を提案しました [1]。MCAPは、2つのグループの通信路状況や利用可能な残りコード数、利用可能な残り送信電力で場合分けを行い、それぞれの場合に応じてMSの入れ替え、コードの増減および送信電力の増減を行います。図3のシミュレーション結果から、利用可能な総コード数が16の場合、従来の単一チャンネルしか用いない方式に比べ、提案方式が2.1～4.1倍の伝送レートを達成できることが分かります。なお、今後は、無線LAN（Local Area Network）への適用を検討する予定です。

[1] 中村博志, 新熊亮一, 高橋達郎, “マルチコードによるチャンネル割り当て・伝送レート制御を行う無線P-MP伝送方式,” 信学論B, vol.J88-B, no.6, pp.1067-1077, Jun. 2005.

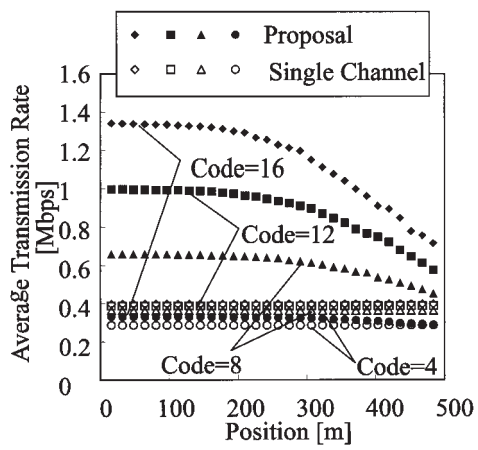
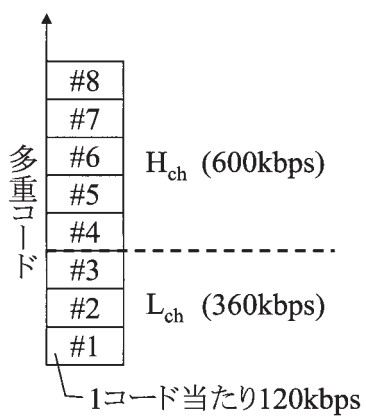
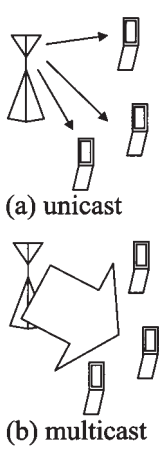


図1 . 無線マルチキャスト

図2 . チャンネルとコード割当て

図3 . 平均伝送レート



## 集積システム工学講座 情報回路方式分野（中村研究室）

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

### 「JPEG2000符号化方式の組み向け実装法」

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。ここでは、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。そこで中村研究室では、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している[1]。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2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、中村研究室では、株式会社メガチップスLSIソリューションズと共同で、上述のデザインフレームワークをベースとし、タイル分割せ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検討し、ノンタイリングに対応するシステム構成のJPEG2000コーデックLSIを開発した（図3）。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ノンタイリング処理する世界初のLSIである[2]。

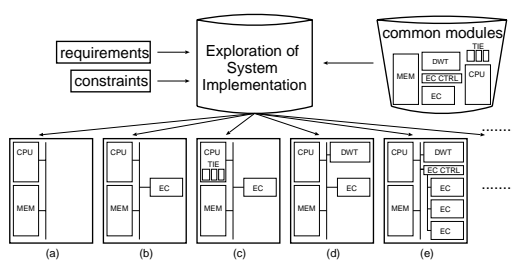


図1．JPEG2000符号化システムのためのデザインフレームワーク（概念図）



図3．ノンタイリングJPEG2000コーデックLSI



図2．タイル分割による画像の劣化

#### 参考文献

- [1] H. Tsutsui, T. Masuzaki, Y. Hayashi, Y. Taki, T. Izumi, T. Onoye, and Y. Nakamura, " Scalable design framework for JPEG2000 system architecture," in *Proc. ACSAC2004*, pp.296308, Sep. 2004.
- [2] “高圧縮のノイズ解消 JPEG2000 対応画像用 LSI,” 日刊工業新聞, 2004 年 10 月 27 日.

## 集積システム工学講座 超高速信号処理分野（佐藤研空室）

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

### 「波形劣化した光強度変調信号に適用可能な誤り率推定法」

近年、インターネットの普及に伴う加入者系伝送路の光化の進展により、長距離光伝送システムの大容量化がさらに望まれています。このようなシステムとして有望視されているのが、ファイバによる光パワー損失を光増幅器で補償する光多中継システムです。

伝送システムの場合、誤り率が $10^{-9}$ 以下と要請されますが、（光パワーなどの）経時劣化を考慮に入れ、導入時には（光パワーなどを増加させて）マージンをもたせ誤り率が大きく下回るように設定されます。例えば、光パワーを3 dB増加すると誤り率が $10^{-17}$ になります。この誤り率を測定するためには、伝送速度10 Gbit/sの場合に115日もかかってしまいます。さらにマージンを確保するためには、現実的な測定時間ではなくなってしまいます。

そこで受信機において、デジタル信号の0、1を識別するためのしきい値を変化させ、1秒以下で測定可能な誤り率の範囲（例えば $10^{-3} \sim 10^{-9}$ ）の誤り率の振る舞いから最適しきい値における誤り率を推定する方法が提案され、広く用いられてきました。当研究室でもその改良版を提案しました[1]。これら従来法では、光増幅器の発生する雑音をガウス雑音と近似していましたが、実際にはガウス雑音でないため、それによる誤差が出ることも指摘されていました。

また、光ファイバの直径は数十 $\mu\text{m}$ と非常に細く、光増幅器により光ファイバ内の光パワー密度が増大するため、非線形効果が起こり、波形劣化が生じてしまいます。伝送速度を増大させることは光パワーの増加を伴いますので、非線形効果の影響は今後益々増加することになります。

雑音特性を正確に評価し、上記のように波形劣化が生じた場合においても正確に誤り率を推定できる方法が望まれていました。当研究室では、雑音特性を詳細に調べ、波形劣化を適切に表現することにより波形劣化した信号にも適用可能な誤り率推定法を提案しました[2]。対象とするのは、デジタル信号の0、1を光の有無に対応させて送信し、光電変換素子で電気信号の有無を得る、強度変調 直接検波方式です。これは標準化された方式で、世界の長距離系はほとんどこの方式になっています。

従来法との比較結果を下に示します。図1より、ファイバ入力小さく、非線形効果による波形劣化が少ない場合には従来法（改良版）が大きくずれずれます。また、図2より、ファイバ入力大きく、非線形効果による波形劣化が大きい場合には従来法が大きくずれずれます。提案法は波形劣化の大きさによらず誤り率を正確に推定していることがわかります。

#### 参考文献

- [1] S. Norimatsu and M. Maruoka, J. Lightwave Technol., Vol.20, No.1, pp.19-27, 2002.  
 [2] 乗松、亀澤、信学論 Vol.J87-B, No.2, pp.1994-2005, 2004.

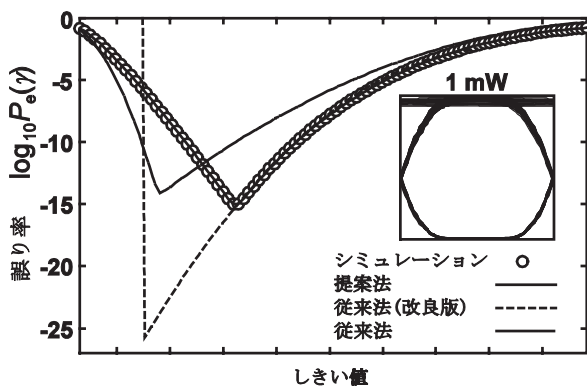


図1．受信波形と、しきい値 - 誤り率曲線  
（ファイバ入力1 mW）

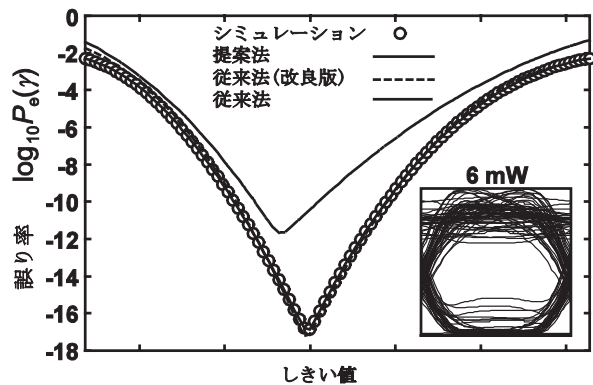


図2．受信波形と、しきい値 - 誤り率曲線  
（ファイバ入力6 mW）

## 情報学研究科 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

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

### 「冠動脈造影映画の時空間イメージモザイク」

冠動脈造影映画は、心筋に栄養を送る冠動脈の形態を調べるためにX線を用いて動画像として撮影される2次元投影像である。図1に冠動脈造影像の一例を示す。冠動脈造影映画を撮影するにあたり、造影剤注入後に造影血管部分が視野に収まるように医師が患者台を動かすことがある。また血管の各部位において造影の程度は刻々と変化していく。たとえば、図1左側と右側では撮影視野が異なり、また、造影剤の入り方が異なるために血管の描出のされ方が異なっている。

そこで当研究室では、血管を一覧できる広視野画像を作成することにより、診断の補助を行ない、また、血管の3次元再構成や他のモダリティとの融合処理に利用する、といったことを目的に研究を行なっている。いわゆる、イメージモザイク処理に相当するが、動きのある被写体を対象にしているため、他には見られない多くの工夫が必要になる(時空間イメージモザイクと呼んでいる)。

目的を達成するためには、結局は画像の位置合わせと合成を行なうことができれば良い。しかしながら、本課題の場合には重ね合わせたい対象自身が二つの意味(血管の動きと造影剤の動き)で時々刻々変化することと、背景領域に位置合わせマーカーとなるような特徴が得られにくいということが問題となる。本研究においては、以下の段階的な方法を取ることによってこれらの問題を解決し、違和感の無い動画像表示に成功している。

- (1) 時空間投影像による動きの粗推定と補正(図2、3、4)
- (2) 時空間断面像(図5)を用いた心周期の推定。
- (3) 同一心時相画像群(時間的に離れている)をひとまとまりとした詳細な位置合わせ。
- (4) 代表的な一心拍画像群(時間的に連続)の選択とそれらの中での詳細な位置合わせ。
- (5) 全体位置合わせ、背景画像推定、画素値補正と合成。

以上の処理を行ない最終的に広視野画像を合成表示する(図6)。合成表示においては、血管全体が常に観測できるモードと、造影剤の流入により血管が徐々に可視化されるモードの二つを用意している。

なお、以上の各段階においては、投影の方法や位置合わせ評価関数についての工夫が必要であるが、詳細は省略した。また、本研究は国立循環器病センターとの共同研究である。

#### 【参考文献】

原口亮他、冠動脈造影像のイメージモザイク、信学技報、vol.105, No.303, pp.35-40 (2005)

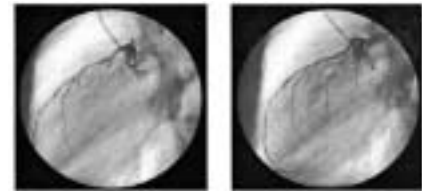


図1．冠動脈造影像

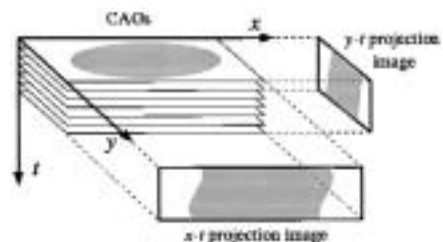


図2．時空間投影画像の作成



図3．時空間投影画像の例



図4．動き粗推定に基づく補正結果



図5．時空間断面像

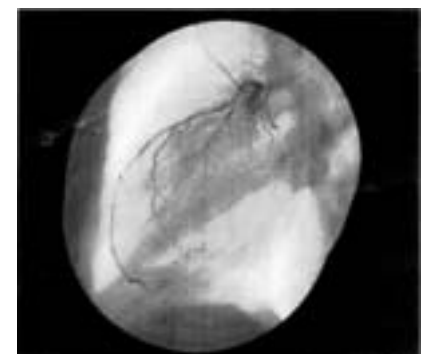


図6．時空間イメージモザイクによる広視野冠動脈造影像(二つの動画観測モードを持つ)

## エネルギー物理学講座 電磁エネルギー学分野（近藤研究室）

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

### 「ヘリカル系プラズマにおける統合コード開発」

#### 1. 研究の背景・目的

将来の核融合炉実現を目指す高温プラズマのヘリカル系磁場閉じ込め研究では、並列ベクトル計算機やPCクラスターなどの計算機や大規模な三次元数値解析プログラムの発展、およびプラズマ診断技術の進展により、実験で得られた個々の物理現象について詳細な理論解析が可能となってきた。このため、次の課題として、これらを輸送・加熱・平衡・安定性などの観点から統合的に解析する必要性が指摘されている。これらの問題に取り組むには、時空間的にマイクロなスケールからマクロのスケールまでを含む多階層シミュレーションを行う必要がある。本研究では、プラズマの輸送コードをマクロスケールのコアモジュールとし、必要に応じて取捨選択できるモジュール群を有機的に組み合わせたソフトウェアシステムを構築することで、ヘリカル系プラズマ実験のための統合シミュレーション環境を開発・整備することを目的としている。ここでは、ITER計画を背景とした、トカマクプラズマに対する統合コードと相補的に開発を進めることで、最終的にはこれらを統一した一般トーラスプラズマに対する統合コードへと発展させ、欧米における統合コード開発計画に対して国際的競争力を持つことを目指している。

#### 2. 研究の内容

本研究は、自然科学研究機構核融合科学研究所との共同研究、21世紀COEプログラム「環境調和型エネルギーの研究教育拠点形成」の研究テーマの一つとして平成16年度より進めているもので、昨年度はモデリングやモジュール間インターフェースの検討、入れ子状の磁気面を仮定せずに三次元MHD平衡を計算できるHINT2コードの開発、圧力の高いプラズマにおいて自発的に流れる電流（ブートストラップ電流）の解析コードの整備等を研究組織メンバーの共同作業で行ってきた。今年度以降は、これらの研究成果と研究体制をさらに発展させることにより、ユーザーフレンドリーなソフトウェアシステム開発を目指し、その成果となるモジュール群を順次公開する予定である。また、ユーザーの計算機利用環境はローカルなPCからスパコンまであり、計算プログラムモジュールもローカルな計算機によるスカラー計算機向きのモジュールからベクトル計算機向きのモジュールまでであるので、幅広い計算機環境で利用できることを考え、これらをネットワーク環境の下でモジュールごとに分散処理することを検討する。さらに、実験データとの比較検討を、各モジュールプログラムもしくはその統合であるシミュレーションシステムの改良に反映させることも本研究の特徴である。ここで開発された統合コードによるシミュレーションの結果は、プラズマ実験計画の策定や総合的で精度の高い実験データ解析に用いることができ、トーラスプラズマの閉じ込めに関する物理の解明に寄与する。また、将来的には実験データ解析モジュールを開発することにより、実験データ解析ツールとしても利用できる。

今年度の具体的な研究として、プラズマ電流分布の時間発展のシミュレーションを行っている。ヘリカル系プラズマに対するこれまでの輸送シミュレーションでは正味のプラズマ電流は考慮されていなかったが、実際には有限のプラズマ電流が観測されている。ところが、観測されたプラズマ電流は多くの場合非定常なので、電流の駆動機構を同定することは容易でない。ここでは、統合シミュレーションの一つの適用例として、実験で得られたプラズマ密度、電子・イオン温度分布の時間発展を用いて、プラズマ電流分布の時間発展のシミュレーションを行い、実験結果と比較することにより、プラズマ電流に対するブートストラップ電流・ビーム駆動電流の寄与を明らかにする。具体的にはブートストラップ電流やビーム駆動電流を含むプラズマ電流の時間発展をMHD平衡と矛盾せずに行う小規模な統合シミュレーションを行う。この成果は、輸送コードにおけるプラズマ電流の時間発展計算サブプログラムを改良するために用いられ、ヘリカル系プラズマの輸送シミュレーションに活用する。

## エネルギー生成研究部門 粒子エネルギー研究分野（吉川潔研究室）

[http://www.iae.kyoto-u.ac.jp/beam/index\\_j.html](http://www.iae.kyoto-u.ac.jp/beam/index_j.html)

### 「慣性静電閉じ込め核融合中性子・陽子源の研究」

慣性静電閉じ込め核融合（Inertial Electrostatic Confinement Fusion: IECF）とはイオンを球形状中心に加速・集束させ核融合反応を起こさせるもので、ビーム・ビーム衝突核融合の一種です（図1、2）。すなわち、球形の真空容器（陽極）とメッシュ状球殻陰極との間でグロー放電を起こさせると生じたイオンは陰極に向かって加速されメッシュ状陰極を通過し球中心に集束し衝突して核融合反応を生じます。その際、電子はイオンの作るポテンシャル（仮想陽極）により同じく球中心に加速されイオンの空間電荷を一部中和し、中心部の凸状電位分布の中心を凹ませより多くのイオンが核融合に関与できるように作用すると考えられています。

このIECF装置は、コンパクトで制御性に優れた理想的な中性子・陽子源として、非破壊検査や癌検査、人道的地雷探知など様々な分野での応用が期待されています。

本研究室では、既に直径35 cmの装置で $1.1 \times 10^7$  n/secのD-D中性子の定常発生を実証しました。また、分光的計測方法（レーザー誘起蛍光法）により陰極中心付近の局所電界強度分布の直接的な測定に成功し、イオンの形成する仮想陽極の内側に仮想陰極が形成された電位二重井戸構造の存在を証明して、三十年に渡った論争に終止符を打ちました。

現在、科学技術振興機構事業で、このIECFによるD-D反応中性子による高性能地雷探知技術の研究・開発（図3）を、国内7機関と共同で進めています。そのために必須の超小型で、アフガニスタンの過酷な環境に耐え、かつ高中性子束のIECF中性子源の開発に取り組んでいます。

図4の超小型装置（直径20 cm）で既に $4 \times 10^6$  n/sの極めて安定な定常中性子発生をグロー放電のみで達成しましたが、核融合反応率をさらに高めるための、マグネトロン方式イオン供給機構をグロー放電と併用する新方式を提案して実験を行っています。また、この中性子源と模擬地雷物質とを用いた探知予備実験を行い、（模擬）爆薬中の窒素原子による中性子捕獲ガンマ線を検出することで、（模擬）地雷の有無を同定できることが実験的に確かめられました。

一方で、IECFは、D-D反応よりも起こりにくいものの反応生成物として高エネルギー陽子の得られるD-<sup>3</sup>He核融合反応を用いることで、例えばPET癌検査用同位元素生成など、陽子源としての先端応用も期待されています。本研究室では本年中にこのD-<sup>3</sup>He核融合反応実験も開始する予定で、現在そのための装置・計測器の準備を進めています。

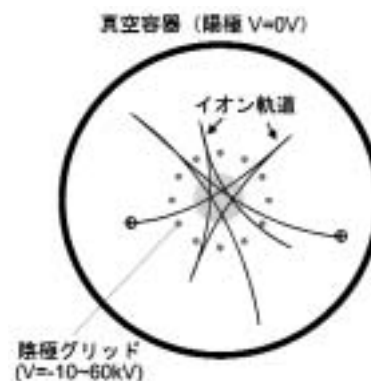


図1. IECF装置の概略図



図2. 陰極付近の放電の様子

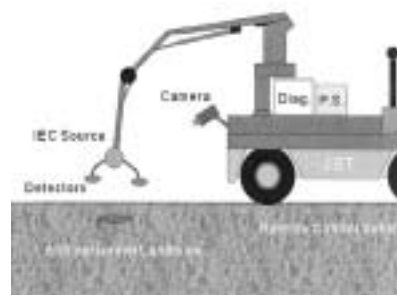


図3. IECF中性子源を用いた対人地雷探知：中性子捕獲ガンマ線を検出して地雷の種類をも同定可能です。



図4. 地雷探査用の超小型IECF中性子源（直径20cm）

## エネルギー生成研究部門 プラズマエネルギー研究分野（水内研究室）

<http://www.center.iae.kyoto-u.ac.jp/plasmak/student/laboratory/top.html>

### 「立体磁気軸装置における磁場配位の最適化」

磁場閉じ込め方式による核融合による発電を達成するためには、高温・高密度のプラズマをある一定時間以上閉じ込める必要があります。プラズマの“効率良い閉じ込め”には、エネルギー閉じ込めを良くすることと、粒子閉じ込めを良くすることの両面があり、お互いが密接に関係しています。具体的には、前者は入力パワーに対するプラズマの蓄積エネルギー比の改善であり、後者は供給する燃料の制御性、および核融合反応によって生成する高速イオンの閉じ込めの改善です。高速イオンの良好な閉じ込めはプラズマの自己加熱効率の増加にとって非常に重要です。

高速イオンの閉じ込め・輸送はプラズマを閉じこめる磁力線の形（磁場配位）に強く依存します。特に、磁場強度の変動（リップル）に起因する高速イオンの損失を抑えるため、今まで色々な工夫がなされてきています。例えば国際熱核融合実験装置（ITER）で知られるトカマク型の閉じ込め装置では、磁場強度の変動そのものを少なくする為の装置開発・構造材研究が行われています。

私達は現在、ヘリオトロンJという装置で、高いプラズマ圧力下で高速イオンの良好な閉じ込めを目指した、磁場配位の最適化の研究をしています。トカマク型装置との大きな違いは、プラズマの生成・維持にプラズマ電流を必要としないため、電流が起因する不安定性が原理的にないことです。この装置のプラズマは図1に示すようにツイストしたドーナツ形状をしており、プラズマの中心位置が周方向に変化しているため立体磁気軸装置に分類されます。ヘリオトロンJの最大の特徴は、トーラス方向に長周期のリップルを積極的に導入し、その周期の中に局所的に磁場強度の空間的な変動を抑えた領域を設ける（準等磁場配位）ことで粒子閉じ込めを改善することを目指している点にあります。理論研究から、準等磁場配位ではリップル強度の制御が、高速イオン閉じ込めに重要な役割を持つことが予測されています。

ヘリオトロンJは配位選択の自由度が高く、配位のある一つの特徴だけを変化させて、その効果を詳細に調べるといった、従来の装置では困難であった実験が可能となっています。図2は磁場配位の基本性能（磁場強度・安全係数・プラズマ体積等）を変えずにリップル強度のみを変化させた配位で、高速イオンの挙動を調べた実験の結果を示しています。電子サイクロトロン加熱（ECH）プラズマに対して高速の中性粒子ビーム入射（NBI）を行い、プラズマ中でイオン化された高速イオンの粒子束の時間変化を計測したものです。図中のシンボルで、 $\circ$ 、 $\square$ 、 $\triangle$ の順にリップル強度を強くしており、リップルの強度が強くなるにつれて高速イオンの減衰が改善されていることが分かります。

今後はこれら実験結果を元にデータ解析や数値計算をすすめ、より良い磁場配位の探求を進めていく予定です。

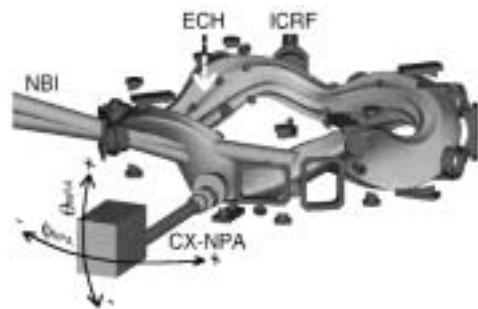


図1．ヘリオトロンJプラズマの鳥瞰図、及び各種加熱・計測装置

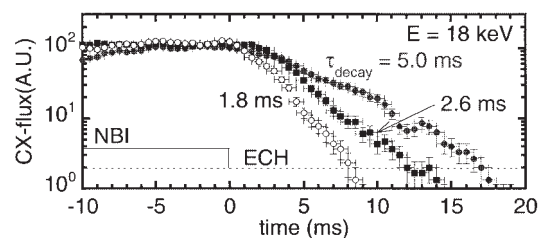


図2．リップル強度を変化させた際の、高速イオンの減衰過程

## 診断統御研究系 レーダー大気圏科学分野（深尾研究室）

<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/rader-group/fukao-lab.html>

### 「MUレーダーと小型VHFレーダーの同時観測による中緯度電離圏E-F領域結合の研究」

地球大気の上層では、太陽からの紫外線により大気分子が一部電離し、電離圏が形成されている。電離圏は高さによってE領域（高度100～150km）・F領域（高度250km以上）と分類され、それぞれ時として不安定現象を生じる。電離圏沿磁力線イレギュラリティ（Field-Aligned Irregularity; FAI）と呼ばれるこの現象は、短波通信や衛星通信に影響するとして研究されてきたが、最近では、GPSによる精密測位への悪影響が問題とされている。

我々はMUレーダーを用いて中緯度における電離圏FAIの研究を進めており、E領域F領域それぞれに中緯度特有の特徴的な現象を発見してきた。E領域のFAIエコー（E-FAI）はスプラディックE層中に誘起される分極電場に起因すると考えられている。一方、F領域のFAIエコー（F-FAI）は中規模の伝搬性電離圏擾乱（Traveling Ionosphere Disturbance; TID）との一致性が観測されており、TID中の電子密度勾配が生み出す分極電場が原因と考えられる（Sato et al., 2001）。分極電場は電離圏では数百kmにわたってほとんど減衰せずに伝搬するため、E-FAIとF-FAIの相互作用が予想される。そこで2004年5～9月の期間にFERIX（F- and E-Region Ionospheric Coupling Study）と呼ばれる観測キャンペーンを実施した。図1に示すように、滋賀県甲賀市信楽町にあるMUレーダーを用いてF領域のイレギュラリティを観測し、それと同一磁力線上に存在するE領域イレギュラリティを、山形県酒田市に移設した小型VHFレーダーを用いて同時観測した。磁力線で結ばれたE・F領域FAIの同時・同領域観測は、世界で初めての試みである。

観測期間中、酒田からのE領域観測は毎夜行い、一方でMUレーダーによるF領域観測は計29夜に行った。29夜のうちE領域のFAIは毎夜観測されたが、F領域のFAIは14夜に観測された。E・F領域で同時観測された例について、エコーの空間位置を決定し、F領域FAIを磁力線に沿ってE領域高度である100kmに投影し、E領域FAIとの対応関係を比較したところ、10夜について関連が確認された。更に図4に示すように、F領域FAIがあるときE領域FAIの形状は細分化しF領域FAIと同位置あるいはその周辺に発生して共に西向きに移動する。これらの結果からE・F領域FAIのカップリング現象が実証された。

#### 参考文献

Saito, A., M. Nishimura, M. Yamamoto, S. Fukao, M. Kubota, K. Shiokawa, Y. Otsuka, T. Tsugawa, M. Ishii, T. Sakanoi, S. Miyazaki, Traveling ionospheric disturbances detected in the FRONT campaign, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 689-692, 2001.

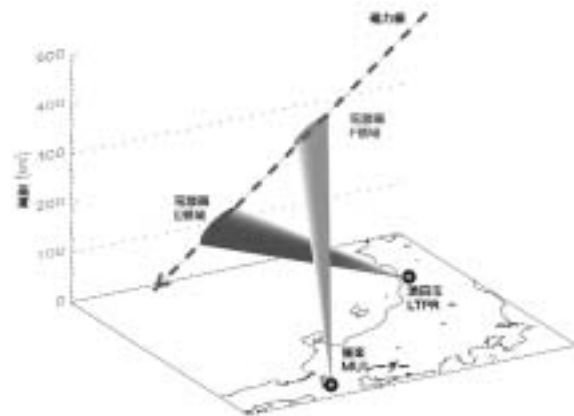


図1 . FERIXのレーダー観測概要。MUレーダーによる16ビーム観測でF領域FAIを観測し、同一磁力線上のE領域FAIを酒田市に設置した小型レーダーで干渉計観測した。

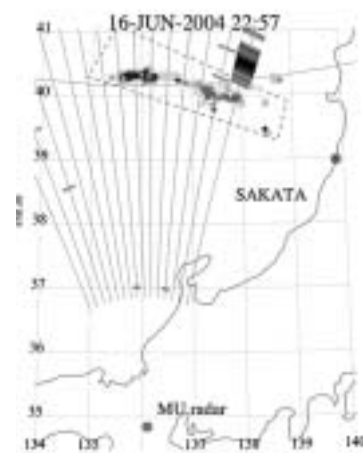


図2 . E・F領域のFAIエコーの水平分布。F領域エコーの位置を矩形のコンターで示し、E領域エコーを点列の集合で示す。どちらの色が濃いほど強度が強い。F領域FAIの出現に伴いE領域FAIの構造が細分化し、両者が同じ速度で西向きに移動することがわかった。

## 生存圏研究所 生存圏開発創成研究系 生存圏電波応用分野（橋本研究室）

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

### 「自己ビーム制御アレイとその太陽発電衛星の位相同期システムへの応用」

当研究室では、電波をエネルギー伝送媒体として利用し、エネルギー・環境問題の一つの解である太陽発電衛星（SSPS）の研究をはじめ、マイクロ波を応用した新しい生存基盤に関する研究開発を行っている。電気工学専攻の協力講座である同じ研究所の松本研究室、大村研究室と協力し、マイクロ波応用工学、電波工学、通信工学、科学衛星による波動観測、信号処理、計算機シミュレーションといった研究も行なっている。

本稿では、SSPSにも応用することができるマイクロ波送電システムに関する研究について述べる。具体的には、SSPSの送電アンテナはkmのオーダーで素子数も億のオーダーの巨大なものとなり、一つの基準発信器からの信号を分配することは不可能である。この問題を解決する一つの方法として行なったものである。

SSPSにおいては、受電点からパイロット信号を送信し、その到来方向に送電するレトロディレクティブ方式がとられる。一方、SSPSのような大型システムでは、多数のユニットから成り立つ。その場合、ユニット毎ではレトロディレクティブ方式により、信号の到来方向にビームを向けるように動作するが、ユニット間の基準の位相が揃う保証はなく、最悪打ち消しあうこともあり得る。そのために、ユニット間の位相同期をとることができるシステムを提案した。地上から送信されたマイクロ波を動力源とする成層圏無線中継用飛行機に用いられたSHARP（Stationary High Altitude Relay Platform）システムの自己ビーム制御方式を、元の方式で使われていた高度計を不要とし、かつ高速に収束するように改良しIQ法と名づけた。本方式では、送電用のアンテナ素子毎に位相を直交4方向に変化させ、それに伴う受信信号の強度変化を元に、正しい位相の値を推定し、これを繰り返すことによりアンテナアレイとしての正しい指向性を得るものである。この方法そのものは、小規模のアレイのビーム制御に応用可能である。

IQ法を、基準位相を合わせることができないような、多数のユニットからなる大規模なフェイズドアレイシステムの位相制御について、ユニット内では従来からのレトロディレクティブ方式でビームを向け、それらの基準となる位相の同期を取ることに応用した。その結果をシミュレーションにより評価した。図1は10素子のアンテナからなり、黒線で示すように、初期状態ではレトロディレクティブ方式ユニット毎ではある方向のビームを形成するように位相が揃っていた。これに本方式を適用すると10のユニットが、（のこぎり波状の）灰色の線で示されたように、システム全体で位相が揃えられる。しかし、一つ一つのユニットの位相を順に更新していくのでは、位相が統一されるまで非常に時間がかかるといった短所があるため、更新操作を一部重畳させた方法によっても同期が取れ、高速化が図れることも示した。

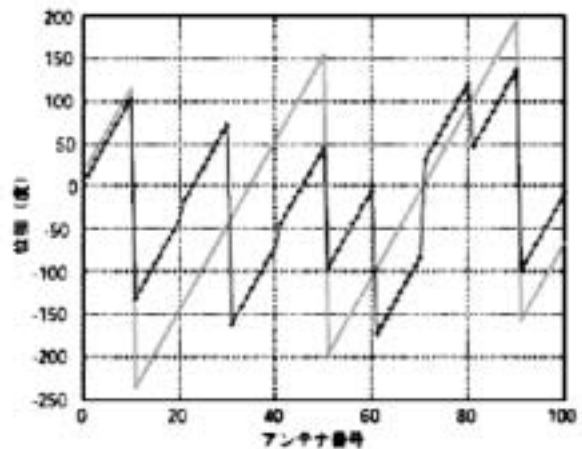


図1．ユニット型SPSにおけるIQ法適用前（黒）後（灰）での基準信号の位相



## 平成16年度修士論文テーマ紹介

### 工学研究科 電気工学専攻

#### 川 上 敦 史 (荒木教授)「状態予測型スライディングモードサーボ系の設計法」

外乱や不確かさを持つシステムに対する有効な制御法であるスライディングモード制御について、入力を含む2次形式評価関数に基づくスライディング平面設計問題の分枝限定法による解法を構成するとともに、むだ時間システムに対する状態予測型サーボ系を構成し、その性能を確認した。

#### 別 府 重 憲 (荒木教授)「行き先階登録方式エレベータ群管理問題 案内表示方式の検討」

エレベータホールに行き先階を登録するボタンが設けられている行き先階登録方式エレベータにおいて、乗客に乗車すべきエレベータを案内する方式として、即時案内表示方式・非即時案内表示方式を用いた際の運行効率を、計算機シミュレーションにより比較検討した。

#### 松 本 卓 郎 (荒木教授)「2次元非凸多角形パッキング問題の解法」

非凸多角形形状のアイテムを2次元容器内に互いに重ならないよう配置する、2次元非凸多角形パッキング問題に対し、メタヒューリスティクスによる配置順序決定と、単純な配置位置決定ルールを組み合わせた解法を提案し、数値例によりその有効性を確認した。

#### 山 崎 敬 子 (荒木教授)「血糖値調節機構のモデルと厳密な線形化制御法の検討」

血糖値調節機構のより正確なモデルを構成するため、詳細なグルコース動態モデルとインスリン動態モデルを組み合わせたモデルを、患者の測定データに基づいて構成した。また、このモデルに基づいて、厳密な線形化手法を用いた血糖値制御についてシミュレーションにより検討した。

#### 杉 野 弘 宜 (島崎教授)「マイクロマグネティクスを用いた強磁性体の磁化過程のモデル化に関する研究」

強磁性体のミクロな磁区の振る舞いが磁性体全体に及ぼす影響を記述するために、まずマイクロマグネティクスを用いてミクロな自発磁化の分布を調べ、その結果を基に、よりマクロな磁区構造モデルを導入して解析結果の比較・検討を行った。

#### 磯 崎 啓 (島崎教授)「有限要素法を用いた三次元静磁界解析のための代数マルチグリッド前処理に関する研究」

辺要素磁界解析及び節点要素磁界解析で現れる大規模連立一次方程式を対象として、代数マルチグリッド法を応用した高速解法について研究した。特に、辺要素磁界解析に関して、新しい代数マルチグリッド前処理手法を提案し、その有効性について検討を行った。

#### 寺 本 隆 志 (星野助教授)「リニア形励磁磁界下におけるNbシートの磁気特性に関する基礎的研究」

永久電流モード運転している高温超伝導マグネットの電流減衰補償用磁束ポンプについて、有限要素法によってその基礎特性を検討した。磁束ポンプに適用されている超伝導Nbシートの磁束遮蔽特性により、磁束ポンピング特性が大きな周波数依存性を有することを明らかにした。

**森 田 岳 (星野助教授)「高温超伝導かご型回転子を適用した誘導電動機の高性能化に関する基礎検討」**

かご型誘導電動機の2次側回転子を高温超伝導化した場合の特性を、非線形等価回路解析によって理論的に検討した。その結果、高温超伝導かご型巻線に磁束が捕捉されることにより、誘導電動機でありながら同期トルクが発生する機構を明らかにした。

**佐 藤 剛 洋 (小林教授)「真空中における高電圧用絶縁スペーサの絶縁・帯電特性」**

地球温暖化効果の大きいSF<sub>6</sub>ガスを用いる電力用ガス遮断器の代替器として高電圧真空遮断器を開発するため、真空中で絶縁上の最弱点となる固体絶縁物の沿面放電、およびその引き金となる表面帯電の特性を研究するとともに、帯電抑制技術を検討した。

**澤 田 理 (引原教授)「分散形電源の系統連系における位相同期方式に関する研究」**

分散形電源の系統連系に用いられる単相インバータの過渡特性に着目する。同期機のような特性を有し、電力システムの安定度向上に貢献しうる分散形電源システムの構築を目的とし、特性改善のためにPLLを利用した位相同期方式を提案し、その特性について検討する。

**高 間 康 弘 (引原教授)「ハイブリッド形電力系統シミュレータの開発と動作検証」**

本論文では、交直連系系統の模擬を目指したハイブリッド形電力系統シミュレータを開発すると共に、過渡安定性解析に基づき、その動作検証を行なっている。また、直流送電モデルを導出し、その数値的検証を行っている。

**二 井 和 彦 (引原教授)「SiCパワーデバイスを用いたモータ駆動用変換器に関する基礎研究」**

本論文は、近年自動車や鉄道車両駆動用として注目されている永久磁石動機電動機 (PMモータ) の駆動用変換器にSiCパワーデバイスを適用することを視野に入れ、モータ駆動の実際の課題に基づいて、SiCパワーデバイスの回路中における特性を議論したものである。

**李 明 華 (引原教授)「レドックスフロー電池の充放電特性および動的モデルに関する基礎研究」**

本研究では、負荷平準化や瞬時電圧低下対策に用いられるレドックスフロー二次電池について、その充放電特性を理論的、実験的に検討している。特に、電気化学におけるNernstの式を用いて電池の充電状態を表し、更に流体を考慮して電池特性に対するモデル化を行っている。

**八 木 将 計 (久門助教授)「周期振動の分岐現象に関するグレブナ基底を用いた分解」**

非線形回路における周期振動についてイデアル分解により代数的に分岐図が分解できることを示した。また、回路の対称性に基づいてイデアル商を部分的に用いる効率的な方法を提案した。さらに、電源項を除いた斉次方程式を用いることによりイデアル分解を系統的に扱えることを示した。

**西 村 英 孝 (久門助教授)「グレイコード加算器のFPGAを用いたハードウェア化に関する研究」**

上位桁からの任意精度演算アルゴリズムを、整数の加算を扱う場合に適用し、グレイコード加算のもつ構造を明らかにした。また、そのアルゴリズムからグレイコード加算回路を提案、FPGAに実装し、実際にハードウェア上で動作することを確認した。

### 吉村和紘(久門助教授)「単導体線路における進行波現象の電磁界理論を用いた解析」

回路設計においてコモンモード雑音の発生が問題となっているが、それを単導体線路上の伝搬と捉えることで、そのメカニズムを解析した。Maxwellの方程式から導出した積分方程式をラプラス変換を用いて解くことにより伝搬における因果関係を明らかにする方法を提案した。

### 宮本正和(久門助教授)「パストランジスタを用いた可逆底消費電力演算回路の設計」

論理の可逆性に注目した3端子論理ゲート及び可逆算術演算回路が提案されたが、それらの回路の消費エネルギー特性は明らかになっていなかった。本研究では、パストランジスタを用いて3端子可逆論理ゲート、可逆算術演算回路を設計し、低消費電力特性について詳細に検討した。

### 石黒隆久(萩原教授)「むだ時間を含むサンプル値系のマルチプライヤを用いた $L_2$ 安定性解析」

むだ時間を含むサンプル値系にマルチプライヤとループ変換を導入した場合のスモールゲイン定理と受動定理について、有効性に関する比較の観点から論じている。また、 $L_2$ 安定性が保証されるむだ時間長の範囲のマルチプライヤによる解析法等について検討している。

### 富岡一貴(萩原教授)「パラメータ依存リアプノフ変数を用いたゲインスケジューリング制御系設計とタワークレーンの制振制御」

LPVシステムのゲインスケジューリング制御に関し、伸長型LMIに基づく設計法はパラメータ依存リアプノフ変数を用いたコントローラを設計できる。この設計法をタワークレーンの制振制御に適用し、標準的なLMIに基づく設計法より有効であることを示している。

### 森亮太(萩原教授)「周期時変スケーリングを用いたサンプル値制御系のロバスト安定性解析」

サンプル値制御系のロバスト安定性解析法として、周期時変スケーリングに基づく方法を提案した。適切な周期時変スケーリングを用いることで、動特性を持たないような不確かさに対しては、従来法よりも厳密なロバスト安定解析が可能となることを示している。

### 和田康宏(萩原教授)「拮抗型空圧人工筋駆動機構の2自由度最適位置決め制御」

空圧人工筋は柔軟で安全などの特長を持つが、空気の低剛性等により制御が困難である。本研究では2自由度LQIサーボ系の設計法を適用することで良好な目標値追従性能を実現しており、この設計法の特徴に基づく性能改善のための指針や実験結果等について述べている。

## 工学研究科 電子工学専攻

### 岩山昌由(鈴木教授)「マンガン系巨大磁気抵抗エピタキシャル薄膜の輸送特性と光学特性に関する研究」

$\text{SrTiO}_3(100)$ 面基板上にマグネトロンスパッタ法により巨大磁気抵抗強磁性体 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ (LSMO)および $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$ (LCMO)の高品質エピタキシャル薄膜を成長させ、これを用いて異常ホール効果と $0.4\text{--}2.6\ \mu\text{m}$ 波長帯域における光学吸収・反射を測定し、LSMOおよびLCMOのキャリアの有効質量をそれぞれ1.6と0.3と評価した。また、光学吸収特性からバンドギャップ内状態密度の形成を観測した。

**遠藤 宏 高 (鈴木教授)「エピタキシャル成長による高温超伝導体 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ /巨大磁気抵抗体 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ /トンネル接合の作製と輸送特性に関する研究」**

$\text{SrTiO}_3$  (100) 面基板上にマグネトロンスパッタ法により巨大磁気抵抗強磁性体 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  (100) および高温超伝導体 $\text{La}_{1.85}\text{Ca}_{0.15}\text{CuO}_4$  (001) の2層エピタキシャル薄膜成長により超伝導体/強磁性体接合を形成した。これを用いて偏極スピン注入を行ったところ、超伝導転移温度の抑制が見られたことなど、偏極スピン注入による非平衡超伝導効果を示唆する結果を得た。

**長谷川 圭 (鈴木教授)「元素置換した $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_6$  固有トンネル分光に関する研究」**

$\text{CuO}_2$ 層が1層の高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_6$  のSrを一部Laに置換した単結晶をCuOフラックス法で育成した。坩堝材の汚染により超伝導転移温度 $T_c$ の低下が見られたものの、 $T_c$ が11-19Kの単結晶が得られた。この結晶を用いて短パルス固有トンネル分光を行い、超伝導エネルギーギャップが23meV、擬ギャップは少なくとも70meV以上の値を有することを明らかにした。

**堀内 智 (鈴木教授)「ジョセフソンプラズマ共鳴を利用した $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+}$  の不足ドーブ領域における超伝導特性に関する研究」**

高温超伝導体における超伝導の不均一性を調べるために19GHz円筒型空洞共振器を用いて磁場中ジョセフソンプラズマ共鳴を観測し、これより最大ジョセフソン電流値を評価した。還元あるいは元素置換した不足ドーブ領域におけるジョセフソン電流はドーブ量が減少すると指数関数的に減少し超伝導状態が不均一であることを強く示唆する結果を得た。

**中村 好志 (石川教授)「イオン注入装置における帯電緩和素子への応用を目指した微小電界放出電子源の開発」**

半導体デバイス形成時におけるイオンビームの空間電荷による発散やウエハの帯電を抑制するための帯電緩和素子として微小電子源を取り上げた。放出電子のエネルギー分布や、動作特性について詳しく調べ、表面炭化が特性改善に有効であることを明らかにした。

**藤井 亮一 (石川教授)「イオンビームアシスト蒸着法により作製した窒化ハフニウム薄膜の物性評価と配向制御」**

イオンビームアシスト蒸着法により窒化ハフニウム薄膜を形成し、冷陰極材料としての観点から窒素組成、結晶性、電気抵抗率、仕事関数などの物性を詳しく調べた。特に成膜時のイオン照射角度を制御することで、照射角度に応じた配向膜を得ることができた。

**上野 和也 (石川教授)「貴金属およびゲルマニウム負イオン注入によるシリコン熱酸化膜中におけるナノ粒子の形成」**

単電子メモリ開発を目的として、厚さ25nmのシリコン熱酸化膜へのゲルマニウム負イオン注入と熱処理によるナノ粒子形成を実験的に調べた。注入エネルギー10keVで、膜厚中央に注入でき、温度700 程度の熱処理により、数nm直径のゲルマニウムナノ粒子を形成した。

**武藤 隆 (石川教授)「炭素負イオン注入を用いた神経系情報伝達機構解明のためのバイオセンサに関する研究」**

人為的な神経回路網形成やバイオセンサの開発を目的として、高分子表面に炭素負イオンのパターン化注入を行い、タンパク質や神経細胞の接着性の制御を達成した。また、接着神経細胞に外部から電気刺激を与えることで、神経突起の伸展制御の可能性を得た。

**内山 繁喜 (橘教授)「レーザー誘起蛍光法を用いたC<sub>2</sub>F<sub>6</sub>プラズマにおけるCFおよびCF<sub>2</sub>ラジカル密度の空間分布測定」**

半導体ドライエッチングプロセスに用いられるC<sub>2</sub>F<sub>6</sub>プラズマ中のCF、CF<sub>2</sub>ラジカル密度の空間分布をレーザー誘起蛍光法により測定し、電極構造の非対称性がその生成・消滅の過程・場所に及ぼす影響を明らかにした。

**川合 俊輔 (橘教授)「対向放電型PDPにおける維持放電特性解析に基づいた高効率化へのアプローチ」**

高効率化のために新規に提案された対向放電型PDPに対し、発光分光法およびレーザー吸収分光法を用いた2次元断面診断を行った。面放電型PDPと比べて励起原子生成効率が2 - 4倍上昇し、補助電極の適用により駆動電圧低減とさらなる高効率化が確認された。

**岸本 諭卓 (橘教授)「同軸マイクロ放電集積型誘電体バリア放電の大気圧近傍動作に関する研究」**

大気圧下で均一なプラズマ源として、同軸マイクロ放電集積型誘電体バリア放電を提案し、その総合的な診断を行った。ヘリウム及び窒素ガスを用いて2次元均一放電の実現を確認し、準安定励起原子と電子の密度測定により大気圧下での放電機構を明らかにした。

**若井 達郎 (橘教授)「Divinylsiloxane bis-benzocyclobuteneを用いた低誘電率薄膜プラズマプロセスのその場赤外分光解析」**

次世代ULSIに必要とされる低誘電率層間絶縁膜製造方法として、低誘電率・高機械的強度が期待されるdivinylsiloxane bis-benzocyclobuteneをモノマーとして用いたプラズマ重合法を取り上げ、その場気相・表面赤外吸収分光法によってモノマーのプラズマによる解離過程を明らかにした。

**河野 広明 (木本助教授)「堆積酸化膜をゲート絶縁膜に用いたSiC高耐圧横型MOSFET」**

本研究では、熱酸化より急峻なMOS界面を形成できる堆積酸化膜を用い、堆積後に高温窒化処理を施すことによって良質のMOS界面を作製した。また、RESURF構造を有する横型MOSFETのドーズ設計と試作を行い、1450Vの耐圧を有する高性能SiC MOSFETを実現した。

**中野 佑紀 (木本助教授)「六方晶SiCオフ面上へのGaN直接成長によるGaN/SiCヘテロバイポーラトランジスタの作製と特性評価」**

本研究では、SiC(0001)オフ基板上のGaN直接成長とGaN/SiC界面制御に取り組んだ。表面処理や成長条件の最適化により高品質GaN層の成長と高濃度Siドーピングに成功した。GaN/SiCヘテロダイオードおよびヘテロバイポーラトランジスタを試作し、良好な動作を確認した。

**勝 本 一 誠 (松重教授)「Si 表面上にVDF オリゴマーを直接界面形成したMFS 構造の電気的特性に関する研究」**

本研究では、低温プロセスにより金属/有機強誘電体/Si半導体の直接界面形成を行い、Si半導体上での有機強誘電体の誘電ヒステリシス観測を行った。またCV測定を通して、分極方向制御によるシリコン半導体の空乏層、反転層形成について考察し、トランジスタ型不揮発性メモリ創成の可能性を示した。

**金 原 秀 療 (松重教授)「新規有機薄膜作製法の開発と有機FET 特性におけるナノ構造電極の形状依存性」**

本研究では、新規成膜法としてパターンニングと有機材料成膜を両立させる「近接蒸着法」を提案・実証した。また、電極形状が有機半導体特性に与える影響について電界シミュレーションと実験的研究から考察を行い、集中電界による金属/有機半導体界面でのキャリア注入の高効率化に成功した。

**三 木 裕 平 (松重教授)「二酸化チタン表面に光誘起されるマイクロセルとその応用に関する研究」**

本研究では紫外線照射下で金属(金,白金)担持光触媒酸化チタンの気相中での $H_2O$ 分解でのプロトンの挙動をケルピンプローブ顕微鏡、四重極質量分析計を用いて調べ、表面強電界の存在と高速で水素が発生することを発見した。この結果から燃料電池用高速水素発生・分離装置開発の可能性に言及している。

**與 田 直 (松重教授)「非接触原子間力顕微鏡の金属フタロシアニン薄膜分子スケール構造評価への応用」**

本研究では、非接触原子間力顕微鏡を用いて金属フタロシアニン薄膜の評価を行った。サブ分子分解能表面形状像の観察に成功し、分子軌道と像のコントラストとの関連性を指摘した。さらに分子スケールの探針振動エネルギー散逸コントラストについても議論を行った。

**宇治田 信 二 (川上助教授)「ジメチルヒドラジンを用いた (Al, Ga, In) Nの有機金属気相成長に関する研究」**

窒化物半導体 (Al, Ga, In) Nの結晶成長には従来からアンモニアが窒素原料として用いられている。本研究では、ジメチルヒドラジンがIn系の成長には不向きであるが、一方で (Al, Ga) Nの成長には、成長温度の低温化、前駆反応の抑制、原料の効率的利用の観点からアンモニアに代わりうる非常に優れた原料であることを実験的に示した。

**河 野 福 司 (川上助教授)「界面・表面平坦性の制御による結晶軸傾斜 (In) GaN/GaAs (114) B基板の有機金属気相成長に関する研究」**

結晶軸が傾斜したInGaN量子構造は、従来のc軸配向した構造よりも高い発光再結合確率を持つことが理論的にわかっている。本研究では、そのような量子構造を作製するためにGaAs (114) 基板を用い、GaN/GaAs界面およびGaN表面の平坦性を改善する手法を確立したのち、InGaN量子井戸構造を試作した。

**小 谷 晃 央 (川上助教授)「三次元GaN 微細構造のMOVPE 選択成長と低次元InGaNの多波長発光への応用」**

単色性は半導体発光素子の特徴のひとつである。この研究では、この特徴をブレイクスルーし、一素子から多波長で発光する構造の作製を目指した。手法としては結晶再成長法を用い、さまざまな結晶面

が表面に現れた三次元GaNをあらかじめ形成し、その上にInGaN量子井戸構造を作製した。結晶面によって発光色が異なることがわかり、全体として白色発光を得ることに成功した。

**小島 一信 (川上助教授)「超高速分光法を用いた $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 低次元量子構造におけるエネルギー緩和過程と光学利得生成機構」**

InGaN量子構造を用いたレーザダイオードは紫外から480nm程度までの波長域で実用に至っているが、より長波長域では、急激な閾値の上昇のため、実用レベルの素子は得られていない。本研究では、その原因を解明するために超高速分光と利得の測定を行い、発光が長波長化するに従い吸収エネルギー帯から発光エネルギー帯への緩和時間が長くなり、利得が形成されにくくなっていることを明らかにした。

**朱 雲飛 (川上助教授)「赤色発光InGaN単一量子井戸構造の輻射・非輻射再結合機構に関する研究」**

InGaN量子井戸構造で赤色発光が実現できれば、窒化物半導体のみで可視光をすべてカバーすることが可能となるが、高効率化は達成されていない。また、その要因は複合的で決定的なモデルは構築されていない。本研究では、結晶欠陥が導入されて歪が部分的に緩和された結果として、欠陥とピエゾ分極が共存して発光効率を決定していることを実験的に明らかにした。

**石原 邦亮 (野田教授)「フォトリック結晶有機EL素子における光学特性の解析と作製法の検討」**

有機EL素子内部を導波する光の吸収現象を解析し素子構成を見直すことで、内蔵したフォトリック結晶のより効果的な動作を実現した。また、インプリント法によるフォトリック結晶の大面积一括形成を検討/実証し、ディスプレイ等へも本素子が適用できることを示した。

**岡野 誉之 (野田教授)「2次元フォトリック結晶面発光レーザの室温連続発振と出射ビーム形状制御」**

2次元フォトリック結晶を導入した面発光レーザの性能および機能の向上を行った。デバイス内のキャリアブロック層の組成比を変えることでレーザの室温連続発振を実現した。また、フォトリック結晶構造を変化させることで出射ビーム形状を制御することに成功した。

**鴻池 一暎 (野田教授)「2次元フォトリック結晶と量子ドットの融合に関する研究」**

InAs量子ドットを有する2次元フォトリック結晶を作製し、その発光現象を評価した。電子の3次元閉じ込め効果とフォトリックバンドギャップの発光抑制効果により、不要なエネルギー損失経路が抑制された結果、発光効率および発光寿命が約15倍となった。また微小点欠陥共振器による発振現象を観測した。

**古川 哲也 (野田教授)「3次元フォトリック結晶による自然放出制御に関する研究 - 基礎評価と多層化プロセス - 」**

近赤外波長域に完全フォトリックバンドギャップを有する、ストライプ積層型17層3次元フォトリック結晶の作製プロセスの検討を行った。本研究によって多層化プロセスが確立され、自然放出制御の実現が期待できる試料の作製に成功した。

**岩 城 吉 剛 (北野教授)「自励発振半導体レーザーのモード同期による光周波数コムの実現」**

繰り返し周波数が安定化されたモード同期レーザーのスペクトルは光周波数コムとよばれ、光の周波数測定に応用できる。これを小型で安価な半導体レーザーで実現するため、ARコート付き自励発振型チップを外部共振器としてモード同期動作を実現した。

**竹 下 建 悟 (北野教授)「外部共振器型半導体レーザーを冷却光源とするBa<sup>+</sup>リニアイオントラップの開発」**

Baイオンが光領域にもつ遷移を基準とした超高精度周波数標準の開発に向けて、レーザー冷却に必要な波長493nm、及び650nmの光を外部共振器型半導体レーザー(前者はその第2高調波)で実現し、さらにリニア型イオントラップを試作し冷却実験を行った。

**横 山 晴 久 (北野教授)「光周波数標準のためのYb原子磁気光学トラップの実現」**

光周波数標準やボーズ凝縮などの分野で注目されているYb原子の磁気光学トラップを作成した。レーザー冷却用の波長399nmの光を、チタニウムサファイアレーザーの第2高調波を増倍率90の光共振器中の非線型結晶を利用して50mW以上発生させ、Ybのレーザー冷却と磁気光学トラップの実験を行った。

**山 下 裕 泰 (藤田教授)「分子線エピタキシー法によるCu<sub>x</sub>O/ZnO積層構造の成長と評価」**

酸化亜鉛の機能を活かすためのp型ワイドギャップ半導体としてMgO-ZnO-酸化銅超格子による擬似p型MgZnO混晶を提案した。分子線エピタキシー法によってp型酸化銅および超格子の成長に成功し、サブバンド間約3.4eVのワイドギャップ擬似MgZnOを得ることができた。p型化には至らなかったが、正孔の生成による高抵抗化が確認された。

**附属イオン工学実験施設****島 谷 洋 (高岡教授)「クラスターイオンビーム照射による有機基板の表面改質とその応用」**

本研究では、PE、PET、PC等の各種有機基板に酸素やアルゴンのクラスターイオンビームを照射し、その表面照射効果を明らかにした。特に、酸素クラスターイオンビームとモノマーイオンビームの混合照射によって、超親水性の表面改質を実現し、その応用として照射基板上へのアパタイト形成に成功した。

**野 口 英 剛 (高岡教授)「液体クラスターイオンビームの生成及び固体表面との相互作用に関する研究」**

本研究では、アルコール、水およびパラフィン系の液体クラスターを生成し、TOF法によってクラスターのサイズ分析を行った。また、生成した液体クラスターイオンビームを各種固体表面に照射し、低損傷で高速スパッタリングが行えること、また親・疎水性等の表面改質や超平坦な表面形成が行えることを明らかにした。



## 情報学研究科 知能情報学専攻

### 佐々木 靖 弘 (佐藤理史助教授)「ウェブを利用した専門用語集の自動編集」

ウェブを利用して、特定の専門分野に関する専門用語集を自動的に編集する枠組を提案した。この枠組では、まず、対象とする専門分野に関連する関連用語を自動収集し、この中から、対象分野を広くカバーし、概念・表現のレベルで粒度の揃った用語を、見出し語として自動選定することができる。

### 松 吉 俊 (佐藤理史助教授)「機能・意味・形態にもとづく日本語機能表現の分類と自動検出」

日本語において、二形態素以上から構成され、全体として一つの機能語のように働く表現のうち、特に助詞型のもを対象として、その機能・意味・形態に基づく分類法を提案した。また、辞書を作成して、自動検出システムを実装し、その性能を実験的に評価した。

### サンドイジャヴ エンクバヤル (佐藤理史助教授)「音韻論的・形態論的制約を用いたモンゴル語句生成・形態素解析」

モンゴル語の文章の機械処理を実現するための基盤技術として、名詞句・動詞句の生成および形態素解析の手法を提案した。名詞・動詞の語幹に語尾が接続する際の音韻論的・形態論的制約を整備し、語幹・語尾の語形変化規則を作成し、これを用いて、ほとんど誤りなく句生成・形態素解析が行なえることを実験的に示した。

### 曽 良 洋 介 (松山教授)「3次元ビデオ圧縮のためのテクスチャ指向型2次元平面展開法」

3次元ビデオの各フレームの情報を2次元画像に変換し、その後既存の2次元画像圧縮法を適用する3次元ビデオ圧縮法がある。従来の研究では、2次元画像への変換の際、形状の歪みのみに着目していた。これに対して本研究ではテクスチャ情報がより重要であると考え、メッシュ表面のテクスチャ情報に着目して展開・変換するアルゴリズムを提案する。

### 戸 田 真 人 (松山教授)「装着型能動視覚センサを用いた注目対象映像の取得と理解」

ウェアラブルビジョンセンサーを用いて人の行動を記録したり認識するための新しい手法として、人の視線情報を活用し、次のような手法を考案した。まず、視線状態と視線方向とを用いて、注視対象の三次元位置の計測を行い、注視対象を適切な視野と解像度で撮影した。さらに、注視視野情景の三次元情報、手の動き、注視点の状態と位置を用いて、人が対象物を手にとって観察したり移動させたりするという把持行動を、意味のある動作記述に分類できることを示した。

### 角 岡 幹 篤 (松山教授)「精密画像モデルに基づくサブピクセルマッチングの高精度化とその応用」

画像内に写っている同一の物体を探す問題を画像のマッチングという。サブピクセルマッチングとは、これを1画素以下の細かさで行なうことである。本研究では画像の撮像過程と画像中の輝度分布を手かがりに、サブピクセルレベルの相違度を精密にモデル化することによってサブピクセルマッチングの高精度化を試みた。また、実画像でのステレオ3次元距離計測を行なうことによって、本手法の有効性を確かめた。

### スコギンズ リーバイ (松山教授)「漫才の動的構造の分析に基づくインタラクションタイミング制御」

漫才では、冗談やツッコミをいれるタイミングにより、客に伝わる面白さがまったく変わってくる。人間同士の日常の対話においても、相手の発話に対する間の取り方は、話し手の意図や目的を伝えるう

えて大きな役割を担っている。そこで、本研究では漫才の動的な対話構造の分析を行ない、その結果を用いて、間の合った発話タイミング制御を実現するためのシステムデザインを提案する。

## 情報学研究科 通信情報システム専攻

**徐 華 (吉田教授)「無線LANを用いたアドホックネットワークの試作及び屋内位置推定の研究」**  
ユビキタスネットワーク社会の実現に向け、本研究では、IEEE 802.11bの無線LANを用いてアドホックネットワークの試作を行い、スループット特性評価を行った。加えて、位置情報を既知とする複数の基地局を利用し、屋内環境における位置推定法の提案を行った。

**関 征 永 (吉田教授)「高速MIMO無線伝送に向けた最適受信機の演算量削減及びFPGA実装」**  
本研究では、次世代の無線伝送方式として注目を集めているMIMO (Multiple-Input Multiple-Output) の最適受信方式の演算量削減法を提案している。また、提案方式により演算量を削減した最適受信機をFPGAにより実装し、その有効性を実証している。

**田 中 正 一 (吉田教授)「ITS車車間通信におけるマルチホップ伝送を用いた接続性改善方式」**  
ITS (Intelligent Transport Systems) マルチホップ車車間通信において周辺車両との通信を効率的に行う手法を提案した。代表的な通信形態であるフラッディングとP2P (Peer to Peer) 通信に着目し、不要な中継を抑制することで接続性が改善されることを示した。

**服 部 充 洋 (吉田教授)「Complexity of Differential Attacks on the Hash Function SHA-0 with Various Message Schedules」(種々のメッセージスケジュールを用いたSHA-0ハッシュ関数に対する差分攻撃の計算量)**  
種々のメッセージスケジュールを用いたSHA-0亜種の安全性を解析する。まず、Chabaud-Joux 攻撃に対する(近似)衝突困難性を求め、完全に耐性をもつものがないことを示す。次に、Biham-Chen 攻撃が場合によっては十分効果を発揮しないことを示す。

**鴨 谷 敬 史 (森広教授)「マルチパスフェージング環境下への組合せOFDMの適用」**  
搬送波を複数利用するOFDM変調に対して、変調する搬送波の組み合わせ情報に情報に乗せることによって高速化を図る組合せOFDM変調が提案されている。本研究では、マルチパスフェージング環境下に適した組合せOFDM変調として搬送波位置ダイバーシチを提案し、その有効性を検証した。

**中 川 裕 貴 (森広教授)「インパルス雑音チャネルにおけるLDPC符号の最適sum-product復号法」**  
屋内の電力線を利用した通信では、電力線に接続された家電機器などからインパルス雑音が発生する。本研究では、インパルス雑音が発生する環境下に適したLDPC (低密度パリティ検査) 符号の復号法を提案し、インパルス雑音チャネルに対する有効性を検証した。

**増 野 淳 (森広教授)「電力線通信における拡張M系列を用いたSS-CSK変調」**  
屋内の電力線を利用した通信では、電力線から漏洩する電波が問題になっている。本研究では、漏洩電波対策として単位周波数当たりの電力線スペクトル密度を低くし、かつ、伝送速度の高速化が図れるSS-CSK変調を電力線通信路に適用し、その有効性を検証した。

**大 和 良 平 (森広教授)「衛星マルチキャスト通信における誤り訂正方式の研究」**

通信衛星を利用したマルチキャスト通信では、パケットの再送や受信局の不均一化を避けるために、FEC方式が利用されている。本研究では、衛星回線において支配的なビット誤りに適したTornado型符号の復号法を提案し、従来方式より有効であることを明らかにした。

**岡 田 諭 志 (高橋教授)「共通チャネルを用いた移動局パケット中継方式に関する研究」**

3Gアクセスネットワークにおいて、移動局と基地局の間で移動局がパケット中継を行う制御方式の提案を行った。本提案により、従来技術の変更を最小限にとどめた上で、デッドスポットの解消、スループットの向上を図ることができる。

**小 野 航 平 (高橋教授)「リアルタイム通信のための低負荷パケットスケジューリング」**

高品質なリアルタイム通信のための新たなパケットスケジューリング技術 DFQ with RFQ を提案した。本技術により、制御対象フロー数が増加しても通信機器への負荷を増加させることなく、高品質な広域ネットワークを実現することが可能となる。

**中 村 博 志 (高橋教授)「無線ポイント-マルチポイント伝送のためのリソース制御方式に関する研究」**

CDMAシステムのための無線ポイント-マルチポイント伝送制御技術MCAPの提案を行った。本提案技術では、通信路品質に応じて受信端末をグループ分割する。各グループの無線リソースを最適制御し、全端末の受信動画品質の向上を実現する。

**西 川 礼 樹 (高橋教授)「End-to-Endにおけるネットワーク可用帯域の短時間分布推定法」**

IPネットワークにおいて、End-to-End可用帯域の短時間分布を推定するための方式ABdisを提案した。本提案技術により推定された可用帯域分布により、End-to-Endでの高精度なネットワーク品質管理およびトラヒック制御が可能となる。

**繆 震 (高橋教授)「Variable Packet Size Flow Control for Optical Networks」(光パケットネットワークのための可変長フロー制御プロトコル)**

光ネットワークに適したトランスポートレイヤでの新しいフロー制御方式を提案した。本技術では、低負荷時でのパケット廃棄発生に対して、ウィンドウサイズだけでなくパケットサイズを適応的に変更することにより、高スループットの維持を可能としている。

**長 川 大 介 (中村行宏教授)「動的自己再構成デバイスによるFFTの状況適応型構成手法の検討」**

近年、動的再構成や自己再構成が可能なプログラマブルデバイスが提案されている。本論文では、自己再構成能力を活用して適応的に回路を構成することを目指し、題材としてFFTを取り上げ、いくつかの方法を検討し、性能、回路資源、構成情報量、構成時間を比較する。

**越 智 直 紀 (中村行宏教授)「自律修復能力を持つ動的再構成可能システムの基礎検討」**

宇宙開発分野などにおいて、遠隔地からの更新などが可能な再構成可能デバイスが注目されているが、宇宙線などによる構成情報の反転への対策が必要である。本論文では構成情報の反転を自律的に検出・修復するための固定ハードウェアをもつ動的再構成デバイスを提案する。

**神 山 真 一 (中村行宏教授)「自己再構成デバイスの粒度検討のためのプラットフォーム構築」**

自己再構成可能アーキテクチャにおいて、粒度はその性能や柔軟性を左右する重要なパラメータのひとつである。本研究では自己再構成可能アーキテクチャ検討を支援するべく、自己再構成可能デバイスの演算や通信の粒度を可変とした評価プラットフォームを構築した。

**杉 田 弘 晃 (中村行宏教授)「シーン判定に基づく Motion JPEG2000 高画質レート制御手法」**

本論文では、Motion JPEG2000 符号化処理においてシーン判定に基づいてレート制御を行う手法を提案する。本手法を用いることにより、固定数フレーム毎にレート制御を行った場合と比較して、約8%少ないビットレートで同等の主観画質を実現できた。

**向 山 裕 史 (中村行宏教授)「JPEGにおけるハーフトーン処理を用いた高階調情報の埋め込み・抽出手法」**

近年、高階調画像に対する要求が高まっているが、JPEGは8 bit階調の画像を対象としており高階調画像を直接符号化できない。本論文ではハーフトーン処理を用い、既存の復号器でも復号可能なJPEGデータへの高階調情報の埋め込み・抽出手法を提案する。

**新 名 亮 規 (小野寺教授)「電流モード論理素子を用いた高速信号伝送用CMOS回路の設計技術」**

CMOS電流モード論理素子を用いた高速信号伝送回路について検討した。まず、高速分周回路の最適設計法を明らかにした。次いで、高速分周回路を用いた信号多重化回路の設計法を検討した。テスト回路を試作して実測特性を評価し、検討結果の妥当性を検証した。

**山 岡 健 人 (小野寺教授)「LSIの製造プロセスに起因する遅延ばらつきの解析とモデル化」**

製造プロセスに起因する回路特性のばらつきについて検討し、遅延ばらつきのモデル化および実測技術を明らかにした。多数のリングオシレータからなるばらつき測定回路を作成し、発振周波数のばらつきを実測することにより、遅延ばらつき量を求める方法を示した。

**村 松 篤 (小野寺教授)「オンチップ電源配線網における電圧変動の解析手法」**

オンチップインダクタンス(L)が電源ノイズに与える影響と、オンチップLを含んだ電源回路網を解析する手法を明らかにした。オンチップ電源配線網が2次元伝送線路となることを示し、電圧変動と消費電力分布や電源配線構造との関係を実験的に求めた。

**古 澤 賢 治 (小野寺教授)「基板電圧を制御するCMOS回路の解析と応用」**

基板電圧を制御した場合のCMOS論理ゲートの動作特性制御性について検討した。また、90nm プロセスで試作した回路を用いて、順方向バイアス時における基板寄生バイポーラの等価回路を抽出し、ラッチアップが発生しないことを明らかにした。

**樋 口 昭 彦 (小野寺教授)「LSIの動的ならびに静的電力削減手法」**

プロセッサのレジスタファイルのアクセスパタンの最適化によりソフトウェア的に動的電力の削減が行なえることを明らかにした。また、スリープトランジスタの遮断時間を予測し、電源遮断時間を最適化することにより、リーク電流を削減できることを明らかにした。

**赤井 誠一 (佐藤教授)「相互位相変調による波形劣化の統計的評価法の精度向上」**

光ファイバ通信において、波形劣化要因の1つである相互位相変調による影響に関し、従来法に、二次自己位相変調と高次光カー効果による補正を行うことを提案した。これにより、短時間かつ高精度に評価できることを示した。

**木寺 正平 (佐藤教授)「散乱波形推定を用いたUWBパルスレーダーのための高精度物体像推定法の開発」**

超広帯域 (UWB) パルスレーダーを用いて室内環境計測を行う場合に、目標の形状によって散乱波形が変化することが形状推定に悪影響を及ぼす。目標形状推定と散乱波形推定を反復する手法により1/100波長程度の高精度な推定を可能とした。

**松山 哲大 (佐藤教授)「光差動位相変調方式に対する伝送性能推定法」**

光通信システムの性能向上のために検討されている差動位相変調方式に対して、実際に設定される範囲の符号誤り率を短時間に推定する手法は現在のところ確立されていない。そこで、しきい値 - 誤り率特性を利用した差動位相変調方式の誤り率推定法を提案する。

**情報学研究科 システム科学専攻****康 宇範 (英保教授)「画像中の直線エッジと特徴点の追跡を用いたオブジェクトトラッキング」**

画像中のエッジと被写体3Dモデルとの2D-3D直線対応、ならびに、各フレームにおける特徴点の移動情報を用いたトラッキング手法を提案した。本手法により、低画質カメラや計測誤差を含むモデルを用いた場合でも、リアルタイムトラッキングが実現できることを確認した。

**安川 隆司 (英保教授)「時空間断面像を用いた背景更新手法と交通流計測」**

フレームごとに車両を抽出して追跡する手法と時空間画像を用いる手法を組み合わせることで、通過車両台数の計測に加え、車種や車両速度の計測も可能にした交通流計測手法を開発した。本計測法における背景更新手法は、渋滞が起きている場合でも有効であることを確認した。

**大野 友和 (松田教授)「能動触による物体形状認知と位置・反力情報の関係解析」**

器具を介した能動触について人間の物体形状認知に寄与する特徴量を明らかにするために、単純な段差形状を対象として、点接触型力覚提示装置による仮想物体の形状認知実験を行った。実験の結果、走査過程において被験者が得た反力差分が形状認知に対し高い寄与度を示した。

**諏訪 裕子 (松田教授)「Region-based Contour Tree によるデジタル画像の構造記述とこれを用いたインタラクティブな領域抽出」**

デジタル画像で並立・包含など等値面の位相構造を記述する手法として、Region-based Contour Treeを提案した。また、本手法を応用したデジタル画像処理の一つとして、抽出領域の連結性確保と穴領域の回避を保障するインタラクティブな領域抽出手続きを提案し、従来法との比較から有効性を示した。

### 西 俊 文 (松田教授)「分散型システムにおける電気生理学モデルと構造力学モデルを連成した 心筋組織収縮シミュレーション」

本研究では、モデルの可換性が高い分散型システムにおいて、電気生理学モデルと構造力学モデルを強連成して高精度な連成シミュレーションを実現する心筋組織収縮シミュレーションシステムを構築し、生理学実験に近いシミュレーション結果を得ることに成功した。

### 平 間 圭 介 (松田教授)「MR顕微鏡を用いた水分子の拡散テンソル計測」

本研究では、核磁気共鳴顕微鏡 (MR Microscope: MRM) を用い、生体組織の構造等を高分解能で画像化する拡散テンソル画像の撮影を目的として、MRMの傾斜磁場コイルのキャリブレーション手法を提案した。ファントム実験により有効性を確認し、実心臓における細胞配列推定への応用を試みた。

## エネルギー科学研究科 エネルギー社会・環境科学専攻

### 今 木 智 隆 (吉川榮和教授)「高レベル放射性廃棄物の処分をめぐるリスクコミュニケーションの ためのアフェクティブインタフェースの構築とその評価」

インターネットを利用して、高レベル放射性廃棄物の処理問題に関する興味を喚起し、そのリスクコミュニケーションを促進するため、規範活性化理論に基づいたコンテンツと閲覧する人の感情要因を考慮したアフェクティブなWebサイトを構築・評価した。

### 河 内 美 佐 (吉川榮和教授)「心理生理指標を用いたワークスペースプロダクティビティの統合的 評価に関する基礎研究」

オフィスの効果的な省エネを実現するための基礎研究として、オフィス作業を反映するパフォーマンステストを開発し、その結果と生理心理指標・主観評価を統合することで、より定量的かつ客観的にオフィス作業の生産性を評価する手法を提案した。

### 佐 野 真 治 (吉川榮和教授)「AR技術によるナビゲーションのユーザ行動の実験解析」

コンピュータで生成した文字や図形等の情報を視界に重畳表示させる拡張実感 (AR) 技術によるナビゲーションの効果を調べるため、プラント系統隔離作業支援システムを用いた被験者実験の結果分析とラボ実験によりAR環境下でのユーザの行動をモデル化した。

### 西 村 泰 典 (吉川榮和教授)「Eye-Sensing Displayを用いた眼疲労検査システムの構築と実験的評価」

長時間のVDT作業が原因とされる眼精疲労の予防を目的として、その元凶となる眼疲労の程度を簡単かつ定量的に計測するため、被験者に眼疲労を誘発するタスクを与えて実験を行い、視覚系指標計測機能付きディスプレイ (ESD) で眼疲労時の視覚系指標の変化を調べた。

### 本 郷 泰司朗 (吉川榮和教授)「エネルギー・環境教育へのコンピュータによる議論支援システムの 開発と評価」

多様で複雑な側面を持つエネルギー・環境問題の効果的な教育方法として、コンピュータを用いたディベート支援システムを開発し、実際の修士課程講義「エネルギー社会・環境科学通論」に適用して、受講生と教員へのアンケート調査からその有効性を評価した。

**前 嶋 真 行 (吉川榮和教授)「放射線量可視化システムにおける拡張現実感用トラッキング手法の開発」**

原子力プラント構内で放射線量を可視化するための拡張現実感技術を実用化するため、プラント構内に多数存在する配管に容易に貼付できる細長いバーコード型のマーカーを用いたトラッキング手法を開発し、ラボ実験とプラント構内実験によりその性能を評価した。

**エネルギー科学研究科 エネルギー基礎科学専攻****東 貴 久 (近藤教授)「ヘリオトロン」プラズマにおける多チャンネルAXUVフォトダイオードアレイを用いた輻射損失空間分布計測」**

ヘリオトロンJ装置で生成されるプラズマから放出される1eV ~ 12keVのエネルギー領域の輻射の空間分布をAXUVフォトダイオードで測定し輻射強度の最大値がプラズマ中心に局在することを確かめた。

**東 洋 介 (近藤教授)「有限要素法を用いた簡約MHD方程式による2次元プラズマ計算コード開発とヘリカル系プラズマに対する圧力駆動型不安定性解析」**

ヘリカル系プラズマの圧力駆動型不安定性を解析するために、有限要素法を用いて線形・非線形簡約化MHD方程式を解く計算プログラムの開発を行った。その結果、MHD平衡計算の結果を入力として用いられるように高次のトロイダル効果を加えた解析が可能となった。

**菊 竹 正 晃 (近藤教授)「波高分析測定システムによるヘリオトロン」プラズマの軟X線計測」**

ヘリオトロンJプラズマからの軟X線のエネルギースペクトルを求めるための波高分析システムを完成させ電子温度を評価できるようにした。測定されたエネルギースペクトルからこのエネルギー領域では連続スペクトルが支配的であることを確認した。

**下井田 洋 平 (近藤教授)「モンテカルロ法によるヘリオトロン」プラズマの新古典輸送解析」**

ヘリカル系プラズマにおける衝突性拡散を調べるために、粒子のドリフト軌道計算に衝突過程を取り入れる解析をモンテカルロ法に基づいて行った。これをもとに、低衝突周波数領域における新古典輸送解析を行うことで、実効ヘリシティーの計算が可能となった。

**山 崎 久 路 (近藤教授)「ヘリオトロン」プラズマにおける可視・真空紫外分光計測」**

可視分光では、中性水素原子のHa線のスペクトルプロファイルを精密に測定し中性水素の温度、速度分布関数を評価した。真空紫外分光では炭素、酸素、鉄など不純物スペクトルを同定した。

**山 田 雅 毅 (近藤教授)「ヘリオトロン」プラズマにおける軟X線を用いた電子温度空間分布測定」**

ヘリオトロンJプラズマからの軟X線を厚さの異なるBeフィルターを通して測定し、その強度比から電子温度を評価し電子密度に対する依存性を明らかにした。

## エネルギー科学研究科 エネルギー応用科学専攻

### 伊藤 健 祐 (野澤教授) 「不揮発性多値記憶素子のデータ再符号化と信頼性向上」

浮遊ゲート型不揮発性メモリで用いられているトンネル酸化膜通過電荷量を削減する多値ランレングス符号変換を考案しデバイスシミュレーションと実データとの比較を行い消費電力改善に加え信頼性向上にも寄与することを明らかにした。

### 辰 巳 直 行 (野澤教授) 「強誘電体メモリ用ビスマス層状ペロブスカイトの結晶粒制御」

SBT, BLTの高密度化、結晶異方性の改善を目的とした真空アニールによる結晶粒制御実験を行い、局所構造や配向の変化を調べた結果ビスマスの蒸発やオスワルト成長を利用した結晶粒径制御の可能性を明らかにした。

### 玉 井 慎 一 (野澤教授) 「SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub>強誘電体メモリの界面物性と信頼性の評価」

SBT薄膜のリーク特性、分極疲労につき電極にPt, Cu, Al, Ag, Au, Biを用いたキャパシターを作製し界面物性を体系的に変化させることにより、Al, Biでは初めて顕著な劣化を観測し、Agでは絶縁破壊が観測されたなど新たな知見を得た。

### 塚 本 真 之 (野澤教授) 「シフトレジスタを用いた暗号回路設計と性能評価」

高速、小規模な機器に適した暗号アルゴリズムを考案その優劣を比較するため、シフトレジスタを用いたストリーム暗号、自己収縮生成器をFPGA上に形成、性能評価を行い、要求に応じて並列度を变化させることで他の方式よりも優れた性能を実現できることを明らかにした。

## エネルギー理工学研究所

### 大 橋 佳 佑 (水内教授) 「ヘリオトロン」における閉じ込め遷移に伴う周辺プラズマ特性の変化」

プラズマ閉じ込め装置「ヘリオトロン」において観測される良好な閉じ込め状態への自己遷移現象に着目し、境界プラズマの温度、密度、電位分布およびプラズマ輸送の増大につながるプラズマ揺動を調べ、自己遷移に伴い、変化特徴的な電位分布変化や揺動誘起粒子束の低減等が生じていることを明らかにした。

### 嶋 崎 伸 秀 (水内教授) 「ヘリオトロン」における電子サイクロトロン波の伝播・吸収及び散乱に関する研究」

ヘリオトロンJの電子サイクロトロン共鳴加熱プラズマにおいて、透過波を用いてパワー吸収と揺動について調べた。偏波面解析から求められたパワー吸収率はレイトレーシング計算と良く一致し、透過波によるパワー吸収評価が可能であることを示した。

### 濱 上 崇 史 (水内教授) 「ヘリオトロン」における損失イオンプローブの開発」

ヘリオトロンJにおいて高エネルギーイオンのピッチ角分布計測を目的とする損失イオンプローブの開発を行った。検出器として、シンチレータ付多チャンネルフォトダイオードアレイを用いることを提案し、粒子軌道計算に基づき、装置の設置位やそこで測定できるピッチ角範囲等を明らかにした。



**荒川 純 (佐野教授)「ヘリオトロンJにおけるICRF加熱を用いた高エネルギー粒子生成・閉じ込め研究」**

ヘリオトロンJプラズマでのICRF加熱で生成された高エネルギー粒子閉じ込めのピッチ角および磁場配位に対する依存性について実験的に調べ、高速粒子温度および実効的閉じ込め時間が磁場のフーリエ成分によって変化することを明らかにした。

**本島 巖 (佐野教授)「ヘリオトロンJにおけるトロイダル電流の研究」**

ヘリオトロンJプラズマにおける自発的電流であるブートストラップ (BS) 電流、電子サイクロトロンあるいは中性粒子ビーム入射加熱による駆動電流について実験的に調べた。とくにBS電流の閉じ込め磁場フーリエ成分に対する依存性について明らかにした。

**安藤 貴 紀 (吉川潔教授)「高分解能電解計測用21S励起Heパルスビームの高効率生成に関する研究」**

シュタルク禁制遷移効果によるレーザー誘起蛍光法電界計測のためのヘリウム励起原子線の高効率生成のため、超音速ヘリウムビームの生成条件最適化によりビーム密度の大幅な向上を達成し、また、分光計測により励起用プラズマの特性を計測して励起効率を評価した。

**久内 敏 久 (吉川潔教授)「慣性静電閉じ込め核融合中性子源制御用マグネトロンイオン源の数値解析」**

慣性静電閉じ込め核融合中性子源の高出力化並びにパルス運転制御に有効な新方式であるマグネトロン・グローのハイブリッド放電について、既存の二次元粒子シミュレーションを高度化することで、実験で見られた特異な放電特性の機構を定性的に説明することに成功した。

**生存圏研究所****谷尾 元 総 (津田教授)「熱帯における年輪気候学に関する基礎技術開発」**

年輪から得られる樹木成長を用いて気候変動を推定する年輪気候学を気象観測の乏しい熱帯域に発展させる基礎研究として、デジタル画像解析法の適用、輪面積による新しい推定法の提案を行い、インドネシアのチーク、スンカイ材に適用し、有効性を確認した。

**南川 敦 宣 (津田教授)「Development of a Data Analysis System for GPS Occultation Measurements (GPS掩蔽観測におけるデータ解析システムの開発)」**

2007年以降に打上げ予定のEQUARS衛星で受信されるGPS衛星電波の掩蔽観測データを解析して天気予報 (数値予報) のためにデータ配信を行うリアルタイムデータ解析システムの開発を行った。また、解析される大気パラメータの精度検証を行った。

**川端 浩 之 (松本教授)「低緯度磁気圏境界層におけるプラズマ波動励起の観測的研究」**

地球磁気圏における低緯度磁気圏境界層は、磁気圏内と太陽風のプラズマが混在し、異なる二つの領域を接続する重要な領域である。本論文ではGEOTAIL衛星によるプラズマ波動観測により、低緯度磁気圏境界層で発生しているミクロな物理過程に焦点をあて解析を行った。

**岡田 寛 (松本教授)「レクテナ整流回路のパラメータの最適化に関する研究」**

本論文では、宇宙太陽発電システムSSPS システムや無線電力空間システムなどのマイクロ波無線電力伝送で使用するRF-DC 素子であるレクテナのうち整流回路の各パラメータのうち、ダイオード、分布定数線路長、誘電体基板についてパラメータサーベイ及び最適化を行った。整流回路とは、マイクロ波電力を直流に変換する回路である。

**七日市 一 嘉 (橋本教授)「アクティブ集積アンテナを応用したマイクロ波エネルギー伝送システムの開発研究」**

宇宙太陽発電システムSSPSはマイクロ波無線電力伝送技術を応用した将来の発電所として期待されている。本論文ではSSPSのシステム要求条件を満たし得る有力なシステムの一つとして、アクティブ集積アンテナ (AIA) 技術を用いた導波管スロット給電型の送電システムの実現を目的とし、その要素について設計、試作検討を行った。

**松本 真 俊 (橋本教授)「宇宙太陽発電所のための自動較正機能を有する到来方向推定法に関する研究」**

本論文では、宇宙太陽発電システムSSPS のビーム制御のための仕様として提案されている、ソフトウェアレトロディレクティブシステムに適用するための到来方向推定法、特にSPS に搭載されるパイロット信号受信機の特性に影響されない自動較正機能を有する到来方向推定法に関する研究を行った。

**大橋 聡 史 (橋本教授)「3次元電磁粒子コードを用いたマグネトロンに関する計算機実験」**

本論文では一般家庭出用いる電子レンジから宇宙太陽発電におけるマイクロ波送電用デバイスといった幅広い分野での利用において高効率・低雑音化が課題となっているマグネトロンに関して、3次元電磁粒子コードを用いた計算機実験によりその内部動作の解析を行った。

**豊村 崇 (大村教授)「科学衛星搭載用チップ型波動粒子相関計測器の開発・研究」**

波動粒子相関計は、科学衛星による宇宙プラズマ観測において、直接エネルギー輸送過程を捉えることを目的とする観測装置である。本論文では、この波動粒子相関計をFPGA内部に実現することによりチップ化し、高性能・軽量化するための開発・研究を行った。

**辻野 文 剛 (深尾教授)「インドネシア・スマトラ島における対流活動の観測的研究」**

本研究では地球上で最も積雲対流の活発なインドネシア・スマトラ島における対流活動とインド洋や中緯度を起源とする大規模擾乱との関連を指摘した。また、赤道大気レーダーの観測により熱帯域における巻雲付近の鉛直流の様態を始めて観測的に示した。

## ホームページアドレス一覧

### 工学研究科 電気工学専攻

#### 複合システム論講座

(荒木研究室)

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

#### 電磁工学講座

電磁エネルギー工学分野 (島崎研究室)

<http://fem.kuee.kyoto-u.ac.jp/shimasaki-lab/index.html>

超伝導工学分野

<http://www-lab04.kuee.kyoto-u.ac.jp/index.j.html>

#### 電気エネルギー工学講座

生体機能工学分野 (小林研究室)

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

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>

#### 電気システム論講座

電気回路網学分野 (和田研究室)

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

自動制御工学分野 (萩原研究室)

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

電力システム分野 (大澤研究室)

<http://www.kuee.kyoto-u.ac.jp/outside/annai/teacher.php?id=42>

### 工学研究科 電子工学専攻

#### 集積機能工学講座

(鈴木研究室)

<http://www.kuee.kyoto-u.ac.jp/outside/annai/teacher.php?id=42>

#### 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](http://www.kuee.kyoto-u.ac.jp/lab16/index_j.html)

プラズマ物性工学分野 (橋研究室)

<http://www-lab11.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

#### 電子物性工学講座

半導体物性工学分野

<http://semicon.kuee.kyoto-u.ac.jp/index.php?FrontPage>

電子材料物性工学分野 (松重研究室)

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

#### 量子機能工学講座

光材料物性工学分野

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

光量子電子工学分野 (野田研究室)

<http://www.kuee.kyoto-u.ac.jp/%7EElab05/>

量子電磁工学分野 (北野研究室)

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

## 附属イオン工学実験施設

### 高機能材料工学講座

クラスティオン工学分野（高岡研究室）  
<http://cib.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

## 情報学研究科 知能情報学専攻

### 知能メディア講座

言語メディア分野  
<http://www-lab25.kuee.kyoto-u.ac.jp/>  
画像メディア分野（松山研究室）  
<http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/index-jp.html>

## 情報学研究科 通信情報システム専攻

### 通信システム工学講座

デジタル通信分野（吉田研究室）  
<http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/index-jp.html>  
伝送メディア分野（森広研究室）  
<http://forest.kuee.kyoto-u.ac.jp/>  
知的通信網分野（高橋研究室）  
<http://cube.kuee.kyoto-u.ac.jp/index.html>

### 集積システム工学講座

情報回路方式分野（中村研究室）  
<http://easter.kuee.kyoto-u.ac.jp/index-j.html>  
大規模集積回路分野（小野寺研究室）  
<http://www-lab13.kuee.kyoto-u.ac.jp/>  
超高速信号処理分野（佐藤研究室）  
<http://www-lab26.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

## 情報学研究科 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  
<http://www.image.kuass.kyoto-u.ac.jp/>  
医用工学分野（松田研究室）  
<http://www.bme.sys.i.kyoto-u.ac.jp/>

## エネルギー科学研究科 エネルギー社会・環境科学専攻

### エネルギー社会環境学講座

エネルギー情報学分野（吉川榮研究室）  
<http://hydro.energy.kyoto-u.ac.jp/>

## エネルギー科学研究科 エネルギー基礎科学専攻

### エネルギー物理学講座

電磁エネルギー学分野（近藤研究室）  
<http://www.center.iae.kyoto-u.ac.jp/kondok/index-j.html>

## エネルギー科学研究科 エネルギー応用科学専攻

### 応用熱科学講座

プロセスエネルギー学分野（塩津研究室）  
<http://www.pe.energy.kyoto-u.ac.jp/>

## 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（吉川潔研究室）  
[http://www.iae.kyoto-u.ac.jp/beam/index\\_j.html](http://www.iae.kyoto-u.ac.jp/beam/index_j.html)  
プラズマエネルギー研究分野（水内研究室）  
<http://www.center.iae.kyoto-u.ac.jp/plasmak/student/laboratory/top.html>

### エネルギー機能変換研究部門

複合系プラズマ研究分野（佐野研究室）  
<http://www.center.iae.kyoto-u.ac.jp/sanok/index.html>

## 生存圏研究所

### 診断統御研究系

レーダー大気圏科学分野（深尾研究室）  
<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/radar-group/fukao-lab.html>  
大気圏精測診断分野（津田研究室）  
<http://www.kuee.kyoto-u.ac.jp/outside/annai/teacher.php?id=88>

### 開発創成研究系

宇宙圏電波科学分野（松本研究室）  
<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/space/>  
生存科学計算機実験分野（大村研究室）  
<http://www.kurasc.kyoto-u.ac.jp/plasma-group/lab-o.html>  
生存圏電波応用分野（橋本研究室）  
<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/space/lab-h.html>

## 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/index.html>

## 高等教育研究開発推進センター

情報可視化分野（小山田研究室）  
<http://www.viz.media.kyoto-u.ac.jp/>

## 学術情報メディアセンター

複合メディア分野（中村（裕）研究室）  
<http://www.ccm.media.kyoto-u.ac.jp/>

## 学生の声

### 「追求したいものが見つかるまで」

工学研究科 電子工学専攻 鈴木研究室 博士課程2回生 山田 義春

進学することを決意した人なら全員が、「これをより深く追求したい」といえるものを持っていると思います。私の場合は、多少の回り道をしながらそれが見つかりました。

「電力であれば使われなくなるなんてないだろうし、安定しているだろう。」高校生の頃の私は、その程度の考えで電気系を志望しました。しかし、一口に電気系といってもエネルギー、エレクトロニクス、情報通信など対象となる分野は広範囲で、1～2回生ではそれぞれの基礎的な科目を学ぶことになっていました。実際に学び始めてみると、電力系の講義は私にとってはあまり興味がわかず、このようなシステムでよかったと思います。当時は、「IT革命」などといった言葉が流行っており、私はそれにつられてプログラミングなどに力を入れていました。プログラミングの科目では夏休みにやや難しい課題がでていたのですが、私は自力でなんとかその課題を解き、「まあこんなものだろう」と自己満足していました。ところが、親しい友人らのものをみせてもらうと、私のよりもかなり速く、余裕があるのかグラフィックまで凝っていました。「この分野では勝負にならない」と痛感する出来事でした。ちょうどそのころ、電子物性に関する科目が始まり、自然に興味がわいてきました。量子力学に初めてふれて、その不思議な理論に魅了され、3回生では量子力学、統計力学ばかり熱心に勉強していました。(現在実験する際に3回生配当のマイクロ波、電波工学がややおろそかだったのを少し後悔していますが)

4回生になると、基礎物性を研究したくて鈴木研究室を選びました。私は高温超伝導を研究していますが、最先端の実験研究をして、世界で誰もよく分からないことを考えることは非常に刺激的で、すぐに「もっと追求していきたい」と思うようになり進学を決意しました。現在、実験がうまくいかずつらいこともあります。追求したいものを見つけることのできた私は、研究のさらなる発展を目指して頑張っていきたいと思います。

### 「国際会議の経験から」

情報学研究科 通信情報システム専攻 吉田研究室 博士後期課程2回生 山本 高至

日本人が英語を苦手とする理由としてこれまで様々な説が出されている。このような説の真偽は別として、聞いてしまうと英語を勉強する気がなくなってくるように思う。だからといってこのような説を出すことを一概に悪いと言いたいわけではないが、日本人、特に学会に出て行くような日本人たちが最終的に敬意を勝ち得るという目的には、必ずしも適していないのではないかと考える。

幸運にも、私は国際会議での発表のために、アジア、アメリカ、そしてヨーロッパに何度か行かせて頂いた。そこで気づいたことは、これまで聞いた覚えのあるお説教、すなわち「英語は世界中で通じる(から勉強しよう)」は必ずしも当たっていないということだ。英語を母国語としない国では英語が通じないことの方がよほど多い。四つ星以上のホテルや空港を除けば、切符売り場でも、タクシーでも、レストランでも。

そしてもう一つ気づいたこと、これが重要なのだが、市中で英語が使えない国の人でも、会議の参加者はかなり高い確率で議論が自由に出来る英語を身につけているということだ。これは、日本以外の非英語圏の人々も何とかして英語を使えるようにしている、ということだろう。たとえ日本人より英語が上手くなる条件が多いとしても、そういう人たちの前で下手な英語を使えば、「こいつは英語が下手だな」ではなく「こいつは努力不足」という印象を与えるのではないか。このように感じ、遅時きながら英語に取り組んでいる。

余談だが、初めての国際会議で教授の後ろについてこそそそ歩いていると、綺麗な女性に“ What a handsome boy!” などと言ってもらったのに、びっくりして何も言い返してあげられなかった。このままでは面目ないため、別の国際会議で“ What a beautifullady!” と可愛い女性に声をかけたら仲良くなれた。このような経験から、手遅れかもしれないが女性を褒めることにも取り組んでいる。

## 教室通信

最近、残念なことに電気系の人気が下降してきています。本学の入試でも、昨年度は電気電子工学科が工学部の最低点の最低を記録し、今年度は情報学科がそれに該当することになってしまいました。この傾向は、本学に限ったことではなく、8大学電気系会議や全国電気教員協議会でも重要課題に取り上げられているように、全国的な風潮となっています。かつて、本学に電子工学科が創設された頃には「医学部より入るのが難しかった」というのは、現在の受験生には神話の世界になってしまっているようです。

それでは、工学部全体で人気凋落しているかといえば、必ずしもそうではなく、最近では物理工学科（機械・航空・材料系）の人気が高くなってきています。身近な例を挙げると、ロボットや自動車、スペースシャトルなどのように、動作や機能が目に見えて格好よく写る対象には多くの若者が強い関心や興味を示しています。一方で、携帯電話やパソコンに代表される電子機器については、中身は殆どブラックボックスでも、一通りの操作さえできれば高度な機能を使いこなすことができるので、そのしくみについての深い興味は湧いてこないのかも知れません。いずれにしても、直接目に見えない電気・電子の世界は、現代の若者にはたいそうバリエーションが高いように受け取られ、食わず嫌いになってしまっているのではないかと思います。

その根源には、昨今の青少年の理科離れといわれている現象があります。その中身を分析すると、現在のハイテンポでかつ表層的な社会の風潮からか、論理的な思考を継続的に遂行していく習慣あるいは根気がなくなってきたことが根底にあるように思えます。そのせいか、本学でも入学後の1回生で履修する物理学基礎論などの講義では単位修得者数が年々減少しています。また、数学でも1回の試験で合格する割合が減ってきています。ちなみに、くだんの物理の成績と卒業の時点での専門全科目の成績の関係をみるとある程度の相関があり、論理的な思考ができる学生では電磁気学や回路などを含む多くの専門科目において理解度が高いということが出来ます。全体にみれば、最初のバリエーションを乗り越えることができるものとそうでないものの中で2極化が起こっているようで、後ろのピークが次第に大きくなってきています。従来電気系では、1回で修得できない科目には、2重登録といった形で2回目は試験だけ受けることを認めてきましたが、その申請数が年々多くなってきていることがその証といえます。そこで、その抜本的な対策として、例えば、2回目以降の受験の前にはそれぞれの科目の要点や幾つかの科目の横断的な関わりを整理して再教育するような、基礎科目のリメディアル教育の仕組みなどを具体的に考えていく必要があるのではないかと、個人的には感じています。

さて、話題を再び元に戻すと、若者からみた電気系の人気低落における最大の要因は（私見かも知れませんが）、昨今の社会的な情勢にあると思われます。電気関連業界では近年グローバル化が急速に進んで、ますます国際的な価格競争が激化しています。そんな大波の中では、苦節10年、20年の開発の後に漸く実用化された最先端の製品でも、次の年にはパナナの叩き売りのような薄利多売の状況に追い込まれ、開発に携わった多くの技術者の次なる意欲を喪失させてしまいます。携帯電話、パソコン、薄型TVなどがその典型的な例で、青色レーザー搭載の高密度DVDもいずれその運命に晒されるでしょう。さらに、それらの技術者がある年齢層に到達すると、使い捨てのように早期退職奨励が行われています。

特に、電気業界でそのような過酷な競争が起こっている大きな要因の一つは、戦中・戦後世代の技術者が営々と築いてきた高い生産技術が、次第に標準化されてきていることにあります。つまり、現在ではレシピつきの生産設備を購入すれば、何処でも誰でもほぼ同性能の製品を生産することができるようになったことです。ここまでできてしまうと、価格で競争するかあるいは顧客の個別の満足度で競争するしかないのですが、できれば後者をもっと真剣に追求するような方向は見出せないものではないでしょうか。アパレルや自動車産業でも試みられてきたような個性化された製品、あるいは医療や福祉で求められているように、それぞれの顧客のニーズに応じてきめ細かくシステムアップするような技術や製品はそれなりの価値で販売でき、薄利多売競争から脱却できるのではないかと思います。ともかく、ここらで何らかの妙案を模索して、もっと電気関連の技術者が優遇されるような方向へと舵を切れないものかと感じる此の頃です。

現在、業界の最先端で活躍されている同窓生諸氏に、そのような希望の道を後進に対して拓いて行っていただければ幸いです。一方、大学においても夢が育めるような方向での基礎研究を進めながら、産学連携などによって電気関連業界新たな発展に資することができるよう、地道な努力をして行かなければならないと痛感しています。また、わが同窓会組織である洛友会の諸事業や行事を通して、このような問題を共に考える機会を持てればと願っている次第です。（文責・橘）

## 編集後記

今回から、電気系関係教室技術情報誌「cue」は、電気系教室とそのOBの方々に構成される洛友会との共同発行となりました。配布先もこれまで以上の広がりを持つことになるこの機会に、ご紹介しておりました技術内容も専門家でない多くの方々に親しみやすくわかりやすい記事となることを目指しましたが、いかがだったでしょうか。これからも「cue」のご愛読、ご支援よろしくお願い致します。

(T.A.記)



## 賛助会員

ダイキン工業株式会社  
鉄道情報システム株式会社  
日立電線株式会社  
フジテック株式会社  
株式会社村田製作所

発行日：平成18年1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、朝香 卓也、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