

cue

京都大学電気関係教室技術情報誌

NO.8

DECEMBER 2001

[第8号]

.....
卷頭言

名誉教授 若林二郎

.....
大学の研究・動向

電子物理学講座・極微真空電子工学分野
知能メディア講座・画像メディア分野

.....
産業界の技術動向

(株)日立製作所 森田憲一

新設研究室紹介

研究室紹介

博士論文概要

学生の声

教室通信

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

cueは京都大学電気教室百周年記念事業
の一環として発行されています。

巻頭言

21世紀の科学技術への期待

未来エネルギー研究協会 顧問 若林 二郎



20世紀は経済性を無視した軍事技術の開発競争に始まり、その後技術の民生への移転が進んで、人類の多くは物質的豊かさを謳歌した時代と言えよう。しかしその反面人類は巨大化し、大量消費・大量廃棄による環境破壊が進み、さらに個人所得の地域格差が広がるなど、世界は危機的状況になりつつある。20世紀初頭には20億に満たなかった世界の人口は現在60億を越え、未だ固定化技術の見通しが立っていない炭酸ガスの大気中濃度は、約290ppmから360ppmに増加し、このような状況が続けば地球環境は今世紀中にも破局を迎える恐れがある。したがって人間の英知によって、平和を維持しながら世界の将来の危機を乗り越える方策を探る事が、21世紀の最重要課題と言えよう。

京都議定書では2010年の炭酸ガス排出量を1990年レベルに押さえることを目標に、先進国の排出量を1990年レベルより5%削減し、それを途上国の増加分に当てることを決め、先進諸国の削減目標も合意されたが、米国の反対などもありその実現が危惧されている。さらに急速な人口増加と経済成長を示している途上国には、政治的配慮から削減の義務づけが見送られたことも大きな問題である。

今年発表されたIPCC（気候変動に関する政府間パネル）の第3次報告では、国際社会の将来を4つのモデルA1、A2、B1、B2（Aはグローバル化・均質化を重視、Bは地域社会の発展を重視、1は経済成長を重視、2は環境を重視しサービス・情報経済へ移行）に分類し、A1をさらにエネルギーシステムの観点からA1F1（化石エネルギー源重視）、A1T（非化石エネルギー源重視）、A1B（両者のバランスを重視）の3つのケースに分け、計6つのシナリオを想定して、2100年迄の世界の状態をシミュレーションにより予測している。結果の詳細は省くが、世界が地域社会の発展を重視するB1、B2の方向に進めば、結果的に途上国の人口増加が続くため、2100年には世界の人口は150億、104億に達し、一人当たりの所得の地域格差は現在の16倍から4.2倍、3倍に縮小するが、炭酸ガスによる地球環境の危機は避け難いと予測されている。

Aのグローバル化・均質化の方向に進めば、2100年における所得の地域格差はBよりさらに縮小して1.5-1.8倍になるとともに、人口は2050年頃の約87億をピークに減少し、2100年には約70億になると予測されている。さらにA1T、A2の方向に進めば、炭酸ガスの排出量は2040年頃に現在の約2倍、1.5倍をピークに減少し、2100年には排出量は現在以下となり、炭酸ガスの大気中濃度は、応答の時間遅れのため増え続けるが550ppm前後ではほぼ落ち着き、平均気温の上昇も2℃前後に収まると予測されている。それでも地球環境は一時的に大きな影響を受けるが、炭酸ガス排出量が減少に転ずるので、例えば炭酸ガスを海底に一時貯蔵するなど既存の技術の延長によっても、環境の一時的な悪化を乗り越える可能性があると思う。

以上よりシミュレーション結果によれば、地球温暖化の危機を回避するためには、今後世界はA1TとA2をミックスしたような方向に進むことが不可欠となる。エネルギー源の非化石化を進めるとともに、省資源・省エネルギーの観点から、社会の経済構造が物質中心の経済から、サービス・情報を中心とする経済構造に移行することの重要性や、そのために科学技術が果たすべき役割などは述べるまでも

ないと思う。しかし世界が地域社会の発展重視の姿勢を改め、文化交流を盛んにしてグローバル化・均質化の方向に進めば、途上国の人口増加の抑制につながることは理解できても、人口は2050年頃から減少に転ずるためには、他にもいろいろ条件が必要なように思える。この研究は始まってからまだ日が浅いが、今後社会科学と科学技術をミックスしたような、新しい学問分野の進展によってモデルの信頼性が高まり、説得力のあるシミュレーション結果が得られ、それを踏まえて、将来起こる恐れのある地球温暖化の危機を、未然に防ぐための方策が示されることを期待している。

筆者が専門にしているエネルギーの問題に関連して、最近考えていることの概要を述べたが、先日のテロ事件に見られるように、今後世界ではいろいろな形の危機が起こる恐れがあり、それに対処するため、あるいは未然に防ぐためには、科学技術の果たすべき役割も非常に大きいと考えられる。21世紀を担う若い科学者・技術者の英知とチャレンジ精神に、大きな期待を寄せている。

大学の研究・動向

ナノテクノロジーを拓く極微電子・イオンビーム技術

工学研究科 電子物性工学専攻
電子物理学講座 極微真空電子工学分野
教授 石川 順三
ishikawa@kuee.kyoto-u.ac.jp
助手 辻 博司
tsuji@kuee.kyoto-u.ac.jp
助手 後藤 康仁
ygotoh@kuee.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

極微真空電子工学分野では、荷電粒子ビーム、すなわち、電子およびイオンビームに関わる独創的かつ先端的な研究を展開しています。電子ビームに関しては、ナノメートル法に制御された先端をもつ極微電界電子放出チップをアレイ状に並べた微小電子源の開発があります。この領域は真空マイクロエレクトロニクスと呼ばれ、十数年前から発展した比較的新しい分野です。微小電子源が実現されれば、テラヘルツ動作のナノメートル法真空デバイスや極微小超高周波管、極微センサー、平面型表示素子など数多くの応用が期待されます。一方、イオンビームに関しては、新たなイオンの発生法の確立からイオンビーム装置の開発、応用に至る幅広い研究を展開しています。負イオンビーム材料プロセス技術の開発もその一つであり、当研究室が世界に先んじて独創的研究展開を図っています。負イオン発生法の根本的な見直しにより正イオンに匹敵する電流量の発生に成功し、負イオンを用いた注入や蒸着プロセス技術の開発とその特長を明らかにしてきました。ここでは、これらの研究内容の概要を説明します。

2. 極微真空電子デバイス開発の鍵となる微小電子源

2.1 極微真空デバイスの特長

極微真空電子デバイスは、現在の半導体集積回路の作製プロセスやマイクロマシーニング領域で用いられている微細加工法を駆使して作製する、ナノメートルからミクロンメートル法の非常に小さなデバイスのことです。真空デバイスですから、真空中に電子を供給する必要があるため、デバイス中にはナノメートル法の電界放出チップあるいは薄膜型冷陰極放出面が必要になります。また、用途に応じていろいろなナノメートル法の電極が付いています。このような極微真空電子デバイスをマイクロバキュームチューブ（極微真空管）とか、真空トランジスタと呼ぶこともあります。この極微真空電子デバイスには次のような特長があります。

図1に示すように、真空中の電子は半導体中の電子のように格子との衝突を受けずに進むので、同じ加速電圧でも10倍から100倍早いスピードで電極間を走行します。したがって、極微真空電子デバイスは半導体より10倍から100倍高速で動作できることになり、テラ・ヘルツ（ 10^{12} Hz）デバイス実現への期待が出てきます。真空デバイスですから、大電力動作にも強く、放射線などにも誤動作しません。また、極寒から高温の環境でも問題なく動作します。極微真空デバイスは、このような三極管

型のデバイスだけでなく、真空中の電子のバリスティックな性質を利用して更に超々高周波で動作させることができる超小型のクライストロンのや進行波管的な構造のデバイスが考えられています。

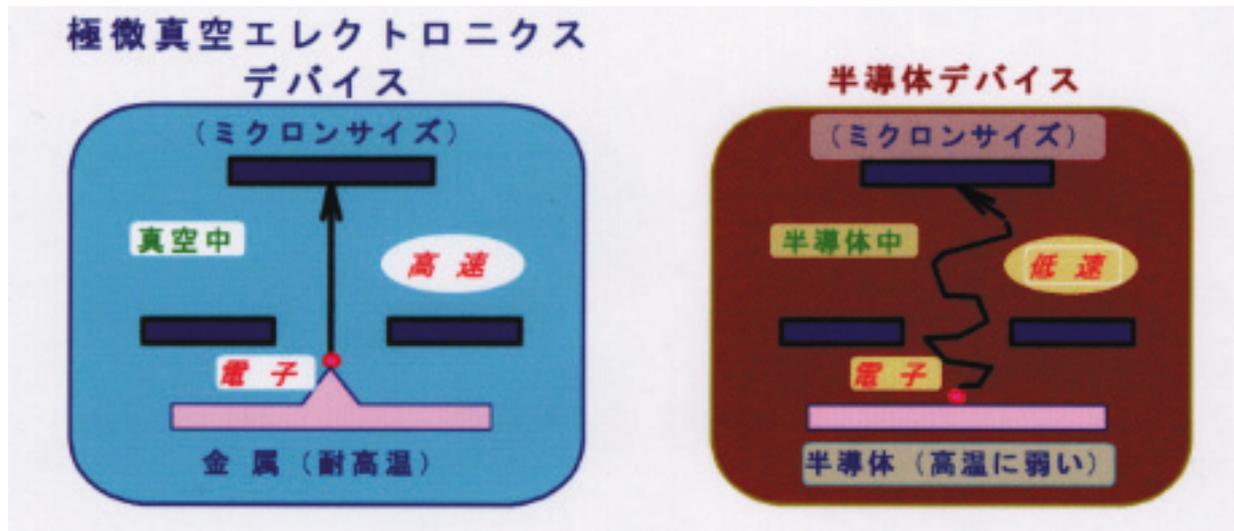


図1 極微真空デバイスと半導体デバイス中の電子の動き

一方、ナノメートルからマイクロメートル寸法の極微電子源が実現できると、次のような新しい領域が展開できます。図2に示すように、平面上に極微電子源を多数配列（微小電子源）し、その前面に蛍光面を配置すれば、厚さが1-2mm程度の超薄型のディスプレイができます。このようなディスプレイは、ブラウン管と同じ優れた特長を備えていますから、液晶のように視野角が狭く応答速度が遅いとか、PDPのように輝度が低く消費電力が多いといった欠点はありません。次世代のフラットパネルディスプレイとして大いに期待されています。さらに、2010年の超LSIのデザインルール（最小線幅）は50ナノメートルが見込まれていますが、それに対応できる技術としてマルチ極

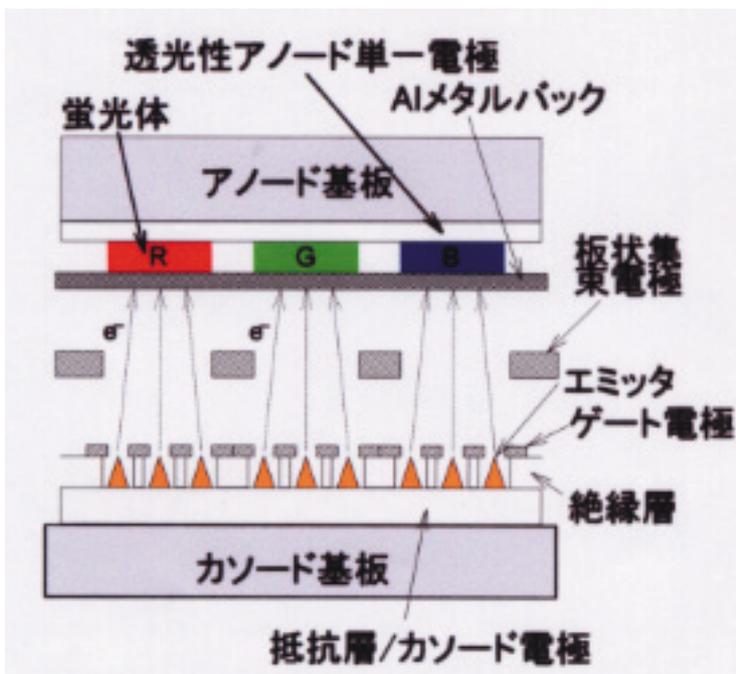


図2 極微電子源を用いたフラットパネルディスプレイの構造図

微電子源（微小電子源）を用いたマルチ電子ビーム露光が注目されています。このように、微小電子源開発は、次世代に向けて数多くの新領域を生み出すことができます。

2. 2 安定な微小電子源開発

微小電子源開発における最も重要な課題は、安定な電子源の実現です。普通、電子源といえば、タングステンなどの耐熱金属を加熱することにより得られる熱電子放出によるものを考えますが、微小電子源ではこの方法は使用できません。エミッタ、ゲート、アノードなどの電極が絶縁膜でつなが

ているため、エミッタだけを独立して昇温することができないからです。したがって、昇温不要で微小領域から電子放出可能な電界放出陰極または薄膜型陰極が用いられます。当研究室では、極微電子源として主として電界放出エミッタ（アレイ）を取り上げ、安定な電子源の実現に向けて研究を進めています。

電界電子放出量を定める主要な要因は、エミッタ材料の仕事関数と表面形状です。電子放出面にガスが吸・脱着すると局部的に仕事関数が変化して雑音の原因になります。電子放出面にイオン衝撃があったり原子が表面をマイグレーションすると表面形状が変わり電界集中の程度が変化して、やはり雑音の原因になります。当研究室では、フィールドエミッタから発生する雑音量にはエミッタの仕事関数と相関があり、仕事関数が低いほど雑音量が少ないことを明らかにしてきました。したがって、雑音の少ない安定なフィールド・エミッタ材料は、低仕事関数で、マイグレーションが起こりにくい高融点で、イオン衝撃に耐える強い原子間結合をもつものがよいことになります。当研究室では、フィールドエミッタ材料として最適な材料を探索するために、強い原子間結合性、膜の配向性制御に優れたイオンビームアシスト蒸着法を用いて種々の新材料を作製しています。ターゲットとしている材料としては、主として、遷移金属窒化物、炭化物および炭素系材料などがあります。図3は、これらの陰極材料を用いて作製した微小電子源の拡大図の例です。

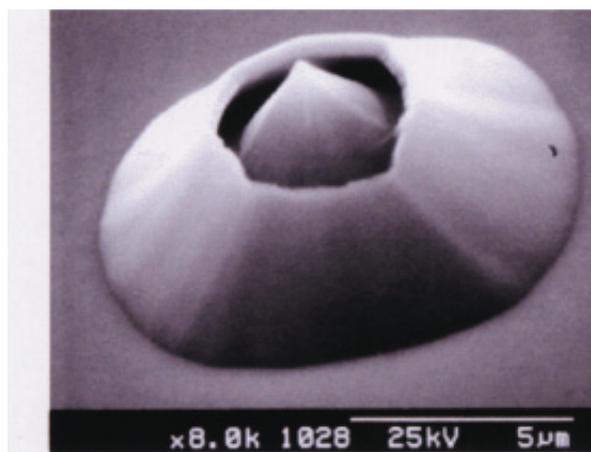


図3 作成した微小電子源の拡大図

3. 高精度制御が可能な負イオンビーム材料プロセス技術

3.1 負イオンビーム装置開発

当研究室では、イオンの発生法を原点から見直し、表面効果法の詳細な研究から従来不可能と言われてきた負イオンの多量発生法を確立することに成功しました。これまでに数多くの負イオン源を開発してきましたが、その中でも大電流が得られるものとしてRFプラズマスパッタ型負イオン源があります。種々の元素の負イオンが連続動作でmA級得られます。このイオン源を搭載した負イオン注入装置（図4）や、放電用ガスを用いないイオン源を搭載した負イオンビーム蒸着装置を世界で初めて開発してきました。

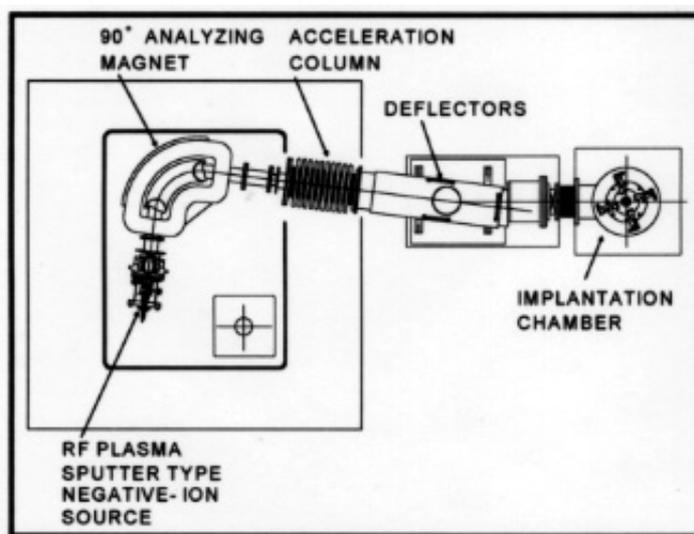


図4 開発した負イオン注入装置

3.2 負イオンと固体表面相互作用の特長

負イオンと固体表面の相互作用の特長の一つは、ビーム照射表面が絶縁性材料であってもほとんど帯電しないことです。これは、固体表面に負の電荷をもったイオンが入射しますが、放出される二次

粒子の低エネルギー電子も同じ負の電荷をもっているため、帯電が著しく緩和されるからです。

また、負イオンは正イオンに比べるとイオン内部に持っているポテンシャルエネルギーが非常に小さく固体表面との相互作用においてほとんど無視できます。負イオンはこの固体表面との相互作用において、イオンの運動エネルギーだけの効果を選択して調べることができる粒子として最適な特性を持っています。

3. 3 負イオン注入

負イオンビーム照射における特長を活かして、帯電のない負イオン注入技術が開発できます。負イオン注入法では絶縁性材料表面の帯電電位が±数V以内であることから、次世代のULSIやカラー液晶用TFTの作製において低耐電圧のゲート絶縁膜でも破壊がおこらない先端プロセスとして注目されています。また、負イオンを使えば粉体を飛散をおこすことなくその表面に精確なイオン注入ができるようになります。粉体の表面改質ができれば、各種の医用材料や触媒材料の形成が可能となり、新しい分野が開けます。さらに、ガラスのような絶縁性材料に金属負イオンを多量に注入し適度な温度でアニールすると、ナノメートルからマイクロメートル寸法の金属超微粒子が形成できます。金属超微粒子を配列した材料は非線形光学素子や量子ドット素子への適用が期待されています。

高分子材料表面を負イオン注入により改質すると、その生体適合性を正確に制御できます。図5は、スピンコートしたポリスチレン膜上にパターン化したAg負イオン注入後、その領域へのPC12h神経細胞の接着培養を行ったときの様子を示します。パターン化した形状(約60 μ m幅の線状)内に、神経細胞が接着するとともに、黒い筋状の分化・伸展した神経突起も観測できます。当研究室では、この方法を用いて人為的に神経回路網を構築しようとしています。さらに将来は、神経細胞の情報伝達や蓄積機能などの解明、さらには、生体神経と外部半導体回路のインターフェースとして神経制御による次世代の義手・義足の開発に繋がりたいと考えています。

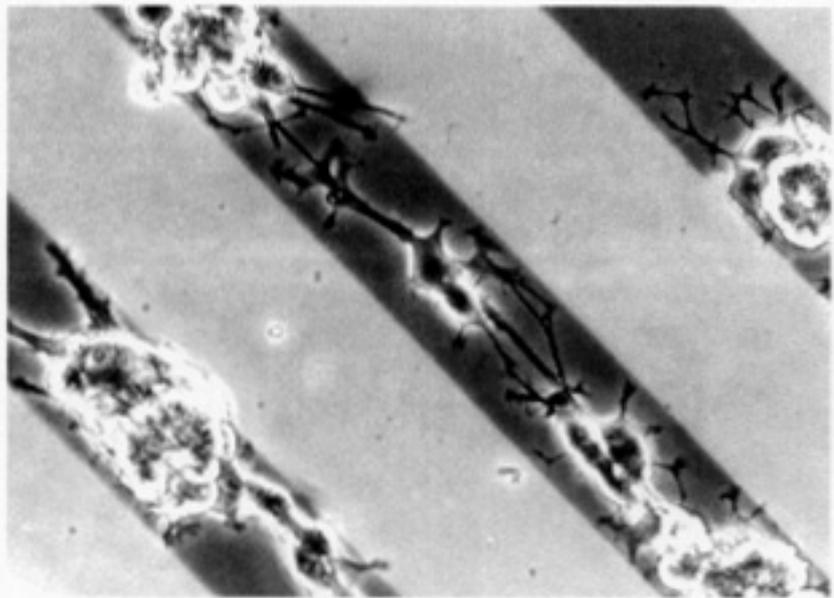


図5. 負イオン注入領域(60 μ m幅)に接着した神経細胞

さらに将来は、神経細胞の情報伝達や蓄積機能などの解明、さらには、生体神経と外部半導体回路のインターフェースとして神経制御による次世代の義手・義足の開発に繋がりたいと考えています。

3. 4 運動力結合制御

数十eV程度の運動エネルギーを持ったイオンが固体表面原子と相互作用すると、運動エネルギーが主体となった原子間結合反応が起こります。従来、総ての物質合成反応と考えられてきた熱化学平衡反応と区別して、当研究室では運動力結合と呼ぶことにしています(図6参照)。この新しい原子間結合反応である運動力結合のメカニズムを解明することも当研究室の研究課題です。負イオンは、イオン自体に内部ポテンシャルエネルギーをほとんど持っていないので、運動エネルギーだけをもちその値や軌道を自在に制御できる粒子です。当研究室では、正確に運動エネルギーや質量などを制

御した負イオンビームを用いて蒸着した膜や固体表面を詳細に評価することにより、運動力結合の解明をしようとしています。炭素負イオン蒸着では、ある特定の範囲内の運動エネルギーで形成した膜は sp^3 結合割合の非常に高いことが観測されています。イオン一個々の固体表面との相互作用をSTM観察する研究も行っています。

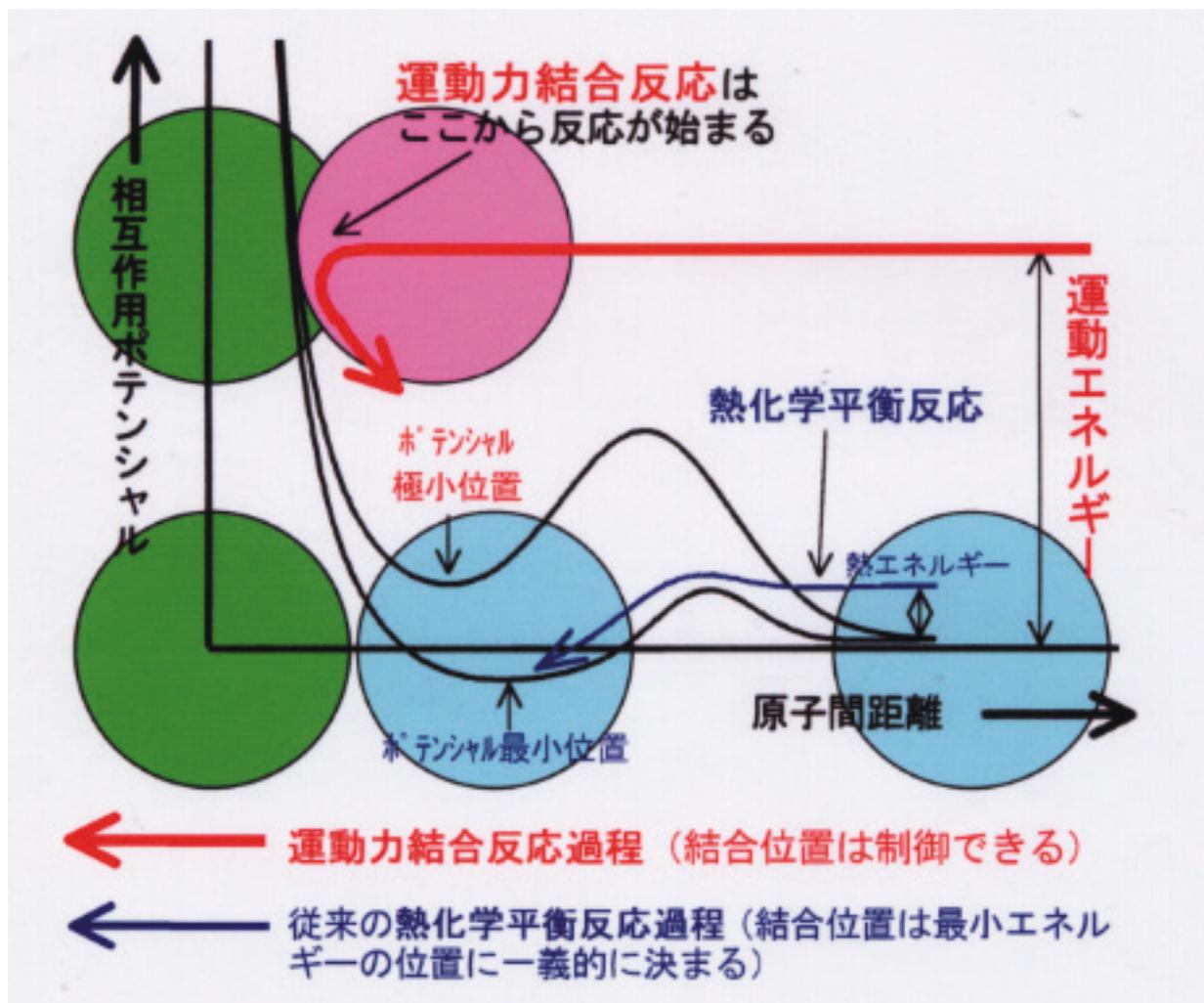


図6. 運動力結合を説明する図

4. おわりに

電子およびイオンビームはナノメートル寸法から原子寸法の範囲における加工を最も得意としています。当研究室では、これらの技術の活用と独創的な考え方を融合することによって、今求められているナノテクノロジーをさらに推進していきたいと考えています。

3次元ビデオ映像世界の開拓

情報学研究科知能情報学専攻知能メディア講座

教授 松山 隆司

tm@i.kyoto-u.ac.jp

助教授 和田 俊和

twada@i.kyoto-u.ac.jp

講師 杉本 晃宏

sugimoto@i.kyoto-u.ac.jp

1. 3次元ビデオ映像とは

1960年代から始められたデジタル画像処理研究は、この40年間に着実な進歩を遂げ、最近ではマルチメディア情報処理を支える基盤技術として更なる発展を続けている。

この間、処理対象となる画像データは、以下のように次第に多次元化されてきた。

2値画像 (2次元×1ビット)	: 文書、図面
濃淡画像 (2次元×8ビット)	: X線像
カラー画像 (2次元×24ビット)	: 衛星写真、カラスキャナ
3次元画像 (3次元×8ビット)	: 3次元CT像
動画像 (2次元×1次元×8 (24) ビット)	: ビデオ映像
距離画像 (2.5次元)	: ステレオ視、レンジファインダ
距離動画像 (2.5次元×1次元)	: 実時間ステレオ視、実時間レンジファインダ

最近では対象の周囲に多数の距離センサを配置し、得られた距離画像群から対象の完全な3次元形状を求める研究や、3次元形状とともに表面テクスチャ・色も同時に求める3次元像の復元、すなわち

3次元形状 (3次元)	: 全周レンジファインダ
3次元像 (3次元×24ビット)	: 全周ステレオ視

が実用に近づきつつある。

我々は、こうした多次元化をさらに一歩進めた3次元ビデオ映像 (運動対象の動的3次元像)、すなわち

3次元ビデオ映像 (3次元×1次元×24ビット) : 多視点ビデオ映像

の能動的実時間撮影・圧縮・編集・表示に関する研究を進めている。

3次元ビデオ映像は、コンピュータグラフィックスによる仮想的な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

ま記録した実写立体ビデオ映像で、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究極の映像メディアである。

我々は、3次元ビデオ映像という新たな情報メディアを開拓し、DVDやデジタルテレビ放送、広帯域インターネットを活かした21世紀における映像メディア技術および文化を産み育てることを目的として研究を進めている。具体的には、3次元ビデオ映像を利用することによって、以下のような応用システムが実現できる。

- ・人間国宝やオリンピック選手の動作をそのまま記録再現できる身体技能・芸能デジタルアーカイブ
- ・動物のありのままの生態を多角的に観察できるDVD 3次元ビデオ映像図鑑
- ・デジタルテレビ放送や広帯域インターネットをインフラとして使った3次元テレビ放送

以下では、これまでに開発した3次元ビデオ実時間撮影システムを紹介し、今後の展望を述べる。

2. 3次元ビデオ実時間撮影システム

現在稼働中の3次元ビデオ実時間撮影システムは、人物の周囲に配置された9台のビデオカメラと10台のPCを持つPCクラスタから構成されている(図1)。各PCにはそれぞれ我々が開発した視点固定型パン・チルト・ズームカメラ【1】が備えられており、移動する対象を実時間で追跡してその映像を撮影することが可能である【2】(対象追跡機能は現在開発中)。また、PCは高速の(1.25Gbit/sec)ネットワークで結ばれており、PCクラスタを1つの並列計算機として利用することによって実時間で3次元形状復元計算を行うことができる。

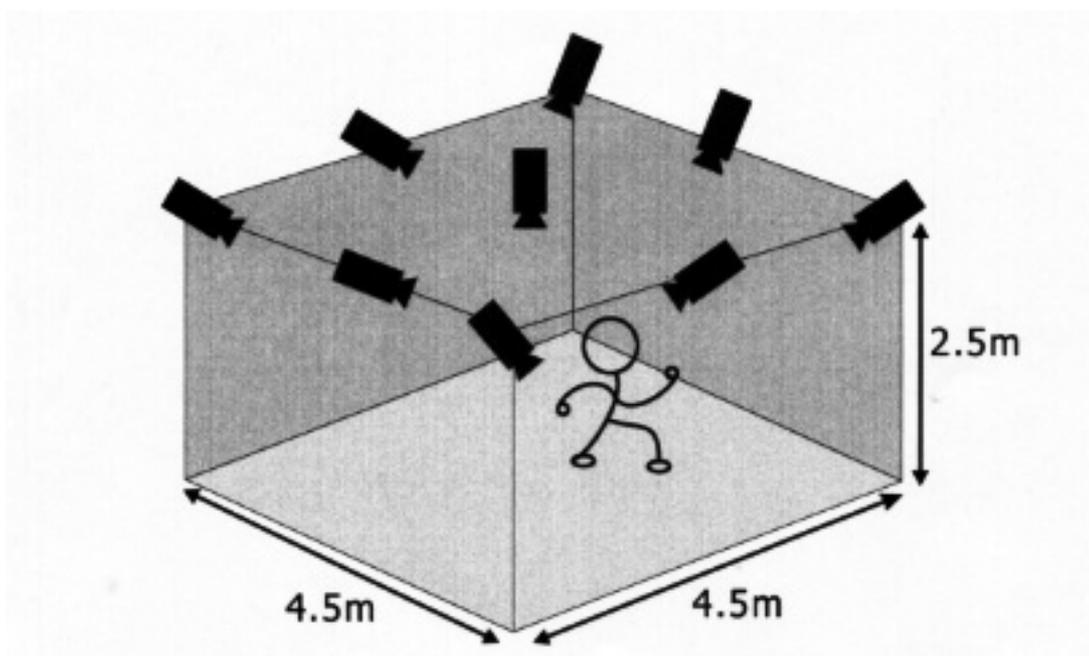


図1. 3次元ビデオ映像撮影システム

現在のシステムでは以下の方法で3次元ビデオ映像の撮影を行っている。

- (1)各PCにおいて、カメラで撮影されたビデオフレーム画像から背景差分によって対象のシルエットを抽出する。画像撮影は、ネットワークを通じた同期メッセージによって起動され、9台のカメラが同期して撮影を行う。
- (2)各カメラの投影中心(図2のPA、PB)を中心としてシルエットを3次元空間に逆投影し、得られた視体積の積集合によって対象形状の3次元ボクセル表現を求める(図2)。我々のシステムでは、この視体積交差法を高速に行うため、3次元空間を平行平面群によって表し、各平面上での対

象の断面形状を計算するというアルゴリズム（図3）を考案し、それをPCクラスタによって並列実行している【3】。

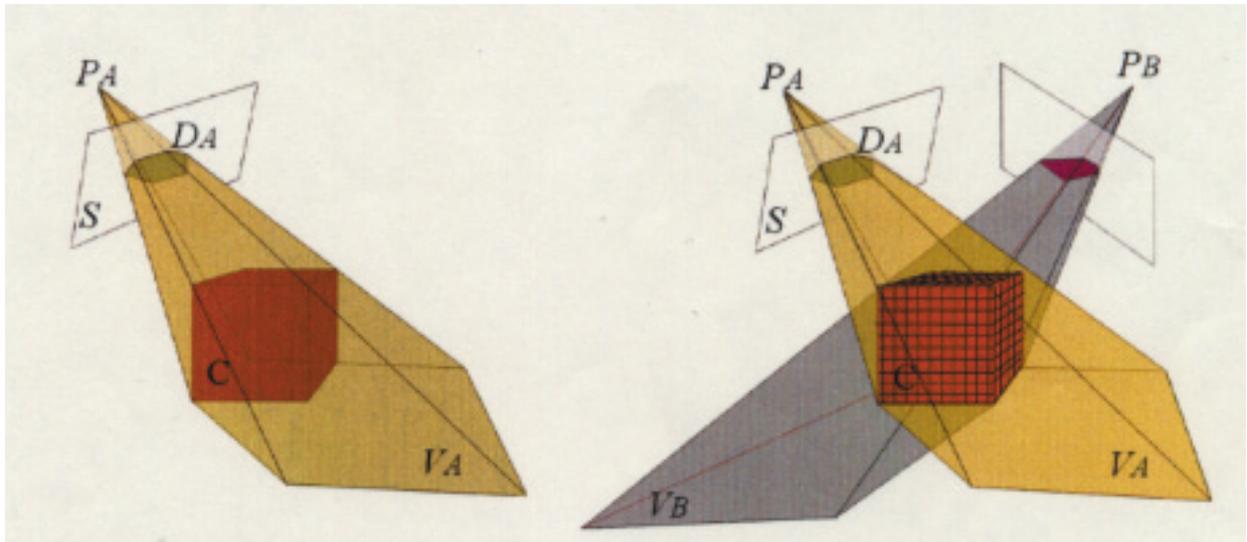


図2. 視体積交差法による3次元形状の復元の原理

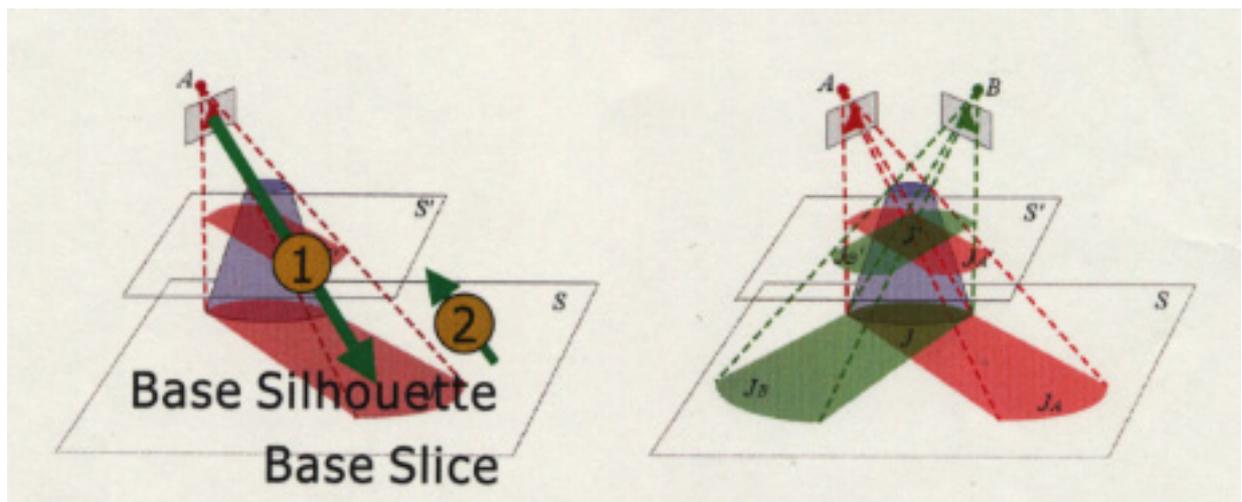


図3. 平行平面群に基づく視体積交差法

- (3) 視体積交差法で得られたボクセルデータ（図4左）の表面に3角形，4角形パッチを張り，対象の表面形状を求める（図4中央）。
- (4) パッチ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，パッチ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・色をパッチに張る（図4右）。
- (5) 以上の処理で，1フレームの3次元ビデオ映像が生成される。動画を作るには(1)～(4)の処理を繰り返えせばよい。

図5は踊っている女性の姿を撮影した3次元ビデオ映像を、適当に視点位置を移動させながら表示したものである。このように、3次元ビデオ映像の大きな特長は、対象を見る視点の位置・移動法，ズーム倍率を視聴者がその場で対話的に指定できることにあり、通常のビデオとは異なったより多角的な映像の楽しみ方が可能となる。また、対象の3次元的な運動が克明に記録されているため、スポーツや踊りにおける動作分析がより正確に行える。

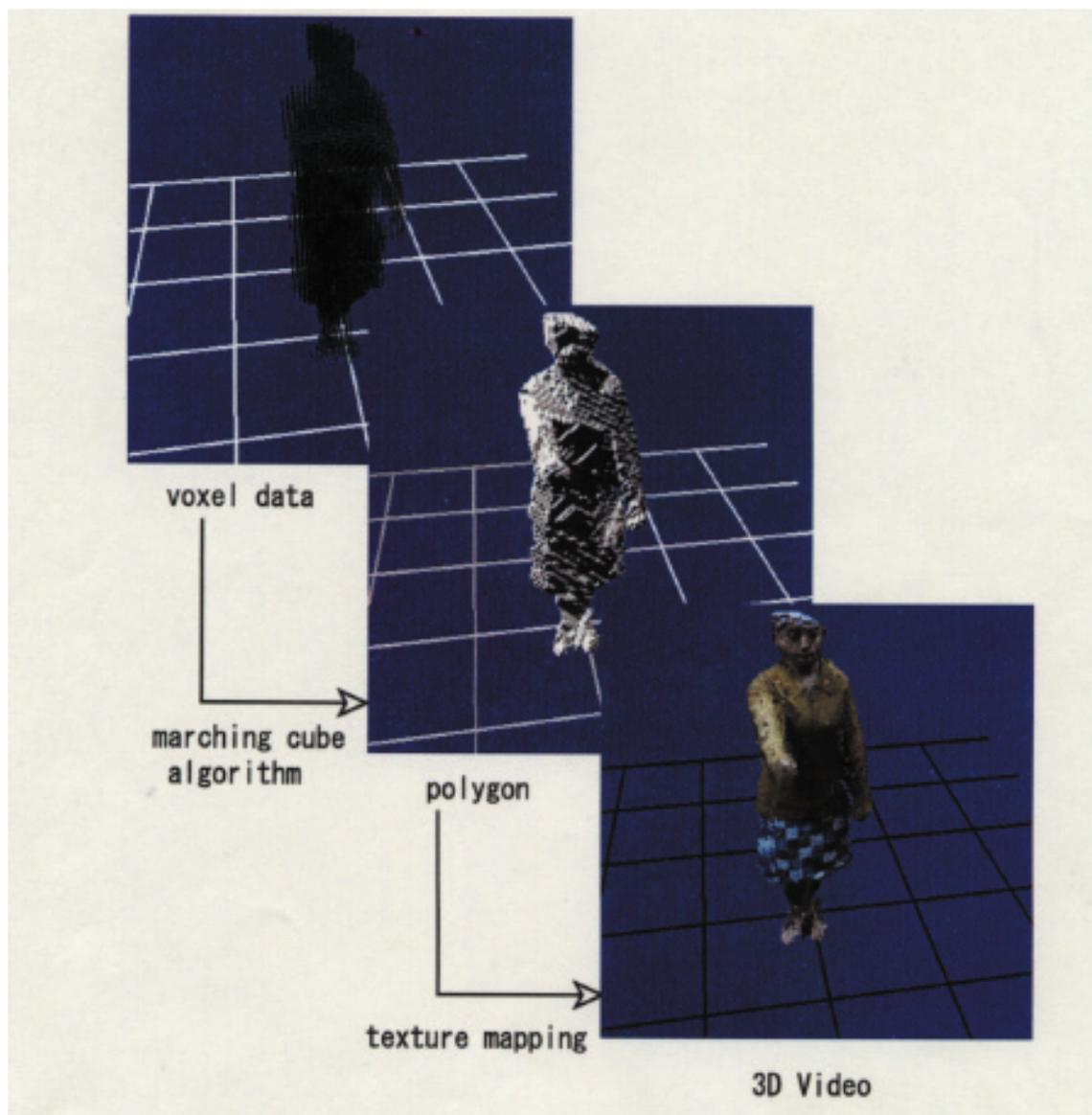


図4. 表面形状、テクスチャの復元

3. 今後の展望

現在のシステムで撮影できる3次元ビデオ映像は、空間解像度が $2\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ 、時間解像度が毎秒10コマと低く、かつカメラが小型のアナログビデオカメラであるため映像の画質も十分とは言えないのが現状である。さらに、カメラが固定されているため、対象の移動範囲も $2\text{ m} \times 2\text{ m} \times 2\text{ m}$ に限られている。

今後は、先に述べた運動対象の自動追跡機能を付加するとともに、デジタルビデオカメラを使った高画質映像の撮影、従来の2次元ビデオ映像と比べ桁違いに大量となるデータの圧縮・符号化法の考案、3次元ビデオ映像に映された対象の動作を解析し、その結果に基づいて複数の3次元ビデオ映像を編集し映像作品に仕上げるための映像編集法の考案、2次元あるいは3次元ディスプレイを使った3次元ビデオ映像の対話的表示、に関する研究を押し進め、3次元ビデオ映像を21世紀の映像メディアとして育てていきたいと考えている。



図5. 3次元ビデオ映像の表示

【参考文献】

- 【1】和田 俊和, 浮田 宗伯, 松山 隆司: 視点固定型パン・チルト・ズームカメラとその応用, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J81-D-II, No.6, pp. 1182-1193, 1998
- 【2】松山 隆司, 和田 俊和, 物部 祐亮: 視点固定型パン・チルト・ズームカメラを用いた実時間対象検出・追跡, 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No.8, pp.3169-3178, 1999
- 【3】T.Wada, X. Wu, S. Tokai, and T.Matsuyama: Homography Based Parallel Volume Intersection: Toward Real-Time Volume Reconstruction Using Active Cameras , Proc. of Computer Architectures for Machine Perception, pp.331-339, 2000

産業界の技術動向

平成13年度電気系教室懇話会講演

高度道路交通システム（Intelligent Transport Systems）

株式会社 日立製作所
森 田 憲 一

1. はじめに

平成13年10月26日、京都大学電気総合館で行われました、電気系教室懇話会にて講演させて頂きました内容の抜粋を、本原稿として寄稿させていただきます。

私は、昭和45年学部、47年修士を卒業しました電気系の卒業生で、以降（株）日立製作所の大みか工場（現在は情報制御システム事業部大みか事業所）で制御システムの設計に携わってまいりました。今日は、高度道路交通システム（Intelligent Transport Systems）と題して、最近弊社で製作したETC（Electronic Toll Collection）システムを中心にお話をさせていただきます。

2. ITSの実用化と開発

日本で動いている車の台数は7000万台を越えており、まさに車社会で、車は人々の生活に無くてはならないものになってきています。しかし図1に示すように車が社会に対して与えている、マイナスの側面すなわち交通渋滞、環境悪化、交通事故なども、無視できないレベルにきています。ITSは道路交通システムを進化させて、これらマイナスの側面を大きく改善する手段として期待されています。ITSが目指しているサービスの向上は図2に示す通りで、9つの開発分野について着々と開発が進んでいます。その代表的な例は、VICS（道路交通情報通信システム）、ETC（自動料金収受システム）、AHS（走行支援道路システム）、UTMS（新道路交通管理システム）などです。いまやカーナビの普及率は700万台（10%）に達しており、VICSユニットの普及は280万台に達しており、車は移動の手段から、移動する生活空間、すなわち人が車の中で生活を楽しむ空間として捉えるべき時代に来ています。



図1 ITSとは

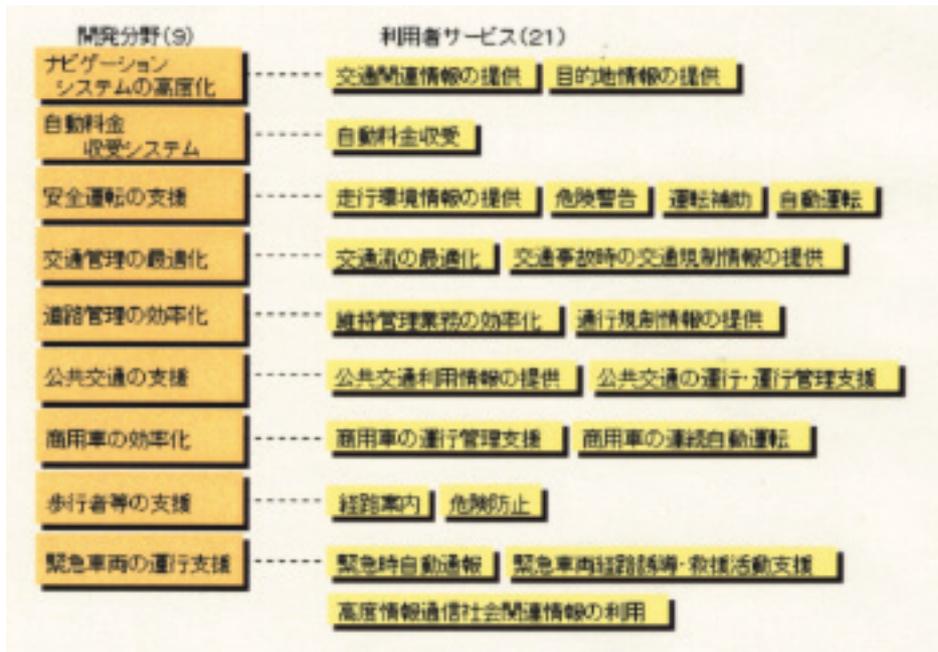


図2 ITSが実現する利用者サービス

3. ITSの全体像

図3は車の高度化・情報化を説明したものです。スマートカーと呼ばれる近未来の車はエンジン制御、自動変速制御から車体制御、メータやナビゲーションシステムまで電子部品がいたるところに用いられており、車内LANにより結合された高度分散制御システムであり、車の外とはGPS（衛星測位システム）、携帯電話、VICS, ETC、狭域通信（DSTR）などを使った、マルチメディア情報を交換する情報活用空間であります。これらを構成する要素技術、情報プラットフォームが図4に示すように着々と整備されてきています。

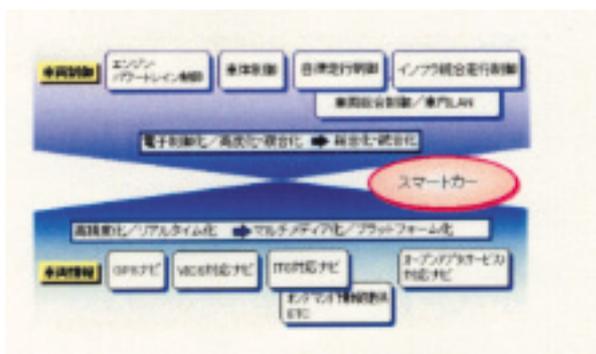


図3 車の高度化・情報化

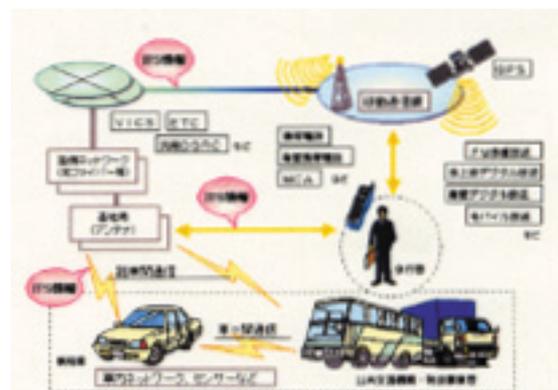


図4 ITS情報通信プラットフォーム

4. 日立的ITSへの取り組み

弊社は図5に示すように、ITSを「人・車・道ならびに移動に関するあらゆる生活空間を一体のシステムとしてインテリジェント化し、人・物の移動にかかわる問題の解決と新しいアプリケーションの開拓を目指す。」と位置づけて取り組んでいます。

ETCに関しては1995年から官民共同研究に参加し、番号、車載チップ、車載器、料金所システム、ICカード、などの開発を行ってきましたが、ETC料金所システムは、当事業所にて開発・製作したものでこれについて説明いたします。

図6にETC料金所システムを示します。車が図の右側から入ってくると、路側第一アンテナより問い合わせがあり車載器はこれに応答します。この交信で、ICカードの内容がチェックされ、ETCとして認知された車かどうかチェックされます。時速60kmで進んでくる車が4mを走る間に交信（5.8GHzで伝送速度は1Mbps）せねばなりません。実際のサイトは電波の状態が様々で、反射電波を防止する措置や、リトライなどの処理を加える工夫が必要でした。

車が第一アンテナと交信して進んでくると、路側表示機に通行可否の表示が出され、正常なETC車の場合は発進制御機（阻止棒）が開いて車が進むことができます。

これを通過した後、第二アンテナでこの地点を通過した事が車載器を経由してICカードに書き込まれます。出口では、路側アンテナと車載器の交信により、入り口と出口の情報をチェックして、料金計算がなされ、ICカードに登録している口座より料金が引き落とされます。システムは各センサーや各サブシステムが一貫した正常な動作をする場合だけでなく、異常動作や異なる判断をする場合も想定して、総合的な合理性判断や、人間系を交えての復旧手順を組み込まなければなりません。レジャーボート牽引車や平行して入ってくる二輪車の誤検出、落ち葉のセンサーへの付着による誤検出など予期せぬ問題への対応もありました。システムは料金所総数が111箇所、レーン総数が176にも及び、地理的にも各地に分散されているため、異常動作の解析や、修復に人手を要しました。また異常動作の解析は計算機のログとビデオ・カメラの比較によることが多く、要因を分類して、不具合を絞り込むにはベテランの人手を要しました。

様々な問題を解決しながら、7月の京浜地区の一部における運用開始を終了し、11月の全面供用開始に向けて頑張っております。

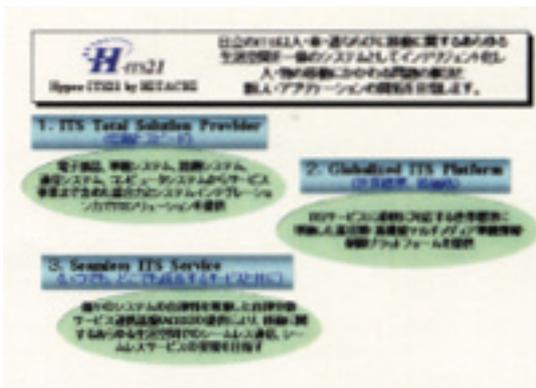


図5 日立ITS統合コンセプト

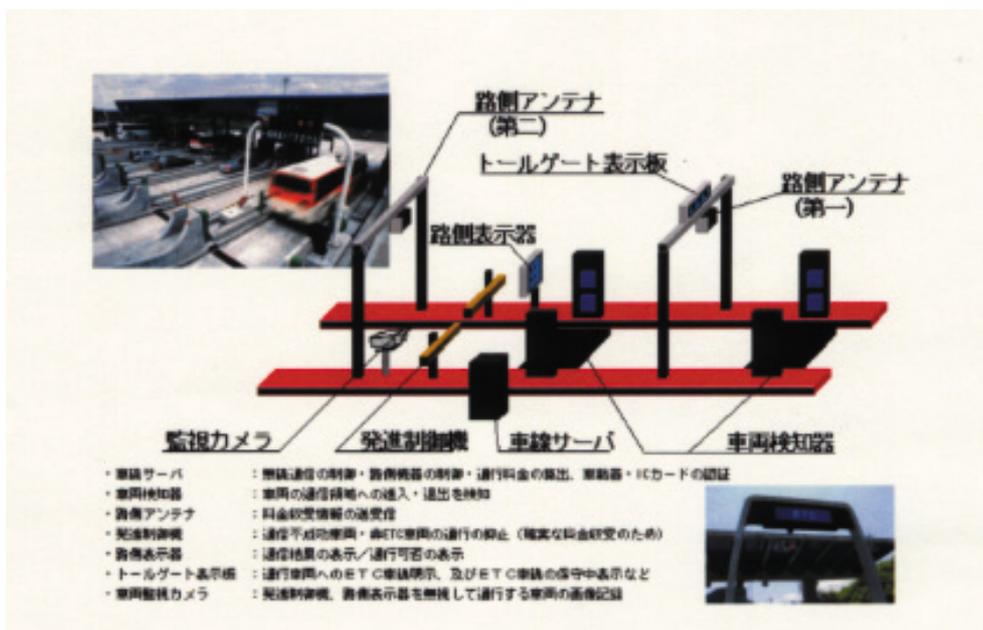


図6 ETC料金所システム

5. 今後のITSの展望

ITSは車を中心とする情報革命ですが、人間を中心として見ると家庭、企業、車と人間が存在する空間における継ぎ目の無いシームレス情報サービスとして捉える事が出来ます。図7に示すように、人間がいつでもどこでも均等なタイムリーなサービスが受けられる、ユビキタスな情報サービスとして、さまざまなサービスの発展が期待されます。

また、図8に示すように車の中は運転者が運転に専念するフロントシートと、後部座席で同乗者がリラックスするバックシートに分けられ、異なる情報サービスが必要となります。安全運転と情報を楽しむという異なった目的に向けたヒューマン・インターフェイスが開発されています。ITSをビジネスの面から見ると図9に示すように、公共インフラとしての開発、ビジネスの基本である業務ビジネスの発展、パーソナルなサービスの拡充として捉える事が出来ます。ITSの経済効果は2000年から2015年までの累計で60兆円（全産業へは100兆円の経済波及効果）と予測され、日本が世界に発信する技術として開発していくことが重要であります。



図7 シームレスITSサービス

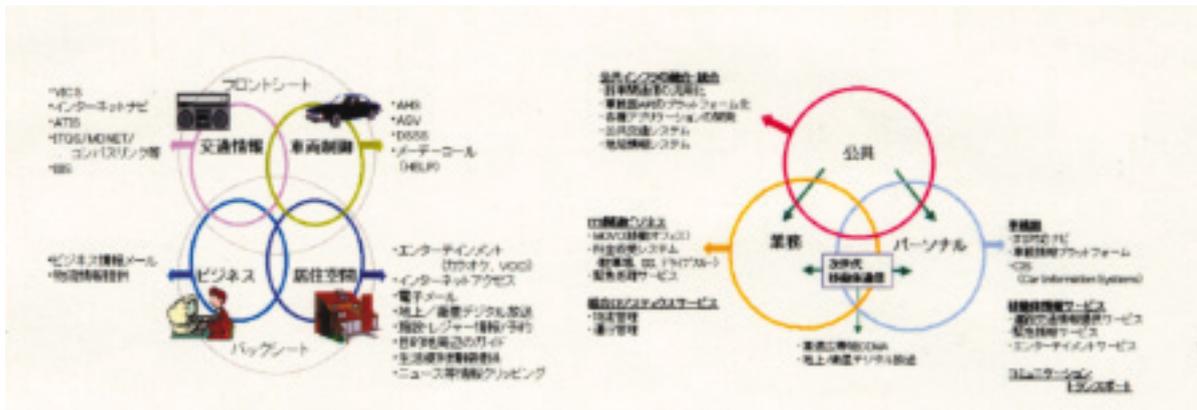


図8 利用シーンの拡大

図9 ITSビジネス領域の拡大

6. おわりに

空気と安全と水はタダであるとの認識が永く日本にはありましたが、これが米国テロを初めとする急激な情勢変化で変わりつつあります。情報や音楽や放送はタダであるという認識も同様の認識としてありましたが、これを変えていきたいと思えます。すなわち無形の情報に対しても価値を認めて対価を払うという価値観の変化を、我々の間から発信する事により、日本の産業・技術をさらに発展させる事をお願いして、私の話を終わらせていただきます。

このような発表の機会を与えて下さいました先生方に御礼申し上げます。

新設研究室紹介

電力工学講座 電力変換制御工学分野（引原研究室） 「電源技術からの新しいシステムの構築」

今世紀の技術の花形は、バイオ、ナノテクノロジー、環境へ向かい大きくシフトしている。一方、電力変換技術（パワーエレクトロニクス）は基盤技術として電気エネルギー伝送の末端技術に埋没したといわれている。この認識を否定し、新しい研究開発の方向性を示していくことが本研究室の課題である。現実には、新技術のどれを取っても不可欠なのが、効率的なエネルギー供給システムの開発と情報である。情報の伝送速度に合わせて末端での作業を可能にするためには、電気エネルギーの細かい制御が不可欠となる。任意の形状で、任意の速度で、任意のエネルギー密度の電力を得ることが要求される。本研究室は、このような広い対象分野に関わる電力変換技術と新しい制御技術、情報工学との融合を図ることを目的としている。以下、取り組んでいる研究テーマについて簡単に述べる。

1. 小容量電力変換技術

種々の直流電力の発電、蓄電の普及、およびそれらの装置の小型化、大容量化に伴い、直流を自在に変換して利用することが必要となる。計算機のMPUの駆動では、計算速度を速め、消費電力を下げるために低電圧大容量の電源が必要とされる。また、モバイル機器などではバッテリー寿命を延ばすために負荷の動的制御がなされ、電源は常に過渡状態で使用することが要求されている。さらに自動車車載電源は、これまでの電源を従とする考え方から主とする考え方へ転換している。従来定常負荷を前提として設計された電源において、設計、制御の考え方に関して今後一層の研究開発を必要としている。これらに対して、特にスイッチングダイナミクスを考慮した制御ルールの導入、高速素子と情報回路との融合による新しい機能性を付加することに主眼を置いて研究を進めている。電力供給自体の多機能化で新しい機器の可能性も期待できる。

2. 大容量電力変換技術

電力技術は現在大きな転換点を迎えている。従来受動的な調整が主体であった電力の制御に、パワーエレクトロニクス技術を用いた能動制御可能なFACTS機器が多数導入され、電力が瞬時的に制御されている。さらに太陽光、風力、などの小容量の分散電源がインバータを介して系統に連系され、分散電源による独立電源環境構築も可能となっている。一方、従来の電力技術にこのような機器を持ち込む際の課題も生じている。これらに対して、システム解析を数値シミュレーションのみに頼る危険性を認識し、種々の回路シミュレータを製作し、その結果に基づいてシステムの再構築、電力システムの構築を電力変換技術の立場から進めている。

3. 電気応用工学

電力応用技術として、磁気浮上搬送システムの開発、高温超電導磁気軸受を用いたフライホイール電力貯蔵装置、柔構造体浮上システムの開発を手がけてきた。これらは電磁力を電源を介して制御するシステムで、電力変換技術と機械システムとの融合系である。これらのシステムには理論的に未解決な問題があり、両面から研究を続けている。さらに、この課題の延長としてTetherの制御、フレキシブルマニピュレータ、MEMS、多軸アクチュエータの開発などを手がけていく計画である。

4. 非線形システムの数理的検討

非線形常微分方程式の力学系理論に基づく解析、電力系統の過渡安定問題に関連した引力圏境界の検討、時間遅れ系や偏微分方程式に代表される無限次元系の関数空間に基づく検討、結合系の大域的構造に関する検討、そしてハイブリッドダイナミクスの力学的検討を行っている。これらは、上述のシステム開発をEngineering Scienceの領域で議論し、理論的に確実なものとする研究である。実験に対して常にその理論的視的で検討を加えるためには、この様なアプローチは重要となる。

研究室紹介

このページでは、電気系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)

電気系関係研究室一覧

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 (牟田研)
- 電力工学講座 **電力発生伝送工学分野 (宅間研)**
- 電力工学講座 **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 (奥村研)**
- 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

電子物性工学専攻

- 集積機能工学講座 (鈴木研)
- 電子物理学講座 **極微真空電子工学分野 (石川研) ☆**
- 電子物理学講座 プラズマ物性工学分野 (橋研)
- 機能物性工学講座 **半導体物性工学分野 (松波研)**
- 機能物性工学講座 電子材料物性工学分野 (松重研)
- 量子工学講座 **光材料物性工学分野 (藤田研)**
- 量子工学講座 光量子電子工学分野 (野田研)
- 量子工学講座 量子電磁工学分野 (北野研)

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

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
- 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 **大規模集積回路分野 (小野寺研)**
- 集積システム工学講座 情報回路方式論分野 (中村研)
- 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 (英保研)
- システム情報論講座 医用工学分野 (松田研)

エネルギー科学研究科

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 (吉川栄研)**
- 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)
- 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)**
- 応用熱科学講座 エネルギー応用基礎学分野 (野澤研)

エネルギー理工学研究所

- エネルギー生成研究部門 **原子エネルギー研究分野 (井上研)**
- 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 (大引研)**
- 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)**

宙空電波科学研究センター

- 地球電波科学研究部門
- 大気圏光電波計測分野 (津田研)**
- 宇宙電波科学研究部門
- 宇宙電波工学分野 (松本研)
- 電波科学シミュレーション分野 (大村研)
- 電波応用工学研究部門
- マイクロ波エネルギー伝送分野 (橋本研)
- レーダーリモートセンシング工学分野 (深尾研)

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

- 先進電子材料分野 (藤田静研) §
- ベンチャー分野 § §

注 § 工学研究科電子物性工学専攻藤田茂研と一体運営

§ § 工学研究科電子物性工学専攻橋研と一体運営

電磁工学講座 電磁エネルギー工学分野（島崎研究室） 「代数的マルチグリッド法による高速電磁界解析」

近年、CADシステムの普及などにより、実用的な電気機器の設計段階において数値解析によるアプローチが重要となっていますが、電磁界問題を対象とした数値解析の多くは有限要素解析をベースにしており、最終的には大規模な連立一次方程式を解くことに帰着します。島崎研究室では、これらの有限要素解析に有用な高速ソルバの開発を研究テーマの一つとし、CG法やGMRES法、BICGSTAB法などの代表的なソルバと、その並列分散処理について研究を行ってきました。CUE1999年12月号においては、並列処理が困難であることが知られている不完全コレスキー分解を前処理としたCG法(ICCG法)について、ソルバ内で自動的に係数行列のオーダリングを変更する手法によって良好な並列化効率を得た成果について紹介しています。これらのソルバは高い汎用性と簡便性を大きな長所としていますが、最近ではより高速な解法としてマルチグリッド法が注目されています。

①代数的マルチグリッド法の導入による解析の高速化

有限要素解析で現れる連立一次方程式にクリロフ部分空間法を適用して求解する場合、問題のサイズが大きくなるにしたがって、近似解が十分な精度に収束するまでに必要な反復回数が増加し、計算時間が急激に増大することが知られています。これに対してマルチグリッド法は、必要な反復回数が理想的には問題サイズによらず一定であり、大規模問題に対する優位性から注目を集めています。しかしながら、マルチグリッドソルバにおいてはコーディングに問題依存の部分が大きく、汎用ソルバの開発が困難です。そこで、島崎研究室では、ソルバの汎用性を最大限保ちつつ高速化を行う目的で、代数的マルチグリッド法の導入を検討しています。

代数的マルチグリッド法は、マルチグリッド法のコンセプトによって非常に速い収束を得る一方で、係数行列と右辺ベクトル以外の情報を使用しないという特徴を持ちます。このためICCG法などと同様にブラックボックス的に扱うことが可能で、当研究室の指向する汎用ソルバの開発に適しています。図1は、2次元静磁界解析について代数的マルチグリッド(AMG)法とICCG法による計算時間を比較したものです。問題の規模が大きくなるほど代数的マルチグリッド法の優位性が高いことが分かります。

②並列分散処理

最近の電磁解析分野では、3次元問題、非線形問題、過渡現象問題などの計算量の多い問題を扱う場合が多くなってきており、計算機にもその大容量性、高速性が求められています。これらの要請に対する解決策の一つとして並列コンピューティングが挙げられます。島崎研究室では、有限要素解析に対する高速ソルバの開発において、並列計算機を用いた高速化を主幹として研究を展開してきました。代数的マルチグリッド法を用いたソルバについても、その並列版を開発し、渦電流解析のサンプル問題について高い速度向上を得ています。(図2)

③今後の展開

今後は、マルチカラーオーダリングによるICCG法の並列化、辺要素有限要素解析における代数的マルチグリッド法の適用などについて検討を行っていく予定です。

文献 [1] T. Mifune, T. Iwashita, M. Shimasaki, "A Fast Solver for FEM Analyses Using the Parallelized Algebraic Multigrid Method," IEEE Transactions on Magnetics, 2001 (掲載予定)

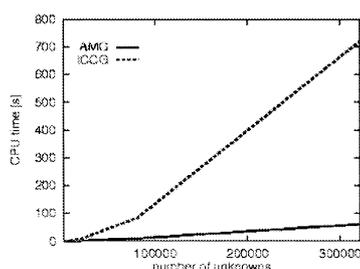


図1 計算時間の比較

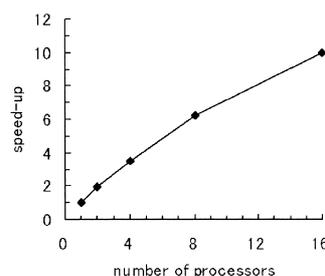


図2 並列化による速度向上

電気分野 電力発生伝送電学分野（宅間研究室）
 「混合ガス絶縁と混合ガスの分離回収法の開発研究」

現在の電気分野におけるガス絶縁方式には絶縁能力の優れたSF₆ガス（六フッ化硫黄ガス）が専ら使われています。しかし、このガスは地球温暖化効果（GWP：Global Warming Potential）がCO₂に比べて約24,000倍と非常に大きいため、1997年に京都で開催されたCOP3ではCO₂や他のフロンガスなどとともに削減対象ガスに指定されました。CO₂の排出量に比べるとSF₆のそれは絶対量が少ないため、温暖化への寄与は全体の1%にも満たないと見積もられていますが、ヨーロッパでは使用を禁止する国や購入するときに高額な税を課す国が出ています。

SF₆の使用量を削減するために現在各国で研究されているのがN₂などの通常ガスにSF₆を少量加えた混合ガスを用いる絶縁方式です。これは、SF₆の分量が体積比で10%ないし20%と少なくとも絶縁性能がそれほど低下しないという非線形効果（相乗効果）を利用するものです。絶縁性能が低下した分はガス圧の増大によって補うことになりますが、SF₆の量は5分の1程度に下げることができます。

混合ガス絶縁を実用化する際の最大の問題は混合ガスの分離回収装置がないことでした。すなわち、機器の保守や廃棄のときにSF₆だけを分離して回収する必要がありますが、液化温度が低い（約-60℃）ために従来の液化法では大気への排出量が数十%にも達し、これでは混合ガス絶縁に切り替える意味がなくなってしまうからです。当研究室ではCOP3の直後から混合ガス絶縁の研究と同時に分離回収法の開発研究に着手しました。前者については別の機会に報告します。

われわれが用いたガス分離法は高分子膜を用いるもので、SF₆の膜透過速度がN₂よりも二けたほど小さいことを利用します。1段の膜だけでは漏れ出るSF₆が幾分大きいため、図1のように、2段の膜（M₁、M₂）で分離するように工夫しました。それぞれの段に供給するガスの圧力（P₁、P₂）をパラメータとし、また回収側のガス流量（I_b）を変えて実験を繰り返しました。図2のように、この方法で分離回収したSF₆の濃度は99%と高く、漏れ出るSF₆の量、すなわち回収損失は1%程度と小さくすることができました。この装置はモレキュラーシーブ（分子ふるい）を用いるPSA（Pressure Swing Adsorption）法など他の方法の追随を許さない高純度で低損失のガス回収装置であり、ガス処理速度も十分に大きく実用に耐えるものです。混合ガス絶縁技術とガス分離回収技術とによって、近い将来混合ガス絶縁を用いた電力機器が実現するものと期待しています。

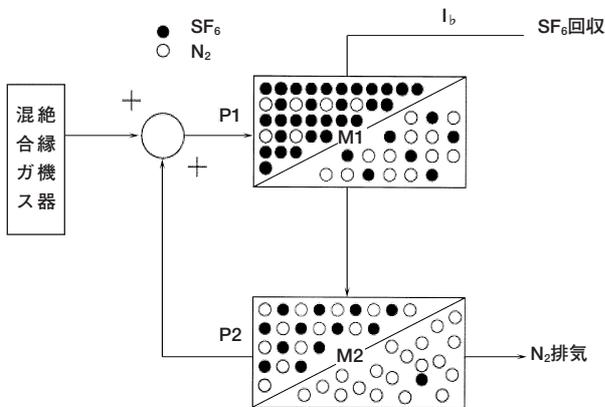


図1 ガス分離の概念

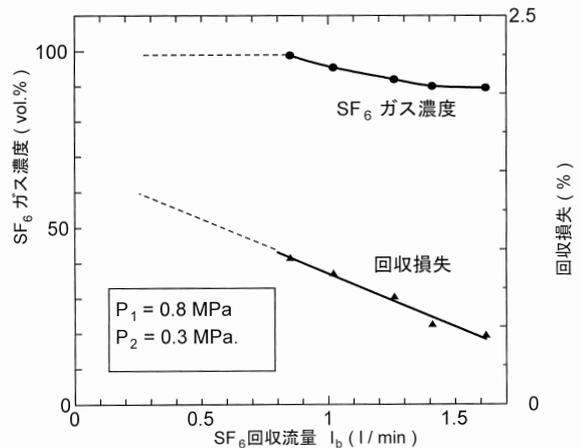


図2 実験結果

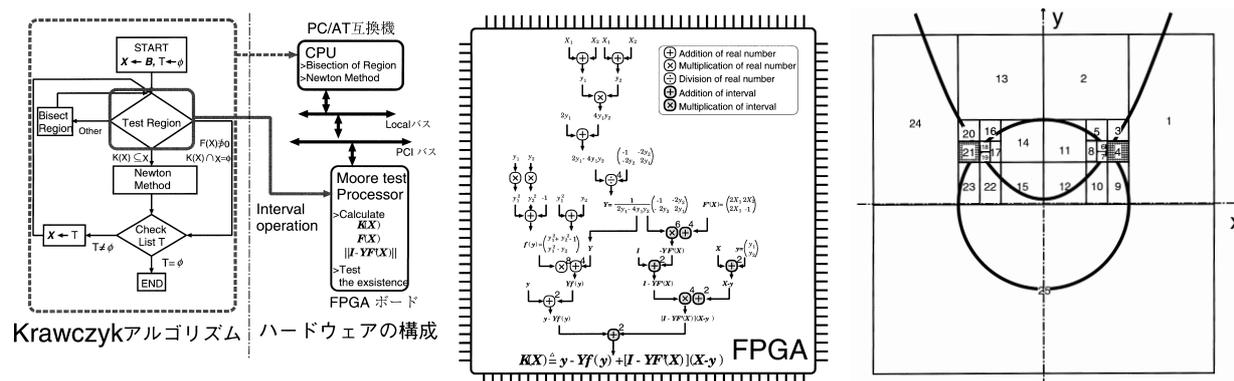
電気システム論講座 電気回路網学分野（奥村研究室） 「アルゴリズムのハードウェア化」

1. はじめに

FPGA (Field Programmable Gate Array) は再構成可能 (Reconfigurable) な集積回路で、チップ上に瞬時に論理回路を構成できます。このチップを用いることにより、これまでソフトウェアとしてCPUに計算させていた様々なアルゴリズムを回路として実現し、高速に実行することが可能になります。当研究室では、このチップをAT互換機のPCIバス上に実装することによって、アルゴリズムをリアルタイムシステムとして実現する方法を提案しています。

2. 方程式のすべての解を求めるシステム

連立非線型方程式のすべての解を求める方法として、区間演算を用いたKrawczykのアルゴリズムが知られています。しかしこの方法は膨大な数の区間演算を必要とするため、大規模な問題に直接適用することは難しいとされてきました。そこで当研究室では大規模並列アルゴリズムを提案してきましたが、さらにFPGAを用いてこのアルゴリズムのハードウェア化を行いました。下図は円と放物線の交点を求めるチップの試作例を示しています。区間演算を用いて解の存否を判定する部分 (Moore test) を専用ハードウェアとして実現することにより、高速な全解探索システムが実現できます。



1) アルゴリズムのハードウェア化

アルゴリズムをハードウェアとしてFPGAで実行させる部分とソフトウェアとしてCPUで実行させる部分に分けます。

2) 方程式をチップ上に実現

FPGAの再構成可能性を利用すると、方程式までも回路として実現できます。この図はKrawczyk関数の実現例です。

3) 全解探索の結果

区間演算を用いたMoore testを行うと、円と放物線の交点を含む領域が抽出されます (番号は探索の順序)。

3. 故障点検出システム

電力ネットワークにおける故障の検出および故障点の標定には、現在30~50ミリ秒を必要としています。当研究室ではウェーブレット変換と自己相関関数を用いることにより、故障点の検出および標定が1ミリ秒以下でできる方法を提案しました。そこで、このアルゴリズムを実際にハードウェア化し、電力ネットワークの故障点を検出するシステムを作成しました [1]。作成したシステムは、1個のウェーブレット変換プロセッサと2個の自己相関プロセッサを用い、AT互換機のPCIバス上に実装することにより、UNIXを用いて制御可能なシステムを構築しています。

<参考文献>

[1] 久門 尚史, 田中 宏司, 奥村浩士: "ウェーブレット変換による伝送線路の故障点標定システム," 電気学会論文誌B, Vol. 121-B, No.9, pp.1139 - 1148, 2001.

集積機能工学講座（鈴木研究室）

「機能集積ナノ構造を利用した短パルス固有トンネル分光」

約1ナノメートル程度の薄い絶縁層(障壁層)を電子が透過するトンネル効果は,ジョセフソン効果など多彩な量子現象の起こる,物理と電子デバイスの重要な舞台である。この現象が発現するためには,電子がトンネルする絶縁層あるいは障壁層が平坦で均一であることが重要である。これまでジョセフソン接合などトンネル接合が作られてきたが,良質な特性を示す接合は金属の表面をその物質の酸化物で被膜する方法により作製されたものであった。異なる物質の絶縁膜を堆積してトンネル接合を形成する方法はほとんど成功しない。このように,異なる電子機能を有する異種物質のナノスケールにおける機能集積化が,非常に魅力的であるにもかかわらず,極めて困難である。

一方,層状結晶構造を有する高温超伝導体あるいはマンガン酸化物強磁性体の中には,トンネル接合が結晶の中に天然に形成されている物質がある。こうした接合の障壁層は原子レベルで平坦であり,理想的なトンネル特性が観察され,固有トンネル接合と呼ばれている。また,そうした固有トンネル接合がジョセフソン接合などになっている物質は,量子機能が集積されていることなどから機能集積型複合酸化物と呼ばれる。当講座では,先端技術を駆使して機能集積型複合酸化物の電子機能を抽出し,そのデバイス化のための基盤技術を開発し,新しいデバイス機能の創成を目的としている。

図1は微細加工技術を用いてビスマス系高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ の単結晶から切り出した微小メサ構造(10 μm 角,15nm厚)の電流電圧特性である。ステップ状の電圧分枝の数が8本見られ,このことから微小メサ構造には8個の固有ジョセフソン接合が含まれていることが確認できる。こうして得られた接合は理想的なトンネル特性と考えられ,基礎的な物性研究からエレクトロニクス応用まで幅広く利用可能である。その一つの例として,当研究室ではこうした微小メサ構造を利用した短パルストンネル分光法を開発した。この方法は物質の表面状態に影響されないという他の分光法にない優れた特長を有している。図2は最近の実験結果である。分光時におけるパルス形状を改良して電界降伏を抑制し,広い電圧範囲でのデータ取得が可能となり,転移温度 T_c (図の点線で示す特性)においてもギャップ構造を示す擬ギャップが十分観察可能となった。この実験結果から高温超伝導体における擬ギャップの構造および超伝導ギャップとの関係など重要な知見を得ている。

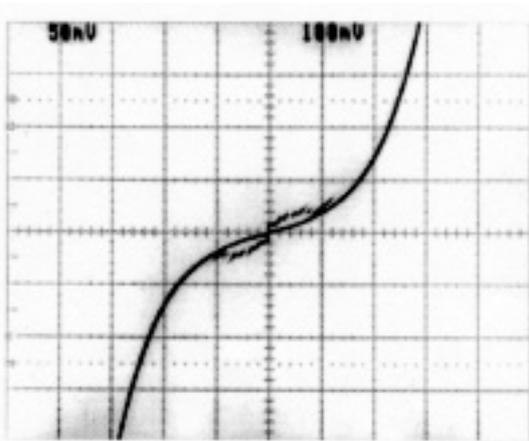


図1 : $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ 微小メサ構造の電流電圧特性。X軸:100mV/div,Y軸:0.5mA/div。

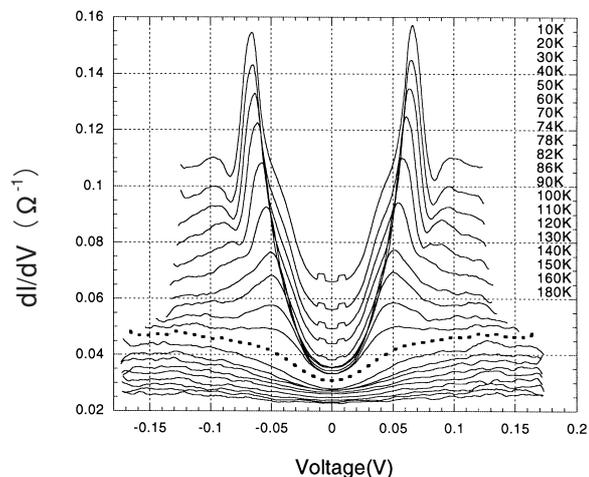


図2 : $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ 微小メサ構造のトンネル分光 (dI/dV) 特性。

機能物性工学講座 半導体物性工学分野（松波研究室）

「次世代パワー半導体デバイス実現を目指すシリコンカーバイドの研究」

ワイドギャップ半導体シリコンカーバイド (SiC) は、シリコン (Si) に比べて、絶縁破壊電界強度が約10倍、飽和電子速度が約2倍、禁制帯幅と熱伝導率が約3倍という優れた物性値を持つ。これをパワーデバイスに適用すれば、デバイスが小型化され、動作時のジュール損失をSiより2桁程度下げられる。また、高速動作によってスイッチング時の損失を極端に少なくできる。さらに、高温動作ができるので、冷却装置の大幅な小型化、簡素化（水冷→空冷など）ができる。この技術が実用できればパワーエレクトロニクスの枠組みを大きく変えて電気エネルギーの有効利用が図れ、ひいては環境への負荷を小さくすることができる。しかしながら、SiCパワーデバイスの実現には、高品質の結晶成長技術、デバイスプロセス技術の確立の面で大きな課題が立ちだかっていた。

研究室では、SiCパワーデバイスの実現を目指して、高品質の結晶成長技術、デバイスプロセス技術を確立し、基本デバイスを試作して、その高性能を提示することに力を注いできた。1) 「ステップ制御エピタキシー法」を提案し (1987)、それまでは不可能であった高品質SiC単結晶層を、気相化学堆積 (CVD) 法を用いて300°C以上も低い温度で作製できるようにした。基本概念は、SiC結晶 (0001) 面から数度傾けたオフ基板を用い、ステップフロー成長を活用して、基板が持つ複雑な積層構造を容易に継承させることにある。現在、不純物を添加しない結晶でppb (10^{-9}) の超高純度を達成し、成長中の不純物添加によってp型、n型の精密な導電性制御法を確立している。物性面から本方法のすぐれた点を示したほか、結晶成長機構の詳細な研究を行い、学術的にその理由付けを行った。2) パワーデバイス製作の重要技術として高温イオン注入法による局所的な不純物添加法を提案し、注入後のアニール条件を確立して、SiCへの実用技術としての道を開くきっかけを作った。n型、p型とも実用の域にあるが、p型についてはさらに改善の余地がある。3) 高品質エピタキシャル成長層を用い、耐圧1kV以上で低損失のショットキーダイオードを試作し、実用の可能性を示した (1993, 1995)。物性面では、SiC結晶の極性面 (Si面、C面) の違いによってショットキー障壁高さが異なることを見だし、その物理的根拠を明らかにした。この成果は、世界的な規模で半導体SiCの応用展開を目指した研究に拍車をかけた。現在、Siでは実現できない中耐圧 (300V, 600V)・低損失の高速ショットキーダイオードが市販されるようになってきている。4) スwitchングトランジスタは動作時以外に電流の流れないノーマリオフ型が望ましく、それにはパワーMOSFET (金属・酸化膜・半導体電界効果トランジスタ) が適している。しかしながら、SiO₂/SiCのMOS界面に存在する多数の欠陥があり、反転層の電子移動度が極端に小さくなって、MOSFETの特性が悪い。このため、SiCパワーMOSトランジスタの実現は、当面、困難であろうとの認識が固まりつつあった。1999年、従来の (0001) とは異なるSiCの新しい結晶面方位 (11 $\bar{2}$ 0) を用いることによって、長年の課題であったMOSFETの性能を約20倍向上させ、SiCを用いるパワーMOSFET実現化への可能性を示した。電子移動度が負の温度依存性を持つので、温度上昇に連れて電流が減少することを意味し、パワーデバイスとしては安定動作が期待できる。現在、SiCショットキーダイオードを用いる低雑音スイッチング電源が使われる状況にある。今後は、家電、自動車、産業用モータ制御用インバータとして、システム面での実施例研究へと発展するであろう。直径3インチの基板結晶が市販され、結晶欠陥も低減しつつあるので、高耐圧・大電流のパワーデバイスが比較的近い将来に実現できよう。研究室では、それに向けての研究を鋭意展開している。なお、このSiCの研究に対して、文部科学省の科学研究費特別推進研究 (1997~2000) を受け、項目1)、2)、4) の研究項目で大きな成果を得た。関連して、産業界を中心として、産業経済省が「超低損失電力素子」の国プロジェクトを展開させている。この材料に関連する国際会議 (つくば、2000) に国内外から500人を越える参加者があり (海外から約240人)、基礎と応用の繋がりがたいへん強くなってきている。

量子工学講座 光材料物性工学分野（藤田研究室）

「ZnO系薄膜の高品質化と物性制御およびその応用に関する研究」

ZnO系材料は、従来、粉末結晶体、多結晶薄膜、焼結体といった形で透明性導電膜、表面弾性波デバイス、トランスデューサ、触媒膜、蛍光体、バリスタ材料など、多様な用途に利用されてきた。一方、この材料は、3.4eVという広い禁制帯幅をもつワイドギャップ材料で、しかも励起子結合エネルギーが60meVという大きな値を有するため、可視から紫外にわたる広い波長領域で動作する「励起子光機能デバイス」材料としても高いポテンシャルを有する。さらに、このような特徴ある光機能と従来の多様な機能との集積・融合を図ることで、新しい多機能・高機能デバイスの創出に結びつく可能性が高い。しかしながら、このような新機能デバイスを実現させるためには、高純度・高品質単結晶薄膜の成長技術の確立と半導体デバイス材料として位置づけ得るように電気的・光学的物性制御が必須である。近年、エピタキシャル成長技術の進展によりZnO系においても高品質化と光機能デバイス実現に向けた研究が世界的に活発化している。本研究では、目標とするデバイスに必要な機能を最大限に引き出すという戦略から様々な薄膜成長法を試み、高品質化成長条件の最適化を図るとともに、現技術レベルでは困難とされている物性制御に挑戦しそれを達成する技術を開発することを目的に研究している。ここでは、その基礎的な研究の一端として、大面積基板適応性、量産性、選択成長性、制御性等に優れた有機金属気相成長法（Metalorganic Vapor Phase Epitaxy: MOVPE）を用いたZnOの結晶成長とその光学的特性に関する研究の概要を紹介する。

ジエチル亜鉛（diethylzinc：DEZ）、 N_2O を原料としたMOVPEにより、ZnOバルク単結晶を基板としたホモエピタキシャル成長を行っている。基板の成長直前の熱処理による高温清浄化により成長層の核成長制御を行い、X線ロックアップカーブ半値幅200sec、9Kにおけるホトルミネセンス半値幅3meV（図1）と、表面平坦性が良好で（図2）結晶性に優れたZnO単結晶薄膜を得ることができ、高品質化が達成されつつある。さらに、ZnO系発光デバイスとSi集積回路との融合を目的として、Si基板上への成長に関する検討も行っている。基板表面での核成長制御が課題ではあるが、バンド端での紫外発光が支配的なZnO薄膜を成長可能となった。緩衝層の最適化で高品質化への見通しが得られるものと期待している。また、デバイス化への基本的要請であるp型層の実現に向け、窒素の添加実験も行っている。アクセプタ準位の形成は確認しているがp型層の特性評価を定量的に行う必要がある。結果を成長条件に反映させることによりp型化に向けた電気的特性の制御が可能になるものと期待される。

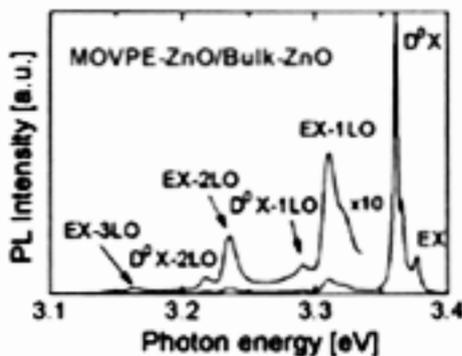


図1：バルクZnO上にMOVPE成長したZnOのホトルミネセンススペクトル。狭い半値幅を持った励起子発光 (D^0X) が観察される。

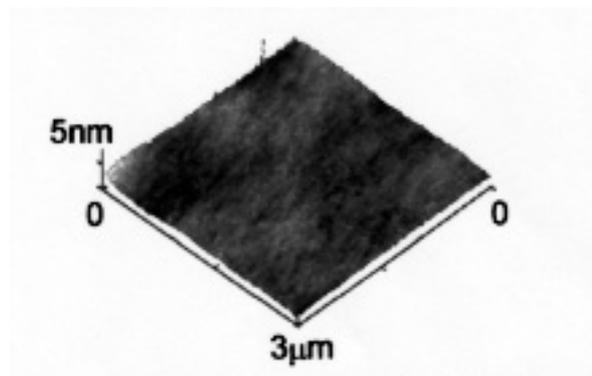


図2：バルクZnO上のZnOの表面。きわめて平坦な表面が形成されている。

高機能材料工学講座（イオン工学実験施設） 「多原子イオンビーム照射による表面反応過程」

多原子から成る分子イオン（例えば、フラーレンなどの分子イオン）やサイズの小さいマイクロクラスターイオンも含めて、構造やサイズが制御されたクラスターイオンの生成と応用の研究を行っている。その中で、反応性クラスターイオンを用いたフッ化反応によるSi表面のエッチング過程や酸化反応による酸化物薄膜形成過程において、クラスターイオン特有の表面反応過程を明らかにしてきた。

1. 研究の背景

塊状原子集団であるクラスターは、我々の周囲の巨視的な世界と原子・分子が活動する微視的な世界を繋ぐ役割を果たしており、材料科学的に解明すべき重要な研究対象になっている。例えば、クラスターイオンと固体表面との相互作用はフェムト秒からサブピコ秒の瞬時の多体衝突過程である。したがって、クラスター自身の特異な物理・化学的特性を活用し、クラスターイオンビームの固体表面への入射量を制御することによって、化学反応の活性化や選択性を、従来の原子・分子と固体表面との反応では達成できない瞬時の反応速度で制御することができる。さらに、クラスター照射時の高密度照射効果によるクラスター自身の超高温・超高压状態の形成は、アニール効果や化学反応の活性化を促進させ、高効率の表面エッチング加工や高酸化反応による高品質薄膜形成が可能となる。

2. 研究の成果

Si基板表面にSF₆クラスターイオンおよびSF₆モノマーイオンをそれぞれ15kVで加速して照射し、Si表面におけるエッチング過程について調べた。加速されたイオンを基板表面に照射しないようにチョッピングする場合、加速電極と基板の間に設けた偏向電極に250 Vの負のパルス電圧を印加して、イオンビームを偏向した。図1は、クラスターおよびモノマーイオン照射によってスパッターされたSi⁺イオンの強度を示す。図に示すように、クラスターイオン照射では、スパッターされたSi原子は得られていない。また、図2は、クラスターイオンおよびモノマーイオン照射におけるSiF₃⁺イオン強度、すなわちイオン照射によってSi表面からスパッターされたSiF₄粒子の強度を示す。SiF₄粒子の散乱強度は、モノマーイオン照射では極めて弱いが、クラスターイオン照射では観測されている。したがって、SF₆クラスターイオン照射では、クラスターイオンの高密度照射効果による超高温・超高压状態が形成され、崩壊したSF₆クラスターのF原子とSi基板原子との化学反応が促進され、室温でもSi表面の化学エッチングが生じていることが分かる。

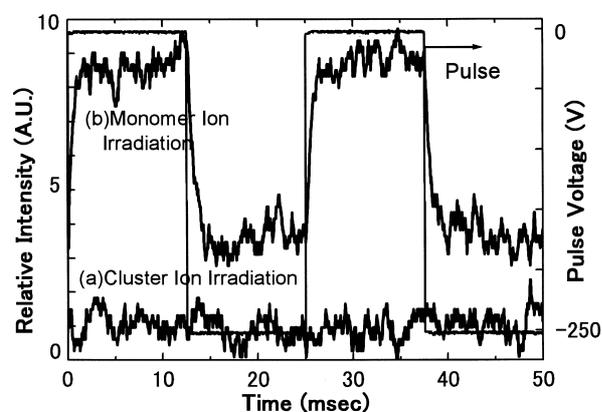


図1. (a) SF₆クラスターイオンおよび (b) SF₆モノマーイオン照射によるスパッターされたSi⁺の散乱強度

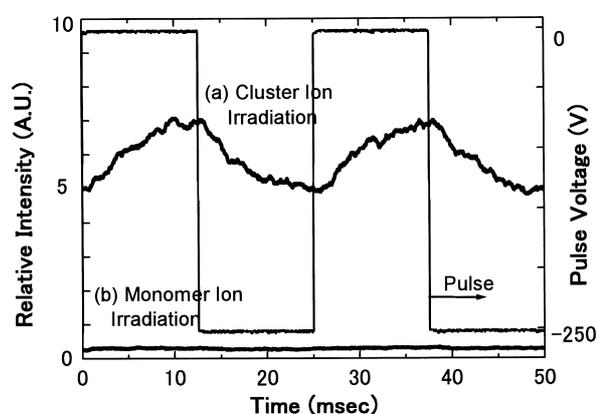


図2. (a) SF₆クラスターイオンおよび (b) SF₆モノマーイオン照射によるスパッターされたSiF₃⁺の散乱強度

通信システム工学講座 デジタル通信分野（吉田研究室）
 「時間空間伝送による無線通信の周波数利用効率改善」

無線通信が社会において果たす役割が拡大している。これに伴って電波需要は極めて旺盛であり、より高い周波数帯の開拓が活発に進められている。しかし、送受信点間に見通しがない場合にも通信可能な使いやすい伝搬特性が得られる周波数帯は残念ながら限られており、周波数利用効率の改善は最も重要な課題である。近年、周波数利用効率を大きく改善できる方式として、従来なら混信となって通信不能であった同一周波数を同じ場所で同時に使う方式が脚光を浴びている。この方式は現在様々な呼称で呼ばれるが、我々はこれを時間空間伝送と呼んでいる。同一周波数の複数の信号全てが正確に復調できるなら、その信号数倍に周波数利用効率が高まることになる。この方式の核心は言うまでもなく複数信号の同時受信技術であり、当研究室において提案してきた複数信号同時受信機であるTCC(Trellis-coded Cochannel interference Canceller)の時間空間伝送への適用について研究を行っている。

図1は時間空間伝送の概念図である。この図では3つの信号を同時に3つのアンテナから送信し、3つのアンテナによって受信している。基本的にアンテナ間の相関は無い方が良いため、アンテナが十分に離れて設置されていると仮定する。つまり、この図ではアンテナ間を結ぶ9つの矢印があるが、この9つの伝搬路は独立にフェージングしているとする。同時送信する信号数を増せば周波数利用効率が向上するが、ここでは5信号を同時送信する場合を計算機シミュレーションによって検討する。周波数利用効率は通常の5倍である。5信号の混信であり通常なら全く受信できない条件であるが、5信号同時受信に拡張されたTCCでは受信が可能である。TCCは送信5信号に異なったトレリス符号化変調を用い、受信側における信号分離特性を高めることを技術的特徴とする。5信号の同時受信のため信号処理の演算量が大幅に増加するが、各種の演算量削減アルゴリズムにより実験室レベルでは実現可能な演算量となりつつある。図2に特性比較を示す。横軸はSN比、縦軸はビット誤り率である。図中TC-16PSKがTCCの特性、BLASTは米国のベル研で活発に研究されている受信方式である。図の5×3の表記は送信5アンテナ、受信3アンテナの意味であり、図2よりTCCを用いれば受信アンテナ数の削減または大幅な特性改善が可能であることがわかる。TCCは適応等化技術を拡張したものであるため、高速伝送の障害となる遅延波にも対応できる。たとえばこの技術を現在のセルラ方式携帯電話に導入する場合、基地局に5アンテナ、移動局に3アンテナ（現在は2アンテナを内蔵）と高度な信号処理を実装できれば、現在の5倍の周波数利用効率と20Mbpsの伝送速度を、高速移動かつ最大2μsの遅延波存在下において実現できる可能性がある。

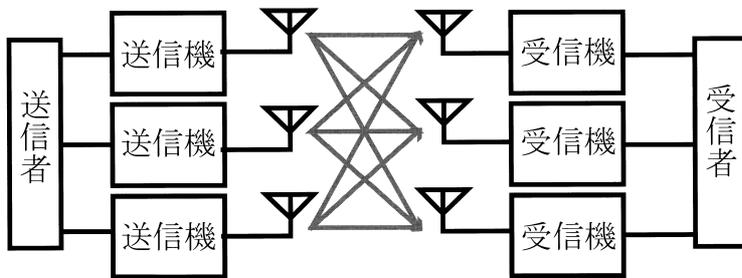


図1：時間空間伝送のシステムモデル

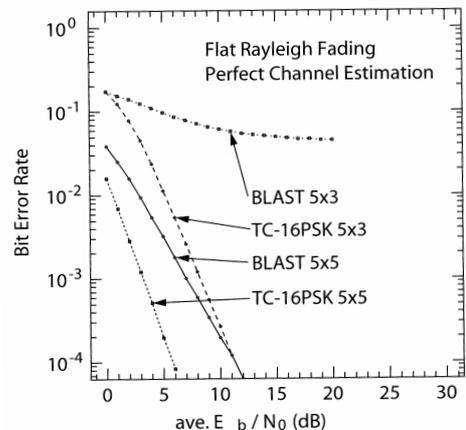


図2：ビット誤り率特性の一例

集積システム工学講座 大規模集積回路分野(小野寺研究室) 「オンデマンドライブラリを用いたシステムLSI設計手法」

本研究は、システムLSI設計における性能最適化と設計時間の短縮ならびに設計再利用の促進を図ることを目的として、設計回路や要求仕様に応じて最適なセルライブラリを生成し（オンデマンドライブラリ生成）、更に物理設計段階で低消費電力化/高速化を図る（詳細設計）技術を開発しようとするものです。現在、システムLSIに代表されるカスタムICでは、セルと呼ばれる基本論理ゲートを組み合わせる回路設計を行うセルベース設計が広く用いられています。一方、高性能なプロセッサなどは人手でトランジスタをレイアウトしていくフルカスタム設計手法が用いられています。フルカスタム設計では高性能な回路の設計が可能となりますが、設計の自動化が難しく設計に多大な労力を必要とします。本研究では、設計自動化に適したセルベース設計の枠組みを最大限に利用しつつ、フルカスタム設計に近い品質をセルベース設計の労力で実現することを目標としています。本研究の概要を図1に示します。

通常、セルベース設計では半導体製造側があらかじめ用意したセルライブラリを用いて設計します。ここで、セルライブラリの特性は回路特性に直接影響をおよぼします。システムLSIでは、設計対象の回路規模や要求特性は多岐にわたるため、セルライブラリへの要求も回路ごとに異なると考えられます。そこで、セルライブラリ設計も設計工程の一部にとらえ、設計対象毎に最適なセルライブラリを生成して用いることにより、冗長部分を含まない回路を設計しようというのがオンデマンドライブラリの考え方です。また、微細なLSI製造プロセスでは、レイアウト（配線）が動作特性に強い影響を与えます。そこで、設計の各段階において、配線の負荷や経路の不確かさを考慮しつつ、セル選択やバッファ挿入、更にはセル内トランジスタ寸法の調節により、速度、消費電力、ノイズ、面積の全てを最適化する技術（詳細設計技術）を検討しています。

提案手法の有効性を検証するため、実際のチップ設計にも適用しています。図2は、動画圧縮伸長用ベクトルプロセッサのチップ写真です。比較のため、通常ライブラリで作ったコアと、オンデマンドライブラリで作ったコアを集積しています。オンデマンドライブラリで作ったコアの正常動作をLSIテストを用いて確認しました。また、通常ライブラリのコアよりも低消費電力で小面積な回路が設計できていることで、提案設計手法の有効性を明らかにしました。

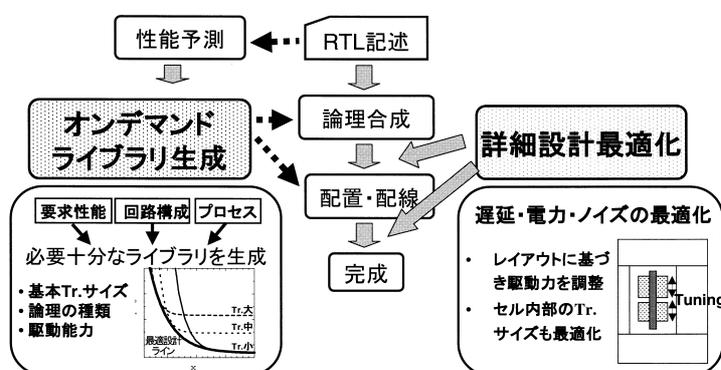


図1：LSI設計工程における本研究の位置づけ

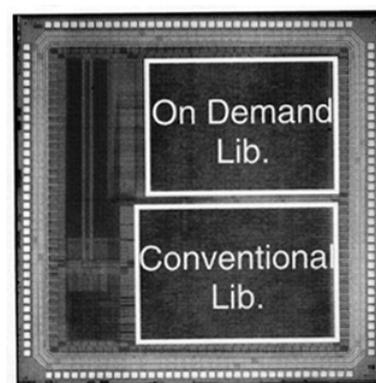


図2：動画圧縮/伸長ベクトルプロセッサ

システム情報論講座 医用工学分野（松田研究室） 「ヒト胎児MR画像からの三次元臓器抽出」

1. 研究の背景

現在当研究室では、医学研究科附属先天異常標本解析センターが所蔵する大量のヒト胎児標本をMRI（核磁気共鳴画像）撮影装置により三次元画像化し、これを用いて標本の形状解析を行う手法について検討を進めている。同センターの標本は世界にも類を見ない貴重なコレクションであり、これらを有効に利用することは、人体発生の機序を解明する上で非常に大きな貢献を果たすものと思われる。大量の標本を十分に活用するためには、三次元画像の可視化に基づく形状の把握を、効率的に行うことが不可欠である。この際、胎児の臓器形状を三次元的に観察するためには、画像中から臓器領域を抽出する必要がある。

領域抽出手法として広く用いられるリージョン Growing 法は、抽出対象領域の内部に予め設定された種点から周辺に向かって、予め定めた条件を満たす領域を拡張して行くことで所望の領域を抽出する手法である。一般にリージョン Growing 法は、対象臓器の画素値範囲と、隣接画素値間の差分の最大値をパラメータとして用いる。ここで、後者は領域内部で生じる画素値変化の上限を指定するものであり、領域外部との境界で高い値を取ることを想定している。しかしこの値は直感的な設定が困難であり、通常試行錯誤的に値を変更して領域抽出を繰り返すことで最適値を求めるので、作業者の負担が大きい。そこで、この点を解決する領域手法の開発を研究の目的とする。

2. 提案手法と処理結果

本研究では対象領域と対立する外部領域中にそれぞれ設定した2点間の経路探索を行い、隣接画素値間差分の最大値のパラメータを自動抽出するリージョン Growing 法を提案した。これは2点間の適当な経路について、経路に沿った画素値間差分の最大値を求め、この値が最も小さい経路に関して、この最大値を求めるパラメータ値とするものである。図1に示す模式図において、 $d(S,v,P)$ が求める値である。これによりこの2点は必ず2つの領域に分割されることが保証される。処理結果を図2に示す。提案手法は数値パラメータの設定を画像中の制御点指定に置き換えたもので、より直感的な操作が実現された。

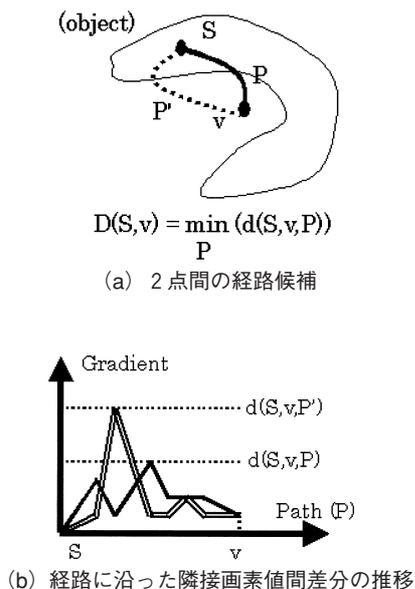


図1 2点間の経路に沿った隣接画素値間差分の推移

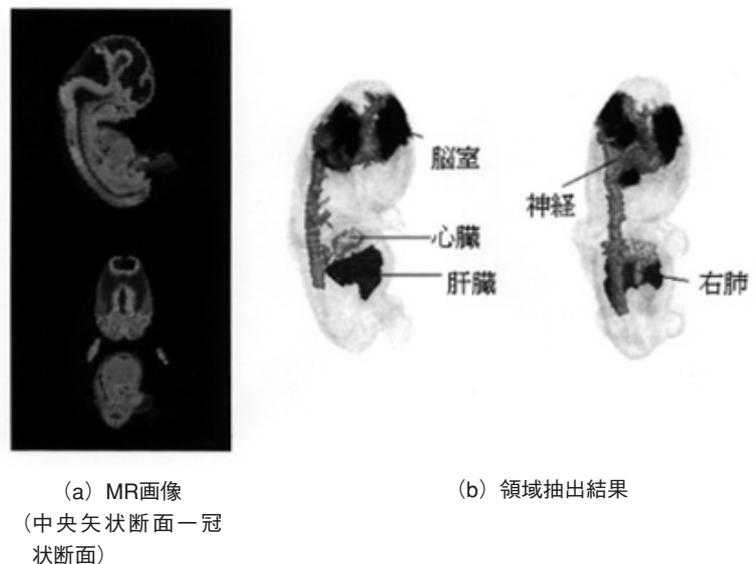


図2 処理結果

エネルギー社会環境学講座 エネルギー情報学分野（吉川榮和研究室）

「必修訓練用インタラクティブ仮想空間構築支援システム」

バーチャルリアリティ技術を用いて仮想空間内に機器保修の訓練環境を構築することで、実空間における実物機器を用いた訓練に比べて、安全かつ容易に繰り返し訓練を実施できる環境が得られる。現時点では、計算機技術の飛躍的な発展と、これまでのバーチャルリアリティに関する様々な研究の成果により、実空間と同様の作業が可能な訓練環境を構築することが可能になった。しかし、一般にバーチャルリアリティ技術を用いて機器保修の訓練環境を構築する場合は多大な労力、すなわち多大な人件費が必要であり、単位訓練環境あたりの構築コストが非常に高いため、コスト削減が要求されている必修訓練の現場では受け入れられていないのが現状である。また、必修訓練の現場では、訓練を実施するインストラクター自身が訓練環境の構築・修正等を行いたいという要望があり、計算機やコンピュータグラフィックスの専門家でなくても、訓練環境の構築・修正をできるようにするための技術開発が必要である。

当研究室では、数年前から実空間と同様の作業を行うことができる仮想空間を、少ない労力で容易に構築できるようにするための様々な技術を開発してきた。例えば、仮想空間のシミュレーションを行うためには、仮想物体間の物理的拘束関係や因果関係を設定・管理する必要があるが、これらの情報をペトリネットを用いて効率的にモデル化する手法の開発や、プログラミングを全く行うことなく機器保修の訓練環境を構築できる「インタラクティブ仮想空間構築支援システム」の開発等を行ってきた。

図1は、インタラクティブ仮想空間構築支援システムを用いて構築した訓練環境の例で、訓練生は仮想空間内に配置された逆止弁を、スパナ等を用いて分解・組立する作業を体験できる。

インタラクティブ仮想空間構築支援システムは、機器保修の訓練分野だけでなく、他の様々な分野にも応用可能である。例えば図2は、食器棚の使い勝手を体験できる環境であるが、このような環境を用いることで、食器棚の扉がどのように開くか、食器棚に食器をどれだけ収納することができるか等を確認でき、今後も急速に発展するであろうと予想されるインターネットショッピングの仮想ディスプレイ環境としての応用も考えられる。

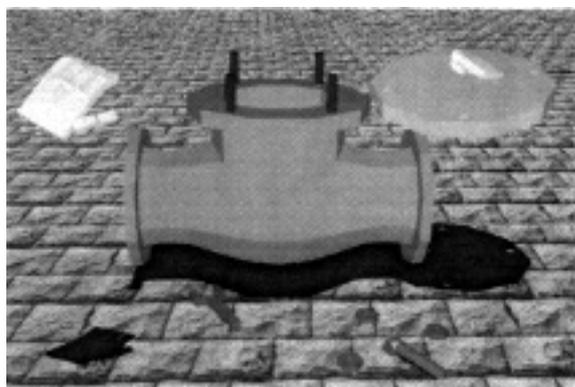


図1：逆止弁の分解・組立環境

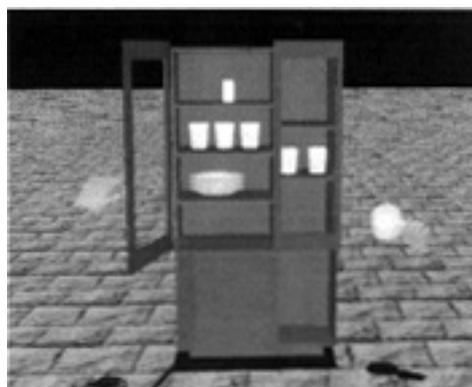


図2：食器棚の仮想体験環境

応用熱科学講座 プロセスエネルギー学分野（塩津研究室）
 「超電導エネルギー貯蔵装置を用いた負荷電力系統の状態把握に関する研究」

研究背景

近年の電力事業の規制緩和にともなう分散電源の増加などにより電力系統はますます大規模化、複雑化しているため、系統の安定度の低下が懸念されており、系統を安全に運用するためには系統の状態をオンラインで把握することが望まれる。そこで我々が提案しているのが超電導エネルギー貯蔵装置（SMES）を用いた系統の状態把握である。

超電導エネルギー貯蔵装置（SMES）

SMESは超電導コイルに直流電流を流すことにより電力を磁気エネルギーの形で蓄える装置であり、超電導現象を利用しているために損失が少なく、交直変換装置の働きにより高速な電力制御が可能である。電力貯蔵の面では夜間電力を蓄え、電力需要の多い昼間に放出することで負荷平準化を行ない、系統の安定化の面では電圧安定化や、負荷変動補償などの働きにより系統の安定度を向上させることができる。米国ではトレーラーで移動できるような1MJクラスのSMESが実用化されており、雷などによる瞬停の際の非常用電源として、または電圧の補償などに用いられている。

SMESによる系統の状態把握

本研究では図1に示すように、電力系統に設置されたSMESから系統に対して微小な電力信号を与え、これに対する系統の電力動揺を解析することによって電力系統の状態把握を行なうことを提案し実験による検証を行なっている。SMESを用いることによりリアルタイムな系統状態の把握が可能であるので従来のオフラインでの固有値計算による把握手法に比べるとダイナミックに変化する系統状態をより忠実に捉えることが可能である。最近の試みではSMESから系統に与える電力信号をおよそ20秒間で0Hzから3Hzまで変化するチャープ状の電力信号とし、これに対する系統の応答から伝達関数を求めることにより系統の固有値を求めている。固有値の実部は系統の制動力、虚部が系統の同期化力に関する値であり、これらの値を把握することで系統状態を知ることができる。この手法によると系統状態が変化したときの系統の安定性がどう推移したかを把握することができ系統運用上非常に有用である。特に負荷側に分散電源を含んだ系統では逆潮流の発生する可能性があるため、この逆潮流の影響によって系統の安定性がどのように推移するかを図2の系統において測定した結果が図3である。このs平面上には固有値がプロットされており、右下から左上に向かうほど安定性は向上する。この結果から逆潮流状態では系統の安定度が低下していることが確認できる。

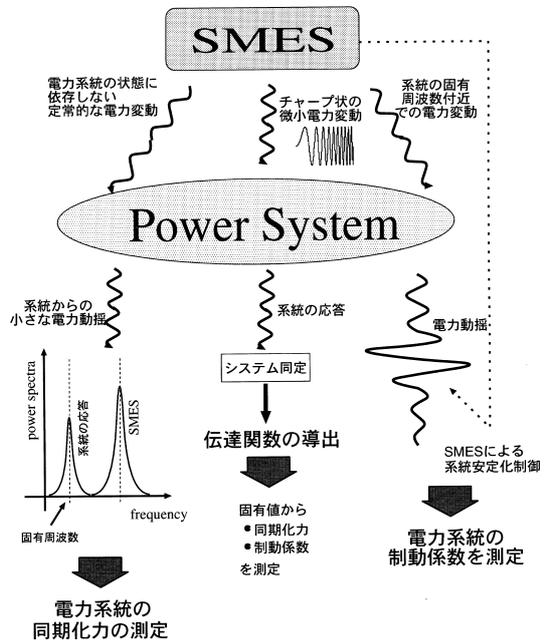


図1：実験概念図

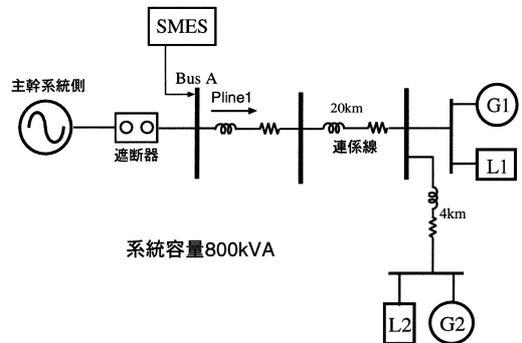


図2：実験系統図

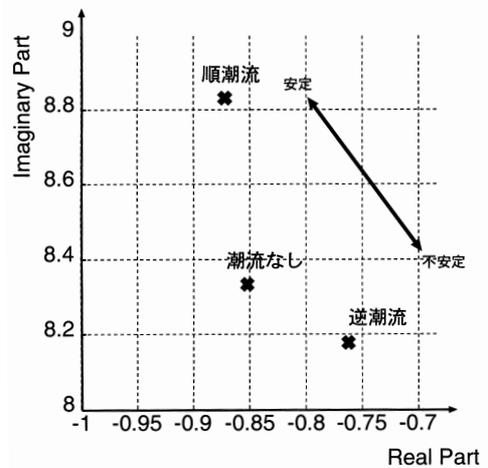


図3：系統の状態推移

エネルギー生成研究部門 原子エネルギー研究分野 「慣性静電閉じ込め方式プラズマのシミュレーション」

静電慣性閉じ込め核融合 (Inertial Electrostatic Confinement Fusion; IECF) は図1に示すような球形の真空容器にイオンビームを静電場を用いて半径方向に閉じ込め、中心付近でビーム・ビーム及びビーム・バックグラウンドガスの衝突による核融合反応を起こさせるものです。IECFは、(1)形状が単純である、(2)非マクスウェル分布のビーム衝突核融合であるので、高いイオンエネルギーを必要とするD-³Heなどのアドバンスド燃料を用いることが可能である、などの特徴を持っています。

これまでの実験研究では、1967年に米国のHirschがD-T (重水素と3重水素ガス)を用いた実験で 10^9 n/sの中性子の発生を観測したのが最大でしたが、再現実験に成功していませんでした。しかし、ここ数年の日米で精力的な研究で、今年8月時点では、D-D実験での中性子発生量が 10^8 n/s台に達し、中性子源としての応用へ向けての展望が見えてきました。実用化には、後数桁の核融合反応率の向上が必要と考えられ、現象の解明と新たな実験の方向性を探していくことが求められています。

本研究室では、IECF動作原理の解明と核融合反応率の向上を目指して、シミュレーションによる研究と小型の円筒形IECF装置を用いた比較検討実験を進めています。

これまでのIECFシミュレーションでは、粒子シミュレーションコードによりイオンと電子を追跡することにより、イオン電流と陰極内での電場形成や核融合反応率の関係を調べましたが、グロー放電を用いている現在の実験では、ガス圧力が約1 Paと高く、ガスとの衝突過程が大きく影響していると考えられます。そこで、カリフォルニア大学バークレー校で開発された、プロセスプラズマのシミュレーションコードを参考に、ガスとイオン/電子の衝突過程 (電離、荷電交換、散乱など) をモンテカルロ手法により扱うIECF 1次元粒子シミュレーションコードの開発を行っています。

IECFのシミュレーションのためには、(1)透過率の高いメッシュ状電極のモデリング、(2)プロセスプラズマでは～1 kVであった印加電圧が数10kVと高いこと、また球形状の中心 (特異点) 付近を扱うための計算精度の向上、(3)水素イオンの解離に反応など分子ガスを扱うための改良、高エネルギー中性粒子の影響評価などが課題となっています。これまでの計算では、ヘリウムを用いた放電のシミュレーションにより、真空容器の半径を増大していくと、グロー放電の陽極グロー領域が生成されていく模様や、大電流放電で陰極中心部の電位が振動する模様 (図2) が得られています。現在は、課題3の重水素放電を扱うための種々の原子過程の組み込みとその影響評価、核融合反応率の計算を行うとともに、上記の陰極中心部での電位振動によるイオン・電子のエネルギー分布の広がり の影響を調べている。今後は、コードの2次元への拡張を進めるとともに、実験によるシミュレーションの検証を目指して、ガス圧力や電極形状の影響評価など実験において測定可能な項目を探していく計画です。

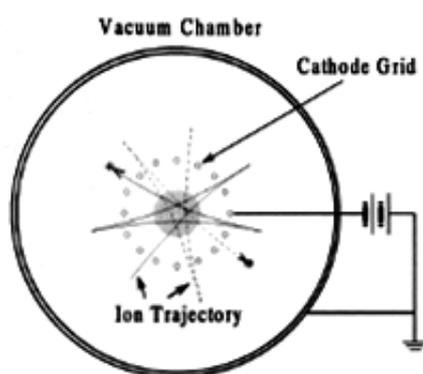


図1 IECFの概念

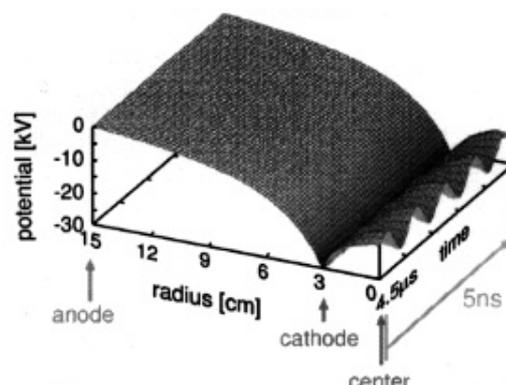


図2 電位分布の時間変化

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) 「ヘリオトロンJ」におけるエラー磁場の影響による磁気島の生成に関する研究

1. 研究目的

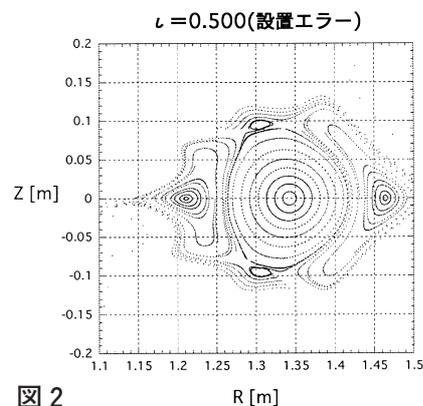
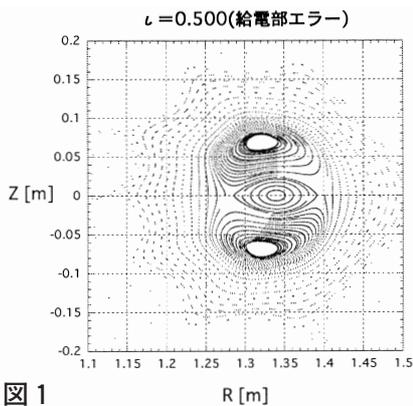
ヘリカル系磁場閉じ込め装置では、外部導体であるコイルに電流を流し、それらによってつくられる磁力線をトロイダル方向に周回させて真空磁気面を形成することによってプラズマを閉じ込める。しかし、コイルを作成したり、設置したりする際には必ず、歪みやずれが生じてしまう。またコイルには給電部をつけなくてはならない。このような歪みやずれ、そして給電部はエラー磁場を引き起こし、有理面を含むような真空磁気面が形成される過程では、プラズマ閉じ込めに影響を与えるような磁気島の生成を促してしまうことがある。本研究の目的は、立体磁気軸低シアーステラレーター配位のヘリオトロンJ [1] を対象にして、エラー磁場による磁気島生成の描像を理論的に数値解析的手法を用いて明らかにすることである。具体的には4つの要因（ヘリカルコイルの給電部、ヘリカルコイルの大半径・小半径の歪み、ヘリカルコイルの設置誤差）によるエラー磁場が、標準配位付近の低次のモードの磁気島を引き起こす可能性のある有理面にどのような影響があるか、を数値解析で調べた。

2. 方法

ヘリオトロンJのそれぞれのコイルに流れる電流をビオサバールの法則を使い、磁場を求め、磁力線の方程式で磁力線を追跡し、磁気面を得る。給電部を考慮するときには、磁場を求めた段階で、サブルーチンで求めた給電部が作り出す磁場を加える。回転変換を変えるときには、トロイダルコイルの電流値を変えて計算する。本研究では、ヘリカルコイルを3本並列8ターンのフィラメントとして計算し、各8個のトロイダルコイルA、B、6個のバーチカルコイルはそれぞれをコイル断面の重心をとって1本1本のフィラメントとして計算した。また8個のヘリカルコイルの給電部は1本の三角形のループ電流で近似し、三角形の高さ h 、底辺 w は実際の寸法に合わせて $h=16$ [cm]、 $w=9$ [cm] とした。

3. 結果および考察

4つの要因について、計算の結果、もっとも影響が大きかったのはヘリカルコイルの給電部によるエラー磁場で、 $l=0.5$ 付近では $n/m=1/2$ の磁気島を生成することが分かった(図1)。またヘリカルコイルの設置誤差によるエラー磁場は、その設置誤差が1 [mm] と非常に小さいにも関わらず、 $l=0.5$ 付近で $n/m=1/2$ に近い $n/m=2/4$ の比較的大きな磁気島を引き起こすことが分かった(図2)。このことは、実際の設置誤差において、問題となる磁気島が発生する可能性があることを示すものである。しかしヘリカルコイルの大半径・小半径の歪みは、実際の最大誤差の1 [mm] 程度であれば、殆ど影響がないことも分かった。また有理面でみると、 $l=0.5$ の場合が調べた中で最もエラー磁場に影響を受けやすかった。以上のことから、調べたエラー磁場の中で、閉じ込めに問題となるのは給電部によるエラー磁場と設置誤差によるエラー磁場であり、 $n=1$ の摂動 (perturbation) を含んでいるということがいえる。



参考文献 [1] 佐野史道、大引特弘、花谷清、水内亨、岡田浩之、長崎百伸、近藤克巳、若谷誠宏、中村祐司、中須賀正彦、別生栄、横山雅之、“ヘリカル軸ヘリオトロン装置 (ヘリオトロンJ) 実験計画” J. Plasma and Fusion Research, 75 (1999) 222-229.

地球電波科学研究部門 地球大気計測分野（津田研究室） 「Rubyによる地球・惑星流体データの解析・可視化環境の開発」

1. 研究の背景

当研究室では、地球大気の観測手法の開発並びに大気の観測的研究と数値モデリングを行っている。地球大気の観測は各国が協力して行なっており、近年ではネットワークを通じたデータの配信・共有も進んでいる。それに応じて、さらに研究の高度化とも相俟って、地球大気の研究が扱うデータは、種類・量ともに増大している。例えば、フィールドに出て観測を行なう者も、自らの観測データに加えて、人工衛星データや、「客観解析データ」と呼ばれる世界の予報用観測を統合した格子点データ等と比較して、大気現象を総合的に把握することが求められている。このような、広く言えば地球・惑星流体科学において扱われるデータは主に、離散的にサンプルされた、あるいは格子点上に離散化された物理量である。そのデータ形式には、広く用いられているものに限っても複数あり、研究の現場において、様々なデータへの対応に対する負担が増大している。

2. 研究目的

本研究は、上記の問題に対処し、さらに今後必要になる、ネットワーク上に分散したデータの効率良い扱いを念頭に置いて、地球・惑星流体科学におけるデータ解析のためのインフラを構築することを目的としている。研究上のデータ解析においては、自由に新しい手法を開発、適用、さらに蓄積する必要があるため、GUIを使った操作のみでは事足らず、プログラミングを通してデータを扱うことが必須となる。そのため、素早い開発に適したインタープリター型で、対話的にも利用できる言語が求められ、近年ではMatlabやIDLが活用されている。しかしながら、非オブジェクト指向型のこれらの言語では、多様性への対応が難しい。我々は、これらに代わって、オブジェクト指向スクリプト言語Rubyをデータ解析に用い、上述の問題を解決するための開発を行なっている。

3. 研究内容

本研究は、基礎となるライブラリーの組み込みと、それらを用いた「離散化された物理量」のクラスのライブラリーの開発という、二つの段階に分けることができる。開発は昨年度後半に開始した。
[基礎ライブラリー] RubyはCの関数を動的に呼べるようにすることが簡単であるため、様々なライブラリーを取りこむことで、短期間に幅広いサポートを行なう。現在までに組み込みを行なった基礎ライブラリーは、多機能グラフィックライブラリーDCL、後述するNetCDFのライブラリー、並びにFFT等若干の数学ライブラリーである。さらに、近々、GSL数学ライブラリー、HDF入出力ライブラリーの取りこみを予定している。なお、以上共通で、高速性に優れる多次元数値配列クラスを用いている。
[離散物理量クラスライブラリー] データの計算機上での実体を隠蔽しつつ、当該分野における物理量のデータを出来るだけ広くカバーするクラスのライブラリーを構築している。これにより、一度オープンすれば、データ形式に依存せず同じ命令で操作できるようになるため、データ解析プログラムの汎用化が容易となる。物理量の構造化には、NetCDF型のモデルを採用した。NetCDFとは、数値データと付加的な情報がツリー状に整理され、座標変数、単位等を持ち、データ欠損等のあり得る「自己記述的」データ形式である。本クラスのユーザーは「第N次元に関する微分」や「座標値がこれこれの範囲の切り出し（と可視化）」といった、抽象的な命令によりデータを操作することになる。このクラスをデータ解析の単位とすることで、唯一つのデータ形式しか用いないケースについても、現在用いられている多くの環境より高い効率でデータ解析プログラムが開発できる。なお、データ形式としては、非自己記述的データセットもテンプレートにより柔軟にサポート出来るようにする。将来的には、Rubyのネットワーク機能を生かし、ネットワーク上に分散したデータも、オープン時以外に特別意識せずに扱えるようにする計画である。

宙空電波科学研究部門 宇宙電波工学分野（松本研究室） 「北極上空でのロケットによるプラズマ波動観測 —結果報告—」

昨年のCUEにおいて、2000年11月に北極圏での打ち上げを予定していた「SS-520-2ロケット実験」について「北極上空でのロケットによるプラズマ波動観測」と題して紹介しました。その記事は打ち上げ前のもので、「恐らくこの記事が印刷されて配布されている頃には、私達のロケットは無事に打ち上げられ、データを地上に送り届けた後、北極の海底で役割を終えて眠っていることでしょう。」と結んで終わっています。本稿では、その後の経過を紹介したいと思います。このロケット実験の目的は、地球磁気圏の中で、「カスプ」という北極、南極の上空にある領域を直接観測することにあります。私達は、文部科学省宇宙科学研究所と共同でロケット実験SS-520-2を計画し、2000年11月の打ち上げに向けてプラズマ波動の観測機器の開発を行いました。開発したハードウェアは、次世代の宇宙探査への技術開発もターゲットとしてデジタル技術を大きく導入した新しいデザインのものでした。しかし、かなり新しい技術項目を導入したため、打ち上げ前の地上試験ではトラブル続き。今でこそいえますが、観測機に書き込むオンボードのソフトウェアが完成したのは、「最終動作チェック日の朝6時」、というまったくもって綱渡り状態でした。そんなこんなで打ち上げに臨みました。研究室からは、観測機の開発を直接担当してくれた大学院の学生さん2名が参加してくれました。打ち上げ場所は北緯79度、東経12度のノルウェー領スバルバード諸島、まさに、北極圏。打ち上げ予定日の11月25日を前に1週間前から現地作業にはいります。当然、冬ですので太陽は昇りません。一日中真っ暗の世界です。しかし、外気は意外と暖かく、氷点下10度程度でおさまっていたようです。11月25日の打ち上げに向けて、準備作業は順調に行われ大きなトラブルもなく、当日を迎えました。しかし、上で書きましたように、「カスプ」がロケットの打ち上げる方向と高度になくはいけません。カスプは、地球の磁気圏活動が活発になると、その緯度が下がってくるため、そこを狙って打ち上げなくてはなりません。また、地球は自転していますので、一日のうち打ち上げができるのは、午前中からの数時間に限られます。つまり、打ち上げの準備ができていても、「宇宙のお天気」が好都合でないと打てないのです。もちろん、地上のお天気にも左右されます。打ち上げタイミングは慎重に判断され、その結果、10日間も打ち上げ態勢のまま待機した結果となりました。しかし、この「待ち」の試練がよかったのでしょうか、後から振り返れば唯一のチャンスであった12月4日午後6時16分（日本時間）に無事に打ち上げられました（翌日から暴風雪となり打ち上げは不可能でした）。ロケットの飛翔、私たちの観測機を含めた全観測機の機能もすべて正常、高度1,100kmに到達した後は、自由落下で北極海にポチャリと落ちた（はず）で、打ち上げ後20分ほどでロケットとの通信が予定通り終了しました。色々、心配もありましたが、私たちの観測機は完璧に動作しました。端から端まで10mある長いアンテナの自動伸展も正常でした。観測データは非常に品質の高いものでした。現在その解析が進められていますが、これまでやられたことのなかった「静電波」の伝播方向のインターフェロメトリ解析など新しい試みから生まれた結果も得られており、ハードウェアについてはすでに電子通信情報学会の論文として掲載されました。現在、物理現象についての論文をとりまとめており、ロケット実験の成果をまとめているところです。衛星開発と違って、ロケット実験の装置開発は、短期決戦です。このSS-520-2のあった西暦2000年は、私たちにとって大変長く、短い1年でした。手塩にかけた私たちの観測機も今は、すべての役割を無事に終えて北極海の海底で、お魚のいいお宿となって、第二の人生を送っていることと思います。このロケット実験のホームページを学生さんが作ってくれています。写真などありますので、興味のある方は、<http://www.kurasc.kyoto-u.ac.jp/plasma-group/PWA/>までどうぞ。



図1：閃光とともに飛翔するSS-520-2ロケット（宇宙科学研究所）



図2：発射台上のSS-520-2ロケット（宇宙科学研究所）

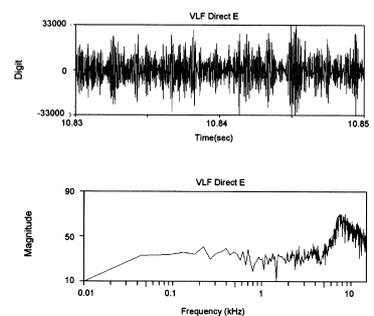


図3：プラズマ波動観測機で観測された電磁パケット波形（上）とスペクトル（下）

宇宙電波科学研究部門 電波科学シミュレーション分野（大村研究室） 「宇宙プラズマ環境におけるダイポールアンテナ特性に関する研究」

本研究室では、宇宙プラズマ環境での様々な電波現象に関して計算機シミュレーション解析を行っています。宇宙空間はイオンと電子からなる希薄なプラズマで満たされており、その中で生起する電磁現象はマックスウェル方程式と膨大な数のプラズマ粒子の運動方程式を組み合わせることで解き進めることにより再現することができます。本稿では、その一例として宇宙プラズマ環境中でのダイポールアンテナ特性に関する計算機シミュレーションを紹介いたします。

真空中でのダイポールアンテナの特性（アンテナインピーダンスや放射特性）はよく知られています。最近では、FDTD（Finite Difference Time Domain）法によるアンテナ解析が行われています。しかし、プラズマの異方性や分散性および運動論的效果を考慮した状況でのアンテナ特性解析は容易ではありません。アンテナ周りのプラズマシースやアンテナ表面からの光電子放出によりアンテナ近傍のプラズマ環境は一様ではなく、このような状況を取り入れたアンテナ解析はこれまであまり行われていません。

このような複雑なプラズマ環境におけるアンテナ特性の定量理解は、学術的のみならず科学衛星による宇宙電波観測の更なる高精度化、宇宙環境における電波利用など工学的分野でも非常に重要です。図1にシミュレーションモデルを示します。プラズマ粒子で満たされた3次元格子点空間の中央にダイポールアンテナを設置し、その中央に広帯域のパルスを送電することによりプラズマ中でのアンテナ応答を解析します。図2にアンテナインピーダンス虚部の周波数特性を示します。図中、真空およびプラズマモデルにおけるシミュレーション結果、比較のためにBalmainによるプラズマ中のアンテナインピーダンス理論値をプロットしました。シミュレーション結果ではプラズマ周波数においてインピーダンスの大きな変化が見られます。それより高周波領域では真空とプラズマでは大きな違いが見られません。理論とシミュレーションを比較してみると、プラズマ周波数でのインピーダンス変化はほぼ一致しているが、高周波領域での値はシミュレーション結果と大きくずれており、理論に限られた周波数範囲でのみ有効であることがわかります。このように、計算機シミュレーションによりプラズマ中のアンテナ特性を定量的に解析できることが明らかになり、今後、地球磁場などの静磁場、アンテナからの光電子放出の効果を考慮した、より現実的なモデルを用いて計算機シミュレーションを進めていく予定です。またアンテナおよび電波と宇宙プラズマとの相互作用に関するシミュレーションは宇宙太陽発電（SPS）に関する理論的考察においても非常に重要であり、今後この分野にも本シミュレーションを応用していく予定です。

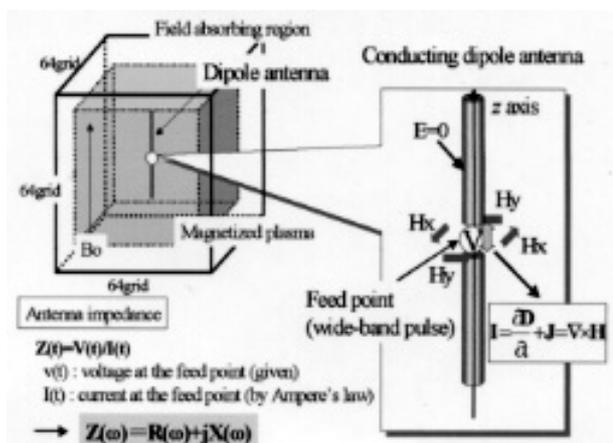


図1：計算機シミュレーションモデル。中央にダイポールアンテナが設置されている。

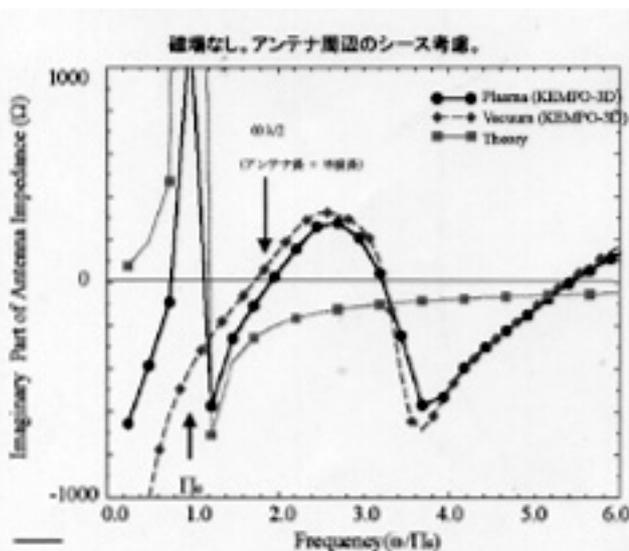


図2：真空、プラズマモデルを用いたアンテナインピーダンスの周波数特性。 Π_a はプラズマ周波数。

博士論文概要

【課程博士一覧】

高橋 和生	「Solid Particle Formation and Strongly Coupled Phenomena in Non-equilibrium Plasmas」 (非平衡プラズマにおける微粒子の形成及び強結合現象に関する研究)	平成13年1月23日
Alongkarn Chutinan	「Theoretical Analysis of Fundamental Waveguide Structures for Ultrasmall Integrated Optical Circuits Using Photonic Crystals」 (フォトリック結晶を用いた超小型光集積回路の基本導波路構造の理論解析)	平成13年1月23日
内藤 出	「衛星通信用反射鏡アンテナの多機能化に関する研究」	平成13年1月23日
後藤 幸夫	「自律型走行モデルによる道路交通シミュレーションとその交通制御問題への応用」	平成13年3月23日
Boonchai Techaumnat	「Application of the Boundary Element Method in Electric Power Engineering」(電力工学における境界要素法の応用)	平成13年3月23日
中村 和広	「Heteroepitaxial Growth of InGaP and GaAsP on Si and their Doping Characteristics for the Application to Tandem Solar Cells」 (タンデム太陽電池用InGaPおよびGaAsPのSi上へのヘテロエピタキシャル成長とドーピング特性)	平成13年3月23日 平成13年3月23日
矢野 裕司	「Control of Electronic Characteristics at SiO ₂ /SiC Interface for Power Metal-Oxide-Semiconductor Devices」 (SiCパワーMOSデバイスに向けたSiO ₂ /SiC界面電子物性の制御)	平成13年3月23日
山本 伸一	「磁気力制御型原子間力顕微鏡の開発および薄膜材料のナノスケール評価に関する研究」	平成13年3月23日
櫻井啓一郎	「MBE Growth and Properties of ZnO and ZnCdO Thin Films」 (ZnOおよびZnCdO薄膜のMBE成長と物性に関する研究)	平成13年3月23日
神原 弘之	「ハードウェア記述言語を用いたシステム設計手法の研究」	平成13年3月23日

藤田 智弘	「集積回路の統計的階層化設計手法に関する研究」	平成13年3月23日
橋本 昌宜	「A Study on Performance Optimization for Digital CMOS Circuits in Physical Design」 (物理設計段階におけるデジタルCMOS回路の性能最適化に関する研究)	平成13年3月23日
河野 宜幸	「Study of Spatial Domain Interferometry Technique with Atmospheric Radars」 (大気レーダーを用いた空間領域干渉計技術に関する研究)	平成13年3月23日
安田 岳雄	「Circuit Technologies for High Performance Hard Disk Drive Data Channel LSI」 (高性能ハードディスクドライブデータチャンネルLSIを実現するための回路技術)	平成13年3月23日
藤川 一洋	「Basic Studies on Characteristics of Superconducting Fault Current Limiter with Adjustable Trigger Current Level」 (動作開始電流値の調整可能な超電導故障電流限流器の特性に関する基礎研究)	平成13年3月23日
董 志偉	「Simulation Study on Mode-medium Interaction in a Free Electron Laser Oscillator」 (自由電子レーザー生成における光モードと電子ビームの相互作用に関する数値的研究)	平成13年3月23日
浮田 宗伯	「Real-Time Cooperative Multi-Target Tracking by Communicating Active Vision Agents」 (能動視覚エージェント群による複数対象の実時間協調追跡)	平成13年9月25日

高橋 和 生 (橋教授)

「Solid Particle Formation and Strongly Coupled Phenomena in Non-equilibrium Plasmas」

(非平衡プラズマにおける微粒子の形成及び強結合現象に関する研究)

平成13年1月23日授与

この論文は、微粒子（塵）を含んだプラズマ（微粒子プラズマ）に関する諸現象についてまとめられたものです。論文では、私が京都工芸繊維大学の西野茂弘教授、林康明助教授の研究室に所属し修士課程を経て、本大学大学院電子物性工学専攻の橋邦英教授のもとで博士課程を過ごした中で行った微粒子プラズマに関する全ての実験が網羅されています。

非平衡プラズマは身近には蛍光灯内などに見られ、エッチングや薄膜堆積などの半導体プロセスに頻りに使用されるものです。微粒子は半導体プラズマプロセスにおいては、デバイスの損傷や歩留まりの低下、膜質の劣化をもたらすので、有害であり排除されるものです。その一方で、彗星のダストテールや土星の環の一部などにも見られる微粒子プラズマにおいては、その系の特異性から微粒子自身が科学的に興味深い研究対象となります。特に、プラズマ中で帯電した微粒子間に働くクーロン相互作用により、微粒子の系が固体結晶中の原子配列と同じような構造を形成する現象（クーロン結晶の形成）を解析することは、固体結晶構造中の原子間相互作用やプラズマ中の波動現象などを理解するために非常に有意義です。これらのことをふまえて、本研究では反応性プラズマ中で発生する微粒子やその挙動に注目して実験が進められました。

クーロン結晶の構造には、面心立方や体心立方構造に加えて単純六方構造があります。この構造では、水平に配置された平板電極と平行に六方格子が形成され、鉛直方向にはその格子が粒子位置を変えずに積み重なっています（図1）。この構造から、その背景にある複雑な形成機構が推測されます。クーロン反発力により相互作用する微粒子群が何らかの外力により閉じこめられれば、その相互作用のみで面心立方や体心立方構造が形成されることは容易に理解できます。これに対し、鉛直方向に伸びる微粒子の直線配列がその反発力のみによって形成されることには多くの疑問がわいてきます。この疑問が発端となり、微粒子間相互作用を解析する実験が始まりました。実験では、光の放射圧を利用して微粒子を非接触で操作するレーザーマニピュレーションが行われました。この解析の結果、微粒子は自身よりも下方に位置する微粒子に対しては引力（束縛力）を作用させるが、上方の微粒子に対しては引力を及ぼさないということがわかりました（図2）。先の疑問に対しては、この異方的な力とも言うべき引力がその答えを示しました。この答えを得て、新たな疑問が浮かびます。なぜ負帯電微粒子間に引力が働くのでしょうか？これには諸説紛々があり、さらなる理解のために、今後のこの解析の進捗が望まれます。最後に、お世話になった多くの先生方に感謝の意を表し、論文紹介の締めくくりと致します。

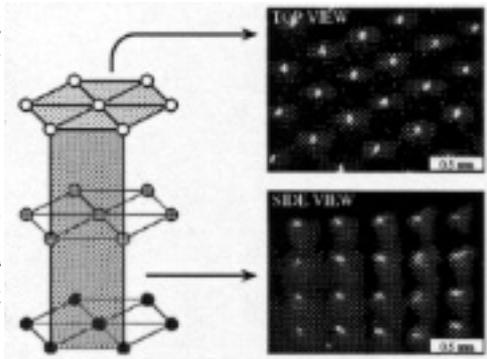


図1 単純六方構造のクーロン結晶

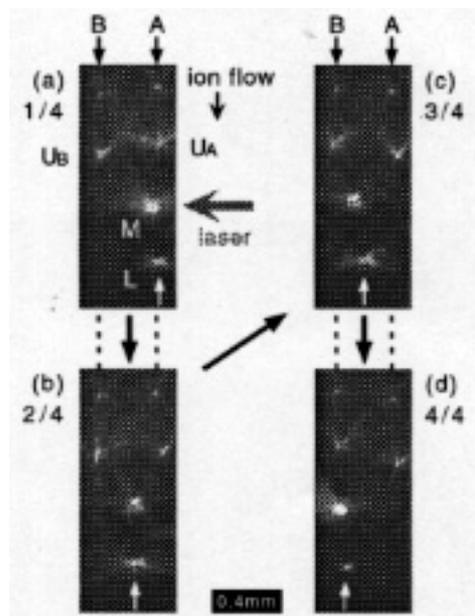


図2 微粒子間相互作用の解析 (0.75秒間の挙動)

Alongkarn Chutinan (野田教授)

「Theoretical Analysis of Fundamental Waveguide Structures for Ultrasmall Integrated Optical Circuits Using Photonic Crystals」

(フォトリック結晶を用いた超小型光集積回路の基本導波路構造の理論解析)

平成13年1月23日授与

近年、高度情報化社会において我々の生活に大きな変化をもたらしている情報技術は、より高速・大容量という要求に答えるため、「電子」(Electronics)から「光」(Photonics)に移り変わろうとしている。現在の光情報処理技術は主にプレーナー光波回路(PLC)が用いられ、最近市販されるようにな～1テラビット/秒の容量をもつ波長分割多重方式(WDM)の通信ネットワークもこのPLCで作られている。しかしながら、PLCは高価で、サイズが大きく、また、消費電力も大きいという欠点があり、安価でコンパクトな全光集積回路が強く求められている。それを実現するための鍵を握っているといわれているのがフォトリック結晶と呼ばれる光材料である。フォトリック結晶は、周期的屈折率変化を持つ材料であり、半導体中の電子のバンド構造と同様に光子のエネルギーに対するバンド構造・バンドギャップを形成する。このフォトリックバンドギャップを用いることによって、フォトリック結晶内部における光の発生・伝播を自在に制御することが可能になるため、フォトリック結晶の中に様々な光機能デバイスを組み込んだ超小型光回路の実現が期待される。しかしながら現在、フォトリック結晶を用いた光回路の実現のために、具体的に実現可能な構造の設計が全く行われていない。

このような背景の中で本研究は、2次元および3次元フォトリック結晶構造においてそれぞれ、基本構造や光回路の基本要素である導波路の理論解析・設計を行い、光回路の媒質としての可能性を最大限に引き出すことを目的として研究を行ってきた。まずは、2次元フォトリック結晶スラブ構造について光が構造から漏れやすいという問題を扱い、漏れが生じないような2次元フォトリック結晶スラブ構造を設計し、問題を回避し得ることを明らかにした。さらに、設計したスラブ構造において導波路および曲がり導波路を設計・解析し、その透過・反射特性を明らかにした。また、3次元フォトリック結晶については、まず構造揺らぎの影響を検討し、構造の正確な位置合わせが最も重要であることを明らかにした。その上で、3次元フォトリック結晶における導波路の設計を行い、結晶を構成するストライプ一本を除去するだけで単一モードの導波路が形成できることを見出した。さらに、2本の導波路を交差することにより直角曲がり導波路(図1)が形成でき、広い周波数範囲(波長 $1.55\mu\text{m}$ を中心に 110nm)に渡って95%以上の高い透過率が得られることを明らかにした(図2)。今後は、レーザー光源や結晶欠陥を使った波長分波器など、様々な素子を解析・設計し、それらを組み込んだ超小型光回路への展開などが考えられます。

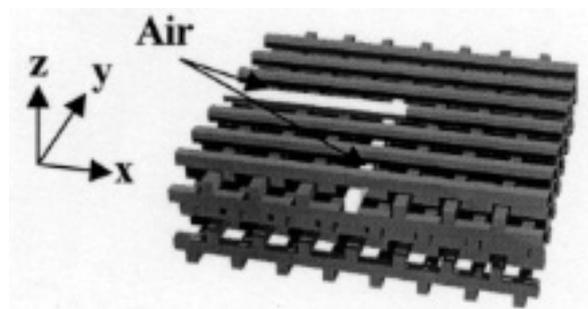


図1：3次元フォトリック結晶における急峻な曲がり導波路のモデル。ストライプを除去することにより作製される直線導波路2本を交差させることにより実現できる。

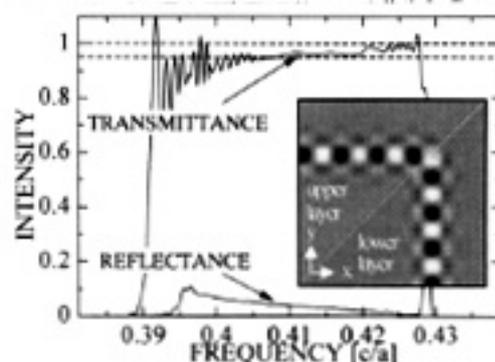


図2：曲がり導波路の透過・反射特性および曲がり部分付近の電界分布。電界分布図内の右下・左上の部分はそれぞれ下・上の層の導波路での電界を示している。

内 藤 出 (佐藤教授)

「衛星通信用反射鏡アンテナの多機能化に関する研究」

平成13年1月23日授与

本論文は、衛星通信用反射鏡アンテナの多機能化に関して行った研究成果をまとめたものである。衛星通信用反射鏡アンテナの多機能化は、マルチビーム化、直交偏波共用化、多周波数帯共用化といった複数機能の共用化、およびビーム成形/再成形といった機能の高度化に代表され、衛星通信の発展・展開・普及に対応した効率的な衛星通信システムの構築に寄与する。本論文は、これらの技術項目に対して行った研究成果をまとめたものである。

まず、マルチビーム化に関して、単一反射鏡形式大ビーム分離角マルチビームアンテナに関する研究成果について論じている。地上から見て大きく離れた複数の衛星からの放送を同時に受信するには、大ビーム分離角マルチビームアンテナが必要となる。また、一般家庭への設置のためには、簡易な構成の単一反射鏡アンテナが望ましい。本論文では、単一反射鏡形式大ビーム分離角マルチビームアンテナの特性を解析的に論じることにより、単一反射鏡形式大ビーム分離角2ビームアンテナの最適構成を解析的に導出している。

次に、ビーム成形/再成形に関して、アレー給電反射鏡形式ビーム再成形アンテナの給電アレー励振係数設計法に関する研究成果について論じている。周波数と衛星電力の有効利用、通信需要の変化に対する柔軟性等の観点から、ビーム再成形アンテナは衛星搭載用アンテナとして有効である。本論文では、アレー給電反射鏡形式ビーム再成形アンテナで、給電アレーをサブアレーに分割し、サブアレー間の振幅比のみを制御する方式における給電アレー励振係数の設計法に関して、手順を踏んだ見通しの良い設計法を提案している。

また、ビーム成形に関して、出力位相分布の周波数依存性の小さいビーム形成回路 (BFN: beam forming network) の設計法に関する研究成果について論じている。アレーアンテナやアレー給電反射鏡アンテナでは、アレーを構成する各素子アンテナを所望の振幅・位相で励振するために、BFNが用いられる。ところが、アレー励振係数は帯域にわたって一定である条件で設計される場合が多く、このとき、周波数の変化に伴うBFN出力の変化はアンテナ特性の劣化原因となる。本論文では、TEM線路を用いた、出力位相分布の周波数に対する1次の依存性が小さいBFNの体系的設計法を提案している。

また、直交偏波共用化に関して、展開面貼り付け法によるグリッド反射鏡アンテナの偏波グリッド作成法に関する研究成果について論じている。グリッド反射鏡アンテナは、その反射面を多数の細い導電性グリッド (偏波グリッド) で構成したアンテナで、低交差偏波特性を実現する。本論文では、従来の平面パターンのエッチング技術を用いて、曲面で構成された鏡面上に容易に偏波グリッドを作成できる、展開面貼り付け法の具体的手順を明らかにしている。

また、多周波数帯共用化に関して、曲面状周波数選択鏡面 (FSS: frequency selective surface) の共振素子配列法に関する研究成果について論じている。曲面FSSは、オフセット鏡面系における交差偏波消去系の構成や鏡面修整技術の適用を可能とする、多周波数帯共用反射鏡アンテナにおける空間での分波器として有効である。FSSの周波数選択特性は共振素子の2次元周期配列により実現されるが、一般に、曲面上では完全な周期配列を実現できない。本論文では、曲面上に近似的な周期配列を実現する、新しい曲面FSSの共振素子配列法を提案している。

これらの研究成果は、製品設計に適用されて実用に供されている。また、本研究は、最適で一意な設計結果を与える一般的な設計法の確立を目指したのもでもあり、反射鏡アンテナの多機能化と性能限界を実現する最適設計技術の確立に寄与するとともに、効率的な衛星通信システム構築に貢献するものと確信する。

後 藤 幸 夫 (荒木教授)

「自律型走行モデルによる道路交通シミュレーションとその交通制御問題への応用」

平成13年3月23日授与

本論文では、まず、道路交通制御問題の評価検証に使用するマイクロモデルを使った道路交通シミュレータを開発している。次に、このシミュレータを使って、道路交通制御に関する3つの問題を扱っている。第1の問題は、交通信号制御の最適化問題である。この問題は、交通需要に応じて交通信号制御変数を最適化する問題である。次の2つの問題は、高速道路におけるAHS交通制御問題である。この問題は、AHS交通全体の安全性と輸送効率に関する問題であり、具体的には交通速度制御問題と合流制御問題の2つである。それぞれの問題についての研究内容はつぎのとおりである。

道路交通シミュレータに使ったマイクロモデルは、自立型走行モデルである。自立型走行モデルでは、仮想障害物という概念を導入している。これによって、通常の道路走行で現れる様々な車両走行パターンを追従走行の一種として統一的に扱うことが出来る。その結果、シミュレータの全体的な構成が単純になり、拡張性も確保されている。開発したシミュレータは、オブジェクト指向モデリング手法を用いており、道路、車両、交通管理システムが独立にモデル化されている。これにより、シミュレータの基本的な枠組みに変更を加えることなしに、様々な道路交通のシステム・制御問題の評価・検証が可能となっている。作成したシミュレータを使って、簡単な道路交通状況をシミュレーションした結果、平均的な特性は従来のマクロモデルと一致する結果となるが、その細部においては現実の交通流により合致した結果が得られることを明らかになっている。

交通信号制御の最適化問題に対しては、自立型走行モデルによるシミュレーション結果に基づいて遺伝的アルゴリズムを適用する新しい近似解法を提案している。この解法は、マイクロシミュレーションにより細部にわたる交通状況をも考慮すること、および遺伝的アルゴリズムにより大域的な程良い解を効率的に求めることを可能としたことに特徴がある。この手法を小規模な道路網に適用した結果、つぎの点が明らかとなった。すなわち、従来の最適化手法ではマクロモデルに伴う仮定のため、極限的状況で現実にはありえないような結果が与えられるのにたいし、提案手法では実用的条件を満足する準最適解が得られる。

高速道路におけるAHS交通速度制御問題に対しては、移動閉塞による制御方式を提案している。この方式は、従来の車間距離一定もしくは車間時間一定制御ではなく、移動閉塞の考え方により安全性を確保しつつ効率的な運行を可能とすることに特徴がある。また、個別車両の速度制御については、目標値のステップ応答にオーバーシュートしないという形で安全性を保證する自動制御則を構成している。自立型走行モデルを使った道路交通シミュレーションによって、提案方式が安全性を確保しつつ、高速度領域で交通流率を大きく出来ることを明らかにしている。

高速道路におけるAHS合流制御問題に対しては、速度制御に用いた移動閉塞という同じ考え方を応用することが可能であることを示し、その具体的方式を提案している。この方式は、従来の車両追従方式と移動閉塞による交通速度制御方式を統合し、さらに従来研究では考慮されていなかった合流加速車線での車線変更をも考慮した合流問題の解法となっている。自立型走行モデルによる道路交通シミュレーションによって、合流制御が交通流に与える影響を評価し、提案方式が合流部の安全性と輸送効率を共に高めることを明らかにしている。

Boonchai Techaumnat（宅間教授）

「Application of the Boundary Element Method in Electric Power Engineering」

（電力工学における境界要素法の応用）

平成13年3月23日授与

この博士論文は電磁界の数値的な計算法の一つである境界要素法を三種類の問題に適用して得られた成果をまとめたものである。境界要素法には色々な手法があるが、対象とする表面を曲面で模擬し、境界量の表現方法や積分法を工夫するなどの改良によって計算精度の向上をはかっている。

a. 接触点の電界（三重点効果）

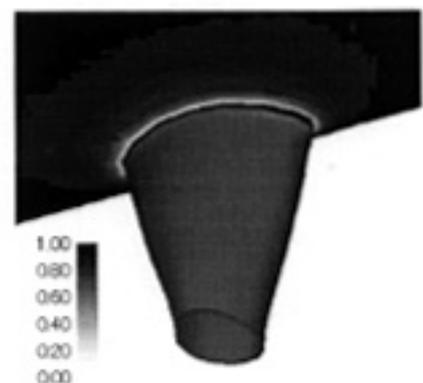
固体絶縁物が導体と接触する点は二種類の絶縁物と導体とが共存する三重点となり、三重点効果と呼ぶ電界異常が生じる。この問題は乾燥したガス絶縁、真空絶縁で特に重要である。これまでの報告は導電性のない完全な絶縁物（誘電体）を対象にして行われているが、本論文では体積導電性ならびに表面導電性の作用を明らかにしている。接触角（あるいは絶縁物表面が導体表面となす角）が0から90度の間にある場合と接触角が0度の場合のそれぞれについて導電性の効果を定量的に解明した。一様な体積導電性は接触角のどちらのケースでも接触点付近の電界を高くする。一方、一様な表面導電性は、接触角が0から90度の間のときは電界を緩和するが、0度のときは逆に電界を高める。

b. 低周波電磁界の人体誘導電流

人の健康に対する商用周波電磁界の影響は国際的にも関心の高い問題である。最近のガイドラインは人体内の誘導電流密度を電磁界曝露量の制限値を決めるベースとしている。人体内誘導電流の計算は、空間（領域）全体を規則的に細かく分割する領域分割の方法で行われているが、人体や臓器の表面は凹凸の形状で模擬している。本論文は初めて滑らかな表面形状の境界要素法を適用し、一様電界（静電誘導）、一様磁界、ヘアドライヤのような局所磁界のそれぞれを対象に計算している。5種類の臓器を含めた人体モデルによって種々のパラメータの効果を調べた。たとえば他の臓器から比較的離れている臓器の誘導電流は、その臓器の導電率と他の個所（部位）の導電率の比で決まることなどを明らかにしている。

c. 固体絶縁物の最適形状

ガス絶縁機器の絶縁性能は最大電界で決定されるので、最大電界を減少させれば機器をよりコンパクトにすることができる。本論文は同軸円筒配置で中心導体を直交方向から支持する柱状（ポスト形）固体絶縁物表面の電界をできるだけ一様にする最適形状を求めている。このような複合誘電体（2種類の絶縁物）で三次元配置の最適化計算は初めてである。製造面を考慮して、完全円柱形（半径一定）、円断面、楕円断面の三種類の条件で最適化計算を行った。円軸円筒の半径比、固体絶縁物の誘電率に依存するが、最大電界を10-35%減少させることができた。図に楕円断面の最適形状を示す。上部が中心導体、中央が形状を最適化した固体絶縁物で、外側の円筒容量（シース）は略している。色の濃さが電界の大きさを示す。



中 村 和 広 (松波教授)

「Heteroepitaxial Growth of InGaP and GaAsP on Si and their Doping Characteristics for the Application to Tandem Solar Cells」

(タンデム太陽電池用InGaPおよびGaAsPのSi上へのヘテロエピタキシャル成長とドーピング特性)

平成13年3月23日授与

太陽電池は、半導体における光起電力効果を活用して、太陽光エネルギーを電気エネルギーに直接変換する半導体素子であり、すでに実用されている。現用の太陽電池は、単一の材料によるpn接合で作られているので、利用できる太陽光スペクトル範囲が限られ、エネルギー変換効率に限界がある。タンデム（縦接続）太陽電池は、異なる禁制帯幅をもつ2種類の半導体を用い、それぞれのpn接合で広い範囲の太陽光のスペクトルを利用して、変換効率を向上させることを目指すものである。本論文は、シリコン(Si)pn接合を下層太陽電池とし、上層太陽電池をIII-V族半導体である $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{P}$ および $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ のpn接合で形成して、高効率太陽電池として期待されるタンデム太陽電池の実現を目指している。Si基板上への結晶成長と導電性制御、および低抵抗トンネル接合実現のための高濃度不純物添加などの基礎技術に関して研究した成果をまとめたもので、主な成果は以下のとおりである。

1. 有機金属気相成長法を用いてSi基板上に格子定数が大きく異なる $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{P}$ をヘテロエピタキシャル成長する際、緩衝層としてSiと格子定数の近いGaPを活用することを検討し、成長後、両者の間に存在する歪みについて、高分解能X線回折法およびラマン分光測定法で測定して詳細に解析した。この上に $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{P}$ を低温・高温の2段階で成長し、この方法で結晶性の改善が図れることを明らかにした。
2. タンデム太陽電池の上層部と下層部を接続するトンネル接合形成について理論的に解析し、必要な添加不純物量を理論的に検討した。これを基に、 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{P}$ に錫 (Sn) を添加して $1.3 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ というこれまでに報告のない高いキャリア濃度を得た。また、高濃度p型形成のための不純物について考察した。
3. 有機金属分子線エピタキシー法を用いてGaPを緩衝層とし、Si上への $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ のヘテロエピタキシャル成長を試みた。成長層の縦方向と横方向の格子定数を高分解能X線回折法を用いて精密に測定して、引っ張り歪みの存在を明らかにし、歪みの原因が熱膨張の差であることを定量的に示した。Si基板上に成長した $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ のほうがGaP基板上に成長したものよりも歪みが大きいことを見だし、 $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ とSiの熱膨張係数の差が $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ とGaPの差より大きいためであるとした。
4. 有機金属分子線エピタキシー法を用いて $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ への不純物添加を試み、p型用の亜鉛 (Zn) 添加で $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 、n型用のSn添加で $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ の高いキャリア濃度を得た。また、Si基板上に太陽電池の本体となる $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ のpnダイオードを作製し、整流性を確認した。タンデム太陽電池の上層部と下層部を接続するための低抵抗接合として高濃度ドーピングを試みている。電極の接触抵抗などの影響を除去して接合自体の抵抗を詳しく調べ、タンデム太陽電池への応用可能性について検討する必要があるとしている。

要するに、本論文は、Siを下層部太陽電池とし、その上層部にIII-V族半導体太陽電池を組み合わせ高効率のタンデム型を実現するための基礎研究であり、今後は、実験面での精度を上げた研究を展開することによって所期に掲げた目的が達成されるものと思われる。

矢野 裕 司 (松波教授)

「Control of Electronic Characteristics at SiO₂/SiC Interface for Power Metal-Oxide-Semiconductor Devices」

(SiCパワーMOSデバイスに向けたSiO₂/SiC界面電子物性の制御)

平成13年3月23日授与

本論文は、次世代の超高効率電力変換デバイス、高周波デバイス用材料として期待されている半導体シリコンカーバイド (SiC) のMOS (金属-酸化膜-半導体) デバイス物理と応用に関する研究成果をまとめたものである。SiCは多くの優れた物性を有する広禁制帯幅半導体であり、これを用いることでシリコン (Si) などの既存の材料を用いた半導体デバイスの性能限界を大きく打破する高性能電子デバイスが実現できる半導体材料である。SiCが他の広禁制帯幅半導体 (窒化ガリウムなど) と大きく異なる点は、熱酸化によりSiと同様に良質な絶縁膜であるSiO₂が形成できることである。この熱酸化膜を利用したSiCパワーMOSFET (MOS型電界効果トランジスタ) は、低損失かつ高速スイッチング動作が可能のため、次世代パワーデバイスの最有力として期待されている。しかし、これまでに試作されたSiCパワーMOSFETは、SiCの優れた物性から期待される性能にはほど遠いものしか得られていない。これは、SiO₂/SiC界面における欠陥 (界面準位) 密度が多く、そのためにデバイスに流れる電流がSiO₂/SiC界面に形成されるチャネルで制限されてしまうからである。そして、この界面準位の低減は困難であった。

本研究では、上述のように工学的に大きな問題となっていたSiO₂/SiC界面準位の低減を行うとともに、学術的観点からSiO₂/SiC界面電子物性を明らかにすることを試みた。本研究の主な成果を以下に示す。

[熱酸化条件とSiO₂/SiC界面電子物性の相関の解明]

熱酸化やその後の熱処理条件と界面準位のエネルギー分布や固定電荷の発生の相関について明らかにした。p型MOSキャパシタの容量-電圧特性は熱酸化条件に大きく依存するものの、nチャネルMOSFETの特性にはあまり影響しないことを明らかにし、この現象をドナー型界面準位で説明できることを示した。MOSFETのチャネル移動度を抑制する原因として、界面における実効的な負の固定電荷によることを見いだした。

[MOSFET特性のポリタイプ (結晶多形) 依存性の解明]

SiCには多数のポリタイプが存在するが、結晶作製技術が進んでいるのは4H型と6H型である。これらに加え、15R型ポリタイプを用いてMOSFETを作製し、特性を評価した。MOSFET特性や界面準位の分布とポリタイプの関係について説明し、(0001) 面では15R型がパワーMOSFET用材料として有望であることを示した。

[従来とは異なる新しい面方位を用いることでMOSFETの高性能化を実現]

従来研究されてきた面方位とは異なる (11 $\bar{2}$ 0) 面を用いることで、大幅なMOSFET特性の向上を達成した。パワーデバイス用材料として最も有望な4H型では、(0001) 面に比べて17倍ものチャネル移動度の改善を実現した。またMOSFET特性の温度依存性が面方位によって大きく異なることを示し、(11 $\bar{2}$ 0) 面において温度上昇とともにチャネル移動度が減少する結果を初めて得た。

[SiO₂/SiC界面電子物性の面方位依存性の解明]

MOSキャパシタを (11 $\bar{2}$ 0) 面と (0001) 面上に作製し、評価した。面方位が異なると界面準位の分布も異なり、(11 $\bar{2}$ 0) 面では導電帯付近で界面準位が少ないことを室温および低温での測定より明らかにした。このことが (11 $\bar{2}$ 0) 面上MOSFETのチャネル移動度向上に寄与していることを示した。超高効率SiCパワーMOSFETを実現することで、電力変換時のエネルギー損失が大幅に低減できる。電気エネルギーの有効利用は、電気の源である化石燃料や原子力の使用を抑えることにつながり、地球環境改善にも貢献できる。これらのことに、本研究が少しでも貢献できれば幸いである。

山本伸一（松重教授）

「磁気力制御型原子間力顕微鏡の開発および薄膜材料のナノスケール評価に関する研究」
平成13年3月23日授与

走査型プローブ顕微鏡（Scanning Probe Microscopy: SPM）は、ナノスケールでの構造観察法として既にさまざまな分野での材料評価に用いられており、さらに高分解能表面分析法としての応用も期待されているが、材料識別のための分析装置として確立された手法とはまだなっていない。SPMによる材料識別の研究としては、チオール系自己組織化単分子膜により化学修飾したAFM探針を用い、シリコン基板上に堆積された有機分子膜の表面官能基（カルボキシル基、メチル基）を識別する研究が報告されている。しかし、この方法では探針先端に化学的に分子が吸着するものに限られる。

本研究では、有機／無機電子材料のナノメートルレベルでの構造・分析評価を目的として、新たに磁気力制御型原子間力顕微鏡法（MFC-AFM）を開発し（図1参照）、有機および無機薄膜材料のナノスケール構造・物性評価に関する研究を行った。

MFC-AFMは、探針－試料間にはたらく種々の相互作用力を制御するために、探針（カンチレバー）の変位を外部の磁気力によって制御する。従来、高精度かつ十分に大きい外部磁気力を探針－試料間に発生させることが困難であったが、本研究では、コア付きのコイルをスキャナー内部に設置することにより、低電流で大きな力をカンチレバーに供給できるようにした。また、カンチレバー先端につける磁性材料の薄膜化を行い、直流成分の磁気力フィードバック法の開発することにより、外部磁気力を利用してカンチレバーを試料表面にアプローチする際に起こる探針－試料表面間の凝着現象（jump-in-contact）を取り除くことに成功した。

次に、サブミクロン精度のプローバーを用いて、微小なダイヤモンドを探針としてMFC-AFMカンチレバーに取り付け、このMFC-AFMによって硬い金属材料のstiffnessわずかな差が、測定可能であることが分かった。Ni薄膜上にAuメッキし、その後アニール処理するとNi原子が熱拡散によってAu表面上に析出することが、MFC-AFMを用いたstiffnessマッピングにより新たに示された。

また、MFC-AFMを用いた表面力変調法により有機薄膜材料の局所力学特性を評価した。表面力変調法では、探針の振動応答差が画像化される。これによって相分離構造をもつ有機高分子薄膜の粘弾性が、はっきりとマッピングされた。とりわけ、非常に近いヤング率の値をもつ高分子材料（PS/PMMA）においても、MFC-AFMを用いることで材料間の差が検出できることを実証した。さらに、CH₃/CF₃相分離構造では、硬い下地のヤング率の影響を受けることなく、単分子膜自体の力学物性測定が可能であることを示した。

以上のことから、比較的柔らかいカンチレバーを用いて、感度を十分向上させた状態で相互作用力制御することにより、ナノメートルスケールで無機・有機分子材料の構造および基礎物性を明らかにすることができた。さらにMFC-AFMが、新規デバイスの開発のツールとして用いることが可能であることも確認された。

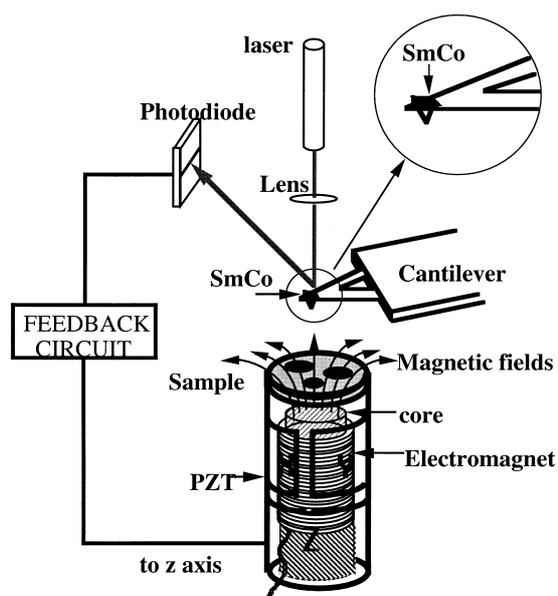


図1 MFC-AFMの構成図

櫻井 啓一郎（藤田教授）

「MBE Growth and Properties of ZnO and ZnCdO Thin Films」

（ZnOおよびZnCdO薄膜のMBE成長と物性に関する研究）

平成13年3月23日授与

酸化亜鉛（ZnO）系材料は、古くから透明電極材料、バリスタ材料、光導波材料、圧電材料など多様な機能材料として利用されてきた。他方3.4eVという紫外域に対応する大きなバンドギャップを持つとともに、電子と正孔がクーロン相互作用によって電子と陽子からなる水素原子類似の状態、すなわち励起子状態が室温でも安定であるという光物性上の大きな特長を持っている。このため、近年可視から紫外域で動作する短波長励起子光機能デバイス材料として有望視されるようになってきた。しかしながら、レーザや発光ダイオードをはじめとする発光デバイスや受光デバイスに励起子の寄与を積極的に取り込んだ光機能デバイス、電子・光複合機能デバイスの実現には高品質薄膜単結晶の成長技術の確立およびその技術を踏まえた物性制御技術の確立が不可欠である。本研究では、ZnO系材料に対する単結晶成長技術や物性制御技術がまだまだ未熟である点に着目して、ZnOやZnCdOの薄膜単結晶成長に対して高品質化に大きな可能性を有する分子線エピタキシャル成長（MBE）技術を採用し、その成長条件の最適化と構造評価や物性評価に関する実験的研究を行った。ZnO薄膜単結晶の高品質化が達成されればp-n接合構造など半導体光機能デバイスに必須の技術構築が可能となる。その意味で本研究は、ZnO系材料の高品質化結晶成長技術に対する新たな基礎的知見を提供するという意義を持つものである。

ZnOのMBE成長においては、Zn蒸気と酸素ガスとの反応を利用するが、酸素分子はそのままの状態では反応には寄与しないので酸素はプラズマ化して供給するのが一般的である。しかし本研究ではまず、酸素原料に酸化窒素（ N_2O および NO_2 ）を用い、熱によるクラッキングやプラズマ化などを行うことなくZnO薄膜が成長可能かどうかに関して詳細な実験を試み、比較的良好な結晶性をもつ単結晶薄膜の成長に初めて成功した。次に反応性を高めるために酸素ラジカルを用いたZnOのMBE成長の成長条件について実験した。ラジカル発生用セルはイオンが基板に飛来しないようにその構造に工夫を加えた。サファイアを基板とした場合の基板面方位や基板温度をパラメータとして、成長層の結晶性に与える影響について検討を加えた結果、成長温度は550℃以上、サファイア基板のa面がc面よりもZnOの品質において優れていることを明らかにした。光機能デバイスへの応用を視野に入れると、ZnCdO混晶などによるバンドギャップ変調を応用したヘテロ構造、量子構造構築が必要になる。このような視点からZnCdO薄膜のMBE成長を行った。その結果、Cd組成の不均一な混和が発生することを示すとともに、特定の成長条件によって初めて強い青色発光を呈するZnCdO薄膜の作製に成功した。この青色発光の起源について、走査型電子顕微鏡、微少領域エネルギー分散X線分析や光物性測定などの結果と併せて考察を行い、励起子の局在により発光の高効率化がもたらされている可能性を示した。

神原弘之(小野寺教授)

「ハードウェア記述言語を用いたシステム設計手法の研究」

平成13年3月23日授与

本研究では、システムLSIのハードウェアの動作仕様とソフトウェアについて、設計資産の再利用性を高めるような言語の仕様とその設計手法について検討し、言語の処理系を実装し、その処理系を用いてシステムLSIを設計することでその有効性を確認しました。

今日のシステムLSIのハードウェア設計は、その動作仕様をハードウェア記述言語を用いて記述し、動作シミュレーションで記述の正しさを確認した後、論理合成系により動作仕様を満たすような論理回路を自動生成することで行われています。論理合成技術の実用化により、ハードウェアの設計効率は大きく改善されましたが、設計対象の回路規模が1,000万トランジスタを越えるまで巨大になったため、過去のあるいは他者により作成された設計資産を再利用することが必須となっています。

本論文では、ハードウェア設計資産の再利用性を高めるためには、論理合成とシミュレーションの間で矛盾が起らず、かつLSI設計者あるいは言語処理系の作成を行う人がその意味解釈について誤解が発生しないように、ハードウェア記述言語の意味定義を行なうことが必要である事を明らかにしました。この考え方にに基づき設計されたハードウェア記述言語UDL/Iについて、その言語処理系の開発を行い、意味定義を含む言語仕様と言語仕様の設計手法が有効であることを確かめました。さらに、UDL/Iとその他の主だった3つのハードウェア記述言語の言語仕様を比較してUDL/Iの特徴を明らかにするとともに、実在する回路を各ハードウェア記述言語で記述してみて、言語仕様の相違が実際の記述でどのように現れるかを示しました。作成された記述は、LSICADの評価あるいはハードウェア記述言語を用いた回路設計の教育に幅広く用いられています。

さらに、ハードウェア記述言語で記述された動作仕様を書き換えることで、ハードウェアの仕様を容易に変更できることは、「ハードウェアとソフトウェア」を同時協調的に設計する「ハードウェア/ソフトウェア協調設計」を行なうことを可能にしました。この設計手法を用いれば、システムLSIで実現すべき機能を、内蔵プロセッサにより処理される「ソフトウェア」で実現するか、それともその機能を効率良く実行できる「ハードウェア」で実現するかを、性能、消費電力、コストといった制約条件に合わせて変更することが可能になり、システムLSIの価格性能比を高めることができます。

本論文では、プロセッサのデータ語長を変化させた場合でもソフトウェアの演算精度を保証できるようにC言語を拡張したValen C言語と、アーキテクチャの変更に柔軟に対応できるリターゲッタブルなValen C言語のコンパイラを開発し、アプリケーションに合わせてプロセッサのハードウェアをカスタマイズするハードウェア/ソフトウェア協調設計手法を実現しています。携帯機器用音声処理向けシステムLSIの実際の設計にUDL/IとValen Cの言語と処理系を適用しました。命令セットや汎用レジスタの本数、データバスの幅を最適化することで、演算性能をもとのプロセッサの約2.5倍に高めながら、回路規模はもとの70%まで縮小することが可能であることが確認されました。またC言語では計算精度に問題が生じるようなアーキテクチャの変更に對しても、Valen C言語で記述されたソフトウェアの再利用性に問題が生じないことが明らかになりました。これにより、本研究の成果が、価格性能比の高いシステムLSIを実現すること、再利用性の高いハードウェアとソフトウェアの設計資産を作成することに有効であることが確かめられました。

藤田 智 弘 (小野寺教授)

「集積回路の統計的階層化設計手法に関する研究」

平成13年3月23日授与

本論文は、大規模集積回路の歩留まりを考慮した設計手法を提案している。集積回路の設計を階層的にとらえ、そこに統計解析と歩留まり最適化の手法を採り入れ、計算コストをかけることなく大規模回路の統計設計を可能としたところに特徴がある。本論文はアナログ回路とデジタル回路の両面から手法の提案を行なっている。

はじめにアナログ回路における取り組みを述べる。まず、階層構造の下層に位置付けられる小規模な回路に対する、統計的歩留まり最適化手法を提案している。特徴的な点は、最適化アルゴリズムに確率過程モデルを使った大域最適化手法を用いているところである。ここで、確率過程モデルを統計的な目的関数に適用できるよう新たに拡張している。オペアンプに適用し歩留まり93.8%を得ている。最適化に要した時間はおよそ100分である。

次に階層的な統計解析を行なっている。この目的のために、MOSFETの物理パラメータからシステム特性までの設計階層構造を利用している。提案手法により、プロセスの物理特性のばらつきモデルをシステム特性のばらつきに結びつけることができ、物理特性のばらつきがシステム特性へどのような影響を与えるか知ることができる。この章ではPLLを題材に階層的な解析手法の実用性の検証を行なっている。回路シミュレーションによる解析との比較実験を行い、提案手法が精度良く解析できることを確認している。また、この手法の応用例として、モンテカルロ解析、ワーストケース解析、感度解析を行ない、本手法の有効性を確認している。

以上の技術成果を受けて、階層的歩留まり最適化手法を提案している。提案手法は、トップダウンによる設計とボトムアップによる解析を繰り返すことで最適化を行なう。歩留まりを考慮するには、トップダウン設計時の仕様生成において、回路特性のばらつきを考慮した余裕が必要である。そこで、余裕を表す指標としてマハラノビスの距離を取りあげ、これを仕様生成問題に採り入れた。実験では、PLLに対して提案手法を適用して、低コストで歩留まり100%の回路を生成することができた。

次にデジタル回路における取り組みを述べる。ここでは、いかにトランジスタの物理特性のばらつきモデルを遅延時間に結びつけるかに重点を置き解析手法を提案している。遅延量とプロセスの物理特性を結びつけるモデルとして、1次係数ベクトルによるモデルを提案している。このモデルを用いると、経路の遅延時間のばらつきをこれらのベクトルの合成で表すことができる。ベクトルの合成には5回の回路シミュレーションのみ必要で、格段に少ないシミュレーション回数で解析が可能となる。実験により解析手法の高精度さを確認している。

次に、上の成果をふまえて、さらにテーブル参照による統計的遅延解析を高速に実現する手法を提案した。この手法は回路シミュレーションの代わりにテーブル参照を行なうため、高速な解析が可能である。1次係数ベクトルを用いることで、モデルを簡略できテーブル量の削減とシミュレーション速度の向上を確認している。また、解析精度も提案手法による解析はSPICEとの誤差が2~5%程度と実用に十分なレベルであることを確認している。

橋本昌宜 (小野寺教授)

「A Study on Performance Optimization for Digital CMOS Circuits in Physical Design」
(物理設計段階におけるデジタルCMOS回路の性能最適化に関する研究)

平成13年3月23日授与

近年のLSIの微細化にともない、物理設計段階では配線抵抗の増大による配線遅延の増加や、集積度の向上による消費電力の増加、プロセス変動による遅延変動、配線間の結合容量によるクロストークノイズなどの問題が深刻化している。LSIの物理設計段階では、セルと呼ばれる基本ゲートやトランジスタの配置、配線が行われる。この設計段階では、ゲートの配置配線情報をもとに回路を部分的に修正し、回路性能の向上をはかる最適化を行う。高性能で信頼性の高いLSIの設計には、遅延変動やクロストークノイズなどを考慮して、回路の遅延時間や消費電力、面積などを最適化する手法が不可欠となっている。

本論文では、消費電力、遅延変動、クロストークノイズの問題に注目し、それぞれの問題に対する物理設計段階での一解決手法を提案した。また、提案手法の有効性を実験的に評価した。

- ・消費電力の削減を行う手法として、次の3つの手法の提案を行った。入力端子の接続最適化手法、グリッチの削減を考慮したゲート寸法最適化手法、セル内トランジスタ寸法最適化手法である。いずれの手法も与えられた遅延制約下で消費電力を最小化することを目的としている。最適化の際には、実設計で用いられている他の設計制約も考慮し、実用性の高い手法となるよう心掛けた。
- ・遅延変動を考慮した回路性能最適化手法として、静的統計遅延解析に基づく遅延時間、消費電力の最適化手法の提案を行った。従来のマージンを設定して行っていた回路設計と比較し、高性能かつ必要十分な回路設計を実現した。
- ・クロストークノイズの低減手法として、攻撃配線の駆動能力を低下させることによりノイズ電圧を削減する手法を提案した。詳細配線後に配線を変更させることなく最適化を行うことが可能であり、実用性が非常に高い。また、提案ノイズモデルは他のノイズ最適化手法にも広く適用可能である。

本論文では、セル内のトランジスタサイズを連続的に変化させることにより、セルベース設計の枠組みの中でフルカスタム設計に近い品質の回路設計を実現する設計手法を提案している。上記のセル内トランジスタ寸法最適化による消費電力削減手法や、クロストークノイズ低減手法はこの設計手法を利用したものである。この設計手法の研究は、半導体理工学センター (STARC) との共同研究で行われた。設計手法の有効性は多くの人に学会発表などで認めていただけたが、実用性の面から多くの厳しい意見もいただいた。大学の研究だけでは得難い設計の現場の状況を聞くことができ、自分の研究にフィードバックできたことは非常に有意義であった。今後、私自身が大学で研究を続けていく上で、常に実際のLSI設計を意識する必要性を身にしみて感じる事ができた。今後は、博士課程での研究の進展はもちろん、微細化に伴うさまざまなLSI設計の問題点に取り組んでいくつもりである。

最後になりましたが、熱心なご指導いただいた小野寺秀俊先生、多くの有益なアドバイスをいただいた小林和淑先生、活発に議論していただいた研究グループのメンバーに深く感謝致します。

河野 宜 幸 (深尾教授)

「Study of Spatial Domain Interferometry Technique with Atmospheric Radars」

(大気レーダーを用いた空間領域干渉計技術に関する研究)

平成13年3月23日授与

気象現象やそれに起因する自然災害の予測、航空機の安全な離発着などに加え、地球規模で問題となっている様々な環境問題を解決するために物質輸送に係わる大気運動の理解が求められており、地球大気における正確な風速測定や微細構造の解明が求められている。本研究では大気レーダーを用いた空間領域干渉計法観測に関してコンピューターシミュレーションとMUレーダー (図1：滋賀県信楽町) を用いた観測結果に基づき、風速推定精度と大気の微細構造がレーダー観測に及ぼす影響について研究を行った。

大気レーダーを用いた大気観測技術としては、現在、ドップラー法が主流である。一方、空間的に離れた複数の受信アンテナを用いる空間領域干渉計法観測は主としてSpaced Antenna (SA) 法とSpatial Interferometry (SI) 法に大別され、前者は水平風速推定に、後者は受信電波到来角の推定に用いられる。

本研究では、まずSA法についてコンピューターシミュレーションを用いて水平風速推定に関するランダム誤差の研究を行った。このSA法を用いた風速推定法では、信号の相関関数全体を計算に用いるFull Correlation Analysis (FCA) 法が実用化されている。それに対して相関関数の一部を用いる簡易手法が示され、本研究ではこれをPartial Correlation Analysis (PCA) 法と呼び、この二つの手法について風速推定精度に関する比較を行った。

その結果、白色雑音成分の信号への付加の有無に関わらず、全体としてFCA法とPCA法はほぼ同程度の推定精度を示した。信号に白色雑音を加えた場合、雑音無しの場合に比べ風速推定誤差が大きくなることも分かった。また、相関関数の一部しか用いないPCA法よりも相関関数全体を用いるFCA法の方がその影響を強く受けることも示された。さらに、風速が大きくなる、アンテナ間隔が狭くなる、という条件のもとではFCAの推定精度は悪化するが、PCAは良い推定精度を保っている。即ち、相互相関関数が自己相関関数に近い領域ではその僅かなズレが引き起こす影響が大きいものと考えられる。従って、実際の観測に応用する際にその領域に相当しないよう設定に注意が必要であることが明らかになった。

次に、揺らぎによる散乱が不均質な乱流層の周辺について、MUレーダーを用いた観測を行った。このような乱流層の周辺ではレーダーのビーム照射中心方向とは異なる方向からの散乱が主体となりうるということが報告されていて、ドップラー法による風速推定に誤差を生じる要因となり得ることが報告されている。

観測の結果、境界面が平坦な層と荒れている層が確認され、それぞれ受信電波到来方向は大きく偏移しており、ドップラー法による風速推定に誤差を含んでいることが明らかになり、SI法における補正やSA法による風速推定が有効であることが示された。また、平坦な層の周辺で確認された大気重力波について調べた結果、大気重力波の波面はこの乱流層に並行で、その鉛直方向の移動速度もほぼ等しいことが分かった。これより、この乱流層は大気重力波の破碎によって生じたものと考えられる。このような乱流層の詳細な構造が明らかになった意義は大きい。

以上により、空間領域干渉計法観測を大気レーダーに適用する場合の水平風速推定精度とその有効性、乱流層の微細構造とそのレーダー観測への影響を示すことができた。

今後は、2001年3月にインドネシアに完成した赤道大気レーダー (図2：プキティンギ郊外) にこの研究成果の応用を目指す。



図1：MUレーダー



図2：赤道大気レーダー

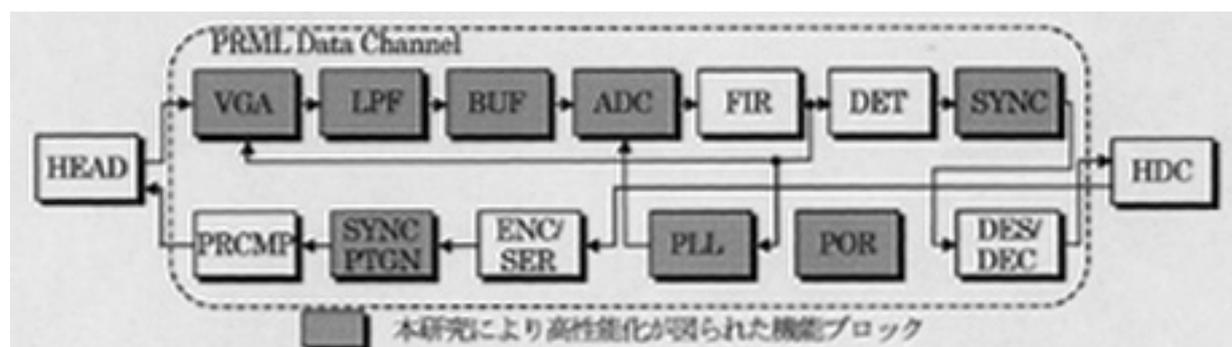
安田 岳雄 (小野寺教授)

「Circuit Technologies for High Performance Hard Disk Drive Data Channel LSI」
(高性能ハードディスクドライブデータチャンネルLSIを実現するための回路技術)

平成13年3月23日授与

本論文は、筆者が京都大学大学院情報学研究科通信情報システム専攻集積システム工学講座および、日本アイ・ビー・エム株式会社野洲研究所、米IBM Corp.アルマデン研究所において研究開発を行った、ハードディスクドライブ (HDD) 用のデータチャンネルLSIの高性能化回路技術についてのものである。ハードディスクシステムへの入力、デジタルデータであるのに対し、ディスクから直接信号をやりとりするヘッドでは、記録情報は磁界の変化に応じたアナログ信号として扱われる。このアナログ信号は、書き込みヘッドにより磁界信号に変換され、ディスク上に磁化パターンを生成する。一方読み出しヘッドは、磁化パターンが作り出す磁界に応じた、アナログ信号を生成する。データチャンネルとは、デジタルデータと磁気ヘッドで処理されるアナログ信号との変換を行う機能ブロックを指し、高性能化を図る要求項目として、以下の3つがあげられる。(1)磁気ヘッドからデータチャンネルまでは、信号をシリアルでしか処理できないため、データ転送速度の向上を考えた場合、データチャンネルがボトルネックとなる部分であり、HDD全体の中でも最も高速で動作する必要がある。(2)データチャンネルは、アナログ波形からデジタルデータを取り出すため、データエラーレート (誤り率) を大きく左右する。つまりオフセットやノイズに対する影響を最小限に抑える必要がある。(3)HDDの小型化、モバイル (バッテリー動作) 製品化に対応するために、データチャンネルの複雑な機能は低消費電力化が必須となる。

本論文ではこれらの性能改善を達成するために、下図で示されたブロックに対し、いくつかの要素回路技術を提案し、ハードウェア測定あるいは数値計算による検証により、非常に大きな効果が得られることを示している。具体的には、まず始めにアナログ信号処理において問題となるオフセットを、システム全体として効率的かつ自動的にキャンセルする手法を考案した。これにより個々のブロックのオフセット特性要求を緩和できることを、試作測定により検証している。次にアナログ波形の標本化に用いるサンプリングクロックを生成するPLLの、VCO自動キャリブレーションによる広帯域化手法、さらには可変遅延素子を用いた、高速ロックアップを可能とする手法を提案し、それぞれ試作測定により検証している。さらにデジタル信号処理として、データのバイトブロック同期を効率的に行う手法を提案している。ヘッド、データチャンネルでは、データはシリアルで処理されているが、パラレルインターフェースを持つホストサイドでデータを処理するには、バイトブロックの区切りや、PLLの同期データとユーザデータの区切りを認識する必要がある。ノイズによりデータビットの多くが破壊されたとしても、従来の手法に比べ、十分低いエラーレートでこの認識が行えることを数値計算により検証している。最後に低消費電力化をおこなう上で必須となる、低電源電圧化に対応した、リセット信号発生手法についての提案を行い、試作測定によりその動作を検証している。



藤川 一 洋 (塩津教授)

「Basic Studies on Characteristics of Superconducting Fault Current Limiter with Adjustable Trigger Current Level」

(動作開始電流値の調整可能な超電導故障電流限流器の特性に関する基礎研究)

平成13年3月23日授与

電力系統においては供給信頼度を高めるため系統連係を行うが、これは事故時の短絡電流の増大につながることになる。電力系統の直面しているこの相反する安定度と短絡容量の問題を解決する機器として、超電導故障電流限流器が期待されている。本論文は、電力系統に導入された故障電流限流器の特性検討という視点から、限流動作開始電流値の調整可能な超電導限流器を提案・小型モデルを試作し、その限流動作・復帰動作について実験的・解析的に論じた結果をまとめたものである。

序論では、研究の背景を示し限流器の必要性・有用性を述べ、さらに超電導現象を利用した限流器の特長を示している。超電導限流器を系統内の機器として見た研究の重要性を指摘し、これを研究の目的としている。つづいて、対称座標法を用いた限流器を含んだ故障計算により、電力系統の条件から限流器に要求される基本的仕様である限流動作開始電流値と限流インピーダンスを決定する方法を示している。特に、動作開始電流値に要求される精度について言及している。

この検討結果に基づき、言及した精度を実現するため、動作開始電流値の調整可能な超電導故障電流限流器の提案を行っている。その基本動作原理・設計方法を示し、実現可能性を実証するために小型限流器を設計・製作している。この限流器は、2つのコイルを持つ変圧器型で、2次側コイルが可動・脱着可能となっており、2つのコイルの相対的位置を低温容器外から微調整できる構造としている。動作開始電流値は2次側コイル、限流インピーダンスは1次側コイルによってそれぞれ独立に設計できることを指摘している。これによって2次コイルの超電導・常電導転移電流値を変更することなく調整することを提案している。さらに、この限流器を用いて、提案した限流器の動作原理、動作開始電流調整の検証実験を行っている。準定常的に電流を増加させた際の電流限流特性試験、系統事故を模擬した過電流限流試験を行い、その結果、提案原理通りに動作開始電流値が微調整あるいは変更ができることを確認している。待機時・限流時のインピーダンスを測定し、ほぼ設計通りであることを確認している。限流器電流が動作開始電流を越えると、速やかに限流動作を開始し限流インピーダンスが得られることが示されている。動作開始電流値の劣化について、交流損失の算定・測定を行い、その原因として試作限流器の構造の問題点を指摘し、この議論をもとに改良した3相一括限流器を試作し、各相の限流器の動作開始電流値が設計値の5%以内に収まることを実験によって確認している。

また、限流器限流動作後の遮断器動作(遮断・再閉路)による限流器の待機状態への復帰特性について、実験的に検討している。限流器が待機状態に復帰するために要するゼロ電流となる遮断時間は、現在系統で設定されている遮断器動作時間に対して十分短く良好な復帰特性を示すことを明らかにしている。復帰特性に関連して、限流動作中の提案限流器の2次側コイルは、その線の一部のみが常電導化しており、熱的準定常状態においては2次側コイル電流が1次コイル電流によらず一定の最小伝搬電流となることを指摘し、実験によって確認している。2次側コイルの抵抗値は、1次側コイル電流にほぼ比例することを示している。

並行して、提案限流器の動作解析手法として、電気回路方程式と熱伝導方程式をあわせた計算機シミュレーションを提案している。これは超電導線材の材料定数や液体ヘリウムの冷却特性などを考慮した限流動作・復帰動作の検討を行うことを目的としており、実験結果と比較してその有用性を示している。また、限流動作中の2次側コイル温度の線方向分布を解析によって推定し、実験結果から指摘したとおり、限流時の熱的平衡状態では2次コイル電流が最小伝搬電流となることを確認している。

以上、本論文では超電導故障電流限流器を系統機器としてとらえ、限流器に必要とされる限流インピーダンス、動作開始電流値の基礎設計指針を示し、これを元にして動作開始電流値の調整可能な限流器の必要性を指摘して、これを実現する一つの超電導限流器を提案・試作し特性解析を行ったものである。

董 志 偉 (吉川潔教授)

「Simulation Study on Mode-medium Interaction in a Free Electron Laser Oscillator」
 (自由電子レーザ生成における光モードと電子ビームの相互作用に関する数値的研究)
 平成13年3月23日授与

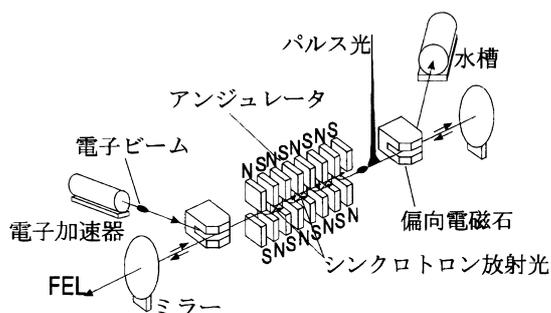
自由電子レーザ (Free Electron Laser; FEL) とは、アンジュレータと呼ばれる周期的な磁場中に光速近くまで加速された電子ビームを入射して蛇行させることにより、蛇行の際に発生するシンクロトロン放射光を重ね合わせて、さらに光共振器を用いてその放射光と電子ビームとを共鳴的に相互作用させることによりコヒーレント光を得るものです (左下図参照)。

FELはその発振波長がアンジュレータの磁場強度、周期長、電子ビームのエネルギーに依存するため、原理的にはマイクロ波領域からX線領域まで連続的に変化させることが可能で、固体レーザや気体レーザのように発振波長が原子、分子、及び固体の電子のエネルギー準位に束縛されないという特徴を持っています。またFELは高真空中で電子ビームエネルギーを光エネルギーに直接変換するためレーザ利得媒質などでの熱損失がなく、高効率で、高いピーク出力が得られます。

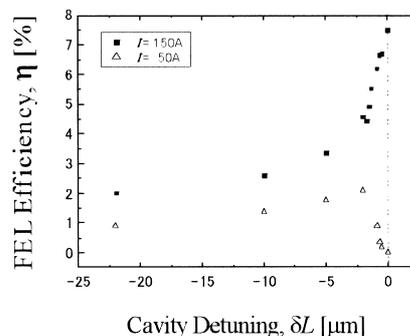
世界初のFEL発振が達成されて約20年たった現在では、アメリカ、ヨーロッパ、日本、韓国などでFEL施設が建設され、電子加速器、電子蓄積リングを用いた多くのFEL発振が報告されており、生医学、生物物理、物性研究などに利用されています。

さらに応用分野を広げるためのFELの高性能化、例えば短波長化、狭帯域化や大出力化などに直ちに繋がる電子ビームの高輝度化 (大電流密度化) が近年の加速器技術の大幅な進展により可能となり、そのような高輝度電子ビームによるFEL発振実験が国内外で盛んに行われています。ところが、この電子ビームの高輝度化に伴って、従来のFELの理論や数値シミュレーションでは説明できない様々な現象が実験で見出されてきました。

例えば、大阪大学では電子ビームの高輝度化による発振波長のシフト、日本原子力研究所では低輝度電子ビームでは発振の得られなかった実験条件での発振が見られています。本研究では、光と電子の速度差によるスリップ効果や、光共振器内の複数モードの競合過程など、光モードと電子ビームとの相互作用の評価が可能な時間・空間依存三次元FELシミュレーションコードの開発を行い、それを用いてこれら新たに見いだされた実験結果を定量的に説明して、その現象の妥当性を明らかにするとともに、それらの効果とFELパラメータとの相関を明らかにしました。右下図は、電子からFELパワーへの変換効率 η の光共振器張Lに対する依存性を、異なる電子ビーム電流Iについてシミュレーションした結果です。従来理論では説明されなかった、大電流時には $\delta L = 0$ でもFEL発振が可能 ($\eta > 0$) であるという実験結果が、上述の光モード・電子相互作用を考慮した本研究のシミュレーションで再現されました。



FELの概念図



電子ビーム大電流化によるFEL発振条件の変化

浮田宗伯（松山教授）

「Real-Time Cooperative Multi-Target Tracking by Communicating Active Vision Agents」
(能動視覚エージェント群による複数対象の実時間協調追跡)

平成13年9月25日授与

実世界の複雑な状況下において自律的に動作する計算機システムにとって、実世界における動的状況の理解は不可欠な機能である。動的状況理解を実現するために、対象追跡は最も重要且つ基盤となる技術の一つである。そこで本論文は、動的且つ多様な状況に適応可能な実時間対象追跡システムを提案した。

広範囲における複数対象の実時間追跡を実現するために、我々は分散協調視覚の考えに基づいてシステムを設計した。分散協調視覚システムは、複数の能動視覚エージェントにより構成されており、能動視覚エージェント間の協調動作によりシステム全体として与えられたタスクを実現する。能動視覚エージェントとは、シーンの観測を行う観測ステーション（アクティブカメラを備えた画像処理システム）の論理モデルである。

まず、広範囲における能動的観測を行うために、我々は視点固定型パン・チルト・ズームカメラを開発した。このカメラは、カメラの投影中心と回転中心が常に一致するように較正されており、パン・チルト・ズームパラメータを変化させながら画像を撮影しても、画像間に視差が存在しないという性質を持つ。この性質により、(1) 撮影画像集合から1枚のパノラマ画像を生成可能である、(2) 生成されたパノラマ画像から任意のパン・チルト・ズームで撮影される画像を抽出可能である。こうした特性を利用することによって、任意のパン・チルト・ズームで観測された入力画像と生成背景画像との比較（背景差分）により対象物体の検出を行うアクティブカメラシステムが実現可能となる。

次に、単一のアクティブカメラによる実時間対象検出・追跡のために、視点固定型パン・チルト・ズームカメラを用いた能動的背景差分法を提案した。このシステムでは、システムの持つ視覚機能とカメラ制御機能をそれぞれ並行に動作するモジュールによって実現し、ダイナミックメモリを介した両機能間の実時間相互作用により、シーン中を移動する追跡対象の継続的追跡を実現している。ダイナミックメモリとは、並列プロセス間の情報交換のための共有メモリである。ダイナミックメモリを介するにより、各プロセスは非同期且つ任意のタイミングで、任意の時刻に観測された情報を獲得することが可能となる。

最後に、能動視覚エージェント群の実時間協調動作を実現するために、我々は三層構成のインタラクションシステムを提案した：

第1層（intra-AVA層）：一つの能動視覚エージェント（Active Vision Agent, 略してAVA）を構成する視覚・行動・通信モジュールと、これらのモジュール間の情報交換を行うダイナミックメモリが存在する層である。これらのモジュール群は、相互に必要な情報を交換しながら動作することにより、一つのAVAとして機能する。

第2層（intra-Agency層）：特定の対象を協調追跡しているAVAのグループをエージェンシと呼ぶ。この層は、一つのエージェンシに所属するAVAによって構成される。同一エージェンシ内のAVA群は、互いの対象検出結果を交換・統合することにより、追跡対象の協調追跡を実現している。

第3層（inter-Agency層）：システム内の全エージェンシにより構成される層である。各エージェンシは、相互に追跡対象とエージェンシの構成に関する情報を交換する。この情報に基づいてエージェンシ間で所属するAVAを交換することにより、追跡対象の移動に応じた適切なエージェンシ構成を実現する。

本システムでは、各層における動的相互作用によって、システム全体として複雑な動的状況下における複数の移動対象の実時間追跡を可能としている。

【論文博士一覧】

森 貞雄	「全反射を利用した磁気ディスク装置のスライダ浮上量計測に関する研究」	平成13年 1 月23日
嶋田 勝	「ECRプラズマを応用した半導体加工装置の研究」	平成13年 3 月23日
山田 昇	「相変化光メモリ材料とその応用に関する研究」	平成13年 3 月23日
澤田 宏	「二分決定グラフを用いた論理合成手法に関する研究」	平成13年 3 月23日
山足 公也	「背景認知処理を利用したアウェアネス指向ヒューマンインタフェースの構築に関する研究」	平成13年 3 月23日
築地 浩	「磁束ポンプ励磁形ブラシレス超電導発電機に関する研究」	平成13年 5 月23日
岩井 誠人	「移動通信環境における電波伝搬モデルとフェージング対策技術」	平成13年 5 月23日
木戸口 勲	「AlGaInP系赤色半導体レーザの高性能化に関する研究」	平成13年 7 月23日

学生の声**「博士課程における研究生活」**

電子物性工学専攻 松波研究室 博士後期課程1年 小野島 紀 夫

同回生の友人のほとんどが就職するなかで博士課程へ進学する決心をしたとき、親も親戚も非常に驚いて、「お前がやっていけるのか？」と聞いてきました。正直に言って、先のことはあまりよく分かっていませんでした。ただ、小さい頃から最先端の科学技術を知り、研究したいと思ってきたことと、大学院修士課程で、研究の楽しさや難しさを味わえたことが大きかったと思います。今、現実に博士課程の学生になって、相変わらず先のことは分かりませんが、充実した研究生活を送っています。

先のことはよく分からないと書きましたが、将来は研究者として海外で働いてみたいという希望があります。学部生だった頃、京都大学ESS (English Speaking Society) というクラブに在籍していて英語漬けの毎日を送っていました。その頃は、漠然と英語を自由に操れるようになりたいと考えていましたが、現在はモチベーションが違います。国際会議での公用語は英語だし、投稿論文も英語で書きます。学部生の頃と比べたら時間に余裕はありませんが、実際に使える英語を身につけたいと思っています。

最近、博士課程の間に身につけたいと思うことがたくさんあります。素晴らしい研究成果を得ることも大事ですが、日頃お世話になっている装置が故障したときのメンテナンスや管理の仕方なども重要だと思います。また、研究仲間と協力したり、一緒に難しい専門書を勉強したりするような協調性も大切です。いろいろ考えていると博士課程はあつという間に過ぎてしまいそうです。博士課程で研究できるということはとても貴重で、その機会を与えて下さった研究室の先生方や両親に感謝の心で一杯です。同回生の友人たちより、社会の舞台に出て行くのは遅くなるけれど、将来に向けての貴重な助走期間だと考えて、これからも博士課程における研究生活を送っていきたいです。

「電気系での学生生活」エネルギー社会・環境学専攻 吉川（榮）研究室 博士後期課程1年
伊藤 京子

吉川（榮）研究室に配属されて以来、3年半が経ちました。宇治に通うのにも随分慣れてきていたところ、今年から、吉田キャンパスにも部屋が加わり、医学部構内の先端科学棟を拠点に研究をすすめています。当研究室では、ソフトウェアからハードウェアまで、広くヒューマンインタフェースの研究を行っており、私の場合、卒業研究では「会話型エージェントによる学習支援システムの研究」、修士過程では「アフェクティブインタフェースのための表情・音声合成による感情伝達手法に関する基礎研究」という表題で論文を執筆しました。博士課程に進学してからは、ネットワークコミュニケーション上での場の形成や話し合いなどに着目し、Webベースで様々な人が参加できる議論の場の枠組みを検討していく予定です。

女子学生の数が非常に少ないのが電気系の特徴の一つですが、学部学生当時、私の学年では140数名中2名、研究室では、修士課程修了時まで20数名中1名でした。高校以来、理系で過ごしてきましたが、このように少数なのは初めての経験で、「当たり前になっていること」の感覚が大きく異なり、非常に戸惑いました。また、自分の性別が異なっていることも強く感じさせられました。他の電気系所属の女子学生とも、そのような違和感について話してきました。「世界は男女両性で構成されており、どちらが欠けても不十分である」とはよく言われることですが、電気系にも女性の視点を取り入れられれば、学部も活性化し、研究に関しても新たな方向性が見いだせる可能性があると思います。

今後、電気系でも女子学生の割合が増えること、そしてその人たちが勉強も研究もより楽しめるような環境を得られることを、強く期待します。私自身も、課程修了まで残り2年半となりましたが、自分の目指す方向を探し、研究することを存分に楽しむ学生生活を送りたい、そして、将来への道を切り開いていきたいと思っています。

がんばります。

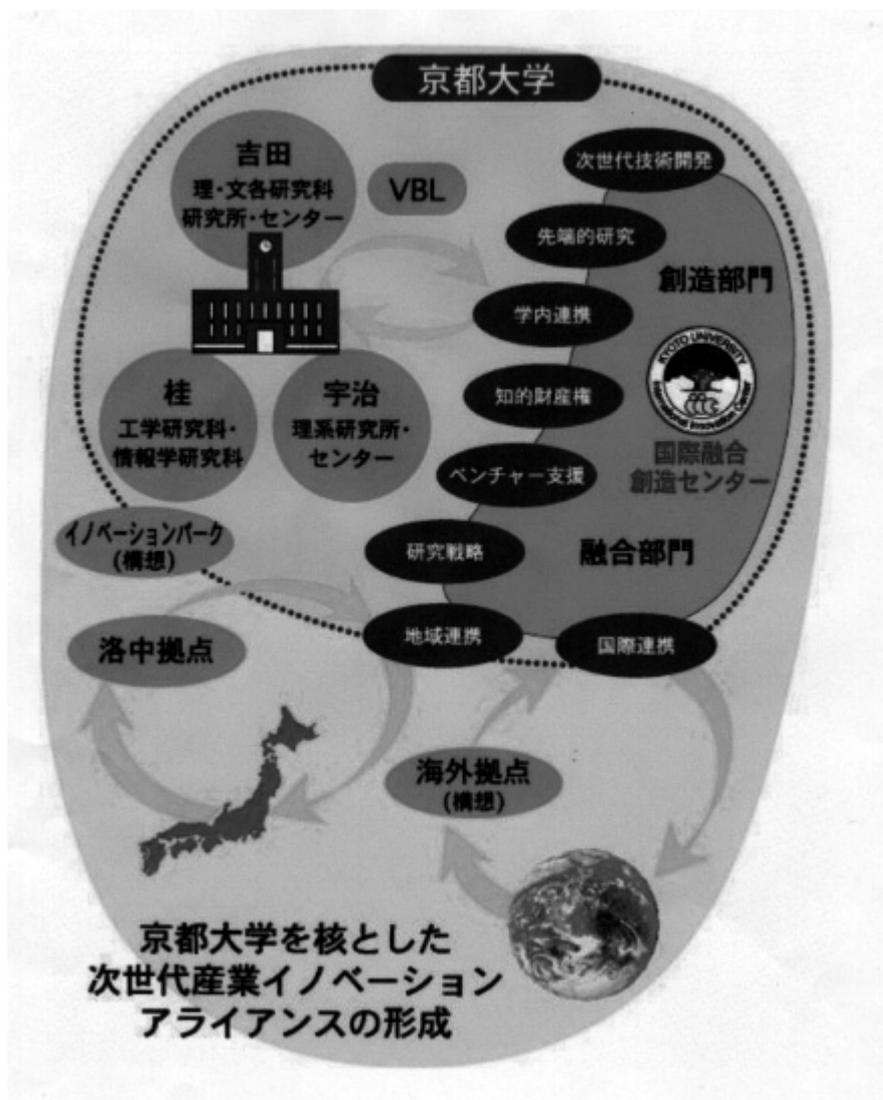
教室通信

国際融合創造センター発足について

本年4月、京都大学から世界に向けた知の結集・情報発信のセンターとして、また全学の産学連携推進拠点として「国際融合創造センター」が設置され、活動を始めています。その理念は、異なる学問分野の融合、および国際・地域・産学官の人的融合により、新学問領域を創造し、さらに新産業創出につながる技術開発を通して、大学の社会貢献を具現化するというものです。(概念図参照)本センター設立の基盤は、実は6年ほど前に設置されたベンチャー・ビジネス・ラボラトリー(VBL)であり、今回のセンターにも電気系の関与・寄与は大きいものがあります。現在、教授・助教授当の教官スタッフは12名で、来年度の概算要求が無事認められれば、総計20名と国内最大規模のセンターとなる予定です。大学からのベンチャー、次世代産業基盤の創出、地域・産業界との連携と、これから法人化される

大学にとって重要な役割を担うものと期待されている一方、これまでにない機能、活動を行うため、試行錯誤的な取り組みとなり、皆様のご示唆・協力に加え、全学の支援が不可欠と思われまます。本年11月には京大全学の技術シーズを発信する「IICフェア」を東京と大阪で開催することになっており、これらの活動も含め、最新情報はセンターのホームページ<http://www.vbl.kyoto-u.ac.jp>に紹介されています。是非一度ご覧頂ければ幸いです。

センター長 松重 和美 (電子物性工学)



編集後記

電気百周年記念事業の一環として1998年にスタートした「cue」も4年半を経て、電気系教室から皆様への貴重な情報発信手段として定着しつつあります。今後キャンパス移転、独立行政法人化等に関連し、電気系教室においても新たなフェーズへの展開が望まれ、「cue」としても発信する情報のさらなる充実化を模索しております。皆様の変わらぬご支援・ご協力をどうぞ宜しくお願い申し上げます。

(T.O記)

おわびと訂正

cue第7号の電気系関係教室一覧19Pにおきまして、編集上の不手際により「通信システム工学講座知的通信網分野（高橋研）」が記載されておりました。関係各位にご迷惑をおかけしましたことを深くお詫びしてここに訂正させていただきます。

発行日：平成13年12月

編集：電気電子広報委員会

石川 順三、吉田 進、引原 隆士、
川上 養一、木本 恒暢、尾上 孝雄、
垣本 直人

京都大学工学部電気系教室内

E-mail: cue@kuee.kyoto-u.ac.jp

発行：電気電子広報委員会，
洛友会京都大学電気百周年
記念事業実行委員会

印刷・製本：株式会社 田中プリント