

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 (牟田研)

電力工学講座 電力発生伝送工学分野

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 (大澤研) *

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 (藤田茂研)

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)

附属イオン工学実験施設

クラスターイオン工学部門 (高岡研) *

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・環境学専攻

エネルギー社会環境学専攻 エネルギー情報分野 (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)

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

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

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

創造部門

先進電子材料分野 (藤田静研) §

融合部門

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

複合システム論講座（荒木研究室） 「静脈麻酔鎮静度制御システムの開発」

最近、医療現場においては患者のQOL（Quality of Life）が重要視され、治療の質の向上や治療時および治療後の適切な生理状態の維持などが求められています。患者の生理状態の望ましい制御を行うためには、薬剤等の効果が現れるまでのむだ時間を考慮して、効果をなるべく正確に予測しながらきめ細かい調節を行う必要があります。我々はとくに周術期（術前・術中・術後）を対象として、薬剤の投与速度を調節して患者の生理状態を適切に維持するシステムについて研究を行っています。ここでは、すでに臨床応用を開始しているシステムの一つである静脈麻酔鎮静度制御システムについて紹介します。

全身麻酔は意識消失、鎮痛、無動化の3要素からなります。このうち意識消失に関して、近年吸入麻酔薬に代わって静脈麻酔薬 propofol が使用されるようになってきています。これは、代謝速度が速く、患者が麻酔から早く覚め、副作用が少ないという患者の肉体的負担の軽減に加えて、退院までの期間が短縮され、医療費の削減や患者の経済的負担の軽減という利点があるためです。以上の利点を十分に活かすためには、静脈麻酔薬の投与量を意識消失の効果が得られる最小限に抑えることが望まれますが、医師の手で適切に調節することは困難です。そこで、手術に適した意識消失のレベル（鎮静度）に維持するシステムの開発を行いました。鎮静度としては脳波に基づく BIS（Bispectral Index）を用いています。システムの構成を図1に示します。

本システムは、鎮静度のフィードバック制御、個々の患者に対する麻酔薬の効果のオンライン同定、および術中覚醒や過剰投与など望ましくない状態の回避の3つの機能を備えています。鎮静度のフィードバック制御には、モデル予測制御法を用いています。これは制御対象（この場合は薬剤投与に対する鎮静度の変化）のモデルを用いて将来の鎮静度を予測し、それが望ましい鎮静度変化にできるだけ近くなるように操作量を決定する方法です。この予測に用いるモデルとして、薬理学の知見に基づくモデルを用いています。各患者のモデルパラメータは、年齢、体重および麻酔導入時の応答から求めています。また、術中覚醒、麻酔薬の過剰投与や血圧・脈拍等の異常の回避を行う機能を付加しています。

本システムは、京都大学医の倫理委員会の承認を得て、2001年12月から京都大学医学部附属病院デイ・サージャリー診療部で臨床応用を開始し、現在までに120例以上の臨床応用を行っています。すべての例で制御は適切に行われ、BIS値をほぼ望ましい範囲に維持できました。

本システム使用時と医師によるマニュアル制御時の整定時間、平均BIS値、および平均麻酔薬投与速度について比較した結果を表1に示します。これらすべてで統計的な有意差が認められました。すなわち、開発システムのほうが正確な制御が可能であり、麻酔薬の投与量も低減できます。

今後はさらに正確な制御を行えるようにするとともに安全性の向上のための改良を行っています。

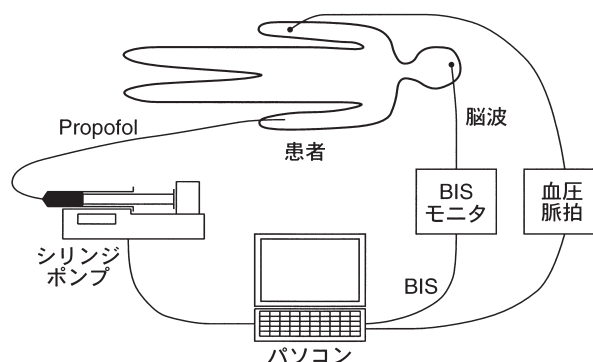


図1：静脈麻酔鎮静度制御システムの構成

表1：本システム使用時とマニュアル制御時の比較

項目	本システム使用		マニュアル制御	
	平均値	SD	平均値	SD
整定時間 (min)	28.2	31.9	43.9	54.9
平均 BIS 値	48.5	2.5	45.7	6.5
平均麻酔薬投与速度 (mg/kg/h)	8.2	2.1	9.1	1.4

(SDは標準偏差)

電磁工学講座 超伝導工学分野（牟田研究室） 「可変リアクトルを用いた整流型限流器」

本研究室では、発電機、電動機、送電ケーブル、限流器といった超伝導技術の電力機器への適用と超伝導材料の適用性から見た評価、極低温環境の有効利用を中心として研究を行っている。今回は、その中で、限流器について紹介する。

限流器とは、電力系統における事故電流を抑制する機能を持つ電力機器である。限流器があると、線路リアクタンスを減少させても事故電流を抑制することを可能にし、電力系統の連携を増強できる。理想的には平常時のインピーダンスは、 $Z = 0$ で、系統事故時には、有限のインピーダンス $Z = r + jx$ となる機能を持つ。常伝導であるアーク・抵抗方式、半導体方式、超伝導現象を利用する各種方式が提案されている。超伝導を応用すると限流動作開始に系統故障の検出がいらず、受動素子であることが優れており、様々な構成が考えられた。

近年我々はこの中で、半導体断路器と親和性の高い、整流型限流器を中心に研究を進めている。限流効果の大きいリアクトルと組合せると負荷電流が急増するときにも、限流動作してしまうことが分っている。そこで、インダクタンスの値が電流によって受動的に平常時には小さく、系統事故時には大きくなるような可変リアクトルと整流回路を組合せばよい。その実現方法として、「可飽和リアクトル」、「無誘導並列接続リアクトル」、「無誘導直列接続リアクトル」、「直流変圧器型リアクトル」、「磁気遮蔽型リアクトル」を提案し、特許出願した [1, 2]。

大学で実験できる規模であるが、図1、2に示すような小型モデル器を用いて、動作試験を行っている。図3に直流変圧器型リアクトルを用いた整流型限流器の動作試験波形を示す。電源電圧が100Vの場合においても十分な限流効果があり、かつ40%の負荷急増に対しても過渡的電圧低下を示さないことが確認されている。さらに、計算機シミュレータによって様々な条件下における限流器の導入効果を検討し始めている。限流器は第1波から過電流を抑制できるので、機器を設計のときに、従来遮断器が開くまでの時間の過電流耐量を小さくすることが出来る。すなわち、限流器を系統に導入することによって、系統機器に対する設計尤度が増し、それらの機器の省エネルギー・省資源化を可能とするものである。単に遮断容量の大きな遮断器に取替るのではなく、電力の安定供給に欠かせない機器となるものとして、今後も精力的に研究開発に取り組んでいく予定である。

[1] 限流器、特開2002-291150 (2002.10.4) [2] 限流装置、特願2003-61321 (2003.3.7)

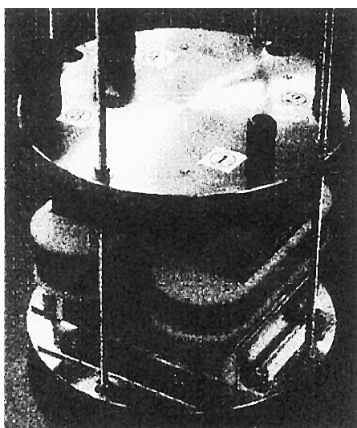


図1：試作可飽和リアクトル

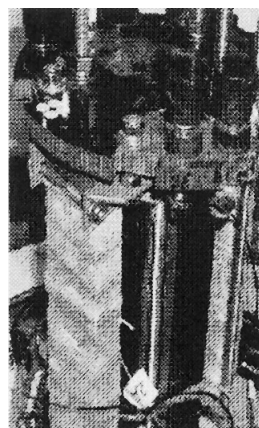


図2：4巻線変圧器

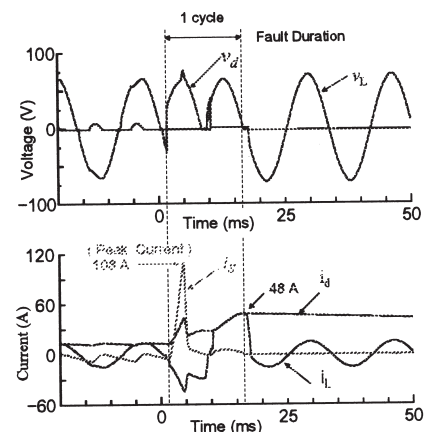


図3：DC変圧器型試験波形

電気システム論講座 自動制御工学分野（萩原研究室） 「数値最適化手法を用いた制御系の設計および解析」

本研究室では、さまざまな分野への制御技術の応用を支える制御理論の基盤を確立すべく、デジタル制御系に関する制御理論（現代的サンプル値制御理論）や2自由度最適制御系の設計理論を中心に研究を行なっています。今回は、これらのテーマに加えて新しく研究を立ち上げている最中である数値最適化手法を用いた制御系の設計および解析に関する研究の平易な説明を試みます。

1990年初頭を境に、計算機の使用を前提とした制御理論なるものが注目を集めはじめ、以降活発に研究が進められています。解析的な解を探求してきた従来の制御理論の研究スタイルとは大きく異なり、制御系の設計問題、あるいは解析問題を線形行列不等式（Linear Matrix Inequality, LMI）で表される凸最適化問題に帰着させ、計算機によって解を求めようというアプローチです。現在では、制御における基本的な問題がLMIに帰着できることが知られておりますが、必要十分の形でLMIに帰着できる問題は限られており、制御理論における広範な問題をLMIに帰着させるための普遍的な方法は見出されておられません。

このような状況のもとで、本研究室では与えられた制御系の設計問題、あるいは解析問題をできるだけ必要十分に近い形で取り扱うためのLMIに関連する代数的な処理手法に関する研究を行なっています。特に、私達の最近の研究により、標準的なLMIにある代数的操作を施して導出される伸張型LMIを用いれば、より必要十分に近い形での設計や解析が可能となることが分かってきており、この伸張型LMIに焦点をしばって研究を進めています。

以下、伸張型 LMI に基づく設計の有効性を示す一例として、ゲインスケジュールドコントローラの設計問題を取り上げます。制御対象は図1の点線内に示す時変パラメータ $\theta(t)$ を有する線形時変システムです。 G が制御対象の時不変な部分を表し、 $\Delta(\theta)$ が時変パラメータ $\theta(t)$ に依存して変化する部分を表します。時変パラメータ $\theta(t)$ はオンラインで測定可能であり、この情報をコントローラが利用できるものとします。ここでの目的は、制御系に入り込む外乱 $w(t)$ の評価出力 $z(t)$ への影響をできるだけ小さくするような、時変パラメータ $\theta(t)$ に応じて変化するゲインスケジュールドコントローラ $K(\theta)$ を設計することです。このようなゲインスケジュールドコントローラの設計問題を扱う上では、伸張型LMIを用いた方が標準的なLMIを用いるよりも有効であることが私達の研究により明らかになっています。図2は標準的なLMIおよび伸張型LMIを用いて設計を行なった場合のある外乱 $w(t)$ に対する出力 $z(t)$ の応答を表していますが、伸張型LMIに基づいて設計を行なうことで、良好な外乱抑制が達成できていることが分かります。

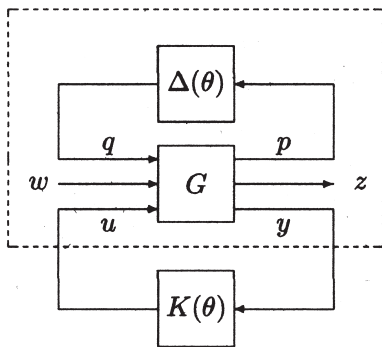


図1 : Gain-scheduled controller synthesis.

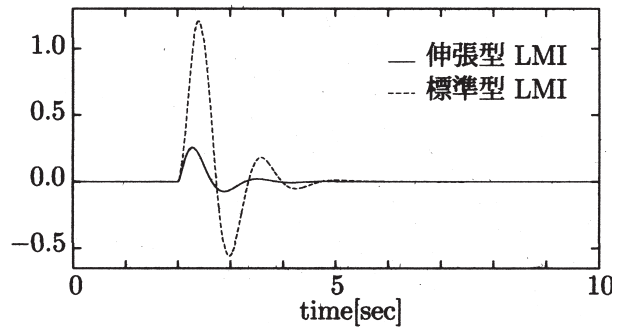


図2 : Response of $z(t)$.

電子物理工学講座 プラズマ物性工学分野（橋研究室） 「誘電体バリア放電とフィラメントの自己組織化の観測」

誘電体バリア放電（DBD）は、大気圧でもアーク放電にならず、グロー放電が可能という特徴を有する。通常の金属電極間に高電圧を印加すると、最初に放電した表面に電流が集中しアーク放電に移行するが、図1 (a) のように金属電極を誘電体で覆うと、誘電体への蓄積電荷によってギャップ間電圧が低下し、維持電圧以下になると放電は消える。次に極性の異なる電圧を印加すれば、蓄積された電荷による電界が重畳されて放電が起こりやすくなる。このように、DBDでは交番のパルス電圧によって駆動することによって、アークに移行しない安定した放電が得られる。これを材料プロセスにも応用し、プラズマ表面改質や薄膜堆積も試みられている。従来の減圧条件下のプラズマでは、大掛かりな真空容器と大規模な排気設備が必要であるが、大気圧プラズマでは、roll-to-rollの行程に容易に組み込むことができる。実用化のためには解決すべき課題が多いが、プラズマプロセスの中でも近年注目されている技術である [1]。本稿では、その研究の過程において観測された物理的にももしろい自己組織化の現象について述べる。誘電体バリア放電では、動作ガスにHeを用いると空間的に一様な放電が得られ、ArやN₂ではフィラメント状の放電がランダムに多数発生し、図1 (b) のようなランダムな放電電流となる。この違いには、Heガス中での電子やイオンの大きな拡散係数や、他の原子分子のイオン化準位より高い内部エネルギーをもつHeの準安定準位が関係しているとされているが、その機構はまだ良く理解されておらず、誘電体表面の蓄積電荷の定量的な測定法も含め、解決しなければならない問題が多い。図2は、そのような研究の途上で偶然見出した現象で、フィラメントが規則正しく対称性を保って並ぶという自己組織化の様子である（RF 500kHz、正弦波印加）。印加するRF電力を40から41Wまで徐々に変化させると、同図 (a) → (f) のようにフィラメントの本数が増加し、対称性もそれに応じて変化する。図1 (c) のように、電流波形にはランダムなパルス成分が含まれていない。

自己組織化そのものは、すでにPurwins等によって精力的に研究が進められている [2]。我々は違った角度で、この自己組織化を利用しようとしている。冒頭に述べた通り、バリア放電では誘電体に蓄積される電荷が重要な働きをする。従来のランダムフィラメントでは、壁電荷の時空間分布を追跡することは困難であり、想像の域を出なかった。停止した小数のフィラメントが得られることから、従来では不可能であった一本のフィラメントに的を絞った観測が可能となり、均一なバリア放電の生成において鍵となるフィラメントの発生機構の解明とその制御法に有効な知見が得られるものと期待している。

- 参考文献 [1] 第50回応用物理学関係連合講演会シンポジウム「大気圧・液中プラズマの基礎と先端技術への応用」, pp.53-58 (2003) .
[2] I. Brauer, C. Punset, H. G. Purwins, J. P. Boeuf: J. Appl. Phys. **85**, 7569 (1999) .

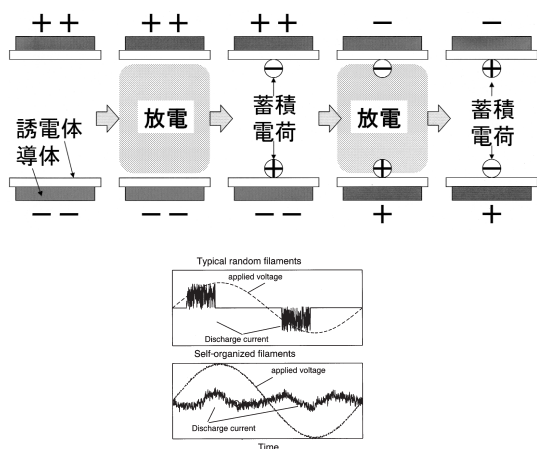


図1. 原理と電流電圧波形。

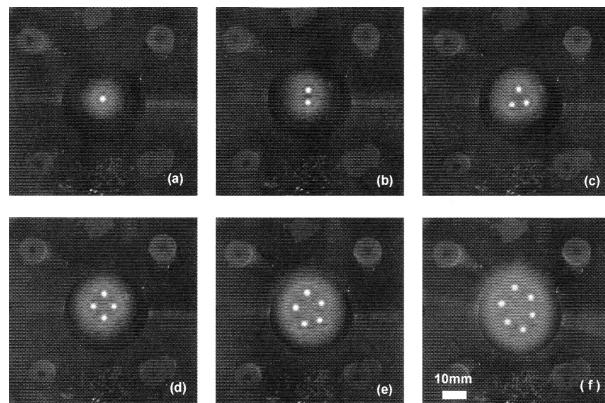


図2. 自己組織化フィラメントの例。

機能物性工学講座 電子材料物性工学分野（松重研究室）

「ナノ構造電極を用いた有機半導体薄膜の電気特性とFET特性に関する研究」

1. はじめに

有機分子のエレクトロニクスへの応用は有機ELを始めとする能動デバイスの出現により、非常に大きな注目を集めている。無機材料に比較して、有機材料を用いるメリットは、(1) 軽量性、(2) フレキシビリティ(柔軟性・湾曲性)、(3) 多様な量子状態(HOMO/LUMO)を実現する材料種の幅広さ、(4) スピンコート法、印刷法に代表されるプロセス費の低減、(5) 単一分子デバイス実現の可能性などが挙げられる。しかし、その一方で、有機分子/金属界面でのキャリア注入メカニズムやその高効率化、キャリア輸送機構や最適デバイス構造、ナノ領域特有の機能発現、など未だ明確でない点が数多く残されているのが現状である。上記背景のもと、本研究室では有機物特有の動作機構の解明と高効率化に関する基盤研究を行いつつ、デバイス応用に向けた可能性を行っている。

2. 配列制御した有機分子膜の電気特性評価

有機系材料の導電性は、分子が形成する分子軌道の空間的広がりや重なり方に大きく影響を受ける。我々は π 共役系分子であり、かつ成膜条件の最適化により高結晶、高配向性膜の形成が期待されるフェニル末端チオフェン3量体(P3T)の配列層状成長膜を作製し、そのFET特性の評価を行った。熱酸化膜(100nm)が形成されたヘビードープSi(100)をゲート電極とし、ギャップ幅30ナノメートル~1ミクロンのPt製くし形電極、先鋭電極をソース、ドレイン電極とした(図1参照)。この電極基板上に真空度： 10^{-4} Pa、蒸着速度： $0.3\sim 0.5$ nm/min、基板温度： 50°C の条件下で、真空蒸着法による成膜を行った。この条件下では、P3T分子は基板に対して垂直配向し、 π 電子雲をソース-ドレイン電極間に揃えた層状成長膜を形成する。FET特性の最も基本的な特性であるドレイン電流(I_d)-ドレイン電圧(V_d)特性の電極形状による変化を図2に示す。P3T膜はP型半導体特性を示すと共に、くし形電極と先鋭電極では明らかな特性差が観測された。くし型電極の場合、チャンネル長1ミクロン以下では短チャンネル効果により I_d - V_d 飽和特性や V_g 変調が観測されないものの、先鋭電極ではチャンネル長70nm以下でも V_g 変調、飽和特性を示し、素子の微細化において先鋭電極が有利であることが示唆された。また、 I_d - V_d 特性の特に線形領域における「立ち上がり特性」が先鋭電極にて大幅に改善されていることがわかった。その特性改善の原因としては、先鋭電極では先端曲率が小さいために電界集中が生じやすく、同じ電圧を印可したくし形電極と比較して実効的な電界が強くなり、電極からのキャリア注入効率が向上したためと思われる。

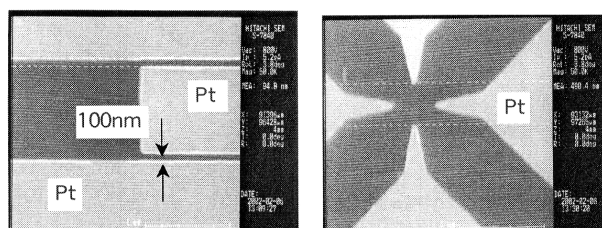


図1 櫛形電極、先鋭電極の概略図

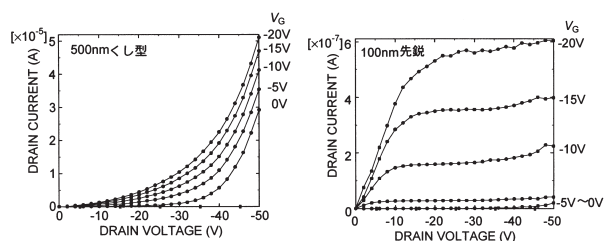


図2 くし形電極と先鋭電極における有機FET特性

量子工学講座 光量子電子工学分野（野田研究室）

「2次元フォトリック結晶スラブによる超小型波長合分波デバイス」

近年、光を自在に制御可能な新しい光ナノ構造として、フォトリック結晶が注目されている。これは、光の波長程度の周期的屈折率分布をもつ材料で、ちょうど固体結晶において電子のエネルギーに対するバンド構造が形成されるのと同様に、光子のエネルギーに対して、バンド構造をもつことを特徴とする。特にバンド構造中の禁制帯（フォトリックバンドギャップ）中に光が存在できないことが非常に興味深く、この効果を利用した自然放出の抑制や増強、急峻曲げ光導波路による超小型平面光回路、さらには新しい半導体レーザーなど幅広い応用が期待されている。本研究室では、2次元および3次元フォトリック結晶を用いた様々な光子制御技術を研究しているが¹⁻³⁾、以下では2次元フォトリック結晶スラブを用いた超小型波長合分波デバイスの現状について紹介したい。

2次元フォトリック結晶スラブは図1に示すような誘電体スラブ（薄板）に2次元の周期性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のように直線状線および点状に格子点を埋めた欠陥を導入することによって超小型の波長合分波デバイスが形成される。導入した欠陥部分においては周期性の部分的欠如により光の存在が許容されるようになる。線欠陥部分においては、光は横方向をフォトリックバンドギャップ効果によって、上下方向を全反射によって閉じこめられつつ、長手方向に伝搬できるため、これは導波路として利用できる。点状欠陥部分は微小共振器として動作し、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、上下方向の全反射は光の局在のために完全には満たさないため、上下方向の光放射が必然的に生じる。このため、図1の構造において線欠陥導波路を伝播する光のうち、点欠陥共振器の共鳴波長に一致する光子は点欠陥を介してスラブから垂直方向に放射され、その他の波長の光子はそのまま伝播する。これにより面出力型の波長分波機能を実現でき、また逆にクラッド側から点欠陥へ光を入射すれば、欠陥に共鳴する波長の光子のみが導波路に導入されるという面入力型波長合波機能も実現できる。これらの動作は、波長程度の大きさの点欠陥によりなされるため、極めて小さなデバイスが実現可能となる。

実験結果の一例を図2に示す。点欠陥共鳴波長である1557nmにおいて点欠陥からの光放射が生じており（図2- (b)）、それと対応するように線欠陥導波路の光透過率が減少している（図2- (a)）。実験結果の解析により分波効率はこの構造における理論的的最大値である50%に近い値であることが分かった。また、図2- (c) に示すように自由空間から導波路への波長合波動作も実現されている。さらに、現在400程度であるフィルターとしての

Q値を点欠陥の形状を変えることで数千以上にまで増加させることや、また、線欠陥や点欠陥の形状・配置を工夫することで外部光学系との結合効率を大幅に改善することなどの研究を行っており、波長多重通信システムへと応用可能な超小型デバイスの実現を目指している。

1) S. Noda, et al. Science **289**, 604 (2000) . 2) S.Noda, et al., Nature **407**, 608 (2000) . 3) S. Noda, et al. Science **293**, 1123-1125 (2001) .

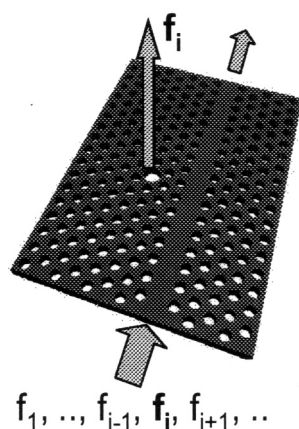


図1：フォトリック結晶スラブ波長合分波デバイス

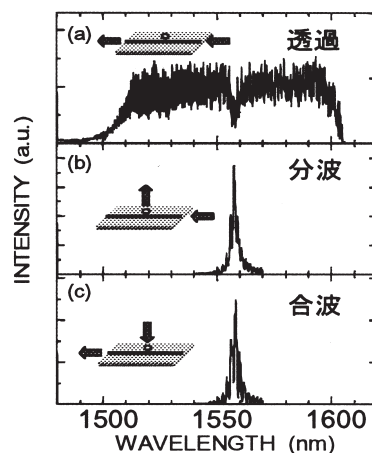


図2：デバイスの透過 (a)、分波 (b)、合波 (c) 特性

量子機能工学講座 量子電磁工学分野（北野研究室） 「異常群速度と負群遅延」

最近、光の速度が再び注目されている [1]。それは、レーザ冷却された原子など、新しいタイプの媒質を用いることで、光速 c を越える群速度や負の群速度、あるいは、非常に遅い群速度 ($\sim 10^{-5}c$) などが実現できるようになってきたためである。さらに、電磁誘導透過という干渉効果を用いると、群速度を0にする、すなわち光パルスが媒質内で静止させることすら可能になっている。いずれも従来の光の速さに対する常識を覆す現象であり、その物理的な仕組みや意味に興味を持たれている。一方、量子制御などの次世代光技術への応用の可能性についても検討されている。波の速度にはさまざまな種類があるが、おもなものとして、3つの速度、すなわち、位相速度、群速度、波頭速度が考えられる。位相速度が光速 c を越え得ることはよく知られている。一方、群速度はしばしば誤って、情報の伝達する速度と同一視され、光速 c を越えることはないと述べられている場合がある。しかし実際には、群速度も光速 c を越えることは原理的には禁じられていない。光や電磁波を学んだ人の多くが「位相速度は光速 c を越えてもよいが、群速度は c を越えることはない。それは相対論で禁じられている。」と誤解している状況はかなり問題である。一方、波頭速度は、信号が0から立ち上がる点（波頭）の速度である。急峻に立ち上がる波頭に含まれる非常に高い周波数成分が伝達する速度であり、光速 c に等しい。この波頭速度こそが、情報伝達の限界速度を与えている。

われわれは、上記のような群速度の異常性の本質を詳しく調べるために、集中定数系における群遅延について研究を行っている。とくに、負群遅延は、光速を越える群速度や負の群速度に対応する現象である。負群遅延は電子回路を用いると比較的簡単に実現できる [2, 3]。図1の回路は、直流近傍で、位相特性が周波数とともに進み、振幅特性は平坦であり、負の群遅延を与える。この回路に適当に帯域制限された滑らかな（ベースバンド）パルスを入力すると、図2に示すように、入力信号より出力信号の波形の方が先に出力される。パルス幅に比べて、進みが20%程度とそれほど大きくないが、光領域での対応する実験に比較すると、大きい進み量が得られている。回路をカスケードに接続することにより、進み量を増やすことが可能であるが、それに伴って、帯域外のゲインが指数的に増大し、実現が困難になる。正の群遅延には、このような困難はなく、時間の方向に関する非対称性が現れている。このような簡単な実験であるが、群速度と情報伝送速度（因果性）との関係について、従来の混乱した議論の整理に有効なモデルとして期待されている。また、他大学において物理実験のテーマとして、早速採用されるなど、教育面からも注目されている。

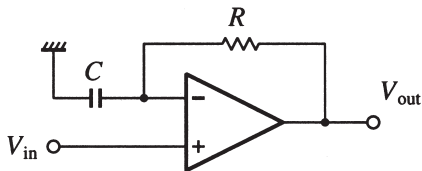


図1 負群遅延回路

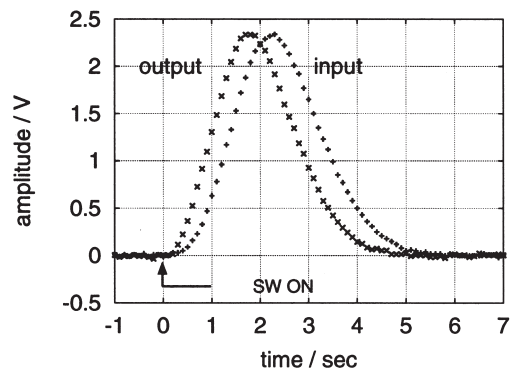


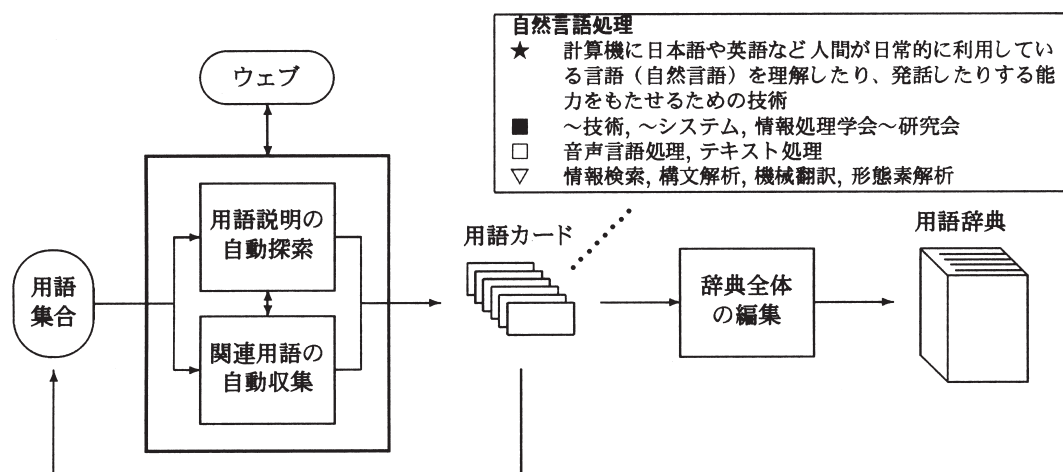
図2 入力と出力の波形

参考文献

- [1] 北野, 中西: 応用物理 **72**, 6月号 (2003) 印刷中.
- [2] T. Nakanishi, K. Sugiyama, and M. Kitano: Am. J. Phys. **70**, 1117 (2002).
- [3] M. Kitano, T. Nakanishi, and K. Sugiyama: IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics **9**, 43 (2003).

知能メディア講座 言語メディア分野 「ウェブを情報源とした用語辞典の自動編集」

近年、科学技術の高度化とともに、多くの分野で多数の新しい用語が生まれてきています。このような新しい用語の意味を調べる際に最も有用な情報源は、ワールドワイドウェブ（ウェブ）です。しかし、ウェブで単語の意味を調べる作業は、サーチエンジンなどを利用して試行錯誤を繰り返す必要があり、それほど容易とは言えません。本研究では、この作業の自動化を研究し、特定分野の用語群に関する情報を「辞典」形式に自動編集する技術の実現を目指しています。



辞典の編集に必要な作業は、(1) 用語の収集と選抜、(2) 用語項目の編集、(3) 辞典の構成、に大きく分けられます。本研究では、これを上図のようなシステムとして実現します。このうち、用語項目の編集で必要となる用語説明の探索は、これまでの研究で実現済み [1] であり、平成14年度は、与えられた用語からその関連用語を自動収集する方法を研究しました。

本研究で実現した関連用語の自動収集法 [2] は、(a) コーパス収集、(b) 重要語抽出、(c) フィルタリング、の3ステップから構成されています。まず、コーパス作成では、与えられた用語に対して、その用語を含むウェブページを検索し、その用語を含む文のみを集めて、数百文程度のコーパスを作成します。次の重要語抽出では、このコーパスに含まれる用語（主に、複合名詞）のうち、そのコーパスで特に重要と考えられるものを30個選びます。この選択には、語の造語能力に着目した方法（「造語能力の高い単語から構成される複合語が重要語である」）を用います。最後のフィルタリングでは、コーパスから重要語として抽出された用語が、専門用語であり、かつ、元の用語と強く関連しているかどうかを、ウェブのサーチエンジンのヒット数を用いてチェックします。この方法を用いると、たとえば、「自然言語処理」という語に対して、次のような関連用語を収集することができます。（*は、関連用語として不適切な用語を表します。）

形態素解析、構文解析、意味解析、意味処理、自然言語処理システム、自然言語処理技術、処理技術*、情報検索、音声情報処理、音声認識、自然言語処理研究会、情報処理学会、自然言語処理学、自然言語処理学講座*、研究分野*

参考文献

- [1] 桜井裕, 佐藤理史. ワールドワイドウェブを利用した用語説明の自動生成. 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.5, pp1470-1480, 2002.
- [2] 佐藤理史, 佐々木靖広. ウェブを利用した関連用語の自動収集. 情報処理学会研究報告, Vol.2003, No.4, 2003-NL-153-8, pp57-64, 2003.

通信システム工学講座 伝送メディア分野 (森広研究室)

「高速・高信頼な通信を達成する変調技術を目指して - 組合せOFDMの提案」

携帯電話や無線LAN内臓PCなどの広範な普及に見られるように、我々の日常には手軽に会話や情報交換ができる無線通信端末が浸透してきている。無線通信端末には、劣悪な無線通信路を克服するために現代の通信技術の粋が結集されている。高速かつ高信頼な無線通信を達成する変調技術の一つとして、無線LANのIEEE802.11aやデジタルテレビジョン放送などの変調方式に採用されている直交周波数分割多重 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing; OFDM)が知られている。OFDM変調方式は、高速



図1. OFDMの搬送波

に加え、搬送波の組合せに情報を乗せることにより、OFDM変調方式の無線通信に対する利点を残しつつ、同一周波数帯域幅で情報伝送速度の高速化が図れる。本研究室では、この新たな変調方式「組合せOFDM」を提案し、その特性を評価した。

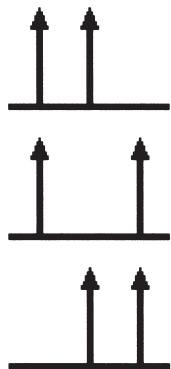


図2. 組合せOFDMの搬送波

簡単な例で組合せOFDMについて説明する。図1は3本の搬送波を2値変調する場合のOFDMの搬送波を表している。このとき、伝送できる状態数は8通りある。これに対して、3本の搬送波のうち2本を同時に利用する組合せOFDMの場合、図2のように同時に使用される搬送波の組合せは3通りのいずれかである。同時に使用する搬送波2本を2値変調すれば、伝送できる状態数は12通りになる。組合せOFDMでは、同時に使用する搬送波の数を適切に選べば、先に述べた例のように伝送情報量を増加させることが可能である。特に、搬送波の変調方式が2値変調の場合、全搬送波数を十分大きくとれば、組合せOFDMは従来のOFDMより約1.58倍の高速伝送が可能となる。

図3. OFDMと組合せOFDM

の、ビットエネルギー対雑音電力密度比に対するビット誤り率を示している。雑音は白色ガウス雑音、各搬送波の変調方式は8相PSK、全搬送波数は64、組合せOFDMの同時使用搬送波数は57としている。図3より、組合せOFDMは、OFDMより低い信号電力で同じビット誤り率を達成している領域があることが分かる。

図3にOFDMと組合せOFDMの、ビットエネルギー対雑音電力密度比に対するビット誤り率を示している。雑音は白色ガウス雑音、各搬送波の変調方式は8相PSK、全搬送波数は64、組合せOFDMの同時使用搬送波数は57としている。図3より、組合せOFDMは、OFDMより低い信号電力で同じビット誤り率を達成している領域があることが分かる。

今後、様々な通信環境における組合せOFDMの特性を検証していく予定である。

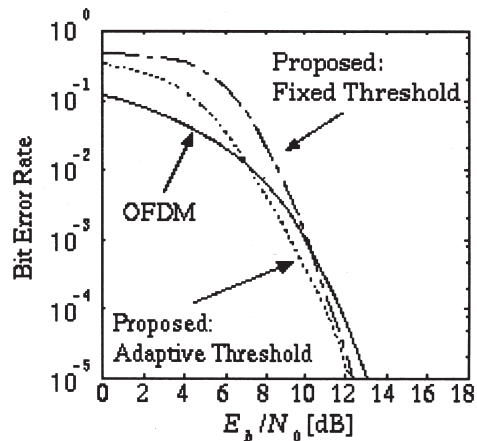


図3. 組合せOFDMのビット誤り率特性

集積システム工学講座 情報回路方式分野 (中村研究室)

「Plastic Cell Architecture

～ リコンフィギュラブル・コンピューティング・システムの実現を目指して～」

LSI(Large Scale Integrated circuit)の大規模化、それに伴う高機能化により、システム設計に要するコストは増加の一途を辿っている。一方、市場での製品サイクルが早まり、開発期間の短縮が求められている。こうした要求を受け、従来試作に要していた多大な時間とコストの削減のため、ユーザの手元で回路を書き換えることができるPLD(Programmable Logic Device)が利用されるようになってきた。近年では、さらに試作等における専用回路の代替部品としてのみならず、その再構成能力を活用して専用回路にせまる性能と汎用コンピュータと同様の高い柔軟性を両立したリコンフィギュラブル・コンピューティング・システムの研究が現在さかんにすすめられている。

中村研究室では再構成可能なアーキテクチャである Plastic Cell Architecture (PCA)を提案し、その基本概念、デバイスの設計・試作から、処理系や設計環境の構築、応用に至るまでの研究・開発を統括的に進めている。PCAは動作中の回路の書き換え(動的再構成)だけではなく、内部の回路が別の回路を書き換える(自律的再構成)機能をも有している。これをPCAでは、機能回路が構成され処理を実行する可変論理部と、可変論理部を制御し、また可変論理部上に構成された機能回路間の通信を担う組込み機能部の対からなる基本セルを敷き詰めることにより実現する。我々は、提案概念にもとづきPCAを実現するためのデバイス設計・試作も行った。1999年にはPCA-ChipOneを、2000年には可変論理部の構造を論理の埋め込み手法とともに提案・検討したPCA-Chip2を試作している。また、PCA-Chip2 上において機能実現を支援するための回路設計環境の構築もすすめている。この設計環境により、言語による機能記述から実際にPCA-Chip2 上にダウンロードするためのデータを自動的に生成することが可能となっており、回路設計者の負担を大幅に削減できる。さらにデバイスやツール群などの基礎的な研究・開発にとどまらず、PCAの特長である動的かつ自律的な再構成機能を活用した応用についての研究も進めており、現在、負荷に応じて機能回路を自律的に増減させる適応的な負荷分散処理の初期検討等を進めている。

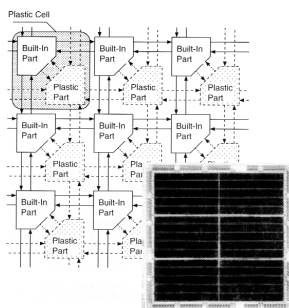


図1：PCAの構造(左上)ならびに設計・試作したPCAチップ(右下)

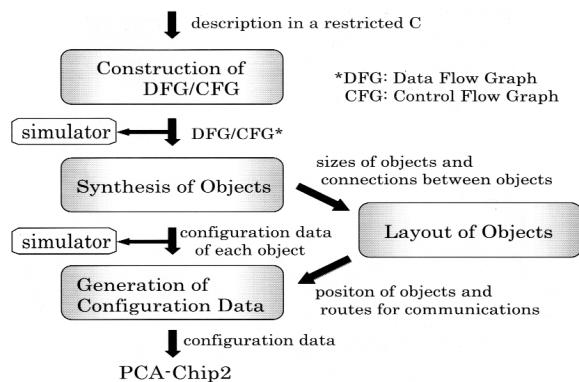


図2：構築した設計環境を用いたデザインフロー

参考文献

- ・ 富田、杉本、筒井、境、檜田、泉、尾上、中村：“LUTアレイ型PLDの設計と試作”、信学技法 VLD2000-98、ICD2000-155、FTS2000-63、pp.173-178、2000
- ・ H. Tsutsui, A. Tomita, S. Sugimoto, K. Sakai, T. Izumi, T. Onoye, Y. Nakamura: “LUT-Array-Based PLD and Synthesis Approach Based on Sum of Generalized Complex Terms Expression”、IEICE Trans. on Fundamentals, Vol.E84-A, No.11, pp.2681-2689, 2001
- ・ T. Okamoto, T. Yuasa, T. Izumi, T. Onoye, Y. Nakamura: “Design Tools and Trial Design for PCA-Chip2”、IEICE Trans. on Information and Systems, Vol.E86-D, No.5, 2003
- ・ Y. Soga, T. Yuasa, T. Izumi, T. Onoye, Y. Nakamura: “An Improved Communication Channel in Dynamic Reconfigurable Device for Multimedia Applications”、in Proc. of EUROSIS Euromedia Conference, pp.152-157, 2003

集積システム工学講座 超高速信号処理分野（佐藤研究室） 「大気レーダー用アダプティブクラッタ抑圧手法の開発」

大型大気レーダーでは、微弱な大気の散乱エコーを受信するために、多数素子で高利得なアンテナパターンを構成している。しかし、山や飛行機などのハードターゲットからの反射波は大気散乱エコーに比べて非常に強いため、現状のアンテナパターンでは抑圧が不十分である。そこで本研究では、数素子のウエイト制御可能な受信専用アレーを大型大気レーダーに付加することで、適応的にクラッタ抑圧する方法について検討した。この場合すべての素子のウエイトを制御することは非現実的である。そこでレーダーを1素子の高利得アレーとみなし、アダプティブなクラッタの抑圧を行う。素子のウエイト制御に関しては、方向拘束付出力電力最小化法（DCMP）をもとに、大型大気レーダーで使用する場合の問題点を解消する重み拘束付DCMP（DCMP-CN）を新たに提案した [1]。

通常の通信におけるアダプティブアンテナでは、所望信号の到来方向が定まっているため、その方向の応答が保証されれば、アンテナパターンは変形しても支障はない。しかし大気レーダーでは、目標は連続的に分布するため、アンテナ主ビーム形状に影響を与えないことと共に、サイドローブ領域からの妨害波及び銀河雑音の影響を極力抑え、高いSN比を保つことが重要である。また、極めて微弱な信号を検出するため、利得の低下を最小限度に抑えることが要求される。DCMP-CNではこれらの条件を満たすため、各素子の制御重みを一定値以下に制限することで主ビーム形状を保護し、また重み拘束によって系統的にSN比の劣化をどの程度に抑えるかを決定できる。

MUレーダーによる観測データを用いて、適応的にクラッタ抑圧ができるかについて検討した。受信専用アレーは3素子である。図1にアンテナの配置を示す。アダプティブ処理を行わないレーダーのみの場合（破線）、及び提案手法を用いて合成した出力（実線）のドップラーパワースペクトルの例を図2に示す。速度0m/sのスペクトルが山からの反射波である。また速度2～3m/sに見られるピークが大気乱流によるエコーである。提案手法では、所望信号の方向を指定しているだけで、不要信号のスペクトル形状については何ら情報を与えていないにもかかわらず、山からの反射波のみが正確に除去されていることがわかる。

参考文献

- [1] 神尾 和憲、佐藤 亨、電子情報通信学会論文誌、Vol.J86-B、No.5（印刷中）、2003。

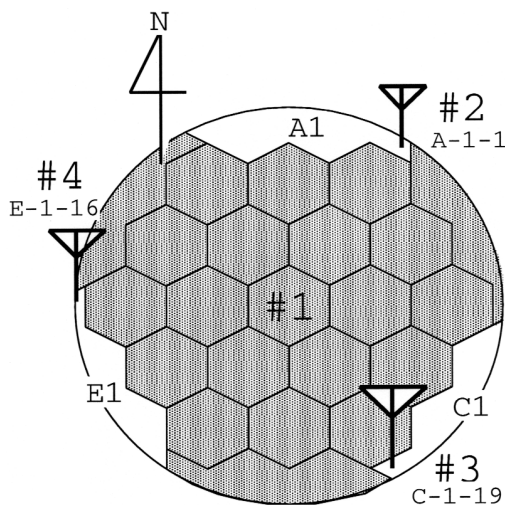


図1. 観測アンテナ配置

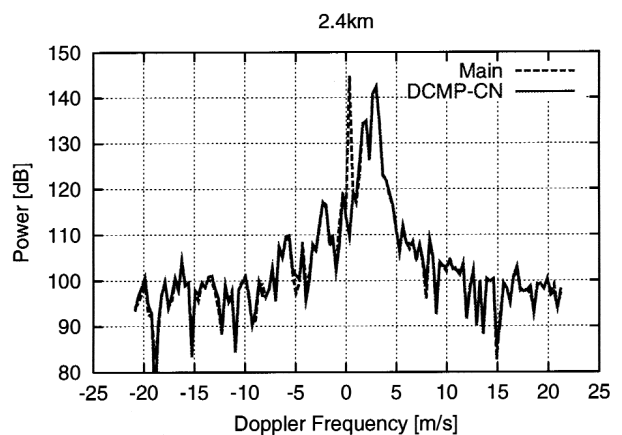


図2. 処理前（破線）と処理後（実線）のエコーパワースペクトル

システム情報論講座 画像情報システム分野（英保研究室） 「治療支援のための術前・術中画像処理」

画像診断という言葉も一般的になってきたが、低侵襲治療への要求・実施に伴い、診断だけでなく治療時にも医用画像処理技術が必要とされるようになってきている。主として整形外科や脳外科領域を対象とした治療支援技術が開発されてきたが、本研究室では大動脈瘤の低侵襲治療(ステントグラフト留置術)を対象にした治療支援技術の開発に取り組んでいる。

ステントグラフト留置術では動脈切開部よりカテーテルを用いてステントグラフトと呼ばれる人工血管を病変部に挿入・留置し、人工血管内だけに血液が流れるようにすることで動脈瘤の破裂を防止する。このような治療の支援として、体内に挿入する人工血管の設計支援や治療部位における血管走行の推定・表示について研究を進めている。

1. 術前の治療デバイス設計の支援

ステントグラフト留置術では術前に適応症例であるかどうかの判定し、留置すべき人工血管を設計する必要がある。この場合に、血管の走行方向、断面積や距離計測、狭窄の有無といった大動脈瘤や留置経路にあたる血管の3次元形状を正確に計測することが必要となる。従来は病変部位を含む大動脈血管形状の自動計測が困難であったが、本研究では臓器の位置関係の知識を利用し、血管の識別・病変部位における血管中心軸の再設定を行うことにより病変部位を含む大動脈形状を計測するものである。この結果に基づき、3次元血管モデルが生成され、その上に仮想的にステントグラフトを配置して症例に適したステントグラフトのサイズを求める。



図1. ステントグラフトの設計支援

2. 術中画像の撮影領域推定と治療計画・解剖学的情報の表示

ステントグラフト留置術は低侵襲である反面、病変部を直接視認できないため術中においては画像処理・表示技術による誘導が強く求められている。術中画像としてはX線透視像が用いられるが、2次元画像であるために臓器や器具の位置関係の把握に習熟を要する。この術中におけるこれらの情報の把握を容易にするため、大動脈の3次元的な走行やステントグラフト留置予定位置の把握支援のため、術前の3次元CT像と術中の2次元X線像との位置合わせを行う。具体的には3次元CT像を様々な方向から投影した画像の集合を作成しておき、X線像と投影像とのパターンマッチングを行い、X線像の撮影方向を推定値するものである。本手法を用いることで病変部位の把握が容易になり、造影剤使用量の低減にも役立つと期待される。現在は上記処理の実時間処理実現について研究を進めている。

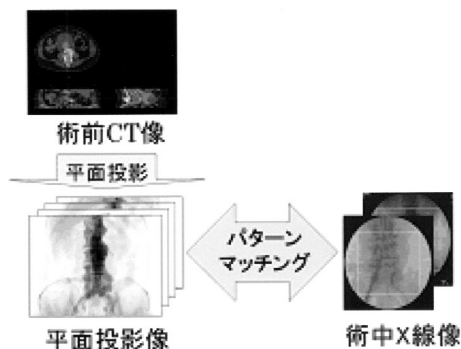


図2. CT像とX線像との位置合わせ

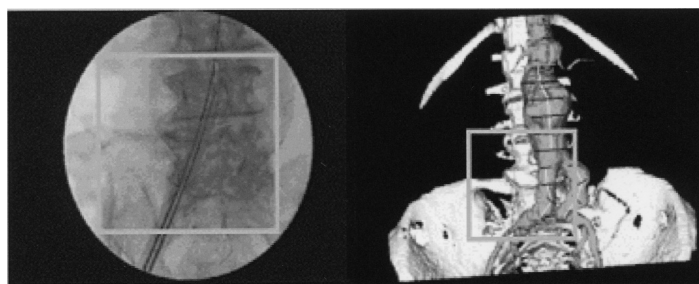


図3. 推定した方向・位置からの血管モデルの表示

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)
 「ヘリオトロンJ装置における荷電交換中性粒子のエネルギー分布測定」

現在、化石燃料に代わる新たなエネルギー資源の開発が急がれている。新しいエネルギー資源として期待されているものの一つに超高温プラズマによる核融合エネルギーがある。京都大学ではエネルギー理工学研究所のヘリオトロンJ装置において磁場に閉じ込められたプラズマの研究が進められている。

磁場閉じ込めプラズマにおいて、イオン温度の時間変化や空間分布を評価することはプラズマを高温に加熱するという観点から欠くことのできないものである。また、ヘリオトロンJ装置のような立体磁気軸を持つプラズマ閉じ込め装置では、高速イオンの挙動の解明も非常に興味深い研究対象となっている。本研究ではヘリオトロンJプラズマにおいて、イオン温度や高速イオンのエネルギー分布の測定を目的としている。

プラズマ中のイオン温度は、イオンのエネルギー分布から評価されるが、イオンは通常、閉じ込め磁場に巻き付いて運動しているため、このエネルギーを直接測定することは困難である。しかし、イオンがプラズマ中にわずかに存在する中性粒子と荷電交換反応 (図1) を起こすと、エネルギーを保存したまま中性粒子 (荷電交換中性粒子) に変換し、閉じ込め磁場を横切ってプラズマから飛び出してくる。従って、この荷電交換中性粒子のエネルギー分布を測定することで、プラズマ中のイオンのエネルギー分布を知ることができる。

測定には、荷電交換中性粒子エネルギー分析器を用いる。その測定原理を図2に示す。本分析器は、プラズマから飛来した荷電交換中性粒子を再びイオン化した後、磁場と電場により、そのエネルギーと質量を分析することができる。そして、エネルギーごとに粒子数をカウントすることで、荷電交換中性粒子のエネルギー分布、つまりはプラズマ中のイオンのエネルギー分布を知ることができる。

測定結果の一例として、ヘリオトロンJ ECH (電子サイクロトロン加熱) プラズマにおいて測定された、エネルギースペクトルを図3、図4に示す。イオンのエネルギー分布がマクスウェル分布をしている場合、図3のように、エネルギーに対して指数関数的な分布になり、その傾きからイオン温度 (Ti) を評価することができる。図3では、Ti=185eVと評価される。しかしながら、電子密度が低い ($N_e < 1.0 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$) 場合に、1 keV以上のエネルギーを持つ粒子が多く観測され、図4に示すように、エネルギースペクトルは、高温 (Tail) と低温の2成分の分布を示すようになった。現在、この高温成分の生成機構について調べている。

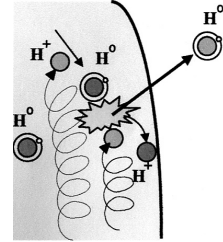


図1

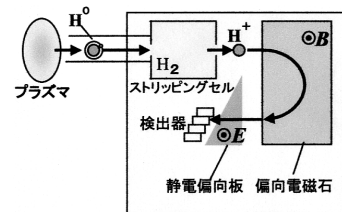


図2

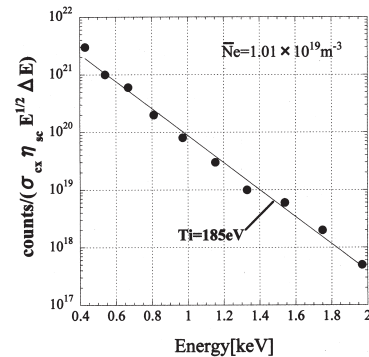


図3

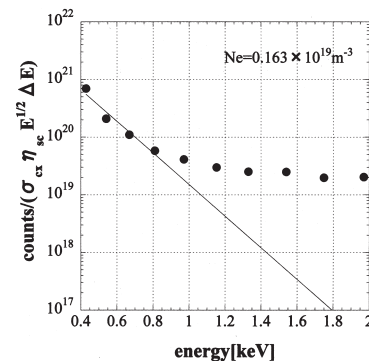


図4

応用熱科学講座 エネルギー応用基礎学分野（野澤研究室） 「RSA暗号方式における小容量メモリ化アルゴリズム」

近年、IT 革命によりインターネット上などデジタル世界が非常に身近となってきている。今ではインターネットで、商品を買う、新聞を読む、音楽・映画などを手に入れる、旅行の予約をすることなど可能となり、なくてはならないものとなっている。また、携帯電話に代表される携帯機器も爆発的に増加してきている。

一方、取引が増え、重要な情報を送信する機会が多くなってきている。そこで、送信する情報の安全性確保が問題となってくる。安全性確保のために情報を暗号化し送信する手法が取られている。現在は、主にソフトウェアにより情報の暗号化が行われている。しかし、ソフトウェアでは処理速度はCPU の能力に依存し、これからの送信情報の増加を考えると限界があることが予想される。そこで、この問題を解決するための一つの方法として暗号化復号化処理ハードウェアを作製することが挙げられる。今回は、メモリとして不揮発性であり、低消費電力で高速なデータ書き換えが可能なゲインセル結合型FeRAM を用い、暗号化復号化処理回路について考察した。暗号化する情報のビット長が大きくなると、回路は一般的に面積とメモリ量が問題となる。この解決策の一つとして、暗号方式としてRSA暗号を用いた場合につき、暗号化最小論理回路構成と省メモリ暗号化アルゴリズムを提案する⁽¹⁾。

RSA 暗号の基本式は、暗号文、平文、暗号化鍵 (n, e) の時、

$$X = M^e \pmod{n} \quad (1)$$

と表される。鍵が大きい時、この (1) そのまま計算すると大きくなりすぎて桁あふれを起こし、計算することが不可能である。そこで、今回提案するRSA 暗号化小容量メモリ化アルゴリズムは以下の通りである。ここで、平文

$$M_s (s = 0, 1, 2, \dots, 2^n - 1) = s \quad (2)$$

であり、それに対応する暗号文を X_s とする。

$$\begin{aligned} X_{s+1} &= M_{s+1}^e \pmod{n} = (M_s + 1)^e \pmod{n} \\ &= (M_s^e + {}_e C_1 \times M_s^{e-1} + {}_e C_2 \times M_s^{e-2} + \dots + {}_e C_{e-1} \times M_s + 1) \pmod{n} \end{aligned} \quad (3)$$

について二項定理を用い計算できる。このように s の値を小さくしていき、最終的には $s=0$ まで計算する。よって、各項の係数が求められていれば、簡単な乗算と加算で X_{s+1} を求められる。そこで、あらかじめ、

$$\{({}_e C_1, {}_e C_2, {}_e C_3, \dots, {}_e C_{e-1}), ({}_{e-1} C_1, {}_{e-1} C_2, {}_{e-1} C_3, \dots, {}_{e-1} C_{e-2}), \dots, ({}_3 C_1, {}_3 C_2), ({}_2 C_1)\} \pmod{n} \quad (4)$$

を求めておき、その値をFeRAM に格納しておく。その結果、この小容量メモリ化アルゴリズムを用いることにより、必要なメモリ量が非常に少なく出来た。

参考文献

- (1) M. Takayama S. Koyama and H. Nozawa, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41 (2002) pp.6844-6847, No. 11B, November 2002

エネルギー生成研究部門 プラズマエネルギー研究分野
 「中性粒子ビームによるプラズマ加熱」

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。すなわち、プラズマの加熱パワーより多くの核融合出力を得るために、プラズマを”効率良く”生成・加熱する事が必要です。

プラズマの加熱方式には、大きく分けて電磁波を用いる方式と、高速ビームを用いる方式の2通りがあります。電磁波による加熱は電子レンジとほぼ同様の原理で、プラズマの場合は電子あるいはイオンの共鳴周波数に対応する電磁波を入射しプラズマを加熱する方法です。一方、高速ビームによる加熱は、いわば冷たい水に温かいお湯を注ぎ温める方法です（といってもエネルギーの差を温度に換算すると数億度に相当します）。また、この様な高速ビームによって生成した粒子は、磁場中での粒子挙動を調べるトレーサーとしての役割も持ち、核融合反応で生成する高エネルギー粒子の運動を予測するためにも用いられます。

ヘリカル軸ヘリオトロン配位をもつヘリオトロンJ装置は、1) 高エネルギー粒子の良好な粒子閉じ込め、2) 高いプラズマ圧力（プラズマ密度×温度÷磁場強度に比例）と安定性の両立、を目指して設計された装置であります。現在まで、主に電磁波による加熱装置を用いた研究を進めてきましたが、中性粒子ビーム加熱装置を新設し、高いプラズマ圧力の達成と高エネルギー粒子の挙動について研究をはじめました。図1に中性粒子ビーム加熱の原理を示します。まず高エネルギーに加速した中性の粒子（ここでは水素）をプラズマ中に入射します。

中性粒子は主にプラズマ中の水素イオンと衝突します（荷電交換反応）。その際、ビームの運動量はイオンに移るので、結果としてイオンを加熱します。図2(上)はマイクロ波加熱（電子サイクロトロン共鳴加熱：ECH）で生成したプラズマに対し、中性粒子ビーム加熱（NBI）を重畳した実験の初期的な結果を示しています（ビームの加速電圧は26keVドレイン電流は60A）。NBIの重畳によりプラズマの持つ蓄積エネルギー(Diamag)の増加が確認できました。また、イオン温度(Ti)も0.16keVから0.2keVに増加しました。図2(下)は Γ_{CX} （イオンの分布関数に相当）のエネルギースペクトルを示しており、イオン温度の10倍以上に相当する高エネルギー粒子が観測されました。

平成15年度の実験では本格的にNBI実験を開始し、加えてイオンサイクロトロン波共鳴加熱を行うべく、現在準備を進めています。

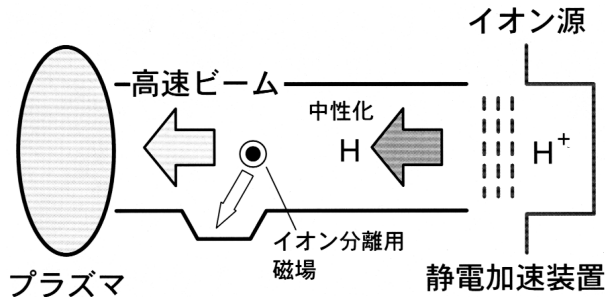


図1 中性粒子ビームを用いたプラズマ加熱

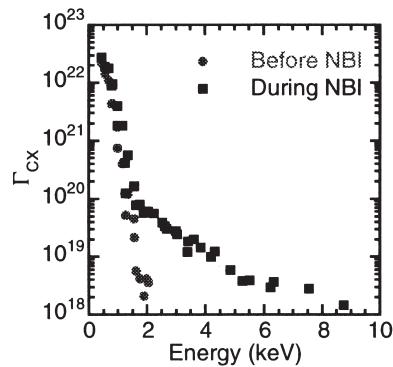
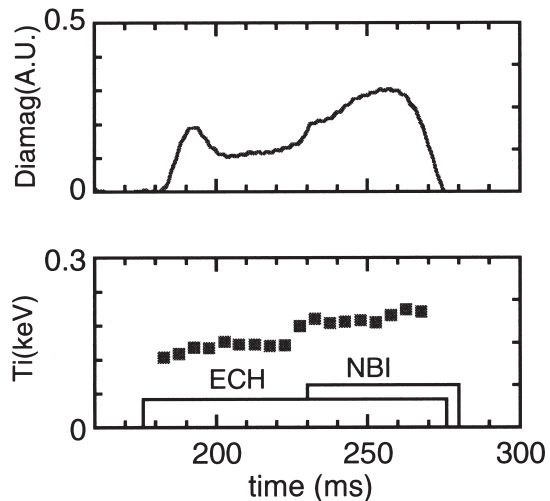


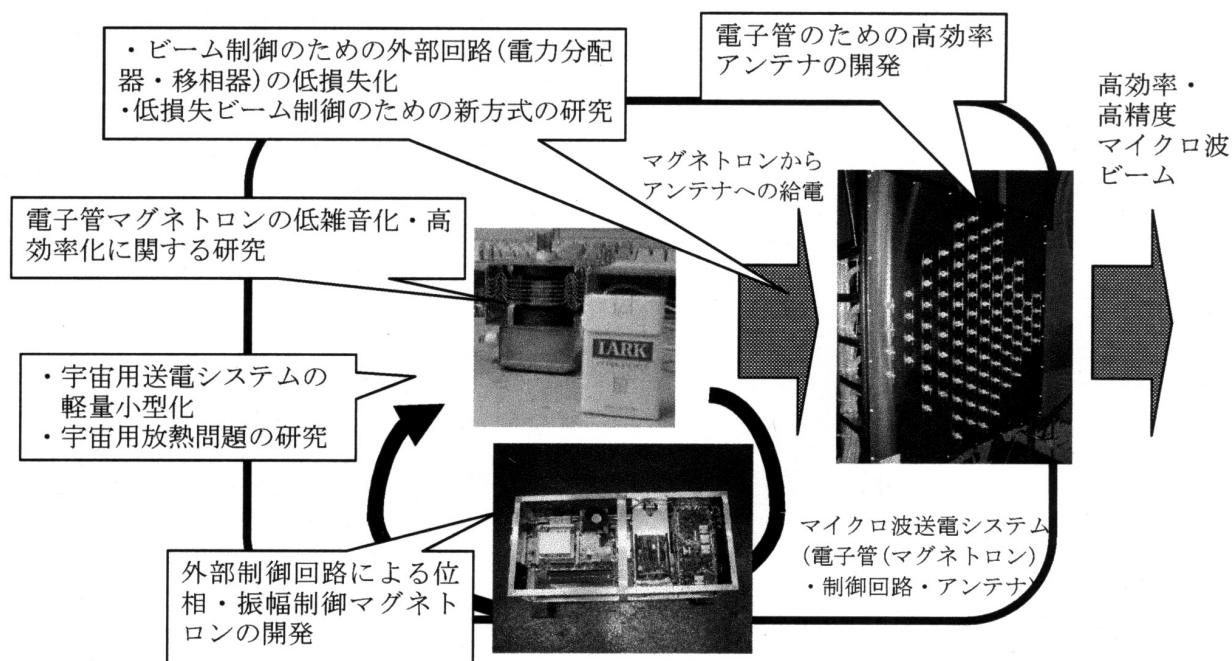
図2 (上) NBI入射試験における蓄積エネルギーとイオン温度の時間発展、(下) イオンのエネルギースペクトル

電波応用工学研究部門 マイクロ波エネルギー伝送分野 (橋本研究室) 「マイクロ波無線電力伝送用電子管システムの研究」

当研究室では、同じ研究センターの松本研究室、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を行なっている。本稿ではその中でもマイクロ波無線電力伝送用電子管システムの研究について紹介する。

当研究室では、宇宙太陽発電所SPSにも応用することができるマイクロ波無線エネルギー伝送用マイクロ波送電システムとして高効率な電子管、特にその中でも安価なマグネトロンを選び、送電システムとして総合特性を向上させる研究を行っている。マグネトロンは携帯電話等で利用されている半導体増幅器に比べて重く、電波の質が悪いという印象を与えているが、我々の研究の結果、電源や外部制御回路の選択・付加により位相安定度・周波数安定度ともに半導体増幅器と同程度のマイクロ波を高効率のまま発生させることができるということがわかった。重量も、単位出力あたりの重量で比較すれば出力がmW-数Wの半導体よりもkWのマグネトロンのほうが軽いということがわかっている。現在は、電源へのPLLフィードバックと注入同期を組み合わせた位相・振幅制御マグネトロンの開発・改良を中心に、送電システムとしての総合効率向上、高精度化の研究を行っている(下図参照)。電子レンジに用いられていて入手が容易な2.45GHzCWマグネトロンを用いた研究はもとより、新たに民間と協力して開発した5.8GHzCWマグネトロンを用いた研究も行っている。高効率・安価でかつ通信品質のマイクロ波を発生できる位相・振幅制御マグネトロンの応用は宇宙太陽発電所のためのマイクロ波送電のみならず、これまで半導体では効率不足・出力不足であったが電子管では電波の質が悪すぎて使えなかったような応用、例えば地上での移動体へのマイクロ波送電や通信基地局等への応用も考えられる。

当研究室では通信技術に応用した目標位置推定方式(スペクトル拡散符号化したパイロット信号を用いたレトロディレクティブ方式)の研究や新しいアルゴリズムを用いたマイクロ波送電用ビームフォーミングの研究、複数方向マイクロ波送電システムの研究等も行っており、マイクロ波エネルギー伝送に関する多角的なシステム研究を行っている。研究は当センター所有の電波暗室METLABや宇宙マイクロ波無線電力伝送システムSPORTSを利用して行っている。



電波応用工学研究部門 レーダーリモートセンシング工学分野 (深尾研究室)
 「ミリ波ドップラーレーダーを用いた霧の観測」

当研究室は、先端的大気レーダー・リモートセンシング・テクノロジーを開発し、大気圏の未知・未解決の諸現象の解明に挑んでいる。ここでは、その一例としてミリ波ドップラーレーダーによる霧観測について紹介する。

霧はごく小さな水滴が大気中に浮遊する現象であり、地上に発生した雲と考えることができる。空港、港湾、道路等で霧が発生すると、視程が悪化し交通障害の原因となるため、霧の動態把握や発生・消滅・移動予測技術の確立が望まれている。従来、霧の監視は視程計や工業用カメラにより行われている。しかし、霧の監視予測においては周辺一帯の広い範囲に渡る観測が不可欠であるが、これらは設置点付近のごく狭い範囲しか観測できない。一方、衛星搭載赤外センサーは広い範囲を観測できるが、上方から見た霧の表面(上空に雲が存在する場合は雲の表面)のみであり、高度方向の空間的な構造を捉えることができない。従って、霧の観測には実用上十分に広い範囲における3次元空間分布を観測できる地上設置のレーダーの利用が有効である。しかし、霧粒は粒径が数十 μm と雨粒に比べてはるかに小さいため、気象観測で一般的に用いられるCバンド($\sim 5\text{GHz}$)やXバンド($\sim 10\text{GHz}$)等の気象レーダーでは観測できない。そこで、当研究室ではメーカーと協同で波長の短いKaバンド($\sim 35\text{GHz}$)の「ミリ波ドップラーレーダー」を開発した(写真1)。直径2mのパラボラアンテナの方向を自由に変えることができ、霧の3次元分布を把握することができる。



写真1. 車載型ミリ波ドップラーレーダー

北海道太平洋岸の釧路周辺は特に夏季に霧が多発することが知られている。1999～2002年の夏季にミリ波ドップラーレーダーを用いて観測実験を行った。図1に1999年8月5日に得られたエコー強度のレーダーから南方向(海側)の鉛直断面を示す。高度600m程度にエコー頂を持つエコーが存在し、強いエコーの塊が1～2km間隔で周期的に存在している。エコーは高度200mより上で直立し、200mより下では高度が下がるにつれて南(右)側に傾いた構造をしている。エコー強度の鉛直断面のパターンは時間とともにその形状を保ったまま南から北へ上空の風速と一致した速度で移動していた。

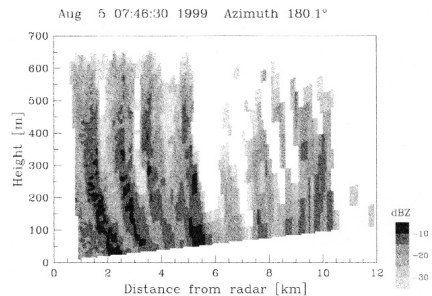


図1. エコー強度の鉛直断面

上記の観測結果から考えられるエコーパターン移動のメカニズムを図2に示す。風速場は高度200m以上では南風、以下では弱い北風であった。上空に1～2km間隔で粒径分布の変化する霧粒子の発生源が存在し、各々の霧粒は落下しながら南から北へ移動していたと考えられる。すなわち、周期的構造は発生源を反映したものであり、エコーの鉛直構造(傾き)は背景風の高度変化を反映したものと考えられる。

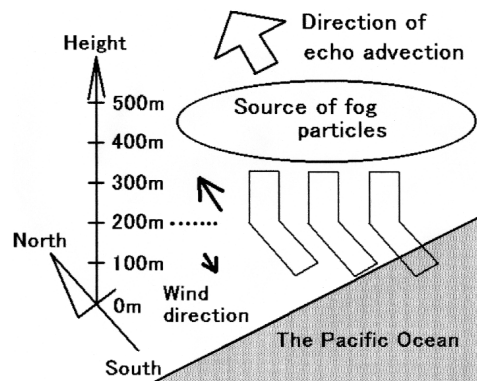


図2. 霧エコーの形成・移動のメカニズム

釧路以外でも同様の観測を行い霧の観測事例が蓄積されつつある。これらの研究の積み重ねにより、将来、霧の発生・消滅予測の精度が飛躍的に向上することが期待される。