新設研究室紹介

量子工学講座 光量子電子工学分野（野田研究室）「次世代フォトニクス・デバイスの研究」

通常、電子は粒子として、光は波としてとらえられているが、ナノメートル領域では、電子は波としての性質（電子波）を示し、光は粒子としての性質（光子）を示すようになる。本研究室では、このような極微な構造中での電子および光の振る舞い、すなわち光量子電子効果の物理的基礎から応用までを研究の対象とする。

現在は、特に、光分野で革新をもたらすような新しい構造・デバイスの開発を目的として、以下に示すフォトニック結晶およびそのデバイス応用、超高速光―光変調デバイス、量子ドットテラヘルツデバイス等の研究を積極的に進めている。これらは、今後の情報化社会を支えるキー材料・デバイスを提供するものと確信する。

１．３次元フォトニック結晶と超小型光チップ：

３次元的な周期的屈折率分布を設けた物質（フォトニック結晶）においては、光子のエネルギーに対して、完全バンドギャップが形成される。この結晶中に人為的な欠陥や発光体を導入することにより、光を自在に操作することが可能となり、究極的には超小型光チップ等の開発へとつながる。本研究室ではこの新しいフォトニック結晶に関する研究を理論および実験面から積極的に押し進めている。（例えば、S.Noda, et al, "Full Three-Dimensional Photonic Bandgap Crystals at Near-infrared Wavelenghts", Science, vol.289, pp.604-606, 2000）

２．２次元フォトニック結晶と光機能デバイス：

周期的な屈折率分布を２次元面内のみに設けた結晶、すなわち２次元フォトニック結晶においても、２次元面内の光閉じ込め・制御を利用することにより、各種の機能デバイスが実現可能である。本研究では、２次元フォトニック結晶レーザ、２次元欠陥利用デバイス等の独自の新しい機能デバイスの研究を行っている。(例えば、S.Noda, et al, "Trapping and Emission of Photons by a Single Defect in a Photonic Bandgap Structure", Nature, vol.407, pp.608-610, 2000)

３．超高速光ー光制御：

現在、光の制御には電気的な手法が用いられているが、大容量の情報処理においては、容量・抵抗積で決まる時定数の制約から電気的には処理しきれなくなる。本研究では半導体量子井戸のバンド間およびサブバンド間遷移を同時に用いるという独自の光量子非線形光学効果を用いた超高速光－光制御の研究を行っている。(例えば、T.Asano, et al, ""Pump-probe measurement of ultrafast all-optical modulation based on intersubband transition in n-doped quantum wells", Appl. Phys. Lett., vol.77, pp.19-21, 2000)

４．量子ドットによるテラヘルツ電磁波発生：

電子を100Å以下の３次元極微領域（量子ドット）に閉じ込めることにより、とり得るエネルギーを完全に離散化させることが可能となる。その結果、これまで非発光パスが主であった量子準位間遷移を、発光性の電子遷移として用いることが可能となる。つまり、高効率のサブバンド間発光デバイスの実現が期待される。発生する光の周波数はテラヘルツ域となるため、これまでデバイスが皆無であった周波数領域に新たなデバイス展開が期待できる。(例えば、S.Noda, "Mode assignment of excited states in self-assembled InAs/GaAs quantum dots", Phys. Rev. B, Vol.58, pp.7181-7187, 1998)

通信システム工学講座
知的通信網分野（高橋研究室）

ネットワーク分野の技術進歩にはめざましいものがあります。1987年に開催されたISS‘87（International Switching Symposium）で21世紀初頭の技術を予測するセッションがありました。当時スイッチングノードでは8 Mbps程度で情報のスイッチングが行われていました。デバイス技術の進展をもとに予測すると数Gbpsと予想されましたが、現実はそれを超える10Gbpsのシステムが実用に供されています。開発中のシステムを含めると40Gbpsと予測を1桁上回る結果になっています。これはインターネットとモバイルを両輪とするネットワーク利用の増大が技術進歩を加速していると見ることができます。ネットワークそのものの研究や、ネットワークシステムを支える周辺分野の技術進歩に加えて、ネットワーク利用の質的・量的な拡大がネットワークの絶え間ない進化を促す最大の原動力であると考えられます。また、ネットワークシステムの研究開発のスタイルも、大規模・大組織による一貫した研究開発から、多数の小さなアイディアをオープンな形でつなぎ合わせる形態に変わりつつあります。研究開発の主役が、大企業のキャリア中心から、ベンダー・ベンチャー企業や大学を含む、多様なプレーヤーの集合へと変化しています。すなわち、ネットワークの研究が、我々大学にも身近なものになってきているわけです。

当研究室は、進化しつづける次世代マルチメディアネットワークを研究対象としています。次世代マルチメディアネットワークは、高速・広帯域化、QoS保証、モバイル、ミドルウェア機能、ユーザによるプログラマブル化などその実現に向けたさまざまな課題があります。研究を進めるにあたっては、「技術」と「ターゲットネットワーク」を組み合わせたアプローチをする計画です。縦糸にあたる技術として、システム構築技術を含むシステムアーキテクチャ、プロトコル、トラフィック性能評価などがあり、横糸のターゲットシステムとして、マルチメディアネットワーク、モバイルネットワーク、フォトニックを含む高速ネットワークなどがあります。縦糸の技術は、ネットワークを実現する方法論として、どんなターゲットネットワークにも必要な技術分野ですが、技術内容はターゲットネットワークに合わせて進化させていく必要があります。また、「ターゲットネットワーク」は時代の要請と整合したものにする必要があります。ネットワークの分野は、ビジネスとして成長する分野に集中的な研究開発リソースが投入され、その結果として著しいコストパフォーマンスの改善が図られ、そこに新たな研究テーマが生まれてくるという特長があります。いわば、ユーザを投票者とする多数決によって、技術が方向付けられると言えなくもありません。当研究室は、時代の要請を少し先取りするようなターゲットネットワークの選定とその研究を進めたいと考えます。当面の研究の柱として、「モバイルアクティブネットワークアーキテクチャーの研究」を立ち上げています。テストベッドを構築し、理論と実験のバランスをとりながら研究を進めます。

当研究室は全くの新設研究室で、これからの進め方はフレキシブルです。皆様からのご意見・ご批判をお聞かせください（takahasi@kuee.kyoto-u.ac.jp）。

システム情報論講座 医用工学分野 （松田研究室）
「生体の物理特性と機能の計測に関する研究」

医学・医療には画像診断装置や病院情報システムを始めとした数多くの情報システムが用いられている。従来の画像診断では、Ｘ線画像におけるＸ線吸収率、超音波診断における音波の反射率、核磁気共鳴法におけるプロトン密度（水分含有量）など、各画像診断法の性質に依存した指標が画像として描出されるにすぎなかったが、近年では生体固有の機能や物理特性を計測するという、より本質的な診断法に進歩しつつある。本研究室では磁気共鳴画像法（ＭＲＩ）を中心に、生体の機能や物理特性の計測に関する研究を進めるとともに、その実用化を目指して医用ＶＲシステムの開発を行っている。

１．生体機能の計測

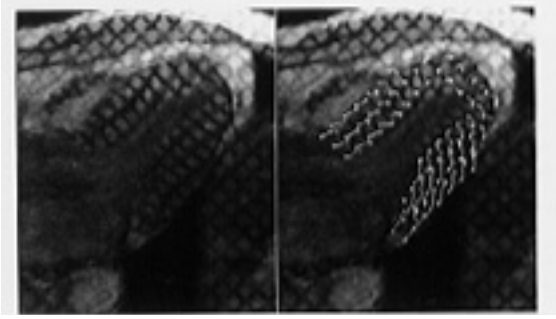
ＭＲＩを用いた生体機能計測では、脳や心臓を対象としている。脳機能画像ではfunctional MRIと呼ばれる撮影法を用いて脳細胞の活動に伴う局所的な組織血流や組織酸素分圧の変化をとらえ、また心機能画像では心筋の壁運動を動画として描出する。これらのMRI画像に様々な画像処理の手法を適用して統計学的な解析を行い機能診断に結びつけるが、より微細な変化を抽出する方法の開発や解析処理の自動化を進めている。図に心機能の解析処理を行った画像を例示する。これは特殊なMRIの手法を用いて与えた格子状の磁気的標識が心臓の収縮に伴って変形する様子から、心筋の表面のみならず筋層内部の運動も判定する方法である。心臓が最も拡張したときに印可した直線の標識が収縮時に変形した画像（図左）と半自動的に抽出した格子点の軌跡（図右）を示している。多数の格子点を数十フレームの動画像について追跡する必要があるため、高速かつ正確に処理できるシステムの開発を行っている。

２．生体物理特性の計測：組織弾性率の計測

生体物理特性の計測としては、MRIを用いた新しい手法である弾性率測定法(MRE lastography: MRE法)の開発研究を進めている。生体に外部から振動を加えると、組織の硬さ（弾性）によって振動波が伝播する速度が異なることを利用し、ヤング率や剛性率を非破壊的に測定する方法であるが、従来では生体組織から得ることができなかった新しい物理特性計測法として注目され、組織の硬度が増す肝硬変や腫瘍の存在診断、また軟化を示す組織壊死の診断に期待されている。1.5Tの極めて高い磁場環境で稼動する振動装置の開発や、臨床用のMRI撮影装置におけるMRE撮影の方法論に関する研究を行っている。

３．医用ＶＲシステム：sensible human

生体組織の弾性率を計測するMRE法の開発とともに、これを表現する医用ＶＲシステムの試作も京大病院医療情報部と協力しながら進めている。従来の医用ＶＲシステムはトポロジカルな画像情報のみから構成されているため、手術の際に最適となる到達経路のシミュレーションを行うなどの用途に限られているが、MRE法により得られる弾性情報を加味し、触れることができる仮想人体(sensible human)の構築を目指している。実際に人体から得られた弾性情報を触覚として表示することにより、高度な現実感を提供するＶＲシステムとして診療への支援を期待している。



心筋を格子状に標識したMRI画像と収縮期における壁運動の軌跡

宙空電波科学研究センター　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）

本研究室は、宙空電波科学研究センターに所属しています。その研究テーマの一つとして、宇宙空間プラズマ中の様々な電波現象を計算機の上で再現し解析する宇宙プラズマ計算機実験を行っています。宇宙空間はイオンと電子からなる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プラズマの荷電粒子の運動方程式を組み合わせて解き進めることにより、再現することができます。　粒子モデルで現実的な速度分布をもったプラズマを実現し、宇宙空間の一部を切りだしたモデル領域を計算機の上で実現するためには、極めて多くの粒子の運動を追跡しなければならず、計算速度も超高速であるのみならず、メモリー空間としても十分に大きな主記憶を持った専用計算機が必要です。本研究では、宙空電波科学研究センターで全国共同利用の設備として運用している先端電波科学計算機実験装置（主記憶32ギガバイト）を利用して計算機実験を行っています。本稿では、その一例として磁気リコネクションの計算機実験を紹介します。地球の周りには地球の固有磁場と太陽から噴出す超音速のプラズマ流（太陽風）とが相互作用して吹流しのように後方に伸びた磁気圏という閉じた領域が出来ていますが、この太陽風プラズマの流入、磁気嵐、オーロラ等の一連の磁気圏活動において非常に重要な役割を果たしていると考えられているのが、磁気リコネクション過程（磁力線のつなぎ換え）です。最近の衛星観測では、磁気圏の尾部に存在する磁気リコネクション領域において、静電孤立波やラングミュア波の発生が観測されています。これらの波は、反平行磁場にはさまれたプラズマシート付近に存在する電子ビームによって励起されると考えられ、この電子ビームを生成する物理機構として磁気リコネクション過程が有力視されています。本研究では２次元電磁粒子コードを用いて、図１のような２次元の空間を設定して、磁気圏尾部の構造をモデル化し、初期条件として反平行に配置した磁力線がX-pointでつなぎ換えられ、図２のような磁場構造形成されてゆく物理過程を再現し、実際に電子の加速が起こることを確認することに成功しました。磁力線方向に流れる電子のドリフト速度の空間分布（図３）を調べて、その加速機構について詳しい解析を行っています。

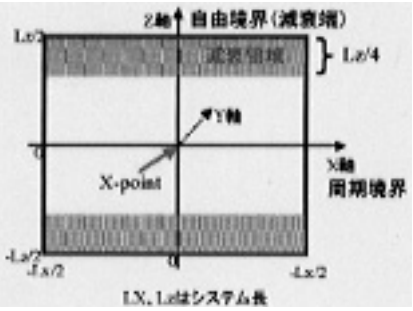


図１　シュミレーション空間

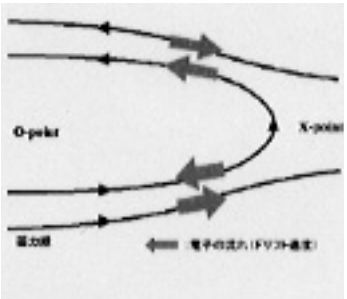


図２　磁気リコネクションと電子加速の概念図

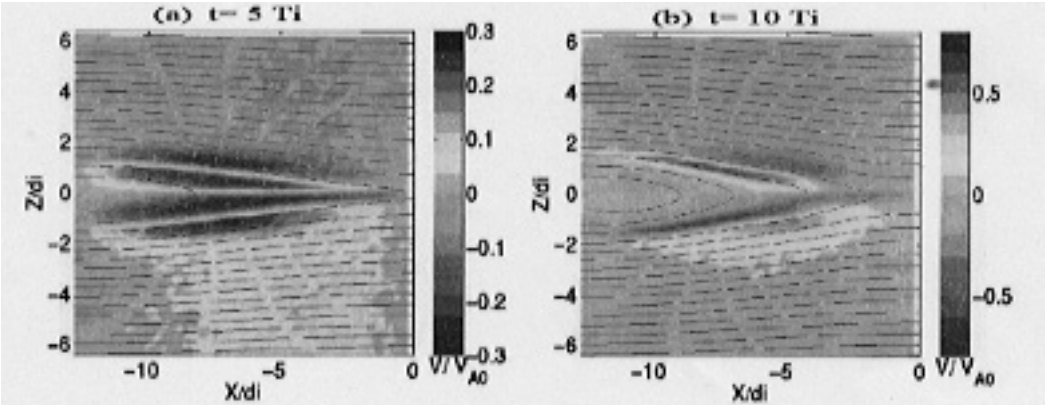


図３　電子のドリフト速度の空間分布