ISSN 1882- 5214

cue

京都大学電気関係教室技術情報誌

NO.26 SEPTEMBER 2011

[第26号]

巻頭言
堂下　修司

大学の研究・動向
シミュレーションで探るジオスペース：宇宙環境利用に向けて
工学研究科　電気工学専攻　電波工学協力講座
生存圏研究所　生存圏開発創成研究系
生存科学計算機実験分野

産業界の技術動向
（株）KDDI 研究所　代表取締役会長
安田　豊

研究室紹介

平成 22 年度修士論文テーマ紹介

高校生のページ

学生の声

教室通信

編集後記

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

cue は京都大学電気教室百周年記念事業の一環として京都大学電気教室百周年記念事業基金と賛助会員やその他の企業の協力により発行されています。

cue 26 号 目次

巻頭言

21 世紀の技術社会・技術文明における情報とそのシステムの本質
……京都大学名誉教授・龍谷大学名誉教授　堂下　修司……　1

大学の研究・動向

シミュレーションで探るジオスペース：宇宙環境利用に向けて
……工学研究科　電気工学専攻　電波工学協力講座
……生存圏研究所　生存圏開発創成研究系　生存科学計算機実験分野……　3

産業界の技術動向

「情報通信分野の最新動向と課題」
……（株）KDDI 研究所　代表取締役会長　安田　　豊……　9

研究室紹介……　16

平成 22 年度修士論文テーマ紹介 ……　36

高校生のページ

コンピュータで言葉を理解する
……情報学研究科　知能情報学専攻　知能メディア講座　黒橋　禎夫……　56

学生の声

「わからないことはひとにききましょう。」
……工学研究科　電気工学専攻　小林研究室　博士後期課程 2 年　山本　詩子……　62

「社会で通用する人材になれ」
……情報学研究科　通信情報システム専攻　高橋研究室　博士後期課程 2 年　横田　健治……　62

教室通信

……電気電子工学科長　小野寺　秀俊……　63

編集後記……　64

巻頭言

21 世紀の技術社会・技術文明における情報とそのシステムの本質

昭和 33 年卒　京都大学名誉教授・龍谷大学名誉教授　堂下　修司

私は昭和 29 年に電子工学科に一期生として入学した。大学院では、計算機―情報の世界に進み、音声認識（音声タイプ）に始まって、知能情報処理の教育と研究に携わったのは、坂井利之先生に「目的は情報の処理で、計算機はその道具である。」といわれ、また、MIT のミンスキー教授が、人工知能の概念を提唱したことが大きい。当時は、まだ計算機や情報は萌芽期で、Turing が、計算の理論を発表したのは 1935 年頃で、ほぼ私が生まれた年であるのは、何かの因縁かもしれない。情報と計算機は簡単に言えば、処理対象（事象）系とその処理装置であり、両者は常に表裏一体に、相乗的に発展してきた。つまり、単にデータを操作する計算機が速く安く大規模になっただけでなく、世の中の森羅万象を情報（データの意味と存在）と関連付ける情報の理論体系－情報理論・エントロピーと情報論理－という裏付けがあったのである。

さて、産業革命以降、特に 19 世紀以降、20 世紀は物質・エネルギー資源獲得競争と資源の大量消費による使い捨て商品の大量生産・大量消費、すなわち、量的拡大の時代となった。一方、20 世紀後半には、計算機・情報・ネットワーク技術が出現し、総ての技術はシステム化の傾向を強めた。そして、産業革命による高度工業社会の最後の負の遺産として、世界的不況の引き金に成ったサブプライム金融危機が、最先端の情報技術による金融工学システムをベースとして発生し、21 世紀が始まった。最先端の情報技術による最初の高度の世界的な大規模情報システムが、負の遺産に適用され、多くの災いを残した事は、何を意味するのか、我々情報分野に携わるものにとってショックであった。これが私が、21 世紀の情報とそのシステムは如何にあるべきかを考えるきっかけとなった。

このように、21 世紀は、20 世紀までの物質文明と、その最後に立ち上がった計算機・情報技術を引き継いで、将にシステムが熟成し、規模ばかりではなく、利用の有効性と質の本格化が要求される時代と位置付けられよう。そして今、21 世紀の本格的なシステムの時代をリードする指導原理が求められている。そこで、システムとは何かを、議論し、特に若い人に問題提起をしてみたい。

結論を先に言えば、人工的に構成するシステムと、自然的に存在するシステムとは同一の原理であり、一体的である（あるべきである）という事を基本原則とすることである。そしてまた、システムには、それぞれ異なる目的と構成原理を持つ三種のタイプが有りうるということである。

（I）要素的機能システム（functional、特定目的、機能実現・実行、対象系内利益・効率・結果優先、利益 / コスト比最大化。問題解決型・演繹指向。）

（II）シナジーシステム（synergy、相乗作用、内的シナジー、他系との共同・同盟・連携・協調・複合・統合、味方：協調・ネゴ談合、敵：妥協・騙しあい、環境とのシナジー、交渉ゲーム型・帰納指向。）

（III）恒常的システム（homeostasis、持続性、存続性、永続性、変化適応性、自律系、種の存続、他系との共存・共生（環境適応の変形）、仏教のともいき（共生）。「存在は、意識を規定する。」）

社会学の立場から言えば、ドイツのテンニエス［1855 ～ 1936］の Gesellschaft（利益社会・集団）は、将に、(I) の機能システムを中心に（II）を加味したものであり、その対立モデルである Gemeinschaft（共

同社会）は、(II) を元に、(III) の安定的な恒常性システムに対応するもの、と捕らえることが出来よう。但し、彼は、歴史的には、共同社会は、発展に従って、次第に利益社会（会社組織）に移っていくと論じたが、唯物論的（つまり情報論的）システム論、システム構築論の立場から、今一度議論をしてみる価値はあると思うが、いかがであろうか。そこで、システムの観点から、過去の歴史を振り返ってみよう。

人類は、他の生物と同様に、厳しい、過酷な地球の自然生存環境システムの元に幾多の苛酷な環境の変化に挫折を繰り返しながら何とか生存し、自然界の法則に、従順に従い、自然界の摂理の範囲内で進化してきた。しかし、産業革命以後、特に 19 − 20 世紀の文明社会･近代社会は、多数の自然界の物理的･化学的・生物学的原理を使った人工的技術的システムに囲まれている。しかし、一方、人類は、厳しい地球的生存環境の中でかろうじて生き延びている（いや生かされている）ということに変わりはない。そしてまた、千差万別の多種多様な他の種の生物と共存・競争することにも変わりがない。

ルネッサンス前の中世は、暗黒・停滞の時代といわれるが、それは、人智が大きく「文化的に」進化したギリシャ－ヘレニズム－ローマ時代の文明・文化・宗教を、引き継いで、北ヨーロッパ、中東、アジアの新天地で徐々に普及させ、消化し、熟成させ、有効性を高め、醗酵させていった過程であると考える。

このように、人類の歴史は、拡大の時代と、熟成の時代を交互に繰り返してきた。長い目で見れば、量の獲得と質の向上をバランスを取りつつ発展してきた。我々は、あまりにも目先の目的限定の利益追求だけで、モノカルチャー的に単機能化すると、必ず、環境の変化に追従できなくなり、結果的にその種は滅亡にいたるであろう。

この観点から、「人類は、自己の生体システムの有り方を含めて、自己を取り巻くシステムを如何に構築し、運用し、展開していくか」ということが、人類生存の鍵を握っていると断言できよう。人体も高度の恒常的システムであるが、遺伝子工学、幹細胞等、今後の種としてのあり方が、人類自身の手にゆだねられているので有り、この点では、これまでの受身一方であった、生物の環境順応的適応の有り方の条件とはかなり事情が異なる。

もう一つ 21 世紀の文明を考える時、これまでの長い人類の歴史と異なる重要な点がある。これまで、地球の天変地異は、総て、自然現象であり、生物はその変動にいかに適応するかであった。しかし、20 世紀に至って、技術の高度化により地球への負荷に際限がなくなり、超長期的には、人類の生存を脅かす可能性が出てきた。つまり、21 世紀は、もはや、人類が地球の静かなお客さんではなく、人類の活動が、地球を支配する時代になっている。さらに、生物の生存の本質として、指数関数的に個体数（人口）が増大するということであり、将に、地球が人間の重みに耐えかねる事態に陥ったのである。

システム論の立場から言えば、20 世紀の強欲な、無制限の個別的機能主義システムの存在は許されないであろう。原子力発電は、日本の 21 世紀への試金石であると考えるが、如何であろうか。

20 世紀の技術と文明に内在する、当初は気付かれない隠れた矛盾も、システムの巨大化に従って、無視できなくなり、徐々に惹き起こされる対立・欠陥は、21 世紀になって有限環境、乱開発、環境汚染、資源枯渇として露見してきたのである。これに対して、今後は、技術者も単に細かい改良だけでなく、大局的技術論と社会的効果・環境問題を含めて広い識見を持つことが要求されるのではないか。

この難問の解決には、若い人に期待するところが大きいが、もし、将来の技術について、フリーに議論をする場があれば、一度は聞いてみたい気がする。京大の存在価値をそこに見出したい。

今は、世界的な経済不況状態で在るが、産業革命以来のパラダイム転換の時代に遭遇したことはむしろ稀有の幸運と考えて、狭い目先の改良技術より、時代の思想を見据えた、本当に面白い研究に興味をもって、活躍をして欲しい。最後にいくつかの座右の銘を述べたい。

文系・理系は蛸壺の元。森に入りて木を見て森を見ず。則に従い（知）、則を超えよ（智）。
狭き門より入れ（マタイ伝）／学問に王道なし。
為せば成る為さねば成らぬ何事も成らぬは人の為さぬなりけり（上杉鷹山公）

大学の研究・動向

シミュレーションで探るジオスペース：宇宙環境利用に向けて

工学研究科　電気工学専攻　電波工学協力講座
生存圏研究所　生存圏開発創成研究系　生存科学計算機実験分野
教授　大　村　善　治
准教授　海老原　祐　輔

1. はじめに

通信・放送・気象・測位・安全等の分野において、人工衛星は現代社会を支える重要な社会基盤としての地位を確立しました。また、クリーンで持続可能なエネルギーを生成する宇宙太陽発電衛星が検討されており、地球周囲の宇宙空間は人類の生存圏として益々利用されてゆくことでしょう。当研究室は、人類の生存圏としての宇宙空間を安心・安全に利用するための基盤技術として、宇宙環境変動のしくみを適切に記述し、予測を可能とするシミュレーションの実現に向けて研究を進めています。特に、非線形性が著しく、予測することが難しい宇宙プラズマの振る舞いに着目しています。

地球周囲の宇宙空間では、様々なエネルギーを持つ電子やイオンが地球の双極子磁場によって捕捉されています。比較的低温のプラズマで満たされているプラズマ圏、中エネルギー粒子によってプラズマ圧力の高まっているリングカレント域、光速に近い速さを持つ高エネルギー粒子の集合である放射線帯があり、それぞれ地球を取り囲むように分布しています（図1）。これらの粒子は人工衛星にとって危険な存在です。中エネルギー帯の粒子は人工衛星の表面を帯電させますし、高エネルギー帯の粒子は人工衛星の表面を貫通して内部帯電やシングルイベントアップセットと呼ばれる電子回路の誤動作をもたらします。事実、これらの粒子群が原因と考えられる人工衛星の誤作動や障害が多く報告されています[1]。私たちは、宇宙環境利用におけるリスク分析への応用を見据え、宇宙空間のダイナミックな姿を解き明かす研究を進めています。

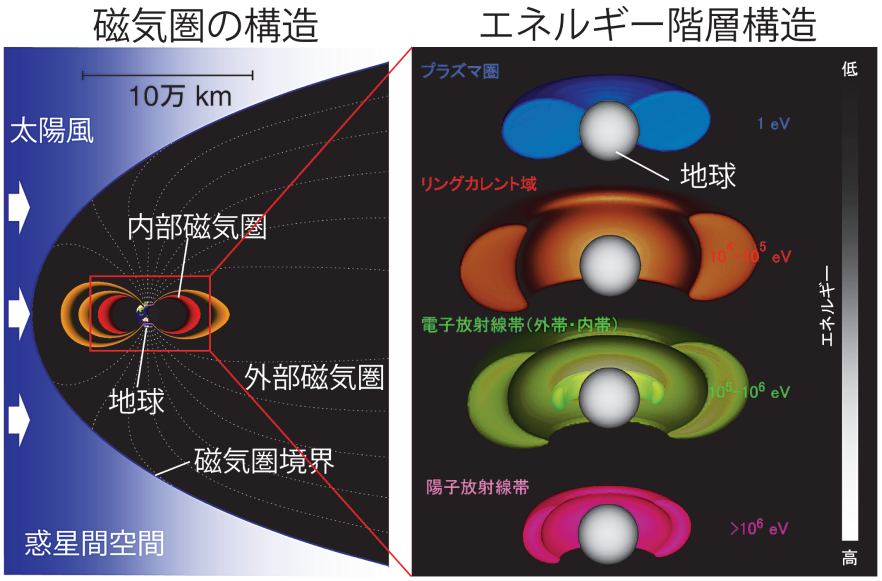


図1　磁気圏構造と内部磁気圏に捕捉された荷電粒子分布の模式図。

2. 非線形成長によるコーラス放射と放射線帯の形成

コーラスと呼ばれる電磁波があります。地球の磁場が乱れている状態の時に、1秒以下の短時間に周波数が上昇するパターンが頻繁に繰り返されるもので、オーディオアンプを通して音に変換すると、まさに朝の鳥のさえずりのように聞こえます[2]。コーラスの発生機構は長年の謎でした。地球磁気圏に磁気嵐等で注入される高エネルギー電子ビームによって励起されるホイッスラーモードと呼ばれる電磁波が磁力線に沿って伝搬する過程で周波数変化してゆくものであると一般的には考えられていました。ホイッスラーモード波というのは、磁力線に沿って伝搬する電磁波です（図2b）。その電界と磁界のベクトルが磁力線方向に対してお互いに直交しており（図2c）、その電磁界のベクトルが波の周波数で磁力線の周りを回転しながら伝わってゆきます。このホイッスラーモード波と磁力線に巻きつくように運動する高エネルギー電子とは共鳴してエネルギーのやり取りをすることが可能です。電子が磁力線の周りを旋回する運動のことをサイクロトロン運動と呼び、1秒間に磁力線を旋回する回数をサイクロトロン周波数と呼びます。ホイッスラーモード波の電磁界のベクトルはサイクロトロン周波数よりも低い周波数で磁力線の周りを回転します。高エネルギー電子は磁力線の周りを旋回すると同時に、磁力線に沿って自由に動くことが可能です。電子が波の進行方向とは逆の方向に進んでいると電子から見た波の周波数はドップラー効果によって高くなります。これがサイクロトロン周波数に一致すると、電子のサイクロトロン運動と波の電磁界が同じ周波数で旋回することになり、波の電界により電子が加減速されて、波の間でエネルギーのやり取りが起こります。これがサイクロトロン共鳴です。

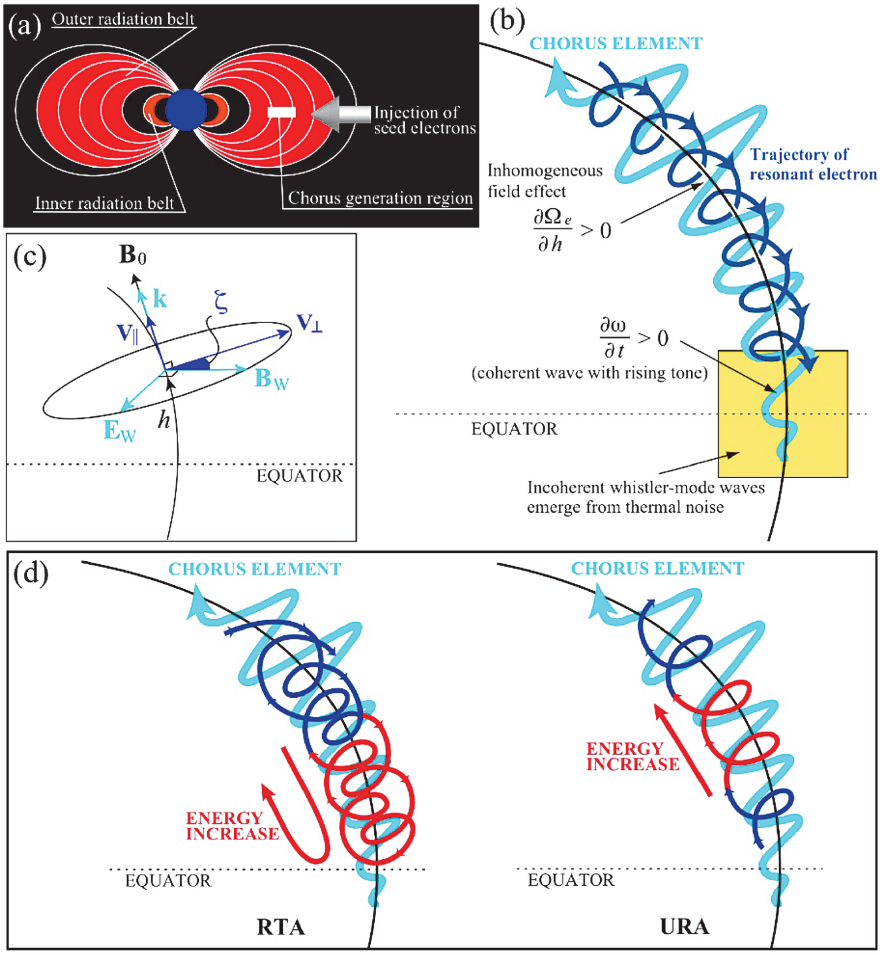


図2　ホイッスラーモード波動粒子相互作用の原理

我々は非常に大規模な計算機シミュレーションを行い、周波数が大幅に上昇するコーラス放射（図 3a）を再現することに成功しました [3][4]。これは、高エネルギー粒子を粒子モデルとして扱い、波の伝搬を支えるコールド電子を流体として扱う電子ハイブリッドコードによる計算機シミュレーションです。2008 年には、高エネルギー電子とコールド電子の両方共、粒子モデルとして扱う電磁粒子コードによっても再現することに成功しました（図 3b）[5]。このシミュレーションから明らかになったことは、コーラスを構成する波は、周波数の異なるランダムな位相の波の重ね合わせではなく、一つの明確な位相をもったコーヒーレントな波です。通常の電磁波のように位相が一定の周波数で回転するのではなく、回転速度が徐々に変化してゆくために周波数が変化するのです。

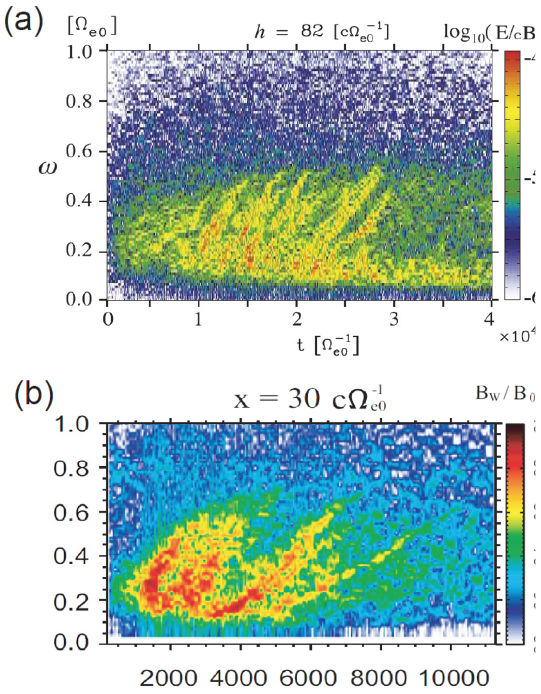


図 3　計算機シミュレーションで再現されたコーラス放射

磁気嵐およびサブストームと呼ばれる地球磁場の乱れがあるときには、地球磁気圏の尾部から内部磁気圏へと中エネルギー帯の電子が輸送されます（図 2a）[6]。この時、磁場に垂直な方向の電子の温度の方が、平行な方向の温度よりも大きくなっていると（温度異方性）、磁気赤道面付近でコーラスの種となるホイッスラーモード波が線形成長率にしたがって形成されます。最初、波は熱雑音から徐々に成長してきますので、異なる周波数の波が重ねあわされたインコーヒーレントな波ですが、線形成長率が最大となる周波数において波の振幅が最も大きくなり、波は次第にコーヒーレントな波へと変化してゆきます。コーヒーレントな波の電磁界は共鳴粒子を共鳴速度の周りに捕捉することができるポテンシャル構造を形成することができます。このポテンシャル構造は均質な媒質中で波の周波数が一定の場合には、波の磁界ベクトルについて対称形をしており、このポテンシャルの周りを移動する電子の運動により形成される共鳴電流は波の磁界ベクトルと平行に流れます。一般に電磁波の電界ベクトルは磁界ベクトルに対して垂直方向にあるため、共鳴電流と電界ベクトルが垂直になり、電子は波とエネルギーをやり取りすることができません。これは、電子が加速減速を受けるには、電界ベクトルの方向に運動する時だけであるからです。周波数が上昇するように波の位相が加速度的に変化すると、このポテンシャル構造の対称性が破れて、かつ共鳴電子が波の電界によって減速されてエネルギーを失うように作用します。これが非線形性成長の原理です。この非線形成長率が最大となるように位相が自然に選ばれて、その波が成長してゆきます。

コーラス放射は非常に幅広いレンジのエネルギーをもつ電子と共鳴することができますが、特に速度が光速に近づいて、相対論効果が顕著になってくると、RTA[8] および URA[9] と呼ばれる非常に効率の良い加速過程（図 2d）がおこることを、我々の最近の研究で明らかにしました。コーラスの発生と同時に、一部の粒子は加速され、磁場に対する速度ベクトルの角度（ピッチ角）が大きくなって、磁場に巻きつくような運動が主流となって磁気赤道付近に安定して捕捉されるように変化します。コーラスは繰り返し発生しますので、この加速過程が繰り返されて、次第に放射線帯の相対論的電子フラックスが形成されます。[10]

一方、コーラス放射が発生するときには、大部分の高エネルギー電子は減速されて、ピッチ角が小さくなり、磁場に沿って運動するように変化してゆきます。これらの減速される高エネルギー粒子の運動

エネルギーの一部がコーラス放射の電磁界のエネルギーに変換されるわけです。ピッチ角が小さくなり、磁力線方向に速度成分が向けられると、高緯度において磁力線からの捕捉から解放されて、極域の電離層に降下してゆきます。この電子が地球の大気を構成する窒素や酸素の分子・原子と衝突すると発光し、これが高緯度地方でオーロラとして見えるのです。

3. 磁気嵐とリングカレント

中エネルギー帯域の粒子は三つの意味において重要です。一つ目はプラズマ圧力を上げてリングカレントを強めるという点、二つ目はホイッスラーモード波などの電磁波動の自由エネルギー源という点、三つ目は人工衛星の帯電を引き起こすという工学的な点です。我々は、中エネルギー帯粒子の起源・輸送・加速・消失過程に着目した研究も進めています。

太陽フレアとともに放出された磁気雲が地球に到来すると、対流電場と呼ばれる大規模な電場が磁気圏全体に印加されます。対流電場は太陽風と地球磁場の相互作用の結果生じるもので、その電位差は数百 kV にも及びます。対流電場は朝側から夕側を向いているので、粒子は夜側磁気圏から地球方向へ断熱加速を受けながらドリフトします。やがて粒子は地球近傍に集まり、リングカレントを強めます（図 4）。地磁気が数日間にわたって減少するのは、リングカレントの西向き成分が持続的に発達していることとして理解されます。この期間を磁気嵐と呼びます。

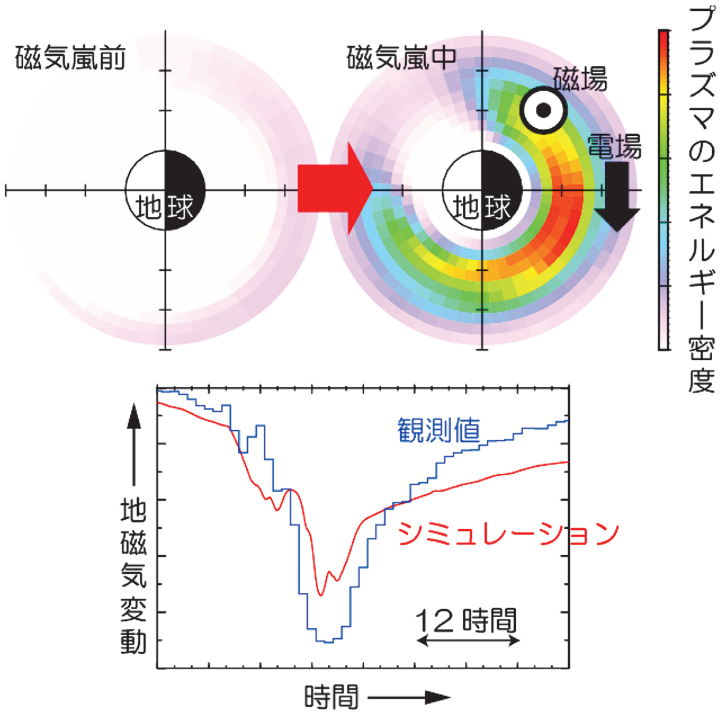


図 4　地球周囲の宇宙空間に蓄積したプラズマのエネルギー密度と地磁気変動のシミュレーション結果の例。

リングカレントを担う中エネルギーの粒子の起源は太陽と長らく考えられてきましたが、1980 年代、地球電離圏起源の一価の酸素イオンがリングカレント中に大量に存在することがわかりました。酸素イオンのエネルギーは電離圏高度で数 eV（電子ボルト）であるのに対し、内部磁気圏では 100 keV にも達します。5 桁ものエネルギー差を生み出す原因を明らかにするために、粒子軌道を追跡するグローバルな粒子シミュレーションを開発しました。流出イオンの分布関数をデルタ関数として扱ってきたこれまでのシミュレーションとは異なり、衛星が観測した実データを境界条件とするという特長があります。位相空間写像法と組み合わせることによって衛星観測結果と直接比較することができます。シミュレーションの結果、内部磁気圏における酸素イオンのスペクトルを説明するためには、大きな対流電場と十分に引き延ばされた地球の磁力線の二つが必要であることがわかりました [11]。

リングカレントが発達すると磁気赤道面付近の磁場が減少します。磁場が減少すると磁力線に垂直方向の粒子エネルギーが断熱的に失われます。一般に低いエネルギーほど粒子数が多いので、あるエネルギーに着目すると、粒子数が減少するように見えます。これをリングカレント効果と呼びます。リングカレント効果は高エネルギー粒子を変動させる原因の一つと言われてきたにもかかわらず、シミュレーションによって検証されていませんでした。我々は、粒子の移流とリングカレントに対して矛盾の無い

3 次元の磁場を自己無撞着に解くシミュレーションを開発しました。シミュレーションの結果、赤道面付近の磁場が減少することに伴い磁力線に垂直方向の高エネルギー粒子は減速する一方、粒子のミラー点間距離が縮むので磁力線に平行方向の粒子は加速することがわかりました [12]。二つの断熱過程が同時におこることによって、磁力線に垂直方向の粒子は減少し、平行方向の粒子は増加したのです。この計算結果は、Polar 衛星による粒子観測と良く一致し、リングカレント効果を定量的に実証することに成功しました。

太陽から到来した磁気雲が地球を通過すると対流電場が弱まり、リングカレントは減衰を始めます。リングカレントは平均的には 7 時間程度の時定数で減衰することが観測的に知られています。しかし、イオンの消失原因として考えられてきた電荷交換反応ではこの短い時定数を説明することができませんでした。地球の磁力線が引き延ばされている夜側では、磁力線の曲率半径がイオンの旋回半径に匹敵するほど小さくなることがあります。するとイオンは散乱を受けるようになり、その一部は磁力線に沿って電離圏へ降下することが予想されます。この散乱過程を採り入れたシミュレーションを実行したところ、6 時間という短い減衰時定数を初めて得ることができました [13]。

4. むすび

我々はコーラスの発生メカニズムの解明に成功し、放射線帯研究が大きく前進しました。コーラスの種となるホイッスラーモード波は、中エネルギー帯粒子の温度異方性を自由エネルギーとして成長します。中エネルギー帯粒子の起源・輸送・消失過程についても我々のシミュレーションによって理解されつつあります。今後は二つのアプローチによって放射線帯研究を推進する予定です。一つは、ミクロスケールとマクロスケールのシミュレーションを動的に組み合わせたマルチスケールな放射線帯シミュレーションを開発することです。もう一つは、人工衛星観測との定量的な比較研究です。放射線帯の探査を目的とする衛星計画がアメリカ、カナダ、日本で個別に進められており、最先端のシミュレーションで得られた結果を衛星多点観測と比較できるという機会がまもなく訪れようとしています。

参考文献

[1] Tafazoli, M., A study on-orbit spacecraft failures, Acta Astronautica,64, pp.195-205, 2009.

[2] Storey, L. R. O., An investigation of whistling Atmospherics, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A, Mathematical and Physical Sciences, 246, 908, pp. 113-141, 1953.

[3] Katoh, Y. and Y. Omura, Computer simulation of chorus wave generation in the Earth' s inner magnetosphere, Geophys. Res. Lett. 34, L03102, doi:10.1029/2006GL028594, 2007.

[4] Omura, Y., Y. Katoh, and D. Summers, Theory and simulation of the generation of whistler-mode chorus, J. Geophys. Res., 113, A04223, doi:10.1029/2007JA012622, 2008.

[5] Hikishima, M., et al., Full particle simulation of whistler-mode rising 1 chorus emissions in the magnetosphere, J. Geophys. Res., 114, A01203, doi:10.1029/2008JA013625, 2009

[6] Katoh, Y., Y. Omura, D. Summers, Rapid energization of radiation belt electrons by nonlinear wave trapping, Ann. Geophys., 26, 3451-3456, 2008.

[7] Omura, Y., et al., Nonlinear mechanisms of lower-band and upper-band VLF chorus emissions in the magnetosphere, J. Geophys. Res., 114, A07217, doi:10.1029/2009JA014206, 2009.

[8] Omura, Y., N. Furuya, D. Summers, Relativistic turning acceleration of resonant electrons by coherent whistler-mode waves in a dipole magnetic field, J. Geophys. Res., 112, A06236, doi:10.1029/2006JA012243, 2007.

[9] Summers, D., and Y. Omura, Ultra-relativistic acceleration of electrons in planetary

magnetospheres, Geophys. Res. Lett., 34, L24205, doi:10.1029/2007GL032226, 2007.
[10] Furuya, N., Y. Omura, and D. Summers, Relativistic turning acceleration of radiation belt electrons by whistler mode chorus, J. Geophys. Res., 113, A04224, doi:10.1029/2007JA012478, 2008.
[11] Ebihara, Y., et al., Fate of outflowing suprathermal oxygen ions that originate in the polar ionosphere, J. Geophys. Res., 111, A04219, doi:10.1029/2005JA011403, 2006.
[12] Ebihara, Y., et al., Magnetic coupling of the ring current and the radiation belt, J. Geophys. Res., 113, A07221, doi:10.1029/2008JA013267, 2008.
[13] Ebihara, Y., et al., Rapid decay of storm time ring current due to pitch angle scattering in curved field line, J. Geophys. Res., 116, A03218, doi:10.1029/2010JA016000, 2011.

産業界の技術動向

「情報通信分野の最新動向と課題」

（株）KDDI 研究所　代表取締役会長
安　田　　豊

1. はじめに

情報通信の分野は、この 30 年の間にアナログからディジタルの時代へ、そして IP 化の時代へと着実に発展してきた。それとともにネットワークの大容量化と通信料金の低廉化が進み、電話サービスからデータ通信中心の時代へと変遷し、特にこの 10 年間ではインターネットとモバイル通信の急速な普及拡大と融合、さらに最近ではネット（ブロードバンド）とテレビの融合なども進み、情報通信分野全体が大きな変革期にさしかかっている。また、今年 3 月の東日本大震災のあと災害に強い通信ネットワーク構築の重要性が再認識され、さらに原発問題もあって省エネのネットワークやシステムの構築も待ったなしの状況となっている。本稿では、このような情報通信分野の最新トレンドを紹介するとともに、今後の方向性や期待についても私見を含めて述べることとしたい。

2. 日本の情報通信分野の最新動向

日本の情報通信は本格的なブロードバンド時代に入っている。固定系ブロードバンド回線数の推移を図 1 に示す。一方、日本のモバイルサービスの加入者数もこの 15 年間に急速に拡大し、今ではほぼ日本の人口並みの加入者数となった（図 2 参照）。今後、人だけでなく車や物への通信端末（モジュール）の組み込み利用がさらに増えると想定されることから、これらをあわせたモバイルサービスの総加入者数は今後も増加が続くと想定される。サービス・コンテンツの分野では、1999 年に NTT ドコモによる i-mode サービスが開始され、モバイル端末による本格的なインターネット利用が世界で初めて実現した後、カメラ付きケータイや GPS 機能付きケータイ、音楽ダウンロードサービスや非接触 IC チップ利用のモバイルコマースサービス、さらにはデータの定額料金サービス、地上波テレビ視聴可能なワンセグケータイなどが世界をリードする形で次々に実用化された。ただ、2007 年に iPhone が登場して以降、日本発のめぼしい新サービスが途絶えており、その後のアンドロイドベースのスマートフォンなどの台頭も含めて、最近のモバイル市場は世界で通用するグローバルタイプの端末やサービスが主流となってきている。

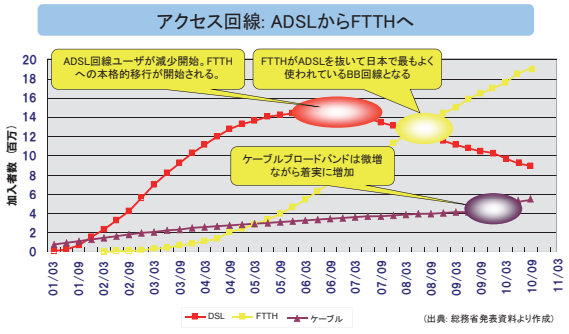


図 1　日本のブロードバンド回線数の推移

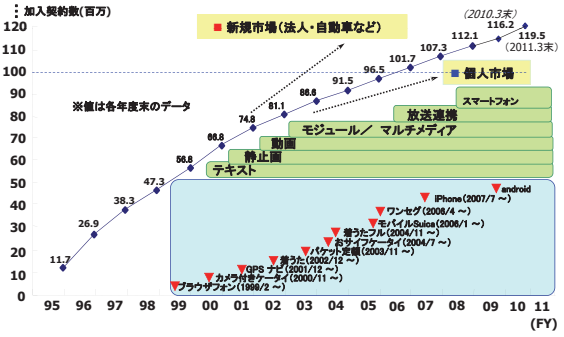


図 2　日本のモバイル市場の発展状況

固定系とワイヤレス系をあわせた日本のブロードバンドサービスの発展動向を図3に示す。日本では、無線LANサービスの延長上にある新しいワイヤレスブロードバンドサービス「モバイルWiMAX」が2009年に実用化され、加入者数も最近100万人を突破するなど利用が拡大している。各種ワイヤレスサービスのデータ通信速度も、現在の数10Mbpsから今後は100Mbps超の時代へと進むことが期待されている。ネットワークのIP統合をベースとした多様なアクセス網の概念図（2005年にKDDIが発表したウルトラ3G構想ベース）を図4に示す。通信NWの進展はこの基本構想に沿っている。

また、通信と放送の連携が唱えられて久しいが、ワンセグケータイの登場、インターネット経由での動画視聴の急速な普及、テレビ放送そのもののディジタル化の進展などとともに、いわゆるIPTVサービスが日本でも広く認知されるようになった。最近ではネットとテレビの融合が世界各国で進んでおり、テレビとスマートフォン（あるいはタブレットPC端末など）との連携サービスやマルチスクリーン視聴も常識となりつつある。テレビの新しい視聴スタイルの最新動向を図5に示す。

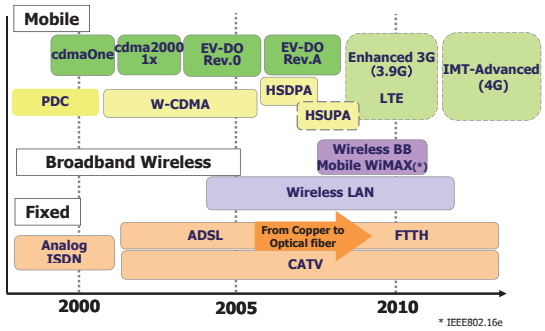


図3　日本のブロードバンドサービスの発展動向

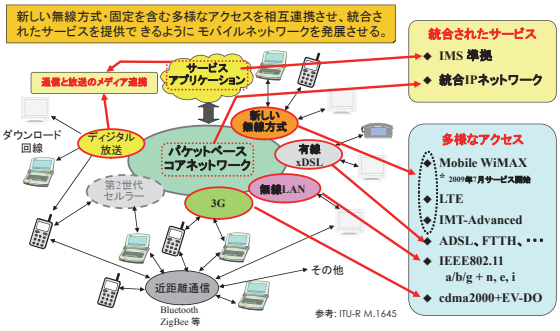


図4　多様なアクセス網の概念（KDDIのウルトラ3G構想）

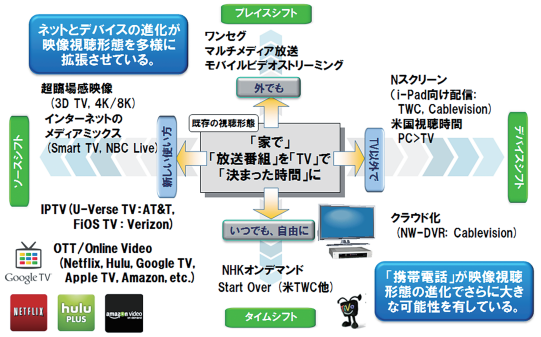


図5　放送・映像の視聴形態の拡張（ネットとテレビの融合時代へ）

3. トラフィック急増問題と対策

インターネット系のサービスの発展やYouTubeなどの動画系サービスの普及拡大に伴うデータトラフィックの急増は、「Data Tsunami」という新英語もできるほどに昨今の大きな話題となっており、情報通信事業者にとってはそれへの対処が大きな課題となっている。日米間のインターネットトラフィック量の推移例を図6に示す。特に米国から日本方向において2005年頃からトラフィック急増傾向が強まっているが、これはYouTubeサービスの世界的な普及拡大時期と符合している。米国→日本方向のトラフィックが急拡大しているのは、動画コンテンツを保持するサーバが米国に置かれていたためと考えられるが、その後のコンテンツプロバイダサイドの各種対策（日本国内でのピアリング接続の強化など）により2009年にはいったん増加率は減少しトラフィック増加も踊り場に達したかに見えた。しかし、昨年から今年にかけて再び増加率が上がっており、これはスマートフォンの普及拡大による動画系スト

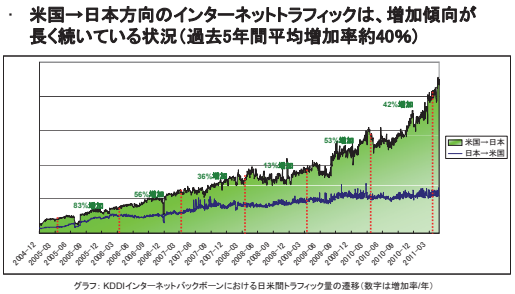


図6　インターネット日米間トラフィック量の遷移

リーミング視聴の増加にも大きな要因があると想定される。

図7は、KDDI（au）のフィーチャホン（従来型のケータイ）とスマートフォンのデータトラフィックボリュームの最近の推移を示したものであるが、スマートフォンの利用者拡大によりデータトラフィックは最近5か月間で1.6倍に急増しており（2011年春時点）、3%のスマートフォン利用者がトラフィックの40%を占める状況になってきている。スマートフォン利用者のアプリケーション利用比率を見ると、動画のストリーミングサービス利用率が全アプリケーション利用の中の50%近くを占めており、これらによるトラフィックの増加が支配的なことを裏付けている。

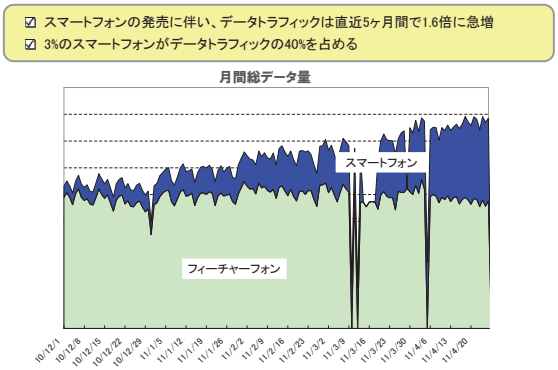


図7　KDDI/auにおけるトラッフィックトレンド例

このようなインターネットトラフィックの急増に対処するため、2009年11月に大容量（現在4.8Tbps: 今後倍増の計画）の日米間新海底ケーブルが陸揚げされた（Unity；図8参照、KDDIとして日本での陸揚げ工事は8年ぶり[1]）。この新光海底ケーブルは昨年春から運用が開始され、今年3月の大地震でも切断されることなく日米間の大容量トラフィック伝送用に活用されているが、このケーブルの主要出資者として米国グーグル社が入っていることが象徴的である。

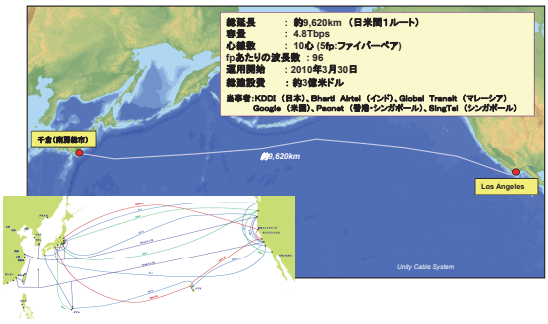


図8　新光海底ケーブルネットワーク”Unity”の概要

この他、視聴頻度の高い動画系コンテンツを利用者に近い通信ネットワーク（NW）拠点に設置したキャッシュサーバに保管することなどで、NWを流れるトラフィックを減らす努力がなされているが、モバイル系での動画視聴が急増している状況も考えると、今後アクセスNWの多様化やトラフィックの分散化などあらゆる有効な処置をとっていかないと、この問題に適切に対処することは難しい。その一環として、データトラフィック平準化のための料金施策の見直しや、一部ヘビーユーザによるNW容量独占的利用を回避するための手段についても併せて考えていく必要があろう。無線アクセス系については、モバイル網のみならず無線LANやWiMAXも含めて、利用できる無線網はすべて駆使する「マルチネットワーク」の考え方が必須であり、その一環として「コグニティブ無線システム」の研究開発もかねてより進められている（図9参照）。

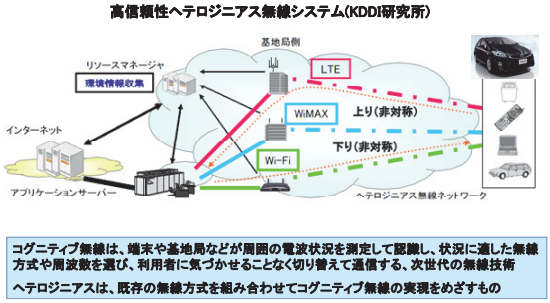


図9　最適電波を自動選択するコグニティブ無線(LTE-WiMAX-WiFi-3G)

4. 災害に強いネットワークの構築と省エネ化

本年3月11日の未曾有の大震災によって、固定通信インフラ回線、海底ケーブル、そして多数の携帯電話基地局などが大きな被害を受け、通信NWやシステム設計の基本的な考え方についても、もう一度基本から見直す必要が出てきている。例えば携帯電話基地局については、停電によるバッテリー容

量枯渇などにより、直接のダメージを免れた基地局の多くも機能が停止しただけでなく基地局とNWノードを結ぶエントランス（アクセス）回線も大きな被害を受け、特に津波の被害が甚大なエリアでは通信サービスの確保が困難を極めた。このような状況の中で、非常災害時における衛星を利用したNW（衛星携帯電話だけでなく、車載型携帯基地局や衛星エントランス利用超小型携帯基地局（衛星フェムト）システムなど）の強さが再認識される形となった。

また、今回、停電（直接の被害地以外での計画停電の影響も含めて）による通信NW・サービスへの影響も深刻な状況であった。福島原発事故の影響もあり、今後の日本は電力利用効率のいい省エネNWの構築が急務となっており、また太陽光などの自然エネルギーの積極的活用や深夜電力活用と蓄電池システムとの組み合わせにより電力利用ピークの絶対値を下げる（電力利用の平準化を図る）ことの有効性なども改めて認識された。KDDIが数年前からフィールドトライアルを進めている省エネタイプの「トライブリッド基地局システム」の概要を図10に示す。本基地局システムでは、昼間は太陽光エネルギーを最大限活用し、また深夜の時間帯は深夜電力を蓄電してそれを活用することで昼間の商用電力をほとんど使わなくてすむ構成となっている[2],[3]。これまでの1年を通じたフィールドトライアル結果によるとトータルで20～30%の消費電力量削減が可能で電力利用コストも下がることから、太陽光パネルや蓄電システムの初期導入コストがさらに低減すれば一定期間内でのコスト採算性の向上が大いに期待される。このようなトライブリッドシステムは家庭用やオフィス用の省エネ型電力システムなどへの応用も可能と考えられる。

[クラウドと仮想化技術]

東日本大震災では、特に想定以上の大津波の影響で多くの公的機関や病院などで重要データベース喪失の被害が報告された。このこともあって、いろいろなデータベースを遠く離れた場所にも保存できる（分散配置できる）クラウドサービスの利用がさらに拡大しつつある。パブリッククラウドからパーソナルクラウドまで利用の形態は種々様々であるが、このクラウド技術とデータサーバや通信NWそのものの仮想化技術などを組み合わせて、通信インフラリソースをより有効に活用しようとする動きが加速している。これらの技術は、今後の本格的省エネNW構築の観点からも必須の要件となるであろう。大切な情報の保存や処理を手元（端末サイド）で行うかNWで行うか、というのはIntelligent（smart）NWとStupid NWのどちらがいいのかという議論と同様に常に大きな課題であるが、端末サイドのデバイス（ストレッジやCPU）能力の向上も著しいので、やはり二者択一的な選択よりもそれぞれのメリットを生かしながら最適な利用形態を考えていくことが重要であろう。

図11に、KDDI研究所で検討を進めている次世代データセンター省エネ化技術の一例を示す。データセンターにある各種サーバの待機電力を極力少なくし、その時点のデータ処理量に見合った必要最小

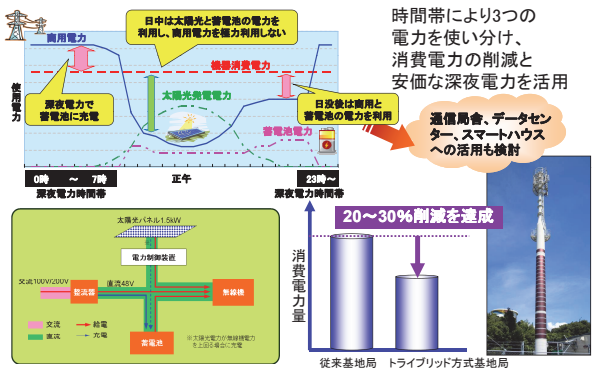


図10　トライブリッド方式のau携帯電話基地局開発

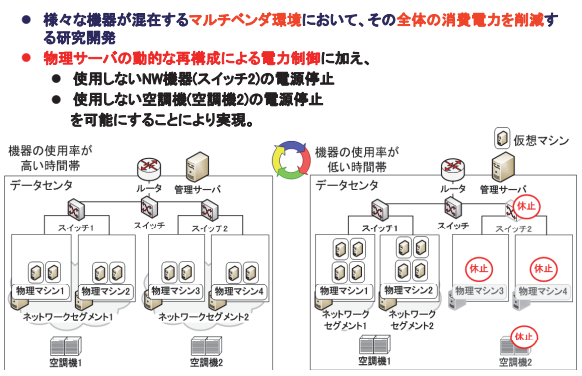


図11　次世代データセンター省エネ技術例～待機電力の削減～

限の電力のみを利用する（仮想化技術を使って深夜の時間帯などは休止させるマシンを増やす）という考え方で、データ（トラフィック）量に見合った電力のみを柔軟に利用するというのはNW全体の省エネ化のための基本であるが、その実現は必ずしも容易ではない。また、電力と通信NW利用に関する「平準化」（ピーク値の低減と空き時間帯の有効活用）の基本的な考え方は同じであり、今後はこのような視点も含めて新しい通信NWやサービスのあり方を考えていくことが必要であろう。

5. サービス面の最新動向と課題

これまで、情報通信分野の最新動向などについて、主なものを紹介してきたが、サービス／コンテンツ面を中心に最近の代表的な話題と今後の課題などについて以下に概説する。

① Real と Virtual

インターネットとモバイルの進展とともに、一昔前には考えられなかったようなグローバルな世界との交流が簡単にできるようになった。まさに「手のひらの上で世界が見える」ようになったわけで、それによって、現実世界と仮想世界との両方を楽しむことができるような時代になった。また、仮想世界といっても、Virtual Realityのように仮想空間に現実を似せて作る世界ではなく、現実に立脚した（その延長上にある）形でいろいろな情報を付随的に見ることができる拡張現実（AR：Augmented Reality）技術の利用が急速に拡大しつつある。一方、このAR技術とは異なるが、ブロードバンド回線などを使って、本当にその場にいるのとほぼ同等の体験をしてもらえるような超臨場感通信技術の研究開発も盛んに進められている。一例として、KDDI研究所が開発中の自由視点映像技術の概要を図12に示す。この技術を用いると、例えば、サッカーのテレビ中継などで、実際にはフィールド内には立ち入れないのに、あたかもゴールキーパのすぐ近くにいるかのような目線で現実のサッカー試合を楽しむ（フィールド外に設置した複数のカメラで撮った映像を高速演算で計算処理して仮想視点での映像を作り出す）ことなどが期待されている。

図12　KDDI研究所開発技術例：自由視点映像技術

② Open と Close

インターネットの世界はもともとオープンな世界であるがゆえに、多くの人が自由に参加する形（集合知）でソフト開発やアプリ・サービス開発が飛躍的に進んできたという特徴がある。これまでクローズな垂直統合モデルをベースとしていた日本のケータイ電話の世界も、iPhoneをトリガーにしたスマートフォン全盛の時代を迎え、アンドロイドベースのオープン型端末の利用も急拡大していよいよフラットで水平統合的なオープンな世界に急速にシフトしつつある。これに伴ってビジネスモデルも変わっていくことになるが、現在はちょうどその両方が混在する過渡期であるといえる。ただ、このようなオープンモデルを基本にした世界で通用するグローバルなスマートフォンは、一部で「ガラパゴス」とも呼ばれるローカルに進化した日本のケータイ文化と相容れないところが多々あり、今後はこの両方の文化を併存させながら少しずつ融合させていくような努力が必要と考えられる。

③ 利便性とセキュリティ（プライバシー保護問題）

これまで位置情報や個人IDの活用などを組み合わせてもっと便利なサービスを提供できると思っても、セキュリティ問題、特にプライバシー保護面での制約がそれを阻んできたことは否定できない。ところが、最近の世界的なSNSの利用拡大（特に、実名で本人の顔写真を公開するFacebook普及の影響

が大きい）により、一定の歯止め（自分の仲間内での利用が前提）をつけた上での実名利用が当たり前になってきたことの影響は大きく、最近の米国などではFacebookやTwitter での情報発信時に自分の位置情報もあわせて通知することが当たり前になりつつある。これによって、自分の居場所の近辺にある店のクーポン利用サービスをはじめ、前述のAR技術なども組み合わせた新しい便利なサービスが数多く登場し利用も拡大している。これらのサービスは、ケータイでの位置情報利用サービス先進国であった日本にもSNSの利用拡大とともに逆輸入されつつある。

④　SNSの伸長と今後

Facebookに代表されるようなSNSの利用が世界的に拡大し、チュニジアやエジプトでは既存政権の崩壊にまで進んだことは記憶に新しい。SNSは確かに、（個人的に信頼できるソースからの）情報の見える化と流通のスピードアップを助長し、多くの人に不満があるような既存の体制を壊すエネルギーやスピードを増大させることは間違いないであろうが、一方で、多くの異なる意見のコンプロマイズを図りつつ（人間的な妥協もベースにして）一つの新しい形を創造していくことにはあまり適していないようにも思われる。ネットやSNSばかりに頼りすぎると、1か0かの二者択一的な議論（白黒をはっきりさせる見方）や仲間作りばかりが先行して、その中庸にあるまさしく人間的な悩みどころの議論が置き去りにされるような危惧も覚える。また、ネットに流通している膨大なデータの中から、特定の個人や人の結びつきに関する情報を抽出する行為が背後で行われており、実際には会えない海外の人々とも瞬時にしてつながったり、過去に接点があってもこれまで全く交流をしていなかった人との再接触を可能にしてくれるというような新しい大きな力が秘められている一方で、突然唐突なレコメンド情報（あなたはこういう人を知っているはず、というような）がSNSサービス提供者からもたらされることに驚くことも多い。これこそまさにネットの利便性と個人のプライバシー保護とのトレードオフ（見極め）が必要な状況になりつつある典型例と言ってよいであろう。

⑤　M2M、センサーNWと新ビジネス

モバイル通信の利用形態が、これまでの人間中心から今後、機械や物の間の通信（M2M: Machine-to-Machine）にさらに拡大し、特にこれからのLTE時代にはモバイルNWの利用端末数が膨大な数になると予測されている。このようなM2Mの考え方は日本ではずっと以前からあったが（車や自動販売機などに組み込む通信モジュール市場の拡大など）、これに世界が追い付いて、最近のセンサーNW利用拡大の動きとも連動してさらにM2Mサービスを加速しようというのが今の状況と言えよう。これとともに、情報通信技術（ICT）の利活用により健康・医療・教育・農業・環境などの分野で新たなビジネスを拡大しようという動きも活発になっており、これは車分野のITS利用の本格化や最近のグリーンICT、ホームICT分野でのビジネス拡大の動きとも連動している。このようなM2Mやセンサー NW活用による新しいビジネス拡大の全体俯瞰例を図13に示す。これらは、省エネ化のための家庭内やオフィス内の電力利用量のリアルタイム見える化などにも直接関連する技術となろう。また、全国に多数配置されている携帯電話などの基地局有効活用（各種センサー設置の拠点として）の事例も増えつつある。

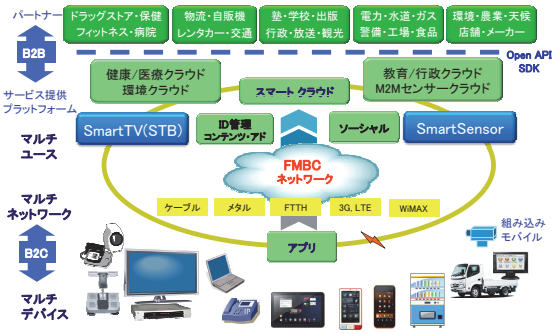


図13　M2M Smart Sensor クラウド技術相関図

⑥　モバイルコマースと個人ID

ICT活用による新規ビジネス拡大にあたっては、料金の回収や決済などのモバイルコマース（MC）技術や、本人確認・認証のための個人（端末）IDサービス（ID連携サービスを含む）などの仕組みの

利用が必須である。日本では、これまでフェリカによる非接触 IC 技術を応用したいわゆる「おさいふケータイ」の普及拡大により、MC が利用可能な店舗や鉄道の改札ゲートなどのリアルワールドでのケータイ利用が進んできたが、今後は同様のサービスを世界のスタンダードである NFC（Near Field Communication, タイプ A やタイプ B の非接触 IC 技術が中心）をベースに利用拡大していく流れが一気に加速している。この NFC 利用により、本人認証や属性認証（性別とか年齢、職業などの属性証明）などの認証分野にもビジネスが拡大することが期待されており（図 14 参照）、今後日本が世界をリードできる可能性のある分野として大いに注目される。

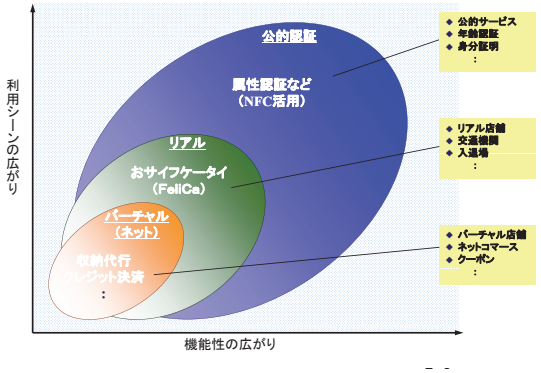


図 14　モバイルコマース基盤の発展（MC 部会資料より）

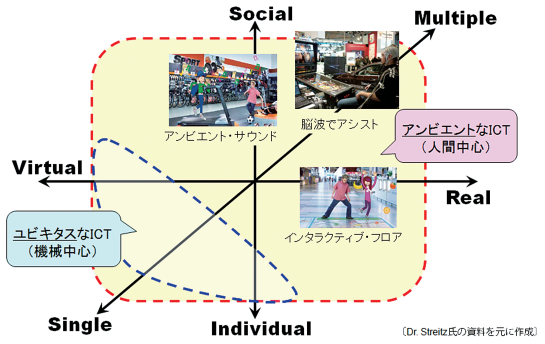


図 15　ユビキタスからアンビエント社会へ

6. 今後の情報通信の進む道

本稿では、最近の情報通信分野での新しい動きなどを中心に、スマートフォンの普及拡大とそれによるデータトラフィックの爆発傾向、ネットとテレビの融合、SNS などの新しいサービスの発展などのトレンド紹介や課題の抽出・分析を行った。これまでの情報通信サービスは「いつでもどこでも通信サービスが受けられる」ユビキタス社会の考え方を中心に発展してきたが、これからは、より人間に近い方向で、つまり人の幸せのためにもっと役立つ方向で ICT 技術が利用される「アンビエント社会」に向けた取組みが中心になるべきと考える（図 15 参照）。

インターネットやモバイルの発展は、それがない時代にはまったく不可能だったことを実現し、また例えば、仮想世界（Virtual World）に身を置いて現実の自分を隠しながらこっそり楽しむゲームのような生活も可能にしてきた。一方で、最近の SNS サービスの台頭により、仮想世界だけでは十分な心の充足が得られない人たちが、やはり実際の人との接点の場を求めてインターネットやモバイルを活用するという新たな流れが加速しているようにも思われる。拡張現実（AR）や超臨場感通信というのもいわゆる仮想世界の話ではなく、現実の世界に立脚しつつ人の脳の中でそれをより具体的に便利に、あるいは臨場感を持ってイメージすることをアシストしてくれる技術ととらえることができよう。

このようなグローバル時代における情報通信分野の新しい流れの中で、KDDI（研究所）としてもこれからの 10 年間で「（被災地を含めた）世界の人々に笑顔を届ける」ということをスローガンに据え、最新の ICT を活用した新たな事業分野の開拓・拡大に向けて積極的に取り組んでいきたい。

「参考文献」

[1] 安田　豊；国際海底ケーブルの発展と今後の展開、電気通信、2010 年 9 月号、pp.19 – 29
[2] 安田　豊；携帯電話キャリアの環境負荷低減への取り組み「通信設備の省電力化および携帯リサイクルへの取り組みと課題」、エネルギー・資源、Vol. 30、No.5、2009 年 9 月、pp.34 – 39
[3] 安田　豊；通信設備の省電力化とグリーン ICT への取り組み、第 27 回 NS/IN 研究ワークショップ（電子情報通信学会）、2011 年 3 月 2 ～ 3 日、http://www.ieice.org/cs/ns/ws/2011/index.html#program

新設研究室紹介

電磁工学講座　電磁エネルギー工学分野（松尾研究室）
http://fem.kuee.kyoto-u.ac.jp/EMEE-lab/index.html
「計算電磁気学とその応用」

電気電子機器の開発において電磁界シミュレーションは必須の技術となっており，計算の高速化・高精度化とともに，材料物性を組込んだ解析・設計技術や，複数の物理現象との連成解析などが求められています。そのためには物理現象の高度なモデル化手法の開発が必要であり，電磁界解析においては電磁界方程式の数理的な性質に立脚した効率的で応用範囲の広い解法の開発が重要です。本研究室では，電磁界や電気電子材料の計算機解析におけるキーとなる理論や手法の研究を行っています。すなわち，Maxwell 方程式の性質に基づいた計算電磁気学の理論的な研究や，それを応用した高速電磁界解析手法の開発，ならびに，磁性材料の磁気特性シミュレーション手法の開発などに取組んでいます。

1. 磁性材料のマルチスケールモデリング　磁性材料モデル化のキーとして，μm ～ mm オーダの中間スケールの振舞いを記述する磁区構造モデルの開発に取り組んでいます（図 1）。このスケールは高機能磁性デバイスの開発が期待される領域であるとともに，マクロスケールの磁気特性を支配する結晶粒のスケールであるにも関わらず，有効なモデル化手法に乏しいのが現状です。磁区構造モデルの集合により，ミクロからマクロに至る各スケールにおいて，磁性体の振舞いを記述し，材料特性を計算機上で再現することが可能になります。将来的には，電気電子機器に要求される性能に応じた材料特性が得られるように，磁性材料製作へフィードバックできるような，計算材料物理学の構築を目指しています。

2. 時空間計算電磁気学　電磁界計算では空間と時間が別々に取扱われることが通常です。しかし，電磁界の方程式においては，両者を時空間として統一的に取扱うことができます。時空間で計算格子を構成する（図 2）ことにより，柔軟な計算格子の生成が可能になり，電磁界計算の自由度は大幅に向上します。たとえば，必要に応じて時間刻み幅を場所によって変えることが自然に行うことができます。また，移動物体がある場合など空間格子を時間的に変化させて解析する場合，空間格子の時間的な変化を連続的に取扱うことができます。そこで，本研究室では，時空間格子を用いた計算電磁気学の新しい枠組みの構築に取組むとともに，メタマテリアルなど先進光学素子開発への応用を目指しています。

3. 高速大規模電磁界解析　複雑かつ微細な構造を持つ解析対象に対応して計算格子が細密化されるのに伴って，とりわけ 3 次元解析では計算規模が爆発的に増大する傾向があります。そのため，解析の大規模化に対応した効率的な計算技術の開発が重要となります。そのキーとなる技術の一つに大規模疎行列解法があり，国際的にも活発に研究が行われています。本研究室では，電磁界方程式の数理的性質に着目した新しい発想に基づく疎行列解法の開発と，その効率的な並列処理手法の研究に取組んでいます。図 3 のように，高速疎行列解法の導入により計算が 100 倍程度高速化される例もあります。

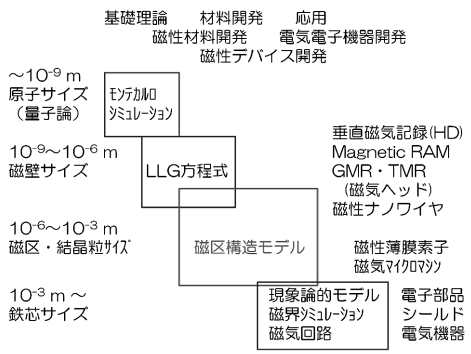


図 1　磁区構造モデルの位置付け

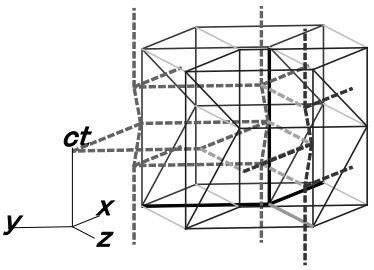


図 2　4 次元時空間格子の例：主格子（実線）とその双対格子（破線）はローレンツ計量にて直交している。

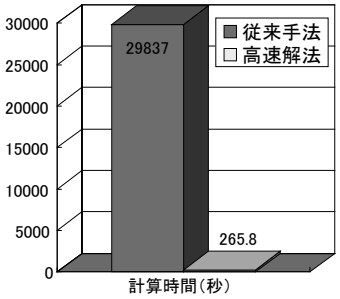


図 3　計算高速化の例

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」、＃は「高校生のページ」に掲載）

電気関係研究室一覧

工学研究科（大学院）

電気工学専攻

複合システム論講座（土居研）

電磁工学講座電磁エネルギー工学分野（松尾研）＊

電磁工学講座超伝導工学分野（雨宮研）

電気エネルギー工学講座生体機能工学分野（小林研）

電気エネルギー工学講座電力変換制御工学分野（引原研）

電気システム論講座電気回路網学分野（和田研）

電気システム論講座自動制御工学分野（萩原研）

電気システム論講座電力システム分野

電子工学専攻

集積機能工学講座（鈴木研）

電子物理工学講座極微真空電子工学分野

電子物理工学講座プラズマ物性工学分野

電子物性工学講座半導体物性工学分野（木本研）

電子物性工学講座電子材料物性工学分野（松重研）

量子機能工学講座光材料物性工学分野（川上研）

量子機能工学講座光量子電子工学分野（野田研）

量子機能工学講座量子電磁工学分野（北野研）

光・電子理工学教育研究センター

ナノプロセス部門ナノプロセス工学分野（高岡研）

デバイス創生部門先進電子材料分野（藤田研）

情報学研究科（大学院）

知能情報学専攻

知能メディア講座言語メディア分野（黒橋研）＃

知能メディア講座画像メディア分野（松山研）

通信情報システム専攻

通信システム工学講座ディジタル通信分野（吉田研）

通信システム工学講座伝送メディア分野（守倉研）

通信システム工学講座知的通信網分野（高橋研）

集積システム工学講座情報回路方式分野（佐藤高研）

集積システム工学講座大規模集積回路分野（小野寺研）

集積システム工学講座超高速信号処理分野（佐藤亨研）

システム科学専攻

システム情報論講座論理生命学分野（石井研）

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（大学院）

エネルギー社会・環境科学専攻

エネルギー社会環境学講座エネルギー情報学分野

エネルギー基礎科学専攻

エネルギー物理学講座電磁エネルギー学分野（中村祐研）

エネルギー応用科学専攻

エネルギー材料学講座エネルギー応用基礎学分野（野澤研）

エネルギー材料学講座プロセスエネルギー学分野（白井研）

エネルギー理工学研究所

エネルギー生成研究部門粒子エネルギー研究分野（長崎研）

エネルギー生成研究部門プラズマエネルギー研究分野（水内研）

エネルギー機能変換研究部門複合系プラズマ研究分野（佐野研）

生存圏研究所

中核研究部

生存圏診断統御研究系レーダー大気圏科学分野（山本研）

生存圏診断統御研究系大気圏精測診断分野（津田研）

生存圏開発創成研究系宇宙圏電波科学分野（山川研）

生存圏開発創成研究系生存科学計算機実験分野（大村研）☆

生存圏開発創成研究系生存圏電波応用分野（篠原研）

ベンチャービジネスラボラトリー

高等教育研究開発推進センター

情報メディア教育開発部門（小山田研）

学術情報メディアセンター

教育支援システム研究部門遠隔教育システム研究分野（中村裕研）

電磁工学講座　超伝導工学分野（雨宮研究室）
http://www-lab04.kuee.kyoto-u.ac.jp/index.j.html
「高温超伝導線材の非線形電流輸送特性を利用したブレークスルー：輸送機器用高温超伝導誘導 / 同期駆動システムの研究開発」

当研究室をリーダーとする産学プロジェクトグループでは、電気駆動式自動車を中心とする輸送機器への応用を目指した高温超伝導ダイレクトドライブシステムの研究開発を実施しています [1]。開発対象とする高温超伝導誘導 / 同期回転機（High Temperature Superconductor Induction/Synchronous Machine: HTS-ISM）は、汎用されているかご形誘導機の簡易な基本構造を有しているものの、2 次側巻線を HTS 導体で構成するだけで高効率な定常同期回転が可能他、既存の回転機では実現不可能な高性能化・高機能化を実現可能です [2]。

HTS-ISM の大きな特長の一つとしては、HTS 線材における非線形電流輸送特性を積極的に利用していることが挙げられます。世界的に研究開発されている HTS 回転機の多くは、HTS 線材の第一義的特長である超低損失大電流通電特性や、その 2 次的特長である高磁界発生特性を利用したものが殆どです。しかしながら、臨界電流（形式的に抵抗ゼロで通電可能な最大電流）を絶対的な制約条件と考える限りにおいては、マテリアルサイエンスの観点から新機能を実現することは困難です。HTS-ISM は、上記課題を解決し、HTS 回転機に関するブレークスルーを達成する可能性を持っています。つまり、HTS 線材におけるゼロ抵抗状態と有限抵抗状態の境界は、高温動作に伴う高い比熱も幸いして実用低温超伝導線材のように明確に定義出来るものでなく、その電界と電流密度の構成関係がブロードに変化します。この特性は、熱力学的には超伝導状態でありながらも損失を発生する磁束フロー状態と呼ばれます。HTS-ISM では、磁束フロー状態を積極的に利用することによって、次の様な新機能が得られます。

（1）すべり回転ならびに同期回転モードの両立性 [2]

停止状態にある HTS-ISM において、HTS ロータバーが磁束フロー状態に遷移するような起磁力が与えられると、回転子が磁束フロー状態に遷移してすべりモードで始動し、その後加速するとともに自己引き入れ現象によって同期回転を実現可能です。つまり、HTS-ISM は自己始動が可能なインテリジェンスを有していると言えます。

（2）過負荷に対するロバスト性ならびに過負荷耐量の概念の成立性 [3]

同期回転状態にある HTS-ISM において、最大同期トルクを超える過負荷が与えられても、すべり回転（磁束フロー状態）に遷移して暫時運転状態を継続可能です（過負荷に対するロバスト性）。また、この特性を積極的に利用すれば、電気自動車などで一般に設定される短時間定格と過負荷耐量の概念を取り入れた設計が可能になります。

（3）自律安定性 [4]

Ohm の法則に従う常伝導かご形巻線の抵抗値を単純に小さくした場合、一般には巻線インダクタンスとの関係で決定される回転数以上において回転不安定となり、制御不能になると危惧されます。一方、HTS ロータバーの起磁力依存抵抗を利用することによって回転安定性が保証されることを明らかにし、自律安定性の概念を提唱しました。

以上、高温超伝導材料の非線形電流輸送特性をうまく利用し、高温超伝導輸送機器実現を夢見て日々研究開発を行っています。

参考文献

[1] 中村武恒 , 超電導 Web21, 2011 年 3 月号（2011）pp. 13-14
[2] T. Nakamura, et al. Superconductor Science and Technology, vol. 20（2007）pp. 911-918.
[3] 中村武恒 他 , 2011 年度春季低温工学・超電導学会 , 2A-a06（2011）
[4] 中村武恒 他 , 2011 年度春季低温工学・超電導学会 , 2A-a07（2011）

電気エネルギー工学講座 電力変換制御工学分野（引原研究室）
http://www-lab23.kuee.kyoto-u.ac.jp/
家庭内配電システムにおける電力カラーリングとルータの開発

既存の電気エネルギーネットワークに，再生可能エネルギーによる分散電源や蓄電機器を情報通信ネットワークと統合して導入し，高効率で新しいエネルギー供給システムの構築を目指す，いわゆるグリーン ICT（Information and Communication Technology）の研究に注目が集まっている．残念なことながら東日本大震災の後の事情から，電力会社の電力供給への信頼度の低下の中で，分散電源の運用に対する議論として喫緊の課題となっている．これまで家庭内の配電は電力会社の管理外に有り，その範囲で HEMS（Home Energy Management System）などの研究において家電機器の制御による省エネ，利便性の確立が試みられてきた．しかしながら，電力会社の電源自体が遮断される可能性はほとんど考慮されず，逆に配電システムを保護するための規制があり，分散電源をコミュニティ等で有機的に運用する自由な発想が実現できない状況にある．

本研究室では総務省・情報通信研究機構（NICT）の委託研究の一環として，平成 21 年より本学学術情報メディアセンターの岡部寿男教授と共に，家庭内に電力会社からの供給電源，売電可能な PV 電源，売電が規制された燃料電池，そして蓄電池などが共存するシステムを想定し，ICT による新しい電力マネージメント手法を検討している．その中で，電力に電源の由来情報，配電先のアドレス情報などからなるタグを付け（カラーリング）し，これらの情報を物理量である電力（例えば電圧波形）に通信により直接重畳し，その情報に基づきネットワーク上の分岐点に設置した電力ルータによって負荷の要求に合わせて配電（ルーティング）する，いわゆる回線切替え型のルーティングを提案している [1, 2]．図 1 に開発した AC ルータの写真を示す．本装置では，電源どうしが直接に接続されないため同期を取る等の制約が無く，電力の質に応じた使い方を可能とする．このような電力ルータは情報通信分野のルータ以上の性能が要求され一層の研究開発が必要となるが，バッファ機能となる蓄電装置を設置によって家庭内の給電に関して同時同量という制約を外すことができるため，家庭内から電力マネージメントにおけるパラダイムシフトへの大きな一歩を提案することになると期待している．

さて，上述の装置の実現可能性が問題となる．このような電力マネージメント機器がこれまでに議論されて来なかった理由の一つに，パワーデバイスの性能がある．従来の Si パワーデバイスでは，同様のルータを開発しても小型化，集積化できず，損失も大きい．そのため，SiC パワーデバイスの開発とその回路実装技術がキーテクノロジーとなる．現在，SiC パワーデバイスの実装に関する研究も，木本恒暢教授，舟木剛教授（元京都大学, 現大阪大学）の協力を得て, 京都環境ナノクラスター事業において実施している．

参考文献 [1] T. Takuno, M. Koyama, and T. Hikihara, In-home Power Distribution Systems by Circuit Switching and Power Packet Dispatching, 1st IEEE International Conference on Smart Grid Communications, 4-6 Oct. 2010, Maryland, USA. [2] T. Takuno, Y. Kitamori, R. Takahashi, and T. Hikihara, "AC Power Routing System in Home Based on Demand and Supply Utilizing Distributed Power Sources", Energies, 4(5), 717-726(2011).

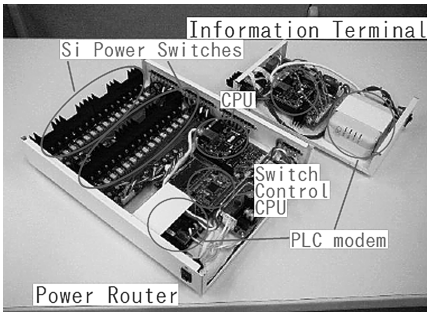


図 1　開発中の電力ルータ

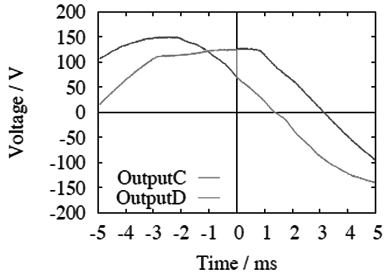


図 2　ルータ出力に見る二電源の切替え波形

集積機能工学講座（鈴木研究室）
http://sk.kuee.kyoto-u.ac.jp/index.html
「新しい高温超伝導体のトンネル型ジョセフソン接合形成を目指したエピタキシャル薄膜成長」

銅酸化物高温超伝導体は1986年にベドノルツとミュラーらによって発見され、翌年には超伝導転移温度 T_c が液体窒素沸点77Kをはるかに超え、現在最高の T_c は135Kに達しています。高温超伝導体の種類も100以上になりました。その後、MgB_2 系やFe系など新しい系の高温超伝導体が発見されましたが、その T_c はたかだか39Kあるいは53Kと言ったところです。なぜ銅酸化物高温超伝導体の T_c は群を抜いてこれまでに高いのかその理由は誰もが知りたいところです。

高温超伝導体の T_c が高いこと、あるいは超伝導が発現する理由はまだ十分分かっていません。従来の金属超伝導体ではその発現機構はわかっているとして良いのですが、それが高温超伝導体にそのまま成り立つとは言えないのです。高温超伝導体の発現機構がわかれば更に高い T_c を有する物質を発見する糸口が得られることになるので興味深いと同時に大変重要でもあります。

超伝導発現機構を理解するには超伝導状態の物性を明らかにすることが必要ですが、その中でも超伝導エネルギーギャップと準粒子状態密度の詳細を明らかにするトンネル分光は大変重要です。高温超伝導体のトンネル分光はこれまでは走査型トンネル顕微鏡と固有トンネル分光法で信頼性の高いデータが得られてきました。対象となった物質は $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ を代表とするBi系高温超伝導体と呼ばれる物質のみと言えます。この物質は清浄な劈開表面が得られることと、結晶構造そのものがトンネル接合になっているために上記のトンネル分光が可能になっています。それ以外の高温超伝導物質では、清浄な表面や界面の形成が困難であり質の高いトンネル分光が可能な接合は得られていないという状態です。

高温超伝導の機構を理解するには個々の物質に依存しない共通する固有の特徴を見出すことが大切です。そこで我々は2つの単結晶を融合させて1個の粒界を有するバイクリスタル基板を用いてその上にバイエピタキシャル成長により新しい物質のトンネル型ジョセフソン接合を形成してトンネル分光実験をすることを考えています。その物質としてこれまでまだエピタキシャル成長がなされていない $(Pb, Bi)Sr_2(Y, Ca)Cu_2O_{8-y}$ (PbBi1212)という高温超伝導体を選びました。この物質は T_c は90K以上で、トンネル型粒界ジョセフソン接合を形成する可能性が高い物質です。これまで高周波マグネトロンスパッタ法を用いてエピタキシャル成長を検討してきましたが、通常の方法でのエピタキシャル成長は非常に困難でありました。この度Pbの蒸発を防ぐ工夫を施した高温アニール法によりエピタキシャル成長に近い薄膜を得ることができました。そのX線回折図形と表面状態のSEM写真を図1と図2に示します。まだ異相が数%存在しますがこれを1000分の1以下まで減らしたトンネル接合の実現を目指しています。

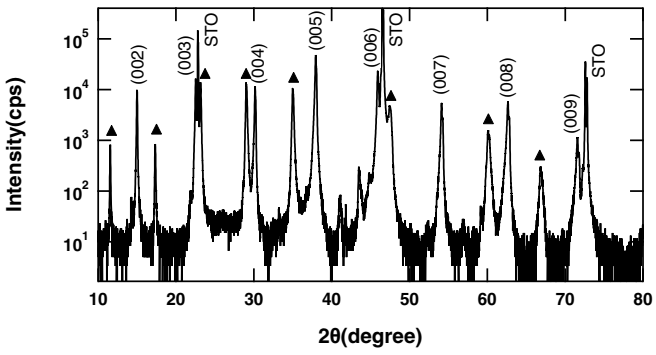


図1　PbBi1212薄膜のX線回折図形

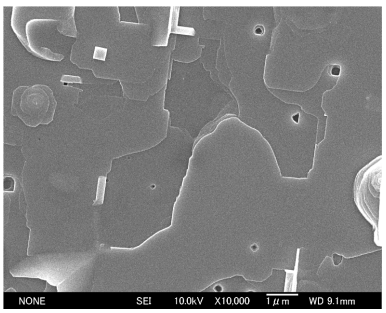


図2　PbBi1212薄膜の表面SEM写真

電子物理工学講座　極微真空電子工学分野
http://www.kuee.kyoto-u.ac.jp/~lab16/index_j.html

「電界放出微小電子源アレイを用いた真空トランジスタの開発」

現代の微細加工技術を用いて数μm以下の大きさの微小電子源を作製し、これを様々な分野に応用しようという研究分野を真空ナノエレクトロニクス（Vacuum Nanoelectronics,VNE）と呼びます。電子源の大きさが極端に小さくなることで、従来では考えられなかった機器が実現する可能性があります。例えば、ディスプレイの一画素よりも小さい電子銃が作れるようになった現在では、各画素に対応した電子銃を置くことで、フラットパネルディスプレイも実現されています。

VNEデバイスでは、電界電子放出という現象を利用して電子を真空中に取り出します。電界電子放出では、従来の真空管が利用していた熱電子放出とは異なり、固体内の電子にエネルギーを与える必要がないため、消費電力を極めて小さくできるという利点があります。また、強電界で電界電子放出をする場合には、放出電流の温度依存性が小さく、放射線等を浴びても電子電流の変化が少ないことが期待されています。これらの特徴を利用した新しいトランジスタや集積回路は古くから考えられてきましたが、実際の研究例は極めて限られていました。

当研究室では、これまでVNEデバイスの開発に取り組んで来ました。苛酷な環境下でも安定な電子電流を得るための陰極材料開発はその主なテーマです。高い融点と高い電気伝導性、強い原子間結合と表面の化学的な安定性が必要とされる条件です。当研究室では窒化物や炭化物に着目し、高温における耐酸化性などの評価も行い、窒化ハフニウム（HfN）を陰極材料の一つの有力な候補としています。

電界電子放出が起こる電界強度を実現するためには、電子を放出する陰極（エミッタ）の形状を鋭い突起状にします。フォトリソグラフィという技術を利用して先端曲率を10 nm ～ 30 nm程度にします。また、対向電極（ゲート）を作り込み、電子を集める第3電極（コレクタ）を設けて3極管とします。エミッタ･ゲート（EC）間電圧を制御することでコレクタ電流を図1のように制御することができます。当研究室ではこのようなデバイスを「真空トランジスタ」と呼んでいます。

真空トランジスタの特性の一つである、コレクタ特性を図2に示します。横軸はコレクタの電圧、縦軸はコレクタの電流を表します。バイポーラトランジスタのコレクタ特性とよく似た特性が得られています。能動素子としての性能も市販されている一般的な半導体素子に近づいてきました。今後、過酷な条件下での動作について調べていく予定です。

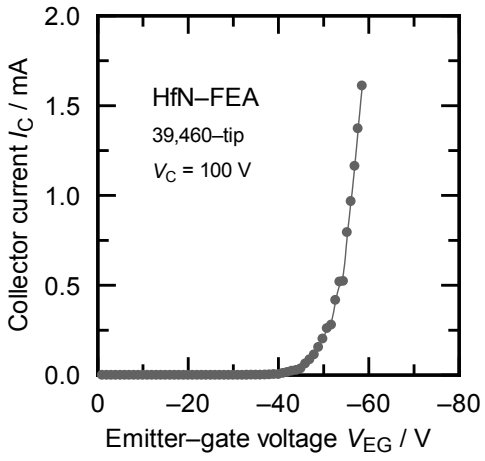


図1　エミッタ・ゲート間電圧とコレクタ電流の関係

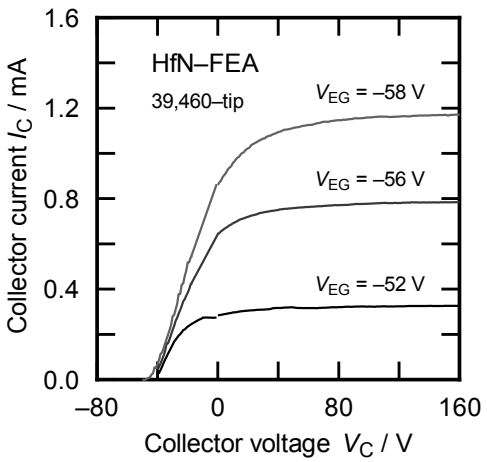


図2　コレクタ電圧電流特性

電子物性工学講座　半導体物性工学分野（木本研究室）
http://semicon.kuee.kyoto-u.ac.jp/

「SiC 結晶中の欠陥低減とキャリア寿命の増大」

変電所等の電力インフラ用変換器には、超高耐圧のパワーデバイスが要求されます。現在は、6kV 級の Si サイリスタ等が用いられていますが、変換時の電力損失が大きく、発熱に弱いという問題を抱えています。このような超高耐圧応用では、SiC バイポーラデバイス（PiN ダイオード、サイリスタ、IGBT など）が有望です。このような超高耐圧 SiC バイポーラデバイスにおいて、十分な伝導度変調効果を得るために必要なキャリア寿命は約 3~10 μ s と見積もられます。SiC は間接遷移型のバンド構造を有するにも関わらず、従来、報告されているキャリア寿命は 0.5~1 μ s と短いことが課題となっていました。本研究室では、最近、(1) 主要なキャリア寿命制限欠陥の同定、(2) キャリア寿命制限欠陥の低減、そして (3) キャリア寿命の大幅な増大に成功しましたので紹介いたします。

まず、キャリア寿命制限欠陥（ライフタイムキラー）については、様々なドーピング密度、欠陥を含む SiC 結晶のキャリア寿命を測定し、結晶中の拡張欠陥、深い準位（点欠陥に起因）との相関を調べることによって、伝導帯底から 0.65 eV 低いエネルギー位置に存在する深い準位（$Z_{1/2}$ センター）が、SiC における主要なキャリア寿命制限欠陥であることを明らかにしました [1]。

次に、この欠陥（$Z_{1/2}$ センター）を低減する手法の確立に取り組みました。この欠陥は熱的に極めて安定で、1600℃以上の熱処理（不活性ガス雰囲気）を施しても、ほとんど密度が変化しません。しかしながら、SiC 結晶を熱酸化することにより、この欠陥を大幅に低減できることを見出しました [2]。図 1 に成長直後、および熱酸化処理後に測定した DLTS スペクトルを示します。図に示すように、成長直後には数種類のピーク（欠陥）が観測されますが、熱酸化を施すと、全てのピークが消滅します。熱酸化により結晶表面から欠陥が減少し、その密度を検出限界（$1x10^{11}cm^{-3}$）以下に低減できることが分かりました。

図 2 に成長直後および熱酸化後の SiC 結晶で測定した光伝導度減衰カーブを示します [3]。この光伝導度減衰カーブの傾きから、結晶中のキャリア寿命を求めることができます。成長直後の試料では、0.69 μ s という典型的なキャリア寿命が得られました。この試料を高温で熱酸化し、形成された酸化膜を除去して測定するとキャリア寿命が大幅に向上し、9.5 μ s に達しています。さらに、この試料の表面に酸化膜を堆積し、界面窒化処理を行って表面再結合を抑制すると、キャリア寿命は 13 μ s まで向上しました。これは超高耐圧 SiC デバイスの高性能化に十分な値であり、今後のデバイス開発に寄与します。

[1] K. Danno et al., Appl. Phys. Lett. 90 (2007), 202109.
[2] T. Hiyoshi et al., Appl. Phys. Exp. 2 (2009), 041101.
[3] T. Kimoto et al., J. Appl. Phys. 108 (2010), 083721.

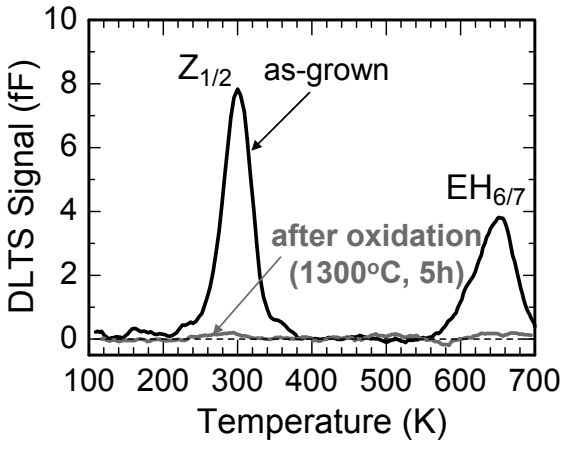


図 1　熱酸化による深い準位の低減（DLTS）

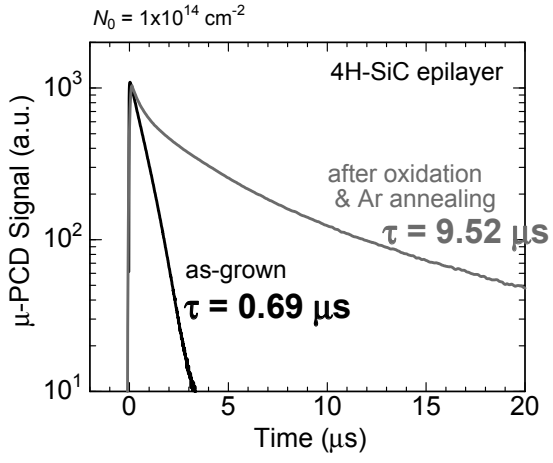


図 2　熱酸化によるキャリア寿命の増大（μ-PCD）

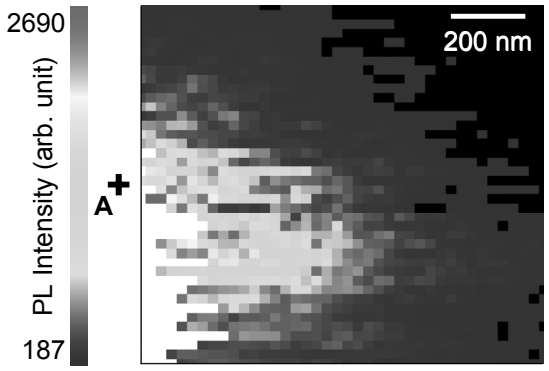
量子機能工学講座　光材料物性工学分野（川上研究室）
http://www.optomater.kuee.kyoto-u.ac.jp/

「デュアルプローブ近接場光学顕微鏡の開発」

物質中の素励起状態 [励起子ポラリトン，表面プラズモンポラリトン（SPP）など] は，物質中を伝播しながら最終的に基底状態に緩和する．この緩和過程が輻射再結合である場合に，物質からの発光が観察される．逆に言えば，物質からの発光過程を理解するためには，伝播→再結合の過程を解明することが必須である．このような過程を観察することを目的として，デュアルプローブ近接場光学顕微鏡（DSNOM）を開発した．

従来の SNOM では，1 本のプローブで光励起あるいは光検出を行っていたため，プローブ開口外への素励起状態の拡散に関する情報は，遠視野で空間平均として検出されていた．それに対して本装置は，2 本のプローブを持っており，一方のプローブで試料を光励起し，他方のプローブでその周囲を走査して発光を検出するため，励起プローブの開口外へ拡散した素励起状態について，どの方向に拡散して，どの位置で輻射再結合しているのかを同定することができるという特長をもっている．装置開発上の問題点は，2 本のプローブと試料の 3 体間の距離の nm スケールでの制御であった．これを解決するために，二つの変調信号を各々，試料－プローブ間，プローブ－プローブ間の距離のシア・フォース検出に用いるデュアルバンド変調方式を開発した．これにより，それらの距離を独立に，かつリアルタイムに制御することに成功した．しかも，本装置では，従来のシングルプローブ測定と DSNOM 測定のいずれもが可能であり，両者の比較により，プローブを通して局所的に励起された状態が，周囲のポテンシャル分布の影響を受けて拡散していく過程を観測することができる．

図は，DSNOM を用いて，InGaN 系量子井戸における励起子の拡散過程を可視化した例である．励起子による発光の強度分布が励起点 A の周りに同心円状に広がるのではなく，ある特定の方向に広がっていることがわかる．その範囲は 500 nm 程度であり，光励起された励起子が，その程度の距離を異方的に拡散して輻射再結合していることを示している．スペクトル解析によってポテンシャル分布を調べたところ，そのような強発光領域は，高いポテンシャルによって囲まれていた．励起子の拡散が，ポテンシャルバリアによって妨げられていることを示唆している．ポテンシャル揺らぎは，励起子の局在を引き起こすことは既に知られていたが，加えて，励起子の拡散方向や距離を決定する要因であることが明らかとなった．開発した DSNOM 技術は，局所領域のポテンシャルプロファイルと，素励起状態の拡散および再結合過程の関係を詳細に調べることができるため，窒化物半導体だけではなく，金属導波路中の SPP 伝播の観察や量子ドットなど不均一系フォトニクス材料などの評価法としても有用であろうと考えている．参考：A. Kaneta, T, Hashimoto, K. Nishimura, M. Funato and Y. Kawakami, *Appl.Phys.Exp.* **3**, 102102 (2010).



DSNOM により観察した InGaN 系量子井戸からの発光の様子．プローブにより A 点で局所光励起し，その周りを別のブローブで光検出した．

光・電子理工学教育研究センター　ナノプロセス部門　ナノプロセス工学分野（高岡研究室）
http://cib.kuee.kyoto-u.ac.jp/nanoprocess_eng/index.html

「ナノ粒子イオンビーム照射による微細加工」

半導体微細加工技術や単一分子操作・計測技術など、ナノメートルサイズ（原子・分子レベル）で扱うことができるナノテクノロジーの開発が急速に展開しつつあります。また、電子やイオンを用いた荷電粒子ビーム技術は、材料プロセス技術や評価分析技術として、様々な分野で用いられています。種類が基本的に１種類の電子に対して、イオンは多種多様なナノ粒子であり、その中で、原子・分子状あるいはクラスター状のイオンビームが注目されています。特に､アルコールや水のような多原子分子イオンビームは、イオンの運動エネルギー、電荷、質量の輸送に加えて、多原子分子を構成する官能基（例えば、アルキル基やヒドロキシル基）特有の化学反応を付与できます。さらに、クラスターイオンビーム照射では、クラスターイオンの運動エネルギーを熱エネルギーに変換でき、照射表面を局部的に加熱できるので、基板温度が室温でも化学反応を促進できます。本稿では、大きさがナノメートルの粒子のエタノールクラスターイオンを基板表面に照射し、従来のウエットプロセスやモノマーイオンビーム照射では得られない表面反応を活用して、シリコン基板表面の微細加工を行いましたので、その結果を紹介します。

エタノールを加熱して、数気圧のエタノール蒸気をノズル喉部の小孔を通して真空中に噴射します。このとき、断熱膨張によってエタノール分子の塊状集団、すなわちエタノールクラスターが生成されます。生成されたエタノールクラスターは､形状がコーン状のスキマーを通過してイオン化部に導入され､電子衝撃によってイオン化されます。イオン化されたエタノールクラスターイオンは、イオン化部から引き出された後、減速電界法によってサイズ分離されます。サイズ分離されたエタノールクラスターイオンは加速され、ファラデーカップ内に装填された基板に照射されます。生成されたエタノールクラスターのサイズは、ピークサイズが約 1500 分子で、数百分子から数万分子に分布しています。

図１は、エタノールクラスターイオンをシリコン基板に照射し、形成した線幅が 0.5 μｍ～ 3.0 μｍのラインパターンを示します。エッチングされた深さは 0.3 μｍ～ 0.8 μｍです。エタノール分子の官能基による化学反応によって、室温でもシリコン表面が高効率にエッチングされたと考えています。また、図に示すように、線幅が 0.5 μｍの場合でも、エッジは直線的に形成されており、底部のエッチングされた面は平坦で低損傷であります。クラスターイオン照射特有のラテラルスパッタリング効果や低エネルギー照射効果によると考えています。さらに、図２に示すように、円形や矩形の周期構造のパターンも形成されます。また、マスクパターンによって、凸型や凹型のパターンが形成できます。こうしたナノ粒子イオンビーム照射による微細加工技術は、LSI デバイスや光学デバイスなどの製作に適用でき、有用な材料プロセス技術として注目されています。

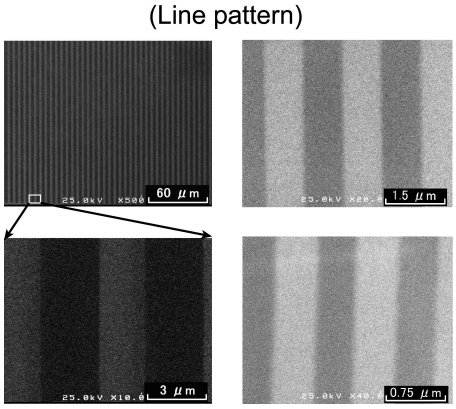


図１　線幅が 0.5 μｍ～3.0 μｍのラインパターン（シリコン基板上）

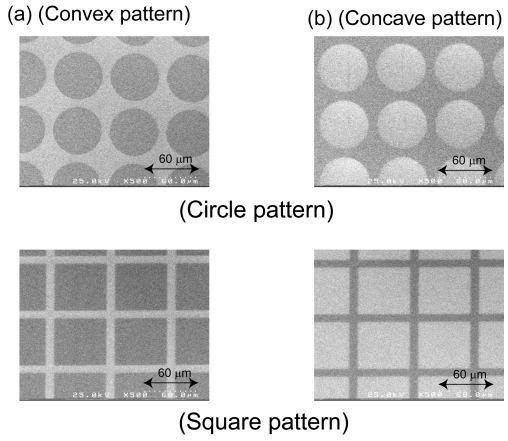


図２　(a) 凸型および (b) 凹型の円形や矩形の周期的構造のパターン（シリコン基板上）

光・電子理工学教育研究センター デバイス創生部門 先進電子材料分野（藤田研究室）
http://pesec.t.kyoto-u.ac.jp/ematerial/index.html

「環境に優しいものづくり」

環境にやさしいものづくり技術をいわばGreen Chemistryというべきであろうか、環境問題への対応が必須である昨今においてますます重要性を増している。とくに太陽電池やリチウムイオン電池など、環境に優しいデバイスを提供しようとする分野や、レアメタルを使わないデバイス創成を目指すような分野では、その要望がきわめて高い。われわれが環境に優しく、レアメタルの使用を代替する酸化物薄膜作製技術として、「ミストCVD法」の研究を始めてから数年が経た。この技術は、有機金属を使わない酸化物薄膜作製技術として企業の強い要望のもとに開発を進めたものであるが、実用に至る目途が見えてきた。同時に、「CVD」に限らず「deposition」の技術を含め、有機薄膜など当初念頭に置いていなかったさまざまな薄膜への応用に向けた大きな期待が高まっていることを感じている。

図１に成膜技術の概略を示す。有機金属を原料に用いる有機金属成膜技術（MOCVD）の基本的な考え方は、金属元素をガスの状態で供給するために蒸気圧の高い有機金属を用いるというところにある。しかし一般に有機金属は可燃性が高く、高価であるという問題点がある。とくに酸化物の作製においては、酸素や水といった原料を酸素源として用いながら、金属元素の原料として有機金属を用いるのでは、装置が複雑化し、大気圧下のプロセスなど不可能である。しかし、何らかの方法で安全な原料をもとにガス状で金属元素を供給することができれば、飛躍的に安全な成膜技術につながる。われわれはその方法として、安全な原料の水またはアルコール溶液に超音波を印加し、得られる霧状の微粒子（ミスト）をキャリアガスで輸送して成膜するという技術を開発している。この技術は多くの企業の支持を得て、強力な共同研究を行った結果、実用化に一歩のところまでくることができた。当初透明導電膜を目指す研究であったが、その後絶縁膜、電池電極、コーティング材、半導体単結晶といったさまざまな分野での応用を目指す要望が寄せられるようになった。さらに有機材料を原料とした「deposition」も興味ある応用分野の展開につながっている。私はこの原稿をいまロサンゼルス国際空港で書いているが、トランジットの時間を利用して米国企業の研究者と会い、共同研究の相談をしてきたばかりである。でもそういう時間を利用してでも相談をしたいと興味を持って下さる方はありがたい限りである。

今回は公開できない内容を含めた故に舌足らずのご報告しかできずに申し訳ないところであるが、ニーズをいただければ対応可能なところが多い技術であると考えており、HPに公開した論文をご参考の上でご兄姉からのご示唆をいただけると幸いである。

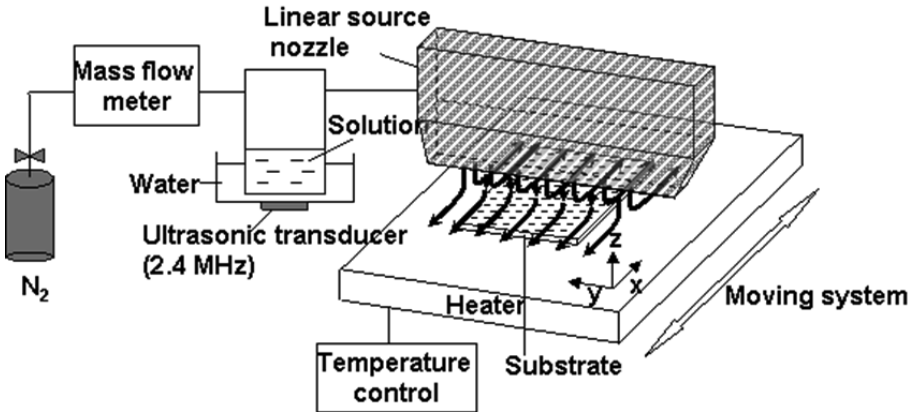


図１　ミストデポジション法の概略。

通信システム工学講座 ディジタル通信分野（吉田研究室）
http://www.dco.cce.i.kyoto-u.ac.jp/
「ゲーム理論の分散無線リソース制御への応用」

無線通信の利用により，電波が届く範囲であれば有線での配線が難しい場所でも通信を成り立たせることが可能である．これは，電波が様々な方向に放射されるためである．一方で，同一周波数帯で同時に複数の無線通信を行おうとすると，単純には同一チャネル干渉が生じる．この干渉は，複数の無線通信の間の相互作用と捉えることができる．

相互作用を数学的に定式化する方法として，ゲーム理論が知られている．ゲーム理論とは経済学で発展してきた理論であり，端的に言えば「ゲーム」と呼ばれるある種の最適化問題を扱う数学理論である．ゲームの中で最もシンプルな戦略形２人ゲームとは，次式のような問題設定のことを指す．

$$\begin{cases} \max\limits_{x_1} f_1(x_1, x_2) \\ \max\limits_{x_2} f_2(x_1, x_2) \end{cases} \tag{1}$$

片方の式のみであれば単純な最適化問題であり，上の最適化問題は x_2 が与えられた場合に関数 f_1 が最大となる変数 x_1 を求めるという問題である．ただ，２つの最適化問題が同時に存在するため，下の問題に上の問題の解が影響を与え，更に上の問題の解が下の問題の解にも影響を与える．これが戦略形ゲームで定式化できる相互作用である．

無線通信システムでは，各無線局のスループットや遅延といった通信品質は，自局の送信電力や使用周波数といったパラメータのみならず，干渉により他局のパラメータ設定にも依存する．無線局１と２が存在し，各局のパラメータを x_1 と x_2，各局の通信品質を f_1 と f_2 というように表せば，先の最適化問題のような形となることが分かる．従って，電力制御やチャネル割当といった無線リソースを分散的に制御する際に，ゲーム理論を応用することが可能である．これまでに，ポテンシャルゲーム，進化ゲーム，少数派ゲームといった様々なゲームに対する知見を用い，干渉制御のための送信制御手法を提案している [1]．図１は少数派ゲームを応用した送信スケジューリングの結果を表している．複数の無線局からの干渉電力を縦軸に取っており，分散制御にも関わらず，定められた目標値以下にほぼ抑えられていることが分かる．

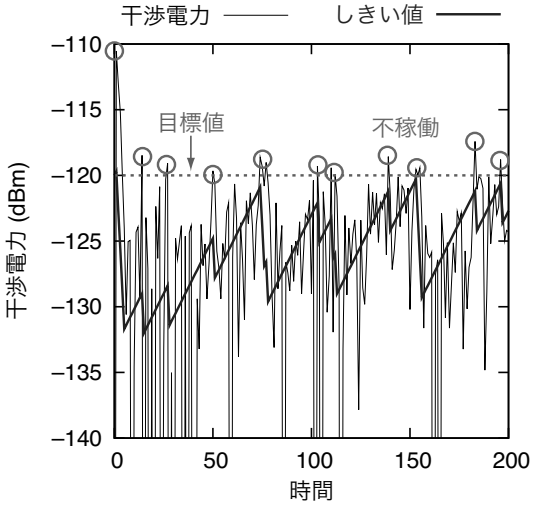


図１　少数派ゲームを応用した送信スケジューリングの結果

現在，無線通信システムの設計にあたって直面している問題は，単に技術的な問題に留まらない．新しい技術がペイするかという経済的な問題，地上テレビ放送をアナログからデジタルへ切り替えるのに約 10 年かかるといった社会システム的な問題がある．ゲーム理論は，これらの分野で既に成果を上げており，これらを含めた広い意味での社会インフラシステムの構築に役立つことが期待される．

参考文献　[1] Y. Saito, K. Yamamoto, H. Murata, S. Yoshida, “Robust interference management to satisfy allowable outage probability using minority game,” Proc. IEEE PIMRC 2010, Istanbul, Sept. 2010.

通信システム工学講座　伝送メディア分野　（守倉研究室）
http://www.imc.cce.i.kyoto-u.ac.jp/
「カバー率 100%を目指す無線 LAN ネットワークの研究」

光ファイバーによる通信回線のブロードバンド化にともない、ユーザー端末とネットワークを接続する無線アクセスネットワークが重要となっています。すでに大学構内、オフィス、家庭内と様々な場所で IEEE 802.11 標準規格の無線 LAN が広く実用化されています。しかし、限られたエリアであっても、100% に近いエリアカバー率を実現するには図 1 のように無線 LAN 中継システムが必要となります。IP ネットワークとはアクセスポイント（AP: Access Point）で接続され、無線端末局（STA: Station）とは中継局（RS: Relay Station）を介して接続されます。単純に中継システムを導入すると無線リソースを多く必要とし、せっかくのブロードバンド環境が損なわれてしまいます。そこで、VoIP（Voice over IP）等のリアルタイム情報を扱う双方向トラヒックに対して有効なネットワークコーディングという技術を用いてこの問題の対処を図ります。図 2 はネットワークコーディングの原理を示しています。単純な中継方式では 4 回のパケット伝送が必要であったものが 3 回で済むと言う特徴を有しています。従って、この場合には 4/3 倍にスループットが向上します。さらに図 1 に書かれている構成の場合、STA に比して AP や RS のパケット送信機会が多くなければ、システム全体のスループットは改善できません。本研究ではランダムアクセス方式である IEEE 802.11 規格を順守しながら、AP や RS に STA と比較してパケット送信機会をより一層優先することにより、システム全体の伝送品質向上を図ることを目指しています。図 3 には AP と RS に最適な送信優先権を与える QoS（Quality of Service）制御を行った時のパケットロス率を示しています。音声伝送では 3% のパケットロス率を目安にネットワークが設計されますので、データ通信端末数が増加してきた場合に、QoS 制御が有効に動作していることがわかります。

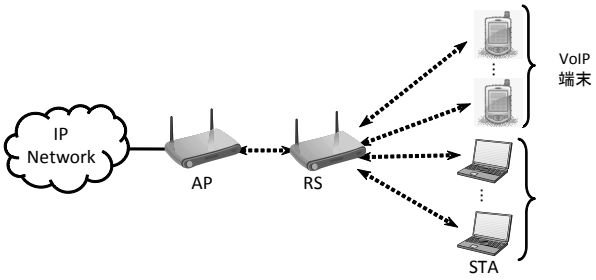


図 1　無線 LAN 中継システムの構成

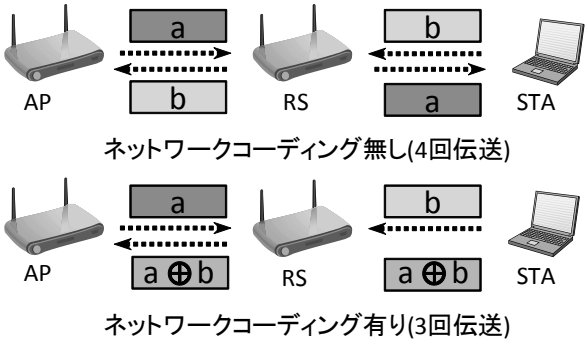


図 2　ネットワークコーディングの原理

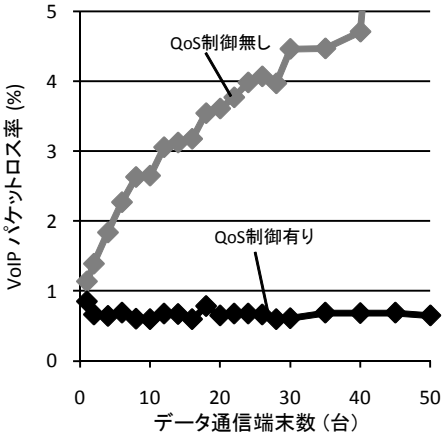


図 3　VoIP パケットロス率

参考文献　C. Huang, D. Umehara, S. Denno, M. Morikura, and T. Sugiyama, “Enhancement of CSMA/CA and network coding in single-relay multi-user wireless networks," IEICE Trans. on Commun. (B), vol.E93-B no.12 pp.3371-3380, Dec. 2010

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）
http://www-lab13.kuee.kyoto-u.ac.jp/
「特性ばらつきを考慮した集積回路設計技術の開発」

原子レベルの揺らぎが存在しても安定に動作しうる集積回路を実現するために、特性ばらつきや劣化の評価と抑制技術の開発に取り組んでいます。本研究では、重要な要素回路であるフリップフロップ（FF）がデバイスの特性ばらつきに対して脆弱であることと、その対策を明らかにしました。

微細化に伴う特性ばらつきの急増は、微細デバイスが抱える本質的な課題です。現在のところ、デバイスの特性ばらつきを考慮するために、すべてのデバイスが最悪特性をとると仮定した最悪値設計が行われています。しかし、微細デバイスのばらつきはランダムな成分が支配的です。そのため、最悪値設計は過度に悲観的な結果になると考えられています。しかし、本研究では、ランダムなばらつきが存在する場合、ディジタル回路を構成する重要な要素回路である FF の動作特性は、最悪値設計での想定特性より悪化する事を明らかにしました。例えば65nmプロセスを想定したセットアップ時間のシミュレーションでは、全てのトランジスタ特性が最悪値を取ると考えたスローコーナーでの必要時間より、一部のトランジスタが最良値を取る場合の必要時間の方が 88% も長くなります。

チップ内ばらつきに対する脆弱性の原因は、FF 内を信号が伝搬する際の遅延と、FF 内の信号伝搬を制御するクロック信号の遅延にずれが生じるためであることを解明しました。ここで、FF 内のクロックドライバは、低消費電力化のために小さい寸法のトランジスタで構成されています。一方、トランジスタ寸法が小さいと、ランダムなばらつき量は増加します。すなわち、クロック遅延のランダムなばらつきが増加します。そこで、クロックドライバのトランジスタ寸法を大きくすることにより、チップ内ばらつきへの耐性を強化した FF を開発しました。ばらつき耐性を評価するために、開発した各種の FF による分周回路をそれぞれ 270 個チップ上に配置した LSI を 65nm プロセスで試作しました（図 1 参照）。合計 12 個のチップについて、電源電圧 0.7V における各分周回路（FF）の最高動作周波数を測定しました。図 2 に、標準の FF（STD）、クロックドライバ寸法を 1.5 倍にした FF（CD1.5）、2 倍にした FF（CD2.0）それぞれ 3,240 個の最高動作周波数の分布を示します。STD に比べて、CD1.5 と CD2.0 は特性ばらつきの幅が減少しています。CD1.5 と CD2.0 の特性ばらつきの標準偏差は、STD の 57% と 45% に減少しました。一方、消費電力は STD に比べて 5% と 14% 増加します。従って、実際の設計においては、各 FF のタイミング余裕を考慮して、適切な FF を用いることが重要です。

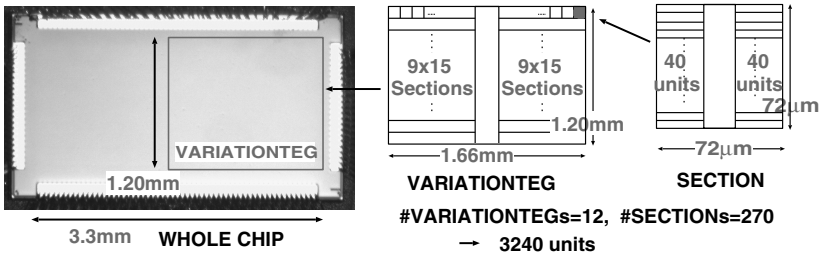


図 1　65nm プロセスで試作した FF 特性ばらつき評価回路

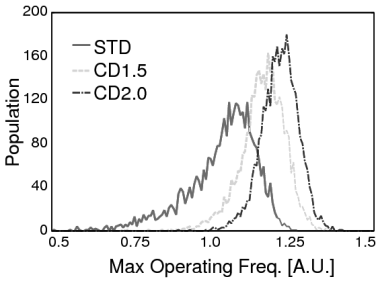


図 2　標準 FF(STD)とばらつき耐性 FF(CD1.5,CD2.0) の最高動作周波数分布

システム情報論講座　医用工学分野（松田研究室）
「三次元医用画像における構造・力学特性の統合表現法の開発」

近年、内視鏡下手術に代表される先端医療技術の普及とその安全管理、手術時間の短縮と医師の負担減少などが患者と医師の双方のニーズとなっている。CT や MRI などの撮像機器の進歩により、一人の患者から一回で 1000 枚程度の大規模な断層画像集合（以下、三次元医用画像）が取得される機会も増加し、診断だけでなく、手術計画や術中ナビゲーションへの利用が期待されている。医用画像のセグメンテーションに代表される画像認識・分類に関する研究により、多くの臓器を解剖学的単位で抽出できるようになりつつある。一方、手術計画や術中ナビゲーションに必要不可欠な人体・臓器の局所構造と力学特性に関する情報は別の枠組みとして扱われてきた。現状では形状･力学モデルの製作に四面体メッシュ形式などに関する工学知識が必要で、かつ、時間も要している。症例データごとに逐次メッシュの制作を必要とする従来の方式は、多忙な医師が数日後に実施する手術をシミュレートするという臨床現場におけるニーズに十分に答えられていない。さらに生体の大部分を占める軟組織に関してはその力学現象の複雑さと計測の困難さ故に、シミュレート対象とすること自体が難しく、力学計算モデルを含めて解決が望まれる研究テーマとなっている。

本研究では、次世代のモデリングフリー手術支援の確立を目指し、三次元医用画像における人体・臓器の局所構造・力学特性の統合表現法の開発を目指している。医師が医用画像を読み込むだけで、モデリングフリーで手術プロセスや術中に生じる力学現象を即座に検討できるワンクリック手術支援シミュレーション環境、及び、そのために必要な次世代の医用画像・力学特性の記述形式について検討している（図 1, 2)。また、手術時における内視鏡の位置・姿勢検出装置と連携し、従来の内視鏡映像を拡張する可視化手法、術前計画･術中の手術支援を目指したシステムの構築に取り組んでいる。本枠組みは、手術シミュレーションへの応用を前提として人体･臓器の複雑な力学特性を効果的にモデル化し、かつ、シミュレーションの実施に要する知識・作業コストのハードルを大幅に下げる可能性を持つ。国内多数の機関で開発されている手術シミュレーションの医師による実用を可能にし、臨床現場における普及に大きく貢献できるものと考える。日本は CT・MRI の普及率が世界一であり、世界に先駆けて医用画像と構造･力学特性の統合形式を整備することは意義が大きい。泌尿器科、呼吸器外科、胆肝膵移植外科、形成外科、整形外科等との幅広い共同研究実績を持ち、外科医との定期的なディスカッションを通して臨床におけるニーズを抽出しつつ情報学における研究テーマを模索する点、臨床現場への導入を想定した開発・評価を試みる点も本研究の特色の一つである。

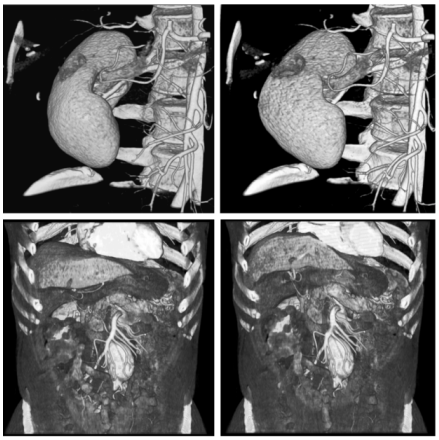


図 1. 腎臓・肝臓のボリューム変形

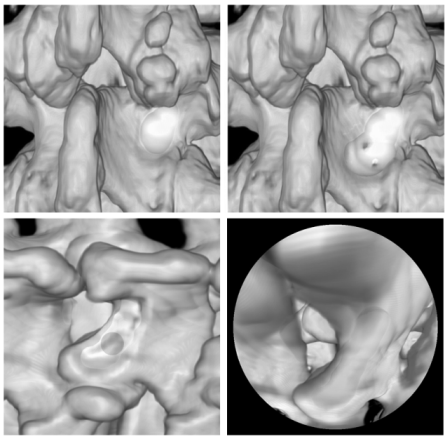


図 2. 椎骨のボリューム切削と内視鏡ビュー

参考 URL：
http://www.bme.sys.i.kyoto-u.ac.jp/~meg/research.html

エネルギー社会環境学講座　エネルギー情報学分野
http://hydro.energy.kyoto-u.ac.jp/
「携帯情報端末を用いた環境配慮行動の足跡コミュニケーション場」

近年、化石エネルギー資源の枯渇が問題となっており、我々は限りある資源を効率よく利用していく必要がある。家庭部門における個人のエネルギー消費量をみると、第1次オイルショック当時に比べて、現在の人々は2倍以上のエネルギーを消費している。そのため、今後、一人一人がより一層省エネルギー行動などの環境に優しい行動をとる必要がある。省エネルギー行動に限らず、人々が生活の中でとる環境に優しい行動は、環境配慮行動（Pro-Environmental Behavior; PEB）と呼ばれている。

この研究では、スマートフォンのような携帯情報端末とソーシャル・ネットワーキング・サービスを用いて、情報ネットワーク上にコミュニティを構築し、それらを用いて人々が日常生活でできるPEBを促進・継続させることを目標としている。具体的には、情報ネットワークを介してPEBを行ったことを伝え合うゆるくつながったコミュニティ「PEB足跡コミュニケーション場」を実現するシステムを構築し、本システムを用いて「ゆるいつながり」がPEB促進・継続に有効であることを示した。

本システムでは、図1に示すように、住居内に設置した数個のBluetoothステーションを用いて携帯情報端末を持ったユーザの位置を特定し、携帯情報端末からその場所と時間に合ったPEBを推薦する。さらに、ユーザがそのPEBを実行した場合、図2のように、そのことを「足跡」として情報ネットワーク上のPEB足跡コミュニケーション場に送信する。コミュニティに属するユーザはこのPEB足跡コミュニケーション場を共有することで他のユーザが同じような場所で同じようなPEBを実行していると感じる「場所･行動共有感覚」を覚え、社会的促進の効果によりPEB実行を促進することができる。また、この効果を継続させるためにはコミュニティへの継続参加が必要であるが、人は本来、社会への帰属意識を持っている反面、長期における他者との深い関係を避けようとする。そこで、コミュニティに継続して参加させるために、強制感・ストレスの無い「ゆるいつながり」のコミュニケーションを実現している。

このようなPEB足跡コミュニケーション場システムを用いてゆるいつながりのPEB促進・継続への有効性評価実験を実施した結果、PEBが促進・継続された実験協力者のほとんどが「場所・行動共有感覚」を感じており、「場所・行動共有感覚」がPEB促進・継続に有効であることが分かった。また、システムを継続して使い続けられた理由を尋ねたところ、「強制感・ストレスの無いコミュニケーション」に関する理由を挙げていた実験協力者が複数名いた。このことから「ゆるいつながり」がシステムの継続利用に有効であり、さらに他者からの影響を受け続けることによりPEB促進・継続に寄与することが分かった。

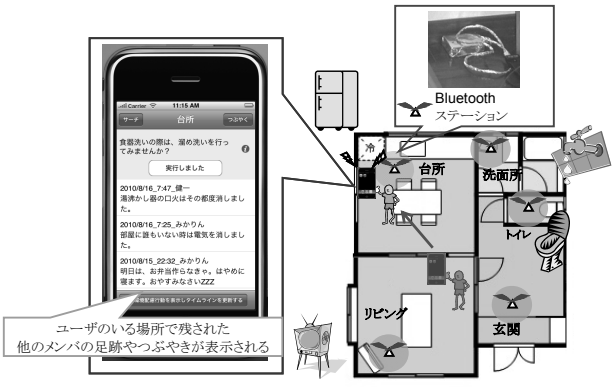


図1. ユーザの位置による適切なPEBの推薦

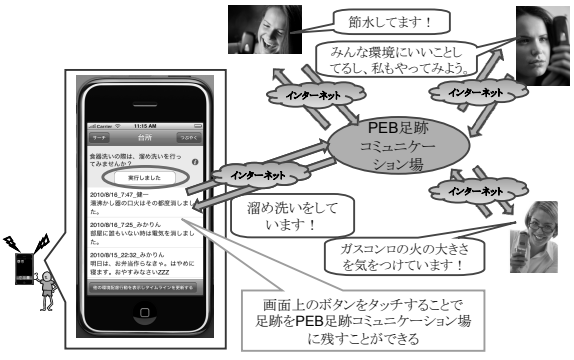


図2. 足跡コミュニケーション場

エネルギー材料学講座　プロセスエネルギー学分野（白井研究室）
http://www.pe.energy.kyoto-u.ac.jp/

「有負荷下自己復帰可能な超電導故障電流限流器」

1. はじめに　近年の電力系統の大規模化・複雑化等により、事故電流増大による遮断器の負担増加、系統安定度低下が懸念されている。超電導限流器を用いる事で事故電流の抑制、事故端電圧維持を実現し、上記のリスクを下げる事が期待できる。

我々はこれまでに単相の巻き戻し構造を持つ変圧器型超電導限流器（SFCL）を作製し、模擬電力系統で実験を行った。変圧器型SFCLでは、巻き戻し構造を採用することによって、より良好な限流特性とできることを確認している。このSFCLは事故電流が小さい時にはリアクタンス成分で、事故電流が更に大きくなると抵抗成分が加わって限流する。これまでの実験により、発電機の出力を安定させる効果を確認し，有負荷下（無電流時間なし）での自己復帰動作（次の事故に備えた待機状態に復帰）を確認している。これらの結果をもとに，現在，高温超電導線材（BSCCO2223）を用いて，三相同軸構造の三相SFCLを作製（図1：写真）し，特性試験を進めている。

図1　製作した三相同軸超電導限流器

2. 三相超電導限流器　作製した三相変圧器型SFCLは、各相二つの巻き戻しソレノイドから成り、同軸の合計6つのコイルで構成されている。各相平衡と同時に相間の影響が出来るだけ小さくなるよう巻き数，線材長を決定した。図2は限流器のA相の一次電流に対する限流インピーダンスの変化を示している。インピーダンスは40A付近からリアクタンスを主として増加し始め、電流が大きくなると一次コイル抵抗が発生し，その増加に伴い抵抗成分を主とした限流に移っていく。図3に限流器を設置した場合と、ない場合の三相通電電流実験結果を示す。大きな限流効果が確認できる。

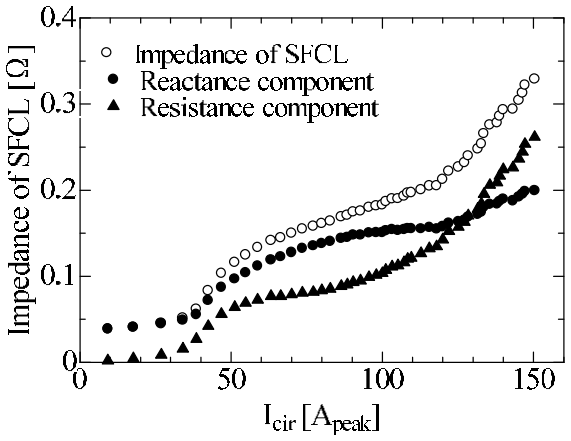


図2　通電電流に対する限流インピーダンスの変化

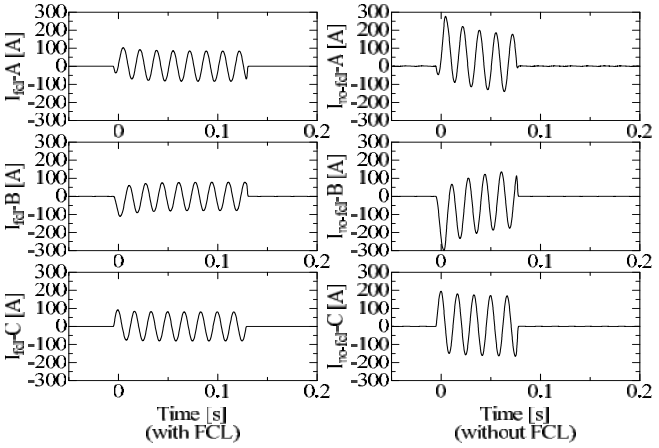


図3　三相短絡故障時の限流電流と限流器のない場合の事故電流

エネルギー機能変換研究部門　複合系プラズマ研究分野（佐野研究室）
http://www.center.iae.kyoto-u.ac.jp/sanok/index.html
「ヘリオトロン J における少数イオンモードでのイオンサイクロトロン周波数帯（ICRF）加熱の数値解析」

核融合発電を目指す磁場閉じ込め方式のプラズマ研究は国際協力による ITER を中心として各国で進展しています。重水素、三重水素による核融合を考えた場合、反応によって生成される α 粒子の閉じ込めは、プラズマ温度を維持するために重要な課題です。外部磁場のみで閉じ込め磁場を形成する単純なヘリカル系装置においては無衝突領域のリップル損失が存在するため、これを低減する磁場配位を考える必要があります。ヘリオトロン J 装置では 5 組のコイル電源による電流比制御により、さまざまな配位を作ることができます。磁場成分のうちトロイダル方向の磁場リップルであるバンピネスを変化させ ICRF 加熱を用いて高速粒子を実験的に調べました。ここでのバンピネスの値は B_{04}/B_{00}（B_{04} がバンピー成分、B_{00} が平均磁場成分）で表して、規格化平均半径 0.67 の位置でそれぞれ 0.15（高）、0.06（中）、0.01（低）です。

閉じ込め磁場中のイオンは、磁力線の周りを旋回します。そのため磁場と速度のなす角、すなわちピッチ角がイオン軌道を決める重要なパラメータとなります。ヘリオトロン J プラズマでイオン温度が 0.2 から 0.3keV 程度の電子サイクロトロン加熱プラズマを用い、ICRF パルス中の少数（水素）イオンの高エネルギー粒子の実効温度（1-7keV）のピッチ角分布の測定結果を図 1 に示します。計測には中性粒子エネルギー分析装置を用いました。ピッチ角 120 度付近では明らかな差が分かります。実験で計測可能な範囲に制約があるため、ICRF 加熱機構をモデル化したモンテカルロ計算を行い、さらに広いピッチ角での高速粒子の振る舞いと実空間上での粒子分布等を求め、バルクイオンの加熱効率を評価するに必要なモデルの構築を行う必要があります。数値モデルをもとにモンテカルロ法による計算結果を図 2 に示します。ピッチ角 120 度付近での依存性は実験と一致しているのが分かります。ヘリオトロン J 磁場は 3 次元構造を持つため、波動電場、パワー吸収分布の評価にも 3 次元解析が必要となるため、TASK/WM コードを用いた放電管内の高周波モード解析および吸収分布解析を検討中です。

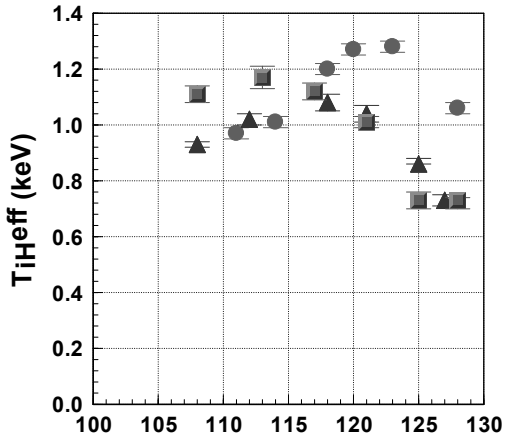


図 1　実験で得られた少数イオンの実効温度のピッチ角依存性（●:高バンピネス、▲:中、■：低）。

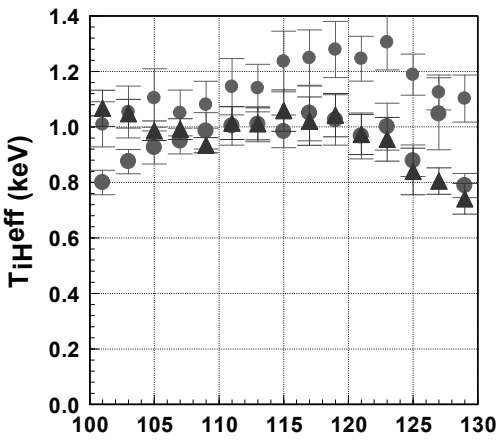


図 2　モンテカルロ計算で得られた少数イオンの実効温度のピッチ角依存性。

生存圏診断統御研究系　大気圏精測診断分野（津田研究室）
http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/labs/tsuda_lab

「高精度衛星測位データを用いた気象予測システムの構築」

地上 GPS 受信網（国土地理院の GPS 連続観測網：GEONET 等）または低軌道衛星（COSMIC 等）搭載の GPS 受信機を用いて、衛星測位電波の大気伝播遅延による「測位誤差」から水蒸気量等の「大気情報」を得る逆転の発想の大気計測法は「GPS 気象学」とよばれ、いままでに多くの研究成果が生み出されてきました。とりわけ、GPS 測位データに含まれる水蒸気量の情報を気象数値予報モデルに同化すれば、予報精度が格段に向上することが実証され、大変有効であることが分かりました。しかしながら、急激に時間変化する集中豪雨等の場合、前兆現象として現れる水蒸気量の増加ならびに水平分布の変動をリアルタイムで把握することが重要であると考えられますが、現状のデータ同化手法では GPS 測位データを 3 時間ごとに初期値として用いているため、真に水蒸気情報をリアルタイムで活用しているわけではありません。

平成 22 年度よりスタートした地球観測技術等調査研究委託事業「高精度衛星測位データを用いた気象予測システムの構築」では、京都大学をはじめ、国立極地研究所、気象庁気象研究所の 3 機関が連携し、地上型 GPS 気象学の手法により水蒸気量の高度積分値（可降水量：PWV）を優れた時間分解能で連続的に求め、それらを迅速にデータ収集・解析し、データ同化を経ずに数分以内に水蒸気変動特性を提供することで、大気現象の現状監視・予測に活用するシステムを開発することを目指しています。従来の地上型 GPS 気象学の手法では、仰角約 5 度以上に見える総ての GPS 衛星からの電波を用いるため、推定される可降水量は半径約 20km の水平平均値でした。しかし、この水平平均値では直径数 km の局所的降雨には対応できません。そこで、2010 年 9 月に日本版測位衛星として打ち上げられた準天頂衛星「みちびき」がほぼ天頂の方向に長時間連続的に滞在するという特長を利用しようと考えました。準天頂衛星は現在 1 基打ち上げられていますが、仰角 70 度以上に約 8 時間滞在するという特長があります。将来的に 3 基体制となり常にいずれかの衛星がほぼ天頂方向に存在することになります。この衛星を用いることによって可降水量推定の水平分解能を約 1km に改善でき、局所的降雨を捉えることができると考えられます。多数の廉価な一周波受信機を都市域に稠密に展開し、大量の測位データをリアルタイムに収集・解析して、急激な可降水量分布の時空間変動を把握することによって、気象災害を引き起こす局所的集中豪雨等の早期監視への活用を提案します。また、定常気象観測が疎なアジア・アフリカ諸国に適用し、熱帯域で頻発する洪水・干ばつの予測等の災害リスクマネジメントへの国際貢献を図ります。

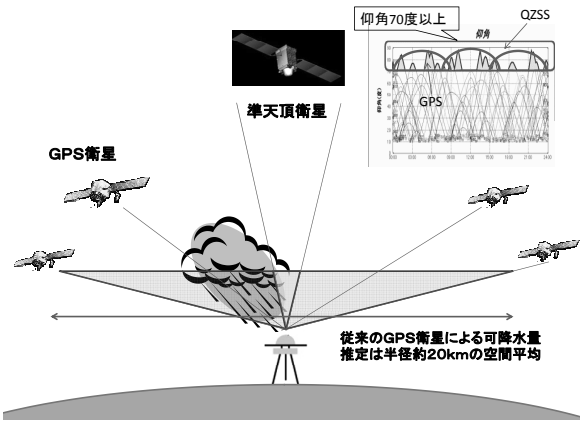


図 1　準天頂衛星の特長を活かした水蒸気水平分布監視システム

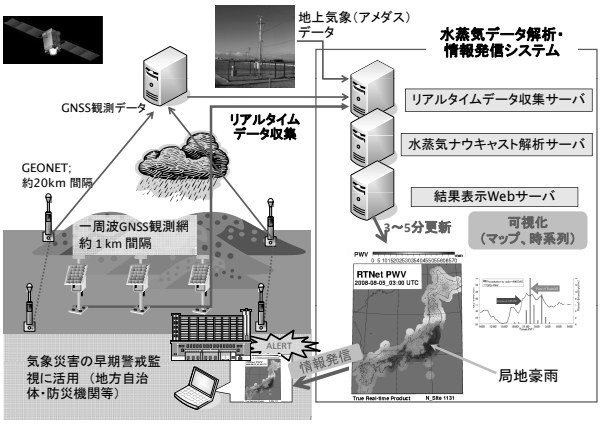


図 2　衛星測位データを用いた気象予測システムの構築

情報メディア教育開発部門（小山田研究室）
http://www.viz.media.kyoto-u.ac.jp
「モバイル端末を利用したタイル型表示装置向けインタラクション技術」

近年、スーパーコンピュータから生成される大規模シミュレーションデータから新たな知的発見を導き出すために、大規模データをわかりやすくかつ高度にインタラクティブ操作が可能な可視化技術の研究開発が注目されている。それを受けて可視化技術とネットワーク及び計算機技術が融合した環境整備が極めて重要とされる。さらにタイル型表示装置（TDW, Tiled Display Wall）や没入型表示装置といった大規模表示システムは複数の計算機が連携して動作する大規模な可視化システムして非常に有用とされる。またこれらは並列データ処理やデータ転送にも用いることができるクラスタコンピュータで構成されており、超高速ネットワークと連携してネットワーク帯域をフルに利用することで高臨場感な可視化表示が可能となる。しかし、これらの要件を満たすためには、可視化技術やデータ転送及び負荷分散、可視化データに対するインタラクション技術が統合された基盤環境が必要とされるが、十分な研究開発の取り組みがなされておらず、実現に至っていない。

本研究室では、スーパーコンピュータ上の大規模かつ複雑なシミュレーションから得られる超大規模非構造データ向け粒子ベースボリュームレンダリング手法（PBVR 法）を開発している。さらに生成された可視化結果を、超高速ネットワークを介して TDW 等の大規模表示システムに高解像度画像表示を実現する基盤ミドルウェアを開発している。加えて、ユーザからの大規模可視化結果に対するインタラクションを可能とするユーザインタフェースを開発及び実装を行っている。

図 1 は、本学学術情報メディアセンター南館に設置されている 40 台の LCD モニタで構成される TDW（10,240 × 5,120 画素）に、大規模口腔流体シミュレーションの結果を表示している様子である。PBVR 法を用いることによって、7,200 万要素からなる大規模データに対してリアルタイムでの可視化を実現しており、加えて、ユーザはモバイル端末を利用して対話的に可視化パラメータ等の変更を行うことが可能である。

図 1　タイル型表示装置上での口腔流体シミュレーションデータの可視化結果。ユーザ（右下）はモバイル端末を使って、物体の回転や可視化パラメータの変更等の操作を対話的に行うことができる。

教育支援システム研究部門　遠隔教育システム研究分野（中村研究室）
http://www.ccm.media.kyoto-u.ac.jp/
「協調的物体認識のためのインタラクション設計」

認識手法の高性能化・計算機処理の高速度化の相乗効果から，自動認識の適用可能な範囲がますます拡がっている．従来のような高度に統制された環境下だけでなく，より一般的な環境下での画像認識の利用とその高性能化が期待される．しかし，一般環境における高度な自動認識には，様々な条件，例えば，向き・照明・動き・隠れ・個体差などの多様性やそれらの経時的な変化への対応が必要である．特に観測対象や系に人間が含まれている場合，複雑な状況や想定外の事態が多く発生すると考えられるため，それらの対応はより強く求められる．ただし，人間が系に含まれていることは，認識にとって悪い点だけではなく，実は良い点も持ち合わせている．例えば，人間の認識・判断能力をうまく利用する手法や，人間に手伝ってもらうことで認識問題を簡単にする，などが考えられる．

このような背景から，画像認識を行うシステムがある程度の性能を持ち，加えて利用者がシステムに協力できる場合に，その適用範囲をより広くしたり精度をさらに高める方法，また，その際に人間の負荷をできるだけ増やさないようにする枠組みとして，「協調的認識」の検討・提案を行っている（図 1）．協調的認識のモデルには人間（利用者）が系に包含されており，従来の自動認識である（A）コンピュータによる検出や認識，に加え，（B）利用者への情報フィードバック，（C）利用者によるシーンの改善や問題自体の変更，を含むループ系が構成される．このループをスムーズに回す，すなわち利用者からの小さな協力で認識精度を大きく改善することを，（B）における利用者への情報フィードバックをうまく設計することで達成する．フィードバックされる情報は大きく分けて，認識の状態・悪状況・状況改善策の三つである．利用者は認識の状態を見ることで自動認識が正しく行われているのか，それとも不安定な状態なのかを知り，後者であった場合には提示されている悪状況を通じて認識を困難にしている原因を把握する．各悪状況にはそれを改善するための状況改善策が併せて提示されており，利用者による協力を支援する役割を果たす．

上記インタラクションモデルに基づいて，机上作業における協調的物体認識の環境構築（図 2），および被験者実験を行ったところ，認識が失敗の状態から正しい認識の状態により高頻度により速く復帰できることが確認された．実用化に対しては，高精度に悪状況の検出や改善策の提案を行うこと，複数の改善策から最適なものを選択すること，利用者のシステム習熟度に応じた提示を行うこと，などの課題が残されているが，人間の活動をうまく助ける仕組みの１つとなることを期待している．

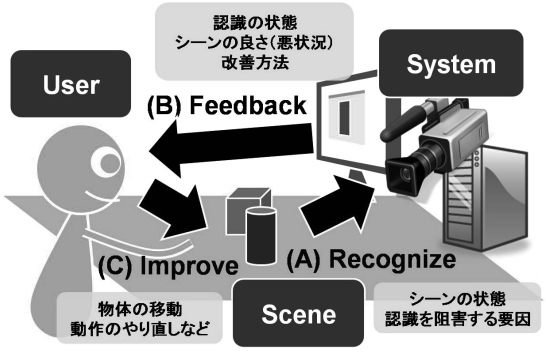


図１　協調的認識のモデル

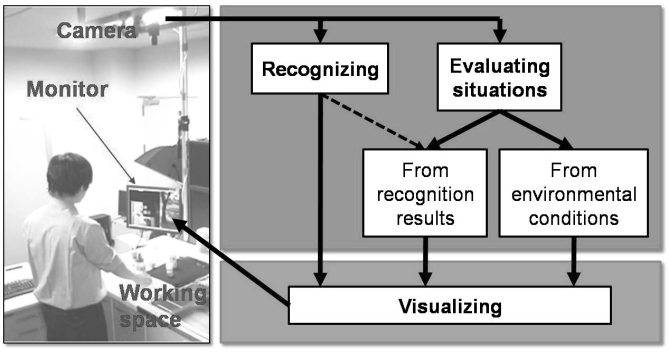


図２　机上作業における協調的物体認識環境

平成 22 年度修士論文テーマ紹介

工学研究科　電気工学専攻

大　崎　弘　貴（土居教授）「3 次元特異摂動系のホップ分岐近傍に生じるアヒル解の漸近解析と長周期振動に対する考察」

アヒル（カナール）解は、非線形システムにおいてカオスと同様に重要かつ典型的な解である。複数の異なる時間スケールを持つシステムである特異摂動系におけるアヒル解の存在パラメータを漸近展開により解析的に導出し、数値計算を用いて検証を行った。

西　垣　勇　輝（土居教授）「適切な鎮静度維持のための最小麻酔薬濃度に基づく鎮静度制御の研究」

聴覚誘発電位に基づく鎮静度指標 aepEX を用いて、手術中の患者を適切な鎮静状態に維持できる最小麻酔薬濃度を推定する方法を提案するとともに、麻酔薬濃度を最小濃度以上に維持しながら総投与量を抑制するモデル予測制御法を用いた鎮静度制御システムを開発した。

佐　藤　翔　士（松尾准教授）「木 - 補木ゲージを用いた有限要素磁界解析における折畳み前処理に関する研究」

辺要素静磁界解析における未知数のオーダリングと折畳み前処理の並列化に関する検討を行った。高次要素による解析で折畳み前処理が適用可能である事と、静磁界解析での並列化手法が渦電流解析や高次要素による静磁界解析で適用可能であることも示した。

宮　本　政　樹（松尾准教授）「電磁鋼板の交流ベクトルヒステリシス特性とそのモデル化に関する研究」

常温と液体窒素温度における無方向性電磁鋼板の交流ベクトルヒステリシス特性の計測を行った。また、磁気異方性と異常渦電流損を表現する交流ベクトルヒステリシスモデルを開発した。計測結果との比較により開発モデルの高い表現能力を検証した。

岡　田　奈　々（雨宮教授）「加速器応用を目指した高温超伝導ダイポールマグネットにおける磁化の緩和とその通電履歴依存性の研究」

高温超伝導の加速器マグネット応用に向けて、ビスマス系超伝導テープ線材ならびにイットリウム系超伝導線材で巻かれた 2 極マグネットが発生する磁界の多極成分を液体窒素中で測定した。線材内の遮蔽電流の緩和による磁界の時間的変化と、通電履歴が発生磁界に与える影響について明らかにした。

竹　内　活　徳（雨宮教授）「薄膜線材を用いた 2 層超伝導ケーブルの 3 次元幾何学的形状を考慮した電磁界解析」

高温超伝導薄膜線材をフォーマの上にスパイラル状に巻きつけた 2 層超伝導ケーブルの 3 次元幾何学的形状を考慮した電磁界解析モデルを構築した。構築したモデルに基づいて交流電流を輸送するケーブルの電磁界解析を行い、線材内の電流分布の可視化、交流損失の定量化などに成功した。

西　尾　　裕（雨宮教授）「液体水素移送ポンプへの適用を目指した MgB_2 超伝導モータの基礎特性検討」

MgB_2 かご形回転子巻線を適用した超伝導誘導同期モータの基礎特性検討を実施した。液体ヘリウム

中における試験と解析の結果、上記モータが大きな同期トルクやほぼ定トルクのすべり特性を有することを示した。さらには、全超伝導モータ開発のための MgB_2 固定子巻線の開発と特性評価を行った。

盛　重　彰　仁（雨宮教授）「ビスマス系超伝導コイルにおける遮蔽電流に起因する磁界の定量的検討と線材構造が与える影響の評価」

NMR や MRI などへの応用を想定して、遮蔽電流がコイル発生磁界に与える影響について研究した。遮蔽電流の減衰による磁界の時間変化をパーコレーション遷移モデルにより説明し、また、ツイストビスマス系線材を適用することによって遮蔽電流が発生磁界に与える影響を低減できることを示した。

川　口　浩　和（小林教授）「周波数標識された定常体性感覚誘発電位に基づく脳内情報の抽出」

左右示指を一定周波数の機械振動で刺激した際にどちらかの指に注意向けることで生じる定常誘発電位の変調を計測した。狭帯域バンドパスフィルタと主成分分析とウェーブレット解析を用いて「選択的注意」を反映する脳内情報を定量的に計測可能であることを示した。

河　村　雄　太（小林教授）「光ポンピング原子磁気センサを用いた超低磁場MRIに向けての基礎的研究」

光ポンピング原子磁気センサを用いた超低磁場 MRI の実現を目指し、フラックストランスフォーマを用いた遠隔計測方法について検討し、シミュレーションおよび擬似 MR 信号計測によりフラックストランスフォーマの出力コイルの最適化を行い、その有効性が確認できた。

玉　置　直　寛（小林教授）「脳磁図と機能的 MRI の統合解析をめざした脳神経活動の再構成手法に関する検討」

皮質神経活動に伴い発生する脳磁界の解析技術の高度化をめざし、機能的磁気共鳴画像による賦活クラスタ情報と断層画像から得た実頭部モデルとを利用した各種線形制約付逆計算法の系統的性能比較を行い、複数手法の相補的利用が望ましいことを示した。

永　原　静　恵（小林教授）「高次脳機能計測を目的とした拡散強調 MRI 撮像条件に関する研究」

MRI を用いた高次脳機能計測を目指し、神経活動を血流の変化として捉える従来法に比べ時空間分解能の共に優れると考えられる拡散強調 MRI の撮像条件について検討を行った。Monte-Carlo シミュレーションとファントム実験より拡散強調 MRI の b 値及び q 値の選択重要性を示した。

植　月　亮　太（引原教授）「交流直接電力変換の基本特性に関する一検討」

単相における交流直接電力変換方式を数値的に検討し、高速スイッチング素子および適切なスイッチ保護法を用いることで、その変換方式が実験的に実現可能であることを確認した。また、その変換回路の入出力有効電力を測定し、トランスと比較した。

小　山　めぐみ（引原教授）「高周波電力スイッチングを用いた屋内電力パケット伝送に関する基礎研究」

電力パケット伝送システムは分散電源による屋内電力供給電源の多様化を活かせる由来別制御を可能とする。この実現のため、電力パケット生成回路を製作し、回路解析を行った。さらにシステムに用いる一般屋内配電用ケーブルが高周波パルス電力伝送へ与える影響の検討を行った。

久　保　敦　司（引原教授）「交通流の伝搬に関する微視的モデルに基づく研究」

交通流の微視的モデルは多数存在し、近年では各々の関係が明らかにされてきている。本研究では関

係性が明らかではない Nagel-Schreckenberg モデルと最適速度モデルを対象とし、定常状態における両モデルの示す交通流特性を数値実験により比較検討した。

美　馬　圭　介（引原教授）「リチウムイオン電池と電気二重層キャパシタの併用効果に関する研究」

リチウムイオン電池と電気二重層キャパシタはエネルギー密度、パワー密度、サイクル寿命について相反する特性を有する蓄電デバイスである。本研究では各デバイス単独と、それぞれを組み合わせた場合の諸特性を実験と数値計算に基づいて検証している。

加　藤　雅　大（和田教授）「電力潮流の時間変化を利用した不平衡送電線の線路定数推定法及びその事故点標定への応用」

電力系統を安全に運用する為に、送電線の持つ電気的特性の正確な推定が必要とされている。本研究では、時刻同期された系統測定データを用いて、系統運用状態のみから送電線線路定数を推定する方法を提案した。またその応用として、事故点標定の高精度化手法を提案した。

喜　多　知　広（和田教授）「導体プレーンを含む LSI 多層パッケージの部分インダクタンス等価回路モデル」

数 100MHz から GHz 帯の高周波で問題となる寄生結合を含む LSI パッケージやプリント回路基板の等価回路モデルについて、構造内に導体プレーンを含む多層パッケージの部分インダクタンス回路網の表現法と、その自己・相互部分インダクタンスの高速抽出法を提案した。

底　押　辰　弥（和田教授）「伝搬線電流を用いた単導体素子モデルによる電流伝搬の解析」

伝搬する線電流と線電荷密度の生成する電界に基づいて、単導体素子による回路モデルの提案を行った。また提案モデルを用いて単導体線路及び屈曲単導体線路における電流伝搬メカニズムを明らかにし、入力電流の波長よりも長い素子を用いて電流伝搬を解析できることを示した。

久保山　祐　紀（萩原教授）「不確かな線形時不変系に対するメモリー型周期時変制御器と時不変出力フィードバック制御器のロバスト設計」

線形時不変系に対する有効性が知られているメモリー型周期時変制御器の設計手法について、補助変数の導入法の観点から妥当性を検証した。また、線形時不変系に対する出力フィードバック制御器の凸性を保証したロバスト設計に関して、連続時間系での議論を離散時間系へ拡張した。

小　堺　祐　平（萩原教授）「モノドロミー作用素のスペクトル近似計算に基づくむだ時間系の離散時間安定化制御器設計と有効性検証」

連続時間むだ時間系に対して離散時間制御器を接続した系をモノドロミー作用素を用いて表現し、そのスペクトル近似計算に基づく安定解析法および安定化制御器設計法を提案した。また、提案手法による安定化制御器の性能を様々な観点から解析し、本設計法の有効性を検証した。

田　原　雅　人（萩原教授）「振幅変調型原子間力顕微鏡の閉ループ同定と H ∞制御理論に基づく制御器設計」

振幅変調型原子間力顕微鏡の数式モデルを MOESP 型閉ループ部分空間同定法を用いて導いた。そして、その数式モデルに対して H ∞制御理論に基づき H ∞制御器および外乱抑制器を設計し、シミュレーション、実験を通してそれらの制御器の有効性を検証した。

細　江　陽　平（萩原教授）「離散時間非因果的周期時変スケーリングに基づくロバスト性能制御器設計とその性質」

離散時間非因果的周期時変スケーリングと呼ばれる手法に基づくロバスト性能制御器設計法を提案し、その有効性を論じた。また、タイミングシフト不変性なる概念を導入し、本スケーリング手法の性質を従来のスケーリング手法との対比として論じるための基本となる視点を与えた。

伊　藤　　薫（山本講師）「非線形要素の記述関数法に基づく一機無限大母線系統のSVC安定化制御」

一機無限大母線系統における発電機の動揺方程式の非線形要素を記述関数で近似し、周波数応答特性を定義した。これを用いてSVCによる動揺抑制制御アルゴリズムを設計した。数値計算の結果、記述関数近似を施してもSVCによる動揺抑制制御が可能であった。

梅　本　貴　弘（山本講師）「真空中の沿面放電進展機構に関する研究」

真空高電圧機器の弱点である沿面放電の機構解明を目的とし、放電の光学的観測を行った。その中で放電経路を固定するための試料の加工法を開発した。さらに、そのような試料に対しても適用可能な3次元帯電分布シミュレーションの開発を行った。

王　　冕（山本講師）「太陽光発電と燃料電池を用いたハイブリッド電力系統のモデル化と制御」

独立型太陽光発電と燃料電池のハイブリッド電力系統において、太陽電池の出力と負荷需要の瞬時変動に対し、負荷連続給電と系統安定化のための統合制御方式を提案した。系統の各構成要素の容量設定を検討する上で、ケーススタディにより制御の効果を検証した。

清　水　裕　介（山本講師）「真空中円筒型絶縁物の帯電特性に関する研究」

電力系統に用いられる電力用真空遮断器の高電圧・大容量・小型化に向けて、電力用真空遮断器の真空バルブの基本的な構造となる円筒型絶縁物試料について、内部表面の帯電分布を可動型静電プローブによる測定と計算機シミュレーションにより検証した。

工学研究科　電子工学専攻

稲　葉　遼太郎（鈴木教授）「$Pb_{1-y}Bi_ySr_2Y_{1-x}Ca_xCu_2O_{7+\delta}$ 超伝導薄膜作製に関する研究」

高温超伝導物質の新しい型の粒界ジョセフソン接合作製とそれを用いたトンネル分光により超伝導機構に関する知見を得るため、これまでまだ達成されていない標題の物質の超伝導エピタキシャル薄膜作製を検討し、成長後に高温アニール処理することにより転移温度約80Kの超伝導薄膜を得た。

神　原　仁　志（鈴木教授）「固有トンネル分光を用いたBi系高温超伝導体におけるPb置換効果」

Pbを置換したBi系高温超伝導体の固有接合から5 μm角厚さ6-8 nm (4-5接合) のメサ構造を作製し、短パルストンネル分光により超伝導ギャップ、常伝導トンネル抵抗、最大ジョセフソン電流密度の特徴的な関係を見出し、Pb置換による異方性低下の観点から議論した。

柴　田　良　平（鈴木教授）「強磁性体 La1-xSrxMnO3/ 超伝導体体 $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ 接合におけるスピン偏極準粒子注入効果に関する研究」

スピンが偏極した準粒子を注入することにより、強い注入効果を期待して標題のエピタキシャル2層

構造を $SrTiO_3$(100)基板上に成長させた。注入電極の接触抵抗の問題を抽出するとともに、熱伝導シミュレーションにより注入による発熱の影響を評価した。

張　　チュウイ（鈴木教授）「Bi 系高温超伝導体固有ジョセフソン接合におけるスイッチングダイナミクスに関する研究」

Bi 系固有ジョセフソン接合が電圧状態にスイッチする電流の確率分布を、熱揺らぎに加えて白色ガウス外来雑音の存在を仮定してシミュレーションした。その結果、実験結果を Kramers の理論にフィットさせて得られる脱出温度が環境温度より高くなる場合を説明できることを示した。

田　口　周　平（後藤准教授）「極低エネルギー大電流イオンビームの形成とシリコンフィールドエミッタアレイを用いた空間電荷中和」

次世代イオン注入装置への応用を目的として、ボロンイオン換算で 0.5 keV、0.5 mA の極低エネルギー大電流イオンビームを形成し、シリコンフィールドエミッタアレイから放出した低エネルギー電子を用いてその空間電荷を十分に中和する手法を確立した。

池　田　啓　太（後藤准教授）「フィールドエミッタアレイの大規模化による高周波増幅器としての真空トランジスタの開発」

電子放出点を 4 万個に増加させた大規模なフィールドエミッタアレイの作製技術を確立し、コレクタを付加して真空トランジスタとした。相互コンダクタンス 0.3 mS、コレクタ抵抗 2.8 MΩ の値を得た。実際の増幅回路における電圧利得として 27 dB、GB 積 1 MHz を得た。

上　田　芳　彦（酒井准教授）「リモート大気圧プラズマによる金属酸化物半導体の表面改質及びデバイス応用」

フィルター状の大気圧プラズマを用いた仕事関数の制御法を確立した。大気圧プラズマで生成された活性種が酸化剤として金属酸化物表面に働きかけ、仕事関数が高まることを確認し、誘起 EL 素子と電気分解デバイスの界面制御にも応用して電流量増加を観測した。

前　田　　潤（酒井准教授）「プラズマアレイによる局在型表面波導波現象の特性解析および応用への検討」

プラズマアレイ構造を伝搬する局在表面波現象を解析し、実験観測にも成功した。数値計算によりプラズマ周囲に偏在する電磁界モードを特定し、実験においても局在表面波電界の検出に成功し、個々孤立するプラズマ列に沿った曲折状および分岐状の導波を観測した。

岩　田　達　哉（木本教授）「抵抗変化型メモリ用 Pt/NiO/Pt 素子の特性と NiO 薄膜の組成との相関」

NiO 薄膜は電圧印加による大きな抵抗変化を示す材料として知られているが、その抵抗変化機構が明らかでない。本研究では、様々な酸素組成を有する NiO を形成し、Pt/NiO/Pt 素子の電気的特性との相関を調べることにより、低抵抗化の機構に関する重要な知見を得た。

上　田　俊　策（木本教授）「深紫外発光デバイス実現に向けた極性面および無極性面上 AlGaN の結晶成長と評価」

高 Al 組成 AlGaN は深紫外発光デバイス用材料として有望であるが、ヘテロエピタキシャル成長に起因する高密度の転位欠陥が課題となっている。本研究では、4H-SiC 無極性面（$1\bar{1}00$）および（$11\bar{2}0$））

を基板に用いることにより、ポリタイプ整合した高品質 AlGaN の成長と多重量子井戸からの深紫外発光を得ることに成功した。

林　　雄一郎（木本教授）「GaN 自立基板の結晶欠陥がショットキーダイオードの電気特性に与える影響に関する研究」

GaN を用いた電力用パワーデバイスの実現を目指し、ショットキーダイオードの電気的特性に関する研究を行った。高品質 GaN 結晶を用いるとショットキー障壁の漏れ電流が鏡像力を考慮した熱電界放出モデルで記述できること、および貫通転位が漏れ電流の増大に寄与することを明らかにした。

森　岡　直　也（木本教授）「Si ナノワイヤ MOSFET へ向けた正孔の量子閉じ込め効果の理論的解析およびラフネス低減プロセスの検討」

Si ナノワイヤ MOSFET は高い短チャネル耐性を有する次世代 LSI のキーデバイスとして期待されている。本研究では、Si ナノワイヤにおける電気伝導現象の解明に向けて、量子閉じ込めによるバンド構造および正孔有効質量の変化の理論解析、およびラフネスを低減した Si ナノワイヤの形成プロセスの確立を行った。

張　　一　博（木本教授）「SiO_2/GaN 界面特性の向上と MOSFET の作製」

GaN を用いた電子デバイスとして AlGaN/GaN ヘテロ接合 FET が一般的であるが、ノーマリオフで良好な特性を得るためにはパワー MOSFET が有望である。本研究では GaN MOSFET の基礎研究として、堆積酸化膜 /GaN（0001）界面特性、GaN への Si イオン注入による低抵抗 n 型領域の形成、および MOSFET の作製を行い、高い移動度を得ることに成功した。

小　林　陽太郎（松重教授）「光熱励振法を用いた周波数変調方式マイクロカンチレバー型バイオセンサの開発」

安定な励振法であるレーザを用いた光熱励振法による、マイクロカンチレバー型バイオセンサを開発した。さらに光熱励振特有の熱によるセンサ不安定要素を特定し、装置を改善することで熱の影響を排除した、非常に安定かつ高感度な DNA バイオセンシングを達成した。

高　井　啓　次（松重教授）「周波数変調検出方式走査型容量原子間力顕微鏡による半導体キャリア密度分布測定」

本研究では、キャリア密度分布測定手法である走査型容量原子間力顕微鏡（SCFM）の改善と応用を狙った。非接触かつ低バイアスで測定できる手法の提案およびその有効性、3 次元構造に対する SCFM の有効性や SCFM に対する電位補償の効果などを検証した。

張　　哲（松重教授）「誘電泳動による機能性ナノ構造体の配向制御とその電気特性評価」

機能性ナノ構造体を正確に電極間に架橋させる方法として誘電泳動法に着目し、理論及び実験の両観点からナノ構造体の誘電泳動条件の詳細な検討を行った。また、電極間に架橋した有機無機複合ナノロッドについて、走査型プロー ブ技術等を用いて電気特性評価を行った。

西　　啓　介（松重教授）「FM-AFM を用いた金属フタロシアニン薄膜の構造・電子物性評価」

周波数変調原子間力顕微鏡（FM-AFM）を用いた分子識別・マニピュレーションの実現に向けて、複数種の金属フタロシアニン分子を蒸着し、観察を行った。その結果、探針の振動や熱エネルギーが分

子を動かし、それによって観察が阻害されており、それらの抑制が今後必要であることがわかった。

西　　立　司（松重教授）「空間電位分布測定によるカーボンナノチューブデバイスの定量解析法の開発」

原子間力顕微鏡によるカーボンナノチューブ（CNT）の定量的な表面電位測定を目的として、試料表面上空での静電気力測定結果と、有限要素法による静電容量の計算結果とを組み合わせることでCNTの電位を正確に求められるモデル計算手法を提案し、その妥当性を示した。

広　瀬　政　晴（松重教授）「デュアルプローブ原子間力顕微鏡による有機半導体薄膜の局所電気伝導計測」

新規開発を進めるデュアルプローブ原子間力顕微鏡を用いて、絶縁性基板上に成膜した有機多結晶薄膜・孤立結晶の局所的な電導特性を評価した。また、各プローブを独立駆動して得た距離依存特性から、探針接触の影響を排除して移動度を見積もる手法を確立した。

大　音　隆　男（川上教授）「電子線励起法による深紫外発光素子の実現に向けたAlGaN量子井戸の強励起発光機構に関する研究」

窒化物半導体AlGaN/AlN量子井戸の発光機構が、強励起するに従い、励起子多体効果から電子正孔プラズマ（EHP）状態に遷移することを示した。EHPでの高い輻射再結合確率を利用し、約240nmの波長において、電子線励起法によって従来のLEDに比べて桁違いに高い光出力と電力効率を達成した。

西　中　淳　一（川上教授）「半極性（11$\bar{2}$2）GaN基板上へのレーザダイオード構造の結晶成長と光学特性」

InGaN系窒化物半導体による波長500～520nmの緑色レーザの実現に向けて、半極性（11$\bar{2}$2）面上でのレーザ構造の設計・作製を行った。特に、InGaN量子井戸活性層については、格子緩和の条件を明らかにし、それを抑制することにより、内部量子効率25%を達成した。

橋　谷　　享（川上教授）「近接場分光によるInGaN量子井戸における発光強度飽和機構に関する研究」

InGaN系LEDで実用上問題となっている高キャリア注入時の発光強度飽和現象を、近接場光学顕微鏡を用いてナノスコピックに評価した。緑色発光（約520nm）するInGaN量子井戸では、高キャリア注入時にはキャリアが非輻射中心へ向かって拡散し、それが発光強度飽和の要因となることを解明した。

明　治　健　介（川上教授）「*r*面サファイア基板の分子レベル表面制御と（11$\bar{2}$2）GaN核形成の相関」

高効率な窒化物半導体発光素子の実現に向け、サファイア基板上への半極性（11$\bar{2}$2）面GaNの結晶成長条件を検討した。*r*面サファイア基板の熱処理条件を適切に設定することにより表面終端元素を制御できることを実証し、それを利用して膜状のGaNを得ることに成功した。

太　田　雄　至（野田教授）「3次元フォトニック結晶の表面への線・点欠陥の導入と光制御」

3次元フォトニック結晶の表面を用いた光制御に向けて、表面における導波路およびナノ共振器の特性評価を行った。面内偏光および面垂直偏光をもつ導波路および共振器を実証し、3次元フォトニック結晶を用いた光素子の機能としては世界最高級であるQ値>32000をもつナノ共振器の実現した。

田　口　裕　樹（野田教授）「2 次元フォトニック結晶ナノ共振器の損失低減と Q 値増大に関する研究」

2 次元フォトニック結晶を利用したナノ共振器において、共振器を構成する空気孔の半径・位置揺らぎの影響を低減することによる高 Q 値化を行った。共振器の理論 Q 値を高める検討および構造を大きくすることによる相対的な空気孔揺らぎ低減の検討により共振器の Q 値として 443 万を達成した。

中　村　達　也（野田教授）「フォトニック結晶ナノ共振器の Q 値制御による量子ドットの発光制御に関する研究」

共振器の Q 値を制御可能なフォトニック系の共振器中に量子ドットを埋め込み、発光状態を制御することに成功した。Q 値が 8000 の状態と 4000 の状態での発光スペクトルを測定し、2 つのスペクトルを比較することで、発光レートが 2.4 倍に変化していることを示した。

湊　　康　明（野田教授）「熱輻射制御に向けた 3 層積層型フォトニック結晶の作製に関する研究」

黒体輻射と比べて発光線幅が狭く、黒体強度に近い強度をもって必要な波長帯域のみで発光する高効率な熱輻射デバイスの設計・作製手法の検討を行った。結果として、設計を行ったデバイスの薄膜化には成功しなかったものの、初めて 3 層積層型構造のデバイスの作製に成功した。

梁　　永（野田教授）「2 次元結合波理論の深化とフォトニック結晶レーザの解析に関する研究」

高次の結合係数と垂直方向の電界分布を考慮し、フォトニック結晶レーザの解析に重要である 2 次元結合波理論を深化させた。深化させた理論を用いて、大面積レーザデバイスの放射係数、共振周波数、閾値利得、ビームパターンなど様々な発振特性について解析し、実験結果と対応する結果を得た。

淺　井　陽　介（北野教授）「Ba^+ のラム・ディッケ束縛のための光ポンピング抑制とマイクロ運動の最小化」

光ポンピングによるレーザ冷却の中断を適切な磁場を印加して防ぎ、マイクロ運動を増大させるトラップ中心からのずれを蛍光像や rf 電圧と蛍光強度の時間相関を利用して補正し、6.3mK までレーザ冷却をすすめた。波長サイズ、すなわちラム・ディッケ束縛達成が推定される。

今　井　康　貴（北野教授）「単一 Yb^+ の $^2S_{1/2}$ ー $^2D_{5/2}$ 時計遷移分光」

単一 Yb^+ イオン光時計の周波数基準に用いる、波長 411nm の $^2S_{1/2}$ − $^2D_{5/2}$ 遷移を、量子跳躍信号を用いた遷移確率の測定により単一イオンで分光した。発振線幅 1kHz 以下の狭線幅レーザスペクトロメータを用いて、幅 700kHz のスペクトルを観測した。

金　澤　哲　夫（北野教授）「二重共振メタマテリアルにおける第二次高調波発生」

メタマテリアルにおける第二次高調波発生に関して解析と実験を行った。従来より研究されている単一共振メタマテリアルに対して回路モデルを構築し、実験との比較を行った。高効率に第二次高調波を発生させるために二重共振メタマテリアルを提案し、単一共振メタマテリアルより発生効率を 4.6 倍上昇させた。

中　田　陽　介（北野教授）「結合磁気プラズモン系におけるフラットバンドの実現」

カゴメ格子型に共振器を結合させたメタマテリアルに対する新たな回路モデルを構築した。その結果、電子系と同じく、フラットバンドが実現できることを理論的に明らかにした。さらに、シミュレーションによりフラットバンド形成を確認した。

三　滝　雅　俊（北野教授）「低パワー半導体レーザーを励起光源とする受動モード同期 Yb:KYW レーザー」

Yb:KYW 結晶を用いて Soft Aperture 型 Kerr レンズモード同期発振に成功した。波長 980nm、パワー 450mW の励起光で、出力パワー 127mW、スペクトル幅 11nm、中心波長 1038nm を得た。非線形ファイバにより約 110nm にわたるスペクトル拡大を確認した。

光・電子理工学教育研究センター

向　井　　寛（高岡教授）「多原子分子クラスターイオンビームによる表面高機能化とその応用」

本研究では、多原子分子としてエタノールに着目して、エタノールクラスターイオンのサイズ分離・分析を行った。また、産業応用上、重要なシリコン基板に照射して、照射損傷およびスパッタリング特性を明らかにし、マイクロパターニングの極微細加工を行った。さらに、シリコン基板の表面清浄化過程を明らかにすると共に、金基板の表面加工・改質も行った。

金　　鑫（高岡教授）「クラスターイオンビーム援用蒸着法による酸化シリコン薄膜の作製と応用に関する研究」

本研究では、酸素クラスターイオンビーム援用蒸着法によって SiO_2 膜を 400℃以下の低基板温度で作製し、その特性評価を行った。クラスターイオンの加速エネルギーを制御することによって、3 次元から 2 次元成長の膜形成や低損傷で高品位な非晶質膜形成が可能であることを明らかにした。さらに、酸化シリコン薄膜への細胞接着を試み、その基本的特性を明らかにした。

野　村　太　一（藤田教授）「超音波噴霧化学気相成長法による酸化チタン薄膜の作製と評価」

二酸化チタンを非真空プロセスで作製し幅広い電子材料応用を目指す観点で、超音波噴霧化学気相成長法による成膜とドーピングによる導電性制御について検討した。原料と溶媒を選択し、ニオブのドーピングを行い、酢酸を添加剤とすることで低抵抗酸化チタンを得るなど、応用への基礎的知見を得た。

福　井　　裕（藤田教授）「超音波噴霧化学気相成長法による p 型 Cu_2O 薄膜の作製と酸化物太陽電池への応用」

酸化物半導体エレクトロニクスの進展を念頭に、p 型を示す Cu_2O 薄膜の非真空成膜技術の開発と応用について検討した。原料や添加剤の選択により p 型 Cu_2O を実現し、n 型 ZnO との pn 接合形成に成功し、変換効率が非常に低いものの太陽電池特性を実証した。またプラズマ援用による成膜の低温化を示した。

情報学研究科　知能情報学専攻

大　友　謙　一（黒橋教授）「述語項構造の共起情報と節間関係の分布を用いた事態間関係知識の獲得」

大規模テキストから、共起度の高い述語項構造ペアを抽出し、節間関係の分布を用いて、因果関係、手段などの事態間関係知識を獲得する手法を提案した。69 億文の Web テキストから、精度約 70% で約 11 万個の事態間関係を獲得することができた。

黒　川　勇　輝（黒橋教授）「段階的文脈拡張による多義性解消」

本研究では、テキスト中の多義語の曖昧性解消を行う際、手がかりとして用いる文脈を十分な確信度が得られるまで段階的に拡張する手法を提案した。固定長の文脈を用いる従来研究に比べ、提案手法が高い精度で多義性解消が行えることを実験により示した。

渋　田　和　宏（黒橋教授）「Web の著者説明ページの領域解析と時間判定による著者属性抽出」

本研究では、Web ページ著者の著者説明ページに対して、領域解析と時間情報の判定を行った上で、パターンマッチおよび固有表現抽出器を用いることにより著者の「肩書き」「所属」「専門」を自動抽出する方法を提案した。著者説明ページ 100 ページの評価実験でその有効性を示した。

望　月　道　章（黒橋教授）「構造を持った定型表現の自動獲得と機械翻訳での利用」

本研究では、出現頻度や周辺語の異なり数に基づいたスコアを用いて依存構造木から定型表現を自動的に獲得し、これを知識として機械翻訳で利用する手法を提案した。対訳文アライメントでの制約として利用することにより、精度が向上することを実験により示した。

真　鍋　宏　史（黒橋教授）「可変オーダー Linear-Chain CRF の効率的な計算法」

本研究では、系列ラベリング手法として広く使われている Conditional Random Fields（CRF）を対象として、高次の素性を用いた効率的な計算手法を提案した。本手法を英語の品詞タグ付けに適用し、従来の一次素性に基づく CRF よりも高精度であり、また現実的な時間で計算可能であることを示した。

黒　田　真　央（松山教授）「対称性制約を用いた多視点映像からの 3 次元顔形状復元と視線推定」

非接触・非拘束な方法で人物の視線を推定することを目的として、1）顔の持つ対称性を制約とした、多視点映像からの高精度 3 次元顔形状復元法を開発し、2）得られた顔形状を基にして多視点映像から「仮想正面顔映像」を超解像処理によって生成して視線推定を行う手法を提案した。実映像を用いた実験によって提案手法の有用性を示した。

小　林　亮　介（松山教授）「Motion History Volume を使った 3 次元人物動作の編集」

3 次元ビデオは、多視点映像を入力とすることから、複数の人物による動作の場合は、人物が互いに他を遮蔽するため、3 次元ビデオ撮影はむずかしい。本研究では、1 人ずつ別個に撮影された人物動作 3 次元ビデオから、各人の 3 次元動作を Motion History Volume として表現し、それらが時間的、空間的に整合性が取れるように編集を行うことによって複数人動作 3 次元ビデオを生成する手法を提案し、握手の例によって基本的有効性を示した。

石　　群（松山教授）「Multi-view human motion analysis in group communication」（グループコミュニケーションにおける人物動作の多視点映像分析）

本研究では、複数人がコミュニケーションを行う状況において観測される頷き、顔向け、指さしなどといった動作や仕草を認識するための手法として、多視点から観測された各映像を小ブロックに分割し、各ブロック内のオプティカルフローの方向ヒストグラムが示す動的な特徴を Hybrid Dynamical System を用いて分析する方法を提案した。いくつかの人物動作を撮影したデータを用いた実験によって、人物動作が認識できることを示した。

樽　本　祥　憲（松山教授）「コンテンツ・他者への関心度推定に基づく二者間合意形成支援システム」

本研究では、2 人のユーザが情報端末を共有して実空間内で合意形成を行う際のコミュニケーション・パターンを分析し、合意形成支援のためのシステム構築を行った。システムは、各ユーザの視線から関心の対象を推定し、両者の関心状態にずれが生じた場合に画面の提示内容やインタフェースを変化させることによって、そのずれに気づきを与える。被験者実験によって、提案システムの有効性を検証した。

米　谷　　竜（松山教授）「映像の顕著性変動と視線運動の時空間相関分析に基づいた集中度推定」

TV 映像視聴時の視線運動から、映像に対するユーザの集中度を推定する手法を提案した。視線運動は映像の視覚的特性に応じて振る舞いを変えるため、提案手法では、まず TV 映像から視線が向けられやすい顕著領域を抽出し、それらが持つ動きのダイナミクス（顕著フロー）と視線運動の時空間的な関係性を分析し、顕著フローの特性に応じて視線運動からの集中度推定法を変えることによって、その精度が向上できることを示した。

情報学研究科　通信情報システム専攻

青　木　一　平（吉田教授）「Radio Resource Management for Self-Organizing Network with Non-Cooperative Game Theory」（非協力ゲーム理論を用いた自己組織化ネットワークのための無線リソース制御）

自己組織化ネットワーク構築のためマルチホップ通信、スペクトル共用、モバイルルータという 3 つの通信システムに着目し、特に制御の収束条件などについて、ゲーム理論に基づくアプローチにより解析を行った。

木　原　貴　俊（吉田教授）「同一チャネル同時中継における最適送信スケジューリング」

中継局における送受信を同一チャネルで同時に行う方式と、直交リソースを用いて行う方式の送信スケジューリングに着目し、最適送信スケジューリングを導出した。また、数値例により送信スケジューリングの効果を明らかにした。

桑　原　章　紘（吉田教授）「マルチホップ協力通信の市街地伝送実験」

STBC を用いるマルチホップ協力通信の京都市街地における伝送実験を行った。中継局の総送信電力一定の条件下で通常のマルチホップ通信やルートダイバーシチとの比較を行った。実験の結果、実環境下でもマルチホップ協力通信の特性改善効果が得られた。

齋　藤　優　樹（吉田教授）「ヘテロジニアスネットワークのための自律分散干渉制御を用いたスペクトル共用」

次世代通信規格 LTE-Advanced で想定されるヘテロジニアスネットワークにおける干渉問題に対し、少数派ゲームに基づく自律分散干渉制御を導入した。更にこの手法の効果を高めるための手法を提案し、その特性向上効果を計算機シミュレーションにより確認した。

八　木　香　充（吉田教授）「スペクトルセンシングに基づくチャネル選択制御を行うコグニティブ無線に関する研究」

協力スペクトルセンシングに基づいて周波数チャネル選択制御を行うコグニティブ無線システムを試

作し、屋外伝送実験によりその動作特性を検証した。また、SPRT を実装することでセンシング機能の高度化を図り、その信号検出特性を実験的に検討した。

田　中　政　晃（守倉教授）「長距離無線通信におけるランダムアクセス方式の研究」

本論文では、同一周波数帯を用いたランダムアクセス方式による長距離無線通信の提案及びその性能解析を行った。指向性アンテナによる CSMA ／ CA プロトコルにおいて、短区間不公平性の発生を明らかにし、その特性を利用したスループット改善手法を提案した。

藪　内　靖　弘（守倉教授）「車載電力線通信におけるインパルス性雑音低減方式の研究」

車載電力線による高信頼な車内制御ネットワークの実現を目指した変復調技術の研究を行った。モータ駆動時に信頼性低下の要因となるインパルス性雑音に対してリミッタ及び遅延検波を適用することで、低コストかつ高信頼な通信が実現可能であることを示した。

今　村　　隼（守倉教授）「MIMO 空間多重伝送における仮想伝搬路を用いた繰り返し逐次復号」

MIMO 空間多重伝送用のため簡易な復号法である仮想伝搬路を用いた逐次復号法に最大事後確率推定（MAP）を適用し、MAP で得られる軟情報を誤り訂正符号とやり取りすることで大幅な特性改善、及びダウンリンクの高速化が達成できることを示した。

磯　貝　太　喜（守倉教授）「高速マルチパスフェーディングチャネルにおける並列 FFT 等化を用いた高速伝送方式」

高速移動体への高速通信を目的とし、並列 FFT 等化器の検討を行なった。移動速度の高速化に伴い並列 FFT 等化器の並列数および、干渉除去の繰り返し数を適応的に変化させることで、従来法に比較して大幅な高速化が達成できることを示した。

青　木　　良（高橋教授）「断続接続モバイル環境に適したコンテンツ配信システム」

断続的な通信環境下では、通信接続・切断が頻繁に繰り返され、通信接続時間が限られている。本論文では、このような断続接続モバイル環境下で高い帯域利用効率を実現するコンテンツ配信システムを提案し、計算機シミュレーションにより有効性を検証した。

岩　成　祐　樹（高橋教授）「モバイルセンサネットワークにおけるデータ転送及びカバレッジ向上方式の提案」

モバイルセンサネットワークにおいて、仮想的なレール上でリレー通信によってデータを転送する消費電力削減方式、およびセンシングポイントのカバー情報を用いて最適な方向を選択して移動するカバレッジ向上方式を提案した。

小　津　　喬（高橋教授）「光パケットネットワークにおけるファイバ遅延線バッファを用いたシェーピングの研究」

高速大容量で省電力のバックボーンネットワークとして期待されている全光ネットワークにおいて、パケットの衝突回避に用いられるファイバ遅延線バッファを用いてトラヒックシェーピングを行うことで性能を向上させる研究。

橋　井　新治郎（高橋教授）「断続接続環境のための符号化を用いた情報共有方式」

モバイル端末のバッファ容量の制限とバッファ制御アルゴリズムに対するランダムネットワークコーディングの特性の性能評価を行った。従来はバッファ制御に用いられていないアルゴリズムの提案を行い、様々なバッファ制御アルゴリズムの比較評価を行った。

與　語　一　史（高橋教授）「ソーシャルネットワークにおけるコンテンツ制御に関する研究」

インターネット上のソーシャルネットワークに注目し、ソーシャルネットワークを利用したコンテンツ制御方法として、SNS を活性化させるインセンティブ付与メカニズム、また人同士の興味の共有関係を推定するためのソーシャルグラフ表現方法を提案した。

大　上　崇　博（越智准教授）「アレイアーキテクチャ向けサイクルベースフォルトシミュレーションの GPU 実装」

本論文では、粗粒度再構成可能アーキテクチャのソフトエラー耐性評価のための論理シミュレーションを GPU で高速化すべく、並列化やメモリ及び命令の使用を効率化し、通常の CPU に比べ、大規模回路では最大約 13 倍、小規模回路では最大約 68 倍の高速化を達成した。

門　田　亮　二（越智准教授）「色情報と形情報を相補的に用いた歩行者認識手法のハードウェア実装」

本論文では、色情報を用いる HSV ヒストグラムベースのパーティクルフィルタと、形情報を用いる CoHOG とを相補的に用いた高精度な歩行者検出・認識システムのハードウェア方式を提案する。FPGA 実装により VGA 画像で 30fps 以上の処理性能が得られることを確認した。

三　木　崇　史（小野寺教授）「LSI における配線構造ばらつき量の推定手法」

LSI 内部の配線のばらつきが回路性能に及ぼす影響をシミュレーションおよびテスト回路の実測により評価した。配線構造と遅延時間の関係を表すモデルを用いて、複数のテスト回路の動作特性から配線構造の変動量を推定する方法を開発した。

伊　東　恭　祐（小野寺教授）「ランダム・テレグラフ・ノイズのモデル化とそれに起因した回路特性揺らぎの解析」

ランダムテレグラフノイズ（RTN）がディジタル回路の組み合わせ回路部分および順序論理セル部分の回路動作に及ぼす影響をテスト回路の実測により評価した。また、マルコフ過程に基づく疑似 RTN モデルに基づき、回路遅延に及ぼす影響をシミュレーションする方法を開発した。

古　田　　潤（小野寺教授）「冗長化フリップフロップを用いたソフトエラー耐性向上手法」

ディジタル回路の組み合わせ回路およびフリップフロップにおけるソフトエラーの影響を提案ソフトエラー評価回路を用いて実測した。また、既存の冗長化フリップフロップを改良した提案回路を用いてソフトエラー耐性を向上させる設計手法を示した。

Islam A. K. M. Mahfuzul（小野寺教授）「チップ間プロセスばらつきのオンチップ推定と補償法」

集積回路の特性ばらつきの要因であるプロセスパラメータの変動量を複数のモニタ回路により推定する手法を開発し、実測によりその有効性を確認した。そして、本手法を用いて基板バイアスによりしきい値電圧の変動量を補償できることを実測により評価した。

西　澤　真　一（小野寺教授）「集積回路におけるチップ間およびチップ内特性ばらつきの分析とモデル化」

トランジスタのばらつきを実測し、その特徴に応じてばらつき成分を分類する手法を提案した。ばらつきをレイアウト依存の成分、チップ内を緩やかに変動する成分、チップ内を局所的に変動する成分に分類し、局所的な成分は正規分布として取り扱うことができることを示した。

阿　形　直　起（乗松准教授）「疑似 XPM 雑音法の光振幅位相変調－直接検波方式への適用」

強度変調方式と 2 相差動位相変調方式において提案されている疑似 XPM 雑音法を振幅位相変調－直接検波方式へ適用するための修正点を検討した。そして、同手法が振幅位相変調－直接検波方式においても伝送特性を Q 値誤差 0.3dB 以内という高い精度で評価可能であることを示した。

松　木　優　治（佐藤亨教授）「少数アンテナを用いた任意運動目標の UWB レーダイメージング」

従来の UWB レーダを用いた高分解能イメージングはアンテナ走査等を必要とした。これに代えて目標の移動を利用する手法について研究し、任意の軌跡を描く目標の運動と形状を同時に推定する手法の開発に成功した。その精度をシミュレーションと実験により評価した。

情報学研究科　システム科学専攻

内　藤　　慧（石井教授）「注意による影響を考慮した知覚学習の神経回路モデル」

本研究では、注意が知覚学習に関わる神経細胞集団を活性化するという仮説に基づき、初期視覚野と上位視覚野を含む視覚系を対象とした神経回路モデルを提案し、注意による上位視覚野のニューロンの活性化が知覚学習時のニューロンの応答特性を動的に制御することを検証した。

野　田　朋　裕（石井教授）「光学系における二点分解能の解析のための統計的手法」

本研究では、尤度比検定を利用することでフォトンの有限性に起因する揺らぎやショットノイズなどの確率的要因を考慮し、統計推定の意味での限界となる二点分解能を求めた。これによって、レイリー限界では扱えなかった解像度と SN 比の間のトレードオフを最適化できた。

野　中　成　吾（石井教授）「A multi-physical model and its parallel implementation of whole cellmigration」（細胞走化性の多階層かつ並列シミュレーションに関する研究）

細胞の形態形成は、細胞骨格・細胞膜・シグナル伝達などの異なる階層が関与する現象である。このメカニズムの理解のため、これらの階層を連成した細胞全体レベルの数理モデルを開発した。そして、細胞の葉状仮足の自己組織化や、走化性、浸潤性移動のシミュレーションを行った。

播　磨　　輝（石井教授）「ネットワーク構造推定問題における同時多重性を考慮したグレンジャー因果推定の改良手法について」

グレンジャー因果推定法は、複数ノードの観測時系列に基づいて、ノード間の因果関係を推定する。本研究では、同時多重仮説検定の理論や正則化手法の導入による推定性能向上を図り、神経細胞の発火活動時系列データによる細胞間接続推定への応用を示した。

赤　路　慶　朗（松田教授）「心筋組織微小循環シミュレーションによる虚血状態下の酸素消費量分布の評価」

心筋組織微小循環モデルのシミュレーションにおいて、組織における酸素消費量を正確に計算できるよう各種パラメタの再設定と計算手法の改良を行い、細胞の酸素消費量が心筋組織の収縮性に影響を与えることをシミュレーションできることを確認した。

金　　榮（松田教授）「スペクトル拡散法を用いた tagging-MRI による運動解析精度の向上」

撮影対象に付加したタグと呼ばれる磁気的な標識を MRI 上で追跡することにより心筋組織の運動解析を行う tagging-MRI 法に対して提案されたスペクトル拡散法の応用手法について、その有効性を実験的に確認し、微小変位の解析も可能であることを明らかにした。

代　田　　健（松田教授）「時空間 4 次元ヒト胚子モデル表示システムにおける視点選択の自動化に関する研究」

時空間 4 次元ヒト胚子モデルの表示システムにおける視点を自動的に選択することを目的に、いくつかの視点選択基準に関する心理実験を行い、4 次元時空間における視点選択には対象物の投影面積が大きく、また変形領域が観察できることが重要であることを明らかにした。

那　須　俊　作（松田教授）「実計測反力情報を用いた VR 腫瘤触診シミュレータの構築」

押し込み操作となぞり操作による腹部の腫瘤触診や内視鏡手術時の触診を対象とする訓練を目的として、実空間において計測した 3 次元反力情報基づき、腫瘤からの力覚情報を位置および速度の 6 次元の仮想空間中で忠実に再現する VR 腫瘤触診シミュレータを構築した。

長谷川　雄　基（松田教授）「循環動態シミュレーションにおける高精度な準強連成計算手法の提案」

マルチ・スケール循環動態シミュレーションシステムにおける強連成計算の高速化を目的として、平滑化スプラインと補外式を用いて収束計算の初期値の予測方法を提案し、収束計算の反復回数が減少することを実験的に確認した。

藤　井　　学（松田教授）「薬物作用推定システムの高精度化を目的とした心筋細胞モデルのパラメタ空間解析」

実計測した活動電位波形を対象に心筋細胞モデルによるシミュレーションで薬物の副作用の推定を試みる薬物作用推定システムについて、先行システムの問題点を明らかにし、各種入力パラメタと活動電位波形との関係解析により推定精度の向上できることを示した。

エネルギー科学研究科　エネルギー社会・環境科学専攻

青　山　周　平（下田准教授）「拡張現実感を用いた仮置・運搬作業シミュレーションシステムの開発」

レーザレンジスキャナを用いた 3 次元環境形状計測技術と拡張現実感技術を応用して、プラント解体作業時の廃棄物運搬・仮置検証シミュレーションを実際の作業現場で直感的に実施できるシステムの開発および実作業への適用可能性の評価を行った。

岡　村　智　明（下田准教授）「携帯情報端末を用いた環境配慮行動の足跡コミュニケーション場の提案と評価」

環境配慮行動（PEB）を促進・持続させることを目的とした、PEB を行ったことを情報ネットワークを介して互いに伝え合う「ゆるく」つながったコミュニティ「PEB 足跡コミュニケーション場」を提案し、実際に携帯情報端末を用いてコミュニティに参加できるシステムを試作・評価した。

趙　　躍（下田准教授）「携帯デバイスを用いた三感融合型放射線学習支援システムの開発と評価」

存在を実感することが難しい放射線を視覚・聴覚・触覚の 3 つの感覚で仮想的に体験可能な三感融合型放射線学習支援システムを開発・評価した。本システムでは複合現実感を応用することにより、学習者が放射線の性質や人体影響を知識として習得可能なだけでなく直感的に理解可能にした。

金　　宏　哲（下田准教授）「オフィス照明が知的生産性に与える影響の数理モデル化に関する研究」

照度などのオフィス環境やモチベーションの変化が知的生産性に与える影響を説明する新数理モデルを提案した。また、モチベーションと照度環境を制御した被験者実験を行い、照度環境やモチベーションが知的生産性に対する影響を明確にすることを試みた。

エネルギー科学研究科　エネルギー基礎科学専攻

門　　信　行（中村（祐）教授）「ヘリカル系プラズマにおける MHD 平衡と電流の時間発展」

ヘリカル系プラズマに対し、MHD 平衡と電流時間発展を自己無撞着に解くコードを開発し、MHD 平衡と電流の時間発展を調べた。とくに、ブートストラップ電流や電流駆動などによる電流源がない場合でも、急速なプラズマ圧力の増加は FCT 電流をもたらすことを示した。

西　岡　賢　二（中村（祐）教授）「ヘリカル系プラズマの新古典輸送における複数種イオンの影響」

ヘリカル系プラズマの新古典輸送に対する複数イオン種の影響を明らかにするために、精度のよい新古典輸送行列解析コードを開発した。これにより、ヘリカル系におけるブートストラップ電流や新古典粘性の詳細な解析が可能となった。

文　野　道　尚（中村（祐）教授）「非軸対称トカマクにおける三次元 MHD 平衡とアルファ粒子軌道」

トカマクにおいて、トロイダルコイルの離散性等がもたらす非軸対称性に対する高いプラズマ圧力の影響を三次元 MHD 平衡計算により明らかにした。とくにプラズマ圧力の増加が非軸対称性を変化させ、これがアルファ粒子等の高エネルギー粒子損失に及ぼす影響を示した。

エネルギー科学研究科　エネルギー応用科学専攻

北　本　雄　佑（野澤教授）「強誘電体メモリにおける断熱充電シミュレーション」

概要：強誘電体薄膜キャパシタの Spice マクロモデルを Weiss 型理論に基づいて作成し、このモデルが良好な電場 - 分極特性を示すことを確認した。機能メモリでの動作に適した chain FeRAM 回路とそのタイミングチャートについて考察し、従来のものより消費電力が低減されることを確認した。またメモリ上で断熱充電回路を適用すべき部分について考察し、センスアンプに断熱充電を用いることで強誘

電体メモリの消費電力低減が見込めることを chain FeRAM における読み出し / 書き込み動作のシミュレーションにより確認した。

木　村　光　利（野澤教授）「検索ソート兼用断熱内部 CMOS 演算回路の最適化」

概要：本研究では回路の素子数を少なくすることで消費電力を小さくするために断熱回路に ADL 回路のみを用いた。その結果、素子数は 64 個から 20 個まで減らすことができた。検索ソート兼用回路として CMOS ダイナミックロジックを合成し、Spice を用いた動作確認を行った。最終的な機能メモリ局所演算部として検索ソート兼用回路の動作確認を周波数 100MHz、1GHz、10GHz の 3 パターンで行った。周波数 1GHz 辺りになると歪が生じ動作限界が生じたので CMOS インバータのスイッチング遅延解析式を用いて考察し妥当な結果を得た。

岡　　俊　介（白井教授）「Basic Study for Output Control Method of Hybrid Offshore Wind and Tidal Turbine Generation System」（風力・潮力ハイブリッド発電システムの出力制御手法の基礎研究）

風力・潮力ハイブリッド発電システムは風力発電の出力変動に対し、組み合わせた潮力発電の出力を制御することで補償することを目的とし、システム及びその小型の実験モデルの提案・作成と、それを用いた出力制御手法の基礎的特性について検討した。

小　田　さや香（白井教授）「Current Limiting Experiment of Transformer Type Superconducting Fault Current Limiter with Rewound Structure」（巻き戻し構造を持つ変圧器型超電導限流器の限流実験）

巻き戻し構造を持つ単相変圧器型超電導限流器の限流特性について、模擬電力系統を用いた実験により検討した。さらにこの結果を応用し、三相同軸構造の超電導限流器を設計・作成し、その基礎特性についても調べた。また、シミュレーションによる解析も行った。

小　林　啓　人（白井教授）「Heat Transfer in Liquid Hydrogen for Cooling HTC Superconductors」（高温超電導体冷却を目的とした液体水素の熱伝達特性に関する研究）

高温超電導材の冷却を目的とした液体水素の熱伝達基礎特性の解明を目的として、広範囲のサブクール度・圧力条件下でプールおよび強制対流熱伝達試験を行い、実験結果をもとに臨界熱流束表示式を提示し、諸特性を明らかにした。

三　浦　洋　史（白井教授）「Estimation Method for Operating Conditions of Electric Equipments and Dynamic Characteristics of Distribution System by Injecting Small Disturbance」（微小擾乱注入による配電系統の動特性及び電気機器の運転状態推定に関する研究）

電力系統の安定度評価のために動特性を考慮した負荷モデルの構築を目的とし、系統に擾乱を注入して、その応答データから配電系統の動特性や運転状態を推定する手法を提案した。シミュレータを用いて様々な機器を連系した系統を模擬し手法の有用性を検証した。

エネルギー理工学研究所

高　﨑　将　人（長﨑教授）「三極管型熱陰極高周波電子銃のための同軸共振空胴の製作と性能評価」

相対論的電子ビーム生成の高輝度化と長パルス化を目的とし、既存の熱陰極高周波電子銃に追加設置するための高周波同軸共振空胴を試作して、数値解析では予測が困難な諸特性を測定した。この測定結果に基づいて、要求される性能を満たす共振空胴の設計を示した。

吉　野　隼　生（長﨑教授）「ヘリオトロンＪにおける２つのラジオメータを用いたECE分布計測」

ヘリオトロンＪ装置に２つのマルチチャンネルラジオメータを導入し、第２高調波X-mode電子サイクロトロン（EC）放射を計測した。その結果、EC加熱・中性粒子加熱プラズマにおける電子放射温度の径方向分布、電子密度依存性、平行屈折率依存性が得られた。

野　村　航　大（佐野教授）「ヘリオトロンＪにおけるICRF加熱を用いた高速イオン生成・閉じ込めの加熱位置及び磁場配位依存性」

ICRF加熱を用いた高速イオン生成・閉じ込めの特性解明を目指し、荷電交換中性粒子束の実空間分布の計測を行った結果、強磁場側加熱時には、プラズマ中心より上側での少数イオン実効温度が高いことが判明した。粒子軌道計算との比較研究から、磁気軸から離れた領域に高速イオンが偏在することを検証した。

諏　訪　勝　重（佐野教授）「ヘリオトロンＪにおける軟Ｘ線揺動検出 器を用いた電磁流体力学的（MHD）不安定性の空間構造に関する研究」

MHD不安定性の空間構造を解明することを目的に、新規の軟X線揺動検出器の開発を行い、高速イオン励起MHD不安定性のFFT 解析から、その空間構造、伝播方向、ポロイダルモード数を初めて明らかにした。更にベータ値の上昇と共にプラズマの外側シフト（シャフラノフシフト）の観測にも成功した。

山　本　健　土（佐野教授）「ヘリオトロンＪにおけるTVトムソン散乱計測を用いた電子温度・電子密度分布計測」

プラズマ電子温度・電子密度を高い信頼度をもって計測することを目的に、TVトムソン散乱計測器を開発し、特に超音速分子ビーム（Supersonic Molecular Beam Injection、SMBI）を用いた粒子供給の高温プラズマ生成においては、ガスパフ供給に比べて、より高温のプラズマを形成できることを実験的に検証した。

生存圏研究所

池　野　伸　幸（山本教授）「可搬型Ｘ帯及びKa帯気象レーダーの開発に関する研究」

信楽MU観測所における降雨測定データを用いて、新規開発であるX帯及びKa帯気象レーダーの測定性能評価を実施した。既開発のレーダーで得られた降雨測定データとの比較を行うことで、X帯及びKa帯気象レーダーの測定性能が設計値と合致することを示した。

脇　阪　洋　平（山本教授）「ソフトウェア無線技術を用いたウィンドプロファイラー用ディジタル受信機の開発」

ソフトウェア無線機（USRP2）を用い、ウィンドプロファイラー用のディジタル受信機を開発した。既存のウィンドプロファイラーに接続して試験観測を行い、受信機が所期の性能を有していることを確認した。多周波送受信・多チャンネル受信による干渉計技術を用いた高分解能観測への応用が期待される。

吉　田　直　人（津田教授）「Study on Data Distribution Characteristics of the GPS Radio Occultation Measurements（GPS 掩蔽観測におけるデータ分布特性に関する研究）」

GPS 掩蔽法の大気観測地点を GPS と LEO 衛星軌道情報を基に計算した。異なる軌道傾斜角の LEO 衛星を組み合わせ効率的に全球データを得る方法を提案した。また局所観測に有利な衛星軌道や航空機による掩蔽観測も検討した。さらに東アジアに多いデータ欠損を電離圏擾乱のためと考察した。

小　山　友　一（山川教授）「磁気セイル搭載に向けた高温超伝導コイルシステムの研究」

高速プラズマ流である太陽風を磁場で受け止めて推進力に変換する磁気セイル宇宙機に搭載する超伝導コイルシステムのコイル系、電源系の検討を行い、さらには Bi 系と Y 系コイルの熱安定性を実験と解析を通して明らかにした。

辻　井　　秀（山川教授）「ローレンツ力を用いた地球周回衛星の相対ダイナミクスと制御に関する研究」

人工衛星を積極的に帯電させ、地球磁場中を通過する際に誘起されるローレンツ力により 2 つの人工衛星間の相対位置・軌道の制御手法に関する研究を行った。帯電量を時間とともにステップ状に変化させることで、2 つの軌道間を遷移する手法を提案した。

向　井　祐　利（山川教授）「超伝導コイルを搭載した磁気セイル宇宙機の推力解析」

高効率の宇宙推進システムを目指す超伝導コイルを搭載した磁気セイル宇宙機について超伝導特性を考慮した推力モデルを構築し、磁石によって発生する磁場で磁気圏誘導磁場を模擬して、磁気セイルの推力を地上実験で測定する実験によりその妥当性を確認した。

吉　川　真　登（大村教授）「Study on Formation Process of Relativistic Electron Flux Through Interaction with Chorus Emissions in the Earth’ s Magnetosphere」（地球磁気圏コーラス放射による相対論的電子フラックス形成過程の研究）

地球磁気圏のコーラス放射と高エネルギー電子のサイクロトロン共鳴の粒子軌道計算により、電子分布関数の変動を表す数値的なグリーン関数を求め、初期分布関数から畳込み積分を繰り返して速度分布関数の長時間発展を追跡し、放射線帯の形成過程を解明した。

矢　野　克　之（篠原教授）「木質バイオマス糖化前処理装置におけるマイクロ波照射部の開発研究」

本研究では木質バイオマス糖化前処理装置におけるマイクロ波照射部の高効率化及び簡略化を目的とし、連続式マイクロ波照射装置の反射低減に向けた等価回路モデルの検討と簡略型マイクロ波照射部の開発研究を行った。

鈴　木　　望（篠原教授）「ZigBee 端末のためのマイクロ波無線電力伝送システムの研究開発」

本研究ではマイクロ波無線電力伝送技術を用いて ZigBee 通信を用いたワイヤレスセンサーネットワーク端末に対して給電を行うシステムの研究開発を行った。既存の ZigBee 端末に対して電源代わりに取り付ける受電システムを作成し、システムが使用できる条件を送電マイクロ波の電力密度に着目して検討した。

高等教育研究開発推進センター

早　川　　輝（小山田教授）「ボルツマン粒子流体力学法のGPU高速化と超音速気体流シミュレーションへの適用」

ボルツマン粒子流体力学法（BPH）によるプログラムを GPU 向けに実装した。 BPH のコード検証で利用されるテストケースに対して、本プログラムを適用し、CPU 実装に対しておよそ 3.6 倍の高速化を達成したことを確認した。

桑　野　　浩（小山田教授）「大規模データの高解像度ボリュームレンダリングに対する粒子モデリングの研究」

粒子ボリュームレンダリングにおいて、与えられた描画時間と GPU メモリ量を超えないように粒子数と粒子半径を調整する手法の提案を行った。本手法を大規模口腔流体シミュレーションのボリュームレンダリング可視化に適用しその有効性を確認した。

学術情報メディアセンター

谷　口　充　展（中村（裕）教授）「筋電ユーザインタフェースの高機能化のための動作認識手法」

筋電位計測を用いたユーザインタフェースを構築するための手法として、動作の部品化とその部品の組合わせに対する認識方法を提案し、性能を確認するためのシミュレーションを可能にした。さらに、手や腕の動作に関してその有効性を確かめた。

高　　悠　史（中村（裕）教授）「遠隔会議支援のための会話の結束性の可視化」

遠隔会議を支援するために、その対話内容を参加者に俯瞰させ、それにより議論の活性化や情報の共有を行う枠組みを提案した。そのために、対話の「結束性」を用い、それを単位とした可視化を行えば、わかりやすい俯瞰が可能になることを示した。

高校生のページ

コンピュータで言葉を理解する

情報学研究科　知能情報学専攻　知能メディア講座
黒　橋　禎　夫

1. はじめに

言葉は，われわれ人間にとってなくてはならないものですが，逆にあまりに身近なために，普段その役割やありがた味に気づくことはあまりないかも知れません．しかし，私はいま言葉を使って何を書くかを考え，それを言葉を使って文章にしています．みなさんも，この文章を読み，みなさんの頭の中の言葉で表現された知識に対応付けながら，その意味を解釈していることと思います．このように，言葉は思考，コミュニケーション，記憶のもっとも重要な手段であり，言葉を持ったことによって人間が生物の進化の中でまったく別次元の存在になったとも言えるのです．

私は，言葉をコンピュータで扱う，最終的には理解させることを目標として，大学で研究をしています．このような研究分野を自然言語処理とよびます．コンピュータの世界にはCやJavaのようなプログラミング言語もありますので，それと区別するために日本語や英語のことを自然言語とよびます．自然言語処理の研究は，電子計算機（いわゆるコンピュータ）が誕生した1945年ごろ，英語とフランス語などの間の翻訳をコンピュータで自動的にできないか，という発想とともに始まったといわれています．しかし，当時はコンピュータの能力が今とは比べ物にならないほど非力でした．コンピュータに少量のデータを入力するだけでも大変でしたし，英語アルファベットを扱うことはできても何千種類もある漢字などはとても扱えないという状況でした．

その後，コンピュータの能力は年々進化し，漢字を含む日本語テキストも扱えるようになりましたが，一方で，コンピュータに言葉を理解させるということが簡単でないこともわかってきました．言葉を理解するために必要な「知識」をコンピュータに与えるということが極めて難しかったのです．これは私が大学院生であった1990年ごろでも同じでした．ところが，この20年間で自然言語処理をとりまく環境は劇的に変化し，自然言語処理の研究そのものも大きく進展しました．この記事では，高校生のみなさんに，そのわくわく感をすこしでもお伝えできればと思います．

2. 言葉のはたらきと解釈

言葉は思考，コミュニケーション，記憶の手段であるといいましたが，具体的に，言葉はどのようなはたらきを持つのでしょうか？ それは，ものごとに名前をつけて，その関係を表現するということです．

(1) 私は今朝ご飯を食べた．

という簡単な文について考えてみましょう．「私」「ご飯」はものの名前，「今朝」も時間についてのある概念の名前，「食べる」はある動作の名前です．そして，これらが「いつ，誰が，何を，どうした」という関係にあることが表現されています．ちなみに（嫌いな人が多いかも知れませんが）文法用語では「は」や「を」は助詞です．関係を表現することを助けているからそう呼ぶのでしょうね．

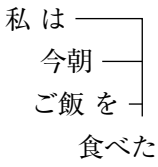
言葉を使えば，このような，ものごとの間の複雑な関係をいくらでも表現することができます．たとえば次のような感じです．

(2) 寝坊した私は昨日買っておいたパンを食べずに，サプリにした.

このように名前付けと複雑な関係を表現するという意味で言葉を使えるのは地球上の生物の中で人間だけなのです．動物でも単純ないくつかのものごとに記号（動作や鳴き声）を与えたり，チンパンジーが記号のごく簡単な組み合わせを操作・理解できることが知られています．しかし，その複雑さは人間には遠く及びません.

図１　形態素解析・構文解析の例

語	読み	原形	品詞	活用型:活用形
私	わたし	私	普通名詞	
は	は	は	副助詞	
今朝	けさ	今朝	時相名詞	
ご飯	ごはん	ご飯	普通名詞	
を	を	を	格助詞	
食べた	たべた	食べる	動詞	母音動詞:タ形
.	.	.	句点	



さて，このような言葉をコンピュータに理解させることはすんなりできることでしょうか．まずはコンピュータの腕前をみてもらうために，さきほどの例文 (1) をコンピュータのプログラムで分析してみましょう．その結果が図１です．上段は，専門用語でいうと形態素解析，すなわち，文がどのように単語に分割され，それぞれどのような品詞や活用をもっているかを示したものです．どうです，ちゃんと「名詞」「動詞」「助詞」なども理解できています．ここでの文法用語はいわゆる学校文法とは少し違うものですが，おおよそ理解してもらえるものと思います.

次に図１下段に示したものが構文解析といわれる処理の結果です．小学校・中学校の国語で「どの文節がどの文節を修飾しているか」という問題をやったと思いますが(これも多くの人が嫌いだったでしょうね)，まさにそれをコンピュータで分析した結果です．これも正しく解析されているようです.

ということで，さすがにこれぐらい単純な文であればコンピュータでも正しく解析することができます．では，例文 (2) はどうでしょうか．例文 (1) に比べれば少し複雑ですが，みなさんにとってはどうということのない文でしょう．ところが，コンピュータの分析はこのあたりからあやしくなってきます．その原因は言葉の「あいまい性」にあります．先入観をとりのぞいてよく読むと，「昨日」というのは「パンを買っておいた」のが昨日なのか，「パンを食べずにサプリにした」のが昨日なのか，２つの解釈が成り立つことがわかります.

さらに，言葉には単語や句の意味のあいまい性もあります．これは，「一つの表現が複数の意味を持つ」ことがあるからです．例文 (2) でも，「パン」はフライパンなどの鍋の「パン」かも知れませんし，カメラ操作のパン・チルドの「パン」かも知れません．さらには，文末の「した」は名詞の「下」または「舌」がひらがなで書かれたものかも知れません.

ここまでくると，「そんなバカな」「屁理屈だ」と思うかも知れませんが，そう思うのは，人間が膨大な常識によって，その文が述べられる状況に応じて整合する（つじつまがあう）解釈を無意識のうちに優先しているからなのです．たとえば，「パン」を「食べる」なら「パン」は食べ物のパンであって，鍋やカメラ操作の可能性には気づくことすらないでしょう．しかし，そのようなことをコンピュータで行うことは難しいことなのです．

もう一つ，「一つの表現が複数の意味を表す」ことのちょうど逆の現象として，「複数の表現が同じ意味を表す」ことも多々あります．「私」は「僕」や「俺」でもいいですし，「食べた」は「食った（くった）」といってもいいのです．さらには，「サプリにした」は「サプリを食べた」と同じことを意味しています．本当に言葉を理解するためにはそのような「同じ意味」であることもきっちりとわかる必要があります．

言葉はある意味で人間にとって非常に効率的にできています．いちいち「昨日私が買った食べ物のパンを今朝は私は食べず，今朝は私はサプリを食べた」という必要はなく，人間の方が効率的に表現された文を柔軟に解釈します．しかし，これを常識をもたないコンピュータに行わせることは簡単ではなく，これが私が研究の世界に入った 20 年前の状況でした．

3. ウェブという超大規模テキストの出現

われわれはほとんど意識することなく言葉を使いこなしていますが，それは常識に基づく整合的な解釈が行われているからだ，ということをみました．逆にいえばコンピュータによって言葉を理解するためには，コンピュータに常識を与えることが必要だということになります．

しかし，コンピュータに常識をひとつひとつ人手で与えるということはほとんど不可能です．そういう無謀なことをやってみようという人も過去にはいたのですが，やはり無理なことがわかりました．ところが，この 20 年の間にこの問題の解決に大きな糸口が現れました．ウェブ（World Wide Web）という超巨大な電子テキストの出現です．

いま高校生のみなさんは生まれた時からウェブがあり，ウェブがある世界が当たり前かも知れませんが，少しだけ歴史をみておきましょう．そもそもアメリカの国防総省の研究でコンピュータを相互にネットワーク接続したことがインターネットのはじまりでした．1980 年ごろのことです．当初はその上でファイルの転送や電子メールのやりとりが行われていましたが，1990 年に，欧州の原子核研究所のティム・バーナーズ・リーという人がインターネット上の電子テキストをリンクで接続することを考え，これがウェブのはじまりとなりました．

その後のウェブの急速な発展は目をみはるものがあり，いまやあたりまえの存在になりました．まさに電気・水道・ガス・ウェブです．みなさんも日常的に検索エンジンで検索を行い，リンクをたどりながら情報を探索していることでしょう．また，（これももはや新しい言葉でありませんが）ウェブ 2.0 といわれるように，マスコミだけでなく，一般の人々がウェブを通して情報を発信し，それをみなが共有するという時代になりました．

だいぶ脱線しましたが，コンピュータで言葉を理解するための常識の話にもどりましょう．ウェブは一義的には人間がその情報を利用するものですが，実は，その大規模テキストをコンピュータ自身も利用することができるのです．すなわち，コンピュータが利用するための常識を，コンピュータ自身がウェブのテキストから獲得するのです．

これは，若干不思議に聞こえるかも知れません．コンピュータが言葉を理解できないから常識がいるわけで，それがないのに，どうしてコンピュータがテキストから知識を取り出すことができるのでしょうか．ニワトリとタマゴ？

しかし，これは魔法でも何でもありません．膨大なテキストがあれば，その中にはさきほどの例文（1）のように比較的単純なものもあります．また，個々の文がちゃんと解釈できなくても，語の使われ方の

全体の傾向をみることでわかることもあるのです．重要な点は，そのテキスト量が本当に膨大であるという点にあります．ウェブには1兆ページを超えるともいわれるページがあり，そのほんの一部を取り出して整理するだけでも簡単に数十億文というテキストを収集することができます．ちなみに，大手新聞社の新聞1年分のテキスト量がおよそ100万文です．ということは，たとえば10億文のテキストを集めれば新聞1000年分のテキスト量に相当するのです！　次の節では，このような超大規模テキストから常識を獲得する方法を紹介します．

4. 超大規模テキストからの常識の獲得

日本語文の修飾関係のあいまい性に関する有名な例文として，次の2文があります．

(3) a. クロールで泳ぐ少女を見た．
　　b. 望遠鏡で泳ぐ少女を見た．

この2文は同じ文体ですが，「クロールで / 望遠鏡で」の修飾先が異なります．このような文を正しく解釈するには，「クロール」と「泳ぐ」，「望遠鏡」と「見る」の間の関係をコンピュータが知識として知っておく必要があるわけです．この問題を解決するために，われわれの研究グループでは，ウェブから10億文規模の日本語文を収集し，形態素解析・構文解析・クラスタリング（類似したものをまとめる処理）を行うことによって「誰が何をどうした」という格フレームとよばれるパターンを大規模に学習しました．

まず，大規模テキスト中の各文を形態素・構文解析します．その際，たとえば「綺麗だ」「奇麗だ」「きれいだ」などは同じ語として扱います．これは，コンピュータ用の辞書にそのような同義語をきちっと与えておくことで可能となります．次に，解析結果から確からしい解析結果を取り出します．確からしい解析結果とは，構文解析を行うシステムの文法規則において，修飾先の候補がただ1つしかないものです．たとえば，次にあげる例では，○下線部が修飾先のあいまい性がない要素として抽出されます．

(4) a. 今日は 石窯で○ パンを○ 焼いています。
　　b. 80種類もの パンを○ 焼いていますが、…
　　c. その後，パンを× 焼いた余熱を利用し…
　　d. 直径が× 15センチのケーキを焼きます。

(4a) は文末であり，(4b) では「〜いますが」が文中の強い区切りと認識されるので，「焼く」をあいまい性なく修飾する「石窯で パンを 焼く」と「パンを 焼く」がそれぞれ抽出されます．

一方，(4c)，(4d) の×下線部は，修飾先のあいまい性があるので抽出されません．(4c) では，下線部「パンを」は「焼いた」と「利用し」の2つの修飾先の候補があるため抽出しません．(4d) では，下線部「直径が」が「15センチ」と「焼きます」の2つの修飾先があるため同様に抽出しません．このような判断は，「〜が〜センチの」のように動詞ではないのですが修飾先として振る舞う表現を文法規則としてきちんと把握することで可能になります．

格フレームを学習する際の大きな問題は動詞の意味のあいまい性です．「焼く」の場合，「パンを 焼く」「手を 焼く」「データを 焼く」のような意味・用法の異なる表現をクラスタリングによって区別する必要があります．このとき，動詞の直前の名詞が動詞の用法の決定に強く影響していると考え，動詞とその直前の名詞の組が同一のものをまずまとめます．その上で，他の名詞が同じであったり似ているものをまとめていきます．たとえば「焼く」の場合，まず「パンを焼く」「肉を焼く」「手を焼く」などの組

で例文を集約し，その上で，語の意味の近さに基づいて「パンを焼く」「肉を焼く」のような似ているものをまとめます．ここで，「パン」と「肉」が似ているということも大規模テキストから自動的に学習することができるのですが，その説明はここでは省略します．

このような方法で，ウェブから収集した約 10 億日本語文を用いて，約 4 万種類の動詞・形容詞について格フレームを自動的に構築しました．その一部を表 1 に示します．このような知識をコンピュータに与えておくことで，それを参照することにより「クロールで / 望遠鏡で泳ぐ少女を見た」という文の修飾関係を正しく解釈することが可能となったのです．

このように「誰が何をどうした」という格フレームはコンピュータに与えるべき常識の第一歩であり，文の構造の解釈に寄与するという意味でもっとも重要な知識の一つです．今後，コンピュータに与えることが必要な知識としては，「酒を飲む→酔う」「レストランに行く→料理を注文する」というような因果関係や出来事の連鎖の知識，また，「椅子：目的：座る」「自動車：部品：エンジン」「富士山：高さ：3776 メートル」などの語の特徴や属性に関する知識などがあります．このような知識も大規模テキストの中にさまざまな形で記述されていますので，うまく工夫することによって今後徐々に自動獲得され，コンピュータに与えられていくことでしょう．

なお，ここで紹介したような大規模な計算を行うためには数百〜数千台規模の並列コンピュータが必要となります．電子工学，情報工学の進歩がコンピュータの長足の進歩を支え，それがさらにこのような自然言語処理の研究を支えていることも忘れないで下さい．

表 1　自動獲得した格フレームの例（名詞の後ろの数字は学習テキスト中の頻度）

	格	用例（数字は頻度を表す）
焼く (1)	ガ	私：18，人：15，職人：10…
	ヲ	パン：2484，肉：1521，ケーキ：1283，…
	デ	オーブン：1630，フライパン：1311，…
焼く (2)	ガ	先生：3，政府：3，人：3，…
	ヲ	手：2950
	ニ	攻撃：18，行動：15，息子：15，…
焼く (3)	ガ	メーカー：1，ディストリビューター：1，…
	ヲ	データ：178，ファイル：107，コピー：9，…
	ニ	Ｒ：1583，ＣＤ：664，ＣＤＲ：3，…
⋮	⋮	⋮
泳ぐ (1)	ガ	イルカ：142，生：50，魚：28，…
	ヲ	海：1188，水中：281，海中：101，…
	デ	クロール：86，平泳ぎ：49，泳法：24，…
⋮	⋮	⋮
磨く (1)	ガ	私：4，男性：4，人：4，おれ：4，…
	ヲ	歯：5959，奥歯：27，前歯：12
	デ	ブラシ：38，トイレ：15，塩：13，…
⋮	⋮	⋮

5. おわりに

この記事では，言葉がどのようなはたらきや特徴をもっているか，人はどのようにそれを使いこなしているのか，コンピュータで言葉を理解するためには何が必要かということを説明してきました．また，ウェブという超大規模テキストがコンピュータによる知識獲得の対象であり，そこからさまざまな知識が自動獲得されつつあることをみました．

SF の世界や近未来を描く映画の中では言葉を理解するロボットやソフトウェアがあたりまえのように出てきます．それはそんなに簡単なことではないのですが，もしかしたら本当に近未来にそれに近いものが実現するかも知れません．

世界はどんどんグローバル化されていますが，その一方で紛争も絶えません．その根底に人々の間の相互理解の不足，文化差，そして言葉の壁があります．はじめに書いたように異なる言語間の自動翻訳（まさにドラえもんの「翻訳こんにゃく」です）は自然言語処理の重要な研究テーマの一つであり，その研究も近年大きく進展しています．すでに特定の旅行シーンでの対話に限った音声での翻訳システムもではじめていますが，今後のこのようなシステムの発展が地球規模の共生社会の実現に貢献することは間違いないでしょう．2022 年サッカー W 杯の日本招致のコンセプトビデオ（残念ながら招致は成功しませんでしたが）では，未来のすばらしい音声翻訳システムが出てきますので是非見てみて下さい（http://youtu.be/8hZyCiR0QJU）．

この記事を読んでくれた高校生諸君の中から，このような研究に興味を持ち，将来，自然言語処理の研究開発にたずさわる人が出てきたとすれば，望外の喜びです．

学生の声

「わからないことはひとにききましょう。」

工学研究科　電気工学専攻　小林研究室　博士後期課程２年　山　本　詩　子

今の研究を始めてから早３年が過ぎた。短かったようで長かった３年間。私は成長できたのだろうか。希望的観測が多分に含まれているが、研究について何も知らなかった頃よりは成長できているはずだ。しかし自分に自信が持てるほどには成長していない。自分が凡人であることは分かりきったことだが、あえて自分の無能さを嘆く気はない。ではどうすれば同じ時間をかけてもっと大きく成長できたのか。この３年を振り返ってみると一番の原因は、研究を遂行する上で分からないことについて周りの人に聞いて来なかったことだと思う。きっと忙しいだろうから私なんかの用事で時間を取らせてはいけない。こんなことぐらい自分で調べたら分かるはず。自分で調べて分かることを人に聞くなんて申し訳ない。今更こんなことを知らないなんて恥ずかしい。こういうことを気にしすぎていた。もちろん自分で調べることも成長のために時には大切だと思う。しかし全く分からないことを自分で調べるのはとても長く時間がかかる。同じことを人に聞いたら 10 分の１も時間がかからずに解決することもある。同じ時間で 10 倍知識の幅が広がるなら、人から少しの時間を頂いて聞いた方がいい。私の知識はまだまだたいしたことはないけれど、自分が聞かれる立場になって知ったことは、自分が知っていることを人から聞かれて教えられるのは案外嬉しいものである。自分も分からないことを一緒に考えるのも楽しい。そういえば塾講師をしていたときは生徒に教えるのがあんなに楽しかった。自分が人に聞く立場になったとき、どうしてその気持ちを忘れてしまったのだろう。勉強や研究を進めて時間が経てば経つほど、聞ける人は減り聞ける立場でもなくなり人に聞くことに対してますます抵抗が大きくなってしまう。気軽に聞ける人がいるうちに、分からないことは人に聞きましょう。私ももう少し勇気を出して、分からないことを積極的に人に聞ける人になろうと思う。そうすればこれからは、もう少し成長できる気がする。

「社会で通用する人材になれ」

情報学研究科　通信情報システム専攻　高橋研究室　博士後期課程２年　横　田　健　治

京都大学は非常に優秀な先生方や学生に恵まれており、研究を行うための環境は十分に整っているといえます。学生はその中に身を置くだけでも、世界に通用する最先端の研究が行えるのですが、やはり大学の外の社会の動向を知ることが大切だと思います。例えば、大自然に恵まれた山の中でも、池の水は放置しておくと時間と共に汚れていくのに対し、川の水は常に流動することで澄んだ状態が保たれます。これと同じように、人も同じところに留まっていると堕落していき、新しい環境に触れることでモチベーションを向上させることができます。

大学の外に触れる機会を得るには、企業のインターンシップに参加する、海外の大学へ留学する、といったことが挙げられます。私は企業のインターンシップに参加した経験があり、大学の研究室とは違う雰囲気を体感することができました。企業の研究者は仕事の対価として給料をもらっており、責任感があり自分の仕事に誇りを持っているように感じました。一方、私の研究室の学生には主体性に欠けており、周りに流される毎日を過ごしているように感じます。私自身も、インターンに参加するまではそのような学生と同じような状態だったので、外を知ることで初めて自分の置かれている環境を見つめ直すことができました。

もちろん、大学には企業にはない魅力的な部分がたくさんあります。学術的な基礎研究ができること、自分のやりたい研究に専念できること、利益に縛られることがないこと、などが挙げられます。しかし、研究を続けるためには、研究費を獲得する必要があります。それは大学においても例外ではなく、競争的資金という名のもとに、優れた研究に対して資金が重点的に割り振られるようになっているのです。そのため、自己満足で終わらないような、社会で認められる魅力的な研究が求められます。特に博士後期課程の学生は、ひとつの研究分野に対する専門性だけでなく、社会を牽引するビジネスリーダーになり得る資質が必要だと思います。それがあれば、どのような社会でも通用する人材になれるはずです。

教室通信

学科長就任にあたって

電気電子工学科長　小野寺　秀　俊
onodera@i.kyoto-u.ac.jp

今年度より、電気電子工学科長を務めることになりましたので、ご挨拶をかねて教室の現状につきご説明申し上げます。

ご存じのように、平成 18 年度より学科長公選制が導入されました。初代の公選制学科長として佐藤亨先生が選出され、学科の新しい体制づくりにご尽力頂きました。その路線は北野正雄前学科長に引き継がれ、目に見える形で成果が現れつつあります。今年度以降も、教室内外の皆様のご協力を頂きながら、これまでの取り組みを継続して進めていきたいと考えております。

これまで学科として注力してきた取り組みは、大きく二点ございます。一点目はカリキュラムの見直しです。以前は、卒業に必要な専門科目数の約二倍の講義が学部科目として開講されておりました。電気電子工学の分野の広がりを反映したものではありましたが、多数の科目を登録し取れるものだけ取るという傾向も見受けられました。そのため、電気電子工学分野に共通のコアとなる基本的項目を精選し、3 回生までの講義科目はそれらをカバーするものに限定して科目数を減らしました。専門性の高い内容や各研究分野で必要な基礎知識は、4 回生科目で習得することとしました。平成 21 年度の新入生からこの新カリキュラムでの授業が実施されています。年次進行に従ってカリキュラムの改訂を進めており、来年度には新カリキュラムが完成する予定です。カリキュラム設計は学部教育における最も重要な検討課題ですので、教務委員会（木本委員長）を中心に、継続して検討を致します。

二点目は、高校生や在学生から見た学科の魅力を向上させるための各種企画・広報活動です。このところ、高校生の理科離れ、工学離れ、電気離れという状況が続いています。この原因の一つには、工学や電気電子分野の素晴らしさが高校生に伝わっていないことがあります。例えば携帯電話は電気電子工学技術の粋を尽くした製品ですが、その中身はブラックボックスと化しています。ゼロ円で売られる端末もあります。電気電子工学は、最先端技術の普遍化・汎用化とブラックボックス化があいまって、もはや若者が興味を持つ対象から外れてしまったと思われます。このような状況を少しでも改善するために、主に高校生を対象とした広報活動に取り組んでいます。全学行事であるオープンキャンパスにも学科として積極的に参加し、今年度は 300 名の見学者を受け入れる計画です。高校への出前講義や研究室見学の受入など、高校との連携も継続して実施いたします。学科を紹介するホームページにも注力しており、受験生用のページを設けるなどコンテンツの充実を図っています。是非一度ご覧下さい。入学後の学生に対する取り組みとしては、夏休み期間中にエレクトロニクスサマーキャンプを実施しています。ブラックボックスではなく、実際に動くロボットや音を出す組込み機器を各自の創意工夫を盛りこんで製作する事により、電気電子工学に対する興味や意欲を引き出す事に成功しています。このようなプログラムや広報活動は、企画・広報委員会（守倉委員長）が中心となって実施しています。

次に、学科への志望者に影響を及ぼすと思われる入学試験の改定についてご紹介いたします。まず、平成 24 年の入試より、工学部内各学科の出題科目や配点が統一されます。今年までの入試では、学科毎に出題科目や配点がまちまちでした。電気電子工学科を含む複数の学科では、通常の配点以外に数学や理科を重視した配点も用意していました。学科側としては、理数系重視のメッセージを受験生に伝えていたつもりでしたが、高校や予備校での評判はよくなかったようです。平成 24 年の入試では学科間の差異がなくなり、単一の配点となります。更に、平成 25 年の入試からは、志望先学科を第 2 希望まで選択できるようになります。シンプルな判定規準で複数学科を志望することができるため、受験生の皆様には京大工学部を志望して頂き易くなったと思います。一方、第 2 希望の学生も入学してくることになりますので、今まで以上に入学後の教育に注意を払う必要があると考えています。

以上、主に教育や人材育成に向けた学科の取り組みについてご紹介致しました。教室に関係する皆様方には、引き続きより一層のご支援とご教示をお願いいたします。

編集後記

東日本大震災により被災された皆様に心よりお見舞い申し上げます。

このたびの震災では、エネルギーや通信など電気電子工学に関係の深いインフラでも大きなダメージがありました。便利さや豊かさに加え、頑強さや安全さが重要であることを多くの人が認めることとなりました。

震災等で色褪せることのない、本当に重要な理論や技術が何であるのか、その答えはきっと cue の中にあると思います。

[H.O. 記]

協 力 支 援 企 業

NTTコミュニケーションズ株式会社
新 日 本 製 鐵 株 式 会 社
ダ イ キ ン 工 業 株 式 会 社
鉄道情報システム株式会社
日 立 電 線 株 式 会 社
株 式 会 社　村 田 製 作 所
ロ ー ム 株 式 会 社
（アイウエオ順）

発　行　日：平成23年9月

編　　集：電気系教室cue編集委員会
佐野　史道、佐藤　　亨、雨宮　尚之
船戸　　充、中村　武恒、浅野　　卓、
越智　裕之、木村　磐根（洛友会）
京都大学工学部電気系教室内
E-mail: cue@kuee.kyoto-u.ac.jp

発　　行：京都大学電気関係教室

援　　助：京都大学電気系関係教室同窓会洛友会
電気教室百周年記念事業基金

印刷・製本：株式会社　田中プリント