

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

先端電気システム論講座(引原研)☆

システム基礎論講座自動制御工学分野(萩原研)

システム基礎論講座システム創成論分野

生体医工学講座複合システム論分野(土居研)

生体医工学講座生体機能工学分野(小林研)

電磁工学講座超伝導工学分野(雨宮研)

電磁工学講座電磁回路工学分野(和田研)

電磁工学講座電磁エネルギー工学分野(松尾研)

電子工学専攻

集積機能工学講座(鈴木研)

電子物理工学講座極微真空電子工学分野

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

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(下田研)*

エネルギー基礎科学専攻

エネルギー物理学講座電磁エネルギー学分野(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(土井研)*

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.asl.kuee.kyoto-u.ac.jp/index.html>

「高温超伝導集合導体の交流損失特性」

高温超伝導線は液体窒素で冷やすことにより超伝導になる電線です。これを使って発電機、モータ、変圧器、送電ケーブルといった電気機器を構成することで、銅線を使った場合に比べて電気機器の高効率化（省エネ化）や小型化が可能になります。また、これを用いてマグネット（電磁石）を巻くことにより、銅線を用いたマグネットでは得られないような高磁界が、従来の低温超伝導線を用いたマグネットよりも簡単な冷却システムで得られ、また、低温超伝導線よりも高い磁界で使うことも可能なことから、MRI用マグネット、粒子加速器用マグネット、核融合装置などへの応用も期待されています。

しかし、これまで実用化された高温超伝導線はいずれもテープ形状をしており、かつ、線1本が超伝導状態で輸送することができる電流はたかだか数十アンペアから二、三百アンペア程度であり、大型の電気機器やマグネットを構成するためには十分な電流容量を有するとは言えません。そこで、このような高温超伝導線を並列集合化して電流容量の向上を図りたいわけですが、テープ形状の高温超伝導線をたんに積み重ねただけでは、それぞれの線のインダクタンスにばらつきが生じてしまい、線間の電流分布が不均一になってしまいます。このような偏流問題を解決するために、ジグザク形状に切り出し加工した高温超伝導線を素線として、これを編みこむように組み合わせた高温超伝導 Roebel ケーブルとよばれる集合導体が世界的に注目を集めています（図1）。このようにすれば、全ての素線は、幾何学的な形状・相対的位置関係の点で、長手方向にずれている点以外は等価になり、全素線のインダクタンスも等しくなって、結果として偏流も防止できます。

しかし、Roebel ケーブルはその複雑な3次元的な構造故、特に交流の電流を流したり、交流の磁界にさらされたりしたときには、その内部でミクロスケールの複雑な電磁現象が展開されます。このミクロスケールの電磁現象は、交流損失とよばれる、交流で超伝導体を用いたときに発生する特有の損失発生機構とも関連しています。我々の研究室では、計算負荷は抑制しつつ、Roebel ケーブルの3次元幾何学構造を考慮できるようなモデルを提案し電磁界解析を行うことにより、Roebel ケーブルを構成する素線のミクロスケールの電磁現象を可視化し、交流損失を理論的に求めています。また、平行して、交流磁界下で交流電流を輸送するというもっとも一般的な条件下で、Roebel ケーブルの交流損失を実測し、解析結果との比較検討を進めています。なお、これらの研究は、ニュージーランドの Industrial Research Limited（民間化された国立研究所のような機関）と共同で進めているもので、研究を通して、グローバルに活躍できる学生の教育につながればとも願っています。

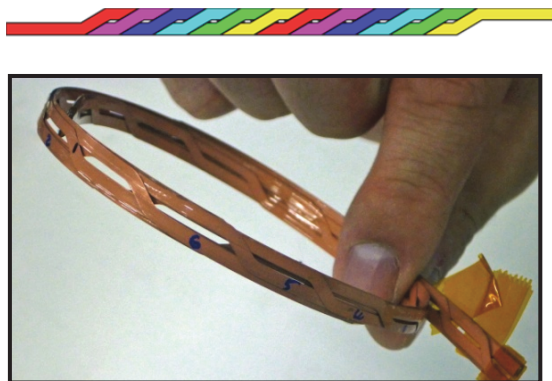


図1 Roebel ケーブル

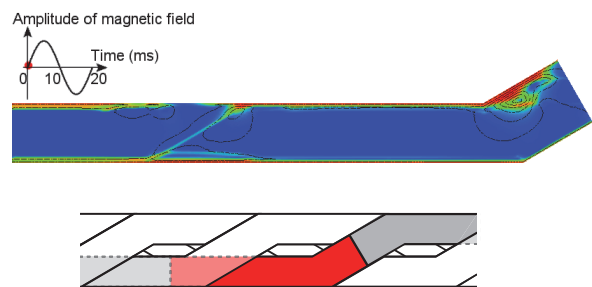


図2 Roebel ケーブルの電磁界解析結果（電流分布）

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>

「時空間計算電磁気学」

近年、メタマテリアルなど電磁波の波長程度あるいはそれ以下のサイズの人工構造により、電磁波（あるいは光）に対する媒質の特性を人工的に制御する手法が注目されています。その際、構造物の形状を正確にモデル化するために、計算格子を細かくするとともに適応的な格子形状を用いることが求められます。電磁界の時間依存計算手法としてFDTD法が代表的ですが、一般に均一な直方体格子が用いられるため適応的な格子の利用は容易ではありません。また、空間刻み幅を小さくすると、時間刻み幅も小さくする必要があり、計算時間が大幅に増加します。これに対して、有限積分法は、FDTD法を包含する手法でありながら、様々な格子形状を許容する方法であり、一般的な格子形状に対する時間依存計算の手法の開発が行われています。ただし、有限積分法においても、時間と空間については別々に扱われることが通常で、時間方向には一様な時間刻みによる逐次的な処理にとどまっているのが現状です。

他方で、電磁界を記述するマクスウェル方程式においては、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を自然に行うことができます。

図1は空間2次元の3次元時空間格子（主格子）の例です。時間刻みが場所によって異なっており、プリズム型の時空間格子が用いられています。図2は時間刻みを半減する部分の時空間格子で、主格子（実線）とともに用いられる双対格子を破線で示しています。これを空間3次元の4次元時空間格子としたのが図3です。3次元時空間⁽¹⁾では主格子の面と双対格子の辺、4次元時空間⁽²⁾では主格子の面と双対格子の面が、ローレンツ計量にて直交するように格子を構成すると、簡明で効率的な計算スキームが得られることを我々は見出しました。図4は電磁波散乱の計算例です。図(a)は三角形の散乱体付近のみを空間および時間的に細分化した格子による計算結果、図(b)はFDTD法による結果、図(c)は空間全体を細分化したFDTD法による結果です。図(b)では空間の解像度が不足して十分な計算精度が得られていませんが、図(a)では図(c)と同程度の計算精度がおよそ半分の計算時間で達成されています。

参考文献

- (1) T. Matsuo, IEEE Trans. Magn., vol. 46, pp. 3241-3244, 2010.
- (2) T. Matsuo, IEEE Trans. Magn., vol. 47, pp. 1530-1533, 2011.

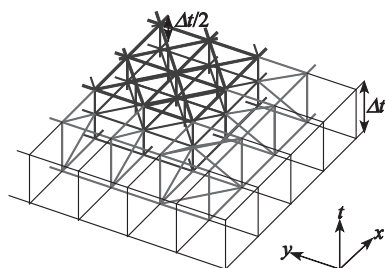


図1 3次元時空間格子の例（主格子のみ）

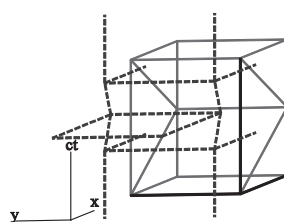


図2 3次元双対時空間格子（実線：主格子，破線：双対格子）

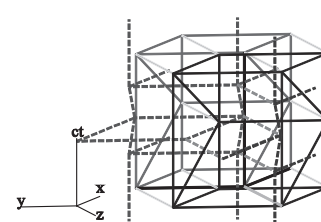


図3 4次元双対時空間格子（実線：主格子，破線：双対格子）

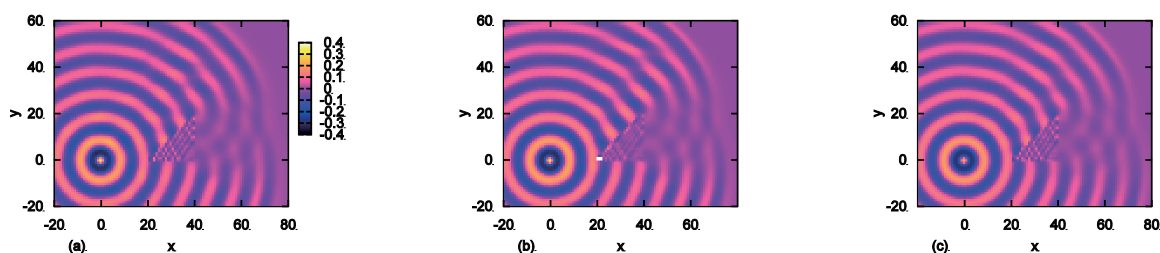


図4 電磁波散乱の計算例：(a) 時空間有限積分法 (b) FDTD法（粗分割格子） (c) FDTD法（細分割格子）

集積機能工学講座 (鈴木研究室)

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

「固有トンネル分光で見る高温超伝導の k 空間不均一性」

銅酸化物高温超伝導体は最高で 135K にもなる高い超伝導転移温度 T_c で超伝導に移ります。なぜ金属の超伝導体よりも 100K 近く高い温度で超伝導になるのか、その理由はまだわかっていません。これを理解するには高温超伝導が従来の超伝導とどのように違うのか実験で見出す必要があります。

超伝導状態を表す重要な量として超伝導オーダーパラメータ Ψ があります。 Ψ は超流動成分の濃度ならびに対形成の方向依存性を示しています。この Ψ は磁場侵入長や光学吸収あるいはトンネル分光による超伝導エネルギーギャップ Δ から、または最大ジョセフソン電流密度 J_c から知ることができます。我々は微細加工により高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ の固有ジョセフソン接合を微小メサ構造に加工し、これと短パルス法による固有トンネル分光を利用し、 J_c と Δ を同一の試料からほぼ同時に測定して比較することにより、超伝導オーダーパラメータ Ψ が銅酸化物高温超伝導体では不均一にならざるを得ないことを見出しました。

図 1 は不足ドーピング(キャリア濃度が低い)の異なる 3 種類の試料から得られたトンネルスペクトルです。ピークの位置から Δ がわかります。また同じ試料から図 1 のような電流電圧特性が得られ J_c がわかります。 Δ は Ψ の強度を反映し、 J_c は量を反映します。得られた Δ を用いて均一な超伝導を仮定して理論的な J_c^{th} を計算し、実験値と比較した結果を図 2 (a) に示します。実験と理論には最大 2 桁の乖離が存在し、均一な超伝導ではもはや J_c の実験結果を説明することはできません。これから高温超伝導体の超伝導オーダーパラメータ Ψ は均一とはいえないことがわかります。我々は、高温超伝導体のキャリアが k 空間で偏在していること (図 2 (b) (c) の空色の領域) と Ψ の対称性に d 波を考えることにより、図 2 (b) に示すようにドーピング量が小さくなると超流動濃度への寄与 (赤い太い線) が少なくなり、超流動濃度が激減し、したがって J_c も著しく減少することを説明できることを見出しました。このような Ψ は k 空間における超伝導の不均一性を示しています。非常に強い電子間引力相互作用があっても、k 空間におけるキャリアの偏在によってキャリアの局在を抑制され、その結果として不均一な Ψ の形で高い T_c が実現されるものと考えられます。

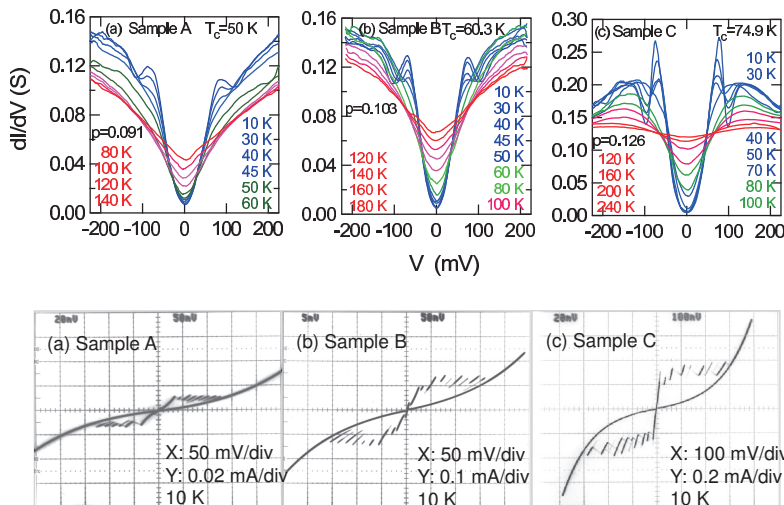


図 1. 上段: $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ の固有トンネルスペクトル。下段: 同電流電圧特性とジョセフソン電流。試料は不足ドーピング領域でそれぞれドーピング量 (p : Cu1 個当たりのホール数) が異なる。

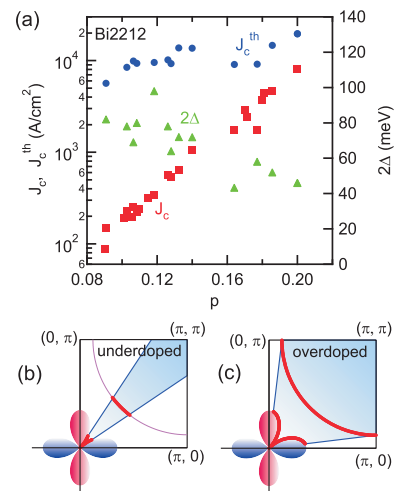


図 2. (a) 実験で得られた Δ と J_c および理論的な J_c^{th} のドーピング p 依存性。(b) (c) d 波対称 Ψ とキャリア偏在するフェルミアークおよびフェルミ面のモデル。

電子物理工学講座 極微真空電子工学分野

<http://www.s-ee.t.kyoto-u.ac.jp/ja/information/laboratory/gse/ese/beam>

「ナノレベルイオン注入による発光材料の形成」

当研究室では、発熱のない省エネルギーで極微な電子源開発とその応用として放射線などに強い耐環境素子としての微細な増幅素子の開発を、また、極微な領域での材料物性制御を目的として負イオン注入法を開発し、新しい細胞接着制御の提案や半導体製造プロセスに適合した新たな材料による発光材の開発を主な研究課題としています。その中でも今回は、負イオン注入法を用いたナノメートル深さ制御による低電圧での紫～青色領域の発光材料の開発について説明します。シリコン (Si) ベースの集積回路では配線による遅延は計算速度を低下させるため、光通信の利用が望まれています。そして、その光源としては Si 半導体やその製造プロセスに適合した 4 族元素によるものが求められています。この課題に対して、本研究室では、ゲルマニウム (Ge) を負イオンとして二酸化シリコン (SiO_2) 層に注入することで、ナノメートルレベルの極浅い深さに発光サイトを形成して、10V 程度の低電圧での発光を目指すとともに、100 eV 程度の低エネルギー電子ビームに対する蛍光材料の開発を目指しています。本研究室で開発した負イオン注入法は異種元素を負イオンとして固体中に注入する方法で、対象が絶縁物であっても帯電現象が大きく緩和され、ほぼ無帯電で注入することができます。つまり、ナノメートルレベルの極浅領域でも精度良く注入できるという特徴を有しています。基材として Si 基板上の 50 nm という極薄 SiO_2 膜を用い、表面から 10 ~ 50 nm の深さに Ge 負イオンを注入して、平均濃度 3 ~ 5 at.% の極浅 Ge 添加層を形成しました。そして、加熱処理により Ge ナノ粒子の形成とその部分的酸化した結果、発光サイトが極浅領域に形成されていることをフォトルミネッセンスにより確認しました。そして、 SiO_2 表面に ITO 透明電極を Si 裏面に Al 電極を形成して電圧印加を可能とし、十数 V の電圧印加で青色の発光 (エレクトロルミネッセンス, EL) が得られることを証明しました。一例として直流 15V で発光している様子と発光スペクトルをそれぞれ図 1 と図 2 に示します。また、Ge 負イオンを SiO_2 ガラス表層の数 ~ 20 nm の極浅領域に注入することで、280 eV という低速電子ビームで発光することを肉眼で確認しており、低速電子線蛍光材料としても応用できることを示しました。

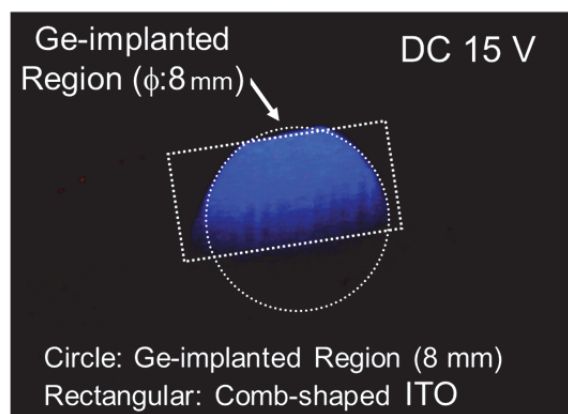


図 1. Ge 注入した極薄 SiO_2 層に DC15V を印加した発光部の写真

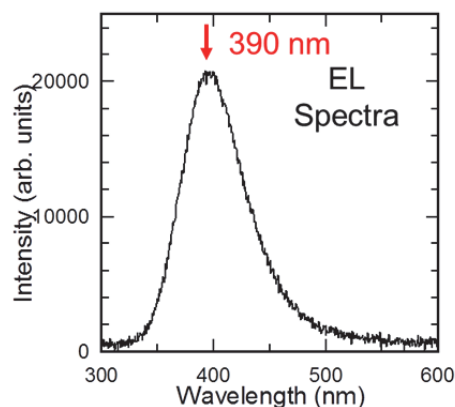


図 2. EL の発光スペクトル

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/>

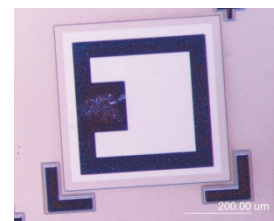
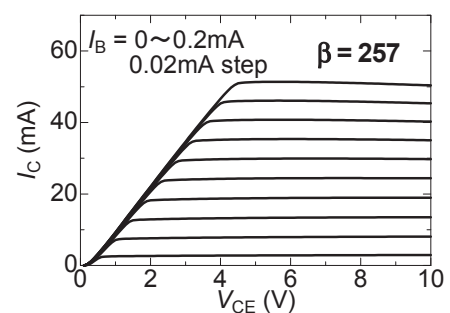
「ワイドギャップ半導体 SiC の新しい展開」

ワイドギャップ半導体のシリコンカーバイド (SiC) は次世代パワーデバイス用材料の最有力候補である。SiC パワーデバイスは、既存の Si では実現不可能な高耐圧と低オン抵抗を両立したデバイスを実現可能であり、精力的な研究開発が進められている。SiC デバイスの実用化はこの 12 年間にめざましい進展を遂げた。例えば、SiC ショットキーバリアダイオード (SBD) は、京都大学での世界初の試作成功を受けて、2001 年に Infineon が生産を開始し、現在では国内外の複数メーカーから供給されている。トランジスタに関しては、Si IGBT の置き換えを目指した SiC MOSFET の開発が進んでおり、量産も開始されている。家電製品、電気自動車への応用については、SiC SBD、SiC MOSFET が中心となる。当研究室では、SBD、MOSFET に関する研究も行っているが、さらにその先を考えた SiC デバイスの新たな展開も進めているので紹介したい。

現在の Si パワーデバイスの主役は MOSFET と IGBT であるが、20 年ほど前まではバイポーラトランジスタ (BJT) が主役であった。しかし BJT は、安全動作領域が狭いために、MOSFET の高性能化と新構造デバイスである IGBT の登場により、その役割を終えたという歴史がある。一方、材料を SiC として BJT を考えると、物性値の違いから、Si の場合に問題となっていた二次降伏現象は SiC BJT の場合には起こらない。SiC BJT には、伝導度変調による SiC MOSFET を超える低オン抵抗が原理的に可能性であり、鉄道や電力インフラなど、高耐圧・大容量パワーデバイスとしての潜在性がある。しかしながら、過去の研究では、SiC BJT の電流増幅率は最高でも 134 しかなく、大電流を扱うパワー応用には不十分という問題があった。当研究室では、単なるデバイス構造の最適化ではなく、より深く物性・材料に踏み込み、結晶成長、パッシベーション、点欠陥制御による電流増幅率向上の研究を進めた結果、257 というこれまでの報告の倍の高電流増幅率を達成し、学会で大きな注目を集めた^[1]。現在は、SiC BJT の高耐圧化に関する研究や、SiC BJT の設計の基礎となる物性や現象の解明とその制御の体系化を進めている。

SiC は高温、腐食性雰囲気、放射線照射下などの過酷な環境でも半導体デバイスとして動作可能である。この点に注目して、厳環境センサー・MEMS デバイスについての研究も進めている。例えば、室温～数百℃の広い温度範囲で動作可能で、しかも、感度の温度依存性をほぼゼロにした紫外線フォトダイオードの提案や^[2]、MEMS の基本構造である、ブリッジやカンチレバー構造を高品質な単結晶 SiC で作製し、その機械的特性を詳細に評価するなどの研究を行っている。

SiC と比較されるワイドギャップ半導体として III 族窒化物 (III-N) がある。当研究室では 10 年以上にわたって、SiC 上への窒化ガリウム (GaN) や窒化アルミニウム (AlN) のエピタキシャル成長の研究を行っている。最近、SiC 上に極めて高品質の AlN や AlN/GaN 超格子構造を成長することに成功した^[3]。これは研究室独自の III-N/SiC 界面制御手法の成果であるが、この高品質 III-N/SiC ヘテロ接合をデバイスに応用する研究も進めている。二つのワイドギャップ半導体材料の利点を活かした機能デバイスや高性能デバイスの実現を目指して取り組んでいる。



参考文献

- [1] H. Miyake, T. Kimoto and J. Suda: *IEEE Electron Device Lett.*, **32**, 841 (2011).
- [2] N. Watanabe, T. Kimoto and J. Suda: *Int. Conf. SiC and Related Materials*, Th-3B-2 (2011).
- [3] R. Kikuchi, H. Okumura, M. Kaneko, T. Kimoto and J. Suda: *APEX*, **5**, 051002 (2012).

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/>

「AlGaIn 量子井戸の電子線励起による紫外光源の開発」

紫外光は、LSI プロセス、キュアリング、殺菌・消毒など、エレクトロニクスからバイオニクスまで、われわれの生活を支える必要不可欠な光である。現在、水銀ランプやフッ素・塩素系のエキシマランプなどが用いられているが、低い発光効率、有害な構成元素、短寿命といった問題を抱えている。このランプ方式に対して、われわれは、AlGaIn 量子井戸 (QW) 構造を用いた固体光源に注目している。この QW は、波長 210nm から 350nm 程度の紫外光をカバーできる有望な材料系であるが、AlGaIn 系発光ダイオード (LED) の発光の外部量子効率、波長 250nm 以上で高々 5% であり、それより短波長化するに従い低下する。(可視域で実用に至っている InGaIn 青色 LED では 80% 超) この主因は、AlGaIn の本質的な性質として、短波長化するに従って十分な正孔が形成されなくなり、「ダイオード」としての特性が劣化することである。この問題に対するわれわれのアプローチは、ダイオード方式ではなく、古くからブラウン管における蛍光体励起に採用されていた電子線を利用することである。

試料は、サファイア (0001) 基板に成長した AlGaIn/AlN QW (Al 組成 69%) である。室温においてほぼ 240 nm で紫外発光する。また、室温と低温での発光強度比から内部量子効率を見積もると 57% であり、InGaIn に匹敵していた。これを電子線励起すると、図 (a) に示したように、照射電流値を上げると出力は上昇し、加速電圧 8 kV、電流値 45 μ A のときに紫外光出力 100 mW が達成された。ただし、さらに加速電圧を 10 kV に上げても光出力は上昇しない。これは、照射電子が QW 発光領域を突き抜けてしまうためであり、シミュレーションの結果とも一致する。一方、電力効率は電流値が小さいときに高く、8 kV、5 μ A の電子線条件のときに 40% であった。電流値を上げると効率が低下する原因については、今後の検討課題である。図 (b) には、電子線励起された AlGaIn QW からの発光によって励起された蛍光体の発光の様子を示した。蛍光体の明るい白色発光が、AlGaIn QW からの強い紫外線発光を示している。得られた特性は、既に AlGaIn LED を凌駕しており、次世代の固体紫外光源として、ダイオードに加え、この材料系と電子線励起の組み合わせが有望であることを示している。

参考文献

T. Oto, R. G. Banal, K. Kataoka, M. Funato, and Y. Kawakami, *Nature Photon.* **4**, 767 (2010).

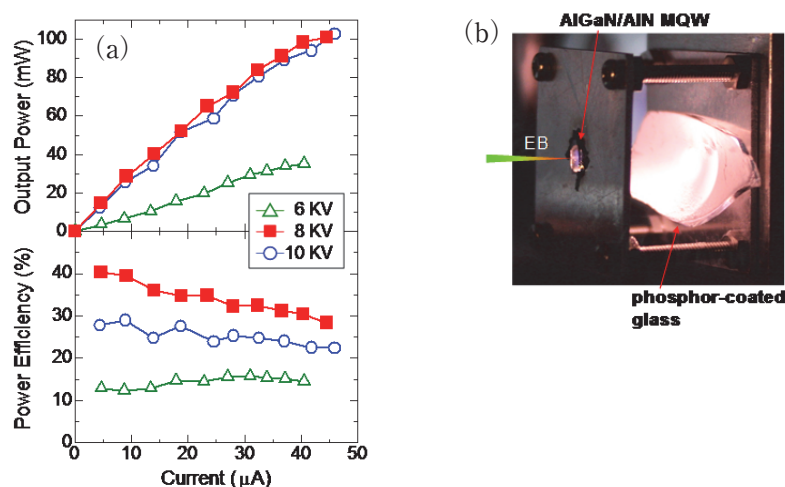


図. (a) AlGaIn/AlN QW からの光出力と電力効率の照射電流依存性。加速電圧は 6, 8, 10 kV とした。(b) AlGaIn/AlN QW を電子線励起して得られる紫外光により、ガラスに塗布した蛍光材料を励起した様子。電子線は、8 kV, 45 μ A であった。

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
 「イオン液体イオン源の開発」

イオンは多種・多様な荷電粒子としてよく知られています。電荷をもった粒子ですので、電圧を印加することによってエネルギーを自由に制御でき、また電流量として1個ずつ計測でき、走行するビームを集束したり拡げたりできます。また、基本的に1種類しか存在しない電子と異なり、原子核の周囲に存在する電子の数や電子軌道の形状によって、多種・多様なイオンが存在します。周期律表に表される各原子の正イオンは、1価イオンとしても100種類以上あります。また、同じ原子でも電子が付加されると負イオンになり、電子が2個以上取り出されると多価イオンになり、イオンの利用範囲が広がります。さらに、原子状や分子状のイオン、あるいはクラスター状のイオンなど、原子軌道の違いによって多様なイオンが存在します。こうした多種・多様なイオンは、エネルギーや物質を輸送できるビーム応用技術として、例えば蒸着・加工・注入技術、あるいは分析・評価技術として、様々な学問分野や産業分野で利用されています。その中で、我々は種々の官能基を持つ多原子分子イオンやクラスターイオンに着目し、荷電粒子としての特質を活用して、原子軌道からの電子の移動や原子軌道の重なりによる表面反応ダイナミクスの研究を行っています。本稿では、新しい溶媒材料として注目されているイオン液体を取り上げ、正・負の多原子分子イオンやクラスターイオンを生成しましたので、その結果について紹介します。

イオン液体は陽イオン（カチオン）と陰イオン（アニオン）からなる塩ですが、透明で電気伝導性を持ち、蒸気圧が極めて低く、また、水や油、アルコールなど他の溶媒材料にも混ざらない新奇な液体材料です。また、イオン液体の分子は種々の官能基を有しており、それぞれの官能基特有の化学的性質を示す液体材料です。本研究では、種々のイミダゾリウムのイオン液体として、BMIM-PF₆、EMIM-BF₄、EMIM-N (CN)₂の3種類を用いました。図1は、イオン液体イオン源装置の外観図です。曲率半径が約100 μm、長さが数mmのカーボン製の短針に電圧を印加し、電界放出によってイオン液体の正および負のイオン生成を行っています。また、短針に供給するイオン液体の流量を制御するために、空隙率の異なる多孔質状のキャップを短針に被せてあります。最適化が十分ではありませんが、引き出される正・負イオン電流は、それぞれ引き出し電圧8kVで数百nAの電流が得られています。これは1個の短針の場合ですが、複数個（本装置では4個）の短針を設けて10倍以上の大電流化を図ることができます。

図2はイオン液体（BMIM-PF₆）の正および負イオンビームの質量分析スペクトルを示します。正イオンおよび負イオンいずれの場合も、質量電荷比が5000付近にピークを持っています。正イオン（C₈H₁₅N₂）の分子量は139.22、負イオン（PF₆）の分子量は144.96ですので、このピークは1価イオンと仮定しますとイオン液体（BMIM-PF₆）17分子程度のクラスターイオンに対応します。イオン液体のカチオン（BMIM: C₈H₁₅N₂）やアニオン（PF₆）の多原子分子イオン以外に、サイズが数分子～数百分子の正および負のクラスターイオンが生成できることが分かりました。また、断熱膨張現象によるファン・デル・ワールス結合したクラスターの生成と異なり、電界放出によってイオン結合（あるいは水素結合）したイオン液体クラスターの生成に成功しました。

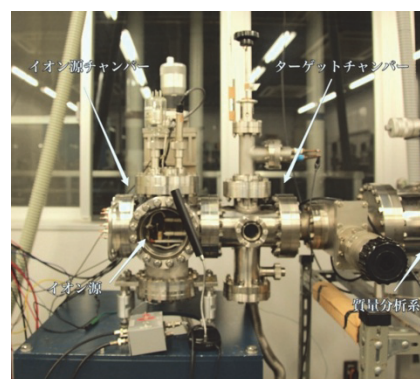


図1. イオン液体イオン源装置

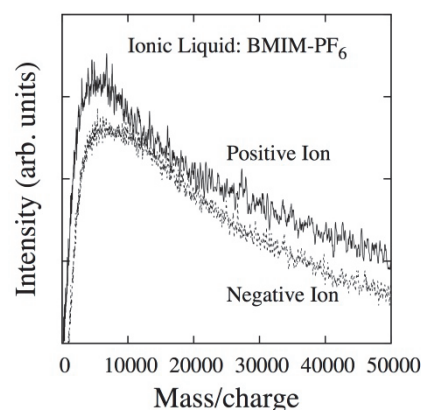


図2. 質量分析スペクトル

知能情報メディア講座 言語メディア分野 (黒橋研究室)

<http://nlp.ist.i.kyoto-u.ac.jp/>

「実テキスト解析をささえる語彙知識の自動獲得」

ある自然言語（例えば日本語）が産出し得るテキストは無限にあります。これはC言語のプログラムが無限に存在し得るのと同様です。無限にあるテキストを捉えるために、自然言語についても、プログラミング言語の場合と同じく還元主義的な扱いが行われてきました。つまり、テキストを有限個の語、および語同士を結び付ける有限個の文法規則に分解することで捉えようとしてきました。もちろん、自然言語にはプログラミング言語と異なる点があります。よく知られているのは曖昧性の問題ですが、ここでは語彙の問題を取り上げます。

プログラミング言語の字句解析では、語は無限にありますが、少数の規則（主に正規表現）で捉えられます。一方、自然言語では語をこのような規則で捉えるのは難しそうです。そこで、語をあらかじめ辞書に登録するという手法が広く使われています。テキスト解析時には、テキスト中に出現する語は基本的に辞書に登録済みという仮定が置かれます。もちろんこの仮定は実際には成り立ちません。その証拠に、Heapsの法則という経験則があります。語数 N のテキストについて、語の異なり数 V は

$$V = kN^\beta$$

で近似されます（ $\beta < 1$, k は適当なパラメータ）。つまり、テキストを増やせば語の異なり数も増えるといういたちごっこが止まりません。

辞書は誰が作っているのかというと、研究者が自分で書いたり、日本語学や言語学を学んだ人を雇って作業してもらったりしてきました。昔はそれでも何とかありました。対象テキストが小規模、具体的には、語数が 10^6 オーダーの新聞記事だったからです。

こうした小規模テキストは実用的な精度で解析ができるようになってきたので、次は実テキストを解析したくなります。しかし、例えばWebテキストでは語数が 10^{10} オーダーはあたりまえです。辞書を自分たちで書くという方針はもはや採れません。そこで、当研究室では、主に二つの方針により、人手で整備した基本語彙辞書を補完して、実テキストにおける語彙の問題を解決しようとしています（図1）。

一つは既存の知識源を自動変換して辞書を構築するという方針です。具体的にはオンライン百科事典Wikipediaに着目しています。「爽健美茶」のような事典的な語は数が多いのですが、Wikipediaには 10^6 オーダーの見出し語があります。また、事典的な語は次々と生まれますが、利用者参加型の編集によりすばやく変化に追従しています。ただし、事典の見出し語には複合名詞が多いため、語の基準を我々のもの（形態素）に合わせるための処理が必要です。また、「2012年」のような不要な見出し語を取り除く必要もあります。

もう一つはテキストから語彙を獲得させるという方針です。人間がテキストを読みながら新しい語を覚えるのと同じように、計算機にも自分で語彙を獲得させるというものです。未知の言葉を計算機に認識させるのは難しいのですが、テキスト中での複数回の出現を比較することで精度を高めています。この手法により、解析対象テキストからその場で語彙獲得するとともに、大規模Webテキストからも頻出する語を収集しています。その結果獲得される語には、新聞のようにきれいなテキストには出てこない「ググる」のような俗語や、「読む」のように常用外漢字を使った表記などがあります。こうして自動構築された辞書は解析器に同梱し一般に配布しており、将来的には辞書の自動更新も計画しています。

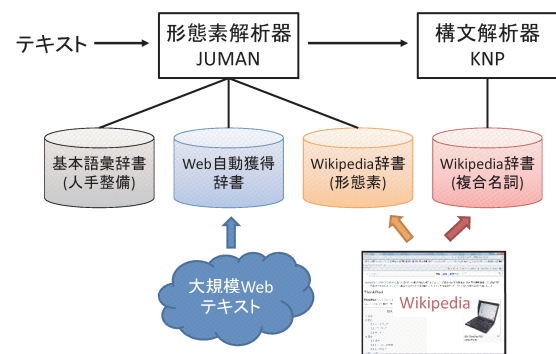


図1. Wikipediaからの語彙の自動獲得（右下）と大規模Webテキストからの自動獲得（中ほど下）

通信システム工学講座 デジタル通信分野 (吉田研究室)<http://www.dco.cce.i.kyoto-u.ac.jp/>**「コヒーレント CoMP による無線分散ネットワークの研究開発」**

スマートフォンの普及により携帯電話システムはこれまでとは比較にならないトラフィック急増にさらされており、以前にも増して周波数の有効利用が求められている。お伽噺の感があった 256 通りの位相と振幅の組み合わせを利用する 256QAM までもが劣悪な移動体通信路において利用されようとしている。このような伝送技術の高度化と並んで、システム側ではより多くの無線基地局を設置して面的な周波数利用効率の向上を図るアプローチが採られている。この際のキーテクノロジーが同一周波数において複数の信号の送受信を行う MIMO (Multi-Input Multi-Output) 伝送技術である。空間の異なる点からより多くの信号を送受信することによって、その送信信号数に比例して周波数利用効率を改善できる。しかし、無線端末に多数のアンテナを搭載することには限界があるため、基地局側が予め伝搬路状況を測定して無線端末での信号分離が容易になるよう波形の整形を行うことが考えられており、プリコーディングと呼ばれる。

多数のアンテナを基地局に集中配置するのではなく、基地局を小型化して地理的に分散して設置する分散アンテナシステムはプリコーディングを行うマルチユーザ MIMO システムと親和性が高く送信電力の低減や干渉の局在化など多くのメリットがある。しかし、プリコーディングを行うためには無線端末側から瞬時にチャンネル情報のフィードバックを得る必要があり、チャンネル推定技術、フィードバック技術、相互の干渉を制御する技術など重要な研究課題が山積している。

当研究室と守倉研究室が中心となって総務省戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE) による「コヒーレント CoMP による無線分散ネットワークの研究開発」を実施している。本プロジェクトでは、市街地に密に設置された小型基地局が連携して多数の無線端末と MIMO 伝送を行うために必要となる要素技術の研究開発に取り組んでいる。フェージングエミュレータを用いた実験室内での伝送実験のみならず、実際に屋外において伝送実験を行うために 5.1GHz 帯において特定実験試験局免許を取得し実特性の把握を行っている。今後はクラスタ間干渉制御技術などネットワークレベルの制御技術も含めて研究を推進し、携帯端末の負担が小さく周波数利用効率が極めて高い無線通信システムの実現を目指す。

参考文献

Masato Taniguchi, Hidekazu Murata, Susumu Yoshida, Koji Yamamoto, Daisuke Umehara, Satoshi Denno, Masahiro Morikura, "Field experiments of linearly precoded multi-user MIMO system at 5 GHz band," to be presented at IEEE VTC2012-Fall, Quebec City, Sept. 2012.



図 1. 実験装置の一部



図 2. 京都大学構内での伝送実験の様子

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/>

「ENTERPRICE M2M ネットワークの提案」

環境に優しく安全安心な社会を構築するために、様々な分野に情報通信技術を駆使した社会インフラを構築することが重要である。特に、仮想空間の情報通信技術を実空間に結びつけたスマートグリッド、自然災害予防システム、図1のようなヘルスケアシステムなどの早期実現が必要である。これらの監視制御アプリケーションの普及のためにはアプリケーション毎に要求条件に大きな幅をもつ一方で、これらに対する統一的な社会プラットフォームが必要と考えられる。このプラットフォームのコアネットワークは光ファイバを中心に構築されるが、アクセス網は経済性、利便性、サービス展開の早さから、M2M (Machine to Machine) 無線ネットワークが中心になると考えられる。

監視制御アプリケーションはそれぞれ多種多様なシステム要求条件を有する。すなわち、数百台から数万台に及ぶ端末数、数 kbit/s から数 Mbit/s に及ぶ伝送速度、エネルギーハーベスティングからワイヤレス電力伝送による様々な給電方法などである。これら全ての監視制御アプリケーションの要求を統一的に一つの無線ネットワークで満足する M2M 無線ネットワークを、ENTERPRICE M2M ネットワーク (M2M network consisting of Enormous Number of TERminals without PRImary CELls) と呼ぶこととする。

ENTERPRICE M2M ネットワークの要求条件の一つは、移動体通信システムや無線 LAN で要求される高速大容量と比較して、1 端末あたりは低速であるものの通信距離が長いことである。加えて、通信距離が長いために競合する端末数が莫大となる。これは、IEEE802.11ah や IEEE 802.15.4k において新たな標準規格の策定に向け議論が開始された注目すべき分野である。これと並行して、電子タグシステム及び図1のようなスマートメータシステムのための帯域として、日米欧中韓を含む各国で 920 MHz 帯を中心とした帯域の割り当てが進んでいる。従って、この要求条件の実現は、ここ数年の喫緊の課題である。

ENTERPRICE M2M ネットワークのもう一つの要求条件は、莫大な端末のメンテナンスフリーのためにバッテリーレスが望まれることである。このため、一次電池や電力線以外の、何らかの形でその場で充電するキャパシタなどの利用が長期的にはより現実的と考えられる。給電方法としては、近年研究・実用化が進んでいるワイヤレス電力伝送やエネルギーハーベスティングなどが考えられる。ここで特に重要なことは、ワイヤレス電力伝送では無線通信と干渉が発生することと、常時給電でなく間欠給電になりうることである。このために給電と通信の間にスケジューリングが必要となろう。これは、製品展開が加速しつつあるワイヤレス電力伝送やエネルギーハーベスティングの将来的な課題であり、比較的長期的な課題と位置づけている。これら二つの要求条件の実現を目指し、共同研究も含めて検討を進めている。

参考文献

山本高至, 守倉正博, “数万端末競合環境を実現する ENTERPRICE M2M ネットワークの提案”, 電子情報通信学会技術研究報告, RCS2011-294, pp. 153-158, Jan. 2012.

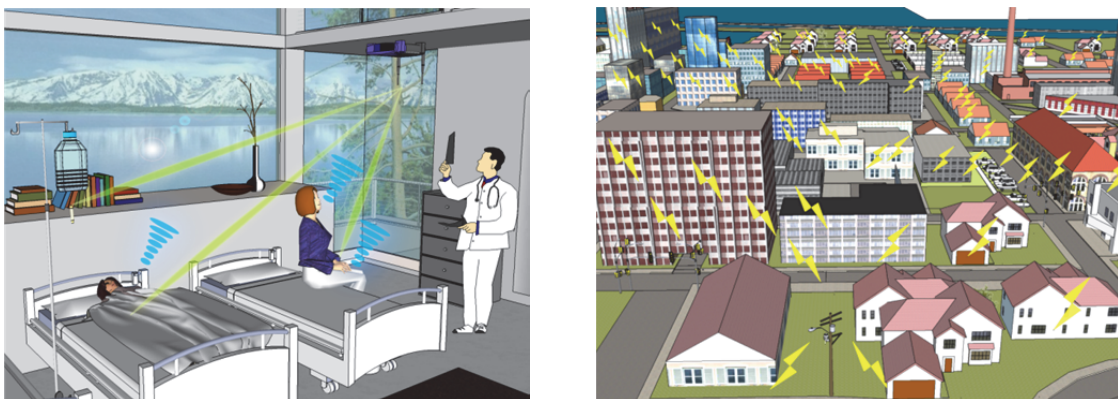


図1. 電子タグシステムおよびスマートメータシステム

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/>

「超低消費エネルギー高性能マイクロプロセッサの開発」

経済産業省は、2025年にIT機器の消費電力が全消費電力の20%を占めるまでに増大すると試算しています。IT機器の中でも特に大きな電力を占めるのがマイクロプロセッサとメモリです。今日のネットワーク機器や携帯型情報端末は非常に高い性能を必要としますが、時間によってはほとんど何も仕事をしていません。つまり、動物と同じで、狩りをする時や敵から逃げる時のようないざという時には高い性能を必要としますが、ほとんどの時間はのんびり過ごしています。しかし、従来の高性能マイクロプロセッサはのんびりしていても大きな電力を消費してしまい、低消費電力指向のマイクロプロセッサはいざという時でも十分な性能が出せません。本研究では、ピーク時の性能が高く平均消費電力の小さいメリハリの効いたマイクロプロセッサを開発しました。具体的には、電源電圧の異なる複数の中央演算装置(CPU)をチップ上に搭載したマルチコアプロセッサを基に、各々のCPUが使用する電源電圧とメモリのサイズを瞬時に切り換える機構を開発しました(図1)。CPUの電源電圧を下げると消費電力は電圧の2乗に比例して小さくなりますが、性能も電圧にほぼ比例して悪化します(図2)。メモリに関しても、使用するサイズを小さくすることで消費電力を抑えることが出来ますが性能は悪化します(図2)。このような消費電力と性能のトレードオフ関係を考慮することによって必要最小限のメモリサイズと電源電圧を適切に選択して使用することが重要です。本研究では、マイクロプロセッサのハードウェアだけでなく、CPUの最適な電源電圧とメモリサイズを実行時に選択するソフトウェア技術を開発しました。具体的には、マイクロプロセッサ上で動作するリアルタイムオペレーティングシステム(RTOS)が、CPUの最適な動作電圧とメモリサイズを計算する方法を開発しました。RTOSは、マイクロプロセッサ上で動作する複数のアプリケーションプログラムをタスクと呼ばれる実行単位に分割して、個々のタスクに与えられた制限時間内に全てのタスクを実行します。従って、RTOSは個々のタスクがいつまでにその仕事を終われば良いかを知っています。本研究で開発した方法は、個々のタスクの制限時間とCPUの性能を基に、各タスクの実行に最低限必要な電源電圧とメモリサイズを算出し、それらをCPUに使用させます。

マイクロプロセッサの電源電圧をソフトウェアによって制御する技術は15年以上前に提案され、携帯電話やノート型コンピュータ向けのプロセッサに既に応用されています。しかし、これらの技術は電圧変更に数百マイクロ秒の時間を必要とするためリアルタイム制御が難しいという問題がありました。本研究で開発したマイクロプロセッサは電源電圧とメモリサイズの変更を1マイクロ秒で実現します。また、低電圧動作時のマイクロプロセッサの消費エネルギーを従来型より30%以上低減することに成功しました。産業用ロボットや自動車などのリアルタイム制御を行うマイクロプロセッサの省エネルギー化に大きく貢献する技術です。

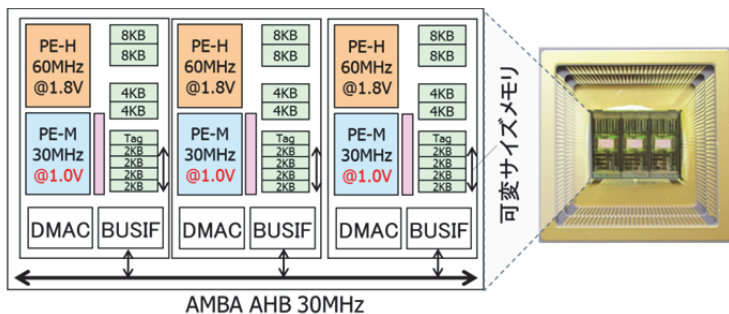


図1: 0.18μmプロセスで試作したマルチコアプロセッサ

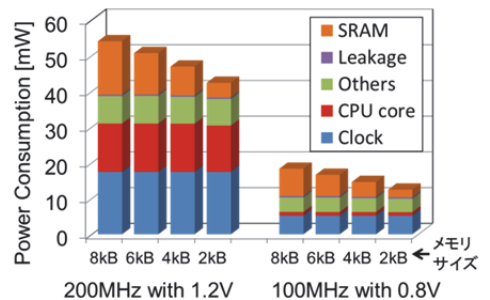


図2: 65nmプロセスで試作したプロセッサの消費電力

システム情報論講座 医用工学分野 (松田研究室)

<http://www.bme.sys.i.kyoto-u.ac.jp>

「デジタル通信技術の MRI 運動解析法への応用」

磁気共鳴画像法 (MRI) は、生体内の様々な臓器・組織の形態診断や腫瘍をはじめとした病変の組織性状診断のみならず、機能的 MRI (functional MRI) による脳機能の計測や心・血管系の運動および血流計測など、様々な生体機能診断にも用いられている。拡張期に磁気的な標識を印加した後に心臓を動画像として撮像し、収縮に伴って標識が変形・移動して行く様子を観察することにより、壁運動の詳細な解析が可能となる tagging MRI と呼ばれる撮像法がある (図 1)。本法では、得られた動画像上で標識した tag の数多くの交点を抽出して追跡を行う必要があるが、交点の完全な自動抽出は困難で、医師による抽出点の確認・修正作業が煩雑であるため、臨床における利用は詳細な壁運動解析が必要な症例などに限定されている。当研究室では、tagging MRI における非標識/標識領域が画像上で明暗 2 値のデジタル符号とみなせることに着目し、デジタル通信に利用されている様々な技術を tagging MRI に応用して自動処理を可能とする新たな tagging MRI 撮像・解析法を提案し、実用化に向けた開発を行っている。

一般に tagging MRI では、空間的に一定の周期を有する明暗の標識を心筋組織に印可するが、我々は図 2 のように周期と位相が異なる 7 通りの tag を用いた撮影法を提案した。本法では 7 回の撮影を行い、このうち 1 系列を破棄することにより 7 bit の符号列 A-F が 6 画素ごとに繰り返す M 系列となる。このような tag を用いて拡張期に心筋組織を標識するが、規則正しく拍動を繰り返す心筋組織は 7 回の撮影を行っても各撮影で同一の位置に移動するため各画素の符号は保存され、心周期の各時相で得られた画像上で各画素の符号を復号すれば画素単位で組織の移動を検出できることになる。提案手法の有効性を示すため、数 mm 程度の振幅で単振動を行う運動 phantom を対象に、7 通りの tag パターンを用いた MRI 画像を撮影し、得られた画像から提案手法を用いて phantom の運動検出を行った。tagging MRI では、標識を行った後、時間の経過とともに撮影対象の T1 緩和によって標識部の信号強度が回復し、非標識部との画像コントラストが低下して行くが、対照として撮影した同一の撮影時間を要する 7 回加算画像と比較したところ、提案手法はコントラストの低下に対して頑健であり、また従来法と同等以上の精度で運動検出が可能であった。さらに、提案手法では運動検出の自動化が可能で、検出処理も極めて高速に実行できることを確認した。まだ、空間的には 1 次元の運動のみを対象とした位置検出に関する実験的検証を行ったに過ぎず、さらに 7 回の撮影を繰り返す必要があるため、実用化には 2 次元および 3 次元への展開や必要とする撮影回数の低減などの課題を残しているものの、標識を 2 値のデジタル符号とみなすという新しい概念を tagging MRI 導入した手法として今後の発展が期待できる。

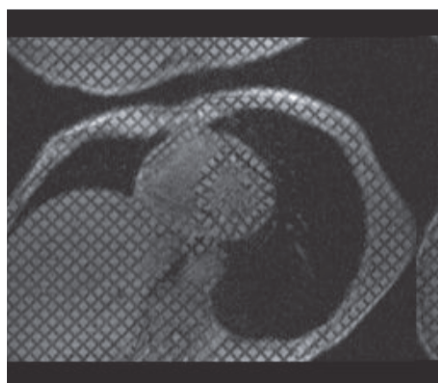


図 1. 心臓の tagging MRI 画像

系列	A	B	C	D	E	F	破棄
撮影 1	1	0	1	0	1	0	1
撮影 2	0	1	1	0	1	1	0
撮影 3	0	1	1	1	0	0	1
撮影 4	1	1	0	0	0	1	1
撮影 5	0	0	0	1	1	1	1
撮影 6	1	0	1	1	0	1	0
撮影 7	1	1	0	1	1	0	0

図 2. 撮影に用いた tag パターン

エネルギー科学研究科（エネルギー応用科学専攻） 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/>
 「液体水素冷却超電導機器に関する研究」

1. はじめに 先の東日本大震災によって、電力システムの現状と問題点がクローズアップされてきている。環境負荷の小さい水素エネルギーシステムと電力システムを融合した地球環境調和型水素・電力協調エネルギーシステムの構築は、温室効果ガス排出削減のためばかりでなく、エネルギーインフラの柔軟性を高める解決策の1つである。われわれの研究グループ（京大・JAXA・JAEA）では、(独)科学技術振興機構の先端的低炭素化技術開発事業として、「新しいエネルギーインフラのための液体水素冷却超電導機器に関する研究」というテーマで研究をスタートさせたところである。

本研究では、これまで行われていなかった液体水素の冷媒としての特性把握、高温超電導機器冷却形態と冷却システム、液体水素中での高温超電導線材特性、導体設計を段階的に進め、要素機器の検証モデル開発とその実証試験までを視野に入れている。安全性、関連法規による規制などの問題点を、超電導機器冷媒の観点から明らかにする。

2. 液体水素熱流動実験装置 図に液体水素熱流動特性試験装置の概略図、写真を示す。試験装置は試験体を設置する実験槽、サブタンク、これらをつなぐ流量調整弁付断熱輸送配管、水素圧力供給用のガスライン、ガス放出用ベントラインからなる。実験装置に液体水素を供給するLH2コンテナ、H2ガスカードル、ベントスタックは実験装置室外に設置している。これを用いて、液体水素の冷却特性、高温超電導材料の特性に関する実験を行っている。これらはJAXA能代ロケット試験場に設置され、バルブ操作、電源操作、計測制御、モニターはすべて光LANを用いた遠隔操作で行えるようにし、安全に十分留意して実施している。

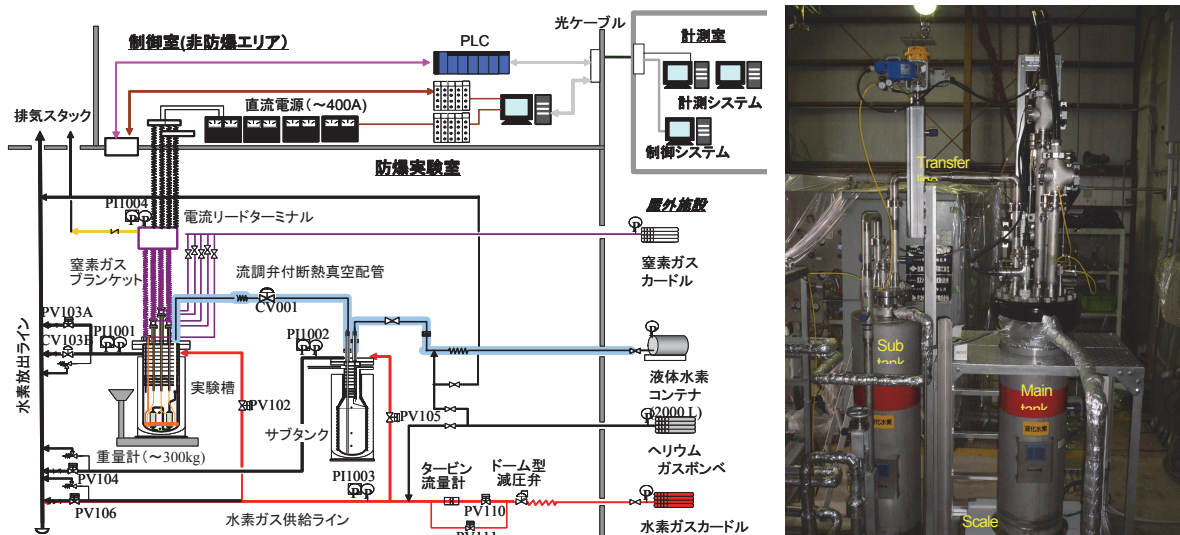


図 液体水素熱流動実験装置の概要とクライオスタットの写真

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.iae.kyoto-u.ac.jp/ksoshiki/complex.html>

「ヘリオトロン J」装置の閉じ込め最適化と MHD 不安定制御

最近のヘリオトロン J 実験の成果の概要を紹介する [1]。先進ヘリカル配位の学術研究、特に立体磁気軸ヘリカル系の異常 (乱流) 輸送の解明と、プラズマ性能の向上、特に閉じ込め改善と高ベータ化を目指している。

これまでの成果として

(1) プラズマ構造形成・不安定制御について、最外殻磁気面内側において半径方向に局在化 ($\sim 2\text{cm}$) し、トロイダル方向に長距離相関を有する静電揺動 ($\sim 20\text{kHz}$) のメゾスケール構造を確認したが、ビーム放射分光 (BES) 計測から (a) プラズマ断面のほぼ全域に分布する密度揺動 ($\sim 90\text{kHz}$)、(b) 主にコア領域に分布する密度揺動 ($\sim 70\text{kHz}$)、(c) 周辺部に局在する密度揺動 ($\sim 20\text{kHz}$) の 3 種が見出され、高エネルギーイオン励起 MHD 不安定性 (GAE/EPM) や抵抗性交換モードなどの理論的予測との比較研究を開始した。

(2) 高エネルギーイオン励起 MHD 不安定性について、上記とは別途に多チャンネル SX 計測、トロイダル/ポロイダル磁気プローブ・アレイ計測の結果を基に、STELLGAP 及び AE3D などのコードによる 3 次元磁場配位効果を含む予測と比較し、励起周波数 ($50\text{-}250\text{kHz}$) の回転変換角依存性の詳細な実験的・理論的調査から、モード数 $m/n=2/1$ (または $1/1$) の GAE の発現を検証し、コードの予測精度を確かめた。なおコードで予測される 50kHz 以下の GAE 及び 100kHz 以上の領域の HAE モード等が実験では観測されないため、対応を検討中である。

(3) 低密度 NBI プラズマを対象とする周辺プラズマ揺動計測から、広帯域の背景揺動が高エネルギーイオン励起 MHD 不安定性と結合し、その結果としてバルクの揺動駆動 (異常) 粒子輸送が、高エネルギーイオン励起不安定性の影響を受けている可能性が判明した。

(4) 2.45 GHz マイクロ波を活用する NBI プラズマ着火実験による比較的高いベータ値 ($\langle\beta\rangle_{\text{dia}} \sim 1\%$) のプラズマについて、圧力駆動 MHD 不安定性 ($<20\text{kHz}$) が調べられた。局所モード解析では $\langle\beta\rangle_{\text{dia}} \sim 1\%$ において標準配位 ($\nu/2\pi=0.56$) ではプラズマ全領域が安定 ($D_I < 0$) であるが、実験においても磁気プローブで計測可能なレベルのコヒーレントな磁場揺動は観測されないことを再確認した。なお $\nu/2\pi=0.50, 0.60$ 近傍では比較的強いコヒーレント揺動が見出される。

(5) 入射角可変 ECH システムによる ECCD 実験において、ECCD の入射角 (N_{\parallel}) 依存性および磁場配位 (バンピー磁場) 依存性をシミュレーション予測 (TRAVIS コード) と比較した結果、概ね良い一致を示した。

(6) ガス・パフ・モジュレーションによる ECH プラズマの粒子輸送特性を、AM 反射計による密度分布変化の実験解析を基盤に実施し、密度低下とともに粒子拡散係数 D 及び対流速度 V (外向き) が増大することを明らかにした。

(7) 局所プラズマ分布計測の整備の一環として新規 CXRS を開発・設置し、プラズマの平行流速度 (V_{\parallel}) の分布及び関連する運動量輸送について調べている。NBI プラズマのプラズマ平行流速度 (概略、トロイダル回転速度に等しい) 分布はプラズマ中心にピークした分布で CO^- 入射の条件で $V_{\parallel}(0) \sim 10\text{ km/s}$ 程度であり、 CO^- 入射、 CTR^- 入射のそれぞれについて、概略、運動量入射分布に相関している速度分布を持つことを確認し、実験的に観測されるプラズマ粘性と、新古典粘性との比較を進めている。特に、径方向の運動量輸送の検討が必要である。

参考文献

[1] 佐野史道, 「先進ヘリカルによるプラズマ構造形成・不安定制御と閉じ込め磁場最適化の研究」, 核融合科学研究所双方向型共同研究報告会、平成 24 年 1 月 26 日、土岐市

(http://www.nifs.ac.jp/kenkyo/kyodo-kenkyu/houkokukai/h23/sou_pdf/sou_1-1.pdf).

生存圏研究所 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

「人間生活圏を取り巻く大気微量物質の動態把握」

生存圏研究所が進めている「生存圏科学の新領域開拓」では、人を取り巻く生存環境（生存圏）の特性変化が、人の健康や安心・安全に及ぼす影響を科学的に解明し、問題解決につながる技術開発を行っています。とりわけ、大気質、バイオマス由来物質、および電磁場の生体影響、また、健康な木質居住環境の構築など、生存圏研究所の特徴を生かした多様な分野の新規課題に取り組んでいます。

ここでは、新領域開拓研究の一環として実施されている、人間生活圏を取り巻く大気、微量気体および粒子状物質（エアロゾル）の動態把握に関する研究について述べます。大気質の悪化は、健康や植生に対する毒性、気候変動への関与など、多岐に亘って影響を及ぼすことが懸念されています。そのため、安全で安心な大気環境を確立・維持するためにも、大気質を決める大気微量物質の動態を詳細に把握し、将来的な変動を正しく予測することが求められています。従来、微量成分の観測は、地上の大気汚染常時監視測定局や航空機をプラットフォームとして行われてきました。しかしながら、法令による制約のため航空機によるアクセスが困難な、地上から高度 100 m 付近に存在する接地境界層の観測例は多くありません。そのため、微量気体とエアロゾル粒子の変質・拡散過程など、地表付近の大気成分の化学的性状の理解には未解明な部分も多く残されています。そこで本研究課題では、人間生活圏に近い接地境界層における微量物質の分布・変動特性を精緻に理解することを目指した、新しい観測手法の開拓を進めています。

その一例として、京都大学生存圏研究所の大気グループと、名古屋大、富山大、国立極地研究所の各機関が連携して、平成 23 年 9 月に生存圏研究所信楽 MU 観測所（滋賀県）で実施した「接地境界層における微量気体およびエアロゾルのプロファイル観測（AEROGAP）」を紹介します。この観測では、サブミクロン以上のエアロゾル粒子特性や水蒸気量の高度分布を計測するライダー（レーザー・レーダー）、および物質輸送に関連する風を計測するドップラーソーダーが有効に用いられました。一方で、粒径 100 nm 以下のナノ粒子や、植物・人間活動由来の揮発性有機化合物（VOCs）などの微量気体は、その散乱特性から電波や光を用いたリモートセンシング手法では検出することができません。そこで、これらの微量成分を高感度で分析できる装置を地上に配置し、係留気球を試料空気吸引用のプラットフォームとして活用することで、高度別に連続計測できるシステムを構築しました。リモートセンシング観測と直接観測を融合的に組み合わせることで、気象要素の変化と関連づけた微量成分の変動特性の考察が可能となります。AEROGAP では、微量物質の鉛直不均質分布とその時間変動をトレースできました。これらの新しい観測手法により、従来の観測では捉えきれなかった接地境界層における微量物質の変質・拡散過程の理解が、大きく進展することが期待されます。

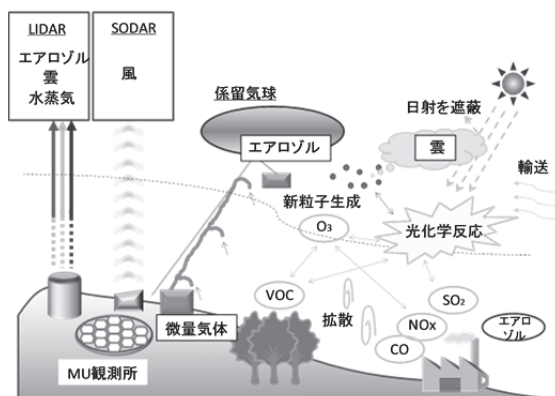


図 1. 接地境界層における微量気体およびエアロゾルのプロファイル観測（AEROGAP）の概要

生存圏開発創成研究系 生存科学計算機実験分野 (大村研究室)

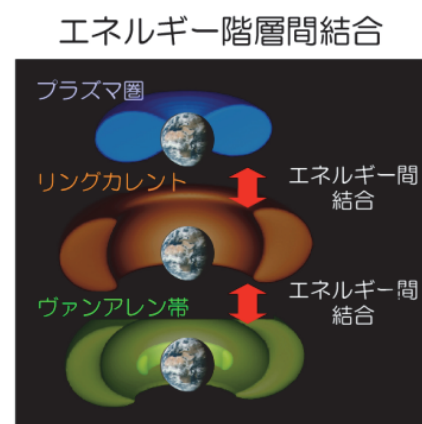
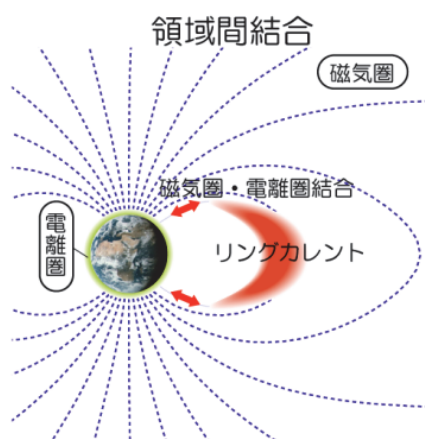
<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/space/omura-lab/>

「近宇宙の粒子環境をシステムとして捉える」

ヴァンアレン帯と知られる高エネルギー粒子群をはじめ、様々なエネルギーを持つ荷電粒子が地球磁場に捕捉されています。これらの荷電粒子には二つの側面があります。一つは地球物理的な側面です。地球磁場に捕捉された荷電粒子が作る電流をリングカレントと呼び、フレア等の太陽擾乱の影響が地球に到来するとリングカレントは発達します。リングカレントの発達は地球磁場の乱れとして観測され、数日間続く地球磁場の乱れを磁気嵐と呼びます。もう一つは工学的な側面です。宇宙の荷電粒子は人工衛星の深部帯電・表面帯電の原因となることが指摘され、関連した事故が少なからず報告されています。これら荷電粒子の動態を理解することは人類の生存圏を宇宙へ向けて拡大する上で重要な課題となっています。

私達が知るべきことは荷電粒子の「起源」「輸送」「加速」「消失」過程です。荷電粒子の運動は線形ではなく、場とともにその時間発展を解かねばなりません。私達は、複雑なものを複雑なまま取り扱い、地球近傍の宇宙環境をシステムとして捉えるアプローチを進めてきました。明らかになった重要なフィードバック過程として、宇宙空間と電離した超高層大気（電離圏）の結合過程が挙げられます。宇宙空間で閉じることのできないリングカレントの余剰電流が電離圏に流れ、電離圏で作られた電場が磁力線に沿って宇宙空間に帰還するというものです。実際の磁気嵐にシミュレーションを適応し、短波レーダー観測結果と良く一致する結果を得ました。この帰還過程を無視すると地球近傍に粒子が過剰に蓄積され、観測結果と矛盾することも示しました。また、リングカレントとヴァンアレン帯の結合過程も重要です。宇宙空間は大変希薄で粒子間の弾性衝突は殆どおこらないのですが、リングカレントが作る磁場によって高エネルギー粒子が断熱的に加速すること、つまり磁場を介して（自分自身を含む）他の粒子に影響を及ぼすことも人工衛星観測との比較を通して実証しました。

今後は、太陽風・地球磁場相互作用を自己無撞着に解くことができるグローバル電磁流体シミュレーション及び波動粒子相互作用を解くことができる粒子シミュレーションを結合し、領域間結合、スケール間結合、エネルギー間結合をなるべく矛盾なく考慮した統合シミュレーションの開発を行い、宇宙粒子環境の予測可能性を検討していきたいと考えています。



高等教育研究開発推進機構（小山田研究室）

<http://www.viz.media.kyoto-u.ac.jp>

「海洋シミュレーション結果向け可視化技術の開発」

地球温暖化による気候変動が大きくなっていることより、漁場分布に変化が表れている。このために海洋シミュレーション結果をもちいた精度の高い漁場予測が求められている。日本近海では、東シナ海から太平洋を北上する暖流の黒潮と、千島列島から太平洋を南下する寒流の親潮とがぶつかりあう潮目の位置が、捕獲される魚の種類や漁獲高に大きな影響を与えるとされている。為石は、潮目付近の衛星画像の解析を通して、湧昇流を伴う微細渦が形成される時期に漁場を形成することを発見し、漁場と海洋流における渦の位置との間の関連について示唆した。湧昇流は、海底付近に沈殿する栄養素を、太陽光の届く海洋表層部に運ぶ役割を果たす。

本研究では、海洋シミュレーション結果における渦と湧昇流との関係について明らかにするための可視化技術の開発を行った。開発した技術は、シミュレーション結果の概要を把握するための俯瞰ビューと詳細を分析するための渦フィルタから構成される。俯瞰ビューでは、多次元データ向け可視化技術である平行座標を使った。平行座標は多次元における点を折れ線で業減するものであり、それぞれの軸上で範囲を対話的に設定することにより、対応する変数間の関係を可視化することができる。これにより注目すべき領域を明らかにすることができる。渦フィルタでは、海洋シミュレーション結果から渦の抽出を行う。渦抽出においては、まず、渦中心として、速度ベクトルがゼロとなる特異点を探索する。次に、探索された特異点において速度勾配テンソルを計算し、その固有値・固有ベクトルにより、特異点が渦かどうかを判定する。固有ベクトルに平行する渦の中心軸にそった流れを可視化することにより、湧昇流の存在を確認することができる。渦中心に流れ込む場合は渦中心から中心軸方向に流出し、流れ出す場合は逆の結果となる。今後は、日本近海での海産物の漁場における複雑な海洋流に本システムを適用して、漁場付近における3次元海洋場の構造を明らかにする予定である。

参考文献

- [1] 為石日出生, "PALSAR による三陸沿岸微細渦の発見とサンマ初漁場形成との関係," 写真測量とリモートセンシング 46 (3), 20-26, 2007-07-02

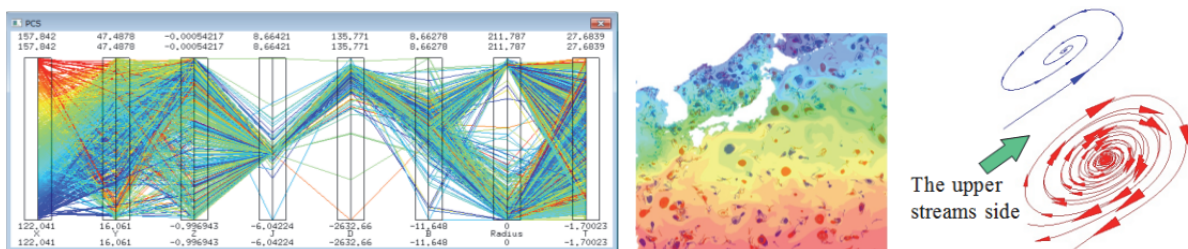


図 1. 海洋シミュレーション結果における渦と湧昇流との関係について明らかにするための可視化システム。ユーザは平行座標（左）を使って興味領域（中央）を特定し、渦フィルタで海洋シミュレーション結果から渦（右）を抽出し、可視化する。

情報メディア工学講座 複合メディア分野 (中村研究室)

<http://www.ccm.media.kyoto-u.ac.jp/>

「状況の良さを用いたジェスチャインタフェースのフィードバック設計」

身振りや手振りを用いたジェスチャインタフェースが広く用いられ始めている。例えば、自身の体をゲーム機のコントローラとするための画像センサなどが開発されている。このようなインタフェースにより、コンピュータや機械の操作が直感的で易しくなることが期待されている。しかし、人間から一方的にジェスチャを提示し、機械がそれを一意に認識することは依然として難しい問題となっている。これは、人間の行動や周囲の環境には幅広い多様性があり、全てを考慮したシステム設計を行うことが本質的に困難であることに起因する。

このような問題に対し、本研究では、認識を行う状況の「良さ」を指標化し、「良さ」を維持または回復する方法を機械から人間に提示することにより、良好な認識を保つ方法を提案している。これは、人間が機械をうまく使いこなせるように利用マニュアルを提示するのに似ているが、機械が状況を判断して動的に行うことが特徴である。

ここで、状況の「良さ」は、人間の振舞い、光学的・幾何学的な条件、環境の乱雑さ、その他種々の要因によって変わり、それをシステムの設計や認識アルゴリズムの前提条件から直接導き出すのは困難である。そのため、以下のような方法をとる。

- 1) 認識精度に影響する可能性のある種々のパラメータを軸にした「状況空間」を構成し、その空間内の位置に対して「良さ」を指標化する。
- 2) 認識の正答率またその推定値を「良さ」とする。そのため、事前に多数のサンプルを認識システムに与え、状況空間での位置と正答率との関係を学習させる。その際には、サポートベクターマシンなどのパターン認識手法を用いる。

これによって、様々な状況に対して「良さ」を推定することができる。「良さ」が不十分な場合には、それが改善される位置・方向への修正を人間に示唆すれば良い。ただし、状況空間中の位置・方向を示されても人間には理解できないため、次のような2つの方法をとる。

- 3) 可能な改善方法を人間が適用した場合の「良さ」を推定し、それが十分なものであれば提示する。その改善方法には、「少し左に移動して」、「手をもっと広げて」等、可能なものを多く登録しておく。
- 4) 状況空間内で現在の状況に近く、正答であったサンプルを提示する。上記2で多数のサンプルを登録してあるため、状況空間中の近い位置にサンプルが見つかることを期待できる。

このような考え方に基づいて、大画面ディスプレイを操作するためのジェスチャインタフェースを構成した例を図2に示す。この例では、どのようなポーズをとれば最も認識されやすいかを現在のユーザーの状態に重ね合わせて表示している。

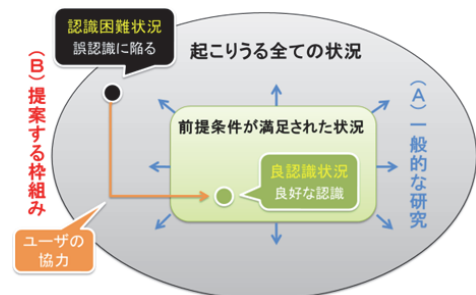


図1. 想定された状況への誘導



図2. サンプルを用いた誘導