

第2章 環境に貢献する科学技術研究

2-1 世界をリードする研究の推進

本学は、世界トップクラスの性能を実現するスーパーコンピュータ TSUBAMEを運用しています。計算による科学技術研究の促進を目的として設置され低炭素社会などの環境問題に貢献するべく、大規模計算機システムの電力効率の向上にも取り組んでいます。

2017年度に稼働を開始した最新のTSUBAME3.0は、同年6月に世界のスパコンの省エネランキングであるGreen 500 Listで1位となり、世界で最も電力効率に優れるスパコンとして認定されました。



国際会議ISC'17での表彰



TSUBAME3.0が設置されるサーバ室内

TSUBAMEでは、高い電力効率を持つGPUを計算資源として活用しています。GPUはもともと画像処理を高速化するためのアクセラレータでしたが、CPUと比べても高い演算性能と高いメモリバンド幅を持つため、高性能計算分野の大規模シミュレーションなど色々な計算を加速させることができます。

さらにTSUBAME3.0では今後需要が高まることが予想されているビッグデータや人工知能などの分野の研究・開発での利用も想定して、データストレージを高速化・大容量化し、ネットワークを強化しています。



計算ノードの内部。4基のGPUを冷却する



スーパーコンピュータの消費電力は大きく、それに応じた発熱があります。このためしっかりと冷却しなければシステムは安定しません。しかしながらこの冷却にも電力が必要になります。TSUBAME3.0の特徴はこの冷却に必要な消費電力を極限まで低くしている点にあります。冷却システムには、建物の屋上に設置された冷却塔によって生成される冷却水を用いています。この冷却水は夏場で最高32度に達しますが、70度を超えるプロセッサを冷却する用途には十分で、またプロセッサから吸収した熱を大気放熱することによってわずかな消費電力でこの温度の冷却水を供給し続けることが可能です。

「最先端の技術に挑む TSUBAME シリーズ」

TSUBAMEは、「みんなのスパコン」として既存のスーパーコンピュータシステムが苦手としていたビッグデータや人工知能分野の計算も対象としており、学内外の研究者や企業の研究開発に提供することで最先端の科学技術の発展に寄与しています。



2006年 TSUBAME1.0
国内最速のPCとして稼働開始
80テラフロップス・アジア1位
世界7位



2010年 TSUBAME2.0
日本初のペタフロップススパコンを実現
2.4ペタフロップス・世界4位
運用スパコングリーン世界一



2011年 ACMゴードンベル賞

2013年 TSUBAME2.5
アップグレード
5.7ペタフロップス



2013年 TSUBAME-KFC
スパコングリーン世界一



2017年 TSUBAME3.0
12.1ペタフロップス
スパコングリーン世界一



大規模学術
及び
産業利用アプリ



2-2 最先端の環境関連研究内容～トピックス～

「環境に優しい強誘電体材料を求めて」

～高速レーザー光を用いた新しい光機能性の開拓～

理学院 化学系

准教授 沖本 洋一



強誘電体とは、結晶を構成する単位格子が原子配置の偏りにより方向（分極）を持っており、かつその方向を外からかける電界で反転できる材料群を指しており、電気を力学的な力に変えるアクチュエータ、コンデンサーのキャパシタ、光の波長を変換する非線形光学材料などといった広い分野で応用されています。しかし、現在最もよく使われている強誘電体は、 PbTiO_3 やPZTといった主に「鉛」を含む化合物であり、環境負荷低減の観点からこれらにとって代わる新しい強誘電体材料の探索が行われています。

このような環境問題の見地から現在有望と考えられている系が、水素結合でつながった有機分子を母体とする共結晶群 [1] です。これは、結晶の結合を担うプロトンが整列と移動によって結晶の方向性を産み出す新しいタイプの強誘電体であり、環境負荷が低くかつ廉価であることから注目されています。我々の研究室では、この水素結合型有機強誘電体にレーザーパルスを当てることにより、その強誘電性機能を改良し、能動的にその特性を制御していくことを目的に研究を行っています。

具体的には、「第二次高調波発生」と呼ばれる効果を用います。一般に強誘電体材料は、方向性を持つ結晶構造に由来する非線形光学効果を示すため、入射した光の周波数の二倍の光が新たに発生します。これを第二次高調波発生と呼び、この発生強度は試料の強誘電特性の良さを示す指標となります。我々は、この有機強誘電材料から発生する第二次高調波光の強度が、レーザーパルスの照射によってどう変化するかを調べており、現在までに、赤外領域のレーザーを当てることにより室温で「20%以上増大する」ことを観測しています。これは、光照射によって非線形光学材料の性能指数を増強できることを端的に示しており、光を用いた新しい強誘電体開発の手法を示すものであるといえます [2]。

本研究は、産業技術総合研究所の堀内グループ、京都大学化学研究所の廣理グループ、東京大学物性研究所の板谷グループとの共同研究です。

参考文献

- [1] S. Horiuchi, F. Ishii, R. Kumai, Y. Okimoto, H. Tachibana, N. Nagaosa, and Y. Tokura, *Nature Mat.* 4, 13 (2005).
- [2] Y. Okimoto, S. Naruse, R. Fukaya, T. Ishikawa, S. Koshihara, K. Oka, M. Azuma, K. Tanaka, and H. Hirori, *Phys. Rev. Applied* 7, 064016 (2017).

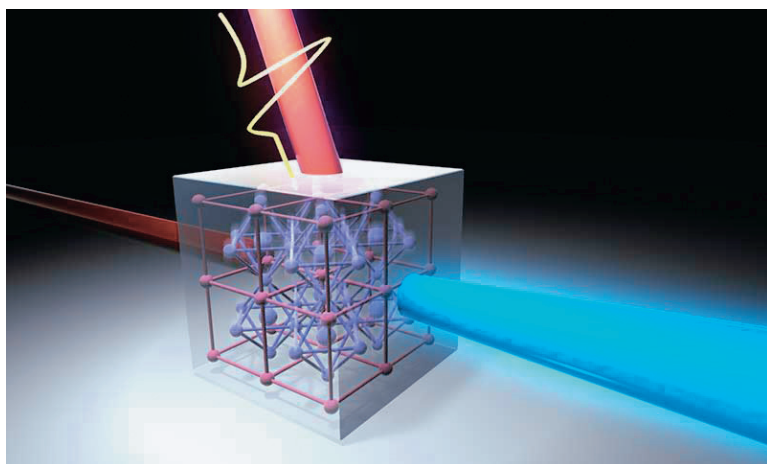


図1 第二次高調波光が別の光の照射で増強される模式図。左側から強誘電体結晶に赤い光を入射すると、非線形光学効果により青色の第二次高調波光が発生するが、赤外パルスの（上部からの）照射によりその強度が増強されていく。



「エネルギー・技術と環境・社会の接点となる融合研究を目指して」

環境・社会理工学院 融合理工学系
准教授 時松 宏治



融合理工学系の教員は皆、1つの学問分野に留まらず、学際的アプローチで問題解決型の研究を推進しています。

当研究室では持続可能な発展への貢献を目指し、環境・エネルギー・資源の理工学と経済学を基礎に、技術・システム・ライフサイクルアセスメント・資源環境経済学など幅広く扱います（図1）。当研究室では、学生が主役です。以下に研究室学生の研究概要を紹介します。



図1 当研究室での研究領域

1. エネルギーの技術開発の評価

東南アジア諸国の学生の研究テーマは、この分野が多いです。この諸国ではアブラヤシやココナツなどの産品が豊かである一方、発生するヤシ殻などの廃棄物が問題となっています。この廃棄物を石炭に混ぜて燃やす技術により、電気が足りない地域で電力を供給する技術開発の経済性や環境性の評価などを行っています。

2016年北京で開催されたInternational Conference on Applied Energy国際会議で、ベストポスター賞を獲得したインドネシアからの留学生Arif Darmawanの研究を紹介します。

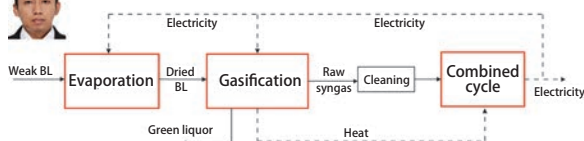


図2 黒液ガス化複合発電システム（出典：Darmawan, A., et al., 2017, "Enhanced process integration of black liquor evaporation, gasification, and combined cycle", *Applied Energy* 204, 1035-1042）

彼のAziz先生（本学AESセンター）との共同研究は、製材過程で発生する液状カス（黒液）をガス化複合発電システム（図2）において、通常より1/20にエネルギー消費を抑制、システム全体のエネルギー効率も2倍以上の34.5%に向上することを明らかにしました。彼はこの研究をさらに発展させ修士・博士1年の3年間で、インパクトファクター7.5のApplied Energy誌に4本掲載しています。

2. エネルギーシステム・環境政策の評価

中東・北アフリカの学生の研究テーマは、この分野が多いです。石油・ガスの産出国は依存度を下げ、再生可能エネルギー資源にシフトを急いでいます。この地域では太陽光・太陽熱が豊かであるため、それをどのように導入・普及を進めてゆくに高い関心があり、固定価格買取制度などの効果を評価しようとしています。

3. 社会の発展を「測る」

上に述べたようなエネルギー技術の開発・導入・普及の努力が、環境・社会や人類の発展に役立つのか？を知ろうとするテーマです。地域資源を有効利用しながら地域経済に資金が循環するか、人と人とのつながりと幸福度の関係の国際比較、エネルギー安全保障などのテーマにも学生は取り組んでいます。

2017年シンガポールで開催された第40回International Association for Energy Economics世界大会にて4人の学生論文賞のうち唯一欧米以外から選ばれた、イランの留学生Nadimi Rezaの研究を紹介します。

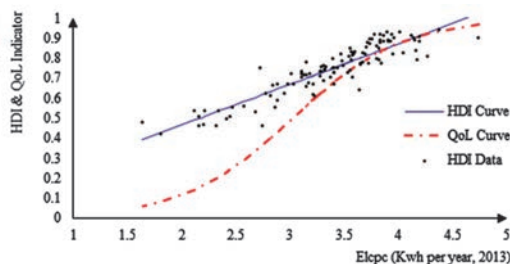


図3 一人あたり電力消費量（横軸）と、人間開発指数（HDI）、生活の質（QoL）の関係（出典：Nadimi, R., and Tokimatsu, K., 2018, "Modeling of quality of life in terms of energy and electricity consumption", *Applied Energy* 212, 1282-1294）

彼の研究はエネルギーとQoLの関係です。人類の発展を図る1つの指標として人間開発指数（HDI）が長らく使われてきましたが、エネルギー消費から見た経済発展段階は、先進国と途上国にしか分類できませんでした。彼は6変数の非線形関数への拡張に成功し、先進国、発展中諸国、発展前段階諸国の3分類としました（図3）。この研究を発展させ、3分類の経済発展段階と、CO₂排出量、貧困削減、健康改善との関係を明らかにしています。彼は入学1年半後に、既にApplied EnergyとEnergyというトップジャーナルに2本掲載、さらにもう1本Applied Energy誌に投稿しており、非常に研究能力が高い学生です。



時松研究室 <http://www.kt.depe.titech.ac.jp/index.html>