

低環境負荷エネルギーシステム実現に向けて

Toward the development of energy system with low environmental load

教授 川田 達也
Professor
Tatsuya Kawada准教授
八代 圭司
Associate Professor
Keiji Yashiro

Since April 2013, our laboratory has been renamed to "Distributed Energy System," where our target is mainly to develop environmentally friendly energy-conversion systems. Special interest is put on high temperature electrochemical devices such as solid oxide fuel cells (SOFCs) or solid oxide water electrolysis which are the useful techniques for high efficiency energy conversion and energy storage between chemical- and electric energy. Researches on mechanical reliability of SOFC have been performed through collaboration with other research groups inside and outside the university as a part of national project conducted by NEDO. Research project of JST, CREST, PRESTO has also been conducted since FY2011 on engineering of high temperature electrodes based on in-situ observation. We are also exploring the research into finding new materials or new phenomena, for future use in energy related techniques.

研究分野の概要

当該分野は、本年度より名称を分散エネルギーシステム学分野と改め、東日本大震災以降、再考されている我が国のエネルギーシステム再構築に必要なエネルギー・環境技術の基盤構築を目指している。

研究の柱の一つとして、環境・エネルギー問題の解決には、化石燃料の高効率利用と再生可能エネルギーの安定供給のための新しい技術の普及が不可欠と考え、固体酸化物形燃料電池(SOFC)や高温水蒸気電解などの電気化学的エネルギー変換の基盤研究を行っている。特に、システムに用いられる材料の使用環境における物理化学的、機械的挙動について、熱力学、固体化学、電気化学を基礎とする解析によって明らかにすることで、材料の最適化の指針を与え、技術開発を支えることを目指している。これらの研究は、学内の各部署の他、国内外の研究機関やメーカーと連携して進めており、技術の実用化のために、今、必要な基礎研究と、今後のイノベーションを可能にする新しい種の探索とを、同時に視野に入れながら幅広く研究を行っている。また、これらの研究開発を通して、材料の機械特性、および電気化学特性の一体的理解のための、Electro-Chemo-Mechanics という新たな学問分野として確立することを目指している。

研究室は教授1名、准教授1名、研究員1名、技術補佐員2名の教職員6名、博士学生4名、修士学生9名、学部学生8名、研究生1名の学生22名の計28名で構成されており、研究室運営は、工学研究科機械システムデザイン専攻の橋本真一准教授と連携して行っている。韓国、中国、インドネシア、インドからは留学生5名を受け入れており、国際色豊かな環境の下で、研究教育を行っている。また、研究室の博士課程学生が主催した学生シンポジウムなどによる国際交流、所属学生の環境リーダープログラム参加による高度人材育成にも力を入れている。

2013年度の研究成果

1. 固体酸化物形燃料電池の耐久性迅速評価方法に関する基礎研究

温室効果ガス排出量削減にあたっては、太陽光、風力などの自然エネルギーの有効利用は欠かせないが、時間、季節による変動が大きいため、ベースロード電源を担うことは難しい。自然エネルギーと最適に組み合わせ、低環境負荷で、安定なエネルギー供給を行うためには、まだ暫くは化石燃料を高効率に利用してエネルギー需要に添えていく必要があり、需要端での熱電併給、いわゆるコジェネレーションが新しいエネルギー供給のあり方と考えられている。固体酸化物形燃料電池(SOFC)は、高品位な熱源で、かつ発電効率が高いコジェネレーションシステムとして期待を集めており、2011年には家庭用のSOFCコジェネレーションシステムが国内で市販化されているが、総合効率が約90%(LHV)と、一次エネルギーの有効利用技術として高いポテンシャルを持っている。

昨年度終了した委託事業「固体酸化物形燃料電池の信頼性・耐久性向上のための基盤研究」では、SOFCの市販化開始に向けた耐久性、信頼性向上を目指してきたが、本年度よりこれを発展的に継承した形で、「固体酸化物形燃料電池の耐久性迅速評価方法に関する基礎研究」として、SOFCの本格的普及に必要な低コストと9万時間の高耐久を見通すことのできる評価手法確立を目指し、上記研究プロジェクトを受託した。学内では、工学研究科、多元物質科学研究所、エネルギー安全科学国際センター、災害科学国際研究所と共同で研究を進め、また、この事業の枠組みの中で、基盤コンソーシアムを形成し、東京大学、京都大学、九州大学、産業技術総合研究所、電力中央研究所、および、SOFC開発各社とも密接に連携して事業を推進している。

2. 実環境計測に基づく高温電極の設計

SOFCの本格的実用化に材料開発の観点から鍵となるのは電極界面の最適化である。しかし、高温雰囲気中

ける複雑な界面現象の素過程を把握することはこれまで困難であった。本研究では、界面領域をナノ、マイクロ、マクロのマルチスケールで捉え、それぞれの挙動を実環境もしくはそれに近い環境で測定する計測法を開発・整備・統合し、界面領域設計のエンジニアリングの実現を目指している。2011年度からJSTの戦略的創造研究(CREST)「エネルギー高効率利用のための相界面科学」領域に参加し、研究課題「実環境計測に基づく高温電極の界面領域エンジニアリング」を研究代表者として受託している。この研究では、産業技術総合研究所、京大、東大の3拠点の4つのグループに主たる共同研究者として参画して頂き、学内の工学研究科、多元物質科学研究所とも連携して、各研究グループが得意とする計測手法をもとに、実動作環境下での高温電極の評価に特化した手法として発展・統合させる。当研究室では、特に、材料中の酸素の動きを明らかにするために、同位体交換によってラベリングした酸素を二次イオン質量分析計によって分析し、酸素拡散経路をイメージングする手法に取り組んでいる。この手法によって、新規空気極材料として期待されるLa(Fe, Ni)O₃の表面反応障壁の存在を明らかにしてきたが、さらにこの表面反応障壁を他の混合導電体とコンポジット化することで、低減できる可能性を見出した。今後、反応促進機構等について評価・検討していく。

3. プロトン導電性セラミックスを用いる電気化学デバイスの開発と応用

水素エネルギーシステムを実現するためには、水素の安価で効率的な製造・精製手法ならびに使用方法の確立が不可欠である。このために有効な手法として、プロトン導電性セラミックスを利用した燃料電池や、高温水蒸気電解、水素分離精製膜などが注目されており、韓国科学技術研究院(KIST)からの受託研究として、プロトン導電セラミックス燃料電池(Proton conducting Ceramic Fuel Cell: PCFC)に関する研究を受託し、PCFCに使われる電極材料の開発と評価手法の開発に関する研究を行っている。

本年度はPCFCの空気極として良好な特性を示した(La, Sr)CoO₃系材料について同位体交換を利用した反応機構の検討を行った。高い性能の要因として、電極材料中のプロトン濃度が向上していることを予測したが、プロトン溶解量は少ないが、拡散が速いと解釈できる興味深い測定結果が得られており、今後、さらに空気極の反応モデル構築に注力していく予定である。

4. 高温酸化物の新規応用の探索

燃料電池などに用いられる酸化物の多くは、含まれる酸

素量が雰囲気によって変化する性質をもつが、これまで、一部の材料において、酸素量が機械的な応力によっても影響を受けることを見いだした。現在、科学研究費補助金(挑戦的萌芽研究)により、この変化を定量的に説明する理論構築および関連する実験を行っている。今後、さらに機械的なエネルギーの検出やエネルギー変換への応用も視野に、研究を展開することを考えている。

5. 高効率エネルギー変換に向けた革新的イオン機能界面設計

本研究では、JST さきがけの研究プロジェクトとして、燃料電池等の材料を例に、イオン導電性酸化物の新たな材料設計法となりうるヘテロ界面効果の発現起源を明らかにし、ナノヘテロ界面デザインによる革新的環境・エネルギー材料の創製を目指している。本年はCo系ペロブスカイト系酸化物の空気極反応に極表面に存在するCoの価数変化が関連する可能性を見出したため、更なる解析のため様々な極表面分析を検討している。

6. 学会活動等

主な学会活動として、SSI-19(6月、日本、京都)、およびMS&T13(10月、カナダ、モントリオール)において川田が招待講演を行った。また、International Symposium for the 70th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan(9月、日本、仙台)、Thermec2013(12月、米国、ラスベガス)で八代が、それぞれ招待講演を行った。また、10月には川田がCo-chairとして、第13回固体酸化物形燃料電池国際会議を沖縄で主催し、参加者約500名と盛会に開催した。その他、SOFCの普及のために、関連学協会に協力して、標準の整備や研究の推進に関わる活動を行った。

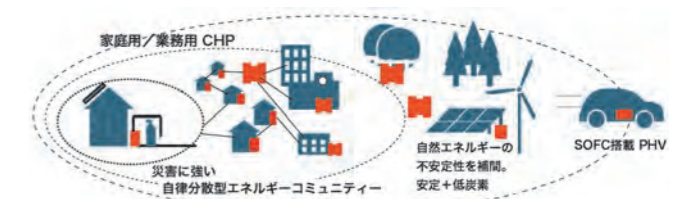


Fig. 1 燃料電池を用いた分散型エネルギーシステム



Fig. 2 放射光を利用した in-situ 軟 X 線吸収分光測定装置 (SPring-8, BL27SU)