

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



Fig.2 Group photograph of Kawada lab member.

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、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とされ、エネルギー高効率利用に不可欠なエネルギー変換貯蔵技術、および地球環境保全に必要な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、将来のイノベーションを可能にする新しいシーズ探索とを、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5名、博士学生5名、修士学生8名、学部学生10名、研究生1名、短期留学生1名の学生25名の計30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、ブラジルからは留学生6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。

2014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応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。

当分野では委託事業「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」において、既に市販化が開始された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、特に燃料電池セル構造体の耐久性・信頼性向上にむけた研究を推進している。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、高温雰囲気中にお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、これまで行ってきた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する手法に加え、本年度は特に、材料表面での酸素還元反応を解析するためのパルス同位体交換法(PIE)の実験装置を作製し、特に実用電極の多孔体構造を模擬して、粉体試料を用いて同位体ガスにより、表面交換係数を決定できるシステムを構築した。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や、酸素還元活性の高い(La, Sr)CoO₃など、またこれらと他の機能性酸化物とのコンポジット化した粉体の評価を行い、表面形態、コンポジット化により表面反応特性が大きく変わることを見出した。今後、これらの知見を利用して高性能な酸素電極の開発に繋げていく。

3. プロトン導電性セラミックスを用いる電気化学で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ていた(La, Sr)CoO₃系材料について、反応機構を検討するためにPLDにて作製した薄膜電極をMEMS技術にて微細構造を規定したパターン電極に加工することで、気相/電極表面の二相界面、および、気相/電極/電解質の三相界面のどちらが反応場として機能しているかの検討を行った。予想に反して、PCFCの空気極反応では三相界面の寄与が大きいという結果を得ており、この結果を利用して今後電極構造の最適設計にどのように繋げるかを検討して

いく予定である。

4. 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。

昨年度発見した一部の酸化物材料において、酸素量が機械的な応力によっても影響を受けることを利用して、電極反応をどれだけ活性化できる可能性があるか検証するため、応力による酸素ポテンシャル変化を定量的に説明する理論的モデルの構築を行った。

5. 学会活動等

主な学会活動として、MRS(4月、米国、サンフランシスコ)、およびCIMTEC New Materials Forum(6月、イタリア、モンテカッシーニ)において川田が招待講演、39TH INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXPOSITION ON ADVANCED CERAMICS AND COMPOSITES(1月、米国、デイトナビーチ)では八代が、それぞれ招待講演を行った。

また、8月には川田が世話人として、第65回固体イオニクス研究会を仙台で開催し、参加者約60名と盛会に開催した。本研究会は、「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」というテーマで開催し、特に、商用化の初期段階にある固体酸化物形燃料電池の高性能化、耐久性向上のため、実際の使用環境下での新規の評価手法や、新たなデータ解析手法の開発で成果を上げられている国内外の4名の先生をお招きし、最新の成果をご紹介いただいた。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 65th Meeting of Solid State Ionics Society of Japan (Aug. 2014@Sendai)