

# 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 Kawata



准教授 八代 圭司  
Associate Professor  
Keiji Yashiro



准教授 橋本 真一  
Associate Professor  
Shinichi Hashimoto



助教 村松 真由  
Assistant Professor  
Mayu Muramatsu

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 electrolyzer cells (SOECs) 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 has also been conducted since FY2011 on engineering of high performance high-temperature electrodes based on in-operando 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

2015年11-12月にパリで開催された気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)では、2020年以降の新しい温暖化対策の枠組みが議論され、我が国も2030年までに26%(2013年比)の大きな温室効果ガスの排出削減目標が設定された。加えて、東日本大震災以降、我が国のエネルギーシステムをどう再構築するか議論が進められており、経済的負担や環境負荷が小さい、安全で安定供給可能なエネルギー供給のあり方の検討が続いている。当研究分野ではこれらの目標達成に必要なとされる、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、学内の各部局の他、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2名、助教1名、研究員1名、技術補佐員2名の教職員7名、博士学生4名、修士学生12名、学部学生10名、研究生2名、短期留学生1名の学生29名の計36名(2015年度通算)で構成されている。韓国、中国、インドネシア、インド、ブラジル、タイ、フランスからは留学生7名を受け入れており、様々な言語での会話が飛び交う国際色豊かな環境の下で、研究教育を行っている。また、研究室の大学院学生が主催した学生シンポジウムなどによるソウル大学との国際交流、所属学生の環境リーダープログラムへの積極的な参加を促すなど高度人材育成にも力を入れている。

## 2015年度の研究成果

### 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

前項でも触れた温室効果ガス排出削減にあたっては、原子力利用に関する国民的なコンセンサスが得られていない現在、太陽光、風力などの自然エネルギーの有効利用は欠かさない。しかし、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、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る。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年から総合効率が約90%(LHV)の家庭用の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、現在産官学が連携して、90000時間の運転の耐久性の確立を目指し研究開発が進められている。

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、SOFCコジェネレーションシステムの本格的普及に必要な低コストと0.125%/1000h以下の低い劣化率を達成可能な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、セル構成材料、単セルでの変形挙動評価や強度試験、温度・酸素ポテンシャルによる物性変化を考慮したSOFCシミュレーションコードの開発などを進めている。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、東京ガス(株)、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。

## 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、ミクロ、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下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。高効率な発電・コジェネレーション装置として期待されるSOFCの本格的普及を促すことで、量的にインパクトのあるエネルギー削減効果の創出を旨とする。このために、性能と信頼性・耐久性を決める最も重要な要素である電極界面に着目し、特に、動作可能温度域拡大のための低温作動カソードの開発、燃料多様化のためのアノードの担体効果の解明の2項目を具体的な開発課題として掲げ、新しい実環境計測手法の開発・活用を通して、高性能・高機能な電極の設計法を確立することを目的としている。

本年度は、昨年度までに開発した計測手法を統合して、電極設計の方向性を見出すことを目指した。カソードに関して、従来、酸素は電極粒子の表面で解離し、粒子内部をO<sup>2-</sup>イオンとして拡散して電解質に到達すると考えられてきた。ところが、位置分解X線吸収分光により、実電極およびモデル電極内部の酸素ポテンシャルの分布を「その場」測定した結果、電極内を通過する反応経路に加えて、電極と気相と電解質の三相界面を通過して電解室に達する反応経路が重要な役割を果たしている可能性を見出した。これは、同位体でラベリングした酸素の軌跡を二次イオン質量分析計で調べる手法でも同様であった。またアノードに関してはCeO<sub>2</sub>やTiO<sub>2</sub>が共存するアノードで、これらの酸化物が、触媒であるNi粒子の表面を修飾する、いわゆるSMS(Strong Metal-Support Interaction)効果がナノメートル以上の領域においても起こり、炭素析出耐性を改善させることを見いだした。

## 学会活動等

主な学会活動として、20th International Conference on Solid State Ionics (SSI-20) (6月、米国、コロラド)、および第41回固体イオニクス討論会(11月、札幌)において川田がそれぞれ招待講演および特別講演、40TH INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXPOSITION ON ADVANCED CERAMICS AND COMPOSITES (1月、米国、デイトナビーチ)では橋本が招待講演を行った。また隔年で開催されるSOFCの国際会議14th

International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-XIV)(7月、英国、グラスゴー)においては修士学生も含め多数の発表を行った。

また、今年度からイオニクス現象およびデバイスについて自由に議論、意見交換、情報収集する講演会、研究会を開催する東北イオニクス研究会を多元研、工学研究科等の学内の有志研究者と共同で主宰し、国内外の先端的研究を行っている先生をお招きし、計5回の研究会を開催して、最新の成果をご紹介いただいた。これらの活動を通じて新たな人的ネットワークや、学際領域創成にむけた萌芽的な研究のプラットフォームとすべく活動を開始している。



Fig.1 14th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-XIV) (Jul. 2014@Glasgow)



Fig.2 Group photograph of Kawada lab member.