

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



Our group focuses on environmentally friendly energy-conversion systems. Special interest is put on high temperature electrochemical devices such as Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) or solid oxide water electrolysis which are useful technique for high efficiency energy conversion between chemical energy and electricity. 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 started since last year 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

当研究分野では、環境・エネルギー問題の解決に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。

研究室の運営は、工学研究科機械システムデザイン工学専攻の橋本真一准教授と連携して行っており、留学生の受け入れ(計5名、G30プログラムやJYPE等)や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。

2012年度の研究成果

1. 固体酸化物形燃料電池(SOFC)の信頼性・耐久性向上のための基盤研究

太陽光や風力などの再生可能エネルギーは変動が大きく、安定したエネルギー供給のためには、化石燃料の補助的な利用が不可欠である。このため、化学エネルギーを効率よく電気と熱に変換する「コジェネレーション」の技術が注目されている。この中で、セラミックスを電解質として用い、高温(600°C~1000°C)で動作する「固体酸化物形燃料電池」(SOFC: Solid Oxide Fuel Cell)は、小規模システムでも最新の大規模火力発電(コンバインドサイクル)に匹敵する効率を達成できる技術として期待されてお

り、我が国でもすでに家庭用SOFCコジェネレーションシステムが開発され、政府の補助金のもと導入が進んでいる。

SOFCの本格的な普及のためには、さらなる高効率化、低コスト化に加え、信頼性・耐久性を向上させることが重要である。当研究室では、NEDO委託事業「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発事業/基礎的・共通の課題のための研究開発/機械的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立」を受託し、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てきた。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、産業技術総合研究所、京都大学、東京大学、九州大学、電力中央研究所、および、SOFC開発各社とも密接に連携している。

本年度は、委託事業の最終年度にあたり、これまでに得られた材料の基礎物性をもとに、起動・停止を含むSOFCの様々な動作環境下での信頼性を評価する手法を構築し、各社SOFCの信頼性の向上に向けた提言を行っている。

2. 実環境計測に基づく高温電極の設計

SOFCに代表される高温電気化学デバイスの高性能化、高信頼性化を達成するためには、デバイスの作動条件下における各種構成材料(電解質、電極など)の物理・化学状態を明らかにし、電極反応やイオン伝導のメカニズムを明らかにすることが必要不可欠である。本研究室では、昨年度から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つのグループに主たる共同研究者として参加して頂き、学内の工学研究科、多元物質科学研究所とも連携して、それぞれの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させるとともに、これらを統合して高温電極の最適設計に向けた課題解決に資することを目

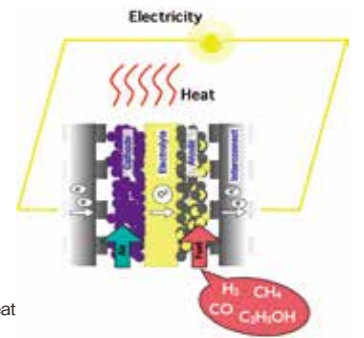


Figure 1. A schematic illustration of cogeneration of heat and power (CHP) by a solid oxide fuel cell (SOFC).

指している。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、酸素拡散パス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、新規電極として期待されるLa(Fe, Ni)O₃の表面反応障壁の存在を明らかにした。また、電極材料として用いられる(La, Sr)(Co, Fe)O₃の微細構造設計に不可欠な酸素拡散係数について、従来行われていた測定法に問題があることを指摘し、信頼性の高いデータを得る手法を提案した。

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

環境調和性に優れた水素エネルギーシステムは、再生可能エネルギーの有効な利用方法としてその実現が期待されている。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る材料である。

当研究室では、韓国科学技術研究員(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。これまでに、SrZrO₃系酸化物を電解質とするPCFCの空気極として、種々の酸化物電極のスクリーニングを行い、その中で最も良好な特性

を示した(La, Sr)CoO₃系材料について詳細な反応機構の検討を開始した。多くのプロトン導電体は、プロトンの他に電子(ホール)と酸化物イオンの伝導性を併せ持つため、少数キャリアとしてのこれらの輸送も、見かけの電極反応抵抗に大きな寄与をすることを明らかにした。

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、当研究室では、一部の材料において、これ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。本年度は、科学研究費補助金(挑戦的萌芽研究)による研究として、この変化を定量的に説明するための実験を行った。現在は、見いだされた現象に対する有効な解釈について検討を行っているところであり、今後、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. 学会活動等

米国電気化学会第221回大会(5月、米国、シアトル)およびMS&T2012(10月、米国、ピッツバーグ)において川田が待講演を行った。また、米国セラミック学会シンポジウム(1月、米国、オーランド)で橋本が、それぞれ招待講演を行った。また、川田は、ECI会議“Nonstoichiometric Compounds”(9月、イタリア、シシリ)の会議開催、運営に携わった。その他、SOFCの普及のために、日本ファインセラミックス協会、日本電機工業会等に協力して、標準の整備や研究の推進に関わる活動を行った。



Figure 2. Equipment for measuring elastic modulus of ceramic materials by a resonance method at elevated temperatures under controlled atmospheres.

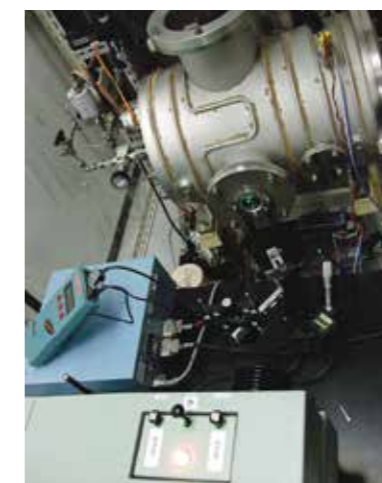


Figure 3. Pulsed laser deposition of oxide films as a model system for studying electrochemical kinetics on high temperature electrodes.

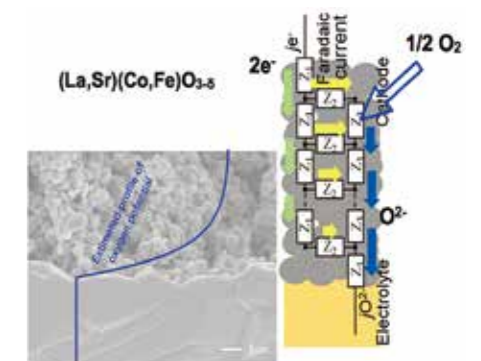


Figure 4. Microstructure of a porous electrode and equivalent circuit modeling.