

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
雨澤 浩史
Associate Professor
Koji Amezawa

Our group is working on basic researches regarding environmentally friendly energy-conversion systems such as Solid Oxide Fuel Cells (SOFC), hydrogen separation systems, etc. On the basis of thermodynamics, solid-state chemistry and electrochemistry, we are contributing to clarifying physical and chemical properties of the materials used in the abovementioned systems and to propose optimal designs of the materials and the systems. We are conducting our researches through active collaborations with other research groups inside and outside the university.

研究分野の概要

当研究分野では、環境負荷の小さい新しいエネルギーシステムを構築するために必要な技術として、固体酸化物形燃料電池 (SOFC)、プロトン導電体や水素透過膜を利用した水素製造等を取り上げ、これらの実用化に向けた基礎研究を行っている。昨年度から、NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構) 委託研究により、学内の複数の研究グループとの共同研究を主導している。これを通じて、システムに使用される材料の作動条件での物理的及び化学的挙動について、熱力学、固体科学及び電気化学を基礎とする解析により明らかにすることで、最適な材料及びデバイス設計に資することを目指している。SOFC開発企業各社の他、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、高輝度光科学研究センター、米国・ワシントン大学、ノルウェー・オスロ大学等、国内外の研究グループと積極的な共同研究及び交流を通じて研究を進めている。また、IAESTEプログラムや本学JYPEにより留学生を受け入れ、活発な国際交流を図っている。

2009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礎研究

SOFCは燃料電池の一種であり、電解質として酸素イオン

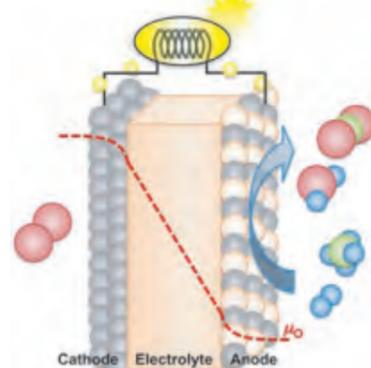


Fig.1 A schematic illustration of a solid oxide fuel cell (SOFC)

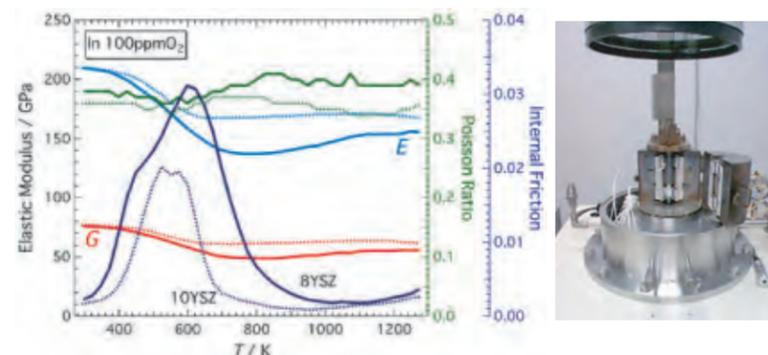


Fig.2 Evaluation of mechanical properties of typical electrolyte material for solid oxide fuel cells (SOFCs) at high temperatures under desired gas

(O^{2-})を伝導するセラミクスを使用している。作動温度が高いため、炭化水素系のガスを燃料として使用できかつ高効率である。このため、各種定置用コジェネレーションシステムとしての応用が期待されている。SOFCはこれまでの実証研究結果から高いシステム発電効率が実証され、潜在能力の高いシステムであることが確認された。実用化に向けて、信頼性及び耐久性向上が最重要課題である。

NEDO委託研究「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発事業/耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」により、材料力学や計算科学を専門とするグループと連携し、劣化現象解明のための評価手法の整備と基礎データの蓄積を行った。さらに、SOFC開発各社と密に連携し、情報交換及び共同研究を実施し、実機で生じる劣化現象とそれを誘発する負荷因子との因果関係の解明に取り組んだ。

空気極材料を酸素化学ポテンシャル勾配へさらすと、それとは反対向きにカチオンの化学ポテンシャル勾配が形成される。これは、カチオン輸送の駆動力となり、これに伴って微細組織及び組成変化を引き起こし、電極特性劣化の要因となりうる。この影響を検討するため、SOFC空気極材料を長時間、高温・酸素ポテンシャル勾配へさらすことで、その組織及び組成変化へ及ぼす影響を調べた。その結果、熱処理条件に応じた微細組織及び組成変化が確認された。その他、Ni系サーメットアノードの劣化モードの特定を、交流法を用いた電気化学測定により行った。

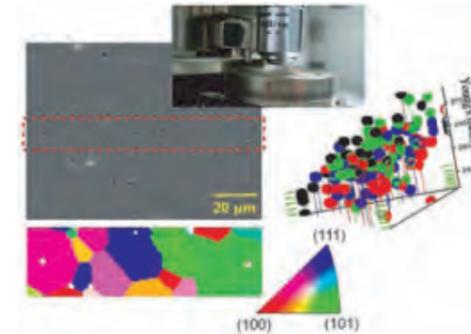


Fig.3 The Young's modulus of YSZ-based Oxides as a function of surface orientation, evaluated by the nano-indentation test and EBSD technique

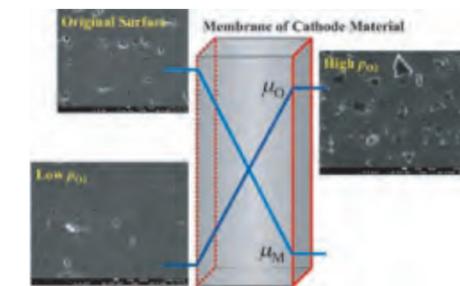


Fig.4 Change in microstructures and compositions under oxygen chemical potential gradient at the surfaces of SOFC cathode material

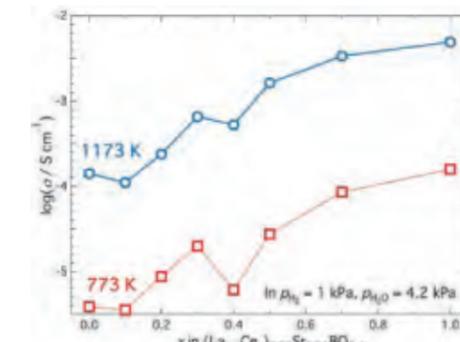


Fig.5 The electrical conductivity of mixed proton and electron hole conducting borates

2. SOFCの高性能電極の開発

SOFCの低コスト化や低温作動化はシステム開発の幅を広げることにつながるため、その実現が急務である。これらを達成するためには、単位材料当たりの出力密度を向上させることが最も有効であり、そのひとつに電極材料の高性能化が挙げられる。燃料極では通常、電解質材料と触媒とのコンポジット電極が用いられるが、炭素質ガスを燃料として選択した場合、触媒に炭素が析出し、性能が低下する。当研究室では、電極材料の電気化学応答から、低コストを実現できかつ炭素析出耐性の

優れるサーメット電極のコンセプトを提案した。また、その実証研究を行っている (新日本石油との共同研究)。また、当研究室より提案した、ヘテロ界面を有するLa-Sr-Co-O系空気極の酸素交換反応促進現象について、酸素同位体交換/SIMSによる分析や後述のX線吸収分光測定に基づき、その解明に取り組んでいる。また、この材料の電極への適用に取り組んでいる。

3. 放射光を用いた電極における動的挙動のその場観察

SOFCを含む高温電気化学デバイスにおける反応機構を解明することは、システムやセル設計の指針を与えることができるため、非常に重要である。しかしながら、このようなデバイスは高温かつ雰囲気制御下で作動するため、既存の技術のみで動的挙動をその場観察することは非常に困難である。当研究室ではこれまで、京都大学及び高輝度光科学研究センターとの共同研究により、放射光を用いたその場計測手法開発に取り組み、その場深さ分解XAFS測定及びその場時間分解XAFS測定を開発した。本年度は、これらの技術を用いて、酸化物薄膜電極における局所構造解析及び電子構造解析を行い、電極表面での酸素表面交換反応を検討した。(本学学際科学国際高等研究センタープログラム研究「高温電気化学デバイスにおける反応場のその場計測技術の確立と高機能界面設計」として実施)。

4. 水素透過能を有するプロトン導電性セラミクスの開発

環境調和型社会の実現に向けて、水素エネルギーサイクルが注目されている。

水素社会を実現するためには、改質ガスやバイオマスガスからの水素製造及び精製を安価に効率良く行える技術を確立する必要がある。水素分離膜型の製造システムではパラジウム系合金膜が主流であるが、材料コストが高く、高温での安定性に課題がある。当研究室では、新たな水素分離膜として、材料コストが安価でありかつ高温での安定性に優れたプロトン導電性セラミクスに着目し、開発を行っている。本年度は、水素透過膜としての応用が期待される新規プロトン-電子混合導電性ホウ酸塩を開発した。また、この材料の部分導電率を制御し、水素透過能が最も大きくなるよう組成を最適化した(科研費により実施)。

5. 学会活動等

9月に岩手で行われた日本機械学会2009年度年会、10月に米国ピッツバーグで行われたMaterials Science & Technology 2009 Conference & Exhibitionではそれぞれ、川田が招待講演を行った。その他、SOFC普及のために、日本電機工業会に協力して標準の整備に取り組んでいる。