

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 focuses on environmentally friendly energy-conversion systems. Special interest is put on Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) that has a potential to achieve the highest ever efficiency in converting chemical energy of fossil fuels into electricity. Researches on mechanical reliability of SOFC have been performed through collaboration with other research groups inside and outside the university under the financial support by NEDO. We are also exploring the research into finding new materials for energy conversion devices. On the basis of thermodynamics, solid-state chemistry and electrochemistry, we are contributing to clarifying physical and chemical properties of the energy-related materials. Study on high temperature electrode based on in-situ measurement techniques has also started from this year under the support of CREST, JST.

研究分野の概要

当研究分野では、環境問題、エネルギー問題の解決に資するテクノロジーとして、固体酸化燃料電池(SOFC)、プロトン導電体を利用した水素製造・利用技術などに着目し、これらエネルギー有効利用技術の実用化のため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、最適な材料・デバイス設計のための指針を確立することを目指している。これらの研究は、本学の工学研究科、多元物質科学研究所、エネルギー安全科学国際センターや、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、ファインセラミックスセンター、韓国科学技術研究院(KIST)、ノルウェー科学技術大学など、国内外の研究グループとの積極かつ継続的な共同研究・交流を通じ、促進を図っている。また、SOFC 開発企業を始めとする国内メーカー各社との連携を通じ、得られた研究成果の社会還元にも努めている。さらに、留学生の受け入れ(計5名、G30プログラムや本学 JYPE 等)や所属学生の海外短期研究留学による国際交流、所属学生の環境リーダープログラム参加(計3名)による高度人材育成にも力を入れている。

2011年度の研究成果

1. 固体酸化燃料電池(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」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2011年10月より0.7 kW 家庭用 SOFC コジェネレーションシステムの市販が開始された。

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、今年度も引き続き NEDO 委託事業「固体酸化燃料電池システム要素技術開発事業/基礎的・共通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、学内外の研究グループや SOFC 開発各社と密に連携して SOFC の機械的・信頼性確保のための研究に取り組んでいる。

SOFC に使われる酸化材料には、温度や雰囲気ガスに応じて酸素含有量(酸素不定比量)や結晶構造が変化することが多い。今年度は、これらの変化が材料の機械的特性に及ぼす影響について解明するとともに、得られた物性値を、SOFC 動作時の応力分布シミュレーションに活用した。さらに、起動停止や出力変動時など、非定常状態の SOFC における温度・応力分布評価を可能とすべく、SOFC 各種材料の熱的特性値の評価についての研究を進めている。

2. SOFC の高性能電極の開発

当研究室では、1. で述べた研究以外にも、現在開発されている SOFC の抱える諸問題の解決に資する研究として、新規な高性能電極の開発を行っている。今年度は、Cr 被毒耐性空気極として期待される La(Fe,Ni)O₃ の電気化学特性評価、炭化水素燃料の直接導入を可能とする導電性酸化物を母体とした積層構造燃料極の開発などを行った。

3. 新規その場計測技術の開発とその応用

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。当研究室では、放射光を用いた X 線吸収分光法に着目し、京都大学、高輝度光科学研究センターと共同研究のもと、高温、制御雰囲気下での材料評価が可能な分析手法を確立すると共に、これらの新規手法を用いた SOFC 電極における反応機構評価を行ってきた。本年度の成果としては、我々の開発した μm オーダーの位置分解能、かつ高温・制御雰囲気・通電下での評価が可能な高温電気化学その場マイクロ XAFS 法を適用することにより、SOFC 多孔質電極における酸素ポテンシャル分布の実験的評価に世界で初めて成功した。また昨年度に引き続き、深さ方向に nm オーダーの分解能での評価が可能なその場深さ分解 XAFS 法を用い、エピタキシャル酸化物薄膜の電子・局所構造について調べ、異種材料界面における構造変調が酸素不定比性、ひいては電子・イオン導電特性に影響を及ぼしていることを明らかにした。

さらに本年度からは、学内外の研究グループと共同で 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、高温電極のその場計測に基づく新しいエンジニアリング手法確立のための研究を開始した。

4. プロトン導電性セラミックス材料の開発と応用

環境調和性に優れた水素エネルギーサイクルは、地球温暖化や化石燃料枯渇といった問題を解決する、新たなエネルギーサイクルとしてその実現が期待されている。水素エネルギー

サイクル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。プロトン導電性セラミックスは、燃料電池や水素センサー用電解質、水素分離精製膜として注目される材料である。

当研究室では、希土類オキソ酸塩を母体としたセラミックスを用い、既存材料に比べ、化学的安定性に優れた新規なプロトン導電体の開発に成功している。本年度は、ファインセラミックスセンターとの共同研究のもと、第一原理計算に基づく計算科学的手法を用い、代表的希土類オキソ酸塩系プロトン導電体である LaP₃O₉、LaPO₄ における欠陥構造ならびにプロトン伝導の発現メカニズムを明らかにした。

また本年度より、プロトン導電性セラミックスの応用として燃料電池を取り上げ、この実現を可能とする高性能空気極材料の探索にも着手した。

5. 学会活動等

MS&T2011(10月、米国・Columbus)において、川田が招待講演を行った。また、国内学会・シンポジウム等において、川田が1件、雨澤が4件の招待・依頼講演を行った。さらに、雨澤は、The 5th KIFEE Symposium(3月、京都)、REMT2011(9月、京都)の国際会議開催、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。

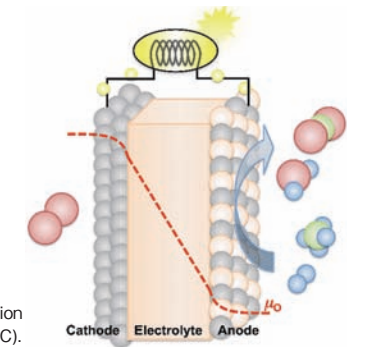


Figure 1. A schematic illustration of a solid oxide fuel cell (SOFC).

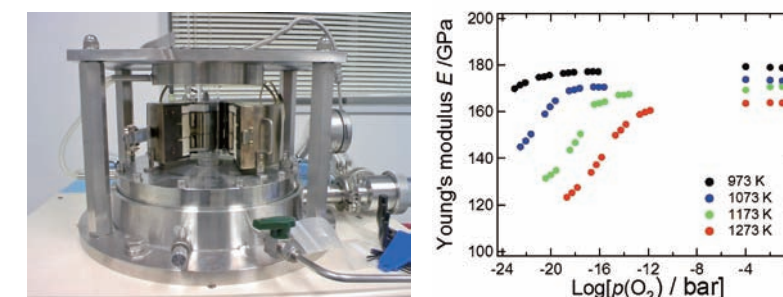


Figure 2. (a) Equipment for the measurement of mechanical properties at elevated temperatures under controlled atmospheres. (Nippon Techno-Plus, EG-HT-II) (b) Elastic modulus of an electrolyte material, for SOFC Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{1.95} as a function of oxygen partial pressure at various temperatures.

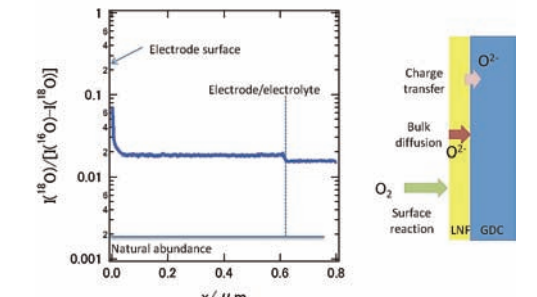


Figure 3. Depth profile of oxygen isotope ratio, ¹⁸O/(¹⁸O+¹⁶O), in the LaNi_{0.4}Fe_{0.6}O_{3.5} (LNF) thin film electrode on the Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{2.8} (GDC) electrolyte after the isotope exchange treatment under p(O₂)=0.1 bar at 1073 K for 5 min.

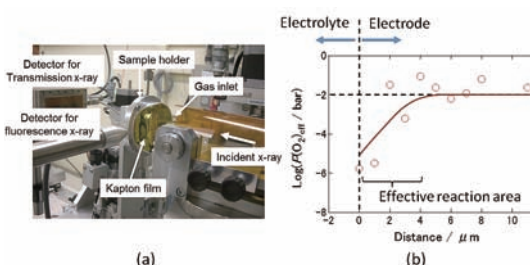


Figure 4. (a) Experimental apparatus for high temperature electrochemical in situ micro XAFS at Spring-8. (b) Oxygen potential distribution in a porous SOFC cathode of La_{0.6}Sr_{0.4}CoO_{3.8} under polarization.

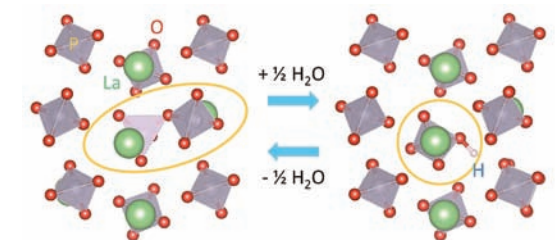


Figure 5. Defect structures in proton conducting LaPO₄, predicted by the first principle calculation. Protons are introduced into this material through the equilibrium between condensed phosphate ions as oxygen deficits and ambient water vapor.