

環境動態論分野 Environment and Energy System Dynamics

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

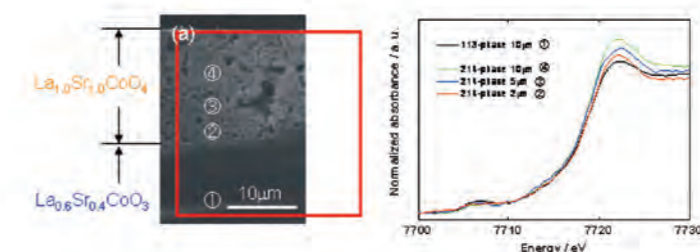


Figure 2. Evaluation of electronic structures in the vicinity of the hetero-interface between lanthanum cobalt oxides by using micro x-ray absorption spectroscopy.

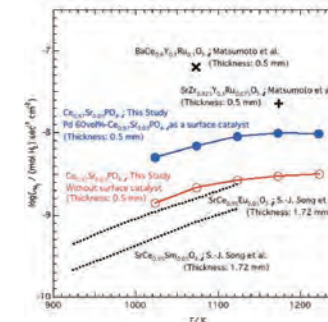


Figure 3. Hydrogen permeation properties across the mixed proton-electron conductor based on CePO4

Our research group is carrying out basic researches relating to environmentally friendly energy-conversion systems, such as Solid Oxide Fuel Cells (SOFC), hydrogen separation systems and so on. In particular, we aim to clarify physical/chemical behaviors of materials used in above-mentioned systems under working conditions and to contribute to optimal design of the systems, on the basis of thermodynamics, solid-state chemistry and electrochemistry. Researches are carried out in active collaborations with other groups inside/outside the university. From this year, a new project for improving durability and reliability of SOFC has been started on consignment from NEDO.

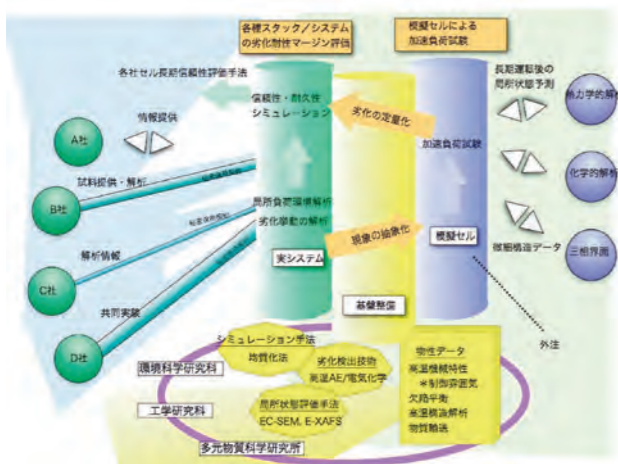


Figure 1. Schematic illustration of the NEDO project on "development of system and elemental technology on solid oxide fuel cells/ basic research for improvement of durability and reliability/ understanding of degradation mechanism by mechanical analysis and establishment of accelerated test method".

研究分野の概要

当研究分野は、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などを取り上げ、これらの実用化に向けた基礎研究を行っている。今年度からは、NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構) の委託を受けて SOFCの耐久性向上のための研究に着手し、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。さらに、これらの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・デバイス設計に資することを目指している。本学の工学研究科、多元物質科学研究所や産業技術総合研究所の他、京都大学、東京工業大学、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・オスロ大学など、国内外の研究グループとの積極的かつ継続的な共同研究・交流を通じ、これらの研究の促進を図っている。

2008年度の研究成果

1. 固体酸化燃料電池 (SOFC) の実用化のための基礎研究

燃料電池は、化石燃料を高効率で利用する発電システムあるいは熱電気併給 (コージェネレーション) システムとして、二酸化炭素排出量抑制のために早期の実用化が期待されている。特に、酸化イオン (O²⁻) を伝導するセラミックスを電解質とする固体酸化燃料電池 (SOFC) は、多様な燃料を高効率で利用できるという特長があり、各種の定置用コージェネレーションシステムとして期待されている。国内では2007年度から家庭用/小規模事業用SOFCの実証研究が開始された他、ガスタービンとの複合発電システムの開発も進んでおり、近い将来の本格的な実用化に向けた研究が活発化している。当研究分野では、NEDO委託事業を始め、各メーカーや研究機関との共同研究を通じ、SOFCの開発を支える基礎技術の研究を行っている。

(a) SOFCの信頼性・耐久性向上: 機械的的特性の評価

SOFCは、上述の実証研究において非常に高いシステム発電効率が達成されるなど、エネルギー変換デバイスとしての高い潜在能力を有することが確認され、今後の実用化に向けては、信頼性・耐久性の向上が最重要課題となると考えられている。SOFCの劣化には様々な要因があるが、当研究室は、機械的損傷を伴う劣化に着目し、その発生機構を物理化学的、電気化学的立場から解明することを目指している。今年度からは、NEDOより「固体酸化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」に係る委託研究を東北大グループの研究代表として受託し、材料力学や計算科学を専門とする研究者と協力してSOFCの長期信頼性の課題に総合的に取り組むプロジェクトを開始した。今年度は、SOFC開発各社との情報交換、共同実験を実施し、実機で生じる機械的劣化現象とそれを誘発する負荷因子との対応関係の解明に取り組むとともに、解析のための手法と基礎データの整備を進めた。その他、機械的劣化と電気化学特性との相関

についての研究を実施し、電極の劣化モードを交流インピーダンス測定により特定し得ることを見いだした。

(b) SOFCの高性能電極の開発

SOFCの実用化のためのもう一つの課題は、コストの低減であるとされている。材料コスト、プロセッシングコストの削減のためには、単位材料あたりの出力密度を向上させることが有効であり、電極の高性能化が不可欠である。当研究室では、後述する「ナノイオニクス」の研究の過程で、La-Co-O系酸化物ヘテロ界面における酸素交換反応促進効果を見だし、これをSOFCの高性能空気極に利用することを試みている。本年度はこの材料の相安定性と電気化学挙動の解析を行った。

2. 新しいプロトン伝導性固体電解質材料の開発

環境調和性に優れた水素エネルギーサイクルの実現に向け、プロトン伝導性固体材料は、燃料電池、電気化学水素精製システム、水素活量センサーの電解質材料への応用が期待されている。プロトン伝導性無機固体材料としては、これまで、酸化物をベースとする材料が知られてきたが、これらの材料は化学的安定性などの面で問題があった。これを踏まえ、当研究室では、化学的安定性に優れたオキソ酸塩をベースとした材料に着目し、同材料の電気伝導、特にプロトン伝導特性について検討している。その結果、本年度は、希土類や13族カチオンのリン酸塩を母体とする新規プロトン伝導性固体電解質材料の開発に成功した。なお本研究の一部は、トヨタ自動車との共同研究として行われた。

3. 水素透過セラミックス膜の開発

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言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・精製手法の確立が不可欠である。水素選択性透過膜は、改質ガスやバイオマスガスからの水素分離精製デバイスへの応用が期待される材料である。プロトンと電子を共に伝導するプロトン-電子混合伝導体は、現在の研究の主流であるPd系合金膜に比べ、安価で安定性に優れた水素透過膜としての可能性を有している。しかしながら、水素を含む強還元性雰囲気において、プロトン-電子混合伝導性を示す材料は皆無であった。当研究室では、希土類オキソ酸塩を母体とし、希土類イオンの価数変化を利用することにより、新規なプロトン-電子混合伝導体の開発に成功した。またこれを用いることにより、水素透過が可能であることを確認した。これらの研究は、科学研究費補助金特別推進研究「希土類オキソ酸塩の複合化による新規プロトン電子混合伝導体の開発」(平成19～20年度)として実施された。

4. ナノイオニクス現象の解明

近年、イオン導電体を含むnmオーダーのヘテロ接触界面において、特異なイオン導電性が数多く報告されている。これら「ナノイオニクス」現象は、高性能なイオン導電体や電極の設計を可能にする新たな概念として注目されている。当研究室では、「ナノイオニクス」現象の発現機構の解明するための手段の開発について、京都大学、高輝度光科学研究センター、産業技術総合研究所と共同で研究を進めている。本年度は、nmオーダーでの位置分解能での材料評価が可能で、高温その場深さ分解XAFS測定に世界で初めて成功し、これを用いた配向性酸化物薄膜の電子・局所構造の解明に成功した。その結果、配向性酸化物薄膜は、基板との整合性に起因する特異な電子・局所構造を取ること明らかにした。本研究は、科学研究費補助金特定領域研究「高温ナノイオニクスを基盤とするヘテロ界面制御フロントティア」(平成16～20年度)計画研究「高温固体表面の動的挙動の計測によるnano-NEMCA効果の検証」及び計画研究「ヘテロ接触界面のイオン移動現象とその設計」、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」(平成20～22年度)として実施した。

5. 学会活動等

9月に京都で行われた第14回固体プロトン導電体に関する国際会議 (14th International Conference on Solid State Protonic Conductors, "SSPC14") では、雨澤が大会実行委員としてその運営に携わり、またオキソ酸塩系プロトン導電体に関する招待講演を行った。また、雨澤は、9月に仙台において第4回ナノイオニクスサマーセミナー (The 4th Summer Seminar on Nanoionics) を開催した。10月に米国・ピッツバーグで行われた "Materials Science & Technology 2008 Conference & Exhibition" では、川田が招待講演を行った。また、7月の第48回電気化学セミナー (電気化学会関西支部)、および、11月の第27回エレクトロセラミックスセミナー (日本セラミックス協会電子材料部会) では川田が講師として講演を行った。その他、SOFCの普及のために、日本電機工業会に協力して標準の整備に関わる活動を行っている。

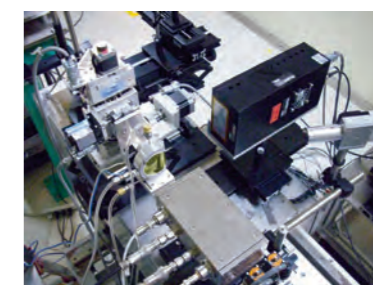


Figure 4. High-temperature depth-resolved in-situ XAFS equipments for investigating nano-ionics phenomena.