

サステナブルなエネルギーシステム 実現に向けて

Toward the development of sustainable energy system



教授 川田 達也
Professor
Tatsuya Kawata



准教授 八代 圭司
Associate Professor
Keiji Yashiro



Lab member

当分野の研究方針は、環境調和型社会の実現に向けた社会的要請の高い課題の解決である。現在はその中でも特に、高温電気化学デバイスによるエネルギー高効率利用に不可欠なエネルギー変換技術、およびエネルギー貯蔵技術、また地球環境保全に必要な環境技術の基盤技術および学理構築を重点課題としている。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、その技術基盤の一つとして、高効率、高耐久性の固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の実現に必要な技術課題を取り上げ、学内外の機関との協働し、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。

Our research target is to develop environmentally friendly energy-conversion systems. Our special focus is on high-temperature electrochemical devices such as solid oxide cells, which are useful for high-efficiency energy conversion between chemical and electric energy. Research studies on the mechanical reliability of solid oxide fuel cells (SOFCs), which are tightly linked with physicochemical and thermodynamic properties, have been performed through collaboration with other research groups inside and outside the university. A simulation code was developed to evaluate the deformation based on transient distribution of chemical potential inside the materials. The mechanical and physicochemical properties of the constituent materials have been measured at elevated temperatures in controlled atmospheres to be used for the simulation.

固体酸化物形燃料電池の耐久性迅速評価 および高強靱性セルの開発

NEDO 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、最終年度である今年度は新たなニーズである高効率化や強靱性化に向けてセルおよびスタック評価する研究を行っている。高効率化では高い燃料利用率に起因してセル内各所での運転状態が異なり、劣化挙動にも大きな分布が生じる可能性があるため、セル内の局所的な劣化を詳細に評価検討する必要がある。また、SOFC が利用できるアプリケーションを増やすために強靱性セルの開発にも着手し、金属支持型セルの作製・評価も行っている。

同事業では基盤コンソーシアムを形成し、学内外との連携を含めて共同で研究を進めており、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。当分野での具体的な研究成果については以下で述べる。

Reliability and Durability Tests of Solid Oxide Fuel Cells and the Development of a High-Toughness Cell

In the NEDO project “Development of Systems and Elemental Technology on Solid Oxide Fuel Cells (SOFCs),” research and development have been conducted to meet the recent demand for further generation efficiency and the development of high-toughness cells. Under high-output conditions, high fuel utilization causes different operating conditions at different place within a cell. The degradation behavior may also differ from the average operating conditions as well. Therefore, the cell’s local degradation should be evaluated. Additionally, a metal-support cell has been developed to achieve high toughness, to extend the application range of SOFCs.

In this project, a research consortium has been organized by the University of the Tokyo, Kyoto University, Kyushu University, AIST, CRIEPI, Tokyo Gas and Tohoku University. The consortium also collaborates with Japanese companies that have developed SOFCs. Our research activities are listed below.

アノード支持型固体酸化物燃料電池セルにおける 内部応力および変形挙動

SOFC は 10 年を超える長期間安定して動作することが求められているが、その間のセルの構造健全性を評価する手法は十分に確立されているとは言えない。当分野では、電気化学的、熱機械的特性を考慮して、SOFC セルの弾性・非弾性変形および破壊挙動を評価する手法を確立することを目指している。具体的にはセルのシミュレーションと実験的評価の両面からセルの機械的挙動を理解することを目的として、様々な実環境下でのセル形状および変形の評価手法の開発 (Fig.1)、および有限要素法による熱応力解析からセル変形のシミュレーションを行っている。両者の結果を比較することで実際のセルでの変形挙動について理解が可能となる。アノード支持型セルの空気中での昇温時とアノード還元時の評価の例を示すと、実験においては、昇温時にはアノードの熱膨張の影響が大きいことからセルはカソード側が凹になるように変形し、アノード還元過程では、Ni が還元されてアノードが塑性変形することで、電解質では圧縮応力が減り、結果としてセルはカソード側が凹になるように変形した。実測評価とシミュレーションで、アノードサポートセルの昇温過程でのセル変形プロファイルは実験と計算でよく一致していたが (Fig.2)、アノードの還元過程は一致しなかった (Fig.3)。この理由は実セルでは昇温過程前の初期の残留応力が大きかったためと考えられる。

教育活動

2019 年度の当研究室のメンバーは、教授 1 名、准教授 1 名、研究員 1 名、技術補佐員 1 名の教職員 4 名、博課学生 1 名、修士学生 15 名、学部学生 8 名の学生 24 名の延べ 28 名で構成され、うち留学生は 1 名である。3 月には修士課程を 5 名が修了し、企業に就職、学部生 4 名は卒業後修士課程に進学した。

Internal stress and cell deformation of an anode-supported solid oxide fuel cell

To ensure the durability and reliability of solid oxide fuel cells (SOFCs), we aimed to investigate elastic and inelastic deformation as well as fracture probability, considering the electrochemical, thermal and mechanical properties of SOFCs’ constituent materials. Although SOFCs are required to operate for over ten years, an evaluation method for the cell’s structural integrity has not been established. Two approaches—simulation techniques and measurement development—were attempted to solve the problem. In this study, we have developed equipment to measure the cell shape and deformation under various conditions. Thermal stress analyses with a finite element method (FEM) were also used to simulate the cell behaviors. The comparison of both techniques’ results enables to discuss deformation behaviors at an actual cell. For example, in an actual cell, the cell curves as the cathode side becomes concave during the heating process. In the anode-reduction process, the electrolyte releases compressive stress through the anode’s inelastic behavior. The expansion will make the cell shape so that the cathode side is convex. The results of the cell-deformation profile from the simulation and experiment agreed well with each other under a heating process but differed in the anode reduction process. The simulations implied that the reason was initial residual stresses of the actual cell.

Educational activities

The lab members consist of 4 staff members (a professor, an associate professor, a researcher, and a technical staff member) and 24 students (1 Ph.D. student, 15 master students, and 8 undergraduate students), including 1 international student. 5 master students and 4 undergraduate students graduated in March.

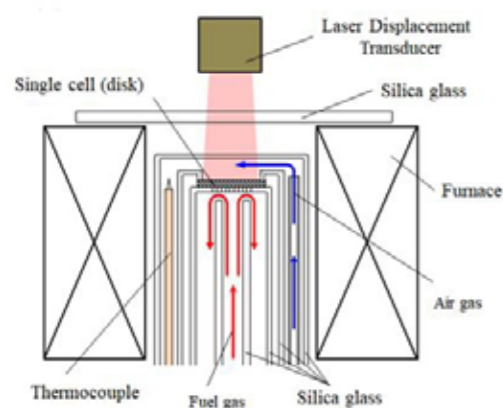


Fig.1 Schematics of cell shape/deformation measurement.

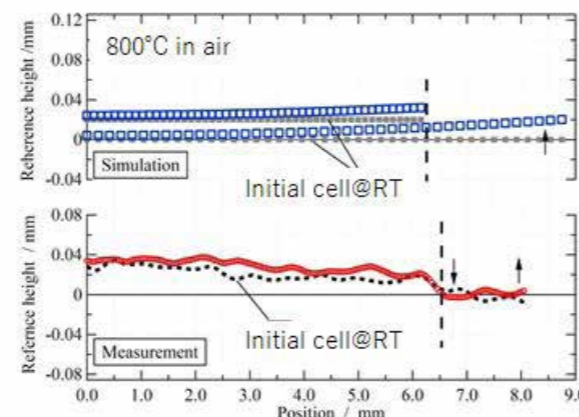


Fig.2 Cell-shape profiles of the experimental and the simulated results at 800°C in air.

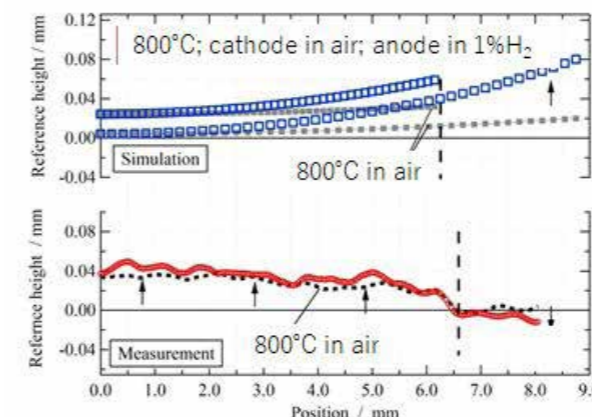


Fig.3 Cell-shape profiles of the experimental and the simulated results at 800°C in 1% H_2 .