

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、これまで培われた技術を適用して新たなニーズである高効率化へ対応した際の耐久性評価を評価する研究を行っている。高負荷時には運転条件がセル内で大きく異なる可能性があり、劣化挙動にも大きな分布が生じる可能性がある。ゆえにこれまでの平均的な劣化と異なるため、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 の適用範囲を拡大するために強靱性を高めたセルの開発にも着手している。

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。

Development of Systems and Elemental Technology on SOFCs

For the NEDO project “Development of Systems and Elemental Technology on solid oxide fuel cells (SOFCs),” in order to meet the recent demand of further improvement of generation efficiency, we conducted research and development using the developed evaluation method. Under high output conditions, the operating condition of fuel cells are possibly different at each place in a cell. The degradation behavior may be different from general operating conditions as well. Therefore, the local degradation of the cell should be evaluated. In addition, a high-toughness cell has been developed to extend the range of SOFC applications.

For this project, a research consortium was organized by the University of 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 mentioned below.

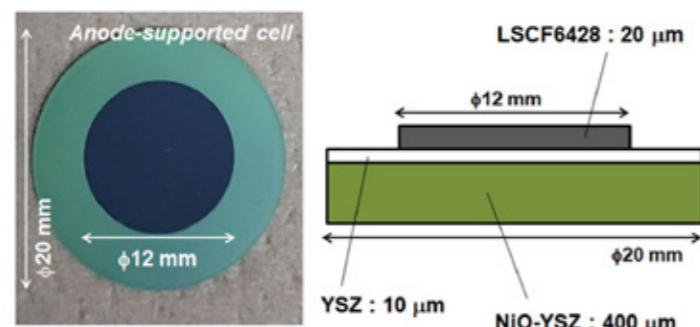


Fig.1 Tested anode support cell.

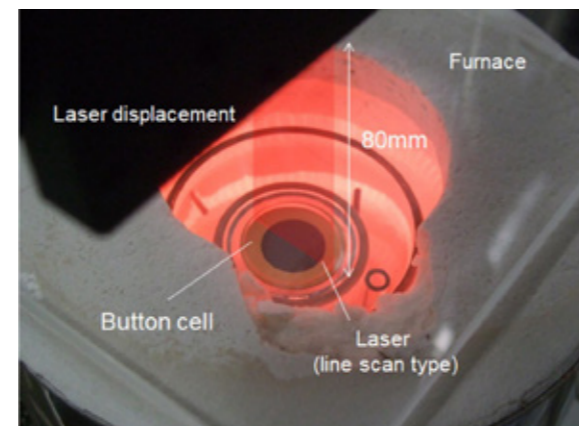


Fig.2 Appearance of Cell-deformation measurement system.

作動環境中における単セルの変形挙動と応力解析

当分野では、セルのマクロな変形や応力発生、あるいは材料の組成・微細構造の変化には、セル内部での酸素ポテンシャルの分布が深く関与しているという予測を基にセル構成材料の各場所における酸素ポテンシャル変化を物質輸送と酸素不定比性より計算し、ここから得られる化学歪みとその経時変化を構造解析に用いる手法を開発し、検討を行っている。またこれと並行して構造力学の観点から電解質・電極・インターコネクトといった基本セル構造で生ずる応力や変形などの損傷や構造的な性能劣化に繋がるリスク要因の洗い出しも行っている。セル形状や寸法、膜構成は様々なバリエーションがあるが、代表として形状が最もシンプルなボタン型アノードサポートセル (Fig.1) を利用して、実際の稼働環境下での変形・応力解析の精度向上に取り組んだ。具体的にはモデルセルの変形挙動や内部応力状態について実験 (Fig.2) とシミュレーション (Fig.3) の両面からアプローチし、実験サイドからは実際の模擬発電環境を含めた各環境下におけるセル変形挙動を計測できる変形計測装置を開発し、モデルセルに対して各環境変化での形状変化動向を形状測定によって捉えた。昇温および還元時のセル変形挙動に関して、変位自体は小さくシミュレーションと実測結果は良い一致を示したが、昇温時の電解質での内部応力は大きいことが分かった。一方還元後はアノードの組成変形により電解質の応力は減少したが、一方でカソードへの圧縮応力が増加した (Fig.4)。

教育活動

2018 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 13 名、学部学生 8 名の学生 22 名の延べ 26 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 6 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、留学生 1 名が帰国した。

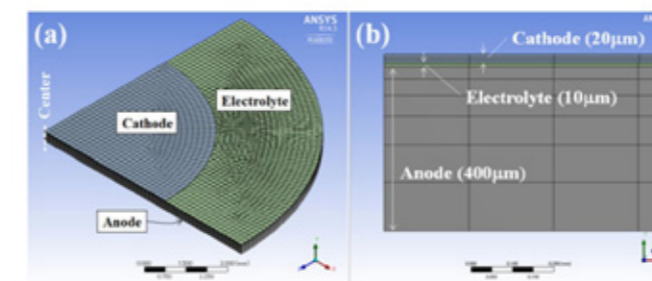


Fig.3 Cell model for FEM analysis: (a) full cell model; (b) cross-section view of the cell model.

Internal stress state and shape variation analysis of an anode-supported solid oxide fuel cell through anode reduction treatment

Our group has attempted to construct a multiscale model that can simulate elastic and inelastic deformation and fracture probability while considering electrochemical, thermal, and mechanical properties of constituent materials of solid oxide fuel cells (SOFCs).

Designing SOFCs having high mechanical reliability requires understanding of the mechanical stress state of a cell and a stack under various conditions. In this research, we developed equipment that can measure the deformation of a button-type anode-supported cell (Fig.1, 2) under various operation processes. In parallel, the shape profiles and stress states corresponding to those processes were simulated with FEM (Fig.3). In the cell deformation profile, the calculated profile showed good agreement with the measurement result for each process. After heating, the most dangerous part of the cell was its electrolyte. The deformation amount for the cell was small, but the internal stresses easily increased because the constituent materials had high rigidity. After the reduction of the anode, the rigidity and brittleness of the anode was lost, and stresses were released with elastic and plastic deformation, which, however, had a negative effect on the cathode as compressive stress increased (Fig.4).

Educational activities

The lab members consist of 4 staff members (a professor, an associate professor, a researcher, and a technical staff member) and 22 students (1 Ph.D. student, 13 master students, and 8 undergraduate students), including 1 international student. Six master students and five undergraduate students graduated in March.

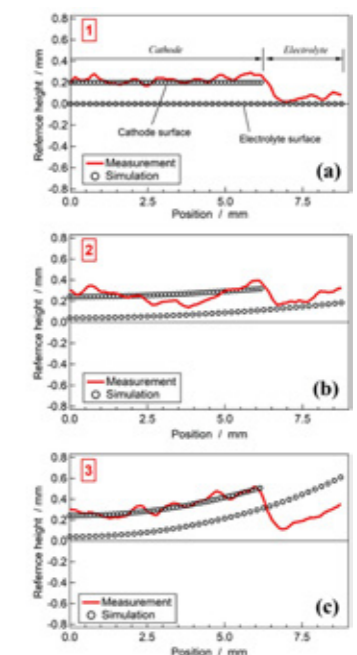


Fig.4 Cell-shape profiles of the experimental and the simulated results for each process: (a) Initial state; (b) After heating process; and (c) After anode reduction.