

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



准教授 橋本 真一
Associate Professor
Shinichi Hashimoto



助教 村松 真由
Assistant Professor
Mayu Muramatsu

Our target is mainly to develop environmentally friendly energy-conversion systems. Special interest is put on high temperature electrochemical devices such as solid oxide fuel cells (SOFCs) which are the useful techniques for high efficiency energy conversion between chemical- and electric energy. Researches on mechanical reliability of SOFCs have been performed through collaboration with other research groups inside and outside the university as a part of research projects. During operation of SOFCs, chemical strain as well as thermal strain leads to macroscopic deformation of the cells and stacks, which can cause degradation of the performance and, in the worst case, destruction of the cell structures. Operando methods have been developed to observe cell deformation during startup/shutdown operations, and simulation code was developed to evaluate the deformation based on transient chemical potential distribution inside the materials. Mechanical properties of the constituent materials have been measured at elevated temperatures under controlled atmospheres to be used for the simulation.

研究概要

2016年の当研究室のメンバー (Fig.1) は、教授1名、准教授2名、助教1名、研究員2名、技術補佐員1名の教職員7名、博士学生2名、修士学生14名、学部学生11名の学生27名の計34名で構成され、うち韓国、中国、インドネシア、タイ、フランスから留学生7名が在籍している。

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、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。地球温暖化・エネルギー資源枯渇など環境・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燃料電池 (SOFC) の実現に必要な技術課題を取り上げ取り上げる。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、機械的挙動について、学内の各部署の他、国内外の研究機関やメーカーと連携し、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、材料の最適化の指針を与え、企業での技術開発をサポートしている。

SOFCの広範な普及には、運転中のセル・スタック挙動の把握し、機械的信頼性を確保することは重要な課題である。SOFCは異種材料の積層体であるため、材料間での熱・化学膨張の差や温度・化学ポテンシャルの分布によって、構造体に応力や変形が生じ、これがセル・スタックの損傷や、接触の不良などの性能劣化を引き起こす要因となっている。特に、起動・停止や急激な負荷変動などはリスクを増大させる可能性がある。より信頼性の高いセル・スタックの設計のためには、単セルの変形挙動を把握するとともに、弾性率、破壊強度の他、クリープや疑弾性などの構成材料の動的な機械的特性も把握することが必要であり、さらには、セル運転に伴う温度・化学ポテンシャルの分布を明らかにする必要がある。このためNEDO委託事業の一環として、セル構造体の解析と、シミュレーションを用いた迅速評価法の確立を目指している。これまでに、各種形状のセルに対応したセル変形評価装置の作製、材料の基礎データの取得・解析、さらには、固体内の化学ポテンシャルの計算手法の汎用化に取り組んでいる。

運転時セル変形の様子観察手法の整備

セル・スタックの機械的損傷のリスクの評価法として、運転状況下での単セル形状の変化を測定する手法を提案している。石英窓を有する電気炉にセルを設置し、外部に置いた種々のレーザー変位計を用いてセルの形状を測定するもので、セル形状に応じて種々の形式のものを作製した。

Fig.2は、平板セルの温度・形状同時測定のための装置であり、電気炉上部にレーザー変位計もしくは二色式温度カメラを配置している。さらにガス導入管等、セルと機械的接触をもつ部分にAEセンサを固定することで、セル損傷の同時評価も可能となる。同様の手法はアノード支持形のボタンセルや、円筒セルにも展開を図った。円筒形は中心線に対して対称な構造であるため一般的に機械的な信頼性は高い。ただし構成各層の熱・化学歪みが異なると亀裂や剥離の発生も考えられるため、セル直径測定装置を作製し評価を行った (Fig.3)。セルは上下移動および回転が可能なステージに固定され周囲は角柱型の石英製容器で覆われてセル内外のガス雰囲気制御が可能である。測定は計測対象物をラインレーザー投光器 / 受光器で挟みその影の部位を測長する方法をとった。

セル内部の酸素ポテンシャル分布シミュレーションの汎用化

SOFCのセル部材の一部には酸素不定比性酸化物が用いられており、化学歪み (還元膨張) が発生すること、また、その機械的特性も酸素分圧に依存する事から、セルの変形や応力の発生には、固体内

の局所酸素ポテンシャルの分布が深く関与している。当研究グループでは、これまでに、固体内部の酸素ポテンシャルとその変化を、災害研の寺田教授らと共同で物質輸送と酸素不定比性から計算する手法を開発してきた。このルーチンを汎用化・ロバスト化するとともに、ここから得られる化学歪みとその経時変化を汎用 FEM ソフトウェアを用いた構造解析につなぐツールへと拡張することを目指し、現在までに、Abaqus/AbaqusCAE の GUI を用いたポテンシャル解析ツールのプロトタイプを作成した。

応力・変形解析の手順を Fig.4 に示す。セルの変形解析と、模擬セルによる変形測定の結果を比較しながら、物性値と計算手法の最適化を進めている。

特筆すべき業績

During operation of SOFCs, chemical strain as well as thermal strain leads to macroscopic deformation of the cells and stacks, which can cause degradation of the performance and, in the worst case, destruction of the cell structures. Operando methods have been developed to observe cell deformation during startup/shutdown operations, and simulation code was developed to evaluate the deformation based on transient chemical potential distribution inside the materials. Mechanical properties of the constituent materials have been measured at elevated temperatures under controlled atmospheres to be used for the simulation.



Fig.1 Group photo of Kawada lab.

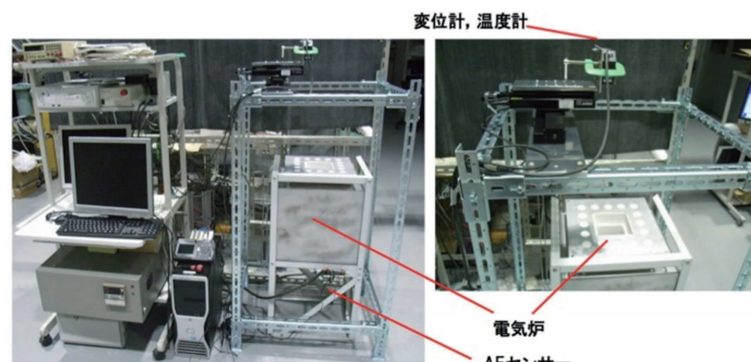


Fig.2 Evaluation system for deformation/temperature/AE of SOFC planer cell.

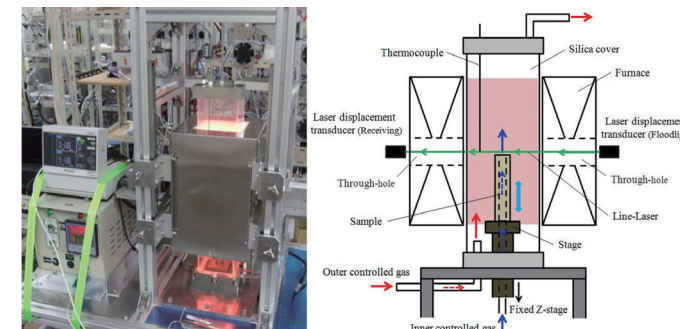


Fig.3 Measurement setup for diameter change of a tubular cell.

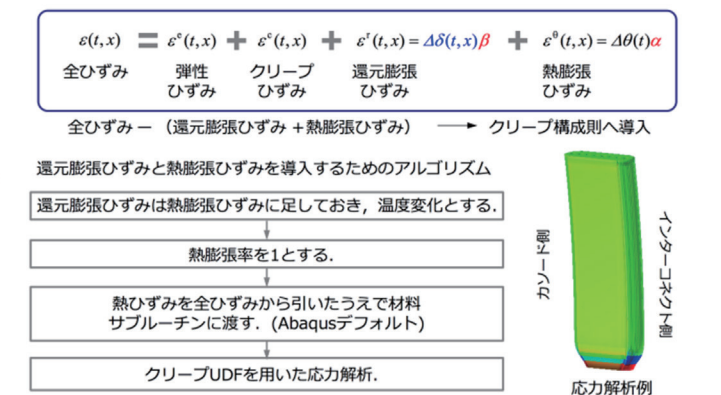


Fig.4 Calculation scheme of cell deformation based on chemical potential distribution in SOFC cell.