

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



助教 村松 真由
Assistant Professor
Mayu Muramatsu

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

本年度は 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」の最終年度となり、SOFC コージェネレーションシステムの本格的普及に必要な低コストと 0.125%/1000h 以下の低い劣化率を達成可能な評価手法確立を目指し、主に燃料電池セル構造体の耐久性・信頼性向上にむけた研究を行っている。学内外との連携を含めて共同で研究を進めており、セル構成材料、単セルでの変形挙動評価や強度試験、温度・酸素ポテンシャルによる物性変化を考慮した SOFC シミュレーションコードの開発などを進めている。また、この事業の枠組みの中で、基盤コンソーシアムを形成し、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。

SOFC 材料の作動環境での機械強度評価

当分野では、これまで酸素ポテンシャル分布の経時変化を評価しうる数理モデルを構築し、熱膨張、還元膨張およびクリープ変形を含む

Development of Systems and Elemental Technology on SOFCs

FY2017 is the last fiscal year of the NEDO project “Development of Systems and Elemental Technology on SOFCs.” In order to achieve a low cost for widespread dissemination of SOFCs and a low degradation rate of less than 0.125%/1000h, we have mainly developed and established an evaluation method for improving the durability and reliability of the cell structures. In particular, the targets have been evaluated for the deformation and mechanical strength of the cells and materials, and we developed a novel simulation code of SOFCs considering variation in material properties as a function of temperature and oxygen potential. In this project, the research consortium is 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.

Mechanical strength of SOFC materials under operating conditions

Our group has attempted to construct a multiscale model which can simulate elastic and inelastic deformation and fracture probability

非弾性的な変化を考慮した機械的劣化挙動の解析評価手法を独自に開発してきた。作動環境における材料間の熱機械的および熱化学的物性の違いは内部応力の原因となり、発生した応力はクラック、バックリング、剥離などの機械的損傷のトリガーとなる。セラミクスは脆性材料であり、塑性変形を伴わずに破壊に至るため、破壊評価には Weibull 分布が用いられる。本研究では SOFC 材料としてよく用いられる 8YSZ、10GDC、LSCF6428 について、スモールパンチ法を用いて様々な温度で測定した弾性率と破壊強度の Weibull 分布解析を行うことで、材料により異なる、損傷の可能性が高い温度域を明らかにした。(Fig. 1、2)

平板型 SOFC の変形挙動のマルチスケール解析

SOFC の構成部材は熱膨張とクリープ変形および電気化学反応に伴う還元膨張によって機械的な劣化を起こすことが知られている。面内方向にのみ周期構造を有する SOFC の平板型セルのような、非線形の板状デバイスの変形挙動解析にマルチスケール手法を適用するために、平板型セル内の面内に周期的な単一マイクロ構造を数値供試体と見立てて数値平板試験を実施し、そのマクロ非線形力学挙動を特徴づけるとともに、等価なマクロ挙動を再現する均質な板を積み重ねた積層代理モデルを新規に提案した。(Fig. 3、4)

教育活動

2017 年度の当研究室のメンバーは、教授 1 名、准教授 1 名、助教 1 名、研究員 1 名、技術補佐員 1 名の教職員 5 名、博課学生 2 名、修士学生 11 名、学部学生 10 名の学生 23 名の延べ 27 名で構成され、うち留学生は 4 名である。博士学生のうち 1 名は 9 月に学位を取得した。また 3 月には修士課程を 8 名が修了し、企業に就職、学部生 5 名は卒業後全員、修士課程に進学した。

considering the electrochemical, thermal, and mechanical properties of the constituent materials. Under SOFC operation, internal stress is generated due to the strain mismatch resulting from differences in the thermo-mechanical and chemo-mechanical properties of materials. This triggers mechanical damage such as cracking, buckling, and delamination on a cell. In particular, ceramics inherently have brittle characteristics, which lead to immediate fracturing without plastic deformation. Weibull distribution is widely used to characterize the fracture properties of ceramics. In this study, Weibull distribution analyses of fracturing were carried out for SOFC materials, 8YSZ electrolytes, 10GDC barrier layers, and LSCF6428 cathodes at various temperatures. The small punch test method was employed to measure the fracture strength as well as elastic modulus of the materials (Fig.1). The temperature dependences of fracture stress and strain were discussed (Fig.2).

Multiscale analyses of SOFC deformation

Thermal/chemical expansion and creep deformation is critical for mechanical deterioration of SOFCs. We proposed a new method of multi-scale analysis for plate-like devices, such as a planar SOFC. To characterize the macroscopic nonlinear mechanical behavior of the in-plane periodic structure, the numerical plate testing method was employed. We introduced a surrogate model composed of homogeneous layers that are expected to exhibit the same macroscopic responses. Representative numerical examples were presented to demonstrate the capability of the proposed multi-scale analysis method (Fig.3 and Fig.4).

Educational activities

The lab members include 5 staff members (a professor, an associate professor, an assistant professor, a researcher, a technical staff member) and 23 students (PhD students: 2, master's students: 11, undergraduates: 10) including 4 international students. One PhD student completed the degree in September. Eight master's students and five undergraduate students graduated in March.

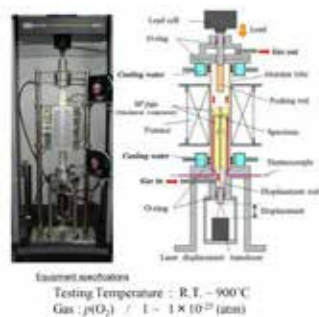


Fig.1 Small punch (SP) test equipment

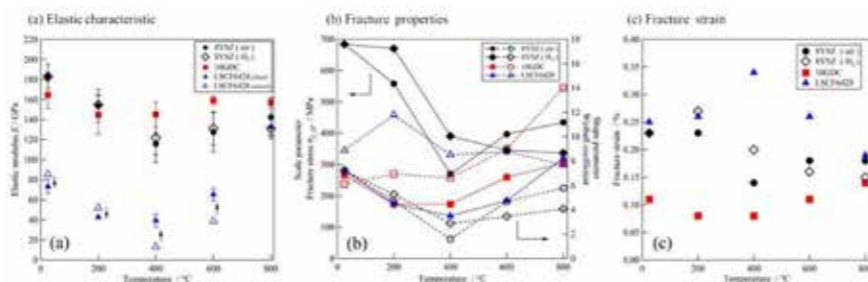


Fig.2 Evaluated results of mechanical properties of 8YSZ, 10GDC, LSCF6428

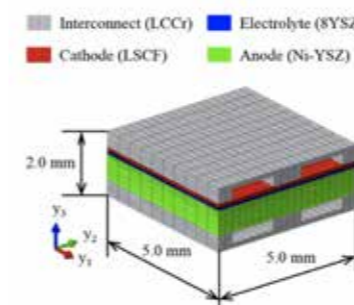


Fig.3 Calculation model of SOFC cell.

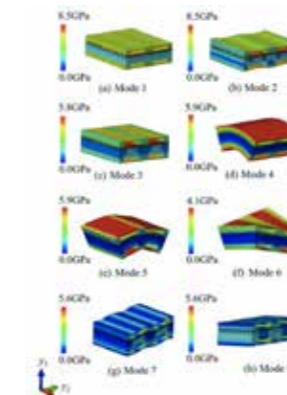


Fig.4 Simulated cell deformation in each mode.