

燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業/共通課題解決型基盤技術開発/  
 超高効率プロトン伝導セラミック燃料電池デバイスの研究開発 (WP3 セル評価・アプリケーション研究)

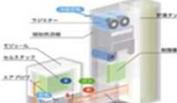
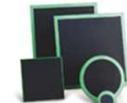
森 昌史(電力中央研究所) (共同実施機関：小笠原 慶(東京ガス)、笹俣優一(東邦ガス)、Wiff Paulo(エア・リキード・ラボラトリーズ)、鷲見裕史(産業技術総合研究所)、大友順一郎(東京工業大学)、荒木拓人(横浜国立大学))

### 事業概要

水素社会の実現と定置用燃料電池の本格的普及拡大を目指して、発電効率70%を見通すプロトン伝導セラミック燃料電池を実現するため、プロジェクトで開発されたセルの評価解析およびシステム視点での検討を行う

電池の本格的普及拡大を目指して、発電効率70%を見通すプロトン伝導セラミック燃料電池を実現するため、プロジェクトで開発されたセルの評価解析およびシステム視点での検討を行う

### 実施体制



WP1 革新的高性能電極・部材の開発

WP2 高効率・高出力密度セルの開発

WP3 セル評価・アプリケーション研究

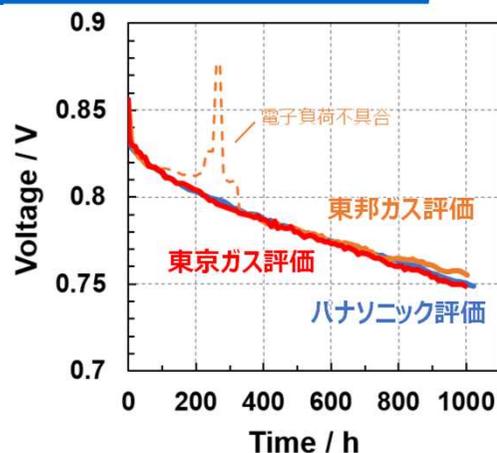
### 研究開発目標

- (1) ユーザー側からの発電評価
- (2) 改良指針の提示
- (3) セル材料、セルスタックへの要求仕様の提示
- (4) 市場展開シナリオの作成

### 実施機関とテーマ

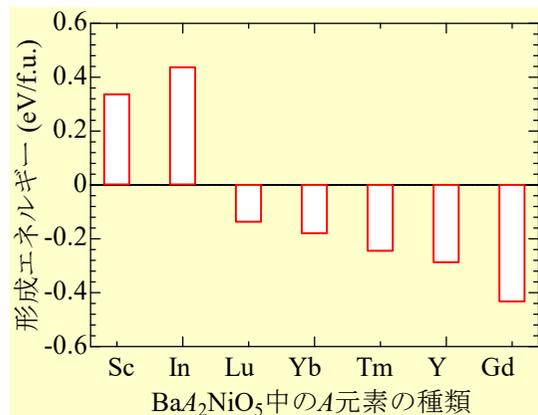
- ・発電評価 (電中研、東京ガス、東邦ガス、エア・リキード)
- ・セル性能の劣化要因特定技術の開発 (産総研)
- ・コストエンジニアリング手法による評価技術の開発 (東工大)
- ・マルチフィジクス数値解析技術の開発 (横国大)
- ・シーズ・ニーズ比較検討 (産総研)

### 成果1: 性能評価

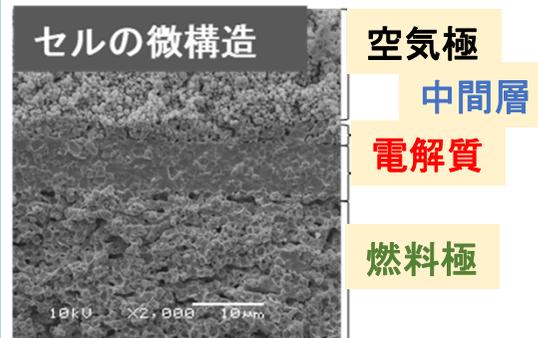


発電評価の高い再現性の確認

### 成果2: 劣化要因の理論計算



第一原理計算による形成エネルギーの比較



連絡先：電力中央研究所 森 昌史  
 E-mail: masashi@criepi.denken.or.jp  
 TEL:070-6568-9562

## 研究開発概要(1):セルの耐久性・信頼性及び出力変動負荷サイクル評価・解析

前先行研究において、 $0.5 \text{ W/cm}^2$  ( $600^\circ\text{C}$ ) の実用レベルの出力密度を達成し、 $500^\circ\text{C}$ 程度の低温においてもプロトン伝導セラミック燃料電池 (PCFC) の発電効率65%以上の超高効率発電システムの実現可能性を見出した。しかしながら、性能の安定性や都市ガス改質燃料を想定した $\text{CO}_2$ 耐久性については明らかになっておらず、実用化に向けた開発に取り組む必要がある。

## 研究開発目標および成果

- ・PCFC評価装置 (図1) と $\text{CO}_2$ 耐性評価装置を導入し、水素とメタン改質ガス燃料を想定した評価を実施する。
- ・WP2と連携し、SEMやTEM等を用いたセルのナノ・マイクロ構造変化の観察により劣化要因を特定するとともに (図2)、第一原理計算により開発指針を得る。
- ・WP2で開発した単セルを用い、共同実施機関と連携し、ユーザー視点から評価 (基礎発電特性、安定性、熱サイクル特性、リバーシブル特性 (図3) 等) を実施する。



図1 製作したPCFC燃料電池評価装置； $\text{CO}_2$ 耐性評価装置については、2021年7月に導入予定

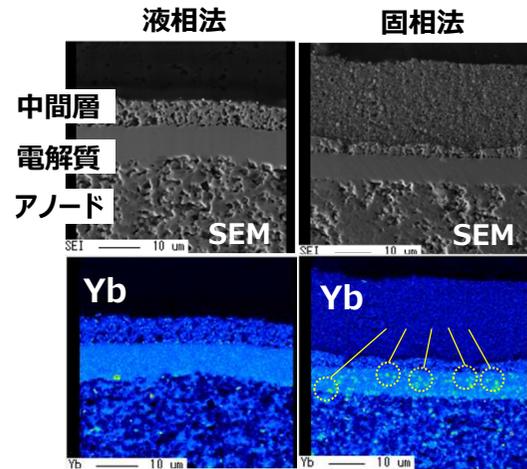


図2 合成法の異なる粉末を用いた $\text{BaZr}_{0.8}\text{Yb}_{0.2}\text{O}_3$ 電解質を分析した結果；液相法で合成した試料粉末は、長期間放置した粉末を用いてもYbの偏析は見られず

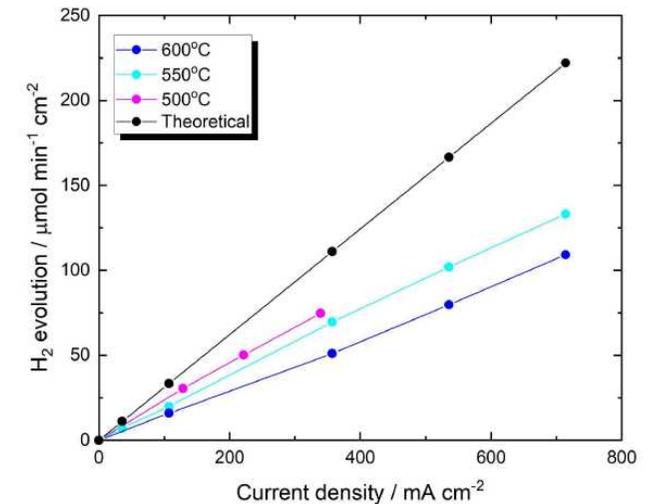


図3 産総研製PCFCのリバーシブル特性評価時の電流密度と水素発生量の関係；中間層を挿入することにより、Faraday効率が30%から70%に改善

## 研究開発概要(2) : 電気化学測定による性能劣化要因特定技術の確立

インピーダンス解析は、燃料電池性能の劣化要因特定に有効である。しかしながら、通常、複数のインピーダンスがオーバーラップしているため、燃料電池の各抵抗成分の正確な分離を困難にしている。

### 研究開発目標および成果

本研究では、インピーダンスデータを用いた緩和時間分析 (DRT) 法により、燃料電池の各抵抗分離技術に取り組む。その結果、DRTスペクトルから、4つのDRTピーク ( $P_1$ - $P_4$ ) を検出することに成功した

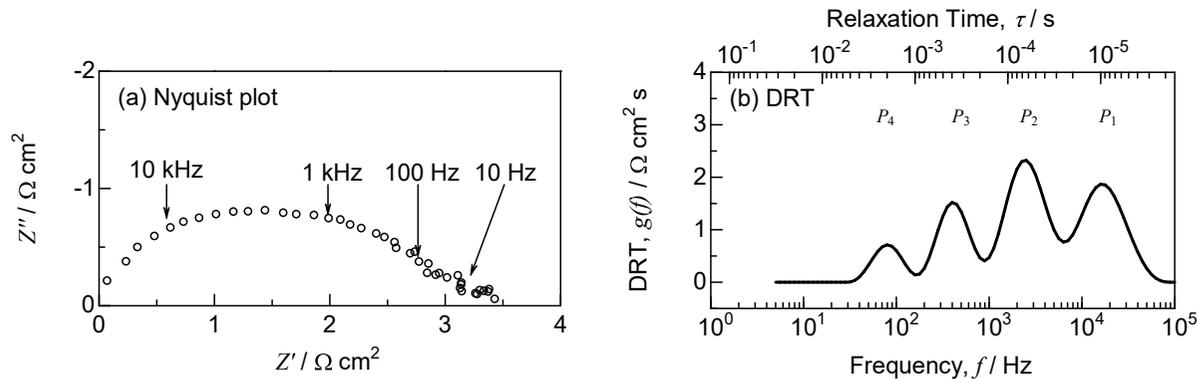


図4 電解質支持形セルの電気化学インピーダンスの(a)ナイキスト図と(b)DRTスペクトル ;  $P_1$ :カソード側のイオン拡散過程、 $P_2$ :アノード側の水素の電気化学的酸化過程、 $P_3$ :アノード側の水の生成過程、 $P_4$ :カソード極側の酸素の電気化学的還元過程

## 研究開発概要(3) : セルスタックのマルチフィジックス数値解析技術開発及び実験による確度検証

電解質中のホール伝導は、発熱による応力の発生と更なるホール伝導の増加により効率の低下を引き起こす。

### 研究開発目標および成果

供給ガスの並行流と対向流を仮定し、マルチフィジックス数値解析により電解質内2次元のプロトン・ホール濃度分布を求めた。その結果、セルの温度分布を計算し、セルスタックの構造健全性を検討するためには、アノード・カソード双方の水蒸気濃度によるプロトン・ホール濃度分布を考慮する必要性が示された。

## 研究開発概要(4):コストエンジニアリングによる製造プロセス及び高性能セル・システム設計

定置用SOFCのイニシャルコスト100万円/kWのレベルにあり、本格大量普及に向けては飛躍的なコスト低減が求められている。低コスト化可能要因が多いPCFCでは、普及可能のコストを意識し、開発を進める必要がある。

### 研究開発目標および成果

コストエンジニアリング手法を用いPCFCの低コスト化と高性能化に向けたボトルネックの解明を行う。BaZr<sub>0.8</sub>Y<sub>0.2</sub>O<sub>3-δ</sub> (BZY)とBaZr<sub>0.1</sub>Ce<sub>0.7</sub>Y<sub>0.1</sub>Yb<sub>0.1</sub>O<sub>3-δ</sub> (BZCYYb)の2種類の電解質を想定した。これら電解質を単体で用いた単層形セル、および組み合わせた積層形セルを対象とし、電解質の膜厚を10 μmと固定して各電解質の膜厚を変化させ、600℃、400 mA/cm<sup>2</sup>における各セルの理論効率と各セルの出力を計算した(図5(a)(b))。この結果よりBZY(1μm)|BZCYYb(9 μm)で最も高い値が得られ、アノード側に薄いBZY層を導入する設計が有利であることが示された。BZY|BZCYYb積層形セルの原材料コストの内訳は、PCFCのセルのみの原材料コストは2,700円/kWとなった(図6)。

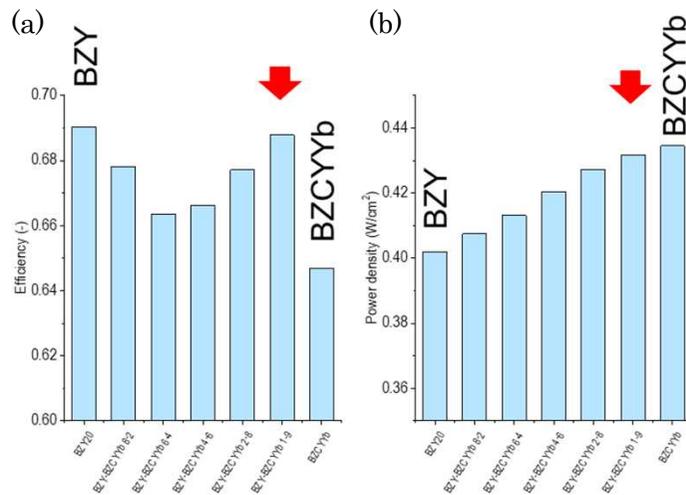


図5 セルデザイン依存性: (a) 理論効率, (b) 出力, 600℃, 400 mA/cm<sup>2</sup>時, アノード側ガス: 3%H<sub>2</sub>O/97%H<sub>2</sub>, カソード側ガス: 3%H<sub>2</sub>O/19.4%O<sub>2</sub>

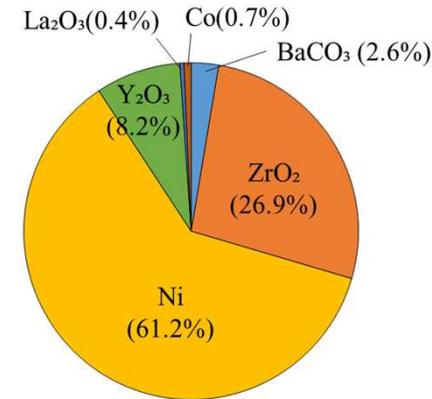


図6 BZY|BZCYYb積層形セルの原材料コストの内訳(2,700円/kW); ZrO<sub>2</sub>の使用量削減がPCFCの低コスト化要因であることがわかった