

研究開発の背景と目的

次世代SOFCのニーズ
⇒発電効率の向上
水素社会の実現

2010年

2020年

2030年

2040年

家庭用燃料電池
エネファーム
(PEFC) 40%

SOFC
55%

SOFC
65%

PCFC
>70%

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%を見通す画期的な「プロトン伝導セラミック燃料電池（PCFC）」を開発する

研究開発目標

1. 発電効率の向上：発電効率65%以上を実証、70%を見通す

2. 出力密度の向上：セルの出力密度 >1.3 W/cm²@550℃（低温作動）

3. 耐久性向上：電圧低下率 1%/1000 hr以下

4. システム検討：単セルの性能を検証し、システムの机上検討を行う

研究開発実施体制

・WP1（電極材料開発）、WP2(セル開発)、WP3（評価解析)の3事業が連携して課題解決に取り組む

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

WP3 セル評価・アプリケーション研究 / 実施機関と担当テーマ

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（電中研・東京ガス・東邦ガス・エア・リキッド・ラボラトリーズ）

②電気化学測定による性能劣化要因特定技術の確立（産総研）

③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・システムの設計（東工大）

④セルスタックのマルチフィジックス数値解析技術の開発及び実験による確度検証（横国大）

⑤シース・ニーズ比較検討（産総研）

各WPとの連携

WP1 高性能空気極の開発

WP2 高性能セルの開発

性能・構造解析

効率試算

性能・コスト分析

結果をフィードバック

図 セルの安定性試験の一例

図 DRTスペクトル解析例

図 PCFCの原材料コストの内訳例

図 PCFCシステム解析例

図 DRT (Distribution of Relaxation Times)：緩和時間分布

2020～2024年度の成果と進捗

実用サイズ開発のための大型セル評価技術、発電性能の評価・解析技術の確立、社会実装に向けた課題抽出を実施

(1) 大型セル(発電面積：16 cm²)の基礎発電特性評価

600℃でU_f：75%で、発電効率57%(0.3 A/cm²)の発電特性を確認

メタン＋水蒸気ガスにより試験し、直接供給では発電不可能であり、触媒は必要

第一原理計算により、酸素空孔が近いためNiはYを置換しやすい等課題抽出

(2) セルのDRT解析の構築

WP1で開発されたBaCo_{0.4}Fe_{0.4}Mg_{0.1}Y_{0.1}O₃の優れた性能を確認

酸素解離反応が律速過程であることを解明

(3) 積層電解質の実証

Nernst-Planck-Poissonモデルを用い、最適化した積層電解質セルを作製し、リーク電流を減少させ、起電力を改善

積層電解質形の革新セルについて製造コストが5万円/kW程度であることを確認

(4) マルチフィジックスシミュレーションの構築

デッドエンドアノード運転の成立性をシミュレーションにより確認

電気化学インピーダンスの高周波切片(HFR)の時間変化を測定し、電解質表面反応よりも電解質内部のバルク輸送の影響が大きいことを特定

その他：水蒸気電解評価を実施し、リーク電流量測定技術等構築

現状のPCFCを用いた電解でも、Faraday効率は80%(500℃)。また、酸素極劣化によるFaraday効率低下を確認し、課題を抽出

電中研

大型セルの発電効率評価

セルサイズ：Φ60 mm

電極面積：Φ45 mm (15.9 cm²)

図1(b) セル構成

図1(a) 大型セル用ホルダー

大型セル評価の再現性を確認した。大型革新セルでは、更なる効率向上が期待

発電効率 50% 60%

U_f=75%
V=0.789V
η=57%

@600℃

Fuel Utilization Ratio (%)

図1(c) 大型セルの評価結果

産総研

(a)インピーダンススペクトル

(b)DRT分析

(c)分極抵抗の酸素分圧依存性

図2 DRT手順と電極反応メカニズム解明の流れ

(d) 電極反応モデル

➢ 電流－電圧特性測定後、

(a)電気化学インピーダンススペクトルを測定

(b)緩和時間分布(DRT)法によって分離。酸素還元反応(ORR)に伴う分極抵抗(P₄)が低減

(c)PCFCのORR分極抵抗(R₄)は酸素分圧の-1/2乗に比例

(d) PCFCでは、酸素解離反応(2)が律速過程であることを解明

東京科学大

Coating:CMO

0.5 mm

30 μm

1 μm

9 μm

1 μm

600 μm

100 mm

図3(a) 革新セルの構造

標準セルより
約20%増加

PCFCモジュールコスト(円/kW)

PCFCモジュールコスト(円/kW)

図3(b) 革新セルのコスト評価結果

➢ 酸素空孔、プロトン、ホルの電解質内の流束の輸送過程を予測し、革新セルの構造を決定、発電性能を算出

➢ 標準セルを含む4種のセルは、コストエンジニアリングにより計算した結果、5万円/kW程度のモジュール製造コスト

横浜国立大

H₂

H₂O

H₂ + 1/2 O₂ ⇌ H₂O

Anode

Electrolyte

Cathode

Air

図4 (a) マルチフィジックスシミュレーションで考慮した表面反応平衡と欠陥種輸送；これらに加え電極における反応・濃度過電圧も考慮

➢ PCFCの高燃料利用率での運転が可能という特徴を生かす、無加湿水素利用率100%のデッドエンドアノードセル構造の運転の成立性をシミュレーションにより確認

➢ 対流・拡散の観点から、ガス流路のチャンネル高さが低く、気相流速が速い場合の性能低下を予測

水素 or 水蒸気反応速度 [-]

H₂

H₂O

i_{ex, total} = 300 mA/cm²

H_{channel} 3.0mm

1.0mm

入口側

流れ方向長さ [cm]

封鎖側

図4 (b) 利用率100%運転時における電流密度のガス供給流路チャンネル高さの依存性

連絡先：一般財団法人電力中央研究所

エネルギートランスフォーメーション研究本部 森 昌史

E-mail：masashi@criepi.denken.or.jp