

研究開発の背景と目的

プロトン伝導セラミック電解セル（PCEC）

PCEC

電力100

蒸気

断熱材

550℃

電子リーク10%

吸収4%

水素94%

放熱ロス

SOEC

電力100

蒸気

断熱材

750℃

水素92%

放熱ロス

次世代SOECの二ズ ⇒ 水素製造効率の向上, 中低温作動 ⇒ 低コスト水素製造

水素社会の実現に向け、低コスト水素製造を実現するPCECを開発する

PCECに期待される特徴・長所

- ・高効率水素製造
- ・水蒸気・中高温熱の利用
- ・中低温（500～700℃）作動
- ・放熱損失の低減
- ・安価な金属材料が利用可能
- ・起動時間・エネルギーの低減
- ・ドライ/加圧水素製造の可能性
- ・システム簡素化

研究開発目標

研究開発課題	目標項目（2030）
水素製造性能（電流効率・密度）の向上	① 消費電力量：3.3kWh/Nm ³ H ₂ 以下の見通し ② 電流効率：95%以上 ③ 電流密度：1A/cm ² 以上@1.24V
化学的安定性・耐久性の検証と確保	④ 耐久性：3,000hr実証で0.5%/1,000hr以下 ⑤ 化学的安定性：中低温水蒸気雰囲気気密性
セル大面積化・スタック化の要素技術	⑥ 大面積化：10cm角セル/ショートスタックを実証 ⑦ 機械的信頼性の確保

電解電圧 (V) (主) 副電圧 (V)

電流密度 (A/cm²) → 低コスト

SOEC, PCEC, PEMWE, AWE

1A/cm² 1.3V @2040, 1A/cm² 1.24V @2030, 2A/cm² 1.3V @2040, 4A/cm² 1.8V @2040, 1A/cm² 1.7V @2040

研究開発実施体制:実施機関と担当テーマ

NEDO

PL: 鈴木 稔 先生

委託

有識者

山口 周 先生

横川 晴美 先生

前NEDO事業（プロトン伝導セラミック燃料電池）の成果・技術・ノウハウ

①：水素製造性能（効率向上）

②：安定性・耐久性確保

③：セル大面積化・スタック化

東北大学 (gI) 反応理解に基づく高性能酸素極の設計

宮崎大学 酸素極の組成最適化 性能・耐久性評価

九州大学 電極/電解質界面設計

名古屋工業大学 セル製造・作動下での材料安定性

産業技術総合研究所 (集中研) セル製造プロセス開発

セル提供

フィードバック

エアー・リキード・ラボラトリーズ ユーザー視点評価

共同実施 セルスタック化

(株)デンソー

日本特殊陶業(株)

電力中央研究所 材料・セルの機械的信頼性評価

研究協力企業 (LOI企業)

パナソニック

ノリタケ

イムラ・シバハ

在原発作所

関西電力

IHI

NGK

委員会等での外部指導/協力

過電圧低減 低温作動化

電子ブロック層挿入

電子リーク評価

効率評価

運転条件最適化

応力分布評価

マルチスケール・マルチフィジックス・モデリング

連携

評価解析プラットフォーム（別実施）

放射光高度計測・微構造解析

I. PEFC評価開発プラットフォーム

II. 高温水蒸気電解の高度評価・解析法に関する研究開発

2025年度の成果と進捗

水素製造性能の向上

(1) 酸素極高性能化

- ・EC条件での材料スクリーニング
- ・反応機構解明に着手・手法確立

(2) 積層電極による電流効率向上

- ・独自の積層構造電極の適用
- ・ファラデー効率50～80% @ 600℃

(3) DX技術活用による酸素極組成最適化

- ・開発材料(BCF系)の組成検討・実証

(4) マルチフィジックスモデル

- ・EC運転下でのファラデー効率予測

化学的安定性・耐久性の検証と確保

(1) 要素技術を実装したPCECセル開発

- ・0.6 A/cm²@550℃
- ・300時間の安定した電解運転を実現

(2) 材料およびセルの機械的信頼性評価

- ・PCEC材料の機械特性評価の手法確立
- ・電解質材料の破壊強度の評価を実施
- ・セル内応力分布評価(FEM解析)に着手

(3) 企業への技術移転

- ・PCEC実用セル開発に着手
- ・大判セル試作プロセス構築

セル大面積化・スタック化の要素技術

(1) PCECセルの耐久試験

- ・定電流試験(200 h)@550℃を実施
- ・中間層導入によるファラデー効率向上
- ・中間層組成最適化により安定動作を確認

(2) 化学的安定性の検討

- ・新規組成酸素極の開発、安定性検討
- ・電解質表面の組成ズレ→界面抵抗要因

(3) 酸素極劣化

- ・モデル電極による劣化機構評価に着手

各機関における研究成果トピックス

反応理解に基づく高性能酸素極の設計（東北大）

モデル電極を用いた材料特性評価・反応機構解析

多孔体電極

柱状電極

パターン緻密電極

TPB型

DPB型

log(σ / S cm⁻¹)

T / °C

ρ_{O2}=0.01

● BZCYb4411

● Ni-BZCYb4411

● Pt-BZCYb4411

● Co-BZCYb4411

● Pt-BZCYb4411

● Pt-BZCYb4411

E / V

current density / A cm⁻²

● BaCo_{0.45}Fe_{0.45}Mg_{0.05}Y_{0.05}O_{3-δ}

● 600℃

● 550℃

● 500℃

不純物固溶が電解質特性に及ぼす影響 DX予測による酸素極の組成最適化

酸素極の組成最適化、性能・耐久性評価（宮崎大）

積層構造酸素極によるファラデー効率の向上

H₂ evolution rate (μmol/min/cm²)

Current density (mA/cm²)

550℃

● Faradaic

● Layered cell

● Conventional cell

電極/電解質界面設計（九大）

H⁺/h⁺/O²⁻輸送および熱・気体輸送連成モデルを用いたファラデー効率予測

External voltage (V)

Current efficiency (-)

External current density (A cm⁻²)

● Current efficiency

マルチスケール・マルチフィジックス・モデリング（横国大）

開発酸素極材料の水蒸気耐性評価

Intensity/a.u.

2θ/degree

Wet anneal@600℃ 5 h

Wet anneal@500℃ 5 h

As-prepared BCF0125

BaCO₃

大判セルの作製

酸素極

電解質

水蒸気

Voltage / V

Current density / A cm⁻²

500℃

550℃

600℃

Theoretical OCV at 550℃

Thermo-neutral voltage at 550℃

PCECセル電解性能検証

材料安定性の検討（産総研/名工大）

高活性なナノ複合電極

効率と耐久性を向上させる中間層

Ba活量を制御した緻密な電解質

Voltage / V

Current density / A cm⁻²

50%加湿条件

● 600℃

● 550℃

● 500℃

セルスタック化（産総研/デンソー）

Voltage / V

Current density / A cm⁻²

● 600℃

● 550℃

● 500℃

セル外観

電解質

酸素極

PCECセルの作製と電解性能検証

セルスタック化（産総研/日本特殊陶業）

固体電解質焼結体の破壊強度範囲

水素極材の破壊強度範囲

厚み増加→応力低減

電極近傍に応力集中箇所の発生を予測

→水素極

破壊強度 (MPa)

破壊確率

● 1/2法 (固体電解質材)

● 3点曲げ試験 (固体電解質材)

● 3点曲げ試験 (水素極材)

● 4411 interlayer

● Alternative electrode BCFMg1711

FEM解析によるセルの定常応力分布評価（厚み方向）

要素技術を実装したPCECセル開発

セル製造プロセス開発（産総研）

Faraday Efficiency / %

Time / h

550℃

● Without interlayer (reference)

● 1711 interlayer

● 4411 interlayer

● Alternative electrode BCFMg1711

中間層挿入セルの耐久性（ファラデー効率）検証

電解質材料の破壊強度の統計解析

破壊強度 (MPa)

破壊確率

● 1/2法 (固体電解質材)

● 3点曲げ試験 (固体電解質材)

● 3点曲げ試験 (水素極材)

● 4411 interlayer

● Alternative electrode BCFMg1711

ユーザー視点評価（エア・リキード・ラボラトリーズ）

材料・セルの機械的信頼性評価（電中研）

今後は、各機関で得られた研究成果・要素技術を統合したセルを作製し、さらなる性能向上、効率向上、耐久性向上を図る。合わせて、共同実施企業への技術移転を促進する。

(国)東北大学 雨澤 浩史

連絡先 : koji.amezawa.b3@tohoku.ac.jp