

NEDOエネルギー・地球環境分野成果報告会2026

プログラムNo. 603-3-12

水素利用拡大に向けた共通基盤強化のための研究開発事業/
次世代燃料電池・水電解の要素技術開発/

低コスト水素製造を実現する プロトン伝導セラミック電解セル(PCEC)の研究開発

発表: 2026年7月23日

(国)東北大学 (国研)産業技術総合研究所
(一財)電力中央研究所 (国)九州大学
(国)宮崎大学 (国)横浜国立大学
(株)エア・リキード・ラボラトリーズ
【再委託】 (国)名古屋工業大学
【共同実施】 (株)デンソー 日本特殊陶業(株)

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 雨澤 浩史(東北大学)

問い合わせ先 国立大学法人東北大学 雨澤 浩史 E-mail: koji.amezawa.b3@tohoku.ac.jp

事業概要

「低コスト水素製造を実現するプロトン伝導セラミック電解セル (PCEC)の研究開発」

1. 期間

開始：2025年7月
終了（予定）：2027年3月

2. 最終目標

研究開発課題	目標項目・最終目標（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耐性
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

3. 成果・進捗概要

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(モデル電極、同位体効果、等)に着手・手法確立

(2) 積層電極による電流効率向上

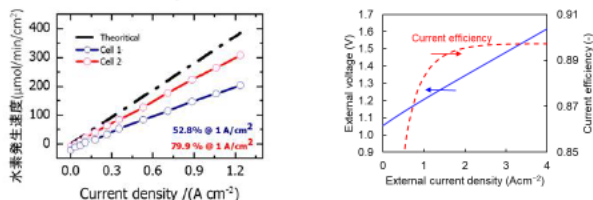
- ・ 独自の積層構造電極の適用
- ・ ファラデー効率50～80%@ 600℃

(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



積層電極による効率向上 EC運転下の効率予測

化学的安定性・耐久性の検証と確保

(1) PCECセルの耐久試験

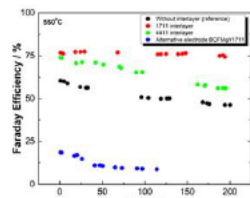
- ・ 定電流試験(200 h)@550℃を実施
- ・ 中間層導入によるファラデー効率向上
- ・ 中間層組成最適化により安定動作を確認

(2) 化学的安定性の検討

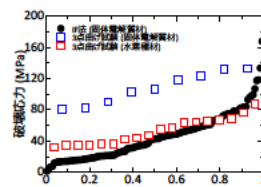
- ・ 新規組成酸素極の開発、安定性検討
- ・ 電解質表面の組成ズレ→界面抵抗要因

(3) 酸素極劣化

- ・ モデル電極による劣化機構評価に着手



PCECセルの耐久試験



破壊強度の統計解析

セル大面積化・スタック化の要素技術

(1) 要素技術を実装したPCECセル開発

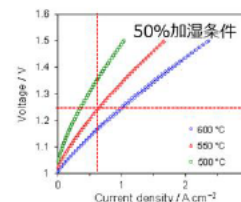
- ・ 0.6 A/cm²@550℃
- ・ 300時間の安定した電解運転を実現

(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

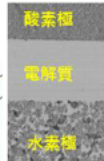
(3) 企業への技術移転

- ・ PCEC実用セル開発に着手
- ・ 大判セル試作プロセス構築



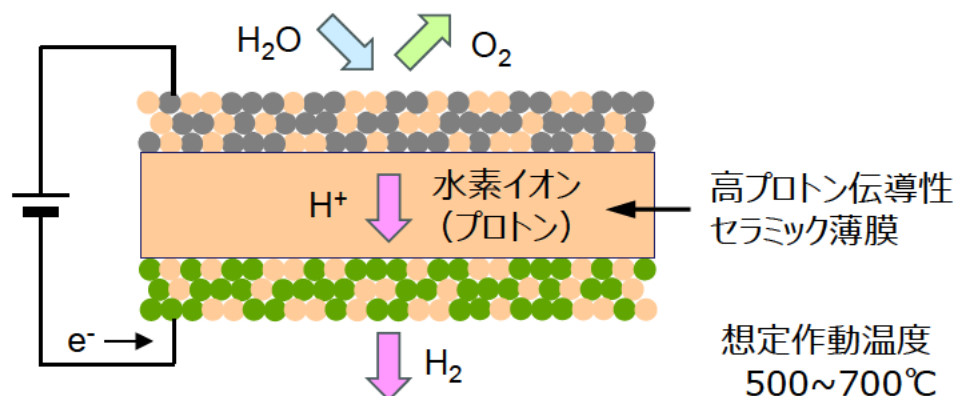
要素技術実装セルの性能

試作大判セル



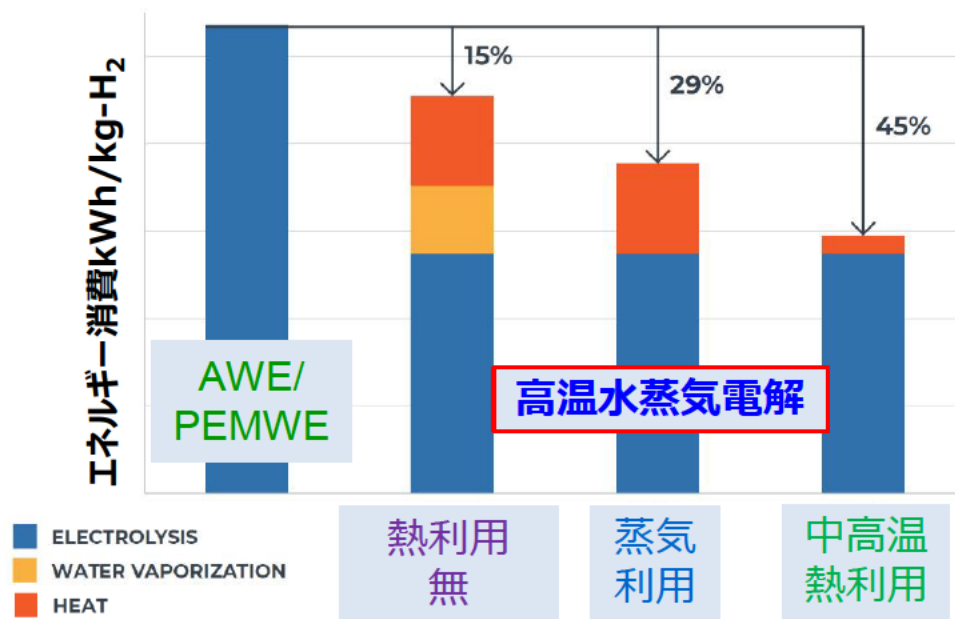
事業の位置付け・必要性

プロトン伝導セラミック電解セル (PCEC)



高温水蒸気電解のメリット

- ・ 高効率水素製造
- 水蒸気・中高温熱の利用

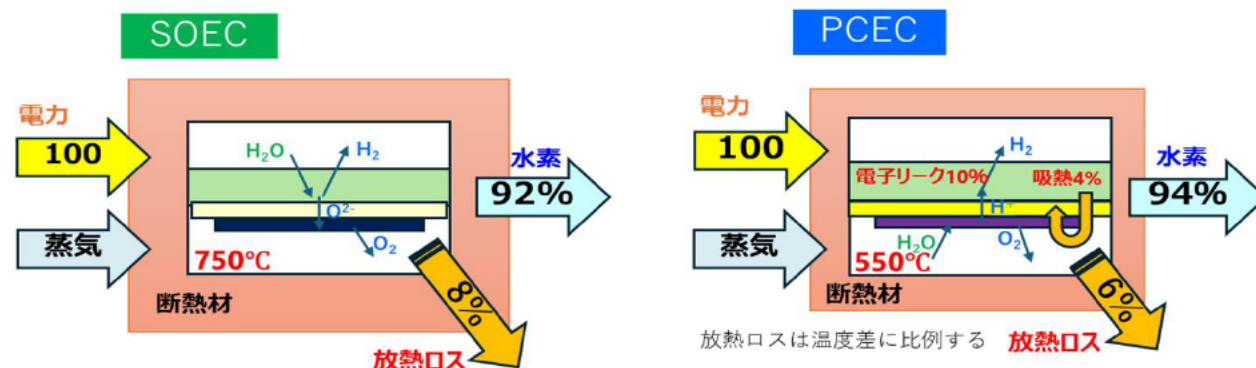


Ref. Be-Electrolyzer-White-Paper_07142021.pdf

	水電解		高温水蒸気電解	
	(商用段階)	(実証段階)	(実証段階)	(研究開発段階)
	AWE	PEMWE	SOEC	PCEC
電解電圧	1.7V	1.8V	1.3V	1.24V
電力消費	5kWh/Nm ³	4.5kWh/Nm ³	3.5kWh/Nm ³	0.5kWh/Nm ³
廃熱 (水蒸気) 利用				

事業の位置付け・必要性

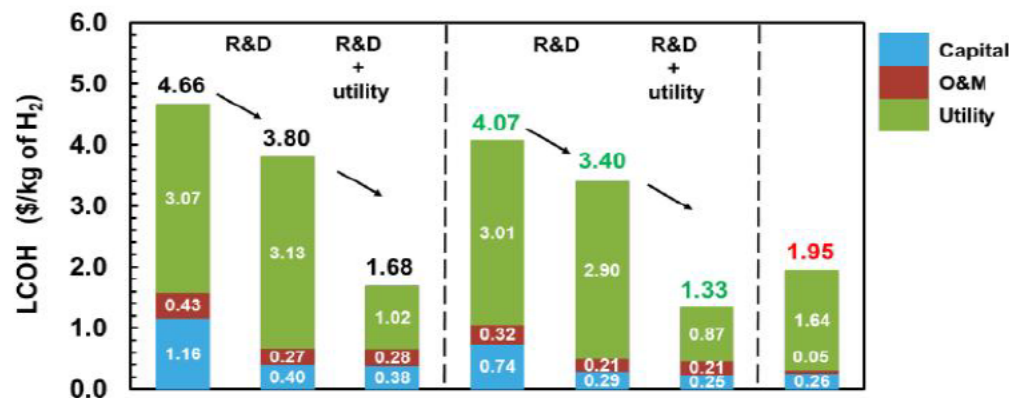
PCECに期待される独創性・優位性



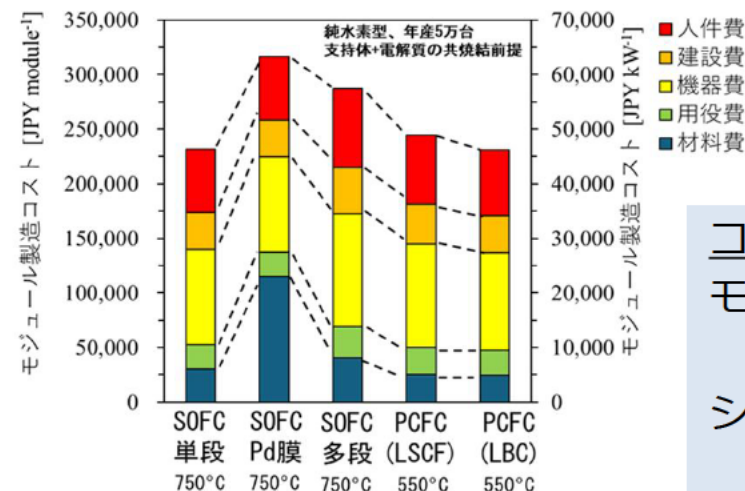
酸素極への水蒸気導入, 中低温作動

PCECに期待されるメリット

- ・ドライ/加圧水素の製造
- ・システム簡素化
- ・耐久性の向上 (Ni触媒劣化 etc.)
- ・安価な金属材料が利用可能
- ・放熱損失の低減 (効率の向上)
- ・中低温域の熱利用可能
- ・負荷追従性の向上
- ・起動時間・エネルギーの低減



	SOEC		PCEC (40% steam)		SMR
Capacity factor	82.4	87.5	82.4	87.5	0.9
CAPEX (\$/kW)	820	430	450	250	-
Electricity cost (\$/kWh)	6.6	2.0	6.6	2.0	-
Efficiency [%] (LHV)	66	72	68	75	-



コスト

モジュール：
PC~SO
システム・運転：
PC<SO

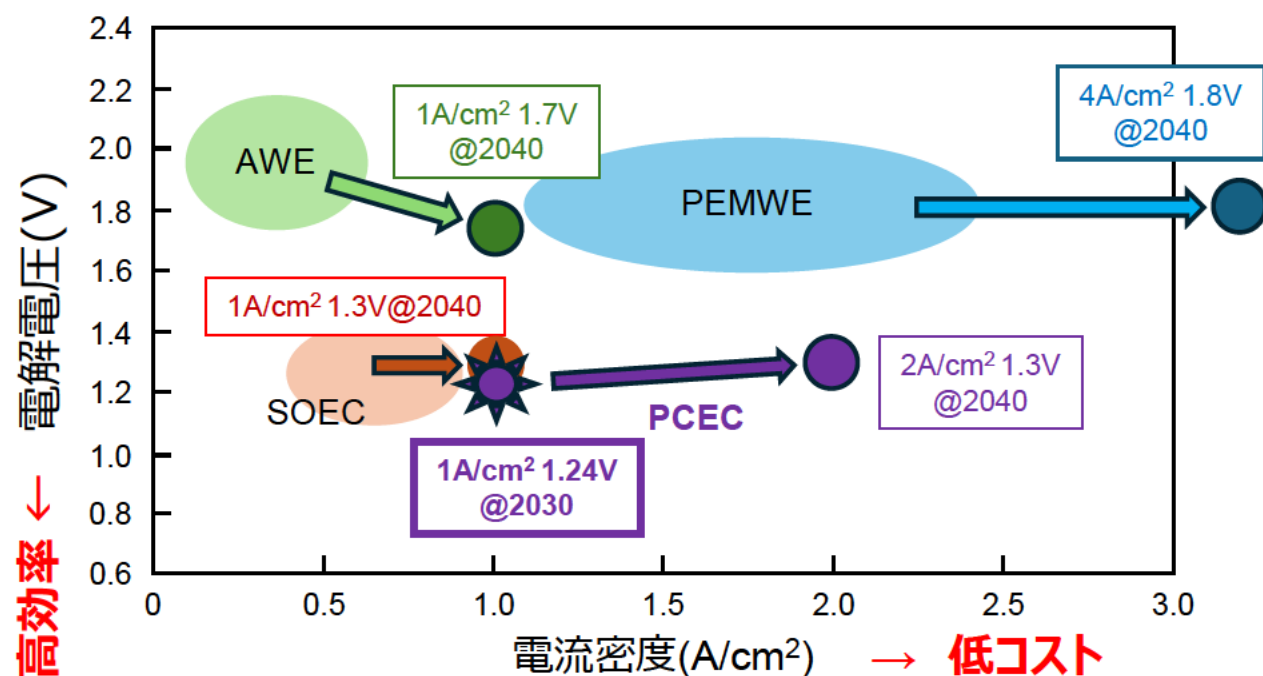
出典：DOE Report "Proton-Conducting Ceramic Electrolyzers for High-Temperature Water Splitting", DE-EE0008376, Oct. 10. 2022

SOFCとPCFCのモジュール製造コストの比較
出典：前NEDO事業WP3成果報告書

研究開発マネジメントについて

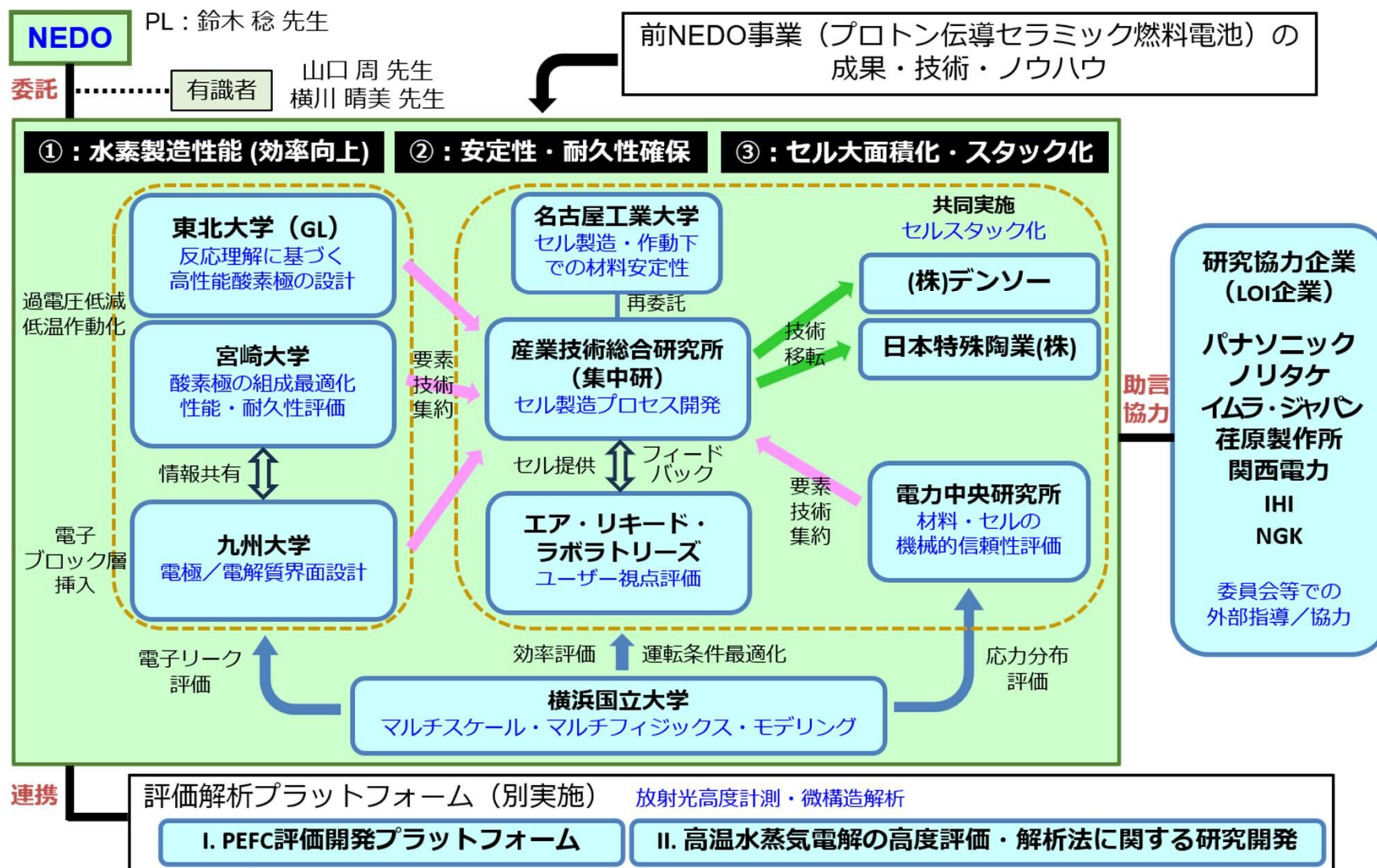
研究開発目標と目標設定の考え方（根拠）

研究開発課題	目標項目・最終目標（2030）	設定の根拠
水素製造性能（電流効率と電流密度）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	・AWE, PEMWEよりも高く, SOECと同等 ・将来SOEC以上の実現を想定 ○ 欧州・DOE開発目標をベンチマーク
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耐性	・燃料電池動作（前NEDO事業）で1%/1,000hr以下の実績あり ○ 海外文献事例：PCEC劣化<PCFC劣化
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	・現状で5～8cm角単セル ・実用化を想定して10cm角 ○ 共同実施メーカーと協議



<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.11.050>,
NEDO水電解ロードマップを参考に作成

研究開発マネジメントについて ～研究開発実施体制～



研究開発の進捗管理（マネジメント）や知的財産戦略に関する独自の取り組み：

- ・ 研究開発マネジメント：外部有識者，技術検討委員会（研究協力企業）
- ・ 研究開発推進：全体会議（年2回），進捗会議（年2回），技術移転会議，サテライト会議
- ・ 知財・連携：知財検討委員会，PEFC評価開発PF・SOEC研究開発との連携

各実施機関における開発項目

開 発 項 目	実施機関	概 要
①反応理解に基づく酸素極の高性能化・高耐久化	東北大	・モデル電極を用いた反応機構，反応特徴量，劣化機構の理解 ・高度解析（放射光計測）の利用 ⇔ 高度解析PF / SOECとの連携 ・電極材料・構造の最適化設計指針の提示
②高性能・高耐久な大面積セルを実現するプロセス開発	産総研 (名工大) (デンソー／日特陶)	・大面積化セルの製造プロセス開発，性能評価 ・製造プロセスやセル部材の共同実施企業への技術移転【集中研】 ・セル部材の安定性（水蒸気耐性など）評価，改良
③材料およびセルの機械的信頼性評価	電中研	・PCEC動作環境下でのセル構成材料の機械特性評価 ・連成解析によるセル内応力分布評価 ・実験，解析評価と機械学習予測を組み合わせたセル改良指針の提示
④リーク電流抑制に向けた界面設計	九州大	・積層構造電極の設計・開発 ・LEIS, SIMSによる界面分析
⑤DX技術を活用した高活性で安定な酸素極の組成最適化	宮崎大	・機械学習による酸素極組成および製造プロセスの最適化 ・セル評価解析（EIS／DRT解析，同位体解析）
⑥マルチスケール・マルチフィジックスモデリング	横浜国大	・電解評価用マルチスケール・マルチフィジックスシミュレーションモデルの開発 ・実測によるモデルの妥当性検証 ・シミュレーションに基づく最適なセル・スタックの構造設計，運転条件設定
⑦新規PCECの産業ユーザー視点からの評価	エア・リキード・ ラボラトリーズ	・開発セルの評価（水素生成量，リーク電流，電解効率の定量化） ・長期耐久性評価 ・フィジビリティスタディ，社会実装時の技術開発課題／市場性の検討

研究開発成果について

研究開発内容① 反応理解に基づく酸素極の高性能化・高耐久化 (東北大学)

概要 PCEC酸素極の高性能化・高耐久性を目的とし、モデル電極を用いて反応・劣化機構を明らかにするとともに、これらに基づき、有効な材料・組成・構造の設計指針を提示する。

研究開発の目標

独自のモデル電極を適用し、PCEC酸素極における反応・劣化メカニズムを解明する。また、これらのメカニズム理解に基づき、電極高性能化・高耐久性化のために最適な材料・組成・構造の設計指針を提示する。さらに、評価解析プラットフォーム（放射光高度計測）と連携し、セル・電極のオペランド評価を行い、有効反応場の実験的評価、反応経路や劣化機構の解明を行い、それらの知見を実セル改良に活用する。

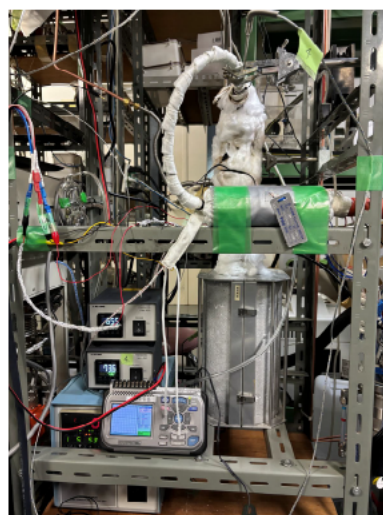
目標達成に向けたアプローチ



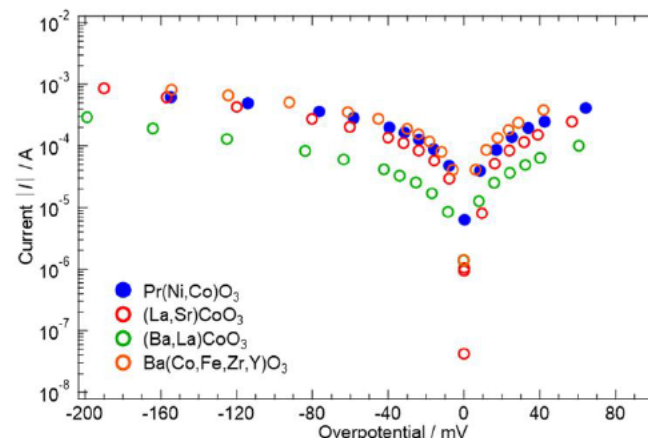
- ✓ モデル電極を用いた反応機構、反応特徴量、劣化機構の理解
- ✓ 電極活性向上効果の検証（コンポジット、表面修飾 etc.）
- ✓ 放射光高度解析の利用（有効反応場、反応経路の特定 etc.）

研究開発の進捗状況

- ・モデル電極を用いて、微細構造等の影響を排除した、電極材料固有のEC電極反応活性のスクリーニングを実施
- ・評価解析PFとの連携を通し、PCEC酸素極の電極反応場の実験的評価に成功
- ・EC反応進行時の酸素極劣化の評価・機構解析を開始



新たに導入された高加湿条件下酸素極評価装置



600°Cにおける各種パターン緻密膜酸素極のIV特性

PCEC酸素極の高性能化・高耐久化のための電極材料・構造設計指針の提示 ⇒ 技術移転

研究開発成果について

研究開発内容② 高性能・高耐久な大面積セルを実現するプロセス開発

産業技術総合研究所、名古屋工業大学（再委託）、デンソー（共同実施）、日本特殊陶業（共同実施）

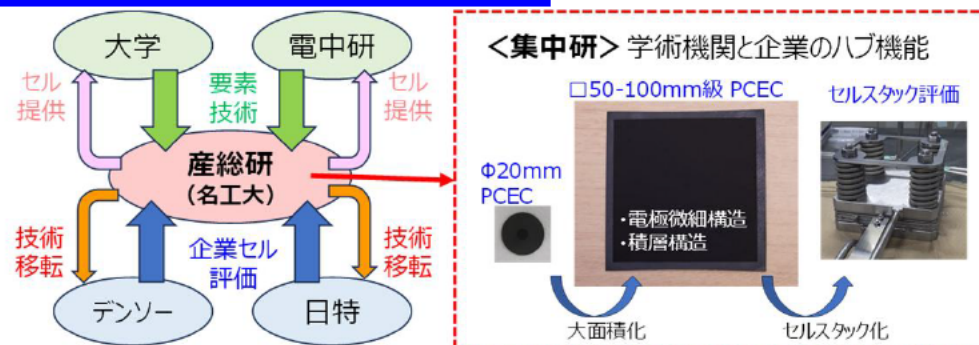
概要 高性能・高耐久な大面積セルを実現するため、産学官連携の集中研を産総研に設置し、①要素技術のセル実装、②大面積化プロセスの開発、③企業への技術移転と企業開発セルの評価を行う。

研究開発の目標

企業による高性能・高耐久なPCECセルスタック開発の実現を目指し、下記を目的とした研究開発に取り組む。

- 要素技術が大面積セルに実装するためのセル化プロセスを開発する。
- 開発プロセスやセル部材を共同実施企業に技術移転する。
- 企業が試作する大面積セルの性能を実証する。
- 酸素極材料の水蒸気耐性と安定性を評価・改良する。

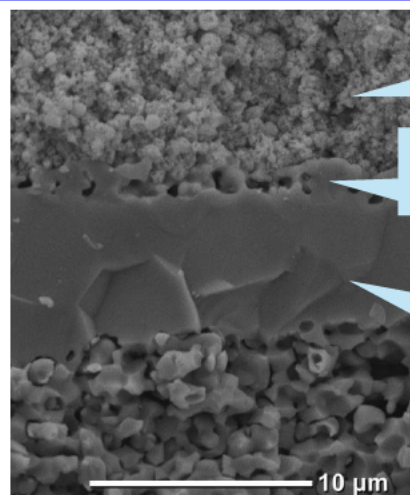
目標達成に向けたアプローチ



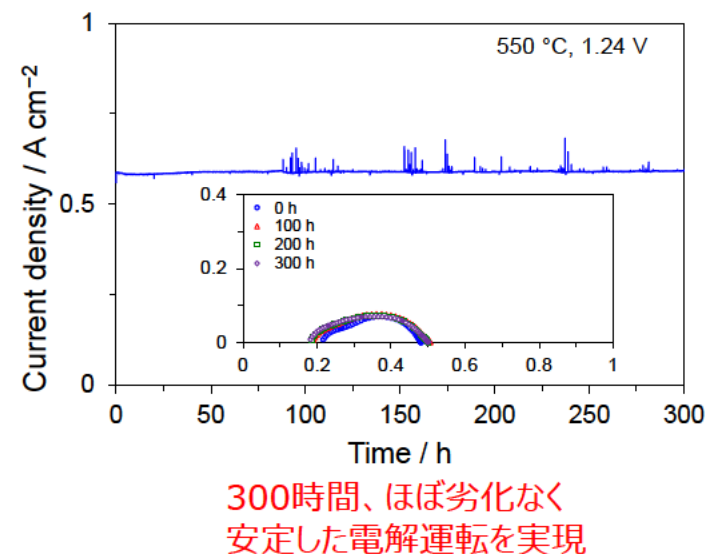
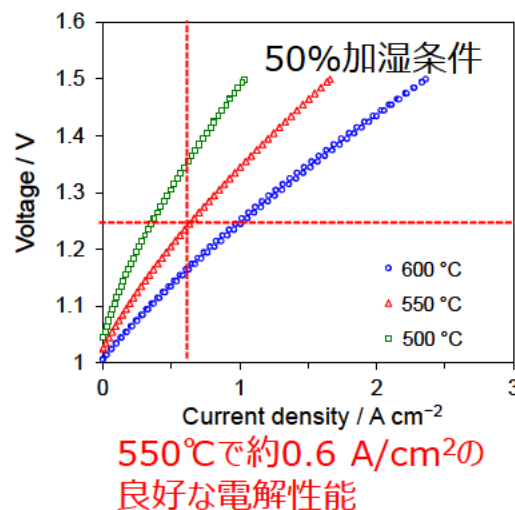
集中研方式により、要素技術のセル実装、企業への技術移転、大面積セルの作製と評価を一貫して実施

研究開発の進捗状況

(1) 要素技術を実装したPCEC開発（産総研）



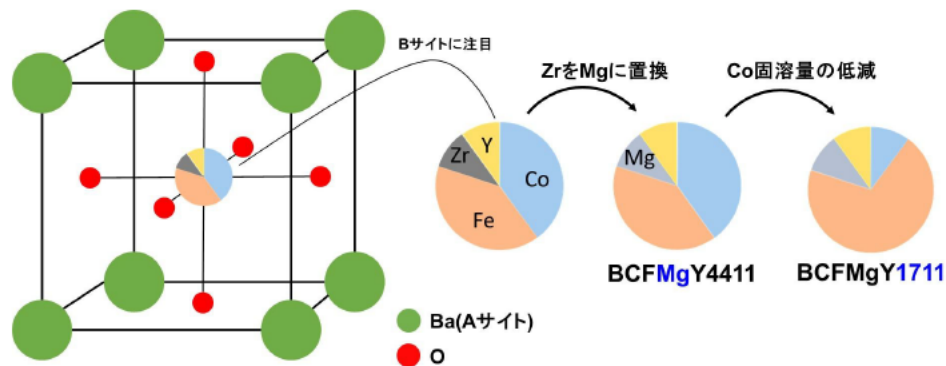
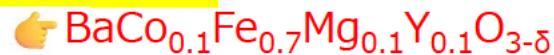
高活性な
ナノ複合電極
効率と耐久性を
向上させる中間層
Ba活量を制御した緻密な電解質



研究開発の進捗状況

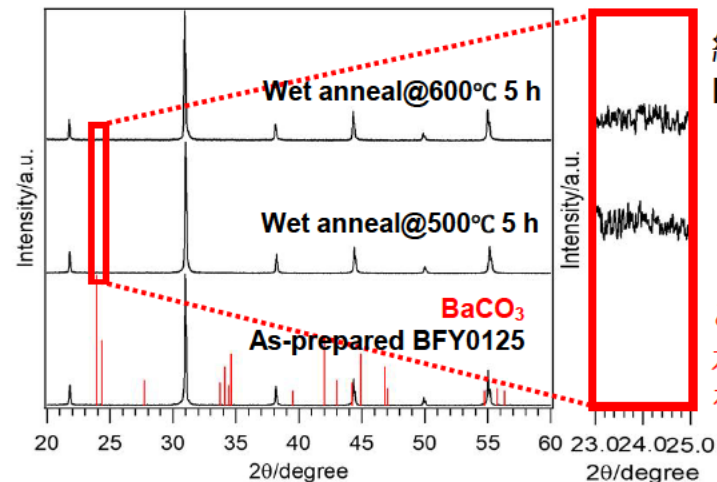
(2) 水蒸気耐性酸素極の提案 (産総研・名工大)

高活性 + 優れた水蒸気耐性を有する新規材料



Co量を減らすことで、水蒸気耐性が向上することを確認

(3) 酸素極の水蒸気耐性の評価と劣化解析 (名工大)



組成が比較的単純な
BFY0125を水蒸気暴露
・結晶構造に変化なし
・BaCO₃等の析出なし

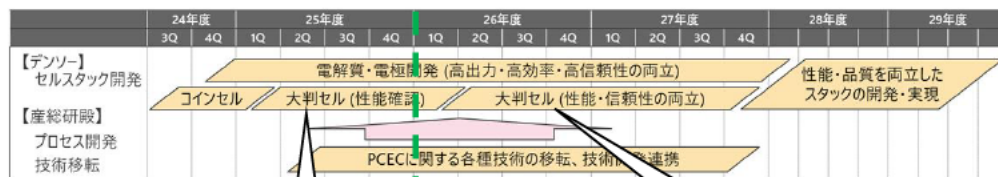
この水蒸気暴露条件で、
水蒸気耐性を示すこと
を確認

BaFe_{0.875}Y_{0.125}O_{3-δ} (BFY0125)の水蒸気暴露試験前後のXRD
(水蒸気濃度約30%+空気)

(4) 企業への技術移転① (デンソー)

- 技術移転を通し、大判セル試作プロセス構築、電解性能評価を実施
- 各基盤機関と連携し、性能・信頼性を両立するPCECセル開発を推進

■実施計画



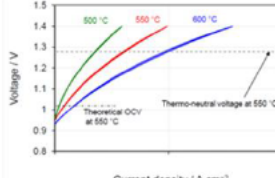
【25年度】

■大判セル具現化

外観図 / 断面構造



■セル電解性能検証

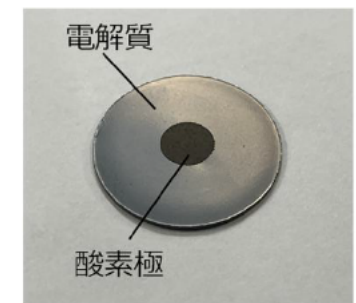
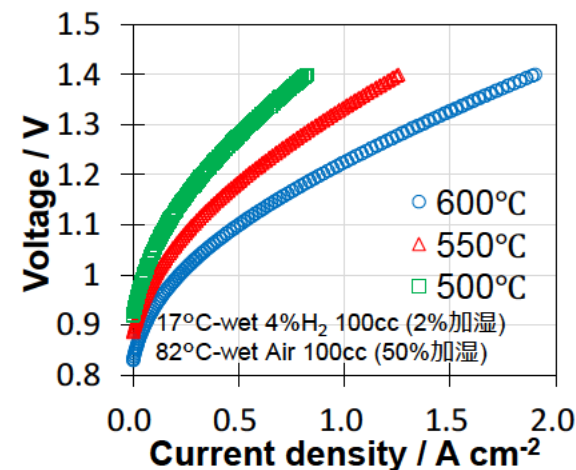


【26年度】

セル評価・解析を通し、
課題を導出

各機関との連携により、
各課題に対する技術開発
とセル実装を推進

(5) 企業への技術移転② (日本特殊陶業)



セル外観

Nittera製ボタンセル (φ20mm) で、産総研と同等の
PCEC性能 (0.6A/cm²@1.24V, 550°C) を確認

大判試作プロセスを確立し、性能と信頼性を両立するPCEC開発に着手

研究開発成果について

研究開発内容③ 材料およびセルの機械的信頼性評価（電力中央研究所）

概要 PCECのロバスト性向上のため、破壊強度試験および機械学習による材料評価技術を活用し、セル構成材料および大面積セルの機械特性評価から内部応力分布解析に取り組む。

研究開発の目標

プロトン伝導セラミック電解セルでは、**電解質の水和膨張**、酸素極との**熱膨張差**、水素極の**酸化膨張**などにより機械的な**セル破損**が懸念される。そこでセル構成材料および単セルの**機械特性評価**と有限要素法等による**内部応力分布解析**から、機械的な破損を回避できるセルの仕様・構造・構成を提示する。**セル改良指針にフィードバック**することにより、**PCECのロバスト性向上**を図る。

目標達成に向けたアプローチ

セル/構成材料
の機械特性評価

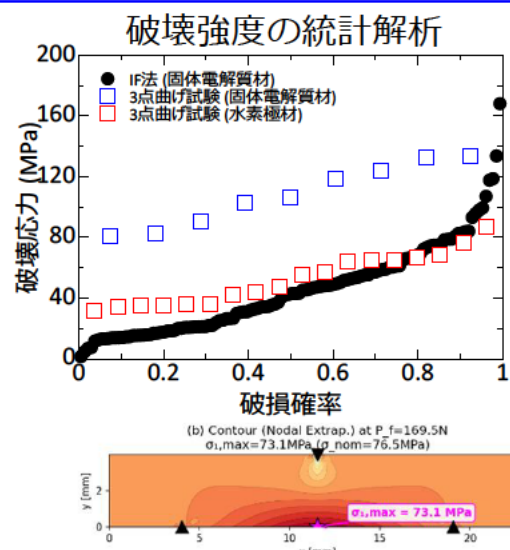
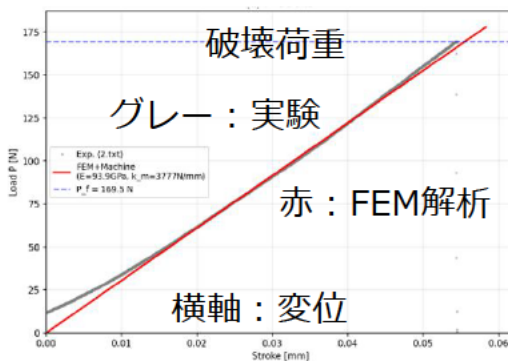
電気化学反応/
熱伝導/弾塑性変形
連成解析

セル仕様・構造・
構成の改良

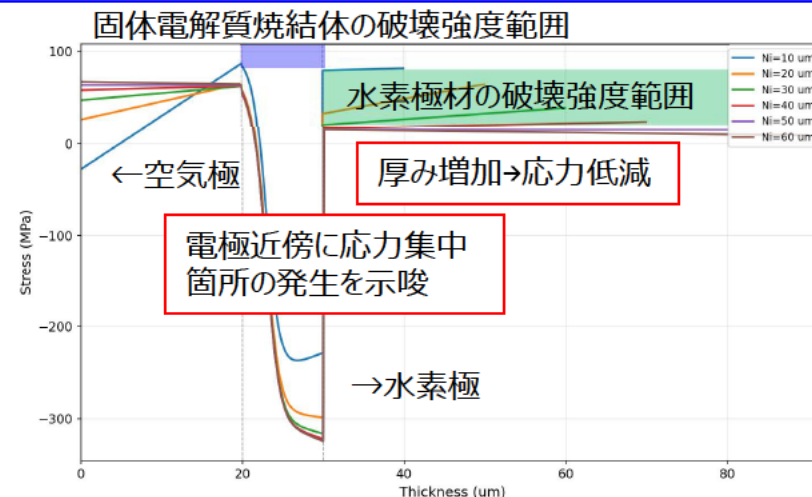
- ✓ PCEC動作環境下でのセル構成材料の機械特性取得
- ✓ セル内での現象の連成解析により応力分布評価
- ✓ 実験・解析評価と機械学習予測を組み合わせたセル改良指針

研究開発の進捗状況

水素発生極の強度試験作製例
60 wt%NiO添加BZCYYb4411



音速計測から弾性率を決定
FEM解析で3点曲げ試験を再現
→最大主応力で**破壊強度**を評価



FEM解析によるセル厚み方向の定常応力分布
室温破壊強度とピーク応力のレンジは同程度
→セル構造設計・運転条件にフィードバックし破損回避
※高温強度は2026年度評価

研究開発成果について

研究開発内容④ リーク電流抑制に向けた界面設計（九州大学）

概要 電解質－酸素極界面に電子ブロッキング機能を付与した積層構造を導入し、PCEC電流効率低下の主要因となる電解質におけるホール伝導起因の電子リークを抑制することで電流効率の向上を目指す。

研究開発の目標

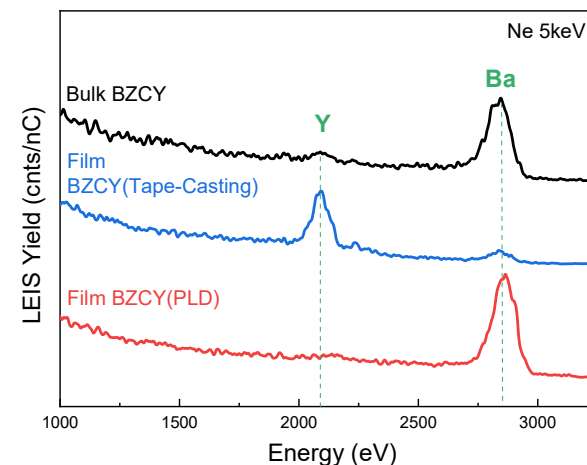
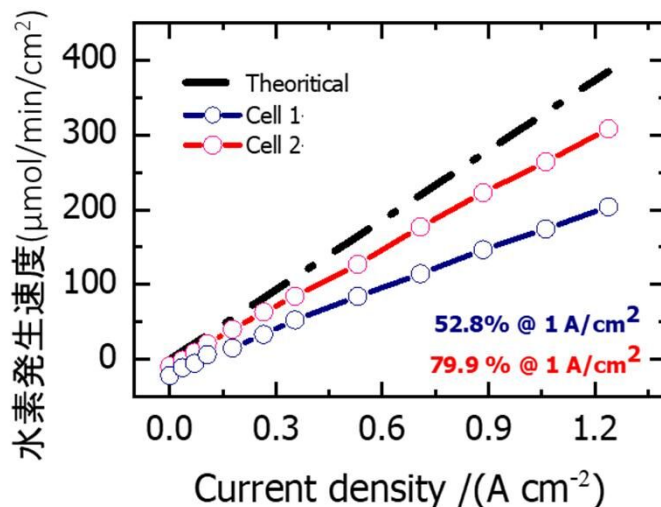
- ・電子リーク抑制機能を有するPCEC界面構造の設計・開発
- ・電流効率95%以上を実現可能な酸素極／電解質界面構造の確立
- ・界面構造と電子リーク抑制機構の相関を明らかにし、設計指針を構築する

目標達成に向けたアプローチ

- ・**積層構造酸素極の設計・最適化** 電子ブロッキング機能を有する積層構造酸素極の最適化により、電子リーク抑制と電極性能の両立。
- ・**界面構造と作動機構の解明** 電気化学測定および表面・界面分析による各部材や界面の役割の解明

研究開発の進捗状況

- ・BZCYYb4411電解質を用いたPCECセルを作製し、水蒸気電解特性を評価
- ・従来の電極構造による電解において、600℃におけるファラデー効率50～80%を達成（今後の検討に対するベンチマーク）
- ・LEIS分析により、電解質表面でのBa濃縮およびBa欠損層形成を確認
- ・界面組成ずれが空気極界面抵抗の主要因である可能性を示唆。



水蒸気試験時の水素発生速度、および、BZCYの表面組成の低エネルギー散乱分光法(LEIS)による分析結果

研究開発成果について

研究開発内容⑤ DX技術を活用した高活性で安定な酸素極の組成最適化（宮崎大学）

概要

機械学習を活用し、PCECに適した電解質、水素極、空気極の組成および作製プロセスの最適化を行う。

研究開発の目標

PCECにおける電流効率低下の一要因は酸素極における抵抗であり、高い酸素発生反応（OER：Oxygen Evolution Reaction）活性を有した酸素極材料が必要である。本グループでは機械学習を用いて性能と耐久性を兼ね備えた酸素極開発のための組成最適化を行う。

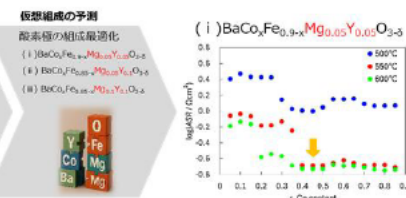
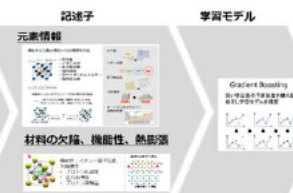
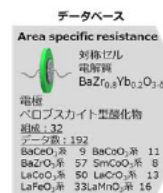
目標達成に向けたアプローチ

- 機械学習による酸素極材料組成およびプロセスの最適化
 - 電解セル評価解析
 - インピーダンス・DRT解析
 - プロトン/デューテロン同位体解析
- DX技術とインピーダンス高度解析を組み合わせた材料最適化

研究開発の進捗状況

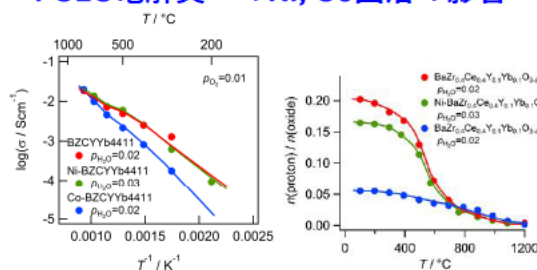
- PCEC電解質へ電極構成成分であるNiやCoが固溶した際の影響を検討
- 機械学習によるBa-Co-Fe-Mg-Y-O系空気極の最適組成を予測および検証

対称セルによる酸素極ASR予測



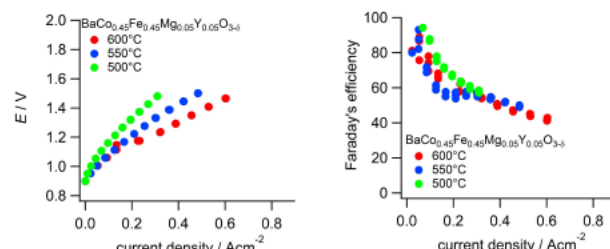
機械学習によるASRのCo、Fe濃度依存性を予測し、40at.%以上のCoで高い活性を示すことを示唆

PCEC電解質へのNi、Co固溶の影響



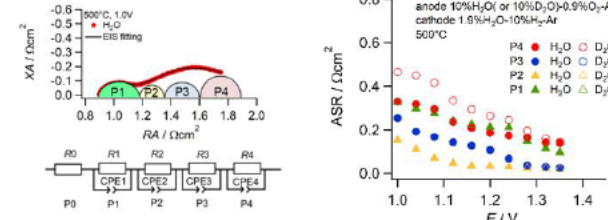
- Niが固溶してもプロトン伝導率、水和量に影響なし
- Co固溶によりプロトン伝導率、水和量が減少

予測を基に作製した酸素極を用いたPCEC電解特性



- 予測もとに組成最適化した酸素極でPCEC特性を評価
- 500℃で75%@1.21V、600℃で57%@1.22Vのファラデー効率

H₂O/D₂O置換におけるインピーダンス同位体効果



- 最も高周波のインピーダンス成分で同位体効果が観察
- 水蒸気からプロトンへの分解に関連する抵抗成分が最も大きいことが判明

研究開発成果について

研究開発内容⑥ マルチスケール・マルチフィジックスモデリング（横浜国立大学）

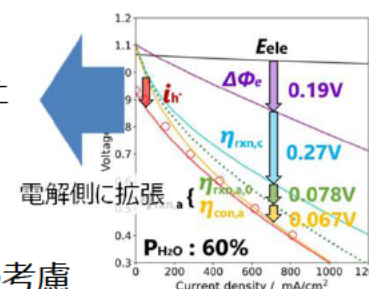
概要 セル・スタック内の熱・物質・イオンの輸送と反応を考慮するマルチスケール・マルチフィジックスなシミュレーションモデルを開発し、最適なセル・スタック構造と運転条件決定を支援する。

研究開発の目標

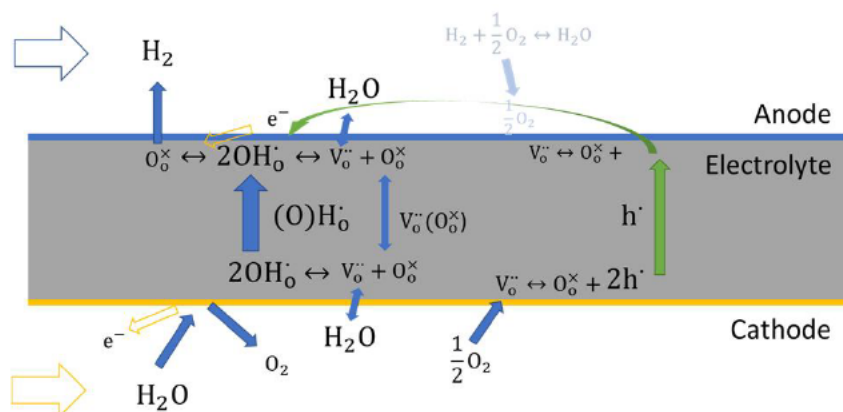
ホール伝導は電流効率の低下、そして電解のエネルギー効率の低下を引き起こすだけでなく発熱をもたらす。また、局所温度上昇によるさらなるホール伝導度の増加は、熱応力によるセル構造の破壊等の問題も引き起こす。一方、ホール濃度・伝導度は温度以外にも酸素濃度や水蒸気濃度の影響を受けるため、適正なセルスタック構造や運転方法を検討するためにはセル内部のイオン・電子・反応物質の輸送とその分布を理解する必要があり、シミュレーションによる開発支援が必要である。

目標達成に向けたアプローチ

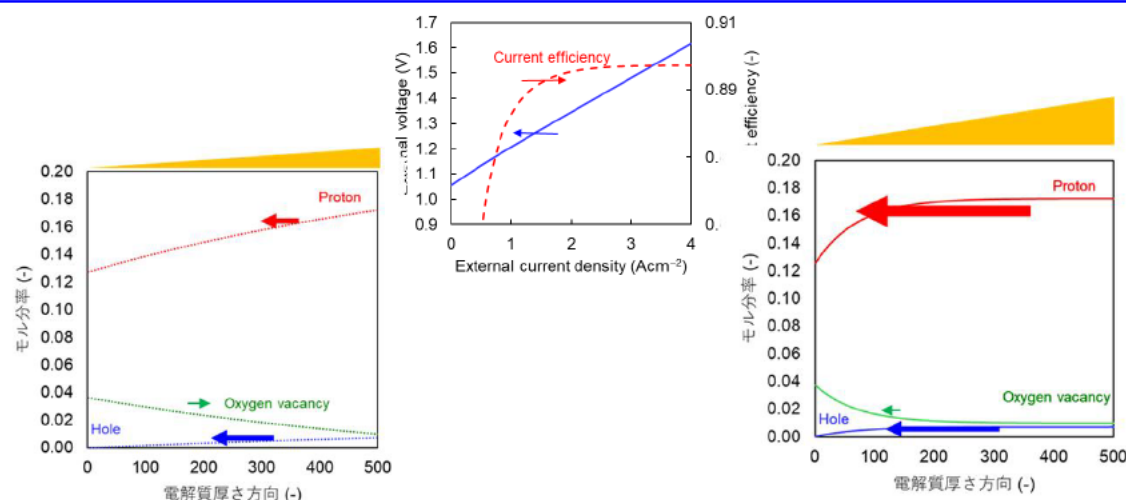
- ✓ 前プロジェクトでFC向けに開発したモデルを電解側に拡張
- ✓ 水蒸気雰囲気や温度を変化させた実測と比較し妥当性検証
- ✓ スタック内雰囲気・電流密度分布の考慮



研究開発の進捗状況



プロトン・ホール・格子酸素(酸素イオン)輸送および熱・気体輸送連成モデルの開発



低電流密度域ではホールが拡散的にカソードにリークするのに対し、高電流密度域ではプロトンの泳動が主体となり相対的にファラデー効率が回復することを定量的に示した（実験の再現に成功）

研究開発成果について

研究開発内容⑦ 新規PCECの産業ユーザー視点からの評価（エア・リキード・ラボトリーズ）

概要

標準セルおよび各種中間層（BZCYYb1711や4411等）を導入したPCECセルの比較評価を実施し、効率と長期耐久性の検証を行った。

研究開発の目標

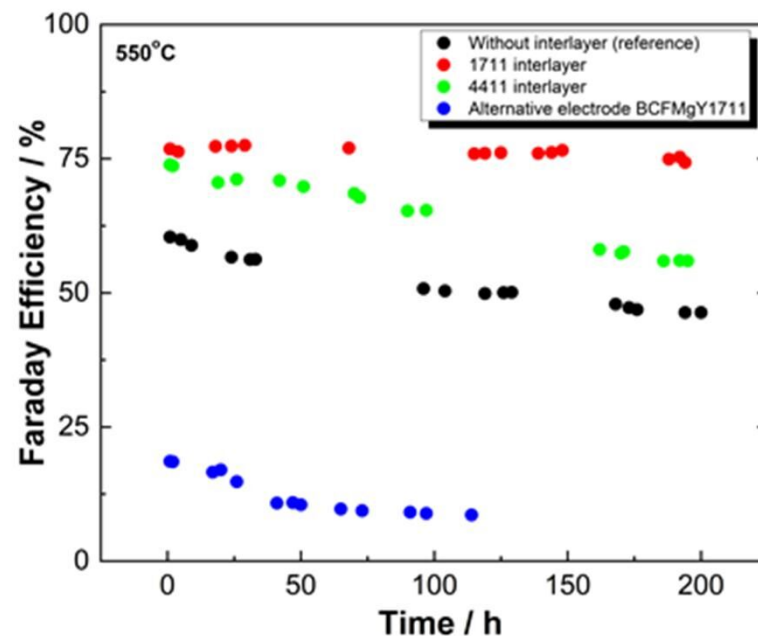
- PCECの産業利用（高効率水素製造）に向けた各セルの性能・安定性の検証と、産業実装に向けたユーザー視点からのフィードバックの提供

目標達成に向けたアプローチ

- 中間層（1711、4411等）の有無や異なる空気極を用いた各種セルを用意し、電気化学的性能を比較評価した。特に高電流密度下でのファラデー効率測定や、550℃での長期定電流試験（200時間）を通じ、電子リークの抑制効果と長期耐久性を検証した。

研究開発の進捗状況

- 中間層の導入により電子リークが効果的に抑制され、高電流密度下でのファラデー効率が大幅に向上した。
- 4411中間層導入セルは初期のファラデー効率で最高値（82%）を示したものの、定電流稼働において経時的な劣化が確認された。
- 一方、1711中間層導入セルは550℃・200時間の稼働で電圧劣化がほぼゼロであり、約75%の安定した効率を維持した。
- 現状では、1711中間層が効率と耐久性のバランスに最も優れており、産業応用の有力候補であることを確認した。



今後の見通しについて

内容	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度
開発概要	大面積セル開発			スタック開発	
研究開発項目					
①技術移転	材料選定・セル設計				
②性能向上	単セル性能			スタック性能	
③耐久性向上	1000時間耐久性実証			3000時間耐久性実証	
④セル大面積化	5cm角			10cm角	
⑤スタック化				ショートスタック	10セルスタック
マイルストーン (年度末)		標準セルの 基本仕様を 設定する	大面積化の 見通しを得る	スタック化の 見通しを得る	システム化の 見通しを得る

進捗会議・全体会議を通し、各実施機関で得られる要素技術を集中研（産総研）に集約



技術移転会議を通し、共同実施企業（株）デンソー、日本特殊陶業（株）に技術移転・スタック化

今後の見通しについて

実用化・事業化の取り組み

(1) PCECを用いた高効率水素製造水電解装置の実用化・事業化に向けた計画

年度	2020～ 2024	2025～2029	2030	2040	2050
研究開発フェーズ	PCFC基盤 技術	PCECセルスタック 開発 PCEC要素技術開発	システム 開発	導入・普及拡大	
TRL	3～4	5～6	7～8	9	
実用化・事業化			事業化判断	国内オンサイト設置 10MW級	
事業化シナリオを大学・研究機関とメーカーで共有			量産設備	海外再エネ適地 GW級	

(2) PCECの導入先、市場規模、導入シナリオに関する調査・検討

○低コストな水電解装置： 再生可能エネルギーを活用した高効率電解水素製造装置の 販売、設置、メンテナンス	市場規模想定：2040年300億円、2050年4,400億円
○水素製造・供給ビジネス： ・産業用水素需要に対応するオンサイト型水素製造（半導体工場等） ・未利用廃熱を利用した高効率水素製造・販売（工場廃熱、ゴミ処理場等） ・再エネ発電適地における大規模水素製造（太陽熱＋太陽光発電等） ・アンモニア、液体燃料合成、原子力水素への適用（～2050）	ビジネスモデル 調査・検討
○原材料・部材供給：電極材料、部材、製造プロセス機器の販売（研究協力企業）	

知財戦略方針

技術分野／機関	大学・研究機関	企業
評価解析	オープン	オープン／ クローズ
材料		
セルスタック	オープン／ クローズ	
水電解装置		クローズ
水素ビジネス		

(3) 研究協力企業（関心表明企業）への情報提供と事業化検討

パナソニック、リタケ、イムラ・ジャパン、荏原製作所、関西電力、IHI、NGK

→ 材料～システムの幅広いビジネス
領域で事業化の可能性を検討

Thank you for your attention !!