

NEDO水素・アンモニア成果報告会2025

発表No.A1-15

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／ 水素利用等高度化先端技術開発／ **アニオン交換膜水電解装置の大面積化に備えたMEA開発**

伊藤 博（産業技術総合研究所）

国立研究開発法人産業技術総合研究所
学校法人早稲田大学
国立大学法人北海道大学大学院工学研究院
株式会社トクヤマ
デノラ・ペルメレック株式会社
TOPPANホールディングス株式会社

2025年7月15日

連絡先：伊藤 博
産業技術総合研究所
(ito.h@aist.go.jp)

事業概要

1. 期間

開始 : 2023年6月

終了 : 2025年3月

2. 最終目標

本事業では、**2030年頃までに競争力のある1MWクラス以上の大型AEM水電解システムを上市することを目指し、2024年におけるAEM水電解中型スタック性能目標として、「電力原単位4.3kWh/Nm³を1.4A/cm²以上で実現すること」とした。**この達成に向け、「高機能化」、「大面積化・スタック化」に取り組む必要がある。さらに本事業後に開発する予定である大面積セルをベースとした「事業化に向けた指針策定」に取り組む。

3. 成果・進捗概要

- 特に新規アノード触媒の開発、あるいはアノード電極構造の最適化により顕著な電解性能の向上を実現し、小型セル（25cm²）では**1.8V@1.5A/cm²**という当初の目標をクリアすることができた。
- 中型セル・スタック（200～300cm²）では、当初の目標（**1.8V@1.4A/cm²**）までは至らなかったが、**1.8V以下@1.0A/cm²**という性能はクリアすることができ、運転温度が低めだったことを考えると有望な結果を得たと評価できる。
- システムモデルを元にしたコスト試算の結果、**AEMシステムにおいては、小面積セルスタックベースではなく大面積ベースのシステム構築の必要があることが明らかになった。**

1. 事業の位置付け・必要性

AEM水電解大型システム構築コンセプト

Enapter社

小型装置積層型大型システム。
小型装置のコストダウンにより全体コストの抑制を図る

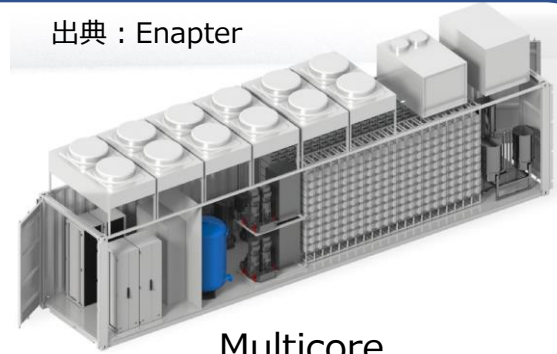


AEMスタック



AEM小型水電解装置

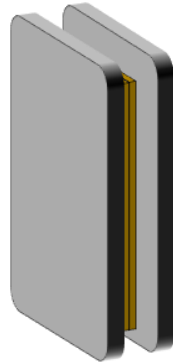
出典：Enapter



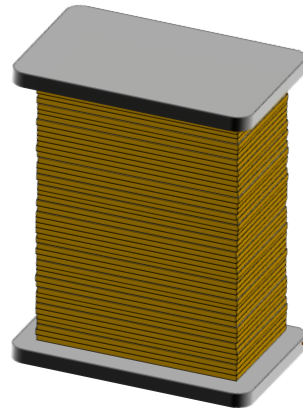
Multicore
(420units for 1MW system)

本提案

大面積セル・スタックを
ベースとしたMWスケールの
システム構築を指向する。

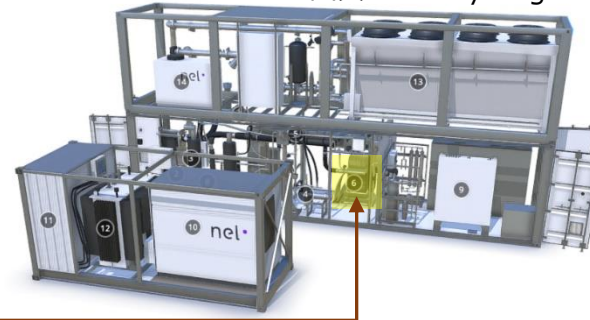


大面積セル
(本事業で開発)



大面積セル・スタック

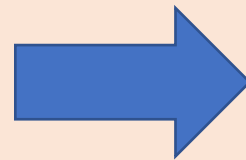
出典：Nel Hydrogen



大規模システム
(1MW級の例)

Enapterモデルの懸念点

- ✓ 電気配線, 配管網が冗長
- ✓ 検査点数増大.



大面積セル・スタックの導入で

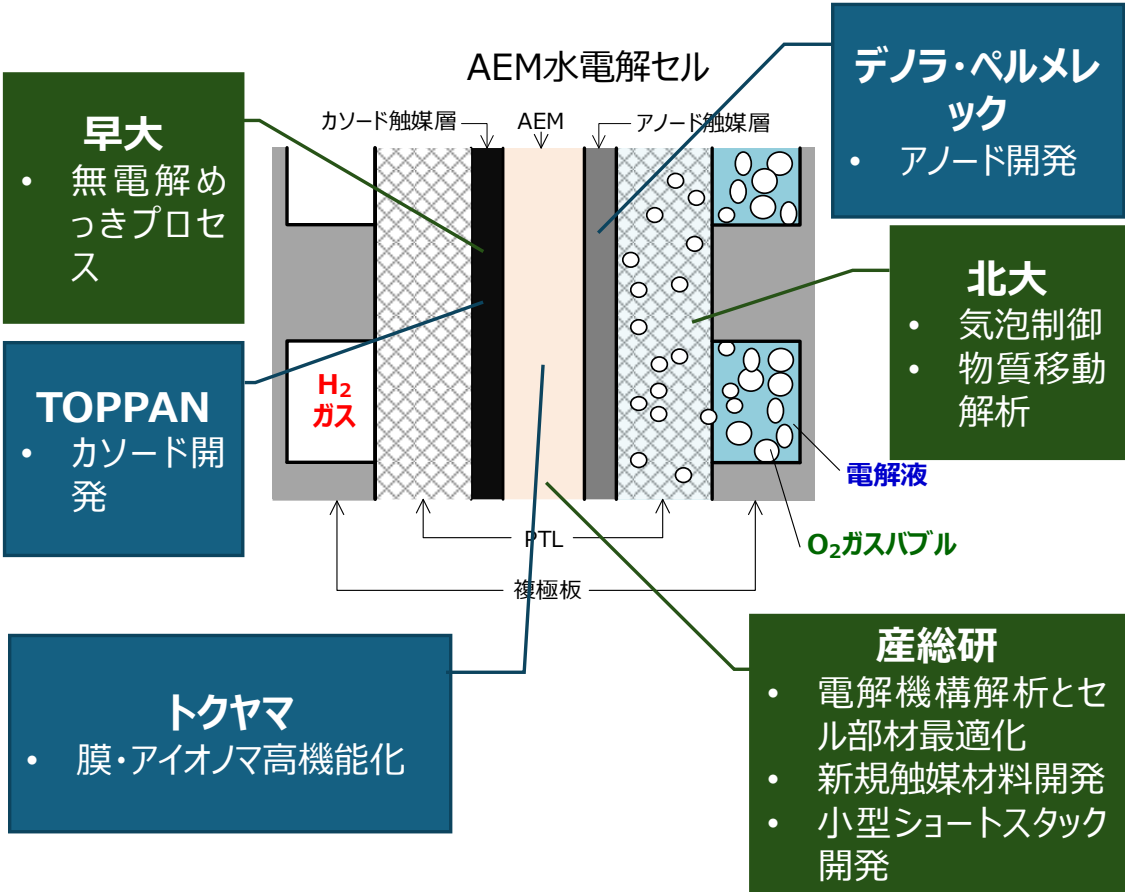
- ✓ 電解配線, 配管網が最小化
- ✓ 検査点数最小化.

大面積セルの電極面積は1,000cm²程度を想定。
事業開始当初は、この面積での評価も視野に入れていたが、大面積セルではMEA以外の部材や製作（BPP, セル・スタック締結, シール方法）に係る開発要素も多く、本事業では**中型セル・スタック (200~300cm²) 用 MEA開発**に焦点を絞ることとした。

本事業で開発したMEAを外部企業に提供し、同社のスタック・評価系を用いて性能評価を委託（外注）することとした。

2. 研究開発マネジメントについて <開発実施体制>

	実施項目	担当
1. AEM水電解セル高機能化に関する研究		
1-1	AEM水電解機構の解明とセル部材最適化	産総研
1-2	非貴金属系触媒の開発	産総研
1-3	カソード触媒形成用電気化学反応プロセス開発	早大
1-4	アノード触媒形成用電気化学反応プロセス開発	早大
1-5	アノード気泡制御技術の開発	北大
1-6	アニオン交換膜物質移動特性解析	北大
1-7	アニオン交換膜およびアイオノマの高機能化	トクヤマ
1-8	アノードPTLおよびPTEの開発	デノラ・ペルメレック
1-9	カソード触媒塗工技術の開発	TOPPAN
2. AEM水電解中型スタック用MEAの開発		
2-1	小型セル・スタックを用いた課題抽出	産総研
2-2	中型セル用MEA開発と中型セル・スタックを用いた性能評価	全機関
3. AEM水電解大面積セル構成部材の事業化に向けた指針策定		
3-1	大面積セル構成部材の事業化に向けた指針策定	全機関

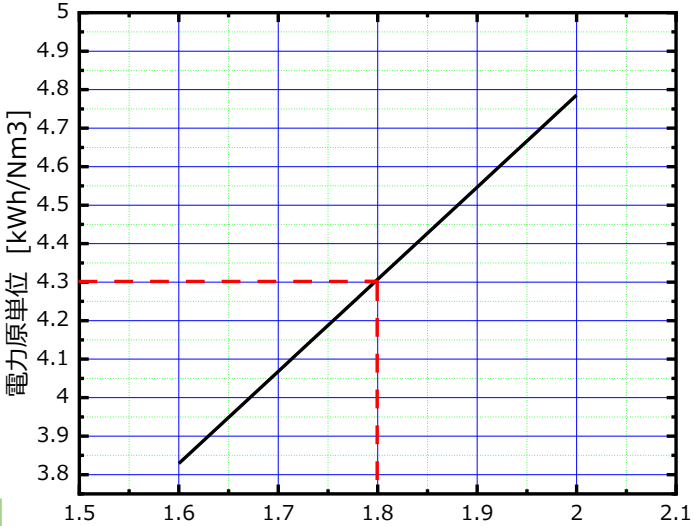


MEA開発に主眼をおき、
アカデミア3者は、新規部材開発、評価解析
企業3者は、従来技術の高機能化、大面積化
を主要ミッションとした。
相互に連携を取りながら事業を推進

2 . 研究開発マネジメントについて <研究開発の目標と目標設定の考え方>

表 AEM水電解に係る欧州目標(2022)

	諸元	単位	AEMWE		
			SoA(2020)	2024	2030
システム	エネルギー消費量	kWh/Nm3	4.9	4.7	4.3
	設備コスト	万円/Nm3/h (万円/kW)	63.8 (13)	33.8 (7.2)	16.7 (3.9)
	メンテナンス	円/(Nm3/h)/年	9500	7500	5900
スタック	劣化率	%/1000時間	>1.0	0.9	0.5
	電流密度	A/cm2	0.5	0.6	1.5
	貴金属使用量 (Pt/C,IrO2)	mg/W	1.7	0.4	0
その他	ホットスタート	秒	30	15	5
	コールドスタート	秒	1800	450	150



電解電圧 – 電力原単位

主要研究開発目標

小型セル(25cm²)

電解性能：
1.80V以下@1.5A/cm²

中型セル・スタック (200~300cm²)

電解性能：
1.80V以下@1.4A/cm²

システム電力原単位の目標値4.7 kWh/Nm³からスタックの原単位目標を4.3 kWh/Nm³に設定

スタックの原単位目標を4.3 kWh/Nm³ = 電解電圧を1.8Vに設定

PEM水電解性能, AEM水電解の最新文献値などを参考に, 電解電圧1.8Vに達する電流密度としてを1.5 A/cm²(小型セル), 1.4 A/cm²(中型セル・スタック)に設定

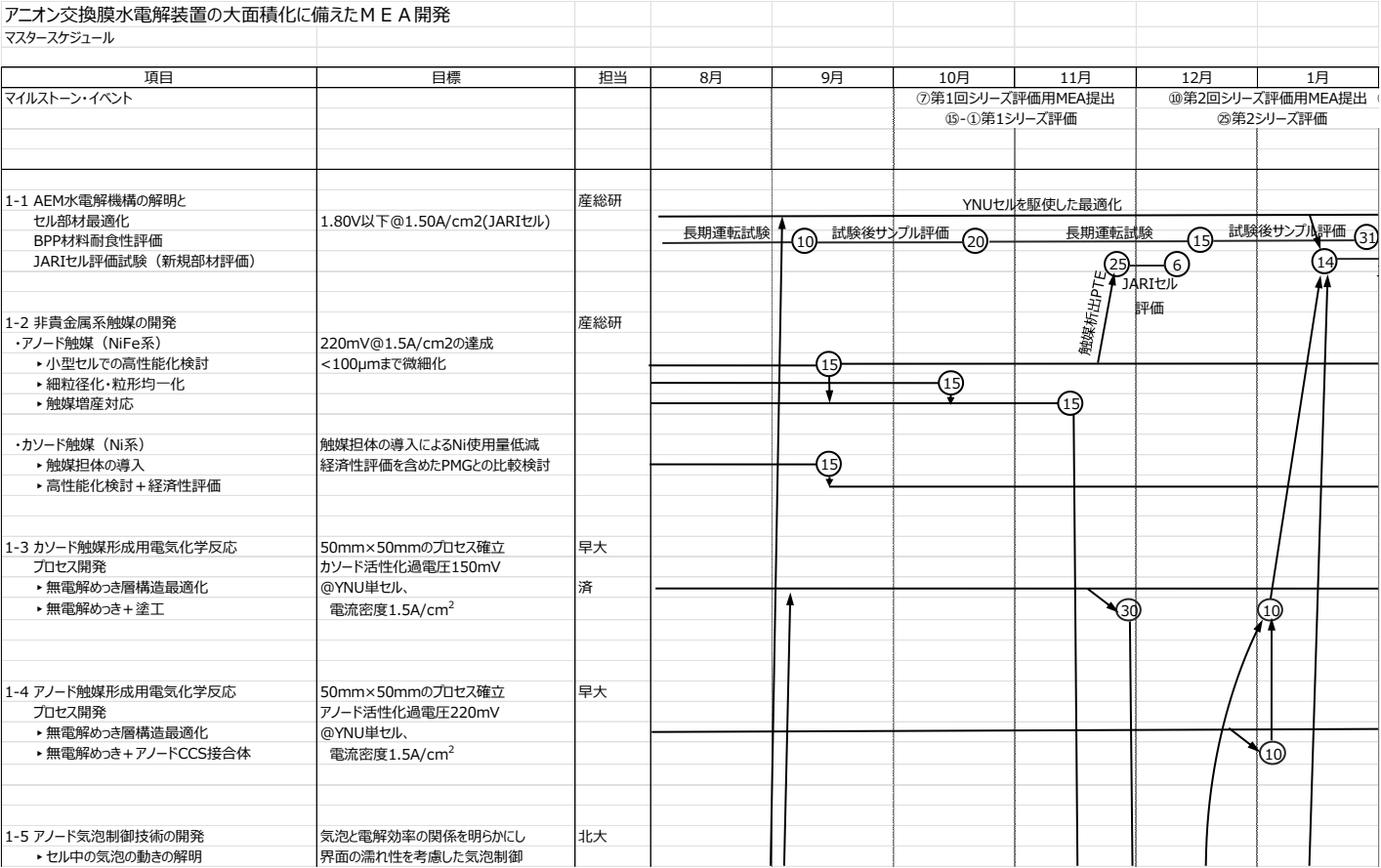
2. 研究開発マネジメントについて <進捗管理>

定期進捗報告会（web，毎週開催）

	241125_定期進捗報告会（産総研・伊藤）
	241118_定期進捗報告会（産総研・舘野）
	241111_定期進捗報告会（北大）
	241105_定期進捗報告会（早大）
	241028_定期進捗報告会（トクヤマ）
	241021_定期進捗報告会（デノロ）
	241015_定期進捗報告会（TOPPAN）
	240930_定期進捗報告会（産総研・伊藤）
	240924_定期進捗報告会（産総研・舘野）
	240917_定期進捗報告会（早大）

発表資料はクラウドサービスで共有

マスタースケジュール（部分）

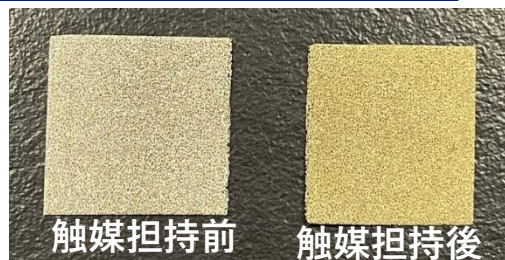


事業後半，NEDO様の指導の下，作成

6事業者が綿密な連携をとり，相互に進捗を確認しながら事業を推進

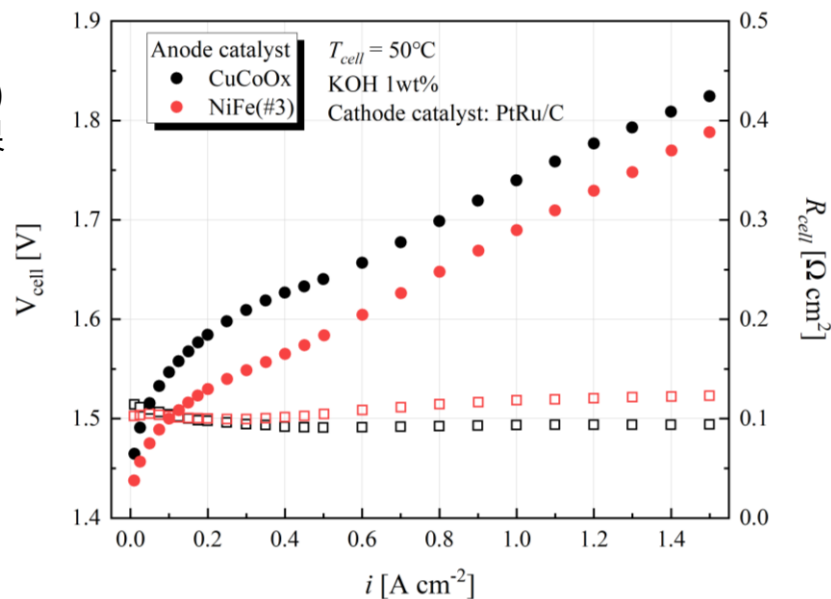
3. 研究開発成果について (1/5)

新規アノード触媒開発【産総研】



Ni多孔体PTL上に水熱合成法にてNiFe触媒を直接担持したPTEを作製。Ni:Fe比を変化させた電極を作製し、最適比を導出。

小型セル
(25cm²)
試験結果



セル温度50℃, KOH-1wt.%, カソードドライ運転で,
セル電圧1.79 V@1.5 A/cm²を達成 (目標:1.80 V@1.5 A/cm²)
1000サイクルの起動停止試験で電圧上昇<1%であることを確認

複極板(BPP)材料評価【産総研】

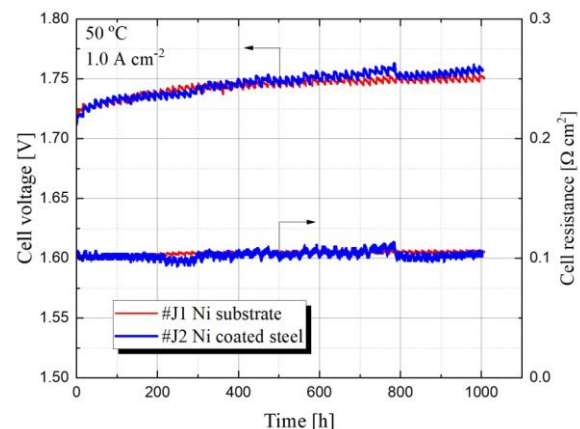
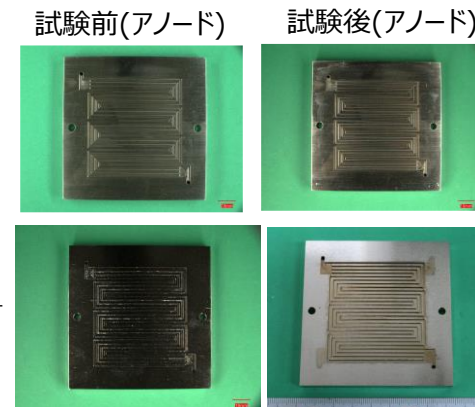


図 1000時間連続運転中のセル電圧及び抵抗

Ni基材



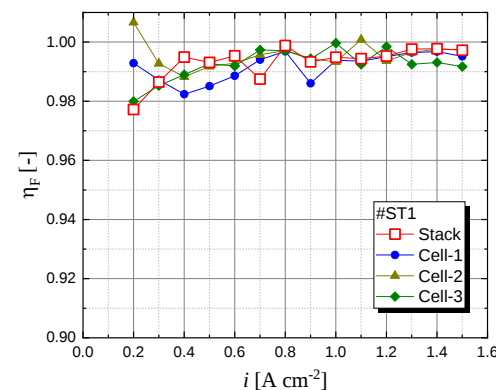
Ni被覆鋼材

Ni被覆鋼材のBPP適用可能性大

小型セルショートスタック評価【産総研】

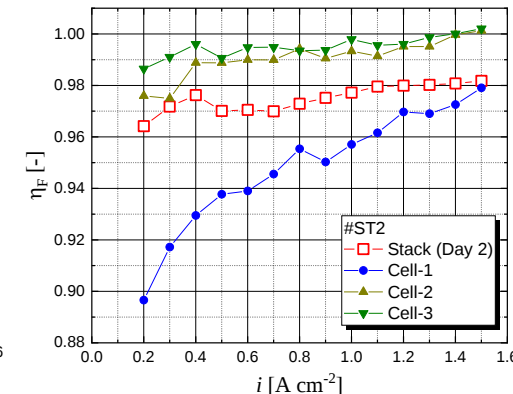
小型セル(25cm²)を用いた3セルショートスタック電解試験を実施

スタックおよび
個別セルの
ファラデー効率
を計測



3セル健全

各セル毎の健全性検証方法の必要性を認識

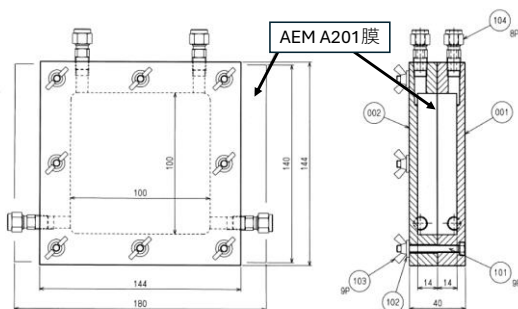


1セルに膜の損傷

3. 研究開発成果について (2/5)

無電解めっきプロセスの開発 【早稲田大学】

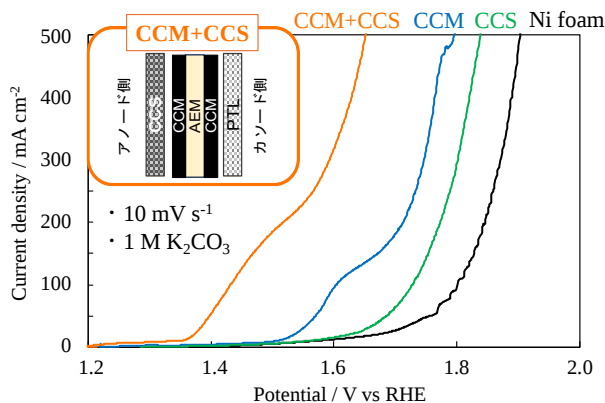
無電解めっき触媒層の面積拡大



100×100mm面積の無電解析出層を作成可能な反応槽を製作し、実際に触媒層形成に成功した。作成時のシワ除去が課題。

←無電解析出NiFeP触媒層 (100×100mm)

アノードにおけるめっき層+CCSの相乗効果



Ni-foam上にパルス電析出で作製したCCSと無電解析出製CCMを合わせた2層構造にすることで、**顕著な相乗効果が表れ、高いOER活性が得られることが明らかになった。**

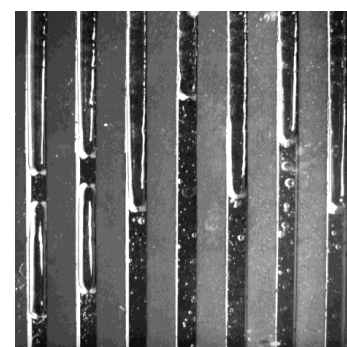
気泡挙動および物質移動特性解析 【北海道大学】

流路内の気泡挙動観察

アノード流路

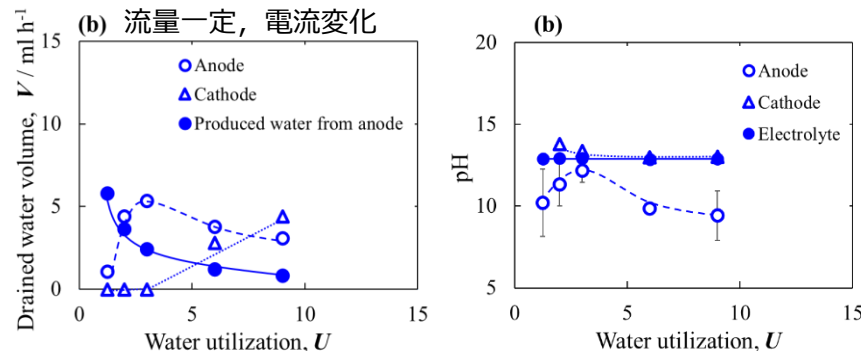
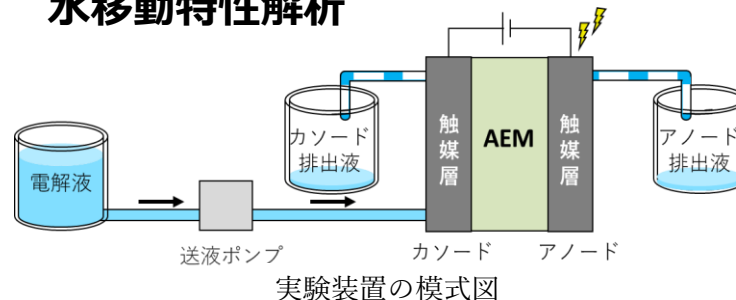


カソード流路



アノードおよびカソード流路内の気液混相流を観察した。水量論比を変化させることで、**様々なマクロスケールの気泡発生が観察された。**

水移動特性解析

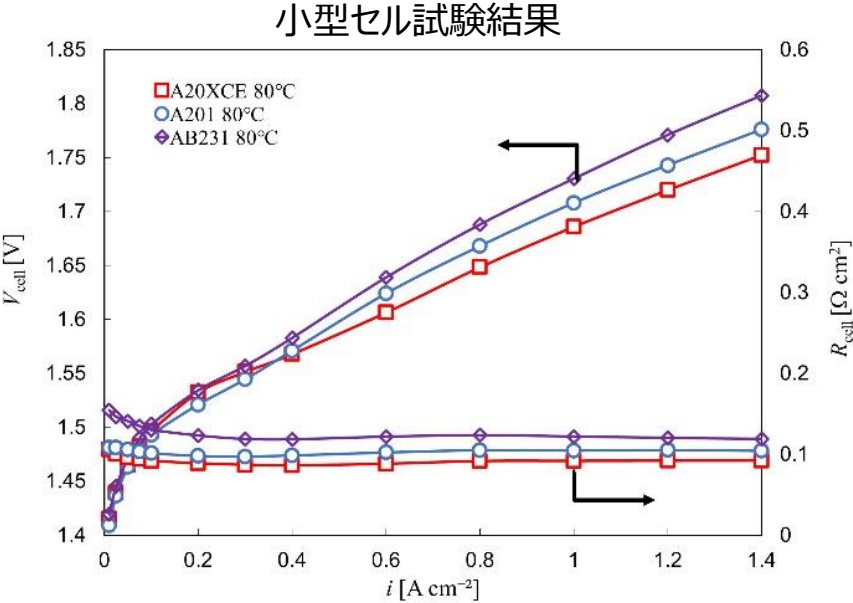


セルに供給する電解液量を一定にし、電流密度を増加させると（Uが低下方向）、逆拡散の影響によりアノード排液量が顕著に低下した（U<2）。これら**水分挙動特性の膜種依存性**も評価した。

3. 研究開発成果について (3/5)

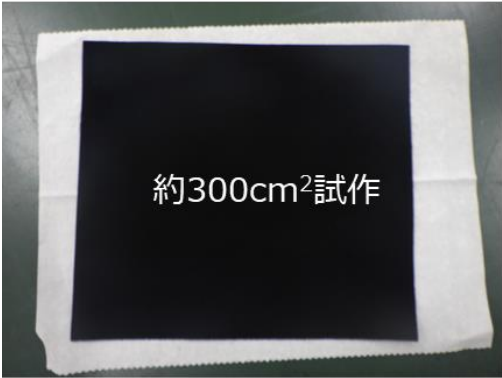
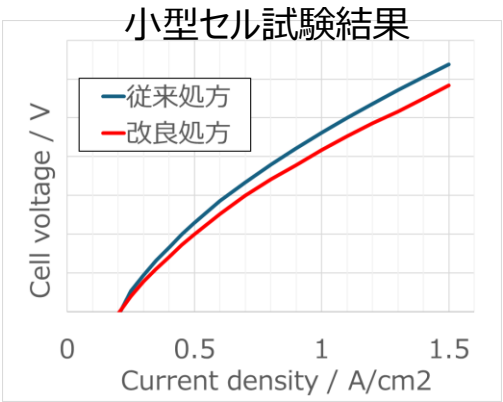
AEM高機能化【トクヤマ】

膜開発コード	A201からの変更点	目的
A201		
AB231	ポリマー構造	イオン交換基脱離抑制
A20XCE	ポリマー組成	親水性向上



ドライカソード条件では広い範囲の水分状態に適応する必要があり、**AEMを親水性にすることで、電解性能が向上することが確認できた。** この時乾燥状態での耐久性も向上した。ガスバリア性の維持が課題。

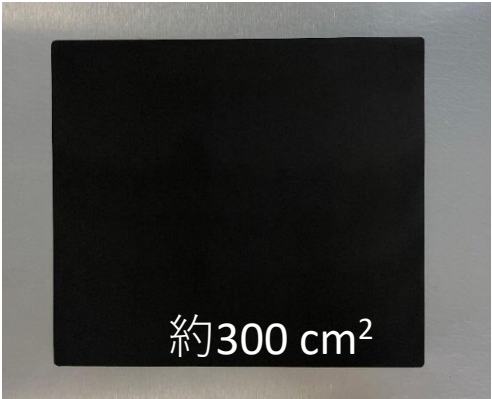
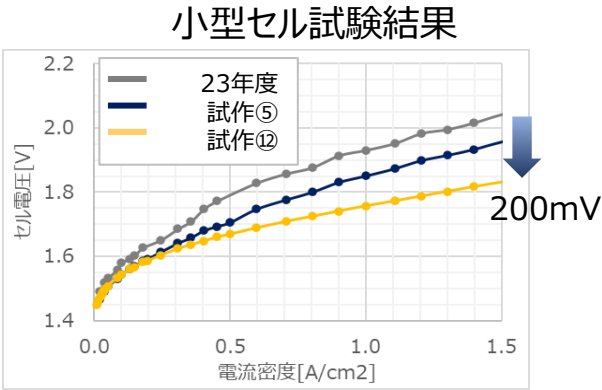
アノード開発【デノラ・ペルメレック】



インク組成および塗工条件の最適化により従来比**30mV@1.5A/cm²の性能向上**を達成。

中型セル用電極において触媒の面内分布3%以内を実現

カソード開発【TOPPANホールディングス】



インク組成、添加材、乾燥プロセス等の最適化により昨年度比**200mV@1.5A/cm²の性能向上**を達成。

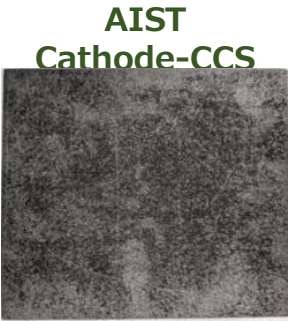
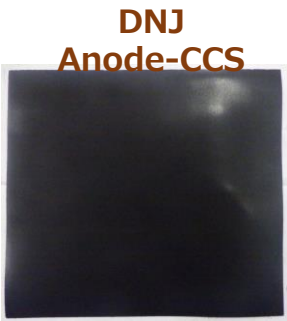
中型セル用電極作製においても塗工・乾燥プロセスを最適化

3. 研究開発成果について (4/5)

AEM中型セル・スタックを用いた性能評価

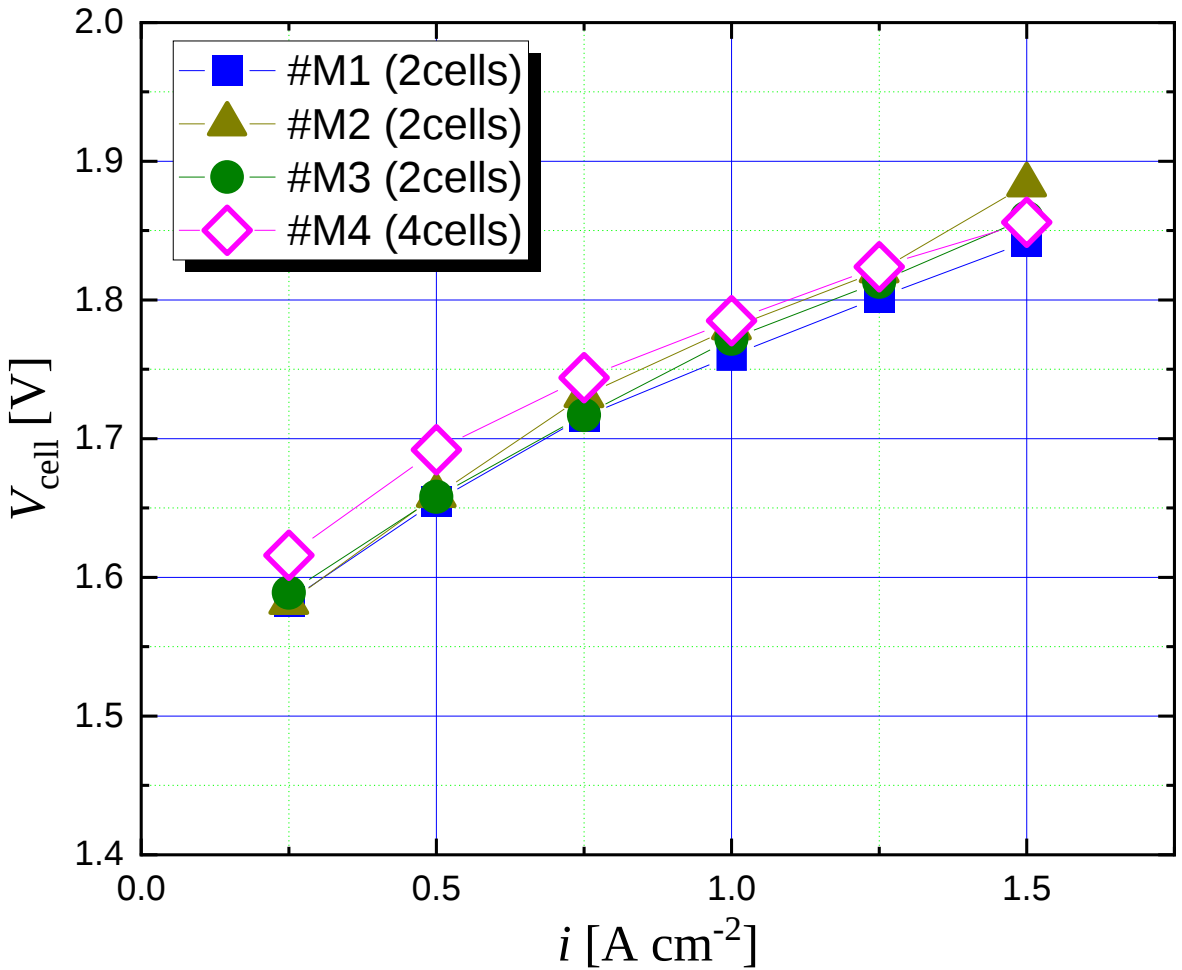
中型セル・スタック供試MEAサンプル

	# M1	# M2	# M3	# M4
セル数	2	2	2	4
電解質膜	トクヤマ (A201)	トクヤマ (A201)	トクヤマ (A201)	トクヤマ (A201)
アノード	DNJ (CCS)	DNJ (CCS)	DNJ (CCS)	DNJ (CCS)
カソード	TOPPAN (CCM)	TOPPAN (CCM)	AIST (CCS)	TOPPAN (CCM)



運転条件

運転温度	50℃
アノード電解液	KOH 1wt.%溶液
カソード電解液	-
運転圧力	大気圧 (両極側)
コンディショニング	1A/cm ² ×5h



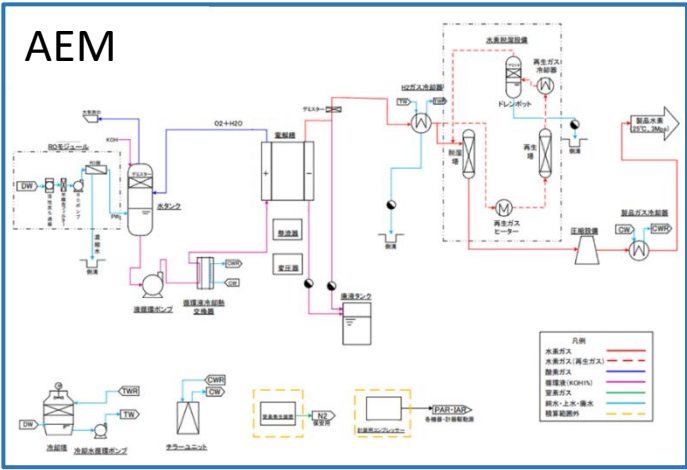
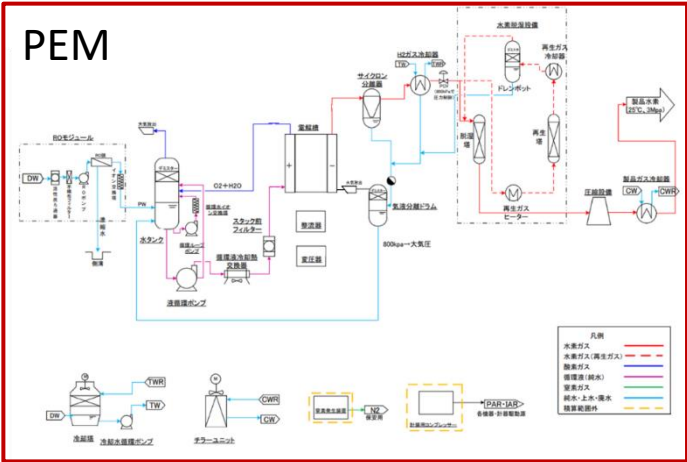
4種類のMEAを組み込んだ中型セル・スタック(200~300cm²)を用いた電解性能評価試験を実施。
その結果

- ✓ カソードドライ条件下で**1.5A/cm²までの安定挙動**を確認。
- ✓ **1.80V@1.0A/cm²はクリア**したものの、目標としていた1.80V@1.4A/cm²には届かなかった。
- ✓ 同仕様のMEAでは**小型セルとほぼ同様の電解性能**が得られた。
- ✓ 面積拡大においては、電解質膜の機械的強度向上が課題

3. 研究開発成果について (5/5)

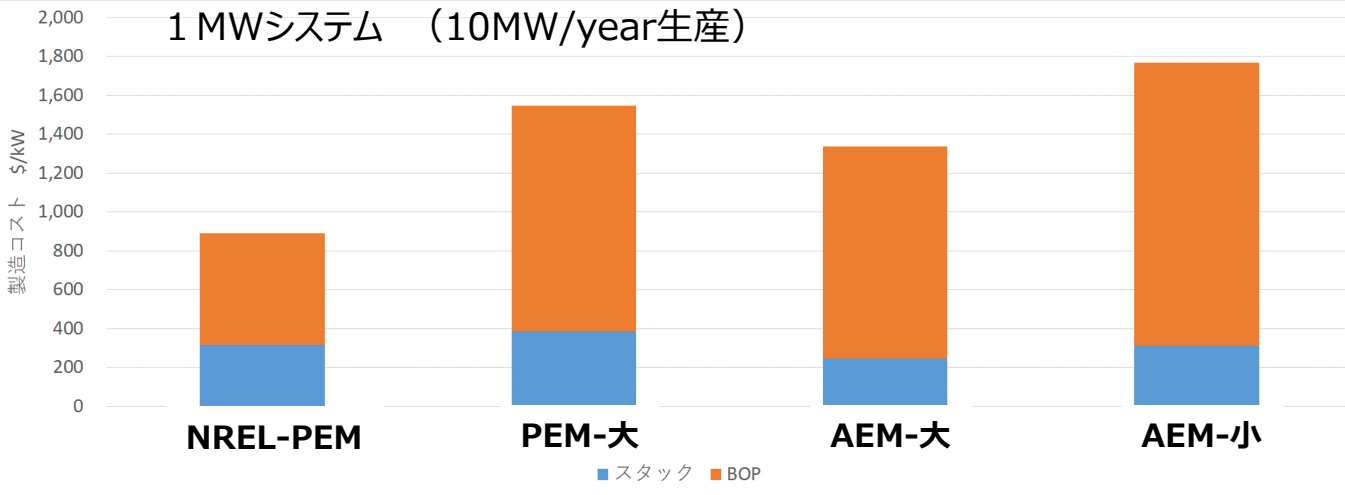
事業化に向けた指針策定

Process Flow Diagram (PFD)



出口H₂ (共通)
P=3MPa
T_{gas}=25℃
T_{dew}=-66℃

項目		NREL-PEM	PEM-大	AEM-大	AEM-小
電極面積	cm ²	877	877	877	100
電流密度	A/cm ²	2	2	1.5	1.5
セル電圧	V	1.9	1.9	1.8	1.8
セル数	枚/MW	300	300	422	3704



コスト差の主因

	スタックコスト	BOPコスト
NREL-PEM vs. PEM-大	PEM-大で実態に合わせて製造設備の償却年数を短くしたため	NRELではスタックで3MPaまで加圧するのに対し、PEM-大では加圧設備が必要
PEM-大 vs. AEM-大	AEMの方がセル数は多いものの材料費が削減でき、PEMに対して37%安価	AEMで構成機器点数を減らせるものの、圧縮設備、電気設備のコストは同じで6%だけ安価に。
AEM-大 vs. AEM-小	小ではセル数が増え製造時労務時間の増大により大に対して1.28倍に	小ではスタック数が増えて、配管数、計装品数の増加により1.33倍に

BOPコスト：システムの詳細設計、マスヒートバランス、個別機器設計をした上で、各機器見積を元に算出
スタックコスト：NREL情報や公開情報などを元に算出

本事業開始時に見込んだように、1MWスケールでは**大面積セルベースのAEM水電解が有利**。
ただし、高圧化、大面積化、高電流密度運転時のI-V性能向上などがなお課題として残る。

4. 今後の見通しについて

- 実用化・事業化のイメージ
 - 本事業成果を元に国内外スタックメーカーとの連携を模索している
 - 国内外の開発動向に気を配り、必要とされるMEA技術の確立を図る.
- 実用化・事業化に対する今後の課題と対応方針

事業化への課題	技術的課題	対応方針
更なる大面積化	• 電極の大面積化 • 電解質膜機械的強度の確保 • 運転時のカソードの局所的乾燥	各実施者による更なる改善とスタックメーカーとの仕様のすり合わせ
加圧運転	• アノードPTE（PTL）の機械的強度の向上 • シール技術の確立 • クロスリーク抑制	クロスリーク抑制については、次期事業で実施予定
電解性能改善	• 電解質膜イオン導電性向上 • 触媒活性の向上 • 運転温度の高温化（～80℃）	触媒活性向上について、次期事業で実施予定