

水素利用等先導研究開発事業

／①水電解水素製造技術高度化のための基盤技術研究開発
／高性能アニオン膜型アルカリ水電解のための材料開発と膜電極
接合体に関する研究開発

発表者 山梨大学 宮武健治

国立大学法人山梨大学
パナソニック ホールディングス株式会社
タカハタプレジジョン株式会社
日本化学産業株式会社
国立大学法人東北大学

2022年 7月29日

連絡先：山梨大学 水素・燃料電池ナノ材料研究センター
(fcnano-as@yamanashi.ac.jp)

- 事業名称・・・高性能アニオン膜型アルカリ水電解のための材料開発と膜電極接合体
に関する研究開発

- 事業期間・・・2021年4月23日～2023年3月31日

- 事業目的

2040年以降という長期的視点を睨み、水素等の「**カーボンフリーなエネルギーの新たな選択肢**」としての地位を確立させることを目指す。具体的には、再生可能エネルギーからの**高効率低コスト水素製造技術**、水素の長距離輸送、長時間貯蔵を容易にするための**エネルギーキャリア技術**及び**大規模水素利用技術**の先導的な研究開発に主として取り組む。

1. 事業の位置づけ

研究開発テーマと従来技術との比較

アニオン膜、非貴金属触媒、MEA構築に取り組み、アニオン膜型水電解の高いポテンシャルを実証

方式	アルカリ水型 (AE)		プロトン膜型 (PEM)		アニオン膜型 (AEM)		固体酸化物型 (SOE)	
高出力・負荷変動	×	隔膜:リークにより低出力	○	高出力 高速起動	○	電解質膜:リークせず、高出力化可 低温で高速起動可	×	高温:起動時間が長い
コスト*	○	8.5万円/kW	×	13.5万円/kW	○	≤10万円/kW	△	研究段階
効率 (LHV)	△	70%	○	75%	○	>80%	○	80%
電解質	×	隔膜リークでH ₂ 純度低下	○	高耐久	○	高耐久アニオン膜	△	研究段階
電極触媒	○	低コスト	×	高コスト (貴金属)	○	低コスト (非貴金属)	△	研究段階
その他	電解液が濃アルカリで危険		高コストPtコートTiセパレータ		エネ環で、AEM・低コスト触媒の開発およびMEA構築		高温での材料劣化 廃熱利用が必須	

*):"Development of Water Electrolysis in the European Union" PEM, AEの2020年のトレンドデータより試算
AEMは触媒層、セパレータ部材をAE相当

1. 事業の位置づけ

– 事業目標（最終年度）

MEA部材のアノード触媒と電解質膜の材料開発及び性能・耐久を引き出すためのアッセンブリー基盤技術開発に焦点を当てる。電解質膜のコスト目標は1.5万円/m²以下、ならびに開発アノード触媒のコスト目標は一般的な貴金属アノード触媒IrOxの1/10以下とする。開発アノード触媒はコスト目標と同時に貴金属アノード触媒IrOx性能レベルを維持又は凌駕することが必要である。したがって本プロジェクト終了時点（2022年度末）において、これらコストが実現可能である見通しを立てることを目標とする。

1.65 Vにおいて1 A/cm²の電解性能と1000h後の電解電圧2.0V以下@1A/cm², 1M KOH, 80°Cの耐久性を、MEAで検証する。

– 事業内容

アルカリ水電解の高性能化と高耐久化を可能とするために、アニオン膜型アルカリ水電解MEAに関する以下のボトルネック課題に取り組む。

研究開発項目①高性能高耐久性アニオン膜・イオノマーの開発とスケールアップ技術の確立（山梨大学、タカハタプレジジョン株式会社）

研究開発項目②高活性高耐久性非貴金属系触媒の開発とスケールアップ技術の確立（山梨大学、日本化学産業株式会社）

研究開発項目③膜/電極触媒界面の設計とアルカリ水電解MEAの構築（山梨大学、東北大学、パナソニック株式会社）

研究開発項目④アルカリ水電解用のMEA形成を実現するプロセス基盤技術の確立（パナソニック株式会社）

1. 事業の位置づけ

✓ 高性能アニオン膜型アルカリ水電解の課題

アニオン膜型アルカリ水電解MEAは、アルカリ水電解の利点（貴金属触媒が不要、大規模化が容易）と高分子膜型水電解の利点（高電流密度が可能、変動に対する応答性が高い、得られる水素が高純度）を併せ持ち、現在実用化されているプロトン膜型水電解MEAに比べて高効率化と低コスト化を両立できる高いポテンシャルを持っている。

しかし、これまで耐久性に優れるアニオン膜およびそれと組み合わせる高性能を発揮できる非貴金属系触媒がなく、水電解MEAとしてその利点が十分に発揮されていない。

✓ 技術課題解決のアプローチの方法

学術的な手法に基づいたアプローチによりこの課題を根本的に解決することを目的としており、産学で共同しながら、アニオン膜型アルカリ水電解MEAに関するボトルネック課題(事業テーマとして①アニオン膜、②非貴金属系触媒、それらを組み合わせた③膜電極界面・MEAおよび④プロセス基盤の技術確立)に取り組む。

各課題は独立して実施するのではなく、各課題の技術確立をそれぞれアジャイル型開発で推進し、目標達成に向けてスクラムを組み各々の成果を共同提案者全員で共有しながら全体事業のアジャイル開発を推進する。

1. 事業の位置づけ

各テーマの目標

①高性能高耐久性アニオン膜・イオノマーの開発とスケールアップ技術の確立

- ・ 水中でのアニオン導電率が100mS/cm以上、破断強度が20MPa、破断伸びが200%以上のアニオン膜。
- ・ 80℃の4M KOH水溶液中で1000時間以上の耐久性を持つアニオン膜。
- ・ 水素および酸素の透過係数が調節可能な分子構造設計指針を明らかにする。
- ・ アニオン膜の製造コストが15000円/m²以下を見通す。
- ・ アニオン膜をA4サイズで製膜できる技術を開発する。

②高活性高耐久性非貴金属系触媒の開発とスケールアップ技術の確立

- ・ アルカリ水溶液中にて酸素発生電位 (vs. RHE) がIrO_xより低い非貴金属系酸素発生触媒を開発する。
- ・ 主にアルカリ水溶液中にて触媒活性と耐久性を評価する。さらに、項目③の結果もフィードバックして、1.65 V (vs.RHE) にて1 A/cm²の電流密度を達成する非貴金属系酸素発生 (アノード) 触媒。
- ・ 主にアルカリ水溶液中にて水素発生電位が0.1V (vs. RHE) 未満になると共に、10Ω・cm²以下の電気抵抗率を示す非貴金属系水素発生 (カソード) 触媒を開発する。
- ・ 酸素発生/水素発生用非貴金属触媒を50g/時間で量合成する技術。

1. 事業の位置づけ

各テーマの目標

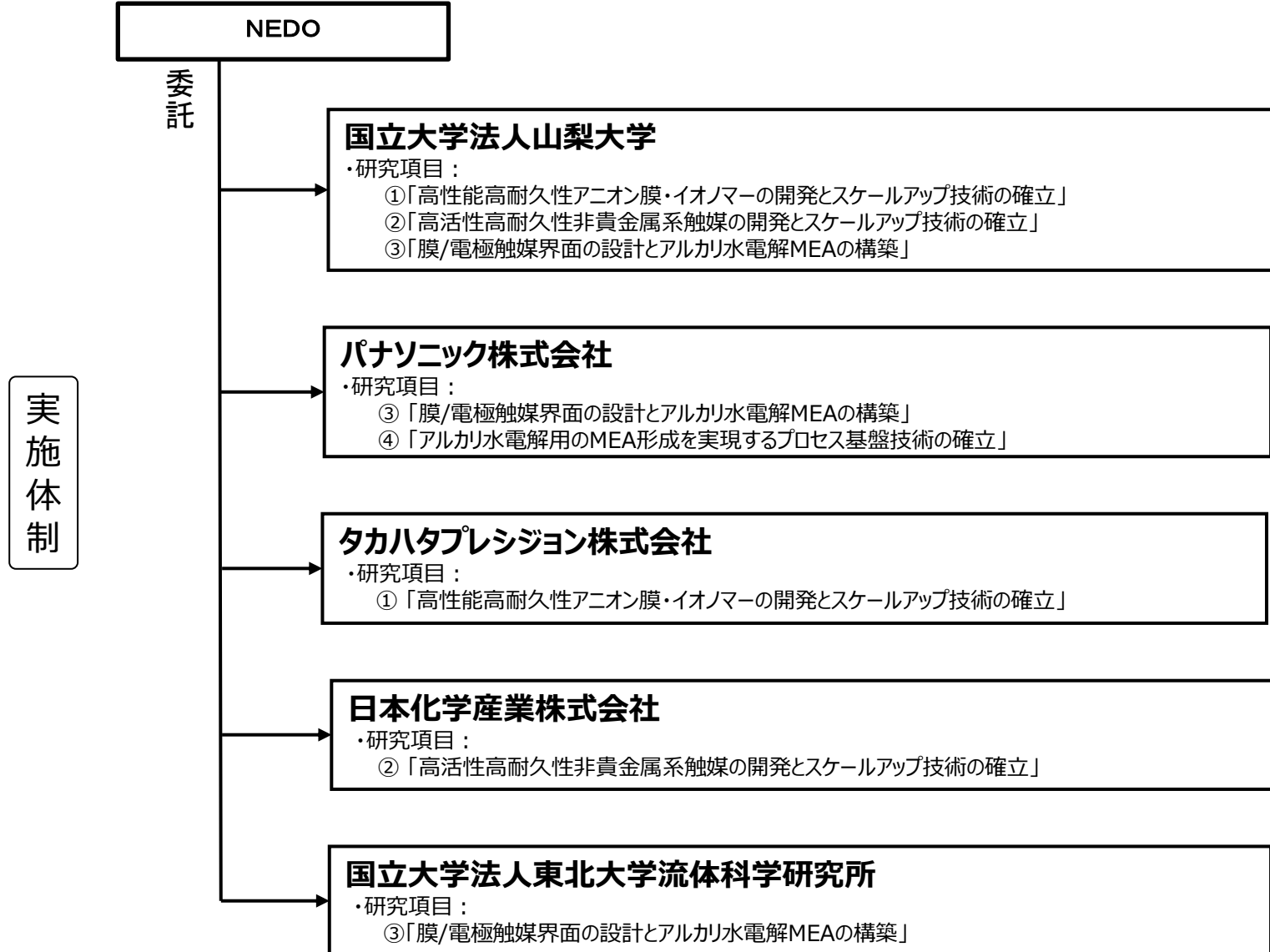
③膜/電極触媒界面の設計とアルカリ水電解MEAの構築

- 1.65 Vにて 1 A/cm²の電流密度を達成する本事業で開発されたアニオン膜・イオノマーと非貴金属触媒を用いたアルカリ水電解MEAを開発。
- MEAで80℃の1M KOH水溶液中で電解時間1000h後の電解電圧2.0V以下@電流密度1A/cm²を達成する。
- 触媒層、膜/電極触媒界面を構築し、電解性能発現の主要メカニズムを解明。
- 触媒層、膜/電極触媒界面の主要劣化メカニズムを解明。

④アルカリ水電解用のMEA形成を実現するプロセス基盤技術の確立

- インクプロセス：二次粒子の粒径を10 μm以下、インク粘度を5～100 mPa・sの間に制御することで分散安定性 1 時間以上を達成する。
- 塗工プロセス：超音波スプレーを用い電極面積25cm²における担持量バラつき±10%以内、触媒層厚みバラつき±10%以内のMEAを形成する。

2. 研究開発マネジメントについて



2. 研究開発マネジメントについて

山梨大学、パナソニック、タカハタプレジジョン、日本化学産業、東北大学

(a1)

(a2)

x=2, 3, 5, 6, 10

(a3)

部分フッ素構造
 柔軟薄膜形成
 溶媒親和性

(c1)

(c2)

(d1)

(d2)

イオン基構造
 高アニオン導電性
 アルカリ安定性

多孔質基材 複合膜

① アニオン膜・イオノマーの開発とスケールアップ
 (山梨大・タカハタプレジジョン)

アニオン膜・イオノマー

事業目標

2030年の30円/Nm³の水素コストの実現のため、①～④の課題をアジャイル開発で推進し、1.65Vにて1A/cm²の電解性能と、1000h後の電解電圧2.0V以下@1A/cm², 1M KOH, 80℃の耐久性をMEAで検証する。

MEA設計指針

1.34 V

NiO → NiOOH (OER活性点)

(-) 伝導体
フェルミレベル

バンドギャップ

価電子帯

(+) 上にあるほど還元力が強い
下にあるほど酸化力が強い

NiO/NiOOH (shell)
Ni-base metal (core)

② NPGM触媒材料の創製とスケールアップ
 (山梨大・日本化学産業)

NPGM触媒

④ MEA形成を実現するプロセス基盤技術の確立
 (パナソニック)

触媒&担体

溶媒

安定・分散

均一滴下

送液インクの超音波分散 + スワール流に影響しない均一滴下

③ 膜/電極触媒界面の設計とMEAの構築
 (山梨大・東北大・パナソニック)

Back-diffusing water

Anode

Electrolyte membrane (QPAF-4)

Back-diffusing water

Region a

GDL

O₂, H₂O

● Dry ● Wet

Cathode

Anode

NiFe-LDH < 10nm

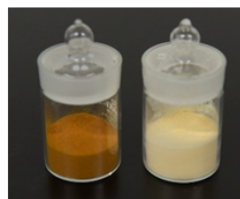
評価・解析結果

3. 研究開発成果について

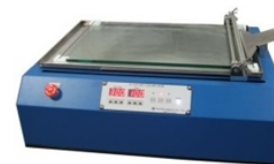
研究開発項目 ①高性能高耐久性アニオン膜・イオノマーの開発とスケールアップ技術の確立
 実施者 山梨大学、タカハタプレジジョン

山梨大学

NEDOエネ環先導研究で創製した新規アニオン膜の基本構造を基に、高分子の疎水部構造、親水部構造、イオン交換基、およびそれらの配列を制御、最適化し、高アニオン導電率、高機械強度、高アルカリ耐久性、気体透過特性などの物性が調節可能なアニオン膜およびイオノマーを創製する。



アニオン膜・イオノマー粉末サンプル



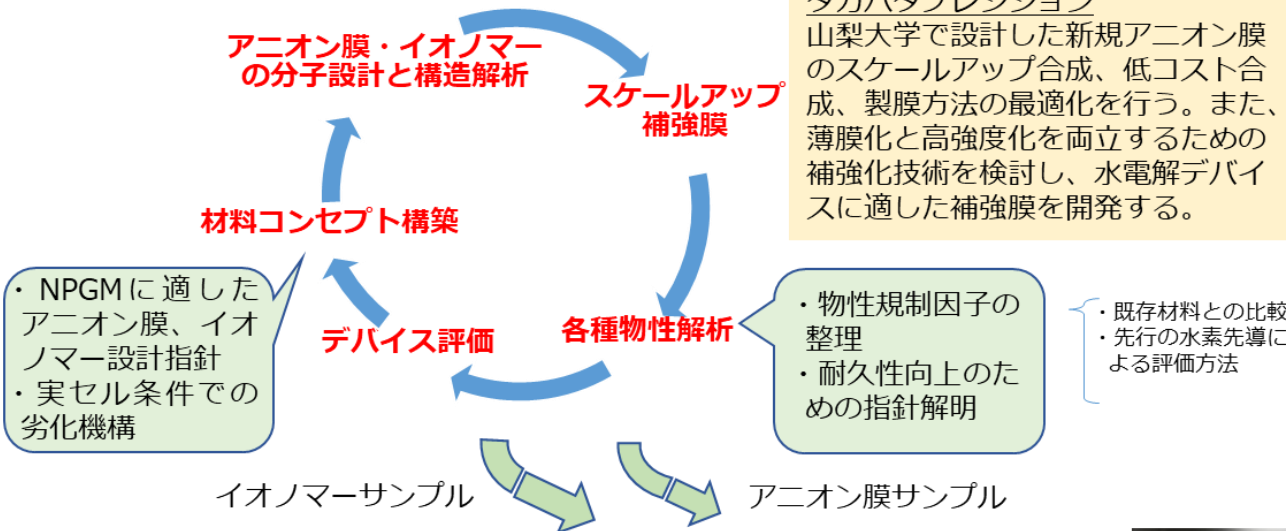
バーコート (B5~A4サイズ)



ロールトゥロール (A4サイズ 数十枚~)

タカハタプレジジョン

山梨大学で設計した新規アニオン膜のスケールアップ合成、低コスト合成、製膜方法の最適化を行う。また、薄膜化と高強度化を両立するための補強化技術を検討し、水電解デバイスに適した補強膜を開発する。



テーマ③膜/電極触媒界面の設計とアルカリ水電解膜電極接合体の構築
 テーマ④アルカリ水電解用の膜電極接合体形成を実現するプロセス基盤技術の確立

テーマ②で開発するNPGM触媒との組み合わせの評価を含む

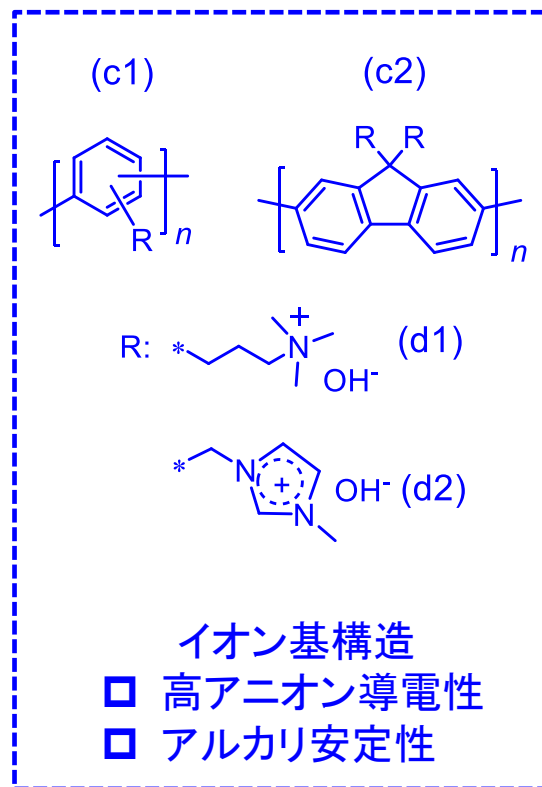
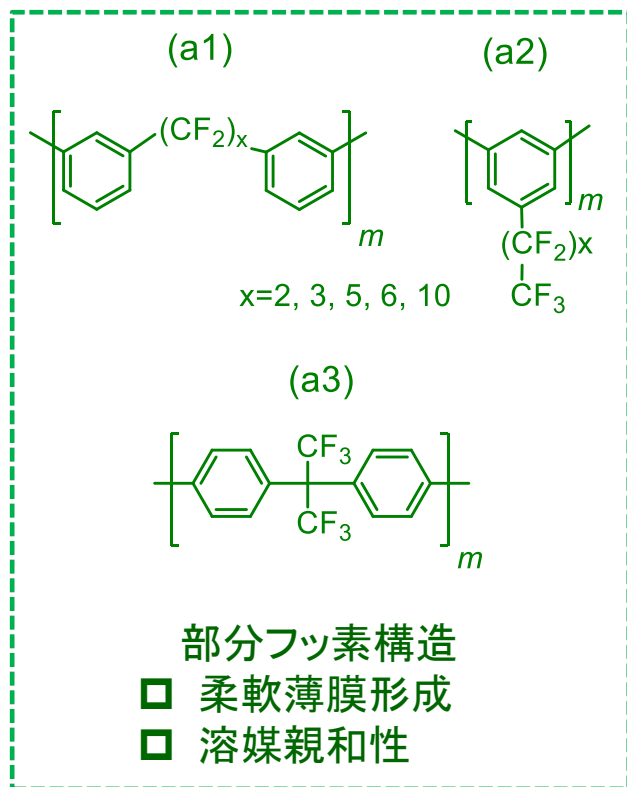


ロール製膜

3. 研究開発成果について

役割分担型共重合構造から成るアニオン膜の設計

山梨大



ボトルネック課題と解決方法

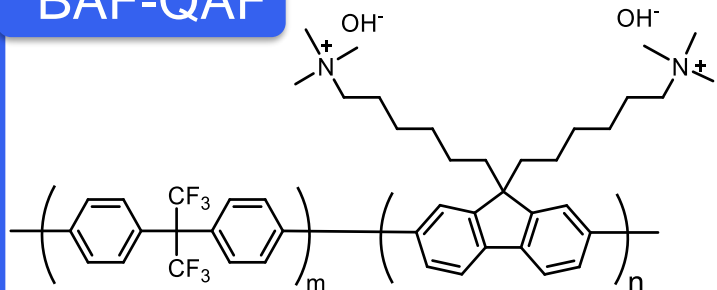
- ・ アニオン導電率: 相分離構造制御によるイオン移動度向上
- ・ アルカリ安定性: アンモニウム基の電子・立体構造最適化
- ・ 気体透過性、透過選択性の増大: 嵩高い芳香族基導入による自由体積増大
- ・ 触媒との親和性: アンモニウム基および芳香族基の電子・立体構造最適化
- ・ 低級アルコールへの溶解性: フッ素基導入による極性分子との相互作用増大

3. 研究開発成果について

新規三元共重合体の設計

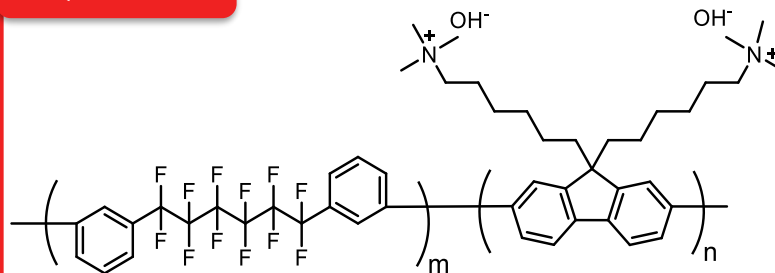
山梨大

BAF-QAF



高いアニオン導電率
含水率の抑制

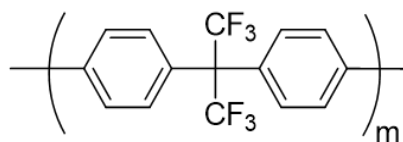
QPAF-4



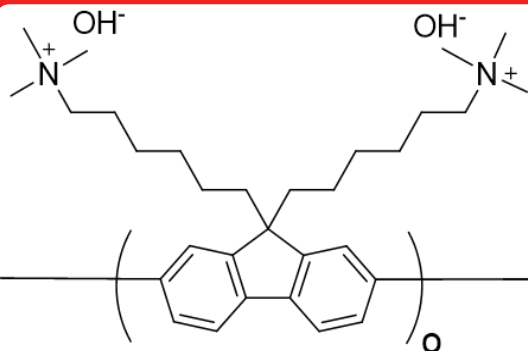
優れた機械特性

QBPA

BAF-QAF

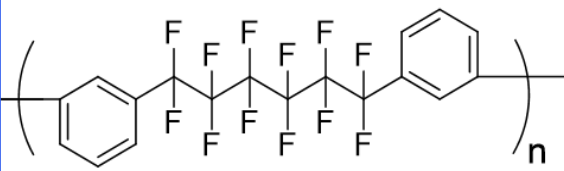


含水率抑制



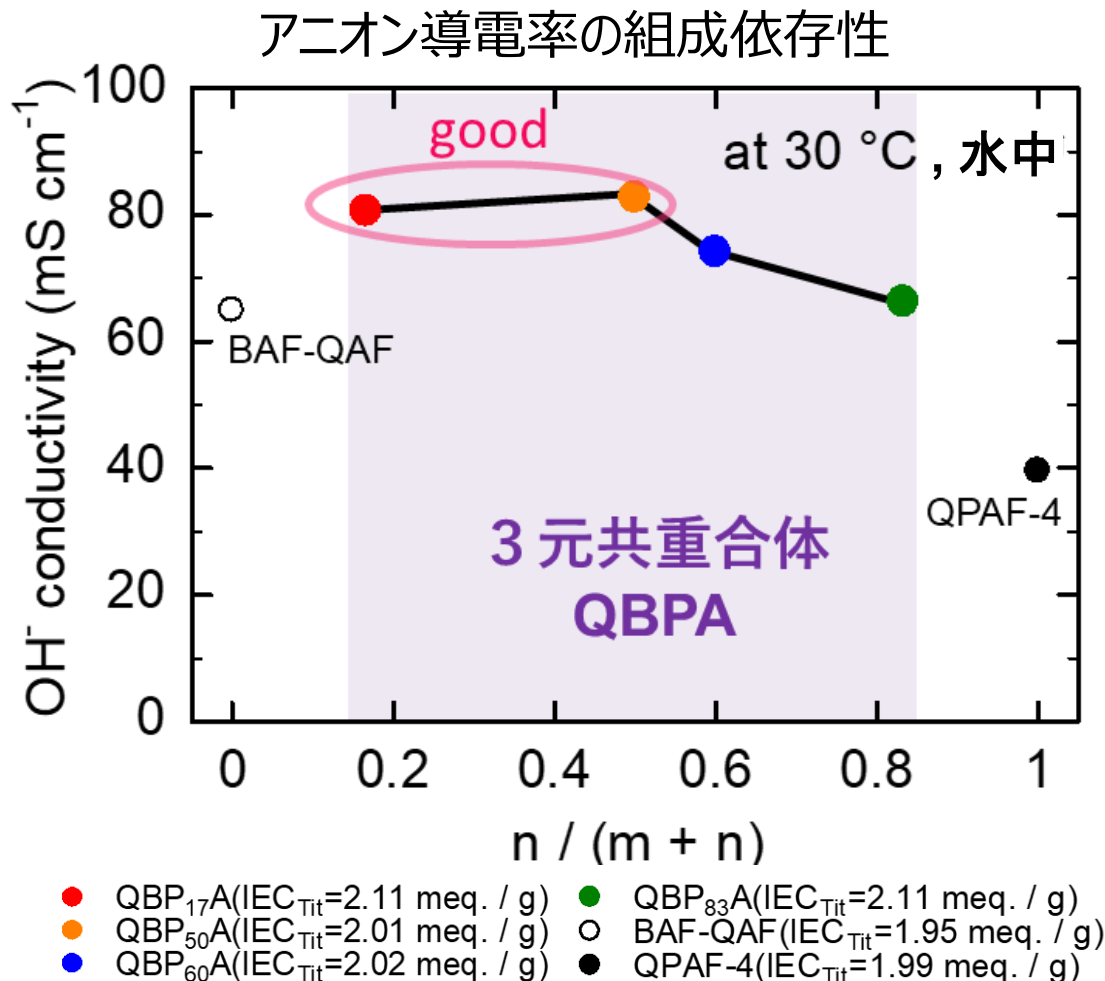
高いアニオン導電率

QPAF-4



機械特性の向上

3. 研究開発成果について

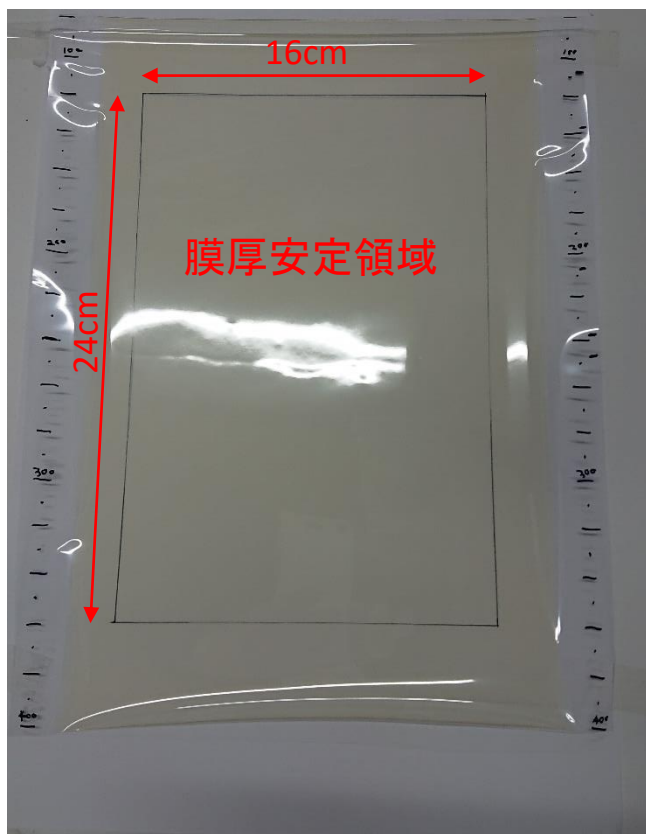


- 三元共重合体とすることにより、二元共重合体から予測される導電率を大きく凌駕
- 最適な組成を見出すことに成功

3. 研究開発成果について

タカハタプレシジョン

スケールアップ合成と製膜



ポリマー合成のスケールアップ

	スケール	収率	分子量
	g	%	kDa
Lot. 1	18	89	211
Lot. 2	18	98	246
Lot. 3	18	93	238
Lot. 4	18	95	258
Lot. 5	18	96	272

- ・ バークォーターを使用して製膜
- ・ 膜厚の平均値 : 28-32 μm
- ・ 膜厚のバラツキ : 平均値 $\pm 5\mu\text{m}$ 以内



作製した膜は、テーマ③、④で評価を実施

3. 研究開発成果について

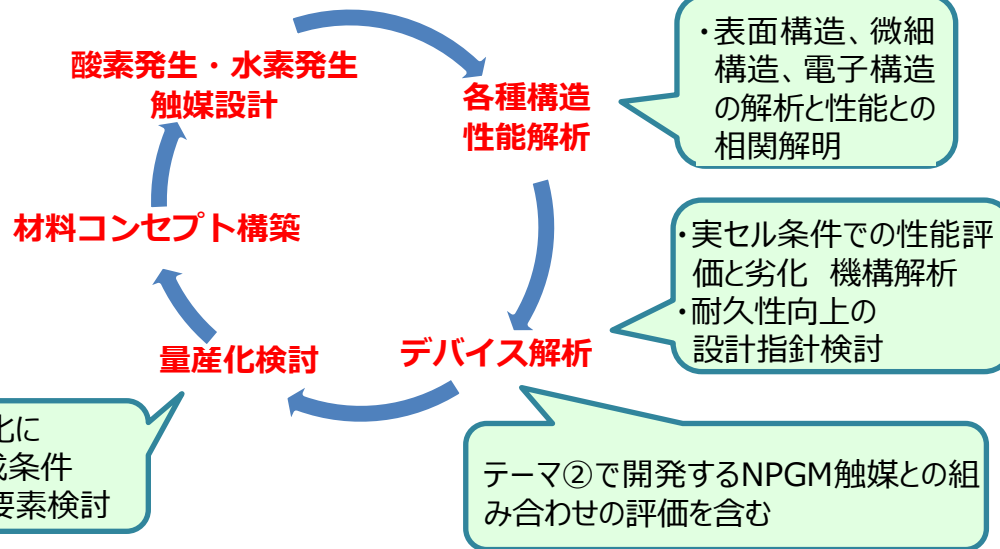
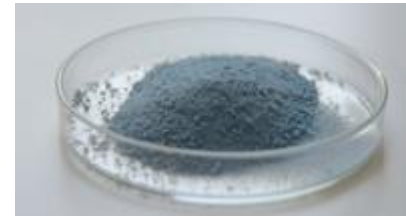
研究開発項目 ② 高活性高耐久性NPGM触媒材料の創製とスケールアップ

実施者 山梨大学、日本化学産業

山梨大学

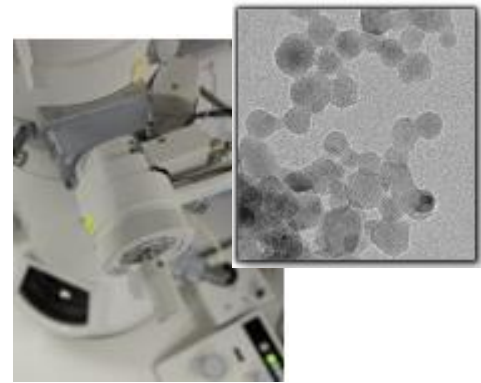
NEDOエネ環先導研究で創製した新規非貴金属触媒を基に、その最表面構造、微細構造、電子構造を制御すると共に最適化し、高電子伝導性と過電圧の低い水素発生・酸素発生触媒を創製する。

NPGM触媒
粉末サンプル



- 既存材料との比較
- 先行の水素先導による評価方法

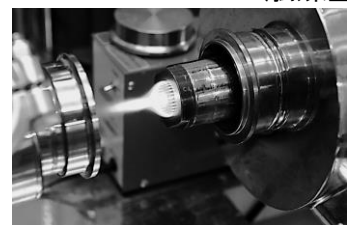
評価解析



日本化学産業

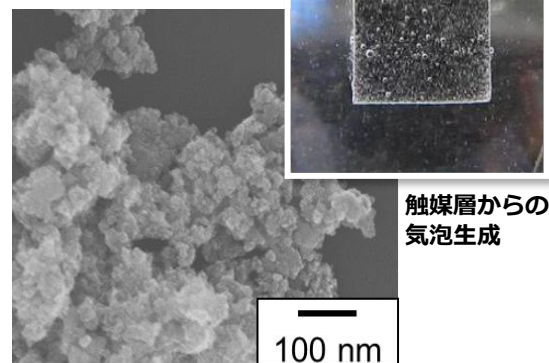
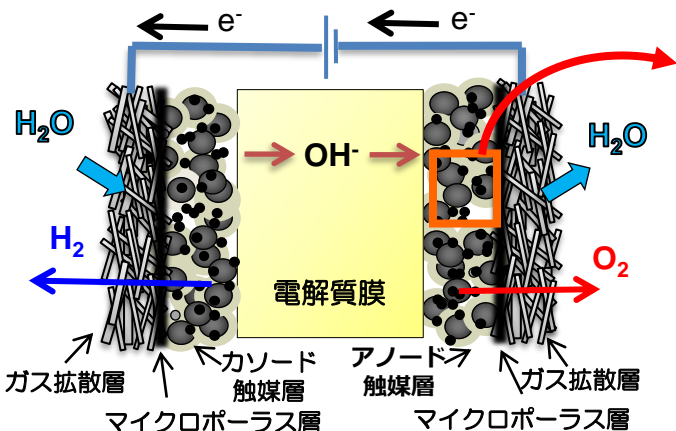
日本化学産業独自の金属原料合成技術及びエネ環先導PGの成果であるナノ粒子量産合成技術を駆使し、山梨大学で設計した新規非貴金属触媒の量産工程の検討、最適化を行う。

触媒量産化



3. 研究開発成果について

○ 触媒・触媒層における課題抽出



現状の水電解用電極(IrO_x)

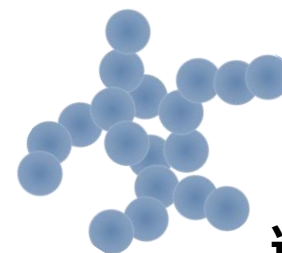
抽出課題

貴金属使用量の抑制
 電子抵抗 (抵抗過電圧)
 物質輸送 (拡散過電圧)
 触媒活性 (活性化過電圧)
 耐久性

○ 触媒・触媒層の設計指針

- 1) OER活性の高いNiOに注目
 ・ ・ ・ 貴金属不要
- 2) バンドギャップ制御 (電子構造)
 ・ ・ ・ 触媒活性・電子伝導性向上
- 3) 微細構造制御 (連珠構造)
 → 電気伝導・比表面積・多孔性向上
 ・ ・ ・ 物質輸送向上
- 4) 最表面構造制御 (表面構造)
 → 活性点増加
 ・ ・ ・ 活性・耐久性向上

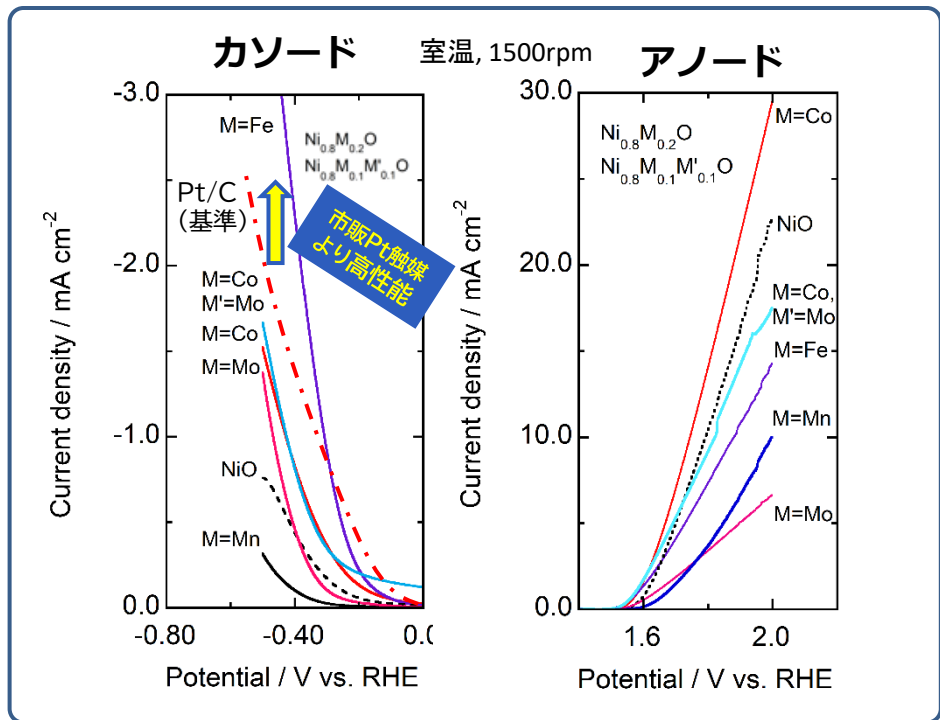
NiO → NiOOH
 バンドギャップ制御 (電子構造制御) OER活性点生成 (表面構造制御)



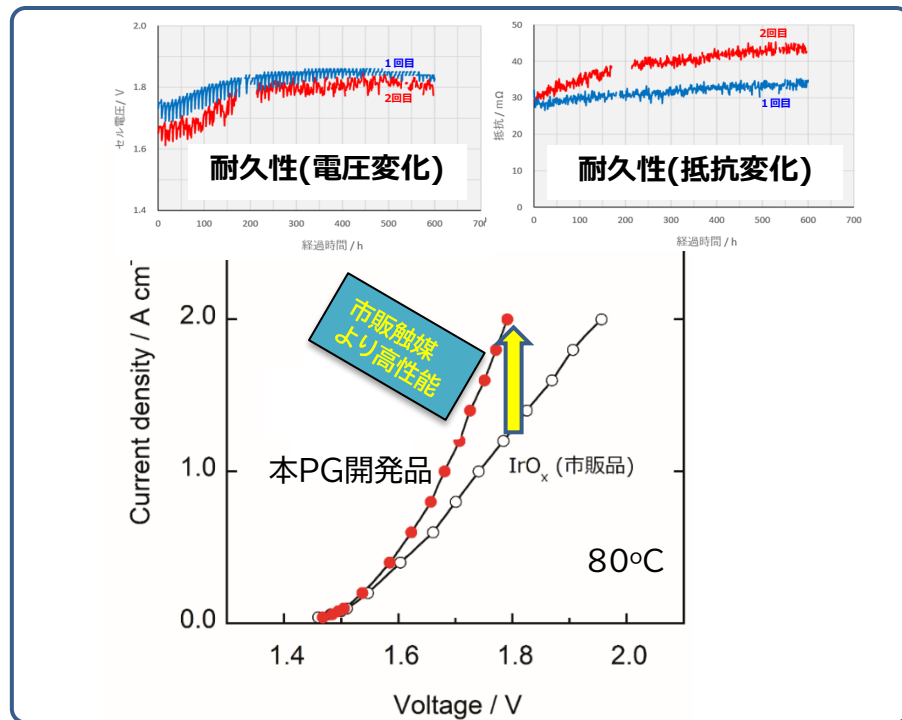
連珠構造

3. 研究開発成果について

NiMO (M=Fe,Co,Mn,Mo)系触媒活性(RDE)



NiCoO系触媒の性能評価 (単セル)



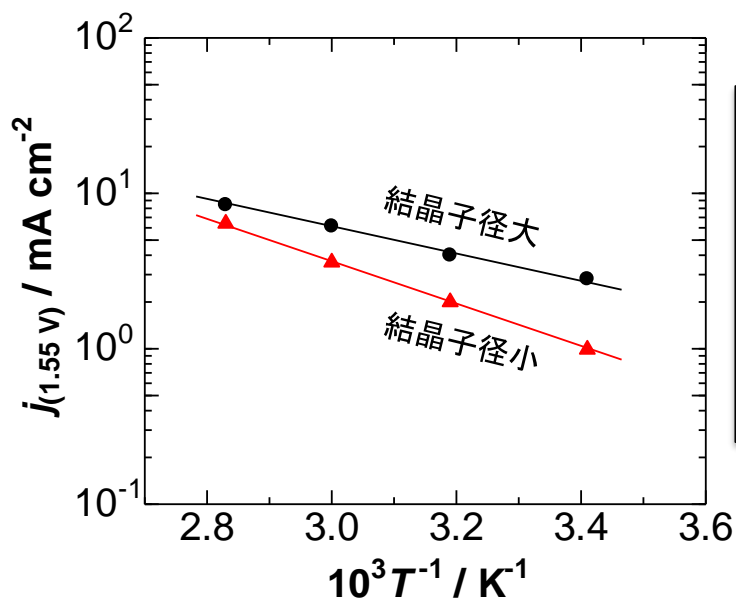
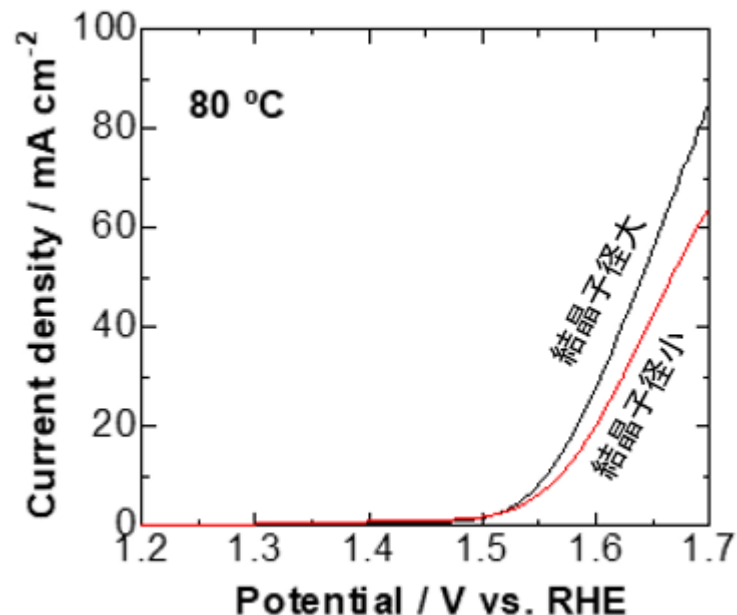
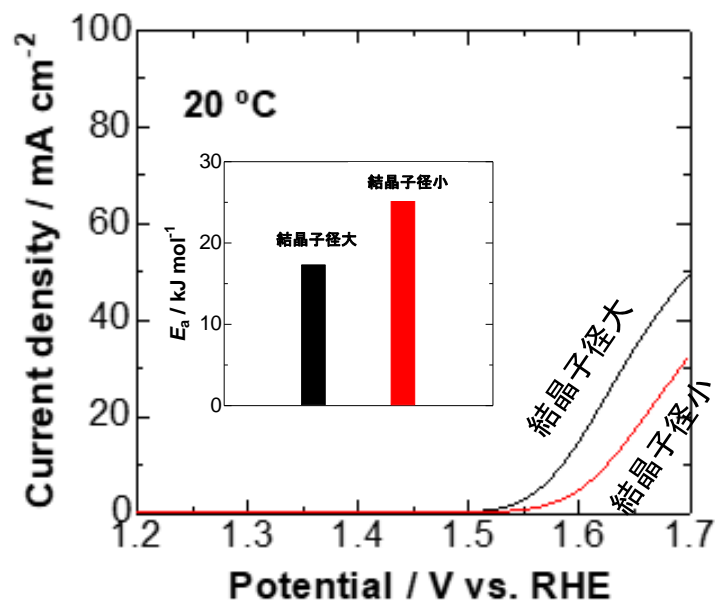
RDE評価 (カソード&アノード触媒活性)

- (課題) 触媒活性・電気伝導性の添加元素(遷移金属)の影響
- (成果) カソードではNiFeO系、アノードではNiCoO系が有望
- (今後) 電子伝導性の更なる向上(抵抗過電圧の抑制)
- 触媒活性の温度依存性評価
- 活性向上メカニズム検討
- 触媒活性の比較 (性能レベルの確認)

単セル性能評価

- (課題) セル性能及び耐久性
- (成果) 市販IrOx触媒より高性能を確認
- 600 hまでの耐久性も確認
- (今後) Operand解析による触媒表面解析

3. 研究開発成果について



Ni_{1-x}Co_xO系触媒のOER活性

結晶子径の増加に対して

- ・ 活性化エネルギーが低下 (活性化過電圧抑制)
- ・ 触媒の電気伝導度が向上 (抵抗過電圧抑制)
- ・ 高電流密度域での電流密度増加 (濃度過電圧抑制)

今後、OERと共にHERの活性向上も目指す。

3. 研究開発成果について

研究開発項目 ③膜/電極触媒界面の設計とアルカリ水電解膜電極接合体の構築

実施者 山梨大学、東北大学、パナソニック

山梨大学

NEDO事業等で整備された高度な解析装置やセル評価装置群を最大限活用し、各種開発材料の特徴を最大限発揮する触媒層構造、各種材料間の相互作用、界面状態の影響を明らかにし、材料技術開発にフィードバックし触媒層技術を構築する。

第1ステップ：先行開発材料・市販材料

第2ステップ：新開発材料・最新入手材料

材料合成・構造設計
/ 触媒層設計

性能・耐久性評価
(実作動)

材料コンセプト構築

メカニズム解明 多角的・高度解析

触媒層構造要因、製造プロセス要因、イオノマーの被覆・被毒効果のメカニズムを解析

パナソニック

・独自のアノード非金属触媒と山梨大学開発のアニオン膜・イオノマーを用いて膜電極接合体を作製し山梨大学と協力して各種電解性能と耐久性能を検証する。各種開発材料の特徴を最大限発揮させるための膜/電極触媒界面およびガス拡散層の設計技術を構築し、膜電極接合体形成を実現するプロセス基盤技術開発へのフィードバックを行う。

MEA評価
製造プロセス評価
性能・耐久性
標準規格実作動
評価系評価

・既存のNEDO「水電解水素製造技術高度化のための基盤技術研究開発」プロジェクトや産業界等と実用条件に即した評価プロトコルについて意見交換を実施

評価手法の標準化やその他の基盤技術構築に貢献

東北大学

・高度なシミュレーション技術を用い、山梨大学と協力のもとイオノマーと触媒の界面の解析を行い、イオノマーの被覆・被毒効果のメカニズムを解析し、高効率・高耐久化のためのイオノマー分子構造や触媒・触媒層構造構築のためのフィードバックを行う。

＜活用するセル評価装置群
アルカリ形水電解評価装置
(水循環型)



アルカリ形水電解（フロー型）
/ 燃料電池評価装置



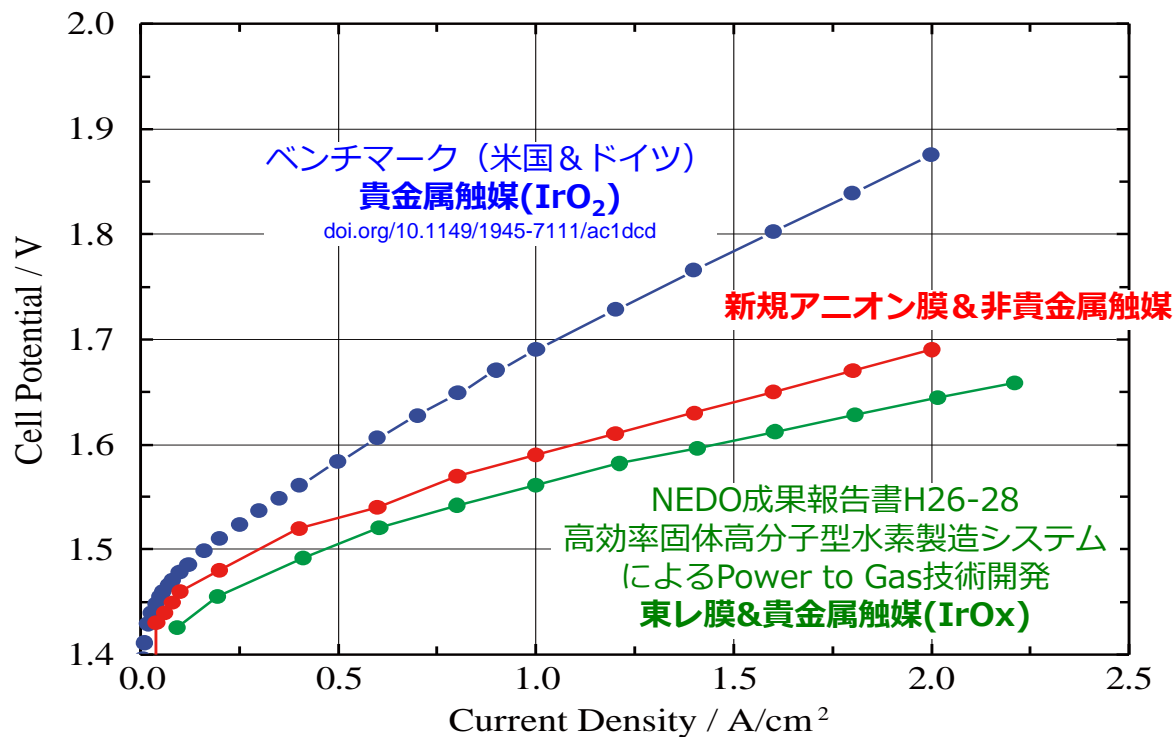
3. 研究開発成果について

I-V試験(IR-included)

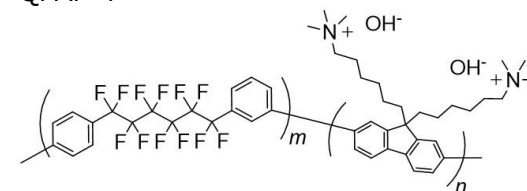
	Anode	Cathode	Membrane	Ionomer (anode)	Cell temp.(°C)
● (Blue)	LBNL&TUM & LANL IrO ₂ , (Pajarito) 0.8 mg _{Ir} cm ⁻²	Pt/C, 0.5 mg _{Pt} cm ⁻²	Tokuyama A201	Tokuyama AS-4	60
● (Red)	Univ. of Yamanashi Ni _{0.8} Co _{0.2} O (UoY) 2 mgcm ⁻²	Pt/C, 1.0 mg _{Pt} cm ⁻²	QPAF4 (UoY)	QPAF4 (UoY)	80
● (Green)	PEM-WE:東レ IrOx	Pt/C	東レ 開発膜27	-	80

doi.org/10.1149/1945-7111/ac1dcd

AEMWE用NEDO標準セル
(横国大開発)使用



QPAF-4

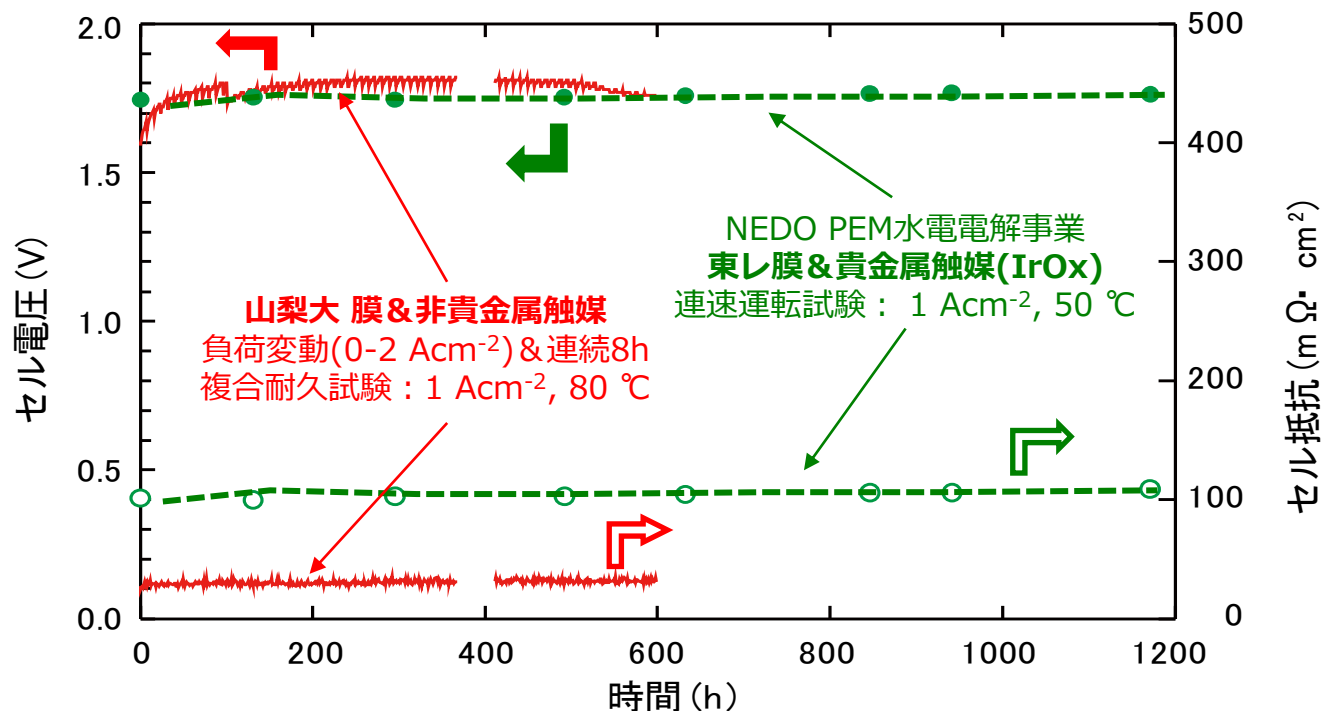


- 1 cm²セルで1.65V @ 1Acm⁻²以上の初期特性を達成
- グローバルベンチマークを大きく凌駕し、非貴金属触媒でPEMWEに迫る効率を達成

3. 研究開発成果について

I-V耐久試験(IR-included)

	Anode	Cathode	Membrane	Ionomer (anode)	Cell temp. (°C)
—●—	Univ. of Yamanashi $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}$ (UoY) 2 mgcm^{-2}	Pt/C, 1.0 mgPtcm^{-2}	QPAF4 (UoY)	QPAF4 (UoY)	80
—●—	PEM-WE:東レ IrOx	Pt/C	東レ 開発膜27	-	50



- 1 cm² セルでの負荷変動 & 連続複合耐久試験で100h以後安定に推移
- 新開発膜は、80 °Cの高温アルカリ水でも低抵抗と高い安定性を実証

3. 研究開発成果について

東北大

アルカリ水電解用膜／電極接合体(MEA)に用いる高分子材料として、高アニオン導電率の特徴を有する材料(BAF-AQF)と優れた機械特性を有する材料(QPAF-4)に注目して、ナノスケールでのシミュレーションと量子化学計算を実施。

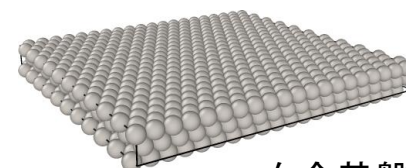
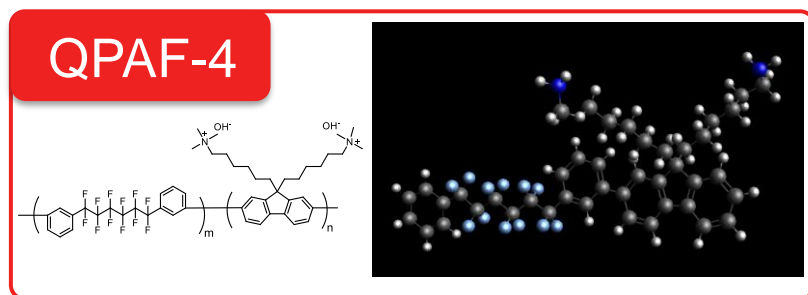
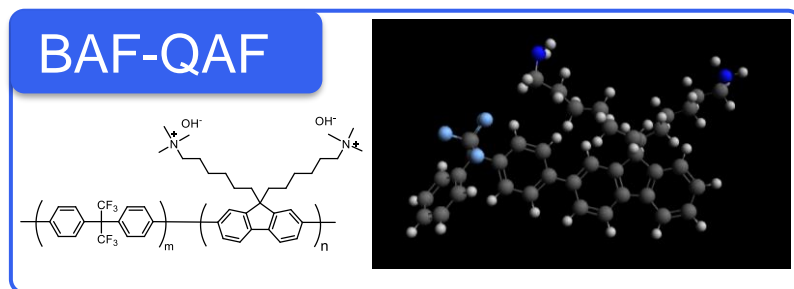
▶ 計算系の構築

BAF-QAF, QPAF-4ポリマー

- ・ BAF-QAFモノマーおよびQPAF-4モノマーの構造式から最安定構造と電荷を量子化学計算により決定
- ・ 実験値を参考にして、重合度を以下のように決定

BAF-QAF : $m=18, n=7$, QPAF-4 : $m=10, n=3$

- ・ 高分子の構造式より、分子動力学法で用いる原子種類、Bond, Angle, 二面角(torsion / improper)のリストを構築した
- ・ 白金-水の相互作用を計算できるポテンシャル(Spohrポテンシャル)を分子動力学計算ソフトLAMMPSに追加した

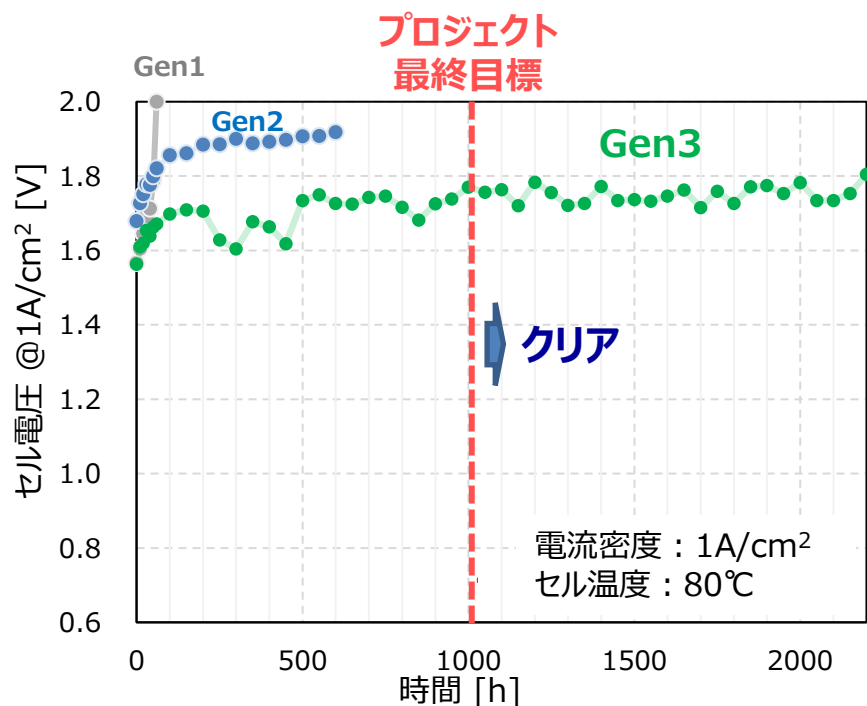


白金基盤

白金表面上のアイオノマーの吸着状態や輸送特性を評価できる計算モデルを構築できた。

3. 研究開発成果について

パナソニック



MEA基本構成

電解質膜 : QPAF4

アノード触媒 : パナソニックホールディングス標準
非貴金属触媒

カソード触媒 : Pt/C

評価仕様 (アノードGDL検討)

Gen1 : カーボン GDL

Gen2 : PtメッキTi GDL (PEM標準)

Gen3 : Ni GDL

評価パターン

① 1A/cm²定常 7.5h

② 負荷変動測定(2A/cm²まで) 0.5h

計8hを1パターンとして、IVによる負荷変動対応性の確認および電流密度1A/cm²における耐久性を確認

- GDLの性能・耐久性への影響を見出し、Ni GDLにより耐久性が大幅に延伸 (2200h以上)
- 1000時間後の電解電圧2.0V以下のプロジェクト目標を前倒しでクリア

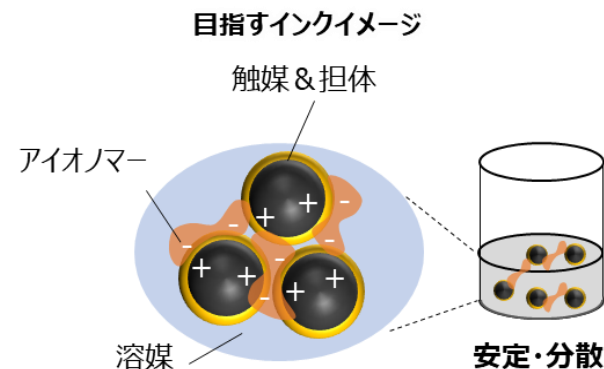
3. 研究開発成果について

研究開発項目 ④アルカリ水電解用のMEA形成を実現するプロセス基盤技術の確立
実施者 パナソニック

パナソニック

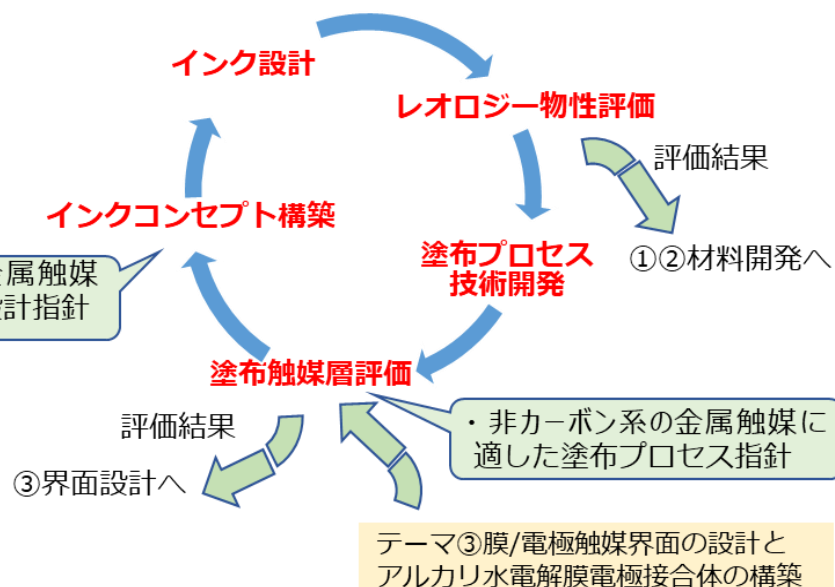
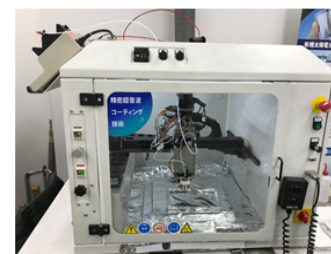
燃料電池技術で未開拓である、高電位で酸化分解されない非カーボン系の金属触媒については従来のカーボン担体に比べて、約5倍程度密度が高いことに由来し沈降性が高く塗布における不均一性を引き起こしてしまうことが課題。インク中の触媒分散を維持するためのインク設計および塗布プロセス開発のプロセス基盤技術を構築する。成果は材料開発および膜/電極触媒界面の設計とアルカリ水電解膜電極接合体の構築にフィードバックする。

パナソニック



- 1) 均一分散による触媒表面積最大化
- 2) アイオノマーによる凝集抑制
- 3) 安定分散による低い沈降性

超音波スプレー装置



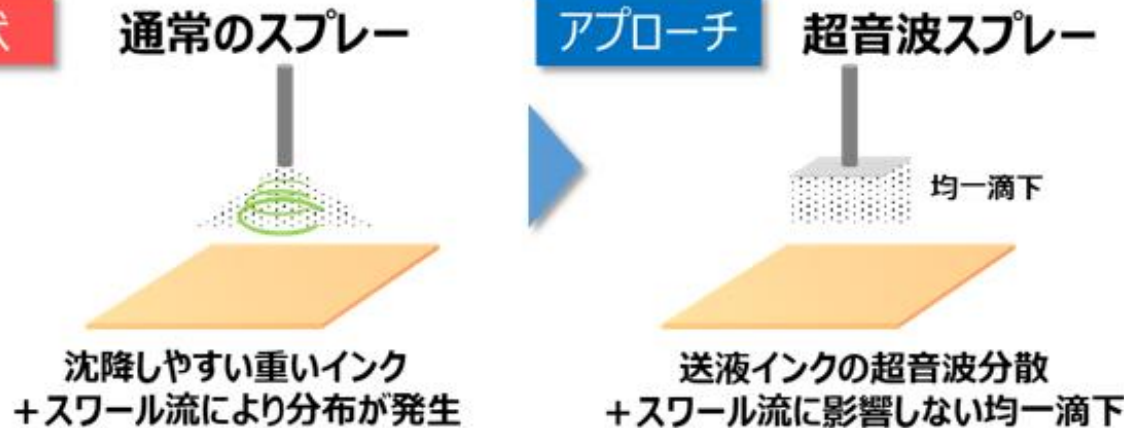
3. 研究開発成果について

研究内容	目標	実施項目
インクプロセス技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・二次粒子粒径10μm以下 ・インク粘度5~100 mPa\cdots ⇒ 分散安定性1時間以上を達成 	インクレオロジー制御 ⇒粘度、粒度分布 分散安定性評価
塗布プロセス技術開発	電極面積25cm ² において <ul style="list-style-type: none"> ・担持量バラつき10%以内 ・触媒層厚みバラつき10%以内 	分散塗工プロセス検討 ⇒担持量、電極厚み分布 断面形状、空隙率評価

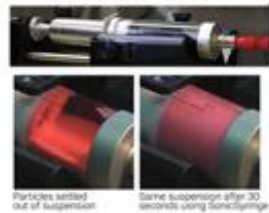
課題

水電解用の高電位で酸化分解されない非カーボン系の金属触媒は、従来燃料電池技術で用いられるカーボン担体触媒に比べ、約5倍程度密度が高いことに由来し沈降性が高く、分散安定性が低い。
 ⇒インク中の触媒分散を維持するプロセス基盤技術検討(インク設計および塗布プロセス開発)が必要。

現状



超音波シリンジ

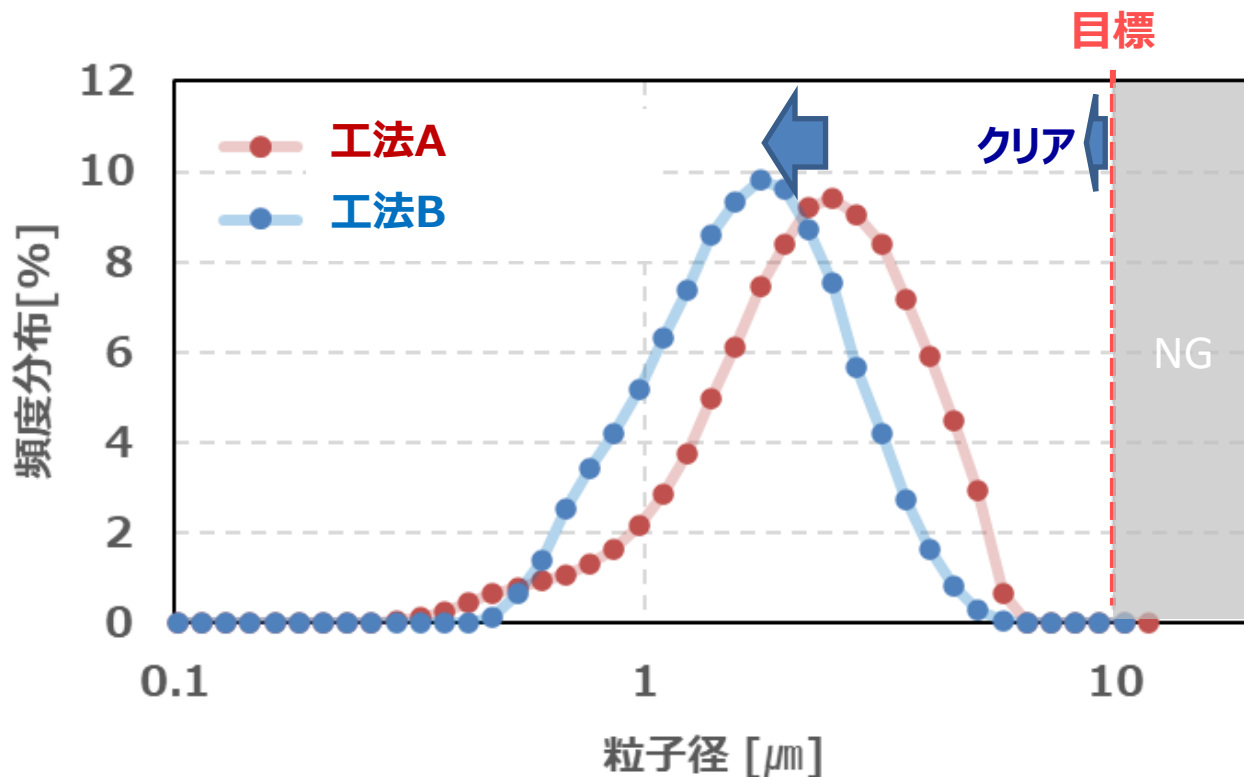


超音波スプレー装置



マクロな結着性・均一性と、ミクロな断面形状の双方からMEAの理想状態を作り出す

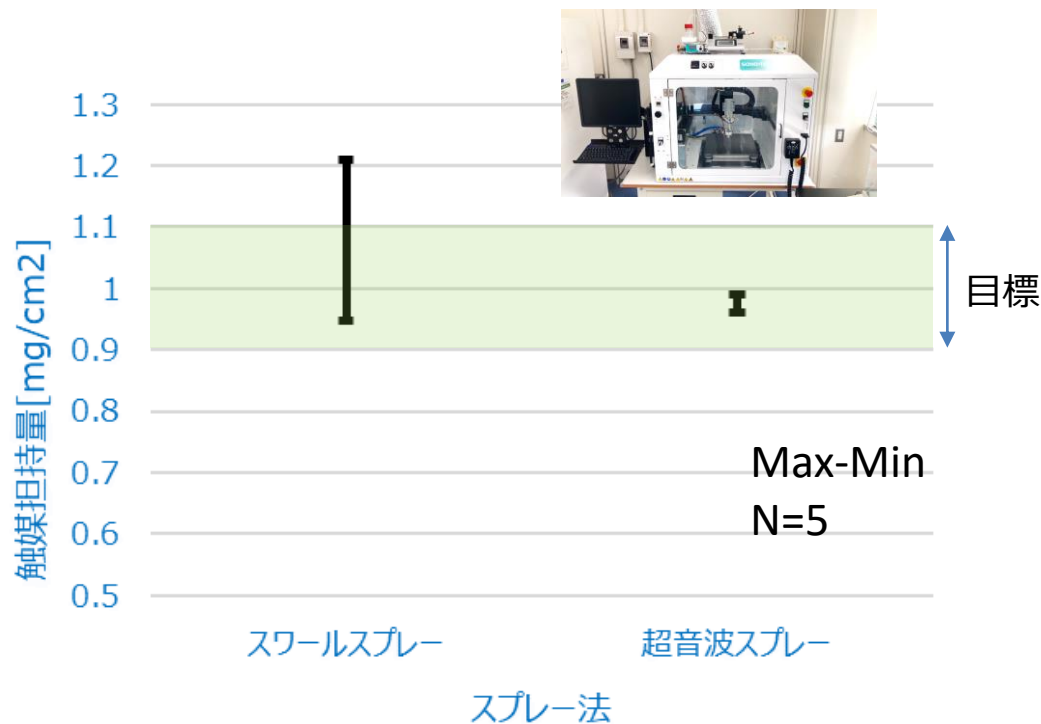
3. 研究開発成果について



- インク分散工法Aでは粒径が大きく分布も広がったが、インク分散工法Bにより微細で粒径が揃う傾向
- インク粒径10 μm 以下への制御に成功 \Rightarrow 触媒層塗工制御が可能

3. 研究開発成果について

評価方法	塗布重量 触媒インク1バッチにて25cm ² 5サンプル連続作製による評価
狙い担持量	1.00mg/cm ²
ばらつき目標	狙い担持量±10% 0.90-1.10mg/cm ²



- 超音波スプレーにより、狙いの均一滴下によるばらつき抑制効果が得られた
- 電極面積25cm²における担持量バラつき±10%以内のMEA形成を達成

3. 研究開発成果について

2021年度の進捗まとめ

①水中でのアニオン導電率が50mS/cm以上、破断強度が20MPa、破断伸びが100%以上のアニオン膜を開発する。	達成
①80°Cの4M KOH水溶液中で500時間以上の耐久性を持つアニオン膜を開発する。	達成
①水素および酸素透過係数が調節可能な分子構造の課題を抽出する。	達成
①アニオン膜の製造コストが15000円/m ² 以下を見通すための課題を抽出する。	達成
①アニオン膜をA5サイズで製膜するための技術課題を抽出する。	達成
②アルカリ水溶液中にて酸素発生電位(vs. RHE) がIrO _x と同程度の非貴金属系酸素発生触媒を開発する。	達成
②アルカリ水溶液中にて触媒活性と耐久性を評価する。さらに、項目③の結果もフィードバックして、1.65 V(vs.RHE)にて0.5 A/cm ² の電流密度を達成する非貴金属系酸素発生（アノード）触媒を開発する。	達成
②主にアルカリ水溶液中にて水素発生電位が0.2 V (vs. RHE) 未満になると共に、20Ω・cm ² 以下の電気抵抗率を示す非貴金属系水素発生（カソード）触媒を開発する。	達成
②酸素発生/水素発生用非貴金属触媒を25g/hで量合成する技術を開発する。	達成
③本事業で開発されたアニオン膜・イオノマーと非貴金属アノード触媒を用いて1.75 Vにて1 A/cm ² の電流密度を達成するアルカリ水電解MEAを開発し、触媒及び高分子電解質材料の電解性能を検証する。	達成
③80 °Cの1M KOH水溶液中で電解時間800h後の電解電圧2.0V以下@電流密度1A/cm ² を、I-V測定による負荷変動対応性について交えて確認しながら、本事業で開発されたアニオン膜・イオノマーと非貴金属アノード触媒を用いたMEAで達成する。	達成
③上記、電解性能を達成するための触媒層、膜/電極触媒界面を構築、電解性能発現の主要メカニズムを抽出し、各材料開発にフィードバックする。	達成
④インクプロセスにおいて、二次粒子の粒径を10 μm以下に制御する。	達成
④塗工プロセスにおいて、超音波スプレーを用い電極面積25cm ² における担持量バラつき±10%以内のMEAを形成する。	達成

3. 研究開発成果について

- 学会発表
国際学会 5件、国内学会 6件
- 論文発表
査読付き学術論文 7報
- 特許出願
アニオン膜に関する特許出願準備中
- 受賞
 - 1) 文部科学大臣表彰 科学技術賞 (研究部門)
(宮武 健治、内田 誠、犬飼 潤治)
 - 2) 燃料電池開発情報センター (FCDIC) 学術賞
(宮武 健治)

4. 今後の見通しについて

事業期間終了後に到達しているレベル

AEM水電解MEA実現に向けた基盤技術完成レベル

性能：1.65 V@1A/cm²

耐久：1000h後の電解電圧 \leq 2.0V@1A/cm², 1M KOH, 80°C

コスト：電解質膜： \leq 1.5万円/m²、非貴金属アノード触媒：貴金属コスト比1/10

本事業で解決すること

- AEM水電解MEAの性能・耐久とコストの両立
- 低コスト触媒・電解質膜材料でのPEM並み性能実現
- 低コスト触媒・電解質膜材料での初期急速劣化モードなき耐久技術実現
- MEA化アッセンブリー基盤技術の実現
- PtメッキレスMEAでPEM並み性能実現