

NEDOエネルギー・地球環境分野成果報告会2026

プログラムNo. 603-2-14

契約件名

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/
高出力化を実現する炭化水素系気体透過性ブレンドアイオノマの研究開発

発表：2026年 7月22日

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 西原正通

*団体名（企業・大学名など）（国）九州大学

問い合わせ先 E-mail: nishihara.masamichi.064@m.kyushu-u.ac.jp TEL:092-802-6741

事業概要

1. 期間

開始 : 2025年5月
終了(予定) : 2028年3月

2. 最終目標

炭化水素系高分子のみからなる気体透過性ブレンドアイオノマを開発

- ・同等の発電条件で 0.6Vでの電流密度が、第二世代MIRAIのフッ素系アイオノマと同等
- ・ブレンドアイオノマの R_{other} が、炭化水素系アイオノマ単体の50%以下を達成
- ・触媒層内ガス拡散抵抗の目標であるHVD、10 s/mを達成 (白金目付量0.178mg/cm²)
- ・プロトン伝導性が120℃、30%RHで50mS/cmを実現するアイオノマの開発

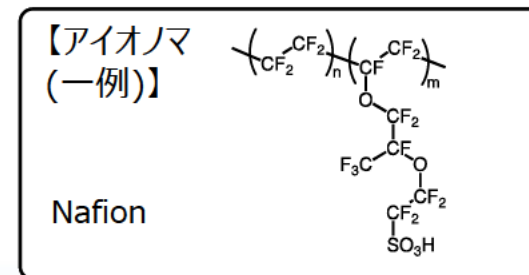
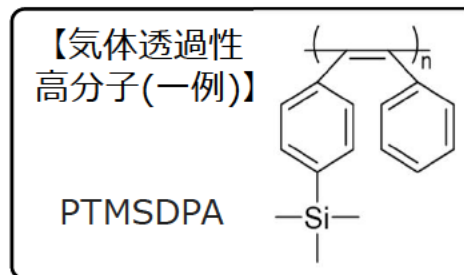
3. 成果・進捗概要

より現実に即した形で最終目標の実現のため、複数の実施項目と中間目標を定め、研究を実施。
複数の目標を達成済み。フッ素系材料にも範囲を広げ、最終目標に向け、機序解明、材料開発を実施。

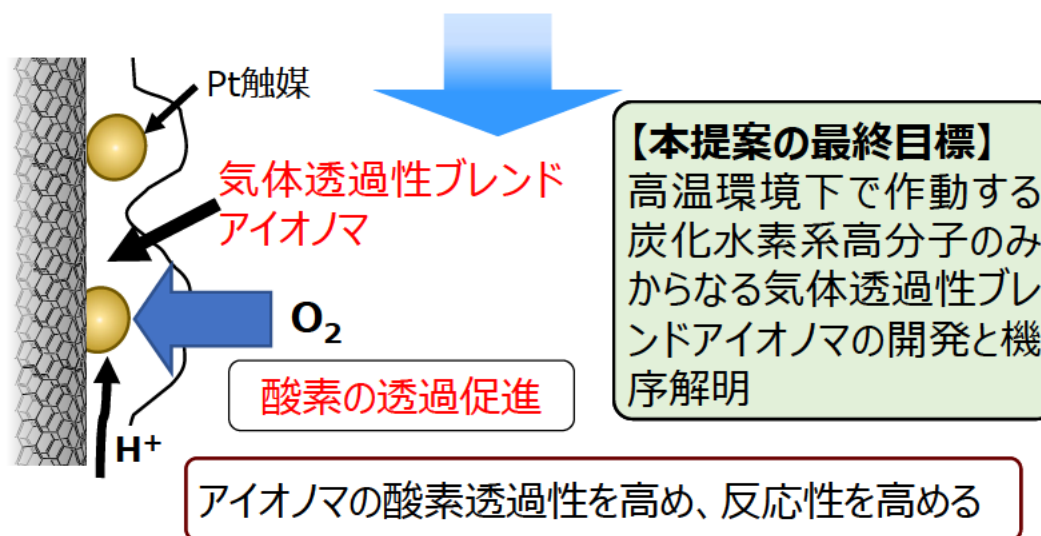
項目1 低電流密度域でのIV性能を維持しつつ、高電流密度域でNafionより20%以上高い限界電流密度を達成

項目3 ブレンドアイオノマにおいても、Nafionに対して90%以上の耐久性能 (ECSA保持) を確認

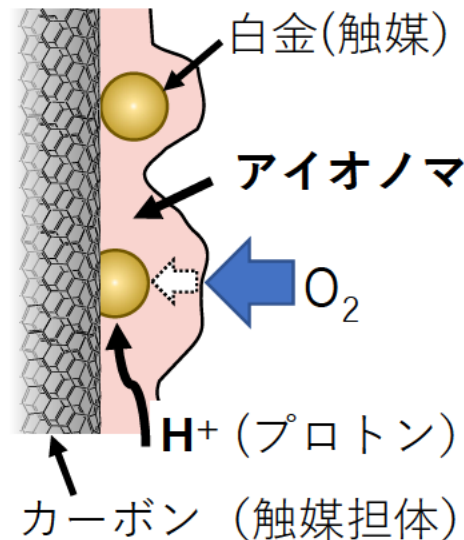
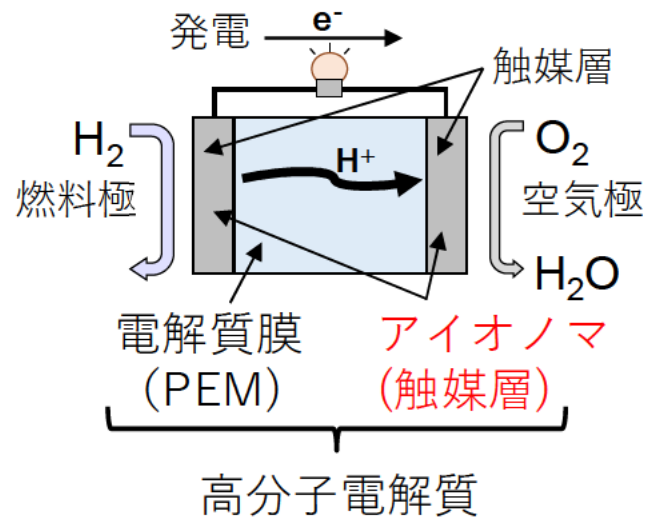
事業イメージ



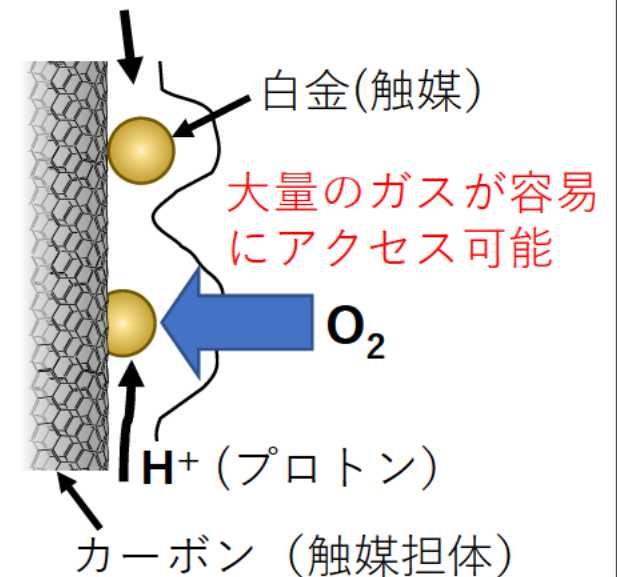
- ・気体透過性高分子とアイオノマをブレンド
- ・アイオノマ全体の気体透過性を向上



1. 事業の位置付け・必要性



Nafionの数十倍のガス透過性をもつアイオノマ



現在の設計指針

【高出力アイオノマの設計指針】
・高酸素透過性フッ素系高分子

酸素透過性が高い炭化水素系高分子をNafionアイオノマに混ぜることで、高出力化を実現

事業の目的

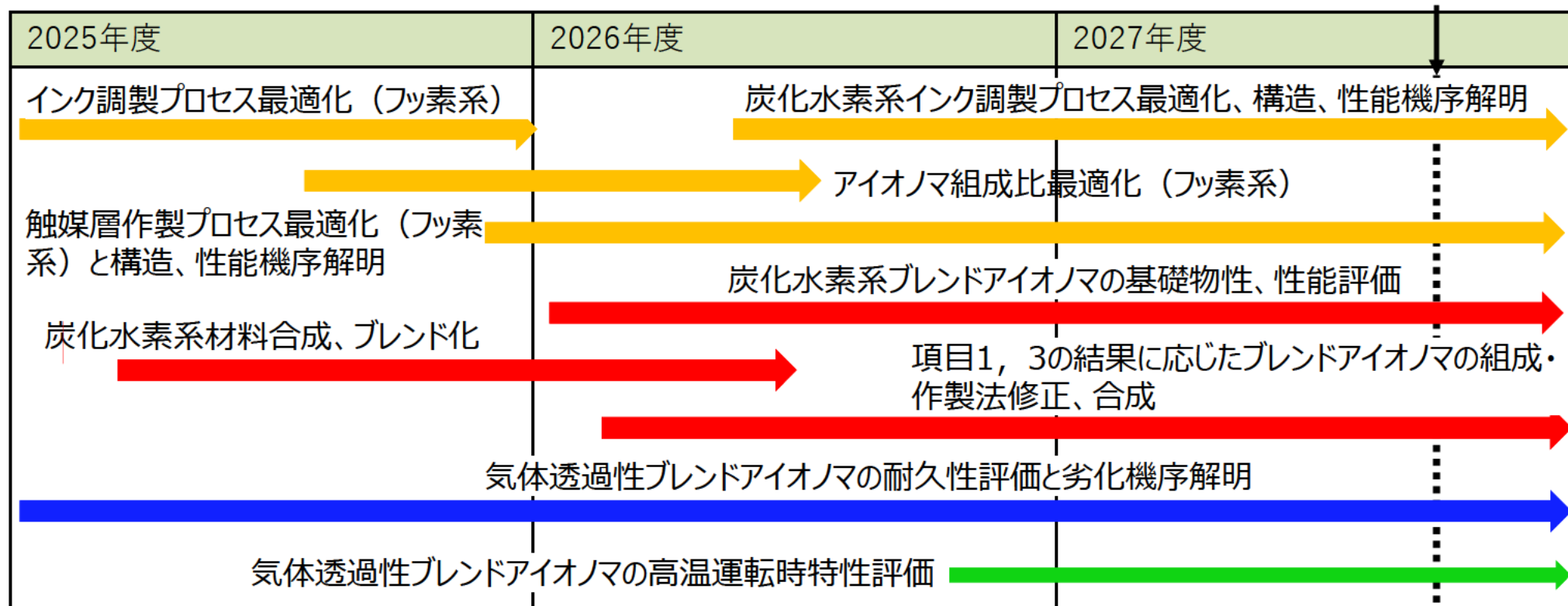
高負荷走行を実現する商用車向け燃料電池用のアイオノマ開発に向け、実施者が培ってきた「**気体透過性を制御した高分子電解質技術**」を活用し、**アイオノマの酸素透過性改善により高電流密度域での性能向上、白金量削減を目指す**。炭化水素系高分子のみからなる気体透過性ブレンドアイオノマの開発し、幅広い産業応用に資する革新的材料の実現と設計指針の構築を目指す。

2. 研究開発マネジメントについて

【開発目標、計画】

- ➡ **項目1.** 気体透過性ブレンドアイオノマの実用化に向けた設計指針構築と触媒層調製プロセスの最適化
- ➡ **項目2.** 炭化水素系高分子電解質と気体透過性高分子による炭化水素系気体透過性ブレンドアイオノマ開発
- ➡ **項目3.** 気体透過性ブレンドアイオノマの耐久性評価
- ➡ **項目4.** 高温運転時の気体透過性ブレンドアイオノマの発電性能評価

ステージゲート



2. 研究開発マネジメントについて

【実施体制（人員配置）】 GL・研究開発責任者：国立大学法人九州大学

項目1	4名：研究員2名（A、B）、学生2名（C、D）
項目2	1名：研究員A（炭化水素材料合成）
項目3	2名：研究員B、学生C
項目4	2名：学生D、研究員A

【2027年度までの中間目標】

項目1. 気体透過性ブレンドアイオノマの実用化に向けた設計指針構築と触媒層調製プロセスの最適化

- ・低電流密度域のIV性能低下を抑制し、高電流密度域でNafionより20%以上高い限界電流密度を達成
- ・ R_{other} がNafionアイオノマの50%以下となる気体透過性ブレンドアイオノマ、触媒層作製プロセスを開発

項目2. 炭化水素系高分子電解質と気体透過性高分子による炭化水素系気体透過性ブレンドアイオノマ開発

- ・炭化水素アイオノマを用いた気体透過性ブレンドアイオノマを開発、単独アイオノマより20%以上高い限界電流密度を達成
- ・ R_{other} がスルホン化ポリフェニレンアイオノマの50%以下となる気体透過性ブレンドアイオノマを開発

項目3. 気体透過性ブレンドアイオノマの耐久性評価

- ・Nafionアイオノマ、もしくは炭化水素系アイオノマを用いたセルと、ブレンドアイオノマを用いたセルで、起動停止試験、負荷変動試験の比較を行い、ブレンドアイオノマセルにおいても、同等（比較アイオノマの90%以上）の耐久性能を達成

項目4. 高温運転時の気体透過性ブレンドアイオノマの発電性能評価（2028年度以降）

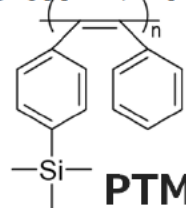
最終目標実現に向けた材料、組成の最適化。（できる限り早期に実施）

3. 研究開発成果について

項目1. 気体透過性ブレンドアイオノマの実用化に向けた設計指針構築と触媒層調製プロセスの最適化 → ■ 気体透過性高分子の種類を替えたブレンドアイオノマの結果

ポリアセチレン系ブレンドアイオノマ

気体透過性

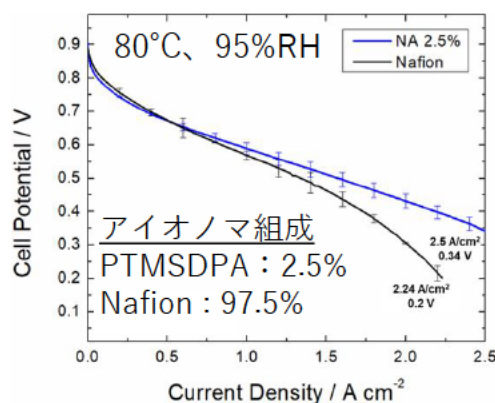


PTMSDPA

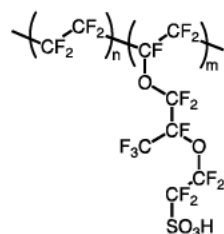
酸素透過性: 260 Barrer

IV性能

(PTMSDPA 2.5%の結果)



Y. Hutapea, et. al., *J. Power Sources*, 556, 232500 (2023).
特願2021-132396



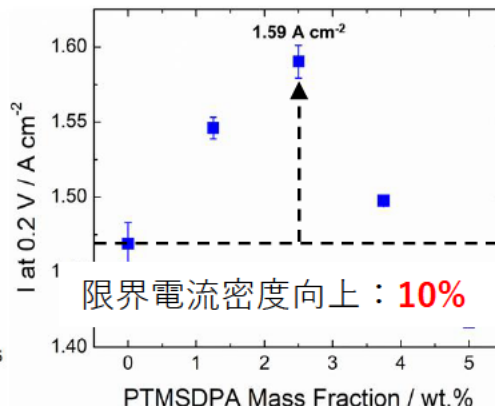
プロトン
伝導性

Nafion

10 Barrer (80°C)

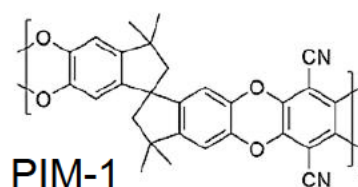
限界電流密度の比較

(0.2V)



限界電流密度向上: 10%

PIM-1系ブレンドアイオノマ



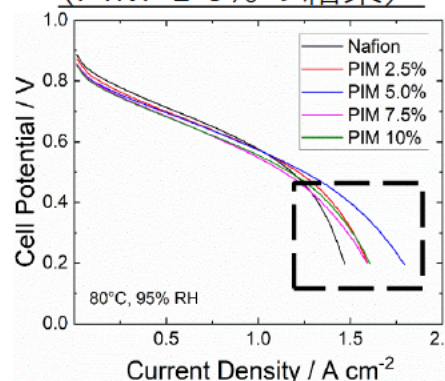
PIM-1

高酸素透過性: 1,030 barrer, 30°C

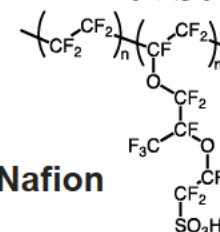
→ Nafionの約100倍の酸素透過性

IV性能

(PIM-1 5%の結果)



プロトン伝導性

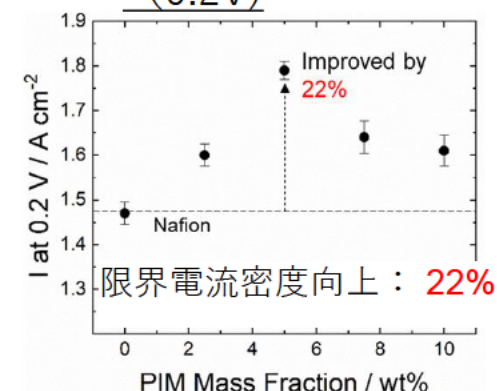


Nafion

10 Barrer (80°C)

限界電流密度の比較

(0.2V)



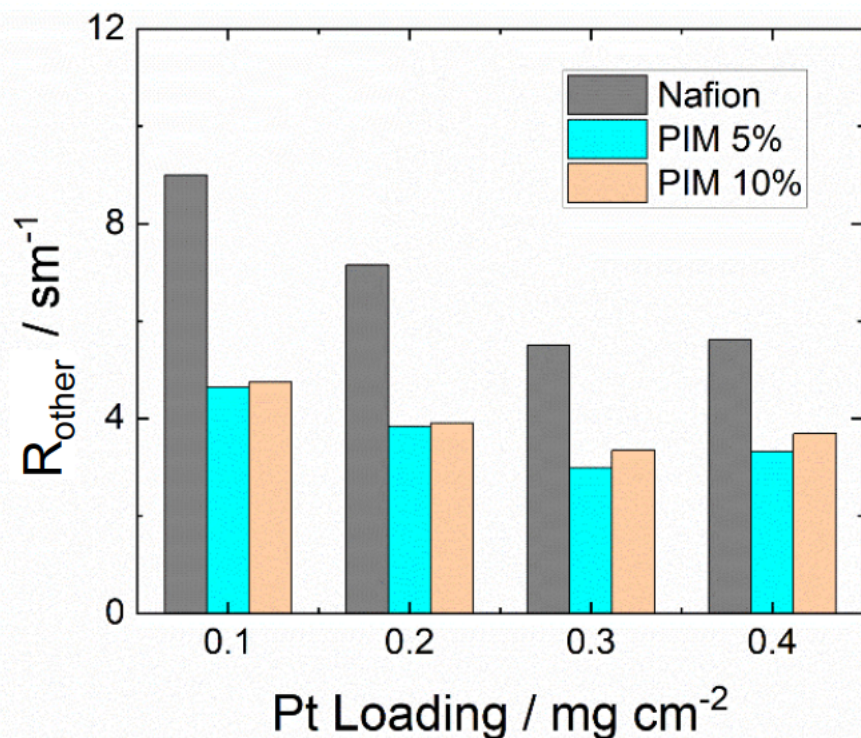
Y. Hutapea, et. al., *In Preparation*.
特願2023-018667

- ・ 低電流密度域でIV性能を維持し、高電流密度域でNafionより20%以上高い限界電流密度を達成
- ・ 気体透過性高分子の種類を替えても、機能する事を確認 → 多様な材料で応用可能

3. 研究開発成果について

項目1. 気体透過性ブレンドアイオノマの実用化に向けた設計指針構築と触媒層調製プロセスの最適化 → ■ 気体透過性高分子の種類を替えたブレンドアイオノマの結果

カソードの酸素透過抵抗(R_{other})



白金目付0.3 mgPt/cm^2 においてPIM 5%をブレンドしたアイオノマはNafionアイオノマと比較し R_{other} が46%低減

アイオノマ間の R_{other} の比較

Ionomer	$R_{\text{other}} (\text{sm}^{-1})$
Nafion	5.54
PIM 5%	2.97
ACE 2.5%	3.43
ACE 5%	4.06

*0.3 mgPt/cm^2

Ionomer	$R_{\text{Pore}} (\text{s/m})$	$R_{\text{Pt}} (\text{s/m})$
Nafion	2.49	9.30
PIM 5%	1.61	4.60
ACE 2.5%	1.77	5.30
ACE 5%	2.36	5.10

PIM-1-Nafionブレンドアイオノマが最も R_{other} 、 R_{Pt} の低減に寄与

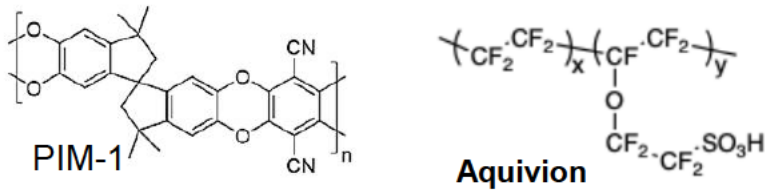
R_{other} がNafionアイオノマの50%以下となる気体透過性ブレンドアイオノマ → ほぼ達成

・ 気体透過性高分子の種類を替えても、機能する事を確認 → 多様な材料で応用可能

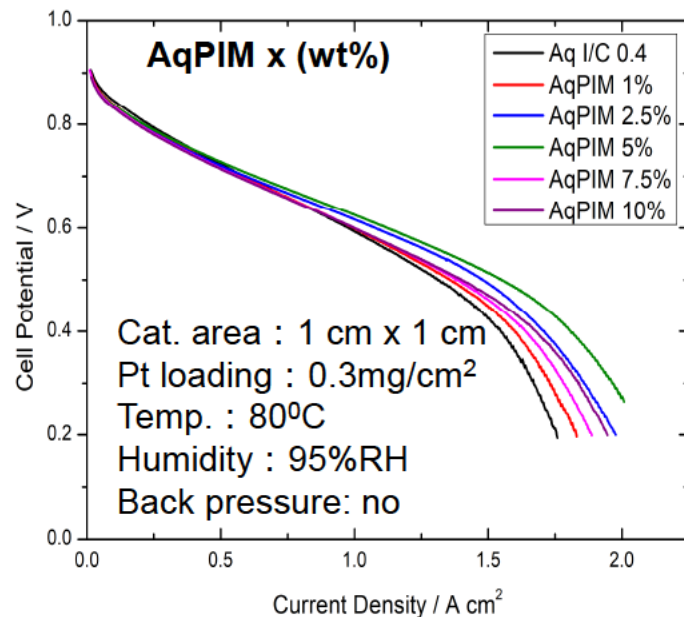
3. 研究開発成果について

項目1. 気体透過性ブレンドアイオノマの実用化に向けた設計指針構築と触媒層調製プロセスの最適化 → ■ **アイオノマの種類を替えたブレンドアイオノマの結果、項目4の予備実験**

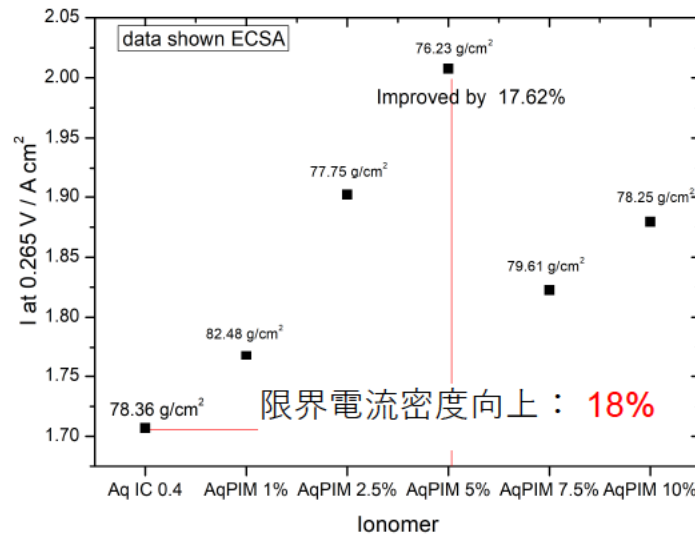
Aquivion-PIM-1ブレンドアイオノマ



IV test (80°C、95%RH)



限界電流密度の比較 (0.265V)



PIM-1 (%)	0	1.0	2.5	5.0	7.5	10
R _{other} (s/m)	1.38	1.25	1.21	1.17	1.66	1.38

→
R_{other} 15%低減

PIM-1を5%ブレンドした場合、Aquivion単独よりも
限界電流密度 :
17.6%向上
R_{other} : 15%低減



気体透過性ブレンドアイオノマの概念が、**Nafion**以外のアイオノマでも発現することを確認

D. A. Nasution, et. al., *In Preparation*.
特願2023-018667

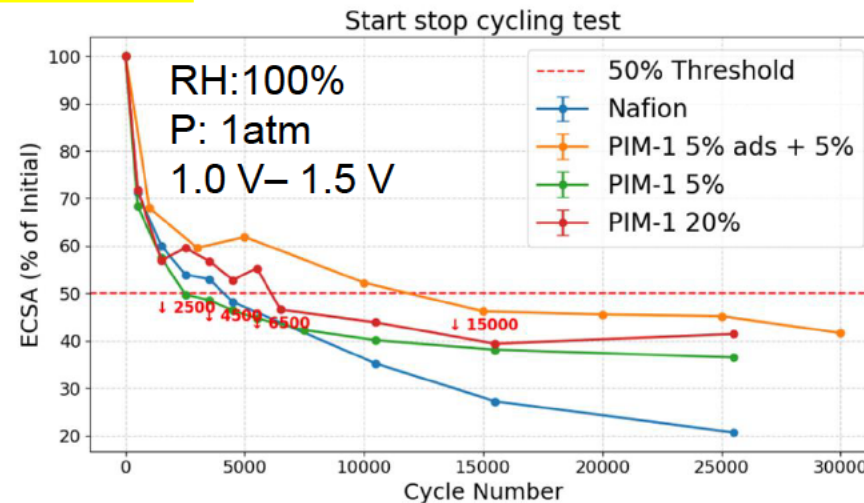
・ アイオノマの種類を替えても、気体透過性ブレンドアイオノマが機能する事を確認
→ **アイオノマ、気体透過性高分子に関して、多様な材料の組み合わせが可能**

3. 研究開発成果について

項目3. 気体透過性ブレンドアイオノマの耐久性評価 → ■ 触媒層材料の耐久試験での Nafionアイオノマとの比較

起動停止サイクル試験

セル温度：80℃
ガス流速：
アノード H₂ 70ml/min
カソード N₂ 166ml/min
最大電位：1.5V
最小電位：1.0V
電位変化：500mV/s

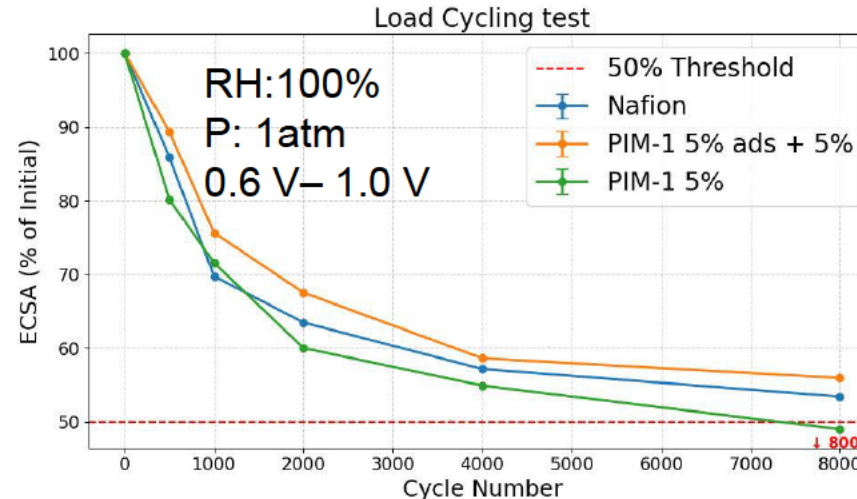


標準のNafionアイオノマと
ほぼ同等のECSA変化

カーボン担体の劣化プロトコル
に対する大きな影響は現時
点で観察されていない

負荷変動サイクル試験

セル温度：80℃
ガス流速：
アノード H₂ 70ml/min
カソード N₂
166ml/min
最大電位：0.95V
最小電位：0.6V



標準のNafionアイオノマと
ほぼ同等のECSA変化

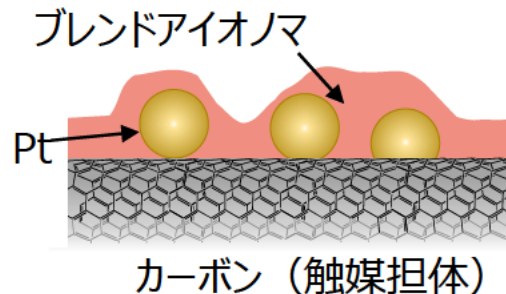
白金触媒劣化プロトコルに
対する大きな影響は現時
点で観察されていない

- ・ 起動停止試験、負荷変動試験の比較を行い、ブレンドアイオノマにおいても、Nafionアイオノマに対して90%以上の耐久性能（ECSA保持）を確認 → 本条件では概ね達成
- ・ その他の条件での耐久評価も必須

4. 今後の見通しについて

今後の課題と対応方針

触媒層構造



- 実用化に向けブレンドアイオノマの最適化を行う上で必要な基礎情報（機能、構造の関係）を明確にして、材料設計指針を構築する
 - ・ブレンドアイオノマの作動機序の解明
 - ・ブレンドアイオノマの構造解明
 - ・触媒層内でのブレンドアイオノマの分布状況と触媒層構造の解明
- 気体透過性ブレンドアイオノマの様々な条件での耐久性と性能の関係を評価し、実用化に資する材料設計を実施

【実用化・事業化を行う製品・サービス等のイメージ】

炭化水素系気体透過性ブレンドアイオノマ

- ・触媒への酸素透過を向上させ、濃度過電圧を下げることで、出力密度を向上させることが可能
- ・白金目付量が低下しても、気体透過性が高いため、発電性能を維持
- ・炭化水素系気体透過性ブレンドアイオノマが十分な性能を示した場合は、非フッ素系電解質材料として市場へアピール可能

【最終的な製品イメージ】

- ・ブレンドアイオノマ粉末
- ・ブレンドアイオノマ分散溶液
- ・触媒材料に事前に吸着させた固体触媒層材料

1. 事業の位置付け・必要性

・現在の開発目標が設定された背景

商用車向け燃料電池では、より高い出力を出す事が重要な課題。**触媒層内でのアイオノマの酸素透過抵抗の低減**ができれば、触媒への酸素供給をスムーズにでき従来以上の高い出力を発生させることが可能。

このような背景から、最終目標として、**炭化水素系高分子のみからなる気体透過性ブレンドアイオノマを開発**、NEDOロードマップの商用車用燃料電池触媒層内の**ガス拡散抵抗の目標10 s/mを達成**、**耐久性も従来のアイオノマと同等を維持**するなど実用化に必要な目標達成を目指す。当面、PFAS規制の対象からFCが外れることを踏まえ、**フッ素系材料でも10 s/mを下回る材料の開発を進める**。

・ベンチマーク（国内外） 結果との比較

【触媒層全体(R_{other})と触媒層中のアイオノマの酸素透過抵抗 (R_{Pt})の比較】

青の列は九大で測定したもの。緑の列は文献値。空欄は現在データなし。

	Nafion [1]	*ACE 2.5%[1]	**PIM 5%	Nafion [2]	HOPI[2]	Aquivion [3]	Pemion[3]	
							PP1-HNN9-00-X	PP1-HNN4-00-X
R_{other} (s/m)	9.00	5.26	4.65	~13.50	~7.60			
R_{Pt} (s/m)	3.10	1.77	1.53	~3.40	~1.70	~13.40	~15.60	~13.2

[1] 0.3 mgPt/cm²
[2]: 0.12 mgPt/cm
[3]: 0.12 mgPt/cm

*: Nafion 97.5% & PTMSDPA 2.5%

**： Nafion 95% & PIM 5%

[1] Hutapea YA, Nishihara M, Gautama ZAR, et al., *J Power Sources* 2023;556:232500.

[2] Jinnouchi R, Kudo K, Kodama K, Kitano N, Suzuki T, Minami S, et al., *Nature Comm.*, (2021) 12:1 2021;12:1–9.

[3] Liepold H, Nguyen H, Heizmann PA, Klose C, Vierrath S, Münchinger A., *J Electrochem. Soc.*, 2024;171:054509.

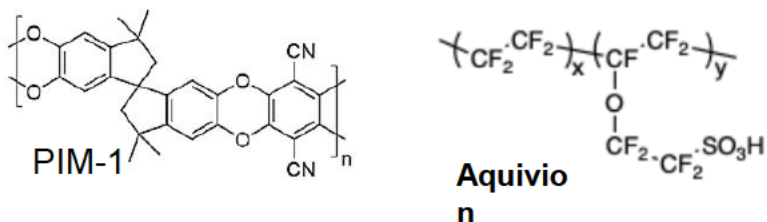
事業の目的

商用車向け燃料電池には、高耐久・高負荷走行を実現する高分子電解質が求められている。本事業では、実施者が培ってきた「**気体透過性を制御した高分子電解質技術**」を活用し、**アイオノマの酸素透過性改善により高電流密度域での性能向上、白金量削減を目指す**。炭化水素系高分子のみからなる気体透過性ブレンドアイオノマの開発し、幅広い産業応用に資する革新的材料の実現と設計指針の構築を目指す。

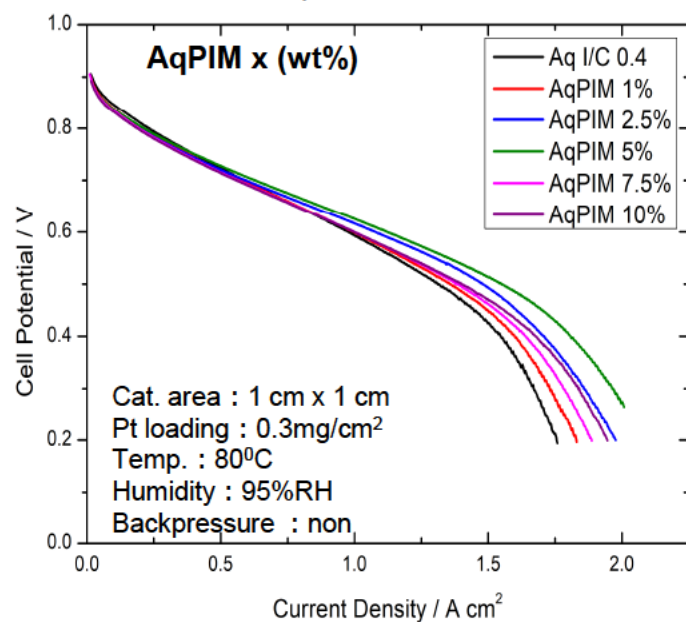
High gas-permeable blend ionomers (different ionomer)

Ionomer

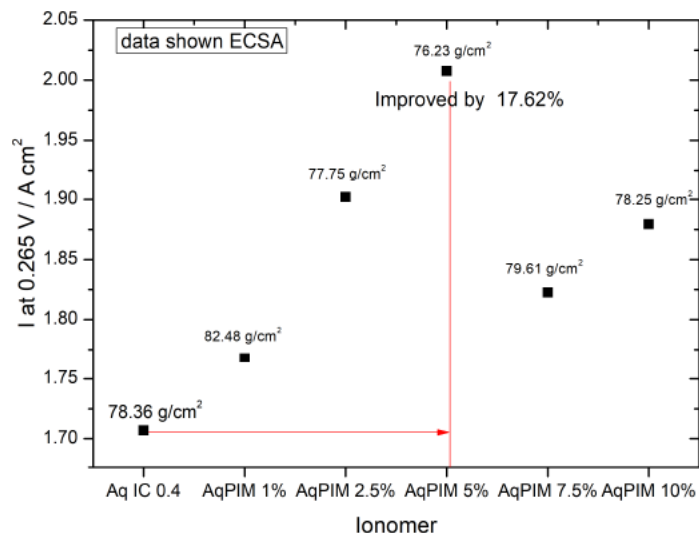
Aquivion-PIM-1 blend ionomer



IV test (80°C, 95%RH)



Comparison of limiting current density (0.265V)



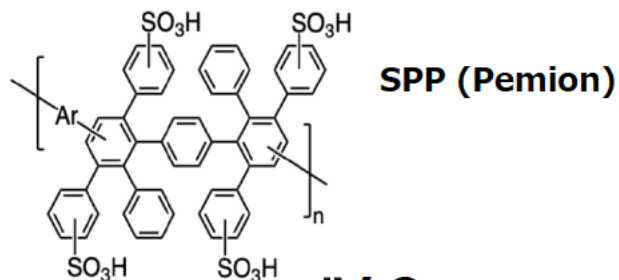
In case of PIM-1 5% blend, it showed higher performance than pure Aquivion



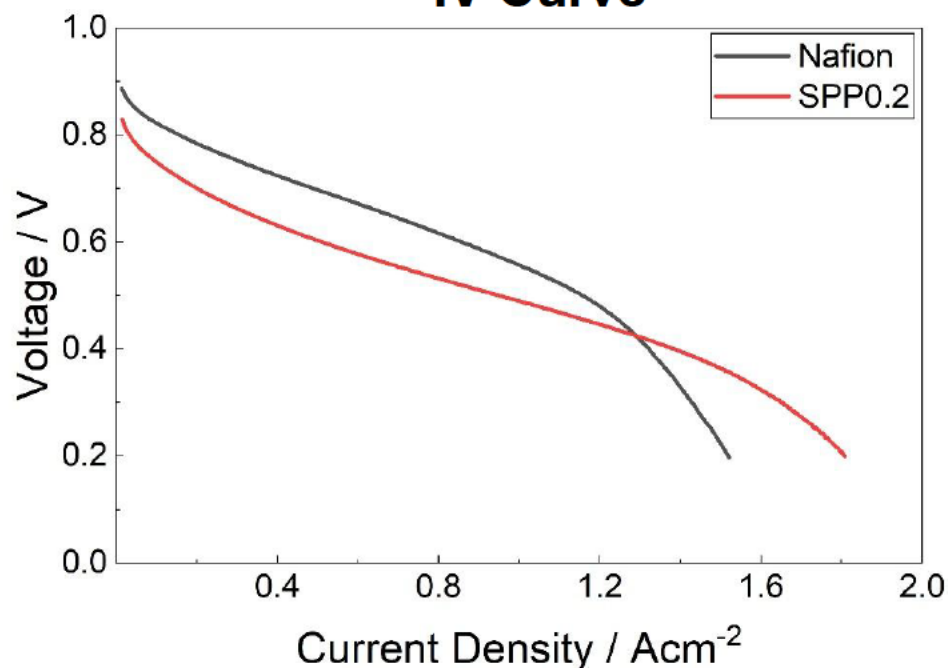
It is confirmed that the concept of high gas-permeable blend ionomer worked in other ionomers rather than Nafion.

PIM-1 (%)	0	1.0	2.5	5.0	7.5	10
R _{other} (s/m)	1.38	1.25	1.21	1.17	1.66	1.38

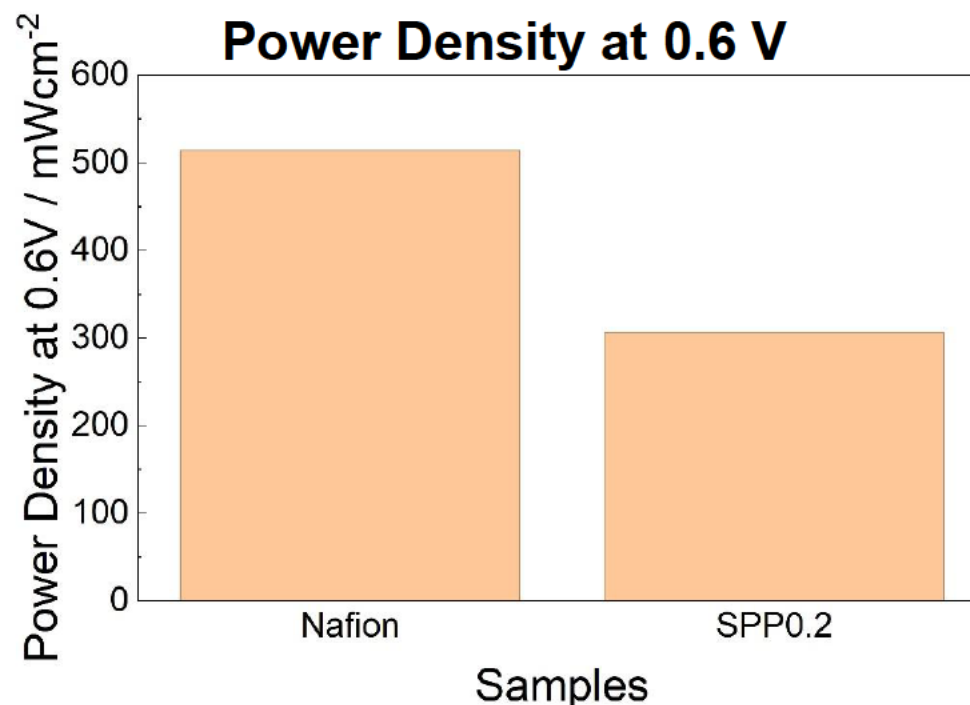
R_{other} 15% decrease



IV Curve

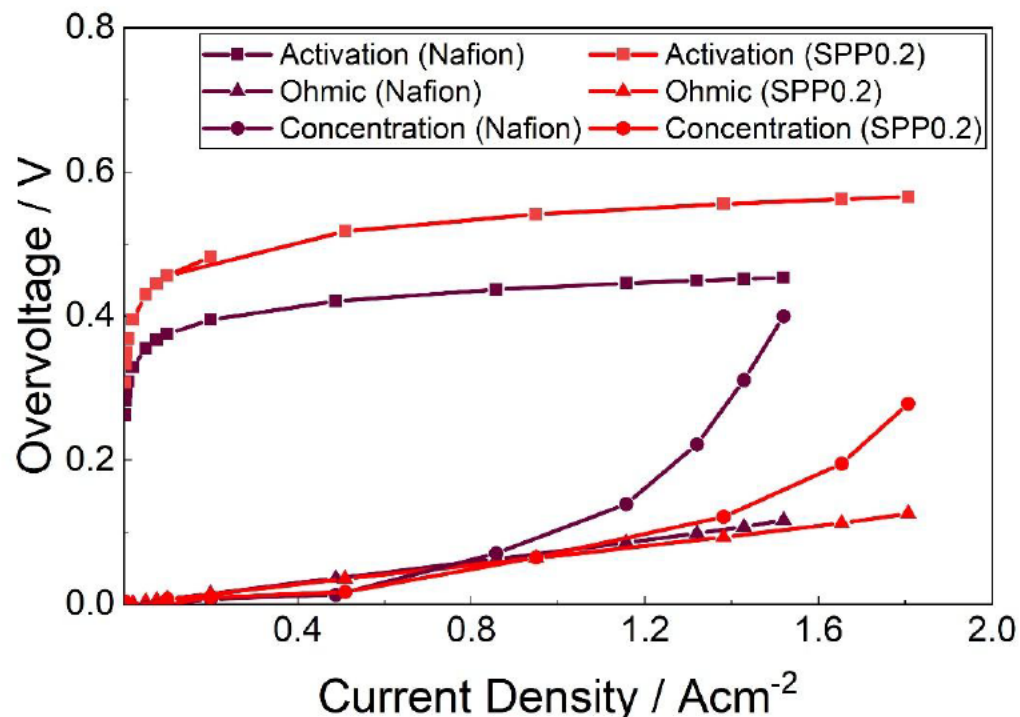


Power Density at 0.6 V

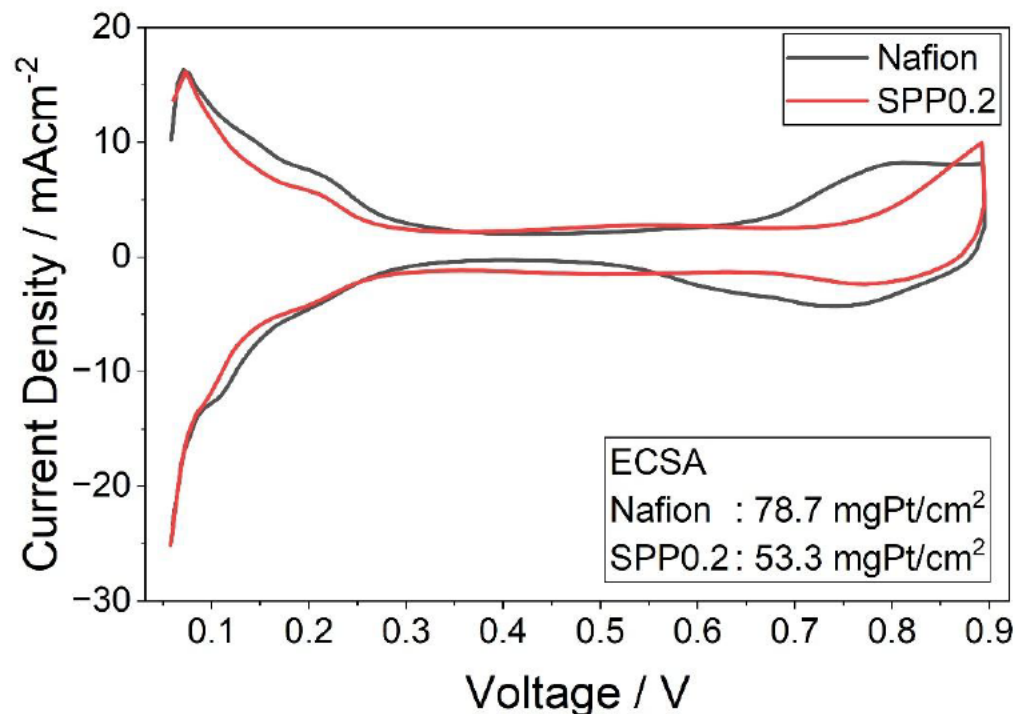


- The IV of SPP0.2 shows **reasonably lower performance** compared to Nafion in the low current density region due to **lack of ionomer content**.
- **Higher current density performance** of SPP0.2 compared to Nafion → **less ionomer content** → higher mass transport from oxygen gas.
- At 0.6V, the power density of **SPP0.2 is 40% lower** compared to Nafion.

Overvoltages



Cyclic Voltammetry



- Activation overvoltage confirms the lower performance of SPP0.2 at low current density.
- Lower concentration overvoltage results a better performance at high current density region of the SPP0.2.
- The lack of ionomer content also results lower ECSA of SPP0.2.