

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
白金系ナノ連結構造触媒の開発と高耐久・高性能MEAへの応用

団体名：国立大学法人東京科学大学
発表日：2026年7月22日

事業概要

期間：2025年6月～2030年3月（予定）

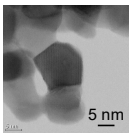
最終目標

本事業では、**HDV用燃料電池**の大幅普及を目指し、特に重機用燃料電池に必要な耐久性を考え、特徴のあるオリジナルな構造を持つ触媒および触媒層の開発を実施する。目標として**10万ロードサイクルでECSA(電気化学的有効表面積)低下を12.5%以内に抑える高耐久な触媒および触媒層の開発**を目指す。

• 連結構造による高耐久MEA

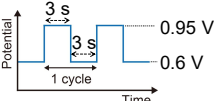
本グループ独自技術

安定なナノ連結構造



• MEA内触媒劣化現象の理解

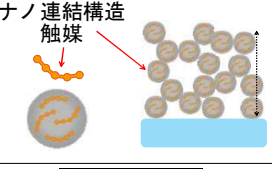
ロードサイクル



• Ptイオン溶解による劣化
• 粒子の凝集・脱離による劣化

• 触媒層構造の設計

ナノ連結構造触媒



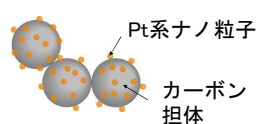
ナノ連結構造触媒を用いた超高耐久MEA

2025年度の主な成果・進捗概要

- 還元剤など合成条件に関する検討を行い、**高表面積なPtNi系ナノ連結ナノワイヤ (ECSA > 70 m² g_{Pt}⁻¹)**を開発
- 開発した高表面積PtNi系ナノワイヤは、従来のナノワイヤよりも**高いロードサイクル耐久性**(60°C、0.1 M HClO₄中)を有することを確認
- 開発触媒をカソードに用いたMEAの作製・評価の検討を進め、**MEAでのロードサイクル試験**を実施予定

独自技術：金属ナノ連結構造触媒・触媒層

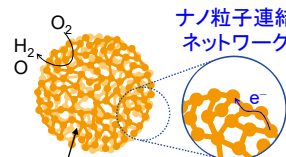
従来の触媒Pt系ナノ粒子/C



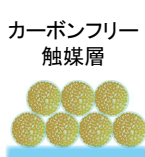
課題

- × 低いORR活性
- × 起動停止に伴う劣化
- × 負荷応答に伴う劣化 (低い耐久性)
- × 物質移動抵抗に伴う出力低下

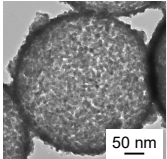
ナノ粒子連結ネットワーク



カーボンフリー触媒層



中空カプセル



T. Yamaguchi et al., *Energy Environ. Sci.*, 8, 2015, 3545–3549.
ACS Appl. Energy Mater., 1, 2018, 324–330 など

(a) 熱処理法：超格子Pt₃Co合金ナノ粒子連結触媒

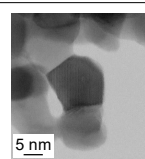
シリカコート (凝集抑制)



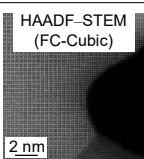
熱処理 (ネットワーク形成 + 規則度向上) & アルカリ処理



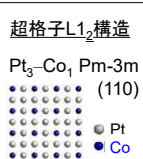
シリカ被覆 Pt₃Coナノ粒子/SiO₂



中空カプセル状超格子L1₂-Pt₃Coネットワーク



超格子L1₂構造



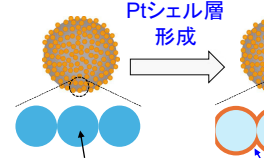
課題

- × ネットワーク化の熱処理時に粒径肥大が起こる (10 nm以上) ⇒ 低表面積

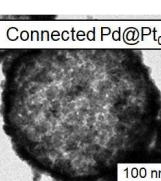
*T. Yamaguchi, et al., *ACS Appl. Nano Mater.*, 3, 9912–9923 (2020).
ACS Appl. Nano Mater., 2025, 8, 3323–3332 (2025).

(b) Ptシェル法：コアシェル型ナノ粒子連結触媒

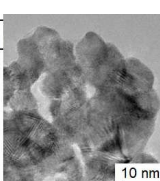
Ptシェル層形成



Pdナノ粒子/SiO₂

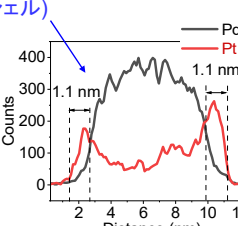


Ptシェル層 (コアシェル)



高温処理を用いない合成プロセス

⇒ 低Pt使用量 高表面積 安定なネットワーク



課題

- △ 表面比活性がPt/Cと比べ5倍程度

表面積と表面比活性のさらなる向上が必要

T. Yamaguchi, et al., *Adv. Sci.*, 12, 2408614 (2025).

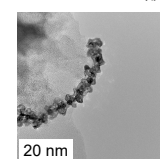
(c) ナノワイヤ法：Pt合金ナノ連結構造触媒

ナノ連結構造 → 高表面比活性が可能

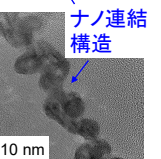


高表面積化 → 細いナノ連結構造 → 機械的強度必要 → 担体上への担持

中実ナノワイヤ



酸処理



ナノ連結構造ナノワイヤ

(a, b) 連結法 白金径 10～15 nm → (c) ナノワイヤ法 白金径 3～5 nm

高い圧縮歪みと高活性結晶面

高ECSA 40～60 m² g_{Pt}⁻¹ + 高比活性 2～4 mA cm_{Pt}⁻²

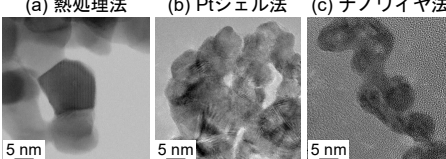
運転システム制御により、起動停止時におけるカソードでの過電圧運転を回避 → カarbon担体使用可

S. Katayama, et al., *ECS Trans.*, 112, 157–165 (2023).

Pt系ナノ連結構造触媒



(a) 熱処理法 (b) Ptシェル法 (c) ナノワイヤ法



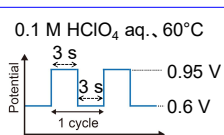
融着 Ptシェル層 ナノ凸凹

触媒	ECSA (m ² g _{Pt} ⁻¹)	質量活性 (A mg _{Pt} ⁻¹)	表面比活性 (mA cm _{Pt} ⁻²)
市販Ptナノ粒子/C	75	0.26	0.35
(a) L1 ₀ -Pt ₁ -Fe ₁ ナノ粒子連結	21	0.47	2.2
(a) L1 ₂ -Pt ₃ -Co ₁ ナノ粒子連結	8	0.23	2.8
(b) コアシェルPd@Pt _{0.8} ナノ粒子連結	48	0.59	1.2
(c) ナノ連結Pt _x -Ni ナノワイヤ	43–61	1.0–1.7	1.8–3.8

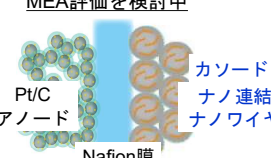
還元剤などの合成条件を最適化

さらに高表面積(>70 m² g_{Pt}⁻¹)、高活性なナノワイヤ触媒の合成にも成功

前NEDO事業のナノ連結ナノワイヤよりも高いロードサイクル耐久性を確認



MEA評価を検討中



カソード Pt/C アノード ナノ連結ナノワイヤ Nafion膜

MEAでのロードサイクル試験

- ECSA低下機構の解明
- 高耐久触媒ナノ構造の提案

✓ HDV用超高耐久MEAへ