

補助事業番号 2024M-546
補助事業名 2024 年度 燃料電池オートバイの普及拡大に繋がる高活性及び高安定性を有する酸素還元電極触媒の創出 補助事業
補助事業者名 東北大学 根岸雄一

1 研究の概要

本事業では、燃料電池オートバイの普及拡大を見据え、約 1 nmの白金 (Pt) ナノクラスターを利用した高活性・高安定性の酸素還元反応 (ORR) 電極触媒を創出した。原子を精密に集積したPtナノクラスターの構造、表面化学および担体界面を制御し、白金を有効利用する触媒設計を実現した。従来の数nm級Pt粒子では利用されにくいPt原子を反応に活用することで、少ないPt量でも高い電極性能を発現させることを目指した。

2 研究の目的と背景

燃料電池は水素と酸素から電気をつくる環境負荷の低い発電装置であり、走行中に二酸化炭素を排出しない水素モビリティの基盤技術として期待されている。しかし、カソードで進行するORRは反応速度が遅く、高価なPt触媒を多量に必要とする (図 1)。このPt使用量と価格が、燃料電池の低コスト化・広範な普及を妨げる大きな要因である。燃料電池オートバイを含む水素モビリティの実用化を加速するためには、Pt使用量を減らしながら、性能と耐久性を同時に高める電極触媒の開発が不可欠である。

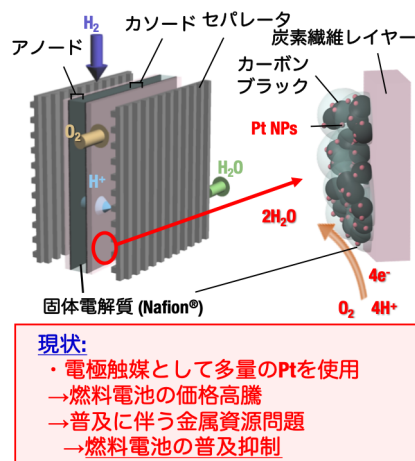


図 1. PEFC の構造と課題。

3 研究内容

(1) 原子精度Ptナノクラスターの合成・担持とORR触媒化

大気下で実施できる簡便な合成法により、約 1 nmのPtナノクラスターを高収率で合成し (図 2)、カーボン担体上へ高分散担持した。原子数が少ないクラスターでは表面に露出するPt原子の割合が大きく、従来の数nm級Pt粒子とは異なる電子状態を利用できる。さらに、構成原子数が数十個以下のクラスターは理論計

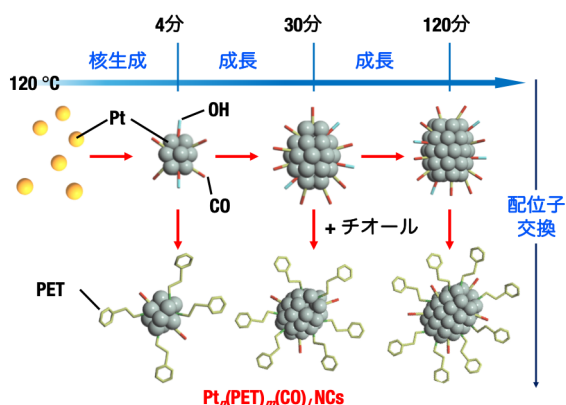


図 2. 研究代表者らが確立した、簡便な操作の組み合わせだけで、1-nm Pt ナノクラスターを精密かつサイズ選択的に合成する方法。

算による解析（図 3）にも適しており、活性発現の理由を理解しながら改良を進められる点に特色がある（図 4）。

（2）表面・組成・担体の精密制御による性能向上

① メラミン修飾により表面Pt原子の電子状態を制御し、Pt溶出および粒子凝集を抑制した。23,000 回の電圧掃引試験後の電気化学的表面积（ECSA）低下は 7%であり、市販Pt/C触媒の 43%低下を大きく下回った（図 5）。この結果は、表面修飾が高活性を保ちながら耐久性も向上させる有効な手段であることを示している。

② Co合金化および担体設計を組み合わせ、Pt質量活性 2568 A/gを達成した（図 6）。これはNEDOの 2030 年目標 1740 A/gの約 1.48 倍に相当し、高性能燃料電池触媒としての可能性を示すものである。市販Pt/Cとの比較では、Pt原子当たりの活性を大幅に高めることができ、同一出力を得るために必要なPt量を減らせる見通しを得た。

本研究では、Ptナノクラスターのサイズ、合金組成、表面修飾および担体との相互作用を個別に検討するのではなく、相互に関係する設計因子として統合的に最適化した。このような原子精度の構造制御により、高活性化と耐久性向上の両立を図った。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

高活性化により同一出力に必要なPt使用量を減らせるため、触媒層の薄膜化、酸素輸送抵抗の低減、燃料電池スタックの小型化・低コスト化が期待される。また、メラミン修飾による耐久性向上は、触媒の交換頻度や保証

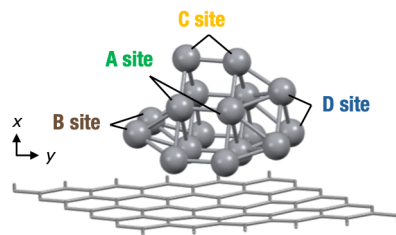


図 3. DFT 計算を用いて Pt₁₇ NC 担持触媒について得られた最適化構造。

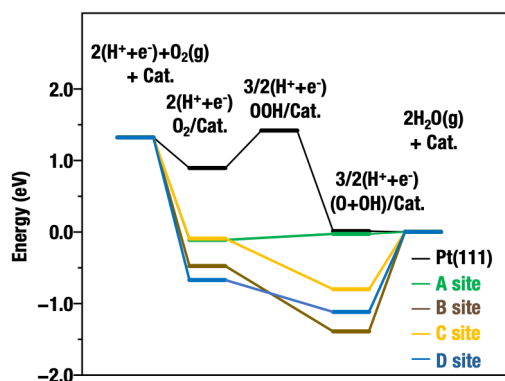


図 4. 図 3 に示した各サイトでの ORR 進行エネルギー。Pt₁₇ NC 担持触媒の A サイトでは、数 nm の Pt ナノ粒子における Pt(111) 面とは異なる反応経路にて反応が進行

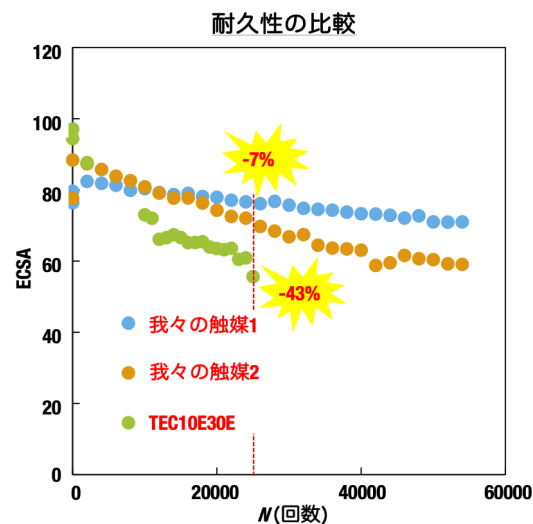


図 5. 耐久性の比較. メラミン/Pt₅₁/CB については 2 種類のサンプルを用いている。

コストの低減にもつながる。触媒粉体として既存のPtサプライチェーンと整合できるため、まったく新しい製造設備を必要とせずに導入を検討できる点も利点である。今後は、膜電極接合体（MEA）に組み込み、高電流域での出力と耐久性を評価することで、燃料電池オートバイを含む水素モビリティへの早期実装を目指す。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究は、金属原子の凝集を原子精度で制御するナノクラスター化学を、燃料電池用電極触媒へ展開したものである。精

密合成、担持、表面修飾、合金化、電気化学評価および理論的理解を結びつけた点に特徴がある。原子レベルで活性部位を設計する基礎科学を、燃料電池の低コスト化と高性能化という社会課題の解決へ結びつける、原子精度材料化学に基づく実装志向の研究として位置づけられる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

【主な査読論文】

1. R. Kurosaki et al., *Small Science* 6, e202500632 (2026).
2. M. A. Haque et al., *Journal of Power Sources* 658, 238332 (2025).
3. M. A. Haque et al., *ACS Applied Energy Materials* 7, 10137–10325 (2024).
4. M. A. Haque, T. Kawawaki, Y. Negishi, *International Journal of Hydrogen Energy* 85, 30–47 (2024).
5. K. Oiwa et al., *Journal of Materials Chemistry A* 13, 12124–12132 (2025).

【招待講演】研究期間中に国内外で 25 件実施。詳細は研究室ホームページに掲載。

7 補助事業に係る成果物

（１）補助事業により作成したもの

査読論文、国内外の招待講演および学会発表

（２）（１）以外で当事業において作成したもの

研究室ホームページにおける論文・招待講演実績の公開

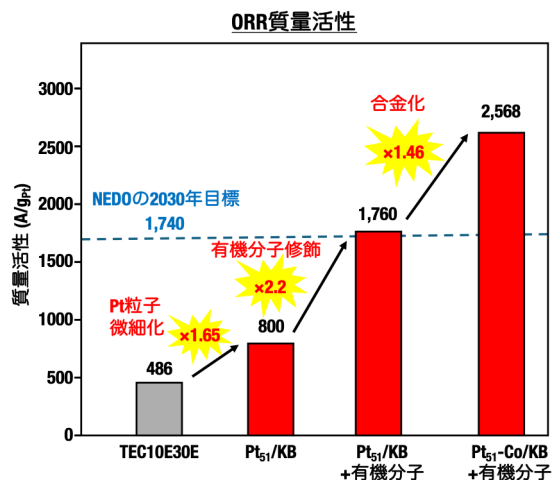


図 6. TEC10E30E と～1-nm Pt NC 触媒の Pt 質量活性（Pt 1 原子あたりの活性）の比較。

論文 : <https://www2.tagen.tohoku.ac.jp/lab/negishi/html/ronnbunn.html>

招待講演 : <https://www2.tagen.tohoku.ac.jp/lab/negishi/html/irai.html>

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名 : 東北大学 多元物質科学研究所

(トウホクダイガク タゲンブッシツカガクケンキュウシヨ)

住 所 : 〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1

担 当 者 : 教授 根岸雄一 (ネギシ ユウイチ)

担当部署 : 無機材料研究部門・精密無機材料化学研究分野

(ムキザイリョウケンキュウブモン・セイミツムキザイリョウカガク
ブンヤ)

E - m a i l : yuichi.negishi.a8@tohoku.ac.jp

U R L : <https://www2.tagen.tohoku.ac.jp/lab/negishi/html/>