

# 2023年度 TIA 連携プログラム探索推進事業「かけはし」

## 調査研究報告書(公開版)

【研究題目】階層的多孔構造を有する異種元素導入炭素材料を用いた高活性燃料電池触媒の設計

【整理番号】TK23-018

【代表機関】東北大学

【調査研究代表者（氏名）】阿部 博弥

【TIA 内連携機関：連携機関代表者】  
NIMS 早瀬 元

【TIA 外連携機関】

連携：北海道大学 電子科学研究所 松尾保孝先生

役割：原子分解能分析電子顕微鏡やX線光電子分光装置等を使った炭素触媒の構造・化学組成の解析

【報告書作成者】 阿部博弥

【報告書作成年月日】2024年4月22日

【連携推進（具体的な連携推進活動内容とその活動の効果等）】

本研究課題では、TIA 内連携機関の NIMS 早瀬 元氏が有する多孔体材料と調査研究代表の阿部が有するポリドーパミン材料を組み合わせた階層的多孔構造を有する異種元素が導入された炭素材料を作製することが目的である。2023 年度では、2023 年 8 月および 2024 年 3 月に早瀬氏が訪問し、双方の材料・設備や具体的な実験手法を確認するなどの技術交流を行なった。今後、電池関連技術を有する産学の研究者と連携を進めることで、触媒作製から電池性能評価の研究者ネットワークの構築が期待できる。

【調査研究内容（実験等中心に背景・課題と実行された課題解決の内容と結果）】

燃料電池や空気金属電池（亜鉛やリチウム）はエネルギー密度が他の電池と比べ大きく、次世代自動車などへの応用が有望視されている。これらの電池の正極は酸素の還元反応を利用しているが、その反応効率が非常に低いため、触媒として白金炭素が用いられている。その一方、白金が高価であり、安定性が低いことが課題として挙げられており、近年、白金代替材料の研究が盛んに進められている。非白金触媒として、炭化物に窒素などの異種元素を導入することや、金属酸化物のナノ粒子を混合することで白金と同程度の触媒活性が出ることがわかってきた (D. Guo et al., Science (2016), 351, 6271, 361 等)。

カーボン材料への非貴金属・ヘテロ元素の導入には、複雑な合成ステップが必要であり、これらの元素を効率的かつ簡便に導入する技術はこれまでになかった。さらに既存研究では、元素の導入量に焦点を当てている研究がほとんどであり、炭素触媒自体の構造や最適化が行われてこなかった。そのため、活性点までの酸素分子の拡散が考慮されておらず、十分な性能の発揮には未だ至っていない。そこで、本研究課題では、軽元素から金属までの様々な元素導入を容易に行え、さらに触媒構造制御が可能な新しい触媒創成手法を確立することを目的としている。

本申請課題では、軽元素から金属までの様々な元素導入を容易に行え、さらに触媒構造制御が可能な新しい触媒創成手法を確立する。具体的には、阿部（東北大学）が有するポリドーパミン合成技術と、早瀬（NIMS）が有する多孔体作製技術を駆使し、階層構造を有する異種元素導入炭素触媒の設計を行う。

プロセスや評価結果については、特許出願および論文投稿前のため詳細な記述は避けるが、下記図のような、多孔体表面に高分子（ポリドーパミン）を修飾し、異種元素を導入・焼成することで作製した。異種元素としては、高分子由来の窒素に加え、鉄をドーピングすることで触媒活性が向上することを確認した。

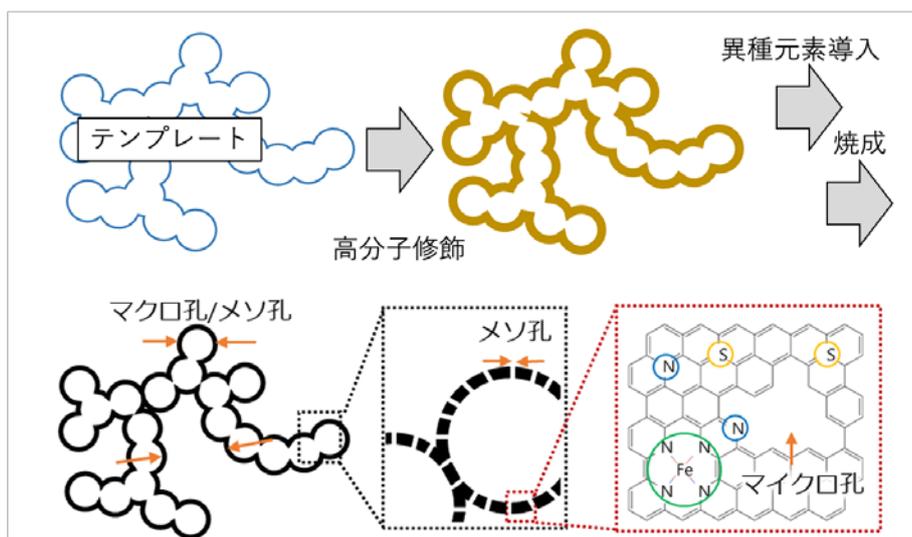


図1. 多孔質触媒材料の作製および構造の概要

2023年度では、触媒の電池性能を評価するため、金属空気電池（アノード：亜鉛）およびバイオ燃料電池（アノード：微生物）の評価用セルを確立し、評価を行った。また、無機材料（ $\text{SiO}_2$ ）と鉄-炭素触媒の混合系におけるシミュレーション系を確立し、これらの材料の組み合わせにおける高活性化機構の解明を試みている。

#### 【今後の活動予定】

本年度の活動においては、 $\text{SiO}_2$ が中心でありポリドーパミンだけでは導入される炭素量が足りないことが課題であった。鋳型となるモノリス材料の組成を炭素成分がより多く含む材料を検討し、より高活性な触媒の設計を行う予定である。また、産学の触媒・電池関連研究者とセミナー開催を含め連携を進めることで、触媒作製から電池性能評価の研究者ネットワークの構築が期待できる。

【SDGs17 目標について、調査研究成果について、貢献ができると思われる項目があれば、最大3つまで☑をご記載下さい。】

研究成果に関連する SDGs 目標がある。

関連する SDGs 目標は無い

1 <input type="checkbox"/> 貧困をなくそう	2 <input type="checkbox"/> 飢餓をゼロに
3 <input type="checkbox"/> すべての人に健康と福祉	4 <input type="checkbox"/> 質の高い教育をみんなに
5 <input type="checkbox"/> ジェンダー平等を実現しよう	6 <input type="checkbox"/> 安全な水とトイレを世界中に
7 <input checked="" type="checkbox"/> エネルギーをみんなに、そしてクリーンに	8 <input type="checkbox"/> 働きがいも経済成長も
9 <input checked="" type="checkbox"/> 産業と技術革新の基盤を作ろう	10 <input type="checkbox"/> 人や国の不平等をなくそう
11 <input type="checkbox"/> 住み続けられるまちづくりを	12 <input type="checkbox"/> つくる責任、つかう責任
13 <input checked="" type="checkbox"/> 気候変動に具体的な対策を	14 <input type="checkbox"/> 海の豊かさを守ろう
15 <input type="checkbox"/> 陸の豊かさを守ろう	16 <input type="checkbox"/> 平和と公正をすべての人に
17 <input type="checkbox"/> パートナリーシップで目標を達成しよう	

以上