

## 高活性な非白金酸素還元触媒の作製に成功、安価な燃料電池や金属空気電池の実現に期待

東北大学阿部博弥助教、藪浩准教授、末永智一教授、および北海道大学松尾保孝教授、電気通信大学中村淳教授からなる研究グループは、非常に簡便なプロセスで高活性な酸素還元触媒電極の作製に成功しました。

燃料電池や金属空気電池などは、リチウムイオン電池に代わる次世代電池として期待されています。これらの電池の正極（空気極）では、電極上で酸素の還元反応を起こすことでエネルギーを取り出すことが可能です。酸素還元反応は反応が進行しづらいため、反応を促進するために触媒として、白金を担持した炭素触媒が使用されていますが、高価で資源制約のある白金に代わる安価な触媒電極材料が求められていました。

本研究では、顔料などに用いられている鉄フタロシアニン系有機金属錯体を炭素材料表面に単分子状で修飾することにより、非常に活性の高い酸素還元反応特性を示すことを見出しました。本触媒分子は鉄系の有機金属錯体であるため、安価で資源制約のない非白金触媒として期待できます。同時に、理論計算を組み合わせることで、その高活性化の理論的な解析にも成功しました。

本研究で見出した高活性な酸素還元反応触媒電極は、燃料電池や金属空気電池の脱白金化を通して、これらのエネルギーデバイスの普及へ貢献できるものと期待されます。

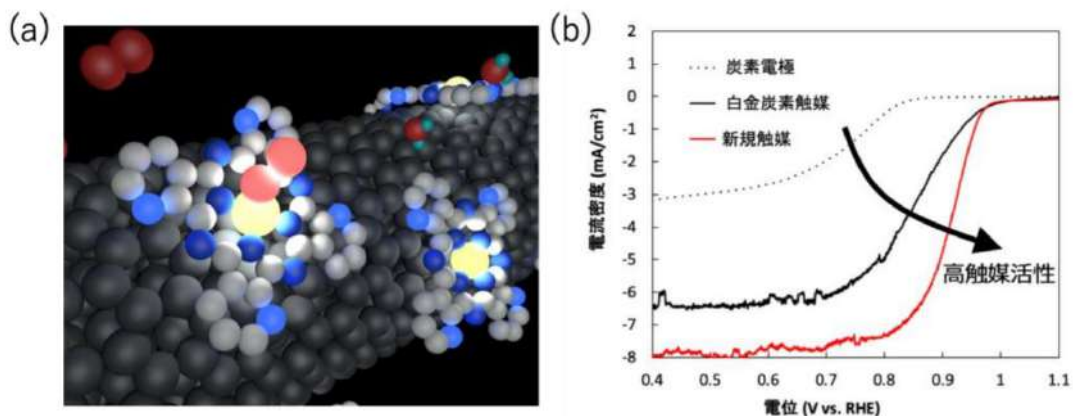


図. (a) 炭素材料表面に分子レベルで修飾された触媒の模式図および (b) 今回見出した触媒電極による酸素還元性能の炭素・白金炭素触媒との比較

### 1. 研究の背景

燃料電池や金属空気電池などはエネルギー密度が高いことから、リチウムイオン電池に代わる次世代電池として期待されています。これらの電池の正極（空気極）では、電極上で酸素の還元反応を起こすことでエネルギーを取り出すことが可能です。この酸素還元反応は反応が進行しづらいため、反応を促進するための触媒として、白金を担持した炭素触媒が使用されています。しかし白金は高価で資源制約があるため、白金に代わる安価な触媒電極材料の開発が世界的に進められています。

例えば、触媒活性点となる金属イオンや金属ナノ粒子を含む炭素材料を不活性ガス下かつ高温で焼成することで、カーボンアロイと呼ばれる非白金系金属炭素触媒電極を作製することができます。しかしながら、カーボンアロイ作製には、不活性ガス下での高温プロセスや非触媒活性物質除去のための酸処理などが必要であり、プロセスコストに課題がありました。そのため、簡便かつ高活性な触媒電極の新規作製手法が求められていました。

## 2. 研究内容と成果

当研究グループは、酸素還元反応の触媒活性点として、顔料などに用いられている鉄フタロシアニン系有機金属錯体に注目しました（図 1a および 1b）。本触媒分子は自然界に存在するヘモグロビンやシトクロム c に含まれるヘム注 1 に類似した構造を有しており、中心の鉄原子が触媒活性点として機能します。この有機金属錯体を炭素材料表面に単分子状態で修飾することにより、非常に活性の高い酸素還元反応特性を示すことを見出しました。本触媒分子は鉄系の有機金属錯体であるため、安価な非白金触媒として期待できます。

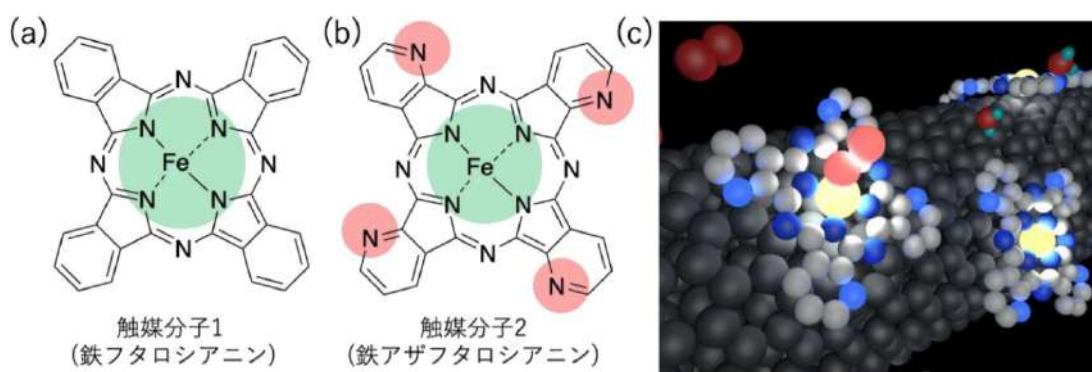


図 1. 本研究で使用した鉄系有機金属錯体 (a) 鉄フタロシアニン、(b) 鉄アザフタロシアニン、(c) 炭素材料表面に分子レベルで修飾された触媒の模式図

また、触媒分子を修飾するプロセスでは焼成を必要とせず、すべてウェットプロセスで

作製可能なため、プロセスコストを大幅に削減することが期待できます（図 2）。さらに、鉄アザフタロシアンを用いることで、更なる高活性化に成功し、白金以上の触媒活性を有することを見出しました（図 3）。得られた触媒電極は、白金炭素触媒に比べ耐久性が高く、メタノール耐性も有することも分かりました。同時に、理論計算を組み合わせることで、その高活性化の理論的な解析にも成功しました。



図 2. 触媒修飾炭素の作製法

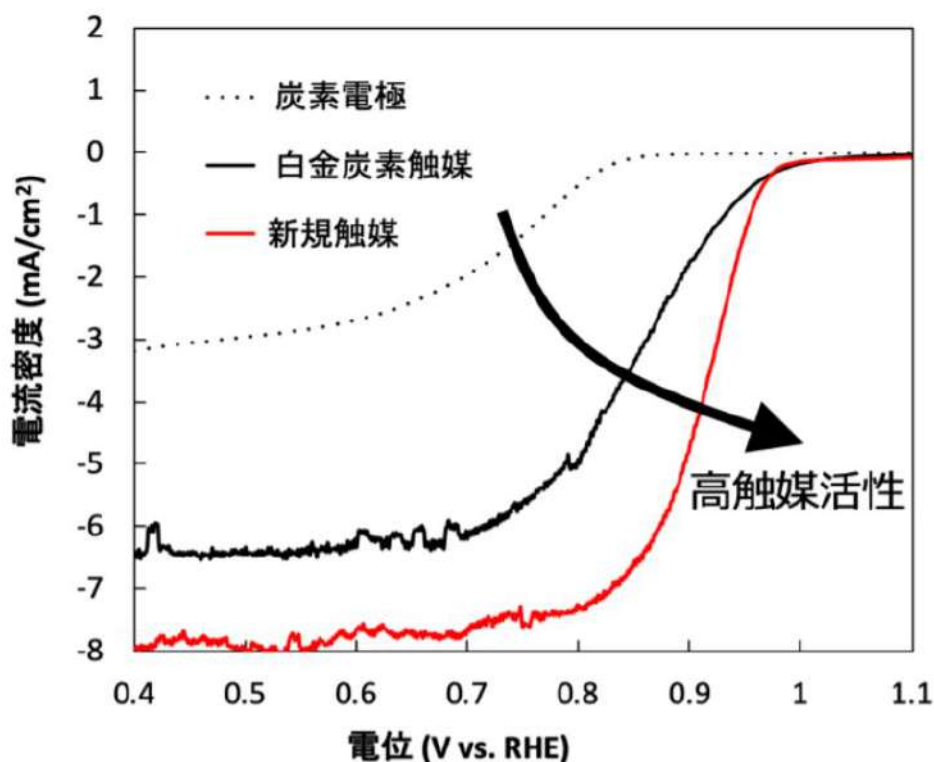


図 3. 電気化学測定により得られた触媒活性の結果。（黒点線）触媒分子を修飾していない炭素電極、（黒実線）白金炭素触媒、（赤実線）本研究で作製した新規触媒。

本研究で得られた高活性触媒は、焼成プロセスを必要とせず、比較的安価な分子触媒により作製できるため、白金代替触媒として燃料電池や金属空気電池などの低コスト化に大

大きく貢献できるものと期待できます。

【掲載論文】

【論文題名】 Fe Azaphthalocyanine Unimolecular Layers (Fe AzULs) on Carbon Nanotubes for Realizing Highly Active Oxygen Reduction Reaction (ORR) Catalytic Electrodes

【掲載論文】 NPG Asia Materials

【DOI】 10.1038/s41427-019-0154-6

日文新聞发布全文 [https://www.hokudai.ac.jp/news/20191018\\_pr.pdf](https://www.hokudai.ac.jp/news/20191018_pr.pdf)

文：JST 客观日本编辑部翻译整理