

補助事業番号 2025M-317

補助事業名 2025年度 界面構造制御による高効率水電解触媒の創出 補助事業

補助事業者名 北野 翔

## 1 研究の概要

本研究では、水を電気分解して水素をつくる「水電解」の効率を高めるため、新しい触媒材料の開発を行った。特に、水電解の中でも大きなエネルギーを必要とする酸素発生反応(OER)を効率よく進める触媒の開発を目的とした。研究では、非常に薄いシート状の材料である「LDHナノシート」と「Rhナノシート」を組み合わせた複合触媒を作製した。LDHナノシートにはFeNi系およびMnNi系材料を用い、Rhナノシートと重ね合わせることで、新しい界面構造を形成した。電子顕微鏡による観察の結果、作製したナノシートはいずれも数nm程度の非常に薄い二次元構造を持ち、複合化によって平面的に重なり合った構造を形成していることが分かった。さらに、水電解反応の性能を評価したところ、複合触媒はそれぞれの材料単独よりも高い酸素発生反応活性を示した。特に、Rhナノシートを少量加えた場合に最も高い性能を示し、ナノシート同士の界面構造が高活性化に重要であることを明らかにした。本研究により、二次元ナノ材料の界面を利用した新しい触媒設計手法を示すことができ、高効率な水素製造技術の実現につながる成果が得られた。

## 2 研究の目的と背景

近年、地球温暖化対策や脱炭素社会の実現に向けて、二酸化炭素を排出しないエネルギー技術への関心が高まっている。その中でも、水から水素を製造できる「水電解」は、再生可能エネルギーと組み合わせることで環境負荷の少ない水素製造技術として期待されている。しかし、水電解では酸素を発生させる反応に大きなエネルギーが必要であり、これが水電解全体の効率を低下させる原因となっている。そのため、少ないエネルギーで反応を進められる高性能な触媒材料の開発が重要な課題となっている。現在、高性能な触媒としてIrやRuなどの貴金属材料が利用されているが、価格が高く資源量も限られているため、大規模利用には課題がある。一方、NiやFeを用いたLDH材料は比較的安価で高い性能を示すことから、次世代触媒として注目されている。また、近年では非常に薄い二次元ナノ材料を組み合わせることで、材料同士の界面に特別な機能が生じ、性能が大きく向上することが分かってきた。そこで本研究では、LDHナノシートとRhナノシートを組み合わせることで、新しい高性能水電解触媒を開発することを目的とした。

## 3 研究内容

(1) 界面構造制御による高効率水電解触媒の創出に関する研究  
(<https://elechem.eng.hokudai.ac.jp/research.html>)

FeNi-LDHおよびMnNi-LDHという層状材料を合成し、さらに非常に薄い単層ナノシートへと加

工した。X線回折測定 (XRD) により目的とする構造が得られていることを確認した。また、電子顕微鏡観察によって、数nm程度の薄いシート状構造を形成していることを明らかにした。続いて、Rhを用いた二次元ナノシートの合成を行った。水熱法による合成条件を調整した結果、厚さ1~2 nm程度の非常に薄いRhナノシートを作製することに成功した。電子顕微鏡観察から、Rhナノシートが平面的な二次元構造を持つことを確認した(図1)。



図1 合成したRhナノシートのTEM像

その後、LDHナノシートとRhナノシートを混合し、複合触媒を作製した。溶媒条件を検討した結果、DMFを用いた場合にナノシートが安定して分散し、複合化に適していることが分かった。観察の結果、LDHナノシートとRhナノシートは平面的に重なり合い、密接に接触した界面構造を形成していることが分かった。作製した触媒について、水電解中の酸素発生反応 (OER) の性能を評価した。その結果、FeNi-LDHおよびMnNi-LDHはいずれも高い活性を示し、特にFeNi-LDHが優れた性能を示した。さらに、Rhナノシートと複合化した触媒では、単独材料よりもさらに高い活性が得られた。また、その性能向上は単純な足し合わせ以上であったことから、ナノシート同士の界面で特別な相互作用が生じていることが示唆された。加えて、Rhナノシートの添加量を検討した結果、3 wt%添加した場合に最も高い性能を示した。これにより、ナノシートの組み合わせ方や界面構造を最適化することが、高性能触媒開発に重要であることを明らかにした。

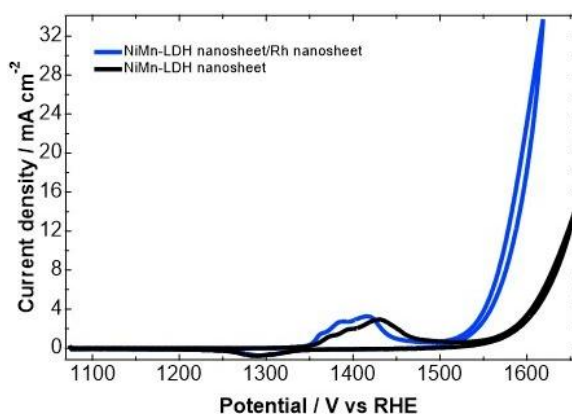


図2 NiMn-LDHナノシート単独とNiMn-LDHナノシートとRhナノシート複合触媒の

## OER活性評価の結果

### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究で開発した高性能水電解触媒は、再生可能エネルギーを利用した水素製造技術の高効率化に貢献することが期待される。近年、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの導入が進んでいるが、発電量が天候に左右されるという課題がある。そのため、余剰電力を利用して水素を製造し、エネルギーとして貯蔵・利用する技術が注目されている。本研究で対象とした水電解は、水からクリーンな水素を製造できる技術であり、燃焼時に二酸化炭素を排出しない次世代エネルギー社会の基盤技術として期待されている。しかし、水電解装置の高コスト化やエネルギー損失が普及の課題となっている。本研究では、ナノシート同士の界面構造を利用することで、少ないエネルギーで効率的に酸素発生反応を進めることが可能となった。この成果は、水電解装置の省エネルギー化や高効率化につながり、水素製造コストの低減に貢献すると期待される。また、本研究で得られた「二次元ナノ材料の界面を制御する」という考え方は、水電解触媒だけでなく、燃料電池、二次電池、二酸化炭素変換触媒、センサー材料など幅広い分野への応用が期待される。特に、限られた貴金属を少量用いて高い性能を発現できる点は、資源問題への対応や持続可能な材料開発の観点からも重要である。さらに、本研究によって得られた知見は、日本が推進する水素社会の実現やカーボンニュートラル達成に向けた基盤技術として活用されることが期待される。

### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

補助事業者はこれまで、金属材料の表面反応や電気化学反応に関する研究を進めてきた。特に、水電解反応に用いる電極材料について、アノード酸化による機能性電極の作製、電極表面の構造解析、オペランド分光測定による反応機構解析などを中心に研究を行ってきた。これまでの研究では、Ni、Fe、Coなどを用いた非貴金属系水電解触媒について、構造・電子状態・反応活性の関係解明に取り組み、高活性化機構や耐久性向上に関する知見を蓄積してきた。また、XAFS、ラマン分光、XRDなどのその場測定技術を活用し、反応中の触媒状態変化を解析する研究も進めている。本研究は、これまで蓄積してきた電気化学、表面科学、材料解析技術を基盤として、さらに「二次元ナノ材料の界面構造制御」という新たな視点を導入した研究である。従来は主に単一材料の高性能化を中心に研究を行ってきたが、本研究では異種ナノシートを組み合わせることで、界面に由来する新しい機能発現を目指した点に特徴がある。また、本研究は、今後取り組む予定であるオペランド解析や理論計算を活用した界面反応機構解明へと発展する基盤研究としても位置づけられる。さらに、水電解のみならず、さまざまなエネルギー変換材料への展開を視野に入れた研究であり、申請者の研究テーマを次の段階へ発展させる重要な位置づけを持つ。

### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

学会発表：2025年9月電気化学秋季大会，2026年1月北海道支部冬季研究会

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

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 北海道大学（ホッカイドウダイガク）

住 所： 〒060-8628

北海道札幌市北区北13条西8丁目

担 当 者： 特任准教授 北野翔（キタノショウ）

担 当 部 署： 大学院工学研究院（ダイガクインコウガクケンキュウインナ）

E - m a i l： skitano@eng.hokudai.ac.jp

U R L： <https://elechem.eng.hokudai.ac.jp/>