

革新的 GX 技術創出事業(GteX) チーム型研究
「水素」領域
年次報告書

令和5年度
研究開発年次報告書

令和5年度採択研究開発代表者(チームリーダー)

[研究開発代表者(チームリーダー)名:高鍋 和広]

[東京大学大学院工学系研究科・教授]

[研究開発課題名:グリーン水素製造用革新的水電解システムの開発]

実施期間 : 令和5年10月1日～令和6年3月31日

§1. 研究開発実施体制

(1)「極 pH 水電解」グループ

① グループ参画者:

グループリーダー: 中村 龍平 (理化学研究所環境資源科学研究センター、チームリーダー)

主たる共同研究者: 加藤 善大 (東北工業大学工学部、教授)

内田 さやか (東京大学大学院総合文化研究科、教授)

山口 和也 (東京大学大学院工学系研究科、教授)

鎌田 慶吾 (東京工業大学科学技術創成研究院、教授)

南本 大穂 (神戸大学大学院工学研究科、講師)

門脇 万里子 (物質・材料研究機構構造材料研究センター、主任研究員)

② 研究項目

- ・PEMWE 電極材料の低貴金属化
- ・電極触媒の安定性を決める構造因子と劣化機構の特定
- ・ポーラストランスポートレイヤー(PTL)の低貴金属化
- ・AWE のオン・オフの繰り返しで発生する逆電流で活性低下する原因解明

(2)「中性・海水電解」グループ

① グループ参画者:

グループリーダー: 高鍋 和広 (東京大学大学院工学系研究科、教授)

主たる共同研究者: 坂牛 健 (物質・材料研究機構エネルギー・環境材料研究センター、主幹研究員)

松田 翔一 (物質・材料研究機構 エネルギー・環境材料研究センター、チームリーダー)

TUNG Vincent (東京大学大学院工学系研究科、教授)

中山 哲 (東京大学大学院工学系研究科、教授)

吉田 真明 (山口大学大学院創成科学研究科、准教授)

BADR Sara (東京大学大学院工学系研究科、准教授)

西岡 季穂 (京都大学大学院工学研究科、助教)

② 研究項目

- ・多様な水源利用の水電解システム構築
- ・溶液抵抗の低減と拡散定数の向上

- ・隔膜材料を含めた単セル評価
- ・Life Cycle Assessment (LCA)評価

(3)「 AEMWE・電解膜 」グループ

① グループ参画者:

グループリーダー: 宮武 健治 (山梨大学大学院総合研究部、教授)
 主たる共同研究者: 徳増 崇 (東北大学流体科学研究所、教授)
 國本 雅宏 (早稲田大学国際理工学センター、准教授)
 忠永 清治 (北海道大学大学院工学研究院、教授)

② 研究項目

- ・革新的 AEM の合成
- ・膜への触媒コーティングの技術等の確立
- ・AEMWE セル評価

(4)「 界面解析デザイン 」グループ

① グループ参画者:

グループリーダー: 山内 美穂 (九州大学先端物質化学研究所、教授)
 主たる共同研究者: 石元 孝佳 (広島大学大学院先進理工系科学研究科、教授)
 竹口 雅樹 (物質・材料研究機構マテリアル基盤研究センター、
 主席研究員)
 村越 敬 (北海道大学大学院理学研究院、教授)
 武次 徹也 (北海道大学大学院理学研究院、教授)

② 研究項目

- ・各種スペクトロスコピー手法の確立と測定
- ・電子顕微鏡による固液界面オペランド観察
- ・計算化学やデータ同化手法による材料探索および反応機構解明

§2. 研究開発成果の概要

GteX 水素領域で水素製造を担当する本チームは、プロトン交換膜 (PEMWE)、アルカリ水 (AWE)、アニオン交換膜 (AEMWE)、中性・海水電解の 4 つの水電解 (WE) システムに関して、4 つの研究グループが協力して研究を進めている。

まず、PEMWE においては、酸素生成電極に希少元素である Ir (イリジウム) が使われており、その使用量の大幅な低減が求められている。Ir の使用量を 0.1 mg/cm^2 以下という極微量に抑えた特殊な複合酸化物を合成し、高エネルギー分解能蛍光検出 X 線吸収端近傍構造法および X 線光電子分光法を用いて Ir の電子状態を解析した。その結果、この複合酸化物中の Ir が高酸化状

態(+6 価)で存在することが明らかになった。また、in-situ 環境で Ir の電子状態を解析可能な X 線吸収分光セルを開発し、1 A/cm²以上の高い PEM 電解電流の環境で X 線吸収スペクトルの取得が可能となった。

次に、AEMWE の研究では、膜自体の性能が実用段階に至っていないため、高アニオン伝導率と高化学安定性、高機械強度を兼ね備えた高分子構造の設計を行った。アンモニウムカチオンを含む親水部構造の検討を行い、ペンダント型のピペリジニウム基が 100 mS/cm を超える伝導率と 1000 時間のアルカリ耐久性を示すことを発見した。また、アニオン膜への高密度電極触媒形成手法として、触媒核前駆体イオンの吸着を制御する因子を特定した。さらに、アニオン膜高分子中に水分子や水酸化物イオンを導入し、最安定構造の計算を行うことで、高伝導性構造の指針を得た。

中性・海水電解の研究では、電解質開発が鍵となっており、イオンの複雑な組み合わせによる 5 元素系の電解液自動調製ロボットを開発し、様々な温度での自動物性評価を行う装置を立ち上げた。その結果、高い伝導率を有する電解液組成が明らかになり、大量のデータ創出とともに電極開発の基盤を構築した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) A. Li, S. Kong, K. Adachi, H. Ooka, K. Fushimi, Q. Jiang, H. Ofuchi, S. Hamamoto, K. Higashi, T. Kaneko, T. Uruga, N. Kawamura, D. Hashizume, R. Nakamura, *Science*, 384, 666-670, in press (2024).
- 2) E. J. Park, P. Jannasch, K. Miyatake, C. Bae, K. Noonan, C. Fujimoto, S. Holdcroft, J. Varcoe, D. Henkensmeier, M. D. Guiver, Y. S. Kim, *Chem. Soc. Rev.*, 53, in press (2024), 10.1039/D3CS00186E.
- 3) H. Qiu, K. Obata, K. Tsuburaya, T. Nishimoto, K. Nagato, K. Takanabe, *J. Power Sources*, in press (2024).