＜年次報告書＞
第 1 年度（2025 年度）
日 ASEAN 科学技術・イノベーション協働連携事業（NEXUS）
日本－タイ「グリーンテクノロジー」研究領域

研究課題名（和文）	プロトン伝導性金属－有機構造体を用いた中温水電解技術の開発
研究課題名（英文）	Development of intermediate-temperature water electrolyzer using proton-conductive metalorganic frameworks
研究期間	2025 年 4 月 1 日～2028 年 3 月 31 日

氏名	所属 部署　役職
堀毛 悟史	京都大学 大学院理学研究科　教授
コササング ソラチャ	物質・材料研究機構（NIMS） 若手国際研究センター　リサーチフェロー

1. 研究進捗状況と成果

本研究課題は、日本側（京都大学）とタイ側（VISTEC）のチームが共同で、現行の固体高分子形水電解の作動温度（～80 ℃）を超える「中温域（100-200 ℃）」で機能する新規プロトン伝導性電解質を、金属－有機構造体（MOF）由来のガラス材料を基盤として開発するものである。2025 度は、（i）プロトン伝導性電解質材料の開発、（ii）中温水電解評価システムの構築、（iii）電解質－電極界面の機構解明、の 3 テーマを並行して推進し、以下の成果を得た。

［研究テーマ 1：プロトン伝導性電解質の開発］ プロトン伝導性 MOF を複数種合成し、組成・骨格構造に応じた手法（溶融急冷法、機械的粉砕法）によりガラス化することで、均一かつ高い成形性をもつ MOF ガラス電解質を得た。放射光 X 線全散乱測定および二体分布関数解析により、ガラス相は長距離秩序を失う一方で、短距離構造は元の結晶相と類似した秩序を保持していることを明らかにした。プロトン伝導度は無水・中温条件下において従来材料に匹敵する水準を達成し、特に代表組成である ZnPIm 系ガラスに固体酸 CsH_2PO_4 を組み合わせた複合体では、120 ℃において 1 mS cm^{-1} を上回る高いプロトン伝導度を実現した。これは単独相と比較して顕著な向上であり、ガラス相と固体酸との複合化が中温域プロトン伝導の有力な設計指針となることを示している。さらに、ドクターブレード法による自立型ガラス膜の作製、および多孔質高分子支持体と組み合わせた複合膜の作製にも成功し、膜電極接合体（MEA）への展開に必要な界面形成、膜成形加工技術を発展させた。

［研究テーマ 2：水電解評価システムの構築］ 気密構造を備え、ガスクロマトグラフィーによる生成ガスの定量分析が可能な中温水電解評価システムを新たに構築した。本システムは液体水および加湿ガスのいずれにも対応し、室温から 120 ℃を超える領域までの電気化学測定を可能とする。開発したガラス膜を組み込んだ MEA について、加湿ガス供給下、85 ℃において室温を上回る水素生成量を確認するとともに、1 時間にわたる連続運転下で安定な電流応答が維持されることを実証した。さらに 120 ℃の中温条件においても本ガラス膜が水電解電解質として有効に機能することを確かめ、MOF ガラス系電解質を用いた中温水電解の原理実証に至った。これは、フッ素系高分子に依存しない次世代型・中温作動電解質の有力な候補となり得る成果である。

［研究テーマ 3：水電解の機構解明と作動因子抽出］ 走査型電子顕微鏡およびエネルギー分散型 X 線分析により、ガラス膜と電極界面が緻密に密着し、膜全体にわたって連続的なプロトン伝導経路が形成されていることを確認した。これは、ガラス由来の優れた成形性が良好なヘテロ界面構築に寄与していることを示すものであり、中温域における高効率な電荷移動を支える基盤となる。今後、計算科学的アプローチを併用し、プロトン移動経路・水素結合ネットワーク・活性化障壁を分子レベルで解析することで、伝導機構のさらなる理解を進める計画である。

［国際研究交流］ 2025 年度は日本・タイ両拠点の間で合計 7 回の相互訪問・滞在を実施し、試料合成・基礎特性評価・水電解セルシステム構築の各段階で密接な共同実験と議論を重ねた。両グループの強みを相互補完的に組み合わせる体制を構築し、材料開発から水電解応用までを一気通貫で推進する基盤を整えた。