

先端国際共同研究推進事業
2023 年度採択
「Top 研究者のための ASPIRE」
エネルギー分野

2023 年度～2024 年度
年次報告書（公開版）

研究課題名	発電と水素製造が可能な次世代固体酸化物形セルの設計指針構築
日本側研究代表者	佐々木 一成 九州大学 主幹教授
相手側研究代表者	Harry L. Tuller, Professor, Massachusetts Institute of Technology
研究期間	2024 年 2 月 1 日～2029 年 3 月 31 日

1. 研究成果の概要

① 研究構想にかかる成果

<実施したこと>

研究テーマ 1：空気極研究：可逆セルの空気極の材料設計とプロセス解明

- ・九大：空気極の電極活性の空気極作製条件、作動温度・分圧依存性の解明
- ・MIT：空気極の酸・塩基性を考慮した電極表面における反応プロセスに関する基礎研究

研究テーマ 2：燃料極研究：可逆セルの燃料極の材料設計とプロセス解明

- ・九大：実セルを用いた性能・耐久性の支配要因の体系的な解明
- ・MIT：電極表面や界面における反応プロセスの基礎研究

研究テーマ 3：プロトタイプ開発：可逆セルのプロトタイプセル試作と評価

- ・電解質支持型のプロトタイプ可逆セル開発と耐久性評価

研究テーマ 4：システム設計：可逆システムの設計とポテンシャル検討

- ・可逆セルシステム設計に向けた一段可逆セルの性能、熱分布シミュレーションモデルの構築

研究テーマ 5：比較研究：固体電気化学デバイスの共通基礎基盤構築

- ・固体高分子形燃料電池・水電解との比較に向けた各研究の深化

<得られた成果>

2023 年度、2024 年度において空気極および燃料極における電極反応プロセスの解析を九大—MIT チームの連携のもとに取り組んだ。九大チームでは実セルを用いた耐久試験を通して、高分解能電子顕微鏡等を用いて劣化プロセスの解析し、解析結果をセル作製にフィードバックしながら研究を進めた。開発した研究室オリジナルの電解質支持型の Ni-GDC 共含浸セルは SOEC1000 時間耐久試験において試験中の劣化率が 0.54%と高い耐久性を示した。MIT チームでは酸塩基性酸化物が電極活性に与える影響を系統的に評価した。本年度は特に空気極反応に対する電極表面の酸塩基性の依存性を明らかにした。燃料極における反応プロセスの解明に関する研究ではモデル電極に対してインピーダンス測定と緩和時間分布（DRT）解析を行い、アレニウスプロットから算出された活性化エネルギーが電解モードでは発電モードよりも高い値を示し、発電反応と電解反応の間で速度論的に異なる反応プロセスが関与していることを明らかにした。

可逆セルシステムシミュレーションモデルの構築に向けて、本年度は一段セルシミュレーションモデルを開発した。輻射熱や集電体構造の影響を考慮したモデルを構築することで、温度分布の整合性が向上し、一段セルモデルの妥当性が示された。今後は開発したシミュレーションモデルを元に多段セルスタックの性能シミュレーションや可逆システムの構築を進めていく計画である。固体電気化学デバイスの共通基礎基盤構築に向けては、本年度は固体酸化物形、固体高分子形セルの特性の詳細理解のために、それぞれの研究を深化させた。来年度以降に詳細な比較検討を実施する予定である。

② 国際ネットワーク構築・拡大に関する成果

<実施したこと>

- ・ 2024 年 2 月 安武助教、大学院生 2 名 マサチューセッツ工科大学およびコネチカット大学派遣
- ・ 2024 年 6、7 月 Strathclyde 大学の Lyth 博士、Shivangni 博士課程学生を共同研究のため招聘
- ・ 2024 年 7 月 安武助教が International Conference Solid State Ionics で口頭発表、Tuller 教授、Defferriere 博士研究員、Sha 博士研究員、九州大学への着任が決定していた Weber 助教と Castellani 博士研究員と対面議論
- ・ 2024 年 9、10 月 佐々木研究室、Tuller 研究室共同の国際公募により本事業担当の Weber 助教（特定プロジェクト教員、10 月着任）と Castellani 博士研究員（9 月着任）を採用
- ・ 2024 年 10 月 ECS Fall meeting にて大学院生 4 名口頭発表、4 名がポスター発表（大学院生 3 名

が Travel Award 受賞) ECS に合わせて佐々木研究室—Tuller 研究室のワークショップを開催(両研究室以外では、英国 Strathclyde 大学の Lyth 博士、Spring 8 Mufundirwa 博士が参加)

- ・ 2024 年 11 月 MIT Tuller 研究室に安武助教を派遣
- ・ 2024 年 12 月 Lawrence Berkeley National Laboratory に Weber 助教を派遣

<得られた成果>

本年度は研究を加速させるために、Weber 助教と Castellani 博士研究員を採用した。MIT の Tuller 教授とは継続的なオンラインミーティングの実施や主要な国際会議に合わせた対面議論を行うなど MIT チームと九大チームで密に連携し、研究活動を推進した。MIT—九大の研究体制をより多層的で継続的な関係にするために MIT の Bilge Yildiz 教授(前 Solid State Ionics 学会会長)が研究プロジェクトに相手側共同研究者として参画することが決定した。

本プロジェクトに参加した若手研究者が国際会議(ECS)での会議運営(セッションチェア)や大学院生 4 名が国際会議で口頭発表を行うなど国際学会への貢献や成果の発信にも積極的に取り組んだ。更に ECS に合わせて MIT-KU ワークショップを開催し、大学院生に世界トップ大学の研究者と議論する機会を設けることができた。このような活動が大学院生の研究や国際活躍に対する意識の向上につながり、2024 年度修士修了者の日本人 6 名のうち、4 名が博士課程に進学し、うち 1 名は学振・特別研究員に選ばれた。

2. 研究実施体制

研究テーマ	中心となる研究者氏名	所属機関・部署・役職名
①空気極研究	佐々木一成 松田潤子 H. L. Tuller	九州大学・次世代燃料電池産学連携研究センター・主幹教授 九州大学・水素エネルギー国際研究センター・教授 MIT・材料工学科・教授
②燃料極研究	佐々木一成 松田潤子 H. L. Tuller	九州大学・次世代燃料電池産学連携研究センター・主幹教授 九州大学・水素エネルギー国際研究センター・教授 MIT・材料工学科・教授
③プロトタイプ開発	佐々木一成 安武昌浩 H. L. Tuller	九州大学・次世代燃料電池産学連携研究センター・主幹教授 九州大学・大学院工学研究院・助教、兼 MIT・材料工学科・Visiting Scientist MIT・材料工学科・教授
④システム設計	佐々木一成 立川雄也	九州大学・次世代燃料電池産学連携研究センター・主幹教授 九州大学・大学院工学研究院・准教授
⑤比較研究	佐々木一成 H. L. Tuller 安武昌浩 松田潤子 西原正通 S. M. Lyth 立川雄也	九州大学・次世代燃料電池産学連携研究センター・主幹教授 MIT・材料工学科・教授 九州大学・大学院工学研究院・助教、兼 MIT・材料工学科・Visiting Scientist 九州大学・水素エネルギー国際研究センター・教授 九州大学・水素エネルギー国際研究センター・教授 九州大学・次世代燃料電池産学連携研究センター・客員教授 九州大学・大学院工学研究院・准教授

3. 代表的な業績(原著論文、プレスリリース、表彰など)

大学院生 3 名 ECS Travel Award 受賞

大学院生 1 名 日本学術振興会 特別研究員 に採用決定