

戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)

EIG CONCERT-Japan 共同研究

終了報告書 概要

1. 研究課題名：「水素社会実現に向けたプロトン伝導性セラミックスを用いた先進・革新的金属サポートセルの開発」
2. 研究期間：2018年4月～2022年3月
3. 主な参加研究者名：
日本側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	松本 広重	教授	九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所	プロジェクトマネージャー 金属サポートセルの水蒸気電解特性の評価
主たる共同研究者	雨澤 浩史	教授	東北大学多元物質科学研究所	空気極材料の特性評価
主たる共同研究者	井口 史匡	准教授	東北大学大学院工学研究科 (2018年4月～2021年3月) 日本大学工学部 (2021年4月～2022年3月)	金属サポートセルの機械特性評価
研究参加者	中村 崇司	准教授	東北大学多元物質科学研究所	空気極材料の特性評価
研究参加者	木村 勇太	助教	東北大学多元物質科学研究所	空気極材料の特性評価
研究期間中の全参加研究者数			10名	

相手側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Remi Costa	Head of High Temperature Cells & Stacks	Institute of Technical Thermodynamics, German Aerospace Center	プロジェクトマネージャー 金属サポートセルの開発と評価
主たる共同研究者	Noriko Sata	Scientist	Institute of Technical Thermodynamics, German Aerospace Center	金属サポートセルの開発と評価
主たる共同研究者	Marit Stange	Senior Research Scientist	SINTEF	金属サポートセルの開発
研究参加者	Turns Norby	Professor	Department of Chemistry, University of Oslo	金属サポートセルの開発
研究期間中の全参加研究者数			8名	

4. 国際共同研究の概要

再生可能エネルギーを継続的かつ効率的に利用するためには、エネルギーを貯蔵・輸送する技術が必要である。固体酸化物セル (Solid Oxide Cell、SOC) は、燃料電池モードにおいては、空気中の酸素と燃料の化学反応から電気化学的に効率的に電気を作ることができる。一方、電解モードでの作動によっては、電気エネルギーから燃料を製造することができる。SOC は、様々なタイプの燃料電池の中で最も効率が高く、多様な燃料に柔軟に対応できるが、セラミックス材料の本質的な性質と高い作動温度 (>700°C) のため、堅牢性と耐久性が依然として課題である。

このプロジェクトでは、革新的な概念として、燃料電池と電解モードの両方において中温 (400~600°C) で作動する電気化学セルとして、プロトン伝導性セラミックス (Proton Conductor Ceramics、PCC) を基礎とした金属サポートセル (Metal Supported Cells、MSC) を開発することを目的とする。多孔質セラミックス基板を安価な多孔質金属で置き換えることにより、堅牢なセルが構築できる。PCC に基づくセルは、酸化物イオン伝導体セルに比べて、反応生成物による燃料の希釈を避けられる構造的利点を持ち、燃料電池作動時には燃料の利用率を向上できる。本プロジェクトでは、究極的な電気エネルギー変換を可能にする PCC テクノロジーの開発を図った。

5. 国際共同研究の成果

5-1 国際共同研究の学術成果および実施内容

プロトン導電性酸化物を用いた金属サポートセル (PCC-MSC) が欧州側 DLR、オスロ大、SINTEF によって作製され、500°C~600°Cにおいて水蒸気電解の作動に成功した。電極および、電解質の選択は日本側九州大学、東北大学によって示された指針により、また、その作動には東北大学で検討された機械的特性が生かされている。プロトン伝導体による金属サポートセルの動作が確認されたのは本プロジェクトが初めてである。本国際共同研究の成果として、PCC-MSC の作製技術の開発指針を得るとともに、今後の可能性を示すことができた。

5-2 国際共同研究による相乗効果

本プロジェクトは、これまで成功例のなかったプロトン導電性セラミックスを用いた金属サポートセルの実現を目指す大きな技術的チャレンジを含んだものである。欧州側のセル作製に対し、日本側は材料、セルの評価で参画し日欧で幅広い知見や技術、経験を集積することでセルの実現を目指した。コロナ禍という大きな障害はあったが、オンラインツールを活用した国際共同研究により十二分な効果を得、所定の目的を収めると共に今後の共同研究発展の糸口を得るなど大きな相乗効果が得られた。

5-3 国際共同研究成果の波及効果と今後の展望

本プロジェクトによりプロトン伝導体金属サポートセルのコンセプトを初めて実証し、プロトン導電性セラミックスのデバイス応用の可能性を国際的に広く示すことができた。

本プロジェクトの議論、知財および学術的な成果を含めて、本プロジェクトで達成したことを足掛かりに、このデバイスの実用化を目指した研究を進める。

Strategic International Collaborative Research Program (SICORP)
EIG CONCERT-Japan Joint Research Program
Executive Summary of Final Report

1. Project title : 「Development of Advanced and Innovative Metal supported Cells using proton conducting ceramics to foster Hydrogen society Implementation」
2. Research period : 04/2018 ~ 03/2022
3. Main participants :
Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Hiroshige Matsumoto	Professor	International Institute for Carbon-Neutral Energy Research, Kyushu University	Project manager Evaluation of steam electrolysis properties of metal-supported cells
Co-PI	Koji Amezawa	Professor	IMRAM, Tohoku University	Characterization of cathode materials
Co-PI	Fumitada Iguchi	Associate Professor	Graduate School of Engineering, Tohoku University (04/2018-03/2021) School of Engineering, Nihon University (04/2021-03/2022)	Mechanical characterization of metal support cells
Collaborator	Takashi Nakamura	Associate Professor	IMRAM, Tohoku University	Characterization of cathode materials
Collaborator	Yuta Kimura	Assistant Professor	IMRAM, Tohoku University	Characterization of cathode materials
Total number of participants throughout the research period: 10				

Partner-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Remi Costa	Head of High Temperature Cells & Stacks	Institute of Technical Thermodynamics, German Aerospace Center	Project manager, Development / assessment of metal-supported cells
Co-PI	Noriko Sata	Scientist	Institute of Technical Thermodynamics, German Aerospace Center	Development / assessment of metal-supported cells
Co-PI	Marit Stange	Senior Research Scientist	SINTEF	Development of metal-supported cells

Co-PI	Turks Norby	Professor	Department of Chemistry, University of Oslo	Development of metal-supported cells
Total number of participants throughout the research period:				8

4. Summary of the international joint research

In order to use renewable energy continuously and efficiently, technology for storing and transporting energy is needed. Solid Oxide Cell (SOC) in fuel cell mode, is capable of electrochemically and efficiently producing electricity from the chemical reaction between oxygen in the air and fuel. On the other hand, depending on the operation in the electrolytic mode, fuel can be produced from electric energy. SOC is the most efficient of the various types of fuel cells and can flexibly handle a wide variety of fuels, however, due to the essential properties of ceramic materials and the high operating temperature ($> 700\text{ }^{\circ}\text{C}$), it must be more robust and durable.

In this project, as an innovative concept, metal support cells based on proton conductor ceramics (PCC) has been investigated that operates at intermediate temperature ($400\text{-}600\text{ }^{\circ}\text{C}$) in both fuel cell and electrolytic modes. The purpose is to develop Metal Supported Cells, MSC. By replacing the porous ceramic substrate with an inexpensive porous metal, a robust cell can be constructed. PCC-based cells have the structural advantage of avoiding fuel dilution by reaction products over oxide ion conductor cells and can improve fuel utilization during fuel cell operation. In this project, development of PCC technology has been pursued that enables the ultimate electrical energy conversion.

5. Outcomes of the international joint research

5-1 Scientific outputs and implemented activities of the joint research

A metal support cell using a proton conductive oxide (PCC-MS) was successfully manufactured by DLR, Oslo University, and SINTEF on the European side, and succeeded in operating steam electrolysis at $500\text{-}600\text{ }^{\circ}\text{C}$. The selection of electrodes and electrolytes is based on the guidelines presented by Kyushu University and Tohoku University on the Japanese side, and the mechanical properties examined at Tohoku University are used for their operation. This project demonstrated for the first time that the operation of a metal support cell by a proton conductor has been confirmed. As a result of this international joint research, guidelines for PCC-MS fabrication technology has been developed with future potentials.

5-2 Synergistic effects of the joint research

This project involves a major technical challenge aimed at realizing a metal support cell using proton conductive ceramics, which has never been successful so far. The Japanese side participated in the evaluation of materials and cells for the cell production on the European side, and aimed to realize the cell by accumulating a wide range of knowledge, technology, and experience in Japan and Europe. Although there was a big obstacle due to covid-19, a big synergistic effect was obtained, such as obtaining a sufficient effect by international joint research using online tools, achieving a predetermined purpose, and obtaining a clue for future joint research development.

5-3 Scientific, industrial or societal impacts/effects of the outputs

Through this project, we were able to demonstrate the concept of a proton conductor metal support cell for the first time and show the possibility of device application of proton conductive ceramics widely internationally. Based on the achievements of this project, including discussions, intellectual property, and academic achievements of this project, we will proceed with research aimed at putting this device to practical use.

国際共同研究における主要な研究成果リスト

1. 論文発表等

*原著論文 (相手側研究チームとの共著論文) 発表件数 : 計 0 件

・査読有り : 発表件数 : 計 0 件

・査読無し : 発表件数 : 計 0 件

*原著論文 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの論文) : 発表件数 : 計 5 件

・査読有り : 発表件数 : 計 5 件

1. K. Hinata, F. Iguchi, Elastic Properties of Yttrium Doped Barium Zirconate, *ECS Trans.*, **2019**, 91, 1065-1073 DOI:10.1149/09101.1065ecst

2. F. Iguchi, K. Hinata, High-Temperature Elastic Properties of Yttrium-Doped Barium Zirconate, *Metals*, **2021**, 11, 968 DOI: 10.3390/met11060968

3. K. Leonard, Y. Okayama, M.E. Ivanova, W.A. Meulenberg, H. Matsumoto, Tailored and Improved Protonic Conductivity through $\text{Ba}(\text{Z}_x\text{Ce}_{10-x})_{0.08}\text{Y}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ Ceramics Perovskites Type Oxides for Electrochemical Devices, *ChemElectroChem*, **2022**, 9 (4), art. no. e202101663 DOI: 10.1002/celec.202101663

・査読無し : 発表件数 : 計 0 件

*その他の著作物 (相手側研究チームとの共著総説、書籍など) : 発表件数 : 計 1 件

1. A. Chapman, *et al.*, a Carbon Neutral Future through Advanced Functional Materials and Technologies, *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, **2022**, 95 (1), 73-103 DOI: 10.1246/bcsj.20210323

*その他の著作物 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの総説、書籍など) : 発表件数 : 計 0 件

2. 学会発表

*口頭発表 (相手側研究チームとの連名発表)

発表件数 : 計 1 件 (うち招待講演 : 0 件)

*口頭発表 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数 : 計 14 件 (うち招待講演 : 9 件)

*ポスター発表 (相手側研究チームとの連名発表)

発表件数 : 計 1 件

*ポスター発表 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数 : 計 5 件

3. 主催したワークショップ・セミナー・シンポジウム等の開催

1. DAICHI Workshop on Proton Ceramics Fuel Cells/Electrolysis Cells、主催者：雨澤浩史 (東北大・教授)、東北大学片平キャンパス北門会館、仙台、日本、2019年9月14日、参加人数 25 名
2. Online meetings of project DAICHI、主催者：Noriko Sata (DLR)、オンライン、2020年6月10日～12日、参加人数 10 名
3. PCC - Resolving challenges and new breakthroughs? 、主催者：Merit Stange (SINTEF)、オンライン、2022年3月29日、参加人数 30 名

4. 研究交流の実績 (主要な実績)

【合同ミーティング】

- ・ 2018年6月14日～15日：キックオフミーティング、DLR、シュツツガルト、ドイツ
- ・ 2019年9月15日：プロジェクト進捗会議、東北大学多元物質科学研究所、仙台、日本
- ・ 2019年5月23日：中間ワークショップ、オスロ、ノルウェー
- ・ 2019年5月26日：合同ミーティング、トロムソ、ノルウェー
- ・ 2019年10月17日：チームミーティング、モンペリエ、フランス
- ・ 両国のチームメンバーを交えて **skype** ミーティングを随時開催 (10回以上) した。

【学生・研究者の派遣、受入】

- ・2018年6月：日本から学生1名がキックオフミーティングにて発表、DLR3日間滞在し、研究討議に参加した。
- ・2019年6月～7月：日本から学生1名が、3週間ドイツ・DLRに滞在し、日本で評価する各種試料を作製した。
- ・2022年2月：日本から学生1名がドイツ・DLRに18日間滞在し、プロトン伝導性セラミックセルの作製技術の取得ならびに電解質材料物性の評価を行った。

5. 特許出願

研究期間累積出願件数：0件 (1件、出願予定)

6. 受賞・新聞報道等

1. 令和3年度、化学系学協会東北大会 ポスター賞、吉岡輝紀、2021年10月1日
2. 第16回多元物質科学研究奨励賞、吉岡輝紀、2021年12月10日
3. Award for the contribution to science EFCF 2020、Rémi Costa、2020年10月23日

7. その他

なし