

## 戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)

日本－中国共同研究

終了報告書 概要

1. 研究課題名：「大型バス用燃料電池の水管理と低温起動性に関する研究」
2. 研究期間：2016年8月～2019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	近久 武美	特任教授	北海道大学	研究全体統括
主たる共同研究者	田部 豊	教授	北海道大学	最適電流密度制御
主たる共同研究者	荒木 拓人	准教授	横浜国立大学	X線可視化計測
主たる共同研究者	宗像 鉄雄	研究部門長	産業技術総合研究所	産総研リーダー
研究参加者	伊藤 博	主任研究員	産業技術総合研究所	水分バランスの最適化研究
研究期間中の全参加研究者数			5名	

## 中国側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Jianbo Zhang	Professor	Tsinghua University	中国研究代表
主たる共同研究者	Shixue Wang	Professor	Tianjin University	MPL構造影響
主たる共同研究者	Yoshio Utaka	Visiting Professor	Tianjin University	MPL構造影響
研究期間中の全参加研究者数			3名	

## 4. 国際共同研究の概要

変動の大きな再生可能エネルギーが主体となる将来、余剰電力を水素の形で貯蔵し、それを運輸部門で利用することが大いに期待される。すなわち、製造した水素を貯蔵して、電力が必要となる際にその水素を用いて発電する考えもあるが、総合的な効率はかなり低いものとなる。これに対して、長距離バス・トラックの低CO<sub>2</sub>化には水素燃料電池が最も適しており、余剰電力によって製造された水素はこの分野で優先的に利用されるべきである。

この場合、長寿命が要求される当該燃料電池は耐久性の観点から乗用車で用いられている薄型金属セパレータではなく、熱容量の大きなカーボンセパレータになるものと考えられる。こうした熱容量の大きな燃料電池において、極低温の氷点下起動を確実にすることは重要な課題である。

本研究は耐久性の点から熱容量が大きくなりがちな大型バス・トラック用の燃料電池を対象とし、-30℃から確実に氷点下起動を行うための燃料電池構造や電流密度制御法を明らかにしようとするものである。それぞれの研究機関における計測技術や数値解析技術の特徴を生かした連携体制により、氷点下起動時の電解質膜内の含水率変化や生成水の分布挙動に関する共同研究を行った。特に触媒層とガス拡散層（GDL）の界面にあるマイクロポー

ラス層（MPL）は氷形成分布に強く影響するため、そのマイクロ構造や濡れ性の影響に着目して、国際的な連携研究を行った。

共同研究を円滑に行うために、年度ごとに2回の日中ワークショップ会議や合同ミーティングを確実に開催したほか、それぞれの国で情報交換会議を別途行なった。また、若手研究者の育成を目指し、双方の学生派遣交流を行った。

3年間にわたる共同研究の結果、電解質膜の含水率変化、発熱量と放熱ロスのバランス、および凝縮水拡散速度の兼ね合いから、電解質膜内状態の時間変化に応じた適切な電流密度制御プロセスを明らかにした。一方、通常用いられている疎水性・粒子状 MPL よりも親水性・繊維状 MPL の方がより素早く凝縮水を GDL 側に輸送でき、氷点下起動特性を顕著に改善し得ることがわかった。さらに、凝縮水の分布と酸素供給経路の確保の観点から、縞状に親水性・疎水性を交互に分布させるような MPL 構造が優れていることが明らかとなった。また、両極に水素を供給し、プラス・マイナスの交互電圧を外部印加することによって内部発熱を行う水素ポンプの可能性についても提示した。

本研究により日中双方の主要な研究者間の強力なネットワークを構築することができたほか、当初目指した研究目標を概ね達成することができた。

## 5. 国際共同研究の成果

### 5-1 共同研究の学術成果

日中の進捗報告と以降の研究計画に関する意見交換ワークショップを頻度高く行った結果、極低温起動を達成するために有効な電流密度制御プロセスを明らかにした。一方、通常用いられている疎水性・粒子状 MPL よりも親水性・繊維状 MPL の方が、より素早く凝縮水を GDL 側に輸送できることを明らかにした。さらにこれらの知見に基づき、酸素輸送経路の閉塞抑制の観点から、縞状に親水性・疎水性を交互に分布させるような MPL 構造を提案した。また、電圧を外部的に交互印加する水素ポンプの有効性を提示した。

これらの成果を国内外の学会で多数発表し、産業界に対する情報発信を行った。

### 5-2 国際連携による相乗効果

本国際共同研究では年2回、双方の国を交互に訪問し、国際的なワークショップや合同ミーティングを開催した。そこで研究の進捗状況を報告するとともに、目標を達成するために各研究機関の研究課題とそれを踏まえた研究事項に関して意見交換を行った。さらに、それぞれの国で個別に中間報告会議を開催し、細やかな研究推進のための意見交換を行った。また、学生を双方に派遣し、大学院生の国際交流・研修を行った。

このような頻繁な交流の結果、現象理解の相互共有を効率よく推進できたほか、高いレベルの学生育成を行うことができた。

### 5-3 共同研究成果から期待される波及効果

本研究により、耐久性要求のために熱容量が大きくなる大型バス・トラック用の燃料電池の氷点下起動改善のための技術要素を明確にすることができた。また、この分野における日中の主要な研究者のネットワークが強化されたほか、次世代人材の育成に大いに貢献することができた。また、研究成果は学会で多数発表され、産業界に対して大きな情報発信をすることができた。さらに、X線や中性子線を用いた氷点下条件における可視化計測技術の進展にも寄与することができた。

Strategic International Collaborative Research Program (SICORP)  
Japan—China Joint Research Program  
Executive Summary of Final Report

- 1 . Project title: 「Study of water management and low temperature start-up of fuel cell stack in bus application 」
- 2 . Research period: Aug. 2016 ~ Mar. 2019
- 3 . Main participants:

Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Takemi Chikahisa	Professor	Hokkaido University	Total Project Leader
Co-PI	Yutaka Tabe	Professor	Hokkaido University	Experiment on Current control
Co-PI	Takuto Araki	Associate Professor	Yokohama National University	X ray measurement
Co-PI	Tetsuo Munakata	Director-General	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)	Supervisor of AIST
Collaborator	Hiroshi Ito	Senior Researcher	AIST	Water balance experiment
Total number of participants throughout the research period: 5				

China-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Jianbo Zhang	Professor	Tsinghua University	Project Leader of China
Co-PI	Shixue Wang	Professor	Tianjin University	MPL experiment
Co-PI	Yoshio Utaka	Visiting Professor	Tianjin University	MPL experiment
Total number of participants throughout the research period: 3				

4. Summary of the international joint research

The objective of the research is to propose effective technology to realize reliable cold start of fuel cells for large buses and trucks from -30 deg. C. Different from fuel cells for small passenger vehicles, the separators of these fuel cells will be made of carbons instead of thin metals due to endurance requirement. They are more difficult for the cold start due to larger heat capacity to increase temperature. Applying the unique backgrounds of technological advantage of the individual institutions, the collaborative research focused on understanding the optimum control of current density during the process and the micro-porous layer (MPL) structure effective for the cold start.

In order to ensure high level of information exchange, international workshops and meetings were held regularly in twice a year to visit each country one by one. Additionally, different meetings were held individually in each country. Student exchange was also conducted to grow young researchers.

As the result of the three-year project, the optimum control of current density during the startup operation was revealed for the balance among water content in the membrane, heat generation, heat loss, and water diffusion in the cell. It was also clarified that hydrophilic MPL of fiber structure is superior to the ordinal hydrophobic MPL of particles for the cold start due to water distribution in the cell. Based on the knowledge of the water motion, a desirable MPL structure for the cold start was proposed: it has cyclic lines of hydrophilic and hydrophobic MPL in the plane to keep paths for water and air. The research also showed the possibility of hydrogen pump operation for warming up the cell, in which cyclic polar voltage is applied externally, when hydrogen is supplied in the both fluid channels.

From the cooperative research program strong network was established among the major researchers in this field in the two countries, and the initial objective was attained sufficiently.

## 5. Outcomes of the international joint research

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

As a result of the frequent workshops and meetings as scheduled, optimum control technology of current density during the cold start process was clarified. The joint research also showed the structure of MPL effective for the cold start. Water and ice distribution during the cold start was observed and compared among the three different measuring technologies; cryo-SEM method, X ray measurement, and neutron image method. The research also showed the possibility of hydrogen pump operation for warming up the cell, in which cyclic polar voltage is applied externally.

These results were presented in local and international conferences and the important information was open for the development of industries.

### 5-2 Synergistic effects of the joint research

In the joint research international workshop and meetings were held regularly in twice a year. Because of these frequent meetings, the progress state of each institution was confirmed, and the theme of the next research was discussed deeply. As each institution has its unique technologies of experiment and numerical analysis, the joint research promoted understanding of the phenomena. This program increased the networking of the researchers in the two countries. Additionally, the program contributed for the growth of young researchers in the two countries.

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

The joint research program revealed the major technological factors to accomplish cold start of fuel cells of large buses and trucks. It also promoted the stronger networking among the researchers in the two countries, as well as the education of the younger generations in this field. The results were presented in local and international conferences, and the information contributed to the research in industries. It also had the effects of advancing measurement technologies of cryo-SEM, X ray and neutron images.

## 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）

・査読有り：発表件数：計 0 件

該当なし

・査読無し：発表件数：計 0 件

該当なし

\*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 13 件

・査読有り：発表件数：計 13 件

1. H. Ito, Y. Heo, M. Ishida, A. Nakano, S. Someya, T. Munakata, Application of a Self-Supporting Microporous Layer to Gas Diffusion Layers of Proton Exchange Membrane Fuel Cells. *J Power Sources* 2017 Feb; 342: 393-404. doi: 10.1016/j.jpowsour.2016.12.064
2. S. Sakaida, Y. Tabe, and T. Chikahisa, Large scale simulation of liquid water transport in a gas diffusion layer of polymer electrolyte membrane fuel cells using the lattice Boltzmann method, *Journal of Power Sources*, 361, pp. 133-143, 2017. doi: 10.1016/j.jpowsour.2017.06.054
3. S. Sakaida, Y. Tabe, T. Chikahisa, Study on Gas Diffusion Layer Structure Tolerant to Flooding in PEFC by Scale Model Experiment and LBM Simulation, *ECS Transactions*, 80(8), pp. 123-131, 2017. doi: 10.1149/08008.0123ecst
4. Y. Tabe, T. Satake, T. Iiri, T. Hayashi, T. Chikahisa, Experimental Evaluation of Dominant Transport Resistances of Oxygen in Catalyst Layers of PEFC, *ECS Transactions*, 80(8), pp. 205-214, 2017. doi: 10.1149/08008.0205ecst
5. R. Nozaki, Y. Tabe, T. Chikahisa, T. Tanuma, Analysis of oxygen transport resistance components and water transport phenomena with hydrophilic and hydrophobic MPL in PEFC, *ECS Transactions*, 80(8), pp.335-344, 2017. doi: 10.1149/08008.0335ecst
6. R. Minami, N. Hasegawa and T. Araki, Measurement of Through-Plane Humidity Distribution inside an MEA by Thin Film Sensor, *ECS Trans.* 2017 volume 80, issue 8, 105-112 doi: 10.1149/08008.0105ecst
7. S. Hashimura, R. Minami, Y. Tamada, N. Hasegawa, and T. Araki, Effect of MPL Properties on Temperature and Liquid Water Distribution in a GDL Diagnostics and Characterization Methods, *ECS Trans.* 2017 80(8): 145-153 doi:10.1149/08008.0145ecst
8. Y. Aoyama, Y. Tabe, R. Nozaki, K. Suzuki, T. Chikahisa, and T. Tanuma, Analysis of Water Transport inside Hydrophilic Carbon Fiber Micro-Porous Layers with High-Performance Operation in PEFC, *Journal of The Electrochemical Society*, 165(7), pp. F484-F491, 2018. doi: 10.1149/2.0801807jes
9. Y. Tabe, S. Sakaida, and T. Chikahisa, Scale model experiments for evaluation of liquid water transport in the gas diffusion layer of PEFCs, *Journal of Thermal Science and Technology*, 13(2), pp. 1-15, 2018. doi: 10.1299/jtst.2018jtst0025
10. F. Onishi, Y. Tabe, and T. Chikahisa, Experimental Study on the Balance between Microscopic Water Production and Temperature Rise during Cold Startup in PEFC, *ECS Transactions*, 86(13), pp. 89-96, 2018. doi:10.1149/08613.0089ecst
11. S. Sakaida, Y. Tabe, T. Chikahisa, K. Tanaka, and M. Konno, Study on PEFC Gas Diffusion Layer with Designed Wettability Pattern Tolerant to Flooding, *ECS Transactions*, 86(13), pp. 111-118, 2018. doi:10.1149/08613.0111ecst
12. T. Iiri, Y. Tabe, and T. Chikahisa, Experimental Analysis of Oxygen Transport Resistance for Different Types of Ionomer in PEFC Catalyst, *ECS Transactions*, 86(13), pp. 141-150, 2018. doi:10.1149/08613.0141ecst
13. T. Satake, Y. Tabe, and T. Chikahisa, Analysis of Oxygen Transport Resistances in the Catalyst Layers with Different Carbon Supports in PEFC, *ECS Transactions*, 86(13), pp. 171-178, 2018. doi:10.1149/08613.0171ecst

・査読無し：発表件数：計 0 件  
該当なし

\*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 0 件  
該当なし

\*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  
該当なし

## 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 28 件（うち招待講演：2 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 0 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 9 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. International workshop on Subzero Startup of Automotive Fuel Cell Using Carbon Bipolar Plate, 主催者：荒木拓人（横浜国立大学・准教授），横浜，日本，2017年12月11日～12日，参加人数 26 名程

2. Workshop on progress, 主催者：Shixue Wang（天津大学・教授），Yoshio Utaka（天津大学・教授），天津，中国，2018年4月24日～25日，参加人数 20 名程

## 4. 研究交流の実績

### 【合同ミーティング】

- ・2016年10月19日：Web キックオフワークショップ，テレビ会議システムを利用，参加人数 11 名程
- ・2016年12月18日～19日：キックオフシンポジウム，札幌，日本，参加人数 13 名程
- ・2017年1月16日～17日：Workshop on discussion of research planning and progress about PEMFC sub-zero start-up process, 天津，中国，参加人数 10 名程
- ・2017年5月16日～17日：Workshop on progress, 北京，中国，参加人数 10 名程
- ・2018年9月18日～19日：日本側中間報告会議，札幌，日本，参加人数 11 名程
- ・2018年11月15日～16日：Workshop of China-Japan International Cooperation Project, つくば，日本，参加人数 18 名程

### 【学生・研究者の派遣、受入】

- ・2016年11月3日～4日：教員 2 名が訪問し、研究打ち合わせを行った。
- ・2016年11月3日～10日：教員および学生 8 名が訪問・留学し、研究打ち合わせ・実験技術の情報交換を行った。
- ・2017年9月11日～14日：教員および学生 4 名が訪問・留学し、研究打ち合わせ・実験

技術の情報交換を行った。

- ・2017年9月11日～20日：教員および学生10名が訪問・留学し、研究打ち合わせ・実験技術の情報交換を行った。
- ・2018年10月29日～11月2日：教員および学生5名が訪問・留学し、研究打ち合わせ・実験技術の情報交換を行った。
  
- ・2016年11月：相手国側研究員4名を日本側研究機関に9日間受け入れた。
- ・2018年7月：相手国側研究員2名を日本側研究機関に8日間受け入れた。

#### 5. 特許出願

研究期間累積出願件数：0件

#### 6. 受賞・新聞報道等

受賞：

1. ECS Poster Session Award (230th Meeting of The Electrochemical Society, Hawaii), Tomoya Hayashi, 2016年10月6日
2. ECS Poster Session Award (231th Meeting of The Electrochemical Society, National Harbor, MD), Ryo Nozaki, 2017年10月5日

#### 7. その他

該当なし

以上