

令和 6 年 5 月 14 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01549

研究課題名（和文）船用燃料電池のロバスト性向上策と異常診断技術の構築

研究課題名（英文）Enhancement of robustness and detection of abnormal operation conditions for marine fuel cells

研究代表者

北原 辰巳（KITAHARA, TATSUMI）

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：50234266

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：船用燃料電池は長時間の高負荷運転や急激な負荷変動に対応する出力特性が要求されるため、電解質膜のドライアップを防ぐと同時に、電極触媒層における過剰な生成水を速やかに排出してフラッディングを防ぐことが重要である。そこで本研究では撥水性マイクロポラス層（MPL）の表面に薄い親水層を塗布した親水・撥水MPL付き拡散層を考案し、発電性能の向上策について検討した。その結果、親水・撥水MPLを適用すると、親水層の付与により耐ドライアップ性が向上する。さらに電極触媒層における排水性が高まり、クヌーセン拡散抵抗が低減するため、従来の撥水MPLと比較して耐フラッディング性が大幅に向上することを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来から一般に適用されている撥水性マイクロポラス層（MPL）付きガス拡散層の場合、耐ドライアップ性と耐フラッディング性を高めるための設計指針が異なっており、耐ドライアップ性を向上させたMPL付き拡散層は耐フラッディング性が低下することが問題である。本研究で考案した親水・撥水MPLは、親水性の付与により電解質膜の保湿性が向上して耐ドライアップ性が向上する。また親水層が撥水MPLへの液水導入を促進して電極触媒層の排水性を向上させるため耐フラッディングも向上する。従って長時間の高負荷運転が要求される船用燃料電池の発電性能と信頼性・耐久性を向上させるうえで貢献できるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：The application of polymer electrolyte fuel cells (PEFCs) for marine vessels will be an effective means of reducing greenhouse gas (GHG) emissions. The present study investigates a novel double microporous layer (MPL) coated gas diffusion layer (GDL). A thin hydrophilic layer coated on the hydrophobic MPL is effective at conserving the humidity of the membrane electrode assembly (MEA) under low humidity conditions. A hydrophilic MPL in the double MPL enhances the ability of the MPL to discharge water at the catalyst layer, effectively reducing water flooding. The double MPL exhibited a substantially reduced the oxygen transport resistance at the interface between the MPL and the catalyst layer. An appropriate MPL coated GDL is effective at enhancing marine PEFC performance under both low and high humidity conditions.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：燃料電池 ロバスト性 耐久性 ガス拡散層 水管理

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

水素を燃料とする固体高分子形燃料電池 (Polymer Electrolyte Fuel Cell: PEFC) はエネルギー変換効率が高く、生成物が水のみであることから GHG (温室効果ガス) 排出削減策として期待されている。2023 年 6 月に発表された水素基本戦略では、2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて、自動車やエネファームのみならず、バス・トラック、建設・農業機械、鉄道車両、船舶などの幅広い用途に PEFC を適用し普及させていくことが示された⁽¹⁾。船用燃料電池に関しては、2010 年代から実証試験が実施されてきた⁽²⁾。2020 年以降は燃料電池船を商業運航させる計画が国内外で発表されている。自動車用燃料電池と異なり、船用燃料電池は長時間の高負荷運転や急激な負荷変動に対応する出力特性が要求される。さらに海水 (海塩粒子) による電解質膜および触媒の劣化、船体揺動・衝撃などの影響を明らかにして、安全性と耐久性・信頼性を向上させることが重要課題になっている⁽³⁾。

2. 研究の目的

図 1 に示すように PEFC は膜電極接合体 (Membrane Electrode Assembly: MEA) をガス拡散層 (Gas Diffusion Layer: GDL) およびセパレータで挟んだ構造になっており、発電性能を向上させるためには電解質膜を適度な湿潤状態に保ちドライアップを防ぐとともに、電極触媒層における過剰な生成水を速やかに排出してフラッディング (液水の細孔閉塞) による酸素供給の阻害を防ぐことが重要である。ガス拡散層の表面には一般に撥水性のマイクロポーラス層 (Microporous Layer: MPL) が塗布されており MEA との接触状態を改善すると同時に、ドライアップやフラッディングの発生を防止している。従来の撥水 MPL の場合、耐ドライアップ性と耐フラッディング性を高めるための設計指針が各々異なり、耐ドライアップ性を高めた MPL 付き拡散層は、一般に排水性が悪化して耐フラッディング性が低下することが問題である⁽⁴⁾。長時間の高負荷運転が要求される船用燃料電池の場合、過剰な生成水を速やかに排出させ、電極触媒層への酸素供給を促進させることが重要になる。2022 年に発表された大型・商用モビリティ用燃料電池技術開発ロードマップでは 2030 年までに電流密度 3Acm^{-2} の高負荷条件で出力電圧 0.7V を達成する目標が示されており⁽⁵⁾、MPL 付き拡散層の酸素拡散抵抗の低減が重要課題になっている。そこで本研究では PEFC の耐フラッディング性を高め、酸素拡散抵抗を低減させるための MPL 付き拡散層の設計指針について検討した。

3. 研究の方法

(1) MPL 付き拡散層の接触角、細孔径と空気透過試験 図 2 に MPL 付き拡散層の空気および液水透過試験装置の概略を示す。直径 13mm の拡散層を上下の円柱プレートに挟んで組み付ける。拡散層に作用する圧縮荷重を調整ボルトにより変化させ、セパレータリブ部における圧縮圧力と同様な 1MPa の値に設定した。拡散層の直径 5mm の孔から厚さ方向に乾燥空気を供給した。拡散層の最大細孔径⁽⁶⁾を下記の方法に従って測定した。真空脱気法により表面張力の小さい不揮発性アルコール (表面張力 $\gamma = 0.0157\text{N m}^{-1}$) を細孔中に含浸させた拡散層を用いて空気透過試験を実施した。空気の供給圧力を増加させると細孔中に充填されたアルコールが押し出され空気が透過する。拡散層の細孔断面を図 3 に示すような直径 d の円形状で仮定すると、細孔から気泡が放出される瞬間

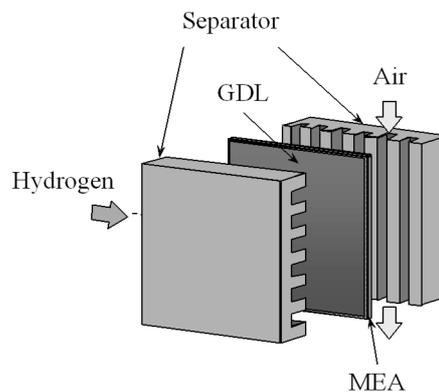


図 1 固体高分子形燃料電池 (PEFC)

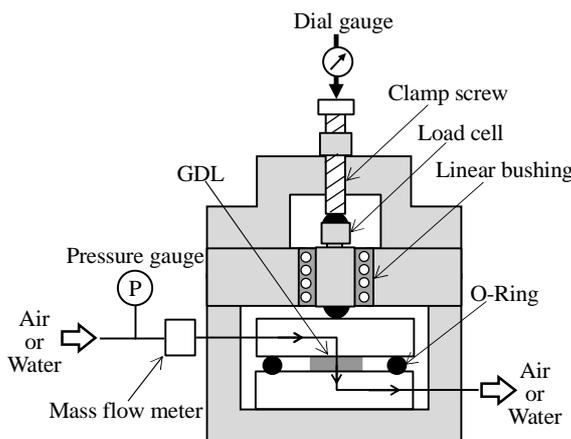


図 2 拡散層の空気および液水透過試験装置

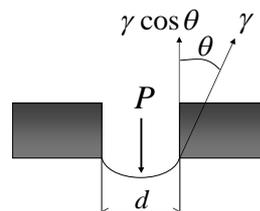


図 3 MPL 内の液体表面張力とガス圧力の釣り合い

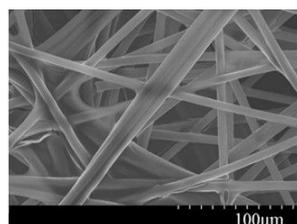
において空気圧力 P , アルコール表面張力 γ , 接触角 θ の間に式(1)の釣合い関係が成立する .

$$d = \frac{4\gamma \cos\theta}{P} \quad (1)$$

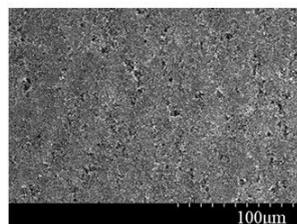
表面張力の小さいアルコールを用いた場合, 接触角 θ が 0° とみなせるため空気の圧力 P から細孔径 d の値を算出できる . 流量がゼロから増加し始める最初のバブルポイント圧力(最大細孔圧力)から拡散層の最大細孔径 d_{\max} を求めることができる .

(2) MPL 付き拡散層 全ての PEFC 発電試験において, アノードには MPL を塗布せず, 四フッ化ポリエチレン (PTFE) を 5mass% 含浸させて撥水处理のみを施した東レ製カーボンペーパー拡散層 (TGP-H-030, 厚さ $110\mu\text{m}$, 空隙率 80%) を用いた . カソードには図 4 に示すような撥水 MPL あるいは親水・撥水 Double MPL 付き拡散層を用いた . 撥水 MPL 付き拡散層は, 東レ製カーボンペーパー (TGP-H-030) 表面に撥水層 (カーボンブラックを 20mass% の PTFE バインダーで結着) を塗布して作製した . 親水・撥水 MPL 付き拡散層は, 撥水 MPL 表面に薄い親水層 (厚さ $5\mu\text{m}$) を塗布して作製した . 親水 MPL は 70mass% のカーボンブラックをナフィオンまたはポリビニルアルコール (PVA) のバインダーで結着して作製した . ナフィオンバインダーを用いた親水 MPL の場合は酸化チタン (TiO_2) を 0~25mass% に変化させて親水性の違いが発電性能に及ぼす影響を検討した .

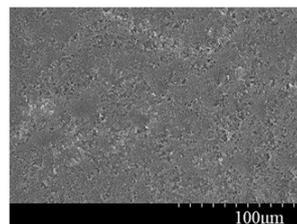
図 5 は基材, 撥水 MPL 並びに親水 MPL の表面 SEM 写真である . 全ての MPL 付き拡散層の場合で MPL の最大細孔径 d_{\max} を $20\mu\text{m}$ に設定し, 撥水 MPL 厚さを $35\mu\text{m}$ に設定した . 図 6 は撥水 MPL と親水 MPL の表面接触角を液滴法で測定した結果である . 撥水 MPL の接触角は 143° である . ナフィオンバインダーを用いた親水 MPL の接触角は TiO_2 量の増加に従って減少し, TiO_2 量 25mass% の場合に 58° になった . PVA バインダーを用いた親水 MPL の接触角は 0° になり, 強い親水性を示すことが認められる .



(a) Carbon paper substrate

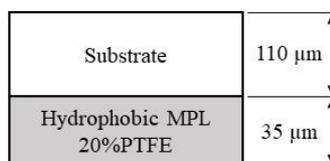


(b) Single MPL (20% PTFE)

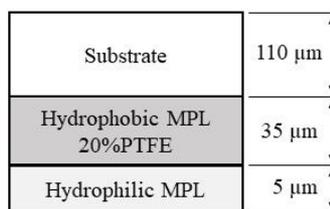


(c) Double MPL (5% Nafion-25% TiO_2)

図 5 基材, 撥水 MPL, 親水 MPL の表面 SEM 写真



(a) Single MPL



(b) Double MPL

図 4 撥水 MPL および親水・撥水 MPL 付き拡散層



(a) 20%PTFE

(b) 30%Nafion



(c) 25%Nafion-5% TiO_2 (d) 15%Nafion-15% TiO_2



(e) 5%Nafion-25% TiO_2

(f) 1%PVA

図 6 撥水 MPL と親水 MPL の表面接触角

(3) PEFC 性能試験 PEFC の電流 - 電圧特性から限界電流密度を測定し、セパレータ流路から MPL 付き拡散層・電極触媒層までの酸素拡散抵抗を求めた。パラレル流路(幅 0.4 mm, 深さ 0.5 mm, 本数 17) を設けたセパレータを用い、アノードおよびカソード反応ガスを直交流で供給した。日本ゴア製の膜電極接合体(電解質膜厚さ 15 μ m, 白金量 0.4 mg cm⁻²) の反応面積は 1.0 cm² である。アノードに水素, カソードに酸素・窒素混合ガス(酸素の体積割合 0.5~2.5%) を流量 1000 cm³ min⁻¹ で供給した。出口ガスの背圧を 101~300 kPa (絶対圧) に変化させた。セパレータに組み込んだ温度調整用ヒーターによりセル温度を一定値 35 $^{\circ}$ C に設定した。アノードおよびカソード供給ガス相対湿度を 200% RH に設定した。

図 7 に撥水 MPL および親水・撥水 MPL 付き拡散層の電流 - 電圧特性, 並びに限界電流密度 i_{lim} の測定結果を示す。図 8 は背圧 101~300 kPa の各条件で, カソード供給ガスの酸素分圧を変化させて限界電流密度の値を求めた結果である。限界電流密度と酸素分圧は比例関係にあることから, この直線の傾き b の値を用いて酸素拡散抵抗 R_{total} を次式から求めた⁽⁷⁾。

$$R_{O_2} = \frac{4F}{RT} \cdot \frac{P_{O_2}}{i_{lim}} = \frac{1}{b} \cdot \frac{4F}{RT} \quad (2)$$

ここで F はファラデー定数 (96,485 C mol⁻¹), R は気体定数 (8.314 J K⁻¹ mol⁻¹), T はセル温度, P_{O_2} はセル入口および出口の酸素分圧の平均値である。酸素拡散抵抗 R_{total} は, 電極触媒層の R_{CL} , MPL の R_{MPL} , 基材の R_{GDL} , 並びにセパレータ流路の R_{CH} の和であり, 式(3)で与えられる。

$$R_{total} = R_{CL} + R_{MPL} + R_{GDL} + R_{CH} = R_p + R_{np} \quad (3)$$

図 9 は酸素拡散抵抗 R_{total} と背圧の関係を整理した結果である。酸素拡散抵抗 R_{total} は非圧力依存成分 (R_{np}) と圧力依存成分 (R_p) に分離することができる。非圧力依存成分 (R_{np}) は, 主として電極触媒層におけるクヌーセン拡散抵抗に起因する。セパレータ流路の酸素拡散抵抗は, 流路内の液水蓄積が発生しないよう高流量 1000 cm³ min⁻¹ に設定したため無視することができる。従って圧力依存成分 (R_p) は主として MPL 付き拡散層の分子拡散抵抗に起因すると考えら

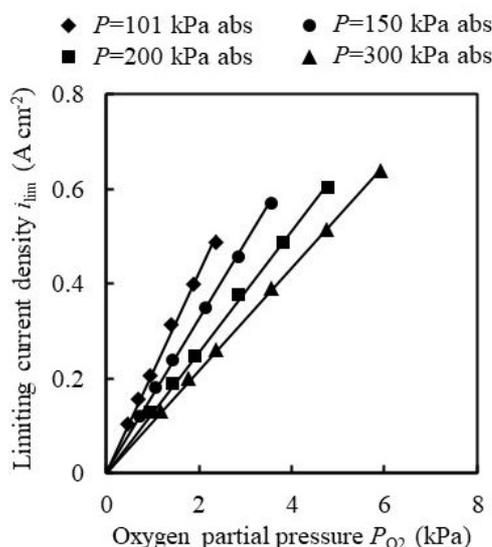


図 8 酸素分圧と限界電流密度の関係

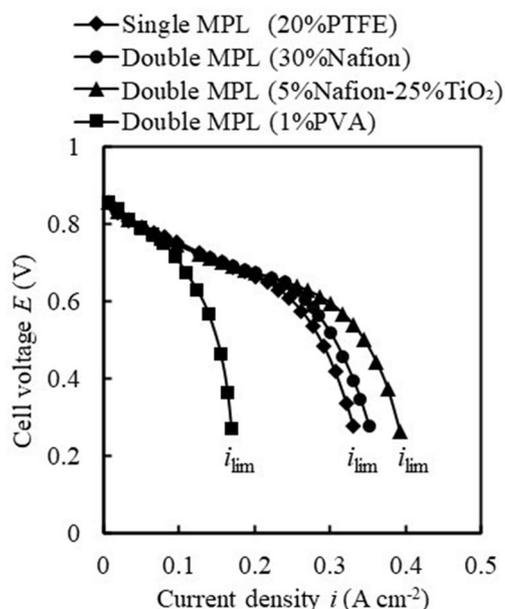


図 7 撥水 MPL と親水・撥水 MPL 付き拡散層の電流 - 電圧特性と限界電流密度

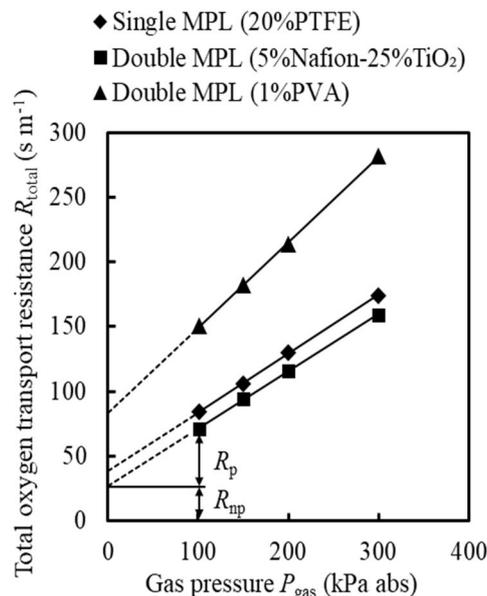


図 9 撥水 MPL と親水・撥水 MPL の酸素拡散抵抗と背圧の関係

れる。

4. 研究成果

図 10 は撥水 MPL と親水・撥水 MPL 付き拡散層の酸素拡散抵抗 R_{total} を求めた結果である。親水・撥水 MPL 付き拡散層の酸素拡散抵抗の値は、親水層の違いによって大幅に変化している。親水性の強い PVA バインダーの親水層を用いた場合、親水 MPL で水分が蓄積し、フラッディングが発生しやすくなるため酸素拡散抵抗が大幅に増大している。一方、親水性の弱いナフィオンバインダーと TiO_2 の親水層を用いた場合、撥水 MPL の場合と比較して耐フラッディング性が向上し酸素拡散抵抗が低下している。5mass% のナフィオンと 25mass% の TiO_2 の親水層の場合に酸素拡散抵抗が最小になることが認められる。

電極触媒層と接する MPL の撥水・親水性の違いにより MPL 界面における生成水の拡がり性が異なる。撥水 MPL のみの場合、電極触媒層と MPL 界面で液水が拡がりにくいため触媒層から撥水 MPL を通り基材へ排出される水移動のパスが減少する。これに対して親水性を付与した親水・撥水 MPL の場合、撥水 MPL の細孔への液水導入が促進されるため、電極触媒層における水分の排出が促進され耐フラッディング性が向上したものと考えられる。

図 11 は撥水 MPL と親水・撥水 MPL 付き拡散層で得られた酸素拡散抵抗 R_{total} をクヌーセン拡散抵抗 R_{np} と分子拡散抵抗 R_p に分離した結果である。PVA バインダーの親水・撥水 MPL を用いた場合、撥水 MPL のみの場合と比較してクヌーセン拡散および分子拡散の両抵抗値が大幅に増大している。一方、ナフィオンバインダーの親水・撥水 MPL を用いると、クヌーセン拡散抵抗が大幅に低下している。クヌーセン拡散抵抗は主として電極触媒層と MPL 界面の拡散抵抗に起因するものと考えられる。適正な親水・撥水 MPL を用いた場合、MPL 細孔への液水導入が促進されるため、触媒層から MPL を通り基材へ排出される水分量が増大する。その結果、電極触媒層の耐フラッディングが向上し酸素拡散抵抗が減少したものと考えられる。

< 引用文献 >

- (1) 経済産業省, 水素基本戦略 (2023), 1-42.
- (2) L. V. Biert, M. Godjevac, K. Visser, P. Aravind, A review of fuel cell systems for marine applications, *Journal of Power Sources*, 327 (2016), 345-364.
- (3) 北原, 燃料電池船, 日本船舶海洋工学会誌, 95 (2021), 42-47.
- (4) T. Kitahara, T. Konomi, H. Nakajima, Influence of gas diffusion layers with microporous layer coated gas diffusion layers for enhanced performance of polymer electrolyte fuel cells, *Journal of Power Sources*, 195 (2010), 2202-2211.
- (5) 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構, NEDO 燃料電池技術開発ロードマップ - HDV 燃料電池ロードマップ (2022), 1-59.
- (6) American Society for Testing and Materials Committee, Standard test methods for pore size characteristics of membrane filters by bubble point and mean flow pore test, ASTM F316-86 (1970), 722-727.
- (7) 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構, NEDO PEFC セル評価解析プロトコル (2022), 22.

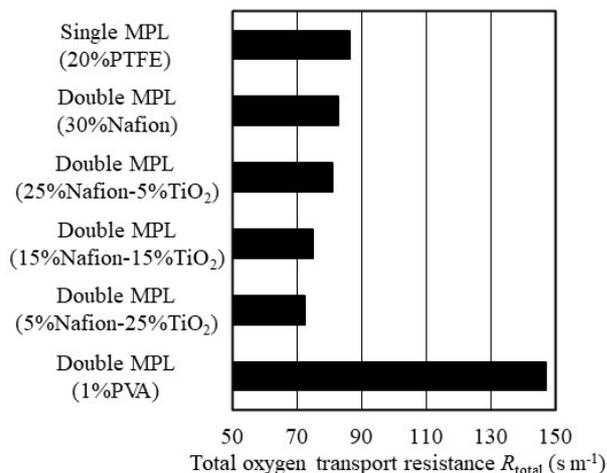


図 10 撥水 MPL と親水・撥水 MPL の酸素拡散抵抗

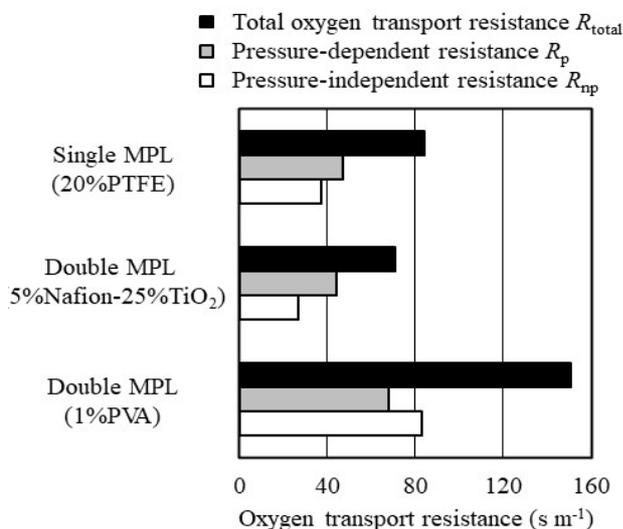


図 11 撥水 MPL と親水・撥水 MPL のクヌーセン拡散抵抗と分子拡散抵抗

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 北原辰巳, 中島裕典	4. 巻 59
2. 論文標題 船用燃料電池のガス拡散層に関する研究	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 日本マリンエンジニアリング学会誌	6. 最初と最後の頁 173-178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5988/jime.59.173	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Peng Wang, Hironori Nakajima, Tatsumi Kitahara	4. 巻 171
2. 論文標題 Hydrophilic and Hydrophobic Composite Microporous Layer Coated Gas Diffusion Layers for Performance Enhancement of Polymer Electrolyte Fuel Cells	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 14501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/1945-7111/ad170d	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Peng Wang, Hironori Nakajima, Tatsumi Kitahara	4. 巻 170
2. 論文標題 Effect of Hydrophilic Layer in Double Microporous Layer Coated Gas Diffusion Layer on Performance of a Polymer Electrolyte Fuel Cell	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 124514
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/1945-7111/ad13da	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Peng Wang, Hironori Nakajima, Tatsumi Kitahara	4. 巻 112
2. 論文標題 Effect of hydrophilic and hydrophobic composite microporous layer coated gas diffusion layers on PEFC performance	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 145-155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/11204.0145ecst	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Peng WANG, Hironori Nakajima, Tatsumi Kitahara	4. 巻 109
2. 論文標題 Effect of the Hydrophilic Layer in Double Microporous Layer Coated Gas Diffusion Layer on PEFC Performance	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 85-93
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/10909.0085ecst	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hironori Nakajima, Shintaro Iwasaki, Tatsumi Kitahara	4. 巻 560
2. 論文標題 Pore Network Modeling of a Microporous Layer for Polymer Electrolyte Fuel Cells under Wet Conditions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Power Sources	6. 最初と最後の頁 232677
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpowsour.2023.232677	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 北原辰巳, 中島裕典	4. 巻 56
2. 論文標題 船用固体高分子形燃料電池の無加湿運転に関する研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本マリンエンジニアリング学会誌	6. 最初と最後の頁 755-761
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5988/jime.56.755	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Peng Wang, Hironori Nakajima, Tatsumi Kitahara	4. 巻 104
2. 論文標題 Hydrophilic and Hydrophobic Microporous Layer Coated Gas Diffusion Layer for Enhancing PEFC Performance	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 117-127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/10408.0117ecst	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hironori Nakajima, Shintaro Iwasaki, Tatsumi Kitahara	4. 巻 104
2. 論文標題 Mass Transfer in Microporous Layers for Polymer Electrolyte Fuel Cells Analyzed with Pore Network Modeling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 129-135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/10408.0129ecst	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shintaro Iwasaki, Hironori Nakajima, Tatsumi Kitahara	4. 巻 104
2. 論文標題 Pore Network Modeling of Hydrophilic / Hydrophobic Composite Microporous Layers for Polymer Electrolyte Fuel Cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 157-160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/10408.0157ecst	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 北原辰巳, 中島裕典
2. 発表標題 船用燃料電池のガス拡散層に関する研究
3. 学会等名 日本マリンエンジニアリング学会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Peng Wang, Hironori Nakajima, Tatsumi Kitahara
2. 発表標題 Effect of Hydrophilic and Hydrophobic Composite Microporous Layer Coated Gas Diffusion Layers on PEFC Performance
3. 学会等名 The 244th ECS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Peng Wang, Hironori Nakajima, Tatsumi Kitahara
2. 発表標題 Effect of the Hydrophilic Layer in Double Microporous Layer Coated Gas Diffusion Layer on PEFC Performance
3. 学会等名 The 242nd ECS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hironori Nakajima, Shintaro Iwasaki, Tatsumi Kitahara
2. 発表標題 Mass Transfer Analysis of Microporous Layers for Polymer Electrolyte Fuel Cells Using Pore Network Model
3. 学会等名 The 23rd World Hydrogen Energy Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Peng Wang, Hironori Nakajima, Tatsumi Kitahara
2. 発表標題 Hydrophilic and Hydrophobic Microporous Layer Coated Gas Diffusion Layer for Enhancing PEFC Performance
3. 学会等名 The 240th ECS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hironori Nakajima, Shintaro Iwasaki, Tatsumi Kitahara
2. 発表標題 Mass Transfer in Microporous Layers for Polymer Electrolyte Fuel Cells Analyzed with Pore Network Modeling
3. 学会等名 The 240th ECS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shintaro Iwasaki, Hironori Nakajima, Tatsumi Kitahara
2. 発表標題 Pore Network Modeling of Hydrophilic / Hydrophobic Composite Microporous Layers for Polymer Electrolyte Fuel Cells
3. 学会等名 The 240th ECS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関