

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03497

研究課題名(和文) 船用燃料電池の安全性と耐久性・信頼性向上のための設計指針の構築

研究課題名(英文) Enhancement of the safety, durability and reliability of 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) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：船用燃料電池の安全性と耐久性・信頼性を向上させる方策として、交流インピーダンス法を用いた運転状態診断法の確立が重要である。本研究では補機の故障、並びに海塩粒子の混入による電解質膜や触媒の劣化に起因する電池性能の低下を早期に検出する方法について検討した。塩粒子の混入による性能低下を早期に検出した後、純水加湿による運転を行うことにより初期のセル電圧と同程度まで発電性能が回復できることを明らかにした。さらに燃料電池の耐ドライアップと耐フラッシングの両特性を向上させる方策として、親水性カーボンナノチューブを分散させたマイクロポーラス層付きガス拡散層の適用が有効であ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ーラス層(MPL)付き拡散層の場合、耐ドライアップ性と耐フラッシ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シ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性カーボンナノチューブを撥水MPLに分散させたガス拡散層は、耐ドライアップと耐フラッシングの両特性を向上させることができる。さらに海上船舶特有の問題である海塩粒子の混入による発電性能低下の防止策を示した研究成果は、船用燃料電池の安全性・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 the environmental impact and solving energy crisis problems. The diagnosis of abnormal operational conditions is an important aspect of improving the reliability and durability of marine PEFCs, and helps to ensure long-term safe and stable operation. The present work investigates the effect of abnormal variations in the relative humidity of supplied gases on the resistance values in the equivalent circuit model using electrochemical impedance spectroscopy analysis. An appropriate microporous layer coated gas diffusion layer is evaluated to enhance the cell performance under both low and high humidity conditions. The effect of sea salt (NaCl) contamination in the cathode air on the cell performance is also evaluated. Injecting distilled water after the initial detection of performance degradation due to NaCl contamination is effective at recovering the cell performance.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：燃料電池 異常診断 安全性 塩害 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 (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ゼロエミッション化が可能であり、既に市販化されている家庭用燃料電池 (エネファーム) や燃料電池自動車・バスのみならず、二輪車、トラック、鉄道車両、並びに船舶などの幅広い分野で水素エネルギーの利活用が期待されている。船用燃料電池に関しては欧米の淡水域を運航する小型ボートや観光船、並びに潜水艦などに PEFC が適用され実証試験が行われている⁽¹⁾。しかし海上船舶で用いられる PEFC の発電性能、安全性・信頼性の向上策に関する研究結果はほとんど報告されておらず技術的課題が多くあると考えられる。国内では 2020 年度以降に燃料電池船の実用化が進められており、純水素燃料の PEFC とリチウムイオン二次電池を搭載したハイブリッド船の実証試験が行われている⁽²⁾。家庭用および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、並びに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 (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。

2. 研究の目的

図 1 に示すように PEFC は膜電極接合体 (MEA) をガス拡散層 (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正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シング (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。電解質膜の含水状態の変化、ガス供給系・加湿系・冷却系など補機の故障、海塩粒子の混入による触媒および電解質膜などの劣化に起因する運転状態の異常を早期に検出して PEFC システム全体の故障に至ることを未然に防ぐことが重要な課題である。そこで本研究では、電気化学インピーダンス分光法 (EIS) を用いて、供給ガス湿度の異常によるドライアップおよびフラッシング発生の検知、並びに塩粒子の混入による発電性能低下の防止策について検討した。

3. 研究の方法

(1) PEFC 発電試験 PEFC 発電試験で用いた MEA は日本ゴア製 PRIMEA558Q (電解質厚さ 30 μm , Pt 担持量 0.4mg/cm²) であり反応面積は 4.2cm² である。セパレータは三連サーペンタイン流路構造 (幅 0.5mm, 深さ 0.5mm) である。アノードには純水素、カソードには空気を各々供給した。セル温度 75 $^{\circ}\text{C}$ 一定値に設定し、加湿器 (パブラー) の水温を調整することにより、アノードおよびカソード供給ガスの相対湿度を 0 ~ 100%RH に変化させた。水素の利用率 70%, 空気の利用率 60% の一定条件で PEFC 発電性能 (電流 - 電圧特性) を測定した。

カソードガスに塩粒子が混入した場合の発電性能の変化を調べるため、カソードガス供給系に定量ポンプとネブライザーを設置して、NaCl 溶液 (0.05 mol/L) を一定流量 750 $\mu\text{L}/\text{min}$ で供給した。アノードおよびカソード供給ガス相対湿度を 70%RH, 電流密度 0.5 A/cm² の一定条件で 2 時間の運転を行った後、セル電圧の測定と EIS 計測を行った。NaCl 溶液の混入によりセル電圧の低下が確認された後、NaCl 溶液の混入を停止し純水加湿方式に切り替えて 12 時間の発電試験を行い、セル電圧の経時変化を測定した。

(2) EIS 計測 EIS 計測では PEFC に正弦波の交流電流 (振幅 10mV, 周波数 0.1Hz ~ 20kHz) を与え、応答出力電圧を測定してインピーダンススペクトルを得た。図 2 にナイキスト線図の一例を示す。インピーダンススペクトルの解析には、図 3 に示すような PEFC 等価回路を用い、非線形最小二乗法によるカーブフィッティングを行って等

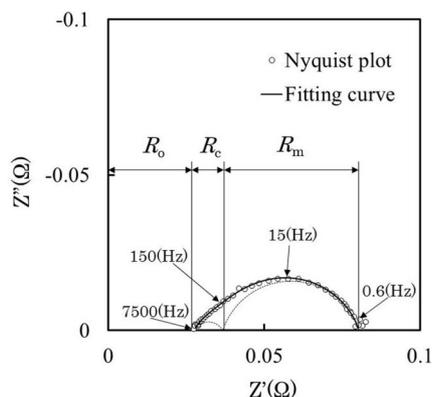


図 2 ナイキスト線図の一例 (電流密度 1.0 A/cm², セル温度 75 $^{\circ}\text{C}$, 供給ガス湿度 100%RH, アノード利用率 40%, カソード利用率 10%)

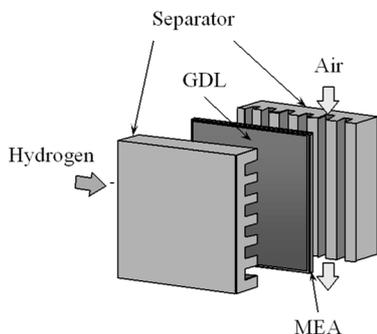


図 1 固体高分子形燃料電池 (PEFC)

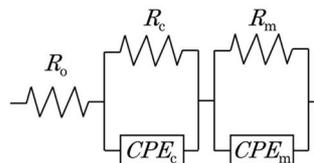


図 3 等価回路モデル

価回路中の3抵抗値および2容量値を求めた。ナイキスト線図で計測された2つ半円は真円から実数軸方向につぶれた軌跡になることが認められる。真円からのずれを補正するため、容量成分としてCPE (Constant Phase Element) を用いた。等価回路における R_o は電解質膜抵抗、 R_c および CPE_c は電荷移動抵抗とそれに付随する容量成分、 R_m および CPE_m は物質移動抵抗とそれに付随する容量成分である。

(3) 供試ガス拡散層 全ての試験においてアノードにはカーボンペーパー基材にマイクロポラス層 (MPL) を塗布せず四フッ化ポリエチレン (PTFE) を 5 mass% 含浸させ撥水化処理を施した SGL カーボン製 24BA 拡散層 (平均流量細孔径 $d_m=42\mu\text{m}$, 厚さ $190\mu\text{m}$) を用いた。一方、カソードには図4に示すような撥水MPL付き拡散層、並びにカーボンナノチューブ (CNT) 分散MPL付き拡散層を用いた。基材の平均流量細孔径 $d_m=42\mu\text{m}$ と比較して、MPL付き拡散層の細孔径は大幅に低下する。本研究ではMPL付き拡散層の d_m 値を2~10 μm に設定し、細孔径の変化がPEFC性能に及ぼす影響を検討した。撥水MPLはカーボンブラックをPTFE (20 mass%) で結着して作製した。CNT分散MPLはCNT (4mass%) とカーボンブラックをPTFE (20 mass%) で結着して作製した。いずれの場合もMPL厚さを70 μm に設定し、拡散層全体の厚さを240 μm 一定値に設定した。CNT表面には親水処理が施されており、CNTのみで作製したシート表面における水滴の接触角の値は30°であった。

図5は撥水MPLとCNT分散MPL付き拡散層の透気度 q_a を測定した結果である。撥水MPL付き拡散層の平均流量細孔径 d_m を10から2 μm に減少すると透気度が大幅に低下する。 d_m 値が2 μm 一定の撥水MPLおよびCNT分散MPLの場合、透気度は同程度になる。一方、図6は撥水MPLとCNT分散MPL付き拡散層の透水圧を測定した結果である。撥水MPL付き拡散層の d_m 値を10から2 μm に減少すると透水圧が大幅に増大する。 d_m 値を2 μm に設定した撥水MPLおよびCNT分散MPLの場合、透気度に大きな違いは認められないが、親水性CNTの効果により透水圧が大幅に低下することが認められる。

4. 研究成果

(1) 供給ガス湿度の変化が発電性能に及ぼす影響 図7はアノード・カソード供給ガス相対湿度の変化が電流密度 $1.0\text{A}/\text{cm}^2$ におけるセル電圧、並びにEIS計測で得られた各部抵抗値に及ぼす影響を調べた結果である。相対湿度が低い30%RHの場合、電解質膜のドライアップが原因で電解質膜抵抗 R_o が高くなる。それと同時に電極触媒層の三相界面における有効反応面積が減少するため電荷移動抵抗 R_c も増大してセル電圧が大幅に低下している。相対湿度を60%RHまで増大すると R_o および R_c が減少してセル電圧が最大値となる。しかし供給ガスの相対湿度を100%RHの過大値に設定すると物質移動抵抗 R_m が増大してセル電圧が低下している。供給ガスの湿度が過大になると電極触媒層における生成水の排水性が低下すると同時に、ガス拡散層やセパレータ流路内で液水蓄積によるフラッドイングが発生しやすくなる。その結果、電極触媒層への酸素供給が阻害されて物質移動抵抗が増大したものと考えられる。

以上の結果からPEFCの発電性能向上には電解質膜を適正な湿潤状態に保つと同時に、電極触媒層における生成水を速やかに排出してフラッドイング発生を防止することが重要であることがわかった。発電性能を向上させる方策として供給ガスの加湿度を制御することが重要になるが、PEFCシステム全体のコストを増大させることが問題である。近年は総合効率向上、並びにコスト低減の方策として外部加湿器を設けない簡便なPEFCシステムの実用化が進められてい

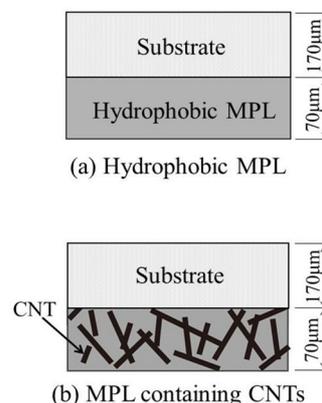


図4 撥水MPLとCNT分散MPL付き拡散層

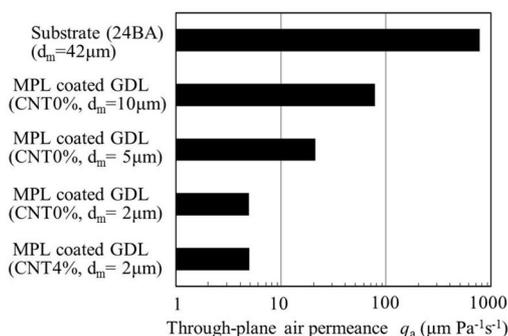


図5 MPL付き拡散層の透気度

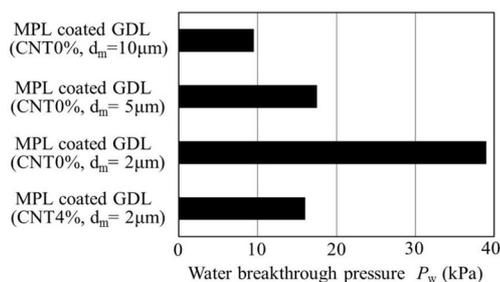


図6 MPL付き拡散層の透水圧

る。船用燃料電池の普及に際しても無加湿運転時の発電性能を向上させることが重要課題になるものと考えられる。一方、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、生成水量の増加によってセル内部の相対湿度が 100%RH を超えるような過加湿状態になる可能性がある。従って電解質膜のドライアップのみならずフラッディング発生を防止してロバスト性を向上させることが重要になる。

(2) 耐ドライアップと耐フラッディングの両特性を向上させるためのマイクロポラス層付き

拡散層 図 8(a) は撥水 MPL 付き拡散層の平均流量細孔径 d_m の違いがカソード無加湿運転時の電流 - 電圧特性に及ぼす影響を調べた結果である。 d_m 値を 5 から 2 μm に減少すると発電性能が向上している。図 5 で示したように MPL 細孔径を減少させると空気透過性が低下するため、カソード拡散層内を流れる乾燥ガスが電極触媒層の水分を取り去ることを防止でき、電解質膜のドライアップ防止に有効であることが認められる。一方、図 8(b) は撥水 MPL 付き拡散層の d_m 値の違いが高加湿運転時の発電性能に及ぼす影響を調べた結果である。 d_m を 10 μm の過大値に設定すると高電流密度条件でフラッディング発生によりセル電圧が低下している。 d_m 値を 5 μm まで低下すると耐フラッディング性が向上する。しかし d_m 値を 2 μm の過小値に設定すると耐フラッディング性は逆に低下する傾向が認められる。従来から一般に用いられている撥水 MPL の場合、耐ドライアップ性と耐フラッディング性を向上させるための適正な MPL 細孔径の値が異なっており、細孔径の減少は耐ドライアップ性の向上に有効であるが、耐フラッディング性を低下させる問題があることがわかった。

図 9(a) は CNT 分散 MPL 付き拡散層の d_m 値の違いがカソード無加湿運転時の発電性能に及ぼす影響を調べた結果である。CNT 分散 MPL の d_m 値を 5 から 2 μm に減少すると、撥水 MPL の

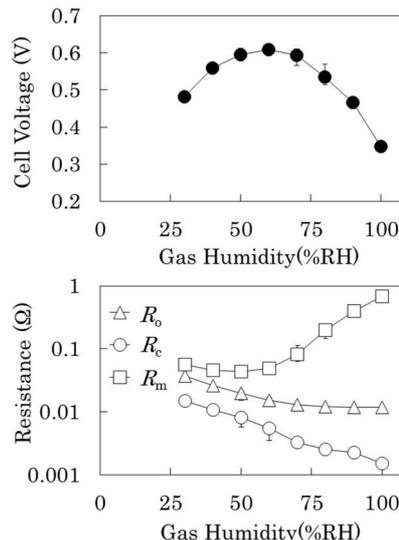
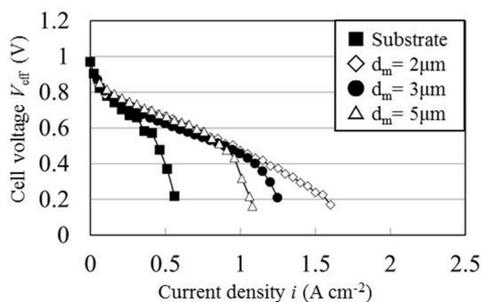
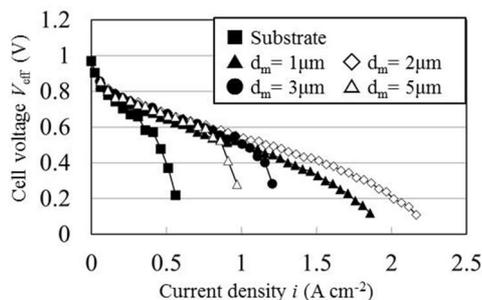


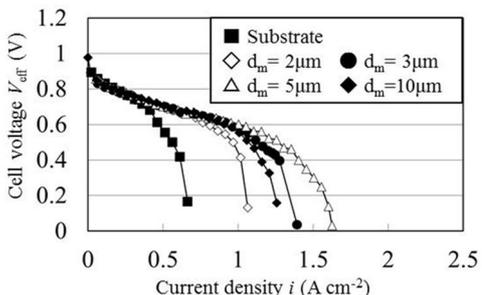
図 7 供給ガス相対湿度がセル電圧と各部抵抗に及ぼす影響 (電流密度 1.0 A/cm², セル温度 75°C, アノード利用率 70%, カソード利用率 60%)



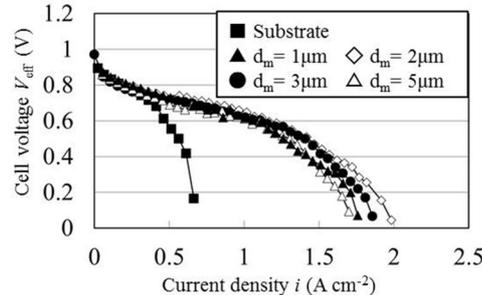
(a) 低加湿条件 (アノード 60%RH, カソード 0%RH)



(a) 低加湿条件 (アノード 60%RH, カソード 0%RH)



(b) 高加湿条件 (アノード・カソード 100%RH)



(b) 高加湿条件 (アノード・カソード 100%RH)

図 8 撥水 MPL 付き拡散層の平均流量細孔径が発電性能に及ぼす影響 (セル温度 75°C, アノード利用率 70%, カソード利用率 60%)

図 9 CNT 分散 MPL 付き拡散層の平均流量細孔径が発電性能に及ぼす影響 (セル温度 75°C, アノード利用率 70%, カソード利用率 60%)

みの場合と比較して発電性能が一段と向上している。図5で示したように撥水MPLとCNT分散MPLの場合で空気透過性に大きな違いは認められない。親水性CNTをMPL中に分散させたことにより電極触媒層における生成水の保湿性が高まり耐ドライアップ性が向上したものと考えられる。

図9(b)はCNT分散MPL付き拡散層の d_m 値の違いが高加湿運転時の発電性能に及ぼす影響を調べた結果である。CNT分散MPLの場合は d_m 値を5から2 μm に減少しても発電性能の低下は認められず耐フラディング性が一段と向上することが認められる。図6で示したように撥水MPLと比較してCNT分散MPLの透水性は大幅に低下する。撥水MPLの場合は細孔径を小さくすると透水性が高まり、電極触媒層からMPLを通り基材部へ排出される液水パスが減少して電極触媒層で過剰な水分が蓄積される。その結果、電極触媒層への酸素供給が阻害されて発電性能が大幅に低下したものと考えられる。一方、CNT分散MPLの場合、親水性CNTにより形成された細孔により、電極触媒層から基材部へ排出される液水パスが増大し排水性が向上する。その結果、 d_m 値を2 μm まで減少させても耐フラディング性が低下せず、PEFCの耐ドライアップと耐フラディングの両特性を向上させ、ロバスト性を高める方策として有効であることがわかった。

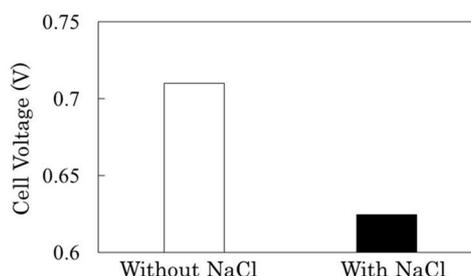


図10 塩粒子の混入がセル電圧に及ぼす影響 (電流密度 0.5 A/cm², セル温度 75°C, アノード利用率 40%, カソード利用率 10%, 供給ガス湿度 70% RH)

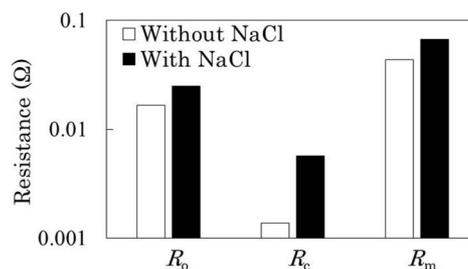


図11 塩粒子の混入が各部抵抗に及ぼす影響

(3) 塩粒子の混入が発電性能に及ぼす影響 カソード供給ガスに塩粒子が混入した場合の発電性能の変化を調べるため、電流密度 0.5 A/cm² 一定条件で発電試験を2時間実施した。図10に塩粒子混入前後のセル電圧を比較した結果を示す。塩粒子の混入によりセル電圧が0.71Vから0.62Vに低下することが認められる。図11は塩粒子の混入前後でEIS計測を行い、 R_0 、 R_c 、並びに R_m の各抵抗値を比較した結果である。塩粒子の混入により全ての抵抗値が増大するが、その中でも R_c の増大が顕著であり、塩粒子混入前の3倍以上に増大している。PEFC性能に及ぼす塩粒子の影響について調べた従来の研究では、ナトリウムイオンが電解質膜のプロトンと置換することによりプロトン伝導性が低下して電解質膜抵抗 R_0 が増大することが報告されている⁽³⁾。また塩化物イオンが白金に吸着し白金触媒を溶出させることにより有効触媒面積が減少して電荷移動抵抗 R_c が増大すること⁽⁴⁾、塩化ナトリウムが電極触媒層・ガス拡散層の撥水性を低下させることにより物質移動抵抗 R_m が増大すること⁽⁵⁾などが示されている。本研究でもこれらの原因により R_0 、 R_c 、並びに R_m の各抵抗値が増大したものと考えられるが、塩粒子により発電性能低下が現れる初期段階では、電荷移動抵抗の増大が顕著であることがわかった。塩粒子の混入による発電性能の低下を確認した後、塩粒子の供給を停止し純水加湿方式に切り替えて12時間の回復運転を行い、セル電圧と各部抵抗値の経時変化を調べた。回復運転を開始して6時間経過後に R_0 、 R_c 、並びに R_m の全ての値が減少してセル電圧が0.69Vまで増大した。塩粒子の混入前のセル電圧(0.71V)の97%まで回復することがわかった。

以上の結果から、カソード空気に塩粒子が混入すると R_0 、 R_c 、並びに R_m の全ての抵抗値が増大するが、その中でも R_c の増大が顕著であり、 R_c の変化に着目することにより塩粒子による性能低下を早期に検出できる。その後、純水加湿方式による運転を行うことにより初期のセル電圧と同程度まで発電性能が回復できることがわかった。

< 引用文献 >

- 日本船舶輸出組合・ジャパンシップセンター・日本船舶技術研究協会，欧州における水素燃料電池船に関する調査，2015，1-26.
- 日船舶技術研究協会，海上・港湾・航空技術研究所，ヤンマー，水素燃料電池船の安全ガイドライン策定のための調査検討報告書，2018，1-137.
- M. S. Mikkola, T. Rockward, F. A. Uribe, B. S. Pivovar, The Effect of NaCl in the Cathode Air Stream on PEMFC Performance, Fuel Cells, Vol.7, No.2, 2007, 153-158.
- 大野，今村，空気中に含まれる海塩粒子成分が固体高分子形燃料電池の電解質劣化に及ぼす影響，自動車研究，32巻，7号，2010，353-358.
- A. Franco, Polymer Electrolyte Fuel cells, 2013, 458-459, Pan Stanford Publishing Pte. Ltd..

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1. 著者名 北原辰巳, 中島裕典 | 4. 巻 54-2 |
| 2. 論文標題 船用固体高分子形燃料電池の耐ドライアップ性と耐フラッキング性の向上に関する研究 | 5. 発行年 2019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 160-167 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5988/jime.54.160 | 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 中島裕典, 北原辰巳 | 4. 巻 54-2 |
| 2. 論文標題 メタン燃料を用いた船用固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の劣化評価 | 5. 発行年 2019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 168-173 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5988/jime.54.168 | 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 壇健太, 中島裕典, 北原辰巳 | 4. 巻 54-2 |
| 2. 論文標題 船用燃料電池の信頼性向上のためのインピーダンス異常診断法 | 5. 発行年 2019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 287-297 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5988/jime.54.287 | 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 Hironori Nakajima, Tatsumi Kitahara, Kenta Dan | 4. 巻 92-8 |
| 2. 論文標題 Electrochemical Impedance Diagnosis of Abnormal Operational Condition for Reliability of Polymer Electrolyte Fuel Cells in Marine Power Application -Sea Salt Contamination- | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 ECS Transactions | 6. 最初と最後の頁 341-349 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/09208.0341ecst | 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 Kohei Sasaki, Hironori Nakajima, Tatsumi Kitahara | 4. 巻 91-1 |
| 2. 論文標題 Electrochemical Impedance Spectroscopy Analysis of Carbon Deposition on an Anode-Supported Planar Solid Oxide Fuel Cell in-Situ Assessed By Segmented Electrodes | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 ECS Transactions | 6. 最初と最後の頁 549-554 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/09101.0549ecst | 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 Tatsumi Kitahara, Hironori Nakajima, Kenta Dan | 4. 巻 53-3 |
| 2. 論文標題 Impedance Spectroscopy to Prevent Performance Degradation due to Sea Salt for Marine Polymer Electrolyte Fuel Cells | 5. 発行年 2018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 417-422 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5988/jime.53.417 | 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 Hironori Nakajima, Shunzaburo Murakami, Sou Ikeda, Tatsumi Kitahara | 4. 巻 54-8 |
| 2. 論文標題 Three-Dimensional Flow Channel Arrangements in an Anode-Supported Honeycomb Solid Oxide Fuel Cell | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Heat and Mass Transfer | 6. 最初と最後の頁 2545-2550 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00231-017-2154-9 | 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 Hironori Nakajima, Tatsumi Kitahara | 4. 巻 54-8 |
| 2. 論文標題 Real-Time Electrochemical Impedance Spectroscopy Diagnosis of the Solid Oxide Fuel Cell for Marine Power Applications | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Heat and Mass Transfer | 6. 最初と最後の頁 2551-2558 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00231-017-2215-0 | 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 Ozgur Aydin, Tatsuhiro Ochiai, Hironori Nakajima, Tatsumi Kitahara, Kohei Ito, Yusuke Ogura, Jun Shimano | 4. 巻 43 |
| 2. 論文標題 Mass Transport Limitation in Inlet Periphery of Fuel Cells: Studied on a Planar Solid Oxide Fuel Cell | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy | 6. 最初と最後の頁 17420-17430 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijhydene.2018.07.030 | 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 Tatsumi Kitahara, Hironori Nakajima | 4. 巻 86-13 |
| 2. 論文標題 Gas Diffusion Media and NaCl Contamination of Polymer Electrolyte Fuel Cells for Marine Applications | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 ECS Transactions | 6. 最初と最後の頁 271-279 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/08613.0271ecst | 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 Hironori Nakajima, Tatsumi Kitahara, Eisaku Tsuda | 4. 巻 78-1 |
| 2. 論文標題 Segmented Electrode Analysis of an Anode-Supported Planar Solid Oxide Fuel Cell for Diagnosis of Marine Power Applications | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 ECS Transactions | 6. 最初と最後の頁 2109-2113 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/07801.2109ecst | 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 Ozgur Aydin, Hironori Nakajima, Tatsumi Kitahara | 4. 巻 78-1 |
| 2. 論文標題 In Situ Measured Spatial Temperature Variations for Improving Reliability of Numerical SOFC Tools | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 ECS Transactions | 6. 最初と最後の頁 2191-2201 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/07801.2191ecst | 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 Tatsuhiko Ochiai, Hironori Nakajima, Takahiro Karimata, Tatsumi Kitahara, Kohei Ito | 4. 巻 78-1 |
| 2. 論文標題 In-situ Analysis of the In-plane Current Distribution Difference between Electrolyte-Supported Planar Solid Oxide Fuel Cells by Segmental Electrodes | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 ECS Transactions | 6. 最初と最後の頁 2203-2209 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/07801.2203ecst | 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 - |

〔学会発表〕 計16件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件)

| |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Tatsumi Kitahara, Hironori Nakajima |
| 2. 発表標題 Diagnosis of Abnormal Operational Conditions and Performance Enhancement of Marine Fuel Cells |
| 3. 学会等名 The 29th CIMAC World Congress on Combustion Engines Technology for Ship Propulsion, Power Generation, Rail Traction (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 山本恵一, 大戸貴司, 北原辰巳, 中島裕典 |
| 2. 発表標題 マルチシミュレーションによる水素・燃料電池の研究開発 |
| 3. 学会等名 応用物理学会関西支部2019年度第1回支部講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Hironori Nakajima, Tatsumi kitahara, Kenta Dan |
| 2. 発表標題 Electrochemical Impedance Diagnosis of Abnormal Operational Condition for Reliability of Polymer Electrolyte Fuel Cells in Marine Power Application -Sea Salt Contamination- |
| 3. 学会等名 The 236th ECS Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Kohei Sasaki, Hironori Nakajima, Tatsumi Kitahara |
| 2. 発表標題 Electrochemical Impedance Spectroscopy Analysis of Carbon Deposition on an Anode-Supported Planar Solid Oxide Fuel Cell in-Situ Assessed By Segmented Electrodes |
| 3. 学会等名 The 236th ECS Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 笹木康平, 中島裕典, 北原辰巳 |
| 2. 発表標題 分割電極によるアノード支持平板型SOFCの乾燥メタン直接供給加速劣化評価 |
| 3. 学会等名 第28回SOFC研究発表会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-------------------------------------------|
| 1. 発表者名 陳鼎豊, 中島裕典, 北原辰巳, 伊藤衛平 |
| 2. 発表標題 ポアネットワークモデルによるPEFCマイクロポーラス層の構築 |
| 3. 学会等名 第23回動力・エネルギー技術シンポジウム |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Tatsumi Kitahara, Hironori Nakajima |
| 2. 発表標題 Gas Diffusion Media and NaCl Contamination of Polymer Electrolyte Fuel Cells for Marine Applications |
| 3. 学会等名 AiMES 2018 Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|------------------------------------------|
| 1. 発表者名 北原辰巳, 中島裕典 |
| 2. 発表標題 船用固体高分子形燃料電池の耐フラディング性向上に関する研究 |
| 3. 学会等名 第88回日本マリンエンジニアリング学術講演会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|-------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 中島裕典, 北原辰巳, 笹木康平 |
| 2. 発表標題 メタン燃料を用いた平板型固体酸化物形燃料電池の面方向電流・劣化分布の解析 |
| 3. 学会等名 第88回日本マリンエンジニアリング学術講演会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|-----------------------------------------------|
| 1. 発表者名 陳鼎豊, 中島裕典, 北原辰巳, 伊藤衛平 |
| 2. 発表標題 ポアネットワークモデルによるPEFCマイクロポーラス層の物質輸送評価 |
| 3. 学会等名 第59回電池討論会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|----------------------------------------|
| 1. 発表者名 山本恵一, 大戸貴司, 保岡悠, 北原辰巳, 中島裕典 |
| 2. 発表標題 燃料電池水挙動シミュレーションの技術構築とその検証 |
| 3. 学会等名 第59回電池討論会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Hironori Nakajima, Tatsumi Kitahara, Eisaku Tsuda |
| 2. 発表標題 Segmented Electrode Analysis of an Anode-Supported Planar Solid Oxide Fuel Cell for Diagnosis of Marine Power Applications |
| 3. 学会等名 The 15th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Ozgur Aydin, Hironori Nakajima, Tatsumi Kitahara |
| 2. 発表標題 In Situ Measured Spatial Temperature Variations for Improving Reliability of Numerical SOFC Tools |
| 3. 学会等名 The 15th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Tatsuhiko Ochiai, Hironori Nakajima, Takahiro Karimata, Tatsumi Kitahara, Kohei Ito |
| 2. 発表標題 In-situ Analysis of the In-plane Current Distribution Difference between Electrolyte-Supported Planar Solid Oxide Fuel Cells by Segmental Electrodes |
| 3. 学会等名 The 15th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 壇健太, 北原辰巳, 中島裕典 |
| 2. 発表標題 船用固体高分子形燃料電池の異常診断に関する研究 |
| 3. 学会等名 第87回日本マリンエンジニアリング学術講演会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|-------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 中島裕典, 北原辰巳, 津田英作 |
| 2. 発表標題 船用固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の電流分布および温度分布直接計測 |
| 3. 学会等名 第87回日本マリンエンジニアリング学術講演会 |
| 4. 発表年 2017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 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|