

令和 6 年 5 月 23 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01254

研究課題名（和文）PEM燃料電池の高出力化のためのマルチスケール水・酸素輸送促進

研究課題名（英文）Multiscale Transport Enhancement of Water and Oxygen for High Power Output PEM Fuel Cells

研究代表者

田部 豊 (Tabe, Yutaka)

北海道大学・工学研究院・教授

研究者番号：80374578

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：固体高分子形燃料電池内のナノからサブミリスケールまで、触媒層からガス拡散層までの一貫したマルチスケール水・酸素輸送促進を実現する電池構造、運転手法を明らかにすることを目的とし、酸素輸送抵抗の分離手法の確立およびそれぞれのスケールの輸送抵抗低減のための検討を行った。これらより、マルチスケールの滞留水がそれぞれ酸素輸送損失に及ぼす影響を評価する分離手法の有効性を示すとともに、各部材内において凝縮水と酸素の輸送促進が可能な電池構造を提示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電池内のマルチスケール水輸送の相互影響を考慮した上での電池性能低下の支配因子解析は未だ十分に行われておらず、凝縮水影響を考慮した酸素輸送損失分離は、微細多孔体内の水・酸素輸送促進のブレークスルーに貢献できる。また、酸素輸送抵抗の大幅低減により少ない触媒量でも高発電性能を維持できる触媒層構造は、今後開発される新たな触媒に対しても有効な方策であり、今後の燃料電池の研究発展、普及促進に寄与する知見となる。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study is to elucidate the cell structure and operating conditions that can achieve consistent multiscale liquid water and oxygen transport from the nano-to sub-millimeter scale, catalyst layer to gas diffusion layer of PEFCs. A method was developed to separate the oxygen transport resistance increased by water accumulation into components depending on scale of the pores, investigating the methods to decrease the resistance components. The results showed effectiveness of the separation method to evaluate the effects of multiscale accumulated water respectively on the loss of each oxygen transport, and presented the cell structure that can enhance the liquid water and oxygen transport in each component.

研究分野：エネルギー変換工学

キーワード：熱工学 燃料電池

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

固体高分子形 (PEM) 燃料電池は、将来の持続可能なエネルギーシステムでの中心的なエネルギー変換機器として期待されている。既に自動車、分散型コジェネレーションシステムなどの用途で実用化が始まっているが、本格普及のためには大幅な低コスト化が必要不可欠である。そのために、さらなる大幅な高出力化が必須であり、電池内の生成水の管理と酸素輸送促進の高度化が重要となる。低コスト化のための低白金 (触媒) 化に対して、この課題はますます深刻となる。しかし、急速に発展している世界的な研究開発でも未だ問題解決は困難であり、その原因は現象が複雑な微細多孔体内であることに加え、相互に影響するナノからサブミリスケールまでの現象の一貫した解析が不十分であると考えられる。

発電時にナノスケールの燃料電池触媒層内で発電反応により生成された水は、サブマイクロスケールのマイクロポラス層 (MPL) 内、数十マイクロスケールの空孔を有するガス拡散層 (GDL) 内を移動し、サブミリスケールのガス流路へ排出される。反対に、ガス流路に供給される空気中の酸素は、これらの層を介して触媒層 (CL) へと輸送される。高出力運転を試みた際には多量の凝縮水が電池内に生成、滞留しやすくなり、この滞留水は触媒層への酸素輸送を阻害し性能低下、出力低下を引き起こす。そのため、電池内のマルチスケール水・酸素輸送促進が重要となる。申請者はこれまでに、それぞれのスケールの基礎的な水・酸素輸送機構について、多くの重要な知見を発信してきた。本研究ではこれらを拡張した検討を行う。

2. 研究の目的

電池内でナノからサブミリスケールまでの一貫したマルチスケール水・酸素輸送促進を実現する電池構造、運転手法を明らかにするために、以下を本研究の目的とする。

- (1) 様々なスケールの凝縮水が酸素輸送に及ぼす影響を定量的に分離して評価可能にし、相互に影響し合う水・酸素輸送のマルチスケール管理手法を検討する。また、触媒層内、その近傍、ガス拡散層内の滞留水を効率的にガス流路、電池外へ排出できる構造を明らかにする。
- (2) 触媒層内の種々の酸素輸送抵抗の支配因子を実験的に解明し、極限まで酸素輸送損失を低減できる触媒層構造を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) GDL、MPL 内の輸送現象評価 本研究では反応面積が 1.8 cm^2 ($0.9 \text{ cm} \times 2.0 \text{ cm}$) の単セルを用いた⁽¹⁾。ガス流路は、並行ストレート型のリブ・流路幅を 1.0 mm と 0.3 mm の二種類とし、日本ゴア社製の CCM (Catalyst coated membrane) と SGL 社製の MPL 付き GDL (28BC) を使用した。供給ガスはカソード側を酸素と窒素の混合ガス (酸素濃度 $1 \sim 21\%$)、アノード側を純水素とし、 4000 SCCM および 500 SCCM の大流量でそれぞれ供給した。これは、流路の濃度分布、滞留水影響を排除するためである。供給ガスの相対湿度は 81% とし、酸素輸送抵抗分離のために背圧を 110 、 140 、 180 kPa に変化させた。

また、酸素輸送抵抗の分離境界面である MPL/CL 界面周辺に注目してセル内部の滞留水分分布を観察し、考察を行った⁽¹⁾。セル内部の滞留水分分布観察には凍結固定化法による Cryo-SEM 断面観察を用いた。限界電流密度付近で 1 時間運転した後セルを液体窒素内へ投入し、内部のマルチスケールの滞留水を瞬間凍結させた。その後、恒温槽内でセルを解体した後液体窒素内で観察用試料を作製し、Cryo-SEM によって MPL 近傍の断面を観察した。

(2) 触媒層内の輸送現象評価 触媒層 (CL) 内輸送現象の評価では、CCM を転写法を用いて自作した⁽²⁾。まず白金担持カーボンとアイオノマーとして高分子電解質であるナフィオン分散液、溶媒として水およびエタノールをボールミルを用いて 450 rpm で攪拌して触媒インクを作製し、被塗装体であるテフロンシートに塗布した後、室温で乾燥させた。これを $1.0 \times 5.0 \text{ cm}^2$ に切り取り、ナフィオン膜 (R-211) に 150 、 10 分間のホットプレスで熱圧着させて CCM を作製した。本研究では、田中貴金属工業社製の白金担持密度 46.9% の白金担持カーボン (TEC10E50E) を使用し、アイオノマーとカーボンの重量比 (I/C) 0.8 、 1.0 、 1.2 で厚みが異なる触媒層を作製した。アノード側触媒層は I/C 0.8 、白金量を約 0.20 mg/cm^2 とした。

作製した CCM を MPL 付き GDL に挟んで単セルに組み込み、性能測定および凝縮水の影響を受けない条件下で酸素輸送抵抗分離を行った。凝縮水影響を小さくするために、セル温度 80 、カソード側ガスは窒素と酸素の混合で酸素濃度 1.0% 、 1.5% 、 2.0% と変化させ流量は 2000 SCCM とした。また、相対湿度を 80% とし、背圧を 110 、 130 、 150 、 170 kPa に変化させた。アノード側ガスは純水素 100 SCCM 、相対湿度 80% 、出口圧力を大気圧とした。

さらに、低白金 CL において支配的となるアイオノマーを介した酸素輸送抵抗を排除するために、アイオノマーを用いない全く新しい CL 構造を提案、作製し、評価を行った⁽³⁾。アイオノマーに代わるプロトン輸送を期待して担持カーボンにはグラフェンを使用し、アイオノマーフリーの極薄の低白金触媒層を ES 法 (エレクトロスプレー法) を用いて作製した。

4. 研究成果

(1) GDL、MPL 内の輸送現象評価 温度 35、50、80 で取得した IV 性能とセル抵抗⁽¹⁾を図 1 に示す。これより、温度が低いほど低い電流密度までしか運転できないことがわかる。セル抵抗にほぼ差異がないことから、この原因はセル内の滞留水により酸素供給が阻害されて性能低下するフラッディングの影響と推察できる。また、リブ・流路幅が 1.0 mm から 0.3 mm に狭くなると性能が著しく改善されていることもわかる。狭いリブがリブ下に凝縮水が滞留しづらくしたり、リブ下への酸素供給を円滑にしたりすることが予想されるが、支配的な性能改善要因の特定は IV 測定だけでは困難である。そこで、凝縮水の影響を考慮した酸素輸送抵抗分離手法を開発し、その有効性を確認した。

酸素輸送抵抗を測定するために、酸素濃度を 1%、2%、4%、6%、8%、12%、15%、18%、21% の 9 条件で限界電流密度を測定した⁽¹⁾。また、本研究では CL 内外の空間スケールの違いから凝縮水の影響を考慮し、測定した酸素輸送抵抗を CL 内外に分離した。カソード側の GDL から CL 内の反応場に至る酸素・水蒸気の拡散現象は、分子同士の衝突によって生じる分子拡散と、分子と壁面の衝突によって生じるクヌーセン拡散およびアイオノマーを介した拡散の 3 つに分類できる。空孔径の比較的大きな GDL や MPL 内では分子拡散が支配的であると考えられ、分子拡散は圧力に依存する。一方、空孔径の小さな CL 内ではクヌーセン拡散とアイオノマーを介した拡散が支配的となり、これらの拡散は圧力に依存しない。そこで一般的な酸素輸送抵抗分離手法では、限界電流密度から計算される全酸素輸送抵抗を圧力に依存する項と圧力に依存しない項の和とし、圧力依存性を考慮して分離する。しかし、この方法はセル内部の凝縮水の影響が無視でき圧力に依存する抵抗と依存しない抵抗が運転条件によらず一定であることを前提としており、各輸送抵抗要素が凝縮水により増加してしまうフラッディング条件下では適用できない。そこで本研究では、凝縮水の影響を考慮した酸素輸送抵抗分離手法を提案した。圧力に依存しない CL 内抵抗には、水の生成速度が支配的であり水の生成速度は電流密度に比例するため、電流密度によって滞留水分布、酸素輸送抵抗への影響が決定されると仮定した。一方、圧力に依存する GDL、MPL 内抵抗においては水蒸気の拡散も考慮し、水の生成速度と水蒸気拡散係数の比によって滞留水影響が決定されると仮定した。ここで、水蒸気拡散係数は全圧に反比例するため、電流密度と全圧の積が滞留水影響の指標となる。これらより、電流密度が同じ場合は圧力に依存しない抵抗が同じ、電流密度と全圧の積が同じ場合は圧力に依存する抵抗が同じになると仮定した。

それぞれの指標の関数として酸素輸送抵抗を分離した酸素輸送抵抗⁽¹⁾を図 2 に示す。リブ・流路幅が 1.0 mm の場合である。圧力に依存する抵抗 (図 2 (a)) と依存しない抵抗 (図 2 (b)) はそれぞれ CL 外と CL 内の酸素輸送抵抗に対応する。まず圧力に依存する抵抗に着目すると、80 ではほぼ一定となっており、温度が低いほど酸素の拡散係数の低下の影響で低電流密度から抵抗が大きくなることに加え、高電流密度ほど抵抗が増大していくことがわかる。これは、主に GDL、MPL 内の滞留水の影響であり、温度が低いほど抵抗の増大がはじまる電流密度が低くなる

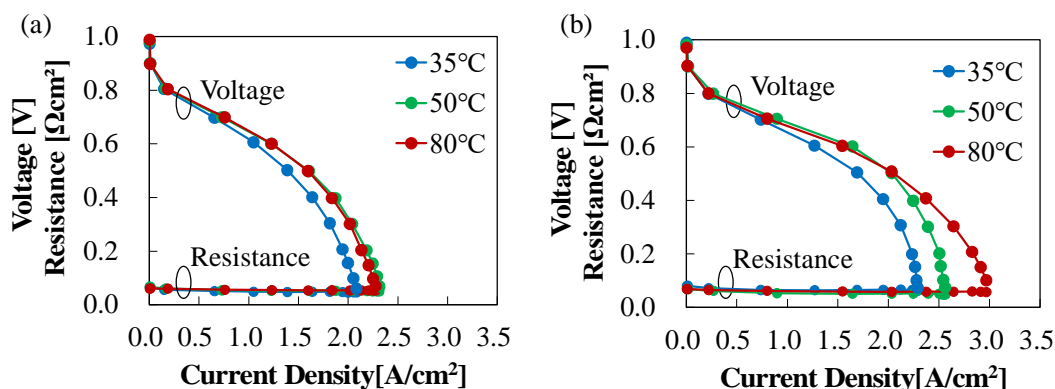


図 1 IV 性能とセル抵抗、リブ・流路幅 (a) 1.0 mm、(b) 0.3 mm⁽¹⁾

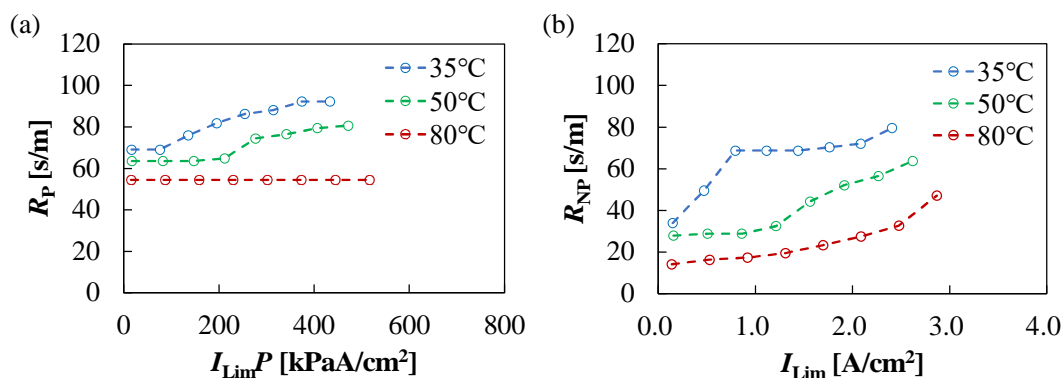


図 2 リブ・流路幅 1.0 mm の (a) 圧力に依存する、(b) 圧力に依存しない酸素輸送抵抗⁽¹⁾

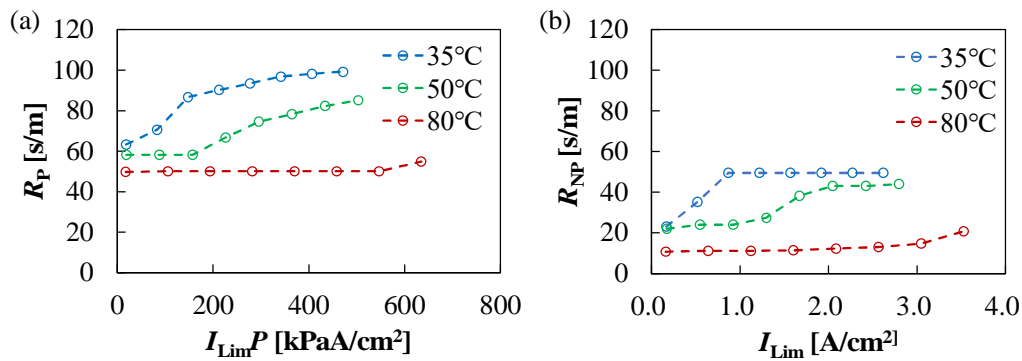


図3 リブ・流路幅 0.3 mm の(a) 圧力に依存する、(b) 圧力に依存しない酸素輸送抵抗⁽¹⁾

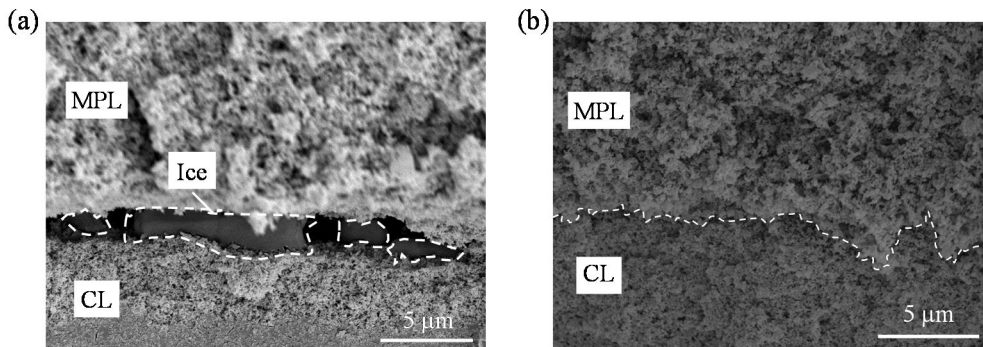


図4 MPL/CL 界面のクライオセム観察結果、リブ・流路幅 (a) 1.0 mm、(b) 0.3 mm⁽¹⁾

こともわかる。圧力に依存しない抵抗では(図2(b))、同様な挙動を示しているものの80の場合でも抵抗が徐々に増大していくことがわかる。また、低電流密度からの滞留水による増加量は圧力に依存しない抵抗のほうが大きく、触媒層内ほど滞留水の影響を受けやすいことが本分離によってはじめて明らかになった。

次にリブ・流路幅が0.3 mmの場合の分離結果⁽¹⁾を図3に示す。リブ・流路幅が1.0 mmの場合(図2)と比較すると、圧力に依存する酸素輸送抵抗は増加量を僅かに抑えられる程度であり、リブ下のGDL内に凝縮水が滞留しづらくなる効果はほぼ見られていない(ガス流路の滞留水の効果が小さい条件であることに注意が必要)。一方、圧力に依存しない酸素輸送抵抗の増加量は0.3 mmの場合に大幅に抑制されており、これが図1のIV性能が改善された主な要因であることがわかった。

図2(b)と図3(b)の80の条件の比較から、リブ・流路幅が1.0 mmでは圧力に依存しない抵抗が高電流密度になるほど徐々に増大することに対し、0.3 mmではほぼ一定に保たれていることもわかる。この原因を調べるために、凍結固定化法によるセル内のガス流路下のMPL近傍の滞留水分分布を観察した結果⁽¹⁾が図4である。温度80、圧力180 kPa、酸素濃度21%であり、電流密度はリブ・流路幅が1.0 mmの場合に2.8 A/cm²、0.3 mmの場合に3.5 A/cm²とした(運転できる最高の電流密度(図2、3(b)の右端の点)に対応)。リブ・流路幅が1.0 mmの場合(図4(a))、CLとMPLの界面に氷層が観察され、運転時には界面に凝縮水が滞留していたと考えられる。一方、0.3 mmの場合は界面の氷は観察されなかった。これより、この界面の凝縮水が圧力に依存しないCL内の酸素輸送抵抗の増加に影響していると推察される。本研究で使用したMPL付きGDLの厚さは約235 μm、CLの厚さは約10 μmであり、MPL/CL界面に凝縮水が滞留すると供給される酸素は滞留水を回り込むように輸送されるためGDLとMPL内、CL内での酸素輸送距離はともに増加するが、それぞれの厚さを考慮すると厚さの薄いCLの方が大きく影響を受けたと予想される⁽¹⁾。また、界面凝縮水によりCL内で凝縮水が滞留しやすくなっていることも考えられる。この界面凝縮水は広い幅の流路下でMPLとCLの界面密着性が悪化し滞留・成長したと予想でき、酸素輸送抵抗の増加を抑制するためにはMPL/CL界面の密着性を向上させるセル構造が重要であるとともに、界面から凝縮水を積極的に排出するMPL構造も有効であることが明らかになった。

本研究では、先行研究で排水性向上の有効性が示されているGDLの流路側表面への親水

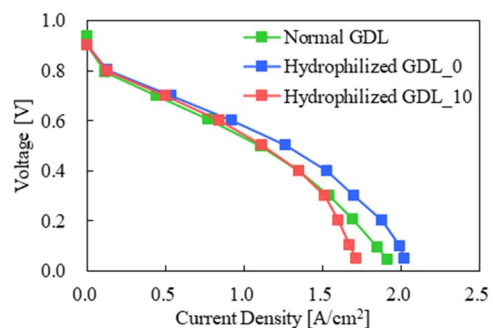


図5 GDLの表面親水化の効果⁽⁴⁾

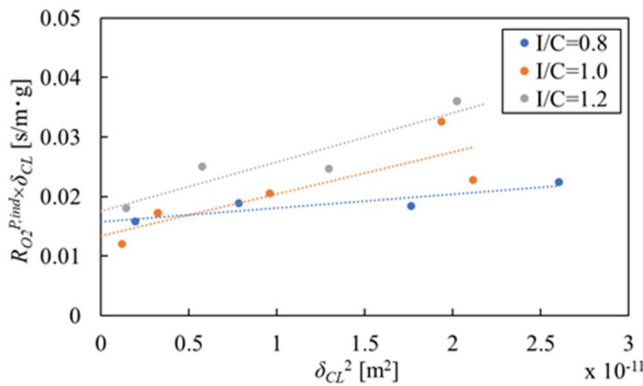


図6 触媒層厚さと酸素輸送抵抗の関係⁽²⁾

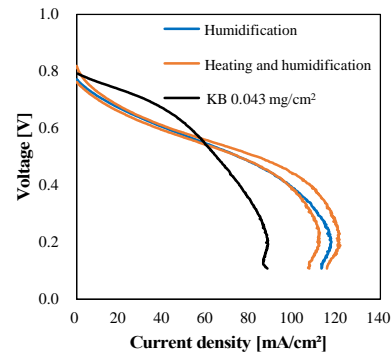


図7 新構造低白金 CL の IV 性能⁽³⁾

処理についてもセルの発電性能に及ぼす影響を調べた⁽⁴⁾。GDL 内のリブ下からガス流路への排水性向上である。親水化は、ナフィオン分散液を複数の組成比で塗布し、乾燥させることにより行った。2-プロパノール濃度 0%の分散液で作製した親水化 GDL_0、濃度 10%の分散液で作製した親水化 GDL_10 を親水化処理なしの通常の GDL を用いた場合と IV 性能を比較した結果⁽⁴⁾を図 5 に示す。GDL_0 の表面は接触角測定で濡れ性の変化は見られなかったが、IV 性能を改善させることができた。これは、接触角測定では観察できないほどの弱親水化が GDL 内の凝縮水の排出促進に有効であったためと推察される。一方、濡れ性の向上が接触角測定で確認された GDL_10 では性能が通常の GDL よりを下回ってしまっている。親水化が強すぎると親水層が凝縮水を保持する効果のほうが排出促進効果よりも大きくなってしまふことが原因と考えられ、適度な親水化が凝縮水排水制御に重要であることが明らかになった。

(2) 触媒層内の輸送現象評価 I/C 0.8、1.0、1.2 の CL を用い、CL 内の酸素輸送抵抗に相当する圧力に依存しない抵抗の厚み依存性を調べた結果⁽²⁾を図 6 に示す。参考文献(2)に示す通り、このグラフの傾きが厚さに依存する空孔内拡散抵抗を表し、切片がアイオノマーを介した抵抗に触媒層厚さ δ_{CL} を乗じた値を表している。I/C が低いほど傾きが小さく、空孔内の拡散抵抗が小さいことがわかる。窒素物理吸着法による細孔径分布から空隙率を算出した値は I/C 0.8、1.0、1.2 の順に 0.56、0.42、0.40 であり、I/C が低いほど空隙率が高く、空孔内拡散抵抗が小さくなる解釈できる。また、本実験により CL 内の有効拡散係数を定量的に推定可能である。また、I/C 1.0 の場合の切片が最も小さくなっており、アイオノマーを介した抵抗が最小、すなわち白金表面積を最も有効に利用できていることが示唆される。I/C 1.0 と 1.2 の測定結果のばらつきについてはさらなる改善が必要であるが、この評価により I/C が空孔内拡散抵抗とアイオノマーを介した抵抗に及ぼす影響を白金使用量も考慮して理解することが可能になる。例えば、白金使用量の多い厚い触媒層では I/C 0.8 の酸素輸送抵抗が最も小さくなっている。一方、白金使用量の少ない薄い触媒層(図 6 の左側)では I/C 1.0 の場合の酸素輸送抵抗が小さくなっている。これは、薄い触媒層では空孔内拡散抵抗よりもアイオノマーを介した抵抗のほうが支配的となり、I/C 1.0 の白金表面積を有効に利用できる効果が上回ったためと考えられる。このように、触媒層内の酸素輸送抵抗要素の寄与度を明らかにすることにより、白金使用量に応じた適切な I/C 等の CL 構造を検討することが可能になった。

低白金時の薄い CL 内で支配的となるアイオノマーを介した抵抗を低減するために開発したアイオノマーフリー CL の IV 性能を従来 CL と比較した結果⁽³⁾が図 7 である。白金使用量は 0.04 mg/cm²とした。比較データとしたケッチェンブラック (KB) CL の白金使用量は 0.043 mg/cm²であり、I/C は 0.8 とした。本研究では、グラフェンへの白金担持過程および ES 法による CL 作製過程の湿度条件や温度条件を制御できるようにし、再現性を向上することができた。また、従来のアイオノマーを用いたケッチェンブラック CL よりも高い電流密度までの発電が可能になっており、狙いであった酸素輸送抵抗の低減効果が得られたものと考えている。

<引用文献>

- Y. Iizuka, et al., Component Analysis of Oxygen Transport Resistance Increased due to Water Accumulated in a PEFC, Journal of The Electrochemical Society, 10(5), 2022, 124510
- 中野 湧介ら、PEFC 触媒層の酸素輸送抵抗に及ぼす I/C と白金担持量の影響、熱工学コンファレンス 2022 講演論文集、2022、D113
- 松下 侑樹ら、PEFC アイオノマーフリー触媒層の作製方法と高出力化の検討、熱工学コンファレンス 2023 講演論文集、2023、A214
- 土屋 英之ら、PEFC 高出力化のためのガス拡散層表面の濡れ性設計、第 27 回動力・エネルギー技術シンポジウム講演論文集、2023、C211

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Iizuka Yutaka, Tabe Yutaka, Kitami Yuki, Uemura Suguru	4. 巻 169
2. 論文標題 Component Analysis of Oxygen Transport Resistance Increased due to Water Accumulated in a PEFC	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 124510 ~ 124510
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1149/1945-7111/aca6ab	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 Taba Yutaka, Wakatake Naoyuki, Ishima Yuta, Chikahisa Takemi	4. 巻 168
2. 論文標題 Ice Formation from a Supercooled State and Water Transport through Ionomers during PEFC Cold Startup	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 064502 ~ 064502
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1149/1945-7111/ac035b	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22件（うち招待講演 1件／うち国際学会 6件）

1. 発表者名 榊原 諒、市川 亮輔、植村 豪、田部 豊
2. 発表標題 無水高温型PEFC性能と生成水管理能力に及ぼす流路構造の影響
3. 学会等名 第60回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 市川 亮輔、榊原 諒、植村 豪、田部 豊
2. 発表標題 FC システムシミュレーターによる無水高温型PEFCの性能解析
3. 学会等名 第60回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤井 克裕、植村 豪、田部 豊
2. 発表標題 PEFCにおけるMPLへの大細孔付与が凝縮水分布と酸素輸送抵抗要素に及ぼす影響
3. 学会等名 日本機械学会2023年度年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 土屋 英之、植村 豪、田部 豊
2. 発表標題 PEFC高出力化のためのガス拡散層表面の濡れ性設計
3. 学会等名 第27回動力・エネルギー技術シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田中 雄也、植村 豪、田部 豊
2. 発表標題 親水性繊維を添加したハイブリッドMPLによるPEFC内の排水性向上
3. 学会等名 第27回動力・エネルギー技術シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中野 湧介、植村 豪、田部 豊
2. 発表標題 PEFC触媒層の空孔・アイオノマー酸素輸送抵抗に及ぼすI/Cの影響
3. 学会等名 第27回動力・エネルギー技術シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 R. Ichikawa, R. Sakakibara, S. Uemura, Y. Tabe
2. 発表標題 Performance Analysis of Non-Humidified High-Temperature PEFC by Fuel Cell System Simulator
3. 学会等名 244th ECS (The Electrochemical Society) meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松下 侑樹、岡野 将也、植村 豪、田部 豊
2. 発表標題 PEFC アイオノマーフリー触媒層の作製方法と高出力化の検討
3. 学会等名 日本機械学会熱工学コンファレンス 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 齋藤 秀人、植村 豪、田部 豊
2. 発表標題 触媒層内輸送現象評価に向けたアイオノマーSPR特性の温度・湿度依存性の調査
3. 学会等名 日本機械学会熱工学コンファレンス 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 向井 誠、植村 豪、田部 豊
2. 発表標題 PEFC氷点下起動後の滞留水が電池性能に及ぼす影響と 排出メカニズムの検討
3. 学会等名 日本機械学会熱工学コンファレンス 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡野 将也、中野 湧介、植村 豪、田部 豊
2. 発表標題 エレクトロスプレー法によるPEFC低白金グラフェン触媒層の作製と電池高出力化
3. 学会等名 第59回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤井 克裕、飯塚 友俊、植村 豪、田部 豊
2. 発表標題 PEFCにおけるMPL細孔径分布が凝縮水排出と酸素輸送抵抗要素に及ぼす影響
3. 学会等名 第59回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 向井 誠、植村 豪、田部 豊
2. 発表標題 PEFC 氷点下起動後の出力上昇に及ぼす滞留水の影響
3. 学会等名 第26回動力・エネルギー技術シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Katsuhiko Fujii、Suguru Uemura、Yutaka Tabe
2. 発表標題 Effects of MPL Pore Size Distribution on Components of Oxygen Transport Resistance Increased Due to Water Accumulation in a PEFC
3. 学会等名 242th ECS (The Electrochemical Society) meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masaya Okano, Suguru Uemura, Yutaka Tabe
2. 発表標題 Developing PEFC low-Pt-loading graphene catalyst layer by electrospray method for increasing output power
3. 学会等名 242th ECS (The Electrochemical Society) meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中野 湧介、水野 就、植村 豪、田部 豊
2. 発表標題 PEFC触媒層の酸素輸送抵抗要素に及ぼすI/Cと白金担持量の影響
3. 学会等名 熱工学コンファレンス2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 土屋 英之、植村 豪、田部 豊
2. 発表標題 PEFCガス拡散層表面の親水化による凝縮水排出促進
3. 学会等名 熱工学コンファレンス2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tabe Yutaka, Sakaida Satoshi
2. 発表標題 Analysis of water transport in PEFC gas diffusion layers for improving drainage performance using the lattice Boltzmann simulation and the scale model experiment
3. 学会等名 The 8th Asian Symposium on Computational Heat Transfer and Fluid Flow-2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Iizuka Yutaka, Kitami Yuki, Uemura Suguru, Tabe Yutaka
2. 発表標題 Effects of Condensed Water on Oxygen Transport Resistance Components Separated by the Limiting Current Analysis in PEFC
3. 学会等名 240th ECS (The Electrochemical Society) meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mizuno Shu, Uemura Suguru, Tabe Yutaka
2. 発表標題 Experimental evaluation of PEFC catalyst layer structure to reduce oxygen transport resistances
3. 学会等名 240th ECS (The Electrochemical Society) meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 飯塚友俊、喜多見祐希、植村豪、田部豊
2. 発表標題 PEFC高電流密度運転に伴う凝縮水が酸素輸送抵抗要素に及ぼす影響
3. 学会等名 第58回伝熱シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 水野就、植村豪、田部豊
2. 発表標題 低白金PEFC触媒層における酸素輸送抵抗の低減構造
3. 学会等名 第58回伝熱シンポジウム
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
研究 分担者	植村 豪 (UEMURA Suguru) (70515163)	北海道大学・工学研究院・准教授 (10101)	
研究 分担者	境田 悟志 (SAKAIDA Satoshi) (40816170)	茨城大学・理工学研究科(工学野)・講師 (12101)	

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
---------	---------