

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 23 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289042

研究課題名(和文) 固体高分子形燃料電池口バスト性向上のための高性能ガス拡散層設計指針の構築

研究課題名(英文) Microporous layer coated gas diffusion layer to enhance the performance of a polymer electrolyte fuel cell under both low and high humidity conditions

研究代表者

北原 辰巳 (KITAHARA, TATSUMI)

九州大学・工学(系)研究科(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) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：固体高分子形燃料電池の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方策として、親水層を撥水MPL表面に塗布した親水・撥水複合MPL付き拡散層を考案した。複合MPLを用いると電極触媒層の保湿性が高まり耐ドライアップ性が向上する。複合MPLのPTFE量を20%に設定して撥水性を適度に高めることが耐フラッディング性の向上に重要であることがわかった。さらに複合MPLの撥水MPL部を二層構造にし、PTFE量を親水MPL側で20%、基材側で10%に設定し撥水性に勾配をもたせた三層MPL付き拡散層を適用すると、耐フラッディング性が一段と向上することが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：A hydrophilic and hydrophobic triple microporous layer (MPL) coated GDL was developed to enhance the performance of polymer electrolyte fuel cells (PEFCs) under both low and high humidity conditions. The oxygen transport resistance was measured using the limiting current density of polarization curves to evaluate the ability of the GDL to prevent flooding. A double MPL coated GDL, in which a thin hydrophilic layer is coated on the hydrophobic MPL, is effective to expel excess water from the catalyst layer, which reduces the oxygen transport resistance. The performance is dependent on the hydrophobic intermediate MPL in the double MPL. A triple MPL coated GDL, in which the PTFE content in the hydrophobic MPL in contact with the hydrophilic layer is 20 mass% and that in the MPL in contact with the substrate is 10 mass%, enhances the water vapor permeability, which exhibits much lower oxygen transport resistance than a conventional hydrophobic MPL coated GDL.

研究分野：工学

キーワード：固体高分子形燃料電池 ガス拡散層 マイクロポーラス層 水管理 親水性 撥水性

1. 研究開始当初の背景

固体高分子形燃料電池 (PEFC) の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プロトン伝導性を高めるとともに、電極触媒層の過剰な水分を速やかに排出しフラッドの発生を防止することが重要である。従来の PEFC では加湿器を設け、アノードおよびカソード両極に供給する反応ガスの加湿度を制御している。しかし近年は総合効率向上、並びにコスト低減の方策として、加湿器を設けない簡便な PEFC の開発が強く求められている。PEFC の水管理性を高める方策としてカーボンペーパー基材の表面に撥水性のマイクロポーラス層 (MPL) を塗布する手法が一般に適用されている。しかし従来の撥水 MPL 付き拡散層の場合、耐ドライアップ性と耐フラッド性を向上させるための MPL 設計指針が各々異なっており、耐ドライアップ性を高めた MPL 付き拡散層は耐フラッド性に劣ることが問題である。無加湿運転時においても高電流密度条件下では生成水量の増加によりフラッドの発生を防止することが不可欠であり、耐ドライアップと耐フラッド性の両特性を向上できるロバスト性の高いガス拡散層の開発が重要な研究課題である。

2. 研究の目的

本研究では PEFC の耐ドライアップ性を向上させる方策として、酸化チタンを用いた親水層を撥水 MPL 表面に塗布した親水・撥水複合 MPL 付き拡散層を考案した。複合 MPL 付き拡散層を適用すると、親水層により電極触媒層の保湿性が高まると同時に、親水層とカーボンペーパー基材の間に設けた撥水 MPL により乾燥ガスが親水層の水分を取り去ることを抑制できるため、耐ドライアップ性が高まり PEFC 低加湿 (無加湿) 運転時における発電性能が大幅に向上する。一方、高加湿運転時に複合 MPL 付き拡散層を適用すると、電極触媒層の過剰な水分が排出されやすくなり、耐フラッド性の向上策としても有効であることが期待できる。そこで PEFC 電流-電圧特性における限界電流密度の値から酸素拡散抵抗を求め、耐フラッド性を向上させるための適正な MPL 設計指針について明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 拡散層の細孔径、接触角、空気透過性、並びに水蒸気透過性の測定 拡散層の空気透過試験を下記の方法に従って実施した。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セパレータリブ部における圧縮圧力と同様な 1 MPa の値に設定した。拡散層の直径 5mm の孔から厚さ方向に流れる空気透過量

を測定した。一般に多孔質材の空気透過性の評価にはガーレー試験法が適用されているが、本研究においても同試験法と同様なゲージ圧力 1.23 kPa で乾燥空気を供給した。空気透過量を供給ガス圧力および透過面積で除した透気度 q_a の値から MPL 付き拡散層の空気透過性を評価した。一方 PEFC 発電時の耐フラッド性を考察するうえで、乾燥時のみならず湿潤時の空気透過性を評価することも重要である。そこで透水試験を実施した直後に拡散層の空気透過試験を実施した。透水試験では MPL から基材側へ 30kPa 一定圧力の液水を 30 分間供給した。その後、乾燥空気を圧力 1.23 kPa で供給し空気透過試験を実施した。透水試験直後に測定した透気度 $q_{a,wet}$ を乾燥時に得られた透気度 $q_{a,dry}$ で除した相対空気透過性 k_{air} の値を式(1)から求め、MPL 付き拡散層の細孔の一部に液水が蓄積した条件で空気透過性を評価した。

$$k_{air} = \frac{q_{a,wet}}{q_{a,dry}} \quad (1)$$

拡散層の最大細孔径および平均流量細孔径を下記の方法に従って測定した。まず十分に乾燥させた拡散層を用いて空気透過試験を実施し、空気の供給圧力 P と透過量 Q の関係 (乾き流量曲線) を求めた。次に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 $\gamma=0.0157$ N/m) を細孔中に含浸させた拡散層を用いて濡れ流量曲線を求めた。空気の供給圧力を段階的に増加すると細孔中に充填されたアルコールが徐々に押し出され、空気の透過できる細孔の断面積が増大する。拡散層の細孔断面を直径 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において空気圧力 P 、アルコール表面張力 γ 、並びに接触角 θ の間に式(2)の釣合い関係が成立する。

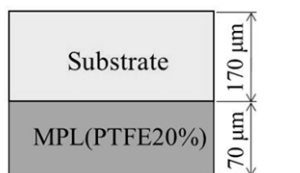
$$d = \frac{4\gamma \cos\theta}{P} \quad (2)$$

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 を算出できる。濡れ流量曲線において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} を求めた。乾き流量曲線の 1/2 流量曲線と濡れ流量曲線の交点における圧力から平均流量細孔径 d_m を求めた。拡散層の空気透過試験および水透過試験の両結果から細孔内面の接触角を測定した。すなわち水透過試験において透水開始の最大細孔圧力を求める。最大細孔径 d_{max} の孔から水が押し出される瞬間の透水圧力 P 、水の表面張力 $\gamma (=0.0720$ N/m) 並びに接触角 θ の間には、式(2)で示した釣合い関係が成立する。空気透過試験および水透過試験で得られる最大細孔径 d_{max} が等しくなると仮定すると、

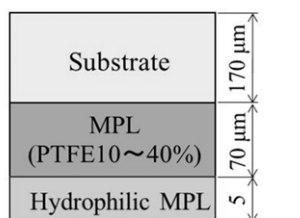
拡散層の細孔内面における接触角 θ を求めることができる。

MPL 付き拡散層の水蒸気透過試験装置を下記の方法で実施した。幅 1 mm、長さ 20 mm、並びに深さ 1 mm の流路を有する 2 枚のステンレス板に MPL 付き拡散層を挟みボルトで締結した。恒温槽を用いて試験装置の温度を 35°C に設定した。MPL 付き拡散層の基材と接する上部流路に乾燥空気を供給し、MPL と接する下部流路に圧力 5 kPa の蒸留水を供給した。MPL 付き拡散層の透水圧は 10 kPa 以上の値であったため、本試験では液水が MPL 細孔内部に浸入した後、水蒸気が拡散層中を透過して上部流路ガスへ排出される。上部流路の入口および出口ガスの相対湿度を湿度センサーで測定し求めた水蒸気透過量を透過面積で除した水蒸気透過率 q_w の値から MPL 付き拡散層の水蒸気透過性を評価した。

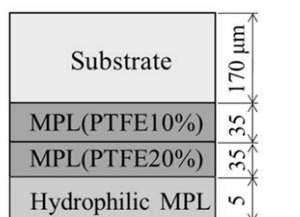
(2) 供試拡散層 全ての PEFC 発電試験において、アノードにはカーボンペーパー基材に MPL を塗布せず四フッ化ポリエチレン (PTFE) を 5mass% 含浸させ撥水処理のみを施した SGL カーボン製 24BA 拡散層 (平均流量細孔径 $d_m=42\mu\text{m}$ 、厚さ $190\mu\text{m}$ 、空隙率 84%) を用いた。一方、カソードには図 1 に示すような撥水 MPL、二層 MPL、並びに三層 MPL 付き拡散層を用いた。撥水 MPL 付き拡散層は、基材 (SGL24BA) 表面に撥水層 (カーボンブラックを 20mass% の PTFE で結着) を塗布して作製した。二層 MPL および三層 MPL 付き拡散層は、撥水 MPL 表面に親水層



(a) Hydrophobic MPL (PTFE20%)



(b) Double MPL (PTFE10~40%)



(c) Triple MPL (PTFE20+10%)

図 1 撥水 MPL, 二層 MPL, 三層 MPL 付き拡散層

(カーボンブラックと 25mass% の酸化チタンを 5mass% のシリコンで結着) を塗布して作製した。二層 MPL 付き拡散層における撥水 MPL 中の PTFE 量を 10~40mass% に変化させた。三層 MPL 付き拡散層の場合は撥水 MPL 中の PTFE 量を親水層側で 20mass%、基材側で 10mass% に設定した。全ての MPL 付き拡散層の場合で撥水 MPL 部の平均流量細孔径 d_m を $3\mu\text{m}$ に設定した。二層および三層 MPL における親水 MPL 部の d_m 値を $2\mu\text{m}$ に設定した。撥水 MPL と二層 MPL 付き拡散層の場合、基材部への侵入を考慮した撥水 MPL 厚さを $70\mu\text{m}$ に設定した。三層 MPL 付き拡散層の場合、基材側の撥水 MPL (PTFE 量 10mass%) 厚さ、並びに親水層側の撥水 MPL (PTFE 量 20mass%) 厚さを各々 $35\mu\text{m}$ に設定し、撥水 MPL 部の合計厚さを $70\mu\text{m}$ に設定した。全ての複合 MPL で親水 MPL 厚さを $5\mu\text{m}$ 、拡散層全体の厚さを $245\mu\text{m}$ に設定した。

図 2 は撥水 MPL と親水 MPL の接触角 θ を測定した結果である。親水 MPL の接触角が 82° であるのに対し、撥水 MPL の接触角は 120° 以上の値になり、PTFE 量の増加に従って透水圧が高く撥水性が強くなる傾向が認められる。

(3) PEFC 性能試験および酸素拡散抵抗の測定

PEFC 性能試験で用いた膜電極接合体 (MEA) は日本ゴア製 PRIMEA 5580 (電解質膜厚さ $30\mu\text{m}$ 、白金量 0.4 mg/cm^2) であり反応面積は 1 cm^2 である。パラレル流路 (幅 0.4 mm 、深さ 0.4 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。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 2 vol%) を流量 1.0 NL/min (0°C 、 0.1 MPa における体積流量) で供給し、出口ガスの背圧を大気圧にした。セパレータに組み込んだ温度調節器によりセル温度を 35°C 一定値に設定した。アノードおよびカソード供給ガス相対湿度を $50\sim 200\text{ RH}$ に変化させ、電子負荷器を用いて PEFC の電流-電圧特性を測定した。電流-電圧特性における限界電流密度 i_{lim} の値を測定し、式(3)より流路から拡散層を通り電極触媒層に至

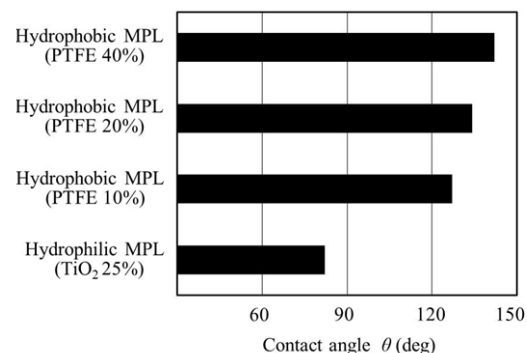


図 2 親水 MPL と撥水 MPL の接触角

るまでの酸素拡散抵抗 R_{O_2} を求めた。

$$R_{O_2} = \frac{4FP_{O_2}}{RTi_{lim}} \quad (3)$$

ここで F はファラデー数 (96,485 C/mol), R は気体定数 (8.314 J/K·mol), 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。

4. 研究成果

(1) 撥水 MPL と二層 MPL 付き拡散層の耐フラッディング性の比較 図3はカソードに基材 (SGL24BA), 撥水 MPL (PTFE 量 20mass%) 並びに二層 MPL (PTFE 量 20mass%) 付き拡散層を用い, アノードおよびカソード供給ガス相対湿度と酸素拡散抵抗 R_{O_2} の関係を調べた結果である。全ての拡散層において, 供給ガス相対湿度を 50 から 90%RH に増大するとフラッディング発生により酸素拡散抵抗が急増するが, 100%RH 以上の高加湿条件下における酸素拡散抵抗はほぼ一定値になることが認められる。この高加湿条件下での酸素拡散抵抗の値はカソード拡散層の種類によって変化しており, 基材のみの場合は電極触媒

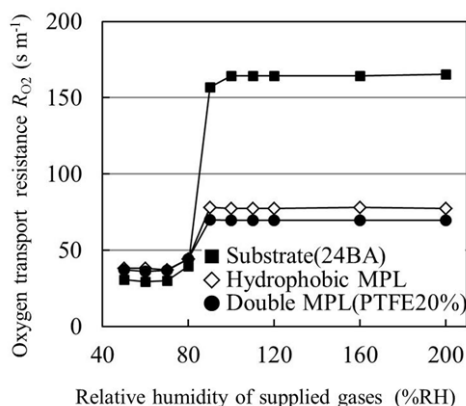


図3 基材, 撥水 MPL, 並びに二層 MPL 付き拡散層の酸素拡散抵抗の比較

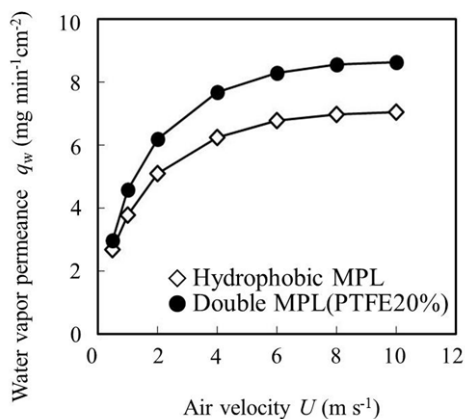


図4 撥水 MPL と二層 MPL 付き拡散層の水蒸気透過性

層および拡散層に液水が蓄積しやすく酸素拡散抵抗が大幅に増大するが, MPL 付拡散層を用いることにより液水の蓄積が抑制されて酸素拡散抵抗が低減することが認められる。撥水 MPL の場合と比較して, 二層 MPL 付き拡散層を用いると酸素拡散抵抗が一段と低くなり耐フラッディング性が向上することがわかった。

撥水 MPL と二層 MPL 付き拡散層の空気透過性に大きな違いは認められなかった。一方, 水蒸気透過試験装置を用いて基材側流路を流れる空気の平均流速 U と水蒸気透過率 q_w の関係を調べた結果を図4に示す。撥水 MPL と二層 MPL のいずれの場合も, 空気流速の増加に従って q_w 値が増大する傾向が認められ, $U=10$ m/s の条件でほぼ一定値になることがわかった。撥水 MPL 付き拡散層と比較して二層 MPL 付き拡散層の水蒸気透過率が高くなることが認められる。撥水 MPL の場合, 撥水性の強い微小な MPL 細孔に液水が侵入することは比較的困難であるが, 親水層を塗布した二層 MPL 付き拡散層の場合, 撥水 MPL への液水導入が促進されて排水性が向上したものと考えられる。従って PEFC 高加湿運転時に二層 MPL 付き拡散層を適用すると電極触媒層の過剰な水分が排出されやすくフラッディング発生が抑制された結果, 酸素拡散抵抗が低下したものと推察できる。

(2) 二層 MPL 付き拡散層の PTFE 量が耐フラッディング性に及ぼす影響 図5は二層 MPL 付き拡散層における撥水 MPL 中の PTFE 量を 10~40mass% に変化させ酸素拡散抵抗 R_{O_2} に及ぼす影響を調べた結果である。供給ガス相対湿度 50~70%RH の条件では, 二層 MPL 付き拡散層の酸素拡散抵抗の値に大きな違いは認められない。しかし相対湿度 90%RH 以上の高加湿条件下における酸素拡散抵抗は, 二層 MPL 付き拡散層の PTFE 量の違いによって大きく変化している。すなわち PTFE 量 10mass% の場合, 酸素拡散抵抗の大幅な低減は期待できないが, PTFE 量を 20mass% まで

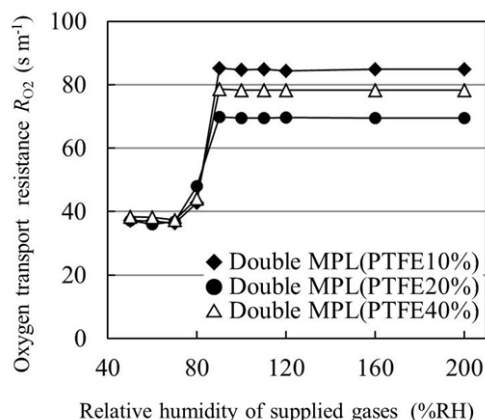


図5 二層 MPL 付き拡散層の PTFE 量が酸素拡散抵抗に及ぼす影響

増大させると酸素拡散抵抗が低下する。しかし PTFE 量を 40 mass% に増加させて撥水性を過大にすると酸素拡散抵抗は逆に増大する傾向が認められる。

図 6(a)は二層 MPL 付き拡散層の PTFE 量の違いが水蒸気透過性 (空気流速 $U=10\text{m/s}$ における水蒸気透過率 q_w) に及ぼす影響を調べた結果である。PTFE 量を 10 から 40mass% に増加すると水蒸気透過性が低下する傾向が認められる。PTFE 量 40mass% の場合は撥水性が過大であるため親水層から撥水 MPL 細孔への水分移動が阻害されて水蒸気透過性が低下する。しかし PTFE 量の減少に従って撥水性が弱くなると撥水 MPL への水分移動が促進され水蒸気透過性が向上したものと考えられる。

図 6(b)は二層 MPL 付き拡散層の PTFE 量の違いが相対空気透過性 k_{air} に及ぼす影響を調べた結果である。透水試験前の十分に乾燥させた二層 MPL 付き拡散層の空気透過性は PTFE 量の違いによらず同様な値であったが、透水試験直後では PTFE 量の違いで MPL 細孔内の含水状態が異なるため k_{air} 値が変化しており、PTFE 量を 40 から 10mass% に減少させると空気透過性が低下する傾向が認められる。PTFE 量 40mass% の場合は撥水 MPL 細孔に液水が蓄積しにくい、撥水性が弱い PTFE 量 10mass% の場合は MPL 細孔内部に液水が蓄積しやすく空気透過性が低下したものと考えられる。

以上の結果から PEFC 高加湿運転時に PTFE 量 40mass% の二層 MPL 付き拡散層を用いると電極触媒層における水分が排出され

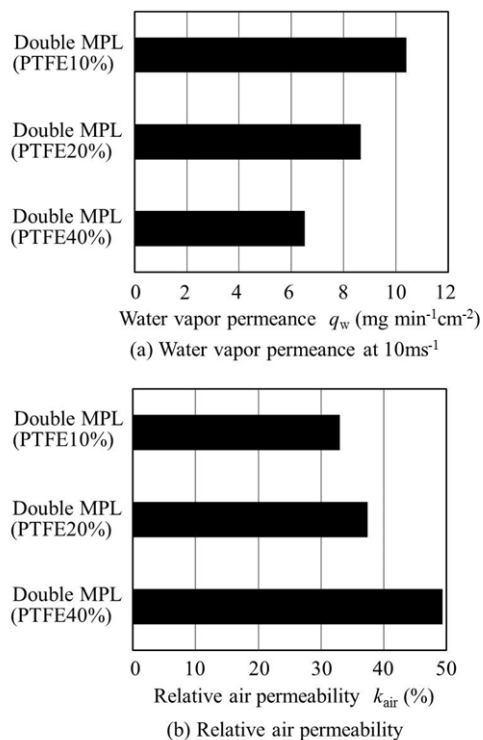


図 6 二層 MPL 付き拡散層の PTFE 量が水蒸気透過性と相対空気透過性に及ぼす影響

にくく酸素拡散抵抗が増大する。一方、PTFE 量を 10mass% に減少して撥水性を過小にした場合、MPL 細孔内部に液水が蓄積しやすくなり酸素拡散抵抗が増大する。これに対して PTFE 量を 20mass% に設定し撥水性を適度に強めた場合、MPL 内部での液水蓄積の度合いが軽減され酸素供給パスが確保されたうえで電極触媒層から基材部への排水性が高まった結果、酸素拡散抵抗が低下したものと推察できる。このように二層 MPL 付き拡散層の場合、撥水 MPL 中の PTFE 量の違いが酸素拡散抵抗に及ぼす影響が顕著であり、PTFE 量を 20mass% に設定することが耐フラディング性を向上させるうえで重要であることがわかった。

(3) 三層 MPL 付き拡散層が耐フラディング性に及ぼす影響 図 7 はカソードに撥水 MPL (PTFE 量 20mass%), 二層 MPL (PTFE 量 20+10mass%) 付き拡散層を用い酸素拡散抵抗 R_{O_2} の値を比較した結果である。供給ガス相対湿度 50~70%RH の条件では酸素拡散抵抗の値に大きな違いは認められないが、相対湿度 100%RH 以上の高加湿条件では撥水 MPL, 二層 MPL, 並びに三層 MPL 付き拡散層の順に酸素拡散抵抗が低下している。二層 MPL と三層 MPL の透水試験前後における空気透過性に大きな違いは認められないが、二層 MPL と比較して、三層 MPL 付き拡散層の水蒸気透過性が一段と高くなることがわかった。三層 MPL 付き拡散層の場合、撥水性の勾配により親水層側の撥水 MPL (PTFE 20%) から基材側の撥水 MPL (PTFE 10%) への水分移動が促進され、基材近傍の MPL に多くの水分が移動した結果、基材側へ排出される水分量が増大したものと推察できる。以上の結果から PEFC 高加湿運転時に三層 MPL 付き拡散層を用いると、MPL 内の酸素供給パスが確保された状態で電極触媒層における排水性が高まるため、耐フラディング性が大幅に向上することがわかった。

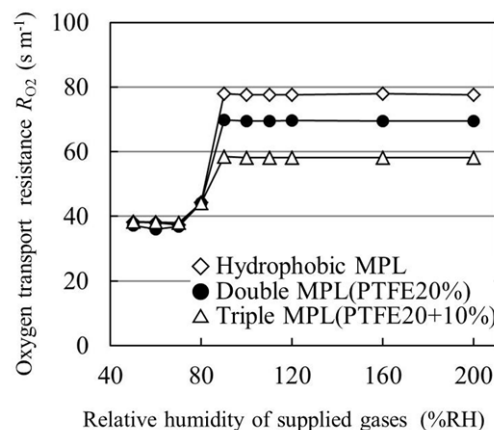


図 7 三層 MPL 付き拡散層が酸素拡散抵抗に及ぼす影響

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計9件)

① T.Kitahara, H. Nakajima, M. Inamoto, M. Morishita, Novel Hydrophilic and Hydrophobic Double Microporous Layer Coated Gas Diffusion Layer to Enhance Performance of Polymer Electrolyte Fuel Cells under both Low and High Humidity, Journal of Power Sources, Vol.234, 2013, pp.129-138.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.01.150>

② T.Kitahara, H.Nakajima, M.Inamoto, K. Shinto, Influence of Triple MPL Coated GDL on the PEFC Performance under Low and High Humidity, ECS Transactions, Vol.58 (1), 2013, pp.1401-1408.

<http://dx.doi.org/10.1149/05801.140>

③ 高園康隼, 清水慧, 中島裕典, 北原辰巳, サーペンタインハイブリッド形流路を有する PEFC に関する研究, 日本機械学会論文集 B 編, 79 巻 808 号, 2013, pp.2774-2785.

<http://dx.doi.org/10.1299/kikaib.79.2774>

④ T.Kitahara, H. Nakajima, M. Inamoto, K. Shinto, Triple Microporous Layer Coated Gas Diffusion Layer for Performance Enhancement of Polymer Electrolyte Fuel Cells under both Low and High Humidity Conditions, Journal of Power Sources, Vol.248, 2014, pp.1256-1263.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.10.066>

⑤ T.Kitahara, H.Nakajima, K. Okamura, Influence of GDL Coated with MPL Containing CNTs on PEFC Performance under Low and High Humidity Conditions, ECS Transactions, Vol.64 (3), 2014, pp.477-483.

<http://dx.doi.org/10.1149/06403.0477>

⑥ 北原辰巳, 中島裕典, 津田和人, PEFC 無加湿運転時の発電性能向上のためのセル内部湿度交換システムに関する研究, 日本機械学会論文集 B 編, 80 巻 820 号, 2014, TEP 0363, pp1-12.

<http://dx.doi./10.1299/transjsme.2014.tep0363>

⑦ T.Kitahara, H.Nakajima, K. Okamura, Gas Diffusion Layer Coated with a Microporous Layer Containing Hydrophilic Carbon Nanotubes for Performance Enhancement of Polymer Electrolyte Fuel Cells under both Low and High Humidity Conditions, Journal of Power Sources, Vol.283, 2015, pp.115-124.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.02.115>

⑧ T.Kitahara, H.Nakajima, K. Okamura, Influence of Hydrophilic and Hydrophobic Triple MPL Coated GDL on the Oxygen Transport Resistance in a PEFC under High Humidity Conditions, ECS Transactions, Vol.69 (17), 2015, pp.1313-1322.

<http://dx.doi.org/10.1149/06917.1313>

⑨ T.Kitahara, H.Nakajima, Microporous Layer coated Gas Diffusion Layer to Reduce Oxygen Transport Resistance in a Polymer Electrolyte Fuel Cell under High Humidity Conditions, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.

41, 2016, pp.9547-9555.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.04.117>

[学会発表] (計10件)

① T.Kitahara, H.Nakajima, M.Inamoto, K. Shinto, Influence of Triple MPL Coated GDL on the PEFC Performance under Low and High Humidity, 224th ECS Meeting, 2013 年 10 月, San Francisco.

② 高木貴大, 北原辰巳, 中島裕典, PEFC ガス拡散層の基本性能評価法に関する研究, 第 54 回電池討論会, 2013 年 10 月, 大阪.

③ 稲本昌興, 北原辰巳, 中島裕典, PEFC 発電性能向上のための三層 MPL 付きガス拡散層に関する研究, 第 54 回電池討論会, 2013 年 10 月, 大阪.

④ T.Kitahara, H.Nakajima, K.Okamura, Influence of GDL Coated with MPL Containing CNTs on PEFC Performance under Low and High Humidity Conditions, 226th ECS Meeting, 2014 年 10 月, Cancun.

⑤ 岡村航育, 北原辰巳, 中島裕典, PEFC 発電性能向上のための CNT 混入 MPL 付きガス拡散層に関する研究, 第 55 回電池討論会, 2014 年 11 月, 京都.

⑥ 進藤孝介, 北原辰巳, 中島裕典, MPL 付きガス拡散層の酸素拡散抵抗に関する研究, 第 55 回電池討論会, 2014 年 11 月, 京都.

⑦ T.Kitahara, H.Nakajima, K.Okamura, Influence of Hydrophilic and Hydrophobic Triple MPL Coated GDL on the Oxygen Transport Resistance in a PEFC under High Humidity Conditions, 228th ECS Meeting, 2015 年 10 月, Phoenix.

⑧ 北原辰巳, 中島裕典, 船用燃料電池のアノードガス再循環による無加湿運転に関する研究, 第 85 回マリンエンジニアリング学術講演会, 2015 年 10 月, 富山.

⑨ 岡村航育, 北原辰巳, 中島裕典, PEFC ガス拡散層の基本性能評価法に関する研究, 第 56 回電池討論会, 2015 年 11 月, 名古屋.

⑩ 石川健太, 北原辰巳, 中島裕典, アノードガス再循環による PEFC 無加湿運転時の発電性能向上のためのガス拡散層に関する研究, 第 56 回電池討論会, 2015 年 11 月, 名古屋.

[図書] (計1件)

① 北原辰巳・他, S&T 出版, MPL 付きガス拡散層の細孔径, 親水・撥水性, 並びに空気・水蒸気透過性が PEFC 性能に及ぼす影響, 2015, pp. 119-128.

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北原 辰巳 (KITAHARA TATSUMI)

九州大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 50234266