

令和 2 年 5 月 20 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03178

研究課題名（和文）PEM形燃料電池の氷点下起動におけるマルチスケール水輸送・凍結分布制御

研究課題名（英文）Control of Multi-Scale Water Transport and Freezing Distribution in Cold Startup of PEM Fuel Cell

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） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：電池内マルチスケール水輸送・凍結機構を明らかにするとともに、耐氷点下起動性ならびに耐久性向上のための電池構造および制御手法を提示することを目的とし、スタック環境を模擬した実験、クライオSEMによる水分分布可視化、格子ボルツマンシミュレーションとスケールモデル実験による複雑多孔構造内の凝縮水挙動解析を行った。これらより、水輸送・凍結現象が氷点下起動特性に及ぼす影響を明らかにし、部材の濡れ性制御等の起動特性向上のための知見も示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

クライオSEMを用いた高い空間分解能での凍結分布の可視化、格子ボルツマンシミュレーションとスケールモデル実験による複雑多孔構造内の凝縮水挙動解析、さらに濡れ性制御による効果の実証も行い、電池内マルチスケール水輸送・凍結機構に関する極めて有意義で独創的な知見を提供した。これらは、燃料電池開発の高度化に寄与できるとともに、今後より高いレベルの耐久性が求められる大型自動車用燃料電池の厳しい課題の解決にも貢献できるものと考えている。

研究成果の概要（英文）：The objectives of this study are to elucidate the mechanism of multiscale water transport and freezing in PEFCs and to present cell structures and control methods for improving the cold startup ability. The cold start experiments simulating actual stack environment with a single cell, visualization of ice distribution in the cell using a cryo-SEM, and analysis of liquid water in complex porous structure using the lattice Boltzmann simulation and the scale model experiment were conducted. The results showed the effects of multiscale water transport and freezing phenomena on the cold start characteristics and new findings for the improving methods such as wettability control.

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、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

固体高分子形 (PEM) 燃料電池は、次世代自動車等の移動動力用電源をはじめとする多くの分野において、高効率でクリーンなエネルギー変換機器として普及が期待されている。PEM 燃料電池の氷点下環境からの起動では、反応により生成する水の電池内での凍結が、発電停止や電池の経年劣化を引き起こす原因となるため、昇温時の水・熱管理が非常に重要となる。現状は、敢えてエネルギー効率を低下させて生成熱を多くする起動や、スタックを構成する数百枚のセル全てを複雑に個別制御するなどの対策により起動こそ可能となっているものの、耐久性向上、コスト削減の課題を解決するためには、電池内の水輸送・凍結機構を解明し、これに基づいた電池構造の開発、制御手法の確立を行うことが必要不可欠である。

氷点下起動において、カソード触媒層内の白金粒子上で反応により生成した水は、ナノスケールの電解質および触媒空隙を通り、サブミクロンの空隙を有する多孔体であるマイクロポーラスレイヤー (MPL) へ移動する。さらに、外側に配置されているサブミリスケールのガス拡散層 (GDL) を介して、ミリスケールのガス供給チャネルへと排出される。このマルチスケール水輸送過程で、温度条件や生成水の状態に対応して凍結が生じるが、氷点下起動時の昇温過程において、水がどのように移動し、どの部位で凍結するかは、未だほとんど解明されていない。通常の 70℃ 程度の運転時においても、水がどの部分で凝縮し、輸送されるかは未だ様々な研究が進められている状況である。

2. 研究の目的

固体高分子形燃料電池の氷点下環境からの起動では、生成される水と熱のバランスにより電池内の水輸送と凍結が支配され、これらの管理が極めて重要となる。この生成水の凍結は、性能低下や経年劣化を引き起こす原因となるが、詳細な挙動や機構は未だ明らかになっていない。本研究の目的は、電池内のマルチスケール水輸送・凍結機構を明らかにするとともに、耐氷点下起動性ならびに耐久性向上のための触媒層・MPL・ガス拡散層構造および制御手法を提示することである。

3. 研究の方法

(1) 氷点下起動実験 本研究で用いた単セルの概略図が図 1 である⁽¹⁾。セルの反応面積は 25cm² (5cm×5cm) であり、樹脂含浸高密度人造黒鉛製のセパレータ (並行ストレート流路：流路幅 0.5mm、深さ 0.3mm、リブ幅 0.5mm) を用いた。CCM (触媒層付き固体高分子膜) は日本ゴア社製の白金担持量がカソード側 0.4mg/cm²、アノード側 0.1mg/cm² の PRIMEA、GDL は SGL 社製の疎水性 MPL 付きの SIGRACET GDL-28BC を用いた。また、実験より有効性が示唆された親水性 MPL 付き GDL もカソード側に使用し、比較した。アノード側には純水素、カソード側には空気を供給し (流量は 0.2A/cm² での運転時でストイキ比 10)、恒温槽内にセルを設置することで周囲環境温度を制御した。さらに、スタック内中央部のセル環境を模擬するため、図 1 に示すように端板と集電板の間に断熱板とラバーヒーターを両極ともに設置した。なお、セル側面からの放熱は断熱材を巻くことで抑えた。温度の測定はカソード側セパレータ内部の中心で行った。

実験手法については、まず触媒層を活性化するために慣らし運転を 5 時間行い、その後セル内部の残留水を除去するために乾き窒素パージを行った。次に高分子膜の含水率を一定にするために加湿窒素を 3 時間流した後、恒温槽を冷却、セル温度が目標温度に達成した後に氷点下起動を行った。発電終了後、セル内部の水分布を観察するために -150℃ の環境で観察可能な Cryo-SEM による断面観察を行った。加湿窒素パージの条件は 35%RH とし、氷点下起動中はドライガスを供給した。助走区間 60 秒で 0.2A/cm² を負荷し、セル電圧、セル抵抗、セル温度の時間変化を測定した。

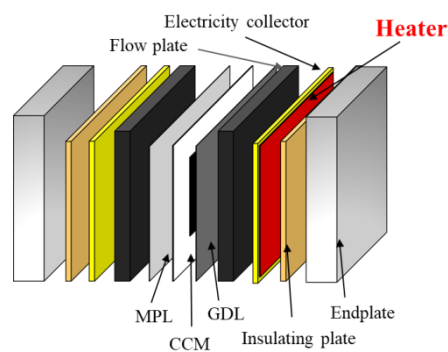


図 1 氷点下起動実験用の単セル構造

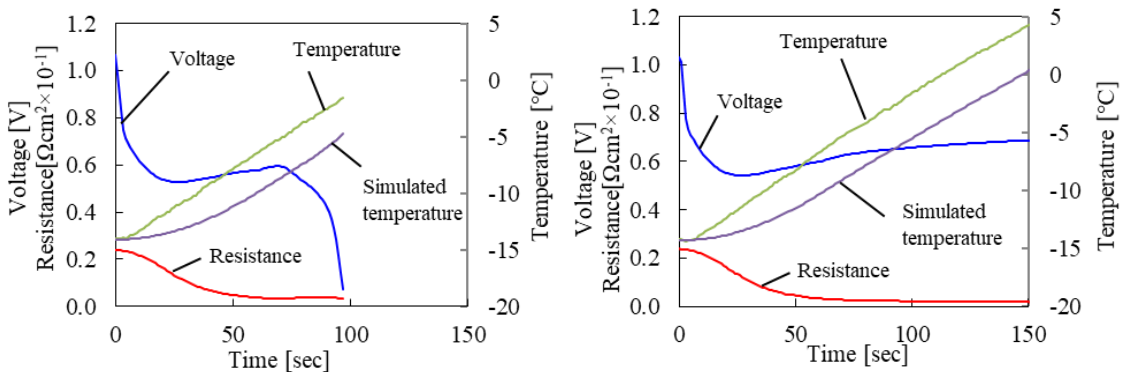
(2) GDL 内凝縮水挙動解析 GDL 内部の水の挙動は微細多孔体内で速度が遅いため、重力や慣性力が無視でき、キャピラリー数 $Ca (= u\mu/\sigma)$ と空気と水の粘性比で支配されることがわかっている。ここで u は水の流速、 μ は水の粘度、 σ は表面張力であり、構造スケールに関するパラメータは Ca 数および粘性比には表れない。そこで、これらの値を調整することにより、スケールを拡大しても実際の GDL と同じ水の挙動を観察可能とするスケールモデル実験を提案した。なお、ここでは水と密度に近いシリコーンオイルを水中に流入させることにより、重力を無視できる状態を再現した。これにより水とシリコーンオイルの粘性比は $M=16.7$ と、水と空気の粘性比 $M=17.5$ と近い値に調整可能となる。また、界面張力は 2.56×10^{-2} N/m であった。本研究では、GDL を 240 倍に拡大したスケールモデルをいろいろな材質や出力方法を用いて 3D プリンターで出力した⁽²⁾。その接触角を測定したところほぼ 130° であった。さらに、開発済みの格子ボルツマン解析 (LBM 解析) から有効性が示された方法を実証するため、作製したスケールモデルの表面に赤い試料を塗布し、接触角を 85° とする処理を用いた。

4. 研究成果

(1) 氷点下起動実験 本研究では、まずヒーター制御を用いてスタック中央部、つまり断熱条件を模擬する方法の確立を試みた。当初は通常の端板の外側にヒーターを設置した構造を用いていたが、端板の熱容量が極端に大きいため反応部の温度制御ができなかった。また、単セルを完全に断熱することは困難であったことから、計算で推測される完全断熱条件下でのセルの温度変化を模擬できるように、両極セパレータの外側に直接設置したヒーターの出力を試行錯誤的に調整することとした。図2は-14℃から起動した際に起動ができずに停止してしまった場合と停止する前にセル温度が0℃以上に上昇して起動成功した場合の結果である。セル電圧、セル抵抗、セル温度を示している。起動が失敗した場合（図2(a)）、運転開始から70秒付近までは抵抗が減少しており、これは触媒層で生成された水が高分子膜に拡散し、膜が湿潤することでプロトン抵抗が低下する膜吸収期間だと考えられる。セル電圧についても、運転開始から20秒付近までは負荷電流の上昇に伴う活性化過電圧の増大による低下がみられるが、その後70秒付近までは抵抗の減少に伴って上昇、その後低下に転じて起動停止に至っている。これは、高分子膜が飽和するまで湿潤した後に排出された生成水が触媒層内で凍結し、酸素の供給を妨げたためであると推察される。セル温度については、電池の発熱量と熱容量から計算した温度（図では Simulated temperature）に対し、セル温度（Temperature）変化がある程度模擬できていることがわかる。なお、60秒程度までの乖離は、セルの電流負荷上昇時の状況を追従させることが難しかったためであるが、本手法のある程度の有効性が示せたと言える。また、起動が成功した場合は（図2(b)）、起動後70秒後にも電圧が低下せずに110秒ほどでセル温度は0℃以上に上昇している。0℃に近い条件では生成水は過冷却状態を介して凍結することが知られており、図2の挙動の違いは過冷却解除のタイミングにばらつきがあるためと考えられる。

種々の環境温度において行った氷点下起動実験の結果を表1にまとめる。図2に示した疎水性MPLを使用した場合の結果が左側、カソード側に親水性MPLを導入した場合の結果が右側である。図2(a)のように起動が失敗してしまった場合のみ停止した際の時間を示しており、灰色背景は起動失敗した場合と成功した場合が見られた温度条件の結果である。起動の成否の境界は、疎水性MPLを用いた場合に-14℃、親水性MPLを用いた場合に-19℃となっており、親水性MPLを用いることで氷点下起動が可能となる温度を低下できることがわかる。

2つの異なる濡れ性のMPLを用いた場合のナノスケール水輸送・凍結機構を明らかにするために、運転後にカソード側の触媒層・MPL界面近傍をCryo-SEMで断面観察した結果を図3に示す。(a)は疎水性MPLを用いて起動停止した図2(a)の後、(b)はこれと同様の97秒で親水性MPLを用いた場合に運転停止（図4）、強制凍結させたものである。疎水性MPLを用いた場合（図3



(a) 起動失敗

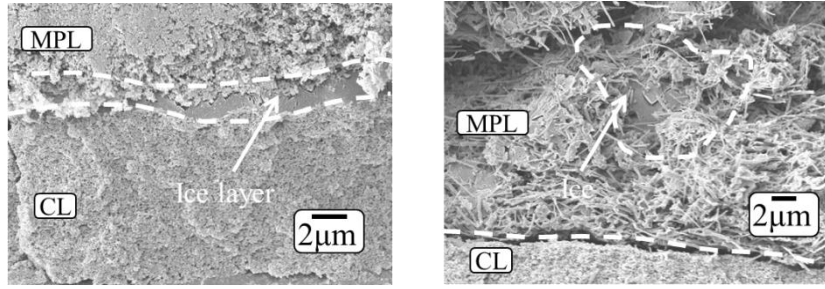
(b) 起動成功

図2 -14℃からの氷点下起動実験結果の例（疎水性MPLを使用）

表1 種々の起動温度における氷点下起動実験結果

実験番号	環境温度	結果	起動時間	膜番号
1	-10	○	-	#1
2	-12	○	-	#1
3	-12	○	-	#4
4	-13	○	-	#1
5	-13	○	-	#4
6	-14	×	101	#1
7	-14	○	-	#1
8	-14	○	-	#2
9	-14	×	97	#3
10	-14	×	97	#4
11	-15	×	87	#1
12	-15	×	89	#1
13	-15	×	92	#3

実験番号	環境温度	結果	起動時間	膜番号
1	-14	○	-	#2
2	-16	○	-	#1
3	-18	○	-	#2
4	-18	○	-	#3
5	-18	○	-	#3
6	-18	○	-	#3
7	-19	○	-	#1
8	-19	×	119	#2
9	-19	×	125	#3
10	-19	×	126	#3
11	-19	×	121	#4
12	-19	×	138	#4
13	-20	×	122	#1
14	-20	×	118	#4



(a) 疎水性 MPL (b) 親水性 MPL

図3 -14°Cからの氷点下起動時の触媒層とMPLの界面近傍の水分布

(a)、MPL と触媒層界面に氷の層を観察することができ、MPL 内部にはほぼ氷は観察されなかった。これより、生成水が触媒層とMPLの界面に移動した後に過冷却解除して凍結し、この氷層が成長することにより酸素供給を妨げ、起動停止が起きた要因となっていると考えられる。一方、親水性MPLを用いた場合(図3(b))、界面の水層形成は観察されず、MPL内部での氷分布が多く観察された。これより、親水性MPLは触媒層とMPL界面の水層形成を回避し、MPL内で凍結を起こさることで多量の氷生成を許容できた結果、氷点下起動が可能となる初期温度を低くすることができたと推察される。さらに、界面での氷形成の回避は、構造劣化の抑制にも有効であると考えられる。なお、親水性MPLは親水化のためにアイオノマーを含有しており、これが生成水の保持能力向上に寄与していることも起動特性改善の一因である。

また、-30°Cの極低温の起動開始を対象とし、ドライアウト条件の推定のために膜内の含水状態とプロトン抵抗変化を評価する簡易モデルを実験結果を基に構築した。このモデルにより、起動初期の膜の含水状態を表すセル抵抗と負荷電流密度の複雑な関係から決定されるドライアウト発生条件を整理できることを示した結果が図5である。プロットが実験結果、曲線がモデルによる結果であり、左下がステップ負荷でドライアウトを回避できる領域である。親水性MPLをドライアウト影響が顕著なアノード側に用いることの耐ドライアウト性向上効果も確認している。さらに、バス用途のカーボンセパレータ中心部を想定した断熱条件を模擬し、生成水の凍結による起動停止なく-30°Cから0°C以上に達せさせることに成功した(図6)。ここで、親水性MPLをカソード側で使用するとともに、初期のドライアウトを防ぐために2ステップの電流負荷方法としている。

スタック中央部のセルの断熱環境模擬実験に対し、より複雑な電流負荷、高電流密度に対応可能で、セル温度だけでなくセル内温度勾配も模擬できる手法への発展を試みた。セパレータ自身を断熱材で作製し、熱容量に応じた部材を反応部のみに組み込む方法を考案することで、従来の単セル実験からの大幅な断熱性能の向上を実現した(図7)。これにより、ドライアウトすることなく効率的に昇温させる様々な起動方法のより詳細な検討や零度以上に達した後に高電流密度運転へ切り替える過程の温度変化も模擬可能とした。

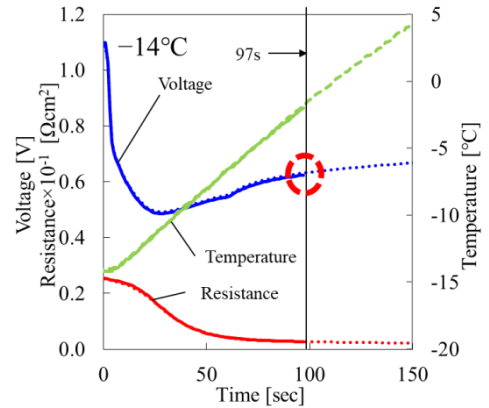


図4 -14°Cからの氷点下起動実験結果の例(親水性MPLを使用)

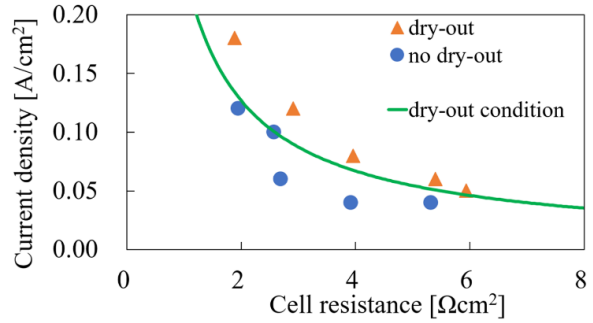


図5 ドライアウト発生条件(-30°C)

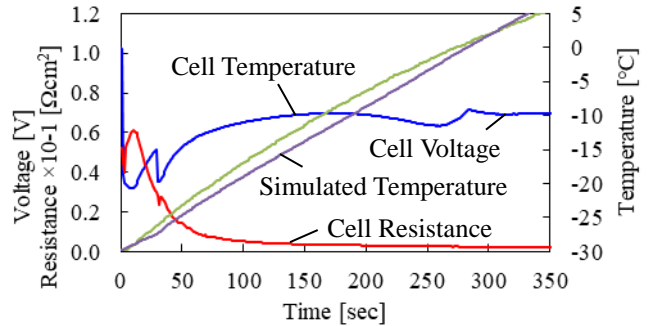


図6 -30°Cからの氷点下起動の成功例

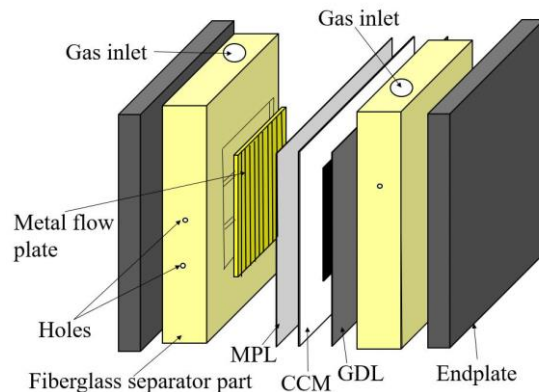
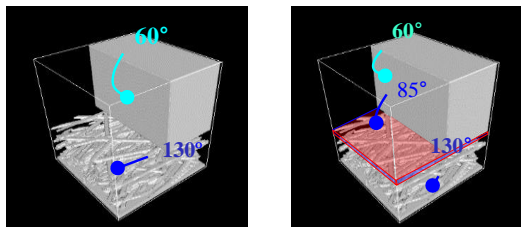
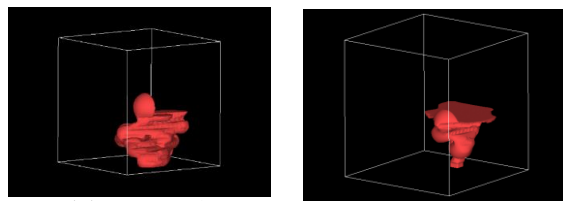


図7 断熱条件模擬セル構造



(a) 通常 GDL (b) 表面親水化 GDL
図 8 LBM の計算領域と濡れ性分布



(a) 8.9ms 後 (通常 GDL) (b) 4.2ms 後 (表面親水化 GDL)
図 9 LBM 計算結果 (液水のみ表示)



(a) 正面 (b) 側面
図 10 実験結果 (8.0 分後、通常 GDL)



(a) 正面 (b) 側面
図 11 実験結果 (5.2 分後、親水化)

(2) GDL 内凝縮水挙動解析 開発済みの等密度 LBM により、GDL 内の液水流れを解析した。図 8 に示すような濡れ性が一般的な通常の GDL 内と表面を親水化処理した GDL を対象とした。濡れ性が 60° のリブを GDL 上部に設置している。この条件でリブ下の位置の GDL 底部に穴を設置し、そこから水を流入させて GDL 内部の水の挙動を観察した。底部から流入した液水がチャンネル内の GDL 表面へ排出された直後の様子を図 9 に示す。 $Ca = 3 \times 10^{-3}$ となるように液水の速さを決定し、GDL とリブ構造は非表示としている。液水はリブ下に到達する 2.2ms までは GDL 内をほぼ厚さ方向に移動していくが、リブにぶつかった後は表面に液水を排出せずに GDL 内部で成長し滞留してしまい、排出されるまでに 8.9ms を要する (図 9 (a))。一方、表面を親水化したものではリブ下に到達した液水は GDL 内部での成長を抑制され、4.2ms で排出されることがわかる (図 9 (b))。ここで GDL 内の空隙体積に対して充填する水の量を計算すると、親水化処理を加えた場合の水の量は親水化処理を加えない場合に比べ約 39% に減少しており、大幅な改善が見られた。

次にスケールモデル実験を行った結果を示す。LBM と同様に $Ca = 3 \times 10^{-3}$ となるようにシリコンオイルの注入速度を設定した。全体の濡れ性が 130° の結果を図 10 に示す。正面図のリブの部分におけるオレンジ色の線で囲まれている範囲はシリコンオイルが存在している部分である。8.0 分でシリコンオイルはチャンネルに排出される。その時の挙動は LBM の結果と近く、内部にシリコンオイルが滞留していることが図 10 より確認できる。一方、表面を 85° の濡れ性に処理したものが図 11 である。図 10 と比較して GDL 内部でのシリコンオイルの広がりが見られず、5.2 分にリブを通じてチャンネルに水が排出されていることがわかる。また、LBM と比較しても GDL 内部でシリコンオイルが成長せずに排出されているという傾向も一致する。ここで親水化処理を加えない場合と比べ GDL 内に充填する水の量は時間に比例するため、8.0 分から 5.2 分の約 65% に減少している結果であった。

これらより、表面親水化による GDL 内の凝縮水の滞留抑制効果が確認できた。さらに、表面親水化を実際の GDL に適用して単セル性能評価実験を行い、低温環境下 (零度以上) の IV 性能を向上でき、本手法のガス拡散層から流路への排水性向上効果を確認している。

<引用文献>

- ① F. Onishi, et al., Experimental Study on the Balance between Microscopic Water Production and Temperature Rise during Cold Startup in PEFC, ECS Transactions, 86(13), 2018, 89-96
- ② 有澤 慧紀ら、PEFC ガス拡散層内の液水挙動に及ぼす濡れ性影響解析、日本機械学会 2019 年度年次大会講演論文集、J03110P29、2019

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 12件）

1. 著者名 Sakaida Satoshi, Tabe Yutaka, Chikahisa Takemi, Tanaka Kotaro, Konno Mitsuru	4. 巻 166(10)
2. 論文標題 Analysis of Water Transport in Anisotropic Gas Diffusion Layers for Improved Flooding Performance of PEFC	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 F627-F636
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/2.1051910jes	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 Sakaida Satoshi, Tanaka Kotaro, Konno Mitsuru, Tabe Yutaka	4. 巻 92(8)
2. 論文標題 Water Transport in Gas Diffusion Layer of PEFC with Wettability Distribution in Thickness Direction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 205-212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/09208.0205ecst	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 Kitami Yuki, Tabe Yutaka, Chikahisa Takemi	4. 巻 92(8)
2. 論文標題 Control of the Balance between Vapor and Heat Transfer for the Reduction of Oxygen Transport Resistance in High Current Density PEFC Operation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 213-221
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/09208.0213ecst	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 Aoyama Yusuke, Tabe Yutaka, Nozaki Ryo, Suzuki Kengo, Chikahisa Takemi, Tanuma Toshihiro	4. 巻 165
2. 論文標題 Analysis of Water Transport inside Hydrophilic Carbon Fiber Micro-Porous Layers with High-Performance Operation in PEFC	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 F484 ~ F491
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi: 10.1149/2.0801807jes	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 TABE Yutaka, SAKAIDA Satoshi, CHIKAHISA Takemi	4. 巻 13
2. 論文標題 Scale model experiments for evaluation of liquid water transport in the gas diffusion layer of PEFCs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Thermal Science and Technology	6. 最初と最後の頁 1~15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi: 10.1299/jtst.2018jtst0025	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 Onishi Fumito, Tabe Yutaka, Chikahisa Takemi	4. 巻 86
2. 論文標題 Experimental Study on the Balance between Microscopic Water Production and Temperature Rise during Cold Startup in PEFC	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 89~96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1149/08613.0089ecst	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 Sakaida Satoshi, Tabe Yutaka, Chikahisa Takemi, Tanaka Kotaro, Konno Mitsuru	4. 巻 86
2. 論文標題 Study on PEFC Gas Diffusion Layer with Designed Wettability Pattern Tolerant to Flooding	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 111~118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1149/08613.0111ecst	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 Iiri Takumi, Tabe Yutaka, Chikahisa Takemi	4. 巻 86
2. 論文標題 Experimental Analysis of Oxygen Transport Resistance for Different Types of Ionomer in PEFC Catalyst	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 141~150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1149/08613.0141ecst	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 Satake Takayasu, Tabe Yutaka, Chikahisa Takemi	4. 巻 86
2. 論文標題 Analysis of Oxygen Transport Resistances in the Catalyst Layers with Different Carbon Supports in PEFC	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 171 ~ 178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1149/08613.0171ecst	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 Sakaida Satoshi, Tabe Yutaka, Chikahisa Takemi	4. 巻 361
2. 論文標題 Large scale simulation of liquid water transport in a gas diffusion layer of polymer electrolyte membrane fuel cells using the lattice Boltzmann method	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Power Sources	6. 最初と最後の頁 133 ~ 143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpowsour.2017.06.054	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 Sakaida Satoshi, Tabe Yutaka, Chikahisa Takemi	4. 巻 80
2. 論文標題 Study on Gas Diffusion Layer Structure Tolerant to Flooding in PEFC by Scale Model Experiment and LBM Simulation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 123 ~ 131
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/08008.0123ecst	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, Satake Takayasu, Iiri Takumi, Hayashi Tomoya, Chikahisa Takemi	4. 巻 80
2. 論文標題 Experimental Evaluation of Dominant Transport Resistances of Oxygen in Catalyst Layers of PEFC	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 205 ~ 214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/08008.0205ecst	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 Nozaki Ryo, Tabe Yutaka, Chikahisa Takemi, Tanuma Toshihiro	4. 巻 80
2. 論文標題 Analysis of Oxygen Transport Resistance Components and Water Transport Phenomena with Hydrophilic and Hydrophobic MPL in PEFC	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 335 ~ 344
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/08008.0335ecst	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23件(うち招待講演 0件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 飯利拓実、佐竹孝保、壁谷将生、田部豊、近久武美
2. 発表標題 PEFC触媒層内の酸素輸送抵抗評価法と構造影響解析
3. 学会等名 第56回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 矢田溪佑、飯利拓実、田部豊、近久武美
2. 発表標題 酸素輸送抵抗低減を目指した白金担持グラフェンのPEFC触媒層への利用とその性能評価
3. 学会等名 第56回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 境田悟志、田中光太郎、金野満、田部豊、近久武美
2. 発表標題 固体高分子形燃料電池における濡れ性分布を有するガス拡散層内部の液水挙動解析
3. 学会等名 第56回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 喜多見祐希、田部豊、近久武美
2. 発表標題 PEFC高電流密度運転における水蒸気輸送と熱伝導のバランス制御による酸素輸送抵抗低減
3. 学会等名 第56回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平井賢、田部豊、近久武美
2. 発表標題 PEFC氷点下起動のための含水状態に応じた運転制御法
3. 学会等名 第24回動力・エネルギー技術シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 有澤慧紀、Can Enes Muhammet、田部豊、近久武美
2. 発表標題 PEFCガス拡散層内の液水挙動に及ぼす濡れ性影響解析
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zhan Jiapeng、Hirai Ken、Tabe Yutaka
2. 発表標題 Study on Cold Start Characteristics of PEFC with Adiabatic Temperature Rise
3. 学会等名 熱工学コンファレンス2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirai Ken, Tabe Yutaka
2. 発表標題 Water Transport in PEFC Cold Startup with Temperature Rise Simulating Adiabatic Condition
3. 学会等名 236th ECS meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yada Keisuke, Tabe Yutaka
2. 発表標題 Development of Graphene-Based PEFC Catalyst Layer for Reduction of Oxygen Transport Resistance
3. 学会等名 236th ECS meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taba Yutaka, Yada Keisuke, Iiri Takumi, Chikahisa Takemi
2. 発表標題 EXPERIMENTAL EVALUATION OF OXYGEN TRANSPORT RESISTANCES AND INFLUENCE OF CATALYST LAYER STRUCTURE IN PEFC
3. 学会等名 The Second Pacific Rim Thermal Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野崎涼、田部豊、近久武美
2. 発表標題 PEFCの低温・高温条件下における触媒層内外の酸素輸送抵抗解析
3. 学会等名 第55回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 飯利拓実、田部豊、近久武美
2. 発表標題 固体高分子形燃料電池の触媒層内イオノマーおよびカーボン種類に対する酸素輸送抵抗比較
3. 学会等名 第55回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大西史人、田部豊、近久武美
2. 発表標題 PEM型燃料電池の温度上昇過程における氷点下起動特性
3. 学会等名 第55回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐竹孝保、田部豊、近久武美
2. 発表標題 PEFCカソード触媒層におけるカーボン担体構造が酸素輸送に及ぼす影響解析
3. 学会等名 第55回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Abhay Kumar, Takumi Iiri, Takayasu Satake, Yutaka Tabe, Takemi Chikahisa
2. 発表標題 Trial of applying graphene nano platelet to catalyst layers of a PEFC
3. 学会等名 16th International Heat Transfer Conference (IHTC-16) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 境田悟志、田中光太郎、金野満、田部豊、近久武美
2. 発表標題 固体高分子形燃料電池のセパレータ-ガス拡散層における大規模LBM凝縮水輸送解析
3. 学会等名 日本機械学会2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Can Enes Muhammet、Yutaka Tabe、Takemi Chikahisa、Satoshi Sakaida
2. 発表標題 Effect of wettability design on water transport in GDL of PEFCs analyzed by scale model experiment and LBM simulation
3. 学会等名 日本機械学会第9回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 林伴哉、田部豊、近久武美
2. 発表標題 PEFCにおける触媒層内酸素輸送抵抗の支配因子に関する実験およびモデル解析
3. 学会等名 第54回伝熱シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 境田悟志、田部豊、近久武美
2. 発表標題 LBMシミュレーションと拡大相似模型実験によるPEFCガス拡散層内の液水挙動解析
3. 学会等名 第54回伝熱シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 野崎涼、田部豊、近久武美、田沼敏弘
2. 発表標題 PEFCにおけるMPL濡れ性および構造が物質輸送抵抗要素に及ぼす影響
3. 学会等名 第54回伝熱シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 笠井風太、田部豊、近久武美
2. 発表標題 PEFCの氷点下起動における氷形成が触媒層抵抗および反応分布に及ぼす影響評価
3. 学会等名 日本機械学会2017年度年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kumar Abhay、Tabe Yutaka、Chikahisa Takemi
2. 発表標題 Graphene reinforced Nafion [®] based proton exchange membrane for polymer electrolyte membrane fuel cells
3. 学会等名 日本機械学会2017年度年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kumar Abhay、Tabe Yutaka、Chikahisa Takemi
2. 発表標題 Trial of Applying Monolayer Graphene for Proton Exchange Membrane and Catalyst Layer in PEM Fuel Cells
3. 学会等名 The Ninth JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference (国際学会)
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
研究 分担 者	近久 武美 (CHIKAHISA Takemi) (00155300)	北海道大学・工学研究院・特任教授 (10101)	