固体高分子形燃料電池のセル水管理に関する研究* (第3報, セル内水移動におよぼすガス流路深さの影響)

中山 浩^{*1}, 加藤 恵^{*2}, 堀 美知郎^{*3}

Study on Water Management of Polymer Electrolyte Fuel Cell (3rd Report, Influence of Gas Channel Height on Water Transportation in PEFC Cell)

Hiroshi NAKAYAMA^{*4}, Megumi KATO and Michio HORI

^{*4} Fuel Cell Research Center, Daido Institute of Technology,
10-3 Takiharu-cho, Minami-ku, Nagoya-shi, Aichi, 457-8530 Japan

We have experimentally investigated influences of cathode channel heights on vapor permeation flux through gas diffusion layer (GDL) of polymer electrolyte fuel cell (PEFC). Vapor permeation flux through GDL was remarkably influenced by channel velocity. In the analysis of these experiments with a vapor transport model, it was shown that the resistance associated with the vapor-concentration boundary layer was dominant in the low channel velocity less than 0.5 m/s, and the resistance for the diffusivity of GDL became dominant as channel velocity increases. Influences of the channel height on the vapor permeation flux were verified by the power generation tests using a single cell. In the cell tests, anode channel height was fixed at 0.5 mm and cathode channel heights were changed at 0.2 mm, 0.5 mm, 1 mm and 3 mm. Under the high humidity condition, the cell performance was improved by using a separator with the shallow channel height. Such a cell performance was well correlated with the vapor permeation flux through GDL. In addition, influences of oxidant utilization and water management layer (WML) on the cell performance were evaluated.

Key Words: Polymer Electrolyte Fuel Cell, Mass Transfer, Diffusion, Water Management, Separator, Channel Height

1. 緒言

固体高分子形燃料電池 (PEFC) は、高効率、小型、低温作動といった特徴を持つため、自動車駆動源、家庭コジェネレーション用電源、モバイル機器などの携帯用電源として実用化研究が進められている⁽¹⁾。PEFCでは主にパーフルオロスルホン酸系イオン交換膜が使用され、この膜は高含水状態において十分なプロトン導伝性を持つため、高加湿な運転条件が望まれるが、触媒層が過飽和状態になると、ガスの拡散性が悪くなり (フラッディング)、逆にセル性能が悪化する。このようにPEFCではセル内部の水分状況が発電性能に大きく影響を与えることから適切な水管理が要求される。また、PEFCではアノードでの酸化反応に比較して、カソードの還元反応が遅く、セル性能を向上させるためには、カソード側の反応を高めることが求められる。したがって、酸化剤のガス拡散性向上ならびに生成水の触媒層への保持・排出制御といったセルの水

管理を行うにあたり、カソードの流動条件の最適化はセル性能の向上において極めて重要となる。

これまでカソード側を中心に流路の幾何学形状を変化させて、セル性能の向上を図る研究がいくつか報告されている⁽²⁻⁵⁾。しかし、これらの研究の多くは、主に高加湿条件でフラッディングを防止し、ガスの拡散性を向上させることが目的であり、低加湿条件でセル性能の向上を図ることを目的とした研究は極めて少ない。本研究ではこれまでにPEFCの触媒層とガス拡散層 (GDL) との間にカーボン粉からなる水管理多孔層 (WML) を設け、これにより生成水のセル外への移動を抑え、燃料・酸化剤が流路入口で低加湿状態であっても、セル全面にわたって電解質膜と触媒層を高湿度に維持できるセル構成を提案してきた^(6,7)。しかし、このWMLの効果は、特定の流路・実験条件で議論されており、流路形状および利用率を変化させた場合の特性はまだ明らかにされていない。流路形状および利用率の変化は、主に流路内のガス流速、圧力、GDL壁面近傍の水蒸気濃度境界層を変化させ、カソード側のGDLを透過する蒸気の透過量を変化させるため、触媒層へのガス拡散性、生成水の排出性に大きく影響を与えると考えられる。

* 原稿受付 2006年4月19日。

^{*1} 正員、大同工業大学燃料電池研究センター (〒457-8530 名古屋市中南区滝春町10-3)。

^{*2} 大同工業大学燃料電池研究センター。

^{*3} 正員、大同工業大学機械工学科。

E-mail: hnaka@daido-it.ac.jp

PEFCの発電状況において電解質膜は含水していることから、GDLおよびWMLを透過して流路に排出される過程において、液相としての水や水蒸気およびガスが混在する気液二相流となる。フラッディングや流路を閉塞するブラッキングを生じるような条件では、GDLおよびWML内における液相としての水移動が支配的となるが、加湿ガスの相対湿度が低く利用率が低いような条件では、GDLやWML内を移動する過程で水から水蒸気へと変化して移動することが考えられる。

本研究では特にフラッディング・ブラッキングが顕著でない状況において、カソード側流路の状況を模擬した蒸気透過量測定試験を行い、セル内部の水蒸気移動におよぼすカソード流路形状の影響(流路深さ)やWMLの効果を調査した。また単セルを用いた発電試験で、高加湿から低加湿に至るまでの広い加湿範囲で、酸化剤利用率、WMLの有無がセル性能におよぼす影響を調査した。

2. 主な記号

- A : 透過面積 [m^2]
 B : 流路幅 [mm]
 C : 水蒸気濃度 [kg/m^3]
 d : 代表長さ [mm] ($=2BH/(B+H)$)
 D : 拡散係数 [m^2/s]
 h : 物質伝達率 [m/s]
 H : 流路高さ [mm]
 l : 厚さ [m]
 L : 流路長さ [mm]
 m : 水蒸気透過流束 [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$]
 M : 水蒸気透過流量 [kg/s]
 P : 流路ピッチ [mm]
 R : 蒸気透過抵抗 [s/m^2]
 U : 断面平均流速 [m/s]
 U_{α} : 酸化剤利用率
 (=電流による酸化消費流量/酸化剤流量 $\times 100$)
 U_{μ} : 燃料利用率
 (=電流による燃料消費流量/燃料流量 $\times 100$)
 Q : 空気流量 [L/min]
 RH : 入口相対湿度 [%]
 Re : レイノルズ数 [-]
 α : 定数
 λ : 管摩擦係数 [-]
 ν : 動粘性係数 [m^2/s]
 ρ : 密度 [kg/m^3]

Fig. 1 Experimental setup of vapor permeation test

Table 1 Characteristics of experimental material for evaluating the vapor permeation rate through the GDL+WML

Material	Thickness(μm)	Pore diameter (nm)
GDL	280	$1 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4$
WML	20	20 ~ 60

下付

c : 流路

v : 蒸気槽

in, out: 入口, 出口

GDL: ガス拡散層

WML: 水管理多孔層

3. 蒸気透過量評価試験

3・1 試験方法 セル発電試験に先立ち、流路深さがGDLを透過する蒸気透過量におよぼす影響ならびにWMLの効果を調べるため、前報のと同様に蒸気透過量評価装置を用いて、蒸気透過量の測定を行った。図1に蒸気透過量評価試験装置の概略図を示す。試験装置の容器内に純水を保持し、それを78℃に加熱して容器内を水蒸気で満たす。その容器上部に供試体であるテトラフルオロエチレン樹脂 (PTFE) で撥水処理したGDLを設置し、さらにその上部にセバレータ模擬流路(温度80℃)を配する。GDLは東レ製カーボンペーパー (TGP-H-090: 厚さ280 μm , 気孔率78%)にPTFEで撥水処理を施したものを使用する。また微粉カーボン (Valcan-XC72R)とPTFE粉を7:3の質量割合で混合したWMLを用いる場合には、GDLと蒸気槽の間に挿入した。この状態で、乾燥空気を流路に送り、その際に供試体を透過する蒸気量を鏡面式露点計(山武: FINEDEW)により測定する。GDLとWMLの仕様を表1に示す。セバレータ模擬流路は直線状でガスはヘッダ部から16の流路に分岐してセルに供給される。図2および表2に示すように、流路

Fig.2 Details of test channel

Table 2 Gas channel for vapor permeation test (Unit:mm)

	Channel length L	Channel width B	Rib pitch P	Channel height H	Number of channels
Channel 1	150	1	2	0.2	16
Channel 2	150	1	2	0.5	16
Channel 3	150	1	2	1	16
Channel 4	150	1	2	3	16

長さ $L=150\text{mm}$ 、流路幅 $B=1\text{mm}$ 、リブピッチ $P=2\text{mm}$ は固定で、流路深さは $H=0.2\text{mm}$ 、 0.5mm 、 1mm 、 3mm の四種類とし、WML有りと無しの条件で蒸気透過量におよぼす流路の影響を調べた。なお蒸気透過量は流路中心部における $30\text{mm} \times 50\text{mm}$ の有効表面積を透過した平均値として求めた。空気流量は $0\sim 2\text{L/min}$ の範囲で変化させ蒸気透過量を計測するとともに、圧力孔を流路の出入口に設け、U字マノメータにより差圧測定を行った。

3・2 圧力損失特性 本試験における流量条件、流路の代表長さ d を考慮すると、レイノルズ数 Re は最大でも約165であり、層流領域となる。この場合の圧力損失は、次式で示されるHagen-Poiseuille式で与えられ、流速 U に対して、圧力損失は線形に増加する。

$$\Delta p = \lambda \frac{d}{L} \frac{\rho U^2}{2} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{\alpha}{Re} = \frac{\alpha \nu}{Ud} \quad (2)$$

ここで α は定数であり、 $B=1\text{mm}$ 、 $H=0.2\text{mm}$ 、 0.5mm 、 1mm 、 3mm の平滑矩形管の場合、それぞれ $\alpha=76, 62, 57, 68$ となる⁹⁾。図3に実験で得られた流路出入口間の圧力損失、また参考として式(1)で計算された単相流の圧力損失(白抜き印)を示す。計算ではセパレータのヘッダ部から16本の分岐流路に対してガスが等分配されると仮定して断面平均流速 U を算出し Δp を求めた。図に示すように、全体的に実験値は解析解より小さい値を示す。これは、実験では流路部だけでなくGDL内にもガスが通るために、流路内を流れる実質的な

Fig.3 Pressure drop with different channel heights

ガス流速が低下し圧力損失の減少に至ったものと考えられる。しかし、流量に対する圧力損失変化の傾向は、解析解と一致しており、セパレータ流路内の流れは、平滑矩形管を流れる層流としてみなすことができる。

計算では $H=3\text{mm}$ の圧力損失に対して、 1mm 、 0.5mm 、 0.2mm の圧力損失はそれぞれ3.1, 12.3, 75.5倍となるが、実験では2.9, 15.9, 231.6倍となり、流路深さの減少に対する圧力損失の変化が顕著に大きくなる。これは、圧力損失に対するGDLの表面粗さの影響が相対的に大きくなることに加え、柔軟性のあるGDLが流路内に突出することで実質的な断面積が減少し、断面平均流速 U が増加したためと考えられる。本実験値は流路深さが浅いほど解析解と一致する傾向を示しているが、これは前述したようにGDL内をガスが通ることによる圧力低下の影響に比較して、表面粗さによる圧力増加の影響が顕著になったためと考えられる。

3・3 蒸気透過試験結果 図4に蒸気透過流束 m と空気流量 Q の関係を示す。図4に示すように、いずれの流路でも流量が増加するにつれ、蒸気透過量は増加するが、ある一定値に漸近する傾向を示す。同一流量で比較すると、流路が浅いほど、GDLを透過する蒸気透過流量は大きくなることわかる。またWMLの付与により蒸気透過量は減少するが、流路深さが深いセルではその減少量は小さく、流路深さが浅いほどその減少量は大きくなる。こうした流量、WMLの有無が蒸気透過量に与える影響を明確にするため、荒木らの水輸送モデル⁹⁾を元に、GDL、WMLに対応する抵抗 R_{GDL} 、 R_{WML} ならびに濃度境界層に関係した抵抗 R_h を考慮して、図5のように表し、次式で整理した。

Fig.4 Vapor permeation flux with flow rate

$$\begin{aligned} \frac{C_v - C_c}{M} &= R \\ &= R_h + R_{GDL} + R_{WML} \\ &= \frac{1}{h(U)A} + \frac{l_{GDL}}{D_{GDL}A} + \frac{l_{WML}}{D_{WML}A} \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 M は蒸気透過流量、 C_v 、 C_c はそれぞれ蒸気槽、流路での水蒸気濃度、 R は蒸気透過に対する抵抗、 D_{GDL} 、 D_{WML} はそれぞれGDL、WMLの拡散係数であり、 h は濃度境界層に関する物質伝達率を表し、主に流速 U の関数となる。流路中の水蒸気濃度 C_c は流路入口と出口の水蒸気濃度 $C_{c,in}$ と $C_{c,out}$ を平均して算出する。蒸気槽-流路間の水蒸気濃度差 $C_v - C_c$ が大きいほど、また抵抗 R が小さいほど、蒸気透過流量 M が増加することになる。

図6に断面平均速度 U に対する全抵抗 R の変化を示す。 R_{GDL} および R_{WML} は流速によって変化しないため、GDLおよびGDL+WMLの抵抗特性の解析において、流速の増加に対し抵抗が一定値に漸近した際の値 R を R_{GDL} および R_{WML} とみなすことができる。したがって、図7中の約 $1.6 \times 10^5 \text{ s/m}^2$ が R_{GDL} の寄与、約 $1.0 \times 10^5 \text{ s/m}^2$ が R_{WML} の寄与となる。図に示すように抵抗 R は流速の遅い領域で非常に大きく、その中でも濃度境界層による R_h の寄与が支配的となる。流速 $U=2\text{m/s}$ になると R_h の寄与はほとんど無視できるまで低下し、主に R_{GDL} 、 R_{WML} の影響が顕在化してくる。すなわち流速の遅い領域では、水蒸気の濃度境界層が発達することによる蒸気透過の抑制が顕著で、流速の速い領域では、GDLおよびWMLそのもののガス拡散性に律速されることが

Fig.5 Vapor transport model

Fig.6 Relation between vapor transfer resistance and velocity

わかる。図4に示したように流路深さ $H=3\text{mm}$ や 1mm のセパレータではGDLのみとGDL+WMLの効果が明確でなかったのに対し、流路深さ $H=0.2\text{mm}$ の流速の速い領域でGDLのみとGDL+WMLの蒸気透過量の違いが明確になったのは、この境界層の発達が大きく影響していると考えられる。

なお、本実験で得られた R_{WML} や R_{GDL} から算出されるGDLおよびWMLの拡散係数 D_{GDL} 、 D_{WML} はそれぞれ $3.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ および $4.4 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ となり、 D_{WML} は D_{GDL} の約1/9である。したがって、流速の速い領域において、気孔径の小さいWMLのわずかな付与が蒸気透過量に与える影響が大きいことがわかる。

4. 単セル発電試験

4.1 試験条件 ここでは前節で示した蒸気透過試験の結果をふまえ、流速やWMLの有無の影響を単セル試験により検証する。図7に発電セルの構造図、表3にセルの仕様を示す。電池の有効表面積は $30\text{mm} \times 150\text{mm}$ で、電極には白金を担持したカーボン粒子(アノードとカソードの白金担持量はともに 0.4mg/

Table 3 Cell specification (Unit:mm)

Active area	30 × 150	
Flow field	Straight	
Gas flow direction	Counter flow	
Separator	Graphite	
Number of channels	16	
Channel pitch P	2	
Channel width B	1	
Channel height H	Cathode	0.2, 0.5, 1.0, 3.0
	Anode	0.5

Fig.7 Cell components

cm^2 ）を用いており、この電極触媒を電解質に塗布した触媒層付き電解質膜 (CCM) を用いた。この CCM を挟む形でガス拡散層 (GDL)、カーボン製セパレータを配置し、さらに金コーティングを施したヒーター付銅製集電板で挟み、4Nm のトルクで締め付けた。なお WML を用いる場合には、GDL と CCM の間に挿入した。

本試験では、燃料には純水素、酸化剤には空気を用いた。燃料・酸化剤のガス流路は蒸気透過試験と同様に直線状で、ガスはヘッドから16の流路に分岐してセルに供給される。全試験を通して、燃料と酸化剤の流れの向きを対向とした。アノード側のガス流路深さを0.5mmに固定し、カソード側のガス流路深さ H を蒸気透過試験と同様に3mm, 1mm, 0.5mm, 0.2mmと変化させた。

このセルはバブラー加湿器、マスフローコントローラ、定電流負荷装置、低抵抗計 (鶴賀電気, model3566)、データ解析用コンピュータからなる燃料電池評価装置 (CHINO製) で評価される。表4に発電条件を示す。表に示すようにセル温度は80°C固定とし、加湿温度を40°C (入口相対湿度 $RH=16\%$)、50°C ($RH=26\%$)、60°C ($RH=42\%$)、70°C ($RH=66\%$) の3種類とした。また燃料利用率 U_f を70%固定として、酸化剤利用率 U_{ox} を20, 40, 60%の3条件で行った。V-I特性は5A/minの速度で

Table 4 Test condition

Operating pressure		1atm
Cell temperature		80°C
Fuel	Gas composition	Hydrogen
	Utilization	70%
	Humidification temperature	40°C, 50°C, 60°C, 70°C
Oxidant	Gas composition	Air
	Utilization	20%, 40%, 60%
	Humidification temperature	40°C, 50°C, 60°C, 70°C

(a) Inlet humidity temperature 70°C

(b) Inlet humidity temperature 50°C

Fig.8 Effects of cathode channel depth on the cell performance

負荷電流およびガス流量を変化させて計測し、セル抵抗はセルの乾燥状態や湿潤状態を評価するための指標としてとらえ、ガス流路深さ (流速) がセル抵抗におよぼす影響を評価した。

4・2 加湿温度の影響 図8(a),(b)にそれぞれ加湿温度が70°C ($RH=66\%$)、50°C ($RH=26\%$) におけるV-I特性とセル抵抗を示す。セルにWMLは挿入せず、GDLのみの構成とした。 U_f は70%、 U_{ox} は40%一定の条件で比較した。図8(a)に示すように、流路深さ3mmでは1A/ cm^2 付近でセル電圧が低下するのに対し、0.2mmでは1.8A/ cm^2 までセル電圧が延びており、高加湿条件では流路深さが浅いほどセル性能が向上すること

とが分かる。これは図4で示したように、流路深さが浅くなることで流速が増加し、触媒層へのガス供給が良好になるとともに蒸気透過量が増加しフラッディングが抑制されたためと考えられる。流路深さ0.5mm以上では、電流密度が $0.8\text{A}/\text{cm}^2$ 以上になると、セル抵抗が不規則に変化している。これは流路出口付近で相対湿度が高くなり触媒層でフラッディングが発生していることを示唆している。

低加湿条件である加湿温度 50°C の場合には、流路深さ(流速)による差異は小さく、いずれの条件でもセル性能は低くなる。セル抵抗の値は、加湿温度 70°C の場合と比較して約2倍であり、膜が乾燥状態となり膜抵抗が増加していると考えられる。流路深さ3mmでは、セル抵抗は高い値を維持するが、 $0.8\text{A}/\text{cm}^2$ 以上において不規則に変化している。したがって、触媒層でフラッディングが発生し、ガスの拡散を阻害している

Table 5 Experimental condition

	Material	Oxidant Utilization
Case 1	GDL	20%
Case 2	GDL	60%
Case 3	GDL+WML	20%
Case 4	GDL+WML	60%

(a) $H=0.2\text{mm}$ (b) $H=3\text{mm}$

Fig.9 Effects of humidification temperature and oxidant utilization on the cell performance

(a) $H=0.2\text{mm}$ (b) $H=3\text{mm}$

Fig.10 Effects of humidification temperature and oxidant utilization on the cell resistance

と考えられる。

フラッディングを生じるような発電状況ではGDLやWML内に液相の水が浸透するため、水蒸気透過の影響に限定した3節の結果をそのまま適用することは難しいが、流速が遅いことによるフラッディングの発生状況、特に高加湿条件で流速の増加によるセル性能向上は、3節の蒸気透過試験の結果を定性的に反映しているといえる。

4・3 酸化剤利用率, WMLの影響 これまで流速の変化およびWMLの付与により、GDLを介した蒸気透過流量は顕著に変化することを示してきた。こうした蒸気透過流量の変化に伴い、触媒層の湿度環境は大きく変化すると考えられる。ここでは蒸気透過量の観点から、2種類のカソード流路深さ ($H=0.2\text{mm}$, 3mm) に対して、酸化剤利用率 U_{ox} の変化ならびにWMLの有無がセル性能に与える影響を考察する。比較する条件は表5に示すように、2種類の $U_{ox}=20\%$, 60% およびWMLの有無についての4条件とした。図9(a), (b)にそれぞれ $H=0.2\text{mm}$ と 3mm の流路に対する4条件でのセル電圧0.4V時の電流密度の値を示し、図10(a), (b)に対応する条件でのセル抵抗の値を示す。

まず $H=0.2\text{mm}$ の場合について考察する。 70°C の高加湿温度で電流密度は、Case4を除き $1.5\text{A}/\text{cm}^2$ 以上と

なりセル性能は大きく向上する。これは、GDLを介した触媒層へのガス拡散性の向上に加え、生成水の排出が良好になされていることを示唆している。一般的に流路の圧力損失が大きい場合、加圧して流入させることが必要になり、酸素分圧が向上することでセル性能の向上が期待できるが⁽⁹⁾、図3に示したように、本実験条件において一番流路深さの浅い0.2mmのセルでも最大1.1ata以下の圧力であり、セル性能向上に及ぼす影響は小さいといえる。一方WMLを付与した高利用率のCase4ではセル性能はきわめて低い。この条件では、蒸気透過流量が低くなるため、フラiddiingが発生したと考えられる。このことは、図11(a)の抵抗値が一番低いことから裏付けられる。3.3節で述べたようにWMLの拡散係数はGDLの拡散係数の約1/9であり、式(3)の関係よりGDLの厚みを9倍にすればWMLの蒸気透過抵抗と等しくなる。拡散係数の差異は主に気孔径の大きさに依存すると考えられ、GDLの気孔径をWMLと同等に小さくしても同様な効果が得られると考えられるが、水の排出には気孔径だけでなく濡れ性も発電特性に影響を与えることが知られており⁽¹⁰⁾、気孔径、濡れ性が生成水排出に与える影響を解明していくことは今後の課題である。

低加湿になるほどCase1~3のセル性能は急激に悪化し、加湿温度40℃ではいずれも電流密度は0.5A/cm²付近の値をとり、セル性能は低い。この条件でのセル性能はCase1, Case3, Case2, Case4の順に高くなる。これは図10(a)のセル抵抗の大きさと逆の関係になる。すなわち、一番蒸気透過流量の大きいCase1では、触媒層から持ち去られる水分が多いため、膜が乾燥状態になり(セル抵抗が大きい)性能が低くなる。逆に利用率が大きく、WMLを付与したCase4では、触媒層から持ち去られる水分が少ないため、膜・触媒層の保湿が行われ(セル抵抗が小さい)、セル性能が一番高くなったと考えられる。これらの結果より、流路深さが浅い場合にWMLの付与は加湿温度が低い場合に効果的であるが、加湿温度が高く利用率が高い場合にはフラiddiingが発生しやすく逆にセル性能を悪化させることになる。

H=3mmの流路では、H=0.2mmの流路に比較して全体的に性能が低い。しかし、いずれの条件でも電流密度は0.5~1A/cm²付近の値をとり、加湿温度、 U_{ox} の変化、WMLの有無に対してセル性能は大きく変化しない。この電流密度域におけるカソード流量は0.6~4L/min(流速:0.2~1.4m/s)の範囲にあり、図4の蒸気透過試験の結果や図6の抵抗解析の結果から推察されるように、物質伝達抵抗が支配的な領域であり、流量

変化やWMLの有無に対して蒸気透過量がほとんど変化しない。このように流速、WMLの有無による蒸気透過量の変化が少ないため、セル性能があまり変化しなかったと考えられる。

また、図10(b)のセル抵抗からわかるように利用率、WMLの有無による加湿温度に対する変化はH=0.2mmの場合より小さくなる。言い換えれば、流路深さが深い場合には、セル性能は全体に低くなるものの、流量や加湿温度の変化に対してセル性能が大きく変化しないため、ロバストで安定した発電が可能といえる。

PEFCでは、燃料・酸化剤ガス入口部は乾燥状態になる一方、ガス出口部ではフラiddiingが発生し易い状況にあり、局所的に膜・触媒層の水分状況は大きく変化する。今後、局所的にWMLを設置し、流路高さの変化をつけることで、GDLを介した水蒸気透過量をコントロールし、膜・触媒層の湿度を高いレベルで均一に保ち、性能向上を図ることが課題である。

5. 結 論

本研究ではセル内部の水蒸気移動におよぼすカソード側のガス流路深さの影響に注目し、高加湿から低加湿に至るまでの広い加湿範囲で、セル内部の水蒸気移動におよぼすガス流量やWMLの効果を調査した。

- (1) WMLの付与は蒸気透過量の低下をもたらし、流速の増加に伴いその影響は強く現れる。本実験条件において流速0.5m/s以下の領域では濃度境界層による抵抗が支配的であり、2m/s以上の流速では、GDLおよびWMLの拡散性による抵抗が支配的となる。
- (2) 高加湿条件ではカソード流路深さが浅いほど高いセル性能を示す。また酸化剤利用率を小さくすることでさらに性能は向上する。一方、低加湿条件では、カソード流路深さが浅い場合、WMLを付与し酸化剤利用率を高くすることで高いセル性能を示すが、流路深さが深い場合には、WMLの付与、酸化剤利用率の変化がセル性能に与える影響は小さい。

この研究の一部は、文部科学省科学技術研究費 若手研究(B)17760160の補助を受けた。ここに深く謝意を表する。

文 献

- (1) Sandstede, G. et al., *History of low temperature fuel cells, Handbook of Fuel Cells - Fundamentals, Technology and Applications*, Vol.1, (2003), p.273-761, Wiley, New York.

- (2) Wilkinson, D. and Vanderleeden, O., *Serpentine flow field design, Handbook of Fuel Cells - Fundamentals, Technology and Applications*, Vol.3, (2003), pp.315-324, Wiley, New York
 - (3) Kumar, A., and Reddy, R.G., Effect of channel dimensions and shape in the flow field distributor on the performance of polymer electrolyte membrane fuel cells, *Journal of Power Sources*, Vol. 113, No. 1, (2003), pp.11-18.
 - (4) Rafael B. et al., Effect of Cathode Flow Field Geometry on Performance of PEMFC, *Proceedings of 6th KSME-JSME Thermal and Fluids Engineering*, (2005) in CD-ROM
 - (5) Nguyen, T.V., A Gas Distributor Design for Proton-Exchange-Membrane Fuel Cells, *Journal of Electrochemical Society*, 143, (1996), pp.L103-L105.
 - (6) Yu, J. et al., M., Preparing Gas-Diffusion Layers of PEMFCs with a Dry Deposition Technique, *Electrochemical and Solid-State Letters*, 8, (2005), pp.A1152-A155.
 - (7) Kato, M. and Hori, M., Study on Water Management of Polymer Electrolyte Fuel Cell (2nd Report, Operation of PEMFC in Wide Range of Current Density under Low-humidification Condition), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, Vol.72, No.714 (2006), pp.463-468.
 - (8) Shah, R. K., and London, A. L., *Laminar Flow Forced Convection in Ducts, Advances in Heat Transfer*, Vol. 1, Supplement-1, Academic, New York, (1978), pp. 379-381.
 - (9) Araki, T. et al., Simulation of the Current Density Distribution for a PEMFC by using Measured Electrochemical and Physical Properties of the Membrane, *Journal of Power Source*, Vol.152, (2005), pp.60-66.
 - (10) Fueki, K. et al, *Nenryo denchi sekkei Gizyutsu, Science forum*, (1987), pp.74-77.
 - (11) Lufrano, F. et al., Improvement in the diffusion Characteristics of Low Pt-loaded Electrodes for PEMFCs, *Journal of Applied Electrochemistry*, Vol.29, (1999), pp.445-448.
-