パラレルハイブリッド形流路を有する PEFC の開発研究*

(第 1 報, 流路の設計と基本特性)

許斐敏明^{*1}, 北原辰巳^{*2}, 中島裕典^{*2}
田代匡憲^{*3}, 高園康隼^{*4}

Development of a PEFC with Parallel Hybrid Pattern Gas Channels (1st Report, Design and Performance Test of the Gas Channels)

Toshiaki KONOMI^{*5}, Tatsumi KITAHARA, Hironori NAKAJIMA,
Masanori TASHIRO and Yasutaka TAKAZONO

^{*5} Department of Mechanical Engineering Science, Faculty of Engineering, Kyushu University,
744 Motooka, Nishi-ku, Fukuoka-shi, Fukuoka, 819-0395 Japan

We have developed hybrid gas channels for polymer electrolyte fuel cells (PEFCs) that can arbitrarily change the ratio of the flow rates between interdigitated and parallel flows. We study gas channel structure and the above ratio by analyzing overpotentials to improve the cell performance. The flow rates of the two flows are controlled by valves of the inlets and outlets of high and low pressure gas channels in the cathode. The flow coefficients of the valves (CV values) are measured beforehand for calibration. Differences between total flow rate and each the flow rate give the rate of in-plane flow passing through the GDL under the rib of the separator. Increasing the flow rate through the GDL under the rib of the cathode separator improves the cell performance although the effect of the flow rates in the high and low pressure gas channels of the cathode on the cell performance is small. This can be explained by that large amount of oxygen is consumed at the electrode (catalyst layer) under the rib where the electrode reaction takes place predominantly.

Key Words: Polymer Electrolyte Fuel Cell, Gas Channel Pattern, Parallel Flow Pattern, Serpentine Flow Pattern, Interdigitated Flow Pattern, Flow Pattern Design, I-V Characteristics

1. 結 言

内燃機関に代わる自動車用の動力源としてエネルギー変換効率が高い固体高分子形燃料電池 (以下 PEFC) が注目されている。水素を燃料とした PEFC は水しか排出しないゼロエミッション動力源でもある。

PEFC の性能向上には電極部に反応ガスを十分に供給し、生成水を速やかに排出することが必要であり、これらを効率的に行えるガス流路の設計が重要である。現在のガス流路設計の多くは、拡散層に沿って流れるガス流から電極に反応ガスを供給し、電極から排出される生成水をガス流によって外部に排出する方式であり、パラレル形とサーペンタイン形、およびこれらの改良形が一般的である。

他方, Nguyen⁽¹⁾は対向櫛形流路(Interdigitated Flow Field)を提案し、いくつかの研究がなされている^{(2)~(4)}。これは並行する行き止まり高圧側流路と低圧側流路を対向櫛形に配置して、ガス流を高圧側から低圧側対向隣接流路に拡散層を通り抜けて流すことにより、電極部に加湿水と反応ガスを積極的に供給することを意図している。

著者らは PEFC のリブ部と流路部の発電割合を追究してきた^{(5)~(8)}。両部発電量の支配因子はリブ部においては濃度抵抗、流路部においては拡散層と電極間の接触抵抗と濃度抵抗であることが明確となった。従って性能向上のためにはリブ部電極に積極的に反応ガスを供給することと、リブ部から流路部に押し出された生成水を流路部ガス流により迅速に排出することが重要である。前者のリブ部濃度抵抗低減には対向櫛形流路によるガス流のリブ部吹き抜けが有効であると考えられる。後者の流路部における生成水排出にはパラレル形およびサーペンタイン形流路の流速向上が有効と考

* 原稿受付 2007 年 10 月 5 日。

^{*1} 正員, フェロー, 九州大学大学院工学研究院(〒819-0395 福岡市西区元岡 744)。

^{*2} 正員, 九州大学大学院工学研究院。

^{*3} 学生員, 九州大学大学院工学府。

^{*4} 学生員, 九州大学工学部。

E-mail: konomi@mech.kyushu-u.ac.jp

えられる。しかし、リブ部吹き抜け量と拡散層沿流量を変化させて最適値を実験追究した研究は無い。

本報では対向楕形流路とパラレル形流路を併せ持ち、両者の割合を任意に設定できるハイブリッド構造流路を設計・開発し、上記二つの流量を同時に変化させたときの PEFC 各部過電圧を解析することにより、性能向上のための流路構造及び最適流量比を追究する。

2. パラレルハイブリッド流路の設計

現時点における PEFC 流路の多くは、パラレル形、サーペンタイン形、およびこれらの組み合わせである。対向楕形流路は上記二つとは異なったガス流パターンを意図しているが、以下に述べる理由により、実用 PEFC での適用は少ない。これらの特徴を解析して本報の流路設計の狙いを明確化し、流路構成を設計する。

2.1 従来流路の特徴 図 1 にパラレル形、対向楕形、およびサーペンタイン形流路を模式的に示す。パラレル形は多数の直線状流路を並行してパイプラープレート電極面側端面に設けたものであり、低圧力損失で大量のガスを供給できるため、ガス供給ポンプの小型化と低動力損失化を図ることができる。しかし並行流路本数が多いために、高い流速で運転すると供給ガスの利用率が低くなり、高ガス利用率と高電流密度の両立に困難が伴う。供給ガスを高加湿して低い IR 抵抗を得ることによる高出力・高効率化設計では加湿器の大型化、もしくは加湿能力不足となることが課題である。隣り合う流路間に圧力差はなく、拡散層を通して電極へのガスの供給、および電極からの生成水の排出は拡散層表面ガス速度に支配されると考えられる。すなわち速い流速により拡散層内供給ガスと生成ガスを「かき混ぜる」、液相生成水を「乾かす」作用・効果と考えられる。同図パラレル形において流路に直交

する上向き矢印は反応ガスの供給を、下向き矢印は生成水の排出を概念的に示している。

対向楕形流路(Interdigitated Flow Field⁽¹⁾)は並行する行き止まり高圧側流路と低圧側流路を対向楕形に配置して、ガス流を高圧側から低圧側対向隣接流路に拡散層を通り抜けて全ガスを流すことにより、電極部に加湿水と反応ガスを強制的に供給することを意図している。リブ部拡散層内に反応ガスを「吹き抜け」させ、生成水を「押し出す」強制力があると考えられる。高圧側・低圧側の流量・圧力差特性の変化からリブ部拡散層のフラッディングを定性解析する方法⁽⁹⁾が注目されている。拡散層の流路抵抗の高さから、ガス流量を増加させたときのガス供給ポンプの吐出圧力、したがって動力が増加すること、拡散層及び MEA(Membrane Electrode Assembly)の耐久性が懸念される等の理由から、実用 PEFC での適用は少ない。

サーペンタイン形流路は、単列もしくは複列の流路を並行して折り返し、流路長を長く配置していくことにより、ガス供給流量あたりの流路流速を速くして空気利用率を高めることができる。流路方向に沿って圧力損失が増加していくので、隣接流路間に微小な圧力差が生じる。これによりリブ部拡散層を吹き抜けるガス流が生じるが、この流量及びこれが PEFC の性能へ与える影響を計測・解析した例は無い。サーペンタイン形流路は結果としてパラレル形流路と対向楕形流路の効果を併せ持ち、「パッシブハイブリッド流路」と考えられるが、著者らの設計意図は流路に沿った流速とリブ部拡散層吹き抜け流速を自在に設定でき、最適制御可能な「アクティブハイブリッド流路」の開発である。

2.2 パラレルハイブリッド流路の構造

図 2 に本流路構造の概念図を示す。高圧系、低圧系の二つのガス供給系とそれぞれの出入りに流量制御弁を有しており、同図左下の高圧入口弁(HPVin)から入った高圧ガスは直交する分配主路を経て、さらにそれに直交す

Fig.1 Typical gas channel patterns in PEFCs

Fig.2 Schematic of the parallel hybrid gas channel pattern

Fig.3 Design of the parallel hybrid flow pattern

複数の並行枝路に分配される。分配主路と並行枝路を形成する面の下面に集合主路を形成し、高压出口弁 (HPVout) を通って外部に排気される。高压系路入弁の開度を連成制御することにより、この系路の圧力と流量をそれぞれ独立して制御できる。低压ガス系路は同図左上低压入口弁 (LPVin) から下部分配主路に入り、そこから上部並行枝路に上がる。集合主路を経て低压出口弁 (LPVout) から排気される。従って、両流路の流量を独立に設定することによりパラレル形の流路に沿った流速を制御できる。さらに高压系、低压系の二つのガス供給系路の圧力差を設定することによりリブ部拡散層吹き抜け流速を独立して制御できることとなる。

図 3 に流路構造詳細を示す。リブおよび流路断面寸法は縦横共 0.9 mm である。同図左上の高压入口 (HPin) から入った高压ガスは分配主路を経て、複数の並行枝路に分配され、下面集合主路出口 (HPout) を通って排気される。低压ガス系路は同図左上低压入口 (LPVin) から下部分配主路 (B-B 断面) に入り、そこから上部並行枝路に上がる。集合主路を経て低压出口 (LPout) から排気される。

高压、低压の二つの流路を構成するために流路が立体交差構造となり、実用 PEFC スタックではセル厚さの増加が実用上の課題となる。しかし、この流路パターンは流路に沿った流速とリブ部拡散層吹き抜け流速の最適割合を追求するための研究用であり、これらの最適値が明確となれば、それを実現する平面構成流路パターンは設計可能であると考えている。

3. 実験装置及び流量計測方法

3.1 実験装置、実験条件と供試 PEFC 燃料電池セルの性能評価には、東陽テクニカ社製のガス供給装置と電子負荷器 (Scribner 社製 890CL)、それに FFT (株式会社小野測器社製 DS2000) を用いた⁽¹⁰⁾。JAPAN GORE-TEX 社の MEA

Table 1 Experimental conditions

FC temp.	75 °C
Humidifying temp.	70 °C
Gas Utilization Rate	H ₂ =0.7, Air=0.2
Back pressure	0 MPa(Gauge)
Electrode area	4.2 cm ²

(PRIMEA5570, 膜厚 30 μm , 電極面積 4.2 cm²) と SGL ジャパン社製で標準的な透気度を有するカーボンペーパーに撥水処理を行い、MPL (Micro Porous Layer) を塗布した GDL20BC 拡散層を用いた。供給ガスは、アノードには 99.95% H₂ を、カソードには乾燥空気を、それぞれ高压ポンプから供給し、所定湿度に加湿した。

表 1 に実験条件を示す。PEFC の温度を 75°C、加湿器の温度を 70°C とし、相対湿度約 80% の水素と空気を供給した。アノード側のガス利用率は 70%、カソード側のそれは 20% に設定した。低压流路出口弁 (LPVout) を全開とし、背圧は大気解放とした。高压流路出口弁 (HPVout) 開度を実験パラメータとして設定し、高压流路圧力を変えることによりリブ部吹き抜け量を変化させた。

3.2 流路構成と流量計測方法 カソード側流路は図 3 に示したパラレルハイブリッドパターンとした。アノード側はカソード側と同一リブ、流路断面(従ってピッチも同一)のパラレル、線対称形状とし、組み付けた時に両側リブ同士がすべて一致するように設計した。図 4 に流路構成を示す。流量制御弁にはマルチダイヤル付精密ニードルバルブ(コフロック社製 2412M⁽¹¹⁾)を用いて、ダイヤル回転数設定により流量制御した。

3.3 ガス流モード設定と流量検定 3.2 に述べたようにアノード側はすべて縦横共 0.9 mm 断面のリブおよび流路を有するパラレル形状である。カソード側は図 4 に示した四つのバルブ開閉の組み合わせにより、表 2 に示す 6 種類のガス流モードを設定する。

(1) 高压流路出口弁 (HPVout) CV 値検定 図 4 に示すガス供給装置のマスフローコントローラーにより、供給乾燥空気質量流量を制御・供給する。これをバブ

Fig.4 Layout of the gas flow control line for the cathode

Table 2 Flow pattern modes and set positions of the four needle valves

Mode	HPVin	HPVout	LPVin	LPVout
CV(HPVout)	FO	Rev.	Closed	Closed
CV(LPvin)	Closed	Closed	Rev.	FO
Parallel	FO	FO	FO	FO
Interdigitated	FO	Closed	Closed	FO
HP Ch. R	FO	Rev.	Closed	FO
LP Ch. R	FO	Closed	Rev.	FO

CV: Flow coefficient calibration of the valves

Ch. R.: Gas flow rate control in the channel

FO: Fully open needle valve

Rev.: Needle valve controlled by turn revolution number

レーを通して湿度を制御し、運転を停止している(アノードガス供給停止、開回路設定)供試 PEFC カソード側に供給する。表 2 に示すように高圧流路入口弁(HPVin)を全開、低圧流路入口弁(LPvin, LPVout)全閉とし、高圧流路出口弁(HPVout)の全開からの開回転数および角度をパラメータとして変化させる。HPVout 入口加湿空気圧力、温度計測値と設定湿度から湿り空気体積流量、バルブ容量係数である CV 値⁽¹⁾を計算する。図 5 に HPVout の開度 3~5 回転の実測 CV 値を横軸圧力差として示す。この図から PEFC 運転中の該当バルブ通過ガス流量を算出する。

(2) 低圧流路入口弁(LPvin)CV 値検定 表 2 に示すように高圧流路入口弁(HPVin, HPVout)を全閉、低圧流路出口弁(LPvout)を全開とし、低圧流路入口弁(LPvin)の全開からの開回転数および角度をパラメータとして変化させ、(1)と同様に CV 値とバルブ上流と下流の圧力差 ΔP の関係を実測した結果を図 6 に示す。

(3) パラレル形流路 四つのニードルバルブすべてを全開にすれば、空気は高圧流路、低圧流路の両方において、ほぼ同一圧力、流量が流れるパラレル流路形状を形成することができるので、同一 MEA、拡散層、流路を用いて、以下のパラレル、ハイブリッド流路の性能比較解析が可能となる。

(4) 対向楕形流路 高圧流路入口弁(HPVin)を全開、出口弁(HPVout)を全閉とする。低圧流路入口弁(LPvin)を全閉とし、出口弁(LPvout)を全開とすると、供給湿り空気は高圧流路から低圧流路にリブ部拡散層を吹き抜けていき、Nguyen⁽¹⁾の対向楕形流路を形成することとなる。

(5) 高圧流路ガス流量制御 高圧流路入口弁(HPVin)を全開、低圧流路入口弁(LPvin)を全閉とし、出口弁(LPvout)を全開とする。高圧流路出口弁(HPVout)を全開から設定開度まで開いていくと、図 5

Fig.5 CV value and pressure drop ΔP in HPVout valve Fig.6 CV value and pressure drop ΔP in LPvin valve

の特性に従って、低圧流路に吹き抜けずに、高圧流路から直接排気されるガス量が増加し、これにより高圧流路ガス流量を増加させ、制御できる。このときの性能、各部過電圧変化を解析する。高圧流路流量と拡散層リブ部吹き抜け流量は下記の仮定で算出する。

- ① 高圧流路出口弁(HPVout)の CV 値は全開からの開回転数および角度のみで決定され、検定時から変化しない。従ってバルブ通過湿り空気体積流量はバルブ開度、入口温度、圧力とバルブ入口出口圧力差のみで決定される。
- ② 流路での圧力損失は無視し、バルブ入口圧力は PEFC 入口圧力と同一とする。入口温度は PEFC 制御温度と同一とする。

以上の仮定から、高圧流路から HPVout を通って直接排気されるガス量が計算でき、供給湿り空気流量からこれを減ざると、高圧流路から低圧流路へリブ部拡散層を吹き抜けていった空気流量を算出できる。

(6) 低圧流路ガス流量制御 高圧流路入口弁 (HPVin) を全開, 出口弁 (HPVout) を全閉とし, 低圧流路出口弁 (LPVout) を全開とする。低圧流路入口弁 (LPVin) を全閉から設定開度まで開いていくと, 図 6 の特性に従って, 高圧流路から低圧流路に吹き抜けずに, 低圧流路から直接排気されるガス量が増加し, これにより低圧流路ガス流量を増加させ, 制御できる。リブ部拡散層吹き抜け空気流量の算出は上記(5)と同じである。

4. 実験

2 章に示したパラレル形ハイブリッド流路を有する PEFC の基本性能が妥当かどうかを, パラレル形で運転し, 電圧・電流特性を比較検証する。さらに高圧流路流量と低圧流路流量を変化させて, それらが PEFC の各部過電圧⁽¹²⁾に与える影響を解析する。

4.1 パラレル形および高圧流路ガス流量制御

表 1 に示した運転条件で, 図 4 の四つのバルブを全開にして, パラレル形流路にしたときの電圧・電流 (I-V) 特性および各部過電圧を図 7 に示す。出力電圧 (V_{eff}) 0.3V における電流密度は 1.1 A/cm^2 である。この値は相対湿度 80%, 空気利用率 20% における一般的な性能と考えられる。

表 2 に示したように高圧流路入口弁 (HPVin) を全開,

低圧流路入口弁 (LPVin) を全閉とし, 出口弁 (LPVout) を全開とする。高圧流路出口弁 (HPVout) を全開から設定開度まで開いていくと, 高圧流路の圧力が低くなり, リブ部拡散層吹き抜け流量が減少していく。このときの出力電圧と各部過電圧を同図 7 に合わせて示す。全閉から 5 回転, および 4 回転開いたときの高電流密度域の出力電圧 (V_{eff}) は, 前者でパラレル形流路よりも増加し, 後者では大幅に増加する傾向を示した。

このときの IR 過電圧 (η_{IR}) とカソード活性化過電圧 (η_{ca}) は両者とも変化量が小さい。しかし, カソード濃度過電圧 (η_{cc}) は, 電流密度が大きい側で前者 (5 回転開) は減少し, 後者 (4 回転開) は大幅に減少している。従って出力電圧の増加は濃度過電圧の減少にあることがわかった。5 回転開いた実験では出力電圧と濃度過電圧の両者が電流密度に対して増減の変動を示している。これはリブ部拡散層中の生成水がある程度溜まると, 高低圧流路間圧力差が上昇し, これを低圧流路に押し出すと圧力差が低下することを繰り返しており, これが周期的に行われるためと考えられる。

図 8 に所定空気利用率に制御したときのカソード空気供給圧力を示す。ここで, 電流密度 0.2 A/cm^2 以下では供試ガス供給装置の流量制御弁の制御不安定性を避けるために, 0.2 A/cm^2 での空気利用率相当流量一定制

Fig.7 Effects of the gas flow rate in the high pressure gas channels of the cathode on output voltage and overpotentials

御とした。またこの装置の上限乾燥ガス供給流量が 0.5 l/min であるので、それ以上のガス流量を必要とする電流密度域においても流量上限一定の制御となる。同図において、パラレル形では入口圧力はほとんど増加しない。高圧流路出口弁(HPVout)を5回転開いた実験での ΔP は、電流密度 0.2 A/cm^2 まではほぼ一定値 0.7 kPa を示しており、その後は直線的に増加している。

図9に高圧流路出口弁(HPVout)を5回転開いた実験での高圧流路流量を図5の検定CV値、入口温度、圧力、ガス湿度から算出した結果を示す。約80%が高圧流路を流れる。供給ガス量から前者を差し引いた残りの20%がリブ部拡散層吹き抜け流量となる。

上限乾燥ガス供給流量 0.5 l/min を超える電流密度 (1.3 A/cm^2) 域で 40 kPa 一定となる。4回転開くと圧力はおおよそ20%増加し、前者と同様な変化を示している。

図10に同弁を4回転開いたときの各部流量を示す。高圧流路流量は約70%に減少し、リブ部拡散層吹き抜け流量は約30%に増加している。

Fig. 8 Effect of the gas flow rate in the high pressure gas channels on the pressure drop ΔP in the channels

Fig.9 Gas flow distributions at the revolution number of the HPVout valve of 5 from the closed position

図7において高圧流路入口弁(HPVin)開回転数を5回転から4回転に減少させると、濃度過電圧の低下に起因する出力電圧の増加を生じたのはリブ部拡散層吹き抜け流量の増加に起因していると考えられる。

4.2 低圧流路ガス流量制御 表2に示したように高圧流路入口弁(HPVin)を全開、出口弁(HPVout)を全開、低圧流路出口弁(LPVout)を全開とし、入口弁(LPVin)を全開から設定回転数開度まで開いていくと、高圧側流路から低圧側流路へリブ部拡散層を吹き抜けていく流量が減少し、低圧流路に直接流れ込む流量が増加する。

図11に低圧流路入口弁(LPVin)を全開から5回転および4回転開いた実験での出力電圧と各部過電圧を示す。出力電圧(V_{ca})において、5回転開はパラレル形よりも低下する傾向を示したが、4回転開では逆に高電流密度域の大幅な増加を示した。 IR 過電圧(η_{IR})とカソード活性化過電圧(η_{ca})は両者とも変化量が小さい。カソード濃度過電圧(η_{cc})は、5回転開は増加し、4回転開は大幅に減少している。従って出力電圧の増減は濃度過電圧の減増にある。

また、図7でみられた出力電圧と濃度過電圧が電流密度に対して増減する変動幅は同図11では一層大きくになっている。

図12にカソード空気供給圧力を示す。図8と比較して、PEFCに供給される合計ガス量が電流密度に対して同一であり、それぞれのバルブ開度がそのバルブを流れる流量を決定するので、流量制約バルブ開度が同一である二つの図の圧力カーブはほぼ同一特性を示している。図13に5回転開いた時の各部流量を示す。約90%が低圧流路を流れ、10%がリブ部拡散層吹き抜け流量である。

図14に4回転開いたときの各部流量を示す。低圧流路流量は60%に減少し、リブ部拡散層吹き抜け流量が40%に増加している。

Fig.10 Gas flow distributions at the revolution number of the HPVout valve of 4 from the closed position

Fig.11 Effects of the gas flow rate in the low pressure gas channels of the cathode on output voltage and overpotentials

Fig.12 Effect of the gas flow rate in the low pressure gas channels on the pressure drop ΔP in the channels

LPC : Low Pressure Channel

Fig.14 Gas flow distributions at the revolution number of the LPVin valve of 4 from the closed position

LPC : Low Pressure Channel

Fig.13 Gas flow distributions at the revolution number of the LPVin valve of 5 from the closed position

4-3 リブ部拡散層吹き抜け流量の影響 前節二つの実験結果から、リブ部拡散層吹き抜け流量が PEFC 性能および濃度過電圧に与える影響を考察する。二つの実験において、高压流路流量と、低压流路流量を変化させる実験を行った結果、高压流路流量制御のほうが、低压流路ガス流量制御よりも性能が向上した。両流路流量が性能に与える影響は小さく、むしろリブ部拡散層吹き抜け流量が多いほど性能向上する結果が得られた。著者らがリブ部と流路部の発電分布を実験解析した結果^{(5)~(8)}では、過半がリブ部発電であった。反応ガスをより必要とするリブ部に積極的にガスを供給

する吹き抜け流量増加が性能向上に寄与したと考えられる。

5. 結 言

対向櫛形流路とパラレル形流路を併せ持ち、両者の割合を任意に設定できるパラレルハイブリッド形流路を設計・開発し、上記二つの流量を同時に変化させたときの PEFC 各部過電圧を解析することにより、性能向上のための流路構造及び流量比を追究した。得られた成果及び知見は以下である。

- (1) 高压流路入口弁及び低压流路出口弁、二つの弁の CV 値を事前検定し、弁開度を調整することにより、両流路流量を設定し、全流量との差からリブ部拡散層を吹き抜ける流量を推定できる。
- (2) 高压流路流量及び低压流路流量を変化させた実験では、両流路流量が性能に与える影響は小さく、むしろリブ部拡散層吹き抜け流量が多いほど性能向上する。発電割合が多く、反応ガスをより多く必要とするリブ部に積極的にガスを供給する吹き抜け流量増加が性能向上に寄与すると考えられる。対向櫛形流路の性能解析と最適流量比の追究が今後の課題である。

謝 辞

本研究の一部は、文部科学省 21 世紀 COE プログラム「水素利用機械システムの統合技術」からの援助を受けて行われたものであり、ここに謝意を表します。

文 献

- (1) Nguyen, T. V., A Gas Distributor Design for Proton-exchange-membrane Fuel Cells, *Journal of the Electrochemical Society*, 143(5), 1996, pp. L103-L105.
- (2) Wood, D. L., Yi, J. S., and Nguyen, T. V., Effect of Direct Liquid Water Injection and Interdigitated Flow Field on the Performance of Proton Exchange Membrane Fuel Cells, *Electrochimica Acta*, 43(24), (1998), pp.3795-3809.
- (3) He, W., Yi, J. S., and Nguyen, T. V., Two-phase Flow Model of the Cathode of PEM Fuel Cells Using Interdigitated Flow Fields, *AIChE Journal*, 46(10), (2000), pp. 2053-2064.
- (4) Lin, G., and Nguyen, T. V., Effect of Thickness and Hydrophobic Polymer Content of the Gas Diffusion Layer on Electrode Flooding Level in a PEMFC, *Journal of the Electrochemical Society*, 152(10), (2005), pp. A1942-A1948.
- (5) Konomi, T., Kitahara, T., Nakajima, H. and Murakami, H., Analysis of Electric Generation Distribution on PEFC Electrode (1st Report, Electric Generation Distribution under Rib and Gas Channel on 1mm Rib width Cell), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B, Vol.73, No.726* (2007-2), pp. 631-637 (in Japanese)
- (6) Konomi, T., Kitahara, T., Nakajima, H. and Murakami, H., Analysis of Electric Generation Distribution on PEFC Electrode (2nd Report, Electric Generation Distribution on a PEFC with Ribs and Gas Flow Channels of 2mm Width), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B, Vol.74, No.739* (2008-3), pp.678-683 (in Japanese)
- (7) Konomi, T., Kitahara, T., Nakajima, H. and Tanaka, Y., Analysis of Electric Generation Distribution on PEFC Electrode (3rd Report, Electric Generation Distribution in a PEFC analyzed by Partial Electrode Method), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, (Under review, in Japanese)
- (8) Konomi, T., Kitahara, T., Nakajima, H. and Tanaka, Y., Analysis of Electric Generation Distribution on PEFC Electrode (4th Report, Electric Generation Distribution on a PEFC with Hot Press MEGA), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, (Under review, in Japanese)
- (9) He, W., Lin, G., and Nguyen, T. V., Diagnostic Tool to Detect Electrode Flooding in Proton-exchange Membrane Fuel Cells, *AIChE Journal*, 49(12), (2003), pp. 3221-3228.
- (10) Konomi, T., Kitahara, T., and Sasaki, Y., Effects of Design Parameters in Paper Type GDL on PEFC Performance (Effects of Hydrophobic Treatment, Micro Porous Layer and Specific Density on Performance), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B, Vol.72, No.715* (2006-3), pp. 758-763.
- (11) KOFLOC Corp., General Catalog K-2007 (2006-11), pp.96-105.
- (12) Konomi, T. and Sasaki, Y., Effects of Running Condition on Over Voltage in PEFC, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B, Vol.71, No.705* (2005-5), pp.1428-1435 (in Japanese)