サーペントインハイブリッド形流路を有する PEFC の開発研究*

(第3報, 並行流, 対向流が出力電圧の安定性に与える影響)

高園 康 隼^{*1}, 津田 和 人^{*2}, 許 斐 敏 明^{*3}
北 原 辰 巳^{*4}, 中 島 裕 典^{*4}

Development of a PEFC with Serpentine Hybrid Pattern Gas Channels

(3rd Report, Effects of Co- and Counter-Flows on the Stability of the Output Voltage)

Yasutaka TAKAZONO^{*5}, Kazuto TSUDA, Toshiaki KONOMI,
Tatsumi KITAHARA and Hironori NAKAJIMA

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

In our previous study, we have developed a hybrid pattern gas flow channel design, where a serpentine flow channel is placed between interdigitated flow channels for polymer electrolyte fuel cells (PEFCs). In the present paper, using this flow channel design, we investigate the effects of gas flow direction on the output voltage under non-humidified cathode condition. As a result, we find a gas flow pattern that causes partial flooding by product water accumulation due to the gravity. Moreover, counter flow in the serpentine channel is found to increase the water content in the membrane, so that the fluctuation of the output voltages is suppressed. On the other hand, when the cathode outlet is downside, the above partial flooding is prevented. In addition to choosing this outlet, the counter flow of the serpentine and interdigitated flows is found to be effective to increase average output voltage and to suppress the fluctuation of the output voltage. In this case, the cathode outlet faces the inlet of the anode serpentine channel, where flow velocity is the highest in the anode flow channels. This gas flow pattern leads to sufficient supply of the product water at the cathode outlet to the anode side channels by the back-diffusion. Thus, the fluctuation of the output voltage is also minimized.

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

水素を燃料とする固体高分子形燃料電池 (以下 PEFC) がエネルギー変換効率の高さとゼロエミッションの両面で次世代の動力源として期待されている。

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, パラレル形とサーペントイン形, 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)}。これはガス流を高圧流路から低圧流路に拡散層

を通り抜けて流すことにより, 反応ガスを積極的に電極部に供給することを意図している。

著者らは反応ガスを積極的に電極部に供給できる対向櫛形流路と生成水排出能力に優れたサーペントイン形流路組み合わせることにより性能向上を企図したサーペントインハイブリッド流路を設計・開発し, その流路構造について研究を行ってきた。

第1報⁽⁵⁾では高圧流路をパラレル形とサーペントイン形の両方式を構成でき, 低圧流路はサーペントイン形とした PEFC の設計・開発の概要を示し, 高圧流路のサーペントイン化により, 高空気利用率条件において従来の PEFC 性能を上回る出力密度が得られること, 及び電流密度に対する電圧変動が改善されることを明らかにした。第2報⁽⁶⁾では低圧流路サーペントイン化の効果を高めるため低圧流路断面積を約 1/3 とした PEFC を設計・開発し, 低圧流路流速を向上させるこ

* 原稿受付 2009 年 11 月 9 日。

^{*1} 正員, 九州大学大学院工学府 (☎ 819-0395 福岡市西区元岡 744)。

^{*2} 九州大学工学部。

^{*3} 正員, フェロー, 九州大学大学院工学研究院。

^{*4} 正員, 九州大学大学院工学研究院。

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

とで従来の PEFC 性能を大幅に上回る性能を得ることができ、低圧流路流速高速化の利点を明らかにした。

他方、PEFC システムの簡素化のために無加湿運転の必要性が高まっている。このため、MEA のドライアップに起因する IR 過電圧及びカソード活性化過電圧の増加による性能低下及び出力電圧の不安定が課題となっている。これらの改善にはカソード出口ガスの生成水をアノード側に逆拡散させ、アノードガスによりカソード入口に戻す総合水管理⁷⁾が有効である。そこで本研究ではサーペントインハイブリッド流路Ⅱ型におけるアノード・カソード間の並行流・対向流が出力電圧の安定性に与える影響を解析し、安定性向上の方策を追究することとした。

2. 実験装置及び供試 PEFC

2.1 実験装置、実験条件 燃料電池の性能評価には、小野測器社製のガス供給装置と電子負荷器（計測技研社製 ELZ303）を用い、電流電圧特性及び IR 過電圧を計測した。IR 過電圧の測定には電流遮断法⁸⁾を用いた。本実験では JAPAN GORE-TEX 社の MEA (PRIMEA5580, 膜厚 30 μm , 電極面積 4.2 cm^2 , Pt 量 0.4 mg/cm^2) を使用した。電極面積は例えば自動車用 PEFC セルのそれと比較してかなり小さいが、これによる寸法効果については今後の研究課題としたい。ガス拡散層は 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 GDL24BC 拡散層をカソード側に、MPL を塗布しない GDL24BA をアノード側に用いた。両供給ガスはそれぞれ高圧ボンベから供給し、アノードには 99.95% H_2 を所定湿度に加湿した。カソードには乾燥空気を無加湿のまま供給した。

表 1 に実験条件を示す。PEFC の温度を 75 $^{\circ}\text{C}$ 、アノード加湿器の温度を 59.6 $^{\circ}\text{C}$ とし、相対湿度約 50% の水素を供給した。アノード側のガス利用率を 70% に設定し、カソード側のそれを 50% とした。

2.2 流路構成 図 1 に流路構成(同図左)と組み付けたときの断面概略(同図右)を示す。アノード側・カ

Fig.1 Design of the serpentine hybrid flow channels type II

ソード側ともに前報で示したサーペントインハイブリッド流路Ⅱ型⁶⁾とし、同図において一点鎖線に沿って谷折りに組み付けたときにアノード側のリブとカソード側のリブが、また同様に両極の流路がそれぞれ合致する構造とした。サーペントインハイブリッド流路Ⅱ型にはガス出入口が両極に各 3 個ずつあり、それぞれにガス流入口、ガス流出口、行き止まりと設定することで表 2 に示すモードを構成した。なお、PEFC は流路面が鉛直になるように置いて運転を行った。

同表の流路概略図の太線が高圧流路を示し、細線が低圧流路を示す。また矢印はガスの流れ方向を示し、丸印 (●) は行き止まりであることを示す。具体的にはモード①のアノード側において、対向櫛形流路を高圧流路と設定し、隣り合うサーペントイン流路を低圧流路とする。サーペントイン流路の出口を上部と設定し、下部を行き止まり路設定とすると、低圧流路ガスは重力に逆らって上向き排出となる。これと向かい合うカソードのサーペントイン流路をアノードと同様に、低圧流路かつ上向き排出とすればリブ部拡散層を吹き抜けるガス流が並行流、かつサーペントイン流路並行流の組み合わせの設定となる。

モード②は、向い合う両極サーペントイン流路を下向き排出とすれば、モード①と同じリブ部並行流、サーペントイン流路並行流であるが、ガス排出方向がモード①とは逆の設定となる。

モード⑤は、アノードサーペントイン流路を高圧流路とし、下方をガス入口、上方を行き止まりとし、ガスの流れ方向を上向きとし、カソード側はモード①と同様の設定とすればリブ部対向流、かつサーペントイン流路並行流となる。

以上のように、ガス流入口と流出口を選択することにより、リブ部の並行流・対向流とサーペントイン部の並行流・対向流、及びガスの上向き排出と下向き排出の組み合わせを設定できる。表 2 に示すように、サーペントイン流路の並行流・対向流、同部の上向き排出・下向き排出、及びリブ部の並行流・対向流をそれ

Table 1 Experimental conditions

FC temp.	75 $^{\circ}\text{C}$
Anode Humidifying temp.	59.6 $^{\circ}\text{C}$ (R.H. = 50%)
Gas Utilization Rate	$\text{H}_2 = 0.7$ Air = 0.5
Back pressure	0 MPa (Gauge)
Electrode area	4.2 cm^2

Table 2 Combinations of the gas flow pattern

		Anode/Cathode Flow at serpentine channel			
		Co-flow		Counter-flow	
		Up/Down Draft		Up/Down Draft	
Anode/Cathode Flow under Rib	Co-flow	Up/Up Anode Cathode Mode①	Down/Down Anode Cathode Mode②	Down/Up Anode Cathode Mode③	Up/Down Anode Cathode Mode④
	Counter-flow	Up/Up Anode Cathode Mode⑤	Down/Down Anode Cathode Mode⑥	Down/Up Anode Cathode Mode⑦	Up/Down Anode Cathode Mode⑧

ぞれ組み合わせると計 8 個のモードとなり、そのすべてを実験解析した。

2・3 貫通細孔面積比の計測方法と定義 前報⁽⁶⁾に示した計測方法により、高圧流路と低圧流路の平均圧力差 (ΔP) を算出する。

一般に多孔質材料の細孔透過はポアゾイユ流れとみなせるので、圧力損失と流量の関係は線形となる。従って PEFC 運転中の高圧流路と低圧流路の圧力差 ΔP における実働時流量 Q と乾き流量 Q_0 の比が細孔閉塞水を押し出して貫通した細孔面積 A と乾き貫通細孔面積 A_0 の比と一致することとなるので、以下となる⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。

$$A/A_0 (=Q/Q_0) : \text{貫通細孔面積比}$$

3. 一定電流密度運転時の出力電圧安定性実験

表 1 に示した実験条件において表 2 の 8 個のモードを、一定電流密度 0.5 A/cm^2 で運転し、出力電圧と IR 過電圧の経時変化を測定した。

3・1 リブ部並行流の安定性 表 2 に示したリブ部並行流におけるモード①からモード④の 4 通りの組み合わせにおける出力電圧と IR 過電圧の経時変化を図 2 に示す。ガス流路構成も同図中に示している。太線が高圧流路、細線が低圧流路、左がアノード、右がカソード流路を模式的に示す。

3・1・1 サーペンタイン流路並行流 図 2 に示したモード①の出力電圧は、2500 秒から 3000 秒の周期で変動しており、その変動幅は約 0.05 V である。同図に示した IR 過電圧も出力電圧に同期して変動しており、

その変動幅は約 0.02 V である。出力電圧の変動幅が 0.05 V に対して IR 過電圧の変動幅が 0.02 V であることから出力電圧に影響を与えている過電圧は IR 過電圧以外の影響が大きいと考えられる。

サーペンタイン流路のガス排出方向をモード①とは逆に、下向き排出としたモード②の出力電圧は、モード①と同様に周期的に変化しており、その変動幅と周期はモード①と同程度である。しかし IR 過電圧の変動幅はモード①のそれが約 0.02 V であったのに対し、モード②では約 0.05 V と大きな値となっている。これは出力電圧の変動幅と一致しており IR 過電圧の増加が出力電圧低下の支配的要因であるといえる。このことはモード①の状態に比べ、セル内生成水の排出性が良好であることを示唆している。つまり出力電圧の低下の要因は MEA の乾燥に起因した一時的なドライアップであると考えられる。

3・1・2 サーペンタイン流路対向流 サーペンタイン流路をアノード・カソード間対向流とするために、モード①の状態からカソードのサーペンタイン流路ガス排出方向を上向きとしたモード③の実験結果では出力電圧が約 4000 秒まで不安定な挙動を示している。これはセル内部が定常状態に達していないからであると思われる。その後は前述と同様に出力電圧が周期的な挙動を示しており、定常状態に達したと考えられる。モード①、②と比較して、出力電圧が安定するのに長

Fig.2 Time variations of the output voltage and IR overpotential for the mode①-④.

時間を要する理由は次項で解析する。出力電圧安定後はモード①、②と同様に 0.05V の変動幅で増減を繰り返しており、周期も同様に約 2500 秒程度である。IR 過電圧は出力電圧と同様に増減を繰り返しており周期も一致しているが、変動の幅は出力電圧のそれと比べて小さく、IR 過電圧以外の過電圧が影響していると考えられる。この特徴はモード①と同様である。二つのモードの共通点はカソードサーペンタインガスの排出が上向きであることである。カソードサーペンタイン流路の始点が下方にあることで生成水を重力の影響に逆らって上方向に排出する必要がある。その結果排出性能の低下と排出不安定を生じていると考えられる。これが濃度過電圧の増加と不安定の要因と考えられる。モード③からカソードサーペンタイン流路のガス排出方向を逆に下方排出、アノードのそれを上方排出としたモード④の結果を同図 2 右下に示す。出力電圧は前実験の結果と同じように周期的に増減を繰り返しているが、その波形が異なっている。モード①～③の実験では出力電圧の変動が矩形波状となっているが、モード④ではそれがのこぎり波状となっている。また出力電圧の変動幅が小さく約 0.03V となっている。しかし周期は約 2500 秒で同じである。IR 過電圧は矩形波状となっており変動の幅は約 0.03V とモード③のそれよ

り大きくなっている。また、IR 過電圧の変動幅は出力電圧のそれとほぼ一致している。このことから出力電圧減少の原因はセル内部の一時的部分的な乾きであると考えられる。

3・1・3 リブ部並行流のまとめ 以上の実験により得られた結果のまとめを行う。

(1) サーペンタイン流路並行流・対向流による違い アノード・カソード両サーペンタイン流路を並行流としたモード①、②と、対向流としたモード③、④を比較すると並行流のほうが出力電圧の変動幅がわずかではあるが大きい。

(2) カソードガスの上向き・下向き排出 カソードガス排出方向を上向きに設定したモード①及びモード③が他より低い IR 過電圧を示している。これはセル内部の生成水がカソードサーペンタイン流路始点に蓄積し、MEA の乾燥を防いだからであると考えられる。しかしながら、生成水を重力の影響に逆らって上方向に排出する必要があるため、排出性能の低下と排出不安定を生じ、これが濃度過電圧の増加と不安定を生じせしめたと考えられる。

3・2 リブ部対向流の安定性 アノード側において楕円流路を低圧、サーペンタイン流路を高圧流路に設定し、カソード側はそれとは逆の設定をすればリブ

Fig.3 Time variations of the output voltage and IR overpotential for the mode⑤-⑧.

部対向流となる。表 2 に示したリブ部対向流における 4 通りの組み合わせについてリブ部並行流のときと同じ条件で長時間運転時の出力電圧と IR 過電圧の変化を測定した。図 3 にモード⑤～⑧の実験結果を示す。

3・2・1 サーペンタイン流路並行流 アノードサーペンタイン高圧流路の上部をサーペンタイン流路終点とし、カソードサーペンタイン低圧流路を上向き排出とすることでリブ部は対向流、サーペンタイン流路を並行流としたモード⑤の出力電圧はリブ部並行流のときと同様に一定の周期を示している。しかしその挙動はこれまでに示したものと大きく異なり約 2000 秒間一定値を保持した後に急激な出力電圧の低下を生じている。その減少幅は約 0.2V であり、出力電圧の最大値の約 33% と非常に大きい。IR 過電圧が出力電圧の減少とともにわずかに(約 0.06V)減少していることから、IR 過電圧以外の過電圧増加を示している。この現象の要因としてセル内に多くの水が存在しており、この水が十分に MEA を潤すが、他方で電極へのガス供給を妨げフラッディングが生じ一時的に濃度過電圧が上昇していると考えられる。

モード⑤からアノードサーペンタイン高圧流路下部を終点、カソードサーペンタイン流路を下向き排出としたモード⑥の出力電圧において、変動周期はこれまで

と同様である。しかし出力電圧が高い値を示すのは一時的であり、一旦最大値を示すと次第に減少し、低い一定の値を示す。最大値と最小値の差は約 0.05V であり周期は約 4800 秒である。IR 過電圧は出力電圧の減少とともに増加しその変動幅は 0.05V となっており、出力電圧の変動幅と一致している。つまりセル内部の水が外部に放出されたことによる一時的な MEA の乾きが出力電圧の減少を生じたと考えられる。

3・2・2 サーペンタイン流路対向流 モード⑥からカソードサーペンタイン流路を上向き排出とし、サーペンタイン流路部を対向流としたモード⑦の出力電圧の変動幅は約 0.1V となっており、これまでの実験結果に比べて約 2 倍となっている。IR 過電圧はわずかな増減を繰り返すものの変動幅はかなり小さい。このことはセル内に水が保持されていて膜の含水状態が安定していることを示唆している。またセル内に水が保持されていることにより軽微かつ部分的なフラッディングが生じて濃度過電圧が上昇したと考えられる。

両サーペンタイン流路部の排出方向をモード⑦とは逆に設定し、対向流を保持しつつカソードサーペンタイン流路排出方向を下向きにしたモード⑧の出力電圧は同様に一定周期で増減を繰り返しているものの、その平均出力電圧は 8 個のモードにおいて最も高い。変動

Fig.4 Relative humidities of the anode and cathode outlets for the mode⑤.

の幅は約 0.05V となっており, 1 周期は約 3000 秒である。IR 過電圧は約 0.02V の変動幅で周期は出力電圧のそれと一致している。

3・2・3 リブ部対向流のまとめ 以上の実験により得られたリブ部対向流の結果をまとめる。

(1) サーペンタイン流路並行流・対向流 リブ部対向流におけるサーペンタイン並行流であるモード⑤, ⑥と対向流であるモード⑦, ⑧の比較においてもリブ部並行流と同様に, 後者のほうが IR 過電圧の変動幅が小さいことがわかる。つまりサーペンタイン流路対向流のほうがセル内部の含水状態が変化しにくく安定的であるといえる。大きな電圧変動を示したモード⑤の要因は次項で考察する。

(2) カソードガスの上向き排出・下向き排出 リブ部対向流において上向き排出のモード⑤, ⑦とモード⑥, ⑧の比較においても前項のリブ部並行流と同様の結果となった。出力電圧の安定性に関して, カソードガスの排出方向が最も大きな影響を与える。

3.3 一定電流試験の結果のまとめと考察 一定電流試験によって得られた結果のまとめと考察を行う。

(1) サーペンタイン流路上下排出方向の影響 カソードサーペンタイン流路のガス排出方向を上向きとすることで IR 過電圧の変動が小さくなった。また, これが減少したときに電圧が増加する現象が見られたが両者の変動幅は必ずしも一致するわけではない。IR 過電圧以外の過電圧の影響, すなわち濃度過電圧が影響していると考えられる。さらに, カソードサーペンタイン流路排出方向上向きでかつカソード出口部のアノード流速が最小となるモード③とモード⑤では部分的なフラiddiングと思われる電圧の大幅な低下を生じ, 不安定な挙動を示す。

カソードサーペンタインガスの排出方向を下向きとすると, サーペンタイン流路並行流では IR 過電圧の変動幅が大きくなり, IR 過電圧の増加量が電圧の減少

Fig.5 Relative humidities of the anode and cathode outlets for the mode⑧.

量の主要部を占める。一方でアノードサーペンタイン流路を上向き排出とすることでサーペンタイン流路を対向流とすると IR 過電圧の変動が減少する。

(2) サーペンタイン流路並行流, 対向流の影響 リブ部並行流, 対向流いずれも, サーペンタイン流路を対向流とすると, 出力電圧, IR 過電圧, 両者ともに変動幅が小さくなる。安定状態になるのに長時間を要したモード③(対向流)と大きな電圧変動を示したモード⑤(並行流)において, その影響が顕著である。

(3) リブ部並行流・対向流による違い リブ部拡散層を吹き抜けるガス流を並行流としたモード①～④と, 対向流としたモード⑤～⑧の実験結果において並行流, 対向流による違いはあまり顕著ではなく, 上記(1), (2)の要因のほうが出力電圧の安定性に影響すると考えられる。

4. 解析

前章の実験結果の要因を追求するために両極出口ガス湿度, 入口圧力, 貫通細孔面積比の計測・解析を行う。

4・1 両極出口ガス湿度 本節において解析の対象としたのはリブ部対向流安定性実験において最も不安定な挙動を示したモード⑤と, 最も安定し, しかも平均電圧が高かったモード⑧である。図 4 にモード⑤の両極出口ガス湿度を, 図 5 にモード⑧のそれを示す。モード⑤の出口湿度は IR 過電圧が減少し出力電圧が減少するのと同様に両極とも増加している。他方, モード⑧では出力電圧が増加し, IR 過電圧減少と同期してカソード出口湿度のみが増加し, アノード出口のそれはわずかな増加を示すのみである。

以上から, モード⑤において, 出力電圧低下時に両極ガス湿度が増加することがわかったが, モード⑧アノード側出口湿度と違いがある要因や, 出力電圧低下を生じせしめているのが, アノード側, カソード側のいずれかは特定できないので, 以下の解析を行う。

Fig.6 Anode and cathode inlet pressures and obtained cross-sectional area ratio of thorough-pores (A/A_0) of the GDL under rib for the mode⑤.

Fig.7 Anode and cathode inlet pressures and obtained cross-sectional area ratio of thorough-pores (A/A_0) of the GDL under rib for the mode⑧.

4.2 ガス供給圧力と貫通細孔面積比 図 6 にモード⑤, 図 7 にモード⑧におけるアノード入口圧力, カソード入口圧力及びカソード貫通細孔面積比を示す. モード⑤において, 電圧が大幅に低下した時にアノード入口圧力は変化しないが, カソード入口圧力は一時的に高くなっている. しかし入口圧力の上昇ではリブ部拡散層のフラッディングを定量的に把握できないので, 2・3 項で定義した貫通細孔面積比を用いて解析することとする. 同図 6 の貫通細孔面積比は電圧の安定している状態では約 1.0 を示すが, 電圧低下と同期して 0.7 となり, 約 30% 低下している. これらのことから電圧低下の要因はカソードリブ部拡散層内において生成水が細孔部を閉塞したことによるフラッディングであると推定される. 図 7 に示したモード⑧のアノード入口圧力はほとんど変化しておらず, カソード入口圧力の増加, 及び貫通細孔面積比の減少はいずれも, モード⑤と比較して小さな変化を示している.

4.3 出力電圧変動に関する考察 モード⑤で大きな出力電圧の低下があること, モード③で出力電圧が安定するのに長時間を要し, その後もやや不安定であった理由を考察する.

(1) カソードガスの上向き排出 カソードガスを上向きに排出する設定とすると, 生成水を重力に逆らって上方に排出するので, 排出性の悪化と不安定を生じやすい. しかし, カソードガス上向き排出の他のモードは, モード③, ⑤のような不安定もしくは大きな出力電圧低下を示していないことから, 下記の要因の影響が大きいと考えられる.

(2) アノード, カソードの相互影響 カソードガスは出口に近づくほど, より多くの生成水を含むこととなり, フラッディングを生じやすい. モード⑤に

おいて, カソード出口に相対するアノードは高压流路終点となっており, アノードガス流速は最も遅くなっている. モード③のそれは低压流路始点であり, 同様に最も遅い流速である. しかしモード③では両極サーペンタイン流路が対向流のため, モード⑤よりも出力電圧低下が小さくなったと考えられる.

(3) モード⑤, ⑧の両極ガス出口湿度の違い

モード⑧において, カソード流路は下向き排出であるので生成水の排出は安定している. しかし, 流路の一部に溜った生成水が一時的に排出されると, カソード出口ガスに含まれる生成水はアノード側に逆拡散され, 同側で最も速い高压流路入口流速で楕形低压流路に分配される. これが貫通細孔面積比の低下を小さくしている. カソード出口湿度は上昇するが, アノードガス出口においては楕形流路を経由してカソード側に拡散されるため, 湿度上昇が小さいと考えられる.

他方, モード⑤においては, カソード流路は上向き排出であるので生成水の排出は不安定であり, 排出抵抗も大きい. 滞留生成水の排出によるカソードガス出口部のフラッディング発生時において, アノードガス流速が最小であるので, カソード側から逆拡散してきた生成水の排出能力が低い. さらにこの逆拡散水は低压楕形流路出口近傍に排出されるので, カソード側に拡散される量が少なく, アノード出口ガス湿度上昇が高い値を示すこととなる.

モード⑤と比較してモード③は, サーペンタイン流路が対向流で, しかもアノードガスが下向き排出のため, 電圧低下量が小さくなったと考えられる.

5. I-V 特性の安定性

モード⑤及びモード⑧において, I-V 特性を計測す

ることにより、流路構成が性能安定性に与える影響を実験解析した。実験条件は表 1 に示したとおりである。結果を図 8 に示す。モード⑤では一定電流試験における電圧安定時と電圧低下時に I-V 特性の計測を開始し、約 20 分間かけて電流掃引を行った。前者をモード⑤-I、後者をモード⑤-II として図 8 に結果を示す。同図において、電圧安定時に計測したモード⑤-I は I-V 特性に極値が見られず、しかもモード⑧と同じ特性を示している。しかし、電圧低下時に計測を開始したモード⑤-II では、電流掃引の途中で電圧が変動し、不安定な挙動を示している。以上から、モード⑧の流路構成を選定すると I-V 特性の安定化を図ることができる。

6. 結言

櫛形流路とサーペントイン形流路を組み合わせたサーペントインハイブリッド II 型流路のカソード無加湿運転において、ガスの上向き、下向き排出、及び櫛形流路部、サーペントイン流路部間の並行・対向流が、一定電流密度運転時の出力電圧安定性に与える影響を実験解析し、下記の知見を得た。

- (1) カソードガスを下向き排出とすると排水不安定性に起因する出力電圧の変動を回避できる。
- (2) サーペントイン部を対向流とすると、カソード出口ガスの生成水がアノード側入口に逆拡散し、アノードガスにより生成水が面方向に広がり、MEA 含水状態が安定すると考えられる。そのため出力電圧変動が緩和した。
- (3) 生成水排出量が最大となるカソードサーペントイン流路出口に接するアノード側ガス流速が最小となる構成を避けると、フラッディングに起因すると思われる大きな出力電圧変動を回避できる。
- (4) カソードガスの下向き排出、サーペントイン形流路及びリブ部が対向流となる構成とすると、カソード出口部に接するアノード部が高圧流路入口となり、そこに比較的湿度の低い水素がアノード流路中で最も速い速度で流入するため、アノード側膜・流路間の物質伝達が促進され、これによりカソード側流路出口の生成水が膜を通過してアノード側へと移動する逆拡散を促進し、その結果 MEA の含水状態が安定し出力電圧が今回実験したモードの中で最大となり、電圧変動も小さくなる。これにより I-V 特性の安定化も図ることができる。

Fig.8 I-V characteristics for the mode⑤ and mode⑧.

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 Takazono, Y., Development of a PEFC with Serpentine Hybrid Pattern Gas Channels (1st Report, Design and Performance of the PEFC), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B, Vol.75, No.752* (2009-4), pp. 569-576 (in Japanese)
- (6) Takazono, Y., Konomi, T., Kitahara, T., and Nakajima, H., Development of a PEFC with Serpentine Hybrid Pattern Gas Channels (2nd Report, Effects of the Flow Velocity in a Low Pressure Channel), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B, Vol.75, No.752* (2009-4), pp.577-584(in Japanese)
- (7) Kitahara, T., Konomi, T., Nakajima, H., and Seguchi, Y., Influences of Anode Gas Recirculation on the PEFC Performance under No-Humidification at the Cathode, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B, Vol.76, No.761* (2010-1), pp.95-100 (in Japanese)
- (8) Larminie, J., Dicks, A., *Fuel Cell Systems Explained*, translated by Tsuchiya, H., (2004), p77-p81, Ohmsha
- (9) Konomi, T., Kitahara, T., Nakajima, H., Tashiro, M., and Takazono, Y., Development of a PEFC with Parallel Hybrid Pattern Gas Channels (2nd Report, Performance and Flooding under the Rib of the Interdigitated Gas Channel), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B, Vol.74, No.741* (2008-5), pp.1003-1009(in Japanese)
- (10) Konomi, T., Kitahara, T., Nakajima, H., Tashiro, M., and Takazono, Y., Development of a PEFC with Parallel Hybrid Pattern Gas Channels (3rd Report, Effects of GDL Design Parameters on PEFC Performance in Interdigitated Gas Channel), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B, Vol.74, No.741* (2008-5), pp. 1010-1017(in Japanese)