C113

固体高分子形燃料電池内の水分発生の可視化

橋本和哉¹⁾ 丹野宏貴¹⁾ 小池智¹⁾
泉哲雄¹⁾ 江尻英治¹⁾

Visualization of Moisture Generation in
a Polymer Electrolyte Fuel Cell

Kazuya HASHIMOTO, Hiroki TANNO,
Satoshi KOIKE, Tetsuo Izumi and Eiji EJIRI

ABSTRACT

Water management is one of the most important factors in efficient operation of a polymer electrolyte fuel cell, which is now actively under development aiming at practical application to home cogeneration systems, automobiles and mobile machines. This paper describes the influence of cell posture, humidity and utilization factor of supplied gases, and duration time of operation on the fuel cell performance of power generation in terms of water management. A test single cell with open channel separators and transparent endplates was specially manufactured to visualize moisture generation and two-phase flow in the anode and cathode channels of the cell. The results show that the amount of condensed water in the channels greatly varies with operating conditions and directly links to the cell performance of power generation.

Keywords: Polymer electrolyte fuel cell, Water management, Generation of electricity

1. はじめに

将来の電力需要をまかなうために、小型で高効率なシステムの一つとして、燃料電池が注目されている。燃料電池とは、酸素と水素を化学的に反応させ、水を生成する過程で電気エネルギーを得る発電装置である。その中で固体高分子形燃料電池はモバイル機器などの携帯用電源や自動車用駆動源としても研究開発されており、幅広い分野での使用が可能である。固体高分子形燃料電池は、セル内部の水分状況が発電性能に大きく影響を与えるため¹⁾、適切な水分管理が要求される。本研究では単セル内のガス流路における結露や気液二相流を可視化し、水分発生状況と発電性能との関係を調べた。実験には、固体高分子形燃料電池の最小単位である単セルを用いた。

2. 実験装置および実験方法

使用した燃料電池の単セルの構造を図1に示す。MEA (Membrane Electrode Assembly, 膜/電極接合体) を挟む形でガス拡散層、セパレータ、エンドプレート配置する。ガス拡散層側での生成水を観察するため、セパレータの流路溝は貫通した構造とした。集電板は使用せず各セパレータに設けた2ヶ所の端子の角部から直接電圧を測定する。また、エン

ドプレートの中央部を透明アクリルで製作することにより、空気極側および水素極側の流路内部を可視化できる。空気極側および水素極側の流路形状は一本の流路で形成される単純形状とし、流路断面は4×4[mm]とした。実際に使用したセパレータ流路画像を図2に示す。セルの設計仕様を表1に示す。

Fig.1 Schematic view of tested single cell

Fig.2 Front view of separator channel

Table 1 Design specification of tested single cell

cell effective area	49 cm ² (70mm×70mm)
output voltage	0.7 [V]
output current	21 [A]
power density	300[mW/cm ²]

原稿受付 2003年5月17日

1) 千葉工業大学 工学部

(275-0016 千葉県習志野市津田沼2-17-1)

実験装置システムの概略を図 3 に示す。空気、水素はともに高圧ポンプの乾燥ガスをレギュレータによって 100[kPa]まで減圧し供給した。供給ガスを加湿するために、外部加湿方式のパプラー加湿法⁽²⁾を用いた。湿度は空気、水素にともに与えるか、ともに与えないかの 2 通りにした。利用率は、水素ガス入口と出口に設けた流量計により水素消費量を計算し設定した。空気利用率を F_{Air} 、水素利用率を F_{H_2} と示す。表 2 に実験条件を示す。燃料電池セルは任意の姿勢に固定し実験することが可能である。図 4 に示すように、空気極側を下面に保持した時を $\theta=0^\circ$ 、鉛直とした時を $\theta=90^\circ$ 、上面にした時を $\theta=180^\circ$ と定義する。

燃料電池の評価方法として電流密度－電圧、電力特性を用いた。燃料電池セルの電流、電圧は電流密度の低い点から利用率を一定とし、電子負荷装置で抵抗を調整しながらパワーメータによって計測した。また、無加湿の実験の場合 MEA が乾燥したままでは発電しにくいため、計測開始前に加湿した窒素ガスを 5 分間供給する。実験項目として、姿勢による性能変化、加湿の有無による性能変化、利用率による性能変化、時間経過による性能変化を計測し、各条件での画像を撮影し、セル内水分状況と発電性能差を比較する。

3. 単セル内水分発生状況と発電性能

3.1 セルの姿勢による性能比較

燃料電池セルの姿勢による発電性能変化を調べたのが図 5 である。供給ガスは空気、水素とも加湿せず、利用率 50%で行った。図 5 より $\theta=90^\circ$ の場合に最も出力が高くなることがわかる。図 6 に最大出力点付近の空気側の流路の様子を示す。(c) $\theta=180^\circ$ の (i) は MEA 側から発生した生成水であり、(ii) において白く曇っている部分はアクリル面に凝縮した生成水である。(b) $\theta=90^\circ$ の場合は余分な生成水が流路下流に持ち去られるので出力が高くなると考えられる。(a) $\theta=0^\circ$ 、(c) $\theta=180^\circ$ とセルを水平にした場合は、重力の作用により生成水が MEA 上面に付着し、局部的に水が多く生成しフラッドィング⁽³⁾がおこるため出力が低くなると考えられる。

Fig.6 Visualized moisture in cathode channel

Fig.3 Block diagram of experimental system

Fig.4 Variation of cell posture

Table 2 Experimental condition

Cell temperature	50[°C]
Inlet gas temperature	50[°C]
Inlet gas pressure	100[kPa]
Inlet gas humidity	0[%RH], 100[%RH]
Gas utilization factor	F=25[%], 50[%]

Fig.5 Influence of cell posture

3.2 異なるガス条件による性能比較

セル姿勢を $\theta=90^\circ$ に固定し、供給ガス条件により発電性能がどのように変化するかを調べた。図 7 は供給ガス湿度 0[%RH]、図 8 は供給ガス湿度 100[%RH] において利用率を変化させたグラフである。図 9 は供給ガス湿度 0[%RH]、図 10 は供給ガス湿度 100[%RH] における最大出力点付近の画像である。図 7、図 8 で同じ利用率の線を比較すると、供給ガスを加湿した方が高出力であることがわかる。図 9 と図 10 の同じ利用率で比較すると、供給ガスを加湿した方がアクリル面の曇る面積が広いことから発電面積が広がると考えられる。

供給ガス湿度 0[%RH] の場合には、利用率の低い図 9(b)の方が利用率の高い図 9(a)より曇りの面積が狭い。供給ガスを加湿しない場合には、利用率を低くし、流量を多くすることによりセル内の生成水が外部に排出されるので出力が低くなると考えられる。供給ガス湿度 100[%RH] の場合にも利用率の低い方が曇る面性が狭い。しかし、供給ガスを加湿しない場合と違い利用率の低い方が出力は高い。加湿した場合には、利用率が高いとセル内に余分な水分が留まり、MEA へのガスの供給を妨げてしまうため出力が低くなると考えられる。また、加湿した場合に空気利用率を 25[%]にしたときに高出力が得られた。水素利用率を変化させても出力の大差は見られないため、出力の変化は空気の利用率の影響を大きく受けることがわかる。

このことより、アクリルの曇る面積は湿度や利用率によって変化し、それが出力変化に関係していることがわかった。

Fig.7 Influence of gas utilization factor (without humidification)

Fig.8 Influence of gas utilization factor (with humidification)

Cathode channel Anode channel
(a) $F_{Air}=50\%$, $F_{H2}=50\%$

Cathode channel Anode channel
(b) $F_{Air}=25\%$, $F_{H2}=25\%$

Fig.9 Visualized moisture in channel (without humidification)

Cathode channel Anode channel
(a) $F_{Air}=50\%$, $F_{H2}=50\%$

Cathode channel Anode channel
(b) $F_{Air}=25\%$, $F_{H2}=25\%$

Fig.10 Visualized moisture in channel (with humidification)

3.3 長時間運転における性能変化

抵抗値を一定にした場合の長時間運転による性能変化を調べた。抵抗値は図8において最高出力点付近である $26[\text{m}\Omega]$ と、その約半分の電流密度の $112.9[\text{m}\Omega]$ と設定した。時間による水分発生状況を観察するため、空気、水素両極をビデオカメラによって撮影した。実験は3.2と同じガス条件でおこなった。図11、図12に時間による出力変化を、図13、図14に $26[\text{m}\Omega]$ において実験開始60分後の画像を示す。抵抗値 $112.9[\text{m}\Omega]$ の場合、ガス条件を変化させても出力差及び時間的出力変化はなかった。抵抗値 $26[\text{m}\Omega]$ の場合は、加湿の有無と利用率によって生成される水の量に差が見られた。出力と水分量を比較すると、無加湿の場合は、空気利用率が高いと生成水が外部に排出されず出力低下が起こると考えられる。加湿の場合は、初期出力は高いが、時間経過と共にセル内部の水分量が過剰となり出力低下が起こると考えられる。

4. まとめ

固体高分子形燃料電池単セル内部を可視化したことにより以下のことが明らかになった。

- (1) セル姿勢は $\theta=90^\circ$ が高出力を得るのに最も適しているといえる。これは、水の排出能力からも言える。セルを水平に設置する場合には水の排出とガスの供給方法に特に配慮する必要がある⁽⁵⁾。
- (2) 供給ガスの湿度、利用率により出力に大きな差が生じた。加湿し、空気利用率を低くすると出力が高くなることがわかった。今後は性能向上のために、湿度の細かいコントロールを行い最適なガス条件を見つけることが求められる。
- (3) 本実験で使用した単セルは可視化することが目的であるので流路幅が広く作られており、水が効率よく外部に排出されなかった。しかし、内部の水分状況を観察するには十分な結果が得られた。

参考文献

- 1) 平田賢, PEM 燃料電池入門, 環境新聞社 (1999), pp. 163-167
- 2) 電気学会, 燃料電池の技術, 株式会社オーム社 (2002), p. 63
- 3) 燃料電池研究会, 燃料電池の本, 日本工業新聞社 (2001), p. 32
- 4) 竹原善一郎, 燃料電池技術とその応用, テクノシステム (2000), p. 103
- 5) 柳父悟 西川尚男, エネルギー変換工学, 東京電機大学出版社 (2004), p. 124

Fig.11 Time history of output power (without humidification)

Fig.12 Time history of output power (with humidification)

$F_{\text{Air}} = 50[\%], F_{\text{H}_2} = 50[\%]$ $F_{\text{Air}} = 25 [\%], F_{\text{H}_2} = 25[\%]$

Fig.13 Cathode channel after 60 minutes (without humidification)

$F_{\text{Air}} = 50[\%], F_{\text{H}_2} = 50[\%]$ $F_{\text{Air}} = 25 [\%], F_{\text{H}_2} = 25[\%]$

Fig.14 Cathode channel after 60 minutes (with humidification)