

自動車用固体高分子型燃料電池システム簡易評価装置の製作

日大生産工(院) ○根本 靖直 日大生産工 野村 浩司
日大生産工 氏家 康成

1. 緒言

固体高分子型燃料電池 (PEFC) は優れた起動性, 高出力密度などの利点から次世代自動車用エネルギー源として有望視されている. しかしながら, 氷点下の低温環境における起動性低下・出力低下が問題視されており, 自動車への利用を考えた場合, 対策が必要である. これまでに低温環境に関する報告として, 低温起動特性に関する研究¹⁾や低温環境用定置型燃料電池の開発²⁾, 車載用耐凍結 PEFC スタックの開発³⁾など多くの研究が行われてきた.

本研究では HILS (Hardware in Loop Simulation) という手法を用い, 燃料電池を簡易的に評価できるシミュレータの構築を目的とした. HILS の概略を図 1 に示す. 燃料電池の発電状況を実験により収集し, Simulink®上の燃料電池システムモデルにフィードバックすることで, Simulink®上で低温環境下の性能試験をシミュレーションできるようなシステムを構築した. 本実験は単セルによる実験であるが, 断熱性・熱容量

などを Simulink®上で変化させることにより, 将来は燃料電池スタックシステムを簡易的にシミュレーションできる試験装置に発展させることを考えている. 本報告では, 製作した燃料電池システム評価装置の基本データを収集した結果について報告する.

2. 実験装置および方法

図 2 に燃料電池システム評価装置の概略を示す. 燃料電池は MEA と MEA 試験容器から成る. MEA には中村理科工業(株)製の燃料電池の MEA を使用した. 燃料には水素, 酸化剤には圧縮空気(79%窒素, 21%酸素)を用い, 高压ポンプより供給した. 将来行う加圧運転の試験に備え, 燃料電池内部と外部の圧力差をなくすため, 燃料電池を高压容器内に入れ, 容器内を窒素で加圧できるようにした. 本報告では, すべての実験を大気圧で行った. 水素および空気の流量は下流にある流量調節弁により調節し, 燃料電池上流に設置した質量流量計を用いて測定する. 空気配

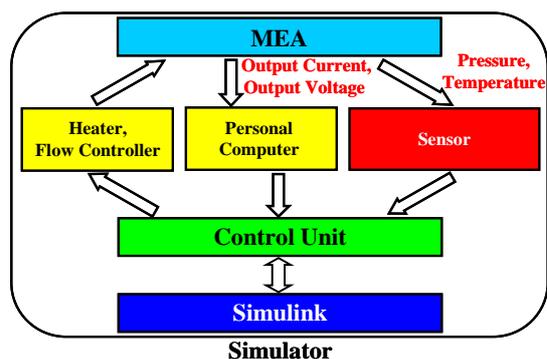


Fig.1 HILS (Hardware in Loop Simulation).

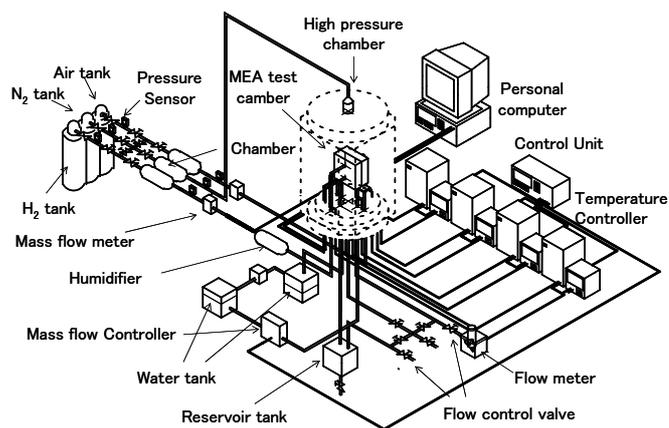
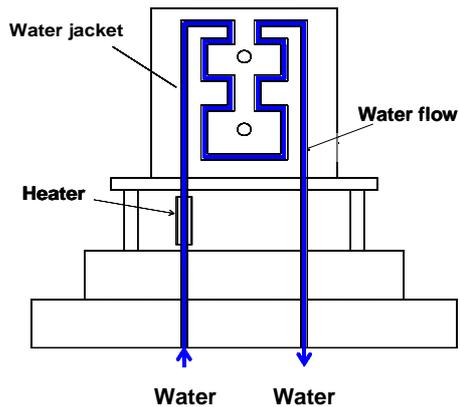


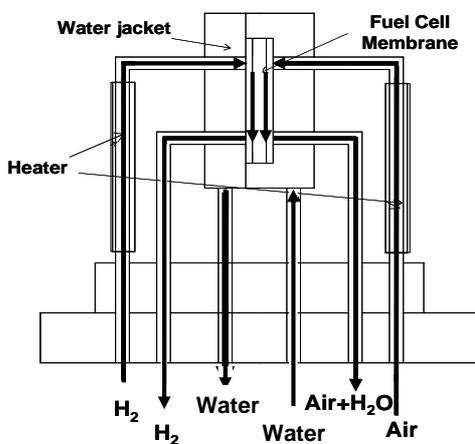
Fig.2 Schematic of the experimental apparatus.

Development of a Simple Test Stand for Polymer-Electrolyte Fuel Cells Applied to a Car

Yasunao Nemoto, Hiroshi Nomura, and Yasushige UjiiE



Front View



Side View

Fig.3 Gas and water flows in water-jacket.

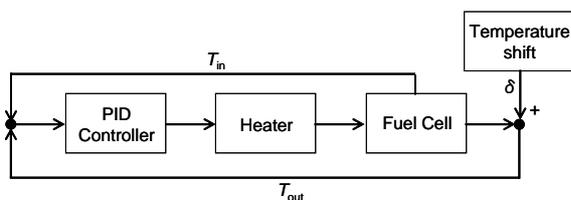


Fig.4 Water temperature control system.

管下流に水タンクを設け，発電により生成された水を回収する．未使用の水素は水上置換法を用いて，その量を測定する．本実験では水素のみを加湿し，ヒータにより加熱された水素に，シリンジポンプを用いて水を供給することで加湿を行う．燃料電池に供給する水素および空気は，燃料電池入口に設置されているヒータにより設定温度まで加熱される．図 3 に，燃料電池のガス流路および温度制御用水流路を示す．MEA 試験容器はウォータージャケット

になっており，矩形断面の溝の中を温度制御用水が流れる構造となっている．温度制御用水の流量はマスフローコントローラにより制御する．水素および空気の供給・排気温度，ウォータージャケット入口・出口温度の測定には K 種熱電対を用いる．加湿器の温度制御は温調器により行い，温度制御用水，水素および空気の温度制御は(株)エーアンドディー製計測・制御システム AD5430 内で，プログラムにより制御を行う．図 4 に本実験で用いた温度制御用水の温度制御システムの概略を示す．温度制御用水は，ウォータージャケット入口温度 T_{in} と出口温度 T_{out} の差がシフト温度 δ に等しくなるように PID 制御した． δ をゼロとした場合は，MEA の発熱と放熱がつり合う温度に温度制御用水温度は収束する．また， δ を MEA 試験容器の温度の関数とすることにより，断熱条件での発電試験も可能である．MEA が供給水素および空気と行う熱の授受は，それぞれの燃料電池入口・出口温度から見積もる．燃料電池の出力電流，出力電圧の計測は，(株)東陽テクニカ製の燃料電池評価システム Solartron1287 を用いる．

MEA の発熱量を推定するためには，MEA 試験容器から周囲空気への放熱量を MEA 試験容器の温度の関数として把握しておく必要がある．そこで，温度制御用水流量を 15 および 30 cc/min で一定とし，温度制御用水のウォータージャケット入口温度を 30, 40, 50 および 60 °C と変化させてウォータージャケット出口温度を測定した．また，製作した温度制御用水の温度制御システムの動作確認を行なった．動作確認試験においては，シフト温度を正の値に設定することにより，燃料電池が発熱している状態を模擬した．両実験は，水素および空気を燃料電池に供給せずに行った．

3. 実験結果および考察

3.1 放熱量測定実験

MEA 試験容器の放熱量測定実験の結果を図 5 に示す．縦軸はウォータージャケット内での温度制御用水の温度降下，横軸はウォータージャケット出口温度と室温の差である．室温は 22 °C であった．温度制御用水の温度降下は，

近似的に垂直平板自然対流熱伝達によると考えられ，ウォータージャケット出口温度と室温の差の 5/4 乗の関係にあることがわかった．ウォータージャケット出口温度を T_{out} ，室温を T_0 とすると，温度制御用水流量が 15 cc/min の場合，放熱量 \dot{Q} は

$$\dot{Q} = 0.024 \times \sqrt[4]{(T_{out} - T_0)^5} \text{ [W]} \quad (1)$$

で表されることがわかった．

同様に，温度制御用水流量が 30 cc/min の場合では

$$\dot{Q} = 0.036 \times \sqrt[4]{(T_{out} - T_0)^5} \text{ [W]} \quad (2)$$

で表されることがわかった．

3.2 温度制御システムの動作試験

製作した温度制御システムの動作確認を行った．結果を図 6 および 7 に示す．燃料電池の発熱を模擬するため，シフト温度を +2 °C に設定した．温度制御用水流量は 15 および 30 cc/min とした．したがって，燃料電池がそれぞれ 2.10 W および 4.19 W で発熱している状態を模擬している．15 cc/min の場合，ウォータージャケット入口温度と出口温度はほぼ 2 °C の温度差を保ちながら温度上昇し，8000 s 付近で一定温度に収束した．30 cc/min の場合も同様にウォータージャケット入口温度と出口温度はほぼ 2 °C の温度差を保ちながら温度上昇し，7500 s 付近で収束した．この結果より，製作した温度制御システムの健全性が確認できた．収束時間が異なった理由として，温度制御用水の流速が変化したことにより，温度制御システムの遅れ時間が変化し，燃料電池の見かけの比熱が変わったことが原因であると考えられる．15 および 30 cc/min の場合ともに，前述の放熱量測定結果から予想された収束温度と実験結果はほぼ同一の値を示すことがわかった．したがって，収束温度と温度制御用水流量から MEA の発熱量を見積もることができる．

今後は実験で得られたデータを用いて，Simulink® 上で試験容器の比熱・断熱性を変更し，シミュレーションを行う．比熱は，温度制御用水の入口温度と出口温度に遅延時間を与えることによって，Simulink® 上で変更することができる．また断熱性の変更は，シフト

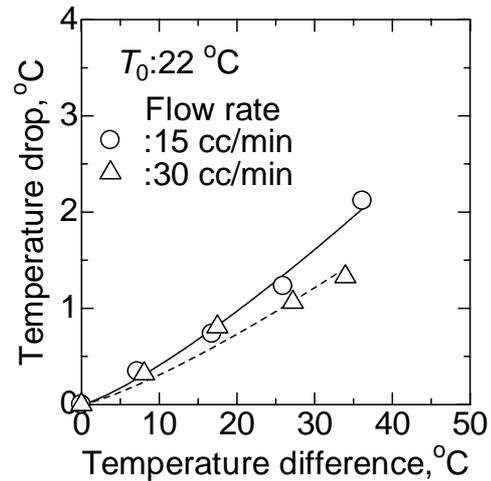


Fig.5 Heat loss of the MEA chamber.

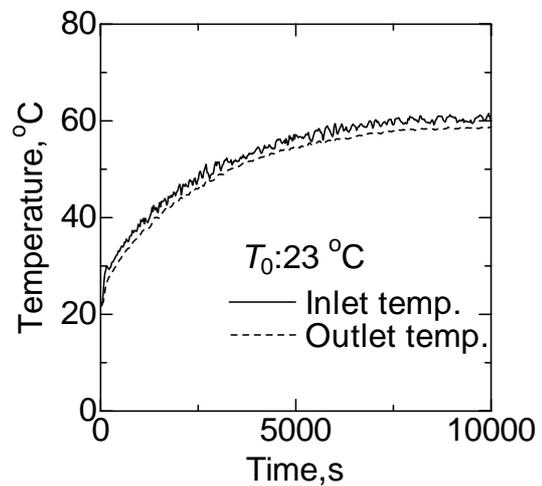


Fig.6 Result of PID temperature control. (15cc/min)

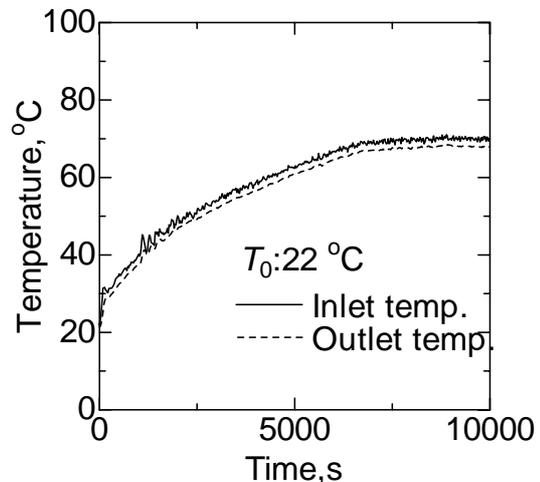


Fig.7 Result of PID temperature control. (30cc/min)

温度 δ を MEA 試験容器の放熱量を考慮した関数とすることで，変更することができる．低温始動実験は，温度制御用水を低温で流すことで模擬することができる．0℃以下の条件の実験については，不凍液を用いて実験を行うことを考えている．

4. 発電条件におけるシステムの評価

燃料電池を発電させた条件において評価システムの健全性の評価を行う．燃料電池の発電条件を表 1 に示す．水素流量を 2.5 cc/min, 空気流量を 1.25 cc/min で燃料電池に供給する．本実験では水素のみを加湿し，カソード無加湿でも燃料電池の良好な特性が得られるアノード加湿温度 50 ~ 60℃以上の値を採用する⁴⁾．図 8 および図 9 に本実験で用いた燃料電池の発電データを示す．1.38A で 0.66W の最高出力を示した．1.5 A 付近で出力できなくなったのは拡散抵抗の増大によるものであると考えられる．今後はシステムの健全性を評価するために完全断熱条件で実験を行う．外部からの熱の授受をなくすため，燃料電池に供給する水素および空気の加熱温度はウォータージャケット出口温度と同じ温度になるように制御する．燃料電池は最高出力を示す 1.38 A で一定として，発電させる．

5. 結言

本研究では製作した燃料電池システム簡易評価装置の作動試験を行った．MEA 試験容器の放熱量測定実験および温度制御システム動作試験より以下の結果を得た．

- (1) 燃料電池の収束温度と温度制御用水流量から MEA の発熱量を見積もることができる．
- (2) 温度制御用水の温度制御システムの動作試験を行い，正常に作動することを確認した．

参考文献

- 1) 吉川大雄他, 菱沼孝夫, 近久武美, 燃料電池の低温起動特性, 日本機械学会講演論文集, pp.687-688, 2000.
- 2) B.K.Datta, G.Velayutham, A.Prasad Goud, Fuel Cell power source for a cold region, Journal of power sources, 106, pp.370-376, 2002.

Table.1 Conditions of PEFC performance test.

H ₂	Flow rate	2.5[cc/min]
	Pressure	1.1[kgf/cm ²]
	Temperature	= T _{out}
	Humidification Temp.	50[°C]~
Air	Flow rate	1.25[cc/min]
	Pressure	1.1[kgf/cm ²]
	Temperature	= T _{out}
	Humidification Temp.	-

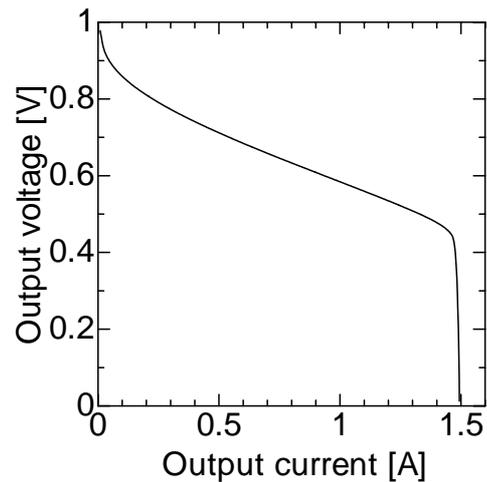


Fig.8 V-I characteristic.

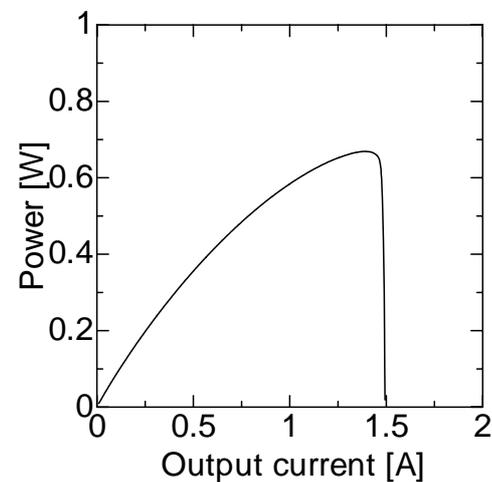


Fig.9 W-I characteristic.

- 3) 齊藤和夫, 霜島宗一郎, 堀美知郎, 耐凍結車載用 PEFC スタックの開発, 第 6 回燃料電池シンポジウム講演論文集, pp.60-65, 1999.
- 4) 内貴正男, 内橋昌也, 山口光弘, 村橋俊明, PEFC の水分管理, 第 9 回燃料電池シンポジウム講演論文集, pp.51-56, 2002