

HILSを用いた固体高分子型燃料電池の性能試験

日大生産工(院) 田口 慎一郎 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)は常温起動できるので起動時間が短く、また高出力密度であるため小型軽量化が可能であり、電気自動車用電源や家庭用電源として注目を浴びている。しかしながら、作動温度、供給ガス湿度^{1),2)}などの使用環境によって電池性能が左右されるので、どのような環境にも対応し、安定した発電を行えるように改良していくことが重要である。特に、氷点下での低温環境では起動性低下、出力低下が問題となっており、低温起動特性に関する研究³⁾や低温環境用定置型燃料電池の開発⁴⁾などが行われている。

新型の電解質膜を開発した場合、単セルとしての性能だけではなく、スタックとした場合の性能が重要となる。しかし、新型の電解質膜を用いたスタックを評価するためには、費用と時間がかかり、開発を遅らせてしまう。本研究の目的は、HILS(Hardware in Loop Simulation)という手法を用い、燃料電池の性能試験を簡易的にシミュレーションできるシステムの構築である。単セルの化学反応に関するデータは、実際に単セルの発電実験を行うことにより収集し、Simulink上の燃料電池システムモデルにフィードバックさせ、燃料電池システムに組み込まれたセルの性能試験ができるシステムを構築する。計算モデルの熱容量や断熱性を変化させることに

より、スタックに異なる材料を用いた条件、スタックの様々な部位の条件でのセル性能試験を行うことができる。本報告では、構築したHILSシステムについて報告する。

2. 実験装置および方法

図1に性能試験装置の概略を示す。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、高圧ポンプより供給した。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。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2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。温度制御用水流量は電磁定量ポンプにより制御する。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。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。

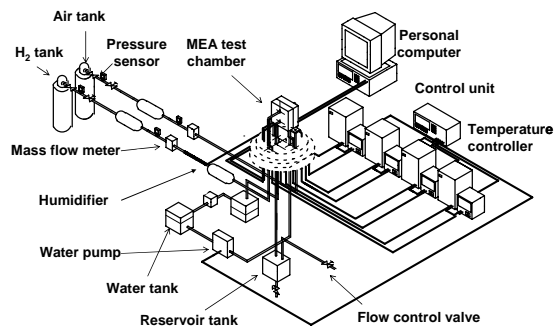


Fig.1 Schematic of the experimental apparatus.

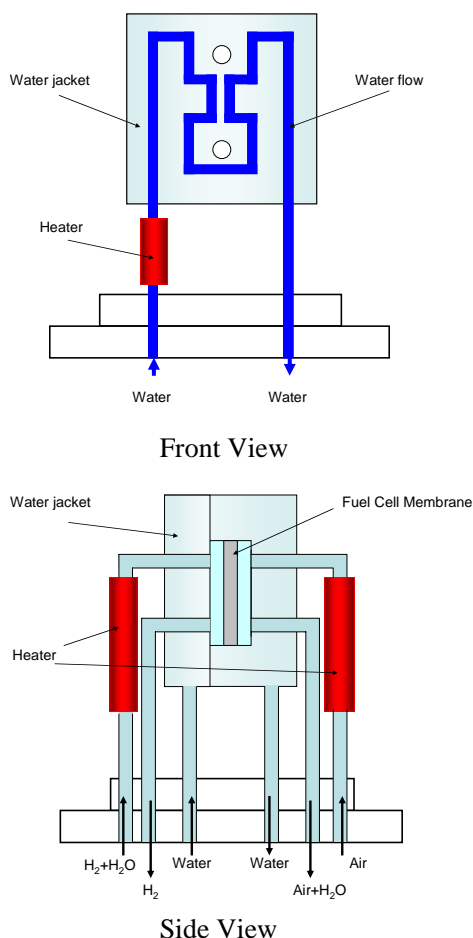


Fig.2 Gas and water flows in water-jacket.

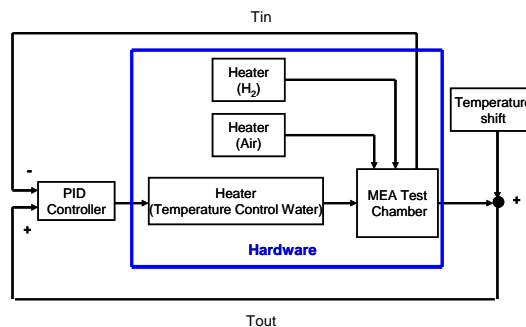


Fig.3 Schematic of HILS.

図3 にHILSの概要を示す。MEA試験容器、水素、空気、温度制御用水の加熱のために取付けたヒータ部分がハードウェアである。セルの発熱を模擬する場合には、ウォータージャケット入口温度から出口の温度を引いた値(シフト温度)が正となるように温度制御用水温度を制御する。単セルの熱容量を変化させる場合には、ウォータージャケット出口温度に遅延を与え、見かけの熱容量を変更する。MEA試験容器の断熱性は、MEA試験容器温度に対応する放熱量の一部をMEA試験容器の加熱で補うことによって変更することができる。断熱割合0%の場合は、MEA試験容器を温度制御用水で全く加熱していない条件である。断熱割合100%の場合は、MEA試験容器の放熱量と等しいだけの熱量を温度制御用水によって供給する条件であり、この場合を断熱とした。また、MEA試験容器の放熱量の何%を補償するかで割合を決定する。MEAの発熱量を推定する、もしくは断熱割合を変更するためには、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。そのため、温度制御用水流量を15、20、および30 cc/minで一定とし、温度制御用水のMEA試験容器入口温度を30、40、50、および60と変化させてMEA試験容器出口温度を測定する。

以上のような、ハードウェアと発熱模擬・

熱容量変更・断熱性変更プログラムのソフトウェアをうまく組合せ、発電システムシミュレーションを行うHILSを構築した。

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4 に示す。縦軸はMEA 試験容器内の温度制御水の温度降下、横軸は MEA 試験容器出口温度と室温の差である。MEA 試験容器出口温度を T_{out} 、室温を T_0 とすると、温度制御水が 15, 20, 30 cc/min の場合、放熱量はそれぞれ、

$$\dot{Q} = 0.0903 \times (T_{out} - T_0) \quad (1)$$

$$\dot{Q} = 0.0976 \times (T_{out} - T_0) \quad (2)$$

$$\dot{Q} = 0.0932 \times (T_{out} - T_0) \quad (3)$$

で表されることが分かった。

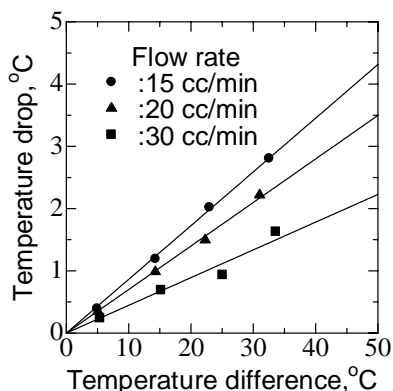


Fig.4 Measurement results of heat release of the MEA test chamber.

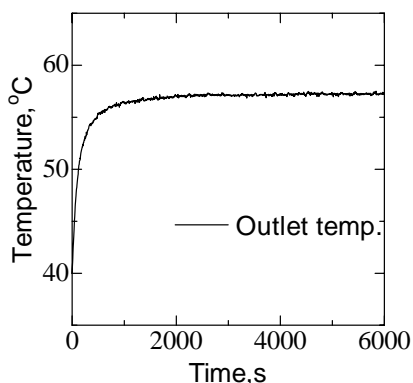


Fig.5 Temperature history of the MEA test chamber.

また、温度制御用水量 15 cc/min、MEA 試験容器入口温度が 60 の条件での MEA 試験容器出口温度履歴を図 5 に示す。この結果より MEA 試験容器の熱容量を求めると、203 J/Kとなる。

3.2 温度制御システム動作試験

製作した温度制御システムの動作確認を行った。図 6 に 温度制御用水量 15 cc/min の場合の結果を示す。燃料電池の発熱を模擬するため、シフト温度を +2 に設定した。したがって、温度制御用水量が 15 cc/min のとき、燃料電池が 2.1 W で発熱している状態を模擬している。MEA 試験容器入口温度と出口温度の差は、2 程度を維持した状態で温度上昇し、10000 s 付近で一定温度に収束している。放熱量測定実験より、15 cc/min の場合の最終到達温度を見積もると 45.5 であるのに対し、発熱模擬実験より得られた MEA 試験容器の最終到達温度は 45.2 であり、ほぼ同じ結果であった。この時の MEA 試験容器の熱容量を見積もると、217 J/K となった。

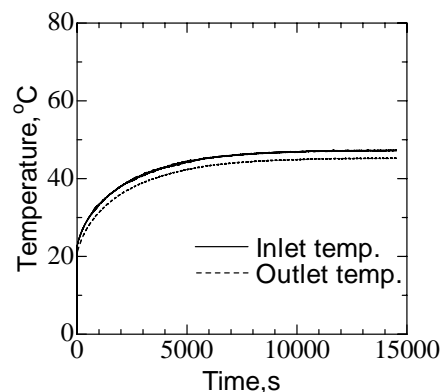


Fig.6 Result of PID temperature control. (15 cc/min)

3.3 断熱割合変更実験

製作した Simulink プログラムにおける断熱割合の変更により、断熱割合に見合った温度上昇を行うかどうか動作確認を行うこ

とを目的としている。図 7, 8 に温度制御用水流量 15 cc/min の条件での断熱割合 50, 100% の実験結果を示す。断熱割合 0% の場合は図 6 と同じ条件である。15 cc/min の断熱割合 50%, 100% の場合の熱容量を求めると断熱割合 50% の場合, 207J/K, 断熱割合 100% の場合, 206J/K と求まり, いずれの実験で求めた熱容量もほぼ同じ値になることがわかった。このことは, シミュレーションプログラムの健全性を示していると考えられる。

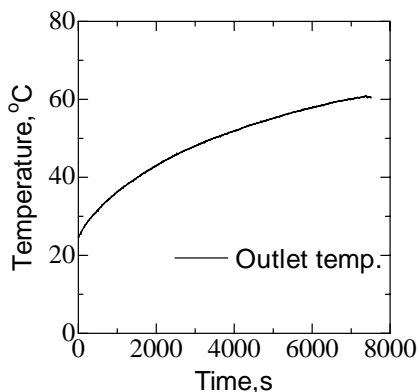


Fig.7 Heat-insulating degree 50 %
(15 cc/min).

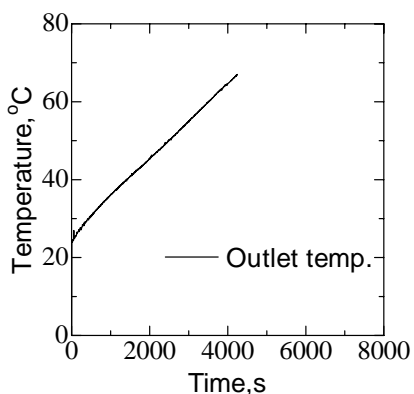


Fig.8 Heat-insulating degree 100 %
(15 cc/min).

4. 結言

本研究では, 製作した燃料電池性能試験装置の作動試験を行い, 以下の知見を得た。

(1) 温度制御水の温度制御システム動作

試験を行い, 燃料電池の発熱を模擬することができ, 正常に作動することを確認した。

(2) 放熱量測定実験の結果より予想された燃料電池の最終到達温度と, 発熱を模擬したHILSにより得られた最終到達温度は, ほぼ同一した。

(3) 温度制御用水流量 15 cc/min の条件で, 断熱割合を0, 50, および 100% とした場合の発熱模擬HILSを行った結果, いずれの断熱割合においても, 実験結果から推定したMEA試験容器の熱容量はほぼ一定であった。

参考文献

- 1) 許斐敏明, 佐々木洋二郎, PEFCの運転条件が各部過電圧に与える影響, 日本機械学会論文集, 71巻705号, (2005), pp.212 - 219
- 2) 西川尚男, 菅原俊一, 栗原壘, 青木努, 小上泰司, 固体高分子形燃料電池の低加湿運転におけるセル電圧低下特性, 電気学会論文集, 125巻7号, (2005), pp.680 - 685
- 3) 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, Vol.2000, No.1, (2000), pp.687-688.
- 4) B.K.Datta, G.Velayutham, A.Prasad Goud, Fuel Cell power source for a cold region, Journal of power sources, 106, 2002, pp.370- 376.