

1 kW 級 DMFC システム「YFC-1000」の開発

Development of 1 kW Class DMFC System "YFC-1000"

佐野 利夫* 山尾 剛生*
石丸 文也* 野村 栄一*

Toshio Sano Takeo Yamao
Fuminari Ishimaru Eiichi Nomura

Abstract

The 1 kW class DMFC system "YFC-1000" has been developed for a movable power source. The system is composed of a cell stack, a fuel tank with 20 liters capacity, an air pump, a fuel pump, a DC/AC inverter, and a system controller. This system is entirely self-contained, and its operation is to be automatically controlled with a system controller. The stack voltage and the output power for this system were 30 V and 1350 W at current flow of 45 A, and 26 V, 2050 W at 80 A, respectively, under the condition of using 1 mol l⁻¹ of methanol aqueous solution, the fuel flow rate of 2 l min⁻¹, the air flow rate of 280 l min⁻¹, the operating temperature of 338 K. The system was evaluated for various performances such as basic characteristics, starting characteristics, and so on. As a result, the designed performances of system were fully demonstrated. For example, the system was operated at a constant AC power of 800 W for 8 hours with stable characteristics of voltage and power. On this operation, 12 l of 54 mass% methanol aqueous solution was consumed and the calculated value for energy efficiency was 17.2%.

1 緒言

地球環境問題、エネルギー問題が深刻さを増す中、これらの対策の一つとして、燃料電池に関する研究開発が盛んにおこなわれている。燃料電池は、化学エネルギーを、直接電気エネルギーに変換する高効率かつクリーンな発電手段である^{1,2)}。その中でも、直接メタノール形燃料電池 (DMFC) は、液体のメタ

ノールをガス化、改質することなく、そのまま燃料として、直接発電することができるシンプルな電源として期待されている。とくに近年、携帯電話、ノートパソコン用等の小形機器用 DMFC システムの開発が進められている³⁾。これに対して、移動体用、定置用電源等の大形システムについてもその開発が期待されるが、その報告例はほとんどない。我々は移動体電源用としての高出力 DMFC システムに着目し、電極面積が 61 cm² の単セルを 39 セル直列に積層した 100 W 級 DMFC システム "YFC-100" を開発した⁴⁾。さら

* 研究開発センター 第五開発部

に、電極の大形化の要素技術開発^{5,6)}をおこない、今回、電極面積が611 cm²の単セルを63セル直列に積層した1kW級DMFCシステム"YFC-1000"を開発した。本報では、その特性および制御方法について報告する。

2 YFC-1000形DMFCの構成

2.1 セルスタックの構成

1 kW級セルスタックの外観写真をFig. 1に、その仕様をTable 1に示す。燃料極および空気極の触媒には、それぞれPt-Ru合金およびPt担持カーボンを用いた。また、膜-電極接合体(Membrane Electrode Assembly, 以下MEAと略す)は、パーフルオロスルホン酸の電解質膜にこれらの電極をホットプレスして接合することによって作製した。その電極面積は611 cm²とした。このMEAをセパレータ板で挟み込んだものを63枚積層し、さらに端子板、メタノール濃度センサーおよびエンドプレートを組み合わせてセルスタックを作製した。



Fig. 1 Appearance of a cell stack for YFC-1000.

Table 1 Specifications of the cell stack for YFC-1000.

Items	Unit	Standard
Maximum power	W	1500
Output voltage	V	DC 28
Standard current	A	45
Standard operating temperature	K	338
Number of cells	cell	63
Active area	cm ²	611
Outside dimensions	mm	335W × 245L × 305H
Mass	kg	44

2.2 システムの構成

YFC-1000の外観をFig. 2に、構成図をFig. 3に示す。また、その仕様をTable 2に示す。システムの基本的な構成は、すでに報告したYFC-100と同じである⁴⁾。所定の濃度に調製されたメタノール水溶液は、循環ポンプによって、循環タンクからセルスタックに供給され、そのメタノール水溶液はセルスタックの内部で反応して水素イオンと二酸化炭素を生成する⁷⁾。また、未反応のメタノール水溶液は、再び循環タンクに戻る構成としている。メタノール水溶液の濃度調製は、セルスタックに組み込んだセンサーで濃度を測定し、その値が一定値以下であると判断した場合に、燃料を燃料タンクから循環タンクに所定量を補充する。

一方、空気は空気ブロアーによって、セルスタックの空気極に供給する。セルスタックの内部で、空気中の酸素と燃料極からイオン交換膜を移動してきた水素イオンとが反応して水を生成する⁷⁾。したがって、セルスタックから排出される排空気の中には大量の水蒸気が含まれるために、排空気はラジエーターで冷却して液体の水にして水タンクに回収する。循環タンクの液量が一定量以下に減少した場合には、回収した水をポンプで汲み上げて循環タンクに供給し、液量の回復をはかっている。なお、液量の検知は、循環タンク内に設置したレベルセンサーLでおこなっている。また、レベルセンサーHは、レベルセンサーLおよびメタノール濃度センサーが故障したときに、必要以上の燃料および水の追加によって、循環液が循環タンク内から溢れないようにするためのもので、その上限を規定するためのものである。燃料タンクの容量は、出力規



Fig. 2 Appearance of a DMFC system "YFC-1000".

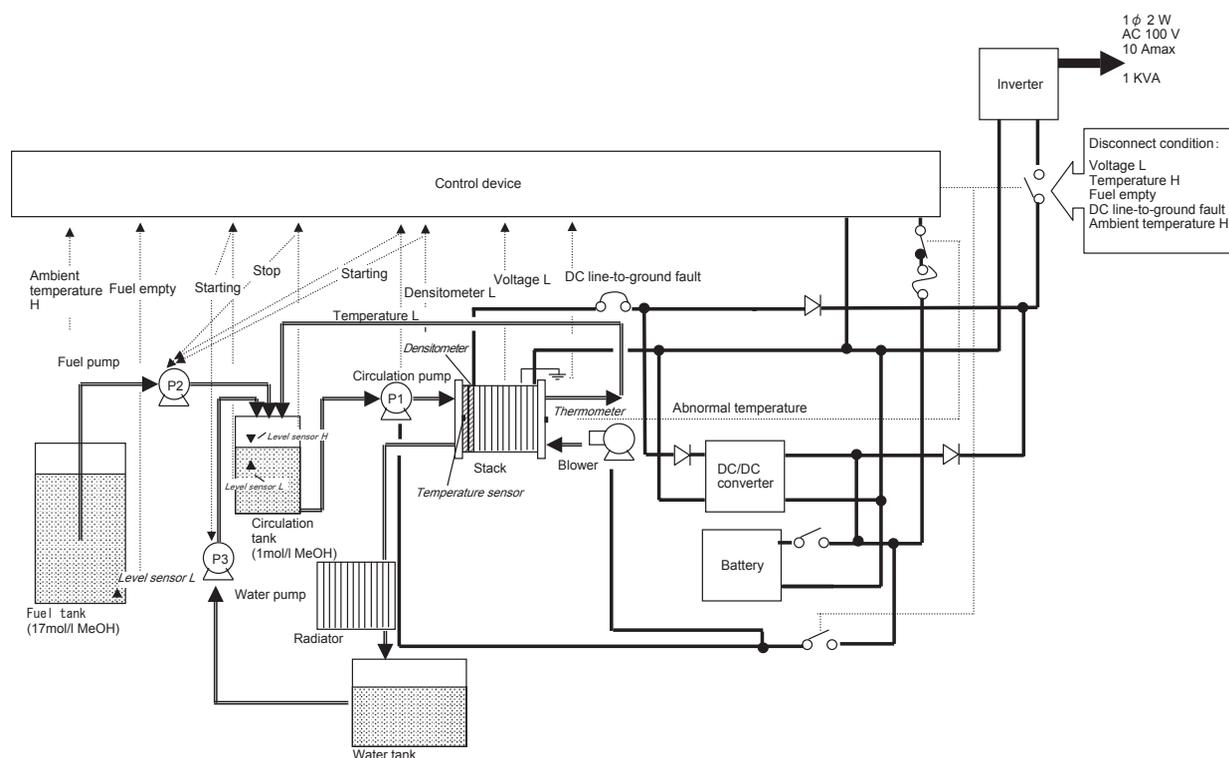


Fig. 3 Schematic diagram and electric circuit of "YFC-1000".

Table 2 Specifications of 1 kW class DMFC system "YFC-1000".

Items	Unit	Standard	Remarks	
Usable conditions	Temperature	K	278 ~ 313	
	Humidity	%	30 ~ 90	
System design	Model		Movable independent power source	
	Maximum power	W	1000	
	Output voltage	V	AC 100	
	Power variation	%	Under ± 10	
	Continuous operation time	hour	8	
	Noise	dB	57	Ahead 1 m
	Outside dimensions	mm	800W × 400L × 700H	
	Mass	kg	120	
	Output terminal shape		AC plug type	
	Supply system		Forced circulation	
	Additional fuel concentration		Methanol 54%	GS-Yuasa made
	Tank size	liter	20	
Support battery	Type		Small valve-regulated lead-acid battery	
	Model		REH24-12	GS-Yuasa made
	Number of battery		2	

模および運転時間から、YFC-100 形の場合の 10 倍相当の 20 l とした。

発電した電力はインバーターで変換し、AC 100 V で外部負荷へ供給する (最大 10 A)。また、システムには鉛蓄電池や DC/DC コンバーターが組み込まれて

おり、前者は起動時の補機電力の供給、後者は鉛蓄電池の過充電防止の役目を担っている。警報項目は、「小形固体高分子形燃料電池に関する基準」⁸⁾ に準拠して、セルスタック電圧 L (下限)、セルスタック温度 H (上限)、筐体内温度 H (上限)、過電流、制御装置異常、

制御電源L, 直流地絡および漏電に対処している。これらのうち、いずれかの警報が発生したときには、負荷および補機への電力供給を遮断して、システムが停止する。なお、燃料切れの場合も同じである。

3 YFC-1000 の特性

3.1 セルスタックの特性

セルスタックの特性は電圧-電流特性によって評価した。運転条件は燃料極に 1 mol l^{-1} の濃度のメタノール水溶液を 2 l min^{-1} 、空気極に 280 l min^{-1} の流量で供給し、温度は 338 K とした。1 kW 級セルスタックの電圧-電流特性を Fig. 4 に示す。図から、定格電流 45 A のときの、設計値である作動電圧 28 V よりも、 30 V と高く、 1350 W の出力が得られることがわかる。また、セルスタックの最大出力は、 80 A で 2050 W であった。

3.2 基本特性

基本特性を確認するために、連続運転を実施した。試験方法としては、システムを起動してから、所定時間経過後に負荷を接続し、8 時間の連続運転をおこなった。その際のセルスタックの電圧、出力および温度を測定し、特性の安定性を検討した。なお、負荷は AC800 W を接続した。その特性を Fig. 5 に示す。セルスタックの温度は起動してから約 30 分で試験標準運転温度である 338 K に上昇し、その後は一定に推移した。セルスタックの電圧は、温度上昇とともに 35 V まで上昇した。その電圧は負荷の接続によって一時的に 27 V まで低下したが、徐々に 30 V 近傍まで回復し、その後は時間の経過とともに若干の低下傾向は

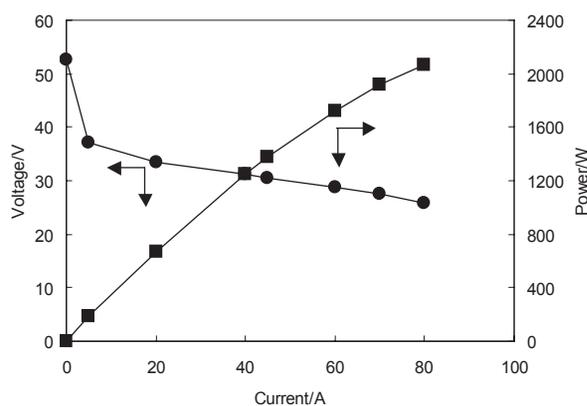


Fig. 4 I-V performance of a cell stack for 1 kW class DMFC system "YFC-1000".

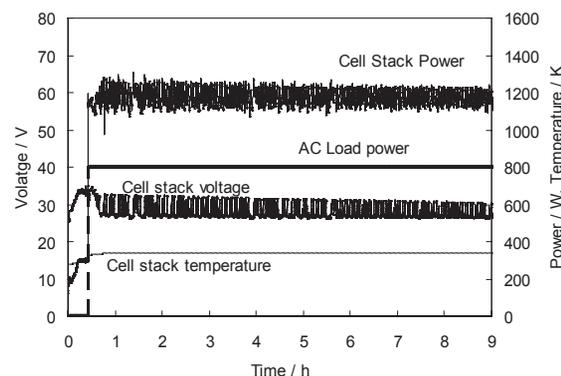


Fig. 5 The operation characteristics for cell stack of 1 kW class DMFC system "YFC-1000".

みられるものの安定に推移した。このように DMFC を連続運転すると、若干ではあるが電圧が徐々に低下する傾向は DMFC で一般的に見られる現象である^{9, 10}。原因としては、電極における CO 被毒等が考えられているが、その機構は明らかでない。また、セルスタック電圧は $\pm 3 \text{ V}$ の範囲で変動していることが認められる。これは、メタノール水溶液の濃度変化によるものである。今後、運転制御プログラムの最適化をはかり、この変動幅を縮小していく予定である。セルスタックは、起動すると送液ポンプ、空気ブロー等補機類および補助用鉛蓄電池を充電する電力も供給する。セルスタックの出力は温度上昇とともに 300 W まで上昇し、負荷の接続によってさらに 1200 W まで上昇、その後は時間の経過とともに若干の低下傾向は見られるものの電圧と同様に安定して推移した。このように、システムの起動から停止まで、セルスタックの特性は安定しており、運転上、問題のないことが確認された。

3.3 起動特性

システムの起動時に、セルスタックを発電するためには、送液ポンプや空気ブロー等の補機を作動させなければならない。この場合には、システムに組み込んだ鉛蓄電池からの放電によって補機への電力供給をおこない、自立運転後には鉛蓄電池を充電するようにしている。YFC-1000 の起動特性を評価するために、起動直後の鉛蓄電池の充放電電流を測定することによって、システムが自立運転できるまでの時間を調査した。基本特性 (3.1 項) 試験における、起動直後の鉛蓄電池の充放電電流の変化を Fig.6 に示す。図より、起動して 10 秒後には鉛蓄電池への充電電流が流れたことがわかる。すなわち、10 秒後には燃料電池が自立運転していることが確認できた。

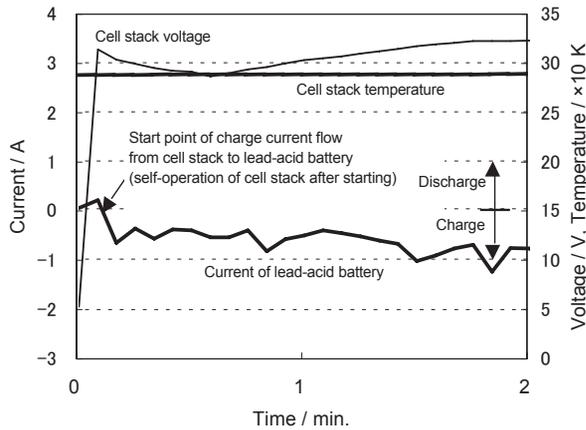


Fig. 6 Change in charge-discharge current for lead-acid battery of 1 kW class DMFC system "YFC-1000" after starting.

直接メタノール形燃料電池のセルスタックの出力性能は温度に強く依存する。このシステムを起動すると、徐々に温度が上昇しながら出力が向上するため、起動直後には定格に近い出力の負荷を接続することはできない。そこで、起動してから約10分後に、定格出力電圧であるDC 28 Vを入力した際のセルスタック電流を測定することで、負荷出力とセルスタック出力の関係を検討した。負荷出力はACで1000 Wに相当する1250 Wを最大とした。その関係をFig. 7に示す。図より、負荷を接続してから約6分で1250 Wに到達することがわかる。つまり、起動後16分にはAC 1000 Wの負荷を接続することが可能である。

3.4 エネルギー効率特性

YFC-1000は可搬移動形独立電源であることから、その負荷としては、一般家電製品をはじめとして様々

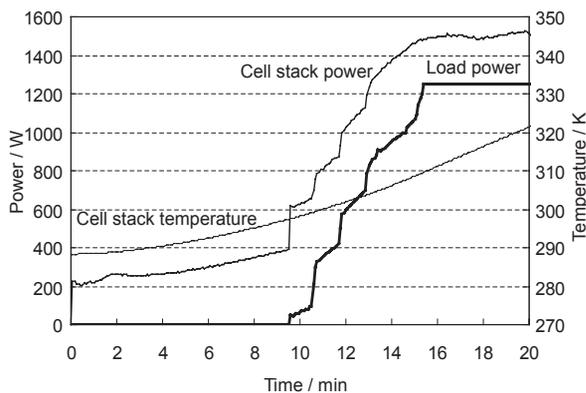


Fig. 7 Change in cell stack power of 1 kW class DMFC system "YFC-1000" after the connection to load power of 1250 W.

な出力のものが考えられる。そこで、300 W、450 W、600 W および 800 W の定出力運転を行い、そのときのシステム効率を調べた。なお、運転時間は定格の8時間とした。各出力における、システム効率を算出してFig. 8に示す。システム効率は以下の式¹¹⁾を用いて算出した。

$$\text{システム効率} = \text{電圧効率} \times \text{燃料利用率} \times (1 - \text{補機動力損失})$$

図より、システム効率は出力が大きくなるとともに増大することがわかる。その値は、出力が800 Wのときに17.2%と最大となった。なお、低出力時における効率の低下は、低出力においても一定温度に保持するために、燃料を消費することによるものである。例えば、おおよそ8時間の運転において、300 W出力で8 lの燃料を消費するのに対し、800 W出力では12 lとなるので、前者の方がシステム効率が低下することになる。

3.5 寿命特性

システムの寿命を検討するために、AC 800 W出力で毎日8時間のDSS (Daily start and stop) 運転おこない、セルスタック電圧の経時変化を検討した。累計運転時間とセルスタック電圧の関係をFig. 9に示す。図より、340時間の運転で、13.5 mV h⁻¹の電圧低下率であった。DMFCの電圧低下率については、いくつかの報告^{10, 12)}例があるが、本システムの低下率は、これらの報告に記載されている値よりも小さい。今後、さらに低下率を低減して、寿命性能を向上させていきたい。

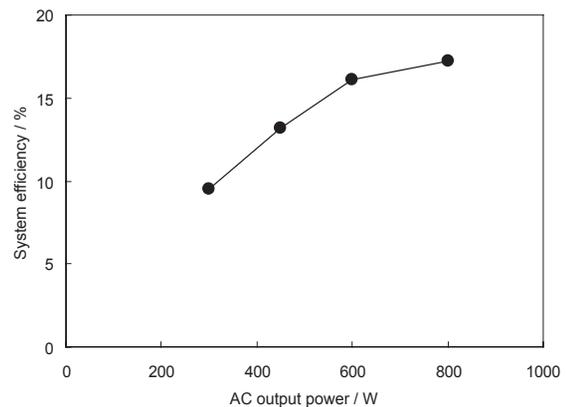


Fig. 8 Energy efficiency of 1 kW class DMFC system "YFC-1000" under the operation with various output powers.

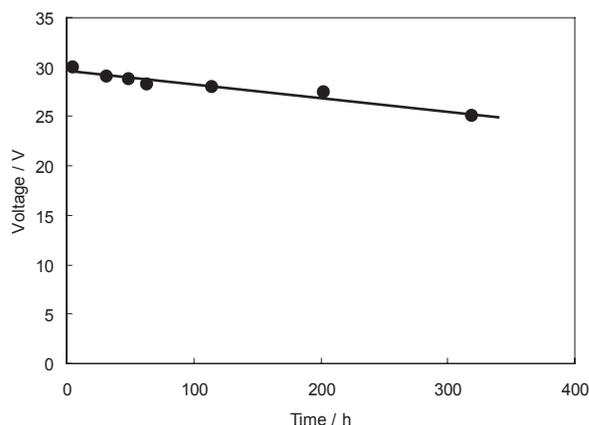


Fig. 9 Durability performance of a cell stack for 1 kW class DMFC system "YFC-1000".

4 結論

直接メタノール形燃料電池システム YFC-1000 を開発し、基本特性、起動特性、および寿命特性を評価した結果、通常用途において問題なく運転できるシステムであることが確認できた。

文献

- 1) 渡辺政廣, 化学と工業, **50**, 1307 (1997).
- 2) 内田裕之, 渡辺政廣, 塑性と加工, **42**, 7 (2001).
- 3) M. Baldauf, W. Preidel, *J. Power Sources*, **84**, 161 (1999).
- 4) 佐野利夫, 石丸文也, 野村栄一, ユアサ時報, **95**, 12 (2003).
- 5) 元井昌司, 藤田幸雄, 佐野利夫, 奥山良一, 第44回電池討論会講演要旨集, p.272 (2003).
- 6) 元井昌司, 藤田幸雄, 佐野利夫, 奥山良一, ユアサ時報, **96**, 5 (2004).
- 7) 藤田幸雄, 元井昌司, 清水大輔, 奥山良一, 野村栄一, ユアサ時報, **90**, 10 (2001).
- 8) 社団法人 日本電機工業会, 小形固体高分子形燃料電池システムの安全に関する基準, 12 (2004).
- 9) 羽二生隆宏, 稲田浩也, 小林智仁, 国松昌幸, 高木靖雄, 第44回電池討論会講演要旨集, p.240 (2003).
- 10) J. Liu, Z. Zhou, X. Zhao, Q. Xin, G. Sun, and B. Yi, *Phys. Chem.*, **6** 134 (2004).
- 11) 畑中達也, 豊田中央研究所 R & D レビュー, **37**, 59 (2002).
- 12) A. K. Shukla, C. L. Jackson, K. Scott, and R. K. Raman, *J. Electrochem. Soc.*, **47**, 3401 (2002).