

大型DMFCスタックの検討

Performance of High Power Type DMFC Stack

元井昌司*
Masashi MOTOI

藤田幸雄*
Yukio FUJITA

佐野利夫*
Toshio SANO

奥山良一*
Ryoichi OKUYAMA

Abstract

Performance of a direct methanol fuel cell (DMFC) stack was investigated. The DMFC stack consists of 5 cells with active electrode area of 625cm² each. Maximum power of 245W was achieved in 1M methanol solution at 60 °C under ambient pressure. Output power density of this cell was similar to that of a small active electrode area cell (61cm²).

1. まえがき

直接メタノール燃料電池 (DMFC) は、液体のメタノールをガス化、改質することなく直接発電することができるシンプルな燃料電池として期待されている。特に近年、携帯電話、PDA、ノートPC用等の小型機器用DMFCの開発が進められている。これに対して、定置用、移動体用電源等の大型用DMFCシステムについてもその開発が期待されているが、これら大型DMFCシステムはこれまでほとんど報告されていない¹⁾。本報では、大型DMFCシステムを開発する上で不可欠な、単セルの大面积化とその問題点について報告する。

2. 試験方法

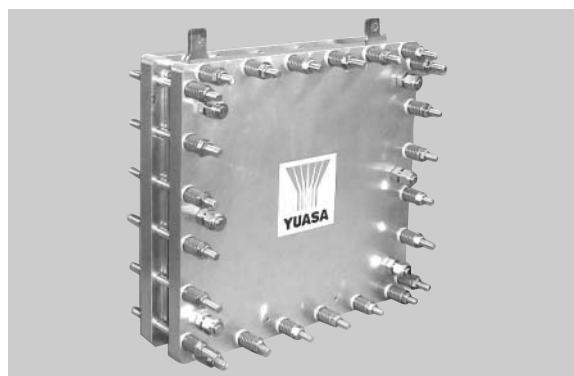
2.1 電池の構成

我々は、これまで電極面積61cm²、37セルで構成する100W級DMFCスタックの開発を行い、100W級DMFCシステムの実用化に成功した²⁾。これまでの要素技術をもとに今回、電極面積を10倍に大型化したスタックを製作し、100W級DMFCスタックと比較した。

Photo1に本検討に用いた大型DMFCスタックの外観写真を示す。電極面積は625cm²とこれまで公表されている中でも大きな電極面積を持つスタックである。本スタックは5セルから構成され、燃料極及び、空気極にはそれぞれPt-Ru/Carbon触媒、Pt/Carbon触媒を、電解質膜にはフッ素系イオン交換膜を用いている。

2.2 電池出力特性評価

循環ポンプを用いて燃料極に1mol/lの濃度のメタノール



Size (W x L x H)	330 x 130 x 310/mm
Weight	20.6kg
Number of cells	5 cells
Active electrode area	625cm ² (25 x 25cm)
Fuel	1M Methanol solution
Oxidant	Air (ambient pressure)

Photo 1 Appearance of High Power Type DMFC Stack

水溶液を0.1 l/minの流量で供給し、空気極に空気ポンプを用いて所定量の流量で空気を供給した。燃料濃度は濃度センサーを用いて1mol/lの濃度になるように調整し、運転温度及び空気流量と電池特性の検討を行った。すなわち、ヒーター等の外部からの加熱をしないで電池の反応熱を利用しながら、60 °C以下の運転温度で電流 - 電圧特性の測定を行った。続いて運転温度60 °Cにおいて、セル当たりの空気流量を4 l/min ~ 20 l/minの範囲で変えたときの電流 - 電圧特性の測定を行った。

2.3 メタノールクロスオーバー量の測定

DMFCは燃料極から空気極にメタノールがクロスオー

* システム開発研究所

バーし、空気極側の分極を大きくしたり、エネルギー効率を低下させる等の問題がある。クロスオーバーしたメタノールは空気極側の触媒により完全酸化されるため、我々は、空気極排出側の酸素濃度を in situ で測定し、その酸素消費量から電気化学的な酸素消費量を差し引き、メタノールクロスオーバー量を算出した。

2.4 エネルギー効率の算出

(1式)にDMFCのエネルギー効率算出式を示す。本検討ではHHV基準でエネルギー効率を算出した。なお、本エネルギー効率に補機損失分は含まれていない。燃料は循環方式であるため、メタノールクロスオーバーによるロスのみを考慮した。運転電流、電圧、電流換算したメタノールクロスオーバー量を(1式)に代入し、運転状態におけるエネルギー効率を算出した。

$$e = (-6FE_{OP}) \cdot I_{OP} / H_{298} (I_{OP} + I_{CROSS}) \dots \dots (1)$$

- e : Energy efficiency
- E_{OP} : Operation voltage
- I_{OP} : Operation current
- I_{CROSS} : Methanol cross over calculated in current
- F : Faraday constant(96485C/mol)
- H_{298} : Standard enthalpy of methanol combustion(-727kJ/mol)

3. 試験結果と考察

3.1 運転温度と電池特性

Fig.1に運転温度と電流 - 電圧特性の関係を示す。DMFCの熱バランス及び水バランスを保つために、運転温度は60 以下で検討を行った。Fig.1に示すように運転温度が高いほど、分極が小さくなり、出力も向上した。そして60 のときに最大出力245Wが得られた。

Fig.2に、同等の燃料及び空気利用率条件において、100W級スタックと大型スタックの特性を単セル換算した結果を示す。これより、電極面積を10倍に大型化しても同等の出力密度が得られることが分かった。これは、セパレータ板の流路設計を最適化し、等配性の向上、接触抵抗の低減を行ったため、大面積化による特性低下を抑制できたものと考えられる。

3.2 空気流量と電池特性

DMFCは発電に要する分の空気を消費するだけでなく、燃料極側からクロスオーバーしたメタノールの酸化にも空気が消費される。先に我々は、空気極側での空気による生成水の除去がDMFCの特性を大きく左右する因子であることを見出した³⁾。これらのことから、DMFCはメタノールクロスオーバーや生成水除去のために、同じ規模のPEFCと比較してより多量の空気を必要とし、空気

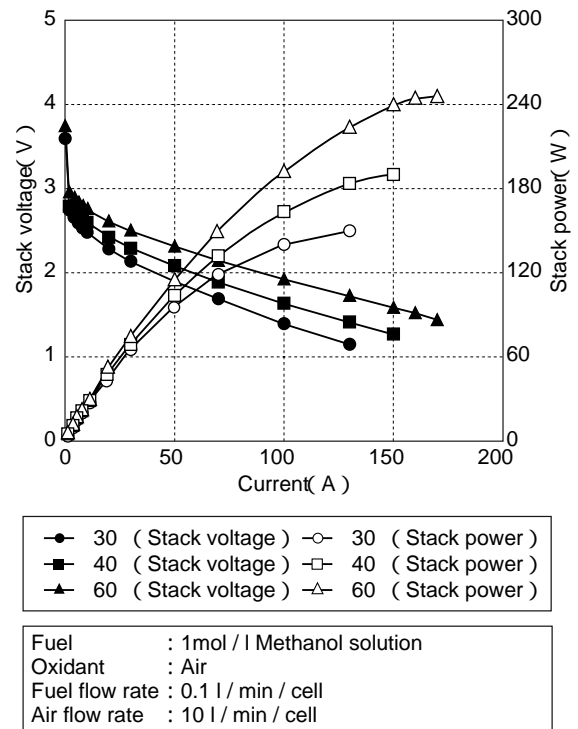


Fig. 1 Performance of High Power Type DMFC Stack

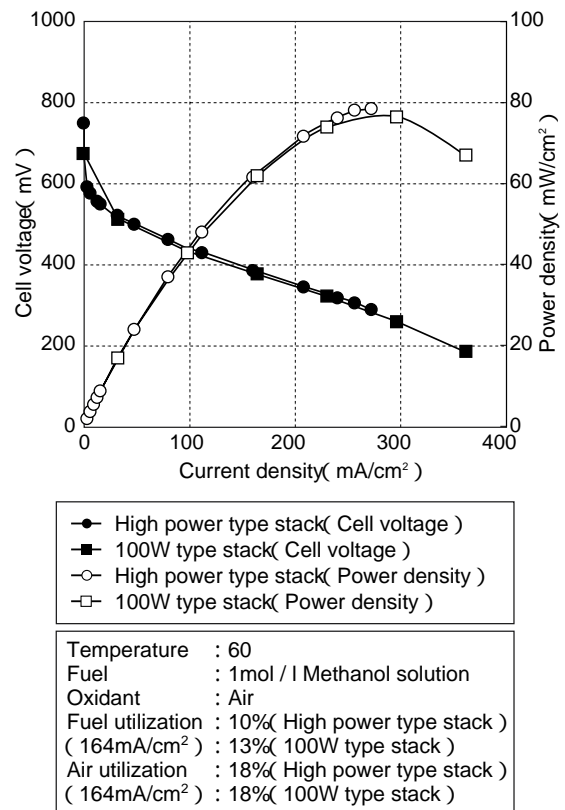


Fig. 2 Comparison of High Power Type and 100W Type Stack

ポンプの消費電力が大きくなってしまいう問題がある。Table1に、100W級スタックの定格条件及び空気利用率から、本大型スタックを100W級と同数のセルで構成したときに必要な空気流量を推定した結果を示す。これより、

Table 1 Estimation of Air Flow Rate for High Power Type DMFC Stack

Actual results(100W type stack)

Standard power	145W
Standard voltage	14.5V(390mV/cell)
Standard current	10A(164mA/cm ²)
Power density	65mW/cm ²
Active area	61cm ²
Number of cells	37 cells
Air utilization	18%
Air flow rate	35 l / min



Estimation(High power type stack)

Estimated power	1450W
Standard voltage	14.5V(390mV/cell)
Standard current	102A(164mA/cm ²)
Power density	65mW/cm ²
Active area	625cm ²
Number of cells	37 cells
Air utilization	18%
Air flow rate	350 l / min

大型37セルスタックに必要な空気流量は350 l/minと、大きくなるのが分かった。

次に、この空気流量を供給するために必要な空気ポンプの消費電力の推定を行った。Fig.3に空気ポンプの消費電力と吐出空気流量の関係を示す。これは、一般に市販されている空気ポンプのカタログに記載されている公称値をプロットしたグラフである。これから350 l/minの流量で空気を供給するためには、消費電力500W程度のポンプが必要と推定でき、スタックから取り出す出力の約1/3の電気エネルギーが空気ポンプに消費される可能性があることが分かる。そこで我々は、定格運転における空気利用率を向上させ、空気ポンプの消費電力を抑制するために、本大型スタックに以下の改良を行った。

- ・セパレータ板の流路設計を最適化し、空気極側の圧力損失の低減を行った。
- ・ガス拡散層の最適化を行い、ガス拡散性の向上を行った。

Fig.4に、改良後の大型スタックの空気利用率と単電池換算した特性の関係を示す。これより、空気流量は6 l/min/cellの供給条件の時に、100W級スタックと同様の定格電圧390mV、出力密度65mW/cm²の2つの条件を同時に満たすことができ、そのときの空気利用率は28%と、100W級スタックより10%高い空気利用率での運転が可能となった。すなわち、大型37セルスタックに必要な空気流量は220 l/min程度となり、Fig.3から分かるように空気ポンプの消費電力は260Wに抑えることができ、当初推定していたより空気ポンプの消費電力を48%低減することができた。

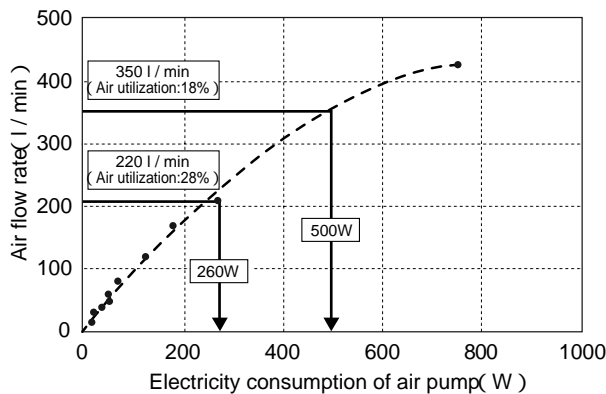


Fig. 3 Relationship between Electricity Consumption of Air Pump and Air Flow Rate

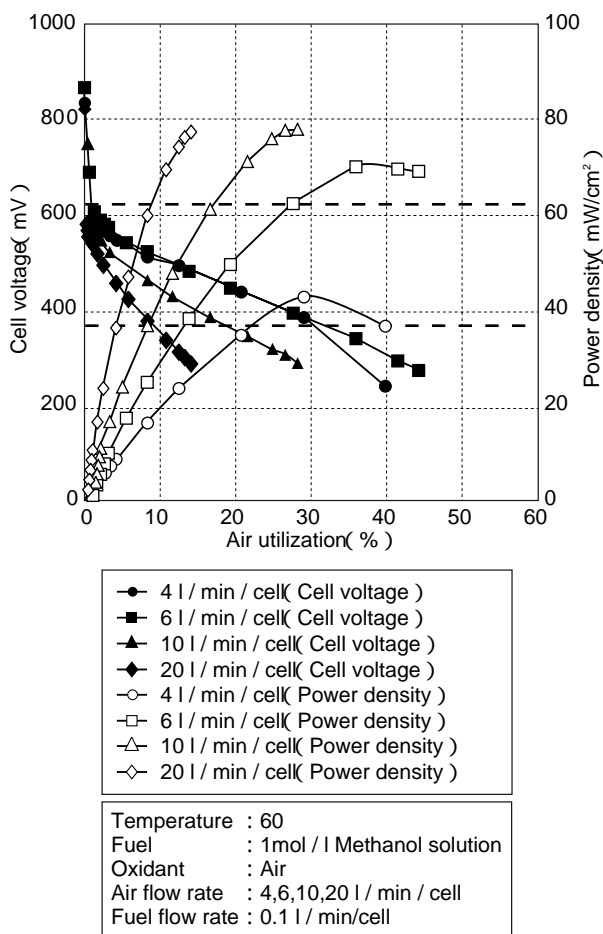


Fig. 4 Relationship between Air Utilization and High Power Type Cell Performance

3.3 メタノールクロスオーバー量の検討

Fig.5に、運転状態における大型スタック及び100W級スタックの、運転電流密度とメタノールクロスオーバー量を電流密度換算した関係を示す。メタノールクロスオーバー量は高電流密度になるほど低下する傾向が見られるが、これは、高電流密度になるほど、電極近傍のメタノール消費量が多くなるため、クロスオーバーする速度より先反応により消費する速度が大きくなるためと考えられる。大型スタックのメタノールクロスオーバー量は100W級スタック

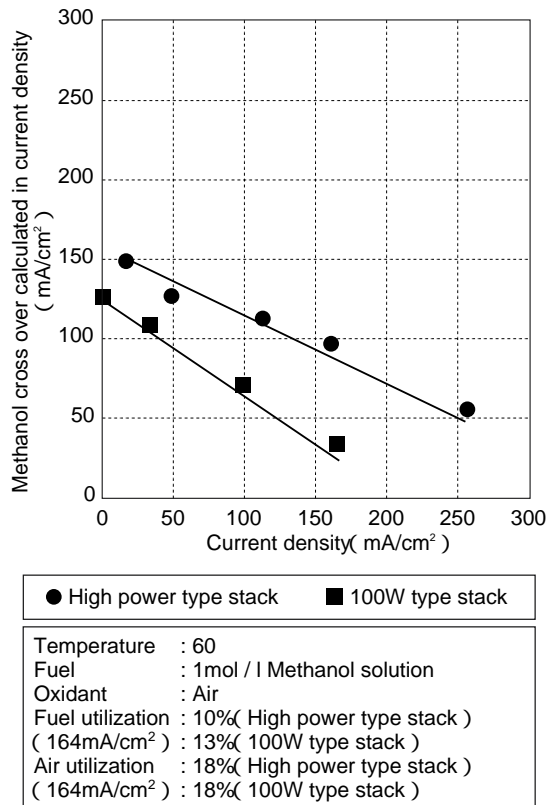


Fig. 5 Relationship between Current Density and Methanol Cross Over

より多い結果を示しているが、これは、空気極側のセパレータ板の流路設計を最適化し圧力損失を低減したために燃料極側との差圧が小さくなったためと考えられる。

3.4 エネルギー効率の検討

Fig.6に、大型スタックの運転電流密度とエネルギー効率の関係を示す。DMFCのエネルギー効率は、低電流密度領域ではメタノールクロスオーバーの影響により低く、高電流密度領域では電圧効率が下がるために極大値を取る特徴がある。100W級DMFCスタック及び大型スタックのエネルギー効率は、最大で25%と20%であった。大型スタックのエネルギー効率が100W級より5%ほど低下した理由は、大型スタックのメタノールクロスオーバー量が多いためであり、メタノールクロスオーバーを抑制した膜の開発が進めば解決できると考えられる。

4. むすび

本検討を実施した結果より、以下の事が分かった。

- ・電極面積625cm²の大型スタックを作製し運転することができた。
- ・大型スタックでも100W級スタックと同等の出力特性が得られた。

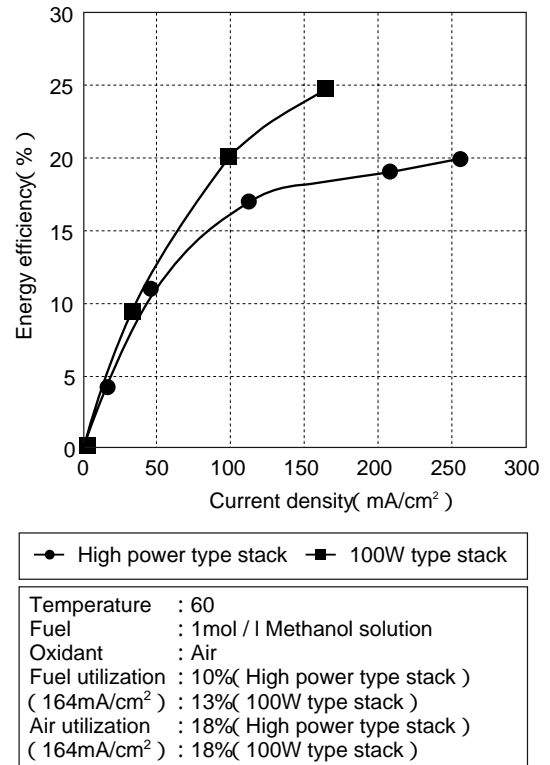


Fig. 6 Relationship between Current Density and Energy Efficiency

・セパレータ板等の設計を最適化することにより、大型スタックでは10%の空気利用率の向上を図ることができ、空気ポンプの消費電力を48%低減できる目処が立った。今後、これらの要素技術をもとに、1kW級スタックの開発を行う予定である。

謝辞

本研究は、経済産業省からの京都議定書目標達成産業技術開発促進事業の補助金を受け、財団法人国際環境技術移転研究センター(ICE T T)との共同研究の一環として平成14年度から実施中のものです。関係各位に感謝致します。

参考文献

- 1) Baldauf, M.; Preidel, W. Status of the development of a direct methanol full cell. J.Power Sources. vol.84, 1999, p.161-166.
- 2) 佐野利夫, 石丸文也, 野村栄一. 直接メタノール燃料電池システム(YFC-100)の電池特性. ユアサ時報. no.95, 2003, p.12-16.
- 3) 藤田幸雄, 元井昌司, 清水大輔, 奥山良一, 野村栄一. 直接メタノール形燃料電池のセパレータ板構造の検討. ユアサ時報. no.90, 2001, p.10-16.