ジメチルエーテル直接発電型燃料電池の発電性能

正員 堤 泰行 (茨城大学) 非会員 森山敬史 (茨城大学) 非会員 小又基彰 (茨城大学)

Direct Fuel Cell Performance using Dimethyl Ether Fuel

Yasuyuki Tsutsumi, Member (Ibaraki Univ.) Takashi Moriyama, Non-member (Ibaraki Univ.)
Motoaki Komata, Non-member (Ibaraki Univ.)

Technologies necessary to produce dimethyl ether (DME) from low-quality coal have been pursued as a new project funded nationally in Japan. Methanol has long been studied as the most promising fuel for fuel cells used in transportation applications due to the ease with which this liquid fuel can be transported. But DME is the more attractive fuel due to its low toxicity and the fact that it has a higher energy density than methanol.

The present paper reports the findings of the first study ever conducted on the DME direct fuel cell. A DME direct fuel cell of $6 \times 6 \text{ cm}^2$ is demonstrated for the first time using a polymer electrolyte fuel cell. Similar to methanol, the DME cell performance is highly depend on the steam partial pressure of the fuel gas. Performance level of the cell was almost equal to that of a methanol direct fuel cell by increasing steam partial pressure of the DME by 1.5 times more than that of methanol.

キーワード：燃料電池 (fuel cell)、ジメチルエーテル (DME)、高分子電解質、直接型

1. まえがき

燃料電池発電システムには、燃料を直接燃料電池へ供給して発電を行う直接発電型と燃料を水素に改質して燃料電池へ供給し発電を行う間接発電型の2種類がある。現在大規模な開発研究が行なわれているリン酸形燃料電池、熔融炭酸塩形燃料電池、自動車用高分子電解質形燃料電池のシステムは、いずれも燃料改質装置を備えた間接発電型である。直接発電型は、燃料改質装置を必要としないためシステムが単純になるが、一般に電気化学反応速度が遅く、燃料電池の出力密度が低く、燃料電池寸法が大きくなる。これまでメタノール、ヒドラジン、ホルムアルデヒド、ギ酸、アンモニア、エタノール等種々の燃料を用いた直接発電型燃料電池が研究された¹⁾。メタノールは、発電用として大量安価に供給可能な燃料であり、水素よりも運搬が容易な上、直接発電でもある程度の性能が得られるため、メタノールを燃料とする直接発電型の自動車用燃料電池は古くから多くの研究が行なわれてきた²⁾。

メタノール直接発電型燃料電池では、燃料極触媒に、白金-ルテニウム合金触媒など種々の触媒^{3) 4)}が研究されている。白金使用量は、水素-酸素型燃料電池の場合に比べて多く、 4 mg/cm^2 使用する例^{4) 5)}が多い。また、メタノールはガス状態でなく、液状態で供給するタイプが多い^{5) 6)}。メタノール直接発電型燃料電池は、水素燃料の燃料電池に比べ性能が低く、今すぐ実用化する段階にはないが、性能が向上してくれば、間接発電型より有利になると言われて

いる⁶⁾。

一方、トラックなどのディーゼル機関から排出される吐煙とNOxを削減するため、燃料としてジメチルエーテル(以下DMEと略称)を使うことが自動車エンジンの分野で検討されている⁷⁾。DMEは、毒性が低く分解されやすい特徴を生かし、これまでフロン代替え用揮発剤として、近年生産量を増やしてきているが、最近では低品位炭から安価にDMEを合成する技術開発が進められており⁸⁾、将来トラックなどの燃料として大量安価に使われる可能性が増してきている。DMEは、メタノールに比べ毒性が低いので、自動車のように一般人が取り扱う燃料に適している。トラック用ディーゼルエンジンへのDME利用が始まれば、DMEの供給システムが整備され、DMEは利用容易な燃料になると考えられる。

これまで、DMEを燃料とする燃料電池の研究は全く報告されていない。筆者らは、DMEの燃料としての有望性に着目し、DMEを燃料とする直接発電型燃料電池の研究に着手した。

本報は、 $6 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$ の高分子電解質形燃料電池を用いて、DMEの直接発電を初めて実施した実験結果の報告である。

2. DMEの一般的特性

DME ($\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$) は、沸点 -25.1°C の有機化合物で、液密度 0.67 g/cm^3 の液化ガスの状態で販売されている。LPGの主成分のプロパン、ブタンに類似した性質を持っており、貯蔵、ハンドリングはLPGの技術が応用出来る。セ

タン価が高く、発火温度が低いためディーゼルエンジン用燃料に適している。DMEは軽微な麻酔性があるが、メタノールのような粘膜刺激性、視神経障害、中枢神経障害ではなく、メタノールに比べるとはるかに低毒性物質といえる⁸⁾。

DMEの低位発熱量は6903 kcal/kgで、メタノールの5040 kcal/kgに比べると1.37倍である。これは、メタノール燃料タンクに比べDME燃料タンクを小形軽量化できることを意味している。

DMEの標準生成エンタルピーと標準生成ギブスエネルギーは、-184.05 kJ/mol及び-112.67 kJ/molである⁹⁾ため、この値を用いてDMEの酸化反応に伴う基本的な熱力学量を計算し、メタノールの場合と対比してみると表1のようになる。

表1、NO.1の反応を想定すると、DME直接発電型燃料電池（ガス燃料）の標準起電力は1.18Vであり、表1、NO.2、NO.3のメタノール直接発電型燃料電池の標準起電力1.21V（液燃料）、1.19V（ガス燃料）と大差ない値である。

表1は、燃料電池全体として期待される反応を示している。高分子電解質形燃料電池では、燃料極で、DMEやメタノールが水と反応して H^+ を生成し、水を伴った H_3O^+ が高分子電解質膜を通り、酸素極で酸素、 H^+ 及び電子が反応して、水を生成する過程が想定される。燃料極で想定される反応とその熱力学量を計算した結果を表2に示す。表2のNO.1、NO.2の反応を想定すると、DMEはメタノールに比べ H^+ 当たり1.5倍の水が必要である。表2でDMEの水蒸気改質反応は、メタノールと同様吸熱反応であり、モル当たりの吸熱量は、メタノールの49.91kJ/molに比べ、2倍以上の122.49kJ/molとなっている。水蒸気改質反応でのギブス自由エネルギー変化 ΔG は、エンタルピー変化 ΔH に比べ、メタノール、DME共非常に小さい。メタノールの場合 ΔG は正（自由エネルギーを取り出せる）だが、DMEの場

合 ΔG は負（自由エネルギーの注入が必要）である。燃料極におけるDMEの分解反応は、表2、NO.1以外にも色々な反応があるので、何が支配要因となり、燃料電池の性能に影響を与えるのか今後詳細な研究が必要である。

3. 実験方法

<3.1> 供試セル

本研究では、水素-酸素型燃料電池用として当所で開発した6cm×6cm高分子電解質形燃料電池セルを用いて、DMEとメタノールの直接発電実験を行った。DME直接発電型燃料電池セルとして高性能を出すには、使用材料や作り方を改善することが今後必要になるが、本研究では、DME直接発電が可能であることを実証し、メタノールとの性能比較を行うこと目的にしたので、これまで製作・試験実績のあるセルを供試セルとして用いた。パラメータを減らすため、酸素極、燃料極は同一仕様になっている。電極基板には0.19mmのカーボンペーパー（東レ、TGP-H-60）を使い、蒸留水で5wt%に希釈したPTFEディスパーション液（ダイキン、D-1）を吹きつけ、380℃ 30分間空气中で加熱し撥水化した。

乾燥後の電極基板に占めるPTFE残量は5wt%である。触媒としては、カーボン担体に40wt%の白金微粒子を担持させたものを使用した。触媒はPTFEディスパーション液をバインダーとして、電極基板に塗布し、240℃ 30分乾燥して電極基板に固着させた。白金量は片極当たり1 mg/cm²である。触媒層に占めるPTFE量は30wt%で、残り70wt%は触媒である。

電解質と触媒の接触面を増やすため、電極にはパーフルオロカーボンスルホン酸溶液（アルドリッチ・ケミカル、ナフィオン5wt%溶液）を0.01ml/cm²染み込ませ80℃、1時間乾燥させた。

表1 DMEとメタノールの酸化反応に関する熱力学量
Table 1 Thermodynamic values of DME, methanol oxidation

NO	反応式	ΔH (kJ/mol)	ΔG (kJ/mol)	起電力 (V)	燃料電池の種類
1	$CH_3OCH_3(g) + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O(g)$	1328.4	1361.8	1.18	DME 直接発電型燃料電池（ガス燃料）
2	$CH_3OH(l) + 3/2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O(l)$	726.1	702.0	1.21	メタノール直接発電型燃料電池（液燃料）
3	$CH_3OH(g) + 3/2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O(g)$	675.6	688.6	1.19	メタノール直接発電型燃料電池（ガス燃料）

表2 燃料極におけるDMEとメタノールの水蒸気改質反応に関する熱力学量
Table 2 Thermodynamic values of DME, methanol steam reforming on anode

NO	反応式	ΔH (kJ/mol)	ΔG (kJ/mol)	起電力 (mV)
1	$CH_3OCH_3(g) + 3H_2O(g) \rightarrow 2CO_2 + 12H^+$	-122.49	-9.72	-8.4
2	$CH_3OH(g) + H_2O(g) \rightarrow CO_2 + 6H^+$	-49.91	2.87	5.0

両電極を、0.05mmのパーフルオロカーボンスルホン酸膜（デュポン、ナフィオン112）に挟み、50kg/cm²、170℃、30分の条件で熱溶着してセルを完成させた。

電極寸法は6cm×6cm、電解質膜寸法は8.5cm×8.5cmで、電極外周部の電解質膜をリングで押さえガスシールを行っている。セルは、内部マニホールド型の溝付き緻密カーボン板で両側から押さえ、発電試験を行う。発電時に水滴が出来ても落下するようガスは、酸素、水素両方とも上から下に向かって流れる平行流構造とした。セル温度はセル枠に取り付けた電気ヒータにより調節した。

上に述べたセル製作の大まかな手法は、文献¹⁰⁾などにも記載されており、一般的なセル製作方法と考えられる。ただし、最近では触媒層を薄くした低白金量、高電流密度セルも開発されているので、このセルはやや古いタイプのセルに属するのかも知れない。実験に用いたセルは、常圧、セル温度70℃、加湿水素／加湿酸素の条件で、電流密度0、0.1、0.5A/cm²のとき、セル電圧はそれぞれ0.92、0.78、0.65Vである。水素と酸素は、それぞれ80℃の水を通し加湿状態にしてセルへ供給し、ガス流量は0.5A/cm²通電時、酸素利用率50%、水素利用率80%になる値である。

<3.2> 試験装置

図1 直接発電型燃料電池の試験装置
Fig.1 Test station for a direct fuel cell

図2 燃料濃度可変発電試験装置
Fig. 2 Fuel concentration controlled test station
for a direct fuel cell

図1はメタノールまたはDME直接発電型燃料電池のための試験装置である。図2は、DMEを窒素で希釈し、DME濃度を変えてDME直接発電を行うための装置である。

高分子電解質形燃料電池では、電解質膜のイオン導電性を高めるため、加湿ガスを供給することが一般に行われているが、直接発電型燃料電池では燃料からプロトンを作る反応で水を使うので、加湿はより重要な意味を持つ。加湿器として、多孔質板から小さな気泡を水中へ吹き出す方式の250mlガス洗浄器（孔径40～100μm）を用いた。実験に先立ち、窒素ガスを用いて、加湿器温度とガス流量を変え、加湿器出口の湿度を測定し、水蒸気発生量の校正を行った。その結果、加湿器出口ガスの水蒸気分圧は、ガス流量の影響をほとんど受けず加湿器温度で決まり、加湿器温度における飽和水蒸気圧の92～97%の値（平均95%）であった。即ち、加湿器の加湿効率は95%であり、ほぼ気液平衡状態のガス成分になることが分かった。

燃料電池セル温度と加湿器温度は、独立に設定することが出来、加湿器とセルの間の配管は、露結防止のため、100℃以上に加熱した。

図1の装置でメタノール直接発電の実験を行う場合は、加湿器にメタノール水溶液を入れ、窒素をキャリアガスとしてアノードにメタノール蒸気と水蒸気を送り込む方式とした。DMEが気体燃料であるため、この特性と比較するため、メタノールも気体燃料として特性比較を行った。メタノール水溶液は、メタノールと水を1対20（重量比）の割合で混ぜたものを用いた。メタノールの割合は、これより多すぎても、少なすぎてもセル性能が低下する傾向があったので、1対20を選んだ。メタノールと水の2成分系の気液平衡に関しては気液平衡データ集¹¹⁾に多くのデータが掲載され、気液平衡状態を推算するためのアントワン定数、ウィルソン定数も報告されている¹¹⁾。これらの定数を用いて、メタノール(1)/水(20)の2成分系の蒸気圧をアントワン式とウィルソン式を用いて計算すると、70、80、90、95℃で、水蒸気圧は、30.5、46.4、68.8、83.0 kPa、メタノール蒸気圧は、5.3、7.7、10.8、12.7 kPaとなる。水単体の飽和蒸気圧（kPa）は、70、80、90、95℃で、31.1、47.4、70.1、84.6なので、水蒸気圧に関してはこの2成分系是水単体の場合と大差はない。

図1の装置でDME直接発電の実験を行う場合は、加湿器に水を入れ、DMEを直接加湿器に吹き込み、加湿したDMEをセルへ送った。最初にDMEを流し始めてからセル性能が立ち上がるまで数分～数十分かかるので、遅れの原因を調べたところ、加湿器内の水にDMEが溶解しセルへの供給が不足するためと分かった。加湿器内の水をあらかじめDME飽和溶解しておけば、性能がすぐ立ち上がることを確認した。

DME－水の2成分系気液平衡データは、化学便覧⁹⁾や気液平衡データの専門書¹¹⁾にも見当たらない。したがって、正確なDMEと水蒸気量を計算することは出来ないので、加湿器出口の水蒸気圧は、加湿器温度に対応する水単体の

飽和水蒸気圧の95%（加湿器の加湿効率）、残りがDMEの蒸気圧として2成分の蒸気圧を概算する。すなわち、70、80、90、95℃における水蒸気圧は、29.5（ $31.1 \times 0.95 = 29.5$ ）、45.0、66.6、80.4 kPa、大気圧から水蒸気圧を差し引いたDME蒸気圧は、71.8（ $101.3 - 29.5 = 71.8$ ）、56.3、34.3、20.9 kPaと推定する。

図1の実験装置では、メタノール蒸気は窒素で希釈され、DMEは希釈されないため、メタノールとDMEを同じ燃料濃度で比較することが出来ない。そこで、DMEの低燃料濃度での実験を行うために、図2の装置を用いた。

図2の試験装置では、DME濃度やDMEと水蒸気との比率を自由に選ぶことが出来る。

4. 実験結果

<4.1> メタノール直接発電型燃料電池の特性

図3に、前章の実験方法で測定したメタノール直接発電型燃料電池の性能を示す。この性能は、前章で記載した水素/酸素用のセルをメタノール直接発電に用いた場合の性能である。

図3は、常圧、セル運転温度70℃、酸素側加湿器温度80℃とし、メタノール水の入った燃料側加湿器温度を70、80、90、95℃と変え電流密度とセル電圧の関係を求めた結果である。酸素流量は125NmL/minで、これは0.5A/cm²で酸素利用率50%に相当する値である。燃料系には窒素100NmL/minをキャリアガスとして流した。したがって、燃料極には、メタノール蒸気、水蒸気及び窒素の混合ガスが供給されている。図3の各温度における最大電流密度の点、すなわち70℃の0.08 A/cm²、0.03 Vの点、80℃の0.14 A/cm²、0.05 Vの点、90℃の0.19 A/cm²、0.05 Vの点において、メタノール蒸気と水蒸気が必要量供給されているかどうかを計算してみた。表3に計算結果を示す。ここで、水蒸気に関しては、H⁺を作る反応で消費する量は、メタノール1モルに対し水蒸気1モルであるが、生成した6H⁺が6モルの水を伴って酸素極へ移動すると考え、合計7モルの水蒸気が必要として水蒸気利用率計算した。計算方法の詳細は付録に記載した。

表3を見ると、70℃では、メタノール利用率が89%と高く、燃料不足で性能が低下してきたと考えられる。一方90℃では、燃料は充分供給された状態であることが分かる。また、70℃では水蒸気利用率も100%を越え水が不足している。70℃では、メタノールが不足しているだけでなく水も不足していることが分かる。水蒸気利用率が100%を越えても発電できたのは、酸素極から水の逆拡散があるためと考えられる。

実験では、1対20のメタノール水を用いたとき、性能が最も高く、メタノール濃度をこれより上げてても下げても特性低下する傾向があった。メタノール濃度を下げるとメタノール不足が深刻化し、メタノール濃度を上げると電解質膜を通るメタノールの直接反応が増大することのほかにも水不足も深刻化することが、上記の計算から推測される。

図3 メタノール/酸素 直接発電型燃料電池の性能
Fig.3 Methanol/O₂ direct fuel cell performance

表3 メタノール直接発電型燃料電池試験時のガス条件
Table 3 Gas conditions at methanol direct fuel cell tests

燃料加湿器温度 (°C)	70	80	90
対象とする測定点 (A/cm ²)	0.08	0.14	0.19
メタノール利用率 (%)	89	78	41
水蒸気圧 (kPa)	30.5	46.4	68.8
水蒸気流量 (NmL/min)	43	88.3	255
水蒸気利用率 (%)	108	93	45

図3で、95℃になると性能が急低下しているのは、セルに水が溜まるためである。性能が低下したセルを解体してみると電極基板が液体の水で覆われ、反応ガスが透過できない状態であった。このセルを105℃の炉に入れて乾燥すると性能は回復する。

<4.2> DME直接発電型燃料電池の特性

図1の実験装置を用い、燃料系加湿器に水を入れ、窒素の代わりDMEを用いてDME直接発電の性能を測定した結果を図4に示す。この図は、世界で初めて公表するDME直接発電の実験データである。

図4 DME/酸素 直接発電型燃料電池の性能
Fig.4 DME/O₂ direct fuel cell performance

図4は、図3と同様、常圧、セル運転温度70℃、酸素流量125ml/min、酸素側加湿器温度80℃、燃料側加湿器温度70、80、90、95℃における電流密度とセル電圧の関係である。DME流量は100Nml/minである。

図4を図3と比較してみると、図3の70℃と図4の80℃、図3の80℃と図4の90℃とが殆ど同じ特性である。燃料系加湿器温度を10℃高めれば、DME直接発電の性能はメタノール直接発電の性能にほぼ等しくなる結果である。95℃の特性だけ図3と図4で大きく異なるが、これは水が溜まることによる現象なので、メタノールとDMEの本質の違いに起因する特性の違いとは考えていない。

図4の各温度における最大電流密度の点、すなわち70℃の0.03A/cm²、0.09Vの点、80℃の0.08A/cm²、0.05Vの点及び90℃の0.14A/cm²、0.08Vの点において、DMEと水蒸気が充分供給されているかどうかを計算した結果を表4に示す。計算方法は、DME1モルと水蒸気3モルで、12H⁺を生成し、DME1モル当たり合計15モルの水蒸気が必要な点を考慮すれば、メタノールの場合と同じである。

表4 DME直接発電型燃料電池試験時のガス条件
Table 4 Gas conditions at DME direct fuel cell tests

燃料加湿器温度 (℃)	70	80	90
対象とする測定点 (A/cm ²)	0.03	0.08	0.14
DME利用率 (%)	1.3	3.4	5.9
水蒸気圧 (kPa)	31.2	47.4	70.1
水蒸気流量 (Nml/min)	41	80	192
水蒸気利用率 (%)	46	63	46

DME直接発電型燃料電池の燃料加湿器温度80、90℃の特性は、メタノール直接発電型燃料電池の燃料加湿器温度70、80℃の特性にほぼ等しいので、両者の試験時のガス条件を比較してみる。DME試験/メタノール試験の水蒸気圧比は、47.4/30.5=1.55、70.1/46.4=1.51である。DMEはメタノールに比べ、燃料の水蒸気改質反応で1.5倍の水が必要であることと良く対応しているように思われる。DME試験/メタノール試験の水蒸気流量比は、80/43=1.86、192/88.3=2.17である。水蒸気流量を約2倍に増やすとDME直接発電型燃料電池もメタノール直接型燃料電池並みの性能が出ると見ることも出来る。

4.3> DME直接発電型燃料電池の性能に及ぼすDME濃度の影響

図2の実験装置を用いて、常圧、セル温度70℃、酸素側加湿器温度80℃、燃料側窒素加湿器温度80℃、酸素流量125Nml/cm² (0.5A/cm²で酸素利用率50%)、窒素流量100Nml/min、DME流量10、20、40Nml/minにおける電流密度とセル電圧を測定した結果を図5に示す。

このときの水蒸気流量は80Nml/minで、図4の80℃の場合と同じである。窒素をキャリアガスとし水蒸気量は変え

ず、DME流量だけを減少させたのが図5である。

図5の特性は、ある電流密度まで図4の80℃の特性にほぼ等しいが、それ以上の電流密度でセル電圧が急低下する特性になっている。急低下する電流密度は、DME流量が40、20、10Nml/minのとき、0.08、0.07、0.04A/cm²である。このときのDME利用率は、8.4、14.6、16.7%であるから、DMEの絶対量不足による性能低下ではない。このときのDME濃度は、18.2、10.0、5.3%であり、DME濃度が低くなるにつれて、セル電圧が急低下する電流密度が小さくなっている。

図5 DME直接発電型燃料電池の性能に及ぼすDME流量の影響

Fig.5 Effect of DME flow rate on DME direct fuel cell performance

このように、ある電流密度でセル電圧が急激に低下する原因は、反応に必要な物質を反応部に供給できないために起こることが多い。メタノールを燃料とする実験では、高いメタノール利用率運転が出来るのに、DMEでは20%以下の利用率で性能が低下する理由は今のところ分らない。

この原因を究明し、高い燃料利用率で運転できるようにすることは、今後の課題である。

5. まとめ

ジメチルエーテル (DME) を燃料とする直接発電型燃料電池の発電が可能なことを、有効電極面積6cm×6cmの高分子電解質型燃料電池を用いて、初めて実証した。

DME直接発電型燃料電池の標準起電力は1.18Vで、メタノール直接発電型燃料電池の標準起電力1.21V (液燃料)、1.18V (ガス燃料) に近い。メタノール直接発電型燃料電池に比べ、燃料極における電極反応に1.5倍多くの水が必要とする。

実験には、水素-酸素用の白金触媒を使用した燃料電池を用いた。この燃料電池で、燃料中の水蒸気圧を約1.5倍、水蒸気流量で約2倍すれば、DME直接発電の性能は、メタノール直接発電の性能とほぼ同じレベルになることが分かった。

試験した燃料電池では、高いメタノール利用率でメタノール直接発電が可能であったが、高いDME利用率でDM

E 直接発電を行なうことは出来なかった。

DME は、メタノールに比べ毒性が低く、エネルギー密度も高い。燃料として将来大量安価に生産される可能性もあるので、DME 利用技術の開発は重要である。

今回報告した DME 直接発電燃料電池は、性能的にはまだ極めて低く、実用化までには大幅な性能向上が必要である。しかし、メタノール直接発電型燃料電池では、白金-ルテニウム系触媒の改良、電極構造の改良、高圧化・液体燃料供給方式などの運転方法の改善などにより、既に 0.5A/cm² で 0.5V を越える性能が報告されているので、DME でも今後大幅な性能改善は期待できる。引き続き反応メカニズムの解明に取り組み、性能改善を計りたい。

最後に、DME を燃料とするディーゼルエンジンの研究者であり、DME 燃料電池の研究を推奨頂いた茨城大学工学部梶谷教授に感謝する。

(平成11年8月6日受付、同11年10月22日再受付)

文 献

- (1) 吉沢：「電池ハンドブック」、電気書院 (1975)
- (2) NEDO：「新エネルギー技術開発関係データ集作成調査(燃料電池)」、NEDO-P-9809 (1999)
- (3) V.M.Schmidt, T.Ianniello, H.F.Oetjen, H.Reger, U.Stimming: "DEMS and single cell measurements of a direct methanol fuel cell", Electrochemical Soc.Proc. vol.95-23 p.267-277 (1995)
- (4) B.C.Chan, E.Reddington, A.Sapienza, J.S.Yu, T.E.Mallouk, B.Gurau, R.Viswanathan, R.Liu, K.Ley, T.J.Lafrenz, E.S.Smotkin: "Combinatorial discovery and optimization of anode electrocatalysts for direct methanol fuel cells", Fuel Cell Seminar (1998)
- (5) S.Gottesfeld, S.J.C.Cleghorn, X.Ren, T.E.Springer, M.S.Wilson, T.A.Zawodzinski: "Polymer Electrolyte Direct Methanol Fuel Cells: An Option for Transportation Applications", Fuel Cell Seminar (1996)
- (6) Xiaoming Ren, S.C.Thomas, P.Zelenay, S.Gottesfeld: "Direct methanol fuel cell: developments for portable power and for potential transportation applications", Fuel Cell Seminar (1998)
- (7) Kajitani S., Chen Z., Konno M., Rhee K.: "Engine performance and exhaust characteristics of direct-injection diesel engine operated with DME", SAE Paper 972973 (1997)
- (8) 大野：「石炭からの新クリーン燃料—ジメチルエーテル—」、日本学術振興会 石炭利用技術第148委員会第56回研究会資料 (1996)
- (9) 電気化学協会編：「電気化学便覧」第4版、丸善 (1985)
- (10) Srinivasan Supramanian: "Recent advances in solid

polymer electrolyte fuel cell technology with low platinum loading electrodes", NASA Conf.Publ.1989 Vol.3056 No.Space Electrochem. Res. technol.(SERT) p.95-113 (1989)

- (11) 大江：「気液平衡データ集」、講談社サイエンティフィック (1988)

付録

表3の70℃におけるメタノール、水蒸気の利用率計算。

メタノール(1)/水(20)2成分系の70℃における蒸気圧は、水蒸気圧 30.5kPa、メタノール蒸気圧 5.3kPaである。

窒素100NmL/minをキャリアガスとした場合、メタノール流量は、 $100 \times 5.3 \times 0.95 / (101.325 - (5.3 + 30.5) \times 0.95) = 7.5 \text{ NmL/min}$ 、水蒸気流量は、 $100 \times 30.5 \times 0.95 / (101.325 - (5.3 + 30.5) \times 0.95) = 43.0 \text{ NmL/min}$ である。ここで、0.95は加湿器の加湿効率である。

このメタノールを全部発電で消費するとして電流密度を求めると、 $7.5 \times 96500 \times 6 / (22.4 \times 10^3 \times 60 \times 36) = 0.09 \text{ A/cm}^2$ となる。ここで36は電極面積cm²である。測定点0.08A/cm²におけるメタノール利用率は、 $0.08 / 0.09 = 0.89$ となる。水蒸気利用率100%となる電流密度は、 $43 / 7 \times 96500 \times 6 / (22.4 \times 10^3 \times 60 \times 36) = 0.074 \text{ A/cm}^2$ である。測定点0.08A/cm²における水蒸気利用率は、 $0.08 / 0.074 = 1.08$ となる。

堤 泰行

(正員) 昭和13年1月18日生。35年3月九州大学工学部電気工学科卒業。同年4月(株)日立製作所入社。平成元年3月退社。同年4月茨城大学工業短期大学部、2年10月同工学部教授。主として高電圧、電力機器の絶縁、燃料電池の研究に従事。

森山敬史

(非会員) 昭和49年6月14日生。平成6年4月茨城大学工学部システム工学科入学。10年3月卒業。10年4月同大学院理工学研究科入学。

小又基彰

(非会員) 昭和12年11月2日生。31年3月日立工業高校工業化学科卒業。34年4月茨城大学工学部勤務。47年6月同大学工業短期大学部、平成2年同大学工学部講師。主として、高分子反応機構、物性に関する研究に従事。