

直接型ジメチルエーテル燃料電池 (DDFC) のスタックの開発 陳之立*¹

Development and Operation of Direct Dimethyl Ether Fuel Cell (DDFC) Stack

by

Zhili Chen

Abstract

In this report, the author presents the concepts and results of a study aimed at developing and demonstrating a direct solid polymer electrolyte (SPE) fuel cell stack that operates using dimethyl ether (DME). As a preliminary study, a test stack (three-cell stack) was developed for determining the requirements for the auxiliary operation systems including those of fuel supply and gas humidification.

Keywords: Fuel cell, Dimethyl ether, DME, Stack, Auxiliary system

* 1 Associate Professor, Department of Prime Mover Engineering

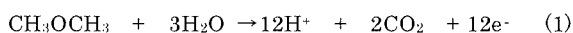
1. まえがき

次世代の代替エネルギーとして注目されているジメチルエーテル (DME) の物性は LPG に似て、低品位石炭から安価に合成できるのでエンジンの代替燃料として研究が展開されている。直接⁽¹⁾または改質⁽²⁾発電型燃料電池の燃料としても検討されているが、積層化(スタック)した場合についての報告は少ない。本研究は DME 燃料電池のスタックにおける加湿水や生成水によるガス供給流路の閉塞によって発生した発電障害、セルの発電性能のばらつき、ガス供給方法、加湿方法などについて検討し、安定に発電できる要素技術および補機システムを確立した。

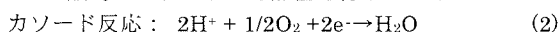
2. コンセプトおよび設計

固体高分子膜燃料電池は電解質膜を湿潤に保つ必要があるのが、ガスを加湿しなければならない。燃料が水素の場合、燃料極 (アノード) への加湿水量は飽和水蒸気分圧の分だけあれば十分である。しかし、DME を燃料とする場合、DME はアノードで反応式(1)に示すように水と反応するので、飽和水蒸気分圧以上の過剰加湿が必要である。

アノード反応:



一方カソードでは反応式(2)に示すように水を生成するが、DME の場合、膜が常に完全な湿潤状態にあることが要求とされるので一般的にカソードにも加湿を行っている。



これらの生成水および加湿による過剰水の総量がセル内ガスの飽和水蒸気分圧を越えた分だけ液体水となる。液体水がセルの流路に止まっていると、流路の閉塞によってセルへのガス供給が止まり発電障害が起こるため素早くセルの外部に排出しな

ければならない。

水素を燃料とする燃料電池には、排気中に水素しかないので排気を電池の入口に戻して再利用できるから、水素の供給流量を増やすことによってセル内の水が高速流動の水素に連れられて、単セルの場合でもスタックの場合でも水を排出できる。しかし、DME 燃料電池では、反応式(1)に示すように、アノード排気中に CO_2 が含まれており、排気を再利用しにくいので供給流量の増大によって水を排出させる方法は応用できない。

これまでの DME 燃料電池の研究のほとんどは単セルで行われているので、図 1a に示すように、流路に水滴ができた場合、供給したガスは行き場を失ってしまうので、水滴が上流に溜まったガスの圧力で排出される。しかし、電池をスタック化するとき、図 1b に示すように、あるセルの流路に水滴ができて、ガスが他のセルの流路を通ることができるので、水滴を

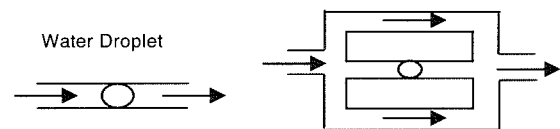


Fig. 1 Images of water droplet dynamics in single cell and stack

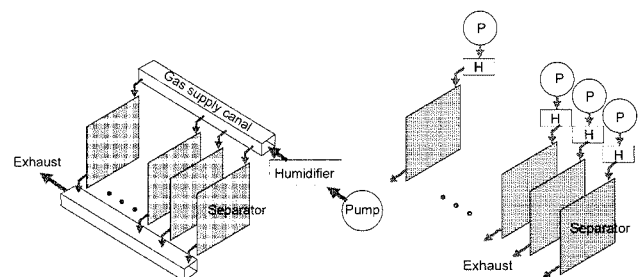


Fig. 2 Principle of gas supply with conventional and cell by cell method

* 1 工学部動力機械工学科助教授

排出するに必要な圧力が得られないので水滴の排出はできない。

図 2a に従来の燃料電池スタックのガス集中供給の模式図を示す。ガスがポンペまたはポンプから加湿器に送られ、加湿後にスタックのガス供給管に供給され、さらに各セルに分岐し、セルのガス流路を通して発電に一部が使われ、残りが排出管にまとめられ排出される。この供給方式は図 1b で示した場合に相当で、セル内の水は排出できない。そこで、本研究では、電池をスタック化しても各セルは独立のガス供給システムを有する個別ガス供給システムを提案した。図 2b に個別ガス供給の模式図を示す。この場合、各々のセルにポンプ、加湿器を有し、どのセルでも流路が水によって閉塞されても水滴の上流の圧力はポンプの吐出圧またはポンペの 2 次圧まで自動的に上昇し、その圧力によって水滴が排出できるようになる。

一方、個別ガス供給システムには、個別の加湿器が必要である。しかし、従来の内部加湿やバブリング加湿などの方法は応用できない。そこで本研究では水選択透過性の中空糸加湿器を開発した。図 4 にその模式図を示す。中空糸加湿器の構造は簡単で、中空糸を蒸留水の中に浸し、中にガスを通過させると加湿される。

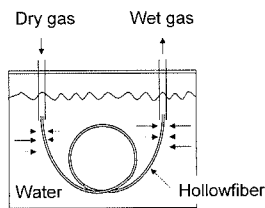


Fig.3 Diagram of humidifier

Table.1 Specification of stack and humidifier

Stack No.	3 cells	Humidifier	Hollow fiber
Cell size	4×49mm	Inner/ Outer diameter	0.8/1.0mm
MEA Catalyst	Pt 50% C	Length	300mm

3. 性能実験および考察

表 1 に本研究に使用したテストスタックと加湿器の諸元を示す。本研究の目的は DME 燃料電池をスタック化するときのガス供給システムと加湿システムを確立することであるため、スタックは 3 セルだけで構成した。

性能実験は加湿器とスタックについて行った。図 4 に加湿器の水温を 87.5℃ と 92.5℃、流量を 40-200ml/min 変化させたときの出口の相対湿度を示す。流量が低い場合に加湿効果は高く、流量が増加につれ、加湿器出口の相対湿度は低下する。流量が 150ml/min を越えると相対湿度は急激に低下するので、これを今回設計した加湿器の限界使用流量とした。また、この図から温度が上昇すると相対湿度は低下することが確認できる。これは 92.5℃ の絶対湿度は 87.5℃ の約 2 倍になるので、高温になると加湿能力は不足になる。ただし、後述のようにこの加湿器を用いてのスタックの発電が正常にできたのでこの程度の加湿能力は十分だと示唆する。また、流量が 40ml/min 以下の場合、湿度計のセンサに結露が起り、相対湿度の表示値は 82% から 100% の間で周期的に変改するので正確に計測できなかった。

図 5 は流量を 100ml/min 一定にした場合、3 本の中空糸につ

いての加湿効果の個体差を示す。温度 87.5℃ のときの計測値に多少のばらつきはあるが（中空糸 No2 が高い）、いずれの温度においても 3 本の中空糸の間に顕著な個体差は認められなかった。

図 6 に 3 セルスタックの I-V 特性、スタックの各々のセルと単セル電池の I-V 特性を示す。スタック温度は 90℃、DME 流量はセル毎 20ml/min、O₂ の流量はセル毎 30ml/min である。上記 3 本の中空糸はそれぞれスタックの 3 つのセルに加湿する。3 セルで構成されたスタックのどのセルにも流路の水閉塞が発生しておらず、スタックは安定に発電できた。また、3 セルスタックのセル間のばらつきが少ない。さらに、対比するため、この図にときの各々のセルの性能はほぼ同じであることが確認できた。

4. 結論

本研究では DME 燃料電池のスタック化するためスタックのセル個別ガス供給システムと個別供給のための中空糸加湿器を開発した。また、中空糸加湿器は安定で十分な加湿性能を確認した、セル個別ガス供給システムを備えた DME 燃料電池スタックは安定に発電できことを確認した。

謝辞

本研究は東海大学 2005 年度学部等研究教育補助金を受けたことを記して感謝の意を表す。

参考文献

- (1) 堤, 他 2 名, DME 直接発電型燃料電池の発電性能, 電気学会論文集 B 篇 Vol. 120-4, p637-642, 2000
- (2) T. Shirakawa, 他 6 名, Development of Kerosene Fuel Cell Systems and Hydrogen Refueling Station, 2004 Fuel Cell Seminar, No.2004000312, 2004

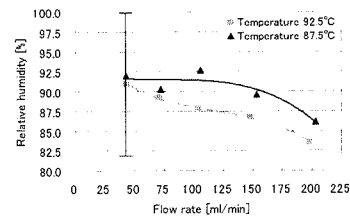


Fig.4 Performance of humidifier with various flows

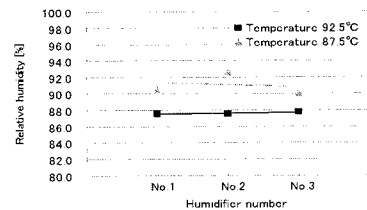


Fig.5 Individual difference between hollow fibers

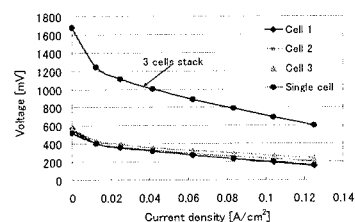


Fig.6 Measured I-V characteristics for 3 cells stack and single cell