

セパレータの薄肉化およびその流路の検討

富村哲也*, 庄山昌志*, 水谷誠司*

Development of thin bipolar plate and its flow channel

Tetsuya TOMIMURA, Masashi SHOYAMA and Seiji MIZUTANI

The aim of this paper is to experimentally investigate the simulation result and to make the bipolar plate. The result of the simulation of the last year's report was experimentally confirmed by a single fuel cell that used the bipolar plate of different depth. We made the bipolar plates of the thickness of 2mm. The fuel cell with the bipolar plates had a good power generation performance.

Key words: PEFC, Bipolar Plate, Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

1. はじめに

エネルギー、地球温暖化、環境問題等の解決のために新エネルギー技術の開発が国全体として進められている。2008年3月には「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」が経済産業省により策定され、燃料電池および水素関連技術が 2050 年の大幅な二酸化炭素削減に向けて重点的に取り組むべきエネルギー革新技術に位置づけられた。そして、2009年には、家庭用の定置型固体高分子形燃料電池システムが市場投入された。しかしながら、燃料電池は、コスト、耐久性などまだ多くの課題が残されており、多数の研究が現在も進められている。

固体高分子形燃料電池 (PEFC) の構成は図 1 に示すように、3 つの主要な部材 (電解質膜・触媒・セパレータ) からなっている。そのなかで、セパレータは、ガス流路の形成と導電性を付与されたものである。材質としては、当初より用いられていたカーボン焼結体に加え樹脂とカーボン・黒鉛との複合体、金属などが検討されている。膜電極接合体 (MEA) は数百 μm であるのに対して、セパレータは数 mm と厚いためにスタックの体積はセパレータが大部分を占める結果となってしまう。そのため、セパレータの厚みを薄くすることにより、コンパクト

化が図れかつ材料費が削減できるために低コスト化にもつながる。

我々は、これまで PEFC 用の樹脂セパレータに関して研究を進めてきた¹⁻⁴⁾。そして、熱可塑性樹脂をバインダーとして作製したセパレータを用い、発電

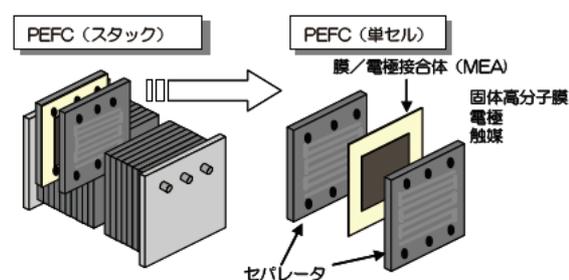


図 1 PEFC 概略図

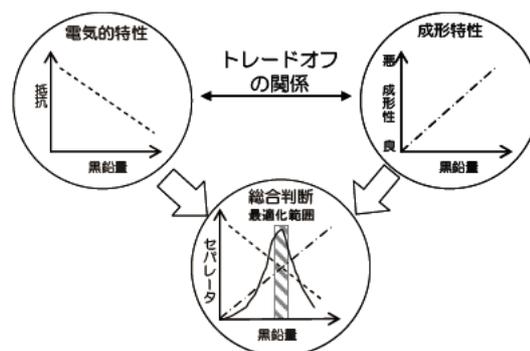


図 2 セパレータ開発課題

* 電子・機械研究課

試験を行いその性能を評価してきた。しかしながら、樹脂とカーボン・黒鉛の複合体の場合、図 2 に示すような導電性と成形性の間にはトレードオフの関係が存在し、課題を複雑なものにしている。

本報告は、県内企業と共同で薄型化セパレータを試作し、その発電検証試験より性能を検討した。

2. 実験方法

2. 1 流路深さの発電性能に与える影響

発電セルは JARI 標準単セル (電極面積 25cm²) を用いた。流路深さの検討を行うために、セパレータは、標準の 1mm×1mm の流路形状のものを用いて、表面を 0.25mm ずつ研磨し流路深さ d を変更した。発電試験は、同一の膜電極接合体 (MEA) を用いて行った。

2. 2 セパレータ抵抗評価

セパレータ用の樹脂・導電性粒子複合体の抵抗測定は、四探針法および四端子法で測定した。四端子法による抵抗測定は、上部・下部電極として真鍮の電極を用いてその間に試料を挟み、一定圧力下において測定した。また、接触性および実セルでの状況を考慮し、PEFC で用いられるガス拡散層(GDL)を電極と試料の間にそれぞれ挟んだ電極構成でも測定した。

2. 3 燃料電池発電試験

セルの発電試験は、表 1 に示す条件で行い、発電開始後、一定負荷においてセル電圧が安定した段階で I-V 試験および交流インピーダンス (EIS) 試験を行った。EIS 試験は、交流電流を重畳する方法で行った。

表 1 発電条件

セル温度	75°C
露点温度	70°C
アノードガス	H ₂ (利用率 70%)
カソードガス	O ₂ (利用率 40%)

3. 結果および検討

3. 1 流路深さの発電性能に与える影響

これまでに薄膜化に向けた検討として、CFD (Computational Fluid Dynamics) を用いて流路形状の検討を進めてきた。前報⁴⁾では、図 3 に示すような簡単な流路の 3 次元モデルを構築し、流路深さ

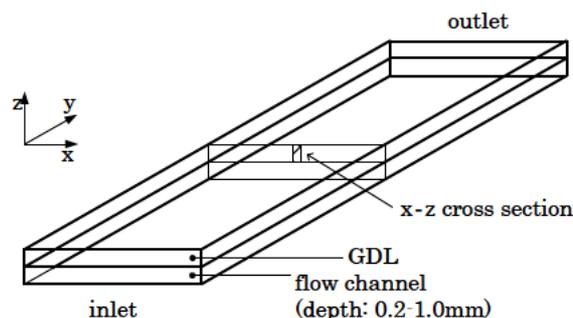


図 3 流路 3 次元モデル (CFD シミュレーション)

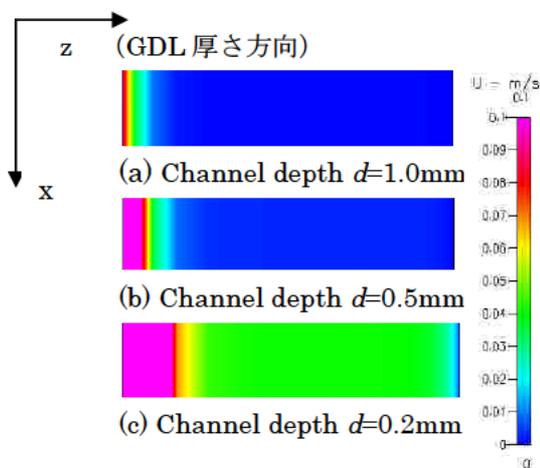
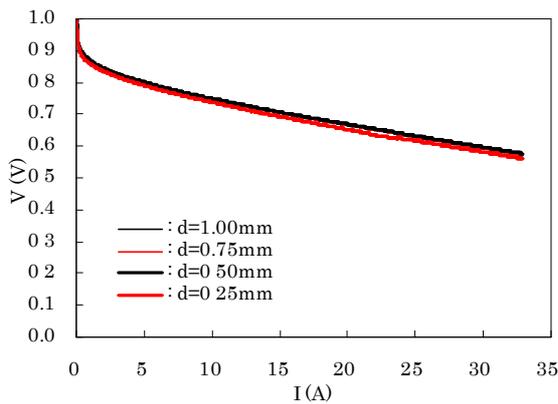


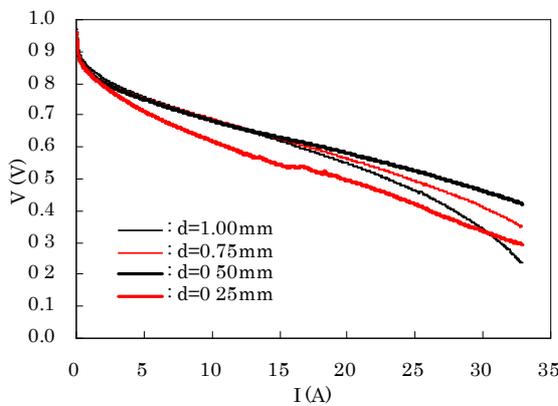
図 4 シミュレーション結果
(GDL 内の流速分布 : 流路方向)

d を 1, 0.5, 0.2mm と変化させた場合の GDL 内の流速をシミュレーションした。図 3 に示す $x-z$ 平面上の流路中心部分における GDL 内部の流路方向の流速分布を図 4 に示す。図から流路深さ d の減少に伴い、GDL 内部のガス流量が増加することが示される。このことから、セパレータの薄肉化によって流路深さが減少することにより GDL 内部のガスの流れも変わることが予測された。

このシミュレーション結果を受け、実際にセパレータの流路深さ d を変更したセルを用いて検討した。流路幅は 1.00mm とし、深さ d を 1mm, 0.75mm, 0.50mm, 0.25mm とした。カソードガスとして O₂ と air を用いた場合のそれぞれの単セルの I-V 特性を図 5 に示す。図 5(a) のカソードガスに O₂ を用いた場合は、流路深さ d の I-V 特性に与える影響はほとんどないことがわかる。しかしながら、図 5(b) のカソードガスに air を用いた場合には、0.25mm の



(a) anode : H₂ cathode : O₂



(b) anode : H₂ cathode : air

図 5 単セル I-V 特性

場合を除いて、流路深さ d の減少に伴い高電流側で電圧降下が減少することから、セルの発電特性が改善されていることが示される。これは、O₂ から air に変更したことで、供給ガスに占める O₂ 濃度が減少したためにガス拡散性の影響が顕著になり、流路深さ d の減少により流速が上がりガス拡散性が向上したためであると考えられる。しかしながら、 $d=0.25\text{mm}$ まで浅くしてしまうと、加湿水や生成水により水つまりが起りやすくなり I-V 特性が低下してしまったと推察される。

これらの結果から、流路深さ d の減少により、GDL 内部のガスの流れができガス拡散性の向上が図れるものの、生成水等の水をうまく排出できる程度の流路深さがないとセル性能の低下を招くことが確認できた。

3. 2 抵抗に関する検討

セパレータ部材検討において、バルクの抵抗率は

重要な評価対象となる。しかしながら、その評価結果と実セルにおける性能とは必ずしも一致しない。

今回、抵抗率 ρ の異なる 3 種類のセパレータ材料 A,B,C ($\rho_A > \rho_B > \rho_C$) を用いて、2 種類の測定手法で得られた抵抗率からセル抵抗を推測し、実セルで得られた結果と比較検討した。実セルの抵抗 R の推定値は、次のような方法で求めた。今回用いた単セルの反応面積は 25cm^2 であり、面積 S は凹凸の流路形状を有するセパレータとの接触面積を凸部のみであることを考慮し半分の 12.5cm^2 とした。セパレータの厚みは 2mm とし、膜電極接合体 (MEA) およびそれぞれの接触抵抗を無視すると、

$$R[\text{m}\Omega] = \rho[\text{m}\Omega \cdot \text{cm}] \times \frac{0.2[\text{cm}]}{12.5[\text{cm}^2]} \times 2 \quad (1)$$

となる。但し、 ρ はセパレータ材料の抵抗率とする。2 種類の測定法 (四探針法・四端子法) を用いて、3 種類のセパレータ材料の抵抗率を測定し、式 (1) より求めたセル抵抗の推定値とそれぞれの材料のセパレータを用いた実際の単セルの高加湿条件で得られた実測結果を表 2 に示す。表 2 より、すべての試料について四探針法に比べ四端子法で得られた結果は大きな値となっている。これは、四端子法で測定する際、 $\phi 10\text{mm}$ の電極を用いたため、電極と試料との接触抵抗が測定値に影響を与えた可能性が高い。また、それぞれ推定したセル抵抗と実測値の間には若干ずれはあるものの、MEA や接触抵抗の影響がでない範囲においては、実セルの抵抗を推定可能であることがわかる。試料 C については、推定値よりも実セルの抵抗値のほうが 2 倍以上大きくなっている。これは、セパレータ自体の抵抗が十分に低いために MEA、接触抵抗の影響が顕著になったためだと考えられる。

表 2 セル抵抗の推定結果と実測結果

	sample A	sample B	sample C
四探針法	18.2mΩ	11.4mΩ	1.5mΩ
四端子法	25.6mΩ	17.6mΩ	2.1mΩ
セル抵抗 (実セル)	18 mΩ	14 mΩ	5.6 mΩ

3. 3 発電試験結果に関する検討

図 6 に今回試作した薄型セパレータの外観を示す。図 7 に試料 A, B, C からなるセパレータをそ

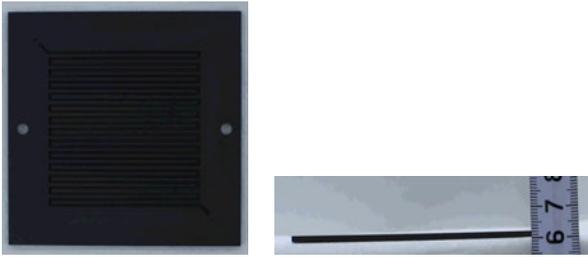


図 6 セパレータ外観

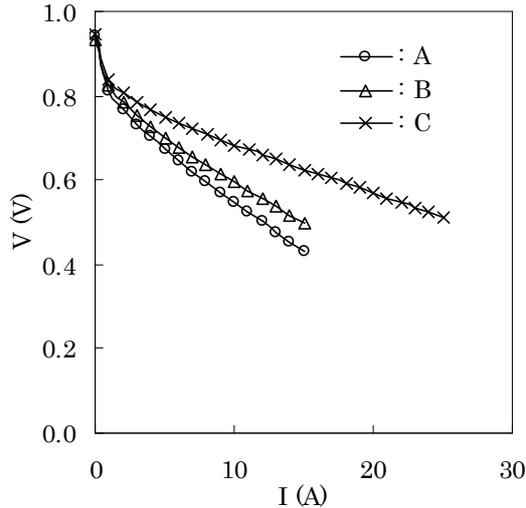


図 7 I-V 特性

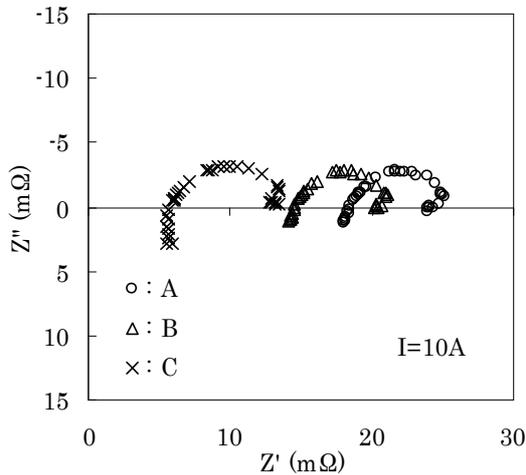


図 8 cole-cole プロット

それぞれ用いた単セルの I-V 特性を示す。表 2 で示した抵抗率の結果から推測されるように、I-V 特性は抵抗率の低いものがより高い電圧を保持しているこ

とがわかる。これは、IR 損による電圧低下に起因したものであると考えられる。図 8 に負荷電流 10A 時の EIS 測定の結果を cole-cole プロットで示す。MEA, セパレータ, 接触抵抗などが含まれる値となる高周波側の Z' の値は、試料 A>試料 B>試料 C の順番となりセパレータの抵抗に依存した結果となっている。反応抵抗を示す半円の直径はどのセルもほとんど変わらないため、性能向上はセパレータの抵抗値の減少だけによるものだと考えられる。

4. まとめ

薄型化セパレータの検討として、昨年度報告したシミュレーション結果について実セルを用いた実験による検証を行った。また県内企業と共同で薄型セパレータを試作し、その発電試験から性能を検討した。その結果以下のことが明らかになった。

- (1) シミュレーション結果の検証実験より、流路深さの減少によりガス拡散性は向上していることを確認した。しかしながら、水つまりなどの影響により、流路深さには最適値が存在することが示唆された。
- (2) 2mm 厚のセパレータの試作に成功した。そのセパレータを用いた単セル試験の結果より、I-V 特性も大きく向上したことを確認した。

参考文献

- 1) 中北賢司ほか：“積層組立の容易な固体高分子型燃料電池用セパレータの開発（第 1 報）”. 三重県科振工研報. 29, pp.11-15 (2005)
- 2) 中北賢司ほか：“積層組立の容易な固体高分子型燃料電池用セパレータの開発（第 2 報）”. 三重県科振工研報. 30, pp.82-86 (2006)
- 3) 富村哲也ほか：“PEFC 用セパレータの交流インピーダンス測定による特性評価”. 三重県科振工研報. 31, pp.43-46 (2007)
- 4) 富村哲也ほか：“燃料電池セパレータの薄型化に向けた流路の検討”. 三重県科振工研報. 32, pp.1-6 (2008)

(本研究は法人県民税の超過課税を財源としていません)