

# 燃料電池用金属製セパレータの性能向上に関する研究

宮川 和幸・石田 正文・早川 亮・有泉 直子  
渡辺 政廣\*1・柴田 正実\*1・佐藤 幸徳\*2・武田 敏充\*2・松下 清人\*3

## Study on Improvement of Metallic Separator for Fuel Cell

Wako MIYAGAWA, Masafumi ISHIDA, Ryo Hayakawa, Naoko Ariizumi  
Masahiro WATANABE\*1, Masami SHIBATA\*1, Yukinori SATO\*2  
Toshimitsu TAKEDA\*2 and Kiyohito MATSUSHITA\*3

### 要 約

反応面積が 50mm×50mm である単セル用セパレータの作成を目指し、積層セル間の接触抵抗を低減させるため流路形状の改善を行った。まず、新たな流路形状に対して有限要素法 (FEM) による構造解析を実施し、加工に関するシミュレーションを行った。解析結果を基に加工実験を行い、解析結果と実際のプレス加工品の形状を対比した。また、流路を有するプレス成形品に導電性皮膜を付与する方法について検討した。

### 1. 緒 言

水素と酸素を化学反応させて直接発電することのできる燃料電池は、高いエネルギー効率と優れた環境特性を持ち、新時代の有力なキーテクノロジーである<sup>1)</sup>。しかし、その実用化には種々の課題が残されており、主要な構成部品であるセパレータに関しても、現在開発が進められている樹脂製セパレータよりも高い耐食性、優れた電気伝導率と機械的特性を併せ持つ素材が求められている<sup>2)</sup>。

この課題に対し、軽量かつ高強度な素材として表面処理を施した金属薄板の適用の可能性を検討してきた<sup>3)</sup>。今年度は、反応面積が 50mm×50mm である単セル用セパレータの作成を目指し、接触抵抗の低減を目的として流路形状の改善を図った。まず、新たな流路形状に対して有限要素法 (FEM) による構造解析を実施し、加工に関するシミュレーションを行った。この結果をもとに、型の修正を行いプレス成形実験を行って、解析結果と実際のプレス成形品の形状を対比した。また、プレス加工により流路を形成したセパレータに、導電性皮膜を付与する手法について検討した。

### 2. 実験方法

2-1 有限要素法によるプレス成形の弾塑性変形解析  
流路底部を平坦に成形するため型の改良を行うにあたり、有限要素法による弾塑性変形解析を実施した。解析は  $t=0.2$  の SUS304 を用いる絞り加工を行う場合であり、断面が左右対称であることから解析時間の短縮を目的として、素材幅 3mm、流路 5.5 本分の解析を行った。今回の解析モデルを図 1 に示す。昨年度まで先端部が円弧であったパンチに対して、今回はパンチ先端に平面部を設けた形状とした。また、今回の解析において、ブランクは弾塑性体、パンチ、ブランクホルダ、ダイは剛体と設定した。また、ブランクは断面モデルとした。使用したソフトウェアとパンチ、ブランクホルダ、ダイ、SUS304 の各物性値およびプレス成形条件は以下のとおりである。

ソフトウェア： モデル作成 NX 3.0  
(株) 電通国際情報サービス  
メッシュ作成 ANSYS 10.0  
(サイバネットシステム (株))  
弾塑性変形解析 LS-DYNA  
(サイバネットシステム (株))

\*1 国立大学法人山梨大学

\*2 日邦プレジジョン株式会社

\*3 株式会社松下製作所

物性値：

○パンチ，ブランクホルダ，ダイ（剛体）

密度： $7.93 \times 10^{-6}$  kg/mm<sup>3</sup>

ヤング率：193 GPa

ポアソン比：0.3

○ブランク：SUS304 (t=0.2)

密度： $8 \times 10^{-6}$  kg/mm<sup>3</sup>

ヤング率：197 GPa

ポアソン比：0.3

降伏応力：0.205 GPa

接線係数：0.79 GPa

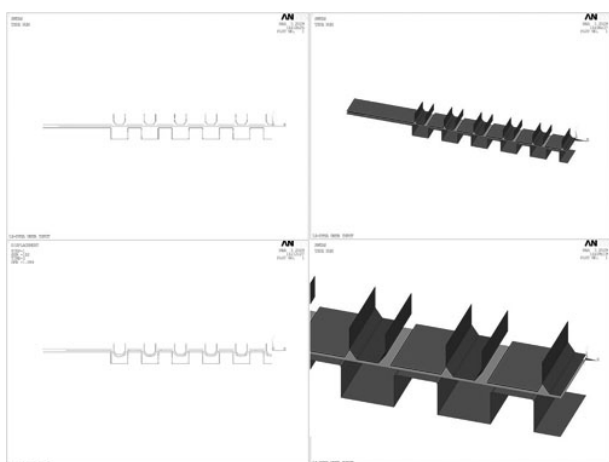


図1 解析モデル

### 2-2 プレス型の改良および成型品の評価

プレス加工で作成した試料（SUS430, t=0.1, 0.3）に対し、板厚測定を行った。板厚測定では試料を樹脂に埋没させ、樹脂硬化後に切断・研磨を行い得られた断面を金属顕微鏡を用いて計測した。

### 2-3 導電性皮膜の形成手法に関する検討

金属素板に導電性皮膜を付与する手法には種々の方法があるが、今回対象としているのはプレス加工により流路を形成された素板であるため、断面形状が様々でなく、従って、ロールコーターを用いた手法は適当ではない。また、付与する導電性皮膜は炭素粉末と樹脂との混合物

表1 精密ホットプレス仕様

加圧力	1~10kN
定盤寸法	150×150mm
適用ワークサイズ(最大)	120×120mm
上下定盤平行度	20~40μm
加熱温度(最高)	300℃
最大速度	15mm/sec
ストローク	100mm

であるが、溶剤の揮発により混合物の粘性等は経時的に変化してしまう。そこで、今回は精密ホットプレス CYPT-L（新東工業（株））を用いて加熱・加圧する手法の可能性について検討を行った。装置の仕様を表1に示す。

今回は t=10 の銅板にプレス後の素板形状に合わせた凹凸を設けて樹脂の成型用型とした。プレス成形した SUS430 板に固化していない導電性樹脂を塗布し、成型用型に挟んだ後、加圧・加熱して成型を試みた。用いた成型型を図2に示す。



図2 導電性被膜成型型

## 3. 結果および考察

### 3-1 有限要素法による解析結果

今回の解析における X, Y, Z 軸の設定であるが、X 軸は素板上で流路の長手方向と直交する方向に、Y 軸は加工面の法線方向に、また、Z 軸は金属素板上流路の長手方向に設定した。

素板の Y 軸方向における変形の解析を行った結果、全ての流路底部に平面が形成されているのが確認できた。また、今回設定した 5.5 本の流路において、周辺部に近い 1 本は他の流路よりも平坦部が少ない結果となった。図3はスプリングバックを考慮した場合における Y 軸方向の変形の解析結果である。この場合でも流路底部に平面部分が形成されるという結果が得られた。

図4に残留応力に関する解析結果を示す。周辺の平面部においてはほとんど残留応力の発生は見られないが、流路において底部と側面との境界部に応力の集中が見られる。また、外から 3 本目の流路において残留応力が最大となる部分が存在することがわかった。

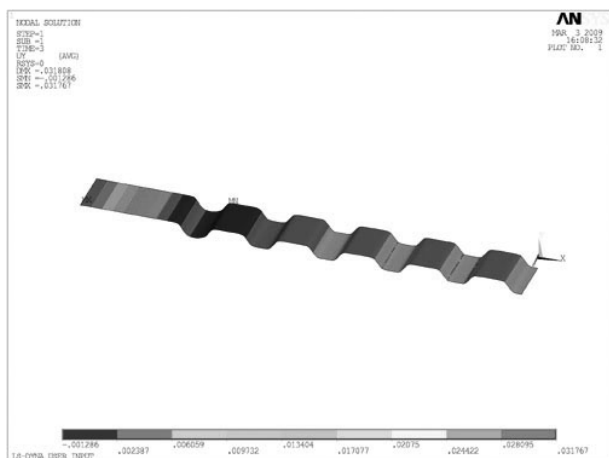


図3 スプリングバック解析 Y変位解析結果

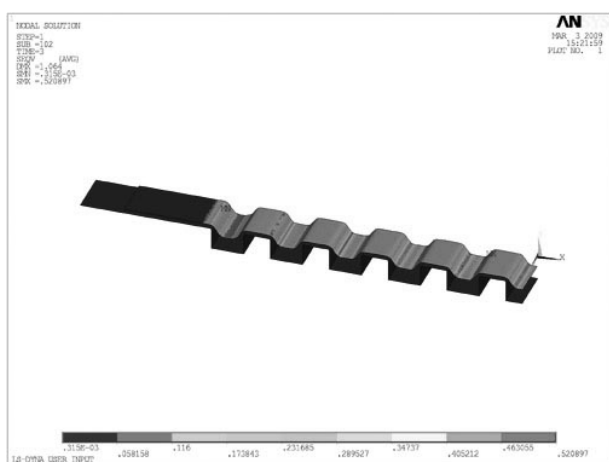


図4 応力解析結果

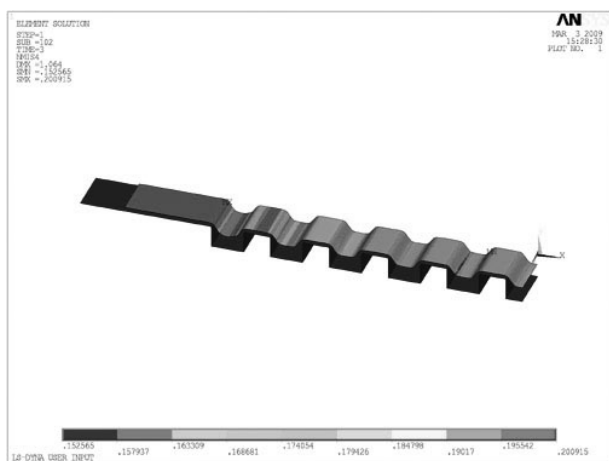


図5 板厚解析結果

図5に板厚の変化に関する解析結果を示す。板厚は周辺から20%程度の減少を示し、流路底部と側壁部の境界付近においては25%程度の減少となる部分も存在した。中でも、外側から5本目の流路において最も板厚の減少が見られることがわかった。

これらの結果を総合すると、流路底部と側壁部との境界部分において応力の集中および顕著な板厚の減少がみられることがわかった。燃料電池は化学反応による発電装置であることから振動や繰返し荷重はほとんど作用しないと考えられるが、可動部品であれば応力集中による疲労破壊が最も起きやすいことから、成形していく上で注意すべき箇所であるといえる。

### 3-2 成型品の評価結果

図6に改良した型を用いてプレス加工を行った素板(SUS430  $t=0.1$ ,  $t=0.3$ )の断面の一部を示す。

板厚に応じた調整を行ったものの、同一の型を用いてプレス加工を行ったため、 $t=0.3$ の場合は $t=0.1$ の場合と比較してパンチがダイに十分入らない傾向が見られ、その結果流路底部がダイに十分に接触しておらず、やや丸みを帯びていることが見受けられる。これに対して、 $t=0.1$ の場合は流路底部に平面部が形成されていることが明瞭に確認できた。この点において、 $t=0.1$ の場合には今回の型の改善は十分な効果があったと考えられる。

3-1において、応力の集中や顕著な板厚の減少が見られた流路底部と側面部との境界部分を観察すると、パンチのエッジにより形成されたと思われる特徴的な窪みが存在していた。また、ダイのエッジに由来すると考えられる窪みが前述の窪みと反対側の面に見られた。この窪みは弾塑性変形解析においては見られなかったことから、ダイのエッジは設計寸法よりも $r$ が小さくなっていることが考えられる。

また、板厚の変化については、解析によると最大で25%程度の減少を示す結果が得られたが、今回実測した結果、板厚の減少量は最大で15%程度であった。板厚は $t=0.3$ の場合と $t=0.1$ の場合を比較すると、 $t=0.3$ において板厚はより変化していることがわかった。これは前述したとおりダイにパンチが十分に入らず、絞りが不十分だったためと考えられる。

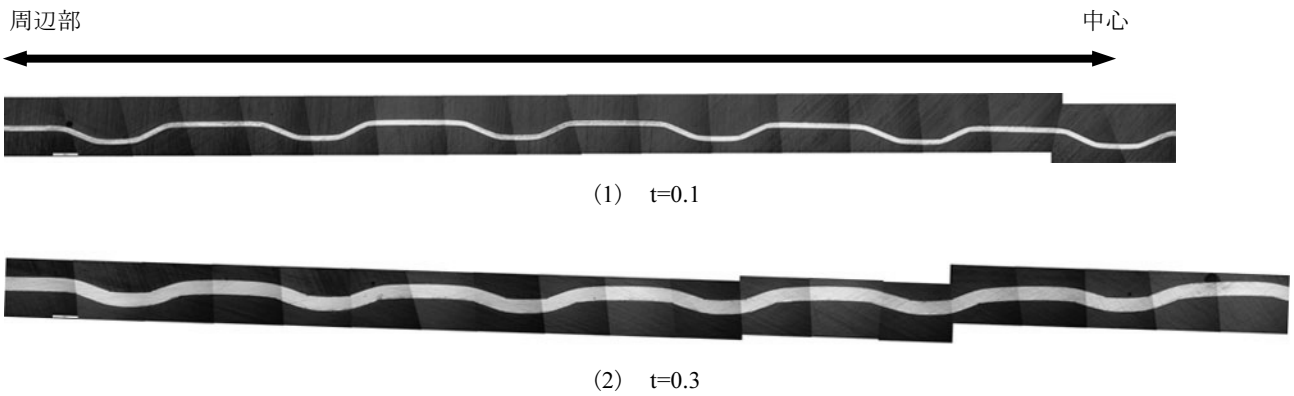


図6 プレス加工品断面

3-3 精密ホットプレスによる皮膜付与手法について  
 プレス成形した素板に導電性被膜を付与することを目的として、精密ホットプレスを用いた加工法について検討した。炭素粉末と樹脂の混合物を素板に塗布して乾燥させた試作物を図7に示す。塗布する膜厚のコントロールが困難なため定量的な値は見いだせなかったが、比較的薄く均等に塗布することにより、硬化した塗膜を全面

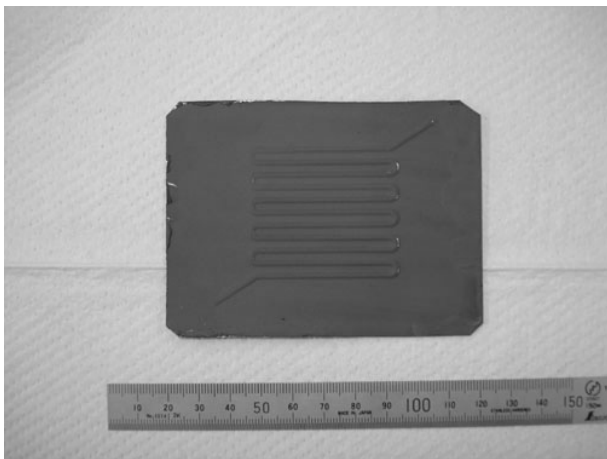


図7 導電性塗膜付与例1

に付着させることが可能となった。しかしながら、この塗膜は密着性に劣り、布で磨くと徐々に脱落してくる部分が存在した。そこで、塗膜の密着性を向上させ、より硬化した塗膜を得るため、混合物を塗布した後、銅製の型に挟んで熱間にて加圧した。これによって得られた試験片の一例を図8、9に示す。型には離型剤を塗布して樹脂の型への固着を防止した。ゲル状の混合物は素板に塗布すると溶媒はすぐに揮発してしまい、膜厚を均等にするため部分的な修正を行うと剥離する現象が見られた。厚めに塗布した場合は図8のように部分的にしか付着しない場合が多かった。しかしながら、薄めに塗布した試験片を熱間硬化させた場合、図9に示す試料が得られ、精密ホットプレスを用いて熱間で加圧することにより健

全な導電性皮膜を付与しうる可能性を見いだした。



図8 熱間加工例1

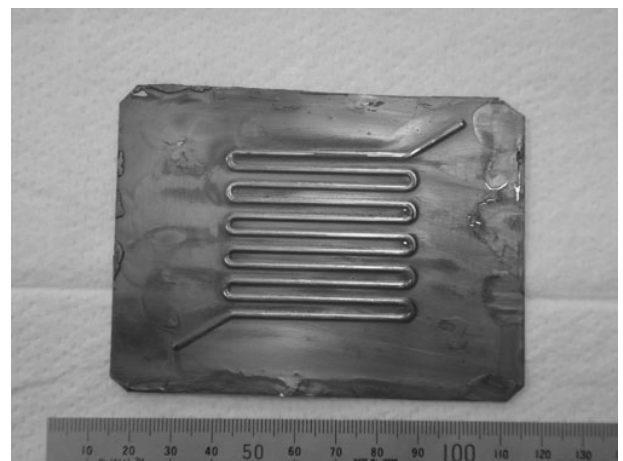


図9 熱間加工例2

#### 4. 結 言

反応面積が 50mm×50mm である単セル用セパレータの作成を目指し、有限要素法による弾塑性変形解析によるシミュレーションをもとに、流路の改良を行った。また、プレス成形した素板に導電性樹脂を付与する方法について検討を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 有限要素法による弾塑性変形解析をもとに、パンチ形状を行ったところ、流路底部が平坦となる成形が可能となった。
- 2) 流路底部と側面の境界には応力の集中と板厚の減少が認められセパレータの性能を保持しながら成形していく上で重要な箇所と考えられる。
- 3)  $t=0.1$  の場合、プレス加工により解析結果に近い断面が得られた。また、板厚の変化は解析結果よりも小さかった。
- 4) 炭素粉末と樹脂の混合物を適当な比率で混合し、プレス成形した素板に塗布したものを熱間で加圧することによって、導電性被膜をプレス加工した素板上に形成する事が可能となった。

#### 参考文献

- 1) 本間琢也監修：図解燃料電池のすべて、工業調査会、P.8 (2003)
- 2) 田村秀雄監修：電子とイオンの機能化学シリーズ vol.4 固体高分子型燃料電池のすべて、エヌ・ティイー・エス、P.146 (2003)
- 3) 宮川和幸，石田正文，早川亮，渡辺政廣，柴田正実，佐藤幸徳，武田敏充，松下清人：山梨県工業技術センター研究報告，No.22，p.1-5 (2008)