

金属素材を用いた燃料電池用セパレータの開発

宮川 和幸・石田 正文・早川 亮・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

Development of Separator for Fuel Cell that uses Metallic Material

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

要 約

深さ1mm程度の溝を成形することを目標としてプレス加工実験を行った。その結果、成形性についてはSUS430 (t=0.3), C2801 (t=0.2) > SUS430 (t=0.1) > C1100 (t=0.2) > A1050 (t=0.2) の順であった。また、t=0.2のSUS304板材をモデルに用いて、静摩擦係数0.10~0.20まで変化した場合の相当応力、板厚変化、弾性及び塑性ひずみ等について解析を行った。その結果、静摩擦係数が0.20の場合、板厚は溝底部において約20%減少し、相当応力は素材の中心に向かって増加傾向にあることがわかった。これに対して、プレス品の板厚及び残留応力を測定した結果、板厚は30%以上減少する部分があることが確認された。それぞれの結果を比較すると、残留応力の分布傾向などはおおむね一致するが、板厚においては解析結果と異なる場所で最も薄くなるなどの相違があることがわかった。

1. 緒 言

燃料電池は水素と酸素を化学反応させることにより発電することが可能なシステムである。発電時に生成する温水を利用することにより、優れたエネルギー効率を示すとともに、地球温暖化の一因といわれるCO₂を生成することも無いなど優れた環境特性を持つことからその実用化が強く期待されている。しかし、その実用化には種々の課題が存在しており、主要な構成部品であるセパレータに関しても、現在検討さ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。

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を適用する事を検討している。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、加工性の評価および有限要素法を用いた弾塑性解析を行った。

2. 実験方法

2-1 プレス加工特性の検討

昨年度プレス加工した際、溝深さは0.13mm程度であり、十分な流路の断面積が得られず、また、流路も直線部が3本に設定された簡易的な流路形状であった。¹⁾

反応面積が50mm×50mmである単セル用セパレータの場合、直線部を11本設ける予定であることから、今回はより流路長を長くし、かつ、断面積を大きくする目的で半抜き法と絞り法により流路をプレス成形することを試みた。使用した油圧プレス装置は能力110ton、ストローク長さ180mm (アイダエンジニアリング株式会社製) である。また、使用した材料は、半抜き法がSUS304 (t=1.0, 0.5) の2種類、絞り法がSUS430 (t=0.1, 0.3), C2801 (t=0.2), C1100 (t=0.2), A1050 (t=0.2) の5種類である。これらの組成を表1~5に示す。

表1 SUS304組成

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.00~ 10.50	18.0~ 20.00

表2 SUS430組成

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.12 以下	0.75 以下	2.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	16.0~ 18.00

表3 C2801組成

Cu	Pb	Fe	Zn
64.0~68.0	0.10以下	0.05以下	残

*1 国立大学法人山梨大学

*2 日邦プレシジョン株式会社

*3 株式会社松下製作所

表4 C1100組成

Cu
99.90以上

表5 A1050組成

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
0.25以下	0.40以下	0.05以下	0.05以下	0.05以下	0.05以下	0.03以下	99.95以上

2-2 有限要素法によるプレス加工の弾塑性変形解析

摩擦係数による解析結果の相違や、解析結果に大きく影響を与えない範囲で解析時間の短縮化を図る目的で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、前述した直線部分を11本有する流路を想定したため、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。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。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。今回の解析モデルを図1に示す。

ソフトウェア：モデル作成 NX 3.0

(株式会社国際情報サービス)

メッシュ作成 ANSYS 10.0

(サイバネットシステム株式会社)

弾塑性変形解析 LS-DYNA

(サイバネットシステム株式会社)

物性値：

○パンチ、ブランクホルダ、ダイ (剛体)

密度： $7.93e^{-6}$ kg/mm³

ヤング率：193 GPa

ポアソン比：0.3

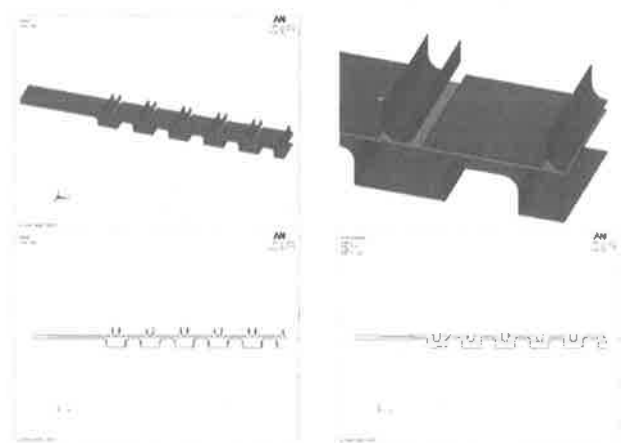


図1 解析モデル

○ブランク：SUS304 ($t=0.2$)

密度： $8e^{-6}$ kg/mm³

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

2-3 プレス加工品の評価

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、残留応力測定を行った。

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断面画像を観察した。

また、残留応力測定条件を表6に示す。残留応力の測定にはX線回折装置 (株式会社MSF-2M) を用い、平行ビームスリットを装着し、 ψ 一定法にて測定を行った。測定位置は流路の頂点および流路の底部について行い、11本すべての流路について測定を実施した。また、比較のため溝周辺の非加工部分についても同様に測定を行った。回折線は通常の鉄鋼材料の応力測定に用いる α -Fe211回折を利用した。

表6 残留応力測定条件

回折面	α Fe211
管球	Cr
管電圧	30kV
管電流	8mA
測定方法	Ψ 一定法
X線の応力定数	-366MPa/deg (SUS304) -297MPa/deg (SPCE)

3. 結果および考察

3-1 プレス加工特性の評価

流路の断面積をより大きくすることを目的として、板厚の範囲内で亀裂が生じない程度まで流路形状を抜き出す「半抜き」加工を行うプレス型の設計・製作を行った。設計にあたり、流路の断面形状をより矩形に近くするため、あえて抜き勾配をつけず設計とした。このような条件のもとでSKD11を用いてプレス型の作成を行い、加工実験を行った。プレス用素材にはSUS304 ($t=1.0$) を用いた。半抜き加工を行った結果、溝深さが0.4mm程度までは良好な加工が可能であったが、これより押し込み深さを大きくすると、素材の離型性が悪化しパンチ型が抜けなくなる場合が多くなることがわかった。プレス加工例を図2に示す。

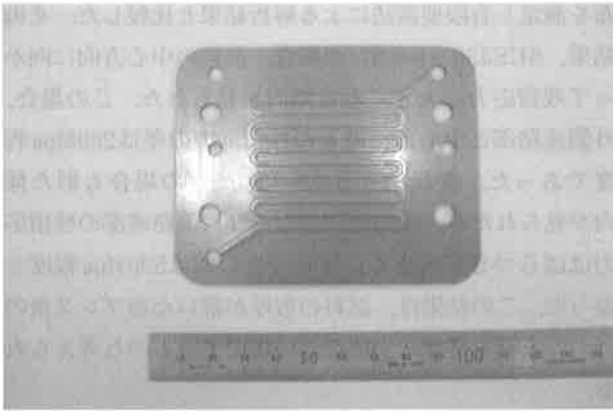


図2 プレス試験片例 (t=1.0 SUS304)

3-3で述べる測定結果により、半抜きによる流路成型法は良好な断面形状が得られることが判明したが、素材の板厚を薄くする事が困難であるため、絞り成型法による流路成型を行うための型設計および製作を行った。使用する素材の板厚は0.1~0.3mm程度を想定し、パンチ型の形状変更およびパンチとダイのクリアランス調整を行った。作成した絞り型を用いてプレス加工実験を行った。プレス加工例を図3に示す。その結果、加工特性が優れているのは、SUS430 (t=0.3) > C2801 > C1100 > SUS430 (t=0.1) > A1050の順であった。また、SUS430 (t=0.3) の場合、溝深さは約1mmまで可能であった。

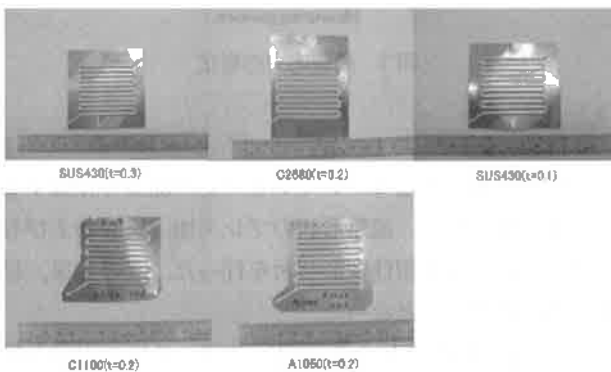


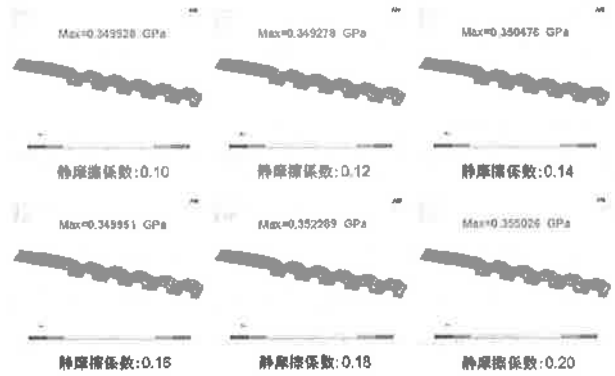
図3 プレス加工例

3-2 有限要素法によるプレス加工の弾塑性変形解析結果

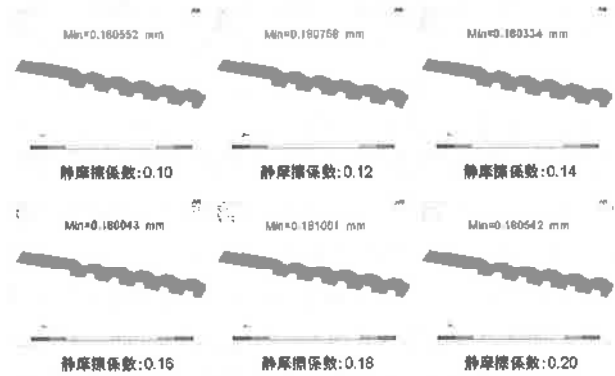
t=0.2のSUS304板材をモデルに用いて、静摩擦係数0.10~0.20まで変化した場合の相当応力、板厚変化、弾性及び塑性ひずみ等について解析を行った。その結果を図4に示す。

この解析結果から、摩擦係数が0.1~0.2まで変化した場合でも相当応力、板厚分布に及ぼす影響は少ないことがわかった。これはプレス解析、スプリングバック解析に共通していた。これに対して、X成分の変位は摩擦係数が大きくなるほど小さくなることが明らかとなった。

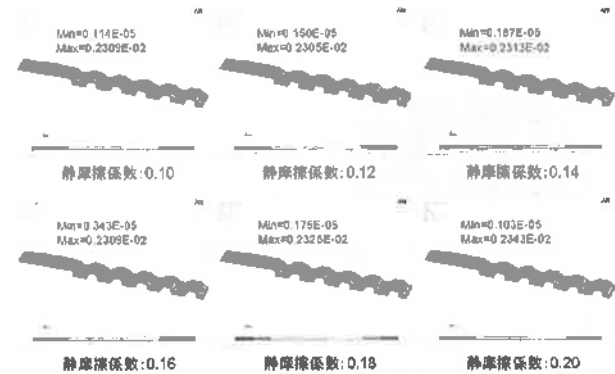
結果図(相当応力 GPa)



結果図(板厚分布 mm)



結果図(相当弾性ひずみ)



結果図(相当塑性ひずみ)

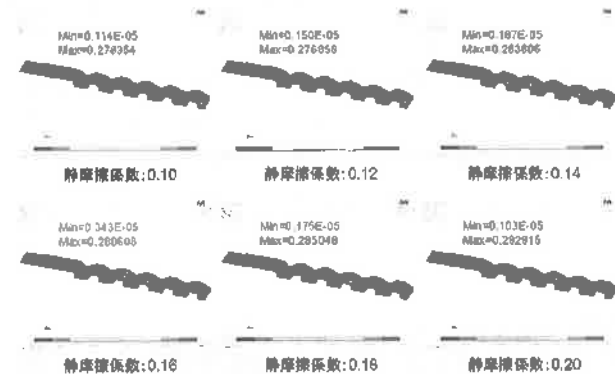


図4 有限要素法による断面塑性解析結果

また、板厚の変化は $t=0.2\text{mm}$ に対して最も薄いところで 0.18mm になるという結果が得られた。また、相当応力は素材の中心に向かって増加傾向にあるという解析結果が得られた。

これらの解析は現象時間を 60msec と設定して行ったものであるが、この場合の解析時間は約80時間であった。これに対して、現象時間を 3msec と設定して解析を行った場合、解析に要した時間は3~4時間となった。このことから、求める解析精度に応じて解析時間の短縮を図ることが可能となった。

3-3 プレス加工品の評価

プレス成型品の溝形状を確認するために測定を実施した。表面粗さ計等のプローブを接触させる測定手法では、半抜き加工において溝の側面部とプローブ保持部が干渉し測定困難であり、薄板を用いた絞り加工においては測定時の接触圧が測定対象物の変形を引き起こす場合があることがわかった。そこで、画像処理およびレーザ変位計を用いた非接触測定手法を用いることでプレス後の形状を測定することが可能となった。今回測定して得られた溝深さは、半抜き加工において約 0.4mm 、絞り加工においては約 1mm であった。図5に測定結果例を示す。

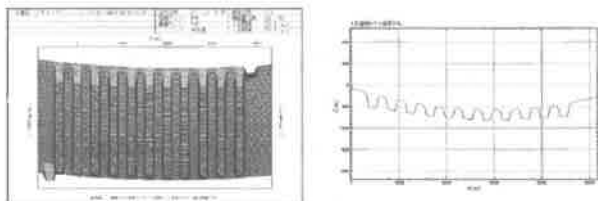


図5 流路形状測定例

次に、有限要素法を用いた弾塑性解析結果と対比する目的で、板厚の変化状況に関する測定を行った。透明樹脂に埋没し、切断面を研磨した後金属顕微鏡を用いて観察した。その結果、流路の中心方向に向かって薄くなっていくことが判明した。また、ダイのエッジに起因すると思われるくぼみ状の変形箇所が見受けられた。図6に断面形状の例を示す。セパレータは可動部品ではなく、一般の機械部品と比較して応力集中はおきにくいと考えられるが、加工時に破損が起きる原因になりうることから型の修正が必要であることが判明した。



図6 流路形状測定例

また、X線回折装置を用いて、プレス品の残留応力分

布を測定し有限要素法による解析結果と比較した。その結果、SUS430 ($t=0.3$) の場合、流路の中心方向に向かって残留応力は大きくなる傾向が見られた。この場合、外側流路部と中心部流路との残留応力の差は 200Mpa 程度であった。また、SUS430 ($t=0.1$) の場合も似た傾向が見られたが、流路周辺部ならびに流路底部の残留応力はばらつきが大きく、ばらつきの幅は 500Mpa 程度となった。この結果は、試料の板厚が薄いためプレス後の外力の影響を受けやすいことに起因するものと考えられる。

これらの実測結果を有限要素法による解析結果と比較すると、残留応力の分布傾向などはおおむね一致するが、板厚においては解析結果と異なる場所で最も薄くなるなどの相違があることが明らかとなった。

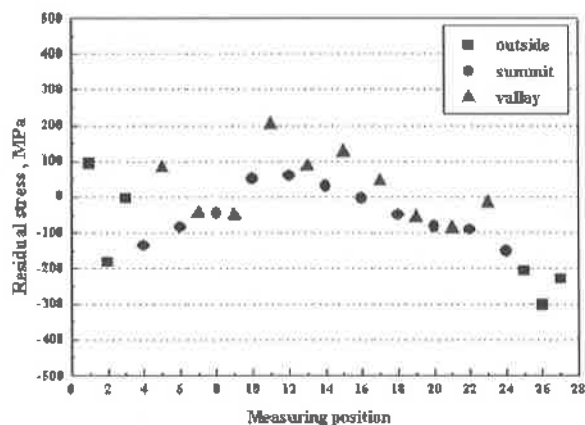


図7 残留応力の変化

4. 結 言

金属製燃料電池用セパレータをプレス加工で作成することを目的として、流路形状のプレス加工実験および有限要素法による弾塑性変形解析を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) $t=0.1\sim 0.3$ の素材を数種用いてプレス加工実験を行った結果、加工性については $\text{SUS430 } (t=0.3) > \text{C2801} > \text{C1100} > \text{SUS430 } (t=0.1) > \text{A1050}$ の順であった。
- 2) 摩擦係数は $0.1\sim 0.2$ の間ではワークの残留応力、変形量、板厚分布に大きな差は見られなかった。板厚は溝底部において約20%減少し、相当応力は素材の中心に向かって増加傾向にあることがわかった。
- 3) FEM解析時のパラメータを検討した結果、現象時間を 60msec から 3msec に変更すると、解析時間は約 $1/20$ となり、ほぼ同等の解析結果が得られた。
- 4) プレス品の板厚及び残留応力を実測した結果、板厚は30%以上減少する部分があることが確認された。FEMの結果を比較すると、残留応力の分布傾向な

どはおおむね一致するが、板厚においては解析結果と異なる場所で最も薄くなるなどの相違があることがわかった。

5. 参考文献

- 1) 宮川和幸, 石田正文, 早川亮, 齋藤修, 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.21, p.1-5 (2007)