

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・斎藤 修・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, Osamu SAITOH,
Masahiro WATANABE*¹, Masami SHIBATA*¹, Yukinori SATO*²,
Toshimitsu TAKEDA*² and Kiyohito MATSUSHITA*³

要 約

燃料電池用金属セパレータをプレス加工で作成することを目的として、加工特性の検討と有限要素法を用いた弾塑性変形解析を行った。その結果、今回の加工条件では溝深さ0.18mmの場合良好な加工が可能となり、SUS304の場合板厚の変化は5%程度であり、加工誘起マルテンサイトはほとんど生成しないことがわかった。また、有限要素法による弾塑性変形解析の結果、8%程度の板厚が変化するという結果が得られた。

1. 緒 言

現在のエネルギー状況やCO₂などの地球温暖化ガスの削減が重要な課題となっている今日、燃料電池の重要性は以前にもまして高まっており、その実用化は21世紀の省エネルギー、省資源、地球環境保全に大きく貢献するものである。燃料電池を用いた自動車、家庭用燃料電池システムの広範な普及には、電極触媒、電解質、そしてセパレータの格段の高性能化、高信頼性化、低コスト化が必須であり、特に電池のコンパクト化、格段の低コスト化（現状の1/20）が期待できる金属セパレータの開発が必須となっている。しかし、その実現には材料の腐食問題の解決と、用途に適したセパレータ構造とその成形技術の確立が不可欠である。

H16、17年度は金属ガラスを用いて流路加工方法について検討した。^{1) 2)} 今年度は安価に金属セパレータを製造する方法として、SUS材等を用いてプレス加工による成形を検討することとし、複雑な流路形状を有するプレス成型品を作成するための加工に関する知見を得ることを目的として研究を実施した。

2. 実験方法

プレス加工に必要な条件を決定するため、3本の流路を有する試験片を作成し、板厚の変化、溝深さの測定、X線回折による評価を行った。併せて、有限要素法による

弾塑性変形解析を実施した。今回使用した素材は板厚0.1mmのSUS304および板厚0.2mmのSPCE（深絞り用冷間圧延鋼材および鋼帯）である。それぞれの組成及びSUS304の物性を表1に示す。

表1 組成および物性

組成 (SUS304)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
≥0.08	≥1.00	≥2.00	≥0.045	≥0.030	8.00 { 10.50	18.00 { 20.00

物性

密度：7.93e⁶ kg/mm³

ヤング率：193 GPa

ポアソン比：0.3

降伏応力：0.255 GPa

接線係数：0.558 GPa

組成 (SPCE)

C	Mn	P	S
≥0.10	≥0.45	≥0.030	≥0.030

2-1 試料の作成および評価

プレス型は溝幅が1mm、深さが1.0mm, 0.3mm, 0.13mmとし、設計・製作した。これらを用いて、下記の点に留意しプレス加工を行った。

- ・プレス加工品にしわが生じないこと
- ・加工時に素材に亀裂が生じない形状、加工法とすること

*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

・プレス回数の設定（1回で成型するか、複数回プレスして成形するか）

今回、プレス回数は1回に設定し試料の作成を行った。作成した試料に対し、板厚測定、溝幅測定、残留応力測定を行った。板厚測定、溝幅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工具顕微鏡を用いて測定した。また、残留応力測定条件を表2に示す。残留応力の測定にはX線回折装置（株式会社リガク製MSF-2M）を用い、平行ビームスリットを装着し、 ϕ 一定法にて測定を行った。測定位置は図1に示すとおり、2本目の溝で中央部分において垂直方向と平行方向について測定した。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2 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	ϕ 一定法
X線の応力定数	-366MPa/deg (SUS304) -297MPa/deg (SPCE)

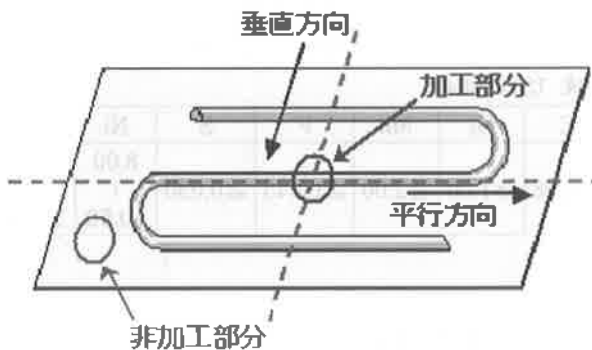


図1 残留応力測定位置

2-2 有限要素法によるプレス加工時の弾塑性変形解析

実際のプレス加工と平行して、有限要素法による弾塑性変形解析を実施した。対象は板厚0.1mmのSUS304についてのみとした。使用したソフトウェアとパンチ、プランクホルダ、ダイ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。なお、プランクであるSUS304の物性は表1のとおりである。今回の解析において、プランクは弾塑性体、パンチ、プランクホルダ、ダイは剛体と設定した。また、プランクは断面モデルとした。

ソフトウェア：モデル作成 NX3.0

(株)電通国際情報サービス

メッシュ作成 ANSYS10.0
(サイバネットシステム(株))
弾塑性変形解析 I.S-DYNA
(サイバネットシステム(株))

物性値：

○パンチ、プランクホルダ、ダイ（剛体）

密度：7.93e-6 kg/mm³

ヤング率：193 GPa

ポアソン比：0.3

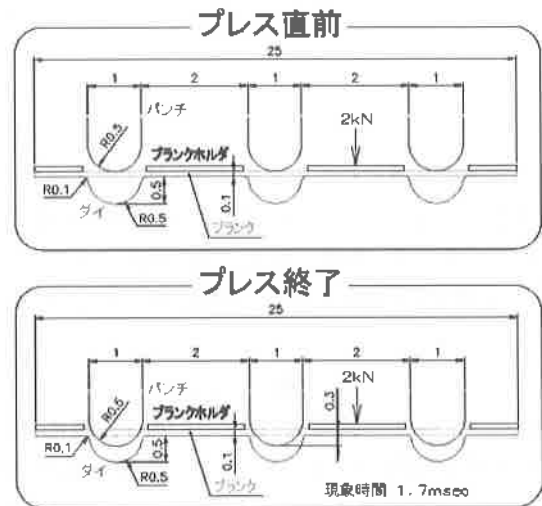


図2 プレス成形条件

3. 結果および考察

3-1 プレス加工による試料の評価

深さの異なる金型を用いてプレス加工実験を実施した。使用した素材はSUS304である。その結果、溝深さを1mmに設定した金型を用いて加工実験を行ったところ、溝の片側に亀裂が発生し成型不良となった。また、深さを0.3mmに設定したところ、流路は成型可能であったが板厚の減少によると思われる溝部分の剛性の低下が見られた。そこで剛性低下の防止を目的として深さは0.3mmのまま、素材の保持方法や加工速度の変更等を行いプレス加工したが、プレス成型品の性質に変化はなかった。

深さを0.13mmに設定しプレス加工を実施したところ、良好な加工品が得られた。そこで、本条件により $t=0.1$ のSUS304、 $t=0.2$ のSPCEを用いてプレス加工を行った。これによって得られた試験片および溝付近における断面形状を図3に示す。

断面を観察した結果、3本ある流路のうち2本目を頂点とし、隣接する流路に向かってそれぞれ下がっていくような形状で湾曲していることが確認された。これらの試料を用いて断面から板厚測定を行った結果を表3に示す。

表3 板厚測定結果

SUS304 平板部

1	0.106	平均 0.107
2	0.109	
3	0.107	

SUS304 溝部分

1	0.100	平均 0.101
2	0.100	
3	0.102	

SPCE 平板部

1	0.204	平均 0.205
2	0.207	
3	0.204	

SPCE 溝部分

1	0.201	平均 0.202
2	0.202	
3	0.204	

(単位: mm)

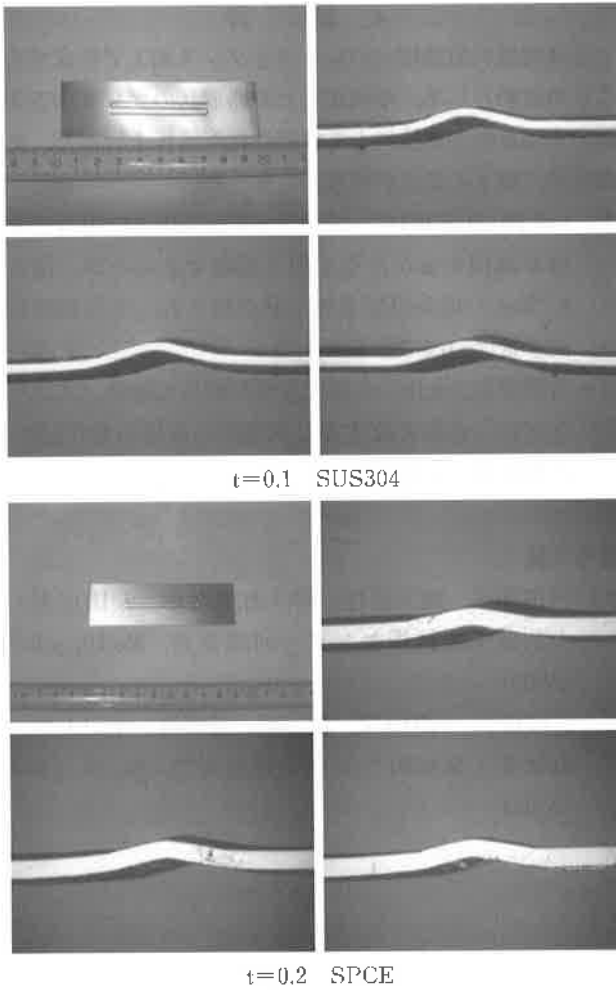


図3 試験片および断面経常

SUS304の平面部分の平均板厚は0.107mmであり、最も塑性変形が大きいと思われる溝部分の平均板厚は0.101mmであった。これより、プレス加工により塑性変形を生じた結果、SUS304の板厚には

$$(0.107-0.101) / 0.107 * 100 = 5.607 (\%)$$

の変化が生じた。

同様にSPCEの場合、板厚の変化は平面部分の平均板厚が0.205mm、溝部分の平均板厚が0.202mmであった。この場合の板厚の変化率は

$$(0.205-0.202) / 0.025 * 100 = 1.463 (\%)$$

となり、SUS304のほうが板厚の変化は大きいことがわかった。

残留応力測定結果を基に、加工による残留応力の变化を求めた。その結果を図4に示す。これより、垂直方向の残留応力に関しては、加工部分では非加工部分と比較して、SUS304、SPCEともに残留応力が增大していることが確認できる。それに対し、平行方向の残留応力はSUS304、SPCEともに減少傾向が見られる。特にSUS304において100MPa以上の残留応力の減少が見られた。また、残留応力測定時にマルテンサイトの存在を示すピークが検出されなかったことから、本加工条件に

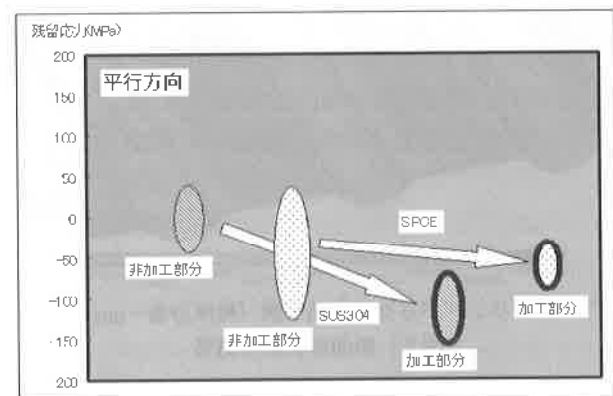
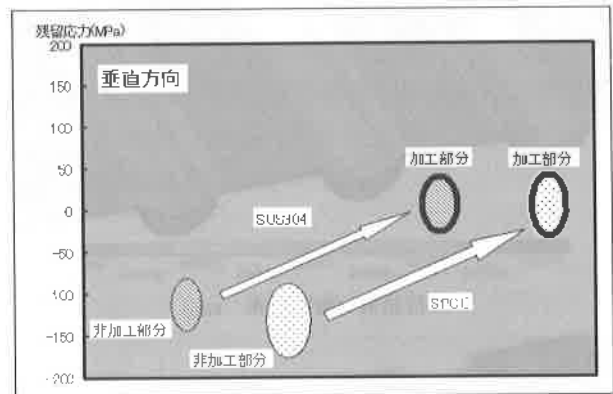


図4 残留応力の変化

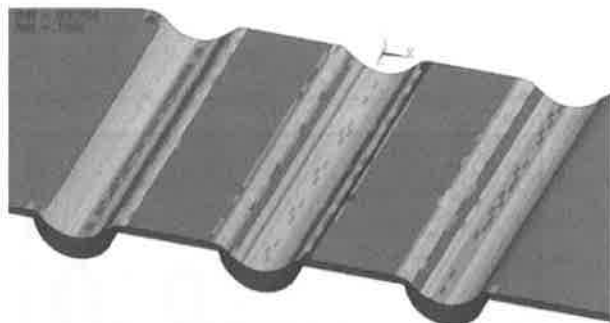
おいては加工誘起マルテンサイトは生成されていないことが確認できた。

3-2 有限要素法による弾塑性変形解析結果

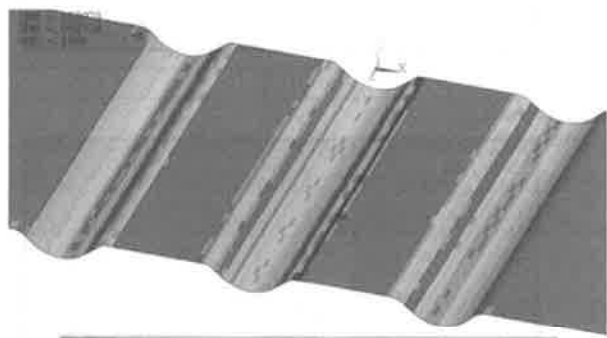
図5に板厚分布に関する解析結果を示す。今回はパンチの突き出し量を0.3mmに設定して解析を行った。その

結果、板厚は最も薄いところで0.0927mmとなった。従って、板厚の変化量は7.3%となった。3-1においては、パンチの突き出し量が0.13mmであったためSUS304の板厚変化は5.6%であったが、FEMによる解析の結果では、突き出し量を大きくするとより薄くなっていくことが想定される。3-1における板厚測定は切断面の観察によるものであることから、誤差の生じる可能性としては、素材を垂直に切断していない可能性が考えられる。しかし、今回はこのような測定誤差等の影響を極力小さくするため、板厚の絶対値による比較ではなく板厚の変化率を比較しているため、切断角度による影響は極めて小さくなっているものと考えられる。

また、今回は塑性変形だけでなく弾性変形も同時に起きており、それによるスプリングバックの影響は大きいと考えられる。スプリングバックを考慮すると、板厚の変化は溝部分において1.2~7.3%程度と予想される。



解析結果 (板厚分布 mm)



スプリングバック解析結果図 (板厚分布 mm)

図5 断面形状解析結果

今回は比較的単純化した二次元断面的な解析を実施したが、実際には断面形状においても三次元的な条件設定が必要となる可能性がある。しかしながら、解析に要する時間も飛躍的に増大するうえ、今後順送型によるプレス加工を行う可能性があることから、可能な限り迅速に解析を行い型設計の参考となることが求められる。このような状況をふまえて、解析精度と解析時間とのバランスを考慮して解析手法を決定し、型設計に役立てていきたい。

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、単純化した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) $t=0.1$ のSUS304は、溝深さが0.3mm以下の場合に素材が破損することなく加工可能であったが、深さ0.13mmの場合良好な加工品が得られ、その板厚の減少量は5.6%であった。
- 2) 有限要素法を用いた弾塑性変形解析の結果、スプリングバックを考慮すると溝部分の板厚の変化1.2~7.3%程度と予想される。

参考文献

- 1) 宮川和幸, 勝又信行, 阿部治, 斎藤修, 柴田正実: 山梨県工業技術センター研究報告, No.19, p.1-5 (2005)
- 2) 宮川和幸, 石田正文, 阿部治, 斎藤修, 柴田正実: 山梨県工業技術センター研究報告, No.20, p.1-4 (2006)