

平成 2 4 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「各種燃料電池実用化推進の為の金属プレス加工による  
金属セパレータの量産・試作技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 5 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 株式会社 セイロジャパン

## 目次

第1章 研究開発の概要.....	3
1 - 1 研究開発の背景・研究目的及び目標.....	3
1 - 2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）.....	5
1 - 3 成果概要.....	7
1 - 4 当該研究開発の連絡窓口.....	7
第2章 本論.....	8
2 - 1 研究開発の経緯.....	8
2 - 2 自社設計によるPEFC用セパレータを用いた製造技術の確立.....	10
(1) 市販の燃料電池キットを参考にしたPEFC用金属セパレータの試作と評価.....	10
(2) PEFC用金属セパレータの自社設計.....	12
(3) プレス加工によるPEFC用金属セパレータの試作及び評価.....	14
2 - 3 川下メーカー設計によるSOFC用セパレータを用いた製造技術最適化.....	18
(1) 川下メーカー設計によるSOFC用金属セパレータ.....	18
(2) プレス加工によるSOFC用金属セパレータの試作及び評価.....	19
2 - 4 SOFC用セパレータのコネクタ部への応用.....	26
(1) 川下メーカー設計によるSOFC用金属セパレータのコネクタ部.....	26
(2) コネクタ部の試作と評価.....	26
2 - 5 水素発生装置用電極板への応用.....	27
(1) 川下メーカー設計による水素発生装置用電極板.....	27
(2) 水素発生装置用電極板の試作と評価.....	27
最終章 全体総括.....	29
3 - 1 研究開発成果.....	29
3 - 2 研究開発後の課題.....	29

# 第 1 章 研究開発の概要

## 1 - 1 研究開発の背景・研究目的及び目標

### a . 研究開発の背景

次世代の新エネルギーのひとつとして、環境汚染物質をほとんど排出しない燃料電池が注目されている。ただし、現在のところ本格的な普及段階には至っておらず、各種燃料電池の開発が急ピッチで進められている段階である。

日本国内において最も普及が進んでいる燃料電池は、家庭用燃料電池である。「エネファーム」の統一名称で各メーカーが 2009 年から販売しており、2012 年時点での累計販売台数は約 4 万台となっている。2009 年の段階で販売開始された家庭用燃料電池はすべて固体高分子形燃料電池 (PEFC) であったが、近年では固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の家庭用燃料電池の販売も開始されている。SOFC は、高効率で構造が簡単かつ高価な触媒が不要なことから、家庭用燃料電池の本命と目されている。

一方、日本国内ではほとんど普及していないものの、米国では産業用燃料電池の普及が始まっている。米国内で販売されている産業用燃料電池の kW 単価は日本国内で販売されている家庭用燃料電池のそれと比べて桁違いに安く、今後、米国製の家庭用燃料電池が、日本メーカーの価格面での国際競争力を脅かす存在となる可能性が指摘されている。

また、2002 年以降、燃料電池車の日本国内における市販も開始されている。各自動車メーカーは、2015 年の普及開始シナリオを掲げ、燃料電池車の開発及び水素供給インフラの整備を進めている。走行燃費・航続距離・車両効率・低温起動性等に関する当初の目標は達成済みであり、残る課題は車両価格及び耐久性であるとされる。燃料電池車用の燃料電池としても、これまでは PEFC が主流であったが、今後は SOFC に置き換えられていくとの見方がある。

さて、燃料電池の主要な構成部品のひとつにセパレータがある。上記のような各種燃料電池の状況から、セパレータについても、低廉化及び高耐久化が急務とされている。

セパレータは各種の材料によって作られるが、現在のところ、PEFC 向けにはカーボン製のものが主流であり、SOFC 向けにはセラミック製のものが主流である。しかしながら、これらはいずれも、製造コストや振動・衝撃に対する耐久性の点で問題を抱えている。

これらの問題を解決する可能性があるとして期待されているのが、金属製のセパレータ (金属セパレータ) である。金属セパレータは、振動・衝撃に対する耐久性が高く、また、もしプレス加工で作ることができれば、カーボン製やセラミック製に比して非常に低コストで量産できるという特徴を有している。

しかしながら、セパレータには微細な流路の形成と高い平坦度が要求され、現在のプレス加工技術ではこれを実現するのが困難である。したがって、どの燃料電池メーカーも金

属セパレータの本格採用には至っていない。また、使用する金属材料によっては、金属材料の溶出などの問題も生じている。

#### **b . 研究開発の目的**

本研究開発の目的は、以上のような問題を解決し、各種燃料電池用としての実用に耐える金属セパレータを開発することにある。

#### **c . 研究開発の目標**

本研究開発では、実用に耐える金属セパレータの定義として、以下の3要件を掲げた。そして、これらを満たす金属セパレータの実現を目標として研究開発を行った。

##### 要件 1. プレス加工によって製造されること。

金属セパレータの製造方法としてはエッチング加工やオール機械加工なども考えられるが、低コストで量産可能な金属セパレータの実現にはプレス加工が最も適している。そこで本研究開発では、プレス加工による金属セパレータの製造方法の確立に注力した。

##### 要件 2. 金属材料の溶出の問題がないこと。

特に SOFC に関して、高温で動作させる必要があることから、動作中に金属セパレータから金属が溶出してしまうという問題がある。そこで本研究開発では、このような金属の溶出を防止できる技術の確立も目標のひとつとした。

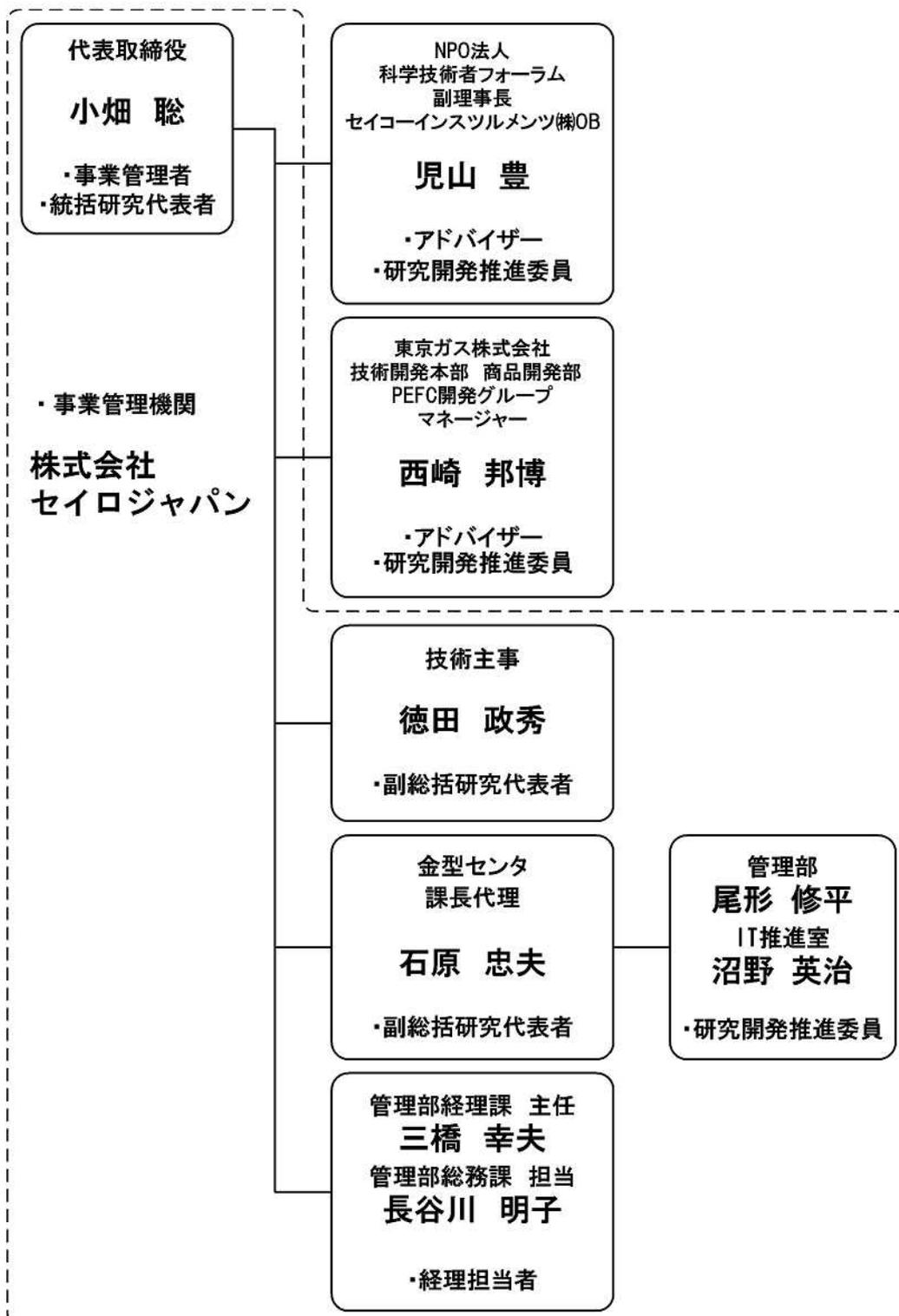
##### 要件 3-1. 微細流路のピッチ及び上面平坦度がそれぞれ 3mm 以下及び 20 $\mu$ m 以下であること(SOFC の場合)。

##### 要件 3-2. 微細流路のピッチ及び上面平坦度がそれぞれ 2mm 以下及び 200 $\mu$ m 以下であること(PEFC の場合)。

上記の数値は、川下メーカーからの要求条件である。本研究開発では、これらの数値を満たす金属セパレータの製造を目標とした。

## 1 - 2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

### a. 研究組織・管理体制



**b. 管理員及び研究員**

## 管理員

## 【事業管理機関】株式会社セイロジャパン

氏名	所属・役職	備考
小畑 聡	代表取締役	PL
三橋 幸夫	管理部経理課主任	経理担当者
長谷川 明子	管理部総務課	経理担当者

## 研究員

## 株式会社セイロジャパン

氏名	所属・役職	備考
徳田 政秀	役員室付技術主事	SL
石原 忠夫	システム事業部金型センター課長代理	SL
尾形 修平	管理部総務課	
沼野 英治	管理部 IT 推進室	

**c. 協力者（アドバイザー）**

氏名	所属・役職	備考
児山 豊	NPO 法人科学技術者フォーラム、 セイコーインスツメンツ株式会社 OB	
西崎 邦博	東京ガス株式会社 商品開発部 PEFC 開発グループ マネージャー	

### 1 - 3 成果概要

#### 1) 各種燃料電池用としての実用に耐える金属セパレータの製造技術を確立

リストライク工程を有するプレス加工(上記要件1)によって、微細流路のピッチ及び上面平坦度が川下メーカーの要求条件(上記要件3-1, 3-2)を満たす金属セパレータが製造可能であることを実証した。

また、SOFC に関して、プレス加工後の金属セパレータ(Crを含有)に対してスピネル化合物の溶射コーティングを行うことにより、動作温度でのCr溶出がなくなることを確認した(上記要件1)。

#### 2) 今回開発した技術が、金属セパレータのコネクタ部の製造に適用できることを実証

金属セパレータのコネクタ部には、金属セパレータと同程度の平坦度(30 $\mu$ m以下)が要求される。

今回、金属セパレータ用に開発したプレス加工技術を用いてコネクタ部の試作を行った結果、この要求を満たすコネクタ部が製造可能であることを確認した。また、プレス加工後のコネクタ部(Crを含有)に対してMnCo化合物の溶射コーティングを行うことにより、動作温度でのCr溶出がなくなることを確認した。

#### 3) 今回開発した技術が、燃料電池用水素発生装置の電極版の製造に適用できることを実証

燃料電池用水素発生装置の電極版には、ディンプル頂点単体及びディンプル設置面の平坦度が20 $\mu$ m以下であること、及び、パネル全体の平坦度が100 $\mu$ m以下であることが求められる。また、従来から高導電性及び高耐食性を目的とする表面処理が行われているが、これを、より安価(金メッキより安く)に実現することも求められる。

今回、金属セパレータ用に開発したプレス加工技術を用いて燃料電池用水素発生装置の電極版の試作を行った結果、上記平坦度の要求を満たすものが製造可能であることを確認した。また、プレス加工後の電極版に対して導電性DLCコーティングによる表面処理を行うことにより、金メッキの1/100のコストで表面処理が可能となることも見出した。

### 1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

問い合わせ担当者 所属 株式会社セイロジャパン  
システム事業部 金型センター  
役職 課長代理  
氏名 石原忠夫  
電話番号 0276-40-5150  
携帯電話番号 090-2233-6987  
FAX 0276-37-3415  
E-mail [t-ishihara@saeilo.co.jp](mailto:t-ishihara@saeilo.co.jp)

## 第2章 本論

### 2 - 1 研究開発の経緯

今回の研究開発では、当初、川下メーカーからセパレータの設計情報を得ることができなかったため、デザインの設計まで含めて金属セパレータの製造技術を確立することを目指した。具体的には、まず初めに、セパレータの設計に必要なノウハウを得るために市販の燃料電池キットを入手し、その性能検証を行うとともに、解体してカーボン製セパレータの実物を入手した。そして、このカーボン製セパレータと同等の金属セパレータを、高価な金型を用いないケミカルエッチング加工によって試作し、性能の検証を行った。この試作では、金属セパレータの特徴を生かし、カーボン製セパレータより体積の小さいものも試作した。その結果、カーボン製セパレータの1/3の体積としても、カーボン製セパレータと同等の性能を得られることが確認できた。

次に、市販の燃料電池キットを用いて得た設計ノウハウを生かし、日本自動車研究所製のPEFC標準型セパレータに匹敵するサイズ(電極面積 $25\text{cm}^2$ )の金属セパレータを多数設計し、まずはケミカルエッチング加工によって試作した。そして発電性能の検証を行った結果、2種類の金属セパレータで $0.1\text{W}/\text{cm}^2$ という目標値を得ることができた。この2種類の金属セパレータはいずれもPEFC用であり、ひとつは、材料を純チタン材とし、流路ピッチが $0.93\text{mm}$ 、流路突起頂点部平坦度が $200\mu\text{m}$ 以下というもの(微細流路成形方式)、他のひとつは、材料をアルミニウム材とし、流路ピッチが $3\text{mm}$ 、流路突起頂点部平坦度が $200\mu\text{m}$ 以下というもの(部分鍛造流路成形方式)である。

ここまでの検証で金属セパレータの設計は完了したと判断し、続いて、所望の性能を得ることができた上記2種類の金属セパレータについて金型を製作し、プレス加工による試作を試みた。そして試行錯誤を重ねた結果、ある程度の精度で、プレス加工によって金属セパレータを製造できる目途が立った。

以上の検証により、PEFC用金属セパレータについては、実用に耐えるもの(上記要件1, 3-2を満たすもの)を製造可能になったと判断した。

この段階で、当社の開発状況を知った川下メーカーから、SOFC用金属セパレータの試作依頼があった。そこで、これ以降は自社設計による金属セパレータの開発は中断し、川下メーカーの設計によるSOFC用金属セパレータの試作に注力することとした。

川下メーカーの設計によるSOFC用金属セパレータの試作にあたっては、設計段階から参画してプレス加工に適した設計を提案しつつ、実際にプレス加工による試作を行った。その結果、ドイツのThyssenKrupp VDM社が販売している「Crofer22H」を材料として用いることで、上記要件1, 3-1を満たす金属セパレータ(流路ピッチが $2.5\text{mm}$ 、流路突起頂点部平坦度が $20\mu\text{m}$ 以下)を製造できる目途が立った。

一方で、プレス加工後に何もしない状態では、SOFC の動作温度 ( 700 ~ 800 ) で、「Crofer22H」に含まれる Cr が溶出することも明らかになった。そこで、様々な表面処理技術を検討した結果、溶射技術による表面処理を導入することで、Cr の溶出を防げることが判明した。

以上の検証により、SOFC 用金属セパレータについても、実用に耐えるもの( 上記要件 1 , 2,3-1 を満たすもの ) を製造可能になったと判断した。

また、SOFC 用金属セパレータの試作に合わせ、SOFC 用金属セパレータのコネクタ部の試作も依頼されたため、金属セパレータ用に開発した技術 ( プレス加工技術及び溶射技術 ) を流用して試作を行った。その結果、「Crofer22H」を材料とし、平坦度が 30 $\mu$ m 以下であるコネクタ部を、プレス加工によって製造できる目途が立った。

さらに、SOFC 用金属セパレータの試作と同時期に、燃料電池用水素発生装置 ( 改質器 ) の電極板を製造できないか、というお話があった。そこで、こちらについても金属セパレータ用に開発した技術 ( プレス加工技術 ) を流用して試作を行ったところ、「SUS316L」を材料とし、ディンプル頂点単体及びディンプル設置面の平坦度が 20 $\mu$ m 以下であり、パネル全体の平坦度が 100 $\mu$ m 以下である電極板を、プレス加工によって製造できる目途が立った。また、導電性 DLC コーディングによる表面処理を行うことで、金メッキの 1/100 のコストで表面処理が可能となることも、併せて見出した。

次項以降では、以上で説明した試作等について個別に詳しく説明する。

## 2 - 2 自社設計による PEFC 用セパレータを用いた製造技術の確立

### (1) 市販の燃料電池キットを参考にした PEFC 用金属セパレータの試作と評価

写真 2-2A は、今回参考にした市販の燃料電池キット（PEFC）の外観である。また、写真 2-2B は、このキットに含まれていたカーボン製セパレータである。この燃料電池キットは、株式会社 FC-R&D 製の 5V 出力 5W-燃料電池ユニットという商品であり、カーボン製セパレータの 1 枚単位の面積当たりで  $0.625\text{W}/\text{cm}^2$  の発電性能を有していた。このカーボン製セパレータの流路の幅、ピッチ、電極面積、及び流路体積はそれぞれ、 $1.0\text{mm}$ 、 $2.0\text{mm}$ 、 $3.8\text{cm}^2$ 、及び  $5.78\text{cm}^3$  であった。



写真 2-2A



写真 2-2B

写真 2-2C ~ 写真 2-2F はそれぞれ、上記カーボン製セパレータを参考にして製作した金属セパレータの例である。これらはいずれも、高価な金型を用いないケミカルエッチング加工によって作製したものである。それぞれの流路の幅、ピッチなどは、表 1 に記載のとおりである。

	流路幅 (mm)	流路ピッチ (mm)	電極面積 ( $\text{cm}^2$ )	流路体積 ( $\text{cm}^3$ )	材質
写真 2-2C	1.0	2.0	3.4	1.02	SUS316L
写真 2-2D	2.0	3.0	2.2	1.2	SUS316L
写真 2-2E	1.0	2.0	3.4	1.02	AL1050
写真 2-2F	2.0	3.0	2.2	1.2	AL1050

表 1

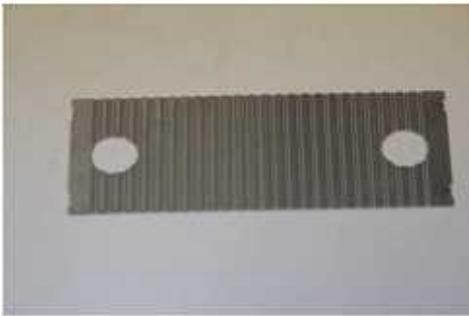


写真 2-2C

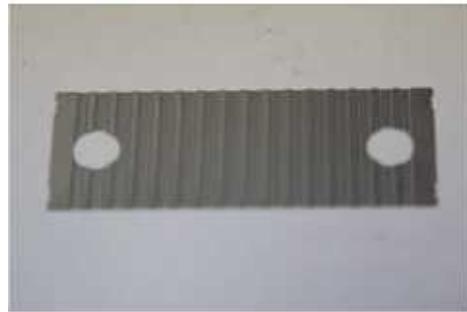


写真 2-2D

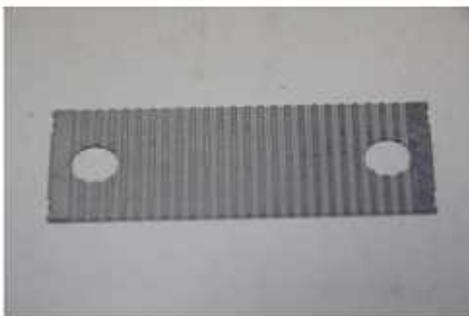


写真 2-2E

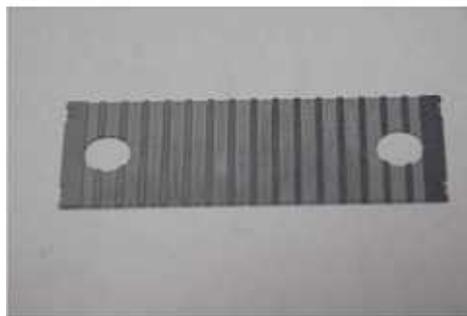


写真 2-2F

表 2 は、写真 2-2C ~ 写真 2-2F に示した金属セパレータそれぞれを写真 1 の燃料電池キットに組み込み、実際に発電を行わせた結果として、得られた発電性能を示している。この結果から、カーボン製セパレータを金属セパレータに置き換えた場合、電極面積が同等であれば、流路体積を小さくしても同等の性能が確保できることが確認できた。具体的には、1/3 の流路体積で同等の発電性能を得られることが確認できた。また、流路の幅及びピッチは、それぞれ 1.0mm 及び 2.0mm とすることが好ましいことが分かった。

	写真 2-2C	写真 2-2D	写真 2-2E	写真 2-2F
セパレータ単位面積当たりの発電性能 (W/cm <sup>2</sup> )	0.61	0.42	0.62	0.43

表 2

## (2) PEFC 用金属セパレータの自社設計

写真 2-2G～写真 2-2J はそれぞれ、ここまでで得られたノウハウを生かし、発電性能検証用として作製した PEFC 用金属セパレータの例である。これらはいずれも、日本自動車研究所製の PEFC 標準型セパレータに匹敵するサイズ（電極面積  $25\text{cm}^2$ ）で作製したものである。それぞれの流路の幅、ピッチなどは、表 3 に記載のとおりである。なお、表 3 中の平坦度は、流路突起頂点部の平坦度である。

	流路幅 (mm)	流路ピッチ (mm)	平坦度 ( $\mu\text{m}$ )	電極面積 ( $\text{cm}^2$ )	材質
写真 2-2G	3.0	4.0	200 以下	25	純チタン材
写真 2-2H	2.0	4.0	200 以下	25	アルミニウム材
写真 2-2I	1.0	2.0	200 以下	25	A5052
写真 2-2J	2.0	4.0	200 以下	25	A1050

表 3



写真 2-2G



写真 2-2H



写真 2-2I



写真 2-2J

写真 2-2K は、写真 2-2G～写真 2-2J に示した金属セパレータを組み込んで構成した燃料電池である。この燃料電池は PEFC であり、統一規格の性能評価用標準機として、広く汎用化されているものである。



写真 2-2K

表 4 は、写真 2-2K に示した燃料電池を用いて実際に発電を行った結果として、得られた発電性能を示している。この表に示すように、それぞれのセパレータで NEDO 目標値をほぼクリアする発電性能が得られた。この結果を受け、写真 2-2G 及び写真 2-2H にそれぞれ示したものについて、プレス加工による試作に取り組むこととした。

	写真 2-2G	写真 2-2H	写真 2-2I	写真 2-2J
セパレータ単位面積当たりの発電性能 (W/cm <sup>2</sup> )	0.1	0.1	0.1	0.1

表 4

### (3) プレス加工による PEFC 用金属セパレータの試作及び評価

#### a. 微細流路成形方式

図 1 は、プレス加工による PEFC 用金属セパレータの製造工程の一例を示す工程図である。当社では、この工程を「微細流路成形方式」と呼んでいる。また、写真 2-2L はこの工程で用いる金型を、写真 2-2M 及び写真 2-2N はこの工程によって製造した金属セパレータを、それぞれ示している。

なお、写真 2-2M 及び写真 2-2N に示した金属セパレータの流路ピッチは 0.93mm である。当初、写真 2-2G 及び写真 2-2H に示した金属セパレータ（流路ピッチ 4.0mm）のプレス加工による製造を目指したが、川下メーカー各社にヒアリングする機会があり、その結果を受けて流路ピッチを 0.93mm に変更した。

この工程では、まず初めにコイル材からブランクを打ち抜き、さらに打ち抜いたブランクに、ガス誘導（ダクト）穴を打ち抜く。ここで形成する PEFC 用金属セパレータではガス誘導穴付近にも流路形状が成形されることになるため、プレス成型の前に穴をあけておく必要がある。

次に、写真 2-2I の金型を用いて、流路形状をプレス成型する。この際、一度に成形しようとすると亀裂が発生するため、数度に分散して流路成形を行う必要がある。具体的には、中心部から順番に外側に流れるような成形加工を行う必要がある。最後に、プレス鍛圧によって全体の平面度修正を行い、写真 2-2M 及び写真 2-2N に示した PEFC 用金属セパレータが完成する。

写真 2-2M 及び写真 2-2N に示した金属セパレータの流路突起頂点部平坦度は 200 $\mu$ m 以下となっており、ケミカルエッチング加工によって製造したものと同等の平坦度が得られている。このことから、プレス加工による PEFC 用金属セパレータの製造には、微細流路成形方式の製造工程が有効であることが明らかになったと言える。

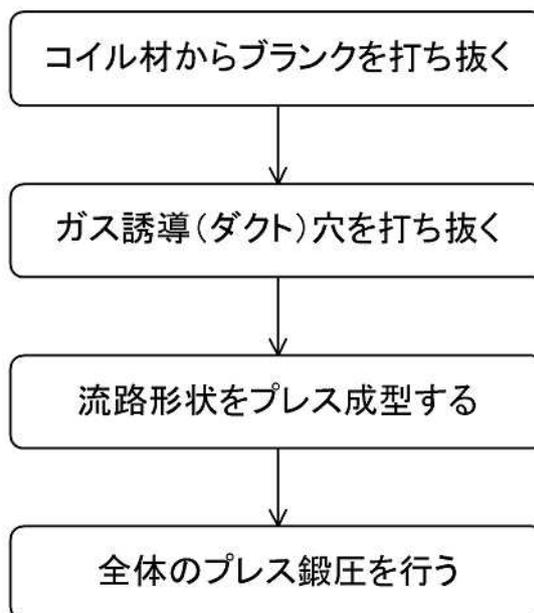


図 1



写真 2-2L



写真 2-2M



写真 2-2N

## b. 部分鍛造流路成形方式

図2は、プレス加工によるPEFC用金属セパレータの製造工程の他の一例を示す工程図である。当社では、この工程を「部分鍛造流路成形方式」と呼んでいる。また、写真2-20はこの工程で用いる金型を、写真2-2P及び写真2-2Qはこの工程によって製造した金属セパレータを、それぞれ示している。写真2-2P及び写真2-2Qに示した金属セパレータの流路ピッチは3.0mmである。

ガス誘導(ダクト)穴を打ち抜くところまでは、図1に示した工程と同様である。その後、写真2-20に示した金型を用いて行うプレス鍛造により、流路形状を形成する。このプレス鍛造では、裏と表の両側から流路形状を成形し、鍛造部肉厚が裏表均等になるように鍛造を行う。

最後に、部分鍛造による肉余りの鍛圧と、平面度修正を意図して、全体にプレス鍛圧を行うことにより、写真2-2P及び写真2-2Qに示したPEFC用金属セパレータが完成する。

写真2-2P及び写真2-2Qに示した金属セパレータの流路突起頂点部平坦度は200 $\mu$ m以下となっており、こちらケミカルエッチング加工によって製造したものと同等の平坦度が得られている。このことから、部分鍛造流路成形方式の製造工程も、プレス加工によるPEFC用金属セパレータの製造のために有効であることが明らかになったと言える。

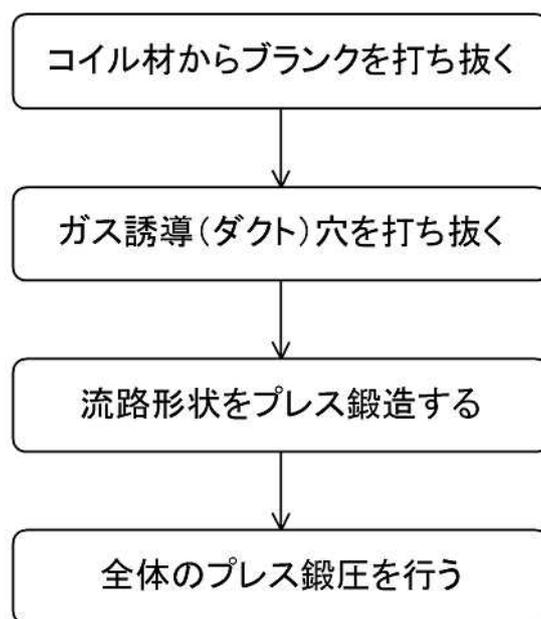


図2



写真 2-20

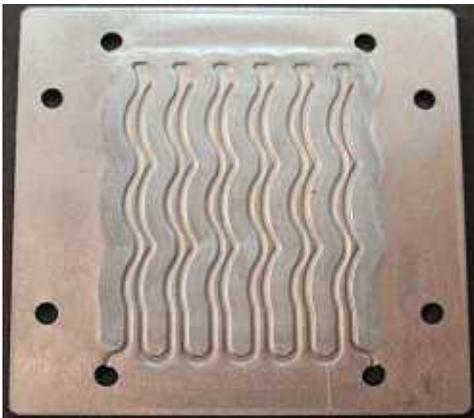


写真 2-2P

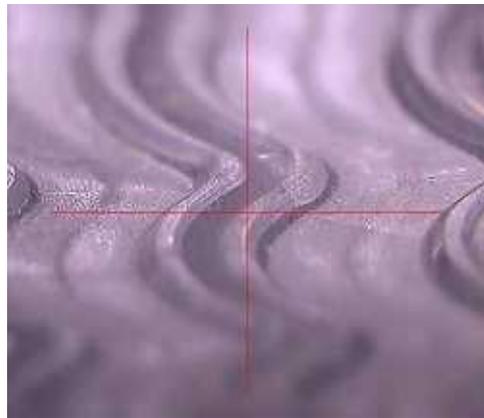


写真 2-2Q

## 2 - 3 川下メーカー設計による SOFC 用セパレータを用いた製造技術最適化

### (1) 川下メーカー設計による SOFC 用金属セパレータ

図3は、SOFC用セパレータの一部分サンプルの設計図である。この設計図は、川下メーカーの要求条件を満たすよう当社が書き起こしたもので、PEFC用金属セパレータの試作で得た設計ノウハウを含んでいる。

図3に示すサンプルでは、流路の幅及びピッチがそれぞれ1.5mm、2.5mmであり、流路突起頂点部平坦度としては20 $\mu\text{m}$ 以下、全体平坦度としては30 $\mu\text{m}$ 以下が要求されている。本研究開発では、2年目の後半以降、このような条件を満たすサンプルをプレス加工によって製造することを目標とした。

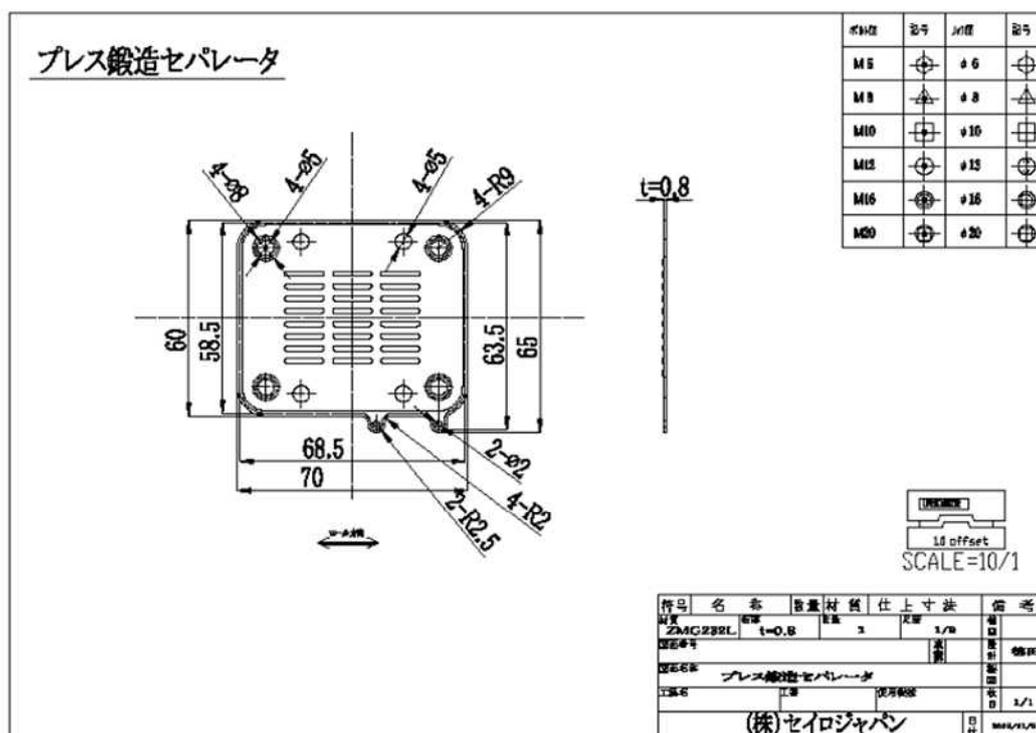


図3

## (2) プレス加工による SOFC 用金属セパレータの試作及び評価

図4は、SOFC 用金属セパレータの製造工程の一例を示す工程図である。同図に示した工程は、様々な工法を試した結果、最も良い結果が得られた工程である。

写真 2-3A に示す金属セパレータの一部分サンプルは、この工程によって実際に試作したものである。また、写真 2-3B、写真 2-3E、及び写真 2-3G は、この工程の途中で得られる中間生成物であり、写真 2-3C、写真 2-3D、写真 2-3F、及び写真 2-3H は、この工程で用いる金型である。

この工程では、図4に示すように、まず初めに、レーザーにより、コイル材からブランク（写真 2-3B）を打ち抜く。次に、フォーム型（写真 2-3C 及び写真 2-3D に示した金型）を用い、2 回に分けて流路突起の突出

しを行う。2 回に分けて行うのは、突起ピッチが狭く、1 回ですべての突出しを行うこととすると金型への負荷が大きいためである。写真 2-3E はこの工程が完了した状態であるが、この写真からも明らかなようにこの時点では全体に大きなひずみがあり、流路突起の頂面部も十分に平坦とはなっていない。

次いで、リストライクフォーム型（写真 2-3F に示した金型）を用いて、流路突起先端部の鍛造を行う。これを行うことにより、写真 2-3G に示すように、流路突起の頂点部に平面を設けることが可能になる。当社では、この工程をマジックリストラッキング（魔法の叩き直し）と呼んでおり、プレス加工による金属セパレータを製造するうえで要となる工程である。

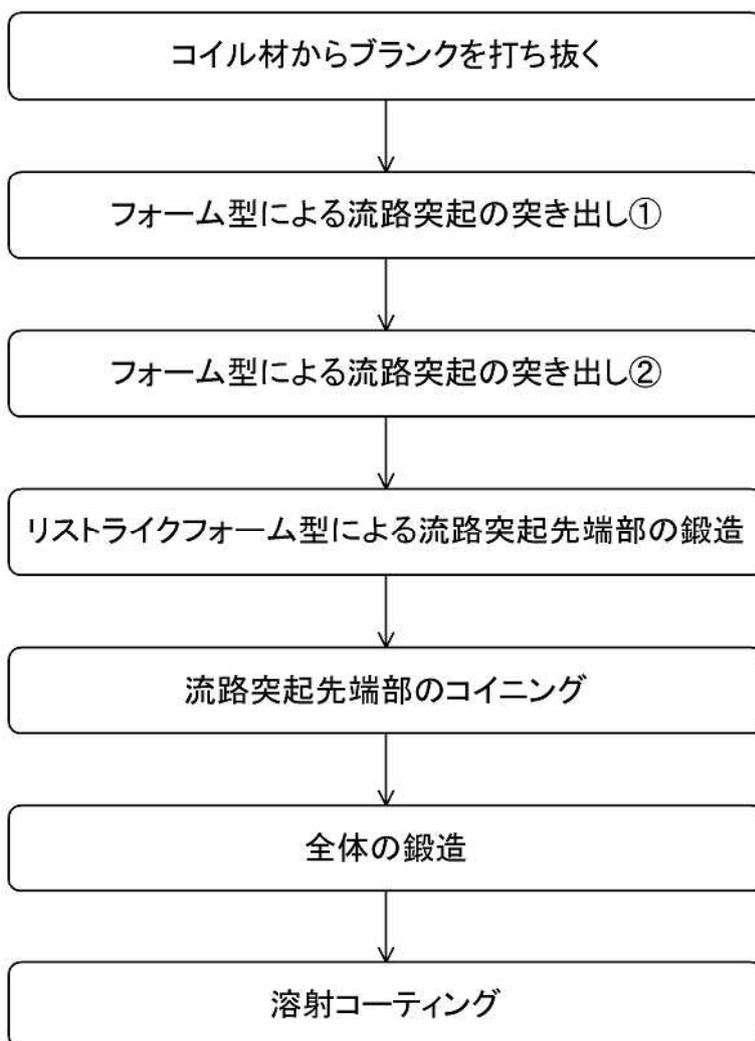


図4

その後、流路突起先端部のコイニングを行って流路突起の先端にR形状を設け、最後に写真 2-3H の金型を用いてプレス鍛圧を行うことによって、全体の平面度修正を行う。以上の工程によりプレス加工工程は終了し、結果として、写真 2-3A に示した平坦度の高い金属セパレータが得られる。

表 5 は、写真 2-3A に示したサンプルの平坦度等を測定した結果である。この結果から理解されるように、今回新たに開発したプレス加工工程によって、川下メーカーの要求条件を満たす SOFC 用金属セパレータを製造することが可能になったと言える。

	流路幅 (mm)	流路ピッチ (mm)	流路突起頂点部平坦度 ( $\mu\text{m}$ )	全体平坦度 ( $\mu\text{m}$ )	材質
写真 1 8	1.5	2.5	20 以下	30 以下	Crofer22H

表 5

ところで、今回開発した工程には、図 4 に示すように、最後に溶射コーティングを行う工程が含まれる。以下、この点について詳しく説明する。

表 5 にも示したように、写真 2-3A の一部分サンプルは、ドイツの ThyssenKrupp VDM 社が販売している「Crofer22H」を材料としている。これは、試作の工程において様々な材料を試す中で、この「Crofer22H」が最もプレス加工による成形に適していたためである。

しかし一方で、「Crofer22H」には、含有成分のひとつである Cr が SOFC の動作温度（700 ~ 800）で溶出するという問題がある。この Cr 溶出を防止する技術として、従来より、スピネル化合物による表面コーティングが知られている。この技術は、金属セパレータの表面に刷毛を用いてスピネル化合物を塗布した後、焼成することでスピネル化合物をコーティングするというものである。

しかしながら、上記のコーティング技術には、均一にコーティングすることが困難であるという問題があった。そこで今回、当社が様々な方法を試したところ、「溶射コーティング」という技術を用いてスピネル化合物を溶射することで、スピネル化合物を均一にコーティングできることが判明した。具体的には、溶射コーティングによってコーティングしたスピネル化合物の表面粗さを測定したところ、5 $\mu\text{m}$ という非常に小さい値が得られた。この結果を受け、図 4 に示した製造工程の最後に、スピネル化合物の溶射コーティングを行うこととした。

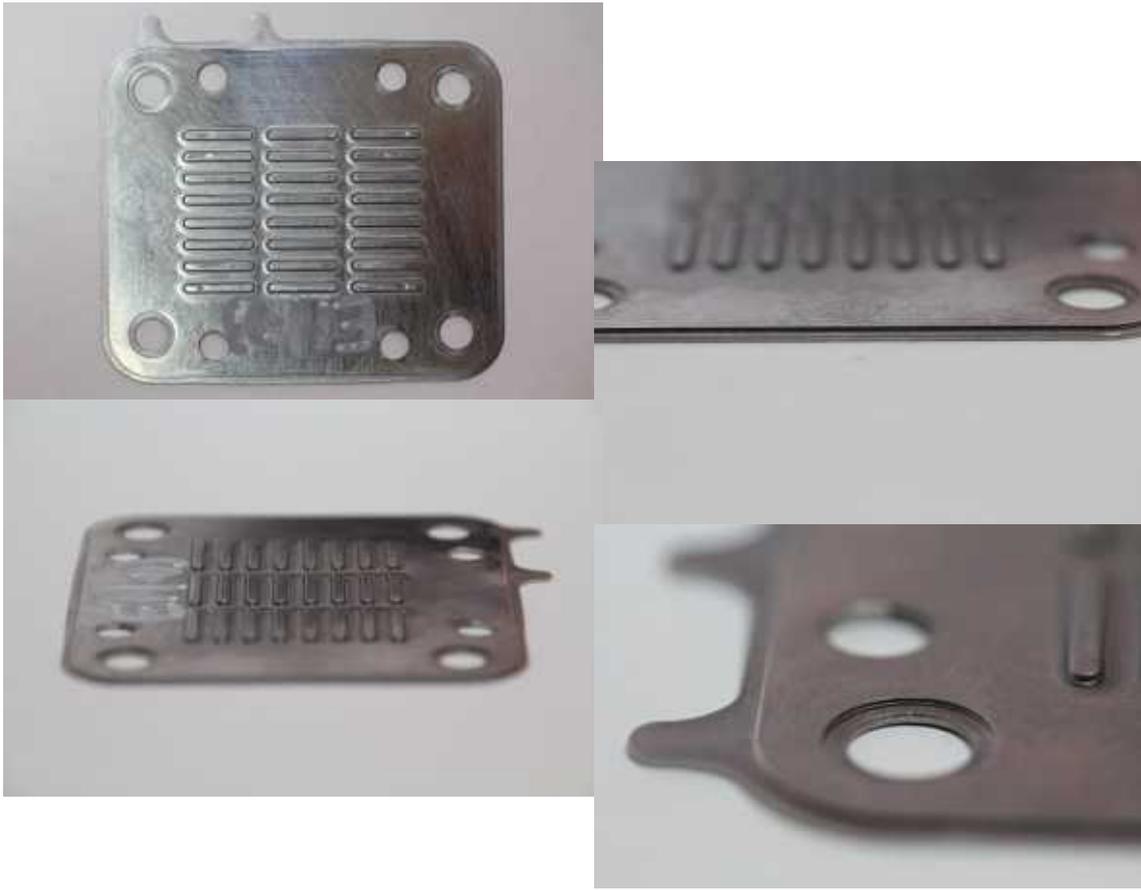


写真 2-3A



写真 2-3B

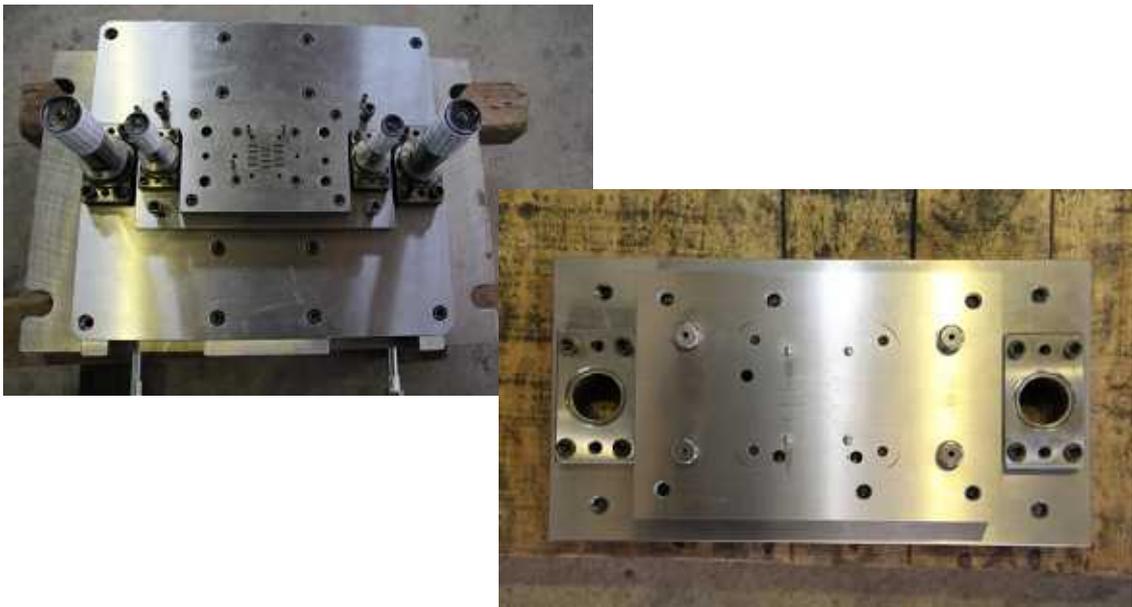


写真 2-3C



写真 2-3D



写真 2-3E

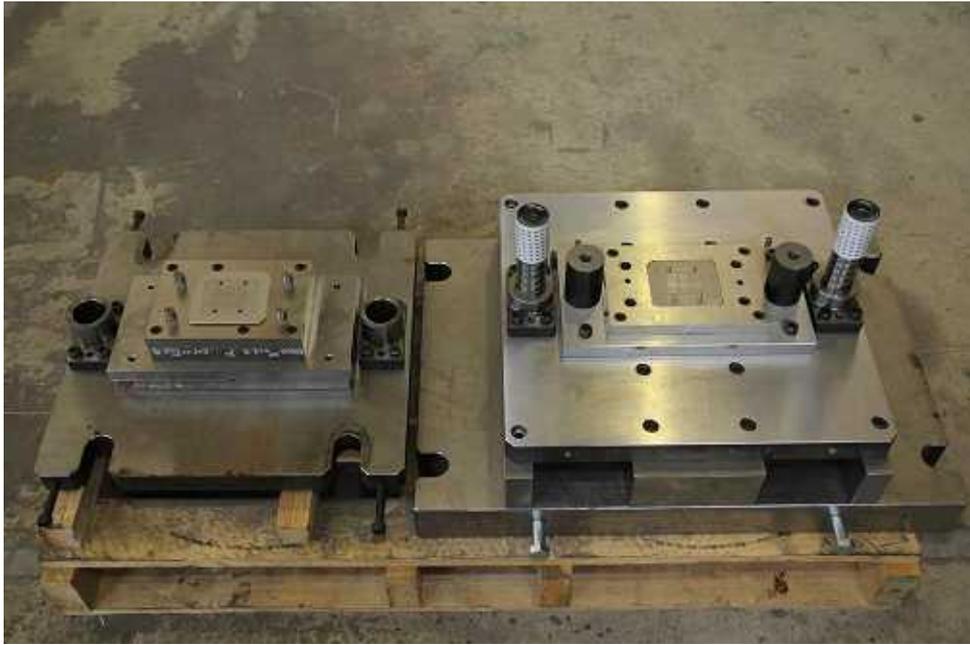


写真 2-3F

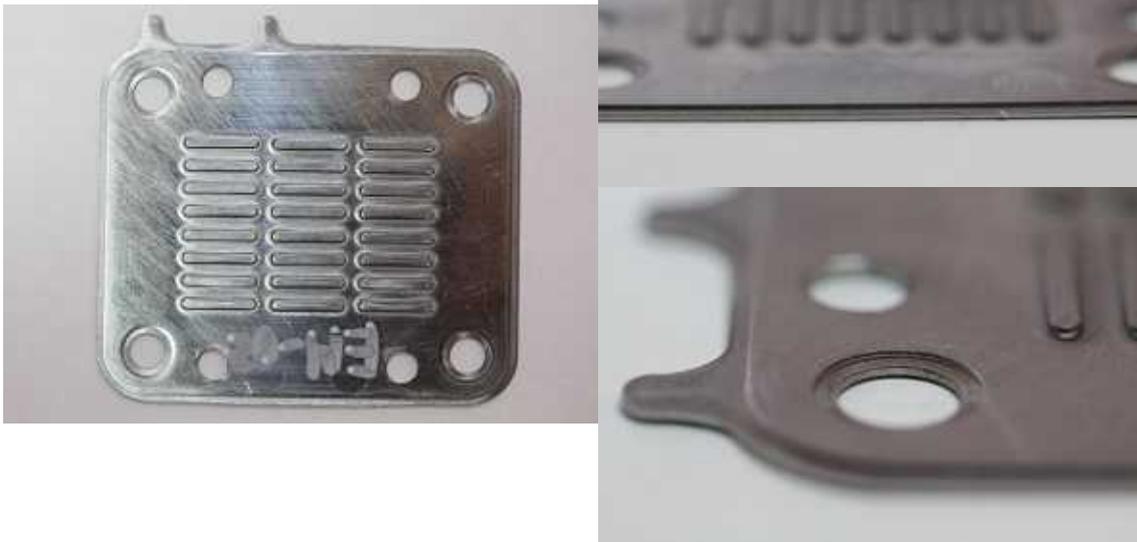


写真 2-3G



写真 2-3H

## 2 - 4 SOFC 用セパレータのコネクタ部への応用

### (1) 川下メーカー設計による SOFC 用金属セパレータのコネクタ部

SOFC 用金属セパレータのコネクタ部には、幅及びピッチがそれぞれ 1.5mm 及び 3.0mm である溝を有するとともに、全体の平坦度が 30 $\mu$ m 以下であることが要求される。そこで本研究開発では、上で説明した SOFC 用金属セパレータの製造工程を本コネクタ部にも適用し、製造の可否を探ることとした。

### (2) コネクタ部の試作と評価

コネクタ部の製造工程では、まず初めに、コイル材からブランクを打ち抜き、次いでこれをプレスすることにより、中央付近にあるスリット部の周囲を窪ませる。続いて、再度のプレスにより、5本の溝を形成する。なお、この製造工程では、形状成形の後、表面をディンプル加工する工程が必要となった。表面のディンプル加工を行うことで、鍛造によって生じた余肉が上手く分散され、好ましい平坦度を得ることが可能になる。

試作したコネクタ部の全体平坦度を測定した結果は、30 $\mu$ m 以下であった。したがって、今回新たに開発したプレス加工工程によって、川下メーカーの要求条件を満たす SOFC 用金属セパレータのコネクタ部を製造することが可能になったと言える。

ここで、今回試作したコネクタ部の材質は、上述した写真 2-3A の一部分サンプルと同様、「Crofer22H」である。したがって、Cr の溶出を防止する必要があるが、コネクタ部に関しては、MnCo 合金の溶射コーティングを行うことで、SOFC の動作温度( 700 ~ 800 )での Cr の溶出を防ぐとともに、MnCo 合金を均一にコーティングすることが可能になった。

## 2 - 5 水素発生装置用電極板への応用

### (1) 川下メーカー設計による水素発生装置用電極板

水素発生装置用電極板は、表面に多数のディンプルを有しており、各ディンプルの頂点の平坦度及びディンプル設置面の平坦度がともに  $20\mu\text{m}$  以下であることが要求される。また、電極板全体の平坦度は、 $100\mu\text{m}$  以下であることが要求される。そこで本研究開発では、本電極板にも今回開発した SOFC 用金属セパレータの製造工程を適用し、製造の可否を探ることとした。

### (2) 水素発生装置用電極板の試作と評価

図 5 は、水素発生装置用電極板の製造工程の一例を示す工程図である。同図に示した工程は、様々な工法を試した結果、最も良い結果が得られた工程である。

水素発生装置用電極板の製造工程では、まず初めに、コイル材からブランクを打ち抜き、次いでこれを第一成形型を用いてプレスすることにより、まず内側のディンプル付近のみを成形する。このようにまず内側のみを成形するのは、亀裂の発生及び大幅な板厚減少を防止するためである。

次に、第二成形型を用いて再度プレスを行う。このプレスでは、内側のディンプル付近をプレスし直すと共に、それ以外の部分も成形する。

続いて、トリムピアス型を用いて、外径部余肉と、ガス誘導穴等のプレス打ち抜きを行う。

最後に、リストライクフォーム型を用いて、全体をプレス鍛圧する。これを行うのは全体の平面度修正とディンプルの高さを修正するためであり、これにより電極板が完成する。なお、電極板の材料としては、ステンレス鋼材の一種である SUS316L を用いた。

今回試作した電極板について、各ディンプルの頂点の平坦度、ディンプル設置面の平坦度、電極板全体の平坦度を測定したところ、それぞれ  $20\mu\text{m}$  以下、 $20\mu\text{m}$  以下、 $100\mu\text{m}$  以

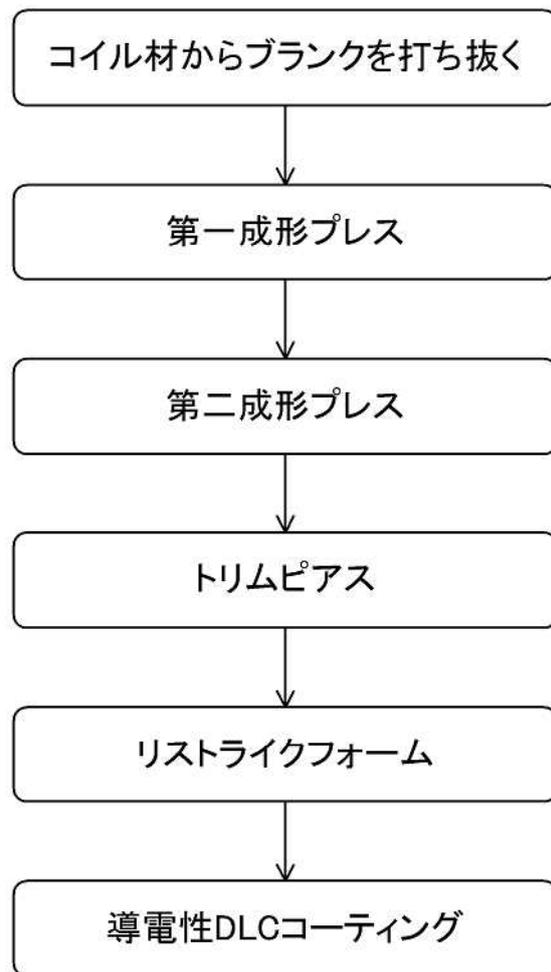


図 7-5

下であった。したがって、今回新たに開発したプレス加工工程によって、川下メーカーの要求条件を満たす水素発生装置用電極板を製造することが可能になったと言える。

ここで、従来の水素発生装置用電極板では、腐食防止の目的で最後に金メッキを施していたが、金メッキにはコストが高いという問題があった。今回の研究開発では、プレス加工後の電極板に導電性 DLC コーティングを施すこと（図5）により、1/100 のコストで金メッキと同等の腐食防止を得られることを見出した。

# 最終章 全体総括

## 3 - 1 研究開発成果

今回の研究開発により、プレス加工による燃料電池（SOFC 及び PEFC）用の金属セパレータの製造技術を確立することができた。また、同様の技術により、金属セパレータのコネクタ部や、燃料電池用水素発生装置の電極版を製造できることも明らかになった。

このことは、燃料電池用の各種部品（セパレータ、セパレータのコネクタ部、水素発生装置の電極版）を、他の材料に比べて耐久性の高い金属を用いて、低コストで量産することが可能になった、ということの意味する。したがって、今回開発した技術を用いることにより、日本の燃料電池メーカーの国際競争力を大幅に強化することも不可能ではないと考える。

## 3 - 2 研究開発後の課題

今回、SOFC 用金属セパレータ及び水素発生装置の電極板に関しては実製品の受注にも到達することができたので、今後は、まずは具体的な量産体制の確保が課題となる。量産体制の確保を通じ、全国の中小企業の技術の高度化、仕事づくり力の強化、ひいては日本の製造業の国際競争力の強化に貢献したいと考えている。

また、今回得られた金属セパレータは、実用レベルに達しているとはいえ、まだまだ改良の余地がある。日本製の燃料電池が世界を席巻する姿を思い描きながら、今後も精力的に金属セパレータの開発を続けていきたいと考えている。

以下に、今後の課題を列挙する。

### a. 量産対応

今回開発した技術を用いて製造した金属セパレータを有する燃料電池（SOFC）が、平成 27 年度に、実際の製品として市場にリリースされる予定である。したがって、これに向けて、遅くとも平成 26 年度内に、今回開発した技術による金属セパレータの量産体制を確保する必要がある。具体的には、最先端のプレス加工技術を有する中小企業に対し、秘密保持契約を締結したうえで本件技術を提供することで、量産体制を確保する。

### b. 新規顧客開拓

本プロジェクトを通じ、現時点において川下メーカーから要望される技術目標が明確となった。今後は、当社がその目標を達成できる高度化した金属プレス技術を有していることを前面に出し、燃料電池向け金属セパレータに特化した技術でアピールしていく。

#### **c. 新分野開拓**

本プロジェクトで途中から研究開発の対象とした燃料電池用水素発生装置の電極板のように、当社のプレス加工技術を適用可能な他の製品を見出し、アピールしていく。

#### **d. さらなる技術開発**

今回、SOFC用の金属セパレータを製造するには、ドイツ製の「Crofer22H」を用いる必要があった。今後は、より安価な材料(汎用のフェライト系ステンレス材)を用いて同等の形状を有する金属セパレータを得ること、及び、SOFC向けに関して平坦度のさらなる向上(5 $\mu$ m以下)を目指し、引き続き研究開発を行っていく。

