

固体高分子形燃料電池セパレータ用 ステンレス箔の開発

樽谷芳男¹⁾ 花尾方史²⁾ 小川和博¹⁾
浜田龍次³⁾ 有園太策^{**}

1. はじめに

地球環境問題、とりわけ地球温暖化対策と石油資源枯渇対策は人類共通の喫緊課題となり始めている。燃料電池は、これらの問題を解決するための鍵となる水素社会を構築するための極めて重要な技術である。特に、固体高分子形燃料電池は、運転温度が60℃から80℃と低くエネルギー効率が非常に高いことから、自動車駆動用主電源、熱電併給の家庭用分散型定置式コジェネレーションシステム、可搬型小型電源、モバイル用小型電源として期待され、我が国ばかりでなく中進国を含む世界各国で1990年代初めより精力的に開発が行われている⁽¹⁾。

固体高分子形燃料電池はすでに一般ユーザによる市場評価が行われる段階となっている。世界中で数百台規模の燃料電池自動車、数千台規模の家庭用コジェネレーションシステムが更なる性能改善を目指して運転されており、モバイル用途では一部で製品販売も始まっている。まさに、これからの5年、10年が今後の固体高分子形燃料電池の市場拡大、確立にとって極めて大きな意味を持つ時期となっている。

固体高分子形燃料電池は、『電池』と名前は付いているが、リチウム電池のように充放電を繰り返して使用する二次電池ではない。燃料ガスである水素と空気中の酸素との化学反応により電気を取り出す発電装置である。アノード極(燃料極)とカソード極(空気極)、固体高分子膜、カーボン繊維からなる拡散層を一体化したMEA(Membrane Electrode Assembly)を両側から2枚のセパレータ(バイポーラプレートと呼

ぶこともある)で挟持する構成の「単セル」からなっており、単セルから数百セルを直列に積層する構造をしている。燃料電池本体は「スタック」と呼ばれている⁽²⁾。

本報告では、固体高分子形燃料電池金属セパレータ用として著者らが新たに開発した、これまでのステンレス鋼とは一線を画する革新的な高性能ステンレス箔について述べる。

2. 固体高分子形燃料電池セパレータの現状と課題

固体高分子形燃料電池セパレータとしては、精密機械加工された黒鉛板や、射出あるいはプレス成形加工されたカーボン製セパレータが用いられているが、これらの素材は割れ易いという致命的な欠陥があり性能保障に限界がある。また、燃料電池本体の軽量化、コンパクト化ならびに需要の増加と低コスト化要望に対して、生産性に劣るカーボン製セパレータがどこまで応えられるかという素朴な危惧の念が払拭されていない。

固体高分子形燃料電池が盛んに検討され始めた1990年代前半より、耐食性と量産性、加工性に優れるステンレス鋼板を適用しようとする動きはあったが、ステンレス鋼には、ステンレス表面固有の不動態皮膜による電気的な接触抵抗問題と、不動態化状態でも進行する溶出金属イオンによる電池内汚染と電池性能低下問題があった。対策として金メッキ処理が行われたが、コスト高問題ならびにメッキ欠陥からのガルバニック腐食問題が回避できず、実験室的な検討、あるいは性能を追い求める試作にのみ適用されている状況にあった。常識的には、本格的な量産への適用は困難と見られている。

換言すると、ステンレスとしての長所はそのままに、固体高分子形燃料電池セパレータとして安定した性能と優れた量産性、コスト競争力を有した固体高分子形燃料電池セパレータ用ステンレス鋼板が継続して、強く求められていた。

3. 開発材の特徴と性能について⁽³⁾

開発材は新たに開発した専用の特殊なステンレス箔であ

* 住友金属工業株式会社 総合技術研究所

1) 主監部長研究員

2) 製鋼研究開発部 主任研究員

3) 鋼板プロセス研究開発部 主任研究員

** 株式会社住友金属直江津 技術部 東京技術室 参事

Development of Stainless Steel Foils for Bipolar Plates of Polymer Electrolyte Fuel Cells; Yoshio Tarutani*, Masahito Hanao*, Kazuhiro Ogawa*, Ryuji Hamada*, Daisaku Arizono**(*Sumitomo Metal Industries, Ltd. **Sumitomo Metals (Naoetsu), Ltd)

2008年10月29日受理

る。ステンレス鋼としての耐食性はそのままに、不動態皮膜の機能を損なうことなく導電性を確保している。開発材は、高価な金メッキ処理を施すことなく無垢のままに固体高分子形燃料電池セパレータとして適用可能である。

開発材の考え方を図1に示す。図2は断面マイクロ写真の一例である。開発材は、鋼中に多数の導電性金属析出物を一様に微細分散させて、表層近傍に存在する導電性金属析出物を電導性に劣る不動態皮膜を貫通させて露出させ、電気の通り道、として機能させることにより表面の導電性を確保している。図3に、適用する際の表面SEM像一例を示す。導電性金属析出物自身は強加工により割れることはあるが、母相と金属結合しているために脱落することはない。

表層にある導電性金属析出物は、母相のみを酸により選択的に優先溶解することで表層不動態皮膜を貫通させて露出させるが、この処理により、表面の汚れ除去、表面形状と粗さ(Ra)調整、プレス成形加工時の加工歪の開放(ソリの低減)、表面の濡れ性改善(燃料電池内生成水の排水性)、セパレータの軽量化(減肉)が同時に達成される。

表1に開発材の機械的性質の一例を示す。非常に多くの分散物が存在するにも関わらず、JIS SUS316L規格を満たす性能を有している。箔コイル圧延も通常の兼用量産ラインで可能であり、プレス成形加工も通常のプレス機で行うことが

できる。開発材箔からのセパレータ加工は、コイルを用いた順送金型を用いたプレス成形、抜き加工で行うことが推奨される。懸念される導電性金属析出物による金型損傷は、金型摩耗、損傷が問題となる部位を超硬材で製作することにより問題解決できる。著者らによる試作で、外寸110mm×190mm、流路部面積70mm×140mmの大きさのセパレータを毎分60枚の速度で連続プレスし、無手入れ10万枚～15万枚以上の連続加工が見通せる状況にある。図4に、試作した開発材製セパレータの一例を示す。

開発材中に分散している導電性金属析出物の耐食性は、母相に比べて優れている。母相の不動態皮膜が安定な適用条件

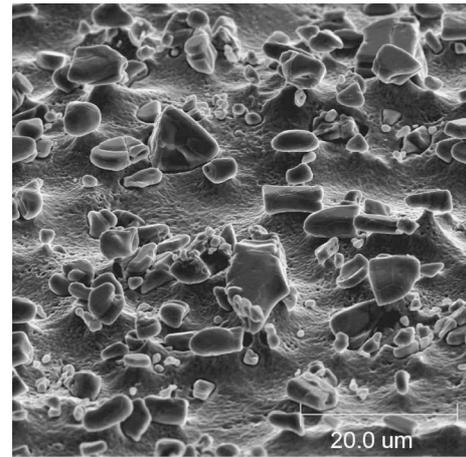


図3 酸浸漬後の開発表面SEM像。母相表面に固着している多数の分散物が導電性金属析出物である。

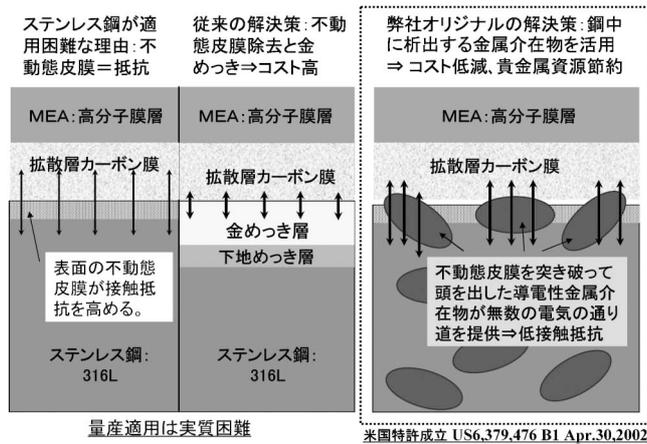


図1 導電性金属析出物の表面露出による表面接触抵抗低減方法の概念図。

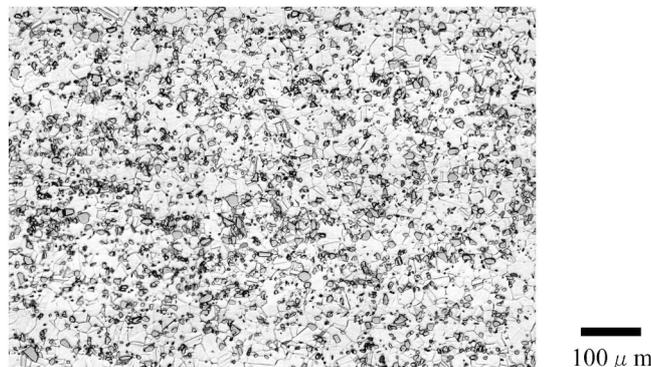


図2 開発材の断面マイクロ写真。やや色濃く、細かく分散しているのが導電性金属析出物である。薄めの細線は結晶粒界である。

表1 開発材機械的特性(素材板厚 0.2 mm).

	耐力(N/mm ²)	引張り強度(N/mm ²)	伸び(%)
NAR316BC	273	627	46.8
SUS316L	≥ 175	≥ 480	≥ 40

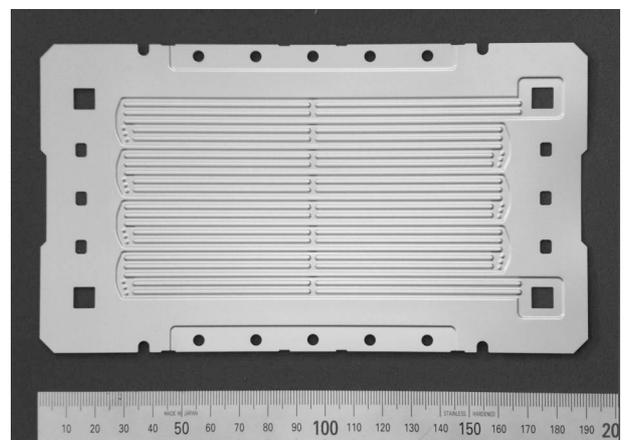


図4 開発材で試作した固体高分子形燃料電池用ステンレス製セパレータ一例。(外寸110mm×190mm、流路部70mm×140mm、流路部山高さ0.68mm、素材板厚0.2mm。酸浸漬処理後のガス流路面外観。)

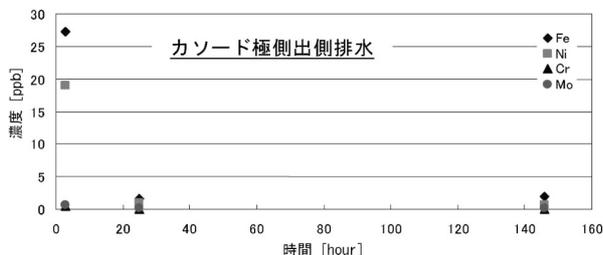
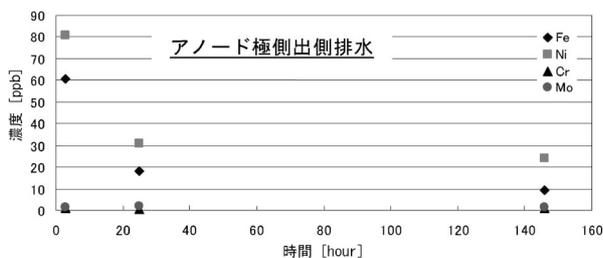


図5 開発材適用単セル固体高分子形燃料電池出側排水中の金属イオン量の経時変化。(定電流 0.5 A/cm², 70°C, 流路面積 = 100 cm²)

であれば、開発材の耐食性は良好である。固体高分子形燃料電池内にある開発材表面から溶出する金属イオン量は、動作条件の影響を受ける。固体高分子膜の影響は、膜性能改善により格段に小さくなっている。図5に、一例を示す。燃料電池本体出側排水中の濃度で数十 ppb 以下レベルとなっている。起動直後は、電池内適用環境に適合するための変化が不動態皮膜に起こるためにやや高めの溶出が起きているが、時間経過とともに溶出金属イオン量は低下している。一旦低下した溶出金属イオン量は、燃料電池内環境が何らかの要因により大きく変化しない限りは、不動態皮膜変化も起こらないために低く保たれる。金属セパレータ表面から溶出し、電池本体外に水とともに排出される以外の溶出金属イオンは電池内のMEA内、金属セパレータ表面に残留することとなる。9,300時間運転動作したMEAの分析を行ったが、累積的に蓄積したような汚染挙動は観察されず、電池運転中の電池内はほぼ一定状態にあると判断された。

図4で示した開発材製セパレータを適用した単セル固体高分子形燃料電池運転特性の一例を図6に示す。非常に緩やかな出力電圧特性の低下は観察されるが、これまでに報告されている黒鉛製セパレータあるいはカーボン製セパレータ適用の燃料電池運転結果と比較しても遜色ない特性が得られている。

図7に、図4で例示した開発材製セパレータ200枚を用いた100セル構成の燃料電池スタック外観を示す。金属箔プレス成形セパレータを使った燃料電池スタックの組み付けが可能であることが確認できる。実験室規模燃料電池運転を継続実施しているが、性能問題のないことを実証しつつある。

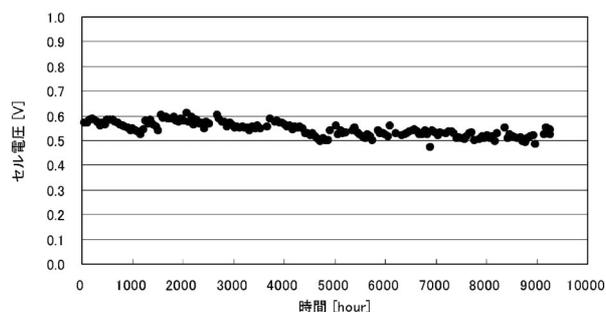


図6 開発材製プレス成形セパレータ適用 20 W 級単セル燃料電池による長時間耐久性評価結果。(定電流 0.5 A/cm², 70°C)

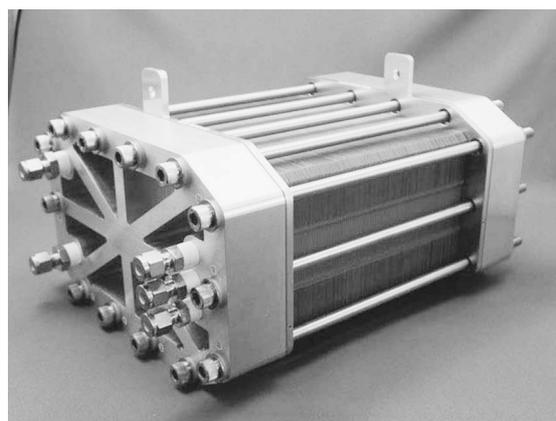


図7 開発材箔プレス成形セパレータ(外寸 70 mm × 140 mm)。(200枚を適用した100セル構成燃料電池スタックの外観一例)

4. 特許および実用化の状況

国内外において多数の特許が成立⁽⁴⁾⁽⁵⁾している。燃料電池自動車適用と複数の家電メーカーでの適用検討が進行中である。

本開発材は固体高分子形燃料電池セパレータステンレス化の急先鋒となっており、影響は広く海外にまで及んでいる。

本開発の一部は、NEDOの委託を受けて実施されたものである⁽³⁾。関係者各位に謝意を表します。

文 献

- (1) Nikkei Ecology, 2008. 06 特集『普及前夜の燃料電池』, ふえらむ, 12(2007), 250 『普及が期待される家庭用燃料電池』, 化学と工業, 59(2006), 4 『わが家に燃料電池車が届く日』等。
- (2) 樽谷芳男, 関 彰, 土井教史, 池谷知彦, 高比良良聡: 燃料電池, 3(2004), 29.
- (3) NEDO 成果報告書: No. 100009347, 100007996, 100006216, 100004249, 100001345, 010001765, 010018606他。
- (4) 特許番号第4078966号, USP6, 379, 476, EP1046723, CA2305839, TW155398, CN ZL00105765.0, KR361548.
- (5) 特許番号第3365385号, 特許番号第388051号他。