固体高分子型燃料電池用炭素被覆ステンレス製セパレータの開発とその発電特性

植田 雅巳¹ 森 陽一² 橋本 勝¹ 山室 成樹¹
棚瀬 繁雄³ 青井 芳史² 岩佐美喜男³ 境 哲男³

¹株式会社栗本鐵工所技術開発本部研究開発部

²龍谷大学理工学部物質化学科

³産業技術総合研究所ユビキタスエネルギー研究部門

J. Japan Inst. Metals, Vol. 71, No. 7 (2007), pp. 545-552

© 2007 The Japan Institute of Metals

Development of Carbon Coated Stainless Separators and Their Polarization Performance for Polymer Electrolyte Fuel Cell

Masami Ueda¹, Yoichi Mori², Masaru Hashimoto¹, Shigeki Yamamuro¹,
Shigeo Tanase³, Yoshifumi Aoi², Mikio Iwasa³ and Tetsuo Sakai³

¹R & D Dept., Technology Development Bureau, KURIMOTO, Ltd., Osaka 559-0021

²Faculty of Science and Technology, Ryukoku University, Otsu 520-2194

³National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Research Institute for Ubiquitous Energy Devices,
Ikeda 563-8577

Conductive amorphous carbon was coated on the stainless steel separators by using electron cyclotron resonance (ECR) plasma sputtering technique. The carbon-coating reduced contact resistance between carbon paper and stainless steel substrate by two orders of magnitude. The carbon-coating also enhanced corrosion resistance of the stainless steels. Polarization performances of the polymer electrolyte fuel Cell (PEFC) using the carbon-coated SUS316L and SUS329J4L separators were comparable with that using the conventional carbon separator.

(Received February 19, 2007; Accepted April 4, 2007)

Keywords: polymer electrolyte fuel cell, stainless separator, electron cyclotron resonance plasma sputtering, X-ray photoelectron spectroscopy; radio frequency glow discharge plasmas-optical emission spectrometer

1. 緒 言

固体高分子型燃料電池(PEFC)は、水素等の燃料の化学エネルギーを電気エネルギーに変換する効率が高く、出力密度が大きい。また、室温付近で動作するため電池の起動・停止が容易であることから、家庭用、自動車用等の電源として精力的に開発が進められている。PEFCが高効率で低温作動が可能な所以は、電解質膜に用いられているパーフルオロスルフォ酸膜が水溶液と同じ程度の温度で作動する、水の存在下でプロトン導電性を示し比較的イオン導電率が高い、薄膜にすることができる、ガスの差圧に耐えるなどの特徴を有しているからである¹⁾。その電池は電極-電解質積層体(membrane electrode assembly, MEA)、セパレータなどからなるが、電解質膜が強い酸性を示すので、現在、導電性および耐食性の観点からセパレータには、カーボン系材料(黒鉛など)が主に使われている。しかし、このカーボン系セパレータは、燃料である水素や酸化剤である空気のカロスオーバーを避け、かつ、セル(単電池)やスタック(積層電池)における機械

的な強度を確保するため、～2 mm程度の厚さが必要となる。そのため、セルやスタックの大型化が避けられず、実用上のネックとなっている。

このような中で、セパレータの薄肉化(～0.2 mm)および強度の向上が可能な金属系セパレータの開発が期待されているが、PEFCに求められる耐食性を満足する材料では、その表面に不働態皮膜を形成し、接触抵抗が大きくなる傾向があり、これを改善するための多くの提案がある。たとえば、導電性金属析出物を鋼板表面に突出させて“不働態皮膜を貫通する電気の通り道”を作ったステンレス鋼²⁾、ステンレスのチタンクラッド材に導電性塗料を塗布した材料³⁾などが、報告されている。

著者らは、これまで安価で耐食性に優れる市販ステンレス材料を選定して、これに適当な表面導電性処理を施し、燃料電池セパレータに利用することを検討してきた。その中で、ステンレス表面を炭素で被覆することで、従来のカーボン系セパレータと同等の燃料電池性能が得られることを見いだした⁴⁾。

本研究では、耐食性の異なる3種類の市販ステンレス鋼

について、炭素被覆処理が耐食性および導電性、発電特性に及ぼす影響について詳細に検討したので、報告する。

2. 実験方法

2.1 供試材

供試材には、JIS 規格品の中で汎用性があり耐食性が異なるステンレス鋼として、1)最も一般的なステンレスで 18-8 ステンレスとも呼ばれる SUS304, 2)SUS304 よりも耐孔食性や耐粒界腐食性に優れる SUS316L, 3)耐酸性や耐孔食性に優れる SUS329J4L を、選定して用いた。供試材の成分分析値を Table 1 に示す。

2.2 導電性炭素膜成膜方法

導電性炭素膜の成膜は、電子サイクロトロン共鳴 (electron cyclotron resonance, ECR) スパッタリング法によって行った。本実験に用いた ECR スパッタリング装置の概略図を Fig. 1 に示す。この ECR スパッタリング装置はプラズマ室と成膜室とからなる。プラズマ室では 2.45 GHz の電磁波を上部から電磁コイルに印加すると共に、875 Gauss の磁場を電磁コイル中央部付近に発生させる。この条件で電子サイクロトロン共鳴が生じ、プラズマ室で発生したプラズマは磁場勾配により成膜室内に運ばれ基板表面に照射される。また、プラズマ室で発生したプラズマはプラズマ室に設置された円筒状のターゲットに衝突しスパッタリングが生じる。このため、スパッタリングされたターゲット材料(カーボン)も

プラズマ室から成膜室へ移動し基板であるステンレスに堆積される。

本実験では油拡散ポンプで ECR スパッタリング装置内部を 5×10^{-3} Pa 以下の真空にした後、高純度アルゴンガスを導入し 1×10^{-1} Pa とした。ECR パワーは 400 W、基板バイアスは +20 V、ターゲットバイアスは -400 V、成膜時間は 7.2 ks である。

2.3 実験試料の表面分析

実験試料の表面分析を堀場製作所製マークス型高周波グロー放電発光表面分析装置 (GD-OES; radio frequency glow discharge plasmas-optical emission spectrometer) を用いて行った。GD-OES は Ar グロー放電領域内で試料表面を高周波スパッタリングし、そのスパッタされる原子の Ar プラズマ内における発光線を連続的に分光することにより皮膜の深さ方向の元素分布を測定する手法である。本装置の特徴は、皮膜の深さ方向の元素分布を高分解能かつ短時間で容易に得ることが出来ることである。

2.4 耐食性評価方法

PEFC に用いられている電解質膜は無架橋のパールフルオロスルホン酸膜である。この電解質膜は水の存在下でポリマ中のスルホン酸 ($-\text{SO}_3\text{H}$) がイオン化 ($-\text{SO}_3^-$) して親水性を示す。イオン化した分子が集合してポリマ中にクラスタが生成し、このクラスタを通過してプロトンが伝導していく。したがって、この電解質膜のイオン伝導を維持するためには水分量を高く保つことが必須である。そのため、PEFC に供給されるガスは加湿されている。また、この電解質膜は強い酸性を示すので、セパレータは pH 2~3 の硫酸腐食環境に曝されるといわれている。このような環境で金属が腐食され電解質膜へ金属が溶出すると電解質膜は加速的に劣化するとされている。それを模擬して実験試料 ($\phi 20 \text{ mm} \times t 2 \text{ mm}$) を電解質膜と接触させて、353 K の蒸留水中に $1.8 \times 10^6 \text{ s}$ 保持した。電解質膜を硝酸溶液中に浸漬することで金属イオンを抽出し、その量をプラズマ発光分光法 (ICP) で分析した。電解質膜中に溶出した金属量で耐食性を評価した。

2.5 導電性評価方法

PEFC ではセパレータはカーボンペーパーと接触する構造となるのでそれを模擬して、実験試料 ($\phi 20 \text{ mm} \times t 2 \text{ mm}$) とカーボンペーパーとの接触抵抗を Fig. 2 に示す 4 端子法によって測定した。Solatron instruments 製 1280B ELEC-TROCHEMICAL MEASUREMENT UNIT を用いて印加する電流密度を -10 kA/m^2 から $+10 \text{ kA/m}^2$ の範囲で変化させ、測定電圧と電流密度の勾配から電気抵抗を求めた。尚、押し付け圧力は 1 MPa とした。

2.6 発電特性評価

燃料電池は、セルの内部抵抗によって、運転時に電圧降下が起こる。内部抵抗は、1)セパレータやカーボンペーパー、電解質膜/電極積層体などの導電性やそれらの接触に由来するオーミック抵抗、2)酸素極側および水素極側での

Table 1 Chemical composition of stainless steels for test specimen in mass%.

Specimen	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N
SUS304	0.04	0.38	1.29	0.027	0.002	8.17	18.38	—	—
SUS316L	0.01	0.36	0.95	0.021	0.001	12.26	16.77	2.82	—
SUS329J4L	0.01	0.37	0.50	0.024	0.001	7.14	25.18	3.17	0.21

Fig. 1 Schematic drawing of the electron cyclotron resonance (ECR) plasma sputtering apparatus used for coating amorphous carbon.

Fig. 2 Schematic drawing of system used for contact resistivity measurement.

電気化学反応に由来する反応抵抗, 3) 電極表面での酸素や水素, 水などの物質移動に由来する拡散抵抗, などの成分に分離することができる. 高電流密度での燃料電池運転のためには, この内部抵抗の低減が重要となっているが, セパレータの違いは, 主に 1) のオーミック抵抗に影響すると思われる.

燃料電池は電気化学反応によって発電を行っているので, その特性を調べるには出力される電圧と電流を測定する必要がある. そこで, 負荷電流を変化させながら負荷電流とセル電圧の関係を測定し, 電流-電圧特性を得た.

発電試験は, 電極面積が $5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ のセパレータを組み込んだ単セルを用いて行い, 発電に際してセル温度を 343 K, 水素および空気の加湿温度を 333 K とした. ガス流量は水素 50 mL/min, 空気 200 mL/min とした. また, 電池の耐久性を評価するために, 電流密度 5 kA/m^2 でセル電圧の時間経過を測定した.

発電特性の向上および劣化の要因分析にあたっては, 前述のオーミック抵抗および反応抵抗などを損失要素に分け定量的に評価する必要がある. この損失を等価的にインピーダンスに置き換えて測定することで, 電池内部の損失を解析することができる. インピーダンス法はセルに非常に微小な交流信号を印加し, 電圧/電流の応答信号からセルのインピーダンスを測定する電気化学測定手法である. 内部インピーダンスは簡易的に書くと Fig. 3(a) で示す等価回路のように表すことができる. 大まかに, オーミック抵抗 R_{ohm} と, 電気二重層容量 C_d に並列に存在する反応抵抗 R_c とに大別することができる. Fig. 3(b) は Fig. 3(a) の回路のコールコールプロットの模式図である. この場合, コールコールプロットは 1 つの半円となる. 印加する周波数が高い時には, 電気二重層容量 C_d で電流がバイパスされるため, オーミック抵抗 R_{ohm} のみが測定できる (Cole-Cole Plot 図の半円の左端). 印加する交流電流の周波数が十分低い時には, 電気二重層容量 C_d に電流が流れないため, オーミック抵抗 R_{ohm} と反応抵抗 R_c の加算した抵抗値が現れる (Cole-Cole Plot 図の半円の右端).

Fig. 3 Measurement of impedance: (a) Typical equivalent circuit of fuel cell, (b) Schematic drawing of Cole-Cole plot.

単セルの発電中のインピーダンスは Solatron instruments 製 1280B ELECTROCHEMICAL MEASUREMENT UNIT を用いて測定した.

3. 結果および考察

3.1 実験試料の表面分析

Fig. 4 に GD-OES による炭素を被覆していないステンレス表面からの深さ方向の元素分布分析結果を示す. (a) が SUS304, (b) が SUS316L, (c) が SUS329J4L である. ステンレス表面は酸化皮膜で覆われており, その酸化皮膜は最外層が Fe を主とした Fe-Cr 酸化物, その内部が Cr を主とした Fe-Cr 酸化物である. Fig. 5 に Fig. 4 の Cr 濃度分布を比較したものを示す. SUS329J4L の Cr 濃度が一番高い. SUS304 と SUS316L の差は僅かであるが, SUS316L の酸化皮膜中の Cr 濃度は SUS304 の酸化皮膜中の Cr 濃度より高い. また, 酸化皮膜の厚さは 2 nm 程度である. その酸化皮膜の厚さを比較すると SUS316L が一番薄く, それに比べて SUS304 および SUS329J4L は同程度に僅かに厚い.

Fig. 6 に GD-OES による炭素を被覆したステンレスの炭素膜表面からの深さ方向の元素分布分析結果を示す. (a) が SUS304, (b) が SUS316L, (c) が SUS329J4L である. 炭素膜はステンレス上に一様に成膜されており, 炭素膜の厚さは 60 nm 程度である.

Table 2 にバルク組成について ICP 分析結果および GD-OES 分析結果を示す. ICP 分析結果と GD-OES 分析結果はほぼ一致していると考えられる.

Fig. 7 に SUS316L 上に成膜した炭素膜の SEM 像を示す. 炭素膜は緻密かつ平滑である.

3.2 耐食性評価

電解質膜中に溶出した金属量を ICP で分析した結果を Table 3 に示す. 電解質膜への溶出金属量は Fe が最も多く, 炭素を被覆していない場合, SUS304 で 850 ppm,

Fig. 4 GD-OES depth profiles on the stainless substrate without carbon coating: (a) SUS304, (b) SUS316L, (c) SUS329J4L.

SUS316L で 1500 ppm, SUS329J4L で 320 ppm であった。これに対し、炭素を被覆すると Fe 溶出量は減少し SUS304 で 230 ppm, SUS316L で 100 ppm, SUS329J4L で 45 ppm であった。また、Cr, Ni および Mo についても

Fig. 5 GD-OES depth profiles of Cr on the stainless substrate without carbon coating.

炭素を被覆することにより、その溶出量は減少した。このように炭素を被覆することにより耐食性が向上した。

電解質膜への溶出金属量は SUS329J4L が一番少ない。これは SUS329J4L では耐食性に優れた緻密な Cr リッチな酸化皮膜がステンレス表面を覆っているためであると考えられる。

炭素を被覆しない場合、電解質膜への溶出金属量は、SUS304 では Fe: 850 ppm, Cr: 38 ppm, Ni: 44 ppm であるのに対し SUS316L では Fe: 1500 ppm, Cr: 150 ppm, Ni: 200 ppm であり、SUS304 に比べて SUS316L の方が多いことが分かった。この理由としては、1) モリブデン添加は全面腐食に対しては必ずしも有効とは言えないこと⁵⁾、2) 不動態皮膜の厚さは SUS316L より SUS304 の方が厚いこと⁶⁾、3) クロム濃度が SUS304 に比べて SUS316L の方が少ないのでモリブデンを含有していても耐食性が劣る場合があること⁷⁾、などが考えられる。

3.3 導電性評価

Table 4 に 4 端子法によるステンレス試料とカーボンペーパーの接触抵抗測定結果を示す。炭素を被覆しない場合の接触抵抗は SUS304 で $103 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$, SUS316L で $177 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$, SUS329J4L で $194 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$ であった。これに対し、炭素を被覆すると接触抵抗は $2 \sim 5 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$ となった。炭素を被覆することにより、ステンレスとカーボンペーパーの接触抵抗は 2 桁減少した。

3.4 発電試験

3.4.1 I-V 特性

著者らは、既に市販ステンレス製セパレータを用いた単セルとカーボンセパレータを用いた単セルの I-V 特性を報告している⁴⁾が、本研究においてはセパレータのガス流路の断面形状を幅と深さの比を 0.7 : 1 から 1 : 1 に見直すと共に SUS329J1 よりさらに耐食性に優れた SUS329J4L を取り上

Fig. 6 GD-OES depth profiles on the stainless substrate with carbon coating: (a) SUS304, (b) SUS316L, (c) SUS329J4L.

げて電池発電試験を行った。

Fig. 8 にガス流路の断面形状を見直す前後のカーボンセパレータを用いた単セルの I-V 特性を示す。ガス流路の断面形状を見直すことにより I-V 特性が良くなった。

Table 2 Chemical composition by ICP and GD-OES of stainless steels for test specimen in mass%.				
Specimen	Analysis method	Ni	Cr	Mo
SUS304	ICP	8.17	18.38	—
	GD-OES without carbon coating	10.33	17.24	—
	GD-OES with carbon coating	8.42	19.62	—
SUS316L	ICP	12.26	16.77	2.82
	GD-OES without carbon coating	14.89	18.37	1.81
	GD-OES with carbon coating	12.31	17.96	2.18
SUS329J4L	ICP	7.14	25.18	3.17
	GD-OES without carbon coating	7.06	23.78	2.59
	GD-OES with carbon coating	6.72	23.77	3.16

Fig. 7 SEM observation of an amorphous carbon film on a SUS316L substrate.

Table 3 Metal contents in ppm in membrane after immersion test in distilled water in air at 353 K for 1800 ks.					
Specimen		Fe	Cr	Ni	Mo
SUS304	without carbon coating	850	38	44	—
	with carbon coating	230	3.6	35	—
SUS316L	without carbon coating	1500	150	200	1.8
	with carbon coating	100	2.8	30	0.009
SUS329J4L	without carbon coating	320	14	24	0.051
	with carbon coating	45	1.3	9.0	0.008

Fig. 9(a) に炭素を被覆していない市販ステンレス製セパレータを用いた単セルとカーボンセパレータを用いた単セルの I-V 特性を示す。後者の I-V 特性に比べて前者の I-V 特性は著しく悪い。また、前者の中では SUS304 セパレータを用いた単セルの I-V 特性が一番良く、それに比べて SUS316L および SUS329J4L セパレータを用いた単セルの I-V 特性は同じように悪い。Table 4 に示した電流密度が 4 kA/m² におけるセル電圧を比較すると、SUS304: 0.631 V, SUS316L: 0.577 V, SUS329J4L: 0.582 V である。4 端子法

Table 4 Summary of resistivity and cell voltage.

Specimen		Resistivity ($\text{m}\Omega \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$)				Cell voltage (V) at 4 kA/m ²
		with four-point probe	with impedance meter at 4 kA/m ²			
			R_{ohm}	R_{c}	$R_{\text{ohm}} + R_{\text{c}}$	
SUS304	without carbon coating	103	210	525	735	0.631
	with carbon coating	2	99	566	665	0.695
SUS316L	without carbon coating	177	315	535	850	0.577
	with carbon coating	5	83	447	530	0.711
SUS329J4L	without carbon coating	194	355	495	850	0.582
	with carbon coating	2	94	486	580	0.706
Carbon	—	—	90	420	510	0.728

Fig. 8 Polarization performances of PEFC single cells using the carbon separator.

による接触抵抗を比較すると SUS304: $103 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$, SUS316L: $177 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$, SUS329J4L: $194 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$ である. セル電圧を高い方から並べると $\text{SUS304} > \text{SUS329J4L} \approx \text{SUS316L}$ となり, 接触抵抗を小さい方から並べると $\text{SUS304} < \text{SUS316L} \approx \text{SUS329J4L}$ となる. 接触抵抗の小さい方がセル電圧が高くなる傾向にある.

Fig. 9(b)には, 炭素を被覆した市販ステンレス製セパレータを用いた単セルとカーボンセパレータを用いた単セルの I-V 特性を示す. 炭素を被覆しなかった場合に比べて I-V 特性は大幅に改善し, 炭素を被覆した市販ステンレス製セパレータを用いた単セルの I-V 特性はカーボンセパレータを用いた単セルの I-V 特性と同等になった. Table 4 に示すように炭素を被覆しない場合の接触抵抗は SUS304 で $103 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$, SUS316L で $177 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$, SUS329J4L で $194 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$ であった. これに対し, 炭素を被覆すると接触抵抗は $2 \sim 5 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$ となった. このことから電気抵抗の高い酸化皮膜が存在しても炭素を被覆することによって電気が流れるようになったためカーボンセパレータと同等の I-V 特性を示したと考えられる.

3.4.2 インピーダンス測定

Fig. 10 に炭素を被覆していないステンレス製セパレータ

Fig. 9 Polarization performances of PEFC single cells using the stainless separators (a) without the carbon coating, (b) with the carbon coating, compared with the conventional carbon separator.

を用いた単セルの Cole-Cole plot を, また, Table 4 にインピーダンス測定結果を示す. SUS304 においては R_{ohm} : $210 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$, R_c : $525 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$, SUS316L においては R_{ohm} : $315 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$, R_c : $535 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$, SUS329J4L においては R_{ohm} : $355 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$, R_c : $495 \times$

Fig. 10 Cole-Cole plots during operation at 4 kA/m^2 for PEFC single cells using the stainless separators without the carbon coating.

Fig. 11 Cole-Cole plots during operation at 4 kA/m^2 for PEFC single cells using the stainless separators: (a) SUS304, (b) SUS316L, (c) SUS329J4L with and without the carbon coating, compared with the conventional carbon separator.

$10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$ である。反応抵抗(R_c)の差に比べてオーミック抵抗(R_{ohm})の差が明らかに大きい。オーミック抵抗の差がI-V特性の差の原因である。

Fig. 11に炭素を被覆したステンレス製セパレータを用いた単セルの特性を炭素を被覆していないステンレス製セパレータの特性およびカーボンセパレータを用いた単セルの特性と比較したCole-Cole plotを示す。(a)がSUS304, (b)がSUS316L, (c)がSUS329J4Lの場合である。Table 4に示したオーミック抵抗(R_{ohm})について炭素を被覆しない場合と被覆した場合とを比較すると、SUS304では 210×10^{-4}

Fig. 12 Durability of PEFC single cell using the SUS316L separator with the carbon coating, compared with the conventional carbon separator.

$\text{m}\Omega \cdot \text{m}^2$ が $99 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$ に、SUS316Lでは $315 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$ が $83 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$ に、SUS329J4Lでは $355 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$ が $94 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$ に減少した。一方、反応抵抗(R_c)について炭素を被覆しない場合と被覆した場合とを比較すると、SUS304では $525 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$ と $566 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$ 、SUS316Lでは $535 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$ と $447 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$ 、SUS329J4Lでは $495 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$ と $486 \times 10^{-4} \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^2$ であり、反応抵抗(R_c)はあまり変化していない。このように、いずれのステンレスにおいても炭素を被覆することによりオーミック抵抗が著しく減少するのでI-V特性が著しく改善された。

3.4.3 連続発電試験結果

炭素を被覆したSUS316Lセパレータを用いた単セルの一定負荷(5 kA/m^2)における連続発電試験結果をFig. 12に示す。炭素を被覆したSUS316Lセパレータを用いた単セルはカーボンセパレータを用いた単セルと同等のセル電圧推移を示す。

4. 結 言

市販ステンレスおよび炭素を被覆した市販ステンレスを用い、導電性評価、耐食性評価および単セルの発電試験を行った結果、炭素を被覆した市販ステンレスを用いた単セルはカーボンを用いた単セルと同等のI-V特性を示した。

本研究結果のまとめを以下に示す。

(1) 炭素を被覆することにより、ステンレスとカーボンペーパーの接触抵抗は2桁減少した。

(2) 炭素を被覆することにより耐食性は著しく向上した。

(3) SUS316LおよびSUS329J4Lに炭素を被覆した金属セパレータを用いた単セルは、現状使用されているカーボンセパレータを用いた単セルと同等のI-V特性を示した。

(4) 金属セパレータの選定にあたっては、耐食性を十分に吟味することが重要である。

文 献

- 1) Z. Ogumi: JSMS Committee on Corrosion and Protection **46**(2007) 1-7.
- 2) Y. Tarutani: JSMS Committee on Corrosion and Protection **46**(2007) 20-27.
- 3) H. Yamaguchi, K. Yamaga and K. Takahashi: The 45th Battery Symposium in Japan (2004) 104-105.
- 4) M. Ueda, M. Hashimoto, Y. Mori, S. Tanase, Y. Aoi, M. Iwasa and T. Sakai: KURIMOTO TECHNICAL REPORT **55**(2006) 2-6.
- 5) S. Ogura, K. Sugimoto and Y. Sawada: Corros. Sci. **16**(1976) 323-337.
- 6) K. Varga, P. Baradlai, W. O. Bernard, G. Myburg, P. Halmos and J. H. Potgieter: Electrochim. Acta. **42**(1997) 25-35.
- 7) K. Sugimoto and Y. Sawada: Corros. Sci. **17**(1977) 425-445.