

研究論文

静電噴霧を用いた固体酸化物型燃料電池の薄膜電解質製作 Fabrication of Thin Electrolyte for Solid Oxide Fuel Cell by Electrostatic Spray Deposition

吉本 篤史, 野村 浩司, 氏家 康成
(Atsushi YOSHIMOTO) (Hiroshi NOMURA) (Yasushige UJIIE)
日本大学 日本大学 日本大学
(Nihon Univ.) (Nihon Univ.) (Nihon Univ.)

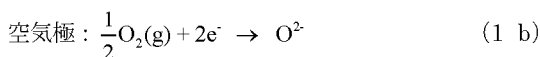
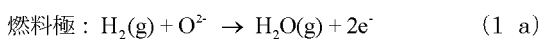
Reducing electrolyte thickness is a prospective and promising way to reduce the cell internal IR drop. Electrostatic spray deposition (ESD) was applied to fabricate a thin electrolyte layer of anode-supported Solid Oxide Fuel Cell (SOFC). Colloidal solution of 8 mol% yttria-stabilized zirconia (YSZ) in ethanol was sprayed on an anode surface at 250-300 °C by ESD. After sintering the electrolyte layer at 1300 °C for 2 hours, the cathode was coated on the electrolyte by sedimentation method, and then sintered. Performance tests of a cell were carried out to evaluate the electrolyte formed by ESD. Air and 97mol% H₂ / 3mol% H₂O were employed as oxidizer and fuel, respectively. YSZ electrolyte layer of 4 μm thickness was successfully deposited by ESD. Open Circuit Voltage (OCV) was close to the theoretical value. Thus, gas-tightness and electric isolation of the electrolyte were supposed to be sufficient. Maximum power density of the best cell at 800 °C was 0.38 W/cm² at 0.54 V. The electrolyte impedance was about 0.402 Ω/cm².

Keywords: Electrostatic Spray Deposition, Solid Oxide Fuel Cell, Thin Electrolyte, Colloidal Solution

1. はじめに

我々が利用する電力は、その多くが火力発電と原子力発電によって得られている。火力発電においては、温室効果ガスの排出削減や化石燃料の枯渇対策などが急務の課題となっている。原子力発電には、安全性に対する不安の払拭や核廃棄物の処理の問題が依然として残っている。これらの発電に関する諸問題を背景として、燃料電池が注目されている。燃料電池は、燃焼機関を用いた火力発電と比べ、燃料の化学的エネルギーを直接電力に変換するため、変換ロスが少なく、高効率である利点があり、温室効果ガス排出の抜本的解決にはならないが、低減には寄与すると考えられている。また、燃料電池は発電システムの小型化が容易であり、エネルギー密度の向上がなかなか進まない二次電池の代わりに自動車やポータブル電化製品に使用することも検討されている。

燃料電池は、用途、使用燃料および作動温度などで分類される。一般的な分類方法である電解質の種類で分類を行うと 5 種類に分類できる。本研究では、最も高温で作動する固体酸化物型燃料電池 (Solid Oxide Fuel Cell : SOFC) に着目した。SOFC の発電原理を図 1 に示す。SOFC は電解質薄膜、多孔質の燃料極および多孔質の空気極から構成される。燃料極側に水素、空気極側に酸素を供給することで燃料極、空気極において以下の式の化学反応が起こる。



ここで、g は気相を表す。空気極で発生した酸素イオンが電解質内を通過して燃料極側へ移動することで電子の授受が行われ、発電をする。

原稿受付：2008 年 4 月 24 日

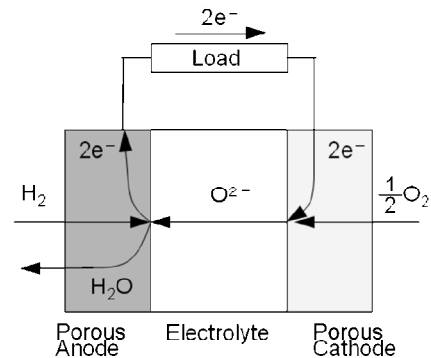


Fig.1 Principle of electric power generation of SOFC.

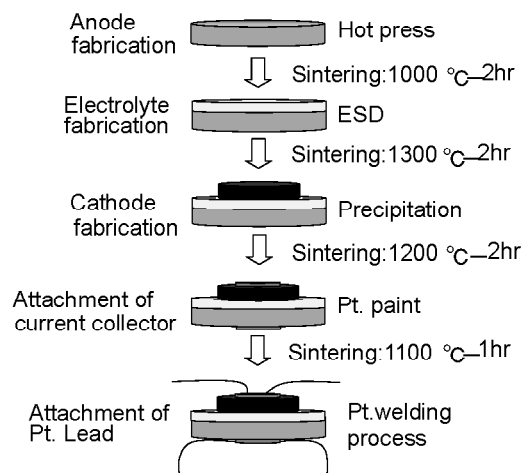


Fig.2 Fabrication process of anode-supported SOFC.

SOFCは、燃料電池の中で最も作動温度が高いため、種々の利点を有する。一方で、作動温度が高いために構造材に、脆くて壊れやすく高価なセラミックスを用いなければならないという欠点がある。そのため、現在より低温域でSOFCを運転することが、実用化には有効だと考えられている⁽¹⁾。しかしながら、低温域では電解質の材料であるイットリア安定化ジルコニア(Yttria Stabilized Zirconia: YSZ)のイオン伝導率が減少するため、SOFCの性能は低下する。SOFCの性能低下を防ぐ対策として、電解質の薄膜化が挙げられる。薄膜製作について種々の製作方法の研究がなされている^{(1)~(6)}。本研究では、薄膜電解質を製作する方法として静電噴霧堆積法(Electrostatic Spray Deposition: ESD)に着目した。ESDは、液体に電圧を印加することで、均一な微粒子を噴霧する方法である。ESDは工業的に様々な分野で応用されているが、SOFCの薄膜電解質の製作法としての研究はほとんど行われていない。本研究では、電解質の原材料として、YSZ微粒子をエタノール溶媒中でコロイド化させた溶液を使用し、ESDによって多孔質燃料電極上に均一に噴霧、堆積させることを試みた。

2. SOFCの製作

2.1 SOFCの製作方法

平板型SOFCは、構造によって燃料極支持型、空気極支持型および電解質支持型の3種類に分類することができる。本研究で製作するSOFCは燃料極支持型燃料電池とした。図2に燃料電池の製作工程を示す。燃料極支持型SOFCは基板となる燃料極を製作した後、燃料極基板上に電解質、空気極を製作し、燃料極、空気極表面にそれぞれカーレントコレクタを設置して完成となる。

2.2 燃料極基板の製作

燃料極基板の製作はホットプレスによって行う。材料となるYSZ、酸化ニッケル(NiO)およびバインダーとなるポリエチレングリコール(PEG)を三角フラスコ内で21時間湿式ボールミル粉碎を行う。ボールミル粉碎が完了した材料を蒸発皿でホットプレートにより完全に乾燥させた後、すり鉢ですり潰して粉末状にする。小麦粉を用いて製作した中子をダイに入れ、材料粉末を投入した後、ホットプレスによって直径25mmの円板形に成型し、それを1000℃で2時間、仮焼結させて燃料極基板は完成となる。中子は円錐台状に穴を開けた型に小麦粉を入れ、エタノールを用いて成形した後、乾燥させたものを使用した。焼結終了時には中子は焼失しているため、基板形状は中心部分が薄く、周りは厚い形状に成型されている。燃料極基板および中子の形状を図3に示す。

2.3 ESD実験装置および実験方法

薄膜電解質の製作に用いるESD装置概略を図4に示す。装置は、遠赤外線ヒータ、シリンジポンプ、ノズル、カラー、昇圧器および高電圧電源から構成される。高電圧電源によってノズル-基板間に電圧を印加することで、シリンジポンプにより押し出されたコロイド溶液が霧化され、カラーによって調整された静電場に沿って移動する機構になっている。基板は赤外線ヒータにより基板裏面から加熱されており、噴霧されたコロイド溶液中のエタノールが基板表面近傍の大気中に形成される温度境界層内で気化し、残ったYSZ粒子のみが基板上に堆積する。

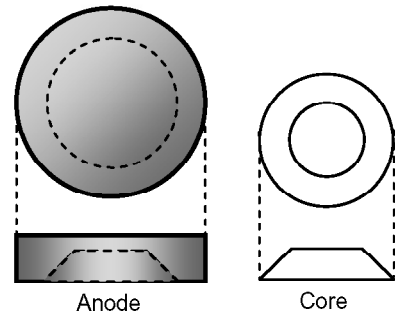


Fig.3 Fabrication of anode with flour chaplet.

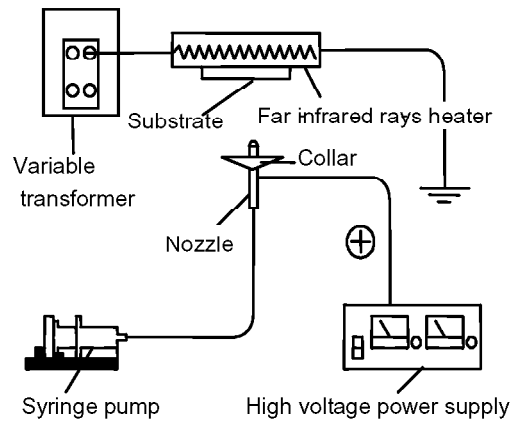


Fig.4 Schematic diagram of ESD apparatus.

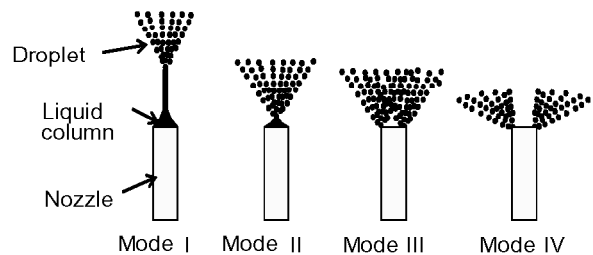


Fig.5 Spray modes.



Fig.6 Electrostatic spray of YSZ colloidal solution in Mode III.

Table.1 Effects of operation parameters on spray mode.

Parameter	$c \nearrow$	$h \nearrow$	$v \nearrow$	$i \nearrow$
Change in spray type	Mode I to Mode IV	Mode IV to Mode I	Mode I to Mode IV	Mode IV to Mode I

赤外線ヒータへの供給電力を可変昇圧器により変化させることで、基板を目的の温度に保った。供給電圧と基板表面温度の関係は、熱電対を基板のYSZ堆積面に貼り付け、堆積実験に先立って測定した。そのため、堆積実験中の基板表面温度は、本論文に記述されている温度より低くなっている。ただし、基板に噴霧するコロイド溶液の体積流速が非常に小さいため、その差は小さいと考えている。

噴霧形態を図5に、ESDの作動パラメータであるコロイド溶液の濃度 c 、ノズル-基板間隔 h 、印加電圧 V 、コロイド溶液の供給流量 l の増大が噴霧形態に及ぼす影響を表1に示す^{⑥-⑧}。ノズルに印加する電圧およびコロイド溶液の濃度の増加に伴い、噴霧形態は Mode I から Mode IV へと変化する。また、ノズル-基板間隔およびコロイド溶液の供給流量を増大させた場合は噴霧形態が Mode IV から Mode I へと変化する。Mode IV は堆積層の厚みが不均一となるため、ESDに使用できない。電圧を大きくすることで液滴に加わるクーロン力が増大することと、噴霧の時間的安定性から、本研究では Mode III の噴霧形態を ESD に採用した。ノズルは内径が 0.65 mm のものを使用し、ノズル-基板間隔は 40 mm、コロイド溶液流量は 3.0 ml/hr とした。高電圧電源の電圧は噴霧形態が Mode III を保つように 15.0 ~ 17.0 kV の間で調節した。モード III の噴霧のレーザーシート画像を図6に示す。ノズル先端部から上に向かって均一に噴霧されているのがわかる。

2.4 YSZ コロイド溶液の製作方法

ESD に使用するコロイド溶液は YSZ ボールを用いた湿式ボールミルにより製作する。容量 100 ml の三角フラスコに YSZ ボールおよび攪拌子を入れ、YSZ 粉末 0.5 g、エタノール 60 ml の条件で、スターラによって YSZ 粉末を攪拌・粉砕した。スターラの回転速度は 3000 rpm とした。YSZ 粉末を三角フラスコ内で攪拌・粉砕した後、溶液を静置して大きな粒子を沈殿させる。うわずみ液を 0.8 μm のフィルタによりフィルタリングし、ホットプレートで加熱して 4 倍に濃縮させた溶液を ESD に使用した。電解質材料である YSZ には、粒子平均直径が 40 nm の 8 mol%YSZ(東ソー株式会社製、TZ-8Y)を用いた。YSZ 粒子は凝集しており、その凝集塊を粉砕するため、YSZ ボールによるボールミルを行っている。従来は直径 3 mm の YSZ ボールによるボールミル粉砕を行っていた。更なる微粒化を目的とし、2 種類の直径の YSZ ボールによるボールミル粉砕を試みた。

2.4.1 粉砕ボールの配合割合を変化させてのボールミル粉砕 直径が 3 mm および 1 mm の 2 種類の YSZ ボールを同じ三角フラスコに入れ、エタノールを溶媒とする湿式ボールミルを行った。ボールの総重量を 100 g とし、攪拌時間は 24 時間とした。3 mm ボールおよび 1 mm ボールの配合割合を変化させた場合の YSZ 凝集塊の粉砕結果を図7に示す。3 mm ボールおよび 1 mm ボールのみを使用した場合に比べ、3 mm ボールと 1 mm ボールを混合したボールミルの方が、ボールミル後の YSZ 粒子径が小さくなっており、1 μm 以下の YSZ 粒子体積割合が増大しているのがわかる。

2.4.2 粉砕時間配分を変化させてのボールミル粉砕 3 mm ボールによるボールミルの後、1 mm ボールによるボールミルを行った。ボールの量は 3 mm、1 mm とともに 100 g とし、ボールミルの全攪拌時間は 24 時間とした。図8に粉砕結果を示す。3 mm ボールまたは 1 mm ボールのみを使用した場合に

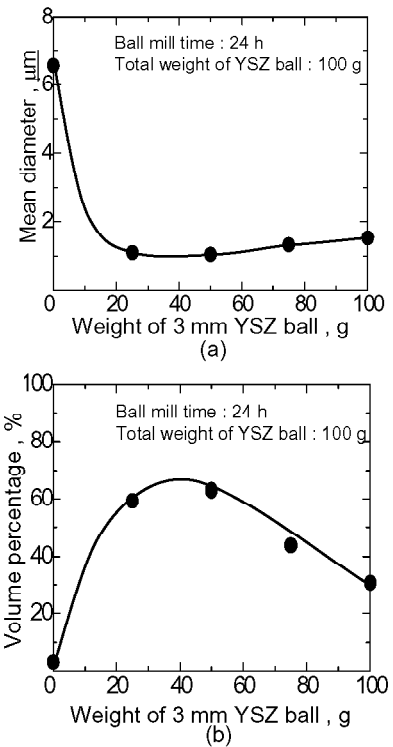


Fig.7 Effect of ball diameter on ball mill of YSZ particles when total weight of balls of 1 and 3 mm in diameter is fixed at 100 g. (a) Mean diameter of ball-milled YSZ particles (b) volume fraction of particles ball-milled below 1 μm in diameter

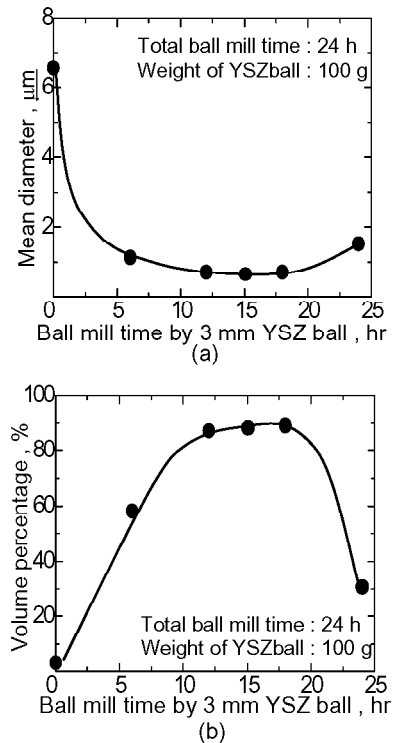


Fig.8 Effect of ball-mill-time combination of different size YSZ balls of 1 and 3 mm in diameter when total ball mill time is fixed at 24 hr. (a) Mean diameter of ball-milled particles, (b) volume fraction of particles ball-milled below 1 μm in diameter

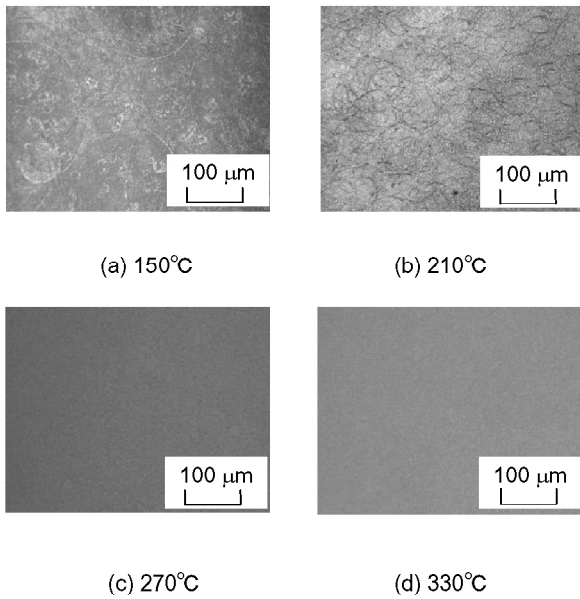


Fig.9 YSZ deposition layer on slide glass.

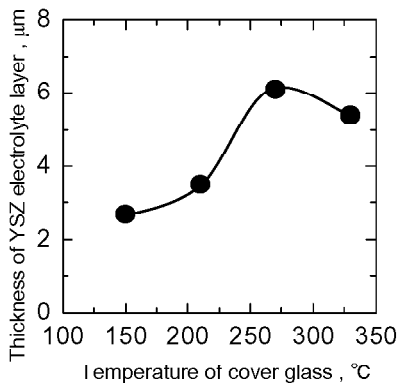


Fig.10 Relationship between temperature and thickness of YSZ layer.

比べ、3 mm ボールと 1 mm ボールでボールミルを行った方がボールミル後の YSZ 粒子径が小さくなっており、1 μm 以下の YSZ 粒子の体積割合が増大した。

2.4.3 YSZ コロイド溶液製作方法の検討結果 以上の結果から、3 mm ボールと 1 mm ボールを混合してのボールミルより、3 mm ボールでの攪拌と 1 mm ボールでの攪拌を分けて行う方が、より YSZ の微粒化に適していることがわかった。コロイド溶液の製作には、3 mm ボールを 18 時間、1 mm ボールを 6 時間使用してボールミル粉砕を行う方法を採用した。

2.5 ESD 実験の結果

YSZ 堆積層の観察を容易にするために燃料極基板の代わりにカバーガラスを基板として ESD 装置に設置し、基板温度を変化させて YSZ の堆積状況を調べた。堆積層表面を顕微鏡で観察した結果を図 9 に、堆積層の厚みを計測した結果を図 10 に示す。図 9 (a)では堆積層表面に液滴が衝突してできた模様を観

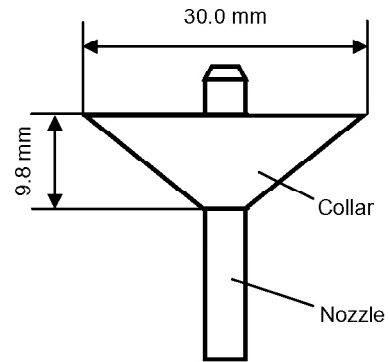


Fig.11 Schematic diagram of Nozzle with collar.

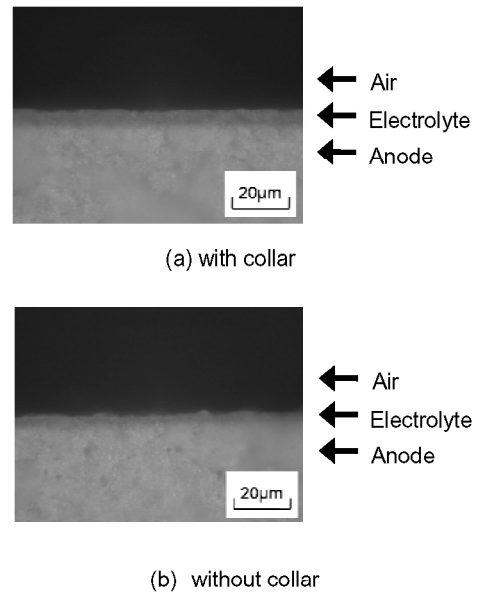


Fig.12 Cross section of YSZ deposition before sintering.

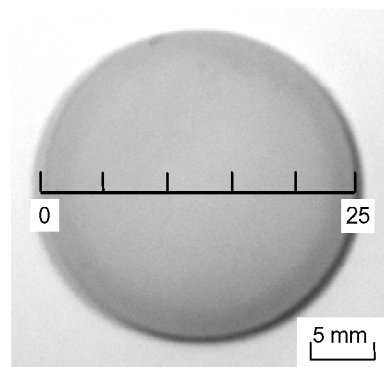


Fig.13 SOFC after ESD.

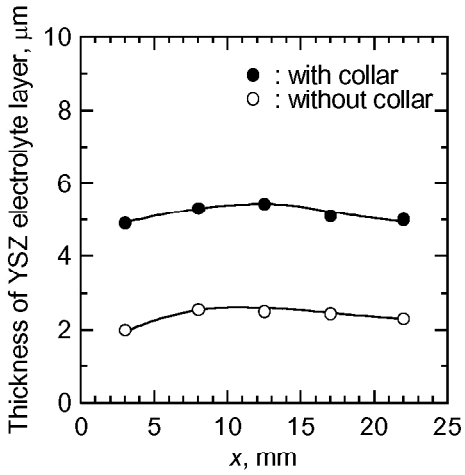


Fig.14 Thickness of YSZ electrolyte layer on anode.

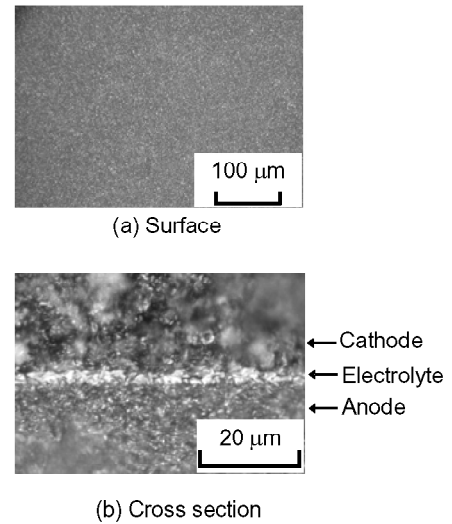


Fig.15 YSZ layer after sintering.

察された。これは基板の温度が低いため、YSZ 微粒子を含む液滴が YSZ 堆積層に到達するまでに気化を完了せず、YSZ 堆積層に当たって作られた模様と考えられる。(b)では(a)に比べて模様的大小が小さくなっている。これは基板温度の上昇に伴って基板表面近傍の大気に形成される温度境界層内の温度が上昇し、YSZ 堆積層に衝突する液滴が小さくなったためと考えられる。(c)および(d)では液滴が YSZ 堆積層到達前に気化しているため、模様がなくなっている。図 10 より、150 °C から 270 °C までは、基板温度の上昇とともに YSZ の堆積層の厚みが増大し、270 °C 以上で減少していることがわかる。これは、基板温度の上昇により液滴が YSZ 堆積層から遠い温度境界層内で消滅し、帯電されていない YSZ 粒子だけになってしまったため、堆積層への衝突速度が減少し、堆積層への付着力が低下したことが原因であると考えられる。この結果から ESD を行う際には、基板温度を 270°C に保つことにした。

薄膜電解質の製作を成功させるためには、厚さの均一な YSZ の堆積層を得ることが重要である。そのためにはノズル-基板間隔を広くし、印加電圧を適度に大きくしたほうがよいが、基板単位面積当たりの YSZ 堆積量は減少してしまう。その対策として、ノズル先端にカラーを設けることで、ノズル-基板間の電場を制御することを試みた。カラーの概略を図 11 に示す。カラーは厚さ 2 mm のアルミ板を加工し、最大外径 30.0 mm、高さ 9.8 mm の円錐台形とした。ノズル-基板間隔を 40 mm、コロイド溶液の流量を 5.0 ml/hr として 4 時間、燃料極基板上へ噴霧した。ノズルへの印加電圧は、噴霧形態を Mode III に保つように調整し、カラーを用いない場合は約 6 kV、カラーを用いる場合は約 16 kV とした。カラー無しの場合の方が、噴霧形態が Mode III になる印可電圧が低いのは、ノズル先端付近の電場が集中的に大きくなり、液体表面に働く静電気力および液滴間に働く斥力が大きくなったためと考えられる。カラーの有無による YSZ 堆積層断面の違いを観察した結果を図 12 に、カラーを用いて ESD を行った基板表面画像を図 13 に示す。また、カラーが有る場合と無い場合の YSZ 堆積層の直径方向(図 13 参照)厚み分布の測定結果を図 14 に示す。図 12 および 14 より、カラーを使用したほうが YSZ 堆積層の厚みが増大していることがわかる。これは、ノズル付近の電荷を帯びた液滴に働く水平方向外向きの電気力がカラーによって弱まり、噴霧角が小さくなったからと考えられる。カラーを用いなかった場合は、

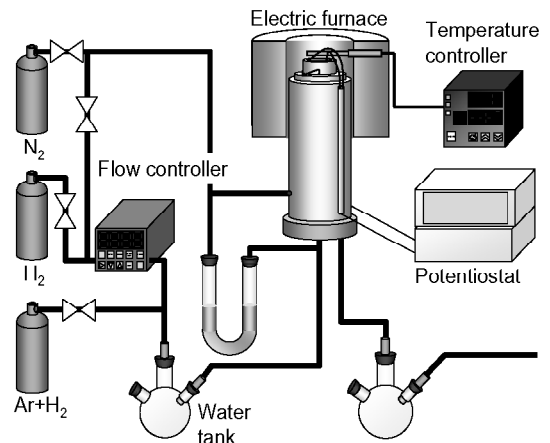


Fig.16 Performance test stand of SOFC.

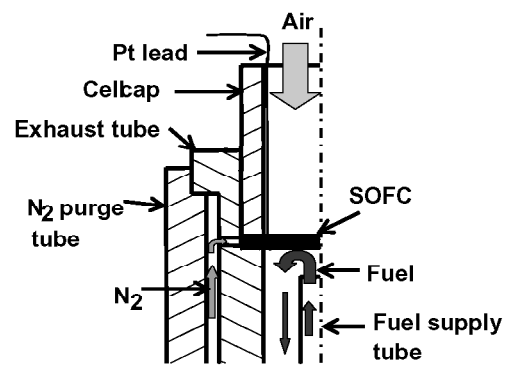


Fig.17 Details of the performance test apparatus around the Fuel Cell recess.

基板の外周にまで YSZ 粒子の堆積が見られたが、カラーを用いた場合、基板外の YSZ 堆積はほとんど見られなかった。カラーによって噴霧角を減少させたことで、ノズル-基板間印可電圧を大きくしたにもかかわらず YSZ の基板上堆積量が増大し、堆積層が厚くなったと考えられる。カラーの有無に関わらず、若干中心付近が厚くなっているが、カラー無しの場合、堆積領域の比較的厚みが均一な中央部分だけが基板上に堆積しているのに対し、カラー有りの場合はほぼ堆積領域全体が基板上に堆積しているため、堆積層厚みの均一性の観点からもカラーを用いることの優位性が確認されたと考えられる。以上の結果から、ESD 装置のノズルにカラーを設置することは、YSZ 堆積層の厚みを均一に保ったまま、基板単位面積当たりの YSZ 堆積量を大幅に向上させる効果があると考えられる。

2.6 YSZ 堆積層の焼結と検査結果

ESD で製作した YSZ 堆積層を 1300 °C で 1 時間焼結して得られた YSZ 電解質膜表面と断面を顕微鏡で観察した結果を図 15 に示す。(a)から欠損のない均一な電解質膜が製作できていることがわかる。また(b)より、4 μm 程度の緻密な YSZ 電解質膜ができていたことがわかった。ESD は噴霧するコロイドの量を調整することにより、膜厚の制御を容易に行うことができる。噴霧量を少なくすることで、より薄い電解質膜の製作が可能であると考えられる。

2.7 空気極の製作

空気極はゴム製の型を用いて、沈降法により堆積させる。電解質を焼結させた基板を二枚のゴム板で挟み、電解質側のゴムには 1 cm² の円孔をあけておく。そこに空気極材料である La_{0.8}Sr_{0.2}MnO₃ 50 wt% と YSZ 50 wt% の混合物を溶剤である n-ベンチルアルコールでゲル状にし、ゴム板の穴に入れ乾燥させる。乾燥したら 1200 °C で 1 時間焼結する。

3. SOFC の性能試験

3.1 試験装置および実験方法

燃料電池性能試験装置の概略を図 16 に示す。性能試験装置では、燃料に水素、燃料極還元用にアルゴン 90 vol% / 水素 10 vol% の混合ガス、シールと試験装置内のパージに窒素を使用する。性能試験装置は、流量計、U 字管、加湿器、大気逆流防止用水タンク、電気炉、燃料電池固定部、温度調節器、パーソナルコンピュータ、およびポテンショ/ガルバノスタットから構成される。燃料電池は、電気炉内に設置されたセラミックス製パイプ上部の SOFC 固定部に設置する。SOFC の上にパイプ状のセラミックス製セルキャップをのせて実験装置に SOFC を固定する。SOFC 固定部の詳細を図 17 に示す。セルキャップだけでは、燃料が空気極側に漏れる恐れがある。燃料が空気極側に漏れると、空気極表面で反応を起こし、SOFC の性能を低下させる。対策として、窒素パージシール機構を施した。ポテンショ/ガルバノスタットに繋がる白金線と燃料電池カーレントコレクタに繋がる白金線を銅製のクリップで接続する。SOFC 固定部を電気炉により加熱し、設定温度に到達した後、窒素パージシールを行いながらアルゴン水素燃料を供給して燃料極の還元を行う。還元が進行して SOFC の電圧が安定した後、燃料極に水素 97 vol% / 水蒸気 3 vol% の燃料を供給し、発電試験を開始する。

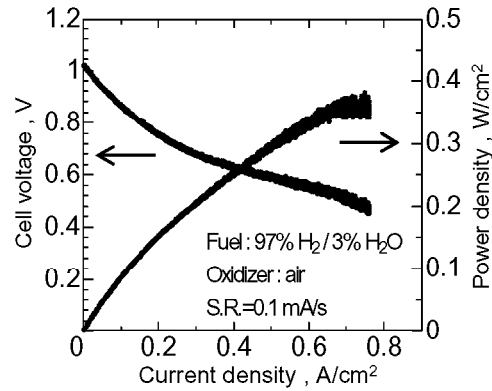


Fig.18 Cell performance at 800 °C.

3.2 性能試験結果と考察

電流値 0 の無負荷状態から 1 秒あたり 0.1 mA の割合で電流を増加させながら SOFC 電圧測定を行なった。電解質膜厚さ 4 μm (推定)、中子を使用して製作した中心部厚さが 0.5 mm の燃料極基板を使用した SOFC の、作動温度 800 °C における発電結果を図 18 に示す。開回路電圧(Open Circuit Voltage : OCV)は 1.02 V であった。電流密度が 0.7 A/cm² の時最大出力密度は最大となり、0.38 W/cm² を示した。電解質の単位面積あたりの抵抗は 0.402 Ωcm² であった。ここで、大量生産に適した電解質膜製法としてスクリーンプリント法を応用した Xiaodong Ge ら²⁰の研究報告を例にとり、本実験の結果の評価と考察を行う。Xiaodong Ge らの研究での OCV は作動温度 800 °C で 1.02 V であり、本研究での OCV と同じ値を示している。この値は作動温度 800 °C での理論 OCV の約 93 % の値になる。このことから、ESD によって水素の漏れがない電解質膜が製作できたと考えられる。Xiaodong Ge らの電解質材料も YSZ であり、電解質の膜厚は 31 μm である。SOFC の性能試験は作動温度 800 °C で行われ、電解質膜の単位面積あたりの抵抗は 0.25 Ωcm²、最大出力密度は 0.964 W/cm² であった。本研究で製作した電解質膜の単位面積あたりの抵抗は Xiaodong Ge らと比べて約 1/8 になっていることから、ESD は薄膜製法として優れていることがわかる。しかしながら、単位面積あたりの抵抗率と電解質膜厚さから算出した抵抗率と比較すると、Xiaodong Ge らの研究では約 80 Ωcm であるのに対して、本研究では 1005 Ωcm であり、約 12.5 倍であった。電解質に空孔などの欠陥が存在すると酸素イオン伝導の障害となる。本研究において、電解質膜の抵抗率が大きかった理由は、電解質の緻密性が低かったためと考えられる。このことから、電解質の緻密性を向上させることが求められる。対策として、ESD においてノズル-基板間印可電圧を上げることやノズル-基板間隔を狭めることにより、噴霧された液滴に掛かるクーロン力を増大させる方法などが考えられる。

4. おわりに

SOFC の YSZ 電解質の薄膜化を目的として、静電噴霧堆積法による電解質膜を製作し、その性能試験を行った。以下に得られた知見を列挙する。

- (1) YSZ電解質膜をESDにより製作したSOFCの性能試験を行った結果、OCVが理論値の約93%に達し、水素の漏れがない厚さ4 μm (推定) の電解質膜を製作できたことがわかった。このことより、YSZ電解質薄膜の製作方法としてESDが有効であると考えられる。
- (2) ESDにおいて基板温度は堆積状況に大きく影響し、温度の上昇とともに堆積量も増加するが、ある温度を超えると堆積量が低下することがわかった。
- (3) ESD装置のノズルにカラーを設置することで、均一性を損なうことなく基板単位面積当たりのYSZ堆積量を向上させることができることがわかった。

謝 辞

実験の実施および本論文の作成において、学部生の田丸悟君には多くの協力を得ました。ここに感謝の意を表します。

文 献

- (1) 水素・燃料電池ハンドブック編集委員会：水素・燃料電池ハンドブック，オーム社，2006.
- (2) Xiaodong Ge, Xiqiang Huang, Yaohui Zhang, Zhe Lu, Jiahuan Xu, Konbfa Chen, 「Screen-printed thin YSZ films used as electrolytes for solid oxide fuel cells」, *Journal of Power Sources*, 159 (2006), 1048-1050
- (3) 湯川 浩雄, 内藤 均: 傾斜機能化CeO₂-YSZ系固体電解質材料の作製と電気特性評価, *日本金属学会誌* 第62巻第11号(1998), 1038-1043
- (4) Darja KeK, et al.: DC Sputtering of yttria-stabilised zirconia films for solid oxide fuel cell applications, *Journal of the European Ceramic Society* 21(2001), 1843-1846
- (5) Hong Huang, et. al.: High-Performance Ultrathin Solid Oxide Fuel Cells for Low-Temperature Operation, *Journal of The Electrochemical Society*, 154(1), B20-B24, (2007)
- (6) Hiroshi NOMURA, S Parekh, J R.Selman and S Al-Hallaj: Fabrication of YSZ electrolyte using electrostatic spray deposition (ESD): I-a comprehensive parametric study, *Journal of Applied Electrochemistry*, 35(2005), 61-67
- (7) Hiroshi NOMURA, S Parekh, J R.Selman and S Al-Hallaj: Fabrication of YSZ electrolyte for intermediate temperature solid oxide fuel cell using electrostatic spray deposition: II - Cell performance, 35(2005), 1121-1126
- (8) 野村浩司: 静電噴霧法を用いた固体酸化物型燃料電池の電解質薄膜製作, *電気学会金属・セラミックス研究会資料*, Vol.MC-06, No.17.19-21, Page9-12 2006



吉本 篤史
日本大学生産工学研究科
〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1
Tel. 047-474-2356
Fax. 047-474-2349
e-mail:

略歴: 2006年 日本大学大学院生産工学研究科博士前期課程入学。静電噴霧の固体酸化物型燃料電池製作への応用に関する研究に従事。



野村 浩司
日本大学生産工学部 教授
〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1
Tel. 047-474-2356
Fax. 047-474-2349
e-mail: nomura@cit.nihon-u.ac.jp

略歴: 1992年 東京大学大学院工学系研究科航空学専攻博士課程修了。同年日本大学生産工学部勤務。液滴燃焼、噴霧燃焼、火花点火機関の点火・燃焼機構、および燃料電池製作に関する基礎研究に従事。



氏家 康成
日本大学生産工学部 教授
〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1
Tel. 047-474-2323
Fax. 047-474-2349
e-mail: ujike@cit.nihon-u.ac.jp

略歴: 1973年 日本大学大学院生産工学研究科修士課程修了。同年日本大学生産工学部勤務。ベーンポンプ、火花点火機関および圧縮点火機関の点火・燃焼機構に関する基礎研究に従事。