

ロボット・モビリティ電源用固体酸化物形燃料電池の開発

国立研究開発法人産業技術総合研究所 極限機能材料研究部門

鷺見 裕史

1. 背景

固体酸化物形燃料電池 (solid oxide fuel cell; SOFC) は、安定化ジルコニアなどの酸化物イオン (O^{2-}) 伝導体を電解質として用いた電気化学デバイスであり、600～1000℃の高温で作動することによって高発電効率を実現している。SOFCは、2012年に日本国内で家庭用熱電併給 (コージェネレーション) システムとして商品化された。世界的にも定置用発電システムとして導入が進んでいるが、更なる普及拡大のためには、ロボットや自動車などのモビリティへの応用展開が求められる。

SOFCは、水素以外にメタンやプロパン、ブタンなどの炭化水素を燃料として原理的に用いることができる。しかし、炭化水素の熱分解によって、SOFCで用いられるニッケル系燃料極上に固体炭素が析出し、電極性能を著しく劣化させる恐れがある。一方、モビリティ用の燃料としては、液化石油ガス (LPG) やアルコール類など、エネルギー密度が高い可燃性液体が望ましい。筆者は、ブタンやエタノールを燃料極内部で改質しながら発電できるマイクロチューブSOFCを開発した。

2. 素形材分野との関連性

図1は、筆者らが開発したマイクロチューブSOFC¹⁾ およびセルスタック^{2), 3)} である。押出成形によって作製されたニッケル-ガドリニア添加セリア (Ni-GDC) 燃料極が基体管になっている。予め、アクリル樹脂やグラファイトなどの造孔材を添加すると、焼成後に多孔質体になり、電解質近傍まで燃料を供給することができる。その上にイットリア安定化ジルコニア (YSZ) 電解質をディップコーティングし、1400℃で共焼結することによって、緻密質体の電解質薄膜を得た。更にGDC中間層と $La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_{3-\delta}$ (LSCF)-GDC空気極をディップコーティングし、それぞれ1200、1050℃で逐次焼成することによってマイクロチューブSOFCを作製した。

図1 (a) の単セルは、電圧1 V、出力1 W程度しか得られないため、図1 (b)、(c) のようにセルを長大化し、複数のセルを電気的に接続して高出力化する必要がある。筆者らは、集電抵抗や接触抵抗などを極力低減できるセルスタック技術を開発した。これを実現するためには、金属やセラミックスを加工、接合するための素形材技術が不可欠である。

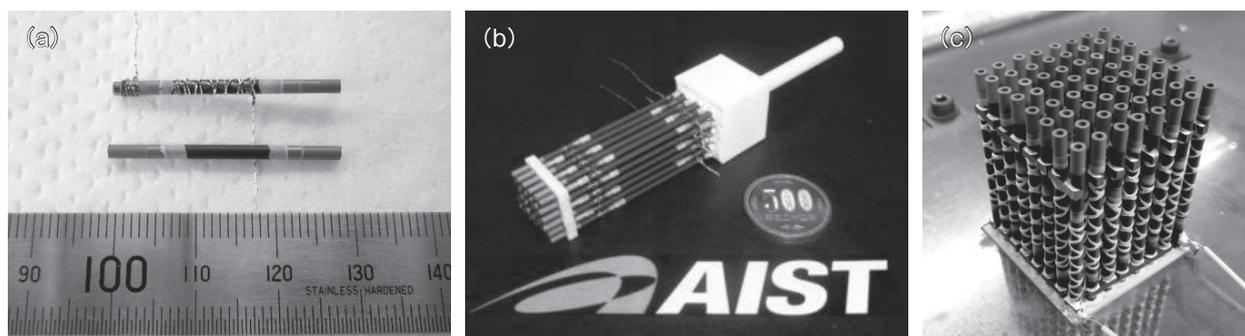


図1 (a) マイクロチューブSOFC (直径2 mm、空気極長さ10 mm)¹⁾、(b) 36セルスタック (直径2 mm、空気極長さ30 mm)²⁾、(c) 64セルスタック (直径4 mm、空気極長さ30 mm)³⁾

3. 研究開発の成果

図2は、650℃、0.1 A/cm²、(a) 酸素／炭素 (O/C) 比 0.04、(b) 1.0、(c) 1.5 で内部ボタン部分酸化改質発電した後のNi-GDC燃料極走査型電子顕微鏡 (SEM) 像またはセル外観である⁴⁾。O/C = 0.04 ではボタンの熱分解速度は遅いが、15 時間後に発電不能になった。発電後、Ni-GDC燃料極上にファイバー状の炭素が析出していることを確認した。O/C = 1.0 ではボタンの部分酸化改質が促進されるが、熱力学的に炭素が析出する条件であり、28 時間後に発電できなくなったセルの入口で、目視で確認できるほどの大量の炭素が析出した。一方、O/C = 1.5 では熱力学的に炭素が析出しない条件であり、100 時間以上の連続発電が可能であった。発電後のNi-GDC燃料極上に析出炭素は確認されず、従来のNi-YSZ燃料極よりも炭素が析出しにくいことを明らかにした²⁾。

その後、(株)アツミテックと共同で、市販のLPGカセットボンベで駆動する400～800 W級SOFCシステムを開発し、更に(株)プロドローンの機体に組み込んで、2020年に世界で初めてSOFCドローンの実証に成功した(図3)。リチウムポリマー二次電池のみでは15～30分しか飛行できないドローンにSOFCシステムを搭載することによって、長時間飛行が可能になった。今後は、他のモビリティへの応用展開を検討するとともに、LPGに代わる燃料のカーボンニュートラル化などに取り組む予定である。



図3 飛行試験中のSOFCドローン

謝辞

本研究の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の事業の結果、得られたものです。関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) H. Sumi, T. Yamaguchi, K. Hamamoto, T. Suzuki, Y. Fujishiro, T. Matsui, K. Eguchi, *Electrochim. Acta*, **67**, 159-165 (2012).
- 2) H. Sumi, T. Yamaguchi, K. Hamamoto, T. Suzuki, Y. Fujishiro, *ECS Trans.*, **57** (1), 133-140 (2013).
- 3) H. Sumi, T. Yamaguchi, T. Suzuki, H. Shimada, K. Hamamoto, Y. Fujishiro, *ECS Trans.*, **68** (1), 201-208 (2015).
- 4) H. Sumi, S. Nakabayashi, T. Kawada, Y. Uchiyama, N. Uchiyama, K. Ichihara, *ECS Trans.*, **91** (1), 149-157 (2019).

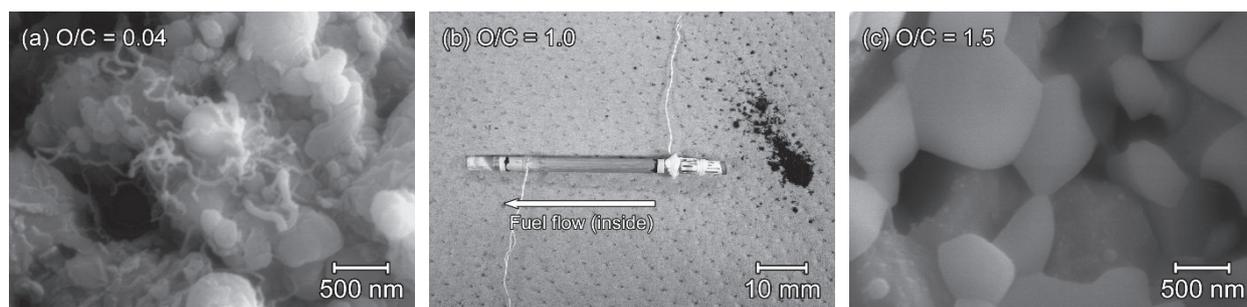


図2 650℃、0.1 A/cm²、(a) O/C = 0.04、(b) O/C = 1.0、(c) O/C = 1.5 で内部ボタン部分酸化改質発電した後のNi-GDC燃料極SEM像またはセル外観⁴⁾