

固体酸化物型燃料電池 (SOFC) の研究開発

1. はじめに

わが国では2011年の東日本大震災以降、原子力発電から化石燃料による火力発電へのシフトが進み、発電によるCO₂排出量が増大している⁽¹⁾。これを受けて、化石燃料からの高効率発電技術の開発が進められており、なかでも50%を超える高効率発電が可能な固体酸化物型燃料電池 (SOFC) システムの普及が期待されている。

都市ガスを燃料とする主に家庭用のSOFCシステムはすでに市販されており、現在は出力の大きな業務用SOFCシステムの開発が国の後押しを得ながら進められている⁽²⁾。

本稿では一般的なSOFCシステムの概要に触れつつ、SOFC本体(ここではセルスタックと呼ぶ)の研究開発の一端を紹介する。

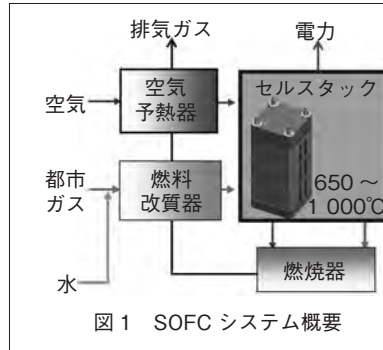
2. SOFC システム概要

SOFCはセルがセラミックでできており、650℃~1000℃の超高温域で動作することが特徴である。一般的なSOFCシステムの概要を図1に示す。燃料となる都市ガスは水と混合され、燃料改質器で水素を含む改質ガスにあらかじめ変換される。この改質ガスと予熱空気をセルスタックに送り込み、電気化学反応によって電力を取り出す。発電に使われなかった燃料と空気は燃焼させて燃料改質と空気予熱に必要な熱を供給し、最終的に排出される。

3. セルスタックの研究開発

セルの断面模式図を図2に示した。燃料、空気の両電極は数μmの空隙を有する多孔体である。供給ガスは電極内を拡散して燃料極の三相(Ni/YSZ/空隙)界面で発熱を伴う電気化学的反応を起こし、電流が取り出される。

また、改質ガス中に残存する炭化水素燃料と水蒸気は、燃料極に含まれるNi表面上で水蒸気改質と呼ばれる吸熱反応を起こす。この反応を活用すればセル面での局所的な温度制御が可能となり信頼性向上が期待できる。ただし、制御の鍵となる電極上での反応速



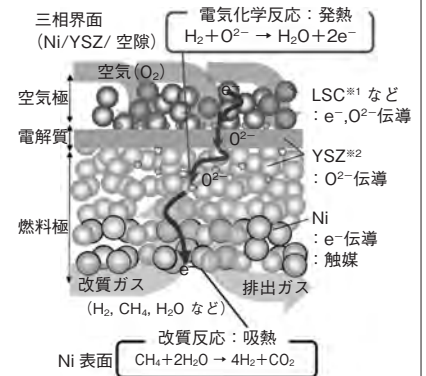
度が正確にわかっていないため、前述したようにセルスタック前段の燃料改質器で炭化水素燃料をほぼ完全に改質しているのが実情である。

これらの反応を狙いどおりに制御するためには、“実際の電極微構造に基づいた”ガスの拡散、反応速度、セルの高温機械強度等々、多分野にわたる現象を紐解き、お互いの背反関係まで把握することが必要となる。これは並大抵のことではなく、SOFCシステムの普及を長らく阻んできた。

近年、諸分野の最先端の研究者が集い、数値解析技術や計測分析手法が大きく進展し、セル内部現象が徐々に定量的に明らかになってきている。ここではそれに大きな役割を果たしたFIB-SEM (focused ion beam scanning electron microscopy) によるセル微構造定量化技術を紹介する。

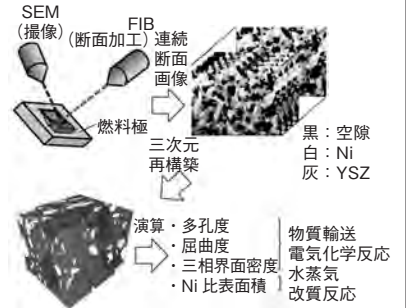
手順を図3に示す。FIBで断面加工しSEMで撮像した連続断面画像を、三次元デジタル構造に再構築する。さらに演算を加えることによって、多孔度や屈曲度、三相界面の密度、Ni比表面積など数多くの微構造パラメータを算出することができる⁽³⁾。

これらをもとに、たとえば電気化学反応的観点からガスの拡散性と良好な反応性を両立する具体的な構造探索が行われている。筆者らはこの技術を用いて実際の電極構造に基づいた水蒸気改質反応速度を導出し⁽⁴⁾、実際のセルスタックの温度制御技術開発に取り組んでいる。実際の微構造を定量化できるようになった恩恵は極めて大きく、今後さまざまな視点から



※1 ランタニウムコバルトイットリウム安定化ジルコニア
 ※2 イットリウム安定化ジルコニア

図2 SOFC セル断面模式図



のメカニズム解明が期待される。

4. おわりに

SOFCは考慮すべき現象が非常に広く、FIB-SEMに限らずさまざまな手法で精力的に研究が行われている。それらの知見を吸収しつつ、技術者としてSOFCの普及に尽力する所存である。(原稿受付 2016年10月3日)

[杉原真一 (株)デンソー]

●文献

- (1) 資源エネルギー庁, 日本のエネルギー http://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/pdf/energy_in_japan2015.pdf
- (2) NEDO 固体酸化物型燃料電池等実用化推進技術開発 http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100060.html
- (3) Iwai, H., ほか, Quantification of SOFC anode microstructure based on dual beam FIB-SEM technique, *J. Power Sources*, 195 (2010), 955-961.
- (4) Sugihara, S., Kawamura, Y. and Iwai, H., Rate Equation of Steam-methane Reforming Reaction on Ni-YSZ Cermet Considering its Porous Microstructure, *7th European Thermal-Sciences Conference*, (2016-6).