

TOTOにおける家庭用SOFCの開発状況

上野 晃

TOTO株式会社

〒253-8577 神奈川県茅ヶ崎市本村2-8-1

Development status of residential SOFC cogeneration system

Akira Ueno

TOTO Ltd.

2-8-1 Honson, Chigasaki-City, 253-8577

Abstract: Since 2002, TOTO Ltd. has been developing anode support type microtubular cell stack modules that work at lower temperatures as power generating systems with capacities ranging from tens to hundreds of watts. Using lanthanum gallate thin film electrolyte, we have successfully developed a cell stack that is capable of generating power at temperatures of 500°C – 700°C. This cell stack has been confirmed to have high tolerance against rapid thermal shock. TOTO Ltd. and Noritz Corp. have been jointly developing 700W residential SOFC cogeneration system. Since 2008, we have taken part in the “Demonstrative Research on Solid Oxide Fuel Cells Project” conducted by New Energy Foundation(NEF) and New Energy and Industrial Technology Development Organization(NEDO). We had installed 2 units in 2008 and 6 units in 2009. In this paper, the development statuses of SOFC system and demonstration result are reported.

Keyword: Tubular cell, Lanthanum gallate, Cell stack, Module, Residential SOFC cogeneration system

1. 緒言

2009年よりガス会社、石油会社各社より固体高分子形燃料電池 (PEFC) を搭載した家庭用燃料電池システムが世界に先駆けて発売された。原発事故後の電力不足などの影響もあり、2011年度はその販売量は大きく増加し、家庭用コージェネレーションシステムに対する期待は大きく向上した状況となっている。日本における大規模実証研究を踏まえた家庭用燃料電池商品化の成功事例は海外からも注目されており、ドイツでもこれと類似の実証研究が進められている。一方、固体酸化物形燃料電池 (SOFC) は電池反応の排熱を原燃料の改質反応に利用することができるため、高い発電効率が実現できる。また、改質燃料ガスを精製せずにそのまま発電用の燃料として利用できることから、システム構成の簡素化による

コンパクト化、低コスト化が可能であり、戸建てのみならず集合住宅向けとしても商品化が期待されている。研究開発当初は運転温度が1000°C程度と高いこと、体積出力密度が低いこと、熱自立のためには少なくとも数10kW級程度以上の容量以上でないと高い発電効率を実現できず、また、日本における家庭用燃料電池に要求される負荷追従性は困難と想定されていた。研究開発の始まった1980年から1990年までは、もっぱら業務用、産業用のスタックモジュール、システム開発が進められてきた。1990年代半ばより、セルスタックの高性能化によるセル枚数の低減や運転温度の低温化などの研究開発が進化した結果、1kW級のシステムにおいても50%LHV程度以上の高効率な発電が可能となり、ここ数年、これを搭載した家庭用SOFCシステムの研究開発が活発化している。2007年度から2010年度において、独立行政法人新エネル

ギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、財団法人新エネルギー財団（NEF）において実施された「固体酸化物形燃料電池実証研究事業」においても、高いCO₂削減効果などが実証されている[1]。2011年10月には国内メーカーより家庭用SOFCシステムが発売され、今後、各社より市場投入が続くものと推測される。海外においても、欧州、米国などで、1kW級から100kW級までのシステムについて活発に開発が推進されている。最近では、米国ブルームエナジー社の100kW級SOFCシステムやCFCL社の60%LHVの超高効率な発電効率の2kW級システムが発表されている。

当社は、1990年初めよりSOFCセル材料の基礎的な研究を開始し、2002年よりNEDO基盤技術研究促進事業の委託を請け、低温作動型セルスタックの開発を開始、現在、これを搭載した家庭用SOFCシステム向けのモジュール開発を推進している[2-5]。SOFCは高温作動であるが故に上述の通りのメリットが期待される一方、脆性材料であるセラミックスをセル材料に使用しているため、起動停止時の熱応力によるセル自身の破損、ガスシール性の低下に伴う性能低下などが課題である。当社は耐熱サイクル性の観点から円筒形状のセルスタックデザインを採用し、また、700℃以下の温度域で従来のジルコニア系材料と比較して酸素イオン導電性に優れるランタンガレート製電解質を使用したセル開発を進め、高効率かつ、高い信頼性、耐久性を期待されるセルスタック、モジュールの開発に成功している。

現在、（株）ノーリツと共同で家庭用SOFCシステム開発を推進しており、2008年度からNEDO、NEFの固体酸化物形燃料電池実証研究事業に参加し、耐久性能等を検証中である。本稿では、当社の家庭用SOFCの開発状況について紹介する。

2. 家庭用SOFC開発状況

2.1. セルスタック開発状況

セルデザインは円筒形状を採用し、セルの内側から第一燃料極、第二燃料極、電解質層、空気極の構成とした（Fig.1）。セル作製手順は、成形した第一燃料極に、スラリーコート法により第二燃料極、電解質層を成膜し、第一燃料極と一緒に共焼結した。その後、空気極を電解質上にスラリーコート法により成膜し焼成した。電解質にランタンガレートを採用し、これに適した電極設計を

行うことで、600℃台での運転を可能とした。一般的な作動温度より約100℃の低温化により、金属材料の長寿命化、コンパクト化とともに、後述の通り、起動停止性に優れたスタック構造を実現している。セルスタックについては、発電ロスを考慮して、集電構造、セル配列、燃料・空気分散性の開発に注力した。スタックは金属製接続部材を使用して、セル同士を電気的に直列接続させている。



Fig.1. Appearance of micro tubular cells.

2.2. モジュール開発状況

モジュールは熱放散を極力低減した小型で熱自立容易な構造が望ましいと考えられる。そこでセルの発電反応で生じる熱と残燃料の燃焼反応で生じる熱を空気の加熱、水蒸気改質反応で生じる吸熱への熱源、改質水の気化熱へ有効に活用できるレイアウト及び熱収支について検討した。その結果、モジュールはスタックからの発生熱と燃焼熱を効率よく回収できるように改質器と空気熱交換器を配置し、金属ケースへ内蔵する構造とした。Fig.2にモジュール概観写真を示す。

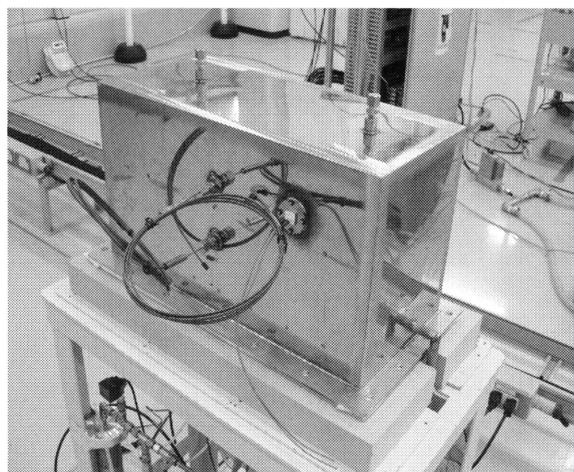


Fig.2. Appearance of SOFC module.

2.3 システム開発状況

上述のモジュールを搭載した家庭用SOFCシステムについて(株)ノーリツと共同で開発を推進している。Table 1に2010年度、2012年度実証試験機の仕様を、Fig.3に実証試験機の外観写真を示す。試作したSOFCユニットの容量は約200L、重量は約110kgであった。SOFCユニットは燃焼性能、安全性評価、環境評価等を実施後に社員宅に設置して実環境下にてフィールドテストを実施した。2010年度には寒冷地を含めて10台の試験機を設置し、評価試験を実施した。

フィールドテストの状況として、Fig.4.に負荷追従特性結果を示す。負荷追従特性に関しては、家庭の使用電力(要求電力)に対して仕様通りに連続負荷追従運転することで、昼夜SOFCユニットより電力供給することを実証した。

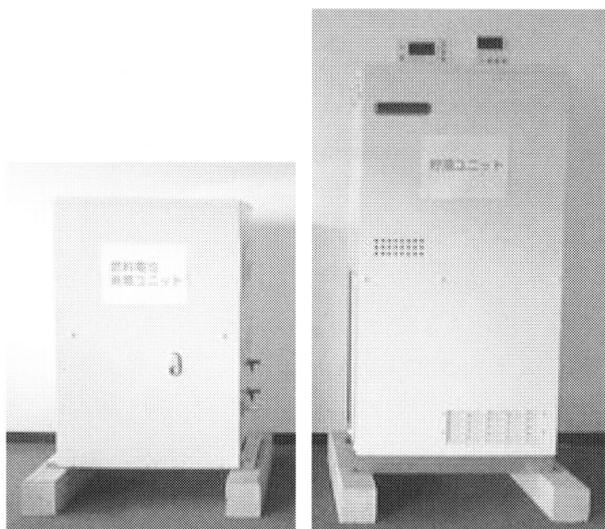


Fig.3. Appearance of SOFC system (Field test model).

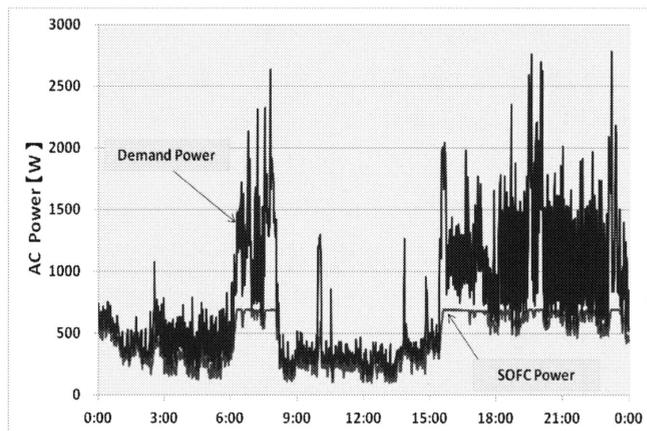


Fig.4. Performance of SOFC system (Demand power vs SOFC power).

Fig.5.に2011年度モデルに対して、寒冷地を含む3サイトでのシステムの実負荷環境下での耐久性を示す。いずれも運転初期のAC端発電効率(45%(LHV))を達成しており、現在も順調に運転継続中である。

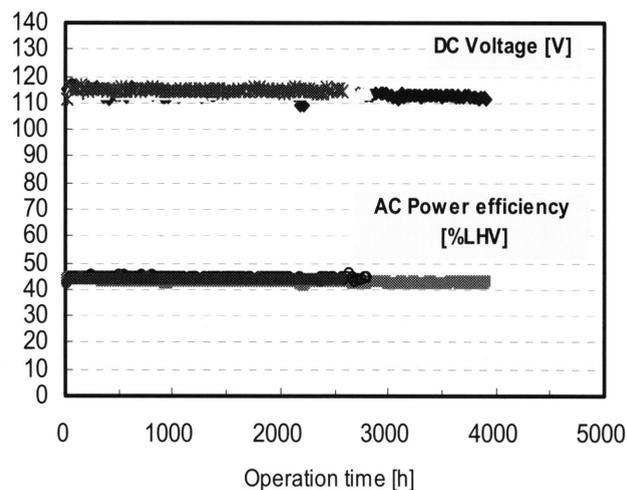


Fig.5. Durability of SOFC system (2011 Field)

Table 1. Spec of SOFC system (Field test model)

Unit	Item	Spec	
		2010model	2012model
SOFC unit	Power(W)	AC700W	AC700W
	Electric efficiency (%LHV)	AC45%	AC48%
	Heat recovery efficiency(%LHV)	40%	42%
Heating unit	Tank capacity(L)	70L	90L
	Hot-water temperature(°C)	75°C	75°C
	Back-up heater	24L Gas Water Heater ・ bathwater reheating	24L Gas condensing water heater ・ bathwater reheating ・ central heating

Fig.6に社内ラボモデルのシャットダウン耐久評価結果を示す。家庭用燃料電池は、都市ガスのマイコンメーター対応のため1回/月以上、運転を停止する必要がある、起動停止に伴う性能低下が懸念されることから、これを検証するため、シャットダウンの性能影響評価を行っている。175回までのシャットダウンを実施し、性能低下はほとんど見られおらず、良好な起動停止特性を確認することができている。今後、更に回数を増やして耐久性能の検証を進めていく。

Table1に示したように2012年度モデルでは、AC端発電効率約48%(LHV)を達成している。短時間の評価ではあるもののAC端発電効率・発電電圧ともに、大きな劣化傾向はみられておらず、良好な結果が得られている。

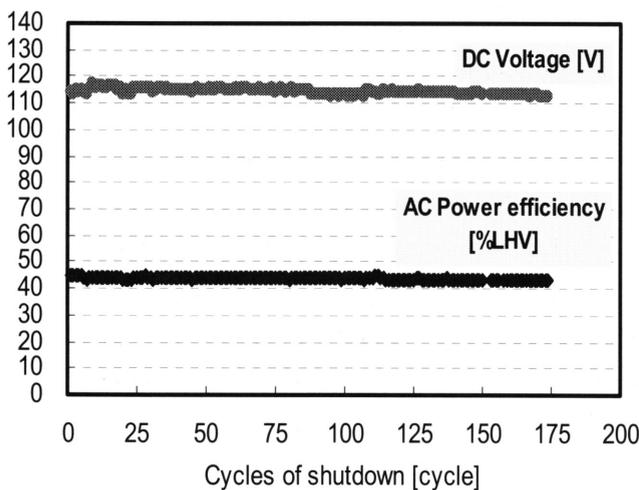


Fig.6. Durability of SOFC system with shutdown (2011 laboratory model).

3. 結 言

低温作動型の円筒型セルスタックを搭載した高効率モジュールを開発し、これを搭載した家庭用SOFCシステムについて実証試験を実施している。2011年度モデルについては3000~4000時間近く経過し、現在のところ良好な結果が得られている。また、社内ラボによるシャットダウン耐久試験において、175回を経ても性能劣化はほとんどなく、起動停止における信頼性の確保に目処が立ちつつある。一方、発電効率向上策を盛り込んだ最新の2012年度モデルにおいて、約AC48%(LHV)の発電効率を達成し順調に試験を継続している。

今後は、2012年度モデルの社内ラボによる耐久試験および、実負荷環境下での運転の数増しを行い、耐久性の

確認を長期運転により実証していくことに注力し、早期の商品化を目指す。

さらに、商品化に向けてコストダウンの検討（部材費低減、生産工程低減、量産工程確立）も並行して推進中である。

謝 辞

本稿は、SOFC実証研究事業より得られたデータを利用させていただきました。NEDO、NEF、(株)ノーリツ、及び関係各位のご指導、ご協力に深く感謝の意を表します。

参考文献

1. 平成 22 年度固体酸化物形燃料電池実証研究成果報告会資料
2. 上野、燃料電池、Vol.10, No.4, p.37(2010).
3. 渡邊他、第16回SOFC研究発表会講演要旨集、p10 (2007) .
4. 渡邊、第17回SOFC研究発表会講演要旨集、P.2(2008).
5. 赤木、第18回SOFC研究発表会講演要旨集、P.48(2009).