

## マイクロチューブ型固体酸化物形燃料電池 (SOFC) を集積した コンパクトで低温運転可能な燃料電池モジュールを開発

— 自動車用補助電源や家庭用定置電源への適用に期待 —

平成 21 年 9 月 10 日

独立行政法人 産業技術総合研究所  
ファインセラミックス技術研究組合  
日本特殊陶業株式会社  
東邦ガス株式会社

### ■ ポイント ■

- ・ マイクロチューブ型 SOFC を高集積した 50-200 W 級のプロトタイプモジュールを開発。
- ・ 90 本のセルを集積したモジュールは、発電効率 40 % 以上で出力 50 W 以上 (2 W/cm<sup>3</sup> 級発電) の性能。
- ・ モジュールの集積化技術を確立し、数 100W 級への大容量化の見通しが得られた。

### ■ 概要 ■

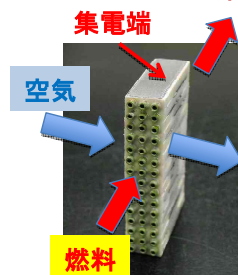
独立行政法人 産業技術総合研究所【理事長 野間口 有】(以下「産総研」という) 先進製造プロセス研究部門【研究部門長 村山 宣光】機能モジュール化研究グループ【研究グループ長 藤代芳伸】、ファインセラミックス技術研究組合【理事長 加藤 太郎】(以下「FCRA」という)・日本特殊陶業株式会社【代表取締役社長 加藤 倫朗】(以下「日本特殊陶業」という)、東邦ガス株式会社【代表取締役社長 佐伯 卓】(以下「東邦ガス」という)は、固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の多用途展開を可能とする高性能マイクロチューブ型 SOFC の高集積化モジュールを開発した。

SOFC は通常 800 °C 以上の高温にて運転されるため、適用分野が限られており、従来では困難であった低温作動や急速運転(起動・停止)が可能な SOFC モジュールの実現が望まれていた。今回、さまざまなシステム仕様に対応できる、数 10~数 100 W クラスを想定した発電モジュールを作製し、ガスマニホールドの接続状況、集電状況の確認と特性把握を行うため、モジュールの発電試験を行った。マイクロチューブ型 SOFC 集積ユニットを 2 個搭載したモジュール(セル数 90 本)は、2 W/cm<sup>3</sup> レベルの高い発電密度を確認しながら、40 % 以上の発電効率と 50 W 以上の出力を得た。さらに集積ユニット 8 個を搭載した 200 W 級モジュールの開発に成功し、数 100 W クラスモジュールの基本的な作製、評価技術を確立した(図)。今後、200 W 級モジュールを用いて、自動車用補助電源 (APU)、小型コージェネレーションなどへの適用性を評価していく。

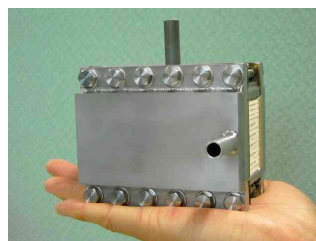
本研究成果は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下「NEDO」という)プロジェクト「セラミックリアクター開発」によるもので、平成 21 年 9 月 16 日に愛媛大学で開催の、日本セラミック協会 第 22 回 秋季シンポジウム、および平成 21 年 10 月 6 日にオーストリア、ウィーン市で開催の、第 11 回 SOFC 国際シンポジウムにて発表される。

\_\_\_\_\_は別紙【用語の説明】参照

マイクロチューブ型 SOFC 集積ユニット



200 W 級プロトタイプモジュール



8個集積

マイクロチューブ型 SOFC 高集積モジュール

■ 開発の社会的背景 ■

燃料電池は高い発電効率が実現でき、地球温暖化の原因の 1 つといわれる CO<sub>2</sub> 発生量を大幅に削減する技術として、さまざまな方式のものが開発されている。そのなかでも最も効率が高い燃料電池はセラミックス部材から構成される固体酸化物形燃料電池 (SOFC) である。SOFC はほかの燃料電池に比べて高い温度領域 (800-1000 °C) で作動するので、排熱を燃料改質や貯湯へ利用でき、システム全体のエネルギー効率を大幅に向上させることができる。さらにほかの燃料電池に比べ高い長期安定性が実証されている。しかし、これまでの SOFC は高温で作動するため、熱サイクルや負荷変動の少ない発電設備への応用などに限られていた。そこで SOFC の適用範囲を広げ、家庭用分散電源、移動電子機器用電源、自動車などの補助電源等に幅広く利用するために、作動温度が 650 °C 以下で、急速起動・停止が可能な SOFC モジュールの実現が望まれていた。急速起動・停止を可能とする技術として、マイクロチューブ型 SOFC が有望視されているが、集積化が困難なため、産業ニーズの高い数 W~数 kW の発電規模をカバーする小型・高効率な SOFC モジュールの実現が望まれていた (図 1)。

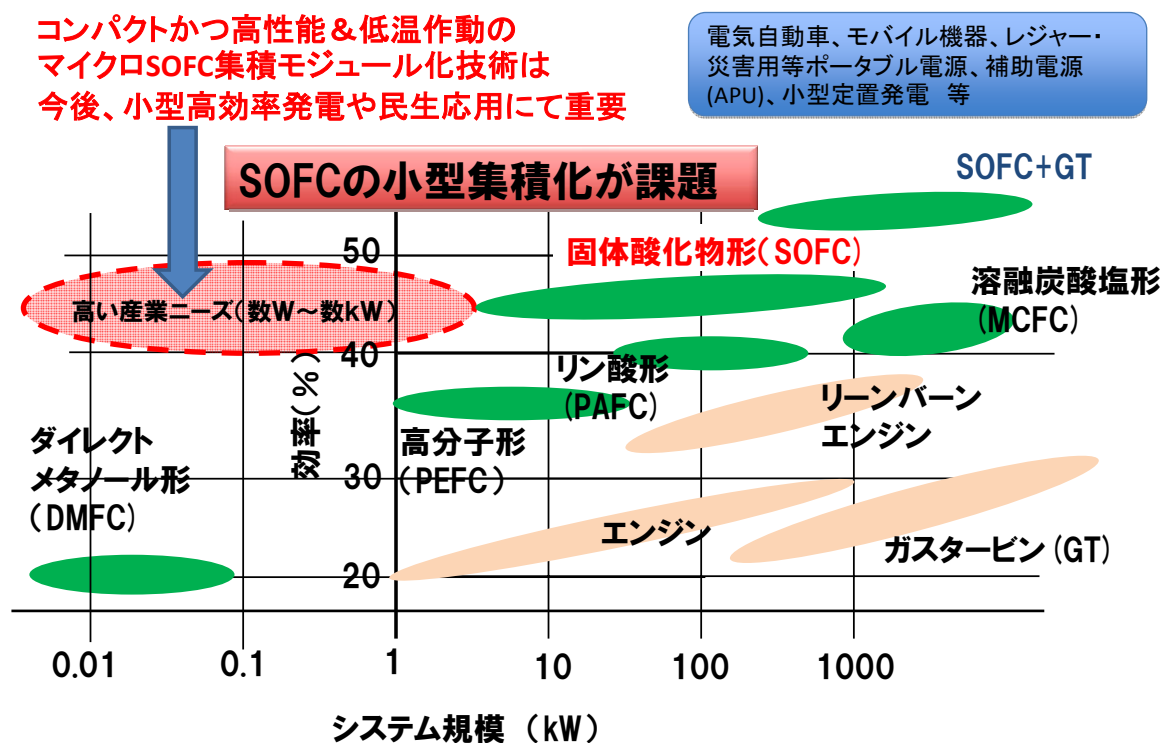


図 1 各種燃料電池開発状況とコンパクトな SOFC 開発の必要性

■ 研究の経緯 ■

産総研、FCRA・日本特殊陶業、東邦ガスは共同で、NEDO プロジェクト「セラミックリアクター開発」(平成 17-21 年度)の一環として、作動温度が 650 °C 以下、高出力で急速起動が可能な SOFC を実用化させるための研究を行ってきた。これまでに、急速起動が可能な SOFC として、ミリサブミリメートルオーダー径の高性能マイクロチューブ型 SOFC の開発に成功し、角砂糖ほどの大きさの集積ユニット(キューブ)の製造方法を確立、550 °C という低温において 2 W/cm<sup>3</sup> 以上の発電特性を実証している(平成 19 年 3 月 29 日プレス発表)。また、集積ユニットや、モジュールの

性能向上のために、マイクロチューブ型 SOFC の改良に関する取り組みも同時に行っており、米国科学雑誌「Science」（平成 21 年 8 月 14 日）にその技術を発表した。

このような高性能マイクロチューブ型 SOFC を利用したシステムを実用化するためには、これらのマイクロチューブ型 SOFC の集積度を上げるとともに、所要の出力に応じて自由な電気接続を可能とする高集積化技術やマニホールド等の接続を含めたモジュール化技術の確立および検証が必要となる。産総研、FCRA・日本特殊陶業、東邦ガスは、これらのさまざまな製造技術を検討し、マイクロチューブ型 SOFC を高集積化したプロトタイプモジュールの開発を進め、発電特性を評価することにより作製技術の有効性を確認した。産総研が各モジュール要素の基本性能を評価し、その結果をもとに FCRA・日本特殊陶業がモジュールの設計および製造を行った。そして東邦ガスが完成したモジュールの実証評価を行うという分担で研究を進めた。

## ■ 研究の内容 ■

今回は、急速起動・停止に強い構造であるマイクロチューブ型 SOFC を高集積化し、高イオン伝導性材料として知られているガドリニア固溶セリアおよびスカンジウム安定化ジルコニア系電解質を用い、50 W 級モジュールでの発電性能を確認した。具体的には部材の形状精度を向上させて作製した 15-30 W 級の集積ユニット（3 並列 9~15 段直列）を複数組み合わせることで、任意の発電出力が得られるモジュールの作製を行った。この 50 W 級モジュールはマイクロチューブ型 SOFC を 3 並列 15 段直列で構成した集積ユニット（図 2）を 2 個並列で接続したものであり（セル数 90 本）、体積発電密度  $2 \text{ W/cm}^3$  レベル（集積ユニットあたり）でモジュールの発電を行い、発電効率 40 % 以上において出力 50 W 以上を得た（図 3）。また、燃料利用率の低い条件では、さらなる高出力が得られることを確認している。本研究開発ではさらに 200 W 級モジュールを完成させ、評価を行っている。この 200 W 級モジュールは、集積ユニットを 8 個集積した複雑な構造であるが、ガスマニホールド、集電構造も含めた発電ユニットの作製に成功したことで、大出力化への見通しが得られ、SOFC の多用途展開に一步を踏み出せたと考えている。

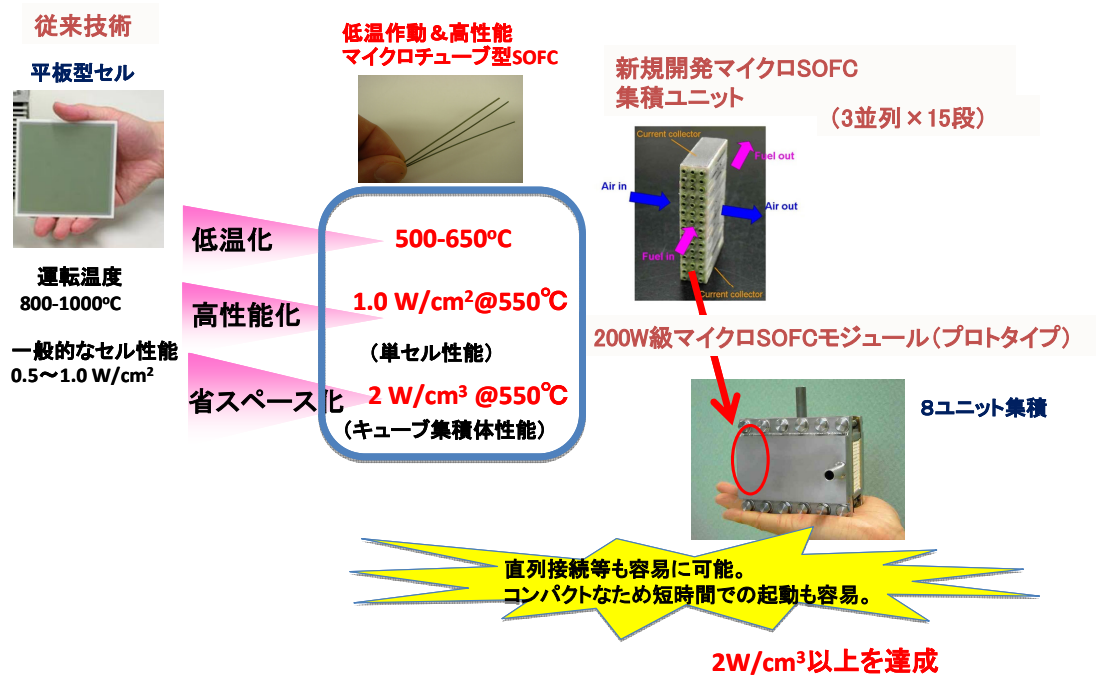


図 2 小型・高効率な SOFC セルとモジュールの開発

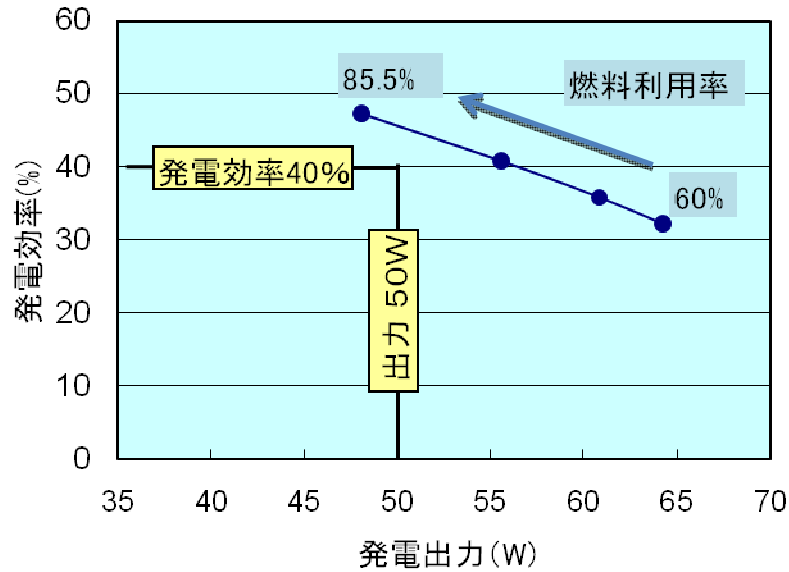


図 3 50 W 級モジュールの発電試験結果

今回の小型高集積型 SOFC モジュールは、単位体積当たりの集積度（電極面積）が世界最高レベルの発電モジュールであり、燃料電池システムの小型・高出力化に有効な技術である。また、基本構成要素となる集積ユニットにおいて 1 cm<sup>3</sup> 当たり 2 W 以上のモジュール発電が可能なことを実証できたため、マイクロチューブ型 SOFC 高集積型モジュールを開発するための製造・評価技術が確立できたと考えている。

#### ■ 今後の予定 ■

今回開発したマイクロチューブ型 SOFC のモジュール化技術により、小型移動機器用電源となる数 10 W クラス（モジュール体積寸法：数 10 cm<sup>3</sup>）から、自動車用補助電源、家庭用電源へ適用可能な数 kW クラス（モジュール体積寸法：数 1000 cm<sup>3</sup>）までの実用化展開が加速するものと考えられる。

今後は、セル、モジュール構成をさらに改善するとともに、さまざまなシステム仕様に対応できるモジュールの実現に向けて、いろいろな作動条件での検証や、さらなる性能向上を試み、耐衝撃性が高く、急速起動等が可能な高性能発電モジュールとしての開発を展開していく。

■ 本件問い合わせ先 ■

独立行政法人 産業技術総合研究所

先進製造プロセス研究部門 機能モジュール化研究グループ  
研究員 鈴木 俊男 〒463-8560 愛知県名古屋市守山区下志段味穴ヶ洞 2266-98  
TEL : 052-736-7083 FAX : 052-736-7405  
E-mail : [toshio.suzuki@aist.go.jp](mailto:toshio.suzuki@aist.go.jp)

先進製造プロセス研究部門 機能モジュール化研究グループ  
研究グループ長 藤代 芳伸 〒463-8560 愛知県名古屋市守山区下志段味穴ヶ洞 2266-98  
TEL : 052-736-7104 FAX : 052-736-7405  
E-mail : [y-fujishiro@aist.go.jp](mailto:y-fujishiro@aist.go.jp)

ファインセラミックス技術研究組合（日本特殊陶業（株）からの出向）

研究員 舟橋 佳宏 〒463-8561 愛知県名古屋市守山区下志段味穴ヶ洞2266-99  
TEL : 052-736-7665 FAX : 052-736-7665  
E-mail : [y-funahashi@aist.go.jp](mailto:y-funahashi@aist.go.jp)

東邦ガス株式会社

総合技術研究所 基盤技術研究部 SOFC グループ  
次長 水谷 安伸 〒476-8501 東海市新宝町 507-2  
TEL : 052-689-1616 FAX : 052-601-8671  
E-mail : [master@tohogas.co.jp](mailto:master@tohogas.co.jp)

【プレス発表／取材に関する窓口】

独立行政法人 産業技術総合研究所  
中部産学官連携センター 成果普及担当 花木欣之、松本賢三  
〒463-8560 名古屋市守山区下志段味穴ヶ洞 2266-98  
TEL : 052-736-7063、7064 FAX : 052-736-7403  
E-mail : [chubu-kouhou@m.aist.go.jp](mailto:chubu-kouhou@m.aist.go.jp)

日本特殊陶業株式会社  
総務部 広報課 中島英次  
〒467-8525 名古屋市瑞穂区高辻町 14-18  
TEL : 052-872-5896 FAX : 052-872-5999  
E-mail : [e-nakashima@mg.ngkntk.co.jp](mailto:e-nakashima@mg.ngkntk.co.jp)

東邦ガス株式会社  
広報部 広報グループ 中神貴久  
〒456-8511 名古屋市熱田区桜田町 19 番 18 号  
TEL : 052-872-9354 FAX : 052-882-2593  
E-mail : [nakagami@tohogas.co.jp](mailto:nakagami@tohogas.co.jp)

## 【用語の説明】

### ◆固体酸化物形燃料電池 (SOFC; Solid Oxide Fuel Cells)

燃料電池は、水の電気分解の逆反応で水素と酸素の化学反応から直接発電することができる高効率でクリーンな発電方法で、いくつかの方式について開発が進められている。そのなかで、SOFCは酸化物を用いた燃料電池であり、800-1000 °Cにおいて運転を行うことから、高効率、高耐久性であり、さらに排熱を利用することで総合エネルギー効率が高くなるため、実用化が期待されている。一方、高温作動で熱衝撃に弱いという欠点がある。最近では 500~600 °C台の低温作動化や小型高効率化、並びに急速起動・停止を可能とするための研究開発が指向されており、家庭用のコージェネレーションシステムや自動車等の輸送機器の補助電源 (APU) への適用が将来的に期待されている。

### ◆マイクロチューブ型 SOFC

燃料電池をマイクロチューブ化することで耐熱衝撃性が高まり、急速起動運転が可能になることが期待されている。またチューブ径を小さくすることで、燃料電池体積当たりの発電出力が飛躍的に増加するので、モジュールの小型・低温化も可能になることが報告されている。通常は燃料極材料でチューブを作製し、電解質と空気極がチューブ表面に形成される。これまでに0.4-2 mm 径を有する高性能マイクロチューブ型SOFCが開発されている。

### ◆モジュール

燃料電池そのものに加え、それらを集積して発電を行う際の、最小ユニットを指す。通常、燃料電池、ガスシール、マニホールド等を含む一体の構造体をモジュールと呼ぶ。

### ◆急速運転

SOFC を利用するには運転温度まで SOFC を昇温する必要がある。その際、急速昇温・停止は使用便宜上好ましいが、一方で発電モジュール中に大きな温度分布を生じさせ、熱応力によりセラミックス構造体を破損させてしまうことがある。そのため急速昇温・停止は SOFC の大きな技術的課題となっている。従来の SOFC システムでは 1 時間以上の起動時間が必要であるといわれているが、マイクロチューブ型 SOFC ではバーナー直接加熱等による瞬時の起動においても問題なく運転できる。

### ◆マニホールド

燃料電池に供給する燃料ガスや空気の導入に必要な部材を指す。

### ◆発電密度

通常は電極面積 1cm<sup>2</sup> 当たりの発電電力を指す。燃料電池の体積あたりの発電量で比較する場合は体積発電密度として表し、通常発電密度とは区別して記載する。

◆自動車補助電源 (APU)

自動車の高性能化に伴い、近年の自動車はより多くの電力を必要としている。その際に必要な電力を供給する、補助的な電源のことである。一般的には長距離トラックドライバーが仮眠を取る際のエアコン運転に補助電源を利用することで、アイドリングによるエネルギーロス、大気汚染物質の排出を最小化することなどが、想定されている。

◆コージェネレーション

エネルギー源の排熱を利用して総合エネルギー効率を高める手法のこと。系統電源と分散電源を組み合わせたシステムを意味することもある。

◆セラミックリアクター

物質・エネルギー変換が可能な機能性セラミックス材料を利用した化学反応制御システム。例えば、イットリアを固溶したジルコニア ( $ZrO_2$ ) セラミックス (YSZ) 等の酸素イオン伝導性材料では結晶中を酸素イオンが拡散して移動する性質を利用し、センサー、燃料電池発電およびガス浄化等へ利用が可能である。