

固体酸化物形燃料電池による産業用発電装置の開発 —第2報 20kW級システムの開発—

Development of Industrial Solid Oxide Fuel Cell Power Generation System
—Part2 Development of 20kW Class System—



高木 義信	Yoshinobu Takaki	□
酒井 良典	Yoshinori Sakai	□
岡崎 泰英	Yasuhide Okazaki	□
伊妻 恭平	Kyohei Izuma	□
八木 厚太郎	Kotaro Yagi	□
川見 真人	Masato Kawami	□
橋本 大祐	Daisuke Hashimoto	□
若宮 和輝	Kazuki Wakamiya	□
小川 貴史	Takashi Ogawa	□

あらまし

当社では、固体酸化物形燃料電池（SOFC）の非常に高い発電端効率と燃料多様性に着目し、業務・産業用20kW級システムの開発を進めている。既に実用化が進み、信頼性の高い家庭用0.8kW級のセルスタックを導入し、これを複数積載することでシステムアップを図る。これまでに商品機と同規模の20kW級実証装置を製作、社内工場における性能検証を経て、現在ユーザーサイトにおける実負荷環境下での耐久性確認試験を実施中である。ここで、従来の熱機関（タービン、エンジン）を上回るAC送電端効率50%以上と高い耐久性を確認した。本稿では、20kW級システムの概要と実証試験状況および今後の展開に関して報告する。

Abstract

Hitachi Zosen has promoted development of an industrial SOFC power generation system because of the anticipated advantages in high efficiency and fuel diversity. The system is made up of multiple highly reliable, small sized cell-stacks (0.8kW for residential use). So far, a 20kW demonstration system (same size as future commercial system) has been developed and performance verified at our company site. Currently, durability tests of the system are underway at user sites to verify performance under actual working environments. Through those tests, over 50% AC net efficiency, which is higher than that of any other previous thermal engines (gas turbines, gas engines, etc.), has been verified. This paper gives an overview of our 20kW demonstration system and reports on the status of durability tests and future development.

1. 緒言

パリ協定の発効を受け、より一層の温室効果ガスCO₂排出量削減が叫ばれる中、省エネルギー化、再生可能エネルギーの導入拡大に対する様々な施策が講じられているが、日本という国土、風土においてエネルギー需要を全て再エネに置きかえることは不可能という観点、また、電源セキュリティも含めた分散型発電の重要性という観点からも、高効率省エネ発電デバイスである燃料電池の需要が高まっている。中でもより高い発電効率を誇るSOFCは、家庭用のエネファーム0.7kWにおいては

既に年間1万台を超える導入実績となり、業務産業用規模においても2017年度に国内3社が実用化を発表した。

また、当社の中心事業である環境・ごみ処理施設では、従来、ごみは燃やしてその熱で蒸気を発生させ、熱機関（タービン）による発電を行っている。その発電効率は20～30%と言われており、より高効率化を目指すために、ごみを燃料化する技術、メタン発酵、エタノール製造および熱分解ガス化などの取り組みが行われている。ごみ発電の世界最高効率を目指し、図1に示すような、当社の既存技術・製品と燃料多様性のあるSOFCとのハイブリッドは非常に有効と考える。

このような背景の中で、当社は燃料電池の中でも最も発電効率の高いSOFCの開発に着手し、第一報では10kW級ベンチ試験結果などの基礎データについて報告

□ 環境事業本部 開発センター



図1 当社既存事業とSOFC

した。

一方、商品機仕様としては、市場規模および事業採算性を考慮し、都市ガス燃料対応型20kW級を標準機と位置付け、2018年度の市場投入を目指してシステム開発を進めてきた。本稿では、第二報として、20kW級システムの概要、実証試験状況、および今後の展開について報告する。

2. Hitz_SOFC システムについて

2.1 固体酸化物形燃料電池 (SOFC) 図2に

SOFCの原理を示す。固体(セラミック)電解質を介して、燃料極と空気極を積層したセルと呼ばれる発電部位に対し、燃料極側には燃料となる H_2 または CO を、空気極側には空気を流通する。空気中の酸素が空気極で電子を受け取り、電解質を介して燃料極へ移動し、燃料極で H_2 または CO と反応して H_2O または CO_2 になる。その際に放出された電子で発電される。

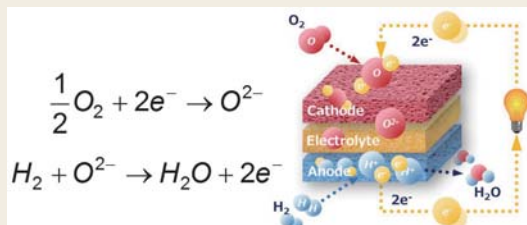


図2 SOFC発電原理

燃料電池は燃料の持つ化学エネルギーを直接電気に変換することで、エンジン、タービンといった熱機関と比較して高い発電効率が得られる。また、駆動部分が少ないため低騒音、低振動というメリットもある。さらにSOFCに関しては、都市ガス(天然ガス)をはじめ、アルコールやアンモニアなど改質・分解して H_2 や CO が得られるものであれば燃料となり得る。各種バイオ燃料のほか、水素社会に向けたエネルギーキャリアとしてのメタンやアンモニアなどにも広く展開することが可能である。

2.2 Hitz_SOFCの特徴 当社では、既に開発が進められている家庭用の平板型0.8kW級セルスタックをスタックメーカーの日本特殊陶業株式会社より導入し、これを複数組上げることで産業用規模へスケールアップしている。

図3にスケールアップのイメージを示す。

高い発電効率を有することから、当社の既存機種であ

るガスエンジンの不得手とする低熱電比領域のユーザーをターゲットとした。また、系統電力料金が比較的高い中小規模の市場を有望視しており、20kW級を初期商品の標準機と位置付け、これを併設することで20～数百kWの市場に対応することとした。

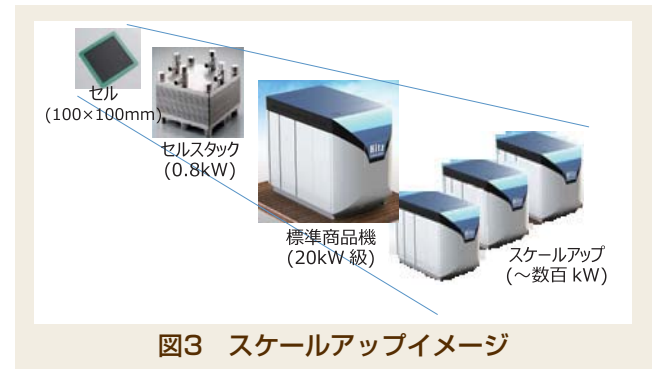


図3 スケールアップイメージ

3. 20kW級システム概要

3.1 基本仕様 表1にシステムの基本仕様をまとめる。0.8kW級セルスタックを24基搭載して20kW級とした。また、プロセスガスは24基並列で供給し、電気的には24基直列で接続することで、DC端で約480Vの電圧が得られるものとした。排熱回収熱交も装備した、オールインワンパッケージ型の装置である。

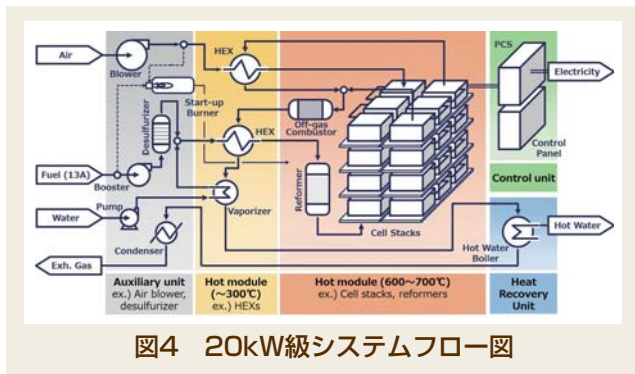
表1 20kW級試験装置 設計仕様

項目	設計仕様
出力電圧	AC202V
発電出力 (DC端)	20kW級
スタック搭載数	0.8kW×24基
操作温度	～700℃
燃料ガス	都市ガス 13A
ガス利用率	燃料利用率 75% / 空気利用率 50%
サイズ/重量 (パッケージ全体)	(W) 2,200 × (L) 4,200 × (H) 2800 8.6ton

3.2 プロセスフロー 図4に20kW級システムのフロー図を示す。プロセスガスを供給する補機ユニット、予熱器等のホットモジュール(～300℃)、セルスタック、改質器、オフガス燃焼器を含むホットモジュール(～700℃)、および電気制御、排熱回収ユニットで構成される。

起動昇温には都市ガスバーナーの燃焼ガスを採用、燃焼ガスをホットモジュール内に吹き込むことでセルスタックを外部から加熱する。発電が可能となる600℃までの昇温時間は約10時間、電流引出しから定格発電条件が整うまでにトータル12時間を要す。起動時間の短縮を意図し、バーナー容量アップおよび燃焼ガス吹き込み温度の高温度化を採用している。

発電運転は、定格ベースロードを基本とする。現状、アノードガスリサイクルは採用せず、シンプルサイクルでAC送電端効率50%以上を達成。改質用水は運転初期のみ外部供給とするが、オフガスを冷却し凝縮水を回収することで改質用水を自立させる。ここでオフガスを冷却する際、その熱を回収することで80℃温水の供給が可能であり、総合熱効率は90%以上になることを確認した。



4. 20kW 級システム実負荷環境実証

4.1 実証の目的 顧客サイトにおける実負荷環境下での4,000hを目途とした耐久性の確認と、業務・産業用SOFCシステムの完成度を広く顧客にアピールすることを目的とする。また、この実証で抽出された課題を商品化設計および将来高度化検討へフィードバックすることを目的とする。

4.2 実施体制 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) より実証補助金の支援を受け、先進的な水素プロジェクトの創出を目指し、大阪府・大阪市が共同で運営する「H₂Osakaビジョン推進会議」の取組みの一環として、図5に示す大阪府内2サイトで実証試験を開始した。両サイトとも、自治体および関連施設の協力を得て、共同実証という形で推進し、4,000h以上を目途とした運転監視、事業採算性評価に資する情報の提供などご協力頂いている。

◇サイト①大阪産業技術研究所 和泉センター



◇サイト②咲くやこの花館(花博記念公園鶴見緑地)

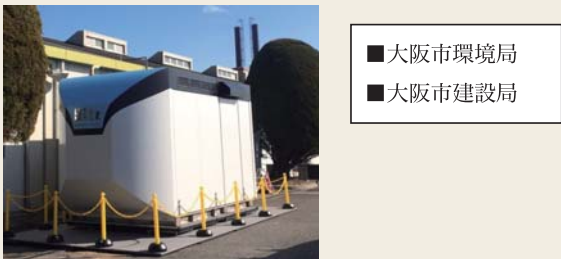


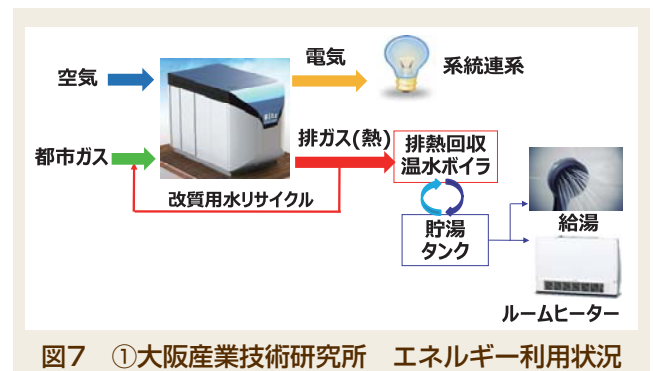
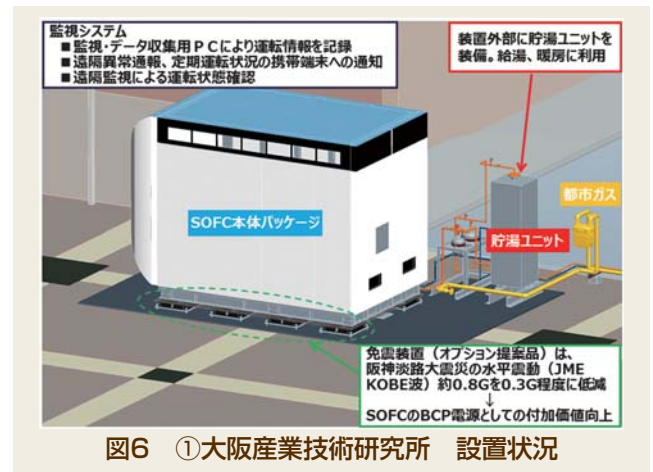
図5 サイトへの設置状況

4.3 実証試験機設置状況 図6および図7に一例として、サイト①大阪産業技術研究所における設置状況およびエネルギー利用状況を示す。

SOFC本体パッケージ(発電システム、電気制御、排熱回収熱交等含む)のほか、装置外部に貯湯ユニットを

装備し、70～80℃の温水を設備に供給、給湯やルームヒーターの熱源として利用している。発電分は系統連系しているが、逆流することは無く、場内電力として消費している。

そのほか、装置下部に免震装置を装備、設計的には阪神大震災レベルの水平振動にも耐え得る構造とし、BCP電源としての付加価値向上を図る。また、運転状況を常時確認するため、遠隔監視システムを装備するとともに、運転データを監視センターPCに自動収録することとしている。



4.4 性能

4.4.1 工場検査データ 表2に工場検査(出荷時)の装置仕様と性能の実測値を示す。都市ガス13A(低圧)を使用した場合の発電性能は、セルスタックDC端で20.0kW、パワーコンディショナAC端で19.4kW、補機動力等を差し引いてAC送電端17.6kW(効率50.4%)を確認した。都市ガス13A(中圧)を使用したケースにおい

表2 20kW級社外実証機仕様(出荷時性能*rt22℃)

1. 使用燃料	都市ガス13A * 低圧1.7kPaG、装置内で昇圧
2. 定格出力	20kW級(AC送電端17.6kW) * 送電端効率50.4%
3. 出力仕様	3相3線202V/60Hz
4. 本体寸法	W2.2×L4.2×H2.8m
5. 排熱利用	温水0.21t/h(22⇒84℃) * 総合効率90%以上、水自立確認
6. 騒音*機側1m	68.5dB(A)
7. 排ガス	温度61℃, NOx0.5ppm

では、昇圧ブロー（動力）が不要となり、AC送電端効率52%以上となることも確認できた。一方、排熱利用においては84℃温水として0.21t/h回収し、総合効率90%以上に相当する性能を確認。発電運転時の排ガス中のNO_x濃度は0.5ppmと低く、極めて環境性の高いシステムと言える。

4.4.2 システム耐久性データ 図8に耐久性データ一例として、②咲くやこの花館におけるセルスタック電圧経時変化4,000hのデータを示す。また、図9に当該システムに搭載しているセルスタックの操作温度とセルスタック電圧出力との関係を示す。

セルスタックを複数積載するケースにおいては、ホットモジュール内のセルスタック配置状況によりセルスタック毎に最大20℃程度の温度差が生じる。また、外気温度に従いカソード空気の入熱量が変化することも影響し、最大で30℃程度変動するケースが確認された。図9からも分かる通り、温度管理状況により1V（約5%）も発電出力が変動することになる。

上述のとおり、セルスタック出力に温度依存の出力変動が伴うため厳密な耐久性（電圧低下率）の評価は難しいが、図8に示すとおり目立った電圧低下は確認されず、セルスタック単体での耐久性データと同等の性能を示したことから、40,000h耐久の見通しが得られた。

また、期間中2018年6月18日の大阪府における震度6の地震（実施サイトにおいては震度4と公表）の際にも問題無く継続して発電できることを確認。BCP電源としての機能も発揮できた。

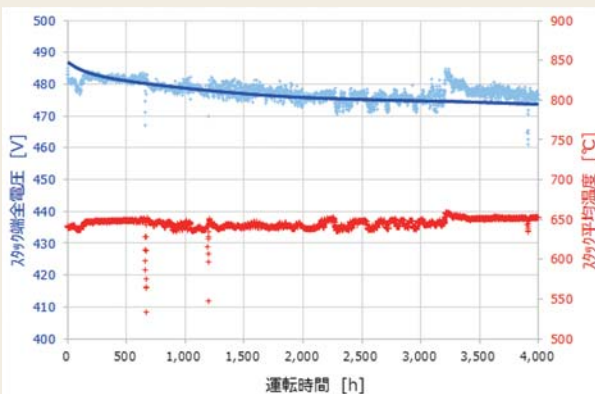


図8 ②咲くやこの花館 耐久性データ

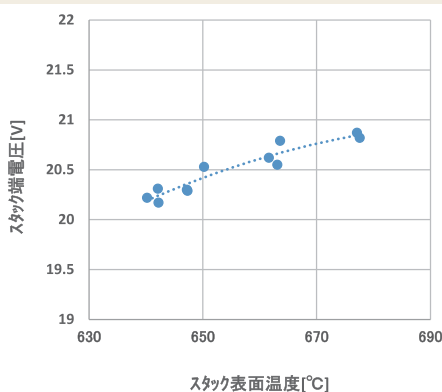


図9 スタック温度と電圧値の関係

5. 今後の展開

5.1 商品機高度化設計 これまでの実証試験で得られた知見を元に初期商品機の設計を行い、市場投入を図るが、引き続き下記課題をクリアし、高度化・拡販を推し進める必要がある。

- 静音性向上
- セルスタックも含めた高温下でのガスシール性および絶縁耐性強化
- 輸送、工事簡略化のためのコンパクト化

特に市場に受け入れられるためにはコンパクト化は最重要課題であり、かつコストダウンにも直結することから、特に注力している項目である。

表3には初期商品機の仕様を示す。本体寸法は、主にホットモジュールのコンパクト化の効果により、実証機から約30%サイズダウンの0.32m²/kWとなる。高い発電効率によるCO₂排出低減、NO_x・SO_x排出量が極めて低いなど、高い環境性をアピールしたい。

表3 20kW級商品機 仕様

1. 使用燃料	都市ガス13A(低圧/中圧)
2. 定格出力	発電端20kW、AC送電端17kW以上 *AC送電端効率50%以上
3. 出力仕様	3相3線202V/60Hz
4. 本体寸法	W1.8×L3.3×H2.2m
5. 排熱利用	80℃温水15kW以上 *総合効率90%以上
6. 騒音*機側1m	65dB(A)未満
7. 排ガス組成	70℃未満、NO _x 1ppm未満、SO _x ゼロ

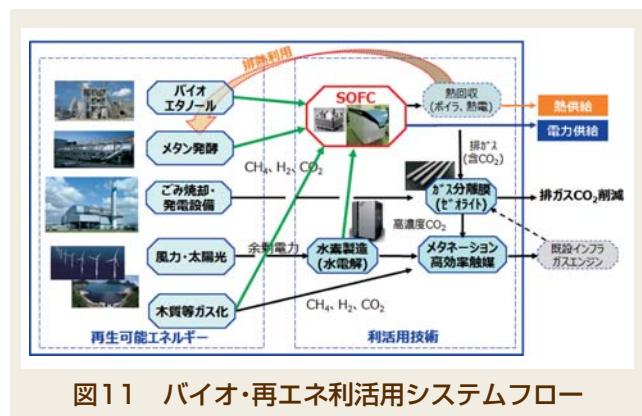
5.2 市場投入 現在、当社の捉えるSOFC市場としては、下記への適用を想定している。

- 都市ガス燃料 分散型発電（コージェネ市場）
- バイオ燃料（エタノール・メタン）利活用
- 熱分解ガス化利活用
- 水素社会への貢献（Power to Gas）

特に都市ガス燃料市場は、採算性面で厳しいハードルをクリアする必要があるが、市場規模が大きいことから非常に有望と考える。コージェネ更新市場のほか、ガスエンジンを適用しがたい低熱電比ユーザー向けに大きな市場が見込める。具体的には、エネルギーコストのバランスやBCP重要度により取捨選択されることとなるが、中小規模のスーパー、商業ビルなど、特に低圧電力契約者は非常に有望と考える。まずは経済産業省および各自自治体が推進する導入補助金を活用して、都市ガスコージェネ機の早期納入を目指す。

5.3 用途展開・事業拡大 図10にバイオ、再エネ利活用システムフローを示す。5.2項にも記載のとおり、将来的にはSOFCの燃料多様性を活かして、バイオ燃料等へ適用範囲を拡大していく必要がある。当社は、環境・ごみ処理を主力事業と位置付けており、バイオ燃料製造設備、風力・太陽光発電といったエネルギー・燃料を作り出す技術や、水電解、メタネーション、ガス分離膜といったエネルギー・燃料を利活用する技術を多く

有する。これらと組み合わせることで、SOFCを単なる高効率コージェネシステムとして使用するだけでなく、2030年・2050年の厳しいCO₂削減目標をクリアするための、低炭素およびカーボンニュートラルなエネルギー一貫システムを構築していく考えである。



6. 結 言

本稿では、当社における産業用SOFCの開発に関して、第二報として開発システムの概要、20kW級システム実証の結果、および今後の展開について紹介した。

これまで、セルスタックメーカーの協力を得て、家庭用セルスタック(0.8kW級)を複数積載して20kW級の業務産業用システムを構築、NEDO実証助成事業(2014～2017年)において、顧客サイトでの実負荷環境下での長期実証試験による耐久性の確認を実施してきた。長期4,000hの運転においては、2018年6月の大阪府北部地震、7月の豪雨および35℃を超える猛暑といった厳しい環境下でも安定した発電を継続し、BCP、災害時用の非常用電源としての効果が確認された。また、セルスタックの耐久性(電圧低下率)に関しても、期待値通りの結果が得られ、技術面での課題はほぼクリアし、本実証により確認された課題・対策を商品機設計へと反映させた。一方、コンパクト化とコストダウンを実施し、商品機としてのブラッシュアップを進めていく。

また、2030年・2050年の厳しいCO₂削減目標をクリアするためには、再エネ拡大と合わせて天然ガス燃料電池コージェネの普及により脱石炭を達成することと、国策として様々な新事業の展開が必要である。当社としてはメイン事業である廃棄物からの燃料およびエネルギーの創出において、SOFCをキーテクノロジーとして低炭素およびカーボンニュートラルなエネルギー一貫システムを構築し、環境負荷低減に貢献していく所存である。

【謝辞】

本開発は、日本特殊陶業株式会社との共同開発による成果を含みます。また、2014～2017年度にNEDO助成事業「固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発」に参画させていただき、補助金を利用して実施した成果を含みます。ここに記し、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 高木義信ほか：固体酸化物形燃料電池による産業用発電装置の開発, 日立造船技報, 2015, Vol.76 No.1, 11-15

【文責者連絡先】

Hitz日立造船(株) 環境事業本部
開発センター SOFCプロジェクトグループ
高木義信
Tel: 06-6551-9212 Fax: 06-6551-9906
e-mail: takaki@hitachizosen.co.jp

Hitachi Zosen Corporation
Environment Business Headquarters
Business & Product Development Center
SOFC Project Group
Yoshinobu Takaki
Tel: +81-6-6551-9212 Fax: +81-6-6551-9906
e-mail: takaki@hitachizosen.co.jp



高木 義 信



酒 井 良 典



岡 崎 泰 英



伊 妻 恭 平



八 木 厚 太 郎



川 見 真 人



橋 本 大 祐



若 宮 和 輝



小 川 貴 史