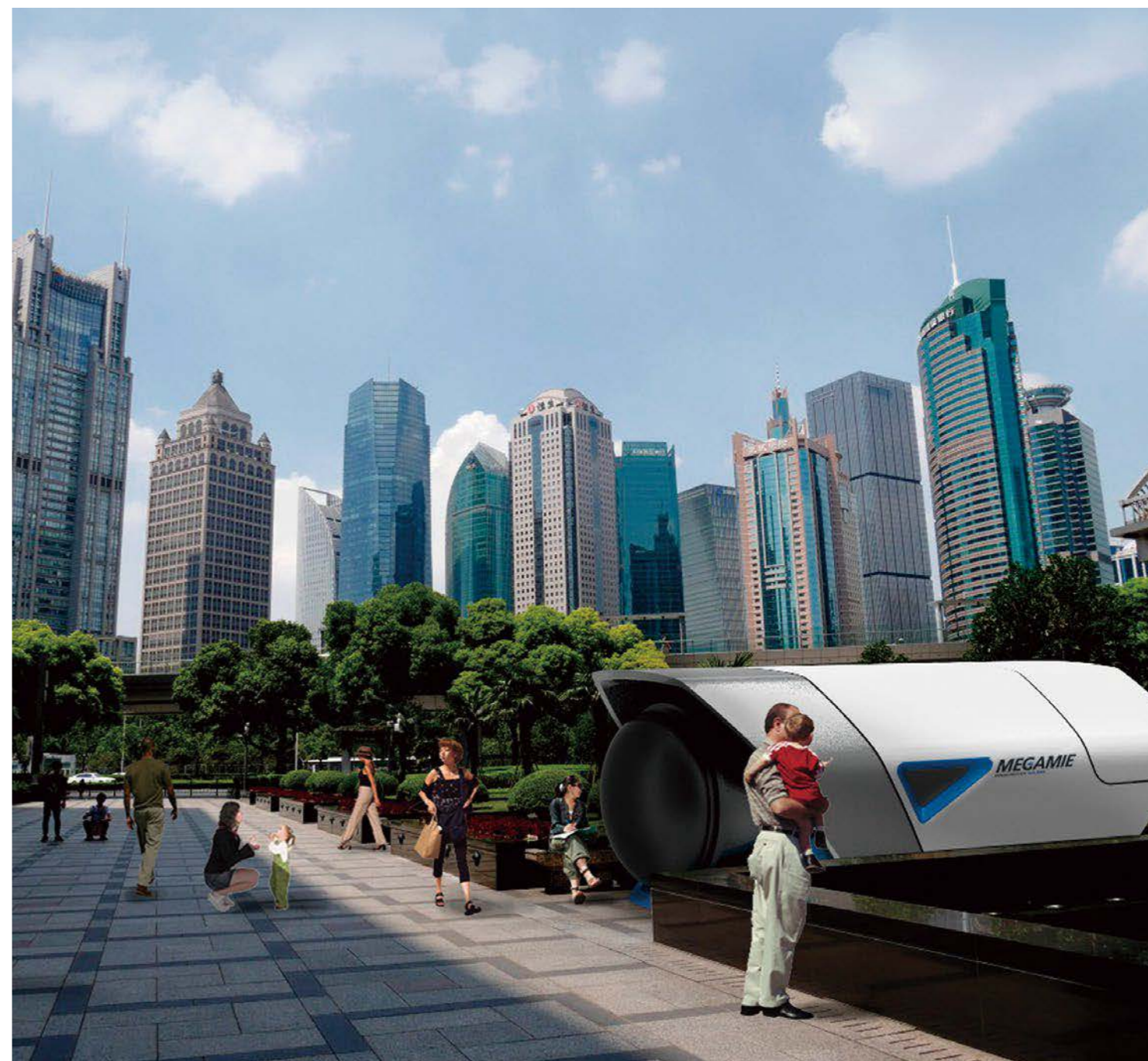


SOFC ハンドブック



INTRODUCTION

化石燃料が生み出すエネルギーは、
人類に偉大なパワーを与え、
地球の文明を照らし社会の進化を輝かせ続けてきた。

しかし一方、非効率な燃焼による大量のCO₂の排出が、
地球温暖化を招き、人類の表情と未来をも曇らせている。
今や早急な低・脱炭素社会の実現は、この星の最重要課題である。

そのような中、国際社会が注目する人類の希望の一つが、
電気を生み出す燃料電池(FC)を用いた、クリーンで高効率な発電システムだ。
燃料電池は、水素と空気中の酸素を化学反応させて直接電気を発生させるという画期的な装置。

高効率発電がゆえに省エネルギー化とCO₂排出削減による環境問題への大いなる貢献が期待され、
世界中で実用化の開発競争が激化している。

三菱パワーでは長年、燃料電池の中でも特に高い発電効率を発揮し大型化が可能な、
電解質にセラミックスを用いる固体酸化物形燃料電池(SOFC)の開発に取り組んできた。
次世代の高効率な発電を担う「MEGAMIE(メガミー)※」は、
その成果である最先端の高効率複合発電システムだ。

地球環境を守りながら人類の豊かな暮らしを支え続けるため、
発展途上国のクリーンな成長を応援し続けるため、
燃料電池の開発で世界に先駆けるエンジニアたちは、さらなる高みを目指す。

※MEGAMIE:安定した稼働性能を発揮する大出力の燃料電池であることを想起させる「メガ(MEGA)」と、大地や美を司る「女神(MEGAMI)」を掛け合わせ、
“力強さとスマートさ、温かさ”を表現したものです。また、最後のEは、Environment(環境保全)、Energy security(安定供給)、Economy(経済性)の
3つの“E”を意味し、三菱パワーが顧客に提供する価値や社会に対して果たすべき役割を表しています。

INDEX

3 STORIES: 「MEGAMIE(メガミー)」を世界へ

7 システムの概要

8 システムの構成

9 発電原理

10 次世代燃料電池発電システムの取組み

技術論文

12 水素社会へ向けた次世代大型燃料電池 SOFC の展開

18 SOFC-MGT ハイブリッドシステムの市場導入に向けた取組みについて



固体酸化物形燃料電池(SOFC)の高効率複合発電システム

「MEGAMIE(メガミー)」を世界へ

三菱パワー株式会社
顧問 技監・技師長
博士(工学) 小林 由則

安全で持続可能なエネルギー社会へ

東日本大震災の現場で書きなぐった、複合発電システム実用化へ想い

2011年3月11日、三菱パワーの小林由則は宮城県仙台市内にある東北電力本店の会議室で、燃料電池システムに関する研究の報告会に出席していた。午後2時30分から会議が始まり15分ほど経った時、これまでに経験したことのない激しい揺れに襲われた。宮城県沖を震源地とし、甚大な被害をもたらした東日本大震災である。

情報から途絶され、避難民の一人となった小林は、復旧へ向けて奔走する

東北電力のメンバーたちの姿を見ながら「インフラとしての電気の大切さ」を改めて強く感じた。そして、「日本はもとより世界中のまだ電気の届かない所に住む人びとに、安全で環境にやさしい電気を一刻も早く届けたい」と、燃料電池の開発に対する強い使命感をあらためて心に刻んだのだった。

クリーンで高効率な発電システム、燃料電池

地球温暖化が進み、世界中で気候変動による深刻な影響が報告されている。低・脱炭素社会の実現は、現代に生きる私たちに最も求められているミッションである。これを実現する手段として期待されているのが、

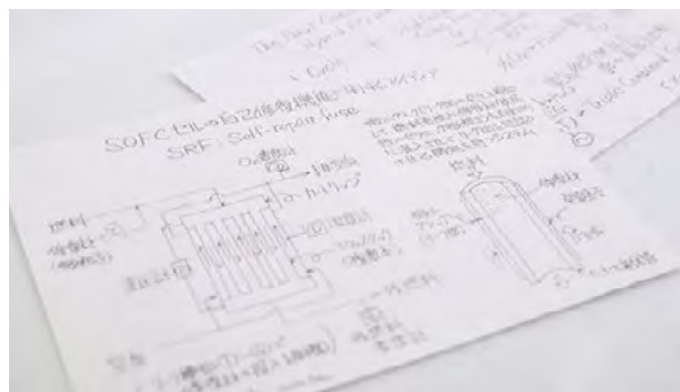
水素を利用して電気を生み出す燃料電池(FC)だ。燃料電池は、これまでのエネルギーとは全く異なり、水素と空気中の酸素を反応させて直接電気を起こすという画期的な発電システムである。従来の化石燃料のように二酸化炭素を排出させず、エネルギー効率にも優れているため、環境問題やエネルギー問題を解決するものとして、世界中で開発が進められている。

三菱パワーでは、約40年前から燃料電池の開発を続けてきた。小林は、その開発におけるリーダーだ。「MEGAMIE(メガミー)」は、2008年度から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)との共同研究として、まず250kW

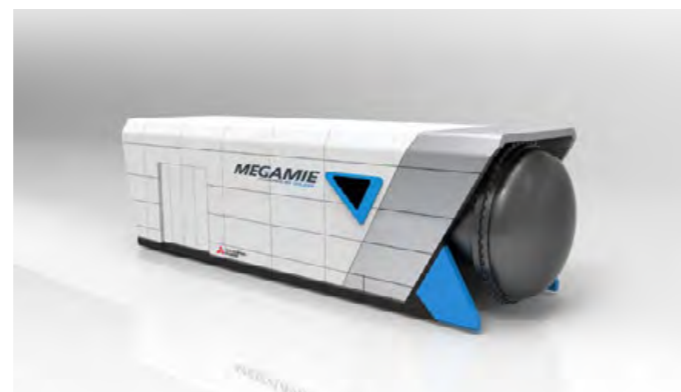
級システムの開発・実証を進めてきた。その後2015年に九州大学構内にプロトタイプ機を設置し、連続運転の実績^(注1)を踏まえて、2017年に国内での商用機の市場投入を果たした。

(注1) 2020年2月現在で25,000時間を超える運転実績。
安全で持続可能なエネルギー環境社会の構築に向けた活躍が大いに期待されている。

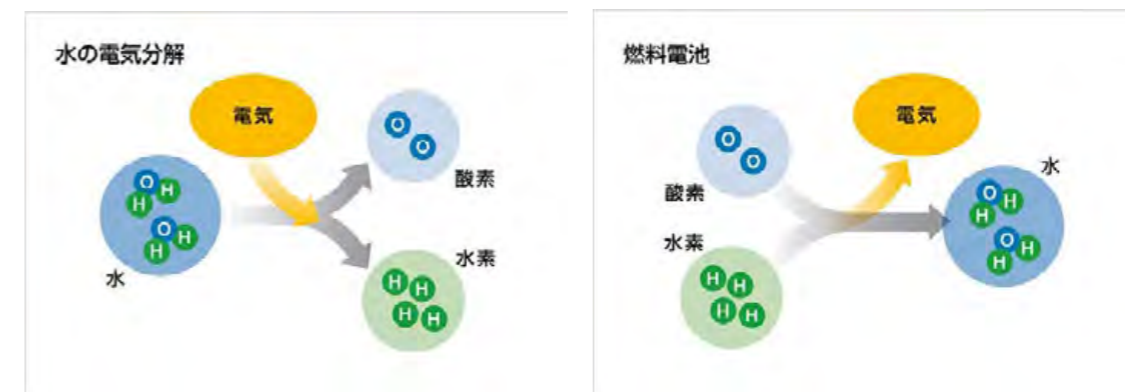
また、現在では電力需要の大きなユーザー向けに、三菱パワーの長崎工場でのNEDOの委託事業による1MW級プロトタイプ機の実証を進めているが、「MEGAMIE」(1MW級)1基でまかなえる電力は、オフィスビル2棟分、住宅なら約2,000世帯分に当たる。さらに、分散電源の特徴として、電力の使用先の近くに設置することで、送電ロスなくし、コジェネによる熱の有効利用も可能となる。



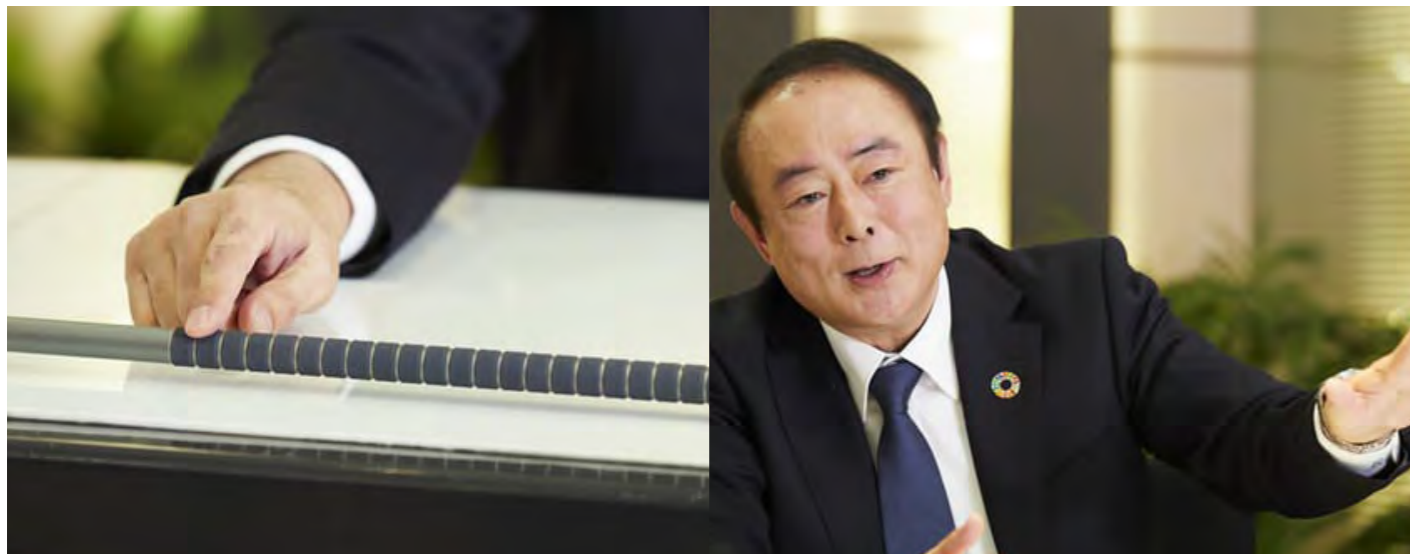
余震が続く被災した夜、小林が薄明かりの中で書いたメモ。SOFCの性能向上のためのアイデアが記されている。



250kW級MEGAMIE



「水の電気分解」は、水に外部から電気を通して水素と酸素に分解する。燃料電池はその逆で、水素と酸素を電気化学反応させることによって電気を生ずる。



失敗の連続だった開発。克服したのはチーム力

各分野の専門家の意見をインテグレートして、ワンチームで乗り越える

しかし、「MEGAMIE」の開発の過程は「失敗の連続」であったと小林は振り返る。

特に、克服するのに苦労したのは、繊細なセラミックスの化学製品でタフな発電設備を作るところだという。

「MEGAMIE」で使用するセルスタックは、三菱パワーが長年をかけ独自に開発したもので、構造的に堅牢な円筒型基体管の表面に、発電反応を行う素子を複数成膜したオールセラミックスの製品だ。2014年からはセラミックス専門メーカーである、日本特殊陶業株式会社（NTK）との技術提携を行い量産化の準備を進めている。

三菱パワーの加圧システムでは、繊細なセラミックス製品と強靱性が求められるガスタービンという、いわば相反する性質を持つコンポーネントを組み合わせ、複合的なシステムにインテグレートして行くというマネージメントの難しさを痛感した。

世界中で数多くの企業や研究機関が燃料電池の実用化に取り組んできた。しかし、ほとんどが成功せず挫折してきた。その原因の一つがこの技術のインテグレートではないかと小林は考えている。

「セルスタックは高性能のものが出来上がったのに、ちょっとしたシステム側のボタンの掛け違いの様なトラブルによって、相当に堅牢なはずのセルが割れてしまうといったことは、これまでに数多く経験しています」

と振り返る小林。「セルをつくる化学分野の人、それをシステムとして仕上げる機械分野、電気分野の人。そういう各分野の人たちの思いがうまく補い合い、助け合う連携プレーが大切なんです。例えば、化学屋さんはある意味で芸術的ともいえる質の高いものをつくろうとする。ところが、システムがなっていないから自分たちのセルがうまく機能しない、壊れると言う。一方機械屋さんは、うまくいかないのはセル自体の耐久性が足りないから、性能が足りないからだと言う。そういう葛藤をいかにワンチームでまとめ上げられるかが重要なポイントです。特に、効率性とスピードが重要視される現代社会においては、チームプレーを成功させるための“のりしろ”に当たる部分がどんどん短くなっていますが、この隙間について予期せぬトラブルが発生してしまいます。いろんな分野の人が思いを一つにできるよう、私も胃潰瘍になりながらまとめあげていきました」

セラミックスとの格闘に、「陶芸家」のような心境に

東日本大震災を経験し、「とにかくSOFCを製品化しなければ」と強く意識するようになった小林だが、その頃は製造時点での歩留まりを上げることに苦慮していた。

当時の心境を小林は、「どうしても歩留まりがあがらないと、陶芸家が納得のいくものができずに、作品を割るようなもの」だと敢えて自分を励ましたりもしたという。そこで行ったのが原材料まで遡った徹底的な現場の「整流化」である。

「もちろんみなさんは一生懸命やっていますが、原材料の品質にまで立ち入ろうとすると、原材料メーカーさんの工場にまで人を張り付けて管理しないとイケない。これは本来パートナーさんが非常に嫌がることなんです、皆さん協力してくれました。本当に感謝しかありません」と振り返る。



1MW級ハーフモジュール実証機

もうひとつの課題が、BOP（バランス・オブ・プラント）についてだった。これは、最も重要なハイテクの燃料電池本体部分以外の補助的な役割を果たす周辺機器を指す言葉である。「MEGAMIE」でいえば、マイクロガスタービンや熱交換器、配管やバルブ類、そして電気品などが当たる。ハイテクのコアの部分の開発に、国や会社からの注目も集まるが、周辺機器も当然重要である。未だ世に出るかどうかわからない製品のために特別仕様のもを安く作る努力を、パートナーさんにしてもらえるかどうか難しいところであった。

しかし、そこを一生懸命に働きかけて、BOP機器のコストダウンにも努め、よりSOFCの能力を発揮できるような仕様のものに改良してもらえたことも重要ポイントであったと小林は振り返る。

運用性とコストを改善し、世界中の人へ電力を

高効率かつ多種類の燃料ガスが使える、ユニークなシステムが誕生

では、三菱パワーの「MEGAMIE」は、他社のSOFCとどう違うのだろうか。一つは、加圧をしてガスタービンのような既存の発電システムと組み合わせているところだと小林は言う。

「加圧することでより大きな電力が得られます。また、円筒型のセルを使用することで、セルの中を流れる燃料と外側を流れる空気を遮断するシール部が両端の2カ所済みため、ガスタービンとのコンバインがよりリーズナブルな形でできることもユニークな点です」

もうひとつは、多種の燃料ガスを利用できる点である。

すでにインフラが整っている都市ガスやLPGなどが使えるうえ、脱炭素

に繋がる汚泥や食品残渣、農林業系の廃棄物などから出るメタンガスを燃料として使うこともできる。さらにこれから迎える水素社会では、水素をどういった形態で輸送するかが課題となっているが、三菱パワーのSOFCではどのような形であってもフレキシブルに対応することができる。

コスト面・運用面の課題を克服し、市場化を目指す

2019年には、250kW級の商用1号機として東京の丸の内ビルディングで運転を開始した「MEGAMIE」。しかし、小林の語る「世界中の人に電力を届ける」という段階にはまだ至っていないという。

まずあげられるのがコストの問題だ。市場に浸透させるにはまだまだコストダウンが必要だ。そのためには、セルの出力密度をさらに上げることや、材料の最適化、製造プロセスの簡素化などが課題となる。また、BOPの標準化を徹底し、サプライチェーンを構築して、パートナーとともにコストダウンに取り組む必要がある。

もうひとつの課題は、運用性だ。自動車に使われている固体高分子形燃料電池（PEFC）は、作動温度が60℃から100℃と低いため起動・停止は簡単にできる。しかしSOFCは、900℃前後と作動温度が高いため、起動・停止に時間がかかってしまう。これをどう解決していくかが課題となっている。

確立した技術をどう量産化し、市場へ浸透させていくか。現在三菱パワーの複合発電システム「MEGAMIE」は、世界を変える一歩手前といえる。小林は、その答えを見出すため今日も研究に没頭する日々を過ごしている。

※ご紹介した、加圧型ハイブリッドシステムは、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）との共同研究として、当社長崎造船所で2008年度から開発を進めてきたものです。



システムの概要

高温作動の燃料電池であるSOFC(固体酸化物形燃料電池: Solid Oxide Fuel Cell)とマイクロガスタービンを複合した高効率複合発電システム



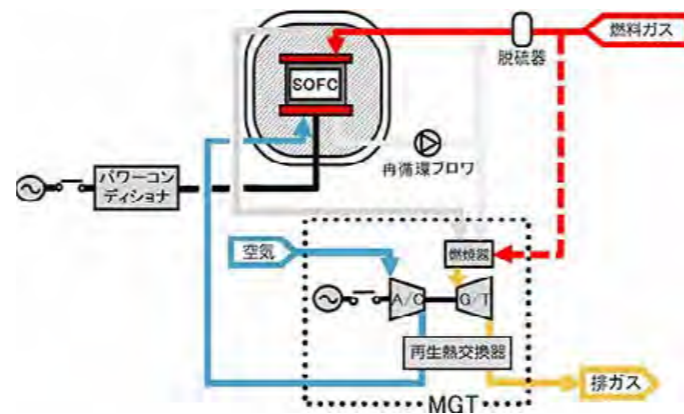
天然ガス、バイオガス、水素など様々な燃料のマルチユースが可能な発電システムで、事業用から産業用まで対応可能。

特長

- 分散電源で大型発電並みの発電効率 (発電効率55%LHV、総合効率73%LHV/温水回収)
- 燃料を燃焼せずに直接電気に変換する燃料電池で主な電気を発生
- マイクロガスタービンでも発電し、燃料を有効利用
- マイクロガスタービンの排気ガスから蒸気または温水回収でコジェネレーション

発電と熱発生のしくみ

- SOFCに燃料ガスを投入して発電する(第1段)
- 高温のSOFC排ガスをマイクロガスタービン(MGT)に投入して発電する(第2段)
- 高温のMGT排ガスから熱を取り出し、温水もしくは蒸気を製造
- 高効率で発電することを特長とし、電気需要の多いサイトに最適なコージェネレーションシステム
- 燃料ガスとして、天然ガス、バイオガス、水素、プロパン、ブタン等の多種多様な燃料の利用が可能

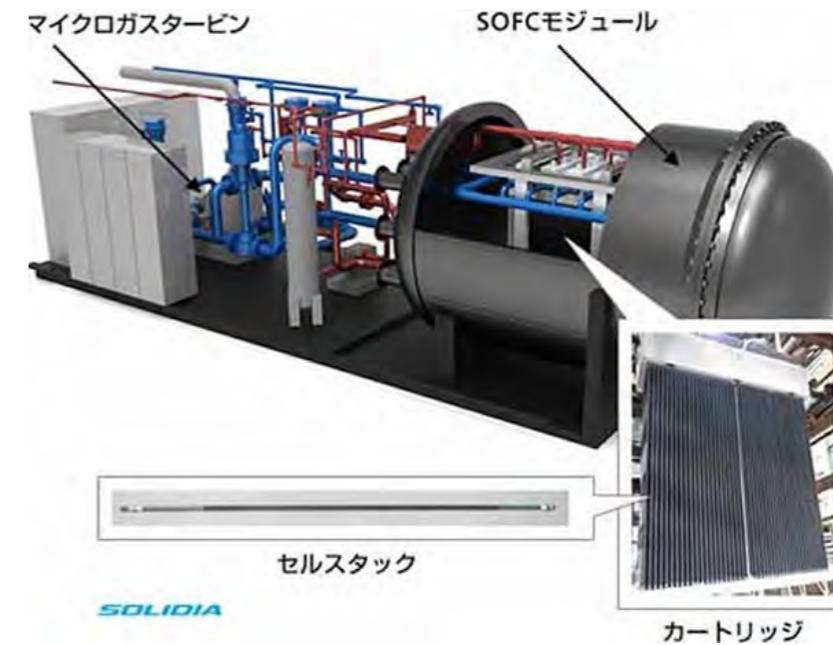


加圧型SOFCモジュール

システムの構成

セラミックス管の外側に複数の燃料電池(単セル)を直列に接続させた「セルスタック」を束ねて「カートリッジ」(出力:数十kW)を作り、この「カートリッジ」をまとめて圧力容器に格納したものを「モジュール」と呼びます。このような階層構造を取ることで、据付けやメンテナンスが容易になります。また、「カートリッジ」、あるいは「モジュール」の数により、電気出力を調整できるため、必要に応じた電気の供給が可能です。

- カートリッジ**
セルスタックを束ね、支持部材、燃料・空気の供給 / 排出、電流の取り出しの機能を持たせたもの。
- セルスタック**
高強度のセラミックス製の構造部材である基体管の外表面に、発電反応を行う素子(燃料極/電解質/空気極の積層体)を形成したもの。電子導電性セラミックスのインターコネクタで素子間を直列に接続しているため低電流で高電圧の電気出力を効率よく取り出すことができる。
- モジュール**
カートリッジをまとめて圧力容器の中に入れたもの。



主な納入実績

九州大学



<仕様>
屋外設置
・2015.3より運転開始

三菱地所株式会社
丸の内ビルディング



<仕様>
蒸気回収、屋内設置(地下4階)

株式会社 安藤・間
技術研究所



<仕様>
温水回収、屋外設置、
水素混合発電

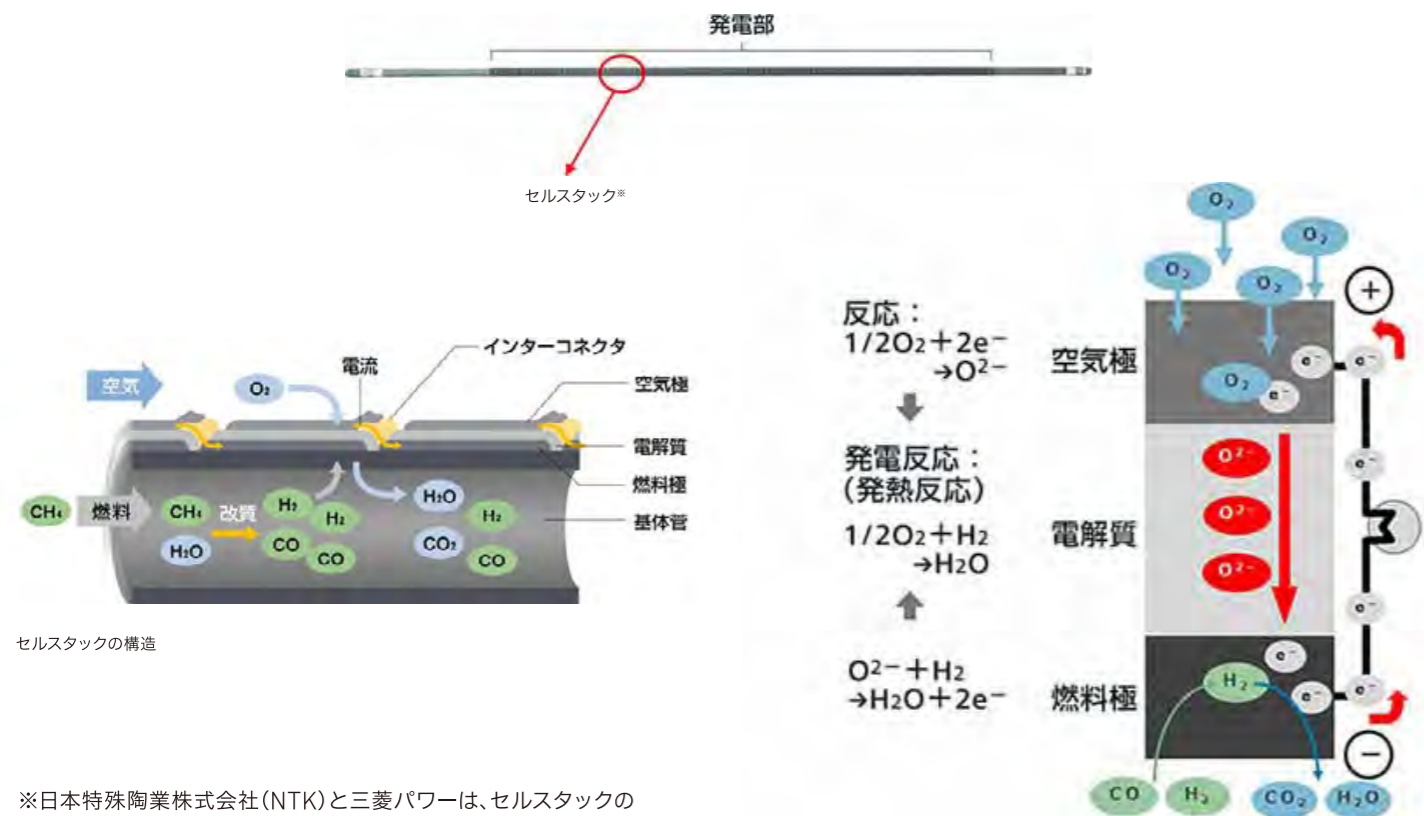
出典:株式会社 安藤・間

発電原理

SOFCは、燃料極に燃料ガス(水素や一酸化炭素など)、空気極に空気(酸素)を供給して、摂氏700度~1000度の温度で発電します。

セルスタックに投入される燃料ガスの主成分であるメタン(CH₄)と、再循環される排燃料に含まれる水蒸気(H₂O)は、SOFCの特徴である内部改質反応によってセルスタックの内部で水素(H₂)と一酸化炭素(CO)になります。空気極側から電解質中を移動してくる酸素イオン(O₂⁻)が燃料極と電解質の界面で、燃料の水素(H₂)や一酸化炭素(CO)と反応して、電子(e⁻)を放出すると同時に、水蒸気(H₂O)あるいは二酸化炭素(CO₂)を生成します。

一方、酸素イオンから放出された電子は、外部電気回路を通して電気的な仕事をした後、空気極に移動します。空気極と電解質の界面では、空気中の酸素(O₂)が、移動してきた電子と反応し酸素イオンになり、この酸素イオンは電解質中に取り込まれて燃料極側に移動します。発電の全体の反応としては、水素あるいは一酸化炭素と酸素が反応して水あるいは二酸化炭素が生成され、電子が外部回路を移動することで、電気が流れます。空気極が正極(カソード)、燃料極が負極(アノード)となります。



セルスタックの構造

※日本特殊陶業株式会社(NTK)と三菱パワーは、セルスタックの製造・販売を行う合弁会社「CECYLLS(セシルス)」を設立し、長寿命で熱利用が可能な円筒セルスタックを高品質に量産・販売しています。

次世代燃料電池発電システムの取組み

将来の大型事業用火力発電所の代替機種として、高効率な発電が期待されるのが、SOFC+ガスタービン+蒸気タービンの複合発電システムです。

普及の初期段階においては、SOFC量産体制なども考慮し、まずは中小型のシステムの提供を見据えます。中規模電源用コージェネレーションだけでなく、既設のガスタービンコンバインドサイクル発電設備の効率改善策として、ガスタービンの容量に対して少ない設備容量のSOFCを部分的に追設する、トッピング改造などの市場開拓も含め、普及加速のための検討を進めています。

将来の大型火力発電所の代替機種と位置付ける天然ガス焼き数百メガワット級SOFC+ガスタービン+蒸気タービン複合発電システム(ガス

タービン燃料電池複合発電、GTFC:Gas Turbine Fuel Cell combined cycle、図1)では、送電端発電効率として70パーセント以上(LHV:Lower Heating Value、低位発熱量)が期待でき、火力発電所からの二酸化炭素(CO₂)の排出量を約2割削減することが可能です。さらに、石炭を燃料とした場合でも数百メガワット級石炭ガス化炉+SOFC+ガスタービン+蒸気タービン複合発電システム(石炭ガス化燃料電池複合発電、IGFC:Integrated coal Gasification Fuel Cell combined cycle、図2)では、送電端発電効率として60パーセント以上(LHV)が期待でき、同様にCO₂の排出量を約3割削減することが可能です。

燃料電池の技術開発をリードし、さらなる大容量化と高効率化をめざし、将来の事業用発電システムの実機開発につなげていきます。



(図1) ガスタービン燃料電池複合発電プラント



(図2) 石炭ガス化燃料電池複合発電プラント

水素社会へ向けた次世代大型燃料電池 SOFC の展開

Development of the Next-Generation Large-Scale SOFC
toward Realization of Hydrogen Society

小林 由則*1 Yoshinori Kobayashi	富田 和男*2 Kazuo Tomida
西浦 雅則*3 Masanori Nishiura	樋渡 研一*3 Kenichi Hiiwatashi
岸沢 浩*3 Hiroshi Kishizawa	武信 弘一*4 Koichi Takenobu

三菱日立パワーシステムズ(株)(MHPS)では、高温作動の燃料電池である固体酸化物形燃料電池(SOFC)をガスタービンなどの他の発電システムと組み合わせた複合発電システムの開発を進めており、その内の一つである SOFC とマイクロガスタービン(MGT)を組み合わせたハイブリッドシステムの実用化に向け、東京ガス(株)千住テクノステーションにて実証試験を進めてきた。2013年3月より運転を開始し、200kW級のSOFCとマイクロガスタービン(MGT)を組み合わせた加圧型SOFC-MGTハイブリッドシステムで、世界初となる4100時間の長時間連続運転を達成し、夏場の重負荷期を含め安定な運転状態を示した。その成果を基に新たなコンパクト型の実証機の設計を進め、2015年3月に国立大学法人九州大学に設置した。今後実証研究や基盤研究に活用される予定である。

1. はじめに

地球温暖化問題、エネルギー問題、そして経済問題を同時に解決するためには、エネルギー源の低炭素化とエネルギー利用の高効率化が必須である。従って、主要な温室効果ガスの一つであるCO₂排出量の削減には、高効率の火力発電等の集中電源により構築された現状の電力基盤インフラをベースとして、分散電源を地点・容量に応じて合理的に組み合わせ、その上で再生可能エネルギー等の新エネルギーを経済的・合理的に最大限導入していく必要がある。また、地球規模でのエネルギー資源の保全のためにも、高効率発電システムを開発し、早期普及させることにより、化石燃料を徹底して有効活用することが急務の課題となっている。本稿では、MHPSのこれまでのSOFCの開発状況、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)事業にて取り組んでいるSOFCとMGTを組み合わせた複合発電システムである、SOFC-MGTハイブリッドシステムの実証状況、及び今後の展開について紹介する。

2. SOFC 複合発電システムの構成

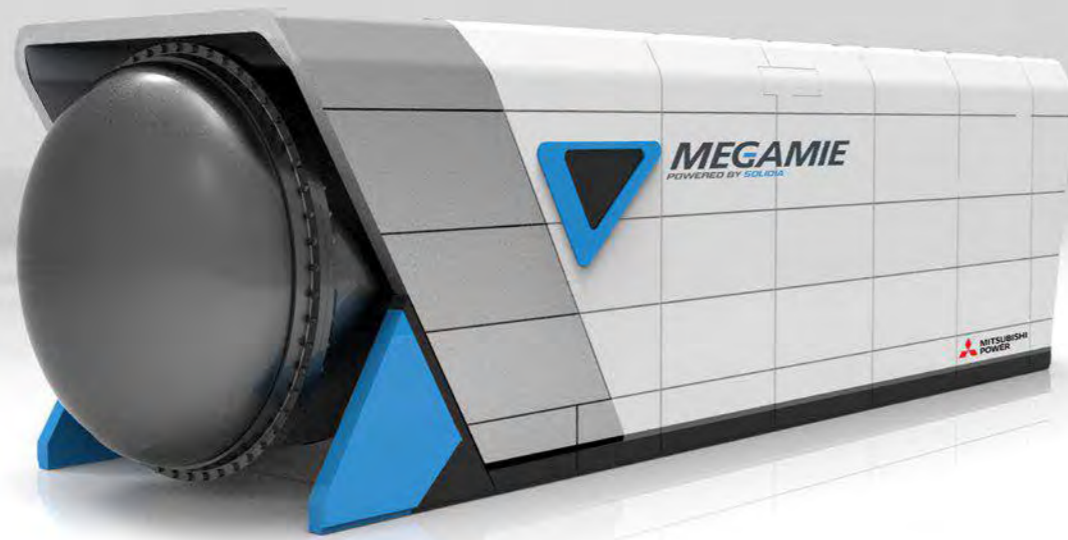
2.1 セルスタック

MHPSの円筒形SOFCセルスタックの構造を図1に示す。構造部材である基体管の外表面に発電反応を行う電池(燃料極/電解質/空気極の積層体)を形成し、インターコネクタと呼ぶ電子導電性セラミックスで電池間を直列に接続している。熱膨張係数の近い構成部材を選定するとともに製造技術の改良により一体焼結を採用することで、製造コストを削減し、さらには構成材料間の接着強度を向上させ、性能・耐久性の向上を図っている。

*1 三菱日立パワーシステムズ(株)燃料電池事業室 主幹・技監 工学博士
*2 三菱日立パワーシステムズ(株)燃料電池事業室 次長 工学博士
*3 三菱日立パワーシステムズ(株)燃料電池事業室 グループ長
*4 三菱日立パワーシステムズ(株)ボイラ技術本部 主席技師 工学博士

TECHNICAL REVIEW

技術論文



三菱パワーは、三菱重工の中核をなす事業会社として、高効率な発電技術・環境技術の開発をしている。ここからは分散電源として水素を含む多様な燃料を有効活用できる燃料電池について三菱重工技報をとおして紹介する。

- 水素社会へ向けた次世代大型燃料電池SOFCの展開
分散電源ニーズに対応する三菱パワーの燃料電池発電技術。
“安全で持続可能なエネルギー環境社会”の構築に貢献。
- SOFC-MGTハイブリッドシステムの市場導入に向けた取り組みについて
低炭素社会へ向けての開発。250kW級は実証済み、
更に1MW級の検証を開始。

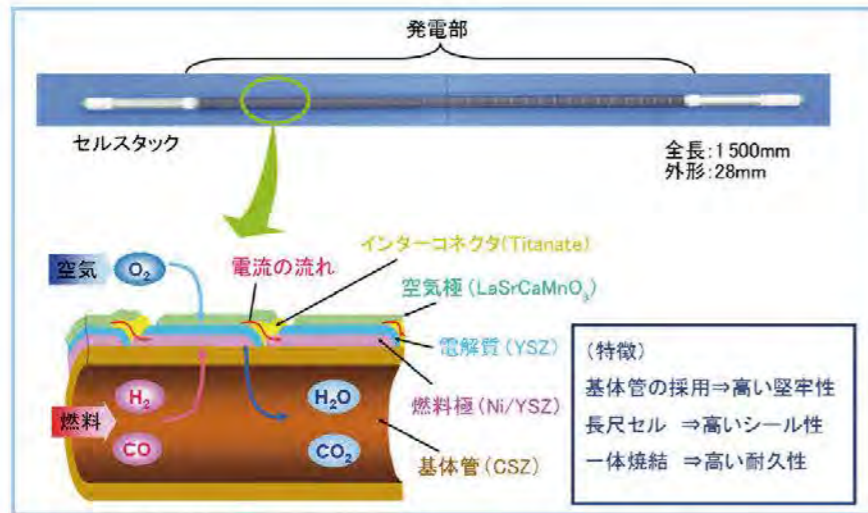


図1 円筒形 SOFC セルスタックの構造

MHPS では、独自に高性能のセルスタックの開発を行ってきた。10 式と称するセルスタックではセル数を 85 まで増加させ、かつ、インターコネクタの組成の最適化や空気極の調整等を行い、セルスタックあたりの出力を 30% 向上させている。また、更なる高性能化に取り組んでいる 15 式のセルスタックでは、電極と電解質の界面等を改良し、10 式に比べ更に 50% の出力密度の向上を図っている(図2)。

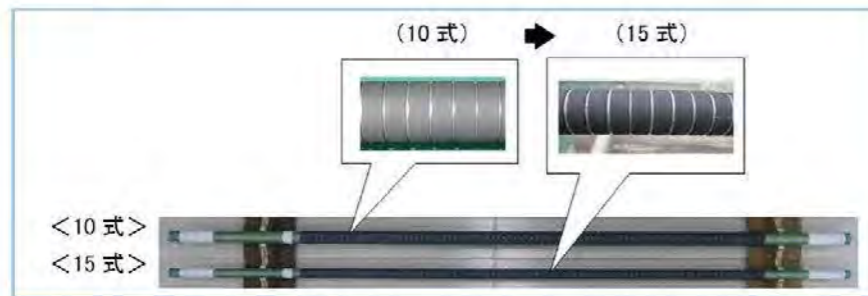


図2 円筒形 SOFC セルスタック

2.2 カートリッジ

セルスタックを束ねて数十 kW の電気を出力するカートリッジを形成し、このカートリッジを必要な容量だけまとめて圧力容器の中に格納しモジュールを構成している(図3)。

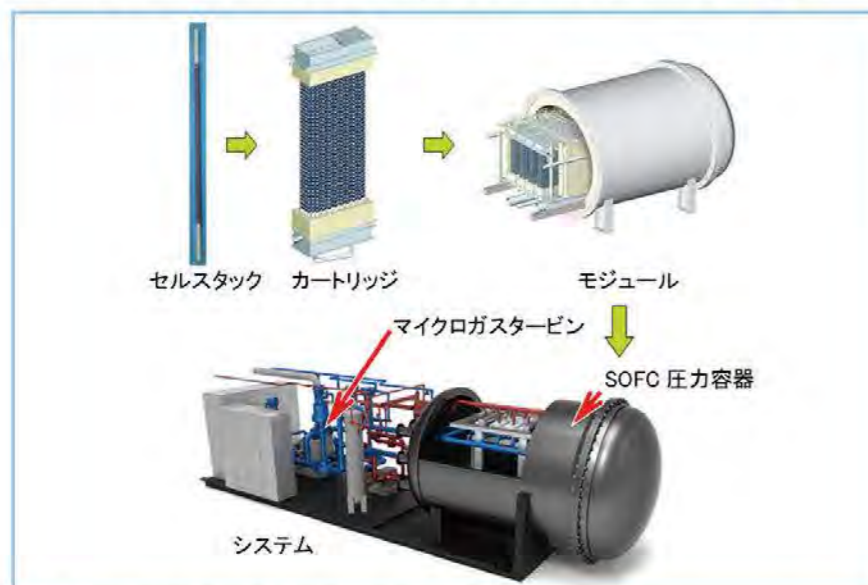


図3 SOFC-MGT ハイブリッドシステムの構成

このような階層構造を取ることで、据付けやメンテナンス性まで考慮したシステム化を図っている。また、カートリッジの数、あるいはモジュールの数により、電気出力を調整できるため、必要とされる幅広い電気出力に対応することが可能である。

カートリッジでは、単位体積当たりの出力密度の向上及びコンパクト化を指向している。充填密度が高まると発熱密度が増加するが、カートリッジの伝熱・冷却設計を行い、伝熱特性を制御し発電部及び発電部前後での熱交換部で従来どおりの伝熱量を確保している。15 式では、セルスタックを小径長尺化することで、体積当たりの出力密度を増加させ、システム設置面積をコンパクトにすることが可能である(図4)。

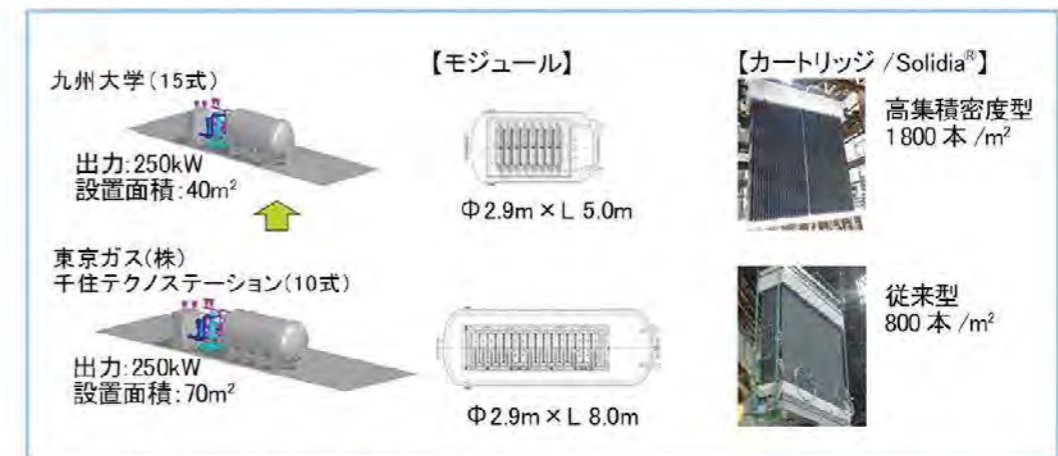


図4 低コスト量産用セルスタック・カートリッジの開発

2.3 システム

図5に示すハイブリッドシステムは、SOFCとマイクロガスタービン(MGT)の2段階にて発電するシステムであり、排ガス系統に排熱回収装置を設置することで、蒸気、温水を同時に供給するコージェネレーションシステムとすることが可能である。

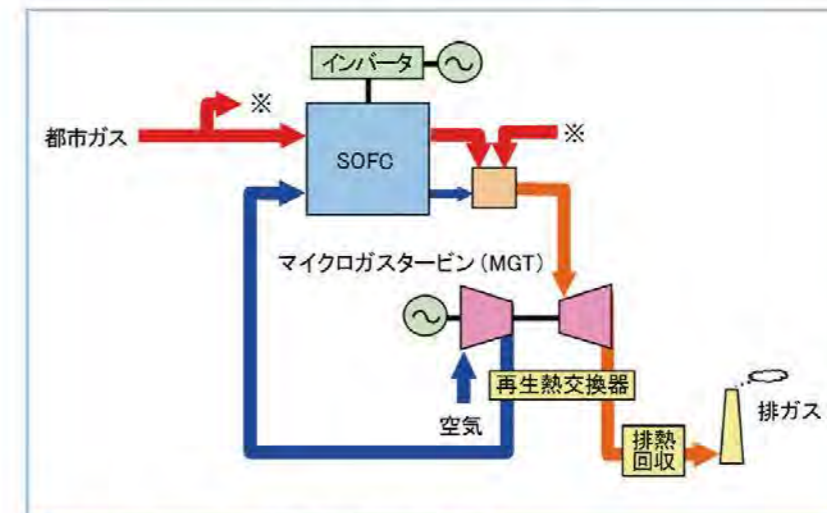


図5 SOFC-MGT ハイブリッドシステムの系統

3. ハイブリッドシステムの市場導入計画

3.1 東京ガス(株)での実証試験(10式実証機)

これまでの成果を踏まえ、2011~2014年度には、NEDO 事業にて10式250kW級SOFC-MGTハイブリッド実証機の開発・評価を東京ガス(株)千住テクノステーションにて行った。MGTには、(株)トヨタタービンアンドシステム製のものを採用した(図6)。

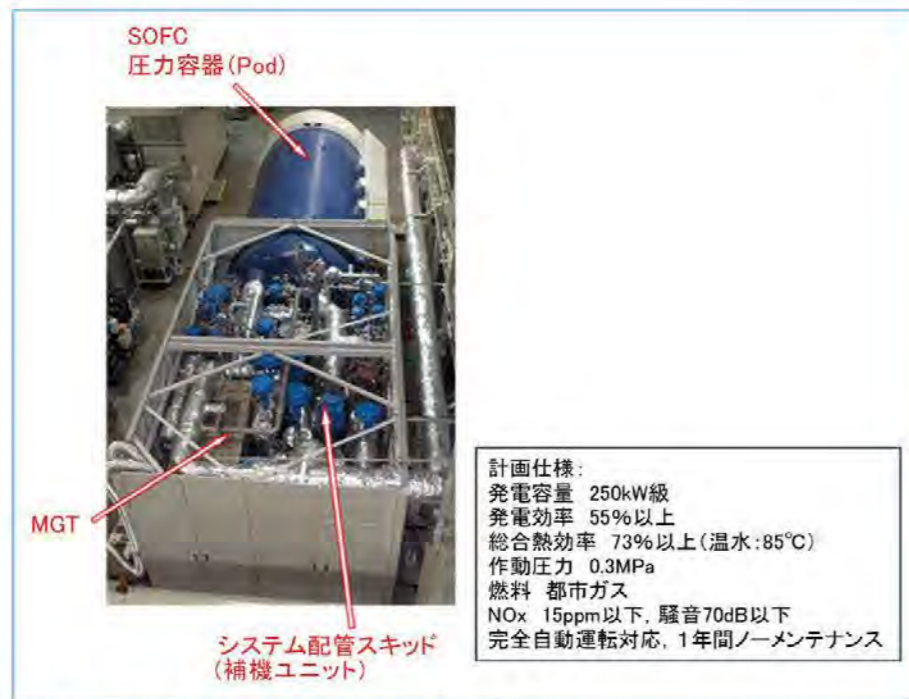


図6 10式 SOFC-MGT ハイブリッドシステム実証機

この実証機において、SOFC-MGT ハイブリッドシステムの初期導入促進に向けた課題抽出と導入促進のための規制緩和の検討を行った。特に、現時点では SOFC-MGT ハイブリッドシステムは、燃料ガス圧力が 100kPa 以上の加圧システムであるため常時監視を必要とする発電システムとして位置付けられており、本格普及のためには常時監視の規制を見直す必要があると考えている。そのため、規制緩和に必要な技術データとして、システム安全性の設計根拠やシステム長期耐久性試験の他に、起動停止、負荷変化、システムの異常時を想定した緊急時の対応等の運転データを取得し、システムの信頼性・安全性を実証した。

これらの各種検討・試験データの評価、及び規制緩和の活動は、(一社)日本ガス協会、燃料電池実用化推進協議会、(一社)日本電機工業会等のご協力を得ながら進めた。

システム長期耐久性としては、計画停止までの間、4100 時間超の連続運転を行い、定格負荷一定条件において経時劣化は見られず、電圧低下率 0%/1000h で安定していることを確認している(図7)。

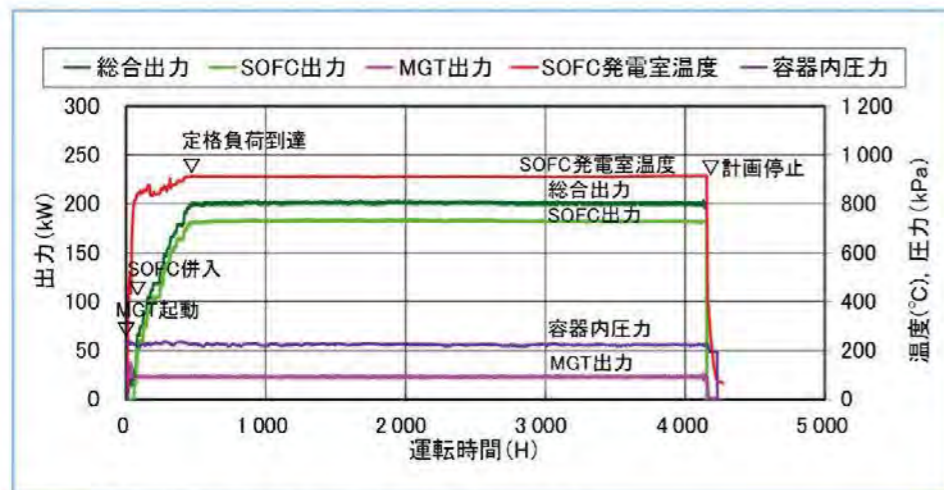


図7 SOFC-MGT ハイブリッドシステム耐久性試験状況

3.2 九州大学での実証試験(15式実証機)

10式実証機の成果を基に15式実証機の設計を進め、2015年3月、九州大学の伊都キャンパス(福岡市西区)に設置した。今後、本実証機は、次世代燃料電池産学連携研究センター(NEXT-FC)^{2b)}における、グリーンアジア国際戦略総合特区“スマート燃料電池社会実証”での実証研究や関連するSOFCの性能・耐久性・信頼性の向上のための基盤研究に活用される予定である(図8)。

注)次世代燃料電池産学連携研究センター:SOFCの本格普及につなげる産学連携の推進を目的に設立された。



図8 九州大学での15式 SOFC-MGT ハイブリッドシステム実証機

3.3 市場導入計画

今後、SOFC-MGT ハイブリッドシステムの高効率・コージェネレーション、静粛性・環境性等の優れた特長を活かし、病院やホテル、銀行、データセンターなどの業務用・産業用分野へ分散型電源として導入を図りたいと考えている。システム仕様を表1に示す。2015年度からはサンプル機という位置付けで、先行的に市場へ投入しお客様の評価を受けていきたいと考えている。そして、2017年以降の本格的な市場投入に向けて、サンプル機で得られた評価・知見を活かして耐久性及び可搬性等の向上に取組み、より商品力を持つシステム仕様へ改良し、更に低コスト化を図っていく。

表1 システム仕様

250kW SOFC-MGT ハイブリッドシステム	
外観	
定格出力	kW 250
送電端効率	%-LHV 55
総合効率	%-LHV 73(温水) 65(蒸気)
ユニット寸法	m 12.0×3.2×3.2
運用	コージェネレーション運用

本仕様は計画値である。

4. 水素社会へ向けた展開

4.1 マルチエネルギーステーション(クアトロジェン[®])

今後の低炭素社会・水素社会へ向け、ハイブリッド機を用いた以下の取り組みを検討中である。SOFCは図9(a)の通り、都市ガスの内部改質により生じる水素及び一酸化炭素を用いて電気及び熱を発生する。ここで、図9(b)の通り内部改質により生じる水素の一部を発電に回さず直接取り出して利用することも可能であるため電気・熱・水素の同時供給が可能であり、更に燃料である都市ガスも併せて供給するクアトロジェンが可能となる。この仕組みを水素ステーションへ応用

すれば、FCV(燃料電池車)のみならず EV(電気自動車)及び CNGV(圧縮天然ガス自動車)等の低炭素自動車へ燃料を同時供給できるため、ステーション収益性の向上が見込まれる(図9(c))。

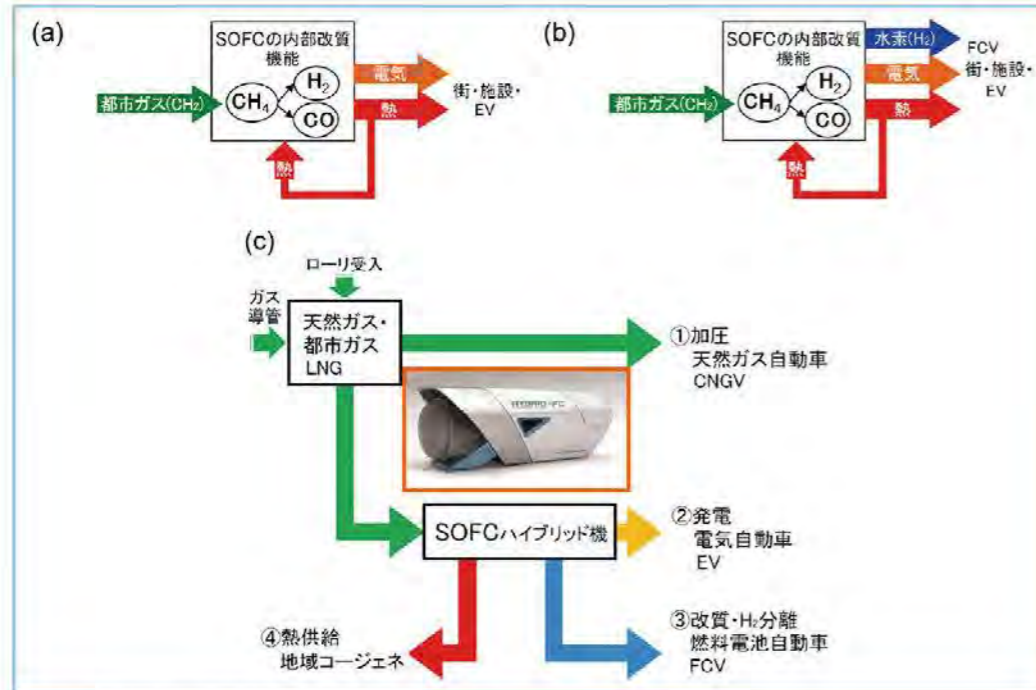


図9 クアトロジェンのイメージ
(a)従来 SOFC による電気及び熱供給, (b)内部改質機能を利用した水素製造, (c)水素ステーションへの応用例

4.2 エネルギーの地産地消(再生可能エネルギー利用)

都市部の下水処理場にて発生する消化ガスを用いても発電できるものと考えている。更に消化ガスは通常60%程度のメタンであるため、CO₂分離の技術を利用すれば高純度メタンを燃料として高効率消化ガス発電も可能と考える。上述のクアトロジェンを適用すれば消化ガス由来の「都市産水素」の生産も可能となり、「都市部で出来るエネルギーの地産地消」が期待できる(図10)。

これらハイブリッドシステムによる付加価値の創出により SOFC の市場導入を加速させていきたい。

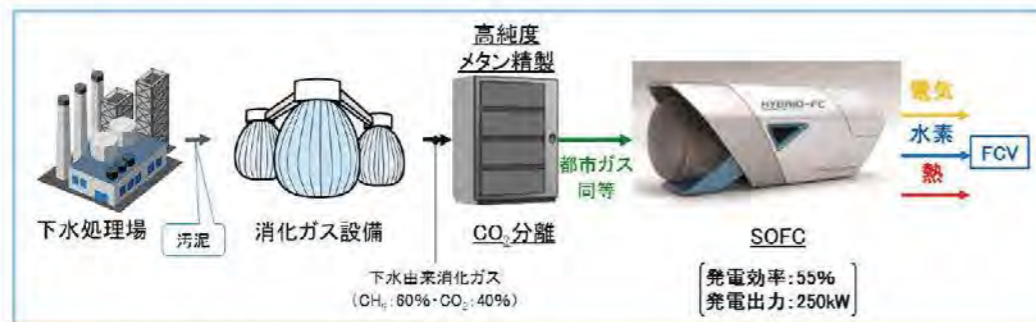


図10 消化ガス発電のイメージ

5. まとめ

経済産業省の水素・燃料電池戦略ロードマップが2014年6月に策定され、その中で、業務用・産業用燃料電池の2017年度の市場導入も明言された。MHPSにおいても、SOFC-MGTハイブリッドシステムを着実に確立するとともに早期実用化を進め、“安全で持続可能なエネルギー環境社会”の構築に大きく貢献していきたいと考えている。

技術論文

SOFC-MGT ハイブリッドシステムの市場導入に向けた取り組みについて

Development of SOFC-Micro Gas Turbine (MGT) Hybrid Systems for Commercialization



富田 和男*1 Kazuo Tomida	河戸 希美*2 Kimi Kodo
小林 大悟*2 Daigo Kobayashi	加藤 芳樹*2 Yoshiki Kato
末森 重徳*3 Shigenori Suemori	浦下 靖崇*4 Yasutaka Urashita

将来の低炭素社会に向けて、高効率な発電が可能な固体酸化物形燃料電池(SOFC)をガスタービンと組み合わせた SOFC-MGT ハイブリッドシステムの開発を進めている。250kW 級機においては、2015 年度より、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)の助成事業にて、国内4か所に実証機を設置し、耐久性の検証、実負荷環境での起動停止試験や負荷変化試験などの市場投入に向けた実証を実施し、安定して稼働できることを確認した。その結果を受け、2017 年より 250kW 級機の市場投入を開始している。更に、2016 年度より NEDO 委託事業にて、従来から大容量化した 1MW 級機の検証を開始しており、現在三菱日立パワーシステムズ(株)(以下、MHPS)長崎工場にて実証試験を実施中である。

1. はじめに

昨今、日本のエネルギー情勢は大きな転換期を迎え、高効率発電、電源セキュリティに対する意識が高まったと感じられる。地球温暖化抑制のための CO₂ 排出量削減と、現代社会に不可欠な電力の安定供給を両立させていくためには、火力発電等の集中電源により構築された高度な電力網に、高効率な分散電源や再生可能エネルギー等の新エネルギーを、質・量ともにベストミックスで組み合わせていくことが重要である。また、地球規模でのエネルギー資源の保全のためにも、高効率発電システムを開発し、早期普及させることにより、化石燃料を徹底して有効活用することが必須かつ急務の課題となっている。日本における最終エネルギー消費は、産業部門が全体の40%を超え、更に民生用の業務分野を加えると60%強を占めていることになり、業務産業分野の燃料電池の普及は、日本のエネルギー事情を改善させる大きな手段の一つと考えられる。

MHPS では、250kW 級の中容量分散型電源から、経済産業省主催の次世代火力発電の早期実現に向けた協議会で示された大規模集中電源用のガスタービン燃料電池複合発電(GTFC)や石炭ガス化燃料電池複合発電(IGFC)に及ぶまで、非常に広い出力レンジで高効率が期待できる SOFC 複合発電システムに着目し開発を進めている。

2. SOFC-MGT ハイブリッドシステムの構成

円筒形 SOFC の発電要素であるセルスタックの構造を図1に示す。セラミックス製の構造部材である基体の外表面に、発電反応を行う素子(燃料極/電解質/空気極の積層体)を形成し、電子導電性セラミックスのインターコネクタで素子間を直列に接続している。このセルスタックを数百本束ねカートリッジを構成し、カートリッジを圧力容器の中に格納したものを SOFC モジュールと呼んでいる(図2)。

*1 三菱日立パワーシステムズ(株) 燃料電池事業室 グループ長 *2 三菱日立パワーシステムズ(株) 燃料電池事業室
*3 総合研究所化学研究部 *4 総合研究所伝熱研究部

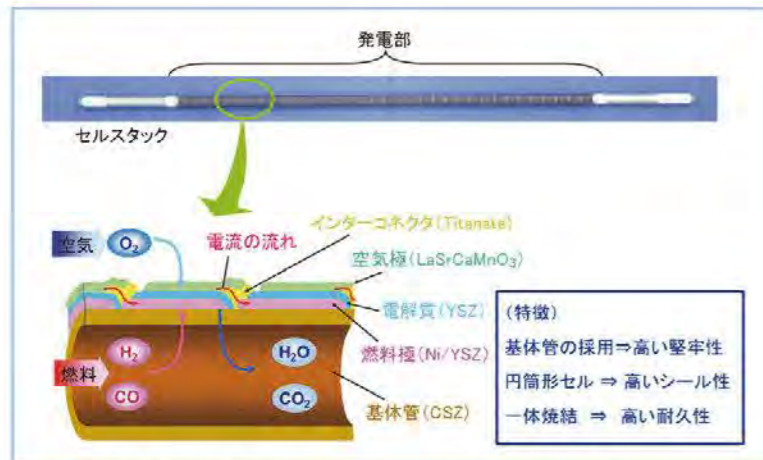


図1 セルスタックの構造

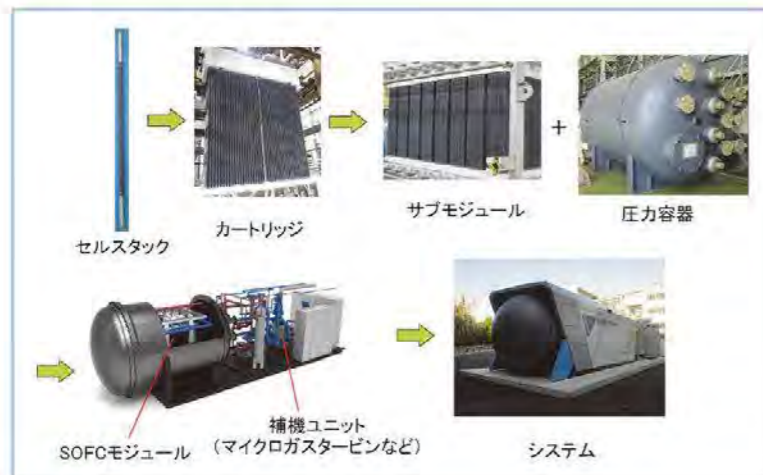


図2 ハイブリッドシステムの構成

本システムは、SOFC、マイクロガスタービン(MGT)や再循環プロワ等から構成される。SOFCとMGTの2段階にて発電し、更に排ガス系統に排熱回収装置を設置することで、蒸気、或いは温水を同時に供給するコージェネレーションシステムとすることが可能である(図3)。

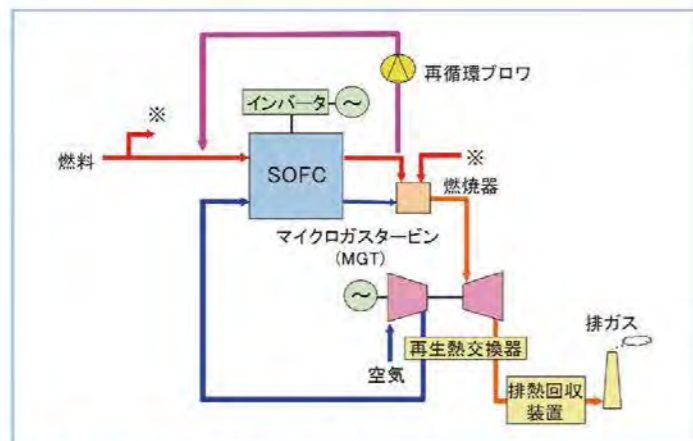


図3 ハイブリッドシステムの系統

3. 250kW 級での取り組み

2015年度よりNEDOの助成事業“固体酸化物形燃料電池を用いた業務用システムの技術実証”にて、市場投入に向けた実負荷環境での実証試験を実施した。

実証サイトは、トヨタ自動車(株)・元町工場、日本特殊陶業(株)・小牧工場、東京ガス(株)・千住テクノステーション、大成建設(株)・技術センターの4地点となる(図4)。



図4 燃料電池 SOFC の運転・計画状況

なお、本助成事業は課題設定型事業で、各サイトにてそれぞれ主となる課題・検証項目を設定し、実証試験を行っている。各サイトでの実証内容は以下の通りである。各サイトで電力需要の変化や起動停止による性能・耐久性への影響を評価している。

- ・トヨタ自動車向け実証機: 起動停止試験(1回/月)継続中。
- ・日本特殊陶業向け実証機: 連続耐久試験継続中。
- ・東京ガス向け実証機: 起動停止試験(1回/週)を31回実施。
- ・大成建設向け実証機: 自立運転機能検証試験済。

その結果を受け、2017年より250kW級機の市場投入を開始している。市場投入するモデルは4サイトでの実証結果を反映したモデルとなる。商用機第1号を三菱地所(株)丸の内ビルディングに納めており、今年度中に運転を開始する予定である。2018年8月現在、本体の据付工事まで完了している。

電源開発(株)が実施しているNEDO 研究開発“燃料電池モジュールの石炭ガス適用性研究”用に、2017年度に電源開発(株)若松研究所に250kW級機を納めている。

4. 1MW 級 SOFC-MGT ハイブリッドシステム実証状況

SOFCとガスタービンとを組み合わせたGTFCについては、平成27年7月に官民協議会により策定された“次世代火力発電に係る技術ロードマップ”において、小型GTFC(1MW級)の商用化、量産化を進め、SOFCのコスト低減を図り、中小型GTFC(10万kW級)の実証事業を経て、2025年頃に技術確立をすることが示されている。

2016年度より、NEDO委託事業の“ガスタービン燃料電池複合発電技術開発”にて、従来(出力250kW級、運転圧力0.2MPa級)に比べ、中小型GTFC(出力10万kW級、運転圧力1.0~1.5MPa級)により近い容量・圧力条件の小型GTFC(出力1MW級、運転圧力0.6MPa級)の市場投入に向けた検証をMHPS長崎工場にて開始している。1MW級実機はSOFCモジュール容器を2基設置する計画であるが、本研究開発では1MW級に必要な半分のSOFCモジュール容器1基のみで試験を行っており、これをハーフモジュールと称している(図5)。

2018年9月現在、ハーフモジュール実証機の据付けが完了し、発電前の試運転調整中である。

(図6)。今後、ハーフモジュールとしての実証運転を行い、1MW 級実機とした場合の商品性を見据えたシステム仕様を検討していく。

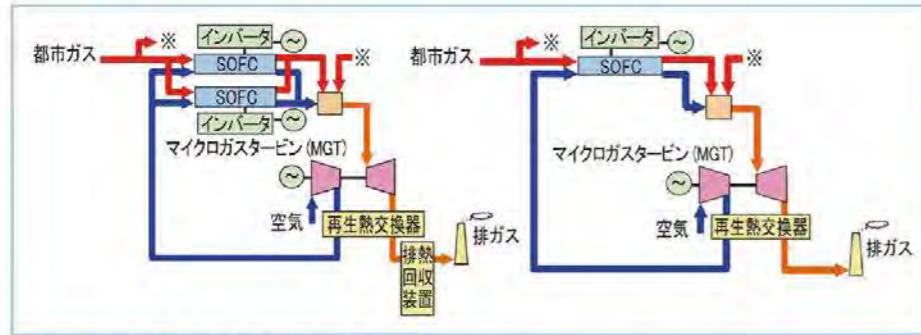


図5 1MW 級実機と実証機の構成

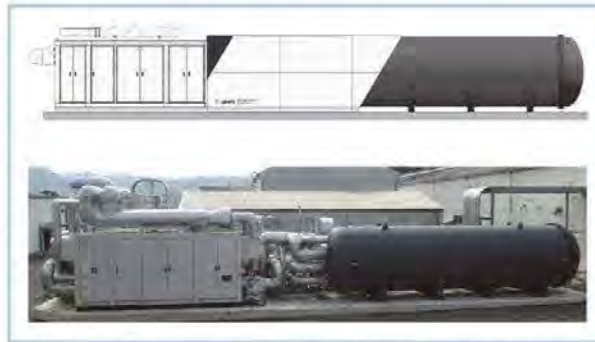


図6 1MW 級ハーフモジュール実証機据付状況

5. まとめ

MHPS では、CO₂ 排出量削減と電力の安定供給を両立させていくための実効性のある技術として、SOFC 複合発電システムを切り札と位置付けている。

250kW 級機においては、2015 年度より、国内4か所に実証機を設置しており、市場投入に向けた実証を実施し、安定して稼働できることを確認している。その結果を受け、2017 年度より、市場投入を開始している。現在、商用機第1号を三菱地所(株)丸の内ビルディングに納めており、今年度中に運転を開始する予定である。

更に、2016 年度より 250kW 級機から大容量化した 1MW 級機の検証を開始しており、現在 MHPS 長崎工場にて実証試験を実施中である。この実証試験で着実に技術を確認するとともに早期実用化を進め、“安全で持続可能なエネルギー環境社会”の構築に大きく貢献していきたいと考えている。

(謝辞)

本論文は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) の共同研究等の成果を含んでおり、御指導、御助言を賜っております大学、研究機関、並びに開発・検証に御指導頂いております電力会社、ガス事業者、メーカー等、全ての関係各位にこの場を借りて深く感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 小林山則ほか、水素社会へ向けた次世代大型燃料電池 SOFC の展開、三菱重工技報 Vol.52 No.2 (2015) p.115~120
- (2) 安藤喜昌ほか、SOFC-マイクロガスタービン (MGT) ハイブリッドシステム九州大学向け実証機の運転状況 Vol.52 No.4 (2015) p.48~53