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
冨田 和男[*2] Kazuo Tomida
西浦 雅則[*3] Masanori Nishiura
樋渡 研一[*3] Kenichi Hiwatashi
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 CO_2 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

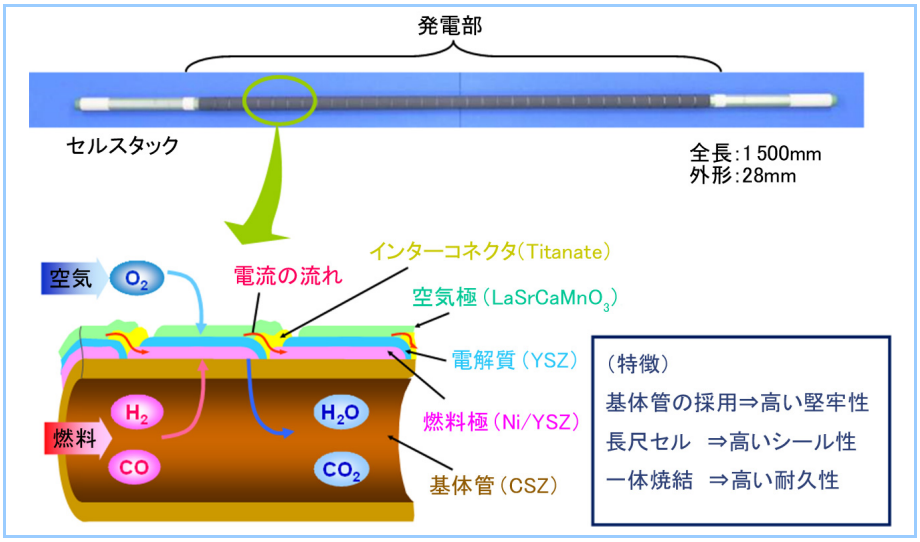

図1 円筒形 SOFC セルスタックの構造

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)。

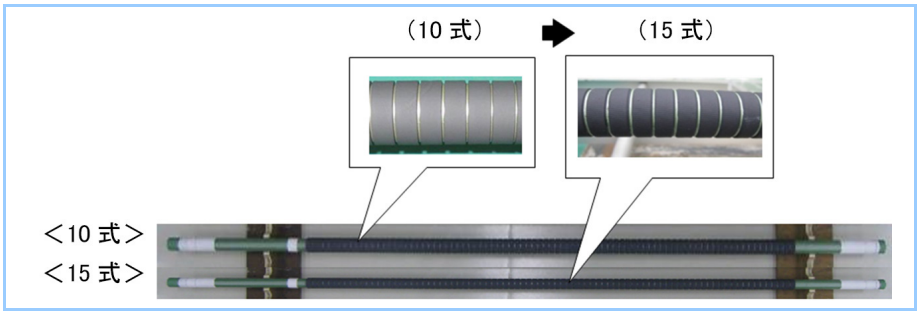

図2 円筒形 SOFC セルスタック

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)。

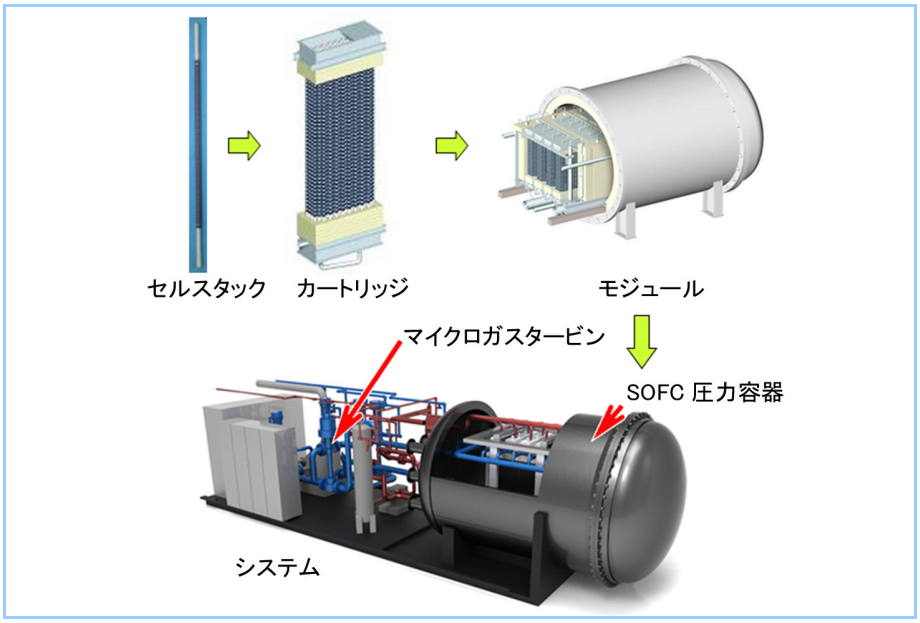

図3 SOFC-MGT ハイブリッドシステムの構成

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)。

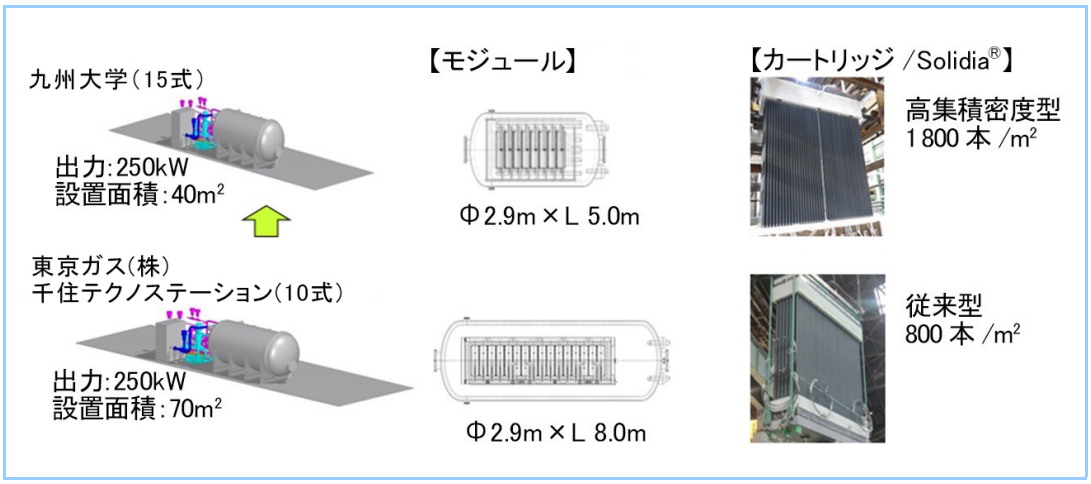

図4 低コスト量産用セルスタック・カートリッジの開発

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。

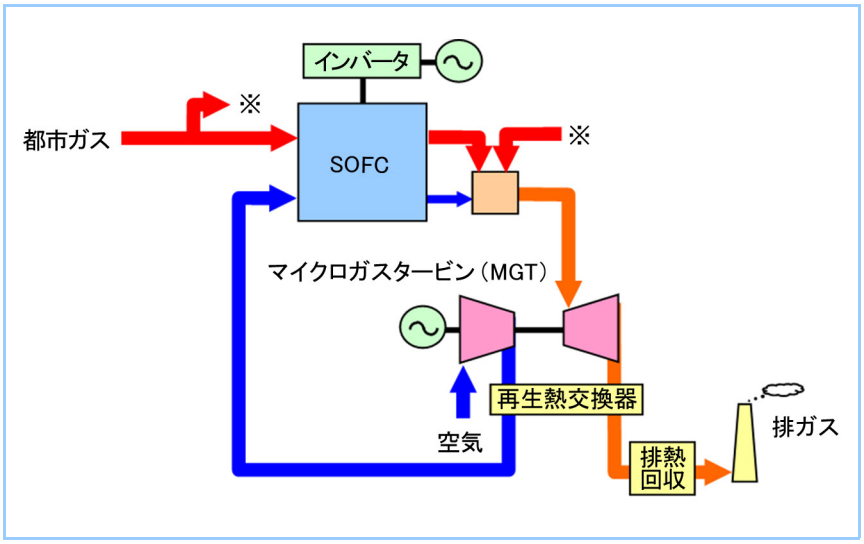

図5 SOFC-MGT ハイブリッドシステムの系統

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)。

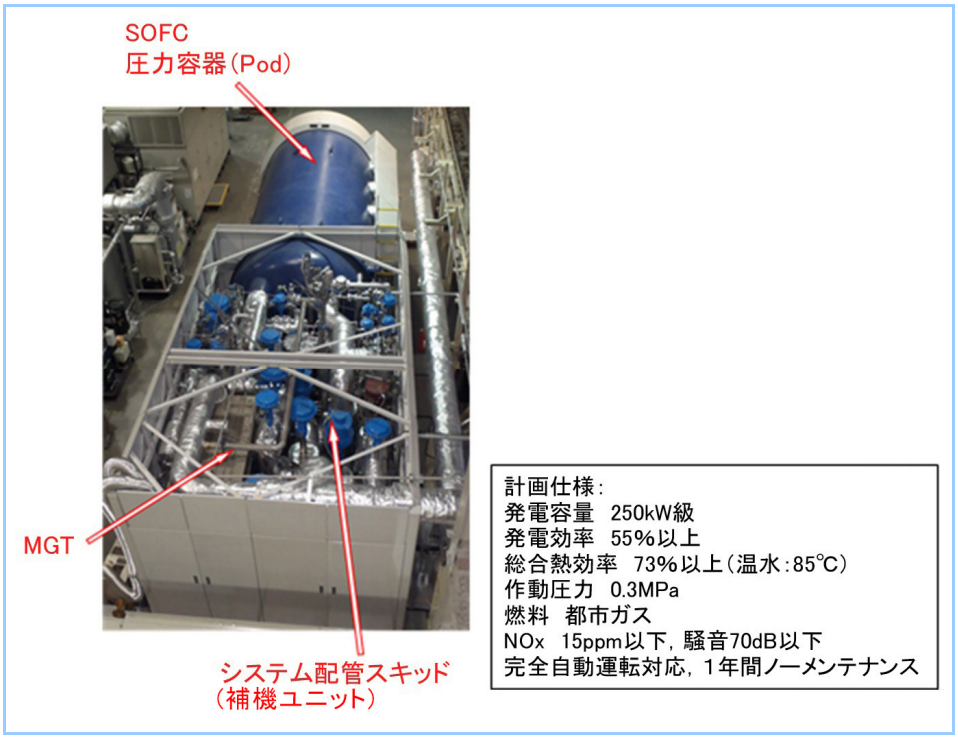

図6 10 式 SOFC-MGT ハイブリッドシステム実証機

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)。

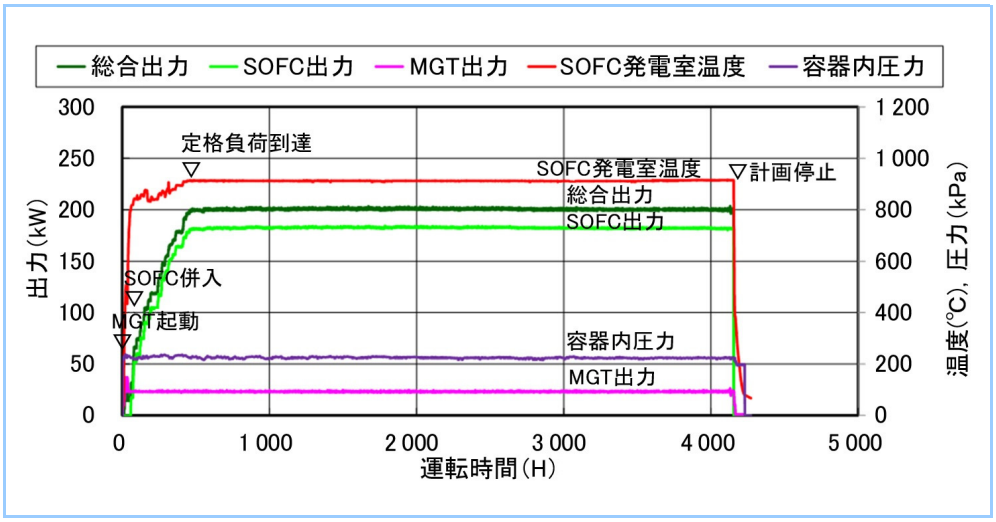

図7 SOFC-MGT ハイブリッドシステム耐久性試験状況

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)[注)]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。

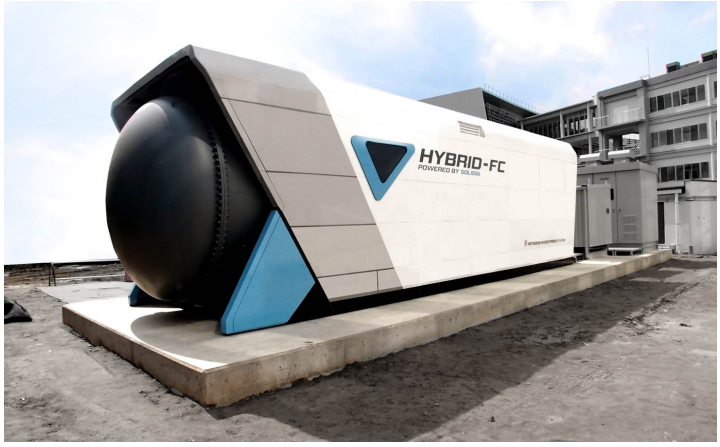

図8 九州大学での 15 式 SOFC-MGT ハイブリッドシステム実証機

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))。

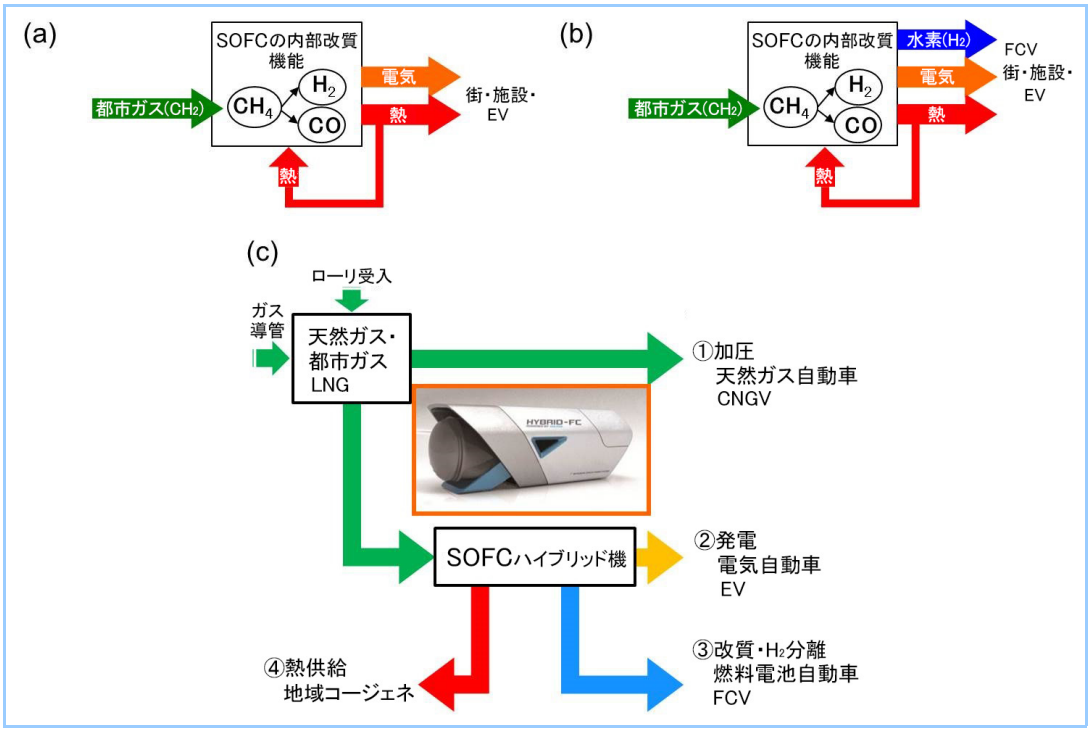

図9 クアトロジェンのイメージ
(a)従来 SOFC による電気及び熱供給，(b)内部改質機能を利用した水素製造，(c)水素ステーションへの応用例

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，CO_2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。

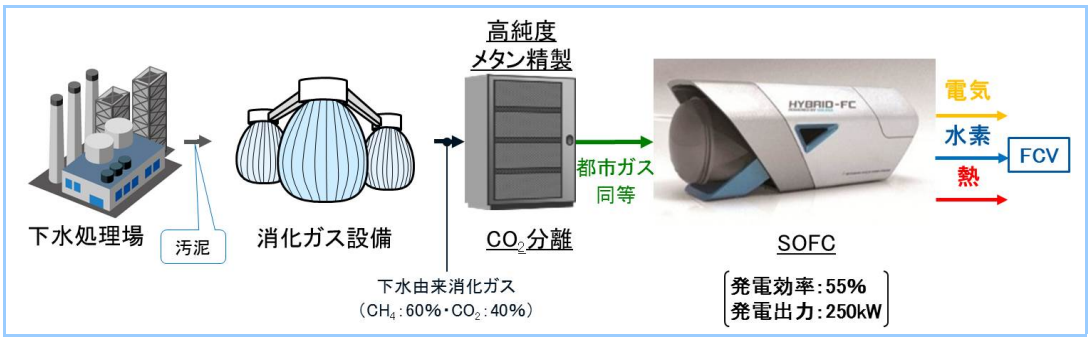

図 10 消化ガス発電のイメージ

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。