

### IHI における PEFC コージェネシステムの開発



水澤 実\*

Minoru Mizusawa

#### 1. はじめに

燃料電池は、排気がクリーンで、運転時の音が極めて静かであるなど、環境にやさしい発電方式として注目を浴びている。とりわけ固体高分子形燃料電池 (PEFC) は、他の燃料電池と比べて動作温度が低く出力密度が大きいため、起動停止特性に優れ、かつコンパクト化が可能である。また数 kW という小規模の出力領域においても、30% 以上の高い発電効率が見込めるといふ点で、内燃機関を用いた発電システムと差別化を図れる。これらの特性から、これまで市場として考えられていなかった小型のコージェネレーション (熱電併給、以下コージェネ) システムから自動車の動力源にいたるまで、幅広い用途が期待されており、国内外の様々な業界で活発に開発が進められている。当社では PEFC 発電システムを分散型電源の最小出力域を担う商品として位置付けて、開発を進めている。

#### 2. IHI PEFC コージェネシステムの市場ターゲット

PEFC を導入したユーザーが光熱費削減のメリットを得るためには、発電電力を有効に使うのみでなく、コージェネ温水も十分に使用することが必要である。また PEFC の導入コストを短期に回収する点から見ると、PEFC コージェネシステムを連続して使用することにより、設備稼働率を高く保つことが望ましい。これらの点から PEFC コージェネの導入先として、電力と温水の需要が大きく、しかも終日安定している、飲食店、ファミリーレストラン等の小規模店舗や、老人ホームや個人病院等が有望であり、当社はこれらをメインターゲットとして業務用の PEFC コージェネシステムを開発している。出力規模は 5 ~ 20kW を目標としているが、現在は潜在的な導入先の件数が多い 5kW 級システムの開発に注力している。また当社のシス

テムは、都市ガスの他、LPG や灯油などの石油系燃料に対応している。都市圏では都市ガスを用いて、低騒音・低エミッションの特徴を生かした密集地帯の設備導入を促進したり、寒冷地においては、暖房用燃料として整備された既存の灯油流通網を利用したりするなど、既存のあらゆる燃料供給インフラを利用することを可能にして、設備導入機会を増やすことを目指している。燃料多様化を実現するため、使用する燃料にあわせた燃料改質装置を設計製作している。

#### 3. IHI PEFC コージェネシステムの特徴

##### 3.1 システム構成、操作

本章では 2003 年度モデルである、商用プロト 1 システム (以下プロト 1) を例に、IHI の PEFC コージェネシステムの特徴を紹介する。

表 1 にシステムの仕様を示す。本表は 5kW システムの当面の開発目標であるが、発電効率以外の項目はプロト 1 にて達成している。

図 1 にシステムフロー図を、図 2 にシステムの外観を示す。パッケージ寸法は幅 1.6m、奥行 0.7m、高さ 1.65m であり、重量は 800kg 以下である。本機は屋外仕様であり、本体ユニット内部に燃料電池、燃料処理装置、インバータ、制御装置、ポンプ、ブロワ、ラジエター等の機器を内蔵し

表 1 5kW 級 PEFC コージェネレーションシステム仕様

形式	パッケージ型 (インバータ内蔵型)
	屋外/屋内仕様
燃料	都市ガス/灯油など
出力	AC5kW (送電端)
温水供給	60℃以上
発電効率	35% 以上 (送電端, LHV, 目標)
総合効率	75% 以上 (LHV)
起動時間	40 分以下
環境特性	NOx 10ppm 以下 (O2=0%)

\* 石川島播磨重工業(株) 電力事業部

## PEFC コージェネの開発状況

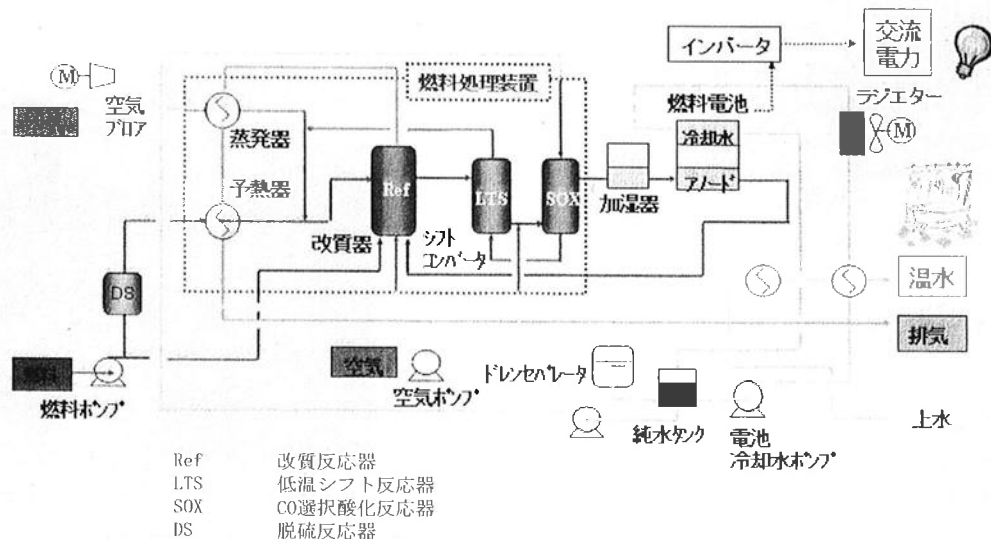


図1 5kW コージェネシステムのシステムフロー図

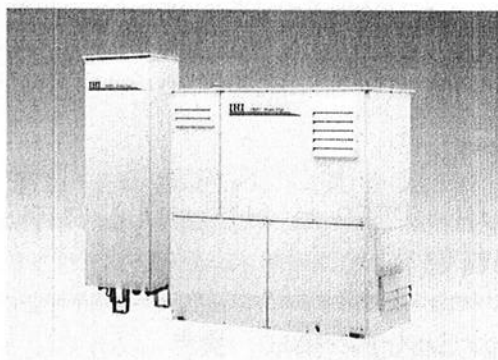


図2 5kW コージェネシステム (プロト1) の外観図

ており、貯湯槽は別置きの屋外自立形となっている。

本システムは、本体付属のリモコンを用いて運転操作を行う。運転、停止ボタンを押すだけで、内蔵する制御装置により完全自動起動、発電運転、安全な運転停止が可能となっている。またインターネットを使用した遠隔監視・遠隔運転も可能である。

### 3.2 高効率燃料処理装置

燃料処理装置は都市ガス等の原燃料から低CO濃度の水素リッチ改質ガスを発生させる装置である。発電システムの効率を向上させるためには、高い熱効率で改質ガスを生成することが求められるが、PEFC 発電システム用の燃料処理装置は規模が小さく比較的低压で運転するため、放熱損失や動力ロスで熱効率が低くなりやすい。また燃料電池は起動停止が多く、負荷変化速度も大きいことに加えて、一般に燃料処理装置の起動時間がシステム全体の起動時間を決定することから小型で軽量の装置が要求される。当社では5kWPEFC 発電システム用に専用の燃料処理装置を開発している。この燃料処理装置は、燃料改質に必要な機器

である反応器、燃料及び水の予熱器、蒸発器、バーナを全て一体化して高性能断熱容器に収容したものである。

高性能断熱容器により、放熱損失はシステムへの定格投入熱量の3%未満と非常に少なく、また停止中の温度低下が少ないことから、DSS 運用での起動時間短縮に役立っている。

あらたに開発した小型バーナはスタックのアノード排ガスと原燃料と言う性状の異なる二種の燃料を安定して燃焼させることが可能である。

また低温シフト反応器 (LTS) およびCO 選択酸化反応器 (SOX) を水の蒸発潜熱で冷却し、発生した蒸気を改質用蒸気の一部としていることから、CO 除去の反応熱を燃料処理装置内部に回収して、システムの熱効率を高めている。

改質用燃料をバーナで燃焼させる時の断熱火炎温度は1200℃超となるが、燃料の改質に必要な温度は改質触媒層の最終位置で700℃程度である。両者のギャップを埋めるため、吸熱負荷の高い改質管入口部に、バーナ部分から熱放射によって直接伝熱させる伝熱量が増えるような構造的工夫を凝らしている。これにより改質管トップ位置に達する燃焼ガスの温度は800℃未満に低下している。このため改質管や断熱容器内壁に耐熱合金は用いず、一般ステンレス鋼を用いて低コストで製作することを可能にしている。

本燃料処理装置の概念図及び外観を図3に示す。本装置の全体寸法はΦ290×1590mmで、1kW当たりの容積は21リットルとコンパクトである。

### 3.3 燃料電池スタック

燃料電池発電システムの発電効率を高くするには、電気エネルギー変換効率に相当するセル電圧を高くし、また数十枚にわたるセル電圧を均一に保つ必要がある。燃料利用

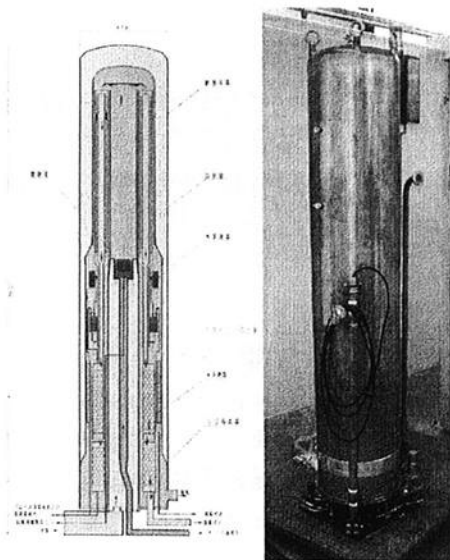


図3 燃料処理装置の概念図及び外観図

率、酸素利用率も発電効率の重要なファクターで、セル電圧が維持できれば、より高い燃料利用率、酸素利用率で運転することがシステムの発電効率向上に効果がある。

また燃料電池発電システムの補機動力のうち、大きな部分を占めるカソード空気ブロアの動力を削減することが発電効率向上に有効であるため、燃料電池スタックの圧力損失を低く抑える必要があるが、一般に燃料電池スタックの圧力損失を小さくすると、セル間の流配管理が難しくなるとともに、発電反応で生じる生成水の排出がスムーズに行えなくなる弊害が生じて、スタック内のセル電圧が不均一になりやすい。当社はPEFC発電システムの開発に当たって、IMHEX型と呼ばれるスタックを開発していた米国MOSAIC社のスタック設計・製作技術を導入し、独自の数値解析を駆使した改良を加えた。これにより、高い燃料利用率条件でも安定して高いセル電圧を示し、低圧力損失でもセル間の電圧を均一に保つことができる、独自の低圧損型スタックを開発した。

この低圧損型スタックは、製造コストを引き下げるために、従来の機械加工で溝を形成するセパレータではなく、生産性に優れたモールド加工のセパレータを採用している。また300cm<sup>2</sup>を超える大きな電極面積とすることで、出力あたりのスタック部材数を減らすとともに、300mA/cm<sup>2</sup>をこえる高い電流密度域で運用することでスタックの出力密度を上げ、コスト削減とスタックのコンパクト化を実現している。

図4にこの低圧損型スタックの外観写真を示す。

図5に定格出力における、スタックの電圧分布を示す。セパレータの溝深さなど、部材の製作精度の高度な管理により、セル間の電圧ばらつきを小さくできていることがわかる。

### 3.4 システムの運転特性

#### (1) 起動・停止特性

断熱性能が優れた燃料処理装置は、朝起動して夜間停止するDSS運転モードでは、起動開始時に改質反応器温度が300℃程度有り、起動開始後30分でインバータを起動して発電を開始することが可能である。定格負荷において改質反応器は700℃、LTSは200℃、SOXは125℃で安定する。

#### (2) 発電出力変化特性

発電出力は最低発電電力の0.5kWから定格の5kWまで、任意の値をとることが可能である。発電電力指令値の設定後は燃料等の増減を全自動で行い、所定の発電出力値において安定な運転状態に入る。発電出力の変化速度は1分間に5% (0.25kW/分) 以上を実現している。

#### (3) システムの性能

発電電力5.0kWにおいて、改質反応器における改質率は96%以上、CO濃度は安定して10ppm以下に抑えることができている。燃焼排気中のNOx濃度は暖機動作中に10ppm以下(O<sub>2</sub>=0%換算)で、改質反応の開始以降は1ppm以下に抑えている。定格発電電力におけるスタックの直流電圧は安定しており、発電ユニット上での電池効率は44%以上、発電効率として30% (LHV、送電端) を超える性能を得ている。温水回収は62℃で行い、熱回収率として55%以上を維持し、総合熱効率85% (LHV) を実現している。

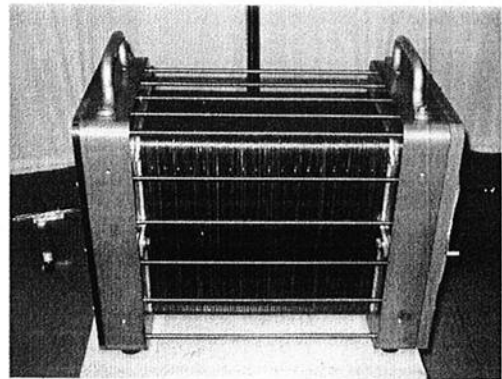


図4 低圧損型スタックの外観図

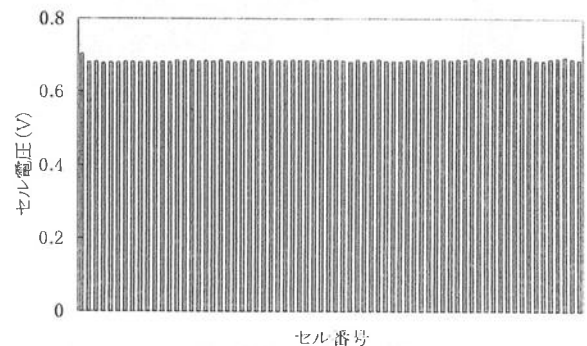


図5 低圧損型スタックの電圧分布

## PEFC コージェネの開発状況

### 4. プロト1の出荷・運転実績

当社は、2004年12月現在で、各種燃料に対応したプロト1を、延べ14台社外に出荷し、各種のフィールド試験で、性能や運用特性の評価を受けている。

一例として、2003年7月に運転を開始した、出光興産(株)殿向けの灯油を燃料とするシステムを紹介する。灯油は全国で広く使用され利便性に優れ、経済的にも魅力が大きい燃料であるが、都市ガスなどに比べ炭素数が多いため、灯油からの水素製造は難しいとされていた。このシステムでは、出光興産殿より、同社が永年にわたり研究開発を行ってきた高性能・長寿命の灯油用脱硫剤と改質触媒の提供を受けて燃料処理装置を製作し、業界に先駆けて実証機を完成させるに至った。図6にその外観を示す。本システムは、京葉アポロ(株)姉崎給油所(千葉県市原市)に設置され、主としてDSS運用により、実使用条件における運転特性を評価されている。市販灯油を燃料とするPEFCシステムとしては、世界で初めて商業施設において実証試験を行っているものであり、2004年12月末現在も継続して運転中である。

このようなフィールド試験を通じて、季節や時間帯による電熱需要の変化への最適な対応方法、外気温湿度や直射日光の有無等の設置環境によるシステム特性の変動要素、

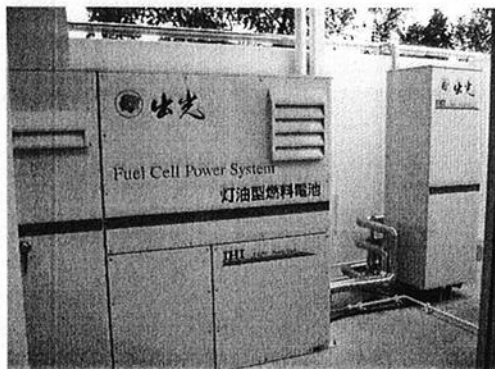


図6 灯油型PEFC実証機

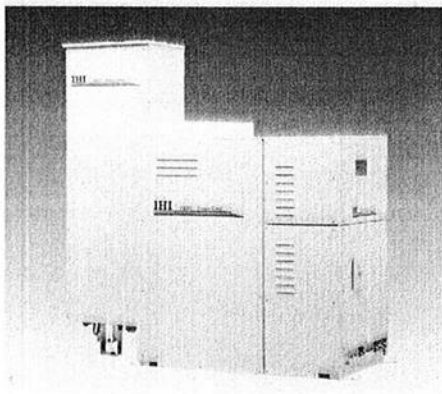


図7 プロト2の外観

構成補機や部品の耐久特性のデータなど、貴重なデータを把握してきた。

一方で実証試験期間中のセル性能の劣化速度は目標よりも大きく、システムの耐久性向上のための課題となっている。今後、実システムの運転によるデータと、要素試験でのデータを更に蓄積し、劣化機構の解明を進め、適切な対策を実施して行く。

### 5. プロト2の開発

本稿では主としてプロト1の概要と実績を紹介した。現在、補機動力の削減を含めた発電効率の向上、コンパクト化、起動時間の短縮、低コスト化およびメンテナンス性の向上を目指した商用プロト2システム(以下プロト2)を開発している。

本プロト2は、従来のプロト1と比較して、燃料処理装置を含む構成機器の設計を大幅に見直すとともにシステム構成、装置全体設計も全面的に見直して、小形化を図るとともに、生産性に優れた構造とすることで、量産化時の大幅なコストダウンを可能にすることを指向して設計を実施した。

本機では、電池性能の改善と補機動力の大幅な削減等により、プロト1では未達成であった35%以上の発電効率達成に目処をつけた。またプロト1のフィールド試験の結果を反映し、耐久性に難があることが判明した補機類は、機種変更もしくは、システム構成変更によって撤廃する処置を行っている。これにより、長期運転の安定性の大幅な向上が見込まれる。

更にメンテナンスが必要な機器を一面に集約することでメンテナンス性を向上させる設計変更もあわせて行った。

製作した試作機の外観を図7に示す。ユニットサイズは幅1.29m、奥行0.74m、高さ1.35mでプロト1より30%以上小型化した。この中に設置している、新設計の燃料処理装置の寸法はΦ290×1350mmで、1kW当たりの容積は17.8リットルと一層コンパクトになった。

本プロト2は2005年度より、フィールド試験に投入していく予定である。

当社では、このプロト2をベースにして、更なる改良機を開発し、あわせて量産およびメンテナンスの体制を構築し、2007年に商用機を市場投入することを目指している。