

定置用PEFC実用化への取組み

Activity Towards Practical Application of Stationary PEFC



吉 田 博 久 水 早 純
梶 泰 起 隈 良 明

当社では、車載用に始まり、移動体動力用、定置用のPEFCシステムを開発中である。家庭用を対象とした都市ガス燃料の1 kW コージェネレーションシステムでは、燃料改質器内の触媒劣化を防止する新技術の開発により“窒素レスDSS運用”の確立に我が国で初めて成功した。現在、サンプル機の出荷を開始し、フィールド検証中。並行して、世界最小容積の1 kWシステムを開発し、社内検証を開始した。また、燃料多様化を視野に入れて都市ガス以外の各種燃料に対しても改質技術を確立しており、今後は、ユーザ用途に応じたPEFCシステムのラインアップを拡充していく。

1. はじめに

固体高分子形燃料電池 (PEFC = Polymer Electrolyte Fuel Cell) は、“二酸化炭素排出抑制に寄与する、燃料供給源多様化によりエネルギー安定供給に資する、我が国の産業競争力強化が図れる”(政府の燃料電池プロジェクトチーム報告書より抜粋)との観点から、いわゆる3E (Environmental Protection, Energy Security, Economic Efficiency) の同時達成を実現する技術として早期実用化・普及が望まれている。当社では従前よりPEFC開発に向けて高分子膜や触媒などの素材から改質器や電池など各主要コンポーネント及びシステムに至る技術開発を続けており、2001年6月には三菱自動車工業(株)と共同開発した燃料電池自動車の走行試験を実施、後部座席や荷台スペースを犠牲にしないようすべて床下収納としたパワーパックを用いて自立走行を達成した。走行試験は成功裏に終了したが、定置用の方が実用化が早いとの判断に達したため、現在では自動車用技術をいかした定置用に軸足を移し、都市ガス等を燃料とする家庭用システムを中心に、定置用システムの検証/耐久性評価を推進している。この取組みの中で、燃料改質器内の触媒の劣化を防止する新技術を開発し、これにより家庭用燃料電池実用化に当たり大きな課題であった“窒素レスDSS (Daily Start-up & Shut-down) 運用”の確立に我が国で初めて成功した。同時に装置のコンパクト化、ランニングコストの低減も実現、環境負荷が小さい上にコンパクトで使いやすく光熱費削減メリットの大きい家庭用燃料電池の実用化に向けて大きく前進した。

2. 家庭用PEFCシステムの要件

家庭用燃料電池システムに求められる特性としては、系統電源の利用に対して光熱費削減メリットがあること。

メンテナンスが容易であるなど一般家庭でも安心して使えるシステムであること。

が挙げられる。

系統電力に対する光熱費削減メリットを最大にするためには、発電した電力を無駄にしないように、家庭の電力消費パターンに対応した運転すなわち電力消費のほとんどない深夜は停止して早朝に起動し(いわゆるDSS運用)、電力消費量の少ない昼間は低負荷で運転するパターンを実現することが重要となる。この際の課題としては、“改質ガスパーズの運用性”と“低負荷運転時の効率向上”が挙げられる。

発停を繰り返す場合、運転を停止した際に改質器内に可燃性の改質ガスが残ることは、安全上望ましくない。また、この改質ガスの影響で時間とともに改質器内の触媒の酸化が進み、触媒の劣化が起こることが知られており、停止時には燃料ガスを改質器外へパーズ(排出)する必要がある。このパーズには一般的に窒素ガスが用いられるが、窒素を使用する場合、窒素ポンベの設置が必要となり装置が大型化してしまう。さらに、1回のパーズ当たり数十Lの窒素を要するため、ポンベへの頻繁な窒素充てんが必要となり、これが従来、PEFCの運用性向上とランニングコスト低減を妨げる原因と考えられていた。

また、低負荷で運転すると、従来は改質プロセスにおける熱制御が難しくなり、改質プロセス効率が低下することによりシステム効率が低下するため、ユーザの光熱費削減メリット確保が難しいといった問題があった。

以上より、家庭用燃料電池システムの要件は、

下記を通じて光熱費削減メリットの大きな運用パターンを実現する。

b 発停に伴う改質器内触媒劣化の防止によりDSS運用を可能とする。

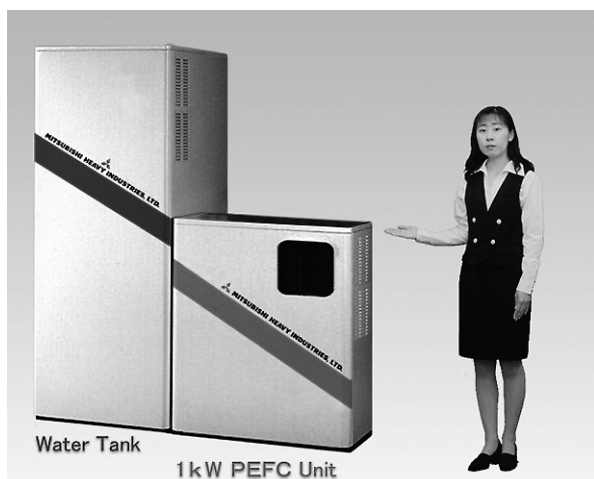


図1 都市ガス1 kW コージェネレーションシステム初号機（CG 型機） 2003年1月に(社)日本ガス協会にサンプル出荷，現在，負荷追従試験，環境試験等に供試している。

b 低負荷運転時の効率低下の防止により，広域負荷運用を可能とする。

窒素パージを不要にして小型・軽量化を実現するとともにメンテナンスを容易にする。

ことであると判断した。

なお，窒素パージを不要にすると，窒素充てんにかかわる費用も削減できるため，“窒素レスパージ”の実現はシステムの光熱費削減メリットをより大きくすることにもつながる。

3. 当家庭用燃料電池システムの開発状況

当社は前記メリットが大きい家庭用PEFCシステムを実現するため“窒素レスパージ”，“DSS運用”，“広域負荷運用”に関する技術開発に取り組み，2002年6月に都市ガス1 kW コージェネレーションシステムの初号機（CG 型機）を完成（図1），社内検証試験の後，2003年1月に(社)日本ガス協会にサンプル出荷，現在，負荷追従試験，環境試験等に供試している。

この初号機に次いで，2003年6月には低負荷運転時の改質効率を更に向上させるとともにパージガス発生機能を内蔵した新型改質器を搭載し，本体側では台座や側壁に配管を埋め込んだ“集積配管技術”を利用して外出し配管をほとんどなくしたことにより世界最小レベルの小型化を実現した2号機（CG 型機）を完成し（図2，初号機と2号機の本体容積の比較），社内検証試験を開始した。

(1) 窒素レスパージ

当社では，従来使われてきた窒素に替わり，排ガスを利用したパージガスによりパージする手法を開発し，DSSに伴う窒素パージを不要にした。要素試験により，パージガス中に酸素と水蒸気が混在していた場合，改質器内触媒の劣化が激しいことが明らかとなったことより，当社は“O₂レスドライ排ガス”を効率よく製造できる方法を見出した。これによりシステムの軽量・小型化を達成（窒素パージするシステムと比較して重量約20 kg，容積約50L低



図2 都市ガス1 kW コージェネレーションシステム初号機と2号機の本体容積の比較 2号機（CG 型機）では，集積配管技術の適用などにより，世界最小レベルの小型化を実現した。

減）するとともにメンテナンスを容易にした。2号機CG 型搭載の改質器では，パージガス発生機能を改質器内部に持たせている。

(2) DSS運用

“窒素レスパージ”と併せて，改質器内に使用されている触媒のうち，発停に伴う劣化が大きな触媒を特定し，発停を繰り返してもこの触媒の劣化が進まない運用技術を開発，5年間相当の発停耐久試験を通じて信頼性を検証した（図3）。図中 で連続運転におけるCO転化率， ， ，

でそれぞれ異なる運用条件におけるDSS運用時のCO転化率を示す。従来運用法（ ）では発停180回でCO転化率が30%台まで低下しており触媒の寿命は実用上3週間程度と評価していたが，改質器内触媒の劣化メカニズムを解明することにより，1680回の発停でもCO転化率がほとんど変化しない運用方法を開発し（ ），連続条件と同等の触媒寿命を得ることに成功した。

(3) 広域負荷運用

さらに当社では熱制御を通じて改質器内の水蒸気量と燃料量の比率を適正化するとともに電池の燃料供給の制御システム改良により大幅に改善することにより，低負荷（高

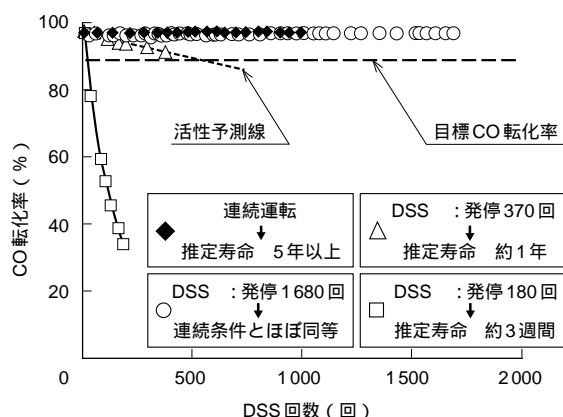


図3 DSS耐久性要素試験結果 発停を繰り返してもCO転化率がほとんど変化しない運用方法を開発（ ），連続条件（ ）と同等の触媒寿命を得た。

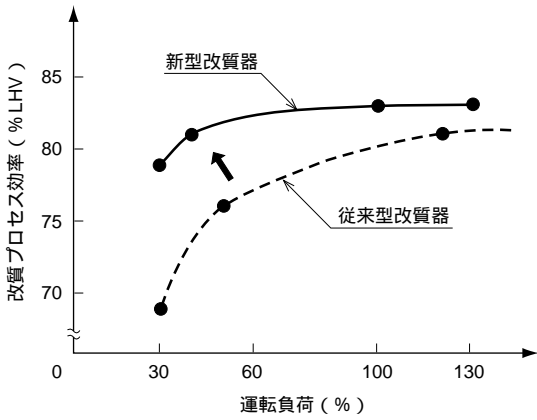


図4 2号機搭載改質器の改質プロセス効率 改質器で発生する熱を有効利用することにより、30%部分負荷で79%、100%負荷で83%の大幅な効率向上を達成した

ターンダウン比) 運転時でも安定した改質プロセス効率を得ることに成功した。2号機CG型では、改質器で発生する熱の有効利用により改質効率を更に向上させ、30%部分負荷で79%、100%負荷で83%と従来値を大きくしのぐ改質効率を達成した(図4)。

(4) 小型化

システム本体には二次元集積配管を適用して台座や側壁に配管を埋め込むことにより、2号機CG型では本体容積180l(高さ1m、幅60cm、奥行き30cm)と世界最小レベルの小型化を達成した。この二次元集積配管は、当社独自技術であるM-iPIS(ミピス: Mitsubishi integrated Piping & Instrument System = 従来、三次元的に配置する機器間配管をプレート形状化することにより機器コンパクト化・軽量化を実現する。当社プラント・交通システム事業センターにて開発)をPEFCに適用したものである。

(5) 高効率化

低電圧のPEFC出力を商用200/100Vに連携するためにはパワーコンディショナにて電圧の昇圧が必要となるため、高効率系統連系インバータ(パワーコンディショナ)を開発した。高効率トランスの開発やDC/DCコンバータの並列化などの対策により(インバータ効率98%、DC/DCコンバータ効率94%)、パワーコンディショナとしては世界トップレベルの効率92%を達成した(図5)。これに加えて2号機CG型では、前記集積配管技術などを用いたコンパクト化を通じてシステム熱容量を従来比で1/2以下に低減したことにより起動時燃料消費量低減や起動時間短縮化を達成し、さらに改質効率の向上、改質器や電池での発生熱をすべて有効利用する“熱ロスの無いシステム”によるシステム効率向上を達成した結果、30~100%の広い負荷域でシステムのAC送電端発電効率は32%(LHV)以上、最高36%(LHV)達成のめどを得た(図6)。

上記の結果、高い効率で実際の家庭の消費電力に対応した運転パターンを実現することが可能となり、大きな光熱費削減メリットが期待できるめどを得た。当社従業員家庭(4人家族)の熱電負荷を一年間にわたり計測し、その熱

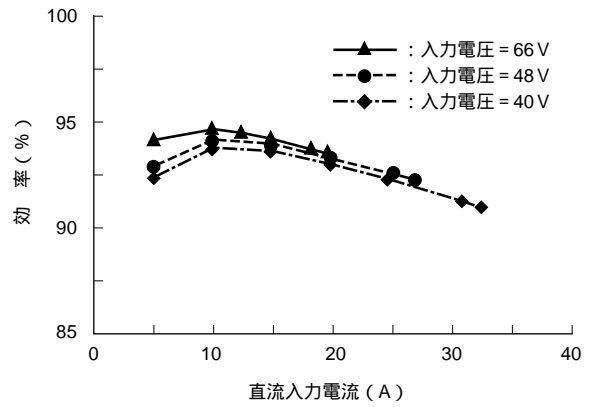


図5 パワーコンディショナ効率特性 高効率トランス開発やDC/DCコンバータ並列化などにより世界トップレベルの効率92%を達成した。

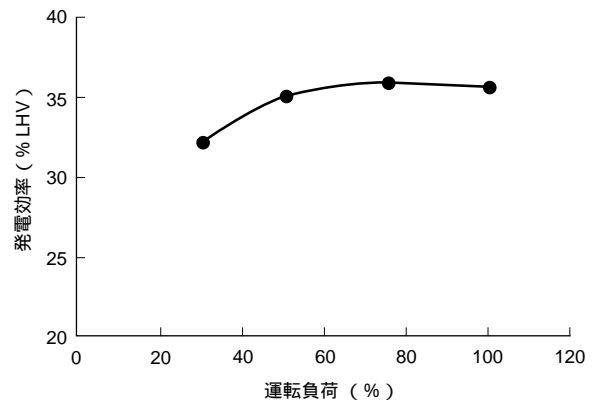


図6 2号機CG型発電効率 システムAC送電端発電効率は30~100%の広い負荷域で32%(LHV)以上、最高36%(LHV)達成のめどを得た。

電負荷に基づき本システム導入パターンを決定(図7)、このパターンでPEFCシステムを運転した時の電力費用削減量と燃料(都市ガス)費用増加量から現状に対する光熱費削減メリットを試算したところ、系統電力代やガス代に応じて多少の変動はするものの、一年間に数万円の光熱費が削減できるとの結果を得た。

(6) 高耐久性

家庭用PEFCシステムとして本格普及するためには5年以上の耐久性が要求される。これを実現する上で、現在、最も課題が大きいと考えられているのが、電池の耐久性向上である。電池の耐久性向上には、安定した発電を維持するための“電池内湿度の適正化”、水素と酸素が反応して生成される“反応水の排水性向上”、一酸化炭素などの“被毒成分の除去”が非常に重要であり、著者らはこれらを“MVP(Moisture Velocity Poison)管理”と呼んでいる。このMVP管理の徹底・適正化により、現在、家庭用PEFC使用条件での電池単体試験で4800時間の耐久性を確認し、なお継続試験中である(図8)。

(7) 低コスト化

都市ガス会社は、現在のガス給湯器価格との比較より、本格普及時の1kWシステムの価格(最終ユーザ負担価格)

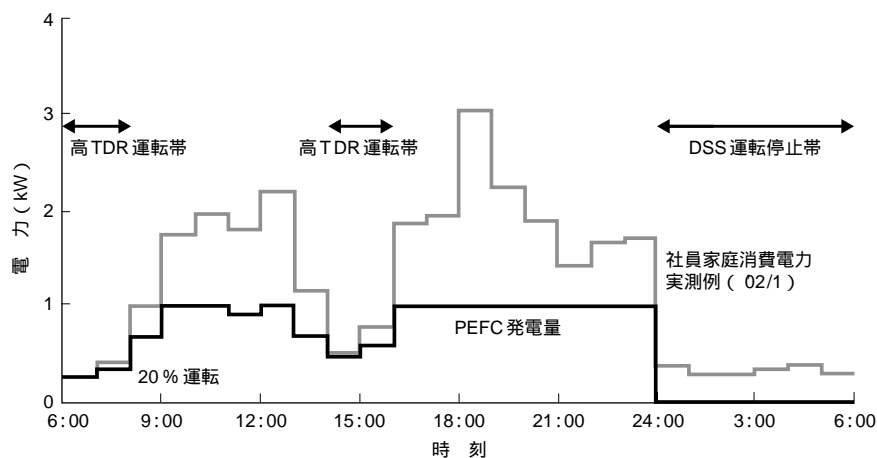


図7 実家庭電力負荷とPEFC運転パターン 実家庭（4人家族）の熱電負荷とこれに基づき決定した本システム運転パターン。

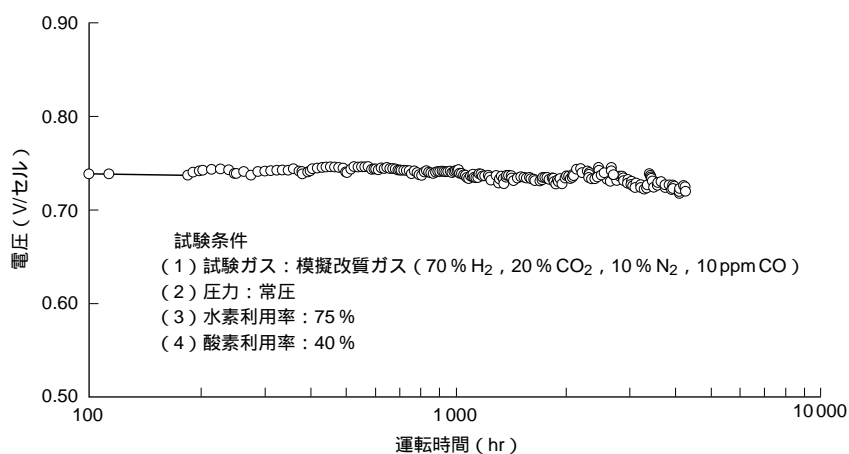


図8 電池単体耐久性試験結果（継続中） 家庭用PEFC使用条件での電池単体試験で4800時間の耐久性を確認し、なお、継続試験中。

を50～60万円程度と想定している。しかしながら現状の単品手作り段階では、製造原価が価格目標より1桁以上高いというのが実態であり、低コスト化が本格普及に向けた最も高いハードルとなっている。この低コスト化実現のために、システムと補機の簡素化、低コスト部材や汎用機器の利用、量産化などの技術開発を実施している。現在、前述した集積配管と制御法改善により大幅なシステムと補機の簡素化を実現し、また電池の低コスト化設計も推進することにより、システム低コスト化を急速に進展させている。

4.まとめ

当社では、都市ガスを燃料とする1kW家庭用PEFCシステムについて、メリットの大きな製品を実現するキー技術のめどを得、サンプル出荷を通じてフィールド検証中である。一方で、数kW～数十kW級の改質器を開発するとともに、燃料多様化も視野に入れて、都市ガス以外の各種燃料に対しても改質技術を確立している。今回のコンパクト機は、都市ガスとLPGを当面の対象燃料としているが、当社では灯油、ナフサ、メタノール、ジメチルエーテルを含む6種類のマル

チフューエル改質技術を燃料会社の協力を得て開発しており、今後のPEFC燃料多様化へ対応すべく要素技術固めは、ほぼ完了している。今後は、ユーザ用途に応じたPEFCシステムのラインアップを拡充していく予定である。また、本格普及のためには、今後、耐久性向上と低コスト化が高いハードルとなるが、電池の劣化メカニズムの解明や低コスト部材の検討等を通じて課題と打ち手を明らかにしつつあり、来るべき燃料電池市場に対応すべく開発を継続していく。



吉田博久
技術本部
広島研究所 PEFC
開発センター長



水早純
技術本部
技術企画部
技術戦略グループ



梶泰起
広島製作所
機械プラント技術部
長



隈良明
汎用機・特車事業本
部
企画経理部
企画課主席