

1 kW級家庭用燃料電池システム

1 kW-Class Fuel Cell System for Residential Use

新井 康弘 檜垣 成敏 金子 隆之
 ARAI Yasuhiro HIGAKI Shigetoshi KANEKO Takayuki

固体高分子形燃料電池(PEFC)は、高効率で環境保全性に優れていると同時に、他の燃料電池に比較し動作温度が低い運転条件においても高出力密度が得られることから、車載用駆動源、定置用分散電源、モバイル用電源など様々な分野への適用が期待されている。特に、電気と温水とを同時に供給できるコージェネレーションとしての家庭用燃料電池システムは、将来の高効率エネルギーシステムとして、車載用と並んで大きな市場が見込まれる。

今回、当社が開発した1 kW級家庭用燃料電池システムは、従来機に比べてパッケージング容量を半減化するとともに、発電効率の大幅向上を図っている。

Since the polymer electrolyte fuel cell (PEFC) can be operated with higher power density at lower temperature in comparison with other types of fuel cells, it is expected to be widely applicable to various markets including automobiles and both stationary and mobile power sources. In particular, combined heat and power (CHP) application for residential use is one of the optimal applications.

At Toshiba International Fuel Cells Corporation (TIFC), several 1 kW-class residential CHP systems have been developed and evaluated. An advanced model developed in FY2001 had achieved a significant improvement in power efficiency while reducing the system volume by half.

1 まえがき

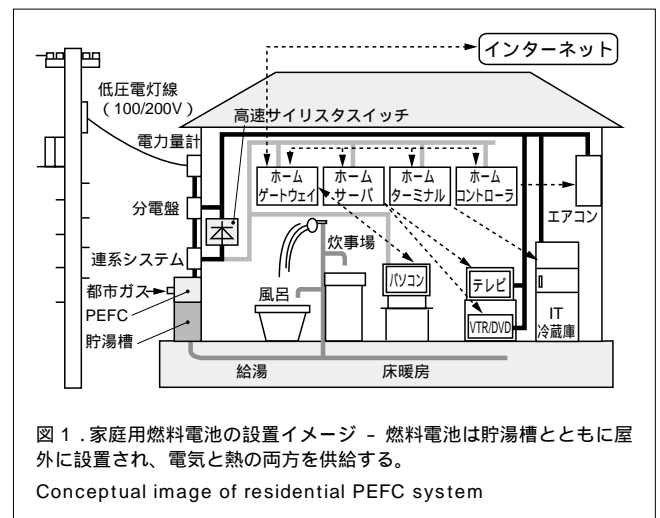
燃料電池は、水素(H₂)などの燃料と酸素(O₂)に代表される酸化剤との電気化学反応で、直接電気エネルギーを発生させる発電システムである。特にPEFCは低温作動が可能で、かつ出力密度が高くコンパクト化が可能であることから、車載用の動力源や、排熱も利用した70～80%の高いエネルギー利用率が実現できる家庭用コージェネレーションシステムなど、われわれの生活のより身近な部分への適用が期待されている。

ここでは、当社が2000年4月から開発を進めている家庭用燃料電池システムについて、検証試験2年目の機種である2001年度機の特長や構成について述べる。

2 システムの特長

2.1 設置構成とシステムの定格送電容量

家庭用燃料電池システムを設置した場合のイメージを図1に示す。家庭用燃料電池は、エアコンの室外機のように一般家庭の屋外に設置し、そこから家庭内の様々な電気製品に電気を供給する。また、電気と同時に生成される熱は、貯湯槽に蓄えた後、給湯、お風呂、床暖房などに有効利用される。更に、IT(情報技術)住宅用として高品質電源を構成するこ



とも可能である。

システムの送電容量としては、4人世帯の家庭を対象に、種々の検討から最適規模と考えられる700 Wを定格とした。商用化時期での目標性能は、発電効率35%、排熱効率40%以上である。

このシステムの導入により、例えばガス料金を空調用A契約^(注1)とした場合、年間4～5万円の光熱費削減とエネルギー利用率向上により約10%二酸化炭素(CO₂)の削減効果

(注1) 空調運転を目的とした場合のガス契約。

が得られる。商用化時期までには、大幅にガス料金が下げられ、ユーザーにとっての光熱費メリットが大きく拡大することが期待されている。

2.2 システムの構成と仕様

家庭用燃料電池システム内部の基本構成を図2に示す。システムは、電気エネルギーを発生する電池本体、都市ガスやプロパンガス(LPG)から水素を生成する燃料処理系、電池本体からの直流(DC)を交流(AC)に変換する電力変換系、回転機や熱交換器などの補機類、及び制御装置を一つのパッケージに収納した発電システム部分と排熱を蓄え利用系へ供給する貯湯槽とから構成される。2001年度に開発した、1kWクラスでは業界最小である燃料電池パッケージの外観を、2000年度機と並べて図3に示した。

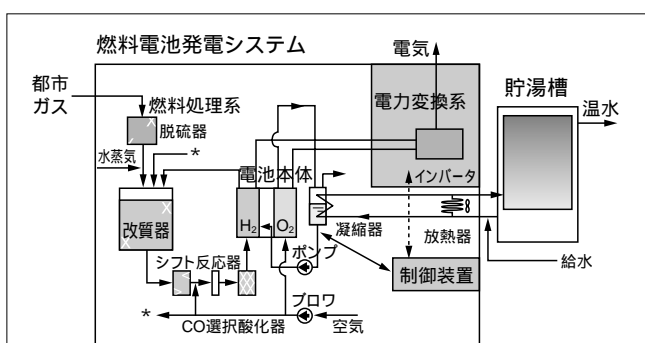


図2. 家庭用燃料電池システムの基本構成 - 燃料電池は発電システム部分と貯湯槽から構成される。

Configuration of residential PEFC system

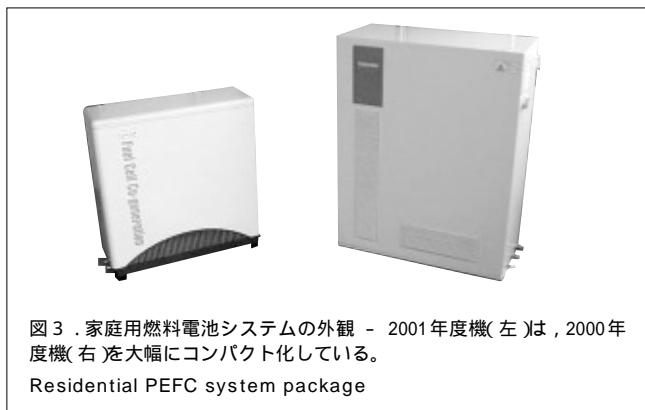


図3. 家庭用燃料電池システムの外観 - 2001年度機(左)は、2000年度機(右)を大幅にコンパクト化している。

Residential PEFC system package

3 要素機器の特長

ここでは、当社が開発した2001年度機の家庭用燃料電池システムの主要機器について、その構成や特長について述べる。

3.1 燃料電池本体

燃料電池本体には、アノード(燃料極)側に液体の水を供給

し、固体高分子膜の加湿を行うとともに、カソード(酸化剤極)側で移動水と生成水を蒸発させ、その潜熱によりスタックを冷却する内部加湿・潜熱冷却方式を採用した。

この燃料電池スタックは、①電池自身が水蒸発に伴う冷却機能を備えているため、外部からの冷却制御が不要、②冷却板を省略することが可能となり、電池のコンパクト化と低コスト化が可能、③十分な膜の加湿と潜熱冷却による一様な温度分布が維持され、電池本体の経時安定性に優れる、などの特長がある。

家庭用燃料電池システムの実際の運転における各セルの電圧分布を図4に示す。このスタックには、当社で独自に開発した電極膜(MEA)を搭載しており、定格直流出力(930W)において、均一で高性能な電圧分布特性を得られた。

3.2 燃料処理系

都市ガスやLPGを原燃料に燃料電池に必要な水素を生成する燃料処理系は、低コスト及びコンパクト化を目的に、水蒸気発生器及び改質反応器を円筒型で一体化し、一酸化炭素(CO)シフト反応器、熱交換器などを箱型で一体化した構成である。その外観を、図5に示す。

COシフト反応器を出たガスは、CO選択酸化反応器に供給され、10ppm以下にまでCOを低減した後、燃料電池本

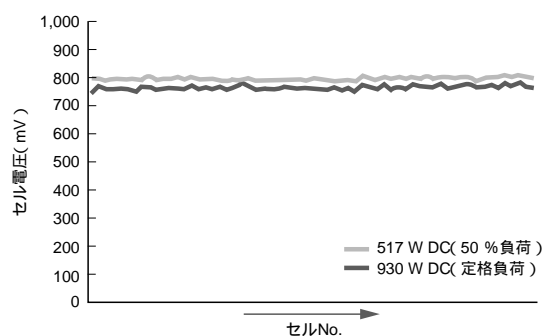


図4. 燃料電池のセル電圧分布 - 各負荷運転において、すべてのセルが均一な電圧分布特性を示すことが確認された。

Cell voltage distribution of 1 kW cell stack assembly

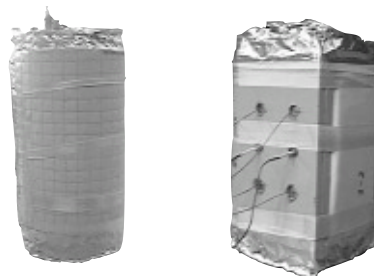


図5. 複合型燃料処理器 - 円筒型(左)及び箱型(右)の複合機器で構成される。

Integrated fuel processing subsystem

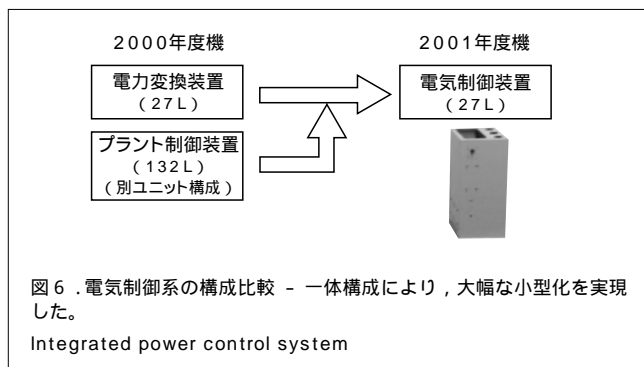
体に供給される。また、定格発電時における改質処理系出口のガス組成を表1に示す。システムでの実運転において、燃料改質系の十分な反応能力を確認した。

表1. 燃料改質系出口の反応ガス組成
Composition of gas from fuel processing subsystem

ガス成分	モル分率(% - dry)
H ₂	74.8
CH ₄ (メタン)	2.8
CO ₂	20.0
N ₂ (窒素)	2.4
CO	10 ppm以下

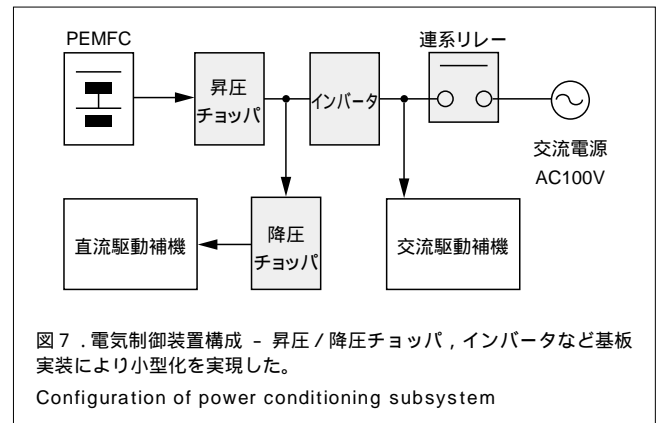
3.3 電気制御系

今回開発した2001年度機の電気制御装置は、燃料電池が発生するDC電力をAC電力に変換し、系統と連系運転を行う電力変換装置と、燃料電池発電システム制御を実行するプラント制御装置、及び電磁弁やブロウ、ポンプなどの駆動用24VDCを作るDC補機電源回路より構成されている。2000年度機に比べ、2001年度機は、上記構成要素をすべて一体化し、大幅な小型化を実現した(図6)。



電力変換装置は、図7に示すように、燃料電池からのDC電圧を昇圧チョッパにより昇圧し、この昇圧されたDCをインバータによりAC電力に変換して、通常系統連系して動作する。また、24VDC補機用電源回路は、AC電源及び燃料電池出力の双方を入力とした降圧チョッパ回路により動作するため、燃料電池発電前後にかかわらず、常に安定した動作が可能である。

インバータは、通常高力率電流制御モードで動作し、歪(ひずみ)の少ない正弦波電流波形を出力する。インバータの制御機能としては、0 ~ 700 Wの範囲で、受電点電力一定制御(自動)と、設定された値で出力する機能(手動)を備えている。また、系統電源監視機能として、電圧、周波数及びその変化率による能動・受動系統保護機能を持ち、負荷バ



ランス時のクリティカルな状態における系統停電でも確実に検出し、系統解列(連系リレー開放)することができる。更に、系統解列後の動作として、設定により、単独運転継続若しくはシステムを停止させることが選択可能である。単独運転時には、インバータを電圧制御モードで動作させ、プロセス制御用の交流駆動補機への給電を継続し、燃料電池の安定した発電を維持する。なお、系統電圧が正常復帰した際は、所定の時間(例えば、300秒)経過後、自動的に系統再連系を実行する。

また、インバータ、昇圧チョッパ、降圧チョッパなどの電力変換部は、基板実装化を行い、更に、パワ-素子として、高速で低損失のMOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)を採用し、変換効率向上を図っている。更に、インバータ及びプロセス制御を一つのマイクロプロセッサで実行することにより、μs級の高速制御から秒単位のプロセス制御に至るまで、きめ細かい最適制御性能を確保している。また、プロセス制御用として、通常のデジタル、アナログ入出力のほかに、ブロウ、ポンプなどの直接可変速制御用として、トライアックを用いた位相制御出力ポート、並びに24VDCをベースとした独立制御のパルス幅変調(PWM)出力ポートを備え、プラントとしての制御性向上を図っている。

3.4 補機及びパッケージング系

2001年度機における、空気ブロウや水ポンプなどの回転機、弁、熱交換器などの補機は、低コスト及びコンパクト化を狙い家電機器の汎用品を積極的に採用した。更に、モニタ用の流量計も廃止し、ブロウやポンプの回転機は回転数を変化させて出力制御を行った。

また、パッケージングは、コンパクト化はもちろんのこと、構成要素の性能が最大限に発揮でき、組立作業性、検査・調整の容易性を考慮した構成とした。

図8は、上中下の3ブロックに分割したパッケージング内の機器構成を示したもので、下段に補機 中段に燃料処理器、上段に燃料電池本体を配置することにより、各ブロックを接続する配管を最小限にとどめた。

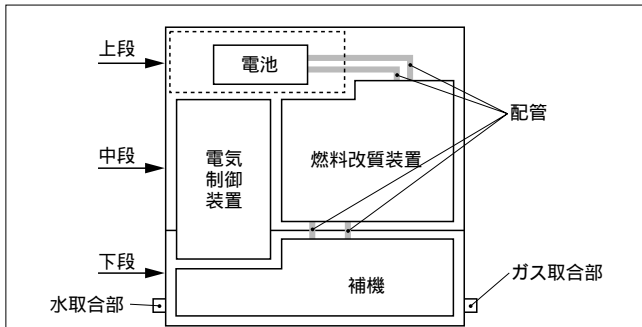


図8. パッケージ内の機器構成 - 3ブロックに分割した構成で、主要機器が配置される。
Arrangement of main apparatus in system package

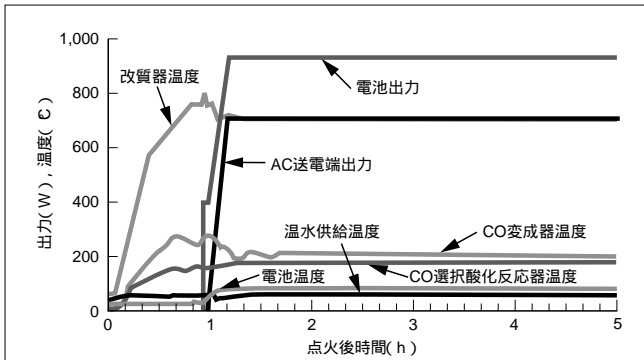


図9. 燃料電池システムの起動特性 - システムは起動指令を与えることで、1時間程度で自動的に発電を開始する。
Startup performance of residential PEFC system

4 2001年度開発機の実績

2001年度に、家庭用燃料電池システムの検証試験機を開発し、大幅な改善を得て、パッケージ容量の210 L達成をはじめ、発電と熱(温水)とを合わせた総合エネルギー効率など、表2に示した目標仕様をほぼ満足する性能実績を得ることができた。また、運転操作性については、起動から発電、発電から停止に至るまで、一連の運転を完全自動で行い、無人運転が可能であることを確認した。

表2. 2001年度開発機の目標仕様
Target specifications of PEFC prototype system

項目	2001年度開発目標
出力範囲	0 ~ 700 W
電圧	100 V/50, 60 Hz
発電効率	35 %
温水効率・温度	40%・60
発電方式	系統連系・独立負荷運転
燃料	都市ガス / LPG
運転方式	完全自動
パッケージング容量	210 L

図9は、都市ガスを燃料として、起動から発電に至るまでの起動特性試験の結果を示したものである。起動から約1時間程度で安定して発電状態に移行し、改質器やCOシフト反応器、CO選択酸化反応器などの温度も所定の温度設定域に維持されている。

定格発電時は、DC発電端出力930Wから電力変換器でAC出力に変換され、補機動力を供給した後、送電端として700 Wが出力されることを確認した。また同時に、システム排熱は複合型凝縮器で回収された後、貯湯槽に温水として供給・蓄熱されるが、この動作の確認とともに、排熱系の性能と諸状態量を把握することができた。

5 あとがき

エネルギー供給形態のベストミックス化に向けて、小規模分散型システムの普及が重要視されている。このようななかで、PEFCの特長を生かした家庭用発電システムは、より高効率で環境保全に優れたエネルギー社会の実現に大きく貢献する可能性を秘めており、将来的には、日本国内で年間数十万台規模の市場が見込まれている。

当社では、2年前からこの1 kW級の家庭用燃料電池システムの開発を進め、2001年度機は、2000年度機に比べてシステムのパッケージング容量の半減化と大幅な効率向上を実現した。

しかし、このようなシステムが本格商用機として世の中に普及していくためには、システム全体の低コスト化や信頼性向上が大きな課題として残っている。

今後はこのような課題に向けた解決を図ることはもちろんのこと、商品性や環境性を重視し、35%以上の発電効率達成を目指していく。



新井 康弘 ARAI Yasuhiro

東芝インターナショナルフュエルセルズ(株) 機器開発部 主査。燃料電池システムの機器開発業務に従事。日本機械学会会員。
Toshiba International Fuel Cells Corp.



檜垣 成敏 HIGAKI Shigetoshi

家電機器社 家電機器開発センター 家電要素技術担当主査。家電機器のインバータ開発業務に従事。電気学会会員。
Home Appliances R&D Center



金子 隆之 KANEKO Takayuki

東芝インターナショナルフュエルセルズ(株) プラント技術部 主務。燃料電池システムのシステム設計・解析に従事。
Toshiba International Fuel Cells Corp.