

1 kW級家庭用燃料電池システム

1 kW Fuel Cell System for Residential Use

永田 裕二
NAGATA Yuji新井 康弘
ARAI Yasuhiro田中 照也
TANAKA Teruya

固体高分子形燃料電池(PEMFC: Proton Exchange Membrane Fuel Cell)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て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。

当社では、これらのニーズに対応できる1 kW級家庭用燃料電池システムを開発した。この実績を基に、今後、よりいっそう低コスト化とコンパクト化を進めることで、数年内に商用機を実現する計画である。

In addition to its merits in terms of energy conversion and environmental protection, the proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) can be operated with higher power density at low operating temperature. It can be applied to various fields including automobiles, stationary use, and mobile power sources. The fuel cell system for residential use, which supplies both electricity and hot water as a cogeneration system, is one of the optimal applications for PEMFCs, like automobiles.

We developed a 1 kW-class residential PEMFC system and verified its performance in FY2000. Based on this technology and the experience gained, commercial units will be realized within a few years by achieving further cost and size reductions.

1 まえがき

発電設備を利用者の身近に設置して、発電の際に発生する排熱を有効に活用することで、70～80%の高いエネルギー利用率が実現できる。このようなコージェネレーションシステムを分散配置して、原子力や火力などの大型発電設備とベストミックスを図ることが、エネルギーの有効利用と環境保全の面から、極めて重要になってきた。また、エネルギーの有効利用に加えて、各家庭に1台ずつ発電設備を持ち、備蓄燃料の設置や系統からの独立運転機能を具備させることによって、防災上からも有効なエネルギー供給形態を実現することが可能となる。

燃料電池は、水素などの燃料と酸素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り、次のような都市型の分散電源や家庭用システムに適した特長を持っている。

- (1) 小容量でも高い発電効率が得られる。
- (2) 発電に燃焼を伴わず、排ガスがクリーンで環境安全性に優れる。
- (3) タービンのような大きな回転機がなく低騒音である。
- (4) 熱併給が可能であり、上述のコージェネレーションとして利用できる。

燃料電池の中でも、特にPEMFC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、家庭用に代表される小型定置用発電設備や車載用の動力源な

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、当社が開発を進めている家庭用燃料電池システムについて、そ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

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

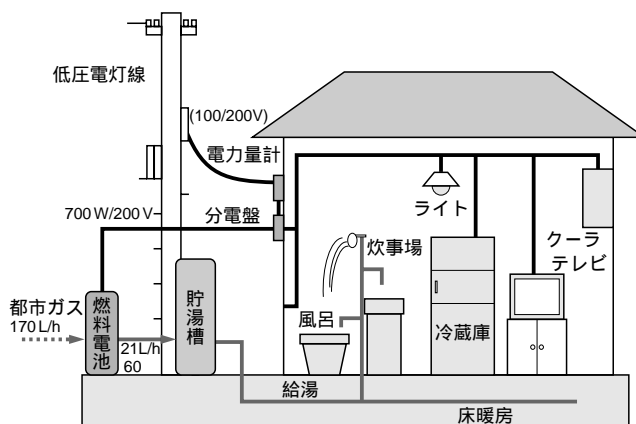


図1. 家庭用燃料電池の設置イメージ 燃料電池は貯湯槽とともに屋外に設置され、電気と熱の両方を供給する。

Conceptual image of residential PEMFC system

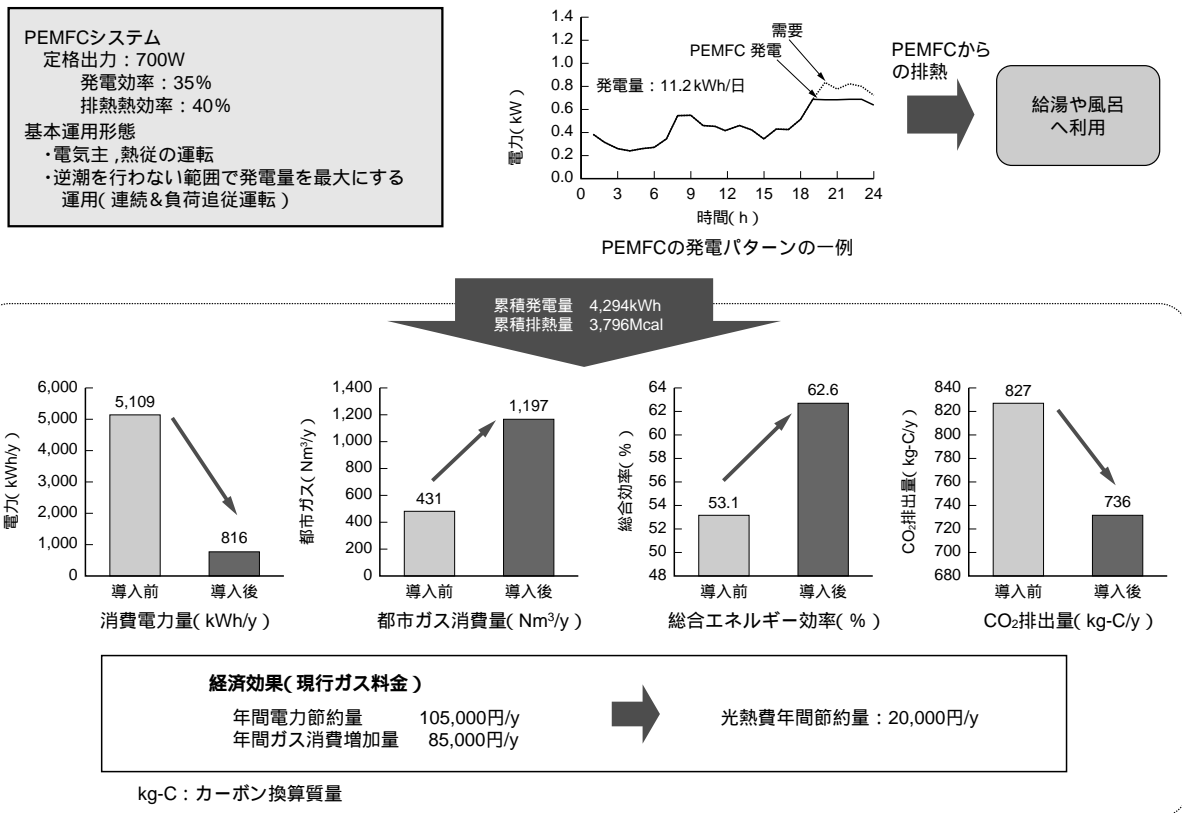


図2. 家庭用燃料電池の導入メリット 導入により、年間20,000円の光熱費削減と10%のCO₂削減が期待できる。
 Expected benefits of residential PEMFC system

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、風呂、床暖房などに有効利用される。

2.2 導入メリット

家庭用燃料電池システムを設置した場合の、代表的な運転形態と期待される経済性及び環境メリットについて述べる。主な検討条件は次のとおりである。

- (1) システムの送電容量 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700Wを定格とした。
- (2) システム効率 定格時の発電と排熱の効率を、それぞれ35%、40%と設定し、両者に対して部分負荷特性を考慮した。
- (3) 運転形態 電気主の運転を行い、逆潮^{注1)}しない範囲で発電量を最大にする運転形態を基準とした。
- (4) 排熱利用 貯湯槽に蓄えた後、給湯や風呂に利用し、不足時は追だきバーナなどで補充するものとした。

(注1) 家庭などに燃料電池や太陽光のような発電システムを設置した場合、消費量より多い電力を発生すると、家から系統に電気を供給することになる。このような現象を逆潮と言う。

このような条件で、4人世帯の年間電力及び熱の利用パターンを基に、家庭用PEMFCの導入メリットを求めた(図2)。その結果、電力及びガスの現行料金制度に従えば、このシステムの導入による電気料金の節約は消費ガス料金の増加を上回り、年間20,000円の光熱費が削減され、また、エネルギーの総合利用効率の向上から、約10%のCO₂削減効果もたらされる結果が得られた。更に、現在、ガス会社にて大口ユーザーに適用されている空調料金などと類似の料金体系が導入されることで、光熱費メリットは更に拡大されることが期待される。

2.3 システムの構成と仕様

家庭燃料電池システム内部の基本構成を図3に示す。システムは、燃料電池発電システム部分と貯湯槽で構成される。燃料電池発電システムは、電気エネルギーを発生する電池本体、都市ガスやLPG(プロパンガス)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ている。貯湯槽は、排熱を蓄え利用系へ温水を供給する。2000年度に開発した燃料電池パッケージと貯湯槽の外観を図4に示す。

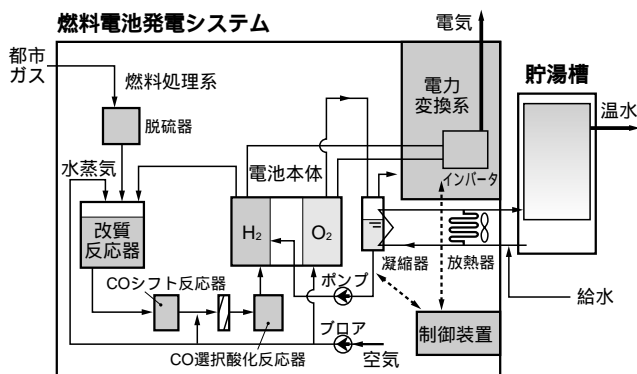


図3. 家庭用燃料電池システムの基本構成 家庭用燃料電池は、発電システム部分と貯湯槽から構成される。
Configuration of residential PEMFC system

内部加湿・潜熱冷却式燃料電池の主な仕様を表1に、積層スタックの外観を図5に示す。燃料電池本体は5.6L(リットル)の容積で、最大2.2kWのDC電力を発生する。

表1. 燃料電池本体の仕様
Specifications of cell stack assembly

項目	仕様
運転圧力	常圧
セル枚数	54セル
スタック容量	5.6L
スタック質量	13kg
定格電流	25 A
定格出力	1.0 kW
最大出力	2.2 kW



図4. 家庭用燃料電池システム 一体化された燃料電池パッケージ(左)の横に、貯湯槽(右)が設置される。
Residential PEMFC system package



図5. 潜熱冷却型スタック 燃料電池スタックは54セルを積層して構成される。
Cell stack with evaporative coolant concept

3 要素機器の特長

当社が開発した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、次のような特長を持っている。

- (1) 電池自身が水蒸発に伴う冷却機能を持っているため、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。

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6に示す。このスタックには、当社が独自に開発した電極膜(MEA: Membrane Electrolyte Assembly)を搭載しており、定格出力(1kW)において、すべてのセルが均一で高性能な電圧分布特性を示すことが確認された。

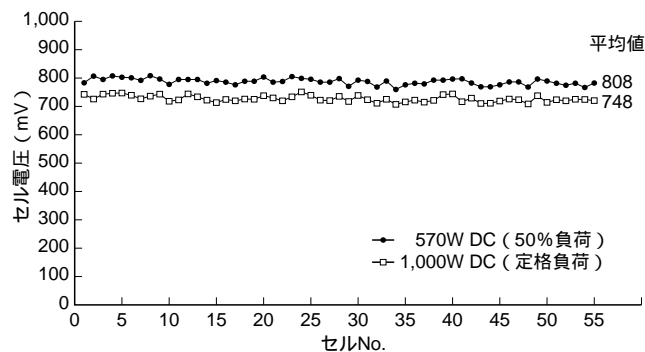


図6. 燃料電池のセル電圧分布 各負荷運転において、すべてのセルが均一な電圧分布特性を示すことが確認された。
Cell voltage distribution of 1 kW cell stack assembly

3.2 燃料処理系

都市ガスやLPGを原燃料にして、燃料電池に必要な水素を生成する燃料処理器は、コンパクト化を目的に、改質反応器、一酸化炭素(CO)シフト反応器、熱交換器、蒸発器などを一体化した構成とした。その外観を、図7に示す。



図7. 複合型燃料処理器 一体化された複合機器には、反応器のほかに熱交換器や蒸発器が組み込まれている。
Integrated fuel processing subsystem

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2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2. 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	71.6
CH ₄	1.8
CO ₂	20.0
N ₂	6.6
CO	10ppm以下

3.3 電気制御系

電気制御系は、燃料電池が発生するDC電源をAC電源に変換し、電力系統との接続を安全に行う電力変換装置、プラントの起動・停止などを行うプラント制御装置及び空気ブローア、水ポンプなど、補機的能力制御を行うプラント分電装置で構成されている。

電力変換装置は、図8に示すように、燃料電池からのDC出力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に変換する。このとき、インバータ能力は、受電点電力が一定になるように、0～700Wの範囲で制御される。また、パワー素子として、高速で低飽和電圧なIGBT

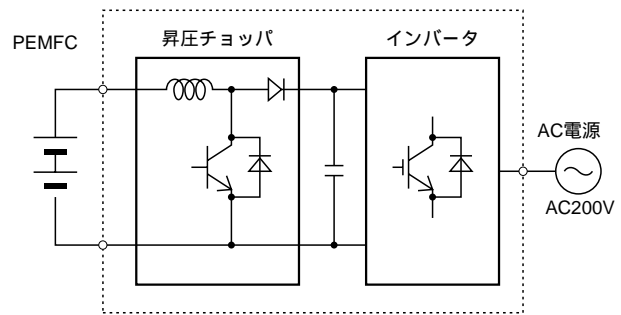


図8. 電力変換装置の構成 高速IGBTの採用などにより効率向上を図った。
Configuration of power conditioning subsystem

(Insulated Gate Bipolar Transistor)や高速ダイオードを用いることにより、高い変換効率を達成した。

プラント制御装置のマンマシンインタフェースは、プラントの安全運用と効率の良い運転監視を実現するため、グラフィカルユーザーインタフェース(GUI)をベースに設計している。また、プラント分電装置は、発電を効率的に行うため、発電出力に応じた最適な能力で空気ブローア、水ポンプを駆動する。

3.4 補機系

家庭用燃料電池システムには、電池本体や改質系機器などの主要機器のほかに、空気ブローアや水ポンプなどの回転機、熱交換器、比例弁や熱電対に代表される計装系などが使われている。今回開発した燃料電池システムにおいては、これら補機に対して、低コスト化をねらい家電機器の汎用品を積極的に取り入れる工夫をした。

また、燃料電池システムの排熱を回収する複合型凝縮熱交換器では、排熱回収のための熱交換器機能に加えて、酸化剤側と燃料側とのそれぞれから独立に水を回収する機能、水伝導度を低く抑えて水質を管理するための脱炭酸機能など、多くの機能をコンパクトな一体化機器として構成した。複合型熱交換器で生成された約60℃の温水は、別置き貯湯槽上部に供給され、ここで蓄えられた後、必要に応じ給湯や風呂などの温水として利用される。

4 2000年度開発機の実績

2000年度に、家庭用燃料電池システムの試作機を開発し、発電と熱(温水)とを併せた総合エネルギー効率、パッケージサイズなど、表3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。

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

表3 . 2000年度開発機の目標仕様
Target specifications of PEMFC prototype system

項目	2000年度開発目標
出力範囲	0 ~ 700 W
電圧	200 V/50, 60 Hz
発電効率	30 %
温水効率, 温度	40 %, 60
発電方式	系統連系 + アイドル
燃料	都市ガス / LPG
運転方式	完全自動
本体サイズ	400 L以下

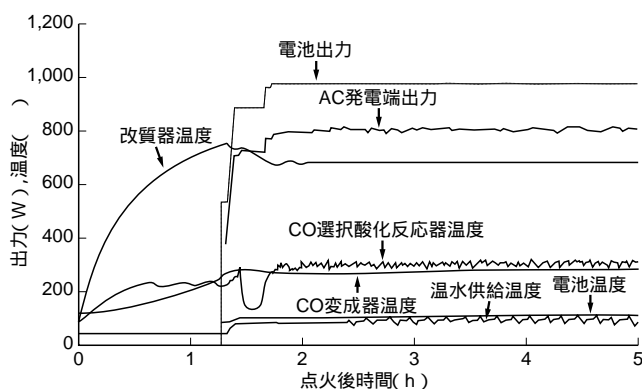


図9 . 燃料電池システムの起動特性 システムは起動指令を与えることで, 1時間程度で自動的に発電を開始する。
Startup performance of residential PEMFC system

時間程度で安定して発電状態に移行し, 改質器やCO変成器, 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1,000 W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。

一方, 電気系の一連の動作機能として, 次の機能がそれぞれ適切に動作することを確認した。

- (1) 系統異常時に家庭用燃料電池システムが系統連系運転から待機運転へ速やかに移行する。
- (2) 待機状態から系統が正常復帰し, これが所定時間経過した後に自動で再連系する。
- (3) 家庭の受電点の電力が常に一定となるような受電点出力制御する。

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, PEMFC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。

ここでは, 当社が開発した1 kW級の家庭用燃料電池システムの概要と2000年度に開発した試作機の実績について述べた。今後は, このようなシステムが, 本格的商用機として世の中に普及していくことを目指して, 低コスト化や高信頼化を進めていく計画である。



永田 裕二 NAGATA Yuji

東芝インターナショナルフュエルセルズ(株)プラント技術部長。燃料電池システムのエンジニアリング業務に従事。電気学会会員。

Toshiba International Fuel Cells Corp.



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.



田中 照也 TANAKA Teruya

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。電子情報通信学会会員。

Home Appliances R&D Center