

燃料多様化を進める1 kW級家庭用燃料電池

1 kW-Class Stationary Fuel Cell Utilizing Diversified Raw Fuels

岩崎 和市 田中 正俊 磯部 康之

■ IWASAKI Waichi ■ TANAKA Masatoshi ■ ISOBE Yasuyuki

東芝は、1 kW級家庭用燃料電池システム（以下、家庭用燃料電池と略記）の2009年度の商品化を目指し、製品開発に取り組んできた。2005年度から独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の事業である「定置用燃料電池大規模実証」に参画し、都市ガス（NG）や液化石油ガス（LPG）を燃料とする家庭用燃料電池では、累計で約600台の運転とデータの取得を行った。大規模で継続的なデータ取得により、運転性能と耐久性において商品化のめどが立った。

一方、灯油は、NGやLPGと比較して単位発熱量当たりの価格が安価で、寒冷地ではインフラが整備されているため、市販の灯油を燃料とする家庭用燃料電池のニーズが高い。当社は、2006年度に業界の先駆けとして、市販灯油使用の家庭用燃料電池の運転にも成功した。

Toshiba is aiming at the commercialization of a 1 kW-class stationary fuel cell for the residential market in FY2009. We have been participating in the Large-Scale Stationary Fuel Cell Demonstration Project, which is being implemented by the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), since FY2005. As a result of large-scale continuous data acquisition, we have attained the level of commercialization in terms of performance and durability using city gas (natural gas: NG) and liquefied petroleum gas (LPG) as raw fuels.

Furthermore, in FY2006 we succeeded in the operation of a 1 kW-class stationary fuel cell using commercially available kerosene, which is widely preferred as an inexpensive and easy-to-use fuel due to the infrastructure installed in cold regions of Japan.

1 まえがき

東芝は、エネルギー事業者と提携し、NGやLPGを燃料とする家庭用燃料電池の商品化を目指している。この燃料電池は、燃料を水素リッチガスに改質して固体高分子形燃料電池（PEFC：Polymer Electrolyte Fuel Cell）で発電するもので、2005年度から（財）新エネルギー財団（NEF）がNEDOの助成金を受け、「定置用燃料電池大規模実証事業」として実用化が進められている。当社は初年度からこの事業に参画し、継続して運転データを取得してきた。

一方、灯油は、NGやLPGと比較して単位発熱量当たりの価格が安価で、寒冷地などにおいてインフラが整備されていることから、市販の灯油を燃料とする家庭用燃料電池に対するニーズが高い。

ここでは、「定置用燃料電池大規模実証事業」での成果を述べ、更に、燃料多様化を狙った市販灯油使用の家庭用燃料電池の開発状況について述べる。

2 家庭用燃料電池の開発及び導入

2.1 家庭用燃料電池の仕組み

この燃料電池の基本構成を図1に示す。燃料から水素リッチガスを生成する燃料処理装置、水素リッチガスと空気を反

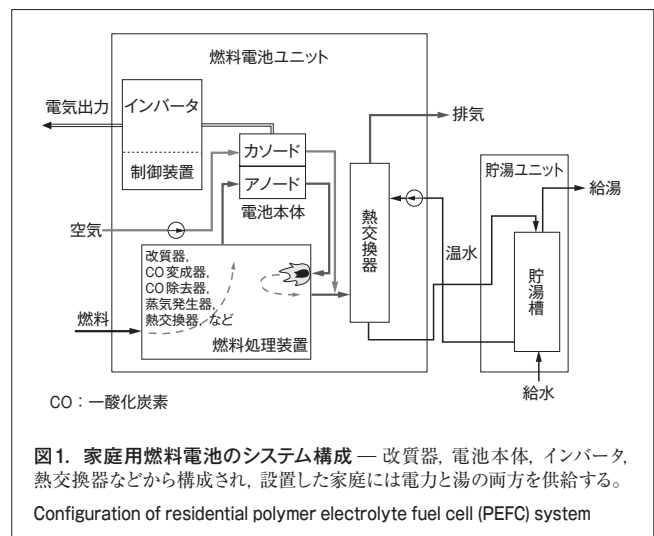


図1. 家庭用燃料電池のシステム構成 — 改質器、電池本体、インバータ、熱交換器などから構成され、設置した家庭には電力と湯の両方を供給する。

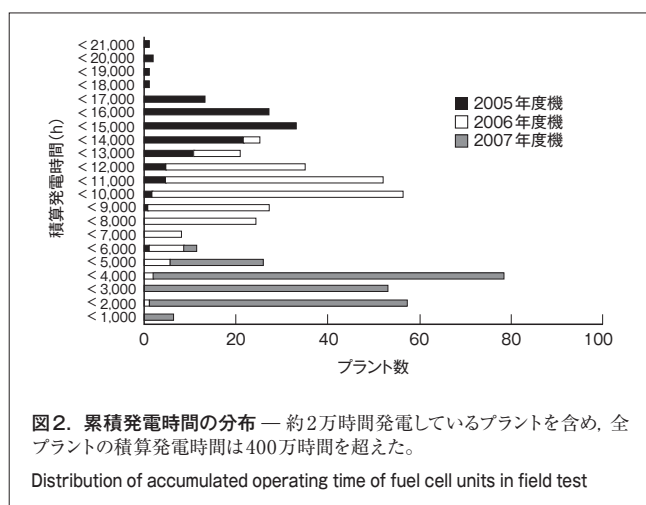
Configuration of residential polymer electrolyte fuel cell (PEFC) system

応させ直流電力を発電する電池本体、電池本体からの直流電力を交流電力に変換するインバータ、及び電池本体の排熱を回収する熱交換器などから構成されている。このとき回収した排熱は湯として貯湯槽に蓄え、設置した家庭の湯の使用量に合わせて供給している。

設置した家庭には電力と同時に湯が供給されるため、経済性、省エネ性、及び環境性といった点でメリットを受けることができる。

2.2 一般家庭への導入実績

当社は、これまでリン酸型燃料電池の本格的な開発及び製造を行っており、30年にわたる技術の蓄積とフィールド経験を持つ。家庭用燃料電池の開発は、それにより培った経験を生かして2000年度から進めており、2005年度以降はNEFの「定置用燃料電池大規模実証事業」に参画している。この大規模実証事業では、NGやLPGを燃料とする家庭用燃料電池（以下、NG燃料機、LPG燃料機、2007年度機などと略記）を、約600戸の家庭に導入してきた。現在では、2万時間以上の運転を続けているサイトを含め、全サイトの積算発電時間は440万時間を超えている（図2）。



ここでは、これまで開発活動と上記運転実績から得られた成果、及び商品性を更に向上させるための課題点について述べる。

2.3 量産機の開発から得られた成果と課題

このような家庭用燃料電池を商用化させるために、現在は以下のように、性能、低コスト化、耐久性、及び信頼性を重要技術として位置づけた開発を進めている。

2.3.1 性能 当社としては既に2004年度の開発機において、発電効率が40%-LHV^(注1)以上となるシステムの開発を実現した。その後の商用化に向けた開発では、この高い発電効率の一部を、セル枚数削減などによる低コスト化のためのマージンとして活用している。2007年度機は2004年度機と比べ、セル枚数を約半数まで削減した一方で、発電効率35%-LHV以上、総合効率85%-LHV以上の性能を備え、性能維持と低コスト化の両立を図っている。

この2007年度機を家庭に設置した結果、一次エネルギー消費量を約18%、二酸化炭素(CO₂)排出量を約29%削減できた。実フィールドでの運転において、高い導入効果が確認できてお

(注1) Lower Heating Value (低位発熱量)のことで、燃料の持つ発熱量から、燃料の燃焼によって生じる水蒸気の潜熱を差し引いた発熱量。

り、性能面ではすでに商用化レベルを満足していると判断している。

2.3.2 低コスト化 コスト低減に向けて、あらゆる面からアプローチを行っている。システムの簡素化、セル枚数の削減、製造及び出荷試験の工数削減、安価な補機や材料の発掘などを進め、2004年度試作機の約4分の1にまでコストを低減した。現在は、本格的な商用化に向けて、50万円のシステム価格を実現するため継続的な取り組みを行っている。

2.3.3 耐久性 図2に示すとおり、最長運転となっているサイトは、発電時間が約2万時間に達した。このサイトでは、現在でもなお、初期電圧の96%以上の電圧を維持しており、目標とする4万時間以上の耐久性を達成する見込みである。また、2007年度機では、触媒、材料、構造を大幅に改良しており、更に良好な電池特性が期待できる。

2.3.4 信頼性 故障率は、量産機をフィールドに導入し始めた2005年当初に比べ、約1/5まで低減している。フィールドで起こる不適合に対しては、真因を分析し、一般化した対策を次機に反映させることで初期不良を低減してきた。

しかし、本格的な商用化のために故障率を5%程度まで低減させることを目標としており、現行機の10倍程度の信頼性が必要である。この目標達成に向けて、2008年度機に対しては信頼性向上に重点を置いた設計を行った。具体的には、各部位の耐久性向上やシステムの簡素化に加え、予防保全や診断技術の経験を反映して設計している。

2.4 今後の開発方針

これまで燃料電池を大規模に設置してきた経験から、性能と耐久性については目標達成までの一定のめどが立ったと判断できる。今後は、これまで以上の低コスト化と信頼性向上に注力し、NG燃料機やLPG燃料機については、2009年度からの商用機立上げを目指し開発を進めていく。

3 家庭用燃料電池の燃料多様化開発

3.1 燃料多様化について

今後、家庭用燃料電池の市場を拡大するためには、NGやLPGだけでなく、ほかの燃料で運用できるシステムの確立が必要であり、現在、純水素を燃料としたシステムと、灯油を燃料としたシステムを開発している。

ここでは、それらのうち、市販の灯油を燃料とする家庭用燃料電池（以下、灯油燃料機と略記）について述べる。

3.2 灯油燃料機の開発経緯

灯油はNGやLPGと比較して発熱量当たりの価格が安価で、かつ各家庭の灯油タンクで安全に保管することができる。そのため、ガス供給ラインがない家庭や、もともと灯油のインフラが整備されている寒冷地に家庭用燃料電池を設置する場合、灯油は燃料として好適である。

しかし、灯油から水素リッチガスを生成する改質反応と、改質反応の前段階の脱硫反応には、次のような技術上の課題があった。

- (1) 高沸点留分を含む灯油を炭化させることなく蒸発させ、水蒸気と均一に混合して改質器に供給する必要がある。灯油の炭化や混合の不均一が発生すると、プロセス圧損が増大したり、水素リッチガスの組成が不安定になる可能性がある。
- (2) 灯油には、従来は改質が困難とされていた不飽和炭化水素や環状炭化水素が豊富に含まれており、未改質の油分のスリップで下流の反応器や燃料電池本体に影響を与える可能性がある。
- (3) 一般に、燃料に含まれる硫黄分は燃料処理装置の性能を著しく低下させる。

市販の灯油に含まれる硫黄分は、燃料処理装置へ導入する前に20 ppb^(注2)以下にまで低減される必要がある。液体である灯油を処理する脱硫器は、NGやLPGの場合と脱硫剤及び反応条件が異なるため、灯油向けの脱硫系システムを構築する必要がある。

これらの技術課題を解決するため2002年度から開発を進め、2006年度には、出光興産(株)製の触媒を使用した灯油燃料処理装置と灯油脱硫器を開発した。更に、2006年度に業界の先駆けとして、灯油燃料機の燃料電池ユニットを製作し、発電に成功した。その外観を図3に示す。

この機器は2007年3月に完成し、2008年5月上旬時点で累積発電時間は1,472 h、連続発電時間は最長168 hに達した。その間、改質器の運転は安定し、水素リッチガス中の油分は検出されなかった。また、数度にわたり脱硫器出口での灯油の硫黄濃度を確認したところ、20 ppb以下だった。このこと



図3. 2006年度灯油燃料機の燃料電池ユニット — 2006年度に業界の先駆けとして、灯油燃料機の燃料電池ユニットを製作し、発電に成功した。
Kerosene PEFC unit in FY2006

(注2) ppb : parts per billion (10億分の1)。

から、灯油の改質及び脱硫器に関する開発課題は解決されたことを確認した。

燃料電池ユニットとしては、250 Wから700 Wの間の任意の出力設定で安定に運転でき、自動で起動・停止や負荷変化が可能であるなど、標準的なNG燃料機やLPG燃料機とほぼ同様の運用ができることを確認した。

3.3 2007年度灯油燃料機の開発目標

2007年度には、2006年度機の運転結果を元に改良を加えた灯油燃料機を設計し製作した。このシステムを構成する燃料電池ユニットの設計にあたり、特に下記の点に注力した。

- (1) 灯油脱硫系システムの改良 2006年度の灯油脱硫系システムの実績を踏まえ、2007年度は安全性、安定性、及び信頼性向上を主眼に、システムと補機を改善した。
- (2) 一般家庭での運用の実現 2006年度機は灯油脱硫及び燃料処理関係の検証に主眼を置いたため、仕様面で判断すると、一般家庭でコージェネレーションシステム^(注3)として運用する場合、支障が生じる可能性があった。

2007年度は2008年度以降のフィールド実証運転を視野に入れ、標準的な家庭用燃料電池と同様の運用が可能なシステムにした。

3.4 2007年度灯油燃料機の概要

2007年度に開発した灯油燃料機の燃料電池ユニットの外観を図4に示す。

2007年度灯油燃料機の燃料電池ユニットの諸元を、NG/



図4. 2007年度灯油燃料機の燃料電池ユニット — 2006年度の実績を踏まえて2007年度の燃料電池ユニットを開発した。右側面に配置されたFF (Forced Flue : 強制給排気) 式給排気口が特徴となっている。
Kerosene PEFC unit in FY2007

(注3) 発電時の排熱を利用して、暖房や給湯などに利用するシステム。

LPG燃料機のそれと比較して表1に示す。灯油燃料機の燃料電池ユニットは、灯油脱硫器など追加機器の設置により、NG/LPG燃料機のそれより寸法が若干大きくなっているが、2007年度は2006年度より小型化することに成功している。

2007年度灯油燃料機の燃料電池ユニットは2007年度末から検証運転を開始し、2008年5月上旬時点で累積発電時間は642h、連続発電時間は378hに達し、安定性を確認している。連続発電時間は2006年度機を既に越えており、今後も実績を積み上げていく見込みである。

また、一般家庭での運用を想定した運転を行い、問題なく運用できることを確認している。

これまでの試験における発電効率の実績を図5に示す。発電端では発電効率33%-LHV以上を示し、NG燃料機やLPG燃料機と変わらない特性であることが確認された。

その他、起動・停止や負荷変化に関しても、同等の特性であることを確認した。現在も市販灯油を用いた発電試験を継続している。

3.5 今後の開発方針

2008年度には、2007年度灯油燃料機を改良したシステムを開発し、モニター家庭に設置して実証運転を行う予定である。

上記フィールド試験において市販灯油による運用実績を蓄積し、灯油脱硫及び灯油燃料処理技術が実用レベルに達していることを実証し、2009年以降から市場投入する予定である。

4 あとがき

NG燃料機やLPG燃料機については、2009年度の商用化を目指し、エネルギー事業者と鋭意事業化計画を進めている。更に、灯油燃料機についても、2009年度以降の商品化を目指し開発を継続している。

なお、NG燃料機やLPG燃料機の開発は、NEFがNEDOからの助成金を受けて実施している、「定置用燃料電池大規模実証事業」の一環として進められたものである。

表1. 燃料電池ユニットの諸元比較

Specifications of fuel cell systems according to raw fuels used

燃料種	市販灯油 (2006年度)	市販灯油 (2007年度)	NG/LPG (2007年度)
定格出力(発電端) (W)	700	700	700
寸法(脚含む) (mm) (幅) × (高さ) × (奥行き)	900×1,200×400	1,072×1,015×342	870×895×330
体積(脚含まず) (L)	414	350	240
発電効率 (発電端) (%-LHV)	33.5	33.3	34.3*
排熱回収効率 (%-LHV)	48.9	48.9	49.3*

* : 2007年度LPG燃料機の出荷試験における年間平均値

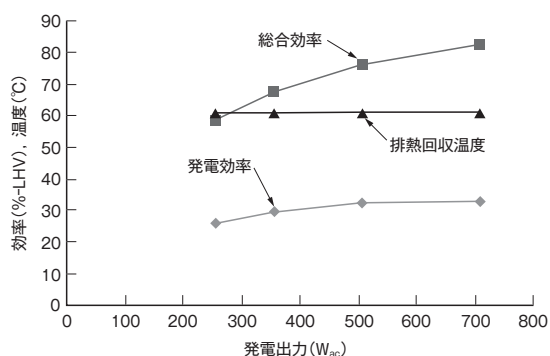


図5. 2007年度灯油燃料機の燃料電池ユニットの発電効率 — 発電端では発電効率33%-LHV以上を示し、NG燃料機やLPG燃料機と変わらない特性であることが確認された。

Performance of kerosene PEFC system



岩崎 和市 IWASAKI Waichi, D.Eng.

電力システム社 燃料電池事業開発室参事, 工博。
定置用燃料電池の事業開発に従事。技術士(応用理学)。
Fuel Cells Business Promotion Dept.



田中 正俊 TANAKA Masatoshi

東芝燃料電池システム(株) 開発部 機器開発担当主査。
燃料電池発電システムの開発・設計に従事。日本分析化学会
会員。
Toshiba Fuel Cell Power Systems Corp.



磯部 康之 ISOBE Yasuyuki

東芝燃料電池システム(株) 製品部 システム制御担当。
燃料電池発電システムの開発・設計に従事。
Toshiba Fuel Cell Power Systems Corp.