

エネファーム技術を用いた純水素燃料電池システム

Pure Hydrogen Fuel Cell Systems Based on Technologies for ENE-FARM Residential Fuel Cell Systems

小川 雅弘

金子 隆之

松田 昌平

■ OGAWA Masahiro

■ KANEKO Takayuki

■ MATSUDA Shohei

東芝グループは、省エネや二酸化炭素 (CO₂) 排出量削減などの地球環境保全への貢献を目指し、燃料電池 (FC) システム普及のための技術開発を進めている。1970年代から、産業用として大型のリン酸形燃料電池 (PAFC) を開発して一定の成果を得た後、2000年以降は家庭用の固体高分子形燃料電池 (PEFC) の開発を開始した。様々な国家プロジェクトなどに参画しながら、東芝燃料電池システム (株) は、2009年にエネファームの商品化を実現し、2016年度には第4世代機をリリースした。累計の出荷台数は7万台を超えている。

当社は、低コストと高耐久性の両立を実現したエネファームの技術をベースに純水素FCを開発し、北九州の水素タウンなどで実証を行うなど、業界をリードする活動を行ってきた。更に、2014年からは開発を加速し、更なる発電効率の向上で世界最高水準^(注1)の効率55%を達成するとともに、100 kW級までカバーするラインアップの強化を行い、来るべき水素社会に備えている。

The Toshiba Group has been devoting continuous efforts to the development of technologies for the dissemination of fuel cell (FC) systems, with the aim of contributing to protection of the global environment by energy conservation and the reduction of carbon dioxide emissions. Following the accomplishment of positive results through the development of large-scale phosphoric acid fuel cell (PAFC) systems for industrial use starting in the 1970s, the Toshiba Group began developing polymer electrolyte fuel cell (PEFC) systems for residential use through participation in various national projects from 2000. As a result of these efforts, Toshiba Fuel Cell Power Systems Corporation released a residential FC system called ENE-FARM in 2009. We introduced fourth-generation models of ENE-FARM in 2016, and have now shipped more than 70,000 units in total.

Based on these technologies for ENE-FARM achieving a balance between low cost and high durability, we have been developing industry-leading pure hydrogen FC systems through verification tests in various projects such as the Kitakyushu Hydrogen Town Project. We have been working to enhance the power generation efficiency and strengthen the system lineup, including a model with 100 kW-class capacity, by accelerating our development efforts since 2014 toward the realization of a hydrogen society.

1 まえがき

東芝グループは、燃料電池 (FC) システム普及に向けた技術開発により、省エネやCO₂排出量削減などの地球環境保全への貢献を目指している。このため、1960年代から燃料電池の研究開発を進めている。

東芝燃料電池システム (株) は、2009年に家庭用FCシステム“エネファーム”の商品化を実現した。2015年度末までの累積出荷台数は7万台を超えている。

また当社では、この低コストと高耐久性を両立しているエネファームの技術をベースに、来るべき水素社会に向けて高効率の純水素FCシステムの開発を本格化させている (図1)。ここでは、ベースとなるエネファームの概要とともに、純水素FCシステムの開発の概要や最新状況などについて述べる。



図1. 最新の純水素FCシステム — 定格出力700 Wで世界最高水準の発電効率55%を実現するとともに、デザイン性も重視したモデルである。

Latest model of pure hydrogen FC system

2 FCシステム開発の概要

2.1 FCシステム開発の歴史

東芝グループは、1960年代初頭にはFCの研究に着手し、

(注1) 2016年3月現在、当社調べ。

1970年代から、リン酸形燃料電池 (PAFC) の研究開発に取り組み、米国UTC社と共同で産業用のFCシステムの開発と製品化を行った。1990年代には、当時世界最大の11 MW PAFCシステムの開発 (図2) を経て、出力200 kWのオンサイト型FCシステム PC25Cを製品化し、全世界に280台を出荷した (図3)。

1990年代には、固体高分子形燃料電池 (PEFC) の電池材料の技術革新が進み、東芝グループでも研究開発に着手した。特殊法人 (現 国立研究開発法人) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) による国家プロジェクトに参画し、PEFCを用いた30 kW級FCシステムを開発した。

2.2 エネファームの開発⁽¹⁾

東芝グループは、2000年度にわが国の「ミレニアム・プロジェクト」に参画し、家庭用FCシステムの開発を開始した。毎年、新規のFCシステムを開発して性能向上を図るとともに、完成度を向上させた。

2005年度から、財団法人 (現 一般財団法人) 新エネルギー財団 (NEF) による「定置用大規模実証事業」が始まり、東芝グループのFC事業を引き継いだ当社が参画した。この事業では、発電効率や総合効率といった性能実証だけでなく、量産準備として実際に数百台レベルの製造と設置が行われた。

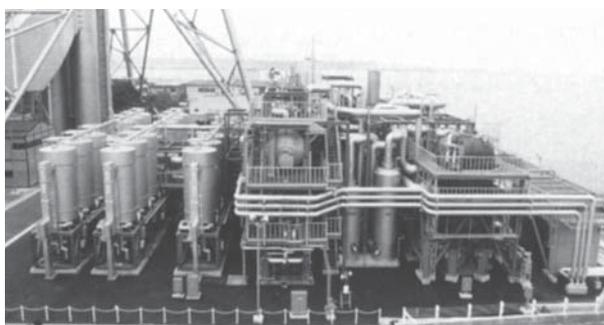


図2. 11MW PAFCシステム — 当時世界最大のFCシステムで、火力発電の代替えを目指して開発された。
11 MW PAFC



図3. PC25C — 出力200 kWのオンサイト型PAFCシステムで、全世界に280台を出荷した。
PC25C on-site PAFC

期間は2008年度までの4年間で、当社も毎年新規のFCシステムを開発し、合計748台のFCシステムを製造してフィールドテストに投入した。

2009年に、エネファームの第1世代機 TM1-Zを商品化した。発電効率35%以上及び総合効率85%以上の性能により、1.3 t/年のCO₂排出量削減を達成するとともに、コストダウンも実現し、2011年までに合計8千台以上を出荷した。

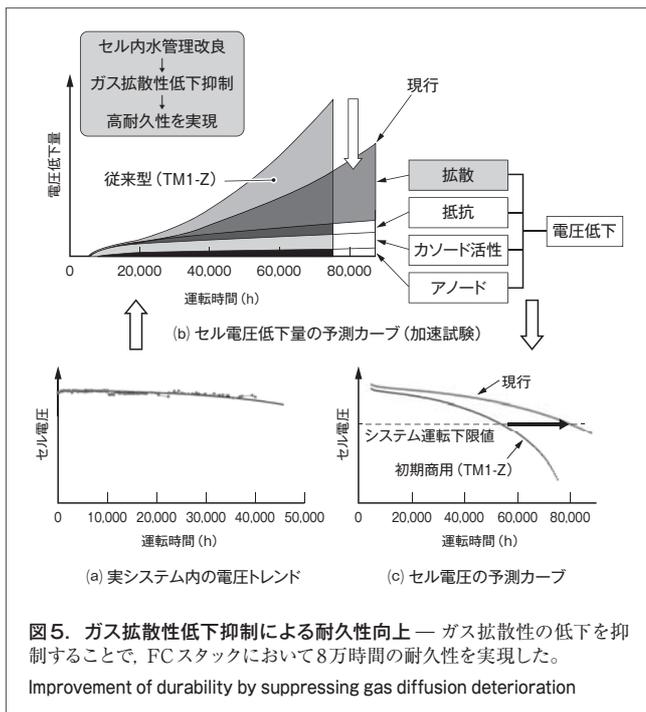
2012年には、エネファームの第2世代機 TM1-ADを開発し、製品化した。発電効率を38.5%に、総合効率を94%に向上し、CO₂排出量削減は1.5 t/年に向上した。また、TM1-AD以降は、次節で述べるように、8万時間の耐久性を達成した。2011年の東日本大震災の影響もあり、国内での停電対応に対するニーズの高まりを受け、これに対応する自立運転機能もいち早くラインアップに加えた。この機能により、二次電池などの高価な機器を追加することなく、比較的安価に停電時の発電継続が可能となり、エネファームは、エコ製品としてだけでなく、電源セキュリティにも貢献する商品として、普及への期待が一段と高まった。

2014年には、エネファームの第3世代機 TM1-AEで最高発電効率39%及び総合効率95%を実現し、CO₂排出量削減は1.6 t/年に向上した。また、コスト低減についても更に進め、製造工程での型成形方式の適用を拡大するなど量産に適した設計を行った。部品点数と溶接工数を削減した改質器の採用や、低コスト部材としての樹脂製部品のいっそうの採用などにより、第1世代機と比較して50%以上のコスト低減を達成した。

2016年4月から、第4世代となる新モデル TM1-AG (図4) のリリースを開始した。これまでのエネファームの特長である高い総合効率や、高耐久性、多彩な燃料種、自立運転機能などはそのまま継承している。燃料ガスとしては、主原料がメタンガス (CH₄) の都市ガスや主原料がプロパンガス (C₃H₈) の液化石油ガス (LPガス) の他、国産天然ガスにも対応している。



図4. エネファームの2016年度モデル — 最新モデルであり、設置性や保守性を大きく向上させた。
2016 model-year ENE-FARM system



更に、寒冷地仕様のモデルも開発しており、全国の幅広いユーザーが利用できる。

2.3 PEFCの高耐久化

PEFCを家庭用システムに適用する際の技術的な課題は、耐久性である。開発当初の耐久性は1万時間以下であり、定置用に求められる10年間（約8万時間）の耐久性を実現することが大きな課題であった。

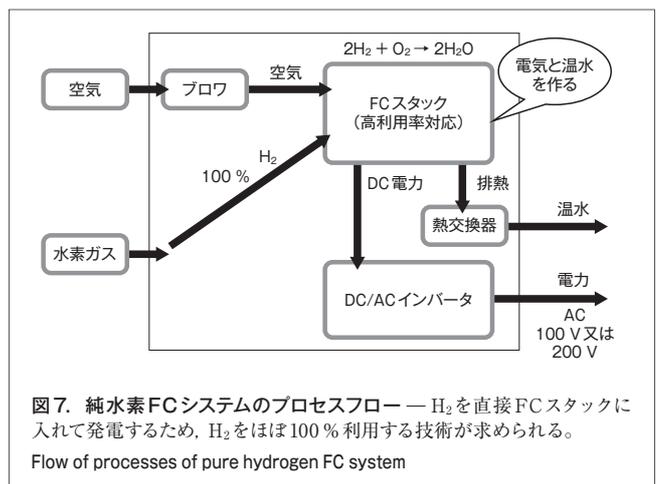
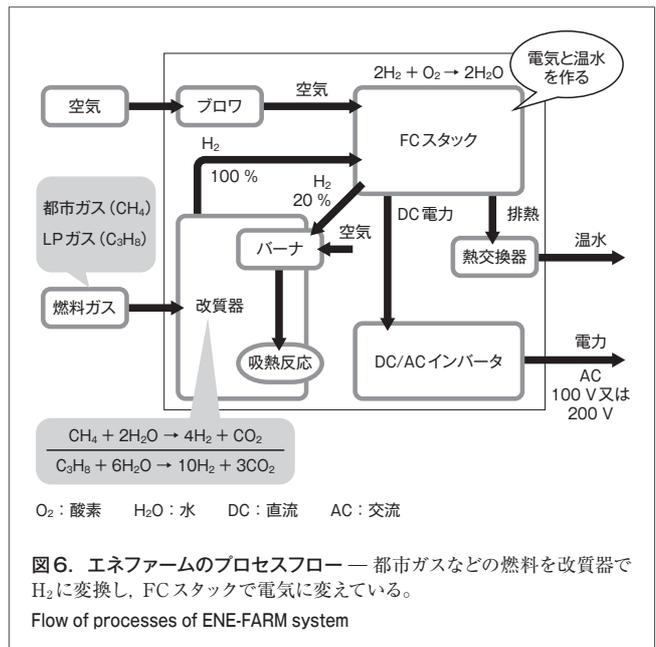
主要部品の中で、心臓部となるFCスタックでは、電解質膜の劣化と性能低下が大きなハードルであった。電解質膜の劣化については、材料メーカーとともに改良に取り組み、劣化の主な要因である化学劣化を抑制する新規電解質膜を適用することで耐久性の向上を図った。性能低下、すなわちセル電圧の低下については、分極と呼ばれる劣化因子に分けて原因調査と対策立案を進め、改良を図った。NEDOのプロジェクト「固体高分子形燃料電池スタックの劣化解析基盤研究」に参画し、電位サイクル法による加速評価手法⁽²⁾を構築し、特に劣化が大きいガス拡散性の低下を改善した。

その結果、2005年度の大規模実証事業開始時に2万時間だった耐久性は、2008年度の事業終了時には4万時間まで改善された。その後、更なる改善に取り組み、図5に示すように、現状ではその2倍以上となる8万時間以上の耐久性を達成した。

3 純水素FCシステム

3.1 純水素FCシステムの特徴

エネファームは、広く普及している都市ガスやLPガスなどを利用して水素ガス（H₂）を製造する改質器を備えることで、一



般市場向けのFCシステムとしていち早く製品化に成功した。昨今、FCV（燃料電池自動車）の開発及び製品化に伴って、水素をエネルギー源とした水素社会の到来が期待されており、当社も純水素FCシステムの開発に取り組んでいる。改質器を備えたエネファームでは、FCスタックでH₂を100%消費せず、改質反応に必要なエネルギー相当分を残して改質器で燃焼させている（図6）。これに対し、純水素FCシステムには改質器がないので、H₂を無駄なく使用する必要がある（図7）。

当社のPEFCは、独自の内部加湿方式を採用しており、水管理に優れ、FCスタックのガス利用率が高い高利用率対応にできる利点がある。この利点を生かし、外部のリサイクルブロワを使用せずに、95%以上のH₂を利用できるFCスタックを開発した。純水素FCシステムは、改質器を備えたFCシステムよりも発電効率が高く、改質器がないためシンプルかつコンパクトである。また、エネファームで培ってきた高耐久化技術を

適用しており、定置用FCシステムとしても優れている。

3.2 純水素FCシステムの開発

純水素FCシステムの開発は、2004年度のNEFによる「定置用燃料電池実証研究」への提供から始まった。初代モデルは、貯湯ユニット一体型の戸建てモデルであり、2007年度の山口県「水素タウンモデル事業」における検証まで、計5台の検証を行った。このときの貯湯ユニットのバックアップボイラの燃料は都市ガスやLPガスである。

また、ほぼ並行して2005～2007年度には、国土交通省「住宅・建築関連先端技術開発助成事業」の一環として、大阪ガス(株)の実験集合住宅NEXT21に8台を設置し、大阪ガス(株)及び(株)長府製作所と共同で「集合住宅における水素供給燃料電池コージェネレーションシステムに関する技術開発」の評価試験を実施した。

この評価試験では、NEXT21の屋上に集中改質器を設置し、集合住宅サイトで水素を製造して各戸へ供給するFCシステムとしており、将来構想の1モデルとなっている先進的な検証を行った(図8)。

2009～2014年度には、経済産業省「水素利用社会システム構築実証事業」、福岡県「北九州水素タウンを活用した実証研究」、及びHySUT(一般社団法人水素供給利用技術協会)「北九州水素タウン実証事業」の一環として、北九州水素タウン内のコンドミニアムなどに12台を設置し、試験を行った(図9)。

北九州水素タウンでは、製鉄所から発生する副生H₂をパイプラインで供給しており、安全のため付臭剤が添加されていた。通常、都市ガスなどでは触媒毒となる硫黄系の付臭剤が用いられるが、ここでは硫黄フリーのシクロヘキセンが用いられていた。そこで、これをFCシステムの前段に設置した脱臭器で除去してからH₂を供給し、試験を実施した。評価試験の最終段階では、この脱臭器をバイパスしてシクロヘキセンの影



図9. 北九州水素タウンに設置した純水素FCシステム — 北九州水素タウンのコンドミニアムなどに設置した純水素FCシステムで、12台を設置して検証を行った。

Pure hydrogen FC system for condominiums installed in Kitakyushu Hydrogen Town

響を検証する試験も行った。当社のFCスタックは、シクロヘキセンの影響をほとんど受けず、安定運転できることが確認された。

3.3 山口県でのプロジェクトにおける新たな開発

当社製の従来の純水素FCシステムは、発電効率が50%未満であった。そこで、最新のエネファームの技術を用いて、将来の水素社会に適用できる高発電効率の純水素FCシステムを開発する取組みを2014年度から始めている。

2014年度からは、岩谷産業(株)と共同で山口県「平成26年度やまぐち産業戦略研究開発等補助金」を受託し、純水素FCシステムの開発と検証を進めている。山口県は、全国トップクラスのH₂産出県であり、H₂の利活用に力を入れており、山口県内企業の山口リキッドハイドロジェン(株)及び長府工業(株)とも連携することで、県内の産業振興にも貢献する。

このプロジェクトの新型純水素FCシステムの目標仕様を表1に示す。効率55%LHV(低位発熱量基準)の高効率発電やH₂燃料のバックアップボイラなどが特徴で、周南市徳山動物園の象舎(図10)をはじめとする山口県内を中心としたフィールド検証に加え、水素ステーション芝公園及び水素ステーション

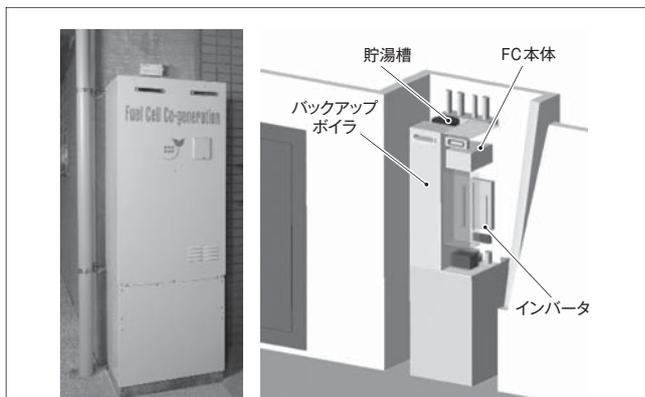


図8. NEXT21に設置した集合住宅向け純水素FCシステム — NEXT21に設置した集合住宅向け純水素FCシステムであり、将来モデルの検証を行った。

Pure hydrogen FC system for condominiums installed in NEXT21 Building of Osaka Gas Co., Ltd.

表1. 山口県のプロジェクトにおける開発目標仕様

Target specifications of pure hydrogen FC system for Yamaguchi Prefecture project

項目	目標仕様
定格出力	700 W
発電効率(定格)	55 %LHV
総合効率(定格)	95 %LHV
温水温度	60 °C
起動時間(冷起動)	1分
出力変化(最低→定格)	1分以内
バックアップボイラ	H ₂ 燃料ボイラ

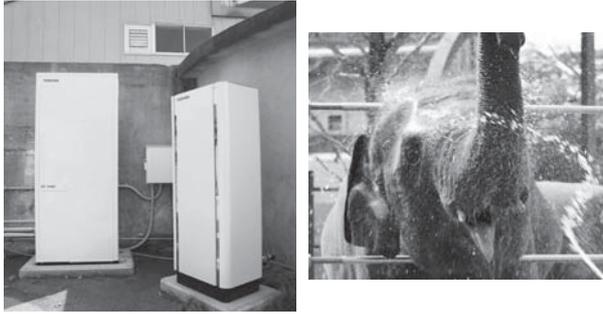


図10. 周南市徳山動物園象舎に設置した純水素FCシステム検証機
— 発電した電気は象舎に、発電の際に作られた温水は象や象舎の洗浄に使われる。

Pure hydrogen FC system installed at Tokuyama Zoo for verification tests

東京池上でも検証を行っている。

当社は、これをベースに開発を進め、世界最高水準の発電効率55%を実現した定格出力700Wの純水素FCシステムを2016年3月にリリースした。また、このプロジェクトでは3.5kWの開発も進めており、周南市での検証を開始した。

4 純水素FCシステム開発の最新状況

前述の700Wに加え、3.5kW及び100kWも開発中で、三つの純水素FCシステムをラインアップする予定である(図11)。700Wは主に家庭用として、3.5kWは業務用として複数台の組合せも想定した事業所モデルとしている。また100kWは、事業用の離島モデルとして開発に注力しており、既にプロトモデルの発電試験を開始している。

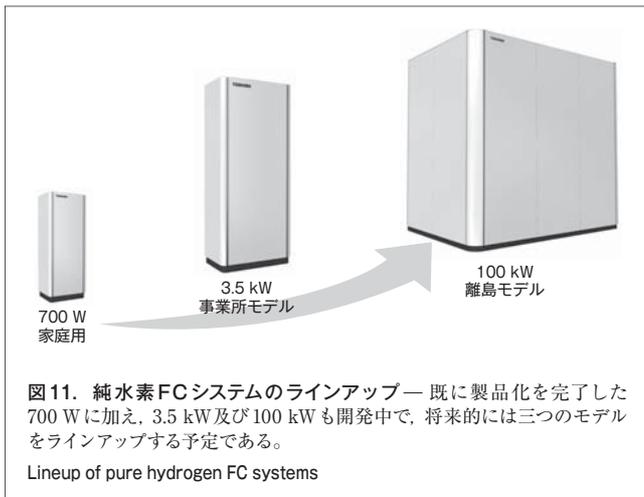


図11. 純水素FCシステムのラインアップ— 既に製品化を完了した700Wに加え、3.5kW及び100kWも開発中で、将来的には三つのモデルをラインアップする予定である。

Lineup of pure hydrogen FC systems

5 あとがき

当社は、2016年度から、第4世代となる新モデルのエネファームのリリースを開始した。より多くのユーザーが利用できるように、コストを低減するとともに、設置性の向上やメンテナンスの負担軽減を実現した。また、来るべき水素社会の実現に向け、東芝グループの一員として、純水素FCシステムの開発と提供を続けている。今後も、FCシステムの普及により社会に貢献していく。

謝辞

エネファームの開発でご支援いただいた経済産業省及びNEDOの開発関係各位、並びに純水素FCシステムの開発でご支援いただいた国土交通省、経済産業省、福岡県、HySUT、及び山口県の開発関係各位に深く感謝の意を表します。

文献

- (1) 干鯛将一 他. “東芝燃料電池システムにおける新型エネファームの開発”. 第23回燃料電池シンポジウム講演予稿集. 東京, 2016-05, 燃料電池開発情報センター. 2016, A1.
- (2) 霜鳥宗一郎. エネファームの本格普及と水素社会実現への取組み, エネルギードバイス, 2, 6, 2015, p.22-26.



小川 雅弘 OGAWA Masahiro

東芝燃料電池システム(株) 水素FC開発推進プロジェクトチームプロジェクトマネージャー。水素FCの開発及び製品化に従事。技術士(応用理学部門, 総合技術監理部門)。
Toshiba Fuel Cell Power Systems Corp.



金子 隆之 KANEKO Takayuki

東芝燃料電池システム(株) 水素FC開発推進プロジェクトチームサブプロジェクトマネージャー。水素FCの開発及び製品化に従事。
Toshiba Fuel Cell Power Systems Corp.



松田 昌平 MATSUDA Shohei

東芝燃料電池システム(株) 技師長。
FC及び応用製品の技術開発に従事。日本機械学会会員。
Toshiba Fuel Cell Power Systems Corp.