

# 本格的商用化段階を迎える家庭用燃料電池 コージェネレーションシステム

パナソニック株式会社

パナソニックホームアプライアンス社 燃料電池プロジェクト プロジェクトリーダー  
暮らし環境開発センター FC事業開発室 戦略知財担当

栗林 良造  
武部 安男

## 1. はじめに

地球規模での温暖化が進行しており、京都議定書で履行が義務づけられる削減目標期間が2008年から始まっている。

今年7月の洞爺湖サミットでも主要八カ国（G8）首脳が2050年までに二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）など温室効果ガスの排出半減を求める「環境・気候変動」宣言を採択した。正に世界中で環境問題への取組みが加速されつつある。

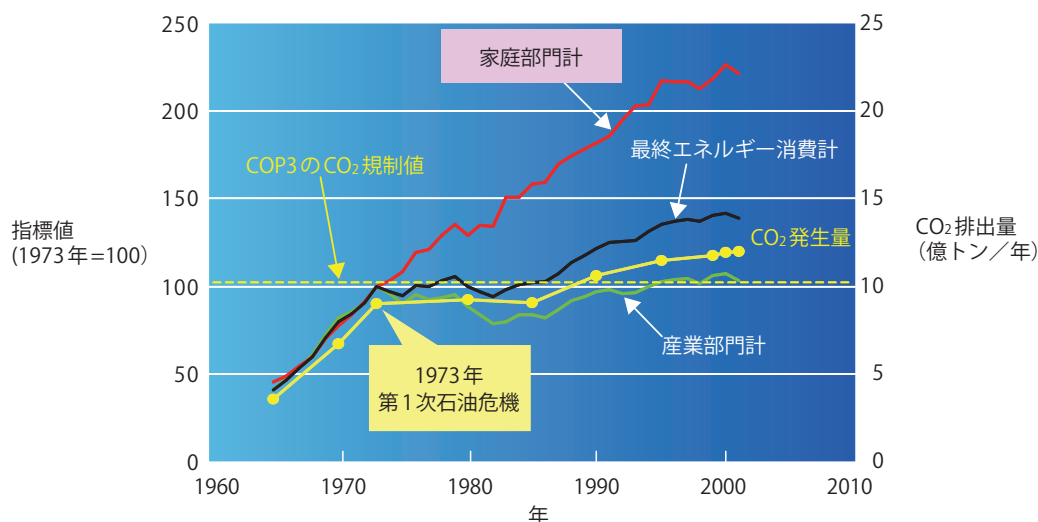
しかしながら、日本国内では家庭でのエネルギー消費量が増加の一途を続けている。この抑制には家庭内で使用する機器の省エネルギー化が必要であり、エレクトロニクスメーカーが果たすべき役割は大きなもの

となってきている。

パナソニックでは21世紀の事業ビジョンの1つとして「地球環境との共存」の実現を掲げ、「一歩先のエコ」をスローガンに、すべての事業活動でCO<sub>2</sub>削減に取り組むことを宣言し、全社一丸となって環境負荷低減に取り組んでいる。

その中でも、燃料電池コージェネレーションシステムを環境立社の重点事業として位置づけて開発に取り組んできた。

家庭用燃料電池コージェネレーションシステムは、発電の際生じる熱エネルギーをお湯に変換することで総合効率80%以上を得ることができ、高い省エネ性とCO<sub>2</sub>排出量削減効果を得ることができる。燃料電池コージェネレーションシステム（定置用燃料電池）は、今



【図1】 エネルギー消費量の推移  
(財) 日本エネルギー経済研究所データより作成

**松下グループ エコアイデア宣言**  
「一歩先のエコ」を世界のみなさまへ

—松下グループの3つのお約束—

- 商品の  
エコアイデア 1. 私たちは、省エネ商品をおとどけます
- モノづくりの  
エコアイデア 2. 私たちは、CO<sub>2</sub>の排出量を減らします
- ひろげる  
エコアイデア 3. 私たちは、エコ活動を世界中にひろげます

【図2】 パナソニックのエコアイデア宣言  
パナソニック（株）HPより引用  
<http://panasonic.co.jp/company/philosophy/vision/ecoideas2007/index.html>



【図3】 燃料電池の「足湯」をご見学されるファーストレディー  
外務省HPより引用  
[http://www.g8summit-photogallery.mofa.go.jp/index\\_ja.html](http://www.g8summit-photogallery.mofa.go.jp/index_ja.html)

年3月に政府が発表した、世界の温室効果ガス排出量削減を目指すための「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」における、21の重点技術の一つに選定されるなど、新しいエネルギーを創出する環境商品として、また、今後の市場成長が見込める新規事業として期待されている。

当社では、2005年2月から商用機として1kW級燃料電池コージェネレーションシステムを市場導入し、その1号機を首相新公邸に納入して以来、大規模実証事業を通じて平成19年度までに285台を市場に設置、稼働させている。

2008年7月の洞爺湖サミットでは、日本の優れた環境技術を世界に紹介する環境ショーケースの展示の一環として、燃料電池コージェネレーションシステムで創り出したお湯を足湯としてデモンストレーションした。

本報では、2008年4月に発表した新しい当社のシステム（2008年機）を中心に、燃料電池コージェネレーションシステムの概要と技術開発の内容について紹介する。

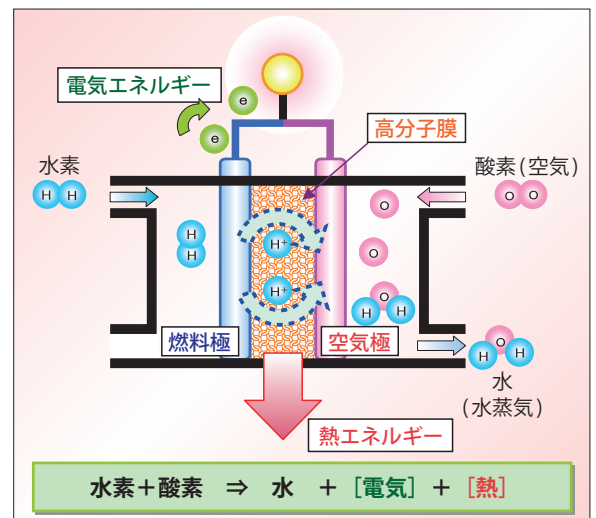
## 2. 家庭用燃料電池コージェネレーションシステムの概要

燃料電池は次世代のクリーンエネルギーシステムとして期待が大きいものであるが、その原理は一般的には水の電気分解の逆反応といわれており、水素と酸素

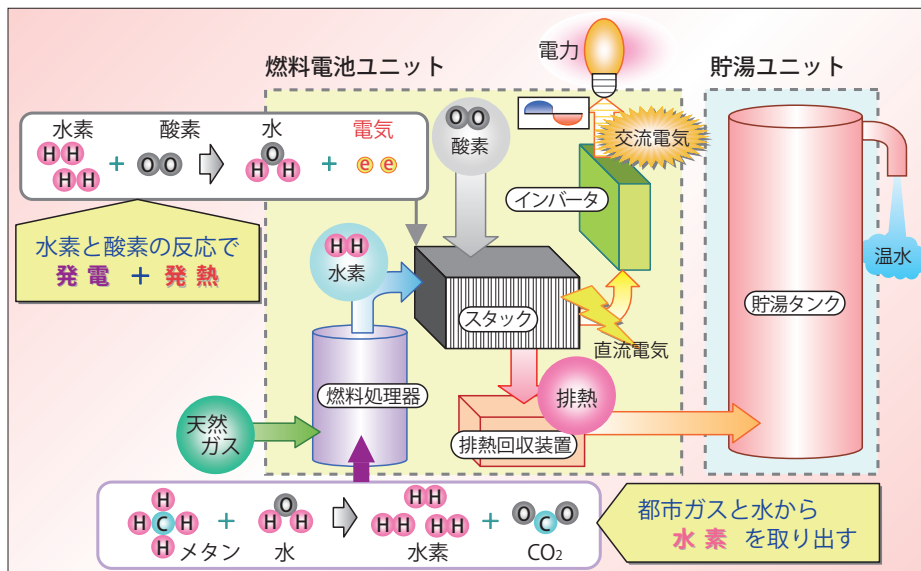
から水と電気と熱（お湯）を作り出す装置である。

燃料電池の特徴は、1) 発電効率が30～50%と高いこと、2) CO<sub>2</sub>排出削減はもちろんの事、NO<sub>x</sub>や振動、騒音といった環境負荷の発生も小さいこと、3) 天然ガス、LPG、灯油、バイオ発酵ガスなど多種多様なエネルギー源が使えることなどが挙げられる。

従って、様々な用途への活用が可能なクリーンなエネルギーシステムであり、またこの燃料電池の普及に伴って新しい産業や、これに伴う雇用の創出が期待できる。



【図4】 燃料電池の原理（PEFC）



【図5】 家庭用燃料電池コージェネレーションシステムの構成

燃料電池コージェネシステムは、都市ガス（天然ガス）やLPガスを使い、家庭で電気や熱のエネルギーを創り出すシステムである。発生した電気は家庭用の電力として使われ、発電時の廃熱でお湯を作り、風呂や台所で使うことができる。このように、「お家で電気とお湯を作る時代」を実現するシステムである。

このシステムの構成を図5に示す。

システムは大きく分けて、発電する燃料電池ユニットとお湯をためる貯湯ユニットからなる。

燃料電池ユニットではまず、都市ガスから燃料処理装置で水素ガスを作りだす。水素ガスは改質、変成、選択酸化の3つのプロセスでつくり、次にスタックに供給されて発電が行なわれる。そのとき同時に熱が発生するので、それを水と熱交換してお湯を作る。スタックで発生した電気は直流であるので、インバータで交流に変換して家庭用の電力として使う。

この燃料電池コージェネレーションシステムを使うと、省エネルギーと環境負荷低減に有効に作用する。発電所から家庭に送る電気の場合、一般的な火力発電を例にとると、発電所の廃熱ロスが59%、送電ロスが4%で、家庭に届く時の発電効率としては37%でしかない。

一方、燃料電池コージェネレーションシステムの場合は、家庭で発電する効率が30～35%、廃熱（排熱）回収を含めたエネルギーの総合利用効率は70～80%に達する。最近はさらに発電効率が向上して、燃料電池の発電効率が火力発電所とほぼ同等レベルになってき

ており、「CO<sub>2</sub>を出さずにお湯ができる」に等しいところまで進化している。

このように燃料電池の効果としては、エネルギー使用量を15～30%削減できる省エネルギー性ととも、CO<sub>2</sub>排出量を30～40%と非常に大きく削減でき、あわせてNO<sub>x</sub>も大幅に削減できる。燃料電池がクリーンエネルギーといわれるのは、これらの効果があるためである。

### 3. パナソニックの家庭用燃料電池コージェネレーションシステムの特長

燃料電池システムを市場導入するにあたり、開発の基本的な考え方として、このシステムが、お客様に対して「安心、安全」で「メリット」を感じて頂ける商品でなければならないと考えている。したがって、システムの開発にあたっては、実働時のエネルギー削減効果につながる「効率」、安心して使って頂ける「耐久性」と「安全性・品質」を最優先に確立し、加えて普及、事業拡大の要である「コスト」についても削減に向けて取り組んでいる。

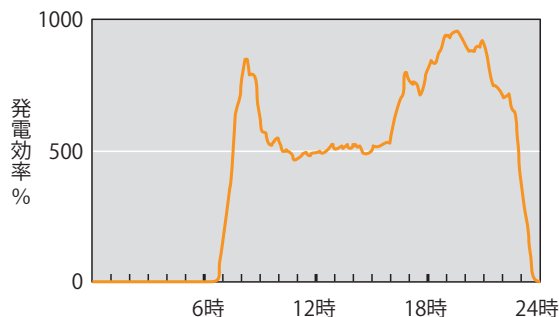
今回、新開発したシステム（2008年機）は、これまでの大規模実証事業で得られた使用状況や機器データを検証・活用し、2008年度に実施する新たな大規模実証事業に向けて開発したものである。2008年度にこのシステムの性能、信頼性の検証を行い、2009年度から

一般のお客様に販売を開始する。

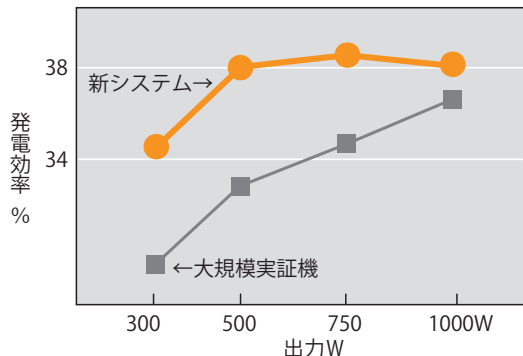
まず、お客様のメリットにつながる発電効率の向上については、2005年度から実施した大規模実証事業でのシステムの使用状況の分析の結果から一般的な家庭で運転した場合、発電出力は500W~1kWの間で使われることが多いことが判明した(図7)。この運転頻度の高い発電出力の範囲(500~1000W)全域での実使用効率の向上を目指し、表1、2に示すように世界最高と



【図6】システム外観写真



【図7】実住宅での発電パターン例



【図8】出力に対する発電効率

なる38% (LHV\*)以上の発電効率を実現、さらに750W時の発電効率は39% (LHV)を達成した。1000W時の排熱回収効率55%と合わせると、原料ガスの持つエネルギーの90%以上を有効に使えることになる。

また、耐久性については、劣化メカニズムから導き出した加速試験法により、4万時間の運転と起動停止4千回が可能であることを予測、あるいは確認し、耐用年数10年相当を想定した住宅設備機器としての耐久性を実現した。

このほか、新システムでは本体重量を約30%軽量化、本体設置奥行きも37cm短くし、設置性も改善させるとともに、両サイドからのメンテナンスを可能にすることで、より幅広いお客様の設置環境に対応ができるようにした。

システム外観は図6に示すように、環境商品としての「際立ち」と生活空間、建物との「調和」を目指して、校倉造りをイメージした波形サイディングの意匠とした。

最後に、「安全性・品質」については、これまでの大規模実証で得られた情報をもとに、安全性の確保、故障率の低減が実現できるように設計に落とし込んでおり、今年度の大規模実証で検証を行う予定である。

【表1】燃料電池コージェネレーションシステムの製品仕様

製品仕様	
項目	仕様および内容
燃料種	都市ガス(13A)
電気出力	300~1000W(送電端電力)
運転モード	DSS~連続
負荷追従制御	有り
寸法	本体:780(W)×400(D)×860(H) 貯湯:750(W)×486(D)×1883(H)
重量	本体125kg、貯湯125kg
電気利用形態	系統連携
熱利用形態	成層式貯湯槽蓄熱

【表2】燃料電池コージェネレーションシステムの性能

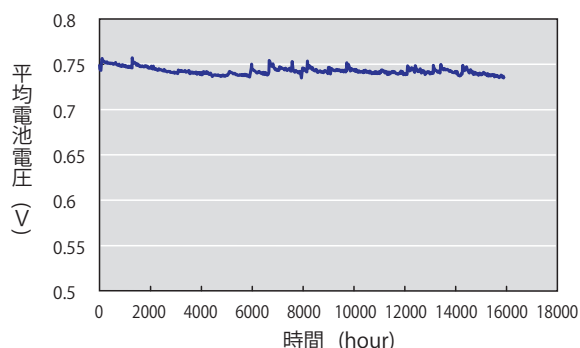
性能	
項目	性能
発電効率	100%出力時:38%LHV 75%出力時:39%LHV
排熱回収効率	100%出力時:55%LHV 75%出力時:50%LHV
給湯温度、容量	60℃以上、200L
運転騒音	43dB以下(起動時、停止時) 41dB以下(運転時)

※) LHV: 低位発熱量基準。燃料を燃焼させた際に生じる水蒸気の凝縮熱を差し引いた発熱量。

以上のようなシステムを実現するために、スタック、燃料処理器、インバータの各要素デバイスの開発を行った。

当社燃料電池の特徴の1番目は、高安定・高耐久のスタックを開発し、搭載していることである。これまで解明されていなかった劣化メカニズムを、評価試験を通じて解明した結果、下記の3つの原因により劣化することが明らかとなった。

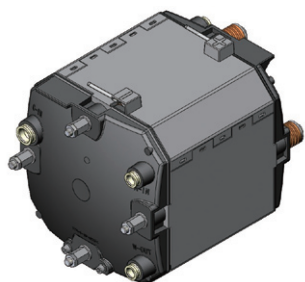
- (1) 電解質膜の破壊による突然劣化
- (2) 触媒の活性低下による電圧低下
- (3) 反応生成水の詰まりによる電圧低下



【図9】燃料電池スタックの耐久試験状況

この解析に基づき、電解質膜、触媒などの材料の改善、生成水が多量に発生する運転条件に適したセパレータのガス流路、締結構造などの設計の最適化を行った。

図9に燃料電池スタックの耐久試験状況を示す。16000時間経過後も約 $1.0 \mu\text{V} / \text{h}$ の劣化率を維持しており、加速試験による予測によって、4万時間後も10%以内の電圧低下となる見通しである。起動停止においても4000回の耐久性を確認しており、耐用年数10年相当を想定した耐久性は確立したと考えている。



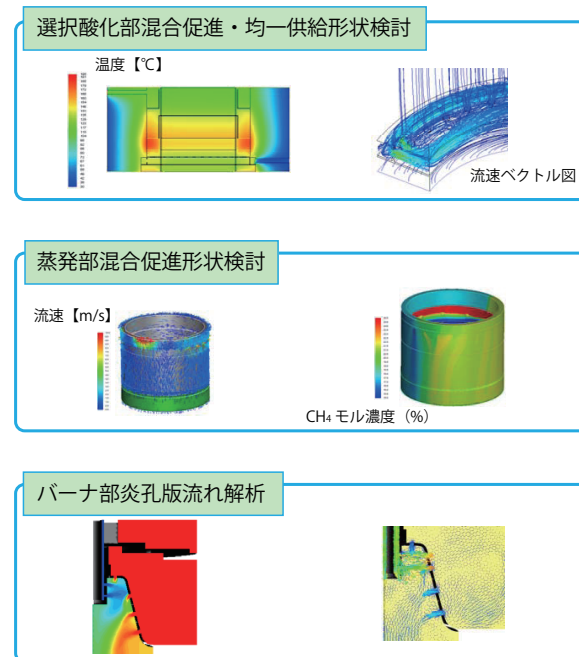
【図10】燃料電池スタック外観図

特徴の2番目は、高性能・高耐久の燃料処理器である。燃料処理器は、都市ガスに水蒸気を混ぜ、改質・変成・選択酸化の3つのプロセスを経て水素を作る装置である。

この装置は、言わば小規模な化学プラントであり、その安定性には化学反応条件の精密な制御が求められる。一方、構造体としても、高温と低温の遷移を繰り返す起動停止が多いため、機械的な強度を確保し、安定運転できる耐久性が求められる。

パナソニックでは、触媒反応も取り入れたシミュレーション技術を駆使して、反応器の熱流体・構造解析、反応シミュレーションを行い、効率的な開発を行っている。特に多様な燃料ガスに対応できる高性能、高耐久触媒材料開発、高反応効率と耐久性、小型化が可能な構造体設計に注力した。その結果、燃料処理器の改質反応に対してS/C（スチーム炭素比）と $\lambda$ （空気燃料比）が変動しても、初期から耐久劣化後にわたって余裕度を確保し、その運転可能領域は従来機の1.7倍に拡大した。

また従来、改質部、変成部、選択酸化部が分割構成であったため、小型化、高効率化が困難であったが、今回、3つの反応部を一体構成化することで熱損失を低減させ、高効率化を実現した。

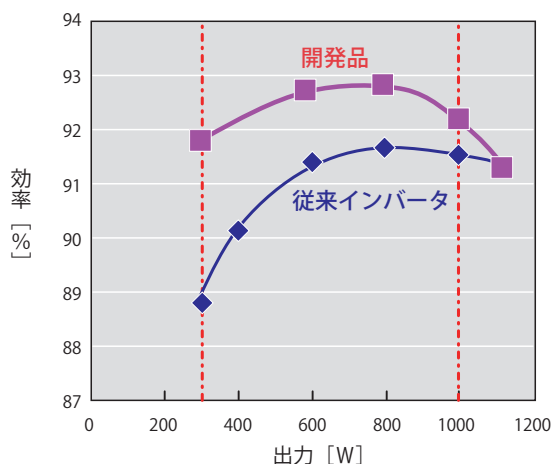


【図11】熱流体・反応シミュレーションの一例

特徴の3番目は、高効率インバータの搭載である。インバータは以下の2つの要素から成り立っている。

- (1) 昇圧コンバータ……直流/低電圧を高電圧化
- (2) 系統連携インバータ……直流出力を交流200Vに変換し、系統に連携する

インバータの開発にあたっては、実際の運転における稼働比率の高い出力領域の変換効率を向上させるため、電圧昇圧時に発生する熱ロスをハード、ソフト両面から低減する取り組みを行った。IHなどの白物家電インバータで培った電力制御技術を、昇圧コンバータ部に応用し、全域でソフトスイッチングを可能にした。これにより、パワートランジスタの熱ロスを大幅に低減でき、実用域、特に300~750W出力域で高効率化することが出来た。



【図12】 出力に対するインバータ効率特性

これらのデバイスを制御ばらつきを加味してすりあわせ、長期にわたってデバイスの性能を引き出すシステムを確立した。

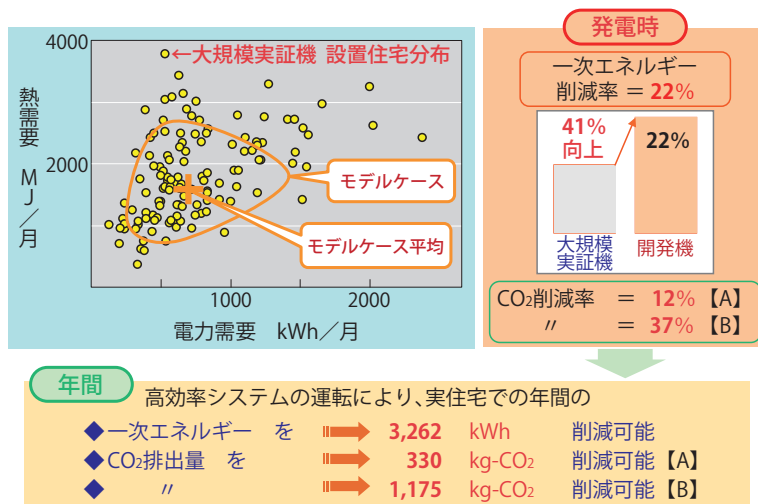
これらの高効率な機器を実使用にあわせて、より最適条件で運転させることにより、さらなる省エネ性を得ることが可能となる。家庭においては、家族構成や生活パターンにより、電気やお湯の使い方が大きく異なる。また季節によっても大きく変化する。

パナソニックでは、自社開発のニューロアルゴリズムに基づいた学習制御ソフトを開発し、システム運転制御ソフトに内蔵しており、各家庭での使用パターンを学習し、熱負荷、電力負荷に合わせて効率を極大化できるシステムの運転を実現した。

#### 4. 燃料電池コージェネレーションシステム導入の効果

2005年からは本格普及に向けて新エネルギー財団(NEF)の大規模実証試験も始まり、実際の家庭に商品据え付け、使われ方の実態調査や課題の抽出を行い、それを開発にフィードバックしてシステムの完成度を上げる取り組みを推進している。

この大規模実証試験時のモデルケースを用いて、今回開発した新システムを一般的な家庭に導入して運転した場合のエネルギー削減効果を試算したところ、導入前に比べて一次エネルギーを22% (年間運転した場合、



\*原単位: 【A】 全電源による試算 / 【B】 火力発電による試算 (NEF算出方式)

【図13】 燃料電池導入によるエネルギー削減効果

3262kWh) 削減できると予想され、当社従来比で約1.4倍向上した。

CO<sub>2</sub>排出量の削減効果は、発電の燃料の原単位によって異なるが、全電源・原単位により計算すると、12%（年間330kg-CO<sub>2</sub>）削減が可能である。また、大規模実証事業の新エネルギー財団（NEF）試算式（火力発電・原単位）の場合は、37%（年間1175kg-CO<sub>2</sub>）削減となる。

この燃料電池を、4人家族の世帯に導入したときの経済的メリットを試算したところ、ガスの使用量は増えるが、買入れる電気を減らせるので、一次エネルギー削減はもちろんのこと、光熱費についても年間6万円のコスト削減が期待できる。

CO<sub>2</sub>を削減して環境にやさしく、そして家計にもやさしい生活が可能となる。

## 5. 知的財産権確立の取り組み

燃料電池の基本原則の発明は、1839年のイギリスのグローブにまで遡る。その後、1950年代に米国を中心とした宇宙開発においてアルカリ型燃料電池が宇宙船の電源として開発され、実際にジェミニ宇宙船やアポロ宇宙船に搭載された。固体高分子型の燃料電池は、1950年代の宇宙開発の時代に米国のGE社が開発し、その後1989年にカナダのBallard社が自動車向けに開発したことから注目を集めて開発が活発化した。

このように燃料電池の技術は大変歴史のあるもので

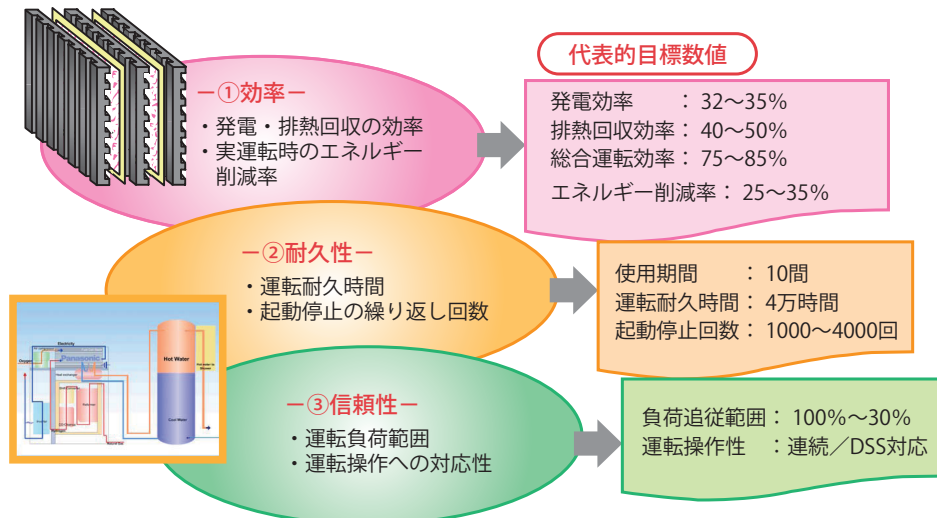
あり、基本原理での特許権の取得は難しい分野と言える。しかしながら、実験室の中や専門の技術者が細心の調整をしながら動く「特殊用途品」と、専門知識を有しない一般のお客様がボタン一つで操作できる「一般商品」には大きな隔りがある。つまり、燃料電池は古い技術ではあるが、実用化のためには多くのハードルをクリアしなければならない。基本原理の発明から170年近くを経て、ようやく燃料電池コージェネレーションシステムにおいて実用化にまで漕ぎ着けたと言える。具体的には、効率、耐久性、信頼性の3点のハードルのクリアが必要であった。

1つ目の効率については、既存の発電方式に対抗するためには、発電効率で32～35%、排熱回収を含めた総合効率で75～85%まで上げることが必要であり、これの実現により、エネルギー削減率25～35%の大きな効果につながる。

2つ目の耐久性については、実証機の段階では3年相当の耐久性を、一般商品として普及させるためには少なくとも10年相当に仕上げる必要があった。

3つ目の信頼性については、お客様がボタン一つで簡単に操作でき、日々の特別な調整無しに故障しない（最低でも故障率5%以下：20年に1度の故障の割合）レベルまで持っていかなければならない。

このように「特殊用途品」から「一般商品」へと進化させる際に数多くのブレイクスルーが必要があり、実用化に伴う商品化技術を中心に知的財産権を確立す



【図14】 燃料電池実用化への主な要求仕様

べく、出願活動を行っている。

さらに今後は、本格普及へ向けた最大の課題である「コスト」のクリアに向けて各社の開発が加速すると思われる。パナソニックでも普及機の目標である数十万円/台に向けてさらに開発を加速していく。そのためには、システム合理化による部品点数の削減や安い材料を使いこなす技術の他に、量産効果でコストダウンを実現できるような製造方法の開発が必要である。今後はこのような「低コスト」なシステムを実現する革新的技術や量産化技術を中心に積極的に知財出願していく。

また日本国内のみならず、環境への関心が高い欧州や今後環境・エネルギー問題が続出すると思われる中国にも積極的に出願を行って行く。

## 6. おわりに

燃料電池開発の分野では、コージェネレーション用、自動車用共に日本メーカーが世界の最先端を走っているのは間違いない。地球規模での温暖化が進行する中で、日本メーカーが世界に貢献すべき役割は大きい。日本発の技術で世界中の環境問題に貢献することが我々の使命と考えている。

燃料電池が本格的に普及するまでにはまだまだ時間がかかるが、情熱と執念をもって必ず実現させたい。過去の電気製品においても、発売開始から20年から30年たって普及にまで至ったものが数多くある。間違いなく燃料電池も、大きな花を咲かせるものと考えている。

## profile

**栗林 良造** (くりばやし りょうぞう)

- 1975年 松下冷機 (株) 入社  
自販機事業部にて自販機の開発に従事
- 2003年 自販機ビジネスユニット長  
(2008年4月 松下冷機 (株) が松下電器産業 (株) に吸収合併)
- 2008年 燃料電池プロジェクトリーダー  
(2008年10月 松下電器産業 (株) がパナソニック (株) に社名変更)



## profile

**武部 安男** (たけべ やすお)

- 1994年 松下電器産業 (株) 入社  
中央研究所にて単分子膜の開発に従事
- 1999年 燃料電池スタックの開発に従事
- 2004年 燃料電池戦略知財担当

