

# 固体高分子形燃料電池

丸山 晋一(まるやま しんいち)

小関 和雄(こせき かずお)

1 まえがき

燃料電池は水素と酸素を電気化学的に反応させて発電する装置である。従来の熱機関より発電効率が高く、排ガスがクリーンで低騒音のため、環境問題を解決する新しい発電方式として期待されている。

燃料電池には多くの種類があるが、最近特に脚光を浴びている固体高分子形燃料電池（PEFC：Polymer Electrolyte Fuel Cell）について紹介する。

PEFCは1968年（昭和43年）にジェミニ宇宙船に搭載されたが、電解質であるイオン交換膜の性能が低く、大きな出力密度は得られなかった。その後イオン交換膜性能の著しい向上により、出力密度が他の燃料電池の数倍のものが発表され、一般電源用としても開発されるようになった。富士電機は1989年に開発に着手し、電力事業用PEFCについても関西電力（株）と1992年から共同研究を行っている。

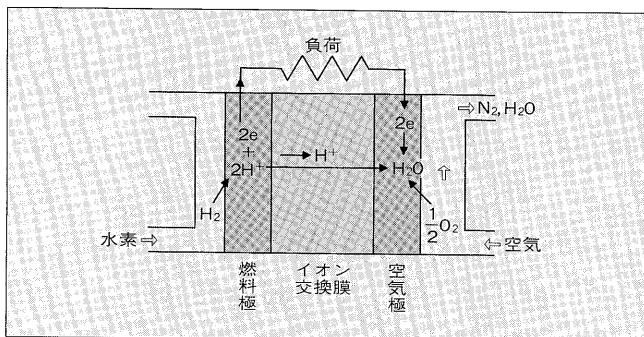
以下に PEFC の発電原理、特徴とともに、富士電機の開発状況について述べる。

## 2 発電原理、基本構成、特徴

## 2.1 発電原理

PEFC の発電原理を図 1 に示す。中央は電解質であるイオン交換膜であり、その両面に燃料極と空気極の二つの電極がある。イオン交換膜は、図 2 に示す分子構造を持って

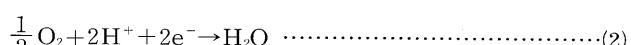
図 1 PEFC の発電原理



おり、側鎖の端部についている  $-SO_3H^+$  がイオン導電性を示す。燃料極に水素を供給すると、燃料極の触媒は水素を式(1)でプロトン ( $H^+$ ) と電子 ( $e^-$ ) に変える。



発生した  $H^+$  はイオン交換膜の中を通り空気極へ移動する。一方、 $e^-$  は外部負荷回路を通り空気極へ移動する。空気極では空気中の酸素が、触媒上で式(2)のように反応して水を生成する。



結果的には水素と酸素で水を生成する反応であるが、水

図2 イオン交換膜の構造

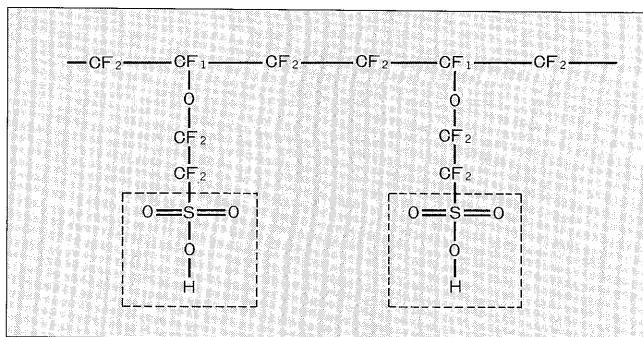
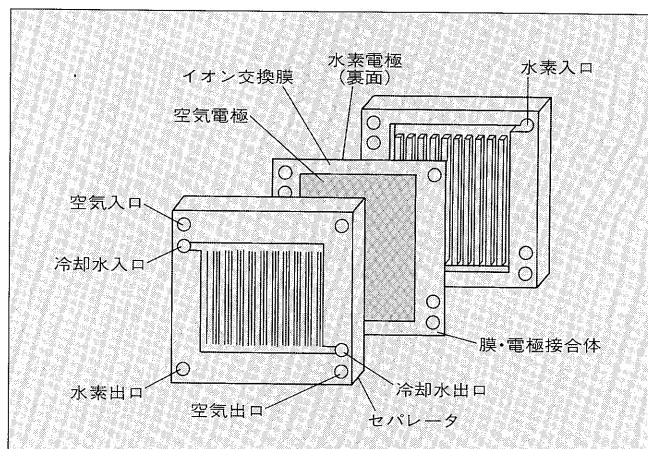


図3 PEFCの構成



丸山 晋一

昭和46年入社。燃料電池の開発業務に従事。現在、(株)富士電機総合研究所環境・エネルギー研究所研究マネージャー。



小關 和雄

昭和43年入社。燃料電池の開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所環境・エネルギー研究所主席研究員。

素が燃焼せずに化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換することで、高い発電効率が得られる。

## 2.2 基本構成

富士電機のPEFCの基本構成を図3に示す。中央の膜・電極接合体は、イオン交換膜の両面に燃料極と空気極を接合したものである。電極は白金系触媒を基本としている。

セパレータはカーボン板の片面に溝を形成し、燃料または空気の通路としている。裏面には冷却水通路を形成し、電極の温度を制御している。この2枚のセパレータと膜・電極接合体が一つのユニットであり、このユニットを多数積層して燃料電池（スタック）を形成している。

## 2.3 特徴

PEFCには静かでクリーンという燃料電池の一般的な特徴のほかに、他の燃料電池にはない数々の特徴がある。現在、最も進んでいるリン酸形燃料電池（PAFC：Phosphoric Acid Fuel Cell）との比較を表1に示すが、そのポイントは次のとおりである。

(1) 運転温度が380K以下と低いことから、

- 室温起動が可能
- 触媒劣化が少なく、長寿命
- 材料の選択幅が大
- 排熱温度が低く、コーチェネレーション発電に不適
- 一酸化炭素（CO）の許容濃度が低い

(2) 電解質が固体のイオン交換膜であることから、

- 電解質の移動がなく、起動停止に強く、長寿命
- 燃料ガスと空気の許容差圧が大きく、制御が容易
- 電解質の蒸発や浸み出しがなく、電解質補給が必要
- イオン交換膜の湿度管理が重要で、ガスの加湿が必要

(3) 電解質抵抗が小さいことから、

- 高電流密度、高出力密度でコンパクト

以上のことから軽量、コンパクトが要求される移動用電源、特に車両用として注目を浴びており、すでにバスに搭載して試走する開発も行われている。また長寿命、高信頼性の特徴を生かし、高度の排熱利用を目的としないオンサイト用や分散配置用発電プラントとして期待できる。

## 3 開発状況

### 3.1 システムの検討

電力用PEFCシステムの可能性を追求するため、表2に示す発電容量や燃料の異なる3種の条件で発電効率を計算し、PAFCシステムと比較検討した。

発電効率の計算結果を図4に示す。

PEFCは排熱温度が低いため燃料改質に必要な水蒸気を得にくく、燃料の一部を改質の助燃に用いている。しかし電池特性はPAFCを上回るため、システム全体としての効率がPAFCを約2ポイント上回る結果となった。PEFCの電流密度はPAFCよりはるかに高いため、電池本体はコンパクトにできるが、運転温度が低いため熱交換器などが大きくなり、発電装置全体としてはほぼ同じ大きさとなつた。したがって、熱利用を重視しない分野では発電効率、寿命、信頼性などの優位性から、電力用発電装置として

表2 発電効率の計算条件

項目 分類	単セル電圧	圧力	温度	燃料
オンサイト 50kW	0.75V	115kPa	343K	メタン
オンサイト 200kW	0.75V	115kPa	343K	メタノール
分散配置 5MW	0.85V	739kPa	383K	メタン

図4 発電効率の計算結果

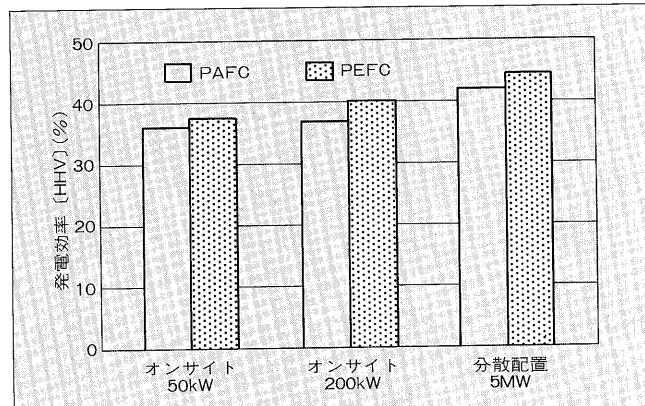


図5 運転圧力の影響

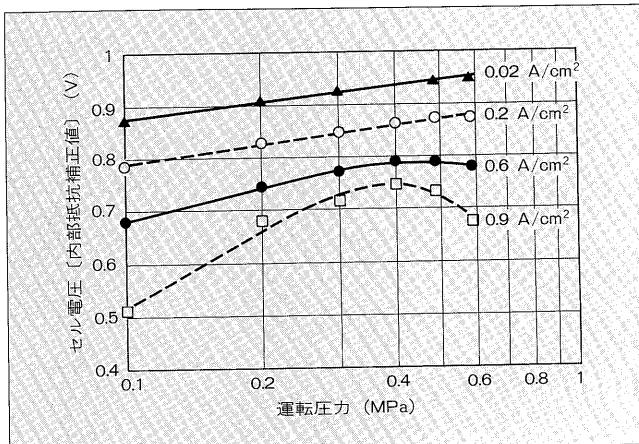


表1 PAFCとPEFCとの比較

比較項目	種類 比較項目	リン酸形燃料電池 (PAFC)	固体高分子形燃料電池 (PEFC)
電解質		リン酸（液体）	イオン交換膜（固体）
運転温度		約470K	380K以下
CO許容濃度		1%程度	0.001%以下
耐起動停止		弱い	強い
許容差圧		2kPa程度	50kPa以上
長期安定性		目標4万時間	PAFCの2倍程度
電解質管理		リン酸補給	水分管理
出力密度(H <sub>2</sub> -Air)		0.1~0.25W/cm <sup>2</sup>	0.2~0.5W/cm <sup>2</sup>
休止時保温		345K保温	保温不要

PAFC の代替となる可能性が期待できる。<sup>(1)</sup>

### 3.2 電池の基本特性

電極有効面積  $50 \text{ cm}^2$  の小形セルを用いて、各種の運転条件（運転温度、加湿温度、運転圧力など）について基礎的なデータの把握に努めている。図 5 に運転圧力の影響を示す。圧力の増加に伴い特性が上昇するが、高電流密度側においてある圧力以上になると、加湿量が追いつかず、特性が下がる場合があることを見いたした。<sup>(2)</sup>

連続寿命試験については、現在までに図 6 に示すように 8,000 h 以上の安定した運転を行っており、PEFC の長期運転が可能であることを確認している。

### 3.3 水素-空気形スタック

オンサイト用や分散配置用の定置式発電装置の開発を目標に大面積の PEFC を開発している。酸化剤ガスは空気とし、燃料は純水素である。今後、メタノールや天然ガスからの改質ガス用も開発する予定である。

#### (1) 1 kW スタック

スタックは有効面積  $600 \text{ cm}^2$  の単セルを 6 セル積層し、出力は 1 kW ( $240 \text{ A} \times 4.2 \text{ V}$ ) である。冷却は各セルの温度を制御するため、単セルごとに冷却する方式とした。スタックの外形寸法は  $410 \times 380 \times 400$  (mm) である。図 7 にスタックの電流-電圧特性を示す。無負荷電圧は 6 V を示し、定格電流  $240 \text{ A}$  で  $4.2 \text{ V}$  を得た。<sup>(3)</sup>

図 6 単セルの寿命試験

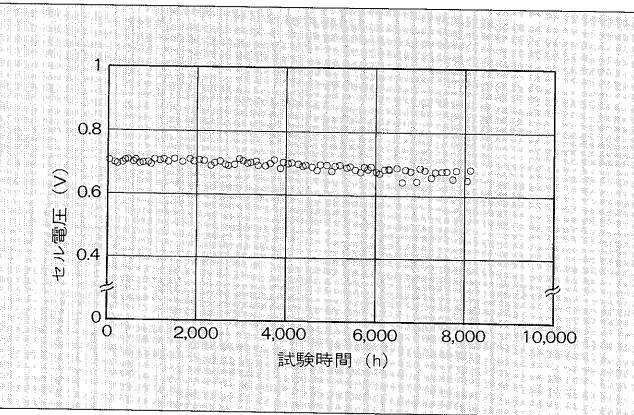
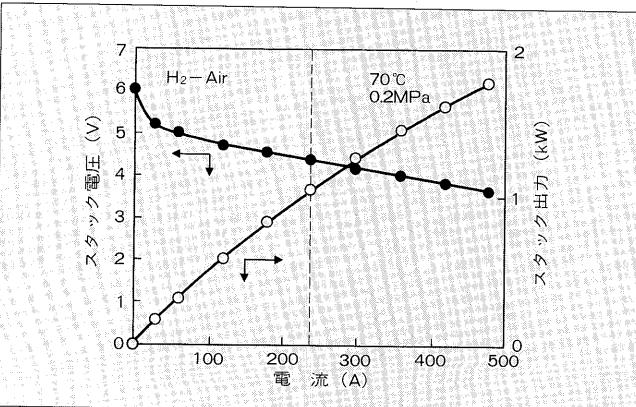


図 7 1 kW スタックの特性



このスタックを用いて加湿温度、ガス利用率、セル面内温度分布などの条件変更試験を行い、今後の大面積化に備えての有益なデータを得ている。<sup>(3)</sup>

加湿温度は、燃料側加湿温度はセル特性にあまり影響しないこと、これに対し空気側加湿温度はセル温度より  $10 \sim 20 \text{ K}$  低い範囲でセル特性が最も良くなることを確認した。また空気側加湿温度をセル温度まで上昇させると、セル特性が非常に不安定になることを認めた。これは空気側での生成水の蒸発が抑制されることにより、生成水の排出が困難になるためである。燃料側よりも空気側の方が影響

図 8 加湿温度の影響

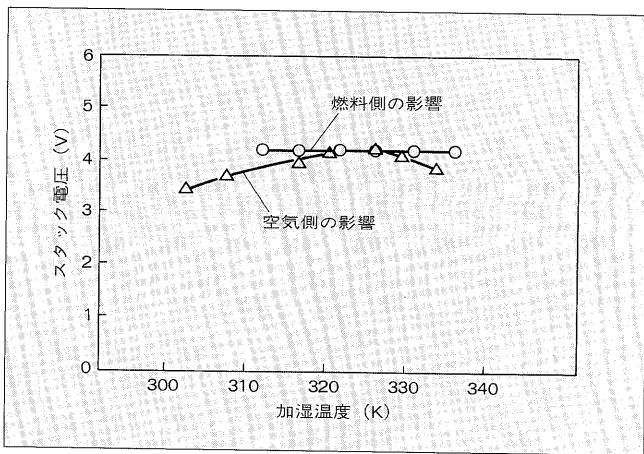
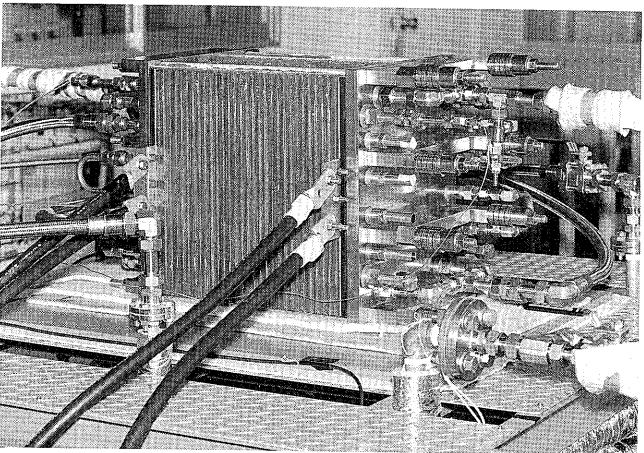
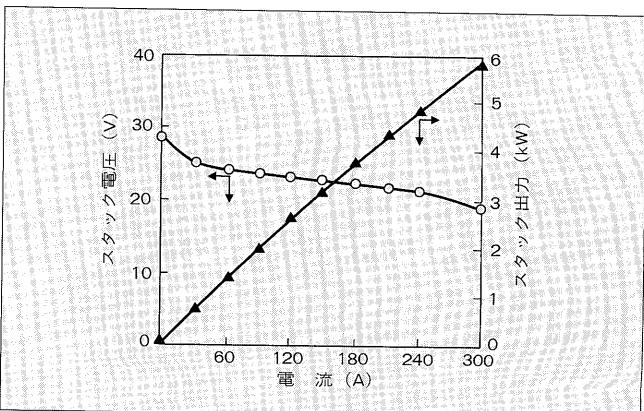


図 9 5 kW スタック



M0438-1

図10 5 kW スタックの特性



の大きいのは、空気流量が燃料流量より多いためと考える(図8参照)。またセル面内温度分布については面内の温度を均一にするよりも、ガス出入口で5K程度の温度差をつけることで水蒸気の拡散による排出がセル面内で均一になり、より平均的な特性を得ることが分かった。<sup>(4)</sup>連続試験は月曜昇温、金曜降温の週間起動停止運転で1,600h行い、起動・停止を繰り返しても特性劣化の少ないことを確認している。

### (2) 5 kW スタック

燃料電池を高積層化すると、各セルへの反応ガスの分配および排出が難しくなることが考えられる。また、積層方向の温度分布も低積層スタックとは異なった挙動をする可

図11 4 kW 電源

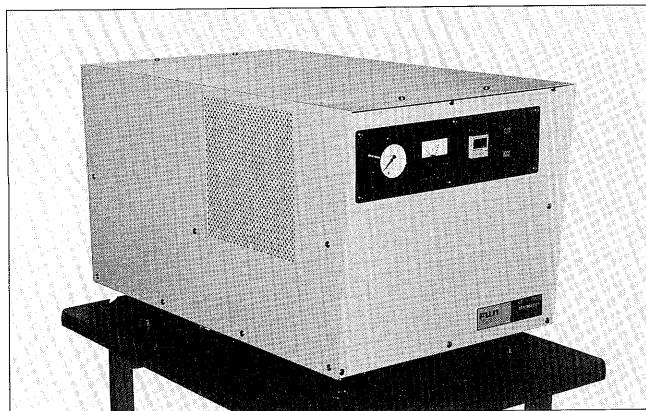
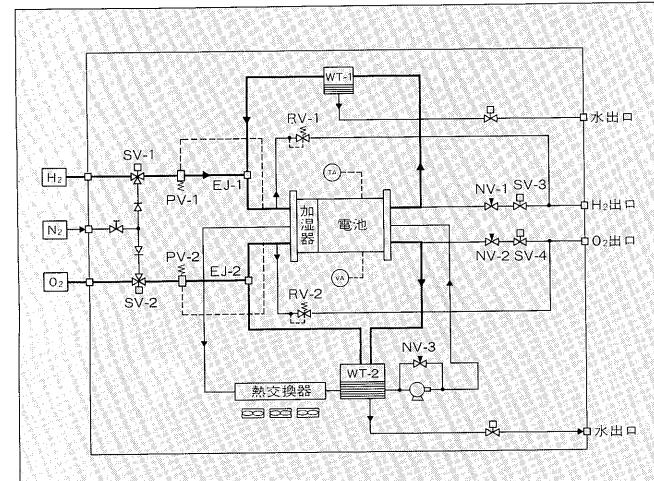


表3 4 kW 電源の仕様

項目	仕 様
送電端出力	DC 4.0 kW (35V-115A)
寸 法	600×1,000×600 (mm)
質 量	180 kg (スタック 90 kg)
周 囲 温 度	273~313 K
ス タ ッ ク 出 力	DC 4.4 kW (35V-125A)
電 極 面 積	250 cm <sup>2</sup> /セル
積 層 数	50セル

図12 4 kW 電源の配管系統図



能性がある。そのため図9に示す5 kW スタックを試作し、運転試験を行った。このスタックの構成は、前記1 kWと同じ600 cm<sup>2</sup>の単セルを30セル積層したものである。図10に5 kW スタックの初期特性を示す。定格電流240 Aで21.0 V-5.0 kW, 300 Aでは19.6 V-5.9 kWを得た。現在連続運転を行っている。これらの成果を基に、さらに大面積化、高積層化をめざして開発を行っている。

### 3. 4 4 kW 小形電源

デモンストレーション用に、水素-酸素形の4 kW 電源を1993年に試作した。

図11に電源の外観を、表3に主な仕様を示す。

外部からの供給は反応ガスの純水素と純酸素だけとし、冷却水および加湿水の外部からの供給は不要とした。起動時の制御用電源として小形バッテリーを内蔵した。

搭載したスタックは、電極有効面積250 cm<sup>2</sup>の単セルを50セル積層したものである。図12に本システムの配管系統図を示す。ガス系は定圧力制御とし、スタックへの供給はエゼクタポンプを用いた循環方式としている。スタックの冷却は空冷した冷却水を循環して行った。

### 4 今後の課題

PEFCは、移動用にも定置用にも用途があり、開発課題はそれぞれの用途に応じて異なる。移動用としては高出力密度を生かしたコンパクト性が重要になり、定置用については大面積化、大容量化が重要な課題となる。またシステムに関しては、CO除去装置を含む燃料処理系などの開発が課題である。いずれにしても実用化をめざしたコスト低減が最も重要な開発課題といえる。

### 5 あとがき

これまでにPEFCの基本的特性を評価し、高性能や起動停止の安定性など十分期待にこたえることのできる燃料電池であることを確認できた。実用化にはまだ開発すべき課題が多いが、足下を確実に固めながら、早急に実用化に耐える技術を確立していく所存である。関係各位のご支援とご協力をお願いしたい。

### 参考文献

- 榎並義晶ほか：固体高分子形燃料電池発電システムの発電効率、平成5年電気関係学会関西支部連合大会講演予稿集(1993)
- 樺澤明裕ほか：固体高分子型燃料電池の加圧運転特性、第35回電池討論会講演要旨集、p.293-294 (1994)
- ト部恭一ほか：Performance Evaluation of Polymer Electrolyte Fuel Cell Stack, '94 Fuel Cell Seminar abstract, p.311-314 (1994)
- 榎並義晶ほか：大面積PEFC電極における面内温度分布と特性との関係、第35回電池討論会講演要旨集、p.291-292 (1994)



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する商標または登録商標である場合があります。