

固体高分子型燃料電池の開発の現状

㈱富士電機総合研究所
環境・エネルギー研究所
小関 和雄

1. はじめに

燃料電池は電解質の種類によって、表1に示すように各種の燃料電池に分類される。ここで述べる固体高分子型燃料電池は、電解質として高分子膜の一種であるイオン交換膜を用いるもので、高出力密度、長寿命、低温作動（室温～100℃）などの特徴を有している。そのため小型高出力と同時に短時間起動が要求される電気自動車の動力電源や、長期間の信頼性が要求される定置用電源などへの応用が期待されている。

固体高分子型燃料電池の研究の歴史は比較的早く、1965年に米国でジェミニ宇宙船の電源に適用された実績がある。その後も研究は続けられてきたが、開発の初期はイオン交換膜の耐熱性がなくて作動温度が30℃程度と低く、その結果電池特性が他の燃料電池に劣ったため、軽量や運転の容易性などの長所にもかかわらず注目されなかった。しかし1970年代の後半にデュポン社の陽イオン交換膜（商品名ナフィオン）が市場にでるようになって特性、寿命共に改良された。さらに1987年にカナダのパラード社がダウ・ケミカル社の新しい膜を用いて、特定の条件下ではあるが電流密度 4A/cm²を越える驚異的な高出力密度を発表した。この結果、世界的に開発熱が高まり、とくに米国、カナダ、ドイツ、イタリア、日本において電気自動車用、潜水艦用、移動電源用および定置電源用などに開発が進められている。

なお固体高分子型燃料電池という呼称はN E D Oが決めた統一呼称である。英語ではPolymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC)、Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)、Solid Polymer Electrolyte Fuel Cell (SPEFC) などと呼ばれるが、日本ではN E D OがPolymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC)で統一している。米国、欧州ではPEMFCが多く用いられる。

表1 燃料電池の種類と特徴

種 類	アルカリ型	リン酸型	熔融炭酸塩型	固体酸化物型	固体高分子型
電 解 質	カセイカリ	リン酸	炭酸リチウム/カリウム	ジルコニア	イオン交換膜
セル構成主材料	プラスチック, 白金	カーボン, 白金	ステンレス, ニッケル	セラミックス	カーボン, プラスチック, 白金
動作温度	室温～100℃	180～210℃	600～700℃	900～1100℃	室温～100℃
燃 料	純水素	天然ガス, 石油 メタノール	天然ガス, 石油, メタノール 石炭ガス		天然ガス, 石油 メタノール
システム発電効率	約45%	約40%	約45%	約50%	約40%
用 途	宇宙用	わが国型発電所 分散形発電所	大容量発電所	わが国型発電所 分散形発電所	宇宙用, 車用 船舶用

2. 原理

固体高分子型燃料電池は電解質であるプロトン (H^+) 導電性を有するイオン交換膜と、この膜の両面に接合した多孔質の白金触媒電極 (水素電極と酸素電極) からなり、一方の電極に純水素 (H_2) または水素を含む改質ガス、他方の電極に純酸素 (O_2) あるいは空気を供給して、室温 $\sim 100^\circ C$ 前後で作動させるものである。図1 にその発電原理を示す。

H_2 は水素電極上で電子 (e^-) を放出して H^+ に酸化し、 H^+ は膜内を移動して酸素電極に到達する。一方 e^- は外部電気回路を通して電気的な仕事をした後、酸素電極に達する。酸素電極上では O_2 が、到達した H^+ および e^- と反応して水 (H_2O) に還元する。

H^+ が膜内を移動する際には、膜に含まれている H_2O 分子を数個伴って移動する。これは電気浸透効果と呼ばれるものである。したがって膜の水素側は乾燥しがちになり、このことが膜の電気伝導度を低下させ、その結果電池性能が低下する。これを防ぐ方法として水素には水蒸気を含ませて電池に供給する。一方酸素電極では水が生成するが、これは蒸発して水蒸気となって、あるいは一部は液体の水のまま排出ガスといっしょに電池外に持ち出される。その他ウイックを使って毛管現象で吸い出す方法もある。空気を反応ガスとして用いる場合は流量が多くなるので、膜中の水分の蒸発量も多くなり膜が乾燥する。これを防ぐために空気も加湿して供給する。

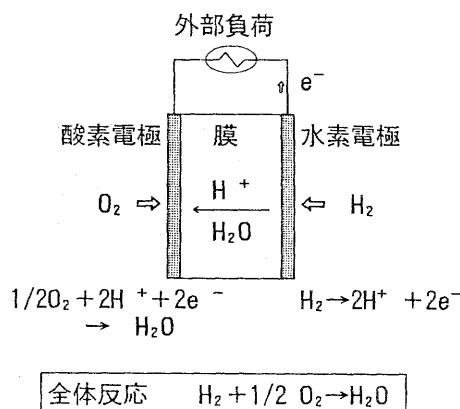


図1 固体高分子型燃料電池の原理

2. 電池構造

固体高分子型燃料電池の代表的構造を図2 に示す。イオン交換膜の両面に多孔質電極 (白金または白金担持カーボン) と多孔質支持集電体 (カーボンペーパー) を配置し、これらを熱圧着で一体化したものを膜/電極接合体と言う。また一面にガスを流す溝を有し他面に冷却水を流す溝を有する気密な板をセパレータ (カーボンまたは耐食性金属) と言ひ、このセパレータで膜/電極接合体を挟んで単位電池を構成する。さらにこの単位電池を複数個並べて重ね、全体をボルトで締め付けてスタックとする。固体高分子型燃料電池は他の燃料電池とは異なり、横方向に重ねて積層化する場合が多い。これは発電に伴って生成する水が、重力で上から下へ移動して電池下部から外に排出しやすくするためである。

単位電池の電圧は他の燃料電池と同じく $1V$ 弱なので、高い電圧を得るためには多数の単位電池を重ねる。また電流は電極の面積に比例するので、大電流を得るためには電極面積を大きくする。

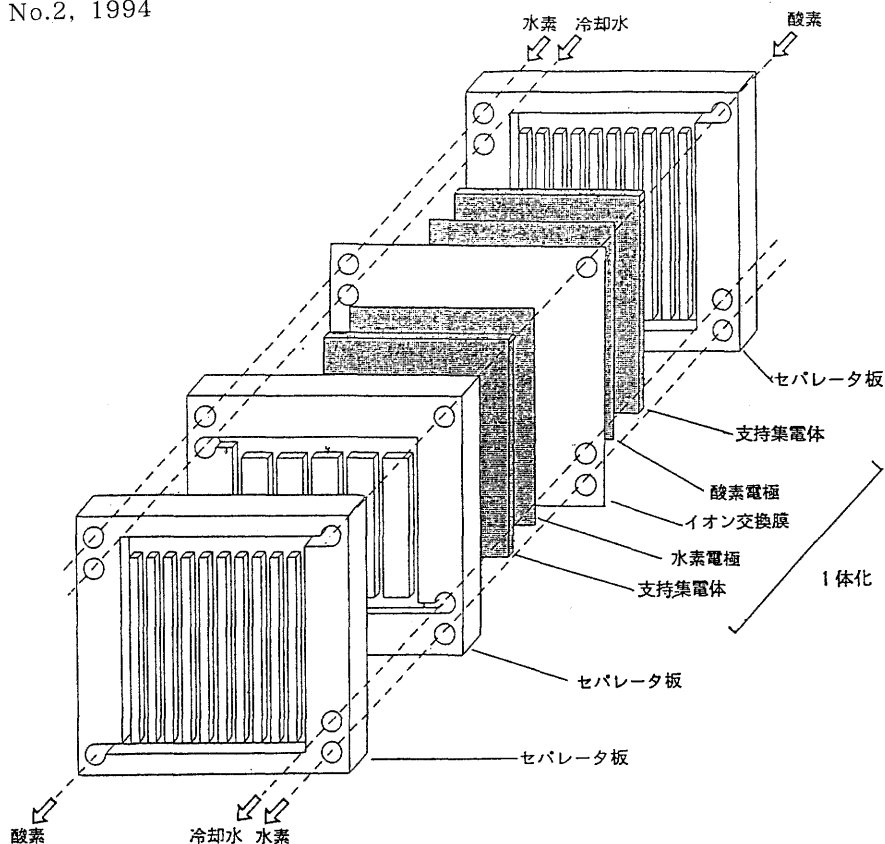


図2 固体高分子型燃料電池の構造

3. 特徴

固体高分子型燃料電池の特徴を、実用化に最も近いりん酸型燃料電池のそれと比較すると、表2 のようになる。それぞれ長所、欠点があるが、熱利用を重視する場合はりん酸型、そうでない場合は固体高分子型という適用分野の区分けが考えられる。

表2 固体高分子型とりん酸型の比較 (改質ガス-空気)

	固体高分子型	りん酸型
出力密度	◎	△
電池寿命	◎	△
起動時間	◎ (常温から運転可能)	△ (150℃以上昇温必要)
起動停止耐久性	◎	△
休止時保守	◎ (保温不要, 凍結可)	△ (70℃保温)
低負荷運転	◎ (0%まで可能)	△ (最低負荷 25%)
差圧制御容易性	◎ (許容差圧 1気圧)	△ (許容差圧 0.05気圧)
保守容易さ	◎	△ (りん酸補給要)
耐CO被毒性	△ (0.001%)	◎ (1%)
熱利用	△ (60℃温水)	◎ (160℃蒸気, 70℃温水)

◎優れる △劣る

4. システム構成

燃料電池で発電するためには、電池本体の他にガス改質装置、インバータ、その他各種の補機類が必要であり、全体を燃料電池発電システムと言う。メタノールを燃料とし、空気を酸化剤とした場合の固体高分子型燃料電池発電システムの構成例を図3に示す。このシステムはリン酸型燃料電池発電システムとほぼ同様な構成になるが、固体高分子型特有の次の補機が加わる。

- ①水蒸気発生器：固体高分子型燃料電池は運転温度が低いため、電池の排熱では燃料改質用の水蒸気をつくれなない。そのためメタノールの一部を直接燃焼させて、水蒸気を発生させる必要があり、このため蒸気発生器が付属する。
- ②CO除去器：改質ガス中に1%程度含まれるCOを10ppm以下にする必要があり、このためCO除去器を設ける。このシステム例では微量の空気を改質ガスに混合してCO除去器に供給し、COを触媒上でO₂と反応させて無害なCO₂に変える。
- ③加湿器：イオン交換膜を適度な湿潤状態に保つため、改質ガスおよび空気を加湿器で加湿して電池に供給する。加湿の方法としては電池と同種のイオン交換膜の一方の面に水を流し、他方の面に供給ガスを流して、膜を透過してガス中に蒸発する水蒸気で加湿する方法が多く用いられる。その他、水を噴霧する方法やバブリングさせる方法などがある。

このシステムにおける発電効率は40%程度で、リン酸型燃料電池のそれとほぼ同等である。これは電池本体の効率は高いが、水蒸気発生用にメタノールを直接燃焼させる分、効率が低下するためである。もし純水素が燃料として使えば、システム発電効率は50%程度になり、さらに純水素-純酸素システムでは55~60%になる。

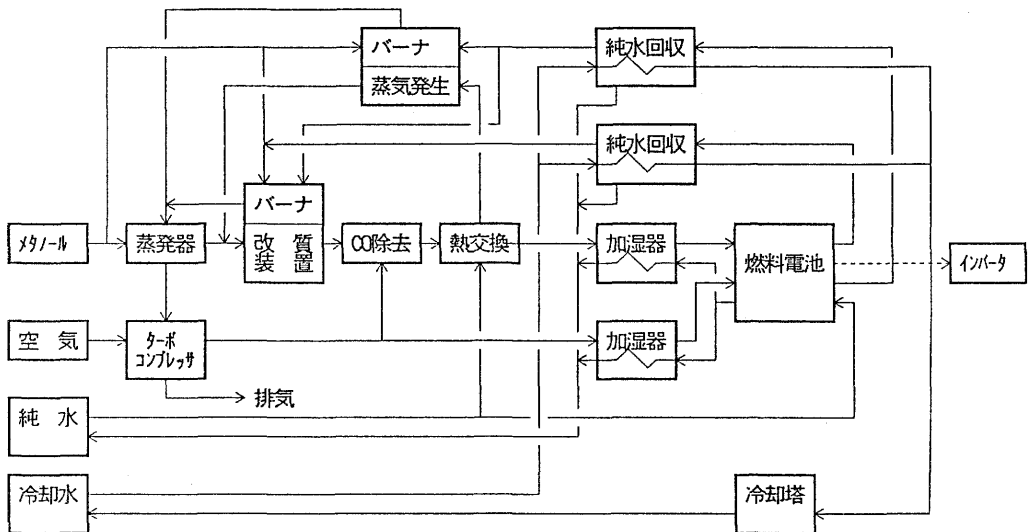


図3 固体高分子型燃料電池発電システムフロー

5. 開発の状況

米国ではDOE（エネルギー省）の援助のもとにGM、フォード、クライスラーの3社が固体高分子型燃料電池を用いた小型電気自動車の開発をスタートさせている。GM社はメタノールを燃料とし、他の2社は純水素を燃料としているが、共に1999年までにコンセプトカーを作る計画である。また エナジー・パートナー社が15kWの電池と水素ポンペを搭載した小型車を試作した。

カナダではバラード社がブリティッシュ・コロンビア州政府の援助のもとに120 kWの固体高分子型燃料電池と水素ポンペを搭載したバスを走らせた。同社はその他に、メタノールの改質器を組み込んだ定置用10kW発電装置や化学工場の副生水素を利用した水素／空気型の30kW発電装置を試作した。

ドイツではシーメンス社グループとダイムラーベンツ社グループが、1994年から1998年までの計画で、国家プロジェクトとしてPEFC自動車の開発を行っている。またシーメンス社は34kWの電池を試験し、潜水艦用に開発を進めている。

イタリアではENEAの指導のもとに、アンサル社、デ・ノラ社がEQHPプロジェクト（カナダで水素を水電解でつくり、欧州に運び使用する計画）の一環として、PEFCバス（35 kW）を開発しており、1995年には試験予定である。また同プロジェクトでは湖の観光船用にPEFC船（35 kW）をつくる計画がある。スタックを担当するデ・ノラ社では1993年に5 kWを試作している。

一方わが国においても工業技術院のムーンライト計画（現、ニューサンシャイン計画）において、1992年度から固体高分子型燃料電池の研究開発がスタートし、参画企業により要素技術の確立が図られつつある。この計画の中では東芝、三菱電機、三洋電機が1995年度までに1 kW級スタックをつくる予定である。またこれとは別に富士電機や三菱重工業が5 kWスタックを開発している。図4は富士電機製の5 kWスタックである。

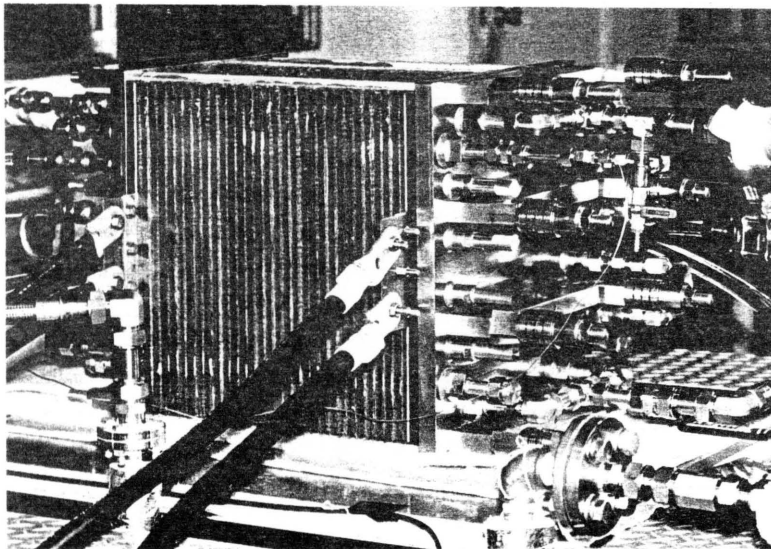


図4 5 kWスタック（富士電機製）

6. 実用化への課題

近年になって性能的には著しい向上がみられたが、実用化のためには、コスト低減、信頼性向上、小型化、軽量化などを追求して行く必要がある。そしてこのための当面の課題として、電池本体については以下のことが重要である。

- ① イオン交換膜の価格低減。
- ② イオン交換膜の耐熱性向上による運転温度の高温化。
- ③ 耐CO触媒の開発。
- ④ セルの大面積化とスタックの大容量化。

さらにシステムについては次の開発課題がある。

- ① 補機消費電力の低減、とくに高効率空気コンプレッサの開発。
- ② CO除去技術の確立。
- ③ 加湿技術の開発、とくに大流量用小型加湿器の開発。
- ④ 起動時間の短い改質器の開発。
- ⑤ 圧力-温度-湿度の最適制御技術。

7. おわりに

固体高分子型燃料電池は他の燃料電池にない数々の優れた特徴をもっており、排熱利用を重視しない用途に対しては優れた発電手段になると考えられる。技術的にはりん酸型燃料電池の技術が利用できるので、今世紀中には実用化の見通しが得られるであろう。用途としてはまず電気自動車や可搬用電源などが考えられ、さらにオンサイト発電や分散発電などにも一部適用されていくと思われる。また化学工場などで副生する水素や、将来の水素エネルギー時代の水素を利用した燃料電池発電に対しては、固体高分子型は最適な燃料電池となろう。ぜひこの燃料電池の進展に注目していただきたい。