

■ 解 説 ■

燃料電池システムについて

Fuel Cell Systems

原田 雅 恒*
Masatsune Harada



1. はじめに

燃料電池は古くて新しい技術である。その原理はすでに1800年代の初めに知られており、1839年にはイギリスの電気化学者のグローブ（W. R. Grove）によって燃料電池による最初の発電実験が行われたが、その後は内燃機関や蒸気機関による発電の時代に入り、燃料電池のすぐれた特性も注目されることなく細々と研究が行われたにすぎなかった。しかし、1960年代に入り、アメリカで宇宙開発が開始されると燃料電池は宇宙船用の電源として再び着目され、1965年にGE（General Electric）社の燃料電池がジェミニ5号に搭載されたのを最初に、アポロ計画ではUT（United Technologies）社の燃料電池が使われ、現在のスペースシャトルにも同社の燃料電池が使われている。そして現在、アメリカではこの宇宙用の技術を応用して、民生用の燃料電池をつくるための技術開発が盛んに行われている。

一方、国内においては、昭和40年代の初めから8～9社の電機メーカーを中心に燃料電池の研究が盛んになり、特許・実用新案の出願数から見ると昭和40年代の中頃にピークを示したが、技術開発が容易でなく、また安価な石油が大量に輸入できる時代であっては燃料電池の省エネルギー性もそれ程重視されず、実用化までには至らなかった。しかし、その後の石油ショックを契機に燃料電池の省エネルギー性が再び注目されるようになり、昭和56年には通産省のムーンライト計画のテーマの1つとして研究開発が開始され、現在では燃料電池の研究開発は全盛期を迎えている。

ここでは、燃料電池の特徴・分類及び研究開発状況について解説するとともに、現在大阪ガスでテストを実施している、出力40kWのリン酸型天然ガス燃料電池PC-18型の運転結果について報告する。後述する

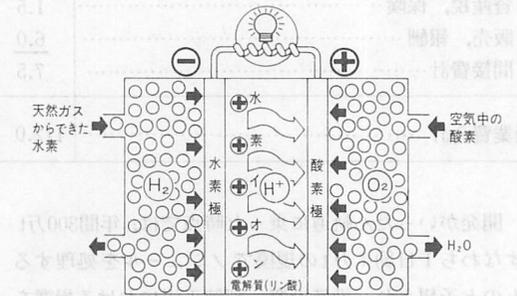


図-1 燃料電池の原理（リン酸型）

ように東京ガスでも同型機をテスト中である。

2. 燃料電池の特徴と分類

燃料電池は、電気化学反応によって燃料を酸素と反応させ直接電気を取り出す発電装置である。図-1にリン酸型燃料電池の原理を示した。燃料の水素ガスは水素極（-極）の白金触媒によって電子を放出して水素イオンとなり、水素イオンは電解質のリン酸中を移動して酸素極（+極）の白金触媒によって酸素ガスと反応し水になる。この時に両極の間に電圧が発生するので、両者を導線で結べば電気が流れる。これが燃料電池の原理である。燃料電池はこの原理によって、燃料と空気を供給すれば連続して電力を発生できる。この点が乾電池や蓄電池とは異なる。

2.1 燃料電池の特徴

燃料電池の長所には次のものがある。

- (1)燃料の持つ化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換するため効率が低い。発電効率は燃料電池の種類によっても異なるが、40～60%にも達する。
- (2)他の発電方式に比べて部分負荷特性が良い。図-2に大阪ガスでテスト中のPC-18（出力40kW）の効率を示したが、50%以上の負荷では発電効率はほとんど変わらない。
- (3)燃焼部分が改質装置しかなく、大部分の燃料は電気化学的に消費されるため、排気ガスが極めてクリー

* 大阪ガス（株）営業部・新技術開発チーム係長
〒550 大阪市西区千代崎3-2-95

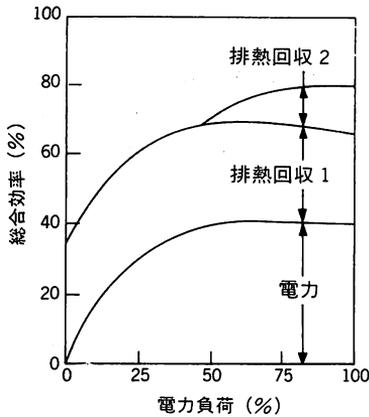


図-2 PC-18の効率

ンで、しかも騒音・振動も小さい。

(4)熱機関による発電と違って、冷却による効率の上昇がないため、排熱は大気に放散することができ、温排水による問題も起きない。

(5)モジュール化して工場生産できるため建設期間が短くできる。

一方、燃料電池の短所には次のものがある。

(1)天然ガスを改質して水素にする等の燃料の前処理が一般に必要なため、構造が複雑になる。

(2)ディーゼル発電機等と異なり、運転開始から発電までの時間が長く非常用発電機としては使いにくい。例えばPC-18では発電開始までに4~5時間かかる。

(3)発生電力が電極面積に比例するため、石油火力等の他の発電方式と異なり、スケールメリットが出にくい。特にリン酸型では高価な白金触媒を使うため、この点で不利である。

(4)運転開始時に外部より電力を供給する必要がある。また、停止時にも保温用や若干の補機のために電力を供給しなければならない。

2.2 燃料電池の分類

燃料電池は表1に示したように、使用する電解質によって4種類に分類され、これ等は技術の発展段階によって、第1、第2、第3世代にも分類される。また用途によっても3種類に分類される。

(1)アルカリ型

アルカリ型は技術的にはほぼ完成しており、軍用や宇宙船用など特殊な用途ではすでに実用化されている。しかし、燃料としては純粋な水素が必要であり、民生用としての実用化は水素エネルギー時代に入ってからと考えられている。また、アルカリ型は

表1 燃料電池の分類¹⁾

	燃料	温度	触媒、電極材等	電池発電効率等	実用化時
第一世代	アルカリ型 (KOH)	純粋水素 副生水素 Cell: 常温~100°C	白金、銀 ラネー ニッケル	Cell: 45~60%	1985年以降 民生用とし は水素の実 用化普及時 代以降
	リン酸型 (H ₃ PO ₄)	天然ガス メタン ノール Cell: 190°C ~250°C リフォーマ: 850°C	白金 (5~10 g/kw)	Cell: 45~50% システム 40~45%	1985年以降
第二世代	熔融炭酸塩型 (Na ₂ CO ₃ + Li ₂ CO ₃)	天然ガス メタン ノール 石炭ガス Cell: 600°C ~700°C リフォーマ: 850°C	ニッケル	45~55%	1990年以降
第三世代	固体電解質型 (ZrO ₂)	石炭ガス Cell: 1000°C	セラミックス	50~60%	1995年以降

運転温度が100°C以下と低いため排熱の利用も容易ではない。

(2)リン酸型

リン酸型は民生用として最も実用化が早いと期待されており、日本及びアメリカを中心に実用化の研究が活発に進められている。リン酸型では濃厚リン酸溶液を電解質として、水素と酸素を電極で反応させるが、温度が190~250°Cと低いため、活性の高い白金を触媒として使用している。白金はソ連と南アフリカ共和国に偏在しており、全世界での年間の生産量も約85トンと非常に少い資源である。10万kWのリン酸型の製作に必要な白金は約1トン、30億円にもなる(使用量9.7g/kW、価格3,000円/gとして計算)。現在の研究開発の重点の1つは白金の使用量を減らすことであるが、大規模なリン酸型を大量に作るには、資源的な制約も受けることになる。リン酸型は、水素中に一酸化炭素が含まれていると白金触媒が被毒されるため、精製の容易な天然ガスやメタンノールが燃料として適している。

(3)熔融炭酸塩型

第2世代の熔融炭酸塩型は、ナトリウムやリチウム等の炭酸塩の混合物の熔融塩を電解質としており、反応温度が600~700°Cと高いため白金のように高価な触媒を必要とせず、また水素だけでなく一酸化炭素も電極で反応させることができるため、天然ガスだけでなく、石炭ガスも燃料として使える。熔融炭酸塩型では、高温による電解質の散逸の防止及び腐食性の炭酸塩に耐える材料の開発などが課題となっている。また、天然ガスを燃料とする場合、これを改質して水素と一酸化炭素をつくる反応も電極で起

こさせる内部リフォーミング方式があり、この方式では熱ロスがほとんどないため、効率は約55%にまで達すると考えられ、注目を集めている。

(4)固体電解質型

第3世代の固体電解質型はジルコニア等の固体が、1,000°C以上の温度で、酸素イオンの空格子点移動による酸性イオン電導性を示すことを利用するもので、効率も50~60%と最も高いが、技術的にも課題が多くまだ基礎的な段階にある。

(5)用途による分類

燃料電池には以上の分類の他に、その用途によって大規模発電用、分散発電用、オンサイト用に分けられる。大規模発電用は現在の火力発電所に替わるもので、数十万kWクラスのものも想定されている。また、石炭ガス化プラントと組み合わせることも考えられている。分散発電用は数千~数万kWクラスのもので、都心部や都市近郊で電力需要が増加しても送電線の増設が困難な場所に設置するのに適している。この場合は排熱を利用した地域冷暖房も可能である。オンサイト型は電力の需要地点に隣接して設置するもので、レストラン、病院、ホテル、温水プール、集合住宅、工場などに設置して電力と熱を供給することができる。規模としては数十~数百kWが考えられる。

3. 研究開発の現状

燃料電池の研究開発は主として日本とアメリカにお

いて、それぞれの政府の資金援助を得て進められている。

3.1 日本における研究開発

日本における研究開発は通産省工業技術院によるムーンライト計画、電力・ガス業界によるアメリカ技術の導入、企業による独自の研究開発の3つに分けられる。

(1)ムーンライト計画

国による燃料電池の開発はムーンライト計画の一環として、昭和56年にスタートし、昭和61年までに110億円の予算を投入して実施される。図-3に計画の概要を示した。

リン酸型では、低温低圧型の分散配置用及び高温高圧型の火力発電所代替用の2機種について1,000kW級の実証プラントが1基ずつ製作され、昭和61年の初めからテストが実施される予定である。この計画は新エネルギー開発機構が担当して進めており、表2に示したメーカーに研究開発が委託されている。溶融炭酸塩型では、大阪工業技術試験所が新規電池材料の研究を、日立製作所と東京芝浦電気が要素技術の研究をそれぞれ担当し、10kW級ベンチプラントの試作と評価を目標としている。

固体電解質型はまだ基礎研究の段階にあり、大阪工業技術試験所で高性能電池材料の研究が、電子技術総合研究所では要素技術の研究が行われており、最終的には500kW級の電池の試験が予定されている。アルカリ型では富士電機総合研究所が担当して、電

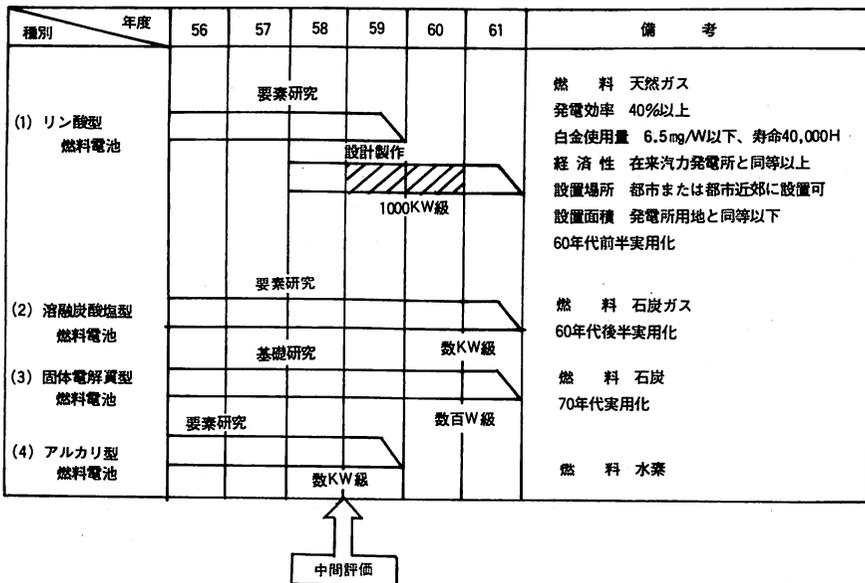


図-3 ムーンライト計画

表2 新エネルギー開発機構からの
研究開発委託先

技術	用途	分散配置用	火力発電所 代替用
セル技術		三菱電機	日立製作所
積層技術		富士電機 総合研究所	東京芝浦電気
燃料改質装置		富士電機	東京芝浦電気

極セル構造の研究・設計が行われており、1kW級電池の製作・総合試験が実施される。

その他、電力中央研究所では燃料電池トータルシステムの研究が行われている。

(2)アメリカ技術の導入

アメリカでは燃料電池の技術開発ではUT社が最も進んでいる。

東京電力では出力4,500kWのリン酸型天然ガス燃料電池をUT社より導入し、千葉県の上井火力発電所内に設置し、昭和58年春よりテストを開始している。一方、東京ガスと大阪ガスは昭和47年にアメリカのTARGET (Team to Advance Research for Gas Energy Transformation, Inc. アメリカの主なガス会社27社による非営利研究開発法人) 計画に参加して、昭和48年にUT社製の12.5kWの燃料電池のテストを実施し、引き続いて現在進行中のGRI (Gas Research Institute) 計画に参加してアメリカの技術の導入をはかっている。図-4に両計画の概要を示した。GRI計画では、出力40kWのリン酸型燃料電池PC-18が合計49基製作され全米各地に順次設置されテストされる。設置は昨年12月に開始されている。また、この内2基は東京ガスと大阪ガスに1基ずつ送られることになっており、大阪ガスではレストランにおいて、東京ガスでは一定期間社内でもテストした後、昭和61年3月より開催される国際科学

技術博覧会(科学万博一つくば'85)において運転する予定である。

(3)企業による研究開発

(1), (2)以外に国内企業は独自の研究開発を行っている。

富士電機と関西電力は共同で出力30kWのリン酸型天然ガス燃料電池を開発し、昭和57年12月～昭和58年12月まで1年間、約3,500時間のテスト運転を終了している。

三洋電機はアメリカのER (Energy Research) 社と技術提携し、空冷式50kWのリン酸型燃料電池を製作しテスト中である。

一方、熔融炭酸塩型では三菱電機がER社と技術提携し研究開発を行っている。また、富士電機、松下電器、石川島播磨重工業ではそれぞれ独自に熔融炭酸塩型の研究開発を行っている。

3.2 アメリカにおける研究開発

アメリカは燃料電池の研究開発では世界のトップを切っており、研究者の数も2,000人近いと言われている。また資金面でも国が大きな予算を使って援助しており国家プロジェクトとして研究開発を進めている。表3にDOE (アメリカエネルギー省) の燃料電池予算の変遷を示したが、1984年度の予算だけで約100億円の巨費をつぎ込む予定である。

リン酸型については、UT社がGRI計画でオンサイト型の燃料電池の開発を行っており、電気事業用のFCG-1計画では、UT社は11MWの開発を目標に現在は4.5MWのプレプロトタイプの実証テストを行っており、WH (Westinghouse Electric) 社はER社と共同で空冷式の7.5MWの開発を行っている。東京電力が導入した4.5MWはFCG-1計画でUT社が製作したものと同型である。

熔融炭酸塩型では、UT社とGE社が要素技術とスタック技術の開発を行っており、ER社は内部リフォ

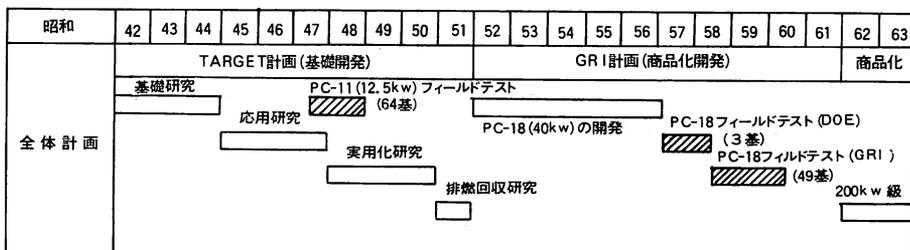


図-4 TARGET計画とGRI計画

表3 DOEの燃料電池予算の変遷 (単位:1,000ドル)

燃料電池	年度	1982 実績	1983 見込み	1984 最終予算
リン酸型		20,640	17,550	電力用7.5MW(WH社)13,300 電力用11MW(UT社)9,000 オンサイト用40KW(UT社)5,000 オンサイト用200KW級(UT社)1,500
				合計
熔融炭酸塩型		9,600	7,500	9,200
固体電解質型 その他		4,224	5,000	4,600
合計		34,464	30,050	42,600

ーミング方式の評価を行っている。

固体電解質型はまだ基礎研究の段階でアルゴンヌ(Argonne)国立研究所, IGT (Institute of Gas Technology) など数ヶ所で研究が行われているにすぎない。

4. 大阪ガスにおけるPC-18の運転

大阪ガスと東京ガスではGRI計画によるPC-18のテストに先立ち, UT社よりそれぞれ1基のPC-18を購入し, 昭和57年3月より現在までテストを行っている。図-5に大阪ガスでのテストの様子を示した。

4.1 PC-18の性能と内部システム

表4にPC-18の性能を, 図-6に内部システムを示した。

PC-18の内部は大きく分けて, 燃料の天然ガスを水蒸気改質して水素ガスをつくる燃料処理システム, 水素と空気中の酸素から直流の電力を発生する燃料電池本体, 直流を交流に変えて負荷に送るためのインバーター, 及び改質装置の排気ガスと冷却水から排熱を

回収する排熱回収システムの4つの部分から構成されている。

燃料電池本体はタテ・ヨコ50cm, 厚さ5mmのセル(単電池)が270枚直列につながれており, 定格時で180V, 240Aの直流を発生する。

改質装置は約730~820℃に維持されているが, この熱源には燃料電池本体よりの予剰の水素を燃焼させるバーが使われている。改質に必要な水蒸気は冷却水

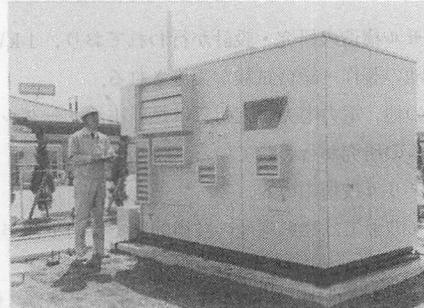


図-5 レストラン(ロイヤルホスト堺石津川店)におけるPC-18のテスト

表4 PC-18の性能

定格出力	40KW	応答速度	0~全負荷まで瞬時 (2サイクル以下)
発電効率	40%(真発熱量基準)	高調波歪	8%以内
定格熱出力	40KW相当	起動時間	5時間
過渡時		定格燃料消費量	天然ガス8.6m ³ /h
過負荷 短絡時	56KW 300Aまで } 最大 5秒間	操作方式	起動時半自動, 以後は自動
電圧	120/208V, 3相4線	設置場所	屋内, 屋外
周波数	60Hz	重量	約3,600kg
周波数変動	±0.0002%/年	その他	6基まで並列運転可

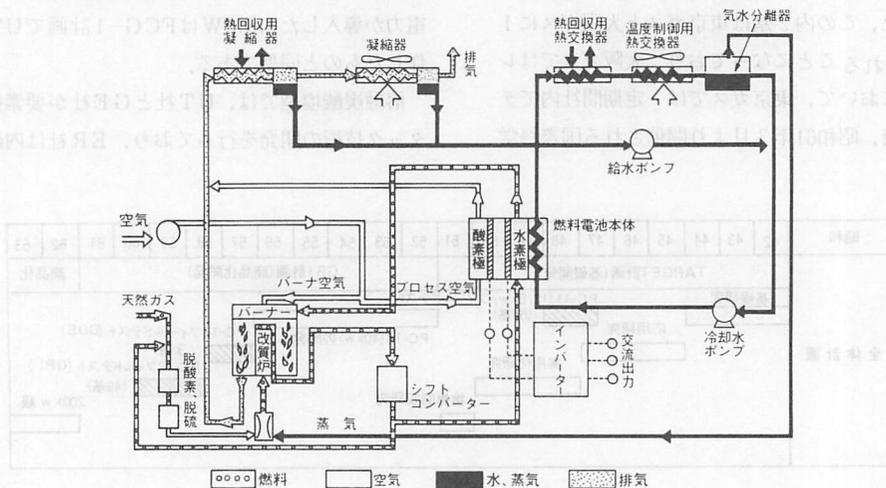


図-6 PC-18の内部システム

回路(約170~180℃)の気水分離器で作られ、消費された冷却水は、排気ガスから回収した凝縮水をイオン交換樹脂で処理した水で補われる。

排熱回収システムでは、熱交換器を通して排気ガスと冷却水から熱を回収し、お湯として負荷に送られる。

4.2 電力及び熱利用システム

PC-18で発生した電力はレストランに送られ、電灯・動力用に消費される。PC-18が停止した場合は自動的に関西電力よりの電力に切替わるようになっている。

一方、排熱は約80℃のお湯として回収され、一旦貯湯槽に貯められた後、給湯あるいは暖房用としてレストランに送られる。図-7に排熱利用システムを示した。

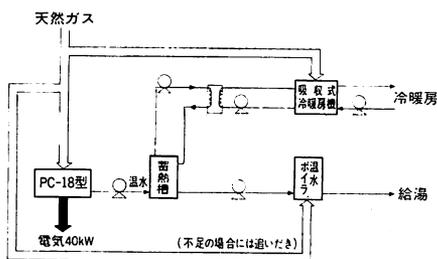


図-7 排熱利用システム

4.3 運転結果

表5に大阪ガスにおけるPC-18の運転結果を示した。残念ながら、冷却水の水質劣化や制御用コンピュータの故障などにより、たびたび長期停止をよぎなくされ、起動回数が多い割には総運転時間は短くなっている。

運転してみてPC-18の長所と考えられるのは以下の点である。

- (1)負荷応答性が非常にすぐれており、0→40kWの負荷急変時でも出力電圧(AC)は0.03秒以下で安定する。
- (2)燃料電池本体と改質装置の性能が安全しており、故障も発生していない。
- (3)全体がコンパクトにできている。特に改質装置は非常にコンパクトで直径86cm、高さ124cmの円筒中にすべてが収納されている。

また、PC-18の短所としては以下の点がある。

- (1)コンパクトに作りすぎたため、メンテナンスが容易でない。
- (2)特注して製作した部品を多く使用しており、品質や信頼性の良くないものもある。

表5 大阪ガスにおけるPC-18の運転結果

総運転時間	1,386時間
最長運転時間	258時間
総発電量	20,790 KWH
平均負荷	15 KW
起動回数	74回

(3)制御用コンピュータに対して適切な防塵・冷却対策がとられていない。

4.4 その他のPC-18の運転状況

大阪ガス以外に東京ガスを含む5ヶ所で現在PC-18の運転が行われている。表6にこれ等の運転状況を示した。

表6 PC-18の運転状況

設置者	場所	業種	運転開始	運転時間
大阪ガス	大阪府堺市	レストラン	1982年3月25日	1,386時間 (*84.1.31 現在)
東京ガス	東京都港区 (横浜市 鶴見区)注	技術研究所 (温水プール)注	1982年3月25日	963時間 (*84.1.31 現在)
U T 社	アメリカ コネチカット州 ハートフォード	自社内での 実証テスト	1983年6月19日	1,365時間 (*83.12.5 現在)
ノースウェ ストナチュ ラルガス	アメリカ オレゴン州 ポートランド	洗濯会社	1982年4月16日	3,057時間 (*83.12.5 現在)
ノースイー ストユーテ イリティズ	アメリカ コネチカット州 バーノン	オフィスビル	1982年9月13日	2,593時間 (*83.12.5 現在)
メキシコ 石油公社	メキシコ メキシコシティー	研究所	1982年11月19日	80時間 (*83.12.5 現在)

注 近く横浜市鶴見区の温水プールに移転予定

4.5 200kW燃料電池

GRI計画はPC-18のフィールドテストで終わる予定であるが、GRIでは種々の検討の結果40kWでは初期の市場に投入するには規模が小さすぎるとして、200kW級の燃料電池を先に商品化することを検討している。表7に示したのはGRIがコストや市場性を調べるために作成した200kWの仕様である。PC-18と比較して改良点が記入されているが、200kWでは、効率のアップ、メンテナンス性の改善及び規格部品の使用によるコストダウンが積極的にはかかれている。

5. あとがき

数年前まで燃料電池の技術では、日本はアメリカより5年以上遅れていると言われていたが、現在ではど

表7 GRIオンサイト型200KW燃料電池の仕様²⁾

項 目		200 KW仕様	40 KW仕様
定格出力		AC200KW	AC40KW
燃 料		天然ガス専用	O ₂ 含むピークシェーブガスも使用可
発電効率		40% (LHV)	40% (LHV)
総合効率		85% (LHV)	80% (LHV)
寸法 (W×L×H)		10.5×3.0×3.5m	2.7×1.6×2.0m
機器密度		160kg/m ³	481kg/m ³
セルスタック	電力密度	1,808W/m ²	786W/m ²
	冷却水管の型 式	S字型	平行分流型
	冷却セル数	10セル/クーラー	6セル/クーラー
	リン酸補充	できる	できない
燃料処理	改質触媒	低圧力損失型	通常型
	酸素除去装置	オプション	あり
インバーター	整流方式	Split Commutation	Individual Commutation
	効 率	93.6%	89%
	ロ ジ ッ ク	全デジタル式規格PCボード	一部アナログ式特注PCボード
	電力用半導体	ASCR	RCT
制御装置		市販パッケージマイコン	特注PCボード
補機	熱 交 換 品	市販シェルアンドチューブ型	特注プレート熱交
	バルブ等	市販品(燃料制御弁のみ特注)	特注品

うであろうか。本稿で述べたように、アメリカ政府は大きな予算をつぎ込んで燃料電池の実用化を支援している。また先行メーカーであるUT社は20数年前から一貫して燃料電池の研究開発を続けており、現在では燃料電池関係だけで約500人の従業員がいる。軍用あるいは宇宙船用にも開発できるという有利な側面があったとしても、失敗を恐れず長期間にわたって努力を積重ねる態度には、技術者としての執念が感じられ

る。先行したアメリカのメーカーはすでに多くの特許を押えており、日本のメーカーにとって障害となることも予想される。こうした中で、種々の困難を乗り越えて、1日も早く国産の燃料電池が普及する日が来ることを期待したい。

文 献

- 1) 新エネルギー開発機構; 燃料電池発電技術
- 2) GRI; ON-SITE FUEL CELL POWER PLANT TECHNOLOGY AND DEVELOPMENT PROGRAM, Annual Report, January 1982 - January 1983

