

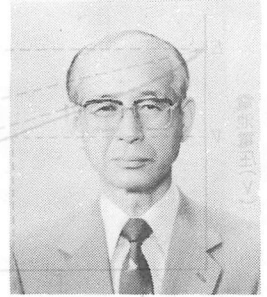
■ 展望・解説 ■

燃料電池の現状と問題点

The Current Status and the Problem Areas of Fuel Cells

高橋 武彦*

Takehiko Takahashi



1. はじめに

今年(1989)の9月にロンドンで、燃料電池の最初の研究発表150年記念シンポジウムが開かれたことから分かるように、燃料電池は古い歴史を持つ発電装置であるが、最初に実用されたのは特殊用途で、1960年代に、アメリカで有人宇宙船の電力源として用いられたのに始まる。これは、燃料電池が原理的に発電効率がよく、エネルギー密度が大きく、且つ、飲料水を供給することができることに基づいていたのであるが、近年、これらの特徴が民生用および産業用としても注目され、世界各国で、国レベルで開始が進められるようになってきているのである。

近年、我が国における電力の需要は増大傾向にある。これは、電力が民生用としては、環境性、制御性あるいは安全に優れ、産業用としては、情報社会への移行あるいは技術集約性の大きい高度技術産業構造の拡大などのために不可欠であると考えられるからである。

我が国におけるここ2年間のエネルギー需要の伸長率は5%前後であるが、今後の反原子発電運動、火力発電の温室効果への寄与にたいする危惧などのため、近未来における電源不足時代の到来が暗示される。また、我が国において、2000年に、総エネルギー消費中、24.4%を占めると予測される運輸用の化石燃料利用効率は、平均、30%以下で、特に、最近のように、燃費の良くない大型高級車への志向、車両数の増加、渋滞による発進停止の繰り返しなどのための車両エンジンの効率低下は著しい。

このような原子力、火力発電装置あるいは運輸用のエンジンは、いずれも熱機関を使用しているのでその効率はカルノー・サイクルの制約を受ける。

この点に関して、原理的にこの制約を受けない燃料電池システムが、環境保護および省エネルギーの観点

から世界的に大きな期待を寄せられているのである。

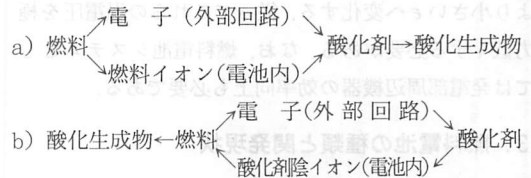
2. 燃料電池の原理

燃料電池は、燃料が保有する化学エネルギーを、電気化学的、連続的に電気エネルギーに変換する装置であり、燃料電池本体ともいわれる発電部、燃料処理部および電力調整部からなり、これらを特に区別して考える場合、全体を、燃料電池システムという。

燃料電池発電部の構成は、

○燃料/電解質/酸化剤(一般には酸素) ⊕

と書くことができる。これによって、次のいずれかの回路を形成させることによって目的が達成させる。



例えば、水素・酸素電池の場合には、図-1のような構成になる。

このような燃料電池発電部から得られる最大電気エネルギーは、発電電池反応の自由エンタルピー変化、 $-\Delta G$ に相当するから、最大熱効率 ϵ_T は、燃料の燃焼

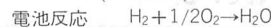
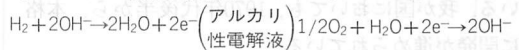
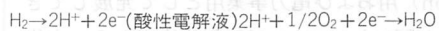
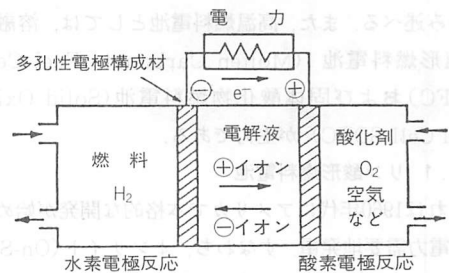


図-1 水素酸素燃料電池の原理図

*名古屋大学名誉教授 愛知工業大学客員教授
〒465 名古屋市名東区梅森坂西2-106 (自宅)

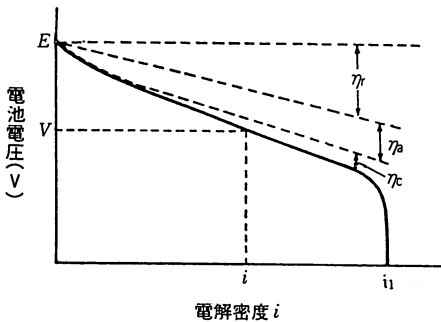


図-2 燃料電池の放電特性

熱を Q とすれば,

$$\varepsilon_r = -\Delta G/Q$$

で表され、電池の起電力 E は、移動電子代数を n 、ファラデー定数を F とすれば、

$$E = -\Delta G/nF$$

であらわされる。これらの式は E を保って電力が得られる場合に ε_r が得られることを示しているが、実際には、図-2に示すように、電流を流すと、抵抗過電圧 η_r 、活性化過電圧 η_a 、濃度過電圧 η_c のために電流の大きさに応じて電圧が E から V へ低下するので ε_r もより小さい ε へ変化する。従ってこれらの過電圧を極力低くする必要がある。なお、燃料電池システムとしては発電部周辺機器の効率向上も必要である。

3. 熱料電池の種類と開発現状

燃料電池は、通常、電解質の種類および運転温度で分類される。低温燃料電池としてはかせいかり、固体高分子電解質SPE、超酸、あるいは濃リン酸を電解質とする方式があるが、リン酸形燃料電池(Phosphoric Acid Fuel Cell-PAFC)が最もよく開発されているので、ここでは、低温電池の代表としてPAFCについてのみ述べる。また、高温燃料電池としては、熔融炭酸塩形燃料電池(Molten Carbonate Fuel Cell-MCFC)および固体酸化物燃料電池(Solid Oxide Fuel Cell-SOFC)が主力である。

3.1 リン酸形燃料電池

これは1960年代にアメリカで本格的な開発が始められ、電力需要地発電、すなわち、オンサイト(On-Site Generation)用および電力事業用として発展してきている。我が国においても、1970年代後半から、本格的に開発が進められている。

リン酸形燃料電池では、ほぼ100%のリン酸を、PTFE (Polytetrafluoroethylene) で結着した炭化ケ

イ素多孔体に含浸させ、アノードおよびカソードとしては、それぞれ、 $0.25\text{mg}/\text{cm}^2$ および $0.5\text{mg}/\text{cm}^2$ の白金を、PTFEで成形した炭素基板上に塗着させたものを用い、ガスを流すための溝を切った黒鉛及び黒鉛隔離板を使用して単電池を直列に積み重ねてスタックと呼ばれる集合電池を形成する。発電部は電流によって加熱されるので水あるいは空気で冷却される。この熱を利用するのがコージェネレーション方式である。

(1)アメリカにおける開発現状

電力事業用として1981年から83年にわたってニューヨークに建設された4.5MWプラントは、実証試験に失敗したがこのプラントメーカーのIFC (International Fuel Cells Corp.) から1980年にプラントを導入した我が国の東京電力(株)では1985年までにこの実証試験に成功した。このプラントはニューヨークのプラントよりも新しい設計である。アメリカではさらに電力会社、電力研究所 (Electric Power Research Institute-EPRI) およびエネルギー省 (DOE) が協力してPC-23と称する11MWプラントの開発と商用化を計画したがアメリカでは実証化にいたらず、IFCと(株)東芝とが協力して東京電力(株)に、多くの新技術を採用したプラントを1988年から導入し93年まで実証試験を行う予定である。また、これとは別に1MNプラントがイタリアのミラノに建設されている。このように、アメリカでは電気事業用プラントの商用化は軌道に乗らず、アメリカ自治体電力連合 (American Public Power Association-APPA) が商用化を達成できる業者を捜している。ここでは、発電部の冷却に水冷式を採用しようとしているがWELCO (Westinghouse Electric Corp.) ではERC (Energy Research Corp.) が開発した空冷式のPAFCで7.5MWプラントの開発を目指しているが、現在では未だその要素の100kWの発電部2基の試験中である。発電部のみで $\$380/\text{kW}$ 、システムで $\$2600/\text{kW}$ を目標としている。

ガス事業用PAFCプラントは、ガス研究所 (Gas Research Institute-GRI) が中心となって進めているオンサイト形プラントで、IFC製のPC-18 (40kW) およびPC-25 (200kW) が現在の対象である。PC-18は1983年から86年にかけて、東京ガス(株)、大阪ガス(株)も参加して46基のフィールドテストが行われ、この結果から次のPC-25の商用化計画が具体化し、1989年には4基のプレプロトタイプを販売し、我が国にも輸入されて運転されている。表1にPC-25の主な仕様を

表1 PC-25の主な仕様

項目		PC25型
定格出力		AC200kW
燃料		天然ガス専用
発電効率		40% (LHV)
総合効率		85% (LHV)
寸法 (W×L×H)		10.5×3.0×3.5m
機器密度		160kg/m ²
セルスタック	セル数	460
	電力密度	1,808W/m ²
	冷却水管の形式	S字型
	冷却セル数	10セル/クーラ
	リン酸補充	できる
燃料処理	改質触媒	低圧力損失型
	酸素除去装置	オプション
インバータ	効率	93.6%
	ロジック	全デジタル式規格PCボード
	高調波	5%以下
制御装置	市販パッケージマイコン	
熱交換器	市販シェルアンドチューブ型	

示す。これは、1990年にIFCでプロトタイプの試験をおこない、1993年頃から商用品が販売される予定であるという。

(2)日本における開発現状

通商産業省工業技術院のムーンライト計画が中核となり、1981年から大型省エネルギー技術の一つとして取り上げられて1986年に1MWプラント開発のスケジュールがたてられ、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)管理の下に、火力発電代替用の高温・高圧形が中部電力(株)で、都市近郊の分散配置発電用の

表2 燃料改質装置の試験結果

項目		試験結果	
低温低圧型	(1) 燃焼方式	加圧燃焼方式 (排空気・バーナー燃焼)	
	(2) 燃料	天然ガス	
	(3) 燃料改質性能	不純ガス量 メタン: 0.02~0.79% CO: 0.05~0.135%	
	(4) 改質装置熱効率	96.3% (電池本体の水素利用率は80%)	
	(5) 負荷変動範囲	25~100%	
	(6) 動作圧力	4 kg/cm ² G	
高温高圧型	(1) 燃焼方式	炎燃焼方式 (排空気・バーナー燃焼)	酸化触媒燃焼方式
	(2) 燃料	天然ガス	天然ガス
	(3) 燃料改質性能	82~90%	82~90%
	(4) 改質装置熱効率	91.1% (電池本体の水素利用率は83.3%)	91.1%
	(5) 負荷変動範囲	28~110%	28~110%
	(6) 動作圧力	3.6~4.5kg/cm ² G	3.6~4.5kg/cm ² G

表3 運転研究結果

	分散配置用	火力発電所代替用
発電時間(hr)	2,045	1,018
発電電力量(kWh)	697,151	367,583
発電回数(回)	40	46
電気出力(kW)	1,000	1,000
発電端効率(%)	37.1 注1	38.4 注2
起動時間(hr)	5.8	4.8
負荷追従性(%/分)	11	10
停止時間(hr)	0.8	1
大気汚染物質(NOx.ppm)	10	8.5

注1 システムからの放出ガス、S/C等による補正を行うと到達可能な効率は、40.8%となる。

注2 システムからの放出ガス、熱損失等による補正を行うと到達可能な効率は、42.1%となる。

表4 オンサイト用200kW級燃料電池開発目標

項目	離島用発電プラント	業務用発電プラント
	目標	目標
出力	200kW級 (AC)	200kW級 (AC)
送電端効率	37%以上	36%以上
総合効率		80%以上 (給湯時効率への換算値)
燃料	メタノール	都市ガス
構造	パッケージ型	陸上輸送が可能なコンパクト且つパッケージであること
運転特性	離島において要求される負荷需要およびディーゼル発電との並列運転に対応できること	業務用需要としての負荷変動に追従できること
運転方式	無人運転	無人運転
環境	法令基準値以下	法令基準値以下
メンテナンス	年1回	年1回
経済性	将来の実用システムにおいて、在来のディーゼル発電方式と同等以上	将来の実用システムにおいて、在来の熱及び電力の供給方式と同等以上

低温・低圧形が関西電力(株)で天然ガスを燃料として運転された。表2に燃料改質装置の試験結果を、表3にプラントの運転結果を示す。

オンサイト形プラントの開発は1986年から5年計画で行われているプロジェクトで、離島用および業務用の200kW級プラントである。燃料は前者がメタノール、後者が都市ガスである。離島用は沖縄県渡嘉敷島に、業務用は大阪ホテルプラザに、1989年秋までに据え付け1991年3月までの運転を予定している。表4に、これらの開発目標を示す。

その他、国家プロジェクトとしては、通商産業省資源エネルギー庁の計画として、関西電力(株)六甲アイランド実験場で200、100および50kW容量で合計1000kWの設備について1990-92年の試験運転を予定している。また、石油産業活性化センター(Petroleum Energy Center-PEC)では、燃料としてナフサおよび灯油を使用する50~200kWのオンサイト形コージェネレーション用の装置を1991年までに運転試験する計画である。

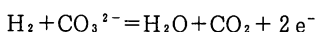
なお、民間レベルでも開発が進められ、先に述べた東京電力(株)が計画している11MW、IFC製200kW、三洋電機(株)製空冷式220kW、北海道電力(株)の三菱電機(株)製水冷式100kW、東北電力(株)の富士電機(株)製水冷式50kWなどが現在試験運転されている。また、ガス会社も独自の開発を進めている。例えば、東京ガス(株)の富士電機(株)製水冷式50kW、(株)日立製水冷式100kW、大阪ガス(株)のIFC製水冷式200kWが現在運転され、東京ガス(株)、大阪ガス(株)および東邦ガス(株)共同のIFC製水冷式200kWプラント10基の導入が計画されている。

(3)ヨーロッパその他の国における開発現状

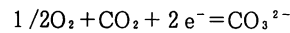
ヨーロッパその他の国々ではリン酸形燃料電池に關しては、アメリカ及び日本の先進を認め、自国で開発するよりアメリカ及び日本からの導入を考えているようにイタリア、オランダ、スウェーデン、イギリス、デンマーク、韓国、台湾、インド、タイ、ブラジル、アルゼンチンなどが導入に関心を寄せている。

3.2 溶融炭酸塩形燃料電池

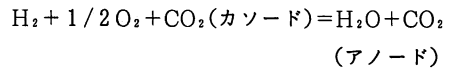
リチウム-カリあるいはリチウム-ナトリウム系の混合溶融炭酸塩を電解質として用い650℃で運転される発電部を持つ電池で、電解質中の可動イオンは CO_3^{2-} で、これは CO_2 に O^{2-} が付加された形であるから、前に述べた電池構成のb)に相当し燃料が水素の場合、発電部のアノード反応は、



カソード反応は、



で、総反応は、



で表され、アノードで生成する CO_2 をカソードへ回してやる必要がある。

電解質の混合炭酸塩は $\gamma\text{-LiAlO}_2$ と混合されて半固体状にされ、アノードはNiにCr、CoあるいはAlを添加した多孔体、カソードとしてはLiをドーピングしたNiOが用いられる。

発電部の構造はリン酸形の場合と大同小異である。

(1)アメリカにおける開発現状

DOEおよびEPRIの主導で開発が進められている。最も古くから研究を続けていたのはシカゴにあるガス技術研究所(Institute of Gas Technology-IGT)であるが、1987年にM-C Power Corp. を設立して1989年2月からシカゴの郊外に工場を作り、本格的にMCFCの開発に乗り出し日本の石川島播磨重工(株)もこれに資金協力している。当面の目標は200~1000kW出力のオンサイト用プラントで、天然ガス燃料で効率45~52%、コージェネレーションにより80%以上の効率を目指している。このために、新型の内部マニホールド熱交換器を開発している。

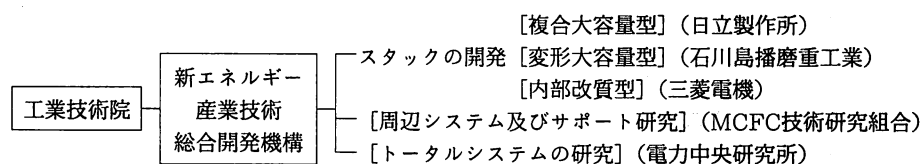
また、IFCでも開発が続けられ8ft²の電極面積をもつ25kWのMCFCの2000時間の連続運転を行っている。

これらは、燃料の改質を発電部とは別の場所で行ういわゆる外部改質の構想でシステム全体の開発を目指しているが、ERCでは、発電部で改質を同時に行う。いわゆる内部改質法を開発し、電極面積1ft²、単電池60個からなる5kWのスタックで7000時間、4ft²単電池5個の2kWおよび11個の単電池からなる5kWスタックで連続運転試験を行っている。近い将来20kW5基からなる100kWのMCFCシステムを開発し、さらに将来、1.8MWの天然ガス使用内部改質MCFCをオンサイト用に開発して、効率52.9%を得ることを目標にしている。電解質としてはLi-Na系の溶融炭酸塩を用いている。

その他、要素技術として、IGT、Ceramatec, Inc. Argonne National Laboratory-ANLなどで、電極材料その他の研究開発を行っている。

アメリカとしては1998年までに商業化する計画のようであるが、燃料の本命は石炭で、このガス化技術の経済的な開発も必須である。

表5 MCFC開発陣容



(2)日本における開発現状

PAFCと同様にムーンライト計画によって推進され、NEDOが開発の実施主体となり、1987年に(株)日立、(株)東芝が10kWの発電部の開発に成功し、同時期に(株)富士電機総研、石川島播磨重工業(株)及び三菱電機(株)も独自に10kW級発電部を開発した。これらの結果を参考にして1987年から1991年までに表5に示す陣容でLNGを燃料にして出力100kW、1995年までに発電効率45%以上、運転時間5000時間以上の1000kW級のパイロットプラントを開発する予定を立てている。表中のMCFC技術研究組合は熔融炭酸塩型燃料電池発電システム技術研究組合の略称で、14機関が協力して研究体制を取ることになっている。もちろん、石炭も燃料として考え、1996年以降は石炭燃料実証プラントの開発に進む予定になっている。

(3)ヨーロッパにおける開発現状

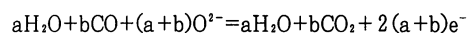
オランダおよびイタリヤを中心にして開発が進められている。

1986年に始められたオランダの開発計画は、まず3年計画で、主としてECN(Stichting Energieonderzoek Centrum Nederland—オランダエネルギー調査財団)が研究を国から受託している。さらに、1987年に新5ヶ年計画が発足し、1992年末までに3個の100kWMCFC実証プラントの建設、試験をおこない、将来計画としては1995年までに500kWMCFC発電部を開発する予定である。

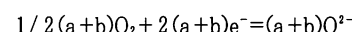
イタリヤでは、1986年から国家プロジェクトとしてボルタ計画(Progetto Volta)が発足しENEA(Comitato Nazionale per la Ricerca e per lo Sviluppo dell'energia Nucleare e delle Energie Alternative—イタリヤ原子力および代替エネルギー研究開発委員会)によって推進され1989年までに50kWスタック、1995年までに原型プラントの開発、2000年以降5~10MWプラントの商業化の達成を目標にしている。その他、西ドイツ、スペインなどが開発計画を持ち、CEC(Commission of the European Communities)はヨーロッパ各国に補助金を支出している。

3.3 固体酸化物形燃料電池

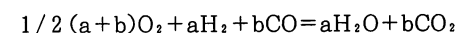
電解質が酸化物イオン導電性固体で1000℃前後の高温で運転される。水素と一酸化炭素を燃料とするときのアノード反応は、



カソード反応は、



表されるので、総反応は、



である。これは、他の形式の発電部と異なって発電部が全て固体であることに特徴がある。

(1)アメリカにおける開発現状

アメリカにおいては、1960年代から開発を進めているWELCOの円筒形発電素子SOFCの開発度が最も高い。現在WELCOが開発中のSOFCプラントは長さ60cm、実効長50cm、直径約13mmの多孔性CaO安定化ジルコニア管の表面に、Srを添加したランタンマンガナイトをカソードとして付着させ、Y₂O₃安定化ジルコニア電解質、Ni-ZrO₂サーメット、アノードの順に付けて発電素子としてこれをMgを添加したランタンクロマイトで直列および並列に連結して発電部を構成する方式で、これを144本使用した3kW出力の天然ガス使用のプラントが東京ガス(株)および大阪ガス(株)で1987年から88年にわたってテストされた。この結果から現在20kWおよび25kW直流出力のプラントをブレパイロットプラント工場で作成中で、前者はDOE、後者は関西電力(株)へ納入されるようである。この工場では年間375kWのSOFCの作製が可能で、品質管理を重視している。さらに、1991年には、長さ160cm実効長100cmの円筒を使って100kW、1993年には1MWのプラントを作製し、最終的に、石炭を燃料にした30MWプラントを2系列製作する予定であるという。一方、PAFCやMCFCと同様の平板型の発電素子を持つSOFCもZTEK Corp., Ceramtec, Inc.などで検討されているが未だ小規模で、最も大きいものでZTEKが1988年9月から18か月の予定で作製中の10気圧、1kWの発電部である。また、1983年にANLが提案した

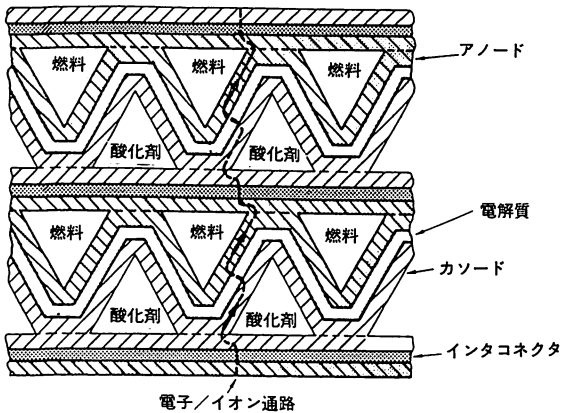


図-3 ガス併行流モノリス形固体酸化物燃料電池

一体化SOFC（モノリス形SOFC）（Monolithic SOFC-MSOFC）が、最近注目されてきている。MSOFCには、燃料と空気を併行流させる形（Coflow Version）と、直交流させる形（Crossflow Version）とがある。併行流形では、アノード/電解質/カソードの3層が波型に作られていて、図-3に示すような構造になっている。各層の厚さは25~100 μ mで各発電素子間の距離は1~2mmである。このMSOFCの出力密度は8kW/kgにもすることができ、この値は他の形の燃料電池はもちろん、他のいかなる発電機のそれよりも高い。従って、発電用、運輸用、航空機用あるいは宇宙用として注目されているのである。使用材料は円筒型のもので全く同じであるが、マニホールドの構造が複雑になる。これは現在 Allied-Signal Aerospace Co. の AiResearch Los Angeles Division で試作され Combustion Engineering, Inc. で試験されている。直交流形は平板型と同様で、各平板が波形のアノードおよびカソード材で連結されていて出力密度も最高でも併行流形の1/2に過ぎない。

(2)日本における開発状況

工業技術院の電子技術総合研究所では、ムーンライト計画の中で、多孔性アルミナ管の表面に多数個の発電素子をプラズマ溶射法で直列に製作する方法により数百WのSOFCを試作し、化学技術研究所でも1986年から平板型SOFCの材料開発を始めている。民間企業でも、三菱重工(株)が円筒型で、1986年に500W発電に成功し、さらに、平板形のSOFCをも検討している。その他、藤倉電線(株)、(株)富士電機総合研、小野田セメント(株)、日本鋼管(株)、三井造船(株)、東燃(株)などでも基礎研究が行われている。

(3)ヨーロッパにおける開発状況

歴史的には古い経験を持っているが、現在の開発度は低い。西ドイツのDornier System GmbH, Siemens AG スイスのABB (SwedenのASEAとBBCとの合併)などで小規模の研究が行われ、CECは非円筒形SOFCの開発に資金援助をしようとしている。

4. 燃料電池の問題点と将来展望

燃料電池は将来を囑望されている電源ではあるが幾多の問題点を抱えている。

PAFCについては、発電効率が40%程度で従来の火力発電の効率と大差がなく、大規模発電用としては無理があり、オンサイト用としてコージェネレーションを実行することが必要である。しかし、発電と同時に得られる熱は多くの場合、熱水として得られるので熱の品位としては必ずしも高いものではなく、この熱の有効利用が課題であり、電池システム構成の経済性も未だ確立されてはいない。MCFCに関しては外部改質でも50%の発電効率が得られ、内部解質では60%の効率も得られる可能性があり、さらに、排熱を利用してボトムリングサイクルを働かせることができ発電効率はそれだけ上昇する。しかし、MCFCが商用化されるためには、NiOカソードの電解質中への溶解の防止あるいは、代替カソード材の開発、電解質の管理システムおよび電解質による材料の腐食問題の解決、内部改質触媒の寿命の延長などの技術的問題点の解決の他、経済性の確立が未解決の部分を残している。また、SOFCの場合は未だ開発の初期途上にあり、発電効率もMCFCに比べて特に高いということもないが、排熱が高温であることから工場用のコージェネレーション装置として利用できるのではないかと思われるが、その適正規模の判定が必要である。また、これを、ガスタービンのトッパーとして使用しガスタービンにボトムリングサイクルを併用する事により、発電効率の大幅な向上が期待できるので、大規模発電用にも利用できると思われる。しかも、全体が固体であるので、装置の管理が容易であるが、高温であるため、最良の材料の選択が肝要である。長期使用可能材料の開発とそのコストの問題はSOFC商用化の鍵を握っている。

なお、前にも述べたように、各電池システムとも、発電部以外の周辺技術の高効率化と経済性の確率が必須であることを重ねて強調したい。

5. おわりに

燃料電池システムは、将来にわたってなお多くの解決すべき問題を抱えているといえることができるが、一歩一歩商業化へ向かって着実に進んでいるので、各形式の電池システムとも将来を期待してよいであろう。

このような燃料電池システムの開発に、各国の主要機関が1989年度に計上している予算は、アメリカDOE, \$30.6M, EPRI, \$4.6M, GRI, \$2.8M (アメリカではDOE, DOD, NASA, EPRI, GRIがNational Fuel Cell Coordinating Groupをつくり、各種のUsers' Group, Associationなどがある)、日本のムーンライト計画, 3696・10⁶円 (約US \$26.5M)、ヨーロッパ, 約US \$26.3Mである。日米間では、燃料電池研究プロジェクトについてDOEと工業技術院/NEDOとの間で協力の調印も行われている。その他、各国で、自己資金を投入して燃料電池システムの開発を行っている民間企業も多い。これらによって、世界各国が燃料電池システム開発にかけている期待度をうかがうことができる。

参 考 文 献

- 1) 高橋武彦; 燃料電池 (1984), 共立出版.
- 2) 高橋武彦; 燃料電池システムへの期待と現状, PETROT ECH, 11巻7号 (1988) 566~571.
- 3) U.S.Department of Energy, Office of Fossil Energy; Agenda and Project Synopses First Annual Fuel Cells Contractors Review Meeting (1989), Morgantown Energy Technology Center.
- 4) U.S.Department of Energy; Fuel cells A Hand book (1988), Morgantown Energy Techn.Center.
- 5) Abstracts, Fuel Cell Seminar (1988), National Fuel Cell Croup.
- 6) 燃料電池シンポジウム・東京'88 (1988) 燃料電池開発情報センター.
- 7) 日本と欧米主要国における燃料電池発電技術開発の現状と協力の可能性 (1988) 日本貿易振興会機械技術部.
- 8) 第9回工業技術院筑波総合シンポジウム・予稿集 (1989) 35~65.
- 9) 日本における燃料電池の開発 (1988,89) 燃料電池開発情報センター.
- 10) Fuel Cells Workshop Proceedings (1988) Energy, Mines and Resources Canada.
- 11) Fuel Cell Workshop-5 (1988) IEA.
- 12) Notice of Market Opportunity for Fuel Cells (1988) American Public Power Association.
- 13) Research and Development of Fuel Cell Power Generation Technology FY 1987 Annual Report (1988) NEDO.
- 14) Extended Abstracts, Fuel Cell Technology and Applications (1987) PEO (オランダ).
- 15) 1988 Fuel Cell Seminar 参加と米国燃料電池調査団報告書 (1988) 燃料電池開発情報センター.
- 16) 欧米燃料電池技術開発動向調査団報告書 (1988) 大阪科学技術センター.
- 17) 燃料電池関連技術動向海外調査報告書 (1989) 石油産業活性化センター.
- 18) Fuel Cell News (1984~) Fuel Cell Association.
- 19) FC NEWS LETTER (1988~) 燃料電池開発情報センター.
- 20) A.J.Appleby & F.R.Foulkes; Fuel Cell Handbook (1988), Van Nostrand Reinhold.
- 21) Proc. 1st International Fuel cell Workshop (1989) Organizing Committee of the Workshop (東京).
- 22) Proc. Workshop on Mathematical Modelling of Natural Gas Fueled Solid Oxide Fuel Cells & Systems (1989) Swiss Federal Office of Energy.

