

# 燃料電池に関する技術動向調査

平成 13 年 5 月 31 日  
技 術 調 査 課

## 1. 背景

1970 年代の石油危機以降、世界的にもエネルギー利用の効率化、省エネルギー化が進められてきたが、世界のエネルギー消費は一貫して増加しておりエネルギーの安定確保は世界各国の大きな課題である。1997 年末に開催された地球温暖化防止京都会議（COP3）において、温暖化ガス削減目標を達成するため、エネルギー起源の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）排出の大幅な削減目標が設定されたことにより、産業、民生、運輸の全ての部門で省エネルギー対策が急がれている。IEA（国際エネルギー機関）の 2000 年 11 月の発表によれば、2020 年における世界エネルギー需給は 1997 年比で 57% の増加となり、一次エネルギーに占める化石燃料の比率は 90% に、CO<sub>2</sub> 排出量は 60% 増大するとの見通しである。世界の石油確認可採埋蔵量は 1 兆 338 億バレル（41 年分）であるから、世界の置かれているエネルギー事情は深刻である\*<sup>1</sup>。

こうした背景から、化学エネルギーとしての燃料を電力として直接取り出す燃料電池は将来の水素燃料、新燃料インフラを背景に高効率で二酸化炭素排出量削減に貢献する環境調和型電源として注目されている。

\*<sup>1</sup> エネルギー 2001：資源エネルギー庁 [編]（電力新報社、2001 年 2 月 9 日）

## 2. 歴史と分類

1801年、英国のデーヴィー卿は「石炭、木炭などの固体燃料から電気エネルギーを取り出せる」ことを原理的に予測し、英国のグローブ卿は、1839年、常温で水素と酸素の電気化学反応から、電気エネルギーを取り出すことに成功した。グローブ卿の実験はカソード、アノードに白金を使用し、電解液として希硫酸を使用したものである。

1960年代になって米航空宇宙局（NASA）は宇宙用電源として燃料電池に注目し、アポロ計画の宇宙船電源に使用した。1965年にはGE社の製品である固体高分子形燃料電池（PEFC）を搭載したジェミニ5号が、燃料電池実用化の第1号として打ち上げられ、燃料電池が実用電池として注目を集める大きな引き金となった。1970年代から1980年代にかけて世界各国がエネルギー危機と環境破壊の問題に直面し、環境に有害な物質を排出せず効率の高いエネルギーシステムの開発が求められるようになると、燃料電池はまさにこの要求に適した発電システムとして脚光を浴び始めた。1990年代に入って燃料電池の小型化・高出力化が進み、自動車や家庭の電源に燃料電池を適用することが十分に可能であることが明らかとなると燃料電池を製品化する動きが高まり、また、1997年のCOP3をはじめとする二酸化炭素排出規制の世界的な動きが燃料電池開発に拍車をかけた。一例として1999年秋の東京モーターショーの展示に見られたように、燃料電池自動車の開発は世界の主要自動車メーカーによって急速に推進されつつある。

燃料電池は電解質の種類、電池構造、冷却方式、運転圧力、原燃料供給方式、利用形態、設置形態により分類（JIS C 8800：2000）されている。第1表に燃料電池の電解質による形式分類を示した。

第1表 燃料電池の電解質による形式分類

JIS 番号	用語	定義	慣用語
2101	アルカリ形燃料電池	電解質にアルカリ水溶液を用いる燃料電池。[電解質として水酸化カリウム水溶液を用いることが多い。電池作動温度は常温～120℃である。]	AFC
2102	りん酸形燃料電池	電解質にりん酸溶液を用いる燃料電池。[電解質としてりん酸を用いる。電池作動温度は180～210℃である。]	PAFC
2103	熔融炭酸塩形燃料電池	電解質に熔融炭酸塩を用いる燃料電池。[電解質として、リチウム、カリウム若しくはリチウム、ナトリウムの混合塩を用いることが多い。電池作動温度は600～650℃である]	MCFC
2104	固体酸化物形燃料電池	電解質に高温でイオン導電性をもつ酸化物を用いる燃料電池。[電解質として、イットリア安定化ジルコニアを用いることが多い。電池作動温度は800～1000℃である。]	SOFC
2105	固体高分子形燃料電池	電解質に固体のプロトン交換膜を用いる燃料電池。[電解質としてパーフルオロエチレンスルホン酸系膜などを用いる。電池作動温度は常温～80℃である。]	PEFC PEMFC SPFC

(出典：JIS C 8800：2000)

### 3. 原理と特徴

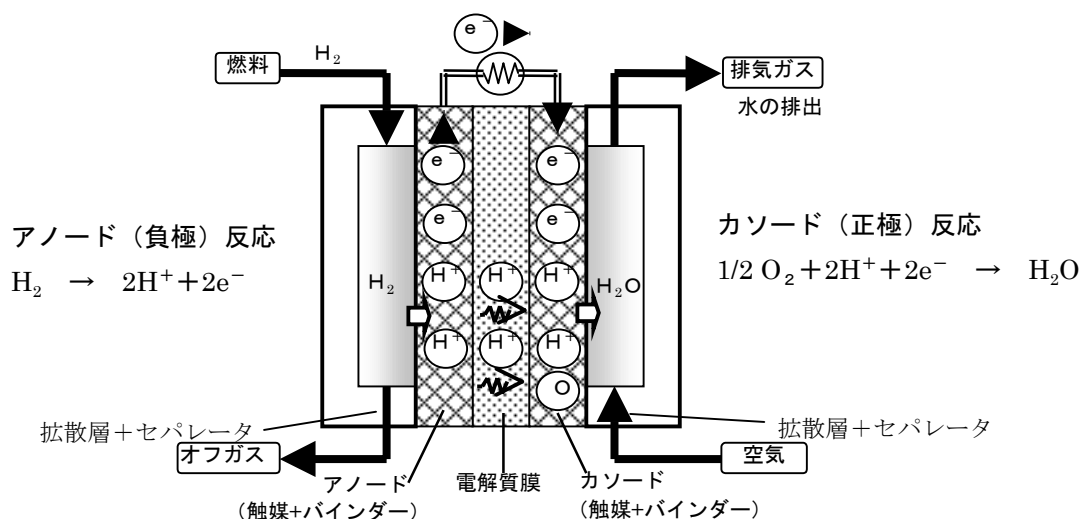
燃料電池は基本的には化学電池同様、**アノード極（燃料極）、カソード極（空気極）、電解質**の電池の三大要素から構成されている。PEFC を例に第1図に燃料電池の動作原理を示した。アノード極は、水素から電子を引き抜く**触媒**と燃料である水素の**ガス拡散層**、集電体としての**セパレータ（バイポーラプレートとも呼ぶ）**が積層された構造である。またカソード極はプロトンと酸素の反応触媒と空気の拡散層、セパレータの積層構造である。アノード極、カソード極の触媒には一般に白金、ルテニウムが使用される。電解質にはスルホン酸系のプロトン伝導性の**固体高分子膜（電解質膜）**が用いられる。触媒層は電解質膜上に直接形成されるか、拡散層上に形成した後に高電解質膜とホットプレスなどの方法により一体化される。電解質膜と触媒層、電極の**接合体**は**MEA（Membrane Electrode Assembly）**と呼ばれる。

各電極での反応を以下に示した。

**アノード反応：**アノード表面でイオン化反応により燃料となる水素はプロトンと電子になり電子は外部回路を通してカソードに、プロトンは電解質膜を通してカソードに移動する。

**カソード反応：**カソードではアノードより電解質膜中を移動してきたプロトンと外部回路を通して流れてきた電子と外部から取りこまれる酸素がカソード表面で反応して水を生成する。

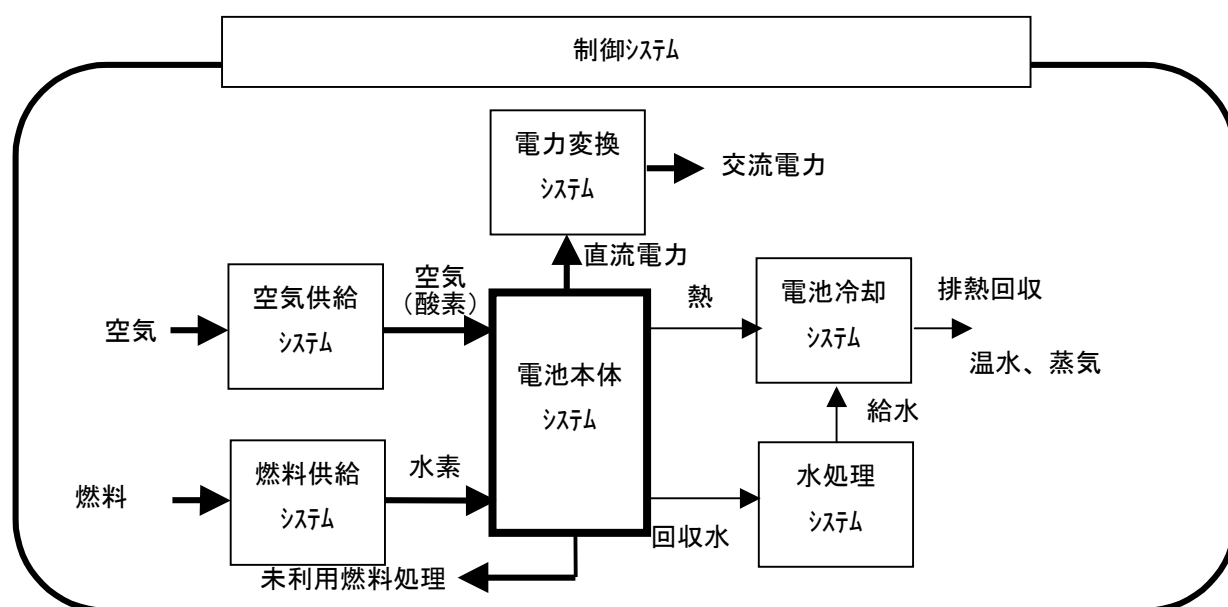
第1図 燃料電池の動作原理



電解質膜が高いプロトン伝導性を有するためには水分の存在が重要で、アノード極で生成する水が利用されるが、水が不足する場合には外部からの**加湿**が重要である。

燃料電池は実用的にはシステムとして利用される。第2図には**燃料電池システム**を示した。燃料電池のシステム全体は、電池スタックなどから構成される**電池本体システム**、燃料の加湿及び供給量を制御するための**燃料供給システム**、空気供給量を制御する**空気供給システム**、電池温度を一定に保つための**電池冷却システム**、電池反応で生成される水の排出及びシステムでの再利用を行う**水処理システム**、未利用燃料処理、インバーター、コンバーター等の**直流・交流電力変換システム**、排熱回収などから構成されている。全体は制御プログラムによる**制御システム**によってコントロールされ、ひとつの電源システムとして機能する。

第2図 燃料電池システム



## 4. 燃料電池の技術俯瞰

第3図は、本調査における燃料電池技術全体を俯瞰したものである。

燃料電池は、使用される電解質の種類によりりん酸形燃料電池（PAFC）、熔融炭酸塩形燃料電池（MCFC）、固体酸化物形燃料電池（SOFC）、固体高分子形燃料電池（PEFC）の4種類に分類できる。燃料電池の作動温度範囲は使用される電解質の種類によって制限されており、PEFCは100℃以下の低温領域、PAFCは180～210℃の中温領域、MCFCは600℃以上、SOFCは1000℃近くの高温領域で運転される。低温領域～中温領域で使用されるPEFC・PAFCの場合、燃料電池の内部で炭化水素などの化合物を分解して水素を得ることが困難であるため、燃料電池の外部に燃料改質器を設置するか、あるいは圧縮水素、液体水素等の形で水素貯蔵機構をそなえることが必要である。自動車移動体に使用されるPEFCにおいては効率の高い水素貯蔵方法の開発は大きな課題であり、技術上のブレークスルーが急がれている。これに対して、高温領域で運転されるMCFC、SOFCの場合には、燃料電池の内部で天然ガスやガソリンを分解する所謂内部改質が可能である。

燃料電池の利用形態は運転温度の他、電解質性状によるところも大きい。液体電解質を使用するPAFCやMCFCの場合、電解質がスタックの外へ流出または揮散する危険性が高いために、その用途は定置形発電用途に限られ、一方、固体の電解質を使用するPEFCやSOFCの場合、電解質の固定が容易であることから移動体への適用も可能であり、その用途展開の範囲はPAFC、MCFCに比べて大きく広がっている。

PEFC、PAFC、MCFC、SOFCの各燃料電池の特徴を生かした用途開発が進められつつある中で、燃料電池技術開発上の共通課題としてコスト低減の問題の他、それぞれの燃料電池の開発課題も具体化してきている。

PEFCの場合、低温での出力が大きいことを利用して小型の家庭用電源、ポータブル電源、移動体用電源としての用途が開かれつつあるが、その一方で耐熱性が高く水分管理が不要な高分子電解質膜の開発が求められている。電極の白金触媒量の低減、安価で加工性の良好なセパレータ材料の開発も実用化への鍵である。移動体用途のPEFCでは水素燃料の貯蔵法、あるいは水素源となる炭化水素、アルコール等の改質法など燃料系技術の点でブレークスルーが求められている。メタノール燃料を電池内部で直接改質する形のPEFCであるDMFCは小型化が容易であるために携帯機器用電源としての期待が高まっているが、メタノールに対する耐久性の高い高分子電解質膜・触媒の開発が早急の課題である。

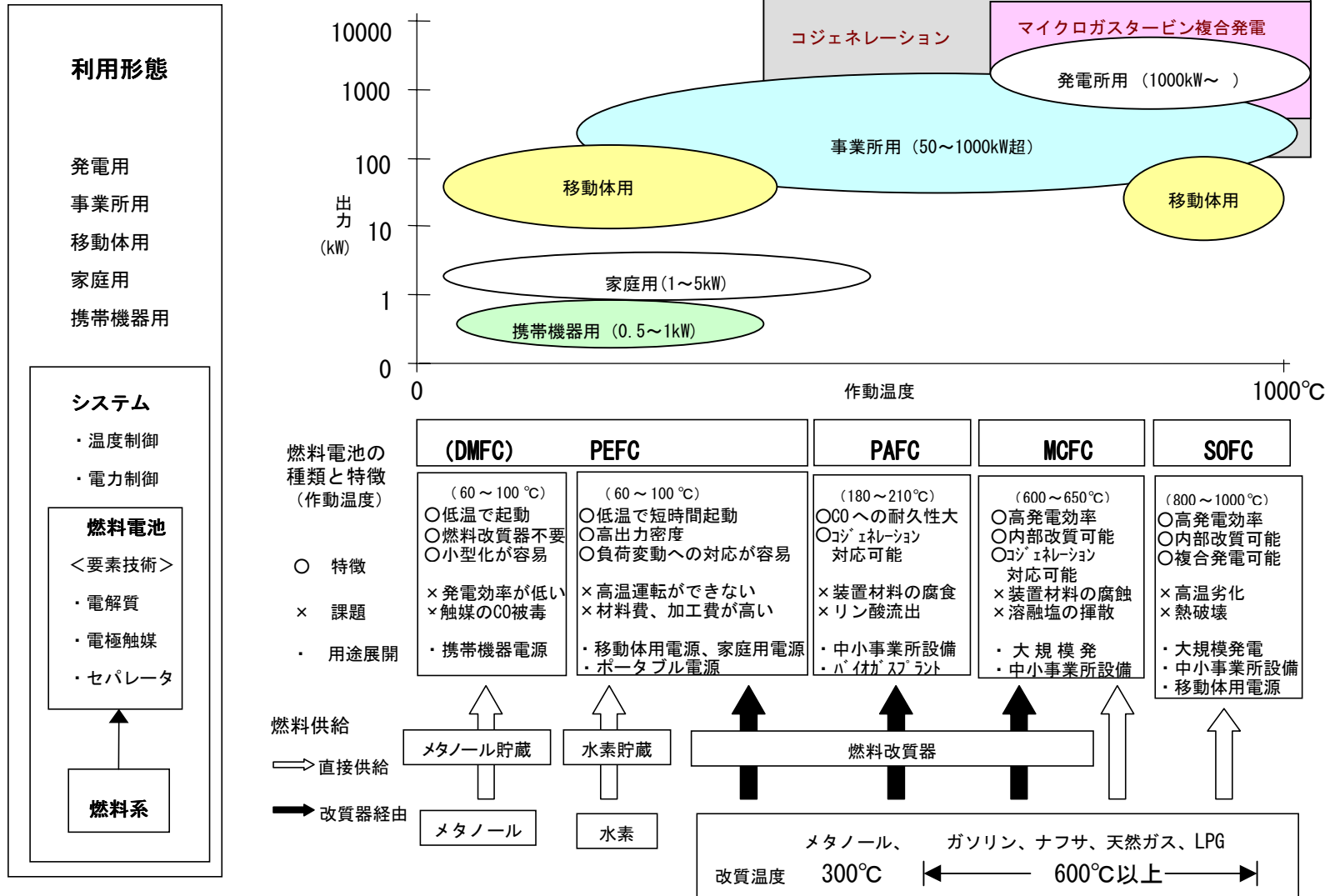
PAFCとMCFCはともに数10kW～1000kW級の定置形分散電源として開発が進められているが、両者ともに電解質が金属を腐蝕しやすい液体であり、装置材料の低コスト腐蝕防止対策とともに電解質の流出・揮散防止のための技術改良が必要である。

SOFCはマイクロガスタービンなどと組合せた高効率複合発電装置として開発への期待が大きい。他方、移動体用など小型電源としては起動停止の多い使用条件下でのヒートサイ

クルに対する耐久性を確保するため、低い温度で運転可能な電解質・電極材料およびシステム構成の両面で早急な技術開発を行う必要があり、燃料電池のセルおよびスタックにかかる熱負荷を低減するとともに、スタックを構成する材料に安価な汎用金属が使用できるようにする必要がある。

本動向調査では、燃料電池技術の中で近年特に用途の多様化展開が進められている **PEFC** と **SOFC** に注目し、特許出願動向と技術開発情報の解析を行うことによって現状技術の課題と今後進むべき技術開発の方向を抽出していくことに注力した。

第3図 燃料電池の技術俯瞰



## 5. 市場動向

第2表に燃料電池販売価格の現状と予測を示した。現時点での定置形燃料電池による発電コストは従来型火力発電コストに比べて割高なものとなっており、燃料電池が本格的に市場に投入されるためには従来型発電システムに対抗しうる電池価格設定が必要である。さらに自動車への燃料電池の適用に関しては、現行技術との代替を行うには1kW当り5,000円という価格水準が要求されており、燃料電池製造技術の大幅な革新が必要とされる。

第2表 2005年の燃料電池価格の目標

燃料電池形式	価格			
	現状価格 (本体価格)	出典	目標価格 (本体価格)	出典
PAFC	40~80 万円/kW	1)	30 (2006年) 万円/kW	2)
MCFC	180~300* 万円/kW	3)	100* 万円/kW	3)
SOFC (定置形)	数千~数万 \$/kW	4)	1000~1500 \$/kW	5)
PEFC (家庭用)	数百 万円/kW	6)	30~50 万円/kW	6)
PEFC (自動車用)	数百 万円/kW	6)	0.5 万円/kW	6)

1) 2000年1月27日、第2回総合エネルギー調査会・新エネルギー部会

「新エネルギーの潜在性と経済性」

2) (社)日本電機工業会、燃料電池の導入促進と実用化開発に関する要望書(1999年)

3) 第28回MCFCセミナー(1998年2月)

4) 資料間の差が大きく範囲を特定できず。

5) Hydrogen & Fuel Cell Letter, August 1999, Vol.XIV/No.8, p1, p8-9

6) 燃料電池実用化戦略研究会 第9回研究会報告書(2001年1月22日)

注) \* MCFCのスタック製作価格

第3表には燃料電池市場規模の現状と予測を示した。現時点においては日本で燃料電池の市場を形成していると言えるのはPAFCのみであるが、これから急速に市場が成長するのはPEFCであると予想されている。比較として太陽光発電を見ると、日本における現在のシステム価格は約90万円/kWと高価であるが、政府の補助金交付の下に1999年には6万kW、約600億円の市場を国内で形成した(「O plus E」2000年7月号p.860)。この金額に比べるならば燃料電池市場の短期的展開に対して現在は慎重な予測がなされていると言えよう。米国におけるPEFCの市場は日本に比べ大きな予測が立てられている。

第3表 燃料電池の市場規模

燃料電池形式	市場規模(1999年)			市場規模予測(2005年)		
	日本 (億円)	北米 (million\$)	欧州	日本 (億円)	北米 (million\$)	欧州 (million\$)
PAFC	10.4	23.0	—	23.0 (PAFC~ SOFC)	24.7	45.5 (PAFC~ SOFC)
MCFC	—				90.7	
SOFC					40.0	
PEFC					30.0	

(出典：(社)日本電機工業会 1999年度燃料電池生産量統計調査報告,2000.10 および燃料電池開発情報センター、FC NEWS LETTER,13(2),2000,DEC より作成)

## 6. 特許出願にみる日米欧の競争力比較<sup>1</sup>

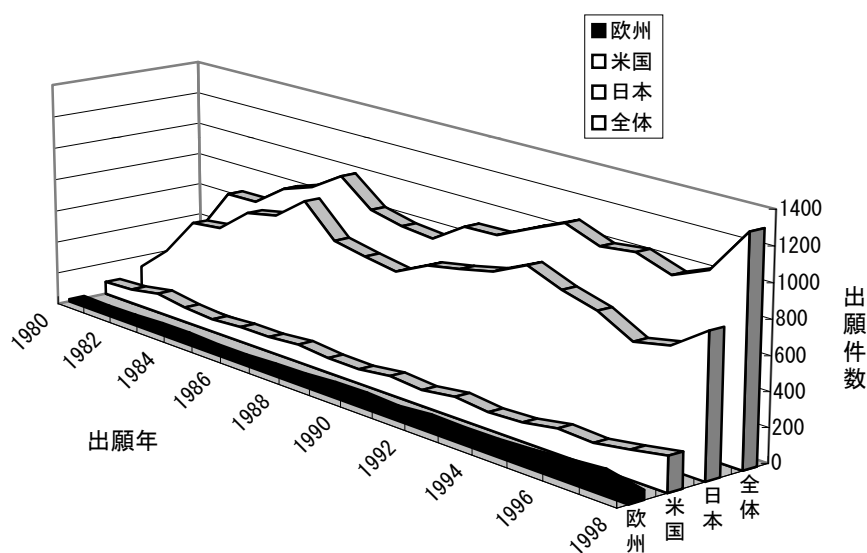
### 6.1 燃料電池特許の出願状況

#### (1) 燃料電池特許の年度別出願推移

WPI 検索による抽出燃料電池特許 17,002 件の年度別出願状況を第 4 図に示した。

全世界では 1986 年、1993 年に出願の大きなピークが存在する。また、1998 年の出願件数は急激な増加を示している。日本における出願がこの内の大半を占めるため、全世界での傾向と日本における特許出願傾向とはほぼ同じである。日本においては 1994 年 12 月に「新エネルギー導入大綱」が国の基本政策として定められ、燃料電池が新エネルギーの一つとして認知された。また、1997 年 6 月に日本で「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法（新エネ法）」が施行されたこと、同じく 1997 年 12 月に地球温暖化防止京都会議（COP3）が開催されて二酸化炭素削減の世界的な気運が高まったことが燃料電池の技術開発を加速して 1998 年の出願増につながったと見ることができる。

第 4 図 燃料電池関連特許の出願数推移（WPI）



検索式：付録参照

<sup>1</sup> 以下における出願件数のデータは、日本、欧州については公開された特許出願、米国については登録された特許出願を対象として取得。

## (2) 燃料電池の形式別特許出願状況

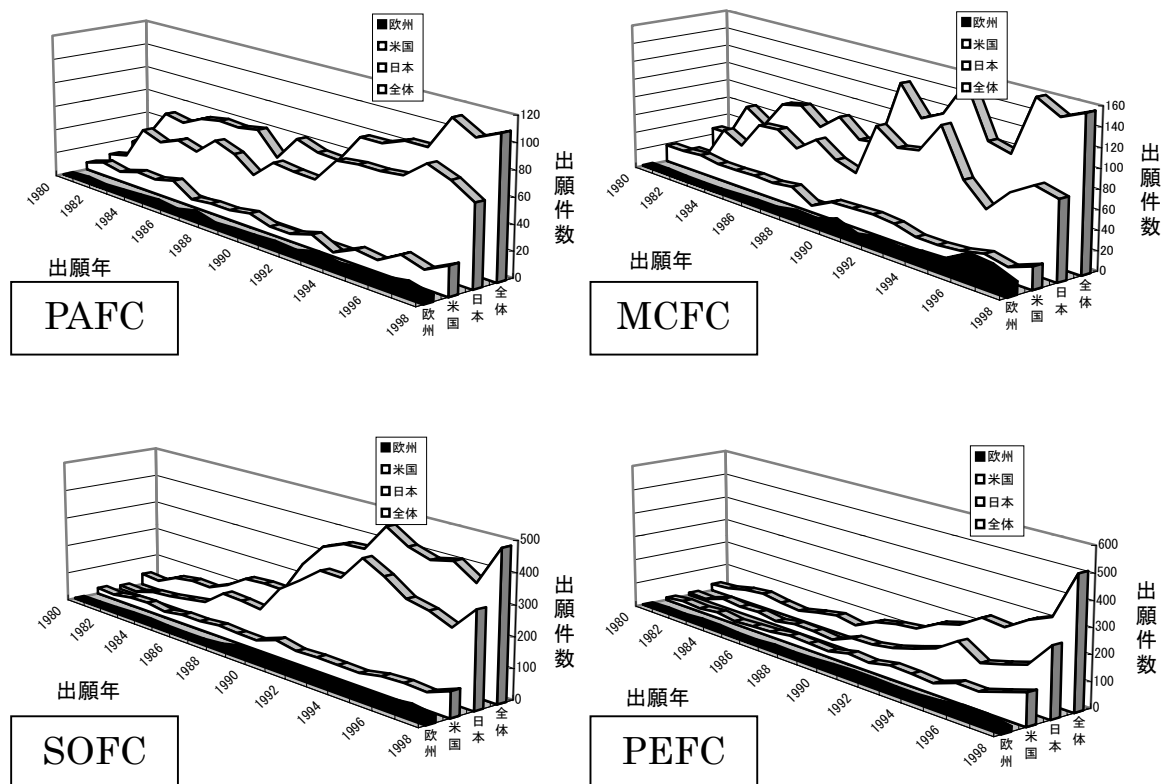
燃料電池形式別出願状況を日米欧についてまとめた。第5図に燃料電池の形式別特許出願件数の推移を示す。

いずれの形式の燃料電池についても日本の出願件数は米欧の出願件数を大きく上回っており、そのため日本の出願傾向は全世界の傾向に大きな影響を与えている。しかし、PAFC、MCFCに関する出願は日本では近年停滞または減少の傾向であるのに対し、米国においてはPAFC、MCFCとも1998年に出願件数の増加などの違いが見られる。全世界的には、1990年代後半からはSOFC、PEFCに関する出願件数がPAFC、MCFCの出願件数を大きく上回っており、SOFCとPEFCに関する技術開発競争が激化している。

第5図に示すように、SOFCは1993年に極大があり、一旦減少するが1998年には再び増加に転じている。1993年のピークは日本における出願件数の影響であるが、COP3が開催された翌年の1998年には日米とも増加に転じている。

PEFCは他の燃料電池と比べると日本と米欧との出願件数の格差は小さい。出願件数はここ数年日米欧とも増加の傾向にある。日本ではCOP3の翌年の1998年に前年よりも出願数が一挙に100件近く増加している。

第5図 日米欧燃料電池関連特許出願件数の推移



検索式：付録参照

(3) 出願件数からみたリーディングカンパニー

第4表はWPIで各燃料電池の特許出願件数を出願人別に検索した結果から、日本、北米(米国とカナダ)、欧州のそれぞれにおける出願件数上位の出願人4社を出願件数の多い順に並べて示したものである。

いずれの形式の燃料電池においても日本の出願件数上位は大手の電機・重工・エネルギー企業が独占しており、リーディングカンパニー集団を形成している。

北米においては、Ballard Power Systems社、United Technologies、International Fuel Cellsといった燃料電池を核にして活動する企業が特許出願件数でも上位を占めている。

欧州では、重工・重電の大手であるSiemensが全ての燃料電池について多数の出願を行っているが、HoechstやAventisなどの素材メーカー、Forschungszentrumのような民間研究機関が上位を占めていることが注目される。

第4表 特許出願件数から見たリーディングカンパニー (WPI)

燃料電池形式	出願人国籍	特許出願件数から見たリーディングカンパニー
PAFC	日本	富士電機、東芝、三菱電機、日立製作所
	北米	IFC, UT, WESTINGHOUSE, DOE
	欧州	SIEMENS, AVENTIS, JOHNSON MATTHEY, INST FRANCAIS DU PETROLE
MCFC	日本	石川島播磨、東芝、三菱電機、日立製作所
	北米	US DEPT ENERGY, IFC, INT GAS TECHNOLOGY, ENERGY RES CO.
	欧州	SIEMENS, MTU, FORSCHUNGSZENTRUM, STICHTING ENERGY
SOFC	日本	三菱重工、富士電機、東京ガス、東芝
	北米	WESTINGHOUSE, IFC, DOE, UT
	欧州	SIEMENS, BROWN BOVWRI, ABB, FORSCHUNGSZENTRUM
PEFC	日本	三菱重工、松下電器、富士電機、三洋電機
	北米	BALLARD POWER SYSTEMS, IFC, WESTINGHOUSE, DOW CHEM CO.
	欧州	SIEMENS, FORSCHUNGSZENTRUM, HOECHST, AVENTIS

(注) 略号 UT: UNITED TECHNOLOGIES CO. IFC: INTERNATIONAL FUEL CELLS CO.  
DOE: 米国エネルギー省

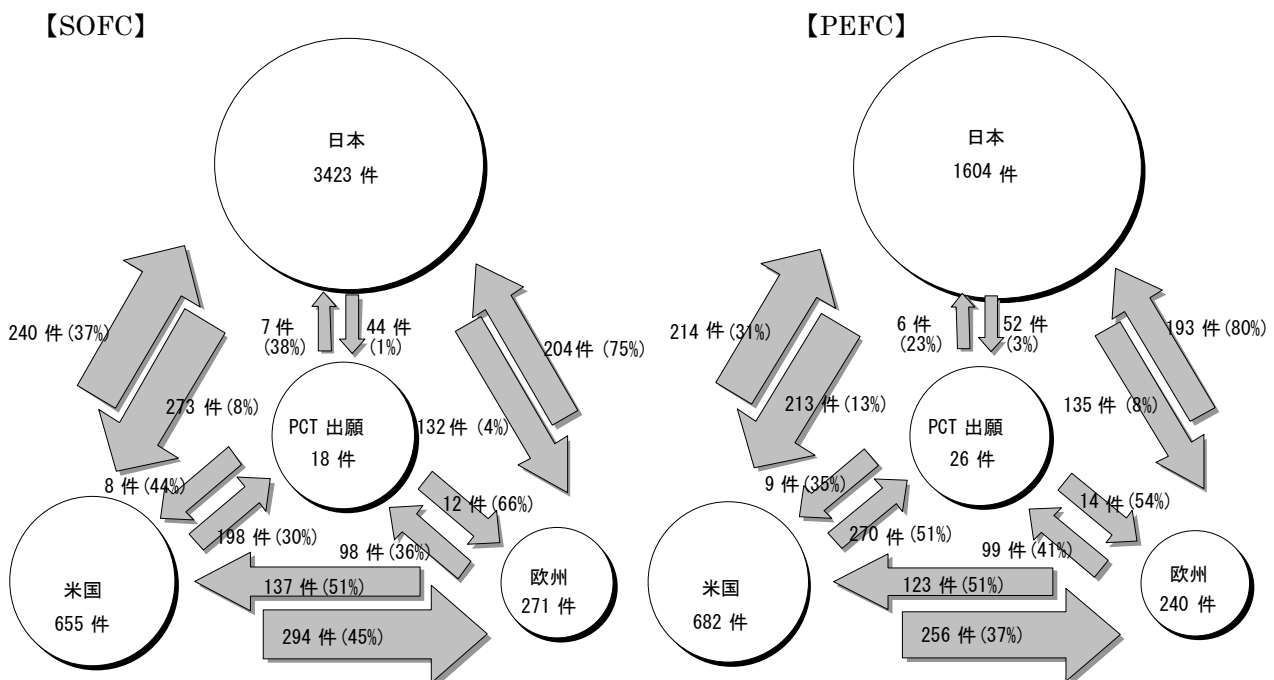
## 6.2 日米欧の競争力比較

第6図は燃料電池関連特許の中でも近年特に出願件数が多く、技術開発競争が激しいSOFCとPEFCに関して日米欧特許出願の国際的広がりを示したものである。

SOFCでは日本、米国、欧州に第一国出願された件数はそれぞれ3,423件、655件、271件となっている。日本への出願が他を圧倒している。日本から米国への第二国出願件数と米国から日本への第二国出願件数はそれぞれ273件と240件であり大差はない。また、日本から欧州への第二国出願件数と欧州から日本への第二国出願件数はそれぞれ132件と204件であり、欧州から日本への出願の方がやや上回っている。

PEFCでは日本、米国、欧州に第一国出願された件数はそれぞれ1,604件、682件、240件となっている。日本への出願が他を圧倒している。日本から米国への第二国出願件数と米国から日本への第二国出願件数はそれぞれ213件と214件でありほぼ同数である。また、日本から欧州への第二国出願件数と欧州から日本への第二国出願件数はそれぞれ135件と193件であり、欧州から日本への出願の方が上回っている。

第6図 特許出願件数の日米欧対応比較(SOFC、PEFC) (検索DB:WPI)



注： 図の（ ）中の％は第二国出願件数の第一国出願件数に対する比率を示す。

例えば【SOFC】の図において日本から米国に向けた矢印上の273件(8%)とは日本から米国へ第二国出願された件数が273件であり、これは日本への第一国出願3,423件の8%に相当することを意味する。

## 7. 固体高分子形燃料電池 (PEFC)

### (1)PEFC の要素技術に対する日米欧の出願状況

第7図は各国別のPEFCに関する要素技術に対する関心の状況を示したものである。この図では、PEFCの出願件数全体（パテントファミリーによる重複は排除）に対する各要素技術に関する出願件数の比率により、各国における関心の度合いをあらわしている。

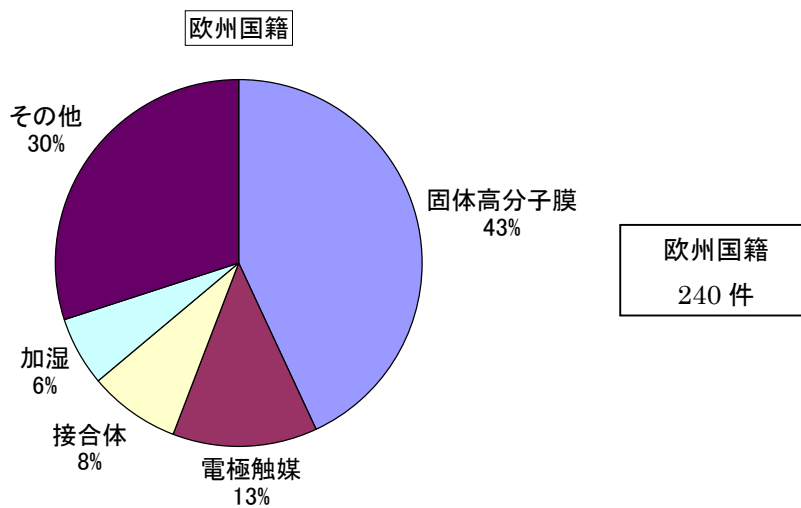
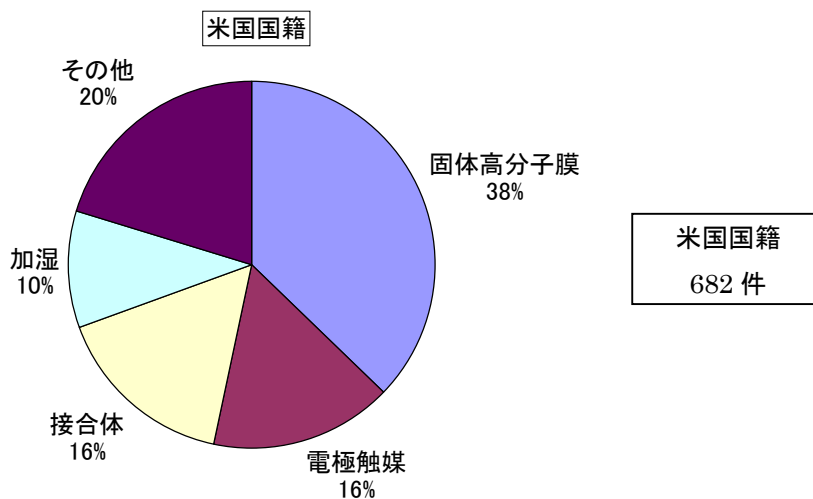
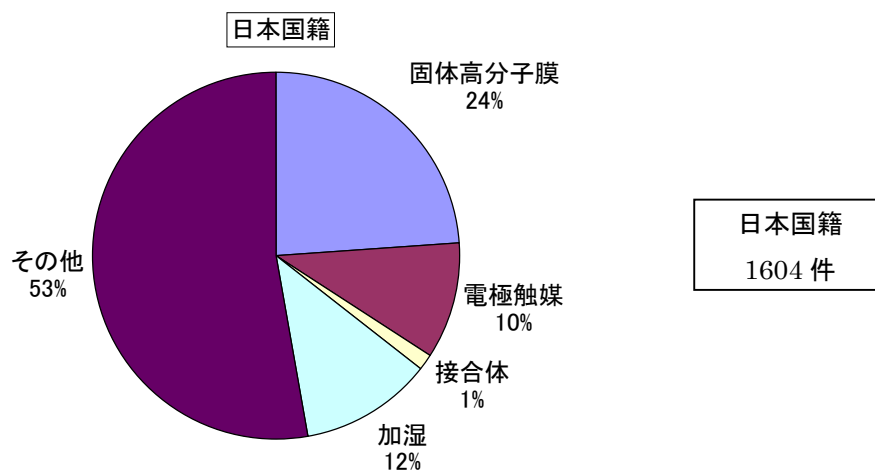
日本の特許出願内容を見ると、PEFC本体の発電性能に直接関与する固体高分子膜・電極触媒・接合体・加湿といった技術に関する出願は全特許件数の47%であり、それ以外の技術項目にも大きな関心が払われている。すなわち、周辺補機を含むシステム全体をカバーするための技術にも関心が高い。反面、接合体の技術に関する出願の割合は米国・欧州に比べて少なく、この技術領域において日本は欧米よりも弱い部分があるとも言える。

これに対し、米国では固体高分子膜・電極触媒・接合体・加湿といった技術に関する出願が全件数の80%を占めている。日本とは対称的に接合体に関する技術の特許が突出して多く、欧州諸国と比べても群を抜いている。接合体部分も含め、PEFCシステムの周辺技術よりも核心部分の技術開発を非常に重視していることがうかがえ、PEFC技術本体の部分で他国を圧倒しようという戦略とも受け取れる。

欧州諸国は、日本と米国との中間的な出願状況である。他の2国と比べ、固体高分子膜に関する技術の割合が高く、加湿技術の割合が低い。PEFCを構成する部品（素材）の開発を特に重視する傾向がうかがえる。

出願内容から総合的に判断すると、日本の出願はPEFCシステム全体の完成度を高めることを目指した技術開発が多く、既存要素技術を実用化することを強く意識しているのに対し、欧米では新規材料の発明も含めてPEFCの基本構成部の性能向上を目指した技術開発が多い傾向にある。したがって、今後日本がPEFC技術において欧米に遅れをとる部分として最も懸念されるのは、固体高分子膜をはじめとする材料開発の点にあると推測される。

第7図 各国のPEFCへの技術的関心（検索DB:WPI）



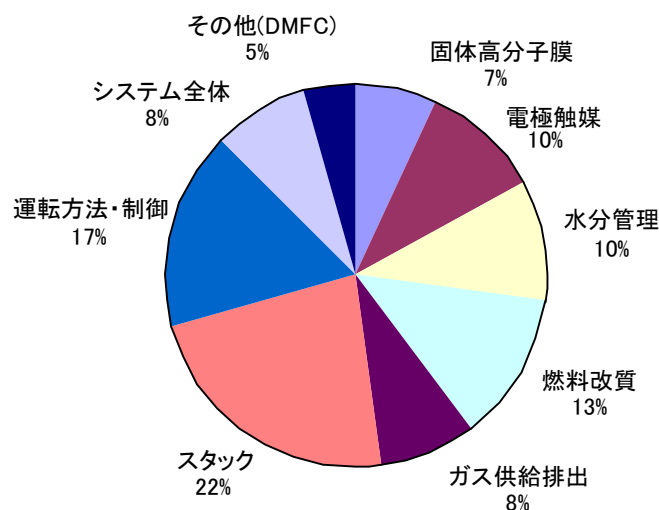
PEFC におけるリーディングカンパニーのケーススタディの一例として Ballard Power Systems 社の特許出願状況を以下に示す。

Ballard Power Systems 社は北米における第一国出願件数が 88 件と北米での特許出願件数は第 1 位であり、その約 70%は既に特許登録されている。Ballard Power Systems 社の技術は国際的に強い影響力を有しており、世界の有力自動車メーカー多数が同社の PEFC を用いた燃料電池自動車の開発を進めている。

第 8 図は、Ballard Power Systems 社特許の要素技術別割合を示したものである（パテントファミリーによる重複は排除）。第 7 図に示したように、欧米企業全体で見ると、固体高分子膜および電極触媒に関する特許出願が全出願件数の 50%以上を占めている。これに対し、Ballard Power Systems 社の全出願件数に占める固体高分子膜関連出願および電極触媒関連出願の比率は併せて 17%と少なく、スタック、運転方法・制御、ガス供給排出などのシステム開発に関わる特許出願の比率が大きい。

Ballard Power Systems 社は自動車をはじめとする最終製品形態へ PEFC を適用することに重点をおいた研究開発を行っているため、システム関連特許の出願数が多くなっているものと考えられる。すなわち、同社の研究開発においては PEFC の実用化技術の優先順位が高いとすることができる。

第 8 図 Ballard Power Systems 社 出願特許の要素技術別割合 (検索 DB:WPI)



## (2)固体高分子膜

PEFCの発電性能に直接的に関わる固体高分子膜について、特許情報に記載される材料組成によって分類すると

1. フッ素系イオン交換膜
2. 部分フッ素化系イオン交換膜
3. 炭化水素系イオン交換膜
4. 有機無機ハイブリッドイオン交換膜
5. 電解質含浸イオン交換膜
6. 混合イオン交換膜

に分けられる。上記分類別の特許出願状況を第5表に示す。

現在使用されている固体高分子膜はフッ素系イオン交換膜であるが、製造コストが高いことや耐熱性が不足していることから、これに代わる新規構造膜の開発が求められている。近年、部分フッ素化系イオン交換膜や炭化水素系イオン交換膜に関する特許出願数が増加しており、高価なフッ素系イオン交換膜に代わる低コスト膜の研究開発が活発化している。殊に高耐熱性、耐溶剤性、低価格化を目的とした新規構造膜として炭化水素系イオン交換膜に関する出願が増加している。

第5表 固体高分子膜別特許出願状況（検索DB: PATOLIS）

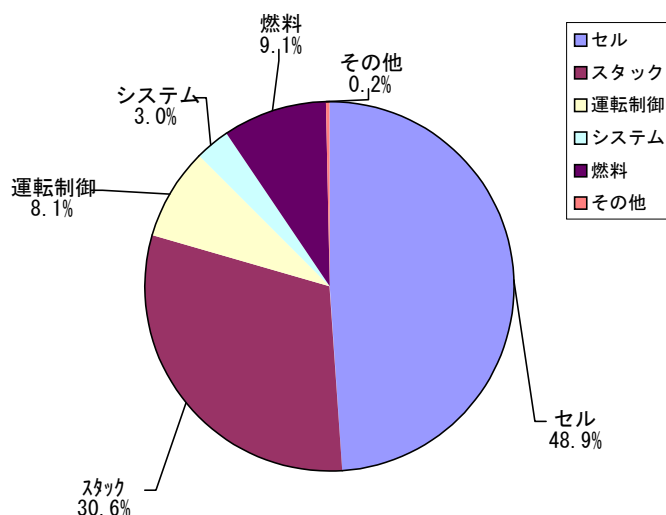
膜材料	構造・方法	1970	1980	出願年								
		年代	年代	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
フッ素系	単膜	3	1		1		1	1		1	3	1
	含浸							1	1			2
	ファイバー、セラミック含有		1			1	2	2		2	1	2
部分フッ素化系								1	2	1	2	7
炭化水素系			2				3	1	3	2	4	4
有機無機ハイブリッド												1
含浸(フッ素系以外)			1			1	2	2		2		
混合膜									1	2	1	3

## 8. 固体酸化物形燃料電池 (SOFC)

### (1) SOFC の要素技術に対する出願状況

SOFCに関する日本国内特許の要素技術別出願状況 (PATOLIS) を第9図に示す。出願された特許の内容はセルに関するものが約50%、スタックに関するものが約30%であり、セルとスタックの関係だけで約80%を占めている。SOFCの実用化を図るには、システムや運転制御等、特許出願であまり注力されていない技術についても、開発を進めていく必要があると思われる。

第9図 SOFCの要素技術別出願状況 (検索DB: PATOLIS)



SOFCのセル構造としては、平板形状の単セルを重ね合わせた平板形と多孔質円筒支持管の上に電極・電解質・インターコネクターを形成した円筒形が代表的なものであるが、どちらの基本構造も1960年代から1970年代にかけて欧米企業によって開発された。1980年代からは米国、日本を中心に新しいタイプのSOFCの開発が進められ、1990年代に入ってSOFCに関する特許の出願数は急増した。

## (2) 低温動作化技術

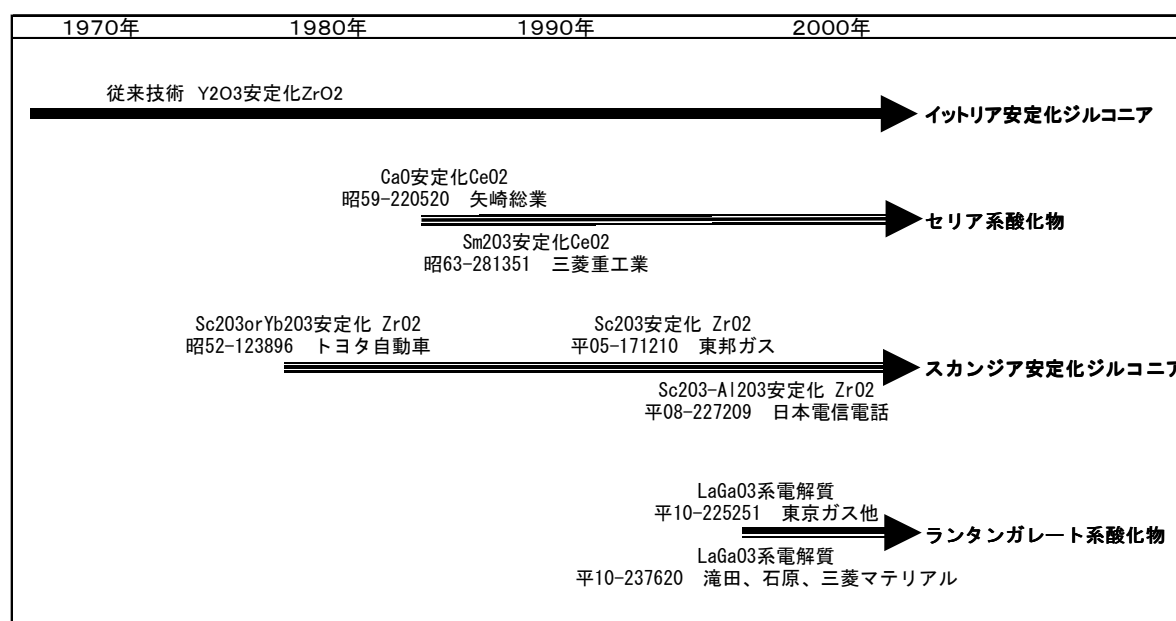
現在の SOFC は 1000℃ 近い高温で運転を行わざるを得ないため、ヒートショックによる部材の破損や高熱による構成部材の劣化が問題となっている。また、高温での耐久性の高い材料を使用しなければならないため、材料コストが高くなるという欠点もある。したがって、SOFC 作動温度の低下は、構成部材の長寿命化および低コスト化につながり、SOFC 実用化のための重要な鍵となる。SOFC 動作温度の低温化に関する特許は 1990 年以降、出願数が増えている。

動作温度の低温化を達成するには SOFC の構成部材の低温における電気伝導度を向上させることが大きな技術課題となる。この課題に関わる要素技術としては、電解質材料、インターコネクター（セパレータ）材料、集電体材料が重要である。以下に必要な要素技術に関する特許出願動向を記す。

### ① 電解質材料

SOFC の低温動作化に向け、従来主に用いられてきたイットリア安定化ジルコニアよりも高いイオン導電率を示すセリア系酸化物、スカンジウム安定化ジルコニア、ランタンガレート系酸化物などについての研究開発が進められている。第 6 表は電解質の高イオン導電化に関する特許出願の変遷を示したものである。特許内容を詳細に解析し、材料組成の開発および製造技術の開発の上で最先出願であると判断された特許を表中に記した。動作温度としては、500～700℃ で利用できる電解質材料及び製造技術が望まれている。

第 6 表 電解質の高イオン導電化に関する技術変遷 (検索 DB : PATOLIS)



注：番号は特許出願番号

## ② インターコネクタ（セパレータ）材料

インターコネクタ材料としては、大きく分けてランタンクロマイトを主成分とした酸化物系の材料と、Ni-Cr 系、Fe-Cr 系の合金系の材料が検討されている。ランタンクロマイト系の材料はセラミックスであり 1000℃近くの高温における耐久性が優れている。一方、動作温度が 700℃近くまで低下すれば、これまで使用できなかった新しい合金系材料がインターコネクタに使用されるようになる可能性があり、SOFC の製造コストを大幅に低減できる可能性がある。ニッケル-クロム系合金、鉄-クロム系合金がその候補材料として検討されている。

## ③ 集電体材料

SOFC の場合、集電体用材料としては、インターコネクタに用いられる酸化物系および合金系材料が併用されているケースが殆どである。平板形 SOFC では、インターコネクタ材料であるランタンクロマイトを用いるケースが多いが、弾力性のある導電性フェルト材を用い、昇降温時に発生する材料の熱膨張率の違いによる歪を緩和する技術も提案されている。

### (3) SOFC 技術の開発課題

SOFC に関する特許出願傾向から見ると、今後の開発課題は

#### ① 運転温度の低温化

新規高イオン導電性電解質材料の開発

電解質の薄膜化技術の開発

#### ② 燃料電池システムの低価格化

湿式法による製造方法の開発

材料製造プロセスの改良

#### ③ 起動停止時の温度変化に対する耐熱衝撃性を有する燃料電池の開発

材料の熱膨張率のマッチング、構造など

が中心となってくると考えられる。

特に円筒形においては湿式法による安価なセルの製作が、平板形では熱サイクルに耐えられるセル構造と材料の開発およびシール技術の開発が重要であると考えられる。

## 9. 技術開発の方向性と取り組むべき課題

日米欧の燃料電池開発は環境、エネルギーに対する国家施策を背景に PAFC、MCFC、SOFC の順で実用化開発が行われてきた。最近 PEFC が家庭用コジェネレーション、自動車用途として大きな注目を集め、急速に開発が進められている。また、SOFC についてはマイクロガスタービンとの複合発電などの大型システム開発が進む一方で、自動車用補助電源などの小型電源としての技術開発にも関心の高まりを見せている。

日米欧の燃料電池開発の指向性を比較すると、日本では燃料電池システム全体の完成度を高めることを目指した総合的な技術開発が行われているのに対し、欧米では燃料電池の基本要素技術の革新を目指した技術開発が多い。日本は SOFC に関して、セル、スタックの基本構造の面で課題が多く、PEFC では固体高分子膜など基本材料の面で新規技術の開発が遅れている。また DMFC について見ると、海外における研究開発の活発化に比較して日本での DMFC に対する関心の高まりは未だ弱い。

今後燃料電池の実用化、商用化段階においては電池コストの低廉化に加えシステムコストの低廉化が最重要課題であり、また、燃料電池の用途拡大のためにはシステムを軽量小型化していくことが必須の課題である。これらの課題を解決していくためには、低価格新規材料の開発、コンパクトなスタックシステムの開発、高密度水素貯蔵技術の開発、燃料改質を必要としない燃料系と発電システムの開発といったことがブレークスルーの鍵となる。

こうした観点から、燃料電池普及のための具体的な研究開発項目として以下のようなものが挙げられる。

- (1) 小型化に適した平板形 SOFC のセルスタック及びシステムの開発
- (2) PEFC のための新規固体高分子膜の開発
- (3) 高密度水素貯蔵技術の開発
- (4) 燃料改質が不要で携帯用電源等に有望な DMFC の技術開発
- (5) MCFC を含め燃料を直接改質できる燃料電池技術の改良

特許出願動向から明らかなように、自動車、家庭用コジェネレーションの用途での PEFC、SOFC の開発においては国際競争力を有する欧米のベンチャー企業が多数、燃料電池開発に携わっているだけに、日本でも実用化への鍵となる技術の基礎研究を充実させていく必要がある。

《付 録》

【母集団検索式】

(検索 DB : WPI、検索日 : 2001.3.5)

	検索式	件数
S1	IC=H01M-008/00:H01M-008/24	13860
S2	IC=H01M-004/86:H01M-004/98	4238
S3	IC=C01B-003/00 OR IC=C01B-003/32 OR IC=C01B-003/38 OR IC=C01B-003/58 OR IC=C04B-035/00 OR IC=C04B-035/49:IC=C04B-035/499 OR IC=C04B-035/500:IC=C04B-035/505 OR IC=C04B-035/48:IC=C04B-035/488 OR IC=C04B-038/00 OR IC=C04B-038/002 OR IC=B01J-023 OR IC=H02J-003/00:IC=H02J-003/006 OR IC= H02J-003/38 OR IC=H02M-007/00:IC=H02M-007/006 OR IC= H02M-007/48 OR IC=H01B-001 OR IC=G05F-001	103160
S4	(FUEL AND CELL?) OR (FUEL AND BATTER?)	22512
S5 (母集団)	S1 OR S2 OR (S3 AND S4)	17002

【形式別検索式】

SOFC	1	SOFC? OR (SOLID AND OXIDE?) OR CERAMIC? OR (SOLID AND ELECTROLYT?) OR ZIRCONI?	226928
	2	(HIGH AND TEMPERATURE) NOT (CARBONATE? OR POLYM? OR ACID?)	104191
	3	(TUBULAR? OR PLANER? OR (FLAT AND PLATE?) OR (TUBE AND CELL?) OR MONOLITHIC) NOT (CARBONATE? OR POLYM? OR ACID?)	212110
	4	ZIRCONI?+CERI?+PEROVSKITE?+CERAMIC?+(COMPLEX*OXIDE?)+(BISMUTH*OXIDE?)+STABILIZED+YSZ+PSZ+SSZ+SCAND?+LANTHAN?	218050
	5	STRONTIUM+BARIUM+GALATE?+CERATE?+TITANATE?+NIOBATE?+ALUMINA?	111527
	6	4 OR 5	298020
	7	6 AND ELECTROLYT?	8178
	8	1+2+3+7	527584
	9	8 NOT ((SECONDARY AND BATTER?) OR LITHIUM)	521137
	S5*(9 OR MC=X16-C01A OR MC=X16-J01C OR IC=H01M-008/12)	4728	

PEFC	1	(SOLID? AND POLYMER?) OR (POLYMER? AND ELECTROLYT?) OR (PROTON? AND EXCHANGE? AND MEMBRANE?) OR PEM OR PEMS	66711
	2	PEMFC OR PEMFCS OR SPE OR SPES OR SPFC OR SPFCS	298
	3	(MEMBRANE? AND ELECTROD? AND ASSEMBL?) OR MEA OR MEAS OR FLEMION? OR ACIPLEX? OR NAFION?	1699
	4	(POLYMER? AND (CELL? OR BATTER?))	58035
	5	ION? AND EXCHANGE? AND MEMBRANE?	5206
	6	CATION? AND EXCHANGE? AND MEMBRANE?	3063
	7	PROTON? AND (CONDUCTIVITY? OR CONDUCTOR?)	532
	8	ELECTROLYT? OR EXCHANGE? OR POLYMER	847680
	9	8 AND MEMBRANE?	24586
	10	PEFC OR PEFCS OR (DOW AND (FILM? OR MEMBRANE?))	114
	11	PEM OR PEMS OR PEFC OR PEFCS OR PEMFC OR PEMFCS OR SPE OR SPES OR SPFC OR SPFCS	508
	12	(POLYMER AND ELECTROLYTE AND MEMBRANE?) OR (POLYMER AND ELECTROLYTE AND FUEL AND (CELL? OR BATTER?))	1501
	13	(POLYMER AND ELECTROLYTE AND MEMBRANE AND FUEL AND (CELL? OR BATTER?)) OR (SOLID AND POLYMER AND FUEL AND (CELL? OR BATTER?))	987
	14	MEA OR MEAS OR FLEMION? OR ACIPLEX? OR NAFION?	970
	15	(MEMBRANE? AND ELECTRODE? AND ASSEMBL?) OR FLEMION? OR ACIPLEX? OR NAFION?	975
	16	(POLYMER*ELECTROLYTE*MEMBRANE?)+(POLYMER*ELECTROLYTE*FUEL*(CELL?+BATTER?))	1501
	17	16+(POLYMER*ELECTROLYTE*MEMBRANE*FUEL*(CELL?+BATTER?))	1501
	18	17+(SOLID*POLYMER*ELECTROLYTE*FUEL*(CELL?+BATTER?))+(SOLID*POLYMER*FUEL*(CELL?+BATTER?))	1804
	19	PEM OR PEMS OR PEFC OR PEFCS OR PEMFC OR PEMFCS OR SPE OR SPES OR SPFC OR SPFCS OR SPEFC OR SPEFCS	509
	20	1+2+3+4+5+6+7+9+10+11+12+13+14+15+18+19	132950
	21	(DIRECT AND METHANOL) OR (DIRECT AND METHYL AND ALCOHOL) OR DM OR DMFCS?	4901
	22	20 NOT 21	132511
	S5*(22 OR MC=X16-C01C OR MC=X16-J01A OR IC=H01M-008/10)	2874	

**【お問い合わせ先】**

特許庁 総務部 技術調査課 技術動向班

担当：千壽、田代、八町

〒100-8915

東京都千代田区霞ヶ関 3-4-3

電話：03-3581-1101（内）2155

FAX：03-3580-5741

E-mail：[PA0930@jpo.go.jp](mailto:PA0930@jpo.go.jp)