

解説



Review

燃料電池の技術動向と将来

中山 浩^{*1}, 堀 美知郎^{*2}

Development Status and Future of Fuel Cell Systems

Hiroshi Nakayama and Michio Hori

Synopsis

Fuel cell technology offers an attractive combination of highly efficient fuel utilization and environmentally-friendly operations. In the past decade, fuel cell system has been greatly developed and some products with fuel cell have already introduced to a market. In this paper, we mainly introduce the characteristics of Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC) and Direct Methanol Fuel Cell (DMFC), and the recent advances of domestic and foreign PEFC system at portable, stationary, and fuel cell vehicle (FCV) applications. In addition, the governmental scenario for wider commercialization and the present technical problems such as initial cost and energy conversion efficiency are discussed.

1. はじめに

この数年の間に燃料電池に関する話題が新聞・テレビなどを賑わすようになってきた。2005年3月から6月にわたり開催された「愛・地球博（愛知万博）」においても燃料電池バスをはじめ、水素ステーション、燃料電池搭載の携帯情報機器など、さまざまなタイプの燃料電池を用いた応用機器が示され、水素社会の一端を垣間見られた方も多であろう。

日本では、主に固体高分子形燃料電池（PEFC）、ダイレクトメタノール形燃料電池（DMFC）を中心に、モバイル用燃料電池・定置用燃料電池・自動車用燃料電池の3大分野に多くの企業が参入し、熾烈な実用化競争を繰り広げている。モバイル用では既に実用に近い試作品が発表され、定置用では2005年より大規模な実証事業の開始、そして自動車用では、2002年より官公庁を中心に燃料電池自動車の限定販売が行われるなど、実用化が目前に迫っているような印象を受ける。しかし、その一方で産業技術総合研究所（産総研）を中心としたFC-Cubicの立ち上げや2005年より始まった新エネルギー・産業技術総合開発機構

（NEDO）の固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発事業では、反応・劣化メカニズムの解明、計測評価技術など、未だ基盤研究に重きが置かれている。このように、燃料電池の広範囲な普及には、まだ解決すべき問題が多く残されており、特に自動車用ではコスト削減、発電効率向上、水素貯蔵のために相当な技術的ブレークスルーが必要との認識もある。

とはいえエネルギー資源の乏しい日本において、遅かれ早かれエネルギー問題が深刻化することは目に見えており、化石燃料大量消費社会から水素エネルギー社会へのソフトランディングを行うためにも、燃料電池の果たす役割は極めて重要である。したがって、さまざまな技術的課題が解決されれば、一気に実用化に向かう技術であることは確かである。本稿では、まず注目されているPEFCやDMFCを中心に燃料電池の特徴を紹介し、次に国内外の多くの企業が参入している携帯機器用、定置用、自動車用の3大分野における技術開発ターゲット、2010年には数千億円ともいわれる市場規模に向けて政府が描くシナリオやブレークスルーすべき技術課題は何か、さらには最新の国内外の開発動向などについて解説したい。

2006年7月24日受付

* 1 大同工業大学燃料電池研究センター，工博（Dr., Eng., Fuel Cell Research Center, Daido Institute of Technology）

* 2 大同工業大学機械工学科，工博（Dr., Eng., Mechanical Engineering, Daido Institute of Technology）

2. PEFC の特徴

Table 1 に燃料電池の特徴を示す。燃料電池の主なメリットは①高い発電効率、②高い環境性、③低メンテナンス、そして燃料電池の燃料となる④水素の供給源を多様にできる点にある。こうした特徴に加え PEFC および DMFC は低温起動性と高電流密度での発電が容易であるため、他のタイプの燃料電池であるリン酸形 (PAFC)、熔融炭酸形 (MCFC)、固体酸化物形 (SOFC) に比較して、スタックのコンパクト化が容易で起動性もよい。したがって、PEFC や DMFC は室温からの速やかな起動性を重視した用途、すなわち携帯機器、定置式発電装置、車両用動力など 250 kW 以下の比較的出力の低いタイプに用いられる。一方、作動温度が約 650 °C の MCFC やそれよりもさらに高温の 800 °C ~ 1000 °C レベルで運転される SOFC は高温型燃料電池と呼ばれ、主に高温の排熱を利用したタービンによる複合発電に用いられ、出力 300 kW ~ 数百 MW 級の中・大規模電力事業用が主流となっている。

Table 1. Advantage of fuel cell.

	Advantages
1	High efficiency
2	Low chemical and acoustic emissions
3	Low maintenance
4	Fuel flexibility
5	Reliability
6	Modularity

DMFC を除き、いずれの燃料電池も水素を燃料とするが、基本的には天然ガス、LPG などを原料とする。高温で作動する MCFC や SOFC は、発熱である電極反応と吸熱である改質反応が同時に進行し、電極反応で得た熱をセル内において吸熱の改質反応に利用して電気を取り出すことができるため、改質する必要がなく発電効率は高くなる。一方、PEFC は 100 °C 以下の低温域で作動するため、電極反応で生じた反応熱を吸熱の改質反応に利用できず発電効率は低くなる。したがって、例えば定置用 PEFC では燃料の利用効率を低くし、排出されたガスを燃焼させ、得られた水蒸気を改質反応に用いるのが一般的で、PEFC で発電効率を向上させるためには、高いセル性能が要求される。

現在、PEFC で使用される電解質膜には、パーフルオロスルホン酸系イオン交換膜、炭化水素系膜が使用されている。これらの膜は高含水状態でのみ高い性能を発揮するため、セル内部には高加湿な条件が望まれる。しかしながら、過加湿になるとガスの拡散が阻害され性能が一気に低下する。こうした水の状態は電解質膜の劣化とも関係する

ことが知られており、加湿された水素・空気から供給された水分や、カソード電極反応で生成する水の保持・排出といった、いわゆる水管理が重要となる。

3. PEFC の開発動向

第 1 節で述べたように、我が国において PEFC を用いた応用機器で開発が進んでいるのは、携帯機器・定置用・自動車用であり、目標とする用途や製品の仕様はかなり画一化されている。携帯機器としては、ノート PC および携帯電話、定置用としては 1 kW 級のコジェネレーションシステム、自動車用は 100 kW 級で 2 次電池やキャパシタと併用するタイプにターゲットが絞られている。これは、日本の得意技術分野、エネルギー事情ならびに大手電機・自動車メーカーが、規模の大きな市場を目指した結果を反映している。一方、欧米では自動車用はさておき、ベンチャー企業が軍事用途の携帯機器または業務用機器用途に、やや出力の大きい領域で PEFC を利用する製品開発が進められているのが特徴である。以下では、日本で開発が進む携帯用燃料電池、定置用コジェネレーション、燃料電池自動車を中心に、その開発動向と普及のために必要とされる開発目標を紹介する。

3. 1 携帯用燃料電池の動向

3. 1. 1 携帯用燃料電池の開発目標と課題

2007 年は携帯型燃料電池元年といわれる。これは、航空機内へのメタノールなどの可燃性液体の持込みが 2007 年より解禁されることが理由で、航空機内で燃料電池搭載のデジタル機器を使用できることになる。また 2006 年よりモバイル向け地上デジタル放送が開始され、携帯電話の高機能化が急速に進むため、消費電力と使用時間の激増をもたらし、現在用いられているリチウムイオンバッテリーの性能向上が限界に近づいていることも理由として挙げられる。このような本格的なモバイル時代の到来に対し、携帯用燃料電池は液体燃料の高いエネルギー密度から長時間発電が期待され、また燃料を補給することによって発電を継続できるという特徴を持つため、燃料電池の中では付加価値が高く、最も実用化が望まれている。

現在、携帯型機器に搭載できる燃料電池として開発が進んでいるもののほとんどは、DMFC である。DMFC には燃料や空気の供給にポンプやファンを用いない「パッシブ型」、燃料・空気輸送動力を積極的に用いて高出力で作動する「アクティブ型」が提案されている。パッシブ型は輸送動力を必要としないため、システムは単純化され発電効率が高くなる特徴を持つが、燃料の毛管輸送や空気の拡散輸送に依存するため、アクティブ型に比較して出力密度が

低くなる。一方、アクティブ型は、空気ブロアー、燃料送液ポンプなど多くの補器を必要とし、この補器動力のため発電効率が低くなる。しかし、電池構造部品をスタック構造にすることでコンパクトにでき、電池の出力密度を高くすることができる。この2つのタイプは使用する機器の種類によって使い分けられている。すなわち、携帯電話や携帯型音楽プレーヤーに代表されるように非常に小型・薄型で数 W の出力規模でよい機器ではパッシブ型が有利であり、アウトドア用電源やノート PC のような 10 ～数百 W 以上の出力が要求されるような機器では補器動力の割合も少なくなるため、出力密度が大きいアクティブ型が有利となる。

Table 2 に我が国が提示する DMFC 技術開発の目標を示す¹⁾。当面のターゲットである 2007 年の出力密度は 50 ～ 100 mW/cm² となっている。これは実効的に用いられる電圧 0.4 V での値で、携帯電話機 (10 ～ 20 cm²) に必要な 2 W 程度の電力を、本体に内蔵した燃料電池で賄うことが可能な数値である。2005 年以降、ソニーおよび NEC がパッシブ型 DMFC を用いて最大電流密度 100 mW/cm² を達成したとの発表があった²⁾。いずれもナノテクノロジーを駆使した技術を用いており、当面の目標は達成しようと考えられるが、さらにエネルギー密度、出力密度を向上するには多くの技術課題を解決しなければならない。例えばエネルギー密度の向上には、メタノールの高濃度化が有効であるが、高い水素イオン導伝性を持たせながら、水、メタノール透過性 (メタノールクロスオーバー) を限りなく小さくする電解質膜の開発が要求される。また、出力密度の向上には、触媒の改良 (触媒の微細化、触媒利用率の向上、触媒活性の向上) やスタック構造による有効セル面積の拡大が課題となる。

2007 年での耐久性目標は 1500 時間であるが、これは後述する定置用、自動車用に比較すると要求は緩い。携帯機器はモデルの変化サイクルが早いので、当面 1 ～ 2 年間の動作が保証できればよく、コストにもよるが使い捨てやリサイクルも可能である。したがって、開発を行うにあたり耐久性の向上よりも初期特性向上に重きが置かれている

のが現状である。

3. 1. 2 現在の開発状況

携帯電話とノート PC 用の燃料電池の開発は、日本企業が海外企業に対して一歩リードしている。携帯電話用は、ドコモが富士通研究所、KDDI が日立製作所と東芝とそれぞれ共同で開発を行っている。Fig.1 に示すように KDDI が発表した携帯電話試作機³⁾ は背面部分に DMFC と燃料タンクを内蔵しているが、現状の携帯電話と遜色ないほどコンパクト化が進んでいることがわかる。ノート PC 用では、大手電機メーカー (東芝、日立製作所、NEC、富士通、三洋電機、カシオ計算機) が相次いで試作機を発表している。カシオ計算機を除き、各社とも容量の小さなリチウムイオン電池を補助として用い、アクティブ型 DMFC を主電源として用いるハイブリッド方式である。ハイブリッド方式を採用するのは、起動時に必要とされるピーク電流に対応するためと負荷変動を緩和することで電池寿命を延ばすためである。

携帯型燃料電池は、「高付加価値の発電設備」としての位置づけでさまざまな分野で期待できる。可搬型業務用ビデオカメラ⁴⁾、キャンピングカーの電源⁵⁾、警備用ロボット⁶⁾、電動車イス、情報機器の補助電力をターゲットにした研究開発が進められ、既に一部商用化されているところもある。低コスト化が進めば、応用範囲がさらに拡大することは想像に難くない。



Fig.1. Prototype mobile phones with DMFC (Left: HITACHI, Right: TOSHIBA)⁶⁾.

携帯電話用電池として DMFC が主流であることは否め

Table 2. Development target of DMFC ¹⁾.

Year	Present	2007	2010	2010 ～
Energy density	150 Wh/L	About 300 Wh/L	500 Wh/L	1000 Wh/L
Power density	50 mW/cm ²	～ 100 mW/cm ²	About 100 mW/cm ²	About 200 mW/cm ²
Durability	A few hundred	1500 h	5000 h	10000 h

ないが、近年、燃料の安全性が高いエタノールやエチレングリコール⁷⁾、あるいは出力の高いヒドラジン⁸⁾などの燃料を使うタイプ、またメタノールやボロハイドライドなどから水素を取り出して用いる改質型のPEFC⁹⁾など続々と新しいタイプの燃料電池が発表されている。いずれも先行するDMFCと比べて出力や安全性などを高めることができるとしているが、サイズが大きくなるため、ビデオカメラなど小型でやや高出力が必要な携帯機器をターゲットにした電池といえる。こうした異なるタイプの燃料電池は、DMFCに対する優位性ができれば、一気に主流になりうる。

3. 2 定置用燃料電池の動向

3. 2. 1 定置用燃料電池の開発目標と課題

定置用燃料電池の位置づけは、電気と給湯を同時に供給するコージェネレーション機器である。日本の一般家庭では、電気は商用電力、給湯はガス給湯機で賄い、電気需要の方が給湯需要より大きい。したがって、燃料電池をできるだけ高効率で使用するため、家庭の給湯需要を満たすように運転し、不足する電気については商用電力を活用する。

定置用燃料電池の普及は、本格的な水素エネルギー社会への移行の布石となるだけでなく、増加し続けるCO₂排出量削減、エネルギー供給源の多様化、新規産業・雇用創出の切り札としても期待されている。Table 3に政府が描く都市ガスを原燃料とした定置用燃料電池(PEFC)の技術開発目標を示す¹⁾。同表において、当面の目標である2007年度の発電効率は32%HHVで、最終目標は36%HHVである。同じ都市ガスを燃料とする大規模コンバインドサイクルの発電効率が約50%HHVであるから遠く及ばない。これは前述したように、定置用PEFCでは燃料改質過程のエネルギーのムダがあるためである。ただし、こうしたコンバインドサイクルに対するPEFCの強みは、温水として回収するエネルギーを併せて、80%程度の高い総合効率を得ることにある。

Table 3. Development target of residential PEFC¹⁾.

Year	2007 Installation	2010 Popularization	2020 Wide popularization
Power generation efficiency	32 %HHV	32 % HHV	36 % HHV
Durability	20000 h (3 year)	40000 h	90000 h (10 year)
Temperature	70 °C	70 °C	90 °C
Cost (per kW)	¥1.2million	¥0.7million	¥0.4million






定置用燃料電池の普及に向けての最大の課題はコストである。現状の1kW級の燃料電池(2005年モデル)の製造価格は800万～1000万程度といわれており、当面の目標である2007年度のシステム価格を120万程度(現状の1/7)に落とすことは、量産によるコスト低減効果を勘案してもやや厳しい目標といえる。さらなるコスト削減のため、2005年より始まったNEDOの「固体高分子型燃料電池実用化戦略的開発事業」では、定置用燃料電池の低価格で高耐久性を持つ電解質膜、改質器、補機類(圧力計、プロア、ポンプ)の開発に資金投入され、部材メーカー間で構成モジュールの共同開発・共用化を図る試みがなされている。2020年のコスト目標に到達するには無加湿MEA、白金などの貴金属量の大幅な低減が必須であり、産学官の連携による長期的な研究開発が求められる。

3. 2. 2 現在の開発状況

定置用燃料電池の早期普及を図るため、経済産業省の外郭団体である新エネルギー財団は量産技術の確立とそのためのデータ収集を目的として、2005年度より3年間に渡りモニター事業「定置用燃料電池大規模実証事業」¹⁰⁾をスタートさせた。一般家庭を中心に2005年に家庭用燃料電池480台、2006年にはさらに700台の実証試験を行うとしている。この実証事業の初年度報告によれば、季節にもよるが20%程度のエネルギー削減率、30%のCO₂削減率が達成されており、順調な省エネ効果が見られている。この事業を皮切りにコスト削減が進めば、2010年には普及期に入り、2030年には定置用燃料電池の総発電出力を1250万kWにしたいというのが政府の描くシナリオである。Table 4は実証事業に参加している主な家庭用コージェネレーションシステムの外観、出力、効率を一覧表として示したものである^{11)～15)}。同表に示すように一般家庭の電気消費量が1kW以下であることを考慮し、各社とも発電出力を約1kWとしている。また既存の燃料供給インフラを利用するため、都市ガス、灯油、LPGを用いる各種定置用PEFCシステムが開発され、実証試験が行われている。この表に記載した以外にも、三菱電機¹⁵⁾、石川島芝浦機械¹⁵⁾、コロナ¹⁵⁾、富士電機アドバンスドテクノロジー¹⁵⁾など多くの企業が家庭用コージェネレーションの開発や実証試験を始めている。米国でも定置用PEFCコージェネレーションシステムの開発が行われているが、緊急バックアップ電源としての位置づけであり、発電出力は約5kW級の開発が主となっている。

定置用燃料電池としてPEFCが主流であるが、2005年に京セラ、三菱マテリアル、TOTOが相次いでSOFCを用いる方式を発表した^{16), 17)}。既に述べたようにSOFCの作

Table 4. Specification of residential PEFC.

Company	Panasonic	EBARA ballard	Toshiba Fuel cell Power systems	TOYOTA (AISIN)	SANYO
Figure					
Fuel	City gas	City gas/kerosene	City gas/LPG	City gas	City gas/LPG
Rated power	1 kW	1 kW/950 W	700 W	1 kW	750 W
Electrical efficiency HHV	31 % ~	31 % ~/-	32 % ~ / 30 % ~	34 %	- / 31 % ~
Total efficiency HHV	71 % ~	71 % ~/-	71 % ~ / 65 % ~	78 % ~	- / 70 % ~
Reference	11)	12)	15)	13)	14)

動温度は高いことから改質器は必要なく、PEFCの発電効率約32%HHVに対し、SOFCの効率は45%HHV以上と高い。逆に作動温度が高いゆえに頻度の高い起動停止は苦手とするが、定格運転で給湯需要が少なく電力需要の大きなコンビニエンスストアや病院など業務用途において魅力的な候補といえる。

3. 3 燃料電池自動車 (FCV) の動向

3. 3. 1 FCVの開発目標と課題

FCVは、エネルギーの有効利用や環境負荷低減に加え、化石燃料によらない水素エネルギー社会を実現するための重要な技術であり、「次世代自動車の本命」と位置づけられる。ただし、現段階においてFCVは、定置用・携帯用燃料電池に比較して技術的ハードルが高く、水素燃料のインフラ問題や経済的合理性に課題が残るなど、本格的な普及は携帯用や定置用より遅く、2020年頃になるとの予想である。したがって、今後の原油価格の動向に左右されるが、FCVの本格的普及に至るまでハイブリッド車(HV)や代替燃料車(天然ガス車、ジメチルエーテルなど)が中継ぎとして使われると思われる。

Table 5に政府が提示するFCV普及に向けた流れを示す¹⁾。2010年の目標においては、近年の出力密度の向上や部材メーカーの高耐久、高温作動の電解質膜の開発状況を見るかぎり、コスト目標を除いて必ずしも高い目標値ではないと思われる。車両効率の目標値50%LHVにおいてもメタノール改質型やガソリン改質型のFCVには高い目標値であるが、水素搭載型ハイブリッドでは既に達成している。しかし、2020年のFCV普及目標を目指すには、以下に示

Table 5. Development target of FCV¹⁾.

Year	Present	2010 Installation	2020 Popularization
Vehicle efficiency	~ 50 %LHV	50 %LHV	60 %LHV
Durability	About 1000 h	3000 h	5000 h
Temperature	80 °C	-30 ~ 90 °C	-40 ~ 120 °C
Cost	¥half million /kW	¥5 ~ 60000/kW	¥4000/kW
Fuel storage	3 kg	5 kg	7 kg

す主な3つの課題を解決しなければならない。

- (1) 性能向上（高効率、耐久性、低温始動、高温性能）
- (2) 航続距離の延長
- (3) コスト低減

いうまでもなくFCVが注目される理由は、それ自身もつ高環境性であり、省エネカーとして競合するガソリン・ディーゼルHVや天然ガス自動車に対して優位性を持たなければ存在意義はない。その意味でFCVの効率を議論する際には、原燃料から水素を製造し動力を得るまでのWell-to-wheelの効率を検討しなければならない。Table 6にトヨタ自動車が目標とするFCVのWell-to-wheelのエネルギー総合効率を示す¹⁸⁾。同表に示すように、ガソリン

Table 6. Overall efficiency of FCV¹⁸⁾.

		Fuel efficiency (well to tank)	Vehicle efficiency (tank to wheel)	Overall efficiency (well to wheel)
Gasoline vehicle		88 %	16 %	14 %
Gasoline HV		88 %	37 %	26 %
FCV	Present (TOYOTA FCHV)	58 %	50 %	29 %
	Target	70 %	60 %	42 %

を燃料とする HV の総合効率 26 % に対する優位性を保つため、高圧水素搭載型 FCV の場合で、現状の総合効率 29 % を 42 % 程度にまで引き上げる必要があるとしている。現状の燃料効率の 12 % 向上、車両効率の 10 % 向上を達成するには、水素の製造技術および貯蔵技術の向上に加え、触媒の活性と触媒表面積との積を現状の2桁向上させる必要がある¹⁹⁾。さらにコスト削減のために白金触媒の担持量を減らしつつ耐久性を向上さなければならぬことを考慮すると、かなり技術的ハードルが高い目標といえる。また、現状 FCV の作動温度は 80 °C となっているが、最終目標として、氷点下 -30 °C からの始動、高温側はラジエーターのコンパクト化および低コスト化の観点から 120 °C の高温での作動が要求されるなど、極低温から高温に至るまで幅広い作動温度が要求される。ただし、氷点下から高温に至るまで対応できる電解質膜の研究も進んでおり、自動車会社各社はいずれ解決できるとしている²⁰⁾。

2 番目の航続距離延長も FCV の課題の一つである。FCV は 1 kg の水素で約 100 km 走行でき、水素搭載量 5 kg (走行距離 500 km) が開発目標となる。現在 FCV では水素燃料搭載に圧力 35 MPa の高圧ボンベを用いているが、水素搭載量を増やすため 70 MPa の高圧ボンベの採用に移行しつつある。しかし、70 MPa で 5 kg の水素を搭載するには内容積 130 L と大型になり小型車には搭載できない。このため、水素吸蔵合金や吸着材と高圧ガスを組み合わせる方式²¹⁾、液体水素タンク、ケミカルハイドライド²²⁾ など、さまざまな水素貯蔵技術の検討がなされているが、小型・軽量・大貯蔵量の 3 条件を満たす決定的な方式が見えておらず、世界中の研究機関と協力して開発していく必要がある。

3 番目のコスト削減目標は定置用燃料電池以上に厳しい。Fig.2 に 2005 年度の技術を用いて FCV(80 kW) を量産

したと仮定した場合の1台あたりのスタックコスト予想を示す²³⁾。電解質膜やセパレータなどは、大量生産で十分安くなるが、製造コストの 75 % は電極に使われる白金などの貴金属の値段となり、大幅な白金の担持量の削減、あるいは貴金属を用いない触媒の開発など技術的ブレークスルーが必要となる。こうした背景を受け、近年では白金量を極力減らすための技術開発²⁴⁾ やトヨタ自動車やダイハツ自動車は白金を使用しない新しいコンセプトの燃料電池^{8), 25)} の研究開発も鋭意進めており、今後の進展に期待したい。

3. 3. 2 現在の開発状況

日本では 2002 年から 4 年間に渡り大規模な FCV 実証走行研究および複数の燃料・方式による水素供給設備を運用する「水素・燃料電池実証プロジェクト (JHFC プロジェクト)」が行われ²⁶⁾、2006 年度より第 2 期 JHFC プロジェクトが始まっている。このプロジェクトには、国内外の自動車メーカー 8 社 13 台の FCV が参加しており、FCV の普及に向け FCV の走行性能、信頼性、環境特性、燃費などの車両走行データと水素充填ステーション使用データなどの評価を行っている。このプロジェクトにより関東に 10ヶ所、中部に 1ヶ所の水素ステーションが新設、2006 年度には関西にも 2ヶ所の建設が計画されるなど、水素インフラ構築に向けた準備が着々と進んでいる。

Table 7 に公道走行試験に係わる国土交通省の大臣認定を取得した代表的な 3 社の FCV の仕様を示す^{18), 27), 28)}。いずれの FCV も約 90 kW の燃料電池出力を持ち、2 次電池やキャパシタとのハイブリッド形式を取っている。ハイブリッドのメリットは、ブレーキ時の回生エネルギーを利用することで車両効率を上げることができるだけでなく、燃料電池の負荷変動を抑えることで燃料電池の寿命を延ばせることにある。同表に示した FCV の中では、本田技研の 2004 年に発表した FCX が低温始動性やスタックのコンパクト化で一歩リードしている。これは電解質膜に低温で良好なイオン伝導性をもつ芳香族系材料を採用したことが主な理由で、従来用いられているカーボンセパレータではなく、熱容量の小さい薄型ステンレスセパレータを採用したことでコンパクト化と昇温特性を同時に向上させている。

米国では、2003 年にブッシュ大統領が一般教書演説で国家戦略として「水素エネルギー社会」の実現を目指し、5 年間に総額 17 億ドルの研究資金を投じると発表して以来、車両技術や水素・燃料電池インフラ技術に対して、年間約 3 億 4000 万ドルもの予算が投入されている。日本同様、FCV を中心とした実証試験および水素ステーション

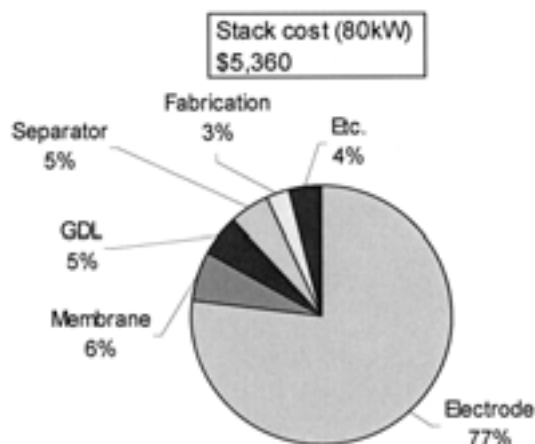


Fig.2. Cost expectation of automobile PEFC stack²³⁾.

Table 7. Specification of FCV.

Company	TOYOTA	HONDA	NISSAN
Picture			
Name	FCHV	FCX	X-TRAIL FCV
Length/Width/Height (mm)	4735/1815/1685	4165/1760/1645	4485/1770/1745
Weight (kg)	1860	1670	1790
Max. speed /Max. cruising range	155 km/h / 300 km	150 km/h / 430 km	150 km/h / 370 km
PEFC stack output	90 kW	86 kW	90 kW
Fuel (pressure: MPa)	High-pressure hydrogen (35)	High-pressure hydrogen (35)	High-pressure hydrogen (35)
Battery or capacitor	Nickel-metal hydride	Ultra capacitor	Li-ion
Reference	18)	27)	28)

の建設が着実に進められている一方で、国立研究所および大学との共同研究で基礎的研究にも注力している。欧州でも実証試験が実施されているが、FCバスの実証試験が中心となっているのが特徴である。FCバスは一定の場所で水素供給もメンテナンスもできるため、インフラ面での利点が大きく市場投入がし易いと思われる。こうしたインフラ面の利点を活かして、自動車用途以外では、フォークリフト²⁹⁾、電車³⁰⁾、無人潜水艦³¹⁾などに燃料電池を搭載する開発が行われている。

4. おわりに

本稿ではPEFCを中心に燃料電池の特徴、PEFCの3大市場（携帯機器、定置用、自動車用）において普及に必要な技術開発目標および国内外の動向を概説した。PEFCをはじめとする燃料電池には、他の発電装置にない多くの特徴を有するため巨大市場の可能性を秘めているが、本稿で示した技術課題ゆえにまだ普及に至っていないのが実情である。市民権の獲得には、こうした技術開発の解決に加え、水素インフラの整備や水素に対する正しい知識の普及や啓蒙活動も重要となる。近年のBRICs（Brazil, Russia, India, China）の急激な経済発展を考えると、指数関数的にエネルギー問題が深刻化するだけでなく、それ以前に地球温暖化問題に拍車をかけるのは自明である。それだけにマーケットとしての燃料電池の開発も重要であるが、地球環境に優しい燃料電池の期待は大きく、大規模な普及に向

け産官学連携を加速させ、一刻も早い水素エネルギー社会の実現を願うものである。

（文 献）

- 1) 燃料電池・水素技術開発ロードマップVer.2, NEDO, (2006).
- 2) 日隈弘一郎, 富田尚, 畠沢剛信, 野田和宏, 西美緒: 第31回固体イオニクス討論会, 講演番号3B03 (2005).
- 3) KDDIニュースリリース (2005-9).
- 4) Jadoo Power Systems Inc. ホームページ
<http://www.jadoopower.com/index.html>
- 5) Udomi ホームページ
<http://www.udomi.de/home/home-e.html>
- 6) 総合警備保障社プレスリリース (2003-4).
- 7) Acta社 ホームページ
<http://www.acta-nanotech.com/>
- 8) K. Asazawa, K. Yamada, and H. Tanaka: Meeting abstract - Electrochem. Soc. 502, (2006), 825.
- 9) セイコーインスツル ホームページ
<http://www.sii.co.jp/>
- 10) 財団法人新エネルギー財団 ホームページ
<http://happyfc.nef.or.jp/>
- 11) 松下電器産業 ホームページ
<http://panasonic.co.jp/appliance/FC/index.htm>

- 12) 荏原バラー ドホームページ
<http://www.ebc.ebara.com/product/residential.html>
- 13) アイシン精機ホームページ
<http://www.aisin.co.jp/news/products/050818.html>
- 14) 新日本石油ホームページ
<http://www.eneos.co.jp/lande/product/fuelcell/>
- 15) 清田透, 山本修, 久保田康幹, 三上誠, 三輪英幸, 仙田仁人, 堀口道子: 第13回燃料電池シンポジウム講演予稿集, (2006), 17.
- 16) 京セラ ニュースリリース (2003-12).
- 17) TOTO ニュースリリース (2004-9).
- 18) トヨタ自動車ホームページ
<http://www.toyota.co.jp/jp/tech/environment/fchv/>
- 19) 森本友: 第43回日本伝熱シンポジウム講演論文集, (2006), 講演番号B211.
- 20) JHFC 平成17年度燃料電池自動車に関する調査報告書, 2006.
- 21) 森大五郎, 小林信夫, 松永朋也, 藤敬司, 小島由継, まてりあ: 44 (2005), 257.
- 22) 市川勝: 高圧ガス, 40 (2003), 52.
- 23) E. Carlson, S. Sriramulu, Y. Yang, P. Kopf and J. Sinha: Proc. of 2005 Fuel cell seminar, (2005), 330.
- 24) 仙田 結, 戸塚和秀, 人見周二, 野村栄一: 第46回電池討論会予稿集, (2005), 106.
- 25) 井口哲, 伊藤直樹, 飯島昌彦, 青山智, 佐藤博通, 荻野温: 第11回燃料電池シンポジウム講演予稿集, (2004), 73.
- 26) JHFCホームページ
<http://www.jhfc.jp/jhfc/index.html>
- 27) 本田技研工業ホームページ
<http://www.honda.co.jp/FCX/index.html>
- 28) 日産自動車ニュースリリース (2005-12).
- 29) 豊田自動織機ニュースリリース (2005-10).
- 30) 坂本正典: 2006 FC EXPO予稿集, (2006), 84.
- 31) 青木太郎, 山本郁夫, 月岡哲, 吉田弘, 百留忠洋, 田原淳一郎, 澤隆雄, 石橋正二郎, 水野正志, 谷俊宏, 横山和久: 第12回燃料電池シンポジウム講演予稿集, (2005), 46.