

目 次
 環境対応を巡る自動車産業の動向
 - 燃料電池を軸に

要旨	2
はじめに	4
第1章 自動車環境規制の歴史と方向性	
第1節 モータリゼーションの進展と環境規制	5
第2節 地域別の規制の方向性	8
第3節 足許の環境技術開発動向	12
第4節 環境規制が導き出す次世代自動車	13
第2章 自動車業界再編と環境要因	
第1節 1990年代の完成車メーカーの再編	14
第2節 部品サプライヤーへの影響	18
第3章 環境パワートレインの開発動向	
第1節 既存内燃機関による環境対応	21
第2節 クリーンエネルギー自動車による環境対応への取り組み	22
第3節 地域性のあるメーカーの取り組み	24
第4節 わが国におけるクリーンエネルギー自動車の普及可能性	26
第5節 環境パワートレイン開発の方向性	29
第4章 燃料電池の可能性	
第1節 燃料電池の概要	30
第2節 日本での開発動向	34
第3節 自動車以外の用途への取り組み状況	36
第4節 燃料電池に携わるわが国企業の動向	37
第5節 実用化に向けての課題	38
第5章 燃料電池自動車開発の現状	
第1節 燃料電池自動車開発の意義	42
第2節 主なシステム構成部品と技術的課題	43
第3節 完成車メーカー各社の開発動向	46
第4節 国家・地域の取り組み	50
第6章 燃料電池自動車の普及に向けて	
第1節 将来の生き残りをかけた開発競争	53
第2節 日本における燃料電池自動車開発体制のあり方	54
おわりに	56
参考文献	57

環境対応を巡る自動車産業の動向 - 燃料電池を軸に

< 要旨 >

1. 環境規制の流れと燃料電池

燃料電池開発の契機となった環境規制の動向を整理する。

環境規制には2つの潮流があり、ひとつは排出ガス規制（エミッション低減）で、もうひとつは燃費規制（CO₂低減）であった。この2つの流れは、まず「密集地域での大気汚染問題」として排出ガス規制が制定され、続いて石油危機により「省エネ」を目的とした燃費規制が制定されるという順序を辿った。石油資源の偏在等地域ごとでエネルギー事情が異なり、技術的にもそれぞれの地域で主流となる既存内燃機関（ガソリンエンジン・ディーゼルエンジン）では排出ガス性能向上技術と燃費性能向上技術の間にはトレードオフの関係があることから、規制の動きにも地域ごとの事情が反映されて跛行性が見られている。その中であって、日本の完成車メーカーは世界に先駆けて環境規制をクリアし、環境技術開発でリードしてきたのである。

排出ガス規制についてはガソリン車では略ゼロレベルを技術的には達成したが、地球温暖化ガス削減問題において、さらなる低燃費性能が求められるようになり、排出ガス性能向上と燃費性能向上を両立しうる技術として注目を浴びるようになったのが燃料電池なのである。

2. 1990年代の完成車メーカー再編劇の意味

1990年代から起こったグローバル規模での自動車産業の再編劇における環境問題の位置付けについて考察する。

グローバル再編の目指すものは、第一にコストダウンを狙ったスケールメリットの追求であった。そして第二の狙いこそが開発負担（費用面・リソース面）の低減を目指したものであった。この開発負担の中でとりわけ重たいのは環境技術の開発負担であった。

資本提携により、完成車メーカーのグローバル規模でのグルーピングがなされた後も、最適な技術パートナーを求め資本系列に捉われない環境技術を軸とした提携が活発化したが、こうした環境技術提携の中心となったのは日本の完成車メーカーと言っても過言ではない。

完成車メーカーは環境パワートレインに開発資源を集中しなければならなかったことから、みずからは再編を進める一方で、部品サプライヤーとの関係も見直した。モジュール対応・システム対応を推進しながら完成車メーカーの内製ノウハウを部品サプライヤーにアウトソースする動きに出たのであり、部品業界にも合従連衡を促すこととなったのである。

3. 環境パワートレインの開発動向

環境パワートレイン開発を中心に自動車業界の環境対応動向について概観する。

世界的な環境パワートレインの開発動向は既存内燃機関についての開発が未だに主流である。ガソリンエンジンでは排出ガス性能を維持した低燃費技術、ディーゼルエンジンではエミッション低減のための最適燃焼と後処理技術を中心に開発が進んでおり、両者とも環境性能上の長所を損わぬように短所の改善に努めている。日本の完成車メーカーは、ガソリン直噴エンジンやハイブリッドシステムなど、環境対応パワートレインでブレイクスルーを実現し、一歩リードしている。

現在技術的に実現しているクリーンエネルギー自動車としてはCNG車、メタノール車、ハイブリッド車、LPG車、電気自動車などが存在している。代替燃料を利用しているこれらクリーンエネルギー自動車では普及支援策が一定の効果を示しているものの、燃料供給インフラの未整備などの制約から、限定的な範囲での普及に留まっている。

燃料電池自動車は長期的には既存内燃機関にとってかわることとなるだろうが、技術面のみならず代替燃料車と同様のインフラの制約という問題を抱えており、当分は既存内燃機関自動車中心の時代が続くことが予想される。したがって、自動車業界は既存内燃機関のリファインも重要な開発テーマとして同時に取り組まねばならず、両面作戦を余儀なくされている。双方とも重い開発負担を伴うものであり、開発戦略が経営の大きな課題となっている。

4. 燃料電池の可能性

環境対応の切り札とされている燃料電池の開発動向とその環境性能、可能性、実用化の妨げとなっている課題について整理する。

燃料電池は発電装置として分散型電源としての研究が始められ、やがて排熱も利用したオンサイトでのコージェネレーションシステムとしても研究されるようになった。こうした分散型発電所としてのニーズが先行した燃料電池であったが、固体高分子形燃料電池(PEFC)の性能が急上昇し、家庭用・自動車用といった小規模あるいは高出力密度の用途が模索されるようになった。燃料電池は再生可能エネルギーである水素を燃料として使用し、排出物は水のみの高い環境性能が理論上可能なことから、次世代環境技術の切り札として実用化に向けた技術や素材でのブレイクスルーを目指して官民挙げての開発が進められている。

燃料電池に関わる業界は、電力・ガス・自動車・石油・電気機器・化学と様々な業界に広がっており、実用化・普及化の進展如何によっては産業地図が塗り変わる可能性もありうる。しかし、実用化に向けた道は険しい。りん酸形燃料電池を利用した業務用コージェネレーションシステムでは既に数十機の商業ベースでの運転が展開されているが、マイクロガスタービンに総合効率で劣るなど自立化(行政の補助を受けない)レベルには至っていない。同様に固体高分子形燃料電池のコストの壁も高く、未だ既存技術に対して絶対的なアドバンテージが保証されていないのが現状である。

5. 燃料電池自動車開発の現状

燃料電池自動車の普及にむけた課題と普及に際して見込まれる自動車産業やエネルギー供給体制の変化について考察する。

既存内燃機関の位置付けは当面は変わらないものの、環境規制強化の動きや化石燃料の有限性を考えた場合、より高い環境性能と脱化石燃料の実現につながる燃料電池自動車開発の意義は高い。

燃料電池自動車特有の構成部品としては燃料電池スタックや改質器、インバーター、モーターなどが挙げられ、それぞれにおいて完成車メーカー・部品メーカー・新規参入企業が開発競争を繰り広げている。単独開発・共同開発等各陣営で戦略が異なるが、これらのユニットはブラックボックス化する可能性があり、その戦略如何が今後の燃料電池自動車開発における主導権争いに影響を及ぼす可能性もある。燃料電池スタックの専門メーカー・パナソニック社は多くの完成車メーカーに燃料電池スタックを供給しており、今後の鍵を握る部品メーカーと言えよう。

とはいえ、現在は量産化以前の段階である。また各要素技術にはなお革新の要素があり、実用化競争における優位性は未だ確認できない。燃料電池自動車開発の現状は実証試験の段階であり、開発に取り組んでいる完成車メーカー各社は実用化モデルを2002年後半から2005年にかけて発表することを相次いで発表している。

各社はときに協業体制をとりながら燃料電池自動車の開発競争に臨んでいるが、欧米では既に燃料電池自動車の開発プログラムにのっとった実証試験が展開されており、国家レベルでの燃料電池自動車の普及支援体制で見れば日本はやや遅れている感が否めない。

6. 燃料電池自動車の普及に向けて

燃料電池自動車は長期的に見れば自動車の主流となることについては異論の無いところである。しかしながら、技術的なブレイクスルーによる急速な普及の可能性も無しとはしないもののまだまだハードルは高く、当面の間、自動車メーカーはいつ来るとも分からないゴールに向かって、しかも既存エンジンの改良という重荷を背負って走りつづけねばならない。

足許の環境技術開発ではハイブリッド自動車の先行投入等で世界をリードしてきたわが国自動車業界も、こと燃料電池自動車については優位と言うわけではない。しかしながら、日本の自動車業界は完成車メーカーと部品メーカーの協業関係のなかから新しい技術を開発し製品化する能力に長けており潜在力は高い。

この潜在力が示現されて燃料電池自動車の開発で日本が主導権をとることは、わが国にとってエネルギー政策上も産業政策上も意義のあることである。公的セクターでの導入、水素供給インフラの整備、規制緩和、社会啓蒙活動等への一層の公的バックアップが望まれる。

はじめに

最近「燃料電池」の開発動向が注目されている。燃料電池は化石燃料ではなく水素を直接燃料として用いることから環境技術の切り札として大いに期待されているが、とりわけ自動車産業では年内に商品化を果たす旨の発表が相次ぎ、新聞や雑誌の記事だけ見る人にとっては、あたかもすぐに燃料電池自動車の時代が到来するかなのような感じを与える程である。

しかし、実際の燃料電池開発は私たちがすぐに手にできるような身近なものとなっているかは甚だ疑問の残るところと言わざるをえない。自動車産業については2000年から2001年にかけて、実証試験用モデルが相次いで発表されたが、足許の技術的発表は少なく、2002年末投入と発表されている実用化モデルの登場待ちの状態である。技術的にもコスト的にもまだまだハードルは高く、本格普及への道のりは遠く険しいのである。

これまで自動車産業に大きな影響を及ぼしてきた環境規制の変遷、代替技術の開発といった背景とともに、これまでの自動車以外の分野も含めた燃料電池の研究開発の歴史と足許の開発課題を整理し、その中における日本の自動車産業が置かれた立場と今後の方向性について確認したいと思う。既存エンジンの環境対応技術競争も引き続き厳しいなかではあるが、まだまだ日本の自動車産業の底力は見えるはずである。

第1章 自動車環境規制の歴史と方向性

本章では、まずはじめに自動車の普及と普及に伴う（主に）排出ガスに起因する環境問題の発生とその規制の歴史を振り返り、技術の進歩と環境規制の推移について概観したい。

第1節 モータリゼーションの進展と環境規制

良く知られるように米国ではフォードが1908年に生産を始めた「T型」で初めて組立ラインを導入したことにより、大量生産の時代が始まり、1920年代初めにはフォードの年間生産台数は早くも200万台を超えた。その後は戦前の恐慌期や第2次世界大戦中などの一時期を除き、米国の保有台数は順調に増加し、2000年では2億2000万台を超えている。

欧州では、1930年代にフォードとGMが大量生産方式を持ち込んだが、手工業の文化と経済的な混乱によりすぐには浸透せず、欧州で大量生産方式が普及したのは1950年代であった。そのため欧州では1950年代後半から1960年代初にかけてモータリゼーションが進展し、その後も緩やかなペースで普及が進んでいる。

一方、日本でも1920年代にフォードとGMが進出したが本格的な大量生産体制は築けず、戦後、トヨタや日産を初め、軍需産業からの転向組も含めて自動車製造に取り組んだ結果、自動車産業は日本の基幹産業に育ち、日本の自動車保有台数は1960年代頃から急速に伸びを示した（図表1-1）。

図表1-1 日米欧の保有台数の推移

（単位：千台）

	日本	米国	欧州
1930年	89	26,750	4,201
1940年	155	32,453	5,429
1950年	225	49,162	8,522
1960年	1,354	73,858	25,664
1970年	17,582	108,418	65,355
1980年	37,856	155,890	103,445
1990年	57,698	188,655	146,201
2000年	72,649	221,475	186,935

（出所）日本自動車工業会「主要国自動車統計-2002-」よりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

（注）欧州はドイツ・イギリス・フランス・イタリア・オランダ・ベルギー・スペイン・スウェーデンの合計

こうしたモータリゼーションの進展とともに、自動車は大気汚染の原因物質の発生源として認識されるようになった。自動車公害がクローズアップされた1970年前後の世界3極（米・欧・日）の自動車公害問題と排出ガス規制、そして、その後の石油ショックにより惹起された省エネマインドと燃費規制について整理すると以下の通りである。

（1）初期の排出ガス規制

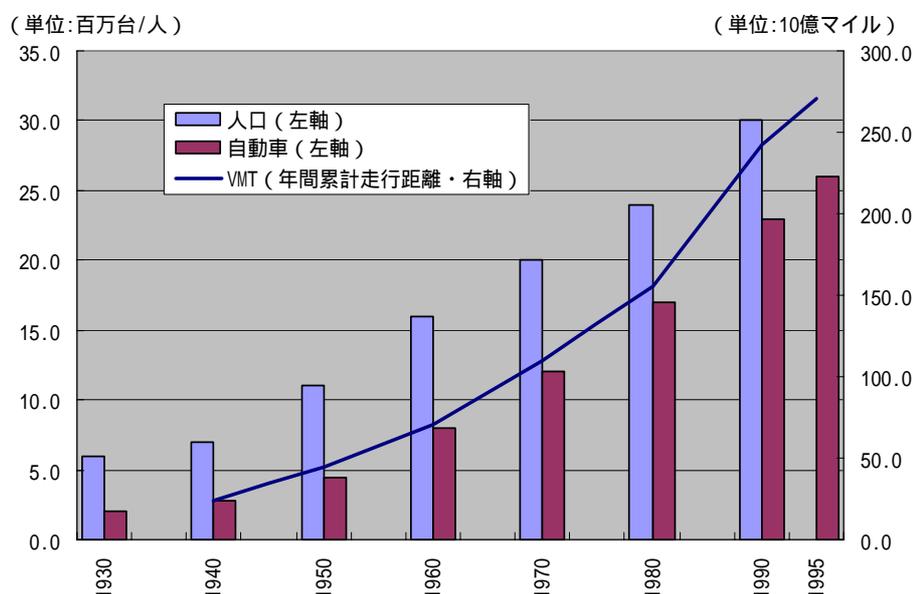
自動車に対する環境意識が高まりを見せたのは、1950年代に¹光化学スモッグの発生原因が解明されたことが契機となっている。NO_x（窒素酸化物）やHC（炭化水素）の主な発生源が自動車の排出ガスであったためである。その結果、排出ガス規制が導入され、有害物質の低減が図られるようになった。排出ガス規制については、特に世界に先駆けて厳しい水準を示した米国のマスキー法（後述）に日・欧が追随した構図となっている。

¹ No_x（窒素酸化物）やHC（炭化水素）が太陽光と反応して有害な光化学スモッグとなる

まず米国では、現在でも最も自動車排出ガスに厳しいカリフォルニア州で、1966年には連邦に先駆けて排出ガス規制が実施されていた。これはカリフォルニア州の地形が盆地となっており、大気汚染問題が発生しやすい条件を備えていたこと、州面積が広く、モータリゼーションの進展が全米でも進んだ地域であったことがその背景として指摘されている（図表1-2）。

その後自動車排出ガスによる大気汚染は連邦レベルでも問題となり、1970年に連邦大気清浄法（マスキー法）が成立した。しかし、このマスキー法は、1975年に排出ガス水準を1970年当時の10分の1に規制するという米国完成車メーカーの能力を超える厳しい規制水準であったこと、1970年代の石油ショックによる不況で完成車メーカーの開発余力が削がれたことから実現性には疑問が持たれ、米国自動車業界からの反対もあり規制は発効されなかった。しかし、マスキー法が示した基準は、次第に世界中の自動車メーカーに排出ガス対応性能の大幅な向上を要求するメルクマールとなり、自動車産業に環境対応を促す大きな契機となっていく。また、いち早くその規制水準をクリアした日本車がその後北米市場で大いにシェアを伸ばす契機ともなった。

図表1-2 米国カリフォルニア州のモータリゼーションの進展



（出所）「CARB (California Air Resources Board) ホームページ (<http://www.arb.ca.gov/homepage.htm>)」
 （2002年3月6日）をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

日本でも1960年代より大気汚染が公害問題としてクローズアップされ、1966年に初めて自動車排出ガス規制がCO（一酸化炭素）を対象に実施された。次いで、1973年より光化学スモッグの原因物質であるNOxやHCが規制の対象となった。しかし、その間にもモータリゼーションの進展による大気汚染に改善の兆しは見られず、牛込柳町の鉛公害問題や杉並区の光化学スモッグによる集団被害といった自動車排出ガスが原因とされた公害問題が発生していた。

鉛公害は、ガソリンに配合されたアンチノック剤の四エチル鉛が体内に蓄積するという問題であったが、燃料メーカー各社の対応により1975年までに脱鉛化が図られ解消に向かった。しかし、NOxやHCといった大気汚染物質を低減させる技術は、三元触媒や燃焼の電子制御の開発を待たねばならなかった。排出ガス規制はマスキー法に倣って1978年にいわゆる『昭和53年規制』として強化され、三元触媒等、環境対応技術の向上を後押しすることになった。

一方、欧州では、自動車が域内を自由に行き来してきたこと、また、欧州共同体としての意識から、早くから規制を統一したいという発想があった。具体的には1970年のECE（国連ヨーロッパ経済委員会）指令のガソリン乗用車排出ガス規制を嚆矢に、以降順次統一規制が整備されていった。ただし、域内各国の経済力や開発力の格差が考慮され、規制の水準は比較的緩やかなものにとどまった。そのため「国境を越える酸性雨」など大気汚染問題が発生していたにもかかわらず、マスキー法なみに規制が強化されたのは1980年代に入ってからのことであった。

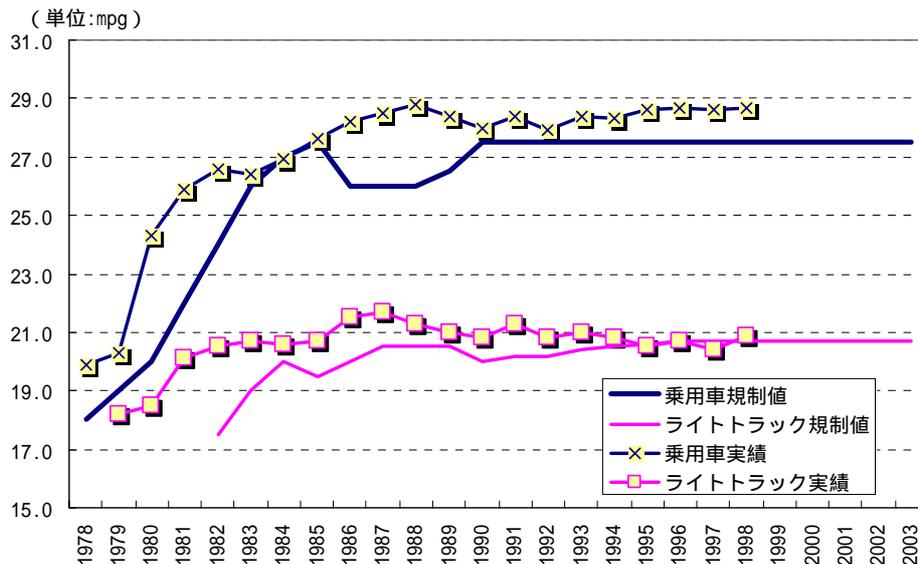
（2）石油危機を契機とする燃費規制

1970年代に世界が経験した2回の石油危機は、燃料価格の高騰を引き起こしただけにとどまらず、石油資源の有限性を認識させる契機となった。石油消費量抑制施策の必要が唱えられるようになり、自動車業界は燃費の良い車も求められることとなった。

まず米国では、1975年にCAFE（Corporate Average Fuel Economy - メーカー平均燃費規制）が制定された。これは、自動車メーカーが出荷する自動車の平均燃費を規制するもので、基準を下回るメーカーには対して罰則金が課せられることになり、1975年から1984年までの10年間で、乗用車で1.5倍、商用車で2割程度燃費が向上した（図表1-3）。

乗用車については、燃費抑制策としてこの他に燃料がぶ飲み税（Gas-Guzzler Tax）が1978年より制定され、燃費が22.5mpgを下回る乗用車に対し段階的に1,000～7,700ドルの税金がメーカーに課されることとなった。

図表1-3 CAFE規制値と実績値の推移



(出所)「NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) ホームページ (<http://www.nhtsa.gov/>)」(2002年3月6日)をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

日本でも石油危機を契機に1979年にエネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネ法）が制定されることとなった。1985年までに規制水準以上の燃費性能を達成することが要求されたが、国内完成車メーカー各社は期限までに規制をクリアした。

一方、欧州においては、1960年代の北海油田の発見まで石油資源を持たなかったことから既にコンパクトで低燃費な車が指向されており、燃費低減を目指した規制が制定されることはなかった。

第2節 地域別の規制の方向性

(1) 石油危機以降の規制動向

大気汚染問題・石油危機を経て地域ごとに環境規制は独自の方向性を示すようになった。日米欧3極の規制の方向性について概観すれば以下の通りである。

まず米国では既に見たように排出ガス規制は連邦規制と連邦に先んじて排出ガス規制を導入したカリフォルニア州の規制の2本立てとなっており、各州政府はいずれかを選択している。マスキー法の流れを汲む政府の連邦大気清浄法は1990年に強化され、具体的には、排出ガス・蒸発ガス規制の強化の他、ガスステーションに対しての給油時蒸発ガス規制や車載故障診断装置(OBD)装着義務なども加わった。現在第一段階(Tier1)規制が適用されており、2004年には強化されたTier2規制に移行する予定である(図表1-4)。

一方、カリフォルニア州による規制はLEV(Low Emission Vehicle)規制と呼ばれ、1990年に制定された。LEV規制は連邦規制より厳しい内容となっており、完成車メーカーに一定割合でZEV(Zero Emission Vehicle)の販売を義務付けることがLEV規制の大きな特徴である。このZEV販売義務の導入こそが各社が電気自動車や燃料電池自動車の開発に乗り出す契機となった。

図表1-4 日米欧の排出ガス規制比較

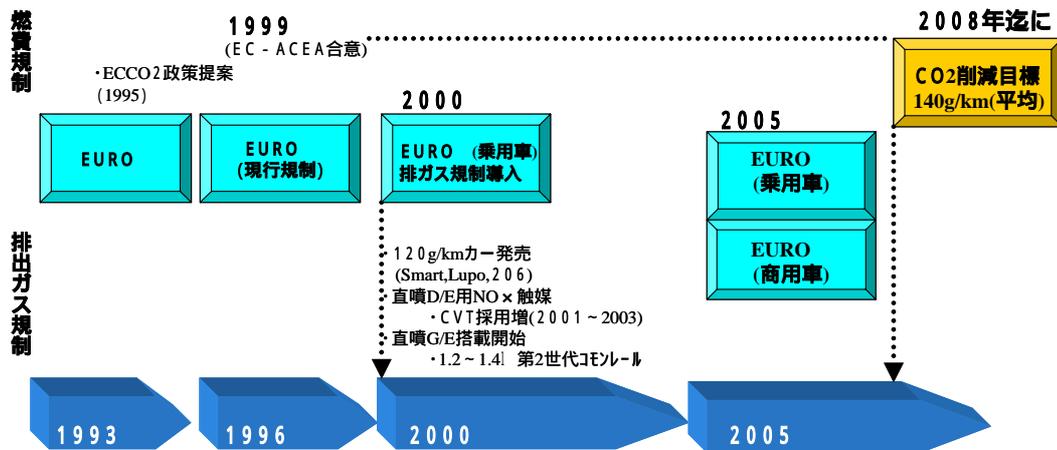
【ガソリン乗用車】								
地域・国	規制名称	単位	窒素酸化物 (NOx)	全炭化水素 (THC)	非メタン炭化 水素 (NMHC)	一酸化炭素 (CO)	粒子状物質 (PM)	
米国(EPA)	Tier1(1996~)	g/km	0.2500	0.2560	0.1560	2.1250	0.0500	
	Tier2(2004~)	g/km	0.0875		0.0625	2.1250	0.0125	
欧州	EURO2(1996~)	g/km	0.500(NOx+HC)				2.3000	
	EURO3(2000~)	g/km	0.1500	0.2000		2.3000		
	EURO4(2005~)	g/km	0.0800	0.1000		1.0000		
日本	53年規制	g/km	0.2500	0.2500		2.1000		
	12年規制	g/km	0.0800	0.0800		0.6700		
【ディーゼル乗用車】								
地域・国	規制名称	単位	窒素酸化物 (NOx)	全炭化水素 (THC)	非メタン炭化 水素 (NMHC)	一酸化炭素 (CO)	粒子状物質 (PM)	
米国(EPA)	Tier1(1996~)	g/km	0.6210	0.2560	0.1560	2.1250	0.0500	
	Tier2(2004~)	g/km	0.0875		0.0625	2.1250	0.0125	
欧州	EURO2(1996~)	g/km	0.900(NOx+HC)				1.0000	0.1000
	EURO3(2000~)	g/km	0.560(NOx+HC)				0.6400	0.0500
	EURO4(2005~)	g/km	0.300(NOx+HC)				0.5000	0.0250
日本	現行規制	g/km	0.4000 平成9年より	0.4000 昭和61年より		2.1000 昭和61年より	0.0800 平成9年より	
	14年規制	g/km	0.2800	0.0800		0.6700	0.0500	

(出所) 各種資料を参考にみずほコーポレート銀行産業調査部作成

一方、欧州の環境規制は、域内での基準統一に時間がかかるという理由から、日・米に比べ緩やかであった。しかし、排出ガス規制については、EU 統合後に EURO 規制が実施され、順次強化されている（図表 1 - 5）

また、燃費規制についても地球温暖化問題の浮上とともに規制の必要性が認識され、EU と欧州自工会（ACEA）が 1998 年 10 月に燃費自主規制を定めた。この自主規制により乗用車は 2008 年までに CO₂ の排出量が 140g/km 以下に制限された。なお、この 140g/km という水準は日本で馴染みのある表示（km/l）に換算すると約 17km/l となり、米国 CAFE の乗用車規制値の 27.5mpg（11.7km/l）と比較しても相当厳しい水準であることがわかる。その他、規制の強化が遅れた欧州では既存保有車両から発生する排出ガスも大きな問題となっており、各国で廃車インセンティブ制度による新車代替策が講じられたことも特徴である。

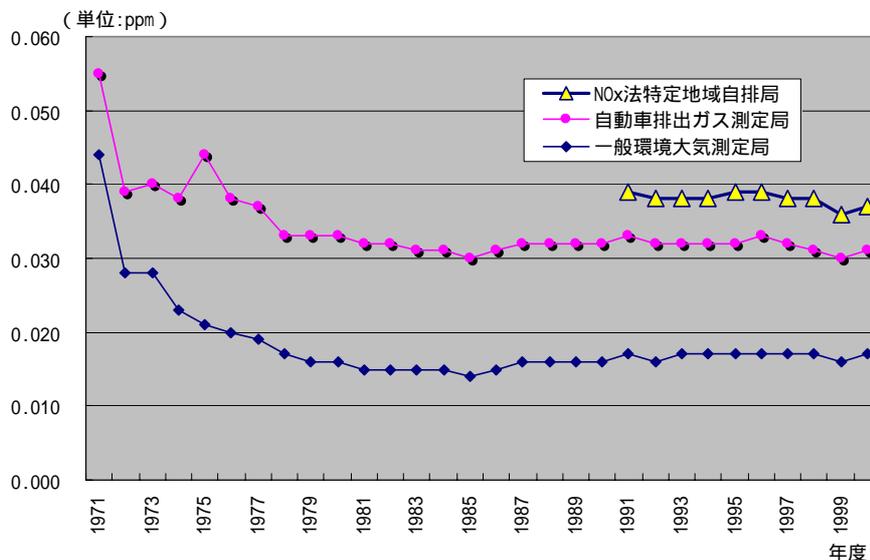
図表 1 - 5 欧州の自動車環境規制強化のシナリオ



（出所）各種資料を参考にみずほコーポレート銀行産業調査部作成

次に日本であるが、大気汚染の代表的な物質である二酸化窒素の濃度については、日本で公害問題が焦点となった 1970 年以降減少している。その後もマスキー法に対応した昭和 53 年規制をわが国自動車産業がクリアしたことにより、1970 年代の前半をピークに各指標は減少傾向を示している。しかし、その後は自動車単体の環境性能は向上するものの、自動車普及台数の増加により大気汚染物質の濃度は横這いの状況に留まっている（図表 1 - 6）

図表 1 - 6 二酸化窒素濃度の推移



（出所）環境省環境管理局『平成 12 年度大気汚染状況について』をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

一方、先送りにされてきたディーゼルエンジン向け規制の強化も図られるようになってきた。都市部ではNOxの濃度が特に高く、これらを制限するため、NOx法が1993年から導入されている。NOx法は2002年より強化されており、これにより特定地域でのディーゼル乗用車の保有が制限されることとなった。

燃費規制についても地球温暖化ガス削減問題が国際的に議論されるようになったことと、乗用車の大型化に伴い新車燃費が悪化してきたことから、強化の必要性が認識されるようになった。その結果1999年に省エネ法が20年ぶりに改正されている。

(2) 日米欧における規制の特徴

以上述べてきた日米欧3種の排出ガス規制の具体的規制値を比較する(図表1-4)と米国はNOxとPM(粒子状物質)に厳しく、欧州はNOxとHCによる複合規制を採用することにより、ディーゼル車の規制値を緩やかなものとしている。これは低燃費が重視されてきた欧州では燃費性能に優れたディーゼル車の普及率が高いことに配慮したものと推察できる。

今後の規制の方向性をみても、欧州は特にディーゼル車に対するNOx、HCの規制値が緩く、ディーゼル車を考慮した規制値となっているのに対し、日米はディーゼル乗用車に対し、ガソリン車なみの規制を適用しようとしていることがわかる。特に米国はカリフォルニア州LEV規制でZEVの導入義務を設定するなど排出ガスに対しては厳しい姿勢で臨んでいることが窺われる。

一方、燃費規制については、測定時点での実績値を見る限りではほとんど差異はない(図表1-7)が、米国では燃費の悪いライトトラック(1998年実績8.9km/l)が考慮されていないことを考えると、米国の実績値は日本や欧州に比べると劣後していると推定される。今後の規制の方向性としては日本と欧州は燃費規制強化の具体的目標が提示されているが、米国は燃費についての規制強化が難航しているのが実情で燃費(石油消費)に対する考え方の違いが浮き彫りになっている。

図表1-7 日米欧の燃費規制比較(乗用車)

	現行規制 (km/l)	実績 (km/l)	方向性		
			実績確認年		コメント
米国(CAFE規制)	11.7	12.2	98年	2004年以降の規制引き上げ難航	停滞
日本(改正省エネ法)	6.4~21.2 (車両重量による)	12.3	95年	2010年までに22.8%の改善目標(約15.1km/l)	強化
欧州(自主規制)	なし	12.4	95年	2008年に17km/l達成を目標	強化

(出所) 各種資料を参考にみずほコーポレート銀行産業調査部作成

90年代に入ってから新たな環境規制の枠組みとして、CO₂が地球温暖化ガスとして世界的にも排出量削減が求められるようになってきている。「気候変動に関する国際連合枠組条約(1992年)」締結国会議(COP)は1997年の第3回会議(COP3)で「京都議定書」を採択した。この京都議定書では先進国全体で1990年比5%の地球温暖化ガスの削減を目指し、日本6%、米国7%、欧州8%の法的拘束力を持つ削減目標が決められた。しかし、2001年4月に米国は同議定書からの離脱を表明しており、国・地域ごとに環境対応の取り組み姿勢に温度差があることが改めて認識されることとなった(図表1-8)。

図表1 - 8 地球温暖化ガス削減に向けた国際的取組

年	主な動き
1992	「気候変動に関する国際連合枠組条約」が採択（1994年に発効） - 日本は93年5月に受諾 先進国のCO ₂ 排出量を2000年以降1990年レベルに保つ
1995	1994年の発効を受け、締結国会議（COP）の第1ラウンド開催（ベルリ
1997	COP3で地球温暖化ガス削減に法的拘束力を持たせるものとして『京都議定書』が採択 対象となる地球温暖化ガスはCO ₂ 、N ₂ O、CH ₄ 、HFC、PFC、SF ₆ の6種類 2008年から2012年までの第1約束期間までに先進国で1990年（基準年）比5%の削減を目指す 各国は法的拘束力のある削減数値が定められ、日本6%、米国7%、欧州8%とされた 一方、排出権取引や途上国で行われた温暖化ガス排出削減事業に対するクレジット（京都メカニズム）も導入された
2001	米国が議定書から離脱（4月） COP7（マラケシュ - モロッコ）で京都議定書の運用細則が最終合意 2002年発効へ

（出所）各種資料を参考にみずほコーポレート銀行産業調査部作成

日本では COP 会議の動向をにらみ、「地球温暖化問題への国内対策に関する関係審議会合同会議」において、地球温暖化ガス削減の方向性を定めており、運輸部門については 2010 年に 1990 年比 +17% に抑える旨の報告書が 1997 年 11 月に提出されている。しかし、1999 年の地球温暖化ガス排出実績は 1990 年比 23% の増加となっており、目標達成はかなり厳しい状況と言わざるを得ない。

（3）低排出ガスと燃費を両立するための技術的課題

地域ごとに規制に差異はあるものの米国流の『ゼロエミッション』指向も欧州流の『低燃費』指向もいずれも大気環境や石油資源節約の観点から環境対応を推進していく方向性に大きな違いはない。しかしながら既存の内燃機関を利用する場合、技術的制約から『二兎を追うこと』が出来ない状況にあるため、おかれた環境の違いから規制の方向性に差異が発生しているのである。こうした環境規制の方向性の差異は将来的には、「より低エミッション」な技術と「より低燃費」な技術の両立を図る方向に収斂されていくであろう（図表1 - 9）。

図表1 - 9 低燃費と低排出ガスのトレードオフ

	排出ガス				車両性能	
	都市環境			地球環境	出力	航続距離
	NOx	HC/CO	黒煙/PM	CO ₂		
ガソリン自動車						
ディーゼル自動車						

（出所）「日本自動車工業会ホームページ（<http://www.jama.or.jp/indexJ.html>）」（2002年3月10日）をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

（注）記号の意味は （有効） （難あり）

第3節 足許の環境技術開発動向

前節で述べた通り、環境規制の方向性には地域ごとに差異があり、そのため技術開発の方向性についても地域ごとにより大きな差異が認められる。

まず米国では、LEV 規制において 2003 年からの ZEV 販売が義務づけられたことから、各社は電気自動車 (EV) をリリースした。しかしながら、²1999 年時点での保有台数は 6,200 台に留まり、自動車の保有台数が 2 億台を超える米国では EV が受け入れられたとは言い難い数字である。この原因はインフラの不備、航続距離、値段、そして何よりも走行性能で既存内燃機関と比較できるレベルになかったためである。

そこで、政府と Big3 が中心となって次世代車開発プログラム「PNGV (Partnership for a New Generation of Vehicles)」が 1993 年に発足し、高い目標を掲げた環境面での排ガス性能 (連邦規制 Tier2 レベル) と燃費性能 (80mpg) を充足するための開発に力が注がれた。PNGV プログラムではこの環境性能をクリアするためのパワートレイン (動力機関) としてディーゼルハイブリッド技術と燃料電池技術を中心に研究を進められてきたが、2004 年にライン対応の試作車を製作するというスケジュールを勘案するし、PNGV プログラムによる最初の量産プロトタイプはディーゼルハイブリッド車と見られている。

一方、ZEV の販売を義務付けたカリフォルニア州では、当初の規制の目論見通り ZEV が普及しなかったことから 1999 年に州が「California Fuel Cell Partnership」(CFCP) という燃料電池自動車開発・実証プログラムを立ち上げ推進している。当初カリフォルニア州のみでの試験が想定されていたが、日本や欧州の自動車メーカーも参画し、既に実証試験段階となっている CFCP は国際的プロジェクトとして注目されている。

欧州では、米国 PNGV の燃費目標 80mpg を近未来車開発のひとつの焦点として捉え、『3 リッターカー (100km を 3 リットルの燃料燃料で走破する車 - 80mpg は 34km/l に相当)』構想が持ち上がった。もともと燃費規制に有利なディーゼル車がベースとなり、コモンレールシステムの採用など内燃機関の効率・低排出ガス性の向上、効率の高い無段変速機 (CVT) の開発、車体の軽量化に向けた開発が進められた。また、排出ガス性能で劣るディーゼルエンジンに対応した低硫黄軽油や微粒子除去フィルター (Diesel Particulate Filter : DPF) の開発も進められている。

一方排ガスの抑制では代替燃料の模索も行われており、ドイツでは原油依存体質の脱却を目指した産官共同の TES (Transportation Energy Strategy) が 1998 年に発足し、次世代運輸用燃料の検討作業を行っている。TES は 2000 年 1 月の中間報告において、第 1 候補を水素、第 2、第 3 の候補としてメタノールと天然ガスに絞り込んでいる。

日本では、乗用車についてはガソリン車のシェアが高く排出ガス対策が先行したこともあり、乗用車向けは低燃費指向の技術開発が重視されている。燃費改善に有効なパワートレインとしてディーゼル車が国内で支持を得られていないことから、ハイブリッド化での燃費向上を目指している。また、代替燃料の模索も行われており、圧縮天然ガスやメタノール、LPG を燃料とした乗用車・商用車が低公害車としてリリースされている。

政府も経済産業省・国土交通省・環境省が参画する『低公害車開発普及アクションプラン』において、既に市販段階となっている低公害車を 2010 年までに 1,000 万台以上普及させることと、同じく 2010 年までに燃料電池自動車 (FCEV) を 5 万台まで普及できるよう開発を進めていくことを目標としている。また、FCEV の開発と並行して、現時点では代替技術の切り札が存在しない大型ディーゼル車を代替するジメチルエーテル (DME) 燃料やハイブリッド化、クリーンディーゼルエンジンの開発についても推進している。

² 財団法人日本電動車両協会『電気自動車について』

第4節 環境規制が導き出す次世代自動車

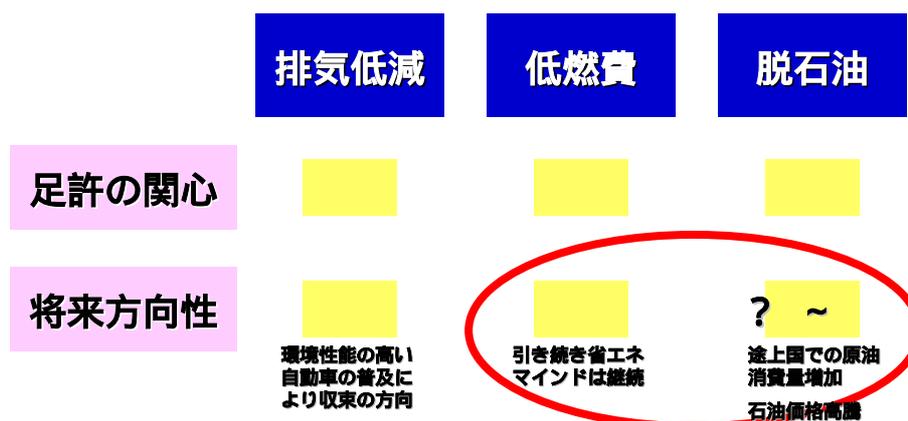
規制を通じて各地域がそれぞれ自動車社会の将来像を描いているが、もっとも高い理想を描いているのは米国であろう。特にカリフォルニア州で制定されたLEV規制では2003年のZEV販売比率10%という義務が課されている。現在の実現可能とされる技術でZEVに認定されるのはFCEVと電気自動車(EV)に限られ、航続距離・充電時間などの実用性を満たせなかったEVが候補から外れるとすれば、2003年にカリフォルニア州で完成車メーカーはその販売する自動車の10%をFCEVにしなくてはならないということになる。しかしその一方で、PNGVでは2004年にBig3製のファミリーセダクラスで燃費80mpgを達成するため、ディーゼルハイブリッドという形でZEVの概念と真っ向から対立するディーゼルエンジンの利用を進めようとしており、その二つの流れには矛盾が生じている。

こうした高い理想を掲げ開発を促す手法は、実現不可能といわれたマスキー法の制定が三元触媒へのブレイクスルーを導いたことと似ている。しかし、内燃機関を利用する限り、「ほぼゼロ」は可能であっても、完全なゼロエミッションの達成は不可能である。ゼロエミッション、かつ燃費のよい車のパワートレインとなる可能性を持っているのは目下の処、燃料電池に限られてくる。

燃料電池が選ばれる理由はゼロエミッションが可能であるという点だけではない。もうひとつの大きな理由は脱石油に対応できることだ。自動車に対する環境意識は排気ガス低減と低燃費が中心であった。だが、将来的にはエネルギーセキュリティ確保のため、「石油を節約する」という考えから「石油以外のエネルギーを利用する」という考え方にシフトすることが予想される。石油の可採年数は40年とも100年ともいわれており、定説がないというのが現状である。しかし、埋蔵量に限りがあるということに異論はなく、時期は特定できないものの、将来のある時点で石油枯渇問題の世論が惹起されることも考えられる。その時、石油資源に対する接し方が「節約」から「制限」にシフトすることは十分考えられる。そういった「脱石油」時代の自動車動力源の最右翼として燃料電池が注目されているのである(図表1-10)。

この点から見ると、米国において海外石油依存度引き下げという観点からPNGVに代わる形で燃料電池自動車(FCEV)開発に焦点をあてた「FreedomCAR(Cooperative Automotive Research)計画」が打ち出されたことは一つの変化であろう。

図表1-10 自動車の環境性能に対する意識



(出所) みずほコーポレート銀行産業調査部作成

(注) 記号は意識の高さを示す (高い) (低い)

ゼロエミッションという観点に加え、石油代替効果も期待できる燃料電池は、次世代自動車の動力源候補として産業全体にとっても次世代のキーテクノロジーのひとつであることは間違いない。第2章以下ではFCEVとその心臓である燃料電池の可能性について考察を加えていくこととしたい。

第2章 自動車業界再編と環境要因

1990年代後半の完成車メーカーのグループ化は、「400万台クラブ」というフレーズにも見られるとおり、台数規模の追求という側面で語られることが多い。しかし、このグループ化の背景には完成車メーカーの製造におけるスケールメリットの拡大要請だけではなく、莫大な費用のかかる、ITS・環境対応・電子制御などといった技術開発の要請が存在していることも見逃せない。

本章では、1990年代後半における完成車メーカーの合従連衡と、それに呼応した部品サプライヤーの再編に見る自動車業界が直面する技術開発の要請と、特に環境関連技術の持つ重要性について概観したい。

第1節 1990年代の完成車メーカーの再編

1990年代は完成車メーカーの合従連衡の10年であったが、その動きに先鞭をつけたのはフォルクスワーゲンが1990年にチェコのシュコダとスペインのセアトを相次いで子会社化したことであろう。当時のVWの拡大路線から、完成車メーカーの生き残りの条件として「250万台クラブ」という表現が生まれたのである。その後、それは「400万台クラブ」へと拡大し、98年11月の独・ダイムラーベンツと米クライスラーの合併時にその機運は最大のものとなり、新たな出資関係の成立や従来からの資本関係の強化に向けた動きが加速した（図表2-1）。

図表2-1 主な完成車メーカーの資本提携・買収動向（1990年以降）

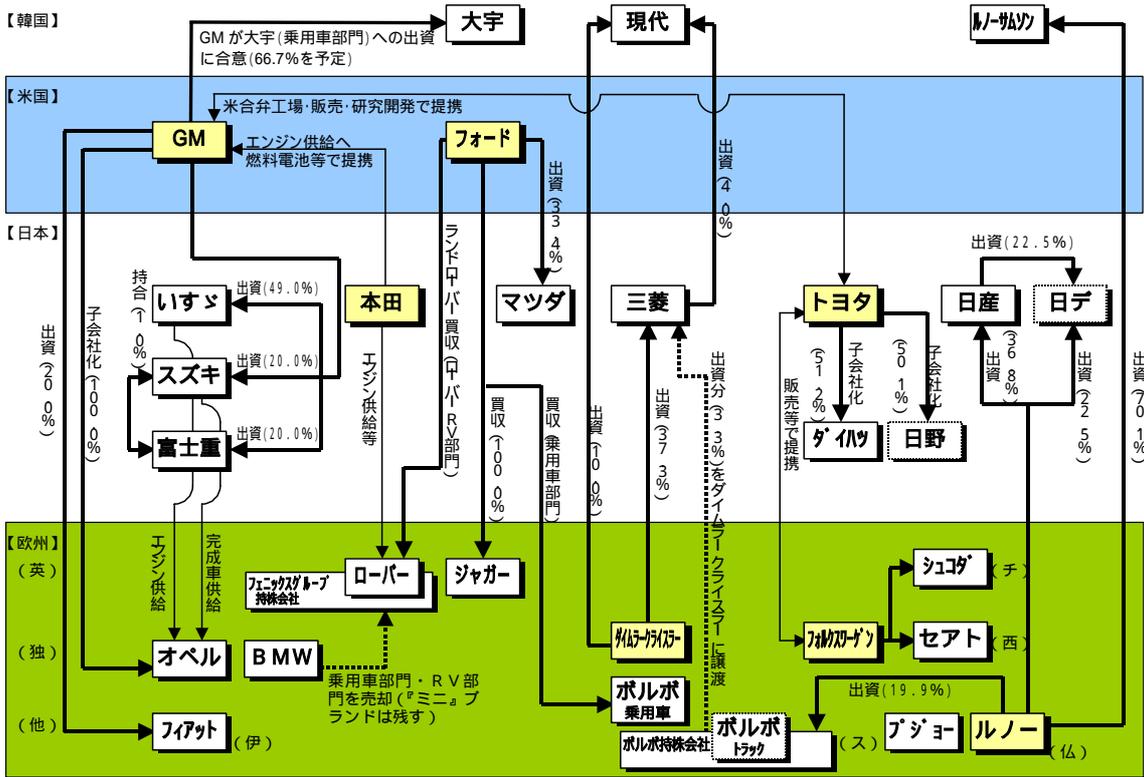
年	主な買収・資本提携事例
1990	・ VW、シュコダ（チェコ）の経営権取得
1991	・ VW、セアト（スペイン）の経営権取得
1996	・ フォード、マツダへの出資比率を33.4%に引き上げ
1998	・ トヨタ、ダイハツへの出資比率を51.2%に引き上げ ・ ダイムラーベンツとクライスラー合併（発表は1997年12月） ・ GM、いすゞへの出資比率を49%に引き上げ
1999	・ フォード、ボルボ（スウェーデン）の乗用車部門を買収 ・ ルノー、日産に36.8%出資 ・ GM、富士重工に20%出資
2000	・ フォード、ローバーのRV部門を買収 ・ ルノー、三星（韓国）の経営権取得 ・ ボルボ、ルノーの商用車部門（ルノーVI、マック）を取得 ルノー、ボルボに15%の出資
2001	・ GM、スズキへの出資比率を20.1%に引き上げ ・ ダイムラークライスラー、三菱自工への出資比率を37.3%に引き上げ ・ トヨタ、日野への出資比率を50.1%に引き上げ ・ GM、大宇自動車に資本参加

（出所）報道等を参考にみずほコーポレート銀行産業調査部作成

（注）段階的に出資比率を上げている場合は、もっとも直近の事例のみ掲載

この動きは国境を越えてわが国完成車メーカーも巻き込んで進展し、トヨタとホンダを除き、ルノー - 日産、ダイムラークライスラー - 三菱、富士重工 - GM のように海外完成車メーカーの資本系列に組み込まれることとなった（図表2-2）。

図表2-2 世界完成車（乗用車）メーカーの資本提携

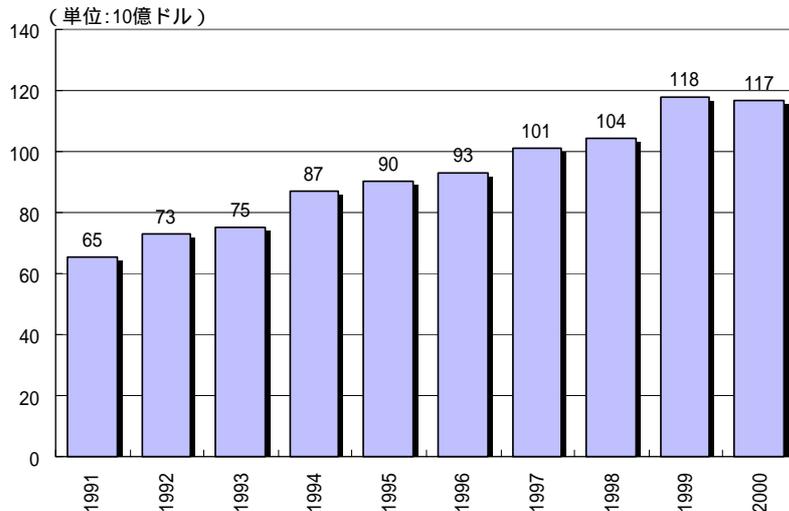


(出所) 報道等をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

完成車メーカーがこのグローバル再編で目指したものの一つがスケールメリットの確保であることは先に述べた。具体的には販売チャンネル確保による未開拓市場への進出、統一プラットフォームの採用によるコスト低減（世界戦略車構想）商品ラインナップ補完などを挙げることができる。

その結果、完成車メーカーの1社あたりの売上高・生産台数は増加し、スケールメリットの獲得により売上高営業利益率も向上している。しかしながら資産効率の面では未だ統合効果が現れていない状況も窺われる（図表2-3、2-4）

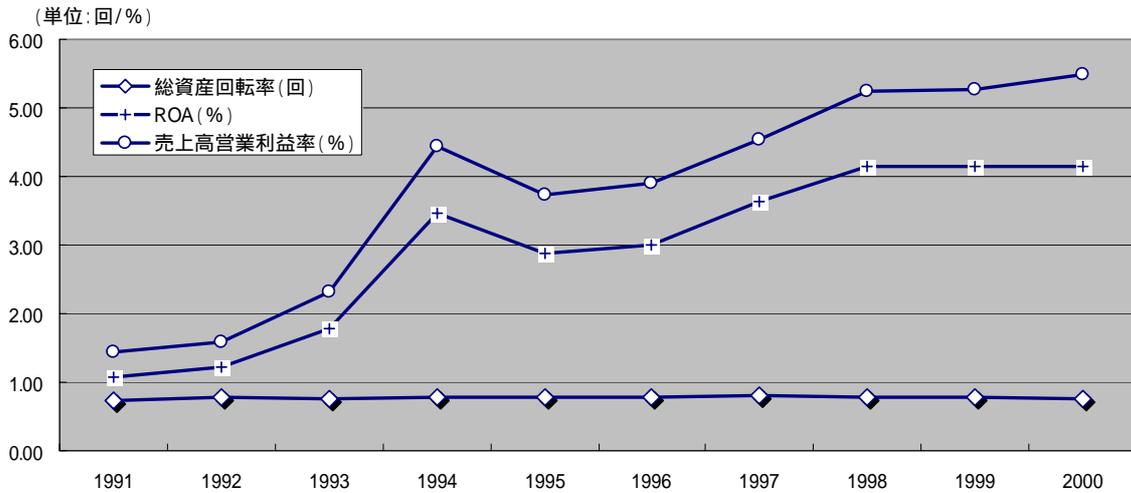
図表2-3 主な完成車メーカーの売上高推移（平均値）



(出所) 報道等をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

(注) GM、Ford、Daimler Chrysler、Renault、VW、トヨタ、ホンダの平均値を採用

図表 2 - 4 主な完成車メーカーの財務指標推移

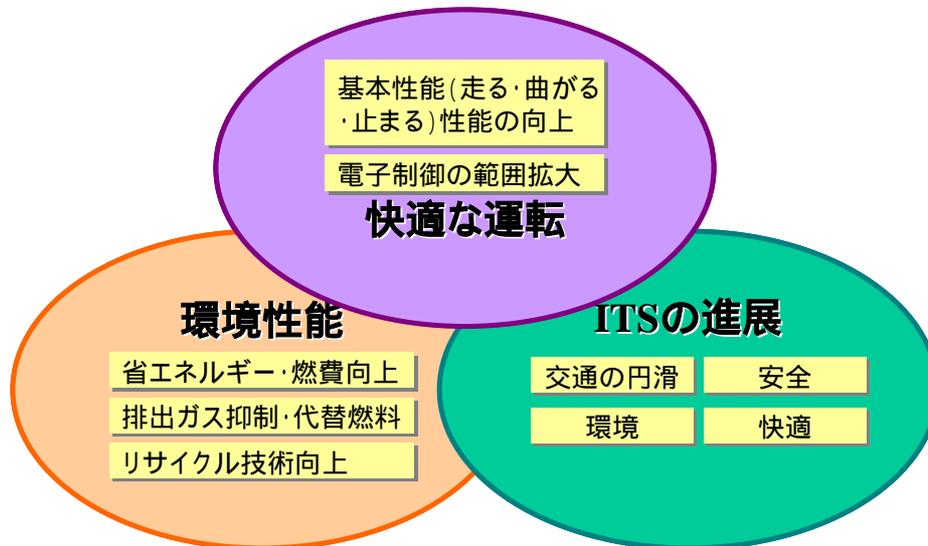


(出所) 各種資料をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

(注) GM、Ford、Daimler Chrysler、Renault、VW、トヨタ、ホンダの実績値から計算

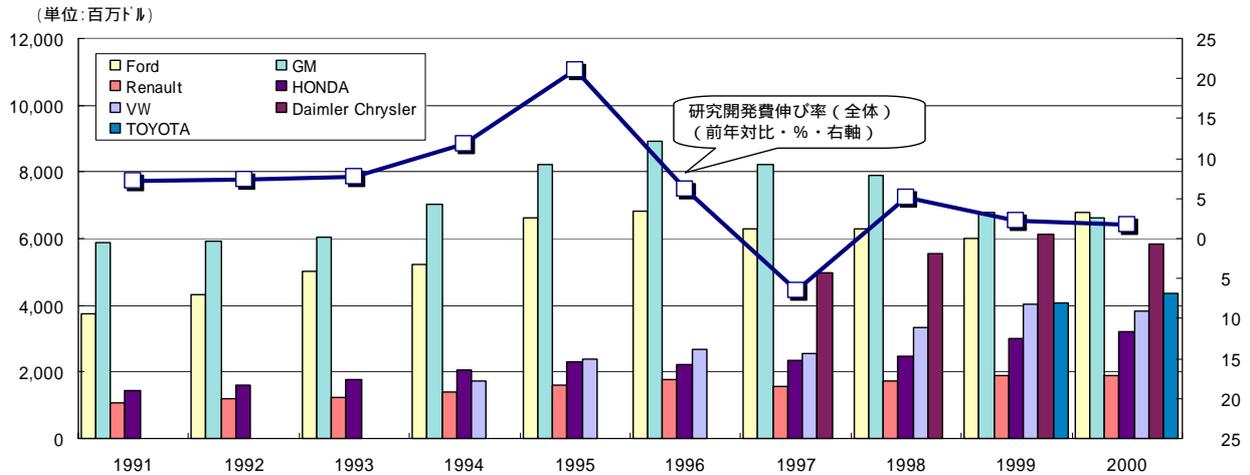
これらに加え、自動車業界が抱える技術開発課題への対応も目的の一つとなっている。ITS・環境対応・安全性向上そしてこれらを支える電子制御技術の高度化と、対応すべき技術課題は幅広い分野にわたっており、これら開発負担は売上高規模に関わらず完成車メーカーにとって共通に降りかかってくる課題となっている。1990年代を通じて世界的に完成車メーカーの研究開発費は略一貫して増加傾向を示しており、こうした開発負担を吸収する目的から大きな資本を求めて資本提携が行われてきた一面も否定できない(図表2-5, 2-6)。

図表 2 - 5 自動車産業に要求される開発課題



(出所) 各種資料をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

図表2-6 主な完成車メーカーの研究開発費の推移



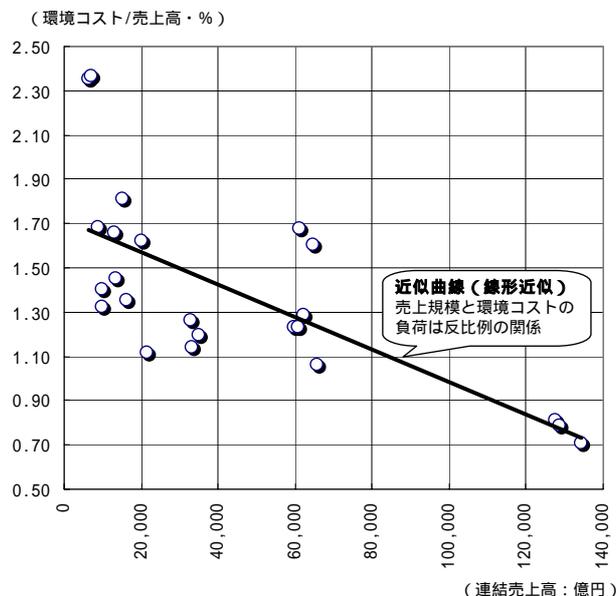
(出所) 各種資料をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

(注1) GM、Ford、Daimler Chrysler、Renault、VW、トヨタ、ホンダの実績値から計算

(注2) 研究開発費伸び率(折れ線)は実績のあるメーカーの総和を用いて計算

特に、開発負担の中でも環境対応費用の負担が大きくなっていることが見逃せないポイントである。国内完成車メーカーの環境コストの売上高に占める割合をみると、環境コストのそれは売上高規模と反比例の動きを示していることが分かるが、このことは一社あたりに要求される環境コストは固定費的な部分が多く、相対的に規模の小さい完成車メーカーにより重圧感をもって受け止められるということを示唆している(図表2-7)。

図表2-7 売上高規模と環境コスト比率(環境コスト/売上高)の分布



(出所) 各社環境報告書をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

(注) 国内完成車メーカー各社の1998年度から2000年度の捕捉可能な実績値により算出

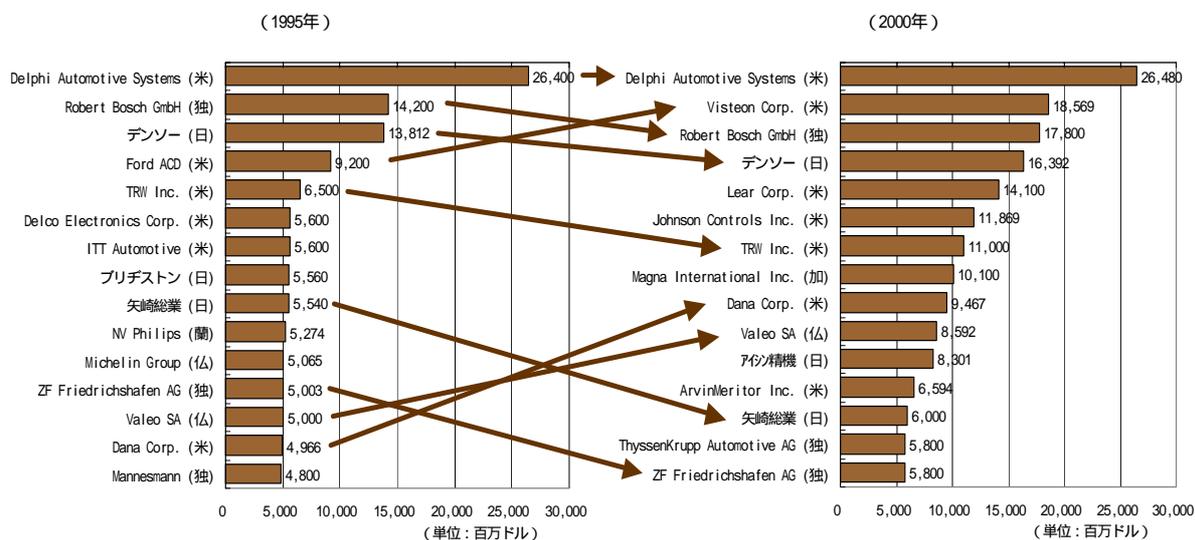
こうした中で、完成車メーカーの新たな提携が、技術開発負担軽減といった要因に後押しされ急速に拡大している。環境規制は世界的にも地域ごとに方向性が異なるのは第1章で触れたとおりであるが、グローバル再編された完成車メーカーは自社のマザーマーケット以外でも夫々の市場に対応した製品を供給しなければならなくなっている。小型ディーゼル車を持たない米国のメーカーが、欧州の燃費自主規制をクリアするためにディーゼルエンジンを必要とするようなケースである。あまりにも開発すべきフィールドが広いため、自社グループ内に開発のリソースが不在あるいは不十分である場合が増えてきており、その結果、完成車メーカーの資本系列にとらわれない技術提携が増加しているといえよう。

第2節 部品サプライヤーへの影響

完成車メーカーの再編は自動車部品サプライヤーにも大きな影響を与えた。それは、完成車メーカーと同様の開発要請（環境・安全・ITS など）と再編によってグローバル化した完成車メーカーへの対応が必要となったことである。また、開発負担に喘ぐ完成車メーカーによっては、従来内製してきた部品を『モジュール化』と称して部品サプライヤーに移管する動きも現れている。1990年代を通じて部品サプライヤーに突きつけられた課題を挙げれば、「世界最適供給」、「モジュール納入」、「システム開発」の3点に集約される。

第一の「世界最適供給」の要請とは、グローバル再編を経て完成車メーカーが部品サプライヤーに対して、バーゲニングパワーを高めたことによる。具体的には、グローバル化した完成車メーカーが統一プラットフォームを利用した世界戦略車を世界各地の工場で生産する場合に、大ロット発注の見返りに「値下げ」と全生産拠点への「同一条件での納入」を要求するような例である。近年完成車メーカーの内製部門からデルファイやヴィステオンといったメガサプライヤーがスピンアウトしており、こうしたメガサプライヤーの誕生が他の部品サプライヤーの合従連衡を加速した。実際に北米を中心に合併・買収によって巨大部品サプライヤーが相次いで誕生している（図表2-8）。

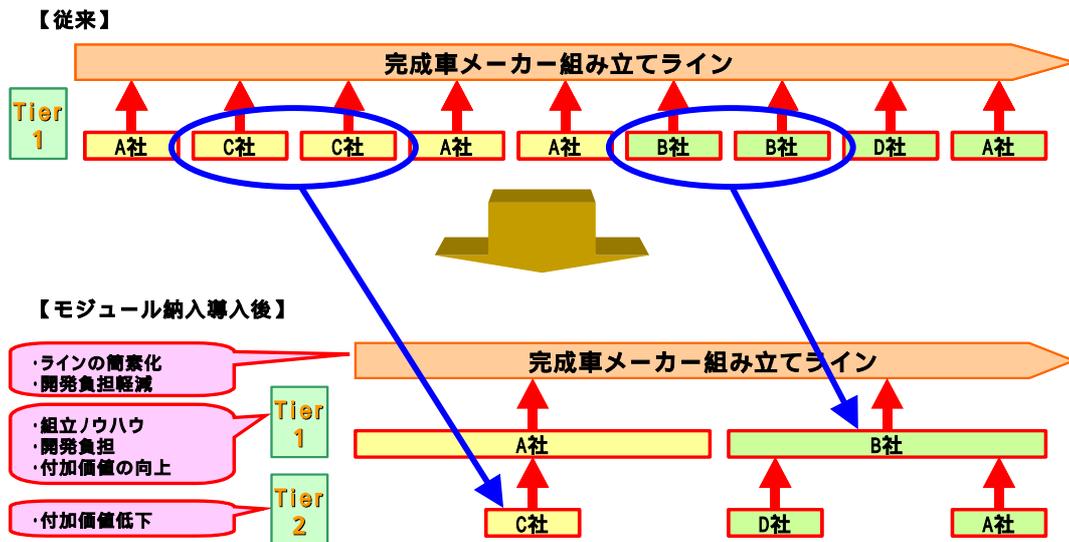
図表2-8 部品サプライヤー規模の推移



(出所) Automotive News をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

次の「モジュール納入」とは、従来完成車メーカーがそれぞれ部品サプライヤーから調達し自社のラインで組み付けていたような部品群を、ひとつの複合部品として発注するものである。これは完成車メーカーによる部品サプライヤーへの組み立て工程のアウトソーシングであり、新たな開発負担に対応しなくてはならない完成車メーカーが、ノンコア部品の開発負担を軽減しようとする動きでもある。部品サプライヤーはモジュール化によって、部品単位が大きくなることと、部品の統合開発を行うことから売上高が伸び付加価値が向上する。そのため、部品サプライヤーはモジュールに関わる部品群を生産あるいは評価する能力を得るために、不足している製品や技術を求めるようになった。その結果、モジュール納入能力のあるサプライヤーと能力を持たないサプライヤーでは生み出す付加価値にも差がつくと考えられ、モジュールサプライヤーへの指向も合併・買収あるいは提携の一つのインセンティブになっている（図表2 - 9）。

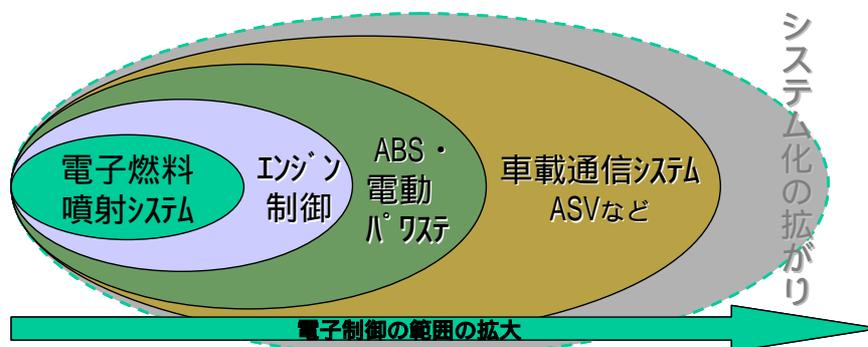
図表2 - 9 モジュール化の部品サプライヤーに及ぼす影響



（出所）みずほコーポレート銀行産業調査部作成

加えて、部品のモジュール化により、従来完成車メーカーが保有していた部品群のシステム統合ノウハウが部品メーカーにも要求されるようになってきている。従来は燃焼制御など「走る」の限定された部分で利用されてきた電子制御の範囲が拡大してきており、「曲がる」・「止まる」の分野でも電動パワーステアリングやABS、スタビリティコントロールなど電子制御が必要とされる技術が増えてきている（図表2 - 10）。

図表2 - 10 電子制御の適用範囲の拡大



（出所）みずほコーポレート銀行産業調査部作成

このように完成車メーカーが内製してきた部品や技術が成熟化することによって、部品サプライヤーに移管されていく流れが加速してきている。それは完成車メーカーがなすべき開発課題が大きくなったために、従来なら完成車メーカーが内製を続けていたであろう部品や技術も部品サプライヤーに移管しなくてはならなくなったともいえる。

完成車メーカーが最後まで手放さないコア技術は動力源であるパワートレイン周りの技術である。しかし、第1章で述べたとおり、中長期的には燃料電池車の様な従来型の内燃機関とは異なる動力源が自動車の心臓部を占めている可能性が少なからず存在している。完成車メーカーはこの新しい動力源に対応出来ないと、将来的に完成車メーカーとしての存立を脅かされる危惧もある。つまり燃料電池自動車の開発はある意味完成車メーカーのアイデンティティを賭けたプロジェクトとも言えるのである。

一方、完成車メーカーは燃料電池の開発だけでなく、まだまだ当面の間は既存内燃技術に磨きをかけることも要求されている。環境パワートレインとして代替燃料の検討やガソリンエンジン、ディーゼルエンジンのエミッション低減開発や燃費低減開発も行わなくてはならないのである。しかも、この既存技術の改良・開発ですらかなりの資金と時間と人材を投入しなければ競争から取り残される程厳しい競争状況にある。完成車メーカーは限られた資本力と人材の中で多岐に亘るパワートレイン開発をどのような優先順位で戦略的に展開するのか、難しい舵取りを迫られていると言えよう。

第3章 環境パワートレインの開発動向

今後ますます高まる環境対応の重要性とそれに応えうる技術として期待される燃料電池であるが、自動車業界は何処までこの新しい燃料電池という技術に肩入れすればよいのであろうか。この章では燃料電池に競合する技術の開発動向について検討しつつ、今後の環境対応パワートレインの可能性について整理してみたい。

第1節 既存内燃機関による環境対応

内燃機関は19世紀に発明されて以来、時代とともに高出力化、低排出ガス化、低燃費化と変化する社会的要請に応え、性能を向上させてきた。カリフォルニア州では日産のセントラ CA（日本名「サニー」）がガソリン内燃機関を動力源とする自動車として初めて SULEV（Super Ultra Low Emissions Vehicle）に認定されており、内燃機関でも十分な環境性能を達成できることを証明した（図表3-1）。

図表3-1 内燃機関の性能向上に寄与した技術

高出力追求	
動弁系	4バルブ化
動弁系	可変動弁
燃料系	電子制御フューエルインジェクション
過給機	ターボチャージャー、スーパーチャージャー
低排出ガス追求	
制御	電子制御
排気系	EGR回路
排気系	三元触媒、DPF（ディーゼル）、新触媒
燃料系	燃料噴射圧高圧化、コモンレール（ディーゼル）
低燃費追求	
動弁系・燃料系	リーンバーン
燃料系	直噴リーンバーン
低フリクション	2本リング
軽量化	アルミブロック、樹脂インマニ

（出所）各種資料を参考にみずほコーポレート銀行産業調査部作成

《ガソリンエンジン》

ガソリンエンジンはディーゼルエンジンとの比較においては排出ガス性能に優れる反面、熱効率即ち燃費性能では劣っている。そのため、燃費性能を向上させるべく、「リーンバーン（希薄燃焼）」や「直噴化」並びに「気筒停止」が導入・検討されている。

直噴化やリーンバーンは理論空燃比（空気とガソリンが完全燃焼する割合。空気：燃料＝15：1）よりも燃料であるガソリンを薄め（同50：1程度）で燃費性能を向上させる技術であるが、空気の量が勝るため酸素と窒素が反応してNO_xが発生しやすくなる。また、気筒内に直接燃料を噴射することから燃料と空気の混合具合にムラが出来やすく、混合気方式に比較すると完全燃焼させることが困難である。つまり、燃費と引き換えに排出ガスが増加するトレードオフの関係が存在するのである。この対策として新触媒の開発や触媒の二重配置といった排出ガスの後処理と、燃料供給や点火時期、EGR（排ガス再循環）などの制御の精度を高めてNO_xを低減することが研究されている。

また、渋滞や一時停止時の気筒停止については、エンジンの起動停止が頻繁になることから、起動時の未燃焼ガソリン（HC）の大気放出を防ぐ後処理技術が要求される。また、エンジン停止時もヘッドライトやエアコンに電気を供給しなければならないことから、バッテリーの大容量化も研究されている。

《ディーゼルエンジン》

ディーゼルエンジンは熱効率が高く燃費は優れているが、高熱・直噴による異常燃焼と燃料に含まれる硫黄分からNO_x以外にもPM（粒子状物質）が排出されるという問題を抱えている。

異常燃焼対策としてはEGR（排ガス再循環）制御の精度向上が挙げられる他、気筒内の混合気を均質にし、完全燃焼を促すための燃料噴射圧の高圧化や燃焼室形状の改良、そしてこれら全体を制御する電子制御技術の研究が進められている。特に燃料噴射圧を高圧化させるため、コモンレールシステム（耐高圧燃料供給管）が導入され主流となりつつある。ディーゼルエンジンは空気の圧縮熱により燃料に着火するため、ガソリン

エンジンのように電子的に点火時期を制御できず、より高度な気流制御のノウハウが要求されている。

PM の発生に対しては後処理装置（DPF）が開発されており、PM の捕捉性能と耐久性の向上の研究が進められている。しかし、現状では燃料の硫黄分が多いため PM の発生量過多で DPF が早々に目詰まりを起こすこと、また、目詰まりによる背圧の上昇から燃費の悪化を来たしており、PM の原単位を減少させるべく、燃料である軽油の硫黄分低減への取り組みも進んでいる。

その他、無段変速機（CVT）やパワーステアリングの電動化などエンジン以外で駆動力を消費する部位について省エネルギー化への取り組みが進んでいる。

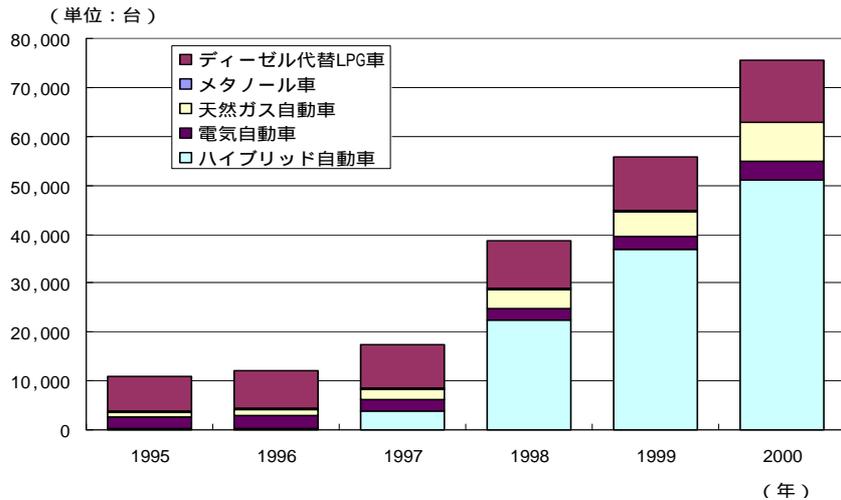
第2節 クリーンエネルギー自動車による環境対応への取り組み

内燃機関の環境対応については既存内燃機関（ガソリン・ディーゼル）の改良以外に代替燃料使用やハイブリッド化による対応の動きも顕現化しており、足許の保有台数も着実な伸びを示している。

ここでいう「クリーンエネルギー自動車」とは 石油エネルギー代替効果 省エネルギー効果 排出ガスの抑制・削減などの環境負荷低減効果が得られるとされている自動車で、経済産業省の総合資源エネルギー調査会において導入目標が定められている自動車のことである（脚注図参照）。

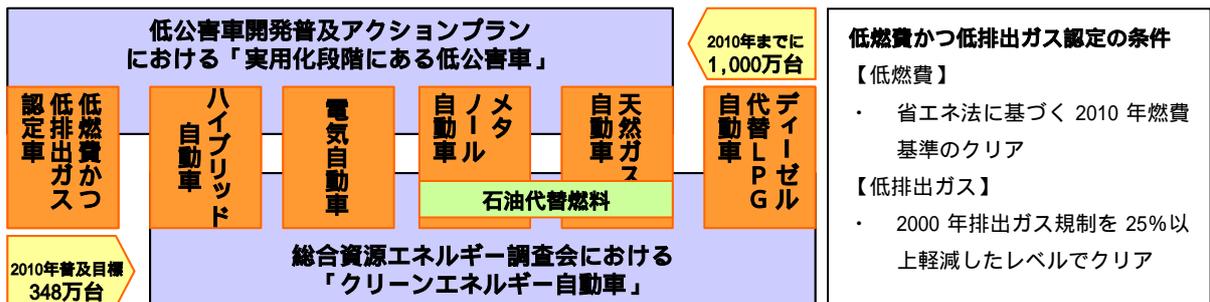
政府は「低公害車開発普及アクションプラン」において、³実用段階にある低公害車を 2010 年までのできるだけ早い時期に 1,000 万台普及させることを目指している（図表 3 - 2）。

図表 3 - 2 代替燃料自動車等の普及台数



(出所)日本自動車工業会「クリーンエネルギー車ガイドブック 2001」よりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

³ 「実用段階にある低公害車」とは、低公害車開発普及アクションプランにおいて政府として普及に取り組むべき環境に優しい自動車として対象にされた自動車を指す。(下図参照)



ディーゼル代替LPG自動車は石油代替効果はないが、ディーゼル自動車からの代替における環境面での効果に鑑み広義の「クリーンエネルギー自動車」として扱う

(1) 天然ガス自動車

天然ガス自動車は燃料にメタン(CH₄)を主成分とした不純物の少ない天然ガスを利用しているため、SO_x(硫黄酸化物)やPMを発生させず、CO₂の発生量がガソリンに比べ2割程度削減される。また、特に代替が期待されるディーゼル自動車に比べNO_xやPMを10%~30%低減させることが可能となっている。制約面としては、燃料タンクの貯蔵量に限界がありながら燃料供給インフラが未整備であり航続距離が短いことや重量などが挙げられる。そのため、国内での普及は路線バスや配達車やごみ収集車などの用途に限定されている。

世界的には2001年時点で175万台程度の保有台数となっている。なお、カリフォルニア州のLEV規制ではZEV代替自動車(ad-PZEV)として認められている。しかし、国内では上述の理由もあり、10,000台弱の保有に留まっている。

(2) メタノール自動車

メタノール自動車は天然ガス自動車と同様にNO_xやPMを排出せず、特に代替が期待されるディーゼルとの比較ではNO_xを約50%低減させることが可能となっている。また、燃料となるメタノールは天然ガスから生産されているが、石炭、木材、バイオマスなどからも生産可能なため、石油代替かつ再生可能エネルギーとしてエネルギーセキュリティ強化にも寄与する燃料である。

メタノール自動車は液体燃料を使用するためエネルギー密度が高くなり、天然ガス自動車に比べて航続距離は長くなる。しかし燃料供給インフラが僅少であることもさることながら、メタノール自体が毒性を持っており、現状では国内普及台数も200台を割り込んでおり、新規導入も見受けられない状況である。

(3) 電気自動車

電気自動車は電気を電池に蓄え、モーターを利用して走行するため排出ガスは一切出さない。発電時にNO_xやCO₂が排出されるが、⁴同型ディーゼル自動車との比較ではNO_xは1/10にCO₂は1/2に減少する。また、回生ブレーキにより減速時にエネルギーを回収できることからエネルギー効率をさらに高めることができる。

米国でのZEV規制の導入に伴い完成車メーカー各社が1990年代前半に本格的に電気自動車の開発に取り組んだ結果、インバーターの性能向上による省電力化とニッケル・水素電池やリチウムイオン電池といった新バッテリーの開発により大幅に航続距離や加速性能が向上した。しかし、既存内燃機関自動車との比較においては、依然として航続距離が短いこと、車両価格が高いこと、充電に時間がかかること、バッテリーの耐久性に問題があること、大量積載が困難なことなどから国内普及台数は小型乗用車を中心に4,000台弱に留まっている。

(4) LPG自動車

LPG自動車は燃料となるLPGが石油代替エネルギーではないため、「低公害車開発普及アクションプラン」においては低公害車と認定されていない。しかし、ディーゼル自動車との比較においてPMを排出せず、NO_xも10%~30%程度低減されるので、広い意味でクリーンエネルギー自動車と捉えることができる。LPG自動車は燃料価格が割安なことから既にタクシーを中心に30万台程度普及しており、燃料供給インフラも全国に2,000箇所程度存在している。今後はディーゼル代替として小型トラックにも普及することが期待されている。

⁴ 財団法人日本電動車両協会『電気自動車について』

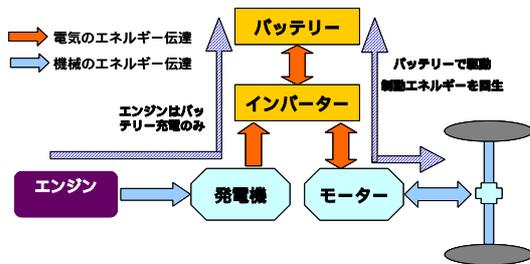
(5) ハイブリッド自動車

ハイブリッド自動車は燃費・排出ガス低減の有力な手段として古くから研究されてきた技術であるが、バッテリーとエンジンの2つの動力源を要することからシステムが大きくなりやすく、大型車で商品化が先行した。しかし、1997年に乗用車モデルのトヨタ「プリウス」が市販モデルとして販売されるようになり、急速に販売台数を伸ばしている。また、現在市販モデルとしてハイブリッド自動車をラインナップしているのは、国内完成車メーカーのみでハイブリッド化技術において日本は世界をリードしている。

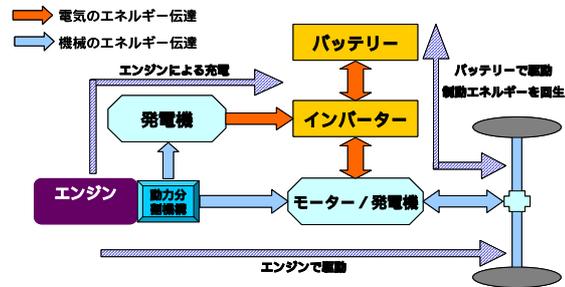
ハイブリッド自動車のメリットは 既存インフラ（ガソリン・ディーゼル）の使用が可能であること、電動機とエンジンの負荷を効率よく制御することにより排出ガスの低減と低燃費を実現していること、回生ブレーキによりさらにエネルギー効率を高められることなどが挙げられる。ハイブリッド自動車には、エンジンは電気自動車の一充電航続距離を延ばすための発電機という発想のシリーズ式も存在するが、最近ではエンジンと電動機のトルク特性を活かすパラレル式あるいはシリーズ・パラレル式が多く開発されている（図表3-3）。

図表3-3 ハイブリッド自動車のメカニズム

(シリーズ式)



(シリーズ・パラレル式)



(出所) 日本電動車両協会「電気自動車について」をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

1997年のトヨタ「プリウス」の販売以降、現在はホンダも合わせ数車種が市販されている。ハイブリッド自動車は他のクリーンエネルギー自動車に比べ燃料供給インフラ上の制約がないことから、早期普及の可能性を持っている。しかし現状では、展開車種に限りがあること、販売価格が割高であることから2000年末でも5万台程度の保有に留まっており、さらなる普及のためには一段の企業努力が要求されている。

ハイブリッドシステムの優れている点は回生ブレーキによって制動時にエネルギー回収でき、エネルギー効率を向上させるところにある。つまり、動力源を内燃機関だけに求めておらず、燃料電池にも応用可能な技術である。今後とも更なる低コスト化と軽量化などによる効率向上を追求して開発が進められていくであろう。

第3節 地域性のあるメーカーの取り組み

(1) 完成車メーカーの動向

記述の通り、既存内燃機関（ガソリンエンジン・ディーゼルエンジン）については排出ガス性能の改善と燃費性能の改善を両立するような環境技術は存在せず、完成車メーカーは複数の技術のベストミックスを目指して研究開発を行っている。しかし、決め手となる技術が存在しないことから、各社あるいは各地域ごとに開発の方向性に相違が見られる。これらの取組中の技術分野を整理して示すと図表3-4のようになる。

(2) 研究対象にみる開発の方向性

足許の環境関連の論文発表数を分類別に確認すると、既存内燃機関に関するものが全体の35%を占めており、内燃機関に付随する排出ガス処理に関する論文を加えるとその割合は50%を超えている。また、代替燃料に関する論文は9.7%となっている。これに対して燃料電池に関する論文は1.5%に過ぎない。勿論、企業の情報戦略の違いもあり、必ずしもあるテーマに対する論文発表数とその分野への開発取り組み状況を示しているとは言えない。しかし、50%超と1.5%という格差を鑑みれば、環境パワートレインの開発の眼は依然として内燃機関の性能向上に向けられていると判断して差し支えないだろう。

また、地域別に比較すると、日本ではディーゼルエンジンに関する論文が多いこと、米国ではハイブリッド化に関する論文、欧州では排出ガス処理に関する論文が多いことが分かる。

これら地域別の論文テーマの方向性は、日本メーカーは欧州市場で3割以上のシェアを持つ乗用車向けディーゼルエンジンに本格的に取り組みを開始したこと、米国ではPNGVプログラムの目標達成のためにハイブリッド自動車の開発が進められたこと、そして欧州では燃費性能とはトレードオフの関係にある排出ガスの後処理技術の開発を進めていることを示している(図表3-6)。

図表3-6 自動車産業における環境関連論文発表数の割合

分類	(単位: %)			
	日	米	欧	合計
ガソリンエンジン	10.3	13.3	16.4	13.3
ディーゼルエンジン(含むDPF)	25.4	17.9	22.1	21.7
代替燃料利用	10.8	12.4	5.6	9.7
ハイブリッド	2.5	11.3	4.2	6.1
二次電池	5.3	5.0	2.8	4.4
燃料電池	0.9	2.5	1.1	1.5
排ガス処理系	19.0	21.0	32.4	23.9

(出所) 特許庁「自動車と環境に関する技術動向調査」を参考にみずほコーポレート銀行産業調査部作成

(注) 対象期間は1995年~2000年

第4節 わが国におけるクリーンエネルギー自動車の普及可能性

前節で解説したクリーンエネルギー自動車に用いられている環境パワートレインは全て実用化段階にある。政府としても低公害車開発普及アクションプランにおいて既に実用化段階にある低公害車で2010年、1,000万台の普及目標を掲げている。これらの普及可能性について以下で検討してみたい。

(1) 普及の阻害要因

代替燃料を使用する低公害車は燃料供給インフラの問題を抱えている。ガソリンスタンドは全国に約53,000箇所展開されているのに対し、LPGステーションで2,000箇所、天然ガスやメタノールの供給拠点は未だに200箇所を超えていない。特にメタノールはそれ自身が毒性を持つこと、燃料としても着火性が悪いことから完成車メーカーも開発から手を引いているのが現状である。

また、何れの代替燃料車も航続距離が短いことが普及を阻害する一因となっている。特に電気自動車については充電時間が長いことも、著しく利便性を損ねている。また、低公害車全般的な問題として、普及台数が少ないことによる専門的な整備士の不足や量産効果を出せないことによる車両価格の高さなどが阻害要因になっている(図表3-7)。

図表3-7 クリーンエネルギー自動車の普及に向けた課題の整理

	現状と課題	対応の方向性
電気	<ul style="list-style-type: none"> 車体耐荷が高い (既存車の2~3.5倍程度) バッテリーの耐久性に懸念 (2~5年で交換が必要) 交換バッテリーの耐荷が高い 1充電当たりの航続距離が短い (100~200km) 充電時間が長い (通常4~8時間) 電池の容積・重量が大きい 整備体制が不十分 	<ul style="list-style-type: none"> 低耐荷化 (既存車の1.2倍程度を目標) 耐久性の向上 (10年) バッテリーの低耐荷化 航続距離の延長 (500km) 充電時間の短縮 (30分) 電池性能の向上 整備体制の構築
リハタイプ	<ul style="list-style-type: none"> 車体耐荷が高い (既存車の1.4~3倍程度) 車重が少ない (各クラス1車種程度) 加圧性能等が低い 整備体制が不十分 	<ul style="list-style-type: none"> 低耐荷化 (既存車の1.2倍程度を目標) 車種の多様化 加圧性能等の異なる向上 整備体制の構築
天然ガス	<ul style="list-style-type: none"> 車体耐荷が高い (既存車の1.4~2倍程度) 1充電当たりの航続距離が短い (150~350km) タンクの容積が大きく重い (ガソリン車に劣る) 燃費供給設備が少ない (全国約130ヶ所程度) 燃費供給設備の設置コストが高い (約1.2億円) 整備体制が不十分 	<ul style="list-style-type: none"> 低耐荷化 (既存車の1.2倍程度を目標) 航続距離の延長 (500km) タンクの軽量化 燃費供給設備数の拡大 燃費供給設備設置の低コスト化 整備体制の構築
メタノール	<ul style="list-style-type: none"> 車体耐荷が高い (既存車の2倍程度) 低燃費時のスタート性能が課題 燃費のメタノールに毒性がある (メタノール100%は毒物・劇物類廃棄の対象) 起動時の有害物質の排出 (ホルムアルデヒド) 燃費供給設備が少ない (全国約50ヶ所程度) 整備体制が不十分 	<ul style="list-style-type: none"> 低耐荷化 (既存車の1.2倍程度を目標) エンジン性能の向上 取扱い向上のための見直し 排ガスへの対応 燃費供給設備数の増大 整備体制の構築
代替燃料Pゼ	<ul style="list-style-type: none"> 車体耐荷が高い (既存車の1.1~2倍程度) ある程度の整備がなされているが、燃費供給設備が少ない (全国約200ヶ所) 整備体制が不十分 	<ul style="list-style-type: none"> 低耐荷化 (1.1倍以下) 燃費供給設備数の増大 整備体制の構築

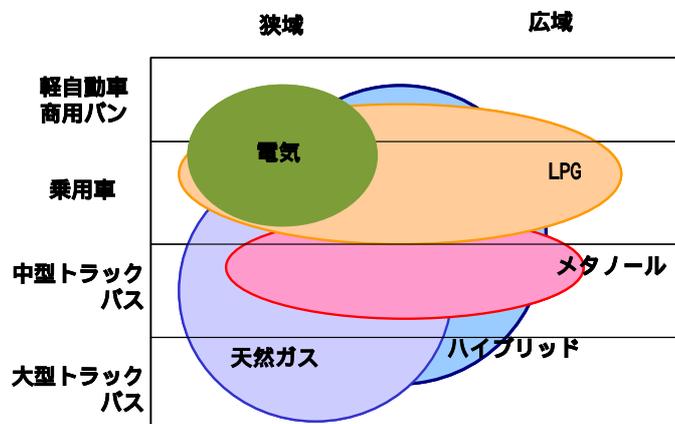
(出所) 総合資源エネルギー調査会資料 (2001年1月31日)

(2) 普及対象の制約

こうした阻害要因から、ハイブリッド自動車以外のクリーンエネルギー自動車の普及対象は路線バス・ごみ収集車・配達トラックなど定まった拠点を中心に一定の地域内を移動(フリート走行)する車に限定され、ユーザー像も官公庁がフリート利用の宅配・配送事業者に絞られてくる。言い換えれば、燃料供給インフラが未整備であることや利便性の低さなどを考えればハイブリッド自動車以外のクリーンエネルギー自動車は自家用車として普及することは期待しにくい状況にある。国内総保有台数の6割以上を占める自家用車としてのニーズを開拓できない以上、普及のペースも緩やかなものに留まらざるを得ない。

加えて、ここまでで紹介したクリーンエネルギー自動車では長距離トラックのような「大型・広域」用途をカバーされていないという問題は依然として残るのである(図表3-8)。

図表3-8 代替燃料自動車の適用範囲



(出所) みずほコーポレート銀行産業調査部作成

(3) 支援策による普及促進

クリーンエネルギー自動車の普及策として「クリーンエネルギー自動車普及補助事業」が1998年度から実施されており、当事業により補助金の給付を受けたクリーンエネルギー自動車の台数は2002年1月時点で累計37,000台を超えている。また、当事業は燃料供給設備の設置に対しても補助を行っており、天然ガス供給施設を中心に燃料供給施設が着実に増加している。但し、個人が当事業の補助を受けるには、被代替自動車や用途に制限が多く、必ずしも使い勝手の良い制度とはなっていない。

(4) 普及のイメージ

低公害車開発普及アクションプランにおける低公害車普及目標の1,000万台には既存内燃機関自動車の「低燃費かつ低排出ガス」認定車が含まれており、これに該当する自動車の新規登録は2000年10月から2001年9月までの1年間で100万台を超えている。完成車メーカー各社は認定水準をクリアする新車を順次市場投入しており、足許の新規登録台数の4割近くが「低燃費かつ低排出ガス」認定車となっている。つまり現状のペースを維持するだけで、年間160万台の低公害車が新規登録され、2010年までに低公害車の保有台数は容易に1,000万台を超える計算になる。

一方、既存内燃機関自動車を除いたクリーンエネルギー自動車の普及はどの程度進展するのだろうか。総合資源エネルギー調査会ではクリーンエネルギー自動車の普及目標を2010年に348万台としているが、自家用車として普及する可能性があるのはハイブリッド自動車のみとみられ、それ以外は主に官公庁や事業者が対象となっている。今後、燃料供給インフラ整備と導入インセンティブなどの支援策次第で普及の姿は変わることになるが、やはりその中心はハイブリッド自動車になる可能性が高い(図表3-9)。

図表3-9 クリーンエネルギー自動車の普及目標

	メタノール自動車	天然ガス自動車	ハイブリッド自動車	電気自動車	ディーゼル代替LPG自動車	合計
2000年実績	157	7,811	51,200	3,830	12,602	(台) 75,600
2010年(普及目標)	0	1,000,000	2,110,000	110,000	260,000	(台) 3,480,000
2010年/2000年(倍)	0.0	128.0	41.2	28.7	20.6	(台) 46.0

(出所) 総合資源エネルギー調査会資料

(注) 燃料電池自動車はハイブリッド自動車の内数

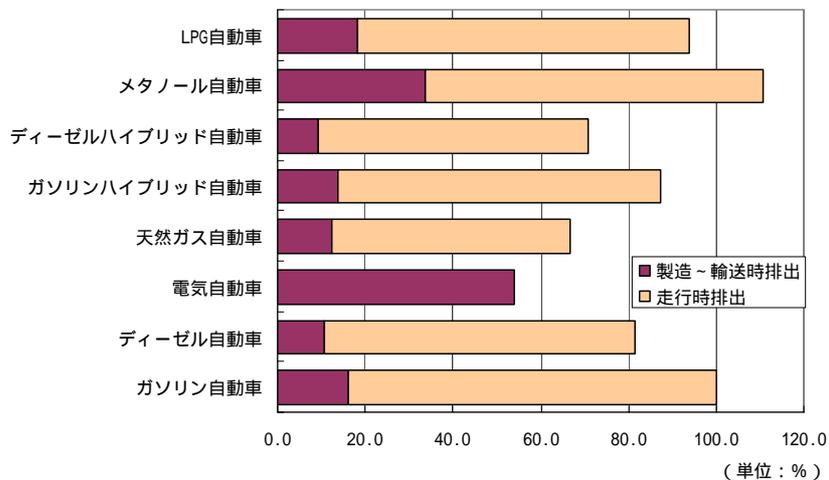
ハイブリッド自動車はクリーンエネルギー自動車の中では燃料供給インフラの制約もなく、自家用車として普及することが見込まれ、クリーンエネルギー自動車の普及の牽引役として期待されている。しかし、現在は車種展開も限られ車両価格も割高であるため、2000年で5万台程度と保有台数は2010年の普及目標には遠く及ばない状況である。しかし、欧米でもハイブリッド自動車の開発が進められており、多くの完成車メーカーが市場投入・競争することによって今後は価格低下も期待できよう。国内では、トヨタが四輪駆動タイプや低コストで既存車種をハイブリッド化するシステムを商品化し、適応できる用途を拡大しており今後の車種展開も期待できる状況となっている。このため、クリーンエネルギー自動車としてのハイブリッド自動車保有台数は緩やかながらも増加のペースを加速していくものと見込まれる。

第5節 環境パワートレイン開発の方向性

低公害ガソリン自動車が増えることは、ガソリン自動車と代替的なクリーンエネルギー自動車の足許の普及スピードを鈍らせることとなるのは皮肉な結果である。特に自家用向けではハイブリッド自動車以外のクリーンエネルギー自動車の普及は短期的には皆無に近いものとなるだろう。しかし、低公害ガソリン自動車が今後も引き続き環境パワートレインの中心として認識され続けるのであろうか。

商用車に限定されながらもクリーンエネルギー自動車の普及が進むと考えられるのは、国土の狭い日本ではNOxやPMによる大気汚染が深刻な問題となっており、NOxやPMの排出量が多いディーゼル商用車に対する規制強化がクリーンエネルギー自動車への代替を促すと考えられたからである。

足許ではCOP会議において地球温暖化問題が国際的な焦点となっており、今後は京都議定書の発効に伴いCO₂排出削減のための法規制が強化されることも十分考えられる。現状の排出実績を勘案すればかなり思い切った制限策を採らない限り目標達成が難しいとするならば、わが国保有自動車の太宗を占める自家用乗用車への規制が強まること無いと限らないのである。環境対応が進むとはいえ相対的にCO₂の排出量が多いガソリンエンジンが、「わが国」の環境パワートレインとしての優位性を失う可能性も否定できないのである（図表3-10）。

図表3-10 動力源別CO₂排出量

(出所) 日本ガス協会「天然ガス自動車の普及に向けて」

今後、環境規制が強化されクリーンエネルギー自動車が増えるのか、それとも技術的ブレイクスルーによって燃料電池自動車の時代が一足飛びに到来するのかわからない。しかし、この規制強化の動きも各国・各地域で経済的・政治的・社会的要因から同一方向に同じスピードで進むことはまず無いと考えられることは前にも述べた通りであり、当面は世界市場を相手とする完成車メーカーの環境車種戦略を大きく変える動きとはなり難いと言えよう。少なくとも当分の間は自動車のパワートレインとして中心的な役割を果たすのは環境性能を強化したガソリンエンジンということであり、燃料電池車も含めたクリーンエネルギー自動車への集中投資はまだまだ許されぬ状況は続くこととなる。

第4章 燃料電池の可能性

本章は、自動車の次世代動力源として期待を集める燃料電池について、今までの開発経緯や足許の開発動向と今後の課題について整理し、自動車以外分野での利用可能性や他用途での実用化進捗状況について概観してみたい。

第1節 燃料電池の概要

(1) 燃料電池の歴史

燃料電池の歴史は意外と古く、原理の発見はおよそ200年前の1801年、デービー卿(英国)にまで遡る。その後1839年にグローブ卿(英国)が公開実験で発電できることを証明したが、タービン式の発電機の実用化が先行し、燃料電池の開発はその後置き去りになっていた。

そんな忘れ去られた技術『燃料電池』が再び脚光を浴びたのは1960年代に宇宙開発において実用化されてからである。1965年にジェミニ5号に固体高分子形燃料電池(PEFC)が初めて搭載され、その後もアルカリ形燃料電池(AFC)がアポロやスペースシャトルに搭載されるようになって現在にいたっている。なお、アルカリ形燃料電池は発電効率も高く、技術的にも安定しているが、燃料として純水素・純酸素が要求されるため、宇宙船など特殊用途に限られた利用に留まっている。

その後、石油の消費による大気汚染の深刻化や石油依存経済に対する見直しの観点から、米国では1967年から『TARGET』計画でりん酸形燃料電池(PAFC)の民生利用の研究が始まった。また、日本では1974年より『サンシャイン計画』において固体酸化物形燃料電池(SOFC)の研究が始まり、その流れは『ムーンライト計画』とともに『ニューサンシャイン計画』に引き継がれていった(図表4-1)。

図表4-1 燃料電池の歴史

燃料電池の歴史	
〔原理的発見と実験照明〕	
1801	デービー卿(英国)が燃料電池の原理を発見
1839	グローブ卿(英国)が水の電気分解の逆反応で発電できることを公開実験で証明
〔水素・酸素燃料電池の原形〕	
1932	ベーコン卿(英国)が動力源としての研究を開始 - 5kWの水素酸素型の実証実験に成功、特許を取得
1958	ユナイテッド・テクノロジーがベーコンの特許を購入
〔宇宙開発で実用化〕	
1965	ジェミニ5号に固体高分子型を利用
1966~	アポロ宇宙船にアルカリ型が組み込まれ、月面着陸に成功 - 以来、今日までスペースシャトルでアルカリ型が実用に供されている
〔民生用の開発〕	
1967	燃料電池の民生利用を企図し、TARGET計画が発足(米国・~1976) - 小規模りん酸形燃料電池を実証運転 - 日本から東京ガス・大阪ガスも参加
1974	サンシャイン計画の一環として燃料電池の研究開発開始(日本) - サンシャイン計画は新エネルギーの技術開発計画
1981	ムーンライト計画(1978~)の一環としてPAFCとMCFCの研究開発開始(日本) - ムーンライト計画は省エネルギーの技術開発計画

(出所) NEDO「燃料電池導入ガイドブック」等をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

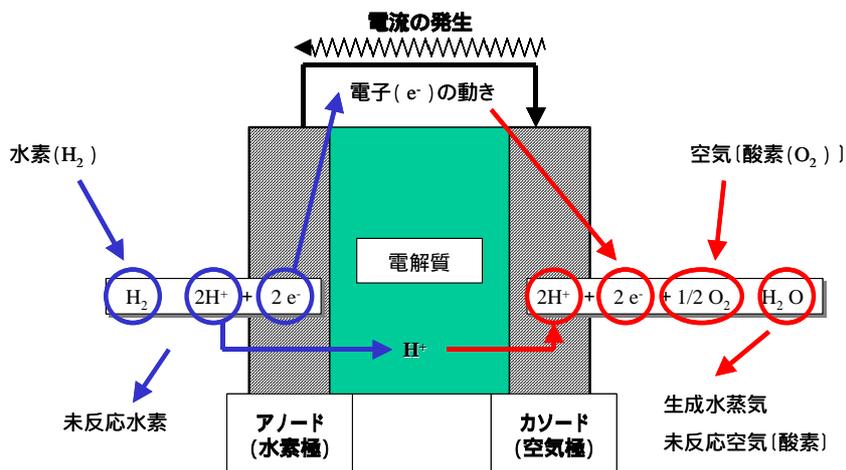
(2) 燃料電池の原理

燃料電池はその名称からあたかも電池の一種のように思われがちであるが、実質は発電装置である。バッテリーや乾電池とは異なり、内部にエネルギーを蓄えておくことはできず、外部からのエネルギー（水素と酸素）の供給を受けて電力を発生させる仕組みである。

原理を図（図表4-2）で説明すると、電解質を挟んだ電極（アノード 水素極・カソード 空気極）にそれぞれ水素と空気（酸素）を供給する。水素は電子と水素イオンに分解され、電解質中を水素イオンが移動する。一方、電子は電解質中を通過できないため、外部の電気回路を移動することになる。電子が外部回路を移動することによって電流が発生する。電解質と電気回路を通じて空気極に到達した電子と水素イオンは空気極に供給されている酸素と反応して水（水蒸気）となる。実際には図のような単位（セル）をさらに直列に並べることで（スタッキング）によって、燃料電池スタックとして必要な出力を確保している。

燃料電池が優れている点は、タービン発電のような機械部分が存在しないため、抵抗による機械ロスが生じないことから、水素の持つ化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換できる効率の高さが挙げられる。また、反応が完全に進行した場合の生成物は水（ H_2O ）のみで、燃焼過程が存在しないことから、 NO_x 、COなどの大気汚染物質が発生せず、燃料電池単体としては無公害な発電装置であることが挙げられる。

図表4-2 燃料電池の原理



(出所) みずほコーポレート銀行産業調査部作成

(3) 燃料電池の種類と用途

燃料電池は、自動車動力源として開発されている固体高分子形 (PEFC) の他にも、りん酸形 (PAFC)、固体酸化物形 (SOFC)、溶融炭酸塩形 (MCFC) が存在する。運転温度・出力規模・発電効率は PEFC, PAFC の方が低く、SOFC, MCFC は高い。その他では、既述のように宇宙船用としてアルカリ型が実用化されているが、純水素が燃料として必要となっており、民生利用の可能性は低い (図表 4 - 3)。

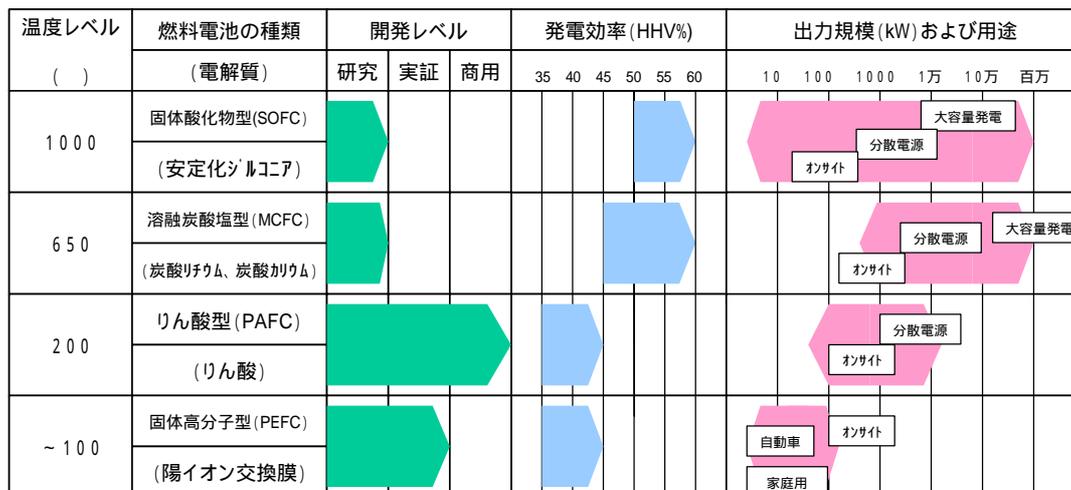
図表 4 - 3 燃料電池の種類

	固体高分子形 (PEFC)	りん酸形 (PAFC)	溶融炭酸塩形 (MCFC)	固体酸化物形 (SOFC)	アルカリ形 (AFC)
電解質	イオン交換膜	りん酸 (液体)	溶融炭酸塩	安定化ジルコニア (固体)	苛性カリウム水溶液
作動温度	85	190 ~ 220	600 ~ 700	~ 1,000	~ 100度
触媒	白金系	白金系	ニッケル	ニッケル	白金系
燃料 (反応物質)	水素	水素	水素、一酸化炭素	水素、一酸化炭素	水素
燃料源	天然ガス、メタノール、クリーンガソリン (CHF)	天然ガス、メタノール、ナフサまでの軽質油	石油、天然ガス、メタノール、石炭	石油、天然ガス、メタノール、石炭	水素
出力規模	1 ~ 250kW	50 ~ 1万kW	数千 ~ 数十万kW	~ 数十万kW	10kW
発電効率 (HHV)	36 ~ 45%	36 ~ 45%	45 ~ 60%	50 ~ 60%	~ 60%
出力密度	0.3 ~ 2.0W/cm ²	0.1 ~ 0.3W/cm ²	0.1 ~ 0.2W/cm ²	0.1 ~ 0.2W/cm ²	0.1 ~ 4.0W/cm ²
特徴	・高出力密度 ・材料選択の幅が広い ・積層化 (スタッキング) が容易	・排熱利用が可能 ・実用供給段階	・CO含有燃料利用可 ・Ni触媒使用 (貴金属不要) ・排熱利用可 ・内部改質可能	・CO含有燃料利用可 ・Ni触媒使用 (貴金属不要) ・排熱利用可 ・内部改質可能 ・扱いやすい固体電解質	・高出力密度 ・燃料は純水素を要す ・宇宙開発分野で実用化
用途	家庭用、自動車、オンサイト	オンサイト、分散電源	分散電源、大容量発電	定置式発電 (小型 ~ 大型)	宇宙船
開発状況	フィールドテスト目前	商業化目前	研究開発中	研究開発中	スペースシャトルにて実用化

(出所) NEDO「燃料電池導入ガイドブック」等をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

PEFC は出力密度が高く小型化が可能なることから自動車用として検討されているが、家庭用など小規模なコージェネレーションシステムとしても期待されている。一方、PAFC、MCFC、SOFC は発電装置としての用途が期待されており、種類別の特性から実用化したときの守備範囲は下記のようにある程度想定されている (図表 4 - 4)。

図表 4 - 4 燃料電池の種類別特性

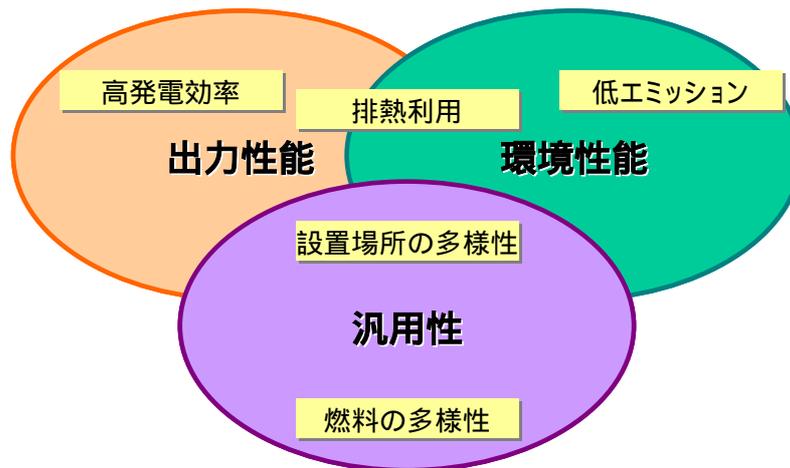


(出所) NEDO「燃料電池導入ガイドブック」

(4) 燃料電池のメリット・デメリット

まず、燃料電池のメリットについて述べれば、燃料電池の原理の項でも触れたが、発電効率の高さと低エミッション性が第一に挙げられよう。車上で天然ガス・ガソリン等から水素を取出（改質）して電池に供給する燃料改質方式の場合は、改質の際にCO₂が排出されるが、エネルギー効率が高いために発生量は従来の内燃機関より低減できる。また、コージェネレーションシステム等では、発電時の排熱を熱源として給湯や空調に利用することも可能であり、総合エネルギー効率はさらに高まることになる。加えて、燃料となる水素は自然界には通常存在しない二次エネルギーであるが、化石燃料の改質以外の方法で取り出すことも可能であり、ひとつの燃料に依存しないエネルギーセキュリティが確保される。他にも、発電設備として設置場所を選ばないというハンドリングの良さも挙げることができよう（図表4-5）。

図表4-5 燃料電池のメリット



（出所）みずほコーポレート銀行産業調査部作成

しかし、一方で燃料電池は開発途上の技術であり、未だ耐久性や信頼性で十分な性能が保証されていない。また将来的には量産化により低コスト化が期待できる部品もあるが、白金やカーボンなど高価な素材が要求される部品が多く、コスト低減の目処も立っていない。そして、燃料となる水素のハンドリングの悪さ等の問題点も残されている。従ってPAFCを除けば実用化までにはまだまだ長い道のりを越えていかなくてはならないのが実状である。

第 2 節 日本での開発動向

(1) 発電用途での開発

燃料電池に対する日本の取り組みは 1960 年代に米国の TARGET 計画に日本のガス会社が参画したことに始まる。その後、1974 年にエネルギーセキュリティ向上の観点から発足したサンシャイン計画において研究対象とされて以来、燃料電池は SOFC、PAFC、MCFC と研究が進められてきた。これら 3 種類 (SOFC、PAFC、MCFC) の燃料電池の研究は発電所の代替可能性を追求したものであり、長距離送電設備の省略を目指した分散型電源や排熱を活用し総合エネルギー効率を追求したオンサイト型のコージェネレーションシステムの研究・開発が進められた (図表 4 - 6)。

図表 4 - 6 固体高分子形燃料電池以外の燃料電池の開発動向

固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の開発の現状

(1) 概要
<p>高温作動 (900) で 45% 以上の発電効率を得られる固体酸化物形燃料電池は、白金等の貴金属を電極触媒として利用する必要がなく、かつ、電池の大容量化が容易である。</p> <p>また、天然ガス、石炭ガス等の多様な燃料が利用可能である。高発電効率の分散発電として、さらには火力代替システムとしての普及が期待されている。</p>
(2) 開発の現状
<p>サンシャイン計画における、通商産業省工業技術院電子技術総合研究所などの先導的な取り組みの後、1980 年代半ばから重電・電機・セラミックス業界での研究開発が開始された。国内の開発は、大幅なコスト低減が見込めるセル技術の確立を各社が様々な方式で取り組んだ点に特徴がある。</p> <p>開発に時間を要したものの、優れた基本技術が確立されつつあり、今後、システム開発へ移行する予定である。なお、システム開発では米国が先行している。</p>

熔融炭酸塩形燃料電池 (MCFC) の開発の現状

(1) 概要
<p>高温作動 (650) で 45% 以上の発電効率を得られる熔融炭酸塩形燃料電池は、白金等の貴金属を電極触媒として利用する必要がなく、かつ、電池の大容量化が容易である。</p> <p>ガスタービン、蒸気タービンと組み合わせた高効率発電システムの構築が可能で、天然ガス、石炭ガス等の多様な燃料が利用可能である。高発電効率の分散発電として、さらには火力代替システムとしての普及が期待されている。</p>
(2) 開発の現状
<p>政府のプロジェクトとして「ムーンライト計画」において 1981 年から基礎研究を開始、段階的に電池の大容量化を図り、1993 年度からは 1,000kW 級発電システムの技術開発を行った。</p> <p>2000 年度からは将来の実用化に向けて「ニューサンシャイン計画」で 750 k W 級高性能基本モジュール開発を 5 ヶ年計画で開始している。</p>

りん酸形燃料電池 (PAFC) の開発の現状

(1) 概要
<p>電解質にりん酸を使用し、作動温度が 200 前後と比較的低い温度であるので、熱電供給のオンサイト用燃料電池として商品化されている。発電効率は約 40% 程度であるが、約 70 の温水と約 170 の水蒸気が利用でき、総合熱効率は約 80% となる。</p>
(2) 開発の現状
<p>政府のプロジェクトとして 1981 年に「ムーンライト計画」にて基礎研究を開始、1990 年度に 1,000kW 級電気事業用加圧システム及び 200kW 級業務用常圧システムの開発を終了した。</p> <p>1991 年度からの「都市エネルギーセンター等燃料電池技術開発事業」による 5MW 級加圧プラント及び 1MW 級常圧プラント試験での大容量機の開発を実施した。</p> <p>1992 年度からは、「新エネルギー発電フィールドテスト事業」において、50 ~ 200kW 級小容量機のフィールドテストを実施。</p> <p>その後「先導的高効率エネルギーシステムフィールドテスト事業」、「新エネルギー事業者支援対策事業」などで次世代型りん酸形燃料電池の導入促進が進められてきた。</p>

(出所) 燃料電池実用化戦略研究会報告書 (2001 年 1 月 22 日)

民間ベースでは1960年代から実用化研究が行われていたPAFCが1997年に実証試験を終え、現在は導入期を迎えている。一方で高温型とも呼ばれるSOFCとMCFCは、燃料の内部改質が可能になる上、電極に貴金属触媒を用いる必要性がなくなるというメリットがある反面、耐熱性向上やガス漏れ対策を講じる必要があり、現在も研究が進められている。SOFCについては小型化の研究もなされており、自動車用補助電源（APU）としての可能性も検討されている。

（2）加速する固体高分子形燃料電池への取り組み

固体高分子形燃料電池（PEFC）は宇宙船ジェミニ号で採用されたように、古くから技術としては確立されていた。しかし、当時の固体高分子膜は商用化するには数百時間程度と耐久性に限界があり、燃料電池開発の主役はりん酸形（PAFC）や固体酸化物形（SOFC）に移っていった。しかし、1987年にカナダのベンチャー企業巴拉ードパワーシステムズ社（Ballard Power Systems, Inc.）が、ダウケミカル製の固体高分子膜を利用することで高効率化を達成したことを契機に、再び開発が進められるようになった。

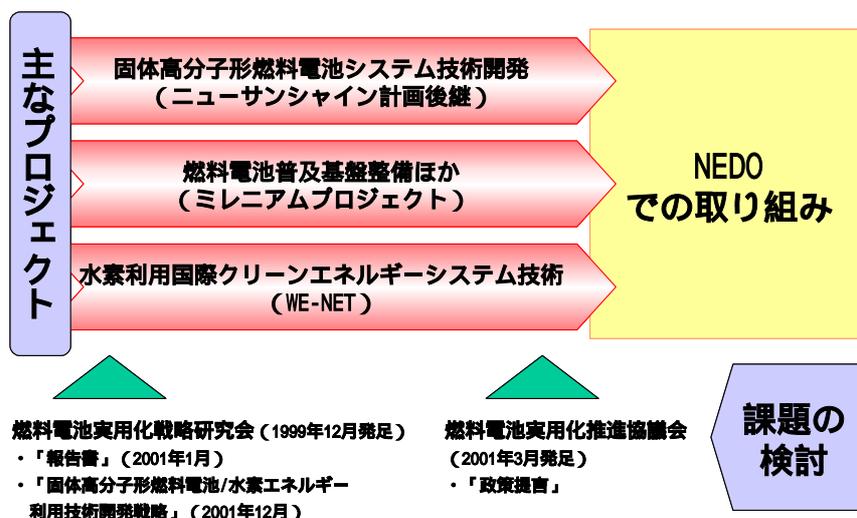
PEFCが他のタイプと異なるのは、出力密度が高いことから小型化が可能である点、作動温度が100未満であり、常温環境下で稼働できる点である。これらの特徴からPEFCにはそれまでの燃料電池に期待されていた発電・コージェネレーション以外の用途が考えられるようになり、小規模な家庭用コージェネレーションシステムや可搬型電源、そして自動車用動力源としての開発が進められることとなった。

（3）日本の固体高分子形燃料電池の開発体制

日本政府による固体高分子形燃料電池の研究開発は、ムーンライト計画からニューサンシャイン計画に引き継がれて、1992年度から「運輸・民生用高効率エネルギーシステム技術開発」において研究が進められ、発電システム技術開発と要素研究開発がなされた。2000年度の省庁再編により、ニューサンシャイン計画は終了し、2002年度から開始する予定の「固体高分子形燃料電池システム技術開発」に引き継がれることになっている。また、2000年度にスタートしたミレニアムプロジェクトにおいても、地球温暖化問題の解決策となりうる環境分野の有力な技術として固体高分子形燃料電池が取り上げられており、「燃料電池普及基盤整備事業」が開始されている。

一方、燃料電池の燃料となる水素関連の技術開発は、1993年度から「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）」において研究が始まっており、現在は水素の分散型利用技術の研究開発が進められている（図表4-7）。

図表4-7 固体高分子形燃料電池の開発体制



（出所）みずほコーポレート銀行産業調査部作成

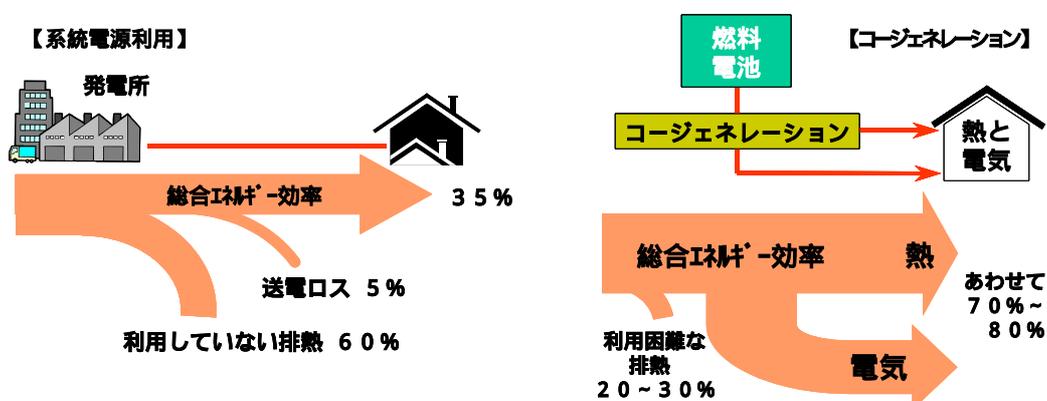
第3節 自動車以外の用途への取り組み状況

(1) 家庭用コージェネレーションシステム

りん酸形燃料電池（PAFC）を活用したコージェネレーションシステムは燃料電池で発電すると同時に排熱を利用するシステムで、燃料電池を単に電源として利用する場合に比べ、2倍近いエネルギー効率を達成することができ、系統電源を上回る総合エネルギー効率が期待できる（図表4-8）。

なお、家庭用コージェネレーションシステムでは排熱は給湯加熱に用いられ、この温水は台所や風呂、あるいは床暖房などに利用されている。出力規模としては1kWが想定されており、これは給湯量を基準とした場合の最適発電規模として設定されている。電力需要が1kWを超えるときは系統電源を利用することになる。なお、系統電源の信頼性が低い米国では非常用電源としての位置付けで家庭用に開発されており、家庭の電力需要をフルカバーするため家庭での電力のピーク消費量に合わせ5kW程度の規模で商品化が進められている。

図表4-8 コージェネレーションシステムのメリット



（出所）みずほコーポレート銀行産業調査部作成

（注）上図は排熱利用をしていない発電所を想定

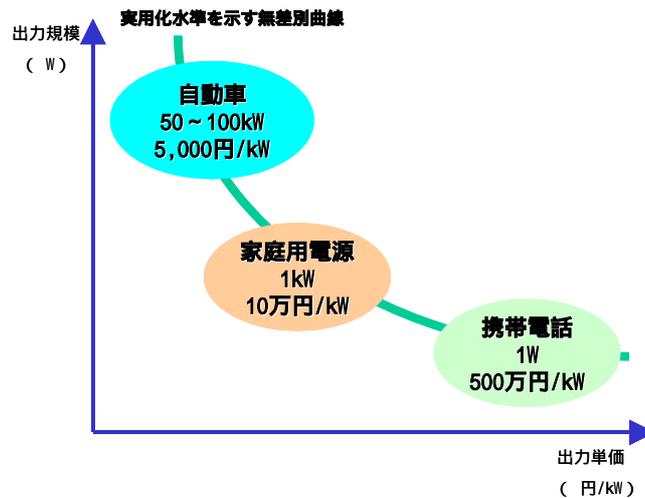
(2) 携帯機器

携帯電話やノートPCでは、充電代替として燃料電池が検討されている。従来のリチウムイオン電池の10倍のエネルギー密度が達成可能と期待されている。携帯機器では、燃料供給装置として改質器や水素ポンプの利用は体積がかさばるため採用できないことから、固体高分子形燃料電池の一種であるダイレクトメタノール式燃料電池（DMFC）の開発が進められている。しかし、現状では高分子膜をメタノールも通過してしまうことによる逆起電の問題や電極における白金担持量の多さなど、素材面での開発課題が多い。なお、足許では、メタノール改質方式の携帯機器向けPEFCも開発されている。

携帯機器向けDMFCは課題も多いが、競合技術の出力単価が高いため、素材のコストに対する許容範囲が他の用途に比べて大きい。そのために、数ある燃料電池の用途の中で最も早く商品化される可能性が高いと考えられている（図表4-9）。

その他では可搬型電源や非常用電源としての開発もされている。しかし、想定される市場規模は限定的なものに留まり、開発の主流にはなり得ていない。

図表4-9 用途別許容出力単価と出力期規模の関係



(出所) みずほコーポレート銀行産業調査部作成

(注) 出力単価は改質器分を含む

第4節 燃料電池に携わるわが国企業の動向

ここで自動車以外の分野で燃料電池の開発に関わる企業の燃料電池開発に対する取り組みに状況を概観しておきたい。

(1) 電気機器メーカー

電気機器メーカーは新規開拓市場として業務用と家庭用のコージェネレーションシステムを中心に燃料電池開発に取り組んでいる。

業務用システムでは既にりん酸形燃料電池(PAFC)を利用した50~200kW級のシステムが実証試験を終え、実用化段階を迎えている。一方、家庭用では給湯設備代替を狙い、固体高分子形燃料電池(PEFC)を利用した1kW級のシステムが開発されている。

業務用PAFCについては東芝、富士電機、三菱電機等が製造・販売を手がけており、家庭用PEFCについては東芝、富士電機、松下電器産業、三洋電機等の他に電気機器メーカーではないが、カナダのパラード社と提携した荏原が参入している。

コージェネレーションシステム以外では、携帯機器(携帯電話やノートPC)向けのDMFCや、可搬型電源の開発も進められている。その他に携帯向けDMFCについてはNEC、日立等が開発を進めている。

(2) 電力会社

電力会社は電力供給者としての観点から、発電所の代替として過去10年以上、PAFC、MCFC、SOFCといった燃料電池の研究に取り組んできた。足許では、コンバインドサイクルの導入でエネルギー効率の高まった火力発電を上回るMCFCやSOFCといった高温型の燃料電池への興味が強いものと考えられる。

但し、電力会社は円滑な電力供給を担う発電オペレーターというスタンスであり、実際の燃料電池開発は三菱重工を始めとする重電メーカーが担っている。

一方、コージェネレーションシステム導入に伴う余剰電力と従来の系統電源との連係制御が開発課題となっており、東京電力のように子会社(マイエナジー社)を設立して制御も含めコージェネレーションシステム自体の開発に取り組むところも出てきている。

(3) ガス会社

ガス会社は燃料供給者として、天然ガス需要増大につながる定置型コージェネレーションシステムの普及拡大に取り組んでいる。実際、現在稼動している定置型コージェネレーションシステムの7割以上が都市ガス改質式を採用している。

燃料電池本体の開発については電気機器業界などに依存しているが、ガス会社は燃料である水素を都市ガスから改質生成させる技術を有しており、使い勝手の良さを高めることでコージェネレーションシステムの商品性向上を図っている。また、改質技術の研究開発を進めることによって、将来的な水素エネルギーインフラ整備の一翼を担うべく開発を進めている。

東京ガスと大阪ガスにおいて家庭用コージェネレーションシステムの導入試験が進められている。

(4) 石油会社

石油業界は燃料供給者として、既存のガソリン供給インフラを活用した燃料電池自動車向けの燃料供給体制を模索している。燃料電池自動車の普及初期においては既存インフラの整備状況から供給燃料を脱硫化ガソリン(CHF)と見込み開発を進めており、長期的には水素供給事業に進出し、水素市場への参入に向けた開発を企図している。

燃料供給事業者として水素市場という新規市場への期待がある一方、水素の原料選択によっては石油の需給構造にアンバランスが発生することから、天然ガスを利用したGTL(Gas to Liquid)などの石油代替燃料の開発にも取り組んでいる。また、定置型コージェネレーションシステムについても、LPGや灯油の改質により、都市ガスでカバーされない地域への普及を担おうとしている。

日本では新日本石油(旧日石三菱)が、ダイムラークライスラー・マツダと共同で燃料電池自動車の実証試験を行っており、燃料供給者としての水素供給ノウハウあるいは燃料の改質ノウハウを高めている。

(5) 素材メーカー

燃料電池の性能向上の鍵となるのは素材の開発と言っても過言ではない。具体的には、固体高分子形燃料電池(PEFC)での基本性能を決定するスタックの構成部材である固体高分子膜や電極素材、セパレーターなどが開発の焦点となっている。

日本には世界的にも数少ない燃料電池素材の製造技術を有する会社が存在し、国の燃料電池技術開発プロジェクトに各社が参画する形で開発を進める一方で、固体高分子膜については旭化成と旭硝子が独自技術の開発にも注力している。

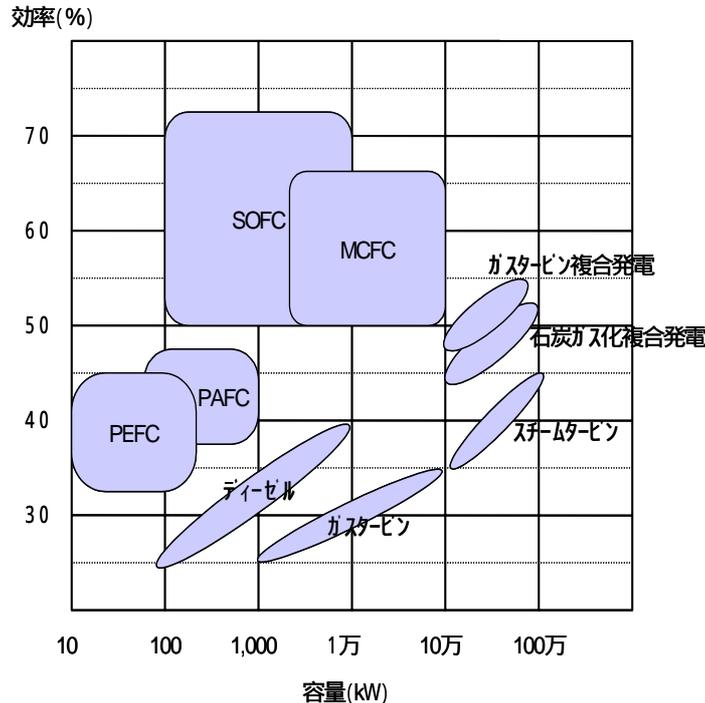
第5節 実用化に向けての課題

現在開発されている燃料電池のうち、商品化されているのはPAFCを利用した業務用コージェネレーションシステムである。普及期に入ったとみられるPAFCの今後の展望を示すとともに、現在様々な業界で開発が進められているPEFCの可能性と課題について検討する。

(1) リン酸形燃料電池(PAFC)の実用性

PAFCは開発の歴史が最も古い燃料電池で、分散型電源としての発電設備、あるいは業務用コージェネレーションシステム(50kW級以上)として開発が進められ、1990年代を通じ実証試験が続けられてきた。しかし、代替すべき発電システムとしていた火力発電所の発電効率がコンバインドサイクルの導入により高まったため、PAFCの発電所代替というメリットは消失した(図表4-10)。

図表4-10 燃料電池とその他発電設備の発電効率



(出所) 燃料電池実用化戦略研究会報告 (2001年1月22日)

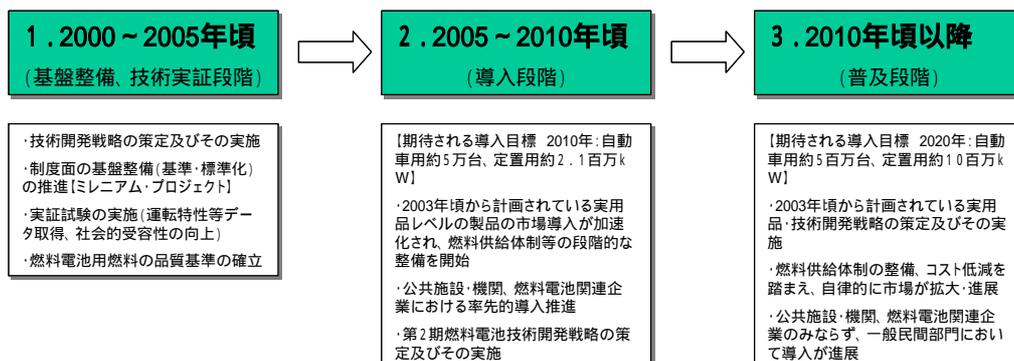
一方、業務用コージェネレーションシステムとしては、PAFCは発電効率は高いものの排熱が200前後と低温であるため冷房には利用できず、暖房や温水供給といった用途に限定されてしまう。競合技術となるマイクロガスタービンは、発電効率では劣るものの、排熱温度が十分高いため、吸収式ヒートポンプで冷房活用ができる。コスト面でも燃料電池が50万円/kWであるのに対し、マイクロガスタービンは12万円/kWと差をつけられており、価格支援策等がなければ導入にメリットを見出せない状況になっている。

実証試験を終え、商用化にたどり着いたPAFCだが、競合技術の革新によって、その存在はかすんでしまった感がある。

(2) 固体高分子形燃料電池 (PEFC) の課題

PEFCの普及・実用化については資源エネルギー庁長官の私的研究会である燃料電池実用化戦略研究会で検討がなされている。同研究会が2001年1月に提出した報告書では、足許から2005年頃までを「基盤整備・技術実証段階」、2005年から2010年頃までを「導入段階」、2010年頃以降を「普及段階」と設定している(図表4-11)。

図表4-11 固体高分子形燃料電池 (PEFC) 実用化・普及に向けたシナリオ



(出所) 燃料電池実用化戦略研究会報告書 (2001年1月22日) よりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

主要な用途と考えられる自動車用と定置用については2010年に自動車5万台、定置用210万kW、2020年に自動車500万台、定置用1,000万kWの導入目標を掲げている。一方で、実用化の促進のために克服すべき技術的課題も提示されており、システム全体の効率向上、信頼性・耐久性向上、小型・軽量化といった基礎的かつ全般的な性能向上が求められている。

自動車用では小型化、改質器の負荷応答性、起動停止の反復に対する耐久性が要求され、定置用では寿命という意味での耐久性が要求される。特に燃料電池は、用途によって数十からのセルを直列させるスタックとして稼働させるため、ただ1つのセルの不良も許されない高い信頼性が要求されている。

また、固体高分子形燃料電池システム全体の性能を高めるうえで、現状では100未満の作動温度を120程度に高めることが検討されている。これにより、定置用では排熱利用用途が拡大され、自動車用では熱交換効率の向上によりラジエーターの小型化が可能になる。

自動車用と定置用のコスト目標を競合技術のコストを参考に算定すると、現在の定置用のコストは1台あたり1,000万円超で目標コストの50万円の20倍超、自動車用のコストはkWあたり60万円で目標コストのkWあたり5,000円を100倍以上も上回っている。現在のコストは量産化技術を導入して生産されていないことを考慮しても、コストダウンに向けた大いなる努力が必要である(図表4-12)。

固体高分子形燃料電池は、燃料電池の中では最も遅れて研究が開始された技術であるだけに、まだまだ実用化には数多くの克服すべき壁が待ち構えている(図表4-13)。

図表4-12 固体高分子形燃料電池のコスト目標

	定置用	自動車用
コスト目標	500,000円/台	5,000円/kW
競合技術	300,000円/台 (ガス給湯器)	3,000円/kW (ガソリンエンジン)
現状コスト	10,000,000円超/台	600,000円/kW
備考	差額は系統電力代と省エネルギー分のランニングコスト5年分で回収	差額はランニングコストで回収

(出所) ヒアリング等をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

図表4-13 燃料電池を巡る技術的課題

【スタック技術】

対象	主な課題	現状	目標	方針
電解質膜 (パーフルオロ系膜)	機械強度向上			(短期) 既存膜改良
	耐久性向上		自動/車用5,000時間 定置用40,000時間	補修膜改良
	温度サイクル耐性向上		自動/車用3~6万回 定置用4,000回	陽子伝導機構の解明 劣化機構の解明
	耐毒性向上	約80	120~150	量産化支援開発
	低コスト化	5~15万円/m ²	3~5千円/m ²	(中期)
	湿度管理容易化 廃棄物処分対応		低加湿 無加湿化	新規膜(非パーフルオロ系など)開発 フッ素化合物廃棄処分対応
電極触媒	白金使用量低減	2~4g/kW	0.2~0.4g/kW	(短期)
	CO被毒耐性向上	10ppm	10~50ppm	白金担持量低減支援開発
	耐久性向上		自動/車用5,000時間 定置用40,000時間	耐CO被毒性アノード触媒開発 劣化機構の解明
	低コスト化	4~8千円/kW	400~800円/kW	(中期) 白金代替触媒開発 高活性カーボン触媒開発
ガス拡散層材 (カーボンペーパー)	低コスト化	数千円/m ²	500円/m ²	(短期)
	作業性向上			量産化生産支援開発 基材形態の改良
MEA技術 (MEA:膜・電極接合体)	低コスト化			(短期)
	信頼性向上			MEA内現象解析
	廃棄物処分対応 (フッ素化合物処分) (白金回収)			MEAの新しい製造支援開発 (中期) リサイクル支援開発
セパレーター (カーボングラファイト)	電気伝導度向上	2×10 ² S/cm		(短期)
	薄型化	1~5mm	1mm以下	金属セパレーター被覆支援開発 樹脂系セパレーター量産化支援開発
	高密度化			溝形状等の成形加工技術開発
	耐腐食性向上			(中期)
	接合強度低減			新規素材開発
	低コスト化	4千円~数万円/枚	100~200円/枚	
燃料電池スタック技術	高効率化			(短期)
	耐久性向上			加湿方法・冷却・ガス配流等の管理支援開発
	信頼性向上			シール材・シール構造開発 劣化診断技術の開発

【改裝技術・その他】

対象	主な課題	現状	目標	方針	
自動車 用 装置	メタノール改裝 (試作車あり) ガソリン改裝 (研究室レベル)	耐久性確保	5,000時間以上 起動停止3~6万回/10年	(短期) OHF・GTL向け改裝器開発	
		小型・軽量化	40~150L/台(メタノール) 30L/台以下	オートサーマル改裝器開発	
		高効率化	80%以上(メタノール)	83%程度(LHV) 92%程度(HHV)	燃料成分・汚染物質の触媒への影響分析 (中期)
		始動性・負荷応答性向上		応答は数秒以内	新規触媒開発
		低コスト化		1,000円/kW以下	
		燃費効率性			
固定 用 装置	りん酸形と共通	耐久性確保	4万時間以上	(短期)	
		小型・軽量化	10~30L/kW	多様な燃費状態の改裝器開発	
		高効率化		87%程度(HHV)	高効率燃費対策支援開発
		始動性・負荷応答性向上		5~30分	分離型CO除去器
		低コスト化		2万円/kW以下	燃費成分・汚染物質の触媒への影響分析 (中期)
		燃費効率性			新規触媒開発
周辺機器	・ブロー ・コンプレッサー ・ポンプ ・インバーター ・センサーなど	高効率化		(短期)	
		小型・軽量化		性能向上に向けた技術開発	
		耐久性向上		定置用4万時間	劣化要因解析・新材料開発
		低騒音化		40dB以下	部品・部材の共有化
		低コスト化		現状より50~70%削減	

(出所) 燃料電池実用化戦略研究会「固体高分子形燃料電池/水素エネルギー利用技術開発戦略」(2001年8月8日)

第5章 燃料電池自動車開発の現状

本章では燃料電池自動車の開発意義を確認するとともに、その現状について構成部品・企業別・国別に視点を変えて概観する。

第1節 燃料電池自動車開発の意義

当初、燃料電池はエネルギー効率が高くても出力密度が低い容積がかさばる、民生利用としては発電所代替用途として研究が進められてきた。設備が大きくなり、定置型での用途しか想定できなかったためである。しかし、既述のように固体高分子形燃料電池（PEFC）の性能向上によって自動車に搭載できるレベルまでの小型化が可能となったことにより、燃料電池自動車の開発は1990年代に入って本格的に取り組まれるようになった。

自動車業界にとって、動力源としての燃料電池はトレードオフの関係にあり頭を悩ませてきた低排出ガスと低燃費を両立しうる環境対応の切り札ともいえる技術なのである。燃料電池自動車の燃料となる水素の生産効率の問題を除いて考えると、直接水素方式はTank to Wheel（燃料タンクからタイヤまで）の車載性能で排出ガスゼロ、排出CO₂ゼロという完全なゼロエミッションを達成する究極の環境パワートレインといえることができる（図表5-1）。

図表5-1 パワートレイン別性能比較

		排出ガス				車両性能		
		都市環境		地球環境		出力	航続距離	
		NOx	CO/HC	黒煙/PM	CO ₂			
ガソリン自動車								
ディーゼル自動車		~						
クリーン エネルギー車	LPG自動車						~	
	天然ガス 自動車	CNG						
		LNG						
	メタノール 自動車	オットータイプ						
		ディーゼルタイプ						
	ハイブリッド 自動車	パラレルタイプ	ディーゼル:電圧			~	~	
			ディーゼル:電気			~	~	
		シリーズタイプ	オットー:電気	~	~	~	~	~
			シリーズ・パラレル	オットー:電気	~	~	~	~
	電気自動車						~	
燃料電池 電気自動車	水素搭載型					~		
	メタノール改質装置搭載型					~		
水素自動車								

（出所）日本自動車工業会ホームページ

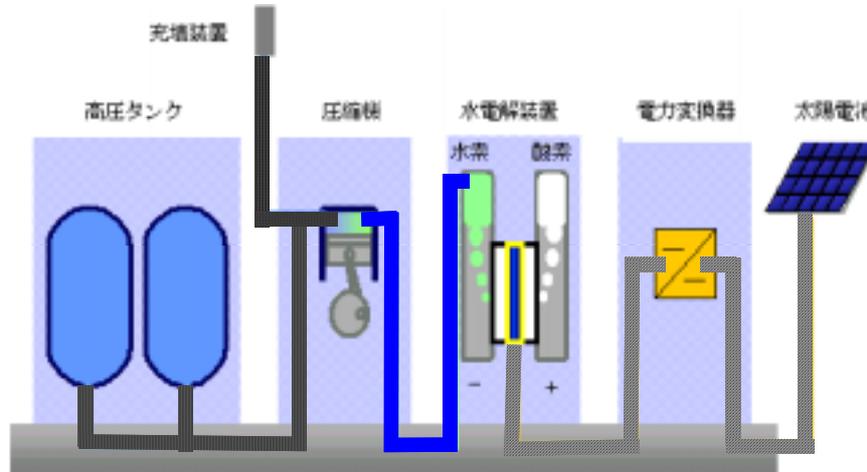
（注1）性能比較はガソリン自動車を基準（ ）とした場合の相対比較。排出ガスには燃料製造段階の排出量は含まず。

（注2）記号の意味は『劣る 優れる』

燃料電池に用いる水素は自然には通常存在しない二次エネルギーのため、主に炭化水素系の幅広い範囲の燃料を改質して生産することができる。そのため、天然ガスやメタノールといった石油代替エネルギーも使用することが可能である。また、天然ガスの主成分であるメタンガスについては下水道の消化ガスなど未利用資源に求めることもでき、なかなか今まで活用することが出来てこなかった燃料を利用することも可能である。

また、水素は水の電気分解によっても製造することは可能で、その場合、風力や太陽光など自然現象に依拠した再生可能エネルギーから発電して製造することも可能であり、実用化に向けた研究がされている（図表5-2）。

図表5-2 太陽発電による水電気分解水素製造・供給システム（ホンダ）

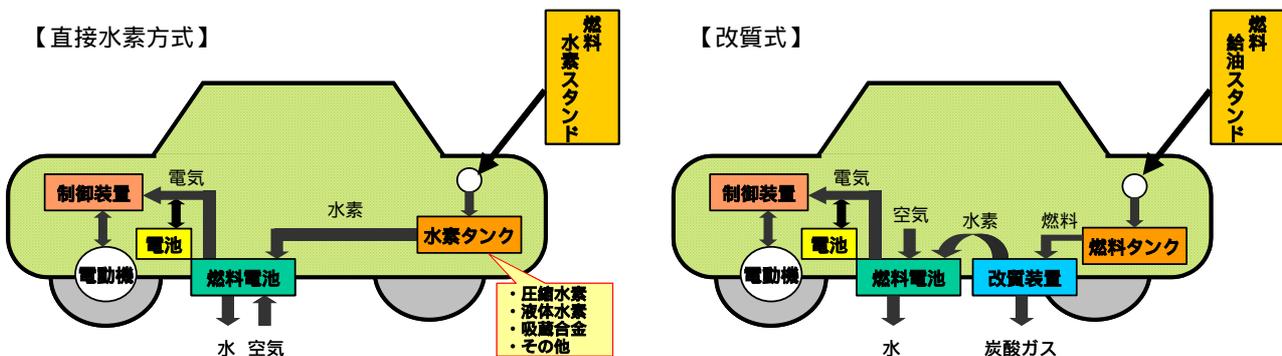


（出所）「ホンダホームページ（<http://www.honda.co.jp/>）」（2002年3月20日）

第2節 主なシステム構成部品と技術的課題

燃料電池自動車の駆動システムは既存内燃機関と大きく異なっている。それは、既存のエンジンが改質器・燃料電池スタック・モーターに置き換わっているという構成部品の違いだけではない。燃料電池自動車はモーターの駆動力で走行する電気自動車であり、内燃機関の制御とは異なる制御ノウハウが要求されている点や使用燃料の特性に合わせた設計が必要になるということである。まず、燃料電池自動車に特有な部品を紹介するとともに、現状における開発課題について考察を加える（図表5-3）。

図表5-3 燃料電池自動車の主なシステム構成



（出所）財団法人日本電動車両協会「電気自動車について」を参考にみずほコーポレート銀行産業調査部作成

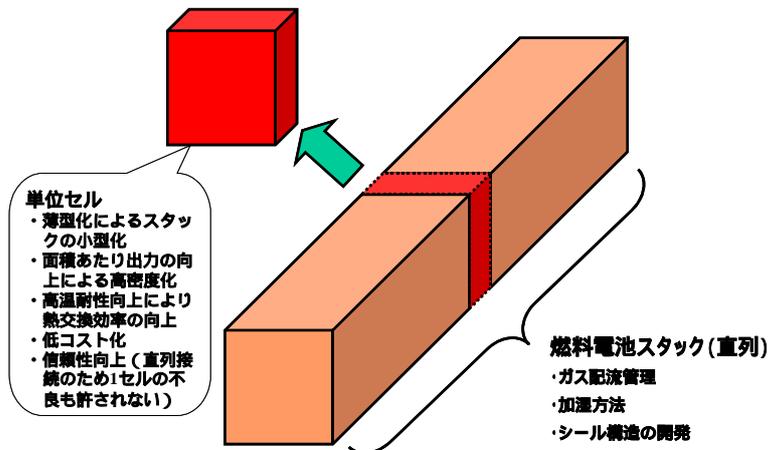
(1) 燃料電池スタック

燃料電池スタックは、燃料電池の最小構成単位であるイオン交換膜、触媒電極、セパレーターなどから構成される「単位セル」を必要な電圧を得るために積層化したものである。燃料電池スタックは後述するパナソニック社のような専門メーカーが取り扱うとともに、完成車メーカーでもトヨタ、ホンダ、GM などでは、自社開発を進めている。

燃料電池の性能向上の要件として、スタックの小型化、耐久性、貴金属使用量低減（触媒）などが目標に掲げられているが、特に燃料電池自動車として実用化するための課題としては、寒冷地などでの低温始動を可能とするため無加湿でイオンを交換する固体高分子膜の開発や、熱交換効率向上によるラジエーターの小型化、並びに触媒活性の向上による貴金属触媒使用量の低減が喫緊とされている。その解決を目指して、高温作動のメカニズムとそれに耐えるスタック部材の開発、新触媒の開発などが進められているが、これらは固体高分子膜や触媒など新素材の開発に関わる問題であり、中期的な課題として開発には時間がかかる見込みである。

また、自動車用に組まれるスタックは 50kW から 100kW 程度の出力が想定され、相当積層化したスタックになる。スタックは単位セルを直列接続しており、各単位セルのうち1つでも不具合が発生するとスタックに一切電流が流れなくなるので、高い信頼性が要求される（図表 5 - 4）。

図表 5 - 4 自動車用燃料電池スタックの技術的課題

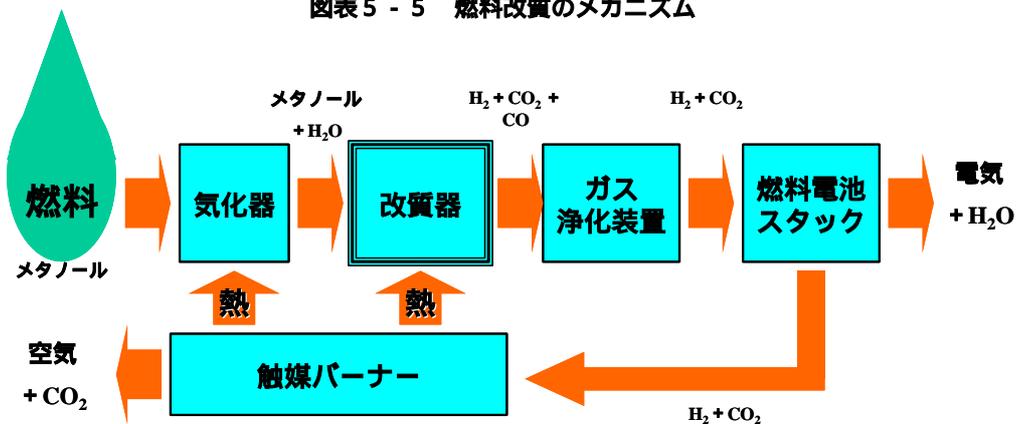


（出所）燃料電池実用化戦略研究会報告書（2001年1月22日）よりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

（2）改質器（燃料供給システム）

搭載燃料を水素に変換する改質器は「小さな化学プラント」といわれ、改質以外にも CO の除去を要するなど、複雑な機構である。現在は完成車メーカーがエネルギー会社との協業のもと開発を進めている。また、改質するにあたり、メタノールで 200～300℃、クリーンガソリンで 600～1,000℃ と高温が要求されており、予熱が必要となっている（図表 5 - 5）。

図表 5 - 5 燃料改質のメカニズム



（出所）DaimlerChrysler 資料をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

（注）上記の例はメタノール改質の場合

技術的な課題としては、実際の化学工場のように連続稼働による反応の安定化が行えないことから、きめこまやかな温度管理や燃料供給の管理が要求され、加えてメンテナンスフリーであることも要求される。現状では反応温度が比較的低いメタノール改質器を搭載した燃料電池自動車が数台試作されており、性能的にも80%程度と一定の改質効率を示しているが、改質器全体の容量が40Lから150Lと大きく、目標とされる30L以下には遠い現状である。他にも、起動時の予熱時間の短縮や、アクセルワークへの負荷応答性の向上も要求されている。なお、ガソリン改質器を搭載した燃料電池自動車はトヨタとGMから試作車が発表されているものの、実証試験未投入の段階である。

一方、改質器を必要としない直接水素方式は、エネルギー密度の低い水素を効率よく貯蔵するシステムが開発途上である。具体的には、圧縮水素方式と液体水素方式と水素吸蔵合金方式（メタルハイドライド）などの方式が検討されているが、いずれの方式も本格的な実用化にはなお時間を要する見込である。

足許では、既に低公害車に実用化されている圧縮天然ガス（CNG）の技術を流用できる圧縮水素方式での取り組みが最も進んでいるが、圧縮水素方式は水素のエネルギー密度の低さから水素ポンペの容積が大きくなるを得ず、更なる高压化が要求されており、現状で実用化するにはスペースに余裕のあるバスなどの大型車に限定されている状況である（図表5-6）。

図表5-6 直接水素方式の技術的課題

	水素5kgを貯蔵した際の容積・重量			技術課題
	容積(L)	重量(kg)	条件	
圧縮水素	273	118	35MPa	更なる高压化（70MPa）
液体水素	96	-	190Lタンク （水素積載量 9.9kg）換算	蒸発損失（2%/日）の低減
水素吸蔵合金	96	202	3wt % （貯蔵密度）	貯蔵密度の向上、吸着貯蔵速度の向上
その他 （ケミカルハイドライド、炭素材料など）	研究室レベル			

（出所）燃料電池実用化戦略研究会報告書（2001年1月22日）よりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

（3）モーター、その他補機類

燃料電池自動車は一種の電気自動車であり、燃料電池で発生した電気エネルギーを車輪に伝えるのはモーターである。電気自動車開発の歴史は古くモーター自身の技術は成熟化しており、完成車メーカーが内製化を果たしているが、周波数制御によりモーターの回転数をコントロールするインバーターがモーターの仕様を決定づけるため、むしろインバーターの性能が燃料電池自動車の性能を左右することになっている。

特に燃料電池自動車では、電気自動車と異なり燃料電池スタックの発熱があるため、熱に強いインバーターを開発することが要求されている。インバーターは一部の完成車メーカーで内製するほかに、電機メーカーが製造している。しかし、電機メーカーも自動車向けに想定される大容量インバーターを量産した実績はなく、完成車メーカーは燃料電池自動車向けに高性能インバーターを内製するか否かの決断を迫られている。

その他補機類についても積層化したスタックの中で各単位セルが効率よく出力するために、水素や空気を送り込む制御技術の向上が要求されており、スタックは高温の水蒸気を発生するため、金属製の配管部分の防食加工など新しい部品の加工技術も要求されるようになっている。

また、ハイブリッドシステムは、燃料電池自動車にも搭載することで更なるエネルギー効率の改善を図ることができる。ガソリン自動車はハイブリッド化（+モーター）により、エネルギー効率を約2倍に向上させたが、燃料電池自動車でもハイブリッド化（+二次電池）を試みると現状では燃料電池のみに比して3割程度のエネルギー効率の向上に留まっており、向上に向け研究が進められている。

(4) 燃料電池の構成ユニットのブラックボックス化が及ぼすもの

燃料電池自動車の駆動システムは、燃料電池スタックや改質器やインバーターといった独立したユニットで構成されている。燃料電池スタックやインバーターなどについては既述のとおり、完成車メーカーは内製化するのか、ブラックボックス化を容認するのか選択を迫られている。また、改質技術についても化学反応を扱うため、何処まで完成車メーカーが内製技術として取り込むか判断を迫られている。

また、これらのユニットの性能を引き出すつなぎの部品となる補機類は部品サプライヤーが担っており、部品サプライヤーとしても燃料電池に関わるノウハウが要求されるようになっている。

燃料電池自動車の開発にあたり、従来から各構成部品の統合ノウハウを独占する完成車メーカーは引き続き開発の主導的なポジションを担っていくものと考えられる。しかし、燃料電池自動車の心臓部にあたる一部のユニットがブラックボックス化した場合、完成車メーカーにとって開発競争の主導権が握れなくなることも考えられる。

燃料電池自動車には内燃機関とは異なる制御ユニットや構成部品など新しい技術が多く見られ、かつ燃料電池の構成部材については素材開発に負うところが多く、自動車産業にとって他律的な要素も存在する。そのため、既存内燃機関の進歩の延長線上では説明し得ない、他産業からの自動車産業への参入や自動車業界内での力関係の変化など不連続な変化が起こる可能性がある。但し、今は量産化以前の段階で、かつ、各要素技術にはなお革新の要素があり、実用化競争における優位性は未だ確認できない状況である。

第3節 完成車メーカー各社の開発動向

燃料電池自動車の開発は、実用化以前の実証試験の段階と言われる一方でトヨタ、ホンダが 2002 年中の商品化を発表するなど差が付きつつあるように見える。ここでは完成車メーカーごとに開発の方向と跛行性について考察してみたい。

(1) 足許の開発段階

燃料電池自動車の普及段階については、⁵ 試作モデル 実証モデル 実用モデル 量産モデルに分類することができる。開発段階としては完成車メーカー各社から実証モデルが発表されている段階で、次の段階となる実用モデルは各社 2003～2005 年頃にリリースされると言われてきたが、近時、トヨタとホンダが相次いで 2002 年中の商品投入を表明している。しかしながら、量産モデルについては 2010 年以降と相当時間がかかるというのが大勢の見方である(図表 5 - 7)。

図表 5 - 7 完成車メーカー別燃料電池自動車開発目処

メーカー	時期(年)	記事
トヨタ	2003	技術開発完了
ホンダ	2003	実用化
日産	2003	技術開発完了
	2003～2005	実用化
三菱自工	2005	実用化
マツダ	2004	実用化
GM	2008～2010	年間数万台の販売規模
ダイムラークライスラー	2002	水素型燃料電池バスの市販
	2004	燃料電池自動車の実用化
フォード	2004	商品化

(出所) 燃料電池実用化戦略研究会報告書(2001年1月22日)をもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

⁵ 「試作モデル」は研究室レベルでの動作確認段階のモデル、「実証モデル」は実用化に際しての不備・欠点を洗い出す為のモデル、「実用モデル」は実証モデルの不備・欠点を修正し既存自動車と遜色ない性能のモデル、「量産モデル」は実用モデルに生産技術の改善・素材選定などのリファインを行い採算性を具備したモデル

(2) 燃料選択にみる各社の開発戦略

燃料電池自動車の燃料供給方式については、まずは改質器が不要な直接水素方式が選択された。中でも、天然ガス自動車で気体圧縮技術が既に実用化されていることから圧縮水素方式での開発が主流となっている。各社 250 気圧の高圧タンクを開発しており、更なる高圧化が模索される中、2001 年にホンダが 350 気圧の高圧タンクを搭載したモデルを発表している。今後、実用化に向け 700 気圧クラスの高圧燃料タンクの開発が進められている。液体水素方式と吸蔵合金方式については開発メーカーが限られ、液体水素方式は、ダイムラークライスラー（以下 DCX）と GM、ルノーが搭載モデルを発表している。一方、吸蔵合金方式についてはトヨタとマツダが搭載モデルを発表しているが、実用化には更なる貯蔵密度の向上が必要とされている。

しかし、直接水素方式は現状では十分な航続距離を実現することができず、エネルギー密度の高い炭化水素系の液体燃料を車載して改質する方式が模索されるようになってきた。改質燃料としてはメタノールと硫黄分を除去したクリーンガソリン（CHF）が主な候補となっているが、一方でより改質が容易なメタノール改質方式のモデルも次第に発表されるようになってきた。メタノール改質式のモデルは DCX、フォード、GM、トヨタ、ホンダ、日産、マツダなどから発表されている。メタノール改質式では、改質器の容量が問題となっているが、航続距離については実用化に十分な性能を確保している。しかし、メタノール改質式は直接水素方式と同様に燃料供給拠点の整備が必要となるため、既存インフラが活用できる CHF 改質方式のモデルが最近になってトヨタと GM から発表されている。

燃料の選択については、長期的なコンセンサスは直接水素方式となっているが、当面の燃料供給体制を考慮すると、地域ごと、企業ごとに個別事情が反映されることとなる。脱石油燃料の意識が強く、天然ガスパイプラインが敷設されメタノールの主原料となる天然ガスの供給体制が整っている欧州は当面の燃料供給方式としてメタノール改質式が支持されており、DCX もメタノール改質式のモデルを発表している。しかし、欧州と同様天然ガスパイプラインが整備されている米国では、DCX と開発歩調を揃えるフォードがメタノール改質式モデルを発表する一方で、石油業界と共同開発体制を敷く GM は CHF 改質式を推進している。2002 年 7 月に GM は毒性の高さと総合燃料効率の問題からメタノール改質方式の開発断念を発表しており、他社への影響が注目される。

日本はメタノールを輸入せざるを得ない環境にあり、毒性の懸念も指摘されるメタノール改質式は選ばれにくい環境にある。そのため、トヨタは CHF 改質式が当面の主力であると表明しており、CHF 改質方式のモデルも発表している。一方、カリフォルニア州での LEV 規制対応で圧縮天然ガスのノウハウを蓄積しているホンダは圧縮水素方式の高圧化で先行したモデルを発表している。

自動車産業は国際市場を対象としてはいるものの、完成車メーカーはそれぞれの母国市場の燃料事情に適合したモデル開発をまずは推進しなければならず、ひとつの燃料供給方式に標準化が進むとは考えにくい（図表 5 - 8）。ここに開発戦略における完成車メーカーの悩みの源泉がある。

図表 5 - 8 燃料電池自動車向け燃料の考え方

	燃料の候補			選定機関
	【当面】	【近未来】	【長期的将来】	
日本	高圧水素orメタノール フリート走行を念頭	クリーンガソリン メタノール（限定的使用）	水素	燃料電池実用化戦略研究会
米国	【近未来】 クリーンガソリン 軽油・メタノール・エタノール・天然ガスも考慮		【長期的将来】 水素	エネルギー省
ドイツ	【第1候補】 水素	【第2候補・第3候補】 メタノール・天然ガス		Transportation Energy Strategy 石油代替燃料から選定

（出所）各種資料を参考にみずほコーポレート銀行産業調査部作成

特定地点間の集団走行、路線バスやルートバンなどの用途があてはまる

(3) 各社の取り組み体制

燃料電池自動車開発への取り組みを語る場合、まず最初に取り上げるべき会社は最も早い段階から本格的に取り組んだドイツのダイムラークライスラー（当時はダイムラーベンツ。以下 DCX）であろう。欧州で最も発達した自動車産業を擁するドイツでは次世代自動車追求の動きの中で脱化石燃料の検討が進んでおり、DCX は同じドイツの BMW と水素を燃料とする次世代自動車の開発競争をくりひろげていた。BMW が水素内燃機関の開発を推進したのに対し、DCX は燃料電池自動車の開発を推進した。

DCX は 1994 年に NECAR1（圧縮水素方式）を発表して以来、2000 年に発表した NECAR5 までバスも含め 7 つのモデルを発表しており、液体水素方式やメタノール改質式も発表している。DCX はカナダの燃料電池メーカーである巴拉ードパワーシステムズ社に出資を行い、NECAR2 以降のモデルに巴拉ード社のエネルギー密度の高い燃料電池スタックを採用、実用化に向け性能を向上させた。DCX は 2002 年末には燃料電池バス Citaro を市販し、2004 年には燃料電池乗用車を市販する予定であり開発の先陣を切っていると言える。

米国では 2003 年の ZEV 規制導入を控え、電気自動車開発の限界が判明した 1997 年頃から燃料電池自動車の開発が活発化している。GM は燃料電池自動車を自社開発により推進しており、グループのオペルとともに米欧の 2 極体制をとっている。米国では燃料電池スタックや改質器といったモジュールの開発を中心に、欧州では車両への搭載やシステム全体の開発を中心に実用化に向けた開発に取り組んでいる。また、GM はガソリン改質技術についてエクソンモービルやトヨタとの共同開発体制を敷いている。一方フォードは、1997 年に巴拉ード社に出資することによって DCX - バラード連合に参画しており、主に制御技術についての開発に携わっている。

その他の欧州メーカーでは、乗用車では DCX やオペル以外にもルノーが DeNora 社（現 Nuvera 社）から燃料電池スタックの供給を受けて 1997 年に燃料電池自動車の試作車を発表しているほか、フォルクスワーゲンが巴拉ード社と米国の IFC 社から、フィアットが Nuvera 社から燃料電池スタックの供給を受けて開発を進めている。また、欧州では実用化に最も近い燃料電池自動車と考えられている燃料電池バスの開発も盛んで、DCX 以外にもドイツのマンや Neoplan 社の燃料電池バスが路線バスの実証試験に投入されている。

図表 5 - 9 最近発表された燃料電池自動車

発表年	メーカー	車名	燃料	FC出力	スタック	最高速度	航続距離	ハイブリッド
2001	トヨタ	FCHV-4	水素 25MPa	90kW	トヨタ	150km/h以上	250km以上	バッテリー
2001	トヨタ	FCHV-BUS1	水素 25MPa	90kW	トヨタ	80km/h以上	300km以上	バッテリー
2000	ホンダ	FCX-V3	水素 25MPa	60kW	巴拉ード/ホンダ	130km/h	180km	キャパシター
2000	日産	Xterra FCV	水素 25MPa	75kW	巴拉ード	120km/h	-	バッテリー
2000	ダイムラークライスラー	NeCar4-A	水素 25MPa	70kW	巴拉ード	145km/h	-	無
2000	ダイムラークライスラー	Citaro	水素 25MPa	250kW	巴拉ード	80km/h以上	200~300km	無
2000	フォード	Focus FCV	水素 25MPa	67kW (motor)	巴拉ード	128km/h以上	160km	バッテリー
2001	ホンダ	FCX-V4	水素 35MPa	78kW	巴拉ード	140km/h	300km	キャパシター
2000	GM	Hydrogen1	水素 液体	80kW	GM	140km/h	400km	バッテリー
2001	GM	Hydrogen3	水素 液体	94kW	GM	150km/h	400km	無
1999	ダイムラークライスラー	NeCar4	水素 液体	70kW	巴拉ード	145km/h	450km	無
2000	ダイムラークライスラー	NeCar5	メタノール	75kW	巴拉ード	150km/h	-	バッテリー
2001	マツダ	プレマシー-FCEV	メタノール	65kW (motor)	巴拉ード	-	-	無
2001	トヨタ	FCHV-5	ガソリン	90kW	トヨタ	-	-	バッテリー
2001	GM	シボレー-S-10	ガソリン	25kW	GM	-	-	バッテリー

(出所) 各種資料を参考にみずほコーポレート銀行産業調査部作成

日本では、マツダが1992年に燃料電池を搭載したカーを発売しているが、その後しばらくの間試作車は発表されず、1996年頃から各社の本格的な開発が始まったものと考えられる。現在、トヨタ、日産、ホンダ、マツダの各社が実用化モデルを発売している。トヨタは燃料電池スタックを自社開発しており、ホンダは巴拉ード社からの供給を受けつつ、自社開発も並行して行っている。一方、マツダは燃料電池スタックの自社開発を進めてきたが、フォードグループとして巴拉ード社の燃料電池スタックを利用するようになっており、日産も巴拉ード社から燃料電池スタックの供給を受けている。

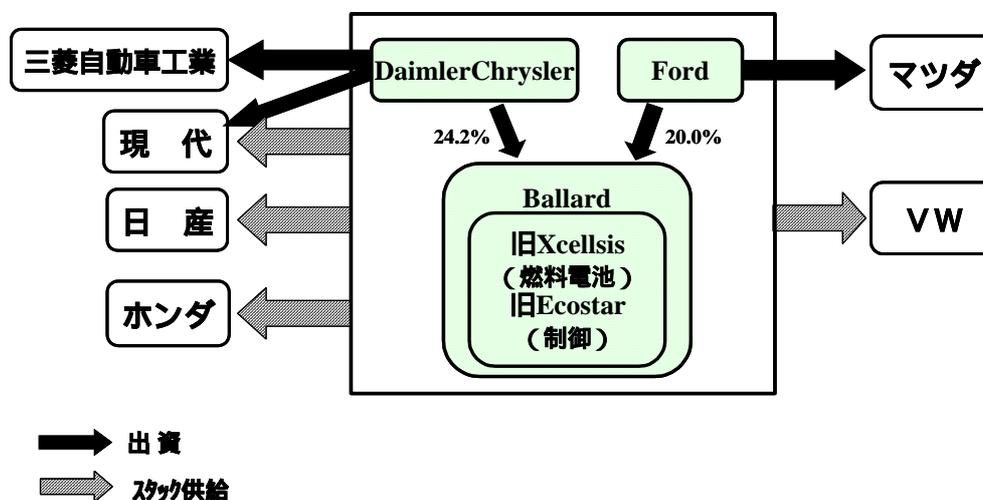
また、燃料電池自動車の更なる性能向上のためにハイブリッドシステムを導入したモデルが次第に増加しているが、ハイブリッドシステムの導入は既に市販モデルを投入しているトヨタやホンダといった日系完成車メーカーが先行しており、GM、DCX、フォード等がハイブリッドシステムを搭載したモデルを最近では発表し追隨している（図表5-9）。

（4）巴拉ード社のもたらした変化

燃料電池車開発に関わる完成車メーカーの動きについては、巴拉ード社の動向抜きには語り得ない。巴拉ード社は固体高分子電解質膜の独自開発で固体高分子形燃料電池の出力密度の向上でブレイクスルーを起こし、燃料電池の自動車動力源としての可能性を切り開いた会社である。その性能に目をつけたDCX（当時はダイムラーベンツ）は巴拉ード社と共同開発体制を敷き、その後フォードも共同開発体制に参画し、自動車向け燃料電池開発の中心となっている。

現在、巴拉ード社の燃料電池スタックの供給を受ける完成車メーカーはVW・日産・マツダ・ホンダ・現代（韓）と完成車グループの枠に捉われない広がりを見せている。一方、トヨタ・GMは燃料電池スタックも自社開発する方針で、巴拉ード社から供給を受けているホンダも自社製スタックの開発にも取り組んでいる（図表5-10）。

図表5-10 バラード社を中心とする燃料電池スタックの供給関係



（出所）燃料電池実用化戦略研究会報告書（2001年1月22日）を参考にみずほコーポレート銀行産業調査部作成

巴拉ード社の燃料電池スタックの供給を受けることで完成車メーカーは、燃料電池自動車のパワートレインの心臓部にブラックボックスを抱えることになる。一方で巴拉ード社としても燃料電池スタックの技術は有しているものの、自動車の搭載に向けた適合開発のノウハウがなく開発パートナーの存在と、商品として普及していない燃料電池の収益力不足と継続する開発負担をまかなう必要があった。その結果、DCXとフォードから出資を仰ぎ、DCXと自動車向け燃料電池開発の合弁会社Xcellsis社を設立し、フォードとは制御技術開発の合弁会社Ecostar社を設立した。現在は両社とも巴拉ード社の一部門となっており、巴拉ード社がDCXとフォードから出資を受けた形となっている。

DCX やフォードに限らず燃料電池スタックの内製を行わない完成車メーカーにとって中心技術を握る巴拉ード社の存在は微妙である。しかし、巴拉ード社のみで自動車のパワートレインを開発することが不可能であることも事実であり、燃料電池スタックの内製を行わない完成車メーカーは如何にこのブラックボックス化したモジュールから最適性能を取り出すのか、つまり各モジュールをつなぐ統合ノウハウと性能を引き出す補機類の開発力が、開発における主導権を自らに残すための鍵となると考えられる。

これらのモジュールの性能を引き出すつなぎの部品となる補機類は部品サプライヤーが担っており、完成車メーカーとしては燃料電池自動車開発にあたり部品サプライヤーとの最適な協業関係の構築が要求されてくる。また、パワートレインに関わる部品サプライヤーとしても長期的に生き残る為には燃料電池に関わるノウハウが要求されるようになってこよう。この協業による開発は日本の自動車部品メーカーの得意とするところであり、その能力は次世代の部品業界地図を決める大きなポイントとなりうる。

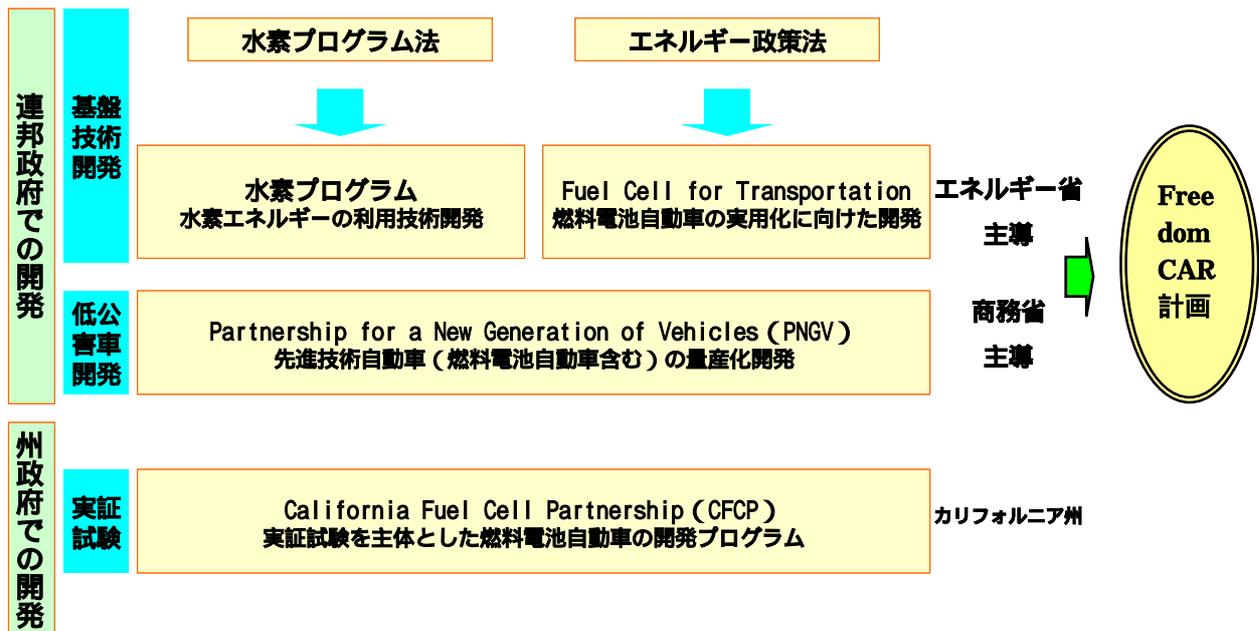
第4節 国家・地域の取り組み

燃料電池自動車を開発するのは一義的には完成車メーカーであるが、燃料供給インフラの整備に関わる法規制の整備や開発途上にある燃料電池技術開発支援プログラムの設定など、公的部門の持つ役割も大きい。ここでは、各地域ごとの燃料電池自動車開発に向けた開発・普及の支援体制について述べたい。

(1) 米国の開発支援プログラム

米国での連邦政府レベルでの燃料電池開発は1960年代の宇宙船用途での開発と、1967年のTARGET計画における発電用途のりん酸形燃料電池の開発に遡ることができる。運輸・民生用途での開発については、エネルギー省を中心に1992年に制定された「エネルギー政策法」と1990年に制定された「水素プログラム法」が基本法規となっており、今後の水素エネルギー社会への対応と輸入石油への依存体質の脱却を目指した燃料電池と水素供給体制の研究が省庁一体の体制で進行している。また、軍需用途としても発熱量が少ない固体高分子形燃料電池は探知されにくい電源などの用途が開発されている(図表5-11)。

図表5-11 米国の燃料電池開発体制



(出所) 燃料電池実用化戦略研究会報告書(2001年1月22日)をもとに
みずほコーポレート銀行産業調査部作成

エネルギー政策法に基づき制定された「燃料電池プログラム」の中の「Fuel Cell for Transportation」(FCT)において、燃料電池自動車の実用化に向けた燃料電池・燃料・部品について産官学の参加による開発が実施されている。FCTにおいては2004年を目処としてコスト、性能、航続距離、安全性、信頼性で既存内燃機関自動車に匹敵する燃料電池自動車の実証試験を行うとされている。

燃料電池の燃料となる水素利用技術の向上を図るプログラムとしては、エネルギー省を主体として水素プログラム法に基づいて「水素プログラム」が制定され、今後20年間でエネルギー市場での水素導入に向けた基盤が形成されるとの基本概念に基づき、既存エネルギーに対してコスト競争力のある水素エネルギーの利用技術開発を実施している。

上記のエネルギー省が主体となったプログラムの他に、商務省が主導する「Partnership for a New Generation of Vehicles」(PNGV)が存在していたが、2002年に入りブッシュ政権のエネルギー省が打ち出した水素/燃料電池自動車開発計画「FreedomCAR (Cooperative Automotive Research) 計画」に取って代わられることとなった。このPNGVは1993年より当時のクリントン大統領の提唱により、Big3からなる「United States Council for Automotive Research」(USCAR)と政府が一体となって先進技術自動車の量産化に取り組むプロジェクトであり、ここで掲げられた80mpgという燃費目標が3Lカーの起源となる等低公害車開発競争において一定の役割を果たしたと言えよう。また、PNGVでは開発だけではなく、低公害車に対する購入補助事業も行なわれた。

これら連邦政府における施策のほかに、州政府レベルの開発プログラムとしてカリフォルニア州の「California Fuel Cell Partnership」(CFCP)が挙げられる。CFCPは州政府による実証試験という位置付けでスタートしたが、日産・ホンダ・現代・トヨタ・VW・DCXと参加企業が国際化するとともに、エネルギー省も2000年に参加しており、一大国際プロジェクトとなっている。CFCPは1999年を準備段階のフェーズ、2000年から2001年を水素燃料電池自動車(乗用車・バス合わせて20台程度)と水素ステーションの実証試験を行うフェーズ、2002年から2003年を燃料電池乗用車60台、バス20台に増加し、使用燃料の範囲を拡げて実証試験を行うフェーズとして設定している。

(2) 欧州・日本の開発支援

欧州は元々化石燃料資源に乏しく、水素など再生可能エネルギーの普及に積極的に取り組んできた。特にドイツは、脱化石燃料の追求に積極的で、政府と主要自動車産業による次世代運輸用燃料検討作業「Transportation Energy Strategy」(TES)での中間発表で、次世代エネルギーの候補の第1として水素を挙げており、第2、第3としてメタノールと天然ガス(順不同)を挙げている。実際にドイツでは、ミュンヘン空港に水素供給ステーションが導入されており、空港内の循環バスに水素内燃機関が搭載され1999年6月より運転が開始されている。この水素ステーションは将来的には燃料電池自動車への水素供給にも利用される予定である。

日本では、経済産業省を中心に旧ニューサンシャイン計画から引き継がれた個別プロジェクト、およびミレニアムプロジェクトなどで燃料電池の基盤開発が進行している。しかし、現状では固体高分子形燃料電池の技術自体が研究途上にあるという認識であり、自動車向け、定置用向けといった区分はされていない。そのため燃料電池自動車の具体的な開発プログラムは存在しておらず、今後実証試験を展開していく予定である。

燃料電池自動車の導入には、燃料電池自動車の性能向上以外にも、燃料供給インフラの整備や、燃料となる水素の導入についての社会的な理解が必要であり、実証試験のデモンストレーションは燃料電池の有効性・可能性を広く世間にアピールできるという効果を持つ。特に、路線バスでの実証試験は技術的な制約が比較的少なく、より多くの人々に燃料電池自動車を経験させることが可能である。路線バスでの実証試験は欧米で既に数件の実施例がある(図表5-12)。この点、欧州では燃料電池を水素エネルギー普及のための一手段として捉え、今後もEUのバックアップのもと、各地でECTOS、CUTE、FC Bus Projectといった路線バスの実証試験が目白押しで予定されている。

実証試験の結果、路線バス用途での実用化はある程度進展することが見込まれる。しかし、路線バスでの普及が進んだとしても台数は限られているため、必ずしも燃料電池自動車の本格的な普及に繋がるものではないことも事実である。

図表 5 - 1 2 燃料電池自動車の実証試験の展開

	実施国	実施都市	実施時期	内容
実施済プロジェクト	米国	シカゴ市	1998	路線バス (Ballard製)
		パームデザート郡	1998	小型車・ゴルフカート
		サクラメント市	2000-2003	CaFCP参加メーカーの乗用車バス
	カナダ	バンクーバー市	1998	路線バス (Ballard製バス)
	ドイツ	シュツットガルト市	1998	路線バス (DCX NEBUS)
		ハンブルク市	1999	路線バス (DCX NEBUS)
		Obersdorf市	1999	路線バス (Neoplan製)
		Erlangen市	2000	路線バス (マン/ジーメンス製)
	オーストラリア	シドニー市	2000	GMミニバン (オリンピックマラソンでの先導車)
	中国	北京市	2000	GMによる試乗会
日本	横浜市	2001	DCX・マツダ・日石三菱による走行試験	
今後実証試験展開	ドイツ	ベルリン市	1998-2003	「FC Bus Project」 MAN/Siemens製バス1台 スタックはNuvera社
	デンマーク	コペンハーゲン市		
	ポルトガル	リスボン市	2001-2006	「CUTE:Clean Urban Transport for Europe」 DCX製バス27台 スタックはBallard社
	オランダ	アムステルダム市		
	スウェーデン	ストックホルム市		
	ドイツ	ハンブルク市		
		シュツットガルト市		
	スペイン	マドリード市		
		バルセロナ市		
	ポルトガル	ポルト市	2001-2005	「ECTOS:Ecological City Transport System」 DCX製バス3台 スタックはBallard社
	ルクセンブルク	ルクセンブルク市		
	イギリス	ロンドン市		
	アイスランド	レイキャビク市		

(出所) 各種資料を参考にみずほコーポレート銀行産業調査部作成

しかしながら以上のような米国における軍需開発あるいは宇宙開発用途としての開発の蓄積と、欧米での実証試験の積極的な展開を見る限り、海外勢に比して日本の燃料電池技術開発並びに実用化へのバックアップ態勢は遅れをとってきた感は否めない。近時、競争力低下に悩むわが国産業の切り札的存在として燃料電池開発がクローズアップされつつあり、政府レベルで協議会やプロジェクトチームが設置され規制緩和の検討推進やインフラ整備についての提言がなされてはいるが、まだその動きは端緒にすぎないと言えよう。

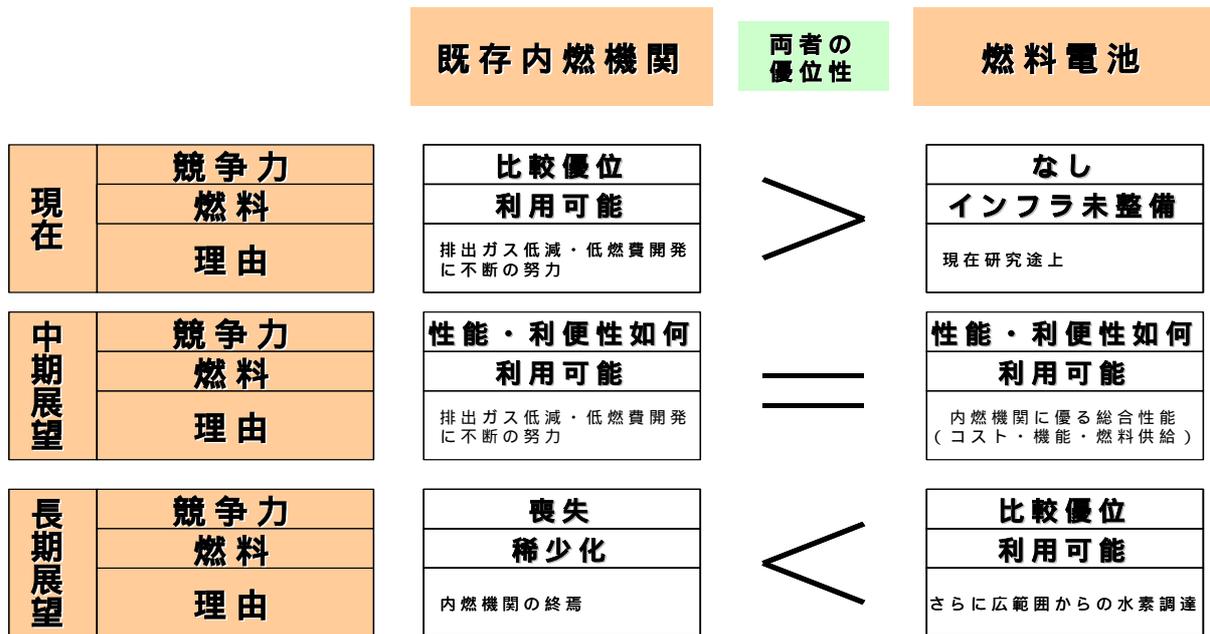
開発の蓄積は、研究の裾野の広さや研究人材の層の厚さを意味し、実証試験の取り組みは社会への認知度向上を意味する。特に燃料電池自動車は燃料インフラの整備など、社会的に受容する体制を整えることが要求され、まず燃料電池あるいは燃料電池自動車といった技術に対する社会的な理解を確保することが必要となろう。社会的な理解が得られることで、研究の裾野も自ずと広がっていくことが期待できるのではなかろうか。スタンドプレー的な政策ではなくより地道で息の長いバックアップ態勢が望まれる所以である。

第6章 燃料電池自動車の普及に向けて

第1節 将来の生き残りをかけた開発競争

環境規制、就中地球温暖化問題に端を発した脱化石燃料の動きは、将来的な水素エネルギー社会の到来を意味し、その時期は未だ未確定ではあるものの、規制・世論・技術革新・化石燃料可採年数の動向如何によっては相当早まる可能性を秘めている。その道筋には今まで述べてきたように各地域の事情が影響し異なる通過点を通る可能性はあるものの、長期的にみれば脱化石燃料を実現する燃料電池自動車が将来的な自動車のスタンダードとなろう(図表6-1)。

図表6-1 脱化石燃料の流れと自動車動力源の関係



(出所) みずほコーポレート銀行産業調査部作成

しかしながら、技術課題やインフラ整備といった課題の存在を考えると、本格普及と云える自家用車での実用化は早くても2010年代半ば以降と考えられ、ゴールの見えない燃料電池自動車の開発競争は息の抜けない持久戦の様相を呈している。従って、足許は規模を背景とした投資負担額の多寡が開発競争の勝ち負けを決定する条件と考えられており、巨大グループを形成している欧米完成車メーカーが資金的に有利であると云われている。

しかも、ハイブリッド自動車の開発等で日本の後塵を拝してきた欧米自動車業界は、燃料電池自動車開発での巻き返しを企図し、路線バスでの実証試験など官民挙げての開発体制を築いている。また、欧米では軍需関連での燃料電池関連予算と研究開発の蓄積を持っており、産軍学の協力体制をバックに着実に次世代環境対応のスタンダード獲りの体制を固めつつある。

日本の完成車メーカーは、マスキー法の規制水準のクリアやガソリン直噴エンジンの開発、さらにはハイブリッド自動車の開発を通じて自動車の環境対応をリードしてきたが、燃料電池自動車の技術は過去の開発の歴史とは不連続な要素を多分に含んでおり、今までの蓄積を背景とした絶対的優位が保証されているわけではない。

完成車メーカーにとって当面は金がかかる一方の環境対応ではあるが、自社製品の差別化・ブランド確立といった企業戦略に関わる競争力の根源であるばかりでなく、自動車製造業を続けていく上での必要条件となっており、燃料電池自動車の開発は、完成車メーカーとしての生き残りを目指した競争となっている。加えて、燃料電池自動車までのつなぎの期間が長期化するなか、ハイブリッドを中心とした従来型パワートレインへの重複投資も嵩んできつつあり、アライアンスを活用しながら自社の得意とする技術に集中投資を行う等の技術戦略が経営にとって喫緊の課題となっている。

第2節 日本における燃料電池自動車開発体制のあり方

最近、トヨタとホンダがいち早く 2002 年中の燃料電池自動車（乗用車）の商品投入を発表しているが、これまで環境対応において世界をリードしてきた日本の自動車産業といえども、この2社の動きをもって従来の環境技術の開発競争と同様に優位性を確保しているとは云えず、しかも、日本の燃料電池自動車導入に向けた国全体としての開発体制は欧米に比べ見劣りしている気がしてならない。その意味ではこの2社の現時点での商品投入は「民」での開発に比し遅れが見える「官」への牽制球ともとれるのである。

こうした状況を踏まえると、日本も単なる環境規制の観点からだけでなく、国全体としての水素エネルギー社会の構築を視野に入れた将来的・総合的なエネルギー政策の観点からの燃料電池自動車の開発・普及体制を検討すべき時期にきている。

燃料電池自動車は、燃料供給インフラの未整備、航続距離の制約からまず官公庁やバス会社など一部のフリートユーザー中心の実用化が始まるものと考えられる。こうした燃料電池の導入初期の段階に、導入に向けた実証試験の実施や、現行のクリーンエネルギー自動車普及事業のようにフリート事業者や燃料供給事業者を対象とした導入経費補助を実施することで燃料電池自動車導入の契機とし、同時に水素エネルギー社会への社会的認知度の向上を図る施策が検討されるべきであろう。

次の段階として、個人向け、一般乗用車としての燃料電池自動車の普及を企図して上記の補助施策の適用範囲を拡大することで、本格普及に向けた導入のスピードが加速されることが期待しうる。

前出の燃料電池実用化戦略研究会から示された通りに、出力の大きい燃料電池自動車（50～80kW）が普及することで量産化が進めば、家庭用コージェネレーションシステム（1kW クラス）などにもコストダウン効果が波及することが期待され、自動車以外にも燃料電池の導入が一層促進されよう（図表6-2）。

加えて、燃料電池に対する社会的認知度の向上は、将来的には効率的な分散型電源の円滑な導入につながり、燃料電池を中心とした効果的なエネルギー政策の展開が期待できよう。日本は資源の乏しい国であり、先進国の中でも率先して脱化石燃料の途を進むことの意味は深いと考えられる。

図表6-2 用途別燃料電池の普及イメージ

2010年	(家庭用)	2 1 0 万kW	(2 1 0 万世帯)
	(自動車)	4 0 0 万kW	(5 万台)
2020年	(家庭用)	1 0 0 0 万kW	(1 0 0 0 万世帯)
	(自動車)	4 0 0 0 0 万kW	(5 0 0 万台)

自動車の台当たり出力は80kW、家庭用は世帯当り 1 kWで計算

(出所) 燃料電池実用化戦略研究会報告書(2001年1月22日)よりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

尚、日本における特殊要因として、水素エネルギー社会の到来を阻む可能性について留意しなければならない点がある。それは、感情論的反応に近いものであるが水素の安全性に対する懸念である。

日本は国土が狭く都市部に人口が密集しており、市街地への水素供給拠点の設置には上記懸念も相俟って諸外国に比べ強い抵抗に遭う可能性がある。唯一の被爆国である日本の場合『水素』から『原水爆』を連想するような形で諸外国より強く拒否反応が示される可能性すらある。

うがった見方かもしれないが、このように水素エネルギー社会の導入に対して「総論賛成各論反対」の動きが表面化する虞がありうる。燃料電池自動車の導入に向け水素との共存社会を構築するには、上記懸念に配慮した慎重かつ粘り強い啓蒙活動が不可欠であり、その上で燃料保安法令の緩和等、実際の導入のに向けた対応が必要となる(図表6-3)。

図表6-3 燃料電池自動車実用化に関する規制

燃料	法令名称	対象
車両	道路運送車両法	燃料電池自動車全般
水素	高压ガス保安法 建築基準法	貯蔵水素ガス 水素貯蔵量
天然ガス	高压ガス保安法 ガス事業法 建築基準法	貯蔵天然ガス ガス工作物としての天然ガス 天然ガス貯蔵量
メタノール	毒物及び劇物取締法 労働安全衛生法 消防法	劇物としてのメタノール 有害物質としてのメタノール 危険物としてのメタノール

(出所) 燃料電池実用化戦略研究会報告書(2001年1月22日)よりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

おわりに

日本の完成車メーカーは、燃料電池自動車開発競争においてまだ優位な立場を確立したとはいえないまでも、既にハイブリッド自動車でも燃料電池自動車にも共通するモーター駆動の制御ノウハウについて商品化開発するなど、欧米に優る開発蓄積を有している。こうしたアドバンテージを活かしつつ開発のスピードアップを図り、欧米完成車メーカーに差をつける戦略をとるならば、既述のような政府支援策の後押しによって自国市場での燃料電池自動車の導入が促進されることで、従来の環境開発で有していた強みを発揮し、燃料電池自動車の開発競争においてもより優位な立場を築きうると考えられる。

日本の完成車メーカーの競争力の源泉と云われて来た⁶コンカレントエンジニアリングは、こうした試行錯誤の中で新しい技術を開発する時、そして商品を量産化する時に最も効果を発揮する。従来型生産システムにおける系列解体、部品のモジュラー化といった流れは認めつつも、今後、実用化・量産化のフェーズに移る燃料電池自動車開発にとって最適な協業体制のあり方を模索することで、日本の自動車産業の競争力は一層高まっていくものと考えられる。

ただし、技術面でのブレイクスルーが無いとすれば、燃料電池自動車の普及は2010年代半ば以降と考えられており、その間はハイブリッド車等の既存のエンジンを中心とする環境対応投資にも力を割かねばならない。全ての環境技術開発を自前で行えるのは、そのことの是非は別としても、わが国完成車メーカーでも一握りである。環境技術開発の競争を勝ち抜いて来るべき燃料電池自動車の時代を迎える為には、自社の技術面での業界ポジションと投資余力を見極めた上で開発投資の選択と集中を行い、場合によっては提携による補完を行うことが重要になって来よう。

世界に誇れる「技術」を活かす経営によって、世界に先んじて環境対応を打ち出してきた日本の強みが失われること無く、燃料電池自動車の開発においても主導権を持った形で発現されることを期待したい。燃料電池に関わる産業の裾野は驚くほど広い、日本発の燃料電池自動車によって再びわが国の産業活性化が進むことも夢ではない。

(みずほコーポレート銀行 産業調査部 組立加工チーム 荒川 雄介/細川 顕三)
kenzo.hosokawa@mizuho-cb.co.jp

⁶ 製品の設計およびそれにかかわる製造やサポートを含んだ工程の設計に対し、完成車メーカーと部品メーカーが統合的かつ同時並列的に関与していく生産企画システム

参考資料

ホームページ

CARB (California Air Resource Board カリフォルニア州大気資源局)
<http://www.arb.ca.gov/homepage.html>

WE-NET (水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術)
<http://www.ena.or.jp/WE-NET/index.html>

日本自動車工業会
<http://www.jama.or.jp/indexJ.html>

燃料電池開発情報センター
<http://www.fcdic.com>

EPA (Environmental Protection Agency 米国環境保護庁)
<http://www.epa.gov/>

NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration 米国高速道路交通安全局)
<http://www.nhtsa.gov/>

ホンダ
<http://www.honda.co.jp/>

各種資料 (誌名・発行社)

(各種団体発行資料)

燃料電池導入ガイドブック	NEDO
電気自動車について	日本自動車両協会
天然ガス自動車の普及に向けて	日本ガス協会
クリーンエネルギー車ガイドブック 2001	日本自動車工業会
固体高分子形燃料電池 (新エネルギーの展望シリーズ)	エネルギー総合工学研究所
水素エネルギー - 改訂版 - (新エネルギーの展望シリーズ)	エネルギー総合工学研究所
燃料電池と 21 世紀のエネルギー選択 (シンポジウム講演録)	ダイムラークライスラー日本ホールディング

(雑誌)

日経メカニカル	日経 BP 社
工業材料 (2002 年 3 月号)	日刊工業新聞社
燃料電池	燃料電池開発情報センター
Automotive News	Crain Communications

(統計資料)

主要国自動車統計	日本自動車工業会
自動車産業ハンドブック 2001 年版	日刊自動車新聞社
自動車年鑑ハンドブック 2001 ~ 02 年版	日刊自動車新聞社・日本自動車会議所
日本の自動車技術	自動車技術会
Automotive Yearbook 2001	Ward's Communications

(官公庁発行資料)

平成 12 年度大気汚染状況について

環境省環境管理局

クリーンエネルギー自動車導入の現状と見直しについて(2001.1.31)

経済産業省総合資源エネルギー調査会

特許庁

自動車と環境に関する技術動向調査

燃料電池実用化戦略研究会報告書

燃料電池実用化戦略研究会

固体高分子形燃料電池/水素エネルギー利用技術開発戦略

燃料電池実用化戦略研究会

自動車排出ガス原単位および総量に関する調査

野村総合研究所(環境庁委託調査)

書籍

革新トヨタ自動車

板崎英士(日刊工業新聞社)

プリウスという夢

家村浩明(双葉社)

燃料電池が世界を変える

広瀬隆(NHK出版)

燃料電池で世界を変える

トム・コペル著、酒井泰介訳(翔泳社)

