

平成 15 年度
燃料電池自動車に関する調査報告書

平成 16 年 3 月

財団法人 日本自動車研究所

目次

1. 調査の目的と概要	3
1-1 調査の背景と目的	3
1-2 報告書の全体構成	4
2. 燃料電池車の特長と普及の意義	7
2-1 燃料電池車とは	7
2-2 燃料電池車の特長	10
2-3 燃料電池車の導入の意義	13
3. 燃料電池車をめぐる現状	15
3-1 燃料電池車の開発経緯	15
3-2 海外における燃料電池車の開発をめぐる現状	16
3-2-1 米国における取り組み	16
3-2-2 EU における取り組み	41
3-2-3 欧州 FC バス実証走行プロジェクト	48
3-2-4 ドイツにおける取り組み	51
3-2-5 アイスランドにおける取り組み	53
3-2-6 カナダにおける取り組み	55
3-2-7 海外のその他の燃料電池車デモンストレーションの現状と計画	58
3-2-8 海外の水素ステーションの開発状況	60
3-3 海外自動車メーカーにおける開発状況	64
3-3-1 海外自動車メーカーにおける燃料電池車の開発状況	64
3-3-2 Ballard Power Systems 社を中心とした提携関係	73
3-3-3 欧米 PEFC 関連メーカーの事業の展開状況	74
3-4 わが国における燃料電池車開発促進に向けた取り組み状況	75
3-4-1 わが国政府における取り組み状況	75
3-4-2 わが国における FCV の公道走行試験	90
3-5 わが国自動車メーカー等における開発状況	98
3-5-1 燃料電池実用化推進協議会 (Fuel Cell Commercialization Conference of Japan)	98
3-5-2 FCV の開発状況	99
3-5-3 今後の販売展開・商品化について	121
3-6 定置用等その他の用途の燃料電池の開発をめぐる状況	122
3-7 燃料電池をめぐる国際連携の動き	128
3-7-1 燃料電池車に関する協力関係	128
3-7-2 定置用燃料電池メーカーを中心とした協力関係	131

3-7-3 主要企業の合併，事業分割等の経緯.....	134
3-7-4 燃料電池に関する標準化に向けた取組み状況.....	136
3-8 燃料電池に関する法令・規制の状況.....	137
3-8-1 燃料電池に関する主な法令・規制.....	137
3-8-2 燃料供給施設関連.....	137
3-8-3 自動車走行関連.....	143
3-8-4 定置用燃料電池関連.....	146
3-8-5 燃料電池関連の規制改革に向けた取組み.....	146
3-9 世界のエネルギー情勢.....	152
4 燃料電池車に関する技術開発等の動向.....	156
4-1 燃料電池関連技術の研究開発動向と課題.....	156
4-1-1 「燃料電池実用化戦略研究会」による技術課題の整理.....	156
4-1-2 燃料電池システム.....	160
4-1-3 燃料電池スタック.....	165
4-1-4 改質器.....	183
4-1-5 周辺機器.....	192
4-1-6 水素の車上搭載方法.....	194
4-1-7 二次電池等.....	203
4-1-8 FCV のシステム上の技術課題.....	205
4-2 自動車用燃料・インフラストラクチャ整備に関する課題と動向.....	206
4-2-1 燃料の選択について.....	206
4-2-2 水素供給システム.....	209
4-2-3 メタノール供給ステーション.....	212
4-2-4 その他の燃料電池車用燃料について.....	215
4-3 FCV の経済性評価の事例.....	218
4-4 燃料電池車の実用化の時期と普及台数の見通しについて.....	226
4-4-1 自動車メーカーによる FCV の実用化計画.....	226
4-4-2 経済産業省「燃料電池実用化戦略研究会」による見通し.....	227
4-4-3 JEVA「燃料電池自動車調査専門委員会」による見通し.....	227
4-4-4 Johnson Matthey による普及見通し.....	229
4-4-5 Texaco による普及見通し.....	229
4-4-6 DuPont による燃料電池市場の見通し.....	230
4-4-7 WE-NET による導入シナリオ.....	231
4-4-8 エネルギー経済研究所による普及予測.....	232
4-4-9 その他文献等による普及予測.....	234
4-5 まとめ.....	235

5 . FCV の総合効率の評価について	238
5-1 はじめに.....	238
5-2 分析における基本的前提条件	239
5-2-1 評価対象車種の基本的考え方	239
5-2-2 車両効率の定義	241
5-2-3 評価モデルの基本構成	244
5-2-4 CO ₂ 排出量の推計方法	246
5-3 Tank-to-Wheel 効率の分析	247
5-3-1 動的特性と仕様の検討	247
5-3-2 個別要素	258
5-3-3 Tank-to-Wheel 効率（燃費）の評価結果	261
5-4 Well-to-Tank 効率の検討のための燃料パス	268
5-5 Well-to-Wheel 総合効率の試算：各車種，燃料種別による比較	271
5-5-1 WtW エネルギー効率の検討結果	271
5-5-2 主要な WtW パスの比較	273
5-6 まとめ	276
< 参考 1 > CNG 車のエネルギー効率について	277
1. CNG 車とガソリン車の比較	277
2. モデル分析	283
3. 結論	284
< 参考 2 > 総合効率に関する既存研究のレビュー	285
6 . 今後の課題	289
参考資料 2003 年度 JARI 国内訪問インタビュー調査結果の概要	291
燃料電池車技術調査検討会名簿	342

はじめに

地球環境の保全は人類共通の課題であり、一方、エネルギーの安定確保、都市環境の改善は、わが国としても大きな課題となっている。

1997年12月のCOP3(気候変動に関する枠組み条約 第3回締約国会議)で採択された京都議定書では、日本の2000年以降の温室効果ガス削減目標は6%と定められた。また、2001年11月モロッコのマラケシュで開かれたCOP7で、京都議定書の運営ルールが最終合意され、2002年5月、日本政府により京都議定書の受諾書が国連に寄託され、これを受けて6月には「地球温暖化対策の推進に関する法律の一部を改正する法律」が公布され、施行された。わが国は、この国際公約を達成するためにも、クリーンエネルギー自動車の開発・普及を積極的に進めていかななくてはならない立場にある。

現在開発が進められているクリーンエネルギー自動車の中でも、燃料電池車(Fuel Cell Vehicles)は、その良燃費性と低公害性によって「次世代自動車の本命」と位置付けられている。米国カリフォルニア州では2000年11月からCaFCPにより燃料電池車の実証走行試験が実施されており、日本においても経済産業省の「固体高分子形燃料電池システム等実証研究」補助事業として、「燃料電池自動車実証研究」及び「燃料電池自動車用水素供給設備実証研究」(水素・燃料電池実証プロジェクト: JHFCプロジェクト)が2002年度からスタートした。2002年12月、トヨタ、本田が、限定された台数ではあるが、世界で初めて官庁へ燃料電池車のリース販売を行ったのに続き、2003年12月にはDaimlerChryslerが、2004年3月には日産自動車も限定リース販売を開始した。なお、欧州でもCUTE等の大規模な実証試験が2003年5月から開始されている。

この燃料電池車の開発・普及を進めるためには、個々の要素技術について開発を推進すると同時に、燃料電池(車)の開発動向やそのインフラ整備状況を広く把握して、現実に即した計画を推進することが求められている。

このような目的において、財団法人 日本自動車研究所(JARI)では、経済産業省の主導のもと財団法人 新エネルギー財団(NEF)の委託を受け、燃料電池車に関する技術動向調査をJARI内に設けた「燃料電池車技術調査検討会」のもとで進めてきた。具体的には自動車メーカー、燃料電池関連材料メーカー、燃料供給会社、政府機関等を訪問し、燃料電池車に関する最近の技術開発動向および、燃料電池車開発のための施策について調査を行った。本書はその調査結果を取りまとめたものである。

本報告書が、わが国の燃料電池車の開発・普及の一助になれば幸いである。

平成16年3月

財団法人 日本自動車研究所

1. 調査の目的と概要

1-1 調査の背景と目的

地球環境の保全は人類共通の課題であり、GDP 世界第 2 位のわが国は、この分野で強力なリーダーシップを発揮することが内外から期待されている。

1997 年 12 月の COP3（国連気候変動枠組条約第 3 回締約国会議）で採択された京都議定書では、日本の 2010 年の温室効果ガス削減目標は 1990 年のマイナス 6%と定められた。また、2001 年 11 月にモロッコのマラケシュで行われた COP7 で、京都議定書の運営ルールが最終合意され、2002 年 5 月、日本政府により京都議定書の受諾書が国連に寄託され、これを受けて 6 月には「地球温暖化対策の推進に関する法律の一部を改正する法律」が公布され、施行された。わが国は、この国際公約を達成するためにも、クリーンエネルギー自動車の開発・普及を積極的に進めていかななくてはならない立場にある。

現在開発が進められているクリーンエネルギー自動車のうちでも、燃料電池車（Fuel Cell Vehicles）は、その低燃費性と低公害性によって「次世代自動車の本命」と位置付けられている。

2000 年 11 月から米国カリフォルニア州においては、カリフォルニア燃料電池パートナーシップ（CaFCP）により燃料電池車の実証走行試験が実施されており、また、日本においても経済産業省の「固体高分子形燃料電池システム等実証研究」補助事業として、「燃料電池自動車実証研究」および「燃料電池自動車水素供給設備実証研究」（水素・燃料電池実証プロジェクト：JHFC プロジェクト）が 2002 年度からスタートした。2002 年 12 月には、トヨタ自動車と本田技研工業が、限定された台数ではあるが、世界で初めて燃料電池車のリース販売を行ったのに続き、2003 年 12 月には DaimlerChrysler が、2004 年 3 月には日産自動車も限定リース販売を開始した。

この燃料電池車の開発・普及を進めるためには、個々の要素技術について開発を進めると同時に、望ましい燃料の形態とそのインフラ整備に関する課題について、正しい評価を行い、現実に即した計画を推進することが求められている。

そこで、本調査では、国内外の自動車メーカー、燃料電池関連材料メーカー等に対して訪問インタビュー調査を実施し、燃料電池車に関する技術開発動向を調査するとともに、国内における燃料電池車の規制改革に向けた取組み状況をまとめ、海外を含めた最新の技術開発動向を把握することを目的とする。

1-2 報告書の全体構成

報告書の全体構成を図 1-2-1 に示す。
本調査の概要は以下のとおりである。

(1) 燃料電池車の特長と普及の意義

以下、第 2 章では、クリーンエネルギー車としての燃料電池車（FCV）の特長と、その普及の意義について整理を行う。

(2) 燃料電池車をめぐる現状

3 章では、国内および海外の FCV メーカーの開発動向や、各国政府による関連技術開発プロジェクト、FCV のデモンストレーションプロジェクトなどの FCV に関連した動向を整理する。また、わが国における FCV の導入に係る法令・規制の現状等について整理する。

(3) 燃料電池車に関する技術開発等の動向

4 章では、主に当研究所（JARI）が実施している海外調査や国内のインタビュー調査、文献調査等をもとに、燃料電池車の燃料の選択に関する最新の動向や、各種要素技術などの現状と課題等について整理する。

(4) FCV の総合効率の評価について

5 章では、FCV をエネルギー効率面から評価するために開発を進めているエネルギー効率算出シミュレーションモデル（GREEN）の内容、および GREEN を用いて推計した各車両の総合エネルギー効率の算出結果を示す。

(5) 今後の課題

今年度までの調査結果を踏まえた上で、来年度以降の課題を整理する（6 章）。

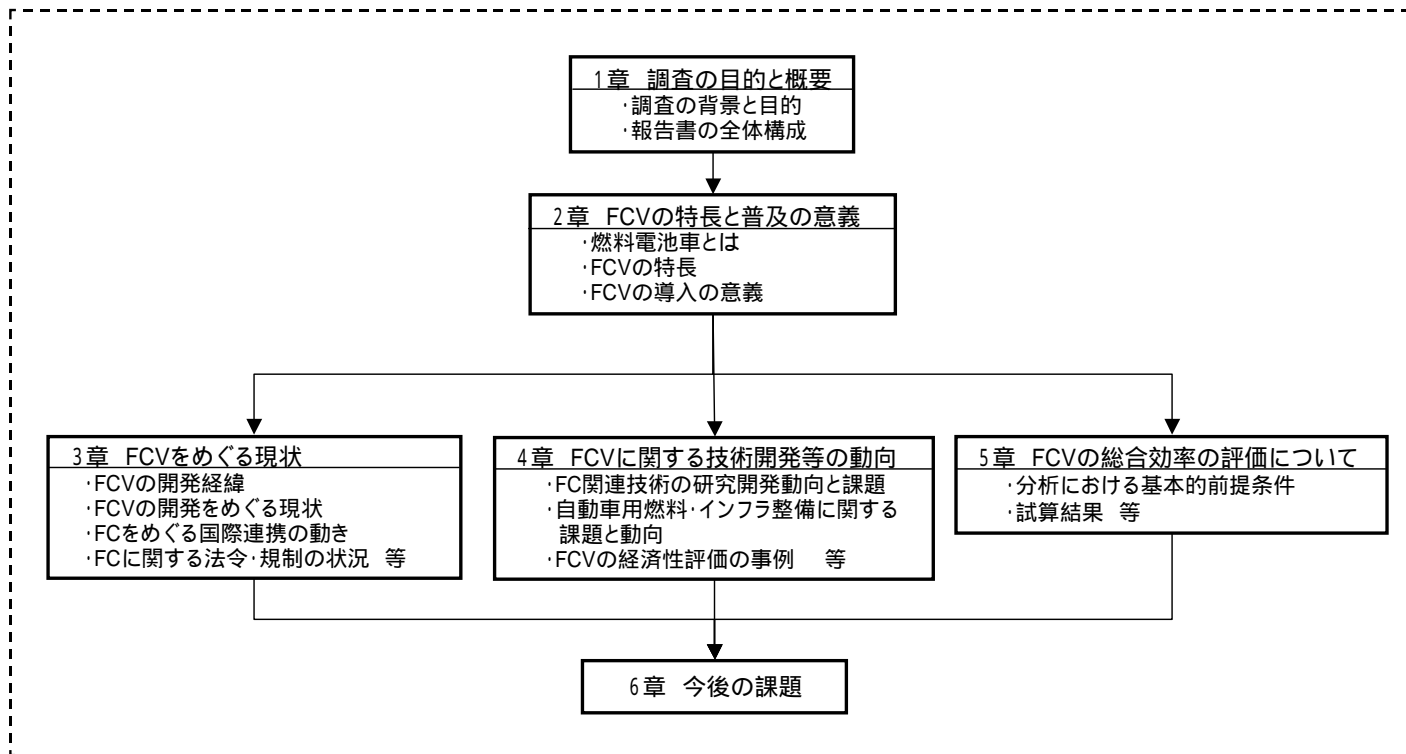
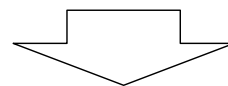
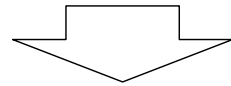
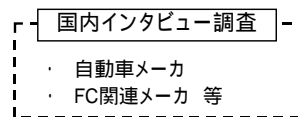
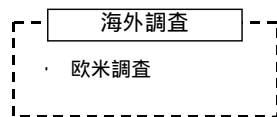


図 1-2-1 報告書の全体構成

.

2. 燃料電池車の特長と普及の意義

2-1 燃料電池車とは

燃料電池車（Fuel Cell Vehicle；略してFCV）は，排出するものが基本的に水だけで無公害であること，電気自動車と異なり充電の必要がないこと，エネルギー効率が高いこと等の優れた特長を有し，近年の急激な技術開発の進歩で注目を浴びている。

(1) 燃料電池

燃料電池（Fuel Cell；略してFC）は，水素と空気中の酸素を供給して反応させることで発電する電池である（図 2-1-1）。この反応は水を電気分解し水素と酸素を発生させる反応の逆の反応であり，生成され排出されるものは水だけである。燃料電池には使用する電解質の種類によりりん酸形燃料電池（PAFC），固体酸化物（電解質）形燃料電池（SOFC），固体高分子形燃料電池（PEFC）等がある（表 2-1-1）。このうち，近年，自動車用として期待されているのは固体高分子形の FC であり，PEFC あるいは PEMFC と略記される。

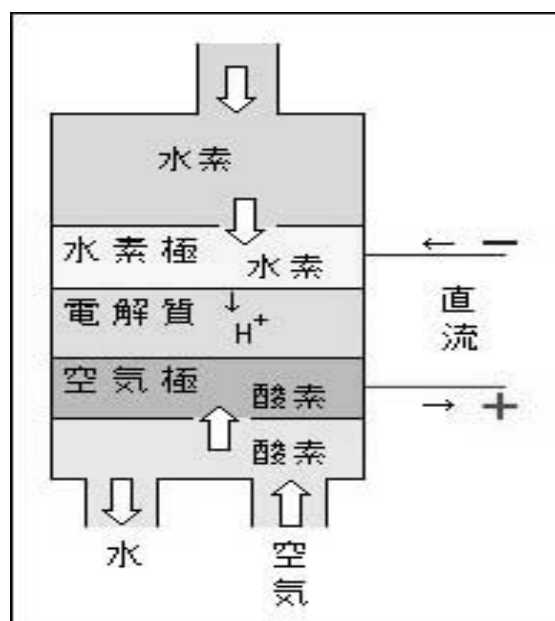


図 2-1-1 燃料電池の構造モデル

表 2-1-1 燃料電池の種類

燃料電池の種類	低温形燃料電池			高温形燃料電池	
	アルカリ形	りん酸形	(固体)高分子形	溶融炭酸塩形	固体酸化物形
電解質	水酸化カリウム (KOH)	りん酸 (H ₂ PO ₄)	高分子(ポリマー)膜 (イオン交換膜)	溶融炭酸塩 (Li ₂ CO ₃ +K ₂ CO ₃)	安定化ジルコニア ZrO ₂ ・Y ₂ O ₃
作動温度	100 以下	約200	100 以下	約650	約1,000
燃料	純水素 (白金触媒が被毒するためCOを含まないこと、電解質の機能が落ちるためCO ₂ を含まないことが条件)	COを抑えた粗製水素 (白金触媒が被毒するが、少量のCOは許容される)	COを抑えた粗製水素 (COにより白金触媒が被毒する)	粗製水素(石炭も可) (COは燃料となる)	粗製水素(石炭も可) (COは燃料となる)
原燃料	精製された水素、電解工業の副生水素など	天然ガス、メタノール、ナフサ、灯油	天然ガス、メタノール、ナフサ	天然ガス、メタノール、ナフサ、灯油、石炭	天然ガス、メタノール、ナフサ、灯油、石炭
発電効率	~60%	35~45%	40%以上	45~55%	50%以上
用途	宇宙、海洋など アポロ計画	コージェネレーション用 分散配置型電気事業用 離島用電気事業用 可搬用電源 輸送用電源	小規模発電用 分散配置型電気事業用 可搬用電源 輸送用電源 ジェミニ計画	コージェネレーション用 分散配置型電気事業用 火力発電代替電気事業用 (大規模)	コージェネレーション用 分散配置型電気事業用 火力発電代替電気事業用 (中規模)
自動車使用例	EUREKA計画(1992~) (バスに搭載)	DOE(米国エネルギー省)バスプロジェクト(1987~)	トヨタ、ホンダ、DaimlerChrysler、GMなど今後主流になるとされる燃料電池	-	BMWとDelphi社が試作車を開発
略号	AFC (Alkaline Fuel Cell)	PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell)	PEFC (Polymer Electrolyte Fuel Cell) PEMFC (Proton Exchange Membrane=水素イオン交換膜)	MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell)	SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)

出典：燃料電池実用化戦略研究会報告書(2001年1月22日)を基に作成

(2) 燃料電池車

燃料電池車(以下FCVという)は、燃料電池(以下FCという)を電源にして走行する電気自動車である。FCVは充電する必要がなく、燃料を補給する内燃機関自動車(以下ICEVという)と同じ使い方が可能である。また、電気自動車の欠点である走行距離の制約を解消できる可能性がある。そのため、通常のカソリン車と同様に一般の人々も無理なく利用が可能で、ICEVの代替自動車として期待されている。図2-1-2にFCVの簡単な構成例を示す。

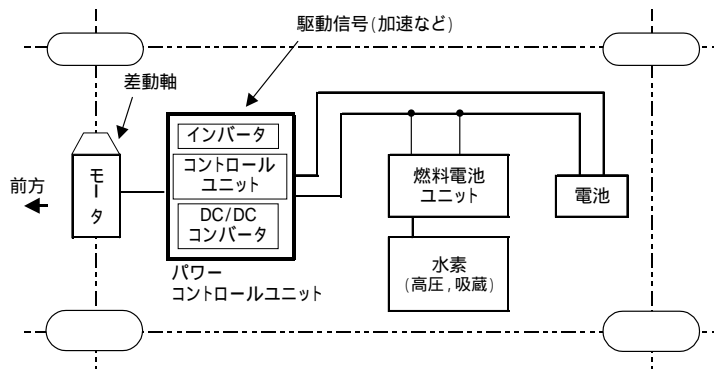


図 2-1-2 燃料電池車(直接水素形)の構成例

FCV は開発途上であり，以下に示すように使用する燃料の種類，蓄電のバックアップなど各種各様のものが開発されている。

1) 使用する燃料

FCV が使用する主な燃料として表 2-1-2 に示すように各種のものが検討されている。

表 2-1-2 燃料電池車の燃料

燃 料	特 徴
水素 (水素ガス / 液体水素)	走行時には水のみ排出。ゼロエミッション。エネルギー効率は現行ガソリン車より高いが，水素の車載方法，インフラ整備に課題がある。
メタノール	液体燃料のため ICEV と変わらない車載が可能。メタノールを分解して水素を製造するため，300 程度の加熱が必要で，水素に比べるとエネルギー効率上不利。また，インフラ整備に課題がある。
ガソリン	既存のガソリンスタンドが利用でき，ICEV と全く変わらない車載が可能。ただし，石油代替エネルギーではない。また，ガソリンを分解し水素を製造するため，700～800 の高熱が必要で改質が難しい。改質時のエネルギー効率上水素に比べると不利だが，燃料製造までの効率でみると，他の燃料に比べて有利である。

2) 燃料の車載方法

燃料の車載方法としては，水素の場合，主に気体のまま高圧でガスタンクに積載する方法，水素吸蔵合金に吸蔵させる方法，低温液化して積載する方法がある(表 2-1-3)。

表 2-1-3 FCV における燃料の積載方法

直接水素	高圧ガスタンク	容量比のエネルギー密度が低い。
	水素貯蔵材料	水素吸蔵合金，カーボンナノチューブ，水素貯蔵化学物質などが検討されている。現状では貯蔵能力が小さい。
	液体貯蔵	エネルギー密度は高いが，吸熱を防ぐための断熱が必要。液化時のエネルギー損失が大きいことも課題。
その他燃料	燃料タンク	

3) 二次電池等とのハイブリッド化に関して

FC だけでエネルギー供給を行う方式はシステムを簡略化できるメリットがあるが、減速時のエネルギー回収が不可能といったデメリットがある。

一方、二次電池やウルトラキャパシタなどのエネルギーバッファとのハイブリッド方式にする場合は、減速時のエネルギー回収が可能で、エネルギー効率を向上させることができる。また、起動時のエネルギーに利用可能であり、起動性能を向上させることもできる。反面、二次電池などの蓄エネルギー装置が必要な分、システムが複雑になったり、価格が高くなるという短所がある。

2-2 燃料電池車の特長

FCV と他のクリーンエネルギー自動車（以下 CEV という）および既存の ICEV の性能を比較したものを表 2-2-1 に示す。また、表 2-2-1 に示した各車種の具体的な車両の諸元例を表 2-2-2 に示す。

既存の ICEV（ガソリン車、ディーゼル車、LPG 車）や各種 CEV と比較したときの FCV の特長をまとめると、次のとおりである。

エネルギー効率が高い

FCV の長所として第 1 に挙げられるのは、そのエネルギー効率の高さである。熱機関である ICEV には、カルノー効率という熱力学的な限界がある。さらに、ICEV は、通常の運転領域であるエンジンの部分負荷状態におけるエネルギー効率が低い。一方、化学エネルギーから直接電気エネルギーに変換する FC の場合には、カルノー効率の限界に制約されず、高効率発電の可能性がある。また、低負荷領域から高いエネルギー効率を得られることも特長の一つである。この特性は、直接水素方式の FCV ほど顕著となる。

CO₂ 排出量が少ない

FCV は、燃料消費効率が高いという特性から、走行時や燃料製造時等に排出される CO₂ 排出量が ICEV に比べて少ない。

走行時の NO_x、HC、CO、PM（粒子状物質）の排出がほとんどゼロである

直接水素方式の FCV では走行に伴って発生するガスは水蒸気のみであり、大気汚染の原因となる NO_x、HC、CO、PM は全く排出されない。ベンゼン、アルデヒド等の有害大気汚染物質の排出もなく、燃料タンクからの燃料の蒸発とも無縁である。また、改質器搭載形の FCV においても、こうした大気汚染物質の排出はわずかであると考えられる。

エネルギー供給の多様化・石油代替効果

FCV は水素やメタノール等の様々な石油代替エネルギーを燃料とすることが可能である。

表 2-2-1 既存自動車および各種クリーンエネルギー自動車の比較

		排出ガス				車両特性		
		都市環境			地球環境	出力	航続距離	
		NOx	CO/HC	黒鉛/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 自動車	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:蓄圧			~		~
			ディーゼル:電気			~		~
			オットー: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					~	~	
	ガソリン改質装置搭載型					~	~	
水素自動車						~	~	

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

【劣る 優れる】

注2：PMとはパティキュレートマター（粒子状物質）。

出典：社団法人日本自動車工業会「2002日本の自動車工業」平成14年版

表 2-2-2 既存自動車および各種クリーンエネルギー自動車の諸元(例)

	単位	ガソリン	ディーゼル	電気	CNG	LPG	ガソリンHV	メタノールFC	CHF FC	水素FC		水素エンジン
車名		RAV4	ファミリア	RAV4 EV	ビックGX	カセダ	新型プリウス	FCEV	FCHV-5	新型FCX	FCHV	武蔵10号
メーカー		トヨタ	マツダ	トヨタ	ホンダ	日産	トヨタ	マツダ	トヨタ	ホンダ	トヨタ	武蔵工業大学
車種		RV	乗用車	RV	乗用車	乗用車	乗用車	プレマシー	クルーガー	乗用車	乗用車	乗用車
全長	mm	4,115	4,335	3,980	4,470	4,595	4,445	4,350	4,735	4,165	4,735	4,610
全幅	mm	1,695	1,695	1,695	1,695	1,695	1,725	1,695	1,815	1,760	1,815	1,695
全高	mm	1,645	1,420	1,675	1,440	1,460	1,490	1,605	1,685	1,645	1,685	1,500
乗車定員	人	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5
空車重量	kg	1,230	1,140	1,540	1,180	1,250	1,250	1,850	*1	*1	*1	1,300
総重量	kg	1,505	1,415	1,815	1,400	1,525	1,525	2,125	*1	*1	*1	1,575
エンジン排気量	cc	1,998	1,686	-	1,668	1,998	1,496	-	-	-	-	1,998
エンジン出力	PS	135	88	-	105	63kW	77	-	-	-	-	70
トルク	kg-m	18.5	17	-	13.8	167Nm	11.7	-	-	-	-	12.5
モーター出力	kW	-	-	50	-	-	50	65	80	80	80	-
トルク	Nm	-	-	190	-	-	400	*1	*1	272	260	-
燃料搭載量	リットル	58	55	-	20Nm ³	96	45	*1	*1	156.6* ⁵	*1	100* ⁴
電池容量	kWh	-	-	27	-	-	1.3	*1	*1	*1	*1	-
FC出力	kW	-	-	-	-	-	-	*1	90	86	90	-
燃費	km/リットル	10.8	17~18	7.8km/kWh	18.8	16.2	35.5	*1	*1	*1	*1	3.0
航続距離	km	626	~960* ²	210	376	*1	*1	*1	*1	395* ⁶	300	300
最高速度	km/h	170	165	125	180* ²	*1	165* ²	*1	*1	150	155	150

*1: 未公表 *2: 推定値 *3: 目標値 *4: 液体水素 *5: 350気圧高圧水素タンク *6: LA 4モード

出典: 「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)サブタスク7 水素利用技術に関する調査・検討(平成11年3月)」および各自動車メーカーHP, 低公害車ガイドブック2003等最新の情報を基に作成

2-3 燃料電池車の導入の意義

以上のように、FCVはその優れた環境性能から、次世代自動車の本命として国内外から期待されている。2001年1月にまとめられた経済産業省の燃料電池実用化戦略研究会の報告書では、FCV導入の意義を表2-3-1のように取りまとめている。

表 2-3-1 FCV 導入の意義

省エネルギー効果	燃料電池の燃料を何にするのかにもよるが、ガソリン内燃機関自動車（15～20%程度）と比べ、現時点においてもエネルギー効率が30%以上と高いこと、しかもこの高効率が高容量、比較的出力域でも達成できることが大きな特長である。理論的には、さらなるエネルギー効率の向上も期待されている。ただし、燃料または改質方法ごとにハイブリッド自動車、ディーゼルエンジン自動車等と比較して Well-to-Wheel の総合効率がどうなるのかについて、より厳密に比較することとなる。
環境負荷の低減効果	従来の内燃機関に比べエネルギー効率が高いため、改質形であってもCO ₂ の排出量抑制効果は大きく、その導入の意義は大きい。また、従来のガソリン、軽油等の内燃機関であれば、燃焼過程で生じていたNO _x 、SO _x 、PM等という有害物質をゼロもしくは極微量しか排出しないため、交通量の多い都市部などにおける地域環境問題対策としては、極めて有効な手段の一つである。さらに、燃料電池は化学反応であることから静粛性に優れており、この点でも従来の内燃機関などとの比較で有利である。なお、定量的なCO ₂ 排出量の低減効果については、燃料電池の技術がいまだ確立しておらず、技術自体が日進月歩であること、数々の燃料の中から何を燃料に用いるのかが不確定なこと、いかにして既存のエネルギーと同じ土俵においてCO ₂ 排出量を厳密に比較・分析するかを試算するモデルや前提条件が共有されていないことなどから、正確な比較・評価はいまだ得られていない。今後、技術の進展や評価手法の確立を行い、燃料電池のCO ₂ 特性についてもより精度を上げて算出することとなる。
エネルギー供給の多様化・石油代替効果	燃料電池は、種々の石油代替エネルギーを燃料とすることができるが、例えば、GTL ^{注)} の生産技術が確立されれば、現在の石油系燃料に極度に依存した運輸部門のエネルギー転換の切り札ともなるものである。

出典：燃料電池実用化戦略研究会報告書（2001年1月22日）を基に作成

注) Gas to Liquid。天然ガスからガソリン等の液体燃料を合成する技術。4-2-4 節参照。

3-2 海外における燃料電池車の開発をめぐる現状

3-2-1 米国における取り組み

(1) 米国の PNGV 計画の概要^{注)}

PNGV (Partnership for a New Generation of Vehicles) は、クリントン前大統領の呼びかけにより 1993 年 9 月に米国政府と米自動車メーカー 3 社が中心となって開始された「技術開発プログラム」であった(図 3-2-1)。2002 年 1 月、次項に示す FreedomCAR (Cooperative Automotive Research) プログラムが発表され、PNGV は FreedomCAR に引き継がれることとなった。

PNGV は、自動車産業の競争力強化を主な目的として、商務省の総合調整の下、エネルギー省、NASA 等の関係機関が連携し、自動車の燃費を 2004 年までに従来比で 3 倍に改善することを目標に、ビッグ 3 (General Motors 社、Ford 社、DaimlerChrysler 社)、サプライヤーに研究委託を行うなどの、産学官連携のプロジェクトであった。1994 年から 2004 年までの 10 年間で、燃費 80 mpg (マイル/ガロン; 約 34 km/ℓ) の達成を目的としていた。

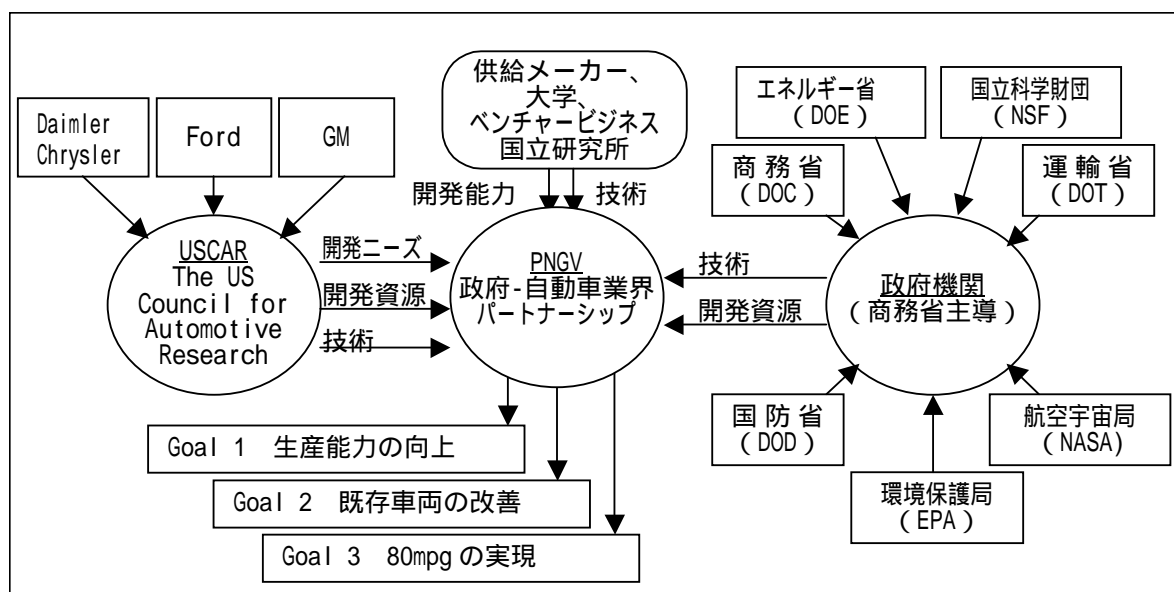


図 3-2-1 PNGV の組織

注) (財)日本電動車両協会『平成 12 年度 燃料電池自動車に関する調査報告書「海外調査編」』平成 13 年 3 月(以下、「2000 年度 JEVA 海外調査報告書」と記す)

(2) FreedomCAR & Fuel パートナーシップ^{注1)}

1) FreedomCAR & Fuel パートナーシップの設立

FreedomCAR パートナーシップ^{注2)}は、2002年1月9日にエイブラハム米国エネルギー省 (Department of Energy : DOE) 長官とビッグ3によって発表された、研究開発パートナーシップである(表3-2-1)。ここでのパートナーシップとは、「米国エネルギー省」と「USCAR (U.S. Council for Automotive Research)」^{注3)}とのパートナーシップを意味している。

ブッシュ大統領は FreedomCAR & Fuel パートナーシップに対して、今後5年間で17億ドルの研究資金を投じると発表した^{注4)}。

このうち12億ドルは、水素燃料と燃料電池の研究開発・デモンストレーションに向けられている(12億ドルのうち7億2,000万ドル分は、新規に割り当てられた研究資金である)。残り5億ドルは、ハイブリッド車と自動車技術に関する研究開発・デモンストレーションに使用される。

このブッシュ大統領の表明は、車両 (FCV) 自体の研究開発と、水素インフラの研究を平行で進めることを意味しており、2015年までにFCV商業化の可能性を判断するものである。

表 3-2-1 FreedomCAR パートナーシップの概要

目的	クリーンで、持続可能なエネルギー社会を達成するための自動車・燃料の開発	
研究開発の原則	以下の“Freedom”を達成する。 <ul style="list-style-type: none">・ 石油依存と有害エミッションからの“Freedom”・ 消費者が好きなきときに望む場所に自動車を運転でき、さらにその燃料を適切な価格でどこでも入手できるという“Freedom”	
パートナーシップ	連邦政府	Department of Energy
	民間企業	U.S. Council for Automotive Research (USCAR) <ul style="list-style-type: none">- General Motors- Ford- DaimlerChrysler

注1) (財)日本自動車研究所『平成15年度 燃料電池自動車に関する調査報告書「海外調査編」』平成16年3月(以下、「2003年度 JARI 海外調査報告書」と記す)

注2) FreedomCAR の「CAR」は「Cooperative Automotive Research」を意味している。

注3) U.S. Council for Automotive Research は GM ,Ford ,DaimlerChrysler の共同研究機関(cooperative endeavor)で、競争領域以前(pre-competitive)の研究を実施する。

注4) ブッシュ大統領は、2003年1月28日の一般教書演説で、12億ドルの研究資金を水素関連の研究開発に投入すると表明し、続く2003年2月6日の演説で、合計17億ドル(先の12億ドルを含む)を水素関連の研究開発とハイブリッド車関連の研究開発に投入すると表明している。

2) FreedomCAR & Fuel パートナーシップの実施体制

FreedomCAR & Fuel パートナーシップの組織図を図 3-2-2 に、また EERE (エネルギー効率・再生可能エネルギー局：Office of Energy Efficiency and Renewable Energy) における実施体制を図 3-2-3 に示す。

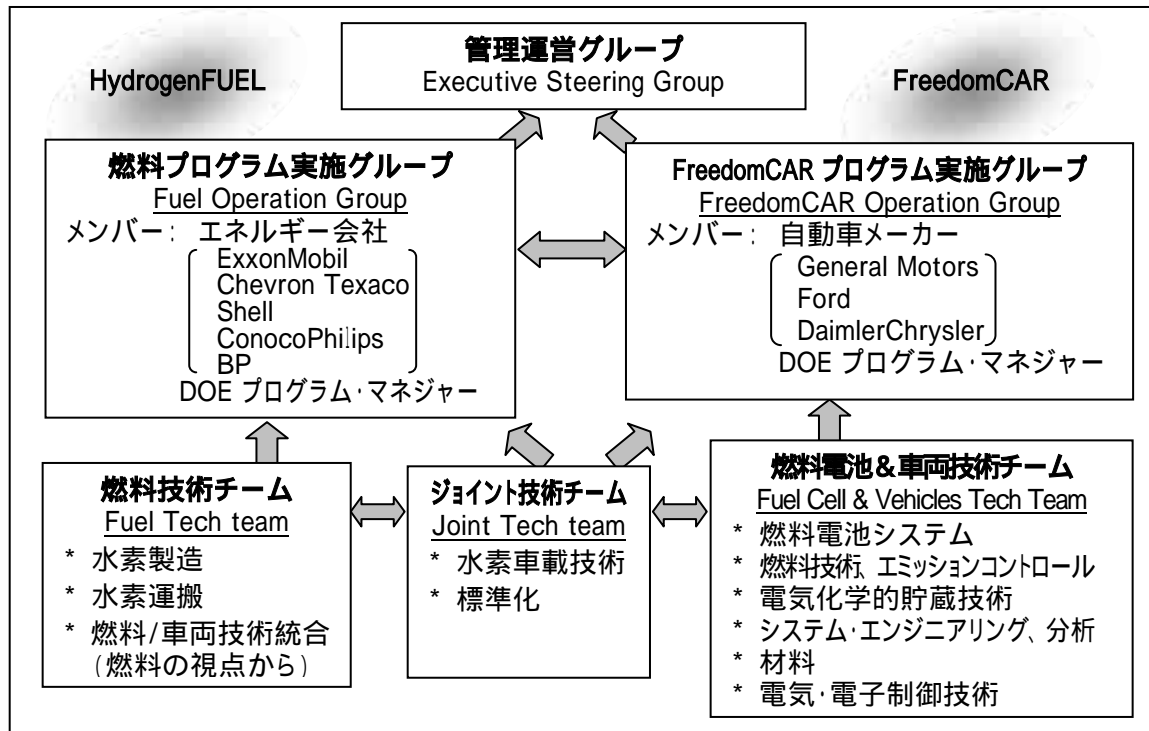


図 3-2-2 FreedomCAR & Fuel パートナーシップの組織

注：2004年3月現在、燃料技術チームとジョイント技術チームはまだ設置されていない。

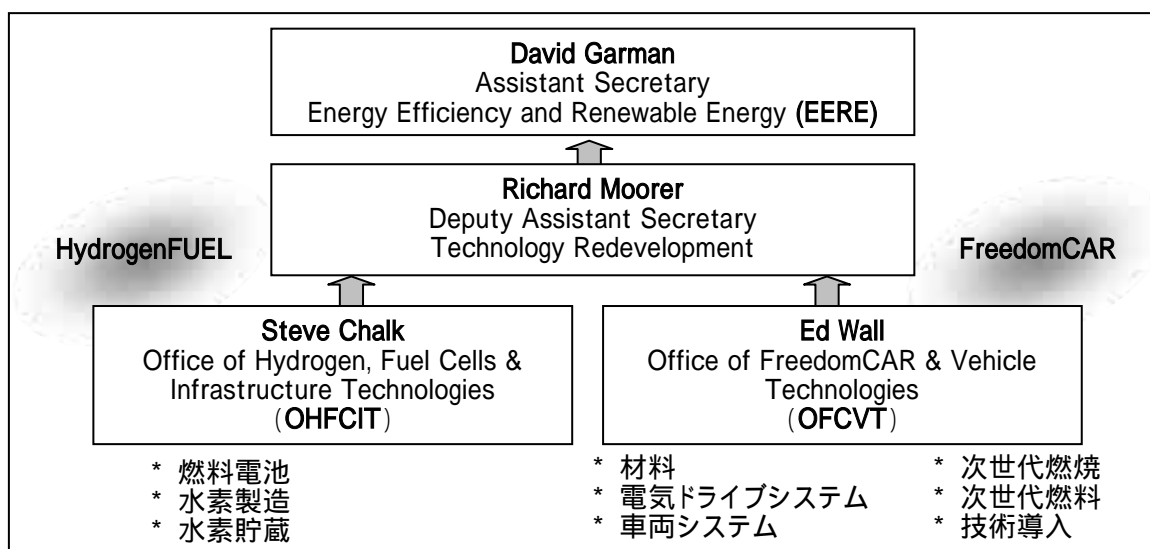


図 3-2-3 EERE における FreedomCAR & Fuel パートナーシップ実施体制

3) FreedomCAR & Fuel パートナーシップの予算

FreedomCAR & Fuel パートナーシップの予算を図 3-2-4 に示す。

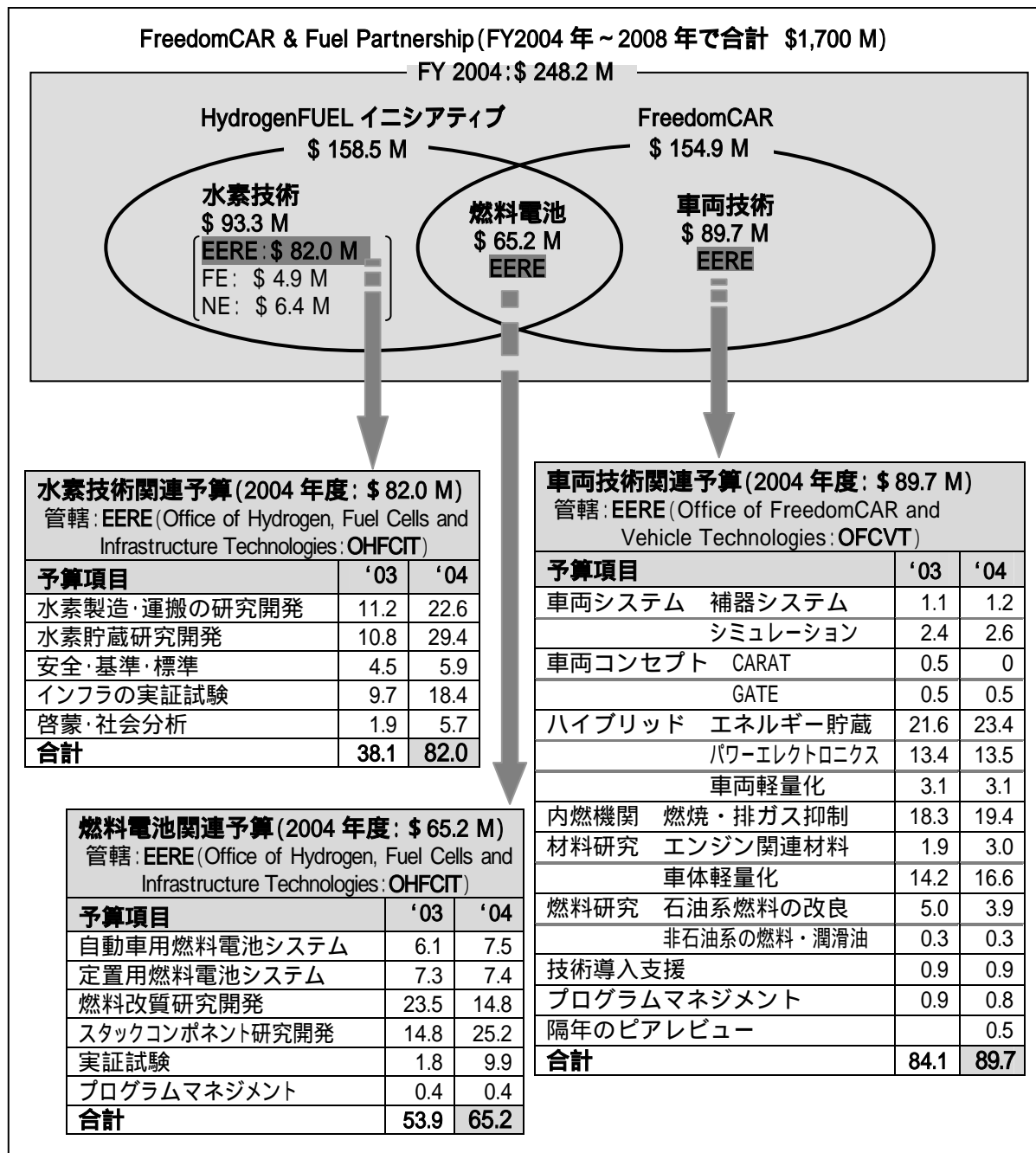


図 3-2-4 FreedomCAR & Fuel パートナーシップの予算

注: HydrogenFUEL イニシアティブの予算 (図中の「水素技術: \$93.3M」) は EERE だけではなく, FE (Office of Fossil Energy: 化石エネルギー局), NE (Office of Nuclear Energy, science and Technology: 原子力エネルギー, 科学技術局) にも配分されている。

(3) DOE における燃料電池・水素関連 R&D プログラム^{注1)}

1) 概要

DOE では、FreedomCAR & FUEL パートナースhipを受けて、EERE(エネルギー効率・再生可能エネルギー局) と化石エネルギー局(Office of Fossil Energy : FE) の2局が、燃料電池・水素関連の R&D プログラムを推進している(表 3-2-2)。

表 3-2-2 EERE と FE における燃料電池・水素関連 R&D プログラム

	Office of Energy Efficiency & Renewable Energy (EERE) (エネルギー効率・再生可能エネルギー局)	Office of Fossil Energy (FE) (化石エネルギー局)
R&D 内容	主に自動車用燃料電池の研究開発を行う。とくに PEM を研究対象にしている。 <i>FreedomCAR & Fuel Partnership</i> <i>21st Century Truck Partnership</i> <i>Technology Introduction</i>	主に定置用燃料電池の研究開発を行う。研究対象は SOFC が中心。 <i>SECA (Solid State Energy Conversion Alliance)</i> では、ガソリンやディーゼルを燃料とする SOFC を開発中。

SECA (Solid State Energy Conversion Alliance) :

Office of Fossil Energy が 1999 年から実施している SOFC 開発プロジェクト

2) EERE における燃料電池 R&D プログラム

EERE の燃料電池 R&D プログラムでは、燃料電池システム単体を開発するのではなく、燃料電池コンポーネント(例：MEA, 触媒, 膜) の研究開発に焦点を絞っている。本プログラムの目標は「自動車用・定置用の燃料電池パワーシステムの開発とデモンストレーション」である。ただし研究の大部分は自動車用燃料電池である。また、表 3-2-3 のような個別の目標を設定している。

表 3-2-3 EERE の燃料電池 R&D プログラムの個別目標(2002 年現在)^{注2)}

コスト目標 \$45 / kW (自動車用, 2010 年目標) 目標値は自動車生産台数 50 万台 / 年の場合 (現在のコストは \$300 / kW)
耐久性目標 ・自動車用 : 5,000 時間 ・定置用 : 40,000 時間
燃料プロセッサ ・スタートアップ目標 : 30 秒以内 2004 年 6 月にスタートアップ目標の実現可能性に関して評価を行い、この R&D プログラムの継続 / 中止・変更 (Go/No Go) の決定を行う。
コントロール技術 ・エア・温度・水の高度なコントロール技術の開発 (エアシステム, 高温膜, 冷却, 加湿) ・耐凍結性における目標温度 : - 20 F (- 28.9)

注1) 2003 年度 JARI 海外調査報告書

注2) (財) 新エネルギー財団「平成 14 年度 新エネルギー等導入促進基礎調査 - 燃料電池実用化現状・動向調査」平成 15 年 3 月 (以下、「2002 年度 NEF 『FC 動向調査報告書』」と記す)

これまでに実施した燃料電池 R&D 関連のプロジェクトを表 3-2-4 に整理する。

表 3-2-4 これまでに実施した燃料電池 R&D 関連プロジェクト(2002 年現在)

<p>燃料改質関係</p> <p>Catalytica (プレートリフォーマー) Nuvera (STAR 燃料プロセッサ) Nuvera (Hi-Q) ミシガン大 (マイクロチャネル) UTRC (水素エンハンスメント) ケンタッキー大 (水素エンハンスメント) Air Products (オフボード改質) McDermott (オートサーマル) ANL PNNL LANL</p> <p>エアマネジメント関連</p> <p>Honeywell (ターボコンプレッサ) Mechanology (TIVM) UTC Fuel Cells (プロワー) TIAX (ハイブリッド)</p>	<p>膜・電極関連</p> <p>3M (MEA とその生産技術) 3M (カソード, 高温膜) DeNora/DuPont (MEA) UTC Fuel Cells (カソード, 高温膜) Superior Micropowders (低 Pt 担持量) SWRI/Gore (パイロット生産方法) ANL LANL</p> <p>バイポーラプレート/コンポーネント関連</p> <p>Porvair Honeywell (センサー) UTC Fuel Cells (センサー) ORNL</p> <p>その他の調査研究</p> <p>TIAX BTI DTI</p>
--	--

2003 年度 (2004 年度) に計画しているプロジェクトを表 3-2-5 に示す。

表 3-2-5 2003 年度(2004 年度)に計画しているプロジェクト

自動車関連	<ul style="list-style-type: none"> ・ 30 の新規パートナー(企業, 国立研究所)とコストシェアリング R&D を継続し, 実用化上の問題点を明確化 ・ 技術評価: FCV のフリートを通じて, フィールド評価を実施
分散発電システム関連	<ul style="list-style-type: none"> ・ 導入計画を 2003 年 1 月末に発表 < http://e-center.doe.gov > ・ 主要コンポーネントとシステムについて研究プログラムを実施
ポータブル	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2003 年 11 月にプログラムの募集を行う予定
自動車関連 (2004 年度)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 燃料プロセッサに関する R&D について「Go/ No Go」を判断 (2004 年 6 月)

3) EERE における水素関連プロジェクト(ドラフト)

EERE の水素関連プロジェクトのスケジュール(ドラフト)を表 3-2-6 に示す。

表 3-2-6 DOE/EERE の水素関連プロジェクトのスケジュール(ドラフト)

水素製造	
2010	天然ガスからの水素製造のデモンストレーション 効率：70%，コスト：\$1.50/gge，150kg/日
2015	石炭からの水素製造のデモンストレーション (ゼロエミッション，炭素固定)，コストは未定
	再生可能エネルギーからの水素製造のデモンストレーション - コスト：\$2.50/gge
	熱化学水素製造法による水素製造(熱源は原子力発電所，太陽熱) - コストは未定
水素供給システム	
2012	DOE による水素供給システムの構築のためのインセンティブ
2015	水素製造工場で製造された水素の供給(コストは未定)
水素貯蔵システム	
2010	車載貯蔵システムの商業化 - 7.5 重量% - 1,500 Wh/L - \$5 /kWh
水素変換	
2010	天然ガス・プロパンを使用した分散電源の開発 - 効率 50% ネット - 40,000 時間の耐久性 - コストは未定
2015	クリーン燃料を使用した PEM 型 FCV (エミッション基準に適合・それ以上)の開発 - \$30/kW
2015	燃料電池・タービンのハイブリッド車(石炭使用)の開発 - コストは未定
水素利用	
2008	定置用燃料電池 25MW (累計) - コストは未定
2012	5,000 台の PEM FCV のデモンストレーション(5ヶ所) - 5,000 時間 - コスト\$45/kW
基準・標準の策定	
2010	自動車用・定置用 FC 普及を支援する基準・標準の策定

注) gge : Gallon of Gasoline equivalent (ガソリン換算ガロン)

EERE で実施している水素関連のプロジェクト数を表 3-2-7 に示す。

表 3-2-7 EERE による水素関連のプロジェクト数

	DOE のプロジェクト数
微生物による水素製造技術	5
バイオマスによる水素製造技術	4
電気分解	8
化石燃料からの水素合成	11
燃料供給システム・インフラストラクチャ	5
分析	2

4) 水素社会実現のシナリオ

以下に DOE/EERE が描く水素社会実現のための技術展開 (図 3-2-5) , 水素社会実現までのスケジュール (図 3-2-6) を示す。

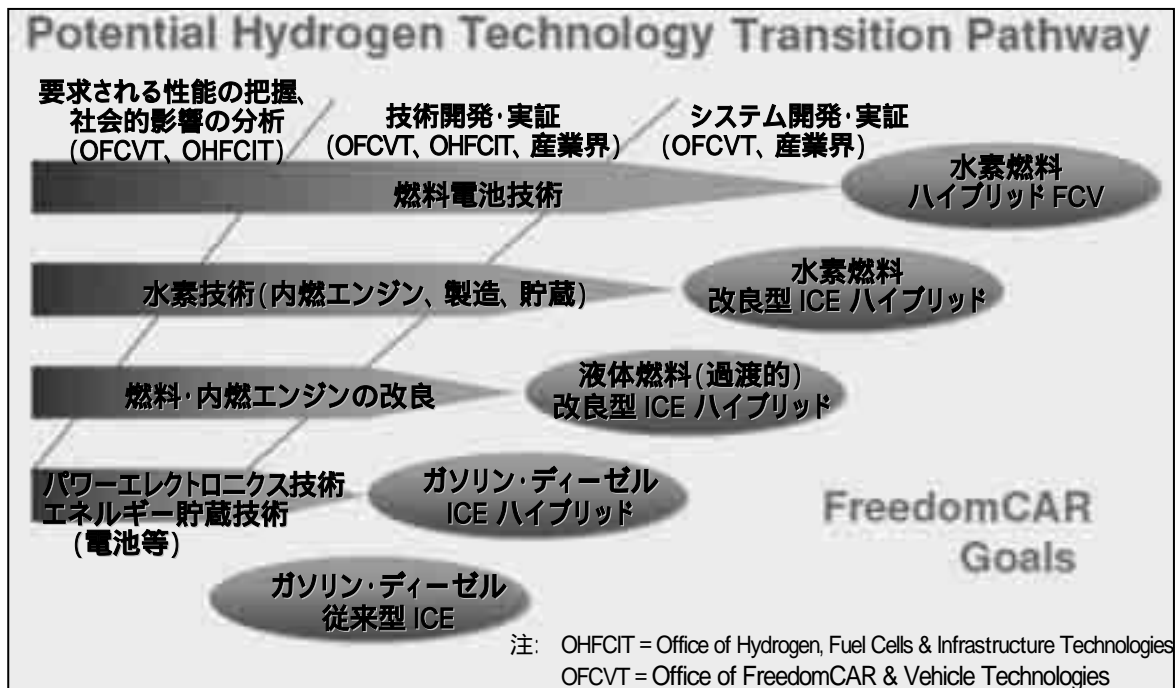


図 3-2-5 水素社会実現への技術展開

出典：2003 年度 JARI 海外調査報告書

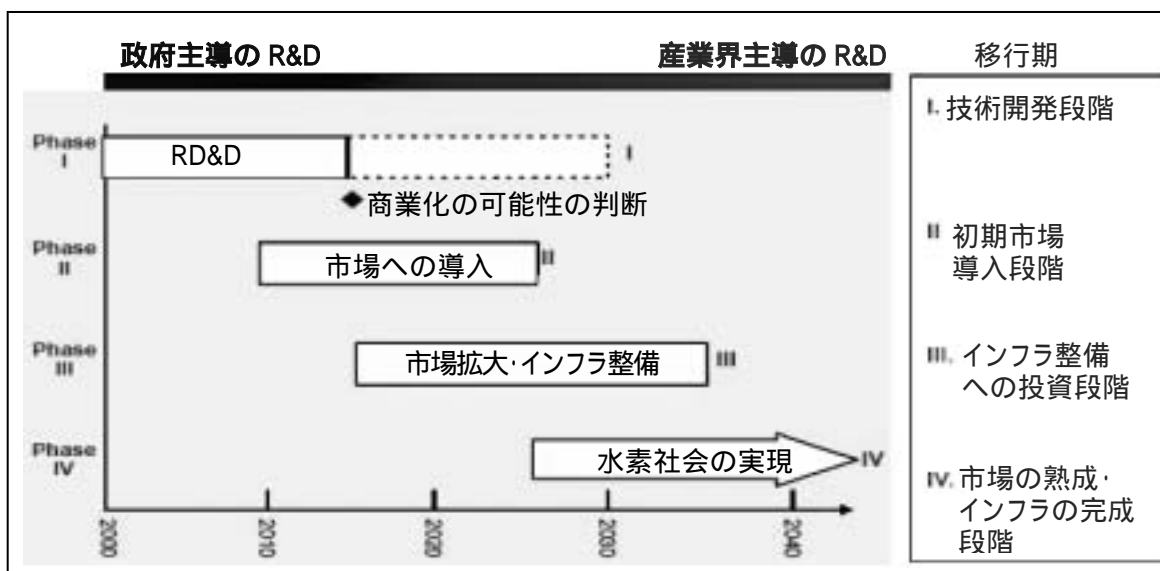


図 3-2-6 水素社会実現までのスケジュール

出典：2003 年度 JARI 海外調査報告書

(4) DOE の議会に対する報告^{注1)注2)}

1) 背景

DOE は 2001 年 11 月 5 日に、米国上下院合同歳出委員会 (the House and Senate Committees on Appropriations) から燃料電池に関する以下の 2 つの報告書を提出することを指示された。

全体報告書 (Full Report) :

- 技術面・経済面・インフラ面を検討した評価・提案を提出

『DOE は 1 年以内に、燃料電池 (自動車用 , ポータブル用 , 定置用 , 分散電源用) の実用化における技術的・経済的問題を報告せよ。またその報告には、燃料電池 (自動車用 , 定置用) を 2012 年までに実用化するためのプログラムを、技術面・経済面・インフラ面の検討をした上で提言せよ』

中間報告書 (Interim Report) :

- 燃料電池に関する官民共同プログラム案を提出

『DOE は半年以内に、燃料電池を商業化するための官民共同プログラムの必要性を説明した中間アセスメント報告書を提出せよ』

2) DOE の全体報告書の概要

2003 年 2 月、DOE は議会の要請に対する全体報告書「Fuel Cell Report to Congress」^{注3)}を発表した。以下にその内容を整理する。

a) FC の潜在的な便益

FC 技術は自動車用と定置用の電力アプリケーションにおいて、以下のようなエネルギー利用量とエミッションの削減の可能性がある。

FC 技術の開発・改良は、エネルギー節約と温室効果ガスの低減につながる。

国内の資源から様々な方法で製造される水素の利用は、外国から輸入している石油需要を減らすことができる。

水素で走る自動車と水素で稼動する発電システムのような広範囲にわたる FC 技術の利用は、国内の大気をクリーンにすることができる。

b) FC の商業化に向けた課題

FC のコスト削減と耐久性の向上のためには、様々な研究開発が必要である。商

注1) (財)日本電動車両協会『平成13年度 燃料電池自動車に関する調査報告書「海外調査編」』平成14年3月(以下、「2001年度 JEVA 海外調査報告書」と記す)

注2) DOE「Fuel Cell Report to Congress (ESECS EE-1973)」(2003年2月)参照。

注3) DOE「Fuel Cell Report to Congress (ESECS EE-1973)」2003年2月

業化への課題は用途（自動車用，定置用等）と使用する燃料によっても異なるが，コストと耐久性はどの FC 技術においても直面する重要な課題である（表 3-2-8）。

表 3-2-8 商業化に向けた課題

用途	課題	難易度
自動車用	コスト 耐久性 燃料インフラ 水素貯蔵	高 高 高 高
定置用	コスト 耐久性 燃料インフラ 燃料貯蔵 (再生可能水素を含む)	高 中 - 高 低 中
可搬用 携帯用	コスト 耐久性 小型化 燃料のパッケージング	中 中 高 中

出典：DOE「Fuel Cell Report to Congress (ESECS EE-1973)」2003年2月

定置用では，システムの耐用年数が 20 年あるいはそれ以上を達成できるかどうか商業化へ向けてのキーポイントとなっている。5～10 年で交換する必要があると考えられるスタック等コンポーネントは，より低コストで，一世代前との互換性を確保する必要がある。現在までの初期段階の耐久試験では有望な結果が得られているが，コストの削減は依然として重要な課題である。耐久性の向上についても主要な課題として取り組み続けていく必要がある。

自動車用としては，民間企業による商業化のためには，オンサイト/オフサイトでの水素製造や水素貯蔵システムを含めた水素インフラのための投資が必要となる。また，民間企業のリスクを回避するためには，公正な取引を行う機会を保証する法律や標準化，用途地域に応じた安全性確保のための基準，大容量で低コストな水素製造に不可欠な規制などの整備が必要不可欠である。

可搬用・携帯用は，小型化や衝撃と振動に対する耐久性，様々な使用環境に応じた耐久性などのように，大規模な発電プラントには不要な特性が必要とされることが特徴的である。

その他に，化石燃料，原子力，再生可能エネルギーを含む国内の様々な資源から水素を製造して配給するプロセスの効率性，クリーン性，経済性はエネルギー資源の多様化やエネルギーセキュリティにとって非常に重要である。

c) プログラムの提案

連邦政府の役割は，FC 技術の技術開発のために，適切に資金を充当していくことであると評価される。今後数十年の間に，市場の力それのみでは，FC を大量に

普及させることは難しい。従来技術は消費者のニーズに十分あるいはそれ以上にマッチしており、他のインセンティブや石油資源に関する劇的な変化が起こらない限り、消費者が新しい技術を利用しようとする理由はほとんど見当たらない。

産業界では、現在 FC システムに関する開発を大規模に進めている。そのゴールは、商業化が可能で、コスト競争力のある、クリーンで省エネルギーの技術を消費者に提供することである。しかし、そのためには多くの技術的、社会的な課題を克服する必要がある。こうした課題の解決に関するリスクや高コストの負担のため、個々の企業、あるいはその連合それのみでは、要求される大規模な技術開発・発明を成し遂げることを期待するのは不可能である。以下に示す提案プログラムは、リスクを共有する広範囲の関係者・団体の最新の意見を踏まえて検討されたものである。

技術開発と支援活動に関するイニシアティブ

現時点の技術開発は、先進材料開発、製造技術、FC システムの低コスト化や耐久性・信頼性の向上などに重点を置く必要がある。これらの取組みは、スタックだけではなく、改質装置、水素貯蔵、電動機、熱交換器などの周辺機器についても必要となる。さらには、水素の製造や配給インフラに関する研究、規格・標準の策定、教育も必要となる。

官・民のパートナーシップ

官・民のパートナーシップ・プログラムは、政府と産業界が一緒になり、共同で FC の商業化に向けての様々な課題を克服するための手段である。このようなパートナーシップにおける連邦政府の役割は、FC の商業化のために必要な研究開発に焦点を当てることである。広範囲な関係団体との協議を踏まえ、DOE は新たなパートナーシップの創設や既存のパートナーシップの拡充を推奨する。このような資金を分担し合うようなパートナーシップの一例を以下に示す。

定置用 FC に関するパートナーシップ

政府と産業界の研究開発パートナーシップは、住宅やビルの発電システムや分散型電源としての FC 利用を促進するための戦略として用いられる。FC の低コスト化、耐久性・信頼性の向上のためには、SECA^{注)}のような研究開発プログラムを継続していく必要がある。さらに、研究開発を継続的に注力していくためには、エンドユーザを巻き込んだ実証試験プログラムを行っていく必要がある。また、

注) SECA (Solid State Energy Conversion Alliance) は、化石エネルギー局が 1999 年から実施している SOFC の開発プロジェクト。

こうしたパートナーシップにおいては、系統連系の標準化、安全基準、FCV もサポート（主に水素を供給）することもできるデュアルタイプインフラの開発を行うための協力的なプログラムを計画し実行すべきである。

商業化に向けたスケジュールを表 3-2-9 に示す。

表 3-2-9 定置用 FC の研究開発・デモンストレーションのスケジュール

	2000	2005	2008	2010	2015
	Phase 1	Phase 2	Phase 3		
	低コスト化 / 技術改良	低コスト化 / 技術改良 / 限定的な導入	大規模導入 / 用途の多様化		大型システムのデモンストレーションと導入
システムの規模	小型システム	小型システム	小型システム		FC・タービンハイブリッド型分散電源 化石燃料ベースの発電プラント
研究開発項目	・スタックデザインの開発 ・製造方法の開発	低コストで強い材料の開発	システムの最適化と統合		・大型システムにおける小型システム技術の利用 ・効率の向上 ハイブリッド型: 60-70% 化石燃料型: 60%
テーマ	性能と信頼性の確立	コスト, 耐久性, 効率の向上	コスト, 耐久性, 効率の向上		市場競争に勝てる生産量と製品を確立するための投資
導入目標	合計30-50kWのテスト	2008年までに合計20-25MW	2012年までに合計500MW		
意思決定ポイント		達成条件 ・限定導入に耐えうる耐久性 ・効率: 35-55% ・コスト: \$400/kWになる見通し (10万基生産時)	達成条件 ・耐久性の向上 ・効率: 40-60% ・コスト: \$400/kW達成の保証 (10万基生産時)	達成条件 ・耐久性 ・スタック: 5年間 システム: 25年間 ・効率: 40-60% ・コスト: \$400/kW達成 ここで産業界による商業化の意思決定を行う	

出典: DOE 「Fuel Cell Report to Congress (ESECS EE-1973) 」 2003 年 2 月

自動車用・インフラに関するパートナーシップ

FreedomCAR (U.S. Council for Automotive Research と DOE のパートナーシップ) は ,FC 技術研究への挑戦である。同様の FCV を実条件下で試験するパートナーシップが、コスト、性能、信頼性に関する情報を提供することになる。

既存の燃料供給インフラを水素に移行することは、技術と経済性の観点からも壮大な試みである。水素インフラの実用化に向けた課題を克服するための官・民のパートナーシップ・プログラムは、効率的でクリーンで、かつ経済的な水素の製造から輸送までのプロセス（オンボード、オフボードの水素貯蔵技術、FCV に燃料を供給するインターフェース、安全基準・標準の策定などを含む）の開発や実証の助けとなる。

DOE は一昨年、水素社会に移行するための国家ビジョンの策定を、産業界や投資者と一緒に進めてきた。2002 年 11 月に、水素社会のビジョンを目指したアクションプランとして、「National Hydrogen Energy Roadmap」^{注)}を完成させた。この報告書は、FCV と水素インフラ技術を実証するプログラムの基礎となり得るものである。

注) DOE 「National Hydrogen Energy Roadmap」 2002 年 11 月

実用化に向けたスケジュールを表 3-2-10 に示す。現在行われているカリフォルニア燃料電池パートナーシップ (CaFCP) の下、50 台の FCV の実走行条件下でのデモンストレーションはフェーズ 1 として位置づけられる。

表 3-2-10 FCV の研究開発・デモンストレーションのスケジュール

	2000	2004	2009	2015
	Phase 1	Phase 2	Phase 3	
	技術の実証	限定的フリートテストとその評価	商業化に備えたデモンストレーション	商業化
自動車	FCVの性能と実現可能性のテスト	FCVの実条件下での評価	フリート用FCVの商業化可能性のデモンストレーション	生産工場、販売/サービス拠点の設立投資
インフラ	水素ステーションのデモンストレーションと燃料選択の分析	様々な資源からのオンサイト製造	消費者の利便性を満たすステーション	水素化が可能なステーションに投資
水素供給源	主に既存の水素生産工場からトラック配送で供給	再生可能エネルギー・化石燃料	各地域ごとに最もコスト効率の良い水素供給源を採用	
意思決定ポイント				
		達成条件 ・耐久性:1,000時間 ・コスト:\$200/kW (50万台生産時) ・研究開発の見通し ・耐久性:2,000時間 ・コスト:\$125/kW ・水素供給コスト:\$3/gallon (ガソリンと同等した場合)	達成条件 ・耐久性:2,000時間 ・コスト:\$125/kW ・水素価格:\$3/gallon (ガソリンと同等した場合) ・研究開発の見通し ・耐久性:5,000時間 ・コスト:\$45/kW ・水素供給コスト:\$1.5-2.6/gallon (ガソリンと同等した場合) ・温室効果ガス排出量:120g/mile	商業化の基本条件 ・耐久性:5,000時間 ・コスト:\$30/kW ・水素供給コスト:\$1.5/gallon (ガソリンと同等した場合) ・温室効果ガス排出量:120g/mile ・市場の要因 ・ここで産業界による商業化の意思決定を行う
	コスト・性能課題に関する研究開発を継続的に行う			

出典：DOE「Fuel Cell Report to Congress (ESECS EE-1973)」2003年2月

規格・標準に関するプログラム

連邦政府は、規格・標準の策定において中立的な立場にある。規格・標準の策定は、新技術を導入する際、安全と責任を保証するために促進する。現在進められている規格・標準のプログラムは、より広範囲な用途、システム体系、技術オプションを含めて拡張していく必要がある。

教育に関するプログラム

潜在的なエンドユーザ、地方自治体等に水素と FC システムを紹介し、水素のビジョンを伝えるために、教材を開発していく。この教材は、キーとなる投資者に水素の便益、安全性、用途に関する情報を伝えるために、「National Energy Policy」注)を用いる。また、産業と教育機関が協力をして、小・中・高等学校の教師のためのカリキュラムとトレーニングプログラムを作成する。各地域の産業エキスパートと教師がペアになり、教師に水素や FC について教育するためのカリキュラムを通して、教師を教育していく。また、それと同時にカリキュラムを使う指導者(各地域の産業エキスパート)のトレーニングも行っていく。大学のプログラムも、水素と FC の研究を行う機会を多く学生に与えるように拡張していく。

注) 「National Energy Policy」はブッシュ政権が発表したエネルギー政策。

d) まとめ

このレポートで示したプログラムによって、FC 技術が広範囲な領域で 2015 年までに商業化することができるかどうかを決定するために必要な情報を得ることができる。たとえ技術開発が成功しても、2015 年における FC の商業化の決定には、市場の要因と競合技術の進歩が影響する。商業化と幅広い技術展開は、エネルギーセキュリティの向上と二酸化炭素や大気汚染物質の大幅な削減を達成することができる。技術的・社会的課題を克服し、また、技術進歩を独立な立場で評価し、納税者と民間投資家の替わりにリスクと期待を調整することに必要な膨大な投資資金のために、政府と民間部門の財源に関するコミットメントが必要とされる。政府の財源は、個人投資家のコミットメントを保証することにおいて不可欠である。一方、民間部門の投資は、産業界の技術の商業化に対する意思とコミットメントを政府に示す証として必要である。

連邦政府が財政困難になると、研究 - 開発 - 実証 - 実用化に沿ったプロセスに悪影響を与えることになる。また、現在行われている経済性が成立していないデモンストレーションでも R&D のニーズに役立つ情報を提供するかもしれない。それゆえ、プログラムの長期的な成功のために必要な財源を減らさないように、そのようなデモンストレーションのための資金供給の調整を慎重に行っていくべきである。DOE は、長期的で高いリスクを伴う活動に焦点を合わせながら、R&D のバランスを維持していくよう努力し、コスト配分のガイドラインに厳密に従っていく。さらに、これらのプログラムは、DOE のエネルギー効率・再生可能エネルギー局 (EERE) と化石エネルギー局 (FE)、他の連邦機関との間で調整していくことになる。

(5) 水素経済のための国際パートナーシップ(IPHE)^{注)}

エイブラハム DOE 長官は 2003 年 4 月 28 日に、国際エネルギー機関 (IEA) のディナースピーチにおいて、「水素経済のための国際パートナーシップ (International Partnership for the Hydrogen Economy : IPHE)」の設立を呼びかけた。スピーチの抄訳を以下に示す。

(以下、スピーチから関連部分を抄訳)

今夜のディスカッションは、第一に天然ガスと電力に焦点を絞ったものだが、私が考えるにエネルギー・セキュリティへの対応において最も重要なことについて述べさせていきたい。それは我々の社会を、外国の石油に依存した社会から、国内生産可能な水素を使った社会に移行させ、水素を運輸部門の主要なエネルギー源とすることである。(中略)

水素ビジョンを実現するためにブッシュ大統領は、今後 5 年間で 17 億ドルの予算を水素を動力源とする自動車と、それを支えるインフラの研究開発に投資することを確約した。

我々にとっての課題は、燃料電池のコストを 1/10 に下げることである。水素製造コストも下げる必要がある。我々の見るところでは、今日の水素の製造コストは約 4 倍も高い。そして大量の水素燃料を自動車やトラックに搭載する新しい方法を生み出す必要がある。しかし最も重要なことは、水素の運搬・充填インフラを開発することである。

もしこれに成功したならば、2040 年までに米国は、石油消費量を 33%、二酸化炭素排出量を 19%減らすことができると予想される。(中略)

欧州連合は、再生可能エネルギーと水素エネルギー技術に関する、長期的で確固たる研究開発を行っている。日本も同様の強力なコミットメントを示している。最近 DOE を訪問したオーストラリア、カナダ、ドイツ、アイスランド、イタリア、英国などの国も、それぞれの国のプログラムを説明した。(中略)

しかしこの協力は、IEA 加盟国を超えて広げなくてはならない。発展途上国も我々と同様の、エネルギーと公害に関する課題を抱えている。世界的に水素経済に移行するためには、我々は主要な発展途上国、たとえばインド、中国、南アフリカ、ブラジルなどを巻き込む必要がある。(中略)

よって今夜、私は水素経済のための国際パートナーシップ (IPHE) を提案したい。(中略) 国際社会は二カ国・多国間関係を基礎として、努力を融合し、共通の課題に挑戦し、アイデアを共有し、行動を協調させて、水素経済という共通のゴールを追及していこう。

注) 2003 年度 JARI 海外調査報告書

6月16日にエイブラハム長官は、欧州委員会の「水素・燃料電池に関するハイレベルグループ会議」^{注1)}において、「米国のビジョンと水素社会へのロードマップ(The US vision and roadmap to a hydrogen economy)」と題するスピーチを行い、欧州連合にIPHEへの参加を呼びかけた。

(以下、スピーチから関連部分を抄訳)

本年度のDOEのエネルギー効率・再生可能エネルギープログラムの予算請求額は13億ドルを超え、過去20年間で最大となっている。また我々は、20億ドルの資金をクリーン石炭発電イニシアティブに投入する。これは10ヵ年プログラムで、発電効率向上とエミッション低減の技術開発を目指している。さらに我々は炭素系燃料の問題を特に重要と考えており、炭素隔離の研究予算を60%増額した。(中略)

水素は再生可能エネルギー、化石エネルギー、原子力エネルギーから製造できる。我々は全てのオプションを検討している。水素はエミッションフリー技術によって製造されるべきであり、我々は予算の約50%を再生可能エネルギーからの水素製造技術に振り分けている。(中略)

これまでの経験から、エネルギー分野における科学的知識と技術の開発においては、国際的な協力関係が重要であることを認識している。(中略)

私は2003年3月にブリュッセルに赴き、欧州委員会のプロディ委員長、デ・パラシオ副委員長、ピュスカン委員と会い^{注2)}、水素社会の実現に向けての協力体制について話し合った。(中略)

今朝、ピュスカン委員と私は「米欧非原子力エネルギー協力協定に対する燃料電池付属文書(Fuel Cell Annex to the US-EU Non-Nuclear Energy Cooperation Agreement)」に署名した。この付属文書は、我々の水素研究に対する試みの統合を助け、水素技術の開発における国際協力の重要性を強調するものである。(中略)

米・欧の燃料電池に関する協力は、水素革命の推進の上で重要な要素である。しかしそれは、水素ビジョンの達成に対する国際アプローチの第一歩にすぎない。それゆえに、私は数週間前の国際エネルギー機関の会合において、燃料電池とインフラ技術の研究開発における協力を目的に「水素経済のための国際パートナーシップ(IPHE)」を提案した。(中略)

私は、ここに個人として出席されている欧州委員会のかたがたに、この秋に開催されるIPHE正式発足のための閣僚会議に参加されるように要請する。

注1) 「水素・燃料電池に関するハイレベルグループ」に関しては2003年度JARI海外調査報告書参照。

注2) デ・パラシオ副委員長は、欧州委員会のエネルギー・運輸総局のコミッショナー。ピュスカン委員は研究総局のコミッショナー。2003年度JARI海外調査報告書参照。

2003年11月18～21日に米国は、「水素経済のための国際パートナーシップ(IPHE)」の閣僚会議をワシントンDCで開催した。この会議には、世界14カ国^{注)}の代表が集まった。

このパートナーシップの第一の目標は、日本やEUなどの国際的な研究相手との水素エネルギーに関する情報の共有である。

IPHEでは中国、ブラジルなどの国からの要望を聞きいれて、発展途上国が水素経済を達成するためのロードマップも策定することになった。

IPHEの目的とその特徴を表3-2-11に示す。

表 3-2-11 水素経済のための国際パートナーシップ(IPHE)の目的とその特徴

IPHEの目的	水素社会への世界的な移行を推し進めるための研究・開発・実施プログラムを、効果的に組織し、さらにその評価とコーディネーションを行うこと。
IPHEの成功の鍵	<ul style="list-style-type: none"> ・世界の知性をつめ、困難な課題の解決を図る。 ・共通の技術標準を作る。 ・水素と燃料電池技術の開発と利用を推し進めるための、政策と技術のガイダンスを作る。 ・水素・燃料電池技術とインフラ技術を開発するための大規模かつ長期的な官民協同体制を構築する。 ・技術面・資金面・政策面における、課題と機会を明確化する。
IPHEの特徴	<ol style="list-style-type: none"> 1) 水素と燃料電池の技術開発に対する、非常に長期的なコミットメント 2) 技術開発とインフラ開発のための明確なビジョンと国家戦略 3) 水素社会における産業セクターの開発を効果的に推し進める政策と戦略
枠組文書 (Terms of Reference : TOR)	<ol style="list-style-type: none"> 1) TORは炭素隔離リーダーシップフォーラム(Carbon Sequestration Leadership Forum)の成果を基にして決定される。 2) TORは非拘束的な協定である(非拘束性は、IPHEの実施における基本的な方針である)。 3) TORのドラフトは、現在レビュー中である。

出所：2003年度JARI海外調査報告書

< <http://www.usea.org/iphe.htm> >

注) 参加国は、オーストラリア、ブラジル、カナダ、中国、フランス、ドイツ、アイスランド、インド、イタリア、日本、ノルウェー、韓国、ロシア、英国、米国、欧州委員会。(欧州委員会を除き、アルファベット順)

(6) カリフォルニア州大気資源局(CARB)の施策^{注1)注2)}

1) Zero-Emission Vehicles(ZEV)規制

大気清浄化の手段として、CARB(加州大気資源局)は、1990年にZEV(Zero Emission Vehicle=無排出ガス車)の販売義務付けを行うこととするZEV法を制定した。ZEVは排出ガスを全く出さない車のことで、当時は、電気自動車に相当した。当初の規定では、加州での販売台数が年間3.5万台以上の自動車会社に対し1998年型から販売量の2%を、2003年型からは10%までZEVを増加させることになっていた。しかし、1996年の見直しで、ZEV規制の実施を2003年型からに延期することになり、更に1998年の見直しで、03年型からのZEV10%強制導入は維持しつつ、新たにPZEV^{注3)}という考えを取り入れ、最低でもピュアZEVは4%、PZEVは最大6%まで認められることになった。PZEVは、表3-2-12に示すように排出ガスはSULEVレベル以下で、エバポ(蒸発)エミッションがゼロで、エミッションの劣化を15万マイルにわたり診断警告し、かつ排出レベルを15年もしくは15万マイル以上保障しなければならない。現行のULEV(超低排出ガス車)レベルに比べて大変厳しいものとなっている。

表 3-2-12 PZEV の条件

	項目	PZEV 要件
1	エミッション	SULEV (NMOG 0.01gpm, NOx 0.02gpm) 参考: ULEV (NMOG 0.04gpm, NOx 0.07gpm)
2	エバポ	0g/test
3	自己診断(OBD)	OBD2 規制適合
4	保障期間	15万マイルあるいは15年間

1~4の全項目を満たすことが条件

さらに2000年の見直しでは、先進(Advanced Technology)PZEVが設定され、1998年に見直されたZEV4%の内2%は先進PZEVでも良い(ピュアZEVは最低でも2%出す)ことになった。対象車両は表3-2-13のとおりである。また、2003年型以降、ZEV要求台数を徐々に増加させ、2018年型では、16%まで引き上げるようになった。その代わり各種のクレジットを導入し、実際のZEV、先進PZEV、PZEVの導入台数を緩和することが提案された。このクレジットには、車両の燃費によりクレジットが変わるという項目が含まれていた。

注1) 2000年度JEVA海外調査報告書

注2) (財)日本自動車研究所「平成15年度燃料電池自動車実証試験に関する海外調査」

注3) PZEV:パーシャルZEV。PZEVは、SULEV(超超低排出ガス車)、ハイブリッド車(HEV)、改質形FCVなどが相当。

表 3-2-13 ZEV, 先進 PZEV, PZEV の対象車両

カテゴリー	ランク	対象車両
ZEV	Gold (金)	EV, 水素形 FCV
先進 PZEV	Silver (銀)	HEV, 改質形 FCV, CNG 車等
PZEV	Bronze (銅)	SULEV 適合ガソリン車

2002 年 1 月に公聴会が行われたが、同月、GM、D/C などがクレジット計算式に燃費に関する条項が含まれているのは、連邦優先権に反するとして連邦地裁に提訴した。成立するかみえた改定案はここで成立困難となり、6 月に入り連邦地裁が「03-04 年型での ZEV 規制施行禁止」の予備判断を下した。そこで CARB は、05 年型からの ZEV 規制施行および燃費条項削除の新しい案を提案し、紆余曲折の末 2003 年 1 月に ZEV 規制改定案が出された。そして 3 月と 4 月に公聴会が行われ、8 月にやっと ZEV 規制改定案の最終案が発行され、GM、D/C などが連邦地裁、加州裁への訴訟を取り下げるに至り、最終規則が発行される見通しとなった。そして 2004 年 2 月に最終規則が発行され、カリフォルニア州総務長官の承認を得て、2004 年 3 月 25 日から加州 ZEV 規制は発効となった。その概要と特徴を以下にまとめる。

ZEV 法の施行は、図に示したように 05 年型からで、ZEV 要求割合は 10% からスタートし、年々増加させて 18 年型以降は、16%とする。

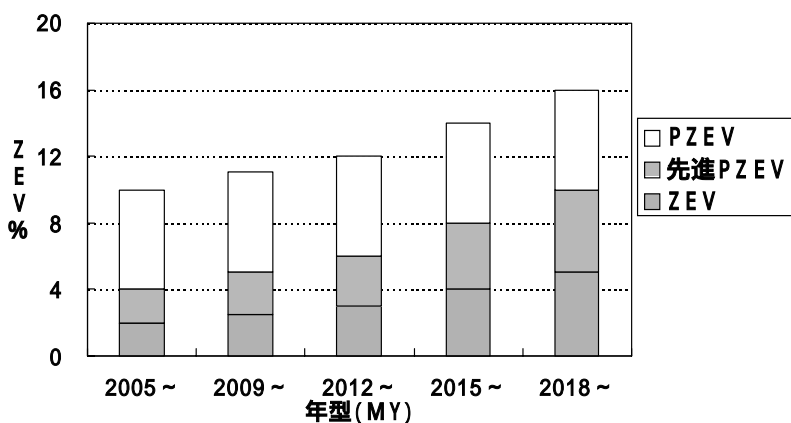


図 ZEV の規制案

ZEV 要求台数は、表 3-1-13 に示すように ZEV、先進 PZEV、PZEV で構成され、各々 ZEV に換算した台数で満たすこと。

ZEV 要求台数となるベースの台数は、従来の LDV+LDT1 に LDT2 を加えるが、LDT2 については、07 年型より 12 年型まで段階的にベース台数に含める^{注)}。ZEV 法の対象となる自動車メーカーは、加州における上記 LDV、LDT の総販売台数によって区分され、年間 6 万台以上販売している自動車メーカーは、ZEV、PZEV を導入すること。(注：現状では GM、フォード、D/C、トヨタ、本田、日産の 6 社)

注) LDT2=Light Duty Truck2。Loaded Vehicle Weight が 3,751 ~ 5,750 ポンドの車両で、SUV などが含まれる。

各種クレジットを設ける。主な ZEV クレジット（ピュア ZEV 何台にカウントするかという意味）を例として下記に示す。

- ・ ZEV のタイプによりクレジットが与えられ、早出しするほどクレジットは大きい。

例) 主な ZEV クレジット

	FCV	ピュア EV	HEV	PZEV
05 年型	40	12	0.931	0.266
09 年型	4	3	0.7	0.2

- ・ PZEV クレジットフレキシビリティとして、03～04 年型 (MY) に得た 6% を超える PZEV クレジットは、05～06MY 先進 PZEV クレジットとして使用できる。
- ・ FCV オプションとして、01～08MY の間に FCV を累積かつ全メーカーで 250 台導入した場合は、05～08MY の間先進 PZEV クレジットをピュア ZEV クレジットとして使用できる。FCV 必要導入台数は、09～11MY は 2,500 台に、12～14MY は 25,000 台に、15～17MY は 50,000 台に各々引き上げられる。
- ・ FCV オプション要求台数の半分までは、ピュア EV で置換してもよい。しかし、FCV 1 台に相当するピュア EV は、11MY までは 10 台、17MY までは 5 台である。

加州あるいは北東部州に登録された FCV に限り、11MY までの期限付きで、加州及び北東部州の両州に登録された車両とみなす。

09 年型以降の ZEV 要求については、専門家パネルを設置しつつ、再検討する。

以上のように、1990 年の ZEV 法は、ピュア EV 導入から PZEV、水素 FCV 導入へと大きく方向転換され、ピュア EV を現実的に可能性のあるガソリン PZEV や HEV で置換し、施行は 05 年型からになった。

2) カリフォルニア燃料電池パートナーシップ(CaFCP)^{注)}

1999年4月、米国カリフォルニア州では、燃料電池車の導入に向け、関係者の自主的な組織として、自動車メーカー、石油会社、燃料電池メーカーおよび州政府の共同による「カリフォルニア燃料電池パートナーシップ」(CaFCP)を組織した。そして、2000年11月1日サクラメントに研究施設を設置し、開所式が行われた。目的と参加メンバーは表3-2-14のとおりである。また、2000年6月に運営チームは、CaFCPの意義を「CaFCPはFCVの実用化に対するコミットメントである」と発表している。当初は2003年までの予定だったが、2007年まで延長されることとなった。

表 3-2-14 「CaFCP」の参加メンバー(2004年1月現在)

フル・パートナー	
自動車メーカー	<u>DaimlerChrysler</u> , <u>Ford</u> , ホンダ , Hyundai , 日産 , VW , GM , トヨタ
FC 技術パートナー	<u>Ballard</u> , UTC-Fuel Cells
エネルギー・パートナー	<u>BP</u> , <u>Shell</u> , <u>Texaco</u> , ExxonMobil
行政関連組織	<u>California Air Resource Board (CARB)</u> <u>California Energy Commission (CEC)</u> South Coast Air Quality Management District U.S. Department of Energy (DOE) U.S. Department of Transportation (DOT) U.S. Environmental Protection Agency (EPA)
アソシエイト・パートナー	
交通局	Alameda-Contra Costa Transit (AC Transit) Santa Clara VTA , SunLine Transit Agency
水素燃料供給会社	Air Products , Praxair
メタノール供給会社	Methanex
水素製造装置メーカー	Proton Energy , Stuart Energy , PG&E Ztek Corporation

下線部は発足当初のメンバー

表 3-2-15 CaFCP の現状(2004.1 現在)

参加メーカー・機関	30社
参加車両	58台(うちバス3台) 現在41台走行試験中
総走行距離	14.53万マイル(23.2万km)
延べ試乗者数	1.2万人(同乗者も含む)
水素ステーション	2箇所(CaFCPのHQ, リッチモンド)
充填回数	2,600回

出典：平成15年度水素・燃料電池実証プロジェクト JHFC セミナー資料

注) (財)日本自動車協会「平成14年度燃料電池自動車実証試験に関する海外調査」など。

表 3-2-16 燃料電池パートナーシップの活動内容

燃料	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水素（圧縮，液体）とメタノールを想定。 ・ ガソリン改質技術についても研究する。
走行場所	<ul style="list-style-type: none"> ・ サクラメント近辺 D/C の圧縮水素バスはパームスプリングスおよびサンフランシスコ
燃料インフラの整備	<ul style="list-style-type: none"> ・ パートナーシップに参加している石油会社が行う。
コスト負担	<ul style="list-style-type: none"> ・ 運営費用は，基本的には参加企業が負担。 ・ 自動車メーカーは自己負担で，デモンストレーション用 FCV を提供。 ・ デモンストレーション用の燃料電池バスのコストは California Energy Commission が負担。
安全性対策・規制等	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水素利用などに対する規制なし。そのため，安全性対策などすべて関係する自動車メーカーの責任で行う。

CaFCP は 2003 年 4 月～2007 年 3 月（フェーズ ）において，以下のような点について活動が続けられる。

走行実証試験	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 一般のユーザの運転による実証 ✓ L.A.とサクラメント - サンフランシスコ地域での走行試験 ✓ 最高 300 台の車両を使用する
燃料インフラの拡張	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 実証試験のサポート用 ✓ 汎用性があり，利用しやすいもの
地域社会における準備	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 緊急時の対応の訓練 ✓ 許認可へのサポート
公共への啓発活動	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 投資者に重点を置いたもの（商業化に向けて） ✓ グローバルな情報交換 ✓ リソース共有

CaFCP 本部前には，水素ステーションが 1 基（2003 年 1 月から液体水素にも充填可能），メタノールステーションが 1 基設置されている（2003 年中に撤去予定）。図 3-2-7 の地図に，カリフォルニア州各地に設置されている水素設備の位置を示す。

2004 年からは，3 つのバス運行会社（AC Transit，VTA，SunLine）による FC バス実証試験が開始される（図 3-2-8）。使用される FC バスは 7 台（表 3-2-17）。実証期間は 2 年間で，実際のルート運行に使用される。取り仕切るのは，DOE / NREL（National Renewable Energy Laboratory：国立再生可能エネルギー研究所）および DOT / CEC である。

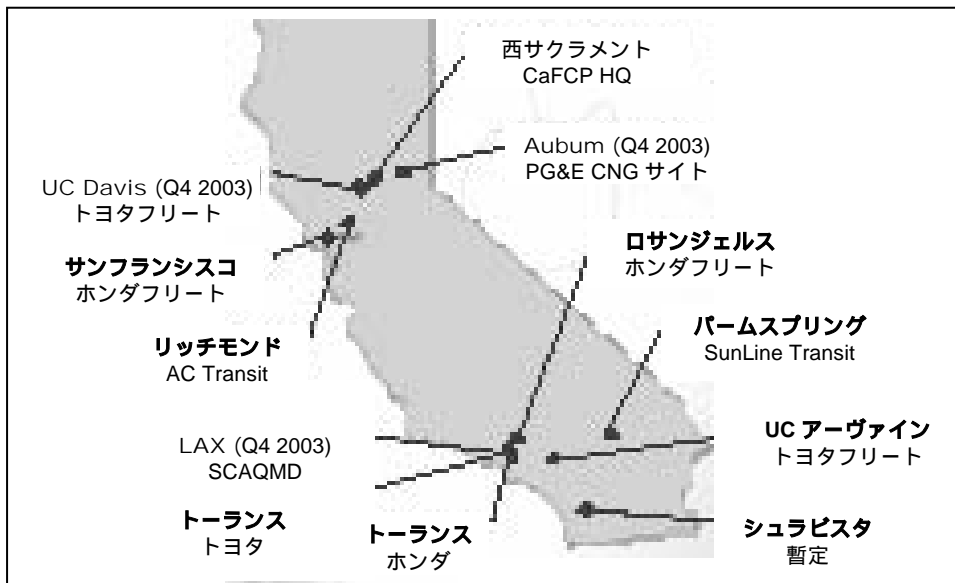


図 3-2-7 カリフォルニア州にある実証試験用水素設備

燃料電池バス (UTC-FC 製 FC 搭載)

車両メーカー: Van Hool
 FC システム: UTC-FC
 (ドライブトレイン: ISE Research)

燃料電池バス (Ballard 製 FC 搭載)

車両メーカー: Gillig
 FC システム: Ballard

図 3-2-8 CaFCP の燃料電池バスのデモンストレーション

表 3-2-17 プログラムで使われる FC バス

バス運行会社	AC Transit	SunLine	VTA
バスメーカー	Van Hool (組み立ては ISE Research)		Gillig
FC メーカー	UTC		Ballard
台数	3 台	1 台	3 台

3) 定置用燃料電池プロジェクト(California Stationary Fuel Cell Collaborative)

CARBは2001年6月、定置用燃料電池プロジェクト推進組織「California Stationary Fuel Cell Collaborative (以下 CaSFCC)」を組織した。CaSFCCの目的は『州政府のビルへの燃料電池の導入を積極的に進めるとともに、その他のマーケットへの燃料電池導入を支援する』ことである。コアメンバーは表 3-2-18 のとおりである。

表 3-2-18 CaSFCC のコアメンバー

State Agencies	California Air Resource Board California Business Transportation and Housing Agency California Department of General Services California Department of Transportation California Energy Commission California Environmental Protection Agency California Public Utilities Commission California Resources Agency California Power Authority California State Fire Marshall California Trade and Commerce Agency Governor's office of Planning and Research
Local Agencies	South Coast Air quality Management
Federal Agencies	US Department of Defense US Department of Energy US Environmental Protection Agency
Non-Government Agencies	Los Angeles of Water and Power National Fuel Cell Research Center Sacramento Municipal Utility US Fuel Cell Council

目標として、2006年未までに合計50～250 MWの燃料電池を導入する。まずは、新規導入が容易な新しい州政府ビルから導入を始めるが、順次、そのほかのビルへの導入を行う。問題として、古いビルでは燃料電池を設置できるだけのスペースがないことが挙げられている。

CARBは、CaFCPとCaSFCCの両方を協調して進めることで、R&D促進のシナジー効果を期待している。

4) カリフォルニア州のカーボン排出量削減法(パブリー法)

2002年夏にカリフォルニア州議会は、自動車からのカーボン排出量削減を義務付ける「州法第1493号(Assembly Bill 1493)」を可決、Gray Davis知事も法案に署名を行った。州法第1493号は、提案した民主党議員Fran Pavleyの名をとって「Pavley Bill(パブリー法)」と呼ばれている。

パブリー法は、CARBが2009年(モデルイヤー)以降の自動車(および自動車メーカー)に対してカーボン排出量の基準を定めることを求めている。具体的には、費用対効果の高い方法で、自動車由来の地球温暖化ガスを最大限(かつ実現的に)削減させる規制を、2005年1月までに採用することを求めている。カーボン排出量の基準は個別の自動車に対する基準ではなく、自動車メーカーの平均値を定めるものである。また自動車メーカーは、工場などからのカーボン排出量削減をもって、この基準値に充当できる。パブリー法の施行スケジュールを表3-2-19に示す。

表 3-2-19 カリフォルニア州パブリー法の施行スケジュール

技術面の評価		
地球温暖化ガスに関するワークショップ		2002年 12月
自動車技術に関するシンポジウム		2003年 3月
補足的ワークショップ		-
サマリー・ワークショップ		10月
CARBのボードメンバーへの報告		11月
スタッフ・プロポーザル(ドラフト)作成		
スタッフドラフトの公表	2004年	5月
ワークショップ		6月
最終的なスタッフ・プロポーザル		7月
CARBのボードによる承認		9月
議会・州知事への報告		2005年 1月

出典：(財)日本電動車両協会『平成14年度 燃料電池自動車に関する調査報告書「海外調査編」』平成15年3月(以下、「2002年度JEVA海外調査報告書」と記す)

3-2-2 EUにおける取組み

(1) 欧州連合フレームワーク・プログラム(EU Framework Programme:FP)^{注1)}

1) 欧州連合フレームワーク・プログラム(EU Framework Programme:FP)とは

欧州連合フレームワーク・プログラムは、1984年から実施されている5カ年計画である。欧州委員会(European Commission:EC)が提案し、欧州議会と欧州閣僚理事会の承認を受けて実施される。研究テーマは全欧州的に募集され、テーマの採用における国別の割り当てはない。前の第5次フレームワーク・プログラム(FP5)は1998～2002年の期間で実施され、2002年末に終了している。これまでのフレームワーク・プログラムの予算を図3-2-9に、第6次フレームワーク・プログラムの予算を表3-2-20、表3-2-21にそれぞれまとめる。全体予算は175億ユーロ(約2兆1千万円)であり、前回のFP5よりも17%増額されている。

FP6は、2002～2006年^{注2)}までであり、欧州研究領域(European Research Area:ERA)に基づいた、欧州全体の産業競争力強化に焦点を当てたプログラムとなっている(予算は表3-2-20における(1)に示されている)。これはEUをはじめとするあらゆるレベルにおける研究開発活動に関する協力、相互補完、そして関係者間の連携を促進することによって、科学の向上、競争力の改善、そしてイノベーションを目指すものとして位置づけられる。

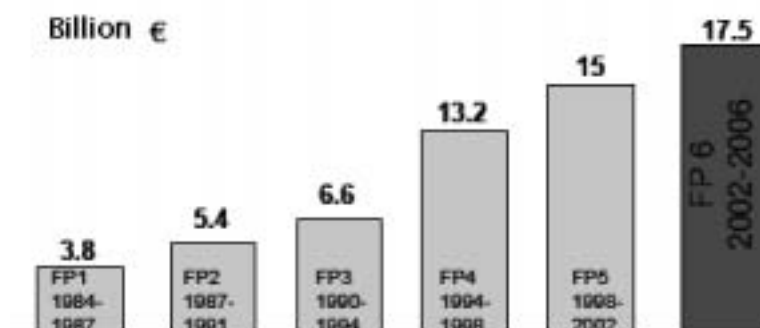


図 3-2-9 Framework Programme の予算の推移

注1) 2003年度 JARI 海外調査報告書

注2) 5カ年計画のうち最初の1年間は前のFPの最終年と重なっている。2002年はFP5の最終年度に重なっており、FP6としての実施は2003年1月からになる。

表 3-2-20 欧州 FP6 の予算(その 1)

(単位：百万ユーロ)

1. 重点研究・統合研究分野 (<i>Focusing and integrating Community research</i>)		13 345
(1) 重点研究分野 (欧州研究領域) (<i>Thematic priorities</i>)		11 285
・ ライフサイエンス・ゲノム・バイオ	2 255	
・ 情報社会技術 (IST)	3 625	
・ ナノテクノロジー、ナノサイエンス	1 300	
・ 航空・宇宙	1 075	
・ 食品の品質と安全	685	
・ 持続可能な開発，地球気候変動，エコシステム	2 120	
持続可能な開発：エネルギーシステム 再生可能エネルギー、建造物における省エネ、輸送システムにおける代替エンジン燃料(バイオ燃料、天然ガス、水素)、燃料電池とその応用、水素の輸送と貯蓄、高温超電導デバイス、炭酸ガス捕獲技術、エネルギー予想方法	810	
持続可能な開発：地上海上輸送 自動車および海上輸送エンジン用クリーンエンジン、造船所における先端的設計・生産、鉄道の能力増強と安全、船舶の構造解析、異なる輸送手段間の統合と再調整、交通安全の増強(道路、鉄道)	610	
持続可能な開発：地球気候変動、エコシステム 大気汚染の影響、水のサイクル、欧州と第三国の河川地域の双対性、生物多様性とエコシステム、過疎化、地震と地すべり災害の管理、食品危険管理、持続的開発のための森林と木材の連鎖	700	
・ 知識集約型社会における市民とガバナンス	225	
(2) 広分野にわたる研究 (<i>Structuring the European Research Area</i>)		1 300
・ 将来の科学技術に対する支援	555	
・ 中小企業を取り込んだ横断的な研究	430	
・ 国際協力支援	315	
(3) 欧州共同研究センター (JRC) における非原子力の研究 (<i>Non-nuclear activities of the Joint Research Center</i>)		760

出典： <http://www.cordis.lu/fp6/budget.htm>

表 3-2-21 欧州 FP6 の予算(その 2)

(単位：百万ユーロ)

2. 欧州研究領域の研究体制構築 (Structuring the European Research AREA)		2 605
(1) 研究支援 (Research and innovation)	290	
(2) 人的資源・移動 (Human resources and mobility)	1 580	
(3) 研究基盤整備 (Research infrastructure)	655	
(4) 科学と社会 (Science and society)	80	
3. 欧州研究領域の研究基盤強化 (Structuring the foundations of the ERA)		320
(1) 研究協力の支援 (Support for the coordination of activities)	270	
(2) 政策策定支援 (Support for the coherent development of policies)	50	
小計		16 270
4. 欧州フレームワーク・プログラム (Euratom Framework Programme)		
(1) 重点研究 (Priority thematic areas of research)	980	
・ 熱核融合	750	
・ 放射性廃棄物の管理	90	
・ 放射線からの保護	50	
(2) その他の原子力技術・安全に関する活動 (Other activities in the field of nuclear technologies and safety)	50	
(3) 欧州共同研究センターにおける非原子力分野の研究 (Nuclear activities of the Joint research Center)	290	
小計		1 230
合計		17 500

出典：http://www.cordis.lu/fp6/budget.htm

2) FP6 における燃料電池・水素関連研究

これまでのフレームワーク・プログラムにおいて実施されてきた燃料電池・水素関

連研究テーマの予算を図 3-2-10 に示す。FP6 は現在研究テーマの第一次公募が終了した段階であり，最終的にどのくらいの予算が燃料電池・水素関連の研究テーマに割振られることになるかは予想できない。しかし，FP5 における燃料電池・水素関連の研究テーマの予算を超えることになると期待されている。

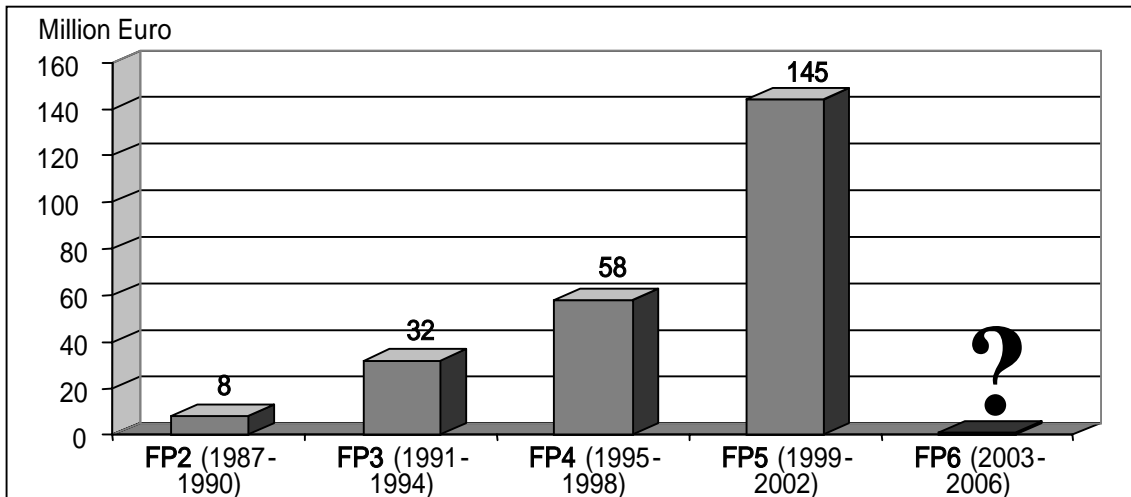


図 3-2-10 フレームワーク・プログラムにおける燃料電池・水素関連研究テーマ予算

(2) 水素・燃料電池に関するハイレベルグループ

2002 年 10 月，「水素・燃料電池に関するハイレベルグループ (High Level Group on Hydrogen and Fuel Cells : HLG) 」が欧州委員会内に設立された。HLG は，水素社会に対する一般の理解が不足している現状を踏まえ，欧州の持つ研究資源を最適化し，水素社会到達時に世界に競合しうる欧州を作ることとしている。HLG は以下の理由で水素技術の推進を重要と考えている。

- エネルギー・セキュリティ
- エネルギーの安定供給
- 欧州の経済競争力の維持
- 大気質改善地球温暖化ガスの削減

また，2003 年 6 月 16～17 日にブリュッセルで「水素社会-持続可能なエネルギーへの橋がけ (The hydrogen economy-a bridge to sustainable energy) 」と題する会議を開催した。会議において HLG は，最終報告書『水素エネルギーと燃料電池：未来へのビジョン (Hydrogen energy and fuel cells-a vision for our future) 』を発表，アクションプラン (表 3-2-22) ，水素社会の将来像 (図 3-2-11) ，水素社会へ向けてのロードマップを示した (図 3-2-12) 。

表 3-2-22 HLG のアクションプラン

- ・ 水素・燃料電池に関する新たな政策を策定する。
- ・ 戦略的研究アジェンダを設定する。
- ・ 自動車用・定置用燃料電池のデモンストレーションを実施し、欧州全域にわたる水素インフラを構築する。
- ・ 「水素・燃料電池への欧州ロードマップ (European Roadmap for hydrogen and fuel cells)」を提示する。
- ・ 「欧州水素燃料電池技術パートナーシップ (European Hydrogen and Fuel Cell Technology Partnership)」を組織する。

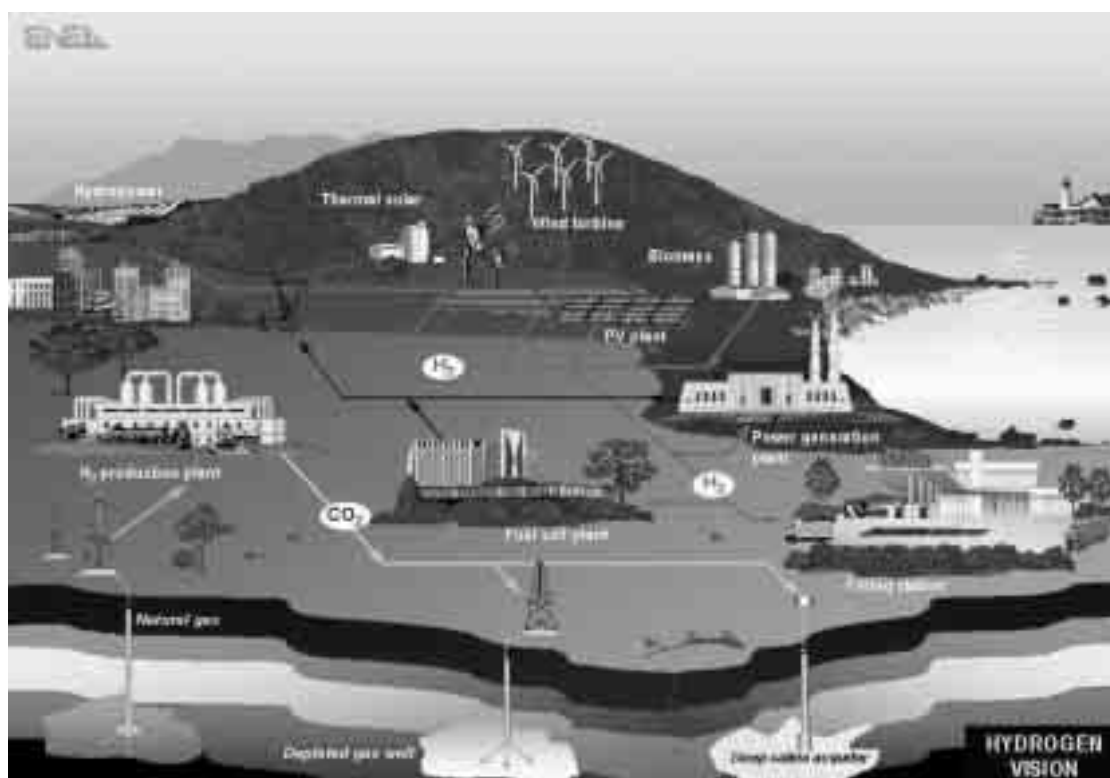


図 3-2-11 HLG が描く水素社会

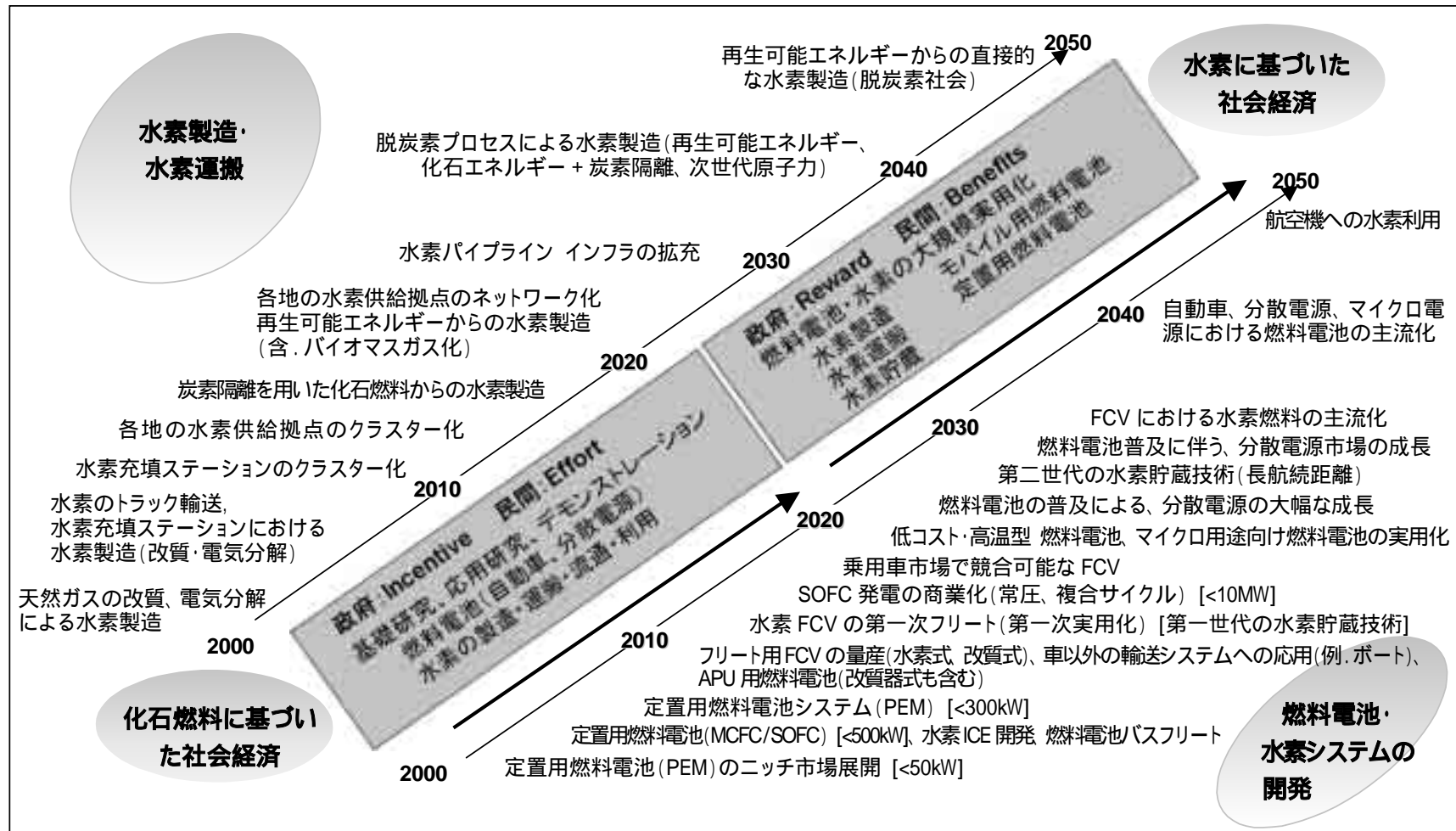


図 3-2-12 水素・燃料電池への欧州ロードマップ

(3) 代替燃料コンタクトグループ

代替燃料コンタクトグループ (Alternative Fuel Contact Group : AFCG) は、2001 年 11 月に欧州委員会が発表した『代替燃料に関するコミュニケーション (Communication of Alternative Fuels)』を受けて、2002 年にエネルギー・運輸総局を中心に設置された組織である。2003 年 12 月、AFCG は最終報告書「代替燃料の市場開発 (Market Development of Alternative Fuels)」を発表した。最終報告書では、とくに天然ガス、水素、Biomass-to-Liquid 燃料の重要性を強調している。報告書の概要を以下に示す。

Well-to-Wheel 分析について

様々な燃料の Well-to-Wheel 分析を実施。

CONCAWE (欧州石油連盟)、EUCAR (European Car Manufacturers) 欧州共同研究センターとコンソーシアムを組み、一次エネルギーから運輸セクターまでのエネルギーパスの 75%を研究。

天然ガスについて

天然ガス自動車の 2010 年技術レベルを用いると、ガソリン車よりも CO₂ エミッションが 16%、ディーゼル車よりも 13%低減すると予想される。

運輸セクターにおいて、2020 年までに 10%の燃料が天然ガスに置き換わると仮定しても、その量は 2020 年における天然ガスの総需要量の 5%に過ぎない。よって、天然ガスの供給量がボトルネックになるとは考えられない。

水素について

運輸セクターにおける水素のシェアは、2020 年では数%程度である。

水素内燃自動車は、近道 (fast track) 的な手段であるが、それは CO₂ をほとんど出さないような水素製造を前提とすべきである。

バイオマスからの水素製造や炭素隔離も望ましい技術であるが、さらなる研究開発が必要である。

Biomass-to-Liquid 燃料について

EU のバイオマスの目標は 2010 年で 6%であるが、Biomass-to-Liquid 技術はバイオマス普及を後押しするものである。最大で 15%までの普及が期待できる。しかしそのためには、インセンティブが必要であろう。

Biomass-to-Liquid 燃料製造と水素製造を組み合わせれば、より高い効率と低コスト化が期待できる。

3-2-3 欧州 FC バス実証走行プロジェクト^{注1)}

欧州 FC バス実証走行プロジェクトは、CUTE(Clean Urban Transport for Europe) ,
アイスランドにおける燃料電池バスのデモンストレーションプロジェクト ECTOS
(Ecological City Transport System)^{注2)}から構成されている。このプロジェクトでは、
欧州 8 カ国 10 都市にて、DaimlerChrysler 製の 30 台の FC バス「CITARO」による実
証走行試験が実施される。

プロジェクトの概要を表 3-2-23 に示す。

表 3-2-23 欧州 FC バス実証走行プロジェクトの概要

背景	<ul style="list-style-type: none"> ・自動車用アプリケーションとしての FC 技術，電気駆動に対する経験の欠如 ・高圧水素供給設備の運営可能性の実証 ・高圧水素貯蔵システム仕様に関する国の認可 ・新技術に関する試験および燃料としての水素に関する試験の推進
目標	<ul style="list-style-type: none"> ・バスへの FC 技術の導入・実証（無排出，低騒音，高効率，資源節約） ・欧州における技術的なリーダーシップの発揮と雇用 ・公共交通部門に対する都市部における交通・環境問題の解決策のための手段としての FC バスへの興味・魅力の拡大 ・初期経験の取得 ・短期目標：資源節約型交通手段の確立 ・長期目標：非化石燃料ベースの交通手段の確立
内容	<ul style="list-style-type: none"> ・8 カ国 10 都市における 30 台の FC バスを用いた走行試験の実施 ・通常バスルートにおける 2 年間の実証走行 ・欧州の大手石油・ガスメーカーによる水素インフラの整備 ・10 種類の異なる水素供給インフラ整備 ・40 におよぶ企業・団体の参画

走行試験が行われる都市を図 3-2-13 に示す。ECTOS は、アイスランドにおける水素プロジェクトの第 1 段階として位置づけられ、CUTE の先鞭となってアイスランドのレイキャビクで行われ、3 台の FC バスが導入される。CUTE は、7 カ国 9 都市で行われ、合計 27 台の FC バスが導入される。

注1) (財)日本自動車両協会「平成 14 年度燃料電池自動車実証試験に関する海外調査」および(財)日本自動車研究所「平成 15 年度燃料電池自動車実証試験に関する海外調査」

注2) 詳細は 3-2-5 (2) 参照。

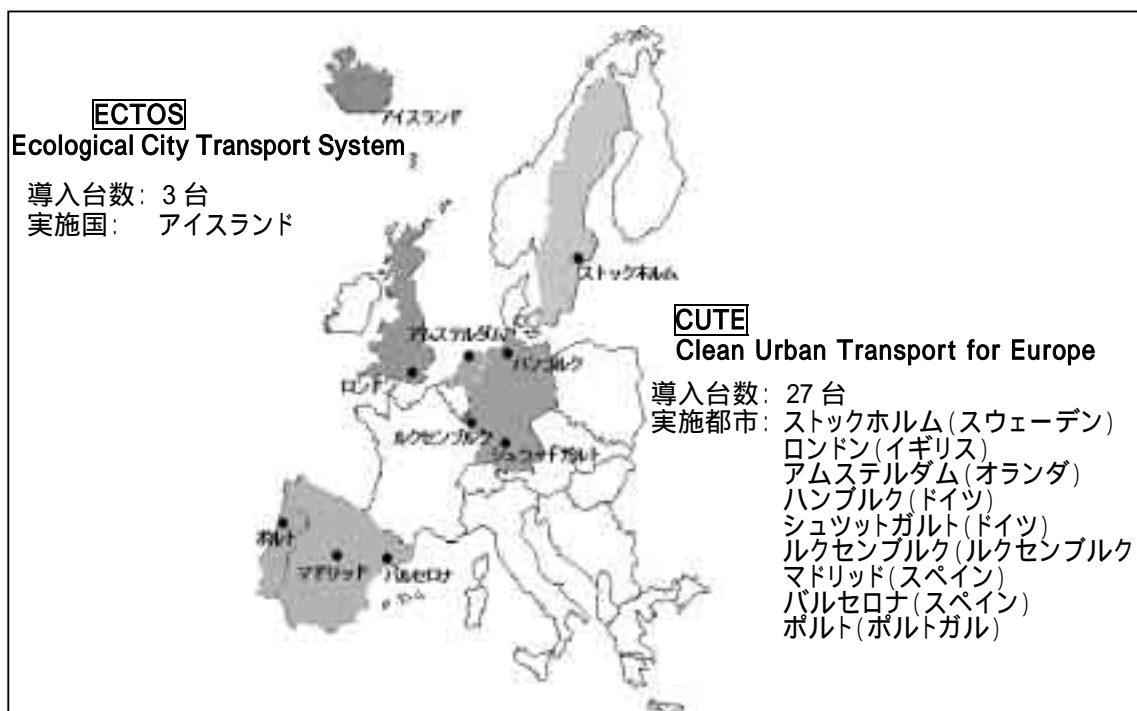


図 3-2-13 欧州 FC バス実証走行プロジェクトの実施国・都市

出典：(財)日本電動車両協会「平成 14 年度燃料電池自動車実証試験に関する海外調査」

プロジェクトに参加する主要な団体・企業を表 3-2-24 に示す。

表 3-2-24 欧州 FC バス実証走行プロジェクトの参画団体・企業

運行会社	GVB Amsterdam , TMB Barcelona , HHA Hamburg London Transport , EMT Madrid , AVL Luxembourg INE Reykjavik , STCP Porto , SL Stockholm , SSB Stuttgart
その他メーカー等	Ballard Power Systems , bp , Busslink , DaimlerChrysler First Group , Environment & Health Protection agency EvoBus , Gas Natural , Hamburger Elektrizitatswerke Shell Hydrogen , Air Liquide , Milieudienst Amsterdam Norsk Hydro , Fortum , Xcellsis , Neckarwerke Stuttgart

出典：(財)日本電動車両協会「平成 14 年度燃料電池自動車実証試験に関する海外調査」

水素供給ステーションおよび FC バスガレージは 8 カ国 10 箇所に設置される。

水素ステーションの 1 日の最大水素製造量は 120kg で、バス 3 台あるいは乗用車 30 ~ 50 台分に相当する。FC バス 1 台が概ね 15 分以内で充填可能な能力を有する。水素ステーションのうち、8 基はオンサイトで水素を製造する。水素の約 50%は再生可能エネルギーを用いた水の電気分解により製造され、約 10%は石油精製所で製造^{注)}されている水素を輸送して利用し、残りは天然ガスを水蒸気改質して製造する。(表 3-2-25)

注) 石油製品の水素化脱硫や水素化分解に用いるために製造されている水素のこと。石油精製過程の副産物として発生するものではない。

表 3-2-25 欧州 FC バス実証走行プロジェクトにおける各水素ステーションの概要

実施都市		エネルギー源	水素製造方法	稼働
アムステルダム	オランダ	廃棄物焼却発電	オンサイト電気分解	
バルセロナ	スペイン	太陽光発電 + 買電		
ハンブルク	ドイツ	風力発電		
ストックホルム	スウェーデン	水力発電		
レイキャビック	アイスランド	地熱発電 + 水力発電		
ロンドン	イギリス	原油	石油精製所で製造	
マドリード	スペイン	天然ガス	オンサイト水蒸気改質	
ポルト	ポルトガル			
シュツットガルト	ドイツ			()
ルクセンブルク	ルクセンブルク	電力(買電)	プラントで電気分解	

2003.9.8 現在で稼働中のステーションは

シュツットガルトは 2003 年 9 月末オープンのため括弧

その他, 2004.2 末までに稼働を開始したものは

出典: (財) 日本自動車研究所「平成 15 年度燃料電池自動車実証試験に関する海外調査」,

(財) 日本自動車研究所資料

2003 年 9 月現在, CUTE プロジェクト実証試験予定地域に, 5~6 台の FC バスがデリバリされている。既にマドリード, ルクセンブルク, バルセロナのステーションがオープンしており, シュツットガルトのステーションは 9 月末にオープンした。

ECTOS プロジェクトについては 2003 年 4 月にレイキャビックのステーションがオープンし, 同年 10 月 5 日に FC バスがデリバリされた。図 3-2-14 に CUTE / ECTOS プロジェクトのスケジュールを示す。

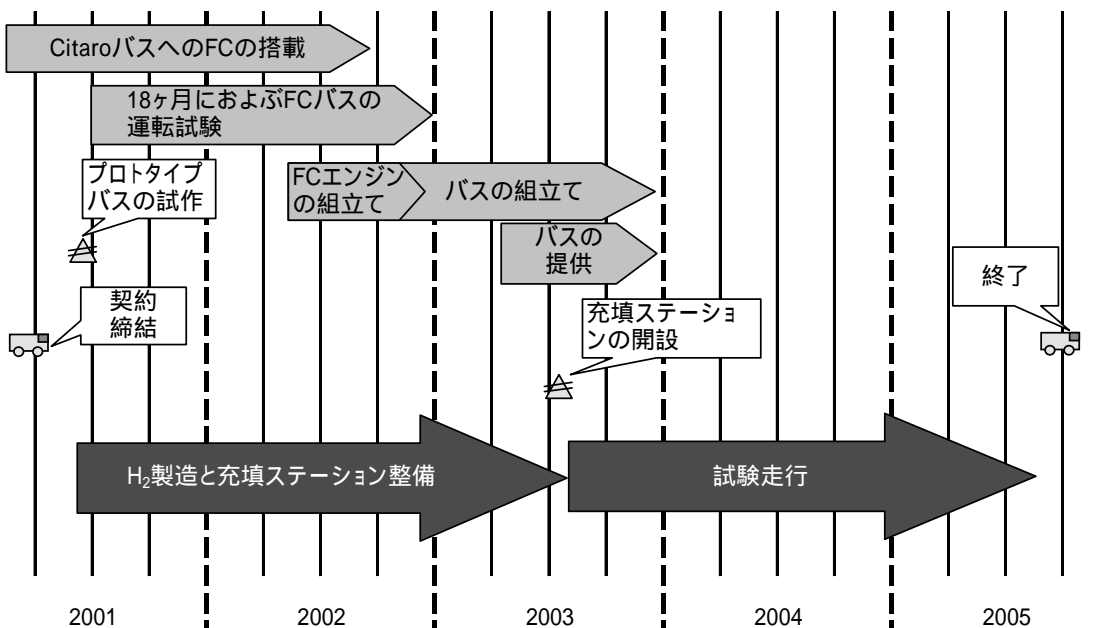


図 3-2-14 欧州 FC バス実証走行プロジェクトのスケジュール

出典: (財) 日本自動車研究所「平成 15 年度燃料電池自動車実証試験に関する海外調査」

3-2-4 ドイツにおける取組み

(1) 連邦政府の政策

燃料電池と水素技術は、当初は再生可能エネルギー研究分野の一部として扱われていたが、1990年代になって地球温暖化対策等の側面から、燃料電池と水素技術の2つに絞った研究分野が新たに創設された。なお、ドイツ連邦政府は燃料電池 R&D プログラムを1990年からスタートしているが、燃料電池の実用化が近づいてきたこともあり、実用化に弾みをつけるために燃料電池実証試験プログラム（ZIP 燃料電池実証試験プログラム）を2001年からスタートしている。

(2) TES(Transportation Energy Strategy)プロジェクト

ドイツ政府の主導のもとに、ドイツの自動車メーカーとエネルギー事業者が参加して実施する自動車燃料の選択に関する戦略プログラムである。運輸交通部門の原油依存性緩和の観点から石油代替燃料を選択し、選択された燃料の実用化戦略を立案するのが目標である。1998年5月に設立された。参加メンバーは表3-2-26のとおりである。

表 3-2-26 TES への参加団体

政府	ドイツ連邦運輸建設住宅省
自動車メーカー	DaimlerChrysler AG BMW AG Volkswagen AG Adam Opel AG MAN AG
エネルギー事業者	Deutsche Shell ARAL AG RWE-DEA AG für Mineralöl und Chemie

TESでは、2008年までにCO₂排出量の20%の削減が可能で、内燃機関と燃料電池の両方に使用可能という観点から、11種類の燃料と80以上の採掘・処理・輸送等に関するエネルギー・パスについて評価を実施した。この結果、2000年には中間評価として、水素を第1候補とし、メタノール、天然ガスを含めた3種類に石油代替燃料の候補を絞り込んでいる。財団法人日本電動車両協会（JEVA）の海外調査^{注）}によると、2001年7月には燃料を1つに絞り込み、2010年には2.5%、2020年には15%のシェアを目標とするという。代替燃料のインフラストラクチャとしては、2010年にかけて2,000ステーション、2020年には15,000ステーションが必要だと考えているという。そのためにもEUへの拡大を目指している。また、2005年から2008年にはベルリンでデモンストレーション（Berlin Project）を行うことも検討されている。

注）2001年3月にTESとの会議を実施。

(3) CEP (Clean Energy Partnership) プロジェクト^{注)}

CEP (Clean Energy Partnership) プロジェクトは、ベルリンにおける FCV および水素自動車の実証走行試験プロジェクトである。表 3-2-27 の車両メーカーとエネルギー供給メーカーが参加する。再生可能エネルギーから作られた水素を用いたクリーンで持続可能な交通手段の実証を目的とする。水素ステーションは、ドイツ連邦政府の資金援助を受けて作られる。CEP プロジェクトのスケジュールを図 3-2-15 に示す。

表 3-2-27 CEP プロジェクトパートナー

燃料供給施設	BP / Aral	ステーション
	GHW	Electrolyser
	Linde	液体水素タンク
走行車両	BMW	4 台：水素自動車
	DaimlerChrysler	8 台：FCV
	Ford	4 台：FCV
	GM / Opel	1 台：FCV

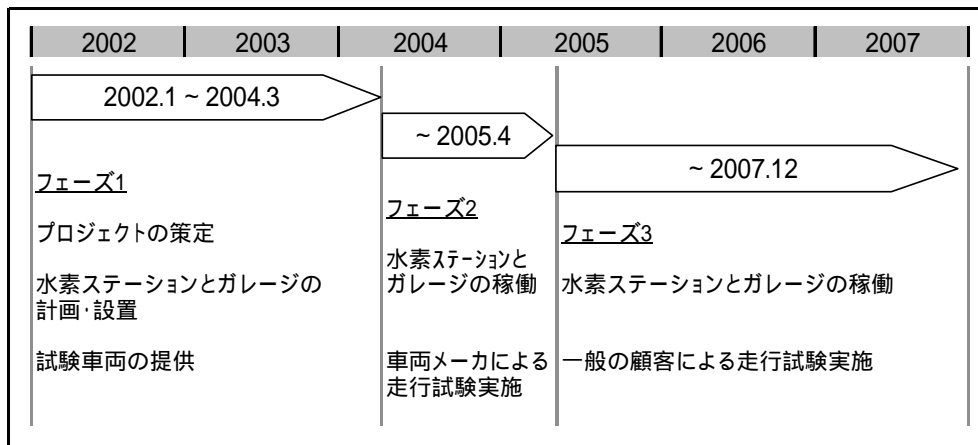


図 3-2-15 CEP プロジェクトのスケジュール

注) (財) 日本自動車研究所「平成 15 年度燃料電池自動車実証試験に関する海外調査」など。

3-2-5 アイスランドにおける取組み

アイスランドの燃料電池政策は、豊富な水力・地熱発電から得られる電気による水素の生産と、これを石油など化石燃料に代わるエネルギー源として使用する“水素経済立国”構想に集約される。

(1) エネルギーの生産と消費

アイスランドの水力発電の潜在能力は、推定年間約 64TWh で、うち技術的かつ経済的に利用可能なのは年間 40～45TWh となっている。環境面も考慮すると年間 25～30TWh が利用可能だが、実際に現在利用されているのは 6.5TWh である。

一方高温地熱地域からの潜在発電能力は推定年間 15TWh で、現在の地熱発電能力は年間 1.3TWh となっている。地熱および水力発電はアイスランドの一次エネルギー消費の 65%以上を占め、発電ではほぼ 100%である。

利用されている地熱エネルギー(発電用に用いられる蒸気は除く)の 75%が暖房用で、暖房需要の 86%以上を賅っている。

アイスランドの国民一人当たり一次エネルギー消費量は 8.6toe で、OECD 諸国で第一位、また消費されている石油の 86%が漁業と輸送部門で占められる。

(2) アイスランドの水素経済立国構想

アイスランド政府は、国民と経済界からの支持を背景に、アイスランドを世界で初めての“水素経済立国”とし、石油依存からの完全脱却を図ろうとしている。

2000年の記者会見でグリムソン大統領は、「アイスランドは経済全体に水素が普及する、恐らく世界で唯一の国になる」と述べ、スベルスドッティル産業通商相は、「政府の政策は再生可能資源の利用拡大を促進すること。経済的に可能であれば、水素の利用こそ我々の政策にかなうものだ」と語っている。また水素プロジェクトを勧告した議会の検討委員会委員長であるフジャルマール・アーナソン議員は、インタビューに答えて、「現在肥料分野で年間 2,000 トンの水素を生産。メタノールからの水素生産は現実的でなく、毒性評価の課題などもある。国内の NATO 基地(米軍が管理)を“水素基地”にすべきだ。水素は世界中に新しい産業の振興を促す」と語っている。

現在アイスランドを走っているすべての自動車に水素を用いると、アイスランドの温室効果ガス排出は 33%削減し、漁船も対象にすると 66%削減するといわれている。さらにメタノールの使用では 40%削減するという。輸送および漁業部門で必要とされる水素の量は、推定 8～9 万トンで、この量の水素生産に必要な電力は、年間 4～5TWh(利用できる再生可能エネルギーの 8～10%)とされている。

水素による発電から得られる電力のコストは、最終的には 1kWh 当り 2 セント(世界で最も安い電気)と見積られ、“水素経済立国”へのジャンプ台はこの安価な再生可能資源にある。

水素経済立国構想のステージとシナリオを表 3-2-28，図 3-2-16 に示す。

表 3-2-28 アイスランドにおける水素経済立国構想

段階	内容	時期
第一段階	PEFC バスのデモンストレーション・プロジェクト： レイキャビクにおける 3 台の DaimlerChrysler 社製バス	2002-
第二段階	レイキャビク市の市営バスを漸次 PEFC バスに交換していく	
第三段階	メタノール燃料 PEFC 乗用車の導入	2003-2004 (2 年ほど遅れる見込み)
第四段階	PEFC 船舶のデモンストレーション・プロジェクト： 水素を搭載した実験的燃料電池船舶 1 隻を製作	2006-
第五段階	漁船を漸次 PEFC 船舶に交換していく	
水素経済の完成		2030-2040

The Iceland's Vision

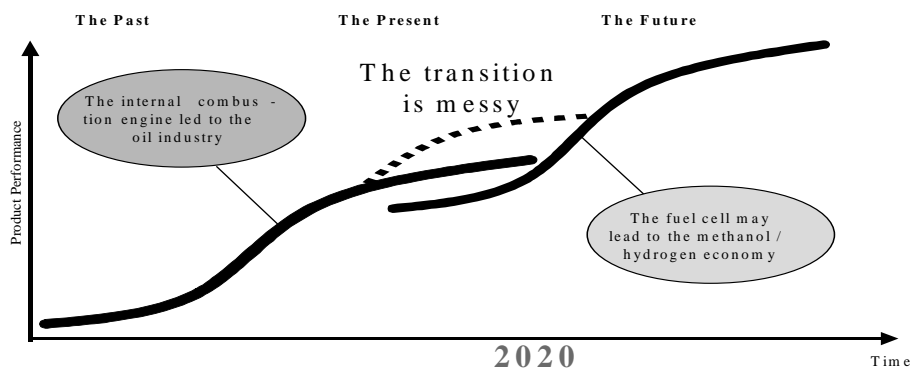


図 3-2-16 アイスランドの“水素経済”立国のシナリオ

出典：(財)新エネルギー財団「平成 13 年度 新エネルギー等導入促進基礎調査 - 燃料電池実用化現状・動向調査」平成 14 年 3 月 (以下「2001 年度 NEF『FC 動向調査報告書』」と記す)

この「水素経済立国」構想の推進のため、1999 年、DaimlerChrysler 社、Shell Hydrogen 社、Norsk Hydro 社、ならびにアイスランド企業・大学等 8 組織の合併によって、Icelandic New Energy 社が設立された。

計画の第 1 段階として、2001 年 3 月から燃料電池バスのデモンストレーションプロジェクト ECTOS (Ecological City Transport System) が始まっている (車両デモンストレーションは 2002 年から開始)。これは 3-2-3 節に示す欧州 FC バス実証走行プロジェクトとして位置づけられている。

3-2-6 カナダにおける取組み

(1) カナダ天然資源省 (NRCan) による取組み

天然資源省が中心となって以下のような取組みが行われている。

1) 燃料電池研究開発プログラム (National Fuel Cell Research Initiative)

天然資源省は、「燃料電池研究開発プログラム (National Fuel Cell Research Initiative)」を開始しており、以下の3つの項目に30百万カナダドル(約24億円)が投入されている。

NRC-IFCI (The NRC Institute for Fuel Cell Innovation)^{注)}の燃料電池ラボ
設置と燃料電池自動車・バス用インフラの設置
中規模・小規模企業への燃料電池研究開発支援
大学への燃料電池研究開発支援

2) CTFCA による燃料電池実証プロジェクト

「カナダ燃料電池自動車・燃料電池バスアライアンス (Canadian Transportation Fuel Cell Alliance : CTFCA)」は、2001年にカナダの「温室効果ガス削減行動計画2000」に基づき設立された団体であり、燃料電池車のための水素供給インフラの開発を主な目的とした団体である。天然資源省はこの活動に2005年までの5ヵ年で2,300万カナダドルを投入する予定である。また、これらの資金から、1,720万カナダドルが水素供給インフラの実証試験、PEMFCバックアップ電源、PEMFC産業用車両や小型水素製造装置の開発など9つのプロジェクトに投入される予定である。

3) 「Hydrogen Highway」プロジェクト

「Hydrogen Highway」プロジェクトは、NRC、Methanex、BC Hydro、Powertechと天然資源省がパートナーとなり、Fuel Cells Canada (FCC) が事務局となってCTFCAプログラムの一環として取組みが進められている。このプロジェクトは、ブリティッシュ・コロンビア (BC) 州における水素・メタノール供給インフラと、米国カリフォルニア州リッチモンドの施設をも含め、施設相互を結ぶパイプラインネットワークを構築する構想である(図3-2-17)。BC州では、Vancouver および Surrey、Victoria、Squamish、Whistler Village に供給インフラを整備する予定である。Whistler Village は、2010年におこなわれる冬季オリンピック開催地である。

注) 後述。



図 3-2-17 Hydrogen Highway プロジェクト

出典：平成 15 年度水素・燃料電池実証プロジェクト JHFC セミナー資料

(2) 産業省

産業省は競争力のあるカナダ経済の発展を目指す自らの使命の一環として、産業界の新しい技術開発を支援する。

同省にあってこの任に当たっているのが、技術パートナーシップ・カナダ (TPC) である。2002 年 2 月現在、TPC は、環境技術、先進技術 (製造加工、バイオ、情報技術など) および航空宇宙・防衛の 3 つの分野に対して、合計 150 件、総額約 17 億カナダドルを投資しているが、燃料電池関係に関しては、そのほとんどは自動車用燃料電池であると思われる。上述の天然資源省の 1998/1999 年度のプロジェクトに対して産業省が 200 万カナダドルを出資しているが、これもおそらく自動車用燃料電池開発に対するものと思われる。

TPC はまた、1999 年にカナダ国立研究審議会 (後述) 内に設立された全国燃料電池研究革新プログラムに参加している。

TPC の最近の燃料電池関係の動きとしては、デュポン・カナダによる携帯電話やコンピュータ用燃料電池部品開発プロジェクトに 1,900 万カナダドルを投資 (販売ベースのロイヤリティ返済) することを発表したことが挙げられる。

(3) カナダ国立研究審議会 (National Research Council Canada: NRC)

次世代技術の研究開発を行うカナダ国立研究審議会 (NRC) はカナダ各地に 19 の研究所を有し、4,000 名のスタッフがいる。NRC 管轄の研究所の役割は、研究所がある近隣の地域で開発された技術を支援して成果につなげる支援を行うことである。燃料電池および水素貯蔵/水素供給分野におけるカナダの国際競争力を一層向上させるため、産学官

が連携した「NRC 燃料電池プログラム」がスタートしている。NRC-IFCI(NRC Institute for Fuel Cell Innovation)がこの「NRC 燃料電池プログラム」のコアとなっている。

この「NRC 燃料電池プログラム」の研究対象は、PEMFC、SOFC、マイクロFC、システムインテグレーション、FCの試験・評価であり、基礎研究から技術開発までを行う。

(4) カナダにおける水素関連プロジェクト

1) Vancouver Fuel Cell Vehicle Project(VFCVP)^{注1)}

2004年春ごろから、FCC、フォード、NRCan(カナダ天然資源省)、NRC-IFCI、BC州政府による燃料電池車プロジェクト(Vancouver Fuel Cell Vehicle Project)が開始の予定である。5年間のFCV実証走行試験で、場所は、バンクーバー、ヴィクトリア、ウィスラーである。予算は5年間で800万カナダドル(燃料代は除く)で、主としてNRCから提供される。

実証走行試験に使用するのは、Ford Focus FCV(フォードの第3世代燃料電池車)5台であり、水素貯蔵設備はDyNETEK(燃料タンクメーカ)、燃料電池はBallardが提供し、FCCが全体をとりまとめる。

FCVのユーザはNRCan(カナダ天然資源省)、BC州政府、NRC、FCCである。また、バンクーバー市、大学、自治体、公益企業などにもサブリースを行う予定である。

2) CH₂IP(Canadian Hydrogen Infrastructure Program)プロジェクト^{注2)}

CH₂IPプロジェクトは、高圧水素システムのデザイン、デモンストレーション、データ収集のために設立されたプロジェクトである。プロジェクトはBC州政府、BC Hydro(BC州出資の電力会社)が主体となり、水素供給会社(Stuart Energy)、水素タンクメーカ(DyNETEK)、石油会社、自動車メーカが参加している。

デモンストレーションはStep ~ Step に分かれており(表 3-2-29)、70MPaの水素ステーションの開発と実証を目指している。2003年第3四半期までに水素ステーションの設置が完了し、2004年までにデモンストレーションを完了する予定である。ただし、進展にあわせて期間変更する可能性もある。予算は2,300万ドル(米ドル)で、カナダ政府からそのうちの30%の資金提供がある。残りは参加企業で負担している。デモンストレーションには行政サイドも参加するので、水素の運用の認可の点でも問題はない。プロジェクトは将来の水素社会に対する知見と一般PRを兼ねている。

表 3-2-29 CH₂IPプロジェクトの概要

Step	35MPa 水素ステーションを中心としたデモンストレーション
-------------	---------------------------------------

注1) (財)日本自動車研究所「平成15年度燃料電池自動車実証試験に関する海外調査」

注2) 2002年度JEVA海外調査報告書および『(財)日本自動車研究所「平成15年度燃料電池自動車実証試験に関する海外調査」』

<ul style="list-style-type: none"> ・ 水素ステーションに設置された水素製造装置は水電解式で、24 時間稼働可能（24kg / 日）。コンプレッサは 2 台設置されている。 ・ 現在デモンストレーションに使用している充填システムは、水素 100%の他に、水素 30%・CNG70%の混合ガスも供給できる。
Step 70MPa 水素ステーションの開発と実証 <ul style="list-style-type: none"> ・ 35MPa 水素ステーションを 70MPa に改良し、世界初の 70MPa ステーションの実現。 ・ 35MPa から 70MPa まで加圧するコンプレッサを設置。 ・ 現在 82.5MPa のシリンダタンクを開発・テスト中で、Step までに完成予定。 ・ 70MPa の充填システムを外部のメーカーと開発。
Step 水素輸送を前提とした低コスト水素ステーションのデモンストレーション <ul style="list-style-type: none"> ・ PowerTech のオフィスに 70MPa 水素ステーション(サテライトステーション)を設置。 ・ サテライトステーションでは水素製造を行わず、トレーラーによる水素輸送をデモンストレーションする(バンクーバーから輸送)。トレーラーは高圧コンテナ(最大 82.5MPa)を搭載し、移動式ステーションとしても使用可能。

3) Hydrogen P700 プロジェクト^{注)}

Hydrogen P700 プロジェクトは、高圧水素容器および付属品を含む一連のシステムを Powertech 社 (BC Hydro 社出資の研究会社)、JFE コンテナ (旧鋼管ドラム) が事務局となり、各国の自動車メーカー、容器メーカー、部品メーカーが 70MPa 仕様の燃料電池車用水素容器やバルブ等の開発を民間の自動車メーカーの基金で実施するプロジェクトである。スポンサー OEMs である自動車メーカーとしては、トヨタ、日産、DaimlerChrysler、Ford、Peugeot、Hyundai の 6 社が参加している。また、容器メーカーは Dynetek 社を含めた 3~4 社、バルブ、レギュレータ等の部品メーカー 10 社程度が参加している。

このプロジェクトはフェーズ 1~3 に分かれており、以下の取組みを行っている。

- ・ フェーズ 1 では、容器容量を統一し、容器、バルブ等の基礎技術の開発を行う。
- ・ フェーズ 2 では、各自動車メーカーの要求 (容器サイズや形状、バルブ仕様など) を取り入れた開発を行う。
- ・ フェーズ 3 では、規格・標準化に取り組み、ルール作りを目指す。

このプロジェクトは 2004 年半ばまで実施の予定である。

3-2-7 海外のその他の燃料電池車デモンストレーションの現状と計画

海外の主な燃料電池車デモンストレーションプロジェクトを表 3-2-30 に示す。開発された純水素を燃料とする FC バスがすでに米国シカゴ、カナダのバンクーバー、ドイツのシュツットガルト市内で試験的に利用された。今後は、CaFCP や欧州で、交通事業者による FC バスの実証走行試験が予定されている。また、ベルリンの市バス当局では 2020 年までにすべての市バスを FC バスに切り替えると発表した。そのほか、ハンブルクの市

注) (財)日本電動車両協会「平成 13 年度燃料電池自動車に関する調査報告書」平成 14 年 3 月 (以下「2001 年度 JEVA 『FCV に関する調査報告書』」と記す)

バス当局も 2005 年から FC バスの導入を検討している。

また，GM は 2003 年よりワシントン DC において，実証走行試験を計画している。

表 3-2-30 海外の主要なデモンストレーションプロジェクト

プロジェクト名	実施都市・場所	実施年	車種
アメリカ			
バスプロジェクト	Washington DC GT Univ.市内	1995	DOE PAFC バス (メタノール改質形)
バスプロジェクト	Chicago 市バス	1998	Ballard FC バス
空港プロジェクト	Palm Springs 空港	1998	PEFC Utility car
パームデザートプロジェクト	Palm Desert 市内	1998	個人用小型車，ゴルフカート
CaFCP	Sacramento	2000-2007	FC 乗用車，FC バス
DOE デモンストレーションプログラム	California 州中心	2004-2008	FC 乗用車
CaFCP バスデモンストレーション	Richmond , Oakland , Santa Clara , Palm Springs	2004-2005	FC バス (UTC-FC 製スタック 4 台 ,Ballard 製スタック 3 台)
GM ワシントン DC デモンストレーションプロジェクト	Washington DC	2003 (第 2 四半期) -2005	GM HydroGen3
カナダ			
バスプロジェクト	Vancouver 市バス	1998	Ballard FC バス
バンクーバー-FC 自動車プロジェクト (VFCVP)	Vancouver , Victoria , Whistler Village	2004 ~	Ford Focus FCV
ドイツ			
NEBUS デモンストレーション	Stuttgart 市バス Hamburg 市バス	1998	D-Benz NEBUS
バスプロジェクト	Oberstdor	1999	Neoplan FC 路線バス
バスプロジェクト	Erlangen 市バス	1999	MAN/Siemens バス
CEP プロジェクト (Clean Energy Partnership)	Berlin	2002-2007	FC 乗用車 : DaimlerChrysler GM/Opel , Ford 水素自動車 : BMW
アイスランド			
ECTOS	Reykjavik	2003-2005	DaimlerChrysler CITARO (CUTE と連携)
EU			
CUTE プロジェクト	Amsterdam Barcelona , Hamburg London , Luxembourg Madrid , Porto Stockholm , Stuttgart	2002-2005	DaimlerChrysler CITARO (ECTOS と連携)
CITYCELL Demo. Project	Torino ,Madrid ,Paris	2002-2006	FIAT と IRISBUS が共同開発した FC バス : CITYCLASS HS-FC BUS CRISTALIS HS-FC BUS

出典：水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET) サブタスク 7 水素利用技術に関する調査・検討 (平成 11 年 3 月)，燃料電池実用化戦略研究会報告書 (平成 13 年 1 月 22 日)，2001 年度 JEVA 海外調査報告書，(財)日本電動車両協会「平成 14 年度燃料電池自動車実証試験に関する海外調査」，2002 年度 NEF「FC 動向調査報告書資料編」，(財)日本自動車研究所「平成 15 年度燃料電池自動車実証試験に関する海外調査」を基に作成

GM がワシントン DC で実施している FCV デモンストレーションプロジェクト (GM

Washington DC Demonstration Project)^{注)}の概要を表 3-2-31 に示す。本デモンストレーションでは、燃料として液体水素と圧縮水素の両方を使用する。現状では、圧縮水素の圧力は 350bar であるが、700bar にする予定である。なお、資金については、GM が主体となり、政府からの資金援助は受けない方針である。

表 3-2-31 GM Washington DC Demonstration Project の概要

名称	GM Washington DC demonstration Project (GM WDC Project)
目的	利害関係者(政府機関, NGO, 大学関係者, 一般市民)に対する水素・燃料電池技術のデモンストレーション
期間	2003 年(第 2 四半期) ~ 2005 年
FCV 台数	6 台(GM HydroGen3) 2004 年 1 月までに 4 台が導入済み。 2004 年春までに 2 台が導入される予定。
水素の車載形態	液体水素, 圧縮水素
参加企業	GM(FCV の開発, デモンストレーションの実施) Shell (水素ステーションの設置)
資金	GM が主体(Shell は水素ステーションの建設のみ) 注: 政府からの資金援助は受けない方針

3-2-8 海外の水素ステーションの開発状況

表 3-2-32, 表 3-2-33 に世界の水素供給インフラの一覧を示す。

直接水素方式の FC バスや水素エンジン車等を実用的デモに使用している米国, カナダ, ドイツでは、各種の水素ステーションが設置されている。その方式は、その地域における水素供給源の状況により最適のものが採用されている。これらはオンサイトで水素を製造する方式と、工場で製造した水素を運搬する方式とに大別される。(表 3-2-34)

注) 2003 年度 JARI 海外調査報告書

表 3-2-32 水素自動車用水素供給インフラの開発一覧(その1)

プロジェクト名	概要	国 / 参加団体
CaFCP (California Fuel Cell Partnership)	行政、自動車メーカー、燃料供給メーカー等が参画。2000年、カリフォルニア州サクラメント市に高圧水素供給ステーションを建設し、2002年4月にはメタノール改質型水素供給ステーションを設置。2002年10月には、サテライトステーションとして、リッチモンドに水電解式水素供給ステーションを設置。	アメリカ / CARB, CEC, DOE, DOT, EPA, SCAQMD, Ford Motor, DaimlerChrysler, GM, Toyota, Honda, Nissan, Volkswagen, Hyundai B.P, Shell, ChevronTexaco, ExxonMobil Ballard, UTC-FC 他
The Clean Air Now Solar Hydrogen Vehicle Project	太陽光発電 水電解 水素貯蔵(高圧ガス) 水素ステーション 水素トラックの一環として研究開発。Ford Ranger 改造水素エンジン車。	アメリカ / Clean Air Now, DOE, SCAQMD, Xerox 他
シカゴ市 バスプロジェクト	液体水素貯蔵タンク(9000ガロン=34m ³)。気化させた水素ガスをコンプレッサ加圧して車両に供給。Ballard製燃料電池システム搭載のバス3台。	アメリカ / Chicago Transit Authority, Ballard Power Systems, Air Product, Hydrogen Components
オーガスタ バスプロジェクト	工業用圧縮水素ガス供給。車両搭載は水素吸蔵合金タンク。水素エンジンハイブリッド小型バス。	アメリカ / DOE, Augusta Public Transit 他4社
パームスプリングス 空港プロジェクト	空港近傍に工業用圧縮水素ガス供給。空港で2台の水素燃料電池車の運転。	アメリカ / SCAQMD, SBIR, Schafer Corporation
パームデザート プロジェクト	太陽電池式水素ステーション。複数台の水素燃料電池車の運転。	アメリカ / DOE, Schatz Energy Research Center, Humboldt State UNV.
ラスベガス市 水素ステーション・実証 走行試験プロジェクト	水素、バイオディーゼル、ブレンド燃料(水素と天然ガス)を供給するステーションを建設し、各燃料用車両の実証走行試験を行っている。	アメリカ / DOE, Las Vegas, Air Products, Plug Power
バンクーバー市 バスプロジェクト	水電解による水素をコンプレッサで加圧し車両に充填。Ballard製燃料電池システム搭載のバス3台の運行。	カナダ / カナダ政府, BC Hydro, BC Transit, Ballard, Electrolyser
CH ₂ IP プロジェクト (Canadian Hydrogen Infrastructure Program)	高圧水素システムのデザイン、デモンストレーション、データ収集を行う。2004年から35MPa圧縮水素供給ステーション(水電解式)を中心に実証を行う。その後、35MPaを改良して70MPaの水素供給ステーションを開発し、実証を行っていく。	カナダ / ブリティッシュコロンビア州, BC Hydro, PowerTech, Stuart, Dynetek 他
欧州バスプロジェクト (CUTE, ECTOS)	Ballard製圧縮水素FCバスに充填。8カ国10箇所の圧縮水素供給ステーション。再生可能エネルギーによる水電解型、副生水素型、天然ガス改質型のステーション。2箇所は既存ガソリンスタンドに併設。	欧州 / 各都市の交通事業者, DaimlerChrysler, Ballard, EvoBus, BP, Shell Hydrogen, AirLiquid, Xcellsis, 他
ミュンヘン空港の車両 水素化計画	空港内で使用するバスや業務用車両を水素自動車に。空港内に液体水素、圧縮水素供給ステーション、水素製造設備、貯蔵設備を設置。	ドイツ / バイエルン州政府, 民間企業

出典：丸善株式会社「電気自動車ハンドブック」(平成13年3月)、(財)日本電動車両協会「平成14年度燃料電池自動車実証試験に関する海外調査」、2002年度NEF「FC動向調査報告書資料編」を基に作成

表 3-2-33 水素自動車用水素供給インフラの開発一覧(その2)

プロジェクト名	概要	国/参加団体
SWB (Solar-Wasserstoff-Bayern)	液体水素を供給するステーション開発。 LH ₂ スプレー方式による燃料充填。ディスペンサーと車両タンクとの連結を含む充填時間はLH ₂ 100L 当り約 3 分。充填中のボイルオフはほぼゼロ。液体水素槽容量：3,000L	ドイツ/バイエルン州政府,民間企業, BMW, Linde, Siemens
NEBUS デモンストレーション (New Electric Bus)	燃料として産業用水素ガス使用。 Ballard 製燃料電池システム搭載バスの運行。	ドイツ/シュツットガルト市, Daimler-Benz
W.E.I.T (Wasserstoff-Energy-Iceland-Transfer)	産業用余剰水素を供給 (Dow Chemical) 6 台の水素エンジンバン (Benz Sprinter を改造) をメールオーダー会社 (Hermes Versand Service) の配送車として使用。	ドイツ/ハンブルクの電力, ガス, 輸送他の企業 13 社
エアランゲン市の 水素エンジンバス運行	液体水素を供給するステーション。 EQHPP (Euro-Quebec Hydro-Hydrogen Pilot Project) で開発した水素エンジンバス (MAN 製) を市バスとして導入。	ドイツ/エアランゲン市
(参考: 国内) WE-NET 水素利用国際クリーン エネルギーシステム技術	2002 年 2 月に大阪市に天然ガス改質型, 高松市に固体高分子電解質水電解型の水素供給ステーションを建設。 2002 年 8 月横浜市に副生水素利用の鶴見水素ステーション建設。(2003.9.16 に JHFC に移管) 水素供給圧力: 高压: 35MPa, 25MPa 低压: 1MPa 貯蔵容量: 60Nm ³ 製造能力: 30Nm ³ /h	NEDO, エンジニアリング振興協会, 岩谷産業, 日本酸素, 大阪ガス, 四国総合研究所, 鶴見曹達
JHFC プロジェクト	2002 年に東京, 横浜を中心とした 6 箇所に圧縮水素供給ステーションを設置。2003 年にはさらに 4 箇所に設置し (うち 1 箇所は WE-NET からの移管), 燃料電池自動車への燃料供給実証実験を展開。2005 年度まで継続される。詳細は 3-3 (8) 参照。	日本自動車研究所, エンジニアリング振興協会, 新日本石油, コスモ石油, 昭和シェル石油, 東京ガス, 岩谷産業, ジャパン・エア・ガシズ, 日本酸素, 新日本製鐵, 栗田工業, シナネン, 伊藤忠エネクス, 出光興産, パブコック日立, 鶴見曹達, 自動車メーカー他

出典: 丸善株式会社「電気自動車ハンドブック」(平成 13 年 3 月), (財)日本電動車両協会「平成 14 年度燃料電池自動車実証試験に関する海外調査」, 2002 年度 NEF「FC 動向調査報告書資料編」を基に作成

表 3-2-34 水素ステーションの形式

	水素製造	貯蔵	水素供給	実績
オフサイト製造	1. 外部工場生産（ガス）	高压容器	圧縮ガス	London , LA-Xerox
	2. 外部工場生産（液体）	液体水素	圧縮ガス	Chicago , Ford , Sacramento
	3. 外部工場生産（液体）	液体水素	液体水素	München
	4. 副生水素（液体）	液体水素	液体水素	JHFC
	5. 副生水素（液体）	液体水素	圧縮ガス	JHFC
	6. 副生水素（ガス）	高压容器		Hamburg
オンサイト製造	7. 太陽電池・AL水電解	高压容器	圧縮ガス	Palm Desert
	8. 太陽電池・PEM水電解	高压容器		
	9. 商用電力・AL水電解	高压容器		Vancouver , Palm.Sp.
	10.メタノール改質	高压容器		JHFC
	11.天然ガス改質	吸蔵合金		Palm.Sp , WE-NET
	12.脱硫ガソリン改質	高压容器		JHFC
	13.ナフサ改質	高压容器		JHFC
	14.LPガス改質	高压容器		JHFC
	15.灯油改質	高压容器		JHFC
	16.商用電力・PEM水電解	吸蔵合金		WE-NET
	17.ランドフィルガス改質	高压容器		

出典：燃料電池実用化戦略研究会報告書（平成13年1月22日）等を基に作成

3-3 海外自動車メーカーにおける開発状況

3-3-1 海外自動車メーカーにおける燃料電池車の開発状況

海外自動車メーカーにおける FCV の開発状況等を整理したものを表 3-3-1～表 3-3-3 に示す。

表 3-3-1 海外自動車メーカーにおける燃料電池車の開発状況(その 1)

自動車メーカー	概要	協力メーカー
DaimlerChrysler	<ul style="list-style-type: none"> 燃料電池スタックは Ballard, 燃料電池システムは Xcellsis が開発を担当。 メタノール改質形 FCV や直接水素形 FC バスを開発, デモ運転実施。 2000 年, メタノール改質形 FCV 「Necar5」(表 3-3-4), 「ジープコマンダー2」を発表。 2001 年, 日本で「Necar5」の公道走行試験を実施。約 1,300km 走行。 2001 年 7 月, ドイツの配送業者 Hermes Versand Service 社と協同で, 直接水素形 FCV 「Sprinter」(表 3-3-5) の 2 年間のフィールドテストを行うと発表。 2001 年 12 月, Millennium Cell 社の技術である, NaBH₄ の水素貯蔵システムを使った「Town & Country Natrium」を発表(表 3-3-6)。 2002 年 10 月, 高圧水素形 FCV の量販モデルである「F-Cell」(Ballard 製スタック)を発表(表 3-3-7)。2003 年から, 欧州, 米国, 日本, シンガポールにおいて, 合計 60 台を限定的に市場導入し, 日常利用の実証を行う予定。販売方法はリース方式。 同時に高圧水素形 FC バス「CITARO」(Ballard 製スタック)を発表(表 3-3-8)。2003 年から, 欧州 10 都市の交通事業者に合計 30 台を販売し, 通常の路線運転に導入するテストを行う予定。 2003 年 3 月, 「F-Cell」が日本で大臣認定を取得。JHFC プロジェクトに参加し, 公道走行実証試験を開始。 市販用「F-Cell」の二次電池に, 三洋電機製ニッケル水素電池を搭載。 FC バス「CITARO」をスペイン・マドリード市に納入し商業運転を開始。 2003 年 6 月, 米国の宅配業者に, HEV や FCV を提供すると発表。 2003 年 10 月, 東京ガス, プリヂェストンとの間で, 「F-Cell」の使用に関するパートナーシップ契約を締結したと発表。2 社は, 月額基本料 120 万円を支払い, 事業活動に使用する。同年 12 月に東京ガスに納入。 	Ballard, Ford, Millennium-Cell
Ford	<ul style="list-style-type: none"> DOE/PNGV 計画で, 50kW 直接水素形燃料電池の開発に参加。燃料電池は IFC 社が担当した。 1999 年 12 月, 燃料電池に関して, DaimlerChrysler, Ballard と提携, 共同で開発を進める。 2000 年, 高圧水素形 FCV 「Focus FCV」を発表。 2000 年, EVS-17 において高圧水素形 FCV 「P2000」を試乗車として提供。 2002 年 4 月, 新型の高圧水素形 FCV 「Focus FCV」(Ballard 製スタック)を発表(表 3-3-9)。試験的に 5 台を顧客に提供した。 2003 年から 2004 年にかけて「Focus FCV」を販売していく予定。 	DaimlerChrysler Ballard, マツダ
ブジョーノ シトロエン	<ul style="list-style-type: none"> 1996 年から欧州燃料電池開発プロジェクトに参加。 2001 年 7 月, Millennium Cell 社の水素貯蔵システムの供給を受け, 共同開発の可能性あり。 2001 年 12 月, 仏原子力庁(CEA), 国立科学研究所(CNES)と自動車向け燃料電池の開発で提携。 	CEA, CNES
ルノー	<ul style="list-style-type: none"> フィーバープロジェクトへの参画。 液体水素を燃料とした燃料電池車の開発。ニッケル水素電池を補助電源として採用。 日産とは, 2002 年 2 月に UTC Fuel Cells とともに燃料電池スタックの基礎技術部分を共同開発し, 改質器などの部分についてはそれぞれが独自に手がけることで合意。 	日産

出典：2002 年度までの JEVA 海外調査報告書, 2003 年度 JARI 海外調査報告書, プレスリリース, 新聞記事等を基に作成

表 3-3-2 海外自動車メーカーにおける燃料電池車の開発状況(その2)

自動車メーカー	概要	協力メーカー
Volkswagen / Volvo	<ul style="list-style-type: none"> Capri プロジェクトを機会に燃料電池の研究開発を開始。 メタノール改質形燃料電池車の開発。Johnson Matthey 社製メタノール改質器を採用。 2000年11月、液体水素形FCV「Bora HyMotion」でCaFCPに参加。 2002年2月、純水素方式の「HY.Power」を試作(PSI製FCスタック)。 	Johnson Matthey
Zevco	<ul style="list-style-type: none"> アルカリ形燃料電池を利用した燃料電池タクシー(出力5kW)を実走行(1998年、ロンドン)。 	Shell
BMW	<ul style="list-style-type: none"> 水素エンジン自動車の補機用電源として燃料電池の採用を検討。 Delphi と SOFC を共同開発。 	UTC-FC, Delphi
GM (オペル)	<ul style="list-style-type: none"> DOE/PNGV 計画で、30 kW メタノール改質形燃料電池の開発に参加。燃料電池は Ballard 社が担当した。 1997年、メタノール改質形「Zafira」を発表。 FCV 開発で、トヨタと共同研究実施。 米国ではガソリン改質形FCV、欧州では液体水素形FCVを中心に開発。ガソリン改質技術でExxon, BPと共同研究。 2000年デトロイトモーターショーで「Precept」(水素吸蔵形)を発表(表3-3-10)。 2000年ジュネーブモーターショーで「Zafira(液体水素)」を発表。シドニーオリンピックマラソン競技のベースカーに採用。北京で試乗会を開催。 2001年1月、Clean Hydrocarbon Fuelを研究の主要な候補とすることでトヨタと合意。 2001年6月、水素貯蔵技術でQuantumと提携。 2001年6月、水素インフラの構築に関わる分野でGeneral Hydrogenと提携。 2001年8月、ガソリン改質形FCV「Chevrolet S-10」を発表(表3-3-11)。 2001年10月、スズキと燃料電池車を共同開発することで合意。 2001年フランクフルトモーターショーで、補助電源を必要としない液体水素FCV「HydroGen3」のプロトタイプ車を公開。 2001年10月、Hydrogenics(加)に資本参加、Giner(米)との提携関係を拡大。 2002年1月、液体水素FCV「HydroGen3」を発表(表3-3-12)。 2002年デトロイトモーターショーでボディを選べるスケートボード形FCV「AUTOmy」を発表。 2002年5月、「Chevrolet S-10」がガソリン改質形としては世界で初めてとなる試走に成功したと発表。 2002年7月、Quantumと共同で70MPaの高圧水素タンクを開発。 2002年8月、運転操作を電子制御して車両に伝えるパイ・ワイヤー技術を搭載した直接水素形FCV「HY-wire」を発表(表3-3-13)。 2002年12月、国際宅配便大手のFedEx Expressと共同で、2003年6月から、日本の東京都内で「HydroGen3」を集配業務に使い、試験走行を行うと発表。 2003年2月、「HydroGen3」シリーズのザフィーラ・ミニバンに70MPaの高圧水素タンクを搭載し、公道走行試験に成功したと発表。 2003年3月、「HydroGen3」が日本で大臣認定を取得し、JHFCプロジェクトに参加し、公道走行実証試験を開始。 同年、燃料供給インフラ技術でShell Hydrogenと提携。米国ワシントンD.C.周辺で、FCVと燃料供給インフラの共同実証実験を2003年10月から開始する予定。 2003年4月、FCVをBMW、オペルと共同で開発することを発表。2010年までにFCVの販売を目指す。 2003年5月、米国・ワシントンDCでFCVの実証運転プログラムを開始。2年間実施し、米国議会関係者や環境保護団体関係者などを対象に、最高1万回の試乗機会を提供する方針。 2003年7月、東京都内で「HydroGen3」による集配業務を開始。 2003年10月、2010年に米国、日本、欧州、中国の4地域でFCVの本格的な実用車の販売を始め、利益を確保した上で、その後10年間に100万台を販売する計画を明らかにした。 	トヨタ, ExxonMobil, BP, ChevronTexco, Quantum, General-Hydrogen, スズキ, Hydrogenics, Giner, ShellHydrogen

出典：2002年度までのJEVA海外調査報告書，2003年度JARI海外調査報告書，プレスリリース，新聞記事等を基に作成

表 3-3-3 海外自動車メーカーにおける燃料電池車の開発状況(その3)

自動車メーカー	概要	協力メーカー
Thor	<ul style="list-style-type: none"> 米国のバスメーカー Thor Industries.Inc.は、2001 年の中頃に世界に先がけて北米における中型サイズの FC ハイブリッドバス「サンダーパワー」を商品化すると発表。FC は UTC-FC が、ハイブリッド技術は ISE Reserch 社が担当。 	UTC-FC , ISE Reserch
Fiat	<ul style="list-style-type: none"> 2001 年 2 月、イタリア環境省との共同プロジェクトとして、2 人乗りの高圧水素形 FCV「SEICENTO-FCEV」を発表。 FIAT の孫会社である IRISBUS と共同で 2 種類の FC バス「CITYCLASS HS-FC BUS」(表 3-3-14)、「CRISTALIS HS-FC BUS」を開発。2003 年から行われる FC バスの実証試験 CITYCELL Demo プロジェクトに導入される。 	Nevera FC
現代・起亜自動車	<ul style="list-style-type: none"> 2001 年 6 月、Quantum 製 350 気圧の高圧水素タンクを搭載した燃料電池車が Sacramento - サンフランシスコ間を走行。 	UTC-FC , Quantum
中国	<ul style="list-style-type: none"> 2003 年 1 月、中国で初めて開発した FCV「超越 1 号」の試運転が上海の同済大学構内で行われた。これは、上海汽車、同済大学など十数の企業、研究機関が共同開発したもの。2008 年北京オリンピック、2010 年上海万博に向け、実用化を目指している。 2003 年 10 月、中国最大の自動車メーカー、第 1 汽車集団公司是、FCV に関してトヨタ自動車の技術を導入する考えを明らかにした。 	上海汽車、 同済大学 等

出典：2002 年度までの JEVA 海外調査報告書、2003 年度 JARI 海外調査報告書、プレスリリース、新聞記事等を基に作成

表 3-3-4 DaimlerChrysler Nekar5 (2000 年発表)


外 観	
全長×全幅×全高 (m)	3.605 × 1.720 × 1.575
乗車定員	5 人
最高速度	150km/h 以上
電動機種類	交流誘導
電動機最大出力	55 kW
燃料電池	固体高分子形
燃料電池出力	75 kW
燃料	メタノール
出力補助装置	ニッケル水素電池
価格	試作車

表 3-3-5 DaimlerChrysler Sprinter (2001 年 7 月発表)

外 観	
乗車定員	2 名
積載重量	800kg
最高速度	120km/h
航続距離	150km
電動機種類	交流同期
電動機最大出力	55kW
燃料電池	固体高分子形 (Ballard 製 Mark900)
燃料電池出力	55kW
燃料	圧縮水素
価格	試作車

表 3-3-6 DaimlerChrysler Town&Country Natrium (2001年12月発表)

外 観	
最高速度	80mph
航続距離	300 マイル
電動機種類	AC モーター
電動機最大出力	35kW
燃料電池	固体高分子形 (Ballard / XCELLSiS 製)
燃料	NaBH ₄
出力補助装置	40kW の Li イオン電池
価格	試作車

表 3-3-7 DaimlerChrysler F-Cell (2002年10月発表)

外 観	
全長×全幅×全高 (m)	3.785 × 1.720 × 1.590
最高速度	140 km/h
航続距離	150 km
電動機種類	誘導式
電動機最大出力	65kW
最大駆動トルク	210 Nm
燃料電池	固体高分子形 (Ballard 製 Mark902)
燃料電池出力	68.5kW
燃料	圧縮水素 (35MPa)
水素消費量	4.2 リッター / 100km (23.8km / リッター) ディーゼル換算
出力補助装置	ニッケル水素電池
価格	2003年12月からリース販売

表 3-3-8 DaimlerChrysler CITARO (2002年10月発表)

外 観	
全長×全幅×全高 (m)	全長約 12 m
乗車定員	70 人
最高速度	80 km/h
航続距離	200 km
電動機最大出力	200 kW 以上
燃料電池	固体高分子形 (Ballard 製 Mark902)
燃料電池出力	250kW
燃料	圧縮水素 (35MPa)
価格	120 万ドル (メンテナンス費用込み)

表 3-3-9 Ford Focus FCV (2002年4月発表)

外 観	
全長×全幅×全高 (m)	(全長) 4.338 × (全高) 1.758
車両重量	1,600 kg
最高速度	128 km/h
航続距離	260-320 km
電動機最大出力	65 kW
燃料電池	固体高分子形 (Ballard 製 Mark902)
燃料電池出力	-
燃料	圧縮水素 (35MPa)
出力補助装置	ニッケル水素電池 (三洋電機製)
価格	試作車

表 3-3-10 GM Precept (2000 年発表)

外 観	
燃費	108mpg
航続距離	500 マイル
電動機最大出力	85kW
燃料電池	GM 製
燃料電池出力	100kW
燃料	水素 (水素吸蔵合金)
価格	試作車

表 3-3-11 GM Chevrolet S-10 ピックアップ・トラック (2001 年 8 月発表)

外 観	
燃料電池	GM のスタック 2000
燃料電池出力	94 kW (126hp)
燃料	ガソリン改質
価格	試作車


表 3-3-12 GM HydroGen3 (2002年1月発表)

外 観	
全長×全幅×全高 (m)	4.315 × 1.750 × 1.685
車両重量	1,750 kg
乗車定員	5名
最高速度	160 km/h
航続距離	400 km
電動機種類	三相非同期モータ
電動機最大出力	60 kW
最大駆動トルク	215 Nm
燃料電池	固体高分子形
燃料電池出力	94kW (定格) / 129kW (最高)
燃料	液体水素 (68 リットル・4.6kg)
価格	試作車

表 3-3-13 GM Hy-wire (2002年8月発表)

外 観	
全長×全幅×全高 (m)	4.357 × 1.670 × 0.279
車両重量	1,900 kg
乗車定員	5名
電動機種類	三相非同期モータ
電動機最大出力	60 kW
最大駆動トルク	215 Nm
燃料電池	固体高分子形
燃料電池出力	94kW (定格) / 129kW (最高)
燃料	圧縮水素
価格	試作車

表 3-3-14 FIAT・IRISBUS CITYCLASS HS-FC BUS

外 観	
全長 (m)	12
乗車定員	73 名
最高速度	60 km/h
燃料電池	固体高分子形 (UTC-FC 製)
燃料電池出力	75kW
燃料	圧縮水素 (20 / 35MPa)
出力補助装置	鉛酸電池
価格	試作車

最も早くから本格的に FCV の開発を開始した DaimlerChrysler 社の FCV の試作車を表 3-3-15 に整理する。

表 3-3-15 DaimlerChrysler 社の燃料電池車の試作車

	開発年度	車両のタイプ	燃料
Necar1	1994 年	ミニバン (190Van)	水素 (圧縮)
Necar2	1996 年	ミニバン (V-Class)	水素 (圧縮)
Nebus	1997 年	バス	水素 (圧縮)
Necar3	1997 年	乗用車 (A Class)	メタノール改質
Necar4	1999 年	乗用車 (A Class)	水素 (液体)
Necar4A	2000 年	乗用車 (A Class)	水素 (圧縮)
Necar5	2000 年	乗用車 (A Class)	メタノール改質
Sprinter	2001 年	ミニバン	水素 (圧縮)
Natrium	2001 年	乗用車	水素化ホウ素ナトリウム
F-Cell	2002 年	乗用車 (A Class)	水素 (圧縮)
CITARO	2002 年	バス	水素 (圧縮)

3-3-2 Ballard Power Systems 社を中心とした提携関係^{注)}

カナダの Ballard Power Systems 社は、1997 年 12 月に DaimlerChrysler 社（当時は Daimler-Benz）、Ford 社と燃料電池開発連合を結成した。

2001 年に Ballard Power Systems が XCELLSiS と Ecostar を買収し、100%子会社化した。これにより、非常に込み入っていた 3 社の関係は、資本的・開発体制的にもシンプルになった。また、Ballard 社だけでコンポーネントからシステムまで開発できる体制になった（図 3-3-1）。

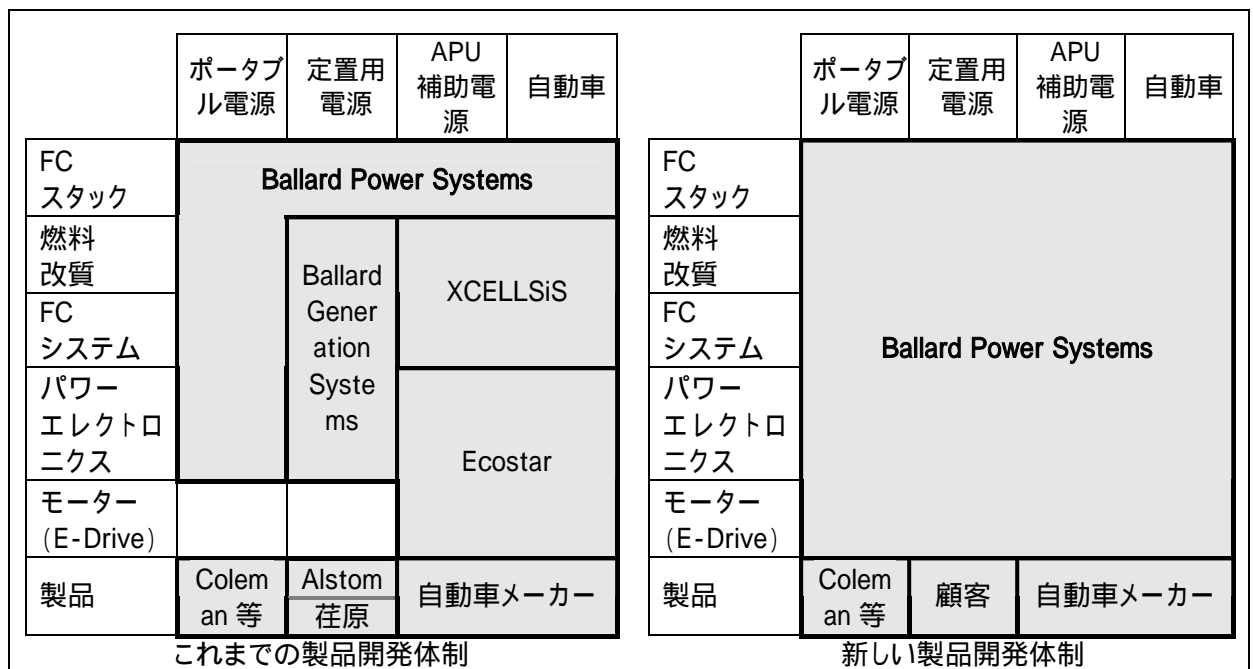


図 3-3-1 Ballard 社の開発体制の変化

注) 2001 年度 JEVA 海外調査報告書

3-3-3 欧米 PEFC 関連メーカーの事業の展開状況

表 3-3-16 に JARI 等が過年度に実施した海外調査から推定した欧米 PEFC メーカーの各コンポーネント別の製品化・開発状況を整理する。

表 3-3-16 燃料電池事業の展開 (PEFC セル関係)

(2003 年 3 月現在)

	高分子膜	触媒	GDL	MEA	ガスケット	セパレータ	MEA + セパレータ	MEA + セパレータ + ガスケット	スタック
DuPont	製品化		研究中	研究中	研究中	研究中	研究中	研究中	
3M	製品化		研究中	製品化	研究中	研究中			
BASF	研究中	研究中		研究中					
Celanese Venture	研究中			研究中					
Gore	製品化		製品化	製品化					
JohnsonMatthey		製品化		研究中					
Engelhard		製品化							
dmc2 (OM Group)		製品化		製品化					
SGL-Carbon			研究中		研究中	研究中			
Ballard Power Systems	研究中		製品化	研究中		研究中	研究中		製品化
UTC Fuel Cells				研究中		研究中	研究中		製品化
Nuvera Fuel Cells	研究中	研究中	研究中	研究中	研究中	研究中	研究中	研究中	製品化
Siemens						研究中	研究中		研究中

注：「製品化」とは、規模を問わず、専用ラインを用いて製造し、少量でも商品として販売している段階を示す。
「研究中」とは、基礎研究段階から、サンプル出荷の段階までを示す。

3-4 わが国における燃料電池車開発促進に向けた取り組み状況

3-4-1 わが国政府における取組み状況

(1) ニューサンシャイン計画

「ニューサンシャイン計画」（エネルギー・環境領域総合技術開発推進計画）は、通商産業省（現経済産業省）による国家プロジェクトであり、平成5年度にそれまで進められていたエネルギー分野に関するサンシャイン計画とムーンライト計画、および地球環境に関する技術開発制度を統合させて発足された（表3-4-1）。この計画では、地球環境問題に対し、経済成長、エネルギー、環境保全を三位一体としたバランスのとれた対策を進めるため、持続的成長とエネルギー・環境問題の同時解決を目指し、エネルギー・環境技術開発を総合的に推進した（図3-4-1）。

このうちFC発電プロジェクトについては、石油代替エネルギー技術に関する国家プロジェクトの実施機関として新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）がこれを推進した（表3-4-2）。

表 3-4-1 ニューサンシャイン計画年表

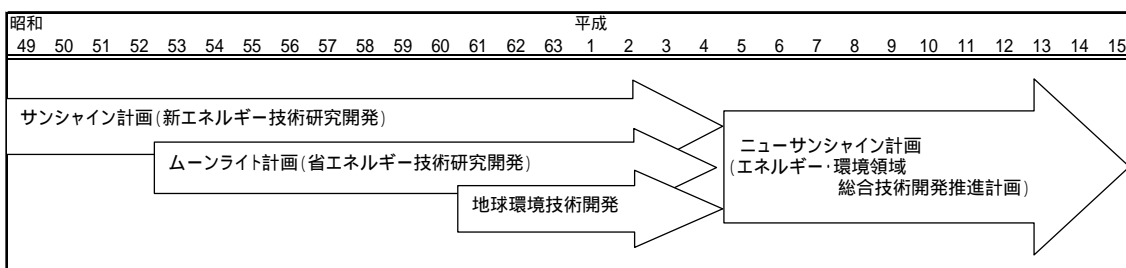


表 3-4-2 ニューサンシャイン計画における燃料電池開発の年表

プロジェクト名		昭和	平成															予算								
		56	57	58	59	60	61	62	63	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
りん酸形 燃料電池 (PAFC)	基礎研究	←	→																						不明	
	パイロットプラント開発 (200kW, 1MW)																									
	実証プラント開発 (1MW, 5MW)																									
	フィールド試験1 (50kW ~ 500kW)																									
	フィールド試験2 (50kW ~ 500kW)																									
溶解炭素塩形 燃料電池 (MCFC)	小型電池スタック開発 (10kW級)																								平成11年度 29.8億円	
	大容量電池スタック開発 (100kW級)																									
	パイロットプラント開発 (1000kW級)																									
固体酸化物形 燃料電池 (SOFC)	電池スタック開発 (100W)																								平成11年度 3.0億円	
	電池スタック開発 (数kW級1)																									
	電池スタック開発 (数kW級2)																									
固体高分子形 燃料電池 (PEFC)	電池スタック開発 (1kW)																								平成11年度 10.0億円	
	システム開発 (数 ~ 数十kW級)																									

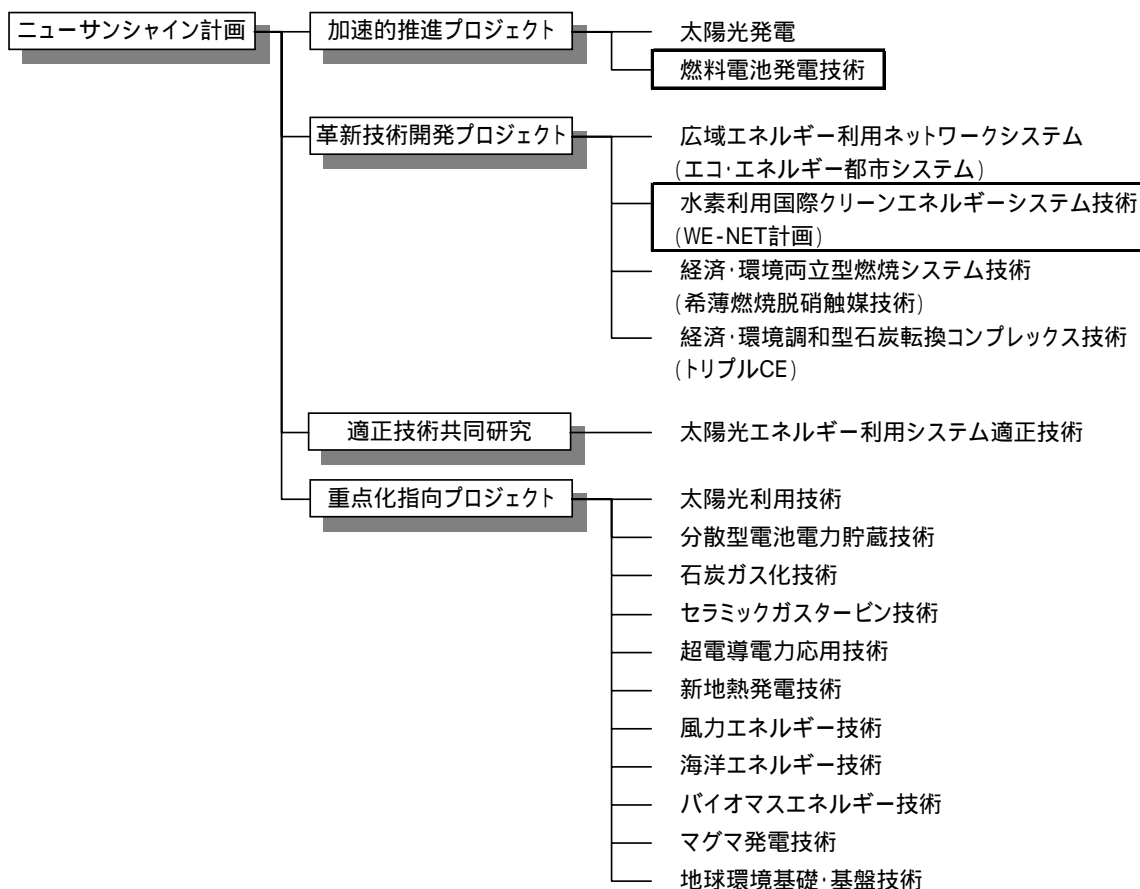


図 3-4-1 ニューサンシャイン計画におけるプロジェクトの体系

出典：通商産業省編「ニューサンシャイン計画ハンドブック」（1993年3月15日）を基に作成

(2) 水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)計画

WE-NET (World Energy Network) 計画は、ニューサンシャイン計画の一環として、平成5年よりNEDOのプロジェクトとして実施された。WE-NET計画は、再生可能エネルギーを利用して水素を製造し、これをエネルギー消費地へ輸送し、この水素をエネルギーとして利用するという世界規模のクリーンエネルギーネットワークを構築することを最終目標とした。

WE-NET計画では、1993年度～1998年度までの6年間の第1期とし、トータルシステムの概念設計と中核的要素技術を開発することを目的として進められた。1999年度からは第2期として、小規模分散型の利用技術開発に重点を置くことになった。さらにその後の燃料電池技術の急速な進展から、2001年度より「固体高分子形燃料電池/水素利用プログラム」の1つのプロジェクトとして進めていくことになった。2002年度に計画

は終了し、2003年度からは「水素安全利用等基盤技術開発^{注1)}」にとってかわり、過去10年間にわたる成果は、この新しいプロジェクトに反映されていくことになった。

WE-NET計画では、検討内容ごとに表3-4-3に示すサブタスク(第期)・タスク(第期)に分けて、検討が行われた。FCに関しては、輸送機関における水素輸送・貯蔵技術開発の一環として、「サブタスク7」(第期)において、1997年度(第期)よりFCVに関する検討が実施された。

表 3-4-3 WE-NET 計画のサブタスク・タスクの概要

第 期 1993-1998	サブタスク 1	総合評価と開発計画のための調査・研究
	サブタスク 2	国際協力推進のための調査・検討
	サブタスク 3	全体システム概念設計
	サブタスク 4	水素製造技術の開発
	サブタスク 5	水素輸送・貯蔵技術の開発
	サブタスク 6	低温材料技術の開発
	サブタスク 7	水素利用技術に関する調査・検討
	サブタスク 8	水素燃料タービンの開発
	サブタスク 9	革新的・先導的技術に関する調査・研究
第 期 1999-2002	タスク 1	システム評価に関する調査・研究
	タスク 2	安全対策に関する調査・研究
	タスク 3	国際協力に関する調査・研究
	タスク 4	動力発生技術の開発
	タスク 5	水素自動車システムの開発
	タスク 6	純水素供給固体高分子形燃料電池の開発
	タスク 7	水素供給ステーションの開発
	タスク 8	水素製造技術の開発
	タスク 9	液体水素輸送・貯蔵技術の開発
	タスク 10	低温材料の開発
	タスク 11	水素分散輸送・貯蔵用水素吸蔵合金の開発
	タスク 12	革新的・先導的技術に関する調査・研究

(3) 水素安全利用等基盤技術開発

我が国のエネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題(CO₂)・地域環境問題(NOx, PM等)の解決、新規産業・雇用の創出、水素エネルギー社会の実現等に資するため、固体高分子形燃料電池の早期の実用化・普及を目指す「固体高分子形燃料電池/水素エネルギー利用プログラム」の一環として、2002年度から2007年度の5年間(2004年度末までを前期、その後を後期と設定)実施される。平成15年度の事業規模は4,773百万円(予定)^{注2)}。

以下に示す4つの研究開発を、「安全技術」と「実用化技術」の2分野に分けて実施

注1) 後述。

注2) NEDO ホームページより。

する。

車両関連機器に関する研究開発（燃料電池自動車用機器の研究開発）
水素インフラに関する研究開発（燃料電池自動車への水素供給設備）
定置システムに関する研究開発（定置式燃料電池に係わる研究開発）
水素に関する共通基盤技術開発（水素利用に関する基盤横断的研究開発）

(4) ミレニアム・プロジェクトにおける燃料電池関連事業

小渕元首相の発案により、新しいミレニアム（千年紀）の始まりを目前に控え、人類の直面する課題に応え、新しい産業を生み出す大胆な技術革新に取り組むこととなった。これを新しい千年紀のプロジェクト、すなわち「ミレニアム・プロジェクト」という。「ミレニアム・プロジェクト」は、今後の日本の経済社会にとって重要性や緊要性の高い情報化、高齢化、環境対応の三つの分野について、技術革新を中心とした産学官共同プロジェクトである。このプロジェクト全体の予算は1,206億円^{注)}である。FC関連プロジェクトの目標を表3-4-4に、スケジュールを表3-4-5に整理する。また、プロジェクトの推進体制を図3-4-2に示す。

注) KYODO NEWS ONLINE (1999.12.19) より。

表 3-4-4 「燃料電池の導入」プロジェクトの目標(ミレニアム・プロジェクト)

2005 年までに、燃料電池自動車、住宅等における燃料電池コージェネレーションシステムの導入を図る。

上記の目標を実現するため、以下の通り、各事業に対応した実現目標を設定する。

- ・ 2001 年頃：水素燃料製造・貯蔵技術の見極めを行い、燃料電池に使用する燃料の優位性を比較分析
- ・ 2002 年頃：燃料電池を適切に評価するために必要な評価手法の整備と燃料電池の実用化に必要なスペックの設定
- ・ 2004 年頃：商品として成り立つレベルの技術開発目標の達成（小型化，軽量化，高効率化等）
- ・ 2005 年頃：
 - 燃料電池自動車
 - ・ 低環境負荷の燃料電池自動車の商用化・量産化
 - ・ 自然公園等における燃料電池自動車の率先的・集中的導入
 - 家庭用燃料電池コージェネレーション
 - ・ 戸建住宅・集合住宅における燃料電池コージェネ・システムの導入
 - 環境調和型モデル地域
 - ・ 燃料電池自動車，定置型燃料電池を導入した環境調和型モデル地区整備
 - 燃料電池普及基盤の整備
 - ・ 標準，安全基準の確立（国際標準の獲得）

出典：ミレニアム・プロジェクト（新しい千年紀プロジェクト）について
（平成 11 年 12 月 19 日 内閣総理大臣決定）

表 3-4-5 ミレニアム・プロジェクトの「燃料電池」の年次計画

	平成12年度 (2000年度)	平成13年度 (2001年度)	平成14年度 (2002年度)	平成15年度 (2003年度)	平成16年度 (2004年度)
水素製造・貯蔵の 技術開発・検証	技術開発	技術実証・データ収集	燃料優位性の比較		
燃料電池の 試験研究	安全性・耐久性等の試験研究の実施と試験結果のフィードバック				
燃料電池の 評価手法の確立	評価手法確立のための調査・研究	安全性，耐久性等 評価手法の確立			
燃料電池関連 基準の整備	基準整備のための調査，検討			基準整備	
	国際標準活動への参加・対応			国際標準の具体的提案	

ミレニアム・プロジェクト(固体高分子形燃料電池システム普及整備基盤事業)に関する体制

(別紙1)

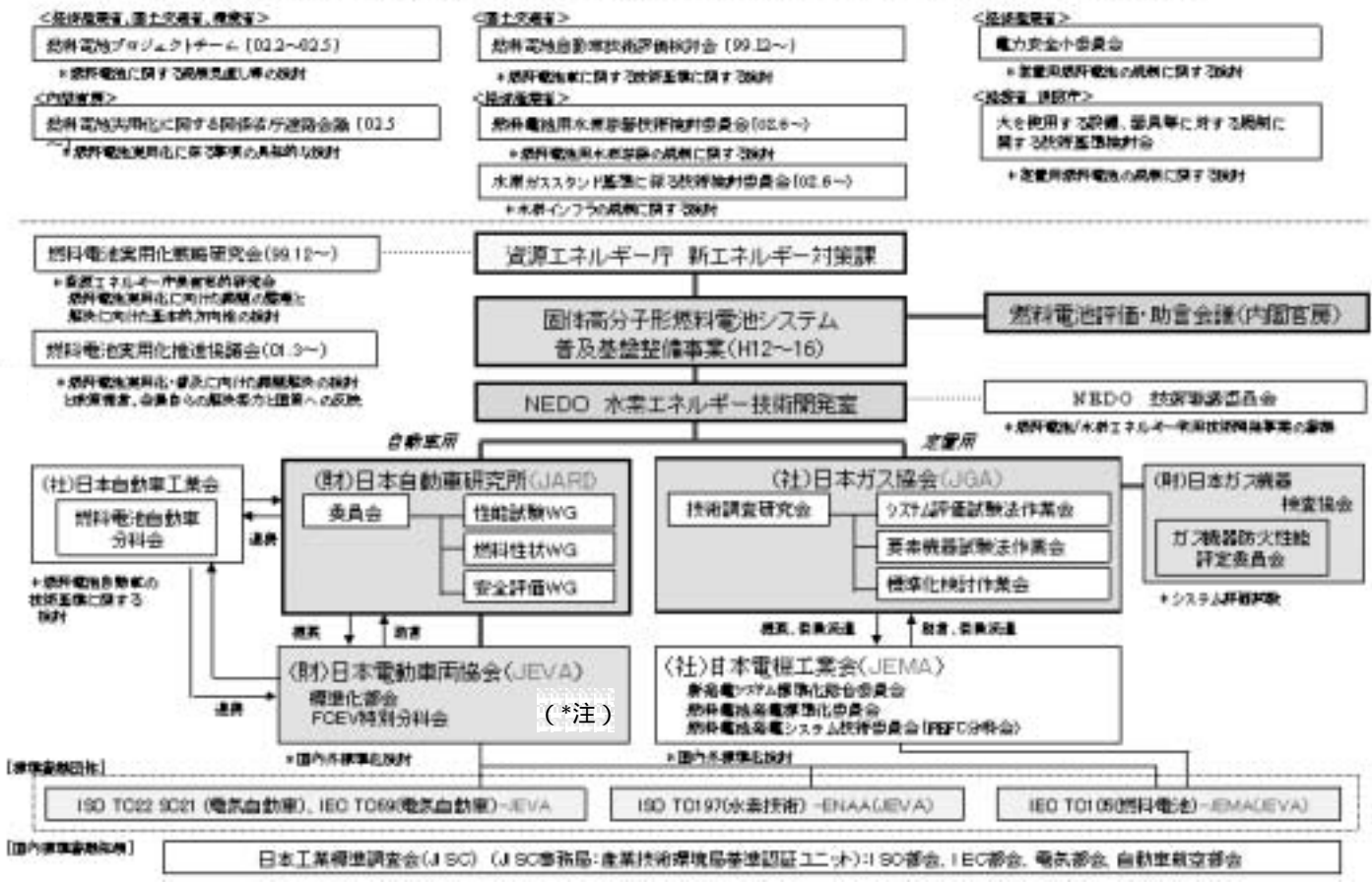


図 3-4-2 ミレニアム・プロジェクト(固体高分子形燃料電池システム普及整備基盤事業)に関する体制

出典：首相官邸 HP 「燃料電池普及整備基盤事業 平成 13 年度年次評価報告書，別紙 1」

(*注) 平成 15 年 7 月 1 日，JEVA と JARI が合併したため，以降実施主体は JARI となっている。

(5) 日米水素・燃料電池共同声明^{注)}

2004年1月8日、水素・燃料電池に関する研究開発や規格・基準に係る日米間の協力を強化するため、経済産業省および米国エネルギー省の間で、日米間の協力取り決めの締結に向けた交渉に着手することに合意し、坂本経済産業省副大臣とエイブラハム DOE 長官は、日米水素・燃料電池共同声明に署名した。

この日米水素・燃料電池共同声明は、以下に示すような内容を意図している。

燃料電池並びに水素の生産、貯蔵および輸送の技術分野において相互に決定した問題に関するワークショップおよびセミナーを開催し、参加するために、認識をともにした政府関係者および民間を含む専門家を結集すること。

専門家の交流を行い、水素燃料インフラを整備するための共通の規格、基準および規制ならびに要求に対する提言を含む、燃料電池および水素分野における現在の政策、技術プログラムおよび開発に関する情報を供給すること。

相互の同意により決定される追加的活動に参加すること。

(6) 経済産業省の燃料電池実用化戦略研究会

1999年12月、経済産業省は、燃料電池の導入の意義を明確化するとともに、その実用化に向けた課題の抽出と課題解決の方向性を探るため、資源エネルギー庁長官の私人的研究会として産学官から構成される「燃料電池実用化戦略研究会」（座長：茅陽一 現東京大学名誉教授）を設置した。その後9回にわたり国内外の企業、関係団体、外国政府等による報告と、これを踏まえた議論、検討が行われ、2001年1月22日に開催された第9回研究会において報告が取りまとめられた。その概要は以下のとおりである。

燃料電池実用化戦略研究会の報告について（平成13年1月22日 経済産業省）

【報告の概要】

1. 燃料電池導入の意義

(1) 省エネルギー効果

自動車用：ガソリン内燃機関自動車よりも高効率。

（車両効率：ガソリン・エンジン車 15～20%、固体高分子形燃料電池車 30%以上）

定置用：排熱利用によりエネルギー効率 70%以上の高効率を達成可能。

(2) 環境負荷低減効果

高効率性に基づく省エネルギー効果により CO₂ 排出量の抑制が可能。

燃焼反応ではないため、NO_x、SO_x、PM 等の排出量がゼロ又は極微量。

（再生可能エネルギーから製造する水素の場合、完全なゼロ・エミッション）

(3) エネルギー供給の多様化・石油代替効果

燃料電池は、天然ガス等の石油代替エネルギーや太陽光発電、風力発電、バイオマス等の再生可能エネルギー等の多様な供給源から生産された水素を燃料とすることができ、水素の供給源によっては、エネルギー供給の多様化、石油代替に資する。

(4) 分散型電力エネルギーとしての利点

需要家の近くに定置用燃料電池が設置されることにより、送電時のエネルギー損失（約 5%）

注) 第12回燃料電池実用化戦略研究会資料より抜粋。

の低減、災害時のバックアップ等が図れる。

(5) 産業競争力強化と新規産業の創出

環境技術が重要となる 21 世紀において、自動車、電気機器、素材、エネルギー等の幅広い産業が関係する燃料電池の技術は、我が国企業の競争力強化や新規産業の創出に資する。

2. 燃料電池実用化・普及への課題

(1) 燃料電池の基本性能の向上

燃料電池本体（スタック）、改質器、水素燃料貯蔵、全体システム等について、高効率化、耐久性等の向上に向けた技術開発が必要。

(2) 経済性の向上

燃料電池の市場自立化と普及を早期に実現するためにも、競合する機器・設備と競争力を有するレベルまで経済性が向上することが必要（現行の技術レベルでは数百万円/kW 程度）。

自動車用燃料電池は、現在の自動車エンジンのコストと同程度とすることが必要であり、1kW 当たり 5,000 円（25 万円/台）の実現が目標。

定置用燃料電池は、家庭用給湯器を代替し、更に発電機の機能が付加されている価値を考慮すると、システム価格（kW）で 1 台当たり 30～50 万円の実現が目標。

固体高分子電解質膜製造の低コスト化、白金触媒の使用量低減による低コスト化等が課題。

(3) 燃料開発とインフラの整備

燃料電池の燃料となる水素をどのように製造・供給するかが、その燃料供給インフラ整備とあわせて大きな課題。今後の技術革新によっては市場において特定の方式に絞り込まれる可能性があるが、現時点においては、多様な方式について検討や開発競争が進められている状況。

(4) 基準・標準等のソフトインフラ整備

安全性・耐久性等の基準や機器等の標準が未整備であり、そうした基準・標準等の国内的・国際的整備に早期に取り組むことが必要。

(5) その他

触媒に使用される希少な資源の制約、固体高分子電解質膜に使用されるフッ素系化合物についての廃棄・処分の問題、社会的受容性の醸成・向上、研究開発に携わる人材不足への対応が必要。

3. 課題の解決に向けた取組み

(1) 実用化・普及に向けてのシナリオ

2000～2005 年頃（基盤整備、技術実証段階）

- ・ 技術開発戦略の策定及びその実施
- ・ 制度面の基盤整備（基準・標準化）の推進【ミレニアム・プロジェクト】
- ・ 実証試験の実施（運転特性等データ取得、社会的受容性の向上）
- ・ 燃料電池用燃料の品質基準の確立

2005～2010 年頃（導入段階）

[期待される導入目標（累積値）2010 年：自動車用約 5 万台、定置用約 2.1 百万 kW]

- ・ 2003 年頃から計画されている実用品レベルの製品の市場導入が加速化され、燃料供給体制等の段階的な整備を開始。
- ・ 公共施設・機関、燃料電池関連企業における率先的導入推進。
- ・ 第 2 期燃料電池技術開発戦略の策定及びその実施

2010 年頃以降（普及段階）

[期待される導入目標（累積値）2020 年：自動車用約 5 百万台、定置用約 10 百万 kW]

- ・ 燃料供給体制の整備、コスト低減を踏まえ、自律的に市場が拡大・進展。
- ・ 公共施設・機関、燃料電池関連企業のみならず、一般民間部門において導入が進展。

(2) 自動車用燃料選択の見通し

当面

現時点の技術レベル及び燃料供給インフラが整備されていない状況を踏まえれば、当面、燃料電池自動車として初期導入が可能であるのは、圧縮水素やメタノールを燃料とし、特定の地点間を走行する（フリート走行する）自動車に限定される。

近未来

- ・ ガソリン改質技術の実用化は容易ではないが、それが確立された場合には、既存燃料供給インフラが活用できることから、ガソリンが主要な燃料となる可能性が高く、この場合には、追加的インフラ整備も不要であることから、国民経済的にも利点があると考えられる。ただし、硫黄等の不純物を除去した「クリーン・ガソリン」に精製することが不可欠。
- ・ 天然ガス等から生成される液体合成燃料（GTL）は、石油代替促進の観点からエネルギー政策

<p>上の意義が大きく、燃料として選択される可能性もあるが、製造技術の確立、低コスト化・量産化の技術開発と燃料製造インフラの整備が必要であり、今後、なお、一定の期間が必要。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・メタノールについては、技術的には最も実用化に近い状況にあるが、燃料供給インフラが未整備である現状下で、長期的将来に予想される水素供給インフラの整備との二重投資を期待することは困難であり、国民経済的にも適当でないと考えられる。かかるインフラ面での課題が解決されなければ、全国規模で主要な燃料に選定される可能性は低い。 <p><u>長期的将来</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・水素は多様な方法により確保できるため、資源的制約が極めて少ないエネルギーであるとともに、クリーンなエネルギーである。 ・このため、燃料電池自動車の燃料として水素が選択される可能性があり、多くの関係企業において、水素は将来の有力な燃料と考えられている。ただし、水素の車載貯蔵技術が確立されることに加え、水素供給インフラが構築されることが前提となることから、水素が主要な燃料として選択されるのは、長期的将来にならざるを得ない。 <p>(3) 技術開発の推進</p> <p>燃料電池の実用化・普及のためのシナリオを踏まえ、産学官の適切な役割分担（官の役割：基礎的研究、共通基盤技術開発、リスクの高い技術開発、民の役割：実用化・商用化に向けた技術開発）を行いつつ、産学官が共有する「燃料電池技術開発戦略」を早急に策定・実施。</p> <p>【重要技術開発要素】</p> <p>共通の要素技術（膜、触媒、セパレータ等）：性能向上、低コスト化、省資源化 「クリーン・ガソリン」、GTL等の液体炭化水素系燃料の製造技術・車上改質技術 水素貯蔵等の技術開発（車載可能水素貯蔵量の増大）</p> <p>(4) ソフトインフラの整備</p> <p>実用化に当たっては、安全性等の基準の策定、機器及び燃料電池用燃料等の規格化が必要。また、国際標準化に係る活動の強化や各種規制の見直しも必要。このため、各種性能等の試験評価方法の確立等を目指すミレニアム・プロジェクトを着実に推進。</p> <p>(5) 実証試験の実施</p> <p>一定レベルまで確立された技術を活用して実フィールドで実証実験・モデル事業を行うことは、各種評価に必要なデータの取得に加え、社会的受容性の向上や普及啓発の観点からも重要。実証試験で得られたデータや民間情報を踏まえて、総合エネルギー効率、環境特性、燃料供給インフラ整備コスト等について客観的なデータの収集・分析・評価を行うことが必要。</p> <p>(6) 実用化に向けた国内推進体制の整備</p> <p>官：本報告のフォローアップのための新たな「枠組み」の創設を期待。 民：具体的な課題解決策のあり方、進め方の検討のため、関係企業から構成される「燃料電池実用化推進協議会（仮称）」の設置が適当。</p> <p>(7) その他</p> <p>導入促進：国、自治体、関係企業による率先導入等。 人材育成：大学研究機関の活用。産学連携の推進。 国際協調：欧米政府等との情報・意見交換。</p>
--

出典：経済産業省「燃料電池実用化戦略研究会の報告について」（平成13年1月22日）

その後、2001年8月8日に平成13年度の研究会が開催され、「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」が公表され、2003年4月15日に開催された第11回研究会では、固体高分子形燃料電池、熔融炭酸塩形燃料電池および携帯用燃料電池の最近の取組み状況について報告があった。

さらに、2004年3月11日に開催された第12回研究会では、燃料電池に関する取組みの現状の報告があり、とくに定置用燃料電池に関しては、燃料電池自動車と比べ認知度が低いという現状が報告され、実証試験のあり方等について意見が出された。また、水素エネルギー社会の将来像（表3-4-6、表3-4-7）、水素社会に向けた普及のシナリオ（表3-4-8）が提案され、2005年以降の第2フェーズに向けた考え方等が議論された。

提案された水素エネルギー社会の将来像，水素社会に向けた普及のシナリオを以下に示す。

表 3-4-6 燃料電池自動車に関する将来イメージ

フェーズ	将来イメージ
2005～2010 (導入期)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水素インフラの整備には相当な資金と時間を要し，当面は現実的には制約があることから燃料電池自動車は，大都市圏，および工業地域等で副生水素が比較的近くで得られるエリアにおいて導入が進む。 ・ この段階では都市内フリート走行車に導入が進展すると考えられ，路線バス，公用車等を中心に，2010年において5万台の燃料電池自動車の導入を期待する。 ・ 想定される水素需要量は約3.6万t(約4億Nm³)であり，必要な水素ステーションは，500箇所程度(ガソリンスタンドの約1%)と見込まれる。 ・ 水素ステーションで供給する水素の燃料源については，基本的に各種燃料のコストや燃料補給の難易度等を比較衡量して事業者が判断するものであるが，この段階では，水素の需要が限定的であるため，オフサイト型では副生水素のローリー輸送による供給，オンサイト型では化石燃料改質が中心になると想定される。
2010～2020 (普及期)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水素インフラのエリアが拡大し，全国の主要都市と，その周辺地域に普及する。 ・ 全国の路線バスと公用車に加え，業務用乗用車等に導入が進み，2020年においては500万台の燃料電池自動車の導入が期待される。 ・ 想定される水素需要量は約58万t(約65億Nm³)であり，必要な水素ステーションは，3,500箇所程度(ガソリンスタンドの約7%)と見込まれる。 ・ 水素供給の中心は，引き続き副生水素および化石燃料改質と想定される。 ・ 水素需要量が増加するため，副生水素の供給源に近くかつ大規模なステーションでは，パイプラインによる水素の供給が始まる。 ・ 効率的な水素貯蔵技術が確立されれば，ローリー輸送によるオフサイト型水素ステーションが主流となる可能性もある。 ・ 水素ステーションから近くのエリアへの直接水素供給や，ステーションに定置用燃料電池を設置し，電気や熱を供給するようなモデルも想定される。
2020～2030 (本格普及期)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水素インフラが全国に拡大し，燃料電池自動車も全国に普及する。燃料電池自動車の生産拡大とコスト低下が相まって，自立的な導入が進展する。 ・ 自家用乗用車にも導入が進展し，2030年において導入が期待される燃料電池自動車は，1,500万台と見込まれる。 ・ 想定される水素需要量は約151万t(約170億Nm³)であり，必要な水素ステーションは，8,500箇所程度(ガソリンスタンドの約17%)。 ・ 水素需要量が副生水素による供給可能量を上回ることとなるため，オンサイトの化石燃料改質に加え，再生可能エネルギーによる電気を用いた水電解による水素製造や，石炭ガス化ガスからの改質による水素製造も，現実的な製造方法の一つとなる可能性がある。 ・ 効率的な水素貯蔵材料(金属系，化学系，炭素系等)が実用化されれば，オフサイト水素が大規模集中システムで製造され，水素ステーションに効率的に水素が輸送されるシステムが確立する。

出典：第12回燃料電池実用化戦略研究会資料を基に作成

表 3-4-7 定置用燃料電池に関する将来イメージ

フェーズ	将来イメージ
2005～2010 (導入期)	<ul style="list-style-type: none"> ・家庭用については、世帯人員や床面積の観点から、比較的熱需要が多いと想定される世帯に 1kW の家庭用燃料電池の導入が進むと見込む。 ・また業務用については、既存技術である内燃機関のコージェネレーションでは高い発電効率が得られなかった数 kW クラスの規模を中心に、燃料電池の導入が進む。 ・天然ガス、LPG、灯油等の既存のインフラを活用する形で、2010 年において 220 万 kW の定置用燃料電池の導入を期待する。
2010～2020 (普及期)	<ul style="list-style-type: none"> ・生産量の増加、技術開発のさらなる進展により、定置用燃料電池の価格が低下し、比較的熱需要の多いと想定される世帯の多くに 1kW クラスの燃料電池が導入されると見込む。 ・また、高温形の燃料電池の性能も向上し、業務用を含む比較的大きな規模の需要についても、燃料電池の導入進展が想定される。 ・定置用燃料電池の普及率が高まることにより、集合住宅や、工業地域等の需要家が密接している地域において、改質器を共有して水素を直接配管で供給するシステムや、改質器と燃料電池を共有し、各需要家に直接電気と温水を供給するようなシステムが実現することも想定される。 ・さらに、特定の地域においては、各家庭や事業所等に設置された燃料電池を相互に連携制御し、熱電エネルギーの大半を域内で賄うシステム（マイクログリッド）が実現する。 ・2020 年において導入が期待される定置用燃料電池は 1,000 万 kW と見込まれる。
2020～2030 (本格普及期)	<ul style="list-style-type: none"> ・2020 年までに導入された燃料電池は、引き続き運転を続けると想定する。 ・また、高温型燃料電池のコンバインドサイクルによる超高効率発電が実用化してくることが見込まれる。 ・2030 年において導入が期待される定置用燃料電池は、1,250 万 kW と見込まれる。

出典：第 12 回燃料電池実用化戦略研究会資料を基に作成

表 3-4-8 将来に向けた普及のシナリオ

	2010 年	2020 年	2030 年
燃料電池自動車	約 5 万台	約 500 万台	約 1,500 万台
定置用燃料電池	約 210 万 kW (地球温暖化大綱 では 220 万 kW)	約 1,000 万 kW	約 1,250 万 kW

出典：第 12 回燃料電池実用化戦略研究会資料を基に作成

(7) 燃料電池関連の予算

平成 15 年 12 月 24 日に公表された経済産業省平成 16 年度予算の概要^{注1)}より、燃料電池関連予算を抽出したものを平成 15 年度予算と併せて表 3-4-9 に整理した。

平成 16 年度は、燃料電池の実用化に関連する規制の再点検の最終年度（2004 年度）に向けて安全技術の確立などを推進するとともに、技術開発、実証試験、規準・標準等整備事業等を三段階アプローチ^{注2)}のもとで一体的に推進し、燃料電池の実用化に向けた施策を強化することを目的としている。また、分散型エネルギーとして新たに高温熱の活用が可能でより効率的な燃料電池の開発を推進するとして、固体酸化物形燃料電池（SOFC）システム技術開発予算が新たに計上された。

表 3-4-9 平成 16 年度燃料電池関連予算(単位:億円)

	平成 15 年度	平成 16 年度	伸び率 (%)
エネルギー・環境対策の充実強化			
分散型エネルギー社会の構築にも資する 新エネルギーの活用	1,568	1,613	2.9
(内)燃料電池・水素エネルギー利用分野の 技術開発等の推進	307	329	7.2
(内)固体高分子形燃料電池システム 実証等研究	39	30	22.3
(内)固体高分子形燃料電池システム 技術開発	51	42	18.8
(内)水素安全利用等基盤技術開発	45	64	39.6
(内)固体酸化物形燃料電池 システム技術開発		16 (新規)	-
(内)燃料電池自動車等用 リチウム電池技術開発	20	20	1.3
石油及びエネルギー需給構造高度化対策 特別会計予算			
エネルギー需給構造高度化対策	2,268	2,438	7.5
(内)新エネルギー対策	772	876	13.5
(内)燃料電池の技術開発等	234	262	12.0
電源開発促進対策特別会計			
電源多様化勘定	2,348	2,456	4.6
(内)新エネルギー等関連予算	693	635	8.4
(内)燃料電池の技術開発	62	62	0
燃料電池関連予算合計	603	653	8.3

注)石油及びエネルギー需給構造高度化対策特別会計と電源開発促進対策特別会計は経済産業省以外の省庁の予算も含んでいる。

出典：経済産業省発表資料「平成 16 年度経済産業省予算の概要」（2003 年 12 月）、経済産業省「平成 16 年度低公害車・燃料電池自動車関係予算・税等について」（2004 年 1 月、経済産業省自動車課）を基に作成

注1) 経済産業省発表資料「平成 16 年度経済産業省予算の概要」（2003 年 12 月）

注2) 基盤整備、技術実証段階(～2005 年)、導入段階(2005～2010 年頃)、普及段階(2010 年以降)

(8) 経済産業省の固体高分子形燃料電池システム実証等研究

経済産業省の「固体高分子形燃料電池システム実証等研究」^{注1)}は、燃料供給インフラを含めた燃料電池利用システムの実証等研究を支援する事業であり、平成 14 年度から 3 年間の計画でスタートした。この事業では、燃料電池本体だけでなく、燃料供給インフラも含めて、実使用条件における技術的課題を抽出するとともに、環境特性、エネルギー総合効率、燃料性状、安全性等に関するデータを取得し、得られた情報等を開発・普及施策に反映させていくことを目的としている。平成 14 年度には 20 億円が、平成 15 年度には 25 億円が投入された。

この事業は 3 つの実証研究で構成されている(図 3-4-3)。燃料電池自動車実証研究では、財団法人日本自動車研究所^{注2)}(JARI)を中心として、平成 14 年度は国内外の自動車メーカー 6 社、水素供給ステーション 6 箇所での走行試験であったが、平成 15 年度では参加自動車メーカーは 8 社に、水素供給ステーションも 10 箇所に増やし走行試験を行っている。また、平成 14 年度に引き続き燃料電池自動車用水素供給設備実証研究では、財団法人エンジニアリング振興協会(ENAA)を中心として、水素供給ステーションの設置・運営および液体水素製造実証研究を行う。この 2 つの実証研究は、水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC プロジェクト: Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project)として、共同で進められる。JHFC プロジェクトは当初平成 14 年度から平成 16 年度までの 3 ヶ年の予定であったが、1 年延長し平成 17 年度まで続ける予定となった(詳細は 3-4-2 節(2):水素・燃料電池実証プロジェクト参照)。また、定置用燃料電池実証研究では、財団法人新エネルギー財団(NEF)を中心に、平成 14 年度は定置用燃料電池コージェネレーションシステムを環境条件および使用条件の異なる全国 12 サイトに設置し実証研究が行われた。平成 15 年度には 31 サイトに増やして平成 16 年度まで実証研究を続ける。

注1)平成 15 年度水素・燃料電池実証プロジェクト JHFC セミナー(2004 年 3 月 12 日)資料

注2)平成 14 年度は財団法人日本電動車両協会(JEVA)が実施主体となっていたが、平成 15 年 7 月 1 日の財団法人日本自動車研究所(JARI)との統合化により平成 15 年度以降の実施主体は JARI となっている。

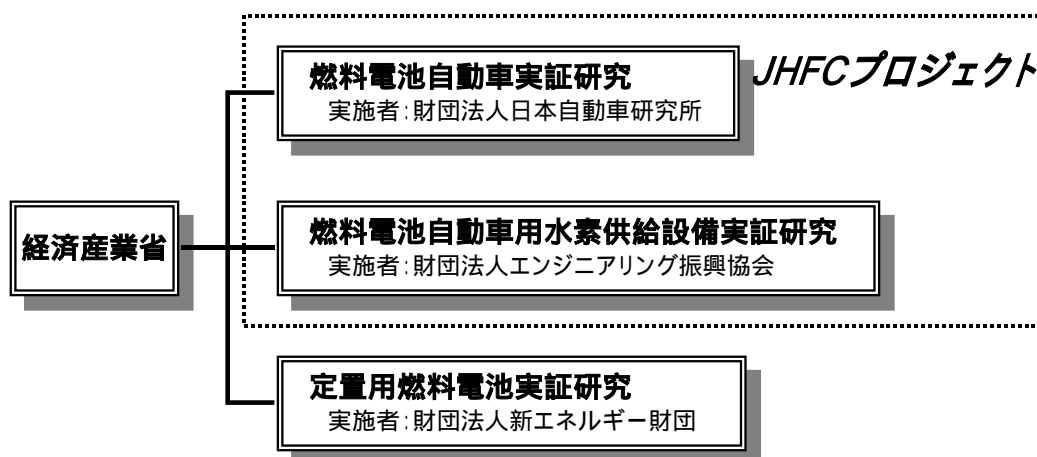


図 3-4-3 固体高分子形燃料電池システム実証等研究の実施体制

出典：平成 15 年度水素・燃料電池実証プロジェクト JHFC セミナー（2004 年 3 月）資料を基に作成

(9) 地方公共団体における取組み

1) 東京都

東京都では、平成 15 年 8 月 28 日より、わが国で初めて FC バスが営業運行を開始した^{注1)}。運行台数は 1 台で、東京駅八重洲口 - 東京レポート駅、または門前仲町 - 東京レポート駅の路線を 1 日数往復する。当事業は都の「水素供給ステーションパイロット事業」ならびに経済産業省の「水素・燃料電池実証プロジェクト」および国土交通省の「燃料電池自動車実用化促進プロジェクト」と連携し実施している。FC バスはトヨタ自動車、日野自動車の「FCHV - BUS2」である。

2) 大阪府

大阪府は、平成 15 年 9 月、エネルギーや環境対策面から次世代の自動車として期待が高まっている燃料電池自動車の普及促進を図るため、在阪の関係機関（近畿経済産業局、近畿運輸局、大阪府、大阪市、岩谷産業、ダイハツ工業、大阪ガス、(財)都市交通問題調査会）で組織される「おおさか FCV 推進会議」を設立した。都市再生と自動車公害対策の面から官民が連携して独自のプロジェクトを展開し、水素ステーションの設置と府内での走行試験に乗り出す^{注2)}。

3) 三重県

三重県は、平成 15 年 4 月 21 日、三重県四日市市および川越町、楠町全域が「技術

注1) 東京都広報資料等より。

注2) 大阪府広報資料、新聞報道より。

集積活用型産業再生特区」として「構造改革特区」の認定を受けた^{注1)}。この特区は、出力 10kW 未満の固体高分子形燃料電池に関する規制の特例が認められた。三重県では、この制度を活用し、特区地域内において燃料電池の実証試験を実施する企業等に研究開発等に要する経費を補助する制度「三重県燃料電池実証試験補助金」を創設した。本特区における規制の特例では、一定の条件を満たす燃料電池について、規制の特例に係る代替措置が適切であると認められれば、「保安規定の届け出」が不要、「電気主任技術者の選任」が不要、家庭用燃料電池の設置に際しての窒素ガスボンベの設置（窒素パージ）の不要の特例が認められている。

4) つくば市

つくば市では、2005 年開通予定のつくばエクスプレス沿線で新エネルギー機器の導入の促進を図るとともに、市民生活・地域社会と密着した新エネルギー研究開発の促進を図る構造改革特別区域計画（つくば市新エネルギー特区）が平成 15 年 8 月に認定された^{注1)}。この特区では、2019 年ごろまでに 400 戸以上の家庭用燃料電池の導入を目標に掲げている。特区では、電気事業法上の家庭用 FC の設置に関する規制を一部緩和し、保安規定の届出と電気主任技術者の選任を不要とする措置が取られる。また、不活性ガスボンベの常備義務も撤廃される。

5) 静岡県

静岡県は、燃料電池・水素エネルギーの先進県となることを目指し、2001 年に「燃料電池・水素エネルギー研究会」を発足させた。県として何ができるか、何をなすべきかなどについて検討を行い、平成 14 年 3 月に報告書をまとめている。報告書では、県の取組みの試案として、大きく 燃料電池の普及の促進、研究開発の支援、新産業の創出などの支援、燃料供給インフラ整備の検討の 4 項目を掲げている。のインフラ整備の検討については、国、民間企業等との連携により、水素供給ステーションやパイプライン等のモデル施設についての検討、住宅団地等への燃料電池の導入支援を挙げている^{注2)}。

その他、財団法人新エネルギー財団より委託を受けた新潟県、岐阜県等でも実証試験が展開されている。

注1) 構造改革特別区域推進本部 HP より。

注2) 「燃料電池・水素エネルギー研究会報告書」平成 14 年 3 月（しずおか新エネルギー情報 HP より）

3-4-2 わが国における FCV の公道走行試験

(1) PEC による公道走行試験

(財)石油産業活性化センター(以下 PEC)では、経済産業省資源エネルギー庁の支援を受け、FCV の公道走行試験のための共同プロジェクトを実施した。この FCV 共同プロジェクトには、ダイムラー・クライスラー日本ホールディング株式会社、マツダ株式会社、日石三菱株式会社が参加している。

走行試験では、試験車としてダイムラー・クライスラー日本ホールディング株式会社提供の Nekar5 およびマツダ株式会社製プレマシーFC-EV の燃料電池車 2 台を使用し、日石三菱精製株式会社横浜精油所に設置した燃料供給設備を利用して行われた。このプロジェクトでは、メタノール燃料 FCV が使用された。

この公道試験に向けて、国土交通省は、平成 13 年 2 月 8 日、DaimlerChrysler、マツダからそれぞれ申請のあったメタノール改質形 FCV について、道路運送車両の保安基準に基づき、試験自動車として FCV に対するはじめての大臣認定^{注1)}を行った。

これを受けて、PEC は 2 月 15 日、日本で初の燃料電池車の公道走行試験を開始し、7 月まで横浜市の近郊において、公道走行試験が行われた。公道走行試験では、今後の燃料電池車の普及に向けて基準の整備に必要な安全性に関するデータ、排出ガスや燃料消費量など環境に関するデータ、快適性や操作性などの走行性能に関するデータの収集が行われた。

2 台の燃料電池車の諸元は表 3-4-10 のとおりである。マツダによると、プレマシー FC-EV (図 3-4-4) は、Ford 社、DaimlerChrysler 社、Ballard 社によるアライアンス製の FC システムを搭載し、ボディの一部にカーボンファイバーFRP を適用したり、樹脂製ガラスを採用するなど車体の軽量化を実現したという。それとともに転がり抵抗の小さい専用タイヤも装着されている。また、二次電池は始動時のみ利用され、走行時は全て FC のパワーのみが用いられている。一方、DaimlerChrysler の Nekar5 (図 3-4-4) は、二次電池とのハイブリッド形式であり、始動時のみならず、走行時のパワーアシスト、エネルギー回生が可能な構造である。

公道走行試験では、プレマシーFC-EV が延べ 400km 弱、Nekar5 は約 1,300km^{注2)} を走行した。

走行時の排出ガスについては、DaimlerChrysler が、2001 年 5 月に開催された「第 8 回ダイムラー・クライスラーシンポジウム」で公表している(表 3-4-11)。その結果を各国の排出ガス規制値と比較した結果を図 3-4-5 に示す。HC については日本の平成 12 年基準排出ガス 75%低減レベルよりも上回ってはいるものの、CO と NOx については大幅に削減されていることがわかる。

注1) 大臣認定制度については、3-8-3 節参照。

注2) 「第 8 回ダイムラー・クライスラーシンポジウム 講演録」ダイムラー・クライスラー日本ホールディング株式会社、2001 年 5 月

表 3-4-10 共同プロジェクトで使用された試作車の主な諸元

通称名		プレマシーFC-EV	Necar5
ベース車		マツダ・プレマシー	Mercedes-Benz A-Class
ボディ形状		5ドア	5ドア
定員		5名	5名
全長(mm)		4,350	3,605
全幅(mm)		1,695	1,720
全高(mm)		1,605	1,575
ホイールベース(mm)		2,670	2,425
車両重量(kg)		1,850	
燃料の種類		メタノール	メタノール
燃料電池	形式	固体高分子形燃料電池 (Ballard製)	固体高分子形燃料電池 Ballard製 MK901
	最高出力		75kW
電動モータ	形式	交流誘導式	交流誘導式
	最高出力	65kW (88ps)	55kW
二次電池		鉛酸電池 (始動のみ利用)	ニッケル水素電池 (ハイブリッド形式)



出典:国土交通省自動車交通局プレスリリース(平成13年2月8日)
 (財)石油産業活性化センタープレスリリース(平成13年2月13日)
 マツダ(株)プレスリリース(平成13年2月13日)
 ダイムラー・クライスラー日本ホールディング(株)プレスリリース(平成13年2月13日)

図 3-4-4 マツダ・プレマシーFC-EV(左)とNecar5(右)

表 3-4-11 公道走行試験による Necar5 の排出ガス量と各国の排出ガス規制値

車種	PEC 公道走行試験 (g/km)	排出ガス規制値(g/km)						
		日本			米国カリフォルニア州		欧州	
		平成12年基準	75%低減レベル	平成14年基準	LEV規制(LEV2)		98/69/EC	
	Necar5	ガソリン乗用車	ガソリン乗用車	ディーゼル乗用車	LEV	SULEV	ガソリン車	ディーゼル車
CO	0.008	0.670	0.670	0.630	2.614	0.622	1.000	0.500
HC	0.036	0.080	0.020	0.120	-	-	0.100	0.050
NO _x	0.000	0.080	0.020	0.280	0.044	0.012	0.080	0.250

出典:「電気自動車ハンドブック」電気自動車ハンドブック編集委員編,丸善(株),平成13年3月
 注)Necar5は「第8回ダイムラー・クライスラーシンポジウム(2001年5月)」による発表値

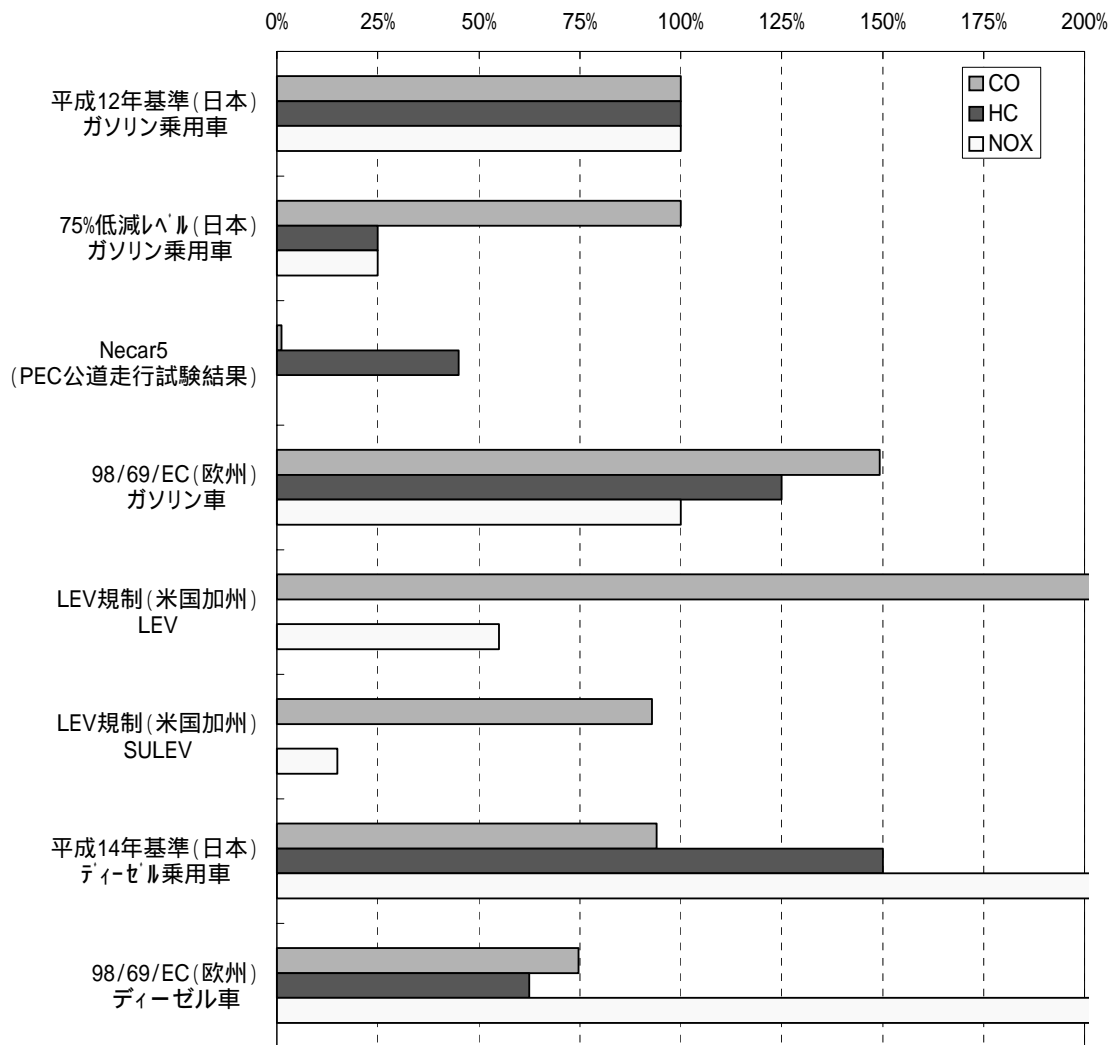


図 3-4-5 公道走行試験による Nocar5 の排出ガス量と各国の排出ガス規制値の比較

(2) 水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC プロジェクト)

「水素・燃料電池実証プロジェクト」(JHFC プロジェクト: Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project) は、経済産業省「固体高分子形燃料電池システム実証等研究」のうち、財団法人日本自動車研究所 (JARI) による「燃料電池自動車実証研究」と財団法人エンジニアリング振興協会 (ENAA) による「燃料電池自動車用水素供給設備実証研究」から構成されるプロジェクトである。

表 3-4-12 と図 3-4-6 に JHFC プロジェクトの概要を示す。JHFC プロジェクトは、国内初の大規模な FCV 実証走行研究であると同時に、複数の燃料・方式による水素供給

設備を運用する世界初の取組みである。平成 14 年度は、東京・横浜地域に 6 箇所の水素供給設備を建設し、自動車メーカー 6 社の自動車が公道走行試験に参加した。また、横浜大黒町にガレージとショールームを建設し、プロジェクトのベース基地とした。

平成 15 年度には、新たに 4 箇所の水素供給設備を増設し、また自動車メーカーも新たに 2 社が加って実証試験を行っている。

実証試験を通して、走行性能、信頼性、環境特性、燃費等の車両走行データと水素充填ステーション使用データ等を取得・評価する。また、液体水素製造技術の実証も実施する。

表 3-4-12 JHFC プロジェクトの概要

事業実施者	財団法人日本自動車研究所 財団法人エンジニアリング振興協会
参加企業・団体 (平成 15 年度)	燃料電池自動車実証関係 トヨタ自動車、日産自動車、本田技研工業、 ダイムラー・クライスラー日本、 ゼネラルモーターズ・アジア・パシフィック・ジャパン、日野自動車、 三菱自動車工業、スズキ 水素供給設備実証関係 新日本石油、コスモ石油、昭和シェル石油、東京ガス、岩谷産業、 ジャパン・エア・ガシズ、日本酸素、新日本製鐵、栗田工業、 シナネン、伊藤忠エネクス、出光興産、パブコック日立、鶴見曹達
実施期間	平成 14 年度～平成 17 年度
試験車両	直接水素形 FCV：7 車種 ・トヨタ自動車：トヨタ FCHV（圧縮水素：35MPa） ・日産自動車：X-TRAIL FCV（圧縮水素：35MPa） ・本田技研工業：Honda FCX（圧縮水素：35MPa） ・DaimlerChrysler：F-Cell（圧縮水素：35MPa） ・GM：Hydrogen 3（液体水素） ・三菱自動車：MITSUBISHI FCV（圧縮水素：35 MPa） ・スズキ：wagonR-FCV（圧縮水素：35 MPa）
燃料供給設備	水素ステーション 10 箇所、液体水素製造設備
補助額	平成 14 年度固体高分子形燃料電池システム実証等研究に対し 20 億円 平成 15 年度固体高分子形燃料電池システム実証等研究に対し 25 億円
目的	FCV と水素供給設備の省エネ効果の明確化 FCV と水素供給設備の環境負荷軽減効果の明確化 FCV と水素供給設備の安全等に関わる規格・法規・基準作成のためのデータ取得等 FCV と水素供給設備の社会的認知度向上のための啓発活動（広報） FCV と水素供給設備の普及促進のための課題の明確化 副生ガスからの水素の効率的回収と液化技術の開発実証

出典：平成 15 年度水素・燃料電池実証プロジェクト JHFC セミナー資料を基に作成



図 3-4-6 JHFC プロジェクトの実施体制と水素供給設備

出典：平成 15 年度水素・燃料電池実証プロジェクト JHFC セミナー資料

図 3-4-7 に 2003 年度の参加車両を示す。2002 年度は自動車メーカー 6 社から計 6 台，2003 年度にはさらに 2 社が加わり，計 8 社 11 台が参加している。

また，表 3-4-13，表 3-4-14 に 2003 年度の各水素供給設備の概要を示す。

平成 14 年度 6 社			平成 15 年度 8 社 (+2 社)
トヨタ	日産	ホンダ	三菱
			
トヨタ内製スタック 高圧水素 35MPa	UTC 社製スタック 高圧水素 35MPa	ホンダ内製/パレード社製スタック 高圧水素 35MPa	パレード社製スタック 高圧水素 35MPa
ダイムラー・クライスラー	ゼネラルモーターズ	トヨタ/日野	スズキ
			
パレード社製スタック 高圧水素 35MPa	CM 社製スタック 液体水素	トヨタ内製スタック 高圧水素 35MPa	CM 社製スタック 高圧水素 35MPa

図 3-4-7 JHFC プロジェクトの参加車両

出典：平成 15 年度水素・燃料電池実証プロジェクト JHFC セミナー資料

表 3-4-13 水素供給設備の概要(その1)

サイト名 (実施主体)	方式	水素製造能力	特長
		充填能力	
横浜大黒水素 ステーション (コスモ石油)	脱硫ガソリン 改質型 (水蒸気改質)	30Nm ³ /h (乗用車 1 台分を約 60 分で製 造)	<ul style="list-style-type: none"> 水素製造装置の小型・パッケージ化 自動制御運転(水素製造装置・蓄圧装置) 高効率バーナー採用(蓄熱バーナー)
		連続 5 台 (5 分/台)	
横浜旭水素 ステーション (新日本石油)	ナフサ改質型 (水蒸気改質 +PSA)	50Nm ³ /h (乗用車 1 台分を約 40 分で製 造)	<ul style="list-style-type: none"> 装置のスキッド化により,設置工事の短縮化が実現
		乗用車連続 5 台 又はバス 1 台	
千住水素 ステーション (東京ガス, 日本酸素)	LPG 改質型 (水蒸気改質 +PSA)	50Nm ³ /h (乗用車 1 台分を約 40 分で製 造)	<ul style="list-style-type: none"> 都市ガスで実績のあるオンサイト型高純度水素製造設備 小型 6 塔式 PSA によるコンパクト・高効率な水素精製装置 新充填方式採用で,操作性の優れたディスペンサー 運転制御の自動化,各種安全対策
		乗用車連続 5 台 又は大型バス 1 台	
有明水素 ステーション (昭和シェル, 岩谷産業)	液体水素ロー リー供給による オフサイト型	-	<ul style="list-style-type: none"> 日本初の液体水素ステーション 圧縮水素,液体水素自動車双方への充填が可能 システム立ち上げに必要な時間が短い
		圧縮水素: 25/35MPa 充填時間 10 分以内 液体水素: 140L/台 充填時間 10 分以内	

出典：平成 15 年度水素・燃料電池実証プロジェクト JHFC セミナー資料を基に作成

表 3-4-14 水素供給設備の概要(その2)

サイト名 (実施主体)	方式	水素製造能力	特長
		充填能力	
川崎水素 ステーション (ジャパン・エ ア・ガシズ)	メタノール 改質方式	50Nm ³ /h (乗用車 1 台分を約 10 分で製 造)	<ul style="list-style-type: none"> 改質温度が比較的低い (250 ~ 300) 高圧型改質器採用 2 段圧縮ダイアフラム圧縮機 高圧ガス設備とドライバーの隔離
		乗用車連続 5 台 又はバス 1 台	
移動式水素 ステーション (日本酸素)	オフサイト水素 (カードル)	圧縮能力：50Nm ³ /h 蓄ガス設備：250L (40MPa) × 2 本	<ul style="list-style-type: none"> 構成ユニットをコンパクト化し、ト ラックにて移動 定置式ではカバーしづらい地域で も水素充填可能 定置式ステーションの一時的バッ クアップとして運用可能 圧縮機によるダイレクト充てんが 可能 運転制御の簡素化、各種安全対策
		乗用車連続 2 台	
相模原水素 ステーション (栗田工業, シナネン, 伊藤忠エネク ス)	アルカリ隔膜 水電解方式	30Nm ³ /h	<ul style="list-style-type: none"> 水素発生装置と圧縮機をトラック に搭載した移動方式製造設備 電気、水道の既存インフラを利用 太陽光発電、風力発電などの自然エ ネルギーが利用可能 蓄ガス器、ディスペンサーのみを設 置した受け入れ側設備 既存設備の共有化による小スペース 化
		乗用車連続 5 台 又は大型バス 1 台	
秦野水素 ステーション (出光興産)	灯油改質方式 (脱硫 + 水蒸気 改質 + PSA)	50Nm ³ /h	<ul style="list-style-type: none"> 日本中どこでも入手可能な市販灯 油を原料とする水素製造 自社開発触媒による世界初の灯油 改質型水素ステーション コンパクトなスキッドマウント方 式 十分な安全対策、運転の完全自動化 風光明媚な丹沢のふもと、伊豆、箱 根へのアクセスも容易
		圧力/35MPa および 25MPa 乗用車連続 5 台 又はバス 1 台	
青梅水素 ステーション (バブコック 日立)	天然ガス(都市 ガス)改質方式 (水蒸気改質)	30Nm ³ /h	<ul style="list-style-type: none"> 水素製造装置と充填装置を車載し ているため、任意の場所で水素の直 接供給が可能 天然ガス(都市ガス)はインフラが 整備されているため、利便性が高い。
		乗用車連続 2 台	
横浜・鶴見水素 ステーション (鶴見曹達, 岩谷産業)	副生水素(食塩 電解)トレーラ 供給によるオフ サイト型	水素貯蔵： 2,030Nm ³ , 19.3MPa 連続 5 台	<ul style="list-style-type: none"> 日本初の圧縮水素オフサイト型ス テーション 水素製造装置がない分、設置スペ ースと建設コストを削減 システム立ち上げの時間が不要

出典：平成 15 年度水素・燃料電池実証プロジェクト JHFC セミナー資料を基に作成

表 3-4-15 に、JHFC プロジェクトの実施スケジュールを示す。2002 年 11 月に横浜市大黒町にショールーム・ガレージが完成し、2003 年 3 月からは走行試験が開始されている。

表 3-4-15 JHFC プロジェクトの実施スケジュール

年度		2002	2003	2004	2005
試験	実証走行試験	試験方法検討	走行試験 開始 ◇	走行試験・データ取得・評価	
	水素ステーション稼働試験	試験方法検討	運用・実証試験・評価		
設備	ショールームガレージ	建設	完成	運用	
	水素ステーション	運用			
広報		活動			

出典：平成 15 年度水素・燃料電池実証プロジェクト JHFC セミナー資料を基に作成

3-5 わが国自動車メーカー等における開発状況

3-5-1 燃料電池実用化推進協議会 (Fuel Cell Commercialization Conference of Japan)

2001年3月、燃料電池実用化戦略研究会における、燃料電池の実用化と普及に向けた民間レベルの検討、協議の場が必要であるとの提言を受け、民間企業、団体等により燃料電池実用化推進協議会 (Fuel Cell Commercialization Conference of Japan 以下 FCCJ) が設立された。

FCCJ は、わが国における燃料電池の実用化と普及に向けた課題解決のための具体的な検討を行い、政策提言として取りまとめ、会員企業自ら課題解決への努力を行うとともに、国の施策へ反映させることにより、わが国における燃料電池の実用化と普及を目指し、わが国の燃料電池産業の発展に寄与することを目的としている。

2004年2月末現在、会員総数 141 社・団体・個人であり、事業活動を総括する企画・運営委員会のもとに以下に示す 2 つのワーキンググループ (WG) を設け、さらにそれぞれの WG に複数のサブワーキンググループ (SWG) を設け、課題の抽出、具体的解決策等の検討を進めている (図 3-5-1)。各 WG の活動内容は表 3-5-1 のとおりである。

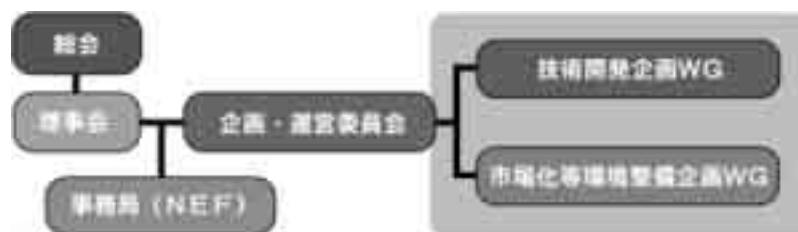


図 3-5-1 燃料電池実用化推進協議会の組織

表 3-5-1 FCCJ における WG の活動内容

技術開発企画 WG	
(1) 要素技術検討 SWG	自動車用、定置用燃料電池に共通なキーテクノロジーについての現状の課題及び将来の高度化に向けた課題の抽出、技術開発施策の検討。
(2) システム技術検討 SWG	自動車用、定置用システムの商品として要求される安全性、省資源性を達成するために必要な課題の抽出、技術開発施策の検討。
(3) 燃料関連技術検討 SWG	燃料の製造・貯蔵・供給技術に関して種々の燃料に要求される性能、利便性等を達成するために必要な課題の抽出、技術開発施策の検討。
市場化等環境整備企画 WG	
(1) 規制・制度 SWG	将来の燃料電池実用化に向けて、現行関連法規制の問題点を明確にすると共にその見直しのためのアクションプランの検討。
(2) 基準・標準 SWG	基準・標準についての活動状況を把握し、これらの策定に向けた効率的な、体制の構築及び効果的な対応方針策定のための検討。
(3) 燃料選択 SWG	燃料選択へ向けての客観情報の整理と分析、燃料供給体制整備方針に関する官民の役割等の検討。
(4) 実証試験 SWG	自動車用、定置用大規模実証試験プロジェクトの企画検討。

3-5-2 FCV の開発状況

わが国自動車メーカーにおける FCV の開発状況を整理したものを表 3-5-2～表 3-5-5 に示す。2002 年 12 月に、トヨタ自動車と本田技研工業が内閣府を始めとする 5 省庁に、高圧水素形 FCV の限定的リース販売を行った。その後、2003 年 12 月には DaimlerChrysler が、2004 年 3 月には日産自動車もリース販売を開始した。

表 3-5-2 わが国自動車メーカーの FCV の開発状況(その 1)

メーカー	商品化等	現在研究・開発中の FCV の状況
トヨタ	2002 年 リース販売 開始	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1992 年から FCV の開発を進め、EVS-13 では実際に走行し、1999 年の東京モーターショーではコンポーネントを展示。 ・ 2001 年 1 月、Clean Hydrocarbon Fuel を研究の主要な候補とすることで GM と合意し、この Clean Hydrocarbon Fuel の実現に向けて、他の自動車メーカーやエネルギー供給メーカー等と協調して推進していく。 ・ 2001 年 3 月に直接水素形 (MH タンク) FCV 試作車「FCHV-3」を発表。 ・ 2001 年 6 月に高圧水素形 FCV 試作車「FCHV-4」を発表。国土交通省大臣認定を取得し、公道走行試験を開始。7 月からは CaFCP でも公道走行試験を開始。 ・ 同時に高圧水素形ノンステップ大型路線バス「FCHV-BUS1」を日野と共同で開発したと発表。日野製車両をベースにトヨタ製 FC スタックを搭載。公道走行試験を目指し開発を進めていく。 ・ 2001 年 10 月、東京モーターショーで CHF 改質形 FCV 試作車「FCHV-5」を出展。 ・ 2002 年 1 月に、トヨタ内の技術・生産技術の FC 開発力を結集した FC 開発センターを新設。FC 開発センターを中心にトヨタグループの力を合わせ、世界トップレベルの FC 技術開発を進める。 ・ 2002 年 7 月、2003 年末までを目標としていた販売計画を前倒しし、2002 年末に日本と米国で限定販売を開始すると発表。向こう 1 年で日米あわせて 20 台程度の販売を計画している。 ・ 2002 年 9 月、日野と共同で開発した高圧水素形ノンステップ大型路線 FC バス「FCHV-BUS2」(自社製スタック)が国土交通省大臣認定を取得し、公道走行試験を開始。2003 年夏からは、東京都営バスの営業路線で運行走行試験を行う予定。 ・ 2002 年 11 月、高圧水素形 FCV「トヨタ FCHV」(自社製スタック)が限定販売を可能とする国内初めての国土交通省大臣認定を取得。 ・ 2002 年 12 月 2 日、世界で初めて、市販 FCV「トヨタ FCHV」を日米で納入した。日本では、内閣官房、経済産業省、国土交通省、環境省の計 4 台をリース販売(120 万円/月)。米国では、カリフォルニア大学のアーバイン校とデービス校の計 2 台をリース販売(1 万ドル/月)。 ・ JHFC プロジェクトに参加し、2003 年 3 月から「トヨタ FCHV」で公道走行実証試験を開始。

出典：2003 年度 JARI 国内訪問インタビュー調査、2002 年度までの JEVA 国内訪問インタビュー調査、プレスリリース、新聞記事等を基に作成

表 3-5-3 わが国自動車メーカーのFCVの開発状況(その2)

メーカー	商品化等	現在研究・開発中のFCVの状況
トヨタ (続き)	2002年 リース販売 開始	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2003年7月, 2005年の愛知万博で, 来場者の輸送手段として「FCHV-BUS2」の改良型を導入すると発表。車両台数は8台程度で, 瀬戸会場と長久手会場の間を6~8分程の間隔で運行させる計画。 ・ 2003年8月, 「トヨタFCHV」を愛知県庁, 名古屋市, 東邦ガス, 東京ガス, 新日本石油, 岩谷産業へ各1台ずつリース販売。 ・ 2003年8月, 東京都営バスの営業路線(有明)で「FCHV-BUS2」の運行を開始。 ・ 2003年10月, 東京モーターショーでFCVコンセプトカー「Fine-N」を出展。 ・ 2003年12月, 「トヨタFCHV」を国土交通省関東地方整備局に納入した。パトロールカーとして使用される。
日産	2004年 リース販売 開始	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2000年に高圧水素形FCV試作車「エクステラFCV」を発表。2001年4月にCaFCPで公道走行試験を開始。 ・ 2001年7月にXcellsisからFCエンジンの提供を受けることで合意。 ・ 2001年11月にRenault(ルノー)とFCVの共同開発を発表。FCスタックのみ共同開発を行い, その他の部分は独自に開発を行う。 ・ 2002年1月に中期環境計画をまとめ, FCVについては2005年までに市販可能な技術開発を完了するとしている。燃料については, 当面は水素の高圧貯蔵方式での実用化を目指す。 ・ 2002年2月, UTC Fuel Cellsと自動車用FCを共同開発することで合意。ルノーもこの共同開発に参加。合意事項は2つ。UTCが日産に独自開発したFCパワープラントを評価のために提供することと, FCV用部品を3社で共同開発すること。 ・ 2002年11月, 高圧水素形FCV「X-TRAIL FCV」(UTC-FC社製スタック)が国土交通省大臣認定を取得。 ・ あわせて, 当初2005年を目標としていた販売計画を前倒しし, 2003年中に限定販売を行うことを発表。車両は「X-TRAIL FCV」をベースに改良を加え, 数台程度をリース方式で販売する予定。 ・ JHFCプロジェクトに参加し, 2003年3月から「X-TRAIL FCV」で公道走行実証試験を開始。 ・ 市販予定のFCVの駆動系部品をBallardから調達する。 ・ 2003年10月, 東京モーターショーでFCVコンセプトカー「EFFIS」を出展。 ・ 2004年3月, コスモ石油に「X-TRAIL FCV」1台をリース販売(100万円/月)。

出典：2003年度JARI国内訪問インタビュー調査, 2002年度までのJEVA国内訪問インタビュー調査, プレスリリース, 新聞記事等を基に作成

表 3-5-4 わが国自動車メーカーのFCVの開発状況(その3)

メーカー	商品化等	現在研究・開発中のFCVの状況
ホンダ	2002年 リース販売 開始	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2000年11月からCaFCPにおいて高圧水素形FCV試作車「FCX-V3」(Ballard製スタック搭載)の公道走行テストを開始。2001年2月からはホンダ製スタックを搭載した「FCX-V3」の公道走行テストを開始。2001年7月には「FCX-V3」(Ballard製スタック搭載)の国土交通省大臣認定を取得し、栃木県を中心に公道走行テストを開始。 ・ 2001年7月、米国加州の研究所敷地内に太陽光エネルギーから水素を発生させるFCV用水素製造・供給ステーションを設置し、実験稼働を開始。実験には「FCX」シリーズが用いられた。 ・ 2001年9月に高圧水素形FCV試作車「FCX-V4」を発表。2002年3月には、国土交通省大臣認定を取得し、公道走行試験を開始。35MPa高圧水素タンクでの公道試験は日本初。 ・ 2002年7月、高圧水素形FCV「Honda FCX」(Ballard製スタック)が米国環境保護庁(EPA)と加州大気資源局(CARB)から、FCVでは世界で初めてとなる販売認定を取得。また、DOEとEPAから発行された「2003年モデル自動車燃費ガイド」に、FCVとして初めて記載された。 ・ 併せて、2003年までに商品化を目標としていた計画を前倒しし、2002年末に日米で販売を開始すると発表。当初2~3年で日米あわせて30台程度の販売を計画している。 ・ 2002年11月、「Honda FCX」の販売が可能になる国土交通省大臣認定を取得。 ・ 2002年12月2日、世界で初めて、市販FCV「Honda FCX」を日米で納入した。日本では、内閣府に1台リース販売(80万円/月)。米国では、ロスアンゼルス市に1台リース販売(1万ドル/月)。 ・ JHFCプロジェクトに参加し、2003年3月から「Honda FCX」で公道走行実証試験を開始。 ・ 2003年7月、経済産業省、環境省、岩谷産業に「Honda FCX」をリース販売(80万円/月)。 ・ 2003年9月、「Honda FCX」をサンフランシスコ市に2台リース販売すると発表。 ・ 2003年10月、東京モーターショーでFCVコンセプトカー「KIWAMI」を出展。 ・ 2003年10月、氷点下20℃での始動が可能なHonda製燃料電池スタックを開発、FCXに搭載し公道試験を開始と発表。2005年から日米でリース販売を開始すると発表。従来型のバラード製PEFCを2004年末までに中止し、ホンダ製に切り替える予定。 ・ 2004年1月、箱根駅伝に大会本部車としてFCXを提供。
マツダ	未定	<ul style="list-style-type: none"> ・ FCVの開発に1991年から着手。1998年からFordを通じてBallard、DaimlerChrysler等とのアライアンスへ参加。技術者がFordのチームに参画。 ・ アライアンスで開発したFCシステムの供給を受ける。 ・ 2001年2月にアライアンス製のFCシステムを搭載したメタノール改質形FCV「プレマシーFC-EV」を発表。国土交通省大臣認定を取得し、2月から7月まで日本での公道走行実験を行った。 ・ FCVの開発はアライアンスの枠組みの中で進めている。FCシステムはBallard、FCVに必要なユニットの統合化・車両制御システムはFordが開発を行っている。 ・ 水素吸蔵合金については現在も開発を継続。2000年11月には広島大学と共同で、100℃以下の温度で6%の水素を吸放出させることに成功。

出典：2003年度JARI国内訪問インタビュー調査、2002年度までのJEVA国内訪問インタビュー調査、プレスリリース、新聞記事等を基に作成

表 3-5-5 わが国自動車メーカーのFCVの開発状況(その4)

メーカー	商品化等	現在研究・開発中のFCVの状況
三菱	未定	<ul style="list-style-type: none"> ・当初 2005 年頃の実用化（少量導入）を目指して、燃料入手性、フリート走行実績から 導入が比較的容易なメタノール改質形のFCVを開発。（FCスタック、改質技術の開発は三菱重工が担当。車載システムに関しては2社で調整し、共同で開発） ・2001 年夏に三菱重工がメタノール改質形 FC スタックを開発、三菱自動車製ワンボックス車の床下に搭載し走行に成功。固体高分子膜（DuPont 製）以外は全て自社製。 ・DaimlerChrysler 社との提携を機に、同社の支援を受けて実用化を進めることとし、2001 年 10 月の東京モーターショーに、DaimlerChrysler 社の燃料電池システムの搭載を予定した未来コンセプトカー「Space Liner」を出展。 ・スタックは DaimlerChrysler 社、Ballard 社などによるアライアンスから供給を受け、三菱自動車は二次電池やモータなどの周辺技術の開発を進めている。 ・2003 年 9 月、DaimlerChrysler 社の FC システムを搭載した高圧水素形 FCV「MITSUBISHI FCV」を発表し、大臣認定を取得した。 ・JHFC プロジェクトに参加し、2004 年 1 月から「MITSUBISHI FCV」で公道走行実証試験を開始。 ・2004 年 1 月、「MITSUBISHI FCV」が大阪国際女子マラソンの広報車として走行。
ダイハツ	未定	<ul style="list-style-type: none"> ・2001年10月、東京モーターショーで高圧水素形FCV試作車「MOVE FCV-K-」を出展。軽乗用車で高圧水素タイプのFCVを試作したのは初めて。FCスタックはトヨタ製を使用。 ・2003年1月、「MOVE FCV-K-」が軽自動車クラスのFCVで初めて大臣認定を取得。2月から公道走行試験を開始。 ・2003年9月から、おおさかFCV推進会議に参加。FCVを推進するための各種イベントを実施。「MOVE FCV-K-」が2台参加している。
スズキ	未定	<ul style="list-style-type: none"> ・2001年10月にGMと燃料電池技術開発分野において、長期的に相互協力をする事で合意。車両への燃料電池搭載技術の開発および将来の燃料電池車の開発を目的とする。 ・2003年10月、GM製スタックを搭載した軽乗用車タイプの高圧水素形FCV「WagonR」,「MR Wagon」を発表し、大臣認定を取得。 ・2003 年 10 月、東京モーターショーで FCV コンセプトカー「Mobile Terrace」を出展。 ・JHFCプロジェクトに参加し、2004年1月から「WagonR」で公道走行実証試験を開始。
富士重工	未定	<ul style="list-style-type: none"> ・2000年度から「サンバーEV」をベースにメタノール改質形FCVを開発。NEDOのPEFCプロジェクトのフェーズの一環として実施。FCシステムを車載する場合の具体的な課題抽出を目的としたもの。2001年度以降はこれらの課題解決を目指した研究開発を行う。

出典：2003 年度 JARI 国内訪問インタビュー調査、2002 年度までの JEVA 国内訪問インタビュー調査、プレスリリース、新聞記事等を基に作成

国内メーカーによる FCV の一覧を表 3-5-6 に示す。

表 3-5-6 国内メーカーの燃料電池車一覧

	発表年月	車両	燃料タイプ	補助電源	諸元(参照)
トヨタ	1996.10	FCEV	水素吸蔵合金タンク	鉛酸電池	-
	1997.9	FCEV	メタノール水蒸気改質	ニッケル水素電池	表 3-5-7
	2001.3	FCHV-3	水素吸蔵合金タンク	ニッケル水素電池	表 3-5-8
	2001.6	FCHV-4	圧縮水素 (25MPa)	ニッケル水素電池	表 3-5-9
	2001.6	FCHV-BUS1	圧縮水素 (25MPa)	ニッケル水素電池	表 3-5-10
	2001.10	FCHV-5	クリーン炭化水素系	ニッケル水素電池	表 3-5-11
	2002.9	FCHV-BUS2	圧縮水素 (35MPa)	ニッケル水素電池	表 3-5-12
	2002.12	トヨタ FCHV	圧縮水素 (35MPa)	ニッケル水素電池	表 3-5-13
	2003.10	Fine-N	-	-	表 3-5-14
日産	1999.5	ルネッサ FCV	メタノール改質	リチウムイオン電池	表 3-5-15
	2000.10	エクステラ FCV	圧縮水素	リチウムイオン電池	表 3-5-16
	2002.12	X-TRAIL FCV	圧縮水素	リチウムイオン電池	表 3-5-17
	2003.10	EFFIS	圧縮水素	コンパクト リチウムイオン電池	表 3-5-18
	2003.11	X-TRAIL FCV 03 モデル	圧縮水素 (35MPa)	コンパクト リチウムイオン電池	表 3-5-19
ホンダ	1999.10	FCX-V1	水素吸蔵合金タンク	ニッケル水素電池	表 3-5-20
		FCX-V2	メタノール オートサーマル改質		表 3-5-21
	1999	FCX	メタノール改質	ニッケル水素電池	表 3-5-22
	2000.2	FCX-V3	圧縮水素 (25MPa)	ウルトラキャパシタ	表 3-5-23
	2001.1	FCX-V3	圧縮水素 (25MPa)	ウルトラキャパシタ	表 3-5-24
	2001.9	FCX-V4	圧縮水素 (35MPa)	ウルトラキャパシタ	表 3-5-25
	2002.11	Honda FCX	圧縮水素 (35MPa)	ウルトラキャパシタ	表 3-5-26
	2003.10	Honda FC STACK 搭載 FCX	圧縮水素 (35MPa)	ウルトラキャパシタ	表 3-5-27
	2003.10	KIWAMI	-	-	表 3-5-28
マツダ	1997.12	デミオ FCEV	水素吸蔵合金タンク	ウルトラキャパシタ	表 3-5-29
	1999.10	デミオ FCEV	水素吸蔵合金タンク	-	表 3-5-30
	2001.2	PREMACY FC-EV	メタノール改質	鉛酸電池 (始動用)	表 3-5-31
三菱	1999.10	MFCV	メタノール改質	リチウムイオン電池	表 3-5-32
	2001.10	スペース・ライナー	-	-	表 3-5-33
	2003.9	mitsubishi FCV	圧縮水素 (35MPa)	ニッケル水素電池	表 3-5-34
ダイハツ	1999.10	MOVE EV-FC	メタノール改質	ニッケル水素電池	表 3-5-35
	2001.10	MOVE FCV-K-	圧縮水素	ニッケル水素電池	表 3-5-36
スズキ	2003.10	MR ワゴン - FCV	圧縮水素 (34.5MPa)	なし	表 3-5-37
		ワゴン R - FCV			
	2003.10	Mobile Terrace	-	-	表 3-5-38
富士重工	2000	サンバー-FCEV	メタノール改質	-	表 3-5-39

注) : 2003 年度末現在までに大臣認定を取得した車両

表 3-5-7 TOYOTA FCEV (1997 年 9 月発表)

外 観	
全長×全幅×全高 (m)	3.980×1.695×1.635
乗車定員 (人)	5
航続距離 (km)	(10・15モード) 約 500
電動機種類	交流同期電動機
燃料電池	固体高分子形
燃料	メタノール
出力補助装置	ニッケル水素電池
価格	試作車

表 3-5-8 TOYOTA FCHV-3 (2001 年 3 月発表)

外 観	
全長×全幅×全高 (m)	4.685×1.825×1.720
乗車定員 (人)	5
最高速度 (km/h)	150 以上
航続距離 (km)	(10・15モード) 300 以上
電動機種類	永久磁石式同期電動機
電動機最大出力 (kW)	80
燃料電池	固体高分子形
燃料電池出力 (kW)	90
燃料	水素 (吸蔵合金 2.2 重量%) 300kg
出力補助装置	ニッケル水素電池
価格	試作車

表 3-5-9 TOYOTA FCHV-4 (2001年6月発表)


外 観	
全長×全幅×全高 (m)	4.735 × 1.815 × 1.685
乗車定員 (人)	5
最高速度 (km/h)	150 以上
航続距離 (km)	250 以上
電動機種類	交流同期電動機
電動機最大出力 (kW)	80
燃料電池	固体高分子形
燃料電池出力 (kW)	90
燃料	圧縮水素 (25MPa)
出力補助装置	ニッケル水素電池
価格	試作車

表 3-5-10 TOYOTA・HINO FCHV-BUS1 (2001年6月発表)

外 観	
全長×全幅×全高 (m)	10.515 × 2.490 × 3.360
乗車定員 (人)	63
最高速度 (km/h)	80 以上
航続距離 (km)	300 以上
電動機種類	交流同期電動機
電動機最大出力 (kW)	80 × 2
燃料電池	固体高分子形
燃料電池出力 (kW)	90
燃料	圧縮水素 (25MPa)
出力補助装置	ニッケル水素電池
価格	試作車

表 3-5-11 TOYOTA FCHV-5 (2001年10月発表)

外 観	
全長×全幅×全高(m)	4.735×1.815×1.685
乗車定員(人)	5
電動機種類	交流同期電動機
電動機最大出力(kW)	80
燃料電池	固体高分子形
燃料電池出力(kW)	90
燃料	クリーン炭化水素系燃料(CHF)
出力補助装置	ニッケル水素電池
価格	試作車

表 3-5-12 TOYOTA・HINO FCHV-BUS2 (2002年9月発表)

外 観	
全長×全幅×全高(m)	10.515×2.490×3.360
乗車定員(人)	60
最高速度(km/h)	80
電動機種類	交流同期電動機
電動機最大出力(kW)	160(80×2)
最大駆動トルク(Nm)	520(260×2)
燃料電池	固体高分子形(トヨタ製)
燃料電池出力(kW)	90×2
燃料	圧縮水素(35MPa)
出力補助装置	ニッケル水素電池
価格	試作車

表 3-5-13 TOYOTA FCHV (2002年12月発表)

外 観	
全長×全幅×全高 (m)	4.735 × 1.815 × 1.685
乗車定員 (人)	5
最高速度 (km/h)	155
航続距離 (km)	300 (10・15モード)
電動機種類	交流同期電動機
電動機最大出力 (kW)	80
燃料電池	固体高分子形 (トヨタ製)
燃料電池出力 (kW)	90 (最大)
燃料	圧縮水素 (35MPa)
出力補助装置	ニッケル水素電池
価格	120万円/月 (リース価格)

表 3-5-14 TOYOTA Fine-N (2003年10月発表)


外 観	
全長×全幅×全高 (m)	4.355 × 1.820 × 1.495
乗車定員 (人)	4
価格	コンセプトカー

表 3-5-15 Nissan ルネッサ FCV (1999年5月発表)

外 観	
燃料電池	固体高分子形 (Ballard 製)
燃料	メタノール
出力補助装置	リチウムイオン電池
価格	試作車

表 3-5-16 Nissan エクステラ FCV (2000年10月発表)

外 観	
燃料電池	固体高分子形 (Ballard 製)
燃料電池出力 (kW)	75
燃料	圧縮水素
出力補助装置	リチウムイオン電池
価格	試作車

表 3-5-17 Nissan X-TRAIL FCV (2002 年 12 月発表)

外 観	
全長×全幅×全高 (m)	4.465 × 1.765 × 1.790
乗車定員 (人)	5
最高速度 (km/h)	125 (国土交通省届出値)
電動機種類	減速機一体型同軸モーター
電動機最大出力 (kW)	58
燃料電池	固体高分子形 (UTC Fuel Cells 製)
燃料	圧縮水素 (35MPa)
出力補助装置	リチウムイオン電池
価格	試作車

表 3-5-18 Nissan EFFIS (2003 年 10 月発表)

外 観	
全長×全幅×全高 (m)	3.000 × 1.600 × 1.550
乗車定員 (人)	4
電動機種類	減速機一体型同軸モーター
燃料	圧縮水素
出力補助装置	コンパクトリチウムイオン電池
価格	コンセプトカー

表 3-5-19 Nissan X-TRAIL FCV 03 年モデル (2003 年 11 月発表)

外 観	
全長×全幅×全高 (m)	4.485 × 1.770 × 1.800
乗車定員 (人)	5
最高速度 (km/h)	145 (国土交通省届出値)
航続距離 (km)	350 以上
電動機種類	減速機一体型同軸モーター
電動機最大出力 (kW)	85
燃料電池	固体高分子形 (UTC Fuel Cells 製)
燃料電池出力 (kW)	63
燃料	圧縮水素 (35MPa)
出力補助装置	コンパクトリチウムイオン電池
価格	100 万円/月 (リース価格)

表 3-5-20 HONDA FCX-V1 (1999 年 10 月発表)

外 観	
電動機種類	永久磁石式同期電動機
電動機最大出力 (kW)	49
燃料電池	固体高分子形 (Ballard 製)
燃料電池出力 (kW)	60
燃料	水素 (水素吸蔵合金タンク)
出力補助装置	ニッケル水素電池
価格	試作車

表 3-5-21 HONDA FCX-V2 (1999年10月発表)

外 観	
電動機種類	永久磁石式同期電動機
電動機最大出力 (kW)	49
燃料電池	固体高分子形 (ホンダ製)
燃料電池出力 (kW)	60
燃料	メタノール
改質方法	オートサーマル方式
出力補助装置	ニッケル水素電池
価格	試作車

表 3-5-22 HONDA FCX (1999年発表)

外 観	
全長×全幅×全高 (m)	4.525×1.800×1.500
燃料電池	固体高分子形 (ホンダ製)
燃料	メタノール
出力補助装置	ニッケル水素電池
価格	試作車

表 3-5-23 HONDA FCX-V3 (2000年2月発表)

外 観	
車両重量 (kg)	1,750
乗車定員 (人)	4
最高速度 (km/h)	130
航続距離 (km)	(LA4モード) 180
電動機種類	永久磁石式同期電動機
電動機最大出力 (kW)	60
最大駆動トルク (Nm)	238
燃料電池	固体高分子形 (Ballard 製)
燃料電池出力 (kW)	62
出力補助装置	ウルトラキャパシタ
燃料	圧縮水素 (25MPa)
容量 (L)	100
価格	試作車

表 3-5-24 HONDA FCX-V3 (2001年1月発表)

外 観	
車両重量 (kg)	1,750
乗車定員 (人)	4
最高速度 (km/h)	130
電動機種類	永久磁石式同期電動機
電動機最大出力 (kW)	60
最大駆動トルク (Nm)	238
燃料電池	固体高分子形 (ホンダ製)
燃料電池出力 (kW)	70
出力補助装置	ウルトラキャパシタ
燃料 / 貯蔵方式	圧縮水素 (25MPa)
容量 (L)	100
価格	試作車

表 3-5-25 HONDA FCX-V4 (2001 年 9 月発表)

外 観	
車両重量 (kg)	1,740
乗車定員 (人)	4
最高速度 (km/h)	140
航続距離 (km)	(LA4 モード) 315
電動機種類	永久磁石式同期電動機
電動機最大出力 (kW)	60
最大駆動トルク (Nm)	238
燃料電池	固体高分子形 (Ballard 製)
燃料電池出力 (kW)	78
燃料 / 貯蔵方式	圧縮水素 (35MPa)
容量 (L)	137
価格	試作車

表 3-5-26 HONDA FCX (2002 年 11 月発表)

外 観	
全長 × 全幅 × 全高 (m)	4.165 × 1.760 × 1.645
乗車定員 (人)	4
最高速度 (km/h)	150
航続距離 (km)	355 (LA4 モードによる社内測定値)
燃費 (miles / kg-H ₂)	51 (市街地走行) / 48 (高速走行) ^{注)}
電動機種類	交流同期電動機 (ホンダ製)
電動機最大出力 (kW)	60
最大駆動トルク (Nm)	272
燃料電池	固体高分子形 (Ballard 製)
燃料電池出力 (kW)	78
出力補助装置	ウルトラキャパシタ (ホンダ製)
燃料 / 貯蔵方式	圧縮水素 (35MPa)
容量 (L)	156.6
価格	80 万円 / 月 (リース価格)

注) 米国環境保護庁 (EPA) 認定値

表 3-5-27 HONDA Honda FC STACK 搭載 FCX (2003 年 10 月発表)

外 観	
全長×全幅×全高 (m)	4.165×1.760×1.645
乗車定員 (人)	4
最高速度 (km/h)	150
航続距離 (km)	395 (LA モード)
電動機種類	交流同期電動機 (Honda 製)
電動機最大出力 (kW)	80 (109PS)
最大駆動トルク (Nm)	272 (27.5kg・m)
燃料電池	固体高分子膜型 (Honda 製)
燃料電池出力 (kW)	86
出力補助装置	ウルトラキャパシタ (Honda 製)
燃料 / 貯蔵方式	高圧水素 (35MPa)
容量 (L)	156.6

表 3-5-28 HONDA KIWAMI (2003 年 10 月発表)


外 観	
全長×全幅×全高 (m)	4.500×1.820×1.250
電動機種類	交流同期電動機 (Honda 製)
燃料電池	次世代高出力 Honda 製スタック
燃料 / 貯蔵方式	次世代エネルギーストレージ水素キャリア
価格	コンセプトカー

表 3-5-29 MAZDA DEMIO FCEV (1997年12月発表)

外 観	
全長×全幅×全高 (m)	3.800×1.670×1.535
乗車定員 (人)	4
最高速度 (km/h)	90
航続距離 (km)	(10・15モード) 170
電動機種類	交流同期電動機
電動機最大出力 (kW)	40
燃料電池	固体高分子形 (マツダ内製)
出力補助装置	ウルトラキャパシタ
最大出力 (kW)	20

表 3-5-30 MAZDA DEMIO FCEV (1999年10月発表)


外 観	
全長×全幅×全高 (m)	3.800×1.670×1.535
乗車定員 (人)	4
最高速度 (km/h)	140
航続距離 (km)	(10・15/10モード) 170
電動機種類	交流同期電動機
電動機最大出力 (kW)	50
燃料電池	固体高分子形 (Ballard 製)
燃料電池出力 (kW)	50
燃料	水素
価格	試作車

表 3-5-31 MAZDA PREMACY FC-EV (2001年2月発表)

外 観	
全長×全幅×全高 (m)	4.350×1.695×1.605
車両重量 (kg)	1,850
乗車定員 (人)	5
電動機種類	交流誘導電動機
電動機最大出力 (kW)	65 (88PS)
燃料電池	固体高分子形 (Ballard 製)
燃料	メタノール
出力補助装置	鉛酸電池 (始動時のみ)
価格	試作車

表 3-5-32 MITSUBISHI MFCV (1999年10月発表)

外 観	
電動機種類	永久磁石式同期電動機
電動機最大出力 (kW)	40
燃料電池	固体高分子形 (三菱重工製)
燃料電池出力 (kW)	40
燃料	メタノール
出力補助装置	リチウムイオン電池
価格	試作車

表 3-5-33 MITSUBISHI スペース・ライナー (2001年10月発表)

外 観	
全長×全幅×全高 (m)	4.900×1.880×1.530
乗車定員 (人)	4
駆動方式	4WD
燃料電池種類	DaimlerChrysler 社の NECAR 技術を想定した燃料電池

表 3-5-34 MITSUBISHI FCV (2003年9月発表)

外 観	
ベース車両	グランディス
全長×全幅×全高 (m)	4.755×1.795×1.690
車両重量 (kg)	2,000
乗車定員 (人)	5
最高速度 (km/h)	140
航続距離 (km)	150
電動機種類	交流誘導モータ
電動機最大出力 (kW)	65
最大トルク (Nm)	210
燃料電池	固体高分子 (Ballard 製)
燃料電池出力 (kW)	68
燃料	圧縮水素 (35MPa)
水素タンク容量 (L)	117
出力補助装置	ニッケル水素電池

表 3-5-35 DAIHATSU MOVE EV-FC (1999年10月発表)

外 観	
全長×全幅×全高 (m)	3.395 × 1.475 × 1.695
乗車定員 (人)	4
電動機種類	永久磁石式同期電動機
電動機最大出力 (kW)	32
燃料電池	固体高分子形
燃料電池出力 (kW)	16
燃料	メタノール
出力補助装置	ニッケル水素電池
価格	試作車

表 3-5-36 DAIHATSU MOVE FCV-K- (2001年10月発表)

外 観	
全長×全幅×全高 (m)	3.395 × 1.475 × 1.705
乗車定員 (人)	4
最高速度 (km/h)	105
航続距離 (km)	120
電動機種類	交流同期電動機
電動機最大出力 (kW)	32
最大駆動トルク (Nm)	65
燃料電池	固体高分子形 (トヨタ製)
燃料電池出力 (kW)	30
燃料	圧縮水素 (25MPa)
出力補助装置	ニッケル水素電池
価格	試作車

表 3-5-37 SUZUKI MR Wagon FCV , Wagon R FCV (2003 年 10 月発表)



外 観		
	ベース車両	MR ワゴン
全長×全幅×全高 (m)	3.395 × 1.475 × 1.680	3.395 × 1.475 × 1.590
乗車定員 (人)	4	
最高速度 (km/h)	110	
航続距離 (km)	130	
燃料電池	GM との共同開発	
燃料	圧縮水素 (34.5MPa)	
電動機型式	PB13A	
電動機最大出力 (kW)	33	

表 3-5-38 SUZUKI Mobile Terrace (2003 年 10 月発表)


外 観	
	全長×全幅×全高 (m)
乗車定員 (人)	6
電動機種類	4 輪インホイールモータ
価格	コンセプトカー

表 3-5-39 SUBARU サンバーFCEV (2000年発表)

<p>外 観</p>	
<p>ベース車両</p>	<p>スバル サンバートラック EV</p>
<p>電動機種類</p>	<p>永久磁石式同期電動機</p>
<p>電動機最大出力 (kW)</p>	<p>40</p>
<p>燃料電池</p>	<p>固体高分子形 (三菱電機製)</p>
<p>燃料電池出力 (kW)</p>	<p>10</p>
<p>燃料</p>	<p>メタノール</p>
<p>価格</p>	<p>試作車</p>

3-5-3 今後の販売展開・商品化について

各自動車メーカーによる FCV の今後の販売展開・商品化の計画について，国内訪問インタビュー調査結果，プレスリリース等から，表 3-5-40 に整理する。

表 3-5-40 自動車メーカーによる今後の FCV の販売展開・商品化の計画

トヨタ	<p>トヨタ FCHV について（リース限定販売済み）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 2003 年に，政府関係，地方自治体，エネルギー関連企業へのリース販売を行っている。 ・ 現状では，コスト，インフラ，サポート可能な地域に限界があるので，一気に増やすことはできない。 ・ 様々な技術課題をクリアしない限り，色々な車種に展開することはできない。公道走行で得られたデータをフィードバックしながら技術のレベルアップを図っていくことがまず必要。 <p>FCHV-BUS2 について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ FCHV と同様に，技術課題をクリアしてから今後の販売展開について具体的に検討したい。 ・ インフラを考えると，全国規模の整備が必要な乗用車に比べ，フリートのバスの方が導入しやすい。ただし，バスは耐久性の要求が厳しいので，技術レベル的には難しい。（乗用車とバスの普及が）どちらが先になるかは，市場側が決めていくことになる。 ・ 一般の人々に水素や FCV を知ってもらうためには，バスの方が効果は大きい。
日産	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2002 年 11 月に大臣認定を取得した X-TRAIL FCV に改良を加え，2004 年 3 月に限定リース販売を開始。
ホンダ	<p>Honda FCX について（リース限定販売済み）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 今後 2～3 年で，日米あわせて 30 台程度のリース限定販売を計画。（2002 年 12 月 3 日プレスリリース） ・ 日本では，官公庁や一般企業向けに販売する計画。（2002 年 12 月 3 日プレスリリース） ・ Honda 製内製スタックを搭載した FCX を 2005 年から日米でリース販売を開始する予定。従来型のバラード製 PEFC を 2004 年末までに中止し，ホンダ製に切り替える予定。
マツダ	<ul style="list-style-type: none"> ・ マツダ車としての FCV の商品化については，現状では未定。
三菱	<ul style="list-style-type: none"> ・ FCV の普及時期については，早くて 2010～2020 年頃と考えており，その時期に間に合うように商品化を進める。具体的な時期は未定。 ・ 販売時に想定している車種は，50～60kW の小型車クラスである。価格は HEV と同等以下を目指す。
スズキ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 商品化の具体的な車種や時期については未定である。
ダイハツ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 商品として販売できる時期は，現状ではわからない。技術の進展や他社の動向を見ながら検討していく。

出典：2003 年度 JARI 国内訪問インタビュー調査，2002 年度 JEVA 国内訪問インタビュー調査，プレスリリース等を基に作成

3-6 定置用等その他の用途の燃料電池の開発をめぐる状況

固体高分子形燃料電池はエネルギー効率、低騒音、環境適合性などの優れた特性から車載以外の用途への開発も進展している（表 3-6-1）。定置用 FC については、常温に近い作動温度で発電と給湯が可能（熱利用を含めた総合効率で 70%以上）なため、家庭用・業務用コージェネレーションとしての用途が有望視されており、内外のメーカーが開発を進めている（表 3-6-2～3-6-4）。また、既存のエネルギーインフラの整備が遅れている開発途上国支援の新たなツールとしても期待されている。

定置用 FC の実用導入時期は、低コスト化の目標値が内燃機関と競合する自動車ほど厳しくないため、自動車用よりも早いとされ、商業化競争は既に始まっているともいわれている。家庭用としては、すでに都市ガスが 2,500 万戸（カバー面積 5%）、LPG が 2,800 万戸に普及しているため、これらの改質形 FC の研究・開発が行われ、商品化が進められている。また、液体燃料として、灯油の改質技術の研究・開発も進められている状況にある。

こうした中で、平成 15 年 7 月、東京ガスは 2004 年度第 4 四半期に家庭用固体高分子形燃料電池コージェネレーションシステムの商用機を市場導入すると発表した。同時にこの市場導入機について、荏原バロードグループ、松下電器産業の 2 つの PEFC メーカーとの共同開発を開始したことも発表している。

表 3-6-1 車載用以外の主な利用形態

需要分野	概要
家庭用コージェネレーション	1～3kW 程度。住宅などの自家用電源。
非常用電源	バックアップ用家電（屋内での使用）
可搬型電源	工事用・レジャー用電源（エンジン発電機の代替）
モバイル用・携帯用電源	ノートパソコン、携帯電話用電源

表 3-6-2 家庭用・業務用 PEFC コージェネレーションシステムの開発状況(その 1)

開発会社		実用化の状況
海外	Ballard Generation Systems (米国)	<ul style="list-style-type: none"> ・ フィールドテスト機生産 (2000 年) ・ 250kW, \$1,500/kW 目標 (2004 年)
	Plug Power (米国)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 7kW, \$1,430/kW 目標 (2001 年)
	GM	<ul style="list-style-type: none"> ・ 天然ガスが燃料の多目的 5kW 級を商品化 (2003 ~ 2005 年) ・ 2005 年に緊急バックアップ用電源として定置用燃料電池を販売する計画を発表 (2002 年)
	H Power (米国)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 35 ~ 500W システムの商品化 (1998 年 ~) ・ 大阪ガスの改質器を用いたコージェネシステムの共同研究を実施 (2001 年) ・ 4.5kW コージェネ機を開発中 ・ 500WPEFC を三井物産を通じ、日本国内で販売予定 (2002 年)
国内	東芝 IFC	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2004 ~ 2005 年を目標に 1kW, 5kW 実用化開始 ・ 2000 年度より進められている日本ガス協会でのフィールドテストへ参加。0.7kW 天然ガス改質形 PEFC ・ 2002 年度 NEF 定置用燃料電池実証研究に参加。1kW LPG 改質形燃料電池, 都市ガス改質形燃料電池, 系統連系影響評価試験用 1kW 都市ガス改質燃料電池の実証試験を開始。 ・ 2003 年度 NEF 定置用燃料電池実証研究では, 1kW LPG 改質形, 都市ガス改質形燃料電池の実証運転を実施 ・ 2004 ~ 2005 年 1kW, 5kWPEFC 実用化開始
	三洋電機	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1kW 級, 純水素形携帯用発電機販売 (1998 年) ・ 大阪ガスの改質器の技術供与を受け, 1kW 級コージェネレーションの共同研究を実施 (2001 年) ・ 新型機商品化 (2002 年) ・ 都市ガス用 1kW 商品化目標は 2005 年。販売価格は 120 万円/kW を目標。 ・ 2000 年度より進められている日本ガス協会でのフィールドテストへ参加。0.8kW 天然ガス改質形 PEFC ・ 2002 年度 NEF 定置用燃料電池実証研究に参加。1kW 都市ガス改質形燃料電池の実証試験を開始 ・ 2003 年度 NEF 定置用燃料電池実証研究では, 1kW 都市ガス改質形燃料電池, 系統連系影響評価試験用 1kW 都市ガス改質燃料電池の実証運転を実施 ・ 2004 年 1kW 機 PEFC 試験販売開始
	富士電機	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1.5kW クラス PEFC の開発 ・ 2004 年, 都市ガス改質形 PEFC サンプル出荷開始
	三菱重工業	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2003 年 1 月, 都市ガス改質形家庭用 1kW PEFC のサンプル出荷を開始。2002 年度, 日本ガス協会への出荷を含め 2 台出荷し, 実証試験を行う。 ・ 2003 年度 NEF 定置用燃料電池実証研究では, 1kW 都市ガス改質形燃料電池の実証運転を実施 ・ 都市ガス改質形 1kW PEFC の市場導入目標は 2005 年。価格は 100 ~ 120 万円/台が目標

出典：定置用燃料電池実証研究中間報告会資料平成 16 年 3 月 16 日, 2002 年度 NEF 「FC 動向調査報告書」, (財)日本電動車両協会「平成 14 年度燃料電池自動車に関する調査報告書」平成 15 年 3 月 (以下「2002 年度 JEVA 『FCV に関する調査報告書』」と記す), 燃料電池実用化戦略研究会「燃料電池実用化戦略研究会報告」平成 13 年 1 月 22 日, プレスリリース, 新聞記事を基に作成

表 3-6-3 家庭用・業務用 PEFC コージェネレーションシステムの開発状況 (その 2)

開発会社		実用化の状況
国内	松下電器産業グループ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2004 年を目標に 1kW 級コージェネ実用化 ・ 価格目標は 100～120 万円/台 ・ 2000 年度より進められている日本ガス協会でのフィールドテストへ参加。1.3kW 天然ガス改質形 PEFC ・ 2002 年度 NEF 定置用燃料電池実証研究に参加。1kW 都市ガス改質形燃料電池の実証試験を開始 ・ 2003 年度 NEF 定置用燃料電池実証研究では、1kW LPG 改質形、都市ガス改質形燃料電池の実証運転を実施 ・ 東京ガスを通し、2004 年度末に家庭用固体高分子形燃料電池コージェネレーションシステムを販売開始予定。
	松下電工	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2004 年を目標に 1kW, LNG コージェネ
	荏原製作所, 荏原バラード	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日本での PEFC 発電システムの独占販売・サービス・製造を目的に Ballard Generation Systems との共同出資で荏原バラードを設立 (1998 年) ・ Ballard 製 250kW 級の実証試験 (2000 年) ・ 東京ガスとの天然ガス改質技術に関する提携を発表 (2000 年 1 月) ・ 大阪ガス改質器を用いたコージェネシステムの共同研究を実施 (2001 年) ・ 250kW コージェネ, 1kW 天然ガス形家庭用 (2003 年) ・ 生ゴミからのメタン燃料のコージェネシステムも予定 ・ 2000 年度より進められている日本ガス協会でのフィールドテストへ参加。1kW 天然ガス改質形 PEFC ・ 2002 年度 NEF 定置用燃料電池実証研究に参加。1kW 都市ガス改質形燃料電池の実証試験を開始 ・ 2003 年度 NEF 定置用燃料電池実証研究では、1kW 都市ガス改質形燃料電池の実証運転を実施 ・ 2003 年 1 月, 家庭用 1kW 級固体高分子形燃料電池 (PEFC) コージェネレーションシステムの準商用機 - 1 型の開発を完了。 ・ 2003 年 3 月, 純水素を燃料とするバックアップ電源, 災害時の非常電源等向けの 1kWPEFC 「Nexa」, 「Nexa」に制御装置, 電力変換機, バッテリー等を組み込んだパッケージ機 「FCBox」の販売を開始。 ・ 2003 年 12 月, 準商用機-2 型の開発を完了, フィールドテストを開始。 ・ 2004 年 1kWPEFC 商品化
	コスモ石油	<ul style="list-style-type: none"> ・ LPG をターゲットに改質器の開発 ・ 2003 年を目標に 1～10kW 石油系燃料実用レベル ・ ブタンガスを利用した家庭用燃料電池パッケージを開発
	コロナ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2003 年を目標に 1～3kW, 灯油実用化
出光興産	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2004 年を目標に LP ガス用実用化 ・ 灯油燃料の家庭用 FC 試験 1 万時間突破。1kW 級の試作・評価も実施予定 	

出典：定置用燃料電池実証研究中間報告会資料平成 16 年 3 月 16 日, 2002 年度 NEF 「FC 動向調査報告書」, 2002 年度 JEVA 「FCV に関する調査報告書」, 燃料電池実用化戦略研究会 「燃料電池実用化戦略研究会報告」平成 13 年 1 月 22 日, プレスリリース, 新聞記事を基に作成

表 3-6-4 家庭用・業務用 PEFC コージェネレーションシステムの開発状況 (その 3)

開発会社	実用化の状況
新日本石油	<ul style="list-style-type: none"> ・2003年1月、LPGを原燃料とする「固体高分子形 家庭用燃料電池 1kW 機」の実用機開発を完了し、第三者によるモニターテストを開始と発表。「戸建て住宅・集合住宅」や「モデルハウス」等に設置し、システムの信頼性・耐久性などに関する最終的な「実用検証」を行うことが目的。自治体、ゼネコン・ハウスメーカーを中心に6台でのテストを予定。4月以降100台程度の実用機を使用し、モニター先を拡大して実用試験を行う予定 ・2002年度 NEF 定置用燃料電池実証研究に参加。1kW LPG 改質形燃料電池、5kW ナフサ改質形燃料電池の実証試験を開始 ・2003年 NEF 定置用燃料電池実証研究では、1kW LPG 改質形、5kW 灯油改質形、5kW ナフサ改質形燃料電池の実証運転を実施。2006年度中の商品化を目指す。
日本電池	<ul style="list-style-type: none"> ・1kW 級で実用性の高い PEFC スタックの開発。2005年3月を目標。
東京ガス	<ul style="list-style-type: none"> ・日本ガス協会を介して NEDO の補助金を受け、PEFC 排熱温水の有効利用技術開発および純水素駆動形 PEFC システム開発を実施(2000~2001年)。2004年の実用化を目指す。 ・2002年改質効率83%(熱効率90%)の多重管構造の一体型燃料処理器を開発。荏原バロードや三菱重工を始めとしたシステムメーカーに技術提供中 ・2004年度第4四半期に家庭用固体高分子形燃料電池コージェネレーションシステムの商用機の市場導入を発表(2003年7月)
大阪ガス	<ul style="list-style-type: none"> ・500W および 1kW 級系統連系形家庭用コージェネシステムの開発 ・2000年1月から試験開始。2001~2002年頃プロトタイプ開発、2005年700W~1kW の都市ガス改質形 PEFC コージェネレーションシステムの商品化を目標
日立	<ul style="list-style-type: none"> ・2004年を目標に 1kW クラスの実用化 ・2003年度 NEF 定置用燃料電池実証研究では、日立ホーム・アンド・ライフ・ソリューションが 1kW 都市ガス改質形燃料電池の実証運転を実施
石川島播磨重工業	<ul style="list-style-type: none"> ・資本参加しているモザイク社より技術を移転し、5kW 級定置用 PEFC の製作に着手(2002年) ・2003年度 NEF 定置用燃料電池実証研究では、5kW 都市ガス改質形、灯油改質形燃料電池の実証運転を実施
トヨタ自動車	<ul style="list-style-type: none"> ・2004年を目標に住宅用燃料電池を事業化予定 ・2008年を目標に燃料電池を組み込んだモデル住宅を展示、販売予定 ・2000年度より進められている日本ガス協会でのフィールドテストへ参加。1.0kW 天然ガス改質形 PEFC ・2002年度 NEF 定置用燃料電池実証研究に参加。1kW 都市ガス改質形燃料電池の実証試験を開始 ・2003年度 NEF 定置用燃料電池実証研究では、1kW 都市ガス改質形燃料電池の実証運転を実施 ・2004年度に事業化予定 ・2008年モデル住宅とともに販売

出典：定置用燃料電池実証研究中間報告会資料平成16年3月16日、2002年度 NEF 「FC 動向調査報告書」、2002年度 JEVA 「FCV に関する調査報告書」、燃料電池実用化戦略研究会「燃料電池実用化戦略研究会報告」平成13年1月22日、プレスリリース、新聞記事を基に作成

出力 100kW 以下の電源としては、燃料電池の他にマイクロガスタービンが注目されている。これは米国を中心に開発が進んでおり、既に 75kW のガスタービン発電機が実用化されている。今後、家庭用コージェネレーションの分野で燃料電池と競合する可能性がある。

また、屋外などで使うポータブル電源向け燃料電池、数 W ~ 数十 W レベルの出力が

必要なモバイル（携帯電子機器）向け、携帯電話などの小型機器向け燃料電池の開発も進んでいる。特にポータブル電源向けの燃料電池としては、荏原バラードは、2003年3月、純水素を燃料とするPEFC「Nexa」（100万円）、「Nexa」に制御装置、電力変換機、バッテリー等を組み込んだパッケージ機「FCBox」（250万円）の販売を開始した。表3-6-5にポータブル電源向けの燃料電池の開発動向を、表3-6-6にモバイル向け、小型機器向けの燃料電池の開発動向をまとめる。

表 3-6-5 ポータブル電源向け燃料電池の開発動向

メーカーなど	概要	出典	
ポータブル電源向け	荏原バラード	2003年3月、純水素を燃料とする燃料電池「Nexa」、「FCBox」の販売を開始した。「Nexa」は、固体高分子形燃料電池スタックと冷却ファン、エアプロア、加湿器、制御ボードなどの部品を組み合わせてモジュール化した製品。小型発電機や小型自動車などの様々なアプリケーションに組み込んで発電部品として使用可能。発電出力1200W、価格100万円。「FCBox」は、固体高分子形燃料電池モジュール「Nexa」に制御装置、電力変換器、バッテリーなどを組み合わせてパッケージ化した製品。用途はバックアップ用電源、災害時の非常用電源、工事・作業用電源など。発電出力850W、価格は250万円。	荏原バラード HP 製品情報より
	YUASA	YUASAは、出力100Wおよび300Wプロトタイプの開発に成功したことを受けて、2003年にもDMFCの量産に取り掛かることにした。2002年内にも大阪工場内に専用生産ラインを設置する予定で、将来はFCを主要な事業の1つに育成し、年商数100億円を目指すとして述べている。	化学工業日報 2002/1/18
		可搬型の燃料電池"YFC-100"を新発売した。低濃度メタノール水溶液を燃料に用いて、水素ガスに改質することなく、直接発電できる直接メタノール燃料電池(DMFC)を用いた、出力100Wと300Wの電源システムを世界で初めて開発し、100Wシステムの商品化に成功した。今回の開発の一部は、経済産業省から地球環境保全関係産業技術開発促進費補助金を受け、(財)国際環境技術移転研究センターとの共同研究として、平成11年度から行ってきた研究開発の成果である。	YUASA プレスリリース 2002/11/26
	松下電工	松下電工は2001年2月、200WのPEFCを搭載したカセットボンベ式発電機のテスト販売を開始した。ただし、価格は「最初は手作りに近いので300～400万円」。今後、2001年末から2002年にかけて量産ラインを立ち上げてコストダウンに取り組んでいくという。	「燃料電池開発最前線」 日経BP社 2001/6/29
ホンダ	ホンダは2001年9月4日、アメリカ・スタンフォード大学と共同で、半導体製造技術を応用した超小型FCの開発に成功したと発表。水素と酸素を通す溝を、厚さが0.8mmのシリコンウエハーに微細加工、厚さ数mmの電池内部を水素と酸素が流れて発電する仕組み。極薄膜を作る技術の応用によって、半導体のように平面上に発電セル基板を並べた構造が可能になり、超小型FCが実現した。従来のスタック型セル構造に比べて、構造の簡素化による高出力密度化や製造工程の簡略化が図られる。	日刊工業、日経産業、日本工業、日刊自動車新聞他 2001/9/5、朝日新聞 2001/9/6	

表 3-6-6 モバイル向け、小型機器向け燃料電池等の開発動向

メーカーなど	概要	出典	
モバイル電源向け	ソニー	<p>ソニーは、2001年8月10日、FCの小型化を実現する技術を開発し、FC分野に参入することを明らかにした。</p> <p>電解質膜に炭素分子"フラーレン"に酸素と水素の原子を付けた化合物を使ったFCで、水分が無くても電解質中を水素イオンが移動できるため、水を送り込む必要がないなど、大掛かりな装置を使う必要のない点において大きな特徴を持つ。燃料となる水素は合金から供給される。ソニーは今回開発した技術を具体的にどう製品化するかは未定としているが、小型化が実現すれば、家電や携帯電話などの電源に利用することも可能になると述べている。</p>	朝日新聞 2001/08/10、 電気新聞、化学工業日報 2001/08/13、
	NEC	<p>2003年2月に開催された「nano tech 2003 国際ナノテクノロジー総合展」にノートパソコンとコードで接続する小型のダイレクトメタノール形燃料電池を出展。メタノール燃料込の重量は790gで、5時間発電する。2004年度中には1回の燃料補給で30時間以上使える燃料電池を開発する計画である。</p> <p>燃料電池を搭載したノートパソコンを試作し、「WPC EXPO 2003」において、展示および駆動デモンストレーションを行った。開発した燃料電池は、世界最高の50mW/cm²という出力密度を実現。今後、燃料電池内蔵ノートパソコンの2004年中の実用化、および40時間連続稼働可能な燃料電池内蔵ノートパソコンの2005年中の製品化を目指し研究開発に注力する。</p>	NEC プレスリリース 2003/03/01 日本工業新聞 2003/3/11 NEC プレスリリース 2003/09/17
小型機器向け	東芝	<p>ノートパソコン用のDMFCを開発したと発表した。平均12W、最大20Wの出力が可能である。2004年中の製品化を目指す。</p> <p>開発した燃料電池は体積825cc(275×75×40mm)、900g。50ccのメタノールが入ったカートリッジ72gを内蔵し、高濃度のメタノールを使用すれば約5時間、100cc(120g)の場合には約10時間の発電が可能である。</p> <p>携帯電話などのモバイル機器に使える手のひらサイズの小型燃料電池の開発に成功した。2005年中の製品化を目指す。</p> <p>開発品は出力1W、容積140cc、重量130g。</p> <p>また、高濃度メタノールを発電時に生成された水で、発電に適した濃度に希釈する「希釈循環システム」の採用により、少ない燃料でも長時間の発電ができる。高濃度メタノールを25cc供給した場合には約20時間の発電が可能。</p>	東芝 プレスリリース 2003/03/05 東芝 プレスリリース 2003/10/03
	日立製作所	<p>2003年2月に開催された「nano tech 2003 国際ナノテクノロジー総合展」に小型の燃料電池を出展。2005年度中にも100cc程度の燃料で8~10時間程度使える製品の市場投入を計画している。</p>	日本工業新聞 2003/03/11
	カシオ計算機	<p>カシオ計算機はノートパソコンなど携帯情報端末向けの燃料電池を開発、2004年にも実用化すると発表した。切手大の高性能で小型の改質装置チップを使用、同体積充電式二次電池の約4倍の寿命を持つ。この技術について国内で約100件以上の特許を出願済みであり、海外でも20件申請中である。</p>	カシオ計算機 プレスリリース 2002/03/06
	三洋電機	<p>ノートパソコンや携帯電話の電源に使う小型DMFCを開発し、自社で生産する携帯電話に搭載するだけでなく、外販も手掛ける。三洋はフィンランドのノキアの携帯電話やアメリカIMBのノートパソコンにリチウムイオン電池を供給しており、DOFCも国内外で販売する。</p>	日経新聞 2003/08/12
	富士通	<p>株式会社富士通研究所は、30%の高濃度メタノール燃料が使用可能な燃料電池の材料技術開発に成功し、これを用いた携帯機器向けプロトタイプシステムを開発した。この開発した技術により、マイクロ燃料電池の高容量化が可能となり、ノートPC・PDA・携帯電話などの携帯機器の長時間動作が実現するという。</p>	富士通 プレスリリース 2004/01/26

3-7 燃料電池をめぐる国際連携の動き

3-7-1 燃料電池車に関する協力関係

燃料電池車の開発は基本的には各自動車メーカーが独自に行っているが、近年、企業間で国際連携を行う動きも活発である。以下に各社の資本提携関係等を整理する。

(1) 主要な自動車メーカーの資本関係

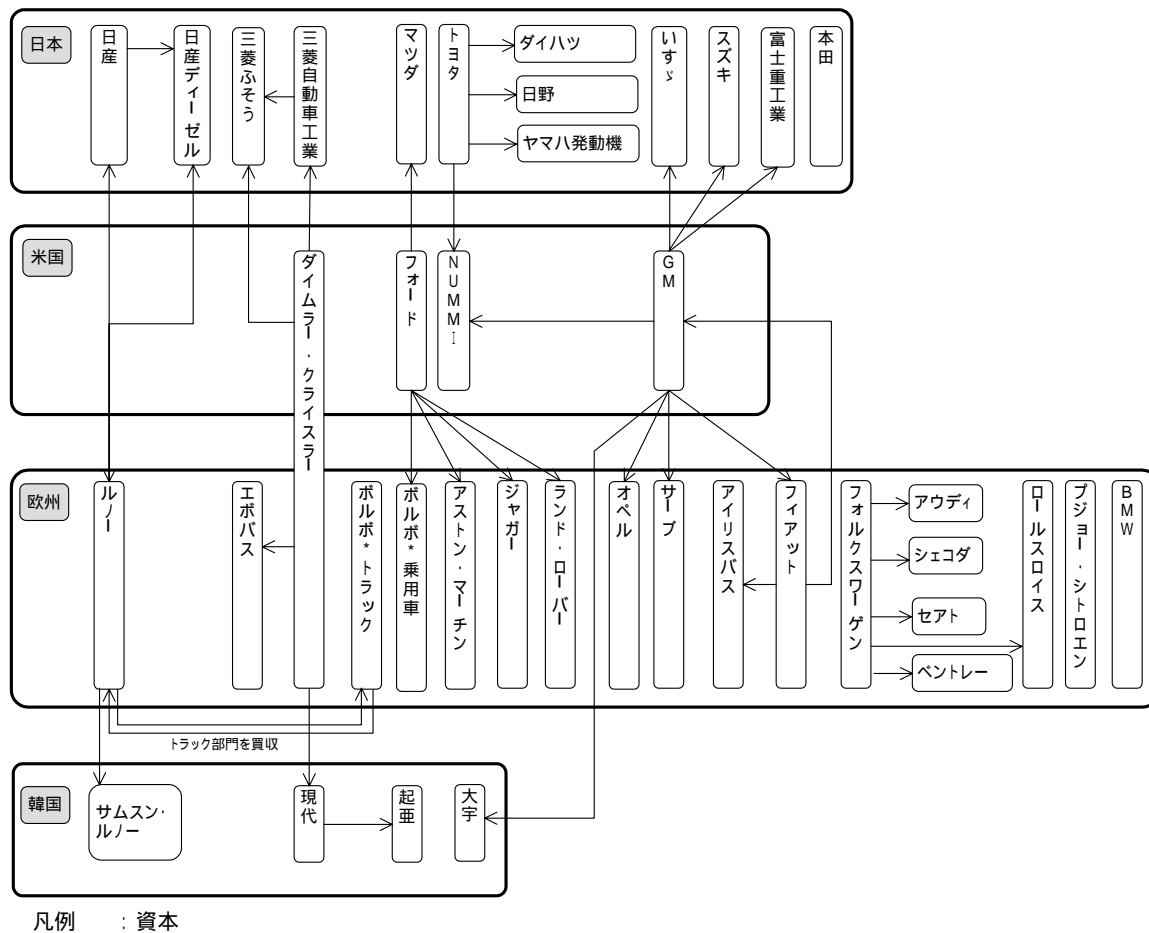
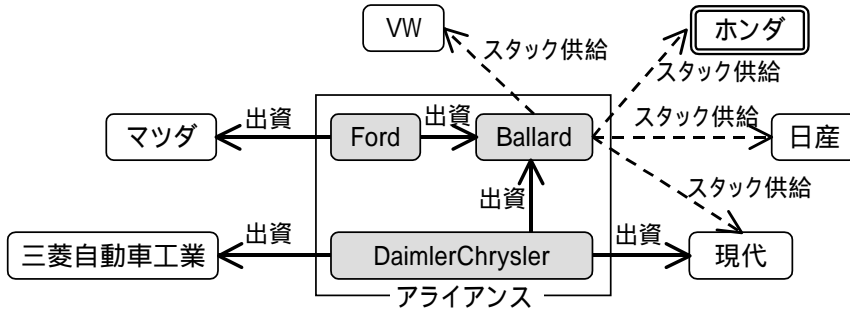


図 3-7-1 自動車メーカーの資本提携関係

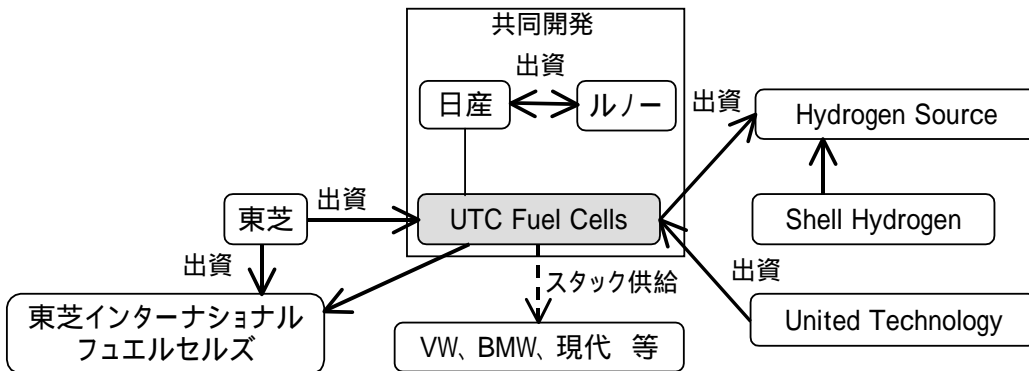
出典：「NIKKEI MECHANICAL 別冊 21世紀のクルマはこうなる part2」（2000年7月17日），「燃料電池実用化戦略研究会報告書」（平成13年1月22日）を基に作成

(2) FC スタックメーカーと自動車メーカーとの関係

a) Ballard グループ



b) UTC Fuel Cells グループ



c) 自動車メーカー内製グループ

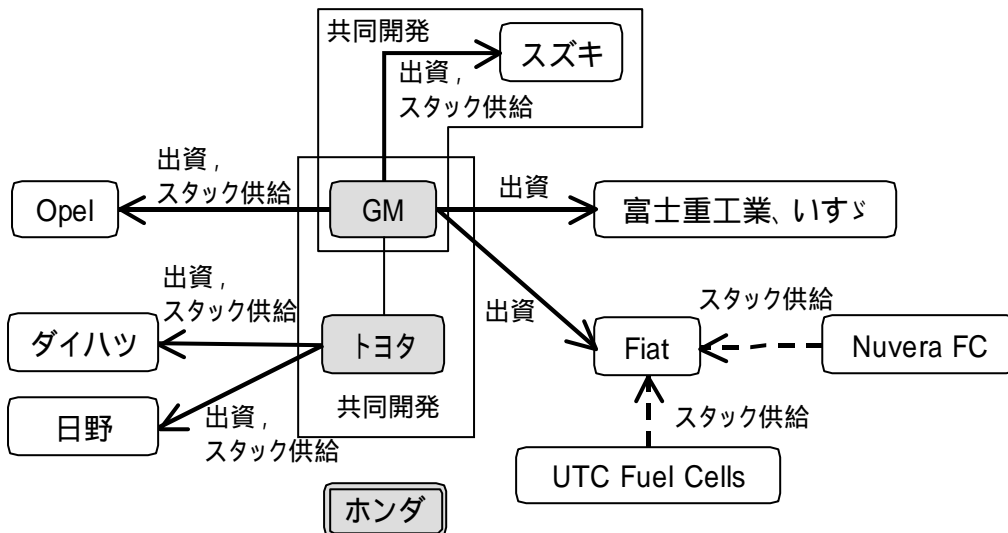


図 3-7-2 FC スタックメーカーと自動車メーカーとの関係

出典：燃料電池実用化戦略研究会報告書（平成 13 年 1 月 22 日）を基に作成

(3) 石油メーカーと自動車メーカーの関係

- ・石油メーカーを中心とした技術提携・共同開発

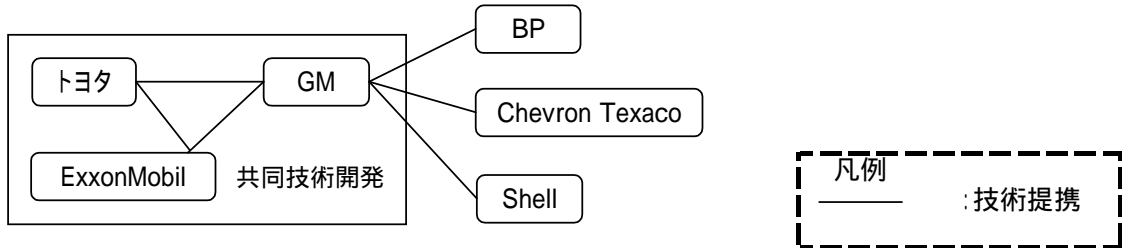


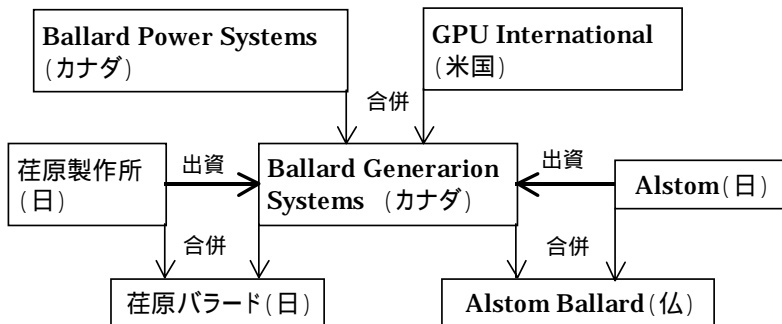
図 3-7-3 石油メーカーと自動車メーカーとの関係

出典：燃料電池実用化戦略研究会報告書（平成 13 年 1 月 22 日）を基に作成

3-7-2 定置用燃料電池メーカーを中心とした協力関係

定置用燃料電池における主要企業の資本関係に関して以下に示す。

a) Ballard グループ



b) GE/Plug Power/H Power グループ

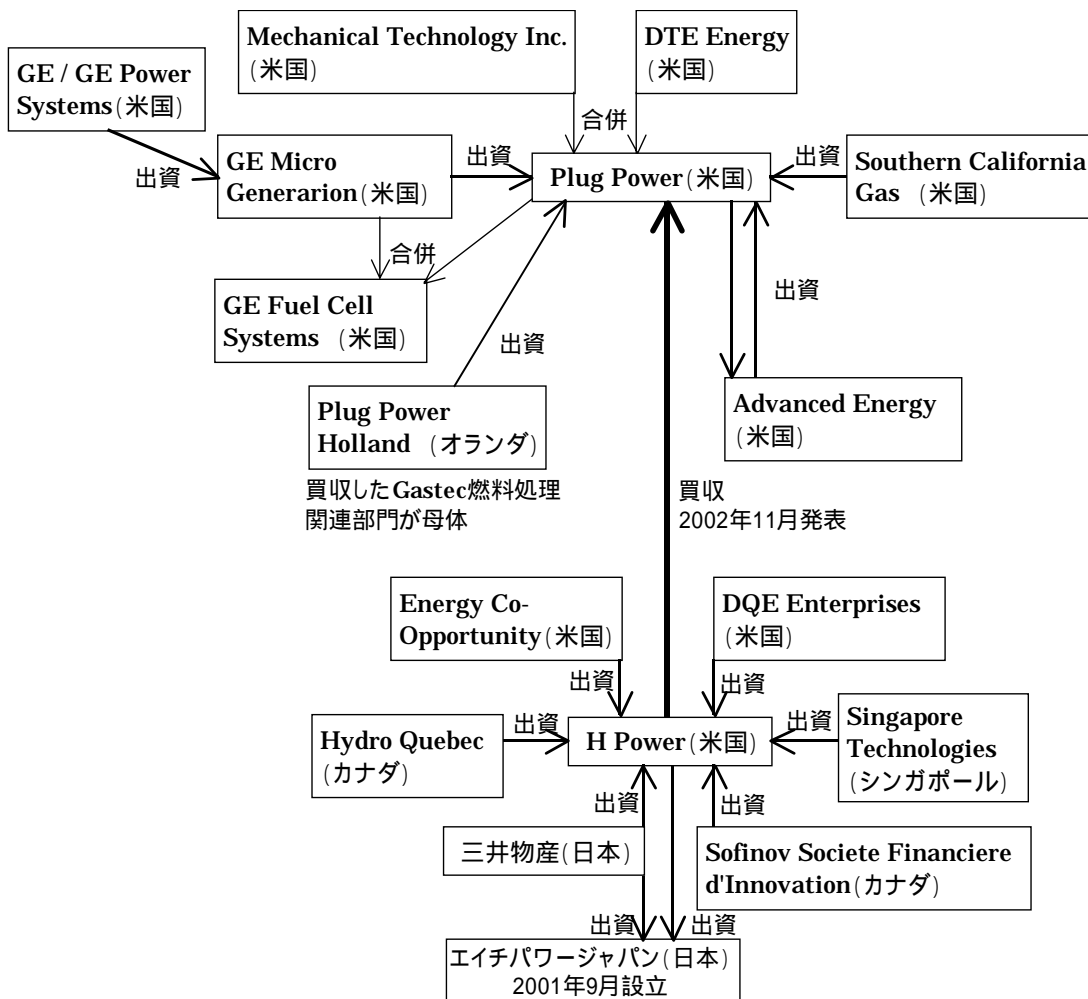
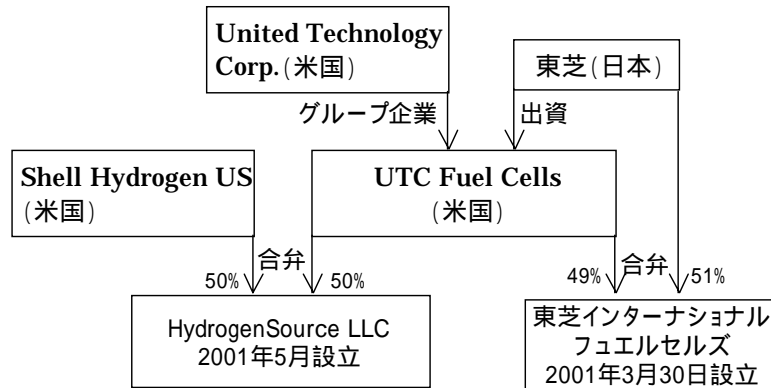


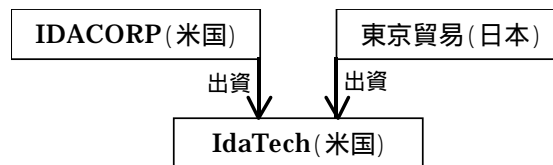
図 3-7-4 定置用燃料電池における主要企業の資本関係(その 1)

出典：燃料電池実用化戦略研究会報告書（平成 13 年 1 月 22 日）を基に作成

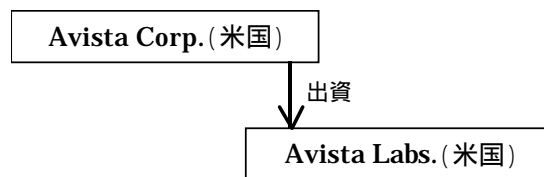
c) UTC Fuel Cells グループ



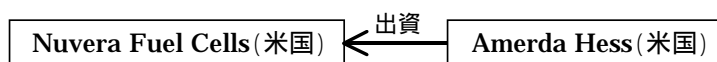
d) IdaTech グループ



e) Avista グループ



f) Nuvera グループ



g) Energy Partners グループ

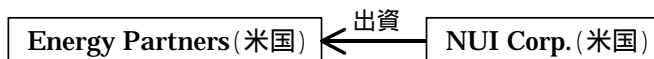


図 3-7-5 定置用燃料電池における主要企業の資本関係(その2)
 出典：燃料電池実用化戦略研究会報告書(平成13年1月22日)を基に作成

h) MOSAIC グループ

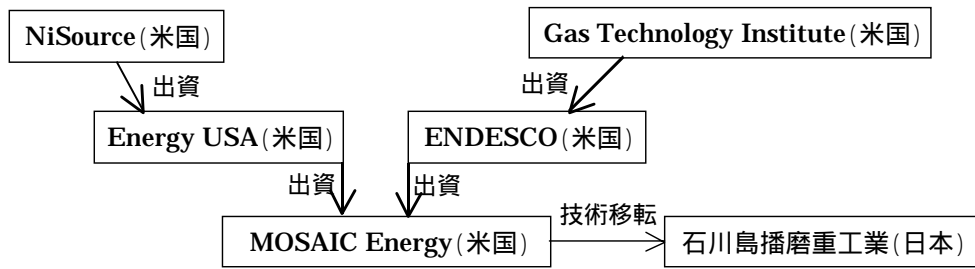


図 3-7-6 定置用燃料電池における主要企業の資本関係(その3)

出典：燃料電池実用化戦略研究会報告書（平成13年1月22日）を基に作成

3-7-3 主要企業の合併, 事業分割等の経緯

図 3-7-7, 図 3-7-8 に燃料電池関係企業の合併, 事業分割の相関図を示す。

2004年3月現在

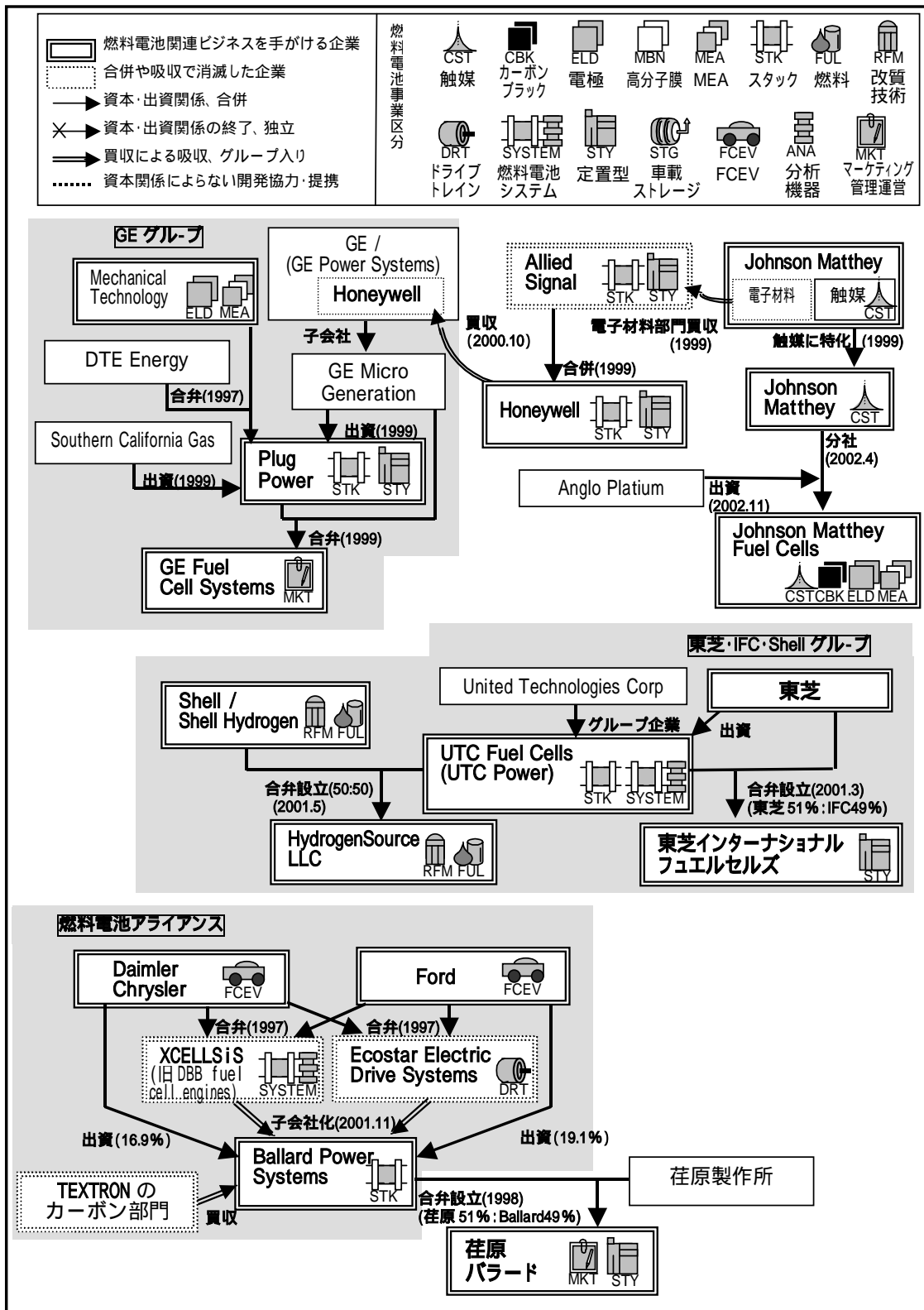


図 3-7-7 主要企業の資本関係(合併, 合併, 事業分割の相関図)(その1)

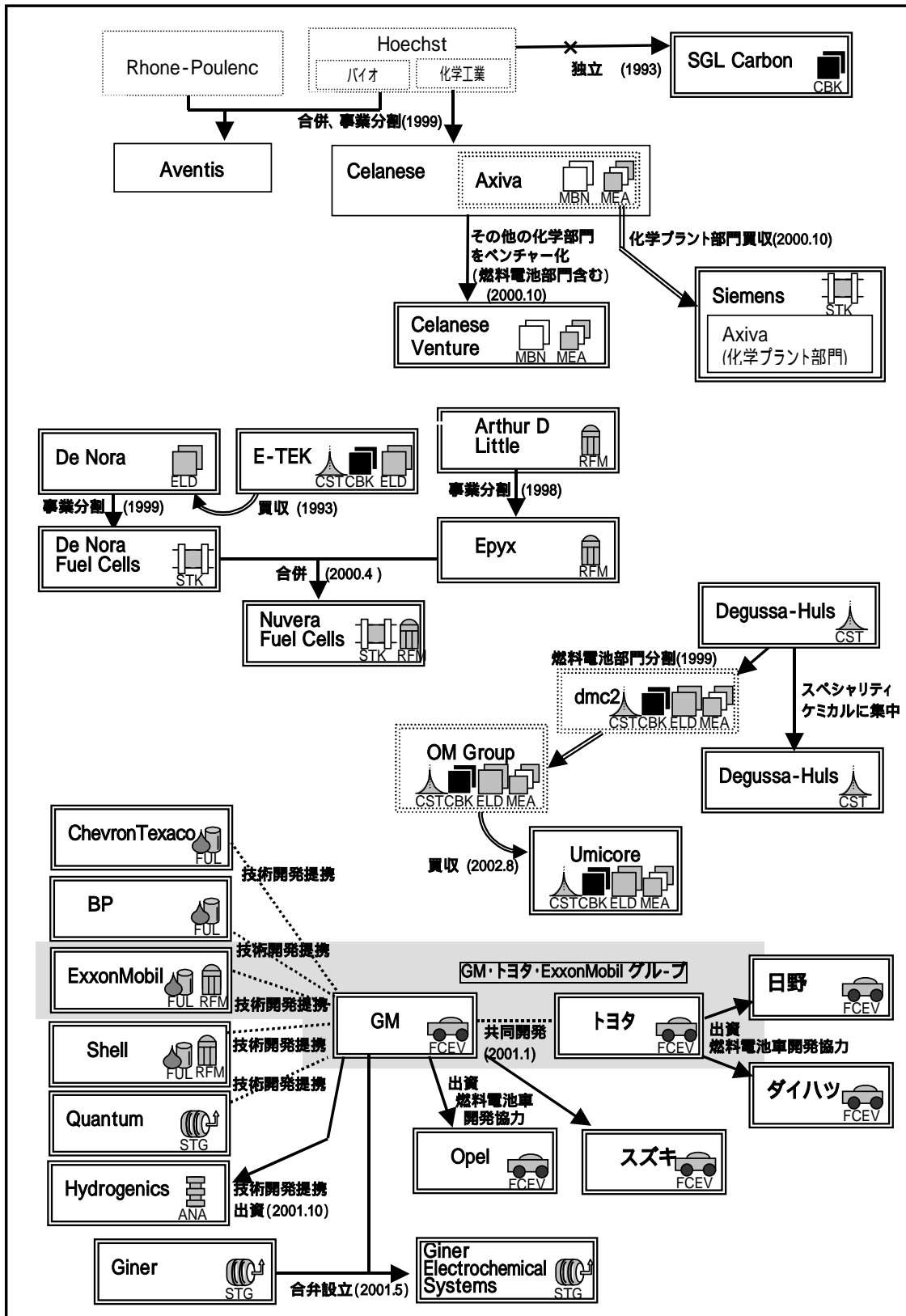


図 3-7-8 主要企業の資本関係(合併, 合併, 事業分割の相関図) (その 2)

3-7-4 燃料電池に関する標準化に向けた取組み状況

燃料電池に関する国際標準については、ISO（国際標準化機構）および IEC（国際電気標準会議）の場において議論がなされている（図 3-7-9）。

ISO と IEC の場では、燃料電池、燃料電池車（電気自動車の一部という扱い）、水素技術の観点から標準化活動が行われている。それぞれの審議体制を図 3-7-10 に示す。

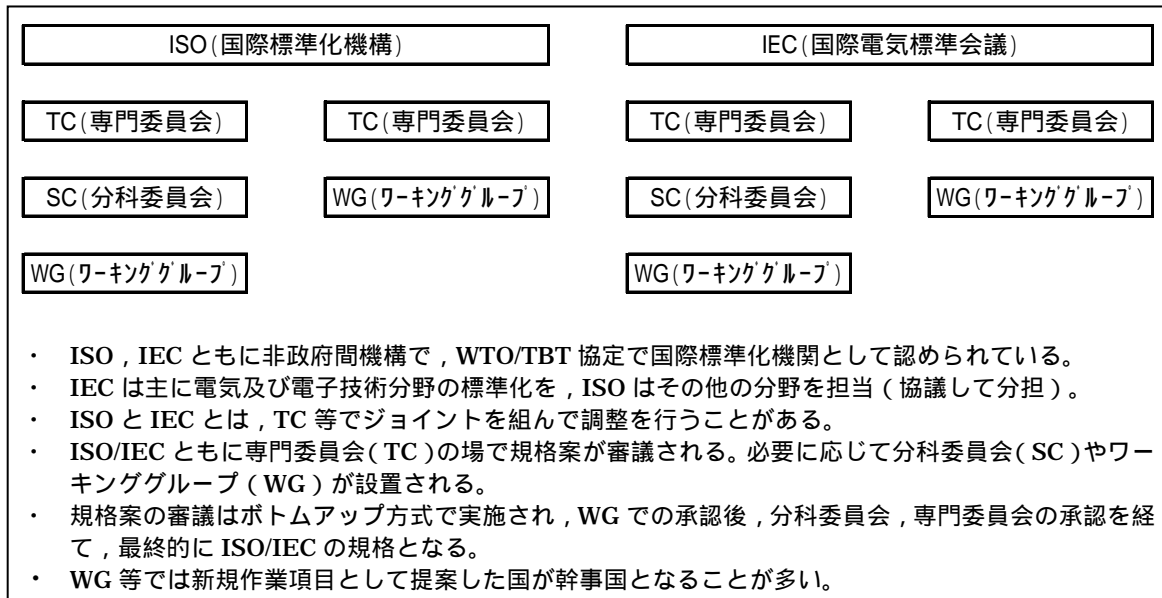
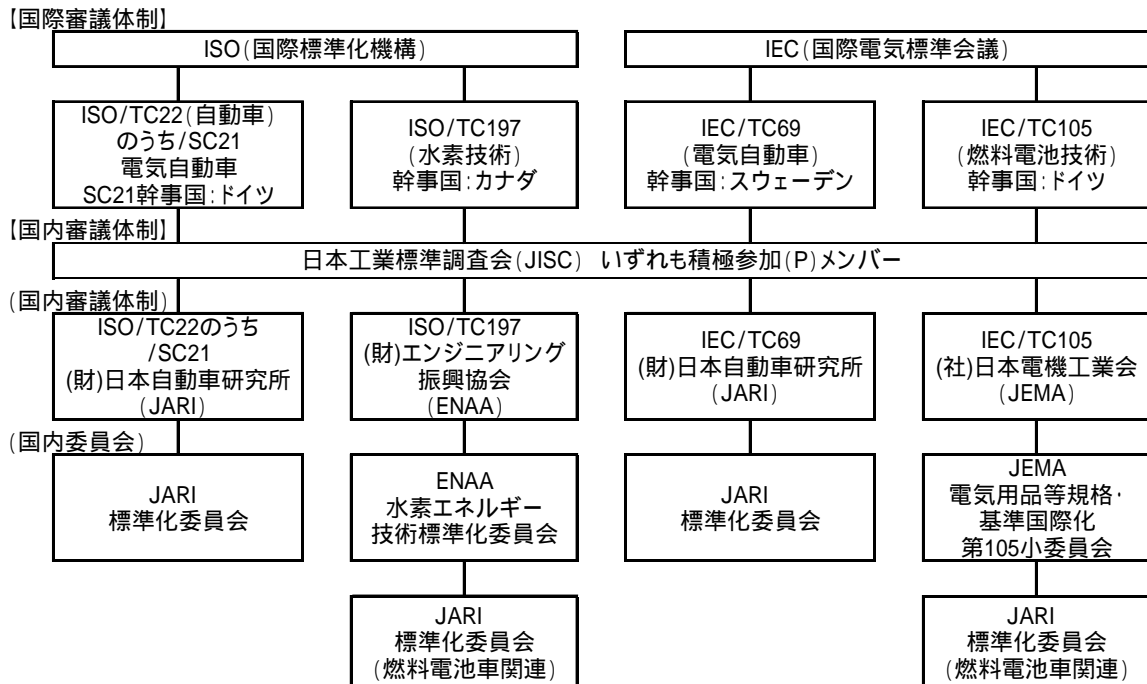


図 3-7-9 組織と企画策定手順

出典：燃料電池実用化戦略研究会報告書（平成 13 年 1 月 22 日）



平成14年度まではJEVAが実施主体であったが、平成15年7月1日のJARIとの統合化により、平成15年度以降の実施主体はJARIとなっている。

図 3-7-10 燃料電池の標準化に係る審議体制

3-8 燃料電池に関する法令・規制の状況

3-8-1 燃料電池に関する主な法令・規制

現在の燃料電池に関連した法令・規制には、燃料供給施設に関連した法令・規制、自動車走行に関連した法令・規制、定置用燃料電池に関連した法令・規制がある。表 3-8-1 に主な法令・規制を整理する。

表 3-8-1 燃料電池に関連した主な法令・規制

	法令等の名称	備考
燃料電池車		
車両	道路運送車両法	燃料自動車全般
燃料タンク	高圧ガス保安法	水素等燃料タンク
燃料供給施設		
水素	高圧ガス保安法	貯蔵水素ガス
	建築基準法	水素貯蔵量
天然ガス	高圧ガス保安法	貯蔵天然ガス
	ガス事業法	ガス工作物としての天然ガス
	建築基準法	天然ガス貯蔵量
LPガス	高圧ガス保安法	貯蔵LPガス
	建築基準法	LPガス貯蔵量
メタノール	毒物及び劇物取締法	劇物としてのメタノール
	労働安全衛生法	有害物質としてのメタノール
	消防法	危険物としてのメタノール
定置用		
電気	電気事業法	定置用燃料電池全般
消防	消防法	灯油の貯蔵量，離隔距離
	東京都火災予防条例	燃料電池発電設備
天然ガス	高圧ガス保安法	高圧の定置用燃料電池
	ガス事業法	天然ガスの供給設備及び消費設備
LPガス	液化石油ガス法	LPガスの供給及び消費設備
建築	建築基準法	灯油，LPガスの貯蔵量

3-8-2 燃料供給施設関連

(1) 水素設備に係る法規制^{注)}

1) 水素の法的扱い

圧縮水素および液化水素は、高圧ガス保安法第 2 条に定められている「高圧ガス」(常用の温度又は温度 35 においてゲージ圧力が 1MPa 以上が対象)の扱いを受ける。

それぞれ、

- ・圧縮水素：可燃性ガス
- ・液化水素：液化ガス(可燃性ガスの極低温貯蔵は、液化ガスとして取り扱ってよい)の基準が適用される。

注) 平成 9 年度，10 年度の WE-NET 計画サブタスク 7 において詳しく検討されている。本項は基本的に以下の報告書からの引用である。
水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET) サブタスク 7 水素利用技術に関する調査・検討 (平成 11 年 3 月)

2) ガス水素，液体水素の貯蔵・処理等の行為に係るガス施設関連法規

ガス水素，液体水素の貯蔵・処理等の行為は，表 3-8-2 に示すガス施設関連法規の適用を受ける。貯蔵および消費に関しては，容積 300m³ 以上の貯蔵を行っている場合が対象となる。

表 3-8-2 ガス施設関連法規一覧

各種行為		関連法規
ガス水素 及び 液体水素 の貯蔵	貯槽貯蔵	一般高圧ガス保安規則 第 22 条（貯槽により貯蔵する第 1 種貯蔵所 ^{*1} に係る技術基準） 第 26 条（第 2 種貯蔵所 ^{*2} に係る技術基準）
	容器貯蔵	一般高圧ガス保安規則 第 23 条（容器により貯蔵する場合の技術基準）
液体水素の移充填		一般高圧ガス保安規則 第 6 条（定置型製造設備に係わる技術上の基準）
圧縮水素の消費		高圧ガス保安法 第 24 条の 2（消費）

*1 第 1 種貯蔵所：都道府県知事の許可を受けて設置する貯蔵所

*2 第 2 種貯蔵所：都道府県知事に届け出て設置する貯蔵所

出典：水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）サブタスク 7 水素利用技術に関する調査・検討（平成 11 年 3 月）

3) 貯蔵・貯槽容器に関する規制

建築基準法によって都市計画法が定める用途地域ごとに，表 3-8-3 に示すような各種燃料の処理・貯蔵の数量に関する規制がある。圧縮水素は可燃性ガスとしての規制を受け，液体水素は液化ガスとしての規制を受ける（届け出る自治体によっては，圧縮水素を圧縮ガスとして取り扱う可能性もある。その場合は表 3-8-3 の 10 倍の貯蔵まで許される）。

表 3-8-3 建築基準法による水素の処理・貯蔵の規制数量

		準住居地域	商業地域	準工業地域	工業地域， 工業専用地域 用途地域以外
圧縮水素 (Nm ³)	常時貯蔵する場合	35	70	350	無制限
	製造所等で処理する場合	1,000	2,000	10,000	無制限
液体水素 (トン)	常時貯蔵する場合	3.5	7	35	無制限
	製造所等で処理する場合	100	200	1,000	無制限

4) 施設の敷地に関する法規制

施設の敷地に関する法規制としては，貯蔵設備または処理設備から保安物件に対する距離（m）の規制があり，貯蔵能力（圧縮水素は m³，液化水素は kg）または処理能力に対応して，隣接施設に対して表 3-8-4 に示す距離を確保する必要がある。ここで第一種保安物件とは，学校（校庭も含む），患者 20 名以上の収容施設を有する病院（庭も含む），定員 300 人以上の劇場・映画館・図書館等，1 日平均乗降者 20,000 人以上の駅の母屋およびプラットホーム，百貨店・マーケット・ホテル等で不特定多

数のものを収容する 1,000m² 以上のものである。第二種保安物件とは、第一種保安物件以外の建築物で住居の用に供するものである。

高圧ガス製造設備における関連法規の立地規制の概要を図 3-8-1 に示す。

表 3-8-4 保安物件に対する水素貯蔵・処理設備の施設距離

	貯蔵または処理能力：x (m ³ または kg/日)		
	0 x < 10000	10000 x < 52500	52500 x < 990000
第一種保安物件からの距離 (m)	$12\sqrt{2} = 16.97$	$\frac{3}{25}\sqrt{x+10000}$	30
第二種保安物件からの距離 (m)	$8\sqrt{2} = 11.31$	$\frac{2}{25}\sqrt{x+10000}$	30

出典：水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET) サブタスク 7 水素利用技術に関する調査・検討 (平成 11 年 3 月)

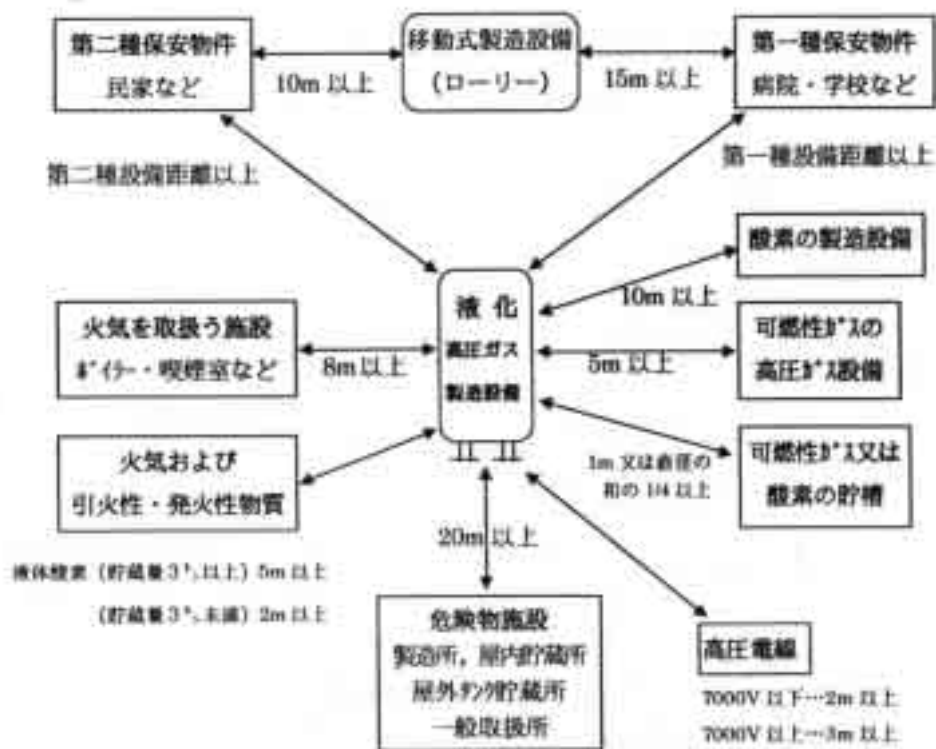


図 3-8-1 高圧ガス製造設備における関連法規の立地規制の概要

出典：水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET) サブタスク 7 水素利用技術に関する調査・検討 (平成 11 年 3 月)

5) 従来の輸送機関用各種供給スタンドに関する法規制

CNG, LPG, LNG スタンド, およびガソリンスタンドは, それぞれ以下の法規により施設の立地に関する規制を受けている。

表 3-8-5 輸送機関用各種供給インフラに関する法規制

スタンド	法規制
CNG スタンド	一般高圧ガス保安規則の「圧縮天然ガススタンドに係わる技術上の基準」
LPG スタンド	液化石油ガス保安規則の「液化石油ガススタンドに係る技術上の基準」
LNG スタンド	一般高圧ガス保安規則
ガソリンスタンド	消防法の「給油取扱所」

注1) LNG, LPG を充填する場合は高圧ガスの製造に該当し, 1日あたりの処理量(100m³/日以上と未満)によって, 第一種製造設備と第二種製造設備に分類される。これら設備は, 許可と届け出の違いはあるが, 立地条件での違いはない。CNG スタンドは別基準がある。

注2) CNG, LPG, LNG スタンドを給油所と隣接して建設する場合, 消防法の規制を受ける。

また, 建築基準法によって都市計画法が定める用途地域ごとに, 各種燃料の貯蔵の数量に関する規制がある。これにより CNG の畜ガス器や, LPG のタンク, ガソリンスタンドのタンクの大きさが表3-8-6に示すように規制されている。CNG については, 平成9年までは水素と同じ可燃性ガスの扱いを受け, 表中の数値の10分の1の貯蔵しか認められていなかったが, 圧縮ガスの扱いに変更され, 表中の数値までが貯蔵できることになった。これによる貯蔵数量の増加により過剰設備を持つことなく CNG 自動車への充填時間の短縮等が可能となった。

表 3-8-6 建築基準法による各種燃料の処理・貯蔵の規制数量

	準住居地域	商業地域	準工業地域	工業地域, 工業専用地域 用途地域以外
CNG (Nm ³)	350	700	3,500	無制限
LNG (トン)	3.5	7	35	無制限
LPG (トン)	3.5	7	35	無制限
ガソリン (L)	500 (50,000)	1,000 (50,000)	5,000 (50,000)	無制限

注) () は地下貯蔵槽についての特例

参考として, 各種燃料の供給スタンドにおける運営に必要な法的資格者を表 3-8-7に示す。

表 3-8-7 燃料供給施設運営に必要な法的資格者

燃料種別	法令	資格
ガソリンスタンド (SS)	消防法	以下のいずれかの免状の交付と6ヶ月以上の実務経験を有する者 甲種危険物取扱者免状 乙種危険物取扱者免状(第4類)
電気	電気事業法	契約電力50kW未満の場合,資格者不要 契約電力50kW以上の場合,電気主任技術者(外部委託可能)
天然ガス	高压ガス 保安法	以下のいずれかの免状の交付と6ヶ月以上の実務経験を有する者 甲種機械高压ガス製造保安責任者免状 甲種化学高压ガス製造保安責任者免状 乙種機械高压ガス製造保安責任者免状 乙種化学高压ガス製造保安責任者免状 特別丙種化学高压ガス製造保安責任者免状(天然ガス指定)
LPガス	高压ガス 保安法	以下のいずれかの免状の交付と6ヶ月以上の実務経験を有する者 甲種機械高压ガス製造保安責任者免状 甲種化学高压ガス製造保安責任者免状 乙種機械高压ガス製造保安責任者免状 乙種化学高压ガス製造保安責任者免状 特別丙種化学高压ガス製造保安責任者免状(液化石油ガス指定) 液化石油ガス丙種化学高压ガス製造保安責任者免状

6) インフラストラクチャ(水素供給ステーション)に係る法規制への対応

水素供給ステーションの設置にあたり,水素に関する法規制の中でもっとも支障があると考えられるのは,表3-8-3に示した建築基準法によって規制を受ける圧縮水素の貯蔵量である。水素供給ステーションを商業地域に設置することは十分に考えられるが,この地域での最大貯蔵量が70Nm³(=6.3kg)であることから,小型FCV2~3台相当分しか水素供給ができないことになる。仮に,圧縮水素が可燃性ガスの扱いから圧縮ガスの扱いになったとしても,10倍に当たる700Nm³の貯蔵量ではFCV20~30台への水素供給が限界であり,それでもまだ不十分である。一般的な水素供給ステーションの貯蔵量としては,その4~5倍にあたる2,800~3,500Nm³程度が必要と考えられる。さもないければ,水素を圧縮水素として貯蔵することは断念して,液体水素もしくは水素吸蔵合金貯蔵に頼らざるを得ないことになる。水素は他の燃料に比べガス体積あたりの発熱量が低い(メタンの1/3弱,プロパンの1/8)ことから,水素供給ステーションにおける水素貯蔵量に関しては,新たな基準が必要と考えられる。

(2) メタノール設備に係る法規制

メタノール 100%の燃料の取扱いにあたっては、メタノールは毒物および劇物取締法において劇物に指定されているため、メタノールスタンドには毒劇物取扱責任者の配置が義務づけられる（表 3-8-8、表 3-8-9）。

また、販売する場合の都道府県知事への登録、譲渡に関する各種手続きが定められている。

表 3-8-8 メタノールの保安法令上の取扱い

法令	取扱の概要
消防法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 甲種、乙種危険物取扱者（ガソリンと同じ） ・ 専用タンクは地下タンクに設置するなど、技術上の基準の特例を満たす必要有り。
毒物及び劇物取締法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 毒劇物取扱責任者 ・ 毒物および劇物を販売する場合は、知事への「劇物一般販売業」の登録が必要。 ・ 譲渡手続き：毒物劇物を販売する場合は、購入者から名称、数量等の資料を受け取り、販売の日から 5 年間保存する義務あり。

注)M85 の場合は、消防法によって危険物に指定されているが、毒物及び劇物取締法の対象ではない。

表 3-8-9 メタノール燃料供給施設運営に必要な法的資格者

燃料種別	法令	資格
メタノール (M85)	消防法	以下のいずれかの免状の交付と 6 ヶ月以上の実務経験を有する者 <ul style="list-style-type: none"> ・ 甲種危険物取扱者免状 ・ 乙種危険物取扱者免状（第 4 類）
メタノール (M100)	消防法	同上
	毒物及び劇物取締法	以下のいずれかの資格を持つ者 <ul style="list-style-type: none"> ・ 薬剤師 ・ 応用化学に関する学科を修了した者 ・ 毒物劇物取扱者試験に合格した者（以下のいずれか） <ul style="list-style-type: none"> ・ 一般毒物劇物取扱者試験 ・ 特定品目毒物劇物取扱者試験 ・ 内燃機関用メタノールのみ取り扱いに係る特定品目毒物劇物取扱者試験

3-8-3 自動車走行関連

(1) 道路運送車両法

道路運送車両法は公道を走行する車両に対する法律であり、道路運送車両に関する登録制度、保安基準、検査制度、整備事業等について規定している。省令として「道路運送車両の保安基準」「自動車型式指定規則」がある。

道路運送車両法によると、公道を走行する自動車は1台ごとに車両検査を受けることが原則であるが、量産車の場合は型式指定を受ければ、新規登録時の車検が免除される。改造車、試作車、組立車などについては、1台ごとの車検が必要となる。

(2) FCV の位置づけ

FCV の場合は、「道路運送車両の保安基準」の中に水素に関する記述がない^{注1)}(平成12年3月現在)ことから、基本的に例外的な車両として扱われることになる。このような状況においては、「試作車」または「組立車」として検査を受けることが原則となる。

(3) 大臣認定制度^{注2)}

改造車、試作車、組立車としての検査については、同じ構造の車両であっても1台ごとに検査を受ける必要がある。例えば、水素に関する技術基準がない状況下では、安全性・公害防止性を検査のたびに議論し判断することになり、非常に能率が悪い。FCVの普及のためには、検査の効率化が必要であり、そのためにはFCVについての技術基準を定める必要がある。しかしながら、定めようとする技術基準の妥当性を判断するには一定量の実走行データが必要になる。

このように、例外的な位置づけの車から現在のガソリン車のような一般的な車に移行する過程(その車に関する技術基準を定める過程)の措置として、いわゆる「大臣認定制度」がある。これは、以下に示す道路運送車両の保安基準第56条の第4項に基づくものである。

表 3-8-10 道路運送車両法における大臣認定の規定

道路運送車両の保安基準第56条第4項
国土交通大臣が構造又は装置について本章に定める基準の改善に資するため必要があると認定した試作自動車又は試験自動車でその運行のため必要な保安上又は公害防止上の制限を付したのものについては、当該構造又は装置に係わる本章の規定は、適用しない。

注1) 道路運送車両の保安基準の「高圧ガスを燃料とする自動車」の条項には、液化石油ガス、アセチレンガスを含有する高圧ガス、メタンガスを主成分とする高圧ガス、という記載はあるが、「水素」または「水素を主成分とするガス」という記述はない。

注2) 水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)サブタスク7 水素利用技術に関する調査・検討(平成11年3月)

2001年2月8日、マツダのプレマシーFC-EV、DaimlerChryslerのNecar5が燃料電池車（2台ともメタノール改質形FCV）として日本で初めて大臣認定を国土交通省から受けた。その後、公道走行試験を行い、FCVの基準整備に向けて、技術的検証、安全性の実証を行うと共に、一般的な使用条件における低公害車としての排ガス性能等の追跡調査を行った。2001年6月には、トヨタがFCHV-4で、高圧水素形FCVとしては日本で初めてとなる大臣認定を受け、公道走行試験を行った。さらにホンダも、2001年7月にFCX-V3で、2002年3月にはFCX-V4で大臣認定を受け、公道走行試験を行っている。2002年度になって、限定的にリース販売されるトヨタFCHV、Honda FCXが11月に大臣認定を取得し、その後、JHFCプロジェクトに参加する日産、DaimlerChrysler、GMの各車両も取得している。また、ダイハツのMOVE FCV-K-も軽自動車のFCVとしては初めて大臣認定を取得した。（表3-8-11）

表 3-8-11 大臣認定を取得したFCV

車名	燃料	メーカー	大臣認定取得日
プレマシーFC-EV	メタノール	マツダ	2001年2月8日
Necar5	メタノール	DaimlerChrysler	同上
FCHV-4	高圧水素	トヨタ	2001年6月
FCX-V3	高圧水素	ホンダ	2001年7月
FCX-V4	高圧水素	ホンダ	2002年3月
FCHV-BUS2	高圧水素	トヨタ/日野	2002年9月
トヨタFCHV	高圧水素	トヨタ	2002年11月
Honda FCX	高圧水素	ホンダ	同上
X-TRAIL FCV	高圧水素	日産	2002年11月
MOVE FCV-K-F-Cell	高圧水素	ダイハツ	2003年1月
Hydrogen 3	液体水素	DaimlerChrysler	2003年3月
Hydrogen 3	液体水素	GM	同上
ワゴンR-FCV	高圧水素	スズキ	2003年10月
MRワゴン-FCV	高圧水素	スズキ	同上
MITSUBISHI FCV	高圧水素	三菱自動車	同上

大臣認定制度の下で取得された種々のデータに基づいて、国土交通省が「安全上および公害防止上、特段の問題がないことが確認できた」と判断し、必要な法規制（当該自動車の保安基準等）の追加・改正等が行われた段階で、当該自動車の大臣認定制度による扱いは終了し、一般の自動車と同様の扱いを受けることになる。つまり、自動車メーカーが既存車と同様に技術基準等に基づいてその自動車を製造し、不特定多数の一般利用者がその自動車を購入できるようになる。

なお、CNG自動車の場合は、表3-8-12に示すように平成4年までは都市ガス事業者のみによる利用であったため、改造車として受験・登録していたが、将来の普及拡大を目指して平成5年2月から大臣認定制度による登録に移行した。大臣認定における「運

行のために必要な保安上又は公害防止上の制限」の具体的内容は、(社)日本ガス協会が作成した自主技術基準が使用された。CNG 自動車の大臣認定扱いが解除されたのは、扱い開始から 2 年 11 ヶ月後の平成 7 年 12 月であった。この間に、大臣認定により登録された CNG 自動車は 488 台であった。

表 3-8-12 CNG 車の大員認定の経緯

	車両認定	備考
～平成 4 年	改造車として受験・登録を行う	
平成 5 年 2 月	大臣認定制度による登録	「運行のために必要な保安上又は公害防止上の制限」は日本ガス協会が作成した自主技術基準を使用 大臣認定取扱時の登録車は 488 台
平成 7 年 12 月	大臣認定扱いの解除	

(4) 車載水素容器

車載水素容器としては、現在、高圧タンク、吸蔵合金タンク、液体水素タンクの 3 種類があり得るが、高圧タンクと液体水素タンクについては高圧ガス保安法の対象(35 においてゲージ圧力が 1MPa 以上)となり、同法およびその関連法規(主として容器保安規則と容器保安規則関係基準)による規制を受ける。容器保安規則には、容器の種類(継目なし容器、溶接容器)、試験・検査方法、刻印、表示、ガスの充填の方法、再検査などについて定められている。

こうした高圧ガス容器に対する保安基準は、主として工業用ガスの小口配送に使用する容器を想定したものであり、自動車用燃料容器としては不都合や不便が生じることもある。CNG 用車載容器の場合、そうした不都合の解消のため、容器を取り外した上での定期的検査の免除、軽量材料を使ったコンポジット容器の使用許可、などの規制緩和が行われて、CNG 自動車の普及促進に寄与している。ただしこれは自動車用 CNG 容器に限った規制緩和であり、自動車用高圧ガス一般を対象にしているものではないので、水素容器については改めて規制緩和のための検討・働きかけを行う必要がある。

水素吸蔵合金タンクについては、35 で 1MPa 以上の圧力が生じなければ高圧ガス保安法の対象にはならないが、水素が自動車用としては新しい燃料であることに加えて、吸蔵合金はこれまでにない燃料の貯蔵方法であるので、道路運送車両法または他の何らかの法律の下での技術基準の整備について検討する必要があると考えられる。

燃料容器や配管の車両への取り付けは、道路運送車両法の扱いとなる。ガス燃料用の容器・配管の取り付け強度、保護方法、熱からの遮蔽などについては既存の規定があり、水素の場合も同様の扱いとなると考えられる。水素特有の問題として、配管等の材質、万一漏れた時の扱いなどについては検討が必要と考えられる。

このほか、CNG 等、他のガスの誤充填を避けるためにも、コネクタの標準化を含む自動車用水素容器の規格整備が必要である。

3-8-4 定置用燃料電池関連

定置用 FC の導入に関連する規制としては、電気事業法および消防法がある（表 3-8-13）。商用レベルの導入時期までに実施すべき事項としては、電気事業法における保安規程の届出および電気主任技術者の選任の不要化、消防法における消防長への設置届出の不要化等がある。なお、電気事業法における窒素パージについては、2004 年 2 月 27 日にパブリックコメントが出され、2004 年 3 月より不要化が認められている。

表 3-8-13 定置用 FC に関連する法令・規制

法令・規制	項目
電気事業法	固体高分子形燃料電池設備は現状事業用電気工作物扱いとなるため、下記の保安規程と電気主任技術者に係る義務等が発生。 ・事業用電気工作物であるため、保安規程の制定、届出、遵守。 ・事業用電気工作物であるため、電気主任技術者の選任、届出。
	固体高分子形燃料電池設備は、火力発電所なみに、窒素ガスで置換（窒素パージ）できる構造であり、設備を停止するための窒素ポンペを常備することが義務づけられている。
消防法	定置用燃料電池設備は、小型の家庭用であっても設置届出が必要。
	定置用燃料電池設備は、小型の家庭用であっても建築物からの相当の遠隔距離（基本的には建物から 3m 以上。ただし、消防長または消防署長が火災予防上支障がないと認める場合はこの限りではない。）をとることが必要。
	定置用燃料電池設備は、小型の家庭用であっても逆火防止装置の設置が必要。

3-8-5 燃料電池関連の規制改革に向けた取組み

燃料電池の実用化に関して、小泉総理大臣は、2002 年 4 月 26 日の閣僚懇談会において、FCV を政府として率先導入することを表明した。また、関係閣僚に対して、率先導入に必要となる措置を 2002 年中に講じるとともに、初期段階の普及をにらみ、2005 年を目処に、安全性の確保を前提としつつ、包括的な規制の再点検を進めるよう指示を行った。

上記の指示を受け、2002 年 5 月、安全性の確保を前提とした燃料電池に係る包括的な規制の再点検等について、関係省庁の厳密な連携を図るため、内閣官房に、内閣府および関係省庁の局長等で構成される「燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議（以下、連絡会議）」が設置された。また、連絡会議に併せて設置された、内閣府および関係省庁の課長等で構成される連絡会議幹事会（以下、幹事会）において、事業者団体からの規制再点検に係る要望項目毎の官民の役割分担の明確化、規制再点検の手順・スケジュールの明確化について、精力的な検討を行った。

以上の検討を踏まえ、連絡会議は 2002 年 10 月に「燃料電池の実用化に向けた包括的

な規制の再点検の実施について」^{注1)}をとりまとめた。ここでは、「燃料電池自動車の試験的市販に支障のないように、遅くとも2002年末までに実施すべき事項」、「2002年末の試験的市販には支障ないが、商用レベルの燃料電池の初期導入が想定される2004年度末までに実施すべき事項」の2つの段階に分けて再点検の道筋をとりまとめている。ただし、については、既に試験的な導入に支障はないとの結論を得ている。

連絡会議は、今後、の段階として、FCVの導入および走行関連（道路運送車両法、道路法、高圧ガス保安法、消防法）、水素供給設備の整備等関連（高圧ガス保安法、建築基準法、道路法、消防法）、家庭用燃料電池の導入関連（電気事業法、消防法）の各規制項目について、具体的な検討を着実に進めていくことが必要であるとしている。

このような規制改革に向けた取組みが行われている中、2002年12月に、総合規制改革会議（総理大臣の諮問会議）は、「規制改革の推進に関する第2次答申」^{注2)}を行った。この中では、燃料電池関連分野の規制改革について20項目の検討事項を挙げており、2005年頃に予想される初期段階の実用化、普及に向けて、「先行的に規制を改革」することが必要であるとしている。

現状における規制改革の状況が、第12回燃料電池実用化戦略研究会で報告されている。表3-8-14～3-8-17に燃料電池の実用化に関連する規制の検討状況を示す。

注1) 燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議決定「燃料電池の実用化に向けた包括的な規制の再点検の実施について」（2002年10月）



注2) 総合規制改革会議「規制改革の推進に関する第2次答申 - 経済活性化のために重点的に推進すべき規制改革 -」（2002年12月）

表 3-8-14 燃料電池の実用化に関連する規制の検討状況(その1)

No.	項 目	所管官庁	関連する事業者	スケジュール		
				2002年度	2003年度	2004年度
1	道路運送車両法 〔届け出内容の明確化, 手続きの明確化・簡素化 燃料電池車の第三者譲渡〕	国土交通省		完了		
2	道路法 〔水底トンネル通行範囲の明確化 大臣認定を受けた燃料電池自動車の通行の可否〕	国土交通省		完了		
3	該当法令なし 〔地下駐車場への侵入の可否〕	-		完了		
4	高压ガス保安法 〔外国から日本に持ち込む際に, 車体から燃料容器を取り外さないでの検査〕	経済産業省		完了		
5	高压ガス保安法 〔移動式水素供給設備に係る保安統括者等に係る敷地所有者側での選任・常駐の可否〕	経済産業省		完了		
6	道路法 〔燃料電池車の水底トンネル等で通行制限される積載水素量の緩和〕	国土交通省		完了		
7	高压ガス保安法 〔水素高压容器の例示基準の作成〕	経済産業省	NEDO委託, JARI主体で実施, JRCM, 自工会協力	技術的実証項目を検討	事業者による実験データ取得, 例示基準案を作成中	2004.6 2004.12 規制当局による見直し
8	高压ガス保安法 〔水素燃料容器用バルブの耐圧試験圧力の見直し〕	-	-	技術的実証項目を検討	2003.12.2パブリックコメント終了	2004.3末施行予定

出典：第12回燃料電池実用化戦略研究会資料

表 3-8-15 燃料電池の実用化に関連する規制の検討状況(その2)

No.	項 目	所管官庁	関連する事業者	スケジュール		
				2002年度	2003年度	2004年度
9	高压ガス保安法 (水素燃料用複合容器の高圧化・容量拡大のための例示基準作成)	経済産業省	NEDO委託, JARI主体で実施, JRCM, 自工会協力	 技術的実証項目を検討	事業者による実験データ取得, 例示基準案を作成中	2004.6 → 2004.12 規制当局による見直し
				 技術的実証項目を検討	事業者による実験データ取得	2004.6 → 2004.12 規制当局による見直し
10	高压ガス保安法 (高压容器の再検査周期を車検周期と合わせ 車載状態での検査の可能化)	経済産業省	交通安全研究所主体, NEDO, 自工会, JARI協力	 官民によるデータの取得, 規制当局による見直し	2003.12 官民によるデータ取得	2004.6 → 2004.12 規制当局による見直し
11	道路運送車両法 (燃料電池車の型式認定制度の整備)	国土交通省	日本消防設備安全センター主体で実施, NEDO, 自工会, JARI協力	 技術的実証項目の検討	事業者による実験データの取得	2004.6 → 2004.12 規制当局による見直し
12	消防法 (燃料電池車が地下駐車場を利用する場合の 消火設備の検討)	総務省	NEDO委託, PEC主体で実施	 技術的実証項目の検討	事業者による実験データの取得	2004.6 → 2004.12 規制当局による見直し
13	高压ガス保安法 (水素供給スタンド設置に関する保安距離)	経済産業省	NEDO委託, PEC主体で実施	 技術的実証項目の検討	事業者による実験データの取得	2004.6 → 2004.12 規制当局による見直し
14	高压ガス保安法 (水素供給スタンドの保安統括者等の選任・常駐義務の見直し)			 技術的実証項目の検討	事業者による実験データの取得	2004.6 → 2004.12 規制当局による見直し
15	高压ガス保安法 (水素供給スタンドの付臭剤以外の漏れ検知装置の採用)			 技術的実証項目の検討	事業者による実験データの取得	2004.6 → 2004.12 規制当局による見直し
16	高压ガス保安法 (移動式水素供給設備から車両への充電可能場所の要件の明確化)			 完了		

出典：第12回燃料電池実用化戦略研究会資料

表 3-8-16 燃料電池の実用化に関連する規制の検討状況(その3)

No.	項 目	所管官庁	関連する事業者	スケジュール		
				2002年度	2003年度	2004年度
17	高压ガス保安法 (移動式充てん設備の繊維強化プラスチックの複合容器の例示基準作成)	経済産業省	NEDO委託, 産業用ガス協会主体で実施	 技術的実証項目の検討	事業者による実験データ取得, 例示基準を作成中	2004.6 2004.12 規制当局による見直し
18	高压ガス保安法 (液化ガス輸送容器の充てん率の上限の見直し)		NEDO委託, PEC主体で実施	 技術的実証項目の検討	事業者による実験データ取得	2004.6 2004.12 規制当局による見直し
19	高压ガス保安法 (水素供給スタンドの検査周期の延長)		 技術的実証項目の検討	事業者による実験データ取得	2004.6 2004.12 規制当局による見直し	
20	建築基準法 (水素供給スタンドの工業地域, 工業専用地域以外の建設可能化)	国土交通省	PEC主体で実施		 他法令の技術基準策定と合わせ, 規制当局による見直し	
21	建築基準法 (用途地域毎の水素貯蔵量の見直し)			 他法令の技術基準策定と合わせ, 規制当局による見直し		
22	道路法 (トレーラーの水底トンネル等の通行制限で指定トンネルの削減 搭載水素制限量の増加)	総務省	国土技術研究センター主体で実施, NEDO, 自工会, JARI協力	 実験データの取得	2004.3 規制当局による見直し	
23	消防法 (水素スタンドのガスリンスタンドとの併設可能化)			危険物保安技術協会主体で実施, NEDO, PEC協力	 実験データの取得, 規制当局による見直し	
24	電気事業法 (保安規定届出, 電気主任技術者の選任の不要化)	経済産業省	日本電気協会主体で実施, NEDO, JEMA, ガス協会協力	 技術的実証項目の検討	事業者による実験データの取得, 規制当局による見直し	

出典：第12回燃料電池実用化戦略研究会資料

表 3-8-17 燃料電池の実用化に関連する規制の検討状況(その4)

No.	項 目	所管官庁	関連する事業者	スケジュール		
				2002年度	2003年度	2004年度
25	電気事業法 〔不活性ガスによる可燃性ガスの置換不要化〕	経済産業省	日本電気協会主体で実施, NEDO, JEMA, ガス協会協力	技術的実証項目の検討	2004.2.27パブリックコメント終了	2004.3施行予定
26	消防法 〔家庭用燃料電池の消防長への設置届け出の不要化〕	総務省	危険物保安技術協会委託(2003年度)		家庭用燃料電池の危険要因抽出	安全確保に必要な技術基準の検討・措置
27	消防法 〔家庭用燃料電池の建築物からの離隔距離の縮小化〕				家庭用燃料電池の危険要因抽出	安全確保に必要な技術基準の検討・措置
28	消防法 〔逆火防止装置の不要化〕				家庭用燃料電池の危険要因抽出	安全確保に必要な技術基準の検討・措置

出典：第12回燃料電池実用化戦略研究会資料

3-9 世界のエネルギー情勢

(1) 石油

2003 年末の世界の原油確認埋蔵量は約 1 兆 2,658 億バレル、可採年数は 51 年となっている(図 3-9-1)。可採年数はここ 20 年以上にわたって 30 年を上回っている。今後、石油消費量が増えても、石油探査や採掘技術が進歩し、新規油田の発見や従来油田からの回収率の向上が予想されるため、可採年数は、当分の間、現状並で推移するとする見方が強い。

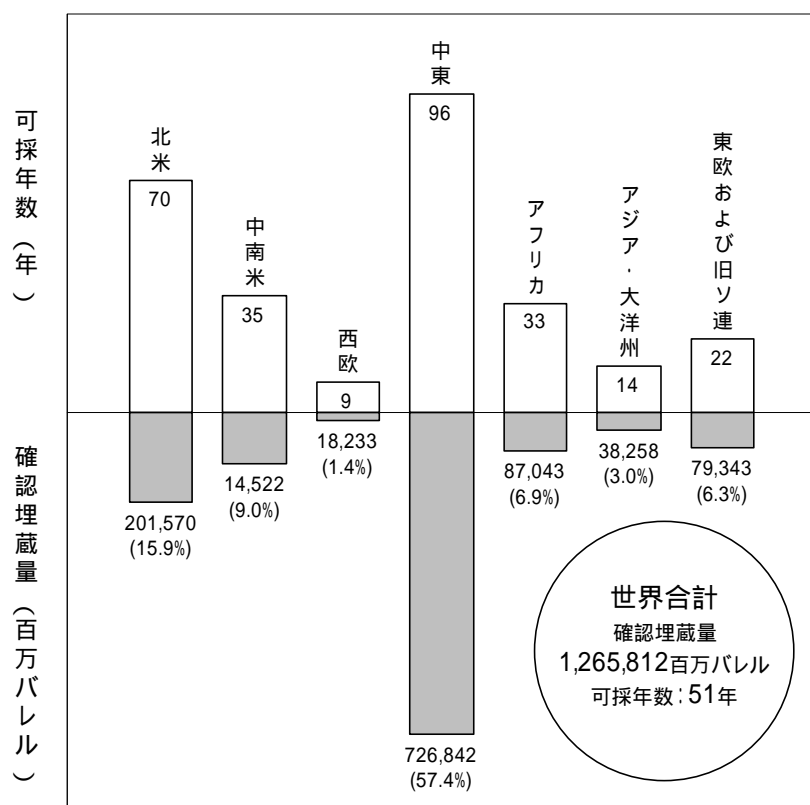


図 3-9-1 原油の確認埋蔵量と可採年数(2003 年末現在)

出典：Oil and Gas Journal 誌 (2003 年末号)

アメリカ DOE の EIA (Energy Information Administration) では , 世界の原油価格の将来見通しとして , 図 3-9-2 のように 3 つのケースを推計している^{注1)}。これらのケースは , 主に OPEC 諸国からの原油生産量の異なる見通しに基づいている。

基本ケース (reference case) では , 2003 年にかけて原油価格が一旦上昇した後 2005 年にかけて減少し , その後 , 2010 年には約 24 ドル / バレル , 2025 年には約 27 ドル / バレル (以上 2002 年実質価格) になると予測している^{注2)}。基本的にこのケースの価格水準は , 昨年に推計された見通し (AEO2003) とほぼ同様の水準である。低価格ケースでは 2003 年にかけて一旦上昇した後 約 16 ドル / バレルまで低下し , その水準が 2025 年まで継続されると予測されている。一方 , 高価格ケースでは , 2010 年には 33 ドル / バレルに達する。その後徐々に増加して , 2025 年には 35 ドル / バレルになると予測されている。

**Figure 43. World oil prices in three cases, 1970-2025
(2002 dollars per barrel)**

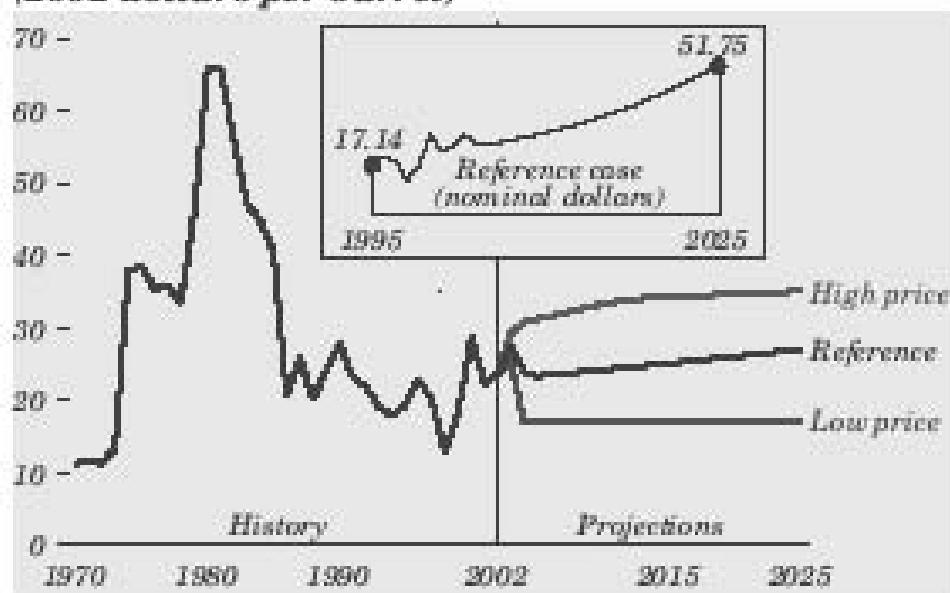


図 3-9-2 長期原油価格見通し

出典 : DOE / EIA 「 Annual Energy Outlook2004 」 2004.1

注1) DOE / EIA 「 Annual Energy Outlook2004 (AEO2004) 」 2004.1

注2) 名目価格では , 図 3-9-2 に示されているように , 2025 年において約 52 ドル / バレルと予測されている。

(2) 天然ガス

天然ガスは石油が出る場所には必ず存在するが、石油がない場所でも産出されるため、中東以外にも広く分布している（図 3-9-3）。2002 年初頭においては、155 兆立方メートルが確認埋蔵量とされている。これは現在の消費量の約 60 年分に相当する寿命である。

ただし、新発見による埋蔵量の増加率が石油に比べて高く、その分寿命が伸びる可能性が高い。また、採掘と輸送コストに見合う価格になれば、これまで試掘されていなかったシベリアや極地での開発が進み、埋蔵量の加算が考えられる。また、数百メートルから 1,000 メートルほどの海底にメタンが水の分子と結合したメタンハイドレートというものがある。これは現在の天然ガスの確認埋蔵量の 1.6～12 倍もの埋蔵量があるともいわれている。

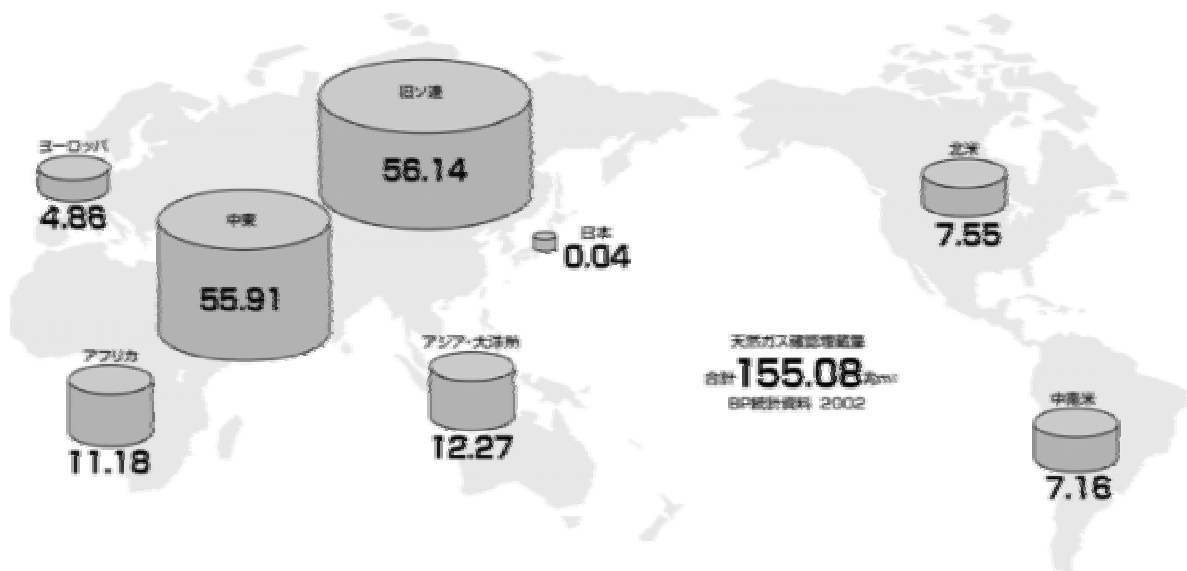


図 3-9-3 天然ガスの確認埋蔵量(2002 年 1 月現在 単位:兆 m³)

出典：日本ガス協会

(3) まとめ

以上のように石油、天然ガスについては、当分の間は安定的に供給されるとする見方が有力であると考えられるが、時期については不確定要素が大きいものの、資源の枯渇は時間の問題であるといえる。また、資源の枯渇問題よりも CO₂ 排出による地球環境問題の方がより身近な問題として化石燃料の利用の制約となりうる可能性が高いと指摘する意見もある。

したがって、いずれにせよ、資源の制約や環境保全のために、省エネルギーを進めつつ、新たなエネルギー供給源を探し、石油などの化石燃料依存からの脱却を進めていく必要がある。

4. 燃料電池車に関する技術開発等の動向

本章では、燃料電池に関する技術開発動向や課題、燃料問題等について、海外・国内でのインタビュー調査や既存の文献等をもとに整理する。

4-1 燃料電池関連技術の研究開発動向と課題

4-1-1 「燃料電池実用化戦略研究会」による技術課題の整理

2001年8月に開催された平成13年度の「燃料電池実用化戦略研究会」において「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」が示され、この中で現状の技術水準と課題、目標水準が提示された。この内容は、わが国において唯一オーソライズされたものであると考えられる。以下、表4-1-1、表4-1-2、表4-1-3にこの内容を要約する。

表 4-1-1 燃料電池スタック, 改質器の技術課題

	現 状	主な課題	目標値	主な技術開発の方向性	役割分担	目標時期	
電解質膜	ハ-フル和系イオン交換膜 イオン伝導率: 0.1~0.2S/cm 膜厚:20~50μm 温度サイクル耐性(-40~80):50回 耐熱性:約80 価格:5~15万円/㎡	機械強度向上		・既存膜(ハ-フル和系)の改良 ・補強膜の開発 ・新規膜材料の開発(非ハ-フル和系等) ・プロトン伝導機構/劣化機構の解明 ・量産化技術の開発 ・廃棄処分対応	産官 産 産学官 産学官 産	短期 中期 短期 中期	
		耐久性向上	自動車用5千時間 定置用 4万時間				
		温度サイクル耐性向上	(常温~使用温度) 自動車用3~6万回 定置用 4千回				
		耐熱性向上	120~150				
		低コスト化	3~5千円/㎡				
		湿度管理の容易化 フッ素化合物の処理	低加湿,無加湿				
電極触媒	白金担持量: 2~4g/kW CO被毒耐性:10ppm 価格:4~8千円/kW	白金担持量の低減	0.2~0.4g/kW	・白金担持量低減技術の開発 ・新規触媒の開発(白金代替) ・耐CO被毒性ノード触媒の開発 ・高活性ノード触媒の開発 ・劣化機構解明	産学官 産学官 産 産学官 産学官	短期 中期 短期 中期 短期	
		CO被毒耐性向上	10~50ppm				
		耐久性向上	(電解質膜に同じ)				
		低コスト化	400~800円/kW				
ガス拡散基材	カーボンペーパー 価格:数千円/㎡	低コスト化	500円/㎡	・量産化生産技術の開発 ・基材形態の改良	産 産	短期 短期	
		作業性向上					
MEA技術	ホットプレス法	低コスト化	-	・MEA内現象の解析 ・MEAの新しい製造技術開発 ・リサイクル技術の開発	産学官 産	短期 短期 中期	
		信頼性向上					
		廃棄物処理対応 白金回収					
セパレーター	カーボンセラファイト 伝導度:2X10 ² S/cm 密度:2g/cm ³ 厚さ:1~5mm 価格:4千~数万円/枚			・新規材料の開発 ・金属セパレーターの被覆技術の開発 ・樹脂系セパレーターの量産化技術開発 ・溝形状等の成形加工技術の開発	産学官 産官 産 産 産	中期 短期 短期 短期	
		薄型化	1mm以下				
		高強度化					
		耐腐食性向上					
		接触抵抗低減					
		低コスト化	100~200円/枚				
スタック技術	-	高効率化	-	・加湿方法,冷却,ガス配流等の管理技術の開発 ・シール材・シール構造の開発 ・劣化診断技術の確立	産 産 産学官	短期 短期 短期	
		耐久性向上					
		信頼性向上					
改質器	[自動車用] メタノール ・試作車あり ・改質効率80%以上 ・容量40~150L/台 液体炭化水素系燃料 ・研究室レベル ・基礎的課題多い ・2001年秋試作車発表予定	耐久性向上	5千時間以上かつ 起動停止: 3~6万回/10年	・クリンガソリン, GTL向け改質器の開発 ・新規触媒の開発 ・オートサーマル改質器の開発 ・燃料成分,汚染物質が各種触媒に与える影響の分析	産 産学官 産 学官	短期 中期 短期 短期	
		小型・軽量化	30L/台以下				
		高効率化	83%程度(LHV) [定格の25%出力時]				
		始動性・負荷応答性向上	応答は数秒以内				
		低コスト化	1,000円/kW以下				
			燃料柔軟性				
	[定置用] ・天然ガス・LPガス等の改質はりん酸形燃料電池の技術と基本的に共通	耐久性向上	4万時間以上	・多様な燃料に対応した改質器の開発(天然ガスから灯油まで) ・新規触媒の開発 ・高効率熱交換技術の開発 ・分離膜型CO除去器の開発 ・燃料成分,汚染物質が各種触媒に与える影響の分析	産 産学官 産 産 学官	短期 中期 短期 短期 短期	
		小型・軽量化	10~30L/kW				
		高効率化	87%程度(HHV) [定格時]				
		起動性・負荷応答性向上	5~30分				
低コスト化		2万円/kW以下					
		燃料柔軟性					

出典: 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)を基に作成

表 4-1-2 水素燃料貯蔵・製造等に関する技術課題

	現状	主な課題	目標値	主な技術開発の方向性	役割分担	目標時期		
水素貯蔵技術	圧縮水素方式	25MPa商用化, 35MPa実用化	高圧化	~70MPa	・耐圧容器の開発 ・周辺機器の開発 ・新素材の開発	産官 産官 産学官	短期 短期 中期	
		海外でステーション貯蔵 / FCEV走行試験中	軽量化	10wt%		・断熱容器・断熱材料開発 ・耐低温溶接技術開発	産学官 産学官	短期 短期
			安全性の確保					
	液体水素方式	蒸発率: 2~5%/日	断熱性能向上 (熱損失低減)	車載用1%/日以下 定置用0.1%/日以下	・断熱容器・断熱材料開発 ・耐低温溶接技術開発	産学官 産学官	短期 短期	
		海外で液体水素タック自動車の実走中	低温脆化対策	4K~室温域				
	水素吸蔵合金	吸蔵量: 1~3wt%	貯蔵密度向上	5.5wt%以上	・熱交換技術の最適化 ・新規材料の開発	産官 産学官	短期 中期	
サイクル寿命: 100サイクル		耐久性向上	5,000サイクルで低下10%以内					
満充填1時間以上		貯蔵速度向上	満充填5分以内					
水素貯蔵化学物質	水素含有率: 7~10wt% 再水素化施設への回収必要	反応速度・反応制御性向上	(5.5wt%) システムとして達成	・触媒・システムの開発	産学	短期		
		反応温度低減 システム化						
炭素材料	吸蔵量: 数~20wt% カーボンチューブ 再現性乏しい グラファイト 水素吸蔵法の開発	貯蔵密度向上	5.5wt%以上	・吸蔵・放出メカニズムの解明 ・計測法の確立 ・合成技術の開発 ・大量生産技術の開発	学官 学官 産学官 産官	短期 短期 中期 中期		
		精製技術確立 低コスト化						
新規材料	-	貯蔵密度・利便性の飛躍的向上	-	革新的水素貯蔵技術の開発	産学官	長期		
水素製造技術	副生水素利用	コーク炉ガス	回収率向上	90%以上	・精製等システムの最適化	産官	短期	
		水素回収率: 60%	低コスト化					
	固体高分子形水電解	変換効率: 90%程度 (1A/cm ²) セル面積: 0.25m ²	高性能化	90%以上 (2~3A/cm ²)	・高性能高分子膜の開発 ・触媒の開発 ・セルの大型化, 積層化	産官 産学官 産	短期 短期 短期	
			耐久性向上	10年程度				
			スケールアップ 低コスト化	セル面積: 0.6~1.0m ²				
	気体燃料・液体燃料改質	気体燃料の改質精製効率: 55~70% 液体燃料は本格的な開発に至っていない	高効率化	70%以上	・気体燃料システムの最適化 ・液体燃料システムの開発	産 産官	短期 短期	
低コスト化 信頼性向上			建設費50%減					
輸送関連技術	パイプラインに莫大な費用 圧縮・液化過程の損失大	低コスト化	-	・圧縮機・液化機の改良・開発	産官	短期		
		高効率化						
水素の安全に係る技術	検討項目 ・タック衝撃試験 ・ガス漏洩拡散シミュレーション等	安全性向上	-	・水素漏洩や爆燃に係るシミュレーションモデルの開発 ・安全なタック, セルスタック, システムの開発	産学官 産学官	短期 短期		
		精度向上 信頼性向上						
液体燃料精製・製造	メタノール	・開発段階	硫黄分等の除去 低コスト化 エネルギー消費の低減	-	・製造プロセスの改良・開発	産官	短期	
		GTL (Gas to Liquid)	・海外に製造プラント ・効率60~65%	製造プロセスの高効率 特定留分の成分選択率向上 低コスト化				5~10%程度向上
	DME (ジメチルエーテル)	・全量輸入 ・海外では商用化 ・製造効率: 60~65%	製造の技術的な観点では特段問題なし	-	-	-	-	
		・ディーゼル燃料代替及びLPガス代替として開発中	高効率化 低コスト化	65~70%	・触媒・システムの開発 ・大規模プラント技術の確立	産学官 産	短期 短期	

(注) *: メタノールは, 現在バイオマス資源からの液体燃料製造技術開発の主要な生成物として技術開発に取り組まれているところである。

出典: 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)を基に作成

表 4-1-3 FCシステムの普及・性能・コスト目標

項目		目標	
自動車用燃料電池	実用化と普及の タイムスケジュール	【実用化時期目標】2003～2004年 【普及時期目標】2010年以降	
	普及時期における 目標	燃料電池スタック	・発電効率：65%以上（LHV），55%以上（HHV） 【定格の25%出力時】 ¹⁾ ・出力密度：1.3kW/L以上 ・耐久性：5,000時間以上（バス等1～2万時間）， 起動停止3～6万回/10年 ・コスト：4,000円/kW以下
		改質器	・体積：30L/台以下 ・改質効率：83%程度（LHV），92%程度（HHV） 【定格の25%出力時】 ²⁾ ・コスト：1,000円/kW以下
		システム全体	・コスト：5,000円/kW以下（改質器その他周辺機器含む）
		車両効率 ³⁾	・水素搭載形：60%程度（LHV），51%程度（HHV） ・ガソリン車上改質形：48%程度（LHV），45%程度（HHV）
		水素貯蔵 （2010年以降 極力早期）	・乗用車において，航続距離500km以上走行可能な水準を 目標とし，そのために必要な水素5kgを貯蔵しうる重量・ 体積が普通自動車のガソリンタンクと同等程度である貯 蔵方法を目指して開発を行う。
定置用燃料電池	実用化と普及の タイムスケジュール	【実用化時期目標】2003～2004年 【普及時期目標】2010年以降	
	普及時期における 目標	燃料電池スタック	・発電効率：55%以上【定格時】 ・コスト：80,000円/kW以下
		改質器	・改質効率：87%程度（HHV）【定格時】 ²⁾ ・コスト：20,000円/kW以下
		システム全体	・発電効率：40%以上（HHV，受電端）【定格時】 ・総合効率：80%以上（HHV） ・体積：150L/kW以下 ・耐久性：40,000時間以上 ⁴⁾
		システム全体の 経済性目標	・家庭用システム価格：30万円/台以下 ・業務用システム価格：15万円/kW以下 ・ランニングコスト：効率向上により削減される燃料費（累 積）で追加的なシステムコストを概ね3～5年以内に回収で きるようなランニングコストとなること

出典：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

1) (原注) 燃料は水素とし，カソード極には空気を送るものとした場合の値。

2) (改質効率) = [(改質器から出力された水素の熱量) - (燃料電池から改質器に戻す水素の熱量)]
/ (改質器に入力された燃料の熱量)。

効率値はガソリンを燃料として算出。

3) 水素搭載形およびガソリン車上改質形の場合の車両効率 (tank to wheel) をそれぞれ示す。
なお，車両効率は，燃料電池と車上搭載蓄電池 (2次電池) との組合せ (ハイブリッド) による効率向
上を考慮し達成される目標とする。

4) 1日12時間運転で10年間 (約3650日) のトータル運転時間は43,800時間となり，10年以上の寿命
に相当する。

4-1-2 燃料電池システム

図 4-1-1 に一般的な燃料電池システムの構成を示す。システムは、電池スタックなどから構成される電池本体システム、燃料を改質し、供給量や加湿量などを制御する燃料供給システム、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熱管理システム、電池反応で生成される水の排出およ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、コンバータ等の直流・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。

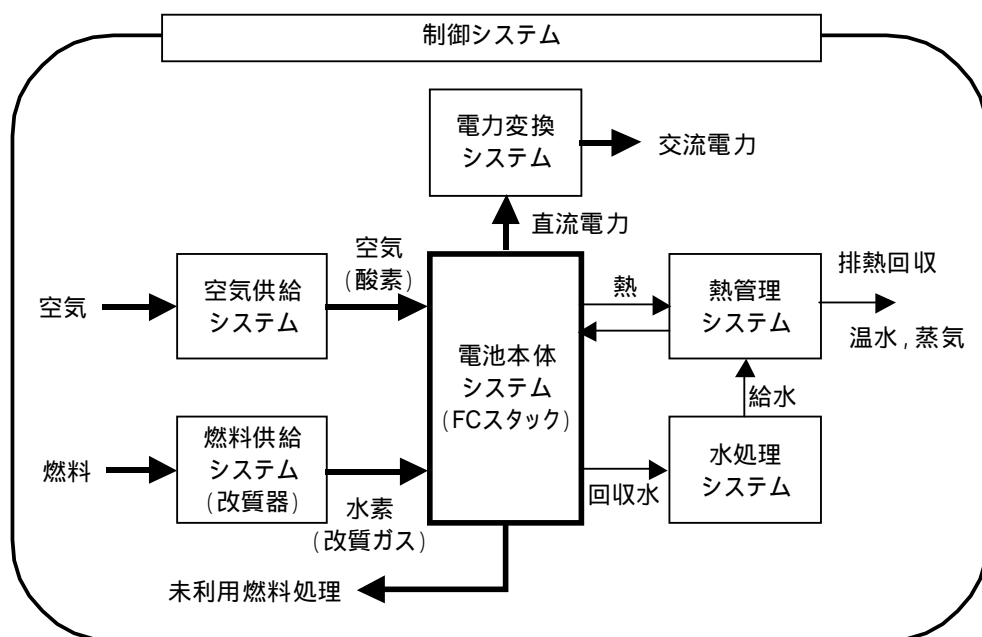


図 4-1-1 一般的な燃料電池システムの構成

FC システムの性能は飛躍的に向上してきている。図 4-1-2 は Ballard 社の最新 FC スタック「Mark 902」の仕様であり、電池本体システムの出力密度は、 $1.13\text{kW}/\text{リットル}$ に達している^{注)}。ただし、Ballard 社の FC スタックを搭載した Honda FCX の重量が $1,680\text{kg}$ に達しているように、自動車用途の場合には、さらなる小型軽量化は依然として重要な課題であると考えられる。

注) 2001 年 10 月の発表では、「Mark 902」の出力密度は最大 $2.2\text{kW}/\text{リットル}$ 。

項目	内容	
外形	全長×全幅×全高	805×375×250 mm
	重量	96 kg
	容量	75 リットル
燃料	水素ガス	商用レベルの純度
	改質	とくに指定はない
作動条件	温度	80
	燃料供給圧力	1～2 bar
	空気供給圧力	1～2 bar
性能	定格出力	85 kW
	最大電流	300 A
	電圧	284 V
	出力密度	1.13 kW/リットル
	エネルギー密度	0.89 kW/kg



図 4-1-2 Ballard Power Systems 社製 FC スタック「Mark 902」
出典：Ballard Power Systems 社プレスリリース

現状の FC スタックの性能は、以上のように要求性能の厳しい自動車適用上の要求をおおむね満たしつつあるが、コストは非常に高い。自動車用 FC の場合、それが内燃機関自動車（ICEV）に対して競争力を持つためには、そのコストがシステムで\$50/kW^{注1)}、スタックベースで\$30/kW にまで低下する必要があるといわれている。「燃料電池実用化戦略研究会」の「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」（以下「技術開発戦略」という）では、自動車用では、改質器等を含むスタックシステムで 5,000 円/kW、スタックベースで 4,000 円/kW という目標値が示されている（表 4-1-3 参照）。一方定置用では、目標とされるコストの水準は自動車用に比べてそれほど厳しくない。「技術開発戦略」では、スタックの目標が 8 万円/kW、改質器が 2 万円/kW となっている。ただし、今後数年以内に商品化されると考えられる家庭用 FC システムの導入当初においては、量産効果が見込めないため、コスト削減に向けたハードルは現状では非常に高いと考えられる。

DOE では、自動車用の FC システムについて、現在の技術レベルを想定し、年間 50 万ユニットの FC システムが生産された場合で、直接水素型 FC システムで\$200/kW、ガソリン改質型では\$300/kW（改質器等を含む）になると見積っている（表 4-1-4、表 4-1-5）。この将来目標値は 2010 年で、どちらも\$45/kW であり、「技術開発戦略」とほぼ一致している。また、Ballard 社も FreedomCAR プログラムと同じ\$45/kW を目標にしている（表 4-1-6）^{注2)}。

スタックの主要な高コスト要因としては、セパレータおよび固体高分子膜、触媒に担持される白金等の貴金属、電極の基材となるカーボンペーパー、カーボンクロス等のカー

注1) 内燃エンジンのコストについては\$2,000～3,000 とされ、\$50/kW がほぼこれに相当する。

注2) 表 4-1-4、表 4-1-5 に示す DOE の目標値も FreedomCAR プログラムの目標に準じている。

ボン製品が挙げられる。

表 4-1-4 自動車用直接水素型燃料電池システムの DOE 目標値

	単位	現状	2005 年	2010 年
エネルギー効率 (@25% ピーク出力)	%	59	60	60
エネルギー効率 (@ピーク出力)	%	50	50	50
出力密度 (ネット)				
水素貯蔵容器含まず	W/L	400	500	650
水素貯蔵容器含む	W/L	-	150	220
比出力 (ネット)				
水素貯蔵容器含まず	W/kg	400	500	650
水素貯蔵容器含む	W/kg	-	250	325
コスト (水素貯蔵容器含む) 注)	\$/kW	200	125	45
負荷応答性 (出力: 10% 90%)	秒	3	2	1
コールドスタートアップ (-20)	秒	120	60	30
コールドスタートアップ (20)	秒	60	30	15
サバイバビリティ (survivability)		-20	-30	-40
エミッション		Zero	Zero	Zero
耐久性	時間	1,000	4,000	5,000

注) 年間 50 万ユニットが生産される場合を想定。

出典: DOE「FY2002 Progress Report for Hydrogen, Fuel Cells, and Infrastructure Technologies Program」2002 年 11 月

表 4-1-5 自動車用ガソリン改質型燃料電池システムの DOE 目標値

	単位	現状	2005 年	2010 年
エネルギー効率 (@25% ピーク出力)	%	34	40	45
エネルギー効率 (@ピーク出力)	%	31	33	35
出力密度 (ネット)	W/L	140	250	325
比出力 (ネット)	W/kg	140	250	325
コスト*	\$/kW	300	125	45
負荷応答性 (出力: 10% 90%)	秒	15	5	1
コールドスタートアップ (-20)	分	-	2	1
コールドスタートアップ (20)	分	<10	<1	<0.5
サバイバビリティ (survivability)		-	-30	-40
エミッション		<Tier2・Bin2	<Tier2・Bin2	<Tier2・Bin2
耐久性	時間	1,000	2,000	5,000

注: ・燃料プロセッサ, スタック, 周辺機器, スタートアップ用装置を含み, ガソリンタンク, ドライブトレイン関連電子装置は含まない。

・Tier2 はカリフォルニア州の規制で, Bin2 は連邦の規制。ともに ULEV に相当。

*年間 50 万ユニットが生産される場合

出典: DOE「FY2002 Progress Report for Hydrogen, Fuel Cells, and Infrastructure Technologies Program」2002 年 11 月

表 4-1-6 Ballard Power Systems 社の FC システムの性能・コストの目標

	定置用	自動車用
性能	<ul style="list-style-type: none"> 安定した始動 安定かつ短時間の始動（高頻度運転） スタック効率（高頻度運転） 	<ul style="list-style-type: none"> 出力密度が ICEV 相当 低温始動： - 40 負荷応答性（起動・停止）
信頼性・耐久性	<ul style="list-style-type: none"> 1,500 時間（低頻度運転） 5,000 時間（高頻度運転） 40,000 時間（連続運転） 	<ul style="list-style-type: none"> 5,000 時間以上（light duty） 20,000 時間以上（heavy duty） 問題発生時でも適切な場所まで運転できる能力の確保
コスト	\$100 ~ 1,500 / kW（用途による）	\$45 / kW（FreedomCAR に同じ）

FC システムの耐久性に関しては、乗用車用では 5,000 時間、バス・トラックでは 10,000 ~ 20,000 時間、定置用では 40,000 時間（またはそれ以上）とみなされている（表 4-1-7）。自動車用は、定置用に比べて稼働時間で測った耐久性は厳しくないが、起動停止が不可避であり、利用されずに放置される時間も長い。そのため、こうした利用形態に対する耐久性も求められる。また、FCV が完全な実用車となるためには、例えば乗用車の場合、従来車と同様に様々な用途や使用環境のもとで 10 年以上の耐久性・信頼性を確保する必要がある。そうした耐久性・信頼性を実証するには、少なくとも 10 年以上の試験走行が必要と考えられるため、定置用も含め現状における耐久性と信頼性の確保とその実証は、コストと並んで非常に大きな課題となっている。耐久性を効率的に評価するための加速試験方法の確立も重要な課題である。

表 4-1-7 FC システムの耐久性の目標値（延べ運転時間）

用途	耐久性目標
乗用車	<ul style="list-style-type: none"> 5,000 時間以上 起動停止 3 ~ 6 万回 / 10 年
バス、トラック	<ul style="list-style-type: none"> 1 ~ 2 万時間
定置用	<ul style="list-style-type: none"> 40,000 時間またはそれ以上

また、2002 年末に限定リース販売されたトヨタ FCHV、Honda FCX においては、0 以上での保管が義務づけられており、実用化に向けた当面の課題として氷点下での始動性の確保が挙げられる。これは主に FC で生成される純水の凍結に起因する問題であり、早期に解決を図るべき重要な課題となっている。

なお、ホンダは 2004 年初頭に、氷点下での始動を可能にした「Honda FC STACK」（表 4-1-8）を搭載した「FCX」を 2005 年に日米で販売すると発表した。

表 4-1-8 ホンダ製燃料電池スタック

	第1世代	第2世代	次世代
発表年月	1999年9月	2001年2月	2003年10月
スタック出力 (kW)	30	35	50
サイズ (L) (ft ³)	67 (2.4)	48 (1.7)	35 (1.2)
重量 (kg) (lb)	101 (223)	78 (172)	48 (106)
膜のタイプ	フッ素系電解質膜	フッ素系電解質膜	アロマトミック電解質膜
最大作動温度 ()	80	80	95
バイポーラプレート / セパレータ	機械加工カーボン グラファイト	成形加工カーボン グラファイト	プレス加工 ステンレススチール
シール	Separate seals	Plaster-sealing and separate seals	Rubber seals unitized with separators
構造	ボルト固定	ボルト固定	パネルボックス

出典：FEBRUARY 2004 Automotive Engineering International (aei)

ホンダの開発した FC スタックの特徴は、世界で初めて金属プレスセパレータを使った独自の構造と、アロマトミック電解質を採用したことである。アロマトミック電解質は、耐久性や低温での発電性能に特徴があり、金属セパレータは、薄くコンパクトであることに加え、熱容量が小さく、低温でも暖機特性に優れているという特長があるという。また、高温耐久性についても 95 での作動を実現しており、この結果、スタックの作動範囲は - 20 から 95 まで拡大し、この広い温度領域で耐久性を向上させていると発表している^{注)}。ホンダ内製スタックの出力密度の推移を図 4-1-3 に示す。体積出力密度、重量出力密度ともに第 2 世代の 2 倍以上の性能を実現している。日本においては、この FC スタックを搭載し寒冷地での試験走行をすでに行っており、米国においても北東部でのフリート実験を計画している。

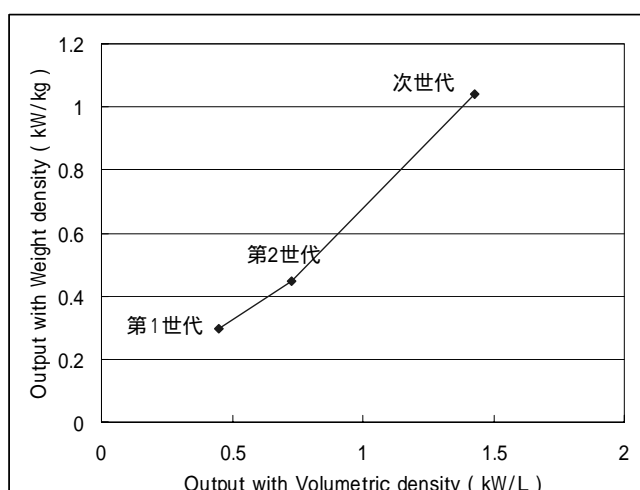


図 4-1-3 ホンダ FC スタックの出力密度(表 4-1-8 より作成)

注) JARI 次世代自動車フォーラム (平成 16 年 1 月) 資料より。

4-1-3 燃料電池スタック

固体高分子形燃料電池スタックは、一般に図 4-1-4 に示すように、電解質である固体高分子膜（水素イオン交換膜）と触媒を担持させたシート状の電極 2 枚で 1 つのセルを構成する。実運転における 1 セル当たりの起電力は 0.6～1.0V 程度であるため、300V 前後のモータに電気を供給するために、通常 300～500 枚程度のセルを直列に接続する。固体高分子膜と 2 枚の電極を一体化したものを膜・電極接合体（MEA）と呼び、これとセパレータ（バイポーラプレート）とを交互に配置したものがスタックである。

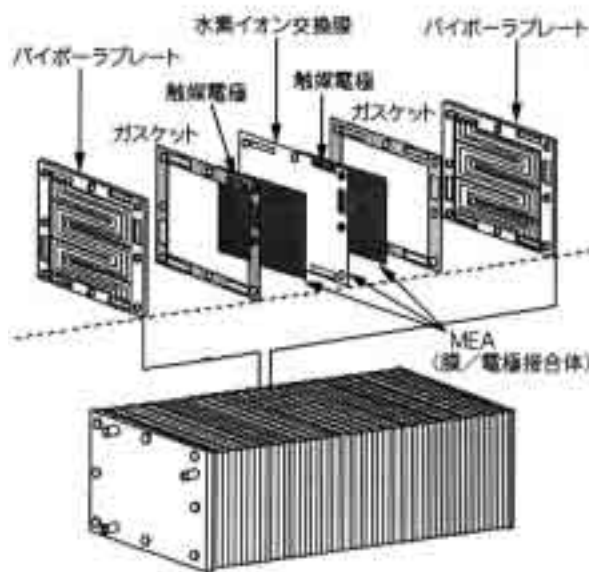


図 4-1-4 燃料電池スタックの構成例

(1) 固体高分子膜

1) 固体高分子膜の課題と開発の動向

固体高分子電解質膜（水素イオン交換膜）としては、現在、パーフルオロスルホン酸膜が標準的に用いられている（表 4-1-9）。パーフルオロスルホン酸膜は、1970～1980 年代に開発され、化学的安定性が高いなどの優れた特性を有し、現在 PEFC の電解質として最も一般的に用いられている。しかし、パーフルオロスルホン酸膜については後述するような課題もあり、現在、これに代わる電解質膜の開発も鋭意進められている。

表 4-1-9 商品化されているパーフルオロスルホン酸膜

膜名	メーカー
ナフィオン®膜	DuPont
フレミオン®膜	旭硝子
アシブレックス®膜	旭化成
GORE-SELECT®膜	W.L.GORE, ジャパンゴアテックス

パーフルオロ系の固体高分子膜は化学的安定性に優れるという有利な特性を有するものの、

- 低加湿化・無加湿化（導電性・強度を確保するために水分管理が必要）
- 耐熱性の向上（高温で強度が低下，常圧での高温化は水が蒸発し伝導度が低下）
- 低コスト化
- メタノールの透過（DMFC用）

といった課題がある。

図 4-1-5 にパーフルオロスルホン酸膜の課題に対する現状の研究開発の方向性を示す。

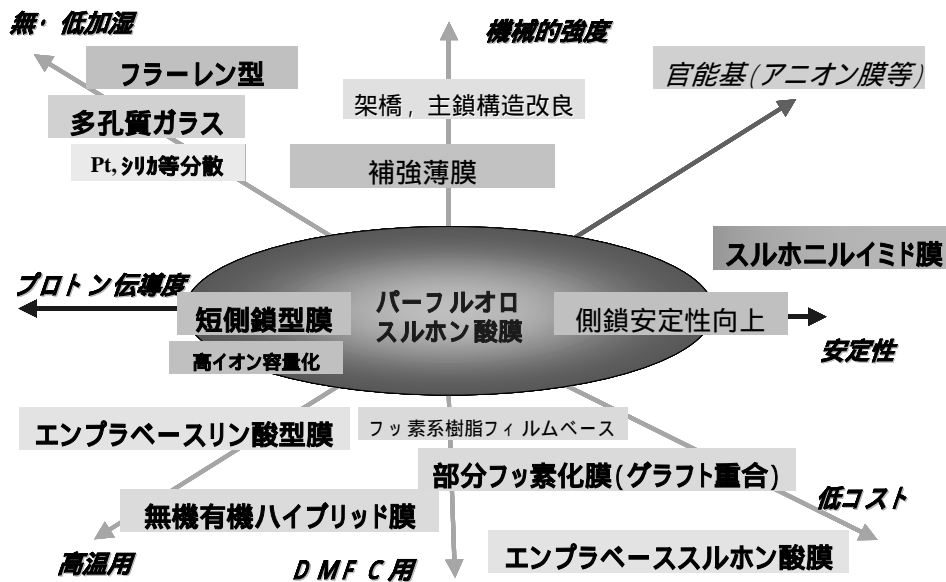


図 4-1-5 パーフルオロスルホン酸膜の研究開発の方向性
資料提供：旭硝子（株）

以下に，以上の課題を踏まえた現状の技術動向を整理する。

2) 低加湿化・無加湿化

パーフルオロスルホン酸膜において優れたイオン導電性を得るには，飽和水蒸気圧雰囲気に近い条件で膜を保持する必要があり，水分管理（加湿）が必要となる。水分管理の方法としては，外部から加湿する方法があるが，システムの簡略化とコストの低減のため，無加湿，あるいはより低加湿で利用可能な膜の開発が進められている。これは，カソード側で生成した水の一部がアノード側に拡散する水分や，アノード側に供給される加湿した燃料ガスからの水分を，膜内で高く維持管理する試み等である。表 4-1-10 に示すように，ナフィオン®膜をベースに白金を入れて水素と酸素の反応か

ら水を生成するものや、膜内に親水性を有するシリカ等を含有させた膜、プロトン伝導性を有する多孔質ガラス^{注1)}を電解質として利用する方法^{注2)}などが提案されている。さらに、ソニーではフラーレンにOH基をつけて水分ゼロでプロトン伝導性を出せると発表している。また、ポリベンゾイミダゾールのような基を膜の分子の末端につけて無加湿膜を検討する研究や、薄膜化して低加湿に対応するというような動きもみられる。

表 4-1-10 パーフルオロ系複合膜の開発動向

材料	特徴・狙い	開発機関
触媒分散パーフルオロ型スルホン酸膜	自己加湿	山梨大
シリカ分散パーフルオロ型スルホン酸膜	自己加湿	山梨大, 燃料電池開発情報センター, Stonehart
パーフルオロスルホン酸樹脂含浸 PTFE 多孔体膜 (GORE-SELECT®)	補強膜	W.L.GORE and J.G.I.
布補強パーフルオロスルホン酸膜	補強膜	旭硝子, 旭化成
フィブリル補強パーフルオロスルホン酸膜	補強膜	旭硝子
パーフルオロスルホン酸 / 無機複合膜	高温作動	Princeton University

出典：「固体高分子型燃料電池の開発と実用化」（第2版）技術情報協会 2000.2 を基に作成

また、東洋紡では後述するように 2003 年 5 月、低湿度、高温下でも作動可能な炭化水素系ポリマー「SPN ポリマー」の開発に成功し、今後、詳細な実証試験を実施していくと発表している。

3) 薄膜化と補強膜の動向

パーフルオロスルホン酸膜は、膜厚が薄いほど膜抵抗が低下し、発電性能が向上するために、薄膜化が図られてきた。しかし、薄膜化は逆に機械的な強度や寸法安定性、操作性の低下等の問題を生じさせるため、薄膜化とともに機械的強度、寸法安定性に優れた膜の開発が進められている。また、薄膜化によって水素の透過量が増加し、透過した水素が空気極で酸素と反応し効率を低下させるという問題が生じる。そのため、現状では 20 ~ 40 μm 程度の膜厚が適正と考えられている。

2001 年度に JEVA が実施した訪問インタビュー調査によると、旭化成では 20 μm 、

注1) 分相によって生成した第二相を溶解・除去するとその部分が空隙となりできる微細な空隙を多数有するガラス。多孔質ガラスの用途としては各種の分離膜、無機触媒および酵素の担体などがある。多孔質ガラスは次のような特徴を持っている。

- ・径が数 nm ~ 数 μm の貫通細孔を無数に有し、比表面積も最大数百 m^2/g と大きい
- ・細孔径や比表面積を熱処理過程で容易に制御できる
- ・高ケイ酸質であるため耐化学性・耐熱性が優れている

注2) 例えば、名古屋大学の野上正行教授の研究グループは、ゾルゲル法と呼ばれる方法で作成したリン・ケイ酸塩ガラスが、130 から -20 の広い温度範囲で安定したプロトン伝導性を示すことを発見した。

25 μm 厚の非補強電解質膜の試験販売を開始している^{注1)}。

現在、表 4-1-10 に示したように、各種補強膜が開発されている。補強化の方法としては、現状では化学的に安定な PTFE (ポリテトラフルオロエチレン) を補強材に用いる方法が主流である。ジャパングアテックス社からは PTFE 多孔体にパーフルオロスルホン酸樹脂液を含浸した膜 (Gore-Select®膜) で、膜厚 15 ~ 40 μm 程度のものが市販されている (表 4-1-17 参照)。また、旭化成、旭硝子は、それぞれ NEDO のプロジェクトにおいて PTFE を用いた補強膜の開発を行っている。旭硝子が開発した PTFE フィブリルを用いた補強膜は、わずかな PTFE 添加量で、実用上十分な機械的強度が得られることが確認されている^{注1)}。

4) 耐熱性の向上

FC の運転温度は約 80 °C が一般的であるが、自動車用 FC における廃熱効率の向上や、改質ガス中の CO による電極触媒被毒の軽減のために、より高温で作動可能な耐熱性膜の開発が進められている。例えば 80 °C から 120 °C への高温運転化は、外気温との差が 2 倍になり、ラジエタの容量を半減できる可能性がある。また、改質ガス用 FC の場合、130 °C での運転により CO の被毒がほとんど問題にならなくなるという^{注1)}。

現状の FC システムの標準的運転条件である常圧 80 °C では、飽和水蒸気圧が約 0.5 気圧であり、100 °C を超えると飽和水蒸気圧が 1 気圧を超え、加圧しないとガスが入らないことになる。120 °C では飽和水蒸気圧が約 2 気圧になるので、常圧 80 °C と同じ燃料ガス分圧を狙うと 4 ~ 5 kg / cm² の加圧が必要になる。また、高温によって PEM の理論起電力が低下するというデメリットもある。したがって、各システムにおいて以上のようなメリット・デメリットを勘案して適切な運転温度を探る必要がある。この点に関して複数の膜メーカーに対するインタビューによると、固体高分子膜の耐熱性としては、120 °C が一つの目標水準となっていることがうかがえる^{注2)}。例えば、DuPont 社では、100ppm でも CO の被毒の影響を受けない 120 °C が固体高分子膜の最適な温度領域であると述べ、高温膜の開発に取り組んでいる^{注3)}。素材に関しては、ナフィオン®の改良と新規素材の両面から開発を行っているという。ジャパングアテックス^{注3)} や 3M^{注4)} においても高温耐性膜の開発が進められている。

Clemson University では、パーフルオロスルホンイミド膜が従来のパーフルオロスルホン酸膜より耐熱性が約 100 °C 向上すると報告している。Princeton University におけるパーフルオロ系複合膜による耐熱性の向上を目指した開発もある (表 4-1-10)。

注1) 2001 年度 JEVA 「FCV に関する調査報告書」

注2) 旭硝子は、耐熱性に関して 120 °C が一つのターゲットと述べている (2001 年度 JEVA 「FCV に関する調査報告書」)。デュポン、ジャパングアテックス社も 120 °C を一つの目標にしていると述べている (2002 年度 NEF 「FC 動向調査報告書資料編」)。

注3) 2002 年度 NEF 「FC 動向調査報告書資料編」

注4) 2001 年度 JEVA 海外調査報告書

また、Celanese は、200 で使用可能な PBI 高温膜を用いた MEA のパイロット生産を 2002 年 9 月から開始している^{注1)}。

東洋紡では、「ザイロン®」^{注2)}の微多孔支持フィルムと「SPN ポリマー」を複合化したナノコンポジットイオン交換膜を開発中であり、100 以上の高温下でも安定的な機械特性を示すことが期待できると発表している。また、2000 年度の JEVA による海外調査によると^{注3)}、W.L.Gore では、現在 130~150 に耐えられる PEM 膜を開発中であり、2001 年中には供給が可能になると述べている。

現在、旭化成では NEDO プロジェクトによって高温耐久性のある高耐久薄膜の研究開発を行っており、その中で従来のパーフルオロスルホン酸膜においても 120 運転が可能であることが確認できたと報告している^{注4)}。また、旭硝子ではパーフルオロスルホン酸膜の主鎖に嵩高い構造を有するユニットを導入することにより、軟化点温度を上昇させ、耐熱性を向上させる試みを行っている。

5) 耐久性

耐久性については、定置用、自動車用ともに製品として公表されている実績はほとんどない。膜の耐久性は、利用温度や利用するガス、ガスの入れ方、冷却の方式、加湿の方法、セパレータ等との相性の問題があり、スタックシステムや膜・電極接合体 (MEA) としての耐久性に深く関わっている。現在、MEA が急激に劣化することが問題となっており、膜に穴があいてしまうことがその原因として推測されている^{注5)}。現状では耐久性の確立とその実証はコストと並んで最大の課題であり、また、こうした劣化要因の解明も重要な課題となっている。

6) コスト

パーフルオロ系固体高分子膜は、食塩電解事業用として現在量産されているが、イオン交換基を有するモノマーの合成工程が多段にわたり、また製膜までの工程が多く、このことが高コストの原因といわれている。現状の標準的なパーフルオロ系固体高分子膜である DuPont 社のナフィオン®膜の価格は 1 m²あたり\$500~\$900 程度であり (表 4-1-11)、例えば、セル面積あたりの出力を 5kW/m²と仮定すると、膜のコストだけで\$100/kW~\$180/kW となり、さらなるコストダウンが必要とされている。

注1) (財)新エネルギー財団「平成 15 年度 新エネルギー等導入促進基礎調査 - 燃料電池の技術及び政策の動向調査 (資料編)」平成 16 年 3 月 (以下「2003 年度 NEF『FC 動向調査報告書資料編』」と記す)

注2) 「ザイロン」はポリパラフェニレンベンゾビスオキサゾール (PBO: 芳香族環を有する耐熱性高分子材料)。

注3) 2000 年度 JEVA 海外調査報告書

注4) NEDO「第 22 回事業成果報告会燃料電池セッション (PEFC) 予稿集」2002 年 9 月 19 日

注5) 今年度旭硝子への訪問インタビュー調査の結果より。(詳細は本調査報告書参考資料参照)

表 4-1-11 Nafion[®]膜の価格(1998年1月現在)

(US\$/m²)

量 (m ²)	N-117	NF-115	NF-1135	NF-112	NE-105	NE-1035
< 100	\$900	\$800	\$750	\$550	\$950	\$900
100 - 1000	\$850	\$750	\$680	\$500	\$900	\$850
1001 - 5000	\$800	\$700	\$620	\$450	\$820	\$780

出典：DuPont 社

DuPont 社は、米国 Fayetteville に大量生産と低コスト化を可能とするプラントを建設し、2001年春よりキャスト法によるナフィオン[®]膜（無補強ナフィオン溶剤成形膜）の生産を開始している^{注1)}。当社は年間 200～300 万m²の出荷量があるならば、価格として\$30/m²以下が可能と述べている^{注2)}（表 4-1-12）。

表 4-1-12 固体高分子膜の価格の見通し(DuPont 社 2000 年発表)

	生産量	価格	備考
現状	?	\$500～\$900/m ²	
将来	200～300 万m ² /年 (FCV 約 20～30 万台/年)	\$30/m ² 以下	FCV の普及台数は 50kW， 5kW/m ² を仮定

「技術開発戦略」では、現状の固体高分子膜の価格を 5～15 万円/m²とした上で、2010年の目標を 3～5 千円/m²としている（表 4-1-1 参照）。

7) 非パーフルオロ系代替膜の開発動向

大幅なコストダウンや性能の向上が見込める非パーフルオロ系代替膜の開発も 1995 年頃から始められている（表 4-1-13）。それらは、膜材料の視点から分類すると、主に以下のようなものがある^{注3)}。

部分フッ素化固体高分子膜

一般にスチレン - ジビニルベンゼン等の炭化水素系膜において、化学的に不安定な位の水素をフッ素に置き換えた構造のものをいう。代表的なものでは、Ballard Power Systems 社によって開発されたトリフルオロスチレン誘導体共重合膜（BAM[®] グラフト^{注4)} 重合膜）がある（図 4-1-6）。この膜は低価格化を狙ったものとされているが、Ballard 社によると^{注5)}、性能面でもナフィオン[®]膜より優れると述べている（図 4-1-7）。現在英国のポリマーメーカーである Victrex 社と共同で生産プロセスを開発中である。また、2002 年 5 月には、荏原製作所と BAM[®] グラフト重合膜のパイロット

注1) 2002 年度 JEVA 「FCV に関する調査報告書」

注2) 「日経メカニカル」2000 年 12 月号, No.555, および 2001 年度 JEVA 「FCV に関する調査報告書」

注3) 特許庁「平成 12 年度特許出願技術動向調査報告書 - 燃料電池」平成 13 年 3 月

注4) グラフト重合膜技術：グラフトは「接木」, 「結合」を意味する。化学的な作用を利用して、フィルムや布の膜にイオン交換などの機能を新たに付与（重合）する技術。

注5) 2002 年度 JEVA 海外調査報告書

スケールで製造するプロセスおよび装置の独占的な開発契約を締結したと発表している注¹⁾。

その他には、放射線グラフト重合膜注²⁾などが開発されている。(表 4-1-13)

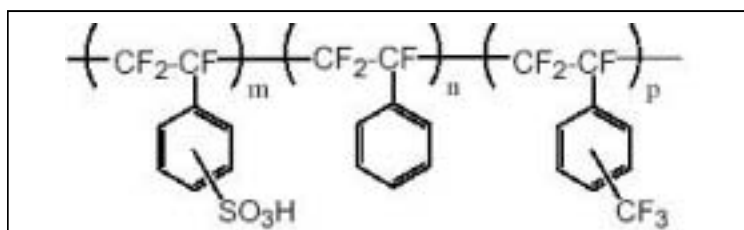


図 4-1-6 BAM[®] Ionomer

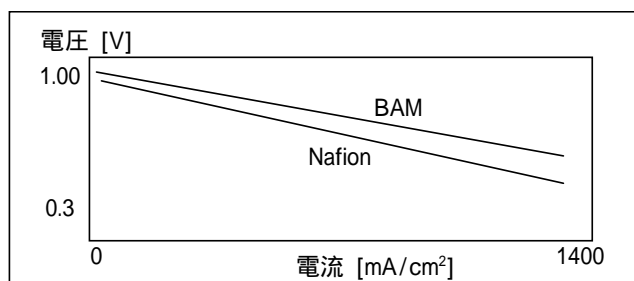


図 4-1-7 BAM[®]膜と Nafion[®]膜の電流-電圧特性

注：プレゼンテーションを参考に再構成したものであり、実際のデータとは異なる。

炭化水素系固体高分子膜

炭化水素系膜の主な狙いは、低コスト化と高温耐熱性である。PBI (ポリベンゾイミダゾール) 等の耐熱高分子にりん酸を含浸した膜やスルホン酸基を付加した膜が検討されている。自動車用として、Celanese がホンダと Plug Power と共同で開発中の PBI を用いた膜がある。(表 4-1-13)

また、日立製作所では、NEDO の委託により、現在低コスト、長寿命を狙った芳香族系エンジニアリングプラスチック (エンブラ) を原料とする炭化水素系膜の開発を行っており、2004 年 3 月には、この膜を用いた MEA が 4,000 時間の連続運転を実現したと発表している。さらにホンダは、ホンダが新しく開発した「Honda FC STACK」にエンブラを原料とするアロマティック電解質膜を採用し、-20 から 95 までの発電が可能になったと発表している。

注¹⁾ <http://www.ebara.co.jp/news/news20020522.html>

注²⁾ 放射線を使って新しい機能を化学的にグラフト (接ぎ木) する方法を言う。グラフト重合は、高分子鎖の幹に枝をつけるようにして異なったモノマーを側鎖として導入するような高分子反応であり、高分子の機能化の有効な手段のひとつである。例えば、親水・疎水性、高吸水性、温度応答性などといったモノマーの持つ機能を既存の高分子に付与することができる。

混合固体高分子膜

樹脂とイオン導電性を混合して成膜したものを混合固体高分子膜として分類した。特許庁の調査^{注)}によると、わが国では、松下電器や旭化成、日本電気などで研究開発が行われている。

表 4-1-13 非パーフルオロ系代替膜の候補

	材料	特徴・狙い	開発機関
部分フッ素化膜	放射線グラフト重合膜 基材：FEP スレン / DVB	架橋，低コスト化	PSI
	基材：ETFE トリフルオロスレン	架橋，低コスト化	クロリンエンジニアリング
	基材：ETFE スレン	架橋，低コスト化	IMRA Materials R&D PSI
	基材：ポリイソブレン SSS / AAc		旭化成
	トリフルオロスチレン重合樹脂含浸多孔体膜“BAM®”	低コスト化	Ballard Power Systems Inc.
炭化水素系膜	りん酸含浸 PBI (ポリベンゾイミダゾール)	高温使用	Case Western Univ.
	PBI系スルホン酸膜		上智大学
	PBI系膜	高温使用，CO 耐性	Celanese・ホンダ・Plug Power
	芳香族ポリエーテルケトンスルホン酸膜	低コスト化	Hoechst (現 Aventis)
	無機・有機ハイブリッド膜	高温使用	電総研
	ブロック構造膜	機能性向上	物質研
	バイポーラ膜	加湿，排水性	物質研，豊田中研

出典：「固体高分子型燃料電池の開発と実用化」(第2版)技術情報協会 2000.2 を基に作成

(2) 電極触媒

PEFC の電極の触媒には高価な白金を用いるため、白金担持量の低減が主要課題である。また、改質ガス用 PEFC では、改質ガスに含まれる CO による耐被毒性能の向上が課題となっている。

一般に PEFC の電極触媒は、カーボンブラックの粒子表面に数 nm の白金粒子等を均一にばらまいたものであり、これを固体高分子膜に塗りつけて、MEA (膜・電極接合体；後述) として加工する。粒子表面に白金をどれだけ均一に細かくばらまくかが重要な課題となっている。カーボンブラックについては、いろいろな種類(成分、粒子の大きさ、出発物質等)があり、どのようなものが FC に適当かについて研究が行われている。

1) 触媒の塗布方法

触媒の塗布方法については、大きく固体高分子膜に塗布する方法と、電極基材に塗布する方法がある。現状では、電極基材への塗布方法が主流と考えられるが、近年、触媒量の低減を狙った固体高分子膜への塗布方法に関する特許の出願が増える傾向があり、膜への塗布方法が見直されてきていると考えられる^{注)}。

注) 特許庁「平成 12 年度特許出願技術動向調査報告書 - 燃料電池」平成 13 年 3 月

2) 白金量の低減化

電極触媒の最大の課題の一つは貴金属量の低減化である。「技術開発戦略」では電極触媒における現状の白金担持量を $2 \sim 4\text{g/kW}$ とした上で、2010年の目標をこの10分の1としている。白金量の低減化に向けては、貴金属量の低減のために触媒層を薄膜化していくと均一な触媒層を形成するのが難しいといった課題が顕在化している。また、白金量の低減は、耐久性とトレードオフの関係にあり、耐久性を確保した上での白金量の低減が重要な課題となっている。

今回の海外調査によると^{注)}、Johnson Matthey では、電極に使用される白金触媒について、白金以外のもの代替することは不可能と考えており、白金使用を前提に担持量を低減するべく開発を行っている。現状のFCV(PEFC出力75kWeを仮定)では、1台当りの白金族の担持量は60~120gであるが、2010年においては、25g程度に低減できると考えている(図4-1-8)。

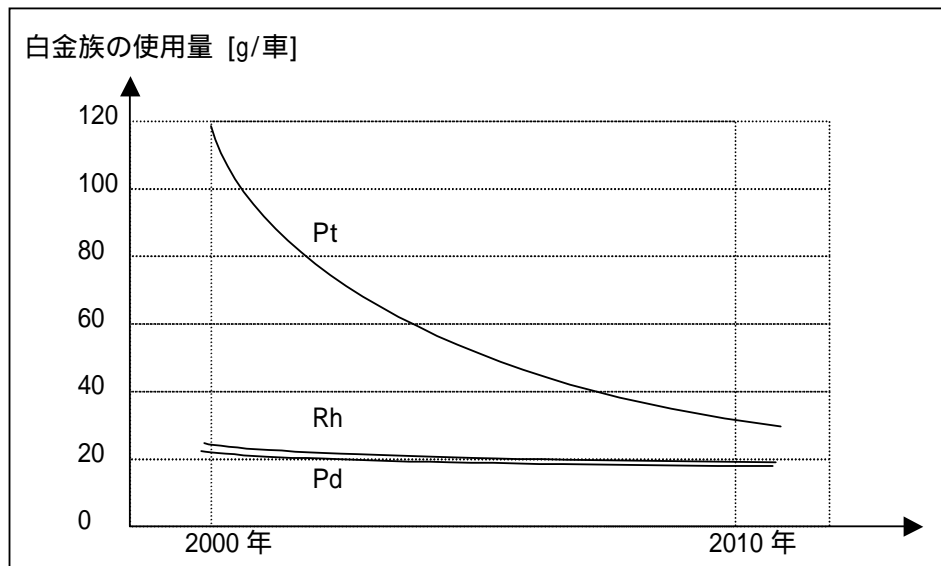


図 4-1-8 Johnson Matthey 社によるFCVの白金族使用量低減の見通し
出典：2003年度JARI海外調査報告書

日本電池は、従来のチャンピオンデータの10分の1の白金使用量(約 0.2g/kW)のものができたと1999年の電池討論会で発表しているが、実用化には相当な時間がかかると予想される。

以上のように、確かに白金量の低減は燃料電池普及に重要な課題であるが、現段階では燃料電池の目標とする耐久性の確保、劣化要因の特定等ができていないので、まずは劣化要因を究明し、耐久性の確保に必要な白金量が仕様化されてから白金量の低減の開発に進むべきという考えが大勢を占めているようである。

注) 2003年度JARI海外調査報告書

米国では、DOE の「2003 年会計年度水素製造・水素貯蔵・燃料電池プログラム」において、3M、Ballard 等が中心となって、非貴金属触媒の開発を開始している^{注1)}。

3) アノード(水素極)触媒における CO 被毒に関する課題

メタノールや炭素系燃料の改質ガスを用いる PEFC においては、改質ガス中に含まれる CO によるアノード触媒の耐被毒性能の向上が課題となっている。これとともに、貴金属量の低減が最大の課題である。従来から純水素用の 5 倍から 10 倍程度の白金量が必要とされている。触媒の被毒に対しては、触媒の改良に加えて、高温化や改質ガス中の CO 濃度の低減、エアブリーディング^{注2)}などのいくつかの方法が考えられている。触媒の改良としては、白金とルテニウムの合金(白金とルテニウムの担持量(重量)の比は 1:1 が基本)を触媒に用いることが主流となっている。

最近の動向としては、触媒そのものの技術的な変化は大きく変わっていないが、白金量を減らすために、高温運転化や改質ガスの CO 濃度の低減が検討されているという^{注3)}。改質ガス中の CO 濃度としては 10ppm が一般的になりつつある。

最近では、FC 運転中におけるルテニウムの安定性も問題となってきており、ルテニウムをどう安定に存在させるかといった課題が顕在化してきている。

山梨大学の渡辺教授らは PtFe、PtNi、PtCo、PtMo 系電極触媒が優れた耐 CO 性(100ppm)を有することを発表した。製法についてもスパッタリング法^{注4)}を含めて検討し、成果を挙げている。また、産業技術総合研究所の五百蔵らは Pt/MoO₂/C などの酸化物修飾触媒が耐 CO 性を示すことを報告している^{注5)}。海外では、カナダ INRS の C.Gouerec 等は PtMo を含むコロイド型電極触媒の製造で AlH₃、MgH₂ などの金属水素化物を還元剤に用いる方法を開発し、100ppm CO 耐性試験に成功している。

4) カソード(空気極)触媒特有の課題

カソード触媒特有の課題としては、空気中の不純物に対する問題が挙げられる。前段階で不純物質の除去も必要となるが、これと触媒の耐久性の向上との兼ね合いの最適化も課題である。今後、触媒量の低減を図ることにより、より大きな問題として顕在化する可能性もある。

注1) 2003 年度 NEF「FC 動向調査報告書資料編」

注2) 水素極の中に空気を入れること。エアブリーディングの効果は次のとおり。CO の被毒は CO が触媒表面を通過していく過程で、触媒表面と CO が離れなくなる現象。そこに空気があると、水素とも反応するが、触媒上にある CO を CO₂ にして分離できる。それを利用して CO 被毒を低減しようというもの。通常 0.5% から 5% ぐらいまでの空気を水素に混ぜて回避する。デメリットは安全性と効率低下である。

注3) 2001 年度 JEVA「FCV に関する調査報告書」

注4) 加速されたイオンをターゲット(固体)に照射すると、ターゲット表面の原子・分子が外部に放出される。これをスパッタ蒸発(Sputtering evaporation)と呼び、スパッタ蒸発したターゲット物質をウエハーやガラスなどの基板上に付着させて薄膜を形成することをスパッタ蒸着(Sputtering deposition)と称している。これを称してスパッタリング法と言う。

注5) 2002 年度 NEF「FC 動向調査報告書資料編」

また、運転していくと、きれいに分散しているものが塊になってくるシンタリングの問題も課題の一つになっている。最近、田中貴金属工業ではこうした問題に対処するため、白金・コバルト合金触媒を開発し、耐久性、出力密度向上に極めて有効な成果が出つつあり、自動車用、定置用にその性能評価と開発が活発に進められているという^{注1)}。

5) 電極触媒の加工費

表 4-1-14 に田中貴金属工業による触媒加工費に関する情報を整理する。市場における触媒の現状の加工費は、触媒のロットサイズが 1kg～数 10kg で、触媒 1g 当たり 600～1,000 円程度であるという。今後、燃料電池の普及時には 1/5 程度が目標になるという。^{注2)}

表 4-1-14 電極触媒の加工費(田中貴金属工業提供)

	ロットサイズ	加工費(材料費除く)
現状	1kg～数 10kg	600～1,000 円 / g
目標	普及時	120～200 円 / g

注) 重量は全て貴金属を含む触媒の重さ
出典：2001 年度 JEVA「FCV に関する調査報告書」

田中貴金属では、触媒材料から FCV まで、貴金属を容易にリサイクルできる、現実的な流通の仕組みが重要であると述べている^{注2)}。例えば、以下のような仕組みを提案している。また、同様の提案をジャパングアテックスも行っている^{注3)}。

触媒中の貴金属のみリースにする。使用済み触媒中の白金はリサイクルにより 96～98% 戻すことが可能であるため、回収精製した白金をクレジットにして電極触媒を製作する。このとき、2～3%の不足分の白金を新たに調達投入する。FCV の購入者は、金利分と加工費、減耗する白金のコストをリース代として負担することになる。こうすることによって電極触媒の価格が白金の相場変動を大きく受けずに済むことになる。また、触媒のローディング量とリサイクルの経済性についての深い検討も重要である。田中貴金属によると、ローディング量が少なくなるほど白金回収率が下がり、経済性も悪くなるという。

6) FCV 普及時における貴金属の資源制約について^{注2)}

FCV 普及時に必要な白金量については、全世界の車(年産 7,000 万台)が全て短期間に FCV になれば厳しいと考えられるが、数パーセントのレベルで FCV が導入され

注1) 2001 年度 JEVA「FCV に関する調査報告書」および 2003 年度田中貴金属工業からの情報より。

注2) 2001 年度 JEVA「FCV に関する調査報告書」

注3) 2002 年度 NEF「FC 動向調査報告書資料編」

でも、リサイクルを前提にすれば、資源制約上の問題はないと考えられている。また、白金については需要の増大が明確になれば鉱山の生産量を増産できるとも言われている。Johnson Matthey は今回の海外調査において、FCV が大量普及しても白金族は供給不足になることはない^{注)}と述べている。図 4-1-9 は近年の白金の需要と供給量の推移を示している。

しかし、ルテニウムについては、現状の全世界の生産量は十数トン程度であり、今後 FCV によってルテニウムの需要が増加した場合、資源的制約が発生することが懸念されている。ルテニウムの安価なリサイクル技術の開発と、ルテニウムに替わる物質の開発が課題である。

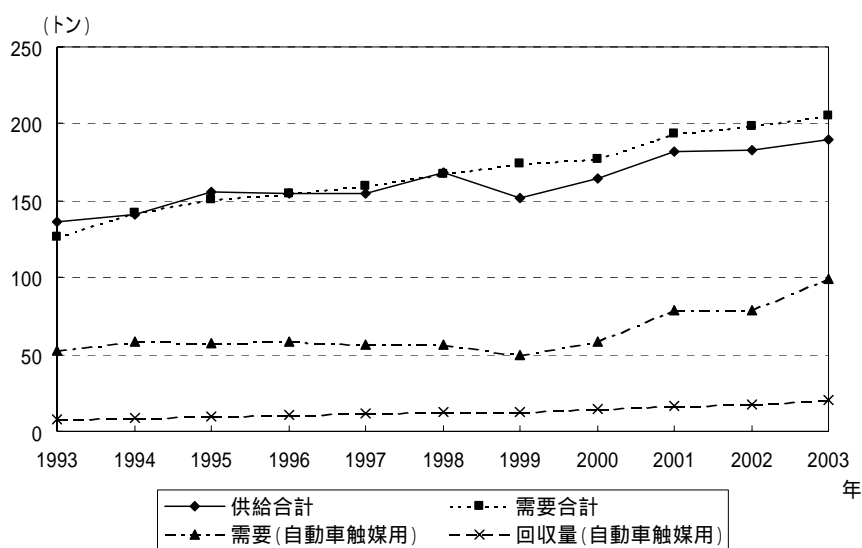


図 4-1-9 全世界の白金の需要と供給
出典：Johnson Matthey 社 HP におけるデータを基に作成

7) 貴金属の価格の動向

図 4-1-10 は最近の白金価格相場を示しており、1995 年から 1999 年中頃までは、おおむね \$11 ~ \$14 / g で取引されていたが、その後は高騰し、2001 年に入り下落傾向に転じた。しかし 2001 年後半から 2002 年に再び高騰し、2003 年 9 月現在で \$23 / g 前後となっている。

図 4-1-11 にルテニウムの価格の推移を示す。2001 年から下落傾向を示していたが、2004 年に入って上昇に転じている。

注) 2003 年度 JARI 海外調査報告書



図 4-1-10 プラチナの月間の高値, 安値および平均価格(1995年~2003年9月)
 出典: Johnson Matthey HP 「Platinum 2003 Interim Review」ほか
 注) 1オンス = 約31.1035gとして計算してグラフ化

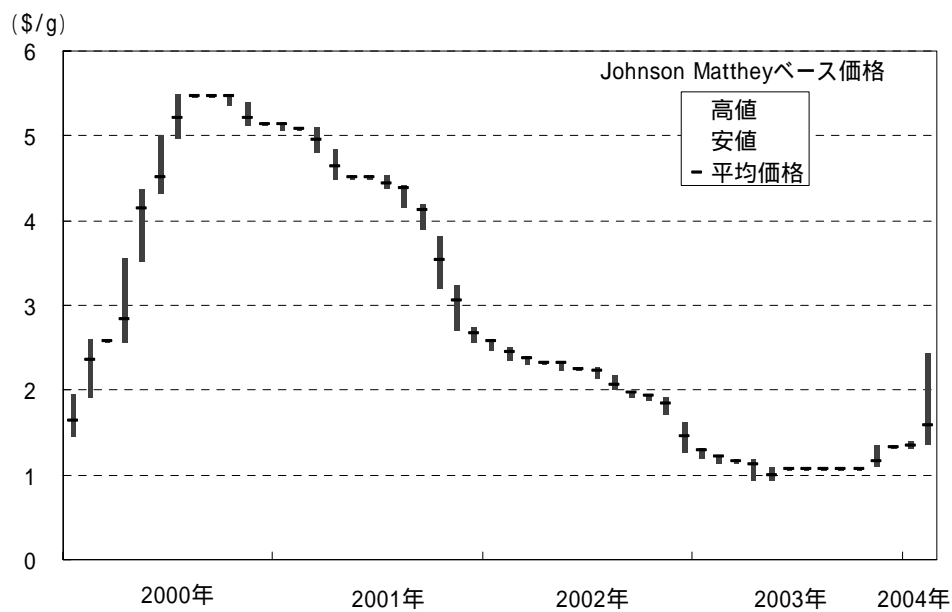


図 4-1-11 ルテニウムの月間の高値, 安値および平均価格(2000年~2004年2月)
 出典: Johnson Matthey HP

(3) ガス拡散基材

電極の基材(ガス拡散層:GDL)としては、カーボンペーパー、カーボンクロス、カーボンフェルト等が用いられている。従来、東レ製のカーボンペーパーが標準品とされていたが(表 4-1-15)、現在同じ炭素繊維メーカーである三菱レイヨンからはロール状のカーボンペーパータイプの製品(図 4-1-12)、東邦テナックスからはカーボンクロス/フェルトタイプの製品が提供されるなど、新たな参入も進んでいる^{注)}。2002 年度の海外調査によると^{注)}、Ballard 社の子会社である BMP (Ballard Material Products) から連続ロール状生産が可能な GDL「AvCarb Grade-P50T」が販売されているが、Ballard 社では三菱レイヨン製の GDL を採用しているという。

電極の基材として用いられるカーボンペーパーの価格は、現状で 5,000 円/m²程度であり、出力 5kW/m²を仮定すると、カーボンペーパーの価格は、

$$5,000[\text{円}/\text{m}^2] / 5[\text{kW}/\text{m}^2] \times 2 (\text{正負極}) = 2,000 [\text{円}/\text{kW}] \quad 17 [\$/\text{kW}]$$

となって、現状ではかなり高価である。今後のコストダウンに向けた取組みが大きな課題となっている。「技術開発戦略」では、2010 年のコスト目標を 500 円/m²としている(表 4-1-1 参照)。

表 4-1-15 東レ製カーボンペーパーの物性値

物性	単位	TGP-H-060	TGP-H-090
厚さ	mm	0.19	0.28
嵩密度	g/cm ³	0.45	0.45
空隙率	%	78	78
気体透過性	mmaq/mm (14cm/secの空気流量での差圧を厚さで除した数値。)	27	30
体積抵抗率			
面厚方向	cm	0.08	0.08
面内方向		0.005	0.005
熱伝導率	cal/cm ² ·sec	(4 × 10 ⁻³)	(4 × 10 ⁻³)
曲げ強度	kgf/cm ²	400	400
	MPa	39.2	39.2
曲げ弾性率	kgf/cm ²	(1.0 × 10 ⁵)	(1.0 × 10 ⁵)
	MPa	(9800)	(9800)

* 上記データは実験値。()は、厚いサンプルからの推定値。

資料提供：東レ株式会社



厚さ	160 μm
密度	70 g/m ²
曲げ強度	85 MPa
ガス透過率	1500 ml/hr·cm ² ·mmAq
抵抗率	4.3 m ² ·cm ²
ロールの長さ	50, 100, 200 m
ロールの幅	300, 800 mm

図 4-1-12 三菱レイヨン製ロール状 FC 用ガス拡散層(PYROFIL™ MGF-070)

注) 2002 年度 JEVA「FCVに関する調査報告書」

(4) 膜・電極接合体(MEA)

膜・電極接合体(MEA)の代表的な製法であるホットプレス法を図4-1-13に示す。電極は白金担持カーボン粉(水素電極には白金-ルテニウム担持カーボン粉を用いる場合あり)と結着材としてのテフロン液を混合攪拌してペースト状にし、これを電極基材であるカーボンペーパー等の片面にコートして電極層とし、熱処理を施す。これを水素電極、酸素電極の2枚作成する。次に、固体高分子膜と同じ成分の溶液(膜溶液)を2枚のそれぞれの電極層に塗布し、固体高分子膜をこの2枚の電極でサンドイッチしてホットプレスで一体化し、MEAとする。

現在、表4-1-16に示すような様々なMEAの製法が提案されている。また、ゴアテックス社(W.L.Gore, ジャパンゴアテックス)からは、現在表4-1-17に示すようなMEA製品Primea[®]が販売されている。このPrimea[®]の構成図を図4-1-14に示す。2000年度のJEVAの海外調査によると^{注)}、Primea[®]の特長としては、量産性に優れ、すでにこの低コスト・量産技術(連続生産技術)を確立したという。また、白金担持量が少なく(将来の目標は0.1 mg/cm²)、長寿命であるという。調査時点において、すでに定置用では1,000~10,000時間を達成し、自動車向けの寿命テストでは、すでに6,000時間を達成したと述べている。

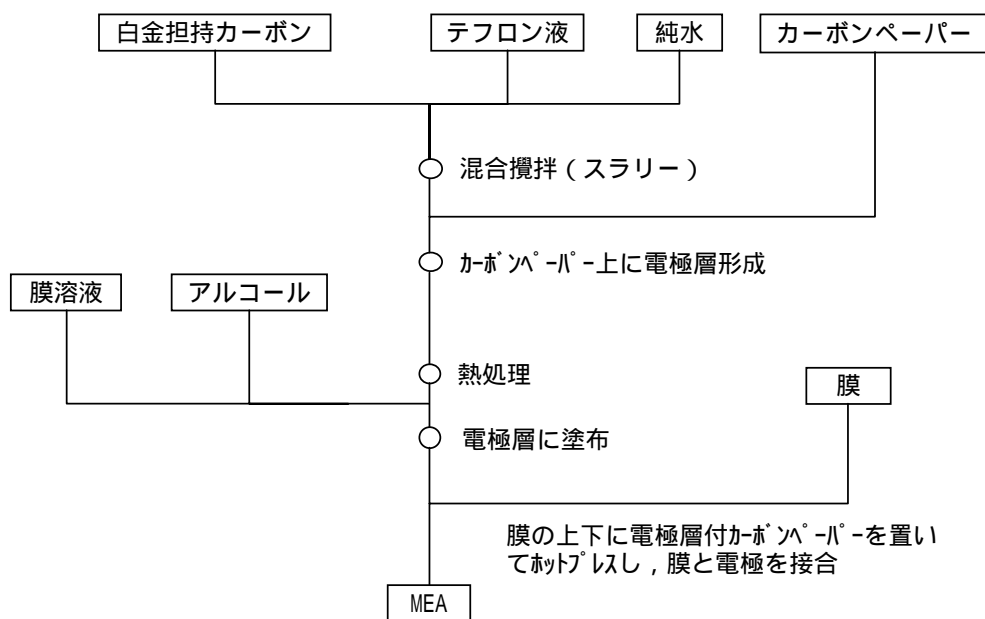


図 4-1-13 代表的な MEA 製法の例(ホットプレス法)

出典：水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)サブタスク 7 水素利用技術に関する調査・検討(平成11年3月)

注) 2000年度 JEVA 海外調査報告書

表 4-1-16 MEAのその他の製法

方法	開発機関
Decal 法 (膜に触媒層フィルムを転写する方法)	Los Aramos National Laboratory
延伸多孔質 PTFE シートをベースとするものと さらなる改良を加えた方法	ジャパングアテックス
電極または MEA の形成過程で 2 種類以上の触 媒層を層状に被覆するもの	ジョンソンマッセイ
高分子電解質樹脂と触媒からなる水系の電極調 整用インクの考案	ジョンソンマッセイ バラード
白金をドライプロセスで担持させるもの	S. Chalk et. al.

出典：「固体高分子型燃料電池の開発と実用化」 技術情報会 1999.5

表 4-1-17 ジャパングアテックス社の製品

補強材	GORE-TEX®	延伸多孔質ポリテトラフルオロエチレン
固体高分子膜	GORE-SELECT®	GORE-TEX®を補強材に持つ
MEA	PRIMEA®	GORE-SELECT®に電極層を形成したもの。ガス拡散層 CARBEL と組み合わせて発電に供せられる。
ガス拡散層	CARBEL-CFP®	カーボンペーパーに特殊加工を施したもの
	CARBEL-CL®	CARBEL-CFP®の改善品（高電流域での高効率維持が可能）

出典：ジャパングアテックス（株）藤本他「イオン交換膜と MEA の最近の開発状況」, 水素エネルギー協会特別講演会予稿集（1999 年 11 月 17 日）を基に作成

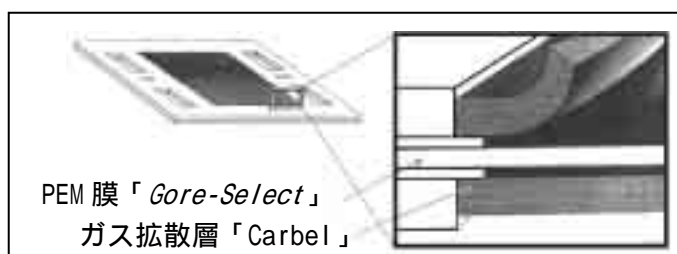


図 4-1-14 Primea®の構造

出典：W.L.Gore 社資料

前章の表 3-3-16 に示したように、海外の多くの化学系メーカーが MEA の製品化を検討している。現在、確認できているところで上記の Gore に加えて、3M、Johnson Matthey、dmc2 が MEA を製品として販売している。3M では、5 層 (GDL・触媒・膜・触媒・GDL)、7 層 (5 層 + シール・ガスケット) の MEA を製品化・販売しているが、現在、バイポーラプレートまでを統合し、ユニット化した 9 層 MEA (Unitized Cell Assembly: UCA) の開発を行っている^{注)}。また、DuPont においても 3 層、5 層、7 層の MEA を、Johnson Matthey でも、5 層、7 層の MEA の販売を行っている。今後、多くのメーカーが MEA

注) 2003 年度 JARI 海外調査報告書

市場に参入し、競争が激化するものと考えられる。

わが国のメーカーでは、旭硝子が MEA の製品化に向けた取組みを行っており、現在定置用を主たるターゲットとして特定メーカーに製品をサンプル出荷している^{注1)}。旭硝子によると、現状における最大の課題は耐久性にあり、利用を続けていると突然急激に電圧が低下することがあると述べている。この原因として、固体高分子膜に穴があくことが推測され、その原因はほぼ解明されてきている段階にあるという。

NEDO の委託により、京都大学、同志社大学を中心とした産官学の研究グループが現在、MEA の劣化要因の解明に取り組んでおり、その中で、白金担持カーボン触媒上に過酸化水素が副生することが見出され、これがパーフルオロスルホン酸系固体高分子膜の分解を加速することなどが解明されてきている^{注2)}。

(5) セパレーター

セパレーター（バイポーラプレート）に関する課題は、FC の出力密度向上のためにより軽く薄くすること、および低コスト化である。

セパレータの材料としては、古典的にはカーボングラファイトの機械加工製品であるが、非常に高コストである。最大の課題であるコストの削減について「技術開発戦略」では、2010 年目標値を 100～200 円/枚としている（表 4-1-1 参照）。

各メーカーともスチール製やカーボンコンポジット材料といった代替素材、安価な製造方法の研究開発を進めている（表 4-1-18）。

現在検討が進められているセパレータの種類には、大きくグラファイト製、金属製、コンポジット製がある。通常のグラファイト製は機械加工が必要となるため、現在カーボン製として主流となっているのは、導電性のある黒鉛の粉を樹脂で固めたコンポジット製の製品である。コンポジット製メーカーである日清紡に対するインタビュー調査によれば^{注3)}、軽薄化、低コスト化に向けての大きな技術的課題はすでにクリアしていると述べている。日清紡では、溝を含めた厚さで 0.4mm、溝を含めない厚さで 0.2mm の製品が製造可能と述べている^{注3)}。金属製と同様の 0.1mm 以下を目標にしているという^{注4)}。

これらに分類できないタイプとして、ユニチカが製造しているアモルファスカーボン製のものがある。これは、原料となる樹脂を成形したのち、炭化焼成することによって製造するものである。アモルファスカーボンの素材そのものの物性は、コンポジット製に比べて優れるが、炭化焼成によってサイズが変化するため、精度が出しにくいという欠点がある。ユニチカでは、この精度の出し方に独自のノウハウがあると述べている^{注3)}。

注1) 今年度旭硝子への訪問インタビュー調査の結果より。（詳細は本調査報告書参考資料参照）

注2) NEDO「固体高分子形燃料電池の劣化要因に関する研究」平成 15 年 3 月

注3) 2001 年度 JEVA「FCV に関する調査報告書」

注4) 今年度日清紡への訪問インタビュー調査の結果より。（詳細は本調査報告書参考資料参照）

現在 樹脂メーカーを中心にコンポジット製セパレータ市場に 30 社以上が参入していると考えられ、市場競争がますます激化していくものと考えられる。

表 4-1-18 セパレータに関する主な研究開発動向

メーカー	内容	出典
SGL-Carbon	2001 年に射出成形によるコンポジット製セパレータの大量生産を開始。5 万枚以上の生産規模で \$ 3 / 枚を目指す。	2001 年度 JEVA 海外調査報告書
ユニチカ	原料樹脂を成形し、炭化焼成することによって製造するアモルファスカーボン製セパレータの量産化を計画。NEDO のプロジェクトにセパレータの実用化技術開発ということで参画した。(平成 12 ~ 14 年度)	2001 年度 JEVA「FCV に関する調査報告書」
日清紡	コンポジット製セパレータを供給中。2002 年 5 月稼働を目標に岡崎市に生産拠点を移し、年産 5,000 ~ 7,000 万枚まで対応可能なスペースを確保する。	2001 年 8 月プレス発表 2001 年度 JEVA「FCV に関する調査報告書」
三菱電機	NEDO の委託により、カーボン樹脂モールドセパレータを研究開発中。	NEDO「第 22 回事業成果報告会予稿集」2002 年 9 月 19 日
大同特殊鋼	NEDO の委託により、金属ガラスを用いた高性能セパレータの材料と製造技術を研究中。	NEDO「第 22 回事業成果報告会予稿集」2002 年 9 月 19 日
日立製作所	NEDO の委託により、実用的な金属セパレータの開発を目指し、金属にポリフッ化ビニリデン (PVDF) / 炭素系の塗料を塗布した各種セパレータ等を検討中。	NEDO「第 22 回事業成果報告会予稿集」2002 年 9 月 19 日
住友金属工業	NEDO の委託により、ステンレス鋼を基材に用いた低コストセパレータの開発に取り組む。	NEDO「第 22 回事業成果報告会予稿集」2002 年 9 月 19 日
Intelligent Energy & Microponent	メタル製セパレータを開発。SS316 (0.3mm 厚) をベースに Microponent 社が SS スプレーエッチング加工を行う。コーティング材は INEOS Chlor の PEM coat。	2002 年度 NEF「FC 動向調査報告書資料編」
GTI	DOE プロジェクトにより、\$ 10 / kW を目標にした圧縮成形グラファイトセパレータの量産技術を確立。ノンコートメタルセパレータの開発にも取り組む。	2002 年度 NEF「FC 動向調査報告書資料編」
DuPont	圧縮成形によるカーボンセパレータを 2002 年半ばより出荷。2mm 厚で密度は 1.8gm / cc。	2002 年度 NEF「FC 動向調査報告書資料編」

金属製セパレータについても、様々な機関で研究開発が進められている。NEDO のプロジェクトでは、アイシン精機が様々な金属 (ステンレス鋼板、アルミ板、チタン板など) を基板としたセパレータの開発に取り組んだ。現在では、NEDO の委託により、日立製作所、住友金属工業が金属製セパレータの検討を行っている。Intelligent Energy 社や GTI (Gas Technology Institute) でもステンレス鋼板をベースとした金属製セパレータの開発が進められている^{注)}。

住友金属工業は、2003 年 10 月に、世界初のセパレータ用ステンレス鋼板を開発したと発表した。これは、通常のスチール鋼では、表面の不動態皮膜が接触抵抗を高めるためセパレータに不適であったものが、新開発の素材では、鋼中に多数分散析出し露出する微細な導電性金属析出物の導電効果により、十分な導電性を確保することができた

注) 2002 年度 NEF「FC 動向調査報告書資料編」

という。また、ホンダの新しいスタック「Honda FC STACK」に住友金属工業製のスタックが採用されているとの報道があった。ホンダは、金属プレスセパレータの採用により、セパレータ接触面の導電性が向上すると公表している。

近年、新しい素材として注目を集めている金属ガラス^{注1)}を用いたセパレータについても、NEDOの委託により大同特殊鋼によって検討が行われている。

図4-1-15は、日清紡からの情報によるセルの構造を示すが、カーボンモールド製セパレータでは、一般的に1つのMEAにつき2枚のセパレータを用いる構造であり、セパレータの背面は水冷のための水の流路とする構造が標準的であるという。

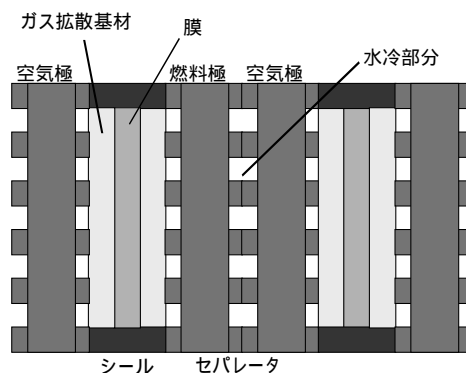


図 4-1-15 セルの構造(資料提供:日清紡^{注2)})

4-1-4 改質器

(1) 改質技術の動向

改質器(システム)は、一般に燃料を改質して水素化する改質反応器、改質ガス中のCOを低減するCO変成器(高温変成器,低温変成器),COを除去するCO選択酸化反応器からなり、それぞれにおいて性能向上に向けた各種検討が行われている。

1) 改質方式の比較

改質方式には、一般に水蒸気改質、部分酸化改質、オートサーマル改質方式がある。それぞれの改質反応の反応熱による比較を図4-1-16、表4-1-19に示す。酸素量 $X=0$ の場合が水蒸気改質反応であり、これは吸熱反応であるため、反応を進行させるためには熱を加える必要がある。部分酸化反応は発熱反応であり、 CH_4 の改質を例にすると、 $X=0.44$ の場合、全反応での反応熱がちょうど0となり、最も熱バランスがよくなる。このような水蒸気改質反応と部分酸化改質反応を併用した改質方式をオートサーマル改質(併用改質)と呼んでいる。

注1) 金属ガラスは機械的特性などにおいて優れた性質を示し、またガラス転移温度以上では成形性が非常に容易になることから、種々の分野での応用に期待が高まっている新しい材料である。

注2) 2001年度JEVA「FCVに関する調査報告書」

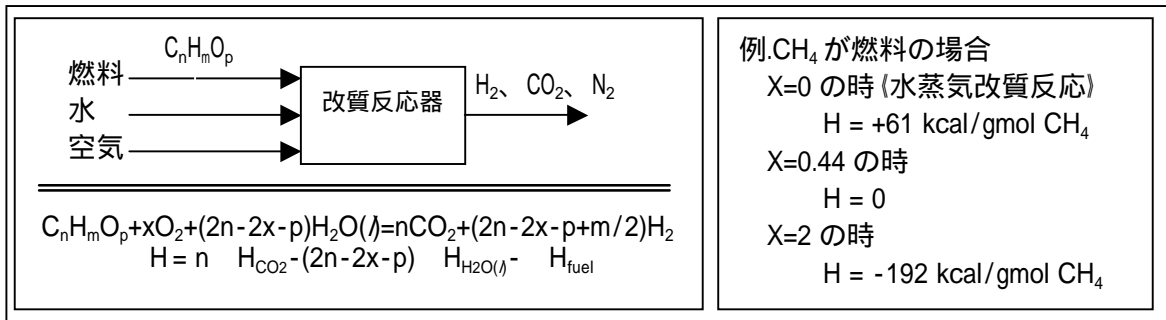


図 4-1-16 改質反応の反応熱・改質効率による比較

表 4-1-19 改質反応の反応熱・改質効率による比較

水蒸気改質反応 (Steam Reforming)	$C_nH_mO_p + (2n - p)H_2O + H$ $nCO_2 + (2n - p + m/2) H_2$	吸熱反応 (H > 0)
部分酸化反応 (Partial Oxidation)	$C_nH_mO_p + (n - p/2)O_2 + H$ $2nCO_2 + (m/2) H_2$	発熱反応 (H < 0)
オートサーマル改質 反応 (ATR)	$C_nH_mO_p + xO_2 + (2n - 2x - p) H_2O + H$ $nCO_2 + (2n - 2x - p + m/2) H_2$	H=ゼロ可能

出典：2002 年度 NEF 「FC 動向調査報告書資料編」

水蒸気改質反応による改質システムはシステムの小型化が難しい。ただし、システムスペースの制約がなく、運転が安定しているため、化学産業分野では多くの実績がある。部分酸化反応による改質は、システムの小型化が可能であり、スタート/ストップに対するレスポンスも高い。しかし、発熱反応であるため、コーキングを防ぐためにインレット側に水を供給する必要がある。また、熱効率上も不利である。

水蒸気改質と部分酸化改質を併用するオートサーマル改質は、温度の制御が重要となるが、触媒を適切に選択することによって、燃料の対応性を高め、リアクタを小型化し、さらに反応温度を低下させることも可能である。そのため、車上改質方式としては主流とみられている。定置用の場合には、想定される運転条件にもよるが、水蒸気改質あるいはオートサーマル改質のいずれかの方式が採用されている。

図 4-1-17 は、水蒸気 (スチーム) 改質とオートサーマル改質の熱効率を比較したものである。改質反応だけを取り上げると、一般には水蒸気改質の熱効率が上回るが、水蒸気改質では、バーナー等による熱供給が必要であり、全体の熱効率では、オートサーマル改質の方が優れる可能性も考えられる。

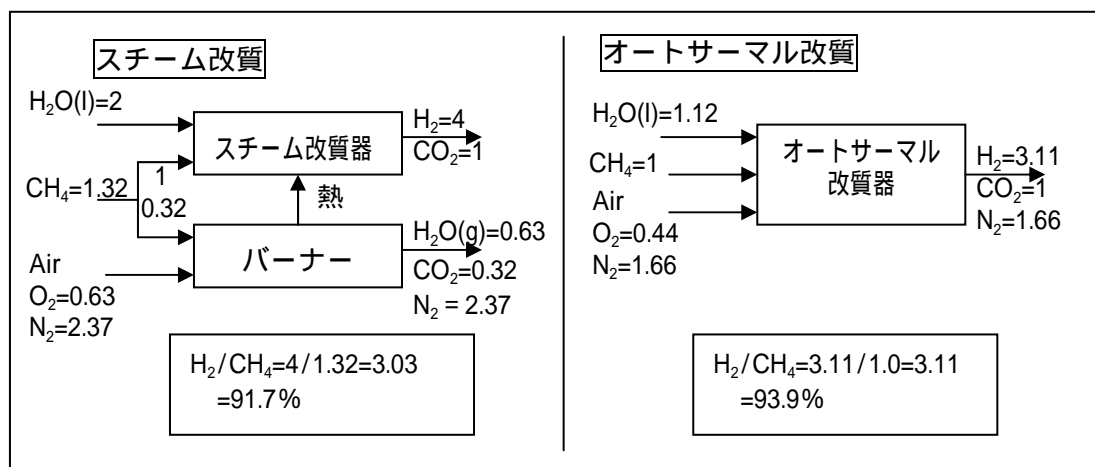


図 4-1-17 スチーム改質とオートサーマル改質の反応熱による比較の例(燃料がメタンの場合)

2001年6月にUTC-FCとShellの合併で設立されたHydrogenSource(HYS)は、CPO(Catalytic Partial Oxidation)改質と呼ばれる技術を有しており、この技術を用いた小型定置用改質器「Vega5」を開発し、2004年以降の商品化を目指している^{注1)}(表4-1-20)。CPO改質はオートサーマル改質と原理上は似ているが、水蒸気がなくても改質が可能であるという。改質燃料としてはガソリン、ナフサ、メタン、FTディーゼル油、エタノールなど様々な炭化水素系燃料に対応可能であり、とくにガソリンとナフサの改質に優れているという。HYSでは、水蒸気改質やオートサーマル改質に比べてサイズ、コスト、スタートアップの点で優れており、効率についても理論値では83%(LHV)、測定値で80%(LHV)を達成しているという。現在、CPO改質システムを車載用改質のほかに、APU用として開発することを検討している。その背景には、ビジネス面で車載改質システムに興味を示す自動車メーカーが少ないことが大きいからだと述べている^{注2)}。

注1) 2002年度 JEVA「FCVに関する調査報告書」

注2) 2003年度 JARI 海外調査報告書

表 4-1-20 HydrogenSource の製品

<p>150 kWe 定置用発電システム（商業用）</p>		<p>PEM を使用 燃料は天然ガス，またはプロパン 稼働時間目標：4 万時間</p>
<p>5 kWe 定置用発電システム（家庭用）</p>		<p>燃料は天然ガス，またはプロパン</p>
<p>工業用水素製造システム</p>		<p>改質方式は，スチーム改質（PureCell200 の技術），あるいは CPO（Shell の技術）が利用可能</p>
<p>車載燃料改質システム</p>		<p>50 kWe 製品化まで，さらに 1 世代の研究開発が必要</p>
<p>燃料電池 APU</p>		<p>燃料電池 APU を利用したクリーン ICE の開発</p>

出典：2003 年度 JARI 海外調査報告書

2) 改質器に用いられる触媒の動向

各段階の性能向上には、優れた触媒の開発が鍵となっている。表 4-1-21 に各段階に用いられる触媒の動向を整理する^{注1)}。

表 4-1-21 改質器に用いられる触媒の動向

段 階	触媒の動向
改質反応器	改質触媒には、燃料ごとに色々なタイプがある。従来はニッケル系の触媒が用いられたが、炭素数が多いガソリン等ではもたないため、耐久性の面から[Pt, Ru]系に移ってきていると考えられる。
変成器	変成触媒は世界的に[Cu/Zn]が主流であり、[Fe, Cr]は少ない。ところが[Cu/Zn]は活性はよいが、FCを on-off すると酸化雰囲気が発熱して、触媒が性能を失うという問題がある。そのため、[Pt, Ru, Rh]を用いる系に変わりつつある。
CO 選択酸化反応器	CO 除去触媒（選択酸化触媒）は、従来から[Pt, Ru]系、[Pt-Ru]が主流。

出典：田中貴金属工業（2001 年度 JEVA「FCV に関する調査報告書」）

現在、独立行政法人産業技術総合研究所では、経済産業省の委託により、平成 14 年度から 5 カ年の計画で改質器で用いられる触媒に関する触媒反応のデータベースを構築する取組みを行っている^{注2)}。これは、基本的に触媒を構成するすべての成分、反応条件の組み合わせに対して、迅速な評価技術を用いて総あたりでその反応を調べていき、データベース化していくというものである。改質器の触媒の設計指針とすることを目的としたものである。

(2) 改質器にかかる課題

水素を直接車上に搭載する方式では、水素供給施設の整備が必要であり、また車上で十分な水素の搭載には何らかのブレークスルーが必要といった問題がある。そのため、現在、ガソリン系燃料であるクリーン・ハイドロカーボン・フュエル（CHF）などの炭化水素を車上で水素に改質して FC の燃料とするオンボード改質形の FCV の研究開発も並行して進められている。

改質器にかかる課題としては、効率の向上、軽量・コンパクト化、始動性・負荷応答性の向上、コストの低減が挙げられる。表 4-1-22 に改質形 FC に特有の問題点を整理する。

とくに現在、トヨタ自動車や米国のメーカ、国立研究所等においてガソリン系燃料の車上改質技術の開発が進められているが、現状における最大の課題は始動性といわれている。改質器は、一般に燃料の改質反応を行う改質反応器、改質ガス中の CO を低減させる CO 変成器、CO を除去する CO 選択酸化反応器から構成されるが、このうちとくに CO 変成器において小型軽量化が進まず、必要な温度まで加熱するのに時間とエネルギー

注1) 2001 年度 JEVA「FCV に関する調査報告書」

注2) 2002 年度 JEVA「FCV に関する調査報告書」

ギーが必要とされ、始動性とエネルギー効率を悪化させている^{注)}。たとえ二次電池等によるエネルギー供給によってすみやかな始動が可能になったとしても、エネルギー効率の向上は望めない。ガソリン改質形の FCV はエネルギー効率で内燃機関車 (ICEV) や ICEV とのハイブリッド車を上回らないと存在意義が失われるため、この問題の解決が最大の課題であり、何らかのブレークスルーが必要とされている。

表 4-1-22 車上改質に関する問題点

(低温)始動性	改質器装置全体が大きな熱容量を持つために、各反応が適正な運転温度に達し燃料電池スタックが許容する濃度まで CO を除去するためには、現状では数分の始動時間を要する。また、この始動のための熱は燃料の燃焼によって得ることになるため、効率悪化と始動時の大気汚染物質排出量を増加させる。
負荷応答性	改質器の負荷応答性に問題があり、PEFC に供給される水素の応答性に問題が生じる可能性がある。改質は反応が遅く、1, 2 秒の遅れがあるといわれている。このような始動性や負荷応答性については、わが国メーカーにおいては、主に二次電池等とのハイブリッド構成にすることによる解決が図られている。

米国 DOE によるガソリン型改質器の目標値を表 4-1-23 に示す。DOE は、ここに示された 2010 年の始動性に関する目標値の達成可能性を 2004 年 6 月の時点で判断し、その如何によっては、オンボード改質技術に対する支援を打ち切るという方針を打ち出している。

表 4-1-23 DOE によるガソリン型改質器の目標値

項目	2003 年現状	2004 年目標	最終目標
負荷応答性 (10% 90%)	60 秒	<5 秒	<1 秒
スタートアップ時間	<600 秒	90%出力:<60 秒	10%出力:<2 秒 90%出力:<30 秒
スタートアップエネルギー (50kWe)		< 2 MJ	< 2 MJ
効率	78%	78%	> 80%
出力密度	700 W/L	700 W/L	2,000 W/L
耐久時間 (停止・始動回数)	2,000 時間	2,000 時間 > 50 回	5,000 時間 > 20,000 回
耐硫黄性能		入口: 30 ppm 出口: < 50ppb	入口: 30 ppm 出口: < 10ppb
ターンダウン比		20 : 1	> 50 : 1
コスト	\$65/kWe		<\$10/kWe

出典: Federal Register / Vol. 69, No. 23 / February 4, 2004 / Notice (P.5331)

注) 2002 年度 JEVA 「FCV に関する調査報告書」

(3) メタノール改質形 FCV の動向

メタノール改質は低温での改質が可能であり，改質形の中では実用化への障壁が最も低いと考えられる。平成 12 年度から 13 年度にかけて日本では，メタノール改質形 FCV として，マツダ「プレマシーFC-EV」と DaimlerChrysler「Necar5」が大臣認定を取得し，公道走行試験を行っている。

2001 年度の JEVA 国内訪問インタビュー調査によると，公道走行によって，雨，風，周りの走行車の影響等様々な環境下でテストでき，ベンチテストだけでは得られない多くの知見が得られたという。また，市販するまでには，解決すべき数多くの課題があると述べている^{注1)}。

メタノール改質形 FCV の全体的な課題としては 現状ではメタノール製造時の効率の低さ等から総合エネルギー効率上の優位性が低いことが挙げられる。また，新たにインフラ設備に対する投資が必要なほか，走行時にゼロエミッションではないといった不利な点もある。改質器を車載することはシステム構成や制御の複雑さ，燃料電池性能の低下，改質器の容量や重量からくるパッケージング等の不利な点もある。

メタノール改質形 FCV については 現状ではメタノールを燃料としてインフラを整備しようとする機運になく，すでに開発の重点が他に移っているものと考えられる。

(4) ガソリン改質形 FCV の動向

ガソリンを FCV の燃料として用いることが可能ならば，極めてメリットが大きい。

2001 年 1 月，GM とトヨタ自動車は共同で「短中期の水素への移行期間を担う燃料として，ガソリン系の燃料である Clean Hydrocarbon Fuel を研究の主要な候補とすることを GM と合意した」と発表し，にわかにガソリン改質形 FCV の実現可能性に対する期待が高まった。

GM は ExxonMobil とのジョイントチームによる改質器の開発を進め，2002 年にはガソリン改質 FCV のフリートテストを開始すると発表し，2001 年 8 月に GM は，この試作車「シボレーS10」を発表した。

また，米国 Argonne National Laboratory (ANL) も DOE の燃料電池開発プロジェクトに参加し，燃料フレキシブル(マルチ燃料)対応の改質器の開発を行っている。

2001 年 10 月にトヨタ自動車は，東京モーターショーにおいて，CHF 改質形 FCV の試作車「FCHV-5」を発表している。

前述のとおり，ガソリン改質形 FCV については，その技術的ハードルの高さのため，現状では早期の実用化は不可能と考えられる。今回の海外調査では，GM は今後直接水素形 FCV の開発に資源を集中させ，ガソリン改質の開発を中止したと述べている^{注2)}。

注1) 2001 年度 JEVA 国内訪問インタビュー調査

注2) 2003 年度 JARI 海外調査報告書

(5) 直接メタノール形燃料電池

メタノールについては，改質器なしで直接電力への変換が可能な直接メタノール形燃料電池（DMFC）に関する研究開発もここ数年で大きく進展しており，主に携帯用可搬電源や車載用として期待されている（3-6節参照）。ただし，車載用としてはエネルギー効率面や耐久性の面での課題も多く，一般普及車としての実用化は現状では非常に困難であると考えられる。

固体高分子電解質を用いた DMFC は，図 4-1-18 に示すように，固体高分子膜を電極で挟んだ構造であり，通常の PEFC と同様であるが，水素極側にメタノール水溶液を供給するところが異なる。

DMFC のメリットは，直接メタノールを燃料として使えるために，改質器が不要なくシステムが簡素化できる点であるが，問題点としてメタノールが電解質膜を透過してしまい，出力を低下させる問題（クロスオーバー）と，反応過程で CO が発生して触媒が劣化する問題（CO 被毒）の 2 点が挙げられる。

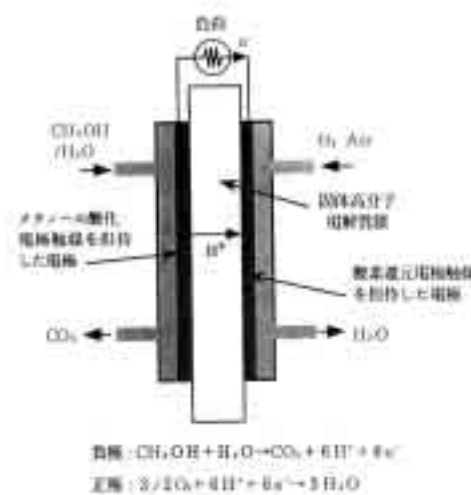


図 4-1-18 DMFC の原理

出典：「固体高分子型燃料電池の開発と実用化」技術情報協会 1999.5

DaimlerChrysler は，2000 年 11 月にドイツ・シュツットガルトで開催した「DaimlerChrysler Innovation Symposium」で，Ballard Power Systems 社と共同開発したダイレクトメタノール燃料電池車（図 4-1-19）を公開した。一人乗りのゴーカートにスタック出力 3kW，体積出力 500W/l の DMFC を搭載したもので，最高速度は時速 22 マイル（35.4km/h），1 回の給油で 9 マイルの走行が可能である。また，始動のために小型のバッテリーを搭載している。供給されるメタノール濃度は 10wt% であり，Tank-to-Wheel でエネルギー効率 40% を達成したという。

また，ヤマハ発動機は DMFC の二輪車「FC06」を 2003 年 10 月に開催された東京モーター

ターショーで初公開した(図 4-1-20)。ベース車は電動スクータ「パッスル」で、リチウムイオンバッテリーの代わりに、DMFC を搭載した。このセルスタックはユアサと共同開発したもので 500W である。試作段階であるが、実用化に堪え得る基本性能は満たしており、重量はおよそ 64kg で、ガソリンエンジン車が 70~80kg であるのに対し 1~2 割程度軽い。ヤマハ発動機では、社内での走行テスト、公道での試験を経て FC06 の販売を急ぐ予定であるという。

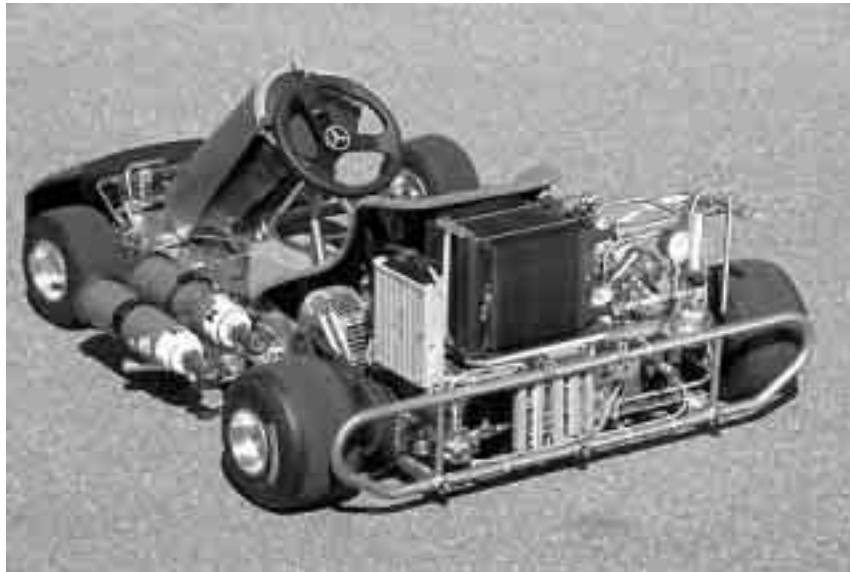


図 4-1-19 DaimlerChrysler が発表した DMFC 車



図 4-1-20 東京モーターショーに出品されたヤマハ発動機「FC06」(出典:プレスリリース)

4-1-5 周辺機器

FCV に関するその他の主要な周辺機器としては、主に空気供給システムと熱管理システムがある。

(1) 空気供給システム

空気供給システムの主な課題は、エアコンプレッサ（圧縮機）の効率の向上と消音、小型化である。FC は高圧力で効率が上がるが、それだけ圧縮機のパワーを必要とし、ある程度以上の圧力にするとシステム全体の効率は低下するというトレードオフの関係がある。コンプレッサの方式にも様々なものがあり、その選択も課題の一つである。

米国エネルギー省（DOE）では、FCV 用のコンプレッサとして、従来技術の延長では目標効率の達成が困難と判断し、性能向上のための研究を行っている。図 4-1-21 は DOE が検討しているコンプレッサの種類である。JEVA が実施した海外調査によると^{注1)}、現状の技術では、ピストン型、スクロール型が最も技術的に成熟しているが、一長一短があり、最も短所が少ない選択としてタービン型に期待していると述べている。

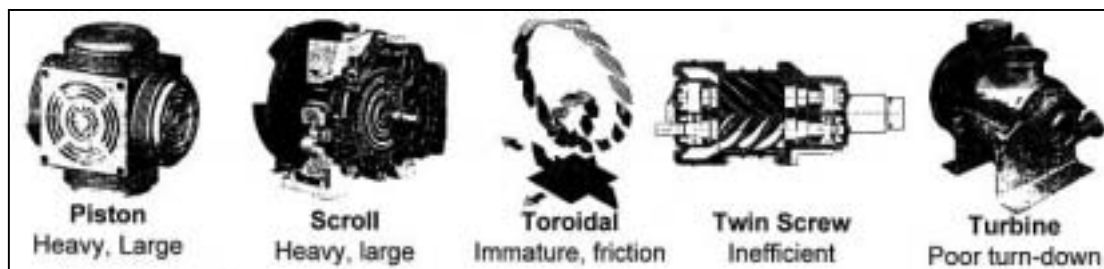


図 4-1-21 米国 DOE で検討しているコンプレッサの種類

出典：2000 年度 JEVA 海外調査報告書

(2) 熱管理システム

熱管理が直面する課題は、FC スタック本体の冷却のみならず、主機モータとインバータの冷却、および FC スタックの早期暖機である。FC 本体については、PEM から放出される低い温度での廃熱を処理するためにラジエータやファンの負担が大きくなる^{注2)}。そのため、ラジエータの大型化、ファンの大容量化が必要になる。しかし、ラジエータの大型化は搭載性を悪くするという弊害があり、また、ファンの大容量化は消費電力の増大という弊害がある。また、冷却水では、電気伝導度が重要となるが、防腐剤を入れると伝導度は上がり、入れないと部品の腐食につながるという問題があるという。これ

注1) 2000 年度 JEVA 海外調査報告書

注2) ICEV では熱を排出ガスとともに放出できるが、FCV ではすべてをラジエータで負担する必要がある。また、低温をそれ以上に下げると、外気温との温度差が小さいため、ラジエータの負担が大きくなる。

らの課題に対し、今後の技術革新が求められている。

(3) その他の周辺部品

図 4-1-22 に示すように、その他の周辺部品も低コスト化と性能改善のための開発が求められる。商品化にあたっては、コストと耐久性を達成するための開発が求められている。

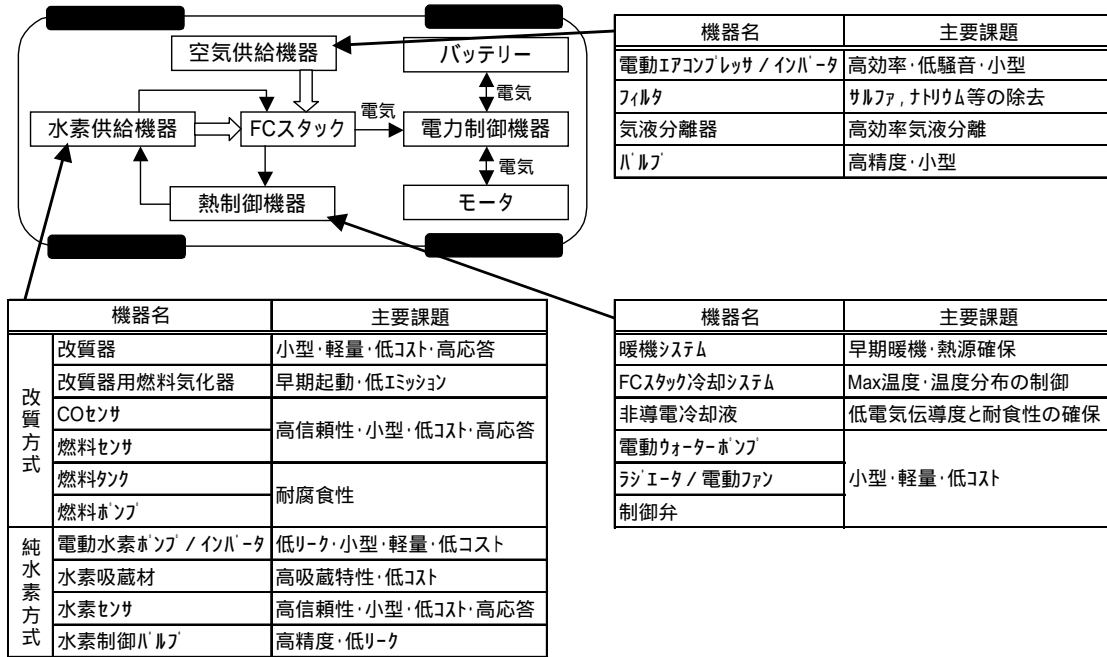


図 4-1-22 FCV 用周辺機器の主要課題

資料提供：(株)デンソー

4-1-6 水素の車上搭載方法

(1) 水素の性状と車上への搭載方法

水素の性質を表 4-1-24 に整理する。水素は最も軽い燃料であり、質量あたりのエネルギー密度はガソリンなどに比べて非常に小さく、車上に効率的に貯蔵するための方法が課題となっている。

表 4-1-24 水素ガスの性質

分子量	2.016
沸点	- 252.8
融点	- 259.1
比重（空気を 1 として）	0.0695
臨界圧力	12.759 気圧
臨界温度	- 259.9
液体の密度（沸点）	70.8kg/m ³
気体の密度（20℃，1 気圧）	0.083764 kg/m ³
熱伝導度（20℃，1 気圧）	1.897mW/cm・K
蒸発熱	445.59kJ/kg
燃焼熱（HHV）	141.86MJ/kg
拡散定数（空气中）	0.634cm ² /s

出典：「固体高分子型燃料電池の開発と実用化」技術情報協会 1999.5

水素を車上に搭載する方法としては、現在では大きく 3 つの方法がある。高压ガス、液体水素、および水素吸蔵合金を用いる方法である。それらの特徴を表 4-1-25 に整理する。高压ガス方式は、実用上最も現実的な方式であるが、体積密度が小さいのがデメリットであり、現状では、航続距離を十分に確保できない。液体水素は、この中では唯一ガソリン車並みの航続距離を確保できる方式であるが、貯蔵時のボイルオフが避けられないことや、液化時のエネルギー損失の問題、システムが複雑になることによるコストの増大などのデメリットがある。わが国でこの方式を選択しているメーカーはない。一方、水素吸蔵合金を用いる方式は、吸蔵能力が不十分であり、重量密度が小さいのがデメリットである。材料が比較的高価であることやシステムが複雑になるといったデメリットもある。

いずれの方法においても問題があり、安価で貯蔵密度の高い水素吸蔵材料の開発が求められている。

表 4-1-25 主な水素の車載搭載方法

搭載方式	長 所	短 所
高圧ガス	<ul style="list-style-type: none"> 重量比のエネルギー密度は比較的高い。 スペースの問題が少ないバス、トラックなどに向く。 	<ul style="list-style-type: none"> ガソリン貯蔵の1/4～1/5と容量比のエネルギー密度が低く、車載時のレイアウトに制約を受ける。 わが国では、高圧ガス保安法の適用を受ける。
液体水素	<ul style="list-style-type: none"> 体積密度、重量密度でガスよりも優れる。 航続距離の確保が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 蒸発が避けられなく液化にエネルギーを損失するため総合効率が低下する。 わが国では、高圧ガス保安法の適用を受ける。 安全性の問題が比較的大。 高圧ガスと同様、レイアウトに制約を受ける。 プロセスが複雑でコスト大。
水素吸蔵合金	<ul style="list-style-type: none"> 低圧での取り扱いが可能なため、高圧ガス保安法の適用を受けない。 安全性が高い。 	<ul style="list-style-type: none"> 現状では貯蔵能力が小さい。現状重量比で1～2.8%。 タンクの重量エネルギー密度が大きい。 水素の充填・放出に温度管理が必要なためシステムが複雑になる。 吸蔵能力が大きい材料は耐久性が悪く、コストも大きい。

現状において検討が行われている水素の貯蔵方法について整理・比較したものを表4-1-26に示す。水素吸蔵材料は大きく水素吸蔵合金と、無機系水素吸蔵材料、有機系水素吸蔵材料、炭素系材料に分けられる。このうち有機系水素吸蔵材料と無機系水素吸蔵材料は、合わせてケミカルハイドライドと呼ばれることが多い。

表 4-1-26 水素貯蔵方法の比較

方法	圧縮水素	液体水素	水素吸蔵材料				
			水素吸蔵合金	無機系水素吸蔵材料		有機系水素吸蔵材料	炭素系材料
				可逆型	加水分解型		
内容	高圧 常温 軽量高圧タンク(小容量) 20～70MPa, 数10Nm ³ ポンベ・ローダー 15～20MPa, ～2,800Nm ³ 耐圧タンク(大容量) 1～3MPa, ～25,000Nm ³	常圧 極低温(-253) 断熱容器 容量:数10Nm ³ ～3200Nm ³	常圧近傍 常温～300 熱交換器付容器 金属水素化物状態 LaNi ₅ 等の合金 体積:気体状態 の1/1000 容量:0.03 ～2000Nm ³	10～20MPa 100～200 高圧容器 (熱交換要) 例 NaAlH ₄ 錯陰イオン(AlH ₄ ⁻) 状態 小容量容器試作の 段階:～0.1Nm ³	常圧 常温 FRP容器 (要耐アルカリ性) 例 NaH NaBH ₄ 小規模システム 試作段階～0.1Nm ³	常圧 200～400 ガソリンタンク程度 の容器 例 シクロヘキサン -ベンゼン デカリン -ナフタレン等の系	常圧～10MPa 常温～300 高圧容器に充填 カーボンナチューブ等
長所	高質量水素密度 低エネルギー消費 常温貯蔵 普及技術	高質量水素密度 高体積水素密度 高純度水素源	高体積水素密度 高安全性 高純度水素源 常温貯蔵	高質量水素密度 運搬・充填等 取扱容易	高質量水素密度 運搬・充填等 取扱容易	高質量水素密度 高体積水素密度	水素貯蔵特性不明 ¹⁾ 高質量水素密度?
短所	低体積水素密度 高圧	液化動力大(高コスト) 自然蒸発(ボイルオフ) 充填時の蒸発	低質量水素密度 被毒・劣化現象 初期活性化	遅い吸蔵放出速度 サイクル特性 禁水性物質	強アルカリ性 廃液タンク必要 水素化物再生に多量の エネルギーが必要	反応器,精製器,廃液 タンクが必要 反応熱大 有害性を持つものも有	水素貯蔵特性不明 ¹⁾
所要動力	理論:0.163kWh/Nm ^{3a)} 現状:0.25 ～0.5kWh/Nm ³	理論:0.31kWh/Nm ^{3b)} 現状:1.2 ～2.0kWh/Nm ³	0.37kWh/Nm ^{3c)}	0.43kWh/Nm ^{3e)}	0.94kWh/Nm ³	理論:0.85kWh/Nm ^{3d)}	圧縮水素と同程度
充填時間 ^{g)}	5～10分	3～10分	10分(WENET目標)	数時間	数分	数分	圧縮水素と同程度

a) 1気圧から35MPaへの等温圧縮に必要な動力(実際には,この1.5～3倍の電力が必要)

b) 液化に必要な動力(実際には4～6倍の電力が必要)

c) 水素化熱(30kJ/molH₂)で算出

d) シクロヘキサン-ベンゼン系

e) NaAlH₄系, NaHまで脱水素

f) 水素吸蔵性能にはまだ議論がある。

g) 自動車用小型容器の場合

資料提供: (独)産業技術総合研究所関西センター(2002年度NEF「FC動向調査報告書資料編」)

一般に FCV がガソリン車並の航続距離を有するためには，車上に 5kg の水素を貯蔵することが必要とされている。表 4-1-27 は水素 5kg を貯蔵するための各種燃料，貯蔵物質別の特性を比較したものである。いずれの方法もガソリンに比べて体積や重量の面で不利であることがわかる。

表 4-1-27 水素 5kg の貯蔵性の比較

燃料	中身燃料 ^{l)}		容器重量 ^{m)}		容器体積 ⁿ⁾
	重量 (kg)	体積 (L)	容器のみ (kg)	水素込み (kg)	体積 (L)
ガソリン ^{a)}	14	20	4	18	21
メタノール ^{a)}	30	38	6	36	42
シクロヘキサン ^{b)}	70	90	76	81	95
NaBH ₄ ^{c)}	71	68	77	82	72
NaAlH ₄ ^{d)}	89	71	104	109	89
圧縮水素 (鋼製) ^{e)}	5	320	400	405	390
圧縮水素 (軽量小型) ^{f)}	5	214	113	118	273
圧縮水素 (軽量大型) ^{g)}	5	214	54	59	250
圧縮水素 (超軽量) ^{h)}	5	214	39	44	278
液体水素 ⁱ⁾	5	71	20	25	96
MH (1wt%) ^{j)}	505	73	600	605	228
MH (3wt%) ^{k)}	172	33	197	202	96

a) ガソリン及びメタノールは水素5kgと等しい発熱量を示す量

b) 「容器のみ」の重量は，容器そのものの重量 (11kg) とベンゼンの重量 (65kg) の和とした。

また，脱水素反応装置は含まず

c) アルカリ性水溶液 (NaBH₄濃度35%)，脱水素反応装置含まず (脱水素反応装置: 50kg程度)

d) NaAlH₄ NaH+Al+3/2H₂，軽量高压容器の使用を仮定，NaAlH₄充填率: 80%

e) 内容積47L，20MPa，1.3wt%

f) 内容積33L，35MPa，4.2wt%

g) 126L，35MPa，8.5wt%

h) 内容積144L，35MPa，11.3wt%

i) 断熱容器，20wt%

j) 合金 (MH) : 500kg，容器 (鋼製) : 150kg

k) 合金 (MH) : 167kg，容器 (Al製仮想容器) : 30kg

l) 水素+貯蔵媒体

m) 貯蔵媒体重量を含む (水素貯蔵材料使用の場合)

n) 外容積推定値

資料提供: (独)産業技術総合研究所関西センター (2002年度 JEVA「FCVに関する調査報告書」)

以下にこれらの材料についての研究開発動向の概要を整理する。

(2) 高压ガス

現在わが国では，3車種の高圧水素型 FCV が限定リース販売を行っており，それらを含めた 8車種の高圧水素型 FCV の試作車が大臣認定を取得し，公道走行試験を開始している。現状の技術水準を前提にすると，高圧ガス方式が最も実用的な水素の車載方法であると考えられる。

現状主流となっている充填圧力は 35MPa(トヨタ FCHV ,ホンダ FCX など)であり ,現状では高压水素方式の FC 乗用車の航続距離は ,最大でも 300 ~ 350km 程度であると考えられる。そのため ,航続距離を伸ばすために ,50 ~ 70MPa といった高压化の検討が行われている。

CNG 車や FCV に用いられている軽量高压容器としては ,Type3 と Type4 と呼ばれるタイプがある。Type3 はライナーがアルミニウムで強化繊維にカーボンファイバーを用いたもので ,カナダの Dynetek 社とアメリカの SCI 社等が開発・供給を進めている。一方 ,Type4 はライナーに熱可塑性樹脂を用い ,強化繊維には同じカーボンファイバーを用いたものであり ,アメリカの Lincoln 社 ,Quantum 社等が開発を進めている。このうち Dynetek 社の Type3 容器は ,DaimlerChrysler 社の FC バスや MAN 社の水素バスの路上試験等で採用されており ,2 年以上の実績がある。Ford 社の FCV や日産の実証試験車等にも搭載されている。

水素用高压容器における課題は ,低コスト化と高压化への対応である。高压化に対しては ,バルブやレギュレータ類における水素のリークの問題が大きいという^{注1)}。

こうした背景の中 ,70MPa の実現に向けた取組みが活発になっている。2002 年 7 月には GM 社と Quantum 社が世界初となる 70MPa タンクの開発に成功したと発表した。また ,カナダでは ,70MPa 仕様の燃料電池車用水素容器やバルブ等の開発 ,標準化を目的とした Hydrogen P700 プロジェクトが実施されている^{注2)}。

水素の高压化に関しては ,高压力化するにしたがって圧力と体積の関係が線形領域を外れていき ,70MPa 以上に高压化してもそのメリットはほとんどないといわれている。また ,高压化に伴い ,圧縮に要するエネルギーのロスも大きくなるため ,今後高効率なコンプレッサの開発も重要な課題である。

(3) 水素吸蔵合金

法規制や安全性等の面からは水素吸蔵合金による貯蔵方式が有利であり ,より安価で大きな吸蔵力のある材料開発が進められている。自動車用水素タンクとして仕上げたベースで理想的には 5 重量%程度の貯蔵能力が必要と考えられている。

現在までに開発された水素吸蔵合金は 100 種類を超えていると言われ ,組み合わせとしては ,水素吸蔵量の多い金属元素単体と ,吸蔵量は少ないが水素化反応が早くしかも反応温度を低く抑えられる元素との組み合わせが基本となっている。水素吸蔵量の多い元素として ,Ca ,Mg のグループ ,希土類金属のグループ ,Ti のグループ ,Pt ,Pd のグループなどが挙げられる。2 つの元素の組み合わせ (2 元素系合金)を基本とし ,その合金の持つ性質をさらに向上させるために ,第 3 の元素 ,第 4 の元素と次第に複雑化

注1) JEF コンテナ(旧鋼管ドラム)は ,こうした問題から ,50MPa が現実的と述べている。(2001 年度 JEVA「FCV に関する調査報告書」)

注2) 詳細は 3-2-6(4) 参照。

する方向へ進んでいる。水素吸蔵合金の吸蔵量の例を表 4-1-28 に整理する。

表 4-1-28 水素吸蔵合金の吸蔵量の例

水素吸蔵合金	吸蔵量 (重量%)
LiH	12.7
MgH ₂	7.6
LaNi ₅ H _{6.0}	1.4
Ti _{0.9} Zr _{0.1} Mn _{1.4} V _{0.2} Cr _{0.4} H _{3.2}	3.0

現在、自動車車載用として最も高い貯蔵能力を有するのは、トヨタ自動車が開発した常温で作動する 2.3 重量%の BCC 合金(Ti-V-Cr 系)である。最近の技術動向としては、2.8 重量%程度の吸蔵能力を有する合金が開発されつつあるという^{注1)}。

最近発表された研究成果としては、広島大学、広島県立西部工業技術センター、マツダの共同研究である RF 支援スパタリング薄膜法^{注1)}がある。Mg はもともと 7.6 重量%の多量の水素を吸蔵することができるが、水素の吸収・放出に 300 の高温が必要となる。そこで、水素吸蔵量は 0.6%と少ないが放出温度が 100 以下である Pd 薄膜と Mg 薄膜を交互に積層した多層膜を形成した。その結果、Pd 4 層と Mg 3 層を積層した 7 層膜では、100 以下で 5 重量%の水素を吸蔵し放出することが確認されたという。現状では、薄膜の大量製造方法やコスト面からみて、実用化へのハードルは高い。

また、東北大学の岡田教授の研究グループでは、重量比で 3%の吸蔵能力を持つチタン系の吸蔵合金を開発したという報告もある。

以上のように、最近になって、いくつかの研究成果が報告されているものの、吸蔵合金タンクとしてのコスト、吸蔵能力に関してはこれからの課題であり、現状では貯蔵能力、コストとも実用化には程遠いといえる。そのため、現状では何らかのブレークスルーが必要と考えられている。

産業技術総合研究所では、NKK、JEF コンテナと共同で水素吸蔵合金と高圧水素容器の両者の特性を活かしたハイブリッド水素貯蔵容器の研究開発を行っている。これは高圧容器の中に吸蔵合金を入れ、高圧水素の一部を吸蔵合金に貯蔵することによって、両者の重量と体積に関する特性を活かし、従来の高圧容器以上の体積密度の向上を狙ったものである(図 4-1-23)。現段階では、水素 5kg を貯蔵した場合、質量 161kg(水素込み)、容器体積 134L となっており、従来の高圧容器(表 4-1-27)よりも体積密度の向上が図られている。圧力としては 35MPa までを検討しているという^{注2)}。

注1) 2001 年度 JEVA「FCV に関する調査報告書」

注2) 2002 年度 JEVA「FCV に関する調査報告書」

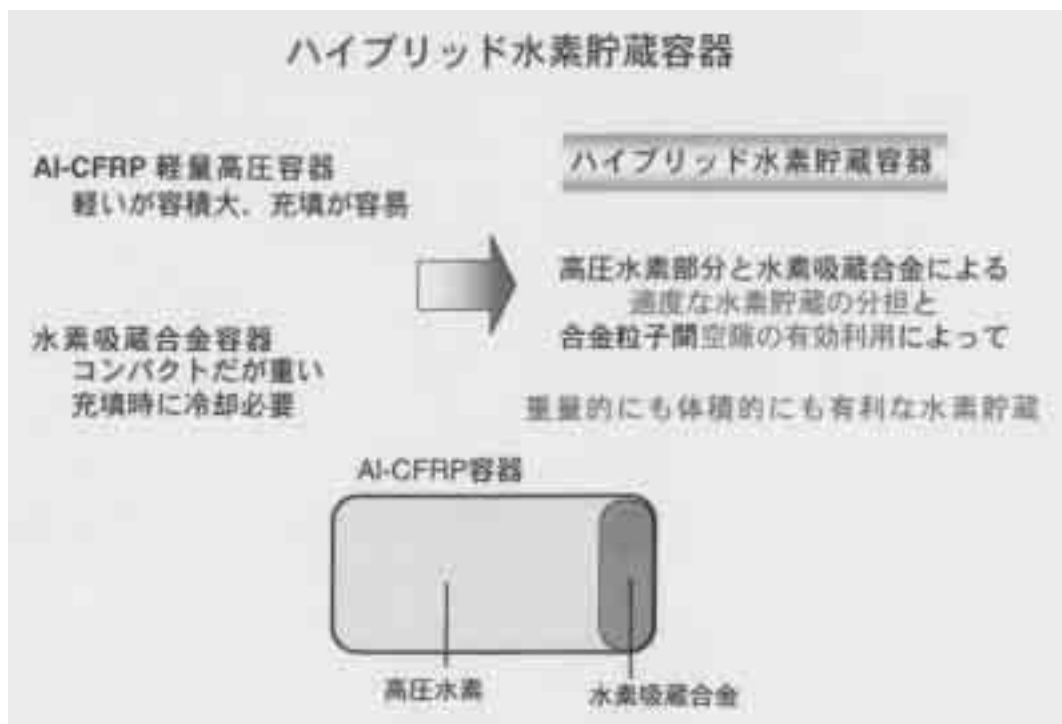


図 4-1-23 ハイブリッド水素貯蔵容器

資料提供：（独）産業技術総合研究所関西センター（2002 年度 JEVA「FCV に関する調査報告書」）

(4) カーボンナノチューブ

1997 年に A.C.Dillon らは、カーボンナノチューブが常温で 5～10 重量%という極めて高い水素吸蔵能力を有する可能性を指摘し、1999 年には C.Liu らによって精製による 50%純度のカーボンナノチューブが作製され、その水素吸蔵量が 4.2 重量%であると報告されるなど、カーボンナノチューブの水素吸蔵材料としての期待が高まった。

大阪ガスでは積極的にカーボンナノチューブの研究開発に取り組んでおり、現在、アモルファスカーボンナノチューブ（ a -CNTs）と呼ばれる物質の研究開発に取り組んでいる^注）。通常の CNTs は中央の穴の周りの層が多層のグラファイトで構成されているのに対し、 a -CNTs ではグラファイトの層が認められず、結晶性がほとんどないのが特徴である（図 4-1-24）。

水素吸蔵に関しては、通常が多層 CNTs は、論文等で 5wt%や 10wt%と発表されているが、発表後に確認できておらず、研究者の中では 0.1wt%～0.5wt%程度という見解に固まりつつあるという。しかし、 a -CNTs の水素貯蔵量は、室温、10MPa で 3wt%が確認され、現状ではサンプルによってバラツキがあるため 1～3wt%の間にあるという^注）。

以上のようにカーボンナノチューブは水素吸蔵合金と比較してやや大きな重量密度を有しているが、実用化に向けては、吸蔵能力を上げるための構造の最適化、効率良くボ

注）今年度大阪ガスへの訪問インタビュー調査の結果より。（詳細は本調査報告書参考資料参照）

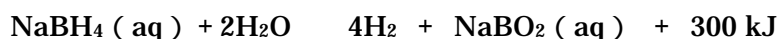
ンベにパッキングする技術の開発などが課題であり，基礎的な研究段階にあるのが現状である。



図 4-1-24 CNTs の写真

(5) ケミカルハイドライドを用いた水素供給システム

無機系のケミカルハイドライドについては，アメリカやドイツで数多く研究されている。アメリカの Millennium Cell 社では，燃料電池向けの水素貯蔵材料として NaBH_4 を検討しており^{注1)}，同社の技術を用いた FCV「Town&Country Natrium」が DaimlerChrysler より発表されている。これは，以下の加水分解反応を利用したものである。



これは燃料タンクに NaOH (5%) を含む NaBH_4 (35%) の水溶液を入れ，冷却システムを備えたルテニウム触媒層へ導入して水素を発生させ，生成される NaBO_2 を廃液回収タンクに収容するシステムである。 NaBO_2 は回収されてリサイクルされる。

同様に，加水分解を利用した水素の生成方法としては，Powerball 社の NaH と NaOH を利用したもの，Herbst 社の Si と SiO_2 を利用したもの，Graz 大学の Fe と FeO_2 を利用したものなどが提案されている。

その他には，ハワイ大学の C.M.Jensen らによる NaAlH_4 を用いた水素貯蔵の研究などがある。

有機系のケミカルハイドライド(有機ハイドライド)については，北海道大学の市川勝教授らにより，水素の吸蔵方法としてシクロヘキサンやデカリンなどを用いる方法が提案されている^{注2)}。水素とベンゼン，および水素とナフタレンを反応させるとそれぞれシクロヘキサン，デカリンが生成される。シクロヘキサンやデカリンは常温常圧で液体なので，水素が必要なところで触媒を使って水素を取り出し利用するということが考

注1) 日本では，工学院大学の須田教授が同様の研究を行っている。

注2) 技術情報協会セミナーテキスト「固体高分子型燃料電池における燃料の選択・供給システムの動向」(平成 13 年 1 月 30 日)

えられている。すなわち、シクロヘキサンやデカリンを水素キャリアとして利用するというものである。

メタノールや液体水素に比べて、シクロヘキサンやデカリンは、ガソリンスタンド設備が使える、価格が安い、すぐに水素が取り出せる、という優れた面を持っていると市川教授は述べている^{注)}。北海道大学市川研究室では、極めて高性能な機能集積型貴金属触媒の研究開発がなされ、シクロヘキサンやデカリンから水素を高速で効率的に取り出す反応器の開発に成功したと発表している^{注)}。

有機ハイドライドの特性を図 4-1-25 に示す。シクロヘキサンの沸点は 90～125 であり、ガソリンの 80～125 と同等であり、メタノールのような腐食の問題もない。



図 4-1-25 ケミカルハイドライドの特性

出典：「固体高分子型燃料電池における燃料の選択・供給システムの動向」（平成 13 年 1 月 30 日）

また、市川教授らは、ゼオライトの表面にモリブデンやレニウムなどの金属をのせた独自の触媒によってメタンガスから水素とベンゼンを同時に取り出すシステムについても提案している。この方式では、とくに炭素を CO₂ として空気中に排出せずにベンゼンとして固定することに意味があるという。この方式については、平成 12 年度地域コンソーシアム研究開発事業に採択され、北海道地域技術振興センター等と共同で、「メタン直接改質法によるクリーン水素等の製造技術開発」として研究開発が進められている。

こうしたケミカルハイドライドを用いた水素供給システムについては、現状では社会的認知度が低く、また、例えばシクロヘキサンから水素を取り出した後のベンゼンの処理方法、ベンゼンによる環境汚染対策や安全性の確保などに対する具体的な提案がないため、これを具体的に評価できるようになるまでには、まだまだ時間がかかるものと考えられる。

^{注)}技術情報協会セミナーテキスト「固体高分子型燃料電池における燃料の選択・供給システムの動向」（平成 13 年 1 月 30 日）

4-1-7 二次電池等

FCV における始動性の向上や減速時のエネルギー回生，あるいは低負荷領域で高効率という燃料電池の特性を最大限に発揮させるために，エネルギーバッファとしての二次電池やキャパシタを利用することが主流となっている。このようにいわゆるハイブリッド化することで，FCV の車両効率の向上を図ることが可能となる。現在では，開発されているほとんどの FCV にはこのようなエネルギーバッファが搭載されており，二次電池等は，FCV における重要な構成要素となっている。

(1) 二次電池

現在，トヨタ FCHV においてはプリウスと同スペックのパナソニック EV エナジー製ニッケル水素電池が使用されており，DaimlerChrysler 社の F-Cell においても三洋電機製ニッケル水素電池が採用され，また，Ford の Focus FCV においても三洋電機製ニッケル水素電池が搭載されている。三洋電機では，1997 年から HEV 用ニッケル水素電池の開発を開始し，2001 年には Ford が 2003 年に発売する HEV 用バッテリーシステムに独占供給すると発表している。また，日産 X-TRAIL FCV（2003 年モデル）では，独自に開発した薄型ラミネート型セルを採用したコンパクトリチウムイオン電池が搭載されている。従来の円筒型リチウムイオン電池に比べ重量，体積が約半分になり，パワーは 1.5 倍という高性能を達成したとしている。

以上のように現状のほとんどの FCV においては，ハイブリッド車（HEV）用と同スペックの二次電池が用いられている。この点についてトヨタ自動車は，FCV は HEV に比べて電池そのものよりも制御方法が異なると述べている^{注)}。参考として，三洋電機製 HEV 用ニッケル水素電池（2002 年モデル）の仕様を表 4-1-29 に示す。

表 4-1-29 三洋電機製 HEV 用二次電池(HR-DP)の仕様

	HR-DP (2002 年)
公称容量	6.0Ah
公称電圧	1.2V
セルサイズ	32.3 × H58.5mm
セル質量	180g
最大放電出力 (10 秒) ^{注)} (SOC50% 25 0.9V)	185W
最大充電出力 (10 秒) ^{注)} (SOC50% 25 1.6V)	150W
放電出力密度 (10 秒) ^{注)} (SOC50% 25 0.9V)	1,030W/kg
推奨電圧範囲	0.9 ~ 1.6V
推奨温度範囲	-30 ~ +50

注) 使用条件，使用履歴により異なる。

資料提供：三洋電機株式会社

注) 2002 年度 JEVA「FCV に関する調査報告書」

ニッケル水素電池の課題としては、高出力化、温度特性、コスト、寿命が挙げられる。三洋電機によれば^{注1)}、寿命については、累積走行距離 15 万マイル、使用年数については放置を含めて 10～15 年という要求が自動車メーカーから出されているという。距離については目標水準が達成されつつあるが、使用年数については、あらゆる環境条件において目標を達成するためのハードルが高い上に、コスト削減についても厳しい状況であるという。

ニッケル水素電池と並んで期待されているリチウムイオン電池の課題としては、ニッケル水素電池と同様、高性能化（高出力・高エネルギー密度）、寿命、コストがあり、さらにリチウムイオン電池には安全性が挙げられる。とくに高性能化と安全性はトレードオフの関係にあり、この両立は難度の高い課題となっている^{注1)}。

なお、現在の FCV あるいは HEV 用二次電池としては、ほとんどの車両で日本企業製が採用されており、この分野の二次電池における日本企業の優位性は揺るぎないものとなっている。

(2) キャパシタ

FCV や HEV で用いられているキャパシタ（別名コンデンサ）は、電気二重層コンデンサであり、ウルトラキャパシタ、スーパーキャパシタとも呼ばれる^{注2)}。ホンダが独自開発したウルトラキャパシタが Honda FCX のエネルギーバッファとして採用されている。このホンダ製ウルトラキャパシタは二次電池に比べてエネルギー密度は小さいが出力密度は高く（1,500W/kg 以上）、また、二次電池のような化学反応を伴わないため、内部抵抗が小さくエネルギー効率が低いことが特長である。さらに、ウルトラキャパシタを用いたシステムでは、FC スタックの電圧変動に対応して充放電を行うことから、二次電池のシステムのような電圧調整のためのコンバータが不要となり、エネルギー伝導効率が高くなるメリットもある^{注1)}。

トヨタによれば^{注1)}、キャパシタは瞬間的なパワーを出すためには有利だが、容量が小さいので継続的なパワーを出すことは難しく、トヨタが採用しているような停止時にはスタックを止め、二次電池のみでの走行モードがあるというシステムに用いることは現状では難しいという。したがって、都市走行のような低中速走行で、スタックを止める機会が多いときは二次電池の方が効率はよくなり、逆に、高速走行などのスタックを止める機会が少ないときは、エネルギー効率が良いキャパシタを使った方が有利であるという。走行条件によってお互いメリットとデメリットがあると述べている。

注1) 2002 年度 JEVA「FCV に関する調査報告書」

注2) 一般にコンデンサは、対向する 2 つの電極間に誘導体を挟んだ形で構成されるが、電気二重層コンデンサには誘導体はなく、その代わりに電気二重層という状態を誘導体の機能として利用している。

4-1-8 FCV のシステム上の技術課題

燃料電池車全体システムの課題としては、始動性や負荷応答性、寒冷地や砂漠等のあらゆる環境条件下における耐久性、信頼性といった自動車としての基本性能の確保が重要課題である。2002 年末に限定リース販売されたトヨタ FCHV、Honda FCX においては、0 以上での保管が義務づけられており、実用化に向けた当面の重点課題としてこの氷点下での始動性の確保が挙げられる。現在、国内外のメーカーにおいてこの問題の解決に向けた努力が進められている^{注)}。なお、前述のとおり、ホンダは、氷点下での始動を可能にした「Honda FC STACK」を搭載した「FCX」を 2005 年に日米で販売すると発表している。

注) 2002 年度 JEVA「FCV に関する調査報告書」

4-2 自動車用燃料・インフラストラクチャ整備に関する課題と動向

4-2-1 燃料の選択について

FCV に用いる燃料としては、主に水素（直接水素を供給する方式）、メタノール、既存のガソリンスタンドを利用できるガソリン系の燃料が想定され、この中でどれが標準になるかについて注目を集めてきた。そうした中で、FCV の燃料に関して多くの自動車メーカーの意見が一致するのは、長期的には直接水素を用いる方式が望ましいということである。

従来から DaimlerChrysler 社は乗用車系の FCV 用燃料としてはメタノールが望ましいと主張していた。その後 2000 年 8 月に General Motors 社（GM 社）と米 ExxonMobil 社は、高効率の自動車用ガソリン改質プロセッサを開発したと発表し、2001 年 1 月には GM 社と環境技術等で提携関係にあるトヨタ自動車が GM 社と共同で「短中期の水素への移行期間を担う燃料として、Clean Hydrocarbon Fuel（CHF；従来のリーテルガソリンとは違うが、FCV と内燃機関自動車と共用可能な燃料）を研究の主要な候補とすることを GM 社と合意した」と発表した。こうした動きに対して、日産自動車も当時「ガソリン改質の技術的な目処は立っていないが、社会的コスト負担を軽減していくということで、ガソリン改質形を前向きに捉えている」^{注）}と述べ、一時は主要な FCV メーカーがガソリン改質形 FCV の開発に注力し、直接水素形 FCV へ至るつなぎとしてガソリン改質形 FCV が主流になる可能性が高まったとみられていた。

こうした流れの中で、2002 年 12 月に世界に先駆けて限定販売されたトヨタ FCHV、ホンダ FCX では高圧水素方式が採用され、2003 年度末に限定販売された日産の FCV も高圧水素方式であり、また、今後商品化が予定される DaimlerChrysler、Ford の FCV も高圧水素方式が採用される予定である。

表 4-2-1 に燃料選択に関する日本のカーメーカーの意見を示している。以上のように直接水素形 FCV の実用化が先行する背景には、ガソリン改質が技術的に予想外に難しく、その実用化には何らかのブレークスルーが必要とされることが明らかになってきたことが挙げられる。そのため、メーカー各社は比較的実用化へのハードルが低い直接水素形の FCV の実用化を優先させていると考えることができる。トヨタ自動車は、表 4-2-1 に示すとおり直接水素形へのつなぎとしてガソリン系の CHF が望ましいとしながらも、そのためには改質技術のブレークスルーが必要と述べている。一方、ホンダをはじめとするその他のメーカーは、改質技術の実用化そのものに懐疑的であり、直接水素形 FCV 以外の成立可能性は低いとみているのが現状である。米国エネルギー省（DOE）でも、オンボード改質について 2004 年 6 月時点で厳しいマイルストーンをおき、2010 年の目標値である 30 秒始動の達成可能性を判断し、その判断如何によっては、研究開発の支援

注）（財）日本電動車両協会「平成 12 年度燃料電池自動車に関する調査報告書」平成 13 年 3 月（以下「2000 年度 JEVA 『FCV に関する調査報告書』」と記す）

の中止を決める考え方を導入している^{注1)}。

また、GM は、今回の海外調査において、ガソリン改質型の開発を中止し、今後、直接水素形 FCV の開発に資源を集中させると述べている^{注2)}。

表 4-2-1 FCV の燃料の選択に対する国内自動車メーカーの意見

	FCV の燃料の選択についてどう考えるか
トヨタ	FCV は、初期には直接水素形の限定少量での導入があり、その次に CHF のような内燃機関との共用燃料の改質形、最終的には、CO ₂ ・エネルギー問題が深刻になる時期にもよるが、直接水素になると考えられる。ただし、中間にある改質形のフェーズは、技術開発の如何によっては抜ける可能性がある。 改質形は内燃機関と共用の燃料（CHF 等）を使った改質が望ましい。ただし、同じ燃料を使う HEV の効率をはるかに超えなければ、大量普及させる意味がないので、早期に技術開発を行う必要がある。このためにはブレークスルーが必要。
日産	FCV の導入シナリオとしては、内燃機関の改良から直接水素形に移行していくと考えられる。ガソリン改質は、実際に研究開発をすると難しく、現在は直接水素に注力している。ただし、全くあり得ないということではないので、改質形での商品化を否定することはできない。
ホンダ	FCV の燃料としては、基本的に直接水素以外の可能性は低いと考えている。内燃機関の改良から直接水素形 FCV に移行するシナリオの可能性が非常に高いと考えている。車上改質は極めて技術的ハードルが高く、たとえ完成したとしても CO ₂ 排出量の削減メリットはほとんど見出せないと考えている。
三菱	既に限定的に市場導入されているように、短期的には直接水素搭載と考えている。中期的には水素供給インフラの普及の問題から、メタノール、ガソリン等の車上改質も考えられる。ただし、現在は水素インフラを広げようという方向に進んでいるので、メタノール、ガソリン等の車上改質はややトーンダウンしているという印象を受けている。
マツダ	最終的には水素燃料を直接利用する FCV の導入の方向に進んでいくと考えている。ただし、その過程で、化石燃料等の改質技術が進歩するならば一時的に利用の可能性はあるだろう。また、導入シナリオについては、技術の進歩、インフラ整備、普及促進の導入等、周辺の状況の進展を考慮しながら、様々なケースで検討している。

こうした動きに呼応するように、直接水素形の FCV の導入や実証走行に併せて、世界各地で公的な支援により水素供給ステーションの整備を進める動きも活発化しており、現状では直接水素方式の FCV にとっては追い風となっているように思われる。

一方で、表 4-2-2 に示すように直接水素方式の FCV は、現状技術では搭載される水素量に制約があり、航続距離が短いという致命的な課題を解決できていないのに加え、本格的な普及段階においてはインフラ整備に課題を残しており、その点においてガソリン系燃料は有利である。そのため、FCV の燃料に関する今後の動向は、ガソリン系燃料のオンボード改質技術の成立可能性如何によるところが大きいとみることができる。

注1) 2002 年度 NEF 「FC 動向調査報告書資料編」

注2) 2003 年度 JARI 海外調査報告書

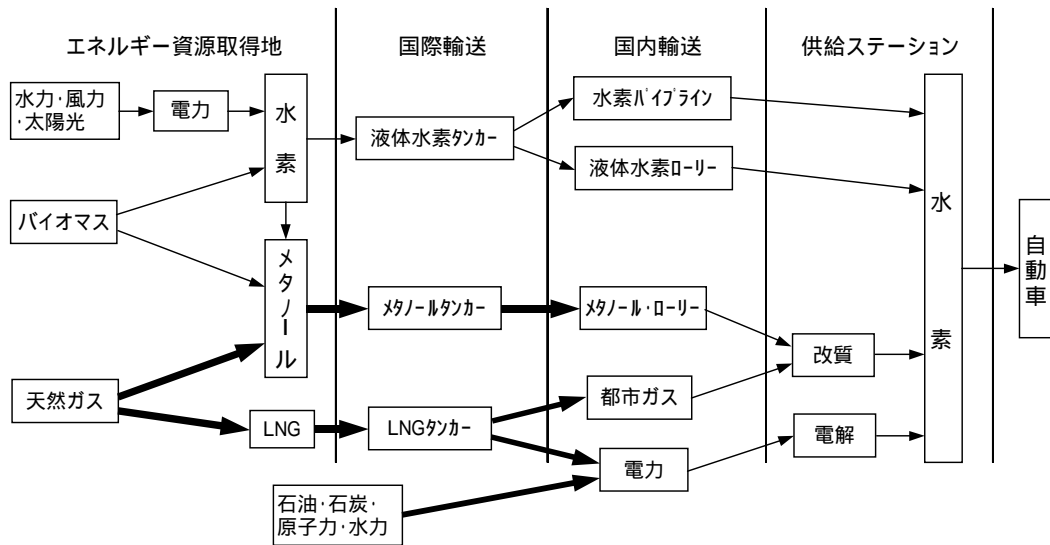
表 4-2-2 FCV の燃料に関する長所と短所の整理

燃 料	長 所	短 所
直接水素	<p>改質器等の車載が不要で、燃料電池の構造簡素化、小型軽量化、コスト削減が可能。</p> <p>走行時には水のみ排出。ゼロエミッション。</p> <p>FC スタック技術の成熟度が高い。</p> <p>Tank-to-Wheel でのエネルギー効率が高く、CO₂ 排出量も少ない。</p>	<p>水素供給インフラの整備が必要。</p> <p>現状の技術レベルではエネルギー貯蔵量が不十分で航続距離が短い。</p> <p>気体燃料の取り扱いの経験が少ないので、燃料として利用した場合の安全性の確認が必要。</p> <p>Well-to-Tank の効率が低い。</p> <p>火炎が見えない。</p>
メタノール	<p>改質が比較的容易。</p> <p>インフラ面での制約が水素に比べて小さい。</p> <p>液体燃料のため、取り扱いが容易。</p>	<p>現状では、メタノール精製時の効率が悪く、エネルギーパスによっては総合的なエネルギー効率、CO₂ 排出量の優位性が低い。</p> <p>システム構成や制御の複雑さ、改質器の容量、重量などからくるパッケージング上の問題がある。</p> <p>スタンドが少ないのでインフラ整備が必要。</p> <p>安全性（毒性、地下水への混入の危険性）についての対策が必要。</p> <p>走行時にはゼロエミッションでない。</p> <p>火炎が見えない。</p>
ガソリン系燃料	<p>既存のインフラを活用できる。</p> <p>安全性、取扱性について、十分な知見の蓄積がある。</p> <p>天然ガスからも合成可能（GTL）。</p> <p>Well-to-Tank でのエネルギー効率が比較的高い。</p>	<p>改質が難しい。基礎段階。</p> <p>現行ガソリン中の硫黄分、芳香族分等を除く必要がある。</p> <p>走行時ゼロエミッションではない。</p> <p>石油代替エネルギーではない。</p> <p>GTL は現状ではコスト的に不利。</p>

4-2-2 水素供給システム

(1) 直接水素形 FCV への水素供給方式について

WE-NET 計画においては、水素の供給方式として、図 4-2-1 に示すようなオプションが検討された^{注)}。WE-NET 計画の目標とする究極的な水素供給システムは、海外の再生可能エネルギーを液体水素タンカーで輸送し、水素の国内輸送を経て利用することであるとされている。しかし、この方式は、上流から下流までのインフラストラクチャの構築に多くの時間と費用を必要とするため、短中期的な自動車用水素供給方法としては様々なパスが検討されている。



注)太線部は商業ベースでの運用が確立している部分

図 4-2-1 燃料電池車への水素供給のオプション

出典：水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）サブタスク7 水素利用技術に関する調査・検討（平成11年3月）

(2) 水素供給ステーションの種類

表 4-2-3 に水素ステーションのタイプと特徴を整理する。

(3) 水素供給ステーションの建設費検討事例

WE-NET 計画サブタスク7では、水素供給ステーションの経済性の検討を行っている（表 4-2-4）。それによると、水素供給ステーションの建設コストは2億～2億3千万円と試算されている。

^{注)}水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）サブタスク7 水素利用技術に関する調査・検討（平成11年3月）

表 4-2-3 水素ステーションの特徴

型式	原燃料インフラ	代表的特徴
天然ガス改質形	都市ガス 13A の配管利用	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水素コストがほかよりも安価 ・ 都市ガスの供給地域に限られる。
LPG 改質形	貯蔵設備の新設を要す	<ul style="list-style-type: none"> ・ 都市ガスに比べ割高 ・ 全国すべての地域に設置可能。
メタノール改質形	貯蔵設備の新設を要す	<ul style="list-style-type: none"> ・ 改質温度が 300 で天然ガスより有利 ・ 起動時間 1.5～2 時間
ガソリン・ナフサ改質形	既存 GS に設置可能	<ul style="list-style-type: none"> ・ 改質技術が比較的難しい。 ・ 全国すべての地域に設置可能。
高圧ガス運搬貯蔵形	貯蔵設備の新設を要す	<ul style="list-style-type: none"> ・ 設備コストが安価で取り扱いが容易 ・ 場所により輸送コストが高い
液体水素運搬貯蔵形	貯蔵設備の新設を要す	<ul style="list-style-type: none"> ・ 設備コストが高価であるが貯蔵量が多い ・ 取り扱いが不慣れ
水電解形	全国全ての地域に設置可能	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水素コストが高い（電気料金により変動） ・ 起動時間 1 分で運転の自由度大 ・ 夜間電力により負荷平準化に貢献

出典：第 39 回電気化学セミナー「エネルギー・環境への切り札“クリーンビークル”」1999.11.25～26 を基に作成

表 4-2-4 水素供給ステーション建設費のコスト試算(百万円)

	天然ガス改質 300Nm ³ /h	メタノール改質 300Nm ³ /h	アルカリ水電解 300Nm ³ /h	PEM 水電解 300Nm ³ /h
改質装置 (脱硫, 改質, CO 変成, 蒸気, 純水, 制御系)	61 (パッケージ型)	61 (パッケージ型)	-	-
ガス精製装置	47	47	-	-
水電解装置 (セルスタック, プラント, 純水, 電源, 制御系)	-	-	94	94 (パッケージ型)
ガス圧縮貯蔵設備	43	43	43	43
その他機器	40	40	30	30
建屋	15	15	25	15
工事費	20	20	25	20
水素供給コスト小計	226	226	217	202

注 1) 各種水素製造法に関する製造設備費の想定は以下のとおり。

- 天然ガス改質法：300kW 級燃料電池用改質装置を利用
- メタノール改質法：量産時において天然ガス改質法と同等と想定
- アルカリ水電解法：Norsk Hydro Electrolyser より購入
- 固体高分子電解質水電解法：量産時のコストを予測

注 2) 水素の貯蔵設備としては、既存技術としての高圧ガス貯蔵のほかに、将来的には水素吸蔵合金による定置型貯蔵が考えられる。水素吸蔵合金による貯蔵設備のコストとしては、300Nm³で 1.89 億円との試算が行われている。(中島政雄：化学工学, 49, 379(1985))

出典：水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)サブタスク 7 水素利用技術に関する調査・検討(平成 11 年 3 月)

(4) WE-NET 計画における水素供給ステーションの実証実験

WE-NET 計画第 期研究開発タスク 7 水素利用技術「水素供給ステーションの開発」プロジェクトにおいて、日本初の水素ステーションの実証実験を行うプロジェクトが平成 11 年度から開始された^{注1)}。表 4-2-5 に WE-NET で実証実験が行われた水素ステーションの仕様を示す。天然ガス改質形水素供給ステーションと固体高分子電解質水電解形水素供給ステーションの 2 つのタイプである。両タイプともに水素吸蔵合金搭載形 FCV、圧縮水素搭載形 FCV に水素を充填し、走行テストを実施することを想定している。なお、天然ガス改質形水素供給ステーションについては、平成 14 年 2 月、大阪ガス株式会社西島技術センター構内 14m×46m（大阪市此花地区）に、また、固体高分子電解質水電解形水素供給ステーションについては、平成 14 年 2 月、株式会社四国総合研究所構内 18m×25m（高松市屋島西町）に完成した。本水素供給ステーションは、平成 15 年度まで運転試験を継続し、連続運転性能確認、システムのエネルギー効率評価および各種性能パラメータの経時変化確認等の実用化に必要な試験研究を行うほか、水素充填の最適条件選定や水素供給ステーションの安全運転システムの確認等が行われた。

表 4-2-5 水素ステーションの仕様

項目	天然ガス改質形	固体高分子電解質水電解形
水素製造装置	天然ガス改質装置 多重円筒常圧形	固体高分子電解質水電解装置 電源：DC1600A×100V 1000cm ² 、50 セルスタック 水電解セルエネルギー効率：90% (@1.0A/cm ²)
水素製造能力	30Nm ³ /h	20Nm ³ /h（定格）at 1.0A/cm ² 30Nm ³ /h（最大）at 1.5A/cm ²
精製装置	PSA 方式 (PSA 水素回収率 ^{注2)} ：71%以上)	Pd 触媒燃焼式、TSA 除湿装置
水素純度	99.99%以上	99.99%以上
水素貯蔵仕様	吸蔵合金型システム： 定格 60Nm ³ ×2 基 最大 90Nm ³ ×2 基 高压ガス容器：80 ℓ×8 本	吸蔵合金型システム： 30Nm ³ ×2 基 高压ガス容器：250 ℓ×3 本
充填圧力	MH 車：1MPa 未満 CH 車：25、35MPa	MH 車：1MPa 未満 CH 車：25、35MPa
充填時間	10 分以内	10 分以内
充填量	MH 車：25Nm ³ /台 CH 車：最大 150 ℓ容器を想定	MH 車：25Nm ³ /台 CH 車：最大 150 ℓ容器を想定
実験場所	大阪ガス西島技術センター構内 (大阪市)	四国総合研究所構内 (高松市)

注1) 水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)第 期研究開発タスク 7 水素供給ステーションの開発(平成 13 年 3 月)

注2) PSA 水素回収率は以下の式で表される。
$$\text{PSA 水素回収率} = \frac{(\text{製品ガス量}) \times (\text{製品水素濃度}) \times 100}{(\text{PSA 入口ガス量}) \times (\text{PSA 入口ガス水素濃度})}$$

天然ガス改質形水素供給ステーションの全体システムを図 4-2-2 に、固体高分子電解質水電解形水素供給ステーションの全体システムを図 4-2-3 に示す。

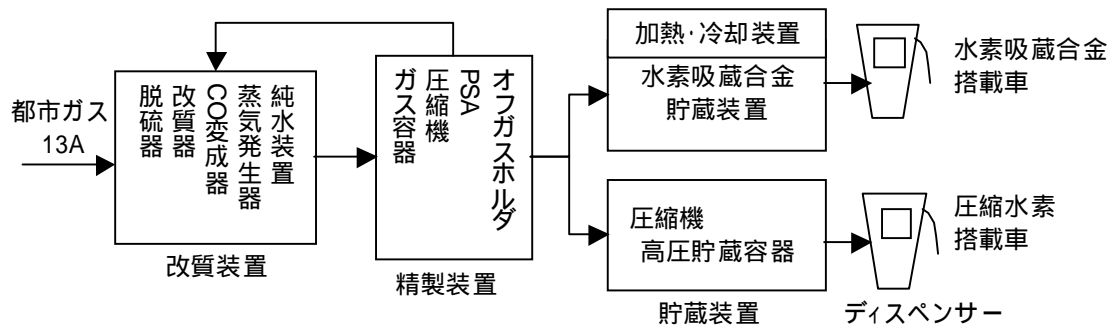


図 4-2-2 天然ガス改質形システム構成

出典：平成 12 年度水素エネルギー等関連技術開発委員会予稿集（平成 13 年 3 月 7 日）

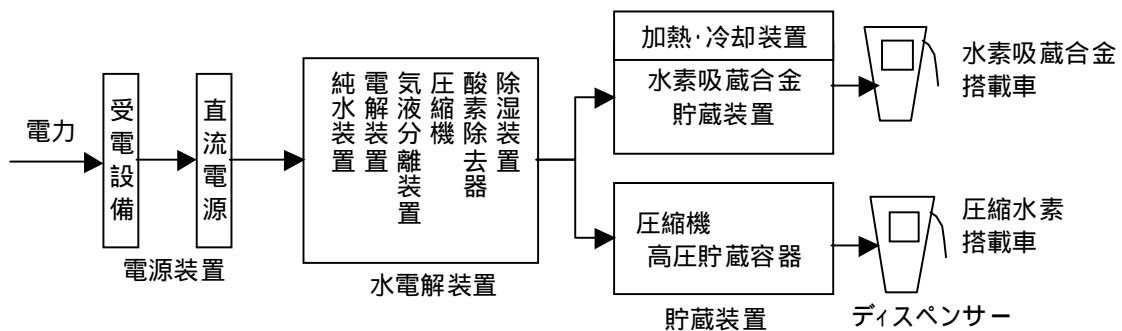


図 4-2-3 固体高分子電解質水電解形システム構成

出典：平成 12 年度水素エネルギー等関連技術開発委員会予稿集（平成 13 年 3 月 7 日）

水素供給ステーションを建設する際、現行の法令・規制においては、高压ガス保安法や消防法、建築基準法などによって様々な規定があり、十分な規模のステーションを建設することが困難である。こうした問題を解決するために、現在政府では、規制緩和に向けて積極的な取り組みを行っている。（詳細は 3-8 節参照）

4-2-3 メタノール供給ステーション

メタノールは、常温・常圧において液体であり、給油システムはガソリン等と基本的に同じであるが、腐食性があるなどガソリンと性状が異なるので、給油所については設備の材質と漏洩対策に特別の仕様が必要となる。

エコ・ステーション事業では、メタノール充填設備の設備費用は約 2,000 万円と見積もられている（表 4-2-6，図 4-2-4）。

このほか、本格的な普及段階では、スタンドのほか受け入れ側の貯蔵設備などの対応も求められるため、これらの費用に係る検討も必要である。

表 4-2-6 メタノール充填設備の設備費用例(万円)

タンク及び付属設備 (10kl)	260
ディスペンサー	180
回収槽及び付属設備 (4kl 地下タンク)	160
付属配管	360
その他 (計量器据付,埋設工事,アイランド工事,諸経費 ほか)	1,000
計	1,960

出典：(財)エコ・ステーション推進協会(平成11年度JEVA調査時点)

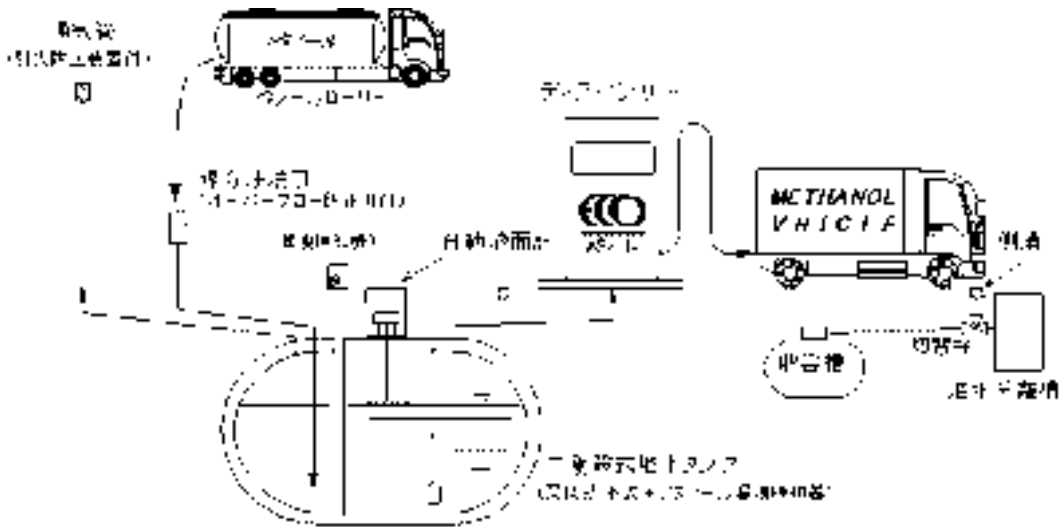


図 4-2-4 メタノール エコ・ステーションの設備構成例

出典：(財)エコ・ステーション推進協会

参考として、天然ガスのエコ・ステーションの設備費用例を表 4-2-7 に、設備構成例を図 4-2-5 にそれぞれ示す。表 4-2-8 はエコ・ステーションの設置件数である。

表 4-2-7 天然ガス充填施設の設備費用例(万円)

受電設備	630
構内ガス導管	530
ガス圧縮器 (300Nm ³ /h)	2,420
蓄圧器	1,040
ディスペンサー	890
冷却散水ポンプおよび貯水槽	260
付属配管	280
制御装置	370
キャノピー	420
その他 (障壁・防火壁・基礎・舗装・排水・照明・計量器据付他)	4,500
計	11,340

出典：(財)エコ・ステーション推進協会(平成11年度JEVA調査時点)

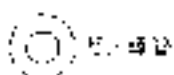
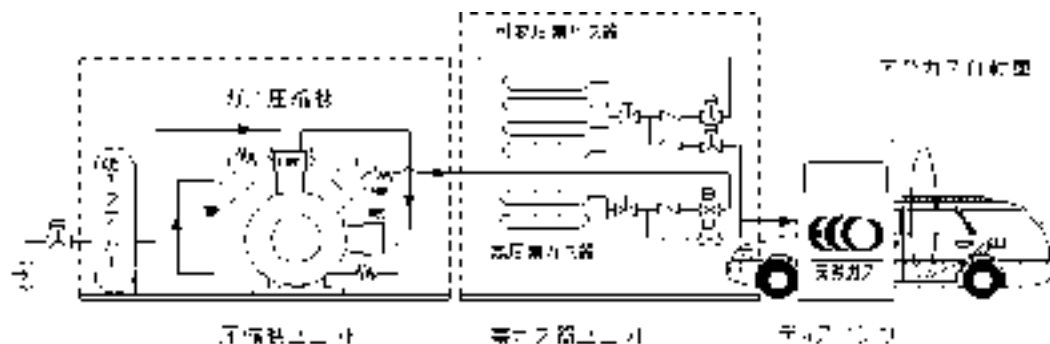


図 4-2-5 天然ガス エコ・ステーションの設備構成例

出典：（財）エコ・ステーション推進協会

表 4-2-8 エコ・ステーション件数の推移

設置年度	電気	天然ガス	メタノール	LPG	合計
H5 年度	6	5	3		14
6 年度	2	8	5		15
7 年度	2	7	1	1	11
8 年度	3	3		5 (4)	11 (4)
9 年度	2	10		3 (1)	15 (1)
10 年度		16		5	21
11 年度		21		4 (1)	25 (1)
12 年度	7	31		5	43
13 年度	10	36		1 (1)	47
14 年度	14	41		1	56
15 年度	4	45		7 (1)	56 (1)
合計	48	222	8	32 (8)	310 (8)
2000 年目標	100	430	350	250	1,130

注1) エコ・ステーション認定事業は、自費建設の施設（新設・既設を問わない）のうち一定の条件を満たすものをエコ・ステーションと認定し、統一マークのネットワークを充実させようとするもの。現在はガソリンスタンドに併設された LPG スタンドの認定が多い。

注2) () 内は認定事業（内数）

出典：（財）エコ・ステーション推進協会

4-2-4 その他の燃料電池車用燃料について

(1) GTL(Gas To Liquid)

図 4-2-7 に示すように、ガスから合成した液体燃料は不純物質を含まず、FC 用の燃料として最適と考えられている。GTL の特性を表 4-2-10 に示す。現在、世界では、表 4-2-11 に示すような GTL の計画がある。2003 年、カタール石油 (QP) は、Shell と Sasol とそれぞれ 14 万バレル/日、3.4 万バレル/日のプラントを建設すると発表した。

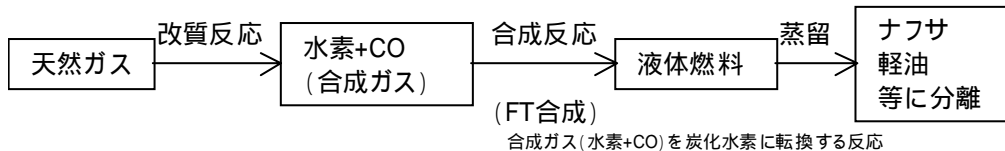


図 4-2-6 GTL 製造の概念図

表 4-2-9 GTL の特性

概要	<ul style="list-style-type: none"> ・常温液体，沸点範囲 30～220 程度。 ・天然ガスは，石油に比べて資源的に豊かであり，硫黄フリーという環境上の特性もあわせもつ。この天然ガスを原料に液体炭化水素を合成することにより，輸送・貯蔵を効率良く行えるようにした天然ガス液体燃料が GTL である。 ・現在，南アフリカ，マレーシア等で工業化されている。 	
特徴	重油・軽油と同等のカロリーを有し，常圧タンクでの貯蔵，石油タンカーでの輸送が可能。	
使用用途	石油代替燃料	
毒性 安全性	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的にはガソリンと同じだが，発ガン性のあるベンゼン等を含まない点ではガソリンより安全。 ・許容濃度は 300ppm。 ・液体を飲みこむと肺に吸引され，化学性肺炎を起こす危険がある。 ・中枢神経系に影響を与えることがある。 ・長期又は反復的な皮膚との接触により皮膚炎を起こすことがある。 ・爆発限界下限 1.2～1.5%，上限 7.0～7.6%。引火点が極めて低い(- 40 以下)。 ・自己反応性，非伝導性であるので帯電による放電火花によって引火，爆発の危険がある。 	
	長所	短所
	<ul style="list-style-type: none"> ・ガソリンと同様の取扱いが可能。 ・既存のガソリンインフラが利用可能。 ・硫黄分，芳香族分がない。 ・天然ガス，アスファルト，石炭等から製造できる石油代替エネルギーである。 	<ul style="list-style-type: none"> ・改質が比較的難しい。 ・走行時には，ゼロエミッションではない。 ・大量供給体制がまだ整っていない。 ・製造工程が多段階となるため，必ずしも効率率は良くない。

出典：経済産業省「燃料電池実用化戦略研究会報告」（2001 年 1 月 22 日）

表 4-2-10 世界の GTL プラントの現状と今後の計画

会社	立地	能力 (千バレル/日)	状況
Shell	マレーシア (Bintulu)	12.5 ~ 15.0	稼働中
	マレーシア (Sabah) , イラン , エジプト , アルゼンチン , トリニダ	70.0	建設プロジェクト進行中
	カタール (Ras Laffin)	140.0	建設プロジェクト開始
Shell/Pertamina	インドネシア	70.0	建設プロジェクト進行中
Mossgas	南アフリカ (Mossel 湾)	30.2	稼働中
Sasol	南アフリカ (Secunda)	105.0	稼働中
	カタール (Ras Laffin)	34.0	建設開始
	モザンビーク (Beira)	未定	計画段階
Sasol/Chevron	ナイジェリア	30.0	建設プロジェクト進行中
Syntroleum	オーストラリア (Burrup Peninsula)	10.0	建設プロジェクト進行中
PDVSA	ベネズエラ	15.0	建設プロジェクト進行中
		50.0	
ExxonMobil	カタール (North Field)	100.0	計画段階
	アラスカ (North Slope) , アンゴラ	50.0	計画段階
Rentech	アメリカ (Commerce City)	3.0	計画段階
Rentech/BC Propd	ブラジル	未定	計画段階
Rentech/ Pertamina	インドネシア	15.0	計画段階
Alaska Natural Gas To Liquids Co.	アラスカ (Prudhoe 湾)	50.0	計画段階
Reema International	トリニダ	10.0	計画段階
Forest Oil	南アフリカ	未定	計画段階

出典：日本エネルギー経済研究所 HP (<http://eneken.ieej.or.jp>) 掲載資料 (2001 年 11 月) を基に作成

アモコ社のコスト試算^{注1)}によれば、5万バレル/日の能力で GTL 燃料 1 バレル当たり \$25 程度、Synthetic Fuel Association Pacific 社の試算^{注2)}では、2万バレル/日の能力で \$22.5 / バレルと試算されている。また、石油公団でも \$25.1 / バレル (天然ガス価格が \$0.5 / MMBTU の場合) と試算されており、原油価格が \$20 / バレルならガソリン、灯油、軽油と十分に競争できる価格としている^{注3)}。ただし、この結果は天然ガスや原油の価格によって影響を受けるため、さらなる経済性の向上が課題である。

注1) 天然ガス価格 \$0.5 / 千立方フィート、内部収益率 15%、建設地を米国ガルフコーストとして試算。

注2) (財)日本電動車両協会「平成 14 年度燃料電池自動車実証試験に関する海外調査」

注3) 石油公団「平成 12 年度 各種 GTL 製品の製造技術の最新動向並びに市場性に関する調査」

(2) DME(ジメチルエーテル)

ディーゼル内燃機関の代替燃料として期待されている DME が、燃料電池車用燃料としても注目されている。DME は LPG と同程度の沸点であるため、LPG と同様の取り扱いができ、硫黄分が少ないというメリットがある。ただし、DME はゴム製品に対して溶解性があるので、材料選定には注意が必要である。また、まだ改質技術が十分に開発されていない、インフラ整備への投資が必要、走行時にゼロエミッションでない等のデメリットもある。

現在、DME はフロン代替のためエアゾールスプレーのガスとして LPG とブレンドして一般に広く使用されている。DME は天然ガスから製造するのが安価であるが、将来的には石炭が原料となることも考えられる。現在の生産量は、世界で 100,000 ~ 150,000 t / 年、日本では約 10,000 t / 年である。DME の特性を表 4-2-12 にまとめる。

国内では、1997 年から 2001 年まで、資源エネルギー庁から石炭利用技術振興補助金を受け、総事業費 20 億円で、(財)石炭利用総合センター、日本鋼管、太平洋炭坑、住友金属工業が、DME の低コスト量産技術等の実用化研究を行っている。1999 年には試験プラント(敷地面積約 3,000m²、生産量 5 t / 日)を建設し、同年 9 月から 2000 年 3 月にかけて 3 回の連続運転の実施、データ解析等を行った。2002 年度からは、2005 年度までの予定で、100t / 日の試験プラントによる技術開発を行っていく計画である。

また、三菱ガス化学、伊藤忠商事、日揮、三菱重工の 4 社は、2001 年 6 月に日本 DME (株)を設立し、オーストラリアのダンピアにプラントを建設している。プラント規模は 4,000 ~ 7,000t / 日で、2006 年末の操業開始を目標としている。

表 4-2-11 DME の特性

概要	<ul style="list-style-type: none"> ・常温気体，融点 - 138.5 ，沸点 - 24.9 。 ・DME はセタン価が高いため燃焼特性が優れ，さらに含酸素燃料のため，黒鉛を発生しない特性を有しているためディーゼル代替燃料として期待されている。 ・約 5 気圧で液化できるため，LPG と同等の扱いができ，航続距離，タンクの容量等が実用的である。 	
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・粘性が低いために漏れやすいという特性がある。 ・ゴム系に対して腐食性を有している。 	
使用用途	スプレー式塗料用噴射剤，反応溶媒	
毒性 安全性	<ul style="list-style-type: none"> ・毒性が極めて低い。 ・液状 DME が皮膚に付着した場合は凍傷の危険がある。 ・爆発限界(空气中) 3.4 ~ 27% ・エーテル系化合物で，不純物として過酸化物を取りやすく安全対策が必要。 	
	長所	短所
	<ul style="list-style-type: none"> ・LPG とほぼ同じ沸点のため，LPG と同様の取扱いができる。 ・ディーゼル内燃機関の代替燃料としても期待されている。 ・硫黄分がない。 ・他の燃料に比べて安全性が高い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・改質技術がまだ十分に開発されていない。(ただし，メタノール並と予測) ・インフラ整備への投資が必要。 ・走行時には，ゼロエミッションではない。 ・大量供給体制が整っていない。 ・部分酸化改質形は改質温度がガソリン並に高い。

出典：経済産業省「燃料電池実用化戦略研究会報告」(2001 年 1 月 22 日)

4-3 FCV の経済性評価の事例

(1) 燃料電池実用化戦略研究会の目標値

「燃料電池実用化戦略研究会」では、自動車用と定置用について、2010 年以降を普及時期とし、その時期における FC システム全体の経済性目標を設定している(表 4-3-1)。ここでは、自動車用は 5,000 円 / kW 以下、定置用については、家庭用システムで 30 万円 / 台以下、業務用システムで 15 万円 / kW 以下を目標値としている。

表 4-3-1 「燃料電池実用化戦略研究会」による FC システムの経済性目標値

用途	時期	コスト目標	備考
自動車用	2010 年以降	5,000 円 / kW 以下	・改質器・その他周辺機器含む ・約 5 万台の普及を想定
定置用			
家庭用システム 業務用システム	2010 年以降	30 万円 / 台以下 15 万円 / kW 以下	

出典：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）を基に作成

(2) 米国 DOE による目標値

米国 DOE は、FreedomCAR プログラムと議会提出報告書から、FC システムのコストと水素価格 / コストの目標値を示している（表 4-3-2）。FreedomCAR プログラムでは、自動車用の FC システムコストの目標値として、普及段階とする 2010 年以降で \$45 / kW、本格普及段階とする 2015 年以降で \$30 / kW と設定している。

表 4-3-2 DOE による FC システムと水素のコスト目標値

プログラム等	分類	達成時期とコストの目標
FreedomCAR	FC システムコスト (自動車用)	2010 年以降：\$45 / kW 2015 年以降：\$30 / kW
	水素価格	2010 年以降：\$1.25 / ガロンガソリン相当
議会提出報告書	水素コスト	2005 年以降：\$3.0 / ガロン相当 (非課税) 2010 年以降：\$2.1 / ガロン相当 (非課税)

(3) EU の FP6 による目標値

EU の FP6 では、FC システムの長期的なコスト目標として、自動車用で 50 ユーロ / kW、定置用で 300 ユーロ / kW を設定している。

(4) FCCJ による目標値^{注)}

FCCJ では、定置用 FC システム (1kW 級) について、2015 年以降の本格普及段階において 30 万台 / 社の製造を想定した場合に、製造原価 16 万円 / 台を目標としている。

注) FCCJ「固体高分子形燃料電池の技術開発ロードマップ Ver.1」(2003 年 3 月)

(5) JEVA「燃料電池自動車調査専門委員会」による試算

JEVA「燃料電池自動車調査専門委員会」^{注)}では、FC スタックや二次電池、水素吸蔵合金等のコンポーネントなどの価格を個別に推計して積み上げることにより FCV の将来販売価格の見通しの推計を行っている。

検討の対象としている FCV は、表 4-3-3 に示すような直接水素供給型の小型乗用車である。

表 4-3-3 JEVA「燃料電池自動車調査専門委員会」で検討の対象とした FCV のタイプ

FCV のタイプ	直接水素形 FCV 乗用車タイプ 水素吸蔵合金利用		
出力	FC	30kW (40kW)	二次電池との ハイブリッド構成
	二次電池	25kW (15kW)	
	計	55kW	

注) () 内は FC の出力当たりのコストが二次電池を下回った場合。

前提条件の違いから 2 つのケースが検討されたが、基本的なケースとして、図 4-3-1、表 4-3-4 のような FCV の価格が推計されている。このケースは、全世界の FCV 需要が 2010 年に年間 2 万台程度と想定された結果である。自動車メーカーが商品化を目標とする 2003 年から 2005 年においては、30,000 ドルを超える程度の価格と推計され、2010 年においては、24,000 ドル程度まで低下するという結果となっている。

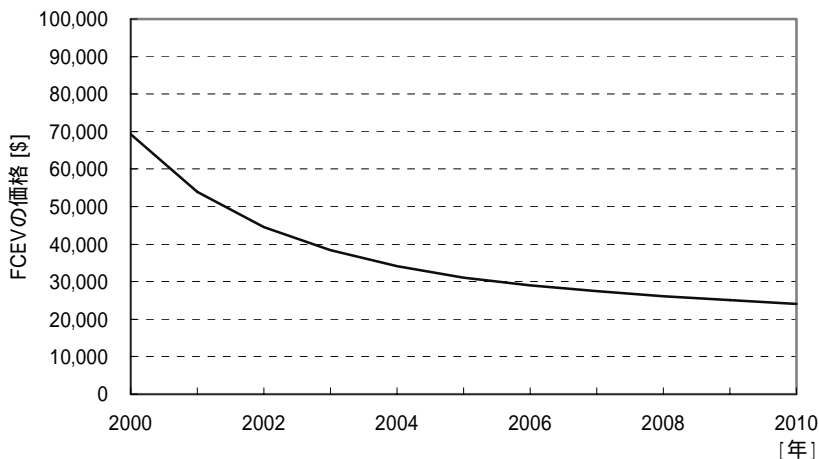


図 4-3-1 FCV 価格の推移

注) (財)日本電動車両協会「平成 11 年度次世代電気自動車 [燃料電池自動車] に関する調査報告書」平成 12 年 3 月 (以下「1999 年度 JEVA『FCV に関する調査報告書』」と記す)

表 4-3-4 JEVA「燃料電池自動車調査専門委員会」によるFCVの基本条件の設定と価格の想定結果

項目		2000年	2005年	2010年	想定根拠	備考	
FCEVの基本条件・性能		直接水素供給型FCEV 出力：FC30(40)kW，二次電池25(15)kW， 合計55kW			WE-NETでの想定値 ただし，()内は二次電池とFCの価格が逆転 した場合の想定値		
FCEV年販売台数(万台/年)(想定値)		0.0	0.2	2.0	モデルによる推計結果(補助有りケース)	世界市場	
コストの 想定	燃料電池スタック	\$/台 (\$/kW)	30kW 39,206 (1,307)	30kW 6,651 (222)	30kW 3,040 (101)		需要量による
	MEA	出力当り 価格	\$353/kW	\$124/kW	\$70/kW		
	イワ交換膜	膜出力	3.5kW/m ²	4.4kW/m ²	5.5kW/m ²	メーカーヒアリングによる	
		面積当り 膜価格	\$440/m ²	\$340/m ²	\$263/m ²	ハ ⁺ -カ ⁻ 系イワ交換膜を想定。デュポンによる。 250万m ² /年で\$50/m ² を想定。 需要によって価格を設定。	需要量による
		出力当り 膜価格	\$125.7/kW	\$77.6/kW	\$47.9/kW		
	白金	担持量	2g/kW	0.63g/kW	0.2g/kW	文献調査，メーカーヒアリング	
		価格	\$26/kW	\$8.2/kW	\$2.6/kW	\$13/gと想定	
	カーボンペーパー	価格	\$25/kW	\$7/kW	\$2/kW	ヒアリング等	
	その他	価格	\$177/kW	\$31/kW	\$17/kW	MEA全体コストの25%と想定	
	セパレータ	価格	\$300/kW	\$42/kW	\$6/kW	1\$/枚程度になると想定 Alided Signal社，バラード社ヒアリング	
	その他	価格	\$653/kW	\$55/kW	\$25/kW	全体価格の25%と想定。	
	二次電池	\$/台	5,000	2,739	1,500	2010年は，NEDOでの検討値 25kW×@60\$/kW	
	共通部分	\$/台	12,000	12,000	12,000	WE-NETでの想定値	
	インバータ+モータ	\$/台	9,000	5,612	3,500	2010年は，WE-NETでの想定値	
水素吸蔵合金	\$/台	4,000	4,000	4,000	WE-NETでの想定値		
合計	\$/台	69,206	31,002	24,040		需要量による	

出典：1999年度 JEVA「FCVに関する調査報告書」

(6) ADL による試算

1) FCV パワートレインの試算^{注1)}

米国のコンサルティング会社 Authur D. Little (ADL) が、DOE の委託により推計した FCV パワートレインのコストを表 4-3-5 に示す。この試算では、年産 50 万台の FCV 普及が前提となっている。

表 4-3-5 FCV のパワートレインコストの比較[ドル] (DOE/OTT 委託研究)

方式		250km	500km	コメント
改質器 車載	燃料タンク	33	57	・短期的には、コストは左のコスト範囲の上限に留まる。
	改質器	900* ~ 3,000	900* ~ 3,000	
	燃料電池	1,750* ~ 5,000*	1,750* ~ 5,000*	
	合計**	2,700 ~ 8,000	2,700 ~ 8,000	
圧縮 水素	タンク	900	1,500	・水素利用率と電流密度が高く、燃料電池コストが低下する。
	燃料電池	1,750* ~ 5,000*	1,750* ~ 5,000*	
	合計**	2,650 ~ 5,900	3,250 ~ 6,500	
水素 吸蔵 合金	吸蔵合金システム	2,300 ~ 3,600	4,600 ~ 7,200	・コスト分析は、トヨタの TiCrV 系を参考にした。 ・水素利用率と電流密度が高く、燃料電池コストが低下する。
	燃料電池	1,750* ~ 5,000*	1,750* ~ 5,000*	
	合計**	4,000 ~ 8,600	6,400 ~ 12,200	

試算根拠： ・車両換算で年産 50 万台相当。

・改質器車載方式ではマルチ燃料を想定（ガソリン改質が前提）。

・改質器構成は改質反応（ATR）部，高温シフト部，低温シフト部，選択酸化部から構成され，改質器には，脱硫装置や水・燃料の供給系も含める。

*：PNGV の 50kW パワートレイン長期目標値による。

**：パワートレイン部のみのコスト。Balance-of-Plant^{注2)}やパワーエレクトロニクス部のコストは除く。

2) 水素供給コストの試算^{注1)}

表 4-3-6 は同じく ADL によって推計された、米国における水素供給コストの試算である。ADL はこの結果より、スタンドでの改質の場合、水素の製造コストはガソリンよりも安価になる可能性があるとしている。

表 4-3-6 スタンドでの改質方式の水素製造コスト分析

費用項目	コスト [\$/GJ H ₂]	コメント
電気コスト	\$1.90	6 ¢ /kWh
ガスコスト	\$6.47	\$4/MMBTU
改質器 O&M	\$0.43	資本費用の 10%
PSA O&M	\$0.38	資本費用の 10%
コンプレッサシステム O&M	\$0.03	Ogden, et al.の文献より
人件費	\$3.40	3 人（年間\$50,000）
年間資本費用	\$3.88	年間コスト = 資本費用の 15%
利益・販売費用	\$0.97	資本費用の 25%
水素コスト合計	\$17.14	税別
水素 FCV の燃費	2.3 ¢ /mile	ガソリン換算で燃費を 91mpg と想定
比較：ガソリンコスト	\$6.92	\$0.90/gallon, 130MJ/ gallon (税別)
ガソリン ICE の燃費	3.0 ¢ /mile	課税額は、全燃料コストの 25% 程度

注：年間のスタンド設置数（生産数）を 100，1 日の給油台数を 300 台に想定。

注1) 2000 年度 JEVA 海外調査報告書

注2) 燃料電池発電プラントを構成する機器のうち、主要機器を除いた残りすべての機器の総称。

3) ガソリン改質形 FC システムの試算^{注)}

ADL によって試算された、ガソリン改質形 FC システム（加圧式スタック）のコスト試算結果を表 4-3-7 に示す。

表 4-3-7 ガソリン改質形 FC システムのコスト分析結果

サブシステム	2000 年 ベースライン [\$/kW]	2001 年 ベースライン [\$/kW]	コストの 増減	増減の理由 (見直し点)
燃料電池	177	221	+ 25	電極と高分子膜のコストを見直し。
燃料プロセッサ	86	76	- 12	触媒ベッドのコストを見直し。
Balance-of-Plant	10	10	0	2000 年ベースラインに同じ。
システム組立	21	17	- 19	溶接時間を見直し。
全コスト	294	324	+ 10	見直しの結果、全コストは増加した。

注) ネット出力：50kWe，年生産量：50 万個

主要なコスト変動要因について分析した結果を図 4-3-2 に示す。ADL は、素材ではナフイオン®膜のコストが全体コストに最も大きく影響するとしている。また、異なるシステム出力（25，50，100kW）でも試算を行っており、システム出力が増大すると kW 当りのコストは低減するという結果も得られている。

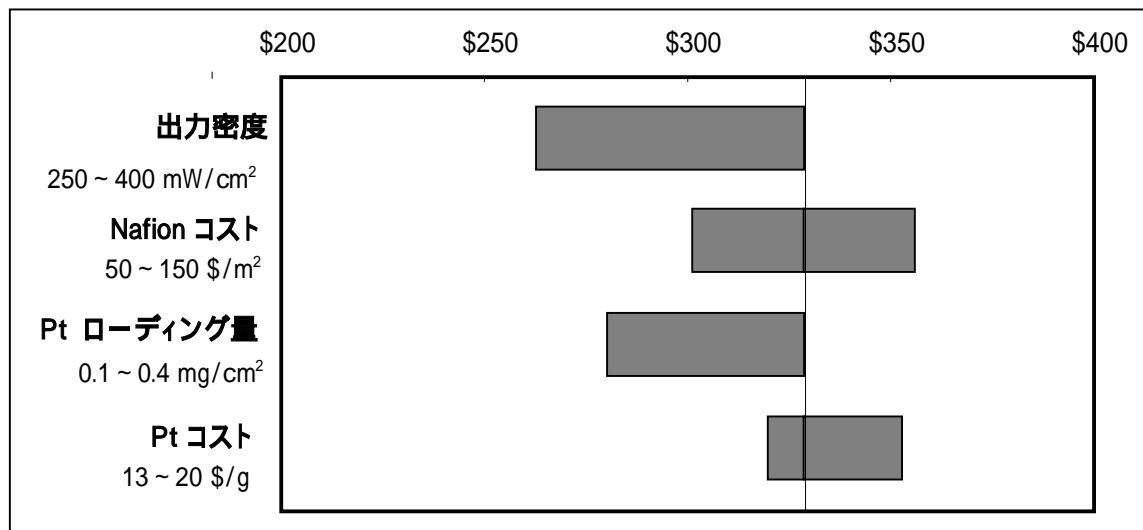


図 4-3-2 全体コストに対する各項目の感度分析結果

注) 2001 年度 JEVA 海外調査報告書

(7) WE-NET による試算

WE-NET 計画では、水素燃料 FCV の経済性を評価している^{注)}。短期に成立可能な最も安価な水素の供給システムは、表 4-3-8 に示すように、天然ガス（都市ガスあるいはメタン）をオンサイトで改質する方法であり、1Nm³ 当り約 40 円となっている。

表 4-3-8 わが国における自動車用水素のコスト見積

(単位：円 / Nm³-H₂)

項目	天然ガス改質	メタノール改質	アルカリ水電解	PEM 水電解
設備費	17.6	17.6	16.9	15.7
人件費	2.9	2.9	2.9	2.9
変動費 都市ガス	14.1	-	-	-
メタノール	-	27.6	-	-
電力	4.9	4.4	54.5	48.8
その他ユーティリティ	0.4	0.3	0.5	0.5
計	39.9	52.8	74.8	67.9

注) 都市ガス価格：39.3 円 / Nm³，メタノール価格：40.0 円 / kg，電力価格：東京電力高圧季特別電力 B
出典：水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）サブタスク 7 水素利用技術に関する調査・検討（平成 11 年 3 月）

図 4-3-3 は各種自動車の生涯（15 万 km 走行を想定）の燃料コストを比較したものであり、水素、メタノールともガソリンハイブリッド車と同等レベルかそれ以下であることがわかる。ただし、この比較では水素、メタノールに対する燃料課税はないものと想定されていることに注意する必要がある。

わが国では、メタノールを化学工業用に年間約 200 万トン消費しており、当面はこの工業用メタノールの一部が利用され、価格面でも同じ扱いをされると想定されている。ここでは、1998 年時点の化学工業用ローリー引渡し価格の平均的な値として、40 円 / kg が仮定されている。また、メタノールの小売価格としては、これにメタノール供給スタンドの設備費相当を加算した場合のコストとして 53 円 / kg が仮定されている。

注) 水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）サブタスク 7 水素利用技術に関する調査・検討（平成 11 年 3 月）

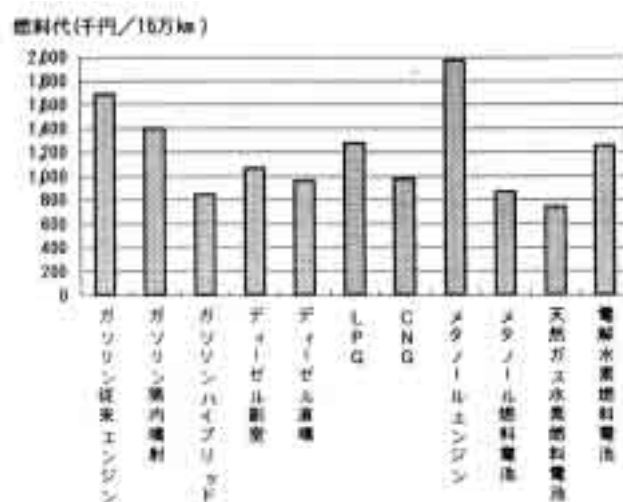


図 4-3-3 各種自動車の燃料コストの比較

出典：水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）サブタスク7 水素利用技術に関する調査・検討（平成 11 年 3 月）

また、40 円/Nm³ という水素の価格は、1 ステーション当り 300Nm³/hour の能力をフル稼働した場合であり、普及が十分に進展していない時期においては、公的な支援なしではこれより高額になることは避けられないと見積られている。表 4-3-9 は 40 円/Nm³ の前提となる天然ガス改質形水素ステーションの建設費である。

表 4-3-9 燃料電池車が経済的に成立するシステム例
(天然ガス改質形水素ステーションの建設費)

項目	金額(百万円)	備考
改質装置	61	パッケージ型(脱硫, 改質, 変成, 蒸気, 純水, 制御系を含む)
精製装置	47	PSA 式
ガス圧縮貯蔵設備	43	圧力 20MPa
その他機器	40	
建屋	15	
工事費	20	
合計	226	

注) 水素製造能力：300Nm³/hr

出典：水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）サブタスク7 水素利用技術に関する調査・検討（平成 11 年 3 月）

表 4-3-10 は、FCV の車両コストの見積り額であり、245 万円と見積られている。また、表 4-3-11 は燃料費、車両コストを踏まえた生涯 15 万 km を走行した場合の総合経済性の評価である。すなわち、この車両価格、燃料コストで、生涯 15 万 km を走行する場合、ガソリン車と同等となるという結果となっている。

表 4-3-10 燃料電池車が経済的に成立するシステム例(車両コスト)

単位:千円

	ガソリン車	FCV	備考
共通部分	1,200	1,200	
エンジン + 変速装置	250	-	
その他ガソリン車専用	50	-	燃料タンク, 排ガス処理装置等
燃料電池	-	300	10 千円 / kW × 30 kW
二次電池	-	200	8 千円 / kW × 25 kW
インバータ	-	200	
モータ	-	150	最大出力 50kW
水素吸蔵合金タンク	-	400	合金 3 千円 × 110kg, 水素貯蔵量 2.2kg
合計	1,500	2,450	

注) 車種: 小型バン

出典: 水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET) サブタスク 7 水素利用技術に関する調査・検討 (平成 11 年 3 月)

表 4-3-11 燃料電池車が経済的に成立するシステム例 (総合経済性)

	ガソリン車	FCV	備考
車両価格 (a)	1,500 千円	2,450 千円	
燃費 (b)	8 km/l	8.11 km/Nm ³	FCV の効率はガソリン車の 3.125 倍とした
生涯走行距離 (c)	150,000 km	150,000 km	15,000 km / 年 × 10 年
燃料単価 (d)	90 円 / l	40 円 / Nm ³	
生涯燃料費 (e)	1,690 千円	740 千円	(d) × (c) / (b)
総合費用	3,190 千円	3,190 千円	(a) + (e)

注) 車種: 小型バン

出典: 水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET) サブタスク 7 水素利用技術に関する調査・検討 (平成 11 年 3 月)

(8) 経済産業省「燃料電池実用化戦略研究会」による燃料供給ステーションの設置費用の試算

燃料電池実用化戦略研究会では、燃料電池用として見込まれる燃料について、表 4-3-12 のように既存のサービスステーション (SS) に設備を追加するための 1SS 当たりの設置費用を試算している。

表 4-3-12 燃料電池用として見込まれる主な燃料の 1SS 当たりのインフラ投資額

燃料種類	水素		メタノール	ガソリン	GTL
現在の自動車用供給設備数	0 ヶ所		約 50 ヶ所	約 56,000 ヶ所	0 カ所
既存の SS に設備を追加するための 1SS 当たりの設置費用	液体水素貯蔵	0.9 億円	0.2 億円	-	0.1 億円
	水素ガス貯蔵	0.8 億円			

4-4 燃料電池車の実用化の時期と普及台数の見通しについて

4-4-1 自動車メーカーによる FCV の実用化計画

2002 年 12 月，トヨタとホンダは FCV の限定リース販売を行い，DaimlerChrysler，日産も限定リース販売を開始している（表 4-4-1）。また，国内では，官庁，自治体，一般企業を含めこれまでに 18 台の FCV がリース販売されている（表 4-4-2）。

表 4-4-1 自動車メーカー発表による FCV の商品化の時期(2003 年度末現在)

自動車メーカー	商品化時期	備考
トヨタ	2002 年限定販売	国内で 11 台，米国で 4 台を限定リース販売
ホンダ	2002 年限定販売	国内で 5 台，米国で 5 台を限定リース販売
DaimlerChrysler	2003 年限定販売	国内で 1 台を限定リース販売
Ford	2003 年内限定販売予定	
GM	2008～2010 年までに累計数万台を販売	
日産	2004 年限定販売	国内で 1 台を限定リース販売

表 4-4-2 国内における FCV リースの現状(2002.12～2004.3 末現在)

車両		官庁	自治体	一般企業	合計
トヨタ	FCHV (120 万円/月)	5 台	2 台	4 台	11 台
ホンダ	FCX (80 万円/月)	3 台	-	2 台	5 台
日産	X-TRAIL FCV (100 万円/月)	-	-	1 台	1 台
D/C	FCELL (120 万円/月)	-	-	1 台	1 台
総計		8 台	2 台	8 台	18 台

注) トヨタ：米国で 4 台リース，ホンダ：米国で 5 台リース

4-4-2 経済産業省「燃料電池実用化戦略研究会」による見通し

2004年3月11日に開催された第12回燃料電池実用化戦略研究会において、水素エネルギー社会の将来像、水素社会に向けたシナリオが提案された。そのシナリオでは2030年には燃料電池自動車約1,500万台、定置用燃料電池が約1,250万kWとなっている（詳細は3-4-1(6)参照）。

表 4-4-3 将来に向けた普及のシナリオ

	2010年	2020年	2030年
燃料電池自動車	約5万台	約500万台	約1,500万台
定置用燃料電池	約210万kW	約1,000万kW	約1,250万kW

出典：第12回燃料電池実用化戦略研究会資料を基に作成

4-4-3 JEVA「燃料電池自動車調査専門委員会」による見通し^{注)}

JEVA「燃料電池自動車調査専門委員会」では、FCVの簡単な需要関数を想定することにより、2つのケースにおけるFCVの導入台数の推計を行っている。ケース1は燃料供給インフラに制約があるケースであり、ケース2はそうした制約が無いケースである。それぞれの日本市場での普及台数の推計結果を、それぞれ図4-4-1、図4-4-2に示す。

2010年において、ケース1では約8千台、ケース2では約5万台となっている。ここで注意が必要なのは、ケース1においては購入者のすべてに対してベース車両（ここでは160万円と想定）との差額の半分を補助した場合であり、ケース2ではそうした補助がない場合が想定されている点である。

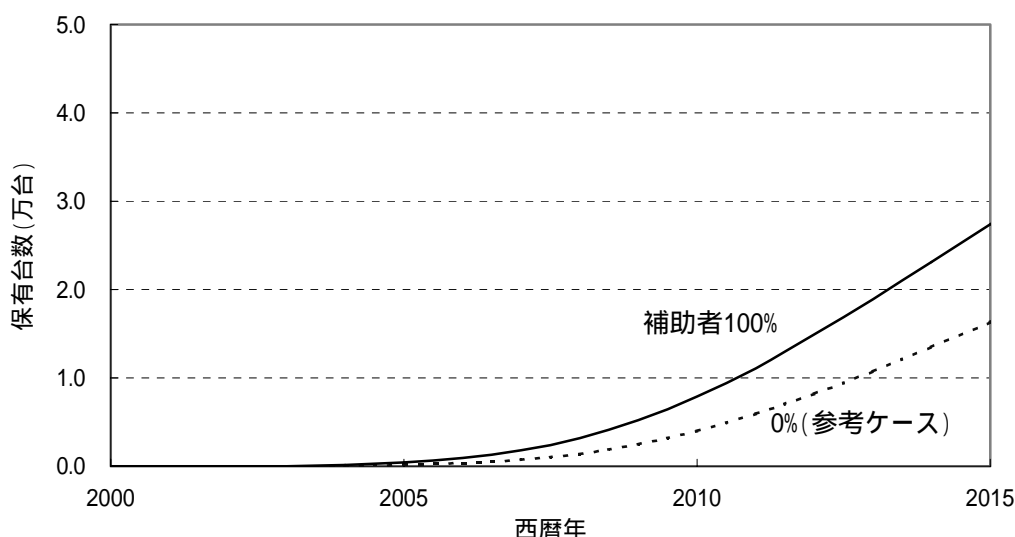


図 4-4-1 日本市場でのFCV保有台数の推計結果(ケース1:インフラ制約のある場合)
(JEVA「燃料電池自動車調査専門委員会」1999年度)

注) 1999年度JEVA「FCVに関する調査報告書」

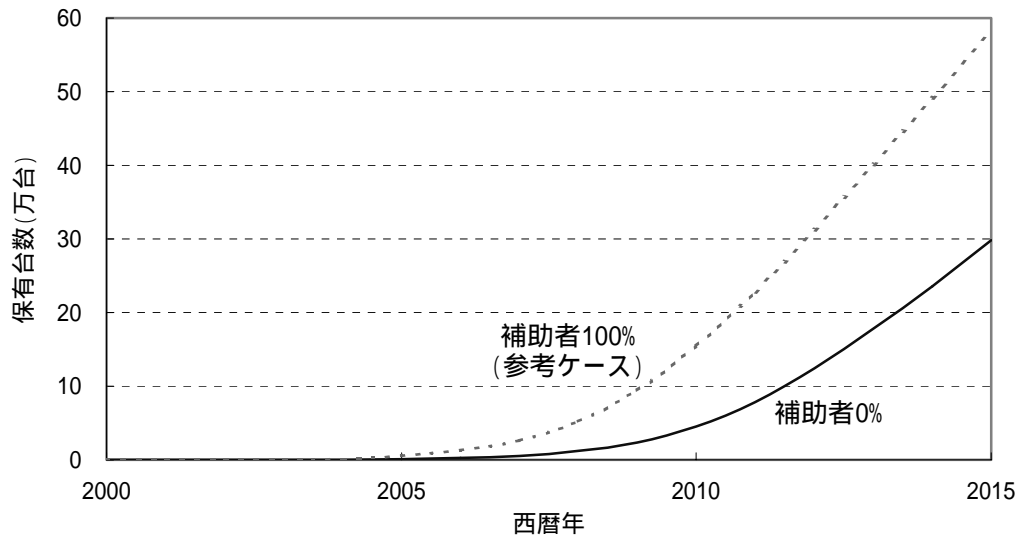


図 4-4-2 日本市場での FCV 保有台数の推計結果(ケース2:インフラ制約のない場合)
 (JEVA「燃料電池自動車調査専門委員会」1999年度)

4-4-4 Johnson Matthey による普及見通し^{注1)}

図 4-4-3 に英国 Johnson Matthey 社による FC の普及予測を示す。

定置用燃料電池（住宅用）では、2005 年に 2.5 万～130 万 kW（5 千～2.5 万台）と想定している。また、2011 年では、400 万～500 万 kW（80 万～100 万台）である。FCV 生産台数は、2005 年に 1,000～5,000 台、2011 年に 20 万～50 万台規模と想定している。

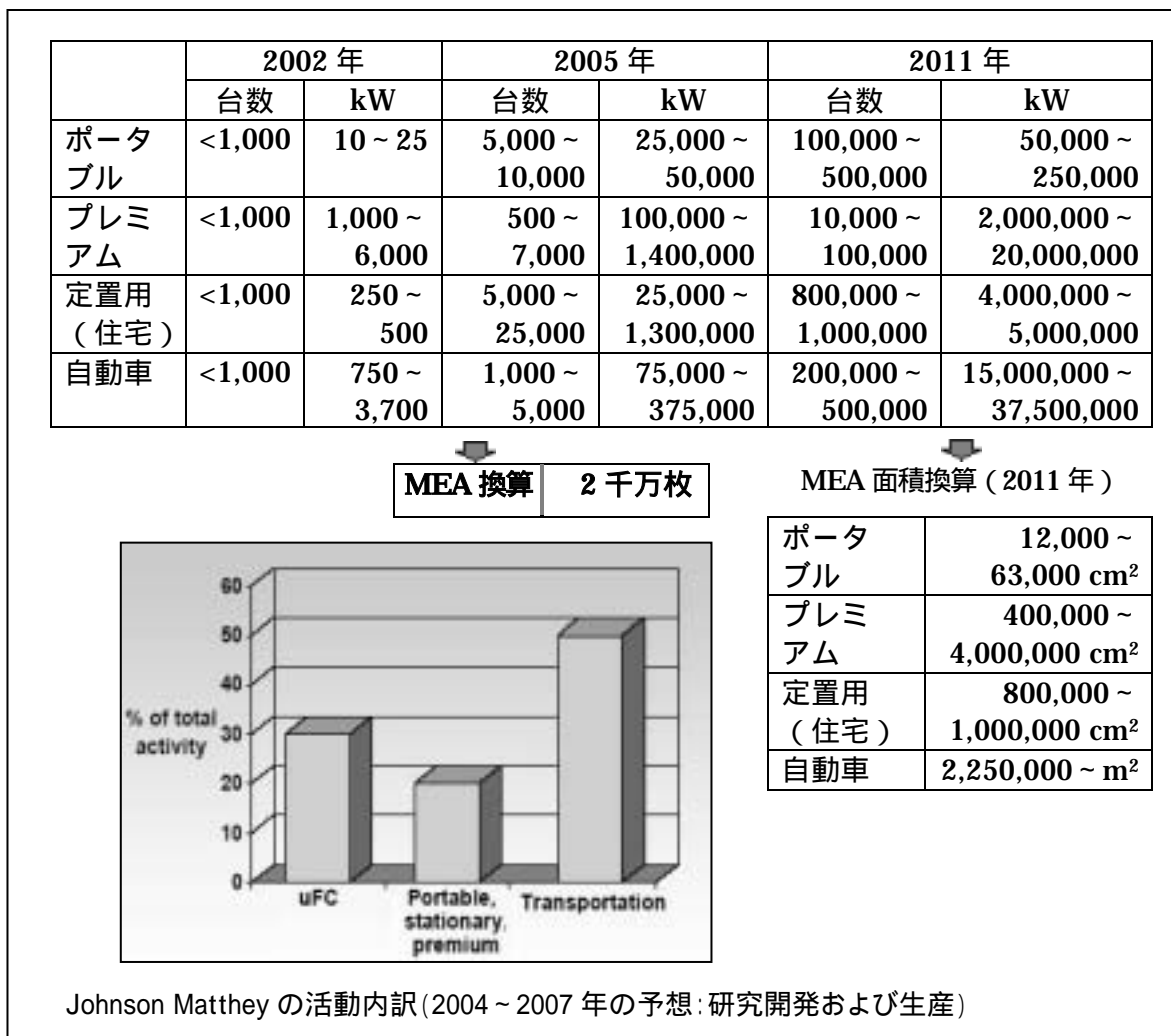


図 4-4-3 Johnson Matthey 社による FCV 普及見通し

4-4-5 Texaco による普及見通し^{注2)}

大手石油供給会社である Texaco による FCV の普及見通しと、実用化の予想シナリオをそれぞれ表 4-4-4、表 4-4-5 に示す。2010 年における全世界の FCV の普及台数は、楽観的には 70 万台、実現的には 15 万台と予測されている。

注1) 2003 年度 JARI 海外調査報告書

注2) 2000 年度 JEVA 海外調査報告書

表 4-4-4 Texaco による FCV 普及見通し

ケース	2005 年	2010 年
実現的	7,500 台	150,000 台
楽観的	40,000 台	700,000 台

表 4-4-5 Texaco による FCV の実用化予想

2001 ~ 2005 年	<ul style="list-style-type: none"> FCV のデモンストレーション (水素形かメタノール改質形) ガソリンステーションにおける水素製造装置
2004 ~ 2005 年	<ul style="list-style-type: none"> 水素 FCV の実用化
2010 年	<ul style="list-style-type: none"> 水素 FCV の市場拡大 乗用車 FCV の導入 メタノール・ガソリン改質 FCV の量産

4-4-6 DuPont による燃料電池市場の見通し^{注)}

膜・MEA の大手メーカーである DuPont による燃料電池市場の見込みを図 4-4-4 に示す。まず定置用とポータブル用が先に実用化されていき、市場全体では年率 35 ~ 45% の割合で拡大していくとの見込みである。

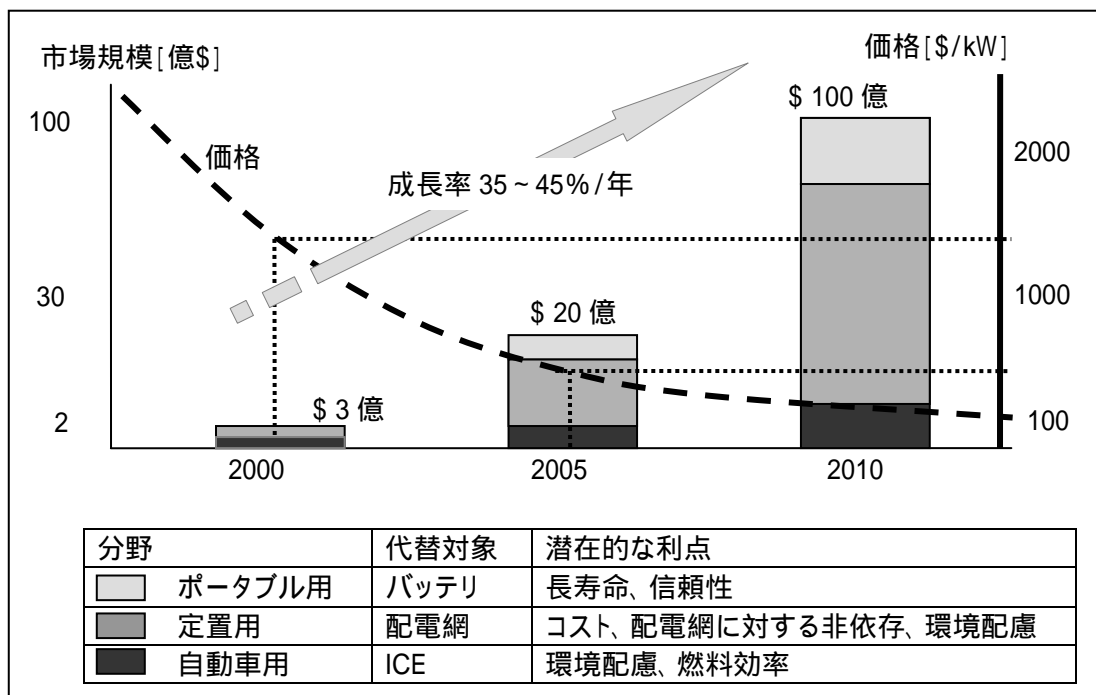


図 4-4-4 DuPont による燃料電池市場の見込み

FC システムのコスト目標を図 4-4-5 に示す。定置用は \$2,000 / kW，ポータブル用は

注) 2001 年度 JEVA 海外調査報告書

\$500 / kW , 自動車用では\$50 / kW を目標としている。

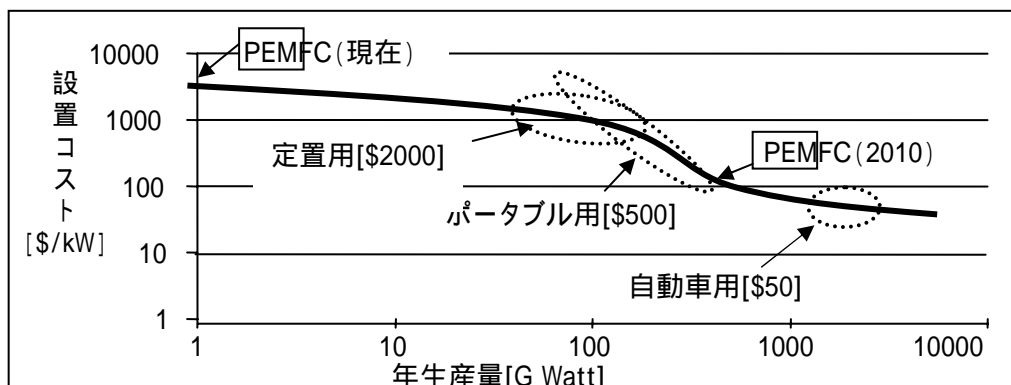


図 4-4-5 DuPont による FC システムのコスト目標

4-4-7 WE-NET による導入シナリオ

WE-NET 計画においても、直接水素形 FCV の導入シナリオが検討されている^{注)}。それによると、2010 年におけるわが国の FCV の年間販売台数は全車種で 1 万 2 千台程度であり、そのうちの約 2 千台が乗用車、8 千台が商用のバンという想定である(図 4-4-6)。短中期シナリオによる 2020 年の直接水素形 FCV の新車販売台数は約 15 万台、普及台数で 60 万台程度の想定である(図 4-4-7, 図 4-4-8)。わが国の年間新車販売台数を 700 万台とすると、15 万台は約 2% 程度のシェアに相当する。また、この時期においても一般乗用車の FCV の普及はほとんど見込んでおらず、乗用車の普及が始まるのはこれ以降という想定である。

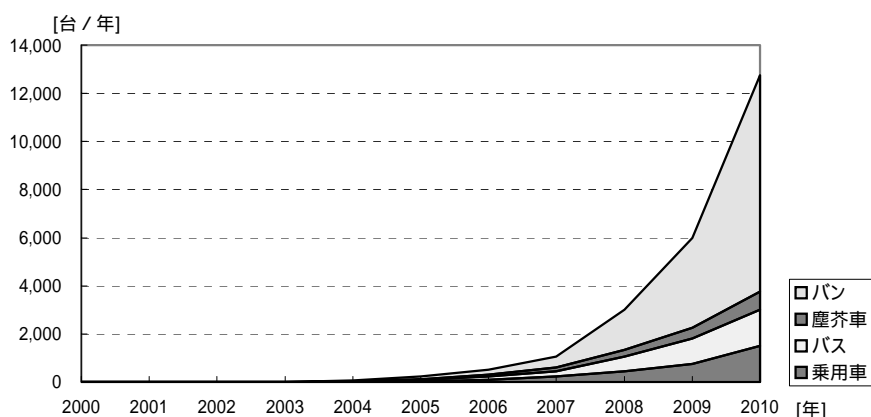


図 4-4-6 WE-NET における FCV 導入シナリオ・新車販売台数(短期)

注) 水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET) サブタスク 7 水素利用技術に関する調査・検討(平成 11 年 3 月)

出典：水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）サブタスク7 水素利用技術に関する調査・検討（平成11年3月）

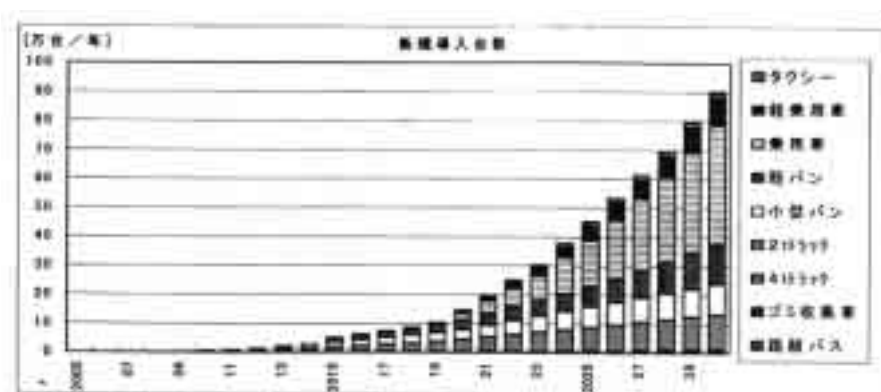


図 4-4-7 WE-NET 試算による直接水素形 FCV の新規導入台数(短中期シナリオ)

出典：水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）サブタスク7 水素利用技術に関する調査・検討（平成11年3月）

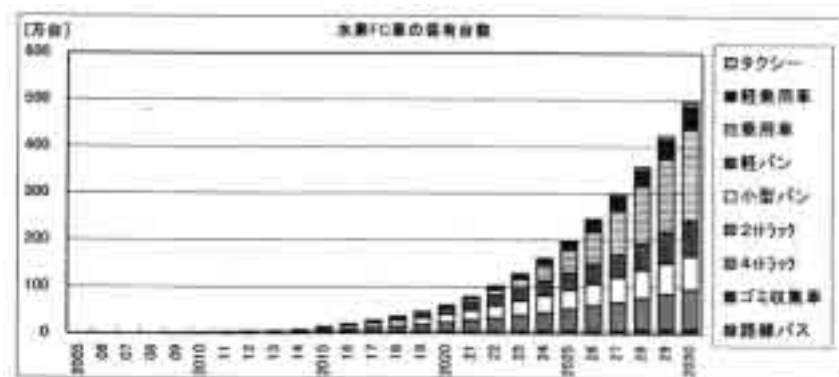


図 4-4-8 WE-NET 試算による直接水素形 FCV の普及台数(短中期シナリオ)

出典：水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）サブタスク7 水素利用技術に関する調査・検討（平成11年3月）

4-4-8 エネルギー経済研究所による普及予測

エネルギー経済研究所計量分析部では、モデル分析によって2020年度までのFCVの普及台数を予測している。モデル全体の枠組みは図4-4-9に示すとおりである。

コストモデルは、技術開発等の効果により、時間の進行とともにコストの低下を推計するモデルであり、これにより得られたコストと従来の車両価格の比較により、市場の導入時期が設定される構造となっている。導入時期以降の市場の浸透度合いは、導入量決定モデルにより決定される構造である。図4-4-10に各項目のモデルによる推計結果を示す。

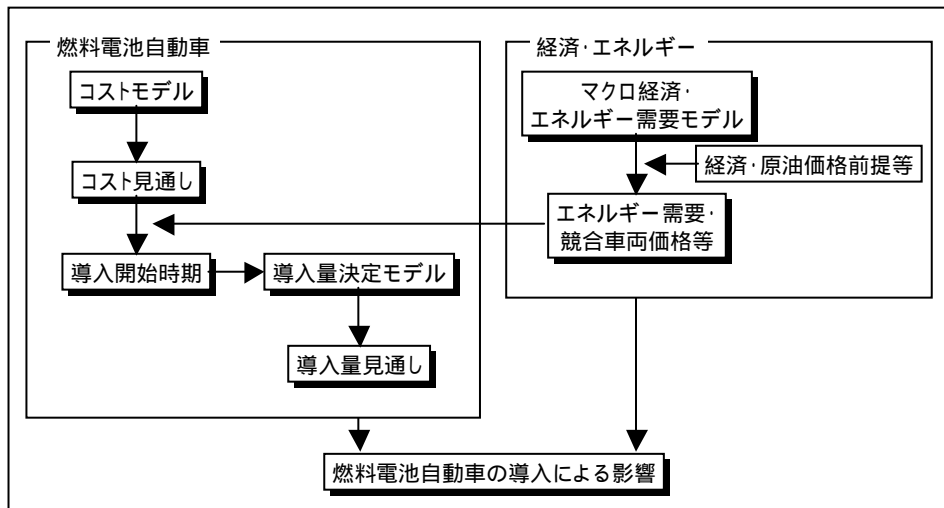


図 4-4-9 見通しの枠組み

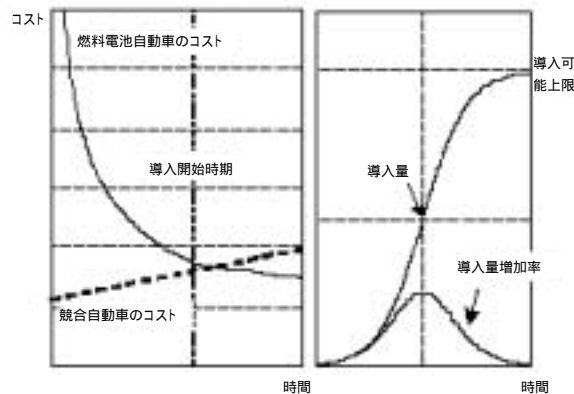


図 4-4-10 コストモデル, 導入量決定モデルの概要

車両価格は 2003 年の初期導入時期には 500 万円程度であるが、その後の量産効果により小型自動車と対抗可能なレベルである約 200 万円に低下することを前提にし、以下の 3 つのケースについて分析している。

- コスト低下速度および導入速度が速いケース
- コスト低下速度および導入速度が遅く助成措置がないケース
- コスト低下速度および導入速度が遅いが助成措置があるケース（助成措置は、プリウス等の低公害車に適用されている助成）

結果を表 4-4-6 にまとめる。この結果、 の大幅なコストダウンと高い導入率を仮定しても 2010 年における保有台数は全体の 1%にも満たないという結果である。

表 4-4-6 燃料電池車の普及台数予測結果

単位	導入年度	新車販売台数		保有台数	
		2010年度	2020年度	2010年度	2020年度
小型乗用車台数 百万台		2.7	2.9	27.4	28.4
乗用車台数 百万台		5.4	5.3	57	59
低価格・高導入ケース 台	2006	7,400	1,790,000	16,600	4,340,000
シェア 小型乗用車中 %		0.3	61.7	0.1	15.3
全乗用車中 %		0.1	33.8	0.0	7.4
高価格・低導入ケース 台	2013	-	3,200	-	9,500
シェア 小型乗用車中 %		-	0.11	-	0.03
全乗用車中 %		-	0.06	-	0.02
高価格・低導入・助成ケース 台	2012	-	4,700	-	14,000
シェア 小型乗用車中 %		-	0.16	-	0.05
全乗用車中 %		-	0.09	-	0.02

4-4-9 その他文献等による普及予測

その他文献等における FCV 国内普及（保有）台数の予測の検討結果を表 4-4-7 にまとめる。

表 4-4-7 国内普及台数予測

単位：台

	2010 年	2020 年	2030 年
新エネルギー財団 ^{注)}	10,000		8,000,000
エネルギー総合工学研究所	12,000	670,000	5,000,000
エコ・ステーション推進協会	1,480	615,000	

注) 財団法人 新エネルギー財団「平成 11 年度通商産業省資源エネルギー庁委託業務成果報告書 新エネルギー等導入促進基礎調査 燃料電池導入促進・普及調査」(平成 12 年 3 月)

4-5 まとめ

本章の結果を以下に取りまとめる。

(1) 燃料の選択について

FCV の燃料としては、エネルギー効率面や FC の性能面等における利点から、究極的には、直接水素を用いる方法が望ましいという意見が主要を占めている。経済産業省の燃料電池実用化戦略研究会でも長期的なシナリオとして、水素利用の可能性が高いと位置付けている。

一方で水素を車載するには、エネルギー密度の問題、供給インフラストラクチャ整備の問題が大きく、短期間でその問題を解決するのは困難である。そのため、それまでのつなぎの燃料として何が望ましいかについては、将来技術開発の見通しなど、現状では不透明な部分が多い。

ただし、DaimlerChrysler が言明しているように、上記の直接水素に係る問題、すなわち水素の車載性と供給インフラの問題に関して、それが問題とならないバス等の営業・商用車両としては、直接水素方式の FCV が適していると考えられる。現在、国内外においてそのような FC バスの実証走行試験プロジェクトが実施、あるいは計画されている。

ガソリン系燃料を FCV の燃料として用いることが可能ならば、極めてメリットが大きい。トヨタと GM は 2001 年 1 月、短中期の水素への移行期間を担う燃料として、FCV と ICEV とで共用可能な新しい燃料として Clean Hydrocarbon Fuel を研究の主要な候補とすることで合意したと発表し、ガソリン改質系の FCV の実現へ向けて重点的に取り組んでいく旨を公表した。

しかし、米国 DOE のガソリン改質器開発に対する動きをみても明らかなように、この 1、2 年の間に、ガソリン改質技術の難しさが改めて認識されるに至っている。トヨタは、その実用化には何らかのブレークスルーが必要と述べ、ホンダや日産では、車上改質技術そのものの実用化に対して懐疑的な発言をしている。

以上をまとめると、FCV の燃料選択に関しては、長期的には直接純水素を供給する FCV が望ましいが、ここ数年、十数年の短・中期的なスパンでどのような燃料が使われるかについて結論を出すことは現時点では難しい。ただし、ガソリン系燃料の改質技術の難しさから、このまま水素直接利用の FCV の限定的な導入が進み、漸進的な水素供給インフラの整備と相まって、その普及が徐々に進んでいくというシナリオの可能性が高まってきたと言える。ただし、水素の製造は一次エネルギーに何を用いるかによって様々なパスが存在するため、どのようなパスが実現するかについても現時点で判断することは難しい。いずれにせよ、その動向の鍵を握るのは、ガソリン系燃料の車上改質技術や安価でエネルギー効率の高い水素製造技術の動向であり、より長期的には、

水素の車上的における貯蔵技術が重要なファクターになるものと考えられる。

(2) FCV 技術に関する動向

FCV においては現状様々な課題があるが、トヨタ、ホンダ、日産の FCV が限定的なリース販売を開始したように、性能面に係る課題について言えば、現状ではおおむね実用域に達しつつある状況と考えられる。そのため、今後の課題としては、実際の利用を想定した耐久性や信頼性の確認、コストダウンに向けた技術開発が最大のテーマとなっていると考えられる。

1) 燃料電池スタック

FC スタックについては、出力性能においておおむね実用水準に達してはいるものの、さらなる出力密度の向上、ユニットの小型軽量化が必要であると考えられる。さらに実用的な利用を想定した上での耐久性や信頼性の向上とその実証、低コスト化が課題となっている。

また、現状のスタックでは、カソード側で生成された水がスタック内に残り、氷点下になるとその水が凍結しスタックの起動・運転に悪影響を及ぼすという問題がある。これは実用化に向けての当面の重要な課題となっている。

低コスト化に向けては、低コストなセパレータ材料や製造工程の開発、固体高分子膜の低コスト化、電極触媒中の白金量の低減、ガス拡散層として用いられるカーボン製品の低コスト化等、様々な課題がある。

ホンダは 2003 年 10 月に、次期燃料電池スタックにおいて、新しいタイプの固体高分子膜、金属製セパレータを採用し、氷点下（ - 20 ）での始動性やコストダウンを可能にしたと発表し、注目を集めた。

2) 改質器

実用化への期待がかかるガソリン系燃料の改質器については、トヨタ自動車や GM と ExxonMobil、HydrogenSource、米国 DOE を中心とした Nuvera FC、アルゴンヌ国立研究所（ANL）等において開発が進められてきた。しかし、とくに CO 変成器の小型軽量化が進まず、始動性や熱効率向上の面で大きな技術的な障壁に直面している。そのため、何らかの技術的ブレークスルーが必要とされる状況にある。米国 DOE では、2004 年においてガソリン改質器の技術進歩に関するマイルストーンを設け、それまでに技術の進捗状況によってはそれ以降のガソリン改質器の研究開発に対する支援を打ち切るともあり得るといった動きもみせている。実用化に向けては、さらにコストや耐久性等の課題、ガソリン中の成分が改質触媒に与える影響分析の必要性、燃料の標準化等、克服すべき課題は山積しており、実用化へのハードルは非常に高い状況にあると考えられる。

3) 水素貯蔵技術

直接水素方式の場合，その最大の弱点は水素の低エネルギー密度という性質に由来する航続距離の問題である。

高度な安全性，コンパクト性などの観点からは水素吸蔵合金タンクが期待されているが，現状の吸蔵能力は最大で 2.2～2.8 重量%程度であり，実用的には 5～8 重量%が必要水準と考えられている。そのため，水素吸蔵合金に関しては，吸蔵能力の向上とコスト低減に向けた材料開発のブレークスルーが必要である。

その他，カーボンナノチューブ等の炭素系吸蔵物質，ケミカルハイドライド等の研究も進められているが，現状では基礎的な研究・検討段階にあるものと考えられる。

以上から，コスト面，技術面から，現状では航続距離等に問題があるものの，高圧水素タンクが最も実用的な車載方法であると考えられている。現状の充填圧力は 35MPa が主流であるが，50MPa や 70MPa といったより高圧の貯蔵方式の検討が鋭意進められている。現在，独立行政法人産業技術総合研究所が中心となって，高圧ガス容器の中に水素吸蔵合金を入れ，高圧ガス方式の低体積エネルギー密度という弱点を緩和しようとする試みも行われている。

4) FCV 全体システム

FCV の実用化のためには，始動性や負荷応答性，寒冷地や砂漠等あらゆる環境においての耐久性と信頼性といった自動車としての基本性能の確保が課題である。とくに氷点下においては，FC から生成される純水の凍結が避けられないため，この問題にどう対処するかが当面取り組むべき重要な課題となっている。

(3) 水素供給ステーションに関する動向

現在国内外において FCV 実証走行試験のための水素ステーションの建設が進められている。とくに国内では，2002 年度から JHFC プロジェクトがスタートし，東京・横浜周辺に 10 基の水素供給ステーションが建設され，水素供給ステーションも本格的な実証試験段階に至っている。

水素ステーションの整備に係る最も大きな課題としては，3 章において整理したように建築基準法等による各種規制の問題であるが，現在，国が中心となって規制の見直しに向けた検討が進められている状況にある。

また，水素を製造し水素供給ステーションに水素を供給する方法に関しては，短期的には水素をオンサイトで改質する方法，オフサイトで水素を製造し配給する方法，副生水素を配給する方法等様々な方式があり，また一次エネルギーに何をを用いるかによって様々なパスが存在する。そうしたパスについて，とくに総合エネルギー効率，コストの面からの評価を実施し，望ましい水素の製造供給方式についての知見を得ることが必要であると考えられる。

5. FCV の総合効率の評価について

5-1 はじめに

近年の環境・資源問題に対する配慮から、各種自動車の総合的なエネルギー効率、CO₂ 排出量を比較し、環境等に与える影響を評価することが必要となっている。とくに、FCV の燃料としては、純水素、メタノール、ガソリン等多種多様な燃料が考えられるため、個々の燃料タイプのエネルギー総合効率等からの評価を行うことが必要となっている。

従来からガソリンや軽油を利用した内燃機関自動車(ICEV)に対しては、その燃料消費の効率を評価するため、走行距離当りの燃料消費という概念が用いられている。これは例えば 10・15 モードといった走行パターンにより、基準化して比較される。同種の燃料であれば、自動車固有の燃料利用効率性能(燃費)やこれに準じる評価基準で比較することができるが、水素、メタノール等の異種の燃料を使用する車両間での総合的な効率を比較するためには、総合的なエネルギー効率(Well-to-Wheel 効率)による検討が必要である。

本調査では、多種多様な燃料を使用することが可能な FCV と他の ICEV を対象とし、総合エネルギー効率を比較・評価するためのモデルを開発し、日本の条件における各種自動車の Well-to-Wheel におけるエネルギー効率、CO₂ 排出量の推計を実施した。なお、本調査における車両効率(Tank-to-Wheel 効率)の検討は、独自に開発したシミュレーションモデル GREEN (General Research for Energy Efficiency of New Technology Vehicles) を用いている。

5-2 分析における基本的前提条件

5-2-1 評価対象車種の基本的考え方

(1) 想定年次

基準となる内燃機関自動車，ハイブリッド自動車，電気自動車については現状技術を想定する。FCV については現在開発段階であるため，原則として 2005 年から 2010 年頃の技術を想定し，基準車等と比較・検討するものとする。

(2) 評価対象車両

FCV の特性を勘案し，評価の対象とする車種は当面小型乗用車とする。バスやトラックは評価対象外とする。

(3) 評価対象とする車種

駆動方式や燃料の種類違いからみた対象車種は，以下のとおりとする(全てダ임ラーの A-Class 相当のコンパクトタイプ乗用車と同等性能，同等グレードの乗用車とする)。

なお，CNG 自動車の Tank-to-Wheel の評価はガソリン ICEV で代用し，Well-to-Tank，Well-to-Wheel のみ検討を行った。これは，既存の CNG 自動車とガソリン ICEV の燃費特性にあまり差がない(章末の参考 1 参照) ことに加え，詳細なエンジン情報などが得られなかったためである。

表 5-2-1 評価対象車種の想定

駆動方式	燃料等	備考
1) 内燃機関車 (ICEV)	<ul style="list-style-type: none"> ・ガソリン ・ディーゼル ・CNG ・メタノール ・圧縮水素 	<ul style="list-style-type: none"> ・ TtW 評価はガソリン ICEV で代用し，WtT，WtW のみ検討する。
2) 内燃機関と電気のハイブリッド車 (HEV) (NiMH 電池搭載)	<ul style="list-style-type: none"> ・ガソリン ・ディーゼル ・CNG ・メタノール ・圧縮水素 	<ul style="list-style-type: none"> ・ パラレルハイブリッドを基本とする。 ・ THS (トヨタハイブリッドシステム) は，この一種として扱う。 ・ リチウムイオン電池は今後の課題とする。
3) 電気自動車 (EV)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ニッケル水素電池 	<ul style="list-style-type: none"> ・ リチウムイオン電池は今後の課題とする。
4) 燃料電池車 (FCV)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 直接水素形 - CH ・ 直接水素形 - LH ・ 直接水素形 - MH ・ メタノール改質形 ・ ガソリン改質形 	<ul style="list-style-type: none"> CH：圧縮水素タンク LH：液体水素タンク MH：水素吸蔵合金タンク
5) 燃料電池と二次電池のハイブリッド電源車 (FCHEV) (NiMH 電池搭載)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 直接水素形 - CH ・ 直接水素形 - LH ・ 直接水素形 - MH ・ メタノール改質形 ・ ガソリン改質形 	<ul style="list-style-type: none"> ・ リチウムイオン電池は今後の課題とする。

(4) 基本性能にかかる前提条件

評価対象車両の基本性能にかかる主要な前提条件として以下を設定した。

すべての車種の基本性能は原則として同等とする。(例外としてEVのレンジ等) 共通部分の重量は、原則として車種にかかわらず同様(1,000kg)とする。ただし、燃料電池車等は、基本重量にタンク、コンプレッサ、プロアーなど専用システムとして必要な構成機器あるいは定義の曖昧な電力制御系、センサーなど既存ICEVとは差がある各種の構成部品をまとめて基本重量に加算している。

車室内スペースも全車種共通とする。必要な機構はすべて車に収まるものとする。

車の形状も共通とする。すなわち、前面投影面積、Cd値を共通とする。

(5) 評価対象車両の諸元

評価対象車両の諸元を表5-2-2に整理する。また、対象車両の重量を表5-2-3に示す。ただし、Tank-to-Wheel効率の計算時には、乗員2名(110kg)を追加した重量で計算を行うものとする。

表 5-2-2 対象車両の諸元

		ICEV		ICEHEV		FCHEV			備考
		Gasoline	Diesel	Gasoline	Diesel	CH	LH	MH	
定員	人	5							
最高速度	km/hr	150以上							
航続距離	km	400以上							10-15t-トを想定
走行抵抗	空気抵抗係数(Cd)	0.3							
	前面投影面積	2.0							
	転がり摩擦係数(μ)	0.01							
トランスミッション	-	AT				固定			
エンジン	燃焼方式	MPI	CIDI	MPI	CIDI	-	-	-	
	排気量	1500	1800	1200	1500	-	-	-	
	最高出力	72	63	60	50	-	-	-	
モータ	種類	-	-	PM同期		PM同期			
	最高出力	-	-	35	35	50	50	50	
二次電池	種類	-	-	NiMH	NiMH	NiMH	NiMH	NiMH	
	容量	-	-	1.872	1.872	1.872	1.872	1.872	
燃料電池	出力	-	-	-	-	75	75	75	

		FCEV			FP.FCHEV	FP.FCV	EV	備考
		CH	LH	MH	gas., MeOH	gas., MeOH		
定員	人	5						
最高速度	km/hr	150以上					100以上	
航続距離	km	400以上					300	10-15t-トを想定
走行抵抗	空気抵抗係数(Cd)	0.3						
	前面投影面積	1.98						
	転がり摩擦係数(μ)	0.01						
トランスミッション	-	固定						
エンジン	燃焼方式	-	-	-	-	-	-	
	排気量	-	-	-	-	-	-	
	最高出力	-	-	-	-	-	-	
モータ	種類	-	PM同期					
	最高出力	-	50	50	50	50	80	
二次電池	種類	-	-	-	NiMH	-	NiMH	
	容量	-	-	-	1.872	-	27.36	
燃料電池	出力	75	75	75	75	75	-	

表 5-2-3 対象車両の重量

単位：kg

Drive System		ICEV		ICEHEV		FCHEV		
Fuel type		Gasoline	Diesel	Gasoline	Diesel	CH	LH	MH
Base weight	kg	1000	1000	1015	1015	1210	1170	1210
FCweight	kg	0	0	0	0	75	75	75
Bat.weight	kg	0	0	58.4308	62.4923	74	74	74
Mot.weight	kg	0	0	66.074	66.074	141.602	141.602	141.602
Engine weight	kg	119.52	200.00	99.60	151.52	0	0	0
Total weight	kg	1119.520	1200.000	1239.105	1295.081	1500.602	1460.602	1500.602

Drive System		FCV			FP.FCHEV	FP.FCV	EV
Fuel type		CH	LH	MH	gas., MeOH	gas., MeOH	
Base weight	kg	1210	1170	1210	1140	1140	975
FCweight	kg	75	75	75	75	75	0
Bat.weight	kg	0	0	0	74	0	407.9369
Mot.weight	kg	141.602	141.602	141.602	141.602	141.602	166.378
Engine weight	kg	0	0	0	0	0	0
Total weight	kg	1426.602	1386.602	1426.602	1430.602	1356.602	1549.315

5-2-2 車両効率の定義

(1) 自動車における車両効率(Tank-to-Wheel 効率)の基本的考え方

自動車の効率はその定義が必ずしも明確ではない。一般にエネルギー転換を行った場合の効率は、入力エネルギーに対する出力エネルギーの比で定義される。自動車の場合、入力は燃料であってそのエネルギーの定義は明白であるが、出力として何をとりかが明確でない。とくに自動車に一時的に蓄えられる運動エネルギーが出入りするために、これをどうカウントするかで評価が異なる。

従来、自動車の場合、エンジンの効率は一般に、燃料エネルギー入力に対するエンジン軸出力の比で定義される。このとき、減速時にエンジン軸トルクが負となった場合、エンジンが非可逆なために、これを無視することが多い。同じ考え方で最終的な軸出力である駆動軸出力についても自動車を加速および一定速度で走行する場合での出力をもって自動車の出力とみることとなる。したがって基準車となるガソリン車の効率については、消費ガソリン量 (Joule ベース) 対加速 (力行) 時軸出力 (Joule ベース) の比率を効率と定義することになる。ここで、図 5-2-1 において、Axle Output と示す点での正の場合のみを加算することになる。

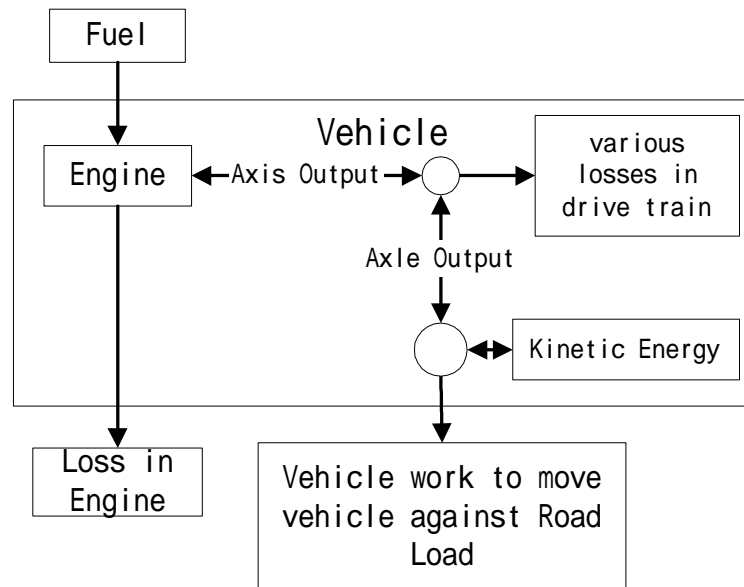


図 5-2-1 車両におけるエネルギー伝達概念図

一方，回生制動が可能な自動車や異種燃料の各種自動車を比較する際の効率については，どのように定義するかが不明確である。そのため本調査では，回生制動が可能な自動車および異種燃料の自動車では，単位走行あたりの燃料消費エネルギー（燃料のエネルギー原単位から必要エネルギーに換算）の基準車に対する比率に基準車の効率を乗じて異種自動車の効率を定義することとした。

以上をまとめると，Tank-to-Wheel の効率の定義は以下ようになる。

回生制動不可能な ICEV の基準車両においては，その投入燃料のエネルギーに対する駆動軸出力（力行時）の比をもって効率を定義する。その他の回生可能な車両，あるいは他の燃料を用いる自動車については，利用上の利便性の等しい等価車両を想定して，その投入エネルギー比に等価車両の効率を乗じて効率と定義する。

これは実際の出力として等価基準車両の軸出力（回生不可の場合，したがって負の部分は除く）に対して燃料の投入エネルギーとの比をもって効率を定義するかなり人為的な数値である。ただ，このような数値によって異なる駆動方式，異なる燃料の同一性能の車両の Well-to-Wheel の効率を一元的に比較することが可能となる。実際の物理的意味に反する定義であるが，便宜上やむをえない処置であり，他の同様な分析もほぼ同様な概念に基づいた分析を行っている様子である。この点については既に海外の TES 開発グループ等とデータの突き合わせを実施し，その際に明確に議論し，コンセンサスを得ることができた。

また，GM では効率という定義を用いず，距離当りのエネルギー消費率で統一して比較を行っている。

(2) HHV と LHV の取扱いについて

ISO, SAE などでも LHV (低位発熱量基準) を基本とすることにほぼコンセンサスが得られていると考えられる。しかし, わが国の資源エネルギー庁の統計などは基本的に HHV (高位発熱量基準) を用いていること, また将来のシステム評価, とくに水の潜熱回収のシステムなどを考える際には HHV が必要になる可能性もあるので, 本モデルでは LHV を基本としつつ, HHV も同時に計算可能なツールを用意し, オプションとして容易に切り替え可能としている。

(3) Well-to-Tank エネルギー効率の計算手順

いま, 簡単のために一次エネルギー源から燃料タンクまでの変換過程をまとめて一つのプロセスと考え, その効率と, タンクから先の自動車の効率をそれぞれ以下の記号で記述する。(図 5-2-2)

p : 一次燃料消費量; たとえば燃料重量 (g)

f : 自動車用燃料消費量; 同上

とくに自動車の効率の基本となるガソリンは f_g で表すこととする。

V : 発熱量 (kJ/kg); 下付添え字 H, L はそれぞれ高位, 低位の別を, p, f は燃料種を示す。

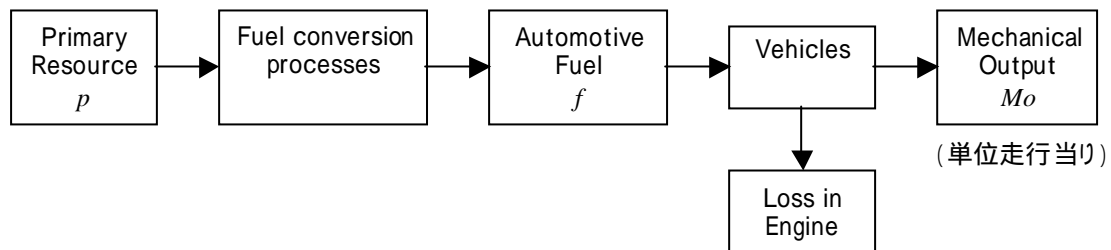


図 5-2-2 Well-to-Tank エネルギー効率の計算フロー

ここでまず基準ガソリン車の効率 η_{vg} は

$$\eta_{vg} = \frac{Mo}{f_g \cdot V_{Lg}} \quad (g \text{ はガソリンを表す}) \quad (5.2.1)$$

これに対して一般の他燃料車両の等価効率 η_v は基準ガソリン車効率を基準に消費エネルギーの比率で定義されるので,

$$\eta_v = \eta_{vg} \cdot \frac{f_g \cdot V_{Lg}}{f \cdot V_{Lf}} = \frac{Mo}{f \cdot V_{Lf}} \quad (5.2.2)$$

すなわち，基準ガソリン車の機械的出力 M_o をその自動車の出力と仮定して，その燃料エネルギー入力に対する比率

$$\eta_v = \frac{M_o}{f \cdot V_{L_f}} \quad (5.2.3)$$

で効率を定義したことに他ならない。

これは低位発熱量の場合であるが，全く同じ考え方によって高位発熱量の効率も単に M_o を出力として消費燃料のエネルギー（高位発熱量）に対する比率で定義される。すなわち，低位，高位を問わず等価効率は出力として基準ガソリン車の機械的軸出力を仮定したものに他ならない。

これに対して一次エネルギーから自動車燃料までの効率はきわめて単純に

$$\eta_p = \frac{f \cdot V_f}{p \cdot V_p} \quad (5.2.4)$$

として定義される。 V はそれぞれ低位，または高位の発熱量を用いる。

したがって，全体の効率は単に以下の式で誘導される。

$$\begin{aligned} Z_{w2w} &= \eta_p \cdot \eta_v = \frac{f \cdot V_f}{p \cdot V_p} \cdot \frac{M_o}{f \cdot V_f} = \frac{M_o}{p \cdot V_p} \\ &= \frac{f \cdot V_f}{p \cdot V_p} \cdot \eta_{vg} \cdot \frac{f_g \cdot V_g}{f \cdot V_f} = \eta_{vg} \cdot \frac{f_g \cdot V_g}{p \cdot V_p} \end{aligned} \quad (5.2.5)$$

以上から適当な段階で効率を中断しても自動車の効率が上記のように定義されている限り，結局は総入力エネルギーと基準ガソリン車両の機械的出力の比で定義され，その限りでは矛盾のない数値となる。

本分析では各プロセスごと，あるいは Well-to-Tank，Tank-to-Wheel に分けてそれぞれの効率を区別したいことを考えて，各プロセスごとにその基準を可変とする。したがって例えば天然ガス 水素 FCV では高位発熱量ベースでは最初，低位に比べて一次効率が上がり，最後に低下することになる。全体としてはもちろん天然ガスの低位 / 高位の比率に帰結する。

5-2-3 評価モデルの基本構成

Well-to-Wheel の総合効率は Well-to-Tank，Tank-to-Wheel で分割し，これを総合して分析するツールを構成する。このうち，Well-to-Tank は主として文献情報に基づくもので，これを本分析の使用にあわせて整理，評価し，最後の分析ツールに入力する。Tank-to-Wheel の分析モデル，ならびに全体の分析ツールは，分担関係が多少異なるが，

それぞれ DOE , ANL (米国アルゴンヌ国立研究所) で開発されている ADVISOR , GREET にほぼ対応するもので、可能な限りそのデータもこれにあわせていくことを考慮する。

このうち Tank-to-Wheel の分析モデルは GREEN (General Research for Energy Efficiency of New Technology Vehicles) と呼んでいるもので、多様な構造を切り替えられるダイナミックシミュレーションモデルである。その原型となるパラメータ最適化モデルが C 言語で記述されていたが、マンマシンインターフェースを改善し、計算機依存の問題を解決するためにより一般的な Basic 言語に変更した。その後、本調査で新たに開発した全体の分析ツールは、データベースをエクセルファイルで整理し、Well-to-Wheel の fuel path は ADVISOR で利用している Matlab/simulink^{注)}を用いて表示している。これはエネルギーフローパスを指定した上で、Matlab を介してエクセルデータファイルとリンクし、最終的にはエクセルのグラフ機能を用いてそのフローのエネルギーフローを示すことになる。

これらの関係は以下に要約される。

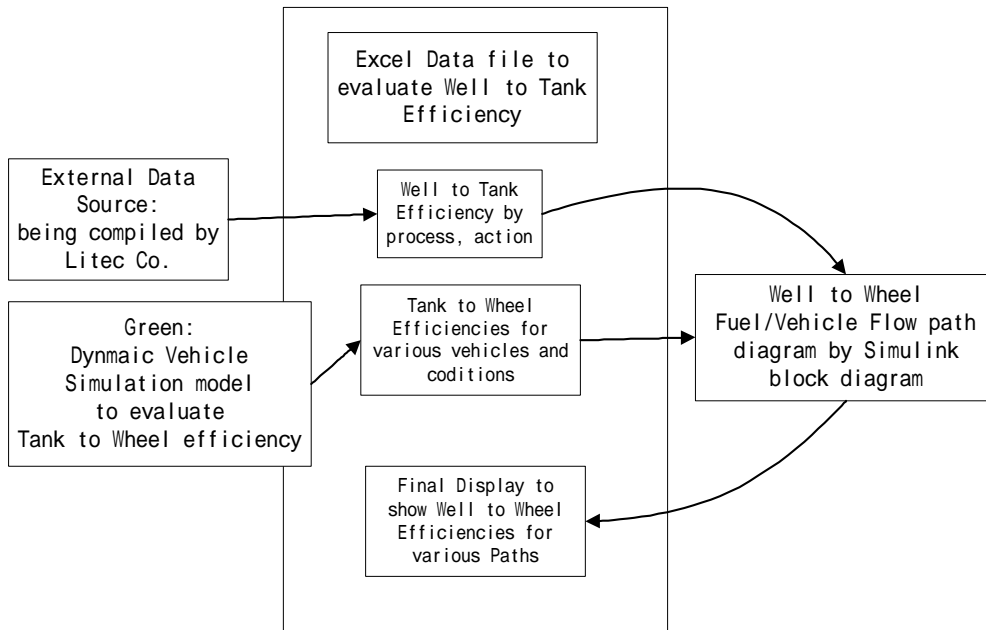


図 5-2-3 モデルの基本構成

このうちエクセルによるデータベースの主要なインターフェースは以下のとおりであり、マイクロソフト系の計算機で容易に計算可能な形でまとまっている；

Well-to-Tank efficiencies : 各プロセスごとの転換効率(HHV/LHV): その上下限 ,

注) 米国 The Math Works, Inc. の開発による汎用科学計算ソフト。Simulink はその上で走る汎用シミュ

中央値など

Tank-to-Wheel efficiencies：各種自動車，各種走行条件における燃費情報：走行距離，燃料種，燃料消費量（エネルギー消費量）

Energy path 分析図への出力：上記の各種情報

Energy path 分析図からの入力：各パス，各段階までの積算効率

5-2-4 CO₂ 排出量の推計方法

CO₂，あるいはその他の排出ガスの計算ルートについては，本質的にこのモデルは Well-to-Tank と Tank-to-Wheel で分けておき，前者のパスの選択のみを simulink 上で行うことが望ましい。この結果，得られた各パスの Well-to-Tank 効率を Tank-to-Wheel に結合して最終的な評価をエクセルで行うことが有利となる。

CO₂ 排出量の結果のみを出すなら以下の方法が考えられる。

自動車の燃料パスが単一の 1 次エネルギーから出発している場合，最終的な自動車の効率，燃料種（CO₂ 含有量，発熱量）と，その種別の自動車のエネルギー効率，例えば kJ / km などがわかれば容易に全体の排出量 t-CO₂ / km が計算可能となる。

個別プロセスで単位当りのエネルギー通過ごとの CO₂ 排出量を積算していく。計算が少し複雑になるが，これはエクセル側で実施する。たとえば効率低下がわかると，以下の計算から排出量が算定可能となる。

ある燃料種の変換プロセスにおけるエネルギー効率を η とし，プロセスの入出力燃料各々の CO₂ の排出原単位をそれぞれ C_{wi} , C_{wo} [g/J] とすれば，そのプロセスにおける単位入力エネルギー当りの CO₂ 排出量は，

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量 [g/J]} = C_{wi} - \eta \cdot C_{wo} \quad (5.2.6)$$

となる。こうした計算を各変換プロセスについて積み上げた結果として，使用端での 1J 当りの CO₂ 排出量 [g/J] を求めれば，最後に車両の走行燃費として km/J または J/km が得られた時点で

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量 [g/km]} = \text{CO}_2 \text{ 排出量 [g/J]} \times \text{走行燃費 [J/km]} \quad (5.2.7)$$

として km 当りの全体の CO₂ 排出量が算定できる。

今回の CO₂ 排出計算は，この方法を最終的なエクセルシート上で行った。この方法は，総合的な CO₂ 排出量のみを評価するときには有効であるが，とくに気候変動枠組条約がらみなどで，燃料チェーンの中で海外ならびに国内の CO₂ 排出を区別する必要がある場合などの評価には任意の地点での CO₂ 発生を評価する必要がある。したがってこのよう

な状況に備えるためには、プロセスごとの発生量を算定可能とすることが望ましい。

5-3 Tank-to-Wheel 効率の分析

5-3-1 動的特性と仕様の検討

(1) 動力性能仕様

自動車の燃費は、一般にその動的性能を上げると劣化する傾向にある。省エネルギー車といえども適当な動的特性は必要であるため、その矛盾する目標の適当な妥協が必要となる。米国 PNGV では、米国の平均的乗用車を前提に明確な動的性能仕様を定めたが、本検討では必ずしも PNGV の仕様にこだわる必要はない。日本の実状を踏まえると、小型車でもう少し穏やかな仕様を目標とする考え方もあるため、別途新たな仕様を仮定し、これに適合した小型車を検討した。ただし、最高加速などはそのまま燃費に影響するので、2つの仕様による特性比較は行っている。

PNGV などの動的性能と比べてより穏やかな動的性能仕様 (newmix130 mode) を仮定した。表 5-3-1、図 5-3-1 は本検討で仮定した動的性能と米国 PNGV で要求されている性能を比較したものである。newmix130mode では、一般的に PNGV の仕様の 70% 程度の性能を設定した。当然ながら一般の対象とするドライブサイクルよりも遙かに厳しい要求となっているので、国際的に検討されている各種のドライブサイクルは容易に実現できる。

表 5-3-1 動的性能の比較

PNGV target			SI unit		new mix130
Peak acc	17.03	ft/sec ²	5.192	m/sec ²	3.5
5sec dist.	147	ft	42.67	m	34
0-60mph	12	sec	0-96.54kmh	sec	20
0-80mph	23.4	sec	0-128.744 kmh	sec	40
40-60mph	5.3	sec	64.372-96.54kmh	sec	8
max speed	85	mile/h	136.7905	km/h	130

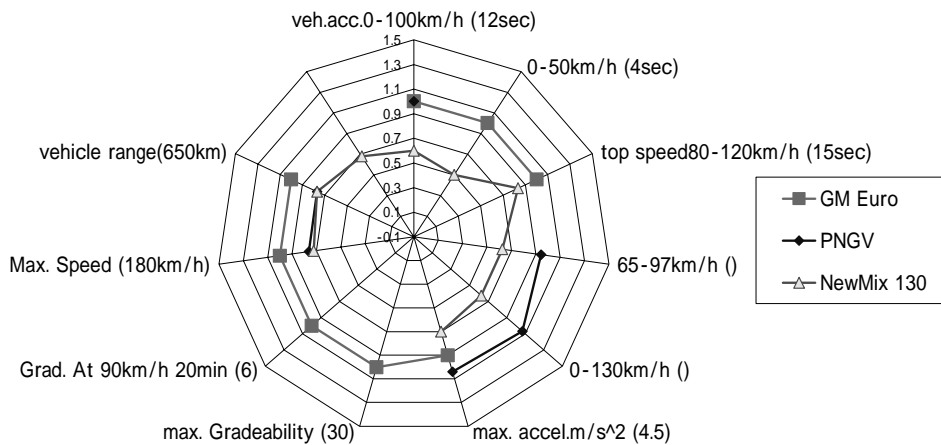


図 5-3-1 NewMix 130とPNGV等の動的性能の比較

また、車両のパラメータは、動的性能を満足しつつエネルギー消費を最小とするように最適化される。図 5-3-2 は、最適化に用いた走行パターンである。このパターンには 10・15 モード、路上実走行パターン、定速走行パターンと頭初部分にスペックの最高加速を含んでいる。具体的には最適化の評価関数に目標走行パターンから一定以上の位置誤差、速度誤差が出たときには評価値を大幅に下げるという禁止的ペナルティを課すことによって要求性能を満足しつつ、この走行パターンにおける燃費の最適化を実現している。各パラメータは逐次、1次元の最適化を実施し、これが収束するまで継続する。

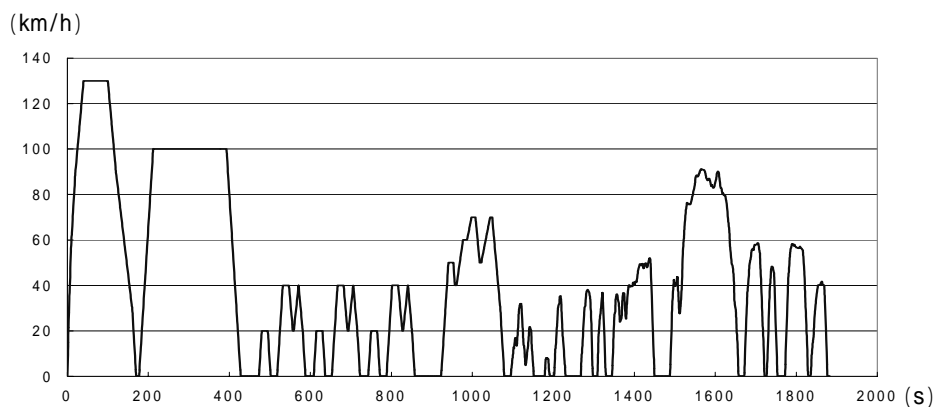


図 5-3-2 パラメータ最適化に用いた走行パターン

この結果、PNGV の要求に従う性能 (PNGVspecmode) を実現したガソリン車は newmix モードを満たすガソリン車に比べてエンジンがやや大きくなる。すなわち、PNGV モードでは 70kW 程度、newmix130 モードでは 60kW 程度となる。ただし、現

実にはさらに大きな 95kW 程度の車も存在している。

(2) 最終減速比と動力出力

さらに、最終減速比の調整も検討した。これはモータの動作領域と関連するが、多少の改善（10%程度）は可能なことを確認した。ただし、動的仕様から与えられる最高速度、最高トルクなどからその範囲は限定される。図 5-3-3 は FCHEV において現在のモータモデルを用いた上で、最終減速比を変化した場合の燃費変化を示している。横軸は試行回数であって、最適解を探索する変化状態を示しているので、最終のギア比が最適値を示し、そのときの燃費が現在の設定値に比べて 10%良くなっていることが示されている。FCV でも同様に最終減速比の調整で 10%程度良くなることが確認されている。

なおギア比が大きくなると回転数が上がり、高速追従が不可能となる。従って電気自動車など可変変速機が無い場合の最終減速ギア比の上限は最高速度で限定される。欧州の仕様の様に 180km/h を仮定するとかなり厳しくなる。

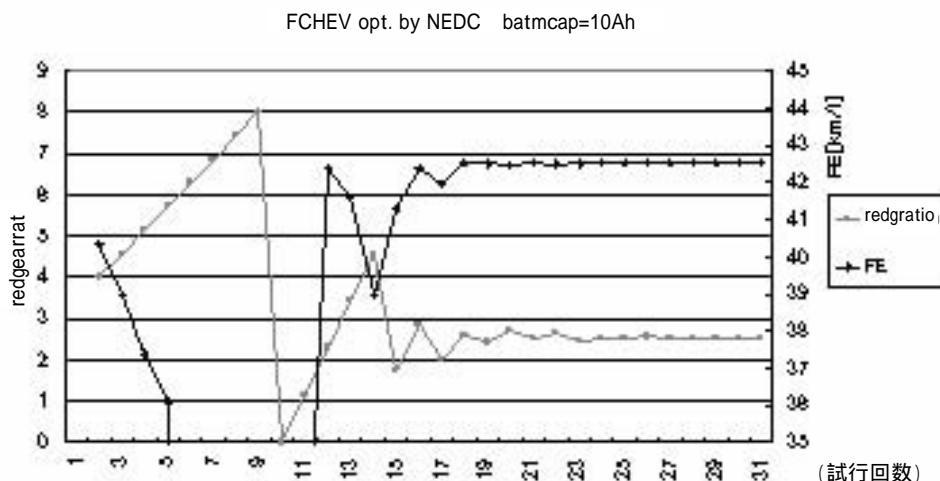


図 5-3-3 最終減速比と燃費の変化

最終的には PNGV の走行も考慮して、基準ガソリン車のエンジン出力は 72kW、ガソリン HEV については 60kW とする。最終減速比は基準ガソリン車では 4.32 とする。基準車以外のディーゼル車、モータ駆動の車両については最終減速比を newmix130 で最適化したものを用いる。これにより最終減速比はこれまでより低い数値になっている。なお、このモードの最高速度は 130km/h を陽に与えているのでこの速度（平地）は保証されるが、加速度の条件から遙かに高い最高速度が実現され、現実の平地最高速度は 170～190km/h となっている。

newmix130 による最適化の数値を用いて行ったシミュレーションにおける、newmix130 と PNGV 走行時の ICEV ガソリンエンジンの回転数とトルクを図 5-3-4、

図 5-3-5 に示す。PNGV のグラフ（図 5-3-5）で薄い線の部分はスタート直後の 7 秒間に対応し、トルク限界にかかって newmix130 とかなりの差が出る様子が示される。ICEV は変速機を利用しているので、加速時にトルクが不足する場合には減速ギア比を上げて最高出力となる領域に移動してトルクを最大化するために、自動車自体は低速でもエンジンの高速回転を利用することになることを示している。これは一般の運転でもよく経験する状況である。



図 5-3-4 newmix130 走行時のエンジン回転数とトルク

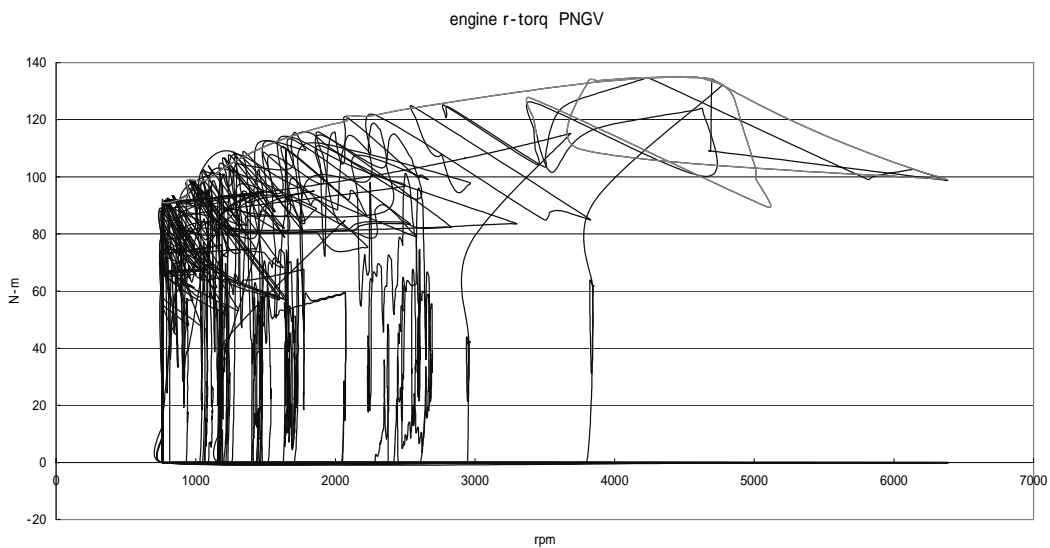


図 5-3-5 PNGV 走行時のエンジン回転数とトルク

またモータに関しても,FCV2008(後述)の場合のモータ出力の図(図 5-3-6,図 5-3-7)で newmix130 と PNGV の差が示される。この場合も PNGV の薄い線の部分はスタートから 7 秒間に対応している。モータの場合にはエンジンと異なり直結であって,減速ギア比で高速回転部分に移行するという手段は利用できない。従ってモータのトルク,並びに出力限界で運転して遅れを回復して本来の走行パターンに追随するまで最大出力並びに最大回転数を維持する様子が示されている。

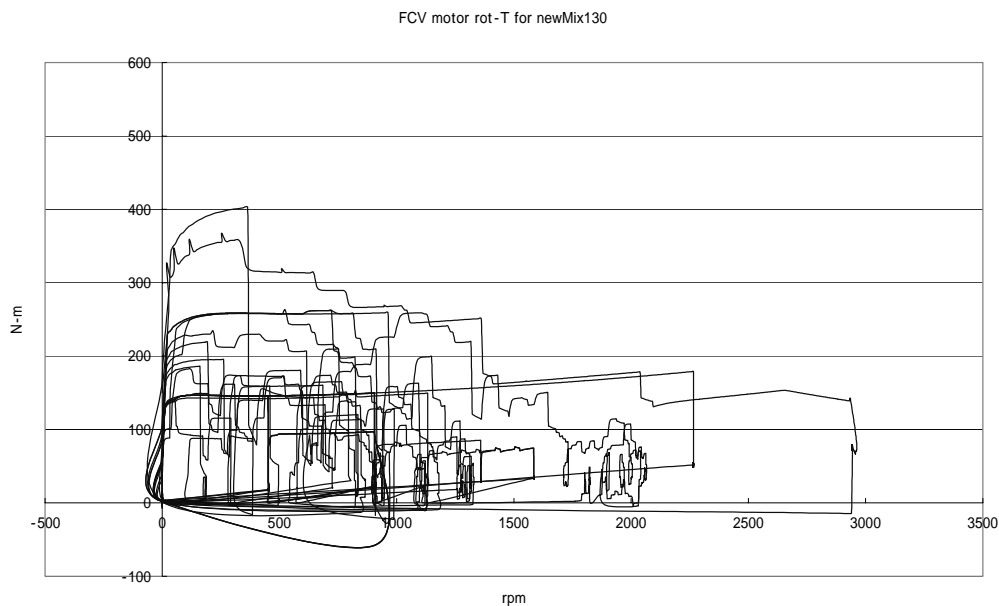


図 5-3-6 newmix130 走行時のモータ出力

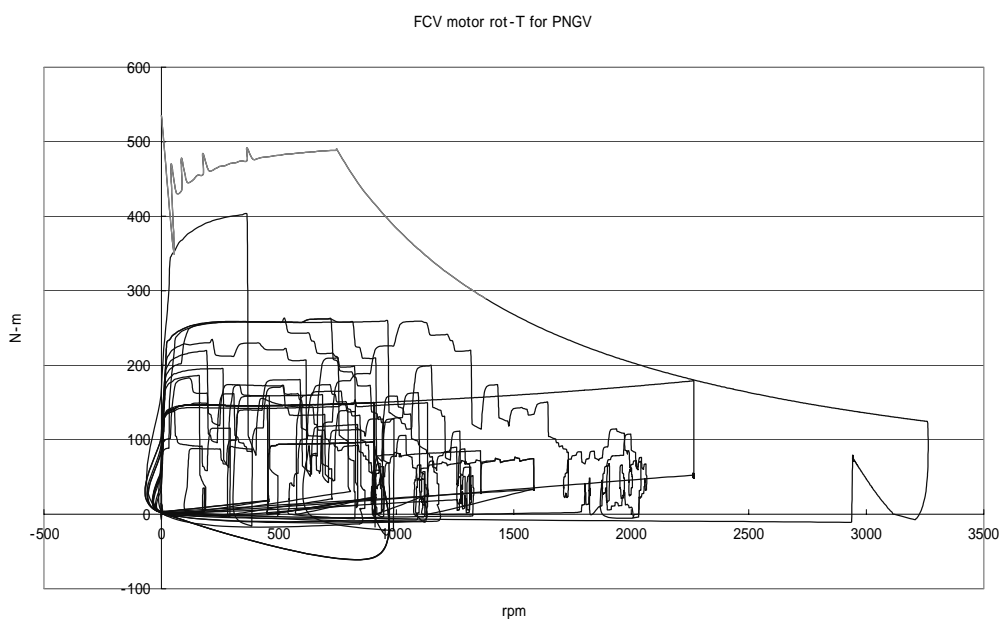


図 5-3-7 PNGV 走行時のモータ出力

(3) 走行パターンの影響

地域性を評価するときには、走行パターンや使用モードなどはきわめて重要な要因であり、標準ドライブサイクルも日、米、欧では異なるパターンが採用されている。さらに同一地域でも都市部、地方では走行パターンが相当異なる。これに応じて車種やドライブトレインの影響も変化して、その相対優位性も異なってくる。とくに ICE 基準車、ハイブリッド車の優劣などを論じるときにはその影響の差による議論が多い。本検討では当初からその影響の差、あるいはこれによる議論の可能性を配慮して、効率の評価は多様なモード、とくに海外を含めた代表的な走行サイクルを対象に並列に行ってきた。これに対しては DaimlerChrysler 社 (D/C 社)、ANL などから高く評価されているが、その基準サイクルも実態の走行を反映しているかどうかは明確でない。

本分析では日本の自動車技術などを対象としているので、その標準となっている 10・15 モードによる評価は不可欠である。

次に米国のデータとしては、LA#4^{注1)}、FUDS (Federal Urban Driving Schedule)、USHW (US Highway mode) 等が対象となる。GM の分析では FUDS、USHW の加重平均 (各 60%、40%) でミックスした評価を行っている。

UC Davis も異なる走行パターンによる個別評価が必要との立場から FUDS、USHW の他に US06^{注2)} を評価している。

後述の比較分析のために本研究でもこれにあわせたパターンによる評価を行った。それに伴い、従来行ってきた LA#4 の評価は停止した。

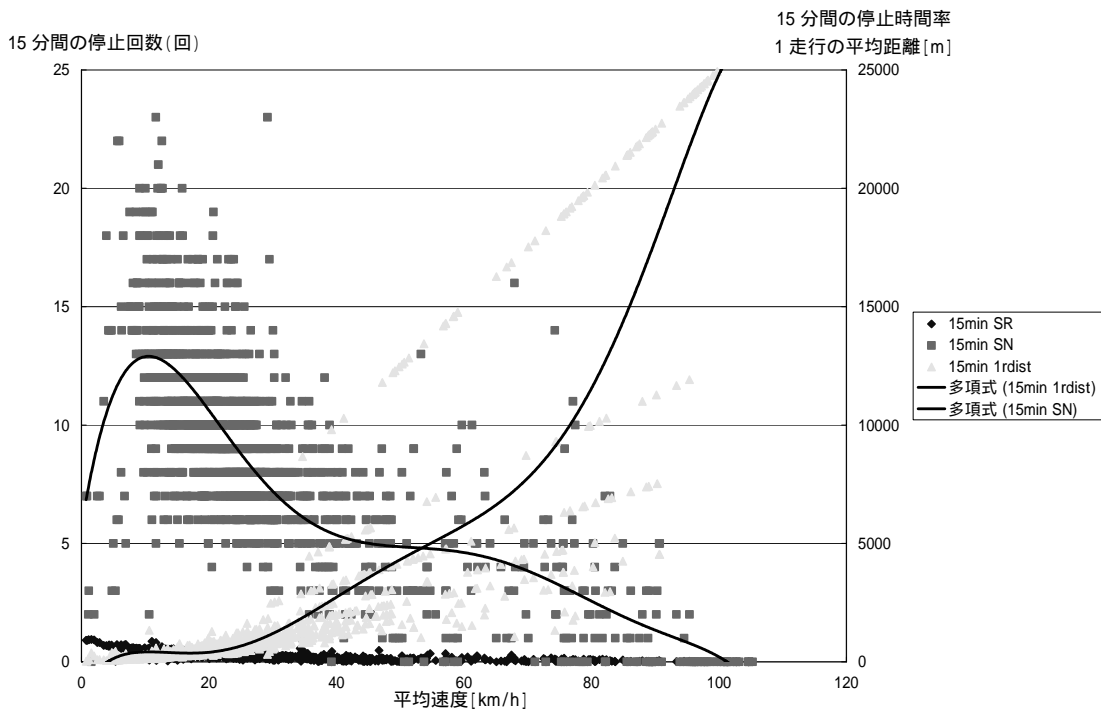
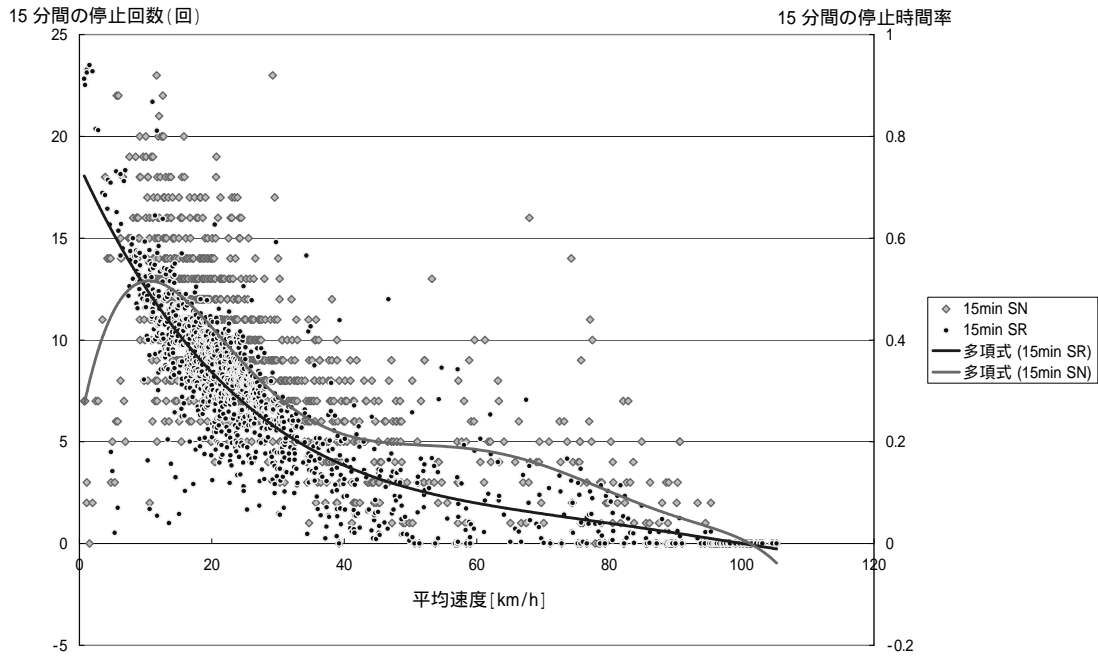
標準的なドライブサイクルが実態を反映しているかを確認し、さらにドライブサイクルによる燃費、あるいは効率の変化を組織的、系統的に見るため以下の検討を行った。

まず、複数の現実走行パターンで車種ごとの影響の特性を見て、基本特性を定性的、定量的に把握する。このような実態と基準走行パターンの適合性をチェックし、過去の検討 (日本エネルギー経済研究所: 旧プリウスの分析) から平均速度を主要なパラメータとして評価する。具体的なドライブパターンとしては、東京都バス基準ドライブパターンと旧プリウスによる実測データから適当な基準により抽出したパターンで検討した。

図 5-3-8 は (旧) プリウスで実測した主として東京都内の走行実績をまとめたものであり、一般的な走行 15 分間の停止率、停止回数、1 走行平均距離 (走行後最初の停止までの距離) などを示したものである。曲線は多項式でこれを近似した近似曲線を示している。この推定値の一定幅以内のサンプルから抽出した走行データを利用する。

注1) ロサンゼルススのダウンタウンを中心としたルートを朝の通勤時間帯に実際走行したパターンで、米国、カナダ、オーストラリアや欧州の一部の国で採用されている。

注2) SFTP-US06 (SFTP: Supplemental Federal Test Procedure)



15minSN : 15分間の停止回数

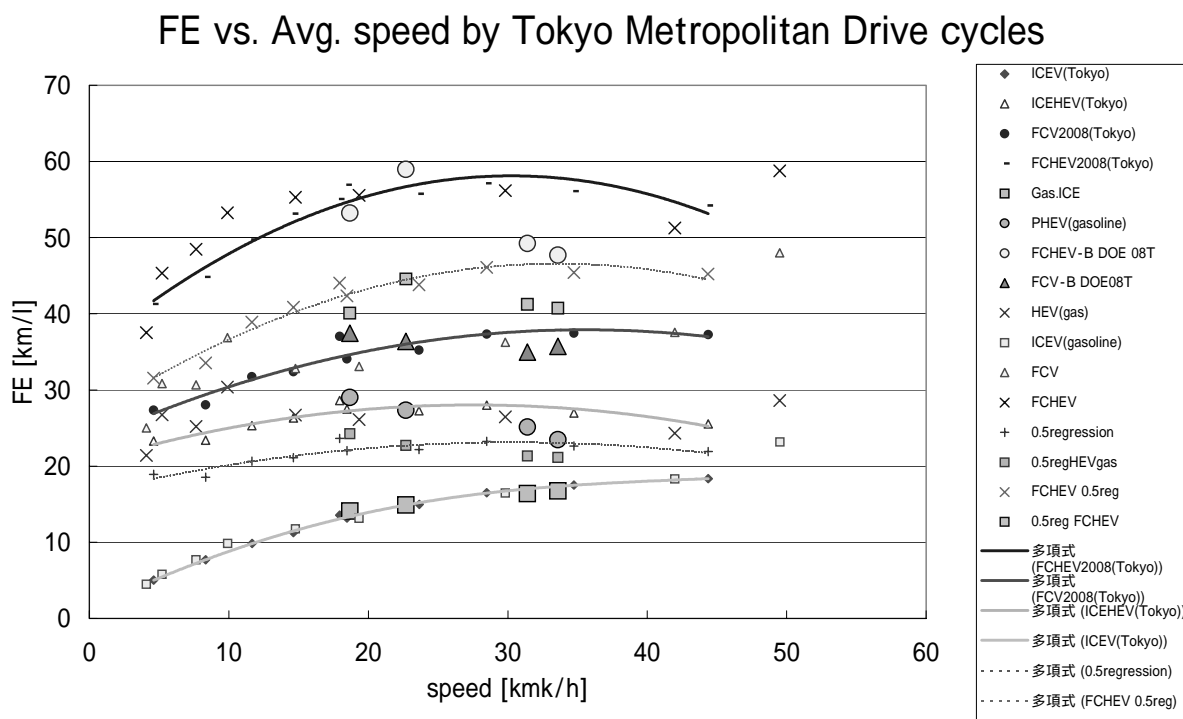
15minSR : 15分間の停止時間率

15min 1rdist : 1走行(起動後最初の停止まで)の平均距離

図 5-3-8 (旧)プリウスでの走行実績(主に東京都内)

一般に平均速度が 50km/h 程度以上のものは高速モードとなって異質のものとなるため、今回は 50km/h までを抽出した。それ以上の高速サンプルは高速道走行データから得る。

以上の結果を図 5-3-9 に示す。バスパターンと、都内実測走行によるサンプルパターンに対するシミュレーション結果を同時に示している。横軸は各パターンの平均速度で、この各平均速度に対して各種自動車（基準 ICEV, ICEHEV, FCV, FCHEV）の燃費を計算して示している。凡例の（TOKYO）が東京都バスパターン、その他が上記の実測データパターンである。多少の乖離はあるが、本質的な差は無いとみられる。マークされた 4 点はそれぞれ標準的なドライブサイクル, ECE15^{注)}, 10・15, FUDS, NEDC (New European Driving Cycle) を示している。近似曲線は東京都のパターンに対する燃費から求めたものであるが、実測値もほぼ一致している。なお、後述の課題からハイブリッド車について回生制動における回生率をそれぞれ 50%, 100% (コントローラ耐圧制約, 発電制動となる領域は避ける) と仮定したケースを同時に示している。



この結果より、まず日本の実走行においては、速度変化に対する燃費の変化は車種に関わらず緩やかに変化する。多少のばらつきはあるが、これは速度パターンのばらつきともいえる。一般的傾向として FCV, HEV などの相対優位性は速度増加と共にかなり変化する。すなわち、低速では ICE 車に比べて HEV は燃費が改善されるが、高速になるにつれてそのメリットが減少する。従って速度の異なる前記の代表的ドライブパターンの平均速度でその特徴が特性化されることが確認された。

ただし現在以下の点が問題となる。

注) NEDC の最初の 195 秒間の低速部分。

実際の速度パターンから回帰した傾向に対して標準ドライブサイクル燃費は低速ではよく一致するが、高速の FUDS (31.4km/h) と、NEDC (33.6km/h) は回生制動の可能なハイブリッド車が回帰曲線から大幅に劣化する。一般に市内高速走行は走行モードの変わり目にあるので、ばらつきが大きくなるが、とくに欧米の標準パターンは乖離が大きい。

とくに ICEHEV と FCHEV は乖離が甚だしく、FCV からのメリットは半減する。即ちハイブリッド化の効果が減少していることになる。ICEV 対 ICEHEV, さらに FCV 対 ICEV の比率も同様にメリット(差)が減少している。この結果からだけでは、走行パターンが本質的に異なるため日本のサンプルによる回帰曲線で当てはまらないのか、最適化が日本のパターンに行われたので、単なる自動車パラメータの調整があわないのかは不明である。

この確認のために NEDC で最適化してチェックした。この場合、単純にモータの定格が縮小して全体が 10%程度改善されたが、これは同時に 10・15 モードも改善されて、NEDC で劣化する点では変わらない。速度パターンを日本のサンプルと比べてみると、これはやや高速が入っていないながら平均速度が都市の好条件の状態と同じような状況にある。すなわち、停止時間が長い、停止回数が多いなどの特性があって、やや出力の高いところが利用される。この場合でも最適化すると現在の 50kW モータに対して 28kW 程度でも追従可能であり、燃料電池としても相当低いレベルで動作している。

以上の検討の結果から、日本の標準走行モード、実態走行パターン、欧米の標準走行モードの間には有意な差があることが確認される。欧米の走行は、起動停止が多く、また 1 回の走行中も大きな加速度で起動停止しているとみられ、これが同一速度における欧米の走行による走行燃費、とくにハイブリッド車の燃費を劣化させていると考えられる。すなわち、ハイブリッドの効果は日本のように穏やかに加減速が続き、最高速度もそれほど速くない時により効果的であることが示された。

(4) 現実の計測との比較

この計算結果を実際の(旧)プリウスの計測値と比べると、低速部分でかなり良い。これに対して ICEV はよく合っている。

本質的な問題として、停止時間のエンジン稼働が現実には起きていることなどから制御ロジックが多少異なるのか、オーバーヘッドが大きいということが考えられる。このオーバーヘッドは低速ほど効くので、その定量的な影響についてまず検討した。オーバーヘッドは 200W とした。少し大きすぎるが夜間、雨天時などを入れると平均的にはこれに近い。この前提で計算すれば、当然、低速では影響が大きく高速で効かないために全体として低速の燃費が下がる傾向を示す^{注)}。この結果は図 5-3-10 に示される。

注) エネルギー総合研究所報告：エネルギー経済の論文参照

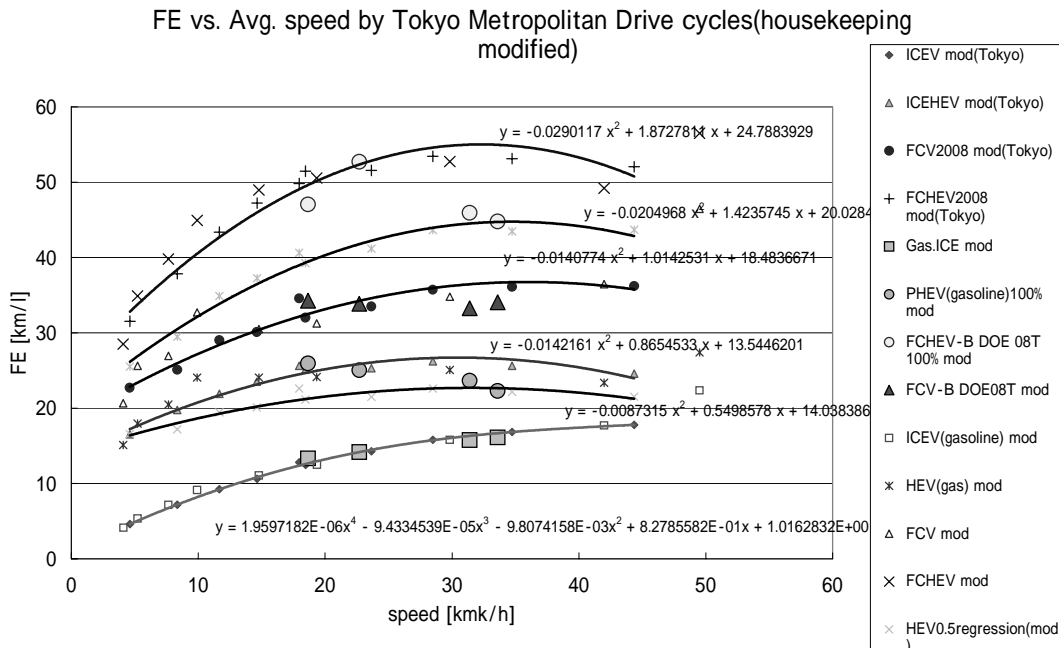


図 5-3-10 東京都内走行時の速度別燃料消費量(オーバーヘッド修正後)

現実の平行ハイブリッド, 対応 ICE 車との比較は図 5-3-11 に示される。

FE of HEV & ICE w.r.t. Vel. And factors, Freq. Of Speed

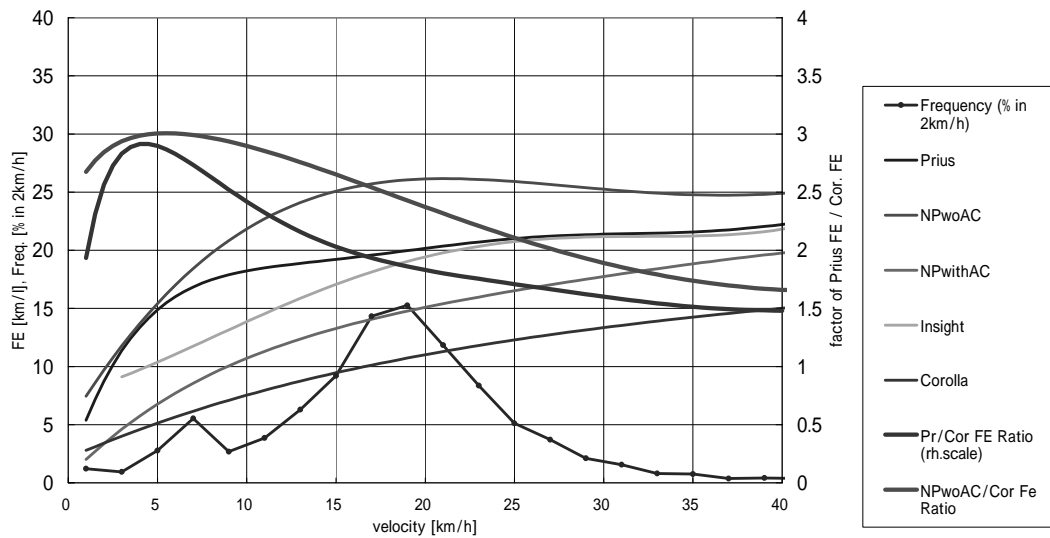


図 5-3-11 速度別燃料消費量とその比較

これに対して, 上記のシミュレーション計算結果による速度と燃費の比較は図 5-3-12, 図 5-3-13 のとおりである。

このモデル結果では低速のエネルギー回生はかなり効いているが, 現実には上限が

あって停止寸前ではハイブリッドも急激に悪化する。これはモデルでは非常に低速まで回生が十分効いていると仮定していること，現実の走行では低速ではさらに補機，とくに夜間の照明，空調，ウinkerなどの影響が一層顕著に効いてきて平均値で 200W では不足であったことによると考えられる。この影響は低速になると急速に大きくなるので，そこに実測値との乖離が生じたとみられる。

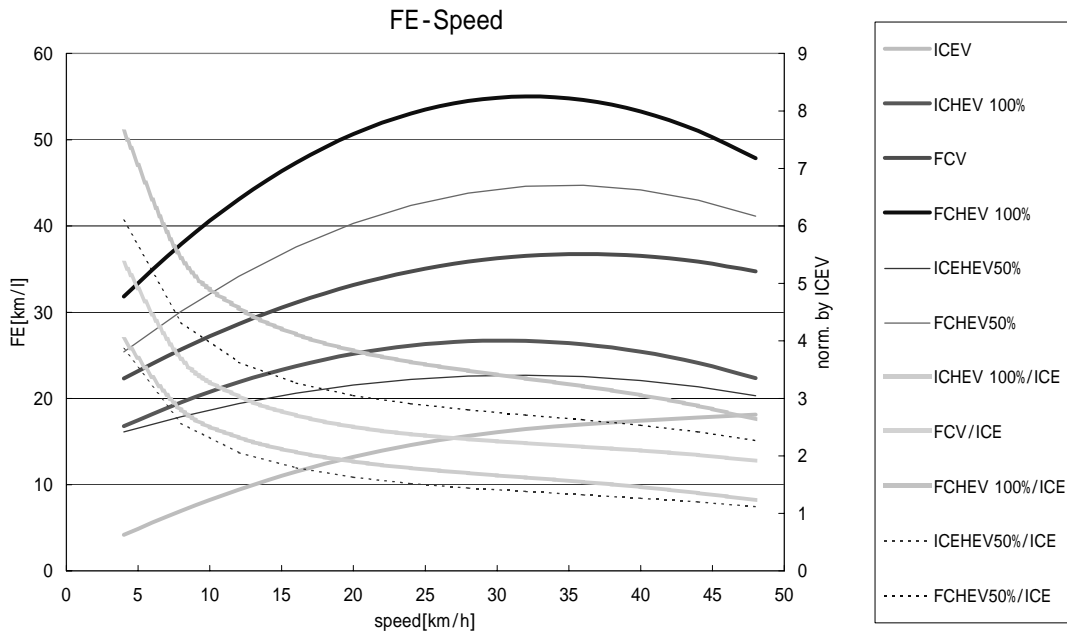


図 5-3-12 シミュレーションによる速度別燃料消費量

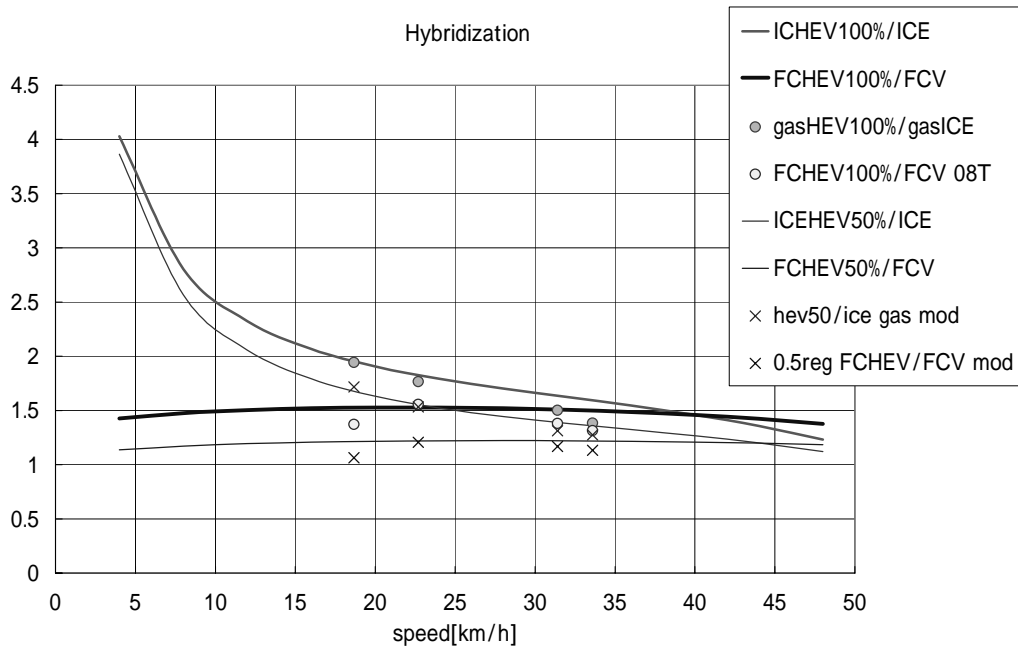


図 5-3-13 シミュレーションによる速度別燃料消費量の比較

(5) ハイブリッド車の回生率について

ハイブリッド車など二次電池を搭載した電気駆動自動車の回生制動は、燃費向上に大きく寄与する。しかしながら回生率はモータが1個の場合には前輪あるいは後輪のみを駆動する関係で、制動時にもその負担分のみのエネルギー回収が可能であって、一般には走行エネルギーの50 - 60%が限界と考えられる。ただし、トヨタのエスティマのようにモータが全輪を駆動する構造になっている場合には100%のエネルギーが回収可能である。要するにコストを上げれば50 - 100%までの間でエネルギー回収が可能となる(低速のコンバータロス、急ブレーキの過大電流阻止などの限界を除く)。一軸の電気駆動系でも理論的には100%近くを前輪、あるいは後輪の駆動軸に集中することも可能であるが、高速時の回生エネルギーの大きい場合の安全性、あるいはブレーキのフィーリングなどから制約される。他方で、少なくとも50%程度の回生率はどんな場合でも可能と考えることが適当と思われる。そこで、今回の検討においては、回生可能な発電機電力の50%が電池に有効に回収されると仮定した。

5-3-2 個別要素

(1) 内燃エンジン(ICE)

ガソリンエンジンモデルは代表的な1500cc市販車に既に搭載されて実績のある複数のガソリンエンジンの特性を単純平均した数値に基づいて特性を決定し、これを現状の最新技術を反映した代表的な特性として用いている。図5-3-14は平均値マップに基づく回帰式モデルによって計算された効率マップである。また限界トルク出力も各データの平均値で定義した。

ディーゼルエンジン小型乗用車は日本では主流でないことから機種が豊富でなく、特定の種類に限定されること、また、新型ディーゼルが少ないために全体として性能がヨーロッパに比べると劣る可能性が大きいこと等により、複数の効率マップを得るのはきわめて困難である。これに対してヨーロッパでは高効率エンジン搭載の小型ディーゼル車がすでに普及しており、例えば、FIAT、VWなど、高効率ディーゼルエンジン特性もいくつか公表されている。他方ディーゼルハイブリッド車は近い将来ではFCVと競合する最も効率の良い車の一つと期待されている。このような状況の中で、本調査ではディーゼルエンジンについては、最新の技術を反映するため、実際にPASSATに使用されているエンジンの公表データ^{注)}を利用してモデルを構築した。

図5-3-15は公表された特性に基づくディーゼルエンジンモデルの効率である。この効率は日本のデータによる平均値と比べるとピークでは非常に高く、また低速から高速まですべての領域でもかなり高い。このモデルの妥当性を検証するため、エンジン出力、重量等の車両パラメータをPASSATに合わせシミュレーションモデルによる計算を

注) Realizing Future Trends in Diesel Engine Development, B.Georgi, S.Hunkert, J.Liang and

行った結果、効率の計算値が PASSAT のエネルギー効率公表値とかなり良く一致することを確認した。検討会では、この VW エンジンマップを最新技術レベルを代表するものとしてディーゼル乗用車の評価に用いることで各委員のコンセンサスを得た。

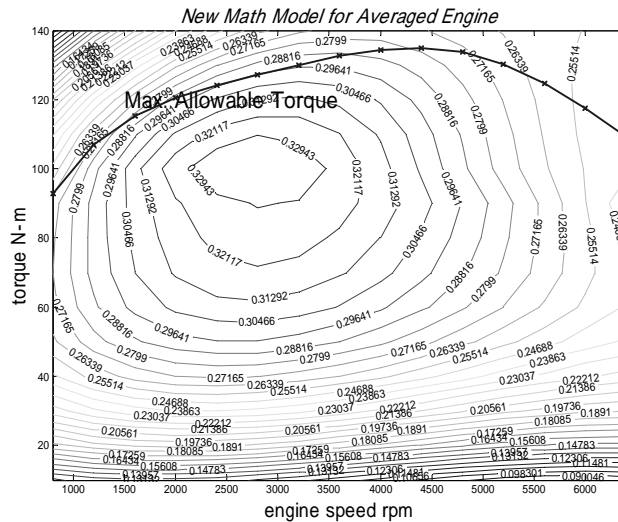


図 5-3-14 ガソリンエンジンモデルの効率マップ

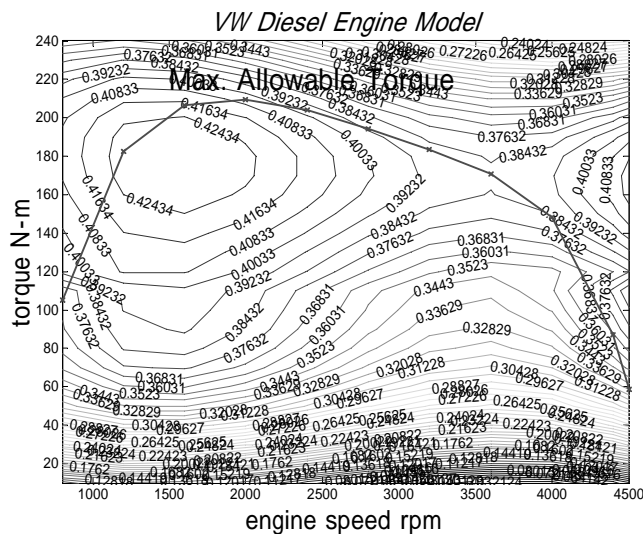


図 5-3-15 ディーゼルエンジンモデルの効率マップ

(2) FC スタック、リフォーマ(改質器)の特性の検討

今回の新モデルでは、FC スタックとリフォーマの効率について再検討を行い、現在取得可能な各種の関連情報に基づき数値を変更した。これらの情報の内、表 5-3-2 に示される数値を、FC スタックシステムの(最高)効率の推定値の上下限として新モデルに導入した。

図 5-3-16 は上記 4 種類のピーク効率に対応する FC スタックモデルにより計算された効率曲線のグラフである。これらは FC 単セルの VI 特性を用いて MEA, コンプレッサ等のパラメータ, その他補機の消費エネルギー等を適宜仮定してスタックシステムのピーク効率の仕様に合うよう調整したものである。

表 5-3-2 燃料電池スタックシステムの最高効率推定値

		Direct Hydrogen	Methanol Reformer Type	Gasoline Reformer Type
FCstack	min	60 ^{*1}	55	55 ^{*3}
	max	65 ^{*2}	60	60
Reformer	min		80 ^{*4}	75
	max		85	80 ^{*4}

- 1: DOE Freedom Car 2015 target
- 2: Policy Study Group for Fuel Cell Commercialization Required spec. for mass penetration after 2010
- 3: DOE 2008 target
- 4: DOE 2008 target

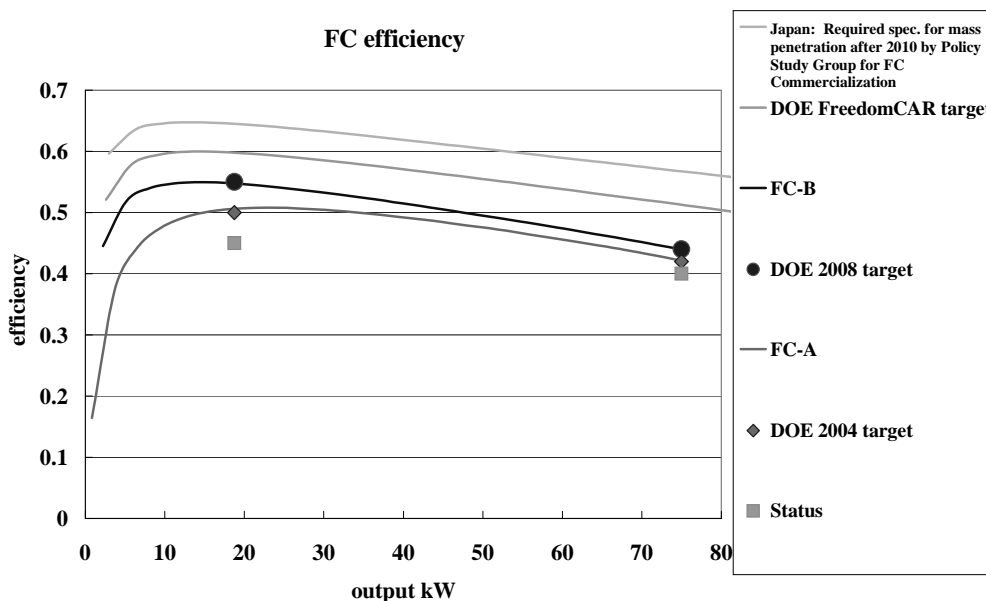


図 5-3-16 検討した FC の特性

(3) モータの特性

基本的にはこれまでのモデルを用いているが, max.current は 80kW と 35kW 時の数値が低すぎたので次のとおり変更した。

$$\text{maxcur80} = 800: ' 2001/12/6 \text{ from } 400$$

$$\text{maxcur35} = 400: ' 2001/12/6 \text{ from } 175$$

再計算したモータ効率マップは以下のとおり, 高トルクまで動作領域が伸びて一般的

な特性になった。(図 5-3-17)

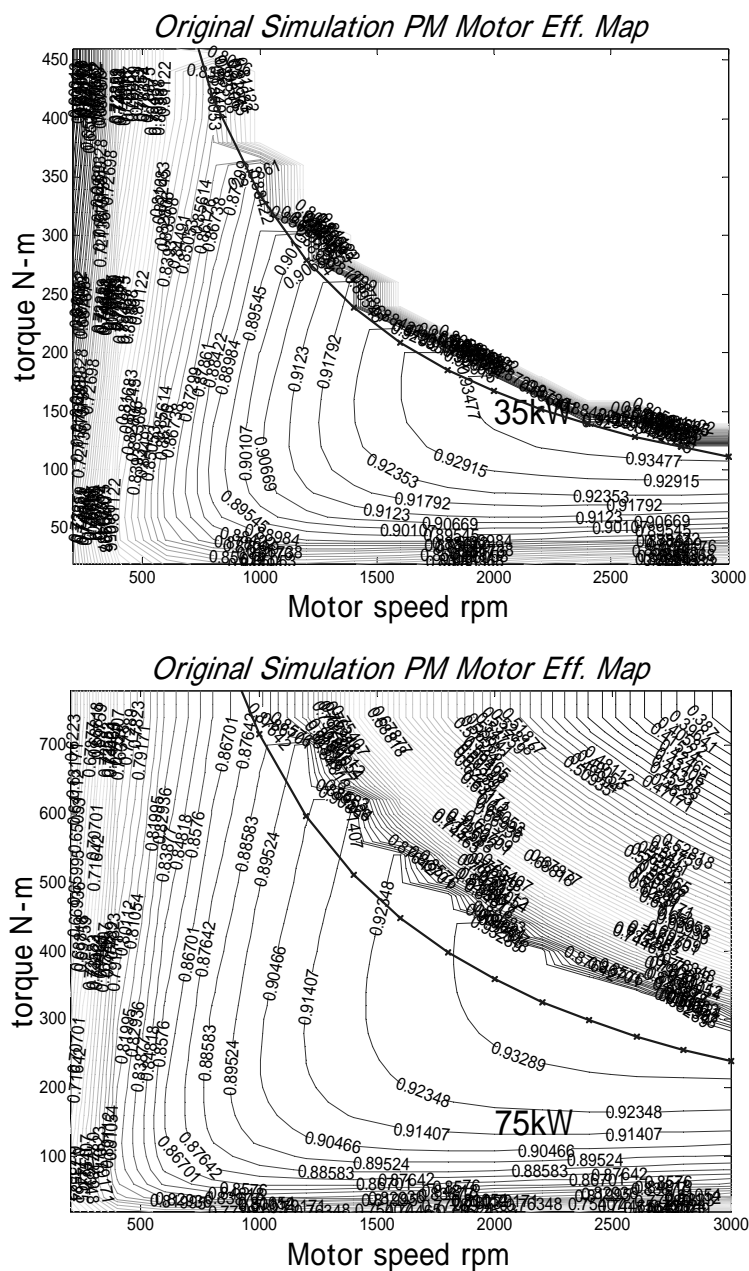


図 5-3-17 モータ効率マップ(再計算後)

5-3-3 Tank-to-Wheel 効率(燃費)の評価結果

本比較分析において、TtW 効率は次の3つの指標で表すものとする。

1. 燃料種と関わりなく、同等車がある走行パターンを走行した場合の燃料消費率 MJ/km。これは同一輸送サービスに必要なエネルギー消費率を示すものである。

2. ガソリン等価の燃費，距離 [km] / (1 リットルのガソリン，あるいは同等のエネルギー含有量)。
3. 自動車の等価効率； (基準ガソリン ICE 車の力行時の軸出力エネルギー) / (その車種の入力燃料エネルギー) と定義。この出力エネルギーはその車種の実際の軸出力とは異なる。等価効率はガソリン等価燃費に比例し，同一機能の自動車のエネルギー消費を表す指標と考える。

(1) 分析ドライブサイクル

ドライブサイクルは，ECE15，10・15mode，FUDS，NEDC，US Highway の 5 種類を考える (図 5-3-18 ~ 図 5-3-21)。なお，ECE15 は NEDC の最初の 195 秒間の低速部分である。

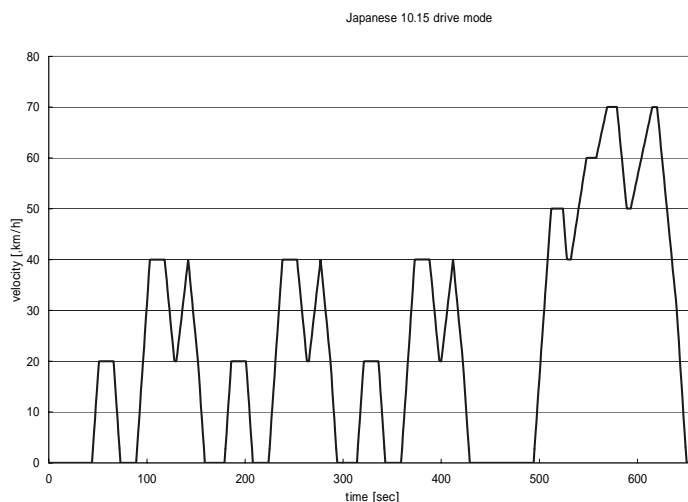


図 5-3-18 10・15 モードの走行パターン

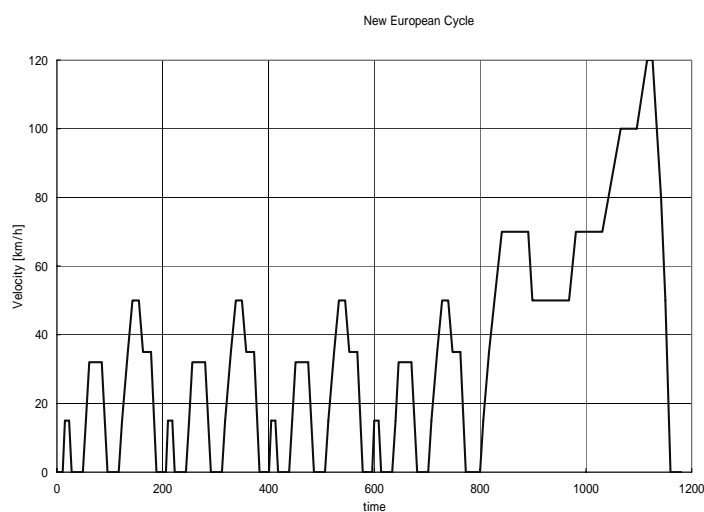


図 5-3-19 NEDC の走行パターン

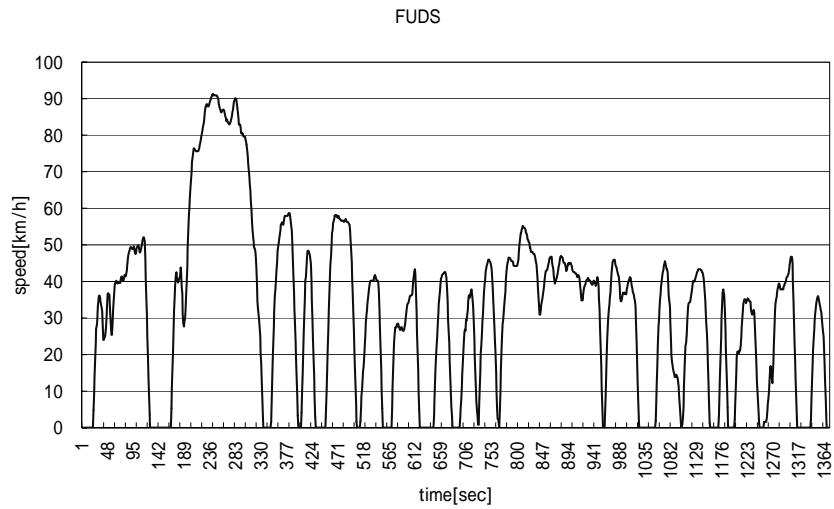


図 5-3-20 FUDS の走行パターン

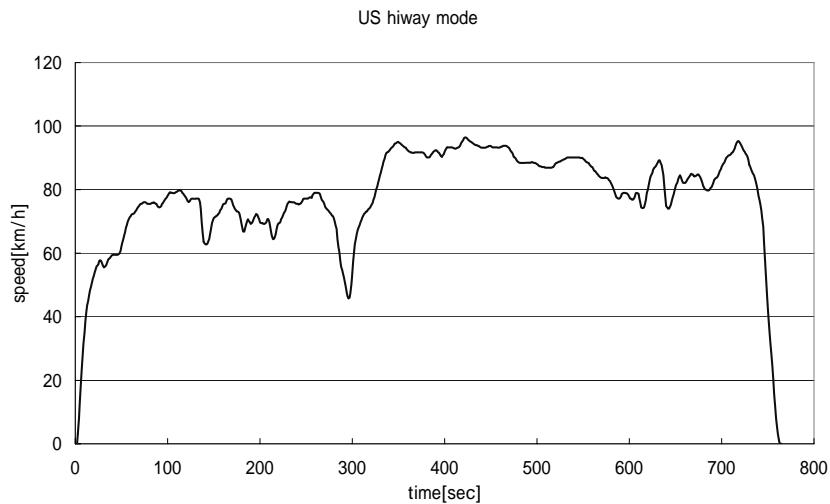


図 5-3-21 US Highway の走行パターン

(2) 計算結果

図 5-3-22 は各走行パターン毎の各小型乗用車のガソリン等価燃費 [km/L] を表す。グラフは左から平均速度の順に 5 つの走行モード毎に各車種の燃費を示す。それぞれの走行パターンに示す数値はその平均速度 [km/h] を示す。グラフでは各々の走行モード毎に以下の各種の自動車の燃費を比較している。

- 1)基準ガソリン ICEV , 2)ディーゼル ICEV , 3)ガソリン ICEHEV , 4)ディーゼル ICEHEV
- 5)圧縮水素 FCHEV , 6)圧縮水素 FCV , 7)液体水素 FCHEV , 8)液体水素 FCV ,
- 9)水素吸蔵合金 FCHEV , 10)水素吸蔵合金 FCV , 11)メタノール改質型 FCHEV , 12)

メタノール改質型 FCV , 13)ガソリン改質型 FCHEV , 14)ガソリン改質型 FCV , 15)
純 EV

なお 6) から 10)の各種燃料電池車の推定幅は前述の FC スタック , および改質器効率の上下限に対応し , 将来技術の不確定性を幅を持たせて表示したものである。重量は水素の貯蔵方式によって異なる。HEV と EV については , 回生可能な発電機出力の 50% が電池に有効に回収されると仮定する。また , 最近の車両は一般に各種機器の制御系 , メンテナンス情報処理 , 各種通信処理など自動車の走行以外にいわゆるハウスキーピングで一定の電力を消費しており , その絶対値は自動車の性能向上とともに増大している。他方で全体の走行効率が改善されてくるとこれらのエネルギー消費は必ずしも無視できない場合があって , ここでもすべての車両について走行以外に一定の電力消費(100W)のエネルギー消費を加算して評価する。

以下にこれらの結果から示される各車両 , 駆動方式の燃費にかかわる特性を要約して示す。

ICEV は平均速度の上昇と共に燃費が改善され , 基準ガソリン車では US ハイウェイモード (以下 USH) は 10・15 モードの 1.5 倍となる。ディーゼル車は USH で 10・15 モードの 1.8 倍となる。

ICEHEV では低速走行パターンでは高い燃費を示すが , 速度上昇と共に燃費は低下する。ガソリン HEV は 10・15 モードで 23.1km/L , USH で 21.7km/L である。ディーゼル HEV ではそれぞれ 29.5 , 28.4km/L と低下するがその変化は少なく , ガソリン ICEV に比べて高速でも極めて効率がよいという結果を示している。

FCV は高速でもガソリン ICEV と比較して高効率を示す。FCV の推定幅は FC スタック , および改質器効率の上下限の仮定に対応し , 将来技術の不確定性を表すものである。

EV は , バッテリーに充電された電力エネルギーをタンクに貯蔵されたエネルギーと考えるので燃費 , あるいは TtW 効率は他と比較してきわめて大きな値となる。この高効率は再生可能エネルギーによる発電の場合を除いては , WtW の評価においてキャンセルされる。

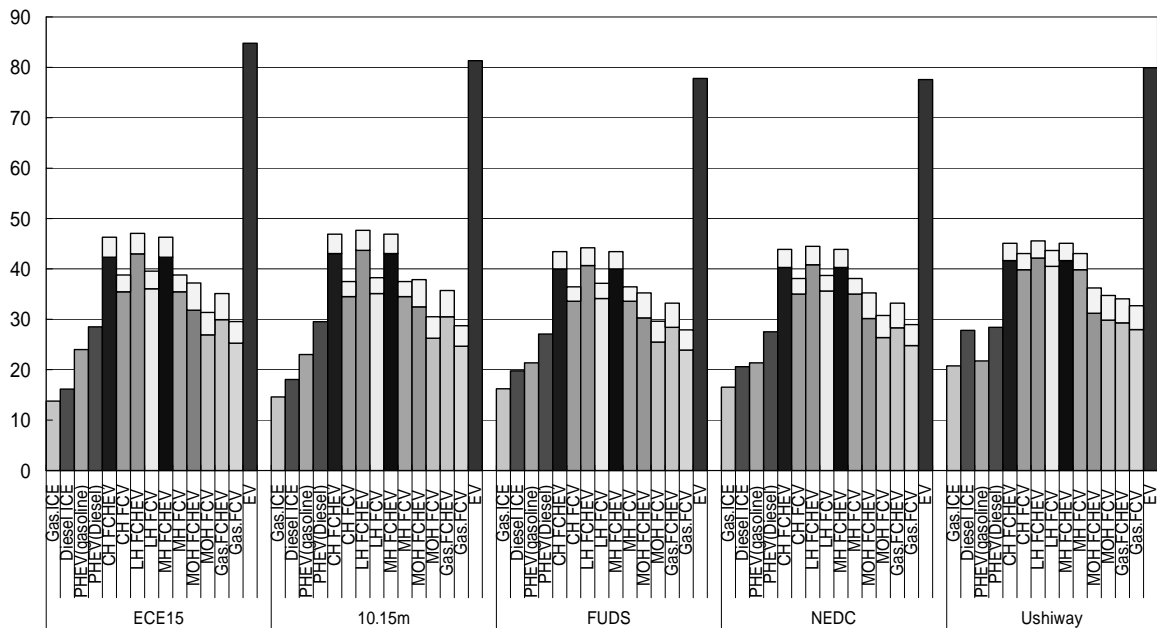


図 5-3-22 走行パターン毎の各小型乗用車のガソリン等価燃費 [km/l]

図 5-3-23 には上と同じ結果を各パターン毎に基準ガソリン ICE 車の燃費で正規化した値を示す。これから各走行パターンについて ICE 基準車からの燃費改善の様子がはっきりと示される。この結果から示される特性は以下のとおりである。

一般にすべての比較対象車種は、すべての走行条件において基準ガソリン ICE 車よりも TtW のエネルギー効率が改善される。

ディーゼル ICE 車は 10・15 モードから NEDC までは基準 ICE 車の約 1.2 倍であるが、高速の USH で 1.33 倍と一層上昇している。

ガソリン HEV は、10・15 モードでは基準 ICE 車の 1.6 倍であるが、NEDC では 1.2 倍、また USH では 1.05 倍となり高速走行ではハイブリッド化の効果が減少する。すなわち都市走行では非常に効果が大きい反面で、高速ではその効果は失われる傾向がある。USH ではその効果はほとんどみられない。

水素利用の各種 FCV と FCHEV は各走行パターンで高効率を示す。FCV の場合、燃費は走行条件により多少変化するが、FCHEV ほど差はない。CH の FCHEV (上限) は、10・15 モードで基準車の 3.2 倍、USH で 2.2 倍である。FCV のハイブリッド化の効果も低速走行で大きく、高速走行では低下する。

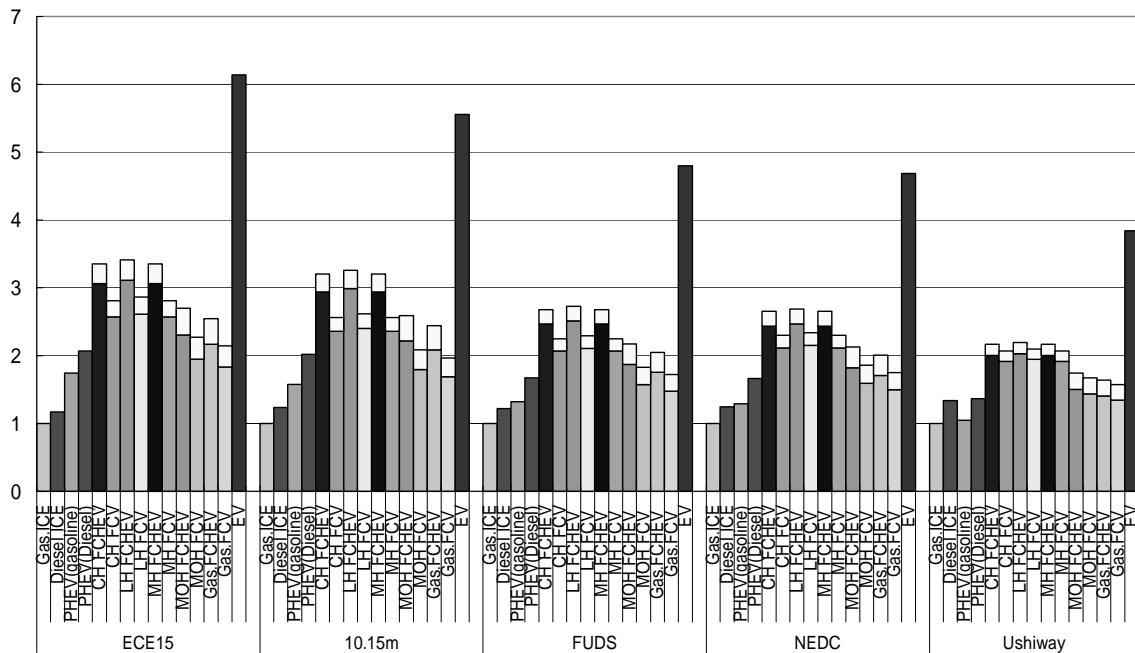


図 5-3-23 走行パターン毎の各小型乗用車のガソリン等価燃費 (基準車との相対値)

次に、図 5-3-24 は各走行パターンにおける各自動車の上述の定義による等価 TtW 効率を示したものである。同図には同時にトヨタ ICEV, ICEHEV, FCHEV, DCX (ダイムラークライスラー) の FCV の公表値を参考に載せた。トヨタのデータは 10・15 モード, DCX データは NEDC の本分析結果と比較している。トヨタ FCHEV は CHFCHEV のモデル計算値の上下限値の中間にある。一方, DCX 車は LHFCV のモデル計算値の下限値より低い, 前回の報告に記載されるように, FC スタック効率として 2004 年の DOE の目標値を仮定したモデル計算とはほぼ一致していることが確認されている。ただし, これらの公表された効率は, 本来の物理的な効率という意味で定義されているはずであり, 等価効率で考えた場合はさらに低い数値となるはずなのでこの点には注意する必要がある。

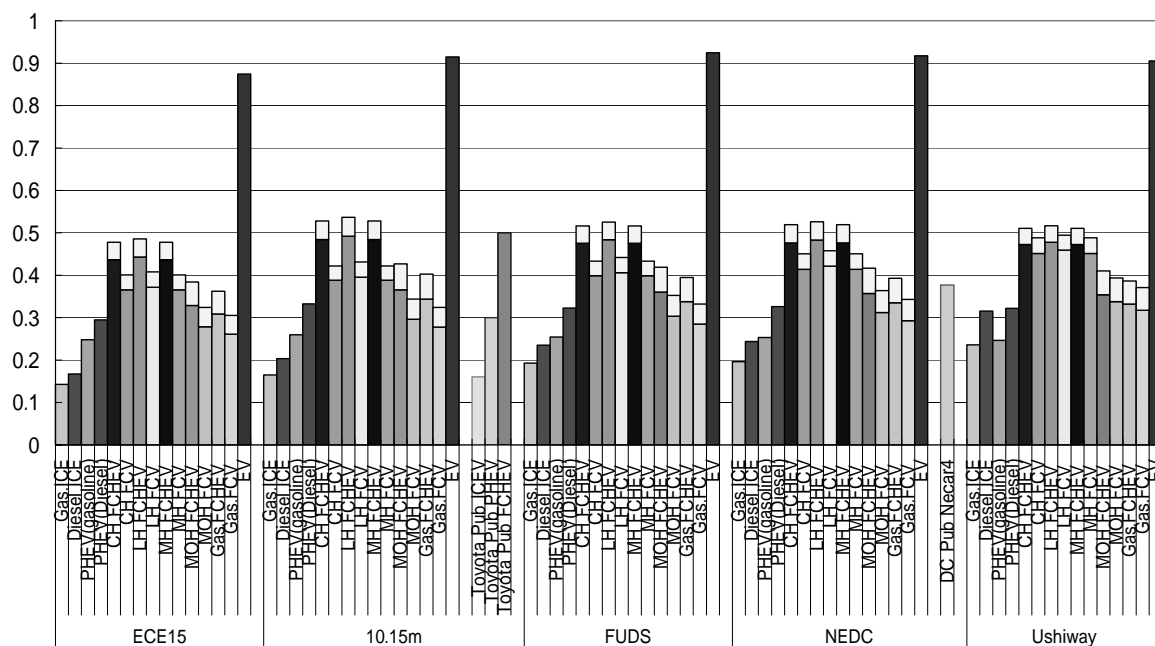


図 5-3-24 走行パターン毎の各小型乗用車の TtW 効率(実績値との比較)

上記の結果から各車両，駆動方式の TtW 効率の特性は以下のように要約される。

一般にすべての対象車種は，基準ガソリン ICE 車と比較して TtW のエネルギー効率（ガソリン等価）を改善する。

評価した走行パターンの速度範囲内では，ICEV の TtW 効率は速度の上昇と共に改善される。

低速度の都市内走行ではハイブリッド化の効果は非常に大きい，高速ではその効果は減少する。USH モードではほとんど効果がない。FCHEV についても同様の傾向がみられる。

水素利用の各種 FCV は全走行パターンで基準車の 2 倍程度をカバーしていて，その効果は低速走行パターンで顕著である。ただし，燃料電池車は燃料体系が完全に異なるので，ICEV との比較では WtW 効率の検討が必要となる。

水素利用の FCHEV の TtW 効率は 10・15 モードでは基準 ICEV の 3 倍以上を示すが，速度上昇に従って燃費が劣化する。ただし，改質型 FCV のハイブリッド化は，その起動，負荷追従性から 2 次電池の必要性が認識されており，その観点からはきわめて有効な対応策といえる。

5-4 Well-to-Tank 効率の検討のための燃料パス

燃料パス,すなわち WtT 効率を決定する 1 次燃料取得から自動車搭載燃料までのパスのオプションとしては,近い将来まで含めて日本の実状で考えられるパスを中心として石油起源,天然ガス起源のルートを対象とする。日本では再生可能エネルギー資源のポテンシャルは低く,人件費の高さや急峻な地形などからコスト面でも既存エネルギーとは比較にならない。また日本は国土も狭く,電力網も完備していることから,再生可能エネルギーによる電力は直接電力として利用の方が効率がよい。しかしながら日本の実状を把握した上で,長期的には再生可能資源を含む他のオプションの評価も必要と思われるので,自然エネルギーに関する WtT 効率評価の枠組みは用意している。国内における再生可能エネルギーの開発は難しいとしても,海外から電力を液化水素,あるいはメタノールに変換して輸入するケースはあり得る。また日本では原子力発電も主な電力エネルギー源であり CO₂ 排出削減のための代替エネルギーとしては重要と考えられる。

図 5-4-1,図 5-4-2 に現時点の燃料パスを図示する。自動車燃料としては液体炭化水素系燃料だけでなく,CNG や水素のような気体燃料もとくに FCV への利用に関して評価している。基本的には WtT 効率は可能な限り,過去 2 年間に渡り行われた PEC による評価データを用いて,経済産業省の関連プロジェクトで行っている分析の整合性を保つことを心がけた^{注)}。PEC の評価は日本の現状を示すことを目指しており,一部近い将来の予測も含まれるが,基本的にデータは実測値に基づいており,前回の報告における WtT 効率の不確定性による推定幅はかなりの部分,とくに実存する原油,天然ガス起源のパスについては取り除かれた。

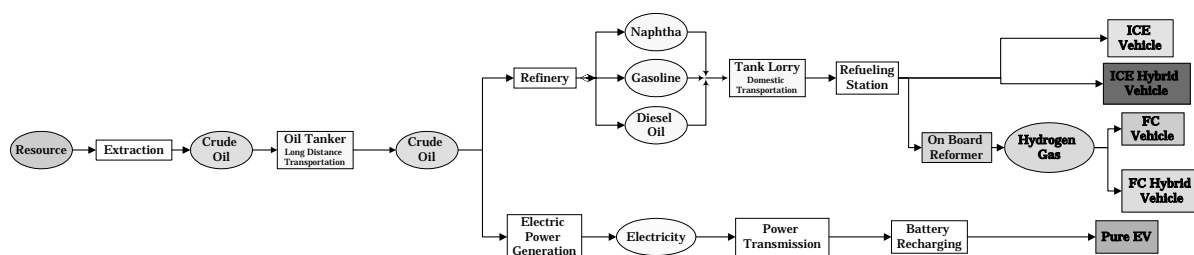


図 5-4-1 原油からの燃料パス

図 5-4-2 に簡略化した天然ガス起源の燃料パスを示す。ここでは背景色で燃料の形態上の種別を示し,図中右端上部からガス,極低温液体,(常温)液体各燃料,および電力を表す。その順に,輸送,取扱いが次第に容易になる(ただし電力の長距離輸送は除

注) PEC-2001L-04 Report, Report on LCI of Transportation Fuel, --Comparison of FCEVs and conventional vehicles--, Petroleum Energy Center, 2002/4

く)ことを示している。天然ガスは、長距離輸送に際して当然、極低温液体あるいは液体炭化水素燃料に変換する必要がある。これらの変換プロセスでは必然的にエネルギーロスが生じるため、このような WtT の効率評価が重要となる。

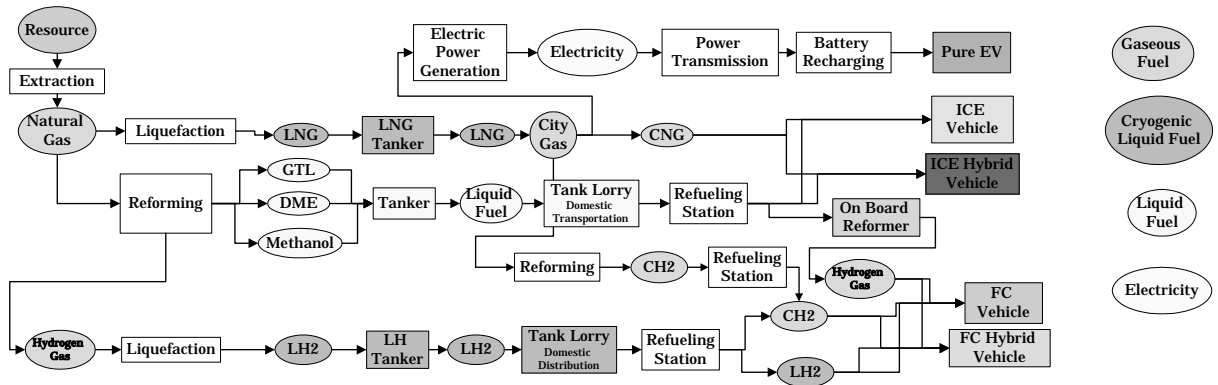


図 5-4-2 天然ガスからの燃料パス

図 5-4-3, 図 5-4-4 に一次エネルギー源から主な燃料パスに沿ったプロセス毎の積算 WtT 効率を示す。ここで燃料変換プロセスの不確かさは推定幅を持って示される。推定幅は前回の報告と比較すると狭められているが、現時点では存在しない燃料変換プロセスについては PEC の評価結果データも無いいため大きな推定幅は残されたままである。しかしながら、少なくとも石油起源の燃料については、石油産業による調査結果を用いたことにより不確かさが狭められた。

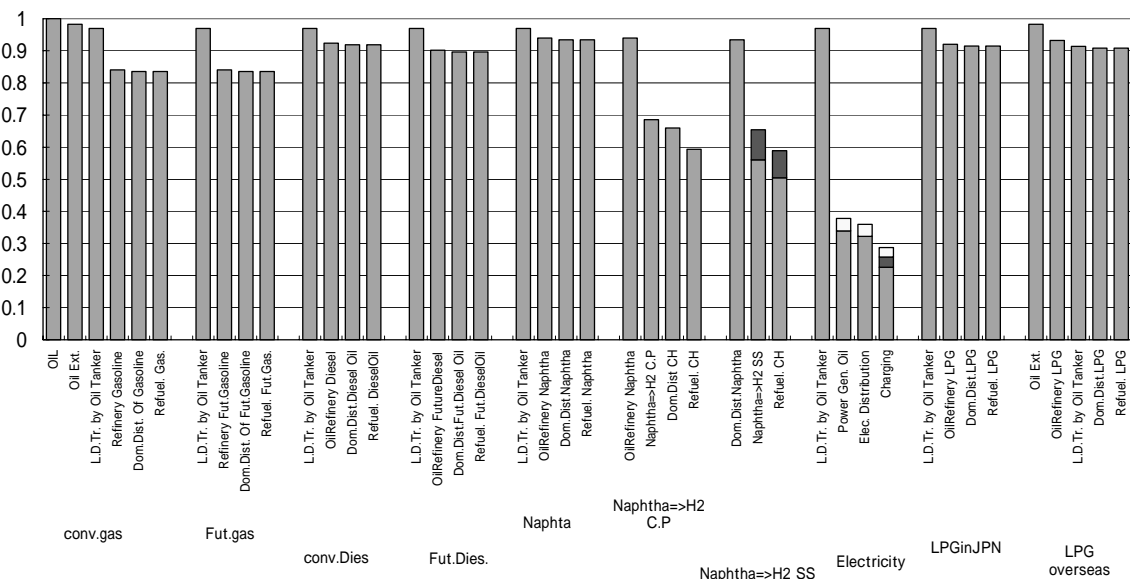


図 5-4-3 原油から WtT 各プロセスまでのエネルギー効率

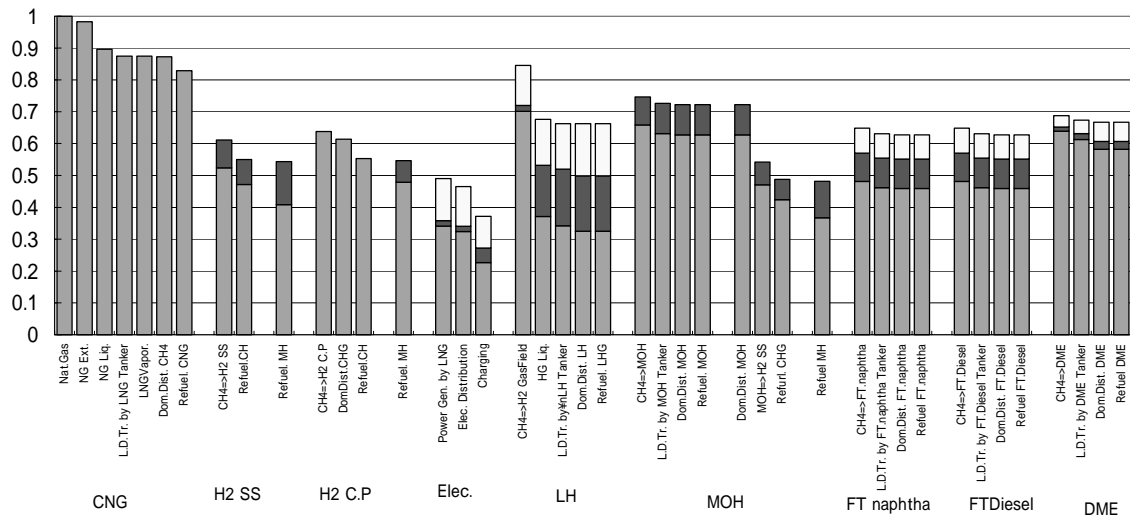


図 5-4-4 天然ガスから WtT 各プロセスまでのエネルギー効率

5-5 Well-to-Wheel 総合効率の試算：各車種，燃料種別による比較

以上の WtT と TtW の評価を結合して，各車種の燃料種別および燃料パス別の WtW 総合効率と CO₂ 排出量について比較分析を行う。この結果，各種の FCV，FCHEV の WtW 総合効率は燃料パスにおける WtT 効率の不確定性と将来の FC スタック効率の不確定性の双方によりその不確定性が拡大し，大きな推定幅が残るものが存在する。

5-5-1 WtW エネルギー効率の検討結果

WtT と TtW 分析の結合により，WtW 効率も TtW と同様に各走行パターン毎に得られるが，その特性は TtW 効率の走行パターンに対する特性を反映する。次に分析結果の例を示す。

図 5-5-1，図 5-5-2 は，10・15 モードと NEDC モードにおける各車種の燃料種（パス）別 WtW エネルギー効率を表す。各グラフは左から ICEV，ICEHEV，FCV，改質型 FCV，FCHEV，改質型 FCHEV，そして EV のグループを表し，それぞれの車種について燃料種別の WtW エネルギー効率を比較している。効率の推定幅，とくに天然ガス起源のパスに関する不確定性の大きな推定幅は WtT，TtW のどちらか，あるいは両方の不確定性により生じたものである。

この結果以下の点が示される。

ICEV の WtW 効率は燃料種（ガソリン，将来型ガソリン，ディーゼル油，将来型ディーゼル油，CNG，FT ディーゼル油，メタノール，水素）により大きく異なる。とくに天然ガス起源の合成燃料を用いた ICEV はどれも WtW 効率が低い。これらの中ではディーゼル油の効率が高い。

基準 ICEV と比べて，FCV は WtW 総合効率が高い。

基本 ICEV のグループに比べて，高速走行では FCHEV，FCV の優位性は低下する。しかし，これ等の代替車種の効率が速度上昇と共に劣化することを意味するわけではない。ICEV は走行パターンに非常に影響を受けるが，他の車種は低速走行になってもあまり影響を受けないということを示すものである。

FCV の ICEHEV に対する優位性は低速ではあまり大きくない。

その上，複雑なパスを通る合成燃料，水素システムは，FC スタックとともに不確定性が高いため FCV の WtW 総合効率の推定幅は広くなって，一概に他車種との優劣が断定できないので，その比較には注意する必要がある。

FCHEV を含めた FCV について，液化水素の不確定性はとくに顕著である。長距離タンカー輸送は実績が無く効率に関しても不確定性が高いが，その上限は WtW で最高効率を示す。すなわち LH は不確定性は高いが，優れた WtW 効率実現の可能性が残る。今後，より精度の高い検討が必要である。ガソリン改質型 FCV も高効率である。

ICEHEV と FCV の効率の相対的優劣は微妙である。とくにディーゼル HEV は WtW 効率に優れておりすべての FCV と FCHEV より高い効率を示す。ガソリン改質 FCHEV のみがこれを凌駕するが、これは技術的に未完成で、しかもその将来の目標値の上限値が実現されたときに初めてディーゼル HEV を超えるにすぎない。

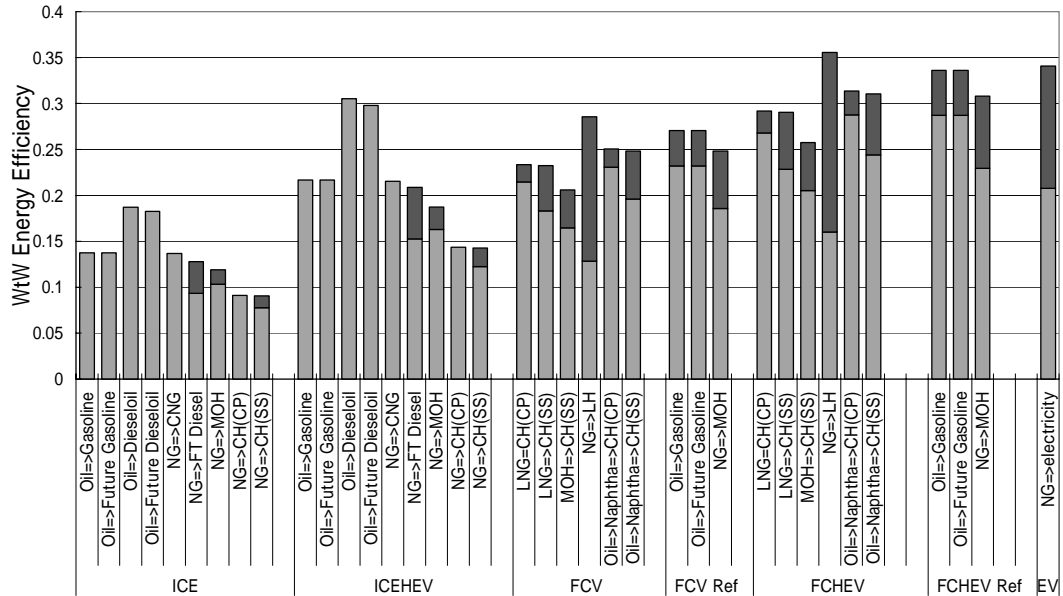


図 5-5-1 WtW 効率(10・15mode)

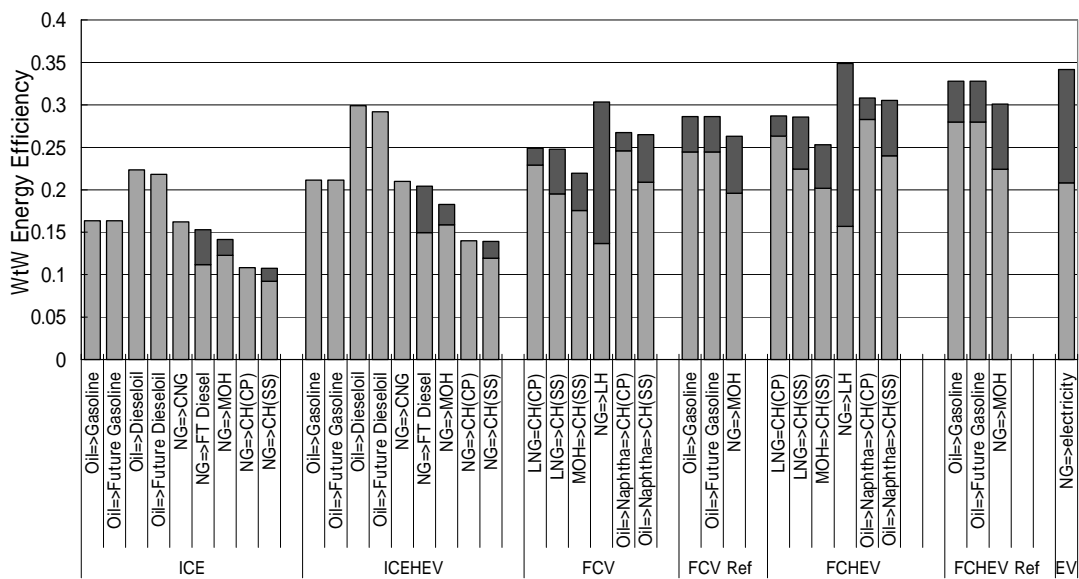


図 5-5-2 WtW 効率(NEDC; hot start)

5-5-2 主要な WtW パスの比較

次に上記の WtW 燃料パス，自動車駆動システムから主なものを取り出して，WtW エネルギー消費率 [MJ/km] ，同エネルギー効率，同 CO₂ 排出量 [gr/km] それぞれについて全走行パターンを 1 つにまとめたグラフを示す。以下のグラフでは WtT 効率は PEC のデータを，推定幅のあるものについては中央値をとっている。TtW に関しては，圧縮水素 FCV，FCHEV では FC スタック効率 60% と 65% を並べて比較しているが，LH，メタノール，ガソリン FCV では効率上限の FC の場合を示す。すべてのグラフで，同一燃料は同じ色で表示される。

図 5-5-3 は全走行パターンの WtW エネルギー消費 [MJ/km] を並べて表示したもので，数値の低いものが高効率を表す。FC スタック効率の上限を仮定すれば，ガソリン改質 FCHEV が最高の効率となり，これに次いでメタノール改質 FCHEV，ディーゼル HEV がよい値を示す。

図 5-5-4 は同様の結果を各走行パターンの基準ガソリン ICEV の WtW エネルギー消費で正規化したグラフである。この図では基準車からの効率改善の様子がはっきりと示される。グラフに示されるようにディーゼル HEV は FCV と同様にどの走行パターンに対しても高効率を示す。ハイブリッド化の効果は高速では減少するため，USH モードではディーゼル ICEV の効率は同 HEV の場合とほとんど等しく，直接水素の FCV，FCHEV よりも高いことが示される。

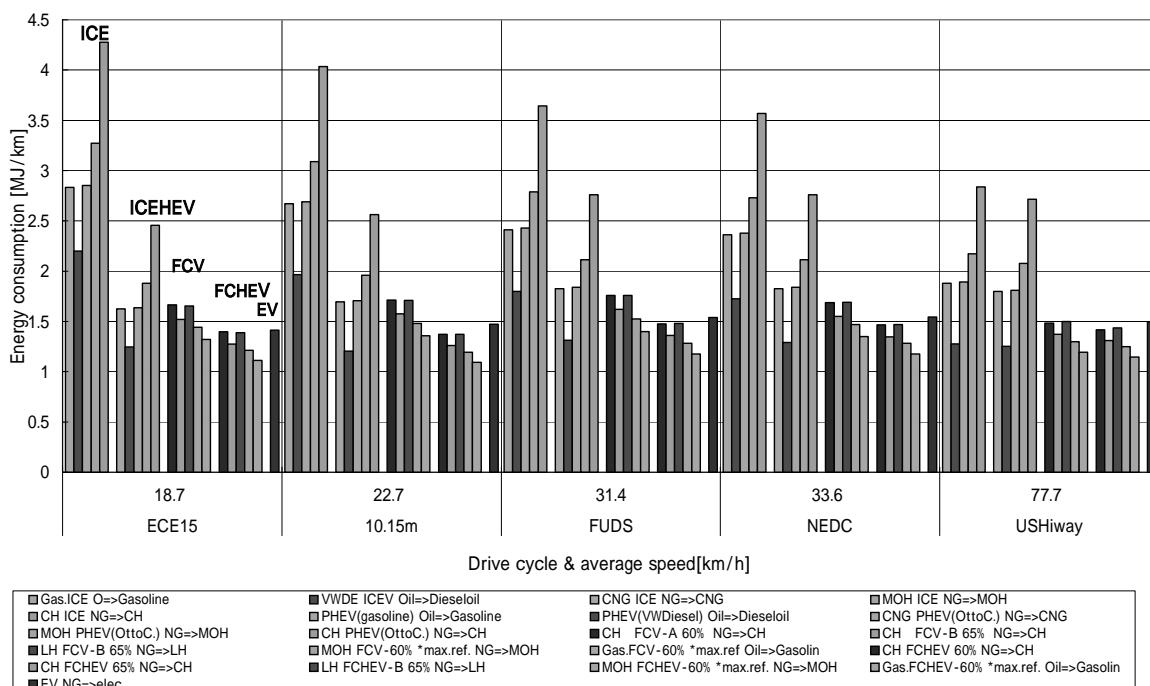


図 5-5-3 走行パターン毎の各小型乗用車の WtW エネルギー消費

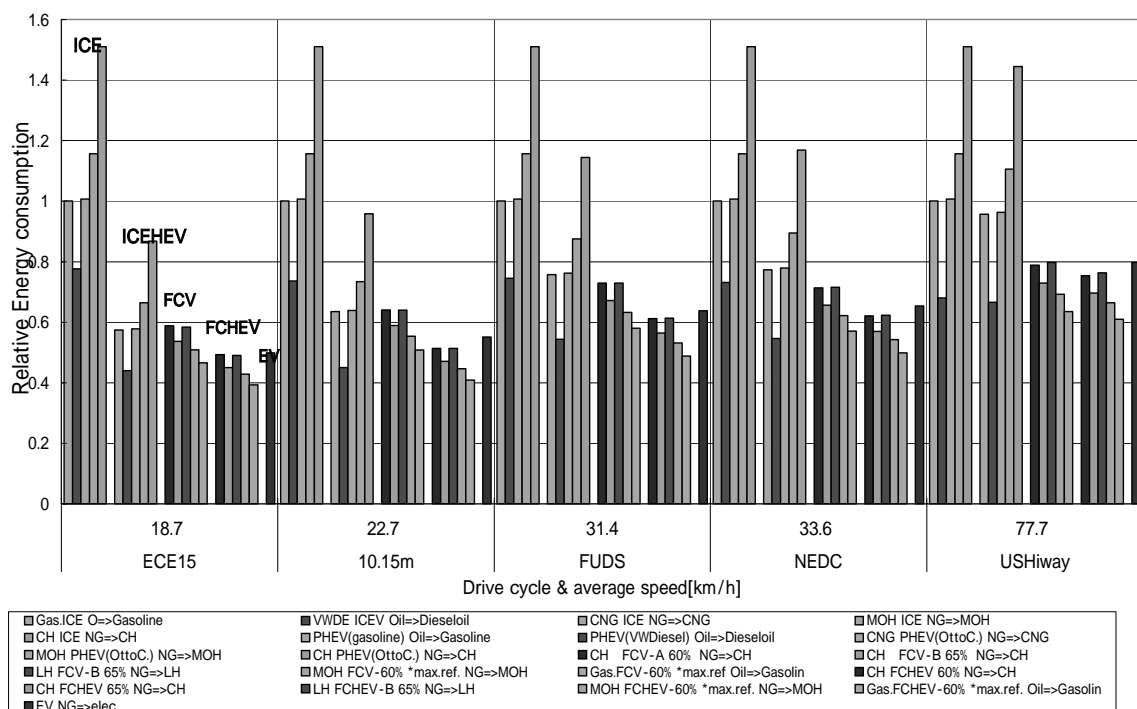


図 5-5-4 走行パターン毎の各小型乗用車の WtW エネルギー消費 (基準車との相対値)

図 5-5-5 は、上と同様の各種自動車 WtW の CO₂ 排出量 [gr/km] を表し、全走行パターンを並べたものである。当然ながらこれは WtW エネルギー消費率とほぼ同様な傾向を示すが、石油系燃料と天然ガスの CH 比の差から単位エネルギー当たりの CO₂ 発生率が天然ガスは石油の 3/4 となるため、FCV では天然ガス系が有利となる。とくに WtW 効率でもっとも有利だったガソリン改質型 FCV が、ここでは他の天然ガス系の FCV よりやや悪くなる。このグラフのように FC スタック効率の上限値を仮定すれば、全般的に FCV、FCHEV と EV は WtW でも 100gr/km が達成可能である。ディーゼルハイブリッドも高効率効いて全走行パターンで 100gr/km 以下となることが示された。

本研究では評価対象外としているが、もしも水素が再生可能エネルギーにより生産されれば、WtW の CO₂ 排出量は 0 まで削減可能である。これは EV についても同様である。これは燃料供給の多様化、石油輸入国のエネルギー安全保障の強化に貢献するものである。

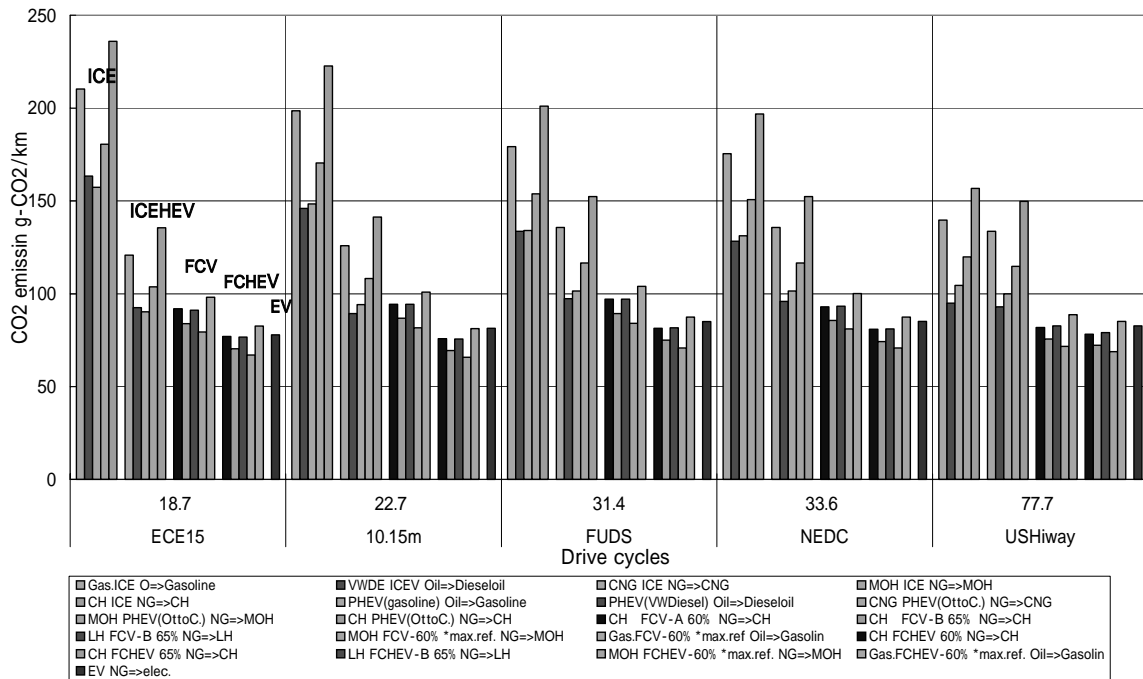


図 5-5-5 走行パターン毎の各小型乗用車の WtW CO₂ 排出量 [g-CO₂/km]

5-6 まとめ

本検討によって、多様な車種の、様々な燃料パスに対する WtW エネルギー効率と CO₂ 排出量が定量的に評価された。とくに分析の前提条件は、自動車メーカーを主なメンバーとする「総合エネルギー効率検討会」で精査した上での決定に従うものである。

主要な結論は以下に要約される。

多様な標準的走行パターンに対して、種々のドライブトレインによる小型乗用車の WtW 効率分析を行った。

この分析においては、とくに同一性能車両の TtW 効率について、日本の自動車メーカーと情報交換を行い、情報収集した結果に基づき、汎用モデルを用いて詳細に分析を行った。

現在入手可能な唯一の公表データである FC スタック効率の将来目標値を用いた場合は、FCV は最善の性能を示す。しかしながらこれは FC スタック効率に依存するところが大きい。

分析結果は、将来技術の不確定性や燃料パスにおける輸入シェアや操業状態などによって大きな不確定性が残ることを示している。WtT 分析に関しては経済産業省内の分析の整合性を保つためにも PEC の検討結果を用いている。

近い将来に対して、ディーゼルハイブリッド車の総合効率は高性能を示す。将来の技術に対して、とくに大気環境保全システムの影響などの詳細な分析が必要である。

WtW 効率と CO₂ 排出量は将来の燃料選択と自動車技術開発において本質的な決定要因の一つである。しかしながら現実の戦略決定においては他の要素も考慮する必要がある。そのための重要な決定要因としてはコスト、技術的完成度、燃料インフラに関わる技術的障害、現存するインフラの利用可能性と原油依存度などが含まれる。実際の決定においてはこれらの諸評価基準を総合的に評価すべきである。

一般に、すべての FCV は、コスト、インフラ、あるいは技術的完熟性など多くの障害がある。しかしながらこのような障害と不確定性にもかかわらず、長期的にはエネルギー効率、CO₂ 排出、大気環境並びにエネルギー安全保障などから、総合的には高く評価される。今後、これらの WtW 効率以外の諸要因についても、更に十分な科学的、技術的根拠のある定量的、かつ詳細な検討が必要である。

WtT 分析については、日本で新しく検討が始まり、我が国の実証試験における結果を含むより信頼性が高く、詳細な情報により、WtW 分析の妥当性が増すものと期待される。

<参考1> CNG 車のエネルギー効率について

1. CNG 車とガソリン車の比較

1) エネルギー消費効率の比較

表-1 に CNG 車を含む各車の燃費，エネルギー消費量 (kcal/km) 等を示す。ここで，エネルギー消費原単位，CO₂ 排出原単位については表-2 の値を用いている。

表-1 各車の諸元とエネルギー消費量および CO₂ 排出量

車種	燃料種	燃料噴射方式	排気量 cc	車両重量 kg	圧縮比	10・15モード燃費		エネルギー消費量 (HHV) kcal/km (HHV)	エネルギー消費量 (LHV) kcal/km (LHV)	向上率 (LHV) %	CO ₂ 排出量 g-CO ₂ /km	備考
						ガソリン等価 km/Nm ³ ¹	km/l ²					
ハイゼットカーゴ	CNG	電子制御燃料噴射方式	659	950	12.8	20.6	17.6	485	437	11%	100	
ハイゼットカーゴ	Gasoline	電子制御燃料噴射方式	659	850	9.5	15.6	15.6	538	492		151	
ハイゼットトラック	CNG	電子制御燃料噴射方式	659	810	12.8	20.1	17.2	498	448	4%	103	
ハイゼットトラック	Gasoline	電子制御燃料噴射方式	659	720	10.5	16.4	16.4	512	468		144	
ミラバン	CNG	電子制御燃料噴射方式	659	770	12.8	22.5	19.2	444	400	-2%	92	
ミラバン	Gasoline	電子制御燃料噴射方式	659	690	9.5	19.6	19.6	429	392		120	
CNGミニカ	CNG	電子制御燃料噴射方式	657	815	10.2	23.0	19.6	435	391	-3%	90	
ミニカ	Gasoline	電子制御燃料噴射方式	657	690	10.2	20.2	20.2	416	380		117	
CNGミニキャブバン	CNG	電子制御燃料噴射方式	657	985	10.2	20.2	17.2	495	446	13%	102	
ミニキャブバン	Gasoline	電子制御燃料噴射方式	657	860	10.2	15.0	15.0	560	512		157	
CNGミニキャブバン	CNG	電子制御燃料噴射方式	657	1,045	10.2	17.3	14.8	578	520	-4%	120	
ミニキャブバン	Gasoline	電子制御燃料噴射方式	657	860	10.2	15.4	15.4	545	499		153	
CNGミニキャブトラック	CNG	電子制御燃料噴射方式	657	840	10.2	19.6	16.7	510	459	1%	105	
ミニキャブトラック	Gasoline	電子制御燃料噴射方式	657	730	10.2	16.6	16.6	506	463		142	
ワゴンR	CNG	電子制御燃料噴射方式	658	870	12.5	22.5	19.2	444	400	1%	92	
ワゴンR	Gasoline	電子制御燃料噴射方式	658	780	10.5	19.0	19.0	442	404		124	
エブリイ	CNG	電子制御燃料噴射方式	657	1,000	13.0	22.3	19.0	448	404	14%	93	
エブリイ	Gasoline	電子制御燃料噴射方式	657	780	10.5	16.4	16.4	512	468		144	
CNGカローラバン	CNG	電子制御燃料噴射方式	1,496	1,090	10.8	16.4	14.0	610	549	-1%	126	
カローラバン	Gasoline	電子制御燃料噴射方式	1,496	980	9.8	14.2	14.2	592	541		166	
ADバンCNG	CNG	電子制御燃料噴射方式	1,769	1,190	12.8	17.2	14.7	581	523	-12%	120	
ADバン	Gasoline	電子制御燃料噴射方式	1,497	1,110	9.5	16.4	16.4	512	468		144	
セドリックCNG	CNG	電子制御ミキサー方式	2,960	1,680	9.0	10.3	8.8	971	874	3%	201	
セドリック	Gasoline	電子制御燃料噴射方式	2,960	1,520	9.0	8.5	8.5	988	904		277	
CNGリベロカーゴ	CNG	キャブレター	1,468	1,130	9.2	14.4	12.3	694	625	-4%	144	
リベロカーゴ	Gasoline	エレクトロキャブレター	1,468	1,050	9.2	12.8	12.8	656	600		184	
シビックGX	CNG	電子制御燃料噴射方式	1,668	1,170	12.5	18.8	16.0	532	479	-8%	110	
シビックGX	Gasoline	電子制御燃料噴射方式	1,668	1,140	10.4	17.4	17.4	483	441		136	
デミオCNG	CNG	電子制御ミキサー方式	1,498	1,130	9.4	29.5	25.2	339	305	6%	70	
デミオ	Gasoline	電子制御燃料噴射方式	1,498	990	9.4	23.7	23.7	354	324		100	

1 ガソリン車の燃費は km/l

2 ガソリン等価燃費は LHV ベースで換算している。

3 向上率 = $\frac{\text{ガソリン車のエネルギー消費量} - \text{CNG車のエネルギー消費量}}{\text{ガソリン車のエネルギー消費量}}$ (LHV)

表-2 エネルギー消費原単位と CO₂ 排出原単位

	エネルギー消費原単位 (HHV)	炭素排出原単位 (HHV)	CO ₂ 排出原単位 (HHV)	エネルギー消費原単位 (LHV)
ガソリン	8,400 kcal/l	0.7658 g-c/kcal	0.2808 g-c/kcal	7,680 kcal/l
ディーゼル	9,200 kcal/l	0.7839 g-c/kcal	0.2874 g-c/kcal	8,544 kcal/l
CNG	10,000 kcal/Nm ³	0.5639 g-c/kcal	0.2068 g-c/kcal	9,000 kcal/Nm ³

注 1) CNG には都市ガス(13A)の発熱量を適用。出典は総合エネルギー統計。

注 2) 高位発熱量 (HHV) については総合エネルギー統計，低位発熱量 (LHV) については，IEA や IPCC で用いられている便宜的な換算方法を用いている。具体的には，高位発熱量を石油，石炭系は 0.95 倍，天然ガス系は 0.9 倍している。

収集したデータについて、単純に軽自動車、乗用車（登録車）別に、CNG車とベース車のエネルギー消費量（LHV）の関係をプロットした（図-1）。図中のモデル式は回帰モデル（切片0）である。このモデルによると、乗用車においては傾きが1.030であり、1km当たりのエネルギー消費量はベースとなるガソリン車と比べCNG車のほうが約3%多い。一方、軽自動車については、傾きが0.969であり、1km当たりのエネルギー消費量はベースとなるガソリン車と比べ約3%少ないという結果である。

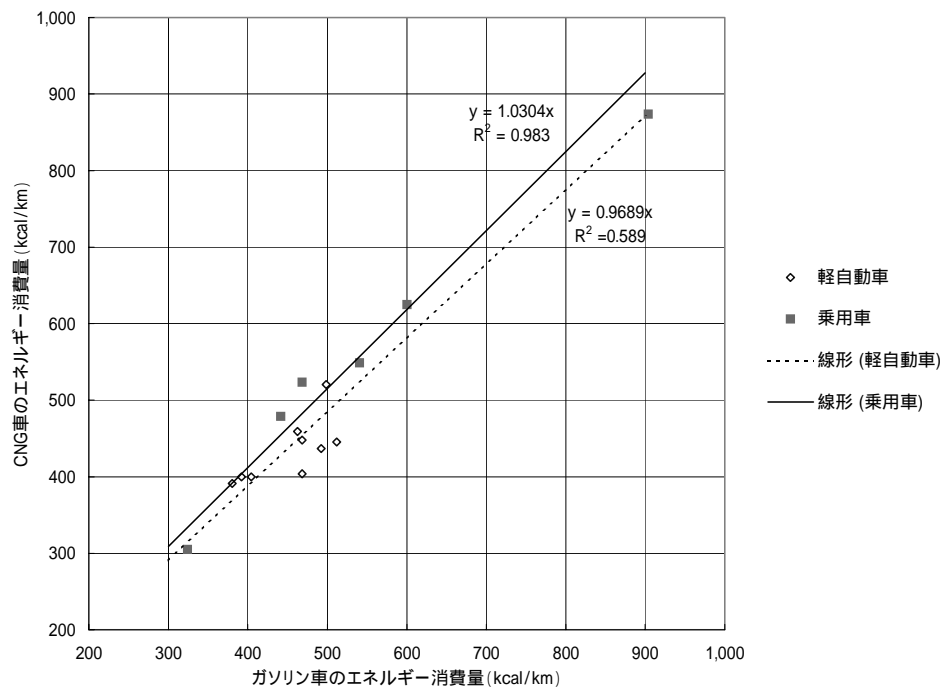


図-1 ベースガソリン車とCNG車のエネルギー消費量の比較(LHV)

次に、ベースとなるガソリン車とCNG車の車両重量の違いを考慮して分析するために、車両重量と単位走行当りのエネルギー消費量（LHV）の関係を軽自動車、乗用車別にプロットした（図-2）。図中のモデル式は回帰モデル（切片0）である。太線は乗用車（実線：CNG車、破線：ガソリン車）であり、細線（実線：CNG車、破線：ガソリン車）は軽自動車である。このモデルによると、もし、車両重量が同等であるとすると、一口に言えば、軽自動車のCNG車では18%程度、乗用車では7%程度の効率が向上することがわかる。

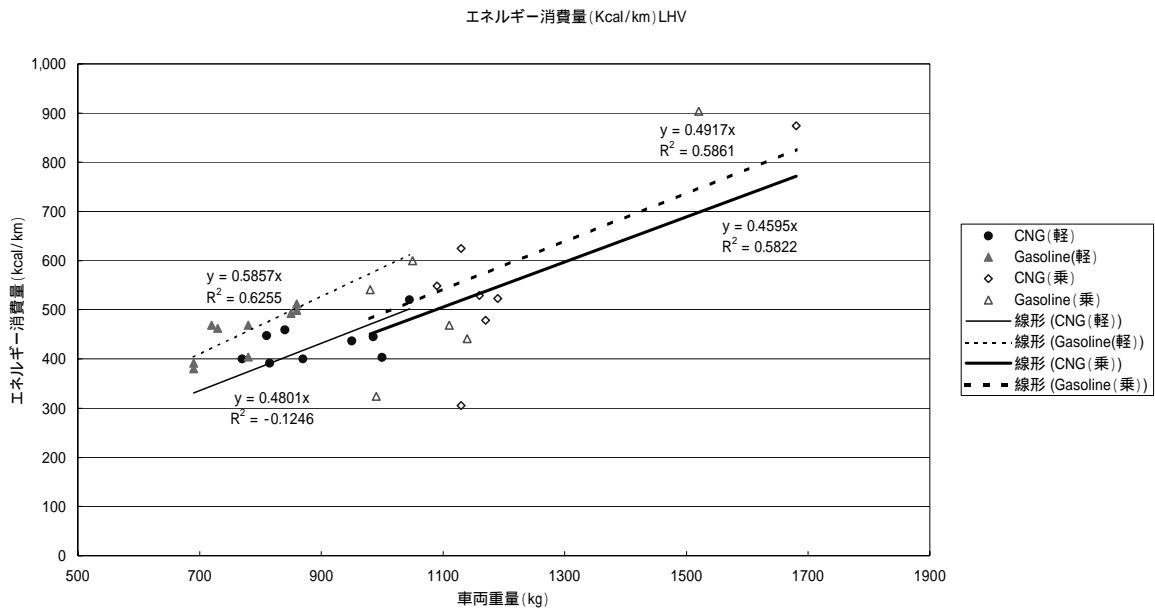


図-2 車両重量とエネルギー消費量の関係 (LHV)

2) CNG 車とガソリン車の排気量の比較

表-1 より CNG 車とベースとなっているガソリン車の排気量を比較すると、AD バン (日産自動車) を除き同等となっている。

3) CNG 車とガソリン車の車両重量の比較

図-3 は縦軸に CNG 車の車両重量を、横軸にベースとなっているガソリン車の車両重量をとり、関係を示したものである。図中の太実線は傾き 45 度の直線であり、図中の細実線は乗用車の回帰モデル式 (式 1)、破線は軽自動車の回帰モデル式 (式 2) である。

乗用車の場合、CNG 車の車両重量はベース車に対して、ほぼ 1.09 倍となっていることがわかる。

乗用車 (登録車) (R²=0.962)

$$\text{【CNG車の車両重量 (kg)】} = 1.0875 * \text{【ベースとなるガソリン車の車両重量】} + 0.9499 \quad (\text{式 1})$$

軽自動車 (R²=0.801)

$$\text{【CNG車の車両重量 (kg)】} = 1.2513 * \text{【ベースとなるガソリン車の車両重量】} - 69.31 \quad (\text{式 2})$$

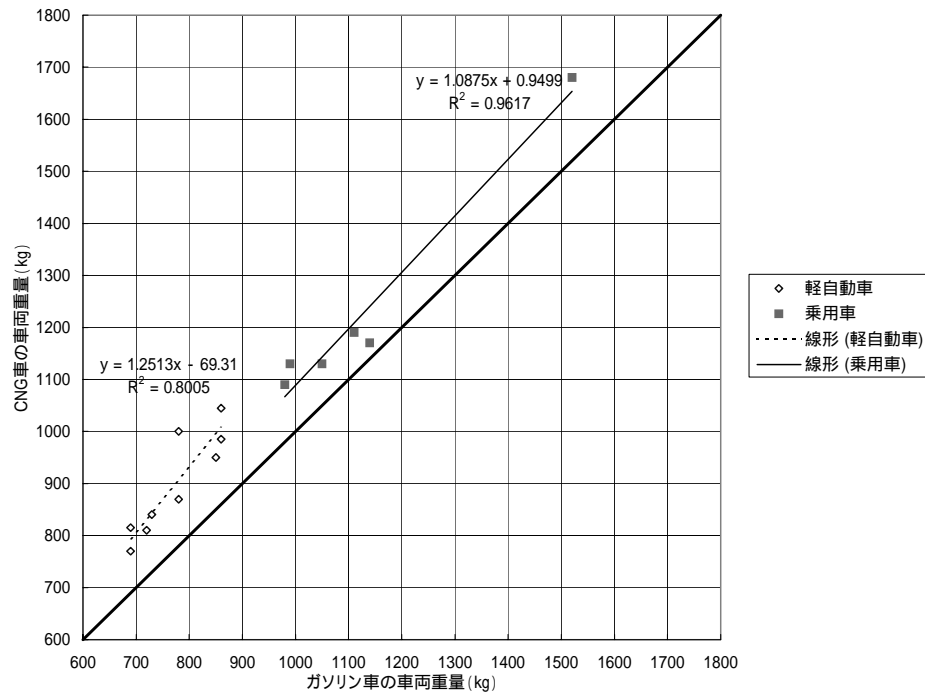


図-3 CNG車とガソリン車の車両重量の関係

このモデル(式1)に、本調査において検討されている基準となるガソリン車の車両重量 1120kg を与えると、CNG車の車両重量は 1,219kg と推定され、重量が 99kg 増しとなる。この重量の増加の主な理由としては、CNG タンクによる重量増加が主な要因と考えられる^{注)}。

ただし、CNG タンクの材質としては、いくつかの重量の異なるタイプがあり、上記の結果は、これらのタイプの違いを無視した平均的な値である。

注) ガソリンタンクの重量(50リットル)を 10kg、ガソリン重量を 50リットルで 38kg とすると、燃料込みのガソリンタンクの重量は 48kg となる。一方、20MPa で 80L のスチール製 CNG タンクを想定すると、タンク重量が 84kg で燃料が約 13kg、合計が 97kg 程度と推定される。この差は 49kg の差となる。

そこで、次に CNG タンクの重量を考慮した場合の CNG 車の車両重量と、ベースとなるガソリン車の車両重量との関係を考える。下表は、CNG 車のタンクの種類と、そのタンクの重さを推定した結果等を整理したものである。

表-3 CNG 車の燃料タンクの諸元

車種	燃料種	燃料噴射方式	排気量 cc	車両重量 kg	圧縮比	10・15モード燃費		燃料タンク				
						ガソリン等価		材質	容量 L	ガス充填量 Nm3	充填圧力 Mpa	推定重量 kg
						km/Nm3 ¹	km/l ²					
ハイゼットカーゴ	CNG	電子制御燃料噴射方式	659	950	12.8	20.6	17.6	スチール	51	10.2	20.0	54
ハイゼットトラック	CNG	電子制御燃料噴射方式	659	810	12.8	20.1	17.2	スチール	51	10.2	20.0	54
ミラバン	CNG	電子制御燃料噴射方式	659	770	12.8	22.5	19.2	スチール	62	12.4	20.0	65
CNGミニカ	CNG	電子制御燃料噴射方式	657	815	10.2	23.0	19.6	スチール	62	12.4	20.0	65
CNGミニキャブバン	CNG	電子制御燃料噴射方式	657	985	10.2	20.2	17.2	スチール	52	10.4	20.0	55
CNGミニキャブバン	CNG	電子制御燃料噴射方式	657	1,045	10.2	17.3	14.8	スチール	52	10.4	20.0	55
CNGミニキャブトラック	CNG	電子制御燃料噴射方式	657	840	10.2	19.6	16.7	スチール	62	12.4	20.0	65
ワゴンR	CNG	電子制御燃料噴射方式	658	870	12.5	22.5	19.2	スチール	20.0×2本	8.0	20.0	42
エブリイ	CNG	電子制御燃料噴射方式	657	1,000	13.0	22.3	19.0	スチール	24.7×3本	14.8	20.0	78
CNGカローラバン	CNG	電子制御燃料噴射方式	1,496	1,090	10.8	16.4	14.0	スチール	74	15.0	20.0	78
ADバンCNG	CNG	電子制御燃料噴射方式	1,769	1,190	12.8	17.2	14.7	アルミ+ガラスFRP	79(46+33)	16.1	20.0	59
セドリックCNG	CNG	電子制御ミキサー方式	2,960	1,680	9.0	10.3	8.8	アルミ+ガラスFRP	152(106+46)	30.4	20.0	114
CNGリポカーゴ	CNG	キャブレター	1,468	1,130	9.2	14.4	12.3	スチール	26.0×2本	10.4	20.0	55
シビックGX	CNG	電子制御燃料噴射方式	1,668	1,170	12.5	18.8	16.0	プラスチック+カーボンFRP	100	-	19.6	35
デミオCNG	CNG	電子制御ミキサー方式	1,498	1,130	9.4	29.5	25.2	スチール	78	15.6	20.0	82

CNG タンクの重量推定方法： 鋼管ドラム(株)の資料ならびにヒアリング結果から、容量(L)当たりの材質別の重量(kg)として以下を用い、CNG タンクの重量(kg)を推定した。

スチール=1.05, アルミ+ガラス FRP=0.75, プラスチック+カーボン FRP=0.35

本データを用いて、タンク推定重量を説明変数に加えて回帰分析をした結果を以下に示す。

乗用車(登録車) (R²=0.960)

$$\begin{aligned} \text{【CNG 車の車両重量 (kg)】} &= 0.9414 \times \text{【ベースとなるガソリン車の車両重量 (kg)】} \\ &+ 1.9038 \times \text{【CNG タンク重量 (kg)】} + 32.249 \end{aligned} \quad (\text{式 3})$$

軽自動車 (R²=0.999)

$$\begin{aligned} \text{【CNG 車の車両重量 (kg)】} &= 1.4457 \times \text{【ベースとなるガソリン車の車両重量 (kg)】} \\ &+ 3.5674 \times \text{【CNG タンク重量 (kg)】} - 430.34 \end{aligned} \quad (\text{式 4})$$

4) ベース車とする CNG 車の車両重量と排気量の設定

(式 3) , (式 4) を用いて , 本調査において検討されている基準となるガソリン車の車両重量と排気量に対する CNG 車の車両重量 , 排気量を CNG タンクの材質別に推計すると以下ようになる。(表-4)。

表-4 本調査における基準ガソリン車と CNG 車の推計車両重量 , 排気量

	車両重量	排気量	備考
基準ガソリン車	1,120kg	1,500cc	(基準ガソリン車に対し)
CNG 車 (スチールタンク)	1,243kg	1,500cc	123kg 増
CNG 車 (アルミ+ガラス FRP タンク)	1,201kg	1,500cc	81kg 増
CNG 車 (プラスチック+カーボン FRP タンク)	1,153kg	1,500cc	33kg 増

2.モデル分析

1)CNG 車とガソリン車のエネルギー消費量推計モデルによる分析

車両重量に対するエネルギー消費量を推計するモデルによる分析を試みる。ここでは、軽自動車を除いたデータで分析を行っている。

最終的に採用したモデルは以下のタイプの回帰モデルである。

$$\text{【エネルギー消費量(kcal / km)】} = (\alpha \cdot \text{【排気量(cc)】} + \gamma + \gamma' \cdot \delta) \cdot \text{【車両重量(kg)】} + \text{【確率項】} \quad (\text{式 5})$$

、 γ 、 γ' : パラメータ

δ : CNG 車ダミー (CNG 車 = 1 , ガソリン車 = 0)

なお、ここでの分析は、LHV ベースで行っている。

パラメータを推定した結果を表-5 に示す。

表-5 パラメータ推定結果

	パラメータ	t 値 ^{注)}
	$7.6093 \cdot 10^{-5}$	1.8139
	0.3433	3.7704
γ'	-0.0357	- 0.6560
R	0.8339	
サンプル数	12	

パラメータ推定の結果、CNG 車ダミーにかかるパラメータ (γ') の t 値が低い、これは統計学的に、このパラメータが 0 の可能性が高いことを表している。すなわち、この変数の寄与の可能性が高くないことを意味している。

注) t 値はパラメータの信頼性を表す指標である。t 値の絶対値が 1.96 以上であれば、当該パラメータの帰無仮説： $\gamma = 0$ は 5%の有意水準で棄却される。このときこの特性変数は、95%の信頼度で選択状況に影響を与えているとみることができる。すなわち、求められたパラメータが 0 に等しいという仮説が成立する確率は 5%以下であるので、パラメータが 0 でないということが 95%以上の確率で成立することを示す。

2) CNG 車とガソリン車のベース車とのエネルギー消費量の比較

本モデルと、表-4 におけるガソリン車と CNG 車車両重量、排気量を用いて、各車の単位走行当たりのエネルギー消費量を推計し、CNG 車の基準ガソリン車に対するエネルギー消費量の向上率を算定した結果を表-6 に示す。

表-6 CNG 車とベースガソリン車の車両重量、排気量、エネルギー消費量、向上率

	車両重量	排気量	エネルギー消費量 (kcal/km) : LHV	向上率
ベースとなるガソリン車	1,120kg	1,500cc	509	-
CNG 車 (スチール)	1,243kg	1,500cc	524	- 2.3%
CNG 車 (アルミ+ガラス FRP)	1,201kg	1,500cc	507	1.1%
CNG 車 (プラスチック+カーボン FRP)	1,153kg	1,500cc	486	5.1%
ベースとなるガソリン車と 車両重量が変わらない CNG 車	1,120kg	1,500cc	472	7.8%

なお、向上率は以下の式を用いて算出している。

$$\text{向上率} = \frac{\text{ガソリン車のエネルギー消費量} - \text{CNG車のエネルギー消費量}}{\text{ガソリン車のエネルギー消費量}} (\text{LHV})$$

3) まとめ

CNG 車のエネルギー消費量とガソリン車のエネルギー消費量をモデル分析した結果、本調査のベースとなるガソリン車 (1,500cc, 1,120kg) に対し、CNG 車はスチールタンクを積んだ車両で 1,243kg、エネルギー消費量向上率は 2.3%。アルミライナー+ガラス FRP タンクを積んだ車両で 1,201kg、エネルギー消費量向上率は 1.1%。プラスチックライナー+カーボン FRP タンクを積んだ車両で 1,153kg、エネルギー消費量向上率は 5.1%となる。

一方、車両重量が同等として CNG 車とガソリン車を比較すると、CNG 車の方が 7.8% エネルギー消費量が向上するという結果となった。

3. 結論

以上のように、CNG タンクとしてどのような材質のものを採用するかで、分析結果が異なる。いずれにしてもその統計的誤差を考えると、ガソリン車に対して、大きな燃費の改善があるとは、必ずしも言い切れないと考えられる。

したがって、重量増を考慮した場合のガソリン車に対する CNG 車の燃費の向上に関しては、ほとんど無視しても良いと思われる。

< 参考2 > 総合効率に関する既存研究のレビュー^{注)}

研究	概要	出典等
Delucchi 1991, 1993	Delucchi は、2000 年時点におけるガソリン車および代替燃料車の燃料サイクルおよび車両のライフサイクルからの温室効果ガス（GHG）の排出量を推計した。その結果、ベースラインケースと比較し、石炭起源の燃料を用いると一般的に GHG の排出量が増加すること、バイオマス起源の燃料を用いることにより大幅にそれが削減可能なこと、太陽光エネルギーを用いることによりわずかに削減、原子力エネルギーを用いることにより、大幅に GHG の排出削減が可能などなどを明らかにした。	<ul style="list-style-type: none"> • Delucchi, M.A., 1991, Emissions of Greenhouse Gases from the Use of Transportation Fuels and Electricity, Volume 1: Main Text, ANL/ESD/TM-22, Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory, Argonne, Ill., Nov. • Delucchi, M.A., 1993, Emissions of Greenhouse Gases from the Use of Transportation Fuels and Electricity, Volume 2: Appendixes A-S, ANL/ESD/TM-22, Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory, Argonne, Ill., Nov
NREL et al.1991, 1992	The National Renewable Energy Laboratory (NREL)は、Oak Ridge National Laboratory ,Pacific Northwest National Laboratory の協力を得て、バイオマスベースのエタノール系燃料と reformulated ガソリン（RFG）との燃料サイクルにおける排出量の比較研究を行った。具体的には、RFG と E10（ガソリン 90%、エタノール 10%；体積比）E95（ガソリン 5%、エタノール 95%）の 3 種類の燃料を対象とし、汚染物質としては、VOC、CO、NO _x 、SO _x 、PM、CO ₂ などを対象とした。 RFG の組成に関する仮定が今日の状況と異なっている。	<ul style="list-style-type: none"> • National Renewable Energy Laboratory et al., 1991, <i>A Comparative Analysis of the Environmental Outputs of Future Biomass-Ethanol Production Cycles and Crude Oil/Reformulated Gasoline Production Cycles, Appendixes</i>, prepared for U.S. Department of Energy, Office of Transportation Technologies and Office of Planning and Assessment, Golden, Colo., Dec. • National Renewable Energy Laboratory et al., 1992, <i>Fuel Cycle Evaluations of Biomass-Ethanol and Reformulated Gasoline</i>, prepared for U.S. Department of Energy, Office of Transportation Technologies and Office of Planning and Assessment, Golden, Colo., Oct.
Bentley et al. 1992	Bentley らは、the Idaho National Engineering and Environmental Laboratory (INEEL)のために、EV、FCV、ICEV に関する燃料サイクルにおける CO ₂ 排出量を推計する研究を行った。とくに Tank-to-Wheel に重点をおいた研究であり上流過程からの排出は、主に既存研究に依っている。推計目標年次は、2001、2010、2020 年である。 その結果、CNG 車と EV から CO ₂ 排出量は、ガソリン車よりも少なく、さらに天然ガスベースの水素を燃料とする FCV からの CO ₂ 排出は、CNG 車よりも少ないことなどを明らかにした。	Bentley, J.M., et al., 1992, <i>The Impact of Electric Vehicles on CO2 Emissions</i> , Arthur D. Little, Inc., Cambridge, Mass., May 14.
Brogan and Venkateswaran 1992	Brogan と Venkateswaran は、自動車に関する燃料サイクルにおけるエネルギー消費量と CO ₂ 排出量を推計した。対象車両は、中型乗用車タイプの各種 ICEV や EV、HEV、FCV である。FCV と HEV を除き 2001 年の技術水準を基本とした。その結果、CNG 車やメタノール車を含む ICEV は、電気を用いる EV、HEV、FCV に比べて大きなエネルギー消費、CO ₂ 排出量であることなどを明らかにした。	Brogan, J., and S.R. Venkateswaran, 1992, "Diverse Choices for Electric and Hybrid Motor Vehicles: Implications for National Planners," presented at the Urban Electric Vehicle Conference, Stockholm, Sweden, May 25-27.

注) 主に 1998 年以前の海外の情報は、GREET 1.5 — Transportation Fuel-Cycle Model, M.Q. Wang, August 1999, Center For Transportation Research Argonne National Laboratory (<http://www.transportation.anl.gov/ttrdc/greet/>) を基に作成。

研究	概要	出典等
Ecotraffic, AB 1992	スウェーデンの Ecotraffic の研究者は、スウェーデンにおける自動車の燃料サイクルにおけるエネルギー消費量、GHG 排出量を推計した。その結果、石油系の燃料を用いた場合に比べ、水力、原子力等の非化石燃料を用いた場合には、50%以上の GHG 排出削減があることなどを明らかにした。	Ecotraffic, AB, 1992, <i>Motor Fuels from Sources to Final Use, Final Report on an Energy and Emissions System Study</i> , Stockholm, Sweden, March.
Wang and Santini 1993	Wang と Santini は、米国 4 都市における EV とガソリン車 (GV) の燃料サイクルにおける排出量を推計した。その結果、どの 4 都市においても、EV は、GV に比べ 98%以上の HC, CO の排出削減、NO _x は電力発電所に設置される脱硝装置依存し、CO ₂ は、低速において大きな削減効果があることなどを明らかにした。	Wang, M.Q., and D.J. Santini, 1993, "Magnitude and Value of Electric Vehicle Emissions Reductions for Six Driving Cycles in Four U.S. Cities with Varying Air Quality Problems," <i>Transportation Research Record</i> 1416:33-42.
Darrow 1994a, 1994b	Darrow は、2 つの研究において、代替燃料および EV, CNGV に関する燃料サイクルにおける排出量の推計を行った。その結果、一定の仮定の下で、EV および E85 (ガソリン 15% 混入エタノール)、M85 (ガソリン 15% 混入メタノール) 自動車の GHG (等価 CO ₂ で示した) 排出レベルが高いこと、ガソリン車と CNG 車の排出レベルは同等で、LPG 車の排出レベルが少ないことなどの結論を得た。	<ul style="list-style-type: none"> • Darrow, K.G., 1994a, <i>Light-Duty Vehicle Fuel-Cycle Emission Analysis</i>, prepared by Energy International, Inc., Bellevue, Wash., for Gas Research Institute, Chicago, Ill., April. • Darrow, K.G., 1994b, <i>Comparison of Fuel-Cycle Emissions for Electric Vehicle and Ultra-Low Emissions Natural Gas Vehicle</i>, prepared by Energy International, Inc., Bellevue, Wash., for Southern California Gas Company, Los Angeles, Calif., May.
Acurex 1996	カリフォルニア州大気資源局 (CARB) の委託により、Acurex Environmental Corporation は、加州における燃料サイクルでの GHG その他の大気汚染物質の排出量を推計するための枠組みを開発し、2010 年までの排出量を推計した。その結果、単位走行当りの LNG・CNG・LNG・水素自動車の CO ₂ 排出量は、ガソリン車や M100 車などに比べて小さく、逆に EV の排出量は最も大きい等の結論を得た。	Acurex Environmental Corporation, 1996, <i>Evaluation of Fuel-Cycle Emissions on a Reactivity Basis, Volume 1</i> , FR-96-114, Mountain View, Calif., prepared for California Air Resources Board, El Monte, Calif., Sept. 19.
Delucchi 1997	1997 年、Delucchi は、1991 年の自身の研究を改訂したレポートを発表した。具体的には、新たなデータを用いたモデルパラメータの更新やエネルギー消費量評価における新たな手法の適用を行った。	Delucchi, M.A., 1997, <i>A Revised Model of Emissions of Greenhouse Gases from the Use of Transportation Fuels and Electricity</i> , Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, Calif., Nov.
ANL et al. 1998	1993 年から 1996 年にかけて DOE は、Argonne National Laboratory を含む複数の国立研究所に EV の導入によるエネルギー、環境面でのインパクトを評価する研究 (EVTECA; EV Total Energy Cycle Analysis) を委託した。この EVTECA では、米国における 4 つの大都市を対象として、EV と従来車 (CV) の燃料サイクルおよび車両のライフサイクルでのエネルギー消費、汚染物質等排出量が推計された。 その結果、CV は EV に比べ 15~40%エネルギー消費量が多いこと、EV は CV に比べて 25~65%の CO ₂ 排出量であることなどの結果を明らかにした。	<ul style="list-style-type: none"> • Argonne National Laboratory et al., 1998a, <i>Total Energy Cycle Assessment of Electric and Conventional Vehicles: An Energy and Environmental Analysis, Vol. I: Technical Report</i>, prepared for Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy, Washington, D.C., Jan. • Argonne National Laboratory et al., 1998b, <i>Total Energy Cycle Assessment of Electric and Conventional Vehicles: An Energy and Environmental Analysis, Vol. II: Appendices to Technical Report</i>, prepared for Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy, Washington, D.C., Jan.
Sheehan et al. 1998	1998 年、NREL は、DOE と農業省の委託により、バス用のバイオディーゼル (BD) による燃料サイクルでのエネルギー消費、汚染物質排出削減効果の分析を行った。その結果、BD の導入は 95%以上の化石燃料の削減、80%近くの CO ₂ 排出量の削減効果があり、逆に NO _x , HC 排出量が増加するなどの結果を明らかにした。	Sheehan, J., et al., 1998, <i>Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus</i> , NREL/SR-580-24089, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colo., May.

研究	概要	出典等
WE-NET (タスク1) (水素利用システムの燃料サイクル分析)	水素導入シナリオの策定に向け、産業、民生、運輸における水素利用システムをエネルギー、環境、経済性の面から評価している。2000年度は、燃料サイクル分析を実施。2001年度は、燃料電池導入シナリオの策定に向け、水素の製造、輸送、貯蔵及び充填に関わるエネルギー効率やコストなどを見直した燃料サイクル分析を実施。2001年3月に報告書がまとめられている。	平成12年度成果報告書 水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)第1期研究開発 タスク1 システム評価に関する調査・研究
日本エネルギー学会 (エネルギー変換効率評価)	天然ガス由来の各燃料を、固体高分子形燃料電池に用いた場合のオンサイトにおけるエネルギー変換(改質)効率を評価している。燃料としては、都市ガス、メタノール、DME、GTLを対象。日本エネルギー学会のもとに東京大学の藤元教授を主査とする燃料電池研究会を設置し、平成12年度から平成13年度の2年間の調査研究を実施。	平成12年度 JEVA 燃料電池自動車に関する調査報告書
PEC (LCI 効率研究)	石油メーカー、ガス会社、電力関係機関などが参加して、東京大学の松橋助教授を主査とする Well to Wheel 効率(LCI)の研究に2001年度から着手している。燃料サイクルのライフサイクルインベントリー(LCI)を作成し、各エネルギーパスの TtW (Tank to Wheel) 効率、エネルギー消費量、CO ₂ の評価を行っている。さらに、JEVA で開発した GreenModel で TtW 効率を算出し、最終的に WtW (Well to Wheel) 効率を算出している。2002年3月に報告書がまとめられている。	輸送用燃料ライフサイクルインベントリーに関する調査報告書 - 燃料電池車と既存自動車の比較 -
ANL (総合効率評価モデルの研究)	GREET モデルを開発。“Well to Tank”と乗用車用及びトラック用“Tank to Wheel”のサブモデルからなり、各種一次エネルギー、燃料パスを通じての“Well to Wheel”における排出ガス、温暖化ガス、エネルギーが算出できる。そのモデル利用は、政府機関、自動車メーカー、エネルギー会社、大学など多岐にわたる。2002年10月に報告書がまとめられている。	平成11年度 JEVA 新エネルギー等導入促進基礎調査の海外調査編参照
TES (Transport Energy Strategy)	1998年5月からドイツ政府、自動車メーカー(D/C, BMW, VW, MAN)、エネルギー会社(Aral, Shell, RWE)が、ドイツの調査会社 LBST へ依頼し、ドイツにおける将来の自動車用燃料の調査を行っている。石油代替燃料として、天然ガス、メタノール、水素の3候補を選定。水素に絞られる可能性が大きい。外部発表については、非常に慎重で、研究途中での発表は行っていない。手法的に確立したら外部発表の見込み。	平成11年度 JEVA 新エネルギー等導入促進基礎調査の海外調査編参照 Assessment of Well-to-Wheels Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Fischer-Tropsch Diesel
GM (“Well to Wheel” 効率の研究)	化石/非化石燃料、再生可能/非再生可能エネルギーをベースとした自動車用燃料のエネルギーと GHG について評価を行うことを目的としている。2010年までに技術的に実現可能な燃料パスと車両システムについて、WtW 効率を算出している。本研究は、GM と LBST でモデルを作成し、主な国際的エネルギー会社も参加してお互いに話し合いを行いながら進められている。2002年9月に報告書がまとめられている。	Well-to-Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems - A European Study - Report
Shell (エネルギー効率の研究)	一次エネルギー源としては、石油と天然ガス。電力は、イギリスの電源構成を使用。ANL の GREET モデルを用い、ICEV、EV、HEV につき、総合エネルギー効率を試算。2001年3月 SAE 大会で発表(SAE ペーパー2001-01-1343)。車両効率に関するデータが不十分な面がある。	・SAE 2001-01-1343 ・平成13年度 JEVA 燃料電池自動車に関する調査報告書の海外調査編参照
UC-Davis	自動車メーカー(GM、トヨタ、ホンダ、日産など9社)、エネルギー供給会社	平成11年度 JEVA 新エネルギー等導入促進基礎調査の海外

研究	概要	出典等
(燃料電池モデリングプログラムの開発)	(ExxonMobil, Chevron), スタックメーカ (Ballard, IFC), 米国政府 (DOE, CARB) が、プログラムに参加。1998~2003年の5年間のプログラムとして開発中で、各種タイプのFCVにつき、USモードとEUモードで試算。	調査編参照
PSI (FCV 総合エネルギー効率の研究)	2000年6月、ベルリンで開かれた燃料電池政策に関するワークショップにて発表。スイスの電力構成(水力, 原子力中心)を背景とした分析のため、やや特異な結果。	Fuel Cell Policy Workshop, GEE 主催, 2000年6月
スウェーデン道路公団 (“Well to Wheel”総合エネルギー効率の研究)	2001年4月、NRELのAdvisorを用いて、スウェーデン道路公団が、コンサルタント会社のEcotraficに依頼してシミュレーションを実施。2012年を想定し、燃料は、天然ガスとバイオマスの2つについてのみ試算。天然ガス起源の方が、バイオマスより効率は勝る。しかし、これら総合効率の値(10数%)はあまりにも低く、データの出所などはわからない。なお、パワートレインの比較では、燃料電池とディーゼルの効率が最も高く、オットーが低い。内燃機関との組み合わせによるハイブリッドの効率向上は大きい、燃料電池との組み合わせによるハイブリッドの効率向上は小さい。	<i>Well-to-Wheel Efficiency, - for alternative fuels from natural gas or biomass -</i> , 2001, Oct.
Well to Wheel 2001 世界会議 (2001年5月、フランスのニースで開催)	GM (Opel), PSA, DOE (ANL), ADL, プリンストン大学, リンデなどが参加。ADL調査の中では、GM, CEC, DTI (Directed Technologies Inc.) の試算結果を比較して、試算結果が各々の研究により大きく違っていること指摘している。プリンストン大学の試算は、燃料, 大気汚染, CO ₂ をライフサイクルコスト(LCC)という概念を導入して評価している点が興味深い。研究対象車両は、ICEV, HEV, FCV。	"Well-to-Wheels 2001" Interfech 主催, 2001年5月
米国交通研究委員会によるフューエルサイクル・モデリングのためのワークショップ	2002年1月、ワシントンで標記ワークショップがANL議長のもと開かれた。UC-Davis, ADL, 東京大学, ドイツのユーリッヒ研究センター, カナダ天然資源局などが参加した。本ワークショップを通じて、特に新しい知見, 技術的な情報はなかったが、地域性, 走行パターンなどにより、結果が大きく異なるため、研究者相互で試算する際の前提条件をよく理解し、試算結果にその前提条件がどう影響するかなどの詳細な分析や情報交換が重要という点で意見が一致した。	
EUCAR, ONCAWE, JRCによるWtW効率検討・分析	2010年の欧州において、将来的に潜在可能性がある燃料バスとパワートレインを対象とし、WtWのエネルギー消費量とGHG排出量, 経済性(コスト)の分析・評価を行っている。2003年12月に報告書がまとめられている。	Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context

この他 Methanex (2000年6月), MIT (2000年10月) なども調査研究を実施し、結果を発表している。

6. 今後の課題

本調査では、国内外におけるインタビュー調査やその他の文献情報に基づき、主としてFCVに関する現状の技術動向について調査を行った。今後の課題として考えられる項目は以下のとおりである。

(1) 燃料電池の実用化・導入促進、産業育成等における諸外国政府の取組み状況の調査

燃料電池車の実用化に向けて解決すべき課題は、技術的な課題のみならず燃料供給インフラの整備や規制の見直しをはじめとして広範囲に及んでいる。またその課題を解決するためのアプローチも様々な方策が考えられる。現在、海外においても、政府や公的機関が中心となって、燃料電池の実用化に向けて技術開発を支援するためのプログラムや制度、実用化・商業化を目指したロードマップの策定、実証試験の実施、一般市民に対する普及啓発活動等に積極的に取り組んでいる状況にある。こうした中で、今後のわが国における燃料電池車の導入促進施策検討の参考とするために、海外における燃料電池の実用化・導入促進、産業育成のための各種支援策や規制緩和、標準化に向けた取組み等の各種施策の導入状況、およびそれらの企業等への波及状況や導入成果の状況について引き続き調査を行う必要があると考えられる。

(2) FCVの技術動向に関する調査

FCV技術に関する動きは非常に速い。そのため、日本および全世界のFC、FCVに関する技術動向を継続的に調査することが重要である。とくに現在、日本や世界各地で燃料電池車の実用化・商業化を目指した実証走行試験が実施され、あるいは実施される予定であり、そうしたプロジェクトから得られる新たな知見を調査していく必要がある。

ただし、実用化間近となった技術に関する情報交換は、次第に難しくなってくることも考えられるため、今後は、欧米の国立研究所や大学の研究動向等も注視していく必要があると考えられる。

(3) FCVの燃料選択に関する調査

FCVの燃料選択に関しては、2002年末から直接水素形FCVの限定リース販売が開始され、また世界各地で水素供給ステーションの建設が始まるなど、直接水素方式の選択可能性が高まりつつある。今後、上記の調査項目と連携しながら、主に技術的な観点からFCVの燃料として採用される可能性の高い燃料を把握するため、オンボード、オンサイト改質技術、燃料製造技術等の動向について調査する必要がある。

とくに、ガソリン系燃料の選択可能性については、そのオンボード改質技術の実現可能性にかかっており、ガソリン系燃料の改質技術の動向に関して注意深くサーベイする

必要があると考えられる。また、水素原料として何が選択される方向にあるかも注意深く調査していく必要がある。

(4) FCV のエネルギー効率に関する分析・調査

FCV をエネルギー効率面から分析・評価することは、次期クリーンエネルギー自動車の本命とみられる FCV の環境性能を検証する上で重要であり、また望ましい燃料の選択、エネルギーパス、適切なインフラ整備の方向性を把握する上でも重要である。こうした観点から、JARI においては過年度において FCV のエネルギー効率に関する分析・評価を進めてきた。とくに、Tank-to-Wheel の分析・評価ツールである GREEN を開発し、これを用いることにより Well-to-Tank 総合効率の検討を進めてきたが、JHFC による実証走行や実証水素ステーションの稼動において、実際のエネルギー消費に関するデータも蓄積されてきている。そうしたデータを踏まえた確度の高い分析を引き続き進めていく必要がある。

(5) FCV の市場受容性に関する検討・調査

2002 年末に、トヨタ、ホンダから限定的にリース販売が始まった FCV ではあるが、現状の価格は極めて高く、現状ではとても一般市場に受け入れられる水準ではない。このように今後の FCV の市場受容性についてはいまだに未知数であり、FCV のコストダウンの可能性、および各種燃料価格の見通しを推計・調査し、FCV の市場受容性について検証を行う必要がある。

また、FCV の市場受容性を高めるためには、水素の安全性に対する一般への理解の促進も重要な課題である。

(6) FCV 導入・普及に向けての検討

新しいクリーンエネルギー自動車である FCV の普及促進を図るために、どのような新たな施策を展開していく必要があるかを、上記に示した調査・分析を踏まえ、検討を行っていく必要がある。

同時に、FCV の研究開発を進める上で、あるいは FCV の市場導入を進める上で、必要な規制緩和については引き続き検討・調査・要望を行っていく必要がある。また、安全性等の基準の策定、燃料電池に使用される機器、燃料等の規格化による標準化、国際標準化（ISO、IEC）活動への参加も積極的に推進していく必要がある。

参考資料

2003 年度 JARI 国内訪問インタビュー調査結果の概要

インタビュー訪問先一覧

インタビュー先	訪問日時	場所
自動車 メーカー	・スズキ 2004年 2月 5日(木) 13:00 ~ 15:00	スズキ株式会社 本社(静岡県浜松市)
	・三菱自動車工業 2004年 2月 12日(木) 10:00 ~ 12:00	三菱自動車工業株式会社 本社(東京都品川区)
	・ダイハツ工業 2003年 12月 16日(火) 10:00 ~ 12:00	財団法人日本自動車研究所 FC・EVセンター(東京都港区)
要素技術	・旭硝子(MEA) 2004年 2月 16日(月) 13:30 ~ 15:00	旭硝子株式会社 中央研究所(横浜市神奈川区)
	・日清紡(セパレータ) 2004年 3月 3日(月) 14:30 ~ 16:30	日清紡績株式会社 研究開発センター(千葉市緑区)
燃料供給 会社 等	・大阪ガス 2003年 12月 18日(木) 13:00 ~ 15:00	大阪ガス株式会社 (大阪府)
	・昭和シェル石油 2004年 2月 20日(月) 10:00 ~ 12:00	昭和シェル石油株式会社 本社(東京都港区台場)
	・コスモ石油 2004年 2月 4日(水) 15:00 ~ 17:00	コスモ石油株式会社 中央研究所(埼玉県幸手市)
	・バブコック日立 (水素製造技術等) 2004年 2月 10日(火) 10:00 ~ 12:00	バブコック日立株式会社 本社(東京都港区浜松町)

1. 自動車メーカー

1-1 スズキ株式会社

日 時	平成 16 年 2 月 5 日 (木) 13 : 00 ~ 15 : 00
場 所	スズキ株式会社 本社 (静岡県浜松市)
応対者	FC プロジェクト部

(1) 21 世紀の環境戦略や FCV の位置付け等について

1) 環境技術の導入に関する基本的考え方

環境保全への取り組みは企業の生き残りのために不可欠な条件としてとらえ、日本のみならず国際社会が求める環境保全にスズキグループが一体となって積極的に取り組んでいくことが必要と考えている。中でも、今後の製品開発においては、省エネルギー、低排出ガス、リサイクルをはじめとする技術開発が最重要課題と考えている。

低公害車については、新長期規制の導入を進めていく。そのための方策として、排ガス低減デバイスの高精度化やエンジン冷機始動時の排ガス性能向上に努める。

2) 低公害車の位置づけ

当分の間はガソリン車の時代が続くと思われる。従ってガソリン車の燃費、排ガスの低減、リサイクルの向上を優先的に進めていく。

ディーゼル車は CO₂ 削減という観点から有望と考えるが、排ガス対応技術の確立が必要。スズキとしてはヨーロッパを中心に考えている。現在、小型車クラスのディーゼル車をヨーロッパで販売している。ただし、エンジンは他社製である。

CNG 等の代替燃料車も候補だが、今後の普及を促進するには、車両製造方法や物流の見直しによるコスト低減、航続距離向上が必要と考え取り組んでいく。

ハイブリッド車は燃費 (CO₂)、排ガスの面で上述の車より優れている。今後、ある程度までは普及していくと思われる。ハイブリッド普及の鍵はコストであると考ええる。今後、更なる燃費の改善とコスト低減をめざし開発を進めていく。

スズキは 2003 年 1 月に軽自動車初のハイブリッド車となるツイン・ハイブリッドを発売した。

ツインのハイブリッド方式はアシストハイブリッド式と呼ばれるものであり、加速時にモーターでアシストし、減速時は回生を行い、さらにアイドリングストップも行うことができる。二次電池は鉛電池であり、古河電池と共同で開発した。

3) FCV の基本的考え方

FCV は、CO₂ 削減、低排出ガス、脱化石燃料という全ての環境問題をクリアすることができるような高いポテンシャルを持ち、さまざまな可能性を秘めている。究極のクリーンエネルギー車だと考え開発を進めている。

ただし、解決すべき課題は多く、普及にはまだかなりの時間を要すると思われる。政府の目標、2010 年 5 万台、2020 年 500 万台はかなり高いハードルである。

エネルギー効率がよく、排ガスが出ない。水素はさまざまな燃料から製造でき、脱石油化が可能である。

将来、FC システムの小型化とレイアウトの自由度の高さより、革新的な車のデザイン、パッケージングが可能になる。これは 2003 年東京モーターショーで、GM のハイワイヤー、トヨタの Fine - N、スズキのモバイルテラス等で提案されている。スズキとしては、フラットフロアをテーマにしたいと考えている。

FCV は、モータの特性により、低速トルクがあり、なめらかで静かな走りを実現できると考えている。

(2) FCV 開発に関する GM 社との関係について

スズキは、2001 年に GM と燃料電池技術に関して長期的に相互協力することで合意し、FCV の開発を進めている。

昨年 wagonR と MRwagon の FCV を製作し、大臣認定を取得した。

GM の FC システムと技術の提供を受け、スズキは軽自動車への最適化を図り、車両全体の開発を行っている。FC システム関係は GM、車両関係（モータ、車両補機）はスズキが開発を担当している。

(3) FCV の燃料の選択、導入シナリオに対する基本的考え方について

FCV の本格的普及段階では、FCV の搭載燃料は直接水素型になると考えている。なお本格普及までの途中の段階で車上改質型を導入するには、起動時間等の技術的課題が大きく、今後の技術革新が必要と考える。また、スズキのように小型車を考えた場合、車上改質は重量、コスト面で不利であり、採用は難しいと思われる。ただし、良いものができれば搭載の可能性はある。

FCV 導入のシナリオとしては、これから内燃機関の改良・ハイブリッド車の導入が加速され、当分の間、改良内燃機関車とハイブリッド車の共存状態が続くとみられる。FCV は、インフラ整備が進み、性能、コストがハイブリッド車と同等になった段階で普及が始まる。もちろん、石油価格の高騰が起きた場合には普及が加速される。このときの燃料は直接水素型になるのではないかと考えられる。

燃料選択の上で重要なことは、総合エネルギー効率、水素および車両側のトータルコスト、水素搭載量（航続距離）であると考えられる。

(4) FCV の開発 / 商品化目標等について

2003年に軽自動車(wagonRとMRwagon(表4-1))2台の大臣認定を取得し、現在公道走行試験を行っている段階である。

商品化の具体的な車種や時期については未定である。

一充填あたりの走行距離は、普及段階では現行のガソリン車並(400km以上)を目指す。出力、最高速等の性能もガソリン車と同等以上が目標。価格はハイブリッド車以下を目指す。

二次電池等のエネルギーバッファとの組み合わせは、エネルギー効率の観点からは有利であるが、システムが複雑になり、搭載スペースもかさみ、コストアップとなる。軽自動車のような小さな車はコストとスペースが第一であり、エネルギーバッファを持たないシンプルなシステムも有力と考えている。その場合のエネルギー効率は車両側ではガソリンハイブリッドより高く、総合効率でも今後のFCシステム効率と燃料効率(Well to Wheel)の向上により、ガソリンハイブリッドに近づけることができると考えている。

FCVを商品として販売しても、その分値段が上がったということでは顧客がついてこない。そこで、他にメリットを出すために、FCの特長を活かし、床をフラットにして広い空間を与えるようにする必要があると考えている。

表 4 - 1 MRwagon-FCV の車両概要

外観		
全長 / 全幅 / 全高		3,395 / 1,475 / 1,590 (mm)
乗車定員		4(人)
性能	最高速度	110(km/h)
	航続距離	130(km)
電動機	種類	交流同期電動機
	最大出力	33(kW)
	最大トルク	130(N・m)
燃料電池	型式	固体高分子型(GM製)
	最大出力	50(kW)
燃料	種類	圧縮水素ガス
	貯蔵方式	高圧水素タンク (35MPa)

(5) FCV の主要技術課題等について

FC スタックは GM 技術を流用している。

水素貯蔵技術の開発は最も重要な課題と考えている。現在スズキの FCV に搭載している水素タンクは 35MPa 用であるが、これを 70MPa に上げて目標の航続距離には達しない。水素タンクの容量を増やすのは小さな車の場合難しい。FC システムの効率アップと車両の軽量化は行っていくが、さらに水素貯蔵技術の革新が必要となるだろう。

改質器については、スズキのような小型車の場合には小型軽量化、低コスト化、高効率化が必要である。

FC システムは、現在は安全性を第一優先にしているため複雑で部品点数も多い。今後の課題は、安全性を確保しつつ、システムの簡素化、部品点数の削減、小型・軽量化、コスト低減を図っていくことである。

FCV 実用化の主要な課題は、水素貯蔵技術の他、スタック内の生成水と排出される水の低温凍結の問題である。凍結の問題は今後開発・実証していく。

(6) 他社との協力関係について

GM 以外には、水素タンクや FC 以外のコンポーネントについて、他社と協力関係がある。

(7) 実証走行試験 (JHFC) について

平成 15 年度の JHFC の走行試験開始時期は 2003 年 12 月である。平成 15 年度の参加予定車両はワゴン R-FCV の 1 台である。平成 16 年度の参加予定車両は、平成 15 年度の車両を継続する予定である。もう 1 台増やすかどうかは未定である。

FCV はまだまだ開発途上の車である。JHFC から外部へ燃費や効率のデータを公表するときは、誤解を招かないようにその出し方に配慮をしていただきたい。

現在 JHFC の第 1 期の活動が進行中である。第 2 期活動やそれ以降の進め方は、その目的を明確にし、FCV を取り巻く環境の変化（世界の動き）に注視しながら計画を適宜見直していただきたい。

(8) 国・行政に対する要望について

今後、より FCV を普及させるために、普及初期には購入補助や優遇税制などのようなインセンティブ制度を検討していただきたい。例えば、今のハイブリッド車と同じような取得時の補助は必要である。

水素貯蔵に関する基礎技術の開発を国等が主体となって進めていただきたい。また、規制緩和・基準作りについては、国際協調を図りながら日本主導で進めていただきたい。

1-2 三菱自動車工業株式会社

日 時	平成 16 年 2 月 12 日 (木) 10 : 00 ~ 12 : 00
場 所	三菱自動車工業株式会社 本社 (東京都品川区)
応対者	環境技術部

(1) 21 世紀の環境戦略や FCV の位置付け等について

1) 環境技術の導入に関する基本的考え方

低公害車の開発・普及としては、「低燃費 + 超 - 低排出ガス」車、代替燃料車 (CNG 車等) の普及促進と、FCV とハイブリッド車の開発促進を行っていく。

地球温暖化防止対策としては、燃費向上を行い、国内 2010 年度燃費基準を 2005 年度までに早期達成することを目標にしている。

2005 年度以降の国内登録車販売に占める「低燃費 (2010 年新燃費基準) + 超低排出ガス」車の比率を、小型・普通車、軽自動車それぞれ 85%、70%以上にすることを目指す。

燃焼・触媒・燃料の統合技術による低排出ガス化により、新長期規制、新 3 (新長期規制 50%減)、新 4 (新長期規制 75%減) 対応など、さらなる低公害化を目指す。

2) 低公害車の位置付け

ガソリン車がベースで、ハイブリッド車はその低燃費車として普及していくと考えている。FCV の普及は早くも 2010 ~ 2020 年頃だと思ふ。

GDI エンジンは 2001 年 9 月に 100 万台の生産を達成し、その後も継続して製造・販売している。コスト低減などの理由で 2002 ~ 2003 年に発売したコルト、グランディスから GDI の採用を止めたため、GDI 搭載車の販売割合が減少している。GDI の優れた低燃費性とコスト等のバランスと投入時期を見ながら次期 GDI の技術開発を進めている。

ディーゼル車は DaimlerChrysler (D / C) 社の協力を得ながら、ヨーロッパなどで発売して行くことになると思ふ。

三菱自動車のハイブリッド技術は、1999 年頃から GDI ハイブリッドの技術開発を行っている。市販については、技術的には開発が終わっているので、値段、市場性、タイミングを見ながら検討していく。

(2) FCV 開発に関する DaimlerChrysler 社との関係について

D / C 社と協力し、役割分担 (D / C : FC スタック関連、三菱 : 二次電池やモータ等の周辺技術) を検討しながら進めている。

(3) FCV の燃料の選択、導入シナリオに対する基本的考え方について

長期的には自然エネルギーから製造した水素を搭載した FCV に収束すると、現時点では予想される。

直接水素の前のつなぎとして、メタノールやガソリンによる車上改質があるという可能性は低くなってきたと考えている。また、ダイレクトメタノールの可能性も低いと考えている。

燃料選択の要因として、総合効率、将来性（継続的な供給可能性）、化石燃料の代替性、普及時の燃料コストに加え、航続距離の確保が考えられる。航続距離を伸ばすためには、気体水素なら 70MPa の高圧技術の確立、液体水素なら液化技術の確立が必要である。三菱自動車では液体燃料は技術開発をしていないが、液体水素を進めている GM などの動きに興味をもっている。

(4) FCV の開発 / 商品化目標等について

2003 年に、ミニバン「グランディス」に FC を搭載した直接水素形 FCV 「MITSUBISHI FCV」（表 4-1）を製作し、国土交通大臣認定を取得した。

特長としては、多人数乗車可能なミニバンに FC を搭載することにより利用しやすい FCV とした点と、二次電池によるハイブリッド方式とした点である。

基本的には D / C の F-Cell で使っている FC システムが搭載されている。スタックは巴拉ード社製である。

高圧水素タンクは Dynetek 社製で、F-Cell で使っているタンクと同じものである。F-Cell では 2 本だが、「MITSUBISHI FCV」は 3 本使っている（合計約 80kg）。

二次電池は三洋電機製のニッケル水素電池（F-Cell と同じ）、モータは F-Cell と同じものを使っている。

2010～2020 年の普及時期に間に合うように商品化を進めていく。具体的な時期は未定である。今のところリース販売の計画はない。D / C が「MITSUBISHI FCV」と同システムを搭載している F-Cell のリース販売を行っているので、当社としては「MITSUBISHI FCV」のリース販売は不要と考えている。

販売時に想定している車種としては、50～60kW の小型車（コルトクラス）である。価格は、ハイブリッド車と同等以下を目指している。

今後は、三菱自動車が独自に EV やハイブリッド車等で取り組んできた高出力モータや高性能リチウムイオン電池を搭載した FCV も視野に入れて開発を進めて行く。

表 4 - 1 MITSUBISHI FCV の車両概要

外観		
全長 / 全幅 / 全高		4,755 / 1,795 / 1,690 (mm)
車両重量		2,000 (kg)
乗車定員		5 (人)
性能	最高速度	140 (km/h)
	航続距離	150 (km)
電動機	種類	交流誘導モータ
	最大出力	65 (kW)
	最大トルク	210 (N・m)
燃料電池	型式	固体高分子型 (巴拉ード社製)
	最大出力	68 (kW)
燃料	種類	圧縮水素ガス
	貯蔵方式	高圧水素タンク (35MPa)
	容量	117 (L)

(5) FCV の主要技術課題等について

直接水素形 FCV は、搭載水素量が少ないため、航続距離が短い。対策としては、タンクの高圧化 (70MPa) が考えられるが、高圧縮化によるエネルギー損失や重量増などがあり、水素貯蔵技術のブレークスルーが必要である。

低温始動性の向上が必要である。ガソリン車並の低温環境での始動性が得られなければ、一般的な普及は難しい。ただし、スタックの中身についての情報は入手できない状況 (ブラックボックス) にあるので対応が難しい。

FCV を実用化する上での当面の課題は、コスト低減 (現状の 1 / 100 までの低減が必要)、小型軽量化等が考えられる。コストは、大量生産をするようになれば下がると思うが、それでもまだ高いのではないかと思う。そこをどうやって技術的にブレークスルーするのが問題になる。

(6) 実証走行試験(JHFC)等について

平成 15 年度から JHFC に参加しており，各種イベントにも参加した。

走行試験は平成 16 年 1 月から開始しており，自由走行データを提供した。計画走行については今後対応を進めて行く予定である。

平成 15 年度は「MITSUBISHI FCV」1 台で参加しており，平成 16 年度も 1 台で継続する予定である。

JHFC に対する要望としては，東京・横浜地域だけでなく，他の地域での実証試験も検討して欲しい。具体的には関西・中部方面での実施を望んでいる。とくに岡崎には FCV の開発拠点があるので，中部地方での実証試験も検討して欲しい。

2004 年 1 月 25 日の大阪国際女子マラソンでは，一番先頭を走る広報車として「MITSUBISHI FCV」を提供した。「MITSUBISHI FCV」の低速走行の実証が行えたと共に，観客には FCV をアピールできたと思う。

(7) 国・行政に対する要望について

基礎となる研究課題を国等が主体となって進めて欲しい。また，燃料の統一，供給インフラの早期構築，優遇措置をお願いしたい。

試験車両に少量の水素(1 台分)を充填する際の規制緩和を図って頂きたい。特に試験走行，イベント走行などで少量の水素を充填する場合でも，事前に水素充填所の認可，登録などの手続きが必要である。充填所の設定基準が厳しいため，簡易に水素を充填することができず，充填所のある遠方まで FCV を陸送し水素を充填しなくてはならない。可能な範囲で規制を緩和頂ければ，イベント参加や実証試験走行なども実施し易くなる。

FCV をガレージや地下駐車場のよう密閉空間に入庫する場合やトンネル内を通行する場合など，公道走行試験を進める上で関連する安全基準を早急に整備して頂きたい。

1-3 ダイハツ工業株式会社

日 時	平成 15 年 12 月 16 日 (火) 10:00 ~ 12:00
場 所	財団法人日本自動車研究所 FC・EV センター (東京都港区)
応対者	E・HV 開発部

(1) 21 世紀の環境戦略や FCV の位置付け等について

1) 今後の製品開発における環境取組みプラン^{注1)}

<p>自動車の燃費向上により走行中に排出される CO₂ を低減する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 燃費向上技術の開発により、トップクラスの低燃費を実現 ● ガソリン乗用車およびガソリン貨物車の国内 2010 年度燃費基準の早期達成 排出ガス中の CO, HC, NOx 等を低減し、大気汚染の防止を図る。軽ガソリン車初の「超低排出ガスレベル」達成技術を活かし、新たな排出ガス規制を先取りする技術開発を推進する。 <p>EV, CNGV における国内最多の量産実績と実用走行を基に、HEV, FCV 等の実用化に向けた技術開発を推進する。</p> <p>交通環境に関する研究：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 交通渋滞緩和と交通事故低減を図るために、ITS 関連技術の研究開発を推進 ● 低公害車を利用した新交通システムの開発プロジェクトに積極的に参加し、道路交通に起因する諸問題の総合的な解決に協力 <p>環境負荷物質の一層の低減：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 環境に負荷を与える恐れのある物質を開発段階で管理、削減 ● 鉛やその他の環境負荷物質の削減を積極的に推進 <p>リサイクル実効率 (2015 年 95% : 目標) の向上につながる技術開発を一層推進する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● リデュース (Reduce) につながる設計の推進 ● リユース (Reuse) および解体性・分離性の向上を促進する設計 ● リサイクル (Recycle) しやすい材料の採用, 材料の統一, 種類の削減および, リサイクル材の再利用化技術の開発と用途拡大
--

注 1) ダイハツ工業株式会社「環境報告書 2003」から引用。

2) 低公害車開発への取組みについて

直噴エンジンとアイドリングストップを組み合わせたミラ V を発売した。燃費は 30.5km/l (10・15 モード) で、HEV に近い燃費を達成している。

現在、ハイゼットカーゴの HEV10 台をモニター走行している。2002 年 11 月から 5 台でスタートした。モニター先は、自治体 (東京都、大阪府、大阪市、池田市等)、電力会社 (東京電力、関西電力、中部電力) などである。

ハイブリッドシステムを構成するコンポーネントについては一部トヨタ車と同じものを使っている。

FCV は将来、低公害車として一番のメインになる可能性を秘めていると考えている。

(2) FCV 開発に関するトヨタ社との関係について

FCV のような多大な開発資源を必要とするものについては、トヨタグループの総力を結集して開発をしていくというスタンスである。その中にダイハツも加わっている。

個々のコンポーネントは、主にトヨタグループの開発品を使っている。

グループの中で、ダイハツは軽自動車を担当している。

(3) FCV の燃料の選択、導入シナリオに対する考え方について

基本的にはトヨタ社の考え方に準じている。

(4) FCV の開発 / 商品化目標等について

2003 年 1 月 15 日に軽自動車初の FCV 「ムーヴ FCV-K-2」 (表 4-1) が、国土交通大臣認定を取得した。(ダイハツ工業株式会社プレスリリース)

基本的にはダイハツである限り軽自動車を開発していく。

二次電池とのハイブリッド化は、エネルギー回生面で必要だと考えている。

航続距離は、最終的にはガソリン車と同様の距離は必要になると考えられる。

耐久性は軽自動車でも小型車同様の条件は変わらない。

商品として販売できる時期は、現状ではわからない。

商品化までの課題は、耐久性・信頼性、水素の搭載性、それらのコストダウンをはじめ、まだまだ多くのことがある。

表 4 - 1 ムーヴ FCV-K-2 の車両概要

外観		
車両	全長 / 全幅 / 全高 (mm)	3,395 / 1475 / 1705
	最高速度 (km/h)	105
	乗車定員 (人)	4
	航続走行距離 (km)	120
燃料電池	名称	トヨタ FC スタック
	種類	固体高分子形
	出力 (kW)	30
モータ	種類	交流同期電動機
	最高出力 (kW(PS))	32(44)
	最大トルク (N・m)	65
燃料	種類	純水素
	貯蔵方式	高圧水素タンク
	最高充填圧 (MPa)	25
二次電池	種類	ニッケル水素電池

出典：ダイハツ工業株式会社プレスリリース（2003年1月15日）

(5) FCV の要素技術，システム技術の開発目標と主要技術課題について

軽自動車では，とくに遮音技術は重要である。

(6) FCV のエネルギー効率について

目標を立てて取り組んでいる。

(7) 他社との協力関係について(トヨタ社以外)

二次電池はパナソニック EV エナジー社製である。
制御システムは，ダイハツで制御仕様を設計している。

(8) おおさか FCV 推進会議について

おおさか FCV 推進会議に 2003 年 9 月から参加している。

設立趣旨は

新たなクリーンエネルギーとして広く普及することが期待されている燃料電池については、現在、国のプロジェクトとして、水素ステーションの実証研究等、燃料電池自動車の実証研究、定置用燃料電池の実証研究、及びこれらの実用化に向けた基盤整備が東京圏を中心に行われている。

今後、大阪圏においても国プロジェクトの成果を踏まえつつ、次世代を見据え燃料電池の本格的な導入促進を目指していくことが重要である。

● このため、大阪圏においては、まず都市再生と自動車環境対策の面から前述の及びの分野について、一般住民や事業者等への普及啓発活動をはじめ、国のプロジェクトの推進に対する提案・協力をしていく推進母体として、関係者で構成する「おおさか FCV 推進会議」を設立する。

設立時の会議の委員は、近畿経済産業局、近畿運輸局、大阪府、大阪市、岩谷産業、大阪ガス、ダイハツ、(財)都市交通問題調査会の 8 団体である。推進会議は大阪府が中心に進めている。

推進会議は FCV の実証試験を行うわけではない。実証試験を関西で行う場合には、協力できることは後押ししていくという推進会議である。現在はイベントが中心である(低公害車フェアの展示試乗会など)。

推進会議には設置期限は設けられていない。

参加している FCV は、ダイハツのムーヴが 2 台、岩谷産業がトヨタ社からリースされたトヨタ FCHV が 1 台、合計 3 台である。

水素ステーションは大阪ガスのものと、岩谷産業の移動式ステーションを使う。推進会議の行事やイベントでステーションが使えるのであり、自由に使えるわけではない。

(9) 実証試験の参加予定等について

実証試験が関西で行われるのであれば参加する可能性はある。しかし、東京・横浜の実証試験の参加は、経営資源的に困難である。

(10) 国・行政機関に対する要望について

ハイブリッド車にあるような購入補助は必要だと考えられる。
水素に関係する規制緩和が必要だと考えられる。

2. 要素技術

2-1 旭硝子株式会社

日 時	平成 16 年 2 月 16 日 (月) 13 : 30 ~ 15 : 00
場 所	旭硝子株式会社 中央研究所 (横浜市神奈川区)
応対者	中央研究所 PEMFC プロジェクト

(1) FC 関連事業への取組み状況について

1) 取組みの経緯と状況

旭硝子では食塩電解用のイオン交換膜の製造・販売を行っている。それ以外にも非常に幅広い層の製品を扱っており、バックグラウンド技術としての高いフッ素系化学技術を有している。この技術をベースに PEFC 用 MEA における、固体高分子膜とポリマー溶液の開発に取り組んできた。電極も含めた当社の MEA 化技術が進歩してきたため、現在は MEA の製品化を目指している。

1992 年から取り組んできた国プロでの基盤研究 (詳細は (2) 参照) と、1999 年頃から実用化を目指した独自の技術開発 (特に最近では MEA の事業化を考えた技術開発) という 2 本柱で進めている。

まずは実用化時期が早いと考えられている定置用の開発に注力しており、特定の顧客に MEA をサンプル供給している。まだ販売という段階ではない。

顧客から強い要望があれば膜単体としても供給するが、基本的なスタンスとしては MEA での供給を基本としている。

電極触媒は独自で開発していないが、購入してきた触媒に手を加えることや、電極を作るための触媒を混ぜた溶液をいかに品質良く安定させるかについては研究を行っている。なお、ガス拡散基材そのものの開発はしていない。

国プロの一環として DMFC の開発も行っている。

FC 関連の研究開発は中央研究所の中でも力を入れている研究の 1 つである。

2) 国プロへの参画状況

1992年から「燃料電池発電技術開発」(NEDO)に参画している。第1フェーズが1992～1995年度、第2フェーズが1996～2000年度、第3フェーズが2001～2004年度。現在は第3フェーズの3年目である。

第3フェーズでは、「固体高分子形燃料電池用電極・膜接合体技術に関する研究開発」としてMEAの開発を行っている。

MEA開発の目標として、1つは高性能型のMEAの開発を行っている。現在、家庭用コージェネシステムが一番早く実用化になるだろうと言われており、効率を重視してきている傾向にある。しかし、現状ではかなり低い電流密度になっているので、もう少し高い電流密度(0.4A/cm²)で、ある電圧をクリアするような高性能MEAの開発を行っている。

もう1つの目標として、先進型のMEAの開発を行っている。具体的にはポリマーの耐熱性の向上であり、120℃でも使用できるMEAや、酸素溶解性の高いポリマーを触媒用被覆樹脂として使うようなMEAの開発を行っている。

DMFCの開発もフェーズ3の中で取り組んでいる。

(2) PEFC用MEAの開発状況について

1) 開発しているMEA

MEAとしてはある程度いいものができつつあり、特定の顧客に供給して評価してもらっている状況である。顧客の要望に応えられるような性能を出すことを目標に取り組んでいる。

特長としては、耐久性と発電特性が比較的良いことである。

以前使用していたフィブリル補強膜とは少し違う膜を使っている。基本的にはパーフルオロスルホン酸系樹脂をベースにした補強膜である。

膜の構成、電極の構造は独自の技術で最適化を行っている。

2) 技術開発課題

MEA の最大の課題は耐久性である。膜単体の大きな課題としては、膜に穴が空くことである。MEA を使い続けていくとある時点で急激に電圧が低下することがあり、その原因は膜に穴が空いていることではないかと考えている。徐々に低下していけば危険予知ができて交換することもできるが、急激に落ちるので対応できない。その辺の欠点に対応することは旭硝子の得意分野のため、それに注力して取り組んでいる。原因はほぼ究明されつつある段階である。

その他の大きな問題として、シントリングとフラッディングがある。シントリングは触媒が粗大化し、触媒の活性が落ちる問題。フラッディングは、空気極で生成した水が空気極に溜まって電極の細孔が詰まり電圧が下がる現象であり、水をうまく排水する必要がある。こうした問題には、MEA として複合的に解決を図っていく必要がある。

耐久性としては自動車用の方が、負荷変動や高温、振動の問題があるので難しいのではないかと考えている。温度は最終的には 120 くらいで使うことになる一般的な言われている。

触媒担持量の低減については、膜の耐久性の問題を解決した後のステップになる。今の触媒量でも耐久性が不十分であり、それを減らすとより耐久性が落ちる方向になると思われる。

以上のような MEA の耐久性の課題を解決するためには、個々の部材だけを見るのではなく、MEA 全体で考えていく必要がある。各構成部材で解決できても、MEA として組み合わせたときに全体で解決できるとは限らない。全体を見ながら解決することが重要であり、そのため 1 社で MEA の開発を行ったほうが問題が分かりやすい。しかし、例え MEA を解決しても、次にセパレータ、さらにはその外側を含めてスタック全体での対応を行っていく必要がある。

3) その他

膜のコストは生産量による。少量だと現状でも 5~10 万円 / m² くらいになる。例えば、海外の膜メーカーのものを買うと 15 万円 / m² くらいはする。例え家庭用が普及しても、1 台で使う量は数 m² なのであまり変わらない。将来どれくらい買ってもらえるかということで決まってくるので、旭硝子も他社の動向を見ながら検討していく。

当社ではショートスタックまでの評価を行っている。その評価装置は、国内メーカーのものを使っている。装置が変わると結果が変わってしまうので、ほぼ 1 社に絞り込んでいる。

(3) PEFC 用固体高分子膜や MEA に関する全般的な技術動向について

1) 技術動向

最近の固体高分子膜の膜厚は、30～50 μm くらいが標準である。

MEA の製法としては、膜に触媒を塗布する方法とガス拡散基材に塗布する方法の両方が行われているが、何が主流なのかはわからない。

ごく低温での始動時に加湿すると水が凍ってしまうので、どのように加湿するかが問題である。例えば、システムで少し温めて起動するという方法も考えられる。

リサイクルは将来的に問題になってくるが、動向として特許が少し出されているくらいであり、それほど熱心に取り組まれてはいないと思う。

セルの形やサイズ、評価装置で測定データがかなり変わってくるので、標準化が課題である。測定方法を早く標準化すれば、非常に開発が進むのではないかと考えている。

2) 他社の動向

旭硝子（自社）では、耐熱性膜として、パーフルオロスルホン酸膜の主鎖に高い構造を有するユニットを導入することによって、軟化点温度を上昇させ、耐熱性を向上させる試みを行っている。

旭化成が NEDO プロジェクトで高温対応の膜素材を開発している。また、ゴアが多孔体をベースに色々な種類の膜を試している。

ホンダ社が 2003 年 10 月に発表した FCV で使われているアロマティック（芳香族系炭化水素）系膜は、炭化水素系膜で、ベースはエンブラ（エンジニアリングプラスチック構造）である。おそらく何かを介してスルホン酸基が入っていると考えられる。メリットとしては、電導度、高温耐性、低温始動などであろう。

一般に炭化水素系膜はパーフルオロスルホン酸系膜に比べて耐久性に課題があると考えている。炭化水素系の中では、ベンゼン環が多く入っている膜は炭化水素系の中でも比較的強いとされている。どのようにして構造的に満足のいく耐久性を担保できるのか興味深い。

(4) FC 関連の技術開発等における他社との協力関係について

自動車メーカー、定置用メーカーの特定メーカーに MEA をサンプル供給している。

(5) 国・行政機関に対する意見・要望について

FC システムを販売するときには購入補助金制度が必要と考えている。

国内の個別の産業政策という観点からだけでなく、国家全体のエネルギー戦略として、FC に対する支援が必要と考えている。

日本の FC 技術のレベルは他国と比べ相当進んでいると思う。資源を持たない日本が、FC の世界で技術的なデファクトスタンダードを作るために、国がどうやって各企業をリードしていくか考えて欲しい。

2-2 日清紡績株式会社

日 時	平成 16 年 3 月 3 日 (月) 14 : 30 ~ 16 : 30
場 所	日清紡績株式会社 研究開発センター (千葉市緑区)
応対者	研究開発センター 燃料電池事業部

(1) FC 関連事業への取組み状況について

カーボンと樹脂を混ぜてプレス成形を行った PEFC 用コンポジット製セパレータの開発を行っている。事業化を目指し、2002 年 5 月に研究開発センターから美合工場（愛知県岡崎市）に生産拠点を移して生産している。

工場の稼働率は、現状あまり良くない。多いときで月当たり万単位の枚数になるが、量産体制ではない。ほとんど試作品で、市販しているものはない。

セパレータの供給先は、国内・海外、自動車・定置用を含めて 8~10 社である。

国プロへは直接的には参画していない。セパレータの供給先が参画していることはある。また、経済産業省の標準化プロジェクトにサンプルを提出した。

取り組んでいる体制としては、研究開発と製品化の境目のような感じである。

(2) PEFC 用セパレータの動向や技術課題等について

1) 開発中のコンポジット製セパレータについて

課題としては、高強度化と薄型化である。厚さ（溝の部分は含めない板の部分のみの厚さ）は、金属では 0.1mm 以下を目標としているので、コンポジット製でも同じところを狙っていきたい。

コストについては、今の仕様のままなら、コンポジット製だと 1 枚当たり 200 円くらいまでは可能である^注。しかし、将来 100 円 / 枚を達成できるかどうかは、要求される仕様が変わってくるかもしれないので分からない。量産効果だけで達成できるかどうかは疑問であり、おそらく技術的なブレークスルーが必要だと考えられる。

量産になったときに、同じ品質を保つということは大きな課題である。例えば、FCV の欠陥車を年間で 100 万台中 1 台に抑えようとする、1 台に数百枚使われているセパレータを考えると、数億枚に 1 枚の不良品に抑える必要がある。これは最後まで大きな課題になってくると考えられる。

生産技術としては、2 年前まではほとんど手作りだったが、今はある部分は自動化している。これは人手を省くというよりも、品質の信頼性向上のためである。

セルやスタックでの評価は、自社では行っていない。

注) ここでの 1 枚とは、表側に燃料あるいは空気の流路、裏側に冷却水用の流路を切ったセパレータ 1 枚であり、国の目標では、燃料極側と空気極側を併せて 1 枚として、100~200 円という目標を出していることに留意されたい。

2) 全般的な動向

コンポジット製セパレータの製造手法として、何が最適かは分からない。プレス成形やロールプレス、射出成形などがある。射出成形は均等な寸法が出にくいところが難しい。

金属製セパレータに関して特に大きな技術革新があったとは考えていない。課題として、腐食性ということは変わらない。コンポジット製に比べると、電熱効率やコスト的には有利である。

DMFC用のコンポジット製セパレータは基本的にはPEFC用と変わらない。ただ、膨潤に対し、若干寸法を厳しくする必要がある。

競合する企業は10社くらいである。主な企業はSGLカーボン、ユニチカなどが挙げられる。ただ、当社以外は、顧客と1対1で付き合っているところが多く、複数の顧客と付き合っている企業は当社くらいだと思う。その点では、シェアは大きいと思う。

(3) 国・行政機関に対する意見・要望について

強度などの測定方法を統一して欲しい。

FCを普及させるためには、規制緩和もあるが、環境に対する規制強化もある。例えば、排出ガス規制を強化すれば、FCVへシフトせざるを得ないような状況になっていくと考えられる。そうした観点からの普及促進も検討して欲しい。

3. 燃料供給会社等

3-1 大阪ガス株式会社

日 時	平成 15 年 12 月 18 日 (木) 13:00 ~ 15:00
場 所	大阪ガス株式会社 (大阪府)
応対者	家庭用燃料電池コージェネレーションプロジェクト部 企画管理チーム 技術戦略部 企画チーム エンジニアリング部 ECO エネルギーチーム 材料事業化プロジェクト部

(1) 家庭用 PEFC コージェネレーションシステムの開発について

1) 開発の目的

ガス器具の効率化、お客様の快適性・経済性、CO₂ 排出対策という社会的な位置づけのもと、家庭用 PEFC コージェネレーションシステムの開発を行っている。

大阪ガスでは、2003 年 3 月からガスエンジン(ホンダ製)式コージェネレーションシステムの販売を開始している。2003 年 11 月末で 2000 台を販売した。

このシステムには、学習制御ソフトが入っていて、家庭での熱の使い方、電気の使い方を覚え、一番効率が良いところで自動的に発電をするシステムになっている。逆潮流するような場合は、(電気を買取ってもらえないため)ヒーターで熱に替えてお湯を作る仕組みになっている。

既に家庭用コージェネレーションシステムの販売が始まっている中で、ガスエンジンに加えてラインナップ充実のための発電ユニットとして PEFC を導入するべく開発を行っている状況である(図 1-1 参照)。



出所：大阪ガス株式会社提供資料

図 1-1 家庭用コージェネレーションシステムのイメージ

2) 商品化目標

2005 年度の商品化目標仕様を表 1-1 に示す。現在、この仕様をメーカーに提示して共同開発を行っている。

一番顧客が多いのは、少人数家庭で使われる 500W くらいである。ただし、一戸建てなどの大人数家庭では 1kW が必要である。1 機種で市場をカバーするのは難しいので、今後様々なラインアップが必要だと思われる。

定格発電容量としては、一番顧客が多い 500W クラスも必要なのだが、今のところ 700W ~ 1kW の範囲で開発を行っている。

システムは部分負荷で動く時間が多いので、部分負荷効率が重要なファクターになる。その点、PEFC はガスエンジンに比べて部分負荷効率がある程度良いので、部分負荷の出力制御を取り入れるように開発を行っている（エンジンの制御とは異なる）。したがって、部分負荷の発電効率と排熱回収効率も仕様で定めている。

連続運転で耐用年数は 10 年間（9 万時間）を見込んでいる。エンジンのように ON / OFF できれば良いが、商品としての耐久性を考えると、現状は連続運転主体の方が良いという判断である。

発電量が使用量を上回った場合は、ガスエンジン式と同様、ヒーターで使ってお湯をつくることになる。本来は省エネという観点から、電気として買ってもらった方が良いが、現状では買い取ってもらえないので行っていない。

システムの各要素技術の効率例を図 1-2 に示す。

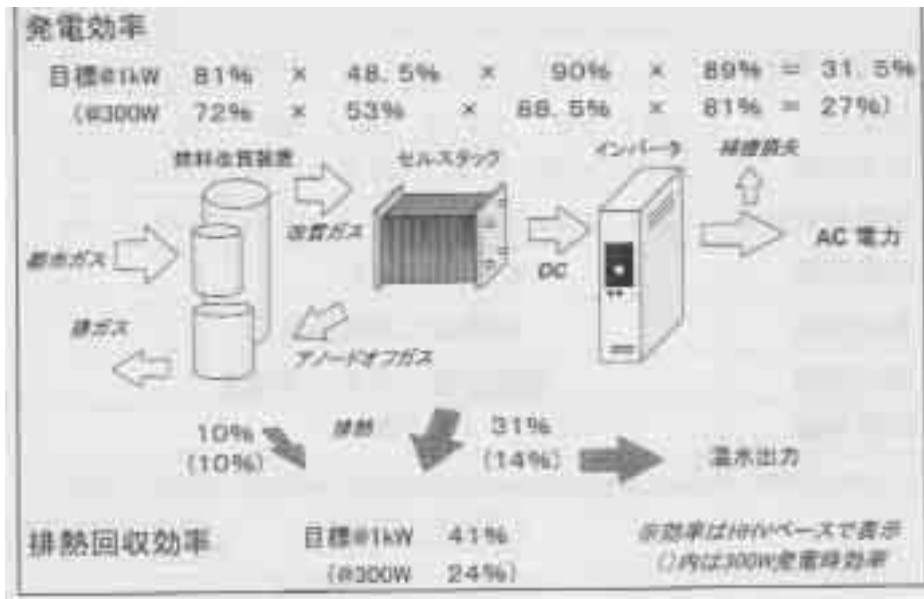
大阪ガスでは 2005 年度の商品化を目指している。

最終的な販売価格は 10 万台 / 年で 60 万円にはなると思っている。ただし、そこまでするためには、セルスタックのコストなどがネックになってくる。自動車業界と一緒にの量産効果も期待したい。セルスタックのコストが下がってくると、その次に問題になるのはポンプやプロアなどの補機である。

表 1 - 1 家庭用 PEFC コージェネレーションシステムの 2005 年度商品化目標仕様

定格発電容量	750W	~	1kW
T / D (W)	250 / 500 / 750		300 / 500 / 750 / 1000
発電効率	>27.0%>30.5%>31.5%		>27.0%>30.0%>31.0%>31.5%
排熱回収効率	>23.0%>34.0%>39.0%		>24.0%>33.0%>38.0%>41.0%
貯蔵温度	60		
系統連系	逆潮流なし系統連系		
運転形態	連続運転・ストップ追従		
耐用年数	10 年		

出所：大阪ガス株式会社提供資料



出所：大阪ガス株式会社提供資料

図 1 - 2 家庭用 PEFC コージェネレーションシステム(1kW)の各要

3) 各要素技術の開発・評価の状況

セルやスタックについては、改質ガスにおける性能の向上を目指し、3M やゴア テックスのような海外メーカーも含めた膜メーカーやFC メーカーが開発したものをユーザとして評価している。その中で、発電効率の向上、長期耐久性（9万時間）を目指して評価を行っている。

改質装置については、改質メーカーという立場で開発し、それをFCメーカーに評価してもらっている。その中で、熱効率の向上、長期耐久性（9万時間）、負荷追従性、起動・停止特性等の試験を行っている。あわせて、CO除去触媒の開発を進めており、ほぼ目標達成の見通しを得た。（詳細は2.参照）

商品になるには周辺機器が必要である。その中でも、とくに排熱回収システムは力を入れて開発をしている。これは、運転方式を効率的に制御するシステムであり、学習機能を持たせるようなシステムの開発を行っている。

ポンプやプロア、各種センサー等の周辺機器のコストダウンを図っていきたい。

ユーザの立場としてもPEFCシステムの評価を行っている。たとえ大阪ガスの改質装置が載っていないとしても、良いものだったら販売していくというスタンスである。

特許出願件数（共同出願含む）は、自社で開発を行っているところの出願が多く、改質装置関連、排熱回収システム関連に多く出願している。

4) 実運用試験・国プロの実施状況

各家庭によって電力・熱の使い方は異なるので、PEFC システムの制約（起動停止，出力変動等）の中で，できるだけ多くの家庭で多くのメリットが出る汎用的な運転方法を確立することを目的として実運用試験を行っている。あわせて，耐久性・信頼性等の技術評価，商品性の評価も行っている。

実サイトでの試験は，共同開発先の三洋電機，荏原バロード，松下電器，東芝 IFC 各社のシステムを社員宅等に設置して行っている。

NEF「定置用燃料電池実証試験」には日本ガス協会として試験に協力をしており，NEXT21 と豊中（平成 14 年度）で行った。

NEDO「定置式固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備」（平成 12～16 年度）の日本ガス協会の分室として参画している。試験方法の検討と運転指導等を担当している。

5) 普及のための課題

技術面の課題としては，補機類を含む耐久性も重要な課題である。とくにポンプ，プロアの 9 万時間の達成は大きな課題である。

補機動力の削減も必要である。

(2) 小型 PEFC 用改質装置の開発について

1) 都市ガス改質

脱硫器，改質器（水蒸気改質），CO 変成器まではりん酸形で 5 万時間の実績があり，技術力を有する。PEFC 用として新たに CO 除去器を開発した。

都市ガスにはガス漏れ感知用の付臭剤をつけるので，5～10ppm の硫黄が含まれている。硫黄を含まない付臭剤を使うのが良いのだが，従来のにおいと違うにおいに替えるのは難しい。

大阪ガスの強みの 1 つは脱硫器にあり，超高次脱硫剤を使っている。通常，常温脱硫剤が使われるが，ある条件になると硫黄を放してしまう特性がある。その点，超高次脱硫剤は硫黄を取り込んで放さない特性があり，非常に安定したキャッチアップ量を出すことができる。これは大阪ガスの大きなノウハウの 1 つである。これだけ売って欲しいというメーカーも多い。

脱硫器をメンテナンス時に取り替えるという発想は持っていない。もし取替えを忘れたら，装置全体がダメになってしまうのでリスクが大きい。

CO 除去触媒は大阪ガス独自の触媒を使用している。

改質装置の開発状況を表 2-1 に示す。ほぼ開発は完了し，国内外の PEFC システムメーカー等に販売している。

CO 除去触媒の耐久試験は，恣意的に触媒を劣化させても性能が発揮できるかどうかを試験している（加速劣化手法）。

窒素パージレスがもうすぐ認められる可能性があるので，パージレス方式も開発し，起動・停止の安定性試験も実施している。

大阪ガスの改質技術をライセンス供与している。公表している企業は，荏原バロードと三洋電機である。

改質装置のコストは，10 万台 / 年くらい作ると 7 万円程度になると考えられる。

改質装置を開発しているメーカーはたくさんある。例えば，松下電器，三洋電機，東京ガスなどが挙げられる。最近では東洋ラジエターを新聞報道で見た。

表 2 - 1 都市ガス改質装置の開発状況

9 万時間の耐久性確立	改質器耐久性実機実証	・ 運転時間 8,150 時間，起動停止 357 回 ・ 組織分析などにより，9 万時間耐久 / MSS ^{注)} 運転の見通しを得た
	CO 除去触媒の耐久性実証	・ 実機相当 SV で 25,000 時間実証 ・ 加速劣化手法を用いて 9 万時間耐久の見通しを得た
	加速劣化触媒による実機性能	改質器全触媒について 9 万時間相当劣化触媒を充填した上で所期の性能を確認。（ほぼ目標通り）
	窒素パージレスでの耐久性実証	・ 窒素パージレスで起動停止 400 回の耐久性実証（触媒のみは 2,000 回） ・ 緊急停止時の安全性に見通し
	限界性能実証	・ 窒素レスで定格起動 1 時間以内，50% 負荷上昇 7 分を実証
技術給与・販売		・ PEFC メーカー 3 社にライセンス供与 ・ 2003 年 7 月から外販開始に向け商談承り中

注) MSS (Monthly Start and Stop) : 月 1 回装置を止める

出所 : 大阪ガス株式会社提供資料

2) LPG 改質

現在 LPG 改質装置を開発中である。これは都市ガス改質と技術的にはそんなに変わらない。試作機において、都市ガス改質装置と同等の初期性能を確認済みである。

都市ガスと異なる点は、付臭剤の硫黄分が異なる点と、ボンベから先に軽い成分（ブタン）が出てくるため、最初と最後でガスの成分が異なる点である。

硫黄分及び不飽和炭化水素類の影響を加味した上での耐久性を確立中である。また、窒素パージレス方法も開発中である。

効率は都市ガス改質に比べ 1～2 ポイント低下する程度である。

(3) 水素供給ステーションに関する取組みについて

1) 水素供給ステーション開発の経緯と現状の取組み

1999～2002 年度に、WE-NET で天然ガス（都市ガス）改質形水素供給ステーションを開発した。

水素製造フローとしては、まず天然ガス（都市ガス）を予熱し、ガスの付臭剤として入っている硫黄分を脱硫する（200～400℃）。その後、水蒸気改質（675～750℃）、CO シフト反応（200～300℃）を行い、水素純度が 75%以上の混合ガスを生成できる。さらに PSA で 99.99%、99.999%以上の高純度水素に精製。PSA では、水素の一部がオフガスとして排出されるが、改質の熱源として用いることによって、熱効率を上げている。

2003 年度からは、「水素安全利用等基盤技術開発」の中で、ステーション用の「天然ガス改質形水素製造装置の実用化開発」と「水素漏洩・爆発に関する研究」という 2 件のプロジェクトを実施している。

おおさか FCV 推進協議会に参加し、推進会議の枠組みの中で FCV に水素充填を行っている。現在、月に 3 回の割合でダイハツのムーヴ FCV-K2 に充填を行っている。

2) 水素安全利用等基盤技術開発での取組み

「水素漏洩・爆発に関する研究」では、ステーションから保安物件までの離隔距離に関する規制緩和のために、バックデータを提供している。

具体的には、大阪ガスのステーションにおけるガス漏洩試験や、イギリスの Advantica で爆発実験を行ってデータを収集している。

一番漏洩する場所としては、ディスペンサーと高圧貯蔵室が考えられる。とくに 2003 年度は、高圧貯蔵室に焦点を当てて、漏洩や爆発の現象を調べていくことを行っている。例えば、水素濃度など条件を変えて、チャンバーの中で水素と空気の混合気を入れて爆発させ、爆風圧がどのくらいかということ測定する実験を行っている。

一般に安全の基準として、鼓膜が破れるような危険な爆風圧は 9.8KPa である。今回のデータでは 5m 離れた距離で 7.8KPa だったので 5m でも一応許容範囲に入っている。こういうデータを集めて、規制緩和につながるデータを蓄積している。

「水素ステーション向け天然ガス改質形水素製造装置の実用化開発」では、低コストでコンパクトな水素製造装置を水素ステーションに実用化していくために耐久性と性能を評価することと、水素吸蔵合金を利用して負荷平準化システムを検討するためにデータを収集している。

3) 水素ステーション普及のポイント

大阪ガスは都市ガス事業者なので、大阪ガス管内の 54,000km の都市ガスパイプラインで供給した都市ガスから安価な水素をオンサイトで製造し、供給していくシステムを普及させていきたいと考えている。

さらに、普及の促進を図るために、規制緩和がなされれば、既にガス体エネルギーを取り扱っている CNG ステーションに併設していくというようなイメージを考えている。CNG ステーションは大阪地域で約 50 箇所、全国で 200 数十箇所くらいある。黎明期の水素供給を支えるステーションとして、十分に機能できるものと考えている。

CNG ステーションと水素ステーションの法規制の違いを表 3-1 に示す。貯蔵量では、CNG は水素の 10 倍、保安物件に対する距離も学校で 17m、民家で 11.3m に対し、CNG は 6m 以上または障壁であり、この 2 つについては大幅な規制緩和が必要である。また、火気取扱い施設との距離は 8m に対し、CNG は 4m である。消防法でもガソリンスタンドには併設できないが、CNG は特例措置で併設が可能である。水素ステーションを普及させていくためには、CNG レベルの措置が必要になってくる。

表 3 - 1 水素ステーションと CNG ステーションとの規制緩和に関する比較

	水素ステーション	CNG ステーション
建築基準法	圧縮ガスまたは液化ガスの製造は，工業地域・工業専用地域に限られる。	住居地域まで可能
	用途地域ごとの貯蔵量規制 ・住居：高圧水素 35m ³ ，液体水素 3.5t ・商業：高圧水素 70m ³ ，液体水素 7t ・準工業：高圧水素 350m ³ ，液体水素 35t	左記の 10 倍
高圧ガス保安法 一般則	法定の保安物に対する距離制約 ・学校，病院，駅などに対し，17m 以上 ・民家などに対し，11.3m 以上	6m 以上または障壁
	ディスペンサーと公道の道路境界までの距離 (行政指導：現在規定なし)	5m 以上
	火気取扱い施設との離隔距離 8m 以上または流動防止施設	4m 以上または流動防止施設
消防法	給油取扱所には給油（付帯業務含む）用途以外の建築物 / 工作物の設置禁止	特例基準によりガソリンスタンドとの併設可

出典：燃料電池実用化推進協議会

(4) 水素製造技術開発の取組みについて

1) 水素製造技術開発の経緯と取組み

水素供給ステーションと平行して，水素製造装置自体の開発を行っている。
「NEDO 固体高分子形燃料電池システム技術開発(委託：日本ガス協会，2002～2004 年度)」と従来から自社で開発を行っている水素製造技術をあわせて，低コストでコンパクトな装置の開発を行っている。

従来からりん酸形 FC 用として，低圧(2KPa)都市ガスタイプで 40Nm³/h，100Nm³/h の水素製造装置を開発しており，WE-NET ステーションでも採用している。また，工場用のプラントなどで中圧(0.1～0.99MPa 未満)都市ガスタイプの実績も持っている。

2) 中圧型水素製造装置「HYSERVE」の開発・販売

WE-NET ステーションなどで採用していた低圧（2KPa）都市ガス配管を使った装置は、改質後に圧縮を行い、PSAで精製する（図4-1参照）。しかし、都市ガス1に対し水素が3～4製造されるので、圧縮動力が大きくなる。

そこで、中圧（0.1～0.99MPa）都市ガス配管の圧力を使い、改質、精製を行うことで、圧縮動力を削減することができるような中圧型の装置を開発している（図4-1参照）。

実際に30Nm³/h規模の中圧型（HYSERVE-30）を開発した（図4-2参照）。低圧型と比べると、設置面積を4割以上削減、コストも1/2削減できた。電気量も30%以上削減できた。

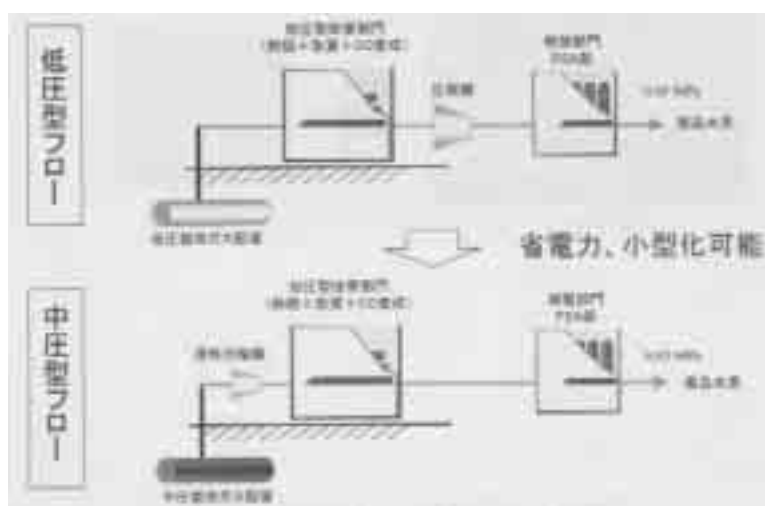
現在、HYSERVE-30を、オンサイトの工業用向けに2003年4月から販売を開始しており、今までに4台売れている（2003年12月18日現在）。

実際のステーションの規模を考えると、300Nm³/hサイズが必要になってくる。今回開発したものは1/10程度なので、今後の実用化を考えると10倍の能力を持った装置を開発していく必要がある。

2003年度中には100Nm³/hサイズを商品化していく予定である。さらに、2004年度は300Nm³/hの開発を行い、商品化していきたい。この300Nm³/h機が、現在の30Nm³/hサイズの設置面積くらいまでになれば、実用に近い形になるのではないかと、いうことを目標にしている。

30Nm³/hサイズ（HYSERVE-30）の販売価格は、4千万円くらいである。

現状の300Nm³/hサイズの平均コストは、アメリカと日本がほぼ同じで2億5千～2億6千万円である。しかし、エンジニアリング振興協会が水素ステーションのトータルコストを2億5千万以下にしないとペイできないと試算している中で、水素製造部分だけで2億円以上もかけていられない。それを考えると、50%以上のコストダウンが必要であると考えている。



出所：大阪ガス株式会社提供資料

図4-1 水素製造装置のコンパクト化の検討



出所：大阪ガス提供資料

図 4 - 2 中圧型水素製造装置「HYSERVE-30」

3) エネルギー効率, 水素コストについて

現状の効率は, $30\text{Nm}^3/\text{h}$ サイズで 67~68%である。最終的には $300\text{Nm}^3/\text{h}$ サイズで 74% (HHV) まで上げる計画である。

水素製造コストは起動時間によって変わる。稼働時間が多ければ多いほど, 単位当りの固定費が安くなっていく。8,000 時間/年と 4,000 時間/年では倍違う。

$300\text{Nm}^3/\text{h}$ サイズにおいて, 稼働時間が 8,000 時間/年で常時 80~100%の負荷で運転できれば, 水素製造コスト(水素製造装置のみ)は 30 円/ Nm^3 前半かそれを切るくらいのコストで 0.80MPa の水素が得られる。現状, 工業用のオンサイト製造装置(ほぼ1年中稼働)では, 50~60 円/ Nm^3 くらいが勝負になっている。

ただし, 0.80MPa の水素が安く得られても, その後の圧縮をうまく行わないと電気代が跳ね上がってしまい, 水素ステーションの出口コストは下がらない。その辺の技術がネックとなっている。

(5) アモルファスカーボンナノチューブの開発について

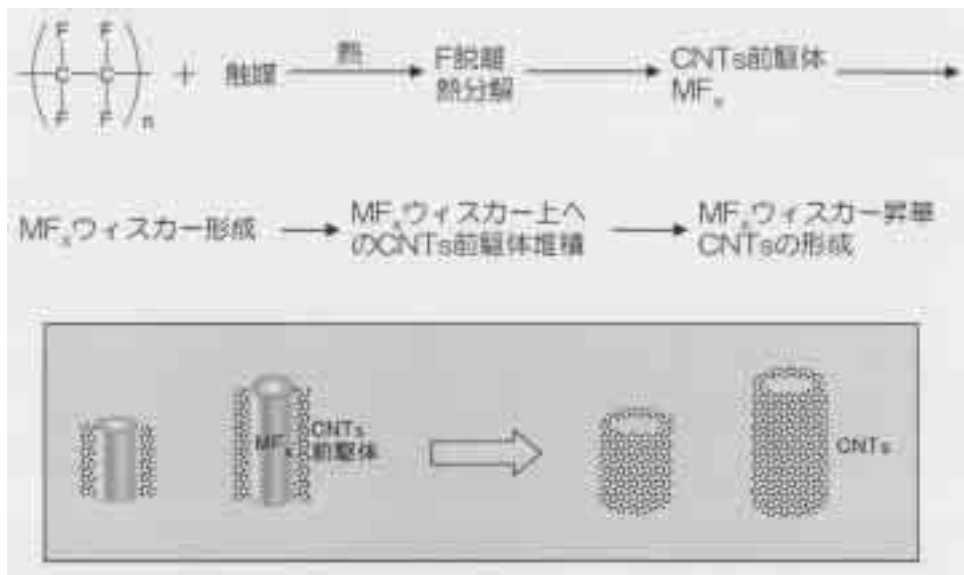
1) アモルファスカーボンナノチューブの概要

大阪ガスでは水素貯蔵材料としてアモルファスカーボンナノチューブ（ α -CNTs）の開発・研究を行っている。

都市ガスの原料はもともと石炭だったので、大阪ガスではその副産品として炭素材料を色々と生産しており、炭素材料に関する蓄積があった。その流れの中で、フロンティアカーボンというプロジェクトがあり、カルビンという炭素の三重結合が連なったような形の中間体の研究があった。その一連でカルビンの代表的な作り方を研究している中で発見し、大阪ガスが α -CNTs と名づけた。

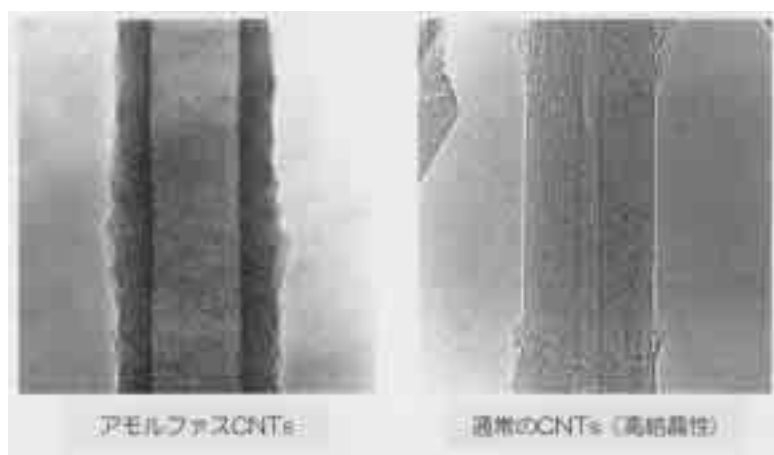
α -CNTs の作り方を図 5-1 に示す。テフロン（PTFE：ポリテトラフルオロエチレン）と触媒を混ぜて、その後に室温くらいの熱をかけて昇温していく。熱をかけるときにテフロンが分解するとともに、触媒によってフッ素が引き抜かれ、金属フッ素化合物と分解によって生じた CNTs の前駆体、炭素源ができる。金属フッ素化合物はウィスカーという非常に微細な結晶を形成し、ウィスカーの周りに生じた炭素源が体積していく。堆積して CNTs が構成されたときに、800～900 の温度になると、ウィスカーが昇華して CNTs だけが残るといった生成メカニズムになっている。

通常の CNTs は中央の穴（内部空壁）の周りの層が、多層のグラファイトで構成されている（図 5-2 参照）。一方 α -CNTs は、グラファイトの層が認めらず、結晶性がほとんどない。これを X 線回折などで観測すると、非常に小さなグラファイトの断片があり、不規則な壁を構成している（通常の CNTs は綺麗に揃っている）。その部分に水素を蓄えていると考えている。



出所：大阪ガス提供資料

図 5 - 1 α -CNTs の推定生成機構



出所：大阪ガス提供資料

図 5 - 2 CNTs の写真

2) 水素貯蔵量

通常が多層 CNTs は、過去に論文などで 5wt% や 10wt% と発表されたがその後確認できておらず、研究者の中では 0.1 ~ 0.5wt% 程度という見解でないかと思う。-CNTs の水素貯蔵量は、室温、10MPa で 3wt% 程度である。ただ、サンプルによってバラつきがあるがあり、1 ~ 3wt% の間である。それが何で決まってくるかは良く分かっていない。

NEDO の目標値は、自動車用で 5.5wt%、定置用で 3wt% である。NEDO の国プロ「水素貯蔵用 -CNTs の研究」(詳細は後述の(3) 参照)で 2004 年度終了後に中間評価があるので、そこまでにコンスタントに 3wt% を出すことを目標としている。

自動車用の目標を達成するためには、材料そのものを改良する必要がある。現在評価できるのは 10MPa までなので、10MPa で 5.5wt% を達成する必要がある。

CNTs の密度の目標値 0.45g/ml を達成すると、10MPa のタンクへ充填する場合の約 3 倍量の水素を貯蔵することができる。200 l くらいのタンクに 5.5wt%、0.45g/ml の CNTs を入れておくと、10MPa で 5kg の水素が貯蔵可能になる。

例えば、圧力によらず 5.5wt% 一定と仮定すると、タンクの半分を CNTs などの炭素系吸蔵材料で残りはタンクの圧縮水素とした場合、圧縮水素のみよりも 1.5 ~ 2 倍の効果がある。従来、70MPa まで上げると、タンクの水素貯蔵量の方が大きいので、吸蔵材料を入れてもその体積分だけ損であるという議論がされていたが、アメリカの方で出された正確なデータで計算をすると 70MPa でも効果はあるという試算結果が出ている。

水素貯蔵量を 3wt% から 5.5wt% まで上げることは、チャレンジングである。難しい点は、研究の歴史が浅く水素の吸蔵機構が分かっていない、もし吸蔵機構が分かっても、それをどうやったら作れるかということになる。結局、触媒と原料の組み合わせや調製条件を変え、温度や圧力などの反応条件を振っていくしかないと思う。その辺がうまくいくかどうかポイントになる。

3) その他

実用化は自動車用の方が難しい。-CNTs は、出来上がったときの密度が 0.003 ~ 0.005g/ml と非常に小さい。したがって、タンクを成形するときに、0.5g/ml 近くまで高密度化し充填しなければならない。定置用なら 1 回成形すれば良いが、自動車用は振動などによってせっかく成形したものが碎ける可能性がある。この辺は、成形技術が未検討なので分からない部分である。

実用化で問題になるのは、充填する際にプラグから若干空気が入るので、水素の高純度 (99.99999%) が期待できない。そういう不純物が吸着した場合の阻害は全く検討されていない。今後、実用化を睨んだ場合、まだまだ検討する項目がたくさんある。

充填の効率は、物理吸着であり吸着熱がほとんどないので、CNTs 側ではそんなに問題はないと思う。

大阪ガス以外での -CNTs の開発としては、中国で論文の発表があった。ただ、2000 近くで焼成したりしており、多層の CNTs になりそこなったような構造のようだ。かなり高い水素貯蔵量と発表をしているが、そのサンプルを産総研で測ったら、発表値のデータは再現できなかったようだ。

国プロは NEDO から 2 件委託を受けている。1 つは「水素貯蔵用 -CNTs の研究 (2003 ~ 2008 年度)」である。その中で -CNTs の貯蔵量を上げる研究を行っている。また、量産するための製造法に関する研究を三菱重工業と共同で行っている。もう 1 つは、「炭素系水素貯蔵材料の評価法と貯蔵機構の研究 (2003 ~ 2008 年度)」である。CNTs を含めた炭素系材料は標準的な評価方法がないので、評価方法の研究を行っている。また、どこに水素が入っているか分からないので、貯蔵機構の研究を行っている。こちらは大阪科学技術センターがとりまとめる形で、千葉大学、信州大学、豊橋科学技術大学、山梨大学、産総研、大阪ガス、三菱重工業が参画している。

3-2 昭和シェル石油株式会社

日 時	平成 16 年 2 月 20 日 (月) 10 : 00 ~ 12 : 00
場 所	昭和シェル石油株式会社 本社 (東京都港区台場)
応対者	研究開発部 水素プロジェクト課

(1) FC 関連事業への取組み状況について

- 1 シェルでは、シェル・ハイドロジェン社を 1999 年 6 月に設立して、シェル・ハイドロジェン社が改質器、水素貯蔵、水素精製システムに関して他社とジョイントベンチャーを組んでいる。
- 2 改質器については、UTC-FC 社と共同でハイドロジェン・ソース (Hydrogen Source) 社に出資している。水素精製に関しては、クエストエアー (QuestAir) 社 (カナダ) へ出資しており、株主にはバラードも入っている。ここはロータリーバルブを使って精製サイクルを非常に早くできるロータリー式の PSA 技術を有する。水素吸蔵合金 (一部ケミカルハイドライドを含む) に関しては、ヘラー (HERA) 社 (カナダ・モントリオール) に出資している。水素吸蔵合金タンク (車載用ではない) のプロトタイプを作り、特定の顧客に供給しているが、ビジネスベースではない。
- 3 海外の実証プロジェクトに関しては、欧州では ECTOS (アイスランド) と CUTE (アムステルダム、ルクセンブルグ)、米国では CaFCP とワシントンでのプロジェクト (GM と共同) で水素ステーションの実証試験を行っている。
- 4 水素や FC は非常に新しい技術なので、技術力があっても、ある程度外部からの経営支援を必要とするビジネスがたくさんあるので、投資のベンチャーファンドを 2 つ持っている。1 つはクリサリックス (Chrysalix) 社 (カナダ・バンクーバー) で、ベビービジネスを支援している。もう 1 つは、コンデュート (Conduit) 社 (イギリス・ロンドン) で、少し経験を積んだ株式公開前の企業を対象に経営支援を行っている。
- 5 国プロとしては、PEC のプロジェクトの中で、中央研究所 (厚木) においてシェルの CPO 技術 (詳細は 2 . 参照) を使ったハイドロジェン・ソースの改質器を用いて、水素ステーション用の改質システムの研究を行っている。2000 年度からスタートし、3 年間ずつのプロジェクトであり、現在は第 2 期の 1 年目である。

(2) FC 用改質器の開発状況について

シェルグループの独自技術である CPO (Catalytic Partial Oxidation) は、触媒部分酸化反応で発熱した熱で水蒸気改質する方式である。触媒が小さく負荷応答性が良いことが特長である。

CPO は当初オンボードを狙っていたが、現状では技術的に難しいので定置用について研究を行っている。今のところ 1kW 級の家庭用コージェネレーションシステムを出していこうという考えはない。世界的に見ると、1kW 級の需要は少ない。これまでにシェルが開発した中で 1 番大きいサイズとしては、150kW 級の FC に対応した改質器のプロトタイプを作ったことである。

CPO はどの燃料に対しても基本構造は変わらない。ただ、液体か気体かで前処理が変わることや、燃料の種類によって最適な運転条件が若干変わるということはある。天然ガスから石油製品まで、使えるものは全てカバーするというスタンスである。

硫黄対策については、触媒技術なので水蒸気改質よりは構造上簡単だが、それなりの対応を必要とする。

効率は、数年前のデータでは 80%出ているが、それでも定常運転では水蒸気改質の方が高いと思われる。しかし、起動・停止が連続的にあるアプリケーションの場合は、CPO の方が高い効率となる可能性がある。

改質器自体の技術は完成に近いレベルにあるが、その先のステップであるシステム化に関しては難しい。CPO だけではなく部分酸化やオートサーマルも同じだが、空気が入る分だけ水蒸気改質よりも水素の純度が低くなる。その分の処理を改質器側と FC 側のどちらで対応するかという問題が発生する。

PEC のプロジェクトでは、CPO を水素ステーションで使うことを研究している。元々オンボードを狙っていたので、起動が早く負荷応答性が良い。この技術を水素ステーションに使えるメリットが出るのではないかと考えて開発を行っている。とくに、FCV 導入初期の普及台数が少ない時期では、ステーションでの改質装置の起動・停止運転が多くなり、メリットが活かせる。また、水蒸気改質は装置が非常に大きくなるが、CPO ならかなり小さくなり、オペレーションの自由度が増えると考えている。

セルやスタックでの評価をしておらず、ガスが改質システムを出たところまでの分析・評価を行っている。

(3) 水素供給ステーションについて

JHFC プロジェクトにおいて、2003年6月に、岩谷産業と共同で有明（東京都江東区）に水素ステーションを建設した。液体水素と高圧水素の両方に対応したステーションである。

液体水素は今までに経験がないので、ハードウェアに関しては岩谷産業から調達・製造してもらっている。昭和シェルはステーションのオペレーションを行い、運営に関するノウハウを得ることを目的とし、将来的に（設備は作らないが）自社で基本設計ができる形にしたいと考えている。

有明水素ステーションには交代要員を含め、昭和シェルの社員が3人常駐している。岩谷産業の社員は常駐していない。

2003年6月12日から約8ヶ月で、延べ450台に充填を行った（約1日に2回）。充填台数としては、経済産業省の移動ステーションを除けば、JHFCの水素ステーションの中で一番多いと思う。

これまでに2回ほどステーションを停止した。原因は、どちらも液体水素の圧縮装置に入っている熱電対（温度計）が故障したことである。交換するためには、液体水素圧縮装置内の-253の液体水素を全部蒸発させる必要があるため、どうしても2～3日かかってしまうので運用を停止した。

課題としては、液体水素のボイルオフによる効率の低下である。ポンプやコンプレッサーで使う電力による効率の低下は少ないが、ボイルオフによる影響が大きい。液体水素は非常に沸点が低いので（-253），外部からの熱によってどうしても蒸発してしまう。現在はベントスタックから放出しているが、1日1%弱くらいが放出されていく。

ボイルオフで放出された水素を回収するための工事を行っている。ただ、回収した水素をどのくらいタンクに貯められるかによって、ステーションからの効率が変わってくる。

現在は充填台数が少ないので、液体水素を貯蔵しておく期間が長くなり、その分ボイルオフによって効率が低下している状況である。稼働率次第で、効率はいくらかでも変わっていくという印象である。また、液体水素を回収・貯蔵しないで、ステーションの自家発電用FCなどに使うことも考えられる。（効率数値は今年度、最終的に発表されないことになった。）

(4) GTL に関する取組みについて

1) シェルグループにおける GTL の取組み

シェルは GTL のパイオニアであり、シェルグループのシェルガス & パワー社で GTL を扱っている。マレーシアのピンツールで GTL 技術の確立が確認されたので、2003 年にカタールで QP (カタール国営石油) との大型プロジェクト (70,000b/d × 2 基) を発表した。

自動車用燃料の GTL に関しては、2003 年 11 月から三菱商事、コープ (生活共同組合連合会) と共同で路上走行試験を行っている。軽油に GTL をブレンドした燃料によるディーゼルエンジンに与える影響の実態調査を半年計画で行っている。

タイではピンツールの GTL をブレンドした軽油を商品化して、プレミアム軽油として販売している。価格は既存の軽油よりも高いが、結構売れているようだ。

家庭用燃料の GTL に関しては、GTL 灯油を 2001 年 11 月から鎌倉で試験販売を行っている。ガス機器工業会から既存ストーブへの影響が見たいということで一緒にタイアップして実験している。性能試験が終わったら、「E 灯油」という名称での販売を目指している。

現在日本で使われている GTL はピンツールから輸入しているが、今後大量に使うようになるときはカタールからの輸入になる。カタールの GTL はおそらく 2008 ~ 2009 年頃には日本へ輸入できる予定。

2) GTL の特長

GTL の特長としては硫黄がないというメリットが非常に大きい。硫黄があると車の後処理触媒に溜まり、それを浄化するために燃料をリッチに供給するので燃費が悪くなり、触媒の寿命も短くなる。また、セタン価が 70 以上あるので着火性が良く、エンジンにおける燃焼の改善が可能。例えば、タイでは既存の軽油は非常に硫黄が多いので、そこに GTL を少し混ぜるだけで排出ガスのクリーン化に高い効果が得られている。

GTL のナフサ留分は、オクタン価が低いのでガソリン車用燃料としては使えない。しかし、硫黄がなく改質しやすいので FC 用水素の原料としての使い道が考えられる。

GTL 軽油が量産できた場合 (2008 ~ 2009 年頃)、日本での末端価格は、既存の軽油に比べ 10 円 / l 程度アップすることが予想される。エンドユーザが既存の軽油と同じ価格で買えるように、税金等で調整できれば普及しやすくなる。

GTL を自動車用として使う場合、既存のインフラを使えるので、国としての負担は少ない。例えば、DME は常温で気体になるため、既存のインフラがなく、自動車側での開発投資も大きくなる。DME は LPG 代替というスタンスなら良いが、自動車用とするのは負担が大きくなる。

今はディーゼルエンジンがネガティブなイメージになっているが、将来にエンジンの改良があり、ディーゼルエンジンの方が環境に適しているという時が来た場合、GTL が効果的に使われていくと思う。

(5) FCV への燃料供給に関する考え方について

FCV 用の水素としては、オフサイトによる石油系燃料の改質で水素を製造することが望ましい。それを液体水素で運ぶか圧縮水素で運ぶかは距離やコストによると思う。需要が少ないうちは、CPO のようなコンパクトな改質器をガソリンスタンドの脇に置いて賄っていくことが考えられる。家庭用は、都市ガスや LPG をオンサイトで改質することが望ましい。

車が FCV にシフトしていくとしたら、石油系燃料の使用量が減ってくるので、国内の製油所で使っている水素が余り、水素製造設備に余力が出る。その余力で FCV 用の水素を製造して送り出すことが考えられる。天然ガスは、わざわざオフサイトで改質せずにパイプラインで工場や家庭に供給して、オンサイトで使う方がいいと思う。

水素のパイプライン供給は、欧州では既に使用されており、日本でも可能性がある。ただし、土地や地震の問題に対する安全対策で建設コストがかかりすぎる。採算性を出すためには、相当な量の水素を使う必要がある。

CHF については、まだ開発という段階ではないが、CPO を使いながら燃料の組成や改質のしやすさなどのデータを取っているような基礎的検討の段階である。

(6) FC 関連の技術開発における他社との協力関係について

改質技術については、UTC-FC と共同でハイドロジェン・ソース社に出資している。

水素吸蔵合金については、ハイドロ・ケベック社（カナダ・ケベック州営の電気事業者）、GfE 社（エレクトロメタルルギー社：ドイツの水素吸蔵合金メーカー）と共同でヘラー社に出資している。

SOFC については、シーメンス、ウェスティンハウスと共同で、油田やガス田で使えるような FC システムの検討を行っている。

(7) 国・行政機関に対する意見・要望について

規制緩和に関しては、新しい技術が次々に出てくるので、継続的に進めていくて欲しい。それに対してシェルは積極的に協力していきたいと考えている。

開発資金援助については、もう少し改質技術についてのサポートが欲しい。

3-3 コスモ石油株式会社

日 時	平成 16 年 2 月 4 日 (水) 15 : 00 ~ 17 : 00
場 所	コスモ石油株式会社 中央研究所 (埼玉県幸手市)
応対者	中央研究所 新エネルギーグループ 事業開発部 事業企画グループ

(1) FC 関連事業への取組み状況について

コスモ石油では、定置用 FC や水素供給ステーションにおける、石油系燃料、GTL、他の各種燃料からの水素製造技術開発を進めている。

2002 年度 JHFC プロジェクトに参加し、2003 年 3 月「横浜・大黒水素ステーション」の運営を開始した。FCV への水素供給に加え、水素製造の効率や、種々の実証試験データを収集し、検討している。

定置用 FC のための水素製造技術については実用化に近いレベルになりつつあり、PEC (石油産業活性化センター) 実施プロジェクトの中で、コスモ石油はオートサーマル方式の改質技術の研究を行っており 2004 年度が 5 年計画の最終年度となっている。

(2) 定置用 FC の改質器の開発状況について

1) 開発状況

現在、灯油改質をメインに定置用 FC 向け改質器の開発を行っている。改質方式としてはオートサーマル中心で、水蒸気改質も研究を行っている。

灯油に集中している理由は、一番難しい灯油ができれば、LPG、他もその技術を使ってできるとの考えからである。

2002 年度に灯油改質器試作 1 号機を開発し、2003 年度はその改良改質器を評価している。

改質器の前のプレリフォーマで一度、灯油をメタンとし、このメタンを改質する技術の特徴としている。

発電能力が小さく、スケールメリットが出にくい家庭用を想定した 1kW 級の一番難しい小発電能力規模のものをあえて開発している。

商品化の目標としては、改質システムとしてパッケージングしたもので市場に出していきたい。コスモ石油の一番得意なところは触媒技術なので、少なくとも改質触媒ではコスモ石油のオリジナリティを出していきたい。

2) 技術開発課題

オートサーマル改質方式は水蒸気改質方式に比べて水素純度が低いものの、自己熱での温度上昇が可能である特性を活かして、起動時間短縮化が可能となる。従って、オートサーマルと水蒸気改質の良い部分を引き出すことも開発のターゲットとしている。

灯油を使うメリットは、原料価格が安く、他の原料に比べて低価格の電力供給が可能になる。また、都市ガス改質型 FC とは異なり、都市ガス導管の通っていない地域(国内世帯数の約半分)でも、灯油改質型 FC ならば使えるというメリットもある。

技術課題は、改質効率、触媒寿命、製造コスト、起動時間短縮化である。

(3) 水素供給ステーションの課題について

課題としては高効率化が挙げられる。

一般的に規模が大きくなればなるほど熱効率は上がる。現在の JHFC の水素ステーションの水素製造能力は 30~50Nm³/h であり、中小工場向けの商業規模である 300~500Nm³/h に比べると 1桁小さいので熱効率が低いことは否めないものの、「横浜・大黒水素ステーション」はそこそこの高い熱効率で運転出来ている。

2010 年時点での脱硫ガソリン改質形ステーションでの効率としては、300Nm³/h で 70%(LHV)くらいを目指している。(燃料の精製、輸送等は含まない)。

(4) GTL に関する取組みについて

1) 世界の開発経緯と動向

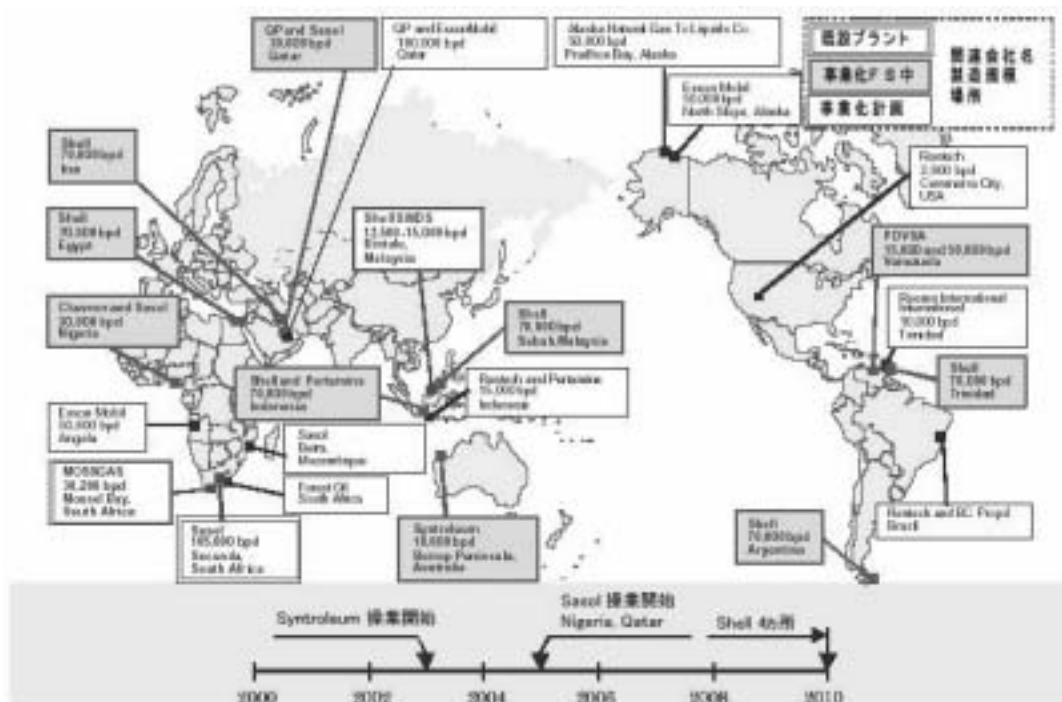
GTL は第二次世界大戦前のドイツで、石油代替燃料製造を目的として発明された技術である。日本でも戦前、九州にプラントがあったくらい歴史のある技術である。

第 2 次オイルショック時、世界的に石油代替燃料が脚光を浴び、再び GTL 研究が盛んになった。Shell は 1980 年代に研究を始めている。また、南アフリカは石油輸入ができなかったことから、国営石油会社 Sasol が石炭由来の GTL の研究を続けていた。日本では、通産省の新燃料組合で、コスモ石油を含めた各石油会社が参画し GTL 油の合成触媒開発研究を行っていた。

その後、原油高、技術革新の進展等により 1990 年前後に再び活発化した。日本では、石油公団が GTL プロジェクトを立ち上げ、これにコスモ石油は参加している。

現在、世界各地で大型のプロジェクトの立上げが発表されており、多くの GTL プロジェクトの計画があると言われている。(図 4-1 参照)。

2003 年度の大きなトピックスとしては、QP(カタール国営石油)が Sasol あるいは Shell それぞれと、34,000b/日、80,000b/日の事業化を発表したことである。



出所：エネルギー経済研究所「天然ガスからの液体燃料（GTL）の市場性について」（2001年11月）

図 4 - 1 世界の GTL 事業化計画

2) コスモ石油における開発状況

石油公団の GTL 実用化実証試験プロジェクトにおいて、国産初の GTL 油製造に成功した。北海道苫小牧市の勇払地区のパイロットプラントで、製造能力が約 7b/日（約 1.1kl/日）である。

このプロジェクトで製造した GTL 油のうちのガソリン留分を使い、「横浜・大黒水素ステーション」において、改質による水素の製造に成功した。（2003年11月プレスリリース）

ガス田規模が小さく、LNG プロジェクトに適さないために、未開発となっているガス田においても、GTL プロジェクトにより開発可能となることが期待できる。

GTL 油の主成分はパラフィンであり、芳香族は全く入っていない。また、サルファーフリーでもある。

GTL 油は、セタン価が非常に高く、また PM の排出量を減らすことができることから、軽油代替、軽油へのブレンド基材としても高く期待されている。一方、GTL 油のナフサ留分はオクタン価が低く、そのままではガソリン用途には向いていないものの、改質原料、即ち、水素原料として適している。

一般に GTL 油合成にはコバルト触媒が用いられているが、コスモ石油はルテニウム系の触媒を独自に開発した。同触媒は比較的少ない金属担持量で高い活性がある。

3) 実用化に向けた課題等

製造効率，経済性を含めてこれから評価していく段階である。

LNG や DME とは異なり，GTL 油は専用の輸送手段を必要とせず，既存の石油製品の輸送インフラをそのまま活用することが可能であるというメリットがある。

(5) FCV への燃料供給に関する考え方について

コスモ石油では，水素供給ステーションの立地に応じた最適な水素供給方法があると考えている。例えば，製油所の近くなら製油所で大量生産した水素を導管で供給することや，遠距離の場合には石油系燃料を含む液体燃料を原料とするオンサイト改質型，他の水素供給ステーション立地にあわせた最適供給方法を選択していきたい。

また，CHF（クリーンハイドロカーボンフュエル）に関しては基礎データを採取，検討中で，燃料の開発までには至っていない。

(6) 国・行政機関に対する意見・要望について

FCV の導入目標台数は 2005 年で 5 万台，2010 年で 500 万台と言われており，現在の実証化試験段階から，次の導入段階，普及段階，更には本格普及段階と進めていくことになる。これについては，自動車会社，水素供給会社，FCV ユーザー，推進役の政府の協調体制での取り組みが不可欠であり，本格普及段階までの各ステージにおいては，政府の支援をお願いしたい。

また，水素供給ステーションは，既存のステーションのインフラ活用が最も合理的であるとする。既に，規制緩和に向けた取り組みがなされているが，安全性を確保しつつ，可能な限りの既存ステーションへの水素供給ステーションの併設可能となるよう規制緩和の実現をお願いしたい。

3-4 バブcock日立株式会社

日 時	平成 16 年 2 月 10 日 (火) 10 : 00 ~ 12 : 00
場 所	バブcock日立株式会社 本社 (東京都港区浜松町)
応対者	環境事業部 社会環境システム営業部

(1) FC 関連事業への取組み状況について

- 6 昭和 28 年にイギリスの B&W(バブcock&ウィルコックス)社^{注)}と日立製作所の共同出資により設立され,昭和 40 年に日立ボイラーと合併した。現在は日立製作所が 100%株式を保有している。従業員は 1,200 人,広島県の呉と安芸津に工場がある。
- 7 主要製品は,ボイラープラント(発電所向け大型火力ボイラー),排煙脱硫・脱硝装置,原子力機器(軽水炉の圧力容器),産業プラント,ゴミ焼却装置である。この他に,環境浄化製品として,排水中アンモニア浄化装置,VOC(揮発性有機化合物)処理装置などがある。また,脱硝装置で使っている触媒技術を自動車用触媒にも適用していくための研究開発を行っている。
- 8 これまでの水素製造技術の経緯としては,1960~1980年に大型化学プラント向けの水素製造プラントをつくっていた。その後,燃料電池が注目された 1980年代から,MCFC(熔融炭酸塩形燃料電池)用水素製造装置をつくり,納入した。現在は,これまでの技術を活かし,家庭向 PEFC 発電システム,産業向オンサイト及び水素ステーション用の水素製造装置の開発を行っている。
- 9 FC・水素関連の窓口は本社の社会環境システム営業部,開発は呉の事業所・研究所で行っている。
- 10 国プロには,3つのプロジェクトに参画している。1つは,NEDO「固体高分子形燃料電池システム技術開発」(2002~2004年度)に日立製作所の再委託先として受託し,PEFC用水素製造装置の開発を担当している。もう1つは,NEF「燃料電池システム実証試験」において改質器を日立ホーム&ライフソリューションへ提供しており,広島で 1kW 級 PEFC の実証試験を行っている。さらに,JHFC プロジェクトにおいて,2003 年度から青梅の移動式都市ガス改質形水素ステーションで実証試験を行っている(詳細は 3.参照)。

注)バブcock氏とウィルコックス氏が創設したイギリスの会社。

(2) FC・水素関連技術の開発状況について

1) 家庭向け PEFC 用改質器

当社の改質器の大きな特徴としては、内熱式（オートサーマル式）改質を採用していることである。外熱式（水蒸気改質）は外部からの加熱が必要だが、内熱式では燃料を 1～2 割燃焼させ、それを熱源として触媒により水蒸気改質反応を起こすという方式である。

改質器の特徴としては、量産に適したプレス成形加工を考慮した汎用のステンレス薄板の積層構造を採用したことである（図 2-1）。

4 つの触媒（燃焼触媒、改質触媒、CO シフト触媒、CO 選択酸化触媒）の中で、燃焼触媒と改質触媒がハニカム触媒である。2004 年度からは、全てをハニカム触媒にすることで、触媒の担持量を下げコストを下げている。水蒸気改質では、熱が伝わらないのでペレット触媒しか使えないが、内熱式はハニカム触媒が使えるので耐久性の高い貴金属系の触媒成分量が半減可能であり大幅な低コスト化が見込めると共に熱容量も半減できて更なる起動時間の短縮、軽量化が可能である。

対象とする燃料は、都市ガス（13A）である。まずは都市ガス改質を完成させ、次に LPG 改質や灯油改質についても燃料多様化する予定である。LPG 及び灯油は脱硫技術が課題であり、さらに、灯油は小型化及び改質技術が難しい。

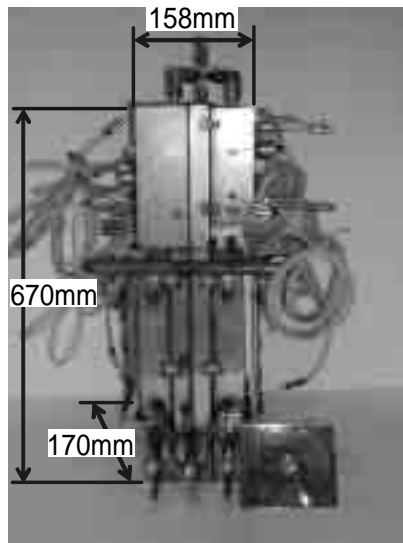
内熱式の特長としては、1) 迅速な起動、2) 短時間負荷追従、3) コンパクト、4) 低コストである。

一般に水蒸気改質の改質ガス中水素濃度は 70～75%程度であるが、内熱式では約 50%程度である。一方、PEFC では水素ガス濃度の発電効率等の電池性能に与える影響は少ないため問題ないとする。

完全低温停止状態から発電開始までの起動時間は、現状約 20 分である。これについては、2005 年までに 10 分以内を達成する見込みである。

負荷応答性は優れており、負荷 75%から 100%に変化させた場合でも、1～2 分以内で追従できることを実証している。

一般的に部分酸化方式やオートサーマル方式の効率は定格一定運転条件では水蒸気改質よりも 2～3%低いのが一般的である。ところが、実際の家庭での、起動時間、負荷追従運転、DSS（毎日起動停止運転）を考慮すると実効的な効率は水蒸気改質より高い平均発電効率を達成可能である。したがって、家庭でのメリットが最も高くなる DSS 運用での、起動時間の短縮及び負荷追従性を主眼として開発を進めている。



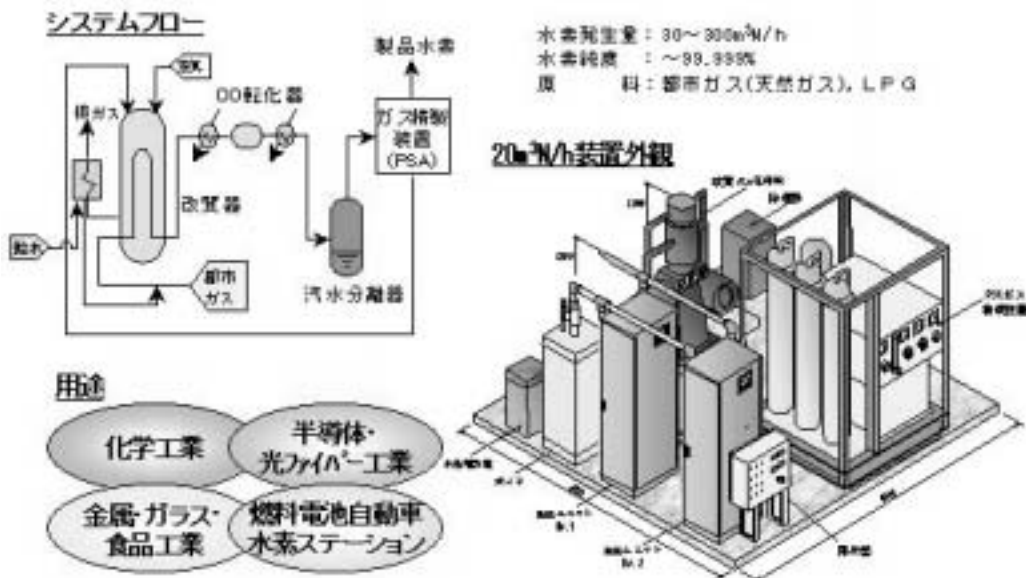
出所：パブコック日立提供資料

図 2 - 1 1kW 級改質器

2) オンサイト用水素製造装置

パブコック日立ではオンサイト用水素製造装置を製造・販売している(図 2-2)。これは、高純度水素が使われている化学工場や半導体工場などで使用されるもので、今までは水素ポンプやローリーで運んでいたが、水素製造装置を工場内に設置した方が、量によっては水素供給コストが安くなるので製品化した。

改質方式は水蒸気改質で、改質器の後に PSA をつけ、99.999%の高純度水素が得られる(PSA は自社で開発していない)。



出所：パブコック日立提供資料

図 2-2 オンサイト用水素製造装置

3) バイオマスからの水素製造

都市ガス改質でも CO₂ は出てしまう。将来的にもっとクリーンな水素製造方法として、バイオマスを検討しており、NEDO の公募に応募して試験を行っている。

テーマは、「発酵菌を用いる水素製造設備の開発」。今まではバイオマスからメタンを製造する方法が多かったが、このテーマは発酵菌を用いてバイオマスから直接水素を製造することを検討している。

サトウキビの絞りカスやおからが分解しやすいように前処理をして、菌を入れて発酵させる。通常はメタンが出るが、菌の種類によっては直接水素が発生する。そのような菌の種類を調査して、一番効率が良い菌を見つけている。将来的には、プラントにするということを考えている。離島では、サトウキビから水素を作って電力を賄うことも考えられる。

元々、メタン発酵は廃棄物処理施設でやっていたので、その技術の派生という形で取り組んでいる。どちらかという、ハード面が得意なので、菌を最初から開発するよというよりも、最適な菌や反応に関する技術があれば、それを導入してシステム化していくということをビジネスタargetに考えている。その点では、菌や反応は大学などの研究機関に依存することになる。

(3) JHFC 青梅水素ステーションの取組み状況について

1) ステーションの概要

2003 年度から JHFC プロジェクトに参加し、東京都青梅市に移動式都市ガス改質形水素ステーションで実証試験を行っていく。

体制としては、バブコック日立が全体の取りまとめとハード面、日本酸素が高圧水素部のハード面を担当する。さらに、巴商会在青梅ガスセンターという場所を提供し、運営も巴商会在が担当する。

水素製造フローは、基本的にはオンサイト用水素製造装置と同じで、その後に圧縮充填装置を追加している。基本構成は(図 3-1)、水素製造車(改質器、PSA)、高圧水素充填車(圧縮機、蓄圧機、ディスペンサー)、ユーティリティー車(原料水、天然ガスボンベ)の 3 台構成となる。当初は 1 台に載せる予定だったが、大きくなってしまったので分散させた。現状では 1 台車両重量は 25t(積載量約 10t)であるが車両重量を 20t 以下に軽量化していきたい。

通常はステーションに配管されている都市ガスを直接供給するが、都市ガスや水がない地域にはユーティリティー車が一緒に走るというイメージである。

基本仕様は、水素製造量 30Nm³/h、充填能力は連続して乗用車 2 台分、水素充填圧力は 25~35MPa である。

青梅ステーションの完成予想図を図 3-2 に示す。ユーティリティー車は端に待機させておき、通常は都市ガスからガスを供給する。



出所：パブコック日立提供資料

図 3 - 1 移動式都市ガス改質形水素ステーションの構成



出所：パブコック日立提供資料

図 3 - 2 移動式都市ガス改質形青梅水素ステーションの完成予想図

2) ステーションの特長

水素製造装置と充填装置を含めた水素ステーション設備一式を車載しているため、任意の場所でFCVに直接供給が可能である。

都市ガスはインフラが整備されているため利用しやすい。

外部ユーティリティーが供給不可の場所でも運用ができる（ユーティリティー車使用時）。

大量の水素運搬と貯蔵が不要である。

定置式水素ステーションの利用エリア外をカバーすることで、FCVの普及促進に貢献できる。

定置式水素ステーションの一時的バックアップとして利用できる。

3) 実証試験の概要

FCVへの水素供給能力の実証を行う。乗用車へは、蓄圧機で2台分までは連続で充填できるが、3台目以降は水素を製造しながらの充填となり時間がかかる。その辺の実証を行っていく。

移動式なので、公道での実走行振動による設備の健全評価を行う。車両のベース基地は伊勢原にあるので、青梅 - 伊勢原間の50～60kmを週に1往復走らせて、実証していく。

移動式水素供給設備の基準・標準化が明確になっていない部分もあるので、法規制の基盤整備のための実運用データ（水素製造量、充填台数、走行記録等）を取得していく。

(4) FC関連の技術開発等における他社との協力関係について

1kW級都市ガス改質形家庭用PEFCの開発において、国プロなどを通して日立グループで協力して取り組んでいる。

(5) 国・行政機関に対する意見・要望について

研究開発補助金および省エネ/環境低減補助金制度を継続して欲しい。

高圧ガス設備、消防法および電気工作物に関する規制緩和の早期実現が必要である。

燃料電池車技術調査検討会名簿

(敬称略)

委員長	石谷 久	慶応義塾大学大学院 政策・メディア研究科
委員	山田 興一	信州大学 繊維学部
"	境 哲男	産業技術総合研究所関西センター 電池システム連携研究体
"	河合 大洋	トヨタ自動車(株) FC開発本部 FC技術部
"	三枝 省五	日産自動車(株) 環境・安全技術部
"	佐藤 淳一	(株)本田技術研究所 和光基礎技術研究センター
"	高田 寛治	松下電池工業(株) 商品技術開発センター
"	阿部 昭彦	田中貴金属工業(株) 営業本部 開発営業部
"	池松 正樹	新日本石油(株) 新エネルギー本部 FC事業2部
"	吉武 優	旭硝子(株)中央研究所
オブザーバー	江澤 正名	経済産業省 製造産業局自動車課
"	岩下 哲雄	経済産業省資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー対策課
"	近藤 正彦	(財)新エネルギー財団 計画本部
"	栗原 信哉	日産自動車(株) 環境・安全技術部 技術渉外グループ
事務局	丹下 昭二	(財)日本自動車研究所 FC・EVセンター
"	荻野 法一	(財)日本自動車研究所 FC・EVセンター
"	遠藤 弘太郎	(株)ライテック 社会調査・計画部 第二課
"	丸田 昭輝	(株)テクノバ 調査・開発研究部

禁無断転載

平成15年度燃料電池自動車に関する調査報告書

平成16年3月

財団法人 日本自動車研究所
東京都港区芝大門一丁目1番30号
TEL 03 - 5733 - 7927