

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 2008～2012 年の温室効果ガス削減目標は 1990 年比でマイナス 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。2005 年 2 月 16 日、本条約はロシアがこれを批准したことを受け、正式に発効した。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、公的研究機関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とともに、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) 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（5 章）。

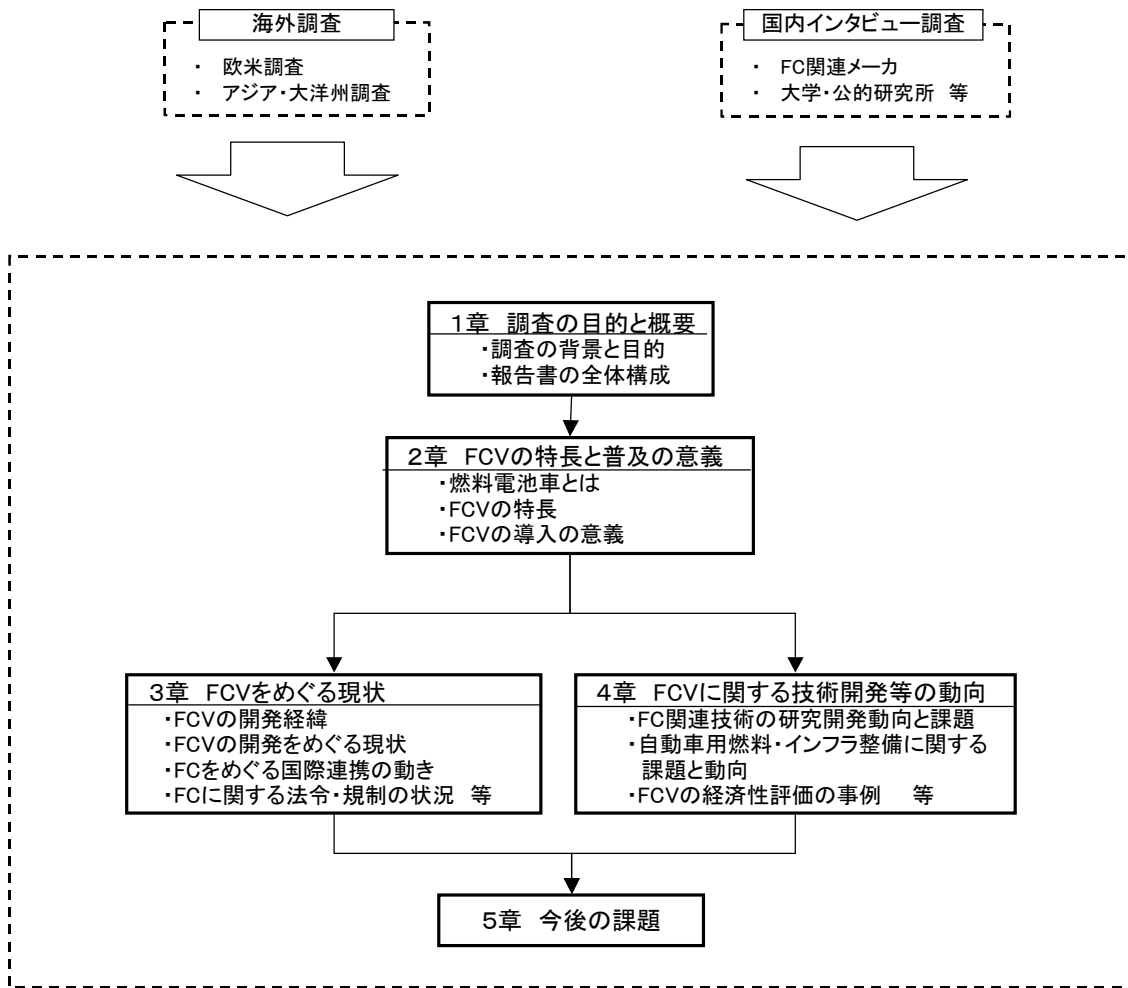


図 1-2-1 報告書の全体構成

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。

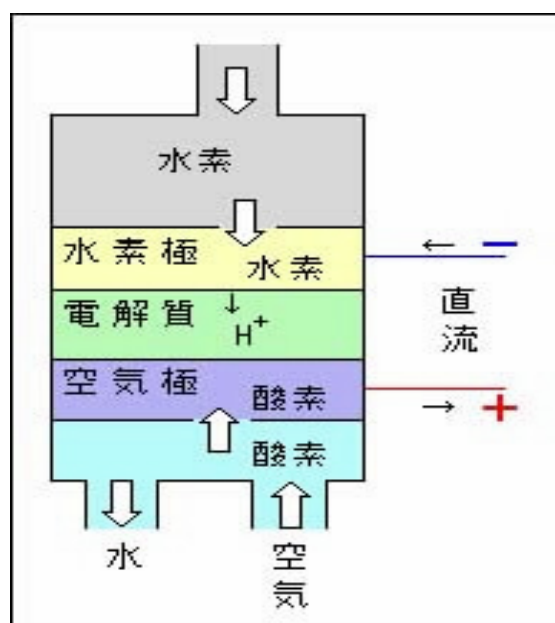


図 2-1-1 燃料電池の構造モデル

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思われる燃料電池	-	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、通常のガ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。

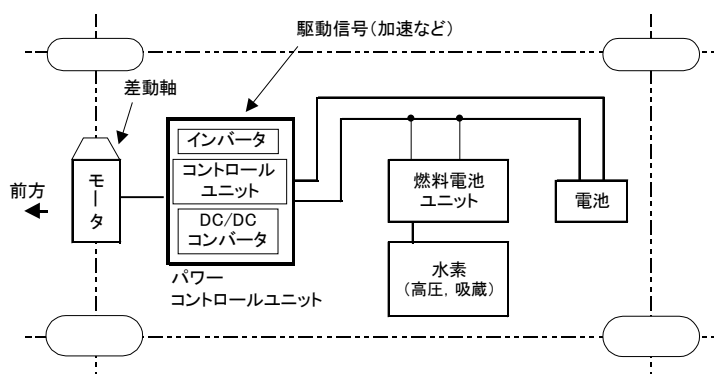


図 2-1-2 燃料電池車(直接水素形)の構成例

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
① 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。
② 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。
③ 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。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。

① エネルギー効率が低い

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。

② 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。

③ 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。

④ 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	△	○	△	◎～☆	△	◎～☆
		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（○）とした場合の相対比較。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とはパー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	シビック GX	クルセダー	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。

.