

燃料電池自動車の市場導入に向けた取組み

渡辺 正五

財団法人日本自動車研究所 エネルギー・環境研究部

〒305-0822 茨城県つくば市期間2530

Activities for Commercialization of Fuel Cell Vehicles

Shogo WATANABE

Japan Automobile Research Institute

2530 Karima, Tsukuba, Ibaraki, 305-0822

Fuel cell vehicles now become on the stage of public road demonstration. And the development of hydrogen infrastructure is promoted by the government and industries. The element technologies such as fuel cell stack, fuel cell system and onboard fuel storage device are also progressed. This paper interprets the technologies of the state of the art of fuel cell vehicles and the promotion projects by the government.

Key words: fuel cell vehicle, hydrogen

1. 結 言

究極の環境自動車として期待される燃料電池自動車(FCV: Fuel Cell Vehicle)は、21世紀を迎え公道走行試験、燃料供給インフラ整備など実用化に向けた準備が着々と進んでいる。また燃料電池スタック、燃料電池システム、車載水素貯蔵技術などの要素技術開発も基盤産業の拡がりを見せ、一層の進化を遂げてきている。本稿では商品化に向けた燃料電池自動車の最近の技術開発動向と普及促進に向けた政策について解説する。

2. 燃料電池自動車の開発状況

燃料電池自動車の開発は、試験車両の公道走行を経て、限定的ながらも市場導入の段階へと移行している。

トヨタとホンダはそれぞれ燃料電池自動車の市販第1号となるFCHV, FCXのリース販売を2002年12月から開始した。いずれも高圧水素(35MPa)を搭載し、最高速度150km/h以上、水素一充填の走行距離300km以上を達成し実用車としての基本性能を実現している。両社とも米国CaFCP

(California Fuel Cell Partnership)や国土交通大臣認定を受けた公道走行試験により、市場適合性検証データを蓄積し、信頼性・耐久性を高めたものとしている。リース販売先は、内閣官房、経済産業省、国土交通省、環境省といった中央官庁から地方自治体、エネルギー関連企業などへの拡大が予定されている。

トヨタはまた、日野自動車との共同開発により60人乗りのノンステップ大型路線バス「FCHV-BUS2」の大臣認定を取得し路線バスとしての要件を想定した走行データを収集していく計画である。このほか、日産、三菱、マツダ、スズキ、ダイハツなど国内自動車各社はそれぞれ資本関係にあるルノー、ダイムラークライスラー、フォード、GM、トヨタとの共同により、燃料電池自動車の公道走行試験、市場導入に向けた取組みを行っている。

海外では、これまでNeCarシリーズ、NeBusで燃料電池自動車開発に先導的な役割を果たしてきたダイムラークライスラーが、欧州主要10都市(アムステルダム、バルセロナ、ハンブルグ、ロンドン、ルクセンブルグ、マドリッド、ポルト、レイキャビク、ストックホルム、シュトゥットガルト)でメルセデス・ベンツ・シターロ(Citaro)をベースとした

燃料電池バス（図1）30台のフリート走行試験を2003年から計画している。またAクラスをベースとした燃料電池市販車モデル「F-Cell」（図2）を60台、欧・米・アジアの世界各地でフリート走行させる計画も発表している。このほか、フォードは市販モデルのFocus FCEV Hybrid 約40台を先行生産し限定ユーザによる試験走行の計画を立てている。GMは液体水素燃料電池自動車のオペル・ザフィーラ（Zafira）ベースのHydroGen 1のワールド・ツアーを実施し、世界各地でのイベント開催や、耐暑テスト、24時間耐久走行など市場導入の準備を進めている。



図1. ダイムラークライスラーの燃料電池バス (Citaro)



図2. ダイムラークライスラーの燃料電池自動車 (F-Cell)

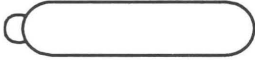
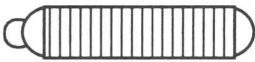


3. 燃料電池自動車の燃料動向

燃料電池自動車の燃料選択では各自動車メーカーとも当面、純水素を燃料とする方式に注力している。水素直接形燃料電池自動車はゼロエミッション車

という環境特性に加え、改質形にくらべ始動性、応答性や車両搭載性にも優れるという点で、燃料電池自動車の実用性実証面では先行していくと考えられる。一方、メタノール、ガソリン、炭化水素等を燃料とする改質形燃料電池自動車は、ダイムラークライスラーのNecar 5による米大陸横断や、GMのピックアップトラックS-10、トヨタFCHV-5などの発表がなされているものの、市場導入には一層の技術蓄積が必要と思われる。

水素燃料の車載貯蔵技術としては圧縮容器の高圧化が検討されている。高圧容器は使用材料、耐圧構造によって図3のように分類されるが、このうち自動車用軽量容器としてはアルミライナーや高密度プラスチックライナーの外周をガラス繊維強化プラスチックやカーボン繊維強化プラスチックでフルラップ補強（螺旋方向と周方向の両方に繊維補強）したType 3, Type 4容器が主流となっている。市場導入されたモデルでは既に35MPaの高圧貯蔵

図3. 材料・構造による高圧容器の種別

高圧容器のType	材質・形状
Type 1	
	金属製
Type 2	
	金属ライナー+フープ巻きFRP
Type 3	
	金属ライナー+フルラップFRP
Type 4	
	プラスチックライナー+フルラップ

が実現されているが、航続距離の延長を目指し70MPaの高圧貯蔵容器の開発が進められている。Hydrogen 700プロジェクトはカナダ：BC Hydro, Powertech、日本：鋼管ドラム、日本鋼管が実施主体となり、自動車メーカー（トヨタ、日産、ダイムラークライスラー、フォード）がスポンサーとなって、高圧容器メーカー（Dynetek, SCI, Lincoln）や高圧バ

ルブ・継手メーカ (Aerodyne, GFI, Ihara, Nitto Kohoki, Sherex / OPW, Tanaka/ Nippon Sanso, Tescom, VTI, WEH) が開発する技術の評価を行うプロジェクトとして2002年3月にスタートした。また米国クォンタム社 (QUANTUM Fuel Storage Technologies Worldwide) はGMと共同で耐圧70MPaのオールコンポジット製のType4容器を開発している。

4. 燃料電池自動車の要素技術開発

燃料電池自動車の商品化開発を支える要素技術として、スタックの出力密度向上、製造技術、システム化技術の開発が上げられる。

4-1 スタックの出力密度向上

スタックの出力密度は1990年当初に比べ10倍以上の飛躍的な進歩を遂げている。

リン酸形燃料電池開発で世界トップの実績をもつ米国UTC Fuel Cells社は75kW自動車向け「シリーズ300」のPEFCスタック (Polymer Electrolyte Fuel Cell) を発表している (図4)。このスタックは多孔質炭素系セパレータによる水分除去機能によって、コンプレッサを使わずブローアによる常圧駆動で1.5kW/Lという高い出力密度を実現している。常圧駆動のためブローアの駆動負荷軽減が図られ、高効率、低騒音にも有利とされ、韓国現代自動車のSanta Feに搭載されている。

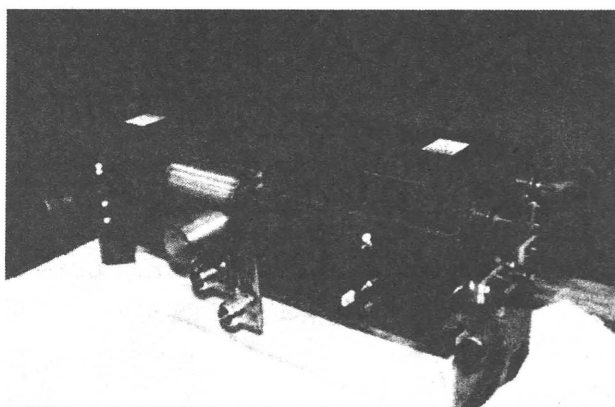


図4. UTC Fuel Cells社の75kWスタック

GMはこれまで開発してきた「スタック2000」に改良を加え、定格出力102kW、最高出力129kWの新型スタックを発表した。このスタックは640セル、

重量100kg、寸法：82cmx14cmx50cmという諸元であり、高分子電解質膜の水管理方法の改善により無加湿運転を実現し、マイナス20℃からの冷寒始動において30秒で最高出力に到達するとされている。

PEFC開発で先駆的役割を果たし、世界最高レベルの技術を保持するカナダのバラード社 (Ballard Power Systems) はGMの新型スタック発表後、出力密度で世界最高を更新する「Mark902」を発表した (図5)。Mark902は2.2kW/Lの出力密度で、スタックの低コスト化、量産性を図りながら、定置用10kWから自動車、大型バス用の300kWクラスまで幅広い出力レンジに対応が可能なものとされている。

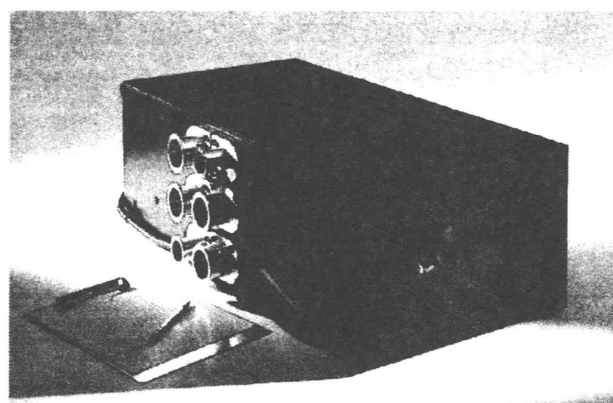


図5. Ballard Power Systems社のMark902型スタック

このようなスタックの出力密度向上には、セパレータの技術開発が貢献している。従来の人造黒鉛板の機械加工品から、膨張黒鉛、熱可塑性・熱硬化性樹脂含有黒鉛などの新規材料開発によって成型加工が可能となり、両面溝加工セパレータで厚さ1mmを切るものも開発されている。セパレータ開発では、炭素系材料の他、一層の低コスト化、薄板化を図った金属セパレータの開発も進んでいる。米国Nuvera FC社は合併したイタリアDeNora社の燃料電池部門の技術を取り込み金属セパレータ製のスタックを開発している。国内ではアイシン精機、住友金属工業、日立製作所が新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の受託事業において金属セパレータの開発を手がけている。

4-2 燃料電池スタックの製造技術

燃料電池自動車の商品化には技術開発に加え、製造技術の開発も重要となってくる。

トヨタは2002年1月に「FC開発センター」を設立した。この組織改革は、それまで分散していた企画・開発・生産技術部門を一体化統合したものである。製品開発と生産技術の枠を取り払ってセンター組織としたのは、トヨタの歴史の中でも初めてのことである。またグループの主要部品メーカーにも、コンプレッサ、ポンプ、バルブ、センサなど既存の内燃機関にはない部品開発への協力を要請している。

スタックの製造技術で重要なものとして、セパレータ、MEA (Membrane and Electrode Assembly : 膜電極接合体) があげられる。

最新型Mark902型スタックでも使用されている。

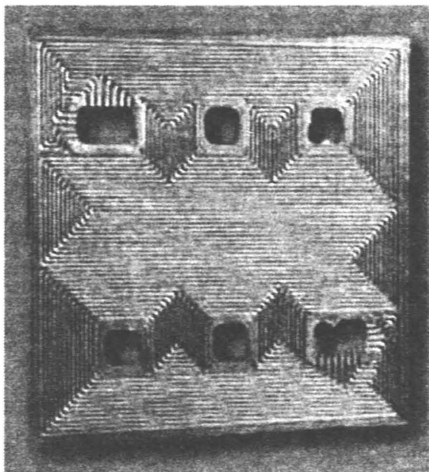


図6. 柔軟性黒鉛材によるMark700型スタックのセパレータ (Graftech)

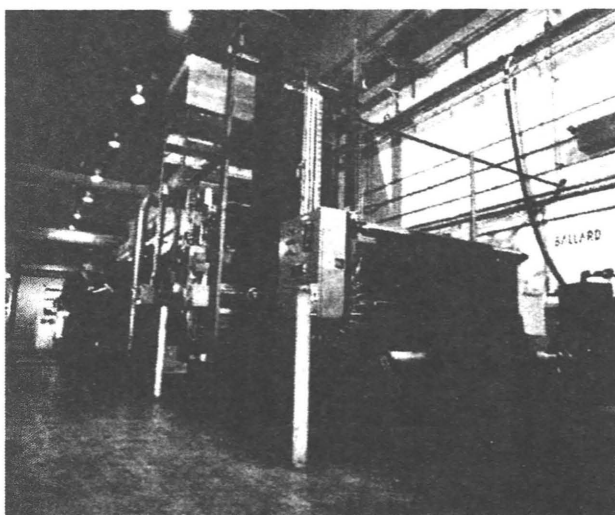


図7. Ballard社のセパレータ用黒鉛材製造設備

バラード社は黒鉛材製造大手メーカーである米国Graftech社との技術提携によりセパレータ(図6)用の柔軟性黒鉛材(Flexible Graphite)の供給を受けている。この素材は電気伝導性、熱伝導性に優れ、柔軟性によるロール状の連続生産が可能であり、低コスト化につながるものとされている。バラード社は既にこの柔軟性黒鉛材の製造設備を導入し(図7)、MEAは燃料電池の心臓部といえる部材であり、その製造は電極基材(カーボンペーパー、カーボンクロス)と高分子電解質膜の接合によってなされる。接合には、通常ホットプレスと呼ばれる方法がとられ、高分子膜のガラス転移温度付近でプレスすることによってなされるが、連続的な製造は難しかった。米国Gore社(W.L.Gore and Associates)は独自素材GORE-TEX[®]に高分子電解質および触媒電極を含浸させた膜を使用することによって図8のようにMEAを連続的に製造する方法を開発している。

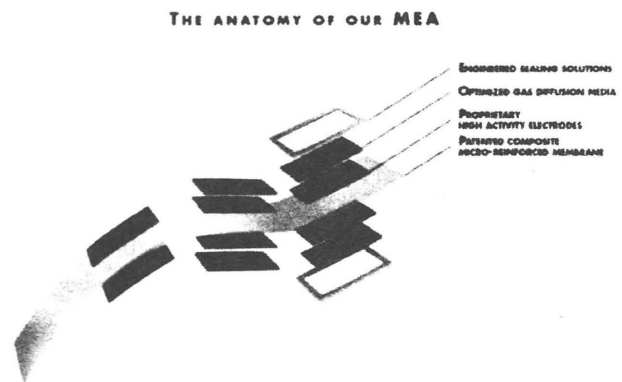


図8. Gore社のMEA構造 (ホームページより)

4-3 燃料電池のシステム化技術

GMは2002年1月にデトロイトで開催された北米国際自動車ショーに燃料電池システムを高さ11インチ(両端では7インチ)の「スケートボード」状シャーシに組み込んだ「AUTOmy」と呼ぶコンセプト車を発表した。このコンセプトは燃料電池システムと車両シャーシをユニット化し、上物のボディを用途によって載せ替えることで多様な車種構成に対応することを意図している。2002年9月のパリ・モーターショーでは、このコンセプトを盛り

込んだ運転可能なコンセプトカー「Hy-wire」(図9)を発表している。

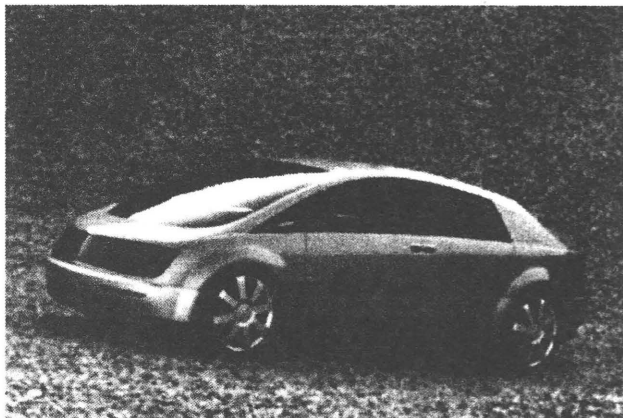


図9. GMの燃料電池コンセプトカー「Hy-Wire」

燃料電池システムのユニット化は燃料電池メーカーでも進んでいる。燃料電池の運転は、スタック温度、供給ガスの圧力、流量、加湿量などによって最適化されるため、スタック単体の供給よりはユニット化したシステムとして供給する方が性能面、信頼性、低コスト化に有利と考えられる。Ballard社は図10のようなユニット化した乗用車用燃料電池システム(Xcellsis™ HY-75)をダイムラークライスラー：Necar 4やフォード：Focus FCV用に供給している。Ballard社は同様にメタノール改質システムを組み入れたユニットとして、Xcellsis™ ME-75をダイムラークライスラーのNecar 5やマツダのプレマシーFC-EVに提供している。また大型バス用ユニットとしてXcellsis™ HY-205も開発している。同様なユニット化は、GMやスズキの開発資金を得て燃料電池システムを開発しているカナダHydrogenics社でもHyPM™パワーモジュールとして開発されている。

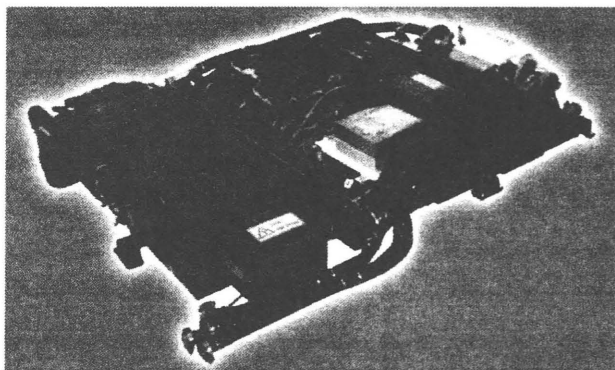


図10. Ballard社の燃料電池システム(Xcellsis™ HY-75)

5. 燃料電池自動車の普及促進政策

企業による燃料電池自動車の実用化開発が進むなか、普及促進に向けた政府主導の活動も活発化している。

5-1 燃料電池自動車の実証試験

CaFCP (California Fuel Cell Partnership) は1999年4月に計画が発表され、2000年11月から本格的にスタートした。このプロジェクトには自動車メーカーとしてダイムラークライスラーをはじめ、フォード、VW、ホンダ、日産、現代、GM、トヨタが参画し、エネルギー供給会社、州・政府機関などと協力し、燃料電池自動車の技術実証、石油代替燃料(水素)のインフラ技術開発、市場導入のための社会への啓発に取り組んでいる。欧州においては、CUTE (Clean Urban Transport for Europe) プログラムなどで燃料電池バスの定期走行を行う広域実証試験が進められている。

国内では2002年7月に「水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC: Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project)がスタートした。このプロジェクトは経済産業省の委託を受け、(財)日本電動車両協会と(財)エンジニアリング振興協会が実施するもので、国内初の大規模な燃料電池自動車の実証走行を行うとともに、複数の燃料・製造方式による水素供給設備を運用する世界初の取組みとして注目される。2002年度の参加企業・団体は燃料電池自動車実証ではトヨタ、日産、ホンダ、ダイムラークライスラー日本ホールディング、ゼネラルモーターズ・アジア・パシフィック・ジャパン、日本自動車研究所となっている。事業内容は、公道走行試験等により①省エネルギー効果、環境特性、安全等に係る規格・法規・基準作成等のためのデータ取得、②経済性の向上及び普及促進のための課題の明確化、③普及啓発活動、を行うことになっている。水素供給インフラの実証では、表1のように、東京・横浜地区において合計5箇所の水素供給ステーションを建設・運用し、併せて、製鉄所の副生ガスから水素を効率的に回収・液化する技術開発実証も行うこととなっている。

表 1. JHFCにおける水素供給インフラ実証

水素インフラ	場所	担当企業
液体水素貯蔵水素供給設備	東京都江東区有明	岩谷産業・昭和シェル
LPG改質水素供給設備	東京都荒川区南千住	東京ガス・日本酸素
脱硫ガソリン改質水素供給設備	横浜市鶴見区大黒町	コスモ石油
ガレージ・ショールーム		
ナフサ改質水素供給設備	横浜市旭区上白根町	新日本石油
メタノール改質水素供給設備	川崎市川崎区小島町	日本エア・リキッド
液体水素製造技術実証		新日本製鐵

5-2 燃料電池自動車の普及基盤整備

燃料電池自動車の市場導入を制度面から支援する「自動車用固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備」事業が2000年度から実施されている。このプロジェクトは故小渕恵三首相が提唱したミレニアムプロジェクトのひとつとして取り上げられ、燃料電池自動車の性能評価・安全性等に係る基準・標準策定を行うものである。経済産業省資源エネルギー庁の委託を受け、(財)日本自動車研究所、(財)日本電動車両協会が実施している。

事業内容は表2に示すように、性能試験方法の標準化、燃料性状の規格化、安全性評価、国内外標準化で構成されている。性能試験方法の標準化は燃料電池自動車の環境効果を客観的、定量的に把握し新型車両の認証試験、税制への反映などに必要になる。図11は水素直接形燃料電池自動車の燃費性能試験方法検討の一例である。燃費試験方法にはスタックの電流積算値から求める方法(電流法)、压力容器内の温度・圧力変化から求める方法(圧力法)、压力容器の重量変化から求める方法(重量法)などが検討され、それぞれの手法の精度検証、実施の容易

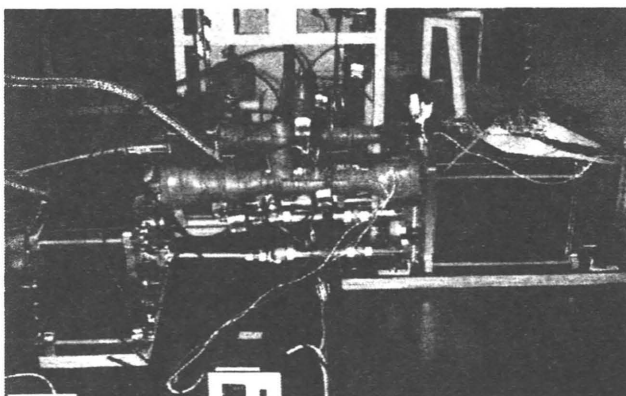


図11. 燃費性能試験方法の検討例

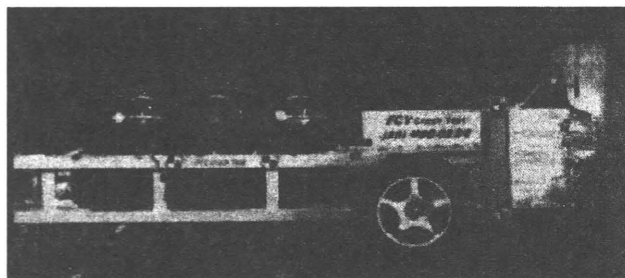


図12. 高圧容器を搭載したテスト車両の衝突試験

さなどの評価を行っている。安全性評価は、燃料電池自動車を不特定・非専門家であるユーザがどこにでも運転していけるための安全性を確保するうえで重要である。本事業では高圧容器の車両搭載を想定した衝突試験(図12)や火災試験を実施している。

5-3 燃料電池自動車の普及促進政策協議

資源エネルギー庁では自動車メーカ、石油メーカ、学識経験者などで構成される「燃料電池実用化戦略研究会」を1999年12月に設置し普及政策を協議している。2001年1月に取りまとめられた報告では、燃料電池導入の意義、実用化・普及への課題、課題解決に向けた取組みについて基本的な考え方が示された。2001年8月には、技術開発課題に対する開発目標と技術課題ごとの役割分担を明確にし、有機的・体系的な推進を目的とした「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」を策定した。

2001年7月には経済産業省、国土交通省、環境省が「低公害車開発普及アクションプラン」を共同で発表し、CNG車、電気自動車、ハイブリッド車など既に実用段階にある低公害車に加え、燃料電池技術開発戦略の策定と産学官の役割分担、大規模実証試験の実施、安全基準の策定、性能評価手法・燃料性状等の標準化推進など燃料電池車の早期実用化を目指す方針が示された。

国土交通省では「燃料電池自動車技術評価検討会」を開催し、燃料電池自動車の性能評価、安全性評価手法や技術指針の策定などの協議を行っている。本検討会では、2002年10月に「大臣認定走行を

行う燃料電池自動車の安全性の確保及び環境の保全に関する技術指針」を策定し、試験的な販売車と

表2. 燃料電池自動車の基準・標準化検討項目

<p>1. 性能試験(JIS,JEVS,TRIAS)</p> <p>(1)燃費(水素消費率) (2)排ガス(改質ガス成分) (3)出力(ハイブリッド、連続、定格、Net) (4)騒音 (5)電波障害 (6)動力性能 (7)スタック、改質器 (8)材料(電解質膜、触媒電極)</p>	<p>2. 燃料性状(JIS,ISO)</p> <table border="0"> <tr> <td>(1)水素</td> <td>(3)その他燃料</td> </tr> <tr> <td>(a)不純物種類、濃度</td> <td>・ガソリン(ナフサ、 低イオウ、GTL)</td> </tr> <tr> <td>(b)添加剤(付臭剤、火炎着色)</td> <td>・天然ガス</td> </tr> <tr> <td>(2)メタノール</td> <td>・LPG</td> </tr> <tr> <td>(a)不純物種類、濃度</td> <td>・ジメチルエーテル</td> </tr> <tr> <td>(b)添加剤(着色剤、火炎着色)</td> <td></td> </tr> </table>	(1)水素	(3)その他燃料	(a)不純物種類、濃度	・ガソリン(ナフサ、 低イオウ、GTL)	(b)添加剤(付臭剤、火炎着色)	・天然ガス	(2)メタノール	・LPG	(a)不純物種類、濃度	・ジメチルエーテル	(b)添加剤(着色剤、火炎着色)	
(1)水素	(3)その他燃料												
(a)不純物種類、濃度	・ガソリン(ナフサ、 低イオウ、GTL)												
(b)添加剤(付臭剤、火炎着色)	・天然ガス												
(2)メタノール	・LPG												
(a)不純物種類、濃度	・ジメチルエーテル												
(b)添加剤(着色剤、火炎着色)													
<p>3. 安全性(FMVSS,JIS,TRIAS,ISO)</p> <p>(1)衝撃試験、衝突試験、構造要件 (高圧水素、水素吸蔵合金、液体水素、 スタック、改質器) (2)火災試験(燃料系統、貯蔵容器、スタック 改質器、電気配線) (3)ガス漏洩(爆発限界、漏れ許容量、漏洩検知) (4)漏電・短絡(大電流、高電圧、絶縁抵抗)</p>	<p>4. 国内外標準化</p> <p>(1) ISO/TC22/SC21 自動車/電気自動車 WG1:安全 WG2:用語 性能(WG未設置) (2) ISO/TC197 水素 (3) IEC/TC105 燃料電池 WG6:システムの安全・性能 WG8:自動車搭載 (4) IEC/TC69 電気自動車 (5) 国内基準,規格 ・JIS ・JEVS ・JASO ・TRIAS</p>												

FMVSS:Federal Motor Vehicle Safety Standard (米国自動車保安基準) JASO:Japan Automobile standard Organization(自動車規格)
 GTL:Gas to Liquid IEC:International Electrotechnical Commission(国際電気標準会議) TC:Technical Committee(専門委員会)
 SC:Sub Committee(分科委員会) JEVS:Japan Electric Vehicle Standard(日本電動車両協会規格)
 TRIAS :Traffic Safety Nuisance Research Institute's Automobile Type Approval Test Standard(新型自動車の試験方法)

して申請者以外の者にも運行が可能になるよう、大臣認定車両の安全性等の要件を明確にした。今後2005年までに型式認定に移行するために必要な保安基準の策定が行われる計画となっている。

内閣府及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」では、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及び政府による燃料電池自動車の率先導入」を取りまとめ、燃料電池自動車の初期段階の普及が円滑に進むよう、消防法、高圧ガス保安法、道路交通法、道路法、建築基準法などの規制の再点検を進める指示がなされた。また、2002年12月に試験的市販第1号車の率先導入を行うこ

とを決定し、霞ヶ関での水素充填を可能にするために必要な水素供給設備を経済産業省内に導入した。

6. 結言

燃料電池自動車の技術開発の進展、普及促進に向けた政策動向についてまとめたが、商品として市場で成立するためには、企業による技術開発だけでなく、行政による技術開発支援、法律・制度の整備が重要である。また真の対象である一般ユーザに対しても、水素、燃料電池といった新しいエネルギー技術が受け入れられるための情報発信、啓発活動が重要と考えられる。