

燃料電池自動車 (FCV) の市場導入に向けて

大仲 英巳

トヨタ自動車株式会社

〒410-1193 静岡県裾野市御宿1200

Toward market introduction about fuel cell vehicle

Hidemi ONAKA

Toyota Motor Corporation

1200 Mishuku Susono Shizuoka 410-1193

Fuel cell vehicle is the nearest one to an “ultimate eco-car” that offers solutions to energy and global warming issues. In this paper, the technologies of fuel cell, fuel cell vehicle(FCV) is described. The recent FCV has following significant features (1) Improved sub-zero startup (2) Great extended cruising range (3) Improved durability of the fuel cell stack. These performances of FCV are established close to the current gasoline powered vehicle. Last year, Japanese automotive company (TOYOTA, NISSAN, HONDA) announced the introduction of FCV to the market in 2015.

Keywords: FCV, sub-zero startup, extended cruising range, durability of fuel cell stack

1. はじめに

地球温暖化やエネルギーセキュリティなどのグローバルな環境問題への対応が求められている中、東日本大震災と福島原子力発電所事故を受けて、今後の日本のエネルギー供給がますます大きな課題となって来ている。自動車においても、現状は燃料としてほぼ100%近くを石油に頼っており、持続可能な車社会に向けて、今後の燃料供給が最大の課題のひとつとなっている。石油に代わる自動車燃料として、多様な1次エネルギーが活用できる電気や水素活用の動きに加え、エネルギーの蓄積、供給を自動車と連携する地域的・広域的なエネルギーマネジメントシステムも盛んに議論、検討がされている。さらに、災害等の非常時に避難所や家庭などへの電気供給、すなわち電源としての機能を自動車に求める新たな要望も出ている。自動車の場合、従来の内燃機関の効率改善、ハイブリッド車の導入拡大による省エネルギーを推進してきた。今後は、前述の新たな要望に応える為にも、電気、水素の活用を積極的に進めていく必要があると考える。特に、水素を燃料とする燃料電池自動車

(FCV) は、環境・エネルギー対応へのポテンシャルの高さと同時に、ユーザーの利便性を犠牲にすることなく両立できるのが大きな特徴である。ここでは、国内市場導入に向けた技術開発状況をトヨタ自動車の例を中心に紹介する。

2. 燃料電池自動車 (FCV) の特徴

FCVの主な特徴を図1.に示す。

1次エネルギーの多様性やゼロエミッション（走行中）の環境にやさしい特徴だけでなく、静かにかつ低速からのレスポンスの良いトルクフルな走りは自動車として新たな大きな魅力である。これらの特徴はバッテリーEVも基本的に同じであるが、FCVの場合は500km以上の実用航続距離や低温始動走行性、さらに、3分程度の水素充填時間など、次世代環境車でありながら従来車並みの使い勝手を有する事が最も大きな特徴である。また、近年の新たな要求である非常時（災害時）などに電源として電気を供給する能力も、バッテリーEVに比べて数倍程度大きい。

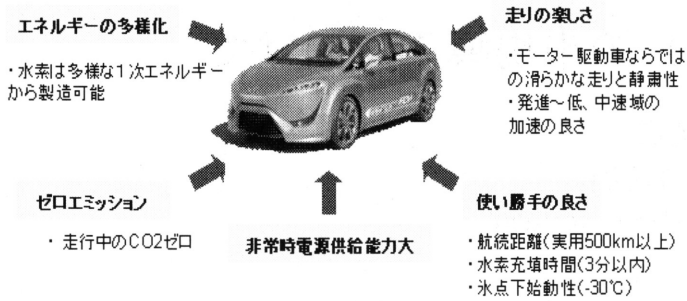


図1. FCVのうれしさ

次に、図2.は将来(2020年以降)の技術開発を展望した時のバッテリーEVとFCVのシステムコストを実用航続距離に対して整理したものである。バッテリーEVは航続距離が電池の容量で決まるので、そのシステムコストは航続距離に対して直線的に増加し、さらにバッテリー重量の増加による燃費悪化を招くので、やや放物線的な傾向を示す。

FCVの航続距離は水素の積載量が支配的だが、システムコストへの感度はそれほど大きくはない。以上のように、比較的短距離用途の場合はバッテリーEVが、中長距離以上の用途ではFCVのシステムコストが有利な結果であり、その様な用途での使い分けが推奨される。

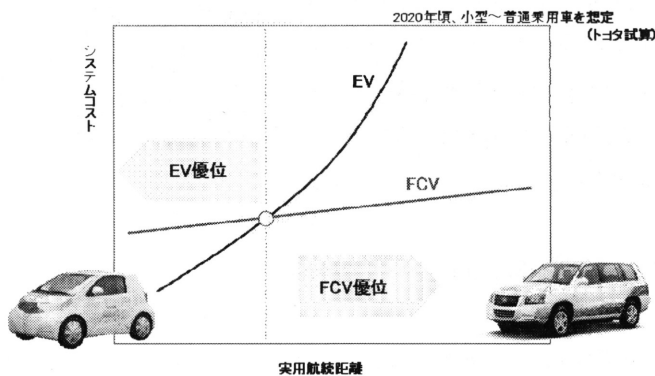


図2. EVとのコスト比較

3. 燃料電池自動車 (FCV) の構造

FCVの構造について簡単に述べておく。燃料電池には多くの種類があるが、自動車用としては固体高分子形がほとんどであり、燃料となる水素と空気中の酸素を電気化学反応させて電気を発生させる発電装置である。

図3.に固体高分子形燃料電池の具体的な構造を示している。燃料電池はその両側に電極触媒が塗布された高分子電解質膜を、空気の通路と水素の通路が構成されたそ

れぞれの板状のセパレータでサンドイッチした構造になっている。この一つの組み合わせた物をセルと言い、このセルを数百枚重ねてパッケージにしたものを、燃料電池スタックまたはFCスタックと呼んでいる。

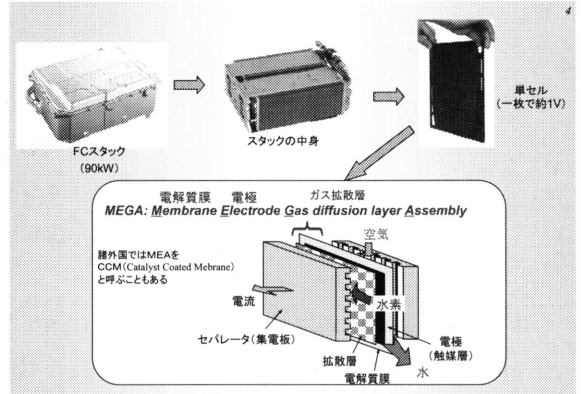


図3. 燃料電池の構造

FCVの主要部品搭載レイアウトの例を図4.に示す。世界の自動車各社で開発されているFCVは、ほぼ同様の構成となっており、FCスタック、高圧水素タンクのFC専用技術とモータやパワーコントロールユニット、二次電池などのハイブリッド技術の組み合わせ構成となっている。

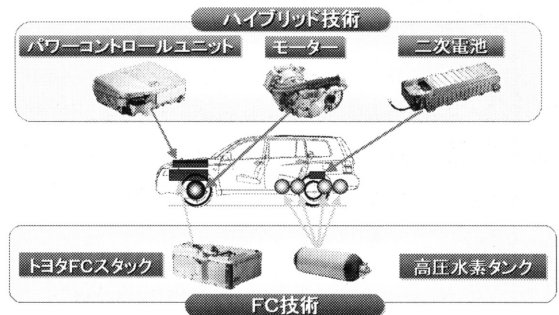


図4. FCVの部品搭載レイアウト

4. FCV開発の変遷

FCV開発を進めている自動車会社は、概略1990年代から開発を始め、2000年代に公道での実証の段階に進んできた。当初は車両上でメタノールやガソリンなどから改質して水素を取り出す方式も検討されたが、改質器の搭載や起動時間、効率の悪さなどから、現在はほぼすべてが直接水素ガスを高圧タンクに搭載する方式となっている。

トヨタ自動車では1992年から開発を始め、2002年に大臣認定にて限定リース販売を開始した。図5.にその開発の変遷を示す。



図5. FCV開発の変遷

2005年には新型自動車届出制度に基づく認可（俗に型式認証）を取得、法規上は普通の車としての扱いとなった。さらに、2008年のFCHV-advでは性能的には従来のガソリン車に近いレベルまで達している。図6.には日産自動車の開発の変遷を、図7.にはホンダ技研の開発の変遷を示している。昨年1月の15年の量産車導入の共同声明から、各社それぞれのモデルの変遷を得て、2015年頃の市販を視野に開発が進捗していると考えられる。

日産の FCEV 開発の歩み

- 2001年からFCEVの車両開発に着手、2005年にはほぼガソリン車並みの加速性能、航続距離となった
- 2005年以降は、量産時の課題解決やコストダウンを狙い、スタックシステム等の開発に特化した

	2001	2002	2003	2005	2008	201x
	Xterra	X-TRAIL				
FC stack				In-house FC stack	Sub-zero startable	Full performance
				In-house Gen. 1	In-house Gen. 2	In-house
0-100km/h	25 sec	20 sec	18 sec		14 sec	
Range	160 km	200 km	350 km		500 km	

図6. 日産自動車の開発の変遷 [1]



図7. ホンダ技研の開発の変遷 [2]

5. 市場導入に向けた技術課題の現状

FCVの市場導入に向けた主要な技術課題については、開発当時から大きな課題であった航続距離や低温始動・走行性能の技術はほぼ解決され、残る課題である耐久性・信頼性とコストの両立が普及に向けて鋭意進められている状況である。

以下主要な課題につき現状の達成レベルを述べる。

5.1. 低温始動・走行性能

FCVの大きな課題のひとつが、発電時に排出される生成水が氷点下で凍結して発電が継続できなくなる問題であった。図8.はカナダの寒冷地での試験評価風景である。-30℃以下となるような寒冷地でも従来のガソリン車にはほぼ近い時間（30秒程度）で始動走行できるレベルになっている。この性能は、FCスタックの各要素設計の改良、材料の変更や制御の工夫等により生成水の排出性の向上や電池自身の早期暖機性の確保等によるものである。

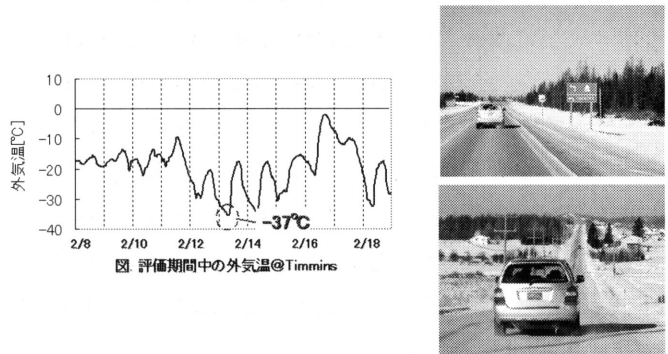


図8. カナダ (Timmins) 寒冷地評価

5.2. 実用航続距離

燃料電池自身は効率が非常に高いが、燃料の水素がガソリン等の液体燃料に比較して体積エネルギー密度が1/3000程度と非常に小さく、高圧にしても多くの水素を車載出来ないため、一回の充填での航続距離も大きな課題であった。しかしながら、燃料電池システム効率の大幅な向上や水素タンクの70MPaへの高圧化と設計の改良による水素搭載量の増加により、2008年FCHV-advモデルでは、国内の燃費試験モード（10・15モード）基準で約830kmを達成した。前年の2007年にはエアコン作動など実使用条件下で大阪から東京まで約560kmを途中充填なしで走破した。ガソリン車並みの実用航続距離を実証した。（図9.）

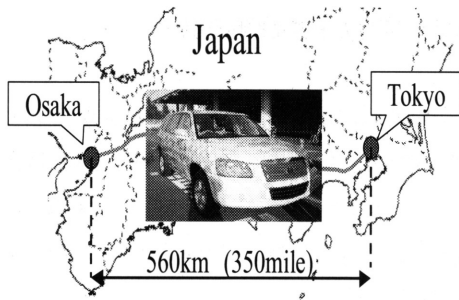


図9. 大阪→東京走行実証試験

5.3. FCスタックの耐久性

図10.はFCスタックの耐久性の改善の様子を示したものである。FCスタックの耐久性の課題は、電解質膜での亀裂やピンホールの発生や劣化によりガスが膜を透過してしまうクロスリーク量の増大や、電極触媒の劣化による燃料電池出力性能の低下である。耐クロスリーク性はここ数年間で大幅に改良され、現在は耐クロスリーク性を維持しつつ、膜厚を薄くして性能向上を図る方向の検討が進められている。また、電極触媒の劣化による性能低下も着実に改善されてきており、通常の使い方では10年以上の耐久性が確保されている。FCスタックの耐久性は後述するコストとトレードオフの関係にある。すなわち、耐久性に大きく影響を与える白金量は、多ければ当然耐久性は向上するが、コスト上はその低減が大きなポイントとなる。いずれにしても、白金量低減などのコスト低減と耐久性を両立すべく鋭意開発が進められており、着実に向上が図られている。

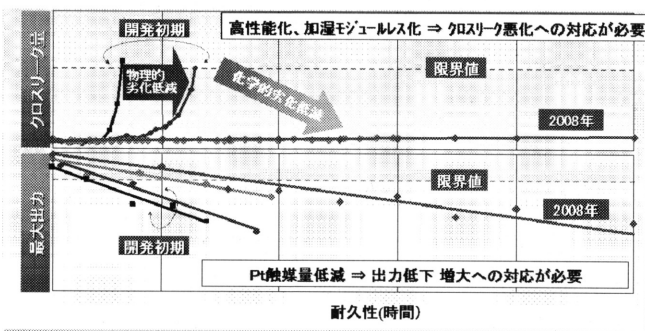


図10. FCスタックの耐久性

5.4. コスト低減

FCVの量産への残る最大の課題はコスト低減である。一般的には、自動車は量産効果で価格の低減が期待できるため、部品設計や材料選択さらには生産方法の改善などで技術的に如何にコストを低減するか、また、量産時

に確実に効果が出る設計であるかが重要となる。

図11.はそれをイメージで表したものである。設計・材料・生産技術等の改良で現リース車に比べ1/10程度のシステムコストが実現できており、2015年頃の量産開始までにさらに1/2を目指して開発を進めている。さらに、普及して台数が伸びることによる量産効果と新たな技術開発によって大幅なコストダウンを進めなければならない。実際には、このような設計改良等の技術開発と量産効果が平行して進む事により、普及が加速されていくのである。

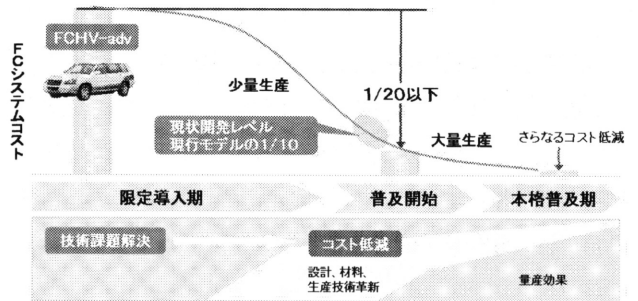


図11. コスト低減へのアプローチ

具体的なコスト低減の取り組みについて紹介する。図12.にFCスタックのコスト低減方策を示している。その中でも、特にポイントとなるのは出力向上による材料費の削減である。すなわち、従来の2倍の出力性能を実現できると、言い換えれば、同じ出力なら燃料電池セルの面積を1/2にする事が可能となり、電解質膜や触媒などの材料がほぼ半減できる事となる。実際の開発においても当初の性能に比べると2倍以上の出力性能が達成され、更なる高出力に向けた取り組みが続けられている。もう一つのポイントは白金触媒電極の低減であり、耐久性を両立させながらの貴金属である白金触媒の担持量の低減が進められている。

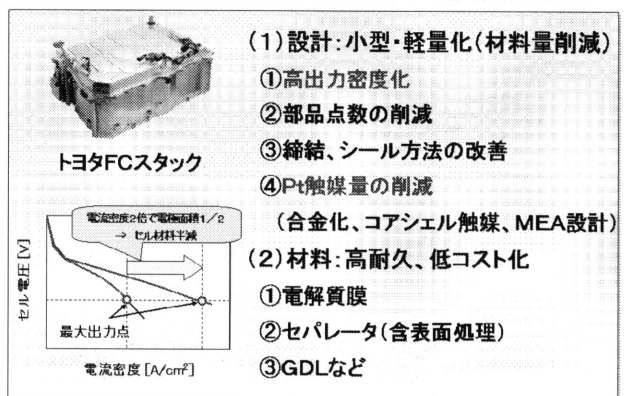


図12. FCスタックのコスト低減

図13.はもう一つの大きなコスト要因である水素高压タンクのコスト低減策を示している。カーボンファイバーの設計的な改良による使用量の削減、高压タンクに求められる特性に応じた仕様の適正化、生産の改善によるコスト低減が平行して進められている。いずれの場合も必要な性能を確実に確保する中で、設計・生産などの改良での大幅なコストダウンが進められている。

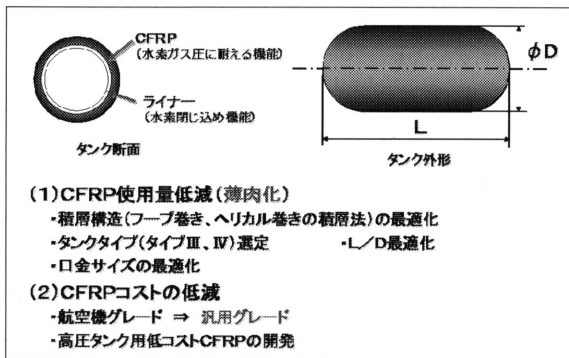


図13. 高压水素タンクのコスト低減

6. 生産技術の開発

量産のためには如何に早く効率的に作るかも大事である。早く作る事はコストダウンにも寄与するが、それよりも数を製造する、すなわち、量産を可能にする設計や生産技術も非常に重要となる。FCVの量産に向けた生産技術の開発は量産しやすい設計と平行して検討されている。

図14.はその一例である。上段の写真は燃料電池のセルをきっちりと位置決めをし、且つ傷を付けずに自動的に積層して組み付けるロボットである。下段は高压水素タンクのカーボンファイバーを巻きつける工程の改良前後

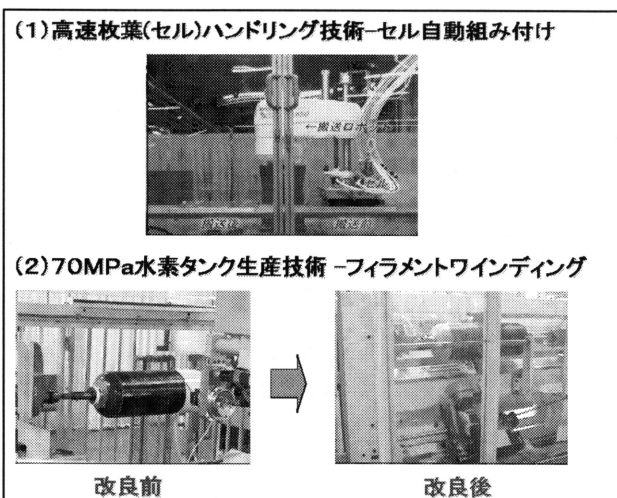


図14. 生産技術の開発例

の写真である。この改良により、タンク1本にファイバー巻く時間は大幅に短縮された。その他の各種の部品や工程についても量産に向けた生産技術開発が着実に進められている。

7. FCVの市場導入と普及拡大に向けて

7.1. 普及へのシナリオ

FCVは地球環境問題等から一日も早い普及が期待されている。また、その技術の進化は今まで述べてきた様に、近年特にめざましいものがある。図15は燃料電池実用化推進協議会(FCCJ)から2010年の3月に発表されたFCVの普及シナリオである。2015年での一般への普及開始とともに地球環境問題への寄与のためには、本格的な量的拡大が必要であり、そのためには自動車・インフラ共に自立的拡大が重要との観点から、2025年をその節目の年として設定している。このシナリオを実現すべく、一層の技術開発と規制の見直し等の周辺基盤整備を進めていく必要がある。このためには、エネルギーメーカーや自動車メーカー等関係機関の緊密な意見交換のもとで相互理解深めていく事が重要であり、政府や地方自治体の適切なサポートも必要である。

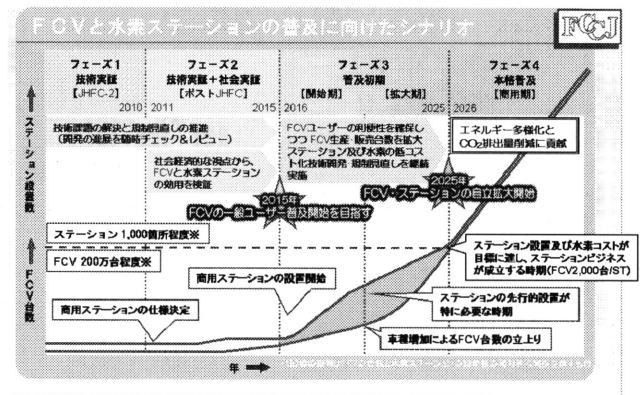


図15. 燃料電池自動車普及のシナリオ

出典: Fuel Cell Commercialization Conference of Japan (FCCJ)

昨年1月には自動車およびインフラ関係企業13社が共同声明の形で、2015年までに自動車会社がFCVの市場導入を開始し、それを受けて、エネルギー供給・インフラメーカーが4大都市圏から100基程度の水素インフラを先行整備していく事を発表した。同時に、経済産業省も上記民間の声明を受けて、国としてもFCVの普及と水素イ

ンフラの整備に向けた取り組みを進める事を発表し、正にFCV普及への官民一体となった取り組みのスタートとなった。

7.2. 普及拡大への課題

2015年頃とされるFCVの一般のユーザーへの市販開始以降、着実にまたできるだけ早期に普及拡大を進める事が大事である。ハイブリッド車でもそうであったように、まずは多くのユーザーに認知と理解をしてもらうことが重要である。FCVの良さを実際に見て、乗ってわかってもらう事、また、マスコミや口コミで話題になることも必要である。今は次世代環境車として多くのユーザーに利用されているハイブリッド車もこのような認知期間が5年くらいあったように思われる。さらには、当然ながら、車としての魅力や経済性も必須の条件である。

図16.はユーザーであるお客様のメリットをイメージしたものである。環境に良いからと言っても、使い勝手や走りに犠牲をとまなう様ではお客様には受け入れていただけない。また、車両価格や燃料の水素価格を含むランニングコストも安くなっていかなければ、拡大は望めない。

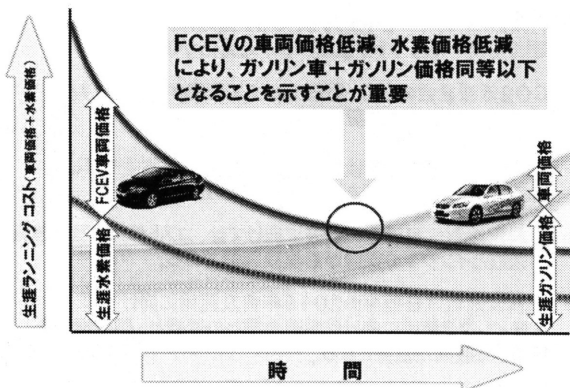


図16. お客様のメリット [3]

自動車業界、エネルギー供給業界がお互いに技術開発などを通して、いかに早くこれらの条件を達成できるかが普及拡大への最大の鍵である。民間だけでなく、政府・自治体なども含めてそれらの共通の認識の下、努力が続けられており、多くのFCVが普通に身の回りを走りまわる日の早期実現が期待される。

参考文献

1.大仲英巳：自動車技術 (2010)
 2.大仲英巳：エンジンテクノロジーレビュー (2010)

3.大仲英巳：電気化学会セミナー「最先端電池技術」 (2012)
 4.河合大洋：FC-EXPO専門技術セミナー (2012)
 5. [1] 日産自動車：FC-EXPO専門技術セミナー (2012)
 6. [2], [3] ホンダ技術研究所：FC-EXPO専門技術セミナー (2012)