

## ■ 技術報告 ■

# トヨタ自動車における燃料電池自動車の開発状況

Toyota's R&D Activities on Fuel Cell Hybrid Vehicle

河津成之\*

Shigeyuki Kawatsu

## 1. はじめに

近年「地球環境の保全」が社会的な強い関心事となる中で、自動車産業においても、これまで以上にエネルギー効率がよく、またクリーンな、すなわち環境に優しい車を提供し、こうした社会的なニーズに積極的に応えていくことが求められている。燃料電池自動車は究極のクリーン自動車として以前からその可能性が検討されていたが、1980年代末以降の世界中での積極的な研究開発と、その成果として得られた技術的なブレークスルーによって、最近では大きな注目を集めており、専門誌だけでなく、新聞にも盛んに取り上げられているのは周知の通りである。

当社でも燃料電池の特長に早くから注目し、可能性検討を進めていたが、1992年より開発に着手し、燃料電池自動車の実用化を目指して研究開発を進めている。

以下、当社における燃料電池自動車開発の取り組み状況について述べる。

## 2. 燃料電池と燃料電池自動車

燃料電池は図1に示すように、水素と酸素が反応し

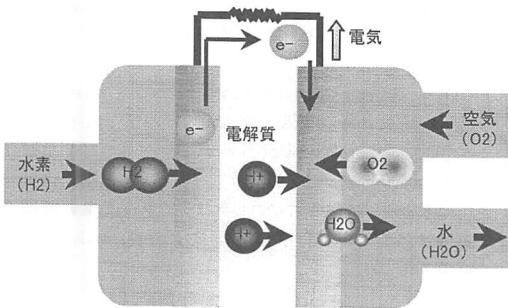


図1 燃料電池の原理

て水を発生する過程で生じるエネルギーを電気ので取り出す発電装置で、ちょうど、水の電気分解の逆反応を行っている。燃料電池は、燃料としての水素と酸素の持つ化学エネルギーを、直接、電気エネルギーに変換することから、カルノーサイクルの制約を受けず、理論的なエネルギー変換効率率は、83%（水素燃料時）にも達する。さらに燃料電池は燃料が供給され続け限り発電できる。こうした燃料電池を自動車に適用することができれば、次のような利点を得ることが可能になる。

- 1) エネルギー効率がよく、燃費に優れた自動車が実現可能である。
- 2) 燃料電池は水素を燃料とすることから、車両に水素を搭載することができれば水しか排出しない究極のクリーンな自動車が実現可能である。  
(炭化水素系の燃料を使用する場合には二酸化炭素を発生する)
- 3) 炭化水素系燃料を用いて車両上で改質して水素リッチの改質ガスをつくり、これを燃料として運転することもできる。従って、ガソリン、軽油といった従来の内燃機関用の燃料に限定されることがない。

燃料電池は次ページの表1に示すように、用いる電解質や燃料の違いによりいくつかのタイプに分類することができる。

具体的には固体氧化物型燃料電池(SOFC)、熔融炭酸塩型燃料電池(MCFC)、リン酸型燃料電池(PAFC)、固体高分子型燃料電池(PEFC)、アルカリ型燃料電池(AFC)、直接メタノール型燃料電池(DMFC)などがあげられる。このうち、フッ素系の電解質膜を使う固体高分子型燃料電池(PEFC, Polymer Electrolyte Fuel Cell)は、自動車用途に適した以下のような特長を持っている。

- 1) 常温からの起動が容易(動作温度100℃以下)で、頻繁に起動、停止をする用途に適する。

\* トヨタ自動車(株)FC技術企画部主担当員  
〒410-1193 静岡県裾野市御宿1200

表1 燃料電池の種類

	アルカリ型 (AFC)	固体高分子型 (PEFC)	リン酸型 (PAFC)	熔融炭酸塩形 (MCFC)	固体酸化物型 (SOFC)
電解質	KOH	高分子膜	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>
イオン導電種	OH <sup>-</sup>	H <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	O <sup>2-</sup>
燃料ガス	水素/酸素	改質ガス/空気	改質ガス/空気	改質ガス/空気	改質ガス/空気
運転温度	常温	80℃	200℃	650℃	1000℃
主な用途	宇宙	自動車, ポータブル	コージェネ, 分散電源	電力事業	コージェネ, 分散電源

- 2) 高い電流密度で動作させることが可能で、小型化、高出力化が求められる用途に適する。
- 3) 構造が簡単で、メンテナンスも容易なので、一般ユーザーを対象とした用途に適する。
- 4) 固体の材料のみで構成できるので、振動や衝撃が加わる可能性がある用途に適する。

なおPEFCはPEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell), IEMFC (Ion Exchange Membrane Fuel Cell), SPFC (Solid Polymer Fuel Cell), SPEFC (Solid Polymer Electrolyte Fuel Cell) などの略称でも呼ばれている。

### 3. トヨタFCHV

先に述べたように、燃料電池は原理的には、水素と酸素を燃料として発電し、生成物は、水だけという極めてクリーンなエネルギー変換デバイスであるが、実際の応用、特に自動車用途への応用を考えると、水素をどのように車両上に搭載するかが問題になってくる。当社では、燃料電池への燃料供給という観点から、水素を直接車両上に搭載するタイプと、車両上で炭化水素系燃料を改質するタイプの2種類の研究実験車をこれまでに開発、発表した。

#### 3.1 トヨタFCHV (水素貯蔵装置搭載)

純水素を燃料とする燃料電池自動車(FCHV: Fuel Cell Hybrid Vehicle)を製作し、1996年9月に大阪で開催された第13回電気自動車国際シンポジウム(EVS-13)で発表した。このトヨタFCHV (水素貯蔵装置搭載)は、車両上に水素貯蔵装置を搭載し、ここから供給される水素を使って燃料電池スタックを駆動する構成になっている。トヨタFCHV (水素貯蔵装置搭載)の外観写真を図2、車両システム構成を図3、車両仕様諸元値を表2にそれぞれ示す。

このトヨタFCHV (水素貯蔵装置搭載)の特徴は、当社で新たに開発した水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵装置を搭載したことにある。この新しい水素吸蔵合金は、体心立方構造(BCC)の水素吸蔵合金(いわゆ

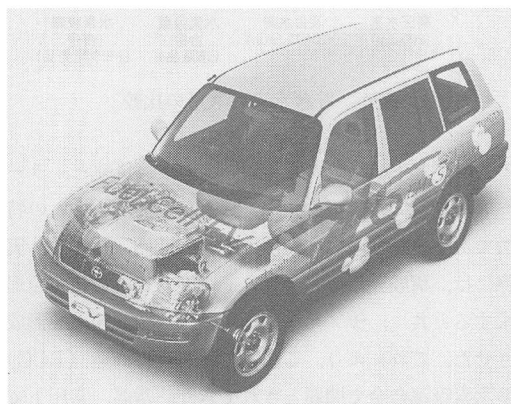


図2 トヨタFCHV (水素貯蔵装置搭載)

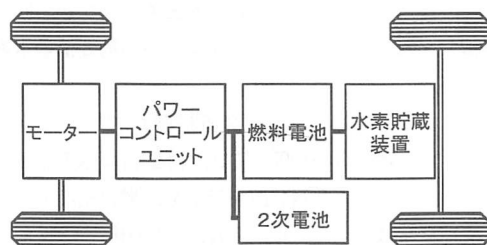


図3 トヨタFCHV (水素貯蔵装置搭載)の車両システム構成

表2 トヨタFCHV (水素貯蔵装置搭載)の車両仕様諸元値

車両諸元	ベース車両 全長/全幅/全高[mm]	RAV4, 5ドア 3975/1695/1635
	最高速度	100km/h以上
	航続距離	250km
駆動方式		FF
駆動モータ	種類	永久磁石式・同期型
	最大出力	45kW
	最大トルク	165Nm
燃料電池	種類	固体高分子型
	全長/全幅/全高[mm] 定格出力	1080/500/230 20kW
水素貯蔵装置	種類	水素吸蔵合金
	全長/全幅/全高[mm]	700/450/170
	水素吸蔵合金重量	約100kg
	水素貯蔵量	2 kg

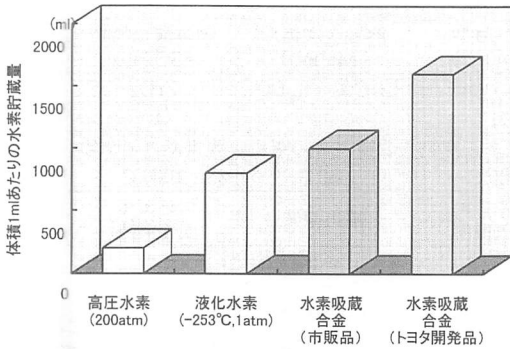


図4 貯蔵水素ガス量の比較

るAxBy型)の特徴である高い水素吸蔵特性と、ラベス相構造の水素吸蔵合金(いわゆるAB2型)の特徴である良好な吸放出特性とを合わせ持っている。実際には、構成元素の組合せとその混合比の最適化を追求すると共に、ナノオーダーで微細な金属組織を形成させた。これにより、これまで体心立方構造(BCC)の水素吸蔵合金で問題とされてきた、常温、常圧下での水素貯蔵能力を従来比の約2倍に向上させた。また、初期活性や水素吸放出速度も飛躍的に高めることができた。この水素吸蔵合金の性能を図4に示すが、同一体積で比較した場合、高圧水素ポンベの約8倍の水素貯蔵が可能になった。

トヨタFCHV(水素貯蔵装置搭載)では、この新しい水素吸蔵合金を100kg使い、約2kgの水素貯蔵を可能とした。水素貯蔵装置をはじめ、燃料電池スタックや補機類は、ベース車両のRAV4の床下に収まっている。

3.2 トヨタFCHV(改質器搭載)

純水素を燃料とするトヨタFCHV(水素貯蔵装置搭載)に加えて、改質器を搭載するトヨタFCHV(改質器搭載)を製作した。この燃料電池自動車は、メタノールを車両上のタンクに搭載し、このメタノールを車両上で改質しながらPEFCを発電させて走行するものとしては、世界初であり、1997年9月のフランクフルトモーターショー(IAA Frankfurt 1997)および、同年10月の東京モーターショーにおいて発表した。このトヨタFCHV(改質器搭載)の外観写真を図5に、車両システム構成を図6、車両仕様諸元値を表3にそれぞれに示す。

トヨタFCHVのシステム構成上の特徴は、動力源としての燃料電池と、エネルギーバッファとしての二次電池(ニッケル水素電池使用)を組み合わせたハイ



図5 トヨタFCHV(改質器搭載)

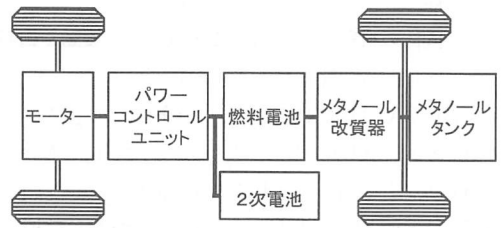


図6 トヨタFCHV(改質器搭載)の車両システム構成

表3 トヨタFCHV(改質器搭載)の車両仕様諸元値

車 両 諸 元	ベース車両 全長/全幅/全高 [mm] 最高速度 航続距離	RAV4, 5ドア 3980/1695/1635 125km/h 500km
駆 動 方 式		FF
駆 動 モ ー タ	種類 最大出力 最大トルク	永久磁石式・同期型 50kW 190Nm
燃 料 電 池	種類 全長/全幅/全高 [mm] 定格出力	固体高分子型 1080/500/240 25kW
メタノール改質器	直径/長さ [mm]	300/600
燃 料		メタノール

ブリッドシステムとして、精密な電力分配制御を行うことにある。これにより、燃料電池を常に高効率動作域で動作させることが可能になった。

図7にトヨタFCHVの制御の一例を模式的に示すが、通常走行時には燃料電池で発電した電気でモーターを駆動すると共に、余分な電気は、二次電池に蓄えるような制御を行っている。なお、減速、制動時にも回生発電により、回収したエネルギーを効率的に二次電池に蓄え、始動、登坂、加速走行時に必要な電力の迅速な供給を可能としている。

このようにプリウスの実用化で培った高度なハイブリッド技術を燃料電池自動車にも応用していることか

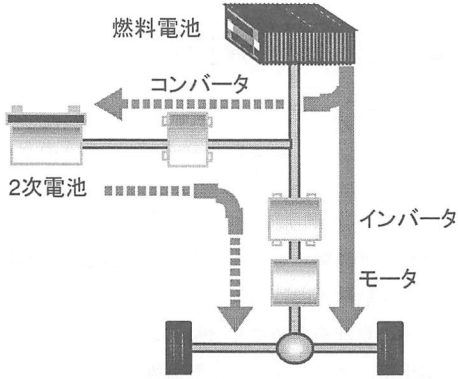


図7 FCHVシステムの制御

ら、燃料電池自動車を燃料電池ハイブリッド車（FCHV：Fuel Cell Hybrid Vehicle）と呼んでいる。

#### 4. 燃料電池自動車用コンポーネント

前項で紹介した2種類の研究実験車の開発と、その評価の過程で得られた結果をもとに、より実用的な燃料電池自動車の実現を目指して、燃料電池自動車用コンポーネントの開発を行っている。

##### 4.1 燃料電池スタック

燃料電池スタックは、電極の性能向上により、いっそうの高出力化をはかるとともに、水素、空気、冷却水の導入部、排出部を燃料電池スタックと一体化することにより小型化を実現した。この結果、体積（電極本体）65リットル、重量（電極本体）75kgで定格出力70kWを得ている。（図8）なお、この燃料電池スタックの出力密度（体積あたりの出力）は、DOE（米国エネルギー省）の2004年での開発目標値を既に上回っている。

燃料電池スタックの開発課題としては、よりいっそうの高出力化、小型化、低コスト化に加えて、車載を前提とした信頼性、耐久性の確保が上げられる。

##### 4.2 改質器

メタノール改質器では、燃料蒸発部、改質反応部、CO低減部など、改質器を構成する各部を一体化することにより、小型化と共に、熱容量の低減をはかり、起動性、応答性を向上させることができた。起動時間は3分以下、応答時間は10秒以下にまで向上している。あわせて、新開発触媒による改質効率の改善も行っている。

このメタノール改質器は、毎分750リットルの水素を残留CO濃度5ppmで供給することができるが、そ

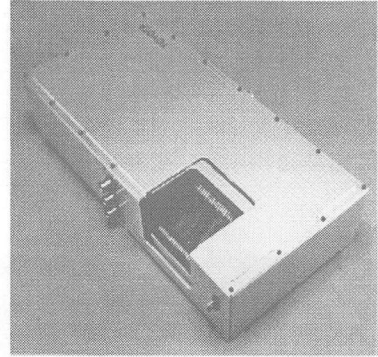


図8 燃料電池スタック

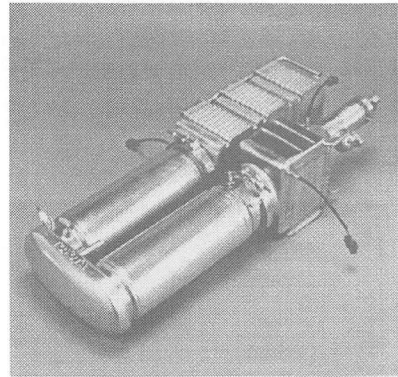


図9 メタノール改質器

の体積は40リットル、重量は20kgにおさめることができた。（図9）

改質器はいわば小型の化学プラントを車両上に搭載しようとするものであり、車両の限られたスペースに搭載できるだけ小型化と共に、低温時の起動性や応答性の向上をさらに進める必要がある。

##### 4.3 エアコンプレッサ

空気を燃料電池スタックに供給するエアコンプレッサとして、オイルフリーと静粛性を両立させたスクロール型エアコンプレッサを新たに開発した。最大空気流量3,000Nリットル/分、最大吐出0.15Mpaの性能を持つこのエアコンプレッサは、空気圧縮部の最適化設計により60%を越える断熱効率を達成しつつ、体積は10リットル、重量は20kgに押さえることに成功した。（図10）

##### 4.4 水素吸蔵合金タンク

水素吸蔵合金タンクについても、合金特性の改良により、1996年に発表した水素吸蔵合金タンクに比べて、水素の有効貯蔵量を10%向上させた。さらに、タンク

表4 燃料電池自動車用燃料

	航続距離	燃料の入手先	燃料コスト	発電効率	CO <sub>2</sub> 排出量	エミッション	改質の難易度	総合評価
水素 (MH)	△	×→△	×→△	◎	◎	◎	◎	?
水素 (液体)	○	×→△	×→△	◎	◎	◎	◎	
水素 (高圧)	×	×→△	×→△	◎	◎	◎	◎	
メタノール	○	△	△	○	○	○	○	
天然ガス	△	△→○	○	○	○	○	△	
ガソリン	○	◎	○	○	○	○	△	

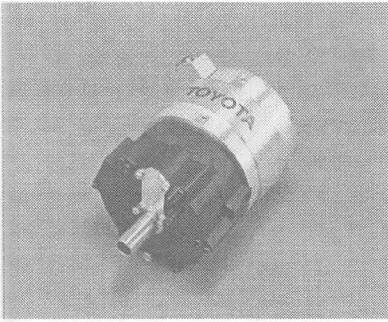


図10 エアコンプレッサ

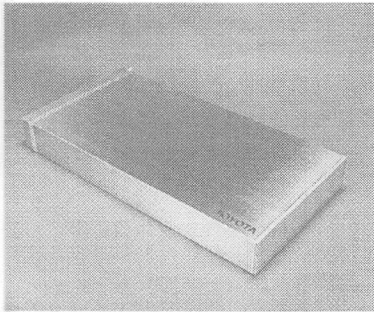


図11 水素吸蔵合金タンク

及び内部熱交換器の形状を改良することにより、従来は3つのユニットに分割していたものを、一体化することができた。(図11)

なお、燃料電池スタックを始めとしたこれらの燃料電池自動車用コンポーネントは、1999年秋の東京モーターショーに展示した。

## 5. 燃料電池自動車用燃料

先にも述べたように、燃料電池は、純水素の他にも炭化水素系燃料を改質して得られた水素リッチガスでも運転可能であり、幅広い燃料に適用できる可能性を持っている。このことは、また、燃料電池自動車用燃料として多くの燃料の候補が存在し、燃料の選定を行う必要があることを意味している。

燃料の選定については、技術的な難しさ、すなわち、改質の難易度に注目が集まる傾向があるが、商品とし

ての燃料電池自動車を考える際には、改質の難易度だけでなく、航続距離、燃料の入手性(エネルギーセキュリティの意味を含めて)、燃料のコスト、発電効率、CO<sub>2</sub>排出量、エミッション、貯蔵性、車載性、内燃機関の燃料との共用化、燃料インフラ整備への投資、ユーザーのメリットなど、幅広い観点から総合的な判断が必要になる。(表4)

## 6. おわりに

一般には「燃料電池」という言葉の新しさから、あたかも燃料電池が完成すれば、すぐに燃料電池自動車を実用化されるようなイメージでとらえられる傾向もあるが、実際には、燃料電池本体はもちろんのこと、燃料電池システムを構成する各コンポーネントの完成度をいっそう高める必要がある。さらにシステム構成の最適化、制御方法の検討、燃料の選択など、解決すべき多くの課題が山積している。

一方で、将来のパワースourceとして、燃料電池自動車と競争する形で開発が進んでいる内燃機関の改良や、ハイブリッド車、電気自動車に対して、「技術」「商品」「市場条件」の各観点からどのような優位性を持たせることができるのかという課題もある。

このように燃料電池自動車の普及には相当な時間が必要になるものと考えられるが、その実現に向けて今後とも積極的な研究開発を続ける所存である。

## 参考文献

- 1) S. Ogino and Y. Kimura, Proc. 13th Int. Electric Vehicle Symp., p.671, (1996)
- 2) M. Iwase and S. Kawatsu, Proc. 13th Int. Electric Vehicle Symp., p.675, (1996)
- 3) S. Kawatsu, S. Aoyama and M. Iwase, Proc. Fuel Cell Seminar, p.262, (1996)
- 4) Y. Nonobe, Y. Kimura and S. Ogino, Proc. 14th Int. Electric Vehicle Symp., (1997)
- 5) T. Kawahara and N. Kobayashi, Proc. 14th Int. Electric Vehicle Symp., (1997)
- 6) H. Iba, T. Mouri, M. Shionoya and E. Akiba, Materia Japan, vol. 36, No. 6, p.640, (1997)
- 7) S. Kawatsu, J. Power Sources, vol. 71, p.150, (1998)