

次世代燃料電池スタックを搭載した New Honda FCX の開発

Development of New Honda FCX with Next-generation Fuel Cell Stack

川崎 聡 志*
Satoshi KAWASAKI
清水 潔**
Kiyoshi SHIMIZU

内堀 憲 治**
Kenji UCHIBORI
藤本 幸 人**
Sachito FUJIMOTO

村上 義 一**
Yoshikazu MURAKAMI

要 旨

2002 年 12 月, Honda は世界で初めて燃料電池乗用車を実用化し, 日本政府とアメリカ ロサンゼルス市に納車した。さらに燃料電池車を広く普及するために, 低温での性能を向上させた Honda 製スタックを 2003 年 10 月に発表し, この燃料電池システムを搭載した New Honda FCX を開発した。2004 年 11 月にニューヨーク州, 2005 年 1 月に北海道に納車し, 世界で初めて氷点下での使用を可能とする燃料電池車を実用化した。寒冷地区を含む世界の主要な都市で使用が可能となった世界初の燃料電池自動車を紹介する。

ABSTRACT

In December 2002, Honda produced the first practical fuel cell vehicle, delivering models to the Japanese government and to the City of Los Angeles in the United States. To encourage greater public acceptance of fuel cell vehicles, Honda announced a new stack with enhanced performance in low temperatures in October 2003 and installed it in the New Honda FCX. This is the first fuel cell vehicle that can be used below freezing temperature. Vehicles were delivered to New York state in November 2004 and to Hokkaido in January 2005. This paper introduces Honda's fuel cell vehicle, the first to be used in both temperate and cold regions in major cities worldwide.

1. はじめに

Honda は, 環境対応の究極の自動車として燃料電池自動車 Honda FCX の開発を進め, 2002 年 12 月に燃料電池自動車を日本政府と米国ロサンゼルス市に世界で初めて納車した。燃料電池自動車(FCV)が実現可能な技術であることを実証し, 広く社会に認知される実績を残した^{(1), (2)}。

技術開発の次の段階は, 本格的な水素自動車社会の実現に向けた技術要素の開発である。その中で重要な課題は, 従来の燃料電池が弱点とされてきた氷点下環境での走行性能であった。Honda は, 2003 年 10 月に氷点下温度での始動性を実現したスタックと実験車を発表した。2004 年 2 月に, 北海道にてこの実験車を用いた氷点下環境の起動および走

行試験を実施し公開した。本報は, この新しい Honda FCX の技術を紹介する。

2. 開発経緯

New Honda FCX は, 2002 年に発表した車体を基本として, 開発をはじめた。技術課題の主眼となったのは, 氷点下における始動性と走行性である。

同時に基本性能である動力性能, 車両効率と航続距離の向上を目指した。車両の主要諸元を Table 1 に示す。車両の基本構造を変えず, 燃料電池システムを見直し, -20℃での始動性と走行性能, 車両エネルギー効率 50%以上, 加速性能 10%向上, 航続距離 400km 以上を目

* 栃木研究所

** 和光基礎技術研究センター

Table 1 Major specifications

Model	2005 Model FCX	2003 Model FCX
Length/Width/Height	4165 × 1760 × 1645mm	4165 × 1760 × 1645mm
Wheel base	2530mm	2530mm
Vehicle weight	1670kg	1680kg
Number of passengers	4	4
Maximum speed	150 km/h	150km/h
Range (in LA4 mode)	430 km	355 km
Maximum motor output	80kW [109PS]	60kW [82PS]
Maximum motor torque	272 N·m [27.7kg·m]	272 N·m [27.7kg·m]
Fuel cell stack	PEMFC	PEMFC
Power assist	Ultra-capacitor 9.2F	Ultra-capacitor 8F
Hydrogen supply system	High-pressure hydrogen tank	High-pressure hydrogen tank
Hydrogen pressure	34.4 MPa	34.4 MPa
Hydrogen storage volume	156.6L	156.6L

標とした。本格的な量産技術の証明として、日本国内では FCV として初めてとなる型式認証取得を目指し開発が進められた。

3. 車両概要と搭載技術

3.1. 外観，基本仕様

車両の外観を Fig. 1 に示す。エクステリアデザインとインテリアデザインは前モデルの踏襲だが、車体色により明るい透明感のあるブルー基調の外装色を採用し、新しさと先進性を表現した。今回新たに採用したマスコットマークは、水素と酸素から電気を作り、地球環境に貢献するイメージを表現している。新たにナビゲーションシステムとトラクションコントロールシステムを搭載した。ブレーキシステムは、ABS を標準装備する。フロントマクファーソンストラット、リヤ5リンク式のマルチリンクサスペンション、電子制御パワーステアリングシステムを装備する。



Fig. 1 Exterior design and mascot mark

3.2. 主要な車体装備

3.2.1. ナビゲーションシステム

Honda FCXは、FCVとして世界で初めて水素ステーションを表示するナビゲーションシステムを搭載した。水素充填施設がガソリンスタンドと同様に表示され、ルートの検索、音声による経路案内を可能としている (Fig. 2)。米国カリフォルニア州では、水素ハイウエー構想の発表タイミングと重なり、水素社会の実現を導くナビゲーションシステムとして高い評価を受けた。

また、ナビゲーションシステムに合わせて、氷点下での性能を満たすエアコンシステムを同時に搭載した。冷媒を電熱ヒータで直接暖めるシステムであり、すばやく昇温し快適な暖房性能を提供する。

3.2.2. トラクションコントロールシステム

雪上で高い走行性能を実現するため、氷点下で走行できるFCVとして初めてトラクションコントロールシステムを搭載した。電動モータの最大トルクは、モータ回転直後から



Fig. 2 Navigation system

発生し、滑りやすい路面での発進はタイヤが空転しやすい挙動を示す。新しいトラクションコントロールシステムの採用により、雪上走行時ドライバの意図を的確に伝え、かつ滑らかな発進を可能にした。

Honda FCXの駆動システムは、モータと減速ギヤから構成され、ガソリン自動車と比べてクラッチや変速ギヤ、後退用のギヤなどがなく、構成要素の少ないシンプルな機構となっている。伝達ロスが少ない駆動機構と、ガソリンエンジンに比べて低回転域でトルクが高いモータの特性により、発進ではタイヤに伝わるトルクの立ち上がりが早く、俊敏な動力性能を実現している。この優れた基本特性を活かし、新しいトラクションコントロールシステムは、発進直後のタイヤ空転に対してブレーキなどの制御を使わずにモータトルクを直接制御するため、スリップしたタイヤがグリップを回復するまでの時間が早く、その後の車体速度に対する応答性に優れた特性を示す(Fig. 3)。Honda FCX の雪上で実現した静かで滑らかな加速感は、エンジン車と異なる新しい動力性能を運転する者に感じさせる。

3.3. パワープラントシステム

新開発した燃料電池の優れた特性を活かし従来モデルに対してパワープラント効率、燃料電池出力、モータ出力を向上させ、レスポンスのよい走りを目指して掲げた。搭載した燃料電池システムの構造図を Fig. 4 に示す。

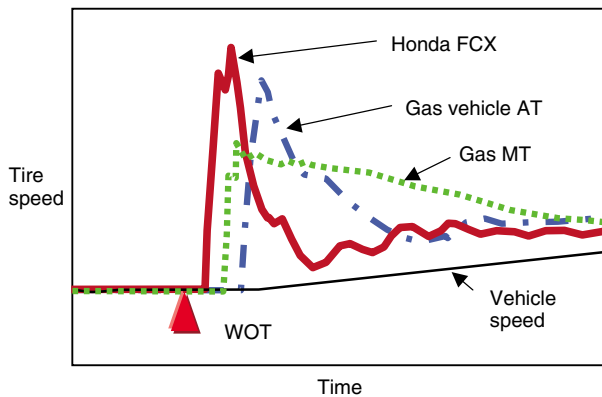


Fig. 3 Response of tire rotation on WOT

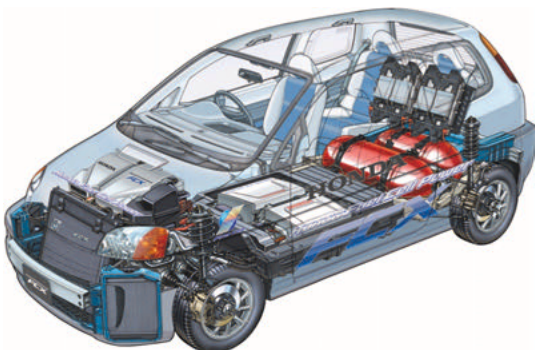


Fig. 4 Perspective view of Honda FCX

3.3.1. 燃料電池スタック

搭載された燃料電池スタックは、金属製セパレータを用い一般的に多く使われているカーボンセパレータに対して厚さを50%削減し、シール材の一体成形によりセル単体の薄型化と部品点数の削減を実現した。プレス成形した金属セパレータの弾性を利用し、積層したセルをパネルで囲むシンプルな構造により、部品点数を減らしている。これにより燃料電池スタックの軽量・コンパクト化が図られ、重量あたりの出力密度は従来比2倍以上を達成した(Fig. 5)⁽³⁾⁻⁽⁶⁾。さらに電解質膜のイオン交換基を増やし、氷点下でも膜抵抗を半減させ、高い水素イオン伝導性を確保して、 -20°C の発電始動を実現した。また新しい電解質膜は高強度・高耐熱性のアロマトニック構造主鎖によって、高温でも変形しにくく、 95°C までの高温使用が可能となり、システムの高効率化に寄与している。

3.3.2. 燃料電池システム

軽量・小型化を達成した FC スタックを2基に分割して配置し、加湿ユニットをスタックの間に一体モジュールに配することで、システム全体のスペース効率を高めた。(Fig. 6)さらに水素と空気の流路の圧力損失を低減させるこ

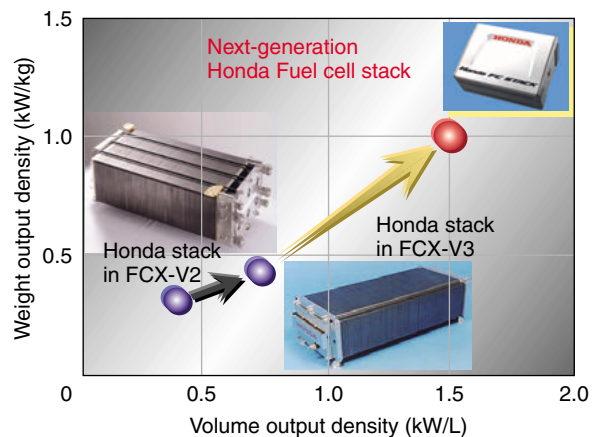


Fig. 5 Evolution of Honda stacks

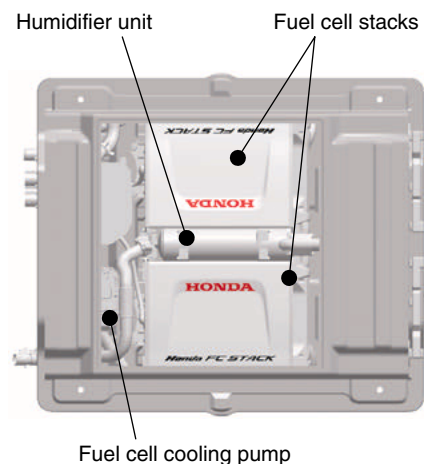


Fig. 6 Fuel cell system box configuration

とにより、供給システムの消費エネルギーが下がり、さらに低燃費を実現させた。

3.3.3. 駆動モータ

前述のように燃料電池の出力向上に合わせて駆動モータ出力も見直しをおこなった。リラクタンス併用によるロータ磁束変化の増大に対し、磁石の分割によって渦電流の発生を抑制し、さらに高耐熱磁石の採用と高出力に適した磁路構成により、高い減磁抑制効果を実現した。この結果、広範囲での高効率を維持しつつ最高出力を従来の 60kW から 80 kW へアップすることができ、走りのポテンシャルを向上させた (Table 2, Fig. 7)。

3.3.4. ウルトラキャパシタ

俊敏で力強い走りを実現するためにウルトラキャパシタを補助電源として使用している。高出力で応答性の良い走りを実現させるために、従来より高性能活性炭電極を採用しているが、電極巻回素子構造の電極体構造を見直し、セルサイズを大きくせず電極体の巻き数を増加させた。これにより蓄電されるエネルギー容量を増加させることができ、従来に対して 10% 以上のエネルギー及び出力の向上を達成した (Fig. 8)。

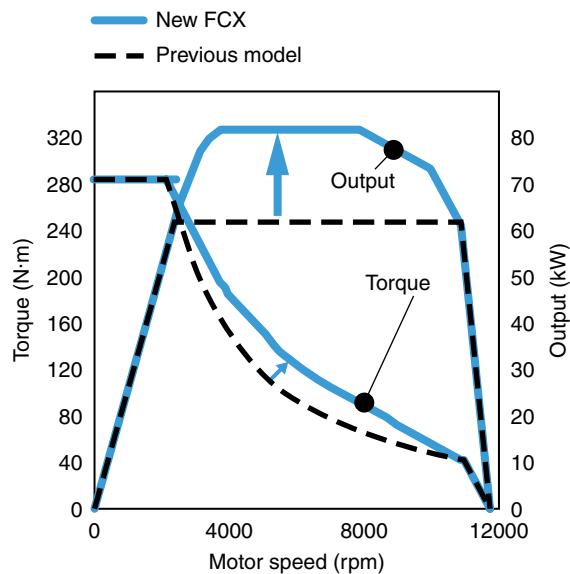


Fig. 7 Output torque characteristic

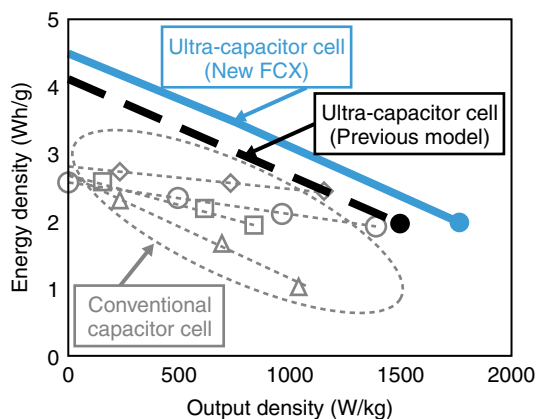


Fig. 8 Capacitor charging and discharge performance (cell unit)

Table 2 Comparison of drive motor performance

	New FCX	Previous model	EV-Plus
Max. output	80kW	60kW	49kW
Max. torque	272N·m	272N·m	275N·m
Max. rpms	11000rpm	11000rpm	8750rpm
Max. efficiency	97%	97%	96%
Avg. efficiency (LA-4 mode)	93% or greater	93% or greater	90%

4. 達成性能

4.1. 効率

Fig. 9に示すように、発電効率の向上とスタックへの空気供給システムの効率向上、水素循環システムの効率向上によって駆動エネルギー効率 (LA-4 Mode) は前モデルに比べ 22% 向上した。ウルトラキャパシタの減速エネルギー回生やスタックからの電力回収、アイドリング時の燃料電池オートアイドルストップシステムによるモータへの出力停止など、電力を効率よく使い燃料消費を抑制するエネルギーマネジメントをおこなう。ガソリン車と比較すると約 3 倍、ハイブリッド車の約 2 倍の駆動エネルギー効率 55% を達成した。

4.2. 燃費と航続距離

水素 1 kg のエネルギーと 1 Gallon のガソリンのエネルギーはほぼ等価と見なす事ができるので、同等サイズの ICEV, HEV, CNG 車の US CITY モードでの燃費を簡易的に比較した。結果を Fig. 10 に示す。燃費はガソリン車や

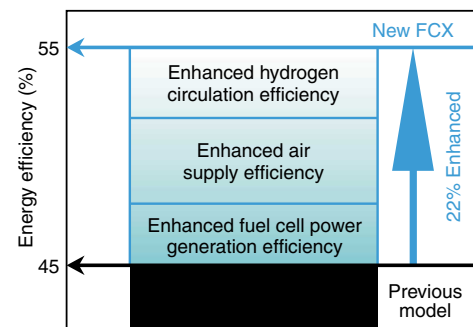
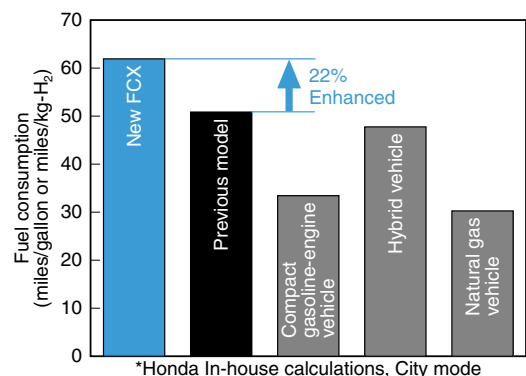


Fig. 9 Energy efficiency, LA-4 Mode



*Honda In-house calculations, City mode

Fig. 10 Fuel consumption

CNG車の約2倍、ハイブリッド車の約1.3倍となる。前モデルと比較しても燃費性能が22%向上したことで、航続走行距離を355kmから430kmへ延長することができた。

4.3. 加速性能

Fig. 11, 12に発進時の出力の応答性と車両の加速度の立ち上がり特性を示す。ウルトラキャパシタによる容量拡大と燃料電池の出力の増大により、低回転からの最大トルクを発生する駆動モータの特性を生かし、ハイブリッド電気自動車(HEV)と比較して加速度の立ち上がり応答時間を短縮することができた。さらに変速機がなくギヤチェンジがないため、滑らかな優れた加速性能が得られた。その結果、発進加速およ

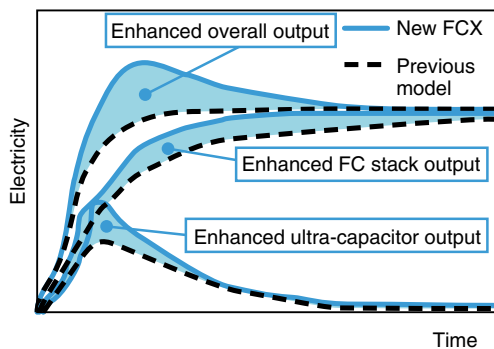


Fig. 11 Electricity at takeoff

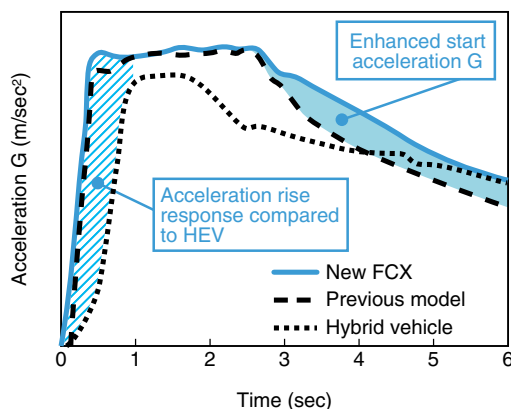


Fig. 12 Takeoff acceleration

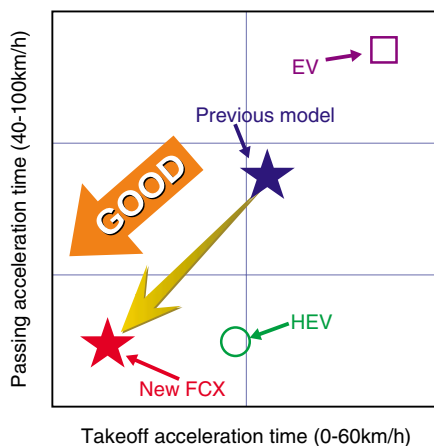


Fig. 13 Acceleration performance

び追い越し加速時間は前モデル比較で、発進加速が13%、追い越し加速が20%に向上した(Fig. 13)。

4.4. 騒音対策

従来のFCXに対して、エアポンプロータを中空構造から中実構造にすることで、気柱共鳴の発生を抑制し、吸入騒音を低減した。室内において旧モデル比-10dBを達成した。またトラクションモータステータ巻線部を樹脂モールドにすることでステータ全体の剛性を高め、モータ共振振動を低減した。室内において旧モデル比-6dBを達成した(Fig. 14)。

4.5. 低温性能

従来の燃料電池が氷点下で発電が困難だった特性要因を列举すると、低温環境において、

- ・イオン交換膜の水素イオン伝導性の低下
- ・カーボンセパレータの接触抵抗が過大
- ・カーボンセパレータの暖機性

などである。

Honda FC Stackは、新開発のアロマトニック電解質膜により高い水素イオン伝導性を達成し、金属セパレータにより接触抵抗25%低減およびセパレータの暖機時間80%短縮を達成し、これらの課題を克服した。また燃料電池システム全体の熱容量低減をおこない、システム全体でも暖機時間低減を図った。加えて燃料電池への加湿および燃料電池より排出される生成水の最適な水マネジメントをおこなった。以上の技術により、-20℃までの環境適応性能が実現し、ガソリン車と同様に雪道など氷点下環境での使用を可能とした(Fig. 15)。

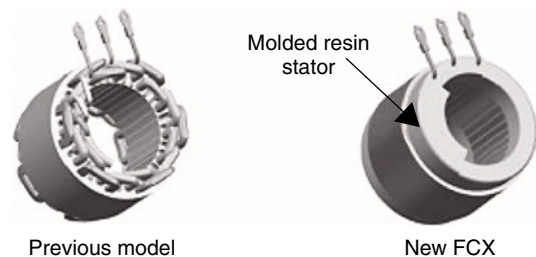


Fig. 14 Motor structure



Fig. 15 Test driving in snowy area

5. 認定

5.1. アメリカ合衆国

前モデルに引き続き、2004年7月にEPA(米国環境保護庁)とCARB(カリフォルニア大気資源局)から販売認可を取得した。寒冷地で使用できる世界ではじめての燃料電池車として認められた。Honda FCXは、排気ガスをまったく出さないゼロエミッションビークル(ZEV)として登録されている(Fig. 16)。

5.2. 日本国内

2005年3月31日に国土交通省から、世界に先駆け燃料電池自動車の安全基準、保安基準の技術指針が設定され、型式認証の申請が可能になった。衝突安全の保安基準テストとして、国土交通省の立会いによる国内初となる燃料電池自動車の衝突試験を実施した。テストの状況をFig. 17に示す。これらの衝突試験において技術基準を満たすことを証明した。2005年6月に国内において燃料電池自動車初の型式認証を取得した。



Fig. 16 ZEV label



Fig. 17 Crash tests

6. おわりに

Honda FCXは、究極の環境対応自動車の技術を実現した。技術開発の成果として、世界で初めて冬季に氷点下となる地域に販売をおこなった。2004年11月北米北東部のニューヨーク州政府に新しい車両を納車した。また2005年1月には北海道道庁に納車した。全世界の主要都市において、FCVは普及可能な自動車技術である事を実証した。

しかしながら燃料電池自動車の課題はまだ多く、克服すべき問題に対し研究開発を継続する必要がある。水素の供給を含めた環境社会の実現も重要な課題である。2004年4月から循環型水素エネルギー社会の実証実験として鹿児島県屋久島において、水力発電から製造した水素によって燃料電池自動車を走らせるプロジェクトに参加している(Fig. 18)。

Hondaは世界で初めて燃料電池自動車を市販し、環境技術の先頭を担う者として、これからも技術革新を継続していく。



Fig. 18 Test driving on Yakushima Island

参考文献

- (1) 川崎 聡志, 小野 徹, 小椋 正己, 加美 陽三: 世界初の燃料電池乗用車Honda FCXの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.15, No.1, p.1-6
- (2) 小川隆行, 木村 顕一郎, 内堀 憲治, 藤本 幸人, 清水 潔: 燃料電池乗用車 Honda FCX 用パワートレインの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.15, No.1, p.7-12
- (3) 井ノ上 雅次郎, 斉藤 信広, 内堀 憲治: Honda FCX 搭載の次世代燃料電池スタック, Honda R&D Technical Review, Vol.17, No.2, p.8-13
- (4) 井ノ上 雅次郎, 斉藤 信広, 内堀 憲治: 燃料電池乗用車に搭載した次世代燃料電池スタック, 自動車技術会 学術講演会前刷集, No.142-05, p.9-12, JSAE20055734(2005)
- (5) Kondo, J., Inoue, M., Saito, N.: Development of Honda Fuel Cell Stack, Proceedings of Global Powertrain Congress, Vol.35, p.66-71(2005)
- (6) Fujii, Y., Inoue, M., Saito, N.: Next-Generation Fuel Cell Stack for Honda FCX, Fuel Cell Seminar Abstracts, p.215-218(2005)

■ 著 者 ■



川崎 聡志



内堀 憲治



村上 義一



清水 潔



藤本 幸人