

世界初の燃料電池乗用車 Honda FCX の開発

Development of the Honda FCX Fuel Cell Vehicle

川崎 聡 志*

Satoshi KAWASAKI

小野 徹*

Tohru ONO

小椋 正 己*

Masami OGURA

加美 陽 三*

Youzo KAMI

要 旨

Honda は環境問題やエネルギー問題に対応可能な究極のクリーンパワーである燃料電池を搭載した FCX を開発し、2002 年 12 月に日米同時に発売・納車した。FCX は高圧タンクを用いた、圧縮水素ガスで発電する燃料電池とウルトラキャパシタを組み合わせた電源を持ち、高性能モータにより駆動する。Honda 独自のパッケージ技術により、コンパクトなボデーにこれらのユニットを配置し、実用的な航続距離と最高速度、力強い走りを実現した。また全方向からの衝突安全性能を確保し、大人 4 人が快適に乗れるキャビンを実現した。

ABSTRACT

Honda has developed the ultimate clean power fuel cell vehicle, the FCX, to respond to environmental and energy issues. Honda simultaneously marketed the FCX in the U.S. and Japan in December 2002. This vehicle is provided with a compressed pure hydrogen type fuel cell and an Ultra capacitor as a combined power source, and is driven by a high-performance drive motor. Honda's original packaging technologies enable these units to be fitted in a compact body. The FCX has a practical driving range, high maximum speed, and excellent power performance. The vehicle also ensures crash safety from all directions and comfortably seat four adults.

1. はじめに

大気汚染や地球温暖化、さらには石油資源の枯渇といった、さまざまな環境・エネルギー問題に対して根本的に対応するためには、有害物質や CO₂ を排出しないことに加え、化石燃料に頼らないエネルギー源が理想である。これまで Honda は電気自動車 EV PLUS やハイブリッド車の開発と販売を進めてきた。次世代の理想的な燃料として『水素』に着目し、水素と酸素を化学反応させて電気を生み出し水を排出するという、究極の環境性能を可能にする燃料電池を核にした車両エネルギー効率の高いパワートレインの開発と乗用車として走りの性能、居住性、安全性にも優れた燃料電池自動車の実現をめざしてきた。

FCX シリーズは 1999 年 9 月にプロトタイプの V1, V2 の同時発表以来、2000 年には V3 を、2001 年には V4 を、2002 年には FCX を発表し、社内テスト車における走行試験や衝突安全、水素安全、電気安全テストを、更にはアメリカの CaFCP (カリフォルニア州フューエルセルパートナーシップ) における実走行試験や、国内においては国土交通省の大臣認定取得による公道走行試験により、研究と熟成を重ねてきた。

*栃木研究所

この結果、2002 年 12 月 2 日に世界に先駆けて、燃料電池乗用車を発表し、国内では日本政府内閣府に、米国においてはロサンゼルス市に同日納車をした。

2. 開発経緯

FCX-V1, V2, V3, V4 ならびに FCX の主要諸元の経歴を Table 1 に示す。1999 年に発表した FCX-V1 は水素タンクが金属吸着合金タイプの純水素燃料電池自動車、V2 は液体燃料のメタノール改質型の燃料電池自動車であった。

2000 年 9 月に CaFCP に参加した FCX-V3 を発表した。水素燃料を高圧圧縮ガス容器に蓄える純水素タイプを採用し、パワートレインの実力を確認することができた。さらに V3 では燃料電池本体にホンダ内製とカナダ、バラード・パワー・システムズ社製の両方のシステムをそれぞれ搭載した車両で、カリフォルニアで公道走行を実施した。2001 年 7 月には国内大臣認定を取得し、公道走行実験を開始し約 1 年間走行した。

2001 年 9 月には基本構造とレイアウトを見直し、完成車としての基本となる FCX-V4 を発表した。主要な衝突テス

Table 1 History of major specifications

	FCX V1	FCX V2	FCX V3 / V3 with Honda FC Stack	FCX V4	FCX
Exterior					
Hydrogen supply system	Metal hydride	Methanol reformer	High-pressure hydrogen tank (25MPa)	High-pressure hydrogen tank (35MPa)	High-pressure hydrogen tank (35MPa)
Hydrogen storage volume	—	—	100L	137L	156.6L
Fuel cell stack	PEFC (Proton-exchange membrane fuel cell)	PEFC (Proton-exchange membrane fuel cell)	PEFC (Proton-exchange membrane fuel cell)	PEFC (Proton-exchange membrane fuel cell)	PEFC (Proton-exchange membrane fuel cell)
Power assist	Battery	Battery	Ultra capacitor	Ultra capacitor	Ultra capacitor
Maximum motor output	49kW[67PS]	49kW[67PS]	60kW[82PS]	60kW[82PS]	60kW[82PS]
Maximum motor torque	—	—	238N·m[24.3kg·m]	238N·m[24.3kg·m]	272N·m[27.7kg·m]
Maximum speed	—	—	130 km/h	140 km/h	150km/h
Range (With LA4 mode)	—	—	180 km	315 km	355 km
Passenger	2	2	4	4	4
Cargo space volume	—	—	—	98 L	102 L

ト項目の結果も良好で、車両としての主要構成要素の配置を確定する事ができた。V4も大臣認定を取得して、公道走行実験を重ねるとともに、発売車両 FCX の原型となった。このように改良を重ね、2002 年に FCX として製作した。

3. 車両概要

3.1. 車両外観

Fig. 1 に外観写真を、Fig. 2 にインテリアデザインを示す。エクステリアデザインは電気自動車Honda EV PLUS⁽¹⁾、⁽²⁾の車体をベースに、FC のパワーユニットを搭載するボデー下半分にしっかり感と安心感が出るデザインとした。また水素と水をイメージしてブルー基調のツートンカラーにしている。インテリアも同じようにブルー基調の内装色にして全体の統一を図った。



Fig. 1 Exterior view of FCX



Fig. 2 Interior design

3.2. パッケージコンセプトと主要諸元

FCXでは新しいパワートレインである燃料電池システムを量産可能な構造とするため、新しい FCV 専用プラットフォームを開発した。パッケージのコンセプトは以下の通りである。

- ・ パワートレインの床下集中配置
- ・ EV PLUS ベースのコンパクトボデー
- ・ 大人4人に十分なキャビンとトランクスペース
- ・ 走行性に優れた専用設計シャシ
- ・ 水素および高電圧電気の高信頼・安全対策
- ・ 乗員とパワートレインを保護する全方位衝突安全

EV PLUSと同様の寸法の中に燃料電池のシステムを搭載し、重量増加を最小限に抑えることに成功した。Table 2に主要諸元を示す。

Table 2 FCX major specifications

Length / Width / Height (mm)	4165 / 1760 / 1645
Wheel base (mm)	2530
Vehicle weight (kg)	1680
Number of passengers	4

3.3. 主要レイアウト

FCXは、ボデーサイズやキャビン空間の広さ、衝突安全性能など車両としての基本的な機能および性能を高次元で実現するために、プラットフォームを専用に開発した。Fig. 3 に主要構成部品の配置を示す。

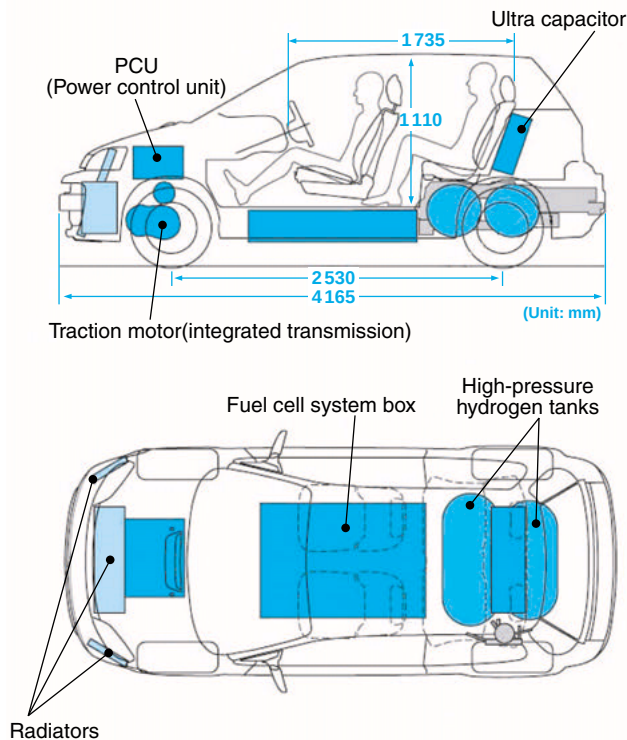


Fig. 3 Placement of major components in FCX

燃料電池システムのレイアウトの自由度を生かしながら高圧水素タンクをリアシート下に設置し、燃料電池システムを重量や大きさを考慮して床下に集中配置することで、広い空間を確保しながら優れた衝突安全性を実現した。ウルトラキャパシタはリアシート背後に斜めにレイアウトし、荷室スペースも確保した。さらにスペース効率と走行性に優れたリアサスペンションを採用した。こうした工夫に加え、PCUやトランスミッションのコンパクト化などによって運転しやすいボデーサイズとするとともに、燃料電池システムのラジエータを大型化して中央に配置し、さらにドライブレイン用サブラジエータを両サイドに配し、冷却性能の向上を図った。構成要素が多い燃料電池自動車でありながら、最適な配置によってFF車として理想的な前後重量配分 55 : 45 を実現した。

3.4. 主要ユニットの構成と配置

主要ユニットの配置を Fig. 4 に、構成を Fig. 5 に示す。すべての主要ユニットをコンパクトに配置した。

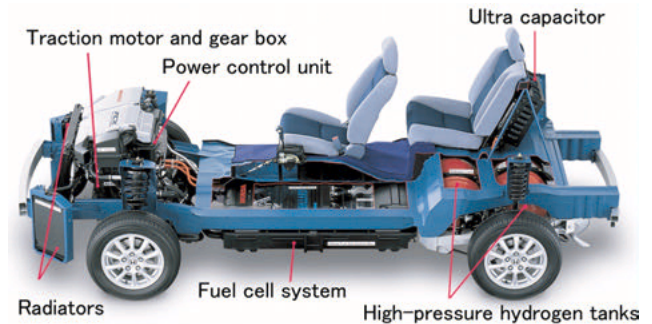


Fig. 4 Positioning of power train

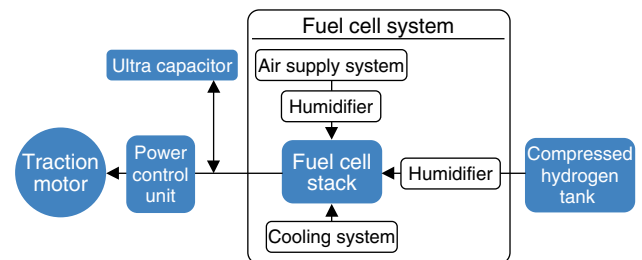


Fig. 5 Simplified diagram of power train system

4. 搭載技術

4.1. 水素タンクと搭載構造

水素を貯蔵するタンクは、航続距離の向上を達成するため、大容量でかつ軽量の構造特性が必要である。FCXでは、アルミライナ、カーボンファイバ、グラスファイバの3層からなる、高強度、対腐食性をあわせ持つ34.4MPaの充てんを可能にした高圧水素タンクを採用した。水素タンクの構造をFig. 6に示す。このタンクを2本搭載することで156.6Lのタンク容量を確保し、燃料消費率の向上とあわせて航続距離355kmを実現した。また、充てん時間は高圧充てん設備使用時で3分程度と、ガソリン車と同等の簡便さを実現している。

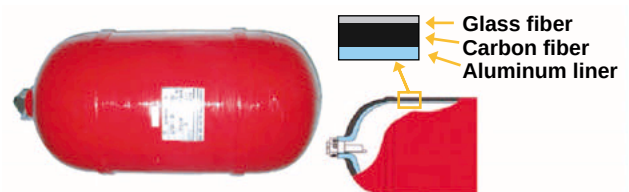


Fig. 6 High-pressure hydrogen tank

Fig. 7 に示すように、2本の水素タンクは周囲を取り囲むように押出しアルミニウム部材で構成したサブフレームに搭載されている。サブフレームに5リンクダブルウィッシュボーンタイプのリアサスペンションを合せて取付け、一体搭載を可能にして、スペース効率と搭載性の向上にも寄与している。

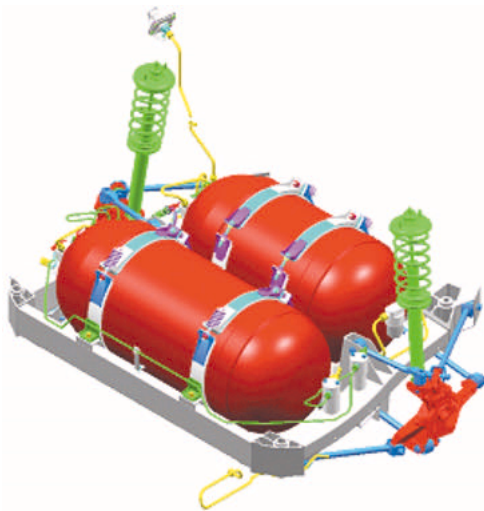


Fig. 7 Rear suspension assembly

4.2. 水素および高電圧安全対策

FCXでは、前述のように燃料電池システムボックスを床下集中配置したことにより、乗員空間と水素・高電圧システムを完全に隔絶する構造とした。また、不慮の水素漏れを考慮して水素センサを各所に設置し、かつ燃料電池システムボックス内に水素が漏れた場合には、ボックス内の強制換気システムを作動させて安全な水素濃度以下に保つシステムを搭載した。必要に応じて水素タンクの主止弁や供給経路の適所に配置した遮断弁で自動的に水素を遮断するシステムも搭載した。

水素安全において重要な水素漏れ警告システムと水素センサ配置の一部を Fig. 8 に示す。車体の水素センサが定量以上の水素漏れを検知した場合、メータパネル内の警告灯が点灯し、適時に燃料を遮断する。

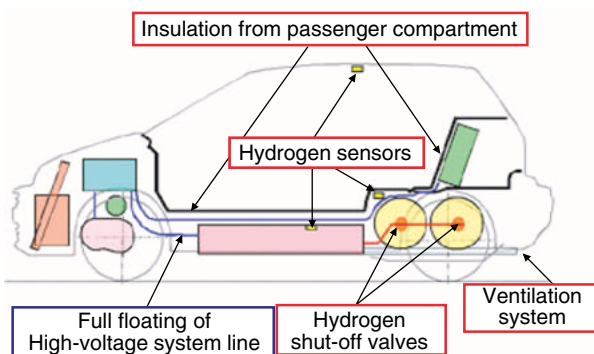


Fig. 8 Hydrogen and high-voltage safety structure and location of the hydrogen sensors

また、高電圧システムは車体から絶縁させている。電装システムと車体の地絡時にはセンサにより警告し、衝突時には遮断器によって元電源をシステムから遮断する。これらのシステムは、浸水テストやタンクの火災実験などを繰り返し行うことで、高い安全性と信頼性を確保した。

Fig. 9 に信頼性テストの一例としてプールを走行する浸水テストの例を示す。

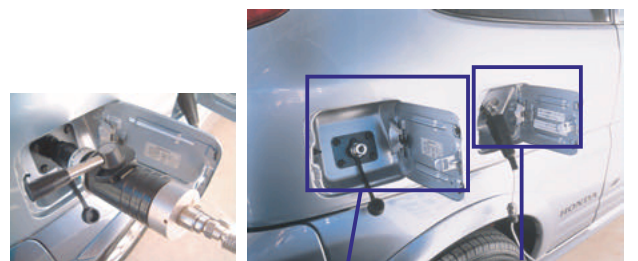


Fig. 9 Water-proof test

4.3. 水素充てん時の安全対策

水素の充てん口は、充てんノズルの接続性がよく、信頼性の高いフィルタを備え、さらに水素シール性に優れた逆止弁一体構造を採用した。ノズルの形状は異種ガスの混入や充てん力の異なるノズルの誤接続を防止する構造となっている。

更に水素充てん前に車体の静電気を取り除くアースシステムを採用した。Fig. 10に示すように水素充てん口のオープナはアースリッド内にあり、まずアースリッドを開けないとオープナの操作ができない安全設計を行なった。



Hydrogen charging inlet Grounding system (Receptacle)

Fig. 10 Hydrogen charging inlet and grounding system

4.4. ボデー構造と衝突安全

4.4.1. 燃料電池システムの衝突安全性の考え方

衝突安全は、乗員保護性に加えて燃料電池システムと水素タンクシステムの衝突時の衝撃力と車体変形に対して十分な安全性能が得られるよう開発を行った。車体構造は、Fig. 11に示すように衝撃を吸収する骨格フレームから構成されている。車体の四方から加わる衝突の変形に対して、車体の各フレーム構造により燃料電池の主要デバイスが守られる配置とした。

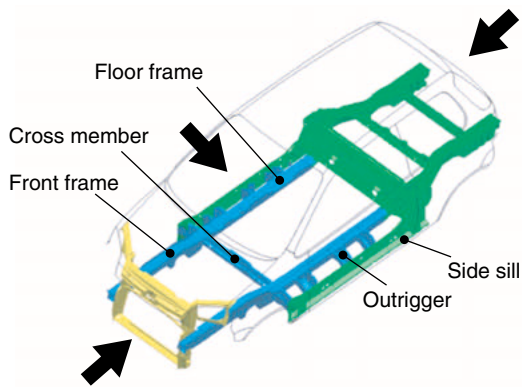


Fig. 11 Basic framework

車体前後方向にフロントフレームからフロアフレームまで大断面のストレートフレーム骨格を形成し、側方にはフロアフレームからサイドシルまでつながったクロスメンバやアウトリガを配置した。フロントフレームには衝突吸収構造を持たせ、前面衝突時のキャビンへの衝撃を抑制する。側面衝突に対してはアウトリガが衝撃を効果的に吸収し、キャビンや燃料電池システムへの影響を抑えている。

燃料電池スタックを収納した車体床下ボックス構造は、衝突時の変形に対してシステムを保護する高い安全性構造となっている。Fig. 12にリアサブフレームの取り付け構造と車体構造を示す。アルミサブフレームはリヤフレームと結合しており、水素タンクを上下の二つのフレームが守る構造となっている。ウルトラキャパシタは水素タンクの上方キャビン内に配置されており、水素系と電気系合わせて車体構造が強固に保護する構造を形成している。

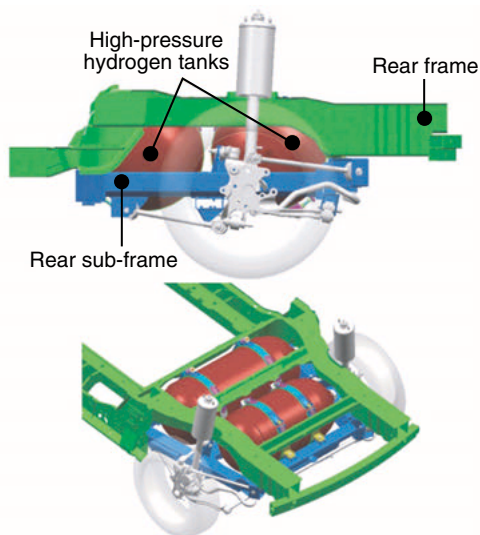


Fig. 12 Assembly of rear sub-frame

4.4.2. 衝突テスト結果

燃料電池システムの配置と車体構造を検証するため、衝突テストを実施した。Fig. 13に示すように正面衝突、前面オフセット衝突、側面衝突、後面衝突の各テストにおいて、

減速加速度と車体変形量が制御され、水素と電気システムも良好な安全性を確認した。

衝突テストに際しては、テスト用のガスとして水素の代わりに性状がよく近似しているヘリウムガスを用いた。水素タンクと配管に約 35MPa の圧力で充てんし、テストを行っている。

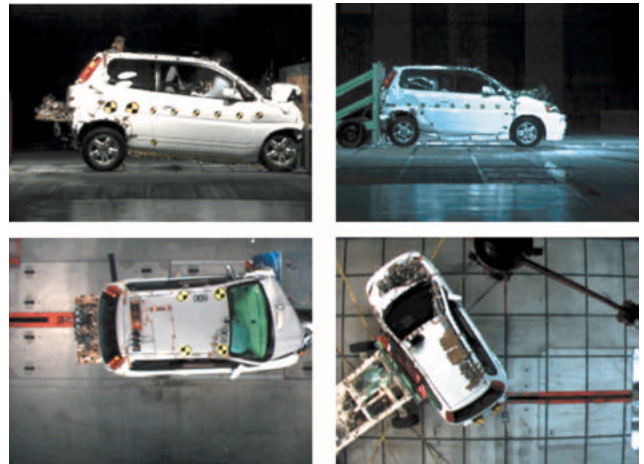


Fig. 13 Crash test images

4.4.3. 衝突時における電気水素遮断システム

衝突の衝撃に対する車体構造は前項で述べたが、さらに安全性を高める機能として衝突時にモータ駆動電源と水素供給システムを遮断させるシステムを搭載した。車体に加わる衝撃加速度から乗員を保護するエアバッグシステムと同様に、加速度センサを配し、前面、側面、後面のそれぞれの衝突現象を検知し、電源と水素遮断弁を作動させて安全にシステムを停止させることが出来る。衝突の判断は、前面はオフセット衝突、側面では局部的な変形の衝突にも対応させるため、複数の補助センサを配置し、車体変形に対する検知能力の向上を図っている。

4.5. シャシ(サスペンション、EPS、ブレーキ)

燃料電池パワートレインによるスムーズで力強い走りに加え、シャシを中心に乗り心地や安定性、操作快適性などを追求した。市街地から高速道路まで、運転操作しやすく心地よい走りを実現した。

フロントサスペンションにはマクファーソンストラットを、リアには当社のアコードの5リンクダブルウィッシュボーンタイプを採用し、優れた操縦安定性と乗り心地を実現した。

ステアリングはラックアシストタイプの電動パワーステアリングを専用設計し、低速走行で取り回しのよい自然な操舵フィールと、高速走行でのしっかりした安定感を両立した。

ブレーキは電動負圧ポンプとマスタパワーによって制動力を適切にアシストする。また EBD(電子制御制動力分配システム)付 ABS を標準装備した。

4.6. メータ

運転する人が燃料電池車のシステムの作動を実感出来るように、先進デザインのFCV専用メータを搭載した。スピードメータを中心に、左右にはパワーメータと水素燃料系を配置した視認性に優れた3眼メータとした。Fig. 14にメータの全点灯状態を示す。

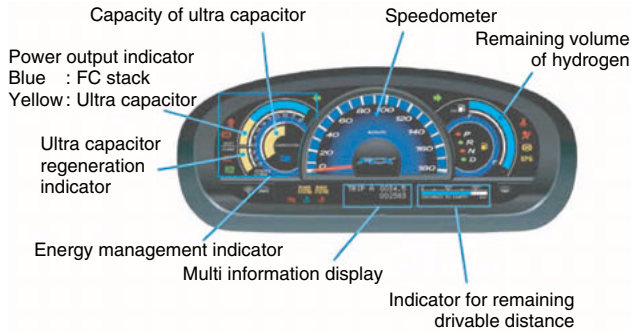


Fig. 14 Cluster design

出力メータは、燃料電池スタックの出力やウルトラキャパシタの充電容量を表示し、走行状況によって刻々変化するエネルギーマネジメント状況をわかりやすく表示している。Fig. 15に出力メータの作動図を示す。残りの水素燃

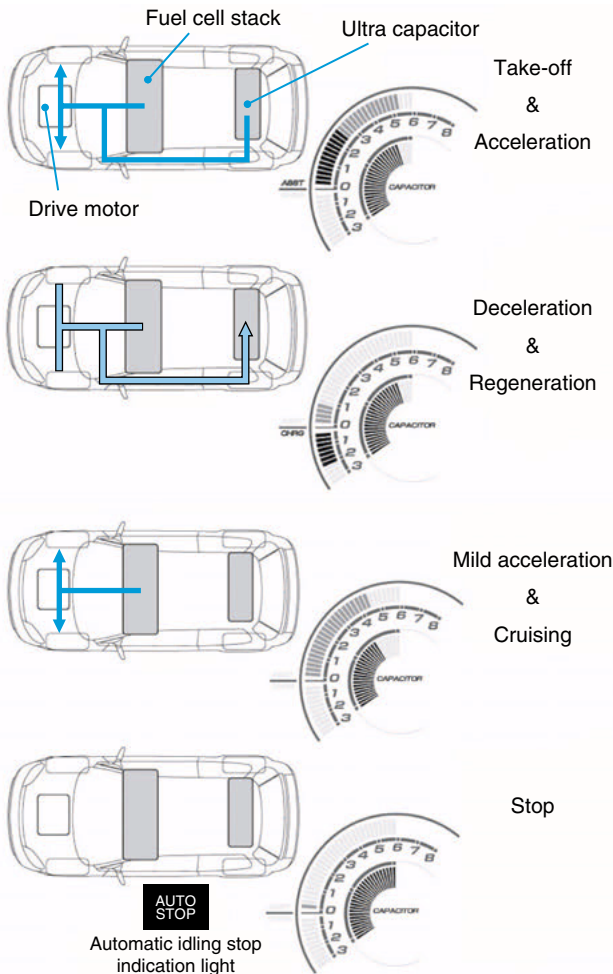


Fig. 15 Graphic images of meter functions

料の量と、燃料消費状況に基づき、走行可能距離がわかる残走行距離計も採用した。さらに、下段中央にはオドメータ・トリップメータと、車両の状態変化表示とを切り替え表示できるマルチインフォメーションディスプレイを備えている。

5. おわりに

Honda FCXは世界で最初に発売された燃料電池乗用車となった。しかし、今回の発売はまだ燃料電池自動車普及の始まりに過ぎない。低温始動性の問題、コスト低減の問題、水素充てんインフラの問題など、近い将来の本格的な普及にはまだ多くの課題が残されており、Honda はこれらの課題に今後も取り組んで行く。多くの人に燃料電池自動車のすばらしさを見て乗って支持されてこそ、真の環境対応車として発展して行くであろう。

この世界初の発売・納車と言う一大区切りを節目に、更なる技術開発に邁進したい。

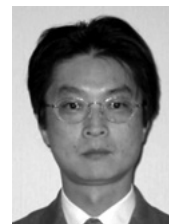
6. 謝辞

最後にこのFCXの発売・納車に当り、各研究所、製作所、協力メーカの各関係部署を始め、多くの方々から絶大なご協力をいただいたことに、あらためて感謝の意を表したい。

7. 参考文献

- (1) 今井 裕道, 鈴木 茂, 長谷川 修, 松本 謙次: 電気自動車 CUV-4 の紹介, HONDA R&D Technical Review, Vol. 7, p.1-8(1995)
- (2) 小椋 正己, 鈴木 茂, 松本 謙次: 電気自動車 EV PLUS の紹介, HONDA R&D Technical Review, Vol. 9, p.1-10(1997)

■ 著 者 ■



川崎 聡志



小椋 正己



小野 徹



加美 陽三