

FCX クラリティ用 燃料電池パワートレイン

Fuel Cell Powertrain for FCX Clarity

松 永 稔*
Minoru MATSUNAGA
木 村 顕一郎*
Kenichiro KIMURA

福 嶋 達 也*
Tatsuya FUKUSHIMA
小 川 隆 行*
Takayuki OGAWA

尾 島 邦 明*
Kuniaki OJIMA

要 旨

ABSTRACT

地球温暖化対策やエネルギー問題に対応するため、従来のFCXの走行性能や燃費性能を向上させ、レシプロエンジン車にはない新しい車の魅力を持った新型燃料電池車FCXクラリティを開発した。燃料電池パワートレインの小型、軽量、高効率化が開発の鍵となった。

燃料電池パワートレインは Honda 独自の V Flow FC スタック技術を核とし、従来比で、重量出力密度で2倍、容積出力密度で 2.2 倍を達成した。V Flow FC スタックは最高出力が100kWに向上するとともに、従来比で、容積出力密度が50%、重量出力密度が67%向上した。低温始動性も向上し、 -30°C での始動が可能となった。

駆動モータは最高出力が 100kW に向上し、リチウムイオンバッテリーのアシストと合わせて力強く滑らかにどこまでも伸びていく加速フィールが実現した。パワートレインの高効率化と優れたエネルギーマネジメントなどにより、走行エネルギー効率は60%を実現し、燃費は小型ガソリン車の 2.1 倍、小型ハイブリッド車の 1.4 倍に達した。

Honda has developed a new fuel cell vehicle in order to respond to global warming and energy issues. The new vehicle, the FCX Clarity, displays enhancement in driving performance and fuel efficiency against previous FCX, and embodies a new appeal not available in a reciprocating engine vehicle. The key to the Clarity's development was the achievement of size and weight reductions and increased efficiency in the fuel cell powertrain.

The FCX Clarity's fuel cell powertrain has Honda's proprietary V Flow FC stack at its core, and displays a weight power density 2 times higher and a volume power density 2.2 times higher than the powertrain of the previous FCX. In addition to increasing maximum power to 100 kW, the V Flow FC stack achieves a 50% increase in volume power density and 67% increase in weight power density against the previous FC stack. Startability at low temperatures has also increased, with the vehicle able to start at -30°C .

The maximum power of the Clarity's drive motor has been increased to 100 kW. In combination with the provision of power assist using a lithium-ion battery, this has enabled the realization of a smooth, powerful and continuously extendable acceleration feel. The increased efficiency of the powertrain and superior energy management have resulted in the achievement of a 60% operating energy efficiency, and the vehicle displays a fuel economy 2.1 times higher than that of a compact gasoline vehicle, and 1.4 times higher than that of a compact hybrid vehicle.

1. はじめに

Honda は環境対策車として燃料電池車 FCX を、2002 年に世界で初めて日米で発売した⁽¹⁾。続いて2004年には -20°C で始動可能な FC スタックを搭載した燃料電池車FCXを開発し、寒冷地区での使用が可能になった^{(2), (3)}。

*四輪開発センター

燃料電池車 FCX が追求してきた走行性能および環境性能の向上により、性能面において燃料電池車FCXはレシプロエンジン車に最早ひけをとらない存在となった。

燃料電池車のさらなる性能面での進化と、車としての魅力を向上させるために燃料電池パワートレインを徹底的に見直した。そして燃料電池システムの特長であるレイアウト

ト自由度の高さを最大限に生かすためには、燃料電池パワートレインの小型化が鍵となることが明らかとなった。

燃料電池パワートレインを新たに開発した結果、斬新なデザインで、未来感にあふれたインテリアや操作系、コンパクトな車体に対して広々とした室内空間を持ち、レシプロエンジン車では体感できないドライブフィールを実現し、レシプロエンジン車と肩を並べる航続距離を持った新型燃料電池車 FCX クラリティを紹介する。

また、航続距離と充填時間は電気で駆動される車の共通の課題であり、最新のバッテリー性能を想定した電気自動車との比較をおこなう。

2. 開発のねらい

FCX クラリティは燃料電池パワートレインを搭載している車だからこそ実現できる新しい魅力および価値を生み出すために、以下のように開発のねらいを定めた。

(1) 魅力的な車両デザインの具現化

- ・燃料電池パワートレインのレイアウト自由度を生かした斬新なエクステリア・インテリアデザイン
- ・未来の車を運転するような新感覚の Cockpit

(2) 燃料電池車ならではのフルキャビンの創出

- ・ショート、スラントノーズ
- ・広々とした室内空間
- ・低床・低全高キャビン
- ・機能的なトランクルーム

(3) 車両の基本性能の向上

- ・力強く滑らかにどこまでも伸びていく加速フィール
- ・レシプロエンジン車に遜色ない航続距離
- ・低温始動性の向上

3. 車両デザインと装備

3.1. 車両デザイン

車両外観を Fig. 1 に示す。従来の燃料電池車は発電システムを床下に搭載する SUV タイプの車両形態が主流であった。FCX クラリティは、燃料電池車パッケージの特長であるレイアウトの自由度を生かし、燃料電池車にしかできな



Fig. 1 FCX Clarity

Table 1 Major specifications

Model	FCX Clarity	2005 model year FCX
Length/Width/Height	4845 x 1845 x 1470 mm	4165 x 1760 x 1645 mm
Wheel base	2800 mm	2530 mm
Vehicle weight	1625 kg	1670 kg
Number of passengers	4	4
Maximum speed	160 km/h	150 km/h
Range (EPA combined label)	280 mile	210 mile
Maximum motor power	100 kW [136 PS]	80 kW [109 PS]
Maximum motor torque	256 Nm [26.1 kgm]	272 Nm [27.7 kgm]
Fuel cell stack	PEMFC	PEMFC
Power assist	Li-ion battery	Ultra-capacitor
Hydrogen supply system	High-pressure hydrogen tank	High-pressure hydrogen tank
Hydrogen pressure	35 MPa	34.4 MPa
Hydrogen storage volume	171 L	156.6 L

いレイアウトを追求した。その結果、斬新なエクステリアおよびインテリアデザインをまとった画期的な低床セダンプラットフォームが実現した。

リヤをハイデッキデザインにし、ドライバからの良好な後方視界とトランクルームへの外部からの視界抑制を両立させる視界制御機能を持ったエクストラウインドウを世界で初めて装備した。それにより後方視界、トランク容量を確保した。外装色には、宝石のスターガーネットをモチーフとした専用色を用いた。

車両の主要諸元を Table 1 に示す。

3.2. 主要な車体装備

3.2.1. FCX マルチプレックスメータ

FCX クラリティを運転する際に、未来の車を運転するような感覚の新デザインメータ、FCX マルチプレックスメータを装備した。メータ中央部に水素消費量を示す水素ボールメータ、左右に水素燃料計とバッテリーアシストおよび回生状況をしめすバッテリー容量計、視線移動の少ないメータパイザ上部に速度計を配置した (Fig. 2)。

Fig. 3 に示すように、水素燃料計 (Hydrogen fuel meter) とバッテリー容量計 (Li-ion battery meter) は、扇形に表示し容量に応じて10段階に表現した。また、最終段はさらに10段階に細分化し、見やすさと精度を向上させた。また、メータ中央部の水素ボールメータは、車両の走行状況に応じて、メータ内のボールの色と大きさで水素消費量をわかりやすく表示する。FCX マルチプレックスメータによりドライバは車両の状態を速やかに把握できる上に、未来の車を運転するような感覚を楽しめるように演出した。

3.2.2. シフト・バイ・ワイヤ

電気制御を活かし、コンパクトなシフトユニットを作り上げた。シフトレバーはFCX マルチプレックスメータの横に配置した。軽い操作荷重、短い操作ストロークでのシフト操作を可能とした(Fig. 4)。



Fig. 2 FCX multiplex meters(multi-layered instrument panel)

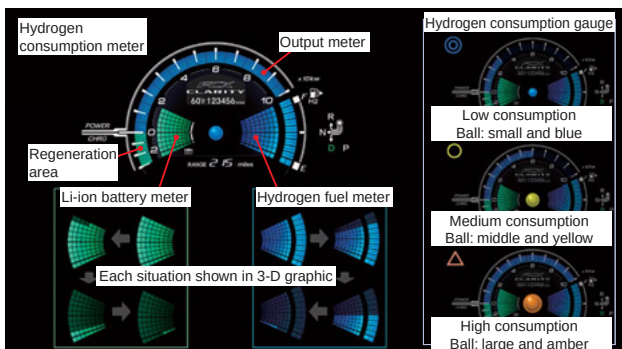


Fig. 3 Hydrogen consumption meter



Fig. 4 Shift-by-wire

4. パワートレイン搭載技術

4.1. パワートレインシステム

燃料電池パワートレインは、Fig. 5 に示すように電動駆動システム、燃料電池システム、リチウムイオンバッテリーシステム、高圧水素供給システムからなり、発電に必要なコ

ンポーネントを分散して車体内に配置できる。各コンポーネントを小型化することにより、この特長を最大限に生かすことができる。そこで燃料電池スタックを初めとして、発電に必要な個々のコンポーネントを徹底的に小型化した。その結果、本パワートレインは小型、軽量化し、従来のFCXと比べ、重量出力密度が2倍、容積出力密度が2.2倍となり(Fig. 6)、従来のレシプロエンジン車には実現できなかった広々としたフルキャビンを実現した。

本燃料電池パワートレインは、燃料電池スタックの高い出力とリチウムイオンバッテリーのパワーアシストをもとに、高出力モータによって強力な駆動力を生み出した。モータはギヤを変速することなく、トルクを発生し続けるため、発進から最高速度までの全領域で力強く滑らかに、どこまでも伸びていく異次元ドライブフィールを実現した。

4.1.1. 電動駆動システム

力強い加速性能と最高速度の向上、車両パッケージングのためのコンパクト化を目指し、駆動モータ、ギヤボックス、Power Drive Unit(PDU)で構成される新構造の電動駆動システムを開発した(Table 2)。

駆動モータのロータには独自の形状や配置の磁石を採用した。またステータには低鉄損電磁鋼板を採用し高回転時の損失を低減し、かつスロット形状を最適化することで、スロット部の占積率が向上し、巻線の抵抗を低減した。これに

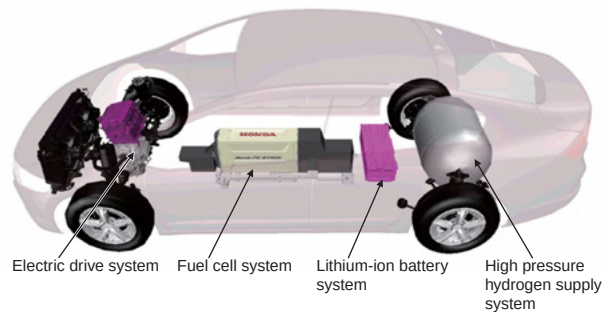


Fig. 5 FCX Clarity powertrain layout

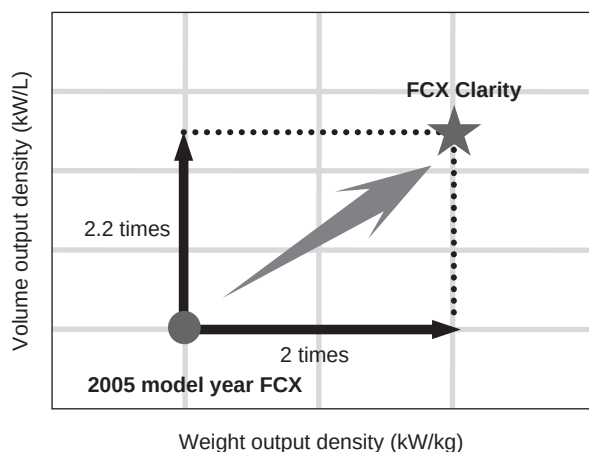


Fig. 6 Evolution of Honda powertrain

Table 2 Comparison of drive motor performance

	FCX Clarity	2005 model year FCX
Max. output	100 kW	80 kW
Max. torque	256 Nm	272 Nm
Max. rpm	12500 min ⁻¹	11000 min ⁻¹
Max. efficiency	97 %	97%

より、高出力、高トルク、高回転、高効率が可能になった。最高出力が従来の 80 kW から 100 kW ヘアアップし、さらに高回転域までこの出力が維持されるため、ゆとりのある追い越し加速を実現した⁽⁴⁾(Fig. 7)。

また、駆動モータとギヤボックスを同軸化し、さらに PDU も一体化した。前後方向が 162 mm、高さが 240 mm 小型化した(Fig. 8)。これにより、シャープで大胆なショート・スラントノーズデザインと広々とした室内空間が実現した。

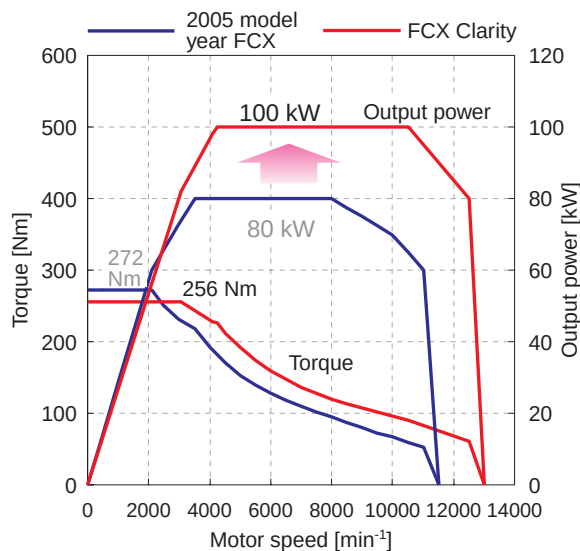


Fig. 7 Output and torque characteristics

4.1.2. 燃料電池システム

燃料電池車ならではのフルキャビンを創出するため新しい構成の燃料電池システムを開発した。

従来の Honda FC スタックは水素や酸素を横方向に流すセル構造を採用していた。V Flow FC スタックでは、縦方向に流す新しいセル構造を採用した(Fig. 9)。これにより、発電面からの生成水は重力を利用してよりスムーズに排水

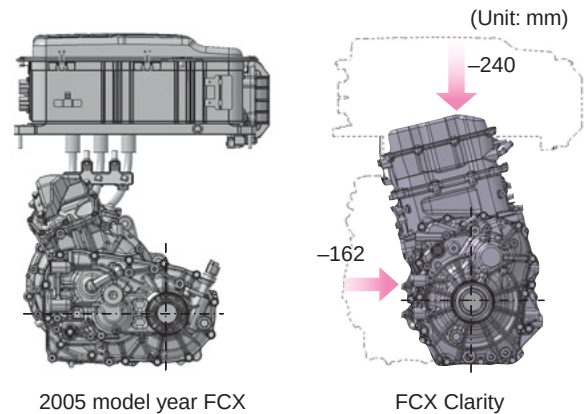


Fig. 8 Evolution of drive motor and power drive unit

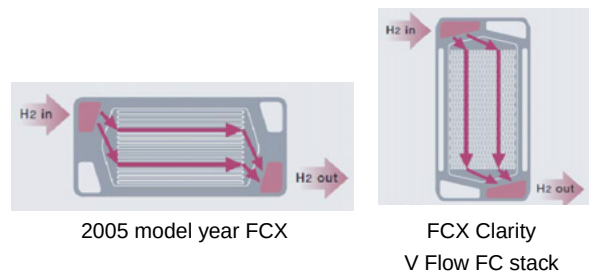


Fig. 9 Comparison of hydrogen flow

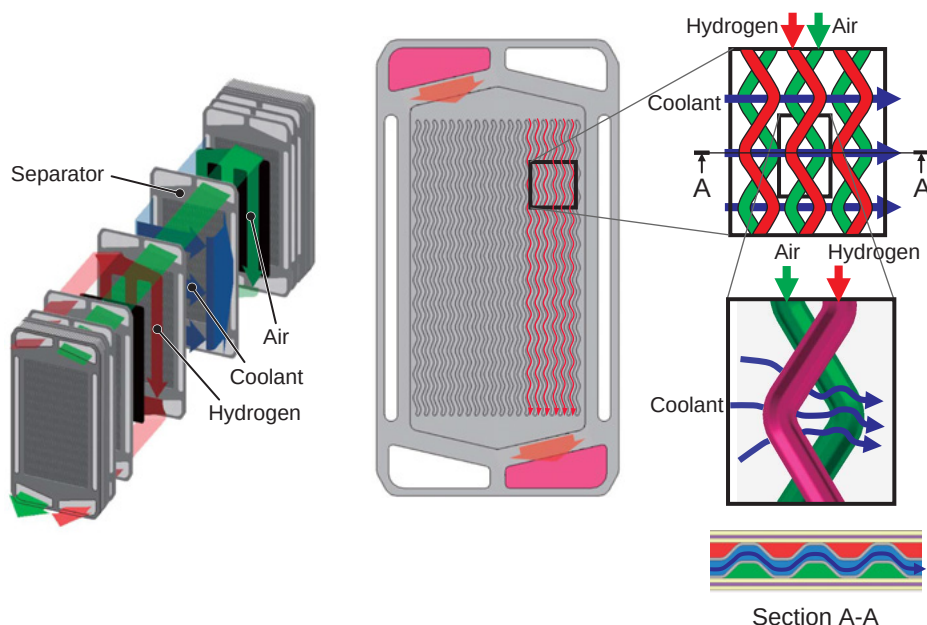


Fig. 10 Detail of wave flow channel separator

できるようになった。排水性が向上したので、流路高さを17%浅くすることができ、軽量およびコンパクト化に貢献した。

V Flow FC スタックでは、水素、酸素、冷媒を発電面内へ均等に供給するために、Wave 流路セパレータを採用した。冷媒を横方向から、水素と酸素の流路を立体的にぬうように流す構造とした(Fig. 10)。

これにより発電面を均等に冷却することが可能となったため、従来セルごとに必要だった冷却層を1/2に削減できた。内部構造の進化により、従来は2 BOX 構造だったHonda FC スタックを1 BOX に集約することが可能となった。この結果、最高出力が100 kW に達した。従来に比べて、容積出力密度が50%、重量出力密度が67%向上し、軽量およびコンパクト化が達成された^{(5)・(7)}(Fig. 11)。

また低温始動性も向上した。前述の軽量およびコンパクト化によって熱容量が約40%低減した。それにより暖機性能が高まり、-20℃で始動した後、出力が50%に到達する時間が従来の1/4に短縮され、-30℃での始動も可能になった(Fig. 12)。

Honda FC スタックが従来の2 BOX 構成から1 BOX への集約化したことにより、スタック間を連結する部品を簡素化・削減した。また1 BOX 化により前後に水素供給システム、加湿システム、コンタクタを一体化させることが可能

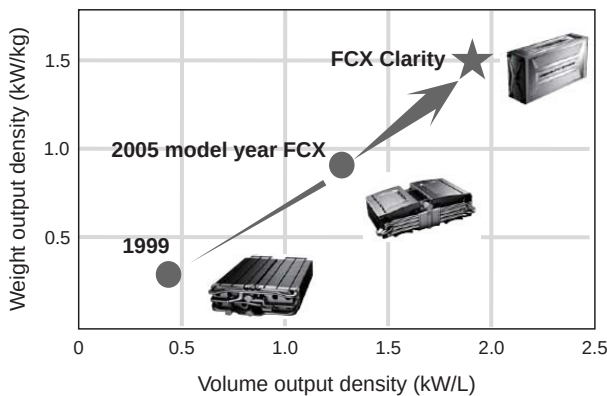


Fig. 11 Evolution of Honda fuel cell stacks

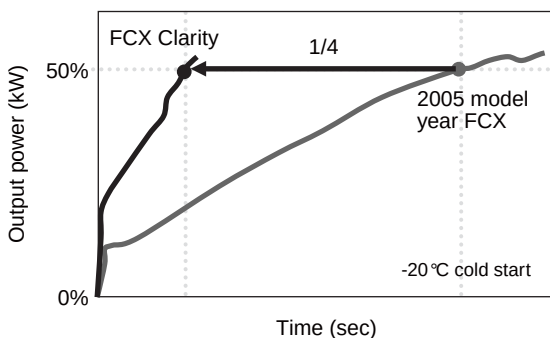


Fig. 12 Cold start performance

となり、従来の燃料電池システムボックスにくらべて、65%も小型化した燃料電池システムが完成した。これにより、燃料電池システムをセンタートンネル内に設置でき、広々とした室内空間、低床および低全高キャビンを実現することができた(Fig. 13)。

4.1.3. リチウムイオンバッテリーシステム

燃料電池のアシスト電源については、アシスト性能やエネルギー回収率の向上と、軽量コンパクト化のために、リチウムイオンバッテリーシステムを採用した⁽⁸⁾。

回生と油圧ブレーキの配分を制御する油圧協調回生ブレーキシステムの搭載によって、従来に比べて、減速時の回生エネルギーの回収率が11%向上し、全減速エネルギーの57%を回収することが可能になった(LA-4 Mode)。リチウムイオンバッテリーシステムにより、従来のウルトラキャパシタシステムに比べ、燃料電池スタックの出力を最大出力で長時間アシストすることが可能になった(Fig. 14)。

サイドフロー方式の空冷を採用し、バッテリーパックの1 BOX 化、ECU の1 BOX 化をおこなった結果、ウルトラキャパシタシステムより、重量が40%、容積が50%減少し

2005 model year FCX

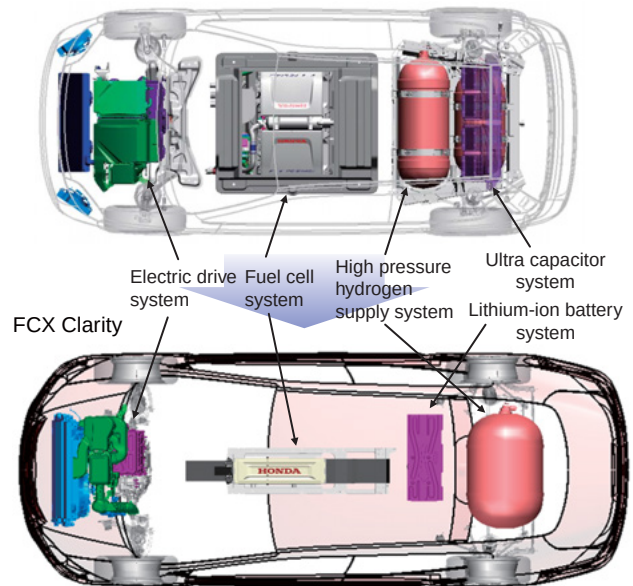


Fig. 13 Comparison of Honda powertrains

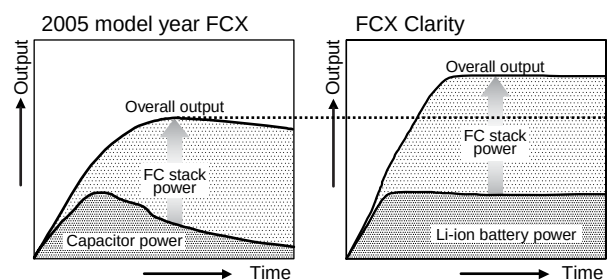


Fig. 14 Assist power characteristic

た。その結果、リチウムイオンバッテリーシステムをリヤシート下に収めることができた。これにより、広々としたリヤシートの居住性、低床および低全高キャビン、機能的なトランクルームを実現した(Fig. 15)。

4.1.4. 高圧水素供給システム

リヤ席の居住性を向上させつつトランクスペースを確保するため、従来は2本搭載していた高圧水素タンクを1本化した。さらに遮断弁、レギュレータ、圧力センサなどの充填、供給システムを、新たに開発したインタンクモジュールに集積した。それにより、高圧水素供給システムの部品点数が74%削減した。その結果、タンク容量を増加させながら、搭載スペース効率を24%向上させた(Fig. 16)。4.1.3. 項のリチウムイオンバッテリーシステムと合わせて、前モデル比3.4倍の457 L(VDA方式)となるトランクルームを実現させた。

5. 車両性能

5.1. 加速性能

燃料電池スタックを高出力化したことに加え、アシスト出力を長時間維持できるリチウムイオンバッテリーを搭載

することにより、トータル出力が向上し、かつ高出力を長時間維持できるようになった。新設計の駆動モータは最高出力が100 kWへ向上し、高回転域まで最高出力が維持されるので、発進直後から高車速域まですべての領域で高い駆動力を生み出す。

Fig. 17 に車両の加速度の立ち上がり特性を示す。電気モータの特性として低回転から最大トルクを発生できるため、加速度の立ち上がり早い。またギヤが変速することなくトルクを発生し続けるため滑らかに途切れなく加速する。発進加速時間は34%(9.7秒, 0-60 mile/h)、追い越し加速時間は75%(5.9秒, 50-70 mile/h)前モデルより向上し、力強く滑らかにどこまでも伸びていく加速フィールを実現している(Fig. 18)。

5.2. 効率と燃費

FCXクラリティは、燃料電池システムの発電効率の向上、およびリチウムイオンバッテリーと油圧協調回生ブレーキシステム搭載したことによる回生エネルギーの回収率の向上によって、走行エネルギー効率60%を達成した(LA-4 Mode)。これはガソリン車の3倍以上、ハイブリッド車の2倍以上の効率である(Fig. 19)。

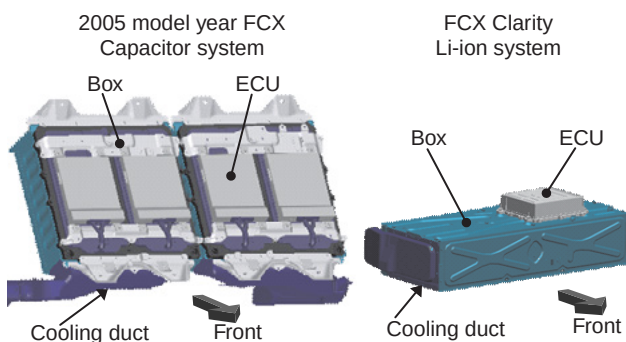


Fig. 15 Comparison of assist batteries

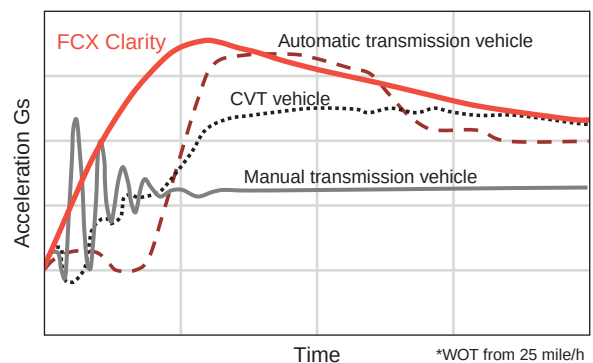


Fig. 17 Takeoff acceleration

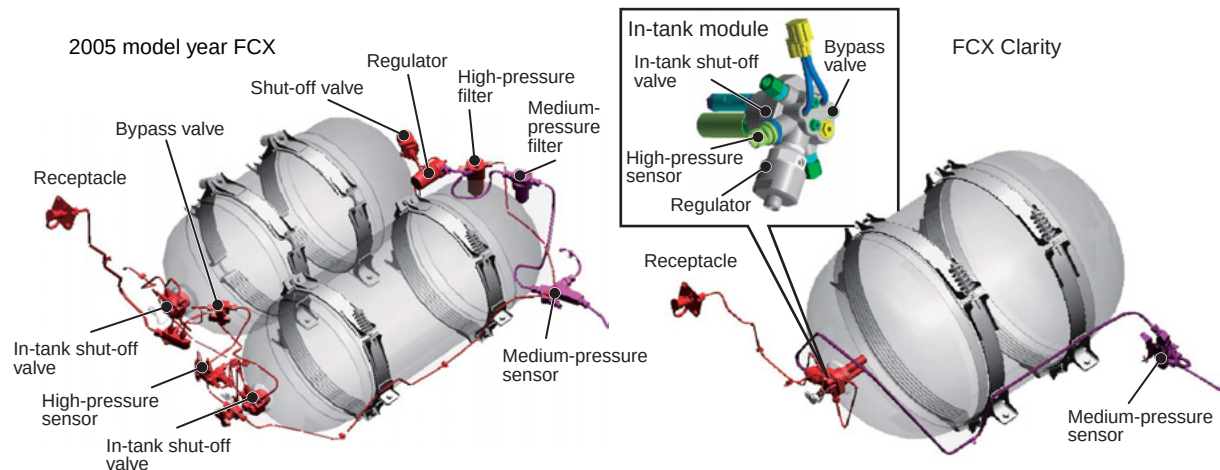


Fig. 16 Hydrogen supply system

走行エネルギー効率が向上したことに加え、走行抵抗の低減と車両の軽量化がなされたことにより、燃費性能は前モデルより 26%向上した(EPA combine)。小型高出力 V Flow FC スタックをはじめとする燃料電池パワートレインのコンパクト化によって低床セダンプラットフォームが実現できたことが、走行抵抗の低減に貢献している。

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ことができる。FCX クラリティおよびFCX クラリティと同じサイズの小型ガソリン車、小型ハイブリッド車を比較した(EPA combine)。FCX クラリティの燃費は、小型ガソリン車の 2.1 倍、小型ハイブリッド車の 1.4 倍にあたる 72 mile/kg-H₂ を達成した(Fig. 20)。

5.3. 航続距離と充填時間

燃費性能の向上に加え、水素タンク容量が前モデルより 14 L 増えたことにより、航続距離は30%向上して、280 mile となった(EPA combine)(Fig. 21)。これによりレシプロエンジン車に遜色ない航続距離を実現した。

航続距離は、燃料電池車のみならず電気自動車の課題でもある。1990年代の半ばに、自動車会社各社が電気自動車(pure EV)の開発を進めた。しかし電気自動車は、航続距離

の短さと充電時間の長さが課題となり、数多くは普及しなかった。近年、リチウムイオン電池の登場によりバッテリー性能が向上し、電気自動車の可能性が再び注目され始めている。そこで、1997 年に開発した Honda EV PLUS に搭載されている Ni-MH バッテリーを、最新の Li イオンバッテリーに置き換えた場合の航続距離、および充電時間を試算した。

計算した結果、想定した電気自動車の航続距離は約 160 mile となった。電気自動車を充電するには、家庭用の電源で充電した場合で約12時間、クイックチャージの場合でも約 1.5 時間が必要である。

近年のバッテリー性能の向上を考慮しても、航続距離や充填時間において、電気自動車とレシプロエンジン車との間にはまだ隔たりがある。電気自動車はそれらの短所があまり気にならない通勤に適している。一方FCX クラリティは、4分で約4 kgの水素をフル充填可能であり、航続距離や充填時間に制約を受けない、レシプロエンジン車と同等の利便性を持っている。

化石燃料ではなく、水素を燃料とする燃料電池車FCX クラリティは、温室効果ガス CO₂ を全く排出せず、車両性能はレシプロエンジン車に比べて遜色ないレベルである。

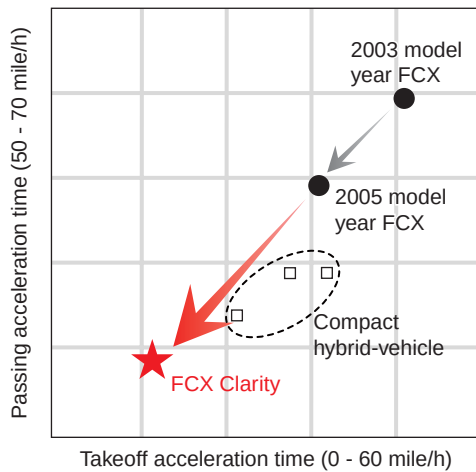


Fig. 18 Acceleration performance

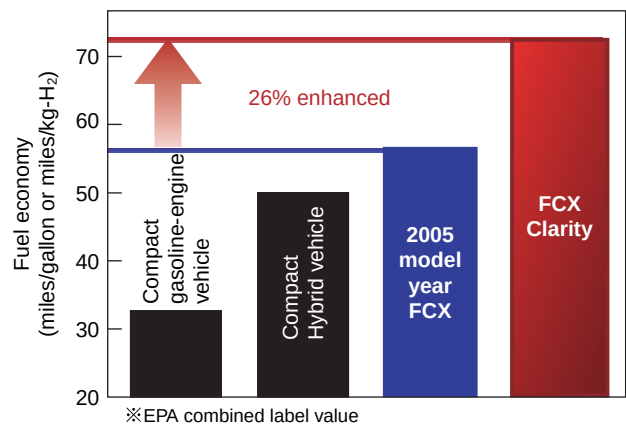


Fig. 20 Vehicle fuel economy

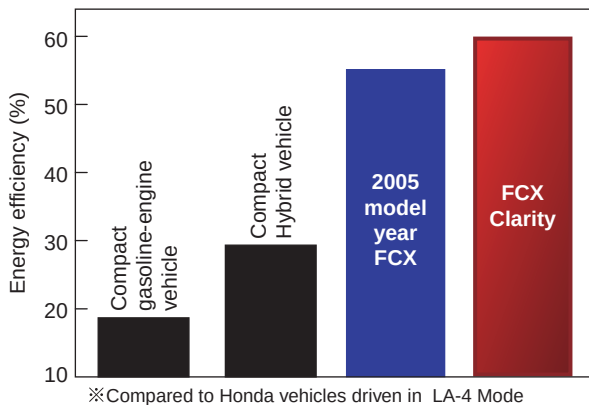


Fig. 19 Vehicle energy efficiency

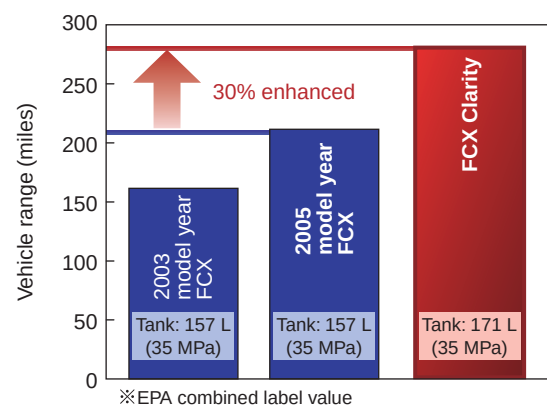


Fig. 21 Vehicle range

6. まとめ

FCX クラリティ用燃料電池パワートレインは各コンポーネントの小型、軽量および高効率化、電動駆動システムの高出力化、リチウムイオンバッテリー採用によるエネルギー回生およびアシスト性能の向上という技術により以下の項目を実現した。

- (1) 燃料電池システムをセンタートンネルに配置した低床セダンプラットフォームとFCXマルチプレックスメータに代表される未来的なコックピットを実現した。
- (2) 電動駆動システムの前後長短縮、燃料電池システムおよび高圧水素供給システムの小型化、リチウムイオンバッテリーシステムのリヤシート下配置により広々としたフルキャビンが可能となった。
- (3) 加速性能は前モデル比で発進加速時間34%、追い越し加速時間 75%向上した。
- (4) 航続距離は前モデル比 30%増の 280 mile(EPA combine)となった。
- (5) 低温始動性については前モデルより始動可能な温度域が広がり-30℃での低温始動が可能となった。

7. おわりに

FCX クラリティは従来の燃料電池車の車両性能を凌駕した。現時点では世界で最も高い性能を持つゼロエミッションビークル(ZEV)の中の1台である。FCX クラリティの車両性能やデザインなどの魅力は、レシプロエンジン車作り上げてきた魅力の枠を超えた新しい次元に到達した。

2008年7月から米国カリフォルニア州でリース販売が開始された。今後の大量普及への課題はコストの低減へ向けた量販技術の構築である。より多くの地域の、より多くのお客様に燃料電池車のすばらしさを味わっていただけるように、これからもコスト低減と量販のために技術を革新していき、地球温暖化対策やエネルギー問題の解決に貢献していく。

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) 川崎聡志, 内堀憲治, 村上義一, 清水潔, 藤本幸人: 次世代燃料電池スタックを搭載した New Honda FCX の開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 18, No.1, p.45-50

- (4) 福嶋達也, 岩井明信, 山口憲隆, 篠木弘明: 燃料電池車FCXクラリティ用駆動モータ, Honda R&D Technical Review, Vol. 21, No.1, p.60-66
- (5) 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
- (6) 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, JSAE 20055734 (2005)
- (7) 斉藤信広, 菊池英明, 中尾靖宏: FCX クラリティ搭載の新燃料電池スタック, Honda R&D Technical Review, Vol. 21, No.1, p.15-22
- (8) 山本康一, 姉川彰博: 燃料電池自動車用リチウムイオン電池システムの開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 21, No.1, p.40-45

■ 著 者 ■



松永 稔



福嶋 達也



尾島 邦明



木村顕一郎



小川 隆行