

新型燃料電池自動車 CLARITY FUEL CELL の開発

Development of New Fuel Cell Vehicle CLARITY FUEL CELL

木村 顕一郎*
Kenichiro KIMURA
渥美 淑弘*
Yoshihiro ATSUMI

河崎 輝明*
Teruaki KAWASAKI
清水 潔*
Kiyoshi SHIMIZU

大村 孝之*
Takayuki OHMURA

要 旨

ABSTRACT

今回開発した新型燃料電池自動車 CLARITY FUEL CELL は、内燃機関を搭載した車両と変わらない使い勝手と新時代の魅力を持った車へと進化した。燃料電池パワートレインをフロントフード内に搭載し、セダンの燃料電池自動車の市販車として世界で初めて5人乗りのFCVセダンパッケージを実現した。そのキーとなる技術は、耐衝撃構造を備えた小型燃料電池スタック、電動ターボ型エアコンプレッサと昇圧コンバータの採用、駆動ユニットの小型化である。水素タンクの最適配置と高圧化により、一充填走行距離(参考値)を約750 kmまで高めるとともに、一回あたり3分程度の水素充填時間を達成した。また車体の軽量化、空力性能の追及、モータの高出力化等により走行性能も向上させ、内燃機関を搭載した車両と変わらない使い勝手を実現した。さらに、新時代の車を予感させる繋がる新技術として、外部給電機能を採用した。

The newly developed fuel cell vehicle, the CLARITY FUEL CELL, has evolved to provide new era appeal together with the same usability as a vehicle with an internal combustion engine. The fuel cell powertrain is mounted under the front hood, realizing the world's first fuel cell vehicle to be commercially available in a five-passenger sedan package. The key technologies in this achievement are the greater compactness and shock-resistant construction of the fuel cell stack, the adoption of an electric turbo air compressor and fuel cell voltage control unit, and the compact drive unit. Optimal placement of the hydrogen tank and increased pressure capacity extend the driving range (reference value) to approximately 750 km, and achieve a hydrogen refueling time of about three minutes. Driving performance is also heightened by pursuing reductions in vehicle body weight and enhancement in its aerodynamic performance, through increased power of the motor, and so on. These efforts have realized a level of usability on a par with vehicles running on internal combustion engines. In further innovation, this model features external power supply functionality, a new linking technology that gives a foretaste of the vehicle of tomorrow.

1. はじめに

自動車が直面するCO₂による地球温暖化の問題と資源の枯渇によるエネルギー問題のどちらにも対応できる技術として、多様なエネルギー源から製造可能で、輸送や貯蔵もできる水素は次世代の有望なエネルギーキャリアとして注目されている。

Honda は自由な移動の喜びと豊かで持続可能な社会の実

*四輪 R&D センター

現を目指し、1980年代から燃料電池の基礎研究を開始した。1999年にはFCX-V1およびV2の実験車⁽¹⁾を初めて公開し燃料電池自動車(FCV)の普及に向けた開発を進めてきた。2002年に開発したFCXは世界で初めて米国認可を取得し日米でリース販売を開始した⁽¹⁾。2003年には世界で初めて氷点下始動を可能にした⁽²⁾、⁽³⁾燃料電池スタック(Honda FC Stack)を自社開発した。2008年には世界で初めてセダンタイプの革新的なパッケージや異次元のドラ

FCVの普及拡大を担う新型車の開発にあたっては、これまで蓄積したデータやお客様からの意見をフィードバックし、内燃エンジン車と変わらない使い勝手と従来車にはない新時代の魅力を兼ね備えたFCVへとさらに進化させる必要があった。

CLARITY FUEL CELL (Fig. 1)の開発コンセプトは、Red Carpet to the New Eraとした。このコンセプトの意味は、FCVの普及を目指し内燃エンジン車に置き換わるために、性能や使い勝手などの普遍的な価値はそのままに、従来にない新たな魅力を加えることで、新時代へ踏み出すお客様にとって特別な1台となるクルマを開発することである。

外部給電器機能を標準装備し、車と社会がつながることを目指す。



CLARITY FUEL CELLは、マンマキシマム・メカミ

Fig. 3 に示すように新型の FC スタックは、小型化のために電流密度を 1.5 倍に引き上げセル数を約 30% 削減した。セル構造は Fig. 4 に示すように Honda 独創の Wave 流路と 2 セルごとの冷却構造を継承しつつ、1 セル当たり 1 mm の薄型化を実現した。また、膜電極接合体 (MEA) のガス拡散性を向上させて、セパレータのガス流路の幅と高



さを低減し、Fig. 5 に示すように世界トップクラスの出力密度 3.1 kW/L を実現し従来スタック比 33% の小型化を達成した。

Fig. 6 にフロント衝突時の安全性を確保するためにセルの保持構造を見直し、耐衝撃性を 4 倍に高めたスタック断面を示す。

Fig. 7 に MEA の外周を樹脂枠と接合する構造を示す。樹脂枠による MEA 材料の削減効果と、MEA を矩形化したことで触媒などの連続塗工を可能とし無駄な端材を削減した効果とをあわせて、高額材料の使用量を従来比約 40% 削減した。燃料電池スタックの生産性の向上とコストダウンに貢献している。

3.1.2. 電動ターボ型エアコンプレッサの採用

燃料電池スタックに空気を供給する新開発のエアコンプレッサの外観を Fig. 8 に示す。

流量特性、容積、コストに優れた電動ターボ型コンプレッサを採用した。また静粛性も高く、加速時や高速走行時にも静かなキャビンの実現に寄与している。さらに、同軸 2 段過給方式によって空気供給の圧力を従来比 1.7 倍に高め、燃料電池スタックの小型化に貢献した。

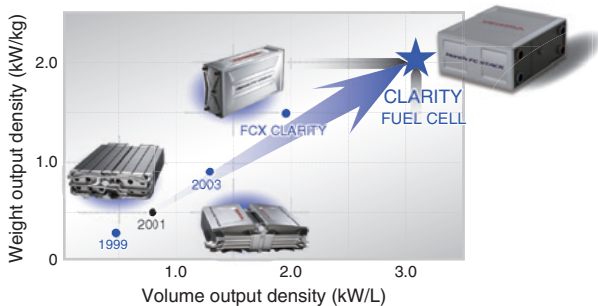


Fig. 5 Evolution of power density of FC stack

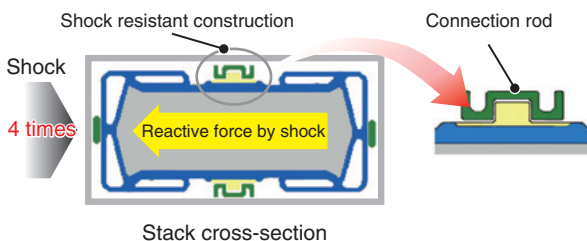


Fig. 6 Shock resistant construction of FC stack

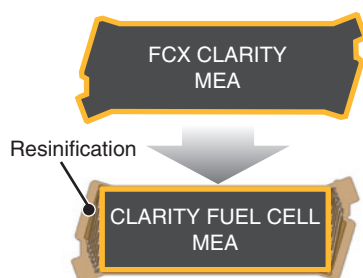


Fig. 7 Resin frame around MEA

3.1.3. FCVCU の採用

燃料電池の積層セル数を削減し、駆動モータを高出力化するためには、駆動モータへの供給電圧を高電圧化する必要があります。FCVCU を採用した。FCVCU には量産車世界初のフル SiC インテリジェントパワーモジュールを適用し、約 30 kHz の高周波駆動によってコンデンサ、リアクトルなどの小型化を図った。さらに、磁気結合型リアクトルの採用や構成部品の最適配置によって従来のコンバータに対し、容積比約 40% の小型化を達成した。

3.1.4. 駆動ユニットの小型化

フロントフード内に燃料電池スタックを搭載するため、従来駆動モータ上部に配置したパワーコントロールユニット (PCU) を駆動モータ前部に一体化した。Fig. 9 に示すように FCX CLARITY に対し高さを約 34% 低減して燃料電池スタックの搭載スペースを創出した。

これらのキーとなる技術によって、Fig. 10 に示すよう



Fig. 8 Electric turbo air compressor

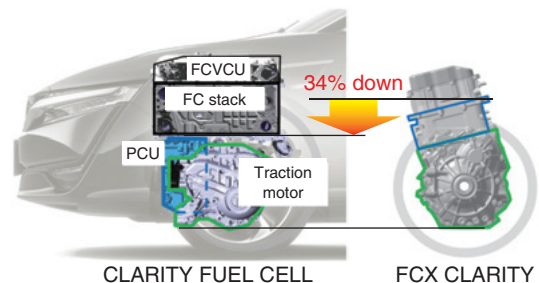


Fig. 9 PCU integrated with traction motor

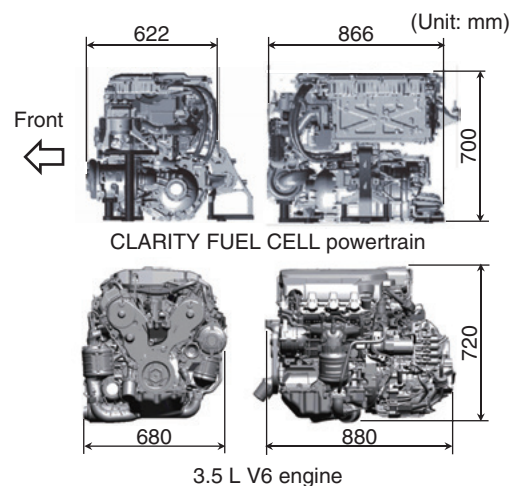


Fig. 10 FC powertrain equivalent to V6 engine in size

Table 1 Basic dimension

Model Specification	CLARITY FUEL CELL	2013 model year Accord PHEV	2015 model year LEGEND
Weight (kg)	1890	1740	1980
Length (mm)	4915	4915	4995
Width (mm)	1875	1850	1890
Height (mm)	1480	1465	1480
Wheel base (mm)	2750	2775	2850
Seating capacity	5	5	5

に燃料電池パワートレインを従来の V6 エンジン同等サイズに小型化することができた。

3.2. 水素タンクの最適配置

水素タンクを搭載した車両パッケージを Fig. 11 に示す。リヤ席のフロア下とリヤ車軸上（リヤ席後方とトランク前側の間）にそれぞれ水素タンクを搭載した。このレイアウトにより、車格にふさわしい 5 名乗車とトランク容量（ゴルフバック 3 個搭載可能）を確保したセダンパッケージを実現した。Table 1 に 2013 年モデルの Accord および 2015 年モデルの LEGEND との比較の基本寸法を示す。

水素タンクの搭載状態を Fig. 12 に示す。タンクはアルミライナを用いた Type3⁽⁵⁾ である。世界統一規格 GTR-No.13 に適合しており、70 MPa の高圧化により約 5 kg^{*1} の圧縮水素ガスを貯蔵可能としている。

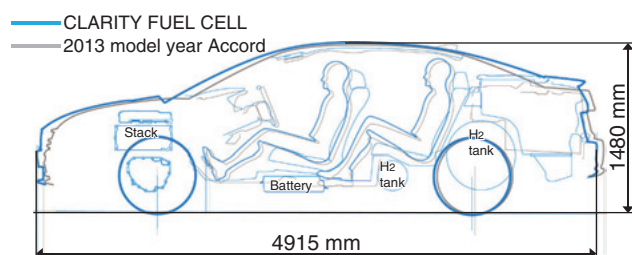


Fig. 11 Package (Japan model)

Fig. 12 Image of H₂ tank installation

4. 車体軽量化と徹底した走行抵抗の低減

4.1. 高強度材による車体軽量化

車体を構成する部材の軽量化技術を Fig. 13 に示す。また、軽量化材料の使用率を Fig. 14 に示す。アルミ合金への材料置換はフロントバンパビーム、フロントフード（スキン、フレーム）、フェンダ、フロントおよびリヤドアコンポーネント（サッシュ、スキン、パネル）、トランクコンポーネント（スキン、フレーム）、リヤパーセルシェルフに適用した。樹脂への材料置換はフロントバルクヘッド、リヤバンパビームに適用した。さらに、超高張力鋼板の使用率を高め従来比約 15% の軽量化を実現した。Fig. 15 にボデーの重量比較を示す。

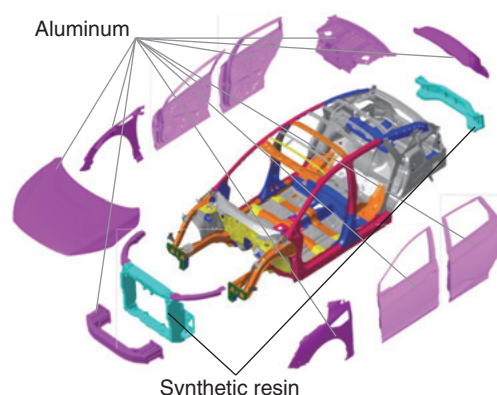


Fig. 13 Weight saving parts

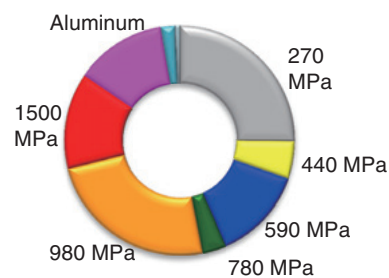


Fig. 14 Usage rate of lightweight materials

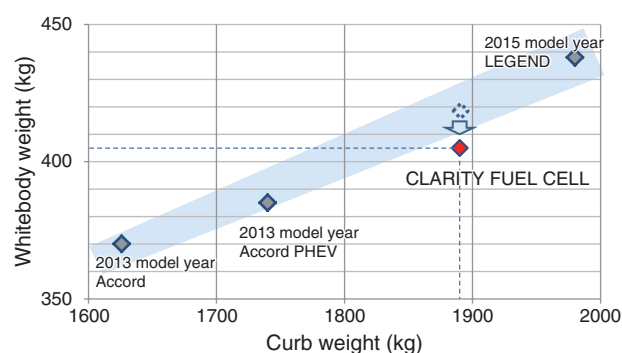


Fig. 15 Whitebody weight Ratio

4.2. 空力性能を意識したボデー形状の追求

Fig. 16 に車体の上部と側面を流れる空気のイメージを示す。この車体上部の空気の流れと、側面からの流れが車体後部において合流し、車体後方に向けて剥離する際の様子を Fig. 17 に示す。Fig. 17 において右図は、左図に対して車体上面と側面からの流速差が低減されて縦渦による誘導抵抗が削減された状態を示している。このボデー形状の実現のため、空力性能に有利なキャビンシルエットと、居住空間と両立させるためにトランクリッドを高く配置した特徴的なセダン骨格（ハイデッキセダン骨格）を採用した。さらに、開発当初からローリングロード付き風洞⁽⁶⁾を用い、風洞試験を繰り返し実施して形状を決定した。

4.3. 空力性能向上を目的としたデバイス設定

Fig. 18 に示すように各種の空力デバイス設定によって



Fig. 16 Image of aerodynamic body shape image

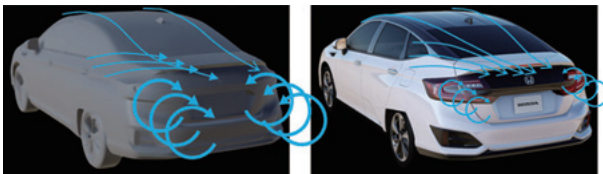


Fig. 17 Induced drag generated by longitudinal vortex

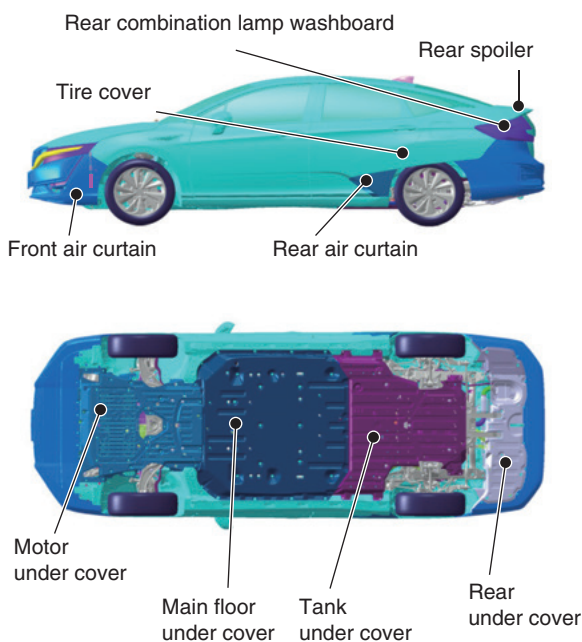


Fig. 18 Aerodynamic parts

Table 2 Aerodynamic parts effect

Parts	ΔCD (%)
Rear spoiler	-1.0
Rear under cover	-1.0
Rear air curtain	-0.5
Rear combi washboard	-1.0
Tire cover	-1.0
Tank under cover	-1.5
Main floor under cover	-2.5
Front air curtain	-1.5
Motor under cover	-3.0
Total	-13.0

空気抵抗を削減した。前後のタイヤ側面の空気を整流するエアカーテン、リヤタイヤの上部を覆うタイヤカバー、車体下部のスムーズな空気流れを促す床下のフラット化、これらの効果で約 13% の空気抵抗係数削減効果を得た。個々のデバイスの空気抵抗係数における削減効果を Table 2 に示す。

5. 環境性能と車両性能の両立

CLARITY FUEL CELL は、ゼロエミッションという究極の環境性能を持ちながら、内燃エンジン車と同等以上の車両性能を目指して開発した。

5.1. 一充填走行距離（参考値）約 750 km^{*2}の達成

70 MPa に高圧化した水素タンクを搭載し、パワートレインの高効率化や走行エネルギーの低減により、ゼロエミッション車として世界トップクラス^{*4}の一充填走行距離（参考値）約 750 km^{*2}（JC08 モード走行時、Honda 測定値）を達成した。なお、2016 年度以降に運用開始が見込まれる新規格の水素ステーションで充填した場合は、水素充填量の増加により、約 800 km^{*3}の性能となる見通しである。さらに、1 回あたりの水素充填時間は 3 分程度^{*5}で完了するなど内燃エンジン車と変わらない使い勝手を実現した。

5.2. モーターの高出力化とノーマル、スポーツの運転モード切替による走りの魅力

駆動モーターは、従来と同等のサイズを維持しながら FCVCU による最適電圧制御により従来比 30% 増となる 130 kW の出力を達成した。また、ノーマル、スポーツの運転モード切り替えスイッチを設定した。スポーツモードを選択した場合は、Fig. 19 のように加速時のアクセルペダルの踏み込みに対するトルクの出力応答時間を早めてより俊

敏でダイレクトな加速を実現した。アクセルペダルを離した場合も、内燃エンジン車のエンジンブレーキに相当するモータによる電力回生の応答性を高めている。これらの設定によってキビキビした走りの魅力を実現した。

5.3. 専用シャシの採用による走りの質感

前後サスペンションとサブフレームの構造を Fig. 20 に示す。ストラット式フロントサスペンションおよび5リンク式リヤサスペンションを採用した。フロントサブフレームは世界初の中空アルミダイキャスト方式を採用し、高剛性かつ従来製法比約 46% の軽量化を達成した。リヤサブフレームもオールアルミ素材により約 27% の軽量化をしつつ水素タンクの搭載フレームを兼ねている。

リヤシート下に搭載した水素タンクによって、車両の重心高は Accord PHEV 比で約 10 mm 程度低められており、スタティクスタビリティファクタ (SSF) は 5% 低減された。この結果、走行中の操舵に対するロールが生じにくくなり、フラットライド感が向上した。サスペンションには周波数応答式可変ダンパ (SFRD)⁽⁷⁾ を採用して滑らかな乗り心地を実現した。ステアリングギヤボックスにはデュアルピニオンアシスト電動パワーステアリング (EPS) (Fig. 21) を採用し、タイロッドエンドはアルミ合金化によって従来比で 20% 軽量化した。ブレーキシステムは電動サーボブレーキシステム (ESB)⁽⁸⁾ と電動パーキングブレーキシステム (EPB) を採用した。さらに、ロードノイズに対する静粛性向上のために、アクティブノイズコントロールシステム (ANC)⁽⁹⁾ を採用した。

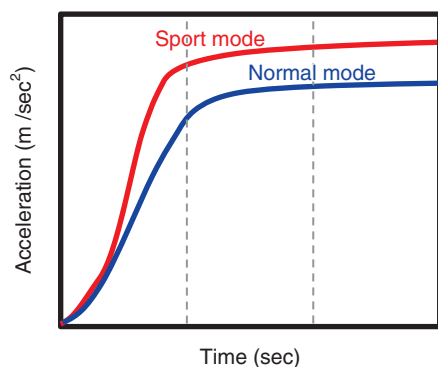


Fig. 19 Acceleration performance



Fig. 20 Front suspension (left) and rear suspension (right)

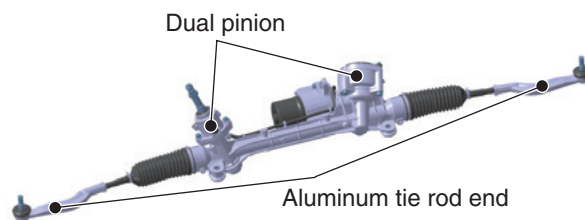


Fig. 21 Dual pinion assist EPS

6. 新時代の車を予感させる繋がる技術

6.1. Honda が描く水素エネルギー社会

Honda は来たる水素社会に向けて、つくる、つかう、つながるという三つのコンセプトに基づき、FCV 以外にも水素関連技術の開発をおこなってきた (Fig. 22)。

つくるの観点では、太陽光発電や風力発電など再生可能エネルギーによる分散型水素エネルギー供給を目指しスマート水素ステーション (SHS) を開発し実証実験をおこなっている。

また、つながるでは、FCV が走る電源となり非常用や野外用に電気を供給することで車と地域社会をつなげることを目指している。POWER EXPORTER 9000 は、Honda の発電機開発で培った高い信頼性と、高品質な AC 出力を特徴とした外部給電器で、最大 9 kVA の電力を CLARITY FUEL CELL から外部に供給可能とした。Fig. 23 に車両と接続した状態の外観を示す。専用の給電リッドを設けることで使い勝手にも配慮した。

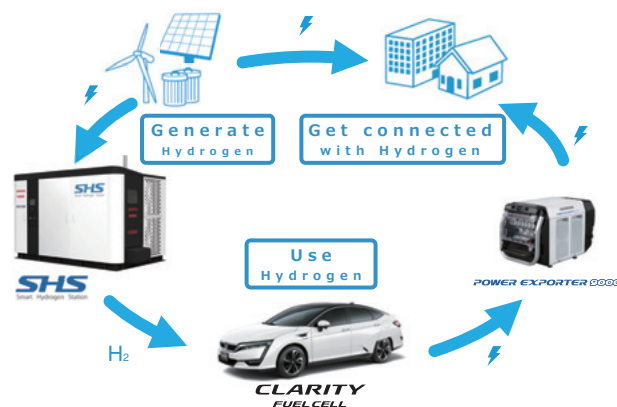


Fig. 22 Honda's vision of a hydrogen-powered future society



Fig. 23 POWER EXPORTER 9000

7. おわりに

CLARITY FUEL CELL は、新たな時代に一步踏み出すお客様にとって特別な1台となることを目指して開発した、内燃エンジン車と変わらない使い勝手と従来車にはない新たな魅力を兼ね備えた新時代の車である。

FCV の市場はまだ発展途上であり、今後も継続的に水素インフラと協調して市場の拡大に取り組むことが重要である。性能向上やコストダウンなどFCV のさらなる魅力度アップに努め、CLARITY という車名のように、自由な移動の喜びと豊かで持続可能な社会の実現を目指す Honda の取り組みの「明快さ」を示していく。

- * 1 SAE 規格 (J2601) の標準条件に基づいた水素充填圧 70 MPa ステーションでの充填作業における Honda 測定値
- * 2 JC08 モード走行時, Honda 測定値. SAE 規格 (J2601) の標準条件に基づいた水素充填圧 70 MPa ステーションでの充填作業における Honda 測定値であり, 仕様の異なる水素ステーションで充填した場合は, 水素タンク内に充填される水素量が異なるため, 走行距離も異なります. また, 走行距離は使用環境 (気温, 渋滞等) や運転方法 (急発進, エアコン使用等) に応じて大きく異なります.
- * 3 * 2 と同条件下で 2016 年度以降に運用開始が見込まれる新規格の水素ステーションで充填した場合の Honda 測定値
- * 4 2016 年 3 月現在, Honda 調べ
- * 5 SAE 規格 (J2601) の標準条件に基づいた水素充填圧 70 MPa ステーションでの充填作業における Honda 測定値, 充填圧および外気温により, 充填時間は異なります.

参考文献

- (1) 川崎聡志, 小野徹, 小椋正巳, 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) 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
- (3) 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
- (4) 松永稔, 福嶋達也, 尾島邦明, 木村顕一郎, 小川隆行: FCX クラリティ用燃料電池パワートレイン, Honda

R&D Technical Review, Vol.21, No.1, p.7-14

- (5) 金崎俊彦, 間野寛文, 宮川一夫, 林登, 小川武史: 燃料電池電気自動車用 Type3 高圧水素タンクの寿命設計法と評価法, Honda R&D Technical Review, Vol.26, No.1, p.139-147
- (6) 是本健介, 河村信之, 青木道広, 倉谷尚志, 中村信介, 吉岡秀樹: シングルベルトローリングロード付き実車風洞, Honda R&D Technical Review, Vol.23, No.1, p.18-21
- (7) <http://www.showa1.com/jp/technology/automobile/sfrd.html/2015/12/02>
- (8) 大久保直人, 西岡崇, 赤峰宏平, 波多野邦道: 電動サーボブレーキシステムの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.25, No.1, p.47-51
- (9) 河野昌明, 津嶋広通, 秋元幸雄, 嶽和秀, 原田紀之, 長岡進, 江口美彦: 2013 年モデル US Accord の開発, Honda R&D Technical Review, Vol.25, No.1, p.14-22

■ 著 者 ■



木村顕一郎



河崎 輝明



大村 孝之



渥美 淑弘



清水 潔