

燃料電池乗用車 Honda FCX 用パワートレインの開発

Development of New Power Train for Honda FCX Fuel Cell Vehicle

小川 隆行*
Takayuki OGAWA
藤本 幸人*
Sachito FUJIMOTO

木村 顕一郎*
Kenichiro KIMURA
清水 潔*
Kiyoshi SHIMIZU

内堀 憲治*
Kenji UCHIBORI

要 旨

ABSTRACT

環境問題やエネルギー問題に対応するために、CO₂と排気エミッションを全く排出しない燃料電池を核にしたクリーンパワートレインを Honda FCX に搭載し世界初で日米に発売、納車した。このパワートレインは純水素タイプの燃料電池にウルトラキャパシタを組合せたシステムと、リラクタンストルク併用型のトラクションモータにより、ゼロエミッション、CO₂フリーに加え、同等サイズのガソリンハイブリッド車(HEV)の約 1.5 倍にあたる車両エネルギー効率 45%を達成した。また、HEV を上回る燃費性能と、ガソリンエンジン車(ICEV)より優れた発進加速性能を有する。

To respond to increasing environmental concerns and demands for clean energy, Honda has developed an emission-free clean power train employing fuel cells. This power train has been fitted in the FCX fuel cell vehicle, which is being simultaneously marketed in Japan and the US in a world first. The new power train is made up of a combined pure hydrogen fuel cell stack and Ultra capacitor system, and a reluctance torque traction motor. In addition to having a zero level of emissions of CO₂ and other pollutants, the new power train has raised the energy efficiency of the FCX to 45%, almost 1.5 times that of an electric-gasoline hybrid vehicle (HEV) of equivalent size. The FCX also has higher fuel economy than an HEV, and superior acceleration from a standstill to a gasoline internal combustion engine vehicle (ICEV).

1. まえがき

地球温暖化や大気汚染といった環境問題に対応して、これまで Honda では、VTEC によるガソリンエンジン燃焼技術の向上⁽¹⁾や、電気自動車 Honda EV PLUS⁽²⁾、天然ガス自動車 Honda Civic GX⁽³⁾、ハイブリッド自動車 Honda Civic Hybrid⁽⁴⁾など、高効率なクリーンパワートレインの開発に取り組んできた。今回、CO₂フリーとゼロエミッションの達成、および、将来の石油資源の枯渇化に対応した化石燃料に依らない代替エネルギーの利用を目指し、純水素を燃料とする燃料電池を核に、Honda 独自のウルトラキャパシタとリラクタンストルク併用型トラクションモータを組合せるとともに、これまで独自に培ってきたエレクトリックドライブ技術、高圧ガス貯蔵技術、高精度ハイブリッドエネルギーマネジメント技術を投入した、高効率でハイレスポンスなクリーンパワートレインを FCX に搭載して、世界初で日米同時に納車することが出来た。

本稿では、この FCX に搭載したパワートレインについて解説する。

*和光基礎技術研究センター

2. 開発コンセプト

今回の開発の目的は、社会が車に求める環境性能のみに留まらず、ややもすると環境性能追求により犠牲にされがちな、加速性能や、ハイレスポンスで、かつ、スムーズなドライバビリティといったユーザが車に求める商品性を高い次元で両立する新世代パワートレインを世界に先駆けて実現することである。

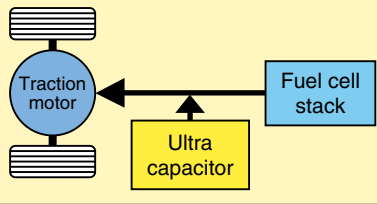
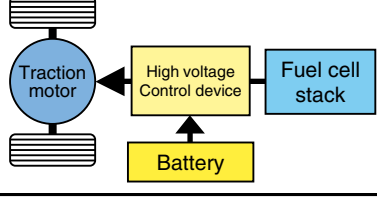
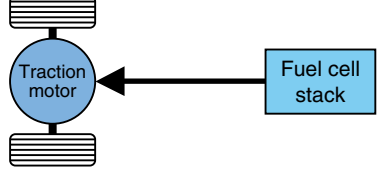
開発の具体的なコンセプトを以下に示す。

- (1)ゼロエミッション・CO₂フリー
- (2)ハイブリッド車を越える車両エネルギー効率
(Tank to wheel)
- (3)ガソリン車を上回る発進加速性能
- (4)車のスペースを有効に生かせるコンパクト設計

3. パワートレインシステム

開発コンセプトを具現化するに当たり、基本システムの検討を行った。

Table 1 Comparison of system configurations

	Basic configuration	System configuration	Efficiency	Power performance
Capacitor-assisted system FCX		High-voltage distribution system not required	Electric transmission efficiency : HIGH Braking regeneration : YES	Instantaneous high power assist possible
Battery-assisted system		High-voltage distribution system required for fuel cell stack / battery	Electric transmission Efficiency : MED (Losses of high voltage controllers) Braking regeneration : YES	Power assist possible
Fuel cell direct-supply system		Simple high-voltage system Startup device required	Electric transmission Efficiency : HIGH Braking regeneration : NO	Power and responsiveness depend on fuel cell stack

まず水素供給については、ゼロエミッションおよび CO₂ フリーを満足するため、改質システムを採用せず純水素を車両に搭載する方式とした。水素貯蔵方法としては、現時点のインフラ整備状況、車両エネルギー効率、水素充電時間および充電作業の簡便さを考慮し高圧水素タンク方式を採用した。

モータの駆動システムについても、燃料電池スタックからの出力のみを駆動力に利用する方式と、バッテリーやキャパシタといったエネルギーストレージを組合せて出力アシストや減速エネルギーの回生を行う機構を備える形式がある。Table 1に示す駆動システム比較の結果、以下の優れた特徴を持つ、ウルトラキャパシタアシストシステムを採用した。

- ・ 減速エネルギーの有効利用が可能でエネルギー伝達効率が良いため高い車両エネルギー効率が達成可能
- ・ 瞬時に大きな出力アシストが可能で動力性能に優れる

- ・ 高電圧制御器によるエネルギー分配システムが不要でシステムの小型・軽量化が可能

3.1. システム構成

パワートレインシステムの構成図を Fig. 1 に示す。燃料の水素を最高 34.4MPa で 156.6L 貯蔵出来る高圧水素タンクと、車両走行に必要な電力を発電する燃料電池発電システム、発進加速時に高出力でアシストし減速時に回生エネルギーを回収するウルトラキャパシタ、および車両を駆動する出力制御装置とトラクションモータとから構成される。Fig. 2 にパワートレインシステムの搭載図を示す。

3.2. 燃料電池システム

燃料電池システムは構成要素が多く搭載スペースを必要とするが、燃料電池スタックに供給するガスと冷媒および出力は、配管またはケーブルで接続する事が可能であり、搭

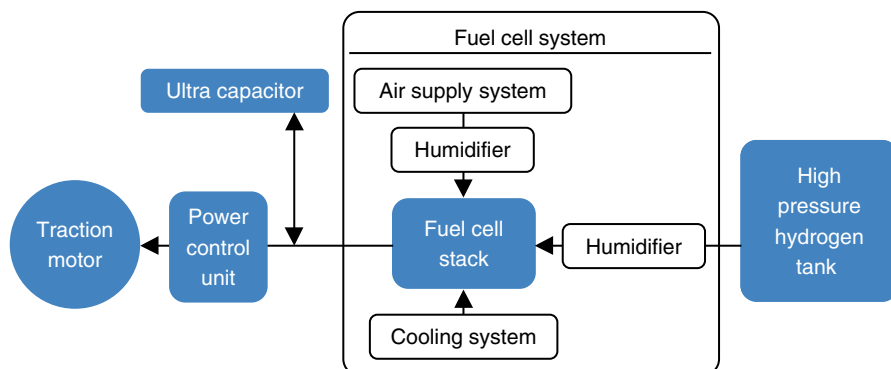


Fig. 1 Power train system configuration

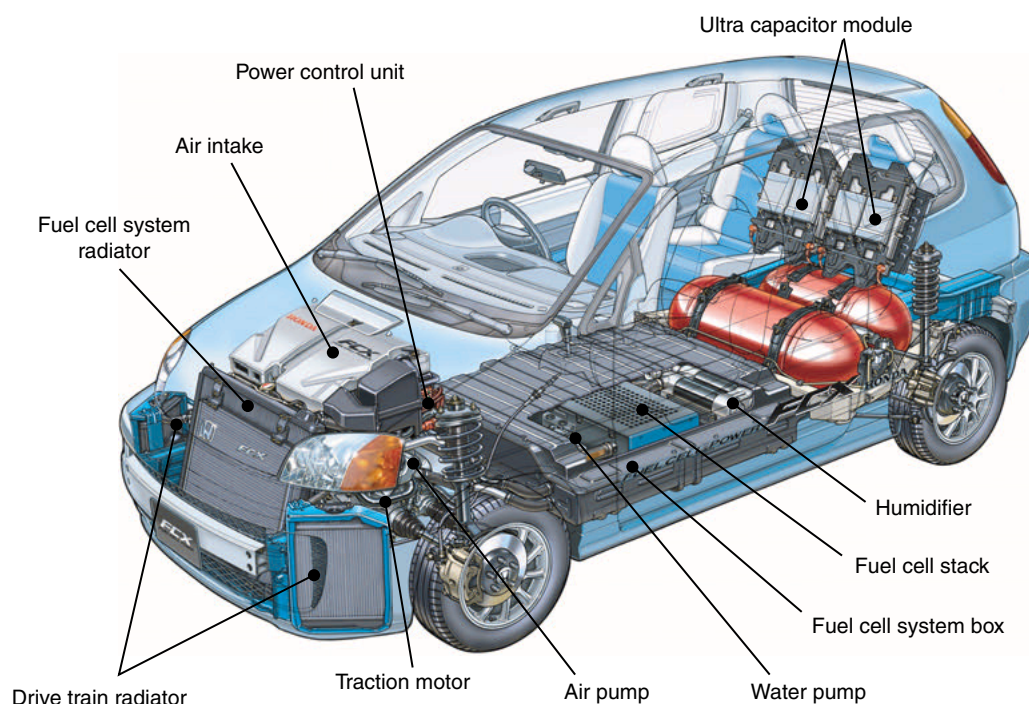


Fig. 2 Power train layout

載場所の自由度が高い。この特徴を生かし、燃料電池システム発電部を床下の燃料電池システムボックス内に集中配置し、低重心で理想的な重量配分と居住性を実現した。

3.2.1. 燃料電池スタック

燃料電池スタックは、巴拉ード・パワー・システムズ社製 PEFC(固体高分子)形燃料電池 MK902 であり、最高出力 78kW を発生する。

3.2.2. 空気供給システム

高電圧電源によるモータ駆動形リショルム式エアポンプにより、空気を適切な圧力と流量で燃料電池スタックに供給する。

更に、吸気音やエアポンプの振動騒音を抑え静粛性を高めるために、

- ・コンパクトにモジュール化した消音レゾネータチャンパー型吸気モジュールの開発
- ・車体にラバースマウントしたトラクションモータとトランスミッションに、エアポンプとエアポンプ駆動モータをラバースマウントで取りつけるダブルフローティングマウント方法の採用

を行った。

3.2.3. 水素供給システム

高圧水素タンクに最大圧力 34.4MPa で貯蔵して水素をレギュレータにより適切な圧力に調整し、燃料電池スタックに供給する。

3.2.4. 加湿システム

PEFC 形燃料電池スタックには水素と空気を加湿して供給する必要がある。これに対応して、燃料電池スタックが発電時に生成する水蒸気を直接、水素加湿と空気加湿に再利

Muffled resonator chamber and integrated intake module

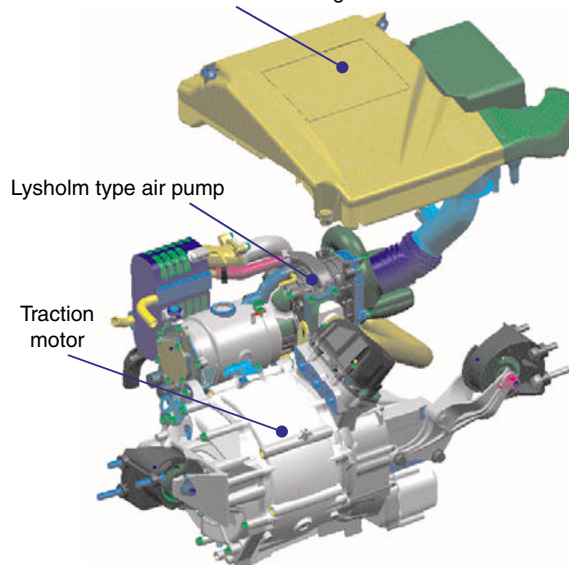


Fig. 3 Power train noise reduction measures

用する生成水回収(完全独立)形加湿システムを開発した。その結果、凝縮器や加湿水供給システムが不要となり、システムの簡素化が図れた。

3.2.5. 冷却システム

燃料電池冷却システムとドライブレイン冷却システムの 2 系統冷却システムを採用した。

燃料電池冷却システムは、燃料電池から燃料電池車専用開発した大型ラジエータに冷却水ポンプで燃料電池専用冷媒を循環させることで、ガソリンエンジンより低い管理温度の冷却水から効率的に放熱させることが可能である。

3.3. トラクションモータ

主駆動源であるトラクションモータについてはEV PLUSからの大幅な動力性能向上を目指して開発した。

FCX 用モータと EV PLUS 用モータの出力・トルク特性を Fig. 4 に示す。

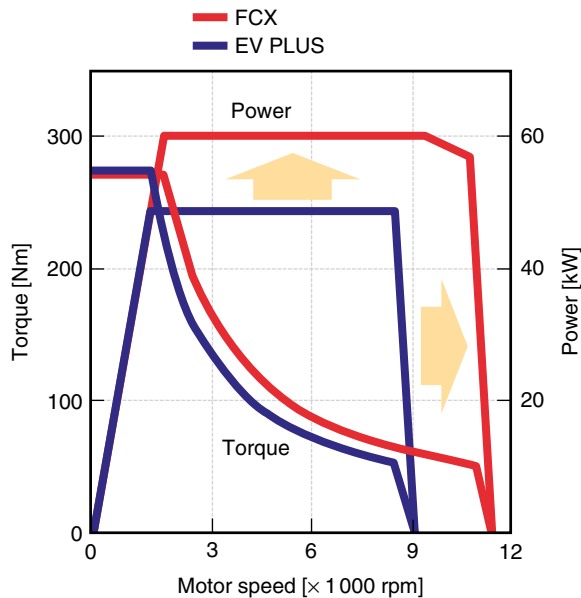


Fig. 4 Power / torque characteristic

まず全域の出力向上に向け従来の磁石の発生する磁力のみならず磁石ロータのヨーク部を突起(補助突極)としてステータ側に出すことにより、この突起をステータが発生する磁界によって引きつける、いわゆるリラクタンストルクを併用することとした。また制御においても全域フルデジタル制御を採用した。

また最高速を引き上げるためにはモータの発熱の抑制或いはロータの高耐熱化の必要がある。本モータは高耐熱磁石を使用すると共に、磁石発熱の原因であるうず電流損失を少なくするため、磁石をロータ軸方向に分割して磁石間を磁氣的に絶縁した。

他には、ステータ巻線の発熱を効率よく冷却する構造などにより、Table 2 に示すように EV PLUS より小型でありながら 60kW の定格出力と 93%以上の CITY モード効率を達成した。

Table 2 FCX and EV PLUS motor specifications

	EV PLUS	FCX
Max. output (kW)	49	60
Max. torque (Nm)	275	272
Max. revs (rpm)	8 750	11 000
Avg. efficiency in CITY mode (%)	90	93 or greater

4. 燃料電池+ウルトラキャパシタシステムの走行性能

4.1. 出力特性

Fig. 5 に走行中の燃料電池とウルトラキャパシタの出力特性の一例を示す。発進時や加速時には、主動力源の燃料電池をウルトラキャパシタが素早くアシストしており、ドライバーのアクセル操作に対して高い応答性を実現している。減速時には、エネルギーを回生してウルトラキャパシタに充電する。

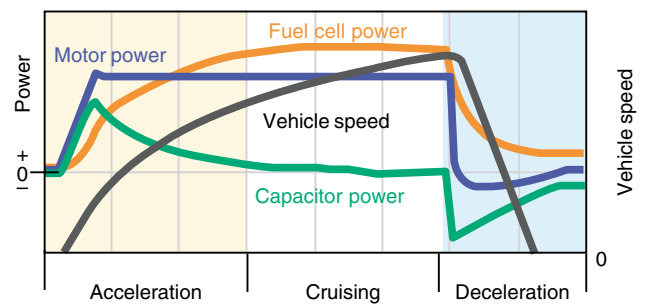


Fig. 5 Fuel cell and capacitor power characteristics

4.2. 加速性能

Fig. 6 に発進時の加速度の立ち上がり特性を示す。FCXは、キャパシタによる出力アシストと発進時から最大トルクを瞬時に発生するトラクションモータの特性を生かし、ICEVや HEV と比較して加速度の立ち上がり応答時間を大幅に短縮することができた。さらに、変速が無いことで、その加速度を持続出来るので優れた加速感が得られている。

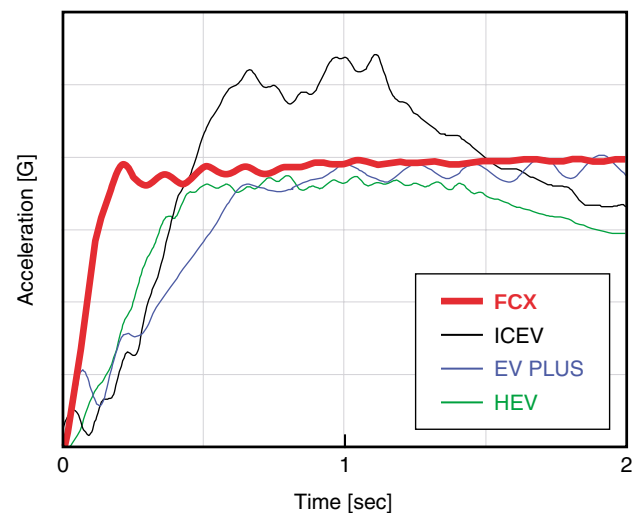


Fig. 6 Standing start performance

4.3. 効率・燃費性能

Fig. 7 に米国燃費認定試験で用いられる CITY モード走行時の燃料電池の出力、ウルトラキャパシタの出力と電圧を示す。停車時には、オートアイドルストップシステムにより空気供給システムと燃料電池スタックの発電を停止し、補機の消費電力量を低減することで水素の消費を抑制している。また、ウルトラキャパシタの電圧は、走行開始時と終了時で同電位であり、アシストと回生や充電を繰り返す CITYモードにおいても高精度のエネルギー収支を成立させている。

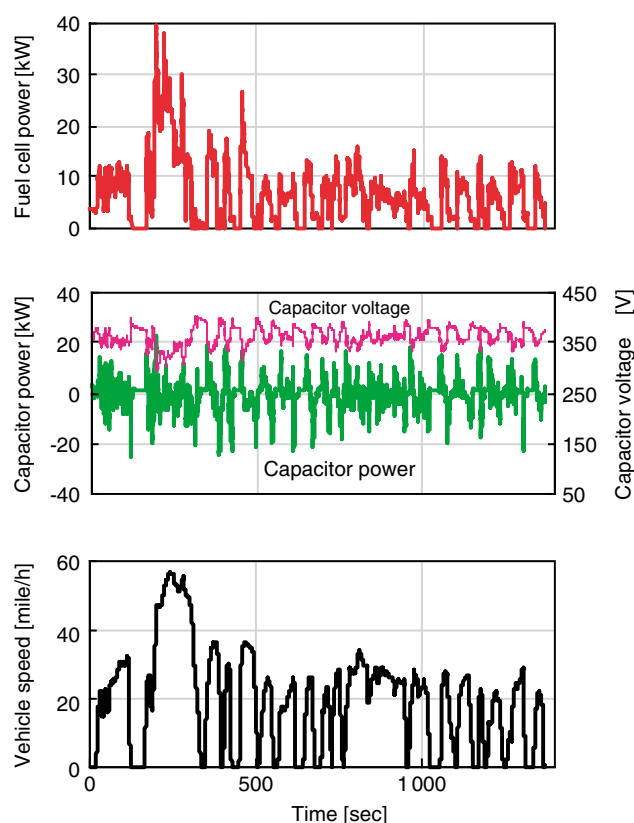


Fig. 7 Speed and power profile in CITY mode

以上のエネルギーマネジメント制御により、FCX は Fig. 9 に示されるように ICEV の2倍、HEV の約 1.5 倍の車両エネルギー効率 45%を達成した。また FCX は、燃料電池車として世界で初めて EPA (米国環境保護庁) と CARB (カリフォルニア大気資源局) の燃費認可⁽⁵⁾を取得しており、CITY モードでは、認定値 56.2 miles/kg Hydrogen, ラベル値 51 miles/kg Hydrogen, HWY モードでは、認定値 61.7 miles/kg Hydrogen, ラベル値 48 miles/kg Hydrogen である。Fig. 8 にその燃費ラベルを示す。今回は簡易的に 1 kg の水素エネルギーと 1 Gallon のガソリンのエネルギーをほぼ等価と見なし、Fig. 10 にて同等サイズの ICEV, HEV, CNG 車(天然ガス自動車)と CITY モードで比較した。FCX の燃費は、ICEV や CNG 車の 1.7 倍で HEV をも上回る性能を有している。

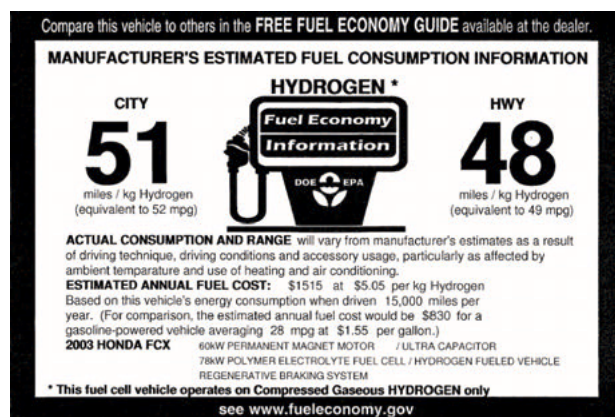


Fig. 8 FCX fuel economy label

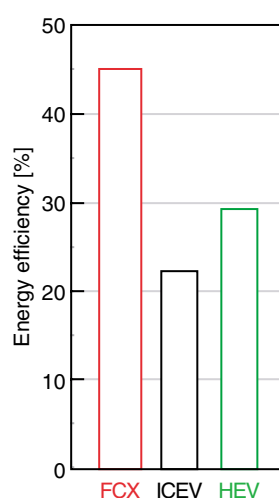


Fig. 9 Efficiency in CITY mode

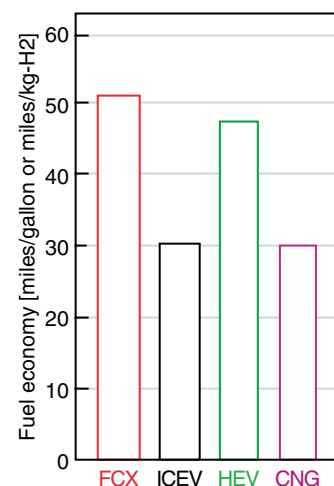


Fig. 10 Fuel economy in CITY mode

5. まとめ

純水素タイプの燃料電池とウルトラキャパシタを組合せたパワープラントシステムを開発し、ゼロエミッション、CO₂フリーに加え、HEV の 1.5 倍の車両エネルギー効率 45%を達成するとともに、HEV を上回る 51 miles/kg Hydrogen (ラベル値) の燃費と ICEV を上回る発進加速性能を得る事が出来た。この結果、FCX のパワープラントはユーザが車に求める「走り・燃費・商品性」と、究極クリーンを高い次元で両立できる次世代パワープラントである事を証明出来たと考えている。

しかしながら、燃料電池自動車の本格的な普及に向けては、低温始動性、コスト低減、航続距離など、まだ多くの課題が残されている。

世界初の販売、納車を終えた今、この課題克服に向けて、更なる技術開発を進めて行く所存である。

6. 謝辞

最後に、FCXの開発、発表、販売に当り、絶大なご協力をいただいた社内外の関係者の皆様に対し、深く感謝の意を表します。

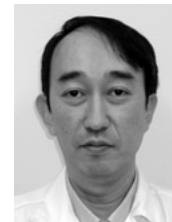
7. 参考文献

- (1) 新里智則, 林有登: 新型 2.0L リーンバーンエンジンの開発, HONDA R&D Technical Review, Vol.12, No.2, p.45-54(2000)
- (2) 小椋正巳, 鈴木茂, 松本謙次: 電気自動車“HONDA EV PLUS”の紹介, HONDA R&D Technical Review, Vol.9, p.1-10(1997)
- (3) 戸田琢士, 松木正人, 大森忠信, 山本裕司: Civic GX用 1.7L CNG エンジンの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.14, No.1, p.49-56(2002)
- (4) 松木正人, 若城輝男, 神山敏宏, 佐藤利行, 賀来嘉昭, 神田正弘: ハイブリッドカー「Civic Hybrid」用パワートレインの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.14, No.1, p.39-47(2002)
- (5) <http://www.fueleconomy.gov/feg/feg2000.htm>
「2003 Fuel Economy Guide」

■ 著 者 ■



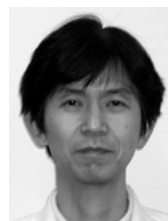
小川 隆行



木村 顕一郎



内堀 憲治



藤本 幸人



清水 潔