

新型 CIVIC Hybrid IMA システムの開発

Development of IMA System for New CIVIC Hybrid

堀江 達郎*
Tatsuro HORIE

岸 勉*
Tsutomu KISHI

長谷川 修*
Osamu HASEGAWA

要 旨

従来車を上回る燃費性能と加速性能の両立を目標とし、2006 年モデル CIVIC Hybrid を開発した。

3 ステージ i-VTEC を用いて進化させた可変シリンダシステムと IMA モータの組合せにより、全気筒休止による回生エネルギー量増加と、モータのみでの走行を可能として燃費向上を図ると共に、モータでの平角巻線の採用によるトルク向上、バッテリーの集電板の改良による低抵抗化、CVT のプーリー径拡大による高容量化と損失低減など、各コンポーネントも燃費と出力の向上につながる改良をおこなった。

これらの技術により 10・15 モードで 31.0km/L の燃費性能と、0-100km/h で 12.1sec の加速性能を両立させることを可能とした。

ABSTRACT

The 2006 year model CIVIC Hybrid was developed to surpass its former model in both fuel economy and acceleration performance.

The combination of an advanced variable cylinder management system employing 3-stage i-VTEC technology and an IMA motor has resulted in enhanced fuel economy through increased regenerative energy and motor-only operation. A variety of modifications have been made to the IMA components to increase fuel economy and power: Flat wire coils for superior motor torque, modification of current collecting plates in the battery for reduced resistance, and an increased CVT pulley diameter for enhanced capacity and reduced energy loss.

The application of these technologies has achieved both a fuel economy of 31.0 km/l in the 10-15 mode and an acceleration performance of 0-100 km/h in 12.1 seconds.

1. まえがき

地球環境保護の重要性が増す中で、燃料消費率に優れエミッションの少ない車への注目はますます高まってきている。Honda ではこれらの期待に応えるべく、1999 年に超低燃費車の Insight⁽¹⁾ を発売したのに続き、2001 年には小型セダンの CIVIC Hybrid⁽²⁾ を、また 2004 年には北米で中型セダンの ACCORD Hybrid⁽³⁾ を発売し、ハイブリッドシステムによる低燃費化を図ってきた。

本開発では、ベース車である CIVIC のモデルチェンジに合わせ、CIVIC Hybrid についても、ハイブリッド車のより幅広い普及のために、その長所である燃費性能をさらに向上させると共に、走りの良さも追及するという方向性を目指し、新しい IMA システムの開発をおこなった。ここでは、その燃費低減と出力向上のために開発した技術について解説する。

*栃木研究所

2. 開発目標

燃費と走りの両立を目指し、10・15 モードで 30km/L 以上の燃費と、0-100km/h で 12 秒の加速性能を目標とした。

3. システム構成

ハイブリッドシステム全体を Fig. 1 に、パワープラントの外観を Fig. 2 に示す。

主要コンポーネントの配置は、2003 年モデル CIVIC Hybrid (以下、従来車と呼ぶ) のシステムと同様で、エンジンルーム内にエンジンと CVT に挟まれる形で駆動・回生に用いる薄型の IMA モータを持ち、リアシートバック後方のトランクルーム内に、モータ駆動用インバータユニット、高電圧バッテリーパックなどの高圧電装部品とそれらの冷却をおこなう空冷システムをワンパックとした Integrated

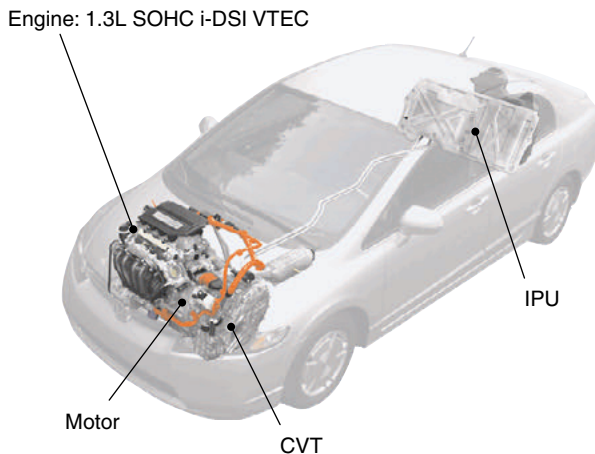


Fig. 1 IMA system configuration

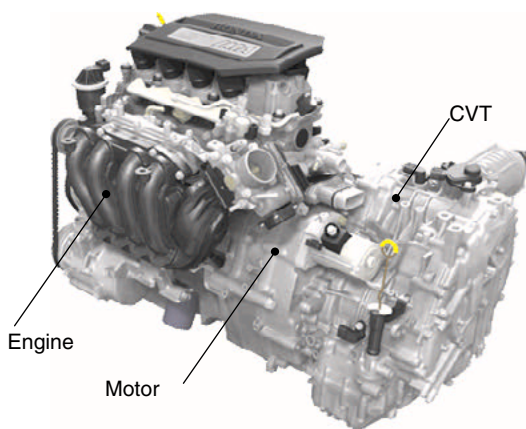


Fig. 2 View of IMA power train

Power Unit(IPU)を持っている。また、モータとインバータ間を結び駆動・回生の電力を送るためのケーブルはキャビンスペース外の車体床下に配線されている。

4. 低燃費と高出力化を両立する技術

4.1. エンジン

モータによるアシストがある分を考慮し、ベースとなるガソリン車よりも小さい排気量のエンジンを選択して基本的な燃料消費量を抑えるという考え方は、従来車と同様であるが、2006 年モデル CIVIC Hybrid では、1.3L SOHC i-DSI エンジンをベースに、可変シリンダシステム (Variable Cylinder Management system : VCM) の改良をおこなっている。

従来は、減速時の回生エネルギーを増すために3気筒を休止させていたものを、今回はさらにポンピングロス低減を図るために4気筒すべてを休止する全気筒休止をおこなっている。

また、高出力化を両立するために、3ステージi-VTECを採用した。以下その機構について説明する。

Fig. 3 は3ステージi-VTECのメカニズムを示しており、

1気筒あたり、吸気側3(低速、高速、休止)、排気側2(駆動、休止)の合計5個のロッカーアームと、それらを切替えるための3系統の油圧回路を持つ。これらによって、バルブタイミングとリフト量を可変とし、低回転から高回転まで良好な出力特性を得られ、かつバルブ休止も可能とし、その時々最適なエンジン運転モードにすることができるようにしている。また今回、高回転用カムの追加と合わせて、バルブ径を拡大することで、高出力化を図っている。

また、従来は1個しか持っていなかったスプールバルブをもう1個追加することと、気筒休止用の油路を独立させることによって気筒休止から復帰する際の信頼性を高め、全気筒の休止を可能とした。

全気筒休止が可能となったことにより、気筒休止をおこなわない場合に対してポンピングロスが低減され、Fig. 4に示すようにエンジンフリクションを最大で66%低減している。

4.2. 走行モードとシステム動作

2006 年モデル CIVIC Hybrid では、3ステージ i-VTEC と IMA モータとの組合せによりさまざまな運転モードを実現し、それらを実際の走行パターンの中で最適に使い分けることで、燃料消費に直結するエンジン運転時間の削減と減速時の回生電力量の向上をおこなうと共に、パワープラ

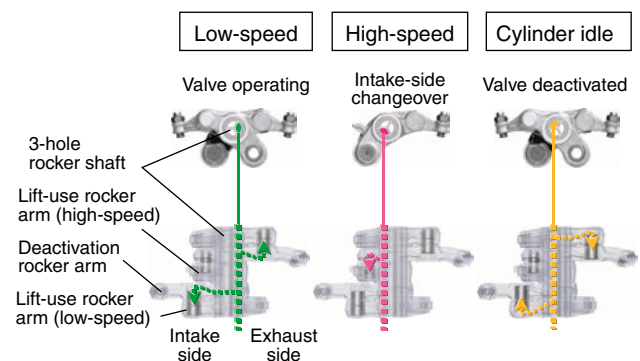


Fig. 3 3-stage i-VTEC mechanism

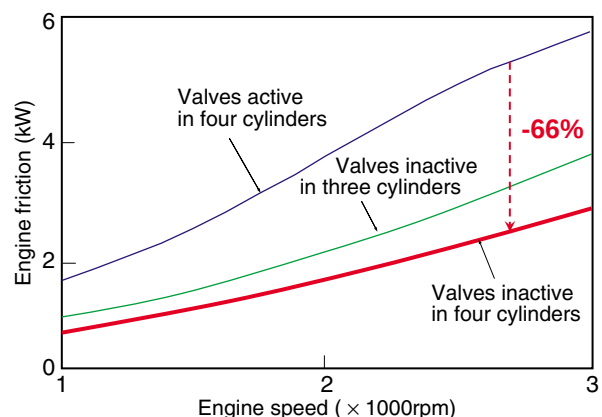


Fig. 4 Engine friction

ントータルでの出力を高め、高い燃費性能と動力性能の両立を図っている。

以下、各々の走行パターンにおける IMA システムの運転モードについて Fig. 5 を用いて説明する。

車両停止状態(Mode 1)から加速をする際(Mode 2)には、アイドル停止状態から IMA モータでエンジン始動後、エンジンに加えてモータも駆動力を発生し、十分な加速力を得られるようにしている。また、緩加速で十分な時(Mode 3)にはエンジンのみで加速する。この時、モータは駆動も回生もおこなわないが、弱め界磁制御をおこなって走行抵抗を低減する。

加速後、低速で巡航状態に入った時(Mode 4)には、バッテリーに蓄えられている電力によってモータの駆動力のみを使って走行するモードに入る。このときエンジンは全気筒のバルブを休止させる全気筒休止状態になり、これにより燃料供給を停止すると共に、ポンピングロス低減によって走行抵抗を低減し、モータ走行を可能としている。

その後、再加速をする際(Mode 5)には、エンジンはバルブの作動を再開し、再びエンジンに加えてモータでも駆動力を発生させ加速力を得る。さらに、高回転数で急な加速力が必要な時(Mode 6)には、バルブ駆動を低中速用カムから高速用カムに切替えエンジンでより高い駆動力が得られるようにしている。

その後、高速でクルージング状態に入る(Mode 7)と、エンジン(低速カム)のみで巡航する。この時、モータは弱め界磁制御をおこなって走行抵抗の低減に努めている。

減速時(Mode 8)には、モータは回生をおこない走行エネルギーを電気エネルギーに変換してバッテリーに蓄え、次の加速・巡航時のエネルギー源とする。この際、エンジンは

全気筒休止状態となりポンピングロスを低減することで、回生可能な走行エネルギーの増加を図っている。

車両停止後(Mode 1)は、オートアイドルストップをおこない、アイドリングによる燃料消費をカットしている。

以上のようにして、低回転から高回転まで安定したトルクと高出力が発揮できるエンジンと、極低回転から大トルクが発揮でき、回生電力として走行エネルギーが回収できるモータを組み合わせることで、相互補完しつつ、高効率かつ高出力な運転ができるモードを構築し、低燃費と高加速力の両立に寄与している。

4.3. ブレーキ回生協調システム

回生エネルギー量をより増加させるために Fig. 6 に示すようなブレーキ回生協調制御をおこなうシステムを搭載した。このシステムは、エンジンが気筒休止状態でも安定した油圧を得るために油圧を発生させるパワーユニットと、ブレーキ踏力を増幅して伝える油圧サーボとマスターシリンダ、油圧ブレーキ力を制御するためのソレノイドバルブと油圧センサ、必要なブレーキ力を演算する ECU から構成されている。また、パワーユニット以外はサーボユニットとしてまとめられてエンジンルーム内に配置されている。

これらにより、従来はブレーキペダル踏力で決まる必要ブレーキ力に対し一定量だけ回生をおこないつつ不足分を油圧を制御して油圧ブレーキで補っていたものを、今回は、必要減速力に応じて、回生電力量がバッテリーの受け入れ余力内で最大となるようにモータで回生をおこないつつ、不足減速力分を油圧ブレーキで確保するようにブレーキ油圧を制御している。

これらの制御をおこなうことで、減速時の車速エネルギーの回収率を 38%から 64%に向上させている。

4.4. モータの高出力化

モータについては、従来車と同様の薄型 DC ブラシレスモータ⁽⁴⁾を採用しているが、ロータ、ステータそれぞれを

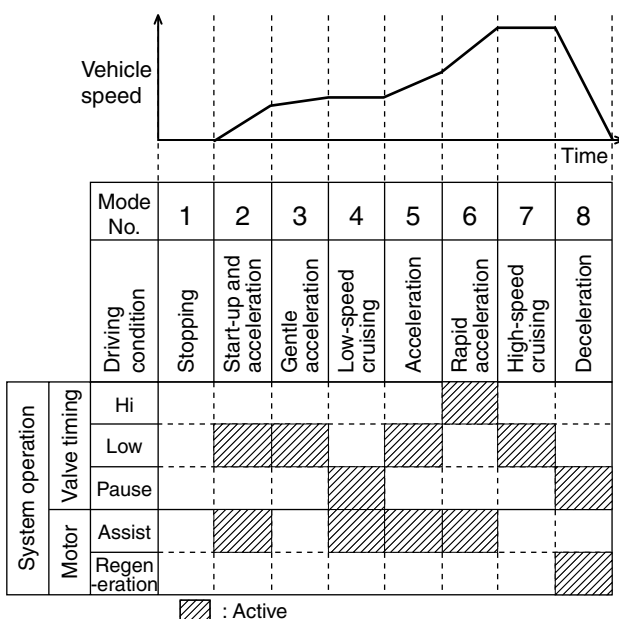


Fig. 5 Characteristics of 3-stage i-VTEC+IMA operation

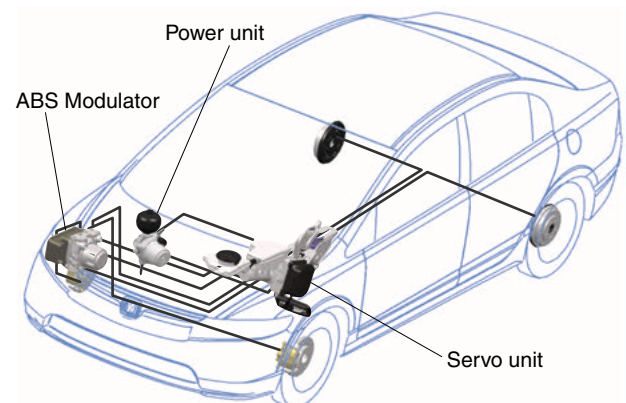


Fig. 6 Cooperative regeneration brake system

改良することで、出力とトルクの向上を図った。

ロータは Fig. 7 に示すように従来の Surface Permanent Magnet (SPM) タイプから Interior Permanent Magnet (IPM) タイプに変更し、磁気的エアギャップを短縮することと、残留磁束密度の高い高性能磁石を採用することでトルク向上を図っている。

ステータについては Fig. 8 に示すように巻線を従来の丸線から平角線とすることにより占積率を向上させ、巻線ターン数の増加によるトルク定数向上と、巻線断面積の拡大による許容電流値の拡大により、トルクの向上をおこなった。

上記技術により、従来車同一の外形寸法を維持したままで、回生出力で+22%、トルクで+14%の向上を達成している。これにより、加速性能の向上だけでなく、回生可能な電力量を増やすことで、燃費の向上にも寄与している。

4.5. バッテリーの改良技術

バッテリーモジュールは集電板の形状を見直し (Fig. 9) 電極との接点数を増やす、電極のサイズと板厚を最適化する、電解液中の高電導性電解質を多くするといった手法で抵抗を低減し、出力密度を 25% 向上した。

また従来比 +2 本の 22 モジュールのバッテリーパックとし、モジュールの改善と併せて、モータの高出力化と回生電力量増加に対応した。モジュールの配置については格子配列から千鳥配列とすることで、冷却性能も確保した上でモジュール数が増加したにもかかわらず従来同等の搭載性を可能とした (Fig. 10)。

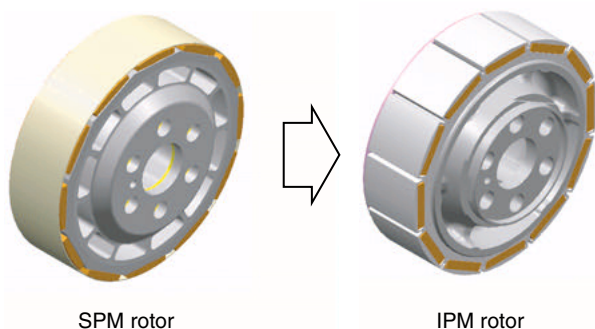


Fig. 7 Electric motor rotor

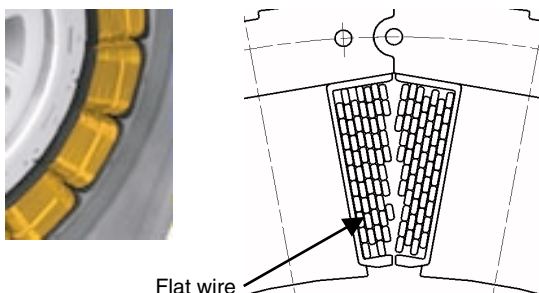


Fig. 8 Electric motor stator

4.6. CVT の高出力化対応

CVTでは燃費向上と出力向上のために、従来に対し下記変更をおこなった。

変速レシオレンジを拡大すると共に、ファイナルギヤのレシオを高く設定することで、低燃費化を図っている。

ドライブ&ドリブンプーリ軸間距離を 143mm から 156mm に拡大しプーリ径を拡大することで、高出力化に対応すると共に、駆動半径拡大によりプーリクランプ油圧を下げる事ができ、それにより CVT 効率を高め燃費向上効果も引出している。

また、発進クラッチの枚数を 4 枚から 5 枚に増やすことでトルク容量の増加を図り高出力化に対応している (Fig. 11)。

4.7. エアコンシステム

2005 年モデル ACCORD Hybrid と同様に、従来のベルト駆動に加え、高圧電源で作動する DC ブラシレスモータによる駆動でエンジン停止中も使用可能なデュアルスク

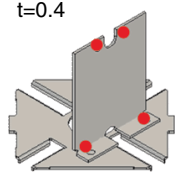
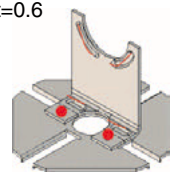
	Conventional	Developed
Collecting plate		
Internal resistance	39.24mΩ	25.2mΩ

Fig. 9 Comparison of battery collecting plates

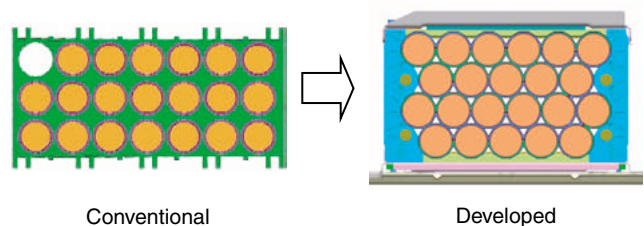


Fig. 10 Comparison of module arrangement

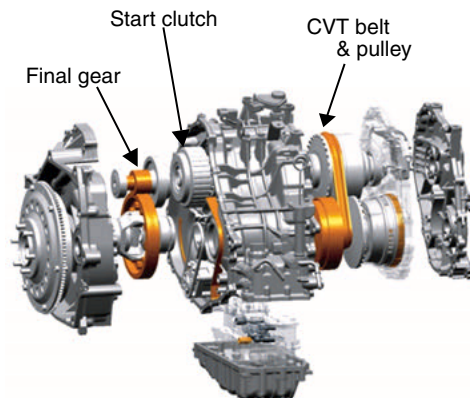


Fig. 11 CVT construction

ロールハイブリッドコンプレッサーを採用することにより、快適性を保ちつつアイドルストップ領域を拡大し燃費向上を実現している。

さらに、車室内に温度センサと一体型の湿度センサ (Fig. 12) を追加し、不快感を感じない高温・低湿度時や、ガラスの曇りを生じない車室内外気温・湿度の組合せの時はエアコンを停止する制御をおこない、快適性を保ちながら、より低燃費化を図っている (Fig. 13)。

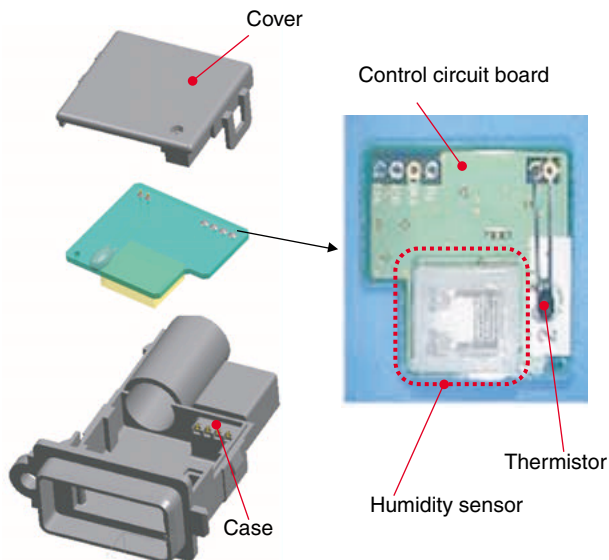


Fig. 12 Thermo & humidity sensor

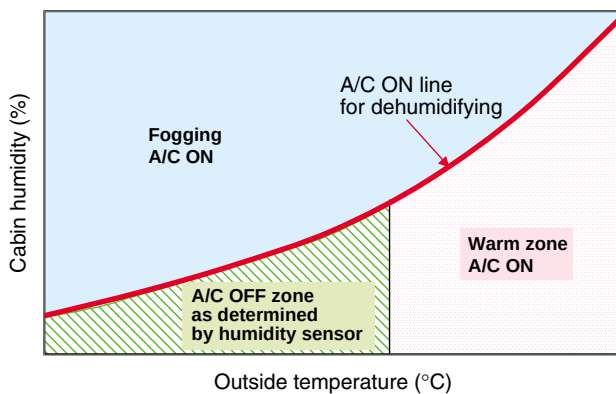


Fig. 13 Air conditioner operational chart

5. 燃費と動力性能

これまで述べた技術により、2006年モデルCIVIC Hybridでは、10・15モードで従来比5%向上させた31.0km/Lの燃費を達成することができた。

また、エンジンの出力を70kW(+11%)、トルクを123Nm(+4%)、モータの出力を15.5kW(+50%, 回生時)、トルクを123Nm(+14%, 回生時)に、それぞれ向上させたことにより、0-100km/h加速で12.1secを達成した (Fig. 14, 15)。

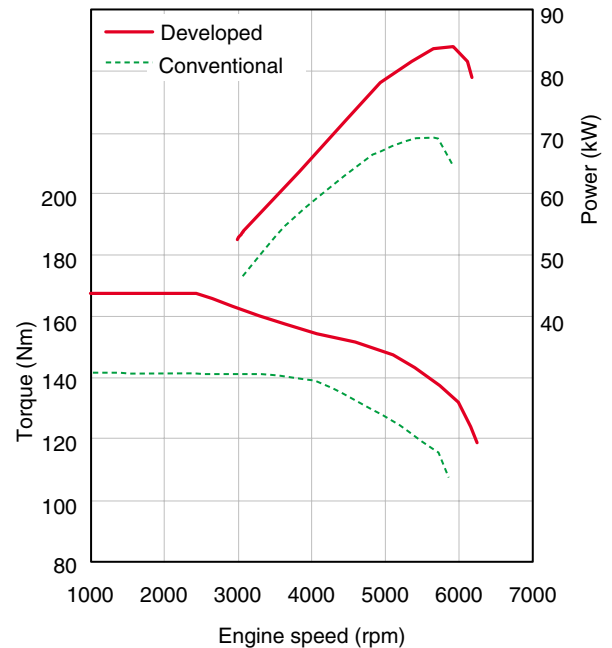


Fig. 14 Output performance of IMA system

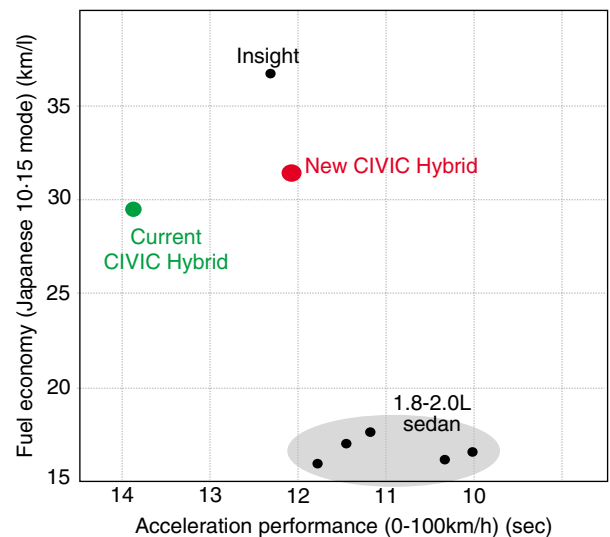


Fig. 15 0-100km/h performance/Fuel economy

6. まとめ

2006年モデルCIVIC Hybridを開発するにあたって、下記の技術により、燃費と走りの両立を図った。

- (1) 3ステージ i-VTEC による、ポンピングロス低減と高回転域のエンジン出力向上。
- (2) 全気筒休止による、回生電力量の増加とモータ走行の実現。
- (3) ブレーキ回生協調制御をおこなうことによる、回生電力量の増加。
- (4) モータ、バッテリー、CVT各コンポーネントの改良による出力向上と、回生電力量増加への対応。
- (5) ハイブリッドエアコンの採用によるアイドルストップ

領域の拡大と、湿度センサを用いたエアコン制御によるエアコン停止領域の拡大。

その結果、10・15 モード燃費では従来車 +5% の 31.0km/L, 0 - 100km/h 加速では従来車-1.8 秒の 12.1 秒を達成し、燃費と走りを両立することができた。

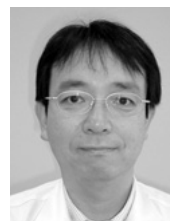
参考文献

- (1) 落合志信, 内堀憲治, 原一広, 鶴見隆史, 鈴木実: ハイブリッドカー「インサイト」用モータアシストシステムの開発, HONDA R&D Technical Review, Vol.12, No.1, p.7-14
- (2) 松木正人, 若城輝男, 神山敏宏, 佐藤利行, 賀来嘉昭, 神田正浩: 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.39-48
- (3) 貝塚正明, 今井利隆, 石川享, 仁木学, 安達浩光: ACCORD Hybrid システムの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.17, No.1, p.18-24
- (4) 小川博久, 福田健児: CIVIC Hybrid 用モータの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.14, No.2, p.25-30

■著 者■



堀江 達郎



岸 勉



長谷川 修