

CIVIC Hybrid 用 1.3L 3stage i-VTEC VCM エンジンの開発

Development of 3-stage i-VTEC VCM Engine for CIVIC Hybrid

奥井 重雄*

Shigeo OKUI

石川 直宏*

Naohiro ISHIKAWA

岸 勉*

Tsutomu KISHI

花田 晃平*

Kohei HANADA

要 旨

低燃費と低排出ガスを両立するハイブリッド自動車2006年モデル CIVIC Hybrid 用 1.3L 3stage i-VTEC VCM エンジンを開発した。本エンジンはフリクション低減の徹底と体積効率の向上をおこなうと共に、VTEC技術を進化させ、バルブの開閉切換えを低回転、高回転、気筒休止の3段階で可能とする3stage i-VTEC VCMを新規開発した。モータの出力向上とあわせ、モータのみでの走行をより広い運転条件で可能とし低燃費化している。2006年モデル CIVIC Hybridは、新開発エンジンとモータの高出力化、CVTトランスミッションの伝達効率向上などにより、10・15モード31.0km/Lの燃費と動力性能向上を達成した。また、高密度2ベッド三元触媒改良などにより平成17年度低排出ガス基準75%低減レベルの低排出ガスを達成した。

ABSTRACT

A 1.3 L 3-stage i-VTEC VCM engine, which satisfies both low fuel consumption and low emission requirements, was developed for the 2006 CIVIC Hybrid. In the development of this engine, friction was greatly reduced and volumetric efficiency was increased. In addition, VTEC technology was evolved to realize a 3-stage i-VTEC VCM that enables 3-stage valve motion switchover at low and high engine speeds and during cylinder idling. With the increased motor output, it is possible to run the automobile on the motor alone over a wider range of driving conditions, and to realize a further reduction in fuel consumption. The newly developed engine, higher power motor and more efficient CVT transmission enable the 2006 CIVIC Hybrid to achieve better vehicle dynamic performance and a fuel consumption of 31.0 km/L in the 10-15 mode. In addition, the performance of the high density 2-bed, 3-way catalyst has been increased, realizing low emissions equal to 75% of the low emissions standard for fiscal 2005.

1. まえがき

地球環境保護、省資源の観点から、自動車への低燃費化と低排出ガス化に対する期待はますます高くなってきている。これに対し Honda は Variable Valve Timing and Lift Electronic Control (VTEC) 機構を応用した新世代エンジン^{(1), (2)}を継続して研究、開発してきている。また、電気モータとエンジンを組合せたハイブリッドシステムについても独自のハイブリッドパワートレイン Integrated Motor Assist (IMA) システムを開発し 1999 年に超低燃費車 Insight⁽³⁾で商品化している。2001年に小型セダンのハイブリッド自動車 CIVIC Hybrid⁽⁴⁾を発売し低燃費化を図ってきている。

2006 年モデルの CIVIC Hybrid 搭載用にハイブリッドパワートレインを新開発した。エンジンは 2001 年モデル(以下、従来車と呼ぶ)搭載の LDA-MF3 型エンジン⁽⁴⁾をベースにフリクションの低減と体積効率の向上を図ると共に、VTEC 機構を進化させ、バルブの開閉を低回転、高回転、気筒休止(バルブ休止)の3段階に切換えることが可能な 3stage i-VTEC Variable Cylinder Management (VCM) を加えた LDA-MF5 型エンジンである。また、モータの出力向上、CVT トランスミッションのトルク容量と伝達効率の向上をおこないハイブリッドパワートレイン全体の高効率化を図っている。

本稿では LDA-MF5 型エンジンの新技術について、3stage i-VTEC VCM 機構を中心に報告する。

*四輪開発センター

2. 開発のねらい

従来車は、IMAシステムを搭載し5人乗り小型セダンとして世界トップレベルの低燃費を達成している。

新開発ではハイブリッドパワートレインの全面改良をおこなうにあたり、「コンパクトな設計を基本に、乗る人への快適性の向上を図りながら、さらなる走りや燃費の向上」を開発のねらいとした。

開発の具体的目標は以下の通りである。

- (1) 10・15 モード 31.0km/L の低燃費
- (2) 0-100km/h で 12 秒の加速性能
- (3) 平成 17 年度低排出ガス基準 75%低減レベルの低排出ガス
- (4) 全領域でそう快な走りを実現する一般ガソリン車と同等の自然なドライバビリティと高レスポンス

3. ハイブリッドシステム

エンジンと CVT トランスミッションの間にエンジンクランク軸に直結の薄型 DC ブラシレスモータを配し、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Ni-MHバッテリーパックなどの高

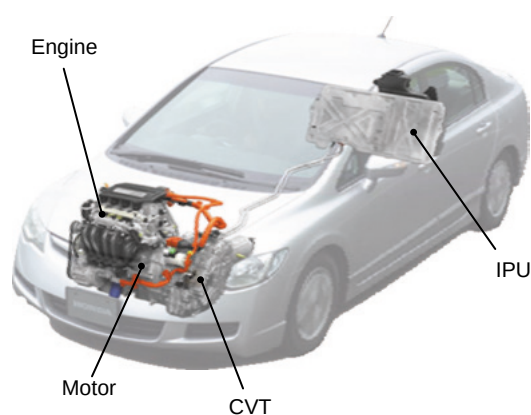


Fig. 1 IMA system construction

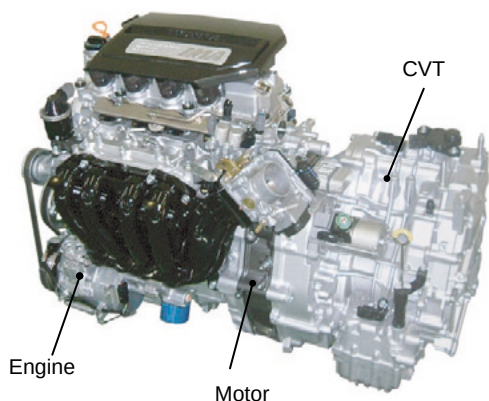


Fig. 2 View of newly developed hybrid powertrain

Table 1 Engine specifications

Engine code	LDA-MF5	LDA-MF3
Cylinder configuration	In-line 4-cylinder	In-line 4-cylinder
Bore × stroke (mm)	73 × 80	73 × 80
Displacement (cm ³)	1339	1339
Compression ratio	10.8 : 1	10.8 : 1
Valve train	SOHC 3-stage VTEC	SOHC 2-stage VTEC
Number of valves	2 per cylinder	2 per cylinder
Valve diameter (mm)		
Inlet	35	32
Exhaust	30	28
Fuel supply system	Programmed fuel injection	Programmed fuel injection
Ignition system	Dual point sequential ignition	Dual point sequential ignition
Intake manifold Diameter × length (mm)	34 × 340	30 × 200
Exhaust manifold	Integrated cylinder head	Conventional
Gasoline	Regular (RON91)	Regular (RON91)
Max. power (kW/rpm)	70/6000	63/5700
Max. torque (Nm/rpm)	123/4600	119/3300

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 Power Unit(IPU)を配置する。それらを接続するパワー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。構成部品の実車配置を Fig. 1 に、ハイブリッドパワートレインの外観図を Fig. 2 に示す。

エンジンを主動力とし、モータを補助動力とするため、全体をシンプルで軽量小型なシステムにすることができる。

4. エンジンの概要と主要諸元

Table 1 に従来車搭載の LDA-MF3 型と比較したエンジンの主要諸元を示す。新開発の LDA-MF5 型は、吸排気バルブの大径化、吸排気ポート形状最適化、樹脂製レゾネータ付きインテークマニホールドの大径・ロング管長化により体積効率を向上させ、11%の高出力化をおこなっている。また、エキゾーストマニホールド一体型シリンダヘッドにより冷却水を早期昇温させるなどフリクション低減を図っている。そして燃費と出力の両立のため、バルブの開閉を低回転、高回転、気筒休止(バルブ休止)の3段階の切換えを可能とする 3stage i-VTEC VCM を採用している。

Fig. 3 に樹脂製レゾネータ付きインテークマニホールドの断面を示す。管長および管径は高回転域の出力において最適な $\phi 34 \times 340\text{mm}$ を選定した。これにより 4500rpm 以上の体積効率は LDA-MF3 型のインテークマニホールドに対し、約 5 %向上している。さらに、チャンバ部にレゾネータを配置し、共鳴周波数を合わせることで、中回転域の体積効率向上を図っている。Fig. 4に示すようにレゾネータの共鳴時は、吸気バルブが閉じる直前のタイミングの吸気管圧力が増加し吸入空気量が向上している。Fig. 5 にレゾ

ネータの影響による出力特性を示す。レゾネータにより 3000rpm から 4000rpm の出力が向上し、良好なトルク特性を得た。

Fig. 6 に排気マニホールド一体型シリンダヘッドの外観とウォータージャケット形状を示す。シリンダヘッド内で排ガスを集合させる構造で、冷却水の昇温に排気熱を活用し、エンジン暖機時の早期昇温を図っている。また同時にエンジンの軽量化も実現している。

冷却水循環経路は Fig. 7 の模式図に示すようにシリンダヘッドに先行して水を流し、排気熱による冷却水の早期昇温を促進する経路としている。また、ウォータポンプからシリンダヘッドに上がる水路にシリンダブロックへのバイパス

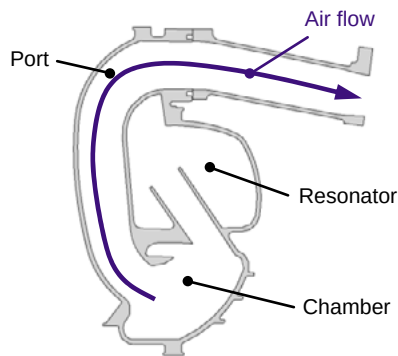


Fig. 3 Structure of intake manifold

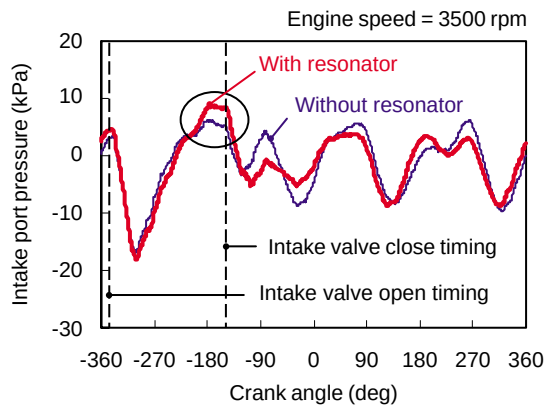


Fig. 4 Characteristics of intake manifold pressure

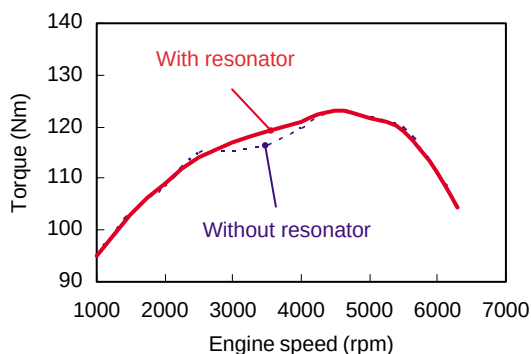


Fig. 5 Effect of intake manifold resonator

ス経路を設けることでシリンダブロック上部の横方向流れを強めノッキング抑制を図った。Fig. 8にバイパス経路の影響によるノッキング発生点火時期を示す。2000rpm 以上で約 2 deg のノッキング抑制効果を得た。

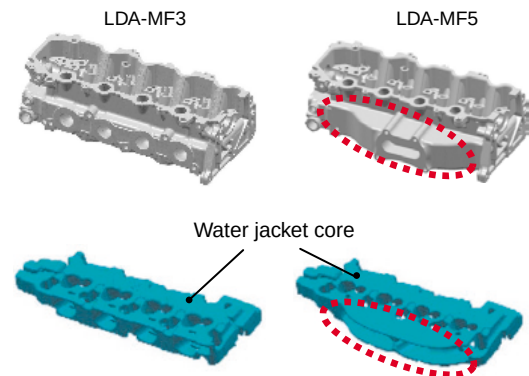


Fig. 6 View of exhaust manifold integrated cylinder head

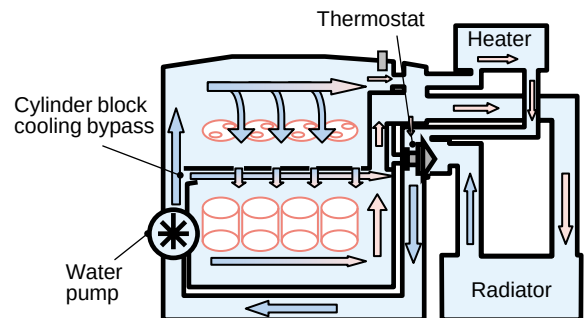


Fig. 7 View of cooling system

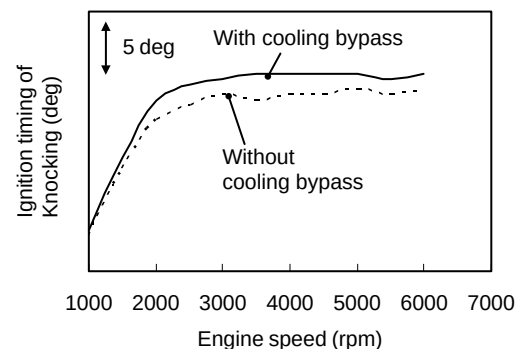


Fig. 8 Effect of newly developed cooling system

5. 出力性能

Fig. 9 に出力特性を示す。エンジンとモータを高性能化した LDA-MF5 型のシステム出力は、LDA-MF3 型に対し全領域で向上している。また、3000rpm 以下のシステム出力は、低回転域で高トルクを発生するモータアシストにより、同一車両に搭載の 1.8L i-VTEC(R18A 型)エンジン⁽⁵⁾を上回る。

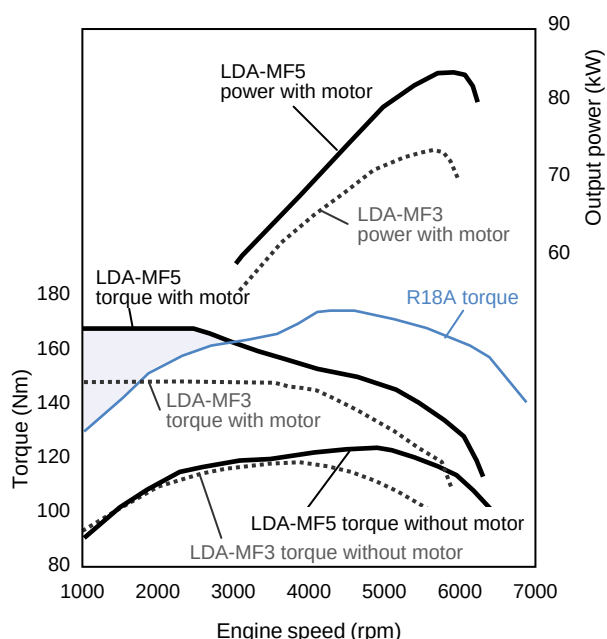


Fig. 9 Output performance of IMA system

6. 3stage i-VTEC VCM

6.1. 構造と作動原理

LDA-MF3 型の気筒休止 VTEC が、バルブ駆動と気筒休止の2段階の吸排気バルブ制御であるのに対し、LDA-MF5 型はバルブの開閉を低回転、高回転、気筒休止の3段階の切換えを可能とし、低中回転域での優れた燃費・トルクと高回転域での高出力化を実現している。

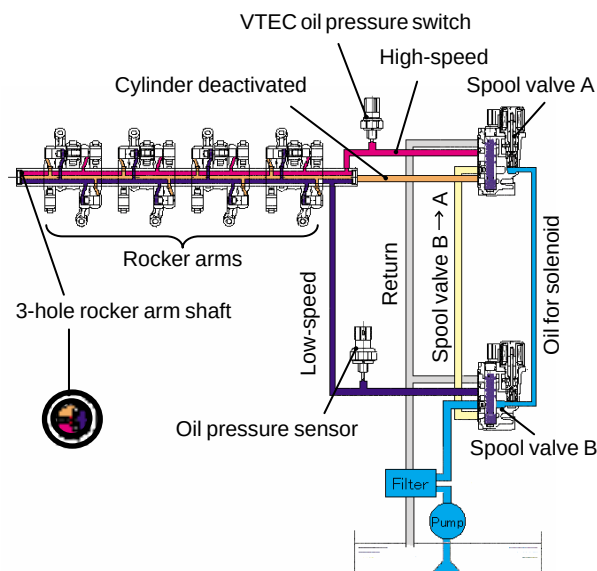
Fig. 10 に 3stage i-VTEC VCM の部品構成を示す。従来の VTEC 同様、油圧によりスプールバルブとロッカアーム内蔵のシンクロピストンを制御し、吸気バルブと排気バルブのリフト量を切換える機構である。LDA-MF3型では一つしか持っていなかったスプールバルブをもう一つ追加すること、気筒休止用の油路を独立させることによって気筒休止から復帰する際の信頼性を高め、LDA-MF3型の気筒休止は3気筒であったのに対し、LDA-MF5型は4気筒すべての気筒を休止とすることを可能としている。

Fig. 11にロッカアームの構造を示す。ロッカアームは1気筒あたり、吸気側三つ、排気側二つの計五つを配し、シンクロピストンとリターンズプリングから構成されている。低回転用バルブタイミング・リフトと気筒休止の切換えは油圧の低い1000rpm程度の低回転域での切換え性を確保するために、LDA-MF3型と同様に油圧により分離・連結する「油圧-油圧切換方式」を採用している。低回転用バルブタイミング・リフトと高回転用バルブタイミング・リフトの切換えは、油圧により連結しスプリング反力のみで分離するシンプルな機構の「油圧-スプリング切換方式」を採用している。

低回転時のバルブ作動状態を Fig. 11-(a) に示す。休止用

ロッカアームに油圧が作用し、休止ロッカアームと低回転ロッカアームが連結する。低回転用カムプロフィールにより連結したロッカアームが作動しバルブを駆動する。

高回転時のバルブ作動状態を Fig. 11-(b) に示す。低回転ロッカアームと休止用ロッカアームはリターンズスプリング



	Spool valve A	Spool valve B
Low-speed	OFF	OFF
High-speed	OFF	ON
Cylinder deactivated	ON	ON

Fig. 10 3-stage i-VTEC VCM valve train and hydraulic passage

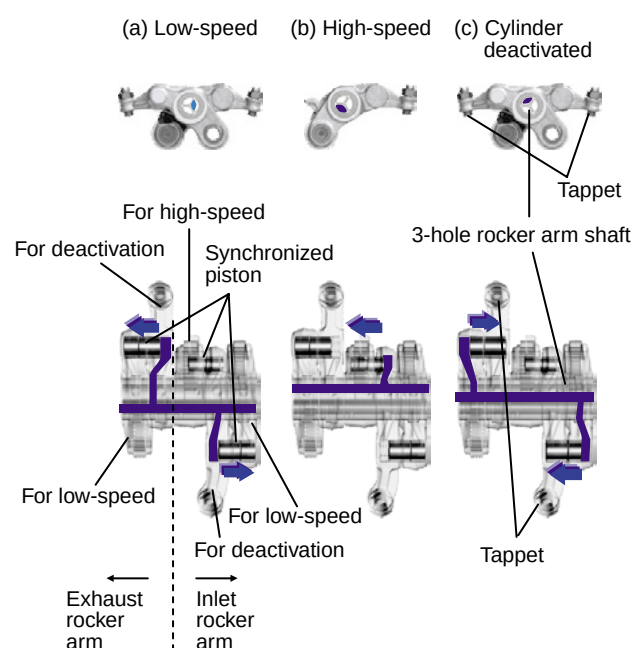


Fig. 11 3-stage i-VTEC VCM rocker arm and rocker arm shaft construction

により連結を保持し、その状態で休止用ロッカアームの高回転用ロッカアーム側の油路に油圧がかかり、シンクロピストンの移動により休止用ロッカアームと高回転用ロッカアームが連結する。高回転用カムプロフィールにより連結したロッカアームが作動しバルブを駆動する。なお、排気側の駆動用カムは1種類であり、切換えはおこなわない。

気筒休止状態を Fig. 11-(c) に示す。低回転用ロッカアームに油圧がかかり、シンクロピストンの移動により休止用ロッカアームと低回転用ロッカアームが分離する。カム山を持たない休止用ロッカアームでバルブ休止状態となる。

6.2. 効果

Fig. 12 に低回転用バルブタイミング・リフトと高回転用バルブタイミング・リフト時の出力特性を示す。低回転用と高回転用のロッカアームをエンジン回転がおよそ 4800rpm で切換えることで、低回転から高回転まで良好な出力特性が得られた。また、低回転用バルブタイミング・リフトは低回転軽負荷域にて良好な燃焼が得られることで優れた燃費とエミッションを実現している。

気筒休止システムは減速時の燃料噴射停止条件下に吸排気バルブを休止しポンピングロス低減、そのフリクション低減分をモータにより回生エネルギーとして取り込む機構である。Fig. 13 に減速時(スロットル全閉)におけるエンジンフリクションを示す。バルブ駆動時に対する気筒休止

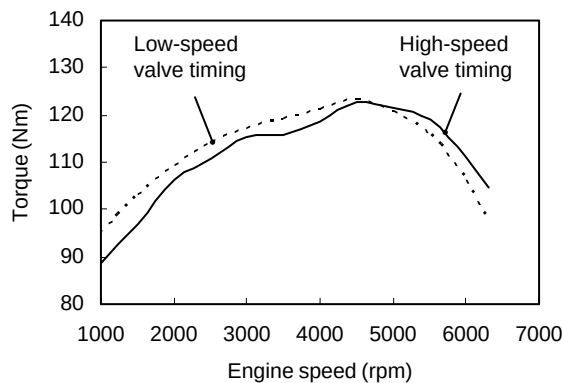


Fig. 12 Effect of valve timing and lift on torque

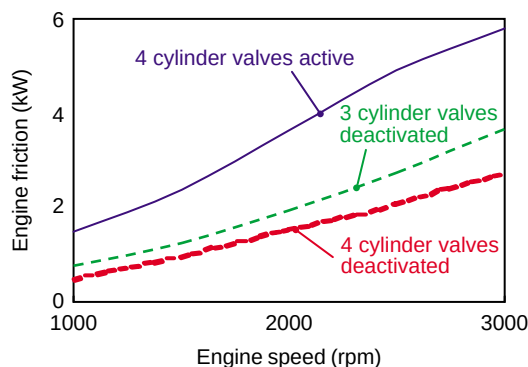


Fig. 13 Effect of VCM on reduction of engine friction

時のエンジンフリクションは、3気筒休止から全気筒休止にすることでポンピングロスはほぼ零となり、最大約 50% から 66% に低減できた。これにより減速エネルギーに対する回生エネルギーの割合は約 57% から 64% に増加し加速時のモータアシスト量が増加している。さらにモータの出力向上とあわせて、低速時のクルーズ運転にてモータのみでの走行を可能とし低燃費化している。

6.3. 作動制御

Fig. 14 に 3stage i-VTEC VCM とモータの作動を模式的に示す。車体停止時はエンジンが自動的に停止し、ブレーキを解除すると同時にエンジンはモータにより再始動する。発進および低車速時は低回転用のバルブタイミング・リフトで良好な燃費とトルクを得る。また要求トルクの大きさによってモータが駆動力を発生する。負荷の軽い低速巡航時はモータの駆動力のみで走行する。このときエンジンは全気筒休止状態になり、燃料噴射を停止する。急加速時はエンジン回転がおよそ 4800rpm 以上で高回転用のバルブタイミング・リフトに切換え高出力を発生する。減速時はエンジンが燃料噴射を停止するとともに全気筒休止となりポンピングロスを低減し、回生エネルギーを増加する。

3stage i-VTEC VCM の切換え実施判断は、エンジンの回転数、油圧、水温および車速、高圧バッテリー残量等の情報を合わせておこない、一般ガソリン車と同等の自然なドライバビリティと加減速感を得ている。

駆動力の発生のさせ方は、Drive By Wire (DBW) と気筒休止を協調したトルクマネジメント型制御を導入している。アクセルペダル開度とエンジン回転数からクランク軸端の目標トルクを決定し、その目標トルクを実現できるようバッテリー残量等のエネルギーマネジメントを考慮しながら、エンジンとモータのトルク配分を決定する。

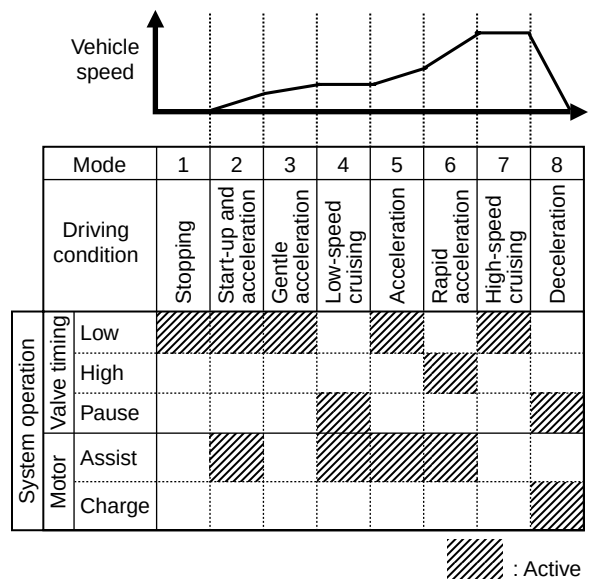


Fig. 14 3-stage i-VTEC+IMA operation

Table 2 Engine friction reduction technology

Engine code	LDA-MF5	LDA-MF3
Roller rocker arm	○	○
Off-set cylinder arrangement	○	○
Low-tension piston ring	○	○
Streak crank bearing	○	○
MoS ₂ processing of piston skirt	○	○
Cam shaft chain drive system	○	○
Low-viscosity engine oil	○	○
Cylinder sleeve plateau honing	○	○
Mirror surface treatment cam journal	○	—
Aluminum diecast piston	○	—
Ion-plate piston ring	○	—
Manifold-integrated cylinder head	○	—
Air conditioner belt-auto tensioner	○	—

7. エンジンフリクション低減

Table 2 にエンジンフリクション低減の主要技術を示す。LDA-MF3 型で採用した数多くの低フリクション技術に加え、新たに高強度ダイキャストピストン⁽⁶⁾、排気マニホールド一体型シリンダヘッド、カムジャーナルの鏡面加工、補機ベルトオートテンショナなどを採用している。

高強度ダイキャストピストンの材料特性を Fig. 15 に示す。高強度ダイキャストピストンは従来材に比較して熱膨張が少ないため、温度変化に対する摩擦抵抗の増加が抑えられる。ピストン各部の形状はCAEを用いて耐久信頼性を確保しながらフリクション低減効果が最大となるように、三次元挙動計算によって剛性の均一化とフォームの最適化をしている。

Fig. 16 に示す点は、1500rpm、吸気管圧力-53kPa における Honda 既存エンジンの総排気量に対するフリクションの分布を示すものである。LDA-MF5 型は新たな技術に併せ、バルブスプリングやピストンリング等の荷重低減と接

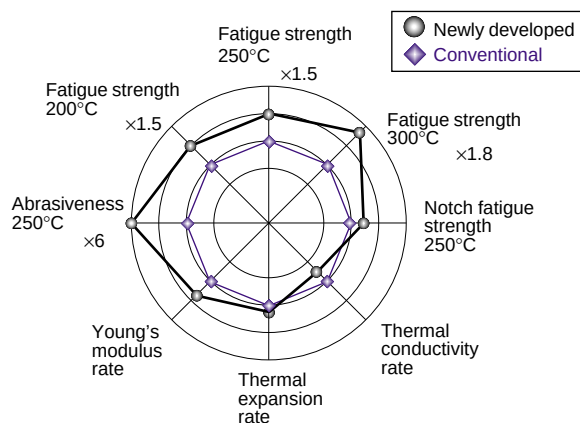


Fig. 15 Characteristics of piston materials

Engine speed = 1500 rpm, Intake pressure = -53 kPa

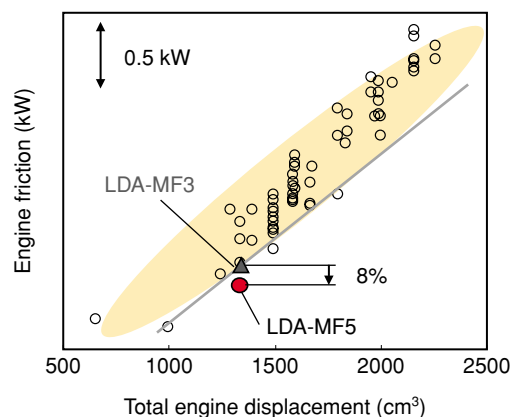


Fig. 16 Enhancement of engine friction

触部面積削減を徹底し、LDA-MF3 型に対し 8 % のフリクション低減を達成した。これは同一排気量において過去最小の位置付けとなる。

8. 燃焼改善による燃料消費率の低減

体積効率の向上と同時に、燃焼改善による燃料消費率の低減を図るため、吸入空気量を増加させながらスワール(横渦)とタンブル(縦渦)成分を十分に発生させ、圧縮端(点火直前)の乱流強度を強める吸気ポートを開発した。Fig. 17 に吸気ポート形状を、Fig. 18 と Fig. 19 に CAE を用いた筒内流動解析結果を示す。バルブ近傍の内側の絞りとジャンプ台形状を形成することにより、吸気行程中のスワールとタンブルの流れの方向性を強め、圧縮行程終了直前の BTDC10deg において強い乱流強度を得ている。

Fig. 20 に式(1)で定義する吸気速度係数 M_i と式(2)で定義する渦強度 V_i の関係を示す。渦強度は従来の水準に対し約 25% 向上した。

$$\text{吸気速度係数 } M_i = (U_p / a_i) \cdot (A_p / Z_{MEI}) \quad (1)$$

ただし、 U_p : 平均ピストンスピード m/s

a_i : 吸気バルブ部を通過する音速 m/s

A_p : ピストン断面積 m^2

Z_{MEI} : 吸気バルブ平均有効開口面積 m^2

Taylor, C.F.⁽⁷⁾は吸気過程において体積効率に支配的影響を持つのは主として吸気バルブ部圧力降下であり、その圧

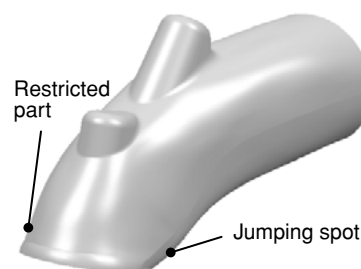


Fig. 17 View of intake head port

力降下は吸気バルブ部のマッハ数の関数と考え吸気速度係数 M_i として定義している。

$$\text{渦強度 } V_i = (S_r^2 + T_r^2)^{0.5} \quad (2)$$

ただし, S_r : スワールレシオ

T_r : タンブルレシオ

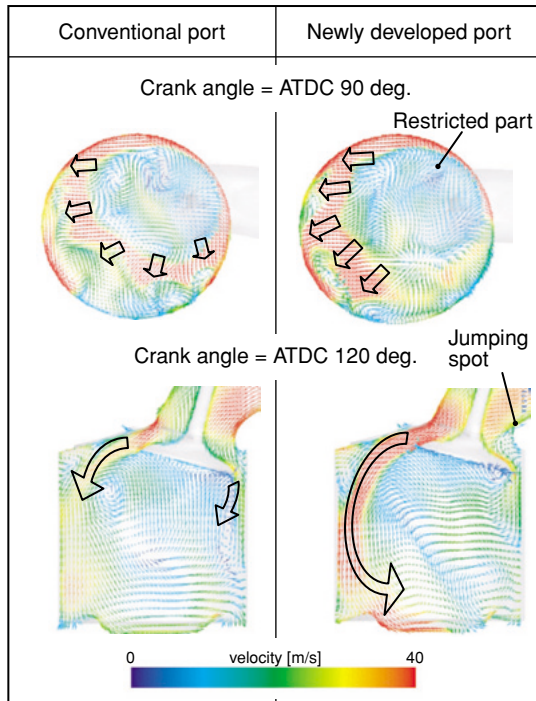


Fig. 18 Comparison of swirl and tumble flow

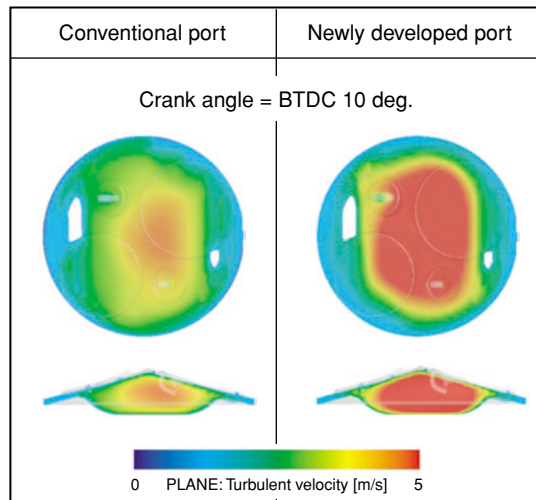


Fig. 19 Comparison of turbulence intensity

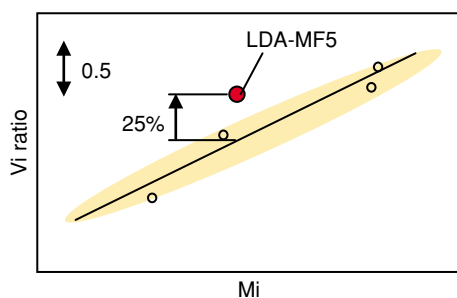


Fig. 20 Enhancement of V_i ratio

Fig. 21 に EGR 還流率に対する正味燃料消費率 BSFC と窒素酸化物量および燃焼変動率の特性を示す。EGR 還流率 25% 以上においても安定した燃焼が得られ、大量 EGR の導入を可能にしている。この結果、窒素酸化物量の低減と 5 % の BSFC 低減を達成した。

なお、LDA-MF3 型では希薄燃焼にて燃料消費率の低減を図ったが、LDA-MF5 型では希薄燃焼領域がモータ走行に置換わるため希薄燃焼は実施しない。

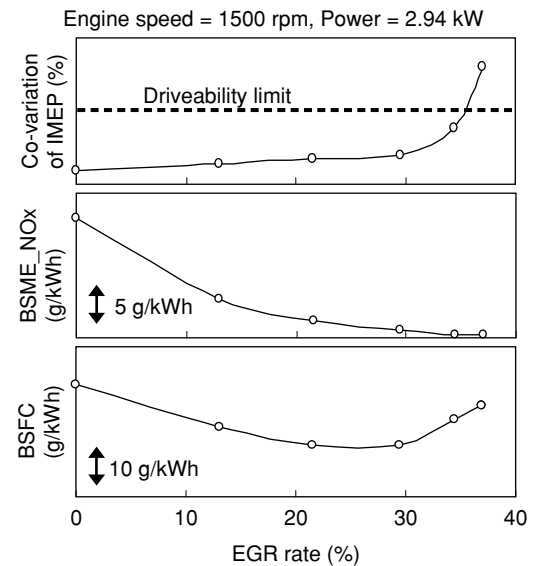


Fig. 21 Characteristics of EGR

9. 車両燃費と動力性能

3stage i-VTEC VCM エンジンおよび、モータの高出力化、CVT トランスミッションの伝達効率向上、そしてブレーキ回生協調をはじめとした車体技術をあわせ、10・15 モードで従来車より 5 % 向上させた 31.0 km/L の燃費を達成し、また動力性能は、エンジンとモータの出力をそれぞれ向上させたことなどにより、0-100 km/h 加速で 12.1 sec を達成した。Fig. 22 に 0-100 km/h 加速と 10・15 モード燃費の位置付けを示す。

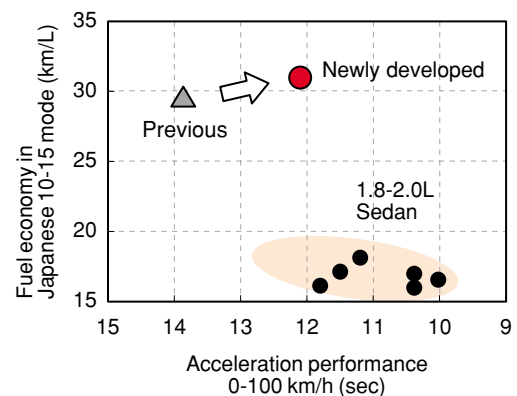


Fig. 22 0-100 km/h acceleration performance and fuel economy

10. 低エミッション技術

触媒は床下に高密度2ベッド三元触媒を配置する。排気コンバータの触媒改良⁽⁸⁾により優れた浄化性能を達成し、貴金属担持量の削減を実現している。また、排気マニホールド一体型シリンダヘッドの採用によりエキゾーストマニホールドを廃止することで、排気熱の大気放出面積を縮小し触媒の早期活性化を図っている。その他の低エミッション技術として、6穴マルチホールインジェクタや電動EGRバルブなどの採用と高精度なエンジン制御により、目標である「平成17年度低排出ガス基準75%低減レベル」の低排出ガスを達成している。

11. まとめ

2006年モデルCIVIC Hybrid搭載用エンジンLDA-MF5型を開発した。本開発で得られた結果を下記に示す。

- (1) 3stage i-VTEC VCMを開発し、低回転、高回転、気筒休止のバルブの切換えを可能とし、低中回転域の優れた燃費・トルクと高回転域での高出力化を両立した。
- (2) 全気筒休止を実現することでポンピングロスがほぼ零となり、回生エネルギー量の増加とモータ走行を可能とした。
- (3) 新開発ハイブリッドパワートレインに、車体技術をあわせ、10・15モード31.0km/Lの燃費と0-100km/h加速で12.1secの動力性能を達成した。
- (4) 高密度2ベッド三元触媒、排気マニホールド一体型シリンダヘッドなどの採用と高精度なエンジン制御により、「平成17年度低排出ガス基準75%低減レベル」の低排出ガスを達成した。

参考文献

- (1) 大浦秀二，三浦啓二：可変機構を用いたガソリンエンジンの高効率化について，自動車技術，Vol.45, No.8, p.93-98(1991)
- (2) 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
- (3) 青木薫，梶原滋正，佐藤浩光，山本善夫：モータ式ハイブリッドパワートレインの開発，自動車技術会学術講演会前刷集，No.98-99, p.9-12(1999)
- (4) 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
- (5) 瀬古一行，多賀渉，鳥居建史，中村聡，秋間和洋：新型4気筒1.8Lガソリンエンジンの開発，自動車技術会

学術講演会前刷集，No.106-05, p.1-4(2005)

- (6) 谷畑昭人，佐藤謙次，古川和也：高強度ダイカストピストン材の開発，Honda R&D Technical Review, Vol.17, No.2, p.122-128
- (7) Taylor, C.F.: The Internal Combustion Engine in Theory and Practice, MIT Press
- (8) 猪瀬昇志，岡山竜也：触媒表層の貴金属高濃度化と薄層化，Honda R&D Technical Review, Vol.17, No.2, p.129-135

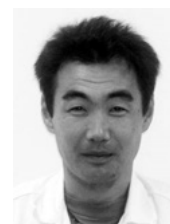
■著 者■



奥井重雄



岸 勉



石川直宏



花田晃平