

新型 FIT 用 SOHC i-VTEC エンジンの開発

Development of i-VTEC Gasoline Engine for 2008 Model Year Honda FIT

田 岸 龍太郎*

Ryutaro TAGISHI

川 口 仁*

Hiroshi KAWAGUCHI

佐 藤 務*

Tsutomu SATO

萩 原 祥 治*

Yoshiharu HAGIWARA

要 旨

環境性能(低燃費, 低排出ガス)と高出力を両立する軽量, コンパクトな 1.3L, 1.5L 4気筒 SOHC i-VTEC ガソリンエンジンを開発した。1.3L は4バルブシリンダヘッドを採用し, 吸気1バルブ休止 VTEC による急速燃焼とフリクション低減技術の投入により 10・15 モード燃費 24 km/L を達成するとともに最大出力 73 kW, 最大トルク 127 Nm の高出力を達成した。1.5L は高出力型 VTEC を採用し最高出力 88 kW, 最大トルク 145 Nm の高出力を達成するとともに 1.3L と共通のフリクション低減技術の採用により 10・15 モード燃費 19.6 km/L を達成した。低排出ガス技術としては CIVIC にて採用したエキゾーストマニホールド一体型シリンダヘッド, 直下触媒, 高精度空燃比制御などを採用し, 10・15 と JC08C モードにて全車平成 17 年度排出ガス基準 75%低減レベルを達成した。

ABSTRACT

Lightweight, compact 1.3-L and 1.5-L 4-cylinder SOHC i-VTEC gasoline engines were developed that achieve a balance of environmental performance (low fuel consumption, low exhaust emissions) and high output. The 1.3-L model employs a 4-valve cylinder head, VTEC that operates with one intake valve inactive for rapid combustion, and friction reduction technology. As a result, it achieves 24-km/L fuel consumption in 10-15 mode as well as high power with 73 kW of maximum output and 127 Nm of maximum torque. The 1.5-L model has a high-output VTEC for a maximum output of 88 kW and maximum torque of 145 Nm, the same friction reduction technology as that of the 1.3-L model, and achieves 19.6 km/L fuel consumption in 10-15 mode. The technology for low exhaust emissions includes a close-coupled catalyst, high-accuracy adaptive air-fuel control, and a cylinder head with integrated exhaust manifold, the same as that employed in the CIVIC. As a result, using the 10-15 and JC08C mode, the engines to be used in all 2008 FIT models have achieved an emissions level 75% below the level required by Japanese 2005 regulations.

1. まえがき

近年, 環境保護のための排出ガス低減技術および地球温暖化の原因となる CO₂ の削減のため, 低燃費技術の開発が重要となってきている。これらの対応技術として, 2002 年モデル Fit に搭載のエンジンには各気筒あたりに 2 本の点火プラグを備えエンジンの運転状況に応じてそれぞれの点火時期を制御し急速燃焼をおこなう L13A 1.3L 4気筒 SOHC 2バルブ i-DSI (Dual and Sequential Ignition)⁽¹⁾を採用した。また, 2003 年に追加された 1.5L では低回転領域においてひとつの吸気弁リフト量を制限し急速燃焼をおこなう

L15A 1.5L 4気筒 SOHC 4バルブ VTEC (1バルブ休止 VTEC)を採用した。しかしながら 1.3L の i-DSI は2バルブであり, 急速燃焼による燃費優位性はあるものの, 商品魅力としての高出力化が求められていた。また, 1.5L においてもさらなる走り性能の向上が要求されていた。これらの要求に対して 2008 年モデル FIT 搭載用に 1.3L, 1.5L 共通の4バルブヘッドを採用し高出力化を図りながらフリクション低減技術, 燃焼改善技術を投入し低燃費と両立する新型エンジンを開発した。以下に新型エンジンに採用した技術について 1.3L エンジンを中心に報告する。

*四輪開発センター

2. 開発のねらい

本エンジンは「燃費の1.3L, 走りの1.5L」と排気量ごとの特徴を明確にし具体的な開発目標を以下のように設定した。

1.3L 開発目標

- (1)燃費クラストップ 10・15 モード 24 km/L
- (2)クラストップレベルの高出力・高トルク

1.5L 開発目標

- (1)クラストップレベルの高出力
- (2)燃費性能の向上 10・15 モード 19.6km/L

3. 1.3L i-VTEC

3.1. エンジン概要と主要諸元

Table 1 に従来型エンジンと比較した 1.3 L のエンジン主要諸元を示す。

本エンジンの特徴は、2バルブ i-DSI に対し、4バルブシリンダヘッドを採用し高出力化を図るとともに、吸気1バルブ休止 VTEC などによる燃焼向上技術およびフリクション低減技術を投入し低燃費を達成していることである。

3.1.1. シリンダヘッド

新型エンジンでは4バルブシリンダヘッドを採用し高回転での吸入効率を向上させ高出力化を図った。Fig. 1にシリンダヘッドの断面を示す。排気マニホールド一体型シリンダヘッドとし、触媒までのヒートマスを低下させ触媒の早期活性化を図っている。この構造は2006年モデルのCIVICで採用された技術である⁽²⁾。

動弁系の基本構成は Fig. 2 に示すように従来型と同様に1本のロッカシャフトで吸気側と排気側にそれぞれ2本配置されるアルミニウム製ロッカアームを支持する。

3.1.2. 吸入系および排気系

吸入系の構成を Fig. 3 に示す。吸気1バルブ休止運転から2バルブ運転への切り換え時など吸入空気量に変動する場合に高精度なトルク制御、空燃比制御をおこなうために電子制御スロットル(Drive By Wire:DBW)とエアフロメータ(Air Flow Meter:AFM)を採用した。また、樹脂製インタークーラマニホールドチャンバにトルク向上のためのレゾネータを、アルミニウム製インタークーラマニホールドのポート部に EGR パッセージをそれぞれ一体化することで軽量化を図っている。

排気系の構成を Fig. 4 に示す。排気マニホールド一体型シリンダヘッドの採用およびシリンダヘッド直下に1ベッド三元触媒を配置し触媒までのヒートマスを低下させ触媒の早期活性化を図った。また、空燃比の制御性向上のため直下触媒前に UEGO(Universal Exhaust Gas Oxygen Sensor) センサ、床下触媒前に HEGO(Heated Exhaust Gas Oxygen Sensor) センサを配置し空燃比の高精度制御により排出ガス低減をおこなった。

Table 1 1.3L engine specification

	2008 model FIT	2002 model Fit
Engine code	L13A (Developed)	L13A (Conventional)
Cylinder configuration	In-line 4-cylinder	In-line 4-cylinder
Bore × stroke (mm)	73.0 × 80.0	73.0 × 80.0
Displacement (cm ³)	1339	1339
Compression ratio	10.5 : 1	10.8 : 1
Valve train	SOHC i-VTEC 1 intake valve inactive	SOHC i-DSI
Number of valves	4 per cylinder	2 per cylinder
Valve diameter (mm)	In.	28 × 2
	Ex.	23 × 2
Gasoline	Regular (RON91)	Regular (RON91)
Max. power (kW/rpm)	73 / 6000	63 / 5700
Max. torque (Nm/rpm)	127 / 4800	119 / 2800

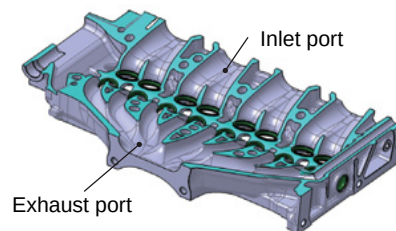


Fig. 1 Section view of exhaust manifold-integrated cylinder head

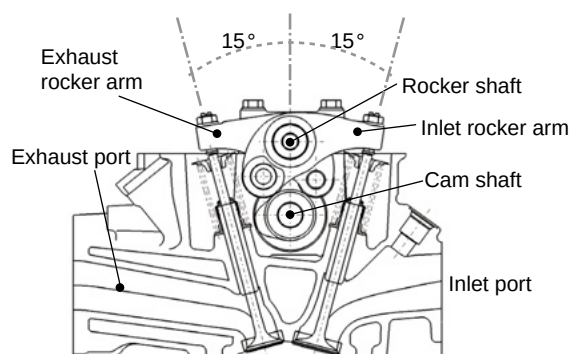


Fig. 2 Section view of exhaust manifold-integrated cylinder head

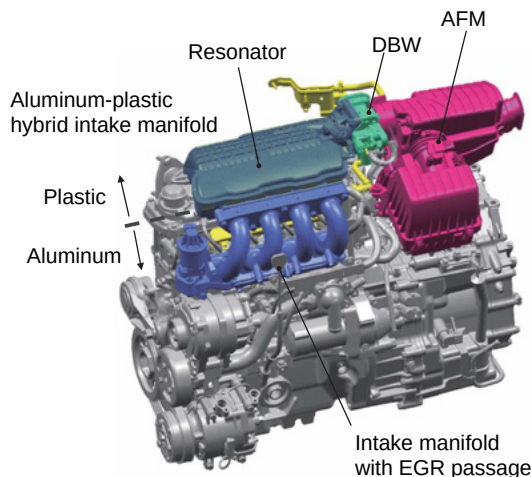


Fig. 3 Configuration of air intake system

3.2. 燃費向上技術

燃焼改善技術、フリクション低減技術、ノッキング改善技術の投入により従来型に対しエンジン単体燃料消費率を約5%改善した。

3.2.1. 燃焼改善技術

燃焼改善技術として以下の技術の採用により従来型に対し単体燃料消費率を約2%改善した。

- ・ピストン頭部形状最適化
- ・吸気1バルブ休止 VTEC 採用
- ・高着火性点火プラグ

(1) ピストン頭部形状最適化 燃焼室をコンパクトとし筒内流動の強化による燃焼改善をおこなうために、ピストン頭部形状の最適化を図った。Fig. 5に従来型と比較したピストン頭部形状を示す。従来型のピストンに対し、ピストン頭部形状を球面形状(ボールタイプ)に近づけることでタンブル流の形成に有利な形状とすると同時に燃焼室表面積を縮小している。Fig. 6にエンジン回転1500 rpm, BMEP 175 kPaでのピストン頭部形状違いによる熱勘定を示す。ボールタイプ形状の採用により時間損失および熱損失が減少し、

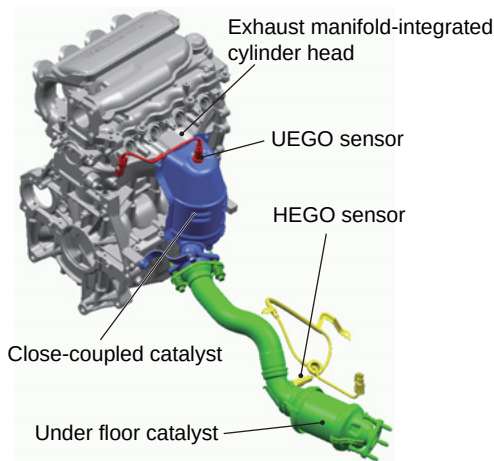


Fig. 4 Configuration of exhaust system

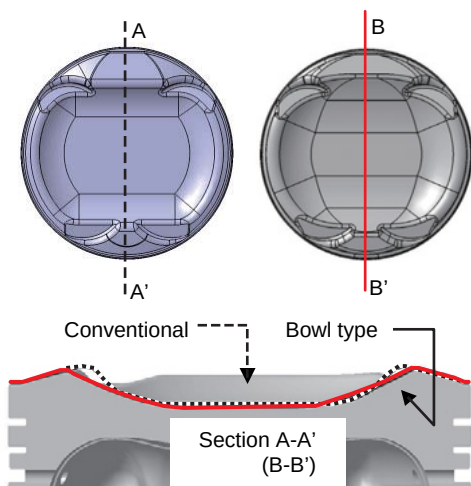


Fig. 5 Comparison of conventional and modified top form of piston

燃料消費率を約0.7%改善することができた。

(2) 吸気1バルブ休止 VTEC EGR 時の着火性および燃焼安定性を向上させるためにはスワール流強化が有効である。しかし4バルブ化により従来型の2バルブに対しスワール流が低下するため、還流できるEGRの流量が減少してしまう。本エンジンでは吸気1バルブ休止 VTEC を採用しスワール強化をおこない、EGR時の燃焼安定性を確保した。Fig. 7にバルブタイミング特性およびエンジン回転1500 rpm, インマニ圧力 -45 kPa でのバルブタイミング特性違

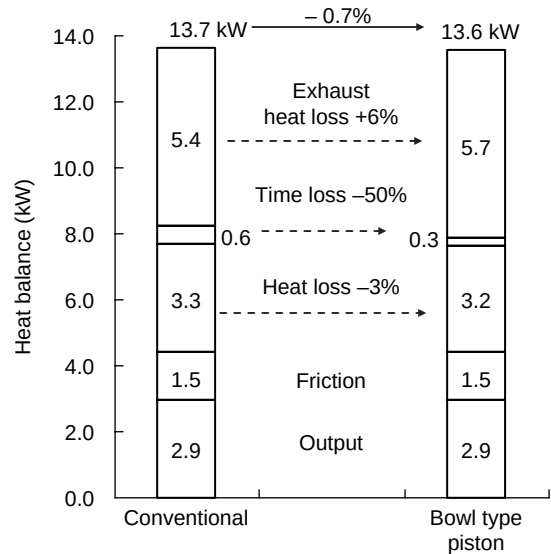


Fig. 6 Comparison of heat balance at partial load

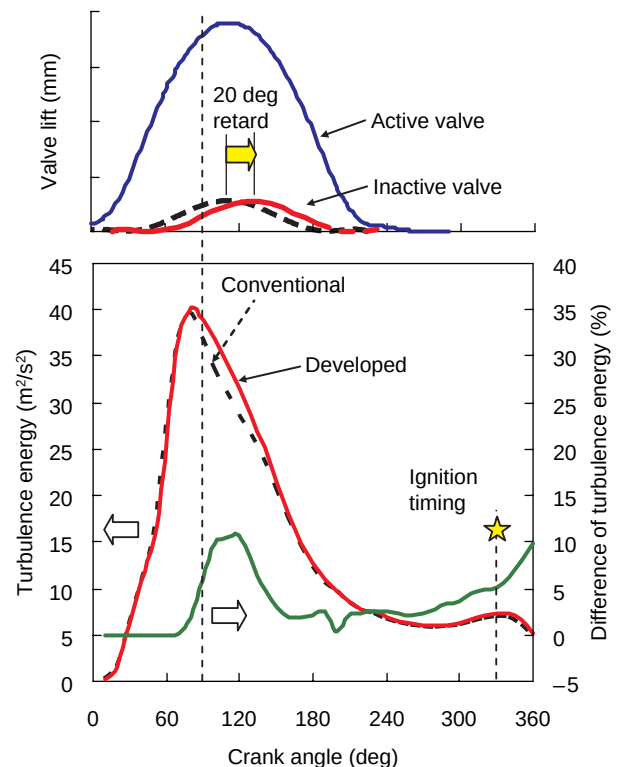


Fig. 7 Effect of inactive valve timing on turbulence energy in combustion chamber

いによる筒内乱れ強さ計算結果を示す。1バルブ休止VTECは従来型 1.5 L にすでに採用している技術であるが、新型エンジンでは筒内流動強化のため従来型よりも休止バルブのカム位相を20度遅角した。ピストンスピードが最大となるクランク角度90度前後の休止バルブリフト量が減少し筒内乱れが強化され、点火時期であるクランク角度 320 度前後においても約5%の乱れの強化が得られた。Fig. 8にエンジン回転 1500 rpm, BMEP 175 kPa における EGR 時の燃料消費率および燃焼安定性の試験結果を示す。EGR時の燃焼安定性が向上し燃料消費率で約1%の改善が得られた。

1バルブ休止と4バルブの切り替えはエンジン回転数と負荷で制御する。常用域では1バルブ休止を使用しEGRによる燃費改善を図り、トルクを必要とする領域で4バルブに切り替わる。

3.2.2. フリクション低減技術

フリクション低減技術として以下の技術を採用し、従来型に対し約7%のフリクション低減を得た。

- ・ピストンスカートの二硫化モリブデンパターンコーティング
- ・ピストンスカート形状最適化
- ・ピストンリング低張力化
- ・クランクジャーナルベアリングメタルの二硫化モリブデンショットピーニング
- ・シリンダライナのプラトーホーニング
- ・カムチェーン細幅化
- ・カムジャーナル表面粗さ低減
- ・補機ベルトオートテンショナ

Fig. 9 にピストンスカート部にパターンコーティングを施したピストンサイドビューを示す。パターンコーティングは、二硫化モリブデンコーティングをピストンスカート部に施す際に、格子状に配置した円形の凹凸をつくることでオイルの保持性を向上させピストンのしゅう動抵抗を低

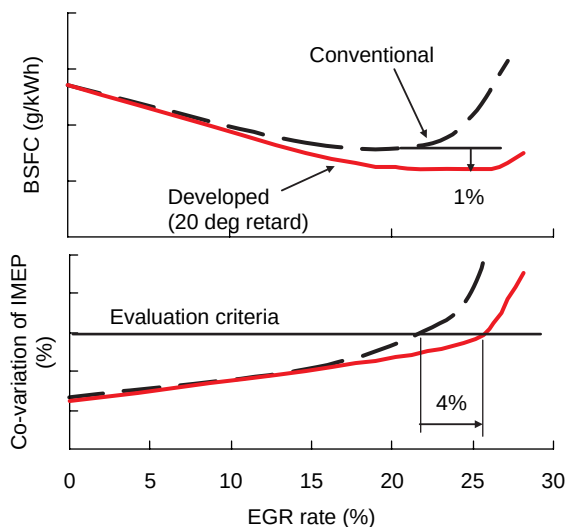


Fig. 8 Effect of inactive valve timing for BSFC and co-variation of IMEP

減する技術である。凹部は孔径および孔間の距離を考慮し摩擦係数が小さくなるように配置されている。Fig. 10にエンジン回転 1500 rpm, インマニ圧力 - 45 kPa でのエンジンフリクション試験結果を示す。パターンのない二硫化モリブデンコーティングに対し2%, 従来型に採用している二硫化モリブデンショットピーニングに対し1%のフリクション低減を得た。

3.2.3. ノッキング抑制技術

高負荷領域の運転頻度が高くなる小排気量エンジンにおいて、ノッキングの抑制は燃費改善において重要な項目である。さらに従来型のi-DSIは1気筒に2本の点火プラグを備えノッキング抑制をおこなっていたのに対し、4バルブ化にともない1点火プラグ化したため、よりノッキングの抑制が重要となる。以下のノッキング抑制技術を投入した。

- ・ボールタイプピストン
- ・冷却水循環経路最適化

(1) ピストン頭部形状 ボールタイプ形状のピストンによる筒内流動強化はノッキング抑制にも有効である。Fig. 11にエンジン回転 6000 rpm, WOTにおけるピストン頭部形状の違いによる筒内乱れ強さシミュレーション計算結果を示す。燃焼室全体の筒内の乱れエネルギーが約2%強化されており、特にノッキング発生位置と考えるエンドガスゾーンの流動が強化されている。Fig. 12にピストン頭部形状違いによるノッキングのリタード量を示す。グラフ縦軸はMBTを0 degとした場合のノッキング点火時期を示す。

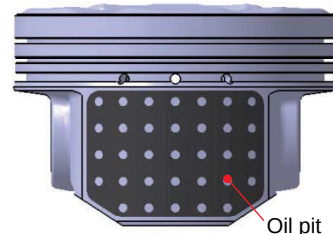


Fig. 9 Pattern coating for piston skirt

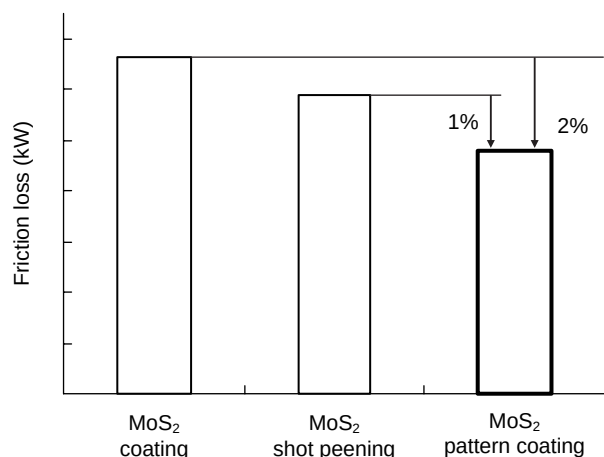


Fig. 10 Effect of pattern coating on friction loss

ボールインタイプは従来型にくらべノッキングによる点火時期リタード量が全回転にわたり 1-3 deg 減少している。

(2) 冷却水循環方式 冷却水の循環経路の最適化により各部の流速を増し、燃焼室の冷却効果を高めノッキング抑制をおこなった。Fig. 13 に従来型との冷却水循環経路の比較を示す。従来型はウォーターポンプからシリンダヘッドに入った冷却水の主流がシリンダヘッドとシリンダブロックの2系統に分かれ、さらにシリンダ側面を吸気側、排気側をそれぞれ同一方向へ流れる経路をとっていた。この方式は、冷機時にはシリンダブロックへの流れを抑制し早期暖機効果を高め、暖機時にはシリンダヘッドで

温められた冷却水をシリンダブロックへ流すことにより高温を維持しフリクションを低減することが可能であった。しかし冷却水の経路が複数となるため各部の流速は低下してしまう傾向にあった。そこでウォーターポンプからシリンダブロックへ入った冷却水の主流を一筆書きのように1本とすることで各部の流速をあげる方式を採用した。Fig. 14 にエンジン回転 6000 rpm での冷却水流速分布シミュレーション計算結果を、Fig. 15 に冷却水循環方式によるWOTでのノッキング点火時期の試験結果を示す。循環方式の変更により燃焼室周囲、シリンダブロック上部の流速が増加し冷却効果が高まり高回転におけるノッキングを抑制することができた。

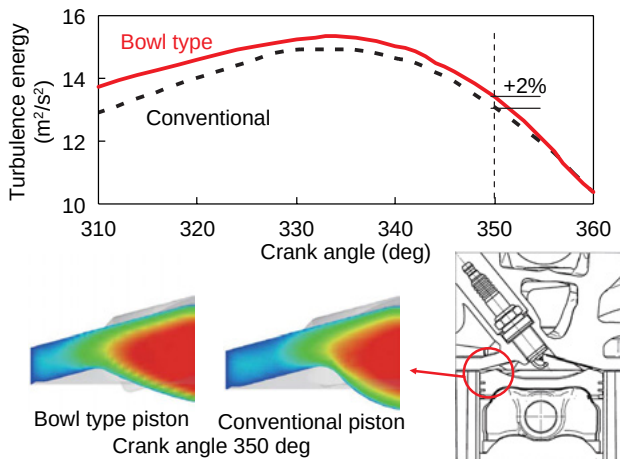


Fig. 11 Effect of piston top form on turbulence energy in combustion chamber

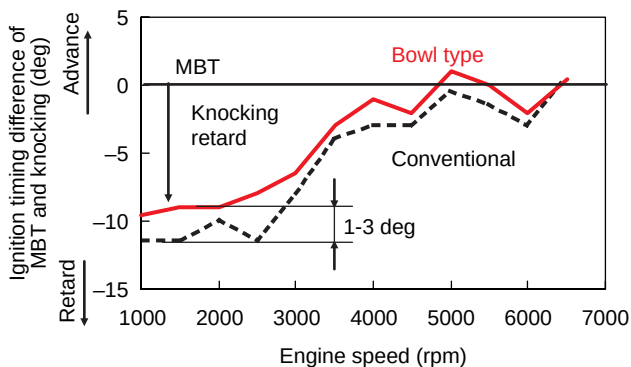


Fig. 12 Effect of piston top shape on ignition timing

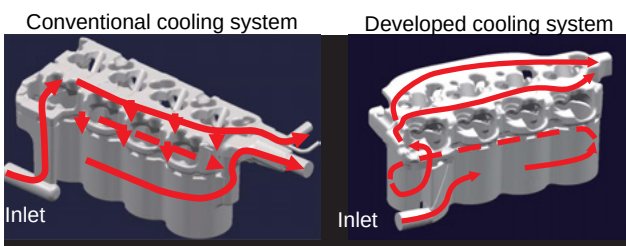


Fig. 13 Cooling circulation system

3.3. 全開出力特性

Fig. 16に全開性能曲線を示す。下記の吸入効率向上技術およびノッキング改善技術を採用し最高出力 73 kW, 最大トルク 127 Nmを達成し、従来型に対し最高出力で約20%, 最大トルクで約7%の向上を得た。

吸気効率向上

- 4バルブシリンダヘッド、ポート形状最適化
- エアクリーナ通気抵抗削減
- トルクアップレゾネーター一体型インテークマニホールド

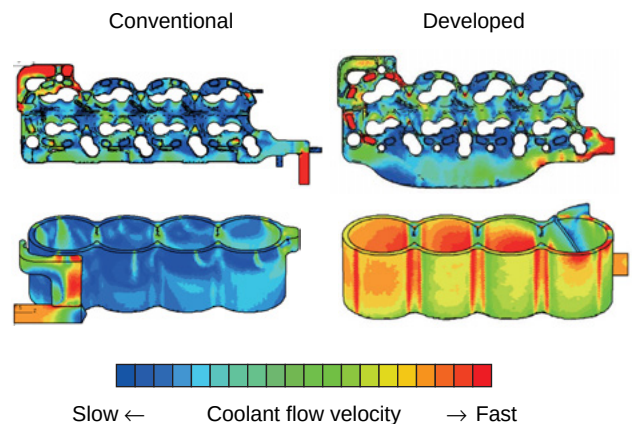


Fig. 14 Comparison of coolant flow velocity between conventional and developed flow

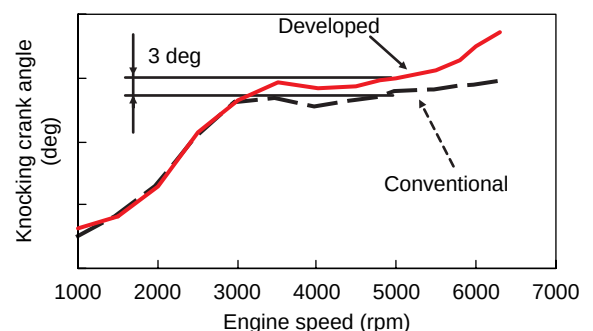


Fig. 15 Comparison of knocking between conventional cooling system and modified cooling system

ノッキング改善

- ・ボールインピストン
- ・冷却水循環経路最適化

3.4. 振動騒音低減技術

3.4.1. エンジン放射音

全開加速時の車室内エンジン透過音を低減するため、本エンジンでは 770 - 2000 Hz 領域のエンジン放射音の低減を図った。エンジン放射音対策を効率的に実施するにあたり、伝達経路解析手法⁽³⁾をエンジン単体に適用し、その結果から部位別の音発生のエネルギー寄与を算出した(Fig. 17)。その結果、オイルパンの寄与が最も高いことがわかった。オイルパン剛性の向上検討をCAEで実施し、その結果を実機に適用した結果、エンジン放射音は2.5 dBの低減を得た。Fig. 18にWOT、回転スweepにおけるエンジン放射音を示す。樹脂製ヘッドカバーの採用等を含め従来型エンジンに対し、2 - 6 dB の低減を得た。

3.4.2. ピストンスラップ音

Fig. 19 に無負荷、回転スweepにおけるシリンダライナ振動を示す。ピストンスラップ音とフリクションの低減を両立するため、ピストン挙動シミュレーション^{(4), (5)}を用い、

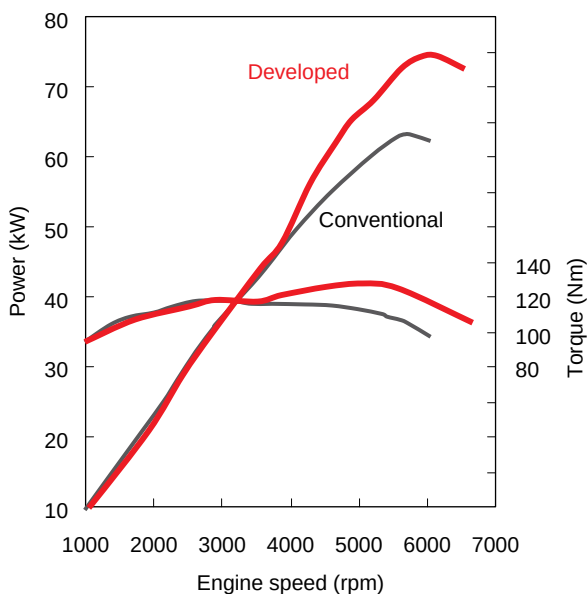


Fig. 16 Engine performance of 1.3L engine

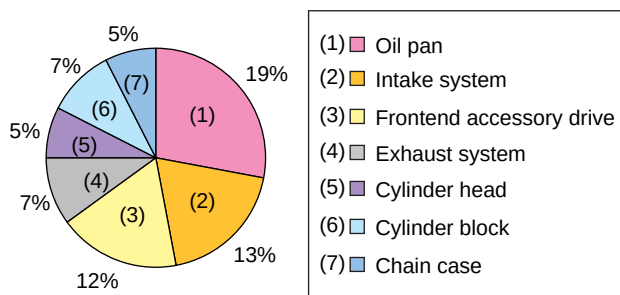


Fig. 17 Contribution to powertrain noise

ピストンオフセット量、ピストンスカート形状の適正化により、従来型エンジンに対し、シリンダライナ振動を13 dB低減しつつ、フリクションを 0.3%低減することができた。

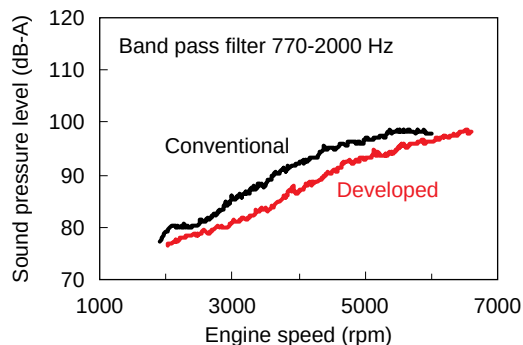


Fig. 18 Comparison of engine noise

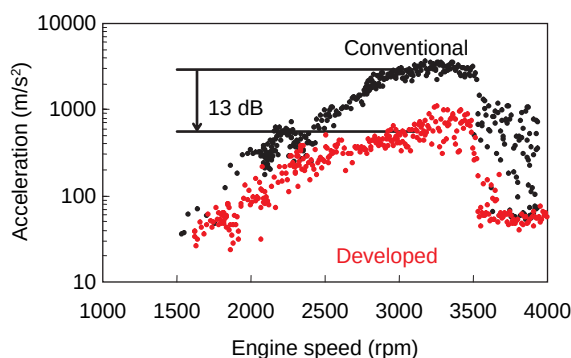


Fig. 19 Comparison of piston shape for cylinder liner acceleration

4. 1.5L i-VTEC

4.1. エンジン概要と主要諸元

Table 2 に従来型エンジンと比較した 1.5L のエンジン主要諸元を示す。従来型 1.5L が吸気1バルブ休止 VTEC を採用していたのに対し、新型においては走り性能の向上を図るため高出力型の VTEC を採用した。新型 1.3L からの主な変化点も高出力型 VTEC の採用であり、その他の基本構成は共通である。1.3L において採用した吸気1バルブ休止 VTEC と高出力型 VTEC の2種類の動弁系に対し、シリンダヘッドは共通とし、ロッカアーム、カムシャフト、ロッカシャフトホルダの変更にて対応した。Fig. 20 にロッカアーム形状を示す。動弁系については次項で詳細を述べる。

動弁系以外の出力向上技術およびフリクション低減技術は1.3Lと共通のものを採用し、従来型に対し最高出力で約 9 %、最大トルクで約 1 %の向上を得た。

4.2. 全開出力特性

Fig. 21 に従来の手法と比較した高出力型 VTEC 作動イメージを示す。高出力型 VTEC は高回転で吸気バルブを広く開角化し、バルブリフト量を増加させる技術である。従来の

Table 2 1.5L engine specification

	2008 model FIT	2003 model Fit
Engine code	L15A (Developed)	L15A (Conventional)
Cylinder configuration	In-line 4-cylinder	In-line 4-cylinder
Bore × stroke (mm)	73 × 89.4	73 × 89.4
Displacement (cm ³)	1497	1497
Compression ratio	10.4 : 1	10.4 : 1
Valve train	SOHC i-VTEC High-output VTEC	SOHC VTEC 1 intake valve inactive
Number of valves	4 per cylinder	4 per cylinder
Valve diameter (mm)	In. 28 × 2 Ex. 23 × 2	27.5 × 1
Gasoline	Regular (RON91)	Regular (RON91)
Max. power (kW/rpm)	88 / 6500	81 / 5800
Max. torque (Nm/rpm)	145 / 4800	143 / 4800

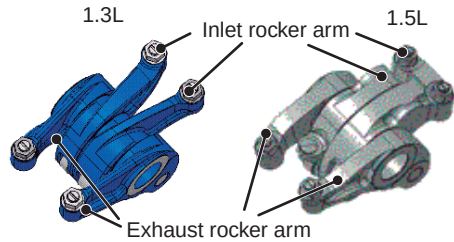


Fig. 20 Comparison of rocker arm shape

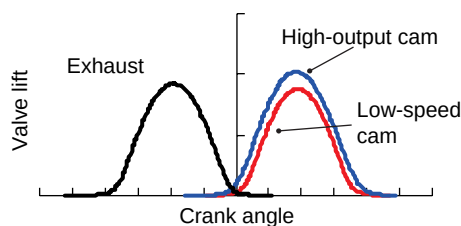
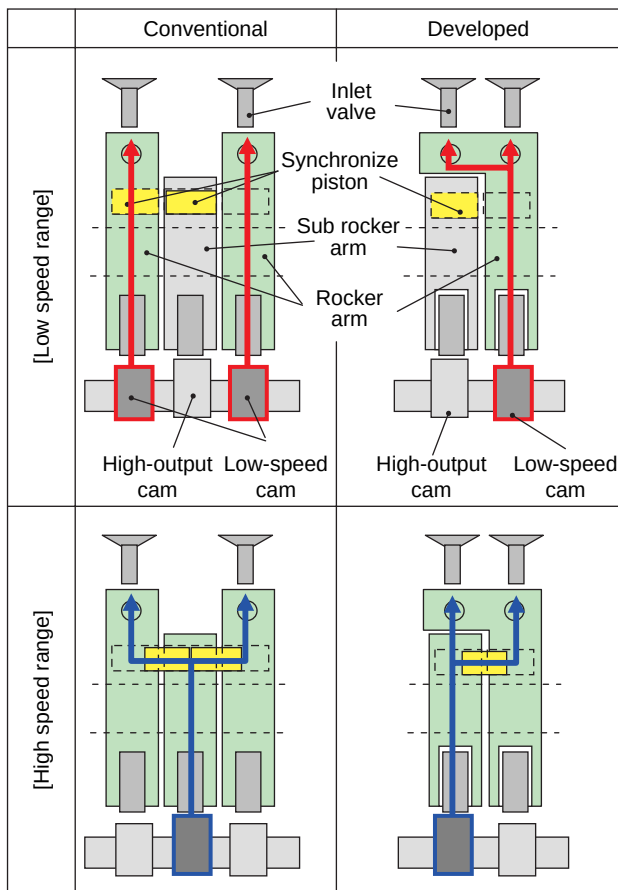


Fig. 21 Valve system operation image and cam profile

高出力型 VTEC では4バルブの場合、吸気側で3本のロッカアームを使用していた。新型エンジンではロッカアームをL字型とし、2本の吸気バルブのリフトを1本のロッカアームでおこなうようにした。これにより従来手法と同様の機能を合計2本のロッカアームでまかなうことができ、コンパクトな動弁系とすることができた。低速用カムと高出力カムの切り換え判断はエンジン回転数によりおこなう。

Fig. 22 に性能曲線を示す。高出力型 VTEC の採用および、1.3L と共通の出力向上技術により、最高出力 88 kW、最大トルク 145 Nm を達成し、従来型に対し、最高出力で約9%、最大トルクで約1%の向上を得た。

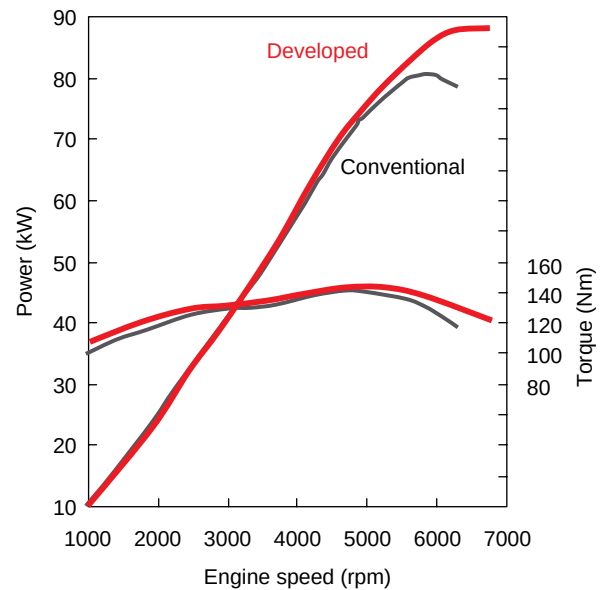


Fig. 22 Engine performance of 1.5 L engine

5. 完成車燃費

新型 i-VTEC エンジンを搭載した車両は新たに開発したトルクコンバータを採用した高効率 CVT と合わせ、1.3 L で 24 km/L、1.5 L で 19.6 km/L の 10・15 モード燃費を

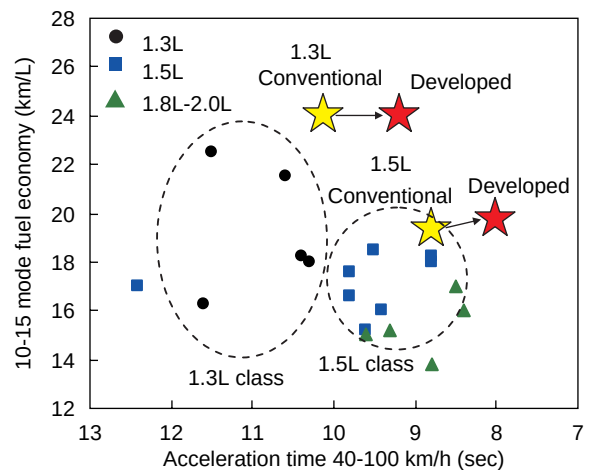


Fig. 23 Positioning of 10-15 mode fuel economy and dynamic performance

達成しつつ、高出力化による動力性能の向上を図ることができた。Fig. 23 に従来型と新型エンジンおよび日本国内で販売されている車両の中間加速性能と 10・15 モード燃費の位置づけを示す。

るフリクション解析, Honda R&D Technical Review, Vol.18, No.1, p.94-100

6. 低排出ガス技術

低排出ガス技術としてはエキゾーストマニホールド一体型シリンダヘッド、直下触媒の採用による触媒の早期活性化、直下触媒前に配置した UEGO センサと床下触媒前に配置した HEGO センサ、DBW および AFM の採用による空燃比の高精度適応制御などの技術により、従来型エンジンに対し貴金属担持量を 70% 以上低減しつつ、平成 17 年度排出ガス基準 75% 低減レベルを実現した。

7. まとめ

4バルブ i-VTEC 技術、フリクション低減技術、燃焼改善技術の採用により低燃費と高出力を両立するエンジンを開発し、以下の結果を得た。

- (1) 1.3L エンジンにおいては従来型に対し最高出力で約 20 % の向上、最大トルクで約 7 % の向上を得ながら高効率 CVT を組み合わせた車両で 24 km/L の 10・15 モード燃費を達成した。
- (2) 1.5L エンジンにおいては従来型に対し最高出力で約 9 % の向上、最大トルクで約 1 % の向上を得ながら 19.6 km/L の 10・15 モード燃費を達成した。
- (3) 排気マニホールド一体型シリンダヘッド、直下触媒、高精度空燃比制御の採用により 1.3L、1.5L とともに 10・15 と JC08C モードにて平成 17 年度排出ガス基準 75% 低減レベルを達成した。

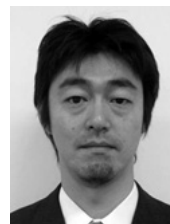
参考文献

- (1) 中山幸夫, 鈴木誠, 岩田洋一, 山野順司: 2002 年モデル「Fit」用 1.3L 2 プラグエンジンの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.13, No.2, p.43-52
- (2) 瀬古一行, 多賀渉, 鳥居健史, 中村聡, 秋間和洋, 関谷明堂: 新型 CIVIC 用 1.8L i-VTEC エンジンの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.18, No.1, p.8-15
- (3) 能村幸介, 吉田準史: 主成分回帰法を用いた車内音の伝達経路解析手法, Honda R&D Technical Review, Vol.18, No.1, p.136-141
- (4) 小林利彰, 嶽和秀, 神谷満好, 高橋幸敬: 3次元ピストン挙動シミュレーションによるピストン打音予測, Honda R&D Technical Review, Vol.19, No.1, p.156-162
- (5) 佐藤謙次, 藤井欽也, 伊藤真, 香田信介: シリンダボア変形を考慮したピストン挙動シミュレーションによ

■著 者■



田岸龍太郎



佐藤 務



川口 仁



萩原 祥治