

2001 モデル「Civic」用 1.5L リーンバーンエンジンの開発

Development of a 1.5L Lean-burn Engine for the 2001 Civic

松 木 正 人*

Masato MATSUKI

渡 辺 勝 志*

Katsushi WATANABE

大 浦 秀 二*

Hideji OHURA

木 下 裕 介*

Yuusuke KINOSHITA

要 旨

新型シビック用に開発した 1.5L SOHC-VTEC リーンバーンエンジンは、吸気ポートや燃焼室形状の改良による燃焼改善とフリクションの低減により、10・15 モード燃費で 20km/L の低燃費を達成した。低エミッション対応として NO_x吸着反応型三元触媒を用いた新エキゾーストシステムの採用も合わせ、平成 12 年度排ガス規制値の 50%減の低排ガスレベル(「優一低排出ガス」認定)を達成した。

ABSTRACT

A 1.5L SOHC-VTEC lean burn engine designed for 2001 model Civic achieves the high fuel economy (20km/liter based on 10·15 mode) and more than 50% reduction from the 2000 emission standards in Japan. This engine reduced the engine friction and utilized newly designed intake-port and combustion chamber for the improved combustion characteristics. In addition, exhaust system with NO_x adsorption reduction type three way catalyst is adopted to achieve the low-emissions.

1. まえがき

地球環境保護、省資源の観点から、自動車の低燃費化と排気エミッション低減に対する要求はますます強くなってきている。ガソリンエンジンにおいては、リーンバーンに加え、筒内直噴、ミラーサイクルなど様々な形式のエンジンが研究、商品化されている。ホンダにおいてもシビック用エンジンとして 1992 年に 1.5L VTEC-E リーンバーンエンジン⁽¹⁾、1996年にはCVTと組み合わせた1.5L 3ステージVTEC リーンバーンエンジン⁽²⁾、アコード用エンジンとしては 1998 年に 1.8L VTEC リーンバーンエンジン⁽³⁾など VTEC 機構(VTEC: Variable Valve Timing and Lift Electronic Control)を応用したリーンバーンエンジンを継続して研究開発してきた。今回、新型シビック用のパワートレインとしてリーンバーンを更に改良した 1.5L SOHC-VTEC エンジンと CVT を組み合わせた新しいパワートレインを開発したので紹介する。

2. 開発のねらい

新型シビックの開発コンセプトである「革新パッケージによる新価値の創造」と「徹底した安全・環境対応」および「全世界対応」を実現するため、パワートレインは基本骨格から

見直しを行った。車両のパッケージに対応したコンパクト設計を基本に、エンジンの燃焼改善とフリクション低減および CVT の効率向上による燃費向上、リーン NO_x 触媒の採用や排気系の改良による低エミッション化をねらいとした。

開発の具体的目標は以下の通りである。

- (1)国内大衆車クラス燃費 No.1
- (2)グローバルスタンダードに適合する低エミッション性能
(米国 ULEV: Ultra Low Emission Vehicle 適合ポテンシャル)
- (3)従来比 -10%のコンパクト設計
- (4)常用域での高レスポンス

3. エンジンの概要と主要諸元

Fig.1にエンジンの概観図を、Table 1に主要諸元を示す。

コンパクト設計として、一般補機の配置変更とそれにもなうシリンダーブロックの改良、樹脂インテークマニホールドの採用を含む吸入系の大幅レイアウト変更を行った。また、エンジンダウンビュー(Fig.2)に示すように、エアクリーナと吸気レゾネータチャンバをエンジンとトランスミッション上に全て集約し、パワートレイン全体のコンパクト化と同時にモジュール化も図った。

*栃木研究所

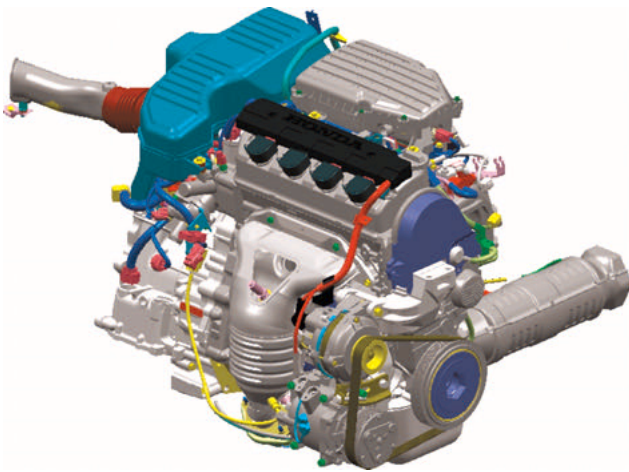


Fig.1 View of 2001 model lean-burn engine

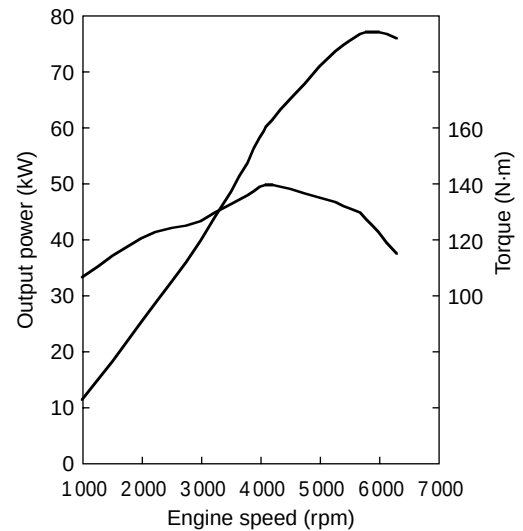


Fig.3 Engine performance

Table 1 Engine specification

Engine code	D15B	
Cylinder configuration	In-line 4-cylinder	
Bore × stroke (mm)	75 × 84.5	
Displacement (cm ³)	1493	
Compression ratio	10.2 : 1	
Valve train	SOHC VTEC	
Number of valves	4 per cylinder	
Valve diameter (mm)	In.	30
	Ex.	26
Fuel supply system	Programed fuel injection	
Ignition system	Programed ignition	
Max. power (kW/rpm)	77 / 5800	
Max. torque (N·m/rpm)	139 / 4200	

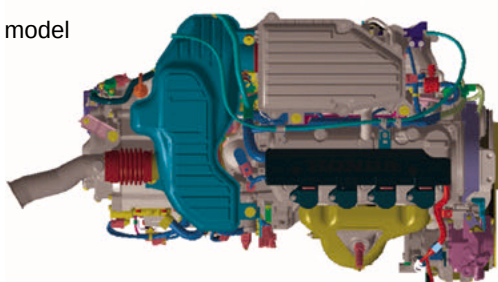
エンジンは、ピストン頭部形状等による燃焼室形状の最適設計と各部のフリクション低減、更には低エミッション化などの目的でほとんど全ての部品を新設計としている。

Fig.3 にエンジン性能曲線を示す。出力特性は CVT による変速比制御に合った低速トルク重視の設定とし、高い燃費性能と常用域でのリニアな走り感の両立を達成した。

4. 低燃費技術

低燃費技術を開発するにあたり、エンジン、CVTおよび車体において高い目標を掲げ、実現すべく検討を行った (Fig.4)。その結果 10・15 モード 20km/L の燃費性能を達成した。

2001 model



1999 model

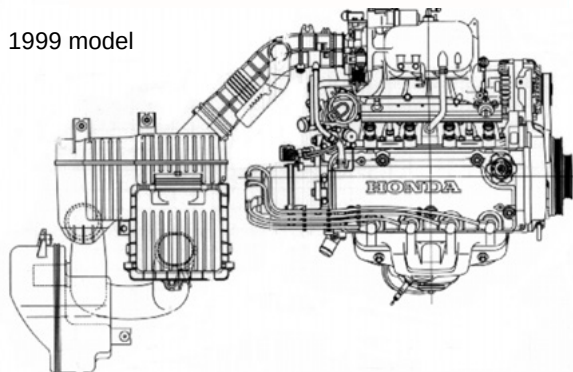


Fig.2 Engine down view

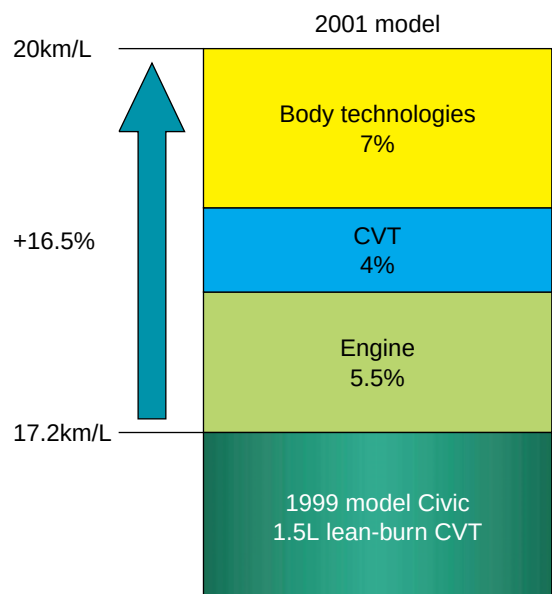


Fig.4 Ratio of contribution to improve 10·15 mode fuel economy (4door)

4.1. モード燃費の位置付け

Fig.5 に車両重量と国内 10・15 モード燃費の関係を示す。従来の理論空燃比(Stoichiometric)エンジン搭載車両に対し、リーンバーンエンジン搭載車両は 10%程度燃費が良い。このリーンバーンエンジン搭載車両に対し、筒内直噴エンジン(DI)搭載車両は更に 8%程度燃費が良い、DIエンジンの燃費性能が優れていることを示している。それに対し、今回開発したリーンバーンエンジンを搭載したシビックは、DI搭載車両に対して更に 8~12%程度燃費に優れた位置付けとなっている。

4.2. エンジンの燃費向上手法

Fig.6 にエンジン総排気量と正味燃料消費率BSFC(Brake specific fuel consumption)の関係を示す。本エンジンは従来型に対し、ストイキ燃焼で 8%の BSFC 低減が図れた。リーンバーン燃焼ではさらに 10%の BSFC 低減となり、トータルで 18%の BSFC 低減を達成した。この値は排気量換算でインサイト搭載のエンジン⁽⁴⁾⁽⁵⁾に匹敵する位置付けである。

本エンジンの燃費向上の特徴は、リーンバーンの改良とフリクションの大幅な低減を実現したことである。リーンバーンの改良として、シリンダ内の混合気の乱れとスワールをより強化する新スワールポートおよび熱効率を向上させるコンパクトな燃焼室を採用した。フリクション低減の手法としては、エンジン細部にわたる形状見直し、材料変更および加工処理方法の改良を行なった。

次に、この燃費を達成した要素技術について述べる。

4.2.1. 吸気ポート形状と燃焼室形状

シリンダ内に流入した希薄な混合気を安定して燃焼させるためには、点火プラグ周りに着火しやすい混合気を形成し周囲の希薄な混合気にすばやく火炎を伝播させる必要がある。そのためには筒内にスワール(横渦)とタンブル(縦渦)をバランス良く発生させることが重要である。今回開発したスワールポートは従来のポート形状に対してタンブル成分を強化し、スワール比 2.6、タンブル比 2.0、スワール傾き角 α ⁽⁵⁾37deg となる形状とした(Fig.7)。このスワール傾き角は、1.0L ~ 1.8L リーンバーンエンジンによる実験結果において希薄燃焼限界と良い相関を示し、吸気ポート形状の設計に有効な指標となる。

筒内流動とともに筒内の混合気形成も希薄燃焼に重要な因子である。吸気ポート形状に対する筒内混合気分布をシミュレーションで検討した。計算条件は平均空燃比 A/F=22 (空気過剰率 1.5)、燃料噴射時期=吸気 TDC 後 40deg である。画像面はイグニションプラグ中心電極位置に対する水平断面と垂直断面である。Fig.8 に実機の点火するタイミングに相当する圧縮上死点前 40deg での筒内混合気分布を示す。新型ポートは従来ポートに対し、プラグ中心電極近傍に濃い混合気が形成されており、希薄燃焼限界向上のテスト結果(Fig.9)と良い相関を確認した。

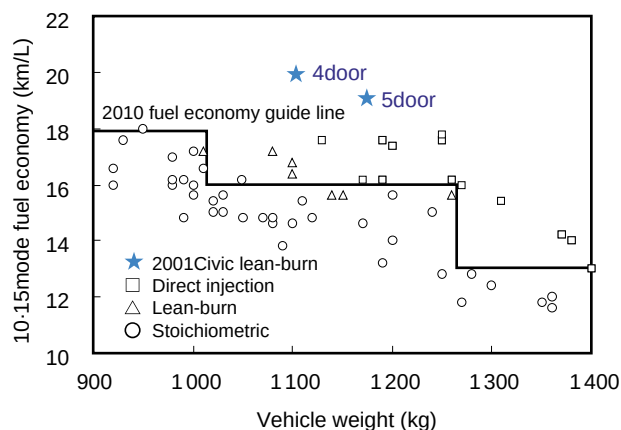


Fig.5 Relationship between vehicle weight and 10-15mode fuel economy in production gasoline vehicles

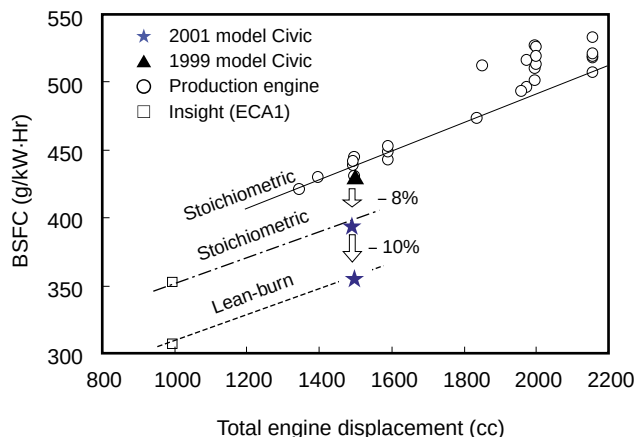


Fig.6 Improvement of engine thermal efficiency

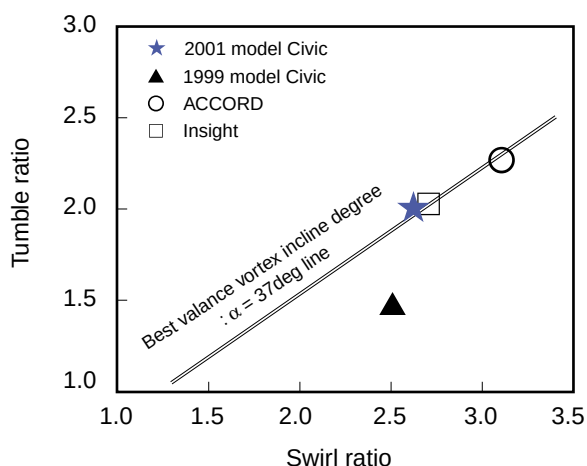


Fig.7 Relation between swirl and tumble intensity

燃焼室形状も同様のシミュレーションとテストを行い、ボールインタイプのピストン頭部形状とスキッシュ形状を選定した。

Ne = 1500rpm
 P intake = 48kPa
 A/F (averaged) = 22
 Crank angle = 40deg BTDC.

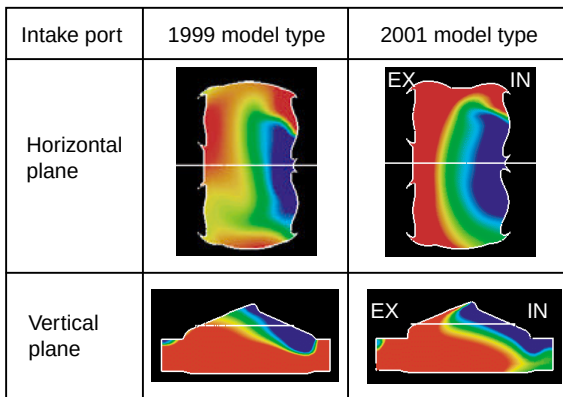


Fig.8 Effect of intake port shape to in-cylinder A/F distribution

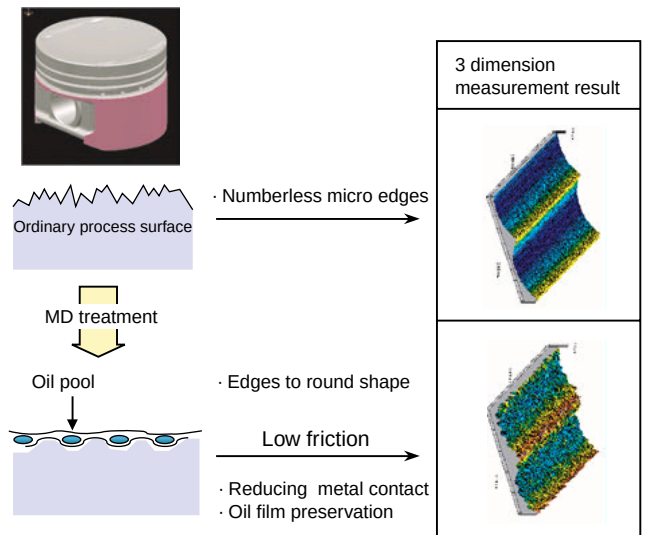


Fig.10 Face treatment of piston skirt portion

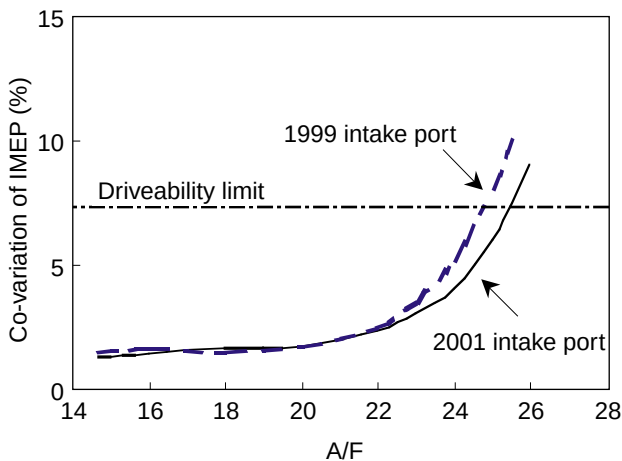


Fig.9 Comparison of lean-limit characteristics with intake port shape

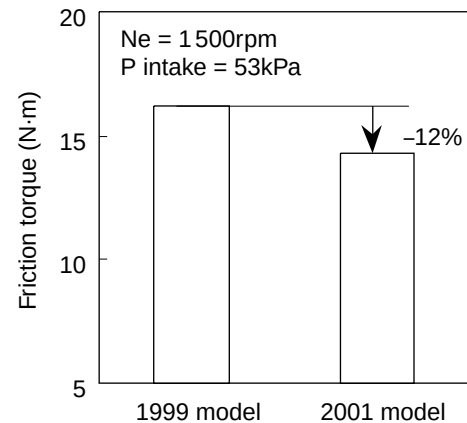


Fig.11 Friction loss comparison

4.2.2. フリクション低減

燃焼の改善とともに、フリクションの低減も燃費性能の向上には重要である。

フリクション低減技術として、

- ・ピストンのマイクロディンプル(MD)処理⁽⁶⁾
- ・低張力ピストンリング
- ・クランクピン幅の縮小
- ・低粘度エンジンオイル(0W-20)
- ・ローラフォロワ

などを採用している。

Fig.10 にピストンスカート MD 処理の概要を示す。この処理は、ピストンスカート表面に平均粒径 40 μ m の略球形セラミックビーズを秒速 100m 以上の高速で衝突させて微小なくぼみを作り出すもので、これによりピストンとシリンダ間の油膜保持性能を高め、ピストン損失の低減と焼き付き荷重の向上が確認できた。

これらの低フリクション技術に加え、バルブスプリング荷重低減、ピストンリング張力低減、クランクシャフトのピン幅縮小、低粘度エンジンオイル⁽⁷⁾(0W-20/SJ/GF2)などの技術も採用した。

エンジン全体のフリクションを Fig.11 に示す。前述した摩擦損失低減技術により、従来型に比べ12%のフリクション低減を達成した。

4.3. CVT

CVT はエンジンの燃料消費率(BSFC)の低い領域で運転することが可能であり、燃費向上に優れている。ホンダにおいては、1996 年よりシビック用に CVT を量産化している。今回、新型パワートレインとして CVT の油圧制御系の改良やベルト側圧の見直しにより伝達効率の向上を図った。

Fig.12 に今回開発した CVT の運転頻度を 4AT と比較し示す。エンジンの運転領域を低回転側に保つことと、BSFC の低い領域で運転するようにエンジン回転の制御を行っている。

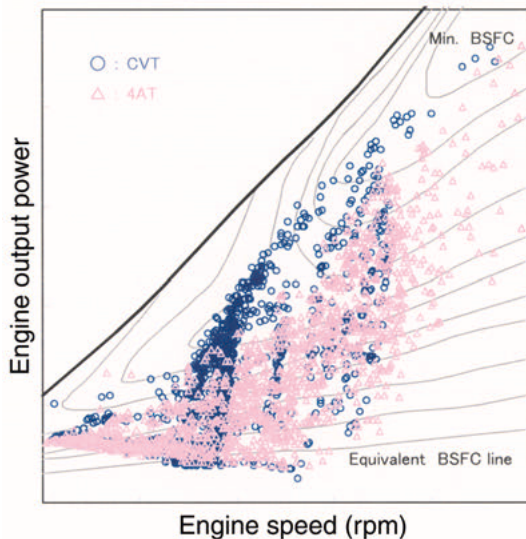


Fig.12 Comparison of 10-15 mode driving range between CVT and 4AT

5. 低エミッション技術

従来、空気過剰燃焼であるリーンバーン領域では三元触媒による NOx の浄化が期待できないため、低エミッション化を図ることが課題である。

本エンジンのエミッションシステムを検討するに当たり、国内販売機種の目標として、国内平成 12 年度規制の 50% 減(「優一低排出ガス」認定)とした。同時に、グローバルスタンダードとも言える米国 ULEV をクリアできるポテンシャルを持つことを前提に、各仕様の検討を行った。

5.1. エキゾーストシステム

本エンジンのエキゾーストシステムを Fig.13 に示す。コールド領域および理論空燃比領域での浄化性能を確保するため三元触媒をエキゾーストマニホールド直下に配置すると同時に、リーンバーン領域での NOx 低減のため NOx 吸着反応型三元触媒⁽⁸⁾を床下に配置した。

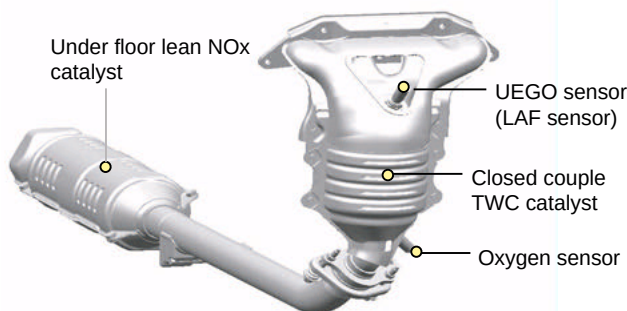


Fig.13 Layout of NOx adsorption reduction type three way catalyst system

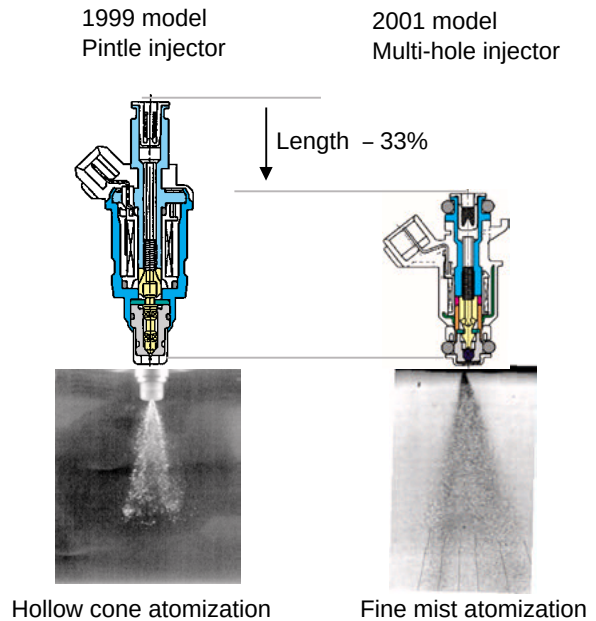


Fig.14 Small fuel injector delivering efficient atomization

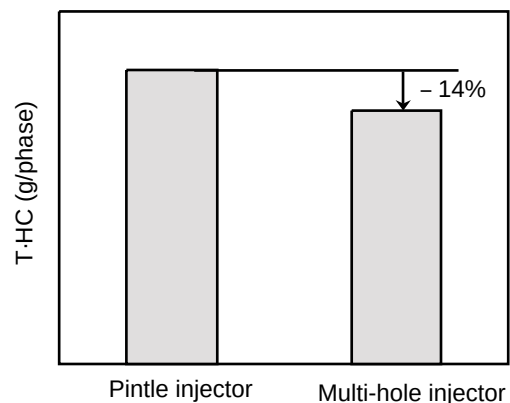


Fig.15 LA-4 cold transient mode emission

5.2. マルチホールインジェクタ

Fig.14 に本エンジンで採用した 4 穴マルチホールインジェクタを示す。このインジェクタは従来品に対し、全長で 33%、重量で 65% の小型軽量化を達成した。また、従来のピントルタイプに対し、4 穴タイプの噴射孔を採用した。その結果、噴霧の微粒化と同時に吸気ポートへのガソリン付着量が低減し、コールドスタート (LA-4 Cold transient mode) 時の HC を 14% 低減した (Fig.15)。

5.3. エミッション達成値

これまで述べてきた低エミッション技術に加えて、リーンバーンと理論空燃比の切り替え時、および EGR 領域におけるエンジン制御の最適化を図り、10・15 モード燃費 20km/L の低燃費と平成 12 年規制値の 50% 減という低エミッションレベルを両立することができた (Fig.16)。

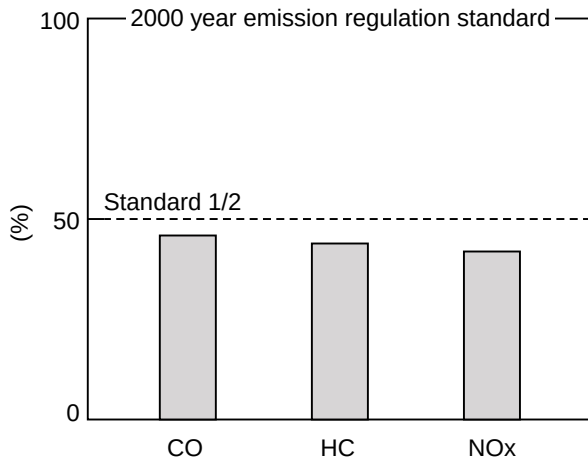


Fig.16 11 mode emission

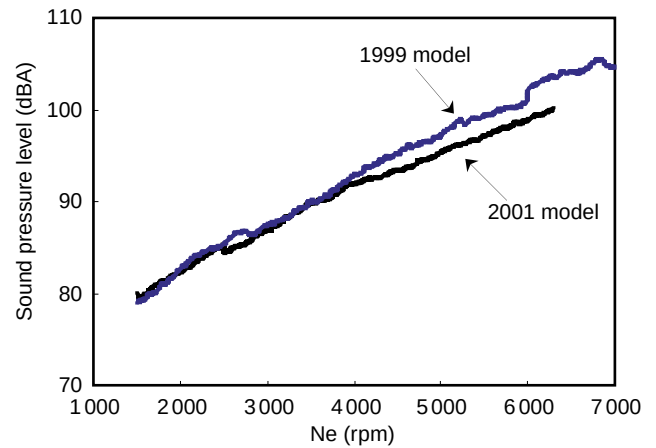


Fig.17 Reduction of engine radiation noise

6. エンジン振動騒音低減

燃費性能の向上や低エミッション化に加えて静粛性の向上も大きな開発目標の一つとした。特に加速時や高回転時のエンジン騒音低減を主なねらいとし、高剛性エンジンサイドマウントブラケットの採用、クランクシャフトの剛性向上、等長インテークマニホルドによる吸気口ランブルノイズ低減などを採用した。

従来型に対するエンジン外郭騒音の比較を Fig.17 に示す。従来型に対し、高回転域で2～3dBの低減効果を得た。

6.1. エンジンサイドマウントブラケット

Fig.18 にエンジンサイドマウントブラケットの従来モデルとの比較を示す。本エンジンでは、材料を FC からアルミに変更すると同時に、ACGステーと一体化することで高い剛性と軽量化を両立し、エンジンから車体に伝達する振動を低減している。

6.2. クランクシャフト

Fig.19に示すように、クランクシャフトのピン幅を23mmから20mmに変更することでクランクシャフトのウェブを1.5mm厚くし、クランクシャフト全体の剛性を高めクランク打音の低減を図っている。また、クランクピン幅の縮小化は同時にフリクションの低減にも寄与している。

6.3. インテークマニホルド

ランブル系ノイズの原因の一つとして吸気口からの不整次成分(特に 0.5 次成分)による吸気ランブル音がある。この原因はスロットルボデーに対し、各気筒の吸気管開放端位置が等長でないために発生する。本エンジンではインテークマニホルドの材料をアルミから樹脂とし、成形の自

1999 model 2001 model

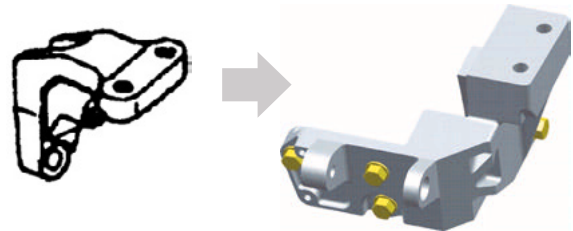


Fig.18 Improving the rigidity of the engine side mount bracket

1999 model 2001 model

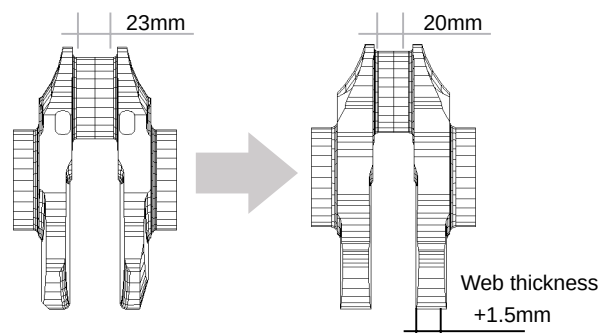
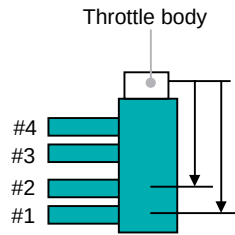
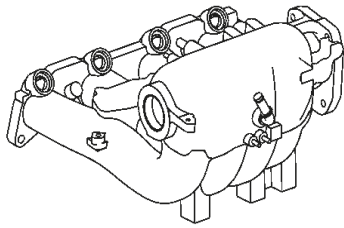


Fig.19 Improving the rigidity of the crank shaft

由度を利用し各吸気管開放端を等長にレイアウトした (Fig.20)。

Fig.21 に、本エンジンの吸気口ランブル音の次数成分を示す。従来モデルとの比較で明らかなように、本エンジンでは 0.5 次成分が大幅に低減されており、その結果ランブル系のノイズを低減した。

1999 model



2001 model

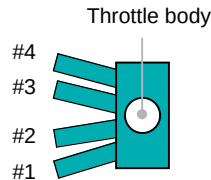
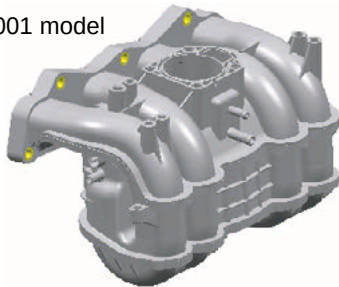
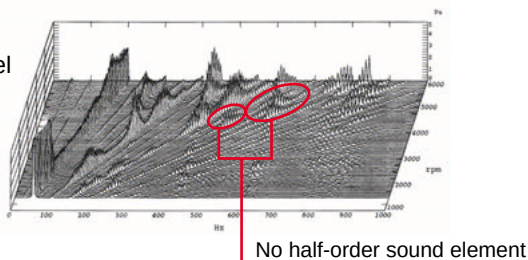


Fig.20 Adopting pipes of equal length

1999 model



2001 model

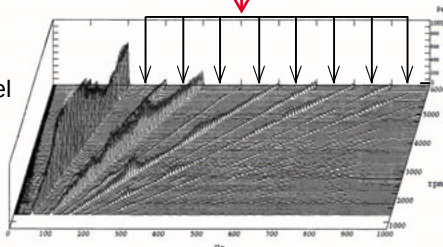


Fig.21 No air-sucking-induced rumbling noise

7. まとめ

燃焼改善とフリクション低減による新型 D15B リーンバーンエンジンの熱効率向上, CVT 伝達効率の向上と車体の空力やこもり抵抗の低減を合わせ, 10・15 モード燃費 20km/L を達成した。また, リーンバーン対応の NO_x 吸着反応型三元触媒システムの採用により, 平成12年規制値の50%減(「優一低排出ガス」認定)の低エミッションレベルを達成した。

8. あとがき

今回開発したリーンバーンシステムは米国で発売される 1.7L エンジンにも採用され, リーンバーンによる高い燃費性能と ULEV を両立し, 当初の狙いであった「グローバルスタンダードに適合できる低エミッションシステム」であることを証明した。

本パワートレインは, 21世紀に向けて益々重要となる低エミッションと低燃費の両立という命題に対して, 一つの回答となったと確信している。今後は更なる改良を重ねて, 時代の要請に応えられる高効率パワートレインの開発をめざしていきたい。

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) M.Matsuki, et al.,: Development of a Lean Burn Engine with a Variable Valve Timing Mechanism, SAE Paper 960583
- (3) 林有登, 櫻原一雄, 高林徹, 遠藤太郎: アコード/トルネオ用 1.8L リーンバーンエンジンの開発, HONDA R&D Technical Review, Vol.10, p.49-57 (1998)
- (4) 三浦啓二: モータアシスト式ハイブリッド車用リーンバーンエンジンの開発, JASE SYMPOSIUM, No.03-00 (新開発エンジン)(2000)
- (5) 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 (1999)
- (6) 荻原秀美: 表面改質によるエンジンの摺動抵抗低減技術, 微粒子衝突表面改質研究会主催講演(最新の表面改質技術 微粒子衝突表面改質技術の応用)(1999)
- (7) 田中秀樹, 長島隆, 佐藤孝之, 川内昌司: 0W-20 低粘度エンジンオイルの省燃費効果, HONDA R&D Technical Review, Vol.11, No.2, p.143-148 (1999)
- (8) 大野弘志, 鷹嘴年克, 高岡伸明, 坂主政浩, 杉浦賢司: NO_x 吸着反応型三元触媒システムの開発, HONDA R&D Technical Review, Vol.11, No.2, p.45-50 (1999)

■ 著 者 ■



松本 正人



大浦 秀二



渡辺 勝志



木下 裕介