

2002 年モデル「Fit」用 1.3L 2 プラグエンジンの開発

Development of a 1.3L 2PLUG Engine for the 2002 year Model Fit

中山 幸夫* 鈴木 誠*
Yukio NAKAYAMA Makoto SUZUKI
岩田 洋一* 山野 順司*
Youichi IWATA Junji YAMANO

要 旨

新世代パワープラント「i-シリーズ」として、軽量・コンパクトな 1.3L 4 気筒エンジンを開発した。このエンジンは、各気筒 2 本のプラグを採用し、エンジンの運転状況に応じた高精度な 2 点位相差点火制御を行ない急速燃焼を実現した。さらにフリクション低減と新開発 CVT を採用し、10・15 モード燃費で 23km/L の低燃費を達成するとともに平成 12 年度排出ガス規制値の 50% 減の低排出ガスレベル(「優一低排出ガス」)認定も実現した。

ABSTRACT

A lightweight, compact, and 1.3L 4-cylinder engine was developed as the new-generation i-Series power plant.

This engine has twin plugs for each cylinder, and achieves rapid combustion by means of high-precision dual-point phased ignition control that depends on the engine's operating conditions. In addition, reducing friction and using the newly developed CVT have yielded low fuel consumption of 23 km/L in 10-15 mode.

The engine has achieved "Low-Emissions Excellence certification in Japan" by reducing exhaust emissions 50% from the fiscal year 2000 emission standards.

1. まえがき

環境保護、省資源に対し、ホンダは環境(排出ガス)・燃費・走り性能などを向上させた軽量・コンパクトなパワートレイン「i-シリーズ」を開発し、VTECにカムシャフト位相連続可変機構を組み合わせた「i-VTEC」⁽¹⁾を「ストリーム」に搭載し発表した。「i-シリーズ」は、エンジン回転数と負荷状況に応じた最適な燃焼制御を行なう新世代エンジンの総称である。

今回、「i-シリーズ」の小型車専用エンジンとして軽量・コンパクトで低燃費、低排出ガスの 1.3L SOHC 2 プラグ 4 気筒エンジン「i-DSI」を新たに開発したので紹介する。

(DSI : Dual and Sequential Ignition)

2. 開発のねらい

本エンジンを搭載する新型小型車「Fit」の開発コンセプトは、「大きな室内空間」と「世界一の低燃費性能」である。これらを実現するため、エンジンの燃費改善を主体にフリクション低減、および排出ガス斜流導入式触媒の採用や排気系の改良による低エミッション化と車両のパッケージに対

応したコンパクト設計を開発のねらいとした。

開発の具体的な目標は以下の通りである。

- (1) 世界一の低燃費性能(10・15 モード燃費 : 23km/L)
- (2) 高トルク性能
- (3) 平成12年度排出ガス規制値の50%減(優一低排出ガス)
- (4) 広い居住空間を実現するエンジンのコンパクト設計

3. エンジンの概要と主要諸元

Fig. 1にエンジンの概念図を、Table 1に主要諸元を示す。

軽量・コンパクト設計として、Fig. 2 に示すように、補機ブラケットレスと補機ベルトのサーペンタイン化、樹脂ロングインマニおよびカムチェーン駆動の採用等によって、現行 1.3L D13B 型エンジンに対し、前後長で 118mm、全幅で 69mm のコンパクト化を図り、エンジン重量で 8 % の軽量化を図った。また、Fig. 1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トランスミッション上に集約し、パワートレイン全体のコンパクト化を図った。

本エンジンの特徴は、各気筒 2 本のスパークプラグを対角に配置(Fig. 3)、2 点位相差点火時期制御による急速燃焼で高圧縮比化(9.2→10.8)を図り、燃費改善と出力向上を両

立したことである。

Fig. 4に従来型と本エンジンに採用したシリンダヘッドの断面図を示す。従来型に対し1本のロッカシャフトでインレットロッカアーム、エキゾーストロッカアームを支持する構成とし、バルブ挟み角を 46° から 30° まで狭くす

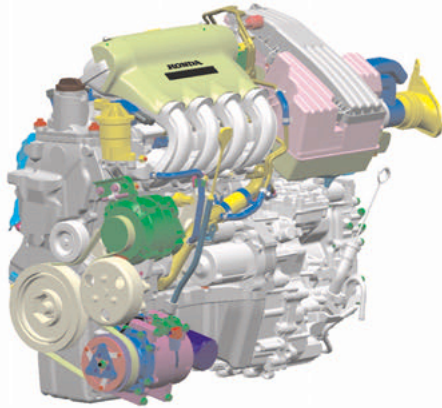


Fig. 1 View of 2002 model i-DSI engine

Table 1 Engine specification

Engine code	2002model i-DSI L13A	1999model Logo D13B
Cylinder configuration	In-line 4-cylinder	In-line 4-cylinder
Bore × stroke (mm)	73 × 80	75 × 76
Displacement (cm ³)	1339	1343
Compression ratio	10.8 : 1	9.2 : 1
Valve train	SOHC 2Valves	SOHC 2Valves
Number of valves	2 per cylinder	2 per cylinder
Valve diameter (mm)		
Inlet	32	30
Exhaust	28	26
Fuel supply system	Programmed fuel injection	Programmed fuel injection
Ignition system	Dual point sequential ignition	Single point ignition
Max. power (kW/rpm)	63/5700	49/5500
Max. torque (N·m/rpm)	119/2800	103/2500

ることで燃焼室のコンパクト化を実現した。また、急速燃焼の促進としてシリンダ内の混合気の乱れとスワール・タンプルを強化する新吸気ポートを採用した。さらに、燃費改善のため、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い、フリクションの低減を図った。

Fig. 5にエンジン性能曲線を示す。Table 1に示す諸元変更、バルブリフト特性変更による体積効率向上および吸

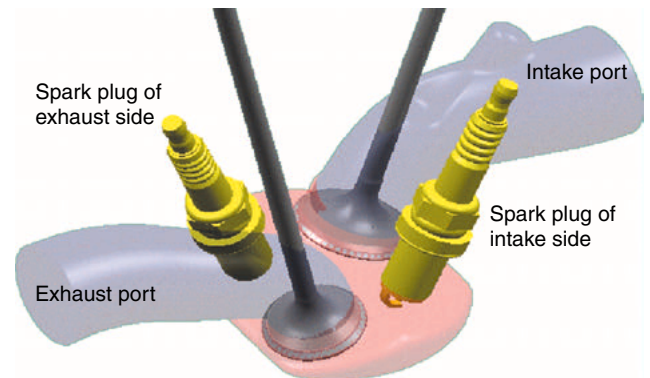


Fig. 3 Combustion chamber configuration

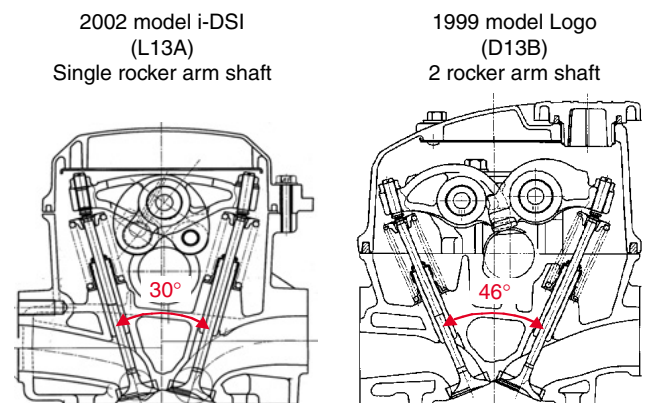


Fig. 4 Section view of cylinder head

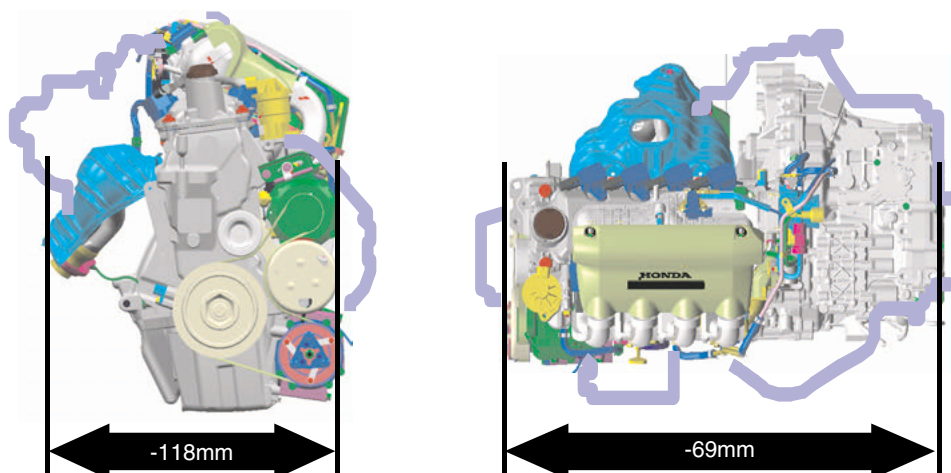


Fig. 2 Engine side and down view

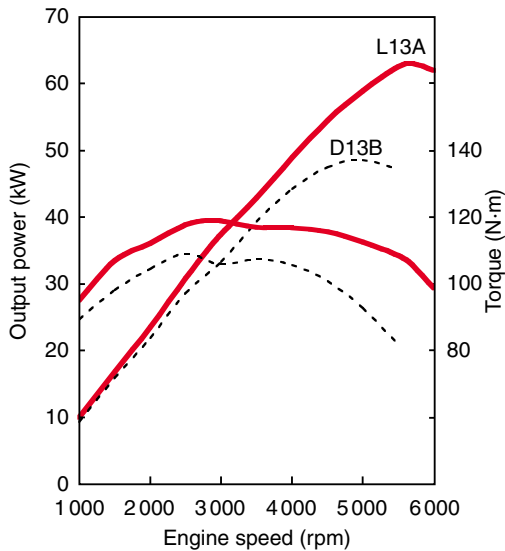


Fig. 5 Engine performance

気系・排気系チューニング等により従来型エンジン(D13B)に対し、約 30%の高出力化を達成している。

4. i-DSI の燃焼

i-DSIの燃焼コンセプトは、2点火方式による点火時期の回転数と負荷に応じた最適制御による全域急速燃焼である。混合気形成は、より均質化を図るため筒内流動分布(運動エネルギー、乱れエネルギー)の均一化を吸気ポート形状および燃焼室形状により行なった。2点位相差点火時期の高精度制御によって、燃費改善、ノッキングの抑制、高トルク化およびNV(Noise and Vibration)性能の改善を両立させている。

4.1. 吸気ポート形状と燃焼室形状

本エンジンに採用した吸気ポートは、火炎伝播速度を高めるために従来型の吸気ポートに対し、スワール(横渦)の強化(1.1→1.36)とともにタンブル(縦渦)成分も強化(1.3→1.58)し、圧縮端(点火直前)の乱れ強度を強めている。

筒内流動とともに筒内の混合気形成も急速燃焼に重要な因子であり、これは燃焼室形状も含め均質化を目指した。ピストン頭部形状を主とした燃焼室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A/F=14.7, 燃料噴射時期=吸気TDC後20degである。画像面はスパークプラグ中心電極位置に対する水平断面と吸気側・排気側スパークプラグの垂直断面である。Fig. 6 に圧縮上死点前30degでの筒内混合気分布を示す。従来型の吸気ポート・燃焼室では混合気の不均一が顕著で吸気スパークプラグ側および燃焼室下方に濃い混合気が存在する。これに対し、スワールとタンブルのバランスによって、筒内の混合気分布を均質化させることができた。

Fig. 7 に EGR 量に対する正味燃料消費率 BSFC, NOx

Ne = 1500rpm
P intake = -53kPa
A/F (averaged) = 14.7
End of injection timing = 20deg ATDC
Crank angle = 30deg BTDC

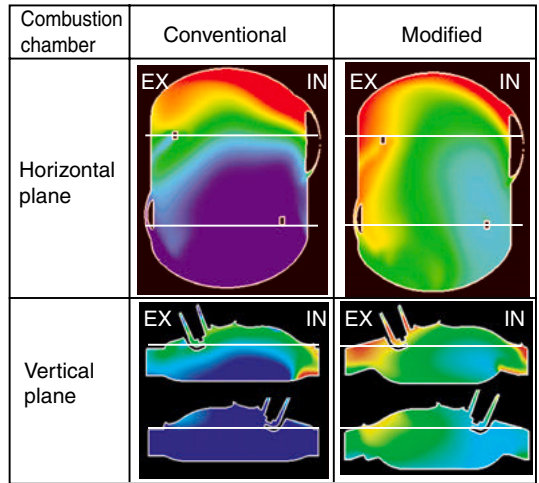


Fig. 6 Effect of combustion chamber shape modification to in-cylinder A/F distribution

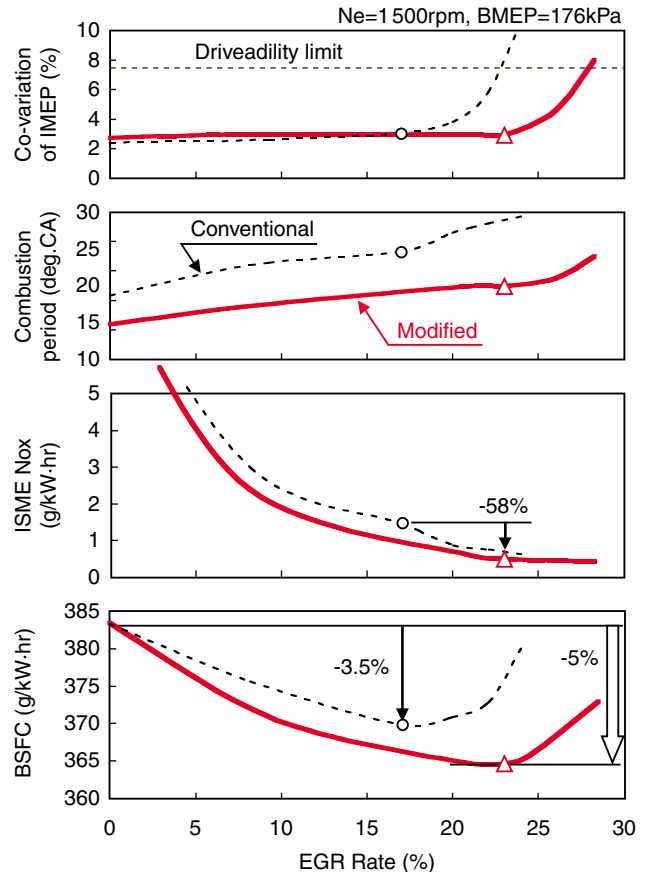


Fig. 7 Comparison of BSFC, NOx and combustion characteristics between modified combustion chamber and conventional combustion chamber

排出量および指圧データを示す。改良型の吸気ポート・燃焼室は、急速燃焼により EGR 還流率 23%で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、大幅な NOx 低減と 5%の燃費改善ができた。

4.2. 位相差点火による急速燃焼化

Fig. 8 にエンジン回転数 1500rpm, 部分負荷運転時の点火時期に対する BSFC および指圧から求めた各損失の比較を示す。吸気側・排気側 2 点の同時点火制御で点火時期を進角すると BSFC が最小になるポイントが存在する。さらに吸気側の点火を進角する位相差点火時期制御を行なうと 1.3 % の BSFC 低減を図ることができた。これは、比較的溫度の低い吸気側を先に点火し、燃焼を促進させることにより同時点火より急速燃焼化が図られる。この結果、冷却損失(熱ロス)は増加する傾向を示すが、時間ロスは減少し、トータルロスとして減少するため効率向上が得られている。

同時点火および位相差点火における BSFC 最小点火時期の指圧解析結果および指圧線図上の各ポイントにおける可視化画像を Fig. 9 に示す。同時点火に対し位相差点火は、圧力の上昇が早まり最大指圧が高くなっている。この結果、燃焼期間が 1.8deg 短縮し前述した急速燃焼化による時間損失の低減が得られた。同時点火に対し位相差点火は火炎が早く伝播して行く様子が可視化画像に表されており、燃焼後半には吸気側・排気側の火炎が燃焼室の中央(可視化領域では左下側にオフセット)で交わり、燃焼の早い様子を表している。

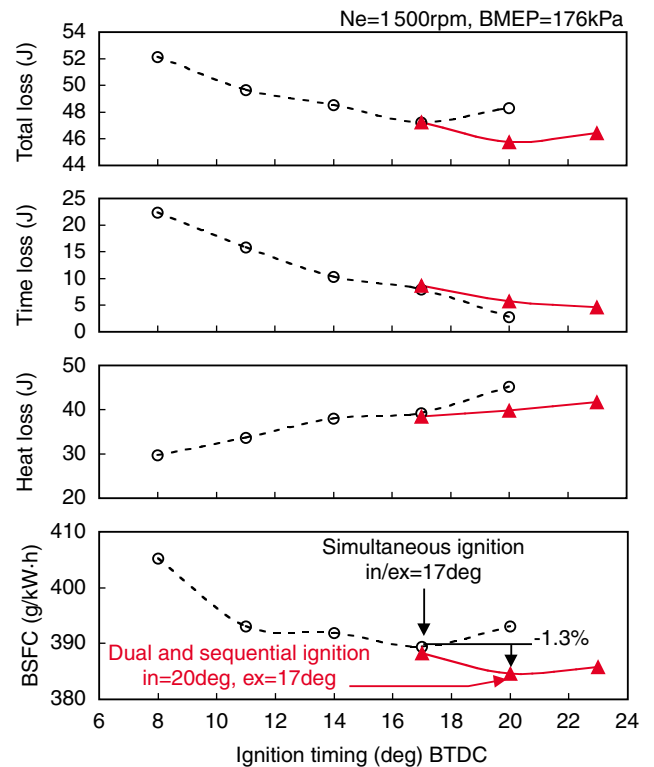


Fig. 8 Comparison of combustion characteristics

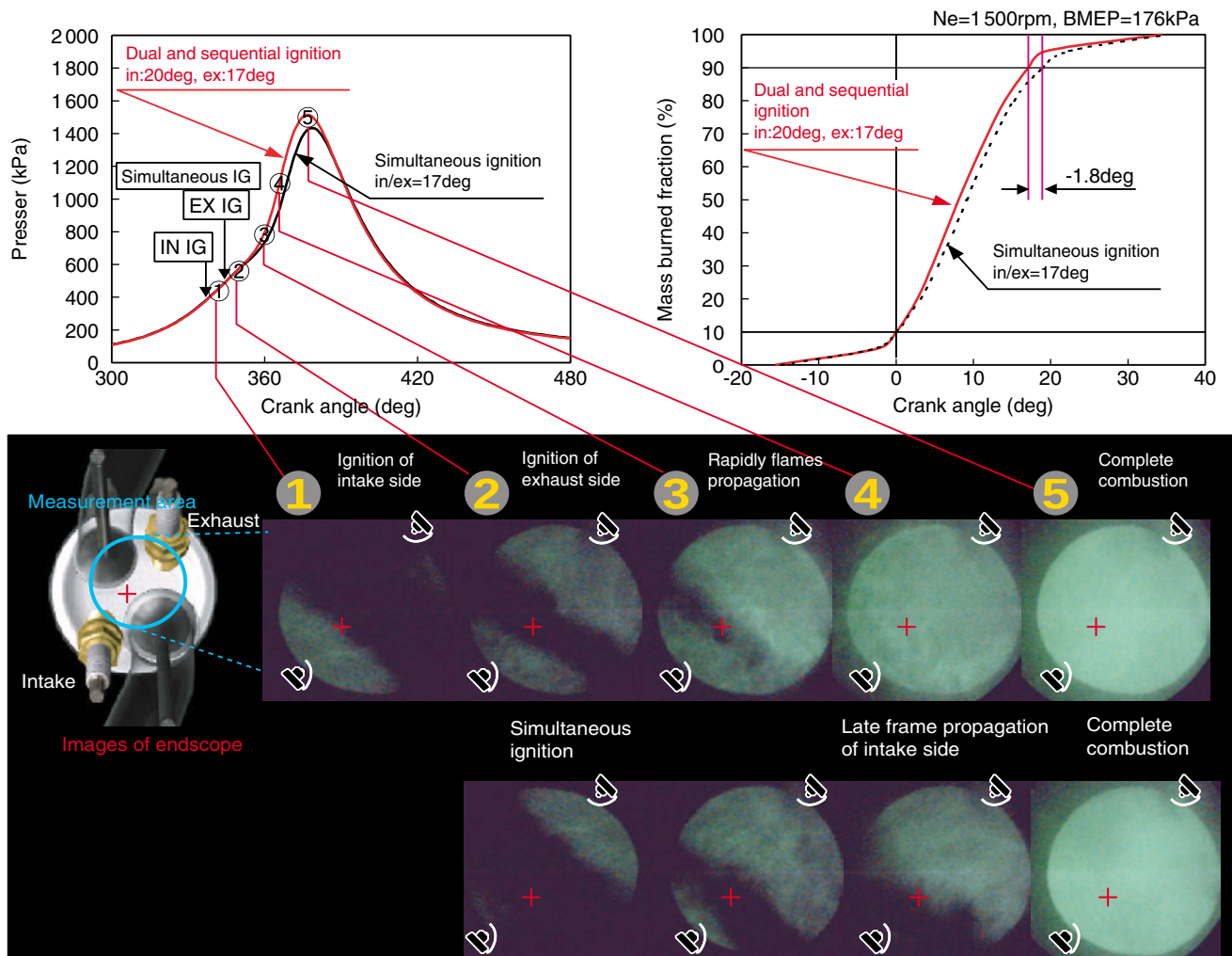


Fig. 9 Comparison of combustion characteristics

4.2.1. ノッキングの抑制

熱効率の向上として高圧縮比が大きな要因として上げられるが、ノッキングが大きな障害となる。この課題を克服し、低速トルクと高圧縮比を両立させるべく2プラグ化と点火時期制御について検討した。

Fig. 10に2点位相差点火によるノッキング抑制を概念図および可視化の画像にて示す。吸気側に設置したプラグを先行点火、このとき吸気側から火炎が成長していることが可視化画像からわかる。次に排気側プラグを点火しない場合には、吸気側からの火炎成長を受け排気側エンド部の未燃混合気が高温・高圧となり自発火し、ノッキングが発生する。これに対し、排気側プラグを遅れて点火することによりノッキングが発生する前にエンドガス部を通常燃焼させノッキングの抑制を可能としている。

ノッキング抑制効果の一例を Fig. 11 に示す。エンジン回転数は 2000rpm で全負荷運転状態にて点火時期を変化させた場合のノッキング発生ポイントとトルク特性である。点火方式として(1)吸気側のみの点火、(2)2点同時点火、(3)2点位相差点火の3種類で比較した。吸気側のみの点火に対し2点同時点火は、急速燃焼とノッキング抑制により点火時期の進角が可能となり、6%のトルク向上が得られた。さらに位相差点火によってノッキングが抑制でき、同時点火の設定点火時期トルクに対し位相差点火の設定点火時期トルクは 1.5%の向上が得られる。

Fig. 12に同時点火と位相差点火時期制御を行なった時のトルク特性を示す。2500rpm以下の低回転では、2点位相差点火時期制御により2N・mのトルク向上を図った。

上記ノッキング抑制効果により、既存エンジンに対し大幅な低速トルク向上(Fig. 12)と10.8の高圧縮比化の両立ができ、2プラグ化および位相差点火時期制御による急速燃焼化を含め、6.4%の燃費改善を図った(Fig. 13)。

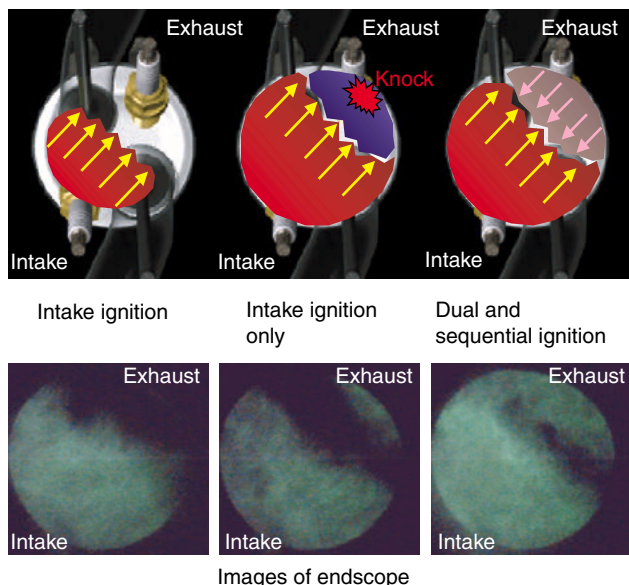


Fig. 10 Mechanisms of Improved knock

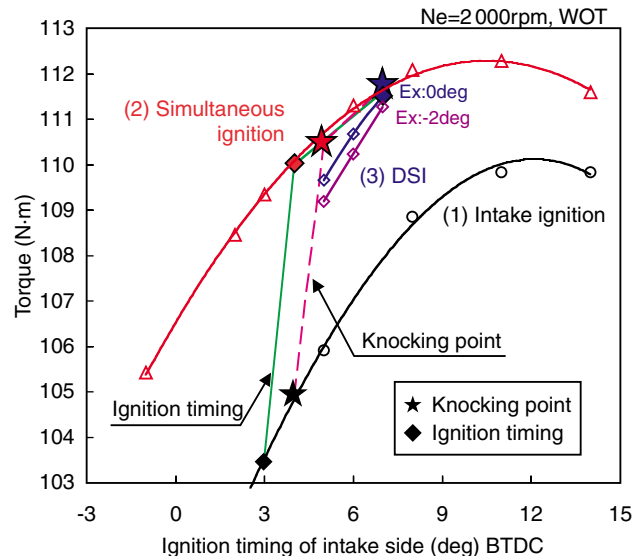


Fig. 11 Influence of ignition timing on engine torque

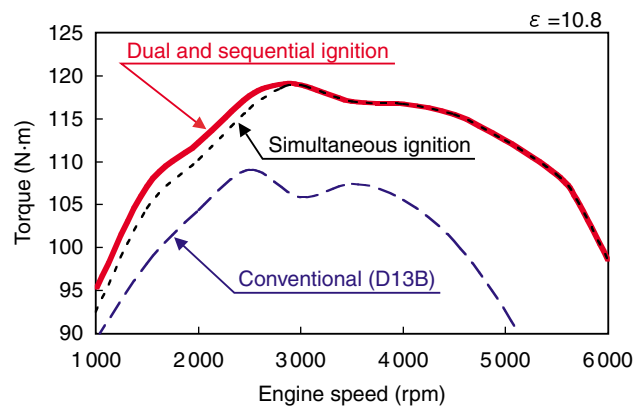


Fig. 12 Comparison of engine torque between dual and sequential ignition and simultaneous ignition

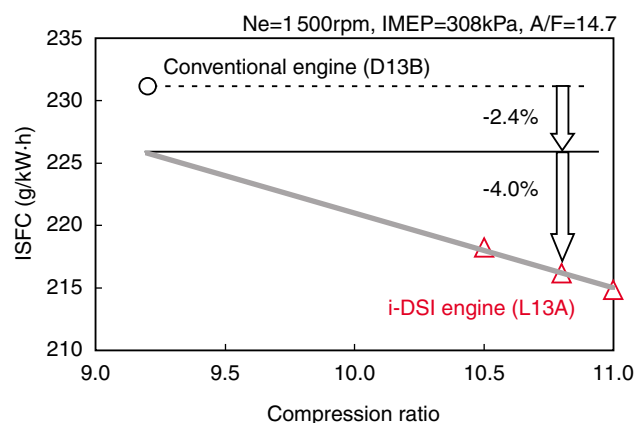


Fig. 13 Influence of compression ratio on ISFC

4.2.2. 点火時期の高精度制御

位相差点火時期制御による急速燃焼化によってノッキングの抑制および燃費の向上が得られた。しかしながら、この急速燃焼化はエンジンの振動騒音、主にクランク打音の悪化を招く。クランク打音は燃焼の最大指圧(Pmax)、最

大圧力上昇率($dP/d\theta$ max.)と良い相関性を持っていることから、燃焼指圧の抑制による振動騒音低減とトルクの両立について検討した。Fig. 14 に同時点火および位相差点火時期制御時のエンジン外郭騒音および燃焼指圧・トルク

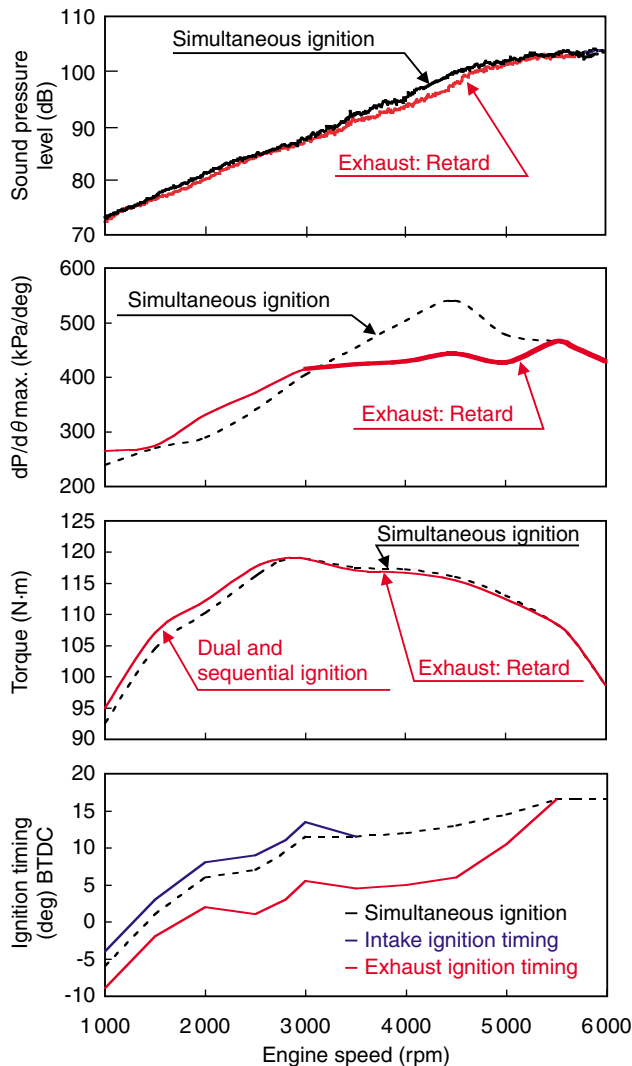


Fig. 14 Comparison of engine torque, combustion characteristic and radiation noise with control the ignition on consequential phase

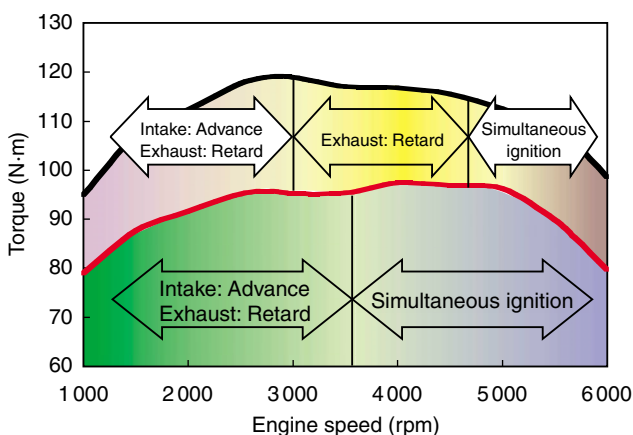


Fig. 15 Map of control the ignition on consequential phase

特性の比較を示す。排気側の点火時期を遅角し最大圧力上昇率を下げることににより、中回転域で1～2 dBの低減効果を得た。燃焼圧力を下げることからトルクも低下するが、低下割合は0.4%と最小限に抑えながら騒音性能との両立を図った。

Fig. 15に点火時期制御マップを示す。吸気側プラグを先行点火し排気側プラグを遅れて点火する領域、排気側プラグのみを遅れ点火した領域、同時点火する領域の三つの点火時期制御を基本にECU(Electronic Control Unit)により大気の状態やエンジンの状態により点火時期を制御している。

5. フリクション低減

エンジンの低燃費化としては、前述した急速燃焼に加えフリクション低減も重要な要素である。

フリクション低減技術として、「インサイト」搭載のECA1型エンジン⁽²⁾で開発した、オフセットシリンダ構造、ローラフォロワ、イオンブレーティングピストンリング、メインメタルおよびコンロッドメタルの条痕化を採用するとともに、新たに、ピストンスカートの二硫化モリブデン(MoS_2)ショットピーニング(世界初)、2モードクーリングシステム、チェーンブレードテンショナ機構を新開発した。

ピストンスカートの処理として従来モリブデンコーティングや「インサイト」用エンジンで採用したマイクロディンプル(MD)処理⁽³⁾がある。今回、この処理技術に応用した新しいフリクション低減技術を開発した。Fig. 16にピストンスカート二硫化モリブデン(MoS_2)ショットピーニングの概要を示す。この処理は、固体潤滑剤である MoS_2 微粉末(*中位径 $11 \mu\text{m}$)を 900kPa の高圧で吹き付け、その際に生じる熱でピストン表層に MoS_2 を浸透させる技術である。従来のモリブデンコーティング処理は接着成分の含有が必要のため、モリブデンの純度を高めにくかった。これに対し、新開発の MoS_2 ショットは接着成分を含まない高純度の MoS_2 をショットするため摩擦低減効果および潤滑効果が向上する。これにより、モリブデンコーティング処理に対し

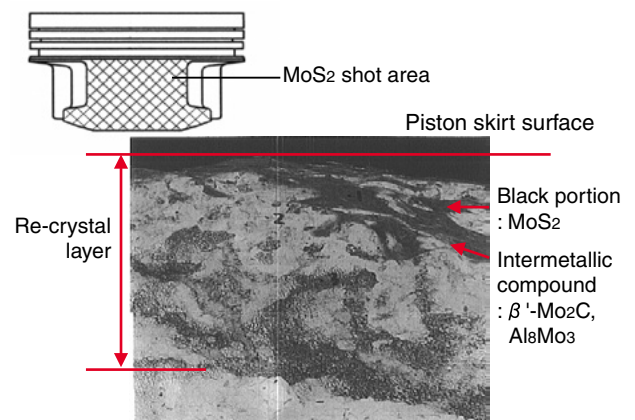


Fig. 16 Face treatment of piston skirt portion

3.2%, さらにMD処理に対して2%のフリクション低減を図った(Fig. 17)。

※測定法: 細孔電気抵抗式

冷却方式は, 2モードクーリングシステムを採用した。

Fig. 18に冷却方式の違いによるエンジン冷機時および暖機後の冷却水循環状態を示す。エンジン冷機時はシリンダヘッド側に冷却水を流し, ブロックの暖機を早め, エンジンオイル温度上昇によるフリクション低減をねらっている。またエンジン暖機後は, シリンダヘッドを冷却した温水をブロック側に流し高温を維持することでフリクションを低減している。エンジン暖機後のシリンダヘッド側先行冷却はノッキング抑制にも寄与している。Fig. 19に冷機始動から暖機過程中のエンジンオイル温度の比較を示す。従来型の冷却システムに対し2系統冷却システムは運転開始から100sec後に4.2°Cの暖機性能向上が得られた。Fig. 20にエンジンオイル温度とフリクションの関係を示す。暖機過程中的エンジンオイル温度上昇は, 約3%のフリクション低減が得られている。

チェーンブレードテンショナは, 板バネを5枚重ねたブ

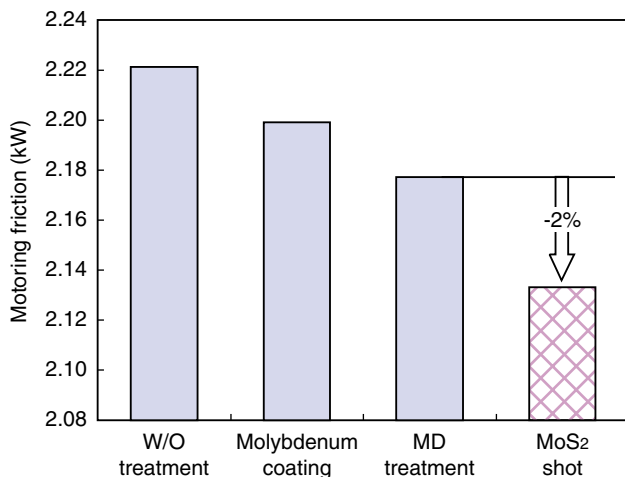


Fig. 17 Improvement of friction loss with piston skirt treatments

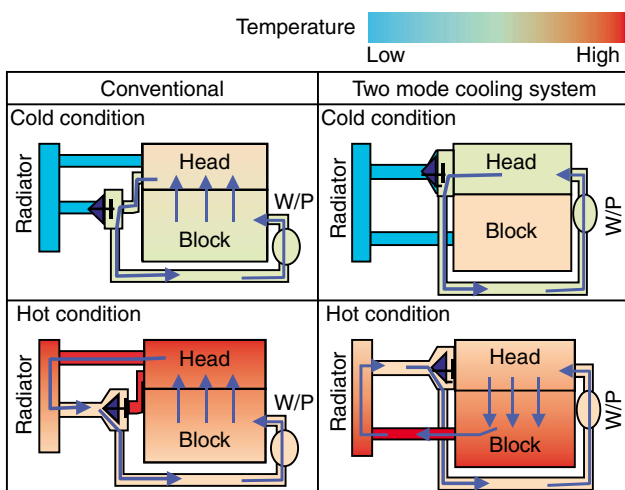


Fig. 18 Coolant of two mode cooling system

レードが直接チェーンを押し付けて張力を保つ構造とした。油圧式テンショナに比べ必要以上の張力をチェーンに与えないためフリクションが低いのが特徴である。

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, 低粘度エンジンオイル(0W-20/SL/GF3)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. 21 に示す。前述したフリクション低減技術により, 従来型エンジンに比べ13%のフリクション低減を達成した。

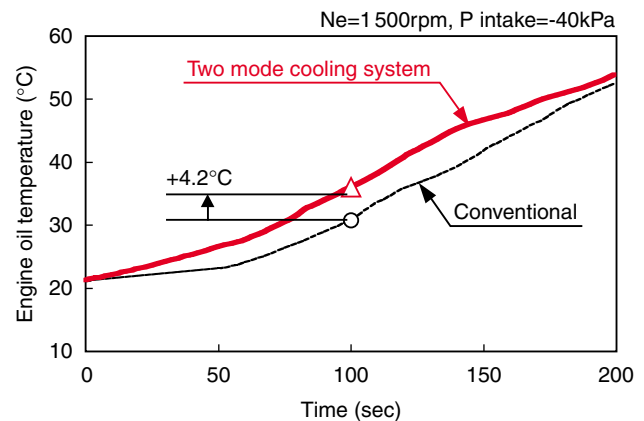


Fig. 19 Characteristics of Engine oil temperature

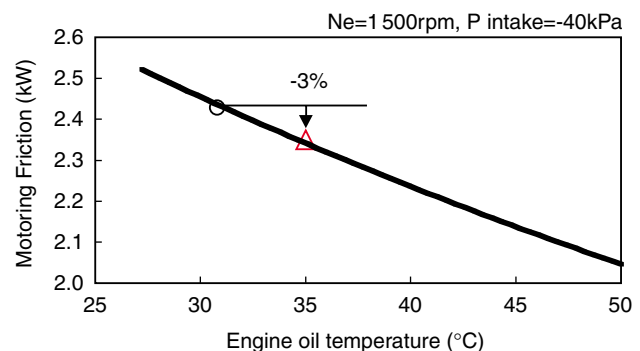


Fig. 20 Influence Engine oil temperature on Motoring friction

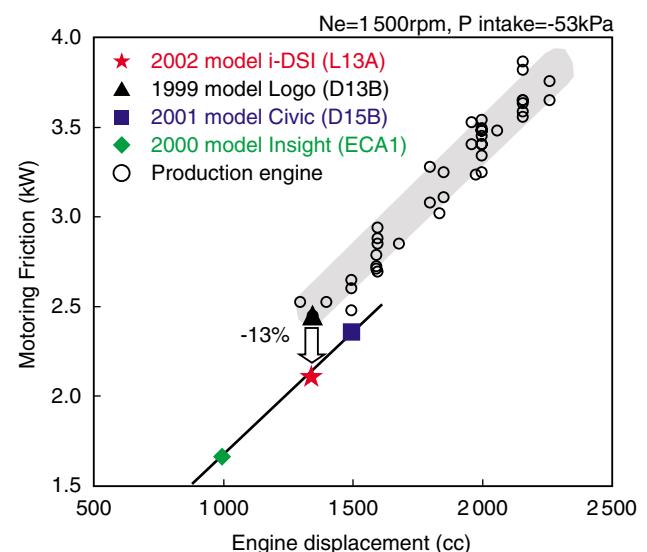


Fig. 21 Friction loss comparison

6. エンジン単体燃費性能と車両燃費性能

6.1. エンジン単体燃費

Fig. 22 にエンジン総排気量と BSFC の関係を示す。今まで述べてきた 2 点位相差点火時期制御、高圧縮比化による燃焼改善およびフリクション低減技術の採用により、本エンジンは従来型に対し、理論空燃比燃焼で 11% の BSFC 低減が図れ、既存機種のリーンバーンエンジンと同等の BSFC を得た。また EGR を導入した燃焼では、さらに 5% の BSFC 低減となり、トータルで 16% の BSFC 低減を達成した。

6.2. 車両燃費

Fig. 23 に車両重量と国内 10・15 モード燃費の関係を示す。従来型エンジン搭載の 99 年モデル「ロゴ」に対し、制御を含むエンジンの低燃費化(15%)、新開発 S サイズ CVT

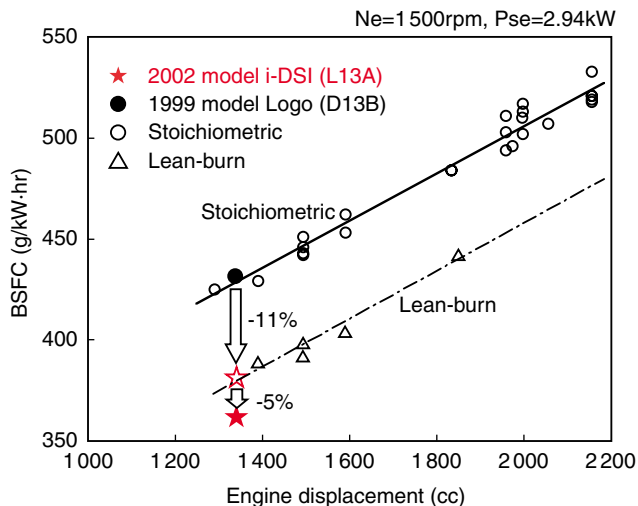


Fig. 22 Improvement of BSFC

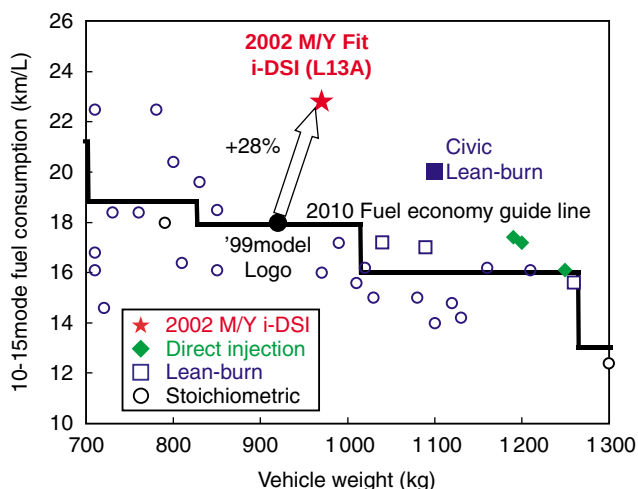


Fig. 23 Relationship between vehicle weight and 10-15mode fuel economy in production gasoline vehicles

(10%)および車体(3%)の低燃費技術を採用した「フィット」は 28%の燃費改善を図り、10・15 モードで 23km/L の燃費性能を達成した。この値は 2010 年燃費基準(17.9km/L/ 車重 828 ~ 1015kg)を大きく上回り、軽自動車と同等な燃費の位置付けである。

7. 低エミッション技術

7.1. エキゾーストシステム

エキゾーストシステムを Fig. 24 に示す。エキゾーストマニホールドを軽量ステンレススチールパイプ製とすることでヒートマスを低減し、後方排気システムと合わせ触媒の早期活性化を図り、コールド領域の浄化効率を向上させている。床下に配置した三元触媒には排出ガス斜流導入方式を採用、排出ガスをセル表面に対して斜めに当てることで接触面の増加および排出ガス当たりの均一化によって浄化効率の向上を図っている。

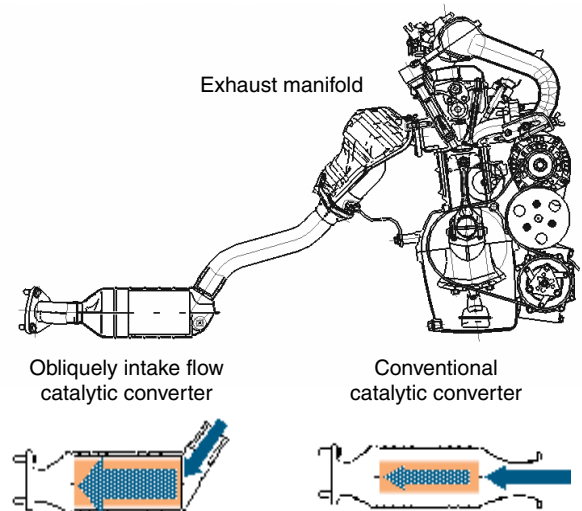


Fig. 24 Configuration of exhaust system

7.2. マルチホールインジェクタ

Fig. 25 に本エンジンで採用した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 17% 重量で 58% の小型軽量化を図った。また、従来のピントルタイプに対し、6 穴タイプの噴射孔を採用した。その結果、噴霧の微粒化および吸気ポート壁面へのガソリン付着量が減少し、コールドスタートからの 11 モードで、HC を 5% 低減した(Fig. 26)。

7.3. 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、2 点位相差点火によるフィードガス低減および電動 EGR バルブの高精度制御等によって、10・15 モード燃費 23km/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. 27)。

8. まとめ

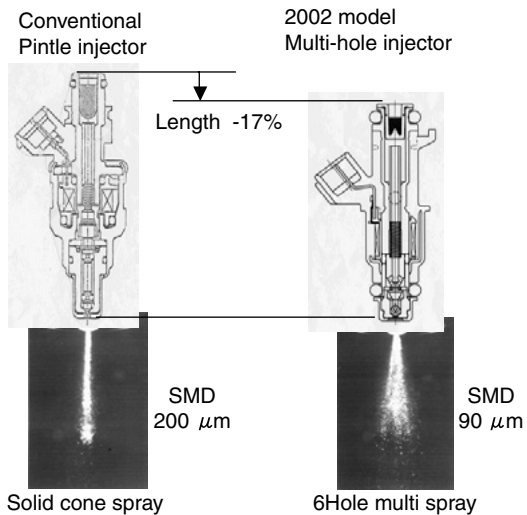


Fig. 25 Comparison of fuel injector between conventional and new one

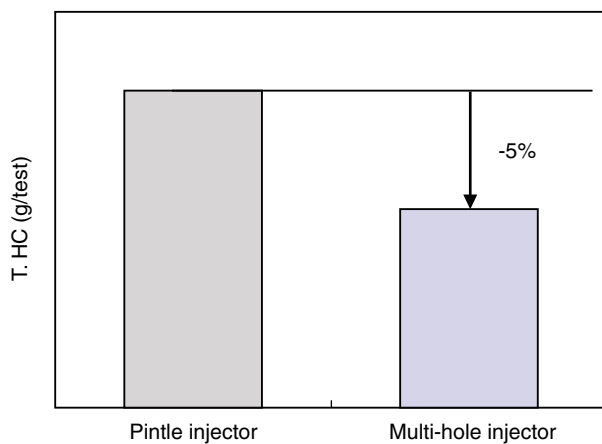


Fig. 26 Comparison of HC emission in 11mode between Multi-hole injector and Pintle injector

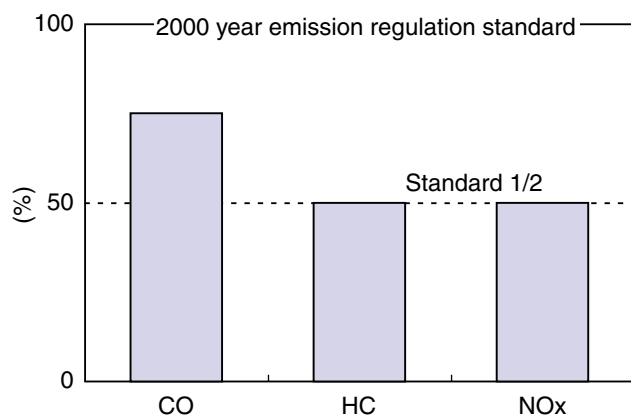


Fig. 27 10-15mode emission

i-DSI を軸とした燃焼改善・フリクション低減と軽量・コンパクトなエンジンを開発し、以下の結果を得た。

- (1) 2点位相差点火および新吸気ポート・コンパクト燃焼室による均質混合気形成によって急速燃焼が可能となり、レギュラーガソリンでありながら10.8の高圧縮比を可能とし、新しいフリクション低減技術と合わせエンジンの燃料消費率を16%低減した。
- (2) 2点位相差点火時期をエンジン回転数・負荷に応じ高度制御することにより、出力・トルク、燃費および振動騒音低減の両立を可能とした。
- (3) 燃焼改善とフリクション低減を図った新型 L13A エンジン、新開発 S サイズ CVT および車体の低燃費技術採用により、10・15 モード燃費 23km/L を達成した。また、排出ガス斜流導入式三元触媒および後方排気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。

9. あとがき

今回開発した L13A 型エンジンは、これからの環境の変化やユーザの多様なニーズに対応するため、排気量の拡大・縮小等エンジン派生が可能な構造をもたせてある。本エンジンは今後、欧州小型戦略の核として採用され、高い燃費性能と EU2005 にも適合できる高いポテンシャルを持った次世代パワープラントとして拡大していくものと確信している。

現時点の完成度に満足することなく更なる改良を重ね、時代の要求に答えられる技術の向上に努めていきたい。

最後に本エンジンの開発にあたり、多大なるご協力を頂いた社内外の皆様には厚く感謝の意を表します。

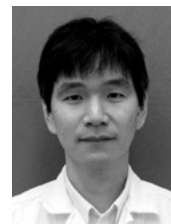
参考文献

- (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) 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, 自動車技術, Vol.54, No.9, p.36-41(2000)
- (3) 萩原秀実: 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)

■著 者■



中山 幸夫



鈴木 誠



岩田 洋一



山野 順司