

新型 ACCORD 用 2.4L i-VTEC エンジンの開発

Development of 2.4 L i-VTEC Gasoline Engine for 2008 Model Year ACCORD

川口 良太*
Ryota KAWAGUCHI
小島 禎夫*
Sadao KOJIMA

山本 一哉*
Kazuya YAMAMOTO
新開 孝裕*
Takahiro SHINKAI

萱場 貴*
Takashi KAYABA
浅芽 広一郎*
Koichiro ASAME

要 旨

高出力と低排出ガスとの両立をねらいとして 2008 年モデル ACCORD 用 2.4L 直列 4 気筒 i-VTEC ガソリンエンジンを開発した。

このエンジンの i-VTEC 機構は、インレット側、エキゾースト側それぞれ異なる回転数にてバルブタイミングを切換えできる進化した VTEC 機構を採用している。エキゾースト側は低回転運転時には 1 バルブを休止させ、排気ガスの流動を高め、後燃えを促進することによって触媒温度を上昇させた。さらに 1 バルブを休止することによって排気干渉が低減され低速トルク向上効果も得られた。インレット側はカムシャフト位相連続可変機構と組合せ、低回転高回転側それぞれに最適なバルブタイミングを設定した。

この新 VTEC 機構の採用に加え、エキゾーストマニホールド一体シリンダヘッド、直下触媒をはじめとする新技術を採用した結果、最高出力 142kW、最大トルク 220Nm とクラストップレベルの高い動力性能を達成しつつ、従来モデル同等の US LEV II SULEV 規制適合の低排出ガス化、低燃費の両立を実現した。

ABSTRACT

A 2.4 L in-line 4-cylinder i-VTEC gasoline engine for the 2008 model year ACCORD was developed with the aim of balancing high output with low exhaust emissions.

The VTEC mechanism of this engine with the i-VTEC system was developed to switch between cams on the intake and exhaust valve sides at different engine rpms. On the exhaust side, at low speeds it operates with one exhaust valve inactive to increase the flow motion of the exhaust gas and promote after-burning. This raises the catalyst temperature. Operating with one valve inactive also reduces exhaust interference and increases higher low-speed torque. On the intake side, the variable camshaft phasing mechanism, together with the variable valve timing and lift, enable optimum valve timings to be set for the low-and high-speed engine rpm. In addition to this new VTEC mechanism, the developed engine also adopted a cylinder head with exhaust manifold, a close-coupled catalytic converter, and other new technology. The result is an engine that achieves maximum output of 142 kW, maximum torque of 220 Nm, and power performance at the top level in its class. At the same time, this engine also realizes a balance between low fuel consumption and low exhaust emissions for U.S. LEV II SULEV regulation on par with that of previous models.

1. まえがき

近年のエンジン開発では地球環境保護、省エネルギーの要求に答えつつ、走りを向上させることが重要な課題となっている。

Honda としては、気筒休止による可変シリンダシステムや筒内直噴リーンバーンシステム、ターボチャージャ追加

*四輪開発センター

による排気量のダウンサイジングなどの技術を採用した新世代エンジンを開発している。

従来のエンジンでは高い動力性能と環境性能を高次元で両立させることは課題であった。

今回のエンジンでは高出力化については VTEC にカムシャフト位相連続可変機構(VTC)を組合せた従来の 4 気筒 i-VTEC 機構⁽¹⁾をベースに吸排気抵抗の低減や圧縮比の向上

による燃焼改善をおこない最高出力 142 kW と高出力化を達成した。

また低排出ガス化については、エキゾーストマニホールド一体ヘッド、直下触媒、高精度空燃比適応制御に加え新規 VTEC 機構、高着火性プラグ、新規フューエルインジェクタの開発、触媒の改良により高出力を達成しつつ US LEV II SULEV⁽²⁾ に適合する低排出ガス化を達成し出力性能と環境性能を高い次元で両立させることを実現した。本稿ではこの新型エンジンコンセプト、ならびに投入技術内容の構造と概要について述べる。

2. 開発のねらい

新型 ACCORD 用エンジンのねらいは社会性の観点から高いエミッション要求に応えつつ、卓越した出力性能を実現することとし開発コンセプトは“ The World's BEST! Highest Output & Lowest EM L4 Engine ”とし下記項目を目標とした。

- (1) レギュラーガソリンにて 142kW の達成
- (2) US LEV II SULEV の低排出ガス規制適合
- (3) クラストップレベルの燃費
- (4) より高い静粛性の追求

3. エンジン概要と主要諸元

Table 1 に新型エンジンと従来型エンジンの諸元を示す。

また新型エンジンの外観図を Fig. 1 に示す。

従来型に対し、今回開発したエンジンは高出力化を目的としエンジンの高回転化、バルブタイミング最適化、高圧縮比化、インレット、エキゾーストバルブ径拡大などの技術の採用により出力向上を図っている。

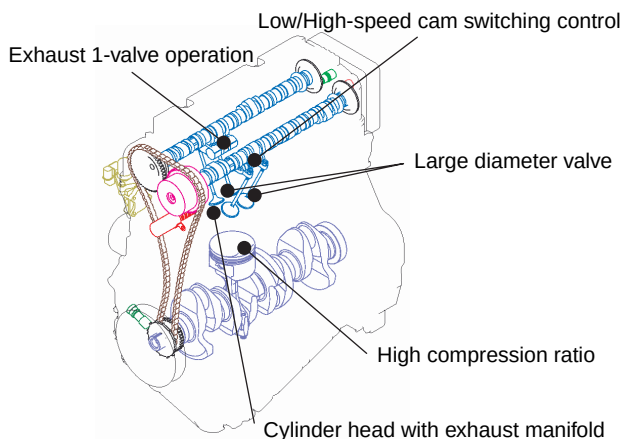


Fig. 1 New application technologies for developed K24A engine

Table 1 Engine specifications

Engine code	K24A (Developed model)		K24A (Previous model)	
Cylinder configuration	In-line 4-cylinder		In-line 4-cylinder	
Bore × stroke (mm)	87 × 99		87 × 99	
Displacement (cm ³)	2354		2354	
Compression ratio	10.5 : 1		9.7 : 1	
Valve train	DOHC i-VTEC		DOHC i-VTEC	
VTEC Type	Inlet	Low-speed / High-speed	1-valve operation	
	Exhaust	1-valve operation	N/A	
Number of valves	4 per cylinder		4 per cylinder	
Valve diameter (mm)	Inlet	36	35	
	Exhaust	31	30	
VTC angle (deg)	50		25	
Intake manifold	Resin with glass fiber		Aluminum alloy	
Exhaust manifold	Integrated with cylinder head		Double stainless steel pipe	
Oil pan	Aluminum		Steel plate	
Catalytic converter (L)	Close-coupled (1.0) + under-floor (1.0)		Under-floor (1.0 + 1.0)	
Recommended gas	Unleaded regular (RON 91)		Unleaded regular (RON 91)	
Max. power (kW/[PS]/rpm)	142 [193] / 7000		125 [170] / 5800	
Max. torque (Nm[kgm]/rpm)	220 [22.4] / 4400		220 [22.4] / 4000	

4. 出力性能について

4.1. 出力性能

新型エンジンの出力特性を Fig. 2 に示す。

本エンジンではエンジン高回転化、バルブタイミング最適化、高圧縮比化、インレット、エキゾーストそれぞれのバルブ径拡大などによる出力向上を図っている。また、M12ロングリーチ点火プラグやピストンオイルジェットを採用によりノッキングを改善し出力 142 kW トルク 220 Nm を達成している。

4.2. 高出力化達成技術

従来からエキゾーストマニホールド一体シリンダヘッド採用 4 気筒エンジンでは排気干渉により高出力化が困難であった。Fig. 3 にシミュレーション解析結果を示す。1 番シリンダの排気開始から吸気に至る過程での排気ポート内の圧力分布シミュレーション結果において 1 番シリンダの排気、吸気行程のオーバラップ領域にて、1 番シリンダのポー

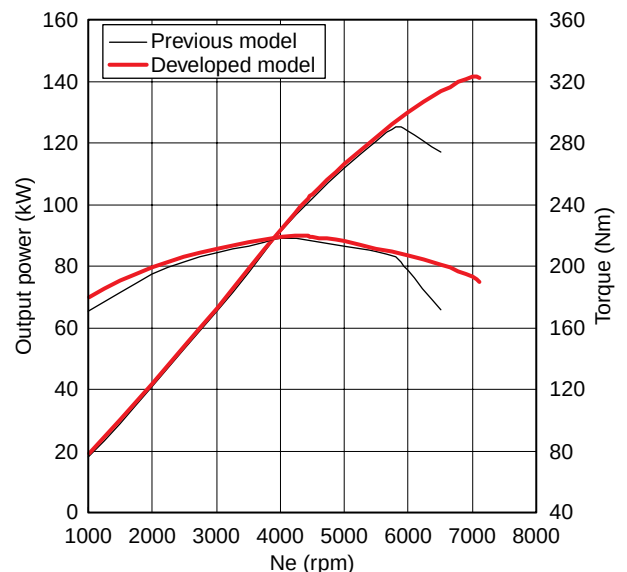


Fig. 2 Engine performance

ト内圧力が再び上昇することがわかった。原因解析として排気ガスシミュレーションを実施した結果、3番シリンダの排気が1番シリンダ側に回り込んでくるために、1番シリンダの排気ポート内圧が上昇し、掃気効果が得られないことがわかった。同様の事象は4番シリンダにも発生するため排気ポート形状は2番、3番シリンダの排気ガスが1番、4番シリンダの掃気を妨げない形状とする必要があることがわかった。

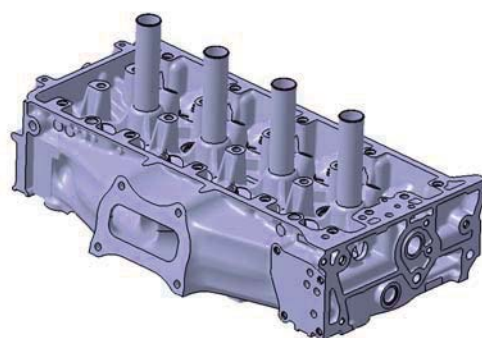
1番、4番シリンダの掃気を妨げないポート形状とするには Fig. 4 に示すように θ を大きくとり、 L を短くし S を大きくとる形状が最適であり、本形状を採用することにより高出力化を達成した。

またバルブタイミングについても同様に、排気ガスが回りこむ前にエキゾーストバルブを閉じる設定とし、エキゾーストマニホールド一体シリンダヘッドを採用しても高出力化を達成することができた。

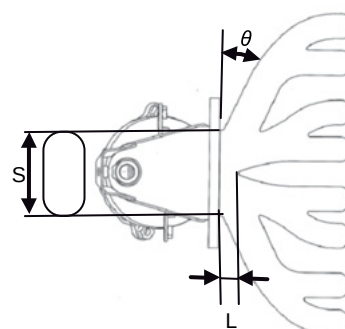
従来から低排出ガス化を促進するにあたり排気系が通路抵抗になってしまいうことが課題であった。

しかし本エンジンでは高出力化対応のため低セルにて低排出ガス化が可能な新触媒を開発した。低セル化による幾

何学的表面積の減少と、貴金属量低減による触媒機能の低下を解決するために、触媒ウォッシュコート低減させ幾何学的表面積を向上すること、および触媒層内の細孔制御を実施し反応ガスの触媒深層部への拡散性を向上させている。触媒ウォッシュコート低減は、ヒートマスを低減させ、触媒のライト・オフ性能を向上させている。しかし、触媒の OSC 性能を低下させる可能性があるため、Ce/Zr 複合酸化物の最適化をおこない、OSC 材料の耐熱性を改善し触媒の OSC 能力を向上させた。これらの技術採用により、低排出ガスと高出力を高次元で両立させ、さらに従来触媒に対し貴金属使用量を 50%低減することができた。

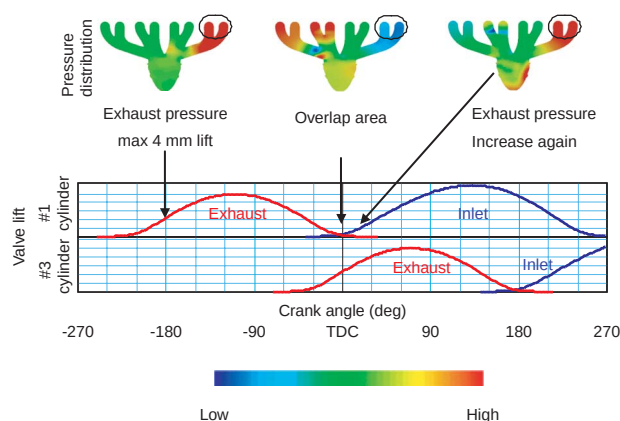


(a) Overview

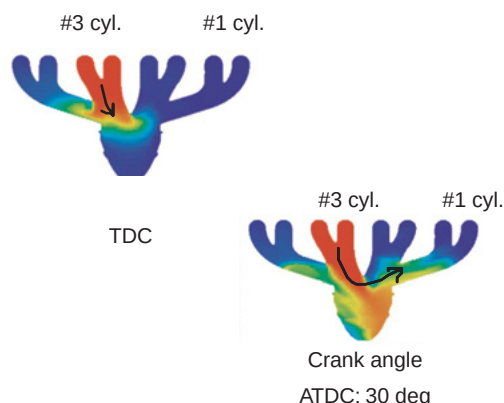


(b) Section view

Fig. 4 Cylinder head exhaust port shape



(a) Exhaust gas pressure distribution



(b) #3 Cylinder exhaust gas flow

Fig. 3 Exhaust gas flow and pressure distribution in exhaust port

5. i-VTEC 機構

本エンジンはインレット側に従来の Low/High バルブタイミングリフト切替え機構とエキゾースト側に1バルブ休止機構を採用した。

Fig. 5 に本エンジンにおける VTEC 切替え機構を示す。インレット側は高回転、エキゾースト側は低回転での異なるエンジン回転数での切換えが必要なため、それぞれの油回路を独立させ2系統あるスプールバルブを新規に開発し3ステージでの切換えを実現した。

インレット側については従来機種同様の Low/High 切替えの3ロッカアームに Honda としてはじめてアルミニウム材料を適用した。3ロッカアームにアルミニウム材料

を適用するにあたり、高強度の新材料を開発した。開発した新材料は1台当たり0.21kgの軽量化とコストダウンを達成した。

またエキゾースト側については1バルブ休止機構を採用した。1バルブを休止することにより排気ガスが斜流になり強い旋回流が発生する。Fig. 6に排気ガスシミュレーション結果を示す。その結果乱流成分が増大することがわかった。

低温始動時における実機検証結果をFig. 7に示す。ポート内部において乱流成分が増大し、フィードガス中の酸化

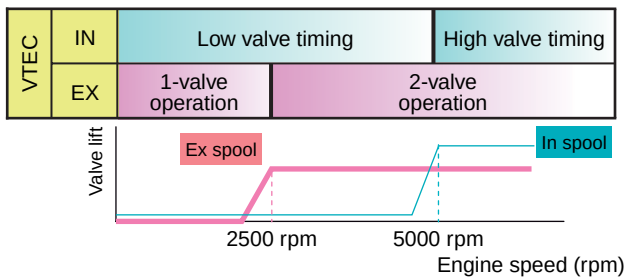
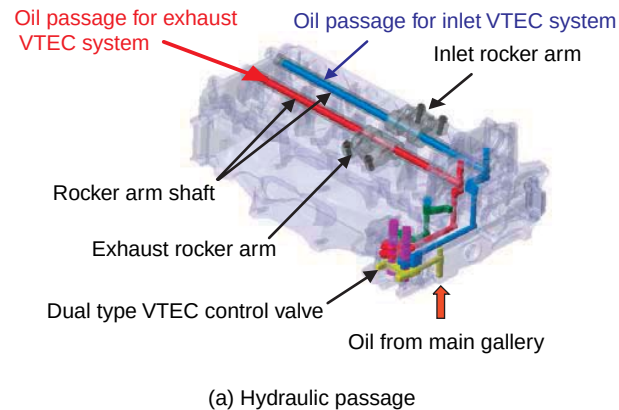


Fig. 5 VTEC unit and operation map

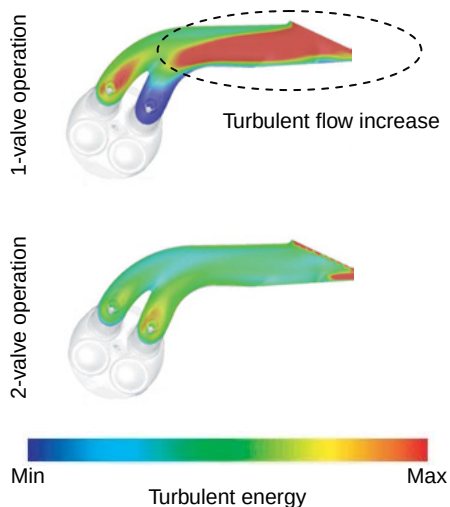


Fig. 6 Comparison of exhaust gas flow between 1-valve operation and 2-valve operation

反応が促進される。その結果反応熱が発生し、触媒が早期活性化され HC 排出量を大幅に低減することができた。

またエキゾースト1バルブ休止がもたらすもう一つの効果として低回転領域での体積効率向上がある。両バルブ駆動時との出力特性比較をFig. 8に示す。低回転領域では1バルブを休止させることにより筒内への排気吹き返しが低減され低速トルクが向上した。

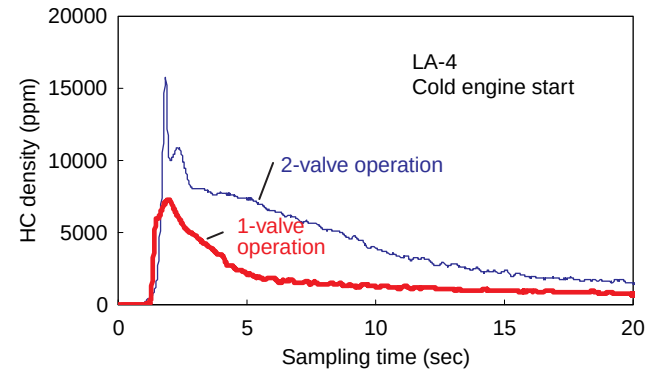


Fig. 7 Comparison of amount of HC emission between 1-valve operation and 2-valve operation

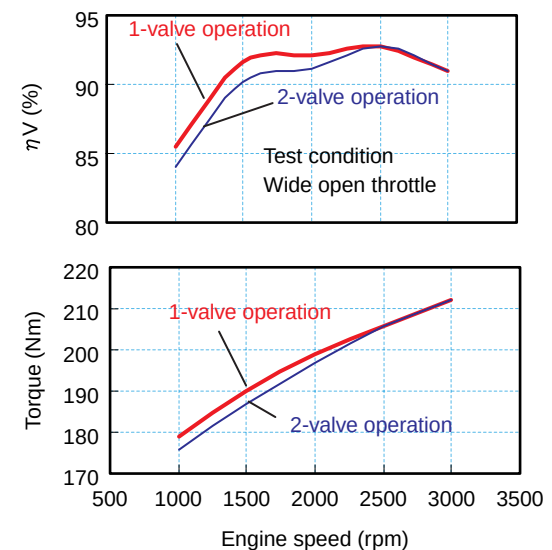


Fig. 8 Comparison of output performance

6. 低排出ガス

6.1. 排気ガス処理システム

Fig. 9に排気ガス浄化システムを示す。エキゾーストマニホールド一体シリンダヘッドに直下1ベッド、エキゾーストパイプを介し、床下に1ベッドの三元触媒を配置した。

6.2. 低排出ガス化達成技術

本エンジンに適用した低排気ガス技術は大きく分けて以下に示す6項目である。

(1) 低ヒートマス化による触媒の早期活性化

エキゾーストマニホールド一体シリンダヘッドと直下コンバータの採用によりヒートマスを低減し触媒の早期活性化を図っている。

(2) 空燃比の高精度制御

空燃比の高精度化のために直下コンバータの上流に UEGO センサ(Universal Exhaust Gas Oxygen Sensor)を下流に HEGO センサ(Heated Exhaust Gas Oxygen Sensor)を配置し、従来機種と同様に PRISM(Prediction and Identification type Sliding Mode Control)制御⁽²⁾を採用し空燃比の高精度化を実現した。さらにエンジン始動直後の燃料噴射タイミングの最適化により触媒活性前の HC を低減した。

(3) 高着火性スパークプラグ採用による点火時期遅角制御

本エンジンには Fig. 10 にあるような外側電極に円筒状の貴金属を溶接した高着火性スパークプラグを使用した。接地電極を針状にすることで、火炎核の消炎作用を小さくし、着火安定性を向上させた。Fig. 11 に示すように、従来のイリジウムプラグと比較して、点火時期を10度遅角化でき、排ガス温度を150℃向上、HC を75%低減させることができた。本スパークプラグによるLA-4モードでのNMOG

低減効果は13%であり低排気ガス化を実現した。

(4) インジェクタの高精度燃料噴射

出力アップと低エミッション化を両立するため、従来よりも性能を向上させた新型インジェクタを開発した。主なねらいは微粒化性能の向上と噴射可能領域の拡大(ワイドレンジ化)である。本インジェクタの構造を Fig. 12 に示す。

微粒化の促進については、燃料通路の圧力損失の低減と噴霧同士の干渉を防止することが有効であり、圧力損失の低減については燃料通路形状および通路面積の最適化をおこなった。また噴霧干渉の防止のためにフォームコントロールプレートの採用やCAEを用いた燃料通路および噴孔配置の最適化をはかった。その結果従来機種に対し粒径を40%低減し、従来のエアアシスト機構を採用したものと同等の粒径を達成した。

またワイドレンジ化についてはバルブ開閉の応答性改善が有効であり、ニードルバルブの軽量化やストロークの最適化、吸引力アップにより従来機種に対して20%のワイドレンジ化を達成し高出力化に貢献した。

(5) 排気ガス流れ改善効果

触媒の浄化性能を最大限に活用し、かつその劣化を抑制するためには、排気ガスを触媒に均一に導入することが必

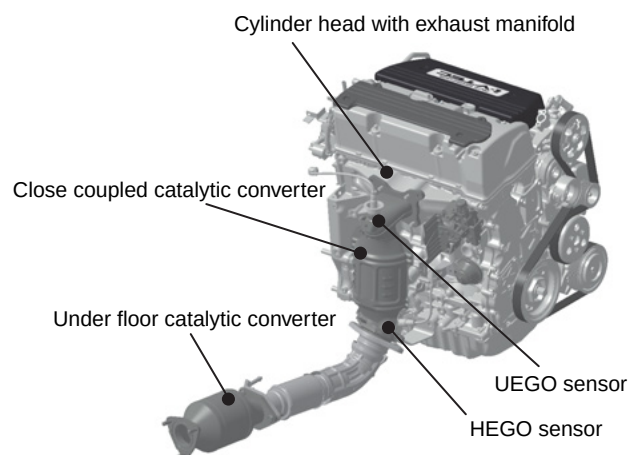


Fig. 9 Exhaust system arrangement

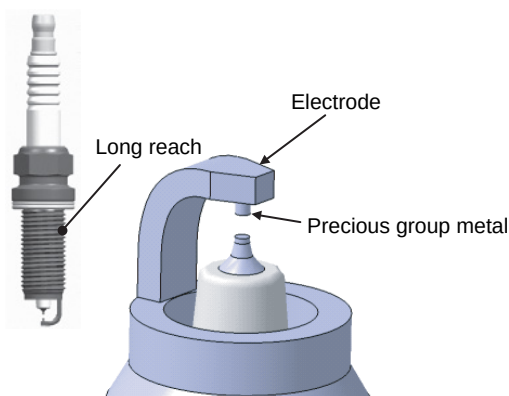


Fig. 10 High ignitability plug

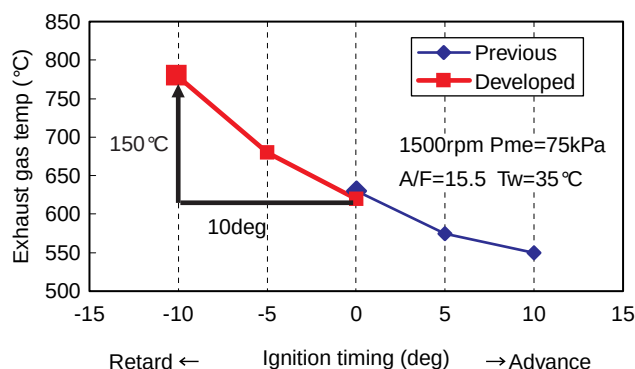


Fig. 11 Comparison of plug performance

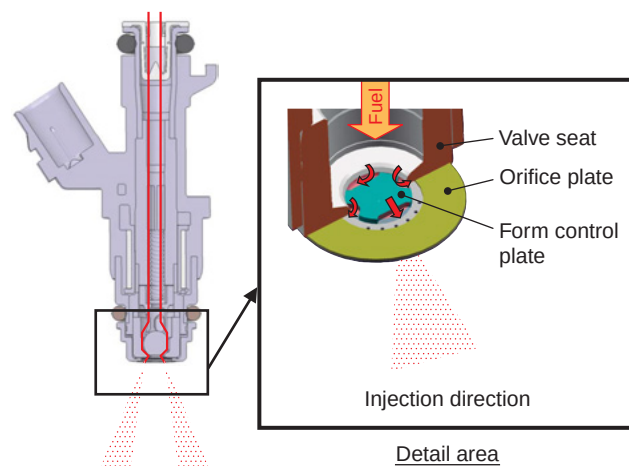


Fig. 12 Detailed structure of injector unit

要である。これは排気ガスの圧力損失を低下させるという点で出力向上にも有効である。Fig. 13にフロントコーン形状を示す。今回のエンジンの排気システムではエキゾーストマニホールド一体型シリンダヘッドの直後に触媒を配置しており、ポートから出てきた排気ガスを屈曲して流さねばならず排気ガスを均一に導入することが困難なレイアウトとなっている。

Fig. 14にフロントコーンの排気ガス流れ解析を示す。2番、3番ポートからの排気ガスは慣性力によりフロントコーン外壁を流れる傾向がある[Fig. 14(a)]。また1番、4番ポートからの排気ガスはポートからの通路が急峻であることからフロントコーン集合部で旋回流となり、旋回したままコンバータ外縁部へ流れてしまう[Fig. 14(b)]。

そこで、Fig. 14のガス流れ特性を考慮しフロントコーン形状を最適化したことによって Fig. 15 に示すように排気ガスが外縁部へ集中していたものを中央に流動させ均一な

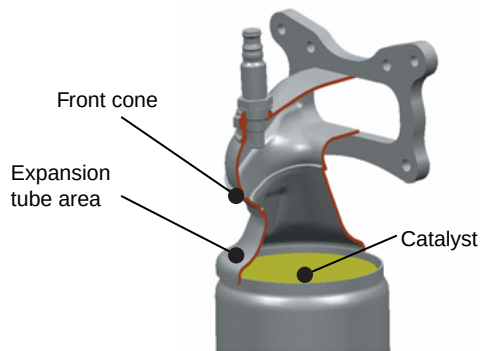


Fig. 13 Front cone section view

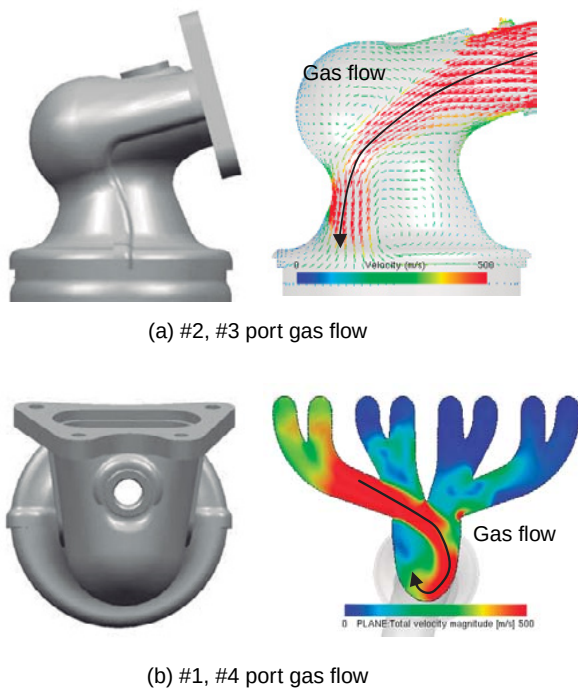


Fig. 14 Analysis of exhaust gas flow

ガス当たりを実現することができた。

さらに下流の拡管領域では、コーン形状をベルマウス型に近づけることで、壁面の渦損失の低減をはかった⁽³⁾。

(6) 空燃比制御性向上

Fig. 16 に各気筒の排気行程における UEGO センサのガス当たり状態を示す。空燃比制御性向上のためには、UEGO センサが各気筒の排出ガスを均等に検知することが必要である。各シリンダからの排気ガスをCFDシミュレーションにて解析しセンサ配置の最適化をおこなった。この結果すべてのシリンダからの排気ガスを均等にセンサに当てることができより精度の高い空燃比制御性を実現した。

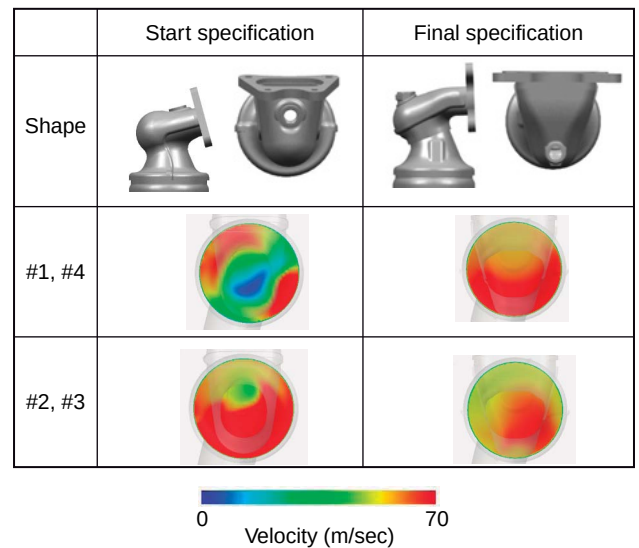


Fig. 15 Optimized exhaust gas feed to catalyst

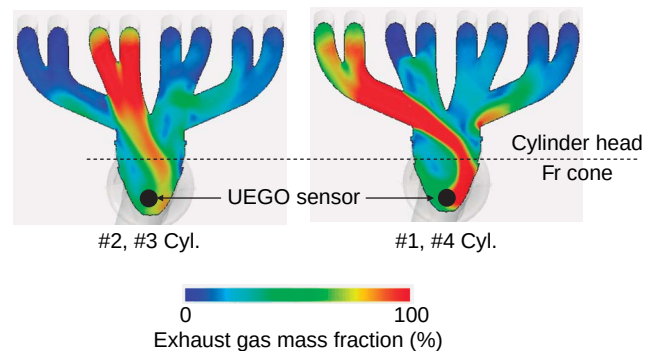


Fig. 16 UEGO Sensor arrangement optimization

7. 燃費

7.1. エンジン単体燃費

Fig. 17 にエンジン総排気量に対するBSFCを示す。VTCを従来の25 degから50 degに拡大することにより内部EGR効果が得られポンピングロス低減し、従来型エンジン同様に理論空燃比燃焼にてBSFCを4.1%改善し、単体燃費を向上した。

7.2. 燃費改善技術

今回のエンジンでは従来から採用している VTC 機構の作動角を 25 deg から 50 deg に変更した。変更効果を Fig. 18 に示す。従来 VTC の作動角が 25 deg であったものを

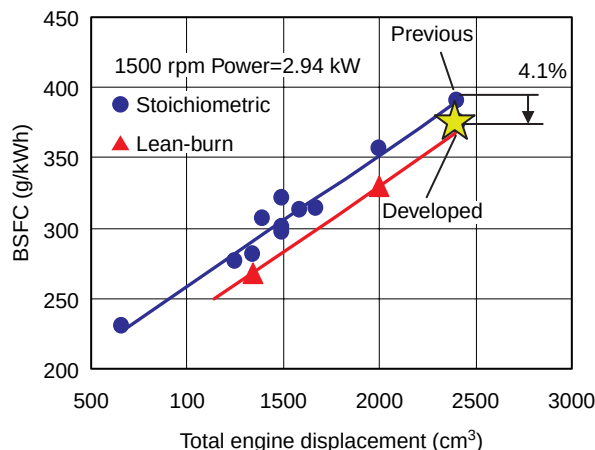


Fig. 17 Effect of BSFC decrease

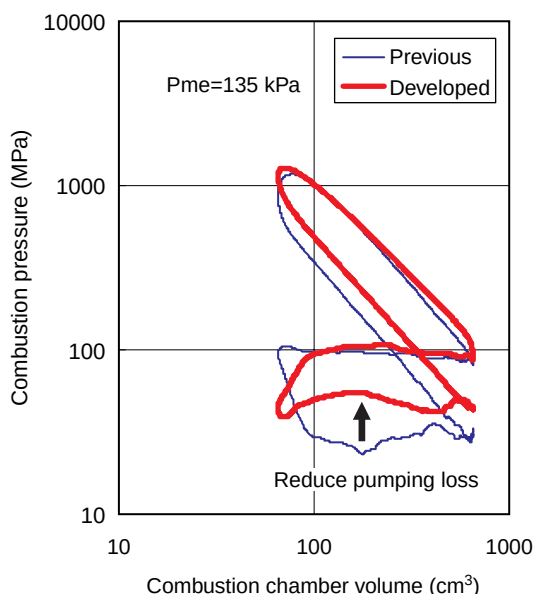


Fig. 18 Effect of new VTC angle

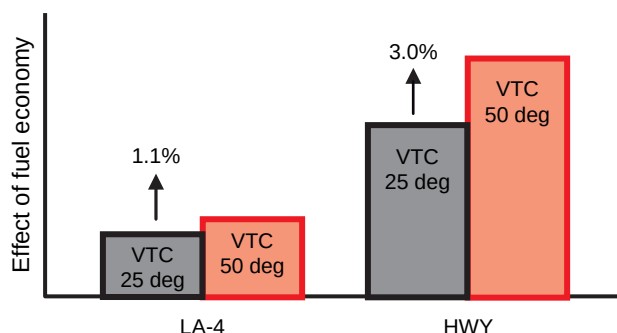


Fig. 19 Effect of fuel economy on VTC angle

50 deg まで拡大することにより内部 EGR 効果によって吸気行程でのポンピングロスが低減されることがわかる。

各運転領域で最適な VTC 角度に設定した結果、Fig. 19 に示すように低中負荷運転領域での評価である US LA-4 モードで約 1%，HWYモードで約 3%の燃費向上効果が認められ、クラストップレベルの燃費を達成した。また直下コンバータのキャタマットに新たに高耐熱材を開発することによって、従来の床下コンバータ機種と同等の理論空燃比運転領域を確保することができた。

8. 振動騒音低減技術

より高い快適性の達成のため、NV(Noise Vibration)性能は大切な要因である。Fig. 20に示すように従来エンジンをより高出力化するにあたり、単体放射音の増加が懸念となってしまう。

しかし、このエンジンではアルミオイルパンを採用しワーブラント剛性を向上させることにより従来機種同等の NV レベルを達成した。

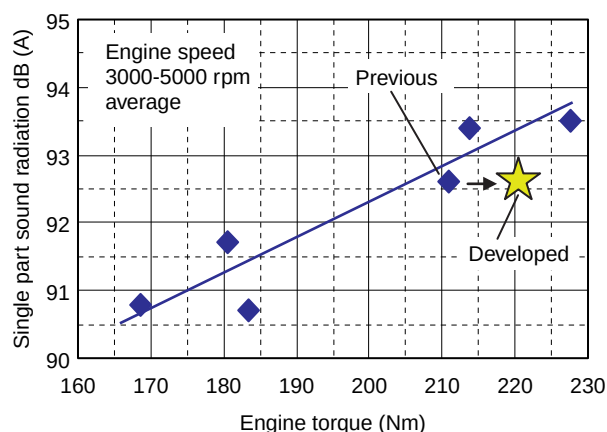


Fig. 20 Positioning of noise vibration

9. まとめ

今回開発したエンジンでは以下の知見が得られこれらの技術を具現化することにより高いエミッションレベルと卓越した出力性能を高次元でバランスすることができた。

- (1)直列4気筒エンジンでの排気干渉の影響を解析することによりエキゾーストマニホールド一体シリンダヘッド構造においても、142 kW 220 Nm とクラストップレベルの高い出力性能を達成した。
- (2)エキゾーストバルブ1バルブ休止や排気ガス流れ改善による浄化性能の改善、高着火性プラグ等の技術を採用したことにより従来機種よりも高出力化したにもかかわらず US LEV II SULEV に適合し従来機種同等の低エミッションレベルを達成した。

- (3) VTC 機構を従来の 25 deg から 50 deg に変更したことにより内部 EGR 効果が働きポンピングロスが低減され燃費を向上した。
- (4) パワープラント剛性を向上させたことにより従来機種に対して高出力化を達成したにもかかわらず従来と同等レベルの静粛性を確保した。

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
- (2) 北川浩, 三部敏宏, 岡松和則, 安井裕司: 「ACCORD SULEV」用極超低エミッションシステム, HONDA R&D Technical Review, Vol.12, No.2, p.37-44
- (3) 瀬古一行, 多賀渉, 鳥居建史, 中村聡, 秋間和洋, 関谷明堂: 新型 CIVIC 用 1.8Li-VTEC エンジンの開発 Honda R&D Technical Review, Vol.18, No.1, p.8-15

■ 著 者 ■



川口良太



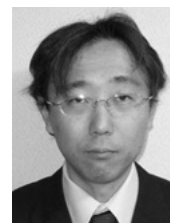
山本一哉



萱場 貴



小島 禎夫



新開 孝裕



浅芽 広一郎