

新動弁機構による過給および自然吸気共通構造 V 型 6 気筒ガソリン直噴エンジン

Turbocharged and Naturally Aspirated Gasoline Direct Injection V6 Engines
with Common Architecture based on New Valve Train System

瀧 翔 太 朗¹

Shotaro TAKI

今 北 暁 夫¹

Akio IMAKITA

川 和 悟¹

Satoshi KAWAWA

小 西 幸 生¹

Yukio KONISHI

石 井 和 将¹

Kazumasa ISHII

富 谷 祐 貴¹

Yuki TOMITANI

要 旨

新動弁機構を用いてエンジン主要ジオメトリを共通構造とした、出力性能向上を狙ったターボチャージャ過給仕様および環境性能向上を狙った自然吸気仕様の、二種類の V 型 6 気筒ガソリン直噴エンジンを開発した。過給エンジンの過給応答遅れ改善と自然吸気エンジンの熱効率改善のため、吸排気 Variable Timing Control を採用した。また従来エンジン同等のエンジン本体サイズを維持するため、気筒休止切替え機構を内蔵したバルブリフタ式の Variable Cylinder Management システムと Hydraulic lash adjuster およびローラロッカーアームを組み合わせた、コンパクトな新動弁機構を開発した。これにより、SOHC 構造の従来エンジンと同等のシリンダヘッドサイズでこれらの機構を搭載できた。さらにこの新動弁機構により、シリンダヘッド構造とクランクやカムの回転軸位置などのエンジン主要ジオメトリを、過給および自然吸気エンジンで共通化し、タイミングベルトドライブシステムなどのコモナリティも確保した。過給エンジンはツインスクロールシングルターボチャージャを採用し、最高出力 265 kW、最大トルク 480 Nm を達成した。自然吸気エンジンは燃料噴射システムを 30 MPa へ高圧化し、本エンジン搭載車両で LEV III SUEV30 と PM 1 mg/mile を達成した。

ABSTRACT

Two gasoline direct injection V6 engines were developed using a new valve train architecture with a common engine geometry: a turbocharged engine aimed at enhancing power performance, and a naturally aspirated engine aimed at enhancing environmental performance. Variable Timing Control for intake and exhaust was adopted to improve boost pressure responsivity for the turbocharged engine and thermal efficiency for the naturally aspirated engine. To maintain an engine size comparable to that of the previous engine, a new compact valve train was developed, combining a valve lifter-based Variable Cylinder Management system with built-in cylinder deactivation switching mechanism, hydraulic lash adjusters, and roller rocker arms. With these changes, these systems were equipped at the same cylinder head size as the previous SOHC engine. Furthermore, the new valve train allowed for a common engine geometry between the turbocharged and naturally aspirated engines, including cylinder head structure and rotational axis positions of the crank shaft and cam shafts, to help ensure commonality for the timing belt drive system and other systems. A single twin-scroll turbocharger was adopted for the turbocharged engine, achieving a maximum power of 265 kW and maximum torque of 480 Nm. The naturally aspirated engine features a fuel injection system with fuel pressure increased to 30 MPa, and a vehicle with the engine achieved an LEV III SUEV30 rating, producing PM of 1 mg/mile.

1. まえがき

北米市場では SUV やピックアップトラック用に駆動力余裕のあるパワートレインが望まれている。Honda は 1997 年に V 型 6 気筒 (V6) 3.0 L 自然吸気 (NA) SOHC VTEC

エンジンを開発し高出力化した。2003 年には 6 気筒と 3 気筒の切替え運転をおこなうロッカーアーム (R/A) 式の気筒休止切替え動弁機構の Variable Cylinder Management (VCM) システム⁽¹⁾を開発し、環境性能を向上した。そして 2008 年には更なる環境性能向上のため、6 気筒・4 気筒・

¹ 本田技研工業株式会社

E-mail: shotaro_taki@jp.honda

3気筒の多段切替え運転をおこなう VCM-II システムを開発し、出力向上のための排気量拡大と組み合わせ、V6 3.5 L NA エンジンに改良⁽²⁾した。2013 年には出力特性改善のためバルブリフトを切替える VTEC と、環境性能向上のための VCM システムを組み合わせた V6 3.5 L 直噴 NA エンジン⁽³⁾を開発した。

北米市場をメインにラグジュアリー車両を取り扱う Acura ブランドにおいても、この V6 エン진을主力のパワートレインとして採用している。近年ではフラッグシップハイパフォーマンスモデルの商品魅力向上のため、従来の V6 3.5 L NA 直噴エンジンの大幅な出力向上が求められている。出力向上にはターボチャージャ (T/C) による過給が有効であるが、低回転域の過給応答遅れによる発進レスポンス低下が課題である。過給応答遅れは、T/C のツインスクロール化による排気干渉低減と、吸排気 Variable Timing Control (VTC) によるバルブオーバーラップの最適制御により改善できる⁽⁴⁾。

一方で北米市場の Honda ブランドにおいては、SUV などの積載や牽引走行を伴う車両で、発進時の駆動力余裕と低回転から高回転までスムーズな出力特性をもつ大排気量 NA エンジンも求められている。また昨今では自動車業界全体で環境負荷低減に対する要求が厳しさを増している⁽⁵⁾。そのため新開発 NA エンジンのエミッション (EM) 性能は、従来エンジンが達成している LEV III ULEV125 に対し、NMOG および NO_x をおおよそ 1/4 に低減した LEV III SULEV30 を目標とした。EM の改善は燃料噴射システムを高圧化し、筒内燃料付着を低減することで可能である。また吸排気 VTC 制御によるポンピングロス低減と、内部 EGR 量の最適化により熱効率の改善も可能である。

このように出力性能および環境性能の向上に共通して吸排気 VTC の採用が望まれるが、そのためには動弁系構造を従来エンジンの SOHC から DOHC へ変更する必要がある。R/A 式 VCM システムを用いて DOHC 化すると、動弁機構を支持するシリンダヘッドが大型化してしまい、従来エンジン同等のエンジン本体サイズを維持することが容易でない。そこで気筒休止切替え機構を内蔵したバルブリフト式 VCM システムと、Hydraulic lash adjuster (HLA) およびローラ R/A を組み合わせたコンパクトな動弁機構を開発し、エンジン本体サイズの拡大を防いだ。さらにこの新動弁機構によって、シリンダヘッド構造とクランクやカムの回転軸位置などのエンジン主要ジオメトリを、T/C および NA エンジンで共通化できた。これによりタイミングベルトドライブシステムのコモナリティも確保した。

本稿では今回開発した新動弁機構と、それを用いて共通構造とした、出力性能向上を狙った T/C 仕様および環境性能向上を狙った NA 仕様の二種類の V6 ガソリン直噴エンジン (Fig. 1) について、開発の狙いとその適用技術を述べる。



3.0 L turbocharged engine



3.5 L naturally aspirated engine

Fig. 1 Overview of newly developed engines

2. 開発の目標

下記に新動弁機構を用いて共通構造とした、T/C および NA エンジンの開発目標を示す。

(1) 新動弁機構

- ・吸排気 VTC と VCM システムの採用
- ・従来型エンジン同等のシリンダヘッドサイズ
- ・エンジン主要ジオメトリの共通化
(動弁系構造, シリンダヘッド構造, 主要回転軸位置)

(2) T/C エンジン

- ・最高出力 265 kW, 最大トルク 480 Nm
(4.0 から 4.5 L NA 相当)
- ・発進レスポンスの向上
- ・最高熱効率 36.5% 以上

(3) NA エンジン

- ・EM カテゴリ LEV III SULEV30 の達成
- ・最高熱効率 37.5% 以上

3. 新動弁機構

Fig. 2 (a) に今回開発した DOHC 構造のバルブリフト式 VCM システムと、(b) に L4 DOHC エンジンに採用されている R/A 式 VTEC の動弁機構構造の比較を示す。

本 VCM システムは気筒休止切替えピンをバルブリフト内に内蔵し、二つのバルブスプリングと各スプリングに

リテーナを用いることで、ロストモーション機能と共に VCM システムをバルブ軸上に集約した。また HLA とローラ R/A を用いることで、(b) の R/A 式 DOHC VTEC に比べてカムシャフト位置をバルブ軸よりもシリンダーセンタ側へ配置した。これによりバルブ挟み角を同等としながら、VCM システムの採用によるシリンダーヘッドサイズの拡大を防いだ。

バルブリフタ式 VCM システムは、二輪車向けのバルブ休止機構付きバルブ制御システム (HYPER VTEC)⁽⁶⁾ をベースに、四輪自動車向けに新規開発をおこなった。本システムの部品構成を Fig. 3 に、気筒休止切替え動作時のバルブリフタ挙動を Fig. 4 に示す。気筒休止切替えは、バルブリフタに内蔵された切替えピンをシリンダーヘッドに設けた油路からの油圧で制御する。バルブリフト作動時には作動油路からの油圧で切替えピンをストッパーピン側に押し付け、切替えピンを介してバルブをリフトさせている。バルブリフト非作動時には非作動油路からの油圧で切替えピンをスライドさせ、切替えピンに設けた貫通穴をバルブ軸に一致させる。バルブリフタがリフトすると、この貫通穴にバルブシステム端部がもぐり込むことでバルブリフトが休

止する。またバルブリフタはバルブステム軸方向にしゅう動するスライドリテーナとアウトースプリングにより、バルブリフタ挙動をカムプロファイルに追従させることを可能にした。

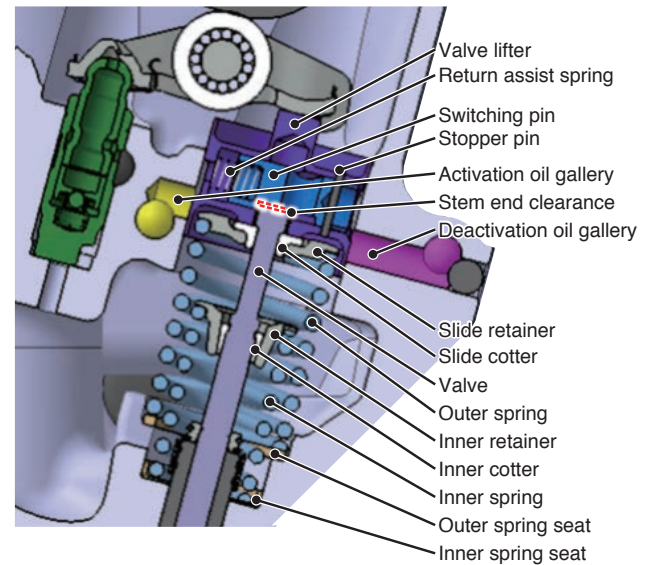


Fig. 3 Component of valve lifter-based VCM

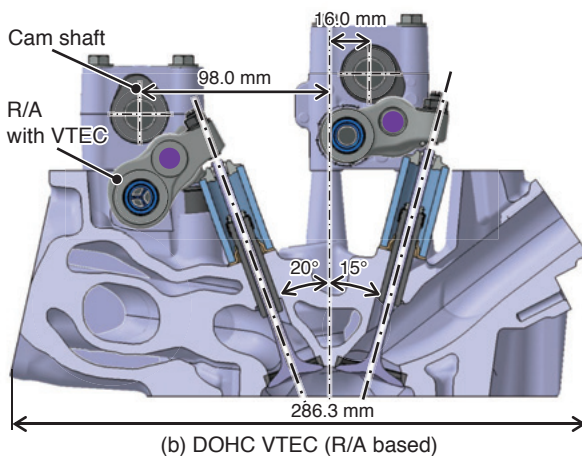
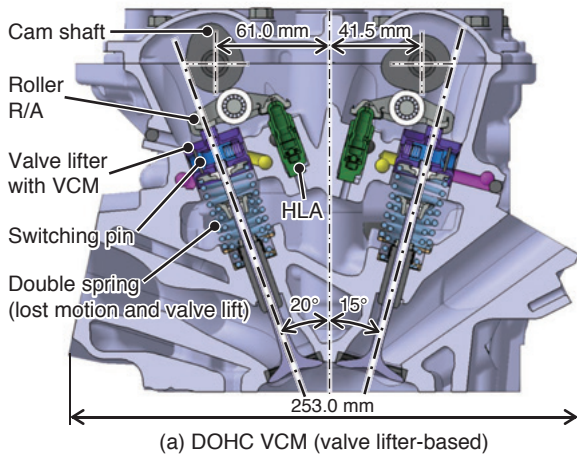
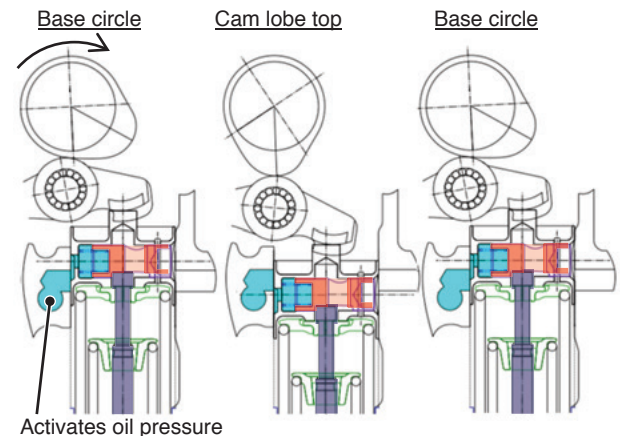
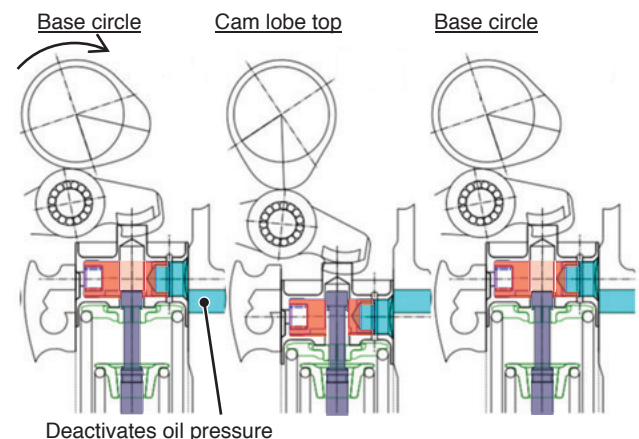


Fig. 2 Comparison of valve train architectures between previous and newly developed models



(a) Valve lift activation



(b) Valve lift deactivation

Fig. 4 Valve lifter motion

新動弁機構は、Honda の気筒休止動弁機構として初めて HLA との組合せを実現した。HLA の採用により、構成部品の寸法ばらつきによって生じる、R/A とカム駒およびバルブリフト間のクリアランスを自動的にゼロにすることができた。これによりカムプロファイルとバルブリフトのズレを低減し、吸入空気量ばらつき縮小による燃焼性能ばらつき低減と、メンテナンスフリーな動弁機構を実現した。HLA と組み合わせた VCM システムには、気筒休止切替えピンの作動に必要なクリアランスを、切替えピンとバルブシステム端面の間に設けることで確実な作動を実現した。

Fig. 5 に従来エンジンの SOHC VTEC-VCM システムと、新開発 DOHC VCM システムのシリンダヘッド断面の比較を示す。DOHC 構造と VCM システムを採用しながら、従来エンジン同等のシリンダヘッドサイズを実現できた。またカムジャーナルと一体のアルミ合金製カムカバーを用いることで、カバーを含めたシリンダヘッド高さを従来エンジンより 30 mm 小型化した。

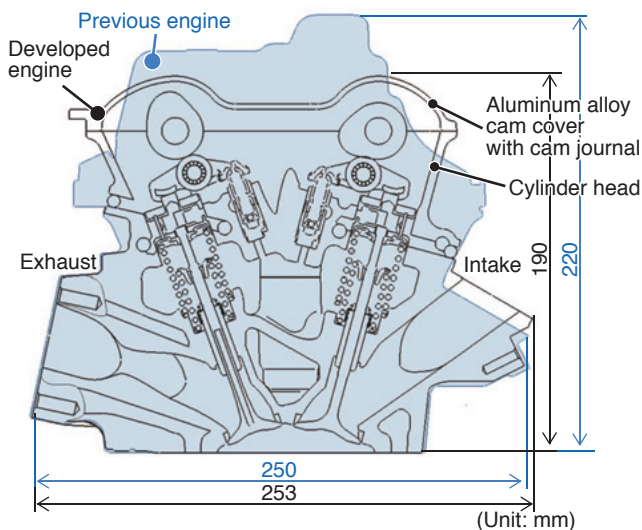


Fig. 5 Comparison of cylinder head appearances

4. エンジン主要ジオメトリの共通化

本開発エンジンは、新動弁機構によってシリンダヘッド構造とクランクやカムの回転軸位置などのエンジン主要ジオメトリを、T/C および NA エンジンで共通化した。さらに従来型エンジンから、ボア間距離、ブロック高さ、バンク角度などを踏襲した。これらにより DOHC 構造と吸排気 VTC を採用しながら、従来エンジン同等のエンジン本体サイズを達成した。

またエンジン主要ジオメトリの共通化は、タイミングベルトドライブシステムを T/C および NA エンジンで共用

することを実現した。Fig. 6 にタイミングベルトシステムレイアウトを示す。一般的に V 型エンジンに採用されるタイミングチェンドライブシステムは、各バンクがオフセットしているため、クランク軸から複数本のチェーンで駆動する必要がある。そのためクランク軸方向のエンジン本体サイズが拡大する。そこで従来エンジンと同様に、クランク軸とカム軸およびウォーターポンプを 1 本のタイミングベルトで駆動するサーペンタインレイアウトを採用し、エンジン本体サイズの拡大を防いだ。

本エンジンは、DOHC 構造と吸排気 VTC を採用したことで、動弁系駆動仕事が増加する。そこでタイミングベルト強度を確保するため、オートテンショナ機構に摩擦式テンショナを採用して共振張力を低減した。

吸排気 VTC はドリブンプーリーと一体化し、タイミングベルトによって駆動される。Fig. 7 に VTC 一体のドリブンプーリーの構造を示す。プーリー部は粉末焼結材のため、VTC 内のオイル染み出しによるタイミングベルト汚損を防止する必要がある。そこで本 VTC では構成部品の合せ面に O-ring を設定し、さらに粉末焼結材製のプーリーに樹脂含浸を施すことでオイルを封止し、ベルト汚損を防ぐ構造とした。

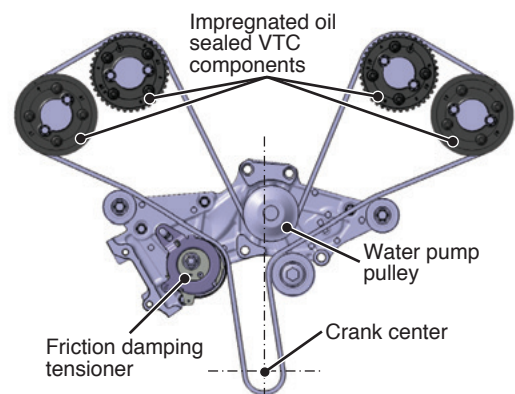


Fig. 6 Serpentine timing belt system

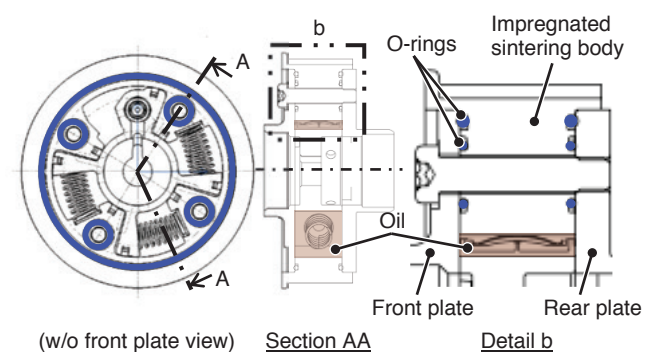


Fig. 7 Impregnation to seal oil for VTC

Table 1 Comparison of engine specifications

	Previous NA engine	Developed NA engine	Developed T/C engine
Cylinder configuration	V6 cylinder	V6 cylinder	V6 cylinder
Displacement [cc]	3471	3471	2997
Compression ratio	11.5	11.5	9.8
Bore × Stroke [mm]	Φ89 × 93	Φ89 × 93	Φ86 × 86
Bore pitch [mm]	98	98	98
Block height [mm]	235	235	235
Bank angle [deg]	60	60	60
Valve train configuration	SOHC – 4-valve / cylinder	DOHC – 4-valve / cylinder	DOHC – 4-valve / cylinder
Variable valve control device	Intake/Exhaust VTEC and VCM	Intake/Exhaust VTC and VCM	Intake/Exhaust VTC and VCM
Variable cylinder management	6 – 3 cylinder switching	6 – 3 cylinder switching	6 – 3 cylinder switching
Cam drive system	Belt drive / Hydraulic tensioner	Belt drive / Friction damping tensioner	Belt drive / Friction damping tensioner
Aspiration system	Natural aspiration	Natural aspiration	Twin-scroll turbocharged aspiration
Fuel injection system	Direct injection	Direct injection	Direct injection
Maximum fuel pressure [MPa]	20	30	20
Fuel grade	RON91	RON91	RON95
Emission category	LEV III ULEV125	LEV III SULEV30	LEV III ULEV70
Maximum thermal efficiency [%]	36.5	37.5	36.5
Maximum power [kW/rpm]	209 / 6000	213 / 6100	265 / 5500
Maximum torque [Nm/rpm]	355 / 4700	355 / 5000	480 / 1400 - 5000

5. T/C および NA エンジン諸元

Table 1 に新動弁機構を用いて共通構造とした T/C および NA エンジンの主要諸元を、従来エンジンと比較して示す。T/C 仕様と NA 仕様で共通構造を取ることににより、T/C の適用や燃料噴射システムの高圧化などによる小変更で、二種類のエンジンを作り分けられるようになった。それぞれのエンジン仕様に適した技術を採用することにより、T/C エンジンでは最高出力および最大トルクと発進レスポンスを向上し、NA エンジンでは EM 性能を向上した。

6. 新開発 T/C エンジン

新開発 T/C エンジンは、搭載レイアウトのコンパクト化のためシングルターボチャージャを採用し、トランスミッション上に搭載することで、従来エンジンと同一のエンジン前後長を達成した (Fig. 8)。

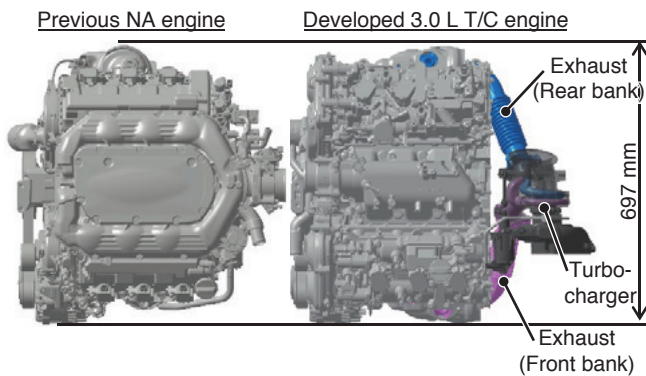


Fig. 8 Comparison of engine width between previous NA and developed T/C engines

シングルターボチャージャによる高出力化はターボチャージャ体格が大きくなり、低回転域の過給応答性が課題となる。そのため、排気干渉の少ないツインスクロール式を採用することで過給応答性を向上させた。Fig. 9 にツインスクロールとモノスクロールターボチャージャの過給応答性能の比較を示す。エンジン回転数 1500 rpm 固定で負荷を変化させた条件では、ツインスクロール式の方が最大トルクの 80% に到達するまでの時間を 0.5 s 短縮した。

燃焼技術は 2.0 L L4 ターボエンジンのコンセプトを踏襲し⁽⁴⁾、筒内の乱流エネルギー強化による急速燃焼により、ノッキングを抑制することで熱効率向上を図った。Fig. 10 に吸気ポートとピストン冠面形状および CFD で求めた筒内流動パターンを示す。ポート下部のエッジを立てた形状とすることで、吸気バルブ上面に吸入空気的主流を導きタンブル流を強化し、R サイズの大きい浅皿の冠面形状とすることでタンブル流の保持性を高めた。

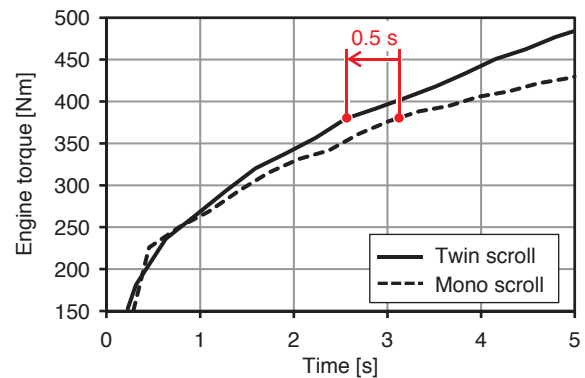
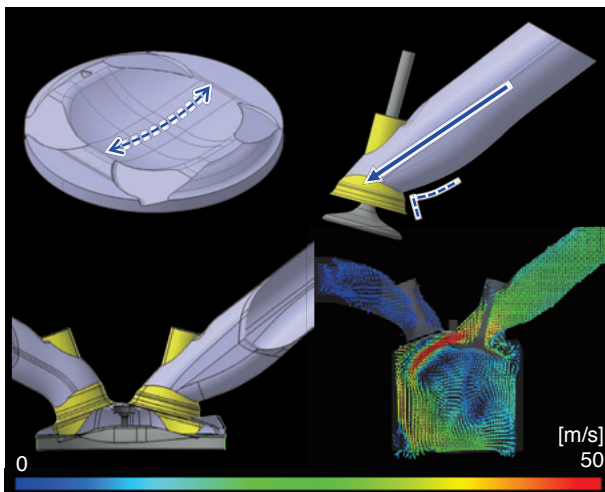


Fig. 9 Engine torque response at 1500 rpm

Fig. 11 に吸排気 VTC 制御の概要を示す。発進レスポンスに寄与する低回転高負荷領域は、バルブオーバーラップを増やし、過給圧による掃気効果を用いてトルクを向上した (a)。低回転低中負荷領域は、内部 EGR 量最適化による熱効率向上と、気筒休止によるポンピングロス低減によって燃費を向上した (b, c)。中高回転領域は、バルブオーバーラップ量を減らす方向で最適化し、排気効率向上によるノッキング改善により熱効率を向上した (d)。始動およびアイドル領域は、バルブオーバーラップ量を小さくして内部 EGR 量を減らし、燃焼安定性を向上させた (e)。

Fig. 12 に出力およびトルク特性を示す。最高出力は 265 kW、最大トルクは 480 Nm を 1400 rpm から 5000 rpm までの領域で発揮する。また Fig. 13 にエンジン単体の熱効率を示す。最高熱効率は 36.5% を達成し、出力トルクを向上しながら熱効率 34% 以上の領域を拡大することができた。



(At 1500 rpm, wide open throttle (WOT), crank angle 470 deg)

Fig. 10 Intake-cylinder flow of T/C engine

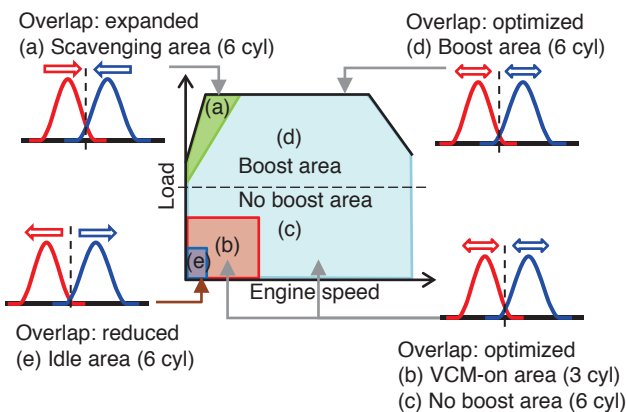


Fig. 11 Intake/Exhaust VTC control strategy

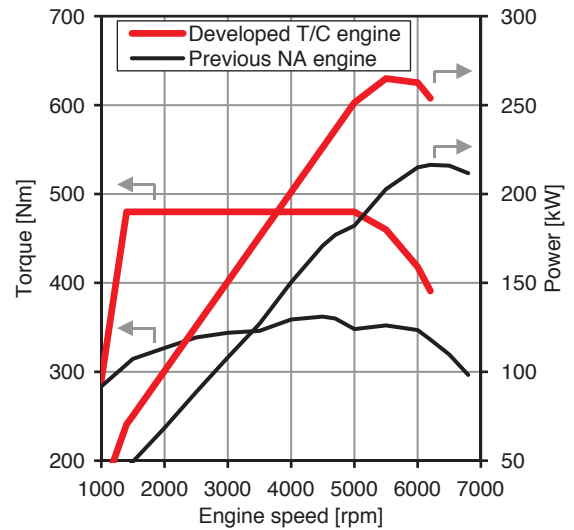


Fig. 12 Engine performance

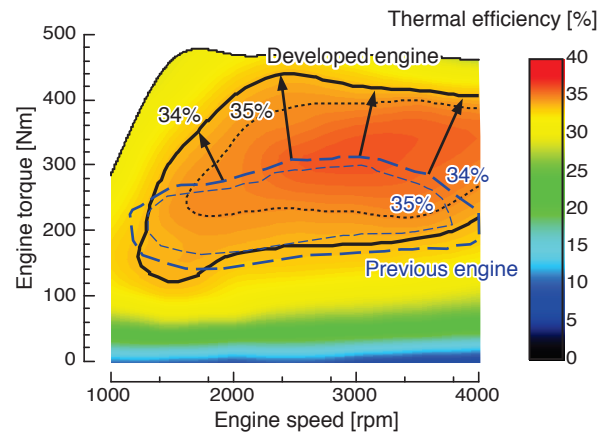


Fig. 13 Thermal efficiency map of developed T/C engine

7. 新開発 NA エンジン

新開発 NA エンジンは、LEV III SULEV30 規制値達成のために、未燃ガス排出量とすすの排出量を大幅に低減する必要がある。そこで直噴可変燃料圧制御の最大燃圧を従来の 20 MPa から 30 MPa に高圧化し、噴霧を微粒化することで筒内燃料付着を低減した。また高燃圧化により燃料噴射流量を従来モデル同等に確保しながら、インジェクタ噴孔径を縮小することで、噴霧先端到達距離（ペネトレーション）を低減した (Fig. 14)。さらに多段噴射による連続噴射期間 (Ti) 短縮によってもペネトレーションを低減した。

Fig. 15 に多段噴射の適用領域を示す。運転条件ごとに多段噴射条件を変えることで、安定した燃焼性能を確保している。これらの技術により本 NA エンジン搭載車両にて、LEV III SULEV30 および PM 1 mg/mile を達成し、EM 性

能の向上を実現した。

熱効率の向上には、T/C エンジン同様にタンブル流を高めた吸気ポートとタンブル流を保持するピストン冠面形状を採用し、筒内流動強化による燃焼改善を図った。Fig. 16 に吸気ポートとピストン冠面形状および CFD で求めた筒内流動パターンを示す。ポート下部のエッジを立てた形状により流動強化を図りながら、T/C エンジンに対して断面形状を大きくとることで吸気流量の低下を防いだ。また高圧縮比とタンブル保持性の両立を狙った冠面 R 形状とした。

Fig. 17 に吸排気 VTC 制御の概要を示す。各運転領域でバルブオーバーラップ量を最適化した。低から中回転領域 (a) では、ポンピングロス低減と内部 EGR 量最適化により、熱効率を向上させた。さらに気筒休止を組み合わせる (b) ことで広い運転条件での熱効率向上を実現した。また高回転域では排気効率向上によるノック改善を狙い (c)、バルブオーバーラップ量低減側で適正化することで出力を向上させた。

これらの技術により従来エンジン同等以上の最高出

力 213 kW と最大トルク 355 Nm を達成した。Fig. 18 に熱効率を示す。最高熱効率は従来エンジンの 36.5% から 37.5% に向上し、熱効率 35% 以上の領域を拡大することができた。

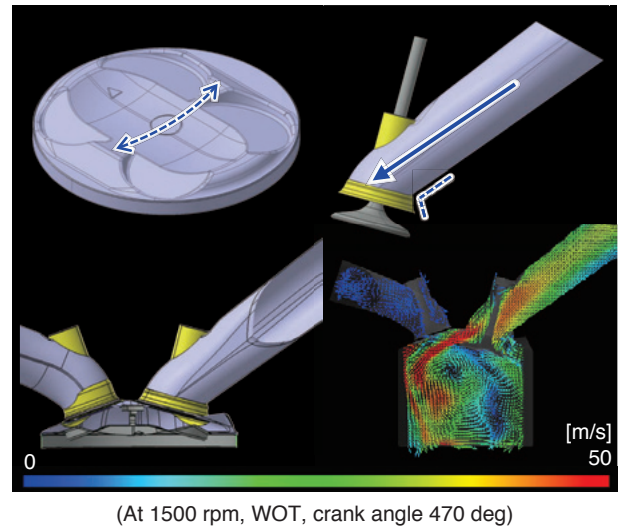
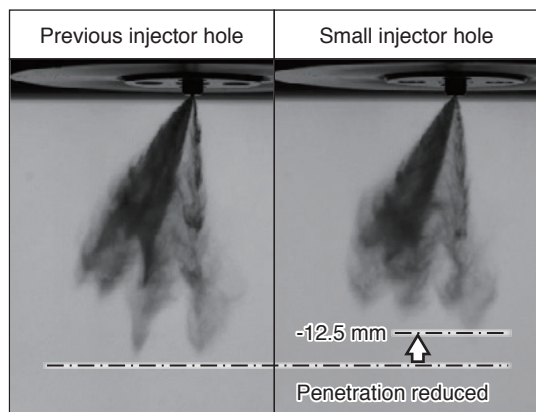


Fig. 16 In-cylinder flow of NA engine



(Fuel pressure: 8 MPa; Ti: 2 ms; Time after injection: 2.3 ms)

Fig. 14 Effect of small injector hole diameter

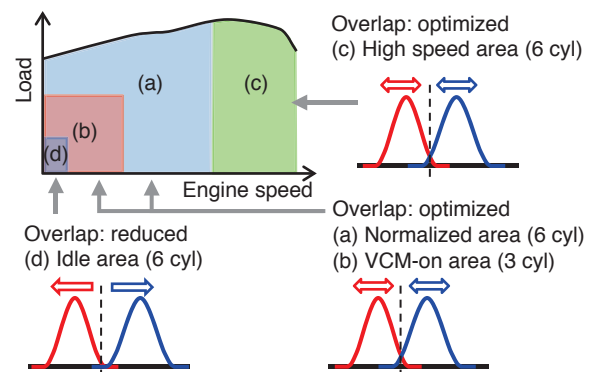


Fig. 17 Intake/Exhaust VTC control strategy

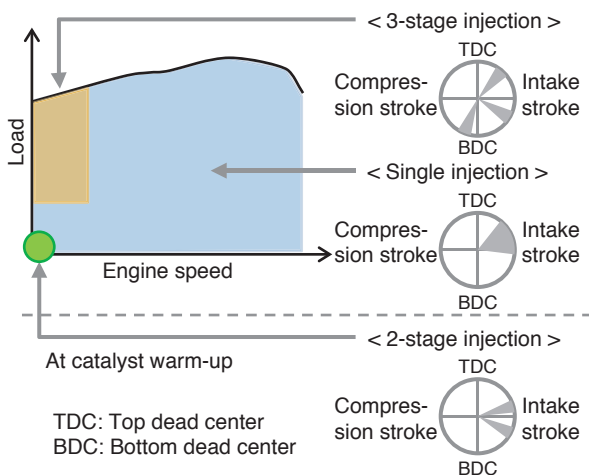


Fig. 15 Fuel injection operation

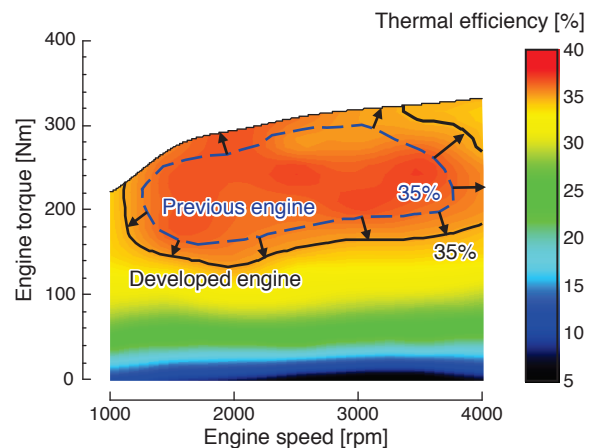


Fig. 18 Thermal efficiency map of developed NA engine

8. まとめ

HONDA R&D Technical Review, Vol. 11, No. 1, p. 79-84

新動弁機構を用いて共通構造とした、T/C および NA 仕様の V6 ガソリン直噴エンジンを開発し、以下の結果を得た。

- (1) 新動弁機構は、気筒休止切替え機構をバルブリフタに内蔵し、コンパクトな VCM システムを実現した。
これと HLA およびローラ R/A を組み合わせ、DOHC 化と吸排気 VTC の採用を実現し、さらに従来エンジン同等のシリンダヘッドサイズを達成した。
HLA の採用により、吸入空気量ばらつき縮小による燃焼性能ばらつきの低減と、メンテナンスフリーを実現した。
エンジン主要ジオメトリを T/C および NA エンジンで共通化し、タイミングベルトドライブシステムなどのコモナリティを確保した。
- (2) T/C エンジンは、最高出力 265 kW, 最大トルク 480 Nm を達成し、従来型エンジンに対し出力で 26.7%, トルクで 35.2% 向上した。また最高熱効率 36.5% を達成した。
- (3) NA エンジンは、最高出力 213 kW, 最大トルク 355 Nm を達成した。また環境性能では最高熱効率を従来型エンジンの 36.5% から 37.5% に向上した。また本エンジンを搭載した車両にて LEV III SULEV30 および PM 1 mg/mile を達成した。

参考文献

- (1) 野口勝三, 藤原幹夫, 瀬川誠, 澤村和同, 鈴木茂 : V6 i-VTEC 可変シリンダシステムエンジンの開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 16, No. 1, p. 85-92
- (2) 瀬川誠, 熊谷和英, 佐藤隆治, 田村勇一, 藤原幹夫 : V6 新可変シリンダシステムエンジンの開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 20, No. 1, p. 33-39
- (3) 鈴木宣生, 林泰宇, 石木和也, 佐藤敦, 江崎達人, 渡辺賢 : 新型 V6 3.5L ガソリンエンジンの開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 25, No. 2, p. 9-16
- (4) Jono, M., Taguchi, M., Shonohara, T., Narihiro, S.: Development of a New 2.0L I4 Turbocharged Gasoline Direct Injection Engine, SAE Technical Paper 2016-01-1017, (2016)
- (5) United States Environmental Protection Agency: The 2021 EPA Automotive Trends Report: Greenhouse Gas Emissions, Fuel Economy, and Technology since 1975, Executive Summary, EPA-420-S-21-002, (2021)
- (6) 津久井孝明, 堤崎高司, 西澤賢一, 熊谷吉彦, 中島睦夫 : 直押し動弁系可変バルブ制御システムの開発,

■ 著 者 ■



瀧 翔太郎



川 和 悟



石井 和 将



今北 暁 夫



小西 幸生



富谷 祐 貴