

# 新型 V6 3.5L ガソリンエンジンの開発

Development of New V6 3.5 L Gasoline Engine

鈴木 宣生\*  
Nobuo SUZUKI  
佐藤 敦\*  
Atsushi SATO

林 泰宇\*\*  
Yasutaka HAYASHI  
江崎 達人\*\*  
Tatsuhito ESAKI

石木 和也\*  
Kazuya ISHIKI  
渡辺 賢\*  
Satoshi WATANABE

## 要 旨

CO<sub>2</sub> エミッションの低減と車本来の走る楽しさの両立を目的とする、新型 V6 3.5 L エンジンを開発した。本エンジンの主要技術である DI VTEC VCM システムは、可変バルブタイミングリフトと可変シリンダシステムにダイレクトインジェクションシステムを統合したものである。これにより前モデルに対し最大出力で 3.3%、燃料消費率で 20.1% の向上を果たした。本エンジンを搭載する 2014 年モデル ACURA RLX では、NV 性能向上による 3 気筒運転領域の拡大や、車体における燃費向上技術と合わせ、前モデル比米国環境保護庁ハイウェイモード 29%、シティモード 18% の燃費改善を達成した。

## ABSTRACT

A new V6 3.5 L gasoline engine was developed with the goal of simultaneously reducing CO<sub>2</sub> emissions and achieving the driving enjoyment inherent to vehicles. The DI VTEC VCM system that is the key technology of this engine integrates variable valve timing lift and a variable cylinder system with a direct injection system. This increased the maximum output by 3.3% and reduced the fuel consumption rate by 20.1% compared to the previous model. A 2014 model year ACURA RLX equipped with this new engine, enhanced NV performance that expands the 3-cylinder drive area, and vehicle body technologies that increase fuel economy achieved fuel economy enhancement of 29% in Environmental Protection Agency highway mode and 18% in city mode compared to the previous model.

## 1. まえがき

自動車の環境性能向上に期待が高まる中、Honda は 2020 年までに全世界で販売する製品の CO<sub>2</sub> 排出量を 2000 年比で 30% 低減することを目指している。優れた環境性能をベースに Honda ならではの運転する楽しさを追求し、走りや燃費を高次元で両立させる次世代新技術群を、EARTH DREAMS TECHNOLOGY と呼ぶ。Fig. 1 が EARTH DREAMS TECHNOLOGY の技術群である。0.66 L から 3.5 L までのガソリンエンジン、小型ディーゼルエンジン、軽自動車から中型車クラスまでの CVT、電気自動車 (EV) およびハイブリッドシリーズがラインナップされている。ガソリンエンジンは、Honda 独自の VTEC 技術を進化させ、熱効率の向上と低フリクション化により、高い出力性能と低燃費を両立させる。

\* 四輪 R&D センター

\*\* HONDA R&D AMERICAS, INC.

今回の新型 V6 3.5 L エンジンは、これまで搭載する車のコンセプトに応じて使い分けていた高出力型可変バルブタイミングリフトシステム (VTEC) と 3 気筒運転を可能とする可変シリンダシステム (VCM)<sup>(1)</sup>とを統合し、さ



Fig. 1 Domains of EARTH DREAMS TECHNOLOGY

らに筒内直接噴射方式 (Direct Injection: DI) を採用することで、燃費改善と高出力との両立をはかった。本稿ではこの新型 V6 3.5 L エンジンに適用した新技術について報告する。

## 2. 開発のねらい

新エンジンは、ミッドサイズラグジュアリーセダンへの搭載を可能とする高い商品魅力と環境性能との両立をはかるべく、下記を目標として開発した。

- (1) トップクラスの出力競争力の確保
- (2) トップクラスの米国環境保護庁 (EPA) モード燃費の達成
- (3) ミッドサイズラグジュアリーセダンにふさわしい NV 性能

## 3. エンジン概要と適用技術

V6 エンジンの低燃費化技術として、VCM システムがある。VCM システムは、V6 エンジンをも 2 基の 3 気筒エンジンと考え、運転状態に応じ、6 気筒のうち片側バンク 3 気筒の吸排気バルブ駆動を瞬時に停止し、残る 3 気筒のみで走行するシステムである。アクセルを踏みこむなど、大きな負荷がかかる場合は瞬時に 6 気筒運転に復帰することで、大排気量のパワーと小排気量の低燃費を高い次元で両立させる。

本エンジンは、DI VTEC VCM 化のため動弁系と燃焼室形状とを新規設計し、VTEC 化と DI 化による吸入効率及びノック改善によるトルクアップにより低速トルクを確保した。回転一次振動で有利なバンク角 60° の V6 レイアウトや、小型で軽量な骨格構造は前モデルから踏襲した。エンジン外観を Fig. 2 に、エンジンの主要諸元を Table 1 に示す。

本稿では、本エンジンの主要技術である VTEC VCM システム、DI システムについて述べる。あわせて、燃費改善



Fig. 2 J35Y4 engine

Table 1 Engine specifications

| Engine code                     | J35Y4 (new)         | J37A              |
|---------------------------------|---------------------|-------------------|
| Displacement (cm <sup>3</sup> ) | 3471                | 3664              |
| Bore x stroke (mm)              | 89 x 93             | 90 x 96           |
| Valve train                     | SOHC VTEC with VCM  | SOHC VTEC         |
| Compression ratio               | 11.5:1              | 11.2:1            |
| Fuel system                     | Direct injection    | Port injection    |
| Max. power (kW/rpm)             | 231 / 6500          | 224 / 6300        |
| Max. torque (Nm/rpm)            | 369 / 4500          | 368 / 5000        |
| Redline (rpm)                   | 6800                | 6800              |
| Fuel grade                      | Premium recommended | Premium mandatory |

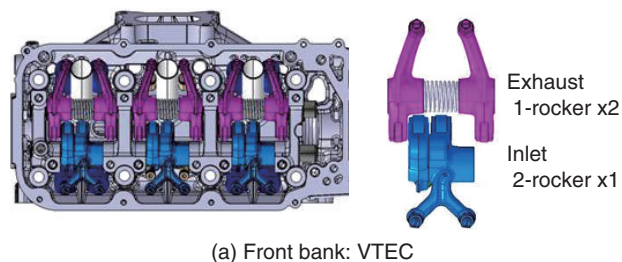
に寄与するフリクション低減技術、VCM 適用技術とモード燃費改善効果について述べる。

## 4. DI VTEC VCM 主要技術

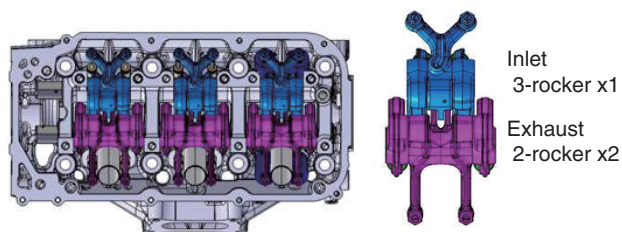
### 4.1. VTEC VCM システム

本エンジンに採用した VTEC VCM システムを Fig. 3 に示す。V 型エンジンの常時駆動するフロントバンクに VTEC ロックアームを配置 [Fig. 3(a)] し、リヤバンクには新構造となる VTEC VCM ロックアームを配置 [Fig. 3(b)] し、3 気筒運転に対応させた。

運転モードの切り換えは、エンジンの回転数、負荷、車速、スロットル開度などの情報からおこなう。Fig. 4 に、リヤバンクの油回路図を示す。今回開発したシステムは、VCM 切り換えの油圧を制御するスプールバルブ A と、低速と高速運転の VTEC 切り換え油圧を制御するスプール



(a) Front bank: VTEC



(b) Rear bank: VTEC and VCM

Fig. 3 VTEC VCM structure

バルブ B との、二つの異なったスプールバルブによって構成される。これらのスプールバルブの切り換えにともない油圧はロッカアームに供給され、シンクロピストンピンを移動しロッカアームの連結と分離動作をおこなう。

#### 4.1.1. 異径同軸シンクロピストンピン構造

Fig. 5 に、今回開発した VTEC 異径同軸シンクロピストンピン構造と従来構造との違いを示す。従来構造では、VTEC 切り換え用のシンクロピストンピンと、VCM 切り換え用のシンクロピストンピンとは異軸に配置していた<sup>(2)</sup>。しかし、シンクロピストンピンの異軸配置によるイナーシャウエイトの増加は、フリクションロスによる燃費への影響をとまなうため、新開発の油圧－油圧切り換えによる 3 ステージ異径同軸シンクロピストンピン構造を採用した。これは、中空の大径ピンと中実の小径ピンとを中間ロッカ内に組み込み、油圧によりピンを伸長、スライドすることで 3 種のバルブリフトを実現するものである。

VTEC VCM のリフト切り換えを Fig. 6 に示す。初期状態では油路 2 に油圧がかかり、中間ロッカの外側ピンと内側ピンを押し広げることで低速ロッカと中間ロッカが連結し、低速カム駆動となる。気筒休止時は油路 1 に油圧がかかり、低速ロッカピンが押し出されることで低速ロッカと中間ロッカの連結が離れ、バルブ駆動を止める。高速カム

への切り換え要求が出た場合には油路 3 に油圧がかかることで高速ロッカのピンを押し出し、高速ロッカ、中間ロッカ、低速ロッカの三つのロッカが連結し高速カムとなる。

Fig. 7 に、エンジン回転数に対するバルブバウンス挙動の測定結果を示す。新しいシンクロピストンピン構造の採用により、重量増加を抑え、バルブスプリング荷重の増加無しに動弁系挙動を 7000 rpm まで安定化させることができた。

高速カムで駆動させる場合にも三つのロッカを連結する構造とすることで、新たなロストモーションスプリングの追加無しに高速運転時における低速ロッカの挙動を安定させた。

三つのロッカを結合しておくには従来構造では 2 経路に油圧をかける必要があるが、この同軸シンクロピストンピン機構では油路 3 の 1 経路のみ油圧をかければ良く、従来機構に対して油路容積と油漏れ量を低減させている。

#### 4.1.2. 切り換え応答性

VCM システムの切り換え応答性は、リニアなドライブフィールを実現する上で重要な要素である。VCM の切り換え信号に対し、油路内の各部圧力が速やかに供給油圧と同等に上昇、または低下することをねらい、切り換え応答性に影響する油路容積、油路経路、長さ、シンクロピストンピン部への油圧の導入性、油漏れ量などの最適化をはかった。

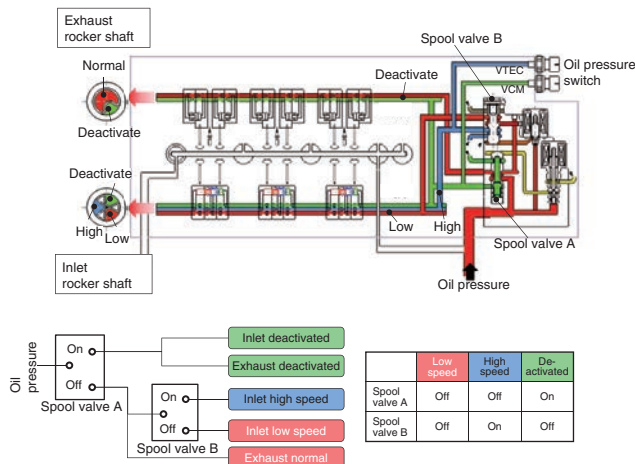


Fig. 4 VTEC VCM oil path system

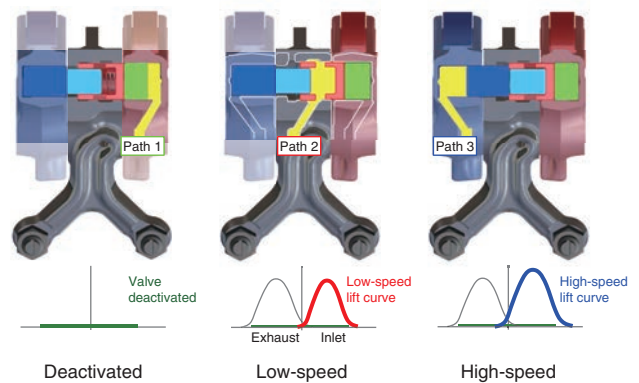


Fig. 6 Valve lift change over

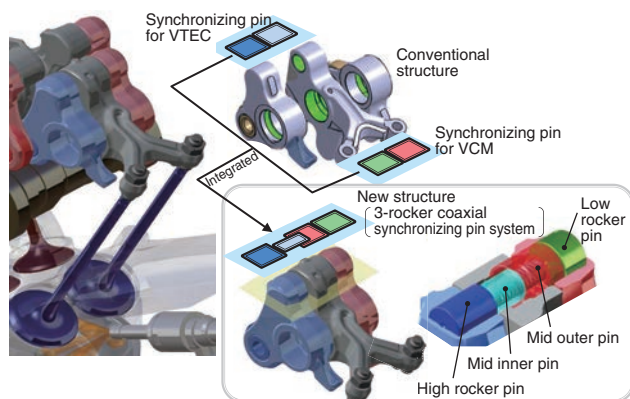


Fig. 5 Synchronizing pin structure

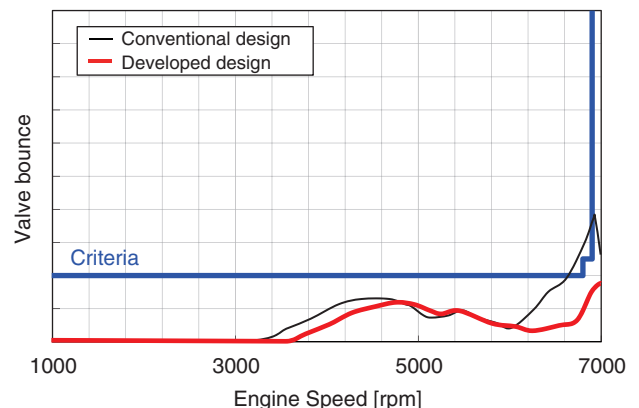


Fig. 7 Valve bounce behavior

例として、シンクロピストンピンの受圧特性を計測しオイル流路の最適化をはかった結果を Fig. 8 に示す。開発初期は油路部の油圧上昇に対してピン部の荷重発生に遅れが生じていた (Fig. 8 黒線)。流入面積の拡大とシンクロピストンピンへの十字溝追加によりピン部へのオイル導入性を改善した結果、応答時間を短縮することができた (Fig. 8 赤線)。

Fig. 9 に、3 方弁スプールバルブの構造を示す。3 方弁を用いることで、バルブ休止状態から通常作動状態に切り換える際、休止時にかかっていた油圧をドレインに導いて下げ、作動側の油圧を速やかに上げることを可能とした。本システムは、ドレイン油路およびスプールバルブの細部構造を見直すことで高い切り換え応答性を獲得し、吸排気弁の作動停止のタイミングに合わせた燃料噴射停止の同期化制御を実現した。

#### 4.2. DI システム

燃焼室形状、ヘッドポート形状およびインテークマニ

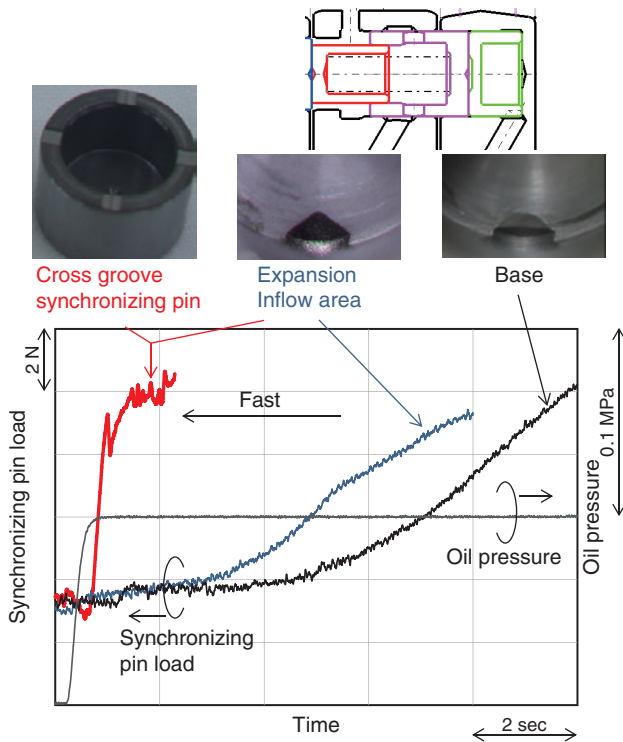


Fig. 8 Decrease of reaction time

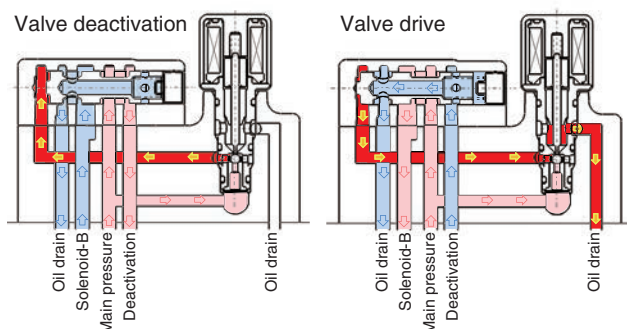


Fig. 9 3-way spool valve drain system

ホールドは、DI システム採用のため専用設計とした。

Fig. 10 に、新型 2.4 L エンジンと共通する要素技術を採用した DI 燃焼システムを示す。マルチホール DI インジェクタを燃焼室吸気側に配置し、均質燃焼の際には強いタンブル流により均質な混合気を形成する。ピストン冠面に備えた浅いキャビティは、分割噴射と組み合わせ、触媒を暖める際の燃焼安定化に用いている。

燃料システムは Fig. 11 に示すように、衝突安全性と車外騒音を考慮し、V バンク内に納めるコンパクトなパッケージングとした。フロントバンク、リヤバンクへの燃料供給は、リヤヘッド側カムシャフトの端部に配置した一つのプランジャ式ポンプに統合し、高圧燃料ポンプを駆動するフリクションロスを最小限に抑えた。

運転モードが切り替わる際の燃圧脈動を低く抑えるため、燃料配管内のオリフィスサイズと位置を最適化した。Fig. 12 に 6 気筒運転と 3 気筒運転を切り替えた時の燃料パイプ内の脈動を示す。オリフィスの位置およびサイズを最適化した結果、切り換え前後の燃料圧力変動が抑えられ、燃料噴射量均等化により空燃比制御を適正化することができた。

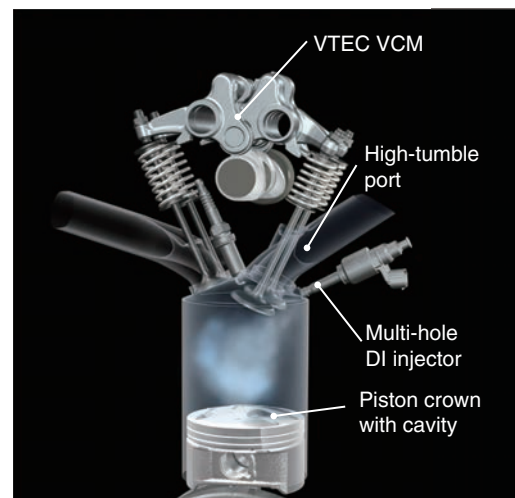


Fig. 10 DI combustion system

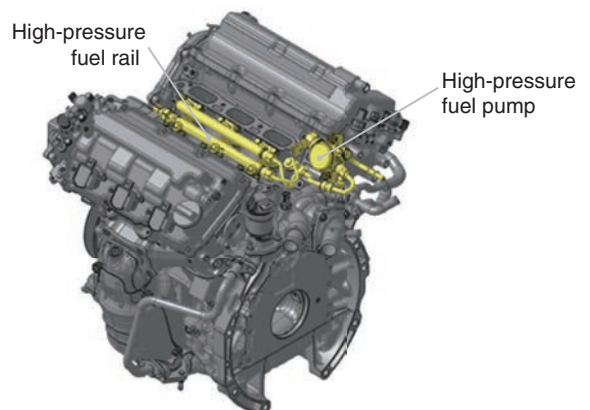


Fig. 11 DI system layout

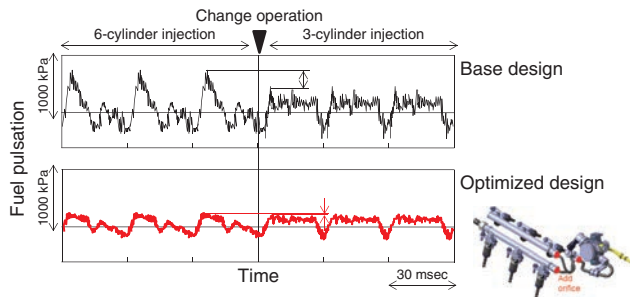


Fig. 12 Reduced fuel pressure fluctuation

## 5. 出力

新型 V6 3.5 L エンジンの出力特性を Fig. 13 に示す。DI VTEC VCM システムを始めとした新技術の採用と、吸排気の管路抵抗低減により、排気量のダウンサイズ化をはかりながらも、最大出力として前モデル比 3.3% アップの 231 kW を達成した。トルクについても、3.7 L の前モデルと同等の特性を達成することができた。

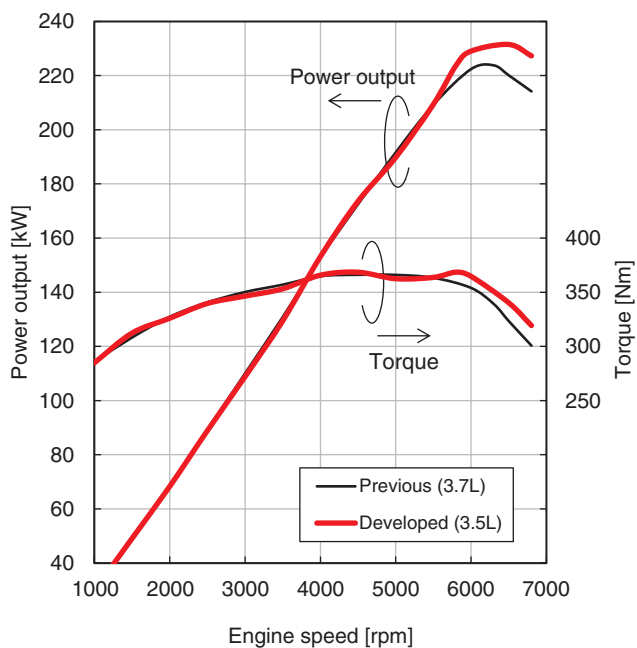


Fig. 13 Engine performance

## 6. 燃費改善技術

### 6.1. フリクション低減技術

ここで、本エンジンで採用した主要なフリクション低減技術として、Fig. 14 に示すクーリングコントロールスペース (CCS) とオイルポンプの 2 段リリーフ構造について説明する。

まず、CCS について述べる。CCS は、シリンダウォータジャケット内のピストンスラスト力が高い箇所に装着し、水流を最適化することでシリンダ内径拡大によるフリク

ション低減をねらったものである。CCS の有無によるシリンダブロックウォータジャケット内の水流を計算により解析した結果を Fig. 15 に示す。スリーブ下部の冷却水流速を下げる一方、燃焼による発熱を積極的に冷却する必要のある燃焼室近傍についてはヘッド冷却水の分配率を増やし流速をあげていることがわかる。

Fig. 16 に、CCS 有無でのシリンダ壁温、内径変化を示す。シリンダブロックウォータジャケットの水流最適化は、シリンダ壁面温度を約 10℃ 高め、シリンダ内径を 9% 拡大させた。これにより、ピストンおよびピストンリング

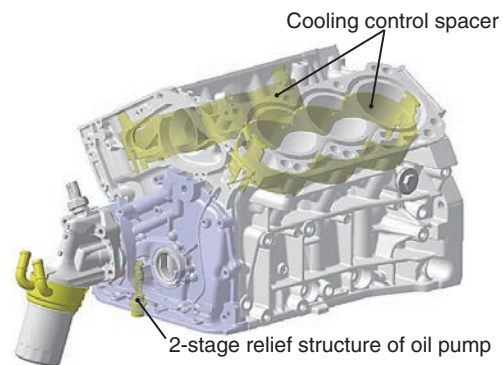


Fig. 14 Friction reduction technology

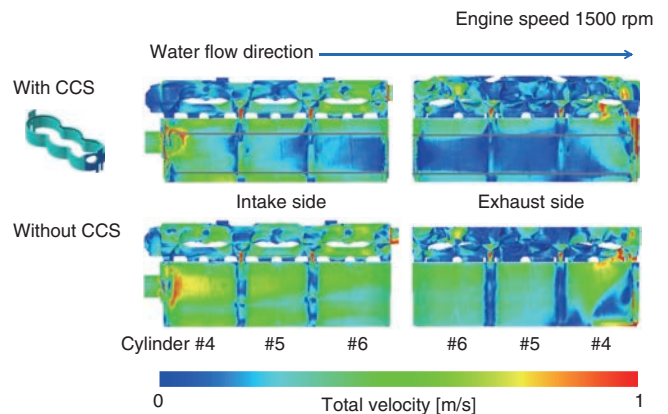


Fig. 15 Water flow speed distribution

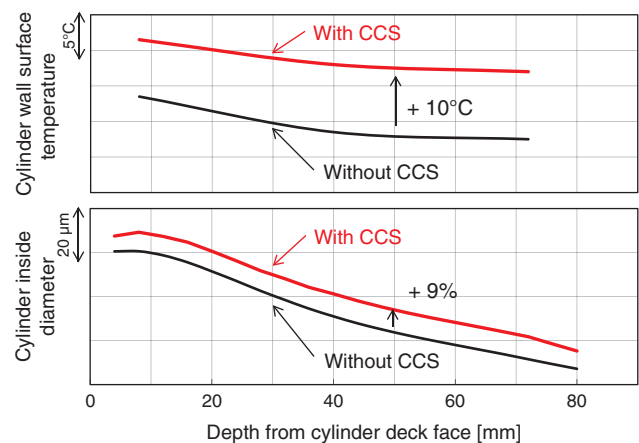


Fig. 16 Effect of CCS on cylinder wall temperature and cylinder inner diameter

のしゅう動フリクションが低減し、0.8%の Brake Specific Fuel Consumption (BSFC) 向上効果を得た。

つぎに、オイルポンプの2段リリーフ構造について述べる。これは、低中速領域の油圧特性最適化によるオイルポンプ駆動トルク低減を目的としたものである。

リリーフ構造を、Fig. 17 にて示す。これまでのリリーフ構造（1段リリーフ）は、設定した開弁圧力以上の油圧がかかるとリリーフバルブがストロークし、ハウジングのリリーフ穴よりオイルを排出する構造となっていた [Fig. 17(a)]。

これに対し2段リリーフ構造は、リリーフバルブの上部とハウジングのリリーフ穴上流部に油溝を追加することで、2段階のリリーフを可能にした。2段リリーフは、以下のように作動する。まず、設定した開弁圧力以上の油圧がかかるとリリーフバルブがストロークし始める。オイルはリリーフ穴上流部のバルブとハウジングで形成される油溝を通り、リリーフ穴より排出される。油圧が上昇しバルブがさらにストロークすると、油溝は閉塞し1段目のリリーフが止まる。更に油圧が上昇し2段目の開弁圧力以上になると、2段目のリリーフ穴よりオイルを排出する [Fig. 17(b)]。

Fig. 18 は、2段リリーフオイルポンプリリーフ構造採用による、低中速領域の油圧特性と、その効果を示したものである。油圧特性の最適化をはかった結果、油圧低減効果として25%、オイルポンプの駆動トルクとして35%の低減効果を得ることができた。

その他のフリクション低減技術としてピストンスカートのモリブデンパターンコート、ピストンリングの低張力化、低トルクオイルシールの採用、低粘度エンジンオイルの採用、および補機ベルトの低張力化など、徹底したメカニカルフリクションの低減をはかり、1500 rpm における BSFC 改善率として4%の効果を得た。

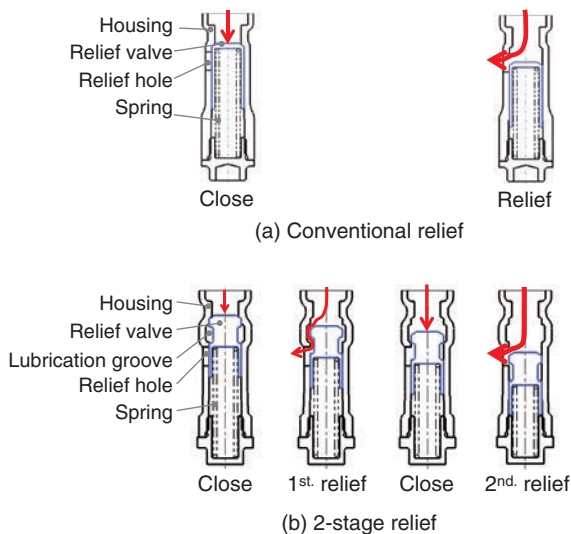


Fig. 17 Relief structure of oil pump

## 6.2. 単体燃費

Fig. 19 に、単体 BSFC の測定結果を示す。DI システム採用による熱効率の向上と、前節で述べたフリクション低減技術により、1500 rpm のモード重心点における前モデルとの比較において、全気筒運転で5.2%のBSFC改善効果を得た。さらに、3気筒運転においては、ポンピングロス低減効果により、20.1%の改善効果を得ることができた。

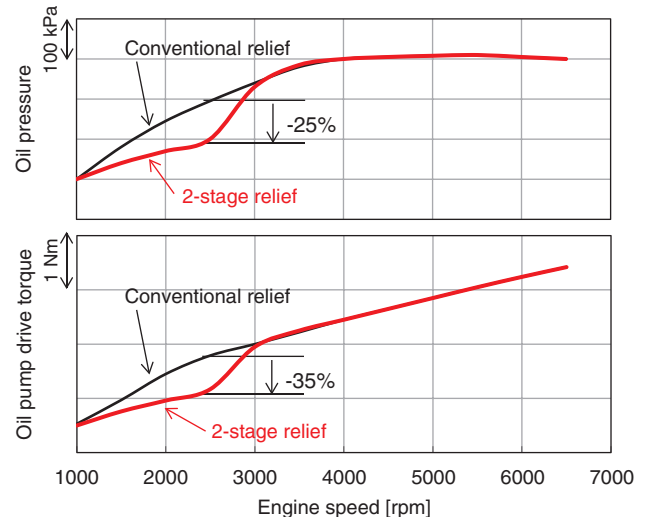


Fig. 18 Effect of 2-stage relief structure

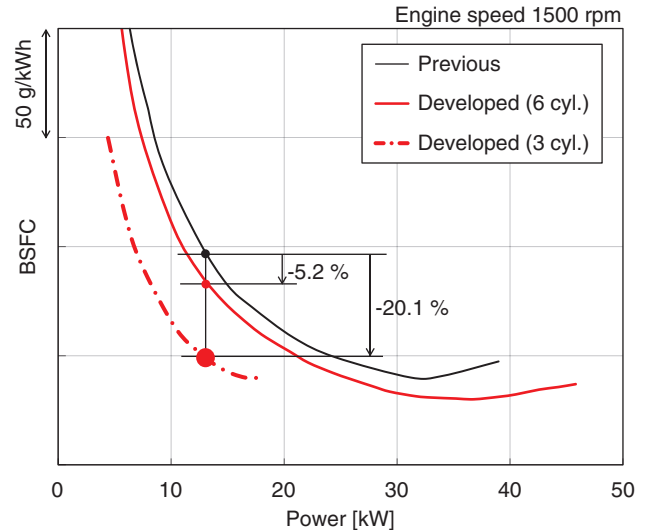


Fig. 19 BSFC characteristics

## 7. VCM 適用技術

### 7.1. ACM の特性改良

3気筒運転は、爆発気筒の減少にともなう基本次数の半減と1気筒あたりの仕事量増大による燃焼圧力の上昇により振動振幅が増大するため、完成車におけるNV性能の低下が懸案となる。一方、本エンジンを搭載する2014年モ

デル ACURA RLX はミッドサイズラグジュアリーセダンに属する ACURA のフラッグシップセダンであり、より高い NV 性能が求められた。著者らは、既存機種マイナス 3 dB という高い目標値を定め、ドライバだけでなくパッセンジャにも 3 気筒運転であることを感じさせないレベルを目指した。

これらの理由から、アクティブコントロールエンジンマウント (ACM) の能力を拡大し、特性改良をはかった。

ACM は、エンジンの前後を支持し、液封マウントの下部に内蔵したアクチュエータをエンジン振動に対し同位相かつ同周期で伸縮させることで振動を吸収し、3 気筒運転状態であることを感じさせない高い防振性能を実現するものである<sup>(3)</sup>。本システムでは、ACM の駆動電圧出力を上昇させることで、気筒休止時に使用できる最大トルクから決まる ACM の要求相殺変位性能を達成した。Fig. 20 に前モデルとの比較を示す。

さらに、トランスミッションのトルクコンバータ、排気システム、ステアリングシステムの NV 特性改良も実施した。Fig. 21 に、3 気筒運転時におけるステアリング振動レベルと運転時のエンジントルクを示す。NV 性能の向上と 3 気筒運転トルクの拡大という背反する要素を両立することができた。

## 7.2. ギヤレシオの検討

RLX には高い動力性能が求められる。しかし比較的排気量の大きい高トルクエンジンでは市街地走行などで必要となる負荷が低く、ポンピングロス増加による燃費効率の低下が顕著となる課題がある。この課題に対し VCM システムは、低負荷運転点を効率の良い高負荷運転点に遷移することができるため、高い動力性能と高い燃費効率の両立が可能となる。3 気筒運転頻度をより効果的に高めるため、トランスミッションのギヤレシオ最適化をはかった。ギヤレシオと 3 気筒運転可能領域の関係を Fig. 22 に示す。ベースギヤレシオに対しローギヤレシオ化することで 3 気

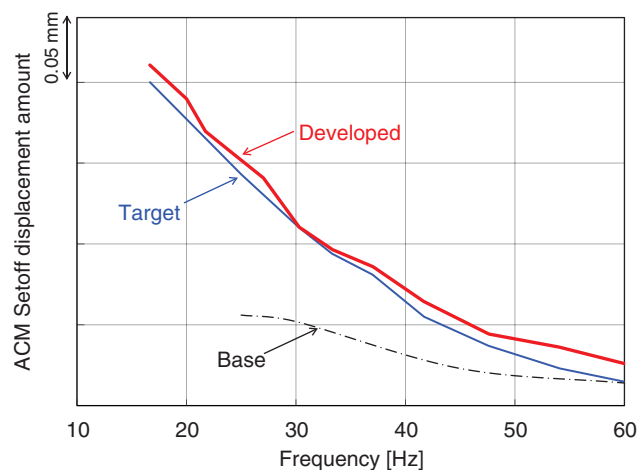


Fig. 20 Characteristics of ACM

筒運転可能車速域の拡大をはかった。

EPA ハイウェイモードにおける VCM オペレーションを Fig. 23 に示す。新型エンジンによる 3 気筒発生トルク

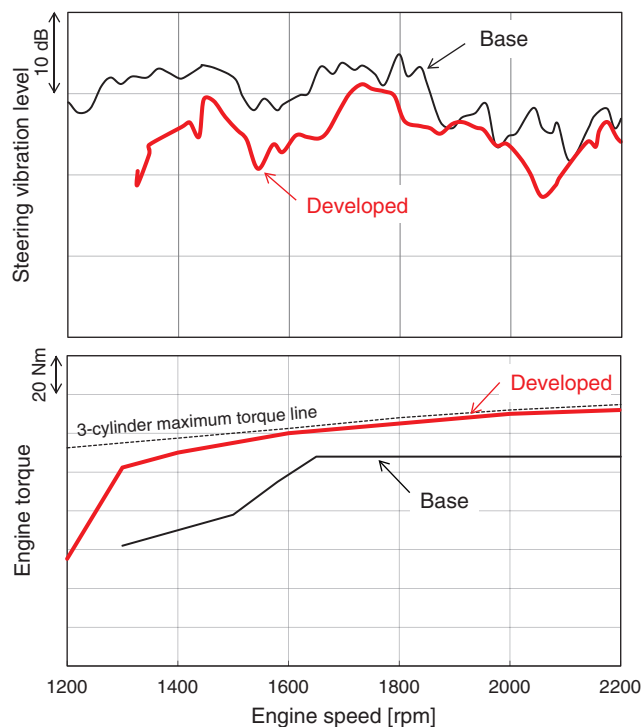


Fig. 21 Steering vibration of enhanced engine torque

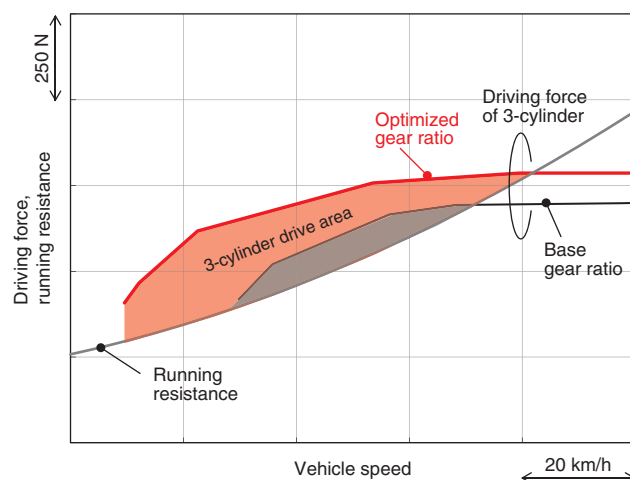


Fig. 22 Optimization of transmission gear ratios

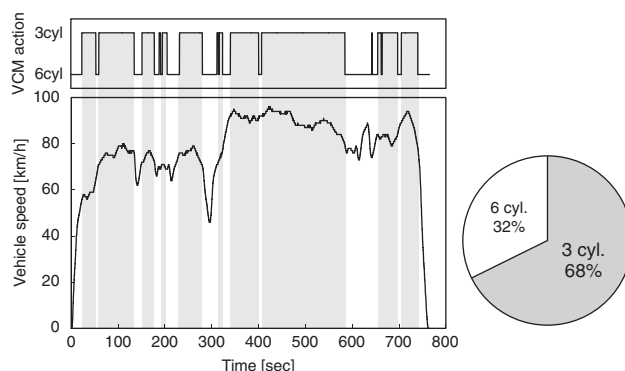


Fig. 23 VCM action of EPA highway mode

Table 2 EPA mode fuel economy

|                    | Highway (mpg) | City (mpg) | Combined (mpg) |
|--------------------|---------------|------------|----------------|
| 2012 model year RL | 24            | 17         | 20             |
| RLX                | 31            | 20         | 24             |
| Improvement        | +29%          | +18%       | +20%           |

の増加、ACM改良によるNV性能向上とトランスミッションのギヤレシオ最適化により、ハイウェイモードの大部分を3気筒運転可能とした。

### 7.3. 実車燃費

本エンジンを搭載するRLXは、これまでに述べてきた技術の投入に加えて、各部位の軽量化による車体重量低減、ベアリングやブレーキ、タイヤ改良による転がり抵抗低減、空力の改善などによる車体走行エネルギー低減をおこなった。結果として、2012年モデルのRLに対し、EPAハイウェイモード29%、シティモード18%の燃費改善を達成した(Table 2)。

## 8. まとめ

新型V6 3.5 Lエンジンにおいて、DI VTEC VCMシステムによる燃焼改善およびポンピングロス改善、フリクション低減技術、排気量ダウンサイズ、VCM適用技術により以下の結果を得た。

- (1) 排気量をダウンサイズしながら、最大出力は3.3%向上し、トルクについても前モデルと同等の特性を得た。
- (2) 従来型エンジンに対し、単体燃費として6気筒運転時5%、3気筒運転では20%の改善を達成した。また実車燃費では、EPAハイウェイモード29%、シティモード18%の燃費改善を達成した。
- (3) ACMの能力拡大により、3気筒運転でのトルクレンジの拡大をはかりつつ3気筒運転におけるNV性能を向上させた。

### 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) 奥井重雄, 岸勉, 石川直宏, 花田晃平: CIVIC Hybrid 用 1.3L 3stage i-VTEC VCM エンジンの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.18, No.2, p.44-51
- (3) 松岡英樹, 三笠哲雄, 根本浩臣: アクティブエンジンマウントの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.15, No.2, p.209-214

### ■ 著 者 ■



鈴木 宣生



林 泰宇



石木 和也



佐藤 敦



江崎 達人



渡辺 賢