

V10 500 馬力エンジンの開発

— 高出力と環境性能の両立技術 —

Development of V10 500-HP Engine

– Technologies for High-performance and Low-emission Clean Powertrain –

奥 山 高 弘*
Takahiro OKUYAMA福 澤 毅*
Takeshi FUKUZAWA橋 本 朗*
Akira HASHIMOTO

要 旨

ABSTRACT

スーパースポーツカー用に開発した V10 500 馬力エンジンの環境対応技術を紹介する。高出力と低燃費の両立のために高出力型 DOHC i-VTEC 機構に気筒休止機能を追加した新たな動弁系を開発した。高出力と低エミッションの両立のために、エキゾーストマニホールド (エキマニ) はロングタイプとし、排気浄化システムとして 2 ベッド 直下キャタライザ (CAT) と床下 CAT を配置し、排気 2 次エアシステムを採用した。失火検知対応には、筒内圧検出システムを採用した。これらの技術により、競合車中トップクラスの出力性能と時代の要求に応える高い環境性能を両立することができた。

This article introduces environmental support technologies for the V10 500-HP engine that was developed for use in super sports cars. A new valve assembly was developed that adds a cylinder deactivation function to the high engine performance DOHC i-VTEC mechanism in order to achieve a balance between high engine performance and fuel economy. In order to achieve a balance between high engine performance and low emissions, the exhaust manifold was made a long type, a two-bed closed couple (CC) catalyst (CAT) and an under-floor (UF) catalyst were configured as the exhaust emissions control system, and a secondary air system was adopted. Misfire detection was supported by the adoption of a cylinder pressure sensor system. These various technologies enabled achievement of a balance between high output performance at the top of its class among competing cars and high environmental performance that responds to the demands of the times.

1. はじめに

V10 500 馬力エンジンは、NSX 後継車への搭載を予定して 2004 年末より開発を始めたが、リーマンショック後の世界同時不況の影響を受けて 2008 年末に開発中止となった。ここでは、ほぼ開発を終えていたこのエンジンの主要技術を 2 部に分けて紹介する⁽¹⁾。本稿では、エンジンの概要と時代の要求である環境性能への対応技術について述べる。

2. 開発のねらいと目標

2.1. 開発のねらい

本エンジンの第 1 のねらいは、NSX 後継となるスーパー

* 四輪 R&D センター

スポーツカーの商品魅力の核として圧倒的高出力でユーザーを満足させることである。一方、Honda エンジンラインナップの頂点に立つフラッグシップエンジンとして、時代の求める環境対応においても企業としての責任を果たさなければならないと考えた。このような観点から本エンジンの開発のねらいを、異次元の加速を生み出す「出力性能」と時代の要求に応える「環境性能」の両立と定め開発を進めた。

2.2. 開発目標

開発の最初に定めた目標を下記に、その位置づけを Fig. 1 に示す。

- | | |
|----------|--------------------------|
| (1) 出力 | 500 馬力以上 |
| (2) 燃費 | 米国 Gas Guzzler Tax 規制クリア |
| (3) 排出ガス | カリフォルニア州 LEV2-ULEV 適合 |

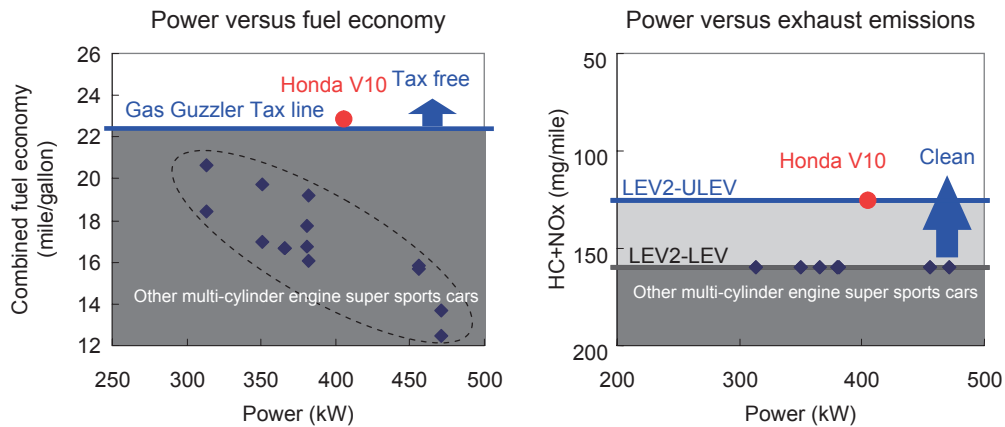


Fig. 1 Competitiveness of power, fuel economy and exhaust emissions

Table 1 Engine specifications

Cylinder configuration	V10
Bank angle	90°
Firing interval	90°-54°(uneven firing)
Bore pitch / offset	102 / 20
Bore × Stroke (mm)	90 × 78.5
Displacement (cm ³)	4993
Compression ratio	12.3 : 1
Valve train	DOHC i-VTEC VCM
Number of valves	4 per cylinder
Valve diameter IN / EX (mm)	37 / 31.5
Gasoline	Premium (RON95)
Max. power (kW/rpm)	405 / 8200
Max. torque (Nm/rpm)	513 / 7000
Idle / Fuel cut (rpm)	850 / 8500
Fuel economy City / Hwy label (mpg)	16 / 21
Unadjusted Combined (mpg)	22.8
Emissions	LEV2-ULEV

3. エンジン骨格概要

気筒数と給気方式は、Honda エンジンのフラッグシップにふさわしいということを念頭に置き、歴代の Honda F1 エンジンと代表する V 型 10 気筒 (V10) 自然吸気 (NA) エンジンとした。気筒当たり排気量は、高出力 NA エンジンとして馬力とトルクのバランスの優れる 500 cm³ とし排気量を 5.0 L と定めた。エンジン骨格としての最大排気量は、将来の発展性を考慮し 5.5 L とした。Bank 角については、エンジンバランス、全気筒運転と気筒休止運転の切り換え時の NV 段差フィーリング、エンジンルームパッケージ、V8 との生産機械共通性などを考慮し、すべてに優れる 90 度不等間隔爆発 (クランクピンオフセット無し) を採用した。

Table 1 に本エンジンの主要諸元を示す。

4. 高出力と低燃費の両立技術

高出力と低燃費の両立を図るため、高圧縮比化による燃焼効率向上と、チタンコンロッド採用に代表される構成部

品の軽量化による機械損失低減をおこなうとともに、可変シリンダシステム (Variable Cylinder Management System: VCM) を採用し、新たに気筒休止運転を含む 3-stage VTEC 動弁系機構 (3-stage VTEC VCM 機構) を開発することで、米国 Gas Guzzler Tax 規制ラインを上回る 22.8 mpg の低燃費を達成した。

4.1. 3-stage VTEC VCM 機構

バルブタイミングおよびリフトを、低回転、高回転、気筒休止の 3 段階に切り換える DOHC 4 バルブ機構を新たに開発した。量産機種との主要諸元比較を Table 2 に示す。

(1) 基本構造

Fig. 2 にロッカアームの構成を示す。気筒休止をおこなわず常時燃焼運転される Bank1 は、従来からある高出力型 DOHC VTEC と同様の 2-stage 機構である。Bank2 は、Bank1 の VTEC 機構に二つのロッカアームと休止切り換えシンクロピストンを追加し、気筒休止を可能にした機構である。バルブの作動と休止の切り換えは、低回転域での切り換え応答性を重視し、油圧により分離、連結する「油圧-油圧切り換え方式」とした。

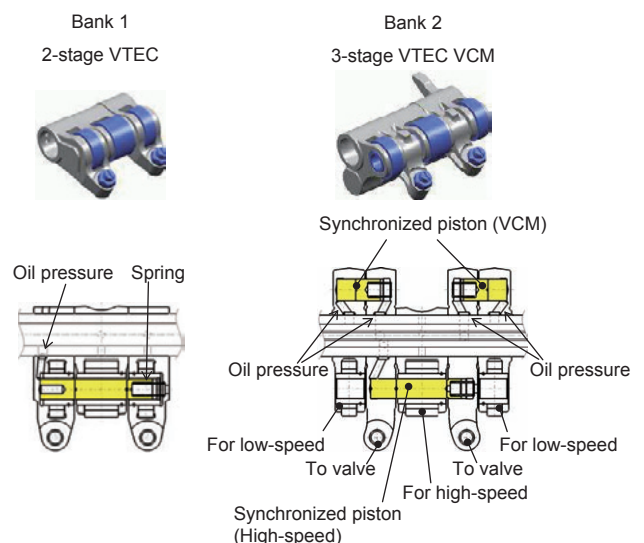


Fig. 2 Components of rocker arm

Table 2 Valve train specifications

Engine code		—	J35Z2	F20C	LDA-MF5
Cylinder configuration		V10	V6	L4	L4
Valve train		DOHC	SOHC	DOHC	SOHC
		3-stage VTEC VCM	VCM	VTEC	3-stage VTEC VCM
Number of valves per cylinder		4	4	4	4
VCM	Running	○	○	—	—
	Deceleration	○	○	—	○
	Idle	○	—	—	—
VTEC	In	○	—	○	○
	Ex	○	—	○	—
VTC		○	—	○	—
Max. engine speed (rpm)		8500	6900	9000	6500

Fig. 3 に 3-stage VTEC VCM 機構の部品構成を示す。Bank2 では、従来の VTEC 用の構成に対し、低回転用と休止用の 2 本の油路と、その油圧の切換えをおこなう 3 方弁スプールバルブを追加した。

(2) 作動メカニズム

始動および低回転時の油圧とシンクロピストンの作動状態を Fig. 4(a) に示す。青色で示す油圧により休止切換えシンクロピストンが移動しバルブシステム上にあるロッカアームが、低回転用カムに駆動されるロッカアームと連結しバルブは低回転用カムで駆動される。

この状態で赤色の油圧を加えると Fig. 4(b) に示すように高回転用シンクロピストンが移動し、バルブシステム上にあるロッカアームと高回転用カムで駆動されるロッカアームが連結し、バルブはリフトの高い高回転用カムで駆動される。

Fig. 4(a) の状態で青色の油圧を緑色の油圧に切換えると、休止切換えシンクロピストンが移動し、バルブシステム

上にあるロッカアームと低回転用カムに駆動されるロッカアームが分離し Fig. 4(c) に示す気筒休止状態になる。

4.2. VCM 作動領域

本エンジンの VCM は主にスロットル開度の情報を基に、車速、エンジン回転数、エンジン油温、ギヤ段等からクルーズ走行状態や減速、アイドル状態であることを判断し Fig. 5 に示すように片 Bank 気筒を休止し 5 気筒運転に切換えている。また、環境を配慮し触媒温度等の排気ガス低減システムが切換えに適切な状態であるかの判断も同時におこなっている。

切換え時のトルク段差によるドライバビリティ低下の改善には、既に V6 VCM で採用している VTEC 機構の切換え応答性の精度向上や点火時期制御^{(2), (3)}に加え、Bank 別の吸入空気量制御を採用することによりトルク段差の無いスムーズな切換えをおこなっている。

4.3. VCM の燃費向上効果

本エンジンでは気筒休止運転中は、休止側 Bank のすべてのバルブを着座状態で停止することによりポンピングロスおよびバルブ駆動ロスが低減する。さらに運転側 Bank についてもスロットル開度が増大することによりポンピングロスが低減する。

またマルチエンジンの特性を活かしアイドルを気筒休止

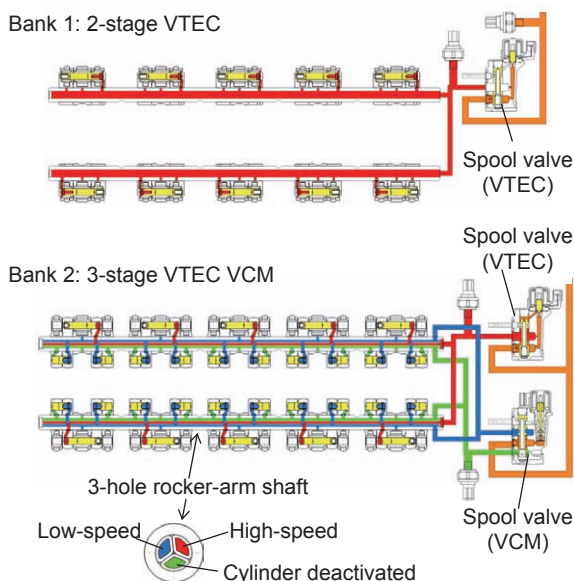


Fig. 3 Components of 3-stage VTEC VCM

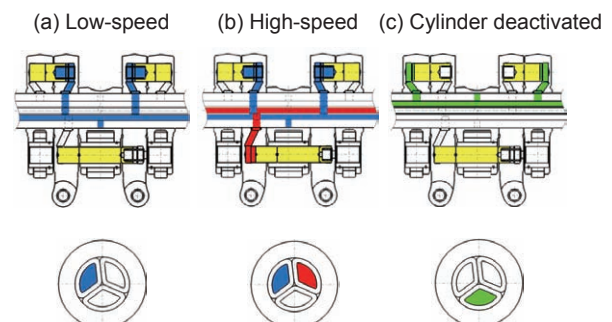


Fig. 4 Operating principle of 3-stage VTEC VCM

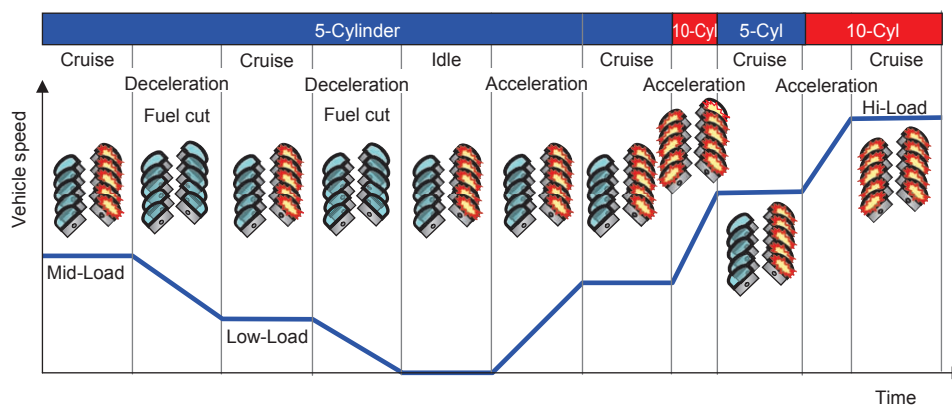


Fig. 5 Operation of VCM

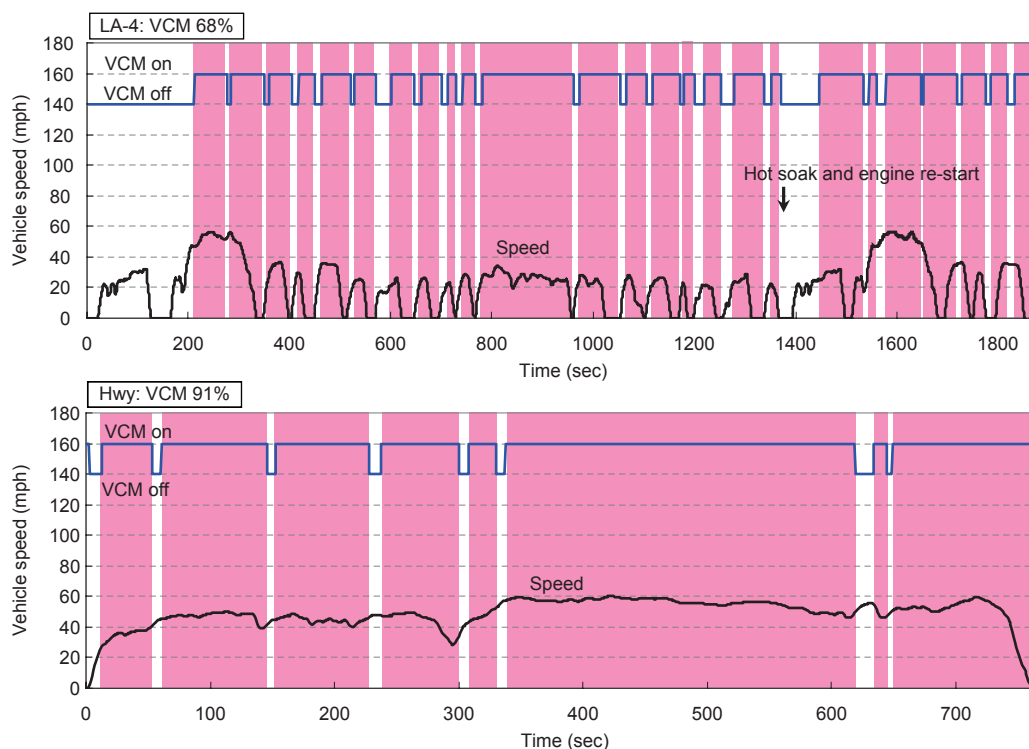


Fig. 6 Operation of VCM in LA-4/Hwy mode

とし、大排気量であるため気筒休止運転中のエンジン出力を大きくできるため、アイドルから約 100 mph (160 km/h) までの幅広い速度範囲での気筒休止運転が可能となった。

EPA LA-4/Hwy モードの気筒休止状態での運転領域を Fig. 6 にピンク色で示す。LA-4 モードで 68%, Hwy モードで 91% の気筒休止頻度であり、コンバインモード燃費の向上効果は、13% (全気筒運転比) であった。

5. 高出力と低エミッションの両立技術

高出力と低エミッションの両立を図るため、まずエンジン単体における燃焼室形状の最適化により未燃ガス低減をおこなうとともに、Valve Timing Control (VTC) を使った

始動時遅角制御やフューエルインジェクション方法の最適化により、フィードエミッションの低減を図った。

フィードエミッションの CAT による浄化性能を向上させる上では、冷間始動時に触媒温度を短時間で上昇させることが重要で、低エミッションを目標とするには、CAT の上流にあるエキマニのヒートマスを低減するため、これなるべく小さく軽く設計する必要がある。しかし出力性能を重視する本エンジンでは 5-1 集合タイプの大きなロングエキマニが必要であり、排気浄化システムは Fig. 7 に示すように、エキマニの直下に 2 ベッドタイプの三元触媒 (Fig. 8) を配置し、床下に 1 ベッドタイプの三元触媒を配置するとともに、触媒温度を上げるための排気 2 次エアシステムを採用した。

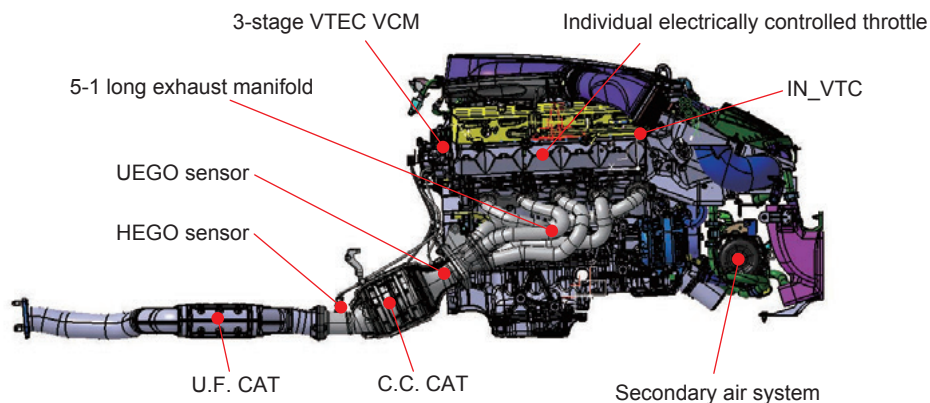


Fig. 7 Configuration of emissions control system

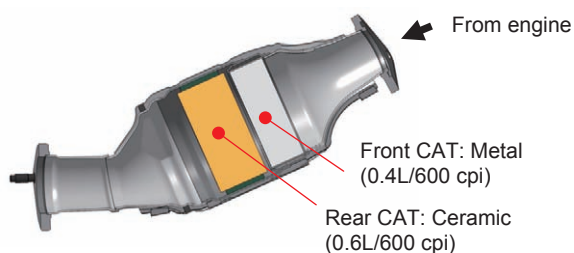


Fig. 8 Layout of C.C. CAT

5.1. フィードエミッション浄化技術

エキマニのヒートマスを低減するため、その製法を多数の曲がったパイプを溶接するものから薄板パイプを曲げ成型するハイドロフォーミングに変えて、部品点数を減らし軽量化した。

直下触媒のフロントベッドには、温度上昇の早いメタル担体を採用した。

これらにより Fig. 9 および Fig. 10 に示すように、LA-4 モード初期段階の触媒温度は始動後 20 sec 後に 250 °C を達成し V6 エンジンの LEV2-ULEV 車と同等となった。

5.2. 燃費向上との両立技術

燃費向上のために気筒休止運転を長時間おこなうと、休止 Bank 側の触媒温度は低下する。全気筒運転時のエミッ

ション浄化性能を確保するためには、休止 Bank 側の触媒は活性状態を保つことが必要であり、触媒温度の低下が早いと不活性までの時間が短くなり、気筒休止運転時間が制限されて燃費向上率が低下する。

そこで、直下触媒のリヤベッドには、保温性能に優れたセラミック担体を採用することで触媒温度低下を抑制し、約 320 °C の活性温度を長時間保持して燃費向上との両立を図った。

Fig. 11 に、LA-4/Hwy モード中に休止 Bank 側の触媒温度が活性状態を維持している状態を示す。

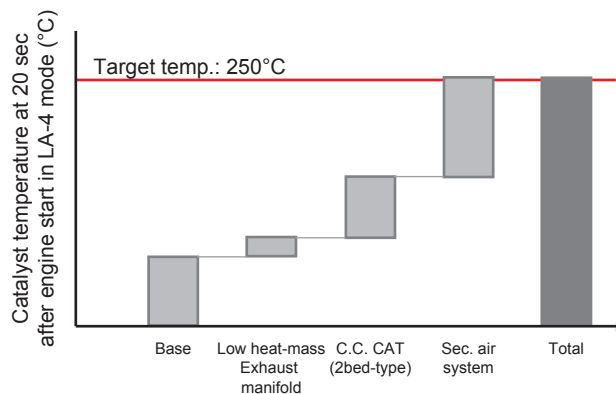


Fig. 9 Catalyst temperature after engine start

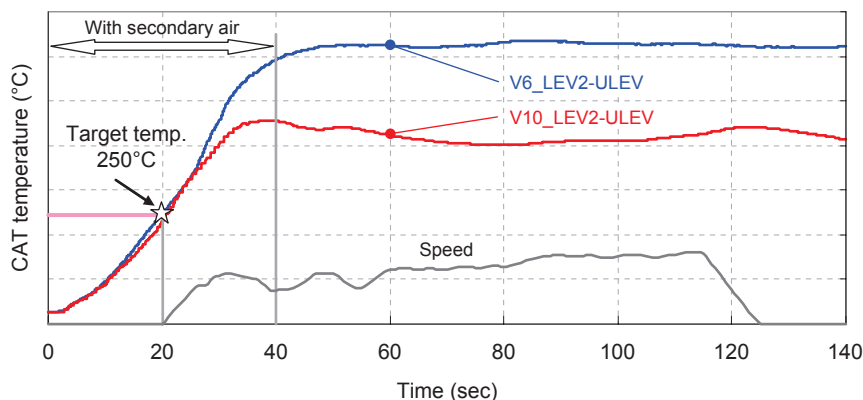


Fig. 10 Catalyst temperature after engine start in LA-4 mode

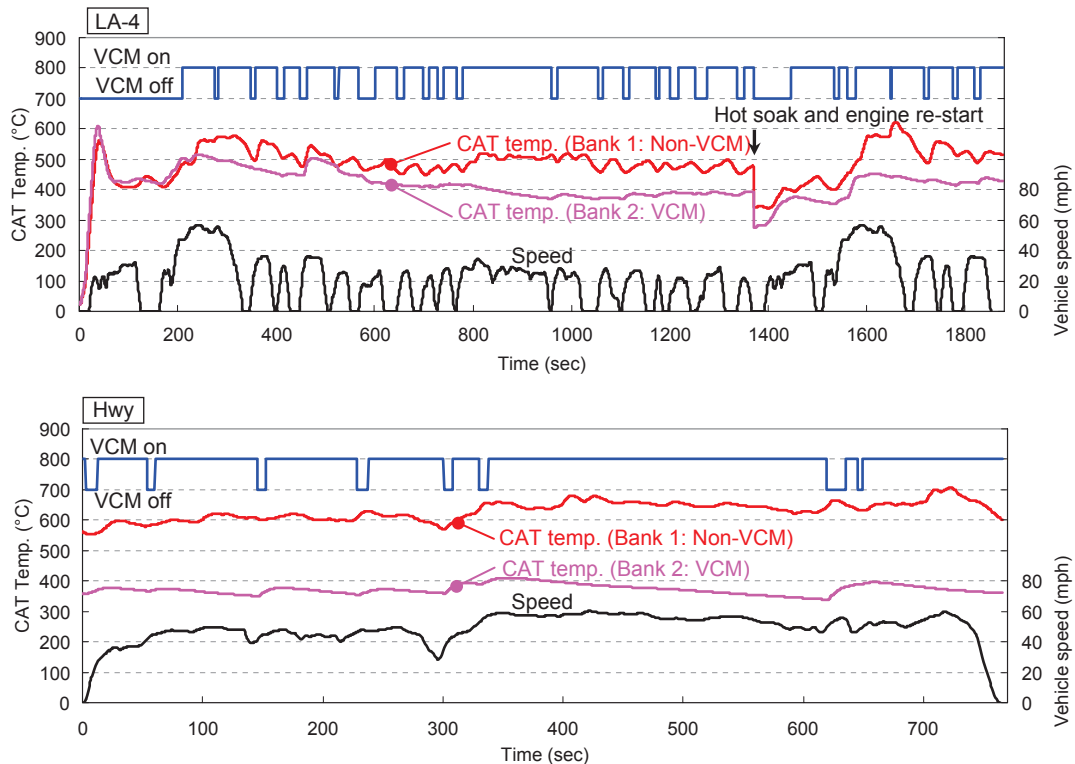


Fig. 11 Relationship between VCM and catalyst temperature

6. 失火検知技術

全世界環境対応をおこなうためには、失火検知への対応が欠かせないが、10気筒の複数気筒失火判定を全パターンで検知するには、従来のクランク角速度変動を用いた検知手法では膨大なソフトウェア開発が必要となるため、本エンジンでは適応演算を用いた筒内圧検出システム⁽⁴⁾の特徴を活かしノッキング検知も失火検知と合わせて対応できるシステムとした。

6.1. システム構成

システムの構成はFig. 12に示すように、筒内圧センサおよび、筒内圧ユニットで構成しており、Engine Control Unit (ECU)にController Area Network (CAN)でデータ転

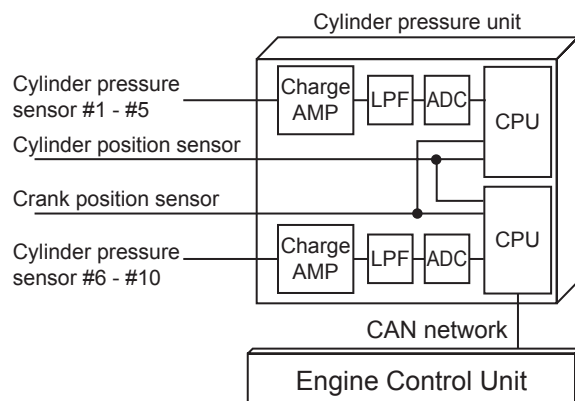


Fig. 12 Cylinder pressure unit configuration

送する構成とした。

筒内圧ユニット内部では、センサの信号を電圧に変換した後、ADコンバータでデジタル信号に変換し、Central Processing Unit (CPU)に取り込んでいる。また、クランクパルスとシリンダパルスを基にCPU内部で各クランク角での筒内圧を演算している。100 MHzのCPUを5気筒ごと (Bank別)に用い、ADコンバータは、50 kHzサンプリングとした。その結果、8000 rpm以上まで、クランク角1 degごとに筒内圧の測定が可能となった。

失火検知とノッキング検知では、それぞれの波形取得に必要な周波数フィルタリング処理が異なるため、CPU内部でデジタルフィルタ処理を用い、最適な圧力波形として演算処理をおこなっている。

6.2. 筒内圧センサの構造

筒内圧センサの設置は動弁系およびバルブレイアウトへの影響を最小限とするため、Fig. 13に示すようにプラグとシリンダヘッドの間に共締めする構造とした。

Fig. 14にセンサ構造を示す。基本構成は圧電素子を筒状のハウジングに組み込み、シリンダヘッドとプラグ間のひずみをセンシングする簡素な座金構造とした。圧電素子にはチタン酸鉛 (PbTiO_3)を用いた。

6.3. 適応演算によるセンサ出力補正

チタン酸鉛 (PbTiO_3)の基本的な特性として圧電定数が温度変化により、大きく変化することは一般的に知られて

いる。また自動車エンジン用の筒内圧センサとして使用するためには、その他さまざまな特性変化に対応する必要がある。

本エンジン使用環境下でのセンサ特性の変化率は+120% から-80% と大きく、センサ出力をそのままでは使用できないため、筒内圧ユニット内部にて適応演算による出力補正をおこなっている。その手法の概要を下記に示す。

- (1) 運転状態から、演算にてモータリング圧力を推定する。
- (2) 演算で求めたモータリング圧力と実際に計測したモータリング圧力が一致するようにマッピングをおこない、規範圧力として ECU に格納しておく。
- (3) 圧縮工程中の筒内圧は、主に吸入空気量で求められ、その後の失火および燃焼には影響されない。そこで(2)で求めた規範モータリング圧力に、センサ信号を一致するようにサイクルごとに補正し、クランク角ごとの安定した推定筒内圧を得る。

6.4. 失火検知

補正処理をおこなった後の筒内圧波形は、正常燃焼時は燃焼に伴い圧力が上昇するが、失火時はユニット内で演算

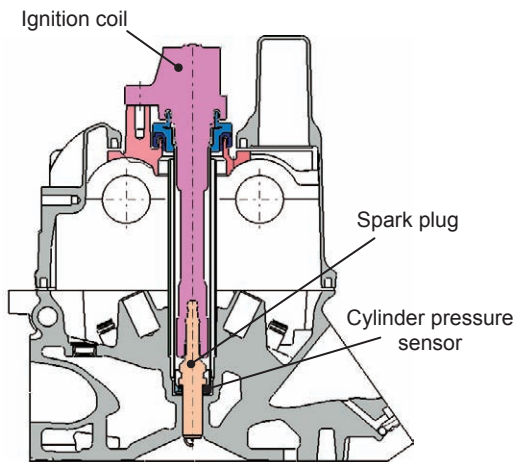


Fig. 13 Installation of cylinder pressure sensor

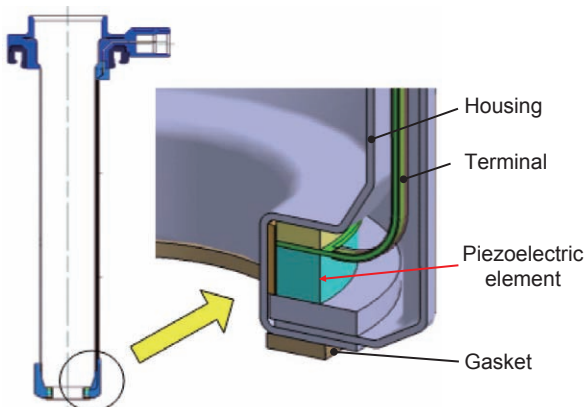


Fig. 14 Cylinder pressure sensor structure

されたモータリング圧力と一致する。この特性を利用し燃焼区間の筒内圧波形とモータリング圧力波形の比率を求めることにより、燃焼によるエネルギーの発生の有無、すなわち失火状態の判定が可能である。

Fig. 15 に同一運転状態時の燃焼および失火時の波形を示す。この結果、V10 エンジンでの全回転領域、使用環境条件にて 100% の失火検知性能を達成することが可能となった。

Fig. 16 に実機での 1 気筒連続失火時の検知性能の一例を示す。赤色で示す正常燃焼時に対して、青色が 1 気筒連続失火状態であり、失火の判定が可能となっている。

6.5. ノッキング検知

気筒ごとに筒内圧を計測するセンサを配置しているため、ノッキングの検出にも有利である。従来のノックセンサと筒内圧センサのレイアウトの比較を Fig. 17 に示す。

Fig. 18 に波形処理の様子を示す。ノッキングが発生すると、筒内圧にノッキングによる圧力変動波が加わる。そこで、バンドパスフィルタを用いノッキングによる圧力変動波の周波数のみを取り出すことで、ノッキングの検出をおこなう。前述のようなセンサ配置と波形処理の結果、安定したノッキング検出が可能となった。

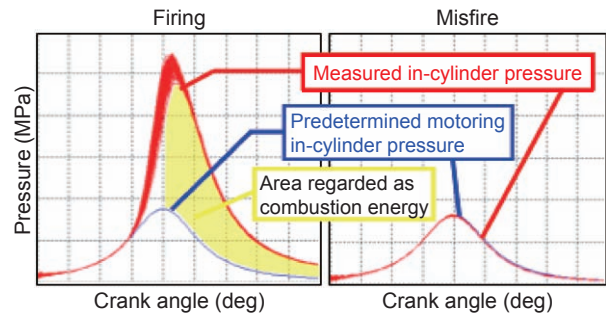


Fig. 15 Difference between firing pressure and misfire pressure

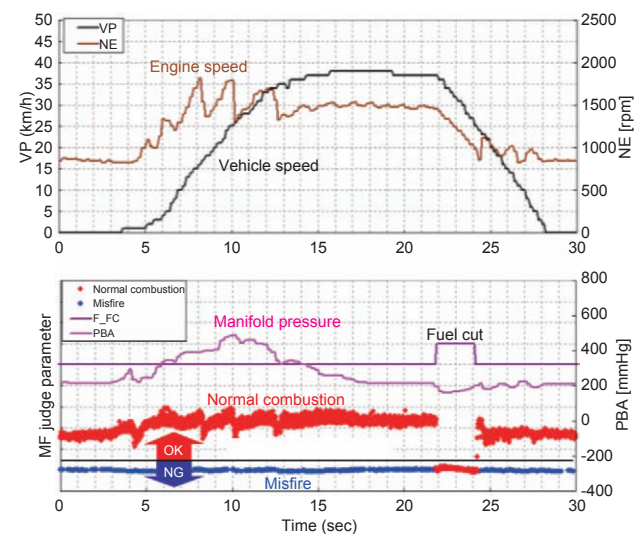


Fig. 16 Single continuous misfire on actual driving pattern

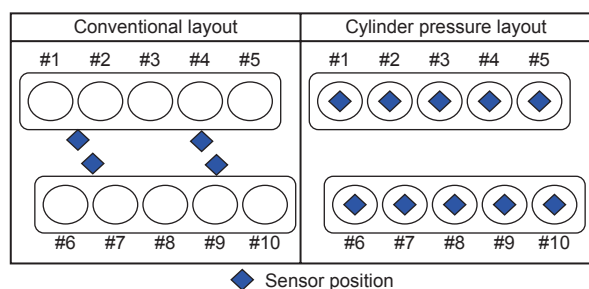


Fig. 17 Sensor layout

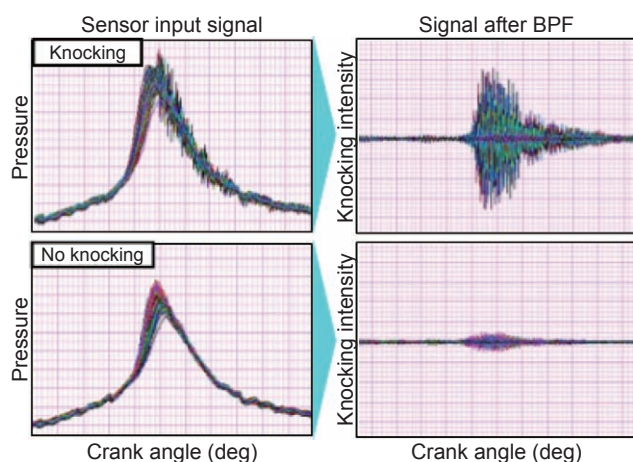


Fig. 18 Knocking signal processing

7. まとめ

スーパースポーツカー搭載の 500 馬力クラスマルチエンジンとして過去に例のない下記的环境性能目標を達成した。

- (1) 燃費 米国 Gas Guzzler Tax 規制クリア
- (2) 排出ガス カリフォルニア州 LEV2-ULEV 適合

エンジンを愛するものにとって NA 高回転マルチエンジンは変わらぬ憧れであり、本開発にたずさわれたことは大きな喜びであった。また環境性能目標を、今までに例のない高い設定としたのは、新しい時代の要請にこたえるエンジンを作りたいという強い思いからであった。本稿が、そのようなエンジンの今後の発展の一助になることを願う。

参考文献

- (1) 奥山高弘, 中田真: V10 500 馬力エンジンの開発ー高出力化とその信頼性保証技術ー, Honda R&D Technical Review, Vol.22, No.2, p.49-56
- (2) 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
- (3) 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

■ 著 者 ■



奥山高弘



福澤 毅



橋本 朗

(4) 山本裕司, 赤崎修介, 小原正徳, 水野隆英: 適応演算を用いた筒内圧検出システムの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.19, No.2, p.90-95