

DPF 搭載低排出ガスディーゼルエンジンの開発

Development of Low Emission Diesel Engine with DPF System

千葉 勲*

Isao CHIBA

石原 佳敬*

Yoshinori ISHIHARA

金子 功*

Isao KANEKO

松門 龍司*

Ryuuji MATSUKADO

松井 竜太*

Ryuuta MATSUI

要 旨

Honda は欧州向けスポーツ・ユーティリティ・ビークル (Sport Utility Vehicle: SUV), CR-Vに搭載するターボチャージドコモンレールディーゼルエンジンを開発した。走行抵抗の大きいSUV系車体に対応するため、本エンジンは燃焼室の浅皿化および燃料噴射ノズル噴孔径の小径化によって混合気の均質化を促進することにより燃焼改善をおこない、エンジンアウトの粒子状物質 (Particulate Matter: PM) 排出量を低減した。加えて、高効率 EGR クーラによる EGR 増量と EGR クーラバイパスシステム採用によるエンジンの運転条件に応じた EGR ガス温度制御により NO_x 排出量を低減した。

その結果、SUV カテゴリーで初めて欧州 2005 年排出ガス規制 (EURO-IV) に適合した。

さらに Diesel Particulate Filter (DPF) を新たに採用した。多段燃料噴射の最適化および可変ジオメトリ式ターボチャージャ (VGT) とスロットルバルブによる吸気量制御をおこない、広いエンジン運転領域での DPF 温度制御を可能とし DPF 再生性能向上を実現した。

以上の排出ガス低減技術により、PM 排出量は EURO-IV 規制値の 1/10 以下を達成した。

ABSTRACT

Honda has developed a turbo-charged common rail diesel engine for the European version of its CR-V Sports Utility Vehicle (SUV). During this development measures have been implemented to address the issue of the SUV body having high running resistance. The promotion of homogeneity in the air-fuel mixture through the employment of a shallow dish combustion chamber and the reduction of the diameter of the fuel injection nozzle holes has enhanced combustion and reduced engine-out Particulate Matter (PM). In addition, the use of a highly efficient EGR cooler has increased the volume of EGR. Combined with the achievement of optimal EGR gas temperature control by means of an EGR cooler bypass system, these factors together have enabled the achievement of a reduction in NO_x emissions.

The enhancement in exhaust emission performance resulting from these innovations has made the CR-V the first SUV which is compliant with the 2005 European diesel exhaust emissions standards (EURO-IV).

A diesel particulate filter (DPF) is also employed in the CR-V. Optimization of the multi-fuel injection system, which is able to inject up to four times per cycle, control of the DPF temperature via the use of a variable geometry turbocharger (VGT), and intake control by means of the throttle valve have all resulted in reliable DPF regeneration performance.

These various emission reduction technologies have resulted in the achievement of PM emissions less than one-tenth of those stipulated by EURO-IV.

1. まえがき

世界的規模で環境問題への関心が高まる中で、CO₂削減効果が大きく、かつ高い動力性能を有するディーゼルエンジンの需要が年々増加している。いっぽうで排出ガス規制

強化がおこなわれ、一部の地域では現行規制を不十分とし PM を大幅に除去可能な DPF を装着した車両を優遇する動きも出ており、DPF 装着車の需要も急速に高まっている。

Honda は 2003 年に初の自社製ディーゼルエンジンをアコード用に開発・発売し^{(1), (2)}、市場において高い評価を得

ている。今回アコード用ディーゼルエンジンをベースに SUV カテゴリーの CR-V 用エンジンを開発した⁽³⁾。本機は SUV カテゴリー初となる EURO-IV 規制に適合しつつ、高出力、低燃費を両立させた。さらに新開発のDPFシステムを組み合わせることでPMの排出を極限まで低減することを可能とした。本稿では、本エンジンのEURO-IV達成技術とDPFシステムについて報告する。

2. 開発の狙い

本エンジンを開発するにあたっては、SUVカテゴリー用エンジンとして下記項目を目標においた。

- (1) SUV 初の EURO-IV 規制適合
- (2) SUVディーゼル車でトップレベルの燃費性能、動力性能の確保
- (3) DPF システム構築(PM 排出量の低減)

3. システム概要

3.1. システム紹介

CR-V に搭載された DPF 付 i-CTDi エンジンシステムを Fig. 1 に示す。

DPFの採用にあたり、DPF再生性能向上のためにスロットルバルブ、排気温度センサ、差圧センサを新たに追加している。

Table 1にエンジン主要諸元を示す。燃料噴射系はアコードと同様に BOSCH 社製第2世代コモンレールシステムを採用している。EGR システムは EGR ガス量の増量のため EGR クーラの冷却性能を向上させた。さらに、低水温時の EGR ガスの過冷却により排出される HC, CO 低減のため EGR クーラバイパスシステムを装備している。

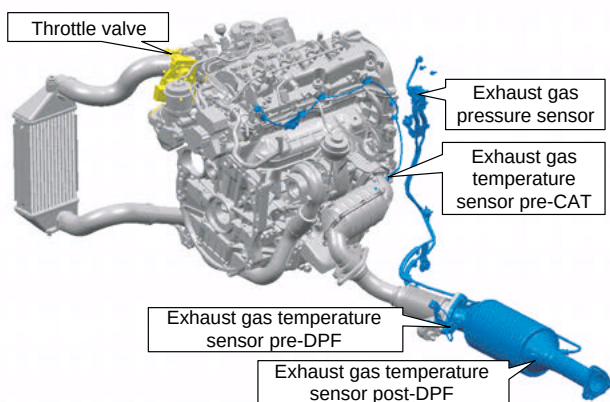


Fig. 1 Schematic diagram of i-CTDi engine with DPF system

Table 1 Main specifications of engine

Engine type	DOHC-4VLV
Displacement (cm ³)	2 204
Bore × Stroke (mm)	85 × 97.1
Compression ratio	16.7
Piston (Bowl diameter) (mm)	52.8
Bowl shape type	Shallow dish
Injector (mm)	φ 0.134 × 6holes
Fuel injection system	Common rail system
Maximum Power (kW/rpm)	103 / 4 000
Maximum Torque (Nm/rpm)	340 / 4 000
After treatment	DOC + DPF
EGR system	EGR cooler with bypass system

4. エンジン単体

4.1. 燃焼改善

走行抵抗の大きい SUV 系車体ではエンジン負荷の増加により燃料噴射量は増加し、燃焼室内の局所的空燃比が小さい領域が拡大して燃焼が悪化することにより PM 排出量が増加する。同時に燃焼温度が上昇するため NOx の排出量も増加する。よってEURO-IV規制適合に向けて、燃焼改善による PM 排出量低減と EGR システム進化による NOx の低減を同時におこなう必要がある^{(4), (5)}。

4.1.1. PM 排出量の低減

PM 排出は、燃焼室内における局所的空燃比が小さい混合気の領域が偏在、拡大することが要因として考えられるため、燃料噴霧の均質化およびボール壁面近傍噴霧の拡散を狙い下記の改善をおこなった。

- (1) 燃料噴霧の微粒化促進のため、インジェクターノズル（マイクロサック型6孔ノズル）噴孔径小径化
- (2) 燃料噴霧の拡散促進のため、ピストンボール径拡大および浅皿化

上記インジェクタ仕様および燃焼室形状変更によるCFDシミュレーション混合気分布の解析結果を Fig. 2 に示す。インジェクタノズル噴孔径の小径化により燃料噴霧の微粒

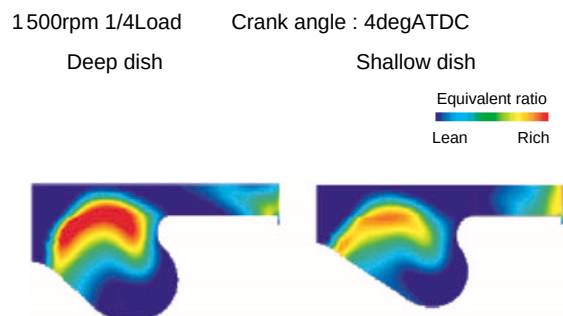


Fig. 2 Effect of combustion system modifications for mixture distribution

化が促進され、ボール内での混合気の均質化が図られている。また、ボール径拡大によりボール壁面近傍の燃料噴霧拡散が促進され偏在が緩和されている。

以上の結果、選定した燃焼室形状を Fig. 3 に示す。

これらにより混合気の均質化が促進され、リニア可変スワールコントロールバルブ(SCV)によるエンジン回転、負荷に応じたスワール制御と合わせ NOx 一定下での PM および排出量を大幅に低減できた。排出ガス性能の比較を Fig. 4 に示す。

4.1.2. NOx 排出量の低減

エンジン要求負荷の増加に伴う NOx 排出量増加にたいして、NOx 排出量を低減しなおかつ PM 排出量を抑えるために、本エンジンでは EGR クーラの冷却性能を向上させることにより EGR ガスの増量をおこない NOx 排出量を低減させた。しかし冷機時に EGR ガス温度の低下により、燃焼温度が過度に低下し HC, CO の排出量が増加するという課題がある。この課題に対して新たに EGR クーラをバイパスする構造を採用した。EGR システムを Fig. 5 に示す。

低水温時は燃焼温度低下による HC, CO の排出量増加を抑えるために EGR クーラバイパスバルブはバイパス側に切り換えることにより、EGR ガス温度の低下を防ぐ。そして水温の上昇後にクーラ側に切り換えることにより、HC, CO の排出量を増加させることなく NOx 排出量を低減することが可能となる。

Fig. 6 に示すように EGR バイパスなしの状態に比べ、燃焼温度が低い低水温低負荷領域で HC 排出量が大幅に低減していることがわかる。水温の上昇とともに EGR クーラバ

イパスによる効果は徐々に減少し、水温が所定の値となった時点からは EGR 増量のために EGR クーラ側へと切り換えをおこなっている。

4.2. 出力性能

Fig. 7 に本エンジンの出力性能を示す。最高出力は同等

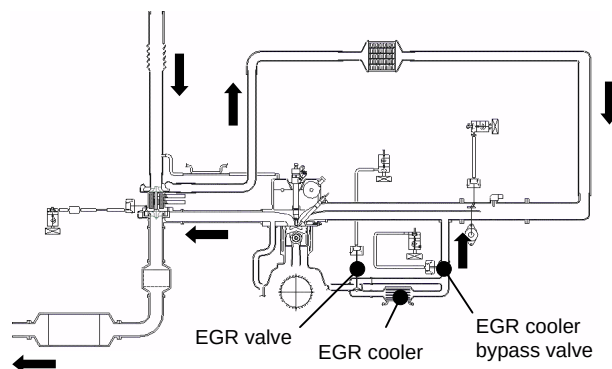


Fig. 5 Schematic diagram of EGR control system

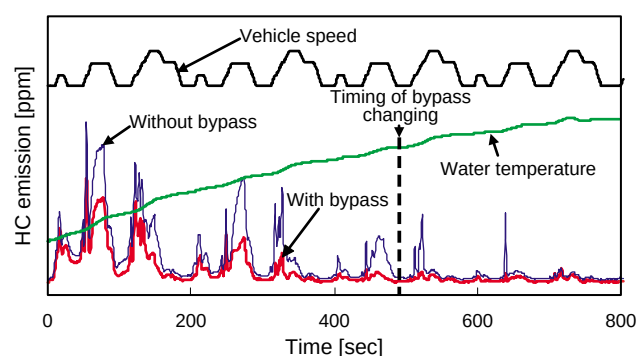


Fig. 6 Effect of EGR bypass system

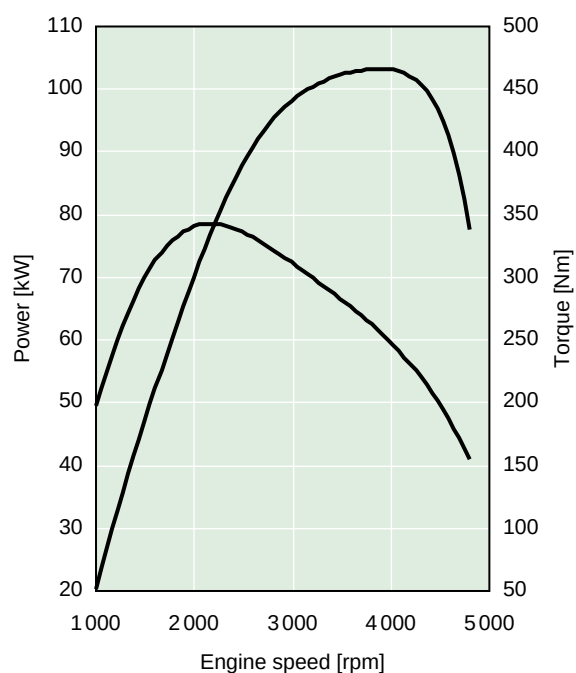


Fig. 7 Power curve of i-CTDi engine

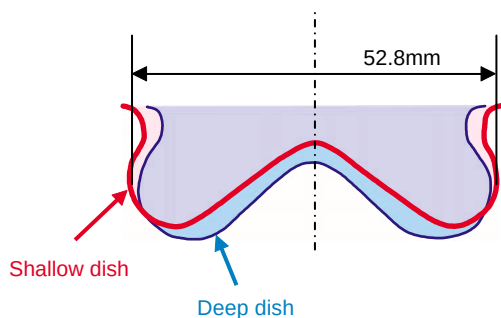


Fig. 3 Shape of combustion chamber

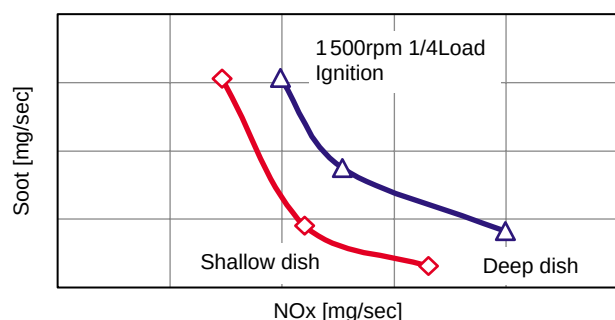


Fig. 4 Effect of combustion system refinement

排気量エンジンの中でトップクラスの性能である。過給システムは、VGTを採用し、コンプレッサタービンの最適設定をおこなうことで、全域で最適な過給を図った。過給圧の制御はElectric Vacuum Regulating Valve(EVRV)によって電子制御される負圧により、インテークマニフォールド内で検出される過給圧に対しバーンを開閉することにより、目標過給圧となるようにおこなう。センタハウジングは水冷方式とし、高熱にさらされるベアリングやエンジンオイルを保護している。また、空冷式インタークーラを備え、最高過給圧 130kPa を得ている。

5. DPF システム

5.1. システム概要

DPF の基本構造を Fig. 8 に示す。排気ガスが DPF 壁 (9-13 μm の気孔) を通過する過程で、PM を捕集する。

DPF システムの PM 捕集と DPF 再生の動作概念は Fig. 9 に示すように、エンジンより排出された PM を DPF に捕集し所定の量堆積したら、排気温度を上げる事により PM を燃焼除去し DPF を再生させる。

DPF の基本諸元を Table 2 に示す。PM 捕集能力より、DPF 気孔径を、再生性能より気孔率を、DPF 保証距離より径と容量を設定した。

上記 DPF の性能を最大限に発揮し、燃費および排気ガス性能を損なうことのないシステムとするためには、下記項目が課題となる。

- (a) 低負荷運転時の DPF 再生性能向上
- (b) エンジンオイルへの燃料希釈時の信頼性保証

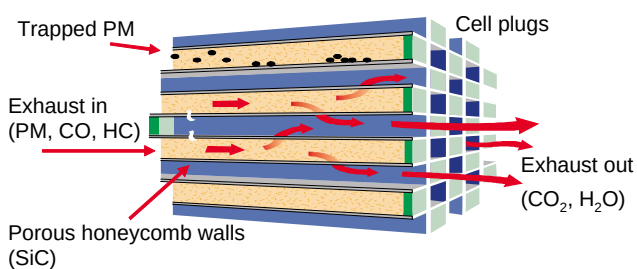


Fig. 8 Structure of DPF

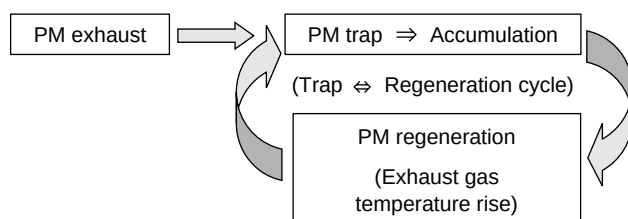


Fig. 9 Outline of PM regeneration

Table 2 DPF Specifications

DPF Size (mm)	$\phi 132 \times 228.6$
DPF Volume (liter)	3.1
Cell number (cells/in ²)	300
Pore diameter (μm)	11
Porosity (%)	42

5.2. DPF 再生制御

DPF 再生制御により DPF 温度を強制的に 550°C 以上にするすることで、堆積した PM の燃焼速度を急激に上昇させ、PM を短時間で燃焼させる。

Fig. 10 に DPF 再生制御の構成を示す。エンジン回転数、燃料噴射量および吸入空気量から算出される PM 排出量と DPF 温度から算出される PM 燃焼量より PM 堆積量を算出し、PM 堆積量が所定値以上になった場合、DPF 再生を開始する。DPF 再生により DPF 温度が上昇し PM の燃焼温度に達すると PM 堆積量が減少し、ゼロになると DPF 再生が終了する。

広範囲な運転条件で DPF 再生を可能とするためには DPF を 550°C 以上にする必要がある、そのための手法は運転領域で異なり運転条件に応じて制御をおこなう。Fig. 11 に、各運転領域における再生手法を示す。

全負荷域においては、再生制御を実施しなくても DPF 再生可能温度に達し自然再生が可能である。

高負荷域においては、VGT のバーンを開き側に制御し、吸入空気量を減少させることで排気温度を上昇させ、DPF 再生可能温度にしている。

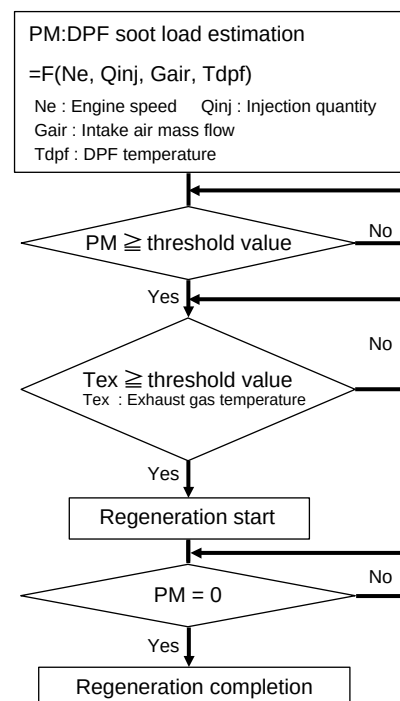


Fig. 10 DPF control software architecture

中負荷域においては、さらにスロットリングで吸入空気量を低減することによる排気温度上昇と、膨張工程におけるポスト噴射によって未燃燃料を供給し、DPF前段に配置した酸化触媒の発熱を利用することで排気温度をDPF再生可能温度にしている。

軽負荷域においては、排気温度が酸化触媒の反応温度に達しないため、さらにメイン噴射の直後に燃料噴射（アフタ噴射）をおこなうことで排気温度を上昇させ、酸化触媒の反応温度に到達させることにより DPF 再生を可能としている。

Fig. 12 に欧州市街地における実走行時の DPF 再生時の温度推移を示す。渋滞走行においては、排気温度が低いためそれを検知しDPF再生を中止する。郊外走行になると排気温度が上昇しDPF再生を開始し、いったんDPF温度がPM

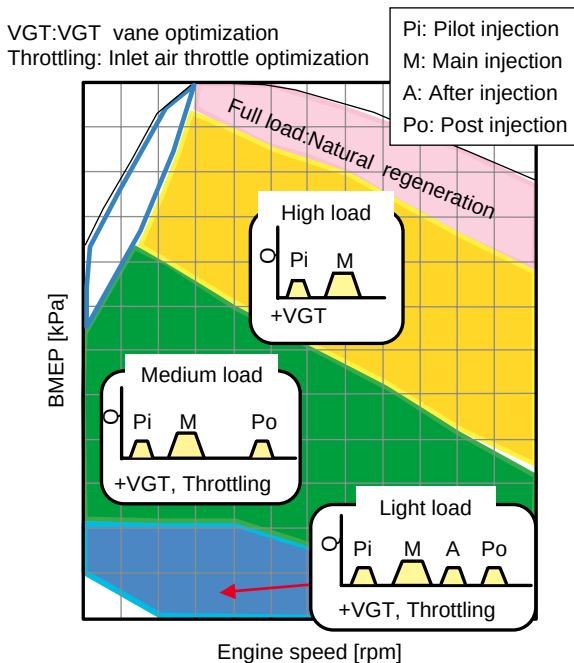


Fig. 11 Engine management strategy for DPF regeneration

燃焼温度に達すると渋滞走行においても DPF 温度を保持することを可能にしている。

恒常的な渋滞走行においては、DPF再生が不可能な場合があり、インジケータランプによりドライバにDPF再生を促す。ドライバは60km/h以上で10分走行することでDPF再生を完了できる。

5.3. 信頼性への影響（ポスト噴射による燃料希釈）

DPF再生時 ポスト噴射を使用した場合、スリーブ壁面に付着した未燃燃料がエンジンオイル中に混入し、粘度低下等の劣化が懸念される。よって、Fig. 13に示すようにポスト噴射量の制限を設けた。

PM が所定の量堆積し、ポスト噴射を用いた DPF 再生をおこなっているとき、総ポスト噴射量が所定のリミットに達した場合、DPF 再生中のポスト噴射を中断する。

その後、所定の距離以上走行後 DPF 再生中のポスト噴射を再開する。DPF 再生完了したらポスト噴射量リミットをリセットする。

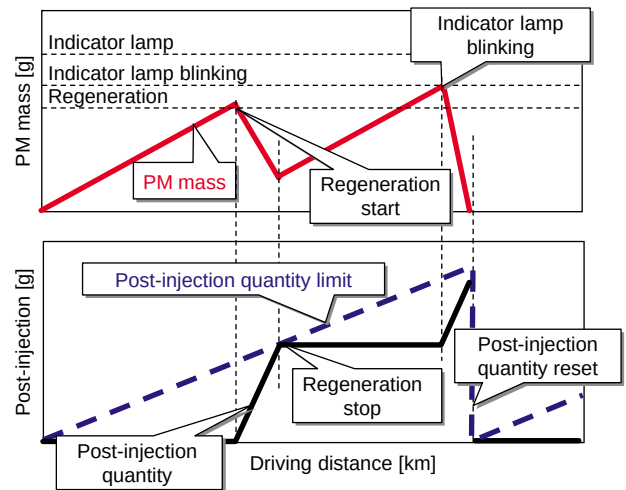


Fig. 13 Outline of post-injection limit control

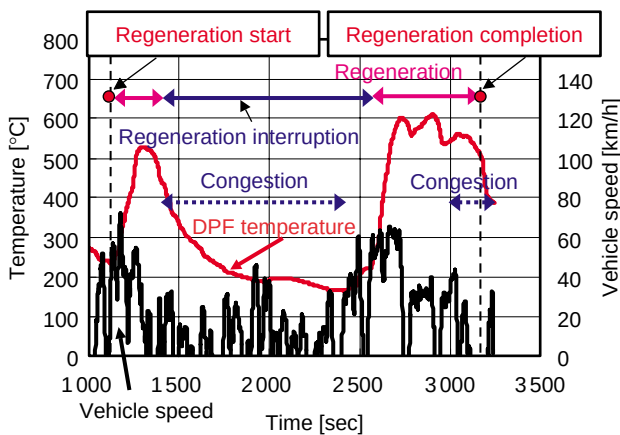


Fig. 12 DPF temperature in European city mode

6. 車両性能

6.1. 排出ガス性能

Fig. 14に排出ガス達成値を示す。前述の改良によりPM, NOx を大幅に低減でき、SUV カテゴリーで初めて EURO-IV に適合した。また、DPFを採用することでPMをEURO-IV 規制値の 1/10 以下まで低減した。その結果 PM 排出量基準値として現在最も厳しいオーストリアインセンティブ基準値に適合する事ができた。

6.2. 動力性能

出力特性は、低中速の加速性を重視したものとしており、

市街地走行から高速走行まで、幅広い運転領域で高い性能を発揮できるものとしている。

また最適化したギアレシオとの組み合わせでNEDCモード燃費6.7L/100kmを達成しており、この燃費はSUVディーゼルカテゴリでトップレベルである。

燃費および動力性能を Fig. 15 に示す。

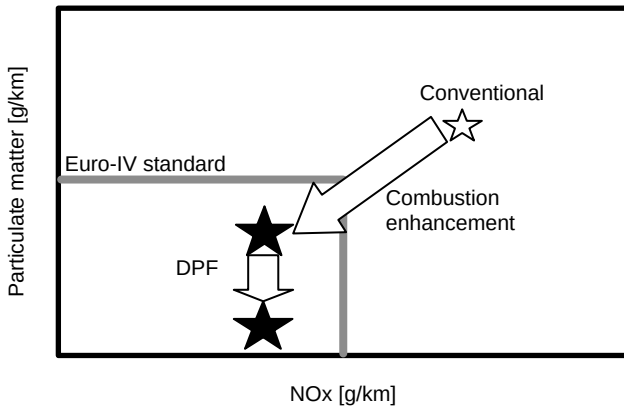


Fig. 14 Effect of combustion enhancement and DPF for exhaust gas emission

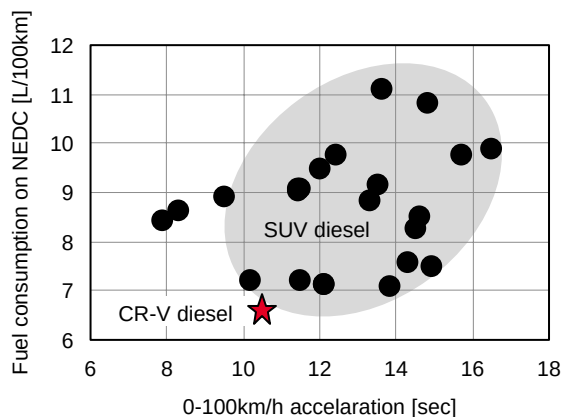


Fig. 15 Fuel consumption and acceleration performance of CR-V diesel

7. まとめ

SUV用カテゴリトップレベルの総合性能を有するディーゼルエンジンを開発した。本エンジンの開発を通じて以下の成果を得た。

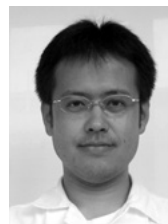
- (1) 浅皿燃焼室形状、燃料噴射ノズルの改良及び、高効率EGRシステムによりSUVカテゴリで初めてEURO-IVに適合した。
- (2) 動力性能、静粛性、燃費においてSUVトップクラスの性能を確保できた。
- (3) DPFを採用する事により、PM排出量をEURO-IV規制値の1/10以下まで低減した。

- (4) DPFシステムの課題である低負荷運転時のDPF再生性能の向上とエンジンオイルへの燃料希釈を解決することにより、Honda初のDPFシステムを従来にない高性能かつ信頼性の高いものとする事ができた。

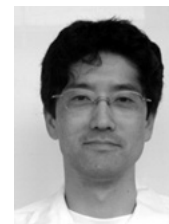
参考文献

- (1) Abe,T., Nagahiro,K., Aoki,T., Minami,H., Kikuchi,M., Hosogai,S.: Development of New 2.2-liter Turbocharged Diesel Engine for the EURO-IV Standards, SAE Paper, No.2004-01-1316
- (2) 阿部智也, 長弘憲一, 辻義仁, 月村清, 大崎浩一, 小沢一則: 新型コモンレールターボディーゼルの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.16, No.1, p.103-110
- (3) 菊地正弘, 大河原謙一, 三宅哲也, 後藤新三, 松井一博, 小出創平: 新型コモンレールターボディーゼルシリーズの開発, Journal of Society of Automotive Engineers of Japan, Vol.59, p.124-127(2005)
- (4) Kanda,T., Kobayashi,S., Matsui,R., Sono,H.: Study on EuroIV Combustion Technologies for Direct Injection Diesel Engine, SAE Paper, No.2004-01-0113
- (5) 神田智博, 小林慎一, 松井竜太, 園比呂志: 直噴ディーゼルエンジンのEuroIV対応燃焼技術, Honda R&D Technical Review, Vol.16, No.2, p.139-146

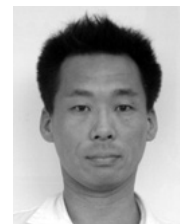
■ 著 者 ■



千葉 勲



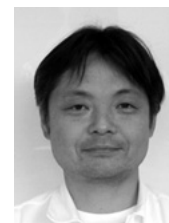
金子 功



松井 竜太



石原 佳敬



松門 龍司