

EURO-V 対応高出力ディーゼルエンジンの開発

Development of High-performance Diesel Engine Compliant with Euro-V

松井 竜太*
Ryuta MATSUI
日高 尚志*
Shoshi HIDAKA

下山 和明* 千葉 勲*
Kazuaki SHIMOYAMA Isao CHIBA
野中 繁治*
Shigeji NONAKA

要 旨

ABSTRACT

Honda は高出力、低燃費、超低排出ガスを実現した 2.2L 4 気筒ターボチャージドディーゼルエンジンを開発した。本エンジンは 2004 年に発売した Honda 四輪自動車用として最初のディーゼルエンジンに続く、第 2 世代ディーゼルエンジンである。現行エンジンと同等の燃費性能を維持しつつ、出力向上と NV 性能の向上、そして EURO-V 排出ガス規制への適合を可能とする大幅な排出ガスの低減を実現している。排出ガス性能の向上のために、180 MPa のコモンレールシステムを採用し、燃焼室形状の最適化がおこなわれている。出力の向上に関しては、新開発の高効率バルブ、ノズル、タービン(VNT)の適用や吸排気系の高効率化をおこない、最高出力と最大トルクは従来エンジンの 103 kW/340 Nm から 132 kW/380 Nm に増加している。NV 性能は近年のディーゼル乗用車にとって課題の一つである。シリンダブロック構造の最適化によりシリンダブロック構造応答の改良をおこない、新しいチェーンドライブラインと制振、防音構造を有するチェーンケースの開発により、従来モデルに対して NV 性能の向上を実現している。

Honda has developed a 2.2 L 4-cylinder turbocharged diesel engine that has achieved high power, low fuel consumption, and ultra low emissions. This is a second-generation diesel engine, following Honda's first diesel power plant for automobiles launched in 2004. The newly developed engine has realized larger reductions in exhaust emissions, enabling compliance with Euro-V standards, as well as enhancements in output and in noise and vibration (NV) reduction, while also maintaining fuel economy equivalent to that of the previous engine. A 180 MPa common-rail system was adopted and the shape of the combustion chamber was optimized for even lower exhaust emission performance. A recently developed, highly efficient variable nozzle turbine (VNT) was adopted and intake and exhaust system performance has been upgraded for enhanced output. Where the maximum output and torque of the previous model engine were 103 kW/340 Nm, these figures have been raised to 132 kW/380 Nm, signifying a larger increase. NV performance has become a concern for diesel-powered passenger vehicles. The structural response of the cylinder block has been bettered by optimizing the cylinder block structure, and a new chain drive-line layout and chain cover structure capable of reducing vibration and noise have been developed. As a result, the NV performance of this engine is better than that of previous diesel engines.

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ここ数年で欧州を中心に急速に拡大している。出力性能はガソリンエンジン並に上昇する傾向にあるいっぽうで、2009年に適用開始予定の欧州排ガス規制(EURO-V)は現行の EURO-V に対して大幅な規制強化がなされている。

Honda は 2003 年にまだ施行前だった EURO-V に適合

した初の自社製ディーゼルエンジン⁽¹⁾⁻⁽³⁾を ACCORD 用に開発し、その後 CR-V, CIVIC, FR-V 用にも適用を拡大し、市場において高い評価を得ている。その間、パティキュレートマタ(PM)の排出を極限まで低減可能なディーゼルパティキュレートフィルタ(DPF)システムを開発⁽⁶⁾、適用している。これに続いて、第 2 世代ディーゼルエンジンとして大幅な出力性能の向上と排出ガスの低減および振動、騒音の低減を達成した。本稿では、開発コンセプトと達成性能および投入技術について報告する。

*四輪開発センター

2. 開発コンセプト

本エンジンは従来モデルの燃費特性を維持しつつ、トップクラスの動力性能の達成と EURO-V の適合をコンセプトとした。特に排出ガス規制は近年強化されつつあり、EURO-V に比べ NO_x は約 28%, PM にいたっては 80%もの低減要求がなされている。これらを達成するには、高精度の燃焼制御による NO_x 低減技術の開発と 2005 年に開発された DPF による PM 低減技術の向上が重要となっている。

Fig. 1 に近年の排出ガス規制値の動向を示す。

ディーゼル特有の騒音、振動についてはすでに従来モデルで高評価を受けているが、さらにワンランクの向上を目標に設定した。課題のひとつである燃焼音の低減は排出ガスの低減と両立する必要がある、さらに高度な制御技術が必要となっている。また構造系においてはシリンダブロック、チェーンケースを中心に制振、防音が必要となっている。

これらを達成するための核技術として以下の 3 項目を追求した。

- (1) 軽量, 高剛性, 低騒音骨格
- (2) 高精度の燃焼制御
- (3) 高効率排気処理システム

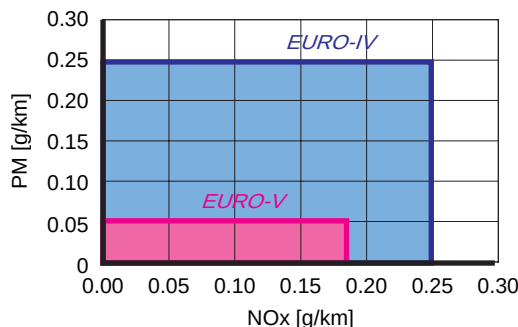


Fig. 1 Exhaust emission regulations

3. エンジン概要

3.1. エンジン概要と主要諸元

本エンジンは従来モデルに比べ最大出力は 103 kW から 132 kW へ、最大トルクは 340 Nm から 380 Nm へ向上している。出力の向上に伴う最大燃焼圧力の上昇に対応するため、シリンダブロック、シリンダヘッドをはじめとする骨格部品は強度向上をはかっている。

燃料噴射系については出力向上と EURO-V 規制への対応を両立させるべく、最高噴射圧 180 MPa のピエゾ式インジェクタを有する Bosch 製第 3 世代コモンレールシステムを採用している。

排気後処理システムは EURO-V 規制に適合するため、2005 年に開発、発売した DPF システムを改良して標準装

Table 1 Main specifications of i-DTEC diesel engine

Engine	Developed model	Previous model
Cylinder configuration	In-line 4-cylinder	In-line 4-cylinder
Bore × stroke (mm)	85 × 96.8	85 × 97.1
Displacement (cm ³)	2197	2204
Compression ratio	16.3	16.7
Valve Train	DOHC 4 valves	DOHC 4 valves
Fuel injection system	180 MPa common rail	160 MPa common rail
Maximum power [kW/rpm]	132/4000	103/4000
Maximum torque [Nm/rpm]	380/2000	340/2000

備とし、酸化触媒と共にターボチャージャー直下のレイアウトを採用することにより、DPF 再生性能の向上を可能としている。また他機種への搭載も含めたパッケージを考慮して、新たに前方排気を採用している。エンジン外観図を Fig. 2 に、主要諸元を Table 1 に示す。

3.2. エンジン主要構造

シリンダブロックは従来モデルで採用した Advanced Semisolid Casting Technology (ASCT) 製法を踏襲し、オフセットシリンダ配置のクローズドデッキ構造を

実現している。また、新構造シリンダヘッドガスケットの開発や、ベアリングキャップ廻りの強度向上により高出力化による燃焼圧力の増大に対応している。

シリンダヘッドは従来モデルと同様に、直立バルブ、センターインジェクション配置を基本設計とし、Fig. 3 に示すように軽量、コンパクト化のためシリンダヘッド高さを低減するとともに、生産性の向上と強度確保をおこなっている。燃焼圧力の上昇に対しては、ガスケット面の肉厚増大を



Fig. 2 External view of i-DTEC diesel engine

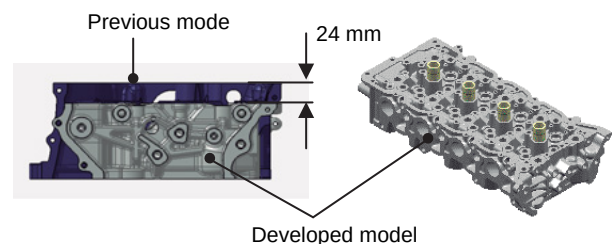


Fig. 3 Comparison of cylinder head configuration

はじめ、特にウォータージャケット内部の構造について、CAEによる構造解析をおこない、応力低減をはかり、高出力に耐えうる強度を確保している。

Fig. 4 に動弁系レイアウトと負圧ポンプ配置を前モデルと比較して示す。後述するチェーン噛み合い騒音の低減とコンパクト化をねらい、動弁駆動系は従来のバキュームポンプを駆動する3軸レイアウトに対し、排気カムシャフトのミッション側でオルダム駆動することで2軸レイアウトとした。

3.3. 燃料噴射システム

燃料噴射系は、排出ガス低減のための噴霧特性の改善と高出力の両立をねらい、最高噴射圧力180 MPaのピエゾ式インジェクタを採用している。ピエゾ素子と電極が交互に積層されたアクチュエータがボデーに内蔵されており、ソレノイド式に対し噴射時の作動部が小型化されシリンダヘッドの全高の低減を実現している。ピエゾ式インジェクタの概要を Fig. 5 に示す。

アクチュエータの高い応答性がより効率的に噴射特性に反映され、矩形に近い噴射率波形が得られる。従来モデルに比べ、最大噴射量を得るために必要なアクチュエータ駆動時間は約40%短縮されている。これらにより、排出ガスおよびNV低減のために不可欠な多段噴射時の微小燃料噴射量およびインターバルの設定自由度が向上し、高精度な燃焼制御が可能となっている。

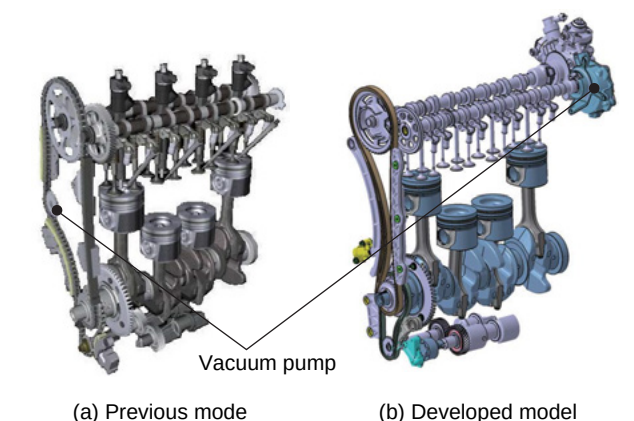


Fig. 4 Schematic diagram of drive train system

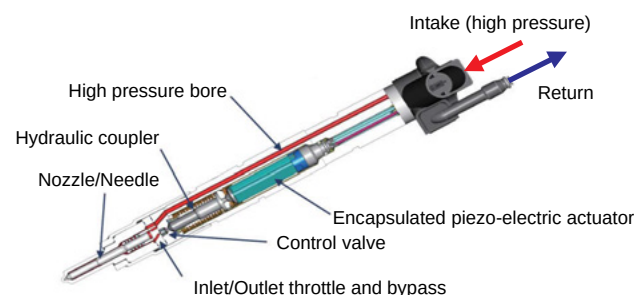


Fig. 5 Drawing of Bosch piezo-electric injector

4. 主要技術詳細

4.1. 燃焼技術

排出ガス目標達成の概略を Fig. 6 に示す。

EURO-V では、特に PM と NOx 排出量の規制強化がなされている。PM 低減については空気利用率向上が必要であり、NOxについては燃焼温度の低下が必要となっている。そこで PM 低減をねらい、燃焼室は従来モデル^{(4), (5)}に対しさらに浅皿化したりエントラント型とし、燃料噴霧の拡散による混合気の均一化および高出力化に伴う燃料噴射期間の増大による燃焼室外への燃料飛散抑制をはかっている。また、出力向上と NOx 低減の両立をねらい圧縮比は従来モデルの 16.7 から 16.3 に低減し、燃焼温度の低減を実現している。燃焼室形状を Fig. 7 に示す。

インジェクタノズルは燃焼室の中央に配置され、従来モデルに比べノズルの噴孔数は6孔から7孔に増加、噴霧傘角も広角化することによって噴霧の微粒化と空気利用率の向上をはかり PM および HC の低減を達成している。ノズル噴孔は小径化しつつ多噴孔化により総噴孔面積は従来モデルとほぼ同一とし、出力の向上とエンジンアウトの排出ガスの低減を両立している。インジェクタノズルおよび燃料ポンプの仕様諸元を従来モデルと比較してTable 2に示す。

排出ガス低減と燃料消費率の改善、さらには燃焼音を最適にバランスさせるためには、エンジンの運転条件に応じた最適な筒内流動の設定が重要である。あらゆる条件での最適なスワール生成のために、インテークマニホールドには従来モデルと同様に連続可変スワールコントロールバルブ(以下 SCV)を装備している。今回は SCV の制御方式を従来の負圧制御から電動制御に変更することによって、さらに高レスポンス、高精度な燃焼制御に対応している。

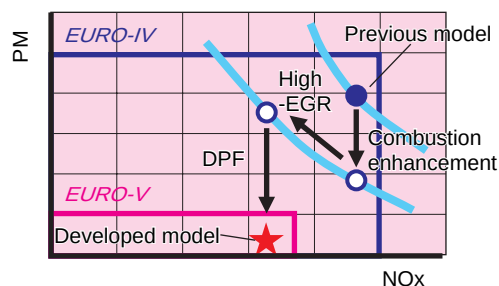


Fig. 6 Enhancement of exhaust emissions

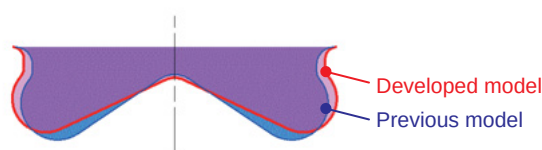


Fig. 7 Shape of combustion chamber

Table 2 Specifications of injection system

Specification	Developed model	Previous model
Injector specification		
Type	Piezo-electric	Solenoid
Max. injection pressure [MPa]	180	160
Number of holes	7	6
Hole Dia. [mm]	$\phi 0.12$	$\phi 0.13$
Spray angle [deg]	156	153
Type of sac	Micro sac	Micro sac
HP-pump specification		
Type	V	Radial
Number of plungers	2	3
Bore $\times$ stroke [mm]	$\phi 6.5 \times 6.0$	$\phi 6.5 \times 6.8$
Type of cam	2-lobe	Eccentric
Driving speed	1/2 crank speed	5/6 crank speed
Flow control	Suction control	Suction control

NO_xの低減に不可欠なEGRシステムには、高効率EGRクーラを組み合わせてEGR率の向上をはかると共に、切り替え機構を有するEGRクーラバイパスシステムにより低EGRガス温度時の燃焼の安定化を実現している。また電動EGRバルブの採用、トーナメント式EGRガス分配ポート配置により、制御応答性の向上と気筒間ばらつきの低減にも対応している。EGR率の向上によるPM排出増大については、DPFシステムの採用により対応している。

これらの技術により、EURO-V排出ガス規制適合を達成している。

ディーゼルエンジン特有の燃焼音に対しては、コモンレールシステムの利点である多段噴射を活用し、運転条件や環境条件に応じてパイロット噴射の回数やパターンを変化させて対応している。

全負荷出力の性能線図をFig. 8に示す。全負荷出力は、インタークーラ的大型化およびラジエタ前配置により新気の冷却性能が向上し、前述の燃料噴射圧力の高圧化による高噴射率化とあわせ、出力向上を可能としている。排気系に

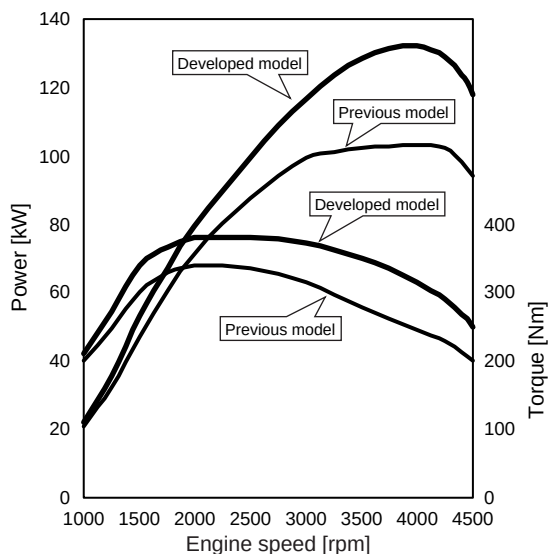


Fig. 8 Power curve of i-DTEC engine

については新開発のVNTを採用し、排気エネルギーを高い効率で過給エネルギーに変換することにより高過給、高レスポンスを実現すると共に、部分負荷領域では運転条件に応じた最適な新気量とEGR量のバランス配分を可能とし、排出ガスの低減を可能としている。VNTの概要をFig. 9に示す。また、DPFの径を拡大することにより圧損の低減をはかっている。

4.2. 排出ガス後処理技術

排出ガス低減のためには、前述の燃焼技術の開発と同時に排出ガス後処理システムの性能向上が必要不可欠である。特に排気ガス温度の低いディーゼルエンジンではコールドスタートにおける触媒の早期活性化とDPFのPM再生性能の向上が重要となる。

本エンジンの排気後処理システムは低ヒートマス構造のエアギャップを有するディーゼル酸化触媒(DOC)をターボチャージャー直下に、直後にDPFを配するレイアウトとし、暖気過程の触媒活性時間短縮とDPFの再生性能向上の両立を実現している。

4.2.1. エアギャップ酸化触媒

酸化触媒はエアギャップを有する2重構造となっており、スタート直後の低温時に触媒温度低下を抑制することにより、早期に安定した触媒活性を実現している。エアギャップ構造の概要をFig. 10に示す。

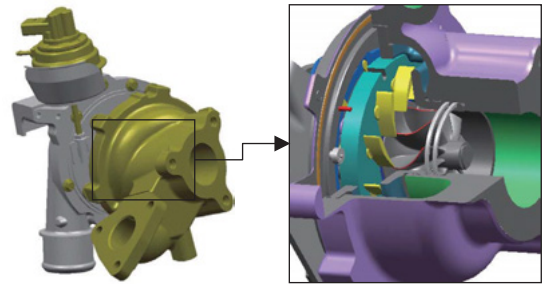


Fig. 9 Variable nozzle turbocharger

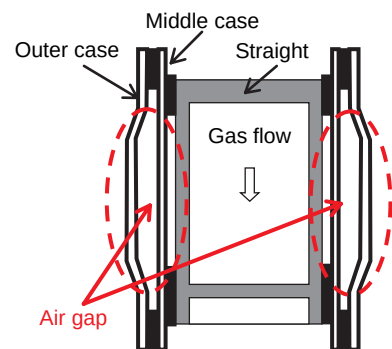


Fig. 10 Close coupled DOC with air gap

4.2.2. DPF システム

排気系のレイアウト図を Fig. 11 に示す。

本エンジンでは DPF を DOC の直後に配置することで再生時に DPF までの排ガス温度の低下を抑制でき、同一 DPF 温度の条件で DOC 温度を 100 °C 近く低減することが可能となっている。再生時の DPF の温度特性を Fig. 12 に示す。この DOC 温度の低減効果を生かし、再生時の DOC 温度の上昇を抑えつつ DPF 温度を 30 °C 近く上昇させることができた。その結果、PM 燃焼速度の向上と貴金属量の低減と排ガス浄化性能の劣化抑制を実現している。また、DPF 前の排気系ヒートマスの低減により、再生時の昇温時間を短縮することができた。

再生時の所要時間と総ポスト噴射量の低減効果を Fig. 13 に示す。従来モデルに対し再生所要時間の 19% 短縮と総ポスト噴射量の 37% 低減を実現した。

4.2.3. DPF 制御の改善

DPF 再生にはポスト噴射を使用するが、その際に燃料の軽油分がエンジンオイルに溶解（以下、オイルダイリューション）し、耐久信頼性が懸念となる。従来モデルではユーザーによる最も厳しい使用条件を想定してポスト噴射量を制限する必要があった。そこで本エンジンでは、オイルダイリューションの発生と蒸発メカニズムを解明することによって ECU 内でオイルダイリューションのレベルを計算し、信頼性を保ちつつ再生性能を向上することが可能となっている。これらにより、トップクラスの再生性能を達成している。

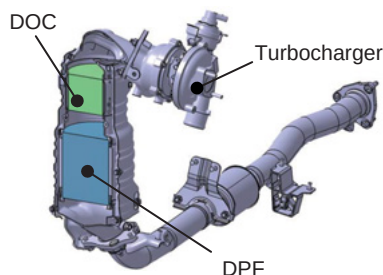


Fig. 11 Close coupled DOC and DPF

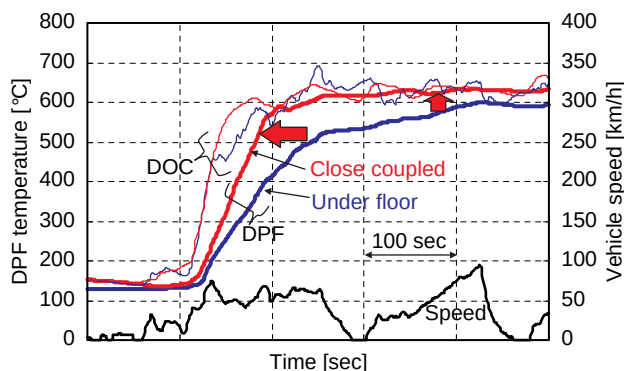


Fig. 12 Effect of close coupled DPF for DOC and DPF temperature

4.3. NV 低減技術

ディーゼルエンジンで一般的に用いられるローラチェーンではチェーン噛み合い騒音の低減が静粛性確保の観点で重要である。本エンジンでは、レイアウト変更を含めた対応によりチェーン噛み合い騒音を低減している。また、出力向上に伴う騒音増大に対し構造系での対応をおこなっており、以下にその内容を述べる。

4.3.1. チェーン騒音の低減

カム駆動チェーンを、バキュームポンプをスプロケットで駆動する 3 軸レイアウトから、排気カムシャフトを介したオルダム駆動にすることで 2 軸レイアウト化をはかった。これにより、小径スプロケットで噛み合い起振力の大きいバキュームポンプ軸を外すことができ、カム駆動チェーンの噛み合い騒音は低減している。

チェーン騒音メカニズムの中で、チェーンケースの放射特性は大きな影響要素であるが、ケースをディンプル形状とし制振板を多層化するなどの制振性能の向上策を投入し低減効果を得ている。Fig. 14 にチェーンケース形状を示す。

これらの対応をおこなった結果、従来モデルに対しオイルポンプ駆動側も含めチェーン噛み合い騒音を低減している。チェーン騒音の達成レベルを Fig. 15 に示す。

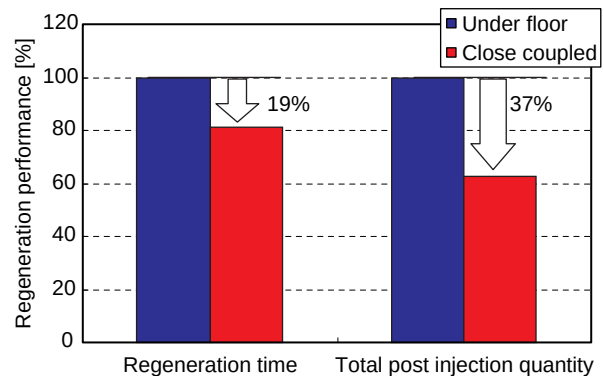


Fig. 13 Effect of close coupled DPF for regeneration performance

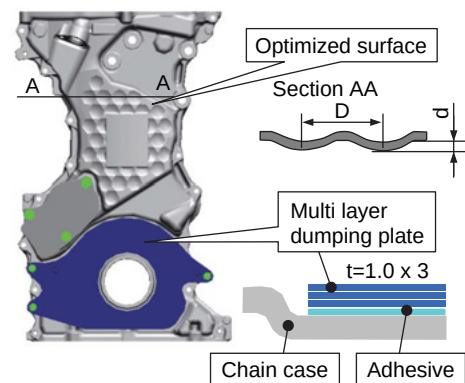


Fig. 14 Optimized chain case

4.3.2. 放射音の低減

出力向上にともなう燃焼圧の増大により、放射音の基となる燃焼加振力は増加傾向であり騒音増大の要因となる。

この課題に対し、クランクシャフト、シリンダヘッド、シリンダブロック等の形状最適化により強度、剛性確保とあわせて構造減衰の改善をはかっている。さらに、前述のチェーンケースやオイルパン面形状の最適化、多段噴射による燃焼音低減効果をあわせ、40 Nm の出力向上をおこないながら、従来モデル同等の騒音レベルを達成している。放射音の達成レベルを Fig. 16 に示す。

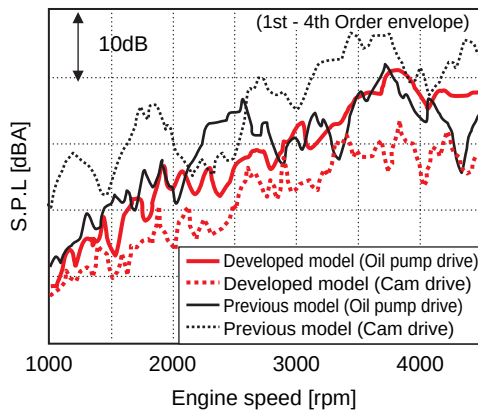


Fig. 15 Effect of developed chain drive system and chain case for chain drive noise reduction

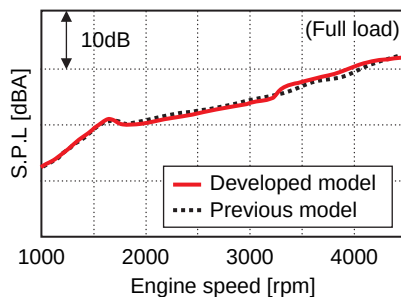


Fig. 16 Comparison of engine radiation noise

5. まとめ

CO₂ 低減と EURO-V 排出ガス規制に適合しうる低排ガス性能という高い環境性能に加え、高い出力性能と静粛性を同時に実現し、高い次元でユーザの走る楽しみを満足しうる第2世代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) 新燃焼室形状、180 MPa コモンレールシステムの採用および、高効率排ガス後処理システムの組み合わせによりいち早く EURO-V 排出ガス規制に適合した。
- (2) 低圧縮比化、高効率 VNT の採用および吸排気系の改良により、排ガス低減をおこないながら高い動力性能を達成した。

- (3) 静粛性、燃費においてトップクラスの性能を確保できた。

- (4) 低水温、低負荷運転時のDPF再生性能向上とエンジンオイルへの燃料希釈マネジメントにより、高性能かつ信頼性の高い後処理システムとすることができた。

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(2004)
- (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 Euro IV Combustion Technologies for Direct Injection Diesel Engine, SAE Paper, No.2004-01-0113(2004)
- (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 Euro-IV 対応燃焼技術, Honda R&D Technical Review, Vol.16, No.2, p.139-146
- (6) 千葉勲, 金子功, 松井竜太, 石原佳敬, 松門龍司 : EURO-IV 対応ディーゼルエンジン用 DPF システムの開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.103-05, p.15-18 (2005)

■ 著 者 ■



松井 竜太



下山 和明



千葉 勲



日高 尚志



野中 繁治