

Euro6 対応 2 段過給 1.6L ディーゼルエンジンの開発 *

西森 顕¹⁾ 畑野 潤一²⁾ 上田 圭³⁾ 村上 修⁴⁾
 今井 喬弘⁵⁾ 福島 寛之⁶⁾ 松尾 雄一⁷⁾

Development of Euro6 compliant 1.6L diesel engine with two stage turbocharger

Ken Nishimori Junichi Hatano Kei Ueda Osamu Murakami
 Takahiro Imai Hiroyuki Fukushima Yuichi Matsuo

KEY WORDS: Heat Engine, Compression Ignition Engine, Performance / Fuel economy, Low Emissions (A1)

1. ま え が き

Honda は 2003 年に排気量 2.2L の直列 4 気筒ターボディーゼルエンジン¹⁾を欧州向け「Accord (アコード)」に搭載して以来、「CR-V」, 「CIVIC (シビック)」等に適用してきた。2008 年には、第 2 世代の 2.2L i-DTEC ディーゼルエンジン²⁾を開発し、上述の各車両において Euro5 の法規に適合するとともに燃費低減のための技術開発を続けた。2009 年末に発売した欧州向け「CR-V」は、この 2.2L エンジンを搭載し、CO₂ 排出率 149 g/km を達成した。

2013 年初頭には Honda パワートレインの次世代革新技術である Earth Dreams Technology の第 1 弾として第 3 世代の 1.6L 120PS の i-DTEC ディーゼルエンジンを発表し、CIVIC に搭載した⁴⁾。一層の CO₂ 低減と Hondaらしい走りを両立するため、車両全体の軽量化につながるエンジンのダウンサイジングによる小型軽量化とガソリンエンジンに肉薄する低フリクション化などパワートレインの高効率化を図り、Euro5 排ガス規制適合車でクラストップレベルの低燃費を実現した。

このたび Honda はこの第 3 世代ディーゼルエンジンの主要本体部品、及び燃焼コンセプトを踏襲し、新型 160PS 1.6L ディーゼルエンジンを開発した。新たな後処理技術を開発することにより 2014 年 9 月より施行される Euro6 排ガス規制を達成した。さらにシリーズ式 2 ステージターボチャージャーを用いた 2 段過給の採用による高出力化により、これまでの 2.2L エンジン⁵⁾と同等の動力性能、走行性能を達成した。本エンジンは 2014 年 10 月のパリモーターショーにおいて新型「CR-V」に搭載して発表し、旧 2.2L モデルから移行する。

新開発の 160PS 1.6L ディーゼルエンジンは、2 ステージターボチャージャーによる低速・高速域の過給圧の変更を軸とした出力向上、出力面以外でも 2.2L からの移行に見合った Noise Vibration Harshness (NVH)性能を付与した。エンジン主要本体部品はオープンデッキ構造のアルミシリンダブロック・高剛

*2015 年 2 月 27 日 自動車技術会シンポジウムにおいて発表。
 1)-7) (株)本田技術研究所 第 2 技術開発室 (321-3393 栃木県芳賀郡芳賀町下高根沢 4630 番地)

性シリンダヘッド⁷⁾など基本部分を既存の 120PS 1.6L エンジンと共用している。このうえで、回転系・往復運動部は 160PS の出力に合わせた強度向上と軽量化を行い、機械抵抗を低減した。

以上の 160PS 1.6L ディーゼルエンジンを搭載した「CR-V」は、2.2L モデル同様にアイドルストップや減速エネルギー回生制御⁸⁾も行い、NEDC (New European driving cycle)において CO₂ 排出率 129 g/km (4.9 L/100km)を達成し、2.2L ディーゼルエンジン搭載時の 149 g/km に対し 13.5%の CO₂ 低減を実現した。

本論文では、上述の新型 160PS 1.6L ディーゼルエンジンの開発における燃費と走行性能の両立を追求した技術内容について報告する。

2. 新エンジンへの適用技術

2.1. 新開発エンジンの概要

このたび開発した排気量 1.6L 直列 4 気筒ターボディーゼルエンジンの外観およびこれを搭載する欧州向け新型「CR-V」を図 1 に示す。

本エンジンは図 2 に示すように 2000 rpm において最大トルク 350 Nm 4000 rpm において最大出力 118 kW(160PS)を有する。エンジンの主要諸元を表 1 に、システム構成を図 3 に示す。

本エンジンは高出力対応の専用部品及び NVH をはじめとした商品性を向上させる専用部品を除き、CIVIC に搭載・発売した 120PS 1.6L エンジンと部品の共通化を図り小型・低コストを維持している。

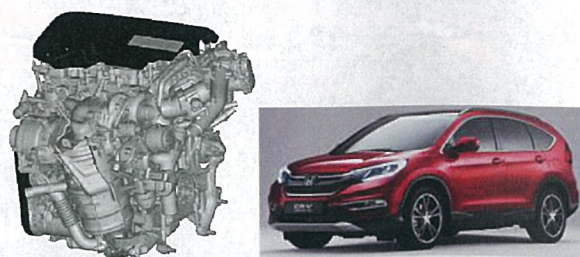


Fig.1 External view of developed 1.6L engine and European CR-V

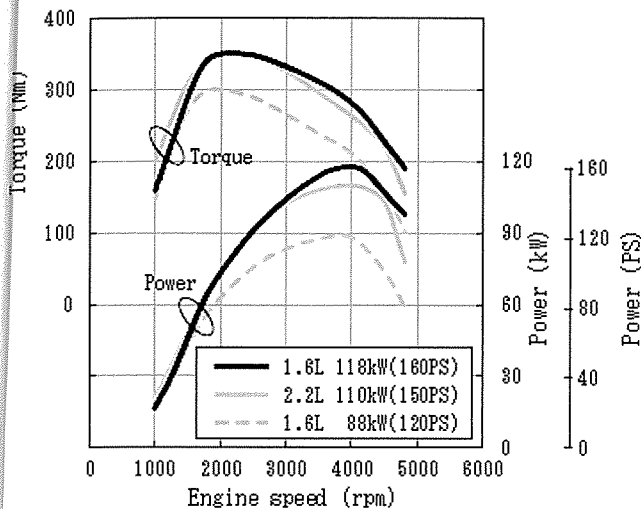


Fig.2 Maximum torque and power curves

Table 1 Diesel engine specifications

	2.2L	1.6L 88kW (120PS)	1.6L 118kW (160PS)
Engine	In-line 4 cylinder DOHC 4 valves	←	←
Bore x Stroke	φ85 x 96.9mm	φ76 x 88mm	←
Displacement	2199cm ³	1597cm ³	←
Compression ratio	16.3	16.0	←
Cylinder Block	ASCT(Advanced semi-solid casting technology). closed deck	HPDC(Hight pressure die-casting). open deck	←
Max. torque	350Nm /2000-2750rpm	300Nm /2000rpm	350Nm /2000rpm
Max. power	110kW (150PS) /4000rpm	88kW (120PS) /4000rpm	118kW (160PS) /4000rpm
Common-rail fuel injector	Piezo (Max. 180MPa) φ0.123mm x 7holes	Solenoid (Max. 180MPa) φ0.114mm x 8holes	←
Turbocharger	Single VGT	←	2 stage turbo
EGR system	HP hot EGR of HP cooled EGR	HP hot EGR and/or LP cooled EGR	←
Aftertreatment	DOC + DPF	←	NSC + DPF
Blancer system	with	without	with
Emission	EURO5b	←	EURO6b
CO2	149g/km	119g/km	129g/km

排ガス規制適合技術としては、低温から高いNOx 浄化性能を発揮する NOx Storage Catalyst (NSC)を新たに開発し、昇温のための燃料消費による燃費低下を抑制しつつ Euro6 を達成した。

高出力化に向けては、2 ステージターボチャージャを採用し、2.2L エンジンの68PS/Lを上回る比出力100PS/Lを実現している。

なお、高剛性シリンダヘッドおよびシリンダブロックは、1.6L エンジン開発初期からの高出力化を前提とした設計により120PS 1.6L エンジンとの共通化を可能としている。また、燃費低減は、120PS 1.6L エンジンから踏襲した低フリクション技術⁹⁾、2 ステージターボチャージャ、新開発 NSC の採用により実現している。2.2L エンジン同等のNVH 性能をエンジンに付与するため、オイルパン一体二段増速 2 次バランスシステムを搭載した。

2.2. 2 ステージターボチャージャによる高出力化

高出力化に向けては、出力に応じた吸入空気量の確保が必要であり、小排気量エンジンではこれを高過給にて補う必要がある。高過給化の手法として一般的である。ターボチャージャの大型化は、慣性重量の増加に伴うため低回転域からの過給応答性低下が課題となる。過給応答性は走行性能への影響はもとより、良好な排ガス性能を得るために最適な EGR 率を連続的に確保する上でも重要である。2 ステージターボチャージャの採用による低回転域での過給応答性の改善と高出力の両立が必須である¹⁰⁾。

2 ステージターボチャージャでは高圧段の High Pressure Turbo (HP-turbo)で低回転域の過給応答性を、低圧段の Low Pressure Turbo (LP-turbo) で高出力をカバーする高回転領域を担っている。その過給圧制御手法としては、HP-turbo, LP-turbo 両方をそれぞれの Waste Gate Valve (WGV)にて制御する方法が多く用いられている。しかしながら、排気エネルギーの低い低回転領域で応答性を求められる HP-turbo においては、図 4 に示すようにその特性が固定タービンの諸元により決定される。そのため、表 2 に示すように、背反するポンピングロス低減と過給応答性を両立する設定は得られない。そこで本エンジンでは HP-turbo に Variable Geometry Turbo (VGT)を採用し、過給応答性と燃費の最適化を図った。この結果 NEDC 走行時において使用頻度の高い運転条件でのポンピングロスを、同等の過給応答性を有する WGV 仕様に対して 50%低減している¹⁰⁾。

本エンジンで採用した 2 ステージターボチャージャの模式図を図 5 に示す。HP-turbo と LP-turbo を直列に配置し低回転から高回転まで高い過給能力を維持するために、HP-turbo には VGT に加え、Turbine Bypass Valve (TBV)と Compressor Bypass Valve (CBV)を備えている。また、LP-turbo の過給圧制御用として WGV を適用した。

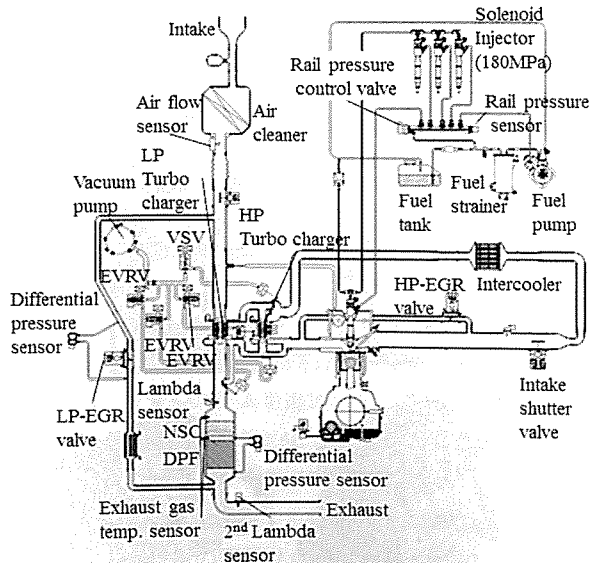


Fig.3 Engine system layout

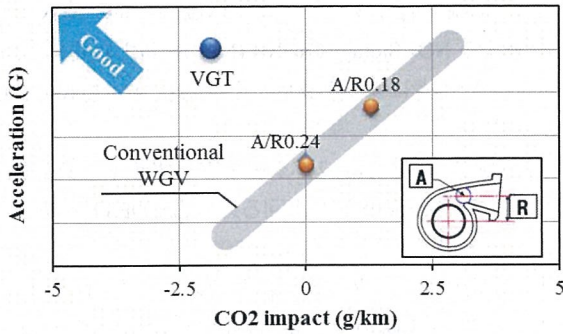


Fig.4 CO₂-acceleration performance characteristics

Table 2 Comparison of turbocharger specifications

	118kW(160PS)		88kW(120PS)	
	2 stage turbo		Single turbo	
HP-turbo control	VGT	WGV	Single VGT	
LP-turbo control	WGV	WGV		
Power	○	○	○	○
NOx	○	△	×	○
CO ₂	○	○	×	○
Response	○	×	○	○

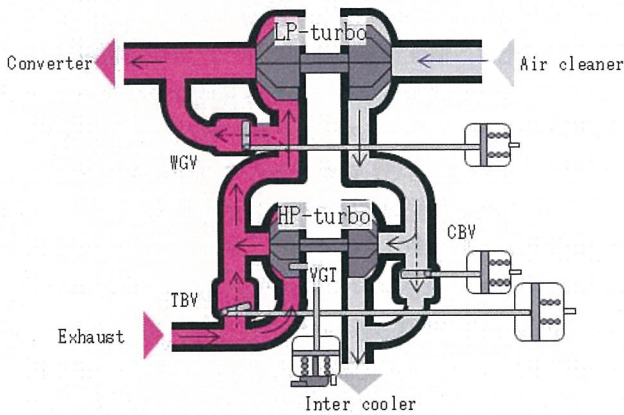


Fig.5 Diagram of two stage turbocharger

2.2L エンジン 110kW(150PS)と本エンジン 118kW(160PS)のそれぞれのエンジンにおける、3速ギア 1000 rpm 無負荷からの全負荷加速時の加速度比較を図 6 に示す。排気量の影響で、初期の加速度は 2.2L エンジンに対し低くなっているが、HP-turbo に VGT を採用した効果として、その後の加速度の上昇率は 2.2L エンジンよりも高く、最大加速度は、2.2L エンジンよりも高い値を早いタイミングで達成している。これらにより、1.6L エンジンにおいて、2.2L 相当の加速感を実現した。

2.3. 主要本体部品の高出力化対応

1.6L の排気量で 160PS を実現するにあたり、必然的に筒内最大燃焼圧力(Pmax)が増大する。本エンジンは、噴射タイミング、過給圧設定により Pmax の増大を 23%に抑え、あわせて小ボア径を選択することで、各部の負荷・剛性・強度を確保しつつ最小限の重量増で 100PS/L を実現した。

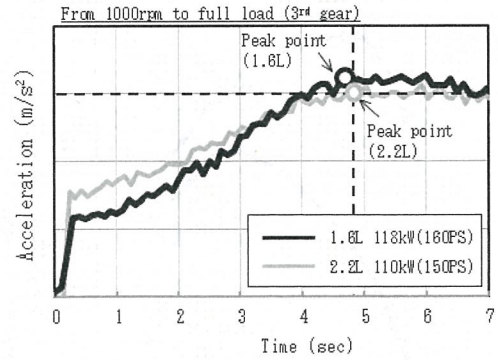


Fig.6 Acceleration performance

図 7 に主要骨格部品と 160PS 仕様の専用部品を示す。シリンダブロック/シリンダヘッドの主要骨格部品は、120PS 1.6L エンジンと共用している。従来の 2.2L エンジンではクローズドデッキ構造⁷⁾としているのに対し、高剛性シリンダヘッドとの組み合わせにより、図 8 に示すような High Pressure Die-Casting(HPDC)を用いたオープンデッキ構造のままヘッドガスケットのシール性を確保した。メインベアリング径はシリンダブロックを共用する観点から、120PS の設計時点で 160PS を想定したサイズを選定し、同一としている。

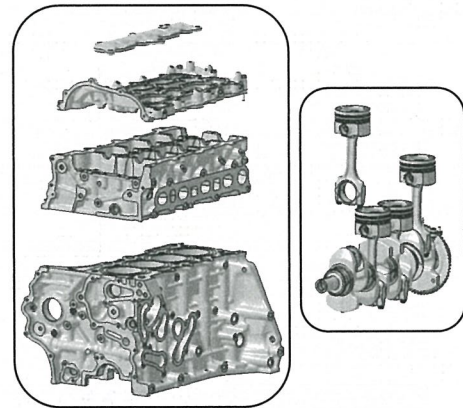


Fig.7 Basic engine components and 160PS unique parts

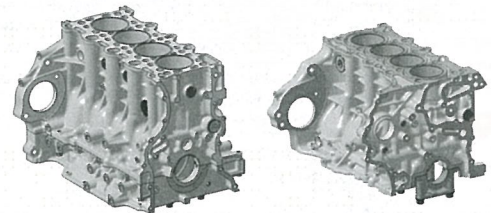
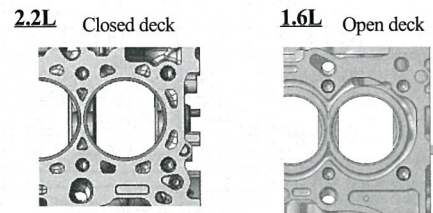


Fig.8 Structure of aluminum cylinder block

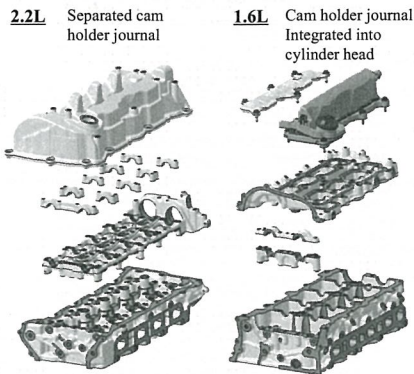
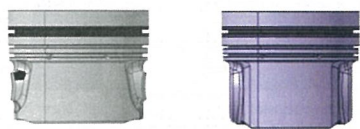


Fig.9 Structure of aluminum cylinder head

シリンダヘッドは1.6L 120PS エンジン在设计する時点で本エンジンのPmaxを前提とし、共通化している。また、シリンダヘッドの剛性を確保するため図9に示すようにカムホルダーを一体化しており⁷⁾、ガスケットのシール性確保に寄与している。

Pmaxの増大に合わせ、主運動系部品は一新している。主運動系部品の軽量設計は燃費低減に効果があり⁹⁾、仕様ごとの要求強度に合わせ最適化設計している。燃焼荷重の増大に伴い、ピストンピンを径を拡大し強度向上を図った。ピストンは燃焼荷重の増大に合わせ形状の適正化とピストンピン径の拡大に合わせコンプレッションハイトを見直している。図10にピストンスカート形状を示す。コンプレッションハイトの増加に伴うピストンスカート面積の増分を抑え、フリクションの増加を防いだ。また、コンロッドベアリング径は燃焼荷重の増大に合わせ拡大し、高出力へ対応を図っている。クランクシャフトはピン径を専用化する一方でメインベアリング径は1.6L 120PS エンジンと同一とし、シリンダブロックの共用を可能にしている。



Before optimization After optimization
Fig.10 Comparison of piston skirt area

2.4. NVH 向上手法

本エンジンは1.6L 120PS 同様、往復運動部の重量低減を行っているが、2.2L エンジン同等以上の振動特性を達成するために2次バルンサシステムを追加した。図11にバルンサシステムの概略を示す。120PS 1.6L エンジンと共通使用するシリンダブロックにバルンサを取り付けるにあたり、オイルパンにバルンサシステムを保持する機能を持たせた。

バルンサシャフトの駆動はローラーチェーンを介する構造とした。この駆動方式では、ローラーチェーンがスプロケットと噛み合う際に多角形挙動に起因する衝突音が発生する。2

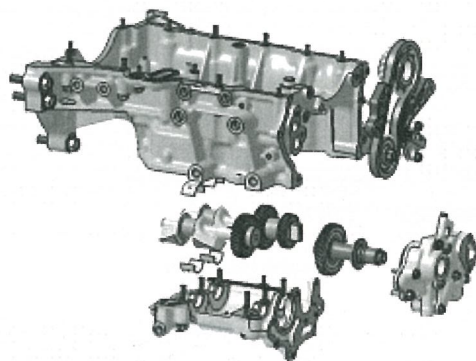


Fig.11 Schematic view of balancer system

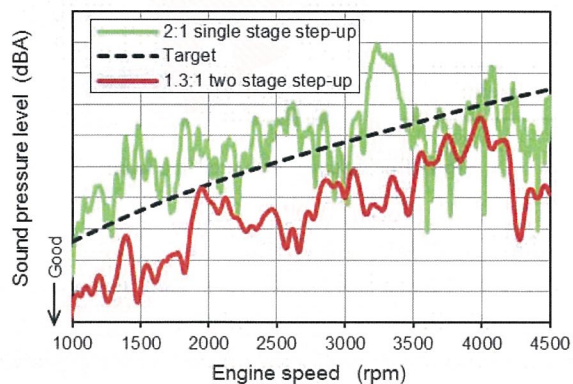
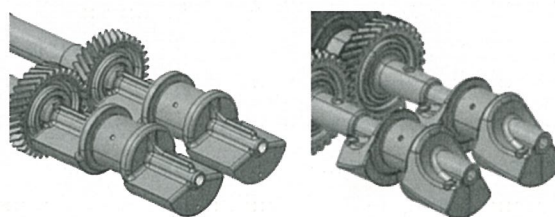


Fig.12 Effect of two stage step up balancer drive for NVH

次バルンサの駆動増速比をチェーンのみで2倍速とした場合に、衝突音により目標とするNVH特性が得られないため、チェーンの増速比を1.3倍に抑え、さらに1.5倍の増速をすることで2倍速へ増速、チェーンとスプロケットの衝突荷重を低減した。図12に2倍速一段増速と1.3倍速二段増速のチェーン音の比較結果を示す。1.3倍速二段増速のチェーン音は2倍速一段チェーン増速に対し約7dBの低減を実現した。さらに、チェーンを包含するチェーンケースの共振をチェーンケース膜面形状や、リップ追加によりコントロールすることで放射音を低減した。

バルンサシャフトがオイルパン内で回転する際のエンジンオイル攪拌抵抗を低減するため、図13に示すバルンサウェイト形状を採用した。従来のウェイト形状では、バルンサウェイトがエンジンオイル油面を横切る際に油面をたたき、回転抵抗を生じる。本エンジンでは、バルンサウェイトに接したエ



Before optimization After optimization
Fig.13 Shape of balancer weight

エンジンオイルを軸方向に誘導する形状とし、バランシャフトの回転抵抗を低減した。

エンジン上方からの放射音の低減を目的に図14に示すような、ウレタンフォームを用いたエンジンカバーを採用した。エンジン上部のインジェクタ作動音および燃焼音をウレタンフォームで封じ込め、室内音を4dB低減することで居住性の向上に貢献している。

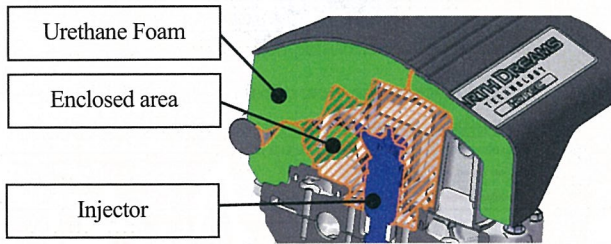


Fig.14 Engine cover with urethane foam

2.5. NSCによる低エミッション化

本エンジンのEuro6 排ガス規制適合手法は、Euro5 相当の排ガスを後処理技術により Euro6 に適合することである。図15に本エンジンのNEDC 走行時排ガス温度プロファイルを示す。低燃費化と2ステージターボチャージャの採用による排気ヒートマス増大により、排気温度が従来エンジンより低下する。このため、従来の触媒では活性化しないような低排ガス温度域において高い排ガス浄化性能が得られる後処理技術の開発が必要となった。

一般的にNOx 浄化技術にはNOx の吸蔵と還元を繰り返し浄化するNSC と尿素を排気管内に噴射することでNOx を浄化するUrea Selective Catalytic Reduction (Urea-SCR)があるが、本エンジンでは触媒活性のための昇温を必要とせず、低排ガス温度においてNOx 浄化率の高いNSC を選択した。しかしながら、従来型のNSC では、低排ガス温度域においてNOx の浄化性能のみならず、CO とHC の酸化性能も不足しており、これら三成分を効率良く浄化することが可能な触媒の開発が必要となった。

本開発においては、低温での高いNOx 吸蔵能を確保するために、NOx 吸蔵材の組み合わせとその最適化、NOx 吸蔵材の高表面積化を行い、図16のNOx 吸蔵性能の温度特性に示すように、低温でのNOx 吸蔵能を高めることが可能となった。また、低排ガス温度でのCO とHC の酸化性能を両立させるため、酸化触媒技術を組み合わせることで、図17に示すように低温からの三成分の高効率浄化を実現した。これにより、図15に示すNEDCモード走行中の排ガス温度が100°C~200°CとなるECEの領域においても、新触媒ではNOx 吸蔵性能の向上と、CO とHC の浄化開始温度の低温化を実現することができた。

車両における新触媒の排出ガス浄化性能を確認したNEDCモード走行時のエミッション評価結果を図18に示す。後処理

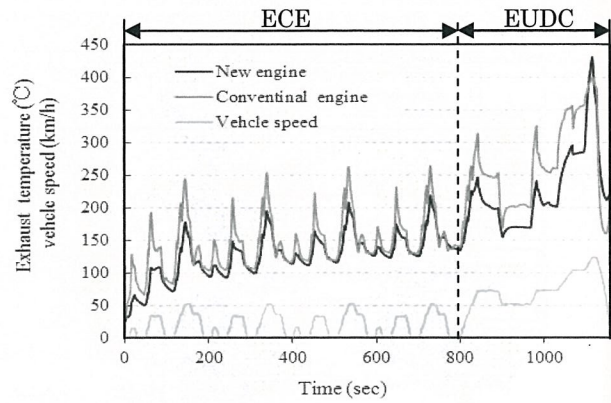


Fig.15 Exhaust gas temperature in NEDC mode

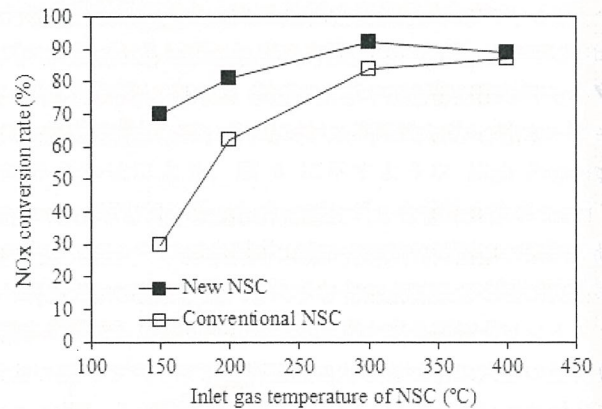


Fig.16 NOx conversion performance

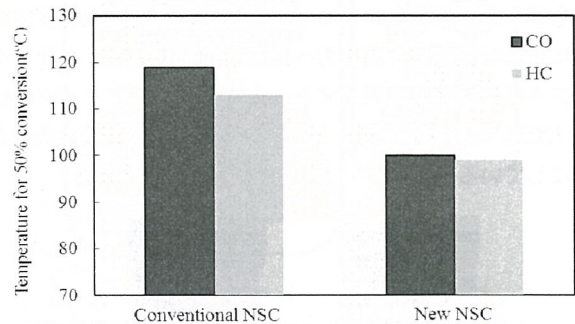


Fig.17 Light off temperature of CO and HC

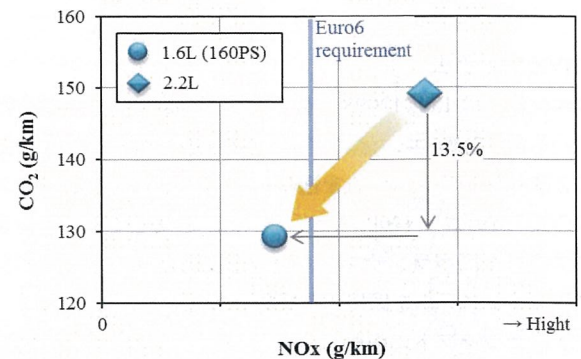


Fig.18 Emission and fuel economy performances of CR-Vs

システムは、ターボチャージャー直後に配置し、前段にNSC、後段に触媒付き Diesel Particulate Filter(DPF)を配置した構成とした。新たなNSC触媒開発により、Euro6の排ガス規制に適合することが確認され、低燃費、高出力、低エミッションを高次元で両立させることが可能となった¹⁰⁾。

3. 結論

Honda初となる2ステージターボチャージャーを適用した高出力・低エミッション1.6Lディーゼルエンジンの開発を通じて、以下の技術的成果を得た。

- (1) 1.6L 88kW(120PS)と共通骨格であるアルミシリンダブロック、オープンデッキ構造を用いて118kW(160PS)、100PS/Lを達成した。
- (2) オイルパン一体二段増速2次バランスシステムにより、小型かつ低フリクションとNVHを高次元で達成した。
- (3) 2ステージターボチャージャーのHP-turboへのVGT採用により、低回転域からの過給応答性及びポンピングロスを改善し、走りとエミッション・燃費を両立した。
- (4) 低温域から高い浄化率を発揮するNSCの開発により、Euro6の排出ガス規制に適合した。

参考文献

- (1) 阿部智也, 松井竜太: 新開発アコード用ディーゼルエンジン, シンポジウムテキスト, No.10-04, p.1-7, 20044206 (2004)
- (2) 松井竜太, 下山和明, 千葉 勲, 日高尚志, 野中繁治: Euro5対応高出力ディーゼルエンジンの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.20, No.1, p.19-24 (2008)
- (3) 日高尚志: ホンダ Euro5 ディーゼルエンジンの開発, フォーラムテキスト, No.10 Forum-6, p.32-41, 20104292 (2010)
- (4) 池上則次, 山野順司, 生駒浩一, 松井竜太, 森 誠治, 矢野 亨, 村田 豊: 新型1.6Lディーゼルエンジンの開発, No.10-12自動車技術会シンポジウムテキスト No.10-12, p.24-30 (2013)
- (5) 村田 豊, 田尻賢一, 佐々木裕二, 福島寛之, 津田将岐, 上野 豪, 小出創平: 新型2.2L 低燃費ディーゼルエンジンの開発, シンポジウムテキスト, No.15-11, p.1-11, 20124178 (2012)
- (6) Yutaka Murata, Kenichi Tajiri, Yuji Sasaki, Hiroyuki Fukushima, Takeshi Ueno, and Sohei Koide: Development of the New 2.2lFuel-Efficient Diesel Engine for Honda CIVIC, 21st AachenColloquium Automobile and Engine Technology (2012)
- (7) 首藤康裕, 立川剛久, 会森秀行, 荻野晃一, 森 誠治: 新世代1.6Lディーゼルエンジンの開発(第1報)-小型軽量化のための最適化構造技術-, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.63-13, p.1-4 (2013)
- (8) 西尾 唯, 長谷川 衛, 堤 康次郎, 後藤淳司, 飯塚憲洋: 新世代1.6Lディーゼルエンジンの開発(第3報)-インタークソットル方式LP-EGRシステムのためのモデルベース制御-, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.5-13, p.7-12 (2013)
- (9) 星野守門, 勝俣耕二, 福島寛之, 能登 昶: 新世代1.6Lディーゼルエンジンの開発(第4報)-極限低フリクションへの挑戦-, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.64-13, p.5-8 (2013)
- (10) 石原佳敬, 村上 修, 田淵太郎, 佐々木裕二, 畑野潤一, 福島寛之, 青柳 聡, 松尾雄一: 高出力, 低エミッション1.6Lディーゼルエンジンの開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.131-14, p.7-10 (2014)