

直噴ディーゼルエンジン搭載車の振動騒音低減技術

Countermeasures against Noise and Vibration in Direct Injection Diesel Engine

比留間 政 雄*

Masao HIRUMA

野 口 好 洋*

Yoshihiro NOGUCHI

野 中 繁 治*

Shigeji NONAKA

伊 神 肇**

Hajime IGAMI

加 藤 裕 治*

Yuji KATOU

要 旨

欧州向け新型 ACCORD に搭載した新開発 2.2L 4 気筒ディーゼルエンジンに、2 次バランサなどによるエンジン振動騒音の低減、パイロットインジェクションの最適化による燃焼騒音の低減、慣性主軸トルクロッドエンジンマウントシステムの採用、車両防音性能向上などの振動騒音低減技術を適用した。

これらの技術により、この新エンジンを搭載した欧州向け新型 ACCORD は、パワフルで静粛性が高く振動も少ない高品位な完成車性能を実現することができ、欧州で高い評価を得ている。

ABSTRACT

The newly developed 2.2L 4-cylinder diesel engine for the new ACCORD marketed in Europe employs numerous noise and vibration reduction technologies. 2nd-order vibration balancers and other technologies have been used to reduce engine noise and vibration, and optimization of pilot injection has reduced combustion noise. In addition, a principal axis of inertia type engine mounting system with torque rods has been employed, and soundproof performance of complete vehicle has been improved.

The new ACCORD using this new engine is powerful yet achieves the high quality cabin sound and low vibration levels, and has been extremely well received in the European market.

1. まえがき

世界的規模の環境問題への関心の高まりの中で、特に欧州においては地球温暖化への危機感が強く、CO₂ を削減しつつ高いパフォーマンスが得られるディーゼルエンジンが注目され一大市場を築いている。

Honda としては初の自社設計となるターボチャージドディーゼルエンジン(intelligent-Common Rail Turbocharged Direct injection: 以下 i-CTDi)を新開発した。Fig. 1 にその外観図を示す。

この i-CTDi エンジンには、DOHC 4バルブ直噴システムや可変ジオメトリ式ターボチャージャに加えて、燃料噴射の高圧化をおこなう手段として最新の 1600 bar コモンレール制御システム等を採用した。これらにより高出力と低燃費を実現し、また EURO-IV 規制に適合することもできた⁽¹⁾。

しかし、高出力化や燃料噴射の高圧化はエンジン振動の

増加や燃焼騒音の増加を招き車両の静粛性に大きな影響を及ぼす⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。この課題を克服するために以下の項目に重点を置き振動騒音対策をおこなった。

- (1) エンジン振動騒音の低減
- (2) 燃焼騒音の低減
- (3) エンジンマウントシステムの改良
- (4) 車両防音性能の改良



Fig. 1 External view of i-CTDi engine

* 栃木研究所

** Honda R&D Americas, Inc.

本稿では、2次バランサなどによるエンジン振動騒音の低減、パイロットインジェクションの最適化による燃焼騒音の低減、慣性主軸トルクロッドエンジンマウントシステムの採用や車両防音性能の改良などについて紹介する。

2. エンジン振動騒音の低減

ディーゼルエンジンでは、ガソリンエンジンと比較して慣性力や燃焼加振力の増加は避けられず振動や騒音が増加する。この課題に対し i-CTDi は以下の対応をおこなった。

2.1. 2次振動バランサ

慣性力増加により2次振動が増加するが、これを低減するために2次バランサシステムを採用した。クランクシャフトよりシングルローラチェーンで駆動し、Fig. 2に示すようにオイルパン内に収納した。その結果パワープラント振動が低減し車室内のこもり音を Fig. 3 に示すように大幅に低減することができた。

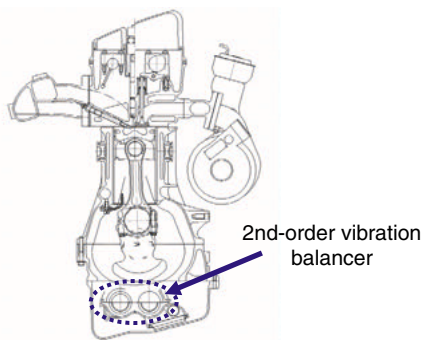


Fig. 2 Cross-section of engine

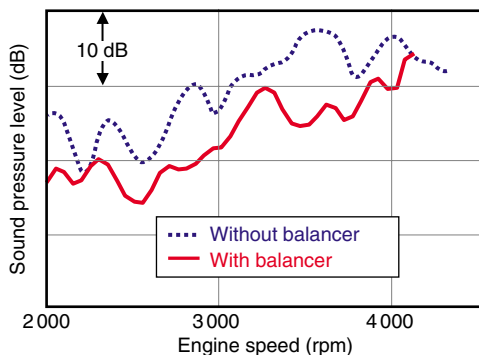


Fig. 3 Cabin booming noise

2.2. エンジン防音カバー

コモンレールシステムの高圧インジェクタ作動音や燃焼騒音などの高周波音は、特に商品性を悪化させることからエンジン防音カバーを採用している。Fig. 4に示すようにカバーのリブ形状や吸音材配置、フローティングラバー特性を含む支持点の最適化等をおこなった結果、Fig. 5に示すようにエンジン上方の騒音を5 dB 低減することができた。

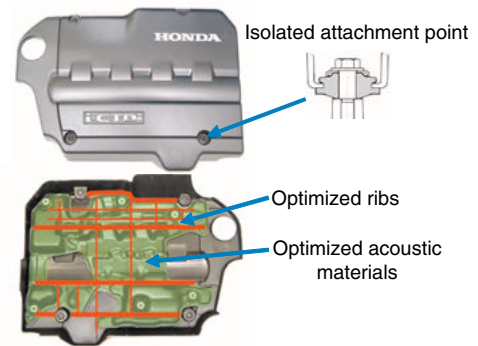


Fig. 4 Engine top acoustic cover

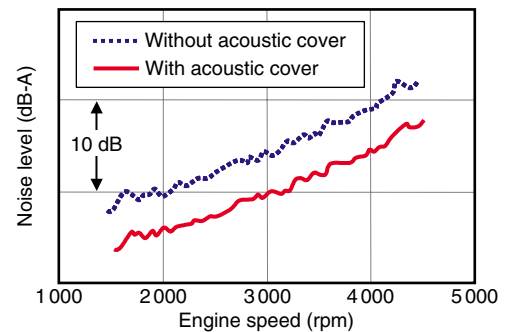


Fig. 5 Engine noise

2.3. シリンダブロック

シリンダブロックは、高燃焼圧に対応でき軽量でコンパクトな構造を成立させるために、鋳鉄製スリーブを鋳込んだクローズドデッキ方式のアルミニウムブロックを採用している⁽⁵⁾。その上で Fig. 6 に示すようにガソリンエンジンでも採用しているロアブロック構造をベースに、CAE を用いた検討により各部寸法(シリンダブロック壁面形状やジャーナル部肉厚等)の最適化をおこなった。

また2次バランサシステムのアルミ製ホルダーをメインベアリング支持部に取り付け、剛性部材としても活用することで Fig. 7 に示すように高い剛性を確保することができた。

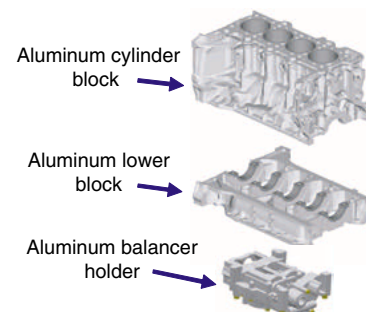


Fig. 6 Cylinder block and balancer holder

シリンダブロック表面のリップについても、CAE を用いた検討をおこない放射音低減に効果を得ている、Fig. 8に構造検討用の FEM モデルと採用したリップの配置を示す。シリンダブロックの構造減衰を Fig. 9 に示す。他社の同排気量クラスの鋳鉄製を含むシリンダブロックと比較しても良好な減衰特性を得ることができた。

シリンダブロックのもう一つの特徴は、オフセットシリンダ配置である。Fig. 10に示すようにボアセンタに対しクランクセンタをスラスト側にオフセットさせた。ピストン衝撃エネルギーに関する CAE 検討結果を Fig. 11 に示すが、スラスト方向の衝撃力を緩和することができた。

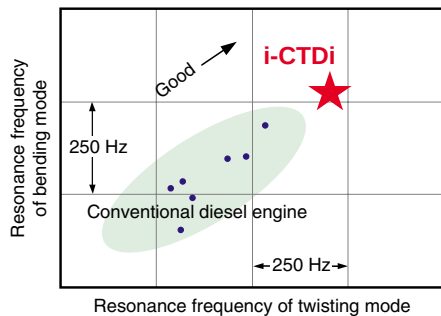


Fig. 7 Cylinder block dynamic characteristics

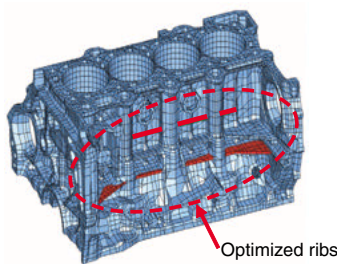


Fig. 8 FEM Model for optimizing ribs

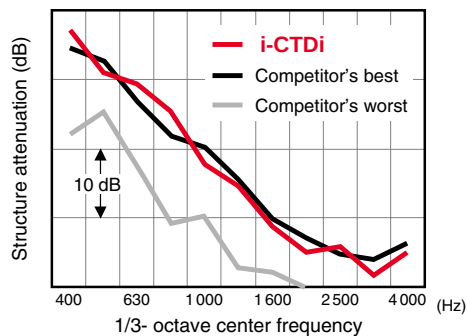


Fig. 9 Structural attenuation

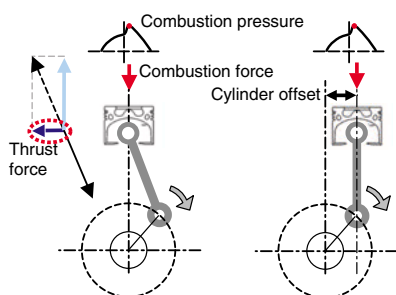


Fig. 10 Cylinder offset structure

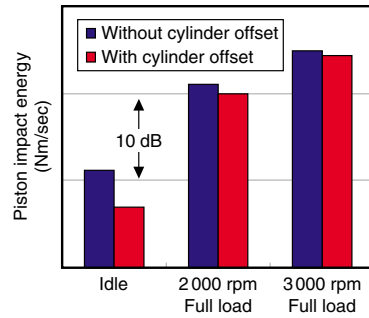


Fig. 11 Calculated piston impact energy

3. 燃焼騒音の低減

コモンレールシステムの燃料噴射制御性の良さ⁽²⁾⁻⁽⁴⁾をいかし、広範囲な領域でパイロット噴射を積極的に活用した。Fig. 12 にパイロット噴射の概念図を示す。

パイロット噴射とメイン噴射の行程を調整することによってメイン噴射の着火をスムーズにし、急速燃焼を防止することでディーゼル特有の燃焼音の低減を図った。Fig. 13 にパイロット噴射による燃焼圧力と燃焼速度の効果例を示す。

また、あらゆる環境条件においてもパイロットの噴射量や噴射時期についてセッティングをおこなった。その結果 Fig. 14に示すように、一般的なディーゼルエンジンと比較し低い燃焼騒音を実現することができた。

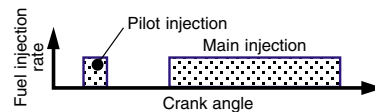


Fig. 12 Conceptual diagram of pilot injection

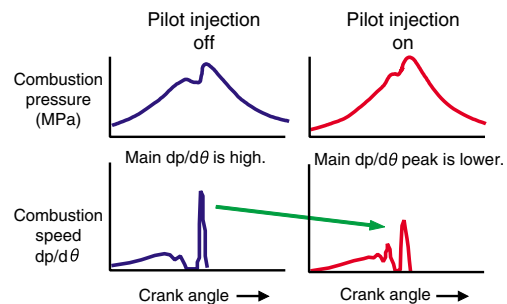


Fig. 13 Effect of pilot injection

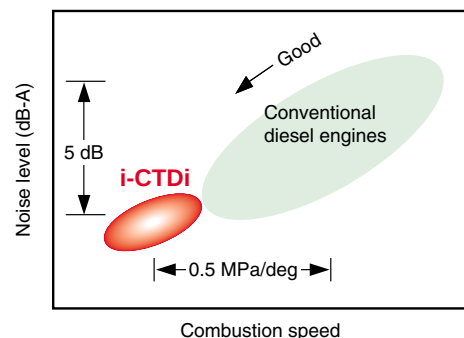


Fig. 14 Combustion noise

4. エンジンマウントシステムの改良

ディーゼルエンジンは、特に燃焼の影響が大きいアイドリング時や加速時での3000rpm以下の領域で、ガソリンエンジンに対し大幅に2次振動が増加し、こもり音やステアリング振動などに影響を及ぼす⁽⁴⁾。

今回開発したi-CTDiは、この2次振動の増加に対応するために、Fig. 15に示すように慣性主軸上にメインマウントを配し、エンジンの上下部に駆動トルクを受けるトルクロッドを配したマウントシステムを採用した。

既存のHondaガソリン車のエンジンマウントは、エンジンの前後2点でトルク変動入力を上下方向に受けるストッパーマウント形式である(以降従来タイプと記す)が、上下部に配したトルクロッドによって、入力方向を上下方向から前後方向にFig. 16に示すように変更させた。これはFig. 17に示すようにボデー音響感度が約3 - 5 dB 低い方向に入力させることを狙いとしている。

本システムを従来タイプと比較した場合の車室内こもり音に対する優位性をFig. 18に示す、3000rpm以下の領域でこもり音が約3 - 5 dB 以上低減できた。

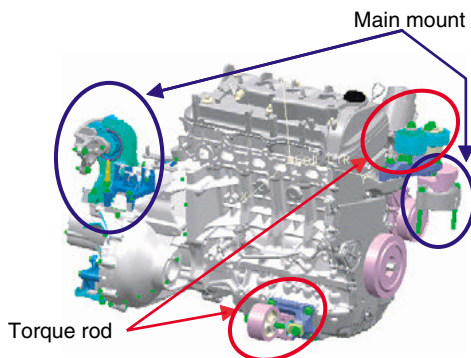


Fig. 15 Principal axis of inertia type mounting system with torque rods

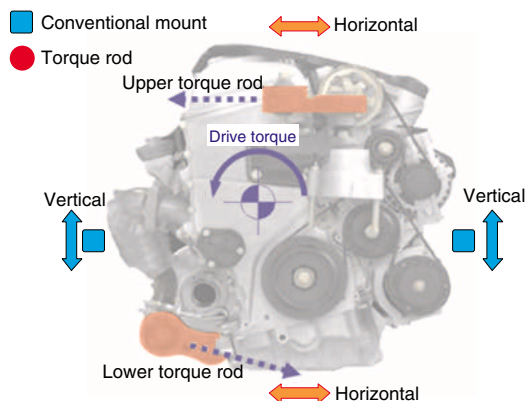


Fig. 16 Direction of principal input force

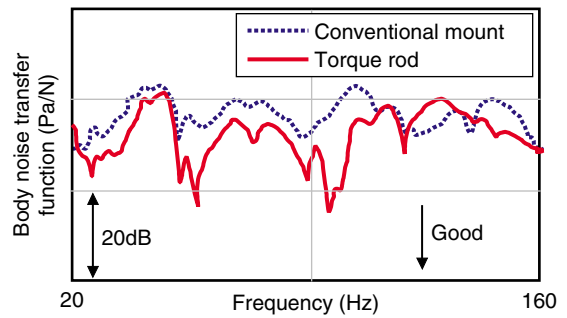


Fig. 17 Body noise transfer function

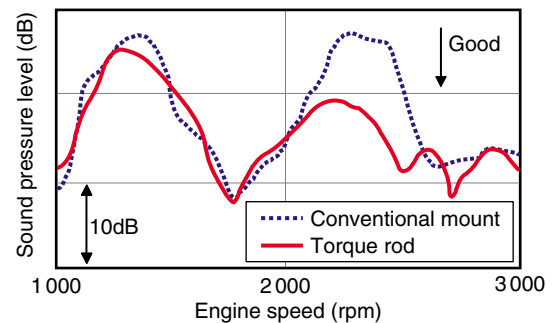


Fig. 18 Booming noise level

一般的にトルクロッドマウントシステムで重要なことは、(1)駆動トルクが作用する際のトルクロッド取り付けの角度、(2)乗り心地性能を左右するエンジンマウント上下方向の剛性確保、の二点が考えられる。

そこで本システムではトルクロッドの取付角度をFig. 16に示すように駆動トルクが作用した際の法線方向に設定し、同時にトランスミッション先端下方にFig. 19に示すトランスミッションロアマウントを新設した。

これらのトルクロッドの取付角度適正化とトランスミッションロアマウントの追加により、Fig. 20に示すように駆動トルクが作用する方向の回転剛性を確保した。またトランスミッションロアマウントを設けることにより上下剛性が確保された。これにより欧州競合車に匹敵する乗り心地レベルを実現した。Fig. 21に乗り心地性能を評価した台上加振結果を示す。

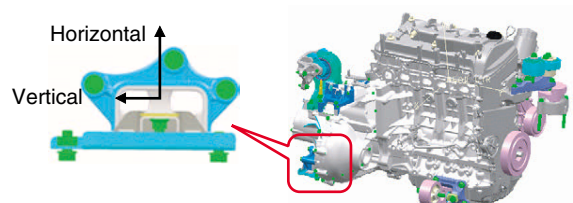


Fig. 19 Transmission lower mount

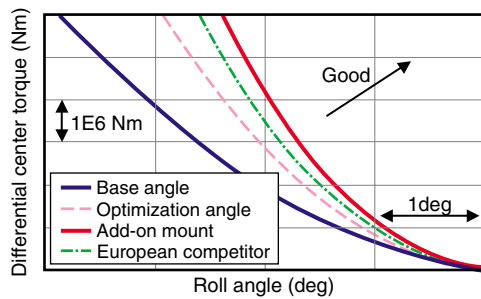


Fig. 20 Comparison of rotational stiffness

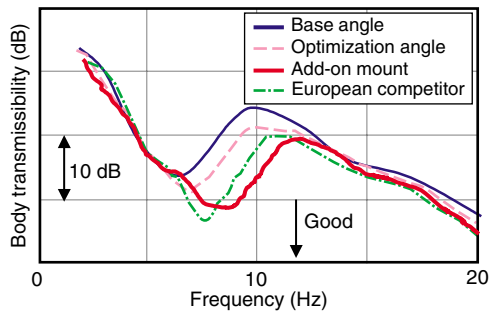


Fig. 21 Body transmissibility

なおトランスミッションロアマウントは二重防振されたサブフレーム上に設置されていることで、振動騒音の悪化を最小限に抑えることができています。

5. 車両防音性能の改良

前述したパワープラント騒音対策に加え、車両の防音性能向上についても検討をおこなった。

防音材仕様の最適化をおこなうにあたり、パネル寄与解析手法を活用し検討をおこなった。その結果 Fig. 22 に示すようにダッシュボード部とフロア部が効果的な適用箇所であることが明確になった。

ダッシュボード廻りの主な対策内容としては、

- (1) エンジンルームから車室内に通線されているハーネスグロメットの構造を、従来の一重構造から中空二重構造へ変更することにより遮音性能の向上を図った。Fig. 23 にその構造図を示す。
- (2) インストルメンタルパネル下面にカバーを追加しインストルメンタルパネル全体をボックス構造とした。そして空間内に、吸音性能が高く(従来材比較: + 25%)

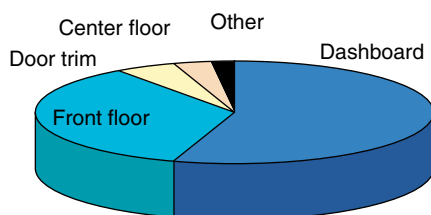


Fig. 22 Contribution analysis of panel

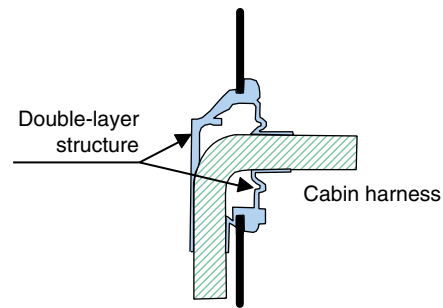


Fig. 23 Structure of cabin harness grommet

軽量(従来材比較: - 60%)な吸音材料を、採用することにより性能向上を図った。

フロア部についても、ダッシュボード同様に高性能な吸音材料を採用した。

以上述べてきた対策内容を適用した結果、Fig. 24に示すように、車両トータルの防音性能を大幅に向上させることができた。

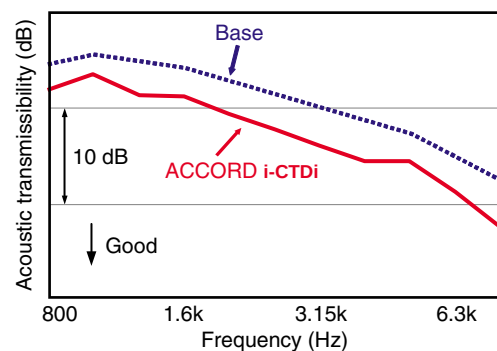


Fig. 24 Soundproof performance of completed vehicle

6. 完成車の車室内騒音

以上述べてきた振動騒音低減技術を適用した結果、i-CTDiエンジンを搭載した欧州向け新型 ACCORD は、Fig. 25 に示すように静かな室内騒音レベルを達成できている。

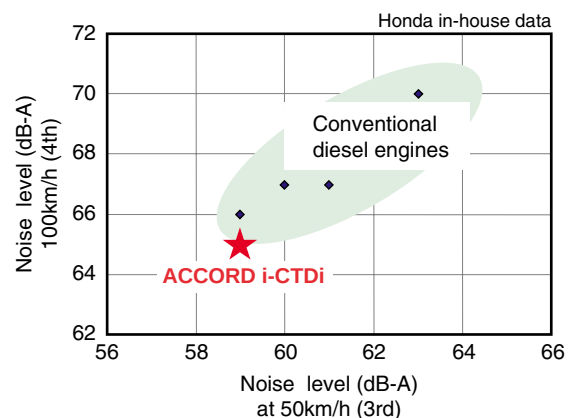


Fig. 25 Interior noise

7. まとめ

欧州向け新型 ACCORD に搭載した新開発 2.2L 4 気筒ディーゼルエンジンに、以下の振動騒音低減技術を適用することによって、振動騒音に優れたパワフルで高品位な完成車性能を実現することができた。

(1) エンジン振動騒音の低減

2 次バランサ、エンジン防音カバー、オフセットシリンダ配置、ロアブロック構造等の採用とシリンダブロックの高剛性化によりエンジン振動騒音を低減した。

(2) 燃焼騒音の低減

パイロット噴射によってメイン噴射への着火をスムーズにし急速燃焼を防止することで燃焼騒音を低減した。

(3) エンジンマウントシステムの改良

2 次振動の増加に対応するために慣性主軸トルクロッドマウントシステムを採用、トルクロッドの取付角度や各マウント特性の適正化をおこない振動騒音の改良と欧州競合車に匹敵する乗り心地性能を実現した。

(4) 車両防音性能の改良

ハーネスグロメットの構造変更や吸音特性の優れた吸音材料の採用などにより、大幅に防音性能を向上させることができた。

参考文献

- (1) Abe, T., Nagahiro, K., Aoki, T., Minami, H., Kikuchi, M., Hosogai, S.: Development of New 2.2-lite turbocharged Diesel Engine for the EURO-IV Standards, SAE Paper 2004-01-1316(2004)
- (2) 多和田清, 藤井学, 平野健: コモンレール式小型直噴ディーゼルエンジンの振動騒音対策, 日本自動車技術会 学術講演会前刷集 No.70-99, p.13-16(1999)
- (3) 薄田重浩, 大塚雅也, 永田雅久: 新型 3.0L 直噴ディーゼルエンジンの振動騒音対策, 日本自動車技術会 学術講演会前刷集 No.45-01, p.5-8(2001)
- (4) Hiruma, M., Nonaka, S., Katou, Y., Igami, H.: Countermeasure against Noise and Vibration of Direct Injection Diesel Engine for New Honda ACCORD, FISITA Paper F2004F417(2004)
- (5) Yamazaki, M., Takai, A., Murakami, O., Tanikawa, H., Ito, O., Yasuda, K.: Development of a High-Strength Aluminum Cylinder Block for Diesel Engine Employing a New Production Process, FISITA Paper F2004A063 (2004)

■ 著 者 ■



比留間政雄



野中繁治



加藤裕治



野口好洋



伊神 肇