

新型 CIVIC の車室内振動低減技術

Advanced Technology for Interior Vibration Reduction for New CIVIC

松 林 努*

Tsutomu MATSUBAYASHI

松 田 修*

Osamu MATSUDA

要 旨

新型 CIVIC のアイドリング時のステアリング振動および加速走行時のフロア、アクセルペダル振動を低減した。アイドリング時のステアリング振動低減のために、主な伝達経路であるエンジンマウントをエンジン振動振幅が小さい位置に配置した。エンジンマウントのばね定数を下げずに車体に伝達するエンジン振動を低減し、パワートレイン支持剛性と振動伝達量低減を両立させた。また、加速走行時のフロア振動の低減のために、排気振動振幅が小さい位置に排気マウントを配置、これにより排気振動伝達を低減し、さらにフロアの板厚増加およびクロスメンバ追加によってフロア剛性を向上させ、フロア振動感度を低減した。加速走行時のアクセルペダル振動の低減のために、アクセルペダルモジュールの取付点が配置されるダッシュボードロアに結合される燃料パイプブラケットの位置をオフセットすることによって、アクセルペダル振動を低減した。

ABSTRACT

Steering vibration while idling and floor and accelerator pedal vibration while accelerating were reduced for the new CIVIC. Steering vibration while idling was reduced by positioning the engine mounts, which are the main transfer path, in locations with a small engine vibration amplitude. This reduced the engine vibration transferred to the body without lowering the spring constants of the engine mounts, and provided power train support stiffness while at the same time reducing the vibration transfer amount. Floor vibration while accelerating was reduced by positioning the exhaust mounts in locations with a small exhaust vibration amplitude to reduce exhaust vibration transfer, and by increasing the floor panel thickness and adding cross members to increase the floor stiffness and reduce the floor vibration sensitivity. Accelerator pedal vibration while accelerating was reduced by offsetting the position of the fuel pipe bracket connected to the dashboard lower where the accelerator pedal module mounting point is located.

1. まえがき

NVH 性能へのお客様からの関心が高まってきている。車室内の静粛性に加え、乗員が触れる部位であるステアリング、フロア、アクセルペダルの振動低減の期待も高い。

アイドリング時および加速走行時の振動事象は、エンジンのトルク変動と慣性力によるエンジン振動が車体に伝達し発生する。対応手法として、ブッシュのばね定数の低減による振動伝達量の低減や、重量の増加を伴う車体対策による振動感度の低減などが効果的である。しかしこれらはハンドリングや乗り心地、燃費性能との並立が課題となる。

そこで、ハンドリング、乗り心地、燃費性能と並立できる手法を用いて、アイドリング時および加速走行時の車室内振動を低減した。

*四輪 R&D センター

2. 車室内振動の低減のねらい

- (1) アイドリング時のステアリング振動を低減する。
- (2) 加速走行時のフロア振動およびアクセルペダル振動を低減する。

本稿では、上記のねらいを達成するための適用技術について説明する。

3. アイドリング時ステアリング振動低減技術

3.1. 発生メカニズム

アイドリング時のステアリング振動は、エンジンのトルク変動により発生するエンジン振動が、パワートレインを弾性支持しているエンジンマウントを主な伝達経路とし、

車体に伝達されて発生する。

この振動の伝達量は、エンジンマウント点のエンジン振動、エンジンマウントのばね定数と、車体側の振動特性であるエンジンマウント取付点からステアリングまでの振動感度（以下、ステアリング振動感度）によって定量化できる。

Fig. 1 に、1.5 L VTEC TURBO エンジンのエンジンマウントシステムの構成を示す。シリンダブロック右側上部のエンジンサイドマウントと、トランスミッション左側上部のトランスミッションマウントの二点のマウント（以下、メインマウント）によって、パワートレインの支持荷重を分担している。駆動反力をオイルパン下部とサブフレームを結ぶトルクロッドにより保持している。このトルクロッド方式エンジンマウントシステムは、2006 年モデルのCIVIC に適用した技術を基本構造として採用している⁽¹⁾。

3.2. 課題と対応手法

アイドリング時のエンジン回転数は、直列 4 気筒エンジンの場合、約 600 rpm から 900 rpm であり、主に課題となる 2 次成分の周波数帯は約 20 Hz から 30 Hz となる。

エンジンマウントのばね定数を下げることで振動伝達量の低減が図れるが、パワートレインの支持剛性が低下し揺動量が増加するため、ハンドリングおよび加減速走行時のギクシャク感の低減との両立が課題となる。

また、ステアリング振動を直接的に低減する手法として、ステアリングシステムの Supplemental Restraint System (SRS) モジュールをダイナミックダンパとして活用する手法⁽²⁾が開発されている。しかし、ステアリングシステムの共振周波数は約 40 Hz とアイドリングの周波数帯よりも高いため、アイドリング時のステアリング振動 2 次成分の低減に対する効果が小さい。また、重量増加を伴わないボデーおよびステアリング構造の変更による振動感度改善は、技術的に難易度が高い。

そこで、アイドリング時のパワートレインの振動モードに着目し、振動振幅の小さい位置にメインマウントを配置することで、メインマウントのばね定数を下げずにメインマウント点のエンジン振動を低減する手法を検討した。

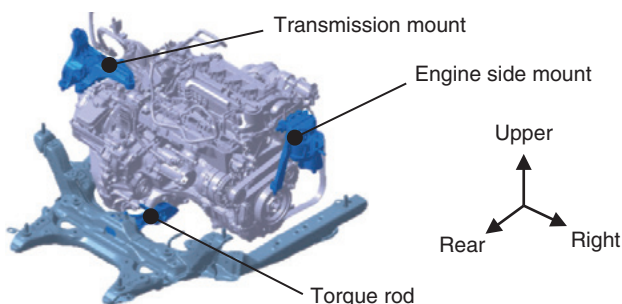


Fig. 1 Torque rod type engine mount system

3.3. メインマウントの最適配置の検討

アイドリング時のパワートレインは、トルク変動によって強制加振され、Fig. 2 で示すトルクロール軸⁽³⁾（慣性主軸とクランク軸の角度で決まる軸）を回転軸として回転方向に振動する（以下、パワートレインロール振動）。パワートレインロール振動の振動振幅は、トルクロール軸に近いほど振動振幅が小さい。パワートレインロール振動の振動振幅が小さい位置にメインマウントを配置することで、アイドリング時のメインマウント点のエンジン振動振幅を小さくすることができる。

Fig. 3 に、エンジンサイドマウント点の車両前後方向入力と車両上下方向入力に対するステアリング振動感度を示す。車両前後方向は車両上下方向に対して、約 10 dB 低いことがわかる。そこで、車両前後方向の振動が高くなったとしても、車両上下方向のエンジン振動を最小とできる位置へ、メインマウントを配置することを検討した。

3.4. メインマウントの最適配置の検討結果

二つのメインマウントは、パワートレインのクランク軸方向の両端に配置され、サイドフレーム上に設置される構造をとるため、車両左右方向への位置の移動の自由度が少ない。また、メインマウントは、駆動反力に対する支持剛性を担う必要があるため、車両上下方向の位置を下げると

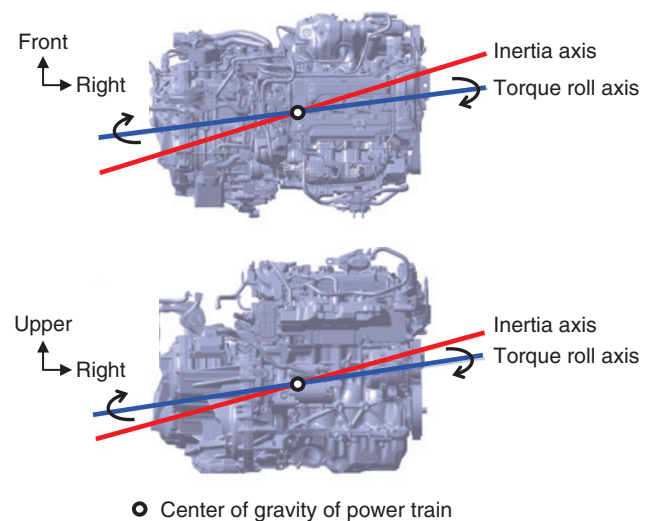


Fig. 2 Vibration mode while idling

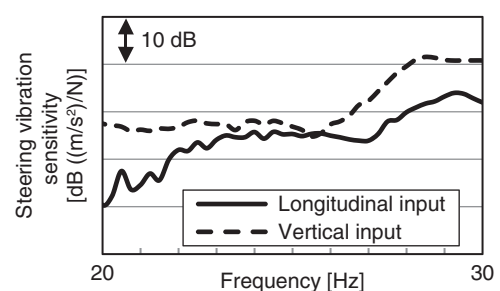


Fig. 3 Comparison of vibration sensitivity

支持剛性が低下し加減速走行時のギクシャク感との両立が課題となる。そこで、アイドリング時のメインマウント点における車両上下方向のエンジン振動を最小とできる車両前後方向の最適位置を、CAE を用いて検討した。

エンジンサイドマウントの位置が、トルクロール軸からの前後方向オフセットがゼロの場合 (Case-1) と、車両前方に 40 mm 移動させた場合 (Case-2)、車両後方に 40 mm 移動させた場合 (Case-3) について、エンジンサイドマウントの位置と各 Case に対するエンジンサイドマウントの車両上下方向振動の変化の様子を、Fig. 4 に示す。エンジンサイドマウントの車両前後方向位置をトルクロール軸の直上に配置した時に、マウント位置での車両上下方向のエンジン振動が最小となることがわかった。この結果をもとに、両メインマウントの位置を決定した。

Fig. 5 に、1.5L VTEC TURBO エンジン搭載車のアイドリング時設定回転における、エンジンサイドマウント点の車両上下方向のエンジン 2 次振動を示す。上記の解析結果からマウント配置を改良した結果、前モデルに対し、約 3 dB 入力振動を低減した。

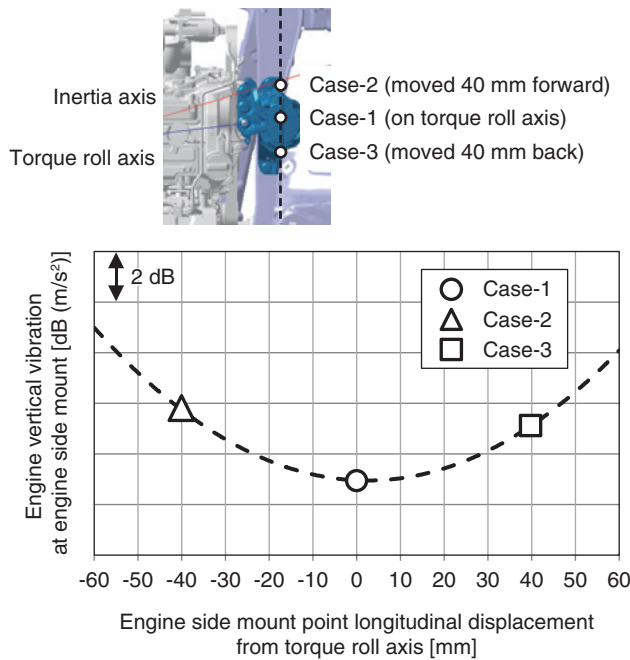


Fig. 4 Engine side mount point investigation result

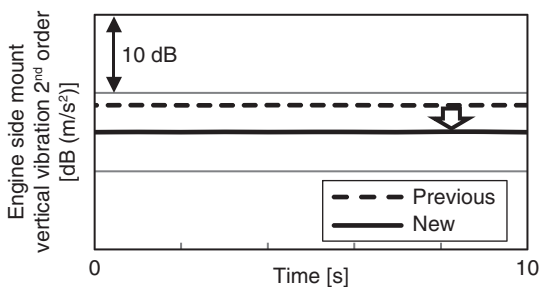


Fig. 5 2nd order engine vibration while idling

4. フロア、アクセルペダル振動低減技術

4.1. 発生メカニズム

加速走行時のフロアおよびアクセルペダル振動は、エンジンに起因する振動が、エンジンマウント、排気システムおよびエアコンや燃料などのホース類を介して車体に伝達され発生する。その周波数領域は、直列 4 気筒エンジンで最大回転数が約 7000 rpm の場合、主に 2 次成分の周波数帯である約 30 Hz から約 230 Hz である。

フロア振動は、車体下部に吊り点を持つ排気システムの振動の影響が大きい。Fig. 6(b) に、1.5 L VTEC TURBO エンジンの排気システムの構成を示す。

排気システムは、フロントサブフレーム、フロアトンネル、二つのメインサイレンサのフロントおよびリヤの合計六つのマウントにより弾性支持される。高出力に対応するため、前モデル搭載の 1.8 L 自然吸気エンジンでは一つであったメインサイレンサを二つ配置している。

また、Fig. 6 の B 点で示すフロアトンネルの排気吊り点の排気振動の影響が大きいことから、B 点の排気振動振幅の低減、および B 点からフロアまでの振動感度 (以下、フロア振動感度) の低減により、フロア振動の低減を図ることができる。

アクセルペダルの振動は、アクセルペダルのリンク部である Accelerator Pedal Module (APM) がダッシュボードフロアに結合されていることから、ダッシュボードフロアの車両前後方向の振動の影響が大きい。

ダッシュボードフロアに対する、APM、ヒータホース、燃

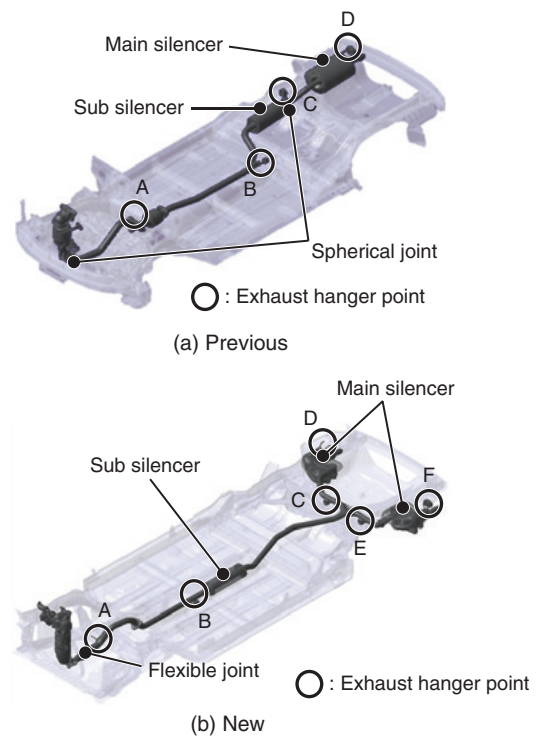


Fig. 6 Exhaust system

料パイプブラケットの取り付け構造を Fig. 7, Fig. 8 に示す。車室内側に APM が結合され、エンジンルーム側に燃料パイプのブラケットが結合される。ヒータホースはダッシュボードロアを貫通しエアコンユニットと結合するが、揺動規制を目的として燃料パイプのブラケットにクランプ点を持つ。エンジン振動は、これらの配管類を介して燃料パイプのブラケットに伝達し、ダッシュボードロアを振動させる。改良の手法として、燃料パイプブラケットから APM までの振動感度 (以下、APM 振動感度) の低減により、アクセルペダル振動の低減を図ることができる。

4.2. 課題と対応手法

排気システムは、エンジン振動がキャタリストとのジョイント部から伝達され、排気システム自体の持つ弾性共振の固有モード (以下、排気弾性モード) によって増幅される。排気システムからの振動伝達を低減する手法として、排気マウントのばね定数を下げることが有効であるが、排気システムの支持剛性が低下し揺動量が増加してしまうことから、エンジンマウントのばね定数を下げると同様にハンドリングとの両立が課題となる。

また、フロアおよびアクセルペダル振動に対するボデー側の対応手法としては、ボデーの剛性改良による振動振幅低減が有効であるが、車両重量の増加につながり燃費性能との両立が課題となる。

そこで、排気ジョイント構造変更によるエンジンから排気システムへ伝達する振動の低減と、排気弾性モードに着目し振動振幅の小さい位置へ排気吊り点を配置することにより、排気システムからフロアへの振動伝達低減をおこなった。

また、ボデー側の振動感度改良のため、フロア剛性を向上させた。一方、車両重量を増加させないために、フロアパネルとフロアカーペットなどの防音部品を含めたフロア

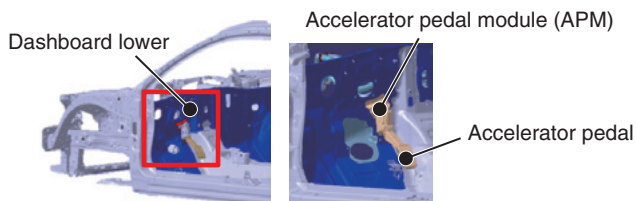


Fig. 7 Accelerator pedal module (APM)

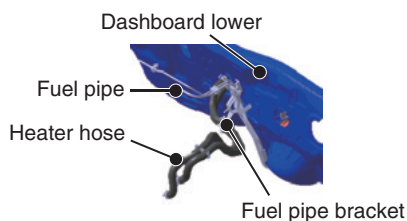


Fig. 8 Heater hose and fuel pipe bracket connection

システムの仕様検討をおこなった。アクセルペダル振動に対しては、ダッシュボードロアの配管結合部からの APM 振動感度の低減のため、ダッシュボードロアに結合しているヒータホースと燃料配管ブラケットの結合位置の変更をおこなった。

4.3. 排気振動の低減

4.3.1. フレキシブルジョイントの適用

排気システムに伝達されるエンジン振動振幅を低減するため、前モデルで適用していた球面ジョイントを、フレキシブルジョイントに変更した。フレキシブルジョイントは蛇腹構造が持つ伸縮性および屈曲性から、振動伝達低減に効果大きい。フレキシブルジョイントの振動伝達量低減効果を最大限に発揮するために、エンジン回転ロール軸接線上にフレキシブルジョイントの軸方向を配置し、軸方向の振動伝達を低減するレイアウトとしている (Fig. 9)。

4.3.2. 排気弾性モードと排気マウント配置

排気弾性モードの解析の結果、フロア振動に影響が大きい弾性モードとして、約 100 Hz の上下曲げ弾性モードに着目した。1.5 L VTEC TURBO エンジンの排気システムの場合、フロアトンネル部周辺で排気振動振幅が小さくなる位置は、前モデルで排気マウント B 点を設定していた位置から、約 600 mm 車両前方の位置となることがわかった (Fig. 10)。

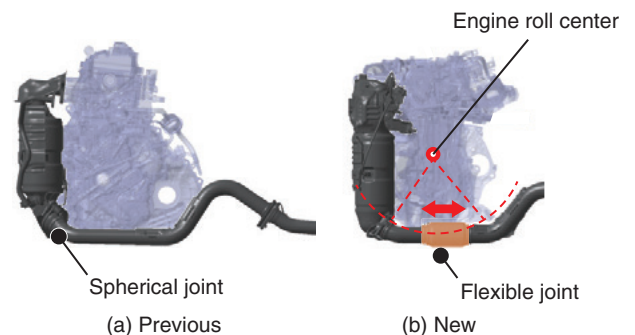


Fig. 9 Flexible joint layout

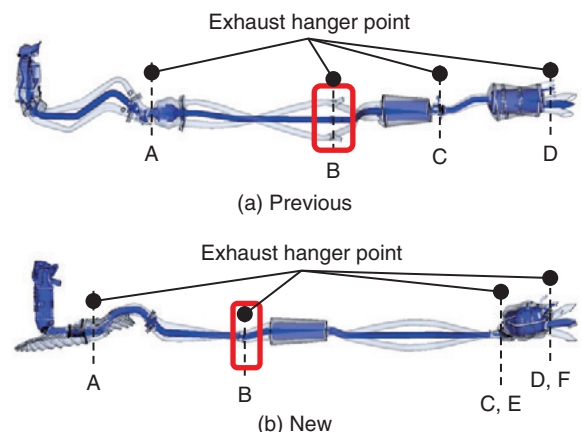


Fig. 10 Exhaust vertical bending mode around 100 Hz

この結果から、排気マウント B 点の位置を決定した。

Fig. 11 に排気マウント B 点の車両上下方向の排気振動を示す。フレキシブルジョイントの適用による約 10 dB の振動低減と、排気マウント B 点の位置の最適化による約 10 dB の振動低減によって、排気マウント B 点の排気振動を前モデルに対し、約 20 dB 低減した。

4.4. フロア振動感度の低減

Fig. 12 に、フロアパネル構造の変更点を示す。フロア振動感度低減のため、前モデルに対してフロア板厚を増加させ、クロスメンバを追加した。

フロアの剛性を評価する指標である車両上下方向の加振点イナータンスを、Fig. 12 に示す評価位置において、前モデルに対し約 20 dB 低減した (Fig. 13)。その結果、排気マウント B 点からのフロア振動感度を、前モデルに対して約 17 dB 低減した (Fig. 14)。なお、防音性能部品であるフロアカーペットの軽量化をおこない、フロアシステムの重量増加を抑制した。

4.5. アクセルペダル振動感度の低減

ダッシュボードロアのエンジンルーム側に結合されている燃料パイプブラケットからの APM 振動感度を低減するために、ダッシュボードロア上の両者の位置関係に着目し

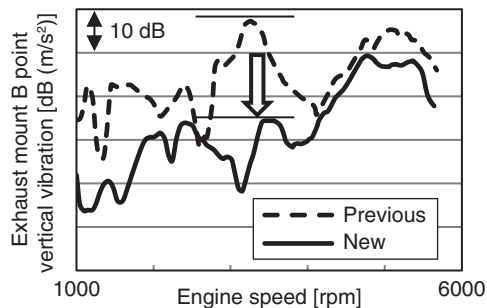


Fig. 11 Exhaust vibration reduction

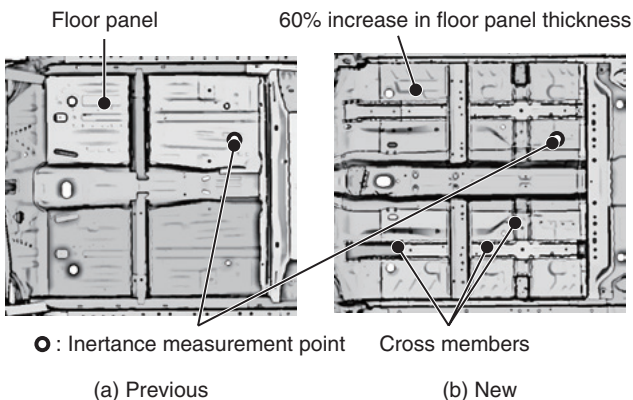


Fig. 12 Comparison of floor structure

た。前モデルに対し、配管類結合部を Fig. 15 に示すとおり 120 mm オフセットさせるレイアウトとした。この結果、アクセルペダルへの配管振動伝達感度を約 10 dB 低減した (Fig. 16)。

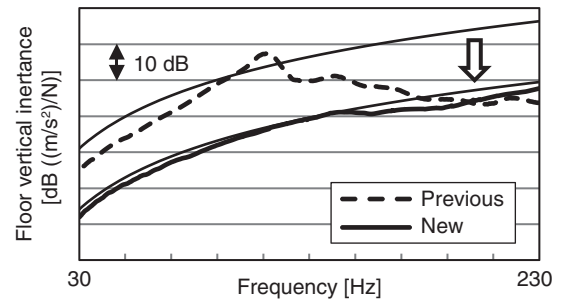


Fig. 13 Floor panel vertical stiffness

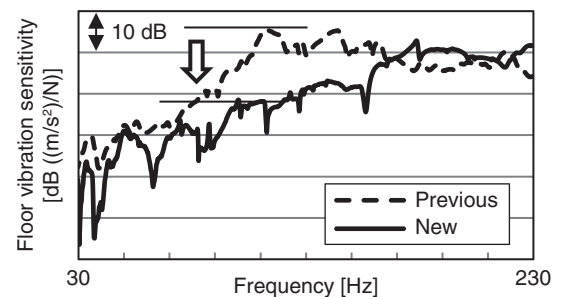


Fig. 14 Floor vibration sensitivity

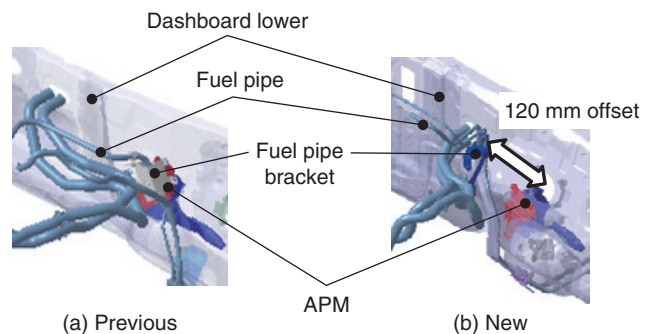


Fig. 15 Heater hose and fuel pipe bracket connection

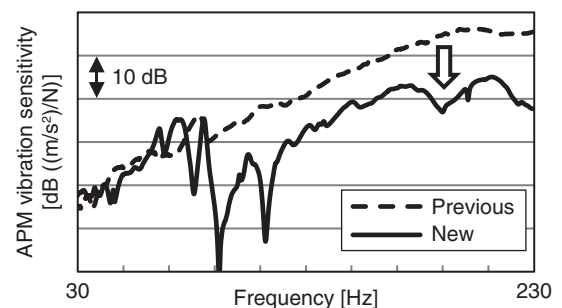


Fig. 16 Vibration sensitivity from fuel pipe bracket on dashboard lower to APM

5. 実車検証結果

以上の適用によって、ねらいとする車室内振動の低減を達成した。

Fig. 17 にアイドリング時の D レンジ設定回転における、ステアリングの車両上下方向の 2 次振動を示す。前モデルに対し、8 dB 低減した。Fig. 18, Fig. 19 に加速走行時のドライバ足元のフロア振動の車両上下方向の 2 次振動、およびアクセルペダル踏面の面方向の 2 次振動を示す。それぞれ、前モデルに対し、10 dB、7 dB 低減した。

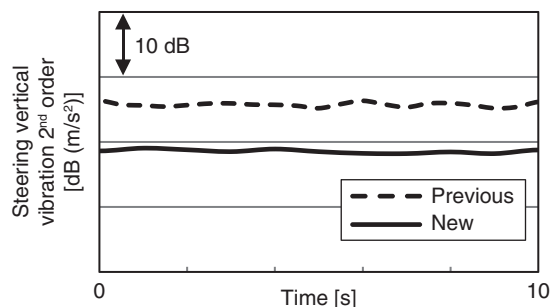


Fig. 17 Steering vibration while idling

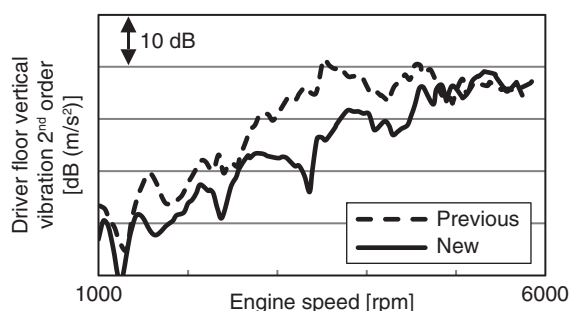


Fig. 18 Floor vibration while accelerating

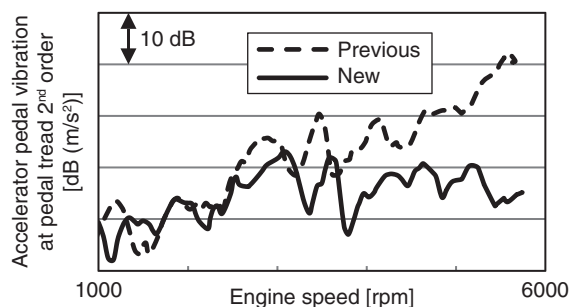


Fig. 19 Accelerator pedal vibration while accelerating

6. まとめ

- (1) アイドリング時のパワートレインロール振動の解析をおこない、エンジン振動の車両上下方向成分が最小となる位置にメインマウントを配置し、メインマウン

トからのエンジン振動入力を低減することで、アイドリング時のステアリング振動を低減した。

- (2) 排気システムのフレキシブルジョイントの適用と、排気弾性モードの解析結果より振動振幅の小さい位置にフロア部の排気マウントを配置することで、車体に伝達する排気振動を低減した。また、フロアの剛性向上および APM 取付点と燃料パイプブラケットの位置をオフセットすることによって振動感度を低減した。これらの結果、加速走行時のフロアおよびアクセルペダル振動を低減した。

参考文献

- (1) 柳瀬浩, 田村勉, 高林宏幸, 池畑澄人: 大衆車用エンジンマウントシステムの振動騒音低減技術, Honda R&D Technical Review, Vol. 17, No. 2, p. 90-95
- (2) 近藤隆, 寺田雅史, 國武幸宏, 宮原邦友: 軽量化と振動商品性を両立する SRS モジュール構造の開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 23, No. 2, p. 121-126
- (3) 防振ゴム研究会編: 第 8 章防振支持設計法, 防振ゴム改訂新版, 現代工学社, p. 90-92, (1975)

■ 著 者 ■



松 林 努



松 田 修