

SEA 法による吸音型防音材料仕様の決定手法

Selection Technique of Sound Absorption Type Acoustic Insulation Material
by Applying SEA Modeling Method

野口 好 洋*

Yoshihiro NOGUCHI

多 田 寛 子*

Hiroko TADA

土 居 隆 之*

Takayuki DOI

見坐地 一 人*

Kazuhito MISAJI

要 旨

本論は静粛性向上と軽量化を両立する防音パッケージの開発手法について述べたものである。車室内騒音対策解析シミュレーション技術として開発初期段階より適用可能なハイブリッド統計的エネルギー解析手法(SEA 法)と積層多孔質材料の音響特性予測技術を用い提案仕様検討をおこなった。

本技術の適用により、新型CIVICは前モデルに対し、ロードノイズの静粛性を向上するとともに防音仕様の軽量化も実現できた。

ABSTRACT

This paper describes an effective method of developing a soundproof package, which balances both light weight and high noise insulation performance. Since it is necessary to propose the design of sound insulation in the early stages of development, the hybrid statistical energy analysis (SEA) modeling method is applied, which is practical for high frequency analysis. Also an acoustic characteristic estimation technique for multi layer structures is used.

As a result of applying these effective methods, the new 2006 CIVIC has enhanced road noise quietness and decreased weight when compared with the previous model.

1. まえがき

自動車の車室内における静粛性向上は自動車の商品性能の魅力を上昇する上で重要項目の一つである。一方、低燃費の観点から軽量化も必要不可欠な項目になっている。静粛性向上(防音性能向上)と軽量化は相反するケースが多い。これまでの開発では、開発中期以降(レイアウト制約あるなか)での実車を用いた対策検討が主流になっていた。そのため、静粛性向上を達成しようとする、重量増加を招き、効果効率的な対策ができていないのが現状であった。そこで本稿では、新型 CIVIC の静粛性向上と重量軽減を目的に、開発初期段階より効率的かつ定量的な車室内騒音対策を可能にする解析シミュレーション技術であるハイブリッド SEA モデル化手法^{(1), (2)}と積層多孔質材料の音響特性予測技術^{(3), (4)}を用い、防音パッケージの提案仕様を検討した。その中で、これらの技術を用い、吸音性能・遮音性能それぞれのトータル音響性能を満足する仕様を提案するという観点で検討をおこなったので、その詳細について報告する。

2. 手法

また、あわせて、新型モデルでの提案仕様の吸音・遮音性能及び実車のロードノイズ確認結果についても報告する。

2.1. 開発手順

フルモデルチェンジとなる新型 CIVIC は、前モデルに対し防音パッケージの重量を下げ、かつロードノイズの静粛性を向上させるため、車室内の高周波ロードノイズレベルの低減を目標とした軽量防音パッケージの開発を以下の手順で実施した。

- (1) ハイブリッド SEA モデル化手法により前モデルの寄与解析
- (2) 上記の解析結果をもとに遮音性能が重要な箇所の選定
- (3) (2)で選定した箇所の遮音特性(CLF)を前モデルレベルを保持した上で、ロードノイズ目標レベルを達成する車室内の目標吸音特性(DLF)を決定
- (4) 前モデルに対し防音材重量を30%低減し(3)で設定し

た SEA パラメータ特性 (CLF, DLF) を実現する防音材仕様を積層多孔質材料の音響特性予測手法により検討実施

2.2. 解析手法

開発に用いたハイブリッド SEA モデル化手法、積層多孔質材料の音響特性予測手法について示す。

2.2.1. ハイブリッド SEA モデル化手法

本稿で用いたハイブリッド SEA モデル化手法は、モデル内のエネルギーフローを実車同様に正確に再現するために従来の解析 SEA モデルと実験 SEA モデルを組合せたモデルで、以下に示す 6 ステップに分けたモデル作成フローより構築した。

- (1) 解析 SEA モデルの作成
- (2) パワーを入力する要素を定義
- (3) 主要パワー伝達経路ネットワーク図の作成
- (4) SEA パラメータを実験的に測定
- (5) 測定で得られた SEA パラメータを (1) で作成した解析 SEA モデルへ置換
- (6) ハイブリッド SEA モデル化

2.2.2. 積層多孔質材料の音響特性予測

今回開発対象とする防音材は Fig. 1 に示すようにフェルト材の 2 層構造で、基板も含めると 3 層構造になる。この構造はマス層を無くすことにより軽量化し、遮音性能は低下するが、吸音性の高い多孔質材を用いることによりトータルの音響特性を向上させることをねらった構造である。

フェルト 1 の境界面 1 と 2 の音圧 p_1 と粒子速度 u_1 の間に次式 (1) の関係が成立つ。

$$\begin{Bmatrix} p_1 \\ u_1 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma_1 l_1) & (Z_1) \sinh(\gamma_1 l_1) \\ (1/Z_1) \sinh(\gamma_1 l_1) & \cosh(\gamma_1 l_1) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} p_2 \\ u_2 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

同様に、フェルト 2 の境界面 2 と 3 の音圧 p_1 と粒子速度 u_1 の間に次式 (2) の関係が成立つ。

$$\begin{Bmatrix} p_2 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma_2 l_2) & (Z_2) \sinh(\gamma_2 l_2) \\ (1/Z_2) \sinh(\gamma_2 l_2) & \cosh(\gamma_2 l_2) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} p_3 \\ u_3 \end{Bmatrix} \quad (2)$$

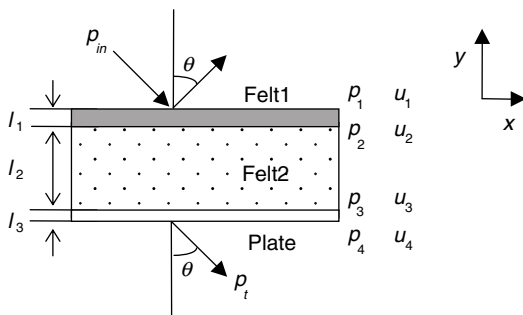


Fig. 1 Detail of three layers of a multilayered material

基板の境界面 3 と 4 の音圧 p_1 と粒子速度 u_1 の間に次式 (3) の関係が成立つ。

$$\begin{Bmatrix} p_3 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_{(3)} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} p_4 \\ u_4 \end{Bmatrix} \quad (3)$$

また、入力音圧 p_{in} と境界面音圧 p_1 との間には (4) 式、透過音圧の p_t と境界面音圧 p_4 との間には (5) 式の関係が成立つ。

$$p_{in} = p_1 (Z_{(1)} + \rho C_x) / 2 Z_{(1)} \quad (4)$$

(ρ : 空気の密度, C_x : 空気中の音の速度)

$$p_t = p_4 \quad (5)$$

ここで、 Z_i は各層の特性インピーダンス、 Z_0 は各層の表面音響インピーダンス、 γ_i は i 番目のフェルトの伝播定数、 l_i は i 番目のフェルトの厚さを示す。なお、フェルト材は繊維系であるので Equivalent Fluid モデルを用いて特性インピーダンスを求めた。次に、(1) から (5) 式より入力音圧 p_{in} と透過音圧の p_t を求めて (6) 式に代入し (7)、(8) 式から透過損失が求められる。

$$\tau_\theta = \frac{(p_t^2)}{(p_{in}^2)} = |T_r|^2 \quad (6)$$

$$\tau = 2 \int_0^{\theta_{lim}} d\theta |T_r|^2 \sin \theta \cos \theta \quad (7)$$

(θ_{lim} : 角度限界値)

$$TL = 10 \log_{10}(1/\tau) \quad (8)$$

また、次に示す (9) から (11) 式より吸音率が求められる。

$$R = \frac{Z_{(1)} - Z_0}{Z_{(1)} + Z_0} \quad (9)$$

$$\alpha_\theta = 1 - |R|^2 \quad (10)$$

$$\alpha = 2 \int_0^{\theta_{lim}} d\theta \sin \theta \cos \theta \alpha_\theta \quad (11)$$

3. 解析結果

3.1. ハイブリッド SEA モデル化手法による前モデルの寄与解析結果

2.2 節で示したハイブリッド SEA モデル化手法を用いて作成した前モデルの SEA モデルの解析精度を確認するため、ロードノイズ評価路面を時速 80km/h 走行時における室内音レベルの予測値と実測値を比較した。その結果を Fig. 2 に示す。この結果から作成したハイブリッド SEA モデルは ± 3 dB の解析精度であることが確認できた。

次に、このモデルを用いて求めた車室内空間に隣接するサブシステムから車室内へのパワー寄与を Fig. 3 に示す。

800Hz以上の高周波に着目すると、周波数域800Hz-2kHzの音についてはトンネル部を含むフロア部からの音響透過の寄与と、トランクルームからの音響透過の寄与が高いことがわかる。また、2kHz以上ではドア廻りからの音漏れの寄与が高いことがわかる。

3.2. 遮音性能(CLF)重要箇所の選定

3.1. 節の寄与解析結果からトンネル部を含むフロアカーペットの遮音特性(CLF)とトランクルームの吸音特性及び、ドア廻りからの音漏れ対策が重要であることがわかる。車室内防音パッケージに着目すると、フロアカーペットのCLFは現行モデルの性能を保持し、目標とするロードノイズレベルを達成するのに必要な車室内のDLFを目標に防音材仕様を開発する。なお、車室内防音パッケージ以外の対策としては、トランクルーム内の吸音特性向上とドアシール性等を向上させたが、本稿では車室内防音パッケージ対策を例にとり、その検討結果を示す。

3.3. ロードノイズ目標レベルを達成する車室内の目標吸音特性(DLF)の決定

ロードノイズ入力パワーと車室内へのCLFが前モデルと

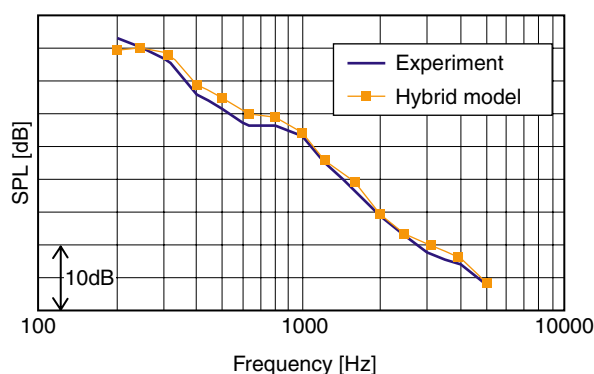


Fig. 2 Interior cavity sound pressure level (Road noise analysis)

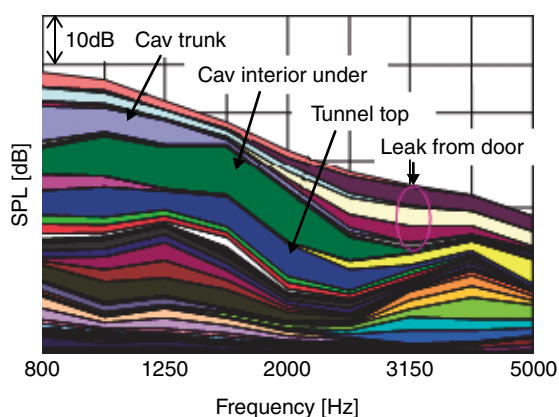


Fig. 3 Power contribution to interior cavity sound pressure level

同じであるという仮定と、車室内防音対策以外の対策効果を見込み、車室内の目標吸音特性(DLF)を決定した。決定した車室内 DLF と前モデルの DLF との比較結果を Fig. 4 に示す。

3.4. 軽量防音材の検討

目標とする車室内 DLF を達成する防音材開発の中からここでは、Fig. 1で示した3層構造防音材を基本構造とするフロアカーペットの特性について示す。

3.4.1. フロアカーペットの吸音特性と遮音特性

車室内の目標 DLF を満足させるための各部位の吸音率(α)を、車室内DLFに対する各部位の表面積寄与率から逆算して求めた。その結果、フロアカーペットの目標吸音率を前モデルに対し、1kHz以上で約3倍に設定した。また、フロアカーペットの遮音特性(CLF)は前モデルと同等レベルを保持する必要があることから目標透過損失特性は前モデルと同等とした。これらの吸音率と透過損失特性を満足するフロアカーペットを 2.2.2. 項で示した積層多孔質材料の音響特性予測手法を用いて、設計パラメータである各多孔質材の厚み及び材料特性(特に重要なのは、空気流れ抵抗値)を、先行検討段階でのレイアウト確保も見据えて検討した。その結果、Fig. 5, 6に示すように吸音率は目標特性を満足したが、遮音特性はマス層を無くしたことにより前モデルより 1-2dB 性能が劣る結果になった。

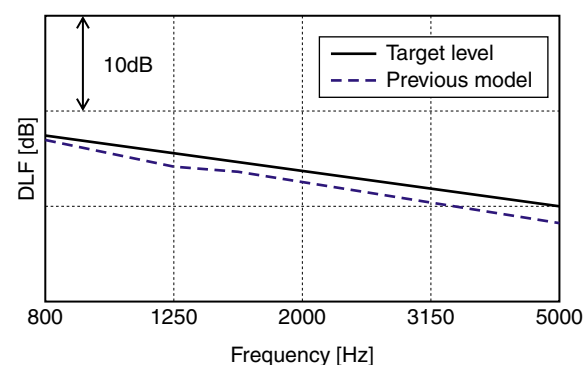


Fig. 4 Target for interior cavity DLF

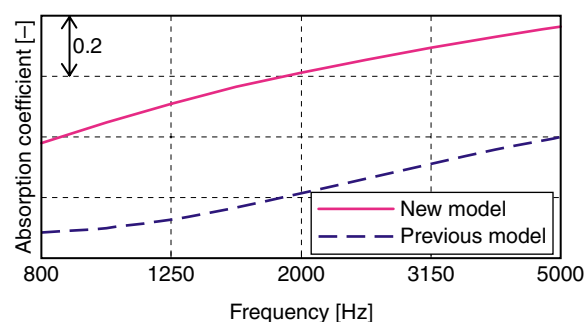


Fig. 5 Comparison of floor carpet absorption between previous and new models

3.4.2. フロアカーペットのトータル音響特性

遮音特性が前モデルに対し劣った分を吸音特性向上でリカバリできているかを車室内音場とフロアパネル、フロア下音場の3要素 SEA モデル(Fig. 7)で検証した。前モデルフロアカーペット仕様と今回検討した仕様のそれぞれにおいて、フロア下音場に同じパワーを与えた時の車室内音の差を Fig. 8 に示す。

この結果から今回検討したフロアカーペットの吸音・遮音トータル音響特性は前モデルに対し向上していることが確認できた。

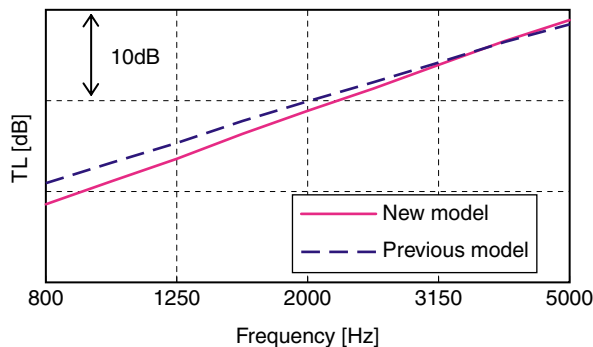


Fig. 6 Comparison of floor carpet transmission loss between previous and new models

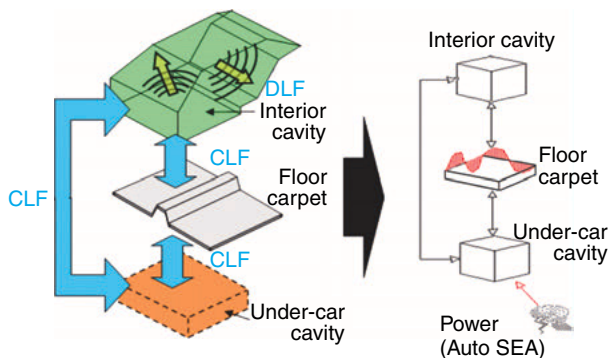


Fig. 7 SEA model (Three subsystems)

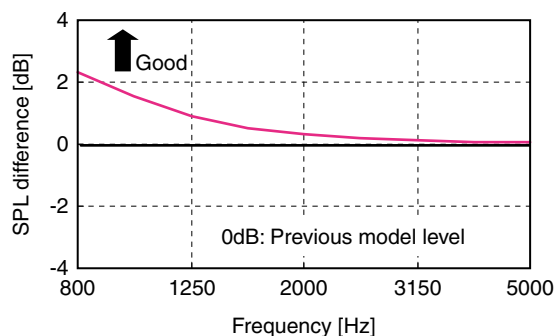


Fig. 8 Effect of new model floor carpet compared to previous model

4. 実車性能

以上の結果をもとに開発した防音パッケージを適用した実車の性能評価をおこなった結果を示す。

4.1. SEAパラメータ(DLF, CLF)

今回開発した車室内防音パッケージが目標とするSEAパラメータを満足できていることを実測し確認した。Fig. 9にFig. 5で設定した目標 DLF と実測した DLF の比較を示す。Fig. 9から目標DLFを達成できたことがわかる。また、Floor下音場と車室内音場間のCLFは前モデル性能を保持する条件に対しても、Fig. 10 に示す前モデルとの CLF 比較結果から目標を満足したことがわかる。

4.2. ロードノイズレベル

今回開発した車室内防音パッケージ仕様のみを投入した実車と前モデル及び、その他の対策仕様(ドアシール、トランクルーム吸音対策等)をすべて投入した実車のロードノイズレベルの比較結果を Fig. 11 に示す。ここでの実測値は、ロードノイズ評価路面を時速 80km/h 走行時における車室内ロードノイズレベルを示している。

開発した車室内防音パッケージのロードノイズ効果は、高周波域で前モデルに対し約 2dB、すべての対策仕様の効果を含めると約 2 - 4dB の効果になり目標レベルを達成することができた。加えて、前モデルの防音材の使用量に対して、30%を超える軽量化を図ることができた(Fig. 12)。

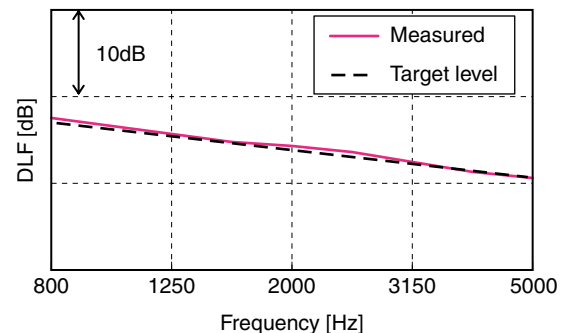


Fig. 9 Comparison of target and measured interior cavity DLF

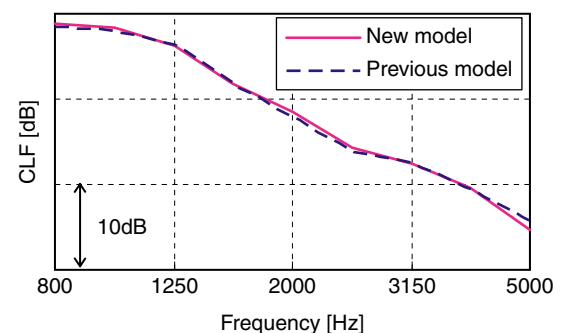


Fig. 10 Comparison of floor to cabin CLF between previous and new models

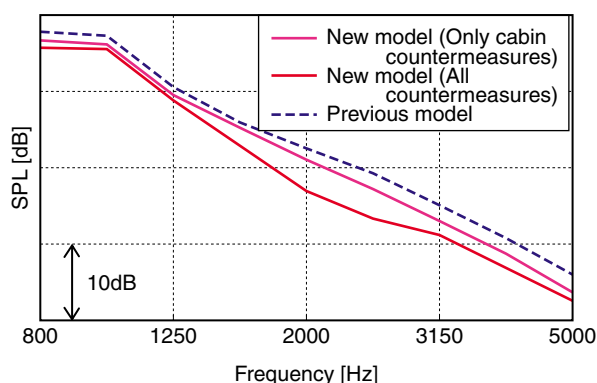


Fig. 11 Interior cavity sound pressure level at 80km/h on rough road

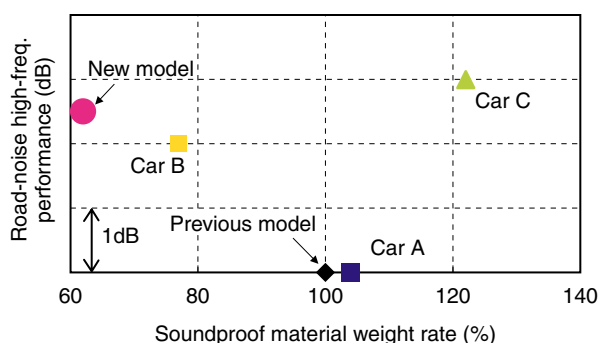


Fig. 12 Hierarchy map (weight rate / road-noise performance)

5. まとめ

開発初期段階から、ハイブリッドSEAモデル化手法と積層多孔質材料の音響特性予測技術を用いて、吸音性の向上を主とした軽量防音パッケージを開発することにより、

- (1) ハイブリッドSEAモデル化手法と積層多孔質材料の音響特性予測技術の有効性が確認できた。
- (2) 吸音・遮音によるトータル音響特性が成り立つフロアカーペット仕様をはじめとする車室内防音パッケージを構築することができた。
- (3) その結果目標とする高周波域のロードノイズ2dBの低減と、さらに30%を超える防音材の軽量化を達成することができた。
- (4) ロードノイズ静粛性(高周波域)と軽量化の観点から十分な性能を確保した新型 CIVIC を実現することができた。

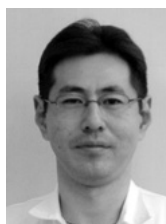
参考文献

- (1) Misaji, K., et al.: Testing Uniqueness of Hybrid SEA Modeling Solution for a Passenger Car, 2003 SAE Noise & Vibration Conference & Exhibition, 2003-01-1408
- (2) Misaji, K., et al.: Hybrid SEA Modeling Scheme for

Analysis of High-frequency Noise in Passenger Car, Review of Automotive Engineering JSAE, Vol.26, No.1, p.3-8(2005)

- (3) Misaji, K., et al.: Prediction of the SEA Input Parameters for the Sound Package, 2003 SAE World Congress, 2003-01-1022
- (4) 見坐地 一人, 多田 寛子, 野口 好洋, 来原 裕司, 山下 剛: 自動車用防音パッケージの SEA パラメータ予測, Honda R&D Technical Review, Vol.15, No.1, p.181-186
- (5) 見坐地 一人, 斎藤 寿信, 来原 裕司, 山下 剛: 統計的エネルギー解析手法(SEA)を用いた自動車のロードノイズ解析, 1999 年自動車技術会秋季学術講演会前刷集, No.71-99, 9939730

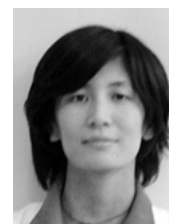
■ 著 者 ■



野口 好 洋



土居 隆 之



多田 寛 子



見坐地 一 人