

ハイブリッド SEA モデルのマスターモデル構築

日大生産工(院)

○龍野 俊一

日大生産工

高橋 亜佑美

日大生産工

見坐地 一人

1. はじめに

自動車を開発する上で、コストや工数を削減することは非常に重要である。そのため自動車開発の企画段階において、車両のウェイトとレイアウトの目標設定を精度高く検討する必要がある。

そこで我々は、自動車の走行時における高周波領域の高精度な振動騒音解析手法である実験・理論のハイブリッド SEA 法(Hybrid Statistical Energy Analysis Method: HSEA 法)の HSEA モデルを多数保持していることから、これらを用いて車両のウェイトとレイアウトの目標設定を容易に検討するためのマスターモデルを構築する。

また、構築したマスターモデルの車室内音圧レベルと実測値を比較し、比較結果からマスターモデルの解析精度を検証する。

2. 解析手法

ここでは、HSEA法について述べる。HSEA法とは以下の手順に従ってHSEAモデルを作成する手法である。手順について次の①～⑤の順で説明する。

- ① 解析SEAモデル作成のための情報収集
- ② サブシステム作成
- ③ 防音材の定義
- ④ 実車によるSEAパラメータ測定
- ⑤ ハイブリッド化

2.1. 解析SEAモデル作成のための情報収集

解析 SEA モデル作成に必要な要素や SEA パラメータを求めるためには、Nastran データや実車の CAD 図面、実車に取り付けられている防音材情報を収集する。

2.2. サブシステム作成

2.1.で収集した Nastran データや CAD 図面を基に、解析対象車の構造系サブシステムと音響系サブシステムを作成する。Fig.1 に構造系サブシステム、音響系サブシステムを示す。

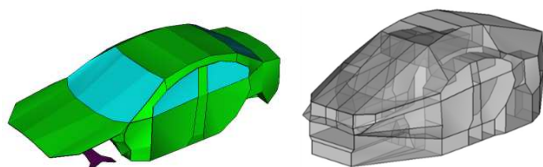


Fig.1 構造系サブシステム、音響系サブシステム

2.3. 防音材の定義

2.1.で収集した防音材情報を基に、パネルや防音材の情報を定義し、防音材モデルを作成する。また、各要素の解析 SEA パラメータを求める。

音場の内部損失率(Damping Loss Factor :DLF)を防音材の吸音率 α 、音場の表面積 A 、音場の体積 V を用いて式(1)から求める。

$$\eta_i = \frac{Ac_0}{4\omega V_i} \alpha \quad (1)$$

同様に、音場間の結合損失率(Coupling Loss Factor :CLF)を防音材の透過率 τ_{ij} 、音場間の境界面の表面積 A 、音場の体積 V を用いて式(2)から求める。

$$\eta_{ij} = \frac{Ac_0}{4\omega V_i} \tau_{ij} \quad (2)$$

音響と構造間の結合損失率は空気の密度 ρ_0 、音響放射効率 σ_{rad} 、面密度 m を用いて、式(3)から求める。

$$\eta_{ij} = \frac{\rho_0 c_0}{\omega m} \sigma_{rad} \quad (3)$$

ここで、空気中の音の速度を c_0 、音の角速度を ω とする。

次に、求めた SEA パラメータを n 要素のエネルギーつり合い式である式(4)に代入する。

$$\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_n \end{pmatrix} = \omega \begin{pmatrix} \eta_{h2} + \dots \eta_{h_n} + \eta_h & -\eta_{h1} & \dots & -\eta_{h1} \\ & -\eta_{h2} & \ddots & -\eta_{h2} \\ & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\eta_{h_n} & -\eta_{2n} & \dots & \eta_{h1} + \eta_{h2} + \dots \eta_{h_n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_n \end{pmatrix} \quad (4)$$

求めた SEA パラメータ η 、エネルギー E を用いて、解析 SEA モデルを作成する。

2.4. 実車によるSEAパラメータ測定

解析対象車に加速度センサを取り付け、インパルスハンマによる構造加振実験と、マイクを取り付け、スピーカーによる音響加振実験から、SEA パラメータを測定する。

2.5. ハイブリッド化

ハイブリッド化とは、理論的に求めた解析値と実験から得た実験値を合わせこみ、エネルギー伝達率の差を $\pm 3[\text{dB}]$ 以内になるように結合損失率を調整することである。

以上が HSEA モデルを作成する手法である。

Constructing Master Model of the Hybrid SEA Models for Vehicle

Toshikazu TATSUNO, Ayumi TAKAHASHI and Kazuhito MISAJI

3. マスターモデル構築手法

3.1. マスターモデルの概要

マスターモデルとは、セダン・ハッチバック・SUV・軽自動車の各カテゴリーの代表的な SEA モデルである。構築手法は、まず各車種の DLF と CLF を平均化する。平均化した DLF と CLF を 2 章の式(1), (2)を用いて平均化した吸音率 $\bar{\alpha}$ と透過率 $\bar{\tau}_{ij}$ を求める。この 2 つの値と車の形状を考慮する際に重要となる表面積 A と体積 V を用いて車の形状を考慮したマスター DLF とマスター CLF を求め同様に式(1), (2)からマスターモデルを構築する。

今回は一例としてセダン車 3 台(セダン車 A, セダン車 B, セダン車 C)を用いて検証した。また、研究の初期段階として音場の DLF のみ対象とし、セダン車のマスターモデルを構築した。

3.2. 平均化した DLF 抽出

マスターモデルを構築する上で、DLF を平均化する必要がある。主要な音場である Cav Interior -C- と Cav ENG Room, Cav Trunk-C-, Cav Interior Under の DLF を平均化する。主要な音場を Fig.2 に示す。Cav Interior -C- と Cav ENG Room の各車種の DLF と平均化した DLF を Fig.3, Fig.4 に示す。

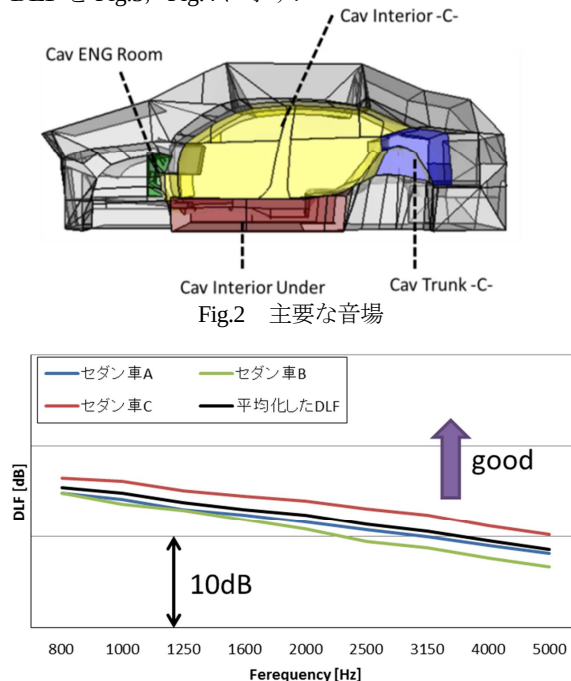


Fig.3 Cav Interior -C-の各車種の DLF と平均化した DLF

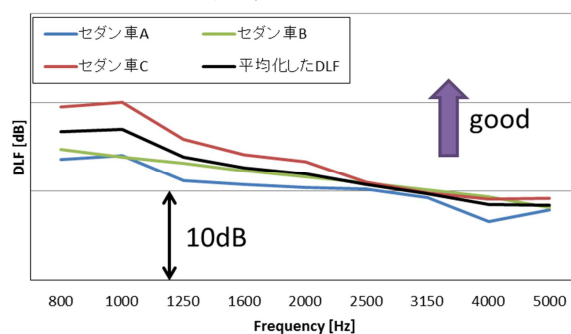


Fig.4 Cav ENG Room の各車種の DLF と平均化した DLF

Fig.3, Fig.4 より、Cav Interior -C- と Cav ENG Room は各車種の DLF と平均化した DLF の差分が ± 3 [dB] 以内であることがわかる。

3.3. 吸音率抽出

3.2. で求めた平均化した DLF を 2 章の式(1)に入れることによって吸音率 α を逆算する。ここで、音場の表面積 A と音場の体積 V は 3 台のセダン車の平均した値を用いる。その結果、3 台の平均化した吸音率 $\bar{\alpha}$ を求めることができる。一例として Fig.5 に Cav Interior -C- の平均化した吸音率 $\bar{\alpha}$ を示す。

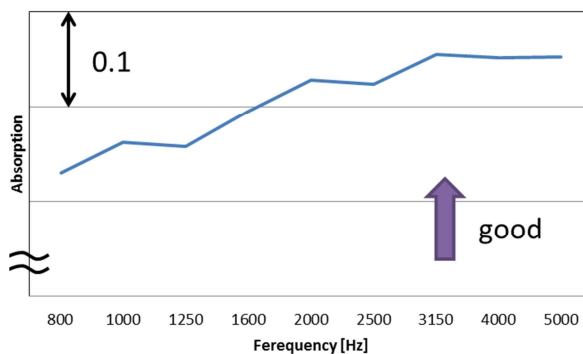


Fig.5 Cav Interior -C-の平均化した吸音率 $\bar{\alpha}$

3.4. 車の形状を考慮したマスターDLF

3.3. で求めた 3 台の平均化した吸音率 $\bar{\alpha}$ と新しく構築するモデルの表面積 A 、体積 V を 2 章の式(1)に代入し、車の形状を考慮したマスター DLF を求める。Fig.6, Fig.7 に Cav Interior -C- と Cav ENG Room のセダン車 C の DLF とマスター DLF の比較結果を示す。

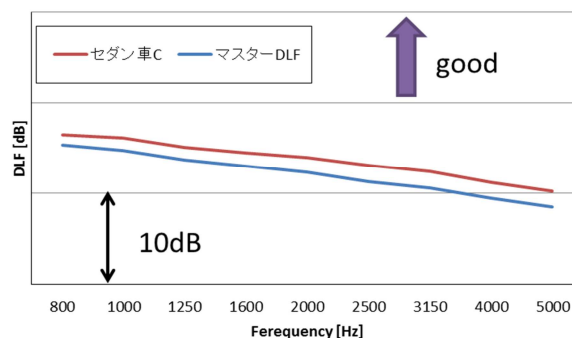


Fig.6 Cav Interior -C-のセダン車 C の DLF とマスター DLF の比較結果

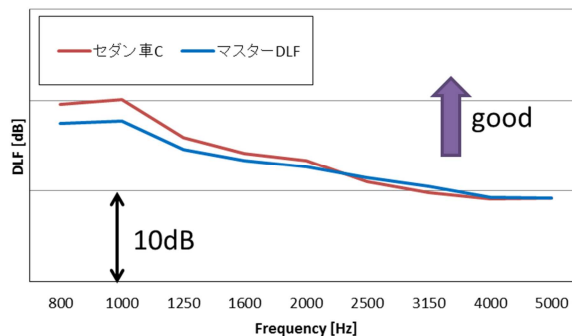


Fig.7 Cav ENG Room のセダン車 C の DLF とマスター DLF の比較結果

この結果, Cav Interior -C-と Cav ENG Room はセダン車 C の DLF とマスターDLF の差が $\pm 3[\text{dB}]$ 以内であることがわかる。

求めたマスターDLF を 2 章の式(4)に代入することによってマスターモデルを構築した。

3.5. 定義の異なる音場の結合

3 台のセダン車は HSEA モデルの部位の定義の仕方が異なっている箇所がある。例として, Fig.8 にセダン車 A の Cav Interior Under, Fig.9 にセダン車 C の Cav Interior Under と Cav Tunnel Under を示す。

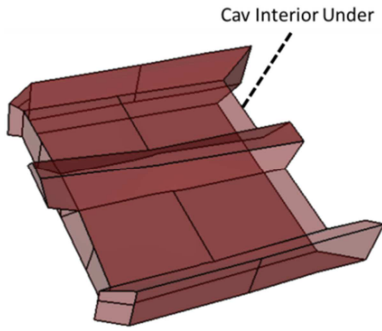


Fig.8 セダン車 A の Cav Interior Under

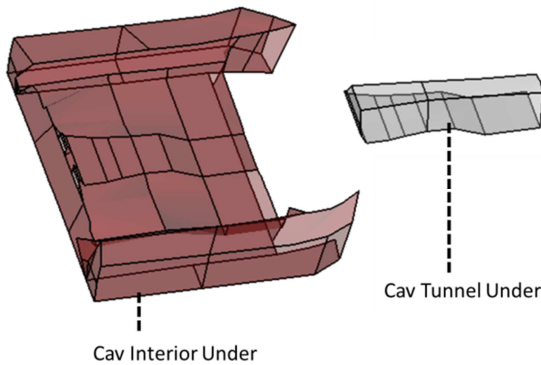


Fig.9 セダン車 C の Cav Interior Under と Cav Tunnel Under

Fig.8 と Fig.9 からセダン車 A の Cav Interior Under は, セダン車 C の Cav Interior Under と Cav Tunnel Under を合わせたものと同じである。ここで, セダン車 C の Cav Interior Under と Cav Tunnel Under を結合する。

まず, 2 章の式(1)よりセダン車 C の Cav Interior Under の吸音率 α_1 と Cav Tunnel Under の吸音率 α_2 を求める。

次に, セダン車 C の Cav Interior Under の吸音率 α_1 と表面積 A_1 , Cav Tunnel Under の吸音率 α_2 と表面積 A_2 を用いて Total 吸音力を式(5)から求める。

$$\text{Total 吸音力} = A_1\alpha_1 + A_2\alpha_2 \quad (5)$$

求めた Total 吸音力から Cav Interior Under の表面積 A_1 と Cav Tunnel Under の表面積 A_2 を用いて式(6)から平均化した吸音率 $\bar{\alpha}$ を求める。

$$\bar{\alpha} = \frac{A_1\alpha_1 + A_2\alpha_2}{A_1 + A_2} \quad (6)$$

この結果から, 2 章の式(1)を用いて Cav Interior Under と Cav Tunnel Under を結合した時の DLF を求める。

Cav Interior Under の各車種の DLF と平均化した DLF を Fig.10 に示す。また, 3.4.を行い Cav Interior Under のセダン車 C の DLF とマスターDLF の比較結果を Fig.11 に示す。

Fig.10 より, Cav Interior Under の各車種の DLF と平均化した DLF の差が $\pm 3[\text{dB}]$ 以内であることがわかる。

Fig.11 より, Cav Interior Under のセダン車 C の DLF とマスターDLF の差が $\pm 3[\text{dB}]$ 以内であることがわかる。

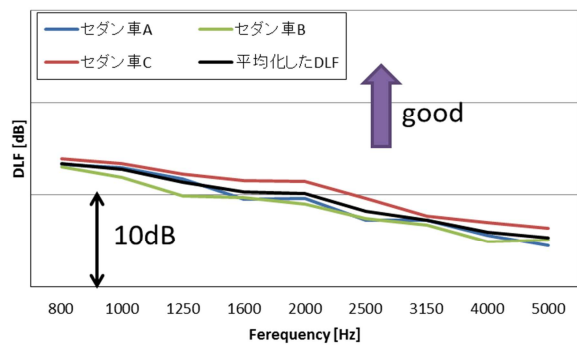


Fig.10 Cav Interior Under の各車種の DLF と平均化した DLF

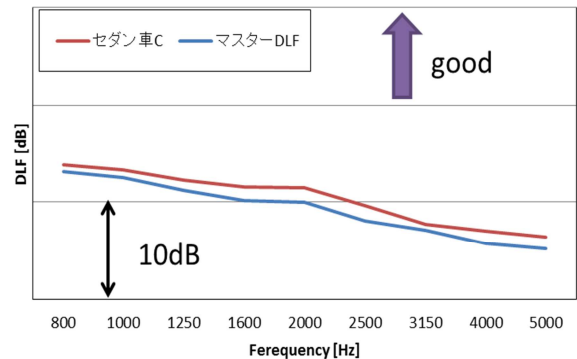


Fig.11 Cav Interior Under のセダン車 C の DLF とマスターDLF の比較結果

4. 解析結果

4 章では, 3 章で示した主要な音場を用いたマスターモデルと全ての音場を用いたマスターモデルの精度検証を行う。

4.1. マスターモデル(主要音場)の解析結果

構築したマスターモデル(主要音場)の精度検証を行うため, シャーシダイナモをラフ路面の車速 50km/h で走行した時のロードノイズの車室内音圧レベルを, マスターモデル(主要音場)による解析値とセダン車 C の実測値, HSEA モデルによる解析値と比較した。その結果を Fig.12 に示す。

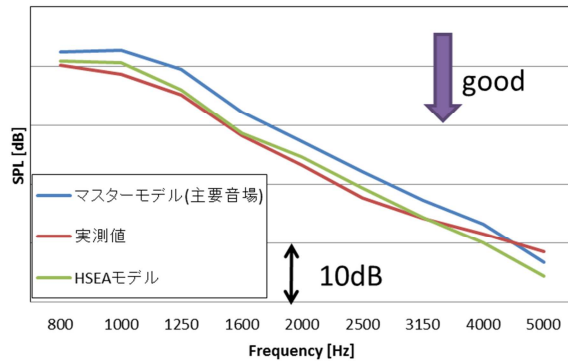


Fig.12 マスターモデル(主要音場)の精度検証

この結果から、マスターモデル(主要音場)による解析値は実測値の車室内音圧レベルに対して差分が約4[dB]あることがわかる。

その理由として、Fig.6, Fig.7, Fig.11 から Cav Interior -C- と Cav ENG Room, Cav Interior Under のセダン車 C の DLF とマスターDLF を比較すると ± 3 [dB]以内に収まっているものの、全ての主要音場でマスターDLF の値の方が小さいことが確認できる。そのため、マスターモデルによる車室内音圧レベルの解析値はHSEA モデルの解析値よりも悪くなり、実測値と約4[dB]の差分が出たと考えられる。

4.2. マスターモデル(全ての音場)の解析結果

マスターモデル(全ての音場)の精度検証を行うため、4.1と同様の条件で車室内音圧レベルを解析し、マスターモデル(全ての音場) による解析値とセダン車 C の実測値、HSEA モデルによる解析値と比較した。その結果を Fig.13 に示す。

Fig.13 より、マスターモデル(全ての音場)による解析値は実測値の車室内音圧レベルに対して差分が約5[dB] あることがわかる。

この結果について考察する。Fig.14 に Cav ENG Btm を示す。Fig.15 に Cav ENG Btm の各車種の DLF と平均化した DLF を示す。

約5[dB]の差分が出た理由として、マスターモデルを構築する際に Fig.15 のような各セダン車の DLF と平均化した DLF の差分が ± 3 [dB]以内に収まっていない DLF を用いたため、マスターモデルによる車室内音圧レベルの解析値は実測値と約5[dB]の差分が出たと考えられる。

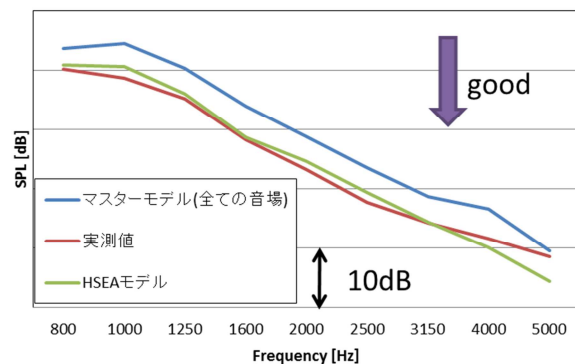


Fig.13 マスターモデル(全ての音場)の精度検証

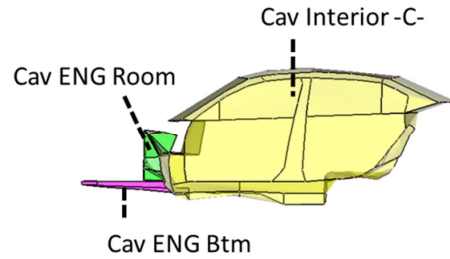


Fig.14 Cav ENG Btm

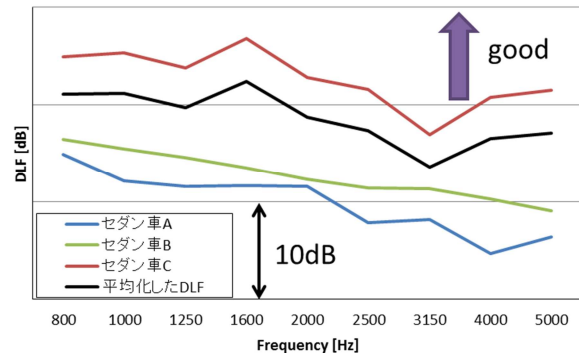


Fig.15 Cav ENG Btm の各車種の DLF と平均化した DLF

5. 結論

以上の結果から以下のことがわかった。

1. マスターDLF に対応したマスターモデル化手法を提案し構築した。
2. 構築したマスターモデル(主要音場)の精度を検証した結果、車室内音圧レベルに対して実測値と約4[dB]の解析精度があることがわかった。
3. 構築したマスターモデル(全ての音場) の精度を検証した結果、車室内音圧レベルに対して実測値と約5[dB]の解析精度があることがわかった。
4. 今回は DLF を用いてマスターモデルについて検討した。今後は精度向上手法について検討したい。また、CLF にも対応させたマスターモデルを構築したい。

6. 参考文献

- (1) 見坐地一人, 橋上聡, 古株慎一, 高橋亜佑美: 車両外部音場を表現するための解析手法の開発, 2010年秋季大会自動車技術会学術講演会前刷集, No.114-10, 20105796
- (2) 中道康平, 橋上聡, 高橋亜佑美, 見坐地一人: 解析 SEA モデルにおける外部音場の精度向上手法の提案, 2010年日本大学生産工学部第43回(平成22年度)学術講演会