

## 自動車の音響解析のためのハイブリッドSEAモデルと従来のSEAモデルとの比較 －その1.従来のSEAモデルによる自動車の車室内音響解析－

日大生産工(学部) ○渡邊 輝人 日大生産工(院) 高橋 亜佑美  
日大生産工 見坐地 一人

### 1. はじめに

ここで言う従来のSEAモデルとは、主要部分の結合損失率(Coupling Loss Factor: CLF)をマスキング実験によって求め、その結合損失率を解析SEAモデルに組み入れた従来のハイブリッドSEAモデルである。

従来のSEAモデルでは解析精度に課題があり、解析SEAモデル作成から仕様変更シミュレーションまでのプロセスが多いため、多大な工数が必要であった。これらの問題点を解決するために、我々は既にハイブリッドSEA法(Hybrid SEA: HSEA法)を提案し、精度向上、工数削減を可能とした。しかし、具体的に従来のSEA法とハイブリッドSEA法とを比較・検討した事例がなかった。そこで本論は、実車の音響解析の方法として従来のSEA法とハイブリッドSEA法を適用し、実際に費やした工数、実験方法、解析結果について比較する。

本論はまず、その1では従来のSEA法について説明する。そして従来のSEA法を実車の音響解析に適用したときの工数の内訳、サブシステム数、実験概要、解析精度向上を目的としたSEAパラメータの合わせ込みの内訳、解析結果を述べる。その2ではハイブリッドSEA法について説明する。そして従来のSEA法とハイブリッドSEA法を実車の音響解析に適用したときについて比較し、最後に従来のSEA法を適用する上での問題点と、ハイブリッドSEA法の有用性について述べる。

### 2. 従来のSEA法

従来のSEA法とは、次の2.1.から2.4.の手順に従って従来のSEAモデルを作成する方法である。

### 2.1. サブシステム作成

FEMデータや実車から構造系・音響系サブシステムを作成する。作成したサブシステムをFig.1(a), (b)に示す。このとき、音場間の境界面の表面積や音場の体積、構造の表面積や板厚、密度、ヤング率を設定する。

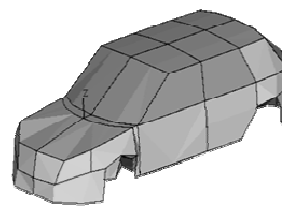


Fig.1(a)  
構造系サブシステム

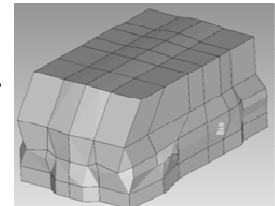


Fig.1(b)  
音響系サブシステム

### 2.2. 材料特性と積層構造の定義

実車に取り付けられているフロアカーペットやルーフなどの防音材の材料特性や積層構造を、2.1.で作成したサブシステムに定義し、解析SEAモデルを作成する。解析SEAモデルとは、理論値のみで作成されたSEAモデルである。

### 2.3. 音響透過損失, 吸音率, 車室内の内部損失率, 音圧レベルの測定

結合損失率, 内部損失率(Damping Loss Factor: DLF)を実験的に求めるために音響透過損失や吸音率を測定する。車室内の内部損失率と音圧レベルの実測値は、従来のSEAモデルの精度向上のために用いられる。以下それぞれの測定方法について述べる。

---

## A Traditional SEA Model and a Hybrid SEA Model Comparison through a Real World Application

### — Part 1. Acoustic Analysis of a Passenger Car by a Traditional SEA Model —

Teruhito WATANABE, Ayumi TAKAHASHI and Kazuhito MISAJI

(1) 音響透過損失(Sound Transmission Loss : STL)の測定

測定方法として、マスキング実験を適用した。Fig.2はダッシュインシュ周りのマスキング状態を示す。車室内をフルマスクし車室内の平均音圧レベル  $L_p$  を測定する。次に、測定部位のマスクを剥がし、その部位から放射される音響インテンシティレベル  $L_I$  を測定する。そして、測定部位の音響透過損失STLを式(1)より求める。

$$STL = L_p - L_I + 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_{ref}}{i_{ref}} \frac{1}{4\rho c} \right) \quad (1)$$

$P_{ref}$  : 音圧の基準値 ( $2 \times 10^{-5}$  [Pa] )

$i_{ref}$  : 音響インテンシティの基準値 ( $1 \times 10^{-12}$  [W/m<sup>2</sup>])

$\rho, c$  : 音場の媒質密度, 媒質中を伝わる音の速度

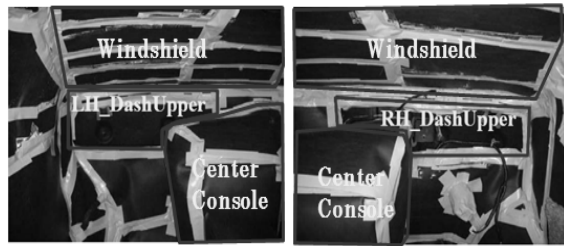


Fig.2マスキング実験(ダッシュ周り)

(2) 吸音率  $\alpha_i$  の測定

車室内にある各吸音材の吸音率を測定する方法について述べる。測定方法として残響室法を適用した。残響室法とは、残響室に測定材料がある状態、無い状態で残響時間を測定し、吸音率を算出する。例として、Fig.3はルーフとフロアカーペットの測定状態を示す。Fig.3のルーフやフロアカーペットなどは、隙間から音が回り込まないように側面をマスキングする。

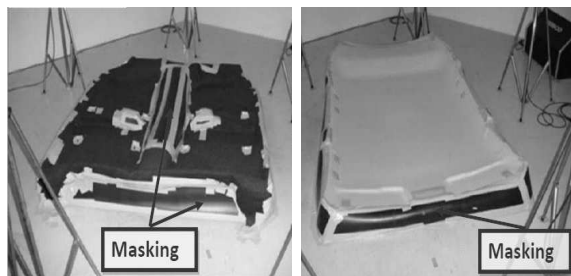


Fig.3測定状態

(3) 車室内の内部損失率の測定

車室内の内部損失率を  $\eta$  として、式(2)より

求める。式(2)は、車室内の自由振動時における1/3オクターブバンド成分波形ごとの対数減衰率を空間平均したものである。このとき、車室内にある吸音材は全て取り付けられた状態で測定する。

$$\eta = \frac{\text{各バンド成分空間周波数平均減衰率}}{27.3 \times \text{バンド中心周波数}} \quad (2)$$

(4) 音圧レベルの測定

最後にターゲットとなる耳位置および車室内を取り囲むパネル近傍の、音響加振、ロードノイズ入力時における音圧レベルを測定する。

2.4. 結合損失率、内部損失率を解析SEAモデルに合わせ込む

2.3.で測定した音響透過損失と吸音率から、結合損失率と内部損失率を求め、2.2.で作成した解析SEAモデルに合わせ込んでいく。

初めに、車室内に取り付けられている各吸音材の吸音率  $\alpha_i$  と面積  $A_i$ 、角振動数  $\omega$ 、車室内音場の体積  $V$  から車室内の内部損失率  $\eta'$  を式(3)、式(4)、式(5)より求める。

$$A = \sum_{i=1}^n A_i \quad (3)$$

$$\alpha A = \alpha_1 A_1 + \alpha_2 A_2 + \dots + \alpha_n A_n \quad (4)$$

$$\eta' = \frac{c}{4\omega V} \alpha A \quad (5)$$

2.3.で測定した車室内の内部損失率  $\eta$  と式(5)より求めた車室内の内部損失率  $\eta'$  から補正係数  $k_\alpha$  を求める。補正係数  $k_\alpha$  を式(6)に示す。

$$k_\alpha = \frac{\eta}{\eta'} \quad (6)$$

この  $k_\alpha$  を式(5)に掛けることで、精度の高い車室内の内部損失率  $\eta$  を式(7)より求めることができる。

$$\begin{aligned} \eta &= k_\alpha \frac{c}{4\omega V} A \alpha \\ &= \frac{c}{4\omega V} (k_\alpha \alpha_1 A_1 + k_\alpha \alpha_2 A_2 + \dots + k_\alpha \alpha_n A_n) \end{aligned} \quad (7)$$

すなわち式(7)は、 $\alpha_i A_i$  に補正係数  $k_\alpha$  を掛けることで、実測値の吸音率に近づけることを意味する。

次に、測定した各パネルの音響透過損失から透過率  $\tau$  を求め、音場間の結合損失率  $\eta_{ij}$  を式(3)、式(8)、式(9)より求める。

$$\tau A = \tau_1 A_1 + \tau_2 A_2 + \dots + \tau_n A_n \quad (8)$$

$$\eta_{ij} = \frac{cA}{4\omega V} \tau \quad (9)$$

解析SEAモデルから各パネルの透過率  $\tau'$  を求め、音場間の結合損失率  $\eta'_{ij}$  を式(10)、式(11)より求める。

$$\tau' A = \tau'_1 A_1 + \tau'_2 A_2 + \dots + \tau'_n A_n \quad (10)$$

$$\eta'_{ij} = \frac{cA}{4\omega V} \tau' \quad (11)$$

式(9)、式(11)より求めた  $\eta_{ij}$ 、 $\eta'_{ij}$  から補正係数  $\beta_{ij}$  を求める。補正係数  $\beta_{ij}$  を式(12)に示す。

$$\beta_{ij} = \frac{\eta_{ij}}{\eta'_{ij}} \quad (12)$$

この補正係数  $\beta_{ij}$  を式(11)に掛けることで、精度の高い結合損失率  $\eta_{ij}$  を式(13)より求めることができる。

$$\eta_{ij} = \frac{cA}{4\omega V} \beta_{ij} \tau' \quad (13)$$

式(7)、式(13)より求めたSEAパラメータを組み込んだ解析SEAモデルを用いて、車室内を取り囲む各パネルの近傍の音圧レベルを計算する。計算値と実測値を比較し、差分がある部位の補正係数を調整する。最後に耳位置の音圧レベルの計算値と実測値を比較し、差分があれば、再度各パネルの補正係数を調整する。この作業によって従来のSEAモデルが作成される。

これらすべての合わせ込みは手作業で行われる。つまり、補正係数の調整は作業を行った人の主観が入るため、人によってSEAパラメータが変化してしまう。

### 3. 工数/サブシステム数

#### 3.1. 工数内訳

Fig.4は従来のSEAモデル作成から仕様検討までの一人当たりの実働時間を示す。従来のSEA法は1000時間(約4ヶ月)かかった。特に実験には多大な時間がかかっていることがわかる。

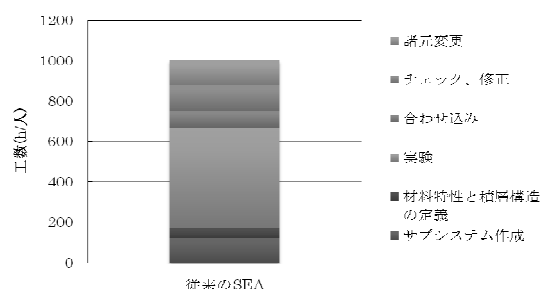


Fig.4 工数内訳

#### 3.2. サブシステム数

従来のSEA法は構造系216個、音響系129個のサブシステムに分割して解析を行った (Fig.1(a), (b)). 従来のSEA法は、2.4.に示したように合わせ込みでの調整の際、車室内の耳位置とその近傍の音圧レベルを計算しなければならない。そのため、そこを基準に細かくサブシステムを定義しなければならない。

#### 3.3. 実験概要

従来のSEA法は、マスキング法による音響透過損失を測定した部位が48ヶ所、残響室法による吸音率を測定した部位が11カ所であった。

準備・実験期間について従来のSEA法では、二人で約200時間+ $\alpha$ ( $\alpha$ :マスキング実験が不整合だった場合、再度実験した時間)費やした。この内訳として車室内を全てマスキングするのに約100時間、音響透過損失の測定に約48時間、吸音率の測定に約55時間である。

#### 3.4. 実験データを解析モデルに合わせ込む

従来のSEA法はあわせ込みをすべて手作業で行うため、合わせ込みの工数が約80時間となった。また、今回の解析では音響のみの合わせ込みであり、構造系も行う場合は最短でさらに2ヶ月、合わせ込みの工数がかかってしまう。さらに、この合わせ込みは人の主観でSEAパラメータが決まるため、画一的ではない。

## 4. 解析結果

### 4.1. 車室内音圧レベル

2.で示した手法を用いて作成したSEAモデルの、ロードノイズ評価路面を車速50[km/h]で走行したときの車室内音圧レベルの解析値と実測値を比較した。その結果をFig.5に示す。この結果から従来のSEAモデルは630[Hz]以上で音圧レベルが実測値と比べ精度高く求められた。630[Hz]以下では音圧レベルが実測値と一致していないが、これは構造系入力が考慮されていないためであると考えられる。

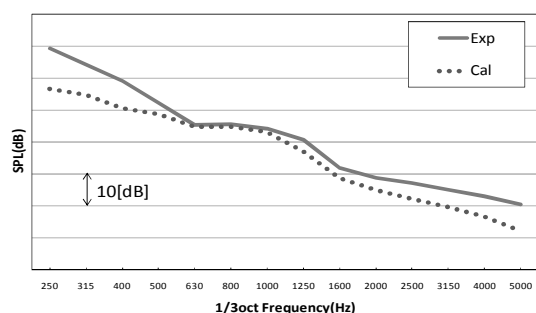


Fig.5車室内音圧レベル(RN50[km/h])

### 4.2. 従来のSEA法による寄与解析結果

従来のSEAモデルを用いたロードノイズ入力における寄与解析を行った。従来のSEAモデルによる入力寄与解析結果と出力寄与解析結果をFig.6, Fig.7に示す。ここで入力寄与は、車室内に対する入力源のエネルギー寄与度を表し、出力寄与は、車室内空間に隣接するサブシステムからの車室内へのパワー寄与を表す。

Fig.6の入力寄与解析結果では、630[Hz]から1600[Hz]にかけて後輪のホイールハウスからの寄与が高いことが確認できる。さらに、1600[Hz]から5[kHz]にかけてはエンジンルーム、エンジン下音場からの寄与が高いことが確認できる。Fig.7の出力寄与解析結果では800[Hz]から5[kHz]にかけて、フロントドアガラスからの寄与が高いことが確認できる。

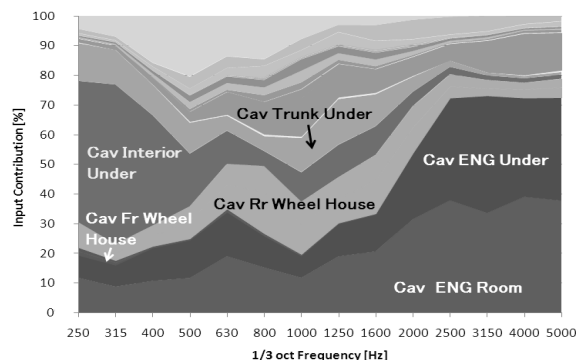


Fig.6入力寄与解析結果(RN50[km/h])

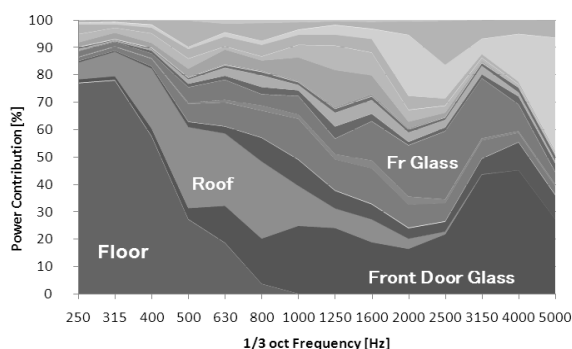


Fig.7出力寄与解析結果(RN50[km/h])

## 5. 結論

本論は従来のSEA法を実車の車室内音響解析に適用し、工数、実験方法、解析結果などを検討した。また実車を使った実験値と解析値の比較から以下のことが明らかとなった。

1. 車室内の音圧レベルの実験値と解析値の結果から、従来のSEAモデルでは実験値に対して、630[Hz]以上で精度高く求めることができた。
2. 従来のSEA法は実験や合わせ込みに多大な時間を費やす必要がある。

## 参考文献

- (1) 高橋亜佑美, 中根彰人, 橋上聡, 古株慎一, 見坐地一人: ハイブリッドSEA法による自動車の車室内の車室内音場解析, 2010年春季大会自動車技術会学術講演会前刷集, No.54-10, 20105434
- (2) 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)を用いたロードノイズ解析, 1999年自動車技術会学術講演会前刷集, No.71-99, 9939730
- (3) 高橋亜佑美, 小林之徳, 古株慎一, 見坐地一人: 自動車の音響解析のための解析的SEAモデルとハイブリッドSEAモデルの比較, 2010年秋季大会自動車技術会学術講演会前刷集, No.114-10, 20105791