

## 解析SEAモデルにおける外部音場の精度向上手法の提案

日大生産工(学部) ○仲道 康平 日大生産工(院) 橋上 聡  
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

近年、高周波領域の解析手法として、統計的エネルギー解析手法(SEA法)が主流になりつつある。

SEAモデルは車両モデルと車両の外部音場モデルに分けられ、特に外部音場モデルを正確に作成することは車両外側の防音仕様検討の予測精度向上に影響する。また、ディーゼルエンジン車等のエンジン騒音の大きい車はフロントガラスからのエンジン放射音の影響が大きい。よって、これらのエンジン放射音予測にも外部音場モデルを正確に作成することは重要である。

外部音場モデルを作成する方法としては解析SEA(Analytical SEA:ASEA)法があげられるが、容易に予測を行うことが可能である一方で、解析精度に問題があった。

既に我々は高い解析精度を持つ手法としてハイブリッドSEA(Hybrid SEA:HSEA)法を提案したが、HSEA法は実車を用いた実験を

行うことが必要であった。そのため、実車が存在しない開発初期段階では精度の高いモデルを構築することは出来なかった。

よって、本論では外部音場に着眼し、まず、ASEAモデルにおける外部音場の精度向上手法を提案する。そして、この妥当性を検証する。

### 2. ASEAモデルにおける外部音場の精度向上手法の提案

#### 2.1. ASEA法

外部音場のASEAモデルは各音場間の結合損失率(Coupling loss factor: CLF)を求め、その値を用いて構築される。外部音場間の結合損失率を式(1)と式(2)から求める。

この結合損失率を用いて、ASEAモデルを構築する。外部音場モデルをFig.1に示す。ここで $S$ は音場1と音場2の接触面積、 $C_0$ は音速、 $\tau_{1 \rightarrow 2}$ は音場1から音場2への透過率、 $\tau_{2 \rightarrow 1}$ は音場2から音場1への透過率を表す。

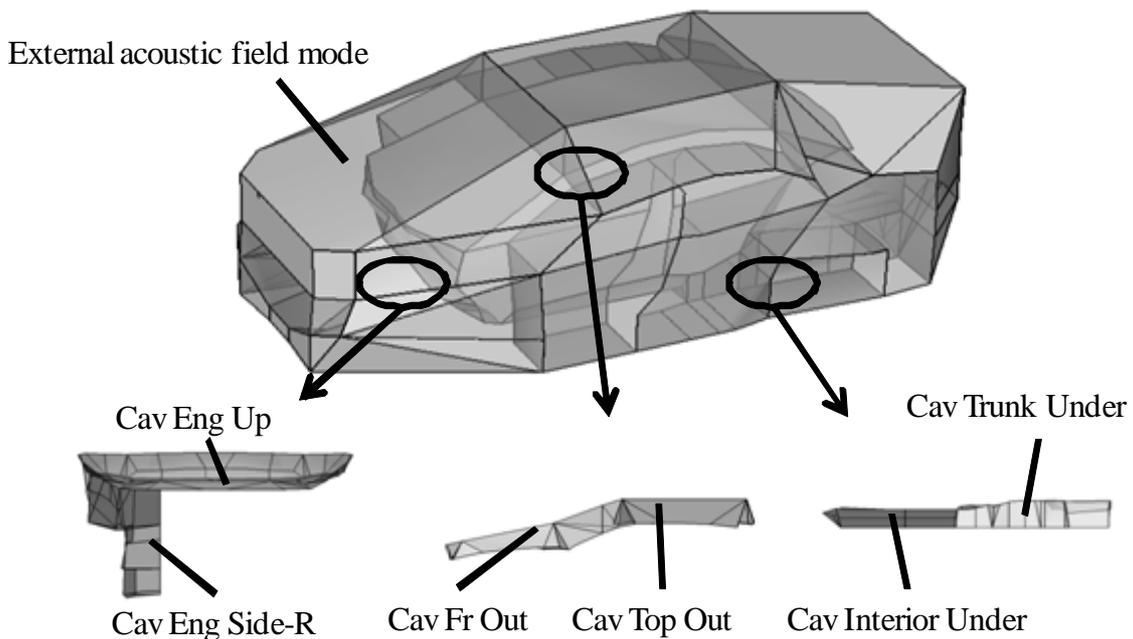


Fig. 1 外部音場モデル

The High Accuracy Analytical Method is Developed for Describing an Acoustic Field External to the ASEA Model of Automobiles

Kohei NAKAMICHI, Satoru HASIGAMI, Ayumi TAKAHASHI and Kazuhito MISAJI

また、 $V_1$ は音場1の体積、 $V_2$ は音場2の体積、 $f$ は周波数を表し、 $\eta_{12}$ は音場1から音場2への結合損失率、 $\eta_{21}$ は音場2から音場1への結合損失率を表す。ただし、 $\tau_{1 \rightarrow 2}$ 、 $\tau_{2 \rightarrow 1}$ は一律で1と仮定している。

$$\eta_{12} = \frac{1}{8\pi f} \frac{SC_0}{V_1} \tau_{1 \rightarrow 2} \quad (1)$$

$$\eta_{21} = \frac{1}{8\pi f} \frac{SC_0}{V_2} \tau_{2 \rightarrow 1} \quad (2)$$

$$\tau_{1 \rightarrow 2} = \tau_{2 \rightarrow 1} = \tau_{i \rightarrow j} = 1$$

## 2.2. 精度向上手法

ある車両における、HSEAモデルとASEAモデルのエンジンルーム内上部音場(Cavity Engine Up : Cav Eng Up)からエンジンルーム内右側音場(Cavity Engine Side Right : Cav Eng Side-R)への結合損失率の比較結果をFig.2に示す。Fig.2より、ASEA法で求めた外部音場間の結合損失率はHSEA法を用いて求めた外部音場間の結合損失率と比べて差異があることが分かる。このことから、精度の高い外部音場のASEAモデルを構築することが必要であることがわかる。

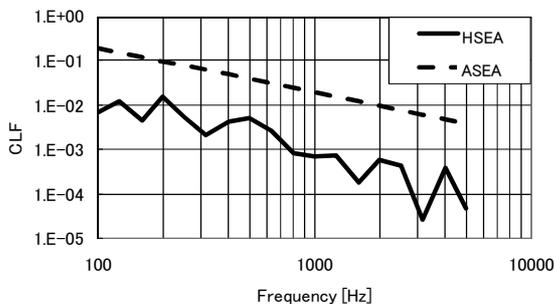


Fig. 2 結合損失率  
(Cav Eng Up → Cav Eng Side-R)

よって、ここでは、外部音場の精度向上手法を提案する。外部音場のASEAモデルの精度を向上させるポイントとして、外部音場間の透過率 $\tau_{i \rightarrow j}$ に着目する。

透過率 $\tau_{i \rightarrow j}$ は外部音場間の結合角に影響すると考えられる。外部音場間の結合角は一般的には90度～180度の間にあると推測される。結合角による影響は外部音場間の共通体積が影響すると仮定し、透過率 $\tau_{i \rightarrow j}$ の算出方法とし

て以下を考案する。

外部音場モデルから隣り合う2要素を取り出し、それぞれの関係を考える。ここでは例としてFig.3に示す外部音場の形状について述べる。

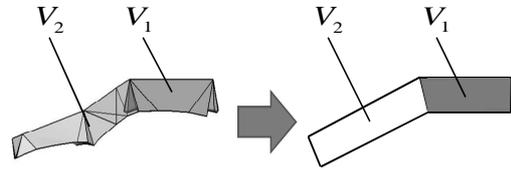


Fig. 3 外部音場の形状

外部音場1から音響パワーを入力した場合の外部音場2の応答、外部音場2から音響パワーを入力した場合の外部音場1の応答の関係をそれぞれ考える。そして、外部音場1と外部音場2の共通体積 $V_2^c$ とする。その図をFig.4に示す。

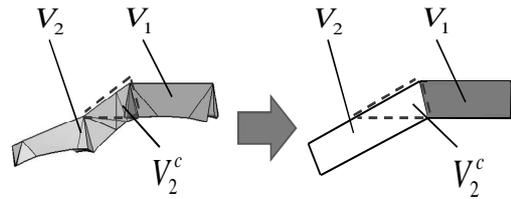


Fig. 4 外部音場1と外部音場2の共通体積

次に、 $V_1$ から $V_2^c$ に対する透過率を考える。

$V_1$ より $V_2^c$ の音場体積が極端に大きいと仮定した場合、 $V_1$ から $V_2^c$ に伝わる音響パワーは1となり、透過率は1と考えられる。その図をFig.5に示す。さらに、 $V_1$ より $V_2^c$ の音場体積が極端に小さいと仮定した場合、 $V_1$ から $V_2^c$ に伝わる音響パワーは0となり、透過率は0と考えられる。その図をFig.6に示す。これにより、 $V_1$ より $V_2^c$ の音場体積が極端に大きいと仮定した場合と $V_1$ より $V_2^c$ の音場体積が極端に小さいと仮定した場合の間の場合、透過率は $0 < \tau < 1$ と考えられる。その図をFig.7に示す。

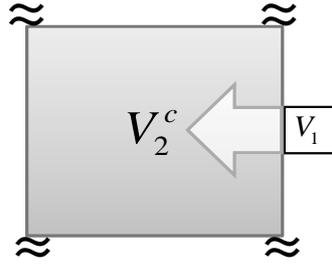


Fig.5  $V_2^c \gg V_1$  の場合

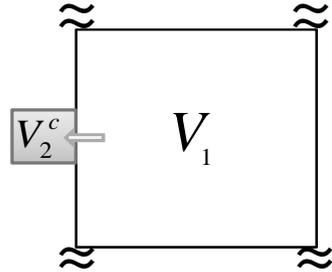


Fig.6  $V_2^c \ll V_1$  の場合

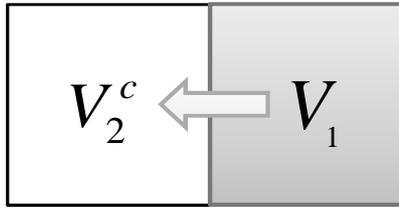


Fig.7  $V_2^c \gg V_1$  と  $V_2^c \ll V_1$  の間の場合

Fig.5~Fig.7の考え方を満たす式として式(3),式(4)に示す.

$$\tau_{1 \rightarrow 2} = \frac{\exp\left(\frac{V_2^c}{V_1}\right) - 1}{\exp\left(\frac{V_2^c}{V_1}\right)} \quad (3)$$

$$\tau_{2 \rightarrow 1} = \frac{\exp\left(\frac{V_1^c}{V_2}\right) - 1}{\exp\left(\frac{V_1^c}{V_2}\right)} \quad (4)$$

しかし,式(3),式(4)はHSEAモデルの結合損失率に対し差異があった.そこで,データベース上のHSEAモデルを参考に式(3),式(4)を修正した.それを,式(5),式(6)に示す.

$$\tau_{1 \rightarrow 2} = \frac{\exp\left(\frac{V_2^c}{V_1}\right)^2 - 1}{\exp\left(\frac{V_2^c}{V_1}\right)} \quad (5)$$

$$\tau_{2 \rightarrow 1} = \frac{\exp\left(\frac{V_1^c}{V_2}\right)^2 - 1}{\exp\left(\frac{V_1^c}{V_2}\right)} \quad (6)$$

次に,音場間の透過率  $\tau_{1 \rightarrow 2}, \tau_{2 \rightarrow 1}$  の相乗平均透過率を  $\tau'$  とし,式(7)から求める.  $V_2^c/V_1$  と相乗平均透過率の関係を Fig.8に示す. Fig.8から,提案手法で求めた相乗平均透過率はASEAモデルの相乗平均透過率1より, HSEA法の相乗平均透過率に近い値であることが分かる. この相乗平均透過率を用いて式(8),式(9)から各音場間の結合損失率  $\eta'_{12}, \eta'_{21}$  を求める. これが精度向上手法 (Modification Analytical SEA法:MASEA法)である.

$$\tau' = \sqrt{\tau_{1 \rightarrow 2} \cdot \tau_{2 \rightarrow 1}} \quad (7)$$

$$\eta'_{12} = \frac{1}{8\pi f} \frac{SC_0}{V_1} \tau' \quad (8)$$

$$\eta'_{21} = \frac{1}{8\pi f} \frac{SC_0}{V_2} \tau' \quad (9)$$

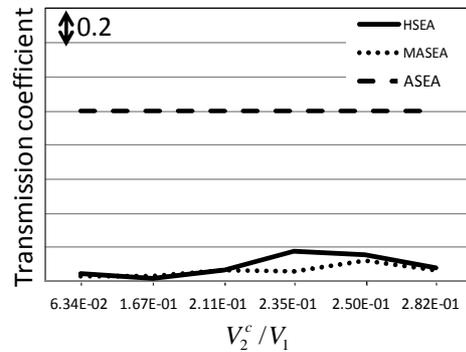


Fig. 8 透過率

### 3. 精度検証

2.2.で示した手法で作成したMASEAモデルとASEAモデルおよび、HSEAモデルの外部音場の結合損失率を比較した。検討した外部音場の箇所としては、エンジンルーム内上部音場(Cavity Engine Up:Cav ENG Up)からエンジンルーム内右側音場(Cavity Engine Side Right: Cav Eng Side-R)への結合損失率である。これをFig.9に示す。さらに、ルーフ上部の音場(Cavity Top Out : Cav Top Out) からフロントガラス周りの音場(Cavity Front Out : Cav Fr Out)への結合損失率の比較も行った。これをFig.10に示す。Fig.9, Fig.10から、いずれも2.2.で示した手法で作成したMASEAモデルはASEAモデルに比べて、HSEAモデルに近い結合損失率を得られることが確認出来た。

このことから、2.2.で示した精度向上手法はASEA法より、高い精度を持つことが分かる。

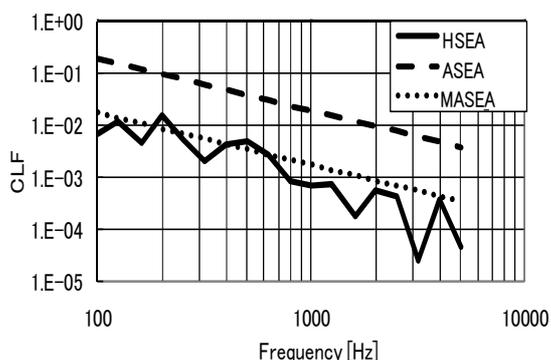


Fig. 9 結合損失率  
(Cav ENG Up→Cav Eng Side-R)

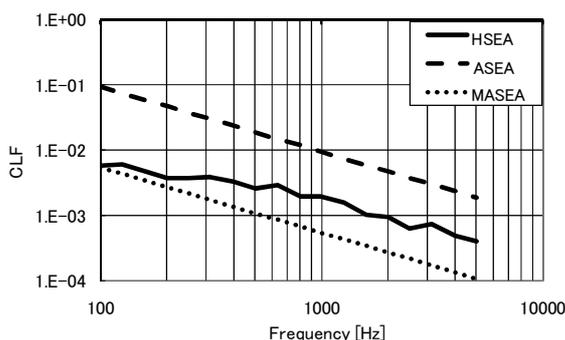


Fig.10 結合損失率  
(Cav Top Out→Cav Fr Out)

### 4. まとめ

実車が存在しない開発初期段階でのより正確な外部音場モデルを構築する手法を提案し、提案した手法の妥当性をHSEA法と比較することにより検証した。その結果、以下の事が分かった。

外部音場間の形状を考慮した透過率を新たに求め、結合損失率をより精度良く求めることで、ASEAモデルよりも正確なモデルを作成することが可能である。

### 参考文献

- (1) 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
- (2) 見坐地一人, 来原裕司, 多田寛子, 野口好洋, 山下剛, マウリジオ・マントバーニ: 自動車用防音パッケージのSEAパラメータ予測, 2002年自動車技術会学術講演会前刷集, No.95-02, 20025495
- (3) 見坐地一人, 多田寛子, 山下剛, 古株慎一, 田中秀典, 腰越昭三: 自動車用ハイブリッドSEAモデル化技術の開発, 2004年自動車技術会学術講演会前刷集, No.72-04, 20045011
- (4) 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音響解析, 2010年春季大会自動車技術会学術講演会前刷集, No.54-10, 20105
- (5) 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