



〈技術レポート〉

自動車排気系部品用遮熱カバー T/#6600「インサルカバー」の防音設計手法

自動車部品事業本部 技術開発部 製品開発チーム 石 和 修 一
菅 井 洋 人

1. はじめに

自動車のエキゾーストマニホールド（排気ガスのエンジン出口部分）等の排気系部品は、エンジン燃焼時に生じる900℃にも達する高温の排気ガスの通路であり、その表面温度は最高700℃にも達する。そのため、周辺部品の保護、人体への接触回避を目的とした遮熱カバーが広く用いられている。

遮熱カバーは、通常、金属薄板を成形しているため、振動が入力されるとスピーカーの振動板と同様な働きで騒音発生源となり易く、昨今の自動車の車外騒音規制、静粛性向上ニーズが高まる中、防音性能の向上が求められている。

当社では長年培ってきた防音材、制振材の知見を活かし、特に防音性、耐振動性に優れた遮熱カバーを開発し、インサルカバーの商標で事業展開している。

本稿では防音機能の概要を説明しながら、インサルカバーの防音・耐久性向上設計と各種防音材適用の考え方、評価技術について紹介する。

2. 低騒音化手法の概要

低騒音化対策には、騒音源の形態を知ることが第一である。

それは、騒音源の形態により対策手法は全く異なり、誤った手法の選択は全く効果を発揮しないことも十分あり得るからである。以下にインサルカバーを例に騒音源と対策手法について解説する。

2.1 騒音源

排気系部品の騒音源は、主に下記の2点が挙げられる。

2.1.1 パワープラント振動

エンジンの往復慣性力の不釣り合いや間欠燃焼により生じるトルク変動で発生したエンジン振動及びパワープラント系振動が排気系部品の締結部を介して伝達される固体伝播音。

2.1.2 排気系の音響パワー

エンジン排気ガスの脈動圧、擦過振動が排気管に伝達して発生する空気放射音。

前者の固体伝播音は、振動がカバーに入力され、カバーがあたかもスピーカーの振動板のような働きをした結果、騒音となるものであるのに対し、後者はカバーの遮音性能の程度によって、音がカバーを透過し騒音となるものである。また固体伝播音の一種であるが、排気管から発する騒音がカバーに伝達することで、カバーから二次的に固体伝播音が発生することもあり、発生源は複雑である。

2.2 対策の考え方

振動、騒音はいずれも周波数特性を有する。

そのため、対策のためには、まず前述した騒音源の周波数（域）を知ることが重要となる。

一方、インサルカバーに限らず、全ての部品は固有振動数を有する。固有振動数とは、部品固有に存在するもので、固有振動数付近で大きく振動（共振）する。これは一般に共振周波数と呼ばれ、共振が起きると大騒音が発生するばかりか、その振幅により支点には大きな力が加わり、最悪の場

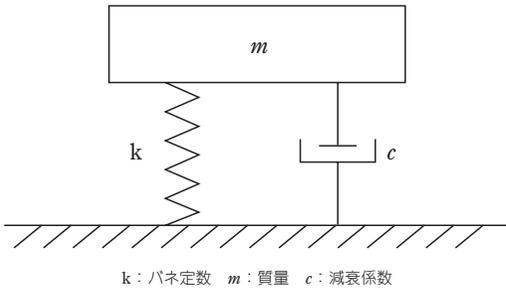


図1 1自由度系振動モデル

合は部品破損等の耐久問題に繋がる非常に重要な現象である。

特に振動が直接原因となる固体伝播音対策やクラック防止等の耐久性向上においては、外部入力した振動の周波数と固有振動数の一致を避けて、共振を回避することにより、騒音面、耐久性に優れた設計が可能となる。

ここで最も単純な1自由度系振動モデルを図1に示す。

この時の固有振動数は(1)式で表され、振動特性は図2の通りとなる。

$$f_0 = 1/2\pi \sqrt{(k/m) (1 - (\eta/2)^2)} \dots\dots\dots (1)$$

f_0 : 固有振動数 k : バネ定数
 m : 質量 η : 損失係数

($\eta = 2 \frac{c}{c_c}$ c : 減衰係数
 c_c : 臨界減衰係数)

本式より、バネ定数 (k)、質量 (m)、損失係数 (η) が、固有振動数 (f_0) を決定する因子であり、インサカバーの固体伝播音対策、耐久性向上には、これらの因子の最適化が肝要となる。しかし、実際のカバーは複雑な絞り形状を有し、1自由度系モデルを複雑に組み合わせた多自由度の複雑系となるため、解決は単純ではない。

そのため、実物を試作し、実験モーダル解析という特殊な振動試験法により固有振動数を測定し、振動モデルを推定する手法が広く用いられてきた。しかしながら、実物(試作品)の製作が必要なこと、形状変更の効果を見るたびにいくつもの試作品を作り直す手間がかかることから、時間、コスト面で必ずしも有効とは言えず、特に短期間開発の要求が高まる昨今では、なおさらである。

このような状況に対応するために、最近ではコンピュータを用いたシミュレーションCAE (Computer Aided Engineering) の活用がその頻度を増している。

特に3次元CADシステムを用いた形状設計が一般化している中では、3次元データをそのままシミュレーション用形状データに活用出来ることから、極めて効率的な設計が可能となる。シミュレーションによれば、試作品を作成せずともコンピュータ上で形状や条件を変化させて、あたかも実物を評価しているように振動特性を評価することができる。しかしながら、材質や構造

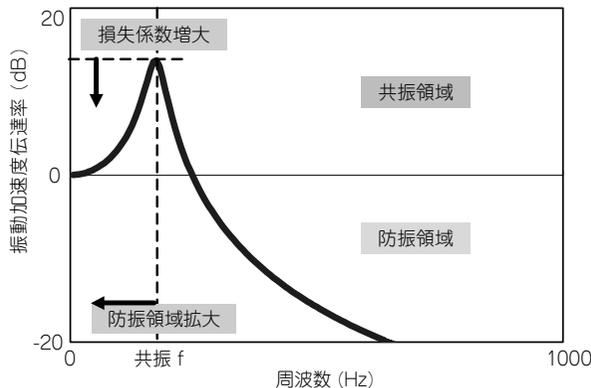


図2 振動特性

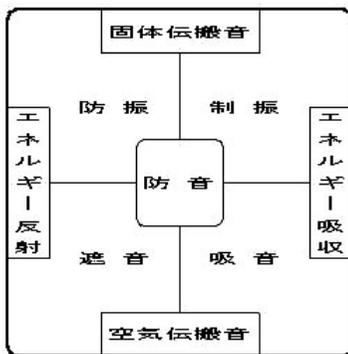


図3 防音の機能

を定義するパラメータ（バネ定数，質量，損失係数等）の設定が難しく，実験モーダル解析を用いた整合性，妥当性を検証した上での使用が不可避である。

3. 防音の機能とインサルカバーへの適用

騒音対策は，騒音源の形態により，図3に示す4つの防音の機能を単独または組み合わせて用いる。以下に，インサルカバーを例に，各対策手法別のポイントを解説する。

3.1 防振

インサルカバーに流入する振動を絶縁し，カバー本体の共振を防止する機能である。ボルト部に防振材を挟み込み，カバーを振動源から浮かし，フローティング構造をとることで効果を発揮する。防振性の評価には，一般に振動伝達係数が用いられ，外力振動と伝達された振動の比で表現される。インサルカバーの例では，ボルト締結部を1自由度系モデルに当てはめて考えると，防振材がバネ成分に相当することから，バネ定数 K を低く抑え，固有振動数を外力から十分低くすることで防振領域を広げる（伝達係数 < 1 ）ことができ，有効な対策となることが分かる（図2）。

3.2 制振

インサルカバーに流入した振動でカバーが共振している場合に，振幅を抑制する機能である。インサルカバー本体に減衰機能を付与する制振構造をとる。制振性は損失係数（ η ）で評価され，共振レベル低減の程度を示す。（図2）制振構造は拘

束型と非拘束型の2種類があり，拘束型は金属板等の剛性板2枚の間に粘弾性体をサンドイッチした構造であるのに対し，非拘束型は剛性体の片面に制振材を接着することで制振構造とするものである。一般に非拘束型は拘束型に対して，より厚い制振材層を必要とするものの，施工面ではより簡便である。しかしながら，ゴム，樹脂等の粘弾性体が使用できる低温領域と異なり，700℃に及ぶ高温下で使用されるインサルカバーの場合は，耐熱性を有し，かつ制振効果のある材料が必要となり，適用材料は希少である。

3.3 遮音

カバーの音の透過を抑制する機能である。遮音性は音響透過損失で評価され，一般にはカバー材料が有する質量の影響が支配的となる（質量則）。そのため重量の付与が有効となるものの，昨今の軽量化要求とは逆行する。ただ，材質相応の遮音性を発揮する中で，遮音面の制振性が低いと共振による遮音性の低下が起こり得る。この遮音性の低下が起こる周波数をコインシデンス周波数と呼び，制振により対策可能となる。また，カバー自体の遮音性が高くても，隙間が存在すると（透過損失ゼロで計算）見掛けの遮音性に大きく影響することから，カバー設定範囲拡大等による音漏れ低減対策は，次項に述べる吸音性と共に重要である。

3.4 吸音

カバー内面の反射による音漏れを抑制する機能である。吸音は，入射音が吸音材内で摩擦により減衰するメカニズムによるところから，通常，波長の短い高周波数の入射音ほど高い吸音効果が得られる。そのため，吸音性は周波数に対する吸音率で評価される。一般に多孔質系の吸音材が多用され，吸音率は材質，密度，厚さの影響を受ける。インサルカバーのような高温部位では，無機系繊維で構成された吸音材が用いられる。

4. インサルカバーの低騒音化設計

インサルカバー設計の流れを図4に示す。

まず，遮熱板としての機能が優先となるため，顧客の求める熱害対策範囲での基本形状が決定される。

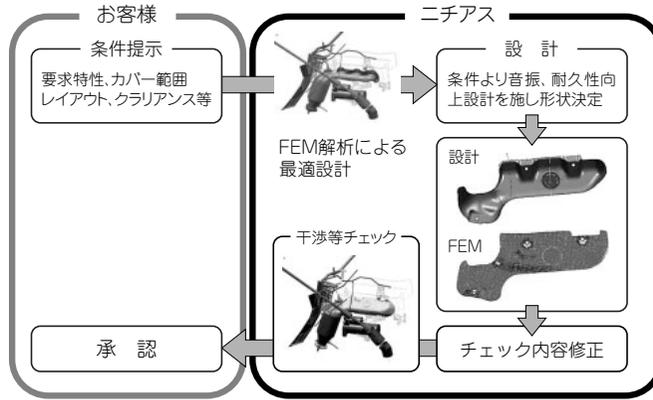


図4 インサルカバー設計の流れ

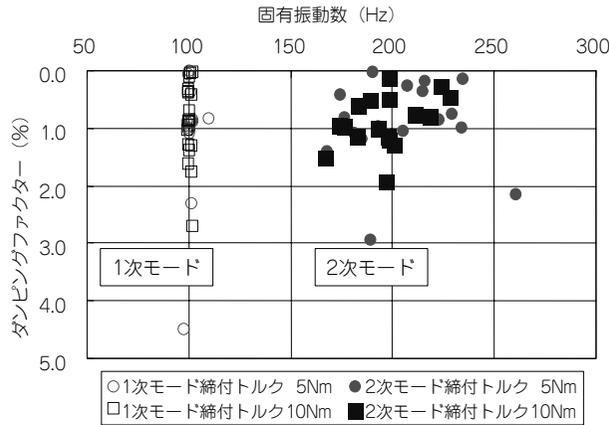


図5 各種設計要素の定量化例 (モーダルパラメーター)

周辺部品の耐熱性、エンジン運転環境、組付け及びメンテナンス性を考慮しつつ、エンジン内の許容される空間を利用して設計される。その上で防音設計及び耐久性向上対策が盛り込まれることになるが、車種毎に形状が極めて複雑になるため、前項で解説した振動モデルは複雑を極めるものとなる。

設計上の留意点は、カバー本体の固有振動の制御であるが、材質的には限りがあるため、主に剛性（ヤング率）とダンピング特性という二つの設計要素をバランス良く変化させ、耐久性にも騒音的にも有利な振動特性を決定してゆくものとなる。

一般的には、インサルカバーの剛性を調整することで、インサルカバー自体の振動を抑制する。具体的には、ビード、フランジ、クリンチ（ヘミン

グ）、スポット、パッチ等剛性要素の追加、最適配置によるものとなるが、これまでは極めて経験的で数値的な裏付けが乏しい側面があった。当社では各剛性要素の固有振動数への影響を定量的に掴む手法を開発し、具体的な設計に活用している。

概ね良い一致を得ており、設計のスピードアップに効果を上げている。

同様に減衰の付与（ダンピング特性）の定量化も行っており、具体的には一次ないしは二次モードのダンピングファクターの制御により騒音低減に効果をあげている（図5）。

これらは、CAEの一つであるFEM（Finite Element Method：有限要素法）の固有値解析を用いて検討されるが、パラメータの設定、判断基

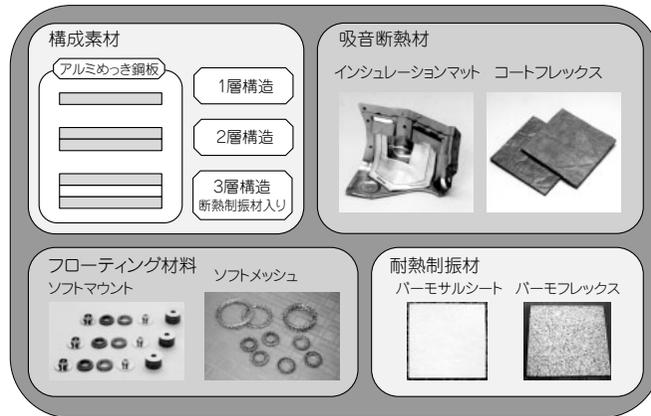


図6 インサルカバーの仕様

準が重要となる中で、パラメータとして前述した当社独自の研究成果が盛り込まれた結果、適切なカバー挙動、固有値、歪みの集中回避確認等の大幅なスピードアップを実現している。

CAEによるシミュレーション技術の詳細は、ニチアス技術時報2004年1号の技術レポート「自動車部品設計におけるCAEシミュレーション技術とニチアスにおける応用事例」に詳説しているので、併せて参照頂きたい。

5. インサルカバーの構成とオプション群

インサルカバーは、低コスト化のためにも、カバー本体のみで構成されることが望ましいが、使用環境、要求レベルによっては、前述した形状設計、振動設計だけでは対策が困難な場合もあり得る。

そのため、当社では如何なる要求にも応えられる様、豊富なオプション群を用意している。

インサルカバーの構成とオプション群を図6に示した。基本的な構成とオプションについて、以下に解説する。

5.1 カバー本体の基本構成

高温で使用されることを想定し、耐腐食性に優れたアルミメッキ鋼板が一般的に用いられる。要求の耐久性に応じて総厚は0.4～1.0mmの範囲で決定され、また制振機能や断熱性能向上が必要な場合は、アルミめっき鋼板を2層もしくは3層(中材入り)積層して用いることもある。

フランジ：アルミニウム (20t)
 加振信号：ホワイトノイズ
 加振周波数：100Hz～20KHz
 ウェイト：A特性

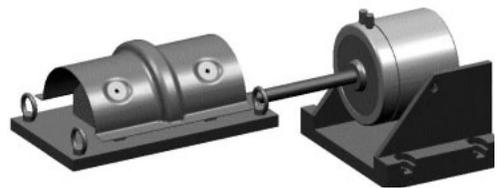


図7 モデル騒音試験

5.2 断熱制振材

制振機能の付与には、T/#6750-S「パーモサルシート」もしくは、T/#6760「パーモフレックス」が用いられる。これは無機材料を成形した柔軟かつ曲面への追従性が高いシート状の材料で、必要なサイズに打ち抜き加工し、鋼板2枚の間にサンドイッチして用いる。特に後者のパーモフレックスは、加熱下で膨張するという特長を有し、2枚の金属板間の空隙を充填したい場合などに有効である。

図7にモデル騒音試験方法のセットアップ状態、図8にパーモサルシートの騒音低減効果例を示す。

5.3 フローティング材

ボルト部から固体伝播する振動からのフローティングには、金属のバネ性を活用したT/#6632「ソ

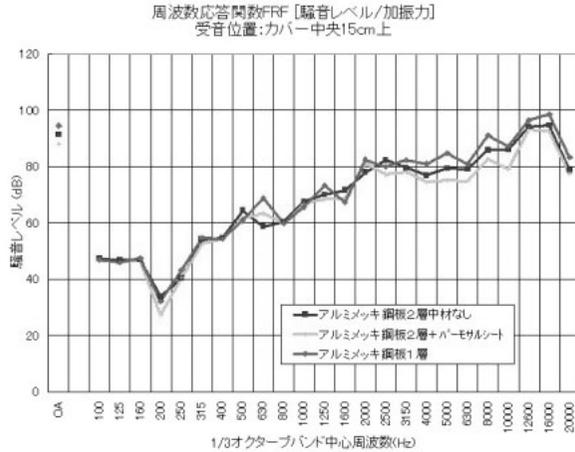


図8 パーモサルシートの騒音低減効果

フトマウント」が用いられる（ニチアス技術時報2003年5号参照）。ソフトマウントは、メリヤス編みした筒状のステンレス線材を圧縮成型した防振ワッシャーと鋼製の定寸カラー（マウント）で構成されており、ボルト孔両面から対向させてセットし、プレス力等で互いを嵌合し用いる。ボルト締め付け荷重を定寸のカラーで受けつつ、防振ワッシャーを適度に圧縮した状態で保持することで、高いフローティング効果を発揮する。製品の一例を写真1に、その断面構造を図9に示す。また、騒音評価例を図10に示す。特に高周波側で高い騒音低減効果が得られることが分かる。ソフトマウントは、「一般仕様」だけでなく、カバー本体とマウント接触による振動伝達も考慮した「軸非接触仕様」もラインアップしているので、要求レベルに応じた使い分けが可能である。

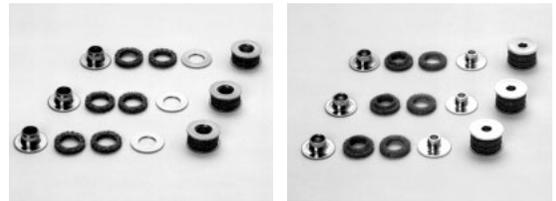


写真1 ソフトマウント

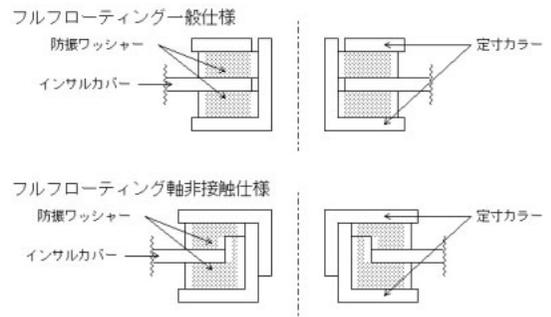


図9 ソフトマウントの断面構造

また、断熱性や振動伝達防止のため、エキゾーストマニホールドを始めとする排気管とカバー間の適度な間隙を保ちたい場合などには、T/#6634「ソフトメッシュ」をカバー内面に装着して用いると効果的である。ソフトメッシュはソフトマウントと同様、ステンレス線材をメリヤス編みし、圧縮成型したものだが、棒状からリング状、異形状等、多様な形状への成型が可能であり、リベット等により固定して用いる。要求の耐熱度、反発力に合わせた材質、密度設計が可能である。

5.4 断熱吸音材

多孔質材として、無機系繊維のブランケットなどがあり、適当な形状に打ち抜き加工し、インサルカバーの内面に接着または、金属ピンで固定して用いられる。ガラス繊維、ロックウール（製品名：MGブランケット）、セラミック繊維（製品

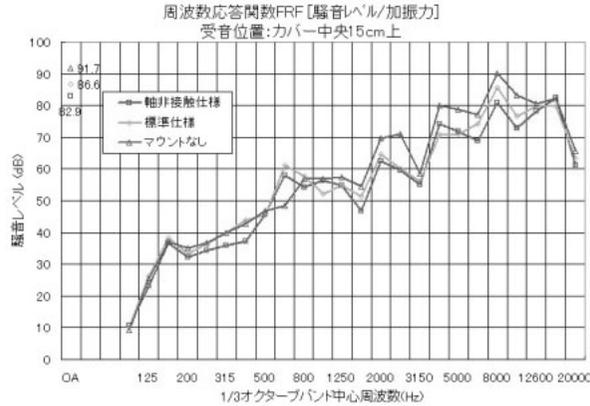


図10 ソフトマウントの騒音低減効果

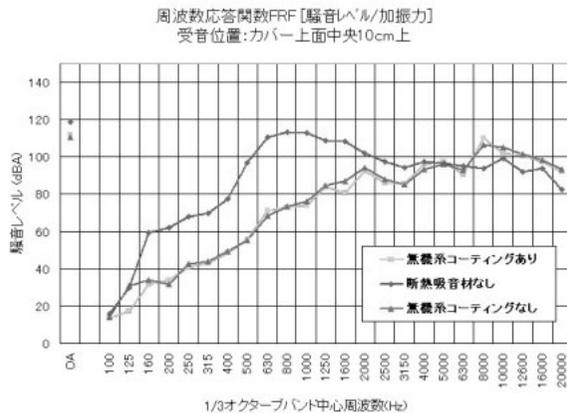


図11 コートフレックスの騒音低減効果

名：ファインフレックス®E) 等のブランケット状のものから、飛散防止対策を施した耐熱クロス縫製加工品（インシュレーションマット）、無機コーティング仕様（製品名：コートフレックス）等まで、要求耐熱温度、用途に合わせ、多様な材質からの選定が可能である。無機系コーティング仕様のコートフレックスの騒音低減効果を図11に示す。極薄のコーティング層が繊維の飛散を防止しつつ、大きな騒音低減効果を発揮する。

6. まとめと今後の課題

インサルカバーの設計は、3次元CADシステムでの形状データ作成、FEM解析による振動特性の把握と、3次元設計へのフィードバック（場合によっては実験モーダル解析による検証）を経て、

騒音低減効果は無響室における騒音試験、耐久性は大型加振機を用いた共振点耐久試験を実施し、設計の妥当性を検証してゆく。

エンジンの開発期間の短縮や低コスト化要求の中で、試作不要化に繋げてゆくことが肝要であり、技術の高度化と多様な要求へのソリューション提供できる製品開発が今後の大きな課題である。

7. おわりに

以上、当社におけるインサルカバーの防音設計手法について紹介した。インサルカバーは、既に数多くの実績を有し好評を博しているが、今後のエンジンの高性能化、低コスト化の要求がますます進む中、数々の課題解決に微力ながら貢献していきたいと考えている。今後もユーザー各位のご

意見、ご要望をお聞かせ願えれば幸いです。

本製品に関するお問い合わせは、自動車部品事業本部技術開発部製品開発チーム（TEL：045-508-4201）までお願いしたい。

参考文献

- 1) フジテクノシステム：『防振制御ハンドブック』（1992）
- 2) 技術情報協会：『新しい防振・防音・制振材料の開発』（1990）
- 3) 自動車技術会：『自動車技術／2003 Vol.57 No.8 年鑑』
- 4) 自動車技術会：『自動車技術ハンドブック／基礎理論編』（1991）
- 5) 井上善雄：『振動の考え方と・とらえ方』（1998 オーム社）

筆者紹介



石和修一

自動車部品事業本部 技術開発部
製品開発チーム



菅井洋人

自動車部品事業本部 技術開発部
製品開発チーム