

脱炭素化による影響と静音化対策

その解決策のひとつとして、エンジン回転数を抑えて、低回転域でのトルクを重視する補助電動モーターを使うハイブリッド車（HV）やプラグインハイブリッド車（PHV）があり、バッテリーの低価格や重電容量の増加に伴い電気自動車（BEV）へのシフトが、脱炭素化（GHG 削減）の流れと相まって加速されていくと考えられている。2025 年の米国トランプ政権の発足によりその流れはやや停滞しているが、地球温暖化対策の意味で長期的にはその流れは変わり様がないと思われる。

EV（PHV, BEV）シフトによりエンジン音が低減化される一方、タイヤのロードノイズや風切り音が運転者や同乗者に気になるため、高性能の吸音材の適用が進んできた（図 1, 2）。車種によりノイズの発生位置や周波数、エネルギーが異なるため、CFD などを利用して静音化シミュレーションによる最適化（空力抵抗ダウンやフレーム剛性アップによる振動抑制など）が図られているが、最後は実車で騒音を測定し、発生個所を同定して対策部品として吸音材を貼り付けることも少なくない。

自動車吸音材で特に重視される周波数は、250～2000 Hz である。人の声の周波数は通常 85 Hz から 255 Hz の範囲であるが、それ以外の周波数の音をできるだけ吸音・抑制することが望ましい。人間が聞こえる音の周波数は、おおよそ 20 Hz から 20000 Hz（20 kHz）の範囲であるが、一般的な EV（電気自動車）のモーター音（100 Hz から 1 kHz）や e-Axle に関連する 5000 Hz 以上の周波数に対応した吸音も求められることが多い。

*e-Axle とは、電気自動車（BEV）などモーターを主動力とするクルマが「走る」ために必要な主要部品を 1 つにまとめ、パッケージ化したもので、主にギア、モーター、インバーターといった部品から構成される。

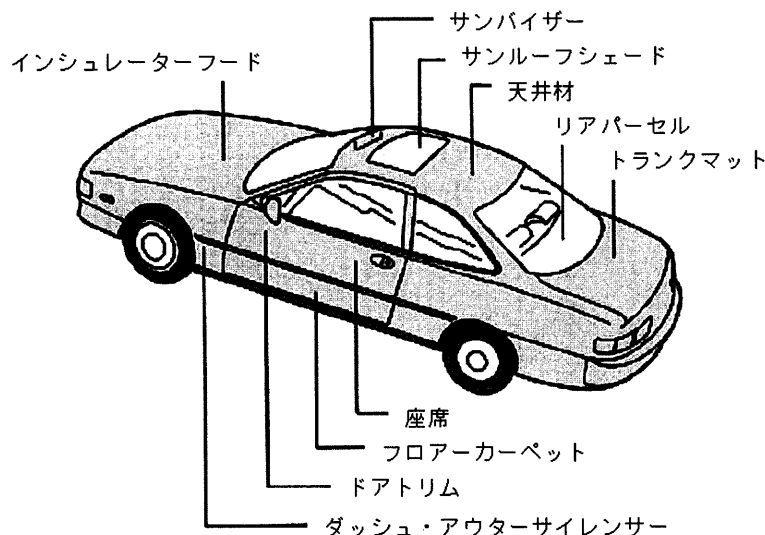


図1 自動車用吸音材の主な適用部位

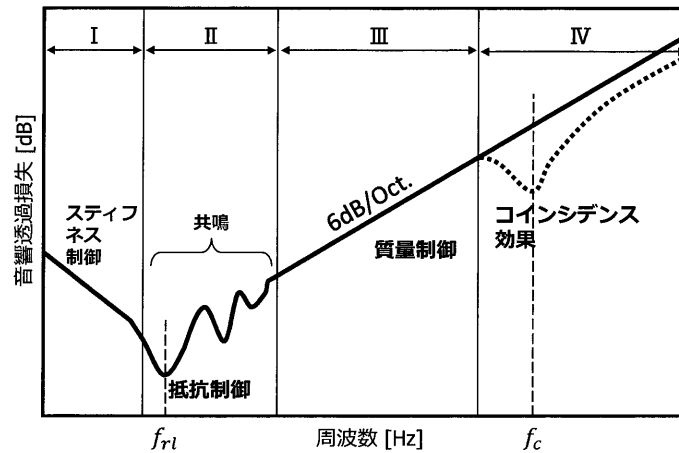


図6 有限寸法板の透過損失周波数特性

たがって、音響管で測定される遮音性能は、素材そのものの遮音性能と大きく異なる結果を示してしまうことが多いので注意が必要である。

2.3 吸音・遮音性能の予測技術

前述のように、材料の吸音・遮音性能を正確に測定するためには、測定する規格ごとに専用の測定室あるいは測定設備が必要であるのに加え、それぞれの測定において試験体の設置方法をはじめ測定条件を厳しく管理しなくてはならない。残響室法吸音率のように測定によってはかなり大きな試験体が必要なものもあり、開発初期段階の材料だと準備（作成）できないこともしばしばある。さらに、同じ材料を用いても厚さや背後空気層、（積層時の）積層順序などを得るためには、都度その条件での測定する必要がある。

このような手間を回避するために、実際に測定せずに材料の音響性能を評価する方法として、材料の密度や弾性、通気度合いなどの材料固有の物性を用いて吸音・遮音性能を予測する技術がいくつかある。これらの予測技術を有効に用いると、実際に測定するために必要な寸法が製造できない試験体だけでなく、これから開発するような実物が存在しない試験体の吸音・遮音性能も測定することなく評価できるため、新規開発の時などは不必要な試作を極力少なくして開発を進めることができるため非常に有効な手段である。予測技術には、おもに吸音材として良く用いられる通気性を持った多孔質材料に関するものと、非通気な材料に関するものの大きく2つの材料に関するものがある。多孔質材料、非通気材料の予測技術を組み合わせることで、任意の積層構造の材料の吸音性能および遮音性能を予測することができる。

以降では、多孔質材料の音響特性予測の基本的な考え方を示し、その後いくつかの予測技術（モデル）の概要と文献を紹介する。実際に適用する場合はそれらの文献を参照頂けると幸いである。

2.3.3 放射部での対策

路面から伝達された振動は最終的には車体のパネルから放射されてロードノイズとなる。したがってパネルの振動を抑制すればロードノイズを下げる事が出来る。その最も効果的な方法は制振材の貼り付けである。制振材は伸び縮みによる運動エネルギーを熱に変換して振動を抑制するものであるため、パネルの歪エネルギーの大きい箇所でないとう効果がでない。そのためパネルを曲面にしたり、ビードを設けたりして共振周波数を上げ（波長を短くする）、その後制振材を貼って効果的な制振を行う。実際の車では制振材と同時に吸音材、遮音材も積層してフロアに置く場合が多い（図7）。前述のように制振材の効果は歪エネルギーに依存するため車体のどの箇所に貼るかが重要となってくる。これは計算で予測することができるためモード歪エネルギー法（MSE 法）を使った最適配置が提案されている⁵⁾。

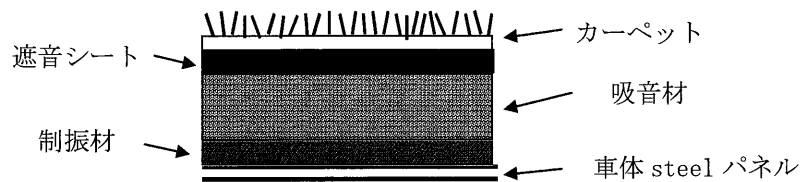


図7 フロアパネル積層制振防音構造

2.4 EV 特有の振動騒音

EV 特有の振動騒音についてはここでは概要を述べ詳細は他の節に譲る。EV 特有と言っても部分的にはガソリン車でも使われているものもあり、マスキングするものがなくなって目立ってくる。

2.4.1 モータ騒音

EV 特有の振動騒音として筆頭にあげられるのはモータの騒音であろう。その騒音源となる振動の発生原因にはロータの径方向の電磁力と周方向の電磁力がある。その他にモータに供給する電力を交流に変えるためのインバータのキャリア電磁力や回転体の偏心による振動などがある。

2.4.2 径方向電磁力

モータに回転力を与えるためには電磁石（スロット数）と永久磁石（極数）の吸引力と反発力が利用されるがその際にロータの径方向に電磁力が発生してしまう。その電磁力はケーシングに作用し振動させる。

この電磁力による騒音低減策としてはスロット数と極数を増やすのが一つの方法である。これらの数を増やすとケーシングの振動次数が上がり振動振幅を低減させる効果が期待できる。またケーシングの強度を上げるのも当然であるが一つの低減対策となる。

2.4.3 周方向電磁力

モータに回転力を与えるためにはロータの周方向に力を加えねばならない。しかし、電磁石と永久磁石の吸引力と反発力を繰り返すためトルク変動が生じてしまう。このトルク変動は多くの

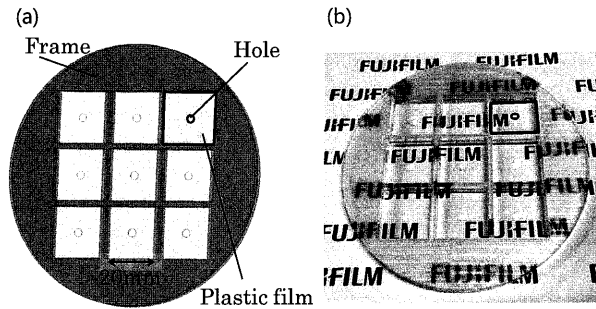


図2 試料の模式図(左)と実際に作製した試料写真(右)
各部材に透明材料を選択することで、全体を透明にすることができる。

作製した試料の例を図2に示した。作製プロセスはレーザーカッターのみで完了し、透明部材を選択すれば透明性を持つ遮音構造が実現できる。

4.4 結果と考察

4.4.1 HMAMsの透過損失と低周波遮音特性

先行技術である錘付き膜型音響メタマテリアルに対して、軽量化のために錘をなくした構造を空気や熱を通すための孔を有する構造を目標とした。音響振動連成シミュレーションにより様々な探索を行い、振動する膜に貫通孔をあけた音響メタマテリアル構造(Hole-Membrane type Acoustic Metamaterials, HMAMs)が、低周波音に対して大きな透過損失を示すことを発見し、実際にサンプルを作製した。

貫通孔の直径を1 mm, 2 mm, 3 mmにした試料3水準と、比較として貫通孔のない膜のみの試料を作製し、透過損失を測定した(図3)。比較品も含めた全試料で800 Hz近傍で透過損失が最小値を示し、膜振動の第1固有振動に対応して音が共鳴により効率的に透過する現象が生じ

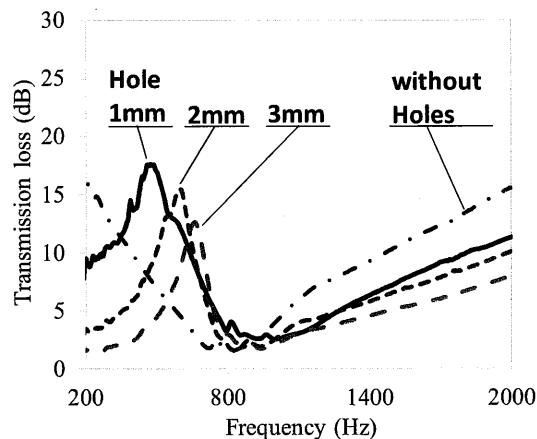


図3 貫通孔サイズの異なるHMAMs構造の透過損失計測値