

〈技術レポート〉

複合型高性能防振ガスケット

T/#1608-V-PS 「メタフォーム防振ガスケットの特性」

自動車部品事業部 MD部 上田雄規  
瀬嵐俊一  
石和修一

自動車の車外騒音規制の強化と共に、車の低騒音化に効果的な防音材が要望されている。新たに開発した「メタフォーム防振ガスケット」は、エンジン振動を絶縁し、低騒音化に有効であるばかりでなく、長期に渡る耐久信頼性にも優れた防振ガスケットである。本報では、騒音の元になる振動の絶縁手法、メカニズムについて概説すると共に、本開発品の優れた特長について述べる。

1. はじめに

自動車の普及が進んだ今日、一般ユーザーが自動車に要求する内容も多様化を極め、燃費・性能等の実用性の他、快適性・静粛性・居住性等様々なものとなってきている。特に静粛性については、車外騒音規制等の法規制化もあり、今やエンジン開発時の重要なテーマとなってきている。

車の騒音は、エンジンの運転によって発生する振動が、各部カバー・フランジ等に伝達され放射音となり発生する。またこの振動は、場合によっては共振を引き起こし、各 부품の信頼性（寿命等）にも影響を及ぼすこともあり、この意味においても根本的な対策が必要と考えられる。

振動伝達を防止する方策として、フローティング構造（振動源と音響放射面とを粘弾性体で浮かせた構造）を用いた対策手法が一般的によく見受けられる。

しかし、エンジンの高性能化が進むにつれ、これらの振動絶縁材料が使用される環境もより過酷なものとなり、「振動絶縁性」の他に「耐久性」をも兼ね備えた素材でなければその特性を維持することができず、仕様選定の大きなポイントとなっている。

「メタフォーム防振ガスケット」は、これまで

にガスケットとして数多くの実績を有する「メタコート」及び「メタフォーム」を複合させることで、各長所を効果的に活用し、今まで困難とされてきた騒音低減効果とシール性の両立を可能にしたガスケットで、既に量産部品として採用されている。

以下に「メタフォーム防振ガスケット」の特長と防振メカニズムについて説明する。

2. 低騒音化と振動対策の手法

騒音対策は、各々の機能から図1に示す様に分

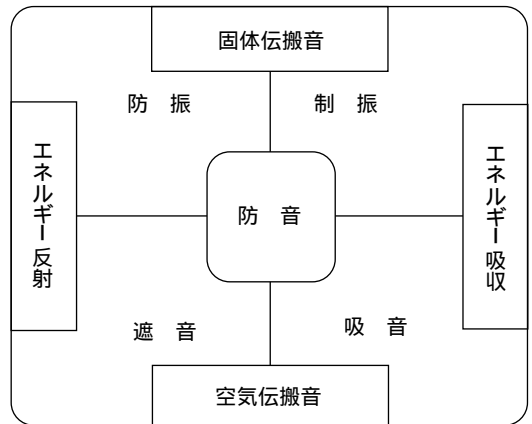


図1 低騒音化の機能

類され、状況に応じ様々な対策方法が採られている。

振動対策は騒音対策と比較し、五感では分かり難いことが多く、対策を施すにあたっては、振動の状態（特性・経路・寄与等）を十分に把握し、最も適した対策を講じる必要性があり、対策の手法を間違えると思つた程の効果が望めない場合が多い。

しかしながら、振動の根源を対策することにより、低騒音化に大きな効果が生まれる他、設計変更等の事後対策の手間も省くことができる。

また、今日では解析機器が飛躍的に進歩したこと、及び数々の解析手法が研究されてきたことにより、振動の解析が容易となり、その対策もたてやすくなってきている。

特に防振材を適用したフローティング構造は防振対策として多用され、自動車部品でも数多くの適用事例がある。

フローティング構造における振動伝達特性は、一自由度系の振動モデルを想定して示すことができる。

その系の持つバネ特性 $K$ 、質量 $M$ と損失係数 $\eta$ から固有振動数 $f_r$ が決まり(1)式で示される。また、振動伝達率 $T$ は(2)式で示される。

$$\text{固有振動数 } f_r = 1/2\pi\sqrt{(K/M)(1-(\eta/2)^2)} \quad \dots\dots(1)$$

$$\text{振動伝達率 } T = \log(1/(1-(f/f_r)^2)) \quad \dots(2)$$

その系に入力された振動 $f$ が、固有振動数と一致すると、共振状態となり、また $\sqrt{2}f_r$ では、振動伝達率が0 dBとなり入力振動と同変位で振動することになり、それ以上の振動数では、振動が伝達されない状態となる。

つまりフローティングは、振動伝達率が0 dB以下となる周波数領域で可能となり、優れたフローティング材とはこの領域を広げるもの、即ち固有振動数がより低周波数にある材料のことをいう(図2参照)。

そのためには、質量を増加させるか、バネ定数を低下させる方法が考えられるが、自動車用途においては、前者は軽量化に逆行しているため、後

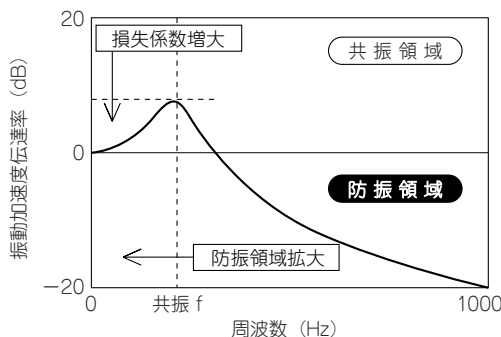


図2 振動伝達特性の意味

者のバネ定数を低下させる方法が最も有効と考えられる。

### 3. 防振ガスケットに求められる機能

大きく分けて防振ガスケットには、下記の機能特性が求められる。

#### ①ガスケット材としての機能

フランジの接合面・管フランジやその他固体接合面の間に挟み込み、ボルト等で締付けてその中を通る流体の漏れを防ぐシール材としての機能が求められる。

#### ②防振材としての機能

実際に組付けられた状態で問題となる振動を絶縁する機能のことで、前項でも述べた通り、一般的にはバネ定数の低い(柔らかい)材料が効果的である。

自動車部品では、防振材としてゴム単体もしくはゴムと金属の複合材を使用し、フローティング構造にした仕様が用いられている。

### 4. メタフォーム防振ガスケットの構造と特徴

「メタフォーム防振ガスケット」は、へたりに強いゴムと金属の複合体「メタコート」とフローティング効果の大きい「メタフォーム」の長所を効果的に活用し、“防振性”と“シール性”及び“耐久性”を両立させた新しいタイプของガスケットである。

#### 4.1 構造

基本構造は、フランジ形状にガスケット形状を合わせて加工し、シールが必要な部分にビードを

付与した副板（ステンレス鋼板）を設け、その両面にメタフォームを、また、ボルト部にはへたりに強いメタコートを配置させ、これらを機械的にかしめて、一体化した構造となっている。

既に量産化されているメタフォーム防振ガスケットの一例を写真1に示す。

また、標準材料仕様とその断面構造を表1・図3に示す。

#### 4.2 構造上の特徴

メタフォーム防振ガスケットの防振性向上を図るための構造的な工夫を以下に示す。



写真1 メタフォーム防振ガスケット

[定寸部] ボルト部      [フローティング部] シール部

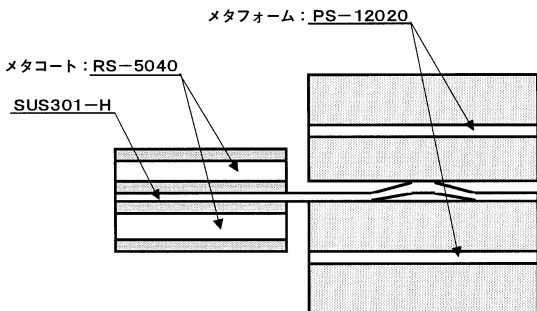


図3 メタフォーム防振ガスケットの断面構造

表1 メタフォーム防振ガスケットの構造

部 位	フローティング部	定 寸 部	副 板	
材 料	メタフォーム	メタコート	ステンレス鋼板	
グレード名	PS-12020	RS-5040	SUS301H	
製品厚さ	1.20t	0.50	0.20t	
構 造	ゴ ム	NBR系発泡ゴム（1.0t両面）	NBR系ゴム（0.1t両面）	-----
	金 属 板	SPCC（0.2t）	SPCC（0.4t）	-----
ビード形状	-----	-----	3.0W × 0.3H	

#### ①発泡ゴムの低バネ定数を活用

一般的に有効なフローティング材は、バネ定数が低いもので、メタフォームの発泡ゴムは十分にその条件を満たす材料と言える。

一自由度系をモデル化した図4の測定装置を用い、メタフォームのフローティング効果を確認した。

ベースプレートと上治具の間に供試体を挟み込んだ状態で、加振器によりベースプレートを振動させる。ベースプレートと上治具に取り付けた加

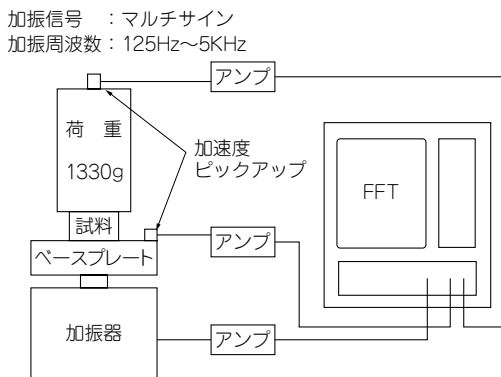


図4 振動加速度伝達率測定装置

速度ピックアップで入力及び出力の振動レベルを測定し、その比を振動加速度伝達率とした。

また、振動加速度伝達率が、最大となる周波数（共振周波数）をその系の固有振動数とした。

測定結果を図5に示す。メタフォームより厚みのある一般のゴムシート材（2mm）と比較してもメタフォームの固有振動数は、低周波数に位置している他、振動の減衰性を示す損失係数についても一般ゴムシート材より大きく（振動加速度伝達

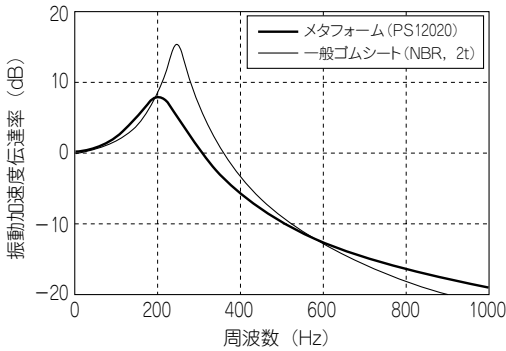


図5 メタフォームのフローティング効果

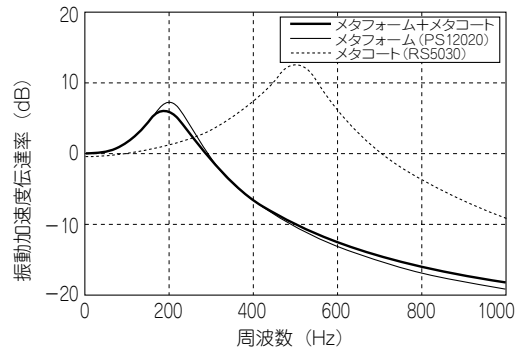


図6 メタフォーム防振ガスケットのフローティング効果

率の最大値が低い方が損失係数は大きい), フローティング材として優れた素材であることが解る。

②メタコートによる金属接触回避

振動は金属部を伝搬するため, 金属同士の接触部分が一箇所でもあるとフローティング効果は大幅に減退してしまう。

メタフォーム防振ガスケットでは, 金属接触が生じ易いボルト部分にはゴムと金属の複合体である「メタコート」を配置することで振動の伝搬を防止できる構造とした。

メタコートは, 比較的バネ定数が高く固有振動数はメタフォームよりも, 若干高周波数に位置しているものの, メタフォームと複合して用いた場合, 図6に示す通り, 優れたフローティング効果を示す。

③剛性確保によるフランジ低次変形防止

一般的にフローティング材として用いられているゴム成型品等は, 締付けた状態でも剛性が低いため, 低次の共振が生じ易く, これが高次の共振を誘発して騒音になる場合がある。

本製品はフランジ締付け剛性の大きいメタコートを複合しているため, 低次振動に対しても有効に働く。

5. メタフォーム防振ガスケットの特長

メタフォーム防振ガスケットの特長を以下に示す。

5.1 優れた騒音低減効果

図7に示すモデル治具を用い, 1mmの鉄板の両面に片面約4mmのゴムを焼き付けたゴム成型ガスケットとメタフォーム防振ガスケットの騒音

フランジ : アルミニウム (20t)  
 締付トルク : メタフォーム防振ガスケット : 24.5N・m  
                   ゴム成型品 : 18.6N・m  
 加振信号 : マルチサイン  
 加振周波数 : 125Hz~10kHz  
 ウェイト : A特性

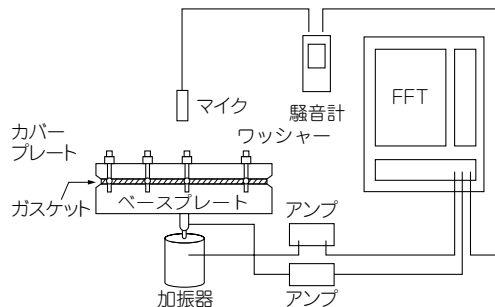


図7 騒音測定装置の概要

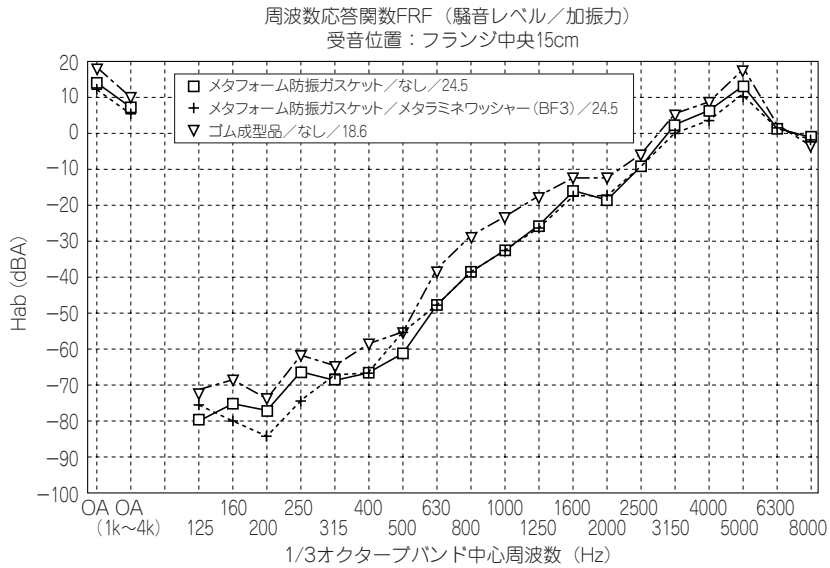


図8 メタフォーム防振ガスケットの騒音試験結果

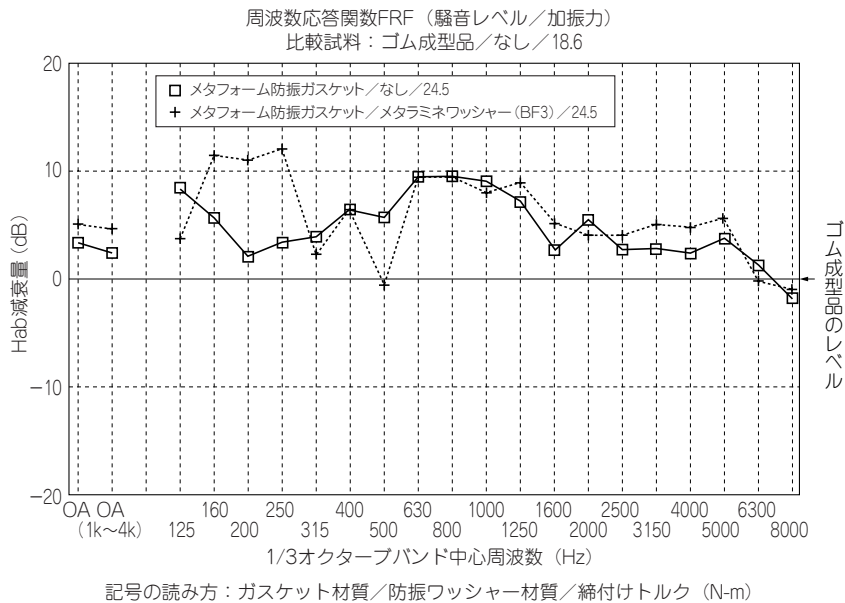


図9 メタフォーム防振ガスケットの騒音低減効果(ゴム成型ガスケットとの比較)

レベルを測定した。

結果を図8、図9に示す。

本モデル試験では、加振器により加振し、騒音を発生させたため騒音レベルと加振力の比を取りこれを指標として評価した。

一般的に締付けトルクを増加させると、防振材として用いている粘弾性体が圧縮され、バネ定数が高まって、防振効果は低下する。

しかし、メタフォーム防振ガスケットは、締付けトルクをゴム成型ガスケットより増加させてい

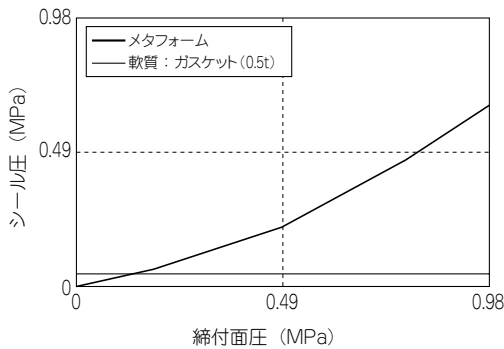


図10 メタフォームのシール特性

表2 メタフォーム防振ガスケットの冷熱シール試験結果

試験条件			試験結果	
冷熱条件	オイル圧力	初期トルク	シール性	残留トルク
-30 × 30min ~ 150 × 30min 200サイクル	低温側： 0 ~ 0.49MPa 高温側： 1.47 ~ 1.72MPa	18.6N・m	洩れなし	23.2N・m

るにも係わらず、ほぼ全ての周波数帯域でゴム成型品より2~10dBの騒音低減効果を示した。

また、OA（オーバーオール）値の比較においても3.4dB高い騒音低減効果を示した。

## 5.2 優れたシール性

メタフォーム防振ガスケットは、発泡ゴムによる面シールとビードによる線シールを併用しているため、高いシール性を発揮する。

### ①発泡ゴムによる面シール

メタフォームの両面に柔らかく馴染み性の高い発泡ゴムが用いられているため、低面圧でも大きな圧縮量を確保でき、図10に示すように高いシール性を発揮する。

また、このシール性は、フランジの鑄巣・傷等に対しても有効である。

冷熱シール試験結果を表2に示す。

この結果から200サイクルの冷熱試験後においても優れたシール性が確認できた。なお、既に採用して頂いているユーザー各位の実車・エンジン台上耐久評価においてもトルクダウン・洩れ等の不具合は全くなく、優れたシール性が実証されている。

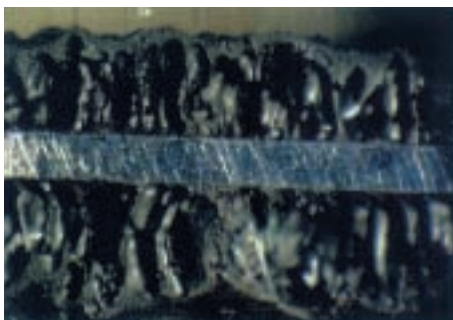
### ②ビードによる線シール効果

発泡ゴムの面シール機能のみでも高いシール性を発揮するが、フランジの熱変形・振動・ズレ・低剛性による歪み等の実使用上の問題点を考慮して、中間材のステンレス板のシール部分にビードを付与し、メタフォームの復元量を増大させて、長期に渡り高いシール性を確保するように設計されている。

締付け時には、発泡ゴムとビードが圧縮され、最終的に締付けが終了した状態では、写真2に示す全圧縮状態（厚さ変化のない領域まで圧縮した状態）となり、面圧が確保される。

写真3に感圧紙による面圧分布測定結果を示す。

締付け前



締付け後

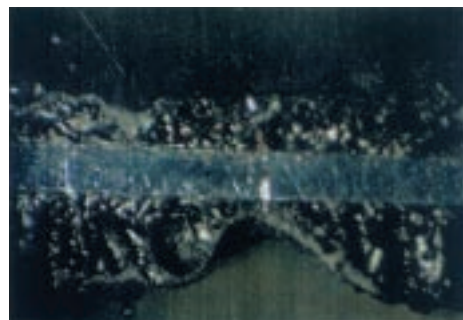


写真2 メタフォーム防振ガスケットの締付け時断面状態



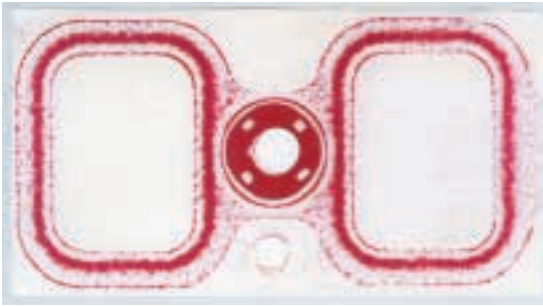


写真3 メタフォーム防振ガasketの面圧分布(感圧紙)

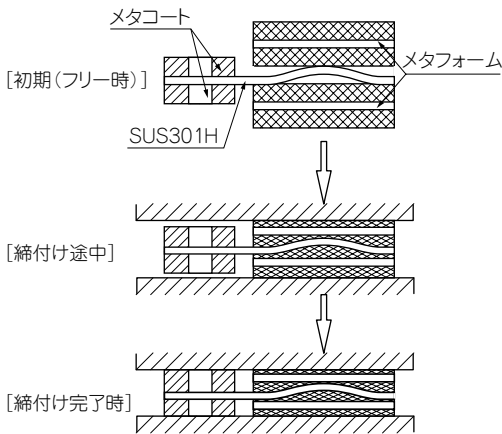


図11 メタフォーム防振ガasketの締付け時の挙動

「メタフォーム防振ガasket」のシールメカニズムは、次のように考えられる。

a) 締め付け時の挙動 (図11参照)

- ①初期締め付け時は、まず外側に配置されているメタフォーム全体が圧縮される。
- ②次に中間層のステンレス板のビードも僅かに圧縮されるものの、ビード剛性が発泡ゴムより圧倒的に高い為、発泡ゴムを完全に圧縮させるまで、ビードの圧縮量は小さい。
- ③更に締め付けが進むとビード面の発泡ゴムが完全圧縮状態となり、初めてビードの圧縮が開始される。
- ④最終的には、ボルト近傍に配置しているメタコートの厚さまでステンレス板のビードが圧縮され、締め付けが完了する。

また、ビードはバネ弾性の大きいステンレス材 (SUS301-H) を使用しているため、十分な線圧を確保することができる。

b) 使用中の状態

- ①仮にフォーム層がへたっても、ビードの復元により十分にフランジの動きに追従する。
- ②また、軸力を直接受けるボルト部分には、応力緩和の小さいメタコートを使用しているため、

表3 設計上の留意点

項目		留意点
フランジ条件	フランジ特性	ボルト座確保 ボルtp部分のメタコートワッシャーのアッセンブリーに機械的なカシメ方法を採用している為、4.5mm幅の素材寸法が必要である。 (メタコートワッシャー寸法： 9 x 18)
		吸気ポート位置 ボルト座の確保及びビードの設定が必要である為、ボルト孔外周部から吸気ポートまで最低11mm以上の寸法が必要である。 (メタコートワッシャー+ビード寸法含む)
	締付けトルク ボルト部分のメタコートワッシャーのアッセンブリーに機械的なカシメ方法を採用している為、使用条件によっては爪の破損が考えられます。よって締付けトルク： 22.5N・m以下での設計が必要である。	
ガasket条件	メタフォーム・メタコートの厚さの関係 上記フランジ条件が満足できた場合、標準タイプのメタフォーム防振ガasketのご使用が可能です。但し、標準仕様は防振性とシール性のバランスを考え、発泡ゴムの圧縮量を調節している為、フローティング(メタフォーム)及び定寸部(メタコート)の基材変更及びビード形状を変更する場合には設計のチューニング(静的試験等)が必要である。設計変更をお考えの際には、別途ご相談頂きたい。	
	ステンレス副板のビード剛性(厚さ・ビード幅・高さ)	
	各素材の圧縮量	

トルクダウンは最小限に抑制される。

### 5.3 トルク管理が容易

へたりが少ない「メタコート」をボルト部に配置し、これがボルト軸力を直に受けることでゴム成型品等に見受けられるゴムのねじれ・フローがなく、安定した締付けが可能で、組付け工場でのトルク管理が容易である。

### 5.4 耐油・耐溶剤性

耐油・耐溶剤性に優れるNBR系ゴムを使用した「メタコート」「メタフォーム」を構成材料に用いているため、多様な環境下での使用が可能である。

## 6. 設計上の留意点

「メタフォーム防振ガスケット」を設計する際の留意点を表3に示す。

## 7. 適用事例

「メタフォーム防振ガスケット」は、トヨタ自動車株式会社殿ランドクルーザー100（エンジン名：1HD-FTE）のインテークマニホールドガスケットを始めとして、多くのメーカーの車種で採用されている。

低騒音化に効果的といわれている多様なフローティング構造への適用が可能であり、特にゴム成型品の耐久性に不安がある箇所に応用される。

表4に適用可能部位の一例を示す。

## 8. おわりに

以上、「メタフォーム防振ガスケット」について紹介をしたが、シール機能に防振機能を付与し

た本ガスケットは、騒音に対する規制の動きが活発化する中で、ユーザー各位を悩ます低騒音化課題に微力ながら貢献できる製品と考えている。

しかしながら、ボルト部にメタコートを配置するため、設計上の制約もあり、今後防振性向上を含め更なる改良・工夫が必要と考えている。

また、「メタフォーム防振ガスケット」を発売して以来、各種PR活動を通じユーザー各位より多大な反響を頂き、騒音に対する関心の高さを改めて実感した次第である。

今後もユーザー各位のご意見ご希望を取り入れ、防振のみならず他の機能も兼ね備えた多機能シール材の開発に注力する所存である。

なお、本報に関するお問い合わせは、自動車部品事業部MD部（TEL：03-3433-7240）までお願いしたい。

### 筆者紹介



#### 上田 雄規

自動車部品事業部 MD部  
豊田技術開発チーム  
チームリーダー



#### 瀬嵐 俊一

自動車部品事業部 MD部  
豊田技術開発チーム  
係長



#### 石和 修一

自動車部品事業部 MD部  
新機能材技術開発チーム  
主任

表4 適用可能部位

吸気系	インテークマニホールド、スロットルボディ
潤滑系	オイルパン、ヘッドカバー、噴射ポンプ周辺
ボディ・足周り	リアリテーナー