

〈技術レポート〉

## ブレーキ鳴き騒音と高性能化する鳴き防止材

—新開発「メタプラス積層シム」の優れた特長—

自動車部品事業部 MD部 新機能材技術開発チーム 丹羽 隆 弘  
吉原 正 貴

### 1. はじめに

自動車の快適性や静粛性に対するユーザーのニーズが高まる中で、ブレーキ制動時に生じる耳障りな「キー」または「チー」といった”ブレーキ鳴き音”は、安全性こそ損なうことはないが、その低減が重要な課題となっている。

鳴きが問題となる背景には、

- ①カーライフの快適性を損なう。
- ②ドライバーに対して、故障の前兆などの誤認識を与える。
- ③大きな鳴き音は、歩行者、周囲の走行車にも耳障りな音として聞こえ、騒音となる。
- ④自動車メーカーにとって、市場対応（ブレーキ部品の交換など）の経費負担が大きい、などがある。

鳴きの対策手法としては、古くから理論的、実験的にさまざまなことが行われてきたが、偶発的、過渡的な現象であること、刻一刻と変化する摩擦材とブレーキ構造からくる振動が組み合わさった複雑な問題であることなどから、現在においても決定的な解決法は見つっていない。

しかしながら、図1に示すディスクブレーキにおいて、ブレーキパッドのバックプレートへ装着することで、鳴きを低減できる「シム」は、素材やその構成により、鳴き防止に極めて高い効果を発揮してきたことから、有効な対策手法として注目されてきた。

本報では、ディスクブレーキ鳴き防止用シムとして開発してきた「メタプラス」と、さらにその

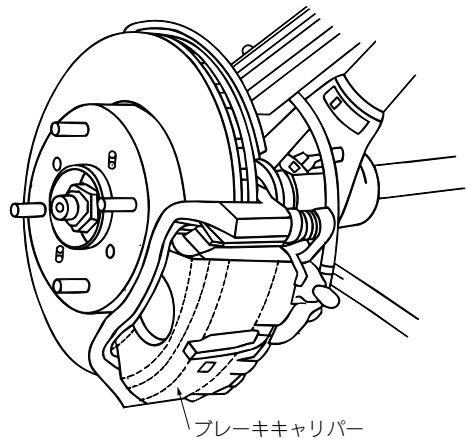


図1 ディスクブレーキシステム

効果を高めた「メタプラス積層シム」（トヨタ自動車株式会社殿との共同開発品）について、鳴きの現象を概観しながら、これまでのシムと比較し、その特長とメカニズム、機能、効果について報告する。

### 2. ディスクブレーキの「鳴き」

#### 2.1 ブレーキ振動・騒音の種類

今日、ディスクブレーキが多くの自動車に使用され、そこに発生する振動・騒音は表1に示されるように、低周波から可聴限界の高周波域まで広範囲にわたっている。

周波数域によって振動形態は大きく異なり、高周波域ではその振動が元で発生する「鳴き騒音」が問題となる。

最も耳障りとなる1KHz以上の高周波騒音を、

表1 ブレーキ振動・騒音の種類

種類	音色	周波数 (Hz)	特徴
制動	スキール キー	1000 ~ 4000	パッド、ロータ又はシュー、バックプレート、ドラムの低次モードでの共振
	チー チー	4000 ~ 15000	パッド、ロータ又はシュー、バックプレート、ドラムの高次モードでの共振
動	グローン グー	200 ~ 800	キャリバのシェーク、ディスクロータの熱膨れが原因している(ハム音)
	グッ	100 ~ 400	ロータとパッドのスティックスリップが加振源となった車体振動、停止寸前またはオートマチック車の発進時にでる(クリープグローン)
時	ジャダ 低速時の振動	25 ~ 100	サスペンション及び駆動系のねじり、上下や前後共振
	高速時の振動	15 ~ 60	ディスクプレートの厚さ不均一などによる液圧変動がサスペンションを加振
非制動時	スケルチ キュル キュル	200 ~ 500	周波数が瞬時に変化した場合、特に摩耗粉がたまることでやすい
	スキーク タイ音の断続	8000 ~ 10000	ディスクロータとパッドが接触して(引きずり)発生する音
非制動時	ラトル ガタガタ	断続音	パッドがトルク受け部に接触するときの音、Vスプリング力低下時に発生

一般に「鳴き」または「スキールノイズ」と呼び、1~4kHz前後を低周波鳴き、それ以上を高周波鳴きと区別され、異なる対策を必要としている。また、「鳴き」は周波数による分類の他に、ローターの振動形態に基づいた、「面内振動の鳴き」、「面直振動の鳴き」といった見方もされており、各々異なった対策手段が必要なことが、解明されている。

## 2.2 鳴き発生のメカニズム

ディスクブレーキは図2に示されるように、ブレーキペダルを踏むことにより、キャリバ内のピストンがブレーキ液の圧力により、ディスクを左右から挟むようにパッドが動き、その摩擦力により、制動作用をする。

ブレーキの振動、騒音現象は、ディスクロータと摩擦材との接触による摩擦振動が加振源となり、ブレーキ構成部品や車体と共振し、連成振動系を形成することで、鳴き音となる現象である。

(図3)

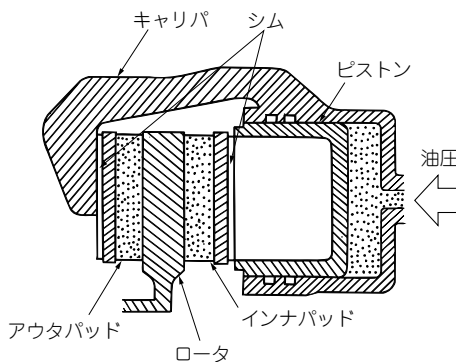


図2 ディスクブレーキの構造

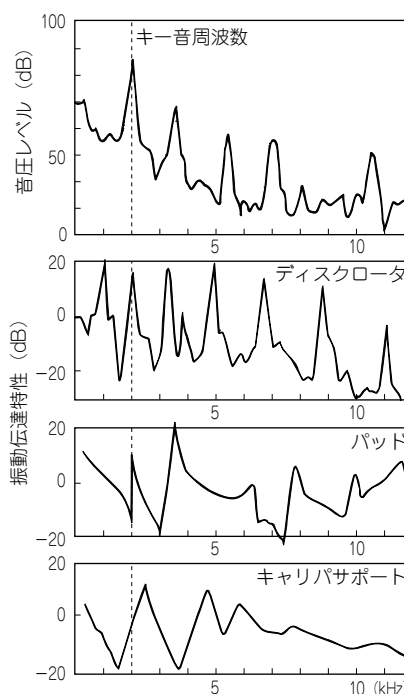


図3 ブレーキ鳴きと部品単体の振動特性

パッドは「摩擦方向(ローター回転方向)」及び「軸方向」に動くが、「摩擦方向」は動摩擦係数が静摩擦係数より小さいことによって起きるスティックスリップ現象(図4)による自励振動を、「軸方向」はディスクを微小に打撃することで振動を誘発する。

それらの振動は、パッド摩擦材表面の粗さによる吸着・分離・切削による影響や、摩耗粉・吸着

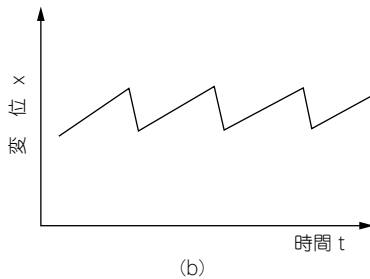
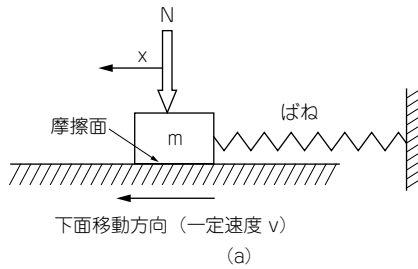


図4 スティックスリップ振動

水・錆などによる摩擦係数の変化（図5）、あるいは（摩擦係数が一定でも）構成部品の幾何学的構造の動的不安定さなど、互いに影響し合った複雑なメカニズムが元になった振動現象であり、未だ完全には解明されていない。

図6に様々な影響因子を示す。

### 2.3 鳴きの防止法

表2に一般的な鳴き対策方法を示す。

起振源であるパッドの摩擦材、ローターをはじめ、キャリパ、ブレーキシステムからのアプローチが多く試みられ、効果を上げている。

しかしながら表2の問題点に示した通り、制動設計上の制約も多く、対処しきれない面も併せて持っているのが現状である。

鳴き現象はブレーキシステムの連成振動に伴う共振に端を発していることもあり、ここに「振動

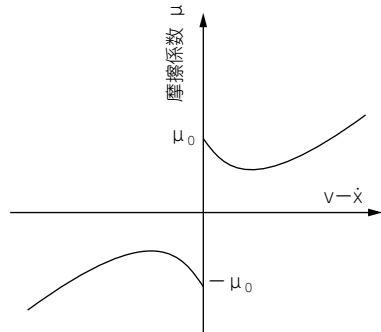


図5 摩擦係数特性

表2 一般的なブレーキ鳴き対策方法

対策項目	対策方法	対応	問題点
起振力の抑制	摩擦特性の調整 ・摩擦材物性、 $\mu$ 特性の適正化 ・摩擦材の熱的安定性向上	配合検討 熱放散設計	・制動性能とのバランス ・NA化対応との兼ね合い ・コスト増加
	面圧分布均一化 ・キャリパー等のブレーキシステム剛性up ・ブレーキシステム精密化（はめあい、クリアランス）	肉厚化等 精密加工	・重量増加 ・コスト増加
ブレーキシステム共振系の検討	・構成部品の共振周波数の重複回避（制動/解放時の振動特性の差異に注意） ・振動減衰絶縁系の付与	各構成部品の振動特性解析 制振処理 制振材付加	・制動性設計の自由度減 ・解析工数大 ・重量増加 ・最適制振材料の選定難 ・コスト増加

減衰系」もしくは「振動絶縁系」を介在させることで振動を抑制することは有効な手段といえる。ブレーキシステムにおける「振動減衰、絶縁系の付与」は、ローター・パッド・キャリパ等の振動伝達系が考えられるが、設計上の制約・安全性を考慮し、パッドのバックプレートに付与するのが妥当と言え、ここに鳴き防止シムを装着すること

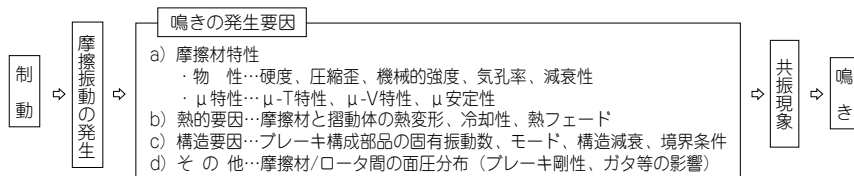


図6 鳴き発生の要因

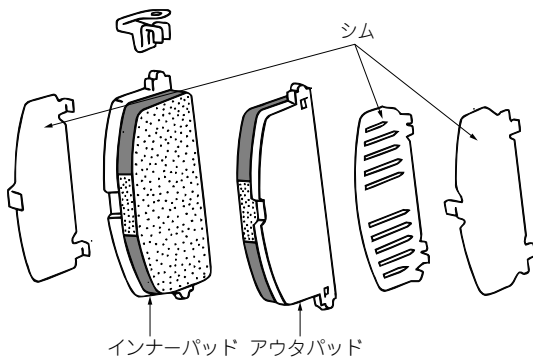


図7 鳴き防止シム

で、鳴きの低減、防止が可能となる。(図7)

### 3. ブレーキ鳴き防止用シム

#### 3.1 シムに求められる機能

ブレーキ鳴き防止シムには、制動という重要な機能の一部を担うだけに、鳴き防止性能以外にも多様な機能が要求される。

- ①瞬間的なブレーキ力，長期的，継続的な使用に対する「耐久性」（強度・トルク耐久性）
- ②フェード等の高温環境下での「耐熱性」（鳴き防止性・強度の耐劣化性）
- ③海浜地区，凍結防止材，雨水等の暴露環境に対する「耐環境性」（塩・水・ブレーキオイル等への耐性）
- ④適切なブレーキ応答性，フィーリング（制動までのペダル踏み込み量）
- ⑤ブレーキシステム（キャリパ，ロータ，ブレーキパッド等）との親和性，攻撃性（引きずりトルク，摩耗への影響等）

#### 3.2 鳴きの評価

鳴きは前述した通り，再現性が低く，偶発的，過渡的な面を持ち合わせており，またユーザーの使用環境も千差万別であることから，厳密な鳴き防止性能評価は難しい。

そこで市場における車両の鳴きをできるだけ正確に再現し，使用状態をシミュレートする試験方法が必要となる。ここでは実際のブレーキキャリパを搭載したノイズダイナモメータ（写真1）を使用し，実車での使用条件，鳴き発生状況に即したブレーキ液圧，温度，車速等を，それぞれいく



写真1 ノイズダイナモメータ

つもの水準に振り分けたマトリクスを組んだ試験パターンで，鳴き性能を評価する。

ニチアスの場合，制動回数は，1試験中およそ3000回行い，マイクで受音した鳴き音を周波数，音圧情報と共にカウントし，鳴き発生率，鳴き周波数及びその音圧により，評価している。

#### 3.3 各種ブレーキ鳴き防止シム材の鳴き防止メカニズムとポテンシャル

これまで，各種の鳴き防止シムが考案，実用化され，現在に至っている。

図8にシムのない状態を100とした場合の各種鳴き防止シムの鳴き発生率相対比較を示す。

##### 3.3.1 RCMシムとステンレスシム

RCMシム（Rubber Coated Metal）は，鋼板の両面にゴムをコーティングした材料（例えばメタコート）で，現在，日本国内では最も一般的なシムの一つである。

ゴムは粘弾性体であるため，入力された振動エネルギーを内部摩擦，またはゴムの変形により，熱エネルギーとして消費，減衰させる働きを持つ。ゴムの粘弾性に依存しているため，振動吸収し易さは環境温度に依存する。(図9-a)

RCMシム以前には，粘弾性を持たないステンレスシムでも相応の効果を発揮していたこと，RCMシムと滑り易いステンレスシムを組み合わせた2枚重ねシムでは，RCMシム一枚よりも，高い効果が現れたことから，シムの持つもう一つ

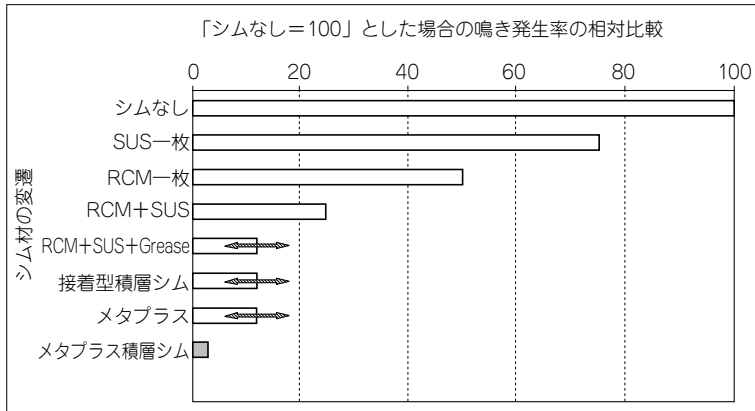


図8 ブレーキシム材の能力  
(トヨタ自動車データより抜粋)

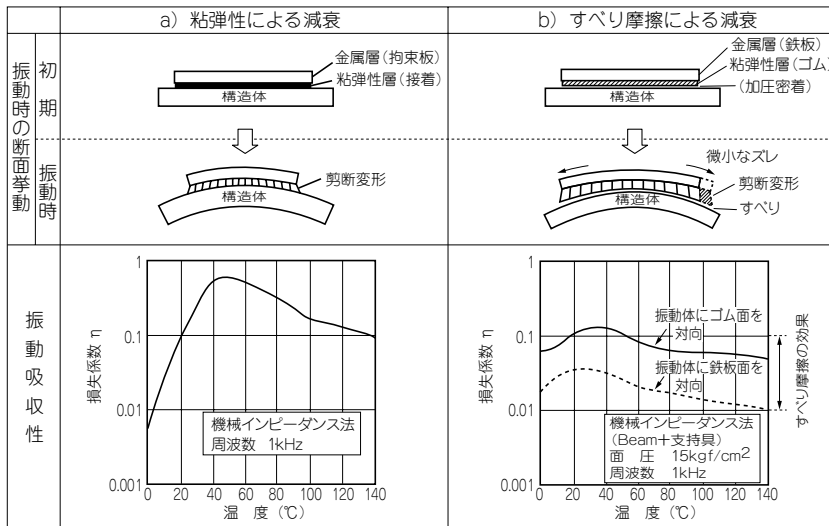


図9 RCMシムとステンレスシムの持つ2つの「減衰」効果

の振動減衰メカニズムとして「すべり摩擦効果」が考えられる。

接触界面のゴムまたはステンレス板が、微小に擦れ合い「すべり摩擦」を発生させ、振動エネルギーを熱エネルギーに変換するもので、温度依存性が少ないなどの特徴を持っている。(図9-b)

ここでは「振動減衰」の度合いを制振の代表的指数である損失係数  $\eta$  で表した。損失係数は、数値が高いほど減衰することを示している。

但し、図9-a-bに示した例では若干測定方法が

異なるため、振動吸収レベルの単純比較ができないことに注意されたい。

### 3.3.2 グリース

RCMシムとステンレスシムに、鳴き防止用グリースを挟み込んだ2枚重ねシムは、これまで日本の多くの自動車メーカーが採用してきた最も有効な手段の一つである。

グリースはその滑り易さによる起振回避または振動減衰が、鳴き防止のメカニズムとされているが、グリースの特性上、乾きやすいなど、課題も指



写真2 メタプラス（粘着シム）

摘されている。

### 3.3.3 メタプラス（粘着シム）

T/#1612メタプラスは、鋼板の片側にゴム、反対側に粘着剤をコーティングした材料であり、粘着剤によって直接パッドのバックプレートへ貼り付け、使用される。（写真2）

粘着剤は振動減衰性に優れた粘弾性体であり、パッドとシム基材の鋼板により挟まれ、サンドイッチ構造をとることで、拘束型制振鋼板の構造と同様の構造が得られ、振動を吸収する。

この粘着剤によって高い鳴き防止性を持つことが確認され、主に欧米で採用例が多く、最近では



写真3 メタプラス積層シム

韓国での採用も相次いでいる。

### 3.3.4 メタプラス積層シム

（トヨタ自動車(株)殿特許申請中）

こうした鳴き防止シムの歴史の中で、一躍脚光を浴びたのが「メタプラス積層シム」（写真3）である。

メタプラス積層シムは、ゴムと鋼板を積層、さらに粘着剤を介してステンレス鋼板と接着積層した、全く新しいタイプの積層シムである。

その鳴き防止メカニズムは、ブレーキパッドとステンレス鋼板のすべり摩擦効果、サンドイッチされた粘着剤の粘弾性制振効果、ゴムの振動絶縁効果、ゴムとキャリパーが直接、接することによる境界条件の変更効果等が複合され、鳴きの振動を

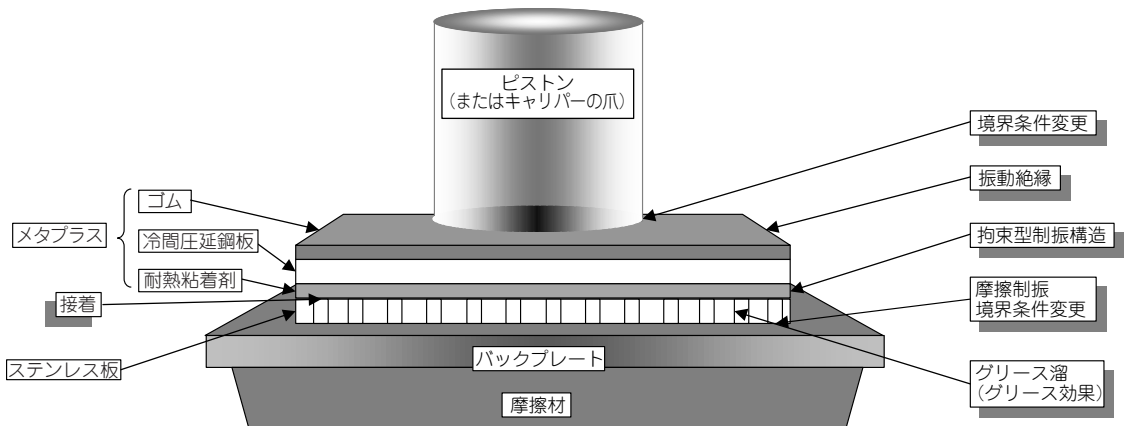


図10 メタプラス積層シムの持つ5つの「減衰」効果 (トヨタ自動車推定)

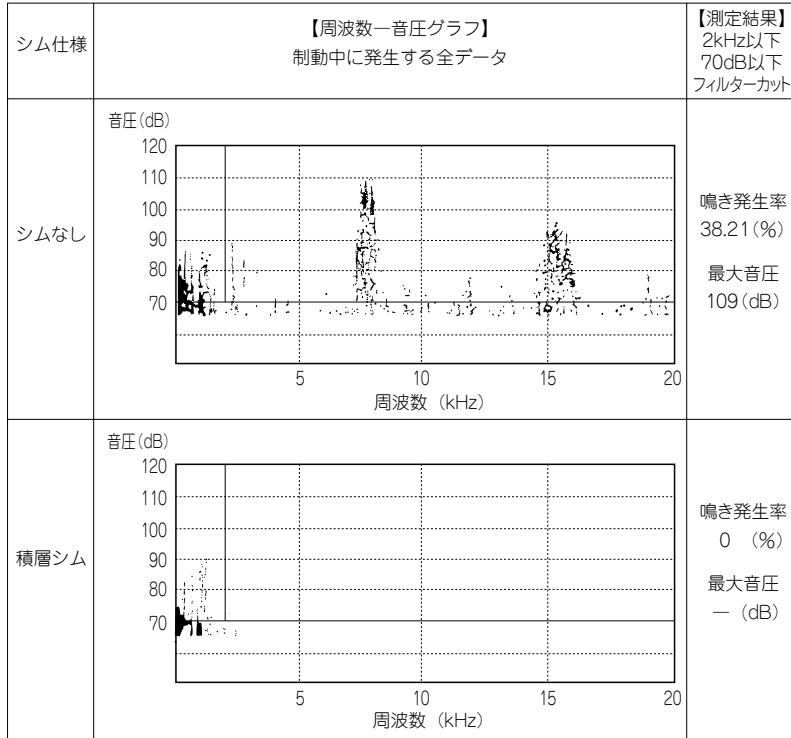


図11 メタプラス積層シムの鳴き防止効果測定結果例

抑制している。(図10)

これまででも多種多様な積層シムはあったが、いずれもサンドイッチ構造の粘弾性制振効果単一の機能を持ったものであり、複合されたものではなかった。

### 3.4 メタプラス積層シムの特長

メタプラス積層シムの特長を以下に示す。

#### ①高い鳴き防止性

主に高周波鳴き・面直振動の鳴きについて従来の2枚重ねシム(RCM+ステンレスシム)の1/2~1/10に低減可能。

シム無しの場合と比較した鳴き評価結果を図11に示す。

#### ②グリースとの併用も可能

グリースを併用することで、さらに鳴き防止性を向上できる。(グリース溜めの自由な設計が可能)

#### ③優れた耐熱耐久性

ブレーキ鳴き防止シム用に開発した耐熱粘着剤

が、初期のみならず、長期にわり耐久性(制振性・接着性の熱劣化特性)に優れた効果を発揮する。

図12に熱劣化させた試料の各温度での損失係

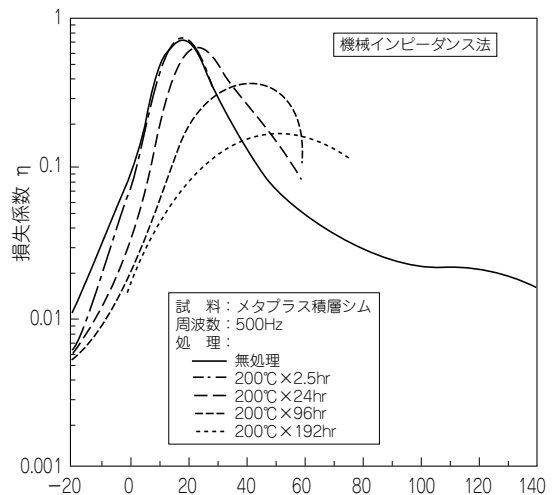


図12 温度-損失係数グラフ

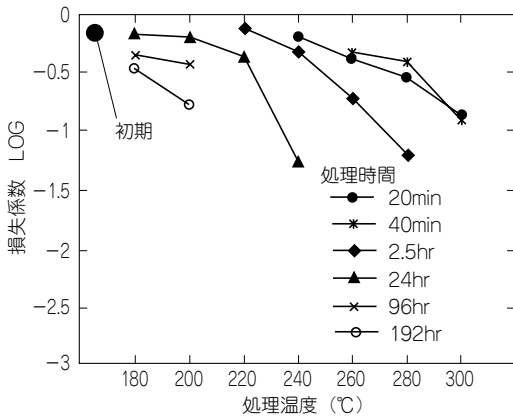


図13 損失係数（ピーク）値の熱劣化による変化

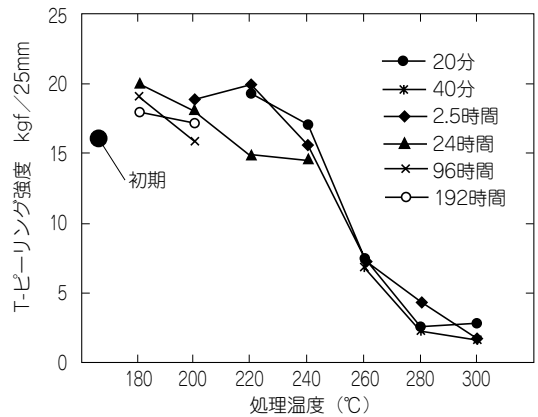


図14 層間接着強度の熱劣化による変化

数を示す。

図13に様々な温度・時間で処理した試料の損失係数（ピーク値）の変化を示す。

また、図14にはその層間接着強度の変化を示す。

#### ④ブレーキ性能の安定化をアシスト

厳密な平面度管理と積層一体化構造のため、圧縮特性に優れ、ブレーキフィーリングの向上、引きずりトルク低減によるブレーキ性能の安定化に効果的である。

#### ⑤トータルVA

パッドへはクリップによる装着を採用し、従来2枚重ねシムの装着工程がそのまま利用できる上、部品点数の削減（1部品減）もできるため、トータルVAが可能である。

### 4. おわりに

以上、ブレーキ鳴きとその有望な防止アイテムであるブレーキ鳴き防止シムのメカニズムと特徴について述べた。

特にメタプラス積層シムについてはその高い効果が認められ、国内のみならず海外においても採用の動きが活発になってきている。

しかしながら、車種によっては低周波鳴き・面内振動の特殊な鳴きなど、効果の現れにくい場合があることも判ってきている。

その意味でも、今後ますますの改良，研究を経て、高い効果の発揮できる高性能なブレーキ鳴き防止シムを開発してゆくことが我々の使命である

と考えている。

尚，メタプラス積層シムはトヨタ自動車株式会社殿との共同開発品であり，本稿執筆に際しブレーキ開発室の五味様，相原様にご協力頂いたことに厚く御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 「自動車技術ハンドブック（①～④）」（1990），自動車技術会
- 2) 「ブレーキ鳴きと摩擦特性」（1993），トライボロジスト第39巻

### 筆者紹介



#### 丹羽 隆弘

自動車部品事業部 MD部 新機能材技術開発チームリーダー



#### 吉原 正貴

自動車部品事業部 MD部 新機能材技術開発チーム