

ブレーキ摩擦材料の開発

Development of Brake Friction Material

柴田 勝 弘*

Katsuhiro Shibata

後 藤 明*

Akira Gotou

吉 田 聡*

Satoshi Yoshida

東 雄 一*

Yuichi Azuma

中 村 康 治*

Koji Nakamura

要 旨

近年自動車用ブレーキ摩擦材を見ると、アスベストの環境問題対応及び車のブレーキ商品性に対する要求レベルが高まってきている。そこで、今回非アスベストで性能に優れるブレーキ摩擦材料の研究開発に取り組んだ。

ブレーキノイズ発生メカニズムやジャダ発生要因等の解析を行ない、その結果に基づいて開発した材料は、繊維材料としてカーボン繊維とアラミド繊維を主体としたノンアスベスト、ノンスチール材料である。また、従来材に比較し摩擦係数(μ)が高くかつ磨耗、ジャダ、ノイズに優れるという特徴を持つ。

さらに、材料の開発と同時に種々の材料評価方法も考案した。

ABSTRACT

Due to recent environmental problems as well as requirements for better quality of the braking component, research on asbestos-free yet high-performance friction material was performed. The mechanism of noise generation and the causes of brake judder were analyzed, which led to the development of a non-asbestos and non-steel friction material using carbon fiber and aramid fiber.

It has achieved high efficiency, low wear rate, less brake noise and less brake judder compared with conventional non-asbestos materials.

In the process, some testing methods to evaluate the friction materials were also developed.

1. ま え が き

世界的に環境問題がクローズアップされている中で、アスベストについては比較的早い時期から各国で規制の動きが出ており、スウェーデン、ドイツ、スイス、オーストリア、デンマーク、オランダでは既に使用禁止法が発効している。また日本に於ては自工会の自主規制で1993年1月1日以降乗用車に使用しないことを決定した。米国でもEPAにより1993年8月25日以降製造禁止が提案されている。

このような規制に対して弊社では非アスベスト化対応を既に行なってきたり、ほぼ完了している。

非アスベスト化対策部品の中で、ブレーキ摩擦材は、大気飛散の面から対応部品としては最も重要な位置付けにあり、且つ技術的難度が最も高いと言われている。

一方、今日、車のブレーキ商品性に対する一般ユーザー

の要求レベルがますます高くなってきており、ブレーキ鳴き、ブレーキジャダ、ブレーキフィーリング等についても、より一層の向上が求められている。

このように、環境上、商品性上のニーズから、ノイズ、ジャダ等の出ない高性能な非アスベストのブレーキ摩擦材の開発が必要となった。

今回、このブレーキ摩擦材の研究を行なった結果、従来材に比較し、効力性能、耐ノイズ性、耐磨耗性に優れた摩擦材の開発ができた。

本報では、この開発した摩擦材の材料、特性について要点を報告する。

2. 摩擦材に要求される特性

2.1. 摩擦係数(μ)

摩擦係数は、摩擦力即ちブレーキ制動力とリニアな関

* 栃木研究所

Table 1 Materials used for brake pads

Materials		Function
Resin	Phenolic, Epoxy etc.	Binder
Fiber	Asbestos, Steel, Aramid etc.	Friction Material Reinforcement
Metal Powder	Cu, Cu-Zn, Fe, Al, Zn etc.	Increase Friction Coefficient
Solid Lubricant	Graphite, MoS ₂ , Mica etc.	Prevent Micro Stick to the Rotor
Abrasive	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , MgO, Fe ₃ O ₄ etc.	Cleaning Surface of Rotor
Organic Filler	Cashew Dust, Rubber etc.	Reduce Wear at Low Temperature
Inorganic Filler	BaSO ₄ , CaCO ₃ , Ca(OH) ₂ etc.	Reduce Wear at High Temperature

係にあり、摩擦係数が高い程、パッドを押す力即ちブレーキペダルの踏力が少なくて済む。従って、ノイズ、ジャダ等の商品性の不具合が無ければ、摩擦係数は高い程良い。

摩擦係数は一般的に各種の条件に対してある程度変動する。特に、温度が上がると摩擦係数が低下する、いわゆるフェード現象はよく知られている。このような摩擦係数変動があると、ブレーキペダルの踏力も変化し、コントロールが困難になる場合もある。従って、摩擦係数は各条件に対して変化量が小さいことが要求される。

2.2. 磨耗量

一般的には、ブレーキパッド／ライニングは消耗品であり、定期的な交換が必要であると認識されているが、やはり、耐磨耗性に優れ、寿命の長いことが望ましい。

2.3. 相手材（ロータ材）の損傷

相手材の損傷が大きい場合、摩擦面の荒れが発生し、パッド自体の磨耗が増加したり、ロータの板厚変動を増大させて、ブレーキジャダの原因となったり、あるいは、ロータの寿命そのものを短くしたりする。従って、相手材への攻撃性が低いことが必要である。

但し、同時に、しゅう動面のクリーニング性も要求されるため、そのレベル調整が必要となる。

2.4. ノイズ、ジャダ

ブレーキをかけている時、一般にブレーキ鳴きといわれている異音（キー、グー、キュル、チー等）や、ブレーキジャダといわれるブレーキペダル振動や車体振動等の異常振動が発生する場合がある。

これらの原因は、いろいろな要因が複合している場合

が多いが、通常は摩擦材そのものの寄与が最も大きい。

このような、ブレーキ鳴き、ジャダの無いことも重要なファクタである。

2.5. 熱伝導率

パッドの熱伝導率が大きいと、ブレーキングにより発生した熱が、キャリパからブレーキ液へと伝わり、ブレーキ液の温度が上がり、最悪の場合ベーパーロック現象に至る。

従って、ある程度熱伝導率が小さく、摩擦熱をキャリパに伝えにくいことが要求される。

2.6. 強度耐久性

摩擦材、特にパッドは常時高い温度にさらされ、また、水、泥、地域によっては塩水等にもさらされる。従って、このような苛酷な環境においても、制動トルクに耐えられるだけの強度耐久性が必要とされる。

3. 摩擦材の材料構成と各々の役割

Table 1 に一般的な有機系摩擦材の構成と、各々の役割の概略を示す。

3.1. 繊維材料

繊維材料は、従来アスベスト主流であったのが、一時期スチール繊維を使用したセミメタリックタイプに置き代わり、又、最近では非アスベスト系としてアラミド繊維が広く使用され、これと組み合わせる形で無機系繊維（スチール、銅、ガラス、セラミック等）が使用されている。繊維の比率はアスベスト系で20－50wt%、セミメタリック系で40－70wt%、非アスベスト系で5－40wt%である。

Table 2 Comparison of characteristics of fiber materials

Characteristics	Asbestos	Steel	Copper or Brass	Aramid	Glass	Rock-wool	Carbon	Potassium Titanate	Ceramic
Friction Coefficient (μ)	○	○	○	○	○	○	△	○	○
Thermal Stability	○	○	○	△	△	○	◎	○	○
Wear Rate	△	◎	○	○	○	△	○	○	○
Material Strength	○	◎	○	○	○	×	○	△	△
Noise	△	△	○	○	△	△	○	△	△
Rotor Attack	○	△	○	○	△	△	○	△	×
Thermal Conductivity	○	×	×	○	○	○	×	○	◎
Easy Processing	○	○	○	△	△	△	△	○	△
Cost	◎	○	△	△	○	◎	×	△	△

◎ : Excellent ○ : Superior △ : A little poor × : Poor

3.2. 樹脂材料

樹脂材料は他の材料の結合材として働くため、この樹脂自体の耐熱性、柔軟性、成形時の流動性等が摩擦材トータルとしての特性（ノイズ、磨耗、強度 etc.）に大きく寄与する。材料として一般的には、耐熱性が高く、成形性も良好でかつ価格も安いことからフェノール樹脂が使用されているが、最近では更に耐熱性の高いポリイミド、ビスマレイミド、ジアリルフタレート等の樹脂の応用も検討されている。

3.3. 潤滑材料

潤滑材料としてはグラファイトが最も多く使用されているが、その種類（天然、人工、鱗片状、土状等）、グレード（粒径、純度）の選定によりパッドの特性が変化する。

3.4. 金属粉

金属粉は摩擦係数を上げる為に、通常はロータ材より硬度の低い銅粉や真鍮粉が使用されている。パッド材と異なり、ライニング材などあまり温度が上がらない場合にはアルミ粉や亜鉛粉も使用されている。

3.5. セラミック粉

セラミック粉は、摩擦熱、圧力によりロータ表面に凝着した金属や有機物を削り落とし摩擦面をクリーニングするために添加する。多すぎるとロータそのものを削りすぎて、いろいろな不具合が発生するため添加量の調整が必要である。

3.6. その他の材料

有機フィラとしては、カシューナッツから作るカシューダストが、また、無機フィラとしては硫酸バリウムが最も汎用的に使用されている。また、ブレーキ摩擦材はロータへの固着を防ぐためアルカリ性にしておく必要があり、水酸化カルシウム等の pH 調整剤も使用される。

4. 開発材料

今回開発した材料の主な特徴を以下に述べる。

4.1. 繊維材料

繊維材料としては非アスベストであることはもちろんのこと、ホイール汚れの原因となるスチール繊維も除くノンアスベスト・ノンスチール材を前提として開発を行なった。

Table 2 に示すように非アスベスト繊維としてはいろいろ種類があるが、それぞれ一長一短があり、一種類のみでは全ての特性を満足できないため、それぞれの短所を補い合うような数種類の繊維の組み合わせで各種テスト、検討を行なった。

その結果、最終的にはカーボン繊維及びアラミド繊維を主繊維とし、補助繊維として銅繊維及びセラミック繊維を用いた。

これらの繊維は次のようにそれぞれの特徴を生かして使用している。

〈繊維〉	〈主要目的〉
・カーボン	高温域での摩擦係数の安定性向上
・アラミド	材料強度及び磨耗の向上
・銅	摩擦係数の向上及び高温強度向上
・セラミック	熱伝導率低減及び高温強度向上

Fig. 1 に今回のカーボン・アラミド繊維系の材料と、従来のアスベスト繊維系の材料の摩擦特性の比較を示す。Fig. 1 から明らかなように、カーボン・アラミド繊維系は速度・減速度・熱履歴に対する摩擦係数の安定性に優れている。

また、Fig. 2 に今回採用した繊維材の拡大写真を示す。

4.2. 樹脂材料

摩擦材用樹脂としてフェノール樹脂が一般的に使用されている。このフェノール樹脂には数多くの種類があり、特性も様々である。

Fig. 3 にフェノール樹脂の分類概略を示す。

このように数多くのフェノール樹脂の中から、使用目的に応じて使い分ける必要があり、今回は耐熱性がありかつ柔軟性を兼ね備えた樹脂という方向で検討、テスト

を行なった。

耐熱性を上げるためには、シリコン、リン、ボロン等の無機物変性を行なうことにより効果があったが、反面、韌性や成形性が低下し結果として摩擦材強度が低下し、摩耗も増大した。

また、ノイズ改善を目的とした柔軟性向上のためには、カシュー、クレゾール、ゴム、芳香族炭化水素等の有機物変性が有効であったが、耐熱性の低下を伴い高温時の摩擦係数が低下した。

さらに、このような変性材種以外にも、ベース樹脂の分子量分布によっても特性が変わってくるためその検討も行なった。

このような多岐にわたる検討の結果、有機物変性系でありながら耐熱性を有するアクリル系変性フェノール樹脂 (A-Resin) を採用した。

Fig. 4 に、その摩擦特性、摩耗特性及びノイズ特性を示す。

4.3. フィラ材料

4.3.1. セラミック粉

一般にコールドジャダと呼ばれる現象は、ディスクの偏摩耗により円周方向の板厚変動が発生し、その結果ブレーキング時の油圧変動となり、最終的にはブレーキペダル振動となるものである。

この時、ディスクの板厚変動が大きいほどペダル振動も大きくなる。

この板厚の変動幅は、パッドのディスク攻撃性の大きさに比例するためパッド材としてその調整が必要となる。

このディスク攻撃性に最も大きく寄与する材料がセラミック粉であり、その材質、粒径、添加量により著しく変化する。

特に材質、添加量については実験の結果、Fig. 5 に示すように材料硬度と添加量との積とディスク板厚変動幅との間に相関があることを見いだした。開発材ではビッカース硬度 (Hv) × セラミック粉添加量 (vol%) < 8000 となるように調整をしている。

4.3.2. 金属粉

金属粉はその添加量により摩擦係数レベルの調整を行なうことができるが、粒径の組み合わせ方により摩耗量が大きく異なってくることを見いだした。

これは粒径が大きいもの (200 μm 以上) と小さいもの (200 μm 以下) をある比率で混合添加した時にパッド摩

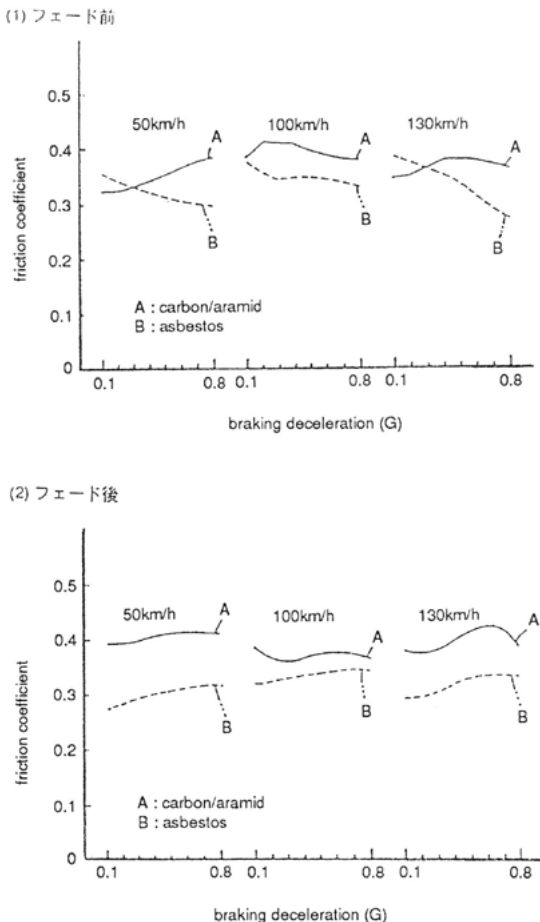
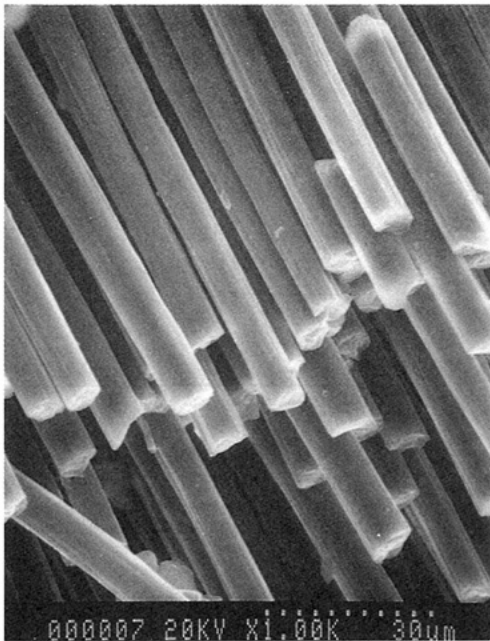
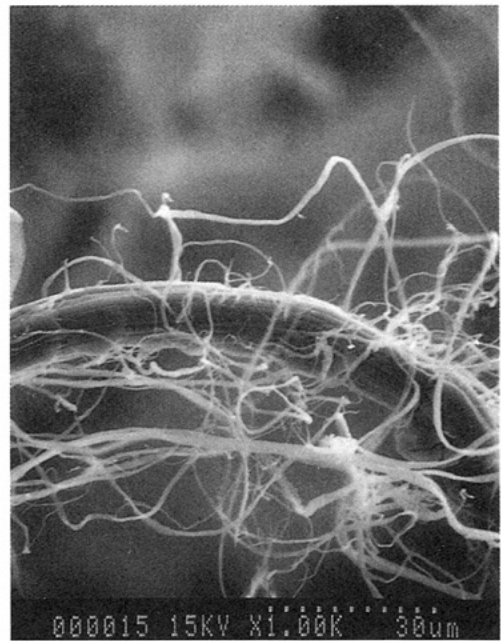


Fig. 1 Comparison of friction characteristics by fiber materials



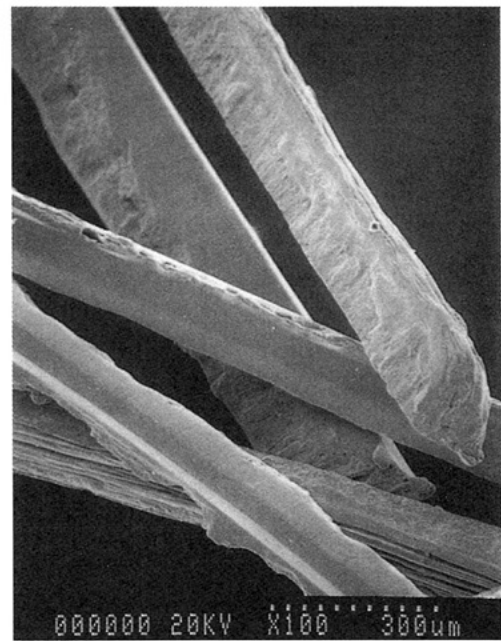
Carbon



Aramid



Ceramic



Copper

Fig. 2 Each fiber materials

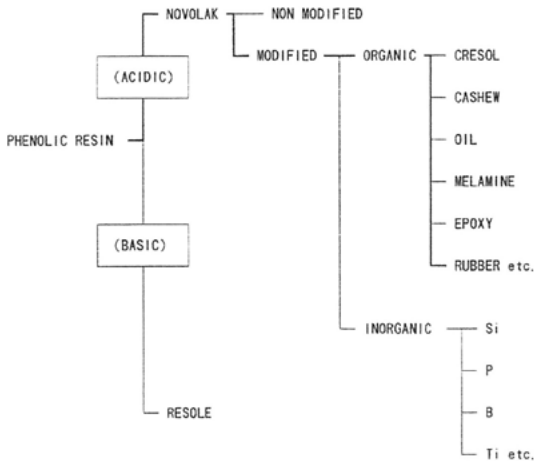


Fig. 3 Assortment of phenolic resin

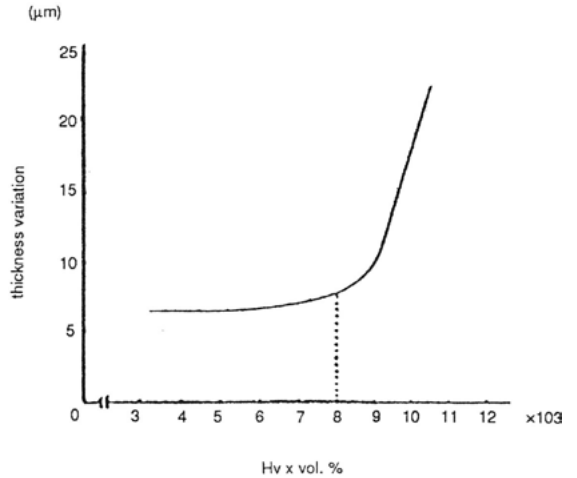
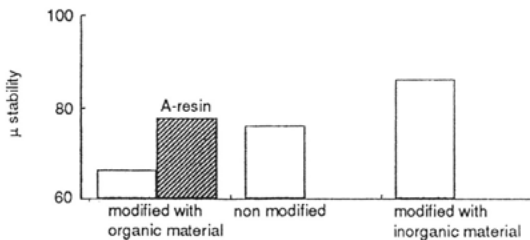
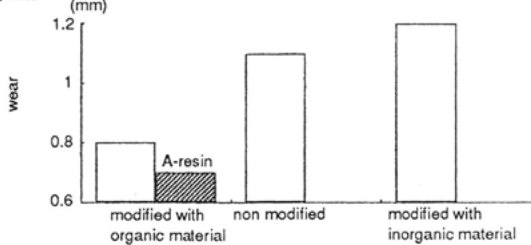


Fig. 5 The relation between thickness variation of brake disk and hardness and content of ceramic powder

(1) 摩擦係数(μ)安定性



(2) 磨耗



(3) ノイズ

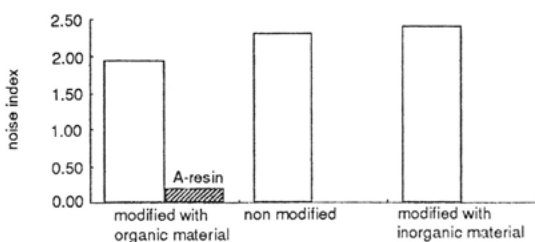


Fig. 4 Each type of resin vs. pad characteristics

耗量が最も小さくなる現象である。

その一例を Fig. 6 に示す。

これは、粒径の大・小を組み合わせた方が充填密度が上がり、しゅう動時にマトリックスから金属粉が脱落しにくくなることによると考えられる。

開発材では、大粒径として 200~250 μm、小粒径として 70~80 μm の粉末を用いた。

Fig. 7 に大粒径、小粒径それぞれの金属粉外観を示す。

4.3.3. フリクションダスト

ブレーキ鳴きは以前からよく知られている現象である。しかし、その原因については様々な解析が行なわれているものの、これといった決め手が無いのが実情であった。

今回の摩擦材料開発の中では、このブレーキ鳴きの発生メカニズムについても解析を行ない、一つの要因として次のような現象を見いだした。

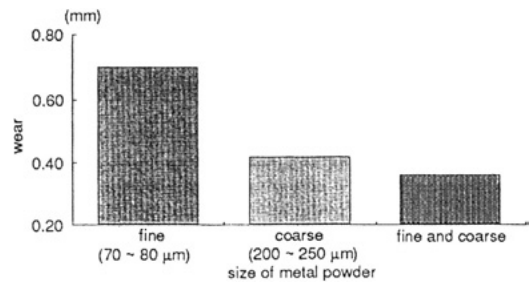
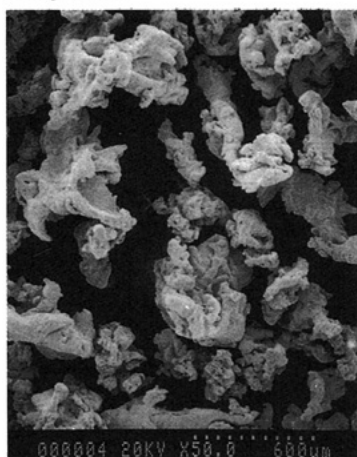


Fig. 6 Diameter of metal powder vs. pad wear

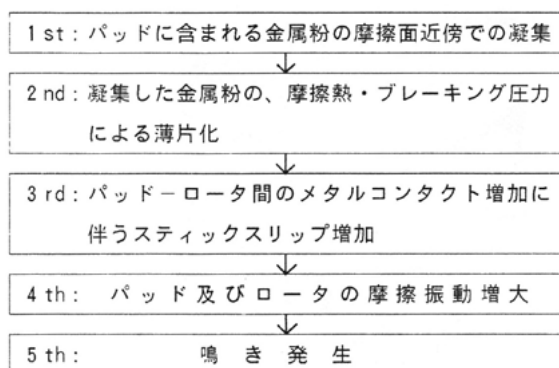
Large size



Small size



Fig. 7 Metal powder size



これはあくまでも様々な“ブレーキ鳴き現象”の要因であるものの、摩擦材としての対策の方向性を示すものであった。その対策の基本的な考え方としては、パッド材に含まれる金属粉を凝集させないことである。今回この凝集を妨げる材料として、フリクションダストを使用した。これは、フリクションダストが摩擦熱で分解し、ロータ表面やパッドの金属粉の表面と反応してある種の化学的な皮膜を形成することで凝集・凝着を起こりにくくしたものである。フリクションダストの添加効果を Fig. 8 に示す。

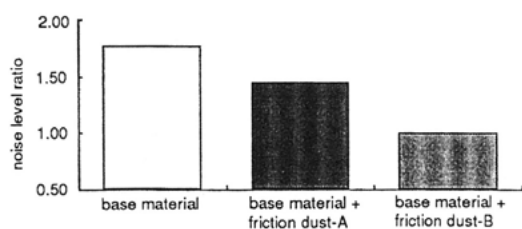


Fig. 8 Effect of friction dust

その他採用しているフィラ材料として、カシューダスト、グラファイト等があり、これらの拡大外観を Fig. 9 に示す。また、参考までに Fig. 10 にパッド完成品の外観及び摩擦面の拡大像を示す。

4.4. 材料と性能の相関

今回使用した各素材と摩擦材としての摩擦性能、磨耗量、ジャダ、ノイズとの相関関係を簡単にまとめたものが Table 3 である。これらの相関はベース材料の配合が変われば当然変化するものと考えられ、材料系毎の解析が必要となる。

5. 性能

次に、今回開発した摩擦材の性能について各項目毎に解説する。

5.1. 摩擦特性

摩擦特性の評価として、JASO-C-406 を基本にした台上試験を実施した。試験内容の概略を紹介すると、第一効力 (a) で擦り合わせ前の特性を、第二、第三効力 (b、c) で、通常の特性を、第一、第二フェード (e、f) で苛酷使用時の特性を、第四効力 (d) で、フェード後の特性を測定した。また、水濡れ時の性能をウォーターリカバリ (g) で測定し、高速時の効力 (h) を 160km/h、200km/h で測定した。

開発材を従来材と比較した結果を Fig. 11 に示す。Fig. 11 中に見られるようにいずれの特性も従来材を上回っている。

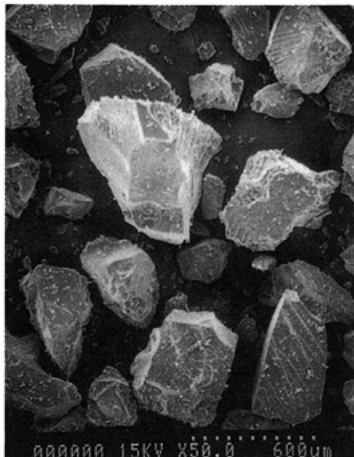
Table 3 Correlations between each material and brake performance

Index	Resin	Fiber					Filler									
	phenolic	aramid	carbon	ceramic	copper	lubricant				abrasive		metal powder			organic dust	
						A	B	C	D	A	B	A	B	C	A	B
μ -performance	●	○	○	○	○	●	▲	○	○	△	△	△	○		○	
Wear Rate	○	●												▲		●
Judder	○	●		○			●				△				△	
Noise	○						●			▲		△				

○ : high positive correlation
 ● : high negative correlation
 no mark : no correlation

△ : low positive correlation
 ▲ : low negative correlation

Cashew dust



Graphite

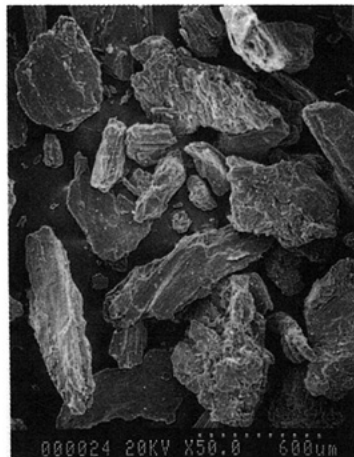


Fig. 9 Other filler materials

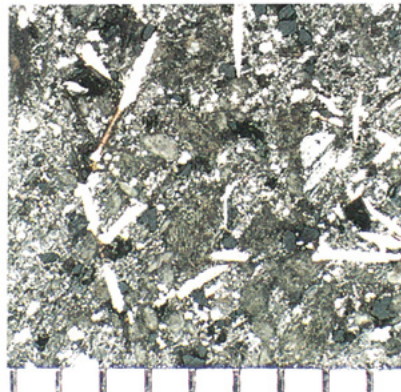


Fig. 10 Newly developed pad and its friction surface

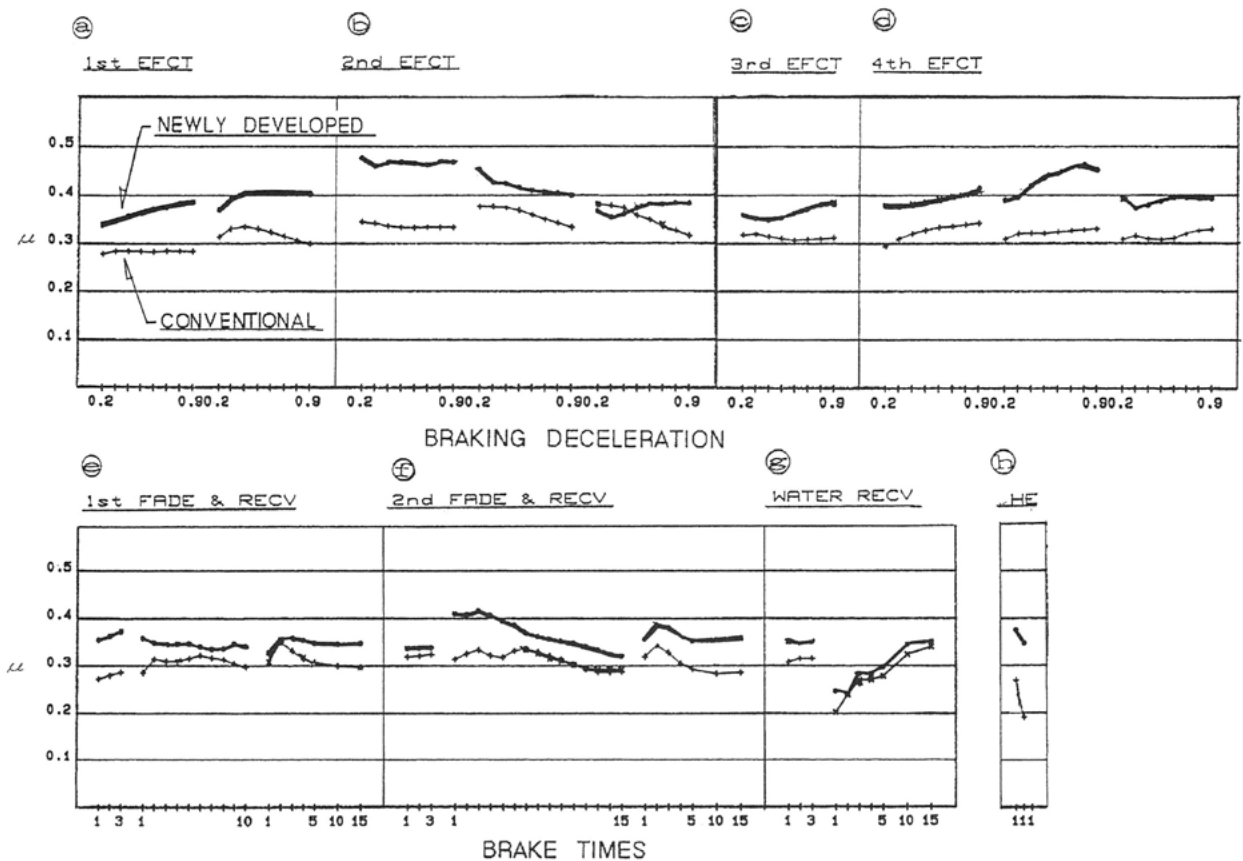


Fig. 11 Friction performance tested with brake dynamometer

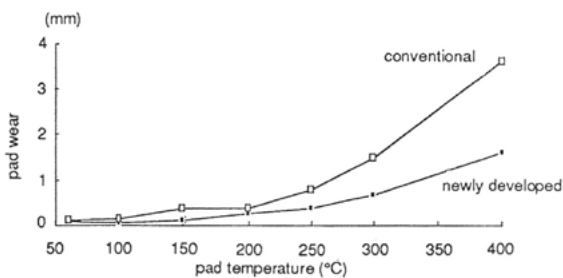


Fig. 12 Temperature vs. pad wear

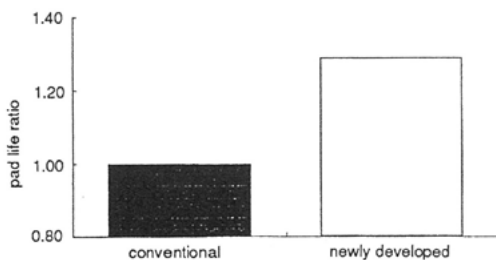


Fig. 13 Comparison of pad life ratio

5.2. 摩耗特性

パッドの磨耗については、JASO-C-427-83を基本にした温度別摩耗試験と、市場に於いてパッドの磨耗の苛酷な地区の走行をシミュレートした専用モードで評価した。

Fig. 12 に温度別摩耗試験の結果を示す。これによると、従来材と比べると 200℃ 以下の領域では同等であるが、250℃ 以上では磨耗量が大幅に減少していることがわかる。これを苛酷な地区に於けるパッド寿命で比較したのが Fig. 13 であり、従来材に比べて約 30% の寿命向上が見られることがわかる。

5.3. 実車性能

開発材の実車性能として JASO-C-402 を基本とした効力試験を実施した。ブレーキパッド温度 100℃、初速度 50km/h に於ける各減速度に対するブレーキペダル踏力の従来材との比較を Fig. 14 に示す。いずれの減速度に於いても従来材より踏力が小さくなっていることがわかるが、これは摩擦係数アップの効果である。

5.4. ブレーキノイズ、ジャダ

パッドの摩擦係数をアップするさいの障害として一般的に言われているのは、ブレーキ鳴きの増加とブレーキジャダの増加である。Fig. 15 に従来材と開発材の摩擦係数とノイズ、ジャダの関係を示す。これによると従来材は摩擦係数を上げることによりノイズレベル、ジャダレベルが共に低下していることがわかる。ノイズレベル低下の原因として、摩擦振動の増大が挙げられるが、開発材はフリクションダスト及び組成系の改良により摩擦振動を低減し高いノイズタフネスを実現した。ジャダレベル低下の原因としては、相手ディスク材の摩耗量増加が挙げられるが、前記の通りフィラ材料の選定と量の調整により、高いジャダタフネスを実現した。

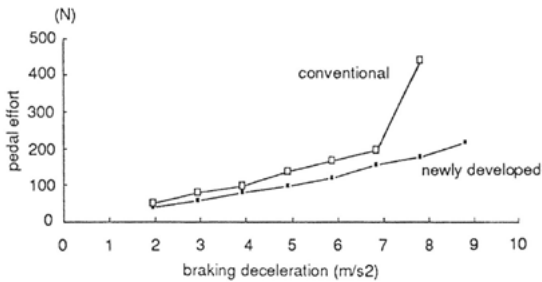


Fig. 14 Brake performance from car test

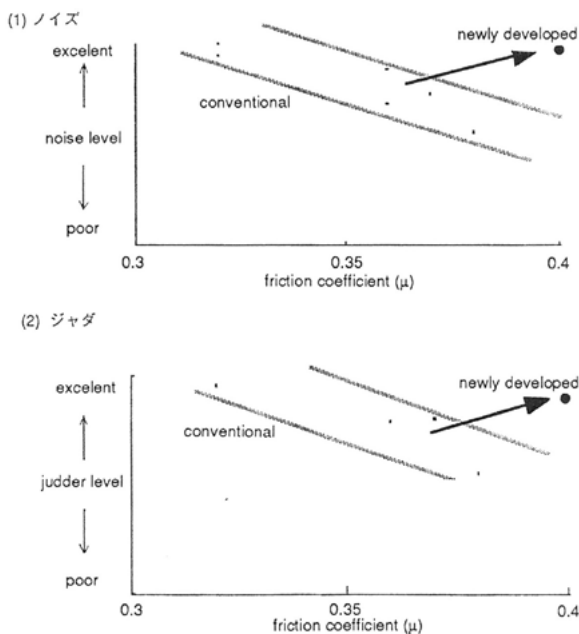


Fig. 15 Relations between friction coefficient and brake performance

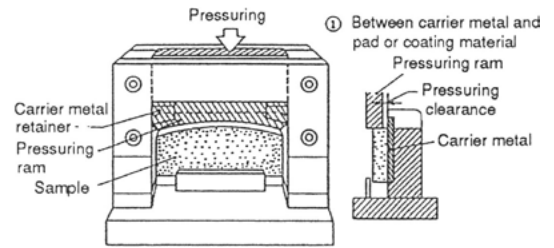


Fig. 16 Test method of bonding strength

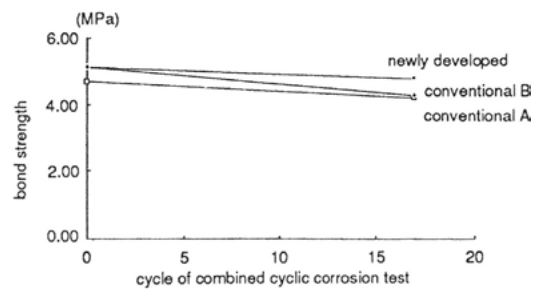


Fig. 17 Durability of bonding strength

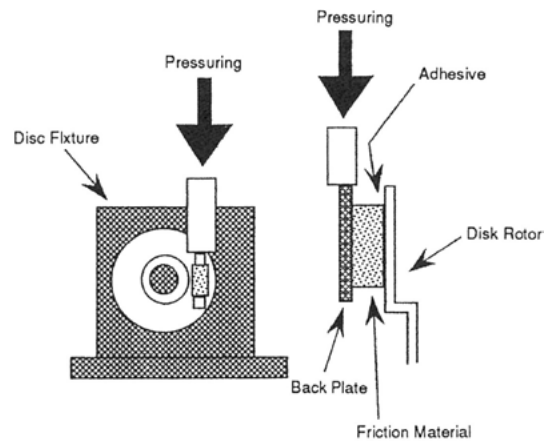


Fig. 18 Test method of shear strength by bonding

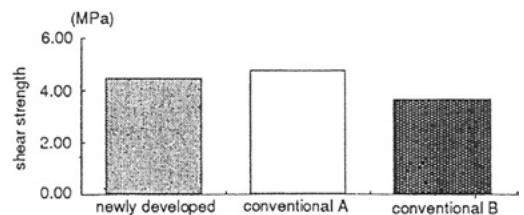


Fig. 19 Shear strength measured by Fig. 18

5.5. 耐久性

5.5.1. 接着耐久性

車は世界中で使用されておりブレーキパッドの使用環境も様々である。その中で、摩擦材と裏金との接着接合部強度の耐久性は重要である。このため、本パッドでは接着前処理として裏金に化成処理を施している。この接着強度は通常は JIS-D-4422 に準じた方法で測定されており、今回も Fig. 16 に示すような治具を用いて、同規格に準じて測定した。

Fig. 17 にパッドの接着耐久性評価例を示す。横軸は、複合腐食試験のサイクル数であり、縦軸はパッドの接着強度である。本パッドの接着強度が従来パッドと同等レベルにあることがわかる。

5.5.2. 摩擦材の剪断剥離強度

パッド摩擦材の剪断剥離強度評価方法として接着式の剪断強度試験方法を新たに考案した。Fig. 18 にその概略を示す。パッドの摩擦面をディスクロータの摩擦面に接着剤で固定し、接線方向から裏金に剪断負荷をかけた時の破断強度を測定する。パッド単品での試験であり、最弱部の強度測定が可能であるため従来の剪断強度試験方法 (JIS-D-4415) より実際的であると考えている。

Fig. 19 に前記実体式での剪断剥離強度測定例を示す。本パッドの剪断剥離強度が従来パッドと同等レベルにあることがわかる。

5.5.3. 摩擦材の pH

摩擦材のディスクロータに対する固着性の指標として摩擦材 pH がある。

従来は、パッド完成品から粉末状にして得られた試料を蒸留水中に分散させて測定されている。(JASO-C-458) 今回、新たに実体式の測定方法を考案した。Fig. 20 にその測定方法を示す。パッド単品の摩擦面を所定量の蒸留

水に一定時間浸漬した後、浸漬液の pH を測定する。粉末試験の採取ばらつきを考慮する必要がなく、パッドの表面状態を反映した形で (ex. スコーチの有無等) 測定できるなど、簡便で実際的であると考えている。

6. 結 論

環境問題に対応した、非アスベストの無公害組成によるブレーキ摩擦材を開発した。

その成果は以下の通りである。

- (1) カーボン繊維の採用により、摩擦係数が高くかつその安定性に優れた性能が得られた。
- (2) 金属粉の粒径の組み合わせ方により摩耗量の低減を図った。
- (3) セラミック粉の硬度と添加量の積がジャダ発生レベルと相関関係にあることを見だし、ジャダの低減を図った。
- (4) 金属粉の凝集を防ぐことによりブレーキノイズの低減を図った。
- (5) 新しい材料評価方法を考案した。

参 考 文 献

- (1) 野口、平野: 摩擦材用フェノール樹脂、熱硬化性樹脂、Vol.4、No.2、(1983)、p28。
- (2) 神崎: 自動車用摩擦材としてのアスベストとその代替材料、月刊トライボロジ、1989 年 5 月、p14。

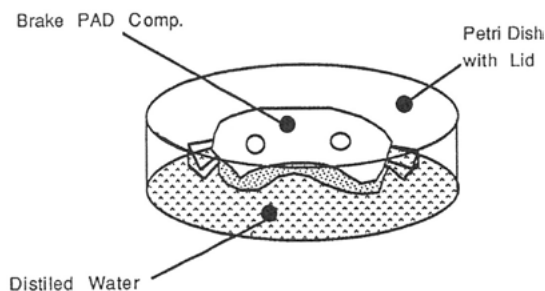


Fig. 20 Measuring method for pH by hole pads

■著 者■



柴 田 勝 弘



後 藤 明



吉 田 聡



東 雄 一



中 村 康 治