

ブレーキ用摩擦係数安定型ディスクパッド

Automotive Brake Disc Pad with Stable Friction Coefficient

小野 学* *Manabu Ono* 永吉央幸* *Teruyuki Nagayoshi*
海野光朗* *Mitsuo Unno* 楠木 努** *Tutomu Kaburagi*

自動車のブレーキにはより高い効きとその安定性に加え、ブレーキの鳴きと振動の低減が要求される。そのため、ブレーキ用ディスクパッドは摩擦係数が高くかつ安定していることが必要とされる。通常走行時や高温、高速、水濡れ時などの条件下における摩擦係数の安定性に加え、ブレーキブースターが失陥した場合を想定して高負荷の繰り返し制動後に低減速度で制動した場合においても摩擦係数が安定していることを要求される。国内で最も多く用いられているディスクパッドの一つであるNAO（ノンアスベストスオーガニック）材は、フェノール樹脂や有機繊維、有機充填材を多く含有しており、ブレーキの鳴きと振動が他の材質よりも小さいが、制動中にそれらの有機物が熱分解して相手材のディスクロータに移着するため、摩擦係数の変動が大きくなりやすい。そこで、摩擦係数の変動に対する有機物の熱分解の影響について解析し、摩擦係数が高く安定したNAO材ディスクパッドを開発した。

Automotive brakes should have a minimal brake squeal and vibration as well as high and stable effectiveness. Accordingly, the disc pad used for automotive brakes need to have a high and stable friction coefficient, under high temperature, high speed, and wet conditions as well as under normal condition. They also should have stable friction coefficient during low pressure braking after continuous high pressure braking on the assumption that the brake power unit becomes inoperative. Non-asbestos organic (NAO) disc pads mainly used in Japan contain phenol resin, organic fibers, and organic filler. They have little brake noise and vibration; however, they tend to have an unstable friction coefficient because the organic materials will decompose and develop transferred film on the disc rotor during braking. We analyzed the effect of organic decomposition on friction coefficient variation and have developed a new NAO disc pad with high and stable friction coefficient.

〔1〕 緒 言

自動車のブレーキにはより高い効きとその安定性に加え、ブレーキの鳴きと振動の低減が要求される。ブレーキ用ディスクパッドには、高い摩擦係数とその安定性が求められる¹⁾。摩擦係数の安定性に関しては、市内走行時における安定性のみならず、高速走行時の制動、坂道での制動、雨天、高温時の制動などを想定した安定性が要求される²⁾。

また、米国運輸省のブレーキに関する安全基準FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standard) 135³⁾は、高負荷の履歴を受けたあとにブレーキブースターが失陥し低液圧（低減速度）になった場合にも、制動距離が保てることを要求している。

ディスクパッドには、1980年代までアスベスト材が用いられてきたが、アスベストの環境問題から1980年代後半よりノンアスベスト材への切り替えが進められた。その中で、現在最も多く用いられているものがセミメタリック材、ロースチール材、NAO材である^{4), 5)}。日本や米国においてはブレーキの鳴きと振動の低減が重視されるために、NAO材が主として用いられてきた。ディスクパッドには有機材料、金属、無機

材料を組み合わせた十数種類の原材料が用いられているが、NAO材はフェノール樹脂や有機繊維、有機充填材を他材質に比較して多く含有している。ブレーキの鳴きと振動が他の材質よりも小さいが、高温・高負荷時にこれらの有機成分が熱分解して相手材のディスクロータに移着するため、摩擦係数の変動が大きくなりやすい欠点があった。

本報では、摩擦係数の変動に対する熱分解物の影響についての解析結果と、摩擦係数が高く安定したNAO材ブレーキ用ディスクパッドの開発について述べる。

〔2〕 摩擦係数安定型ディスクパッドの開発

2.1 高温時摩擦係数の安定化

ブレーキの繰り返しによりディスクパッドが高温になったときに、摩擦係数が急激に低下する現象をフェードという。フェノール樹脂等の有機成分の熱分解物が摩擦界面を潤滑するため、摩擦係数が低下する⁶⁾。図1に摩擦材中の有機成分量とフェード時の摩擦係数の関係を示す。有機成分量を減らすことにより摩擦係数の低下が抑制できる。また、銅粉末等がフェノール樹脂の分解ガス化を促進させて、摩擦係数の低下を抑制することが知られている。大きな比表面積とガス

*当社 自動車部品事業部 自動車部品開発部 **日本ブレーキ工業株式会社 摩擦材 開発部

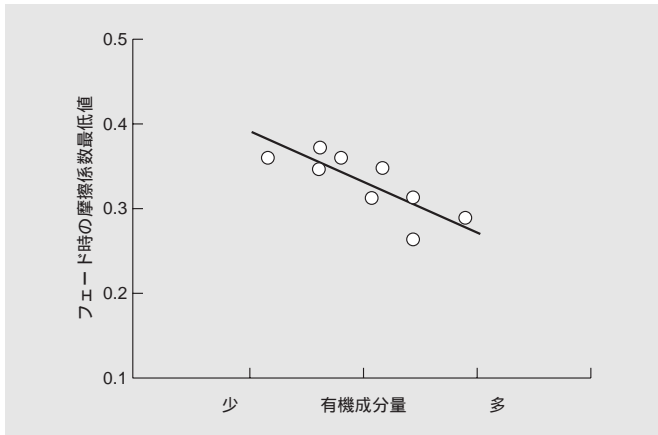


図1 有機成分量とフェード時摩擦係数最低値 有機成分量が多いと高温制動時に熱分解物が多量に発生し、その摩擦界面潤滑によりフェード時の摩擦係数が低下する。

Fig. 1 Organic content of the disc pad and minimum friction coefficient at fade
As the organic content of the disc pad increases, more organic materials decompose under high temperature braking and the friction coefficient falls by the effect of lubrication of the decomposed materials.

透過性を有する多孔質無機充填剤が、熱分解物を吸着して摩擦係数の低下を抑制することも知られている⁷⁾。そこで、本開発材では図2に示すように直径が約0.001~0.05 μmと数μmの2種類の細孔を有し、その比表面積が数百m²/gの活性アルミナを充填剤に採用した。

活性アルミナを添加することにより、ディスクパッドの比表面積と空気透過性が増加する。図3に示すように本開発材は従来材と比較してフェード時の摩擦係数が安定している。

2.2 低温・高湿環境放置後の摩擦係数の安定化

ブレーキの鳴きは制動時に発生する1~10数kHzの摩擦振動に起因するブレーキノイズである⁸⁾。自動車を低温・高湿環境下に数時間放置すると、摩擦係数が上昇して鳴きが発生しやすくなる。この摩擦係数の上昇は、ディスクロータ表面に移着したディスクパッド熱分解物の性状と吸湿しやすさに影響される。シリコン等の添加により熱分解物移着膜の吸湿性を改質したり、研削剤により熱分解物移着膜を除去することで、摩擦係数上昇が抑制されることが知られている⁹⁾。

我々は、ディスクパッド中のフェノール樹脂の種類を変えて熱分解物移着膜を薄くする手法を検討した。加熱減量特性

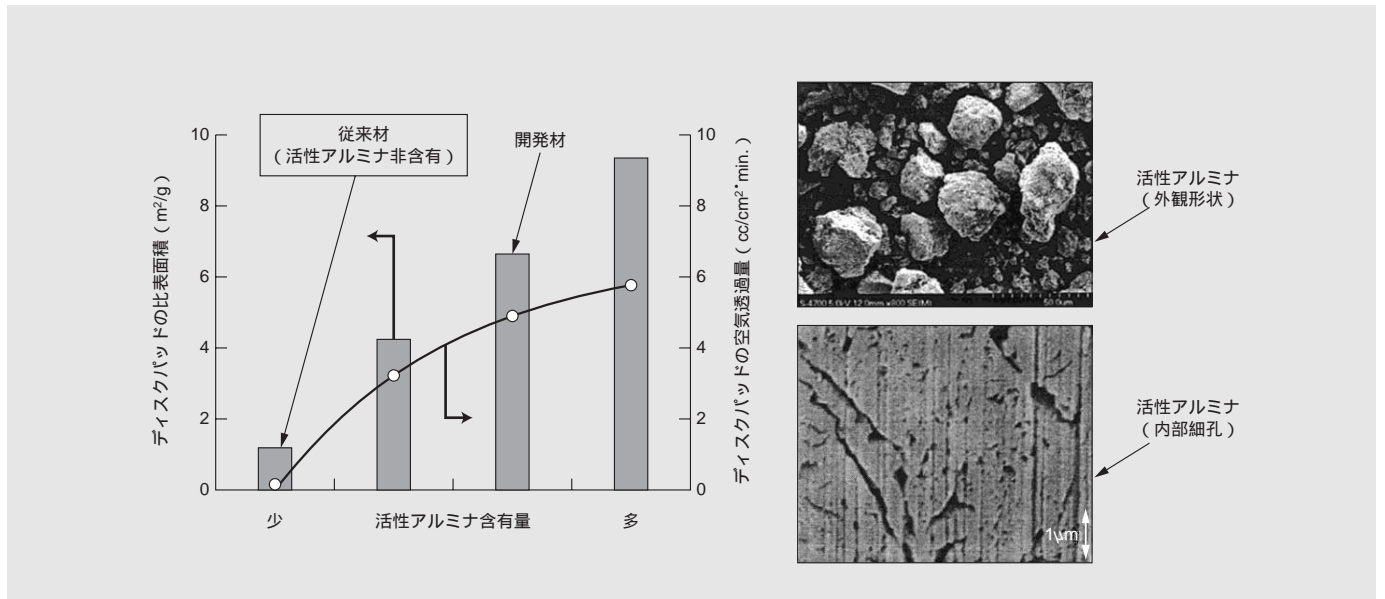


図2 活性アルミナ添加量とディスクパッドの比表面積および空気透過量 内部細孔を有する活性アルミナを添加するとディスクパッドの比表面積と空気透過量が増加する。(実線は490 kPaの空気が厚さ5 mmのディスクパッドを透過した量を示す。)

Fig. 2 Active alumina content versus the relative surface area of the disc pad and air transmission

As the active alumina content in the disc pad increases, its relative surface area and air permeability increases. (The solid line shows the amount of air transmitted through a 5-mm-thick disc pad at a pressure of 490 kPa.)

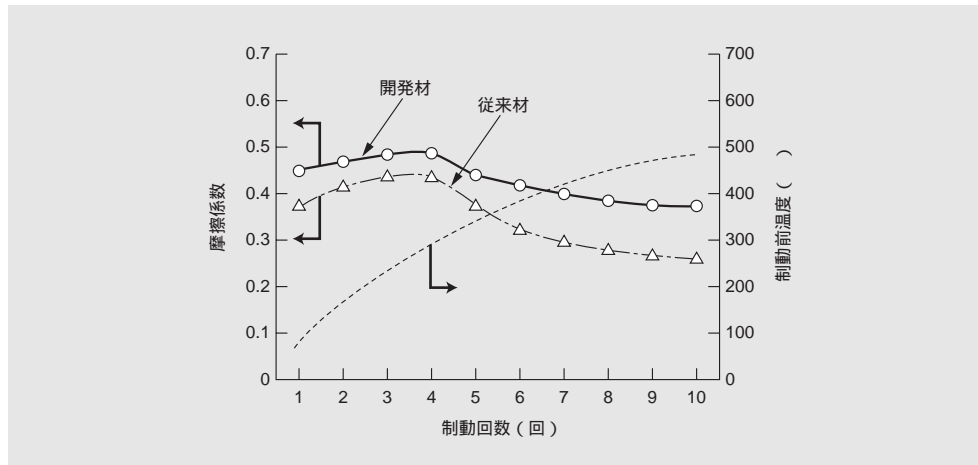


図3 フェード時の摩擦係数 開発材は従来材と比較して高温制動時の摩擦係数が高い。開発材は従来材と比較してフェード時の摩擦係数最低値が約40%向上している。

Fig. 3 Friction coefficient at fade
The friction coefficient of the developed material is higher than that of the conventional material under high temperature braking conditions. The minimum friction coefficient at fade for the developed material is 40% higher than that for the conventional material.

の異なる2種のフェノール樹脂AとBを配合したディスクパッドを用いて繰り返しブレーキを行い、ディスクロータ表面を観察するとディスクロータ表面の色合いが異なった。色合いが濃く黒色化したディスクロータと色合いが薄いディスクロータをFIB（集束イオンビーム）エッチングした後イオン顕微鏡を用いて観察した。図4に観察したディスクロータ断面を示す。色合いが薄いディスクロータは、表面の移着膜の厚さが比較的薄かった。移着膜生成の少ない樹脂を用いたディスクパッド（開発材）と従来材を用いて、温度130℃で400回制動した後、50%RH環境下に2時間放置し、車速10km/h、ブレーキ液圧0.5MPaの条件で摩擦係数を測定した。図5に示すように開発材は摩擦係数の上昇をほとんど示さなかった。

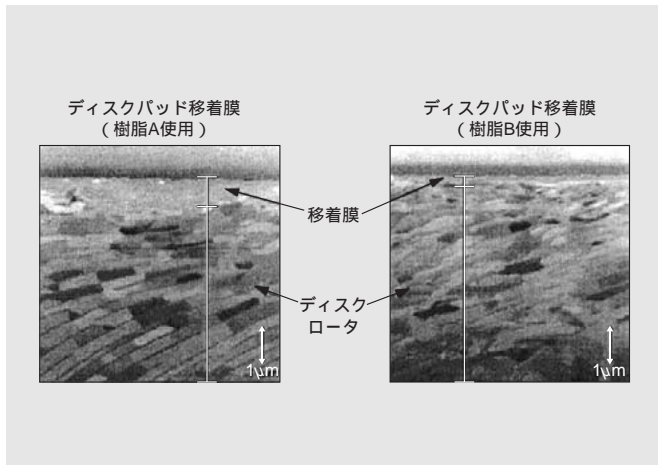


図4 繰り返し制動後のディスクロータ断面 温度130℃で400回制動した後のディスクロータ表面にはディスクパッドの熱分解物を含む移着膜が見られる。樹脂Bを使用したディスクパッドの移着膜は薄い。

Fig. 4 Cross section of the disc rotor after continual braking

The transferred film containing the decomposition materials of disc pad was observed on the disc rotor surface after 400 brakings at 130℃. The thickness of the film for the disc pad using resin B was thinner.

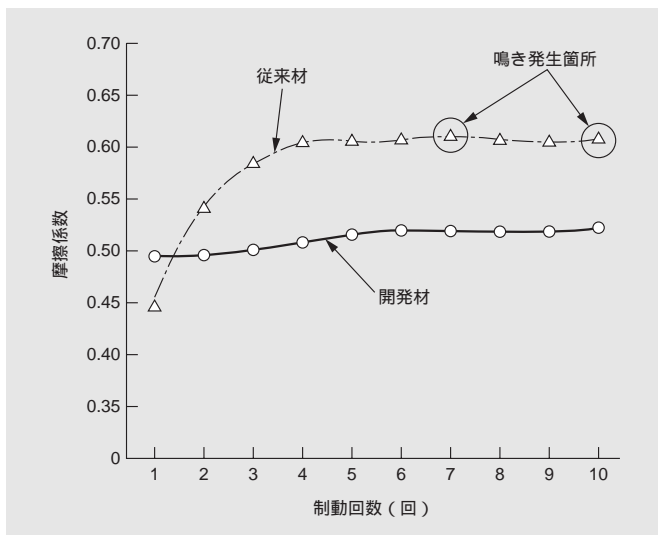


図5 冷間放置後の摩擦係数とブレーキ鳴き 50%RHの湿湿度環境下に放置した後10回制動し、摩擦係数とブレーキ鳴きを測定した。開発材の摩擦係数は低く安定しているため、ブレーキ鳴きが発生しにくい。

Fig. 5 Friction coefficient and brake noise after leaving cold conditions

Friction coefficient and brake noise were measured during ten brakings after leaving 50%RH conditions. Developed material makes little brake noise because of its low and stable friction coefficient.

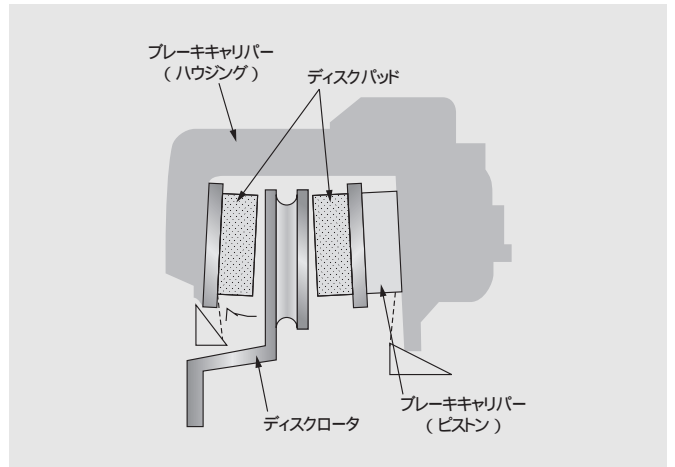


図6 ブレーキキャリパーとディスクパッド、およびディスクロータの構造 フローティングタイプのブレーキキャリパーは、高減速度制動時にハウジング部がディスクロータに対して開く。

Fig. 6 Structure of Brake-caliper, Disc-pad and Disc rotor

The housing of brake-caliper open to outside for disc rotor during high deceleration braking.

2.3 高負荷繰り返しブレーキ後の摩擦係数の安定化

米国運輸省のブレーキに関する安全基準FMVSS 135では、高負荷の繰り返し制動後にブレーキブースター（踏力倍力装置）が失陥した際の車両停止距離が規定されている。NAO材でこの基準に従い制動距離の試験をすると、一般的にブレーキブースター失陥時の摩擦係数が低く、停止距離が長くなる傾向にある。そこで、台上ダイナモメータ試験機を用いたFMVSS135試験で摩擦係数の測定を行い、ディスクパッドを改良した¹⁰⁾。

高負荷の繰り返し制動を行うと、フローティングタイプのブレーキキャリパーの場合には、そのハウジングがディスクロータに対して垂直方向に開く。図6に、ブレーキキャリパーとディスクパッド、およびディスクロータの構造を示す。図7にハウジング剛性の異なる2つのブレーキキャリパーを

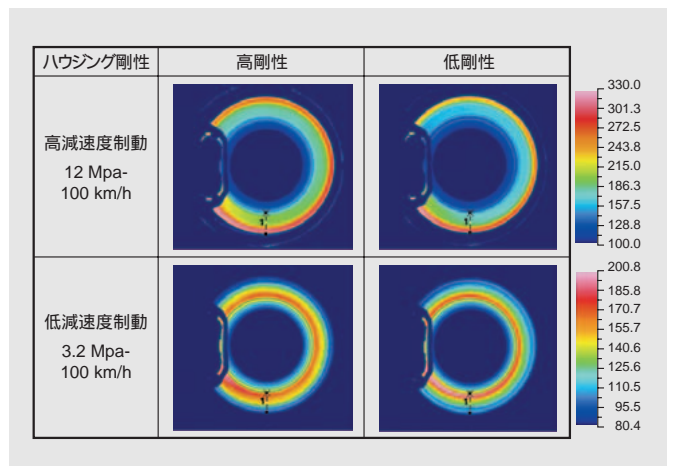


図7 制動中のディスクロータ表面温度 高減速度制動時にはディスクロータ外周部の温度が高く、低減速度制動時には発熱部位が内周側に移動する。ハウジング剛性の低いブレーキキャリパーを用いた方が顕著である。この現象はディスクパッドの偏摩耗にも影響される。

Fig. 7 Surface temperature of surface of disc rotor during braking

Temperature on outside of the disc rotor was higher during high deceleration braking; higher temperature parts moved to the inside during low deceleration braking. This tendency was more remarkable for the brake caliper having lower bending strength housing. This phenomenon will also be influenced by the uneven wear of the disc pad.

用いて、高減速度で繰り返し制動したとき、その後低減速度で制動したときのディスクロータの表面温度を測定した結果を示す。ハウジング剛性の低いブレーキキャリアを用いた場合、高減速度の制動においては外周に温度の高い部分があり、低減速度の制動においては内周に温度の高い部分がある。ハウジング剛性が低いとディスクパッドの面圧中心が移動して、見掛けの摩擦係数の低下が起きることを示している。この現象はディスクパッドがディスクロータの半径外周方向に偏摩耗した場合に顕著に現れる。

図8にFMVSS135試験後のディスクパッドの偏摩耗角度とブレーキブスター失陥時の摩擦係数低下率 $D\mu$ の関係を示す。摩擦係数低下率は式(1)により求めた。

$$\text{摩擦係数低下率 } D\mu = (\mu_B - \mu_L) / \mu_B \cdot 100 \dots \dots (1)$$

μ_B : FMVSS135試験における冷間効力条件の摩擦係数、

μ_L : 高減速度繰り返し制動後のブレーキブスター失陥条件の摩擦係数

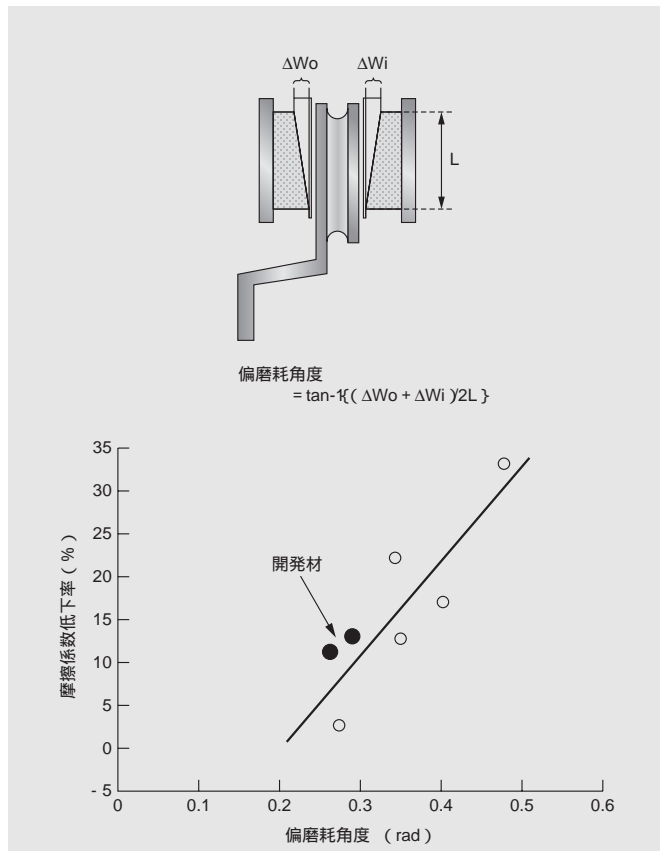


図8 偏摩耗角度と摩擦係数低下率 高負荷履歴後のディスクパッド偏摩耗角度が大きいほど摩擦係数低下率が大きくなる。

Fig. 8 Uneven wear angle of the disc pad versus the decrease ratio of the friction coefficient

The decrease ratio of the friction coefficient becomes larger with increasing uneven wear angle.

ディスクパッドの種類によらず、偏摩耗角度が大きくなるほど摩擦係数低下率 $D\mu$ が大きくなる傾向が見られた。

次に偏摩耗角度に対する摩擦材組成の影響を調べた。各ディスクパッドの1,000までの加熱減量を測定したが、明確な相関関係が得られなかった。FMVSS135試験で最も荷重と減速度の大きい部分でディスクロータの表面温度を測定すると、その内周と外周に約100~150の温度差が生じている。

制動中のディスクロータ表面温度差を図9に示す。この温度差に着目して、各ディスクパッドの100の温度差に対応する加熱減量を温度毎に計算した。図10には350~450, 600~700の夫々100の温度差に対する加熱減量と偏摩耗角度の関係を示す。加熱減量と偏摩耗の間には相関が見られる。350~450は主としてフェノール樹脂、600~700は有機繊維の分解温度に相当している。開発材では、これらの有機成分量を減らして摩擦係数の変動を小さくした。その結果、FMVSS135試験における摩擦係数の低下を抑制できた。

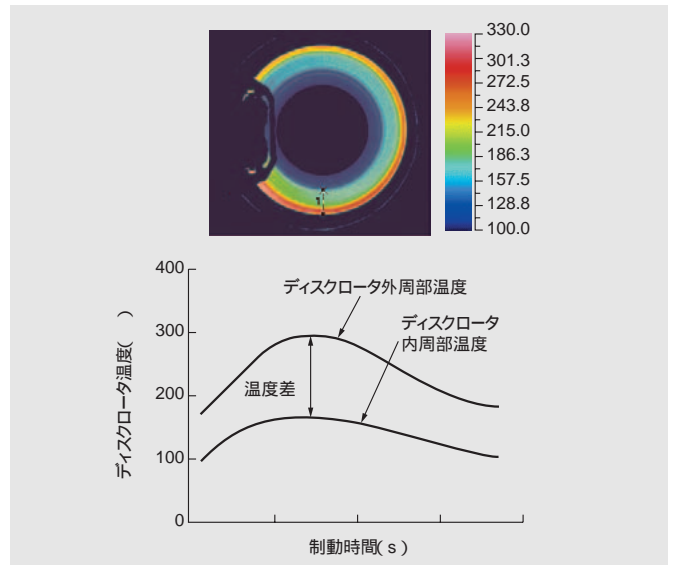


図9 制動中のディスクロータ温度差 制動時に発生する摩擦熱により、FMVSS135試験ではディスクロータ内外周で最大約150の温度差が生じる。

Fig. 9 Difference of temperature between outside and inside surfaces of the disc rotor during braking

In FMVSS135 test, a maximum temperature difference of 150 occurred by the friction heat of braking.

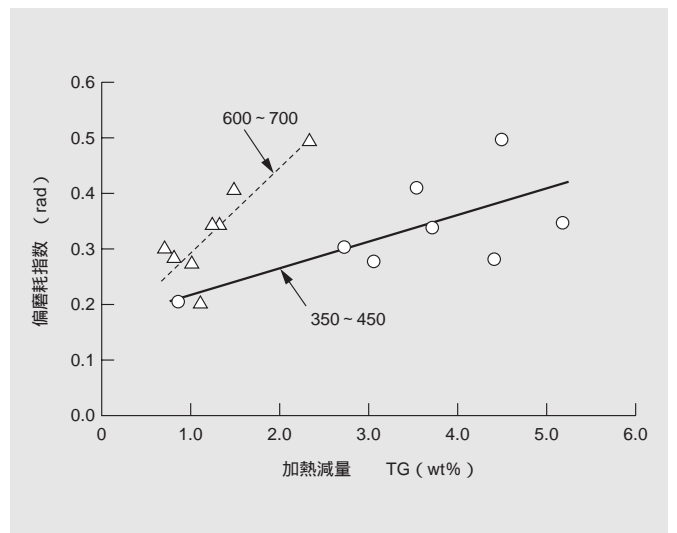


図10 100の温度差に対する加熱減量と偏摩耗角度 フェノール樹脂と有機繊維の分解温度に相当するそれぞれ約350と約600において、加熱減量と偏摩耗角度には相関が見られる。

Fig. 10 Thermogravimetry of disc pad and uneven wear angle for temperature difference of 100

The decomposition temperatures of phenol resin and organic fiber correspond to respective 350 and 600. Under such temperatures, the uneven wear angle of the disc pad is in correlation with the thermogravimetry.

〔 3 〕 結 言

自動車のブレーキに用いる高摩擦係数で摩擦係数が安定したディスクパッドを開発した。フェノール樹脂等の有機成分の減量と、それらの熱分解物を摩擦表面から除去する活性アルミナ等の配合が、高温時あるいは低温・高湿環境放置後、さらに高減速度繰り返し制動後の摩擦係数の安定化に対して有効であった。それらの知見を活かした高摩擦係数安定型ディスクパッドを開発した。本開発材は中型FF車と大型FR車へ採用され、国内と北米を中心に上市している。さらに欧州、中国市場への展開を図るため、市場の要求特性に合わせた性能改良を現在進めている。

参考文献

- 1) 三部, 外: ブレーキ用摩擦材料, トライボロジスト, 36, 3, 189-194 (1991)
- 2) 海道: 自動車ブレーキ, トライボロジスト, 45, 12, 916-919 (2000)
- 3) U.S. Department of Transportation: Federal Motor Vehicle Safety Standards and Regulations
- 4) 原, 外: ブレーキ用高摩擦係数ディスクパッド, 日立化成テクニカルレポート, 41, 45-48 (2003)
- 5) 佐々木, 外: 自動車用ブレーキ材料の変遷, トライボロジスト, 48, 3, 197-201 (2003)
- 6) フィリップエイテドアティー: 摩擦材料における衰弱防止剤としての分子篩, 特開昭49-21544 (1974-2)
- 7) 原, 外: ブレーキ用NAO材ディスクパッド, 日立化成テクニカルレポート, 32, 17-20 (1999)
- 8) 松島, 外: ディスクブレーキ低周波鳴きFEM解析, TOYOTA Technical Review, 47, 1, (84-89) (1997)
- 9) 小林, 外: ディスクブレーキ用パッドの冷間時 μ 特性の向上, 自動車技術会学術講演会前刷集, 972, 17-20 (1997)
- 10) Mitsuo Unno et al: Decrease of Friction Coefficient of Disc Pads During Low G Braking After Continuous High G Braking. SAE Paper 2005-01-3938 (2005)