

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：13903

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K13857

研究課題名(和文)引きずり抵抗を限りなくゼロとするディスクブレーキの開発研究

研究課題名(英文)Drastic Reduction in Drag Force of Car Brake by Rayleigh-Step

研究代表者

中村 隆(Nakamori, Takashi)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40135314

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：自動車のディスクブレーキパッドは、走行中もブレーキディスクと僅かに接触している。これが引き摺り抵抗となっている。中央のスリット部に45°のスリットを加えた改良ブレーキパッドを開発した。市販ブレーキパッドと改良ブレーキパッドを厳しい摩擦条件で摩耗させた後、周速38 km/hで回転する鋳鉄製ディスクに近づけた時の垂直方向押し付け力と、接線方向の摩擦力を測定した。市販ブレーキパッドでは、引き込まれる力が発生した。改良ブレーキパッドでは垂直力は常にプラスであり、部分的な接触が始まる距離15 μmまでは接線力は0である。このパッドを使うことで燃費は2.5%改善することが期待できる。

研究成果の概要(英文)：Brake pads of conventional disk brake of an automobile contact with brake disks, as a result of sliding resistance of brake caliper. This contacting loss is called brake loss, and it was assumed that 2.5% reduction of fuel consumption by eliminating the brake loss. It is shown firstly that the brake pad can float by the brake disk rotation, if the brake pad surface has an appropriate profile. In the next, it is shown that the appropriate profile is automatically created with increasing the pad wear, if the pad has special slits. This technique is an effective tribological method, because only exchange for developed brake pad leads reduction in fuel consumption of automobile.

研究分野：トライボロジー

キーワード：ディスクブレーキ 引きずり抵抗 改良パッド 浮上力

### 1. 研究開始当初の背景

一般的な乗用車用ディスクブレーキでは、キャリパーのしゅう動抵抗のために走行中もブレーキパッドがディスクと接触している。これによる損失を引き摺り抵抗と呼び、もしこれを0とするならば2.5%の燃費改善が期待できることが示されている<sup>1)</sup>。

### 2. 研究の目的

本研究ではまず、パッド表面形状が適切であればディスク回転によりパッドが浮上することを示す。またブレーキパッドに施されるスリット加工を別の形に置き換えることで、パッドの摩耗に伴い浮上に必要な表面形状が自動的に生成することも示す。この技術はドラムブレーキのリーディングシューにも適用可能であり、ブレーキパッドをこれに交換するだけで燃費が改善することから、極めて有効なトライボロジー技術となる。

### 3. 研究の方法

図1は乗用車で一般的なフローティングディスクブレーキである。ピストン側のパッドはゴムシールの働きで非制動時にディスクから離れることもあるが、キャリパーのしゅう動抵抗およびディスクの面振れのためにキャリパー側のパッドは走行中も接触することが多い。この接触による損失を引き摺り抵抗と呼び、著者はこの引き摺り抵抗を0とすれば燃料消費を2.5%削減できることを示している<sup>1)</sup>。そこで、ハードディスクのヘッドと同様にディスクの回転に伴う空気流でパッドが浮き上がるように、パッド表面に微細構造を付与することを考えた。

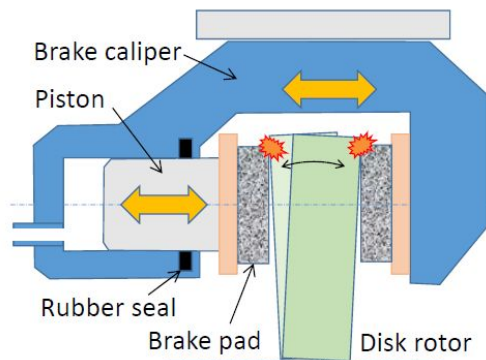


図1 フローティングディスクブレーキ

### 4. 研究成果

市販のブレーキパッドの摩擦面にエンドミル加工で図2に示す微細構造を作製した。50 $\mu\text{m}$ 高のコの字形ランドを左右に配置したパッドを図3に示す旋盤を利用した試験装置に装着し、ディスクローターに見立てた鋳鉄製の円盤を回転させた。ディスクとパッドとの隙間を変え、平行板ばねを組み合わせた動力計で接線力と浮上力を測定した。測定結果を図4,5に示す。クエット流れによる接線力は計算予想値にほぼ等しい値を示し、ディスクとパッドが接触していないことが分かる。浮上力は隙間が20 $\mu\text{m}$ 以下では5N以上の値を示し、ブレーキキャリパーをスライドさせるに十分な値であることが分かる。

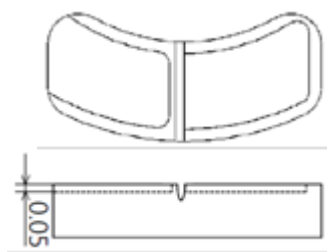


図2 微細構造を付与したパッド

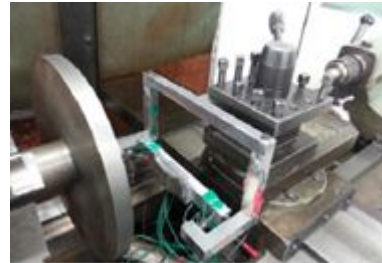


図3 旋盤を利用した実験装置

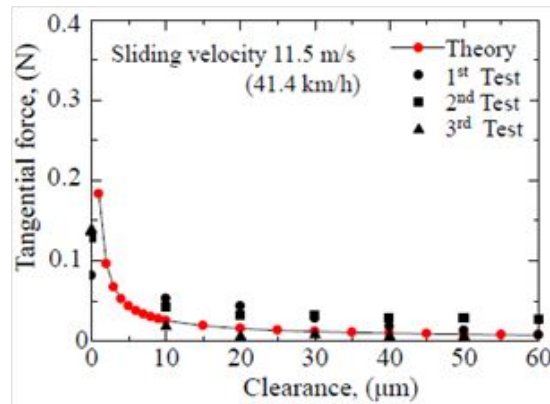


図4 接近量に対する接線力の測定結果

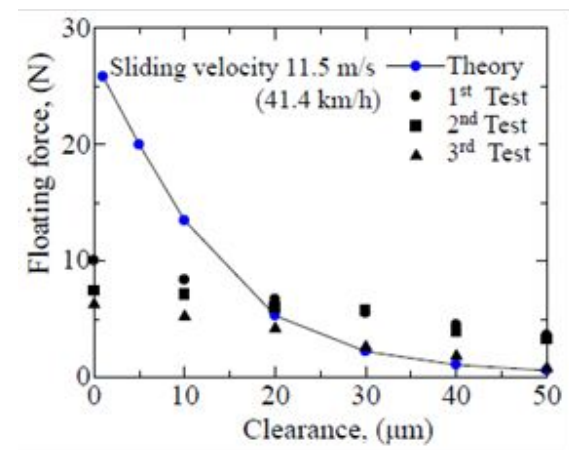


図5 接近量に対する浮上力の測定結果

前節で使用したパッドを実際にブレーキとして使用した場合は、ランド部が摩耗して機能が消失する。そこで、パッドが摩耗することにより自動的に浮上に適した表面微細構造が形成する方法を考えた。開発の条件は以下のとおりである。

- (1) 従来のブレーキパッドと材料は同一とする。
- (2) 強度を低下させてはならない。

(3) 一対で使われるため、左右対称とする。  
 これらを考慮して開発したのが図6のブレーキパッドである。パッド中央に垂直に入るスリットは市販品に最初から付けられたものであり、ブレーキの鳴きや引き摺り抵抗の削減を目的としている。長い下り坂での強い制動によりパッド表面は発熱し膨張しつつ摩耗する。そのため冷却するとパッド表面は中凹となり、ディスクに吸着する構造となる。そこで中央にスリットを入れて熱膨張を緩和している。しかしその効果は限定的であり、引き摺り抵抗削減には寄与していない。図7は強い制動試験の後に穏やかな接触摩擦をさせた市販のブレーキパッドであるが、中央のスリットの左右に中凹の表面が形成されていることが分かる。

開発した図6のブレーキパッドでは中央に斜め45°のスリットを対称に配置している。このパッドに垂直力と摩擦力が同時に作用した時の応力分布をFEMで解析した結果を図8に示す。ディスクとパッドとの接触すべりは摩擦係数を0.6とし、全体での垂直力に対する接線力の比は0.5として安定するまでの繰り返し計算を実行した。左側の斜め45°スリットの上部では応力が低くなり、この状態で全体が摩耗するならばスリット部の摩耗が相対的に少なくなり、垂直力が解放されると他の表面よりも高くなる。

図3の試験装置の動力計を強固なホルダに替え、開発した図6のパッドを取り付けて摩耗試験を行った。260のディスクを560rpmで回転させ、刃物台を手送りしてパッドを接触させ、摩擦と冷却を繰り返した。パッド全体が1mm摩耗したときのパッド表面プロファイルを図9に示す。スリット部は60μm程度盛り上がり、前方が後方よりも高い。パッドの摩耗に伴い、試作した図2の浮上パッドと同等の表面微細構造が生成したことが分かる。なお、スリット部の盛り上がりには発熱の影響も含まれていて、市販のパッドでも盛り上がりが見られた。しかし図7に示すように2つの中凹であり、浮上する能力はない。開発品は中央が高くなり、パッド前方のくさび形状で浮上するところに特徴がある。

摩耗試験でのパッド摩耗進行に伴う中央部の盛り上がりの変化を図10に示す。摩耗深さが0.2mm程度から盛り上がり量は一定となる。

市販ブレーキパッドと改良ブレーキパッドを厳しい摩擦条件で摩耗させた後、動力計を介して旋盤刃物台に取り付け、周速38km/hで回転する鋳鉄製ディスクに近づけた時の垂直方向押し付け力と、接線方向の摩擦力を測定した結果をFig. 11とFig. 12に示す。

市販ブレーキパッドでは、パッドを回転するディスクに近づけるにつれ垂直力はマイナス、つまり引き込まれる力が発生し、距離20μmまで接近すると部分的な接触が始まり距離15μmからは反発力となる。問題は垂



図6 改良したブレーキパッド (45° Slit)

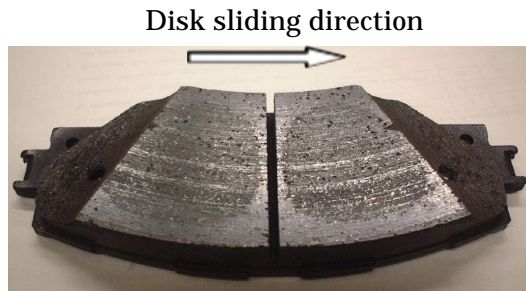


図7 使用後の市販ブレーキパッド

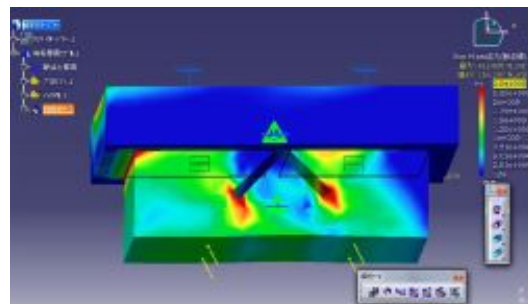


図8 FEM 計算結果の Mises 応力

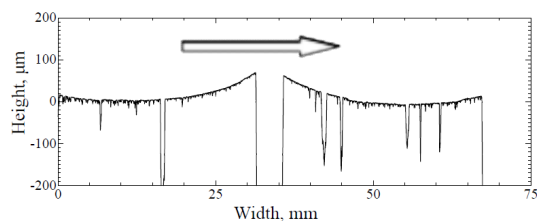


図9 開発したブレーキパッドの摩擦後表面プロファイル (摩耗量 1mm)

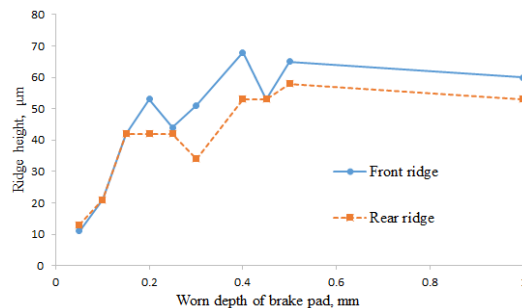


図10 摩耗量に対するパッド中央盛り上がりの増加量の変化

直力が 0 となる距離 15  $\mu\text{m}$  前後において接線力が発生している事であり、これが引き摺り抵抗の原因となっている。

改良ブレーキパッドでは垂直力は常にプラスであり、部分的な接触が始まる距離 15  $\mu\text{m}$  までは接線力は 0 である。このパッドを使うことで参考文献 1 より燃費は 2.5 %改善することが期待できる。

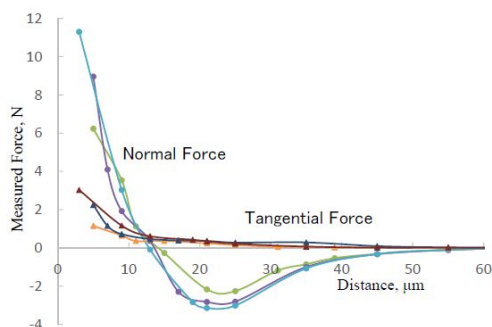


図 11 重摩擦後の市販ブレーキパッドをディスクに接近させたときの垂直力と接線力の測定結果

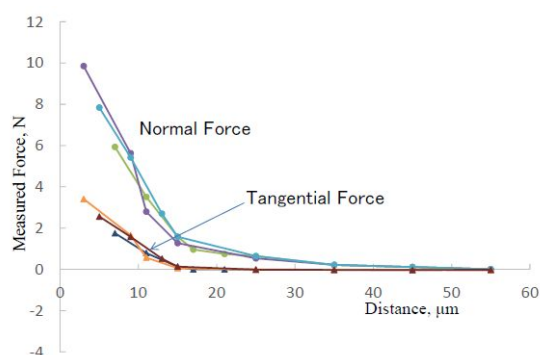


図 12 重摩擦後の改良ブレーキパッドをディスクに接近させたときの垂直力と接線力の測定結果

< 引用文献 >

- 1) Takashi Nakamura, Improvement of Fuel Efficiency of Passenger Cars by Taking Advantage of Tribology, Tribology Online, Vol. 12, No. 3 (2017) 76-81.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 0 件)

[学会発表](計 4 件)

中村隆, 摩耗を活用した燃費改善ブレーキパッドの開発, 日本トライボロジー学会 2017 春季大会講演論文集, 2017.  
Takashi NAKAMURA, Drastic reduction in drag force of car brake by

Rayleigh-step, WTC2017, The 6<sup>th</sup> World Tribology Congress, 2017.

中村隆, エンジン・パワートレインの摩擦削減と燃費向上, 日本トライボロジー学会 2018 春季大会講演論文集, 2018.

Takashi Nakamura, Effects of Macro and Micro Structure on Tribological Properties, Japan-Taiwan Tribology Symposium 2017, 2017.

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 1 件)

名称: ディスクブレーキ

発明者: 中村隆

権利者: 名古屋工業大学学長・鶴飼裕之

種類: 特許

番号: 特願 2017-030549

出願年月日: 2017 年 2 月 22 日

国内外の別: 国内

取得状況(計 0 件)

[その他]

ホームページ等 ナシ

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 隆 (NAKAMURA, Takashi)

名古屋工業大学大学院工学研究科・教授

研究者番号: 40135314

(2) 研究分担者

ナシ ( )