

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 6 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23656120

研究課題名(和文)カーボンマイクロブラシ膜の電場印加による高摩擦・耐摩耗機能発現

研究課題名(英文)Effect of electric field on friction and wear of carbon brush

研究代表者

梅原 徳次(Umehara, Noritsugu)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70203586

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：CVTやブレーキなどの摩擦による動力伝達機構においてコンパクトな機構を実現するためには高摩擦係数で、かつ耐摩耗性に富む材料が必要となる。硬質カーボン膜などが適するが方当たりにより摩耗する。そのため、面圧を均等化するカーボンマイクロブラシ膜(CMB膜)が期待できる。そこで、本研究ではCMB膜同士の摩擦において、耐摩耗性を向上する方法として、CMBをループ状に束ねた試験片を提案し、静摩擦係数と動摩擦係数が同程度となる特異な摩擦特性を維持しながら、比摩耗量を1/10に低減できることを明らかにした。また、CMBの高摩擦化のために直流電場印可を行ったがあまり影響を及ぼさないことが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：In order to realize new transmission and brake systems with small volume, high friction coefficient and wear resistance will be needed for sliding elements. Carbon fiber brush will be one of the promising elements if it have high friction coefficient and wear resistance. In this research, we proposed a loop-type carbon brush to avoid the sever wear of carbon brush from the edge. The proposed loop-type one showed 1/10 of wear volume compared to the normal-type carbon brush. In order to improve the friction coefficient of carbon brush, electric voltages were applied to the brush as 100 V, 200V and 300V. However electric voltages could not change the elastic stiffness of carbon brush.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：トライボロジー カーボンブラシ 摩擦 電場

1. 研究開始当初の背景

CVT やブレーキなどの摩擦による動力伝達機構においてコンパクトな機構を実現するためには高摩擦係数で、かつ、耐摩耗性に富む材料が必要となる。高摩擦の場合、摩擦面温度上昇のため、耐熱材が必要となる。硬質カーボン膜などが適するが方当たりにより摩耗する。そのため、反対に接触圧を均等化する弾性に富むカーボンマイクロブラシ膜 (CMB 膜) が期待できる。しかし、CMB 膜は摩擦時に摩擦方向へ傾倒し、摩擦を減少する。そこで、CMB 膜において、高摩擦・耐摩耗を実現する方法が必要である。

2. 研究の目的

本研究では CMB 膜の摩擦において、耐摩耗性を発現するための方法として、ループ型カーボンマイクロブラシを提案し、その有効性を明らかにする。また、摩擦増大のために電場を印可し、その影響を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) カーボンファイバーブラシの摩耗低減方法 (ループ状カーボンマイクロブラシの導入)

カーボンファイバーは、直径 5-7 μm で長さが数 cm から数 m まである高アスペクト比材料である。軽量、高比強度、高引張強度で高可撓性を有する物質であり、これらの特徴から航空機の主翼や本体部分の構造体形成のために使用されている。また、カーボンファイバーは炭素原子から構成されており、円柱状の側面部分は、グラファイトを有する構造であるため、低摩擦係数となることが予測されている。カーボンファイバーを摩擦材料として使用する場合、糸状のファイバーを編むことにより、低摩擦大面積の作製可能性があることや、ファイバーを束ねることにより、その端面は相手表面に沿って変形が容易なブラシ状とすることができるため、様々な形態を作製可能である。ファイバーと相手材料のしゅう動に際して、ファイバー個々の変形により通常バルク材料を摩擦する場合に得られる摩擦係数と異なる挙動の摩擦面の創生が可能であると考えられる。

ファイバーをブラシ状に束ねた場合、真実接触点でのファイバーと相手材料との摩擦に伴うファイバーの変形が起こると予想されるため、バルク材料で観察されるような明確な静摩擦係数が発生しないと予想される。著者らはカーボンファイバーブラシを束ねた端面の摩擦摩耗特性として、静・動摩擦係数がほぼ 1 となることを明らかにしてきたが、端面接触での摩擦の場合、カーボンファイバーの折損摩耗と考えられる摩耗粉がファイバー表面に多数観察され、カーボンファイバーブラシの比摩耗量が大きく、耐摩耗性を得られない結論に至っていた。このような折損摩耗はカーボンファイバーの端面を接触させることで得られることから、ファイバーの

側面 (ファイバーを円柱と見た場合の側面部分) が接触する機構での摩擦により耐摩耗性を向上できるのではないかと仮定した。そこで本研究では、複数本のファイバーを保持可能かつ、ファイバー側面が相手材と接触することができる治具を用い摩擦試験を行った。相手材料にはアルミ合金を用いループ状ブラシ形状におけるカーボンファイバー側面の基礎的摩擦特性について明らかにした。また、カーボンファイバーの接触状態における摩耗特性を明らかにするため、側面しゅう動型と端面しゅう動型のカーボンファイバーブラシを作製し、アルミニウム合金に対し一方方向にしゅう動する摩擦試験を繰り返し行い、比摩耗量を算出した。

カーボンファイバーは TORAY 社製トレカ®糸 T700SC-12000 を用いた。1 本の糸は 12000 本のカーボンファイバーで構成されており、この両端を $\phi 2$ の六角ボルトにより固定し、ファイバー側面がしゅう動部となるようにした。ファイバー先端の固定治具からの長さを突出し長さ l と定義し、ファイバーを丸棒に巻き付けたもの ($l = 0 \text{ mm}$) と丸棒を除去し中空にしたもの ($l = 1$ 及び 3 mm) のブラシを作製した。

相手材料として $60 \times 60 \times 3 \text{ mm}$ のアルミ合金製平板試験片を用い、その表面は #3000 の研磨紙を用いて仕上げ、算術平均粗さ $Ra = 0.2 \mu\text{m}$ とした。

ファイバー試験片と平板との摩擦試験は往復しゅう動型摩擦試験機により行われた。装置の模式図を図 1 に示す。垂直荷重及び水平方向の摩擦力はいずれも平行板バネに貼り付けられたひずみゲージにより測定された。垂直荷重はピン試験片を固定している Z 軸ステージの上下動により、ピン試験片先端と相手材料を接触させて与えた。しゅう動のための往復動は、平板試験片を保持している自動 X 軸ステージにより行われた。1 方向のすべり距離を 15 mm、すべり速度 5.0 mm/s とし、垂直荷重 0.3、0.5 及び 0.7 N にて試験を行った。いずれも大気中室温にて試験を行った。

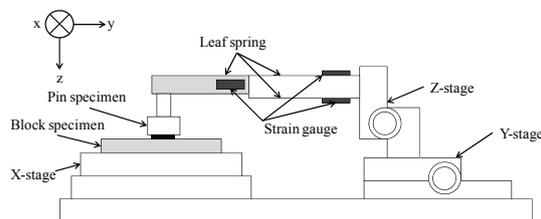


図 1 摩擦試験装置

往復しゅう動型摩擦試験機を用いて、一方方向にしゅう動させた場合の代表的な摩擦試験結果として、カーボンファイバーブラシとアルミ合金平板の摩擦試験結果を図 2 (a) から (c) に示す。いずれも突き出し長さは 1 mm、しゅう動方向は繊維に対して平行で、(a) は

垂直荷重 0.3 N, (b) は 0.5 N 及び (c) は 0.7 N である. しゅう動距離 15 mm までの範囲における初期数 mm での最大摩擦係数を静摩擦係数と定義し, すべり距離 3 から 12 mm までの範囲の摩擦係数を動摩擦係数と定義した. 垂直荷重に関わらず静動摩擦係数と動摩擦係数の差は小さかった. これはファイバーのループ内部が中空であるため, すべり出し時にファイバーが変形したためであると考えられる. 同様の試験をそれぞれ 3 回ずつ行った実験結果をまとめて図 3 に示す. 静摩擦係数と動摩擦係数はあまり変わらなく荷重の増加に伴い若干減少していくことが明らかになった.

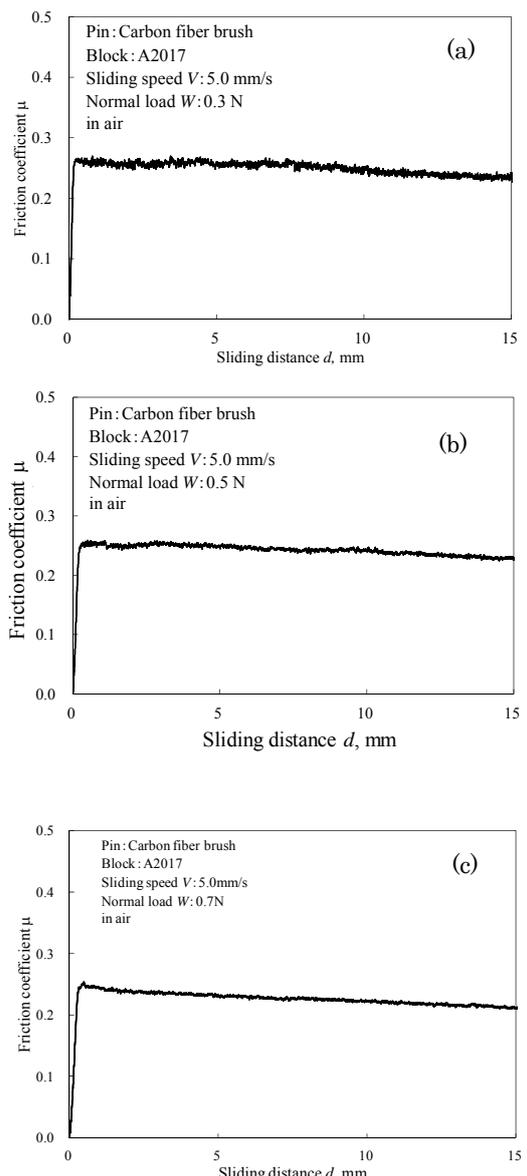


図 2 異なる荷重下でのカーボンマイクロブラシとアルミ合金のすべり出し時の摩擦試験結果 ((a) 0.3 N, (b) 0.5 N and (c) 0.7 N)

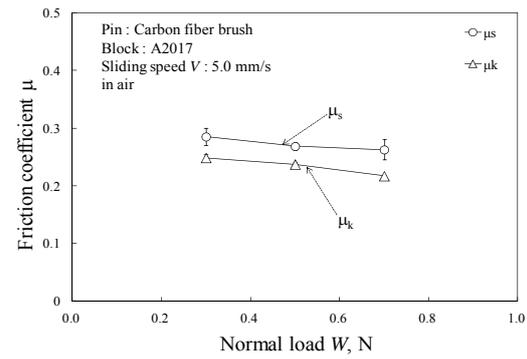


図 3 カーボンマイクロブラシの静摩擦係数と動摩擦係数に及ぼす荷重の影響

カーボンファイバーブラシの接触状態が比摩耗量に与える影響を明らかにするため, 相手材料にアルミニウム合金を用いて摩擦試験を行った. 試験後のカーボンファイバーブラシ試験片の重量損失をカーボンファイバーの密度 (0.0018 g/mm^3) で除し, 摩耗体積を算出した. 得られた摩耗体積をすべり距離及び荷重の積で除し比摩耗量を算出した. カーボンファイバーおよびアルミ合金の比摩耗量を図 4 に示す. カーボンファイバーの比摩耗量はファイバー端面において $10^{-3} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ の桁であり, ファイバー側面における比摩耗量 $10^{-4} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ の桁と比較して大きく摩耗していることが確認された. この原因として, 端面におけるしゅう動時においてカーボンファイバーの切断を伴った摩耗が発生していることが考えられる. その一方, ファイバー側面の摩耗においては切断されたカーボンファイバーがそのまま保持されるため, 重量損失が少ないと考えられる. また, 相手材料である平板試験片の比摩耗量は $10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ の桁であり, カーボンファイバーの方が多く摩耗していることが確認された.

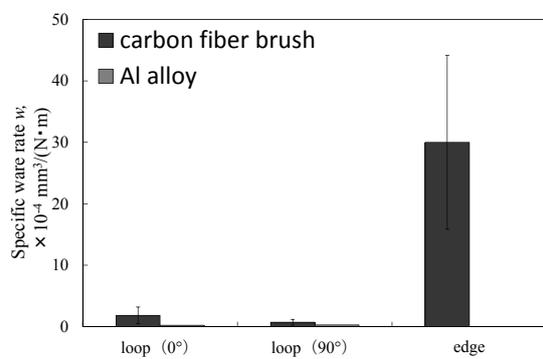


図 4 ループ型カーボンマイクロブラシと通常のカーボンマイクロブラシの比摩耗量

(2) カーボンマイクロブラシ(CFB)膜の垂直剛性の測定及びそれらに及ぼす電場の影響

研究代表者の現有設備である微小押し込み摩擦装置において接触点に電場を印加できるように装置の改良を施す。具体的には、現有設備の圧子と平面試験片ホルダーの周囲の絶縁を十分にとる。研究室保有の交直流アンプで、平面試験片上の CFB 膜に、最大 +500V までの直流電場を印加し、カーボンファイバー相互に静電力が生じ、膜としての垂直剛性を変化させる。圧子の押し込み及び水平移動時の反力を測定し、CFB 膜の垂直及び水平方向の剛性に及ぼす電場の影響を明らかにした。

試験のために試作したカーボンマイクロブラシ電場印可押し込み装置の概略図を図5に示す。

Equipment

Procedure of experiment

1. Setting specimens
2. Applying electric voltage on carbon blush
3. The slider goes down
4. Pressing glass specimen
5. Stopping when load reaches 3 N
6. The slider holds its position for 5 seconds
7. The slider goes up

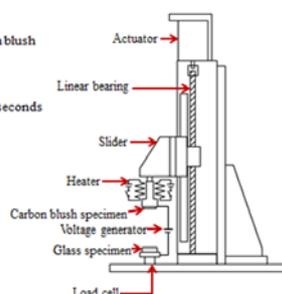


図5 カーボンマイクロブラシ電場印可押し込み装置概略図

押し込み速度としては、0.01mm/s と 0.1mm/s の2種類とし、押し込み字の傾きから押し込み剛性に及ぼす電場の影響を検討した。

図6に、-500V から+500V まで異なる直流電圧を印可した場合に、0.1mm/s の押し込みを行った際の反力の押し込み深さに対する変化を示す。図より、0.1mm/s の押し込みの際において、直流電圧は押し込み字の反力に殆ど影響を及ぼさないことが分かる。

Press test 0.1 mm/s

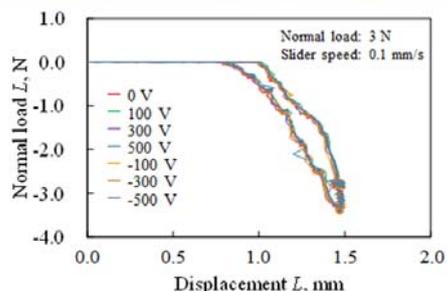


図6 押し込み荷重曲線に及ぼす電場の影響

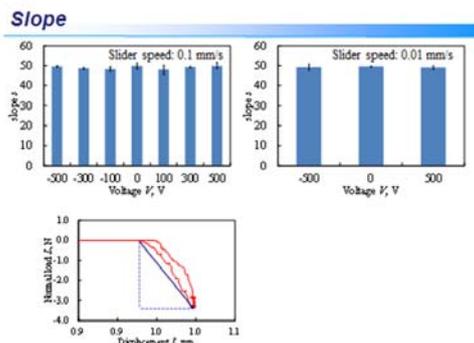


図7 押し込み剛性（傾き）に及ぼす電場の影響

図7に、図6の反力の傾きを示す。この傾きは剛性を表しており、この図より、カーボンマイクロブラシの押し込みにおける剛性に及ぼす直流電場の影響はあまり無い事が明らかとなった。

4. 研究成果

本研究ではカーボンマイクロファイバーブラシの摩擦において、耐摩耗性を発現するための方法として、ループ型カーボンマイクロブラシを提案し、その有効性を明らかにした。また、摩擦増大のために電場を印可し、その影響を明らかにした。得られた主な研究成果を以下に示す。

- (1) カーボンファイバーブラシの動摩擦係数は、ファイバーが可撓性をもつ形態であるとき、静摩擦係数と動摩擦係数が同程度となる。
- (2) カーボンファイバーブラシの比摩耗量はループ状とした場合のファイバー側面において $10^{-4} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ の桁であり、ファイバー端面における比摩耗量 $10^{-3} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ の桁と比較して小さくなる。
- (3) カーボンマイクロブラシの押し込みにおける剛性に及ぼす直流電場の影響はあまり無い。

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 1 件)

- ① 磯貝 司, 野老山 貴行, 梅原 徳次, カーボンファイバーブラシの静・動摩擦係数と摩耗低減方法、日本機械学会年次大会、2013年9月9日、岡山大学

② [図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅原徳次 (UMEHARA, Noritsugu)
名古屋大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：70203586

(2) 研究分担者

上坂裕之 (KOUSAKA, Hiroyuki)
名古屋大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：90362318

(3) 研究分担者

野老山貴行 (TOKOROYAMA, Takayuki)
名古屋大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：20432247

(4) 研究分担者

月山陽介 (TSUKIYAMA, Yousuke)
新潟大学・大学院自然科学研究科・助教
研究者番号：00533639