

## カーボンファイバーブラシの耐摩耗性の向上

梅原 徳次<sup>†</sup>

<sup>†</sup>名古屋大学大学院工学研究科 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町

E-mail: <sup>†</sup>ume@mech.nagoya-u.ac.jp

あらまし スティックスリップを抑制するしゅう動面の開発のために、カーボンファイバーを束ねたカーボンファイバーブラシを作製した。その結果、静摩擦係数と動摩擦係数の比は、ほぼ1であり目的を達成した。しかし、カーボンファイバーブラシの比摩耗量が  $10^{-3} \text{mm}^3/\text{Nm}$  のオーダーであり大きいため、カーボンファイバーをループ状に束ねた新しいカーボンファイバーブラシを提案し、その摩擦摩耗特性を明らかにした。その結果、カーボンファイバーブラシの比摩耗量はファイバー側面において  $10^{-4} \text{mm}^3/\text{Nm}$  のオーダーであり、ファイバー端面における比摩耗量  $10^3 \text{mm}^3/\text{Nm}$  のオーダーと比較して1/10に小さくすることが可能であることが明らかとなった。また、ループ状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ことが明らかとなった。

キーワード カーボンファイバー、ブラシ、静摩擦、動摩擦、耐摩耗

## Improvement of wear properties of carbon fiber brush

Noritsugu UMEHARA<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Nagoya Univ. Dept. of Mechanical Science and Engineering

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi, 464-8603 Japan

E-mail: <sup>†</sup>ume@mech.nagoya-u.ac.jp

**Abstract** Carbon fiber is one of the candidates to make friction surface without coating. It is assumed that carbon fiber is consisted by carbon atoms, therefore, it is able to make sustainable friction surface without lubrication. However, the tribological property of carbon fiber is not so clear. In the case of carbon fiber edge slid, the wear amount was so much which can not be a candidate to high wear proof material, because of cutting wear had been taking place. From the view point of prevent cutting wear, we hypothesized carbon fiber side would be a candidate. To clarify the tribological property of carbon fiber brush, we conducted friction test between carbon fiber and aluminum alloy with different normal load. The carbon fiber was bind by jig and hexagon head bolt, and then it can contact its side. The carbon fiber brush showed almost same static friction coefficient  $\mu_s$  and kinetic friction coefficient  $\mu_k$ ,  $\mu_s/\mu_k$  was around 1.0 to 1.6. The specific wear rate of carbon fiber was around  $10^{-4} \text{mm}^3/\text{Nm}$  that was larger than aluminum alloy.

**Keyword** carbon fiber, static friction, kinetic friction, wear resistance

### 1. 緒言

カーボンファイバーは、直径 5-7  $\mu\text{m}$  で長さが数 cm から数 m までである高アスペクト比材料である<sup>(1)</sup>。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の強化材として使用されている<sup>(2)</sup>。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の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・動摩擦係数がほぼ同じとなることを明らかにしてきた<sup>(3)</sup>。しかし、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、本研究ではファイバーの側面（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静・動摩擦特性についてしゅう動方向も考慮し明らかにした。また、摩擦特性本文に関してが繊維方向に依存するか否かを明らかにするため、繊維方向と繊維に対し垂直方向に試験片をしゅう動させ、その摩擦特性について調べた。また、カーボンファイバー摩耗特性に及ぼす接触状態の影響を明らかにするため、ループ型とブラシ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しゅう動する摩擦試験を繰り返し行い、比摩耗量を明らかにした。

## 2. 実験方法及び実験手順

### 2.1 カーボンファイバーブラシ試験片及び相手材料

カーボンファイバーは TORAY 社製トレカ<sup>®</sup>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M2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 ( $l = 0$  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 (図1) を作製した。

相手材料として  $60 \times 60 \times 3$  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。

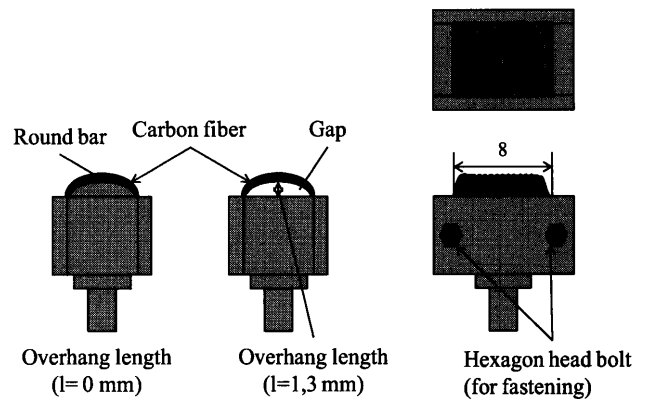


Fig. 1 Schematic image of carbon fiber brush

### 2.2 往復しゅう動型摩擦試験装置

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2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  $5.0 \text{ mm/s}$  とし、垂直荷重  $0.3$ ,  $0.5$  及び  $0.7 \text{ N}$  にて試験を行った。いずれも大気中室温にて試験を行なった。

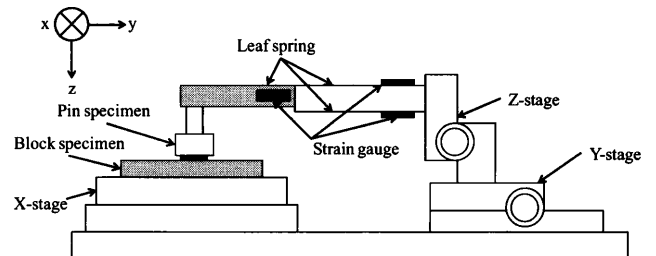


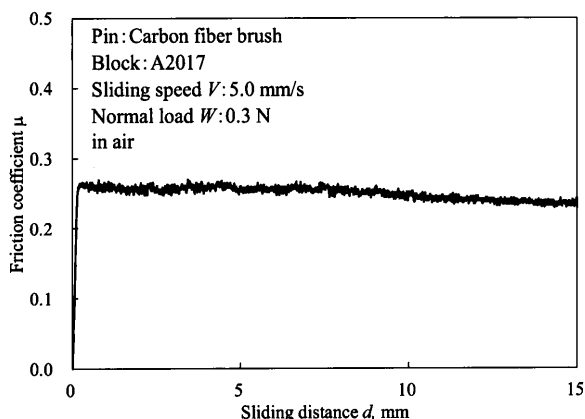
Fig. 2 Schematic image of reciprocating friction test apparatus

## 3. 実験結果及び考察

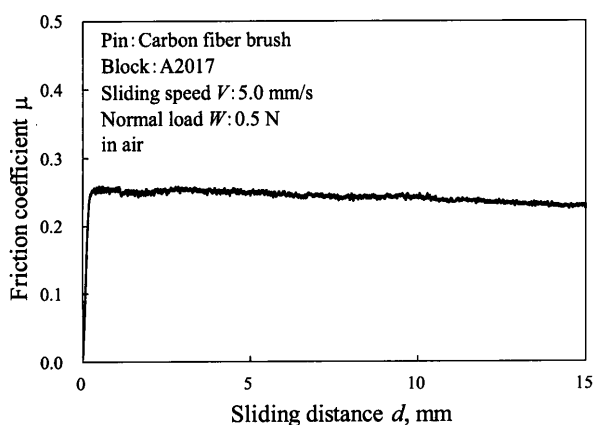
### 3.1 静摩擦係数及び動摩擦係数に及ぼす垂直荷重の影響

往復しゅう動型摩擦試験機を用いて、一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3(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  $0.3 \text{ N}$ 、(b)は  $0.5 \text{ N}$  及び (c)は  $0.7 \text{ N}$  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

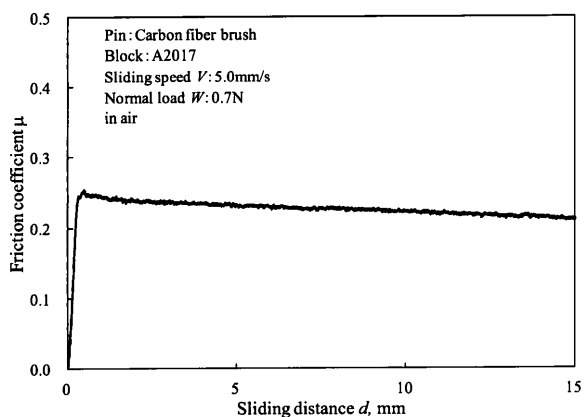
の最大摩擦係数を静摩擦係数と定義し、すべり距離 3 から 12 mm までの範囲の摩擦係数を動摩擦係数と定義した。垂直荷重に関わらず静動摩擦係数と動摩擦係数の差は小さかった。これはファイバーのループ内部が中空であるため、すべり出し時にファイバーが変形したためであると考えられる。同様の試験をそれぞれ 3 回ずつ行った実験結果をまとめて図 3 (d) に示す。静摩擦係数と動摩擦係数は荷重の増加に伴い減少していきことが明らかになった。



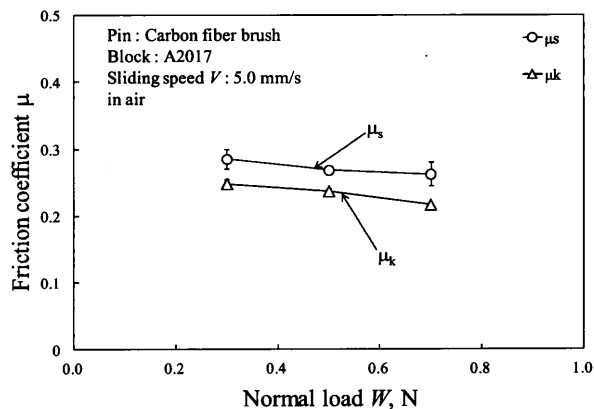
(a)



(b)



(c)



(d)

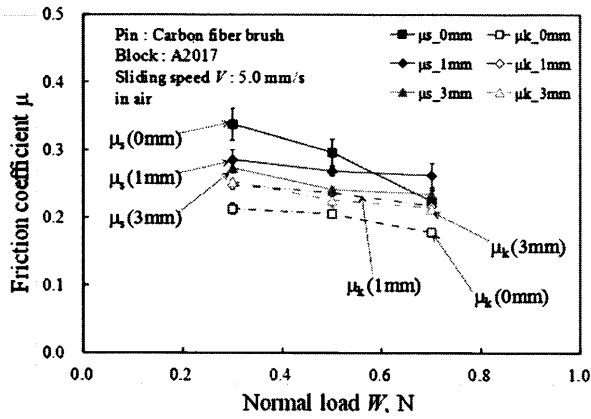
Fig. 3 The friction test results of carbon fiber brush (overhand length:  $l = 3$  mm) sliding against A2017 block with normal load at (a) 0.3 N, (b) 0.5 N and (c) 0.7 N, and (d) 3 times friction tests average

### 3.2 静摩擦係数及び動摩擦係数に及ぼすファイバー突き出し長さの影響

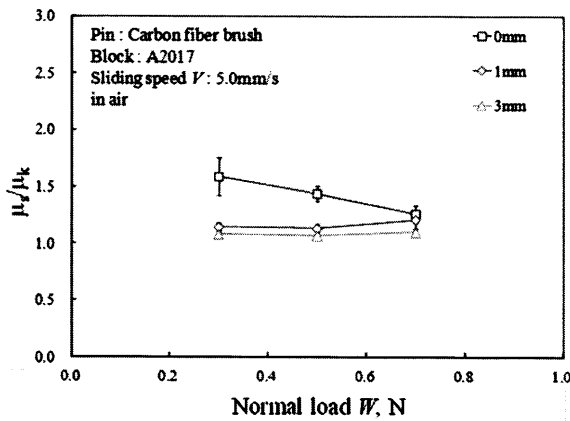
カーボンファイバーブラシの突き出し長さを変更した場合のアルミ平板に対して摩擦試験を行なった。結果をまとめて図 4 (a) に、得られた結果の静摩擦係数を動摩擦係数で除した  $\mu_s/\mu_k$  と垂直荷重との関係を (b) に示す。突き出し長さ  $l = 0$  mm のとき、静止摩擦係数が大きくなる一方で動摩擦係数が小さくなることが明らかとなった。また図 4 (b) から、突き出し長さ  $l = 0$  mm のとき垂直荷重の増加にしたがって静摩擦係数と動摩擦係数の比が 1 に近づいていくことが明らかになった。

### 3.3 静摩擦係数及び動摩擦係数に及ぼす繊維に対するしゅう動方向の影響

ファイバーの繊維に対するしゅう動方向が摩擦係数に与える影響を明らかにするため、繊維に対して平行方向 ( $0^\circ$ ) と垂直方向 ( $90^\circ$ ) における実験を行った。得られた実験結果を図 5 (a) 及び静摩擦係数を動摩擦係数で除してまとめた結果を図 5 (b) に示す。図 5 (a) に示すように、突き出し長さ  $l = 0$  mm,  $0^\circ$  方向のとき、静摩擦係数が大きく、動摩擦係数が小さい値を示した。突き出し長さ  $l = 0$  mm,  $90^\circ$  方向の場合は  $l = 1, 3$  mm のときと同様の傾向を示してしている。また、図 5 (b) に示すように突き出し長さ  $l = 0$  mm,  $0^\circ$  方向の場合のみ、静摩擦係数と動摩擦係数の比が荷重に従って減少することが明らかになった。

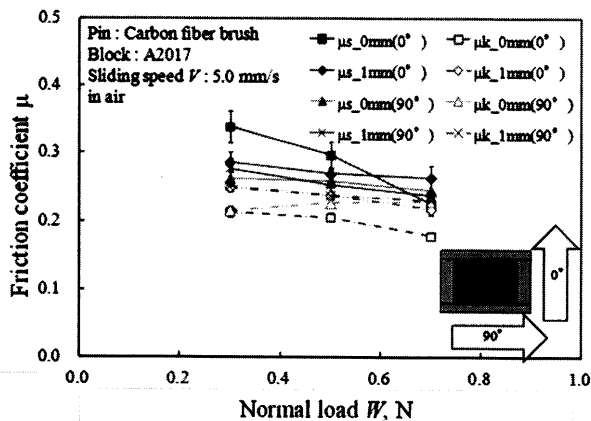


(a)

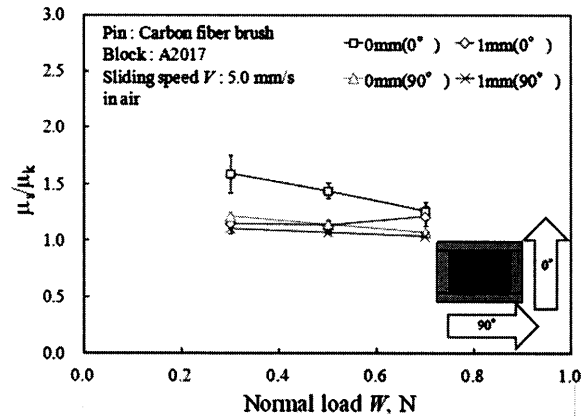


(b)

Fig. 4 (a) Friction test results of carbon fiber brush (overhand length:  $l = 0, 1$  and  $3$  mm) sliding against A2017 block, and (b) summary of static friction coefficient  $\mu_s$  divided by kinetic friction coefficient  $\mu_k$



(a)

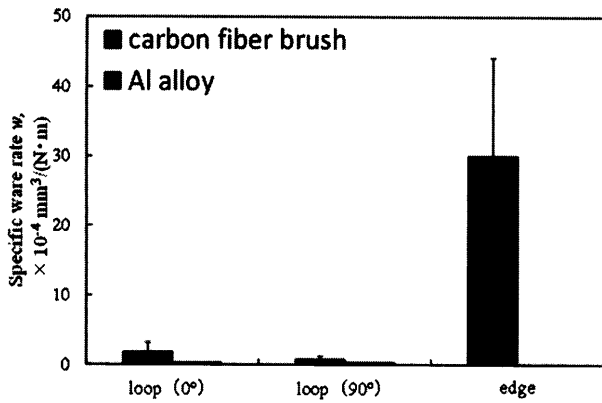


(b)

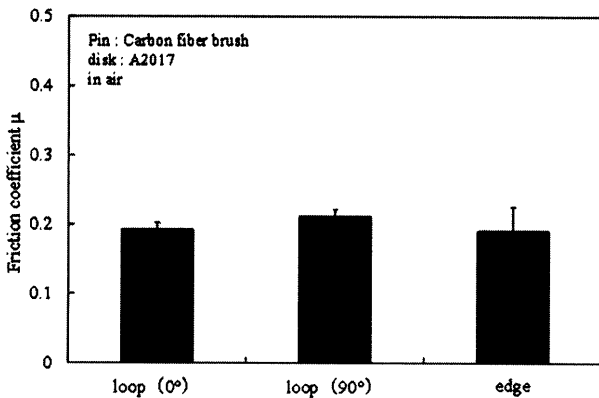
Fig. 5 (a) Friction test results of different overhand length of carbon fiber sliding against A2017, and (b) summary of static friction coefficient  $\mu_s$  divided by kinetic friction coefficient  $\mu_k$

### 3・4 カーボンファイバーブラシの摩耗特性

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 ( $0.0018 \text{ g/mm}^3$ ) 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 6 (a) に、しゅう動時の摩擦係数を図 6 (b) 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。



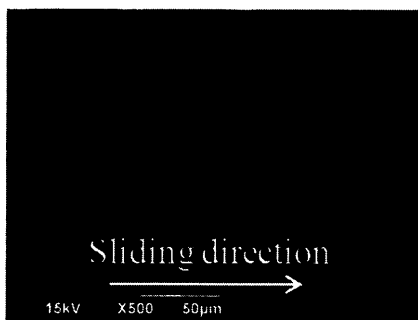
(a)



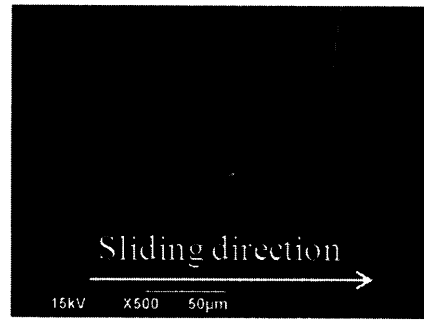
(b)

Fig. 6(a) Specific wear rate of carbon fiber and Al2017  
(b) friction coefficient

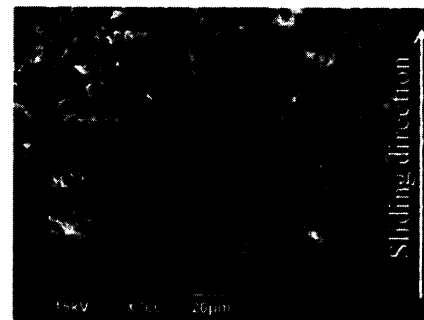
図 7 に摩擦試験後のカーボンファイバーブラシの表面 SEM 観察結果を示す。カーボンファイバー側面において端面と比較して摩耗粉の付着量が少ない。これはカーボンファイバーの側面が接触することによって相手攻撃性が小さくなったためであると考えられる。



(a)



(b)



(c)

Fig. 7 After sliding carbon fiber against A2017, (a) loop type sliding direction at 0 degree (b) loop type sliding direction at 90 degree and (c) edge surface of after sliding surface

#### 4. 結言

カーボンファイバーをループ状に束ねた試験片の摩擦摩耗特性を明らかにするため、異なる荷重、しゅう動方向、接触状態のカーボンファイバーブラシに対し摩擦試験を行い、以下の結論を得た。

- (1) カーボンファイバーブラシの比摩耗量はファイバー側面において  $10^{-4} \text{ mm}^3/\text{Nm}$  のオーダーであり、ファイバー端面における比摩耗量  $10^{-3} \text{ mm}^3/\text{Nm}$  のオーダーと比較して 1/10 に小さくすることが可能であることが明らかとなった。
- (2) ループ状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ことが明らかとなった。
- (3) カーボンファイバーブラシは突出し長さ  $l = 0 \text{ mm}$ 、 $0^\circ$  方向の場合、静摩擦係数と動摩擦係数の比が最も大きくなった。比は垂直荷重の増加に伴い 1 に近づいた。

#### 文 献

- [1] 風間俊治, “ブラシのトライボロジーについて (歯ブラシを用いた摩擦特性の模擬実験)”, 日

本機械学会北海道支部第47回講演概要集,(2008),  
pp. 141-142.

[2] 大谷杉郎, “炭素質繊維”, 炭素, Vol. 50  
(1967), pp. 32-39.

[3] 大塚由佳, 野老山貴行, 梅原徳次, 月山陽介,  
“カーボンファイバークラシのトライボロジー  
特性”, 日本機械学会 2012 年度年次大会予稿集,  
(2012), J111025.