

601 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)

Tribology of Brushes (Experimental Simulation of Frictional Characteristics with Toothbrushes)

正 風間 俊治 (室蘭工大)

Toshiharu KAZAMA, Muroran Institute of Technology, 27-1, Mizumoto-cho, Muroran, Hokkaido

Keywords: Tribology, Toothbrushes, Bristles, Friction, Experiment

1. はじめに

ブラシの接触を利用した応用分野は、歯ブラシ¹⁾による口腔内の刷掃²⁾、工業用ブラシによる研磨やバリ取り、導電性ブラシによる電動機やスリップリングの電気接点、スweepによる路面や床面の清掃など、きわめて多岐に亘る。これらに共通する物理現象は、ブラシ先端と対象物表面との固体接触を含むしゅう動運動であり、学問・技術分野はトライボロジー(摩擦、摩耗、潤滑)の範疇となる。

本研究では、ブラシのトライボロジカル作用とそのメカニズムを探るため、その第1段階として、歯ブラシを用いた基礎的なしゅう動摩擦特性試験を行う。本報では、押付け荷重、しゅう動速度、ブラシの剛さ、被摩擦材の材質と表面粗さ、潤滑液の有無などが摩擦係数に及ぼす影響を実験的に調べた結果について報告する。

2. 実験装置および方法

実験装置の模式図を Fig. 1 に示す。本装置の主な構成は、電動モータ⑩(ブラシレス DC モーター、定格出力 40 W)とそのコントローラ⑪、クランク⑨、ひずみゲージ式ロードセル③(定格容量 0.98 N, 固有振動数 350 Hz)、動歪計②(周波数特性 DC~200 kHz)、供試歯ブラシ⑤、被摩擦試験片⑥ならびにデータレコーダ①であった。供試歯ブラシの駆動は、クランク機構を用いて、回転運動を往復運動(ストローク 10 mm)に変換させる方式を採用した。供試歯ブラシには、ブラシ先端が球状かつその見掛けの接触面が平坦な、市販の成人用歯ブラシ³⁾を用いた。ブラシの材質はナイロンであり、その剛さは「ふつう」と「かため」の2種類であった。相手材として、板状の被摩擦試験片(長さ 90 mm, 幅 20 mm, 厚さ 2 mm)を準備した。その材質は、ステンレス鋼(SUS304D)、四ふっ化エチレン樹脂(PTFE)、ポリエチレンテレフタレート(PET)の3種類であった。

実験は、まず歯ブラシの押付け荷重 W としゅう動速度 v を、低荷重かつ低速の条件に設定した。その後、一定荷重 W のもとに供試歯ブラシを往復運動させたときに被摩擦試験片に作用する摩擦力 F をロードセルで測定し、データレコーダに記録した。摩擦係数 f は、記録された摩擦力 F の平均値を荷重 W で除して求めた。ただし、新品の歯ブラシは、実験前後の F の変化やバラツキが大きかった。そこで、データが安定するまでの時間を調べた。その予備実験の結果に基づき、「ふつう」で 5 h、「かため」で 1 h のなじみ運転を行うこととした。なお、荷重 W はデッドウェイト方式で 6 段階に設定した ($W=0.84, 1.74, 2.63, 3.52, 4.42, 5.31$ N)。しゅう動面の中心位置におけるしゅう動速度 v は 4 段階 ($v=10.5, 26.2, 52.4, 105$ mm/s) とした。潤滑状態として、乾燥と湿潤を設定した。湿潤の場合の潤滑液には、飲料水(ミネラルウォーター)を用いた。なお、ロードセル③と被摩擦試験片マウント⑦を結合するねじ⑭の片側に逆ねじ加工を施すことで、被摩擦試験片の取付け性を向上させた。

3 種類の被摩擦材の表面には、紙ヤスリ (No.60, No.240) を用いて、それぞれ 3 段階の非方向性の粗さを付けた。しゅう動実験前後に、接触式表面粗さ計を用いて、ブラシがしゅう動する領域の縦および横方向の算術平均粗さ R_a を 10 回ずつ測定した。その平均値より被摩擦材の粗さ σ を求めた。SUS 被摩擦材は $\sigma=0.10\sim 0.14, 0.18\sim 0.24, 0.27\sim 0.43$ μRa , PET 被摩擦材は $\sigma=0.03\sim 0.04, 1.06\sim 1.23, 2.80\sim 3.47$ μRa , PTFE 被摩擦材は $\sigma=0.17\sim 0.20, 1.38\sim 1.83, 4.46\sim 5.30$ μRa であった。

3. 実験結果および考察

Fig. 2 は、被摩擦材: SUS, 粗さ $\sigma=0.10$ μm , ブラシ「かため」、潤滑状態: 湿潤の条件下における摩擦係数 f を、しゅう動速度 v に対して示す。さらに、押付け荷重 W の影響を明示するために、 $v=10.5, 52.4, 105$ mm/s の実験結果を Fig. 3 に整理する。

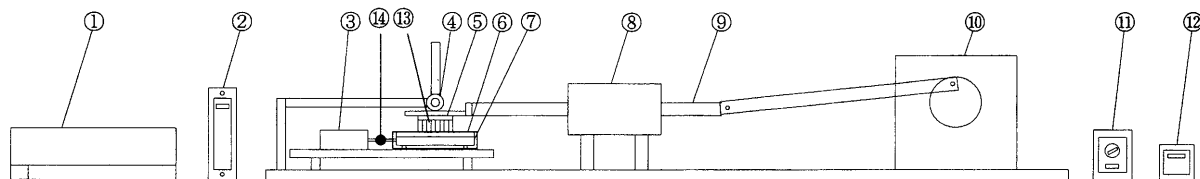


Fig. 1 Friction-characteristic tester of toothbrush (1: Recorder, 2: Dynamic strain amplifier, 3: Load-cell, 4: Weight-holder, 5: Test toothbrush, 6: Test plate, 7: Mount, 8: Guide, 9: Rod, 10: Electric motor, 11: Speed controller, 12: Digital tachometer, 13: Bath, 14: Screw)

摩擦係数 f は W が小さくなる, あるいは v が大きくなると増加し, W と v に対する依存性が現れた. これはブラシと被摩擦材との接触が, 母体の弾性変形の影響を無視できる固体同士をしゅう動させる状況とは異なり, 単純な Amonton/Coulomb の法則が成立しなかったためといえる. なお, 高荷重, 高速度の条件の一部でプロットが欠けている理由は, 摩擦力が大きくなり, ロードセルの定格容量を超えることが予測されたので, 実験を中断したためである.

Fig. 4 には, ブラシの硬さ「ふつう」の歯ブラシを用いた場合の実験である. Fig. 2 と比較すると, SUS の場合, 「かため」の方が摩擦係数 f がやや大きくなったが, 有意性は低い. 他の条件では逆転する場合もあり, ブラシの硬さの影響については検討の余地が残る.

Fig. 5 は乾燥摩擦状態における結果である. Fig. 3 と比較すると, SUS の場合, 水潤滑状態の方が摩擦係数 f は大きかったことになる.

Fig. 6 は被摩擦材の表面粗さの影響を, Fig. 7 は材料の影響を示す. 全体的な傾向として, 粗さの大きい方が摩擦係数 f は大きくなった. また, 材料の種類でみると, 摩擦係数 f は, SUS で大きく, PTFE で小さくなった.

4. むすび

市販の歯ブラシを用いて, ブラシの摩擦特性試験を行った. 本実験より得られた主な結果は以下の通りである.

- i) 小さな荷重あるいは大きなしゅう動速度で摩擦係数は増大した.
- ii) 乾燥状態よりも水潤滑状態の方が摩擦係数は大きかった.
- iii) 摩擦係数は, 相手材の材質が SUS, PET, PTFE の順に大きかった.

本実験には, 当時の本学卒研究生 土田 智彦 君, 新山 正夫 君の助力を得た. 記して謝意を表す.

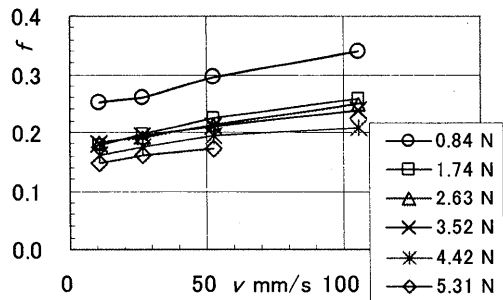


Fig. 2 Friction coefficient f vs. sliding speed v ($Ra=0.10 \mu m$, SUS, Hard, Wet)

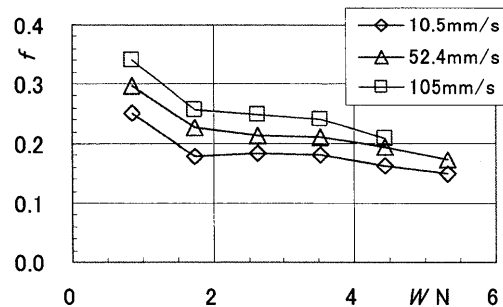


Fig. 3 Effects of load W and speed v on friction coefficient f ($Ra=0.10 \mu m$, SUS, Hard, Wet)

参考文献

- 1) 金子: トライボロジスト, 39-6 (1994), 503/509.
- 2) R. Lewis, R. S. Dwyer-Joyce and M. J. Pickles: Interaction Between Toothbrushes and Toothpaste Abrasive Particles in Simulated Tooth Cleaning, *Wear*, 257, 3-4 (2004), 368-376..
- 3) JIS S3016, 1995.

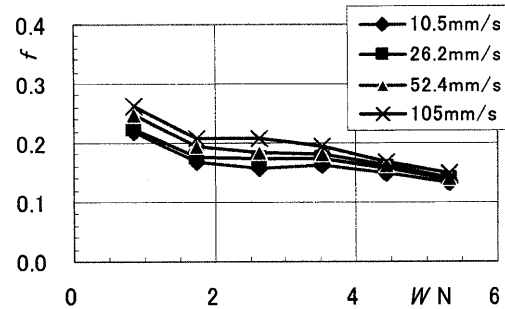


Fig. 4 Effects of W and v on f ($Ra=0.10 \mu m$, SUS, Mild, Wet)

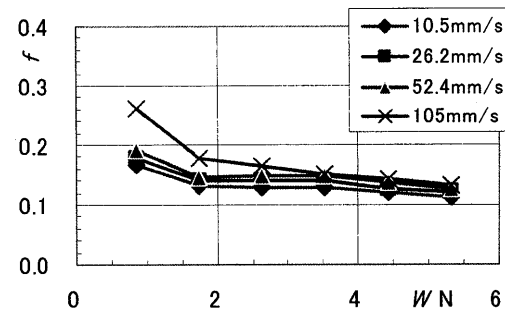


Fig. 5 Effects of W and v on f ($Ra=0.13 \mu m$, SUS, Hard, Dry)

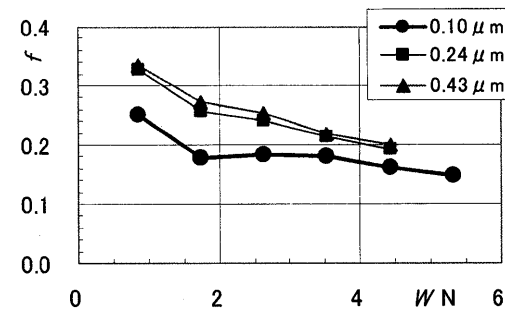


Fig. 6 Effect of roughness on f ($v=10.5 \text{ mm/s}$, SUS, Hard, Dry)

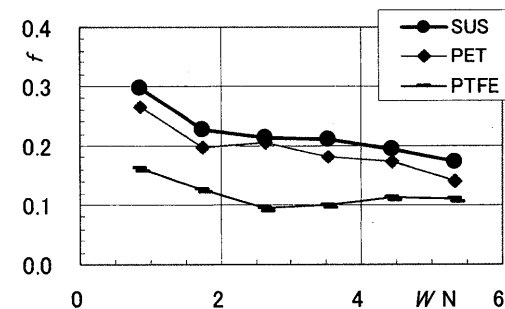


Fig. 7 Comparison of f for materials ($v=52.4 \text{ mm/s}$, Hard, Dry)