

# レポート表題

傾斜法による静止摩擦係数・動摩擦係数の測定

～物質・表面粗さ・粗さ方向と摩擦係数の関係～

第1チャレンジ番号：  
(※1)

1 5 3 1 0 2 7

(※1) 第1チャレンジ番号を必ず記入してください。

第1チャレンジ番号は、6月中旬頃参加申込者の自宅宛に郵送します。

実験  
I. 測定回数  
II 表面あらさ

氏名：中村 史香

学校名又は  
卒業校名：三重県立四日市高等学校 学年：3年

学校のある  
都道府県名：三重県 実験をした場所：物理実験室

三重県立四日市高等学校

共同実験者（共同で実験を行った人がいる場合に記入してください。）

氏名：

今西 優果

学校名・学年：

三重県立四日市高等学校 3年

岡本 直大

三重県立四日市高等学校 3年

丹羽 英人

三重県立四日市高等学校 3年

実験課題に取り組んだ感想を書いてください。

教科書ではあまり深く触れられなかった摩擦係数について実験、

考察することで、新たな知識を得ることができ、非常によい体験に

なりました。難しいところが多々ありましたか、物理への興味がより一層深まると  
思います。

参加申込み、および実験レポート送付の際には、下のラベルを切り取り封筒に貼って宛名として利用することができます。

参加申込書送付用ラベル

実験課題レポート提出用ラベル

〒192-0081

東京都八王子市横山町10-2 八王子SIAビル 2F

(株)教育ソフトウェア内

科学オリンピック共通事務局 物理チャレンジ係 行

(参加申込書在中)

〒162-8601

東京都新宿区神楽坂1-3 東京理科大学内

特定非営利活動法人

物理オリンピック日本委員会 行

(実験レポート在中)

# 傾斜法による静止摩擦係数・動摩擦係数の測定

～物質・表面粗さ・粗さ方向と摩擦係数の関係～

三重県立四日市高等学校 3年 中村史香

## 目次

1. 実験の目的…2 ページ
2. 実験の手法
  - 2.1 原理…2 ページ
  - 2.2 準備物…4 ページ
  - 2.3. 実験の具体的方法…10 ページ
3. 実験結果…17 ページ
4. 考察…38 ページ
5. 結論…66 ページ
6. 参考資料…68 ページ
7. 実験者…68 ページ
8. 謝辞…68 ページ
9. 付録…69 ページ

## 1. 実験の目的

摩擦力は黒板にチョークで文字を書くとき、歩くとき、自転車に乗っているときなどにはたらいており、私たちが生活する上で欠かすことのできない存在である。しかしモーターなどでは逆に摩擦が妨げになるので、摩擦力を小さくするために潤滑剤を使用している。摩擦力は物体にはたらく垂直荷重に比例し、その比例係数を摩擦係数と呼び、物質の種類、粗さ、表面の状態の条件などによって変化することが知られている。今回の実験では、①同じ物質同士で表面粗さを変える、②物質の組み合わせを変える、③潤滑剤を接触面に塗布するなどして表面の状態の条件を変化させて静止摩擦係数を測定し、それらの条件と摩擦係数の関係から摩擦のメカニズムについて考察する。摩擦係数の測定法には傾斜法や引っ張り法などがあるが、およそ 30mm 四方での物体間の静止摩擦係数を測定できる小型の傾斜法を用いた。また、同じ装置においてスマートフォンのビデオ撮影機能を用い、動摩擦が測定できるかどうかを検証する。実験の対象とした物質は、アルミニウム、真鍮、アクリル、ガラス、画用紙である。潤滑剤は、純水、エタノール、グリセリン、菜種油、チョーク、黒鉛(鉛筆)、MoS<sub>2</sub>である。

## 2.1 原理

### 1) 静止摩擦係数を測定する原理

静止摩擦係数  $\mu_s$  と静止摩擦力  $F_s$  の関係は、垂直荷重を  $N$  とすると、

$$F_s = \mu_s \times N \quad (2,1)$$

と定義されている。[1] 滑り出す直前において、斜面に平行方向の力は静止摩擦力と等しい。よって、斜面に平行方向の力  $F_s$  は、滑り出す直前の角度を  $\theta_s$ 、物体の重さを  $W$  とすると、

$$F_s = W \sin \theta_s \quad (2,2)$$

と表せる。さらに、斜面上の物体に関して、垂直荷重は、

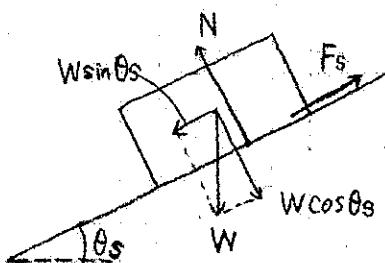
$$N = W \cos \theta_s \quad (2,3)$$

となる。以上より静止摩擦係数は、

$$\mu_s = \frac{F_s}{N} = \frac{W \sin \theta_s}{W \cos \theta_s} = \tan \theta_s \quad (2,4)$$

となる。この式より、滑り出す直前の角度を測定することによって静止摩擦係数を測定する。

図 2-1：静止摩擦係数の測定法の原理図



## 2)動摩擦係数を測定する原理

滑る物体の質量を  $m$ 、加速度を  $a$ 、重力加速度を  $g$ 、滑り出す角度を  $\theta_k$ 、動摩擦係数を  $\mu_k$

とすると、運動方程式より[6]、

$$ma = mg \sin \theta_k - \mu_k mg \cos \theta_k \quad (2,5)$$

式(2,5)より、加速度  $a$  は、

$$a = g(\sin \theta_k - \mu_k \cos \theta_k) \quad (2,6)$$

と求められる[6]。ここで、 $t$  秒後に滑った距離を  $S$  とすれば、

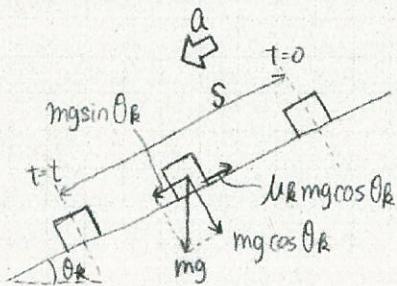
$$S = \frac{1}{2} a t^2 \quad (2,7)$$

となる[6]。式(2,6)を式(2,7)へ代入し、 $\mu_k$ について解くと、動摩擦係数の式として次式が得られる[6]。

$$\mu_k = \tan \theta_k - \frac{2S}{gt^2 \cos \theta_k} \quad (2.8)$$

また、重力加速度の値には、四日市市の値である 9.7969 を用いた。この実験では、重力加速度の値としてこの値を採用するとする。

図 2-2：動摩擦係数の測定法の原理図



## 2.2 準備物

準備物が多いので、1)実験装置、2)条件決定要因、3)道具の 3 つにわけて説明する。

### 1)実験装置

- ・回転ステージ

角度を正確に測るのに用いる。

図 2-3：回転ステージ

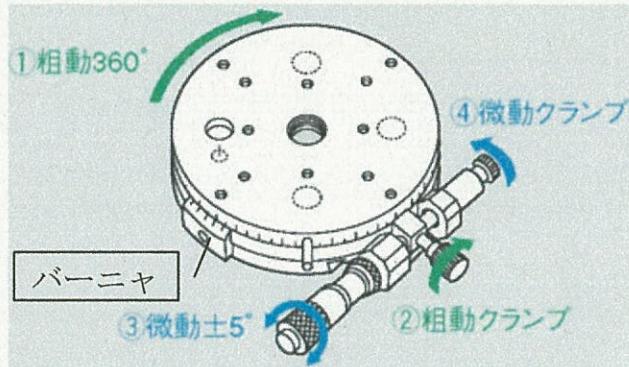


(駿河精機 H P [2] より)

目盛の最小読み取り精度

バーニア目盛：0.2 度

図 2-4：回転ステージの仕様



マイクロメーター : 55" (0.015 度)

マイクロメーターによる微動範囲 : 土5 度

・ラグ端子板

ニクロム線は切れやすいので、直接クリップではさむのを避けるために中継部分として用いる。

・発光ダイオード(緑色)

ブロックがスイッチから離れたときの目印として用いる。

・導電性テープ

スイッチとしてブロックと L 字型金具に取り付ける。

・ニクロム線

導電性テープとラグ端子板をつなぐために用いる。ニクロム線を用いることで、ブロックにかかる張力はほとんど無視できる。

・スマートフォン

ブロックが滑り落ちる時間を記録するのに映像を使う。その映像を取るために用いる。

・鉄板

・マグネットベース

・直流電源装置

・L 字型金具

・目玉クリップ

・無反発ゴムシート、発泡スチロール

・円柱おもり(179.1g)

・水平器

・パルサ板

- ・スタンド
- ・キムワイプ
- ・筆

図 2-5：実験装置の全体図(静止摩擦係数測定用)



力が3つない

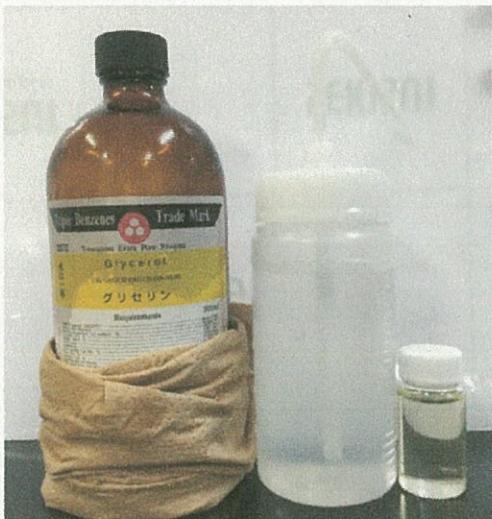
図 2-6：実験装置の全体図(動摩擦係数測定用)



## 2) 条件決定要因

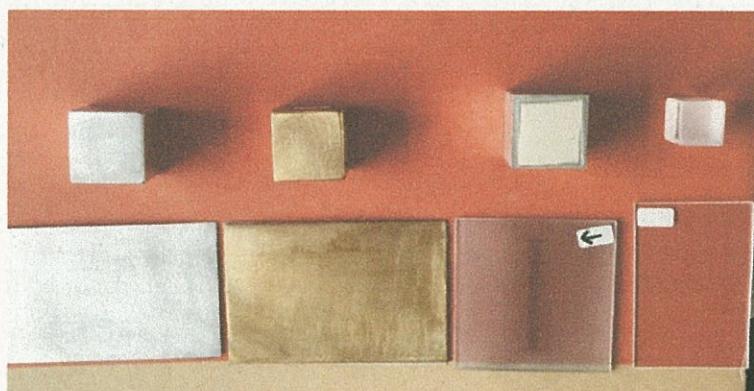
- ・金属板(アルミニウム製、真鍮製)
- ・金属ブロック(アルミニウム製、真鍮製)
- ・アクリル板
- ・アクリルブロック
- ・スライドガラス
- ・真鍮版(大)
- ・紙(画用紙)
- ・純水
- ・グリセリン
- ・菜種油
- ・チョーク(蛍光ピンク)
- ・鉛筆(6B)
- ・MoS<sub>2</sub>潤滑剤(二硫化モリブデン)
- ・分銅(50g)、おもり(100g)

図 2-7：液体潤滑剤



左から、菜種油、グリセリン、純水である。

図 2-8：板とブロック



左からアルミニウム、真鍮、ガラス、アクリルの板とブロックである。ガラスのブロックは、アルミニウムブロックにその大きさに切ったガラス板を両面テープで張り付けた。また、アクリルは軽いので、分銅 50g を両面テープで張り付けた。

図 2-9：チョーク(蛍光ピンク)、鉛筆(6B)、MoS<sub>2</sub>



上から、チョーク(蛍光ピンク)、鉛筆(6B)、MoS<sub>2</sub>を紙に塗ったものである。  
紙のブロックは真鍮ブロックに両面テープで張り付けた。

表 2-1：板、ブロックの質量(g)と大きさ(mm)

種類		質量(g)	縦(mm)	横(mm)	高さ(mm)
板	アルミニウム	#60&#320	10.5	76.30	58.85
		#150&#600	9.2	76.40	54.50
		#100	12.6	101.95	62.25
	真鍮	#60&#150	50.4	94.45	66.75
		#320&#600	51.3	99.90	65.80
		#60(動摩擦用)	168.4	205.50	100.50
	アクリル	そのまま	9.0	74.70	49.45
		#60&#320	9.2	75.30	50.45
		#150&#600	9.1	74.85	50.50
	ガラス	そのまま	22.3	70.10	70.00
ブロック	アルミニウム	#60&#600	46.9	30.10	30.05
		#150&#320	46.4	30.20	30.20
		#100	48.2	30.15	30.15
	真鍮	#60&#320	144.8	30.00	30.00
		#150&#600	141.2	29.95	29.95
		そのまま	6.7	18.20	18.10
	アクリル	#60&#320	6.7	18.30	17.45
		#150&#600	7.1	18.20	18.30
		ガラス	51.2	25.40	25.90
ただし、ガラスブロックについては、質量、高さはアルミニウムブロックつき、縦、横 は貼り付けたガラス板のみの値とする。					

### 3)道具

- ・紙やすり(#60、#100、#150、#320、#600)

板とブロックをある一様な粗さにするために用いる。

- ・木片(大、小)

研磨する際に、圧力を等しくかけるために用いる。

- ・両面テープ

木片とブロックを固定して研磨しやすくするために用いる。

- ・表面粗さ測定器(ミツトヨ SJ210)

研磨した板やブロックの粗さを測定し、均一な粗さであるかを確認するために用いる。また、測定した表面の波形も確認することができる。測定範囲は  $360 \mu\text{m}$ 、

分解能は  $0.02 \mu\text{m}$  であり、算術粗さ  $R_a$  と平均長さ  $RSm$  を測定する。

- ・電子天秤
- ・半田、半田ごて
- ・養生テープ
- ・キムワイプ
- ・キムタオル

図 2-10 : 研磨用の道具



## 2.3 実験の具体的方法

1)で研磨の方法、2)で静止摩擦係数の測定法、3)で動摩擦係数の測定法、4)で表面粗さの測定方法を示す。

### 1)アルミニウム、真鍮、アクリルの研磨

研磨は、表面をある一様な粗さにするために行う。10回の測定ごとに板とブロックを研磨する。またこのとき、研磨の際発生する金属の粉などが手に付いたり吸い込んだりしないようにマスク、ゴム手袋などを装着するとよい。

#### (1)ブロック

- i . 均一に磨けるように適度な大きさの木片にブロックを両面テープで固定し、紙やすりに押しあてて円を描くようにして磨く。

- ii. 表面が均一な粗さになったら、キムワイプで表面をふき、筆でキムワイプのカスを取り除く。

## (2)板

- i. 均一に磨けるように適度な大きさの木片に紙やすりをしっかりと巻き、板を水平面において上から紙やすりを押しあてて、円を描くようにして磨く。
- ii. 表面が均一な粗さになったら、キムワイプで表面をふき、筆でキムワイプのカスを取り除く。

## 2)静止摩擦係数の測定

### (1)水平の角度

- i. 水平器を L字型金具の中心部分に置く。
- ii. 回転ステージを回転させ、バーニヤの目盛りの角度が 90 度となるところで、粗動クランプで固定する。
- iii. マイクロメーターを用いて、赤い色の円内の水平器の気泡が、ほぼ中心に来るよう調整し、このときのマイクロメーターの目盛を読み取る。
- iv. 水平の角度を計算する。
- v. iii、iv を 10 回繰り返し、平均値、誤差を求める。

#### 〈計算方法〉

水平の角度を  $\theta_h$ 、マイクロメーターの目盛を  $M$  とすると、

$$\theta_h = 90 - \frac{55}{3600}M \quad (2,9)$$

水平の角度の誤差を  $\partial\theta$ 、測定回数を  $n$ 、測定値を  $y_i$  ( $i = 1, \dots, n$ )、測定値の平均値を  $\bar{y}$  とすると、[2,3]

$$\delta y = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2,10)$$

## (2) 滑り出す角度

- i. 板を L 字型金具に取り付け、おおよそ水平になるよう調節してから粗動クランプで固定する。
- ii. 潤滑剤を用いる場合は、板の上に均一に潤滑剤を塗布する。
- iii. 板の上にブロックを置く。このとき、スイッチの一端にブロックの金属テープが張ってある部分を密着させるようにする。
- iv. 円柱おもりをブロックの上にのせ、1分間放置する。加重なしの場合は、この操作をしない。
- v. 円柱おもりを取って、粗動クランプ、微動ねじを使って、発光ダイオードの光が消えるまで回転ステージを回転させる。
- vi. 発光ダイオードが消えると同時に完全に滑った場合は、読み①として記録する。発光ダイオードが消えても完全に滑らなかつた場合は、発光ダイオードが消えた角度は別に記録して、滑った回数ごとに読み①、読み②、…と記録していく。
- vii. 完全に滑り切った角度を最終の角度として、下記の式より滑り出す角度を求める。
- viii. i ~ vii を繰り返し、静止摩擦係数、平均値、誤差を求める。このとき、一回測り終えるごとにキムワイプで板とブロックの表面をふき、筆でキムワイプのカスを取り除く。

### 〈計算方法と誤差〉

最終の角度を  $\theta_f$ 、滑り出す角度を  $\theta_0$  とすると、

$$\theta_0 = \theta_f - \theta_h \quad (2,11)$$

滑り出す角度の誤差には式(2,10)の標準誤差の式を用いた。

最終の角度の誤差は下記の式(4,6)で計算した。

誤差の伝搬の一般式は、[3,4]

$$\delta z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial y_1}\right)^2_{y_1=\bar{y}_1, \dots, y_n=\bar{y}_n} (\delta y_1)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial y_n}\right)^2_{y_1=\bar{y}_1, \dots, y_n=\bar{y}_n} (\delta y_n)^2} \quad (2,12)$$

この式を、上限を与える近似式に変換すると、

$$\delta z = \left| \left( \frac{\partial f}{\partial y_1} \right)_{y_1=\bar{y}_1, \dots, y_n=\bar{y}_n} \delta y_1 + \dots + \left( \frac{\partial f}{\partial y_n} \right)_{y_1=\bar{y}_1, \dots, y_n=\bar{y}_n} \delta y_n \right| \quad (2,13)$$

ここで  $\delta y_1, \dots, \delta y_n$  は測定値  $y_1, \dots, y_n$  の誤差、 $\left| \left( \frac{\partial f}{\partial y_i} \right)_{y_1=\bar{y}_1, \dots, y_n=\bar{y}_n} \right|$  は関数  $f(y_1, \dots, y_n)$  の偏微分、

さらに微分で得られた関数に  $y_1, y_2, \dots, y_n$  の平均値を代入することを表している。今回測定した変数は 1 つのみであるので、

$$\delta z = \left| \left( \frac{\partial f}{\partial y_1} \right)_{y_1=\bar{y}_1, \dots, y_n=\bar{y}_n} \delta y_1 \right| \quad (2,14)$$

最終の角度の誤差を  $\delta \theta_f$ 、水平の角度の誤差を  $\delta \theta_h$ 、最終の角度の標準誤差を  $\partial \theta_f'$  と

すると、式(2,14)より

$$\delta \theta_f = \delta \theta_h + \delta \theta_f' \quad (2,15)$$

静止摩擦係数は式(2,4)、誤差は下記の式(2,16)を用いて計算する。

静止摩擦係数の誤差は、水平の角度の誤差を  $\delta \theta_h$ 、最終の角度の誤差を  $\delta \theta_f$  とすると、式(2,14)より、

$$\delta \mu_0 = \frac{\delta \theta_f}{\cos^2(\theta_f)} \quad (2,16)$$

### 3)動摩擦係数の測定

- i. 真鍮板(大)を L字型金具に取り付け、おおよそ水平になるよう調節してから粗動クランプで固定する。
- ii. 潤滑剤を用いる場合は、板の上に均一に潤滑剤を塗布する。
- iii. 板の上にブロックを置く。
- iv. 円柱おもりをブロックの上にのせ、1分間放置する。
- v. 円柱おもりを取って、粗動クランプ、微動ねじを使ってブロックが滑り出すまで回転ステージを回転させる。滑り落ちる時間はスマートフォンの録画機能を用い、  
**傾斜板** 滑り始めから滑り終わりまでの記録を確実に取れるように、滑り落ちる様子を録画  
のつり する。

#### 〈計算方法〉

静止摩擦係数は式(2,4)、動摩擦係数は式(2,8)、誤差はどちらも式(2,10)の標準誤差を用いた。

図 2-11：撮影した動画の解析の様子(Windows Live ムービーメーカー/Microsoft 社)

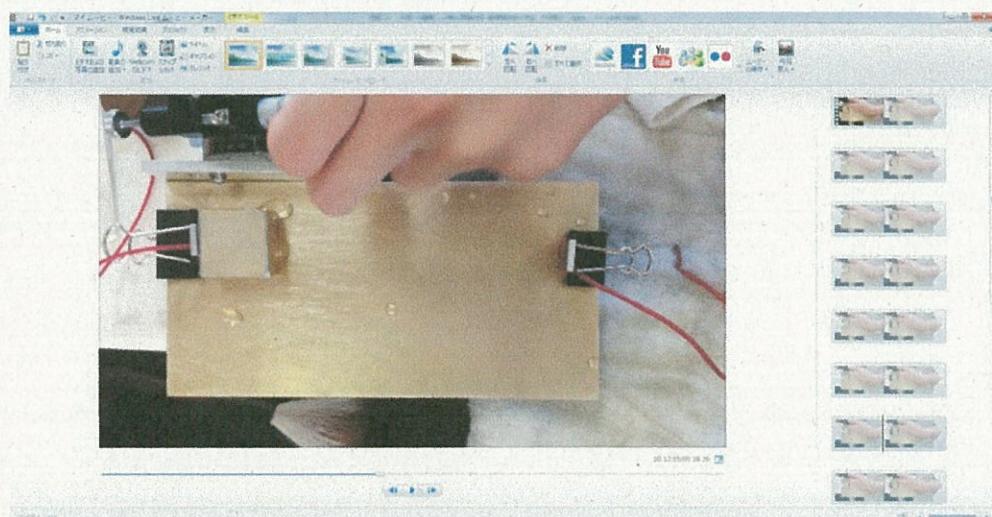
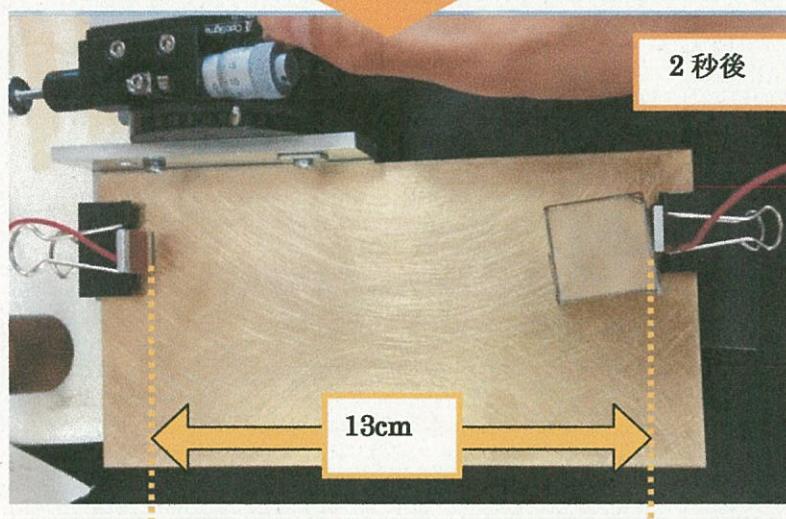


図 2-12：動摩擦係数の測定の様子(潤滑剤なし 1 回目)



#### 4) 表面粗さの測定

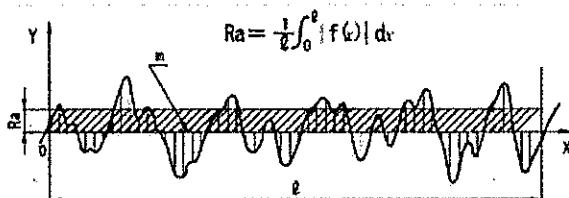
- i. 表面粗さ測定機の測定部分を、測定対象と同じ高さにする。
- ii. 算術平均粗さ Ra、平均長さ RSm を測定する。
- iii. i、ii を 3 回繰り返し平均値、誤差を求める。

〈定義〉

算術平均粗さ Ra とは、粗さ曲線からその平均線の方向に基準長さだけを抜き取り、その部分の平均線の方向に X 軸を、縦倍率の方向に Y 軸を取り、粗さ曲線を  $y = f(x)$  で表したときに、次の式(4,9)によって求められる値をマイクロメートル( $\mu m$ )で表したものである [4]。

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |f(x)| dx \quad (2,17)$$

図 2-13：算術表面粗さの解説図 [4]

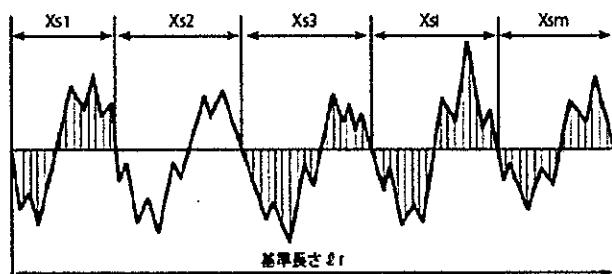


また、Ra の誤差を求めるのには式 (2,10) の標準誤差を用いた。

平均長さ RSm とは、粗さ曲線からその平均線の方向に基準長さだけを抜き取り、一つの輪郭線要素に対応する長さを  $Xsi$  で表したときに、次の式(4,10)で求められる値をマイクロメートル( $\mu m$ )で表したものである [4]。

$$Rsm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N Xsi \quad (2,18)$$

図 2-14：平均長さの解説図 [4]



また、RSm の誤差を求めるのには式 (2,10) の標準誤差を用いた。

### 3. 実験結果

測定によって得られた滑り出す角度と静止摩擦係数を示した。10 回測定し、平均、標準偏差、標準誤差を求めた詳しいデータは 9.付録を参照。また以下、板、ブロックの種類の表記は「(板の種類)/(ブロックの種類)」とする。

#### ✓ 実験 I : 摩擦による摩耗破壊が測定回数に及ぼす影響を調べる実験

摩擦によって板やブロックの表面は摩耗し、傷などがつく。連続して測定する回数が多いほど、この影響は大きい。この実験では、その影響の程度を調べるために、測定前に研磨してその後は研磨しない場合(初回研磨)と、1 回ごとに研磨し直す場合(毎回研磨)とを真鍮#60( $0.73 \mu\text{m}/1.9 \mu\text{m}$ )、#600( $0.18 \mu\text{m}/0.33 \mu\text{m}$ )を用いて調べた。

表 3-1 と 3-2 はブロックと板の粗さ Ra の値である。

表 3-1 : 真鍮ブロックの粗さ

ブロック	Ra( $\mu\text{m}$ )	標準誤差( $\mu\text{m}$ )
#60	1.9	0.2
#150	1.3	0.1
#320	1.1	0.1
#600	0.33	0.01

表 3-2 : 真鍮板の粗さ

板	Ra( $\mu\text{m}$ )	標準誤差( $\mu\text{m}$ )
#60	0.73	0.01
#150	0.57	0.02
#320	0.35	0.03
#600	0.18	0.01

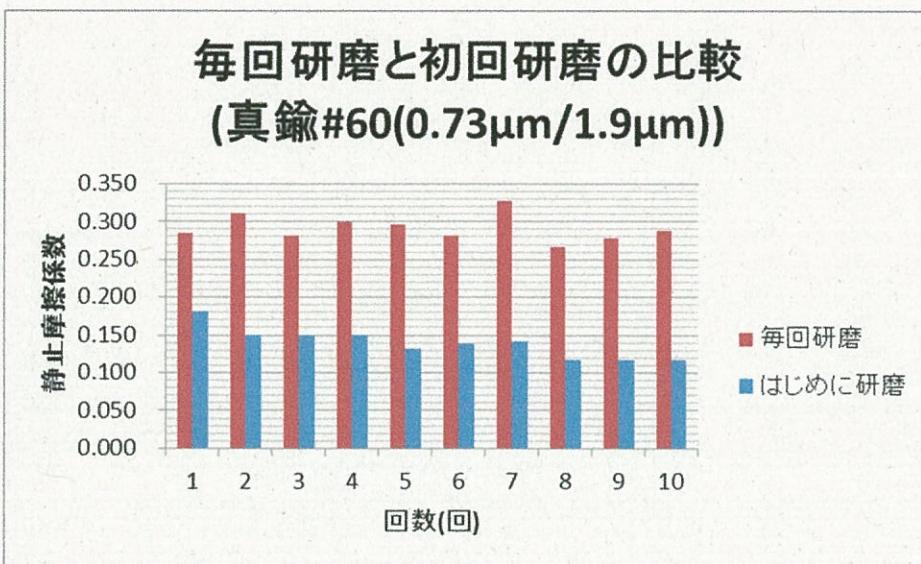
表 3-3 : 真鍮#60( $0.73 \mu\text{m}/1.9 \mu\text{m}$ )の毎回研磨をした場合の滑り出す角度と静止摩擦係数

回数(回)	滑り出す角度(度)	静止摩擦係数
1	15.9	0.285
2	17.3	0.312
3	15.7	0.281
4	16.7	0.300
5	16.5	0.296
6	15.7	0.281
7	18.1	0.327
8	14.9	0.266
9	15.5	0.278
10	16.1	0.289
平均	16.3	0.292
標準誤差	0.3	0.006

表 3-4：真鍮#60( $0.73\mu\text{m}/1.9\mu\text{m}$ )の初回研磨をした場合の滑り出す角度と静止摩擦係数

回数(回)	滑り出す角度(度)	静止摩擦係数
1	10.3	0.182
2	8.5	0.150
3	8.5	0.150
4	8.5	0.150
5	7.5	0.132
6	7.9	0.139
7	8.1	0.143
8	6.7	0.118
9	6.7	0.118
10	6.7	0.118
平均	8.0	0.140
標準誤差	0.4	0.007

グラフ 3-1：真鍮#60( $0.73\mu\text{m}/1.9\mu\text{m}$ )の毎回研磨をした場合と初回研磨をした場合の静止摩擦係数



毎回研磨と初回研磨とでは、静止摩擦係数は約 0.150 の違いがある。また、毎回研磨はばらつきがあるが、初回研磨は回数を重ねるほどに減少している。

表 3-5 : #600(0.18  $\mu$  m/0.33  $\mu$  m)の毎回研磨をした場合の滑り出す角度と静止摩擦係数

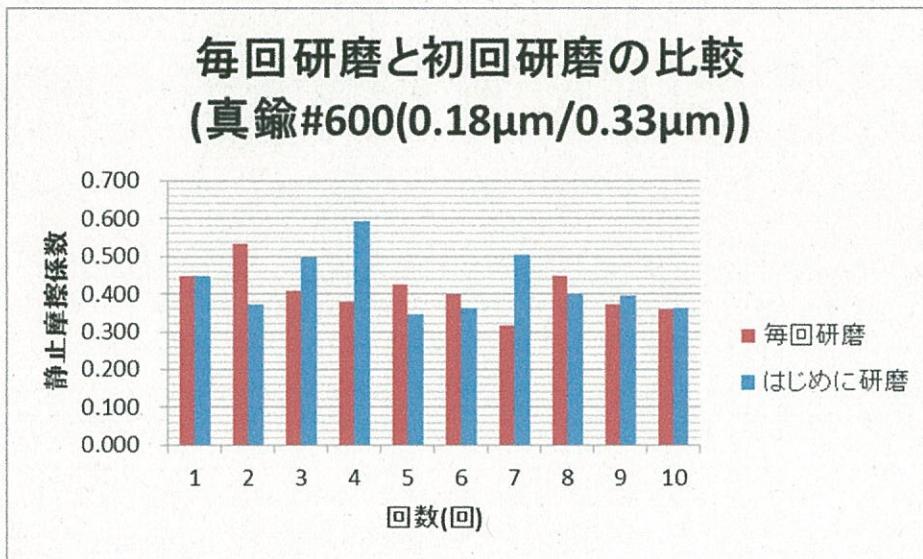
回数(回)	滑り出す角度(度)	静止摩擦係数
1	24.1	0.447
2	28.1	0.534
3	22.3	0.410
4	20.7	0.378
5	23.1	0.427
6	21.7	0.398
7	17.5	0.315
8	24.1	0.447
9	20.5	0.374
10	19.7	0.358
平均	22.2	0.409
標準誤差	1.0	0.020

表 3-6 : #600(0.18  $\mu$  m/0.33  $\mu$  m)の初回研磨をした場合の滑り出す角度と静止摩擦係数

回数(回)	滑り出す角度(度)	静止摩擦係数
1	24.1	0.447
2	20.5	0.374
3	26.5	0.499
4	30.7	0.594
5	19.1	0.346
6	19.9	0.362
7	26.7	0.503
8	21.7	0.398
9	21.5	0.394
10	19.9	0.362
平均	23.1	0.428
標準誤差	1.2	0.025

グラフ 3-2 : #600(0.18  $\mu$  m/0.33  $\mu$  m)の毎回研磨をした場合と初回研磨をした場合の静止

摩擦係数



初回研磨も毎回研磨も摩擦係数値のはらつきがほぼ同じであり、平均値もほとんど変わらない。

## 実験 II : 金属の静止摩擦係数を測定する実験

金属の例としてアルミニウムと真鍮を用いて、粗さや板とブロックの組み合わせを変えたときの静止摩擦係数の変化を調べた。

### 1)板とブロックの粗さのみを変化させた場合

板とブロックの種類は同じにして、それぞれの粗さのみを変化させることで、金属の場合の粗さによる依存性を調べた。

#### (1)アルミニウム/アルミニウムの場合

表 3-7 : アルミニウムブロックの粗さ

ブロック	Ra( $\mu$ m)	標準誤差( $\mu$ m)
#60	3.9	0.3
#100	1.89	0.04
#150	1.654	0.009
#320	1.217	0.009
#600	0.90	0.02

表 3-8 : アルミニウム板の粗さ

板	Ra( $\mu$ m)	標準誤差( $\mu$ m)
#60	2.45	0.03
#100	2.03	0.03
#150	1.74	0.08
#320	0.77	0.07
#600	0.51	0.03

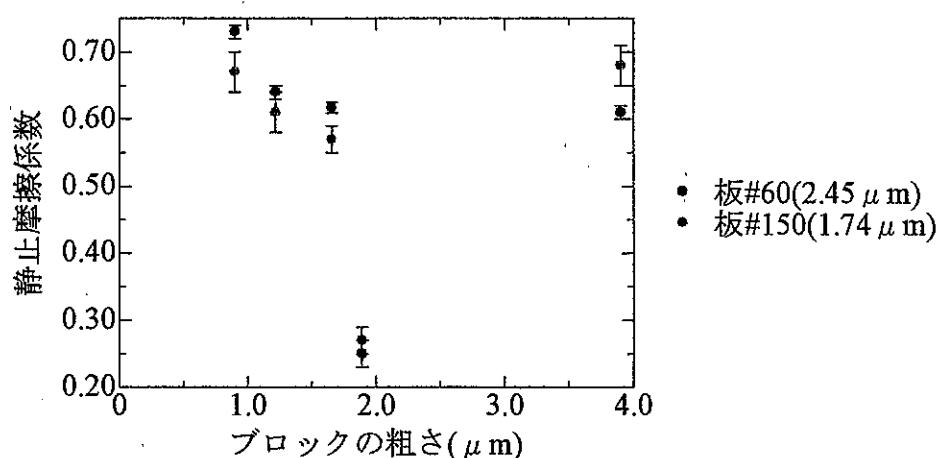
表 3-9 : アルミニウム/アルミニウムの滑り出す角度(度)

板 ブロック \	#60(2.45 $\mu\text{m}$ )(度)	#100(2.03 $\mu\text{m}$ )(度)	#150(1.74 $\mu\text{m}$ )(度)	#320(0.77 $\mu\text{m}$ )(度)	#600(0.51 $\mu\text{m}$ )(度)
#60(3.9 $\mu\text{m}$ )	31.4 ± 0.4		34.1 ± 1.0	27.4 ± 0.7	32.9 ± 0.8
#100(1.89 $\mu\text{m}$ )	13.8 ± 0.9	24 ± 2	15 ± 1	20.1 ± 0.5	16 ± 2
#150(1.654 $\mu\text{m}$ )	31.7 ± 0.3		29.9 ± 1.0	33.9 ± 0.3	27.4 ± 0.7
#320(1.217 $\mu\text{m}$ )	32.8 ± 0.5		31 ± 1	30.3 ± 0.8	33 ± 2
#600(0.90 $\mu\text{m}$ )	36.0 ± 0.5		34 ± 1	32.4 ± 1.0	37.7 ± 0.9

表 3-10 : アルミニウム/アルミニウムの静止摩擦係数

板 ブロック \	#60(2.45 $\mu\text{m}$ )	#100(2.03 $\mu\text{m}$ )	#150(1.74 $\mu\text{m}$ )	#320(0.77 $\mu\text{m}$ )	#600(0.51 $\mu\text{m}$ )
#60(3.9 $\mu\text{m}$ )	0.61 ± 0.01		0.68 ± 0.03	0.52 ± 0.01	0.65 ± 0.02
#100(1.89 $\mu\text{m}$ )	0.25 ± 0.02	0.45 ± 0.04	0.27 ± 0.02	0.37 ± 0.01	0.28 ± 0.03
#150(1.654 $\mu\text{m}$ )	0.617 ± 0.008		0.57 ± 0.02	0.673 ± 0.008	0.52 ± 0.01
#320(1.217 $\mu\text{m}$ )	0.64 ± 0.01		0.61 ± 0.03	0.58 ± 0.02	0.64 ± 0.04
#600(0.90 $\mu\text{m}$ )	0.73 ± 0.01		0.67 ± 0.03	0.63 ± 0.02	0.77 ± 0.02

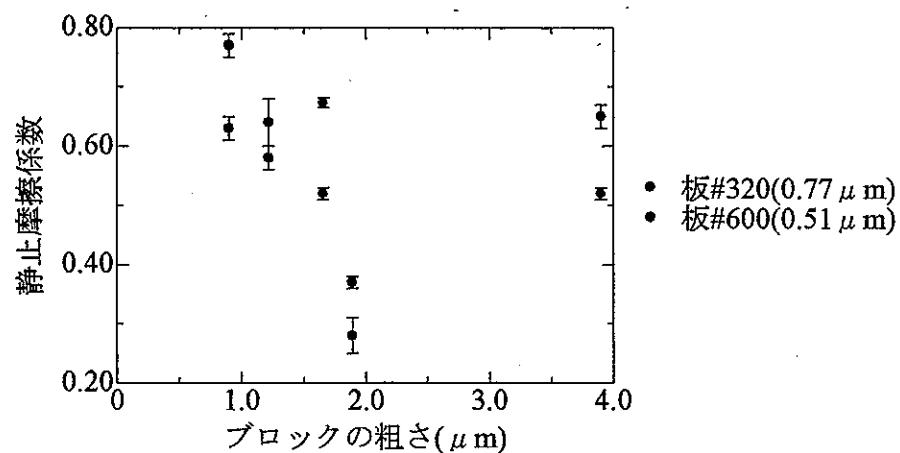
グラフ 3-3: アルミニウム/アルミニウムのブロックの粗さ Ra と静止摩擦係数の関係(アルミニウムの板の粗さを、#60(2.45  $\mu\text{m}$ )、#150(1.74  $\mu\text{m}$ )とする)



板 2.45  $\mu\text{m}$ (#60)については、ブロック 0.90  $\mu\text{m}$ (#600)から徐々に静止摩擦係数が減少しているが、ブロック 1.89  $\mu\text{m}$ (#100)で静止摩擦係数がいきなり 0.30 ほど減少し、再びブロック 3.9  $\mu\text{m}$ (#60)で静止摩擦係数が増加している。このことは板

$1.74 \mu m$ (#150)についてもいえる。また、ブロック  $1.654 \mu m$ (#150)までは板  $2.45 \mu m$ (#60)の方が静止摩擦係数が大きいが、ブロック  $1.89 \mu m$ (#100)からは板  $1.74 \mu m$ (#150)の方が静止摩擦係数が大きい。

グラフ 3-4: アルミニウム/アルミニウムのブロックの粗さ Ra と静止摩擦係数の関係(アルミニウムの板の粗さを、板 #320( $0.77 \mu m$ )#600( $0.51 \mu m$ )とする)



板  $0.77 \mu m$ (#320)、 $0.51 \mu m$ (#600)は、板  $2.45 \mu m$ (#60)や板  $1.74 \mu m$ (#150)と同じように変化している。

## (2)真鍮/真鍮の場合

表 3-11：真鍮ブロックの粗さ

表 3-12：真鍮板の粗さ

ブロック	Ra( $\mu m$ )	標準誤差( $\mu m$ )	板	Ra( $\mu m$ )	標準誤差( $\mu m$ )
#60	1.9	0.2	#60	0.73	0.01
#150	1.3	0.1	#150	0.57	0.02
#320	1.1	0.1	#320	0.35	0.03
#600	0.33	0.01	#600	0.18	0.01

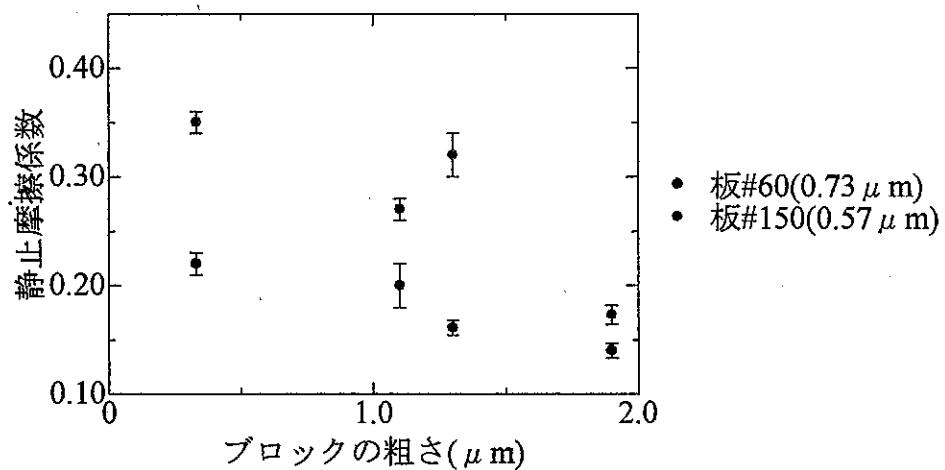
表 3-13：真鍮/真鍮の滑り出す角度(度)

板 ブロック	#60(0.73 $\mu$ m)(度)	#150(0.57 $\mu$ m)(度)	#320(0.35 $\mu$ m)(度)	#600(0.18 $\mu$ m)(度)
#60(1.9 $\mu$ m)	8.0 ± 0.4	9.8 ± 0.5	14.9 ± 0.7	11.9 ± 0.5
#150(1.3 $\mu$ m)	9.2 ± 0.4	18 ± 1	15.2 ± 0.7	21.5 ± 0.9
#320(1.1 $\mu$ m)	11.2 ± 0.8	14.9 ± 0.8	15.8 ± 0.9	15.0 ± 0.6
#600(0.33 $\mu$ m)	12.6 ± 0.6	19.3 ± 0.7	19.6 ± 0.8	23 ± 1

表 3-14：真鍮/真鍮の静止摩擦係数

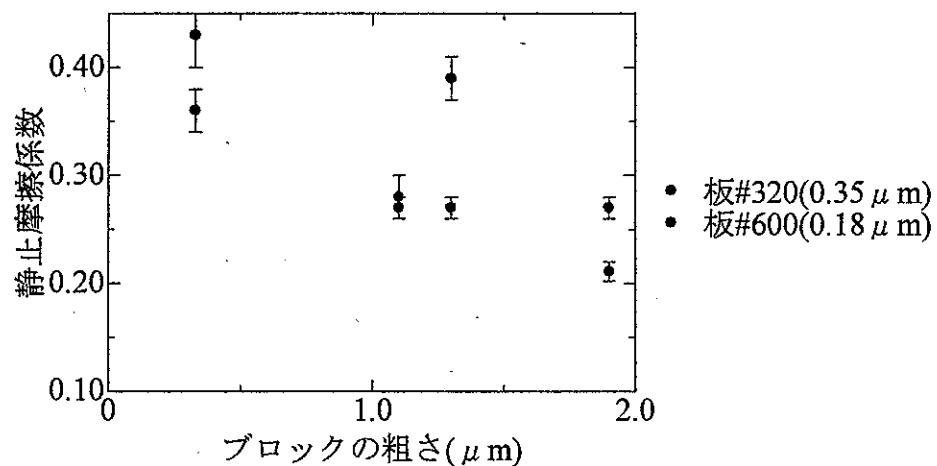
板 ブロック	#60(0.73 $\mu$ m)	#150(0.57 $\mu$ m)	#320(0.35 $\mu$ m)	#600(0.18 $\mu$ m)
#60(1.9 $\mu$ m)	0.140 ± 0.007	0.173 ± 0.009	0.27 ± 0.01	0.211 ± 0.009
#150(1.3 $\mu$ m)	0.161 ± 0.007	0.32 ± 0.02	0.27 ± 0.01	0.39 ± 0.02
#320(1.1 $\mu$ m)	0.20 ± 0.02	0.27 ± 0.01	0.28 ± 0.02	0.27 ± 0.01
#600(0.33 $\mu$ m)	0.22 ± 0.01	0.35 ± 0.01	0.36 ± 0.02	0.43 ± 0.03

グラフ 3-5：真鍮/真鍮のブロックの粗さ Ra と静止摩擦係数の関係(真鍮の板の粗さを、#60(0.73  $\mu$  m)、#150(0.57  $\mu$  m)とする)



全体としてどちらの板も、ブロックの粗さが大きくなるにつれて静止摩擦係数は徐々に減少している。しかし、板 0.57  $\mu$  m(#150)のブロック 1.3  $\mu$  m(#150)は、よりブロックの粗さが小さい 1.1  $\mu$  m(#320)よりも静止摩擦係数が大きくなっている。

グラフ 3-6：真鍮/真鍮のブロックの粗さ  $R_a$  と静止摩擦係数の関係(真鍮の板の粗さを、#320( $2.35 \mu m$ )、#600( $0.18 \mu m$ )とする)



板  $0.73 \mu m$ (#60)や板  $0.57 \mu m$ (#150)と同様、板  $0.35 \mu m$ (#320)と板  $0.18 \mu m$ (#600)はどちらも全体としてその静止摩擦係数は減少傾向にある。ただし、詳細をみると、板  $0.35 \mu m$ (#320)は板  $0.73 \mu m$ (#60)と、板  $0.18 \mu m$ (#600)は板  $0.57 \mu m$ (#150)と同じように変化している。

## 2)板をガラスに変えた場合

ガラスは硬いため、滑りによって表面が傷つけられることなく、また、粗さが非常に小さいので金属ブロックの粗さに基づく摩擦係数の変化を調べることができる。よって、ガラスを板として、ブロックの粗さを変えた場合の静止摩擦係数の変化を調べた。

(1)ガラス/アルミニウムの場合

表 3-15：ガラス板の粗さ

板	Ra(μm)	標準誤差(μm)
そのまま	0.019	0.002

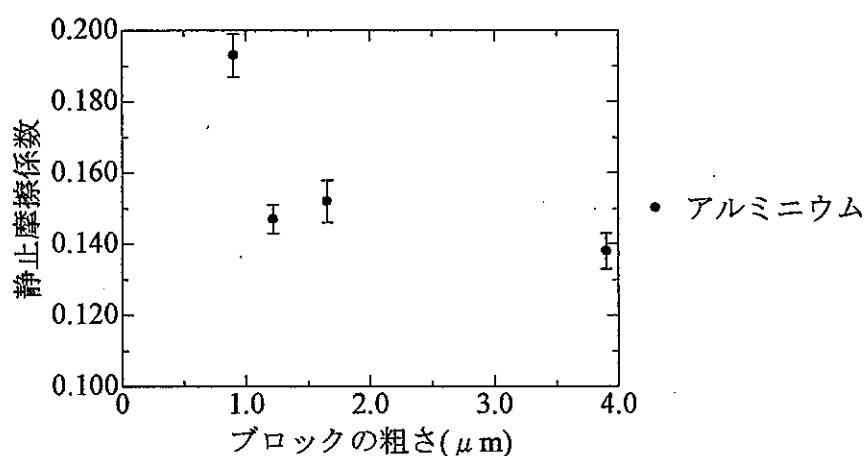
表 3-16：ガラス/アルミニウムの滑り出す角度(度)

板 ブロック	ガラス板 (0.019 μm)(度)
#60(3.9 μm)	7.9 ± 0.3
#150(1.654 μm)	8.6 ± 0.3
#320(1.217 μm)	8.4 ± 0.2
#600(0.90 μm)	10.9 ± 0.3

表 3-17：ガラス/アルミニウムの静止摩擦係数

板 ブロック	ガラス板 (0.019 μm)
#60(3.9 μm)	0.138 ± 0.005
#150(1.654 μm)	0.152 ± 0.006
#320(1.217 μm)	0.147 ± 0.004
#600(0.90 μm)	0.193 ± 0.006

グラフ 3-7：ガラス上アルミニウムのブロックの粗さ Ra と静止摩擦係数の関係



3.9 μm (#60)以下でほぼ一定の静止摩擦係数になっている。

(2)ガラス/真鍮の場合

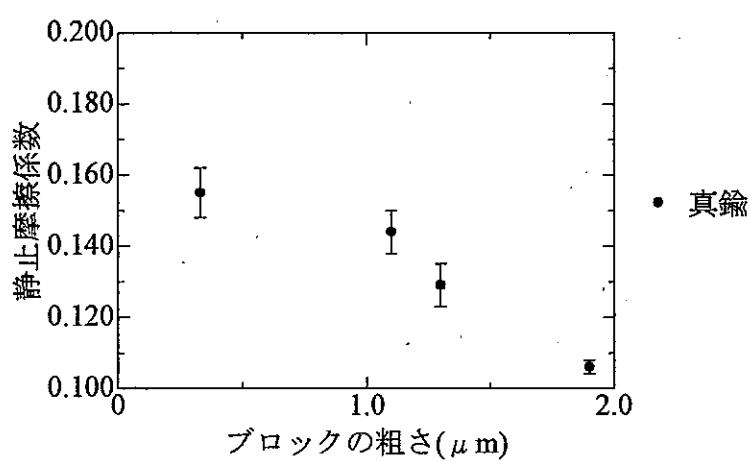
表 3-18 : ガラス/真鍮の滑り出す角度(度)

板 ブロック	ガラス板 (0.019 $\mu$ m)(度)
#60(1.9 $\mu$ m)	6.0 ± 0.1
#150(1.3 $\mu$ m)	7.3 ± 0.3
#320(1.1 $\mu$ m)	8.2 ± 0.3
#600(0.33 $\mu$ m)	8.8 ± 0.4

表 3-19 : ガラス/真鍮の静止摩擦係数

板 ブロック	ガラス板 (0.019 $\mu$ m)
#60(1.9 $\mu$ m)	0.106 ± 0.002
#150(1.3 $\mu$ m)	0.129 ± 0.006
#320(1.1 $\mu$ m)	0.144 ± 0.006
#600(0.33 $\mu$ m)	0.155 ± 0.007

グラフ 3-8 : ガラス上真鍮のブロックの粗さに対しての静止摩擦係数



全体として緩やかに減少している。静止摩擦係数の変化の範囲は約 0.100~0.160 と小さい。

### 実験III：荷重と静止摩擦力の依存性を調べる実験

アモントン・クーロンの摩擦法則によると、摩擦力は、接触する二面間に作用する垂直荷重に比例する[6]とある。この法則を検証するため、アルミニウムを用いて静止摩擦係数を測定した。粗さは#60、#320を用いた。

表 3-20：質量を変化させたときのアルミニウム/アルミニウムの滑り出す角度(度)

板/ブロック 荷重(g)	#60(2.45 μm) /#60(3.9 μm)(度)	#320(0.77 μm) /#320(1.217 μ)
47.3	31.4 ± 0.4	30.3 ± 0.8
97.3	14.9 ± 0.7	16.4 ± 0.7
197.4	11.6 ± 0.3	22.6 ± 0.6
297.4	16.3 ± 0.6	22.7 ± 0.8
397.3	19.2 ± 0.8	21.3 ± 0.5
497.4	24.3 ± 0.4	26.1 ± 0.7

表 3-21：質量を変化させたときのアルミニウム/アルミニウムの静止摩擦係数

板/ブロック 荷重(g)	#60(2.45 μm) /#60(3.9 μm)	#320(0.77 μm) /#320(1.217 μm)
47.3	0.61 ± 0.01	0.58 ± 0.02
97.3	0.27 ± 0.01	0.29 ± 0.01
197.4	0.204 ± 0.005	0.42 ± 0.01
297.4	0.29 ± 0.01	0.42 ± 0.02
397.3	0.35 ± 0.02	0.39 ± 0.01
497.4	0.451 ± 0.009	0.49 ± 0.01

⇒ 137化されし。

### 実験IV：研磨方向が静止摩擦係数に及ぼす影響を調べる実験

表面の凹凸のかみ合いによって摩擦が生じる場合、2つの面の凹凸の方向によって静止摩擦係数が変わることが予想される。そこで、摩擦の方向によって静止摩擦係数がどのように変化するのかについて、真鍮#60を用いて調べる。通常の場合、研磨紙をランダムに動かして研磨しているが、一方向に動かして研磨をするとそれに平行に「うね」ができた。研磨方向についての表記は次の図のようにとする。

図 3-1：研磨方向の説明

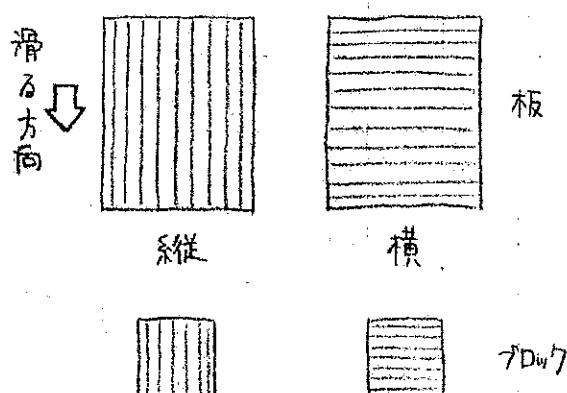


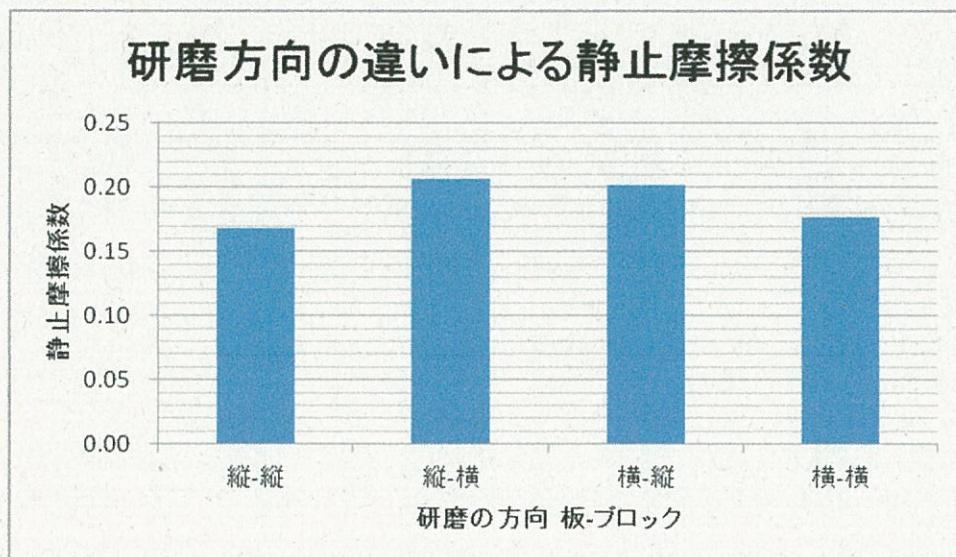
表 3-22：研磨方向を変えた場合の滑り出す角度(度)

板 ブロック	縦(度)	横(度)
縦	9.5 ± 0.3	11.4 ± 0.5
横	11.7 ± 0.8	10.1 ± 0.3

表 5-23：研磨方向を変えた場合の静止摩擦係数

板 ブロック	縦	横
縦	0.168 ± 0.006	0.202 ± 0.009
横	0.21 ± 0.01	0.177 ± 0.005

グラフ 3-9：研磨方向を変えた場合の静止摩擦係数



静止摩擦係数が一番小さいのは縦-縦、一番大きいのは縦横になっている。また、縦-横、横-縦よりも、横-横の方が静止摩擦係数は小さくなっている。

### 実験V：非金属の静止摩擦係数を測定する実験

実験IIでは、金属について調べたが、実験Vでは、金属の摩擦係数と比較するために、非金属のアクリル、ガラス、紙について調べた。非金属では、板とブロックの粗さを変化させたときの静止摩擦係数の変化についてのみ調べた。ガラス、紙は研磨が困難であるため、研磨しない状態(そのまま)のみを測定した。

#### 1)アクリルの場合

表 3-24：アクリルブロックの粗さ

表 3-25：アクリル板の粗さ

ブロック	Ra( $\mu\text{m}$ )	標準誤差( $\mu\text{m}$ )	板	Ra( $\mu\text{m}$ )	標準誤差( $\mu\text{m}$ )
そのまま	0.14	0.01	そのまま	0.0107	0.0007
#60	3.9	0.2	#60	2.24	0.05
#150	1.7	0.2	#150	0.98	0.05
#320	1.2	0.1	#320	0.81	0.10
#600	1.04	0.03	#600	0.53	0.02

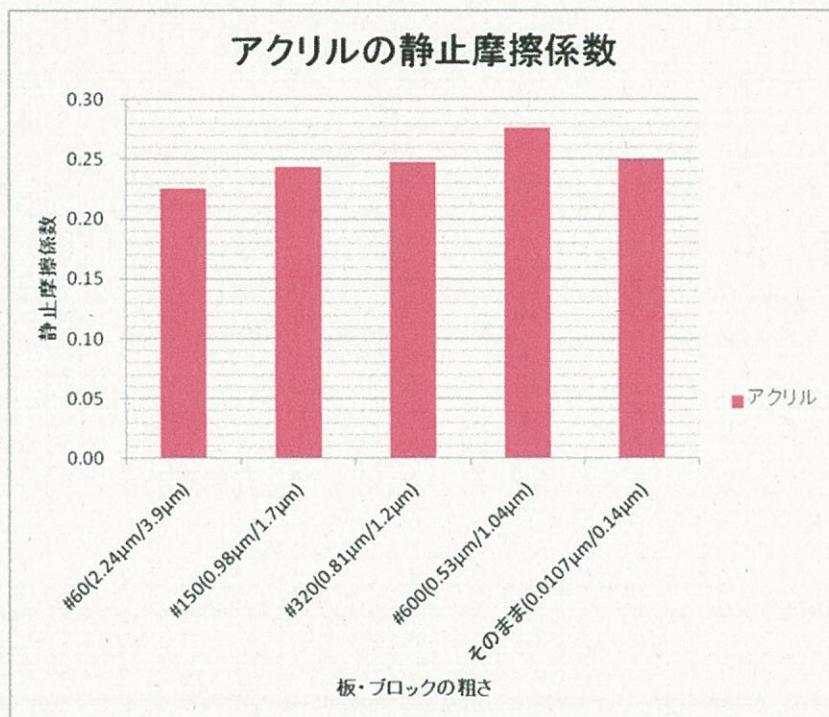
表 3-26 : アクリル/アクリルの滑り出す角度(度)

板 ブロック \ そのま ま(0.0107 μm)(度)	#60(2.24 μm)(度)	#150(0.98 μm)(度)	#320(0.81 μm)(度)	#600(0.53 μm)(度)
そのまま(0.14 μm)	14.0 ± 0.5			
#60(3.9 μm)		12.7 ± 0.2		
#150(1.7 μm)			13.7 ± 0.5	
#320(1.2 μm)				13.9 ± 0.6
#600(1.04 μm)				15.4 ± 0.1

表 3-27 : アクリル/アクリルの静止摩擦係数

板 ブロック \ そのまま (0.0107 μm)	#60(2.24 μm)	#150(0.98 μm)	#320(0.81 μm)	#600(0.53 μm)
そのまま(0.14 μm)	0.250 ± 0.009			
#60(3.9 μm)		0.225 ± 0.004		
#150(1.7 μm)			0.243 ± 0.009	
#320(1.2 μm)				0.25 ± 0.01
#600(1.04 μm)				0.276 ± 0.003

グラフ 3-10 : アクリル/アクリルのブロックの粗さに対しての静止摩擦係数



静止摩擦係数は約 0.20~0.28 ほどで、変化の範囲は小さい。

## 2)ガラスの場合

ガラスの表面粗さ  $R_a$  は、板が  $0.019 \mu m$ (標準誤差  $0.002 \mu m$ )、ブロックが  $0.029 \mu m$ (標準誤差が  $0.003 \mu m$ )である。

表 3-28：ガラス/ガラスの滑り出す角度(度)

板 ブロック	ガラス ( $0.019 \mu m$ )(度)
ガラス( $0.029 \mu m$ )	$13.6 \pm 0.4$
板 ブロック	ガラス( $0.019 \mu m$ )(度)

表 3-29：ガラス/ガラスの静止摩擦係数

板 ブロック	ガラス( $0.019 \mu m$ )
ガラス( $0.029 \mu m$ )	$0.242 \pm 0.007$
板 ブロック	ガラス( $0.019 \mu m$ )

## 3)紙(画用紙)の場合

紙は薄いためブロック状にはできないので、ブロックの大きさに切った紙をアルミニウムブロックに両面テープで張り付けたものをブロックとして用いた。

表 3-30：ブロック用の紙の粗さ

ブロック	$R_a(\mu m)$	標準誤差( $\mu m$ )
紙	2.48	0.03
板 ブロック	紙( $2.99 \mu m$ )(度)	標準誤差( $\mu m$ )

表 3-31：板用の紙の粗さ

板	$R_a(\mu m)$	標準誤差( $\mu m$ )
紙	2.99	0.09
板 ブロック	紙( $2.99 \mu m$ )(度)	標準誤差( $\mu m$ )

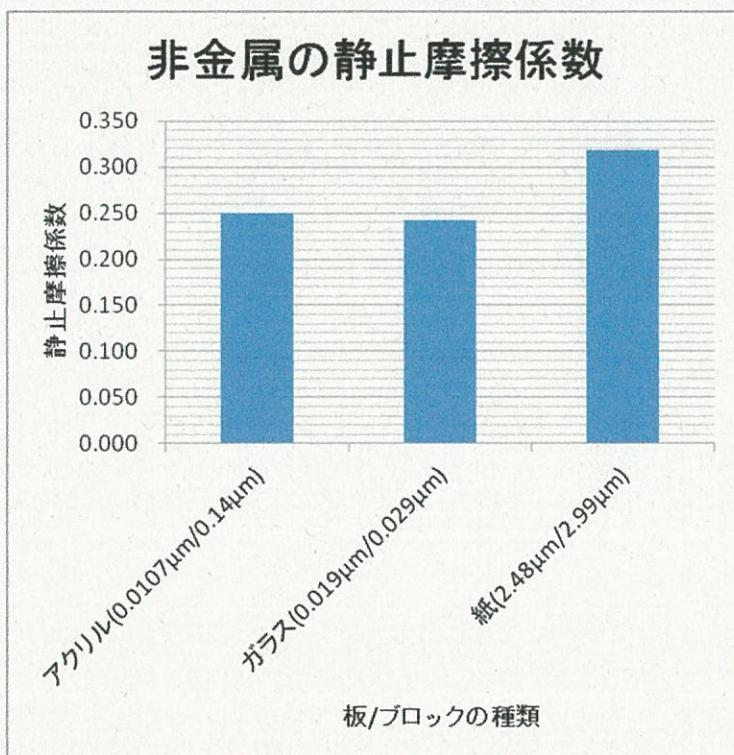
表 3-32：紙/紙の滑り出す角度(度)

板 ブロック	紙( $2.99 \mu m$ )(度)
紙( $2.48 \mu m$ )	$17.7 \pm 0.8$
板 ブロック	紙( $2.99 \mu m$ )(度)

表 3-33：紙/紙の静止摩擦係数

板 ブロック	紙( $2.99 \mu m$ )
紙( $2.48 \mu m$ )	$0.32 \pm 0.02$
板 ブロック	紙( $2.99 \mu m$ )(度)

グラフ 3-11：粗さそのままの非金属の静止摩擦係数



アクリル、ガラスは似たような粗さで非常に細かく、静止摩擦係数が小さい。紙は、他の 2 つと比べて粗さは 100 倍ほど粗く静止摩擦係数も大きい。しかし、真鍮の表面粗さの大きい場合を除いて、金属同士の場合よりも摩擦係数の値は小さい。

#### 実験VI：潤滑剤を用いた場合の静止摩擦係数の変化を調べる実験

潤滑剤を表面に塗るとどのように静止摩擦係数が変化するのかを、液状潤滑剤と固形潤滑剤の二種類について調べた。前者は純水、グリセリン、菜種油、後者は黒鉛(鉛筆)、チヨーク、MoS<sub>2</sub>潤滑剤を用いて比較した。また、板の種類と粗さは、液状潤滑剤にはアルミニウムと真鍮の#60 と#600 の 4 種類とし、固形潤滑剤には紙と真鍮の#60 と#600 の 3 種類とした。斜面にブロックを置いておもり 179.1g を 1 分間のせた後、斜面を傾けた場合を「加重あり」、おもりをのせずに傾けた場合を「加重なし」とした。

### 1) 液体潤滑剤の場合

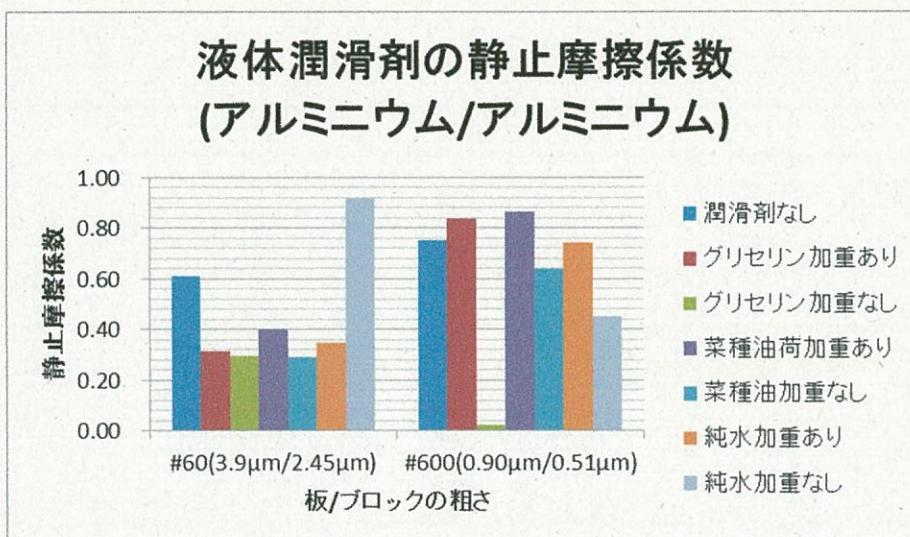
表 3-34 : アルミニウム/アルミニウムに液体潤滑剤を塗布した場合の滑り出す角度(度)

潤滑剤 プロック/板		グリセリン(度)	菜種油(度)	純水(度)
#60(3.9 μm/2.45 μm)	加重あり	17.4 ± 0.7	22 ± 1	19 ± 1
	加重なし	16.6 ± 0.7	16.2 ± 0.6	42.5 ± 0.9
#600(0.90 μm/0.51 μm)	加重あり	40 ± 1	41 ± 1	37 ± 2
	加重なし	1.4 ± 0.2	32.6 ± 0.9	24 ± 1

表 3-35 : アルミニウム/アルミニウムに液体潤滑剤を塗布した場合の静止摩擦係数

潤滑剤 プロック/板		グリセリン	菜種油	純水
#60(3.9 μm/2.45 μm)	加重あり	0.31 ± 0.01	0.40 ± 0.02	0.35 ± 0.03
	加重なし	0.30 ± 0.01	0.29 ± 0.01	0.92 ± 0.03
#600(0.90 μm/0.51 μm)	加重あり	0.84 ± 0.04	0.87 ± 0.03	0.74 ± 0.06
	加重なし	0.024 ± 0.003	0.64 ± 0.02	0.45 ± 0.02

グラフ 3-12 : アルミニウム/アルミニウムに液体潤滑剤を塗布した場合の静止摩擦係数



#60 の粗さの場合、加重ありの場合三者に大きな差はない。グリセリン、菜種油は加重なしの場合に静止摩擦係数が小さいが、純水は加重ありの方が静止摩擦係数が小さい。  
#600 の粗さの場合も、加重ありの場合三者に大きな差はない。三者とも加重なしの方が小さくなっている。また、表面粗さが大きい方が静止摩擦係数が小さい。

潤滑剤がない場合の摩擦係数と比較する。#60 の粗さの場合、純水加重なし以外は潤滑がない場合の静止摩擦係数より小さくなっている。#600 の粗さの場合、三者とも加重ありは潤滑剤がない場合よりも静止摩擦係数が大きくなっているが、加重なしは摩擦係数が小さくなっている。

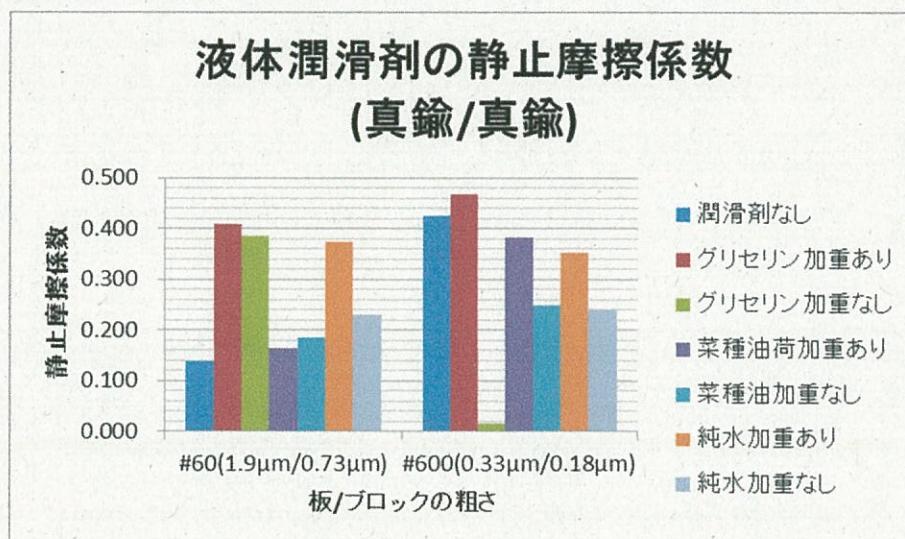
表 3-36：真鍮/真鍮に液体潤滑剤を塗布した場合の滑り出す角度(度)

ブロック/板	潤滑剤	グリセリン(度)	菜種油(度)	純水(度)
#60(1.9 μm/0.73 μm)	加重あり	22.3 ± 0.7	9.3 ± 0.6	20.5 ± 0.5
	加重なし	21.1 ± 0.6	10.5 ± 0.6	12.9 ± 0.4
#600(0.33 μm/0.18 μm)	加重あり	25 ± 1	21.0 ± 0.7	19.4 ± 0.7
	加重なし	0.88 ± 0.2	14.0 ± 0.9	13.4 ± 0.9

表 3-37：真鍮/真鍮に液体潤滑剤を塗布した場合の静止摩擦係数

ブロック/板	潤滑剤	グリセリン	菜種油	純水
#60(1.9 μm/0.73 μm)	加重あり	0.41 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.37 ± 0.01
	加重なし	0.38 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.230 ± 0.007
#600(0.33 μm/0.18 μm)	加重あり	0.47 ± 0.02	0.38 ± 0.01	0.35 ± 0.01
	加重なし	0.015 ± 0.004	0.25 ± 0.02	0.24 ± 0.02

グラフ 3-13：真鍮/真鍮に液体潤滑剤を塗布した場合の静止摩擦係数



粗さがどちらの場合においても、加重なしの方が静止摩擦係数が小さい。加重ありについて、グリセリン、純水は粗さによって大きくは変わらないが、菜種油は表面粗さが大きい方が値が約 0.20 小さくなっている。加重なしについては、菜種油、純水は粗さによって大きくは変わらないが、グリセリンは粗さが小さい方が値が約 0.35 小さくなっている。

潤滑剤がない場合の摩擦係数と比較する。#60 の粗さの場合、加重のありなしにかかわらず、潤滑剤がない場合よりも静止摩擦係数は大きくなっている。#600 の粗さの場合、グリセリン加重あり以外は潤滑剤がない場合より静止摩擦係数は小さくなっている。

## 2) 固形潤滑剤の場合

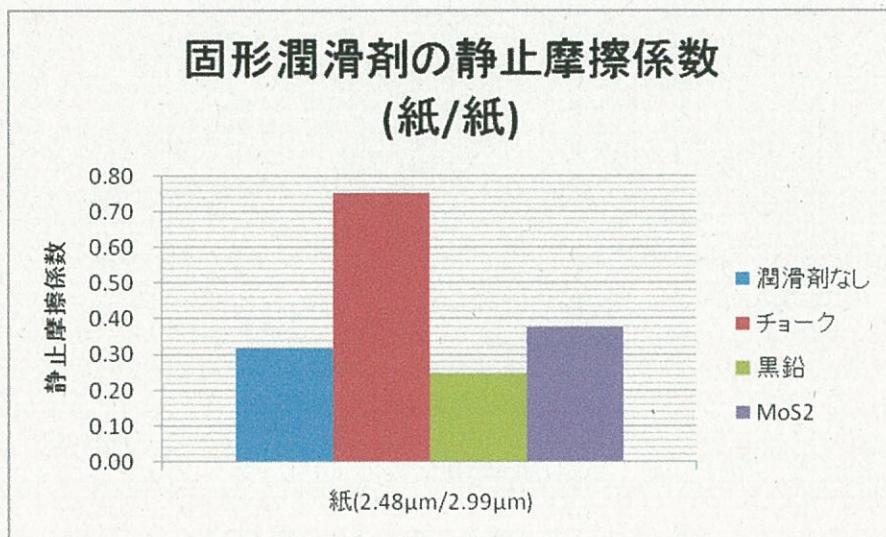
表 3-38：紙/紙、真鍮/真鍮に固体潤滑剤を塗布した場合の滑り出す角度(度)

潤滑剤 ブロック/板	チョーク(度)	黒鉛(度)	MoS <sub>2</sub> (度)
紙(2.48 μm/2.99 μm)	36.9 ± 0.8	14.0 ± 0.5	20.6 ± 0.6
真鍮#60(1.9 μm/0.73 μm)	30.4 ± 0.9	9.3 ± 0.5	18.1 ± 0.8
真鍮#600(0.33 μm/0.18 μm)	28.1 ± 0.7	18.8 ± 0.7	12.7 ± 0.8

表 3-39：紙/紙、真鍮/真鍮に固体潤滑剤を塗布した場合の静止摩擦係数

潤滑剤 ブロック/板	チョーク	黒鉛	MoS <sub>2</sub>
紙(2.48 μm/2.99 μm)	0.75 ± 0.02	0.25 ± 0.01	0.38 ± 0.01
真鍮#60(1.9 μm/0.73 μm)	0.59 ± 0.02	0.16 ± 0.01	0.33 ± 0.01
真鍮#600(0.33 μm/0.18 μm)	0.53 ± 0.02	0.34 ± 0.01	0.22 ± 0.01

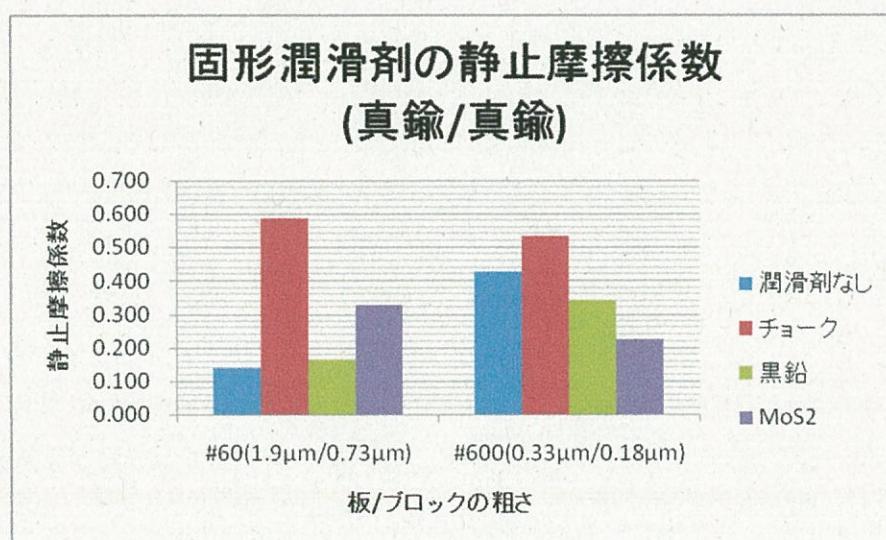
グラフ 3-14：紙/紙に固形潤滑剤を塗布した場合の静止摩擦係数



チョーク、MoS<sub>2</sub>、黒鉛の順で静止摩擦係数が小さくなっている。チョークは MoS<sub>2</sub> よりも値が約 0.50 大きい。

潤滑剤がない場合と比較する。黒鉛は値が小さいが、チョークと MoS<sub>2</sub> は大きくなつており、特にチョークは値が約 0.45 も大きい。

グラフ 3-15：真鍮/真鍮に固形潤滑剤を塗布した場合の静止摩擦係数



どちらもチョークが一番大きくなっている。表面粗さが大きい方が黒鉛の方が小さく、

小さい方が MoS<sub>2</sub> の方が小さい。

潤滑剤がない場合と比較する。粗さが#60 の場合、三者とも同じぐらいかそれ以上の値になっている。粗さが#600 の場合、チョークは値が大きいが、黒鉛、MoS<sub>2</sub> は値は小さくなっている。

### 実験VII：動摩擦係数を傾斜法で測定する実験

2. 原理にも示したように、斜面を利用して動摩擦係数を測定することができる。このとき、静止摩擦係数も同時に測定することができるので、それを検証するために静止摩擦係数、動摩擦係数を測定した。板とブロックの種類は、真鍮#60(0.73 μ m-1.9 μ m)を用いた。また、滑る距離は 0.13m である。

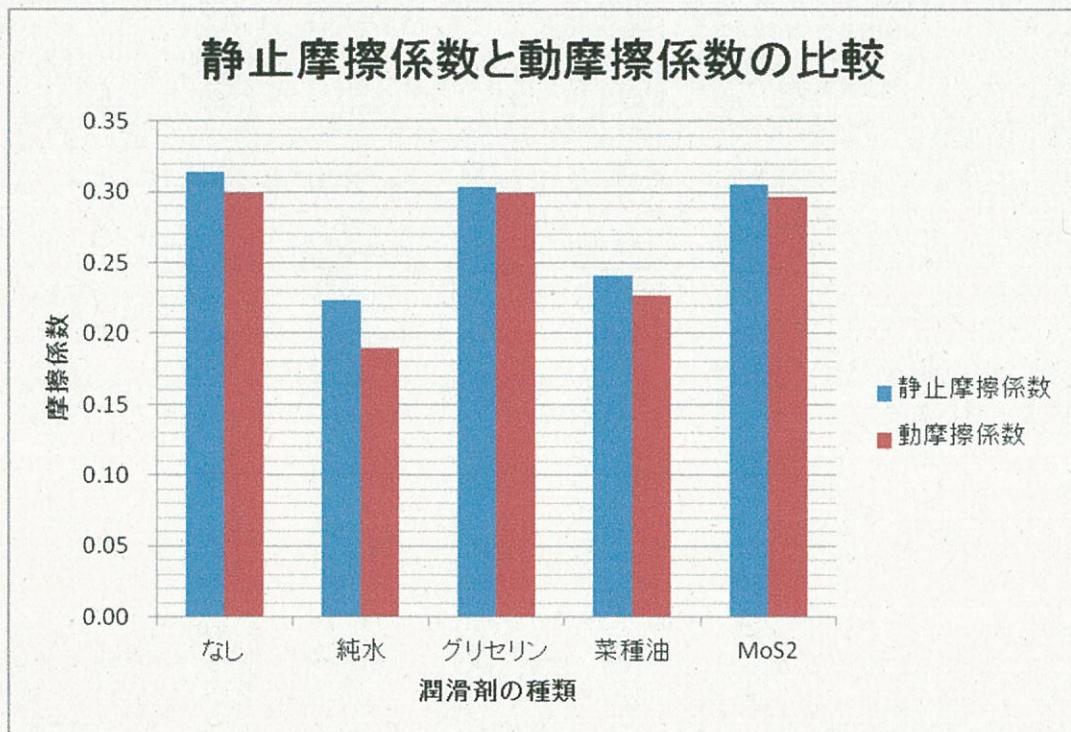
表 3-40：真鍮#60(0.73 μ m-1.9 μ m)の潤滑剤を塗布した場合の滑り出す角度と移動時間

潤滑剤	なし	純水	グリセリン	菜種油	MoS <sub>2</sub>
滑り出す角度(度)	17 ± 1	12.6 ± 0.4	16.9 ± 0.7	13.6 ± 0.9	17.0 ± 0.6
移動時間(s)	1.4 ± 0.3	0.92 ± 0.04	2.7 ± 0.5	1.4 ± 0.2	1.8 ± 0.1

表 3-41：真鍮#60(0.73 μ m-1.9 μ m)の潤滑剤を塗布した場合の静止摩擦係数と動摩擦係数

潤滑剤	なし	純水	グリセリン	菜種油	MoS <sub>2</sub>
静止摩擦係数	0.31 ± 0.03	0.223 ± 0.008	0.30 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.30 ± 0.01
動摩擦係数	0.30 ± 0.03	0.190 ± 0.006	0.30 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.296 ± 0.008

グラフ 3-16：真鍮#60( $0.73 \mu\text{m}$ - $1.9 \mu\text{m}$ )の潤滑剤を塗布した場合の静止摩擦係数と動摩擦係数の比較



どの潤滑剤でも、動摩擦係数の方が小さい値になっているが、その差は 0~0.03 で、大きくは変化していない。

#### 4. 考察

摩擦係数には表面の粗さなどの条件を示した文献値というものがほとんど存在しないため真の値として比較対象がない。この実験では、全体を通して摩擦係数の平均値に対する標準誤差は少数第 2 位に現れる程度であり、測定ごとに現れる偶然誤差はかなり小さいといえる。

ここで、結果の考察に入る前に摩擦のメカニズムのモデルを説明する。

基本的な摩擦法則として、次の 4 つの法則がある[6]。

法則 [1] : 摩擦力は、接触する二面間に作用する垂直荷重に比例する。

法則 [2] : 摩擦力は、みかけの接触面積に無関係である。

法則 [3] : 動摩擦力は、滑り速度に無関係である。

法則 [4] : 動摩擦力は、静止摩擦力よりも小さい。

これらの法則は、アモントン・クーロンの摩擦法則とよばれ、これらを基にさまざまな摩擦のメカニズムが考えられている。ここでは、①摩擦の凹凸説、②摩擦の凝着説、③摩擦の掘り起こし説を説明する。

#### ①摩擦の凹凸説[6]

この説は、摩擦の原因は接触二面間の表面粗さのひっかかり現象であるとする説である。

表面粗さの突起形状を山形とし、突起一つ一つについて荷重、摩擦力、傾斜角を考え、最終的に全体の突起の形状は同じとして考えると、次式が得られる。

$$\mu = \frac{F}{W} = \tan \theta = \text{一定} \quad (4,1)$$

この式より、摩擦係数  $F$  は垂直荷重  $W$  に比例し、みかけの接触面積には無関係であることがわかる。しかし、この説によると、一方の突起が斜面を上り下りする際に力学的エネルギー保存則が成り立ってしまい、摩擦がエネルギーを損失する現象であるという事実に矛盾してしまう。この矛盾を解決するために新たに考え出された説が、次の凝着説である。

#### ②摩擦の凝着説[6]

固体の二面間は表面粗さの突起同士で接触しており、実際に接触している真実接触面積は、みかけの接触面積に比べはるかに小さい。よって、接触面にかかる圧力はきわめて大きくなるので表面の皮膜が破壊され、新生面が接触し強い結合力が生じる。よって接触面に凝着が起こるが、この凝着を引き剥がすせん断力が働き、これが摩擦力となる。また、 $s_0$  を

最大せん断強さ、 $H$ を押し込み硬さとすると次式が成り立つ。

$$\mu = \frac{s_0}{H} \quad (4,2)$$

これより、摩擦係数はみかけの接触面積にかかわらず一定で、せん断力に比例し、硬さに反比例する。

また、この説の修正として、接触面が接線方向の力により成長する凝着部成長理論が唱えられた。材料の降伏条件を当てはめて解析し、その結果次式が成り立つ。

$$\mu = \frac{k}{\sqrt{\alpha(1-k^2)}} \quad (4,3)$$

ただし、 $\alpha$ は凝着部の3次元構造に対する修正係数であり、また、 $k$ の定義は次のとおり。

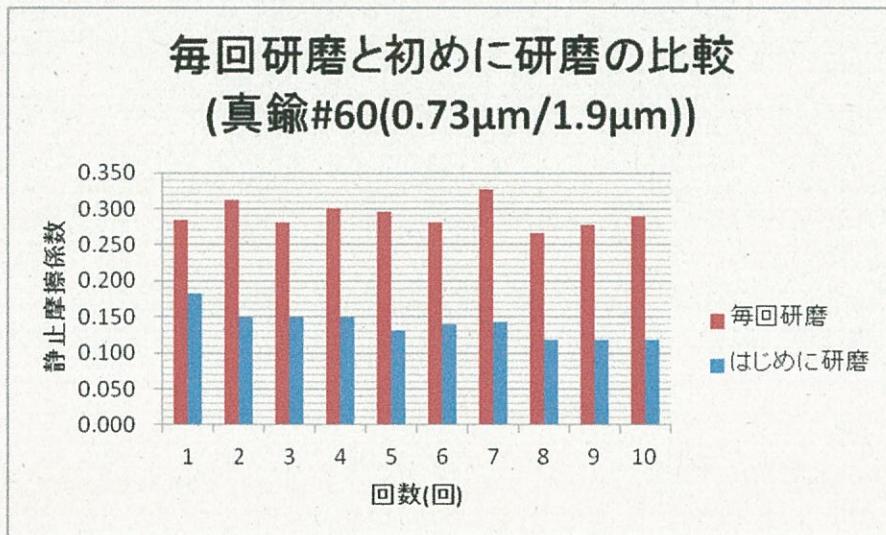
$$k = \frac{s}{s_0} \quad (0 \leq k \leq 1) \quad (4,4)$$

最大せん断力 $s_0$ は固体固有の値であるので一定だが、せん断強さ $s$ は固体表面の状態に応じて変化する。よって、 $k$ は $s$ によって決定される。

以上の2つの説を参考にして、考察を進めていく。

## 考察 I : 摩擦による磨耗が測定回数に及ぼす影響を調べる

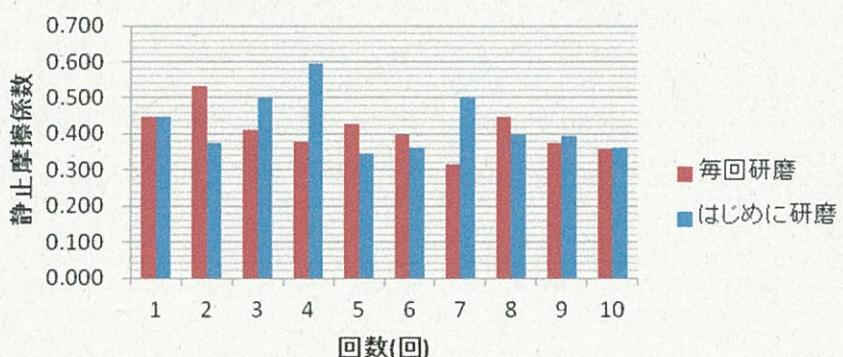
グラフ 4-1 : 真鍮#60( $0.73\mu\text{m}/1.9\mu\text{m}$ )の毎回研磨をした場合と初回研磨をした場合の静止摩擦係数



真鍮#60については、ばらつき具合はどちらもあまり変わらないが、毎回研磨は適当に散らばっているのに対し、初回研磨は徐々に静止摩擦係数が小さくなっている。これは、#60同士は表面粗さが比較的大きく、互いを削りやすいため初回研磨では徐々に静止摩擦係数の値が小さくなっていく。一方で、毎回研磨では、測定の度に研磨して磨耗した跡をなくすためであると考えられる。また、初回研磨する方を詳しく見てみると、1回目、2~4回目、5~7回目、8~10回目にわけることができ、後者3つの静止摩擦係数はそれぞれの区間ではほぼ等しく、1回目はどの回よりも静止摩擦係数は大きくなっている。これは、1回目滑り落ちたとき、板とブロックの互いの表面が削れて溝ができる、真実接触面積が小さくなるためこのような段階的な様子が見て取れる。また、1回目に削れた後は3回周期で削れていることが分かる。

グラフ 4-2 : #600( $0.18\mu\text{m}/0.33\mu\text{m}$ )の毎回研磨をした場合と初回研磨をした場合の静止摩擦係数

## 毎回研磨と初めに研磨の比較 (真鍮#600(0.18μm/0.33μm))



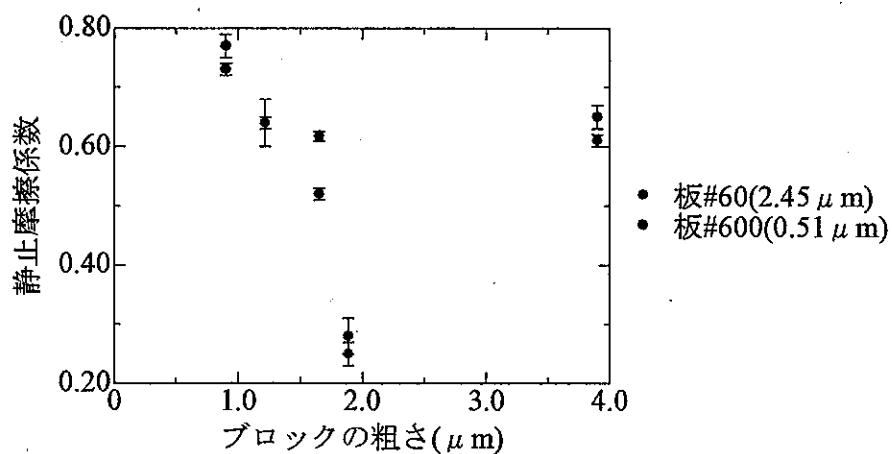
真鍮#600については、ばらつきが大きくなつてはいるものの、毎回研磨と初回研磨ではあまり静止摩擦係数の値が変化しなかつた。これは、#600では板の表面粗さが  $0.18\mu\text{m}$ 、ブロックの表面粗さが  $0.33\mu\text{m}$  と比較的小さいため、滑りによって互いを傷つけにくく、初回研磨しただけでも 10 回滑つただけではあまり磨耗しなかつたためであると考えられる。

## 考察Ⅱ：粗さ依存性を調べる

### 1) 同種の金属同士の場合

#### (1) アルミニウム

グラフ 4-3: アルミニウム/アルミニウムのブロックの粗さ Ra と静止摩擦係数の関係(アルミニウム板の粗さを、#60( $2.45 \mu m$ )、#600( $0.51 \mu m$ )とする)



グラフ 4-3 で、表面粗さが大きい方から順に見ていくと、ブロック  $3.9 \mu m$ (#60)からブロック  $1.89 \mu m$ (#100)にかけては減少しているが、それ以上粗さが小さくなると再び静止摩擦係数が大きくなるという振る舞いが見られる。

この現象は凹凸説と凝着説を組み合わせることで説明が可能である。凹凸説では表面の粗さが大きいほどその影響による力である凹凸を乗り越える力を及ぼしやすいのに対し、凝着説では表面の粗さが小さいほど真実接触面積が大きくなるのでせん断力を及ぼしやすい。滑り出した時、それらの力(乗り越える力とせん断力)の合力が最大静止摩擦力とも考えられる。よって、図 4-1 を参考にして考えると、ブロック  $3.9 \mu m$ (#60)では凹凸を乗り越える力による寄与が大きく、ブロック  $1.654 \mu m$ (#150)から  $0.90 \mu m$ (#600)にかけてはせん断力による寄与が大きくなっていると考えられる。ブロック  $1.89 \mu m$ (#100)については、凹凸を乗り越える力と、せん断力が同じぐらいの寄与を及ぼしていると考えられる。

表面の粗さが大きい場合、図 4-2 に示すように、二面間でブロックに働く力は、真実接触面積が小さいので乗り越える力の方がせん断力よりも大きい。表面の粗さが小さい場合、図 4-3 に示すように、二面間の真実接触面積が増えてオレンジで示したせん断力が大きくなり、摩擦力が大きくなる。

図 4-1：凹凸説と凝着説が静止摩擦係数に与える寄与の模式図

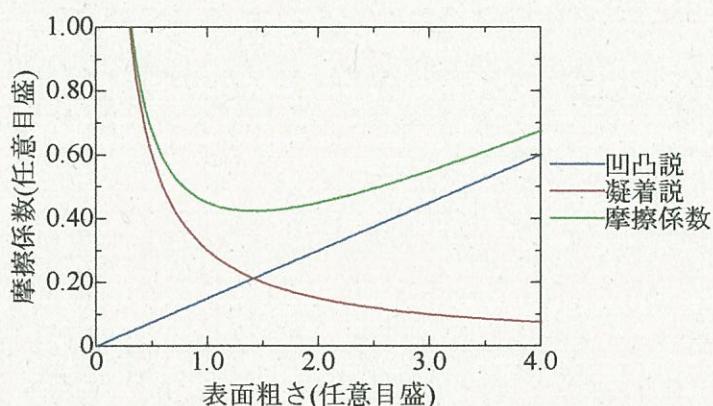
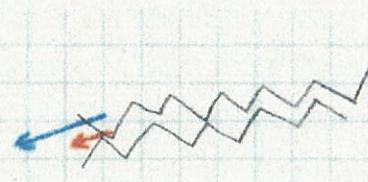


図 4-2：表面の粗さが大きい場合の、固体二面間でブロックに働く力



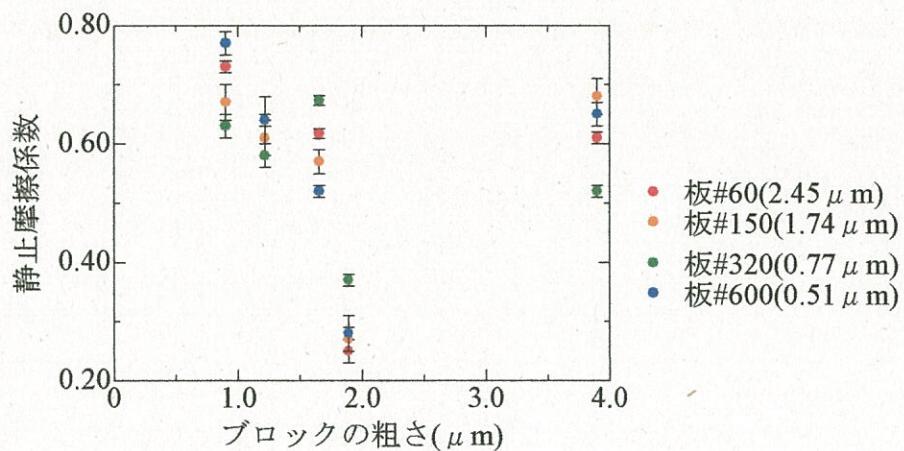
青い矢印が凹凸を乗り越える力、オレンジの矢印がせん断力である。

図 4-3：表面の粗さが小さい場合の、固体二面間でブロックに働く力



青い矢印が凹凸を乗り越える力、オレンジの矢印がせん断力である。

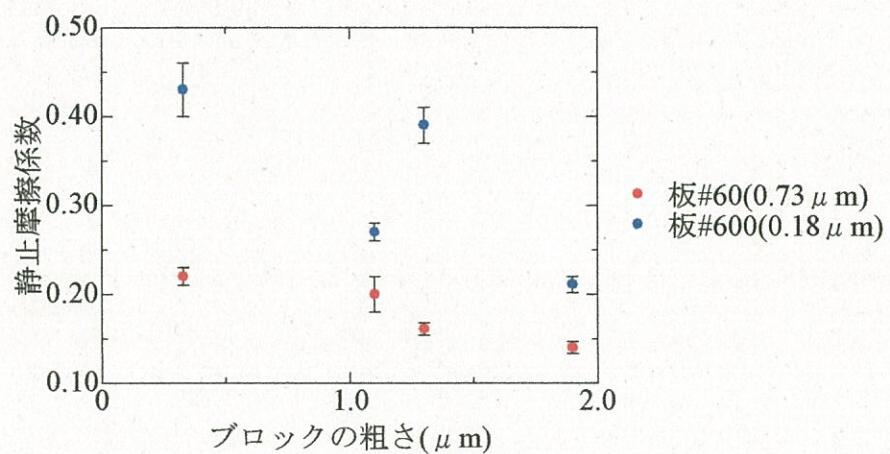
グラフ 4-4: アルミニウム/アルミニウムのブロックの粗さ Ra と静止摩擦係数の関係(アルミニウム板の粗さを、#60( $2.45 \mu\text{m}$ )、#150( $1.74 \mu\text{m}$ )、#320( $0.77 \mu\text{m}$ )、#600( $0.51 \mu\text{m}$ )とする)



また、グラフ 4-4 で板の粗さすべてについて見てみると、どの粗さも同じような振る舞いが出ていることがわかる。

## (2) 真鍮

グラフ 4-5：真鍮./真鍮のブロックの粗さ Ra と静止摩擦係数の関係(真鍮板の粗さを、#60( $0.73 \mu\text{m}$ )、#600( $0.18 \mu\text{m}$ )とする)

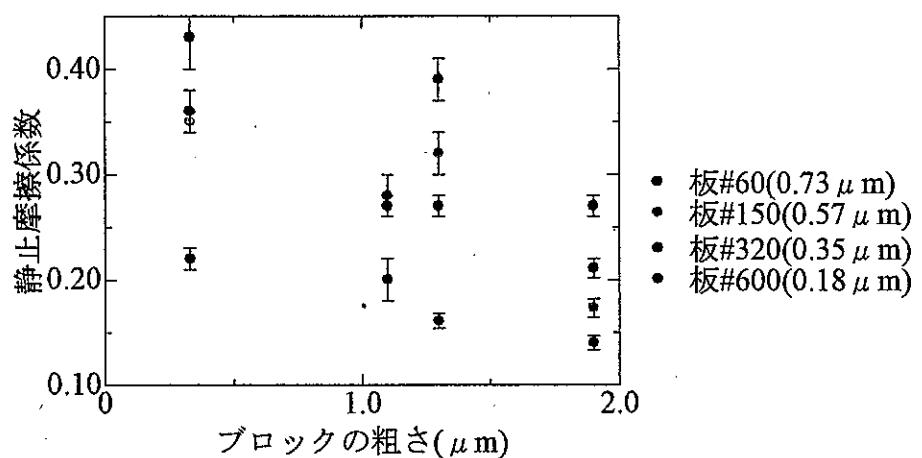


グラフ 4-5 からは、全体的に粗さが大きくなるほど静止摩擦係数は小さくなるという振る舞いが読み取れる。

アルミニウムと同様に考えると、今回測定したすべてのブロックの粗さで、せん断力による寄与の方が大きくなつたため、粗さが大きくなるほど静止摩擦係数が減少していると考えられる。ここで、アルミニウムの場合と  $R_a$  値を比較してみると、同じ研磨紙でもアルミニウムの方が、粗さが  $1/2$  程度に小さくなっていることがわかる。これより、真鍮について、もっとブロックの粗さの大きい組み合わせを測っていたとしたら凹凸を乗り越える力による影響が出ていることを確認できたのではないかと考えられる。

またグラフ 4-6 より、板の粗さすべての結果について見てみると、どの粗さも同じような傾向が出ていることがわかる。

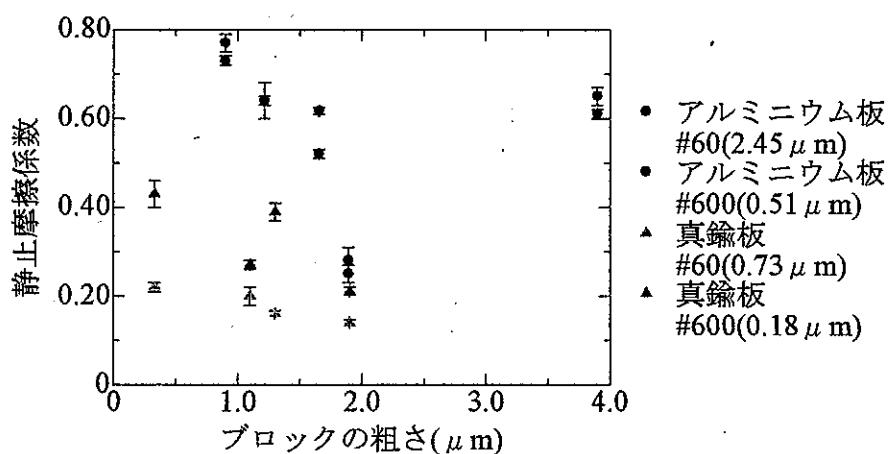
グラフ 4-6：真鍮/真鍮のブロックの粗さ  $R_a$  と静止摩擦係数の関係(真鍮板の粗さを、#60( $0.73 \mu m$ )、#150( $0.57 \mu m$ )、#320( $0.35 \mu m$ )、#600( $0.18 \mu m$ )とする)



### 3)アルミニウムと真鍮の比較

ブロックの粗さを横軸にとったグラフと、板の粗さを横軸にとったグラフを用いて、アルミニウムと真鍮の比較をしてみる。

グラフ 4-7：金属/金属のブロックの粗さ  $R_a$  と静止摩擦係数の関係(板の粗さを#60、#600 とする)



グラフ 4-7 は横軸をブロックの粗さに取り、アルミニウムと真鍮の静止摩擦係数を比較したものである。全体的に見て、アルミニウムの方が静止摩擦係数は大きくなっている。その差は 0.10~0.60 までと広くなっている。

ここで、金属が摩擦によって塑性変形すると考えると、摩擦係数は次のように求められる[7]。静止摩擦係数を  $\mu$ 、せん断強さを  $\sigma_s$ 、降伏応力を  $\sigma_y$  とすると、

$$\mu = \frac{\sigma_s}{\sigma_y} \quad (4,5)$$

また、せん断強さ =  $\frac{\text{引っ張り強さ}}{\sqrt{3}} = 0.58 \times \text{引っ張り強さ}$  の関係があるので[7]、式(4,5)

はさらに次のように変形できる。

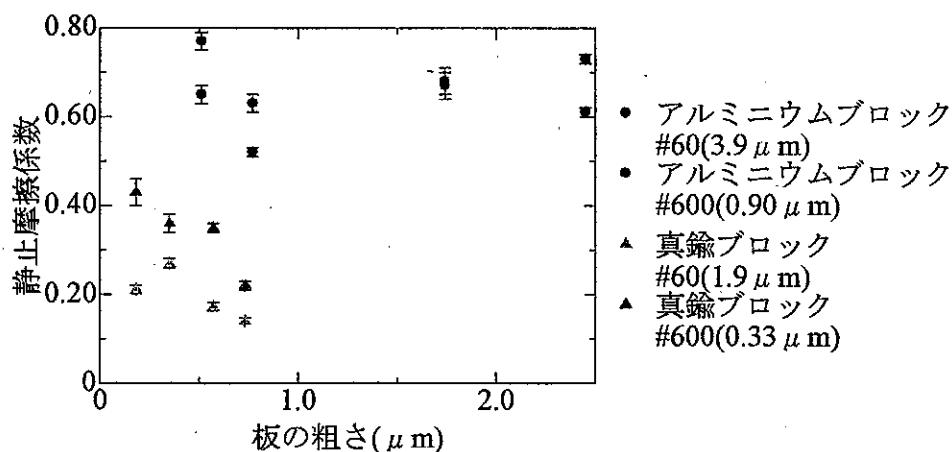
$$\mu = 0.58 \times \frac{\text{引っ張り強さ}}{\text{降伏応力}} \quad (4,6)$$

アルミニウム、真鍮それぞれの引っ張り強さは、 $200, 230 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  [8]、降伏応力は、

40、 $70 \times 10^6 N/m^2$  [8]であるので、式(4,7)に代入して計算すると、静止摩擦係数は、アルミニウム、真鍮の順に、2.9、1.9となる。

この計算値の大小関係は、結果の大小関係と一致しており、よって、引っ張り強さと降伏応力が違うために静止摩擦係数は物質の種類によって違う値になるといえる。

グラフ 4-8：金属/金属の板の粗さ  $R_a$  と静止摩擦係数の関係(ブロックの粗さを#60、#600 とする)

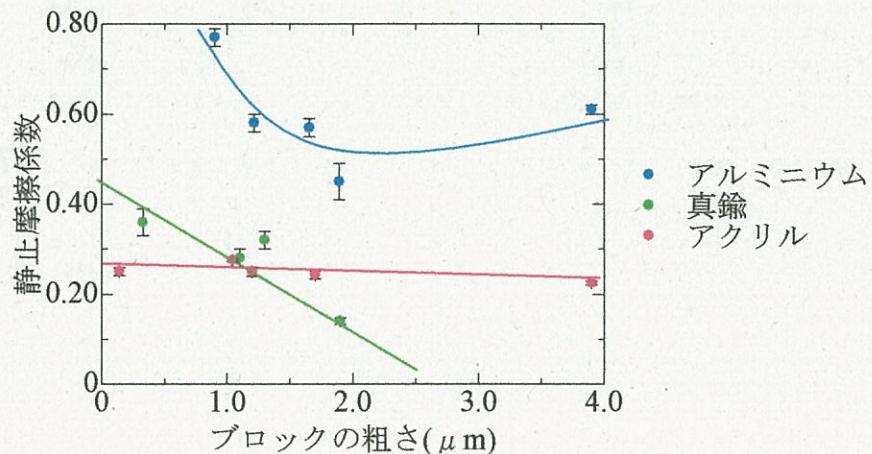


グラフ 4-8は横軸を板の粗さにとり、アルミニウムと真鍮の静止摩擦係数を比較したもののである。アルミニウムも真鍮も、ブロックの粗さを横軸にとったグラフと同じような振る舞いが見られる。

#### 4)アルミニウム、真鍮、アクリルの比較

同種の物質、粗さについてブロックの粗さを横軸にとったグラフを用いて、アルミニウム、真鍮、アクリルを比較してみる。

グラフ 4-9：アルミニウム、真鍮、アクリルのブロックの粗さ  $R_a$  と静止摩擦係数の関係(板とブロックの粗さは同じとする)



グラフ 4-9 より、図 4-1 のグラフの傾向の一部がそれぞれ表れている。アルミニウム、真鍮は凝着説による寄与の大きな範囲でグラフの傾きが大きいが、アクリルは小さい。これは垂直荷重がほぼ同じであるアルミニウムとアクリルを比較して、凝着説により次のように説明できる。

凝着説より、静止摩擦係数を  $\mu$ 、せん断強さを  $S_0$ 、真実接触面積を  $A_r$ 、垂直荷重を  $W$  とすると、

$$\mu = \frac{S_0 A_r}{W} \quad (4.7)$$

と表せる[6]。 $S_0$  はアルミニウム、アクリルそれぞれの場合に固有の値に関係し、 $W$  は同じとき、 $\mu$  は  $A_r$  に比例し、比例係数は  $S_0$  であるといえる。ここで、アルミニウム、アクリルそれぞれのせん断強さは  $200$ 、 $75 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  [8] である。アクリルはアルミニウムの約  $1/3$  の値であり、よってアクリルの表面粗さによる静止摩擦係数の変化は小さい。

## 2) ガラス/金属の場合

上で述べた考察を確かめるために、ガラスを板とした場合の結果を議論する。

グラフ 4-10：ガラス/金属のブロックの粗さ  $R_a$  と静止摩擦係数の関係

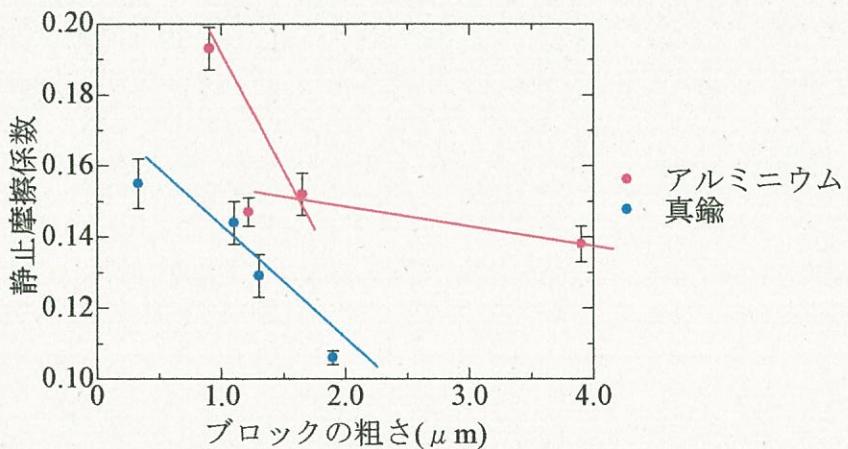


表 4-1：アルミニウムブロックの粗さ

ブロック	$R_a(\mu m)$	誤差( $\mu m$ )
#60	3.87	0.33
#150	1.654	0.009
#320	1.217	0.009
#600	0.90	0.02

表 4-2：真鍮ブロックの粗さ

ブロック	$R_a(\mu m)$	誤差( $\mu m$ )
#60	1.9	0.2
#150	1.3	0.1
#320	1.1	0.1
#600	0.33	0.01

表 4-3：ガラス板の粗さ

板	$R_a(\mu m)$	誤差( $\mu m$ )
そのまま	0.019	0.002

グラフ 4-10 の線のように、アルミニウムも真鍮も減少する傾向が見られることがわかる。

これは、凝着説で説明できると考えられる。表 4-1 から表 4-3 より、ガラスは金属の粗さと比べて非常に小さく、ブロックに対してほぼ平面として考えてもよいため、ブロックの粗さによって真実接触面積が変化すると考えられる。

そこで、粗さとして凹凸の横方向の平均長さを示す  $RSm$  を横軸にとったグラフ 4-11 に示す。

グラフ 4-11：ガラス/金属のブロックの粗さ RSm と静止摩擦係数の関係

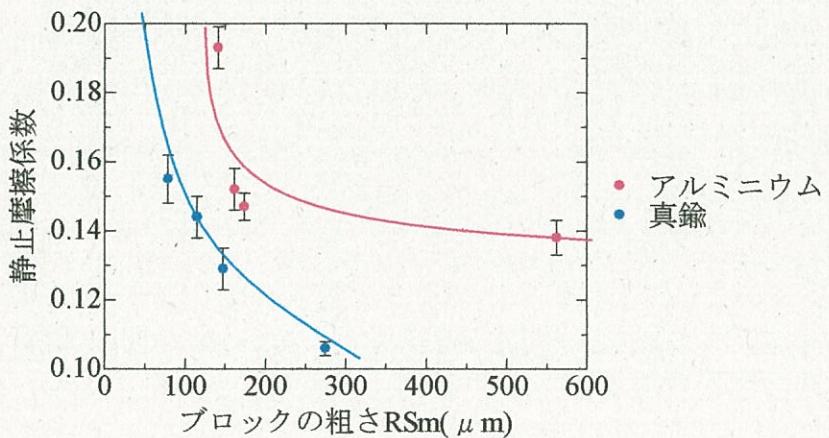


表 4-4：アルミニウムブロックの粗さ

ブロック	Ra ( $\mu\text{m}$ )	誤差 ( $\mu\text{m}$ )	Rsm ( $\mu\text{m}$ )	誤差 ( $\mu\text{m}$ )
#60	3.9	0.3	562	87
#150	1.654	0.009	161	2
#320	1.217	0.009	174	27
#600	0.90	0.02	141	5

表 4-5；真鍮ブロックの粗さ

ブロック	Ra ( $\mu\text{m}$ )	誤差 ( $\mu\text{m}$ )	Rsm ( $\mu\text{m}$ )	誤差 ( $\mu\text{m}$ )
#60	1.9	0.2	274	62
#150	1.3	0.1	148	11
#320	1.1	0.1	115	17
#600	0.33	0.01	78	7

横軸を RSm に置き換えると、#150、#320 の粗さの値の大小関係が逆転し、摩擦係数の変化がグラフ 4-10 と比べてなめらかになっていることがわかる。これは、平均長さの変化の表すところを考えることで説明できる。平均長さの減少は真実接触点の増加、つまり真実接触面積の増加に対応する。その結果、せん断応力が大きくなり、摩擦係数の増加につながる。ただし、正確には真実接触点の数は平均長さの二乗の逆数に比例することになる。

また、アルミニウムでブロック  $1.654 \mu m$ (#150)と  $3.87 \mu m$ (#60)ではほとんど静止摩擦係数が変化していないのは、ブロック  $1.654 \mu m$ (#150)と  $3.87 \mu m$ (#60)の間で凝着説による寄与が大きく減少し、凹凸説による寄与が強くなるため、変化が小さくなつたからだと考えられる。

### 考察III：静止摩擦力の荷重依存性を調べる

摩擦法則の基本であるアモントン-クーロンの法則より、次の法則が成り立っている。

法則 [1]：摩擦力は、接触する二面間に作用する垂直荷重に比例する。

よって、測定した角度と質量から斜面の水平方向のつり合いより、次の式を用いて最大静止摩擦力を計算し、比例の傾向が見られるか検証する。

最大静止摩擦力を  $F$ 、質量を  $m$ 、重力加速度を  $g$ 、滑り出す角度を  $\theta$  とすると、

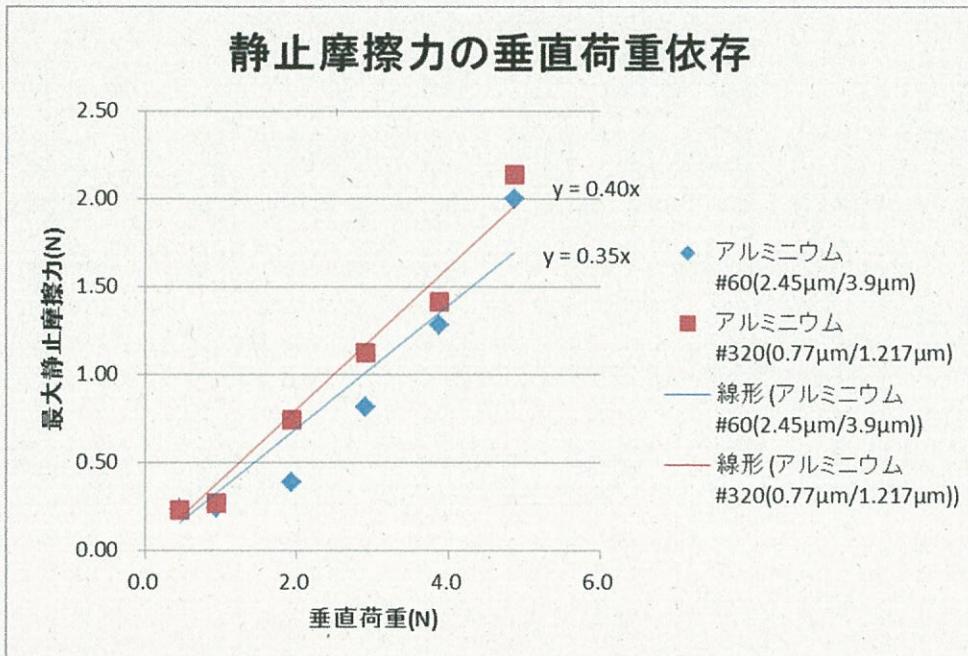
$$F = mg \sin \theta \quad (4.8)$$

計算した結果の表とグラフを次に示す。

表 4-6：垂直荷重を変化させたときのアルミニウム/アルミニウムの最大静止摩擦力(N)

板/ブロック 垂直荷重(N)	#60(2.45 $\mu m$ ) /#60(3.9 $\mu m$ )	#320(0.77 $\mu m$ ) /#320(1.217 $\mu m$ )
0.5	0.24	0.23
1.0	0.24	0.27
1.9	0.39	0.74
2.9	0.82	1.12
3.9	1.28	1.41
4.9	2.00	2.14

グラフ 4-12：静止摩擦力の荷重依存性



切片を 0 にして直線を引いてみると、グラフ 4-12 より、最大静止摩擦力が垂直荷重にほぼ比例していることがわかるこの比例係数が式(2,1)により摩擦係数を与える。#60 と 320 の比例係数 0.40 と 0.35 がそれぞれ摩擦係数になる。しかし、他に次の 3 点の傾向も読み取れる。

- ①#320 の方が、同じ垂直荷重の時に最大静止摩擦力が大きい。
- ②それぞれの粗さにおいて、直線よりプロットが小さい場合がある。特に、#60 が顕著である。

③垂直荷重が 4.9N のとき、直線よりプロットが大きい。

これらの①、②は、凝着説によって説明が可能である。

①凝着説より、最大静止摩擦力を  $F$ 、垂直荷重を  $W$ 、最大せん断強さを  $s_0$ 、押し込み硬さを  $H$  とすると、

$$F = \frac{s_0}{H} W \quad (4,9)$$

が成り立つ[6]。よって、押し込み硬さが同じ、つまり同じ材質で、垂直荷重が等しい時、

最大静止摩擦力の大小は最大せん断強さの大小で決まることが式(4,9)からわかる。また、

真実接触面積を  $A_r$  として、

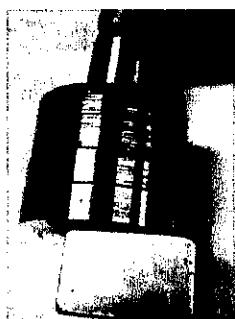
$$F = s_0 A_r \quad (4,10)$$

の関係がある[6]。表面粗さが大きいほど真実接触面積は小さく、小さいほど大きい。よって、粗さの大きい#60の方が真実接触面積が小さく、粗さの小さい#320の方が真実接触面積が大きいので、#60より#320の方が、同じ垂直荷重のときに最大静止摩擦力が大きい。

②直線よりプロットが小さいのは、本来は直線上にあるはずのプロットが小さい値を取っているということである。よって式(4,10)から、 $F$  が小さくなっているのは、 $A_r$  が小さくなっていることになる。つまり、真実接触面積が増えていないということになる。特に#60で顕著に見られるのは表面粗さが#320に比べて大きいので、表面粗さの突起同士で接触する可能性がもともと少ないせいだと考えられる。

③測定時の荷重のかけ方がその一因であると考えられる。今回の実験は装置自体が小さい上、ブロックが小さくて軽いのであまり大きな荷重はかけられない。荷重 4.9N にもなると、アルミニウムの自重が 47.3g であるので 24.4g も荷重をかけることになり、この装置では限界に近い状況となり、滑る前に転がってしまう。そこで、下の図 4-4 のようにおもりをずらしてつけ荷重をかけた。なので、今までよりも大きめの値が出たと思われる。

図 4-4：荷重のつけ方(荷重 4.9N の場合)



#### 考察IV：研磨方向の違いが静止摩擦係数に及ぼす影響を調べる

比較対象として入れる通常の磨き方で磨いたものは、実験IIで測定した真鍮#60( $0.73\mu m$ )の結果を用いた。また、研磨の方向の表記の仕方を再度下の図4-5で示しておく。以下、研磨によってできたうねが板とブロックで平行になる(縦/縦、横/横)のを「平行」、垂直になる(縦/横、横/縦)のを「垂直」と表記する。

グラフ4-13：研磨方向の違いによる静止摩擦係数

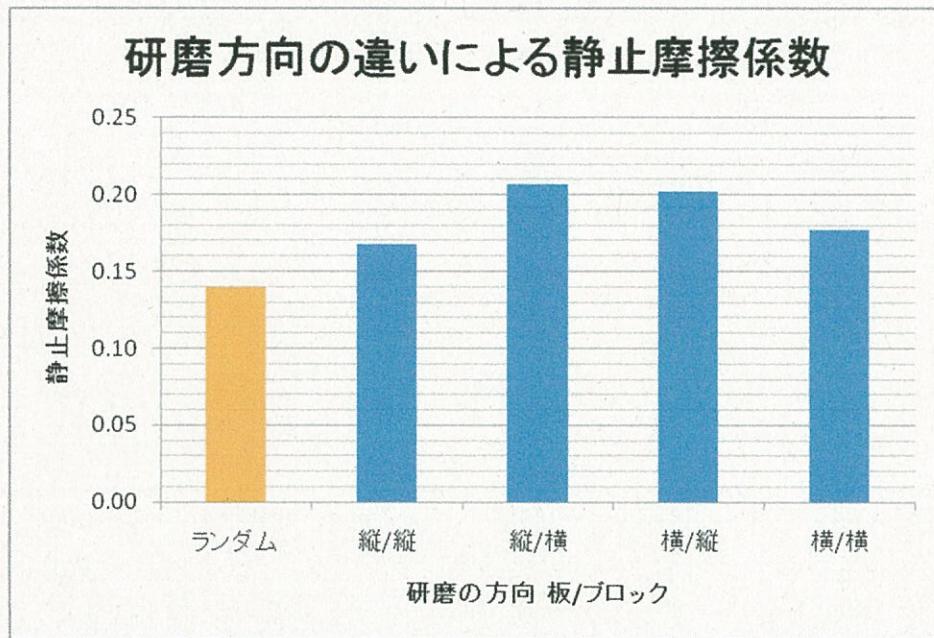
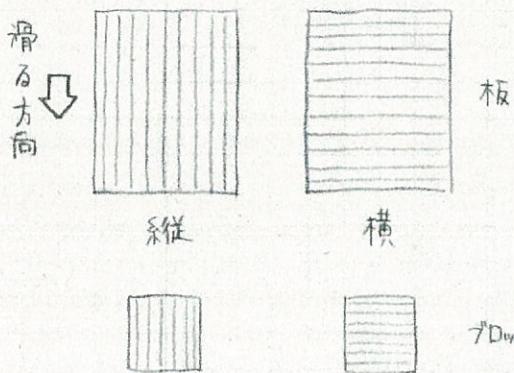


図4-6：研磨方向の説明



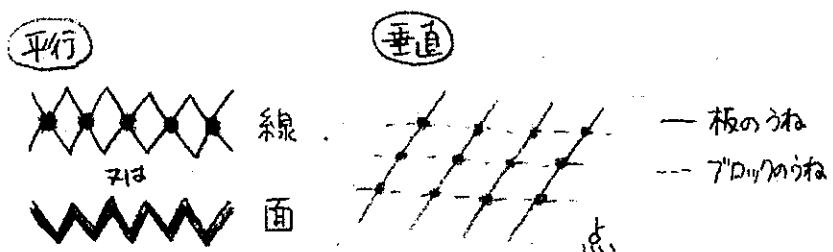
グラフ 4-13 より、次の 2 点の傾向が読み取れる。

- ① 平行と垂直では、垂直の方が静止摩擦係数は大きい。
- ② 縦/横、横/縦で静止摩擦係数はほぼ同じで、縦/縦、横/横でも静止摩擦係数はほぼ同じである。

これらは、次のように考えることができる。

- ① 行と垂直の、二面間が接触している様子は次の図 4-7 のようになっていると考えられる。Ra で表される粗さに比べて、より大きな粗さに方向性があると考えられる。

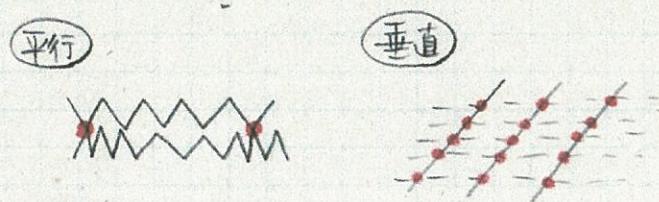
図 4-7：二面間の接触の様子



図の赤い点、赤い線は真実接触面積を表している。

どちらの場合にも適用する説を考えると、垂直の場合、点で接しているので凹凸説は当てはまらない。しかし、凝着説を考えると、線もしくは面で接している平行の方が真実接触面積が大きくなり、静止摩擦係数は平行の方が大きいことになり、結果に矛盾してしまう。そこで、今までの板とブロックの粗さを見てみると、同じ材質で同じ粗さでも粗さが違うものがほとんどであることに気がつく。よって、「実は板とブロックでうねの周期が違っていた」と仮定すると、平行と垂直の、二面間が接触している様子は次の図 4-8 のようになつていると考えられる。

図 4-8：仮定を前提とした二面間の接触の様子



よって図 4-8 より、平行では真実接触線がすべてのうねであるわけではなく偶然性が高くなり、垂直では真実接触点の数は板とブロックのうねの本数をかけた分だけ存在することになる。よって、真実接触面積は垂直の方が大きくなり、静止摩擦係数も大きくなる。よって結果を凝着説で説明することができた。

しかし、先ほど仮定した「実は板とブロックでうねの周期が違っていた」が違っているかもしれませんので、実際に磨いたものを観察してみると、次の図のようだった。

図 4-9：一方向で研磨した真鍮板とブロック (#60)



図 4-9 より、板に注目すると、うねが曲がっているのが確認でき、また大きな傷もうねを横切るようにできているのがわかる。ブロックに注目すると、うねはほぼ平行になっているが、うねの幅の間隔が一定ではないことがわかる。よって、仮定はある程度正しいものだ

といえることがわかった。

よって以上より、粗さが粗くても磨き方によっては凝着説による影響が大きい場合があることがわかった。

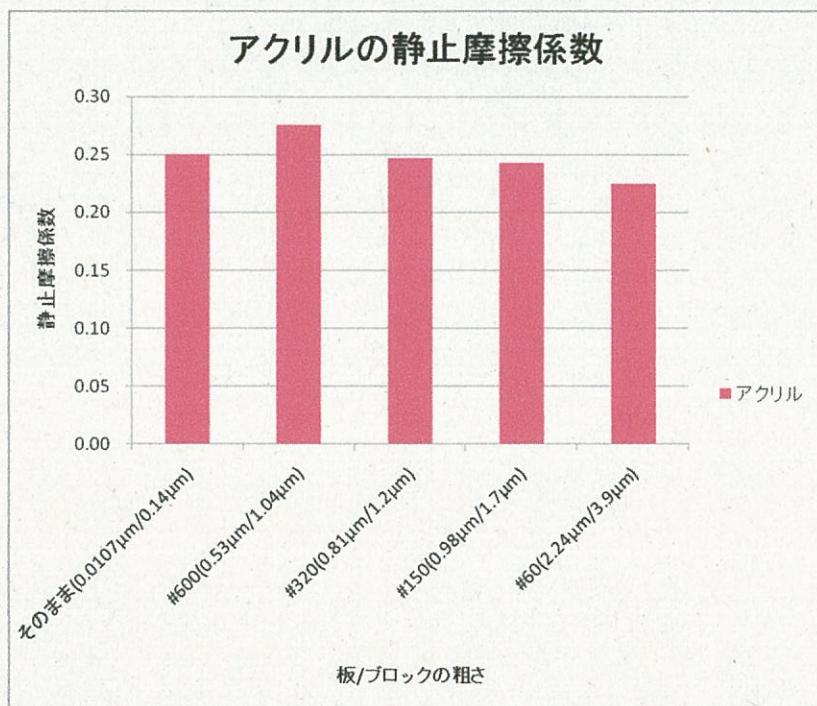
②縦/横、横/縦で静止摩擦係数はほぼ同じであるのは、凝着説で説明できる。①の仮定が成り立っているとすると、縦/横でも横/縦でも、真実接触点の数は板とブロックのうねの本数をかけた分だけ存在し、同じ垂直であるならば点の数は変わらないとみなしてよい。よって、真実接触面積は変わらず、静止摩擦係数も変わらないといえる。

縦/縦、横/横で静止摩擦係数はほぼ同じであるのも、凝着説で説明できる。①の仮定が成り立っているとすると、板とブロックが完全に密着することではなく、縦/縦でも横/横でも、図4-8の平行のように接触していると考えられる。接触する偶然性も高く、真実接触面積はほとんど縦/縦、横/横で同じと考えてよい。よって、真実接触面積は変わらず、静止摩擦係数も変わらないといえる。

## 考察V：非金属の静止摩擦係数を調べる

### 1) アクリル

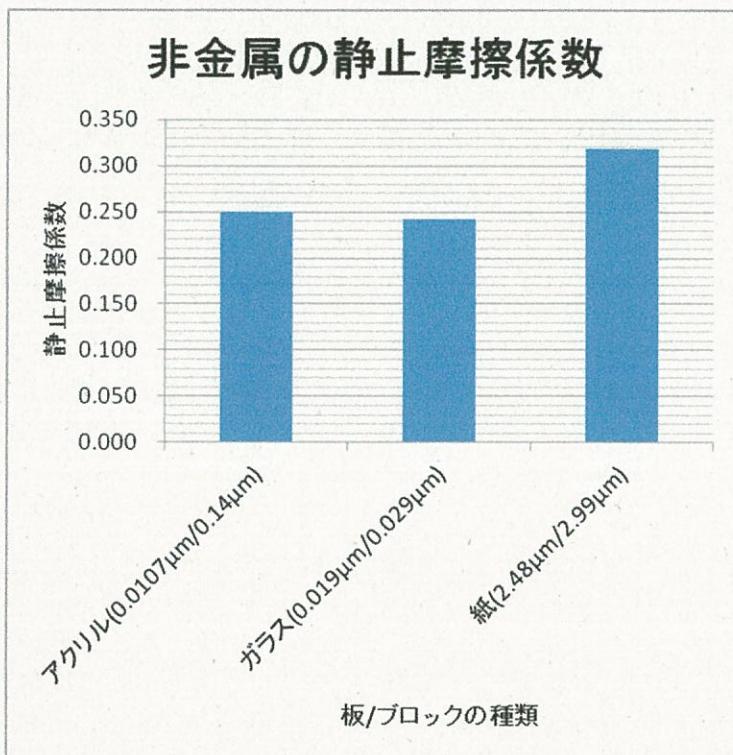
グラフ4-14：アクリル/アクリルのブロックの粗さに対しての静止摩擦係数



グラフ4-14より、アクリルは粗さによる依存性は弱いがある。これは、凝着説による寄与が大きいために表面粗さが大きくなるほど静止摩擦係数が小さくなっていると考えられる。

## 2) 粗さそのままの非金属

グラフ 4-15：非金属の静止摩擦係数



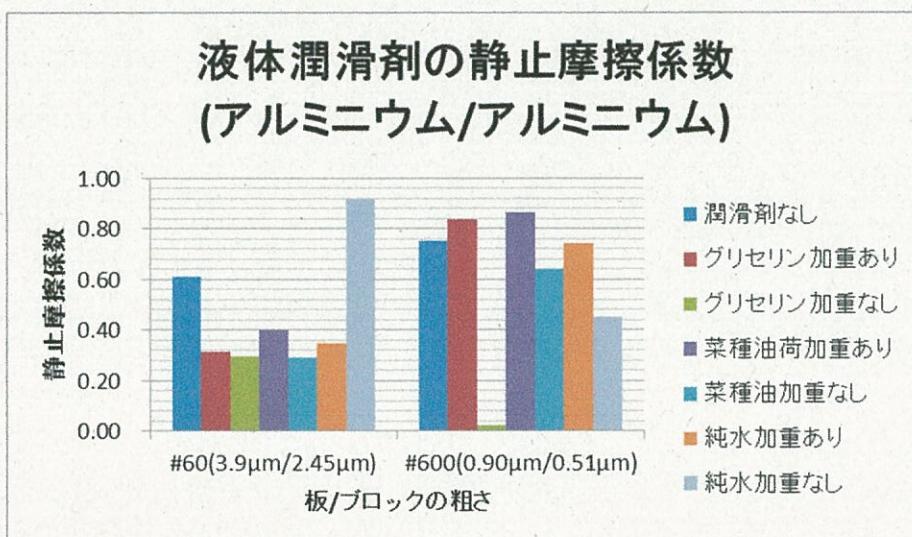
アクリル、ガラスはほとんど同じ静止摩擦係数だが、紙は他の二つよりも値が約 0.05 大きくなっている。しかし、紙の誤差は  $\pm 0.02$  となっており、また他の二者と違い湿気などの外的要因に影響されやすい。よって、この差は誤差範囲に含まれると考えることができる。

また、アクリル、ガラスは表面粗さが小さいため凝着説による寄与が大きく、紙は表面粗さが大きいため凹凸説による寄与が大きいと考えられる。

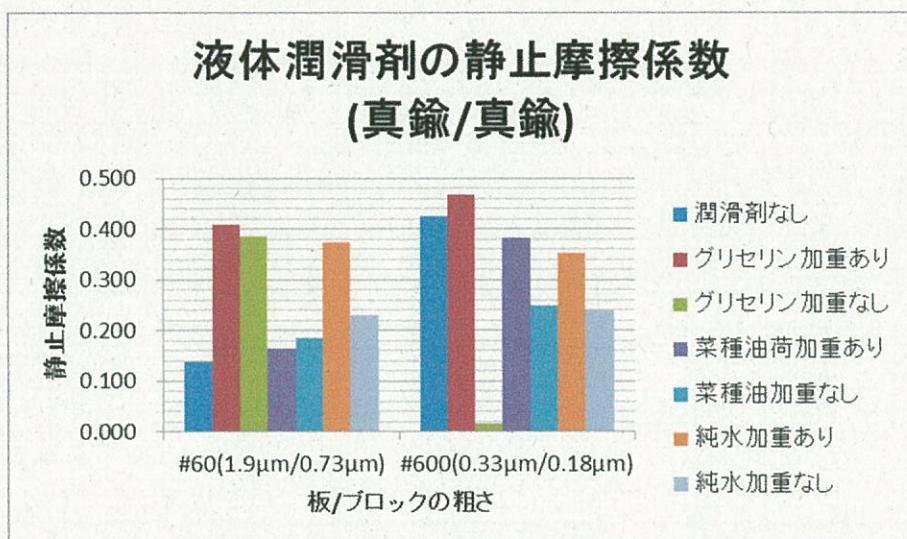
## 考察VI：表面状態を変化させたときの静止摩擦係数の変化を調べる

### 1) 液体で表面状態を変えてみる

グラフ 4-16：アルミニウム/アルミニウムの液体潤滑剤を塗布した場合の静止摩擦係数



グラフ 4-17：真鍮/真鍮の液体潤滑剤を塗布した場合の静止摩擦係数



これらのグラフより、次の3点の傾向が読み取れる。

- ①潤滑剤なしより、どの潤滑剤もどの板/ブロックも、加重ありは静止摩擦係数が大きくなっている場合が多い。

②それぞれの潤滑剤について、グリセリン、菜種油は加重なしの方が静止摩擦係数が小さくなっているが、純水は加重ありの方が大きくなっていたり、他の加重なしと 3 倍ほどの差があつたりする。

③アルミニウム#60だけ、①と逆の傾向が見られる。

これらは次のように説明できる。

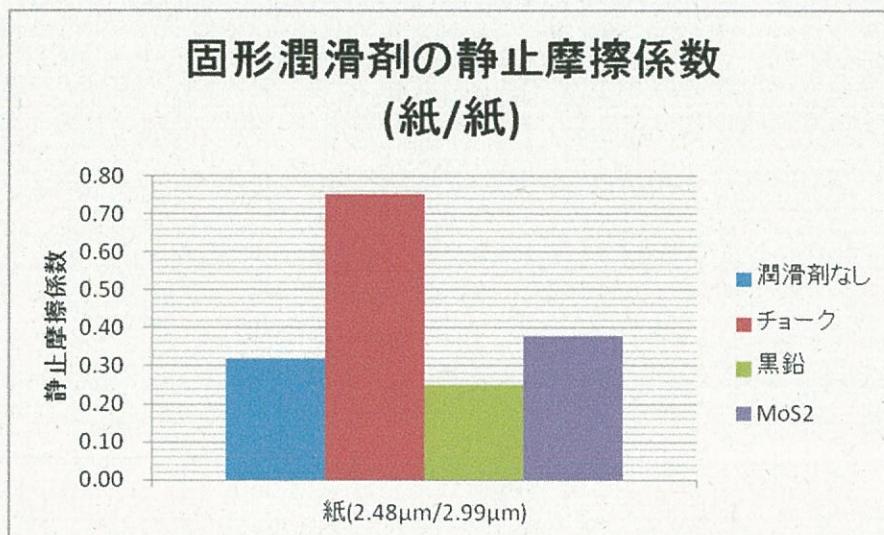
①加重をかけると、板とブロックの間から潤滑剤が押されて、表面粗さの突起同士が触れ合う状態になり、また二面間に液体が入ったことで密着してしまったため、静止摩擦係数が大きくなつたのだと考えられる。

②これは、潤滑剤の性質が原因だと考えられる。グリセリンや菜種油は、板に塗っても水滴状にならず均一に塗ることができたが、純水は表面張力が大きく、板に塗ると水滴状になってしまい均一に塗ることができない。また、めくりにくく紙やビニール袋をめくる時、指を少し湿らすとめくりやすいことから、純水は少量では潤滑剤としての働きはしないためでもあると考えられる。

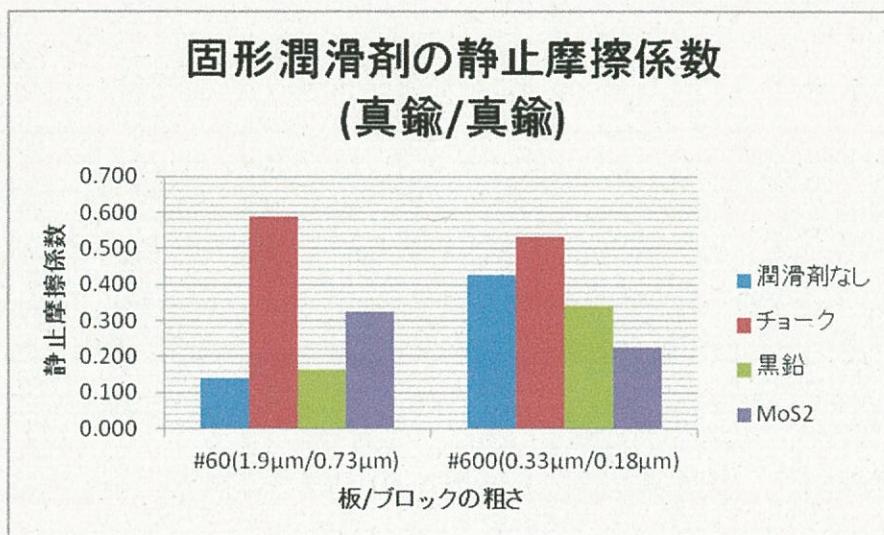
③これは、それぞれの種類や粗さによって、摩擦力に寄与する力の割合が違うからだと考えられる。アルミニウム#600( $0.90 \mu m/0.51 \mu m$ )、真鍮#60( $1.9 \mu m/0.73 \mu m$ )、#600( $0.33 \mu m/0.18 \mu m$ )はせん断力による寄与が高い割合を占めているのに対し、アルミニウム#60( $3.9 \mu m/2.45 \mu m$ )は凹凸を乗り越える力による影響がほとんどである。前者では、加重がかかったことで二面間の潤滑剤が押し出され、表面の突起がくっついてしまい、静止摩擦係数が小さくならず、逆に密着して大きくなつてしまつたと考えられる。後者は、表面がある程度大きいので完全には押し出されず、二面間に潤滑剤がはいるので凹凸同士がひつかかることが少くなり、静止摩擦係数は小さくなつたと考えられる。

2) 固体で表面状態を変えてみる

グラフ 4-18：紙/紙の固体潤滑剤を塗布した場合の静止摩擦係数



グラフ 4-19：真鍮/真鍮の固体潤滑剤を塗布した場合の静止摩擦係数



これらのグラフより、次の3点の傾向が読み取れる。

- ① チョークの静止摩擦係数は、潤滑なしよりも大きい。
- ② 黒鉛の静止摩擦係数は、潤滑なしよりも小さいかほとんど変わらない。

③MoS<sub>2</sub>の静止摩擦係数は、粗ければ大きい値を取り、細かければ小さい値を取る。

これらは次のように説明できる。

①チョークの粉末は黒鉛や MoS<sub>2</sub>に比べて大きいが、粒子の大きさは  $1\mu m$  程度である。

よって、チョークの粉末が凹凸を埋めて、チョーク粒子同士の接触面積が増加したため、静止摩擦係数が大きくなったと考えられる。

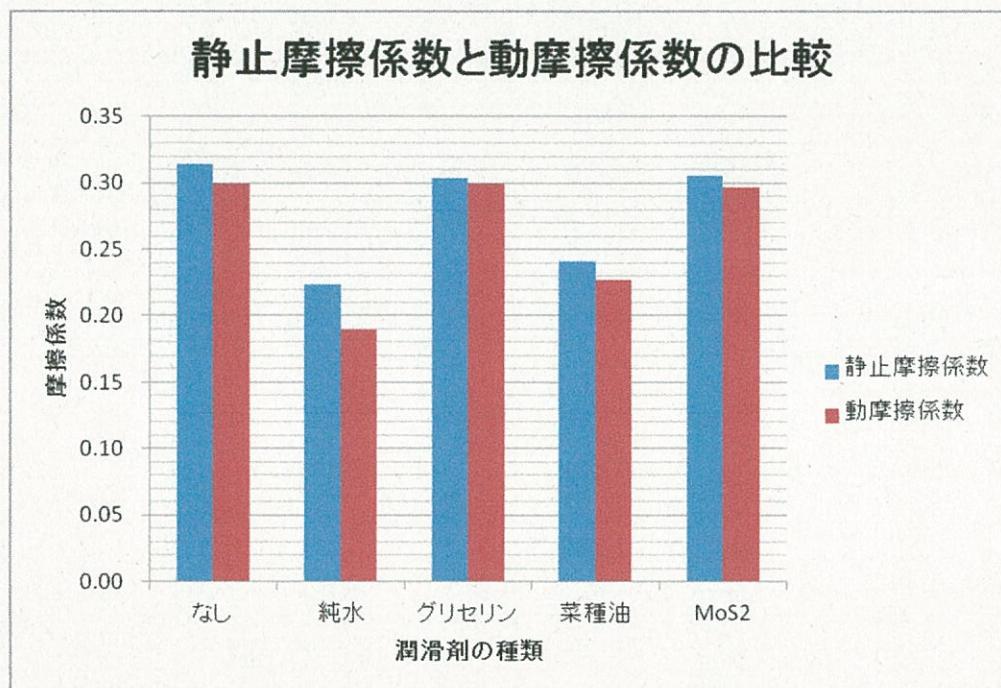
②黒鉛は表面の凹凸を埋める役割をしており、また、黒鉛自身がよい潤滑剤、つまり摩擦係数が小さいので、黒鉛同士で接触すると摩擦係数は小さくなる。よって、表面の粗さが小さいほどその影響は大きいと考えられ、真鍮では#60( $1.9\mu m/0.75\mu m$ )よりも#600( $0.35\mu m/0.18\mu m$ )の方が違いが顕著に出ているのがわかる。ただ、紙は真鍮#60( $1.9\mu m/0.75\mu m$ )よりも表面粗さが大きいのに、静止摩擦係数は逆に減少している。これは金属と紙の表面の構造の違いだと思われる。

③表面の粗さが大きい場合には、MoS<sub>2</sub>はグリセリンに練りこんであるため、グリースが接触することになり MoS<sub>2</sub>の効果が出ておらず、表面の粗さが小さい場合には MoS<sub>2</sub>が接觸するようになりその効果が出ていると考えられる。

以上より、固形潤滑剤はかなりの確率で潤滑剤にならないと考えられる。

## 考察VII：動摩擦係数を傾斜法で測定できるかを調べる

グラフ 4-20：真鍮#60( $0.73 \mu\text{m}$ - $1.9 \mu\text{m}$ )の潤滑剤を塗布した場合の静止摩擦係数と動摩擦係数の比較



静止  
動  
から化すべし。

グラフ 4-20 より、どの潤滑剤も静止摩擦係数より動摩擦係数の方が小さいが、差が 0.01～0.04 程度で、教科書などで示されている値よりも小さいことがわかる。  
これらは次のように説明できる。

傾斜法は本来静止摩擦係数を測定する一般的な方法であり、この値が妥当であるのかどうかがこれだけではわからない。そこで、静止摩擦係数と動摩擦係数を同時に測定できる一般的な方法である引っ張り法で測定したデータと比べる。

表 4-6：傾斜法での、潤滑剤の種類による静止摩擦係数と動摩擦係数と、それらの差

潤滑剤の種類	静止摩擦係数	動摩擦係数	静止摩擦係数 - 動摩擦係数
なし	0.31 ± 0.03	0.3 ± 0.03	0.01
純水	0.223 ± 0.008	0.19 ± 0.006	0.033
グリセリン	0.3 ± 0.01	0.3 ± 0.01	0.0
菜種油	0.24 ± 0.02	0.23 ± 0.01	0.01
MoS2	0.3 ± 0.01	0.296 ± 0.008	0.004

表 4-7：引っ張り法での、表面粗さによる静止摩擦係数と動摩擦係数と、それらの差[9]

表面粗さRa( $\mu\text{m}$ )	静止摩擦係数	動摩擦係数	静止摩擦係数 - 動摩擦係数
0.786	0.22 ± 0.03	0.173 ± 0.006	0.047
0.599	0.24 ± 0.01	0.214 ± 0.008	0.026
0.4	0.27 ± 0.03	0.25 ± 0.02	0.02
0.058	0.32 ± 0.06	0.28 ± 0.06	0.04

同高校の 3 年引っ張り班の結果によると、静止摩擦係数と動摩擦係数の差は少数第 2 位ほどの変化しかない。よって、測定した値は妥当な値だといえる。

また、3 年引っ張り班では最大静止摩擦力から動摩擦力への移りかわりをビデオ撮影して記録しており、その記録によると、この実験の粗さではスティック・スリップ現象が起きていることがわかる。この現象は、摩擦力は最大静止摩擦力でピークを取った後、滑りだしてピークを取る場合と始めからピークを取らずにほぼ同じ摩擦力でブロックが動く場合のことを言う。この現象により、静止摩擦係数と動摩擦係数の差は小さいと考えられる。

## 5.結論

この実験は、物質の表面の粗さ、物質の組み合わせ、潤滑剤による表面状態の変化などの条件と摩擦係数の関係を調べることと、傾斜法で動摩擦係数が測定できることを示すことを目的として行った。主にわかったことは以下の通りである。

### 1) 表面の粗さに関する条件

この実験の条件である表面粗さがおよそ  $0.1 \sim 4.0 \mu\text{m}$  の範囲では、2 つの物質の表面粗さによって静止摩擦係数は大きく変化することがわかった。摩擦のメカニズムについて凹凸説と凝着説を使って解釈すると、ブロックの表面粗さが大きいほど凹凸説の寄与が強くなり、小さいほど凝着説の寄与が強くなることがわかった。これらの寄与の和が静止摩擦力となるので、二者の割合が同じならば静止摩擦係数は極小値を取る。アルミニウ

ムと真鍮の摩擦係数を比べると、アルミニウムの方が全体的に大きく、粗さに対して極小値を取った真鍮の静止摩擦係数はほとんど凝着説の寄与で決定されていた。非金属のアクリルの静止摩擦係数の値は金属に比べて小さく、粗さに対する変化も小さい。これは凝着説で解釈すると、金属に比べてせん断強さが小さいためであることがわかった。

また、研磨の方向の組み合わせによって静止摩擦係数の変化が見られたが、二面間の真実接触面積が増える組み合わせのときに静止摩擦係数が大きくなることがわかった。

また、非金属には酸化被膜がないので凹凸の影響が金属よりも強く、表面の凹凸の形が異なる、つまり材質が異なると同じぐらいの表面粗さでも、静止摩擦係数が2倍も違う。

## 2)二面間の状態に関する条件

液体潤滑剤の場合、加重のかけ方や表面の粗さ、表面張力といった条件によっては、静止摩擦係数が小さくならず、潤滑剤として働く場合があった。また、鉛筆の黒鉛は静止摩擦力に対しても潤滑剤として働くが、チョークは表面粗さに対して小さい粒子のために、逆に滑り止めとしての役割を果たしていることがわかった。チョークの場合、粒子同士が接触することによって、真実接触面積が大きくなったと考えられる。

## 3)傾斜法による動摩擦係数と静止摩擦係数の同時測定

摩擦係数を測定する方法として、一般に引っ張り法が知られているが、スマートフォンのビデオ機能を使い、すべり落ちた時間とその時のすべり落ちる様子を撮影することで、傾斜法でも、動摩擦係数が測定可能だとわかった。引っ張り法で測定した値と比較することで、その値の妥当性を確かめることができた。回転ステージを使った傾斜法での動摩擦係数の測定では、斜面距離13cm、滑り時間1.0~2.0秒であるが、精度の高い測定ができた。

## 6.参考資料

- [1]チャート式シリーズ新物理 都築 嘉弘 数研出版
- [2]駿河精機 HP 手動傾斜・ゴニオ・回転ステージ 回転ステージ すり合わせタイプ  
<http://jpn.surugaost.jp/product.php?n=020300609>
- [3]実験データを正しく扱うために 化学同人編集部 2007年 化学同人
- [4]MiSUMI C ナビ [http://www.misumi.co.jp/assy/tech/book\\_173.htm](http://www.misumi.co.jp/assy/tech/book_173.htm)
- [5]トライボロジーの基礎 加藤孝久・益子正文共著 倍風館
- [6]基礎から学ぶトライボロジー 橋本巨著 森北出版
- [7]摩擦の物理 松川宏著 岩波書店
- [8]京都工絹大 HP <http://www.kit.ac.jp/>
- [9]同高校 3年引っ張り班のデータ

## 7.実験者

今西優果（実験装置組み立て、データ入力）  
岡本直大（実験装置組み立て、実験測定）  
中村史香（実験装置組み立て、データ入力、研磨）  
丹羽英人（実験装置組み立て、理論構築、データ処理、金属粗さ測定）  
公益財団法人豊田理化学研究所フェロー 中村新男先生（実験指導）  
三重県立四日市高等学校教諭 櫻井景子先生（助言）

## 8.謝辞

実験指導、レポート添削をしていただいた公益財団法人豊田理化学研究所フェロー中村新男先生に感謝いたします。

## 9.付録

10回測定し、平均、標準偏差、標準誤差を求めた詳しいデータを載せる。黄色で着色してある回は、外れ値として計算に入れないものとする。

### 1.水平の角度

表1：アルミニウム板#60、#150

種類[板]	アルミ 60,150
横合わせの角度(度)	90
回数	水平の角度(度)
1	89.423
2	89.470
3	89.407
4	89.424
5	89.423
6	89.419
7	89.416
8	89.482
9	89.442
10	89.433
平均	89.434
標準偏差	0.024
標準誤差	0.008

表3：アルミニウム板#320

種類[板]	アルミ320
横合わせの角度(度)	90
回数	水平の角度(度)
1	89.50
2	89.51
3	89.47
4	89.50
5	89.50
6	89.54
7	89.53
8	89.50
9	89.56
10	89.59
平均	89.52
標準偏差	0.04
標準誤差	0.01

表5：真鍮板#60

種類[板]	真鍮 60
横合わせの角度(度)	90
回数	水平の角度(度)
1	89.47
2	89.51
3	89.53
4	89.53
5	89.51
6	89.55
7	89.51
8	89.54
9	89.44
10	89.53
平均	89.51
標準偏差	0.04
標準誤差	0.01

表2：アルミニウム板#100

種類[板]	アルミ 100
横合わせの角度(度)	90
回数	水平の角度(度)
1	89.37
2	89.52
3	89.30
4	89.30
5	89.27
6	89.39
7	89.35
8	89.37
9	89.31
10	89.30
平均	89.35
標準偏差	0.07
標準誤差	0.02

表4：アルミニウム板#600

種類[板]	アルミ600
横合わせの角度(度)	90
回数	水平の角度(度)
1	89.60
2	89.50
3	89.47
4	89.43
5	89.42
6	89.47
7	89.48
8	89.46
9	89.54
10	89.53
平均	89.49
標準偏差	0.05
標準誤差	0.02

表6：真鍮板#150

種類[板]	真鍮 150
横合わせの角度(度)	90
回数	水平の角度(度)
1	89.39
2	89.42
3	89.40
4	89.43
5	89.42
6	89.43
7	89.31
8	89.31
9	89.32
10	89.37
平均	89.38
標準偏差	0.05
標準誤差	0.02

表 7 : 真鍮板#320

種類[板]	真鍮 320
横合わせの角度(度)	90
回数	水平の角度(度)
1	89.34
2	89.40
3	89.38
4	89.33
5	89.27
6	89.33
7	89.32
8	89.32
9	89.41
10	89.29
平均	89.34
標準偏差	0.04
標準誤差	0.01

表 9 : アクリル板そのまま

種類[板]	アクリル 未処理
横合わせの角度(度)	90
回数	水平の角度(度)
1	89.31
2	89.31
3	89.25
4	89.19
5	89.27
6	89.25
7	89.25
8	89.36
9	89.19
10	89.34
平均	89.27
標準偏差	0.06
標準誤差	0.02

表 11 : アクリル板#150

種類[板]	アクリル 150
横合わせの角度(度)	90
回数	水平の角度(度)
1	89.969
2	89.910
3	89.905
4	89.910
5	89.953
6	89.939
7	89.942
8	89.957
9	89.973
10	89.925
平均	89.938
標準偏差	0.025
標準誤差	0.008

表 8 : 真鍮板#600

種類[板]	真鍮 600
横合わせの角度(度)	90
回数	水平の角度(度)
1	89.52
2	89.58
3	89.53
4	89.49
5	89.55
6	89.41
7	89.54
8	89.47
9	89.43
10	89.51
平均	89.50
標準偏差	0.05
標準誤差	0.02

表 10 : アクリル板#60

種類[板]	アクリル 60
横合わせの角度(度)	90
回数	水平の角度(度)
1	89.36
2	89.39
3	89.37
4	89.40
5	89.36
6	89.40
7	89.39
8	89.28
9	89.31
10	89.38
平均	89.36
標準偏差	0.04
標準誤差	0.01

表 12 : アクリル板#320

種類[板]	アクリル 320
横合わせの角度(度)	90
回数	水平の角度(度)
1	89.74
2	89.77
3	89.66
4	89.70
5	89.69
6	89.72
7	89.71
8	89.72
9	89.74
10	89.77
平均	89.72
標準偏差	0.04
標準誤差	0.01

表 13 : アクリル板#600

種類[板]	アクリル 600
横合わせの角度(度)	90
回数	水平の角度(度)
1	89.57
2	89.52
3	89.53
4	89.60
5	89.51
6	89.55
7	89.50
8	89.58
9	89.58
10	89.58
平均	89.55
標準偏差	0.04
標準誤差	0.01

表 15 : 画用紙板

種類[板]	画用紙
横合わせの角度(度)	90
回数	水平の角度(度)
1	89.83
2	89.94
3	89.89
4	89.88
5	89.83
6	89.91
7	89.86
8	89.92
9	89.92
10	89.93
平均	89.89
標準偏差	0.04
標準誤差	0.01

表 14 : ガラス板そのまま

種類[板]	ガラス 未処理
横合わせの角度(度)	90
回数	水平の角度(度)
1	89.29
2	89.38
3	89.43
4	89.39
5	89.38
6	89.25
7	89.37
8	89.27
9	89.34
10	89.37
平均	89.35
標準偏差	0.06
標準誤差	0.02

表 16 : 動摩擦用真鍮板#60

種類[板]	真鍮 60
横合わせの角度(度)	90
回数	水平の角度(度)
1	89.71
2	89.70
3	89.83
4	89.65
5	89.71
6	89.66
7	89.69
8	89.68
9	89.74
10	89.63
平均	89.70
標準偏差	0.06
標準誤差	0.02

## 2. 静止摩擦係数の測定

表 17 : 真鍮板#60 ブロック#60 毎回研磨

種類<板>	真鍮	毎回研磨
粗さ<板>	60	
種類<ブロック>	真鍮	
粗さ<ブロック>	60	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	73.6	15.9
2	72.2	17.3
3	73.8	15.7
4	72.8	16.7
5	73.0	16.5
6	73.8	15.7
7	67.0	22.5
8	71.4	18.1
9	74.6	14.9
10	74.0	15.5
11	73.4	16.1
平均	73.26	16.25
標準偏差	0.94	0.94
誤差	0.30	0.31

静止摩擦係数	0.292
誤差	0.006

表 18 : 真鍮板#600 ブロック#600 毎回研磨

種類<板>	真鍮	毎回研磨
粗さ<板>	600	
種類<ブロック>	真鍮	
粗さ<ブロック>	600	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	65.4	24.1
2	61.4	28.1
3	67.2	22.3
4	68.8	20.7
5	66.4	23.1
6	67.8	21.7
7	72.0	17.5
8	65.4	24.1
9	69.0	20.5
10	69.8	19.7
平均	67.32	22.18
標準偏差	3.01	3.01
誤差	0.95	0.97

静止摩擦係数	0.41
誤差	0.02

表 19：アルミニウム板#60 ブロック#60 表 20：アルミニウム板#100 ブロック#60

種類《板》	アルミ	種類《板》	アルミ		
粗さ《板》	60	粗さ《板》	100		
種類《ブロック》	アルミ	種類《ブロック》	アルミ		
粗さ《ブロック》	60	粗さ《ブロック》	60		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	回数		
1	55.6	33.8	1	67.0	22.4
2	58.8	30.6	2	71.8	17.6
3	56.4	33.0	3	71.6	17.8
4	59.6	29.8	4	74.2	15.2
5	57.6	31.8	5	73.0	16.4
6	57.8	31.6	6	74.8	14.8
7	58.4	31.0	7	74.0	15.4
8	59.0	30.4	8	76.4	13.0
9	58.0	31.4	9	73.2	16.2
10	59.6	29.8	10	73.2	16.2
平均	58.1	31.4	平均	72.9	16.5
標準偏差	1.3	1.3	標準偏差	2.5	2.5
誤差	0.4	0.4	誤差	0.8	0.8

静止摩擦係数	0.61
誤差	0.01

静止摩擦係数	0.30
誤差	0.02

表 21：アルミニウム板#150 ブロック#60

種類《板》	アルミ	
粗さ《板》	150	
種類《ブロック》	アルミ	
粗さ《ブロック》	60	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	50.8	38.5
2	53.2	36.1
3	57.8	31.5
4	50.6	38.7
5	57.8	31.5
6	56.0	33.3
7	56.6	32.7
8	60.2	29.1
9	53.0	36.3
10	57.2	32.1
平均	55.3	34.0
標準偏差	3.2	3.2
誤差	1.0	1.0

種類《板》	アルミ	
粗さ《板》	320	
種類《ブロック》	アルミ	
粗さ《ブロック》	60	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	59.6	29.8
2	59.6	29.8
3	61.6	27.8
4	61.0	28.4
5	64.0	25.4
6	59.6	29.8
7	62.8	26.6
8	64.0	25.4
9	64.8	24.6
10	63.6	25.8
平均	62.1	27.4
標準偏差	2.0	2.0
誤差	0.6	0.7

静止摩擦係数	0.67
誤差	0.03

静止摩擦係数	0.52
誤差	0.01

表 23：アルミニウム板#600 ブロック#60 表 24：アルミニウム板#60 ブロック#100

種類《板》	アルミ	種類《板》	アルミ		
粗さ《板》	600	粗さ《板》	60		
種類《ブロック》	アルミ	種類《ブロック》	アルミ		
粗さ《ブロック》	60	粗さ《ブロック》	100		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	回数		
1	62.0	27.5	1	72.8	16.6
2	56.6	32.9	2	70.0	19.4
3	55.8	33.7	3	75.2	14.2
4	59.4	30.1	4	78.0	11.4
5	53.8	35.7	5	75.8	13.6
6	57.6	31.9	6	79.0	10.4
7	53.4	36.1	7	76.2	13.2
8	56.8	32.7	8	79.4	10.0
9	55.8	33.7	9	73.0	16.4
10	54.8	34.7	10	76.8	12.6
平均	56.6	32.9	平均	75.6	13.8
標準偏差	2.6	2.6	標準偏差	3.0	3.0
誤差	0.8	0.8	誤差	0.9	0.9
静止摩擦係数	0.65	静止摩擦係数	0.25		
誤差	0.02	誤差	0.02		

表 25：アルミニウム板#100 ブロック#100 表 26：アルミニウム板#150 ブロック#100

種類《板》	アルミ	種類《板》	アルミ		
粗さ《板》	100	粗さ《板》	150		
種類《ブロック》	アルミ	種類《ブロック》	アルミ		
粗さ《ブロック》	100	粗さ《ブロック》	100		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	回数		
1	55	34	1	58	31
2	62	27	2	64	25
3	58	31	3	68	21
4	60	29	4	71	19
5	65	24	5	71	18
6	70	19	6	75	14
7	68	22	7	73	16
8	73	17	8	75	14
9	68	21	9	77	12
10	69	20	10	77	12
平均	65	24	平均	74	15
標準偏差	6	6	標準偏差	3	3
誤差	2	2	誤差	1	1
静止摩擦係数	0.45	静止摩擦係数	0.27		
誤差	0.04	誤差	0.02		

表 27 : アルミニウム板#320 ブロック#100 表 28 : アルミニウム板#600 ブロック#100

種類《板》	アルミ	種類《板》	アルミ		
粗さ《板》	320	粗さ《板》	600		
種類《ブロック》	アルミ	種類《ブロック》	アルミ		
粗さ《ブロック》	100	粗さ《ブロック》	100		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	回数		
1	69.4	20.1	1	54	36
2	71.4	18.1	2	53	36
3	69.0	20.5	3	60	30
4	67.8	21.7	4	56	33
5	67.4	22.1	5	61	28
6	71.0	18.5	6	63	26
7	72.2	17.3	7	55	35
8	70.0	19.5	8	60	30
9	67.4	22.1	9	58	31
10	69.0	20.5	10	66	24
平均	69.5	20.1	平均	59	31
標準偏差	1.7	1.7	標準偏差	4	4
誤差	0.5	0.5	誤差	1	1

静止摩擦係数	0.37	静止摩擦係数	0.60
誤差	0.01	誤差	0.03

表 29 : アルミニウム板#60 ブロック#150 表 30 : アルミニウム板#150 ブロック#150

種類《板》	アルミ	種類《板》	アルミ		
粗さ《板》	60	粗さ《板》	150		
種類《ブロック》	アルミ	種類《ブロック》	アルミ		
粗さ《ブロック》	150	粗さ《ブロック》	150		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	回数		
1	57.4	32.0	1	60.4	28.9
2	57.6	31.8	2	60.6	28.7
3	59.0	30.4	3	58.6	30.7
4	56.8	32.6	4	56.0	33.3
5	58.2	31.2	5	60.0	29.3
6	58.8	30.6	6	59.6	29.7
7	58.0	31.4	7	53.4	35.9
8	59.0	30.4	8	64.4	24.9
9	56.4	33.0	9	61.4	27.9
10	56.4	33.0	10	59.8	29.5
平均	57.8	31.7	平均	59.4	29.9
標準偏差	1.0	1.0	標準偏差	3.0	3.0
誤差	0.3	0.3	誤差	0.9	1.0

静止摩擦係数	0.617	静止摩擦係数	0.57
誤差	0.008	誤差	0.02

表 31：アルミニウム板#320 ブロック#150 表 32：アルミニウム板#600 ブロック#150

種類《板》	アルミ	種類《板》	アルミ		
粗さ《板》	320	粗さ《板》	600		
種類《ブロック》	アルミ	種類《ブロック》	アルミ		
粗さ《ブロック》	150	粗さ《ブロック》	150		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	回数		
1	56.4	33.1	1	58.8	30.7
2	56.6	32.9	2	61.8	27.7
3	55.6	33.9	3	62.0	27.5
4	54.0	35.5	4	59.0	30.5
5	56.2	33.3	5	60.8	28.7
6	54.0	35.5	6	63.6	25.9
7	55.4	34.1	7	65.0	24.5
8	55.8	33.7	8	64.0	25.5
9	55.4	34.1	9	63.0	26.5
10	56.4	33.1	10	63.0	26.5
平均	55.6	33.9	平均	62.1	27.4
標準偏差	0.9	0.9	標準偏差	2.1	2.1
誤差	0.3	0.3	誤差	0.7	0.7

静止摩擦係数	0.673	静止摩擦係数	0.52
誤差	0.008	誤差	0.01

表 33：アルミニウム板#60 ブロック#320 表 34：アルミニウム板#150 ブロック#320

種類《板》	アルミ	種類《板》	アルミ		
粗さ《板》	60	粗さ《板》	150		
種類《ブロック》	アルミ	種類《ブロック》	アルミ		
粗さ《ブロック》	320	粗さ《ブロック》	320		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	回数		
1	55.0	34.4	1	57.0	32
2	56.2	33.2	2	53.2	36
3	56.8	32.6	3	55.8	33
4	56.4	33.0	4	61.2	28
5	56.2	33.2	5	57.6	32
6	59.8	29.6	6	60.6	29
7	56.4	33.0	7	56.2	33
8	58.4	31.0	8	57.0	32
9	55.6	33.8	9	59.6	30
10	56.0	33.4	10	59.8	29
平均	56.7	32.8	平均	57.8	31
標準偏差	1.4	1.4	標準偏差	2.5	2
誤差	0.4	0.5	誤差	0.8	1

静止摩擦係数	0.64	静止摩擦係数	0.61
誤差	0.01	誤差	0.03

表 35：アルミニウム板#320 ブロック#320 表 36：アルミニウム板#600 ブロック#320

種類《板》	アルミ	種類《板》	アルミ		
粗さ《板》	320	粗さ《板》	600		
種類《ブロック》	アルミ	種類《ブロック》	アルミ		
粗さ《ブロック》	320	粗さ《ブロック》	320		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	回数		
1	54.6	34.9	1	52	37
2	58.8	30.7	2	46	43
3	59.0	30.5	3	54	36
4	56.0	33.5	4	60	30
5	61.4	28.1	5	58	31
6	57.8	31.7	6	60	29
7	61.6	27.9	7	57	33
8	60.0	29.5	8	60	29
9	61.2	28.3	9	60	29
10	62.2	27.3	10	62	27
平均	59.3	30.3	平均	57	33
標準偏差	2.5	2.5	標準偏差	5	5
誤差	0.8	0.8	誤差	2	2

静止摩擦係数	0.58
誤差	0.02

静止摩擦係数	0.64
誤差	0.04

表 37：アルミニウム板#60 ブロック#600

種類《板》	アルミ	種類《板》	アルミ		
粗さ《板》	60	粗さ《板》	150		
種類《ブロック》	アルミ	種類《ブロック》	アルミ		
粗さ《ブロック》	600	粗さ《ブロック》	600		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	回数		
1	54.4	35.0	1	54.0	35
2	53.4	36.0	2	52.4	37
3	53.0	36.4	3	49.4	40
4	55.4	34.0	4	57.0	32
5	52.4	37.0	5	57.4	32
6	50.4	39.0	6	58.2	31
7	53.0	36.4	7	57.4	32
8	52.8	36.6	8	57.8	31
9	55.2	34.2	9	55.2	34
10	54.0	35.4	10	56.6	33
平均	53.4	36.0	平均	55.5	34
標準偏差	1.5	1.5	標準偏差	2.8	3
誤差	0.5	0.5	誤差	0.9	1

静止摩擦係数	0.73
誤差	0.01

静止摩擦係数	0.67
誤差	0.03

表 39：アルミニウム板#320 ブロック#600 表 40：アルミニウム板#600 ブロック#600

種類《板》	アルミ	種類《板》	アルミ		
粗さ《板》	320	粗さ《板》	600		
種類《ブロック》	アルミ	種類《ブロック》	アルミ		
粗さ《ブロック》	600	粗さ《ブロック》	600		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	回数		
1	53.2	36.3	1	47.4	42.1
2	56.4	33.1	2	52.2	37.3
3	59.4	30.1	3	50.2	39.3
4	53.8	35.7	4	48.6	40.9
5	58.0	31.5	5	50.2	39.3
6	60.2	29.3	6	53.0	36.5
7	60.6	28.9	7	53.8	35.7
8	58.0	31.5	8	54.4	35.1
9	52.0	37.5	9	54.0	35.5
10	59.8	29.7	10	56.0	33.5
平均	57.1	32.4	平均	52.0	37.5
標準偏差	3.1	3.1	標準偏差	2.8	2.8
誤差	1.0	1.0	誤差	0.9	0.9
静止摩擦係数	0.63	静止摩擦係数	0.77		
誤差	0.02	誤差	0.02		

表 41：真鍮板#60 ブロック#60

表 42：真鍮板#150 ブロック#60

種類《板》	真鍮	種類《板》	真鍮		
粗さ《板》	60	粗さ《板》	150		
種類《ブロック》	真鍮	種類《ブロック》	真鍮		
粗さ《ブロック》	60	粗さ《ブロック》	60		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	回数		
1	79.2	10.3	1	67.4	22.0
2	81.0	8.5	2	75.4	14.0
3	81.0	8.5	3	73.0	16.4
4	81.0	8.5	4	79.6	9.8
5	82.0	7.5	5	79.8	9.6
6	81.6	7.9	6	80.0	9.4
7	81.4	8.1	7	79.6	9.8
8	82.8	6.7	8	81.0	8.4
9	82.8	6.7	9	79.8	9.6
10	82.8	6.7	10	80.4	9.0
平均	81.6	8.0	平均	79.5	9.8
標準偏差	1.1	1.1	標準偏差	1.5	1.5
誤差	0.4	0.4	誤差	0.5	0.5
静止摩擦係数	0.140	静止摩擦係数	0.173		
誤差	0.007	誤差	0.009		

表 43：真鍮板#320 ブロック#60

種類<板>	真鍮
粗さ<板>	320
種類<ブロック>	真鍮
粗さ<ブロック>	60
回数	
1	読みの角度(度)
2	滑り出す角度(度)
3	73.4
4	74.2
5	74.2
6	75.6
7	77.0
8	76.2
9	74.6
10	69.4
平均	73.4
標準偏差	2.1
誤差	0.7

表 44：真鍮板#600 ブロック#60

種類<板>	真鍮
粗さ<板>	600
種類<ブロック>	真鍮
粗さ<ブロック>	60
回数	
1	読みの角度(度)
2	滑り出す角度(度)
3	71.8
4	77.4
5	78.8
6	78.6
7	74.8
8	76.6
9	77.0
10	76.4
平均	76.6
標準偏差	1.5
誤差	0.5

静止摩擦係数	0.27
誤差	0.01

表 45：真鍮板#60 ブロック#150

種類<板>	真鍮
粗さ<板>	60
種類<ブロック>	真鍮
粗さ<ブロック>	150
回数	
1	読みの角度(度)
2	滑り出す角度(度)
3	77.8
4	79.2
5	80.4
6	80.2
7	80.2
8	82.0
9	81.4
10	80.6
平均	80.8
標準偏差	1.2
誤差	0.4

種類<板>	真鍮
粗さ<板>	150
種類<ブロック>	真鍮
粗さ<ブロック>	150
回数	
1	読みの角度(度)
2	滑り出す角度(度)
3	69
4	70
5	71
6	68
7	68
8	75
9	68
10	71
平均	69
標準偏差	2.1
誤差	1.1

静止摩擦係数	0.161
誤差	0.007

静止摩擦係数	0.32
誤差	0.02

表 47：真鍮板#320 ブロック#150

種類《板》	真鍮	
粗さ《板》	320	
種類《ブロック》	真鍮	
粗さ《ブロック》	150	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	76.6	12.7
2	72.2	17.1
3	75.2	14.1
4	72.4	16.9
5	75.4	13.9
6	77.2	12.1
7	75.0	14.3
8	73.6	15.7
9	70.0	19.3
10	73.6	15.7
平均	74.1	15.2
標準偏差	2.2	
誤差	0.7	0.7
静止摩擦係数	0.27	
誤差	0.01	

表 48：真鍮板#600 ブロック#150

種類《板》	真鍮	
粗さ《板》	600	
種類《ブロック》	真鍮	
粗さ《ブロック》	150	
回数	最終	真の角度
1	61.2	28.2
2	66.8	22.6
3	67.2	22.2
4	70.0	19.4
5	62.0	27.4
6	68.0	21.4
7	70.0	19.4
8	69.8	19.6
9	70.8	18.6
10	65.2	24.2
平均	67.9	21.5
標準偏差	2.7	2.7
誤差	0.9	0.9
静止摩擦係数	0.39	
誤差	0.02	

表 49：真鍮板#60 ブロック#320

種類《板》	真鍮	
粗さ《板》	60	
種類《ブロック》	真鍮	
粗さ《ブロック》	320	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	74.4	15.1
2	75.6	13.9
3	78.0	11.5
4	75.2	14.3
5	77.6	11.9
6	79.0	10.5
7	79.8	9.7
8	80.8	8.7
9	81.2	8.3
10	81.8	7.7
平均	78.3	11.2
標準偏差	2.6	2.6
誤差	0.8	0.8
静止摩擦係数	0.20	
誤差	0.02	

表 50：真鍮#150 ブロック#320

種類《板》	真鍮	
粗さ《板》	150	
種類《ブロック》	真鍮	
粗さ《ブロック》	320	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	62.4	27.0
2	70.0	19.4
3	75.6	13.8
4	75.2	14.2
5	72.8	16.6
6	74.8	14.6
7	71.6	17.8
8	74.0	15.4
9	77.6	11.8
10	76.8	12.6
11	76.4	13.0
平均	74.5	14.9
標準偏差	2.4	2.4
誤差	0.8	0.8
静止摩擦係数	0.27	
誤差	0.01	

表 51：真鍮#320 ブロック#320

種類《板》	真鍮
粗さ《板》	320
種類《ブロック》	真鍮
粗さ《ブロック》	320
回数	
1	読みの角度(度) 69.4
2	71.4
3	72.8
4	75.8
5	70.4
6	77.8
7	71.8
8	75.8
9	74.8
10	76.0
平均	73.6
標準偏差	2.8
誤差	0.9

表 52：真鍮#600 ブロック#320

種類《板》	真鍮
粗さ《板》	600
種類《ブロック》	真鍮
粗さ《ブロック》	320
回数	
1	読みの角度(度) 63.8
2	70.8
3	73.0
4	74.4
5	76.6
6	74.0
7	72.6
8	76.2
9	75.0
10	74.8
平均	74.5
標準偏差	2.0
誤差	0.6

静止摩擦係数	0.28
誤差	0.02

静止摩擦係数	0.27
誤差	0.01

表 53：真鍮板#60 ブロック#600

種類《板》	真鍮
粗さ《板》	60
種類《ブロック》	真鍮
粗さ《ブロック》	600
回数	
1	読みの角度(度) 75.8
2	76.2
3	76.8
4	75.0
5	75.0
6	75.6
7	76.8
8	78.8
9	80.0
10	79.2
平均	76.9
標準偏差	1.8
誤差	0.6

種類《板》	真鍮
粗さ《板》	150
種類《ブロック》	真鍮
粗さ《ブロック》	600
回数	
1	読みの角度(度) 68.8
2	71.2
3	72.4
4	71.0
5	72.6
6	68.8
7	70.2
8	69.0
9	71.2
10	65.6
平均	70.1
標準偏差	2.1
誤差	0.7

静止摩擦係数	0.22
誤差	0.01

静止摩擦係数	0.35
誤差	0.01

表 55：真鍮板#320 ブロック#600

種類<板>	真鍮
粗さ<板>	320
種類<ブロック>	真鍮
粗さ<ブロック>	600
回数	
1	読みの角度(度)
2	滑り出す角度(度)
3	65.8
4	23.5
5	72.0
6	17.3
7	72.8
8	16.5
9	68.2
10	21.1
平均	69.7
標準偏差	2.6
誤差	0.8

表 56：真鍮板#600 ブロック#600

種類<板>	真鍮
粗さ<板>	600
種類<ブロック>	真鍮
粗さ<ブロック>	600
回数	
1	読みの角度(度)
2	滑り出す角度(度)
3	58
4	31
5	65
6	24
7	69
8	21
9	63
10	27
平均	59
標準偏差	19
誤差	70
平均	20
標準偏差	27
誤差	68
平均	22
標準偏差	22
誤差	68
平均	20
標準偏差	20
誤差	70

表 57；アクリル板そのままブロックそのまま 表 58：アクリル板#60 ブロック#60

種類<板>	アクリル
粗さ<板>	未処理
種類<ブロック>	アクリル
粗さ<ブロック>	未処理
回数	
1	読みの角度(度)
2	滑り出す角度(度)
3	75.2
4	14.2
5	72.2
6	17.2
7	76.0
8	13.4
9	76.0
10	13.4
平均	75.6
標準偏差	1.2
誤差	0.4

種類<板>	アクリル
粗さ<板>	60
種類<ブロック>	アクリル
粗さ<ブロック>	60
回数	
1	読みの角度(度)
2	滑り出す角度(度)
3	75.8
4	13.6
5	77.8
6	11.6
7	76.0
8	13.4
9	76.2
10	13.2
平均	76.2
標準偏差	13.2
誤差	13.2
回数	
1	読みの角度(度)
2	滑り出す角度(度)
3	77.2
4	12.2
5	76.8
6	12.6
7	76.6
8	12.8
9	76.4
10	13.0
平均	76.7
標準偏差	12.7
誤差	0.7

静止摩擦係数	0.250
誤差	0.009

静止摩擦係数	0.225
誤差	0.004

表 59：アクリル板#150 ブロック#150

種類《板》	アクリル
粗さ《板》	150
種類《ブロック》	アクリル
粗さ《ブロック》	150
回数	
1	読みの角度(度) 73.4
2	74.4
3	75.8
4	76.0
5	78.0
6	76.8
7	77.0
8	77.2
9	76.4
10	77.8
平均	76.3
標準偏差	1.5
誤差	0.5

静止摩擦係数	0.243
誤差	0.009

表 60：アクリル板#320 ブロック#320

種類《板》	アクリル
粗さ《板》	320
種類《ブロック》	アクリル
粗さ《ブロック》	320
回数	
1	読みの角度(度) 74.4
2	75.6
3	73.8
4	77.2
5	80.2
6	77.2
7	74.4
8	73.8
9	75.6
10	76.2
平均	75.8
標準偏差	2.0
誤差	0.6

静止摩擦係数	0.25
誤差	0.01

表 61: アクリル板#600 ブロック#600 表 62: ガラス板そのままアルミニウムブロック#60

種類《板》	アクリル
粗さ《板》	600
種類《ブロック》	アクリル
粗さ《ブロック》	600
回数	
1	読みの角度(度) 73.6
2	74.6
3	74.0
4	74.0
5	74.8
6	74.0
7	74.0
8	74.0
9	74.6
10	73.8
平均	74.1
標準偏差	0.4
誤差	0.1

静止摩擦係数	0.276
誤差	0.003

種類《板》	ガラス
粗さ《板》	未処理
種類《ブロック》	アルミ
粗さ《ブロック》	60
回数	
1	読みの角度(度) 80.8
2	81.2
3	82.4
4	82.6
5	82.2
6	82.8
7	81.8
8	82.8
9	83.2
10	81.4
平均	82.1
標準偏差	0.8
誤差	0.2

静止摩擦係数	0.138
誤差	0.005

表 63：ガラス板そのまま  
アルミニウムブロック#150

種類《板》	ガラス
粗さ《板》	未処理
種類《ブロック》	アルミ
粗さ《ブロック》	150
回数	読みの角度(度) 滑り出す角度(度)
1	81.4 7.9
2	82.0 7.3
3	79.4 9.9
4	81.8 7.5
5	80.8 8.5
6	80.6 8.7
7	79.4 9.9
8	80.8 8.5
9	81.4 7.9
10	79.4 9.9
平均	80.7 8.6
標準偏差	1.0 1.0
誤差	0.3 0.3

静止摩擦係数	0.152
誤差	0.006

表 65：ガラス板そのまま  
アルミニウムブロック#600

種類《板》	ガラス
粗さ《板》	未処理
種類《ブロック》	アルミ
粗さ《ブロック》	600
回数	読みの角度(度) 滑り出す角度(度)
1	78.0 11.3
2	79.2 10.1
3	79.0 10.3
4	78.2 11.1
5	79.0 10.3
6	79.4 9.9
7	78.8 10.5
8	76.0 13.3
9	77.8 11.5
10	78.6 10.7
平均	78.4 10.9
標準偏差	1.0 1.0
誤差	0.3 0.3

静止摩擦係数	0.193
誤差	0.006

表 64：ガラス板そのまま  
アルミニウムブロック#320

種類《板》	ガラス
粗さ《板》	未処理
種類《ブロック》	アルミ
粗さ《ブロック》	320
回数	読みの角度(度) 滑り出す角度(度)
1	80.2 9.1
2	81.6 7.7
3	80.8 8.5
4	80.2 9.1
5	81.6 7.7
6	81.2 8.1
7	81.0 8.3
8	80.4 8.9
9	81.0 8.3
10	81.8 7.5
平均	81.0 8.4
標準偏差	0.6 0.6
誤差	0.2 0.2

静止摩擦係数	0.147
誤差	0.004

表 66：ガラス板そのまま  
真鍮ブロック#60

種類《板》	ガラス
粗さ《板》	未処理
種類《ブロック》	真鍮
粗さ《ブロック》	60
回数	読みの角度(度) 滑り出す角度(度)
1	83.6 5.7
2	83.6 5.7
3	83.6 5.7
4	82.8 6.5
5	83.0 6.3
6	82.8 6.5
7	83.4 5.9
8	83.6 5.7
9	83.8 5.5
10	83.0 6.3
平均	83.3 6.0
標準偏差	0.4 0.4
誤差	0.1 0.1

静止摩擦係数	0.106
誤差	0.002

表 67：ガラス板そのまま真鍮ブロック#150 表 68：ガラス板そのまま真鍮ブロック#320

種類《板》	ガラス
粗さ《板》	未処理
種類《ブロック》	真鍮
粗さ《ブロック》	150
回数	読みの角度(度) 滑り出す角度(度)
1	82.8 6.5
2	82.8 6.5
3	82.2 7.1
4	82.8 6.5
5	82.6 6.7
6	81.8 7.5
7	80.4 8.9
8	82.4 6.9
9	80.2 9.1
10	82.2 7.1
平均	82.0 7.3
標準偏差	1.0 1.0
誤差	0.3 0.3

静止摩擦係数	0.129
誤差	0.006

種類《板》	ガラス
粗さ《板》	未処理
種類《ブロック》	真鍮
粗さ《ブロック》	320
回数	読みの角度(度) 滑り出す角度(度)
1	82.0 7.3
2	80.4 8.9
3	82.0 7.3
4	82.0 7.3
5	82.0 7.3
6	80.8 8.5
7	80.8 8.5
8	80.0 9.3
9	79.4 9.9
10	82.0 7.3
平均	81.1 8.2
標準偏差	1.0 1.0
誤差	0.3 0.3

静止摩擦係数	0.144
誤差	0.006

表 69：ガラス板そのまま真鍮ブロック#600

種類《板》	ガラス
粗さ《板》	未処理
種類《ブロック》	真鍮
粗さ《ブロック》	600
回数	読みの角度(度) 滑り出す角度(度)
1	79.4 10.0
2	80.0 9.4
3	80.2 9.2
4	79.6 9.8
5	80.4 9.0
6	79.0 10.4
7	81.4 8.0
8	82.4 7.0
9	81.8 7.6
10	81.6 7.8
平均	80.6 8.8
標準偏差	1.1 1.1
誤差	0.4 0.4

静止摩擦係数	0.155
誤差	0.007

表 70：ガラス板そのままガラスブロックそのまま

種類《板》	ガラス
粗さ《板》	未処理
種類《ブロック》	ガラス
粗さ《ブロック》	未処理
回数	読みの角度(度) 滑り出す角度(度)
1	76.4 13.0
2	74.8 14.6
3	76.2 13.2
4	76.8 12.6
5	77.0 12.4
6	77.0 12.4
7	76.6 12.8
8	73.4 16.0
9	75.4 14.0
10	77.0 12.4
平均	76.1 13.6
標準偏差	1.2 1.2
誤差	0.4 0.4

静止摩擦係数	0.242
誤差	0.007

表 71：純水加重あり

アルミニウム板#60 ブロック#60

種類<板>	アルミ	加重あり
粗さ<板>		60
種類<ブロック>	アルミ	
粗さ<ブロック>		60
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	60.0	29.4
2	62.6	26.8
3	70.0	19.4
4	65.0	24.4
5	70.8	18.6
6	70.0	19.4
7	75.0	14.4
8	73.2	16.2
9	75.4	14.0
10	67.0	22.4
11	73.4	16.0
平均	70.24	19.19
標準偏差	4.28	4.28
誤差	1.35	1.36

静止摩擦係数	0.35
誤差	0.03

表 72：純水加重なし

アルミニウム板#60 ブロック#60

種類<板>	アルミ	加重なし
粗さ<板>		60
種類<ブロック>	アルミ	
粗さ<ブロック>		60
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	43.0	46.4
2	48.0	41.4
3	49.4	40.0
4	44.2	45.2
5	47.4	42.0
6	54.0	35.4
7	50.6	38.8
8	39.8	49.6
9	43.6	45.8
10	47.8	41.6
11	45.4	44.0
12	49.6	39.8
平均	46.9	42.5
標準偏差	2.7	2.7
誤差	0.9	0.9

静止摩擦係数	0.92
誤差	0.03

表 73：純水加重あり

アルミニウム板#600 ブロック#600

種類<板>	アルミ	加重あり
粗さ<板>		600
種類<ブロック>	アルミ	
粗さ<ブロック>		600
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	65	25
2	52	37
3	53	36
4	58	31
5	51	38
6	41	48
7	49	40
8	43	46
9	59	31
10	57	32
平均	53	37
標準偏差	7	7
誤差	2	2

静止摩擦係数	0.74
誤差	0.06

表 74：純水加重なし

アルミニウム板#600 ブロック#600

種類<板>	アルミ	加重なし
粗さ<板>		600
種類<ブロック>	アルミ	
粗さ<ブロック>		600
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	63	26
2	71	18
3	64	26
4	64	25
5	69	21
6	61	29
7	60	29
8	66	23
9	68	21
10	66	24
平均	65	24
標準偏差	4	4
誤差	1	1

静止摩擦係数	0.45
誤差	0.02

表 75：純水加重あり真鍮板#60 ブロック#60 表 76：純水加重なし真鍮板#60 ブロック#60

種類<板>		真鍮	加重あり
粗さ<板>	60		
種類<ブロック>		真鍮	
粗さ<ブロック>	60		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	
1	67.2	22.3	
2	69.0	20.5	
3	71.0	18.5	
4	67.8	21.7	
5	66.6	22.9	
6	69.4	20.1	
7	67.8	21.7	
8	69.8	19.7	
9	70.0	19.5	
10	71.2	18.3	
平均	69.0	20.5	
標準偏差	1.6	1.6	
誤差	0.5	0.5	

種類<板>		真鍮	加重なし
粗さ<板>	60		
種類<ブロック>		真鍮	
粗さ<ブロック>	60		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	
1	70.0	19.5	
2	70.2	19.3	
3	73.2	16.3	
4	75.0	14.5	
5	77.0	12.5	
6	76.4	13.1	
7	76.8	12.7	
8	77.2	12.3	
9	78.2	11.3	
10	75.6	13.9	
11	78.0	11.5	
12	76.8	12.7	
13	74.8	14.7	
平均	76.6	12.9	
標準偏差		1.2	1.2
誤差		0.4	0.4

静止摩擦係数	0.37
誤差	0.01

静止摩擦係数	0.230
誤差	0.007

表 77：純水加重あり  
真鍮板#600 ブロック#600

種類<板>		真鍮	加重あり
粗さ<板>	600		
種類<ブロック>		真鍮	
粗さ<ブロック>	600		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	
1	74.6	14.9	
2	67.8	21.7	
3	68.6	20.9	
4	69.0	20.5	
5	69.6	19.9	
6	68.4	21.1	
7	69.6	19.9	
8	69.8	19.7	
9	71.4	18.1	
10	71.8	17.7	
平均	70.1	19.4	
標準偏差	2.0	2.0	
誤差	0.6	0.7	

種類<板>		真鍮	加重なし
粗さ<板>	600		
種類<ブロック>		真鍮	
粗さ<ブロック>	600		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	
1	68.8	20.7	
2	77.4	12.1	
3	75.0	14.5	
4	80.0	9.5	
5	76.8	12.7	
6	79.2	10.3	
7	78.6	10.9	
8	70.6	18.9	
9	75.4	14.1	
10	73.4	16.1	
11	74.2	15.3	
平均	76.1	13.4	
標準偏差		2.9	2.9
誤差		0.9	0.9

静止摩擦係数	0.35
誤差	0.01

静止摩擦係数	0.24
誤差	0.02

表 79：グリセリン加重あり  
アルミニウム板#60 ブロック#60

種類《板》	アルミニウム	加重あり	100%
粗さ《板》	60		
種類《ブロック》	アルミニウム		
粗さ《ブロック》	60		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	
1	73.0	16.4	
2	69.0	20.4	
3	69.0	20.4	
4	74.8	14.6	
5	71.0	18.4	
6	71.6	17.8	
7	76.0	13.4	
8	72.8	16.6	
9	70.8	18.6	
10	72.0	17.4	
平均	72.0	17.4	
標準偏差	2.3	2.3	
誤差	0.7	0.7	

静止摩擦係数	3.08
誤差	0.01

表 81：グリセリン加重あり  
アルミニウム板#600 ブロック#600

種類《板》	アルミニウム	加重あり	100%
粗さ《板》	600		
種類《ブロック》	アルミニウム		
粗さ《ブロック》	600		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	
1	53.0	36.5	
2	52.6	36.9	
3	53.0	36.5	
4	57.4	32.1	
5	46.0	43.5	
6	35.6	53.9	
7	50.8	38.7	
8	52.0	37.5	
9	58.6	30.9	
10	54.0	35.5	
11	47.8	41.7	
12	43.0	46.5	
13	43.2	46.3	
平均	49.5	40.0	
標準偏差	4.21	4.21	
誤差	1.33	1.35	

静止摩擦係数	0.84
誤差	0.04

表 80：グリセリン加重なし  
アルミニウム板#60 ブロック#60

種類《板》	アルミニウム	加重なし	100%
粗さ《板》	60		
種類《ブロック》	アルミニウム		
粗さ《ブロック》	60		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	
1	75.0	14.4	
2	72.0	17.4	
3	71.2	18.2	
4	68.8	20.6	
5	62.8	26.6	
6	73.0	16.4	
7	75.4	14.0	
8	63.6	25.8	
9	71.0	18.4	
10	75.6	13.8	
11	74.0	15.4	
12	72.6	16.8	
平均	72.9	16.6	
標準偏差	2.2	2.2	
誤差	0.7	0.7	

静止摩擦係数	0.30
誤差	0.01

表 81：グリセリン加重なし  
アルミニウム板#600 ブロック#600

種類《板》	アルミニウム	加重なし	100%
粗さ《板》	600		
種類《ブロック》	アルミニウム		
粗さ《ブロック》	600		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	
1	88.0	1.5	
2	88.6	0.9	
3	88.6	0.9	
4	88.6	0.9	
5	88.2	1.3	
6	88.4	1.1	
7	88.0	1.5	
8	87.8	1.7	
9	88.0	1.5	
10	86.8	2.7	
平均	88.1	1.4	
標準偏差	0.5	0.5	
誤差	0.2	0.2	

静止摩擦係数	0.024
誤差	0.003

表 83：グリセリン加重あり  
真鍮板#60 ブロック#60

種類《板》	真鍮	加重あり	100%
粗さ《板》	60		
種類《ブロック》	真鍮		
粗さ《ブロック》	60		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	
1	68.2	21.3	
2	64.2	25.3	
3	65.0	24.5	
4	61.0	28.5	
5	65.2	24.3	
6	69.2	20.3	
7	70.0	19.5	
8	67.8	21.7	
9	69.8	19.7	
10	67.8	21.7	
11	65.0	24.5	
平均	67.2	22.3	
標準偏差	2.2	2.2	
誤差	0.7	0.7	

静止摩擦係数 0.41

誤差 0.01

表 85：グリセリン加重あり  
真鍮板#600 ブロック#600

種類《板》	真鍮	加重あり	100%
粗さ《板》	600		
種類《ブロック》	真鍮		
粗さ《ブロック》	600		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	
1	69	20	
2	66	24	
3	64	25	
4	61	29	
5	70	20	
6	66	24	
7	60	30	
8	61	28	
9	63	27	
10	71	19	
11	56	33	
12	65	25	
平均	64	25	
標準偏差	3	3	
誤差	1	1	

静止摩擦係数 0.47

誤差 0.02

表 84：グリセリン加重なし  
真鍮板#60 ブロック#60

種類《板》	真鍮	加重なし	100%
粗さ《板》	60		
種類《ブロック》	真鍮		
粗さ《ブロック》	60		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	
1	70.8	18.7	
2	68.6	20.9	
3	66.8	22.7	
4	66.4	23.1	
5	66.4	23.1	
6	69.0	20.5	
7	68.2	21.3	
8	69.0	20.5	
9	71.8	17.7	
10	67.6	21.9	
平均	68.5	21.1	
標準偏差	1.8	1.8	
誤差	0.6	0.6	

静止摩擦係数 0.385

誤差 0.007

表 86：グリセリン加重なし  
真鍮板#600 ブロック#600

種類《板》	真鍮	加重なし	100%
粗さ《板》	600		
種類《ブロック》	真鍮		
粗さ《ブロック》	600		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	
1	89.0	0.5	
2	89.0	0.5	
3	88.8	0.7	
4	80.8	8.7	
5	88.8	0.7	
6	86.8	2.7	
7	88.8	0.7	
8	88.4	1.1	
9	82.0	7.5	
10	88.8	0.7	
11	89.0	0.5	
12	75.6	13.9	
13	88.8	0.7	
平均	88.6	0.9	
標準偏差	0.7	0.7	
誤差	0.2	0.2	

静止摩擦係数 0.015

誤差 0.004

表 87：荷重 97.3g

アルミニウム板#60 ブロック#60

種類《板》	アルミ	97.3g
粗さ《板》	60	
種類《ブロック》	アルミ	
粗さ《ブロック》	60	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	72.2	17.2
2	71.8	17.6
3	73.4	16.0
4	72.4	17.0
5	74.2	15.2
6	75.6	13.8
7	75.4	14.0
8	76.8	12.6
9	77.0	12.4
10	77.0	12.4
平均	74.6	14.9
標準偏差	2.1	2.1
誤差	0.7	0.7
静止摩擦係数	0.27	
誤差	0.01	

表 88：荷重 197.3g

アルミニウム板#60 ブロック#60

種類《板》	アルミ	197.3
粗さ《板》	60	
種類《ブロック》	アルミ	
粗さ《ブロック》	60	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	70.2	19.2
2	73.0	16.4
3	73.8	15.6
4	72.6	16.8
5	76.4	13.0
6	77.0	12.4
7	77.2	12.2
8	77.6	11.8
9	78.0	11.4
10	78.0	11.4
11	77.8	11.6
12	78.8	10.6
13	79.0	10.4
14	79.0	10.4
平均	77.9	11.6
標準偏差	0.9	0.9
誤差	0.3	0.3

表 89：荷重 297.4g

アルミニウム板#60 ブロック#60

種類《板》	アルミ	297.4
粗さ《板》	60	
種類《ブロック》	アルミ	
粗さ《ブロック》	60	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	68.4	21.0
2	71.4	18.0
3	69.0	20.4
4	73.0	16.4
5	72.2	17.2
6	72.8	16.6
7	74.2	15.2
8	73.2	16.2
9	75.4	14.0
10	75.2	14.2
11	74.8	14.6
平均	73.1	16.3
標準偏差	2.0	2.0
誤差	0.6	0.6
静止摩擦係数	0.29	
誤差	0.01	

表 90：荷重 397.1g

アルミニウム板#60 ブロック#60

種類《板》	アルミ	397.1
粗さ《板》	60	
種類《ブロック》	アルミ	
粗さ《ブロック》	60	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	65.2	24.2
2	69.2	20.2
3	68.4	21.0
4	68.4	21.0
5	72.6	16.8
6	66.8	22.6
7	71.6	17.8
8	75.0	14.4
9	76.0	13.4
10	71.6	17.8
11	68.0	21.4
12	69.6	19.8
13	73.0	16.4
14	74.4	15.0
平均	70.2	19.2
標準偏差	2.5	2.5
誤差	0.8	0.8
静止摩擦係数	0.35	
誤差	0.02	

表 91：荷重 497.4g

アルミニウム板#60 ブロック#60

種類<板>	アルミ	
粗さ<板>	60	
種類<ブロック>	アルミ	
粗さ<ブロック>	60	
回数	読みの角度(度) 滑り出す角度(度)	
1	66.2	23.2
2	63.2	26.2
3	65.8	23.6
4	67.0	22.4
5	64.4	25.0
6	63.4	26.0
7	66.6	22.8
8	64.8	24.6
9	66.2	23.2
10	64.0	25.4
平均	65.2	24.3
標準偏差	1.4	1.4
誤差	0.4	0.4

静止摩擦係数	0.451
誤差	0.009

表 93：荷重 197.4g

アルミニウム板#320 ブロック#320

種類<板>	アルミ	
粗さ<板>	320	
種類<ブロック>	アルミ	
粗さ<ブロック>	320	
回数	読みの角度(度) 滑り出す角度(度)	
1	63.4	26.1
2	65.8	23.7
3	64.6	24.9
4	61.8	27.7
5	67.2	22.3
6	66.0	23.5
7	65.4	24.1
8	65.6	23.9
9	66.8	22.7
10	69.0	20.5
11	69.4	20.1
12	69.8	19.7
平均	67.0	22.6
標準偏差	1.8	1.8
誤差	0.6	0.6

静止摩擦係数	0.42
誤差	0.01

表 92：荷重 97.3g

アルミニウム板#320 ブロック#320

種類<板>	アルミ	
粗さ<板>	320	
種類<ブロック>	アルミ	
粗さ<ブロック>	320	
回数	読みの角度(度) 滑り出す角度(度)	
1	63.8	25.7
2	62.8	26.7
3	63.8	25.7
4	70.2	19.3
5	69.0	20.5
6	72.4	17.1
7	74.0	15.5
8	72.2	17.3
9	75.6	13.9
10	75.0	14.5
11	75.4	14.1
12	72.4	17.1
13	74.8	14.7
平均	73.1	16.4
標準偏差	2.3	2.3
誤差	0.7	0.7

静止摩擦係数	0.29
誤差	0.01

表 94：荷重 247.1g

アルミニウム板#320 ブロック#320

種類<板>	アルミ	
粗さ<板>	320	
種類<ブロック>	アルミ	
粗さ<ブロック>	320	
回数	読みの角度(度) 滑り出す角度(度)	
1	63.4	26.1
2	64.0	25.5
3	67.8	21.7
4	67.8	21.7
5	70.2	19.3
6	68.0	21.5
7	67.4	22.1
8	67.4	22.1
9	67.4	22.1
10	70.2	19.3
平均	67.4	24.5
標準偏差	2.2	2.2
誤差	0.7	0.7

静止摩擦係数	0.45
誤差	0.01

表 95：荷重 297.3g

アルミニウム板#320 ブロック#320

種類《板》	アルミ
粗さ《板》	320
種類《ブロック》	アルミ
粗さ《ブロック》	320
回数	読みの角度(度) 滑り出す角度(度)
1	67.2 22.3
2	61.6 27.9
3	63.8 25.7
4	67.8 21.7
5	64.8 24.7
6	63.0 26.5
7	69.0 20.5
8	68.2 21.3
9	65.6 23.9
10	64.4 25.1
11	67.0 22.5
12	71.2 18.3
平均	66.8 22.7
標準偏差	2.4
誤差	0.8

静止摩擦係数	0.42
誤差	0.02

表 96：荷重 397.5g

アルミニウム板#320 ブロック#320

種類《板》	アルミ
粗さ《板》	320
種類《ブロック》	アルミ
粗さ《ブロック》	320
回数	読みの角度(度) 滑り出す角度(度)
1	63.2 26.3
2	66.4 23.1
3	66.4 23.1
4	67.0 22.5
5	68.8 20.7
6	68.2 21.3
7	67.8 21.7
8	67.8 21.7
9	71.8 17.7
10	69.2 20.3
11	68.8 20.7
平均	68.2 21.3
標準偏差	1.6
誤差	0.5

静止摩擦係数	0.39
誤差	0.01

表 97：荷重 497.3g

アルミニウム板#320 ブロック#320

種類《板》	アルミ
粗さ《板》	320
種類《ブロック》	アルミ
粗さ《ブロック》	320
回数	読みの角度(度) 滑り出す角度(度)
1	61.0 28.5
2	65.4 24.1
3	60.4 29.1
4	64.0 25.5
5	62.8 26.7
6	61.2 28.3
7	63.8 25.7
8	66.6 22.9
9	64.4 25.1
10	64.8 24.7
平均	63.4 26.1
標準偏差	2.0
誤差	0.6

静止摩擦係数	0.49
誤差	0.01

表 98：紙板そのままブロックそのまま

種類《板》	紙
粗さ《板》	
種類《ブロック》	紙
粗さ《ブロック》	
回数	読みの角度(度) 滑り出す角度(度)
1	74.0 15.9
2	73.0 16.9
3	68.4 21.5
4	70.4 19.5
5	71.8 18.1
6	75.2 14.7
7	72.4 17.5
8	74.4 15.5
9	68.0 21.9
10	74.6 15.3
平均	72.2 17.7
標準偏差	2.6
誤差	0.8

静止摩擦係数	0.32
誤差	0.02

表 99 : MoS<sub>2</sub>

紙板そのままブロックそのまま

種類<板>	紙(MoS <sub>2</sub> )
粗さ<板>	
種類<ブロック>	紙(MoS <sub>2</sub> )
粗さ<ブロック>	
回数	読みの角度(度) 滑り出す角度(度)
1	62.0 27.9
2	59.8 30.1
3	51.8 38.1
4	60.8 29.1
5	65.2 24.7
6	67.8 22.1
7	70.2 19.7
8	70.4 19.5
9	66.8 23.1
10	70.0 19.9
11	70.0 19.9
12	70.8 19.1
13	70.8 19.1
14	70.6 19.3
平均	69.3 20.6
標準偏差	2.0 2.0
誤差	0.6 0.6

静止摩擦係数	0.38
誤差	0.01

表 100 : 鉛筆

紙板そのままブロックそのまま

種類<板>	紙(鉛筆)
粗さ<板>	
種類<ブロック>	紙(鉛筆)
粗さ<ブロック>	
回数	読みの角度(度) 滑り出す角度(度)
1	77.0 12.9
2	75.8 14.1
3	76.4 13.5
4	76.0 13.9
5	76.8 13.1
6	76.8 13.1
7	71.8 18.1
8	75.0 14.9
9	76.6 13.3
10	77.2 12.7
平均	75.9 14.0
標準偏差	1.6 1.6
誤差	0.5 0.5

静止摩擦係数	0.25
誤差	0.01

表 101 : チョーク

紙板そのままブロックそのまま

種類<板>	紙	蛍光ピンク
粗さ<板>		
種類<ブロック>	紙	
粗さ<ブロック>		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	56.8	33.1
2	53.0	36.9
3	57.4	32.5
4	53.4	36.5
5	52.6	37.3
6	52.4	37.5
7	49.4	40.5
8	51.4	38.5
9	52.4	37.5
10	51.4	38.5
平均	53.0	36.9
標準偏差	2.4	2.4
誤差	0.8	0.8

静止摩擦係数	0.75
誤差	0.02

表 102 : MoS<sub>2</sub> 真鍮板#60 ブロック#60

種類<板>	真鍮	MoS <sub>2</sub>
粗さ<板>	60	
種類<ブロック>	真鍮	
粗さ<ブロック>		
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	70.0	19.5
2	71.2	18.3
3	70.4	19.1
4	72.2	17.3
5	73.8	15.7
6	72.0	17.5
7	72.2	17.3
8	70.0	19.5
9	64.0	25.5
10	67.0	22.5
11	75.8	13.7
平均	71.5	18.1
標準偏差	2.4	2.4
誤差	0.8	0.8

静止摩擦係数	0.33
誤差	0.01

表 103 : チョーク 真鍮#60 ブロック#60

種類<<板>>	真鍮	蛍光ピンク
粗さ<<板>>	60	
種類<<ブロック>>	真鍮	
粗さ<<ブロック>>	60	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	67.8	21.7
2	64.6	24.9
3	57.8	31.7
4	61.8	27.7
5	59.4	30.1
6	59.8	29.7
7	57.0	32.5
8	55.0	34.5
9	59.0	30.5
10	59.0	30.5
11	57.4	32.1
平均	59.1	30.4
標準偏差	2.7	2.7
誤差	0.8	0.9

静止摩擦係数	0.59
誤差	0.02

表 104 : 黒鉛 真鍮板#60 ブロック#60

種類<<板>>	真鍮	黒鉛
粗さ<<板>>	60	
種類<<ブロック>>	真鍮	
粗さ<<ブロック>>	60	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	78.2	11.3
2	80.0	9.5
3	81.0	8.5
4	81.8	7.7
5	80.4	9.1
6	82.0	7.5
7	80.8	8.7
8	81.8	7.7
9	79.2	10.3
10	77.0	12.5
平均	80.2	9.3
標準偏差	1.7	1.7
誤差	0.5	0.5

静止摩擦係数	0.16
誤差	0.01

表 105 : MoS<sub>2</sub> 真鍮板#600 ブロック#600

種類<<板>>	真鍮	MoS <sub>2</sub>
粗さ<<板>>	600	
種類<<ブロック>>	真鍮	
粗さ<<ブロック>>	600	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	68.8	20.7
2	75.8	13.7
3	80.0	9.5
4	80.0	9.5
5	76.8	12.7
6	81.0	8.5
7	75.0	14.5
8	78.0	11.5
9	78.8	10.7
10	74.2	15.3
平均	76.8	12.7
標準偏差	2.4	2.4
誤差	0.8	0.8

静止摩擦係数	0.22
誤差	0.01

種類<<板>>	真鍮	蛍光ピンク
粗さ<<板>>	600	
種類<<ブロック>>	真鍮	
粗さ<<ブロック>>	600	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	60.4	29.1
2	58.8	30.7
3	61.0	28.5
4	63.8	25.7
5	59.6	29.9
6	61.8	27.7
7	65.8	23.7
8	63.0	26.5
9	58.4	31.1
10	61.8	27.7
平均	61.4	28.1
標準偏差	2.3	2.3
誤差	0.7	0.7

静止摩擦係数	0.53
誤差	0.02

表 107：黒鉛真鎧板#600 ブロック#600

種類<板>	真鎧	黒鉛
粗さ<板>	600	
種類<ブロック>	真鎧	
粗さ<ブロック>	600	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	68.6	20.9
2	68.0	21.5
3	70.6	18.9
4	73.6	15.9
5	70.0	19.5
6	68.8	20.7
7	72.2	17.3
8	70.6	18.9
9	69.4	20.1
10	75.0	14.5
平均	70.7	18.8
標準偏差	2.3	2.3
誤差	0.7	0.7

静止摩擦係数	0.34
誤差	0.01

表 109：菜種油加重なし

アルミニウム板#60 ブロック#60

種類<板>	アルミニウム	加重なし
粗さ<板>	60	
種類<ブロック>	アルミニウム	
粗さ<ブロック>	60	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	76.0	13.4
2	72.8	16.6
3	60.0	29.4
4	71.0	18.4
5	74.4	15.0
6	72.0	17.4
7	73.0	16.4
8	70.4	19.0
9	75.6	13.8
10	73.2	16.2
11	74.2	15.2
平均	73.3	16.2
標準偏差	1.8	1.8
誤差	0.6	0.6

静止摩擦係数	0.29
誤差	0.01

表 108：菜種油加重あり

アルミニウム板#60 ブロック#60

種類<板>	アルミニウム	加重あり
粗さ<板>	60	
種類<ブロック>	アルミニウム	
粗さ<ブロック>	60	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	70	19
2	76	13
3	80	9
4	75	15
5	79	10
6	77	12
7	70	19
8	71	18
9	66	23
10	69	21
11	66	23
12	61	28
13	70	19
14	66	23
15	66	24
平均	68	22
標準偏差	3	3
誤差	1	1

静止摩擦係数	0.40
誤差	0.02

表 110：菜種油加重あり

アルミニウム板#600 ブロック#600

種類<板>	アルミニウム	加重あり
粗さ<板>	600	
種類<ブロック>	アルミニウム	
粗さ<ブロック>	600	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	67	22
2	31	58
3	51	38
4	50	40
5	47	42
6	54	36
7	47	43
8	48	41
9	46	44
10	53	36
11	42	47
12	45	45
13	47	43
平均	49	41
標準偏差	3	3
誤差	1	1

静止摩擦係数	0.87
誤差	0.03

表 111：菜種油加重なし  
アルミニウム板#600 ブロック#600

種類《板》	アルミニウム	加重なし
粗さ《板》	600	
種類《ブロック》	アルミニウム	
粗さ《ブロック》	600	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	51.8	37.7
2	54.6	34.9
3	59.8	29.7
4	55.0	34.5
5	56.6	32.9
6	57.0	32.5
7	57.8	31.7
8	60.8	28.7
9	48.6	40.9
10	49.8	39.7
11	39.2	50.3
12	47.8	41.7
13	55.8	33.7
14	59.6	29.9
平均	56.9	32.6
標準偏差	2.7	2.7
誤差	0.9	0.9

表 113：菜種油加重なし  
真鍮板#60 ブロック#60

種類《板》	真鍮	加重なし
粗さ《板》	60	
種類《ブロック》	真鍮	
粗さ《ブロック》	60	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	76.6	12.9
2	80.2	9.3
3	78.8	10.7
4	78.4	11.1
5	77.0	12.5
6	81.4	8.1
7	81.2	8.3
8	77.4	12.1
9	78.0	11.5
10	80.8	8.7
平均	79.0	10.5
標準偏差	1.8	1.8
誤差	0.6	0.6

静止摩擦係数  
誤差

表 112：菜種油加重あり  
真鍮板#60 ブロック#60

種類《板》	真鍮	加重あり
粗さ《板》	60	
種類《ブロック》	真鍮	
粗さ《ブロック》	60	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	75.6	13.9
2	78.2	11.3
3	78.2	11.3
4	78.8	10.7
5	80.0	9.5
6	78.6	10.9
7	80.8	8.7
8	80.6	8.9
9	74.4	15.1
10	82.2	7.3
11	82.4	7.1
12	82.4	7.1
平均	80.2	9.3
標準偏差	1.7	1.7
誤差	0.5	0.6

静止摩擦係数  
誤差

表 113：菜種油加重あり  
真鍮板#60 ブロック#60

種類《板》	真鍮	加重あり
粗さ《板》	600	
種類《ブロック》	真鍮	
粗さ《ブロック》	600	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	61.4	28.1
2	67.8	21.7
3	61.6	27.9
4	70.4	19.1
5	71.0	18.5
6	68.0	21.5
7	68.0	21.5
8	68.0	21.5
9	63.8	25.7
10	71.8	17.7
11	67.0	22.5
12	69.6	19.9
平均	68.5	21.0
標準偏差	2.3	2.3
誤差	0.7	0.7

静止摩擦係数  
誤差

表 115：菜種油加重なし  
真鍮板#600 ブロック#600

種類<板>	真鍮	加重なし
粗さ<板>	600	
種類<ブロック>	真鍮	
粗さ<ブロック>	600	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	78.0	11.5
2	80.4	9.1
3	78.0	11.5
4	77.0	12.5
5	76.0	13.5
6	72.4	17.1
7	74.8	14.7
8	74.8	14.7
9	72.2	17.3
10	71.6	17.9
11	77.8	11.7
12	77.8	11.7
13	77.4	12.1
平均	75.5	14.0
標準偏差	2.9	2.9
誤差	0.9	0.9

静止摩擦係数	0.25
誤差	0.02

表 116：方向研磨 板横 ブロック横  
真鍮板#60 ブロック#60

種類<板>	真鍮	横横
粗さ<板>	60	
種類<ブロック>	真鍮	
粗さ<ブロック>	60	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	68.8	20.7
2	75.0	14.5
3	79.2	10.3
4	80.0	9.5
5	78.6	10.9
6	80.0	9.5
7	80.6	8.9
8	80.2	9.3
9	79.8	9.7
10	79.2	10.3
11	78.8	10.7
12	75.4	14.1
13	78.2	11.3
平均	79.5	10.1
標準偏差	0.8	0.8
誤差	0.2	0.3

静止摩擦係数	0.177
誤差	0.005

表 117：方向研磨 板横 ブロック縦  
真鍮板#60 ブロック#60

種類<板>	真鍮	縦横
粗さ<板>	60	
種類<ブロック>	真鍮	
粗さ<ブロック>	60	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	72.2	17.3
2	76.4	13.1
3	77.4	12.1
4	77.8	11.7
5	76.8	12.7
6	76.0	13.5
7	79.4	10.1
8	79.2	10.3
9	79.2	10.3
10	80.6	8.9
11	78.2	11.3
平均	78.1	11.4
標準偏差	1.5	1.5
誤差	0.5	0.5

静止摩擦係数	0.202
誤差	0.009

表 118：方向研磨 板縦 ブロック横  
真鍮板#60 ブロック#60

種類<板>	真鍮	縦横
粗さ<板>	60	
種類<ブロック>	真鍮	
粗さ<ブロック>	60	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	73.6	15.9
2	74.0	15.5
3	76.8	12.7
4	78.2	11.3
5	78.2	11.3
6	78.0	11.5
7	79.8	9.7
8	79.2	10.3
9	80.0	9.5
10	80.4	9.1
平均	77.8	11.7
標準偏差	2.4	2.4
誤差	0.8	0.8

静止摩擦係数	0.21
誤差	0.01

表 119：方向研磨 板横 ブロック横

真鍮板#60 ブロック#60

種類<板>	真鍮	縦縦
粗さ<板>		60
種類<ブロック>	真鍮	
粗さ<ブロック>		60
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	71.4	18.1
2	79.0	10.5
3	79.8	9.7
4	80.0	9.5
5	78.2	11.3
6	80.2	9.3
7	79.6	9.9
8	81.4	8.1
9	81.2	8.3
10	80.0	9.5
11	80.4	9.1
平均	80.0	9.5
標準偏差	0.9	0.9
誤差	0.3	0.3
静止摩擦係数	0.168	
誤差	0.006	

## 3. 静止摩擦係数・動摩擦係数の同時測定

表 120：真鍮板#60 ブロック#60

種類<板>	真鍮		
粗さ<板>		60	
種類<ブロック>	真鍮		
粗さ<ブロック>		60	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)	
1	81	9	
2	68	22	
3	77	12	
4	78	12	
5	78	12	
6	68	22	
7	72	18	
8	67	23	
9	72	18	
10	71	19	
11	71	18	
平均	72	17	
標準偏差	4	4	
標準誤差	1	1	
静止摩擦係数	0.31	動摩擦係数	0.30
誤差	0.03	誤差	0.03

表 121：純水 真鍮板#60 ブロック#60

種類《板》	真鍮	純水	
粗さ《板》	60		
種類《ブロック》	真鍮		
粗さ《ブロック》	60		
回数	最終	真の角度	移動時間(s)
1	78.8	10.9	1.00
2	78.4	11.3	0.87
3	76.4	13.3	0.97
4	78.0	11.7	1.00
5	77.8	11.9	0.90
6	77.0	12.7	0.77
7	76.4	13.3	0.80
8	77.4	12.3	1.07
9	77.0	12.7	1.07
10	74.0	15.7	0.70
平均	77.1	12.6	0.92
標準偏差	1.4	1.4	0.13
標準誤差	0.4	0.4	0.04
静止摩擦係数	0.223	動摩擦係数	0.19
誤差	0.008	誤差	0.01

表 122：菜種油 真鍮板#60 ブロック#60

種類《板》	真鍮	サラダ油	
粗さ《板》	60		
種類《ブロック》	真鍮		
粗さ《ブロック》	60		
回数	最終	真の角度	移動時間(s)
1	70.0	19.7	0.8
2	71.6	18.1	0.7
3	76.8	12.9	1.9
4	77.6	12.1	1.6
5	75.6	14.1	0.9
6	76.6	13.1	1.1
7	78.0	11.7	1.2
8	79.0	10.7	1.6
9	78.0	11.7	1.9
10	78.2	11.5	2.3
平均	76.1	13.6	1.4
標準偏差	3.0	3.0	0.5
標準誤差	0.9	0.9	0.2
静止摩擦係数	0.24	動摩擦係数	0.23
誤差	0.02	誤差	0.02

表 123 : グリセリン 真鍮板#60 ブロック#60

種類<板>	真鍮	グリセリン	
粗さ<板>	60		
種類<ブロック>	真鍮		
粗さ<ブロック>	60		
回数	最終	真の角度	移動時間(s)
1	75.0	14.7	2.8
2	72.2	17.5	1.7
3	68.4	21.3	0.9
4	72.4	17.3	1.5
5	71.2	18.5	1.2
6	73.0	16.7	1.6
7	73.0	16.7	4.8
8	72.8	16.9	4.7
9	74.6	15.1	3.4
10	75.6	14.1	4.1
平均	72.8	16.9	2.7
標準偏差	2.1	2.1	1.5
標準誤差	0.7	0.7	0.5
静止摩擦係数	0.30	動摩擦係数	0.30
誤差	0.01	誤差	0.01

表 124 : MoS<sub>2</sub> 真鍮板#60 ブロック#60

種類<板>	真鍮	MoS <sub>2</sub>	
粗さ<板>	60		
種類<ブロック>	真鍮		
粗さ<ブロック>	60		
回数	最終	真の角度	移動時間(s)
1	68.2	21.5	0.4
2	73.8	15.9	2.1
3	73.8	15.9	2.0
4	72.2	17.5	2.1
5	74.6	15.1	1.5
6	72.0	17.7	2.2
7	75.0	14.7	1.7
8	72.0	17.7	2.3
9	73.0	16.7	2.0
10	66.8	22.9	1.2
11	72.8	16.9	1.8
平均	72.7	17.0	1.8
標準偏差	1.9	1.9	0.6
標準誤差	0.6	0.6	0.1
静止摩擦係数	0.30	動摩擦係数	0.30
誤差	0.01	誤差	0.01