

レポート表題

傾斜法による静止・動摩擦係数の測定  
～表面状態・荷重・潤滑剤による変化～

第1チャレンジ番号 :

1 5 3 1 0 0 5  
(※1)

(※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。

氏名 : 今西 優果

学校名又は

卒業校名 : 三重県立四日市高等学校 学年 : 3

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

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 :

学校名・学年 :

岡本 直大

三重県立四日市高等学校・3年

中村 史香

ニ

舟羽 英人

ニ

実験課題に取り組んだ感想を書いてください。

摩擦係数は、表面粗さの大きさや、物質の種類のみならず、様々な要因により決定されることが分かったので、よい経験となった。

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



## 目次

第一章 実験の目的	P2
第二章 実験手法	P3~19
第一節 実験の原理	P3~4
第二節 準備物	P5~9
第三節 実験準備	P10~12
第四節 測定方法	P13~19
第三章 実験結果	P20~50
第一節 板、ブロックの表面粗さの測定	p20~23
第二節 静止摩擦係数の測定	P24~49
第三節 動摩擦係数の測定	P50
第四章 考察	P51~76
第五章 結論	P77~78
第六章 共同実験者・参考資料・謝辞	P79
第七章 付録(各種実測値)	P80~111

## 傾斜法による静止・動摩擦係数の測定 ～表面状態・荷重・潤滑剤による変化～

三重県立四日市高等学校 3年 今西 優果

### 第一章 実験の目的

身近な摩擦の例を出すと、「ブレーキ」や「滑り止めマット」などがある。

ブレーキでは、走行中の車などを減速させたり停止させるためのシステムであり、走行中に車輪と一体になって回転するディスクローターをブレーキパッドで挟み、その際に発生する摩擦力によって制動力を発生させている。

滑り止めマットでは、接触面に敷くなどして、摩擦係数を大きくさせることによって、滑ることを抑えている。一般的に防滑用材とも呼ばれる。

今回の実験では、表面の荒さや材質の異なるものもしくは、同じもの同士を接触させて、静止摩擦係数を測定し、静止摩擦係数と板とブロックの表面粗さや材質の関係を調べ考察することが目的である。

また、板とブロックの表面粗さや材質の静止摩擦係数に対する関係のみならず、固形潤滑剤や液状潤滑剤による静止摩擦係数の変化や研磨方向による静止摩擦係数の変化についても調べる。

摩擦係数の測定方法には、傾斜法と引っ張り法があるが、今回の実験では、大きさの小さい試料の摩擦係数を測定することのできる傾斜法を用いる。さらに、スマートフォンを使用して傾斜面の滑り時間と距離を測定することによって動摩擦係数が測定することができることを示す。

## 第二章. 実験手法

### 第一節、実験の原理

#### (1) 静止摩擦係数の測定

静止摩擦係数  $\mu_0$  と静止摩擦力  $F_s$  の関係は、垂直抗力を  $N$  とすると、

$$F_s = \mu_0 \times N \quad (1,1)$$

と定義されている。

滑り出す直前の斜面に平行方向の力は、静止摩擦力と等しい。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  $\bar{W}$ 、とすると次のように表せる。

$$F_s = \bar{W} \sin \theta_s \quad (1,2)$$

斜面上に存在する物体に関して、垂直抗力は、

$$N = \bar{W} \cos \theta_s \quad (1,3)$$

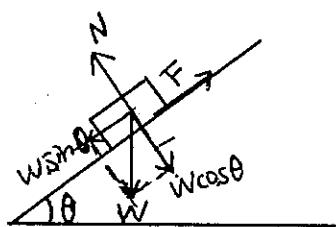
となる。

(1,2)、(1,3)より静止摩擦係数は、次のように表せる。

$$\mu_0 = \frac{F_s}{N} = \frac{\bar{W} \sin \theta_s}{\bar{W} \cos \theta_s} = \tan \theta_s \quad (1,4)$$

これらの式より、滑り出す直前の角度を測定することによって、物体の質量より静止摩擦係数を測定する。  
[1]

図 1 静止摩擦係数の測定



## (2) 動摩擦係数の測定

斜面を斜面上の物体が運動するように傾けた状態で固定すると物体にかかるより、物体の質量を  $m$ 、加速度を  $a$  とし、運動方程式を立てると次の様になる。

$$F = ma \quad (2.1)$$

$$F = mg(\sin\theta_0 - \mu_k \cos\theta_0) = ma \quad (2.2)$$

式(2.2)より、加速度  $a$  は次の式で表せる。

$$a = g(\sin\theta - \mu_k \cos\theta) \quad (2.3)$$

ここで、 $t$  秒に滑った距離を  $S$  とすると、距離  $S$  は次の式で表せる。

※今回の実験での距離  $S$  は、「0.13m」である。

$$S = \frac{1}{2}at^2 \quad (2.4)$$

式(2.3)を式(2.4)に代入しについて解くと、動摩擦係数  $\mu_k$  は次の式で得られる。

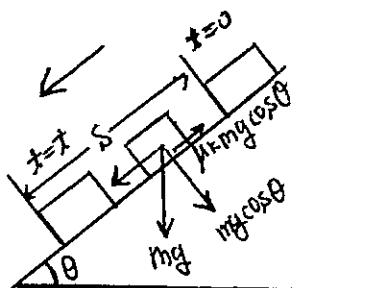
$$\mu_k = \tan\theta - \frac{2S}{gt^2 \cos\theta} \quad (2.5)$$

※重力加速度  $g$  は、四日市の値である「9.80 m/s<sup>2</sup>」とした。

以上より、動摩擦を測定する為に今回の実験では、滑った時間  $t$  と滑った角度  $\theta$  を測定する。

[4]

図 2 動摩擦係数の測定法



## 第二節. 準備物

### <静止摩擦>

- ・回転ステージ（360°の目盛り付き）

図.3 回転ステージ

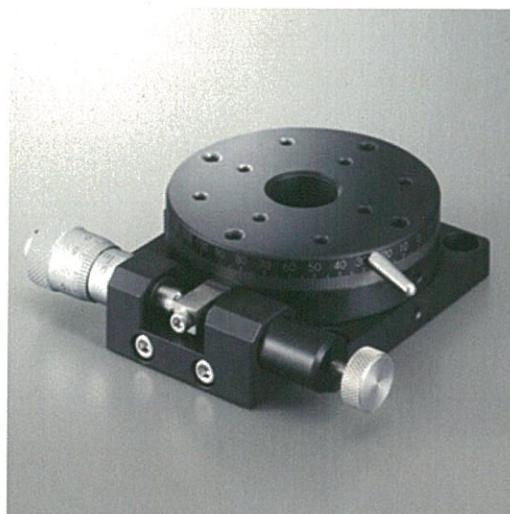
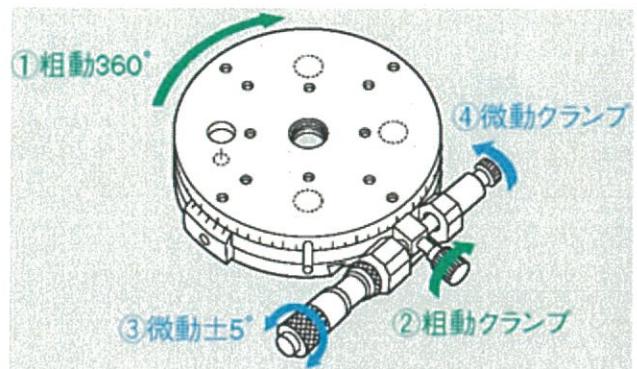


図.4 回転ステージの仕様

(駿河精機HP [2] より)



※去年の物理チャレンジの屈折率測定に使ったものと同じである。

- ・直流電源装置

最大出力 18V, 6A 発光ダイオードの電源として使うため。

- ・円柱おもり(50g)

アクリルのブロックの自重をおもくするために使用。

- ・円柱おもり (179.3g)

- ・水平器

- ・発光ダイオード(緑色)

- ・順方向ダイオード

- ・バルサ板

- ・L字型金具

- ・ラグ端子

- ・マグネットベース

- ・鉄板

- ・導電性テープ

- ・ニクロム線

- ・目玉クリップ

- ・ミノムシワニグチクリップ

- ・片ミノムシクリップ

- ・バルサ番

### <動摩擦>

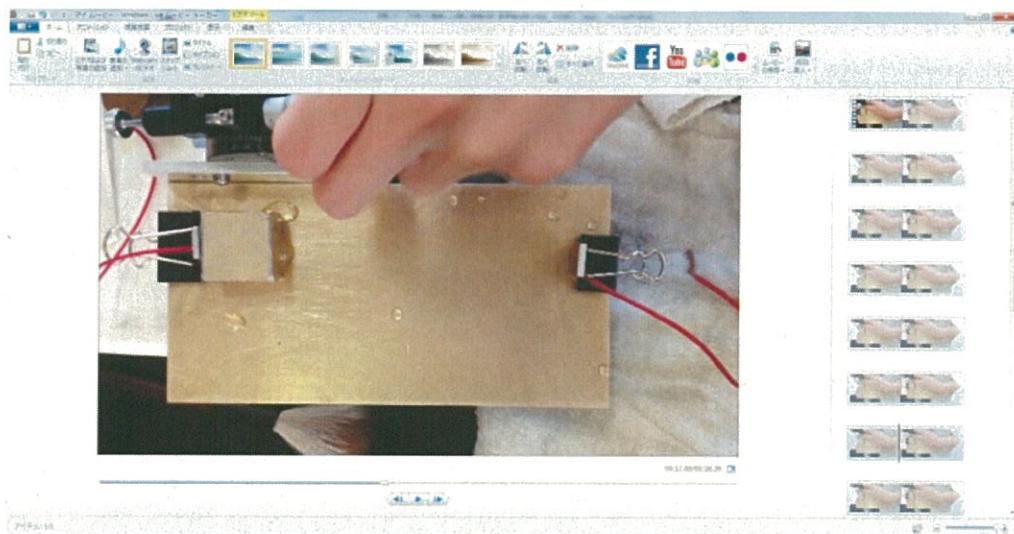
- ・スマートフォン
- ・真鍮板（大）

表1 真鍮板の質量・長さ

板・ブロックの内容	質量(g)	長さ(mm)	
		縦	横
真鍮板	#600	168.4	205.50 105.50

- ・動画解析ソフト「Windows Live ムービーメーカー(Microsoft 社)」

図5 動画解析画面



- ・スタンド2本
- ・バルサ板
- ・両面テープ

### <エッチング>

- ・真鍮板
- ・エッチング液
- ・ポリエチレン製平底バット
- ・鉄粉
- ・水酸化カルシウム
- ・セメント
- ・割り箸
- ・ポリ袋（エッチング液に付属しているもの）

<道具>

- ・紙やすり  
#60、#100、#150、#320、#600
- ・木片（大、小）  
研磨する際に紙やすりを固定するために使用。

図6 木片



- ・ゴム手袋
- ・マスク
- ・キムワイプ
- ・キムタオル

<条件決定要因(板、ブロック)>

- ・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

図7 左から順にアルミニウム、真鍮、ガラス、アクリル



表2 板・ブロックの質量・長さ・高さ

板・ブロックの内容		質量(g)	長さ(mm)		高さ(mm)
			縦	横	
アルミニウム	板	#60 & #320	10.5	76.30	58.85
		#150 & #600	9.2	76.40	54.50
		#100	12.6	101.95	62.25
	ブロック	#60 & #600	46.9	30.10	30.05
		#150 & #320	46.4	30.20	19.50
		#100	48.2	30.15	19.80
真鍮	板	#60 & #150	50.4	94.45	66.75
		#320 & #600	51.3	99.90	65.80
	ブロック	#60 & #320	144.8	30.00	30.00
		#150 & #600	141.2	29.95	19.00
		未加工	9.0	74.70	19.65
アクリル	板	未加工	9.2	75.30	50.45
		#60 & #320	9.1	74.85	50.50
		#150 & #600	9.0	74.70	49.45
	ブロック	未加工	6.7	18.30	17.45
		#60 & #320	7.1	18.30	18.05
		#150 & #600	6.7	18.20	18.10
ガラス	板	未加工	22.3	70.10	70.00
	ブロック	未加工	51.2	25.90	21.70

※板・ブロックの長さは長いほうを「縦」短いほうを「横」とした。

なおガラスの質量は「アルミニウムブロックを含めた質量」、長さは「ガラスの長さ」、高さは「アルミニウムブロックを含めた高さ」である。

アクリルの質量は、アクリルブロック自体の質量であり、測定に用いたものは 50g の錘がつけてある。

#### <条件決定要因(潤滑剤)>

- ・純水
- ・エタノール
- ・グリセリン
- ・キャノーラ油

図 8 左から順にキャノーラ油、エタノール、グリセリン、純水



- ・チョーク (蛍光ピンク、黄、茶)
- ・二硫化モリブデングリース
- ・鉛筆 (6B)

図 9 上から順にチョーク(蛍光ピンク)、鉛筆(6B)、モリブデン(MoS<sub>2</sub>)



- ・画用紙
- ・プリント用紙

#### <条件の確認>

- ・表面粗さ測定器 (ミツトヨ SJ210)  
算術表面粗さ Ra と算術平均 Rsm を測定するために使用。  
測定範囲は 360  $\mu$ m、分解能は 0.02  $\mu$ m である。

### 第三節. 実験準備

#### ①静止摩擦係の実験器具の組み立て

##### i) 回転ステージの設置

- 1、マグネットベースを鉄板上に固定する。
- 2、マグネットベースに、L字型金具を設置する。
- 3、L字型金属板を回転ステージに設置する。
- 4、2., 3.を固定する。

##### ii) スイッチの作成

- 1、L字型金属に伝導性テープを巻く。
- 2、伝導性テープを巻いたL字型金属をL字型金属板に目玉クリップを用いて、設置する。
- 3、測定対象のブロックに伝導性テープを適切な長さに切りはる。
- 4、トグルスイッチと、発光ダイオード、直流定電流ダイオードを半田を用いて、接続する。
- 5、ミノムシクリップ付き導線を用いて3.、4.で作ったものを接続する。

図 10 スイッチのブロックとの接触面

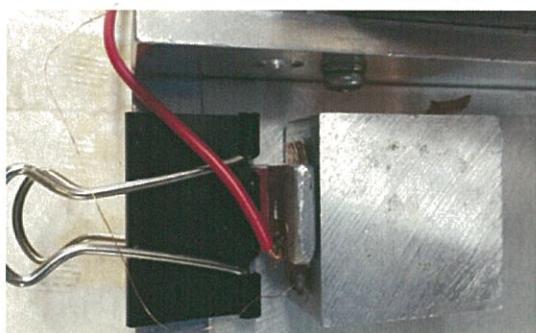
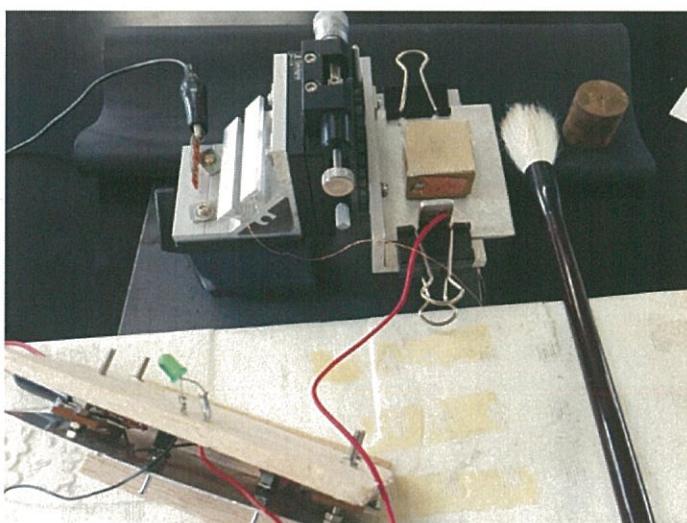


図 11 静止摩擦係数の実験装置の全体図



## ②動摩擦係数の実験器具の組み立て

- 1、バルサ板を、スマートフォンを支えられる様な大きさにきる。
- 2、1で切ったバルサ板を両面テープで組み立てる。
- 3、2で出来上がったものをスタンド2本で固定する。
- 4、3で出来上がった装置を静止摩擦係数の測定で使用した実験装置の上に置く。

図 12 動摩擦係数の実験器具の全体図



### ③板・ブロックの研磨

#### (目的)

静止摩擦係数の測定対象とする、アルミニウム・真鍮・アクリルの表面を紙やすりで磨き表面の粗さを一定にする。

#### (方法)

- 1、研磨する板・ブロックの材質・荒さ、研磨する人を決定する。
- 2、研磨をする人は、マスク・ゴム手袋を装着する。
- 3、板を研磨する場合は、紙やすりを直方体の木の板に巻きつけ板を研磨する。  
ブロックを研磨する場合は、紙やすりを敷きその上に木片に付けたブロックを研磨する。  
※研磨をする際に粗さのむらがなるべく出ないようにする為に、円を描く様に研磨する。
- 4、表面を綺麗に研磨し終えたら、ブロックのバリを丸く、指で触り引っ掛けがなくなるまでおとす。  
※研磨をする際、削りカスで板・ブロックが傷つくのを防ぐ為に、定期的に紙やすりに付いた粉を払い、板・ブロックの表面をキムワイプで拭く。  
研磨は、測定をする直前にする。
5. 水で研磨による削りかすを洗い流し、キムタオルでふく。

(注) 実験V「一方向研磨による静止摩擦係数」におけるブロックと板の研磨は、手前から奥へ直線を引くように研磨する。

図 13 縦方向

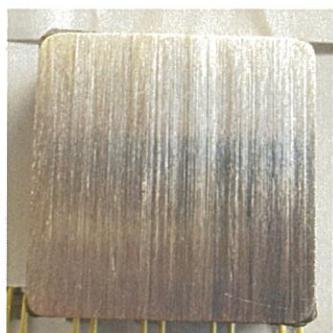


図 14 横方向



#### 第四節 測定方法

##### ① 測定 I 表面粗さの測定方法

###### I : Ra の測定

- 1、表面粗さ測定機の測定部分を、木片やゴム板などを使用し、測定対象のブロックや板と同じ高さにする。
- 2、表面粗さ測定機を駆動させ、算術平均粗さ Ra を測定する。
- 3、以上の過程を 3 回繰り返し平均値、誤差をもとめる。

※ : 算術平均粗さ Ra

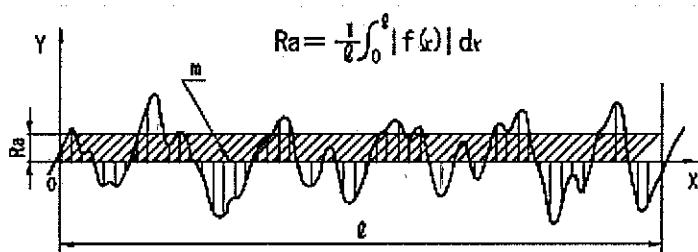
粗さ曲線からその平均線の方向に基準長さだけを抜き取り、この抜取り部分の平均線の方向に X 軸を、縦倍率の方向に Y 軸を取り、粗さ曲線を  $y = f(x)$  で表したときに、次の式 (7) によって求められる値をマイクロメートル ( $\mu\text{m}$ ) で表したものである。 [5]

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |f(x)| dx \quad (7)$$

Ra の誤差を求めるため、式 (4) の標準誤差を用いた。

→ どう?

図 15 算術表面粗さ Ra の解説図 [5]



## II : RSm の測定

1、平均粗さ  $R_a$  を測定した際の値から、要素の平均長さ  $RSm$  の平均値、誤差を求める。

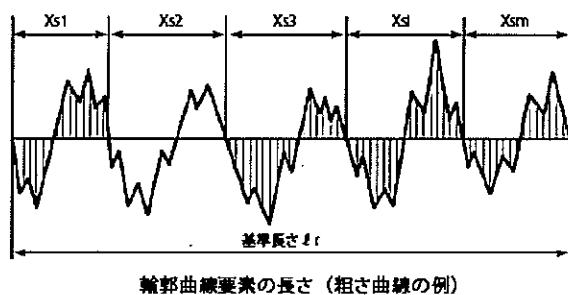
※：算術平均長さ  $RSm$

基準長さに輪郭曲線要素の長さの平均を表したものである。下の式(8)の「 $X_{sit}$ 」は、一つの輪郭線要素である。平均長さ  $RSm$  は次の式で求められる。

$$RSm = \frac{1}{m_{i-1}} \sum_{i=1}^N X_{si} \quad (8)$$

$RSm$  の誤差を求めるため、後に述べる式 (10) の標準誤差を用いた。

図 16 算術表面平均長さ  $RSm$  の解説図[10]



## ② 測定Ⅱ 水平の読みの角度の測定方法

### (方法)

- 1、回転ステージのL字型金属に測定したい材質・粗さの板の両端をクリップで固定する。
- 2、水準器をL字型金属板中心部分に設置する。
- 3、回転ステージを回転させ、マイクロメーターを $0^\circ$ に合わせバーニア目盛りの読みの角度が $90^\circ$ となるところで粗動ねじを固定する。
- 4、マイクロメーターを用いて、赤い色の円内の水準器の気泡が、ほぼ中心に来るよう調整する。そして、マイクロメーターの目盛を読み取る。
- 5、式(3)を用いて、水平の読みの角度を計算する。
- 6、1~5の過程を10回繰り返し、平均値、誤差を求める。
- 7、1~6の過程を板の粗さ、材質を変えるごとに行う。

注1：水平の読みの角度 $\theta_f$ を求めるため、マイクロメーターの目盛を $M$ とする。

$$\theta_f = 90 - \frac{55}{3600} M \quad (9)$$

となる式(9)を用いた。

注2：回転目盛、回転角度、水平の読みの角度の誤差を求めるため、標準誤差 $\delta y$ は、測

定回数 $n$ 、測定値 $y_i$  ( $i = 1, \dots, n$ )、測定値の平均値 $\bar{y}$ とすると、次の様に表せる。

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

### ③ 滑り出す角度の測定方法

(静止摩擦係数の測定)

#### I : 加重ありの場合(実験)

1、回転ステージのL字型金属に測定したい材質・粗さの板の両端をクリップで固定する。

2、ブロックに導電性テープを張り付ける。

(注)潤滑材を使用する時は、導電性テープが非常にはがれやすくなる為、この過程を省いた。

3、板とブロックの表面を粉が残っている恐れがあるため筆で払う。

4、1分間錘をのせ、板とブロックをなじませる。

5、粗動ねじを読みの角度で約75~80度の所まで回し粗動ねじを固定する。

6、微動ねじを回し発光ダイオードが消えた角度を「スイッチ off」の角度とする。

7、ブロックが滑った時のバーニア目盛を用いて角度を読み①、②とする。 ← ?

8、さらに微動ねじを回しブロックが完全に滑った角度を「最終の角度」とし、式(5)より「滑りだす角度」を求める。

9、3~7の過程を10回繰り返し、平均、誤差、静止摩擦係数を計算する。

10、ブロックと板の粗さ、材質を変え1~7の過程を行い測定する。

11、動画解析ソフト「Windows Live ミービーメーカー」を使用して、動画解析を行い滑る時間などを測定する。

※最終の角度、水平の読みの角度とし、滑り出す角度を、

$$\theta_s = \theta_n - \theta_f \quad (5)$$

を用いて求めた。

誤差の伝搬の一般式は、[3,4]

$$\delta z = \sqrt{\left( \frac{\partial f}{\partial y_1} \right)^2_{y_1=\bar{y}_1, \dots, y_n=\bar{y}_n} (\delta y_1)^2 + \dots + \left( \frac{\partial f}{\partial y_n} \right)^2_{y_1=\bar{y}_1, \dots, y_n=\bar{y}_n} (\delta y_n)^2} \quad (5,1)$$

式(5,1)である。よって、上限を与える近似式は、

$$\delta z = \left| \left( \frac{\partial f}{\partial y_1} \right)_{y_1=\bar{y}_1, \dots, y_n=\bar{y}_n} \delta y_1 + \dots + \left( \frac{\partial f}{\partial y_n} \right)_{y_1=\bar{y}_1, \dots, y_n=\bar{y}_n} \delta y_n \right| \quad (5,2)$$

式(5,2)のようになるが、変数は1つであるため、初項だけの

$$\delta z = \left| \left( \frac{\partial f}{\partial y_1} \right)_{y_1=\bar{y}_1, \dots, y_n=\bar{y}_n} \delta y_1 \right| \quad (5,3)$$

式(5,3)を用いた。

最終の角度の誤差を、水平の角度の誤差を、最終の角度の標準誤差をとすると、式(5,3)より、

$$\delta\theta_f = \delta\theta_k + \delta\theta_f' \quad (4,7)$$

注3: 静止摩擦係数の誤差には水平の読みの角度の誤差を、最終の角度の誤差を  
それぞれすると、式(5,3)より、

$$\delta\mu_0 = \frac{\delta\theta_f}{\cos^2(\theta_f)} \quad (6)$$

を用いた。

注4 : 読みの角度、最終の角度の誤差には式 (10) の標準誤差の式を用いた。

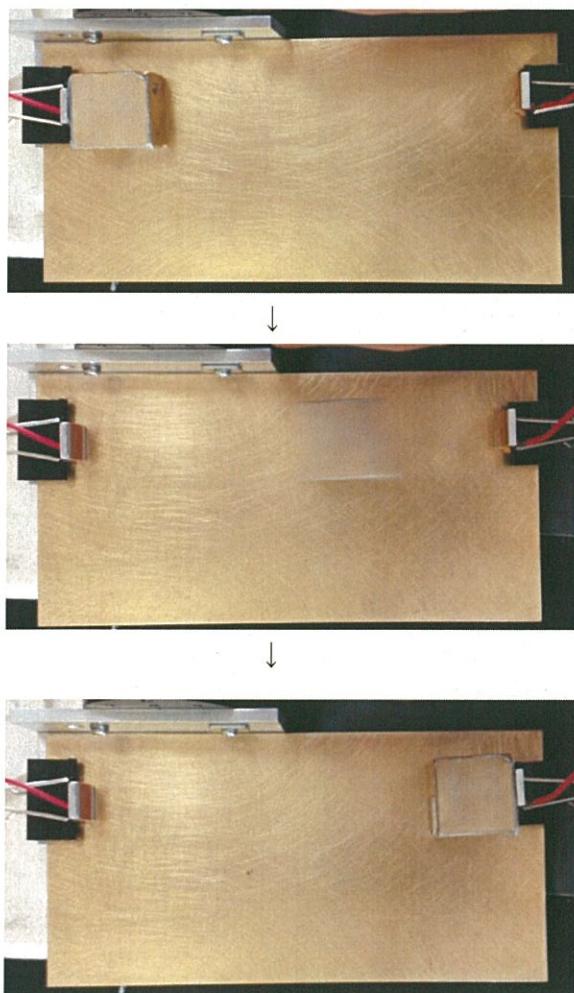
## II : 潤滑剤の実験での加重なしの場合

- 1、回転ステージの L 字型金属に測定したい材質・粗さの板の両端をクリップで固定する。
- 2、板とブロックの表面を粉が残っている恐れがあるため筆で払う。
- 3、使用する液状潤滑材を薄く塗り広げる。
- 4、粗動ねじを読みの角度で約 75~80 度の所まで回し粗動ねじを固定する。
- 5、微動ねじを回しブロックが滑った角度を「滑り出す角度」とする。
- 6、液状潤滑材が足りない場合は塗り直す。
- 7、3~6 の過程を 10 回繰り返し、平均、誤差、静止摩擦係数を計算する。
- 8、ブロックと板の粗さ、材質を変え 1~7 の過程を行い測定する。

(動摩擦係数の測定)

- 1、回転ステージの L 字型金属に測定したい材質・粗さの板の両端をクリップで固定する。
- 2、板とブロックの表面を粉が残っている恐れがあるため筆で払う。
- 3、1分間錘をのせ、板とブロックをなじませる。
- 4、粗動ねじを読みの角度で約 80~85 度の所まで回し固定する。
- 5、スマートフォンの録画を開始する。
- 6、微動ねじをブロックが滑り出すまで回す。
- 7、ブロックが滑った角度を「滑り出す角度」とする。
- 8、2~7 の過程を 10 回繰り返し、平均、誤差を計算する。

図 17 動摩擦係数の測定様子



#### ④検証実験 潤滑剤の塗り方

- 1、鉛筆(6B)、チョーク(蛍光ピンク)をプリントの紙の上にのせた定規で削る。
- 2、金属の板とブロックに削った粉を多めに振り掛けける。
- 3、筆でやさしく粉をはらう。

図 18 蛍光ピンクのチョークの粉を振りかけた真鍮



※この方法で、直接金属の板やブロックに塗ると、凹凸の間が埋まるだけでなく、全体的に塗られ潤滑剤になってしまないのでこの塗り方はやめた。

図 19 蛍光ピンクのチョークを直接塗った真鍮



### 第三章 実験結果

#### 第一節 板、ブロックの表面粗さの測定

(結果)

I : 平均粗さ Ra の測定結果

表 3 アルミニウムのブロックの平均粗さ Ra

表面粗さ(μm)	ブロック					
	未加工	#60	#100	#150	#320	#600
	0.22 ± 0.02	3.87 ± 0.33	1.89 ± 0.04	1.65 ± 0.01	1.22 ± 0.01	0.90 ± 0.02

表 4 アルミニウムの板の平均粗さ Ra

表面粗さ(μm)	板					
	未加工	#60	#100	#150	#320	#600
	0.091 ± 0.000	1.8 ± 0.1	1.39 ± 0.03	1.25 ± 0.07	0.60 ± 0.06	0.35 ± 0.03

表 5 真鍮のブロックの平均粗さ Ra

表面粗さ(μm)	ブロック				
	エッティング	#60	#150	#320	#600
	0.011 ± 0.473	0.3 ± 0.2	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.02 ± 0.01

表 6 真鍮の板の平均粗さ Ra

表面粗さ(μm)	板				
	エッティング	#60	#150	#320	#600
	0.023 ± 0.018	0.02 ± 0.00	1.00 ± 0.02	3.02 ± 0.03	0.18 ± 0.01

表 7 スライドガラスのブロックの平均粗さ Ra

表面粗さ(μm)	ブロック	
	未加工	
	0.029 ± 0.003	

表 8 スライドガラスの板の平均粗さ Ra

表面粗さ(μm)	板	
	未加工	
	0.029 ± 0.003	

表 9 画用紙のブロックの平均粗さ Ra

表面粗さ(μm)	ブロック	
	未加工	
	2.48 ± 0.03	

表 10 画用紙の板の平均粗さ Ra

表面粗さ(μm)	板	
	未加工	
	2.48 ± 0.03	

表 11 1,5,10 回目の測定前後に研磨しなおした真鍮#60 のブロックの平均粗さ Ra

表面粗さ(μm)	ブロック					
	測定1回目前	測定1回目後	測定5回目前	測定5回目後	測定10回目前	測定10回目後
2.01 ± 0.08	2.13 ± 0.03	2.4 ± 0.1	2.32 ± 0.03	2.5 ± 0.2	2.3 ± 0.1	

表 12 1,5,10 回目の測定前後に研磨しなおした真鍮#60 の板の平均粗さ Ra

表面粗さ(μm)	板					
	測定1回目前	測定1回目後	測定5回目前	測定5回目後	測定10回目前	測定10回目後
0.9 ± 0.1	0.8 ± 0.1	1.0 ± 0.04	1.0 ± 0.1	1.0 ± 0.05	1 ± 0.06	

表 13 1,5,10 回目の測定前後に研磨しなおした真鍮#600 のブロックの平均粗さ Ra

表面粗さ(μm)	ブロック					
	測定1回目前	測定1回目後	測定5回目前	測定5回目後	測定10回目前	測定10回目後
0.26 ± 0.07	0.27 ± 0.02	0.30 ± 0.06	0.4 ± 0.02	0.21 ± 0.1	0.22 ± 0.05	

表 14 1,5,10 回目の測定前後に研磨しなおした真鍮#600 の板の平均粗さ Ra

表面粗さ(μm)	板					
	測定1回目前	測定1回目後	測定5回目前	測定5回目後	測定10回目前	測定10回目後
0.9 ± 0.1	0.8 ± 0.09	1.0 ± 0.04	1.0 ± 0.07	1.0 ± 0.05	1 ± 0.06	

表 15 アクリルのブロックの平均粗さ Ra

表面粗さ(μm)	ブロック				
	未加工	#60	#150	#320	#600
0.1 ± 0.01	4 ± 0.1	2 ± 0.1	1 ± 0.1	1.0 ± 0.03	

表 16 アクリルの板の平均粗さ Ra

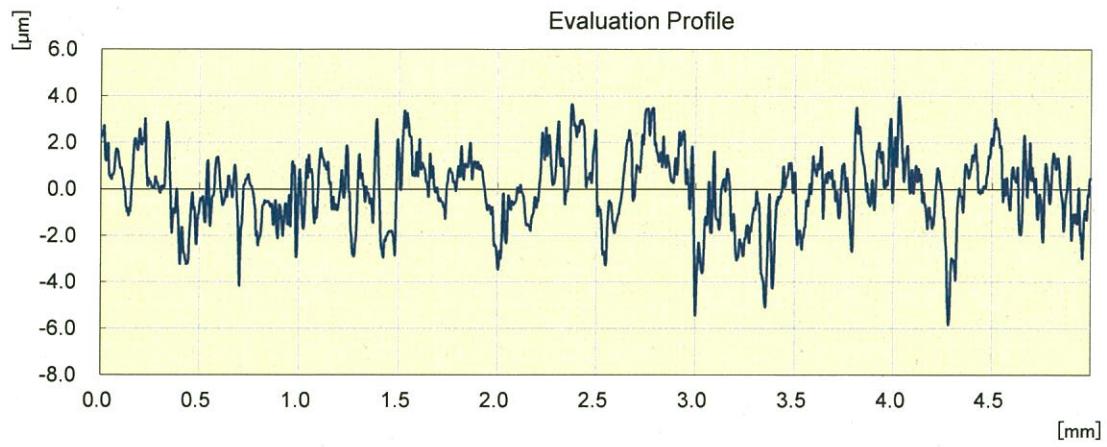
表面粗さ(μm)	板				
	未加工	#60	#150	#320	#600
0.01 ± 0.001	2 ± 0.04	1.0 ± 0.04	0.8 ± 0.09	0.5 ± 0.02	

上記の表 3~16 より、研磨紙の番号が大きくなるにつれて、金属・非金属両方において、表面粗さが細かくなっている事がわかる。

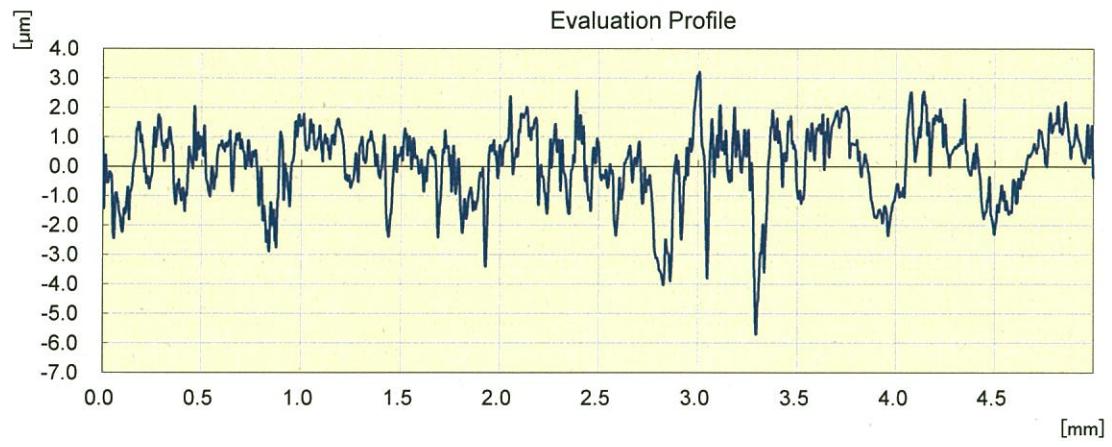
また、1,5,10 回目の測定前後に研磨しなおした真鍮の板とブロックに関して、各回測定前後で全く同じ場所の粗さを測定することは不可能に極めて近いが、表面粗さに変化が見られるので、測定により表面粗さがなんらかの影響を受けた可能性があると考えられる。

下記のグラフ 1.2.3.より、金属である真鍮ブロックとアルミニウムブロックは、表面粗さの凹凸を表す Ra 値が小さくなっているのに対し、非金属であるアクリルブロックは、アルミニウムや真鍮にくらべ、Ra が大きい事が見てとれる。

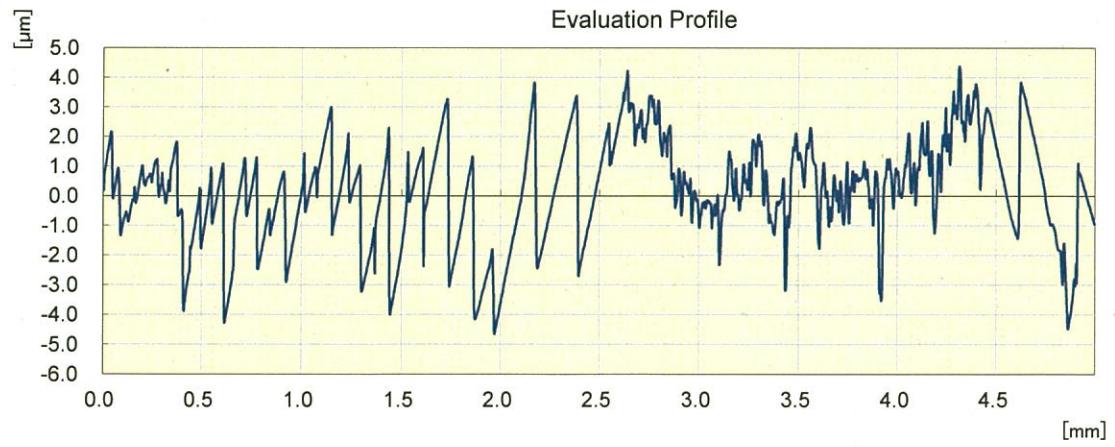
グラフ 1 アルミニウムブロック#320( $R_a$ : $1.22 \mu m$ )の表面粗さ



グラフ 2 真鍮ブロック#320( $R_a$ : $1.1 \mu m$ )の表面粗さ



グラフ 3 アクリルブロック#320( $R_a$ : $1.2 \mu m$ )の表面粗さ



II : 平均長さ RSm の測定結果

表 17 アルミニウムのブロックの平均長さ RSm

凹凸の長さ(μm)	ブロック			
	#60	#150	#320	#600
	560 ± 90	161 ± 1	170 ± 30	141 ± 5

表 18 真鍮のブロックの平均長さ RSm

凹凸の長さ(μm)	ブロック			
	#60	#150	#320	#600
	270 ± 60	150 ± 10	120 ± 20	78 ± 7

表 19 スライドガラスの板の平均長さ RSm

凹凸の長さ(μm)	板
	未加工
	190 ± 20

※平均長さ RSm は、「ガラス板×金属ブロック」の考察のグラフでのみ使用する。

## 第二節 静止摩擦係数の測定

### ( i ) 水平の角度の測定

滑り出す角度を測定する前に、滑り板が水平になる回転ステージの角度を測定した。その結果の平均値と標準誤差はそれぞれ次の様になった。以降グラフを作成する時に対応させて使用する。

表 20 アルミニウムの水平の角度

水平の角度(度)	
アルミニウム	#60(2.4 μm) 89.43 ± 0.02
	#100(2.03 μm) 89.30 ± 0.02
	#150(1.74 μm) 89.28 ± 0.05
	#320(0.77 μm) 89.52 ± 0.04
	#600(0.51 μm) 89.53 ± 0.05

アルミニウム板の水平の角度の平均値と誤差を求めた結果、#60 角度：89.43 度、誤差：0.02、#150 角度：89.28 度、誤差：0.02、#320 角度：89.52 度、誤差：0.04、#600 角度：89.53、誤差：0.05。

表 21 真鍮の水平の角度

水平の角度(度)	
真鍮	#60(0.73 μm) 89.51 ± 0.04
	#150(0.57 μm) 89.38 ± 0.05
	#320(0.35 μm) 89.34 ± 0.04
	#600(0.18 μm) 89.5 ± 0.05

真鍮板の水平の角度の平均値と誤差を求めた結果、#60 角度：89.51 度、誤差：0.04、#150 角度：89.38 度、誤差：0.05、#320 角度：89.34 度、誤差：0.04、#600 角度：89.50、誤差：0.05。

表 22 アクリルの水平の角度

水平の角度(度)	
アクリル	未加工(0.011 μm) 89.27 ± 0.02
	#60(2.24 μm) 89.36 ± 0.04
	#150(0.98 μm) 89.94 ± 0.02
	#320(0.8 μm) 89.72 ± 0.04
	#600(0.53 μm) 89.55 ± 0.04

アクリル板の水平の角度の平均値と誤差を求めた結果、未処理角度：89.27、誤差：0.02、#60 角度：89.36 度、誤差：0.04、#150 角度：89.94 度、誤差：0.02、#320 角度：89.72 度、誤差：0.04、#600 角度：89.55、誤差：0.04。

表 23 ガラスの水平の角度

水平の角度(度)	
ガラス	未加工(0.019 μm) 89.39 ± 0.04

ガラス板の水平の角度の平均値と誤差を求めた結果、未処理角度：89.39、誤差：0.04。

表 24 動摩擦係数の測定で使用した真鍮板の水平の角度

水平の角度(度)				
真鍮	#60(0.73 μm)	89.70 ± 0.02		

真鍮板の水平の角度の平均値と誤差を求めた結果、#60 角度:89.70 度、誤差:0.02

(ii) 表面粗さによる静止摩擦係数

実験 I 金属・非金属物質による静止摩擦係数の変化の測定  
(結果)

10回の測定を行った滑り出す角度の測定値、摩擦係数の誤差の数値は、付属の資料に示してある。

- ・アルミニウム板×アルミニウムブロック

表 25 アルミニウム板×アルミニウムブロックの滑り出す角度

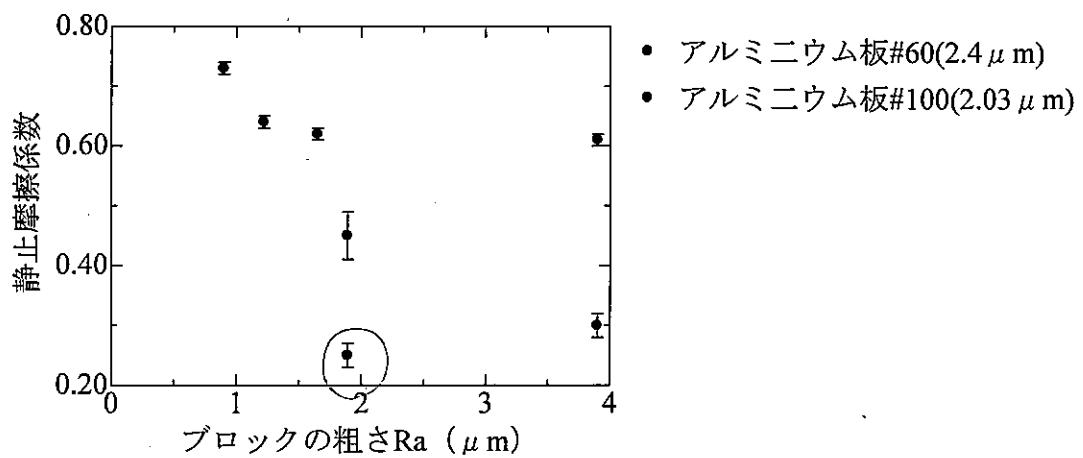
滑り出す角度(度)		ブロック				
		#60(3.87 μm)	#100(1.89 μm)	#150(1.65 μm)	#320(1.22 μm)	#600(0.90 μm)
板	#60(2.4 μm)	31.4 ± 0.4	13.8 ± 0.9	31.7 ± 0.3	32.8 ± 0.5	36.0 ± 0.5
	#100(2.03 μm)	16.5 ± 0.8	24 ± 2			
	#150(1.74 μm)	34.0 ± 1.0	15 ± 1	29.9 ± 1.0	31.5 ± 0.8	33.7 ± 0.9
	#320(0.77 μm)	27.5 ± 0.7	20.1 ± 0.5	33.9 ± 0.3	30.3 ± 0.8	32.4 ± 1.0
	#600(0.51 μm)	56.6 ± 0.8	16 ± 2	27.4 ± 0.7	32.6 ± 1.6	37.5 ± 0.9

表 26 アルミニウム板×アルミニウムブロックの静止摩擦係数

静止摩擦係数		ブロック				
		#60(3.87 μm)	#100(1.89 μm)	#150(1.65 μm)	#320(1.22 μm)	#600(0.90 μm)
板	#60(2.4 μm)	0.61 ± 0.01	0.25 ± 0.02	0.62 ± 0.01	0.64 ± 0.01	0.73 ± 0.01
	#100(2.03 μm)	0.30 ± 0.02	0.45 ± 0.04			
	#150(1.74 μm)	0.67 ± 0.03	0.27 ± 0.02	0.57 ± 0.01	0.61 ± 0.02	0.67 ± 0.02
	#320(0.77 μm)	0.52 ± 0.01	0.37 ± 0.01	0.67 ± 0.01	0.58 ± 0.02	0.63 ± 0.02
	#600(0.51 μm)	0.65 ± 0.02	0.28 ± 0.03	0.52 ± 0.01	0.64 ± 0.04	0.77 ± 0.02

グラフ 4 アルミニウムの静止摩擦係数と表面粗さの関係まとめ

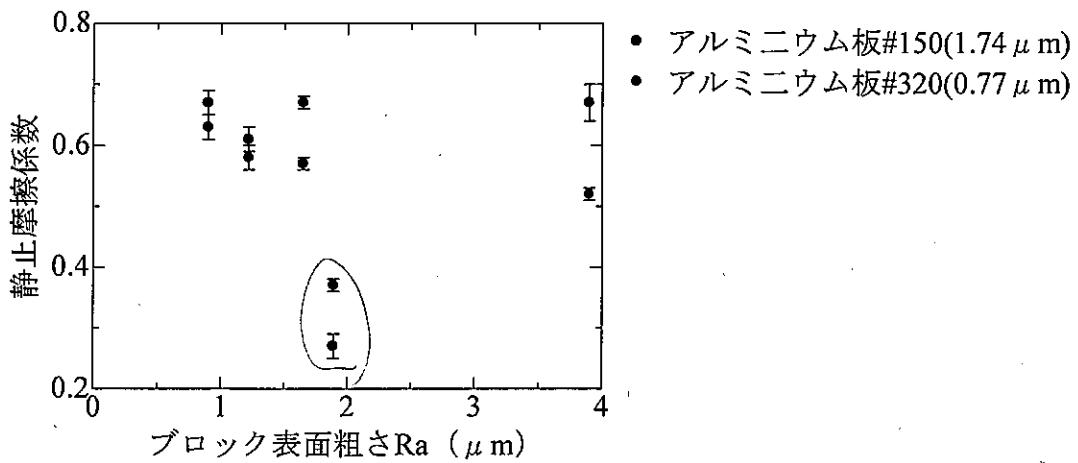
[板 : #60(2.4 μm), #100(2.03 μm)]



グラフ 4 から、アルミニウム板の#60(0.77 μm)の場合、ブロックの粗さが大きくなるにつれ、静止摩擦係数は小さくなるが、2 μm 以上の粗さになると、静止摩擦係数が大きくなる傾向がみられる。

グラフ 5 アルミニウムの静止摩擦係数と表面粗さの関係まとめ

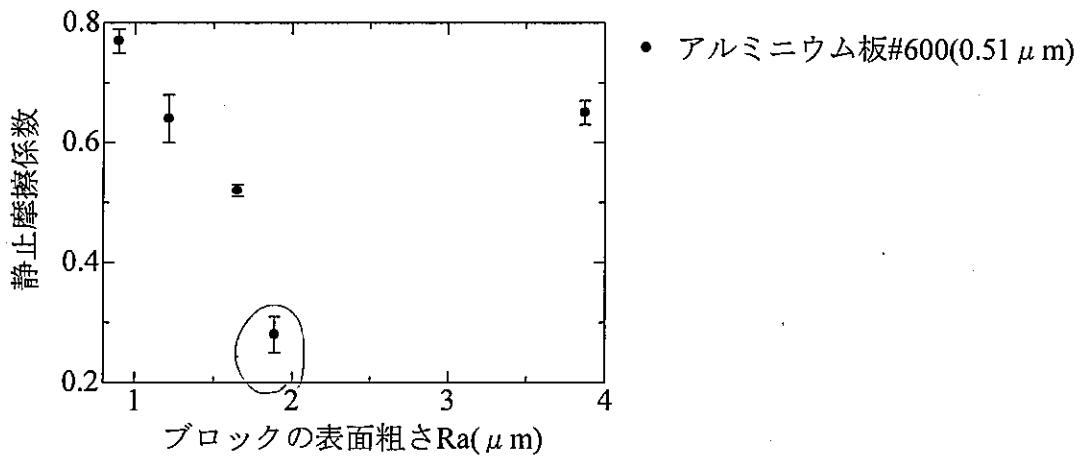
[板 : #150( $1.74 \mu m$ ),#320( $0.77 \mu m$ )]



グラフ 5 から、アルミニウム板#150( $1.74 \mu m$ ),#320( $0.77 \mu m$ )も#60( $2.4 \mu m$ ),#100( $2.03 \mu m$ )の結果と同様に、アルミニウムブロック#100( $1.89 \mu m$ )の粗さで静止摩擦係数は極小になり、それより小さい粗さでは静止摩擦係数は増加する傾向を示している。

グラフ 6 アルミニウムの静止摩擦係数と表面粗さの関係

[板 : #600( $0.51 \mu m$ )]



グラフ 6 から、アルミニウム板#600( $0.51 \mu m$ )は、グラフの形が二次関数の様になっている。この実験でもまた、最も粗さが小さいアルミニウム板#600( $0.51 \mu m$ )でも、ブロックの粗さが  $1.89 \mu m$ (#100)で静止摩擦係数は極小値を取り、 $0.9 \mu m$  では  $0.77$  まで大きくなることが見て取れる。

・真鍮板×真鍮ブロック

表 27 真鍮板×真鍮ブロックの滑り出す角度

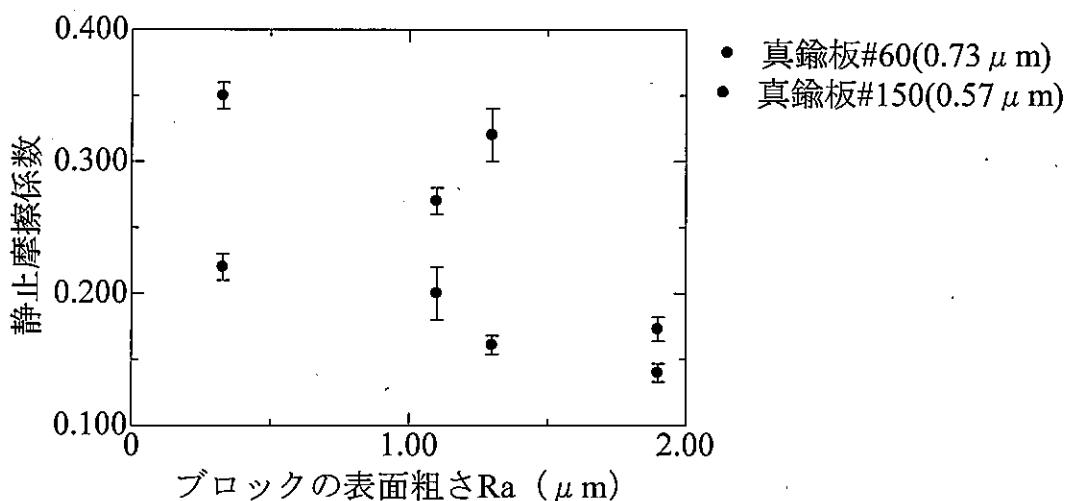
滑り出す角度(度)		ブロック			
		#60(1.9 $\mu\text{m}$ )	#150(1.3 $\mu\text{m}$ )	#320(1.1 $\mu\text{m}$ )	#600(0.33 $\mu\text{m}$ )
板	#60(0.73 $\mu\text{m}$ )	8.0 ± 0.4	9.2 ± 0.4	11.2 ± 0.8	12.6 ± 0.6
	#150(0.57 $\mu\text{m}$ )	11.6 ± 0.5	17.9 ± 1.1	14.9 ± 0.8	19.3 ± 0.7
	#320(0.35 $\mu\text{m}$ )	14.9 ± 0.7	15.2 ± 0.7	15.8 ± 0.9	19.6 ± 0.8
	#600(0.18 $\mu\text{m}$ )	11.9 ± 0.5	21.5 ± 0.9	15.0 ± 0.6	23.1 ± 1.2

表 28 真鍮板×真鍮ブロックの静止摩擦係数

静止摩擦係数		ブロック			
		#60(1.9 $\mu\text{m}$ )	#150(1.3 $\mu\text{m}$ )	#320(1.1 $\mu\text{m}$ )	#600(0.33 $\mu\text{m}$ )
板	#60(0.73 $\mu\text{m}$ )	0.14 ± 0.0065	0.16 ± 0.007	0.20 ± 0.02	0.22 ± 0.01
	#150(0.57 $\mu\text{m}$ )	0.17 ± 0.0087	0.32 ± 0.02	0.27 ± 0.01	0.35 ± 0.01
	#320(0.35 $\mu\text{m}$ )	0.27 ± 0.0129	0.27 ± 0.01	0.28 ± 0.02	0.36 ± 0.02
	#600(0.18 $\mu\text{m}$ )	0.21 ± 0.0087	0.39 ± 0.02	0.27 ± 0.01	0.43 ± 0.03

グラフ 7 真鍮の静止摩擦係数と表面粗さの関係とめ

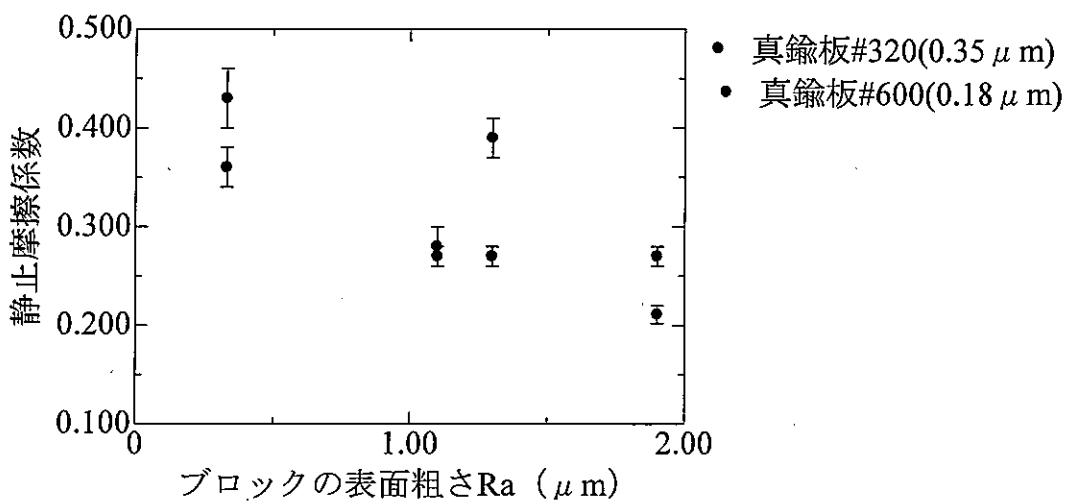
[板 : #60(0.73  $\mu\text{m}$ ), 150(0.57  $\mu\text{m}$ )]



グラフ 7 より、真鍮の静止摩擦係数は、アルミニウムと違い、粗さが粗くなる程小さくなるという傾向がある。また、ブロックの粗さが最も小さいときの静止摩擦係数の値は、アルミニウムの場合に比べて、およそ半分程度の大きさである。

グラフ 8 真鍮の静止摩擦係数と表面粗さの関係まとめ

[板 : #320( $0.35 \mu m$ ), 600( $0.18 \mu m$ )]



グラフ 8 より、真鍮板#60( $0.73 \mu m$ ), #150( $0.57 \mu m$ )と同様に、粗さが粗くなる程静止摩擦係数は小さくなる傾向がある。また、静止摩擦係数の値もグラフ 7 の結果よりも大きくなっていることがわかる。

真鍮は、アルミニウムと違い自重がおよそ 200g と重いからか、アルミニウムと違い一度で大半が滑り切った。しかし、測定を一度するとそれ以降の測定値が一度目の測定値がそれ以降の測定値と 10 度ほど違ってくる事が多々あった。

そこで、上で述べた真鍮ブロック × 真鍮板の平均値は、一度目の測定値は含めず、それを除いた分の回数を多くして 10 回分を測定して求めた平均値である。測定の回数によって滑りの角度（静止摩擦係数の値）が違っているのは、進行方向に傷が付くなど摩耗の影響があると考え、以下の実験Ⅲで結果を述べる。

・ガラス板×金属ブロック

上記の実験では、同じ材質同士における静止摩擦係数を測定した。以下の実験では、非金属であるガラスと、金属であるアルミニウムにおける静止摩擦係数の測定を行って、物質の組み合わせの違いによる静止摩擦係数を比較する。

注1：ガラスの研磨は難しいため、そのまま研磨をせずに実験を行った。

注2：ガラスは硬いので、測定することによって表面の粗さなどが変わらなく、粗さが常に小さいので、ガラスを板とし測定を行った。

注3：測定時に二段階で金属ブロックが滑るという現象がみられた。なお、表やグラフで使用している角度は、一段階目すべりのものとする。

○アルミニウムブロック×ガラス板

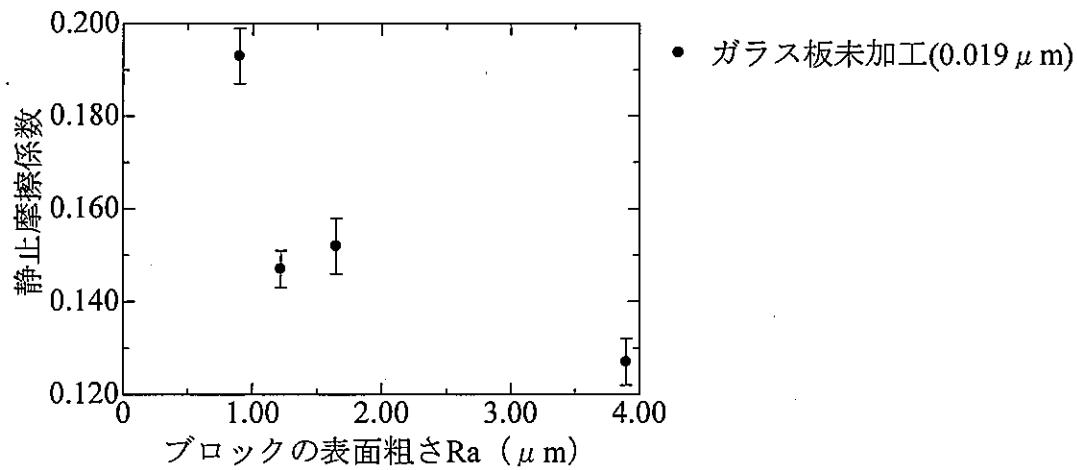
表29 ガラス板×アルミニウムブロックの滑り出す角度

滑り出す角度(度)		ブロック(アルミニウム)			
		#60(3.87 μm)	#150(1.65 μm)	#320(1.22 μm)	#600(0.90 μm)
板(ガラス)	未加工(0.019 μm)	7.2 ± 0.3	8.6 ± 0.3	8.4 ± 0.2	10.9 ± 0.3

表30 ガラス板×アルミニウムブロックの静止摩擦係数

静止摩擦係数		ブロック(アルミニウム)			
		#60(3.87 μm)	#150(1.65 μm)	#320(1.22 μm)	#600(0.90 μm)
板(ガラス)	未加工(0.019 μm)	0.127 ± 0.005	0.152 ± 0.006	0.147 ± 0.004	0.193 ± 0.006

グラフ9 ガラス板×アルミニウムブロックの表面粗さと静止摩擦係数の関係



グラフ9より、ガラス板上にアルミニウムブロックをのせた場合、ブロックの表面粗さRaが大きくなると静止摩擦係数は小さくなることがわかる。

○ガラス板×真鍮ブロック

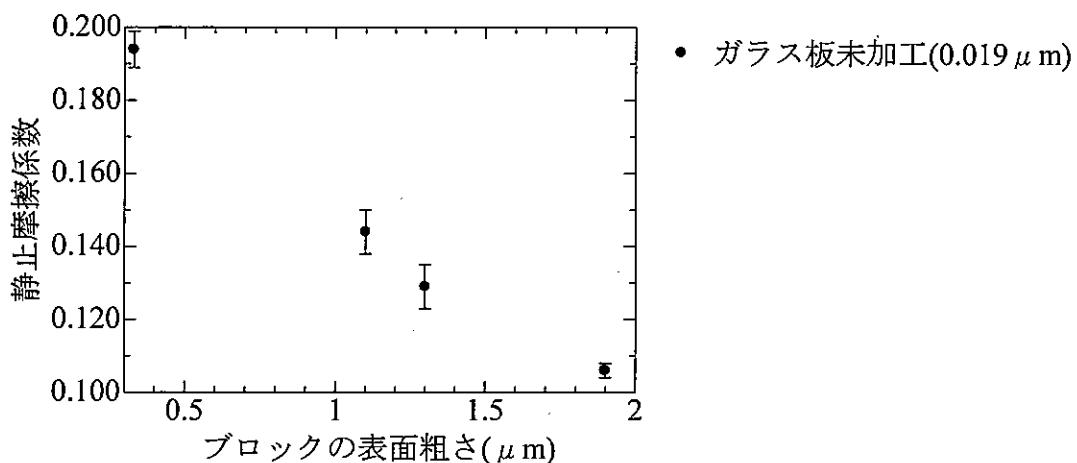
表 31 ガラス板×真鍮ブロックの滑り出す角度

滑り出す角度(度)		ブロック(真鍮)			
		#60(1.9 μm)	#150(1.3 μm)	#320(1.1 μm)	#600(0.33 μm)
板(ガラス)	未加工(0.019 μm)	6.0 ± 0.1	7.3 ± 0.3	8.2 ± 0.3	11.0 ± 0.3

表 32 ガラス板×真鍮ブロックの静止摩擦係数

静止摩擦係数		ブロック(真鍮)			
		#60(1.9 μm)	#150(1.3 μm)	#320(1.1 μm)	#600(0.33 μm)
板(ガラス)	未加工(0.019 μm)	0.106 ± 0.002	0.129 ± 0.006	0.144 ± 0.006	0.194 ± 0.005

グラフ 10 ガラス板×真鍮ブロックの静止摩擦係数



グラフ 10 より、ガラス板上に真鍮ブロックをのせた場合、ガラス板上にアルミニウムブロックをのせた場合と同様に、ブロックの表面粗さ Ra が大きくなると静止摩擦係数は小さくなることがわかる。

また、グラフの形はほぼ直線になった。

・アクリル板×アクリルブロック

表 33 アクリル板×アクリルブロックの滑り出す角度

滑り出す角度(度)		ブロック				
		未加工(0.142 μm)	#60(3.9 μm)	#150(1.7 μm)	#320(1.2 μm)	#600(1.04 μm)
板	未加工(0.011 μm)	14.0 ± 0.5				
	#60(2.24 μm)		12.7 ± 0.2			
	#150(0.98 μm)			13.7 ± 0.5		
	#320(0.8 μm)				13.9 ± 0.6	
	#600(0.53 μm)					15.4 ± 0.1

表 34 アクリル板×アクリルブロックの静止摩擦係数

静止摩擦係数		ブロック				
		未加工(0.142 μm)	#60(3.9 μm)	#150(1.7 μm)	#320(1.2 μm)	#600(1.04 μm)
板	未加工(0.011 μm)	0.250 ± 0.0088				
	#60(2.24 μm)		0.225 ± 0.004			
	#150(0.98 μm)			0.24 ± 0.01		
	#320(0.8 μm)				0.25 ± 0.01	
	#600(0.53 μm)					0.276 ± 0.003

表 35 ガラス板×ガラスブロックの滑り出す角度

滑り出す角度(度)		ブロック	
		未加工(0.029 μm)	
板	未加工(0.019 μm)	13.3 ± 0.4	

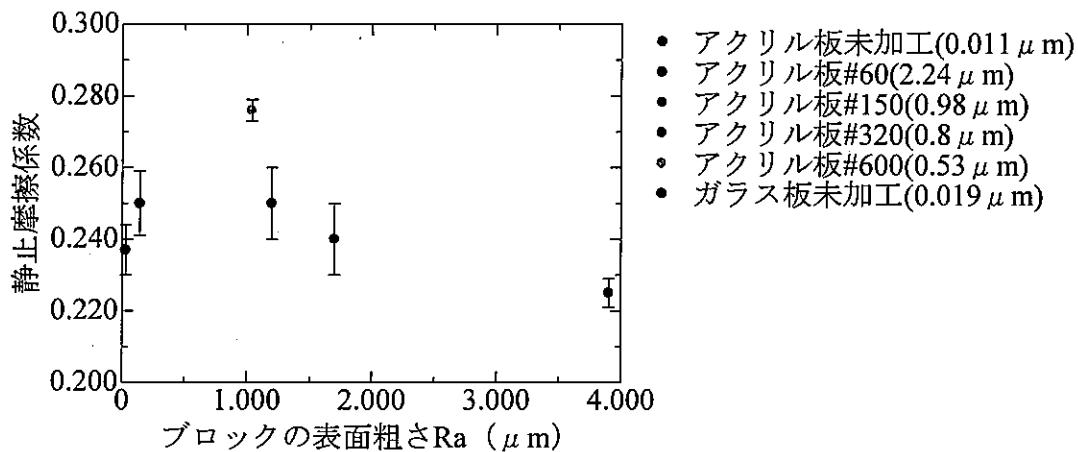
表 36 ガラス板×ガラスブロックの静止摩擦係数

静止摩擦係数		ブロック	
		未加工(0.029 μm)	
板	未加工(0.019 μm)	0.237 ± 0.0072	

注：スライドガラスをアルミニウムブロックに両面テープで張り付けてガラスブロックとした。

グラフ 11 アクリル板×アクリルブロックの静止摩擦係数まとめ

[板：未処理( $0.011 \mu m$ )、#60( $2.24 \mu m$ )、#150( $0.98 \mu m$ )、#320( $0.8 \mu m$ )  
#600( $0.53 \mu m$ )]



グラフ 11 は、同じ番号の研磨紙で研磨した板とブロックの組み合わせに対する結果である。非金属であるガラスやアクリルは、真鍮やアルミニウムなどの金属とは違い、表面の粗さが粗くなる程静止摩擦係数は小さくもしくは大きくなるという傾向が見られない。

### (iii) 加重と静止摩擦係数の関係

#### 実験II 加重による最大摩擦力の変化の検証

アルミニウムは、真鍮と比べてブロックの自重がとても軽い為、アルミニウムに錘をのせ加重を変化させて測定した。

10回の測定を行った滑り出す角度の測定値、摩擦係数の誤差の数値は、付属の資料に示してある。

注；垂直加重を  $W(\text{kg})$ 、重力加速度を  $g$ 、滑り出す角度を  $\theta$ 、静止摩擦係数を  $\mu$  とする。

最大静止摩擦力  $F$  は、次の様に計算して出せる。

$$F = Wg\mu \sin \theta$$

重力加速度  $g$  は、四日市での重力加速度「 $9.79 \text{m/s}^2$ 」とする。

表37 アルミニウム板#60( $2.4 \mu \text{m}$ )×ブロック#60( $3.87 \mu \text{m}$ )の  
加重による滑り出す角度の変化

滑り出す角度(度)	荷重(g)				
	100	200	300	400	500
板(アルミニウム) #60( $2.4 \mu \text{m}$ )	15 ± 0.7	11.6 ± 0.3	16.3 ± 0.6	19.2 ± 0.8	24.3 ± 0.4

表38 アルミニウム板#60( $2.4 \mu \text{m}$ )×ブロック#60( $3.87 \mu \text{m}$ )の  
加重による静止摩擦係数の変化

静止摩擦係数	荷重(g)				
	100	200	300	400	500
板(アルミニウム) #60( $2.4 \mu \text{m}$ )	0.27 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.29 ± 0.01	0.35 ± 0.02	0.451 ± 0.009

表39 アルミニウム板#60( $2.4 \mu \text{m}$ )×ブロック#60( $3.87 \mu \text{m}$ )の  
加重による最大静止摩擦力の変化

最大静止摩擦力	荷重(g)					
	47.3	97.3	197.3	297.4	397.1	497.4
板(アルミニウム) #60( $2.4 \mu \text{m}$ )	0.24	0.25	0.38	0.81	1.29	2.00

表40 アルミニウム板#320( $0.77 \mu \text{m}$ )×ブロック#320( $1.22 \mu \text{m}$ )の  
加重による滑り出す角度の変化

滑り出す角度(度)	荷重(g)						
	0	100	200	250	300	400	500
板(アルミニウム) #320( $0.77 \mu \text{m}$ )	26.3 ± 0.7	16.4 ± 0.7	22.6 ± 0.6	24.5 ± 0.7	22.7 ± 0.8	21.3 ± 0.5	25.8 ± 0.6

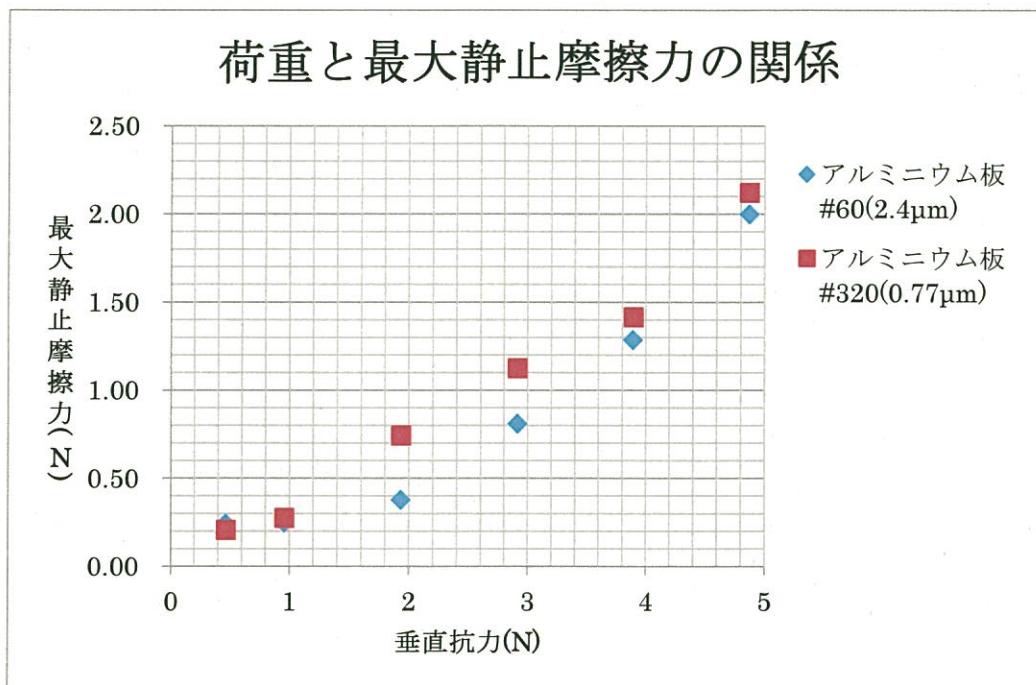
表41 アルミニウム板#320( $0.77 \mu \text{m}$ )×ブロック#320( $1.22 \mu \text{m}$ )の  
加重による静止摩擦係数の変化

静止摩擦係数	荷重(g)						
	47.3	97.3	197.4	247.1	297.3	397.5	497.3
板(アルミニウム) #320( $0.77 \mu \text{m}$ )	0.49 ± 0.01	0.29 ± 0.01	0.42 ± 0.01	0.45 ± 0.01	0.42 ± 0.02	0.39 ± 0.01	0.48 ± 0.01

表 42 アルミニウム板#320( $0.77 \mu\text{m}$ )×ブロック#320( $1.22 \mu\text{m}$ )の  
加重による最大静止摩擦力の変化

最大静止摩擦力	荷重(g)					
	47.3	97.3	197.4	297.3	397.5	497.3
板(アルミニウム) #320( $0.77 \mu\text{m}$ )	0.21	0.25	0.36	0.78	1.27	1.97

グラフ 12 アルミニウム板#60( $2.4 \mu\text{m}$ )×ブロック#60( $3.87 \mu\text{m}$ )  
板#320( $0.77 \mu\text{m}$ )×ブロック#320( $1.22 \mu\text{m}$ )の加重依存性



グラフ 12 より、垂直抗力が大きくなるにつれて最大静止摩擦力は大きくなる傾向がある。真鍮の場合、最大摩擦力は垂直抗力にほぼ比例しているが、アルミニウムの場合は直線から外れて、二次関数のように増加することが見て取れる。

### 実験III 研磨方向と静止摩擦係数の関係

金属表面を研磨する方向を縦横、一方向に決めて研磨したブロックと板を用いて測定した。ブロックと板は、粗さによる面の凹凸の大きい真鍮の#60とした。また、「縦」とは滑る方向に、「横」とは滑る方向に垂直な方向を指す。

図 20 縦方向

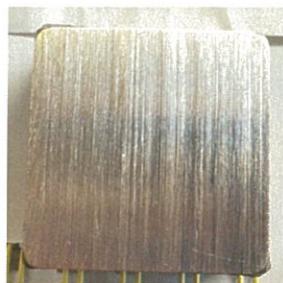


図 21 横方向



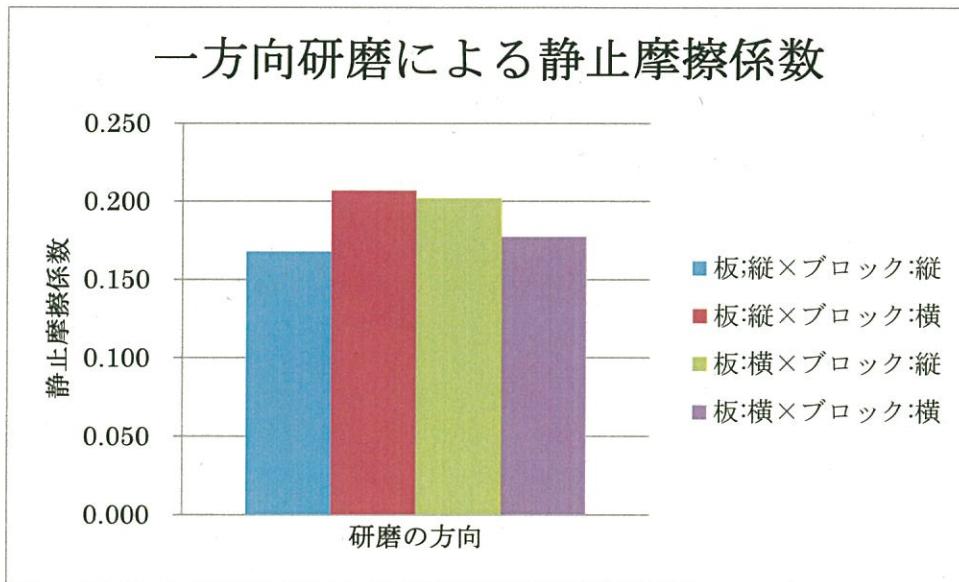
表 43 一方向研磨による滑り出す角度

滑り出す角度(度)		ブロック(真鍮)			
		縦	横	縦	横
板(真鍮)	縦	9.5 ± 0.3	11.7 ± 0.8		
	横	11.4 ± 0.5	10.1 ± 0.3		

表 44 一方向研磨による静止摩擦係数

静止摩擦係数		ブロック(真鍮)			
		縦	横	縦	横
板(真鍮)	縦	0.168 ± 0.006	0.21 ± 0.01		
	横	0.202 ± 0.009	0.177 ± 0.005		

グラフ 13 一方向研磨による静止摩擦係数グラフ



グラフ 13 より、静止摩擦係数が大きい順に、板：縦×ブロック：横が「0.21」、板：横×ブロック：縦が「0.202」、板：横×ブロック：横が「0.177」、板：縦×ブロック：縦「0.168」となった。

#### 実験IV 真鍮の静止摩擦係数に対する摩耗の影響

真鍮が一回目と二回目の測定では、滑り出す角度が約10度変化する事が多々あったので、毎回研磨しながら滑り出す角度を測定した。

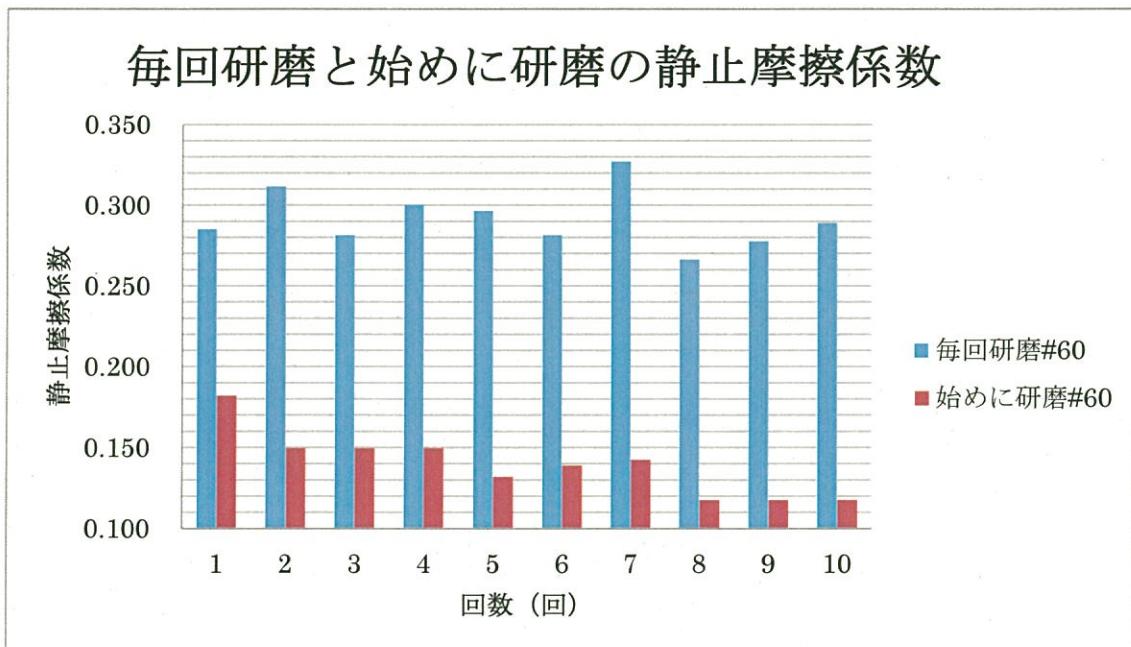
注：毎回研磨をした板とブロックの表面粗さを、「1回目、5回目、10回目の測定の前」と「1回目、5回目、10回目の測定の後」に測定した。

表 45 每回研磨をした真鍮#60 の静止摩擦係数 表 46 始めに研磨した真板(0.73  $\mu$  m) × ブロック#60(1.9  $\mu$  m)の静止摩擦係数

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
誤差	0.3	0.006

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
誤差	0.4	0.007

グラフ 14 真鍮#60 毎回研磨と始めに研磨の静止摩擦係数



グラフ 14 より、毎回研磨の場合、静止摩擦係数の値は、始めに研磨よりも大きい。上記の表を見ると毎回研磨と始めに研磨の、滑り出す角度の平均値が8.3度と大きく違っていた。

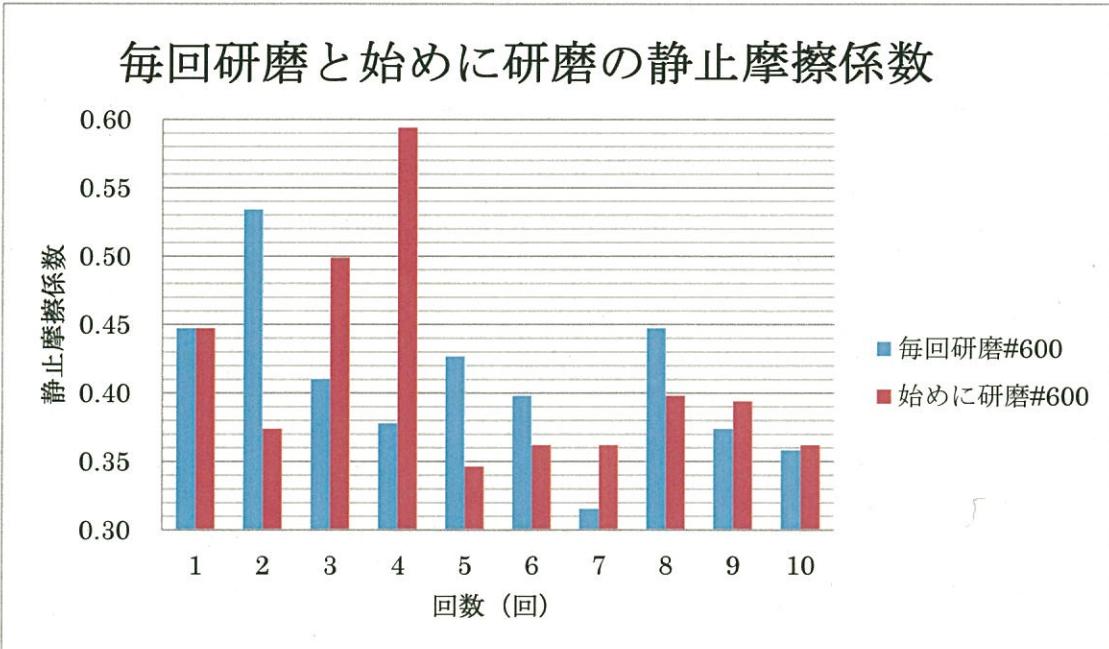
表 47 毎回研磨をした真鎔#600の静止摩擦係数

回数(回)	滑り出す角度(度)	静止摩擦係数
1	24	0.45
2	28	0.53
3	22	0.41
4	21	0.38
5	23	0.43
6	22	0.40
7	18	0.32
8	24	0.45
9	21	0.37
10	20	0.36
平均	22	0.41
誤差	1	0.02

表 48 始めに研磨をした真鎔板#600(0.18  $\mu\text{m}$ )×ブロック#600(0.33  $\mu\text{m}$ )の静止摩擦係数

回数(回)	滑り出す角度(度)	静止摩擦係数
1	24.1	0.45
2	20.5	0.37
3	26.5	0.50
4	30.7	0.59
5	19.1	0.35
6	19.9	0.36
7	19.9	0.36
8	21.7	0.40
9	21.5	0.39
10	19.9	0.36
平均	23	0.43
誤差	1	0.03

グラフ 15 真鎔#600 每回研磨と始めに研磨の静止摩擦係数



グラフ 15 や表 47.48 より、毎回研磨し直した場合と、始めに研磨した場合とでは、静止摩擦係数の平均値の差があまり生じなかった。しかし、始めに研磨の場合は、二回目以降四回目まで、急激に静止摩擦係数が大きくなっているので、板の表面に傷が生じたかもしくは、板とブロックの表面粗さが似ているためかみ合った可能性が考えられる。

### (iii) 摩擦係数に対する潤滑剤の効果

#### 実験V 潤滑剤による静止摩擦係数の変化の測定

この実験では、金属板と金属ブロックの種類を固定し、研磨した板とブロックに液体潤滑剤(エタノール、グリセリン、純水)と、固体潤滑剤(黒鉛、チョーク、モリブデン)を塗り潤滑剤によって静止摩擦係数がどう変化するのか測定を行う。

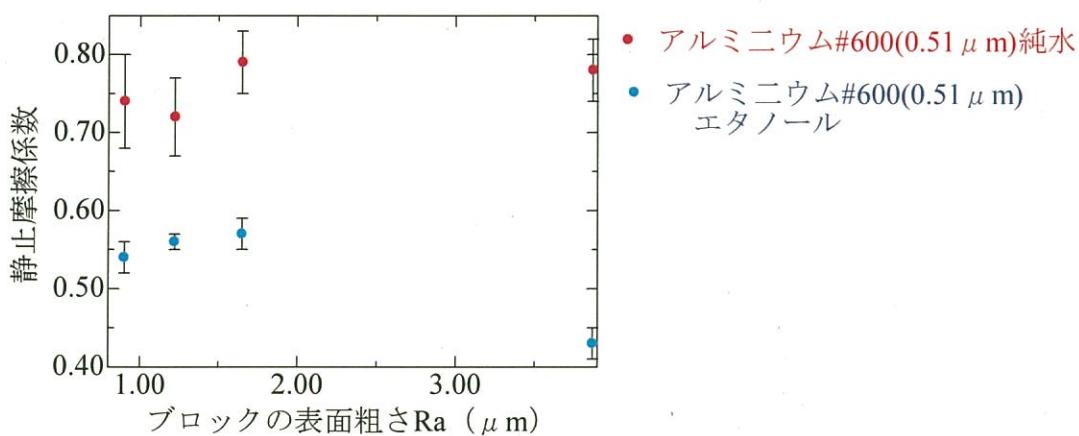
表 49 アルミニウム板×アルミニウムブロックの液状潤滑剤に対する滑り出す角度

滑り出す角度(度)			ブロック(アルミニウム)			
			#60(3.87 μm)	#150(1.65 μm)	#320(1.22 μm)	#600(0.90 μm)
板(アルミニウム)	#600(0.51 μm)	エタノール	23 ± 1	30 ± 1	29.3 ± 0.5	28.3 ± 0.9
		純水	38 ± 1	38 ± 1	36 ± 2	37 ± 2
		グリセリン				40 ± 1
		キャノーラ油				41 ± 1
	#60(2.4 μm)	純水	21 ± 2			
		グリセリン	17.4 ± 0.7			
		キャノーラ油	22 ± 1			

表 50 アルミニウム板×アルミニウムブロックの液状潤滑の種類と静止摩擦係数

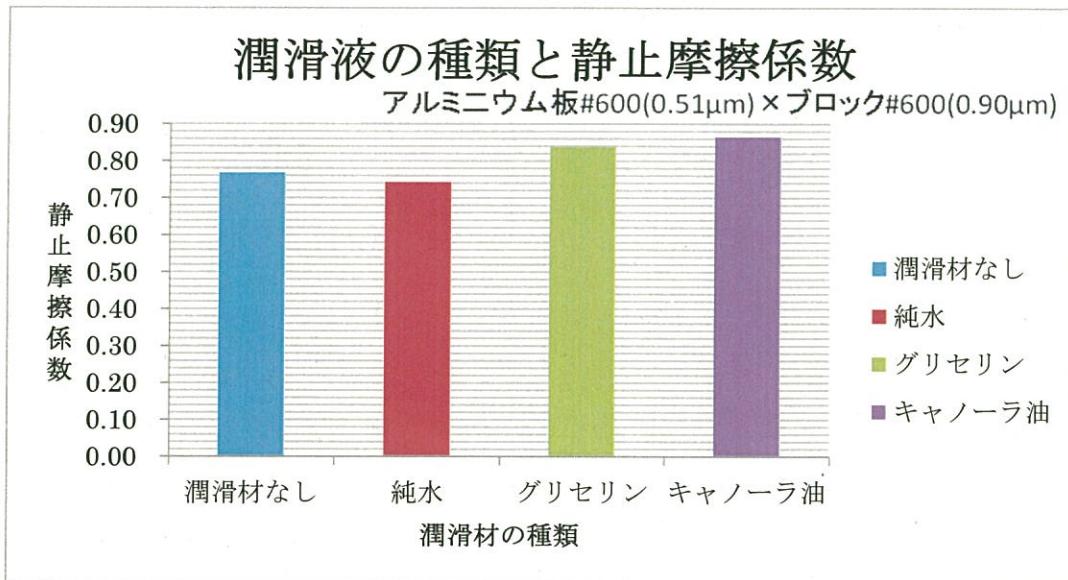
静止摩擦係数			ブロック(アルミニウム)			
			#60(3.87 μm)	#150(1.65 μm)	#320(1.22 μm)	#600(0.90 μm)
板(アルミニウム)	#600(0.51 μm)	エタノール	0.43 ± 0.02	0.57 ± 0.02	0.56 ± 0.01	0.54 ± 0.02
		純水	0.78 ± 0.04	0.79 ± 0.04	0.72 ± 0.05	0.74 ± 0.06
		グリセリン				0.84 ± 0.04
		キャノーラ油				0.87 ± 0.03
	#60(2.4 μm)	純水	0.4 ± 0.3			
		グリセリン	0.31 ± 0.01			
		キャノーラ油	0.40 ± 0.02			

グラフ 16 アルミニウム板#600(0.51 μm)×アルミニウムブロック#600(0.90 μm)の  
エタノール・純水による静止摩擦係数



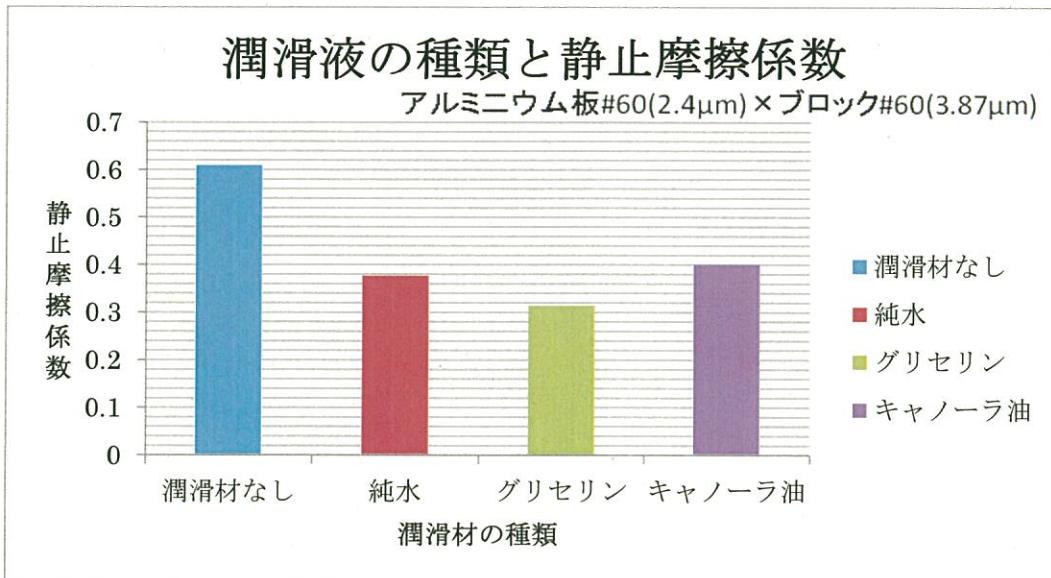
グラフ 16 を見てわかる様に、純水はブロックの粗さが粗くなるにつれわずかではあるが、静止摩擦係数は大きくなりことが見て取れる。エタノールは、ブロックの表面粗さが小さくなるにつれて静止摩擦係数がわずかではあるが小さくなっている。

グラフ 17 アルミニウム板#600( $0.18\mu\text{m}$ )×アルミニウムブロック#600( $0.33\mu\text{m}$ )  
の静止摩擦係数に対する液状潤滑剤の効果



グラフ 17 より、純水は潤滑材なしよりも静止摩擦係数は小さくなつたが、グリセリンやキャノーラ油は、潤滑材なしよりも静止摩擦係数が大きくなつた。

グラフ 18 アルミニウム板#60( $0.73\mu\text{m}$ )×アルミニウムブロック#60( $1.9\mu\text{m}$ )  
の静止摩擦係数に対する液状潤滑材の効果



グラフ 18 より、三種類の液状潤滑材「純水・グリセリン・キャノーラ油」全て静止摩擦係数が、純水( $0.4\mu\text{m}$ ), グリセリン( $0.31\mu\text{m}$ ), キャノーラ油( $0.40\mu\text{m}$ )と潤滑なし( $0.61\mu\text{m}$ )よりもかなり小さくなつた。

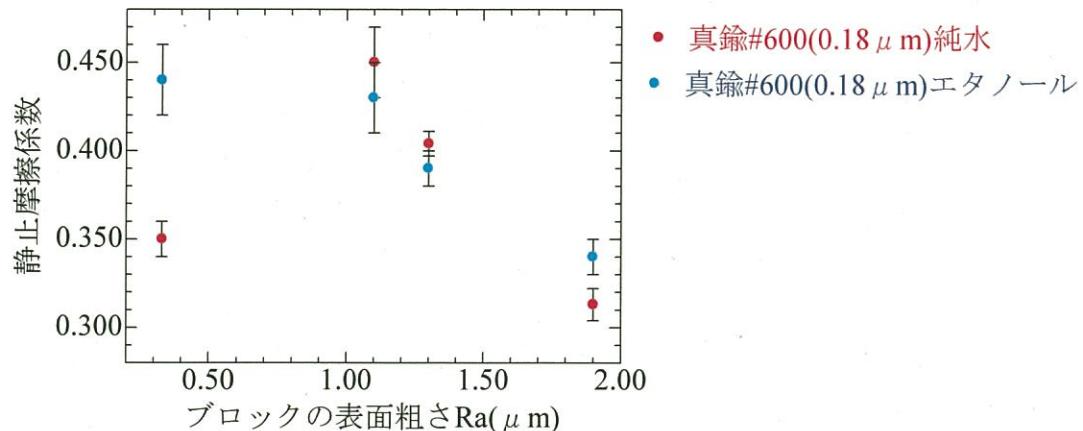
表 51 真鍮板×真鍮ブロックの液状潤滑剤の種類による滑り出す角度

滑り出す角度(度)			ブロック(真鍮)			
板(真鍮)	#600(0.18 μm)	エタノール	#60(1.9 μm)	#150(1.3 μm)	#320(1.1 μm)	#600(0.33 μm)
		純水	18.6 ± 0.7	21.1 ± 0.7	23.1 ± 0.8	24.0 ± 0.7
		グリセリン				25 ± 1
		キャノーラ油				21.0 ± 0.7
	#60(0.73 μm)	純水	20.5 ± 0.5			
		グリセリン	22.3 ± 0.7			
		キャノーラ油	9.3 ± 0.6			

表 52 真鍮板×真鍮ブロックの液状潤滑剤の種類による静止摩擦係数

静止摩擦係数			ブロック(真鍮)			
板(真鍮)	#600(0.18 μm)	エタノール	0.34 ± 0.01	0.39 ± 0.01	0.43 ± 0.02	0.44 ± 0.02
		純水	0.313 ± 0.009	0.404 ± 0.007	0.45 ± 0.02	0.35 ± 0.01
		グリセリン				0.47 ± 0.02
		キャノーラ油				0.38 ± 0.01
	#60(0.73 μm)	純水	0.37 ± 0.01			
		グリセリン	0.41 ± 0.01			
		キャノーラ油	0.16 ± 0.01			

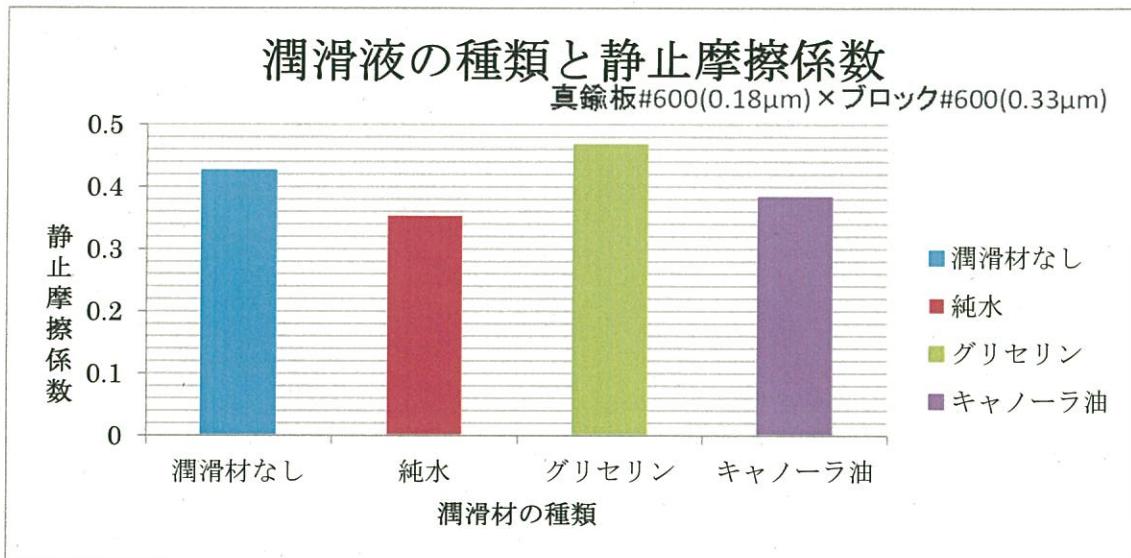
グラフ 19 真鍮板#600(0.18 μm)×真鍮ブロック#600(0.33 μm)の  
エタノール・純水による静止摩擦係数



グラフ 19 をみてわかる様に、静止摩擦係数がエタノールの場合では、ブロックの表面粗さが大きくなるにつれ小さくなり、純水の場合では、ブロックの表面粗さが大きくなるにつれ、一度静止摩擦係数が大きくなるが、エタノールの場合と同様に、小さくなっている。これは、純水とエタノールがきちんと液状潤滑剤としての役割を果たしている事を意味していると考えられる。

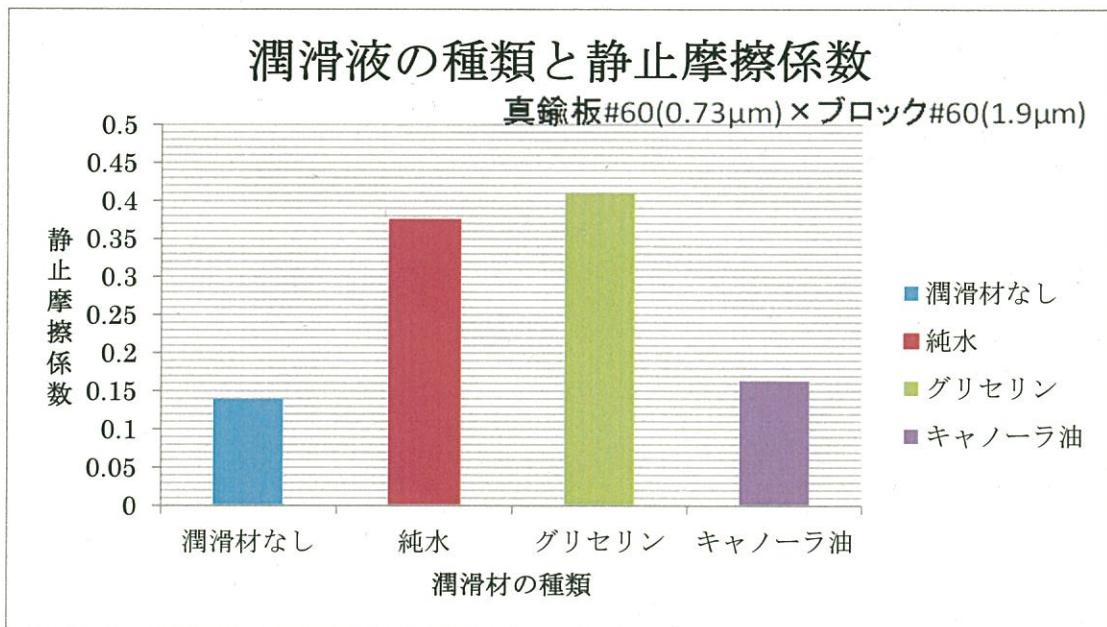
グラフ 20 真鍮板#600( $0.18 \mu\text{m}$ )×真鍮ブロック#600( $0.33 \mu\text{m}$ )

液状潤滑剤の種類と静止摩擦係数



グラフ 21 真鍮板#60( $0.73 \mu\text{m}$ )×真鍮ブロック#60( $1.9 \mu\text{m}$ )

液状潤滑剤の種類による静止摩擦係数



上記のグラフ 20.21 より、潤滑液として効果を示しているのならば、潤滑液なしよりも静止摩擦係数が小さくなるのが理想的だが、真鍮板#600( $0.18 \mu\text{m}$ )×真鍮ブロック#600( $0.33 \mu\text{m}$ )の純水とキャノーラ油以外全て大きくなっている事が分かる。

また、潤滑材なしよりも静止摩擦係数が小さくならなかつたが、純水とグリセリンの場合、粗さが違ったとしても摩擦係数は、それぞれ「0.35、0.37」、「0.47、0.41」と同じ値をとっているので、潤滑材としての役割を果たしているとも考えられる。

## 実験VI 潤滑剤の加重時間による静止摩擦係数の変化の測定

※表のI、IIはそれぞれI：加重あり、II：加重なしの滑り出す角度・静止摩擦係数である。

「I：加重あり」とは、測定をする前に錐を一分間のせ板とブロックを馴染ませたものである。

「II：加重なし」とは、測定をする前に錐を一分間のせ板とブロックを馴染ませるという過程を省いたものである。

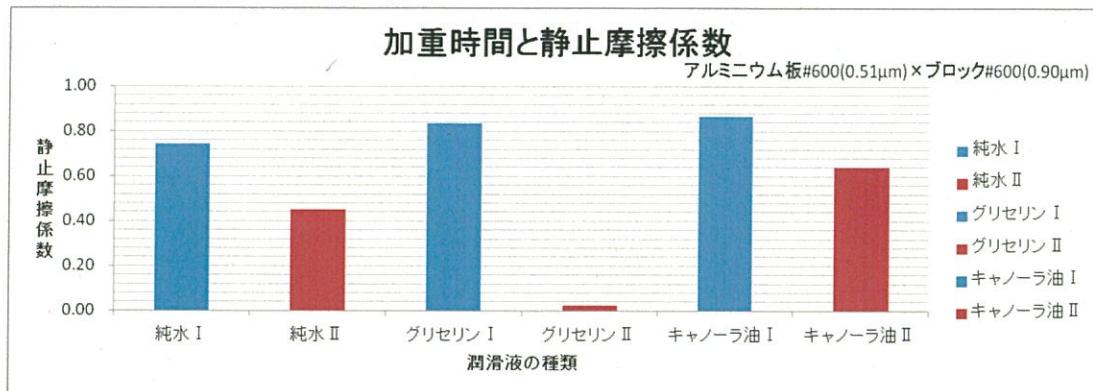
表 53 アルミニウム板×アルミニウムブロックの液状潤滑剤の種類・加重時間による滑り出す角度

滑り出す角度(度)			ブロック(アルミニウム)	
			#60(3.87 μm)	#600(0.90 μm)
板(アルミニウム)	#600(0.51 μm)	純水 I	37	± 2
		純水 II	24	± 1
		グリセリン I	40	± 1
		グリセリン II	1.4	± 0.2
		キャノーラ油 I	41	± 1
		キャノーラ油 II	32.6	± 0.9
	#60(2.4 μm)	純水 I	21	± 2
		純水 II	42.5	± 0.9
		グリセリン I	17.4	± 0.7
		グリセリン II	16.6	± 0.7
		キャノーラ油 I	22	± 1
		キャノーラ油 II	16.2	± 0.6

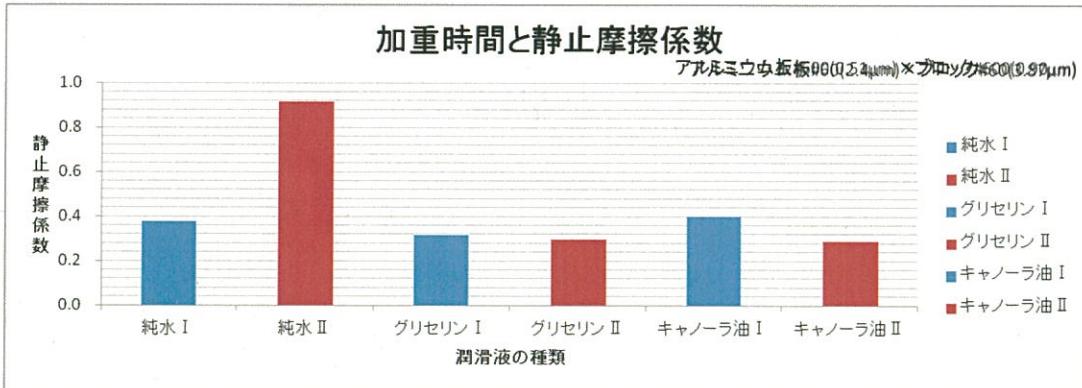
表 54 アルミニウム板×アルミニウムブロックの液状潤滑剤の種類・加重時間による静止摩擦係数

静止摩擦係数			ブロック(アルミニウム)	
			#60(3.87 μm)	#600(0.90 μm)
板(アルミニウム)	#600(0.51 μm)	純水 I	0.74	± 0.06
		純水 II	0.45	± 0.02
		グリセリン I	0.84	± 0.04
		グリセリン II	0.024	± 0.003
		キャノーラ油 I	0.87	± 0.03
		キャノーラ油 II	0.64	± 0.02
	#60(2.4 μm)	純水 I	0.4	± 0.3
		純水 II	0.92	± 0.03
		グリセリン I	0.31	± 0.01
		グリセリン II	0.30	± 0.01
		キャノーラ油 I	0.40	± 0.02
		キャノーラ油 II	0.29	± 0.01

グラフ 22 アルミニウム板#600( $0.18 \mu m$ )×アルミニウムブロック#600( $0.33 \mu m$ )  
液状潤滑剤の加重時間と静止摩擦係数



グラフ 23 アルミニウム板#60( $0.73 \mu m$ )×アルミニウムブロック#60( $1.9 \mu m$ )  
液状潤滑剤の加重時間と静止摩擦係数



グラフ 22.23 より、アルミニウム板#60( $0.73 \mu m$ )×アルミニウムブロック#60( $1.9 \mu m$ )の場合、純水 II を除いて、加重なしの静止摩擦係数の方が、加重ありの静止摩擦係数よりも小さくなつた。

~~ナニヤアリ~~

表 55 真鍮板×真鍮ブロックの液状潤滑剤の種類・加重時間による滑り出す角度

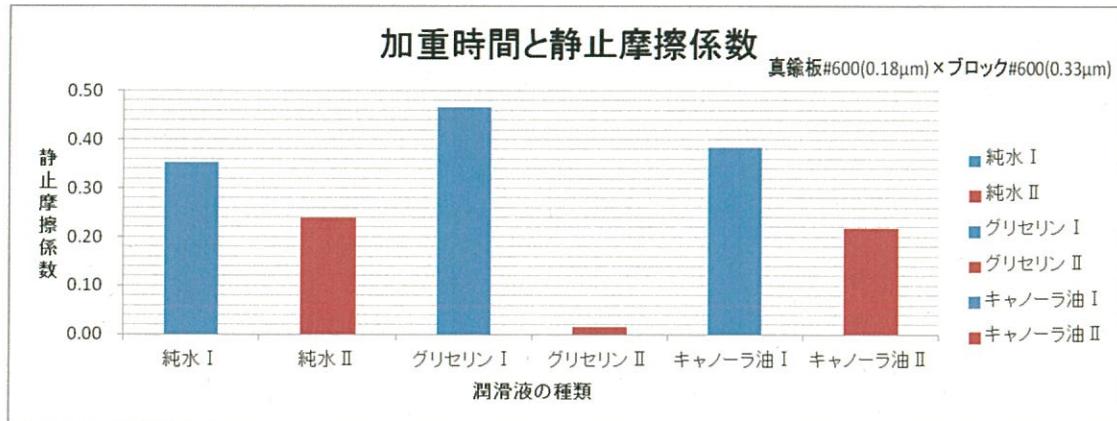
滑り出す角度(度)		ブロック(真鍮)	
		#60(1.9 μm)	#600(0.33 μm)
板(真鍮)	#600(0.18 μm)	純水 I	19.4 ± 0.7
		純水 II	13 ± 1
		グリセリン I	25 ± 1
		グリセリン II	0.9 ± 0.2
		キャノーラ油 I	21.0 ± 0.7
		キャノーラ油 II	12.3 ± 0.5
	#60(0.73 μm)	純水 I	20.5 ± 0.5
		純水 II	14.6 ± 0.9
		グリセリン I	22.3 ± 0.7
		グリセリン II	21.1 ± 0.6
		キャノーラ油 I	9.3 ± 0.6
		キャノーラ油 II	10.5 ± 0.6

表 56 真鍮板×真鍮ブロックの液状潤滑剤の種類・加重時間による静止摩擦係数

静止摩擦係数		ブロック(真鍮)	
		#60(1.9 μm)	#600(0.33 μm)
板(真鍮)	#600(0.18 μm)	純水 I	0.35 ± 0.01
		純水 II	0.24 ± 0.02
		グリセリン I	0.47 ± 0.02
		グリセリン II	0.015 ± 0.004
		キャノーラ油 I	0.38 ± 0.01
		キャノーラ油 II	0.22 ± 0.01
	#60(0.73 μm)	純水 I	0.37 ± 0.01
		純水 II	0.26 ± 0.02
		グリセリン I	0.41 ± 0.01
		グリセリン II	0.38 ± 0.01
		キャノーラ油 I	0.16 ± 0.01
		キャノーラ油 II	0.19 ± 0.01

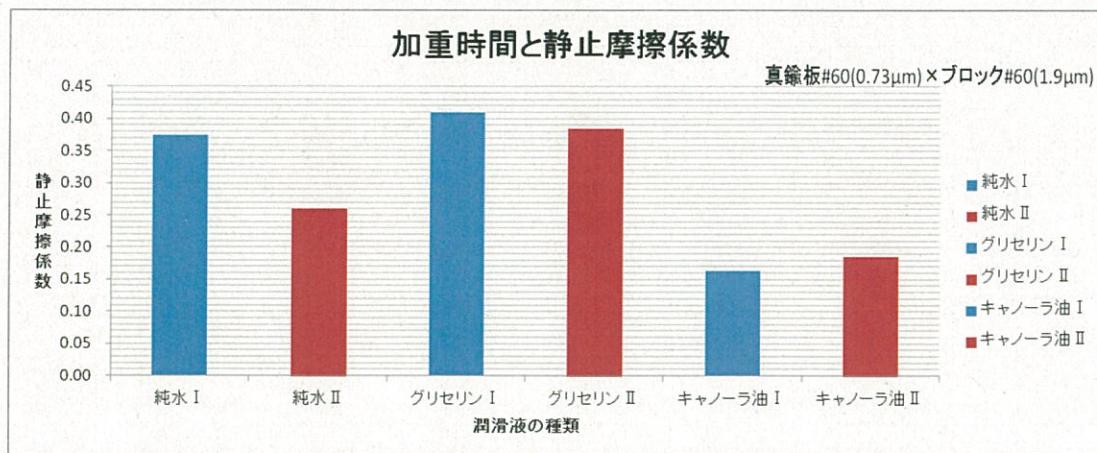
グラフ 24 真鍮板#600(0.18 μm)×真鍮ブロック#600(0.33 μm)

液状潤滑剤の加重時間と静止摩擦係数



グラフ 25 真鍮板#60( $0.73\mu\text{m}$ )×真鍮ブロック#60( $1.9\mu\text{m}$ )

液状潤滑剤の種類と静止摩擦係数



上記のグラフ 24.25 より、真鍮板#600( $0.18\mu\text{m}$ )×真鍮ブロック#600( $0.33\mu\text{m}$ )の場合は、加重なしの静止摩擦係数の方が、加重ありの静止摩擦係数よりも小さくなつた。

また、真鍮板#60( $0.73\mu\text{m}$ )×真鍮ブロック#60( $1.9\mu\text{m}$ )の場合も同様に、キャノーラ油 IIは当てはまらないが、加重なしの静止摩擦係数の方が、加重ありの静止摩擦係数よりも小さくなつた。

よつて、板とブロックをしっかりと馴染ませるかどうか、という条件によって静止摩擦係数は変化する事が分かつた。

## 実験VII グリセリンの濃度による静止摩擦係数変化の測定

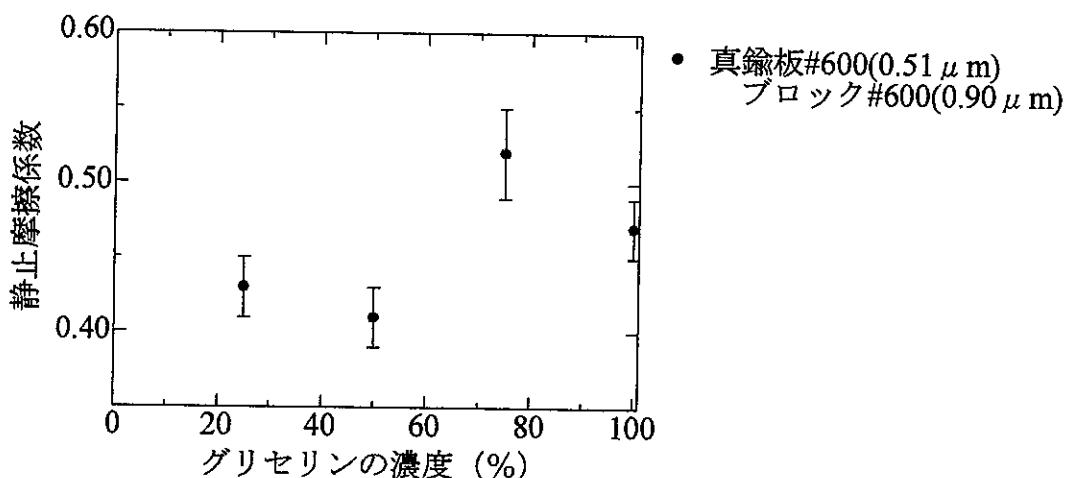
表 57 真鍮板#600( $0.18 \mu m$ )×ブロック#600( $0.33 \mu m$ )のグリセリン水溶液の濃度と滑り出す角度

滑り出す角度(度)	濃度(%)			
	25	50	75	100
板(真鍮) #600( $0.18 \mu m$ )	23 ± 1	22 ± 1	27 ± 1	25 ± 1

表 58 真鍮板#600( $0.18 \mu m$ )×ブロック#600( $0.33 \mu m$ )のグリセリン水溶液の濃度と静止摩擦係数

静止摩擦係数	濃度(%)			
	25	50	75	100
板 #600( $0.18 \mu m$ )	0.43 ± 0.02	0.41 ± 0.02	0.52 ± 0.03	0.47 ± 0.02

グラフ 26 静止摩擦係数とグリセリン水溶液の濃度との関係



グラフ 26 より、「25%、50%」と「75%、100%」とで二段階で静止摩擦係数の変化があるといえる。水溶液中のグリセリン濃度が大きくなれば粘性率が大きくなるので、この実験結果は水溶液の粘性率と摩擦係数が関係していることを示している。粘性率に対し、静止摩擦係数がどのように変化するのかは、考察において述べる。

## 実験VIII 表面状態の変化による静止摩擦係数の変化

※上記の実験V、VIでは、液状潤滑液による静止摩擦係数の変化を測定した。実験VIIにおいては、ブロックと板の表面を、チョークや黒鉛、二硫化モリブデンで処理し変化させることで、静止摩擦係数にどのような影響を与えるのかを測定する。

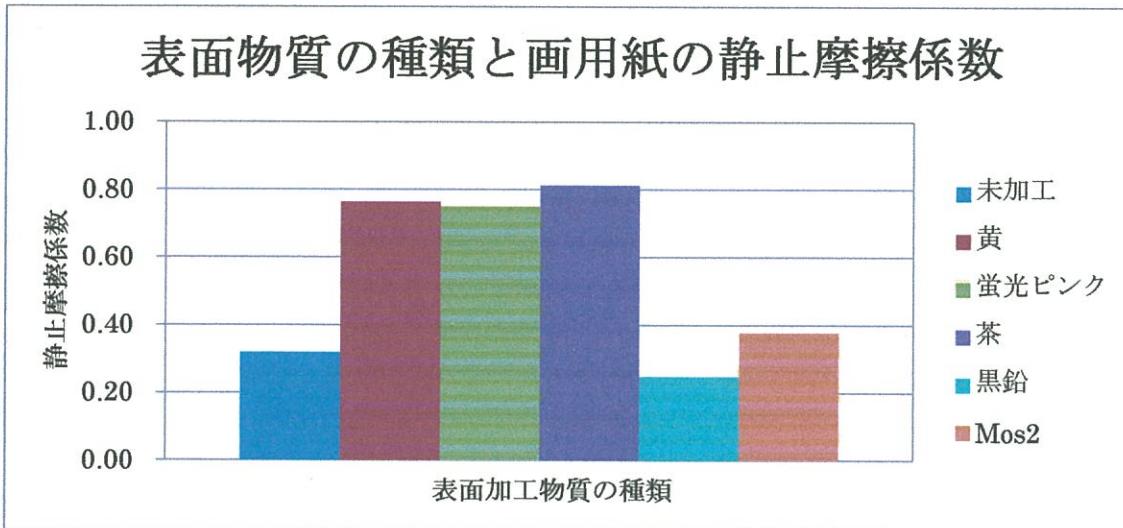
表 59 画用紙における表面処理物質種類と滑り出す角度

滑り出す角度(度)		ブロック(画用紙)				
		未加工	黄	蛍光ピンク	茶	黒鉛
板(画用紙)	未加工	17.7 ± 0.8				
	黄		37.4 ± 0.7			
	蛍光ピンク			36.9 ± 0.8		
	茶				39.1 ± 0.6	
	黒鉛					14.0 ± 0.5
	MoS <sub>2</sub>					20.6 ± 0.6

表 60 画用紙における表面処理物質種類と静止摩擦係数

静止摩擦係数		ブロック(画用紙)				
		未加工	黄	蛍光ピンク	茶	黒鉛
板(画用紙)	未加工	0.32 ± 0.02				
	黄		0.76 ± 0.02			
	蛍光ピンク			0.75 ± 0.02		
	茶				0.81 ± 0.02	
	黒鉛					0.25 ± 0.01
	MoS <sub>2</sub>					0.38 ± 0.01

グラフ 27 表面処理物質の種類による静止摩擦係数



グラフ 27 より、チョークを画用紙の表面に塗ると、未処理の状態の画用紙の静止摩擦係数よりも大きくなる。また、チョークは色による静止摩擦係数の変化はほとんどない事がわかる。チョーク自体の質量は、茶(4.8g)、蛍光ピンク(5.3g)、黄(12.5g)と違うのだが、質量は含まれている顔料の種類によって、塩化カルシウムの量が違うからであるそうだが、静止摩擦係数に対する影響はほとんどないことがわかる。

また、黒鉛は未処理の状態よりも静止摩擦係数が小さくなっているが、モリブデン(MoS<sub>2</sub>)は未処理の状態よりも静止摩擦係数は大きくなった。

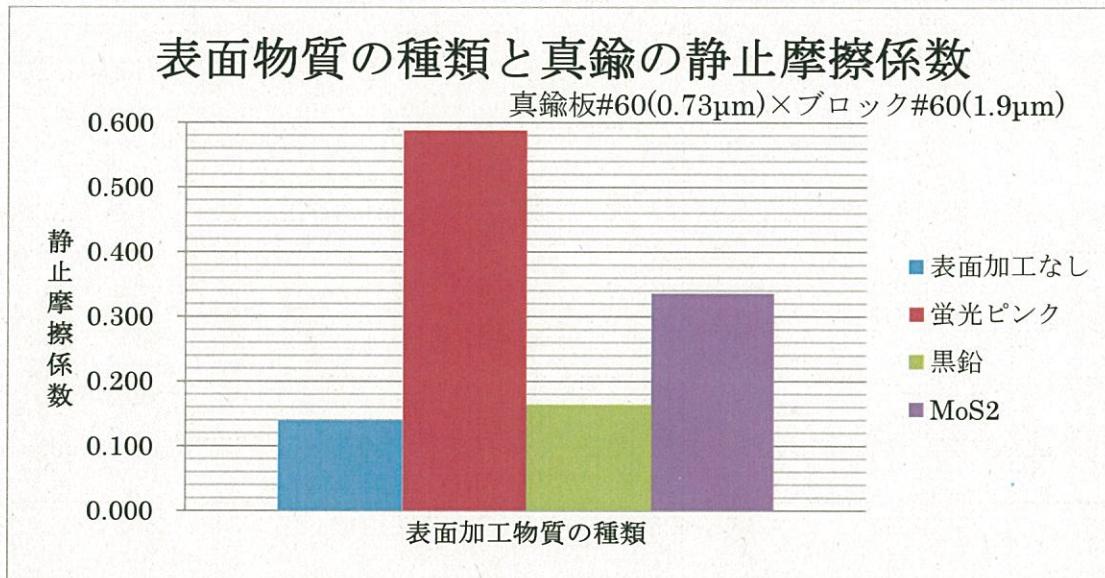
表 61 真鍮の板とブロックに塗った表面処理物質の種類による滑り出す角度

滑り出す角度(度)		ブロック(真鍮)							
		#60(1.9 μm)				#600(0.33 μm)			
		潤滑材なし	蛍光ピンク	黒鉛	MoS <sub>2</sub>	潤滑材なし	蛍光ピンク	黒鉛	MoS <sub>2</sub>
板(真鍮)	#60(0.73 μm)	8.0 ± 0.4	30.4 ± 0.9	9.3 ± 0.5	18.6 ± 0.7				
	#600(0.18 μm)					23 ± 1	28.1 ± 0.8	18.8 ± 0.7	12.7 ± 0.8

表 62 真鍮の板とブロックに塗った表面処理物質の種類による静止摩擦係数

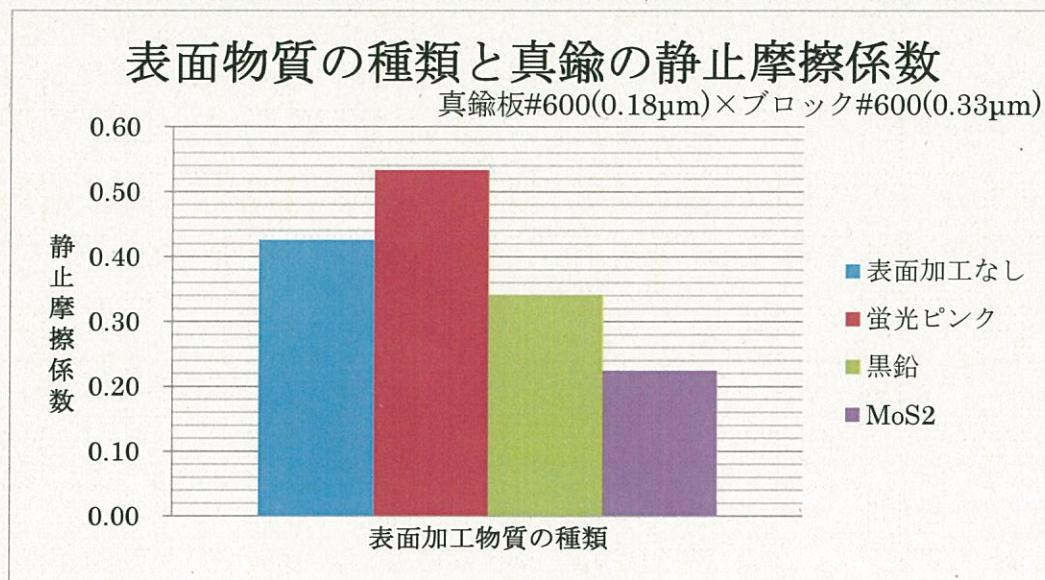
静止摩擦係数		ブロック(真鍮)							
		#60(1.9 μm)				#600(0.33 μm)			
		潤滑材なし	蛍光ピンク	黒鉛	MoS <sub>2</sub>	潤滑材なし	蛍光ピンク	黒鉛	MoS <sub>2</sub>
板(真鍮)	#60(0.73 μm)	0.140 ± 0.007	0.59 ± 0.02	0.16 ± 0.01	0.34 ± 0.01				
	#600(0.18 μm)					0.43 ± 0.03	0.53 ± 0.02	0.34 ± 0.01	0.22 ± 0.01

グラフ 28 真鍮板#60(0.73 μm)×ブロック#60(1.9 μm)表面処理による静止摩擦係数



グラフ 28 より、蛍光ピンクを真鍮の板とブロックに塗った時の静止摩擦係数は「0.59」、また、黒鉛を真鍮の板ブロックに塗った時の静止摩擦係数は「0.16」、MoS<sub>2</sub> を真鍮の板とブロックに塗った静止摩擦係数は「0.34」と、潤滑剤をなにも塗らなかった真鍮の板とブロックの静止摩擦係数よりも大きくなつた。

グラフ 29 真鍮板#600(0.18  $\mu$  m)×ブロック#600(0.33  $\mu$  m)表面処理による静止摩擦係数



グラフ 29 より、真鍮の板#60(0.73  $\mu$  m)とブロック#60(1.9  $\mu$  m)の表面粗さがの場合とは違い、蛍光ピンクを真鍮のブロックと板に塗った静止摩擦係数のみが「0.53」と潤滑剤を何も塗らなかった真鍮の板とブロックの静止摩擦係数よりも大きくなつた。

また、黒鉛を真鍮のブロックと板に塗った静止摩擦係数は「0.34」、MoS<sub>2</sub>を真鍮のブロックと板に塗った静止摩擦係数は「0.22」となつた。

## 第二節 動摩擦係数の測定

※注1：ブロックの滑り出す角度と滑る時間、スマートフォンで録画することにより時間を測定し、次の式を用いて動摩擦係数を求める。

$$\mu_k = \tan \theta - \frac{2S}{gt^2 \cos \theta} \quad [1]$$

動摩擦係数の測定では、真鍮板#60(0.73 μm)とブロック#60(1.9 μm)を使用した。

注2：滑る距離は、「130mm」である。

表63 真鍮の板とブロックに塗った潤滑剤の種類による滑り出す角度

潤滑剤の種類	潤滑材なし	純水	グリセリン	キャノーラ油	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

表64 真鍮の板とブロックに塗った潤滑剤による静止摩擦係数

潤滑剤の種類	潤滑材なし	純水	グリセリン	キャノーラ油	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

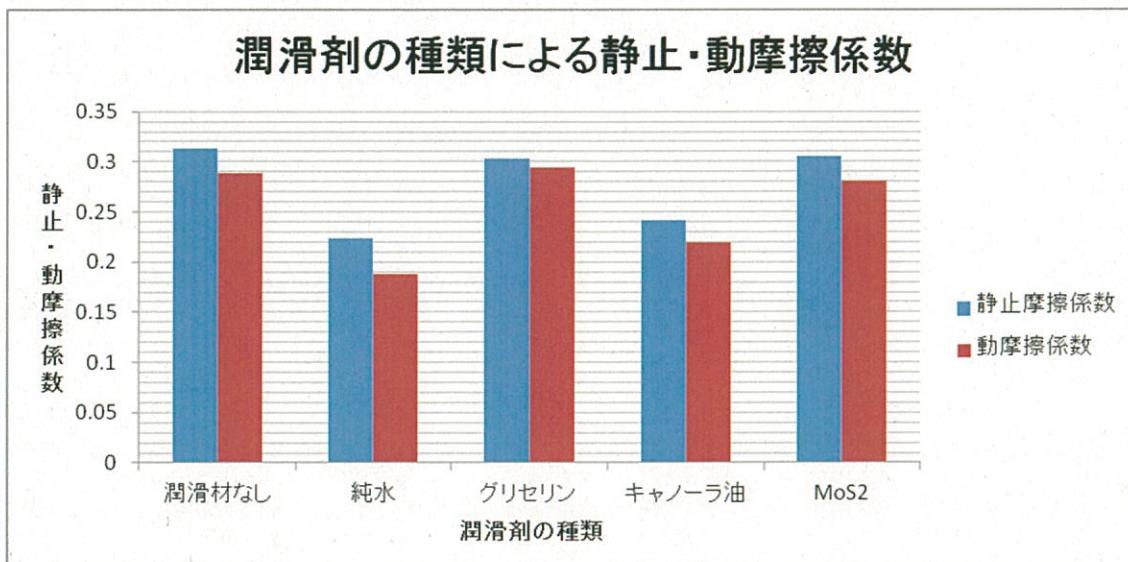
表65 真鍮のブロックが滑りきるのに要した時間

潤滑剤も種類	潤滑材なし	純水	グリセリン	キャノーラ油	MoS <sub>2</sub>
滑走時間(秒)	1.4 ± 0.3	0.92 ± 0.04	2.7 ± 0.5	1.4 ± 0.2	1.8 ± 0.2

表66 真鍮の板とブロックに塗った潤滑剤による動摩擦係数

潤滑剤の種類	潤滑材なし	純水	グリセリン	キャノーラ油	MoS <sub>2</sub>
動摩擦係数	0.29 ± 0.03	0.188 ± 0.006	0.29 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.281 ± 0.008

グラフ30 潤滑剤の種類による静止・動摩擦係数



グラフ30より、アモンタンクーロンの法則通り、全ての場合において、動摩擦係数が静止摩擦係数よりも小さくなっている事がみてとれる。

## 第四章 考察

### 1) 測定値の誤差

#### i) 実験装置による測定誤差

今回使用した回転ステージは、バーニアの目盛の最小読み取りメモリが 0.2 度のため、滑りだす角度の読みの精度は高いと言える。

#### ii) 角度決定による測定と摩擦係数の誤差

発光ダイオードを使用することにより、視覚的に確認できないわずかなブロックの動きを認識する事が出来た。

注: 液状潤滑剤の測定においては、液状潤滑剤により伝導性テープをブロックにはることができなかったので使用していない。

#### iii) 潤滑剤の温度依存性

今回の実験で使用した液体潤滑剤は、「純水、エタノール、グリセリン、キャノーラ油」で、その四つの液体潤滑剤の中でも、グリセリンは温度による体積変化が著しい。

理由は、ヒドロキシ基は、温度の変化によって結合が変化しとれやすいという性質を持ち、グリセリンはそのヒドロキシ基が 3 つある為に温度変化によって体積が変化しやすい。

表 67 グリセリンの濃度と温度依存性の表

粘性率(mPa·s)	温度(°C)			
	0	10	20	30
濃度(%)	0	1.792	1.308	1.005
	25			2.09
	50	14.6	9.01	6.00
	75	132	65.2	35.5
	100	12070	3900	1410
				612

今回の実験では、グリセリンを使用し測定した日の気温が 18.5~27.0°C の間であった。したがって、0%では約 0.2(mPa·s)、50%では約 1.8(mPa·s)、75%では約 14.3(mPa·s)、100%では約 798(mPa·s)の粘性率の差があったといえる。

以上より、濃度が高くなるにつれて粘性率の摩擦係数への影響が大きかったと考えられる。

## I : 静止摩擦係数

### i) 静止摩擦係数の粗さ依存

#### ① 凝着説[4]

「凝着説」において、物体の接触面は、各物体の表面の粗さの突起どうしで接触し、  
真実接触面積は見かけの接触面積よりもはるかに小さくなる。その結果、突起どうしの接  
触部分には強い結合力が生じ、接触面に凝着が起こると考えられている。

接触面に外力が働くにつれ、接触部に接触面の凝着を破壊するせん断力が働く。凝着説では、凝着部をせん断するのに要する力つまり、せん断力を摩擦力としている。

真実接触面積を  $A_{ri}$  とし、 $i$  番目の突起の凝着による最大せん断強さを  $S_i$  とすると、摩擦力  $F_i$  は次の式で表す。

$$F_i = s_i A_{ri}$$

最大せん断強さは、全ての突起において等しいと考えられるので、 $\sum s_i = S_0$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) また、軟らかい材質の押し込み硬さを  $H$  とすると、摩擦係数  $\mu$  は次の式で表せる。

$$\mu = \frac{S_0}{H}$$

#### ② 四凸説[4][5]

「四凸説」において、接触している物体どうしの表面粗さによる引っかかりを乗り越えるのに要する力を、摩擦力としている。

表面粗さの突起形状を図の様な山形であると考え、 $i$  番目の突起の傾斜角を  $\theta_i$ 、突起 1 個あたりに作用する荷重を  $W_i$ 、突起 1 個あたりの摩擦力を  $F_i$  とすると、力のつりあいより、次の式が得られる。

$$F_i = W_i \tan \theta_i$$

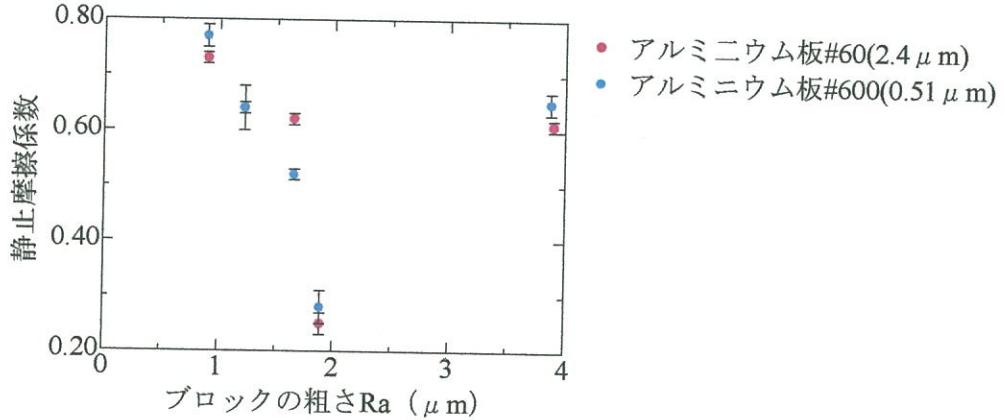
突起の形状は同一であると仮定すると、 $\theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_n = \theta$  であるので、次の式が得られる。

$$F = W \tan \theta$$

したがって、摩擦係数  $\mu$  は次の式で得られる。

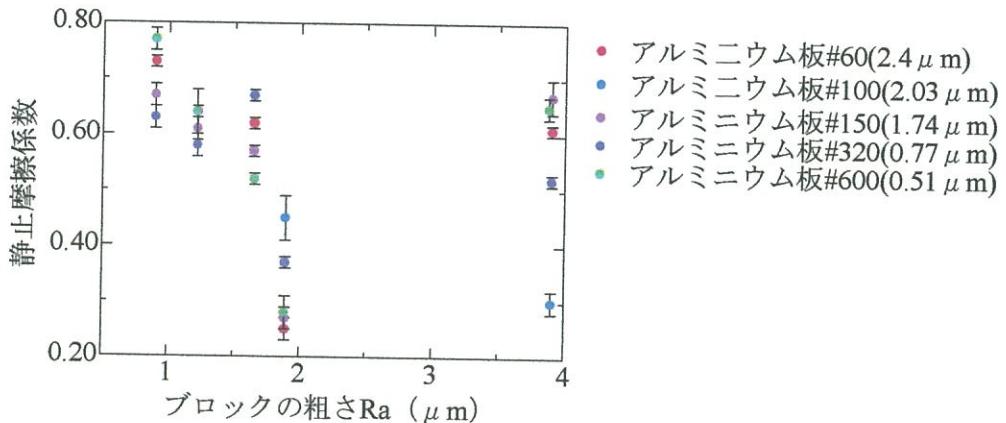
$$\mu = \frac{F}{W} = \tan \theta = \text{一定}$$

(a)金属ブロック×金属板  
グラフ 31 アルミニウムの粗さ依存まとめ[板:#60( $2.4 \mu m$ )#600( $0.51 \mu m$ )]



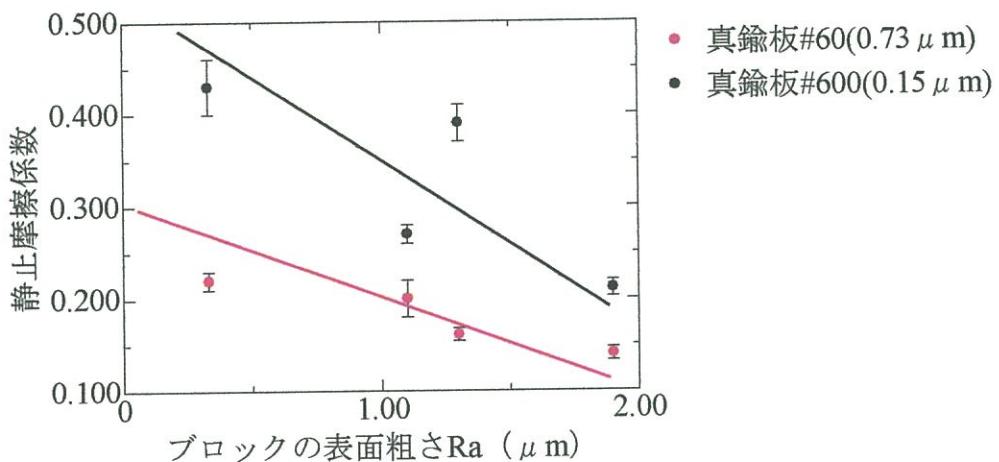
グラフ 31 は、アルミニウム同士の実験で最も粗さの大きいアルミニウム板#60( $2.4 \mu m$ )と、最も粗さの小さい#600( $0.51 \mu m$ )の板に対するアルミニウムブロックの静止摩擦係数の粗さ依存性である。ブロックの表面粗さ Ra が  $1.9 \mu m$  以下の場合、粗さが小さくなるにつれ、静止摩擦係数は、約  $0.2\sim0.7$  まで大きくなる。それに対し、ブロックの表面粗さ Ra が約  $2.0 \mu m$  以上の場合、粗さが大きくなるにつれ静止摩擦係数は大きくなり、約  $2.0 \mu m$  で極小値を取るグラフの形になった。

グラフ 32 アルミニウムの粗さ依存まとめ  
[板 : #60( $2.4 \mu m$ ), #100( $2.03 \mu m$ ), #150( $1.74 \mu m$ ), #320( $0.77 \mu m$ ), #600( $0.51 \mu m$ )]



グラフ 32 より、4種類のアルミニウム板の粗さの結果をまとめると、どの粗さの板でも同様に、ブロックの粗さが大きくなるにつれ、静止摩擦係数は小さくなり、ブロックの表面粗さ Ra が約  $2.0 \mu m$  以上になると、反対に静止摩擦係数が大きくなる傾向がある事がわかる。

グラフ 33 真鍮の粗さ依存まとめ[板:#60(0.75  $\mu$  m)#600(0.15  $\mu$  m)]

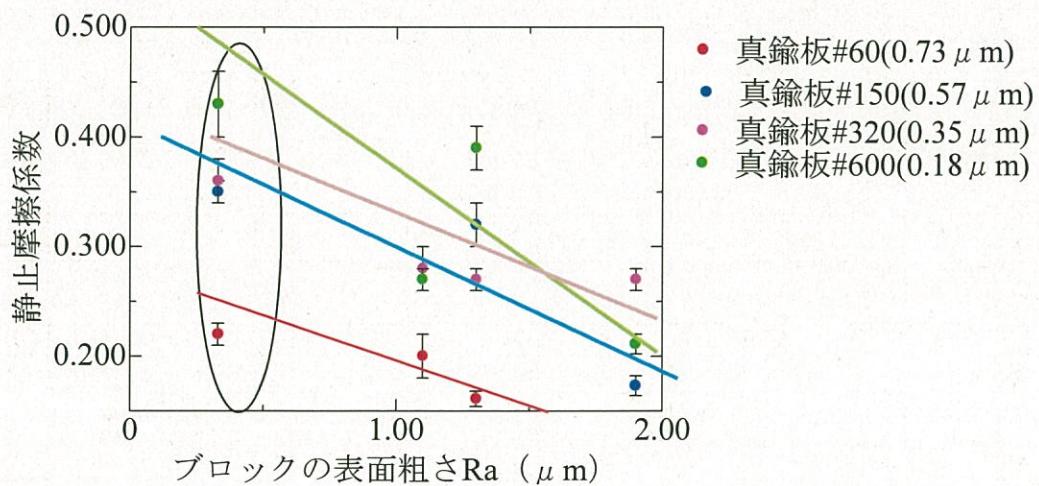


グラフ 33 は、グラフ 30 と同様に粗さの大きい真鍮板と粗さの小さい真鍮板に対する、真鍮ブロックの静止摩擦係数の粗さ依存性である。真鍮板:#60(0.75  $\mu$  m)の場合、ブロックの表面粗さ  $R_a$  が大きくなるにつれほぼ反比例し、静止摩擦係数が減少している。

真鍮板#600(0.15  $\mu$  m)の場合もまた、真鍮板:#60(0.75  $\mu$  m)の場合と比べ値のばらつきはあるが、反比例の直線を引くことは可能である。

グラフ 34 真鍮の粗さ依存まとめ

[板 : #60(0.73  $\mu$  m), 150(0.57  $\mu$  m) #320(0.35  $\mu$  m), 600(0.18  $\mu$  m)]



グラフ 34 より、真鍮の場合もアルミニウムと同様にまとめると、真鍮では、ブロックの表面粗さ Ra が大きくなるにつれ、ほぼ一直線的に静止摩擦係数が小さくなる傾向にある事が分かった。

また、ブロックの表面粗さを  $0.18 \mu$  に固定し考えると、グラフに図に丸で囲った様に板の表面粗さが粗くなるにつれ、静止摩擦係数は小さくなる。

表 68 アルミニウム表面粗さまとめ

表面粗さ(μm)	#60	#100	#150	#320	#600
ブロック	3.87 ± 0.33	1.89 ± 0.04	1.65 ± 0.01	1.22 ± 0.01	0.90 ± 0.02
板	2.4 ± 0.1	2.03 ± 0.03	1.74 ± 0.08	0.77 ± 0.07	0.51 ± 0.03

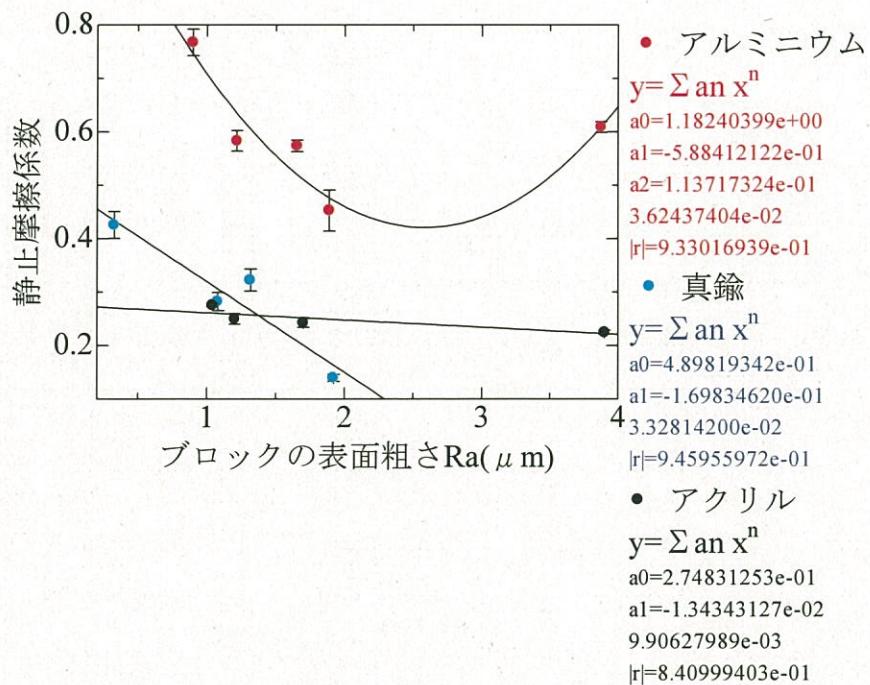
表 69 真鍮表面粗さまとめ

表面粗さ(μm)	#60	#150	#320	#600
ブロック	1.9 ± 0.2	1.3 ± 0.0	1.1 ± 0.1	0.33 ± 0.01
板	0.73 ± 0.01	0.57 ± 0.02	0.35 ± 0.03	0.18 ± 0.01

表 70 アクリル表面粗さまとめ

表面粗さ(μm)	#60	#150	#320	#600
ブロック	3.9 ± 0.2	0.98 ± 0.05	0.8 ± 0.1	0.53 ± 0.02
板	2.24 ± 0.05	1.73 ± 0.15	1.22 ± 0.12	1.04 ± 0.03

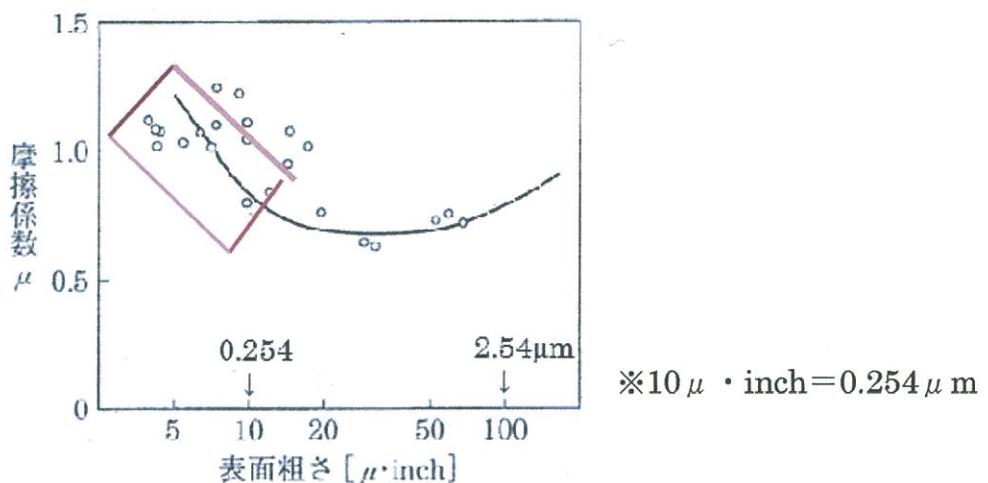
グラフ 35 アルミニウム・真鍮・アクリル同じ粗さ同士のグラフ



グラフ 35 より、同じ粗さの研磨紙を用いたブロックと板の組み合わせを、アルミニウム・真鍮・アクリルについてまとめた。アルミニウムの静止摩擦係数は極小値を取るので対し、真鍮とアクリルは、直線的にブロックの表面粗さ  $R_a$  が大きくなるにつれ減少する傾向があり、アクリルは真鍮よりもせん断強さが小さいため、傾きが小さくなつた。

→ 根拠は?

図 22 銅×銅の摩擦係数の粗さ依存性のグラフ [9]



ここで、「摩擦の物理」[9]に載っている、銅×銅の摩擦係数の粗さ依存性のグラフを図 22 に示す。摩擦係数は表面粗さが約  $0.8 \mu \text{m}$  の時に極小値をとり、それ以上に粗さが大きくなると徐々に大きくなるのに対し、粗さが小さくなると摩擦係数が増加している。この結果は、摩擦の凹凸説と凝着説によって説明できる。

下図 23 の様に摩擦係数に対しておもに凹凸説と凝着説による寄与が大半をしめているとする。下図 24 より、凹凸説において摩擦係数は、表面粗さが粗くなるにつれ大きくなり、凝着説は凹凸説とは真逆で、表面粗さが粗くなるにつれ摩擦係数は小さくなる。凹凸説と凝着説の寄与の割合によって摩擦係数が決定されるので、粗さが小さくなると凝着説の寄与によって摩擦係数は大きくなると言えるだろう。真鍮の場合、この実験で測定した粗さでは、凹凸説の寄与が凝着説の寄与に比べてかなり小さかったと考えられる。

図 23 摩擦係数を決める要因

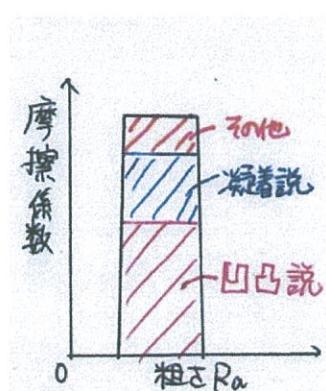
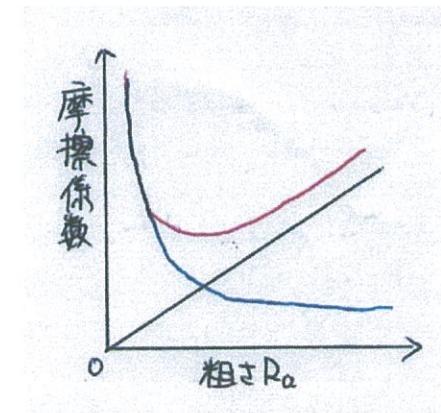


図 24 凹凸説と凝着説の寄与

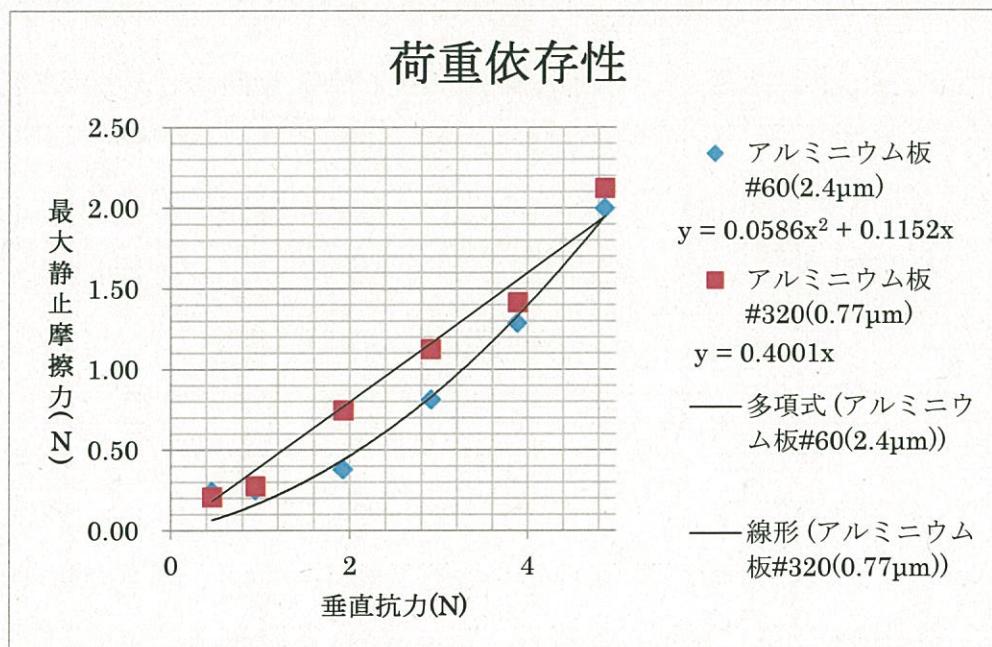


以上より、金属の静止摩擦係数は表面粗さに依存し、そのグラフは極小値を取る関数形で示されることが分かった。

ii) 静止摩擦係数の加重依存

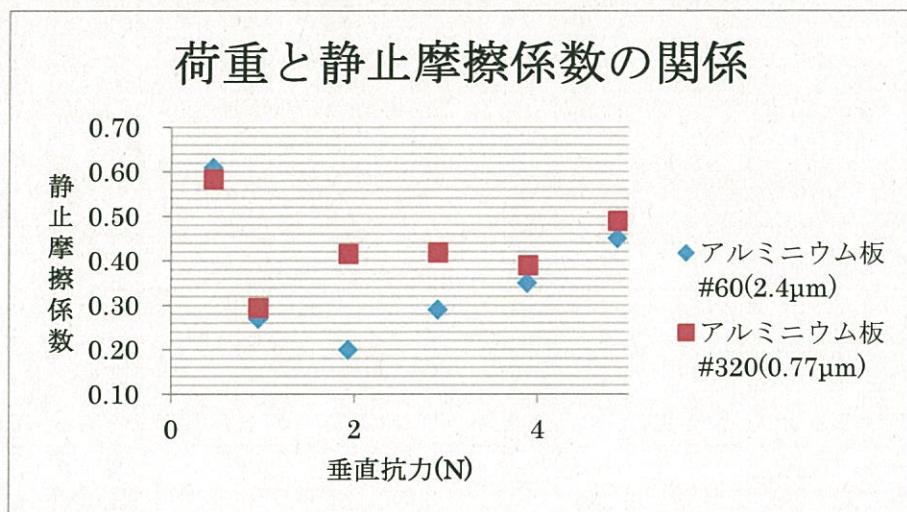
グラフ 36 アルミニウム板#60( $2.4 \mu\text{m}$ )×ブロック#60( $3.87 \mu\text{m}$ )、

アルミニウム板#320( $0.77 \mu\text{m}$ )×ブロック#320( $1.22 \mu\text{m}$ )の加重依存



グラフ 36 より、一般的に「摩擦力は、接触する二面間に作用する垂直加重に比例する。」と言われているが、今回の実験では、アルミニウム板#60( $2.41 \mu\text{m}$ )×ブロック#60( $3.87 \mu\text{m}$ )においては比例関係ではない。グラフの傾きが静止摩擦係数になるのだが、加重によって傾きが違う、つまり静止摩擦係数は加重の重さによって変化する可能性があると言える。そこで、静止摩擦係数と加重の関係を下図にまとめた。

グラフ 37 加重と静止摩擦係数の関係



グラフ 37 より、アルミニウム板#60( $2.4\mu\text{m}$ )×ブロック#60( $3.87\mu\text{m}$ )の場合、2N以下では垂直抗力が大きくなるにつれ、静止摩擦係数は小さくなり、2N以上では静止摩擦係数が大きくなっている事が分かる。アルミニウム板#320( $0.77\mu\text{m}$ )×ブロック#320( $1.22\mu\text{m}$ )の場合では、2N以上でほぼ一定の値をとる。凝着説によれば、摩擦力は真実接触面積に比例するので、この実験から、加重によって真実接触面積が変化したと考えられる。

最大静止摩擦力が比例関係より小さくなった理由として考えられるのは、筆で板とブロックを測定する度にふき取ってはいたが、測定によって生じたアルミニウムの粉があり接触面積が小さくなつたという事である。

真実接触面積だけではなく、加重を乗せ、斜面を傾けた際の重心の問題も考えられる。アルミニウム板、ブロック#60 の場合ならば 297.5g 以上、アルミニウム板#320( $0.77\mu\text{m}$ ) × ブロック#320( $1.22\mu\text{m}$ )の場合ならば 247.1g 以上の場合、斜面を滑り下りる際に転倒するのを防ぐ為に加重を乗せる位置を 1cm 程後ろに移動させた。加重を移動させる事で本来の状態から重心がずれた事によって、表面全体にかかる垂直抗力の様子が変化した可能性がある。

図 25 加重の位置を後ろに移動させたアルミニウムブロック



### iii) 表面の摩耗の効果

真鍮板×真鍮ブロックにおいて下記の表をみて分かる様に、測定回数が増える毎に静止摩擦係数が小さくなっている事が見て取れる。特に、一回目と二回目との差が顕著であることがみてとる。金属は表面の凹凸の一部に鋭い突起があり、その突起が摩耗によつて破壊され、摩擦係数が小さくなったのではないかと考えられる。

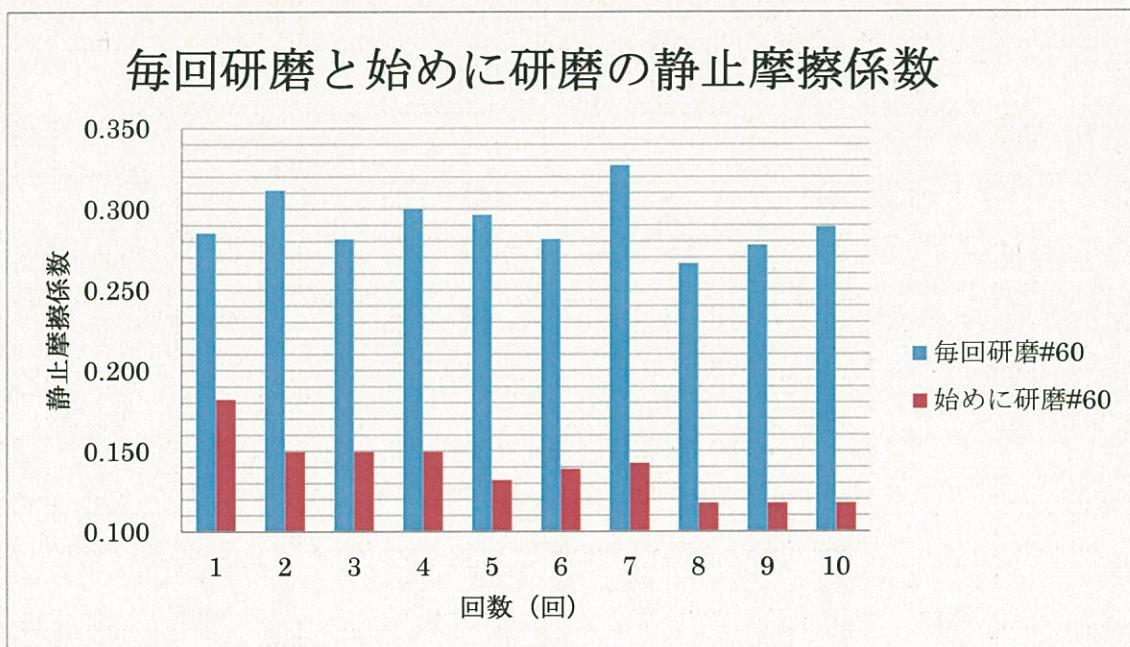
表 71 真鍮板#600(0.18  $\mu$  m)×ブロック#600(0.33  $\mu$  m)の毎回研磨の結果

回数	真の角度(度)	静止摩擦係数
1	31.1	0.60
2	24.1	0.45
3	20.5	0.37
4	26.5	0.50
5	30.7	0.59
6	19.1	0.35
7	19.9	0.36
8	26.7	0.50
9	21.7	0.40
10	21.5	0.39
11	19.9	0.36
2~11回目までの平均	23.06	0.43

よつて以上の仮定を確認するために以下の検証を行つた

### 検証3：真鍮を毎回研磨することによる静止摩擦係数の検証

グラフ38 真鍮#60 每回研磨と始めに研磨の静止摩擦係数

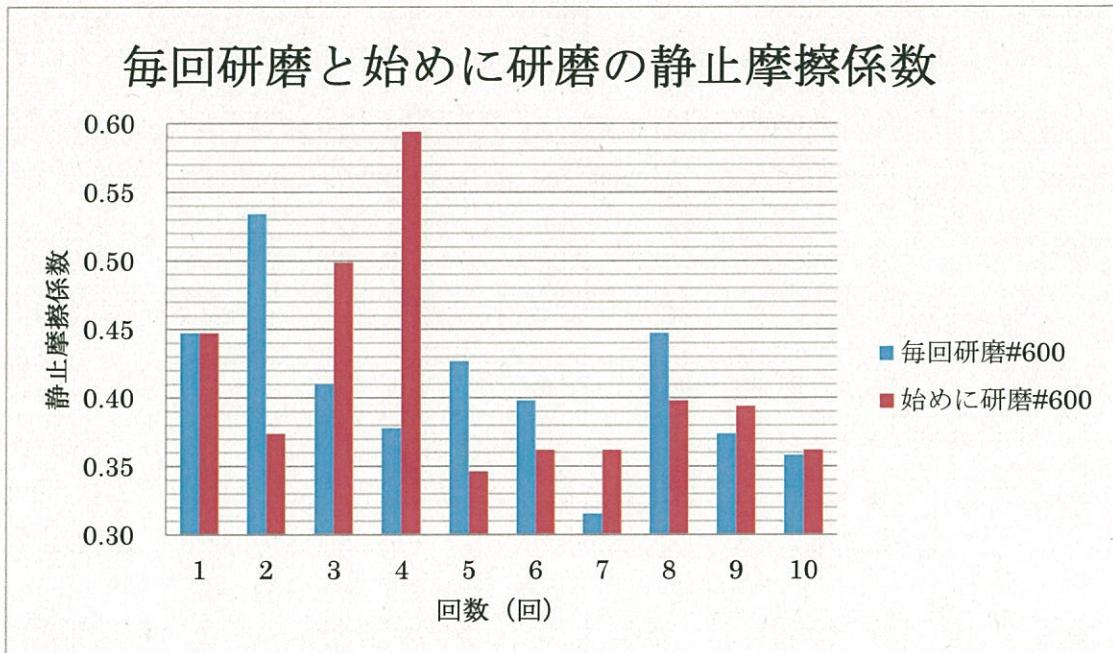


グラフ38より、毎回研磨の静止摩擦係数の方が、始めに研磨よりも大きい。さらに上記の表を見ると毎回研磨と始めに研磨の、滑り出す角度の平均値が8.3度と大きく違っていた。

始めに研磨のグラフにおいて、真鍮は自重が141gと重い為に、回数を重ねる度にみる静止摩擦係数が小さくなっていて、回を重ねる度に表面の粗さが変化していることを示している。

よって以上より、測定回数が多くなるにつれ、板やブロックの表面粗さが変化し、その変化が静止摩擦係数に寄与していると言える。

グラフ 39 真鍮#600 毎回研磨と始めに研磨の静止摩擦係数



グラフ 39 より、毎回研磨と始めに研磨の滑りだす角度の平均値が 1 度とあまり変化がなかった。これは、#600 は表面の粗さが細かい為に、凹凸も小さく回を重ねる度に表面の粗さの変化が小さく静止摩擦係数に影響があまりなかったと考えられる。

また、毎回研磨において回によって大きく静止摩擦係数が違っているので、#600 は粗さが細かい分、研磨をする時によって表面の粗さが大きく違ってくる可能性があると考えられる。

#### iv) 表面状態の変化の静止摩擦係数に対する影響

板やブロックの表面の凹凸による、静止摩擦係数への影響を確かめる為に以下の検証を行った。

##### 検証1： 固形潤滑剤による静止摩擦係数に対する影響の検証

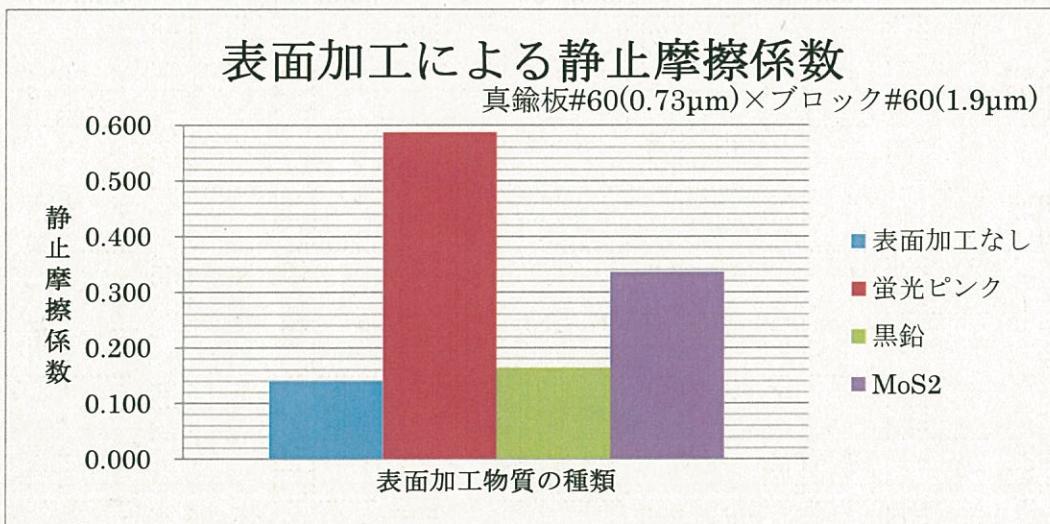
※真鍮の板とブロックの表面に固体潤滑材を塗り、凹凸をなくす。

##### 検証2： 一方向研磨による静止摩擦係数変化の検証

※研磨の方向を一定にする事により、板やブロックの表面の凹凸の方向を固定する。

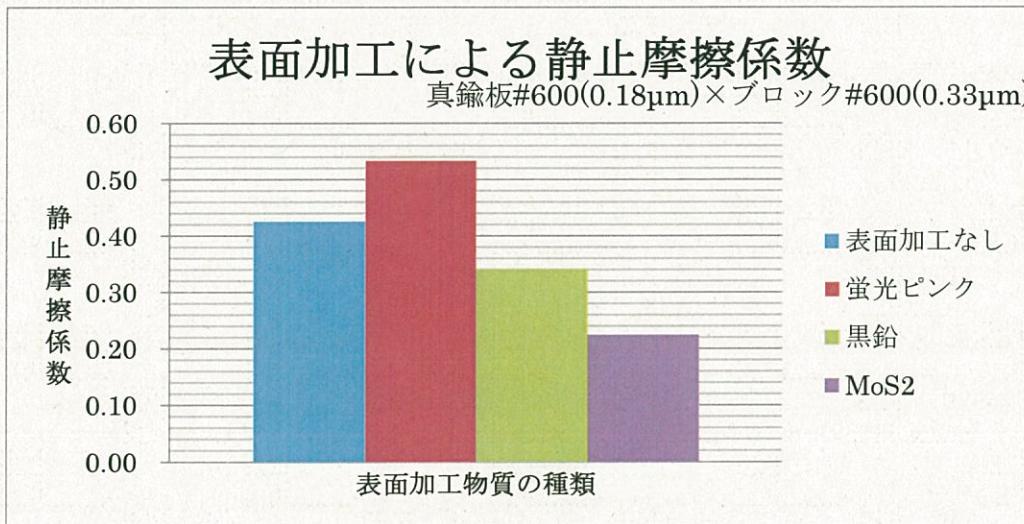
##### 検証1： 表面処理による静止摩擦係数に対する影響の検証

グラフ40 真鍮板#60(0.73 μm)×ブロック#60(1.9 μm) 潤滑剤による静止摩擦係数



グラフ41 真鍮板#600(0.18 μ m)×ブロック#600(0.33 μ m)

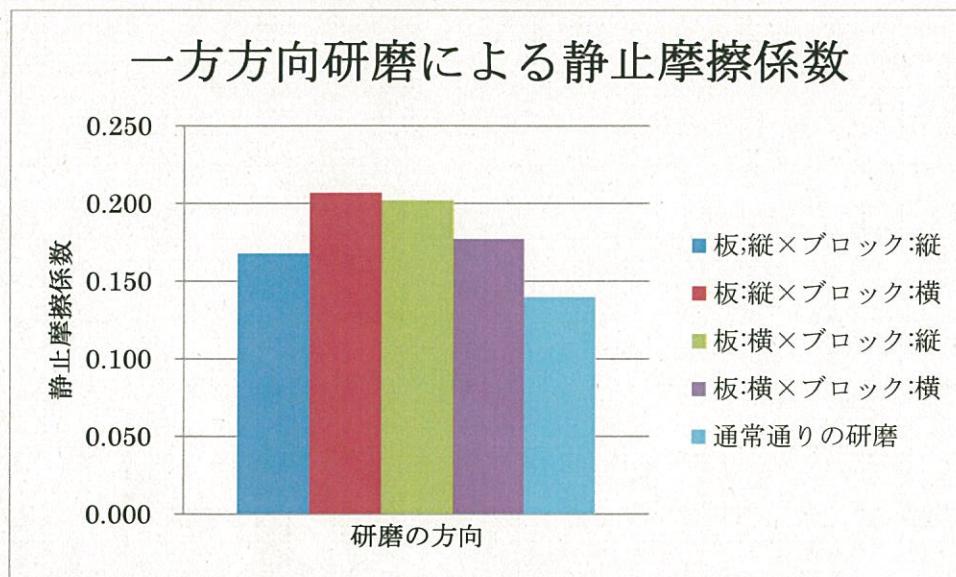
##### 固体潤滑剤による静止摩擦係数



グラフ 40.41 より、チョーク(蛍光ピンク)の粉は、ミクロン以下の大きさであるので、表面の 凹凸を埋め尽くし、粉末同士が接触面になるので、真実接触面積が増える。また、チョークの粉末は湿気などを吸着しやすい傾向があるので、静止摩擦係数はさらに大きくなると考えられる。

#### 検証 2：一方向研磨による静止摩擦係数変化の検証

グラフ 42 一方向研磨による静止摩擦係数グラフ



一方向に研磨をすると、下図 26 の様に線がはっきりと入っている事が裸眼でもはっきりと確認することができる。よって、周期の長い傷が入り、その傷にも下図 27 のように細かい傷が入っていると予測できる。

図 26 肉眼で見える傷

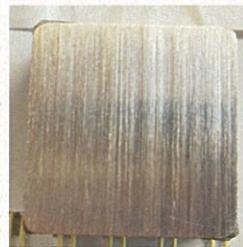
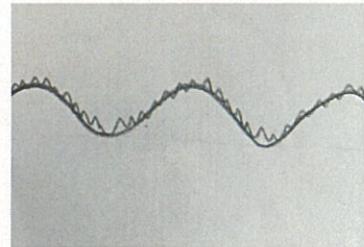


図 27



また、一方向に研磨をすると、上記で示した様に周期の長い規則性のある傷が入っている。

※以下の考察文において、「水平(縦×縦、横×横)」は「水平」、垂直(縦×横)は「垂直」と表記する。

本来「凹凸説」に基づいて考察すると、水平の場合図29の様に板とブロックの凹凸が噛み合い、引っかかりを乗り越える力が必要になるので、水平の場合の静止摩擦係数の方が、垂直の場合の静止摩擦係数よりも大きくなるのが妥当である。

しかし、今回検証してみると、水平(縦×縦、横×横)の場合の静止摩擦係数の方が、垂直(縦×横)の場合の静止摩擦係数よりも小さくなつた。よつて、凹凸説は考えられない。

図28 垂直(縦×横)の場合…凹凸説

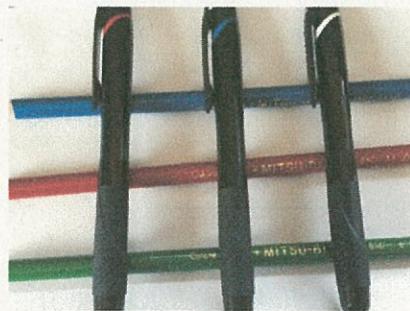


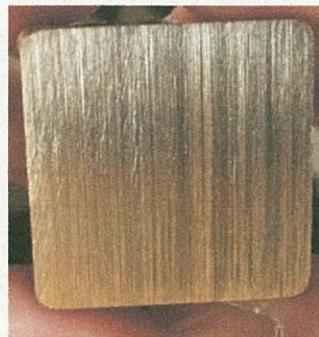
図29 水平(縦×縦、横×横)の場合…凹凸説



したがつて、「真実接触面積」に基づいて考察したいと思う。

図30.31から、板やブロックに肉眼で確認できる傷が全て均等な間隔で水平に入っているわけではない事が見て取れる。(横縞は養生テープの跡によるものである。)よつて、水平の場合は、周期の異なる山どうしが点もしくは線として接触しているのに対し、図28の様に垂直の場合は交差点で接するため接触点が多くなり真実接触面積が大きくなるということである。

図30 ブロックの研磨の様子

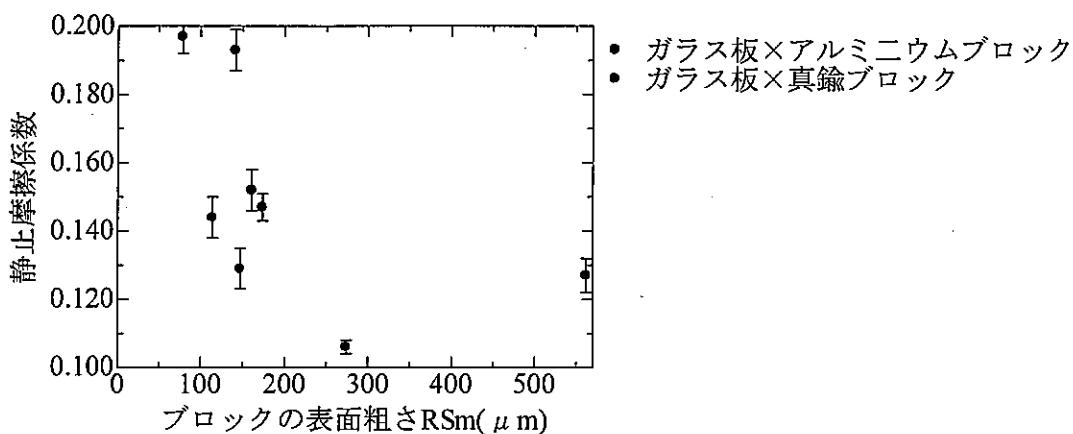


以上より、垂直の場合の静止摩擦係数の方が、水平の場合の静止摩擦係数よりも大きくなった理由として考えられるのは、垂直の場合の方が水平の場合よりも真実接触面積が大きくなつたからという事である。

(b)金属ブロック×非金属板

①真実接触面積

グラフ 43 ガラス板×アルミニウムブロック、ガラス板×真鍮ブロックの粗さ依存性



グラフ 43 より、ガラスを板としたので、ガラスと金属はお互い硬い材質なので、滑りによる研磨がほとんど無い。また、板の粗さが非常に小さいので、ブロックの真実接触面積が大きくなる。

滑り出す角度を測定する際に、「二段階で金属ブロックが滑った」と結果で述べた。今回の実験では、ガラスは研磨不可能と判断し、未処理の状態で使用している。測定してみると、肉眼では確認が不可能だが、下記の表 72 をみて分かるように、ガラス板上部・中部・下部とでは表面の粗さが違う。わずかな変化ではあるが、表面粗さ Ra が小さい為に影響があったと推測できる。

表 72 測定部位による静止摩擦係数

測定部位	表面粗さ( $\mu\text{m}$ )
上部	0.016
中部	0.023
下部	0.018

## ②掘り起こし説[4]

「掘り起こし説」では、表面の軟らかい物体と硬い物体に滑りが生じた場合を考える、表面の硬い物体の表面の突起が軟らかい物体の表面に食い込み、掘り起こしていると考えられている。

表面の粗い物体の突起を円錐とし円錐の半径を  $a$ 、円錐の高さを  $h$ 、表面の軟らかい物体の材料の塑性流動圧力を  $p_0$ 、突起の総数を  $n$  とすると、加重  $W$ ・掘り起しによる摩擦力  $F$  を次の式で表す。

$$W = n \frac{\pi}{2} a^2 p_0 \quad [1]$$

$$F = nahp_0 \quad [2]$$

上記の式[1][2]より、静止摩擦係数  $\mu$  は次の式で表せる。

$$\mu = \frac{2}{\pi} \cot \theta \quad [3]$$

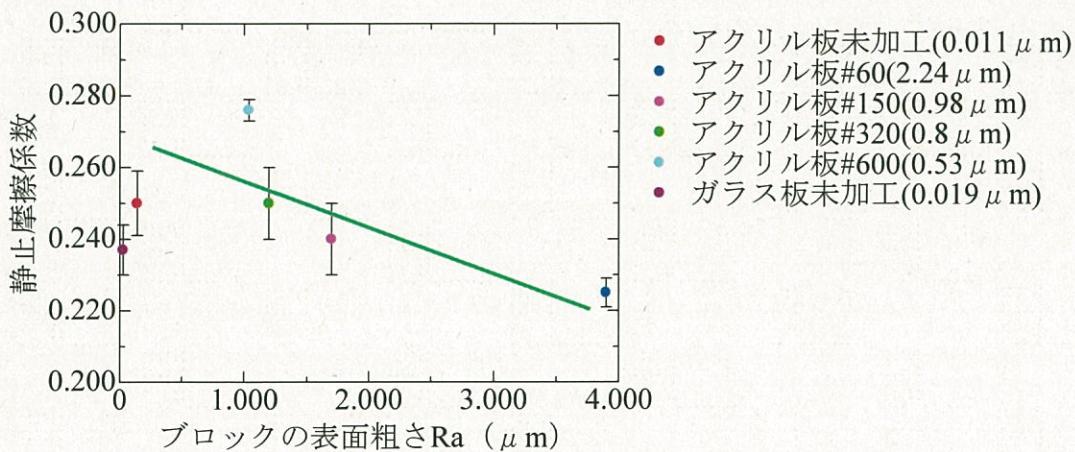
上記の式[3]より、表面の硬い物体の突起形状のみに依存し、材質には関係しない。

金属とガラスとでは、ガラスの方が硬いので、金属が掘り起こされたのではないかと仮定出来るが、ガラスの表面はつるつるで、その上接触面積が小さいので、掘り起こしによる静止摩擦係数の変化は考えられにくい。

(c)非金属板×非金属ブロック

グラフ 44 ガラス・アクリルの粗さ依存まとめ[板：未処理(0.011  $\mu\text{m}$ )

#60(2.24  $\mu\text{m}$ ),#150(0.98  $\mu\text{m}$ ),#320(0.8  $\mu\text{m}$ ),#600(0.53  $\mu\text{m}$ )]



① 凹凸説

アクリル×アクリルは、金属板×金属ブロックほど研磨したとしても、表面が肉眼で分かるほど凹凸はしていないため、金属板×金属ブロックの同じ粗さ同士の場合の様に、凹凸面がかみあつたとは考えられにくい。なので、表面の粗さによって静止摩擦係数が変化しなかった理由であると考えられる。

② 凝着説 [4]

金属の粗さ依存性の所で、「表面粗さによって凹凸説・凝着説の摩擦係数への寄与の大きさが違う」と考察した。しかし、アクリル×アクリルの場合は表面粗さによる静止摩擦係数の変化がほとんど見られない。

最大せん断強さを  $S_0$ 、真実接触面積を  $A_r$  とする。摩擦力は次式でもとめられる。

$$F = S_0 A_r$$

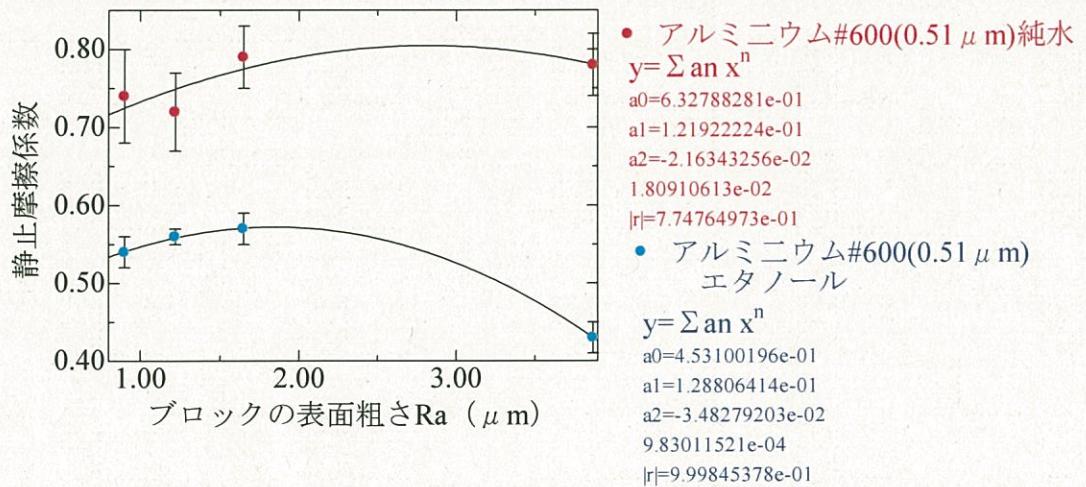
アクリルの質量を  $W$  とする。摩擦係数  $\mu$  は次式でもとめられる。

$$\mu = \frac{F}{W} = \frac{S_0 A_r}{W}$$

加重  $W$  と、真実接触面積  $A_r$  は一定であると仮定できるので、最大せん断強さ  $S_0$  の小さいアクリルは、グラフの直線の傾き絶対値が小さい。

### iii) 潤滑材が静止摩擦係数に与える影響

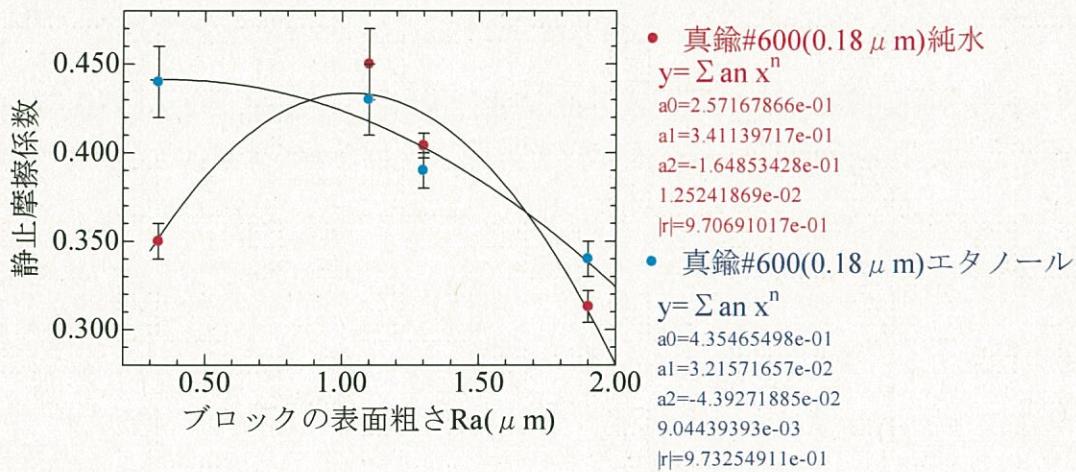
グラフ 45 アルミニウム板#600( $0.51 \mu m$ )×アルミニウムブロック#600( $0.90 \mu m$ )  
エタノール・純水の静止摩擦係数



グラフ 45 より、エタノール・純水に共通して言える事だが、ブロックの表面粗さ  $R_a$  が約  $2.2\sim2.5 \mu m$  以下では、粗さが大きくなると静止摩擦係数の値は、純水の場合は約  $0.7\sim0.8$  くらいまで、エタノールの場合は約  $0.5\sim0.58$  くらいまで大きくなる。それに対し、約  $2.2\sim2.5 \mu m$  以上では、粗さが大きくなると静止摩擦係数は小さくなり、約  $2.2\sim2.5 \mu m$  で極大値をとるグラフになっている。

グラフ 46 真鍮板#600(0.18  $\mu$  m)×真鍮ブロック#600(0.33  $\mu$  m)

エタノール・純水の静止摩擦係数



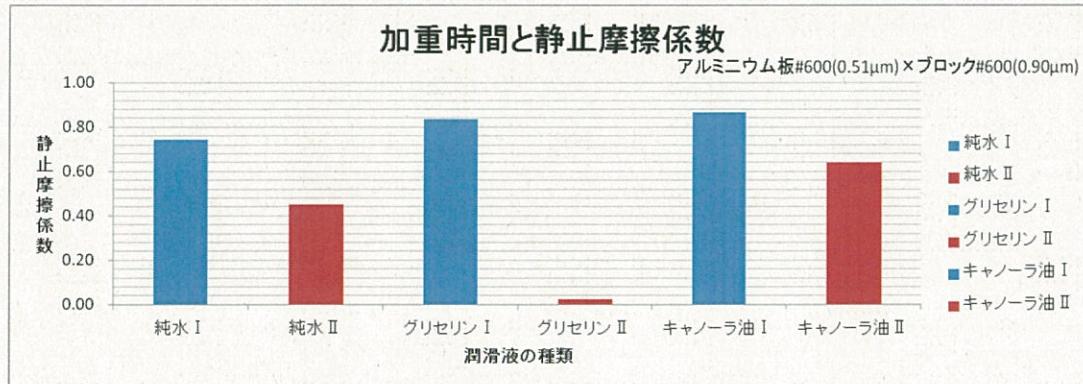
グラフ 46 より、純水の場合、ブロックの表面粗さ Ra が約 1.1  $\mu$  m 以下では、粗さが大きくなるにつれ静止摩擦係数の値は、約 0.35~0.42 ぐらいまで大きくなる。それに対し、約 1.1  $\mu$  m 以上では、粗さが大きくなるにつれ静止摩擦係数の値は、約 0.30~0.42 くらいまで小さくなり、約 1.1  $\mu$  m で極大値をとるグラフになっている。

また、エタノールの場合は、ブロックの表面粗さ RA が大きくなるにつれて、ほぼ反比例して静止摩擦係数が減少している。

※表の I、II はそれぞれ I : 加重あり、II : 加重なしの場合の滑り出す角度・静止摩擦係数である。

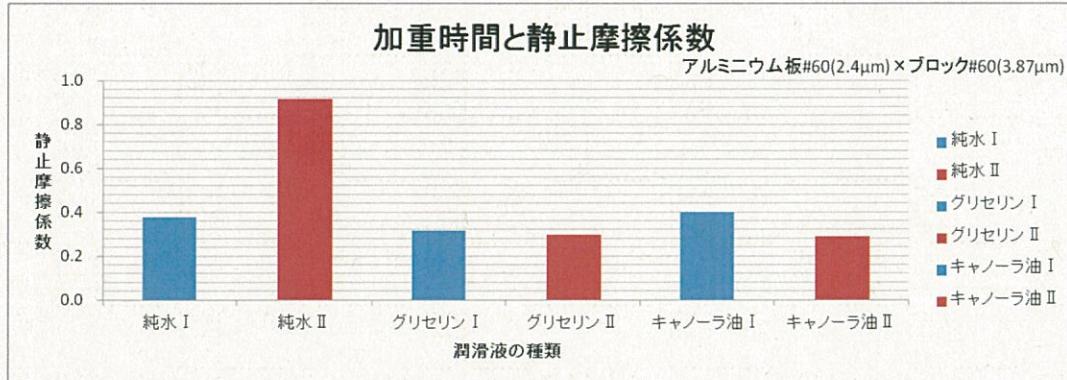
グラフ 47 液状潤滑材による静止摩擦係数

アルミニウム板#600(0.18 μm) × アルミニウムブロック#600(0.33 μm)



グラフ 48 液状潤滑材による静止摩擦係数

アルミニウム板#60(0.73 μm) × アルミニウムブロック#60(1.9 μm)



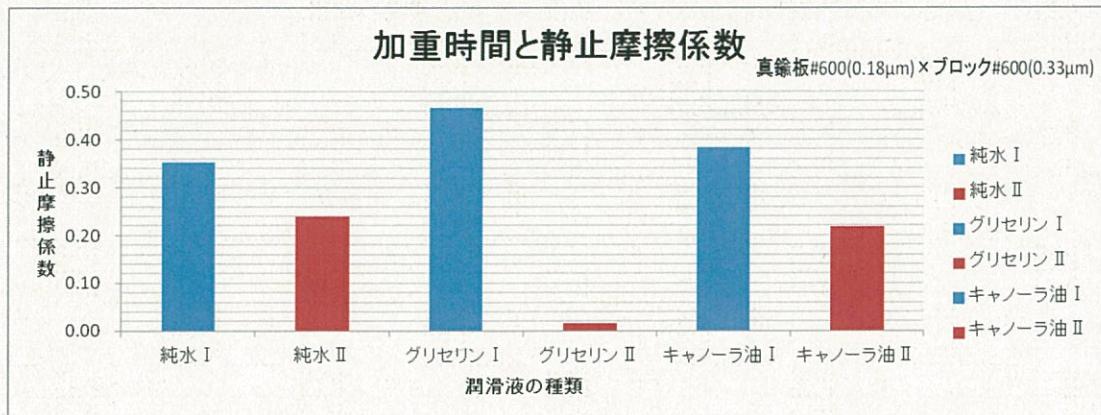
上記のグラフ 47.48 より、アルミニウム板#600(0.18 μm) × アルミニウムブロック#600(0.33 μm) の純水と、アルミニウム板#60(0.73 μm) × アルミニウムブロック#60(1.9 μm) の純水は例外だが、「加重あり」が一番静止摩擦係数が大きくなり、加重時間が短くなるにつれ、静止摩擦係数が小さくなつた。理由として考えられるのは、加重をのせる事により板とブロックが直接接触したからであると考えられる。

また、純水が例外であった理由として考えられるのは、純水は粘性率が他の液状潤滑材よりも大きいので、加重時間が短くなるにつれ逆に静止摩擦係数が大きくなつたのではないかと考えられる。

エタノールと純水に共通して言えることだが、恐らく表面の粗さが粗いと凹凸が激しく、凹凸の部分に液状潤滑剤が綺麗に入り込むことにより表面の凹凸がなくなり、液体潤滑材同士が接触し、真実接触面積が増えるが、液体潤滑材のせん断力が小さいので、摩擦係数は小さくなつた。

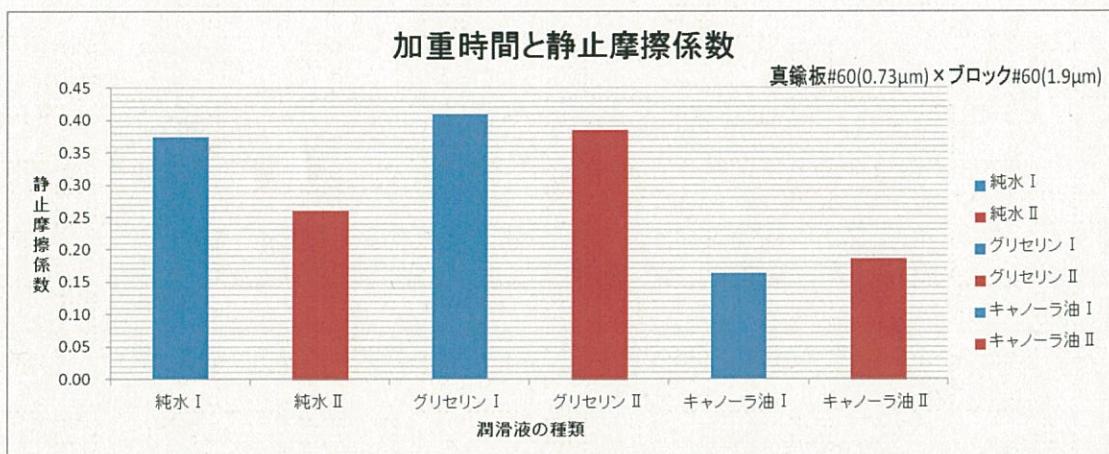
グラフ 49 液状潤滑材による静止摩擦係数

真鍮板#600(0.18 μm)×真鍮ブロック#600(0.33 μm)



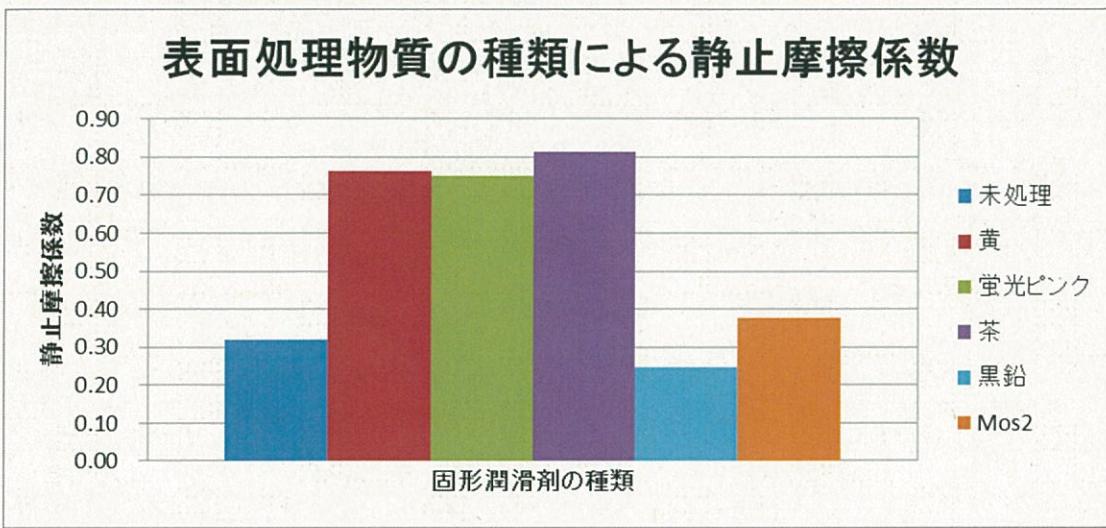
グラフ 50 液状潤滑材による静止摩擦係数

真鍮板#60(0.73 μm)×真鍮ブロック#60(1.9 μm)



上記のグラフ 49.50 より、真鍮板#60(0.73 μm)×真鍮ブロック#60(1.9 μm)の純水・キャノーラ油は例外だが、アルミニウムと同様に、「加重あり」が一番静止摩擦係数が大きくなり、加重時間が短くなるにつれ、静止摩擦係数が小さくなつた。理由はアルミニウムと同様であると考えられる。

グラフ 51 表面処理物質による静止摩擦係数



グラフ 51 より、チョークである「黄、蛍光ピンク、茶」が、未処理よりも静止摩擦係数が大きくなった理由として考えられるのは、「画用紙の表面粗さ」は、「 $2.99 \mu\text{m}$ 」と金属やアクリルよりも粗いが、その表面粗さよりも粒の大きさが大きく、障害物となった可能性があると言える。MoS<sub>2</sub> も同様である。

また、下図 32～34 より黒鉛はチョークや MoS<sub>2</sub> とは違い、粒の粗さが細かいので固形潤滑材としての効果を果たし、静止摩擦係数が未処理の状態よりも小さくなつたと考えられる。

図 32 チョーク(黄)の粒の様子



図 33 チョーク(蛍光ピンク)の粒の様子

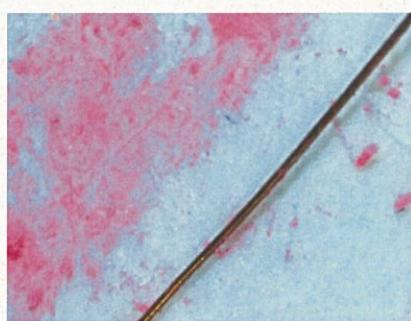


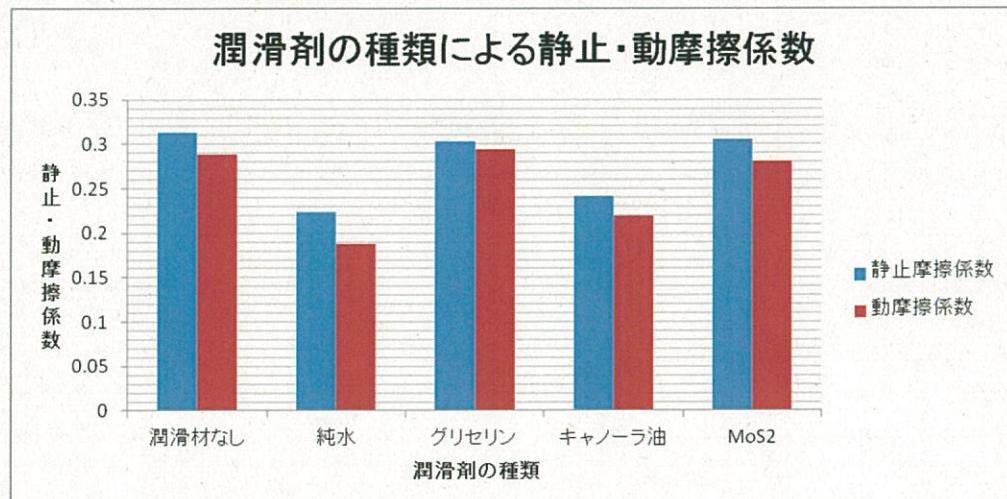
図 34 黒鉛の粒の様子



※図に写っている線は直径  $60 \mu\text{m}$  の銅線である。

## II : 動摩擦係數

グラフ 52 静止・動摩擦係数のグラフ



グラフ 52 より、アモントンクーロンの法則通り、全ての種類の潤滑材において、静止摩擦係数が動摩擦係数よりも大きくなつた。

表 73 傾斜法の真鍮の静止摩擦係数・動摩擦係数の結果

真鍮	潤滑材の種類	静止摩擦係数		動摩擦係数		静止摩擦係数-動摩擦係数		
	そのまま	0.31	±	0.03	0.29	±	0.03	0.02
	純水	0.223	±	0.008	0.188	±	0.006	0.04
	グリセリン	0.30	±	0.01	0.29	±	0.01	0.01
	キャノーラ油	0.24	±	0.02	0.22	±	0.01	0.02
	モリブデン	0.30	±	0.01	0.281	±	0.008	0.02

この結果を別の方法で測定し結果と比較する。

表 74 より、引っ張り班の実験結果によると、この実験で使用した粗さでは、動摩擦係数と静止摩擦係数の差は小さくなつた。これは、ステイックスリップ現象が起きており、アモントンの法則の示している条件になつていなかつた為と考えられる。つまり、摩擦力は、最大静止摩擦力でピークを取つた後に、滑り出してピークを取る場合と取らずにはぼ同じ 摩擦力でブロックが動いている場合があるという事である。

表74 引っ張り法の真鍮の静止摩擦係数・動摩擦係数の結果 [11]

真鍮	表面粗さRa(μm)	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	0.020
	0.058	0.32	±	0.06	0.28	±	0.06	0.040

表 73.74 より、傾斜法による測定結果と引っ張り法による測定結果に違いがほぼないので、動摩擦係数が傾斜法でもうまく測定することができたといえる。

キャノーラ油は、他の潤滑材と比べ粘性率が小さいので潤滑材としての役割を果たし、静止・動摩擦係数が潤滑材なしと比べて小さくなつたと考えられる。また、グリセリンや純水は、キャノーラ油と比べ粘性率が大きいので、静止・動摩擦係数が潤滑材なしとあまり違いがなかつたと考えられる。しかし、静止・動摩擦係数が潤滑材なしと 5 つの条件のなかで一番小さくなつた理由は不明である。

また、潤滑材の動摩擦係数は速度に依存するため、この実験方法では、図 34 より、速度が一定ではなく途中で加速されるため液状潤滑材の種類による変化が見られなかつたのではないかと考えられる。

図 35 グリセリンを潤滑材として真鍮ブロックが滑る様子



0 秒



0.5 秒



1.0 秒



1.5 秒



2.0 秒

## 第五章 結論

今回の実験では、測定する板の上にブロックをのせ、滑り出す角度を測定する方法を用いて、物質や潤滑材の種類や濃度、表面状態と静止摩擦係数の関係を調べ、摩擦係数を決める条件と要因を考察する事を目的とした。結論を以下にまとめる。

### i) 表面粗さに依存する摩擦係数

試料の種類によらず、表面粗さによる静止摩擦係数は、凹凸説と凝着説の寄与の和であることが分かった。表面粗さが大きくなるにつれ、凹凸説による寄与が大きくなり、逆に小さくなるにつれ、凝着説による寄与が大きくなる。

この実験で使用した研磨紙の粗さの範囲では、アルミニウムは、凝着説と凹凸説の寄与がみられた。それに対し、真鍮とアクリルは、凝着説の寄与が大きい範囲であるので、グラフは直線形をとった。

また、試料を一方向に研磨すると、真実接触面積の大きくなる場合、静止摩擦係数が大きくなるため、凝着説の寄与の方が、凹凸説よりも大きいなることがわかった。

### ii) 加重に依存した摩擦係数

アモントンクーロンの法則通りに、加重に対して最大静止摩擦力は比例関係になった。

しかし、加重によって真実接触面積が変化したために、最大静止摩擦力と加重の関係が比例関係より小さくなった場合もあった。この傾向は、加重の小さいに多く見られた。

### iii) 表面の摩耗の効果

表面粗さが大きいものの場合、測定回数が多くなるにつれ、板やブロックの表面粗さが変化し、静止摩擦係数が変化した。表面の粗さが小さい場合、凹凸が小さく、回数ごとの表面の粗さの変化が小さくなるため、静止摩擦係数に対する影響があまりなかった。アクリルの場合、表面の摩耗がほとんど起きなかつたのは、金属と比べて表面粗さ  $R_{sm}$  の幅が大きいことが関係していることが分かった。

### iv) 潤滑材の静止摩擦係数への影響

液状潤滑材では、加重時間による静止摩擦係数の寄与が大きかった。

表面粗さが大きいと、凹凸の部分に液状潤滑剤が入り込むことで、表面の凹凸がなくなり、液体潤滑材同士が接触し、真実接触面積が増えるが、液体潤滑材のせん断力が小さいので、摩擦係数は小さくなつたと考えられる。

黒鉛は、層状の物質なので、静止摩擦係数が未処理の状態よりも小さくなることが分かった。それに対し、粒子状のチョークは、粒子の粗さが 1 ミクロン以下の大きさ

であるので、表面の凹凸を埋め尽くし、粉末同士が接触面になるので、未処理の状態よりも静止摩擦係数は大きくなつた。

#### V) 傾斜法による動摩擦係数の測定

傾斜法は一般的に、最大静止摩擦力を測る方法として用いられるが、滑り出す角度・滑る時間をスマートフォンで録画し画像解析することで、最大静止摩擦力と動摩擦力を測定することができた。

アモンタンクーロンの法則通り、静止摩擦係数が動摩擦係数よりも大きくなつたが、その差は、真鍮の潤滑材なしの状態で 0.02 であった。

引っ張り法による測定結果とこの傾斜法による測定結果がほぼ同じ値なので、動摩擦係数が傾斜法でもうまく測定することができたといえる。

しかし、傾斜法による測定では、速度が一定ではなく途中で加速されるため液状潤滑材の種類による変化が見られなかつた。

傾斜法では、小さな試料、少量の潤滑剤を用いて、短い時間で静止摩擦や動摩擦を測定することが出来るので、色々な条件下での測定をたくさんすることができた。

## 第六章 共同実験者・参考文献・謝辞

### 1. 共同実験者と実験指導者

#### 共同実験者

今西優果（実験器具組み立て、データ入力）

岡本直大（実験器具組み立て、実験測定）

中村史香（実験器具組み立て、データ入力、金属研磨）

丹羽英人（実験器具組み立て、データ処理、金属粗さ測定）

#### 実験指導と助言

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 桜井景子先生（助言）

### 2. 参考文献

- [1]日本自動車連盟(ジャフ) <http://www.jaf.or.jp/smt/index.html>
- [2]チャート式シリーズ新物理 著者：都築 嘉弘 数研出版
- [3]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>
- [4]基礎から学ぶトライポロジー 著者：橋本巨 森北出版
- [5]表面物性工学ハンドブック 著者：松川宏
- [6]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
- [7]実験データ解析法 吉澤康和著 1989年 共立出版
- [8]MiSUMI C ナビ  
[http://www.misumi.co.jp/assy/tech/book\\_173.htm](http://www.misumi.co.jp/assy/tech/book_173.htm)
- [9] 「摩擦の物理」 著者：松川宏 岩波書店
- [10]粗さ入門.com  
<http://www.keyence.co.jp/microscope/special/arasa/>
- [11] 同高校の三年の引っ張り班のデータ

### 3. 謝辞

実験指導、チョーク・鉛筆の粉の顕微鏡観察写真の撮影をしていただいた、公益財団法人豊田理化学研究所フェローの中村新男先生に感謝いたします。

## 第七章 付録(各種実測値)

※読みの角度の誤差は「標準誤差」である。

黄色く塗りつぶしたものは、はずれ値として扱い、平均や標準偏差には含まれていな  
い。

### 1) 水平の角度

・アルミニウム

表 75 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 76 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 77 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 78 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

・真鍮

表 79 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 80 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 81 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 81 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

・アクリル

表 82 アクリル板未処理

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 83 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 84 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 85 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 86 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

・ガラス

表 87 ガラス板未処理

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

・画用紙

表 88 画用紙

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

・動摩擦係数の測定に使用した真鍮板

表 89 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) 粗さによる静止摩擦係数

・アルミニウム

表 90 アルミニウム板#100 ブロック#60

種類《板》	アルミ	
粗さ《板》	100	
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	67.0	22.4
2	71.8	17.6
3	71.6	17.8
4	74.2	15.2
5	73.0	16.4
6	74.6	14.8
7	74.0	15.4
8	76.4	13.0
9	73.2	16.2
10	73.2	16.2
平均	72.9	16.5
標準偏差	2.5	2.5
誤差	0.8	0.8
静止摩擦係数	0.30	
誤差	0.02	

表 91 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
静止摩擦係数	0.67	
誤差	0.03	

表 92 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	55.6	33.8
2	58.8	30.6
3	56.4	33.0
4	59.6	29.8
5	57.6	31.8
6	57.8	31.6
7	58.4	31.0
8	59.0	30.4
9	58.0	31.4
10	59.6	29.8
平均	58.1	31.4
標準偏差	1.3	1.3
誤差	0.4	0.4

静止摩擦係数	0.61
誤差	0.01

表 93 アルミニウム板#320 ブロック#60

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	0.52
誤差	0.01

表 94 アルミニウム板#600 ブロック#60

種類<板>	アルミ	
粗さ<板>	600	
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	62.0	27.5
2	56.6	32.9
3	55.8	33.7
4	59.4	30.1
5	53.8	35.7
6	57.6	31.9
7	53.4	36.1
8	56.8	32.7
9	55.8	33.7
10	54.8	34.7
平均	56.6	32.9
標準偏差	2.6	2.6
誤差	0.8	0.8
静止摩擦係数	0.65	
誤差	0.02	

表 95 アルミニウム板#60 ブロック#100

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>	100	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	72.8	16.6
2	70.0	19.4
3	75.2	14.2
4	78.0	11.4
5	75.8	13.6
6	79.0	10.4
7	76.2	13.2
8	79.4	10.0
9	73.0	16.4
10	76.8	12.6
平均	75.6	13.8
標準偏差	3.0	3.0
誤差	0.9	0.9
静止摩擦係数	0.25	
誤差	0.02	

表 96 アルミニウム板#100 ブロック#100

種類<板>	アルミ	
粗さ<板>	100	
種類<ブロック>	アルミ	
粗さ<ブロック>	100	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	55	34
2	62	27
3	58	31
4	60	29
5	65	24
6	70	19
7	68	22
8	73	17
9	68	21
10	69	20
平均	65	24
標準偏差	6	6
誤差	2	2
静止摩擦係数	0.45	
誤差	0.04	

表 97 アルミニウム板#150 ブロック#100

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>	100	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	58	31
2	64	25
3	68	21
4	71	19
5	71	18
6	75	14
7	73	16
8	75	14
9	77	12
10	77	12
11	78	11
12	78	11
平均	74	15
標準偏差	3	3
誤差	1	1
静止摩擦係数	0.27	
誤差	0.02	

表 98 アルミニウム板#320 ブロック#100

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>	100	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	69.4	20.1
2	71.4	18.1
3	69.0	20.5
4	67.8	21.7
5	67.4	22.1
6	71.0	18.5
7	72.2	17.3
8	70.0	19.5
9	67.4	22.1
10	69.0	20.5
平均	69.5	20.1
標準偏差	1.7	1.7
誤差	0.5	0.5
静止摩擦係数	0.37	
誤差	0.01	

表 99 アルミニウム板#600 ブロック#100

種類<板>	アルミ	
粗さ<板>	600	
種類<ブロック>	アルミ	
粗さ<ブロック>	100	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	54	36
2	53	36
3	60	30
4	56	33
5	61	28
6	63	26
7	55	35
8	60	30
9	58	31
10	66	24
平均	59	31
標準偏差	4	4
誤差	1	1
静止摩擦係数	0.60	
誤差	0.03	

表 100 アルミニウム板#60 ブロック#150

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>	150	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	57.4	32.0
2	57.6	31.8
3	59.0	30.4
4	56.8	32.6
5	58.2	31.2
6	58.8	30.6
7	58.0	31.4
8	59.0	30.4
9	56.4	33.0
10	56.4	33.0
平均	57.8	31.7
標準偏差	1.0	1.0
誤差	0.3	0.3
静止摩擦係数	0.617	
誤差	0.008	

表 101 アルミニウム板#150 ブロック#150

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>	150	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	60.4	28.9
2	60.6	28.7
3	58.6	30.7
4	56.0	33.3
5	60.0	29.3
6	59.6	29.7
7	53.4	35.9
8	64.4	24.9
9	61.4	27.9
10	59.8	29.5
平均	59.4	29.9
標準偏差	3.0	3.0
誤差	0.9	1.0
静止摩擦係数	0.57	
誤差	0.02	

表 102 アルミニウム板#320 ブロック#150

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>	150	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	56.4	33.1
2	56.6	32.9
3	55.6	33.9
4	54.0	35.5
5	56.2	33.3
6	54.0	35.5
7	55.4	34.1
8	55.8	33.7
9	55.4	34.1
10	56.4	33.1
平均	55.6	33.9
標準偏差	0.9	0.9
誤差	0.3	0.3
静止摩擦係数	0.673	
誤差	0.008	

表 103 アルミニウム板#600 ブロック#150

種類<板>	アルミ	
粗さ<板>	600	
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	58.8	30.7
2	61.8	27.7
3	62.0	27.5
4	59.0	30.5
5	60.8	28.7
6	63.6	25.9
7	65.0	24.5
8	64.0	25.5
9	63.0	26.5
10	63.0	26.5
平均	62.1	27.4
標準偏差	2.1	2.1
誤差	0.7	0.7
静止摩擦係数	0.52	
誤差	0.01	

表 104 アルミニウム板#60 ブロック#320

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>	320	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	55.0	34.4
2	56.2	33.2
3	56.8	32.6
4	56.4	33.0
5	56.2	33.2
6	59.8	29.6
7	56.4	33.0
8	58.4	31.0
9	55.6	33.8
10	56.0	33.4
平均	56.7	32.8
標準偏差	1.4	1.4
誤差	0.4	0.5
静止摩擦係数	0.64	
誤差	0.01	

表 105 アルミニウム板#150 ブロック#320

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>	320	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	57.0	32
2	53.2	36
3	55.8	33
4	61.2	28
5	57.6	32
6	60.6	29
7	56.2	33
8	57.0	32
9	59.6	30
10	59.8	29
平均	57.8	31
標準偏差	2.5	2
誤差	0.8	1
静止摩擦係数	0.61	
誤差	0.03	

表 106 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	54.6	34.9
2	58.8	30.7
3	59.0	30.5
4	56.0	33.5
5	61.4	28.1
6	57.8	31.7
7	61.6	27.9
8	60.0	29.5
9	61.2	28.3
10	62.2	27.3
平均	59.3	30.3
標準偏差	2.5	2.5
誤差	0.8	0.8

静止摩擦係数	0.58
誤差	0.02

表 107 アルミニウム板#600 ブロック#320

種類<板>	アルミ	
粗さ<板>	600	
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	52	37
2	46	43
3	54	36
4	60	30
5	58	31
6	60	29
7	57	33
8	60	29
9	60	29
10	62	27
平均	57	33
標準偏差	5	5
誤差	2	2

静止摩擦係数	0.64
誤差	0.04

表 108 アルミニウム板#60 ブロック#600

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>	600	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	54.4	35.0
2	53.4	36.0
3	53.0	36.4
4	55.4	34.0
5	52.4	37.0
6	50.4	39.0
7	53.0	36.4
8	52.8	36.6
9	55.2	34.2
10	54.0	35.4
平均	53.4	36.0
標準偏差	1.5	1.5
誤差	0.5	0.5

静止摩擦係数	0.73
誤差	0.01

表 109 アルミニウム板#150 ブロック#600

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>	600	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	54.0	35
2	52.4	37
3	49.4	40
4	57.0	32
5	57.4	32
6	58.2	31
7	57.4	32
8	57.8	31
9	55.2	34
10	56.6	33
平均	55.5	34
標準偏差	2.8	3
誤差	0.9	1

静止摩擦係数	0.67
誤差	0.03

表 110 アルミニウム板#320 ブロック#600

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>	600	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	53.2	36.3
2	56.4	33.1
3	59.4	30.1
4	53.8	35.7
5	58.0	31.5
6	60.2	29.3
7	60.6	28.9
8	58.0	31.5
9	52.0	37.5
10	59.8	29.7
平均	57.1	32.4
標準偏差	3.1	3.1
誤差	1.0	1.0

静止摩擦係数	0.63
誤差	0.02

表 111 アルミニウム板#600 ブロック#600

種類<板>	アルミ	
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	47.4	42.1
2	52.2	37.3
3	50.2	39.3
4	48.6	40.9
5	50.2	39.3
6	53.0	36.5
7	53.8	35.7
8	54.4	35.1
9	54.0	35.5
10	56.0	33.5
平均	52.0	37.5
標準偏差	2.8	2.8
誤差	0.9	0.9

静止摩擦係数	0.77
誤差	0.02

・真鍮

表 112 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	79.2	10.3
2	81.0	8.5
3	81.0	8.5
4	81.0	8.5
5	82.0	7.5
6	81.6	7.9
7	81.4	8.1
8	82.8	6.7
9	82.8	6.7
10	82.8	6.7
平均	81.6	8.0
標準偏差	1.1	1.1
誤差	0.4	0.4
静止摩擦係数	0.140	
誤差	0.007	

表 113 真鍮板#150 ブロック#60

種類<板>	真鍮	
粗さ<板>	150	
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	67.4	22.0
2	75.4	14.0
3	73.0	16.4
4	79.6	9.8
5	79.8	9.6
6	80.0	9.4
7	79.6	9.8
8	81.0	8.4
9	79.8	9.6
10	80.4	9.0
11	76.0	13.4
12	78.2	11.2
13	81.0	8.4
平均	79.5	9.8
標準偏差	1.5	1.5
誤差	0.5	0.5
静止摩擦係数	0.173	
誤差	0.009	

表 114 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	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	71.8	17.6
2	77.4	12.0
3	78.8	10.6
4	78.6	10.8
5	74.8	14.6
6	76.6	12.8
7	77.0	12.4
8	76.4	13.0
9	80.0	9.4
10	76.8	12.6
11	78.0	11.4
平均	77.4	11.9
標準偏差	1.5	1.5
誤差	0.5	0.5
静止摩擦係数	0.211	
誤差	0.009	

表 115 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	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	73.4	15.9
2	74.2	15.1
3	74.2	15.1
4	75.6	13.7
5	77.0	12.3
6	76.2	13.1
7	74.6	14.7
8	69.4	19.9
9	73.4	15.9
10	76.0	13.3
平均	74.4	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 116 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	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	77.8	11.7
2	79.2	10.3
3	80.4	9.1
4	80.2	9.3
5	80.2	9.3
6	82.0	7.5
7	81.4	8.1
8	80.6	8.9
9	81.0	8.5
10	80.8	8.7
平均	80.4	9.2
標準偏差	1.2	1.2
誤差	0.4	0.4
静止摩擦係数	0.161	
誤差	0.007	

表 117 真鍮板#150 ブロック#150

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	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	69	20
2	70	19
3	71	18
4	68	21
5	68	21
6	75	14
7	68	21
8	74	15
9	77	12
10	73	17
平均	72	18
標準偏差	3	3
誤差	1	1
静止摩擦係数	0.32	
誤差	0.02	

表 118 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 2.2
誤差	0.7 0.7
静止摩擦係数	0.27
誤差	0.01

表 119 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
11	69.0 20.4
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 120 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 121 真鍮板#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 122 真鍮板#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	読みの角度(度) 滑り出す角度(度)
1	69.4 19.9
2	71.4 17.9
3	72.8 16.5
4	75.8 13.5
5	70.4 18.9
6	77.8 11.5
7	71.6 17.7
8	75.8 13.5
9	74.8 14.5
10	76.0 13.3
平均	73.6 15.8
標準偏差	2.8 2.8
誤差	0.9 0.9
静止摩擦係数	0.28
誤差	0.02

表 123 真鍮板#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	読みの角度(度) 滑り出す角度(度)
1	63.8 25.7
2	70.8 18.7
3	73.0 16.5
4	74.4 15.1
5	76.6 12.9
6	74.0 15.5
7	72.6 16.9
8	76.2 13.3
9	75.0 14.5
10	74.8 14.7
11	77.2 12.3
平均	74.5 15.0
標準偏差	2.0 2.0
誤差	0.6 0.6
静止摩擦係数	0.27
誤差	0.01

表 124 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)
1	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
静止摩擦係数	0.22
誤差	0.01

表 125 真鍮板#150 ブロック#600

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)
1	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	0.35
誤差	0.01

表 126 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)
1	65.8
2	72.0
3	72.8
4	68.2
5	73.2
6	68.0
7	68.0
8	72.2
9	69.0
10	67.8
平均	69.7
標準偏差	2.6
誤差	0.8

静止摩擦係数	0.36
誤差	0.02

表 127 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)
1	58
2	65
3	69
4	63
5	59
6	70
7	70
8	63
9	68
10	68
11	70
平均	66
標準偏差	4
誤差	1

静止摩擦係数	0.43
誤差	0.03

・アクリル

表 128 アクリル板#60 ブロック#60

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	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	75.8	13.6
2	77.8	11.6
3	77.8	11.6
4	76.0	13.4
5	76.2	13.2
6	76.2	13.2
7	77.2	12.2
8	76.8	12.6
9	76.6	12.8
10	76.4	13.0
平均	76.7	12.7
標準偏差	0.7	0.7
誤差	0.2	0.2
静止摩擦係数	0.225	
誤差	0.004	

表 129 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	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	73.4	16.5
2	74.4	15.5
3	75.8	14.1
4	76.0	13.9
5	78.0	11.9
6	76.8	13.1
7	77.0	12.9
8	77.2	12.7
9	76.4	13.5
10	77.8	12.1
平均	76.3	13.7
標準偏差	1.5	1.5
誤差	0.5	0.5
静止摩擦係数	0.243	
誤差	0.009	

表 130 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	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	74.4	15.3
2	75.6	14.1
3	73.8	15.9
4	77.2	12.5
5	80.2	9.5
6	77.2	12.5
7	74.4	15.3
8	73.8	15.9
9	75.6	14.1
10	76.2	13.5
平均	75.8	13.9
標準偏差	2.0	2.0
誤差	0.6	0.6
静止摩擦係数	0.25	
誤差	0.01	

表 131 アクリル板#600 ブロック#600

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	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	73.6	16.0
2	74.6	15.0
3	74.0	15.6
4	74.0	15.6
5	74.8	14.8
6	74.0	15.6
7	74.0	15.6
8	74.0	15.6
9	74.6	15.0
10	73.8	15.8
平均	74.1	15.4
標準偏差	0.4	0.4
誤差	0.1	0.1

静止摩擦係数	0.276
誤差	0.003

表 132 アクリル 板未処理 ブロック未処理

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	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	75.2	14.2
2	72.2	17.2
3	76.0	13.4
4	76.0	13.4
5	75.6	13.8
6	76.8	12.6
7	75.0	14.4
8	75.8	13.6
9	75.8	13.6
10	75.6	13.8
平均	75.4	14.0
標準偏差	1.2	1.2
誤差	0.4	0.5

静止摩擦係数	0.250
誤差	0.009

・ガラス

表 133 ガラス板 未処理 ブロック未処理

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①	読み②	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	76.4	72.8	76.4	13.0
2	74.8		74.8	14.6
3	76.2		76.2	13.2
4	76.8		76.8	12.6
5	77.0		77.0	12.4
6	77.0	71.2	77.0	12.4
7	76.6		76.6	12.8
8	73.4		73.4	16.0
9	75.4		75.4	14.0
10	77.0		77.0	12.4
平均	76.1	72.0	76.1	13.6
標準偏差	1.2	1.1	1.2	1.2
誤差	0.4	0.4	0.4	0.4
静止摩擦係数	0.242			
誤差	0.007			

・アルミニウムブロック×ガラス板

表 134 ガラス板 未処理 アルミニウムブロック#60

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	読み①	読み②	読み③	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	80.8	79.3		80.8	8.5
2	81.2			81.2	8.1
3	82.4			82.4	6.9
4	82.6	78.6		82.6	6.7
5	82.2			82.2	7.1
6	83.4	82.8	80.6	82.8	6.5
7	81.8	78.6		81.8	7.5
8	83.4	82.8	81.0	82.8	6.5
9	84.0	83.2		83.2	6.1
10	83.2	81.4	79.6	81.4	7.9
平均	82.5	81.0	80.4	82.1	7.9
標準偏差	1.0	2.1	0.7	0.8	0.8
誤差	0.3	0.7	0.2	0.2	0.3
静止摩擦係数	0.138				
誤差	0.005				

表 135 ガラス板 未処理 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①	読み②	読み③	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	81.4	80.0		81.4	7.9
2	83.0	82.0	79.0	82.0	7.3
3	79.4			79.4	9.9
4	81.8	80.6	78.0	81.8	7.5
5	80.8	79.4		80.8	8.5
6	80.6	74.8		80.6	8.7
7	79.4			79.4	9.9
8	81.6	80.8	77.2	80.8	8.5
9	81.8	81.4	80.8	81.4	7.9
10	79.4			79.4	9.9
平均	80.9	79.9	78.8	80.7	8.6
標準偏差	1.2	2.4	1.6	1.0	1.0
誤差	0.4	0.8	0.5	0.3	0.3
静止摩擦係数	0.152				
誤差	0.006				

表 136 ガラス板 未処理 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①	読み②	読み③	読み④	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	80.2	76.0			80.2	9.1
2	81.6				81.6	7.7
3	81.6	80.8	78.8		80.8	8.5
4	82.4	80.2			80.2	9.1
5	82.6	81.6	81.2	80	81.6	7.7
6	81.2	80.8	78.4		81.2	8.1
7	82.2	81.0	79.0		81.0	8.3
8	80.4				80.4	8.9
9	81.0	78.8			81.0	8.3
10	81.8	78.0			81.8	7.5
平均	81.5	79.7	79.4	80	81.0	8.4
標準偏差	0.8	1.9	1.3		0.6	0.6
誤差	0.3	0.6	0.4		0.2	0.2

静止摩擦係数	0.147
誤差	0.004

表 137 ガラス板 未処理 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①	読み②	読み③	読み④	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	80.2	78.0	75.8	75.2	78.0	11.3
2	80.2	79.2	76.4		79.2	10.1
3	79.0				79.0	10.3
4	78.2				78.2	11.1
5	80.6	79.0	76.2		79.0	10.3
6	79.4	76.2			79.4	9.9
7	81.0	78.8	74.8		78.8	10.5
8	79.4	76.0	74.0		76.0	13.3
9	77.8				77.8	11.5
10	78.6				78.6	10.7
平均	79.4	77.9	75.4	75.2	78.4	10.9
標準偏差	1.1	1.4	1.0		1.0	1.0
誤差	0.3	0.5	0.3		0.3	0.3

静止摩擦係数	0.193
誤差	0.006

## ・真鍮ブロック×ガラス板

表 138 ガラス板 未処理 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①	読み②	読み③	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	83.6	83.0		83.6	5.7
2	83.6	83.0		83.6	5.7
3	83.6	82.8	82.4	83.6	5.7
4	84.2	82.8	81.4	82.8	6.5
5	84.2	83.0	81.4	83.0	6.3
6	83.8	82.8	80.4	82.8	6.5
7	83.4	80.6		83.4	5.9
8	83.6	82.4	81.0	83.6	5.7
9	83.8	82.8	81.2	83.8	5.5
10	83.0	82.0	81.0	83.0	6.3
平均	83.7	82.5	81.3	83.3	6.0
標準偏差	0.4	0.7	0.6	0.4	0.4
誤差	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1

静止摩擦係数	0.106
誤差	0.002

表 139 ガラス板 未処理 真鍮ブロック#150

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	

表 140 ガラス板 未処理 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>>	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 141 ガラス板 未処理 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①	読み②	読み③	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	79.4	77.4	75.4	79.4	10.0
2	80.0	78.8	76.8	80.0	9.4
3	80.2	78.6		80.2	9.2
4	79.6			79.6	9.8
5	80.4			80.4	9.0
6	81.0	79.0		79.0	10.4
7	81.4			81.4	8.0
8	82.4			82.4	7.0
9	81.8			81.8	7.6
10	82.0	81.6		81.6	7.8
平均	80.8	79.1	76.1	80.6	8.8
標準偏差	1.1	1.5	1.0	1.1	1.1
誤差	0.3	0.5	0.3	0.4	0.4
静止摩擦係数	0.155				
誤差	0.007				

## 2) 潤滑材の効果

・エタノール (アルミニウム)

表 142 アルミニウム板#600 ブロック#60

種類《板》	アルミ
粗さ《板》	600
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	67.2 22.3
2	67.6 21.9
3	67.4 22.1
4	66.2 23.3
5	60.4 29.1
6	67.0 22.5
7	68.2 21.3
8	62.0 27.5
9	67.2 22.3
10	70.6 18.9
平均	66.4 23.1
標準偏差	3.0 3.0
誤差	0.9 1.0

静止摩擦係数	0.43
誤差	0.02

表 143 アルミニウム板#600 ブロック#150

種類《板》	アルミ
粗さ《板》	600
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	57 32
2	58 32
3	58 31
4	63 27
5	56 34
6	58 31
7	60 30
8	66 23
9	58 31
10	64 26
平均	60 30
標準偏差	3 3
誤差	1 1

静止摩擦係数	0.57
誤差	0.02

表 144 アルミニウム板#600 ブロック#320

種類《板》	アルミ
粗さ《板》	600
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	62.0 27.5
2	61.2 28.3
3	60.0 29.5
4	60.8 28.7
5	60.4 29.1
6	60.8 28.7
7	56.8 32.7
8	59.0 30.5
9	60.6 28.9
10	60.4 29.1
平均	60.2 29.3
標準偏差	1.4 1.4
誤差	0.5 0.5

静止摩擦係数	0.56
誤差	0.01

表 145 アルミニウム板#600 ブロック#600

種類《板》	アルミ
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	59.6 29.9
2	63.0 26.5
3	67.6 21.9
4	59.4 30.1
5	62.0 27.5
6	57.0 32.5
7	60.8 28.7
8	58.5 31.0
9	62.6 26.9
10	61.2 28.3
平均	61.2 28.3
標準偏差	2.9 2.9
誤差	0.9 0.9

静止摩擦係数	0.54
誤差	0.02

・エタノール(真鍮)

表 146 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	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	67.8	21.7
2	69.8	19.7
3	72.0	17.5
4	68.2	21.3
5	70.8	18.7
6	70.0	19.5
7	69.4	20.1
8	74.0	15.5
9	73.2	16.3
10	73.6	15.9
平均	70.9	18.6
標準偏差	2.2	2.2
誤差	0.7	0.7
静止摩擦係数	0.34	
誤差	0.01	

表 147 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	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	63.6	25.9
2	70.2	19.3
3	69.6	19.9
4	71.4	18.1
5	68.4	21.1
6	67.6	21.9
7	68.6	20.9
8	68.2	21.3
9	67.4	22.1
10	69.2	20.3
平均	68.4	21.1
標準偏差	2.1	2.1
誤差	0.7	0.7
静止摩擦係数	0.39	
誤差	0.01	

表 148 真鍮板#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	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	66.8	22.7
2	60.8	28.7
3	63.4	26.1
4	66.6	22.9
5	67.2	22.3
6	68.0	21.5
7	67.4	22.1
8	68.4	21.1
9	68.0	21.5
10	67.4	22.1
平均	66.4	23.1
標準偏差	2.4	2.4
誤差	0.8	0.8
静止摩擦係数	0.43	
誤差	0.02	

表 149 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	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	65.4	24.1
2	69.2	20.3
3	67.8	21.7
4	63.0	26.5
5	68.0	21.5
6	65.8	23.7
7	62.0	27.5
8	65.4	24.1
9	64.0	25.5
10	64.6	24.9
平均	65.5	24.0
標準偏差	2.3	2.3
誤差	0.7	0.7
静止摩擦係数	0.44	
誤差	0.02	

・純水（アルミニウム）

表 150 アルミニウム板#60 ブロック#60  
加重あり

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	29
2	63	27
3	70	19
4	65	24
5	71	19
6	70	19
7	75	14
8	73	16
9	75	14
10	67	22
11	73	16
平均	70	19
標準偏差	4	4
誤差	1	1
静止摩擦係数	0.35	
誤差	0.03	

表 151 アルミニウム板#600 ブロック#60  
加重あり

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》	60	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	56	33
2	48	42
3	51	38
4	52	37
5	50	39
6	48	42
7	51	38
8	45	44
9	56	33
10	58	32
平均	52	38
標準偏差	4	4
誤差	1	1
静止摩擦係数	0.78	
誤差	0.04	

表 152 アルミニウム板#600 ブロック#150  
加重あり

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》	150	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	57	33
2	49	40
3	45	44
4	44	45
5	51	39
6	53	36
7	55	35
8	53	37
9	55	34
10	51	38
平均	51	38
標準偏差	4	4
誤差	1	1
静止摩擦係数	0.79	
誤差	0.04	

表 153 アルミニウム板#600 ブロック#320  
加重あり

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》	320	
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	66	24
2	60	30
3	50	39
4	48	42
5	51	38
6	60	30
7	43	46
8	51	39
9	58	32
10	58	31
11	59	31
平均	54	36
標準偏差	6	6
誤差	2	2
静止摩擦係数	0.72	
誤差	0.05	

表 154 アルミニウム板#600 ブロック#600  
加重あり

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 155 アルミニウム板#60 ブロック#60  
加重なし

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 156 アルミニウム板#600 ブロック#600  
加重なし

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	

・純水 (真鍮)

表 157 真鍮板#60 ブロック#60  
加重あり

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
静止摩擦係数	0.37	
誤差	0.01	

表 158 真鍮板#600 ブロック#60  
加重あり

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>		60
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	71.2	18.3
2	74.0	15.5
3	75.0	14.5
4	72.6	16.9
5	72.4	17.1
6	71.0	18.5
7	70.8	18.7
8	70.6	18.9
9	71.6	17.9
10	71.8	17.7
平均	72.1	17.4
標準偏差	1.4	1.4
誤差	0.5	0.5
静止摩擦係数	0.313	
誤差	0.009	

表 159 真鍮板#600 ブロック#150  
加重あり

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>		150
回数	読みの角度(度)	滑り出す角度(度)
1	65.2	24.3
2	68.0	21.5
3	68.0	21.5
4	66.8	22.7
5	67.0	22.5
6	68.0	21.5
7	66.8	22.7
8	67.8	21.7
9	69.0	20.5
10	68.2	21.3
平均	67.5	22.0
標準偏差	1.1	1.1
誤差	0.3	0.4
静止摩擦係数	0.404	
誤差	0.007	

表 160 真鍮板#320 ブロック#600  
加重あり

種類<板>	真鍮	加重あり
粗さ<板>	320	
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	61.2	28.3
2	67.2	22.3
3	67.0	22.5
4	68.4	21.1
5	64.0	25.5
6	62.2	27.3
7	65.0	24.5
8	64.4	25.1
9	66.0	23.5
10	67.0	22.5
平均	65.2	24.3
標準偏差	2.3	2.3
誤差	0.7	0.8
静止摩擦係数	0.45	
誤差	0.02	

表 161 真鍮板#600 ブロック#600  
加重あり

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
静止摩擦係数	0.35	
誤差	0.01	

表 162 真鍮板#60 ブロック#60  
加重なし

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	0.230	
誤差	0.007	

表 163 真鍮板#600 ブロック#600  
加重なし

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	0.24	
誤差	0.02	

・グリセリン (アルミニウム)

表 164 アルミニウム板#60 ブロック#60  
加重あり 100%

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 165 アルミニウム板#600 ブロック#600  
加重あり 100%

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 166 アルミニウム板#60 ブロック#60  
加重なし 100%

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 167 アルミニウム板#600 ブロック#600  
加重なし 100%

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		

・グリセリン（真鍮）

表 168 真鍮板#600 ブロック#600  
加重あり 100%

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 169 真鍮板#600 ブロック#600  
加重あり 75%

種類<板>	真鍮	加重あり	75%
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	66	23	
2	64	26	
3	59	31	
4	55	35	
5	63	27	
6	61	29	
7	64	26	
8	67	23	
9	61	29	
10	60	29	
平均	62	27	
標準偏差	4	4	
誤差	1	1	
静止摩擦係数	0.52		
誤差	0.03		

表 170 真鍮板#600 ブロック#600  
加重あり 50%

種類<板>	真鍮	加重あり	50%
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	64	26	
2	74	15	
3	70	20	
4	66	23	
5	68	21	
6	68	21	
7	62	27	
8	68	22	
9	68	22	
10	65	24	
平均	67	22	
標準偏差	3	3	
誤差	1	1	
静止摩擦係数	0.41		
誤差	0.02		

表 171 真鍮板#600 ブロック#600  
荷重あり 25%

種類<板>	真鍮	加重あり	25%
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	71.4	18.1	
2	69.0	20.5	
3	67.6	21.9	
4	67.2	22.3	
5	67.2	22.3	
6	65.6	23.9	
7	65.2	24.3	
8	62.4	27.1	
9	66.8	22.7	
10	60.8	28.7	
平均	66.3	23.2	
標準偏差	3.1	3.1	
誤差	1.0	1.0	
静止摩擦係数	0.43		
誤差	0.02		

表 172 真鍮板#60 ブロック#60  
加重あり 100%

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 173 真鍮板#600 ブロック#600  
加重なし 100%

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 174 真鍮板#60 ブロック#60  
加重なし 100%

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		

・キャノーラ油

表 175 アルミニウム板#60 ブロック#60  
加重なし

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 176 アルミニウム板#60 ブロック#60  
加重あり

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 177 アルミニウム板#600 ブロック#600  
加重なし

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
静止摩擦係数	0.64	
誤差	0.02	

表 178 アルミニウム板#600 ブロック#600  
加重あり

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 179 真鍮板#60 ブロック#60  
加重なし

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	0.19	
誤差	0.01	

表 180 真鍮板#60 ブロック#60  
加重あり

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	0.16	
誤差	0.01	

表 181 真鍮板#600 ブロック#600  
加重なし

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 182 真鍮板#600 ブロック#600  
加重なし

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	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	0.38	
誤差	0.01	

・ 固形潤滑(画用紙)

表 183 潤滑剤なし

種類<板>	紙
粗さ<板>	
種類<ブロック>	紙
粗さ<ブロック>	
回数	
1	読みの角度(度) 74.0
2	73.0
3	68.4
4	70.4
5	71.8
6	75.2
7	72.4
8	74.4
9	68.0
10	74.6
平均	72.2
標準偏差	2.6
誤差	0.8
静止摩擦係数	0.32
誤差	0.02

表 184 二硫化モリブデン

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	
1	読みの角度(度) 62.0
2	59.8
3	51.8
4	60.8
5	65.2
6	67.8
7	70.2
8	70.4
9	66.8
10	70.0
11	70.0
12	70.8
13	70.8
14	70.6
平均	69.3
標準偏差	2.0
誤差	0.6
静止摩擦係数	0.38
誤差	0.01

表 185 黒鉛

種類<板>	紙(黒鉛)
粗さ<板>	
種類<ブロック>	紙(黒鉛)
粗さ<ブロック>	
回数	
1	読みの角度(度) 77.0
2	75.8
3	76.4
4	76.0
5	76.8
6	76.8
7	71.8
8	75.0
9	76.6
10	77.2
平均	75.9
標準偏差	1.6
誤差	0.5
静止摩擦係数	0.25
誤差	0.01

表 186 チョーク(蛍光ピンク)

種類<板>	紙
粗さ<板>	
種類<ブロック>	紙
粗さ<ブロック>	
回数	
1	読みの角度(度) 56.8
2	53.0
3	57.4
4	53.4
5	52.6
6	52.4
7	49.4
8	51.4
9	52.4
10	51.4
平均	53.0
標準偏差	2.4
誤差	0.8
静止摩擦係数	0.75
誤差	0.02

表 187 チョーク(黄)

種類<板>	紙
粗さ<板>	
種類<ブロック>	紙
粗さ<ブロック>	
回数	
1	読みの角度(度) 57.2
2	50.8
3	53.0
4	48.2
5	53.0
6	53.2
7	53.8
8	52.8
9	51.0
10	52.0
平均	52.5
標準偏差	2.3
誤差	0.7
静止摩擦係数	0.76
誤差	0.02

表 188 チョーク(茶)

種類<板>	紙	
粗さ<板>		
種類<ブロック>	紙	
粗さ<ブロック>		
回数		
1	最終	真の角度
2	51.4	38.5
3	51.0	38.9
4	52.4	37.5
5	50.2	39.7
6	51.0	38.9
7	51.4	38.5
8	54.2	35.7
9	48.2	41.7
10	48.4	41.5
平均	50.0	39.9
標準偏差	1.8	1.8
誤差	0.6	0.6
静止摩擦係数	0.81	
誤差	0.02	

・ 固形潤滑(真鍮)

表 189 真鍮板#60 ブロック#60  
二硫化モリブデン

種類<板>	真鍮	MoS2
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	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
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 190 真鍮板#60 ブロック#60  
黒鉛

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 191 真鍮板#60 ブロック#60  
チョーク(蛍光ピンク)

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 191 真鍮板#60 ブロック#60  
チョーク(茶)

種類<板>	真鍮	茶
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	58.2	31.3
2	52.0	37.5
3	58.0	31.5
4	59.0	30.5
5	59.6	29.9
6	50.4	39.1
7	48.8	40.7
8	48.2	41.3
9	48.4	41.1
10	49.0	40.5
11	49.0	40.5
12	47.0	42.5
13	48.0	41.5
14	48.4	41.1
15	47.8	41.7
平均	48.5	41.0
標準偏差	0.9	0.9
誤差	0.3	0.3
静止摩擦係数	0.869	
誤差	0.009	

表 192 真鍮板#ブロック#600  
二硫化モリブデン

種類<板>	真鍮	MoS2
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	

表 193 真鍮板#600 ブロック#600  
黒鉛

種類<板>	真鍮	黒鉛
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	68.6	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 194 真鍮板#600 ブロック#600  
チョーク(蛍光ピンク)

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 195 真鍮板#600 ブロック#600  
チョーク(茶)

種類<板>	真鍮	茶
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	30
2	63	26
3	60	30
4	61	29
5	62	28
6	62	27
7	58	32
8	58	32
9	54	36
10	57	33
平均	59	30
標準偏差	3	3
誤差	1	1
静止摩擦係数	0.58	
誤差	0.02	

#### ・加重依存

i) アルミニウム板#60 ブロック#60

表 196 荷重 97.3g

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 197 荷重 197.3g

種類<板>	アルミ	197.3g
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	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

静止摩擦係数	0.204
誤差	0.005

表 198 荷重 297.4g

種類<板>	アルミ	297.4g
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

ii) アルミニウム板#320 ブロック#320

表 201 荷重 97.3g

種類<板>	アルミ	320
粗さ<板>		
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 200 荷重 497.4g

種類<板>	アルミ	320
粗さ<板>		
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 202 荷重 197.4g

種類<板>	アルミ	320
粗さ<板>		
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 203 荷重 247.1g

種類<板>	アルミ	320
粗さ<板>		
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 204 荷重 297.3g

種類《板》	アルミ	297.3
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	2.4
誤差	0.8	0.8

静止摩擦係数	0.42
誤差	0.02

表 205 荷重 397.5g

種類《板》	アルミ	397.5
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	1.6
誤差	0.5	0.5

静止摩擦係数	0.39
誤差	0.01

表 206 荷重 497.3g

種類《板》	アルミ	497.3
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	2.0
誤差	0.6	0.7

静止摩擦係数	0.49
誤差	0.01

## 2)表面処理

## ・一方向研磨

表 207 板：横 ブロック：横

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

表 208 板：横 ブロック：縦

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

表 209 板：縦 ブロック：横

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

表 209 板：縦 ブロック：横

静止摩擦係数	0.21
誤差	0.01

表 210 板：縦 ブロック：縦

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	

・毎回研磨

表 211 真鍮板#60 ブロック#60

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 212 真鍮板#600 ブロック#600

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	

### 3)動摩擦係数

表 213 潤滑剤なし

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)	移動時間(s)	
1	81	9	0.7	
2	68	22	1.4	
3	77	12	0.8	
4	78	12	3.3	
5	78	12	1.9	
6	68	22	1.0	
7	72	18	2.5	
8	67	23	1.0	
9	72	18	0.8	
10	71	19	0.8	
11	71	18	0.9	
平均	72	17	1.4	
標準偏差		4	4	0.9
標準誤差		1	1	0.3

静止摩擦係数	0.31	動摩擦係数	0.30
誤差	0.03	誤差	0.03

表 214 純水

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 215 キヤノーラ油

種類《板》	真鍮	キヤノーラ油		
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 216 グリセリン

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 217 二硫化モリブデン

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