

レポート表題

身のまわりの潤滑剤が
マサツ特小生に与える影響について

第1チャレンジ番号：
(※1) 1 5 0 4 0 0 5

(※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：安藤 一真

学校名又は
卒業校名：名取市立 みどり台 中学校 学 年：3年

学校のある
都道府県名：宮城県 実験をした場所：自宅

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：
<u>安藤 康夫</u>	<u>父 養見</u>
_____	_____
_____	_____
_____	_____

実験課題に取り組んだ感想を書いてください。

実験は、だんだん小賢れてして楽しくなってきました。
また、興味深い実験結果が得られ、もっと追求してみたいなりました。

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もできます。

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

(1)実験の目的

1-1 課題設定の背景

本年度の実験課題は摩擦係数を図ることであり、特に、条件の違いによる摩擦係数の変化を調べることを求められている。ここで、材料の組み合わせ、面の凹凸により摩擦係数が変わることは既に課題文に書かれているので、これを主題にしても意味が無いということである。摩擦係数を測定する方法は凝った手法は別として、僕らが自分たちでできることは限られているので、そこに新しいアイデアを入れるのもなかなか難しい。このように考えていって、独創性のあるテーマ探しを行った結果、以下の事を思いついた。

そもそも、予め材料によっても、面の凹凸によっても摩擦が変わると課題分に書かれているということは、これらによる摩擦の原因以外の要因を探せということである。材料の組み合わせは、お互いに接触している表面の原子の表面エネルギーが関係していると思われる。面の凹凸は物理的に微細な形状が物体の移動を妨げる効果であり、凹凸が激しければ、あるいは、凹凸の周期が両者でお互いに干渉する条件にあれば、摩擦が増大する。つまり、摩擦係数を調べる物体が物理的に直接接触している状態は良く調べられているということである。

そこで、そうでない条件とは何か？を考えてみた結果、両物体が直接接触していない状態を考えてみようと思いついた。世の中のさまざまな機械部品を見てみると、多くの場合に部品の接触部分には何らかの潤滑剤が染みこませて、あるいは部品表面にコーティングされており、潤滑剤の特性によってその部品の摩擦低減の効果が決まっている。そのような目で世の中の潤滑剤を見てみると、非常にたくさんの種類があって、お互いに何が違って、どのような時にどれを使って良いのかもよく分からない。そこで、本実験では、金属板表面に潤滑剤を塗布して、その摩擦係数を調べてみることにした。

1-2 目的

本実験では、世の中に出回っている潤滑剤の違いによる摩擦の違いを調べることを目標とした。とはいえ、とりあえず、摩擦測定を行うための装置を組み上げる必要があることと、材料の違いによる摩擦の違いは、検証実験として必要である。そこで、①摩擦測定装置の製作、材料の違いによる摩擦の違い、については他の研究者が行っている結果と比較検討した。

次に、②市販の潤滑剤の違いによる摩擦への影響、を調べてみたいと思った。代表的な潤滑剤を手に入れて、含有成分による効果を調べたいと思ったが、残念ながら、潤滑剤の成分がかかっていることは滅多になかった。その代わりに市販の潤滑剤はそれぞれキャッチコピーが書いてあるので、それらが、どのような特性を意味するのか、確かめてみることにした。

最後に、③ステアリン酸による潤滑効果、のテーマは以下の経緯で見つけたものである。インターネットで摩擦の原因の分かりやすい潤滑剤を調べようと思い、摩擦と有機物をキーワードで検索すると、まずはダイヤモンドライクカーボン (DLC) があり、次に有機酸

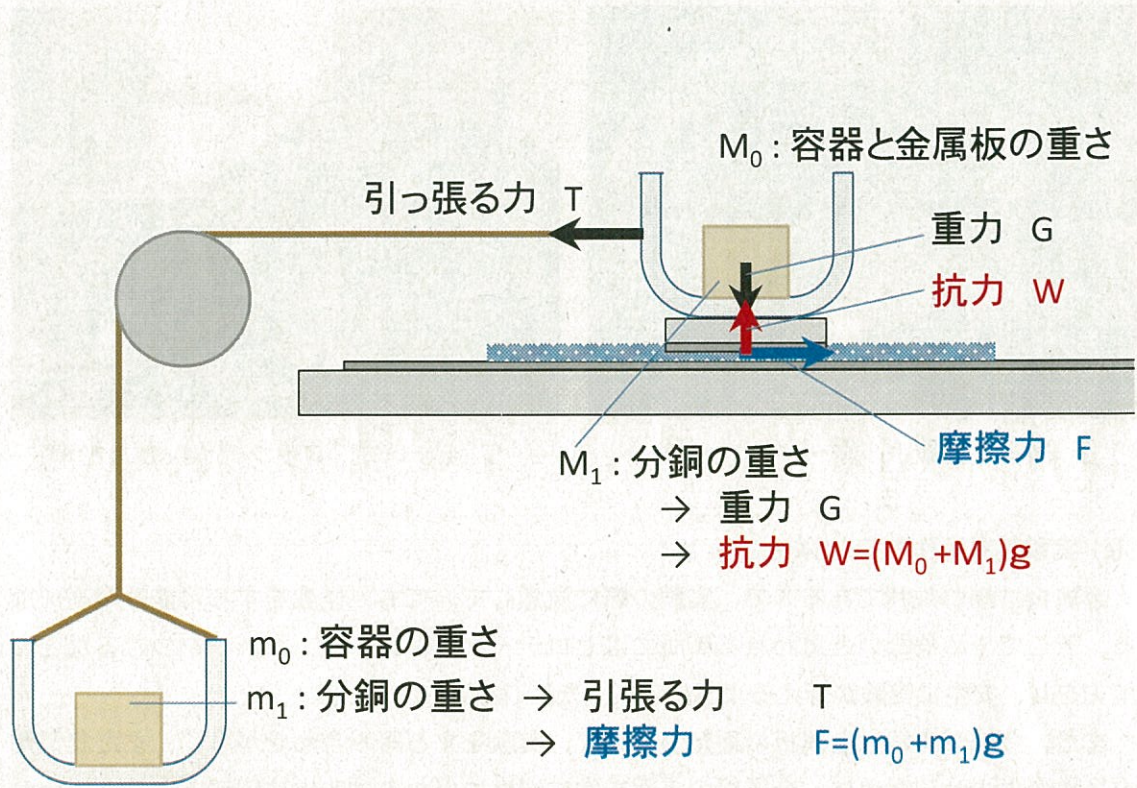


図1 摩擦係数測定のための実験装置の概念図

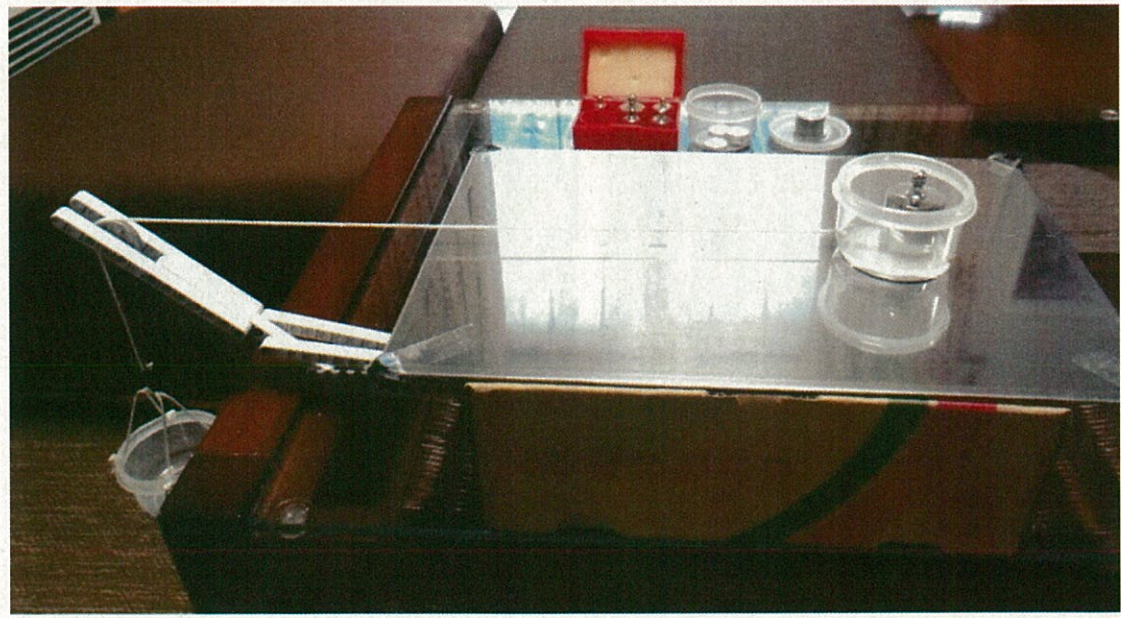


図2 製作した摩擦係数測定実験装置の写真

(3)実験結果

①金属の違いによる摩擦力の変化(装置の検証を兼ねる)

静摩擦係数の測定装置の製作にあたり、金属としてはステンレス板を用いて組み上げたが、実際の測定に際しては金属が異なると摩擦係数の値も変化するので、典型的な手に入れやすい金属を三種類用意した。実験装置の検証を兼ねて、これらの金属の組み合わせを種々行い(表1)、摩擦係数の振る舞いを調べた。なお、用意した金属板(箔)は以下のとおりである。

○ステンレス (sus430)	板状 (5t)	箔状 (0.1t)
○銅	板状 (5t)	箔状 (0.1t)
○アルミニウム (純度%)	板状 (5t)	箔状 (0.2t)

なお、箔状のものは裏面がシール面となっており、金属表面に貼り付けて使用する。3. 潤滑剤は4. 下部金属箔の表面に塗布した。このときの表面処理方法に関しては、後ほど実験結果のところで述べる。結論から言うと、金属板は板上のものは必要ではなく、箔状のシートを毎回切り出して実験し、潤滑剤で汚染された金属箔を毎回剥がして新しくすることにより、常に清浄表面で実験ができた。これにより、測定値のバラツキを大きく押さえることに成功した。

実際に実験を行った構成図を図7に示す。1. 上部金属板と5. 下部金属板は毎回共通で使用し、2. 上部金属箔と4. 下部金属箔を毎回交換して実験した

実験を行った材料の組み合わせは表1に示したとおりである。これらのすべての組み合わせで M_1 を 50g~200g まで変化させて、それぞれの状態で m_1 値を少しずつ増加させて、試料が動き始めたときの値を測定した。各 M_1 で3回測定し、平均値 $m_1(\text{ave.})$ を算出し、摩擦係数 μ を計算した。

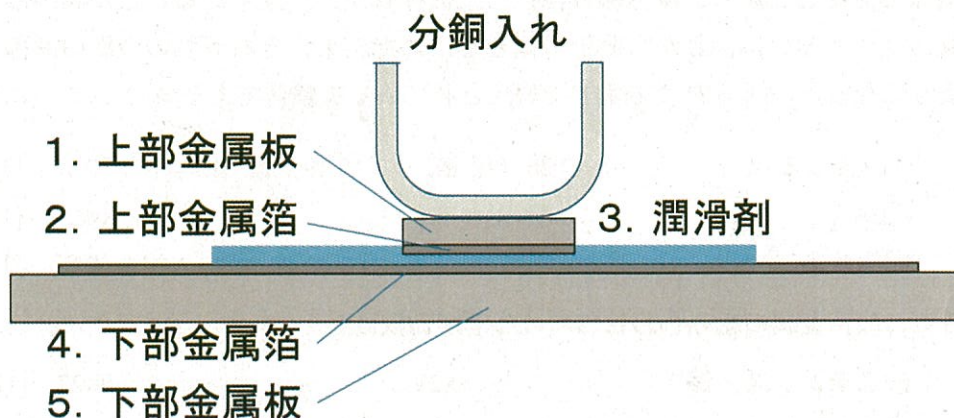


図7 摩擦実験の金属板構成図

表2 摩擦力の測定結果

ステン板/ステン膜

M_1 (g)	m_1 (g) (N=1)	m_1 (g) (N=2)	m_1 (g) (N=3)	m_1 (g) (ave.)	μ
50	7	9	9	8.3	0.24
100	30	29	19	26.0	0.29
150	40	34	36	36.6	0.27
200	53	49	46	49.3	0.26

アルミ板/アルミ膜

M_1 (g)	m_1 (g) (N=1)	m_1 (g) (N=2)	m_1 (g) (N=3)	m_1 (g) (ave.)	μ
50	45			45	0.73
100	94			94	0.83

銅板/銅膜

M_1 (g)	m_1 (g) (N=1)	m_1 (g) (N=2)	m_1 (g) (N=3)	m_1 (g) (ave.)	μ
50	14	19	10	14.3	0.32
100	34	35	27	32.0	0.34
150	54	51	59	54.7	0.37
200	67	71	69	69.0	0.35

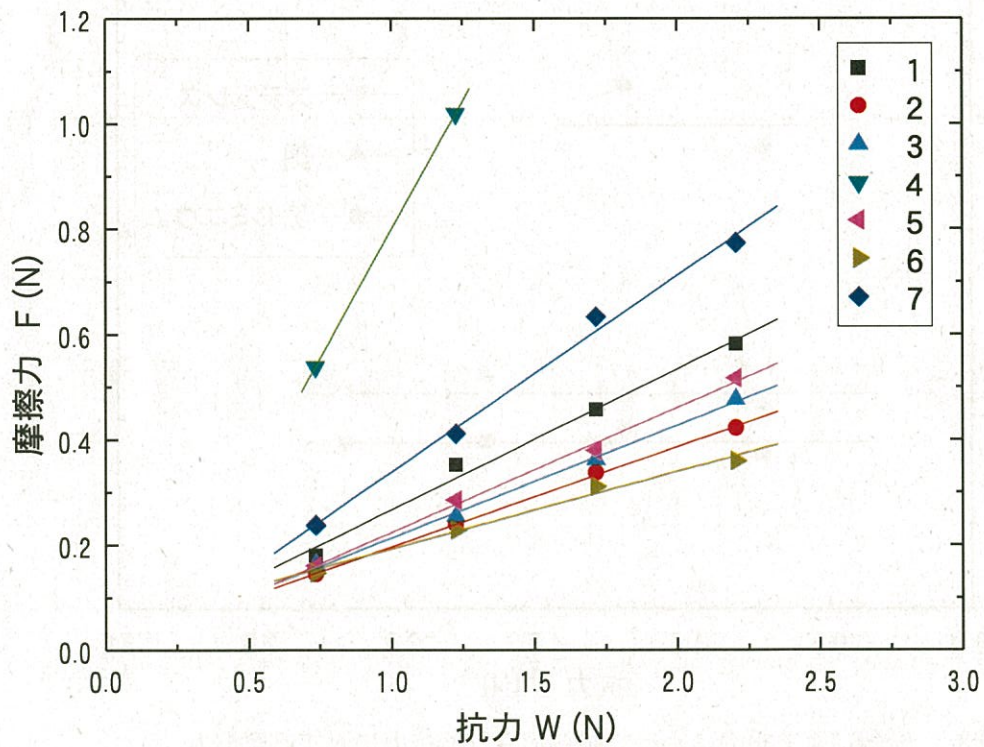


図8 表1で示した金属の組み合わせにおける摩擦力の抗力依存性。番号が表1に記載の番号に対応している。

② 静摩擦係数の潤滑剤依存性。

潤滑剤として、市販の代表的ないくつかを集めて、摩擦力の違いを検証することとした。用意した潤滑剤は表3にまとめてある。世の中で出ている潤滑剤は名前は異なるものの、これらのいずれかと同様であると思われる。成分表を見てみたが、具体的に技術の違いがわかるような内容は一切書いていないため、摩擦の原因に迫るような実験はできないと思う反面、それぞれの商品にはキャッチコピーが書いてあり、それぞれ異なる点に力をいれていることをうかがわせる表現になっていた。そこで、キャッチコピーの内容と摩擦特性の関係を中心に考察してみようと思う。

表3 用意した潤滑剤

	名称 (略名)	製造業者	成分	キャッチコピー
1	ベニサン家庭用 潤滑油 (機械油)	株式会社 紅樺化学 工業所	鉱物油	手軽に使える便利な家庭用潤滑油
2	AZ グリーススプレー (グリース)	株式会社 エーゼット	リチウムグリース 石油系溶剤、噴射剤 (LPG)	高性能浸透防錆潤滑剤 防錆力がさらに向上 水置換剤配合で優れた防錆効果 を発揮
3	AZ オイルスプレー (オイル)	株式会社 エーゼット	鉱物油、防錆剤、 噴射剤	金属との親和性に優れ、サビを 防ぐ、サビを取る 強い浸透性でキシミ止め、動き スムーズ
4	AZ シリコーン スプレー (シリコーン)	株式会社 エーゼット	シリコーンオイル、 噴射剤	潤滑、離型、防錆、艶出 すべり剤として最適 速乾性でべた付きにくい
5	KURE CRC リチウムグリース (リチウム)	呉工業 株式会社	グリース、 石油系溶剤	高粘度・高耐性グリース 万能タイプの高性能グリース 高粘度ですぐれた耐性を確保
6	KURE CRC モリブデングリース (モリブデン)	呉工業 株式会社	グリース、 二硫化モリブデン、 石油系溶剤	耐熱グリース 極圧・酸化安定性にすぐれる 二硫化モリブデンを配合 耐熱・耐寒性にすぐれる
7	KURE CRC ウレアグリース (ウレア)	呉工業 株式会社	グリース、 石油系溶剤	長寿命グリース 耐熱・耐水性にすぐれる すぐれた浸透力、機械的安定 軟化しにくく流出や飛散がない
8	AZ スーパーオイル スプレー 微粉末フッ素配合 (フッ素)	株式会社 エーゼット	鉱物油、防錆剤、 微粉末フッ素、 噴射剤	潤滑・ネジゆるめ

潤滑剤を変えて実験した結果をまとめたものを図 1 1 に示す。薄い青は潤滑剤塗布前であるので、摩擦が大きく、バラツキも大きい。これに対して、潤滑剤を塗布した後は、概ね摩擦が減少している。その度合い、また、表面を拭きとりするしないに依存している。細かいところをいうと、表面を拭き取った後に摩擦が低減しているのは、機械油、オイル、リチウム、モリブデン、であり、逆に拭き取る前のほうが摩擦が低いのは、AZ グリース、シリコーン、ウレア、である。すなわち、液体状態を保って潤滑を保つものと固体状態になって潤滑を保つものの差である。中でもモリブデングリースははっきりと塗布後と拭き取り後の摩擦の差が出た潤滑剤である。調べたところ、二硫化モリブデンは層状の結晶構造がせん断されることで低摩擦性を発揮する固体と書いてあった。すなわち、塗布したままだと摩擦にはあまり効果がないということで、実験結果は非常に納得いくものとなった。また、成分に混ぜている素材自身の潤滑性に頼っている潤滑剤（たとえばフッ素など）は、条件が整えば摩擦が減少すると思われるが、今回の実験では十分にその実力を発揮させることができなかった。もっと多く実験をするべきであったと反省している。

いずれにしても、分子構造など、情報が限られていてはっきりしないものを測定しても、何が原因か何もわからないので、この実験は一時ストップすることとした。

③ ステアリン酸を潤滑剤として用いたときの摩擦係数

3-1 単分子膜

ステアリン酸は分子式 $C_{18}H_{36}O_2$ 、示性式 $CH_3(CH_2)_{16}COOH$ で表されるもので、オクタデカン酸ともいう。融点 $69.9^{\circ}C$ であることから、固体の潤滑剤として古くから知られている。疎水性である長鎖アルキル基と親水性であるカルボキシル基を備えており、アルキル基は C_{18} と比較的長いので、水面上などで単分子膜を形成しやすい。そこで単純に直鎖脂肪酸の潤滑剤としての効果を調べるとともに、単分子膜による潤滑膜の形成の可能性も実験してみた。

ステアリン酸は常温では固体であるので、溶媒に溶かしておいた後、水面上に展開すると、溶媒が蒸発し、残った固体成分が単分子膜を形成する。このため、始めにステアリン酸を溶かした溶媒を用意した。ステアリン酸は分子量 $M=284.48g/mol$ であり、1分子が膜内で占める面積 ΔS が $2.05 \times 10^{-15} cm^2$ とすると、総面積 $S=100 cm^2$ の単分子膜を得るために必要なステアリン酸分子の量 $w = \frac{S \cdot M}{\Delta S \cdot N}$ は $23 \times 10^{-3} mg$ 必要であることが分かった。ここで N はアボガドロ数である。

100mlのエタノールに上記の 1000 倍の量のステアリン酸を混ぜて溶かした。ステアリン酸はエタノールに混ぜるだけでは簡単に溶けなかったので、家庭にあるめがねクリーナーを超音波洗浄機（図 1 2）代わりに利用して、10 分ほどで酸を溶解させることができた。マイクロシリンジを用いて、できた溶媒から $100 \mu l$ を採取し、水を張ったバット状に展開した。図にみるように、予想よりも少し小さめであったが、ステアリン酸の単分子薄膜を水面上に形成することに成功した。なお、単分子膜の大きさがわかりやすいように、水表面に片栗粉を軽くまぶした。（図 1 3）

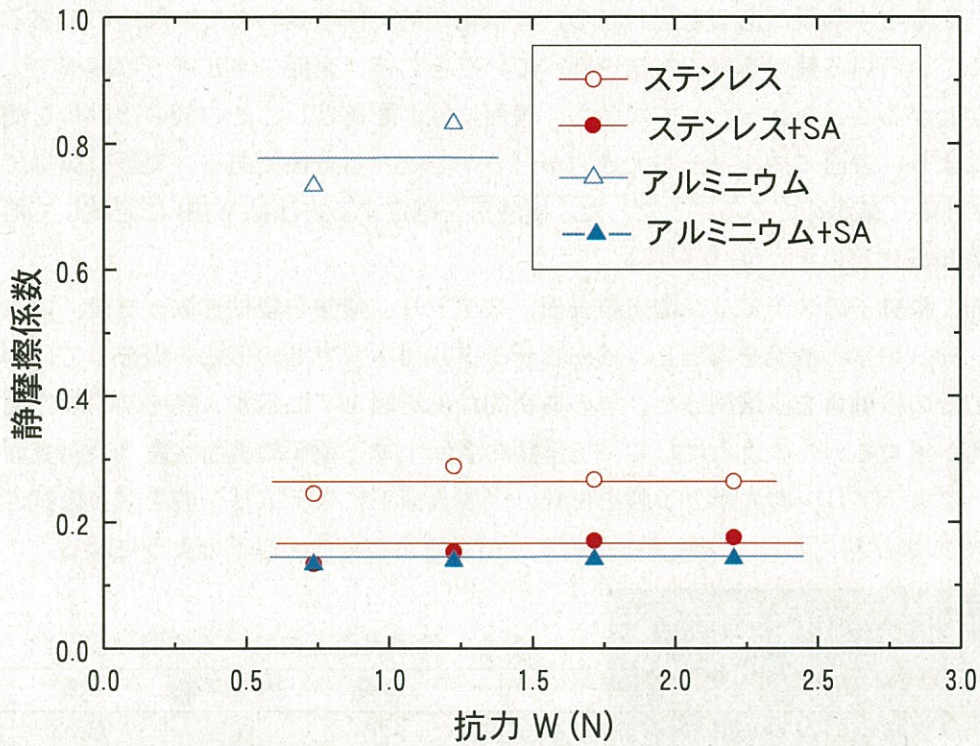
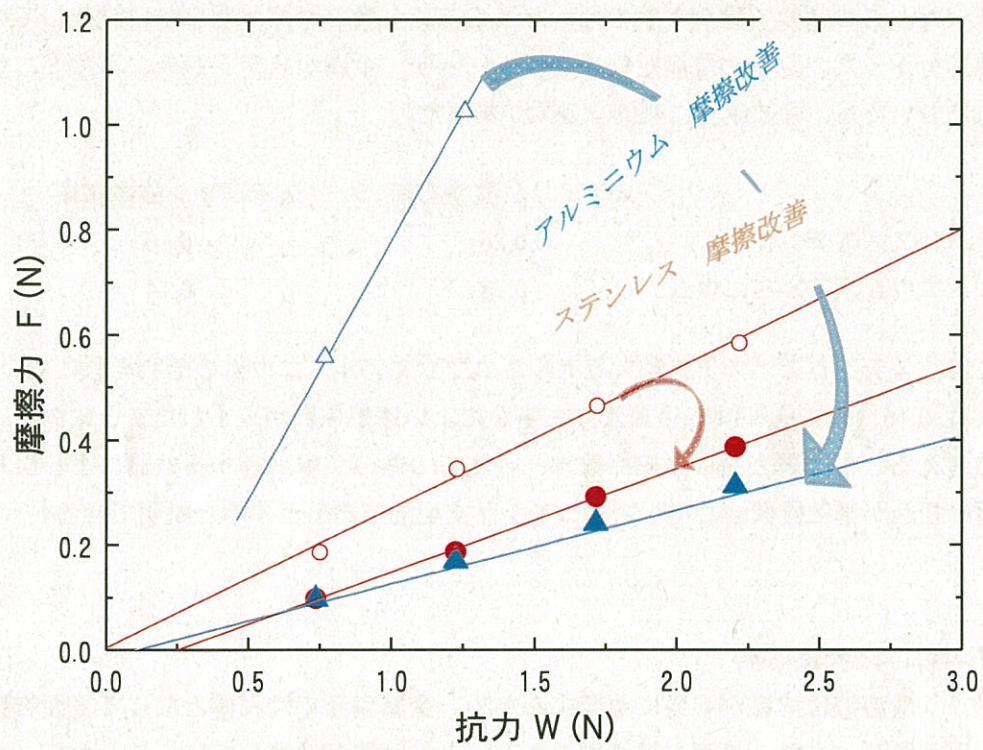


図 15 (上) 分銅による重力によって試料が受ける抗力に対する摩擦力

図 16 (下) 静摩擦係数の抗力依存性

バラツキがあるものの、特徴的であるのはアルミニウムにおいて金属表面の接触角が高く、ステアリン酸を塗布することで大きく減少している点である。一般に、接触角は親水性、疎水性と関わりがあると考えられるが、この場合、最も親水的であると予想したアルミニウム表面が一番接触角が大きくなっている。これは、アルミニウム板の表面の凹凸が非常に大きいため、液滴と点接触してしまった結果ではないかと推察した。すなわち、たとえて言えば里芋の葉っぱの上で水がころころ転がるように球状になる現象と同じではないかということである。凹凸が大きいため、お互いの摩擦も大きい。しかし、ステアリン酸で表面をコートしたために凹凸が埋められ、摩擦が減少したのでは、という仮説である。

有機脂肪酸はその潤滑性のよさによって、どのような組み合わせにおいても、摩擦係数を下げる効果があり、ほぼ一定の値におちついている。もしかしたら、有機酸のアルキル基の長さ、官能基のあるなしの系統的な実験ができれば、摩擦の大きさを制御できるかもしれない、と思った。

(5)結論

今回の実験は、金属面同士が接触している状態における調べるのが課題であったが、既に解があたえられている実験でなく、新しいことが実験したかったので、このような潤滑剤の効果を調べることにした。結果は、納得できるものと、不完全燃焼におわったものとある。特に、市販の潤滑剤の評価は、もっと粘り強くやれば、何か差がでてくるように感じた。ステアリン酸による潤滑効果は、比較的定性的に納得できるものとなった。すなわち、表面凹凸が大きくて摩擦が大きかったアルミニウム同士の組みあわせにおいて、ステアリン酸を塗布することにより、凹凸が埋められ、ステアリン酸そのものの潤滑性が顕著となって、摩擦力も激減した。

しかしながら、もともと表面凹凸が大きい板で実験したため、今回のような結果になったが、本来、表面が平坦で、かつ、表面金属と有機酸が化学的に結合しているような状態も、究極的には考えられる。そう思うと、まだまだやりたい実験がたくさんあると感じた。

(6)参考資料

- [1]摩擦の研究(1)(2)、第37回、38回日本学生科学賞中学展覧会人選、高橋久徳、他
- [2]接触角測定に関して www.sanyo-kruss.com/qa/products01.html

(7)共同研究者と役割分担

共同研究者(指導者)	安藤康夫(父親)	実験の指針に関してのアドバイス、 装置の作製補助
------------	----------	-----------------------------

注釈

$\theta/2$ 法:水を注射器に採取し、針先から一定量の水を固体試料に接触させると、固体上に液滴が移り、液滴が形成される。この液滴の画像を解析することで、 $\theta/2$ 法により接触角を算出する。すなわち、液滴の輪郭を球の一部とみなすと、幾何の定理により $\theta = \theta_1$ を得る。