

# 日産科学振興財団 理科 / 環境教育助成 成果報告書

回次：第 **5** 回 助成期間：平成 20 年11月1日～平成 21 年10月31日 (期間 1 年間)  
テーマ： トライボロジー教育を目的とした実験装置の開発  
氏名： 野口昭治 所属： 東京理科大学 登録番号： 08052

## 1. 課題の主旨

トライボロジーとは、摩擦、摩耗、潤滑の総合的な科学と技術であり、省エネの基盤技術と位置づけられている。自動車においては、回転部のトルクや摺動部の摩擦を小さくすることは低燃費に直結しており、CO<sub>2</sub> 削減に大きく貢献する技術である。しかし、このように重要な技術であるにもかかわらず、トライボロジーという言葉は大学の機械系で初めて登場し、一般に普及しているとは言い難い。また、初等教育における摩擦(トライボロジーに含まれる)に関する教育も非常に少なく、運動の計算においては、“摩擦係数はゼロとする”や“摩擦係数は一定とする”場合が度々であり、実際とかけ離れた理論のみの教育が行われている。

そこで本テーマでは、簡単な実験装置を製作し、トライボロジー、特に摩擦の法則、原理について実験を通して、実学的に理解してもらうことを目的としている。

## 2. 準備

東京理科大学理工学部機械工学科におけるトライボロジーの講義において、簡単な実験装置を用いて、座学だけでなく実験を併用した講義を行ったところ、90%以上の学生が座学よりもトライボロジー現象を理解できたと回答してきた。この結果から、摩擦・摩耗・潤滑の諸現象を理解させるには、実験を併用して、理論の裏付けを行うことが重要であることがわかった。

実験装置は複数用意したが、どの装置が一番役に立ったかというアンケートでは、摩擦について定量的な評価値が出てくる装置が一番であった。一見地味であるが、実験結果が数値で評価される装置が最も役に立つとして、申請内容を吟味した。

## 3. 指導方法

今回製作した装置だけでは、低学年層にトライボロジーを理解してもらうことは難しいと考え、タミヤ模型のミニ四駆(摩擦が大きな滑り軸受をボールベアリングに置き換えると速く走ることができる)や動物の動きを模擬した模型キット(カエルは足の動きを速くしても空回りして前に進まない。設置部に滑り止めを貼り付けると速く進むようになる)を使用して、運動に対して摩擦が大きな意味を持つことを教えた上で、摩擦に関する基本的な法則について実験を通して理解させる内容とした。

特に小学校においては、日常生活を例にして、摩擦がなければ歩くことができない、一度動くと曲がることも止まることもできない等を説明して、摩擦の重要性を最初に理解してもらうことを心がけた。

#### 4. 実践内容

今回の助成においては、イベントを3回行った(詳細はイベント報告参照)。“転がり軸受の実力を実感しよう(8/8、9)”では、タミヤのミニ四駆を用いて、本体の回転部分やコース壁面を接触する部分の摩擦を小さくすると速く走ることができる(モータ、電池は同じ)ことを、実際にミニ四駆を走らせて実証した。標準では滑り軸受となっている箇所を逐次摩擦の小さなボールベアリングに置き換えていくと速くなり、最終的にはすべてボールベアリングに置き換えると初期状態(すべて滑り軸受使用)と比較して、30%以上速く走ることができることを示した。その後、摩擦に関して興味を高めてもらうべく、実験装置を使用したデモンストレーションを行った。

“トライボロジーって何? 摩擦をはかろう(8/29)”では、摩擦の大小を表す尺度となる摩擦係数についての理解と摩擦係数の違いによってどの程度摩擦力が異なるのかを実験を通して実感してもらった。接触部の材質が異なる4種類の試験片(外形寸法と質量は同じ)をステンレス板上で滑らせてもらい、摩擦が大きいと感じた順番を答えてもらう。試験片を滑らせている時には、同時に摩擦係数も測定しており、測定値から求めた摩擦係数と感覚的な摩擦の大小関係が合っているか、を照合して摩擦係数と摩擦の大小関係を実感してもらった。

“機械が動く仕組みを学ぼう”では、動物の動きを模擬したプラモデル(カメとカエル)を用いて、機械が動く仕組みと速く進めるための工夫を通して摩擦の重要性を理解してもらった。前半では、プラモデルであっても自動車と同じような原理原則に基づいていることを説明し、電池 モータ 変速機 リンク機構 足と動力が伝えられて動くという仕組みを理解させる。後半では、プラモデルをうまく(速く)進めるにはどうしたらよいか、について考えさせて、足と床の摩擦を大きくすることによって、速く進ませること、坂を登ることができることを実践した。

小学校の廊下は板張りで、プラスチックとの摩擦が小さい。カエルモデルでは、足の動きほどは前に進むことができない。また、カメモデルに坂を登らせると緩い傾斜しか登ることができない。その現象を自分のモデルで体験して、どうすれば速く進めるか、急坂を登れるかを考えさせ、最終的に床との摩擦を大きくすればよい、との結論に導く。そして、ゴム等の滑り止めを足に貼り付けることによって、カエルは速く、カメは急坂を登ることができることを証明し、摩擦の重要性を理解してもらった。

#### 5. 成果・効果

これらのイベントを通して、摩擦の重要性を理解させることができたと思う。また、実験結果は必ずしも教科書に書いてある通りではない場合があり、実用においては理論だけでは不十分であるという実践的な教育もできたと思う。

また、これらイベントを通して、同じ重さであっても摩擦係数が低くなれば、それを引っ張る力や回転させるトルクを小さくすることができることを示してきた。動力に置き換えれば、小さな動力で済むことになり、摩擦係数を下げるとは省エネルギーにつながることで、消費エネルギーが少なくなるのでCO<sub>2</sub>の排出も少なくなることを理解してもらえたと思う。

低学年層には、日常生活において、摩擦はなくてはならない存在であることも理解してもらえたと思う。

## 6. 所感

開催したイベントにおいては、参加者の反応は良好であった。特に小学校の出張授業においては、90%以上の生徒が楽しかった、理科に対する興味が上がったと回答しており、理科教育助成の目的を果たしたと考える。製作した実験装置も概ね好評であった。学年によって興味の対象は幾分違っていたが、高学年になるにつれて、実験結果が数値として表れる装置に対する興味が高いようである。

また、大人や教員であっても、トライボロジーに関する知識があまりないためか、生徒と同じような反応を示していた。イベントとしては、一般人を対象にしても、トライボロジーに関する興味向上に貢献できると考えられる。

## 7. 今後の課題や発展性について

今後の課題としては、イベントの継続と実験装置の種類拡張が考えられる。特に小学校の出張授業においては、各人1台動物プラモデルを製作するので、費用が発生してしまう。千円弱であるが、生徒が負担するのは、理科嫌いを助長しかねないと思う。大学、地域とも連携してイベントを継続して行う努力が必要と考える。

トライボロジーに関する実験装置については、様々な現象を説明できる装置の開発が必要である。摩擦を説明する装置は不可欠と考えるが、摩擦粉が出ることや再現が難しい等の課題がある。身近なものを使って摩擦を説明できる装置を開発したいと考える。

様々なトライボロジー現象を説明できる装置ができあがったら、学校の長期休暇中に各地のこども科学館での展示や実演を行いたいと考えている。(社)日本トライボロジー学会では、摩擦の科学研究会という組織があるので、そことリンクする形で進めることを検討したい。

## 8. 発表論文、投稿記事、メディアなどの掲載記事

今回開催したイベントの内、みずき小学校における出張授業内容については、(社)日本工学教育協会に小学校向けトライボロジー教育として論文投稿を考えている。

## 【教材制作方法】

- ・実施内容が教材開発の場合、ここから1～2ページ使って、教材の制作方法を記載願います
- ・実施内容が教材開発でない場合、このページ以降を削除願います

### 1 軸ステージを利用した摩擦係数測定装置

#### (1)装置製作方法

今回製作した1軸移動ステージを用いた摩擦係数測定装置(図1)の構成は、

- (a)試験片を移動させる1軸ステージ(ドライバ、コントローラ含む、オリエンタルモータ EZS3E030-A)
- (b)試験片の張力を測定するロードセルと表示器(共和電業、LTS-500GA、WGI-400A)
- (c)張力データ収集装置(A/Dコンバータ付、キーエンス PC-110)
- (d)解析・表示用パソコン
- (e)試験片

である。部品加工、組み立てが必要な部分について、以下に製作方法の概略を示す。

#### 試験片を滑らせる部位の製作

- ・1軸ステージを底板に取り付ける。底板は3箇所ねじ穴を開け、水平調整用ねじを取り付ける。
- ・1軸移動ステージの上部に固定面としてステンレス鋼板(SUS440 深さ2mmのガイド溝付き)を4本の支柱(本品は角柱)で取り付ける。材質をステンレスとしたのは、長期の使用・保管において錆を防ぐためである。
- ・1軸ステージの移動部に片仮名のコの字型のロードセル取付け部を取り付ける(本品では、軽量化のためアルミニウム製、試験片の大きさの関係でロードセルは下向きに取付け、図2)。
- ・ロードセルの力検知部に試験片を引っ張るためのフックを取付ける(図2)。

#### 試験片の製作

- ・ステンレス鋼板と摩擦させる試験片は、直方体(本品では30mm×40mm×50mm)とした。面積の異なる面で滑らせる際には、高さ15mmの位置にフックを取り付けるねじ穴(本品ではM3)を加工する。
- ・試験片材質は、相手材と同じSUS440、アルミニウム(A5056)、銅、ナイロン66、テフロン5種類とした。
- ・表面粗さの影響を実験できるように、SUS440試験片については、面積が最も大きな平面の粗さ(Raで0.1、0.4、0.8 $\mu$ m)、加工目(研削にて滑り方向に平行、垂直、45°傾斜)を変えた試験片を用意した。



図1 摩擦係数測定装置全体図

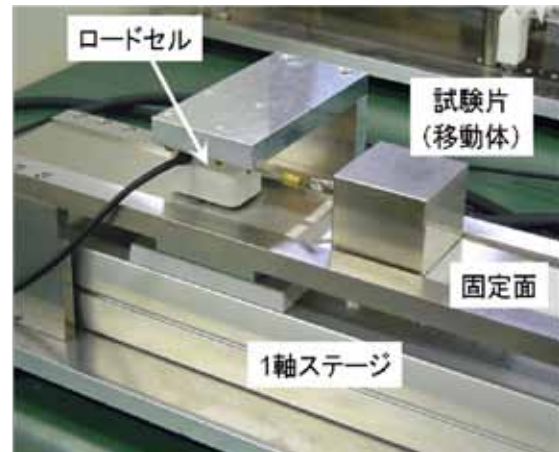


図2 試験片接続部拡大図

## (2) 実験方法

実験方法を以下に示す。

### 事前準備

- ・摩擦係数は  $\mu = \text{張力} / \text{垂直抗力}$  なので、垂直抗力となる各試験片の質量を測定しておく。
- ・張力測定後、パソコンで摩擦係数計算結果を即時表示できるようなプログラムを組んでおく(今回はマイクロソフトのエクセルで図3のようなグラフを表示できるマクロプログラムを組んだ)。
- ・試験片の滑り速度変更や原点復帰がすぐにできるように、1軸ステージのコントロールを習熟しておく。

### 実験手順

- ・移動速度、移動距離等の条件をコントローラにセットする。
- ・試験片を固定台に載せて、ステージで引っ張る(移動開始と同時に張力のデータを収集する)。
- ・データをパソコンに転送、試験片の質量を入力して摩擦係数のグラフを表示する。
- ・試験片を取り除き、ステージを原点に復帰させる。
- ・以降、条件を変更して、この手順を繰り返す。その際、固定台と試験片の表面は溶剤でよく拭き、油分や埃が付着しないようにする。
- ・表示したグラフは保存し、試験片材質、表面粗さの大きさ・方向、接触面圧、滑り速度、潤滑油の有無等実験条件の違いによる摩擦係数の変化を比較できるようにする。

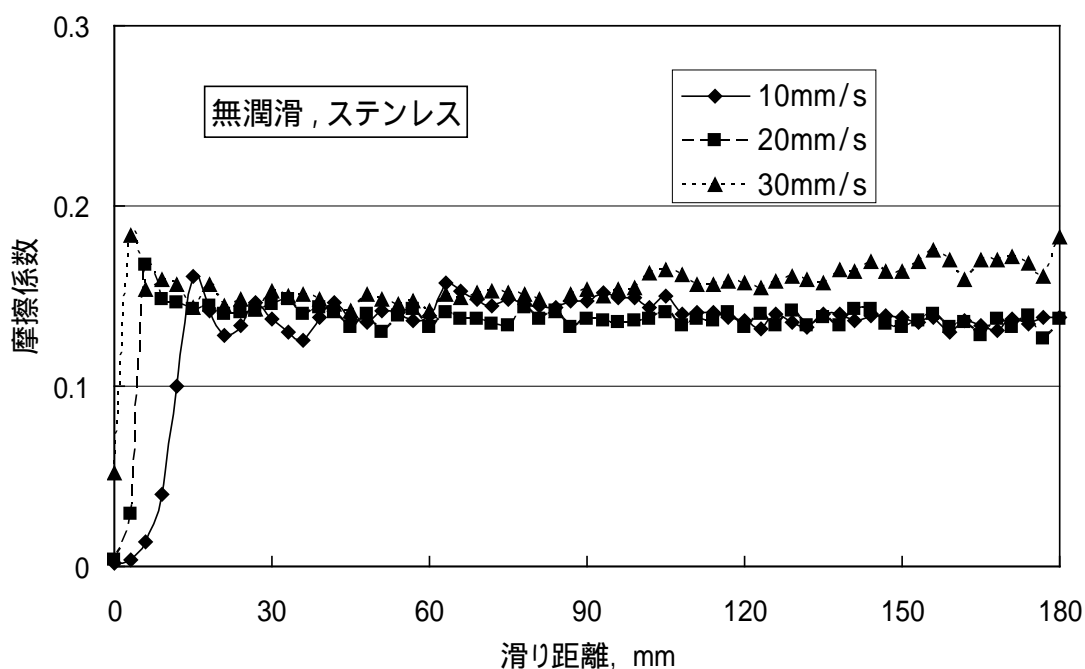


図3 摩擦係数測定結果のグラフ表示例

(同一ステンレス試験片を用いて、滑り速度を変えて引っ張った場合の摩擦係数測定結果を1つのグラフに表示した例。滑り速度が異なっても摩擦係数はほぼ同じ値を示しており、アモントン - クーロンの摩擦の法則がある程度成立していることを証明している。)