

物理部門

鹿児島湾の海底のマイクロプラスチック調査のための ROV (Remotely Operated Vehicle) の製作

—若尊カルデラ海域のたぎりに挑む—

池田学園池田高等学校 科学思考班①

1 研究の動機

今年度より学校が WWL の連携校に指定され、環境問題を考えることになり、マイクロプラスチックの調査をテーマとした。そこで、4月に千葉工業大学の研究者と zoom 会議を行い海底のマイクロプラスチックの調査について尋ねると、世界でほとんど調査されていないと回答を得た。そこで 200m の深海に挑める ROV (無人小型潜水探査機) を製作して鹿児島湾の海底の堆積物を採取することとした。マイクロプラスチックとは 5mm 以下の小さなプラスチックのことで、ペットボトルやレジ袋が海に流れ、または投棄され細かく砕かれるうちに、有害化学物質と結合して、それを魚などが食べて、食物連鎖で結果的に人間の体内にとりこまれるという環境の問題である。

2 研究の目的

マイクロプラスチックの調査研究のために、鹿児島湾の若尊カルデラ海域 (水深 200 m) の海底の堆積物を採取できる、市販のものより廉価な ROV を製作し堆積物を採取する。

3 ROV 建造の工程

- (1) 設計諸元、コンセプトを決める。
- (2) CAD で各パーツを設計する。
- (3) 各パーツが必要条件を満たしているか CAE を使用して解析する。
- (4) 設計されたパーツを CAD 内で組み立てる (アセンブリ)。
- (5) アセンブリは CAE を使って解析する。
- (6) 各パーツは CAM を利用して製造の準備をする。
- (7) 3D プリンター、三軸 CNC 加工機などを使って各パーツを作る (起工)。
- (8) 実際にフレーム (船体) を組み立てる。

(9) フレームに耐圧容器、慣性航法装置群、推進器などを取り付ける。

(10) 初めて水に入れ、浸水の有無や推進器の正常な稼働を確認する (進水)。

(10) 実際の任務などに必要な艤装を取り付ける (艤装)。

(11) 試験潜航を行い、PID、ソナーの感度などを調整する。

(12) 完成 (竣工) 特に CAE による解析フェーズや、製造フェーズ、船体の組み立てフェーズにおいては様々な矛盾や不具合が発覚する。そのたびに設計を改良していく。



4 設計コンセプトおよび諸元の決定

(1) ミッションと目的を設定する。

① 海底堆積物の採取

② たぎり (熱水噴出孔) の調査

これらから目標海域と環境を予想、設定する。目標海域は熱水噴出孔のある若尊カルデラ海底に設定 (若尊カルデラ海底は深度 200m 以上の深海である)

(2) そこから予想される環境、そしてそれに必要な対策を設定する。低照度の対策

① 高出力、高輝度ライトを四灯装備

② シングルビームソナー (音響測深儀)

③ メカニカルスキヤニングソナー (機械式全周音響探信儀)

(3) 高圧

アルミ製耐圧容器の採用

(4) 超長距離通信と潮流

アンビリカルケーブルに光ファイバーを採用し対策とする。

(5) 腐食

アルミはアルマイトが施されている。CFRP はもともと腐食しにくいですがガルバニック腐食によるアルミの早期腐食が懸念される。

また、ミッション遂行に必要な装備も予想、設定する。

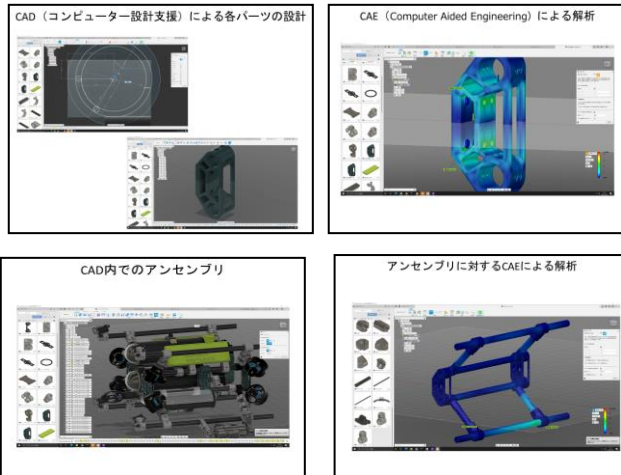
(6) 底質サンプラー

(7) グリッパー

塊状サンプル回収のために装備

(8) ソナー (音響探信儀)

熱水噴出孔捜索のために装備



5 電装系について

(1) 慣性航法装置 (PIXHAWK)

①IMU、深度計、電子コンパス、ESCなどと直結したシステム。ROVの運動機能を司る。EKFやAHRSはこの中で実行される。独自のカスタムフレームを実装したArduSubをファームウェアとして実行されている。

②コンパニオンコンピューター (Raspberry pi modelB)

USBで慣性航法装置と繋がっている。イーサネットでは地上と接続する。地上からのコマンドを慣性航法装置に受け渡し、ROVからのテレメトリーを地上に送る。

カメラのデータを圧縮し、地上にストリームを行う。また、ソナー等の観測装置と地上を接続する役割もある。

③光ファイバーメディアコンバーター

RJ45でコンパニオンコンピューターと接続されている。コンパニオンからのイーサネット信号を光ファイバー信号に変換する。地上に対となるコンバーターがあり、この間でシングルモードのBIDI光通信を確立する。

④ESC (Electronic Speed Controller)

慣性航法装置とPWMでやり取りする。電源は主電源に直結している。慣性航法装置からPWMによってスラスタに対する回転速度、方向の情報を受け取り、三極相ブラシレスモーター用のパルスに変換する。

6 搭載センサー

(1) Bar30 水圧、水温センサー

水圧によって水深を計測するセンサー。水温による海水の密度の変化を補正するために水温も計測している。後部隔壁に露出している。

(2) Ping ソナー (音響測深儀)

Pingを撃ち、返ってきたエコーを利用して海底までの距離を計測する。レンジは20m程。

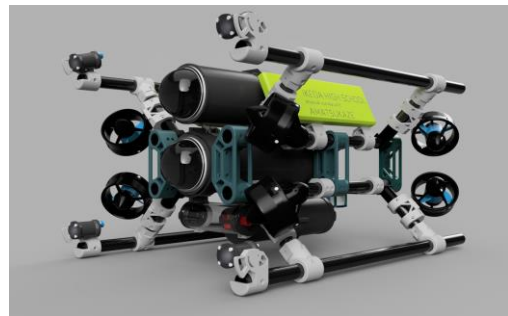
音紋照合により底質が何か判断することが出来る。15Hzで稼働。

(3) Ping360 ソナー (機械式全周音響探信儀)

ソナープローブが周りをスキャンしている。付近の障害物を早期に発見し、目標物を探すのに使う。レンジは最大60m。ROV本体を傾けて使う事で、海底をスキャンし、鳥瞰図のような像を得ることもできる。

7 完成と潜航

令和2年9月21日(日)、鹿児島湾桜島の北東海域で深度45mの海底に到達。



海底到達時の写真



8 今後の計画

ROVの性能(バッテリーの大容量化、整備性の向上、DVL、水中GPSの装備)をあげて海底のコアサンプルを採取出来るように小型の陰圧式ピストンコアサンプラーを開発するとともに、最終的には母船無しで自律してサンプル採集、調査活動が可能なAUVの開発が必要と思われる。

エジソン電球の研究

鹿児島高校 2年 荻尾祐希 小濱和

エジソン電球とは

1879年にエジソンが14時間連続で光る白熱電球を発明した。1880年に光る時間を延ばすために日本の京都の竹と炭化したものが使われ200時間光らせることに成功した。

そこで、今回私たちは、炭素でできたシャープペンシルの芯に電流を流して光らせる装置を用いて、実験を行った。この装置を「エジソン電球」と呼ぶことにした。

目的

エジソン電球の発光の仕組みを知るためにまず、発光するときの電圧と電流の関係、電力、発光時のスペクトルの変化を知ることが目的とした。

仮説

仮説Ⅰ(実験Ⅰ)

時間が経過するほど発熱し芯が細くなり抵抗が大きくなることで、より高い温度になると考えられる。酸化の速度が上がると電流の変化は抵抗が大きくなるほど電流は小さくなるので時間に対して比例ではなく、時間が経つほどより急激に電流が小さくなると考えられる。

芯に加わる電圧に関しても、芯の部分の抵抗が大きいくほど、芯にかかる電圧は大きくなるので、時間が経つほどより急激に電圧が大きくなると考えられる。

仮説Ⅱ(実験Ⅱ)

芯は濃さによらず全て炭素は100%と調べられた(株式会社トンボ鉛筆のホームページより)ので濃さによる電力量の差はみられないと考えられる。

仮説Ⅲ(実験Ⅲ)

実験Ⅰ,Ⅱ温度の上がり方も時間の経過につれて大きくなると考えられるため、時間経過による芯の温度上がり方も時間に対して比例的ではなく、時間が経つほどより急激に温度が上昇すると考える。

実験の様子



図 A



図 B

用いたシャープペンシルの芯は、ペンテル Ain stein の0.7mmで、芯の濃さはHB,B,2Bである。

実験とその方法

実験Ⅰ

芯が切れるまでの電流や電圧の大きさの変化を調べる。

方法

- (1)電源の電圧を6Vに固定して流す。
- (2)電流を流した瞬間から電流計、電圧計の変化をストップウォッチで時間を測定しそれをカメラで録画する。
- (3)得られた結果をExcelを使いグラフにする。

実験Ⅱ

芯が切れるまでの電力量の総和を求める。

方法

- (1)実験①の電流と電圧より電力の時間変化を求め、時間経過による電力のグラフを作成する。
- (2)時間と電力で囲まれた面積を電力量として区分積法を用いる。

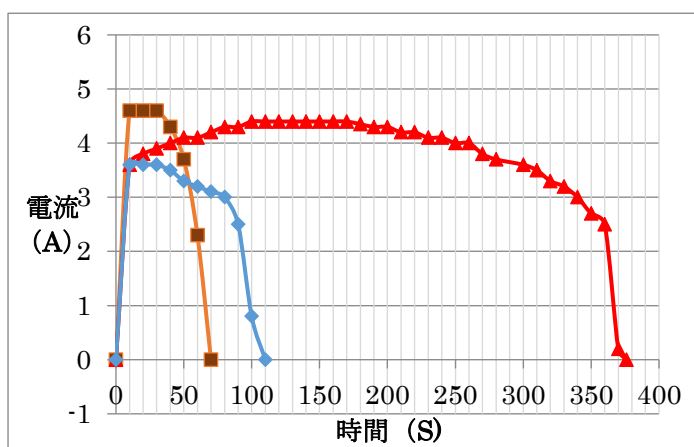
実験Ⅲ

光のスペクトルの分布から芯の表面温度を調べる。

(1)PASO(スペクトル分析装置)をパソコンに接続し、センサーをシャープペンシルの芯から2cmの距離に取り付け、電源の電圧を6Vに固定して流す。
 (2)電力を流した瞬間からストップウォッチで時間を測定し10秒ごとのスペクトルを記録する。
 (3)芯の発する光のスペクトルの分布から芯の温度を推測する。

※一般的に物体の温度と発する光のスペクトルの分布は決まっている(低い温度のものは赤く光り、高い温度のものは青白く光る。)

結果 1. 実験Ⅰについて



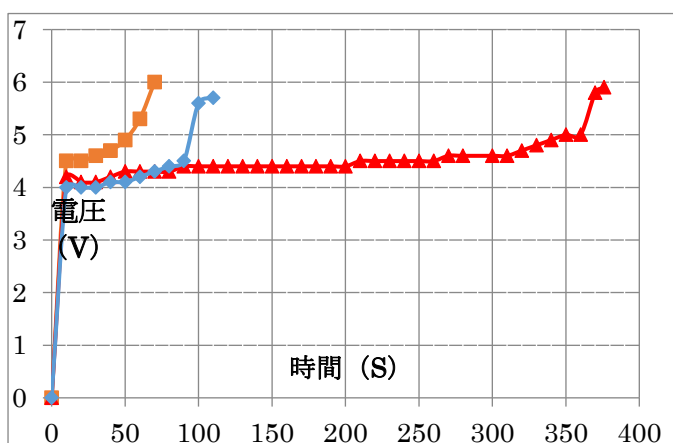
電流

赤色 0.7mm B

図①

青色 0.7mm HB

茶色 0.7mm 2B



電流

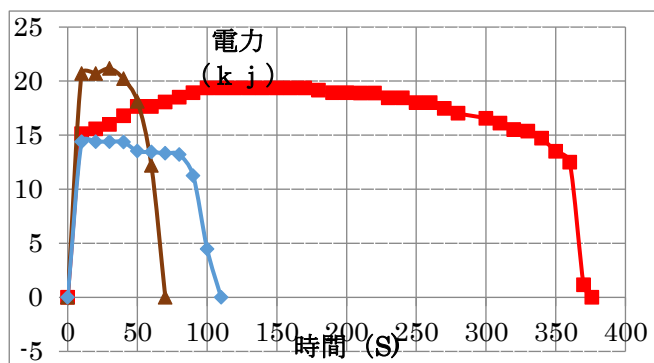
赤色 0.7mm B

図②

青色 0.7mm HB

茶色 0.7mm 2B

2. 実験Ⅱについて



電力のグラフ

図③

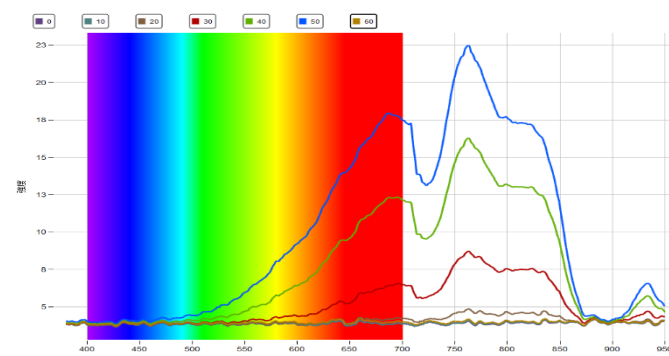
電流

赤色 0.7mm B

青色 0.7mm HB

茶色 0.7mm 2B

3. 実験Ⅲについて



図④

考察

1 実験Ⅰについて

電流

電流は時間には比例せず一定の値を保ったのちに、急激に減少するという、仮説で予想した結果となった。このようになった理由は仮説でも述べたように

- (1) シャープペンシルの芯が酸化されて、細くなる
- (2) シャープペンシルの芯の抵抗が小さくなり、温度が上がりやすくなる
- (3) 酸化の速度が上がり、抵抗の上がり方がより大きくなる

(4) 電流の減り方が急激に大きくなる

ということだと考えられる。

電圧

時間がたつと、電圧はある一定の値を保った後に、急激に増加する。

電圧が急激に増加するのは、先ほどと同様に酸化する速度が速くなることで、抵抗の上がり方がより大きく

なるので、電圧が急激に大きくなるのではないかと考えられる。

よって、電流と電圧については仮説と同じような結果が得られた。

2. 実験Ⅱについて

電力量

シャープペンシルの芯がきれるのに必要な電力は

HB 4108 kJ

2B 1445 kJ

B 1105.25 kJ

(上の値は、それぞれの濃さの中央値である。)

流れる時間が長いほど電力量が大きくなると考える。

3. 実験Ⅲについて

芯の濃さによらずどのスペクトルも、波長700nm～750nm(赤紫)の間で、光の強度が下がっている場所がある。

初めは実験の環境を考えて電球のスペクトル分析を行ったが、同じように強度が低下した。

次に芯が燃焼による二酸化炭素が原因なのではないかと考えたが

二酸化炭素は700nm～750nmの光はあまり吸収しないので原因は二酸化炭素ではないことが分かった。原因は不明であるが強度が低下している部分を補正して、温度とのスペクトルと比べると、およそ3000℃程と推定される。

今後の課題

光のスペクトルの一部分が減少している理由をもっと調べたい。

今回、確認された光は燃焼によって起こったのか芯内部の電子の働きによって起こったのかを調べるために酸素の割合が少ない状態(燃焼が起きにくい)での光の様子を観察する。

参考文献

東京書籍 改訂 物理

京都大学複合原子力科学研究所

不思議？シャープペンシルの芯が光る!!

株式会社トンボ鉛筆のホームページ

養生テープの粘着力と外壁素材の関係性

鹿児島県立錦江湾高等学校 生物研究部 鶴田敢汰 山脇鈴笑 川添優摩

1. 動機

2018年度、本校で行ったヤンバルトサカヤステの養生テープを用いた防除法が一定の効果をあげ、新聞などで取り上げていただいたところ、「どのメーカーのテープを巻いたらよいのか」という問い合わせを多く受けるようになった。

壁の種類や状態によって、糊残りや塗装剥がれの起こりやすさは異なるため、私たちは図1のように「小さく切った各社のテープを7～8月に試験的に貼って剥がし、壁への影響を確認してほしい」とお願いしていたが、急いで必要になった方には十分な回答ではなかった。そこで、養生テープとテープを貼る外壁の素材について予め関連性を見いだせないか考えるようになった。さらに、養生テープを自動的に貼る機器の開発中で、これを応用し、糊残りしないように剥がす方法の一助になると思い研究を始めた。



図1 本校で試していた糊残り検証方法

7～8月に、養生テープ片を貼り、糊残り等を検証していた

2. 目的

テープの接着剤の種類によって、糊残りしにくい建材・角度・温度を調べ、規則性・関連性がないかを調べる。

3. 実験方法

使用する養生テープは、本校の壁に対して、4か月以上貼り付けても糊残りがなく、接着力もすぐれていたNo.4140（寺岡製作所）を使用する。

このテープの粘着剤はアクリル系で、企業のHPでは、粘着力13.22（N（gf）/幅25mm）とあるが、温度や角度に関する条件設定は記載されてい

ない。⁽¹⁾

図2のように、実際に使用されている測定装置を模した装置を作成し⁽²⁾⁽³⁾、建材、接着面の温度と角度を変える。可能であれば、本校にあるクリーンベンチのUVを使用し、UV照射を行って、人工的にテープの劣化状況下での変化も測定する。そのうえで、粘着力と糊残りの様子を確認する。

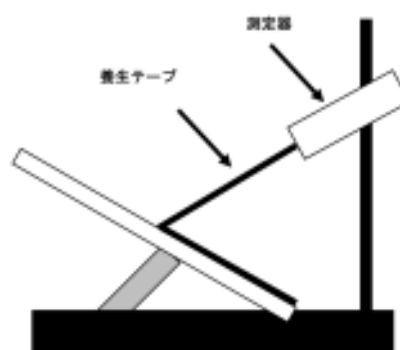


図2 測定装置

4 結果と今後の展開

現在実験中。12月より電子顕微鏡が本校にくるため、その電子顕微鏡で表面の様子を確認し、変化や糊残りの状況の変化を確認したい。

5 参考文献

- (1) 株式会社寺岡製作所「製品情報 Pカットテープ 4140」(https://www.teraokatape.co.jp/products/name/name007/data_000165.htm) 閲覧日：2020年10月6日)
- (2) 協和界面科学株式会社 「粘着・剥離とは」, (https://www.face-kyowa.co.jp/science/theory/what_adhesion_peel.html) 閲覧日：2020年10月6日)
- (3) 鈴木 翔伍 中央大学大学院研究年報里工学研究科編, 42, 2012「引きはがし速度が接着剥離力に及ぼす影響」(https://chuo-u.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=4213) 閲覧日：2020年10月6日)

シラスの吸音性について

池田高校 SSH 課題研究 物理班②

1. 研究の目的

私たちの班は、これまで火山灰やシラスなどで作成した防音壁の、遮音性や吸音性について調べてきた。そして、特に高い周波数の音については、シラスの多孔質な構造が吸音に効果的なのではないかという結論に至った。更に、昨年度の研究で、防音壁の改良と、測定方法の改良を行いながら、実験を行ったところ、3400~6800Hz では、粒子の大きなシラスで作った防音壁の吸音性のみに、他のものとは大きな違いが見られ、吸音性が高くなった(図1)。この原因は、シラスの粒子の大きさの違いによるものだと考え、粒子の大きさの違いによる吸音性の違いを、昨年度よりも細かく調べている。

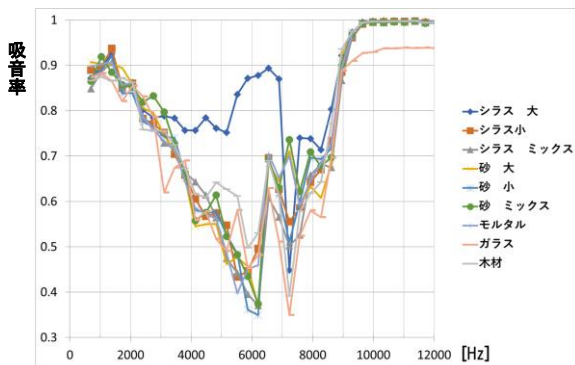


図1 各周波数における吸音率

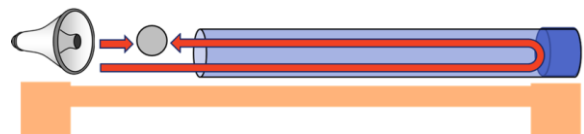
2. 研究の仮説

シラスは、その多孔質な構造によって、シラス自体に吸音効果があるのではないかと考えた。また、その効果は、粒子の大きさが大きくなる程、高くなるのではないかと考えた。

3. 研究の方法

まず、シラスの防音壁を作成した。シラスの粒子の大きさで、4種類(125 μ m, 250 μ m, 500 μ m, 2mm)の防音壁を作成した。防音壁の厚さは、昨年改良した13cmの厚さにし、防音壁の振動が実験結果に影響を与えないようにした。

次に、作成した防音壁に音を反射させ、直接音と反射音の音圧を録音した。多くの周波数の音を同時に測定できるように、反射させる音はホワイトノイズを用いた。録音した直接音と反射音は、高速フーリエ変換法を用いて、各周波数における音圧を測定した。



測定した直接音と反射音の音圧を、吸音率を計算する数式に入力して、防音壁の吸音性を調べた。

紙飛行機の飛行と降下速度の力学

Mechanics on Flight and Descending Speed of Paper Air Plane

池田高等学校
豊島 怜隼, 安楽 豪, 前園 康介

1. 目的

紙飛行機の飛行特性は、紙飛行機の形状や投げる人の初速のほか飛行中の紙飛行機に働く力（推力（初速）、抗力、重力、揚力など）の大きさに依存する。しかし、紙飛行機に関わる力の算定には非定常な紙飛行機の運動であることから紙飛行機に働く力の推定には非定常性を考慮した係数の使用など検討する必要があると思われる。

これらを解明するために紙飛行機を実際に飛行させ、降下速度と高度を実験的に調査し、非定常の場合の紙飛行機に働く力の算定と飛行特性（速度と高度）について、検討した。

2. 理論

紙飛行機が飛行する方向の水平軸を x の正方向、重力により降下する鉛直下向きを y 軸の正方向とする。水平および鉛直を示す添字を H, V で表す。紙飛行機の最初の投げ出し位置を座標原点 ($x=0, y=0$) とし、紙飛行機の水平方向の速度を u [m/s]、鉛直方向の速度を V [m/s] および水平方向の加速度 a_H [m/s²]、鉛直方向の加速度 a_V [m/s²] とする。

(a) 空気抵抗が無い場合 いわゆる自由落下の式であり、紙飛行機の時刻 t [s] における速度と高さ y [m] は、重力加速度を g [m/s²]、質量を m [kg] とし、 $v = gt, y = (1/2)gt^2$ で与えられる。(b) 空気抵抗がある場合 紙飛行機に関する運動方程式は、(1) 速度に比例した空気抵抗（抗力） D [N] が働く場合、(2) 速度の 2 乗に比例した空気抵抗（抗力） D_2 [N] が働く場合が考慮される。(1) は、機体周

りの流れの状態を表すレイノルズ数 $Re = \nu L / \nu$ の値が 1 以下の場合に、(2) は Re 数が 1 より大きい場合に適用される。本実験の場合 Re は 3000 以上であるので、(2) の場合を適用した。ここに、 ν は、紙飛行機の速度 [m/s]、 ν は空気の動粘度 [m²/s]、 L は紙飛行機の代表長さ [m] で、相当直径⁽¹⁾を用いて抵抗抗力の推定に必要な紙飛行機の鉛直面への投影面積 A [m²] と濡れぶち長さ R [m] から $L = 4A/P$ として定義した。

紙飛行機に働く力についての運動方程式は、 x 方向：式(1)、 y 方向：式(2)である。

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = m \frac{dv}{dt} = m a_V = mg - D_V - L_{fV} \\ = mg - k v^2 \quad (1)$$

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = m \frac{du}{dt} = m a_H = m a_H = F_p - D_H \quad (2)$$

ここで、添字 v および H は鉛直および水平方向を表し、 ma は慣性力、 mg は重力、 D_V, D_H は鉛直および水平方向の抗力、 L_{fV} は揚力である。 F_p は紙飛行機の推進力として式(3)で、瞬時の速度 v_i 、 t 秒後の速度 v_{i+1} 、 t 秒後の飛距離 x から求められる。

$$(1/2) m v_{i+1}^2 - (1/2) m v_i^2 = F_p \cdot x \quad (3)$$

この報告では、紙面および解析時間の関係から鉛直方向の速度および高度についての運動方程式(1)を解き、速度 v と高度 y に関する解析式(4)および式(5)を用いた。ここに、鉛直方向に働く抗力 D_V および比例定数 k は次式により定義される。

$$D_V = C_D \frac{1}{2} \rho v^2 A = k v^2 \quad (4)$$

ここに、 C_D は抗力係数⁽¹⁾、 A は流れ中の物体の投影面積である。紙飛行機の場合の抵抗係数は便宜的に平板として Re 数の範囲から

0.40 の値を用いた。速度 v と高度 y の実験データと比較するため運動方程式(1)を解き、式(5)、式(6)を得る。

$$v = \sqrt{mg/k} \tanh \sqrt{kg/m} t \quad (5)$$

$$y = m/k \log | \cosh \sqrt{kg/m} t | \quad (6)$$

実験は、飛行機を実際に飛行させ、スマートフォンにて動画（1/30 秒の連写画像）を撮影し、その解析を行った。

3. 結果 および 考察

図 1 および図 2 は、それぞれ紙飛行機の飛行画像を基に得られた鉛直方向の速度と高度の結果である。これらの図中では、速度および高度の実験点は◇、□のプロットで、解析による解の式(5)および式(6)は実線で、自由落下の場合の速度 $v (= g \cdot t)$ と高度 $y (= (1/2) g \cdot t^2)$ は、それぞれ破線で表されている。

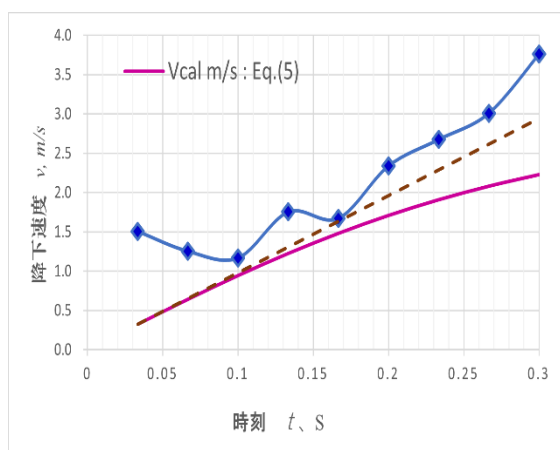


図 1 速度 v の変化

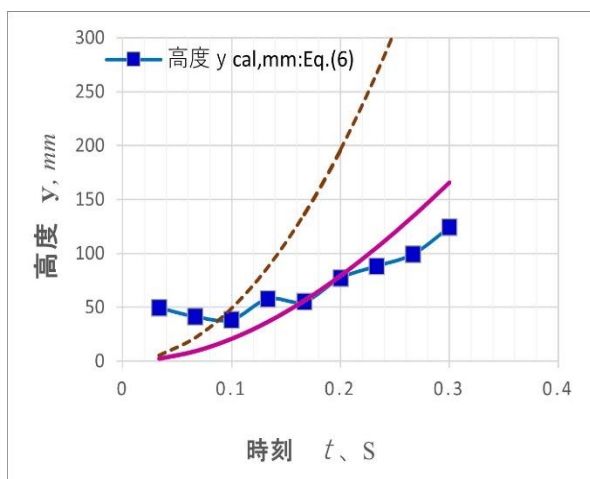


図 2 高度 y の変化

図 1 から、速度の実験値は、時間の経過とともに減少から増加に転じその後、増加する傾向がみられる。一方、理論解は時間が経過するほど、実験値との差が大きくなっており一定値に近づく傾向を示していることがわかる。自由落下の場合は、時間が長くなるとその差は大きくなるのが考えられるがこの範囲の時間内では比較的一致していることがわかる。一方、図 2 の高度の実験値（プロット点）は時間とともに直線的に増加している（高度が下がっている）。解析式(6)は、実験値と定性的な一致は得られたが、定量的には差異がみられた。この差異が生ずる原因として、水平飛行に近い場合、揚力をどの程度見積もるか、抵抗係数が実際の場合どの程度の値であるかなどの情報を式に反映されていないなどの理由が考えられる。この点については、今後、さらに、詳細に調査する必要があると考えている。

4. 結論

紙飛行機を製作し、実際に飛行させ、速度と高度を実験的に調査し、紙飛行機に働く力の算定と飛行特性（速度と高度）を検討したことから以下の結論を得た。

(1) 速度の実験値は、時間とともに増加し次第に一定値に近づく傾向であった。解析式(5)は、実験値と比較的によく一致する結果を得た。自由落下速度は時間がかかり短い場合は実験値と比較的一致することが考えられる。

(2) 高度の実験値は、時間とともに増加した。解析式(6)は、実験値の傾向を比較的に表しているが、定量的な一致を得るには、揚力や抗力係数の変化などの考慮が必要である。

文献

(1) 富田幸雄・山崎慎三, ”水力学”, 産業図書, 昭和 63 年 2 月, p. 110, pp. 171-178.

(2) 増井壮太・片岡佐知子・中村元彦・常田琢・松山豊樹, ”高校物理における空気抵抗の正しい理解”, 次世代教員養成センター研究紀要(5), 37-42, (2019).

滞在時間の滞空時間の長い紙ヒコーキを目指してII

鹿児島県立錦江湾高校理数科2年

徳丸一樹, 日高鈴乃, 栄村志穂, 實崎勇斗, 田頭優, 竹山颯祐, 畠中翼, 宮野圭吾, 上釜ひなた, 沖園七彩

紙飛行機は老若男女多くの人に楽しまれている。先輩たちが滞空時間を競う大会で県準優勝したことを知り、先輩たちの記録を超し、優勝を目標に研究を始めた。自由に折った紙ヒコーキ（スカイキング）を計500回飛ばし、滞空時間が長かった機体を調べると、翼面積と重心位置が関係していることが分かった。機体の裏を4mm刻みで折り返し重心位置を変えようと試みたが失敗、機体を折るときの最初の折幅を変えて重心を測ったがこれも失敗した。滞空時間の変化を見つけるため、①翼を円弧上にする②迎え角を測定し長く飛ぶ角度を調べる ③滞空時間に変化が出る重心位置を見つける の3つを調べることにした。

背景と動機

幼い頃よく遊んでいた紙ヒコーキを本気で研究したい！

日本航空(JAL)主催の滞空時間を競う紙飛行機大会で準優勝



改良を加え、先輩たちの記録を更新する
スカイキングの記録

一昨年度全国大会優勝記録 18.59 秒
ギネス記録(戸田拓夫氏) 29.20 秒

計画

- ① 文献から改善点を調査する
- ② 翼の面積、縦横比を大きくする
- ③ 最適な迎え角を探す^{6)~8)}
文献では $0^{\circ} \sim 10^{\circ}$
- ④ 翼の形を円弧状にする⁵⁾
 - ・自由に折り、飛ばす(スカイキングで)
 - ↓
 - ・影響する所が文献通りか分析
 - ↓
 - ・影響する所の折り方を変えて分析

実験条件

〈コンセプト〉

誰が投げても飛ぶ機体の条件を見出す

- ①10人各自1機作成(スカイキングをベースに)
- ②1人5回ずつすべての機体を投げる
(10機 \times 5 \times 10人=500個のデータ)
- ③滞空時間の長い機体と短い機体を選出
- ④機体長(縦・横), 縦横比, 翼面積, 重心位置を調査

結果と考察

図1 各機体の滞空時間

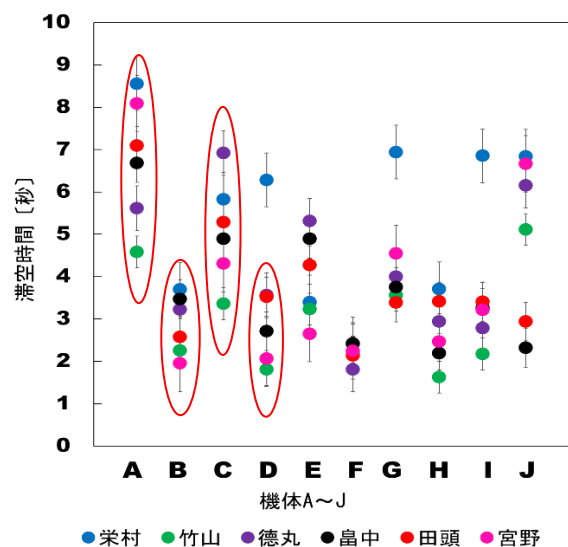


図2 滞空時間の長い機体と短い機体の比較

機体	飛ぶ		飛ばない	
	A	C	B	F
縦[cm]	11.9	11.9	12.0	10.5
横 [cm]	10.6	10.9	11.0	10.4
縦横比(縦÷横)	1.12	1.09	1.09	1.01
重心[cm] <small>先端～重心：重心～後方</small>	3.7:8.2	4.2:7.7	4.8:7.2	3.9:6.6
翼面積[cm ²]	102.52	105.94	91.02	73.32

自由に折った紙ヒコーキを計500回飛ばす(図1)

機体 A・C=飛ぶ, B・F=飛ばない



滞空時間の長い機体と短い機体を分析(図2)

重心が前方=滞空時間が長い
翼面積大=滞空時間が長い



紙ヒコーキの滞空時間には

重心位置と翼面積

が影響していることがわかった

現在の取り組み

① 翼面積は変えずに重心変化させたい

機体裏を4mm刻み(4~40mm)で折り返す



同じ翼面積で重心位置が最大5.0mm異なる機体が得られた

② 翼面積を変化させたい

最初の折り方を3mm刻み(0~15mm)で折り返す



重心位置の差2mm以内で翼面積の異なる機体が得られた



① ②のデータを取り、今後飛ばす

展望

今後次の点について調べていきたい

- ・翼面積の影響を確かめる
- ・最適な重心位置を調べる
- ・翼を円弧状にする
- ・最適な迎え角を調べる

参考文献

- 1) 越智徳昌：パラグライダー・ハングライダーの運動モデルと飛行制御，計測と制御，57巻4号，247-252(2018)
- 2) 安藤元一，白石哲：ムササビにおける相対成長と滑空適応，九大農学芸誌，39巻2・3号，49-57(1984)
- 3) 菅井慎也，鈴木潤一，佐久間慎，千葉一永：紙飛行機作成における飛距離及び滞空時間向上に対する戦略の差異，日本機械学会北海道支部第52回講演概要集，159-160(2013)
- 4) 飯田明由，岩崎正志，水野明哲：遺伝的アルゴリズムを用いた鳥人間滑空機の最適設計，ながれ25巻，543-551(2006)
- 5) 神部勉：動物の運動の流体力学，日本物理学会誌，33巻6号，484-497(1978)
- 6) 齋藤楓実：ナンバーワンの紙飛行機IV～揚力について～，静岡大学附属静岡中学校課題研究(2016)

<https://gakusyu.shizuoka-c.ed.jp/science/ronnbunshu/h28/162101.pdf>

- 7) 谷口遼麻，李瑛博：紙飛行機の主翼の迎え角を変えた時の揚力の変化，千葉県立船橋高校課題研究(2017)

https://www.chiba-c.ed.jp/funako/ftp_kousin/ssh/research/2017/2017_04p4.pdf

- 8) 山本耕大，清水友之助，田村俊樹，西隼世，早川竜誠，柳田真実：よく飛ぶ紙飛行機を作る一実験とシミュレーションを用いて，京都府立桃山高校課題研究(2017)

1. 背景

平成 30 年の水害被害額（暫定値）は約 1 兆 3500 億円であったが、特に 7 月豪雨によるものが 1 兆 1580 億円を占め、単一の豪雨による被害としては統計開始以来最大であった¹⁾。また、昨年は少なかったものの、近年のゲリラ豪雨は年平均 4000 回を上回っている²⁾。

2. 目的

BS 放送は円偏波を用いており、BS アンテナには右旋円偏波を受信するものと、4K・8K 放送に対応して右旋円偏波と左旋円偏波の両方を受信するものがある。本研究では、このようなアンテナの種類の違いや、アンテナのサイズが、降雨による受信レベルの低下にどのような影響を与えるかを調べ、降雨の強さと受信レベルとの相関を調べる。受信レベルの低下速度や低下率と、降雨までの時間や降雨量との関係調べ、ゲリラ豪雨の予報を簡単に、安価に、正確に行える装置の開発を目指す。

3. 方法

東経 110 度、赤道上空 36000 km に浮かぶ BS 衛星から送られる 12 GHz の電波を BS アンテナで受信し、ブースターで増幅後、デジタルレベルチェッカーでアンテナレベル (dB) を測定する。BS 電波は雨やゲリラ豪雨に当たると減衰するため、減衰速度や減衰率をリアルタイムで測定する。BS 衛星は、観測点である鹿児島市から南西方向に位置しているため、南西方向から接近する雨雲や豪雨を検知する (Fig. 1)。

BS アンテナ ブースター レベルチェッカー

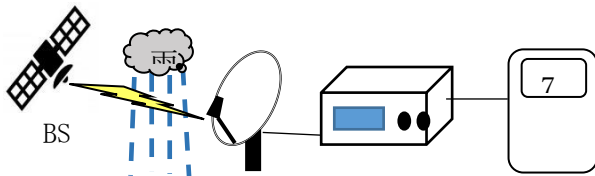


Fig. 1 BS アンテナを用いたゲリラ豪雨予報器の構成

アンテナの種類を変え、アンテナレベルの低下速度や低下率を比較する。また、測定値の変化から実際の降雨までの時間や低下率と降雨量との相関性を検討し、雨量測定に最適なアンテナを考察する。用いるアンテナの特徴を下記の表 1 にまとめた。

表 1 各種 BS アンテナの特徴

型	オフセット型 2K 対応	オフセット型 4K・8K 対応
特徴	雨や雪に影響されにくい	サイズが大きく、雨や雪に影響されにくい
指向性	緩指向性	
対応円偏波	右旋円偏波	右旋円偏波・左旋円偏波

4. 結果と考察

錦江湾高校の生徒館と理科棟の間に Fig. 2 のように BS アンテナを設置した。通常時 (雨の降っていない状態) での受信レベルの平均を測定した結果、BS 8 ch で



Fig. 2 観測の様子

79.81dB、BS14ch で 80.99dB で

あった、この値を測った受信レベルの平均を基準値として用いる。今回は、4 K・8 K のアンテナのみを使用した。詳細については大会で発表する。

5. 参考文献

1) 「平成 30 年 7 月豪雨が統計開始以来最大の被害額に」
令和元年 7 月 30 日 国土交通省
https://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo03_hh_000985.html

2) 「ゲリラ豪雨まとめ 2019」 令和元年 10 月 31 日
ウェザーニューズ
<https://jp.weathernews.com/news/29654/>

風力発電の性能を落とす要因を探る

池田高等学校 SSH 課題研究 物理班①

内田 櫻礼子・大堀 華佳・屋敷 凜音

1. 研究の動機・背景

私たちは、これまで垂直軸風力発電について、その発電効率の向上や小型化を目的とし研究してきた。そこで得られた発電量は、最大で風速 6m/s で観測した 143mW と、非常に小さい。また、風力発電における発電量は、風のもつ運動エネルギー $\frac{1}{2}\rho S v^3$ で表される。(空気の質量 m [kg], 風速 v [m/s], 空気の密度 ρ [kg/m³], 風車の受風面積 S [m²]) よって、発電量は受風面積に比例するはずだが、前年度研究より比例関係を確認することはできなかった。以上のことから、本研究では、前年度までに用いてきた研究方法や実験装置のどこに性能を落とす要因や理論値から外れる要因があるのかを検証する。

2. 研究目的

風力発電の発電量を妨げる要因を、風車への送風に由来するもの、風車のブレードに由来するものの 2 つに分ける。本研究では、風車への送風に由来する要因を調べるため、これまでの研究で使用してきた扇風機から送られる風の水平方向の風速が、風が当たる鉛直面のあらゆる位置でどの程度異なるのかを明らかにする。さらに、扇風機と同様に使用してきたハニカム構造の整流装置が機能していたかを再度検証するため、タフト法を応用した手法を用いて、風の流れを可視化する。

3. 研究方法

(1) 風速の測定

扇風機－風速計間の距離を 50cm とする。扇風機は、「弱」、「中」、「強」の 3 段階で風速を変化させ風を送る。

1 回の測定につき、風向きに対して垂直な鉛直面の 9 か所の位置 (A～I) の風速を測る。図 1 に A～I の位置を示す。なお、図 1 の正方形は、扇風機の直径 51cm と等しい一辺を持ち、点 E は扇風機の羽の回転軸を通る。実験では、図 1 のような格子状の枠を段ボールで作成し、測定位置の目印とする。図 2 に実験の様子を示す。

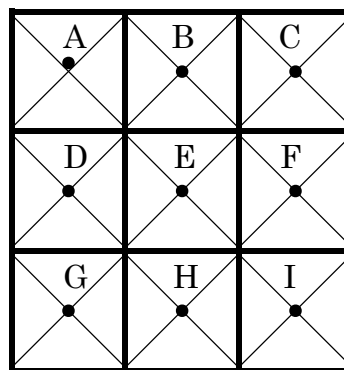


図 1 風下側から見た鉛直面内 9 か所 (A～I) の測定位置

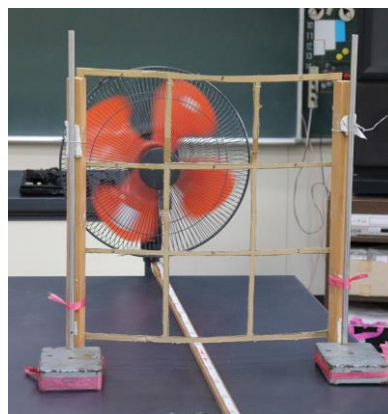


図 2 実験の様子

次に、扇風機－風速計間の距離を 100cm に変え、同様の計測を行う。さらに、以上の計測を風速計の手前 20 cm に整流装置を置いた場合についても同様に行う。

(2) 風の流れの可視化

図3のように、タフトを風向に対して水平方向に6cm間隔で配置する。扇風機から風を送り、タフトの挙動を観察する。1回の測定につき、図1の点A~Cを通る水平面(上段)、点D~Fを通る水平面(中段)、点G~Iを通る水平面(下段)の3か所の風の流れの断面の観察を行う。

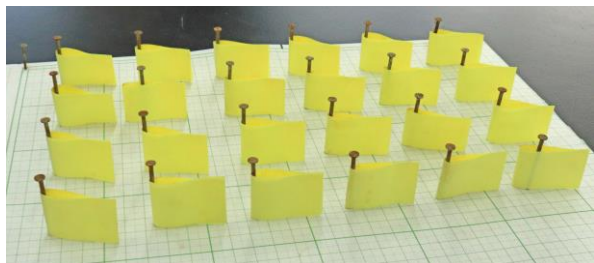


図3 タフト法を用いた風の流れの可視化装置

4. 結果と考察

(1) 図4~図7は風速の測定結果である。

図4~図7の各位置の風速において、最大値と最小値の差を「範囲」と呼ぶ。この風速の範囲が小さいほど風の乱れが小さいと考えられる。図4と図5を比較すると、図5の方が中、強風で範囲が小さく、整流装置を配置したことで風の乱れが軽減したと言える。また、図6と図7を比較すると、範囲に大きな差が見られず、整流装置の有無が風の乱れに影響しなかったことがわかる。さらに、図4、6に比べ、図5、7の方が弱風、中風、強風における風速の重なりが少なく、整流装置により弱・中・強のパワーの違いが反映されたと考えられる。

A~Iの位置での風速の違いに注目すると、風速が大きいのは図4と図5のいずれもB, D, Hで、図6と図7ではB, Dであった。つまり、整流装置の有無に関係なく、風速には偏りがあり、風の当たる鉛直面においては左右非対称な風速が得られる。

図4、5と図6、7を比較すると、図5、6の方が、A~Iでの風速の全体的な振幅が小さかった。したがって、扇風機からの距離が近い50cmだと、A~Iの位置によって風速の違いが顕著になると言える。

— 弱風_最小値 — 中風_最小値 — 強風_最小値
 ● 弱風_中央値 ■ 中風_中央値 ---△--- 強風_中央値

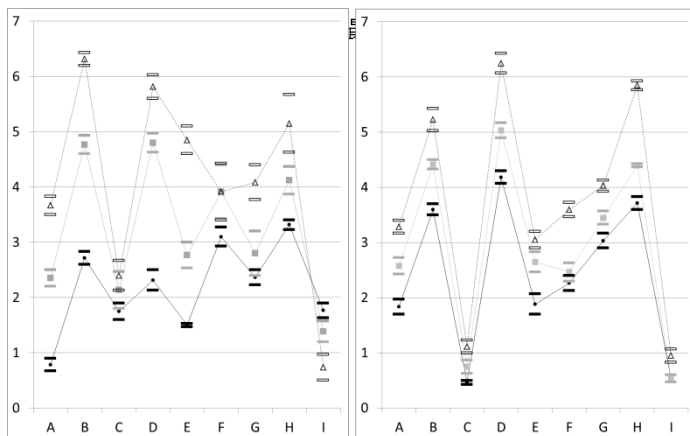


図4 扇風機—風速計間

図5 扇風機—風速計間

の距離 50cm/整流装置なし

の距離 50cm/整流装置あり

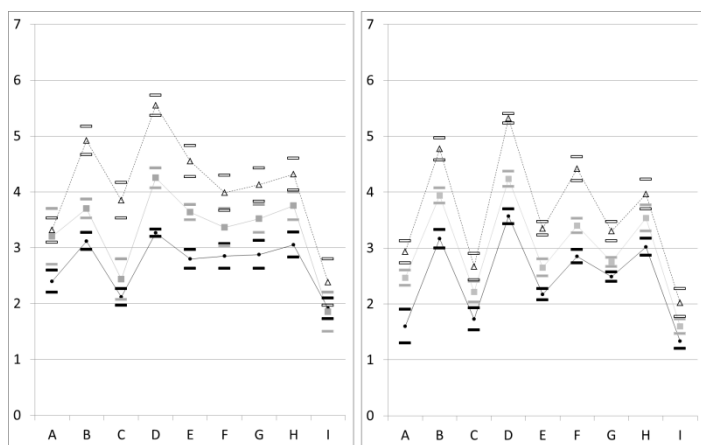


図6 扇風機—風速計間

図7 扇風機—風速計間

の距離 100cm/整流装置なし

の距離 100cm/整流装置あり

(2) タフト法を用いた風の流れの可視化では、弱風~強風のいずれも整流装置を配置することで、タフトの左右方向の揺れの減少が確認できた。また、弱風→中風→強風と変化させるにつれ、下段でのタフトの揺れより上段での揺れが目立った。

5. 参考文献

- 増井壮太, 中村元彦 (2019), タフト法を用いた後流の可視化実験 — 流体の速度依存性, 物体の形状依存性に注目して —, 次世代教員養成センター研究紀要 Vol. 5

<https://www.nara-edu.ac.jp/CERT/bulletin2019/CERD2019-R6.pdf>

液体中を落下する物体の非定常運動の力学

Mechanics on Unsteady Motion of The Falling Body in The Liquid

池田高等学校

横山 竜空, 西野 凌央, 井上 鈴之助

1. 目的

非円形の物体が液体中を落下する場合、浮力および抗力のほか渦生成による後流のため非定常な運動で振動や回転、螺旋運動など複雑な挙動を呈する場合が少なくない。

本研究では液体中を落下する物体に働く力（重力、抗力、浮力など）を考慮し、非円形形状の物体が非定常な運動をする場合の物体の落下速度と落下高さについて、運動方程式の解析から理論と実験値を比較し、非定常の場合のこれらの値の変化を検討することを目的とした。

2. 理論 および 実験

物体が重力により落下する鉛直下向きを y 軸の正の方向とする。また螺旋運動などの場合、物体の落下位置の旋回成分の特定する場合、距離（位置） r 、と角度 θ の座標で表し、物体の最初の落下位置を原点 ($y=0, r=r_0, \theta=0$) として、落下の軌道を定める。

物体の鉛直方向の速度を V [m/s] および加速度 a_V [m/s²] とする。(a)液体の抵抗が無い場合物体の時刻 t [s]における速度と高さ y [m]は、重力加速度を g [m/s²]、質量を m [kg]として、 $v = gt, y = (1/2)gt^2$ で与えられる。(b)液体の抵抗がある場合 物体に関する運動方程式は、(1)速度に比例した抵抗（抗力） D [N]が働く場合、(2)速度の2乗に比例した抵抗（抗力） D_2 [N]が働く場合が考慮される。(1)は、物体周りの流れの状態を表すレイノルズ数 $Re = vd/\nu$ の値が1以下の場合に適用されるが、本実験の場合、 Re 数が1より大きい ($Re = 6 \sim 20 \times 10^3$) ことから上記(2)

の場合を適用した。

ここで、 v は、物体の速度[m/s]、 ν は空気の間粘度[m²/s]、 d は物体の代表長さ[m]⁽¹⁾で、直径 d を用いた。

物体に働く力についての運動方程式は、式(1)に与えられる。

$$m \frac{d^2y}{dt^2} = m \frac{dv}{dt} = m a_V = mg - D_V = mg - kv^2 \quad (1)$$

ここに、 ma は慣性力、 mg は重力、 D_V は抗力、 k は比例定数で次式で定義される。

$$D_V = C_D \frac{1}{2} \rho v^2 A \quad (2)$$

ここに、 C_D は抗力係数⁽¹⁾、 A は流れ中の物体の投影面積である。 C_D の算定は物体形状の変化により異なるが、落下時にはその投影面積は種々の値を取り得る。本実験では物体として数種類の穴あきと穴なしのコインを使用した。これらの抵抗係数は便宜的に平板として Re 数の範囲から 0.40 の値を用いた。速度 v と高さ y の実験データと比較するため運動方程式(1)を解いて式(3)、式(4)を得る。

$$v = \sqrt{mg/k} \tanh \sqrt{kg/m} t \quad (3)$$

$$y = m/k \log | \cosh \sqrt{kg/m} t | \quad (4)$$

実験は、物体を実際に落下させ、スマートフォンにて動画（1/30秒の連写画像）を撮影し、その解析を行った。これらの実験値と理論値を比較した。

3. 結果 および 考察

図1は数種類のコインの落下画像を基に算出された速度変化（縦軸 v m/s、横軸、時刻 t s）を示し

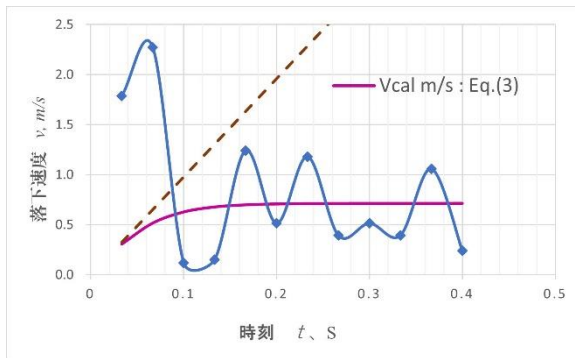


図1 速度 v の時間変化

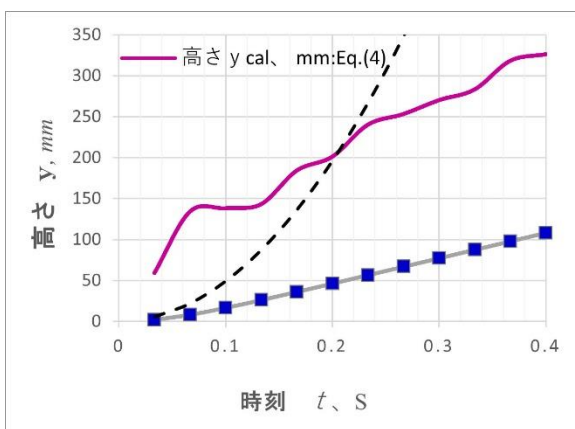


図2 高さ y の時間変化

図2は、落下高さ y の例（10円硬貨の場合）を表す。これらの図中では、速度および高さを表す実験点は◇、□のプロットで、解析による解の式(3)および式(4)は実線で、自由落下の場合の速度 $v (=g \cdot t)$ と高さ $y (= (1/2)g \cdot t^2)$ は、それぞれ破線で表されている。

図1から速度は、高い値と低い値を振動しながら次第に低下し、一定値に近づいていることがわかる。この傾向は他のコインの場合もほぼ同じ傾向が得られている。これらはコインが落下途中で鉛直、斜め、水平など種々の角度で落下するためコイン後流の流れが速度や落下距離に影響を与えていると考えられる。速度の解析式(3)の変化は、速度の実験値の傾向を比較的、表していることがわかる。いわゆる自由落下速度は液体中の抵抗力を考慮していないので実験値の傾向とはかなり異なることがわかる。すなわち液体中の物体の落下

は抵抗力などの考慮が重要であることを示していることがわかる。

一方、図2の高さの実験値（プロット点）は時間経過とともに直線的に落下しており、解析式(4)は、実験値の数倍の値を与えているが定性的な傾向は一致していることがわかる。高さの実験値と式(4)との差異が生ずる原因は、速度と同様の理由であり、抵抗係数を見積もる場合の式(2)における流れの投影面積 A が、実際の落下の場合、時間経過とともに種々、変化する特徴が式(2)に反映されていないことおよび平板の抵抗係数を用いたことなどに起因するものと考えられる。これらを解明するためには、式(4)の抵抗係数の変化についても今後さらに、詳細に調査する必要があると考えている。

4. 結論

液体中を落下する物体に働く力（重力、抗力、浮力など）を考慮し、非円形状の物体が非定常な運動をする場合の物体の落下速度と落下高さについて、理論と実験値を比較検討したことから以下の事が、まとめられる。

(1) 速度の実験値は、高い値と低い値を振動しながら減少し、一定値に近づく。解析式(3)の変化も実験値と同様の傾向を示した。自由落下速度は液体中の抵抗力を考慮していないことから実験値の傾向とはかなり異なる結果であった。

(2) 落下時の高さの実験値は、時間とともに直線的に落下した。解析式(4)は、実験値と定性的に一致することがわかった。

(3) 物体の落下特性をより理解するためには、流れの投影面積 A および抵抗係数 C_D の変化についても詳細に検討する必要がある。

文献

(1) 富田幸雄・山崎慎三, "水力学", 産業図書, 昭和63年2月, p. 110, pp. 171-178.

(2) 増井壮太・片岡佐知子・中村元彦・常田琢・松山豊樹, "高校物理における空気抵抗の正しい理解", 次世代教員養成センター研究紀要(5), pp. 37-42, (2019).