

2010.9.25～2010.9.26

本郷中学校・高等学校  
科学部



2010

# 目次

ホバークラフト	2
ブラックウォールボックス	4
ヘルムホルツ共鳴器	6
お湯の冷め方～対流の可視化～	9
空気砲	12
渦電流	15

# ホバークラフト

## 1. 実験目的

我々科学部では、1995年に最初のホバークラフトを製作してから、毎年本郷祭でホバークラフトを動かしてきた。今年は新しいエンジンを製作した。

## 2. 浮く原理

当科学部のホバークラフトには掃除機のモーターを使用し、構造としては遠心力圧縮機である。遠心力圧縮機とは遠心力を使って空気を圧縮するものである。しかし掃除機のモーターの力だけでは人を浮かせることはできない。それは圧縮ユニットの大きさとタイヤに囲まれている部分の面積や圧力が関係している。

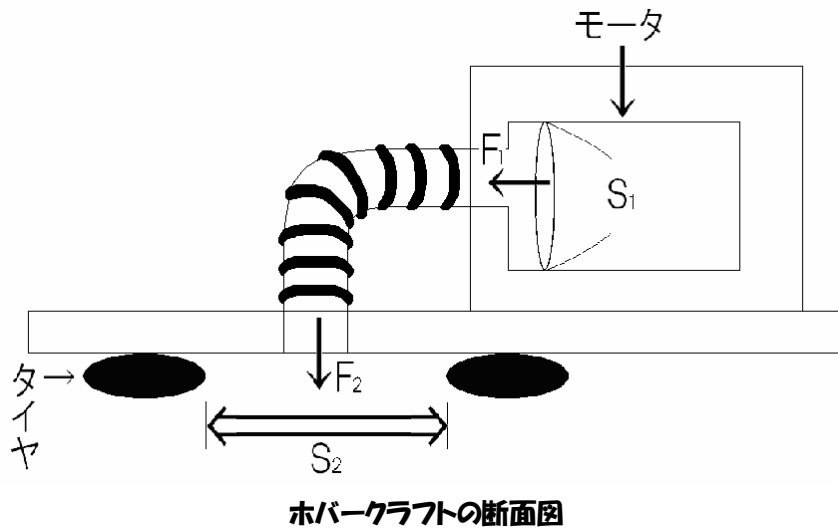
### 〈圧力〉

圧力とは、「物がふれ合うとき、ふれ合う面の単位面積あたりを垂直に押し合う力」である。式で表すと以下のようなになる。

$$\text{圧力} = \frac{\text{面を垂直に押す力}}{\text{力がはたらく部分の面積}}$$

### 〈ホバークラフト〉

ホバークラフトの断面は次の図のようになっている。ここで、モーターの部分の圧力と、タイヤで囲まれた部分の圧力が同じになる。



図のように力を  $F_1$ ,  $F_2$ , 面積を  $S_1$ ,  $S_2$  とすると

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

$$\therefore F_2 = \frac{S_2}{S_1} \times F_1$$

$S_2 > S_1$  なので  $F_2 > F_1$  となる。

従って、掃除機の排気の流れよりも大きな力を取り出すことができるため、ホバークラフトは浮くことができる。

# ブラックウォールボックス

## 1. 目的

偏光板(偏光フィルム)が私たちの生活の様々な面で用いられていることやその性質を、ブラックウォールボックスを作る過程で知ってもらう。

## 2. 偏光板とは

光は波で振動しており、この振動をする方向を振動方向という。光はその振動方向が2種類あってあらゆる方向に振動している「自然光」と一方向にしか振動していない「偏光」。私たちがよく目にするのは、その2つの状態が混ざっている部分偏光である。この振動方向をある一定方向にそろえるのが「偏光板」である。2枚の偏光板の振動方向を $90^\circ$  ずらして重ねると振動によって光が通れなくなり、黒く見える。現在偏光板は3D映画用の偏向めがねや電卓、液晶テレビなど様々なものに使用されている。

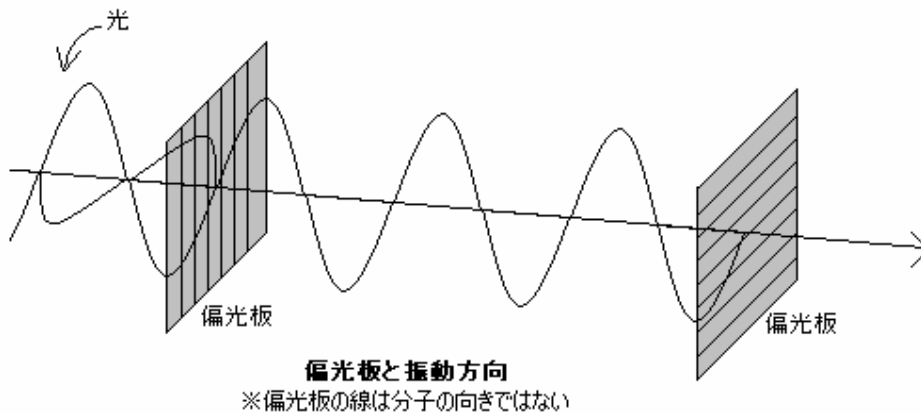


図 1

## 3. ブラックウォールボックスとは

振動方向を $90^\circ$  ずらした偏光板を重ねると黒く見えることから、この性質を用いて、箱の中にあるはずの無い壁が見えるのがブラックウォールボックスである。

#### 4. 工作材料

- ・偏光板フィルム(縦3 cm, 横3 cm) × 2
- ・カラー工作用紙(黒)
- ・セロハンテープ

#### 5. 工作手順

- ① 工作用紙から箱の展開図を切り出す
- ② 偏光板を縦3 cm, 横3 cmの2つの正方形に切り分ける
- ③ 偏光板を2枚とも図4のように切る
- ④ 2枚の偏光板を, 向きを変えずに縦に並べ、図5のように切った偏光板を入れ替え、正方形の形が出来るよう、組み合わせる
- ⑤ ①で作った型の黒い面に、④で組み合わせた偏光板をセロテープで貼り付ける  
※この時, 2枚の偏光板の切れ目が平行になるようにする  
セロテープが穴に重ならないように貼る
- ⑥ 箱をセロテープで組み立てる
- ⑦ 完成

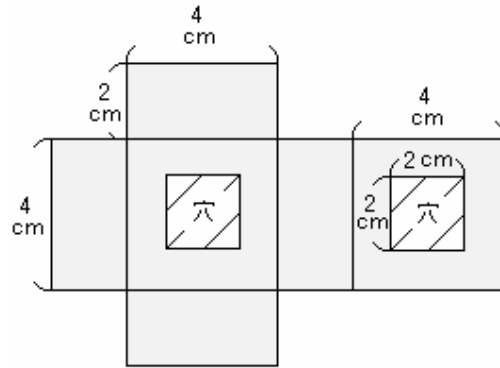


図2 箱の展開図



図3

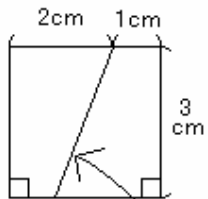
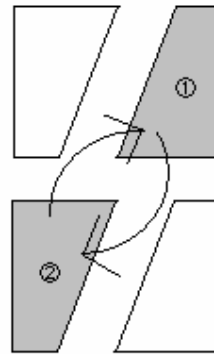


図4 ここで切断



①と②の偏光板を入れ替える

図5

# ヘルムホルツ共鳴器による体積測定

## 1. 実験の目的

様々なものの体積または密度を測定するには容易な方法として「アルキメデスの原理」を用いた測定が挙げられるが、今回は「ヘルムホルツ共鳴器」を応用し、それに似た形状である丸底フラスコを用いた新しい測定方法によって、水の体積を求めた。

## 2. ヘルムホルツ共鳴器とは

細い管の奥にある空間が振動するのを、ヘルムホルツ共鳴という。平滑な板材料に円形なパイプを接着した形状のパーツを開口部が平らな容器に乗せると典型的なヘルムホルツ共鳴器が製作できる。その共鳴周波数は空間の体積に関係するので、共鳴周波数と容器内の体積の関係を調べ、これらの関係式を求める。水を容器の中に入れ共鳴周波数を測定し、関係式を用いて(容器内のもともとの体積－水を入れた後の容器の体積)で水の体積を求める。

## 3. 実験方法



①図のように実験装置を設置する。②丸底フラスコ内に

20mlの水を入れる。

③マイクロフォンが、フラスコ内で何とも接していないことを確認して、任意の周波数のサイン波をスピーカーから発生さ

せる。④マイクロフォンがひろう音をオシロスコープの波形で確認する。⑤波形の振幅が最大となる周波数を見つけ出し、その周波数をヘルムホルツ共鳴器の共鳴周波数とし

で記録する。⑥以上の動作を丸底フラスコ内に水を 20ml ずつ足していき、200ml まで

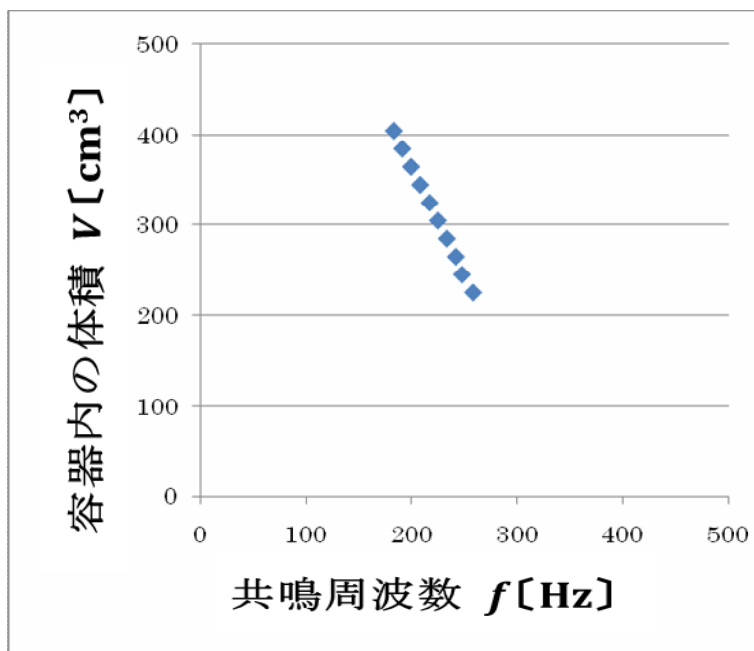
繰り返し行い計測する。

ヘルムホルツ共鳴器内にメスシリンダーで計量した水を入れ、ヘルムホルツ共鳴器

の共鳴周波数 と、容器内の体積  $V$  の関係を、前述した測定方法と同様に調べた。そ

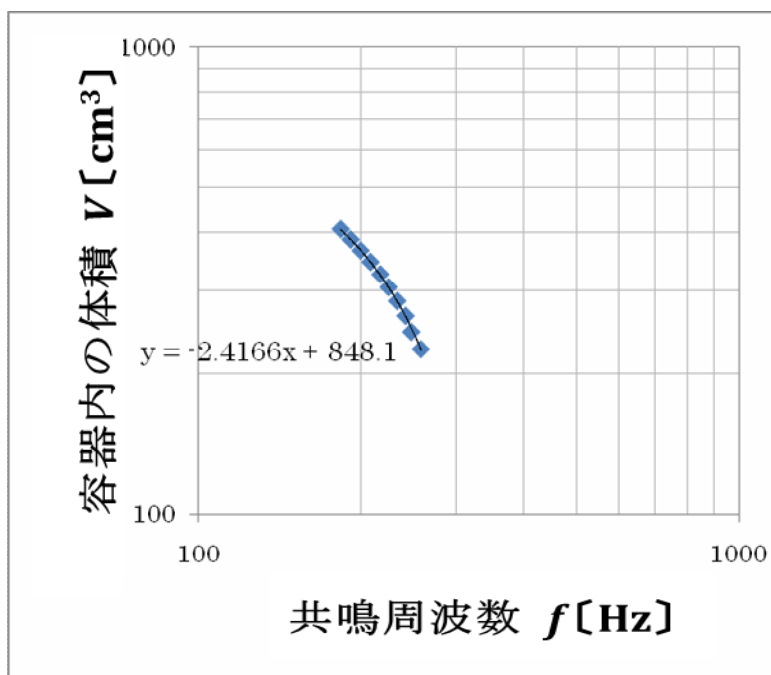
の結果グラフ 1 のようになった。さらにグラフ 1 から両対数グラフで表すことができ

ると考え以下のグラフ 2 を示した。



グラフ 1





グラフ 2

よって，グラフ 2 より

$$=-2.4166 + 848.1$$

を得たので，上式の にヘルムホルツ共鳴器の共鳴周波数 を代入し，容器内の体積  $V$

を求める．さらに，もとの容器の体積を  $V_0 (=425\text{ml})$ ，水の体積を  $V_i$  とすると，

0- = が成り立ち、水の体積 $V_i$ が求まる。

#### 4. 実験結果

実験の結果を以下に示す。

入れた水の体積[ml]	共鳴周波数[Hz]	容器内の体積[ml]	実験結果からの 水の体積[ml]
20	183.46	405	20.2
40	191.94	385	40.7
60	199.31	365	58.6
80	208.52	345	80.8
100	216.52	325	100.1

<b>120</b>	224.83	305	<b>120.2</b>
<b>140</b>	233.46	285	<b>141.1</b>
<b>160</b>	242.42	265	<b>162.7</b>
<b>180</b>	251.20	245	<b>183.9</b>
<b>200</b>	257.48	225	<b>199.1</b>

実験結果から、始めに入れた水の体積と実験結果から求めた水の体積を比べてみて非常に近い値を得ることができた。

## 5. 考察

今回の実験では気温を毎回測っていたものの、気温と体積の関係について考えることができなかった。また、管の長さ、太さ、容器の大きさ、形状をかえて実験をしてはいないので、今回用いた共鳴箱が適切であったかどうかはわからない。実験に適するヘルムホルツ共鳴器がどのような形状のものかを検証していくのは今後の課題である。

## お湯の冷め方～対流の可視化～

### 1. 初めに

昨年より、我々科学部では「お湯の冷め方」についての研究をし、固体の冷め方についてニュートンが示した「ニュートン冷却の法則」(式1)が液体である水においても成り立つのかということテーマに様々な実験を重ねてきた。その結果、この「ニュートン冷却の法則」に液体の特徴である蒸発による質量変化を考慮したところお湯の冷め方のグラフにある程度近似させることができ、日本物理学会第6回 Jr.セッションでプレゼンを行った。式2に新たに得られた公式を示す。

しかしこれまでの実験では、熱の移動の三要素のうち熱伝動と熱放射については考慮し実験をしてきたが、対流については考慮してこなかった。そこで今年度は対流とお湯の冷め方の関係をテーマに実験を進めることにした。

$$T = (T_0 - T_m)e^{-kt\frac{s}{m}} + T_m$$

式 1

$$T = (T_0 - T_m)e^{-u\frac{s}{m} - w\frac{\Delta m}{\Delta t}} + T_m$$

式 2

$T$ : 固体の温度[°C]	$T_0$ : 最初の固体の温度[°C]	$T_m$ : 室温[°C]
$m$ : 質量[kg]	$s$ : 表面積[m <sup>2</sup> ]	$t$ : 時間[秒]
$k$ : 定数(熱伝導率などに関係)	$u$ : 定数	$w$ : 定数

### 2. 目的

「対流とお湯の冷め方」について実験をするためには、水槽中の対流の速度や経路を定量的に測定する必要がある。そこで、まずは対流の様子を可視化を目的に実験装置の研究を進めていくことにする。

### 3. 実験手法の検討

水分子は微細であることから対流の様子を直接的に観測することは不可能である。そこで、間接的に対流の様子を観測する方法を検討せざるを得ない。

第一に考えられるのは、光の干渉を用いる方法だ。この方法は対流による熱の移動で各地点の屈折率が変わることを利用し計測する。しかし、この実験方法の場合、実験装置を構成する際、何よりも精密さが求められるため私たちの力では自作することが困難である。

次に考えられるのは、水中に粒子をいれ、対流による水の移動に伴う粒子の移動を観測する方法だ。

今回は、比較的容易に実験できる水中に粒子を混ぜその移動を追う方式を採用し実験装置の研究をすることにする。

また、対流の様子はビデオカメラを用いて各地点の速度を定量的に測定することを目指す。

### 4. 実験 1

味噌汁を温めると味噌が移動しもやもやとしたものを見ることができるのは良く知られている。そこで、まずは味噌を水中に混ぜ対流の様子を観察できるか検証する。

#### i. 実験方法

- ① 水 100ml に対して、味噌 5 g をとり良く混ぜる。
- ② 味噌を混ぜた水をガスバーナーで加熱しその様子をビデオカメラで撮影し検証する。

#### ii. 実験結果

対流の大まかな流れは観察することができたが、細部まで対流の様子を観察することはできなかった。また、味噌を混ぜることで水が濁り観察しにくい。

### 5. 実験 2

実験 1 では水が濁ってしまうという問題が発生した。そこで実験 2 では、味噌の代わりに砕いた茶葉を用いた。

#### i. 実験方法

- ① 水 100ml に対して、茶葉 0.5 g をとり良く混ぜる。
- ② 茶葉を混ぜた水をガスバーナーで加熱しその様子をビデオカメラで撮影し検証する。

#### ii. 実験結果

実験 1 で問題となった水の濁りは解消されたが、ひとつひとつの茶葉が重すぎて対流の様子を正確に観察することができなかった。

## 6. 実験3

実験2では、茶葉が沈んでしまうことで対流の様子を正確に観察することができなかった。そこで、茶葉の代わりに一つ一つの粒子が小さいアルミ粉を用いる。

### i. 実験方法

- ① 水 100mlに対して、アルミ粉 0.001 gを量り中性洗剤数滴とともによく混ぜる。
- ② アルミ粉を混ぜた水をガスバーナーで加熱しその様子をビデオカメラで撮影し検証する。

### ii. 実験結果

実験1,2での問題点も解消され、対流の様子を明確に観察することができた。

## 6. まとめ

実験1~3からアルミ粉を混ぜるのが最適であるとわかった。しかし、対流は3次元での動きであるため定量的に測定するのは困難である。そこでシリンドリカルレンズをレーザーの先に付け、その直線光を照射することにより、対流の断面を観察することにする。実験装置を図1に示す。

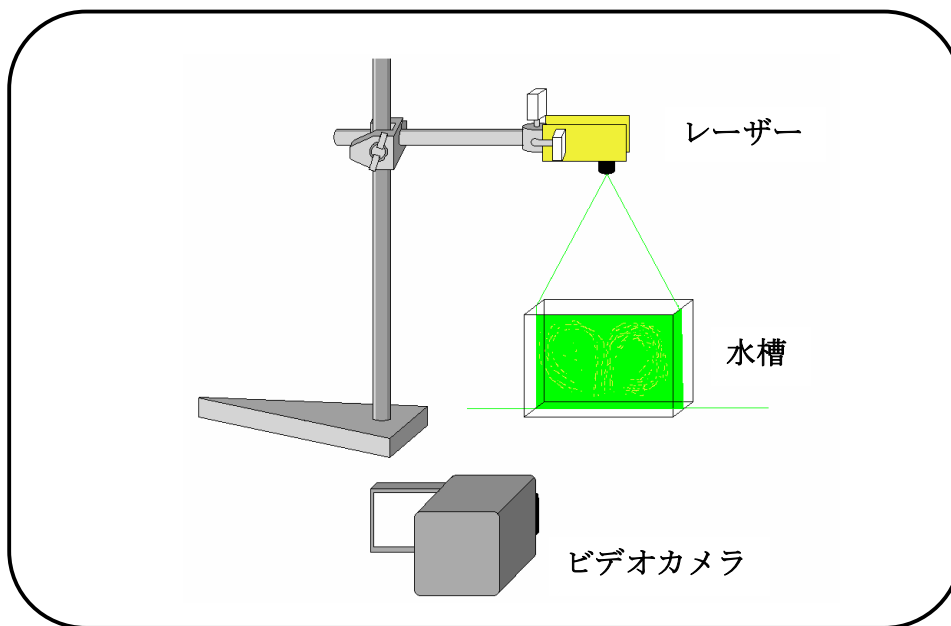


図 1

## 7. 最後に

今後は今回完成させた装置を用い、対流とお湯の冷め方の関係について研究を進めていく。

# 空気砲の輪の崩壊と内部の空気の流れについて

## 1. 目的

前回までの実験では空気砲の空気の流れを調べた。そして、今回の実験では空気砲の輪の発生条件を調べることにした。

## 2. 空気砲の原理

空気砲は、段ボールの箱に円形の穴を空けただけのものだが、叩くと中からドーナツ型の輪が出てくる。これは、箱の中から空気が出ていくときに穴の縁で引っかかり縁を回り込むような空気の流れができ、それによって、空気の流れに速度差が発生して輪になるためだと考えられる。

## 3. 今回の実験

### 予備実験

#### ・ 用意するもの

5つ穴空気砲 (空気砲の1つの面に等間隔に5つ穴をあけたもの)・煙発生装置

#### ・ 目的

叩く位置により空気砲の輪の速度が変化し、実験に支障が出ると考え、どのように速度が変化するかを調べた。

#### ・ 実験方法

空気砲の側面と底面をそれぞれ①②③④⑤として、叩き方を①のみ、②のみ、③のみ、④のみ、⑤のみ、②と④、①と③とした。それぞれの面を叩いた時、どこから出た輪が1番速いかを調べる。

#### ・ 結果

叩いた場所が①の時はBの穴が、②の時はEの穴が、③の時はDの穴が、④の時はAの穴が一番速く、②と④の時と①と③の時は全て穴から輪が同時に出てきて相殺した。

#### ・ 考察

叩いた面から一番近い穴が一番速い。よって、今までの実験結果は正確ではな

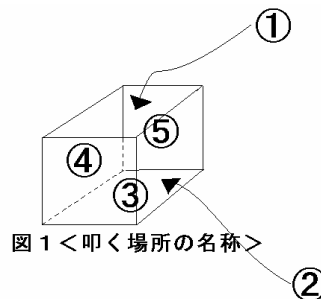


図1 <叩く場所の名称>

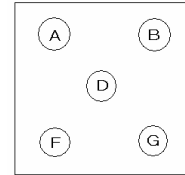


図2 <5つ穴空気砲の穴の名称>

い.この改善点としてこれからは,空気砲に1つの穴を開けるときはAにする.

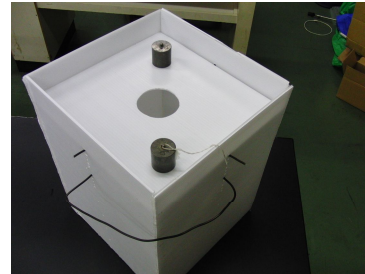
## 実験1

### ・ 目的

前回までの実験結果より,空気砲の輪の発生条件が押し出した体積と衝撃の強さが関係していると考え,その関係を調べる.

### ・ 用意するもの

プラスチックダンボールで作った空気砲(以下プラダン空気砲と呼ぶ)・おもり(1g・2g・5g・10g・20g・50g・100g・500g・1000g)・煙発生装置・針金



### ・ プラダン空気砲の作成

1枚のプラスチック段ボールから30cm×30cm×40cmの空気砲を作るため面を切り取る.30cm×30cmの面の中心にその面の4%の円を開ける.穴がある面を動かせるようにして,プラダン空気砲に基準点を作り短く切った針金を刺す.またそこから1cmごとに10cmまで穴をあけ,測定する体積にあわせて針金を刺す.基準点のところに蓋を置き,蓋の上におもりを置いて,針金をすばやく抜く.この時「表面積×動いた距離」で押し出した体積を分かるようにした.

### ・ 実験方法

上記の時に輪が発生するかどうかを調べる.

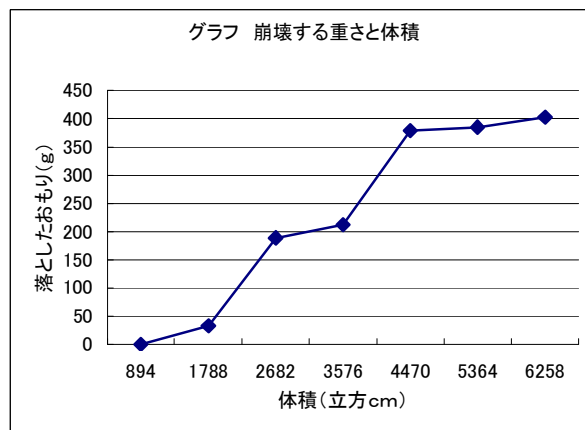
### ・ 結果

結果はグラフのようになった.

### ・ 考察

空気砲から出る空気の輪の出方を見ると,1cmと2cm押し出した時に輪ができ,3cm以上では,さらに出て

くる空気は輪にならなかったことから,継続的に空気を押し出して輪を断続的に作ることは出来ないと考えた.



## 実験2

### ・ 用意するもの

7つ穴の空気砲(予備実験で使用した空気砲の真ん中の穴の両側に均等に穴を開けたもの)・カシオ EX-FC100(スロー再生用 1/30s カメラ)・煙発生装置・垂れ幕(輪の進み方を明確にするために使うもの)



• 目的

予備実験より得られたデータより、輪の速度には空気砲内部の空気の流れが関係していると考え、どのような空気の流れになるかを調べる。

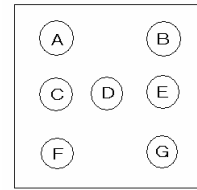


図3 <七つ穴空気砲の穴の名称>

• 実験方法

空気砲の穴を3つずつ一列①・一列②・斜め(右)・斜め(左)の4パターンに分け、それに対して片側、両側を叩き、それをビデオに記録し、輪の出方を見る。①は輪の縦方向から、②は輪の横方向から撃った。このとき、空気砲の穴を左上から一段事に ABCDEFG とする。

• 結果

それぞれの場合の時、輪の出てくる順番は次の様になった。

• 考察

結果から空気砲内部の空気の流れは図1のように叩いた場所に近い出口から空気がでていく。また斜め(左)の時、片側から衝撃を強く叩くと、Dの穴から2つ時間差で輪が出てきたことから、出口に向かう空気だけではなく、横方向に進む空気もあり、その空気がもう片方の壁にぶつかり跳ね返り、その勢いのまま1番でやすい出口から空気が出て行くと考えられる。

表 輪の出てくる順番		
	片側	両側
一列 ①	C=E>D	C=E>D
一列 ②	C=D=E	C=D=E
斜め(右)	F>D>B	F>D>B
斜め(左)	G>D>A	G>D>A

4. 結論

実験1からは、輪の崩壊についての仮説として継続的な空気は輪にできない、というものが得られたが、正しいかどうかの実証までは至らなかった。また、実験2においては内部の空気の流れは図3のようになった。

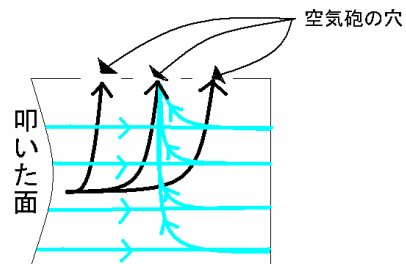


図3 <空気砲の内部の空気の流れ>

5. 今後の展望

予備実験より得られたデータを活用しこれからの実験に大きな支障が出ないようにしていく。また今回の実験では、継続的な輪の発生が出来なかった理由についての仮説を立てたが、実証することは出来なかったため、それを明らかにし、押し出す空気の体積が空気砲の輪の内側と外側の速度差にどう関係しているのかを調べていきたい。

# 渦電流の行路の特定

## 1. 目的

渦電流とは、ある回路の近くの磁場が変化するとき、その回路に起電力が生じる現象（これを、電磁誘導という）によって導体内部に生じる渦状の電流である。この渦電流によって発生したジュール熱によるエネルギー損失は導体の運動エネルギーを減少させる。我々科学部は、7年前から実験を始め、3年前の日本物理学会Jrセッションにおいて奨励賞を受賞した。今回は、導体の単位時間あたりの減速の仕方に注目することで、移動する導体に発生する渦電流の行路を特定することを目的とする。

## 2. 実験方法

図1のようにエアトラックの上にネオジム磁石（二六製作所 EP-002）を設置し、その間を滑走台に取り付けたアルミ板を通過させる。滑走台自体に渦電流が発生してしまうことを避けるため、アクリル板をアルミ板の下に置き、通過前後の速さを、ビースピを用いて測定した。

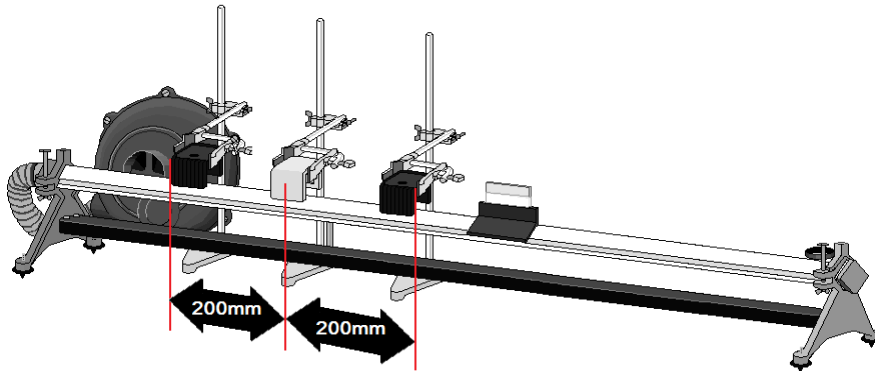
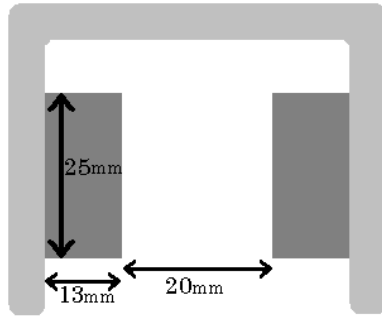


図 1

また、初速を  $v_0$  [m/s]、終速を  $v$  [m/s]、アルミ板の長さを  $L$  [m]、滑走体全体の重さを  $m$  [kg]、アルミ板が受ける力の大きさの平均を  $F$  [N]、摩擦、空気抵抗を  $f$  [N] とすると、

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = -(F + f)L \quad \dots \text{式①}$$

が成り立つとして力  $F$  [N] を求めた。



磁石は図2のようなネオジウム磁石を使用した（奥行きは25mm）。そして、均等な磁束密度を得るために、アルミ板の中心が磁石の中心を通過するようにアルミ板の高さを設定した。

図2

また、測定に使用した映像は、CASIO EXILM EX-FC100の210fpsで撮影し、減速開始から終了までを、1/105s毎に、1/10mmまで読み取った。

### 3. 実験と結果

用意した試料は次の3つである。

試料番号	長さ[mm]	高さ[mm]	厚さ[mm]
1	100	20	3
2	200	20	3
3	100	30	3

同じ初速においての1, 2, 3のアルミ板の減速の仕方を分析した。1においては、この初速より遅い初速でも実験を行い、それを4とする。結果はグラフ1のように、なった

### 4. 考察

1と4を比較すると、渦電流は連続的に発生し、その力はアルミ板の速度の減速とともに弱まっていることが分かる。しかし、その分、力を受ける時間が長くなるため、減速の量(初速—終速)は同じである。また、減速はアルミ板が、磁石が設置されている範囲(25mm)に入った瞬間から始まり、完全に出た瞬間に終わることが分かった。

1と2を比較すると、グラフはほぼ重なることが分かる。つまり、1と2には同じ大きさの力がはたらいているため、同じ範囲で渦電流が発生しているといえる。また、減速の量については、2が1の2倍になった。これは、アルミ板の高さの比に等しい。

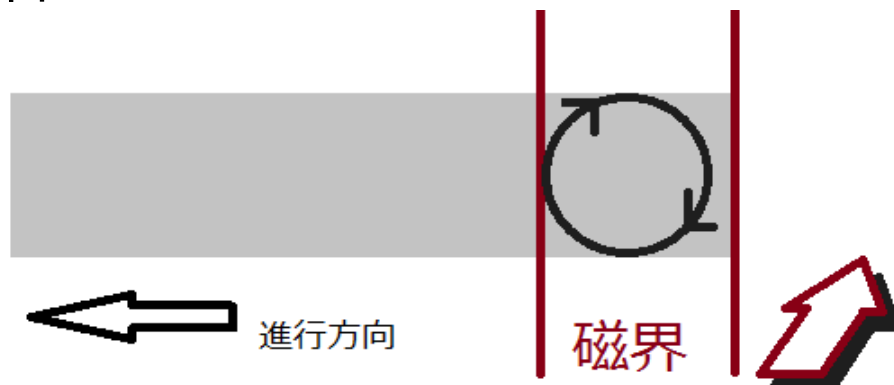
そして、1と3を比較すると、3は1よりも強い力を受けていることが分かる。そして、減速した分、長い時間、力を受け、結果として3は1よりも2.25倍減速していることが分かった。これは、3cm, 2cmそれぞれの高さでできる最大の円の面積の比に等しい。

また、今までの実験から、平均速度 $(\text{初速} + \text{終速}) \div 2$ と力は比例することが分かっている。今回の実験で使った試料で、平均速度を等しくし、力を比較すると、1と2はほぼ等しく、3は1の2.25倍の力がかかっていることが分かった。

## 5. まとめ

渦電流は図3のように流れると考えられる。

図3



この図3において、渦電流は連続的に発生している。そして、渦電流による力の平均は、完全に磁界に入っているときにアルミ板の中でできる最大の円の面積に比例することが分かった。また、減速の量は長さに比例することが分かった。

## 6. おわりに

今後は、アルミ板が磁界に完全に入っていないときに発生する渦電流の状況を確認、くし型金属板における渦電流について考察しようと思う。

2010 年本郷祭 科学部要旨集

発行日 2010 年 9 月 26 日

発行 本郷中学・高等学校科学部

ホームページ <http://www.maroon.dti.ne.jp/hongoscience/>