実験で体験する物理

～PDL 実験(文系)～

千葉大学物理学教員集団編

2019.9 改訂

目　次

1. 光の実験　1

1-1 実験 A 光の回折・干渉 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2
1-2 実験 B 光の屈折・反射 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
1-3 実験 C 光の偏光 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 7
1-4 実験 D 光の散乱 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 10

2. 電場の実験　11

2-1 抵抗と抵抗率 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 12
2-2 電位分布 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 16
2-3 電流分布Ⅰ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 19
2-4 電流分布Ⅱ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 23

3. 磁場の実験　26

3-1 磁場はめぐる ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 27
3-2 電流の正体を磁場であばく ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 29
3-3 電流が作る磁場 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 31
3-4 磁場が作る電流 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 33

4. 力学の実験　35

4-1 振り子の実験 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 36
4-2 回転運動 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 40

5. 音の実験　42

5-1 周波数と音 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 43
5-2 弦の振動 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 48

6. 太陽電池の実験　50

6-1 太陽電池の実験 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 51

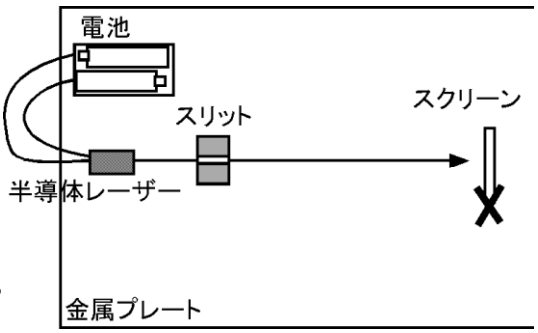
7. 熱の実験　55

7-1 熱放射 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 56

１．光の実験

実験で体験する物理「**光の性質を体験してみよう！**」

実験A　　光の回折・干渉



準備:右図のように装置を組みたてましょう。

注意：レーザー光を直接目に入れないこと！！

実験:まずは細いスリットを使いましょう。

①スリット幅と像幅ではどちらが大きいですか？

②スリットがない場合とある場合のスクリーン上の像を、下の欄にスケッチしましょう。
どこが違うでしょうか？

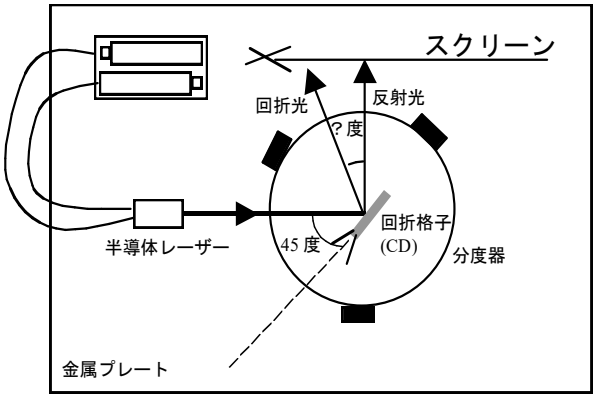
<u>ない場合</u>　　<u>ある場合</u>

③スリット幅が太い場合と細い場合をスケッチしましょう。どこが違うでしょうか？

<u>太い場合</u>　　<u>細い場合</u>

④スリットを針金に交換したら、スクリーン上の像はどのように変化しますか？

準備:右図のように装置を組みたてましょう。



実験:①回折格子を使って反射させた光には
反射光の他に回折光が観察できます。
その様子をスケッチしましょう。

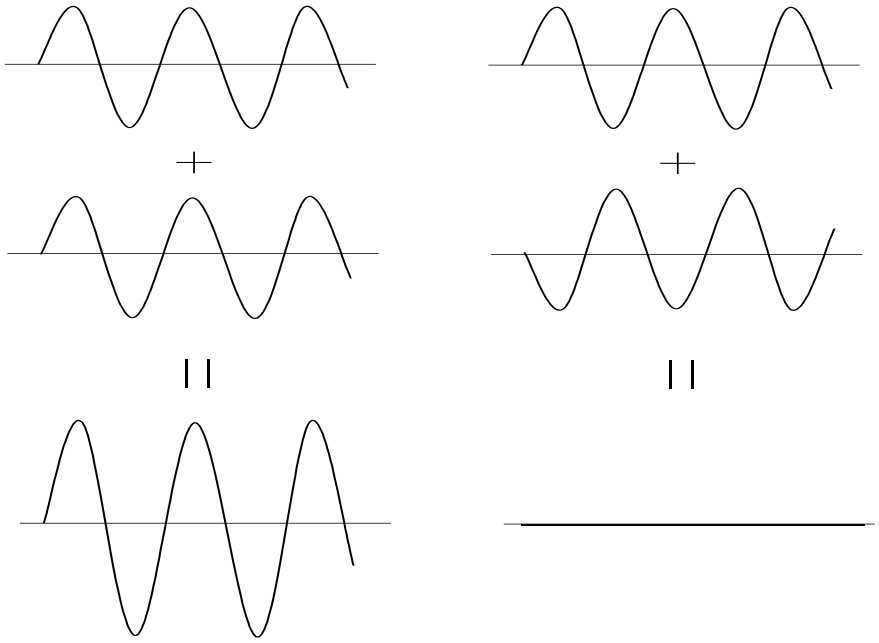
⑤回折光の角度は何度になりましたか？

解説:

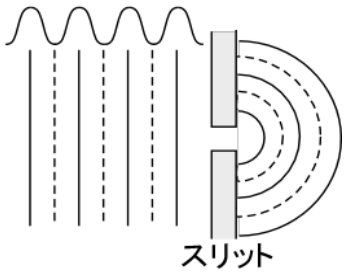
○半導体レーザーの仕組み　　CD,DVD の仕組み

○光の波としての性質

波の重ね合わせ　　強め合う　　弱め合う



波の回折



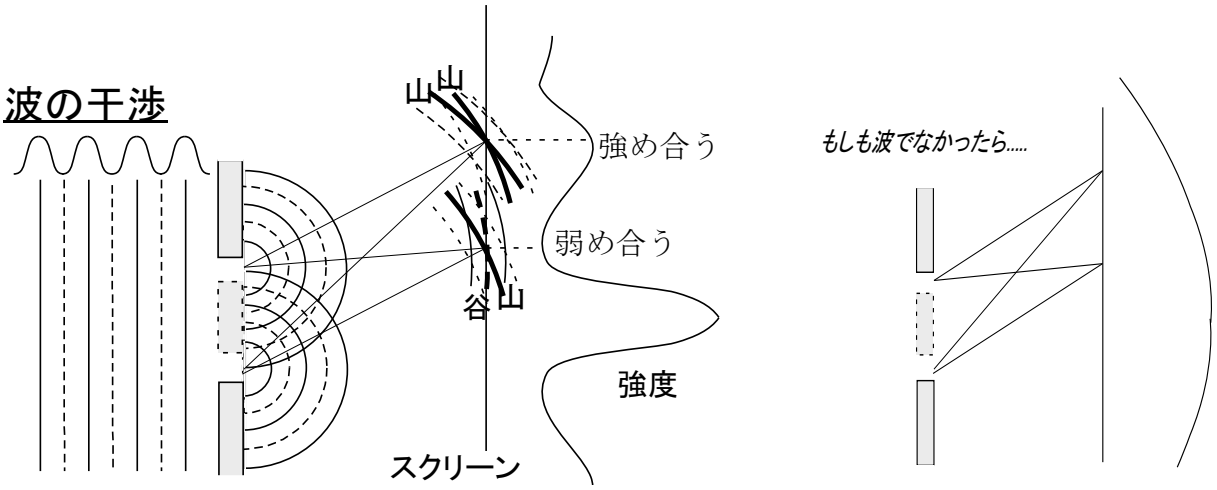
・**回折：**波はまわりこむ　　海岸と堤防

・**干渉：**波は重ね合う

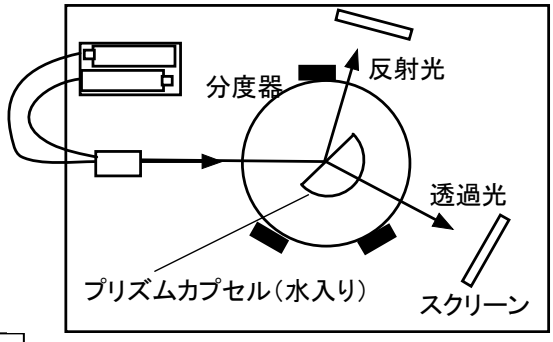
・「**光は波である**」　　光通信

電波（TV、携帯電話 etc）と仲間

波の干渉



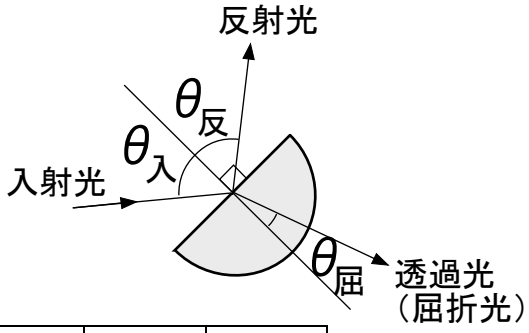
実験B　光の屈折・反射



準備：右図のように装置を組みたてましょう。
分度器は小磁石で挟み固定すると便利。
分度器とプリズム反射面の中心を一致させ、
入射光がその中心にぶつかるように。
プリズムには水を入れる。

注意：レーザー光を直接目に入れないこと！！

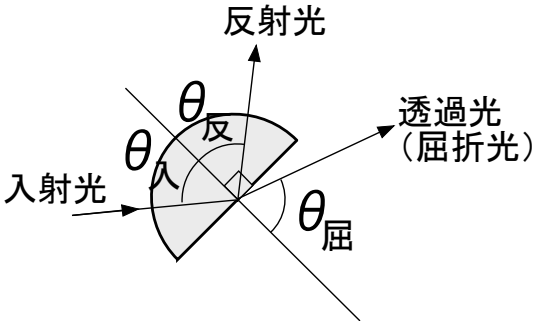
実験：①入射角 $\theta_{入}$ を徐々に変えて反射角 $\theta_{反}$ と屈折角 $\theta_{屈}$ を測り、下記の表を完成させなさい。



入射角 $\theta_{入}$	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
反射角 $\theta_{反}$							
屈折角 $\theta_{屈}$							

②今度はプリズムを下図のように逆に置きましょう。入射角 $\theta_{入}$ を 30° にした時、反射角 $\theta_{反}$ と屈折角 $\theta_{屈}$ は何度になりますか？

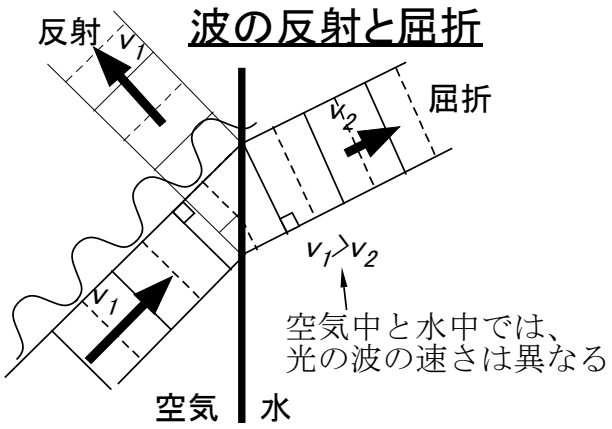
さらに $\theta_{入}$ を徐々に大きくすると、ある角度 θ で透過光がなくなります。その角度 θ を求めなさい。

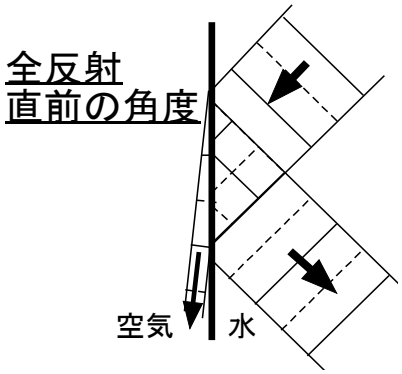


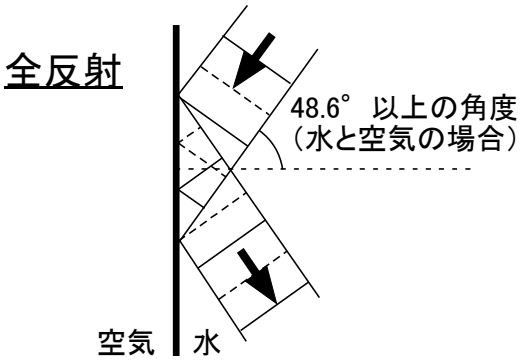
解説:

屈　折：媒質中で波の速さが異なると、波は折れ曲がって進む。

全反射：遅い → 速い　の場合の入射では、入射角が大きいと波は全反射する。
（例：光ファイバー）







[参考：スネルの法則]

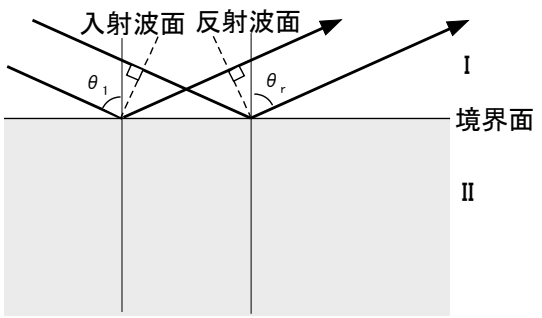


図１．入射光と反射光

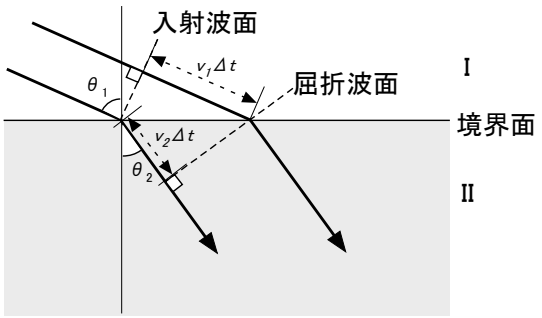


図 2．入射光と屈折光

図１と図２に示すように、光の伝搬速度が異なる物質 I と II の境界面に光が入射すると、境界面にて反射する光（反射光）と通過し屈折する光（屈折光）とに分かれる。このとき、入射角度と反射角度は等しい（$\theta_1 = \theta_r$）が、入射角 θ_1 と屈折角 θ_2 の間には式 (1) の関係がある。

$$\frac{\sin\ \theta_1}{\sin\ \theta_2} = n \ \text{（一定）} \tag{1}$$

上式において θ_1 を変化させると、それに対応して θ_2 も変化し、そのとき n は一定に保たれる。このことは、物質によって n は決まっており、境界面における光路は、式 (1) によって導かれることを意味している。これをスネルの法則といい、n を物質 I に対する物質 II の相対屈折率という。

スネルの法則は、ホイヘンスの原理を用いて素元波が作る波面を考えることによって説明することができる。いま、光波の真空中での伝播速度を c、物質 I, II 中での速度をそれぞれ v_1, v_2 とすると、物質 I, II の絶対屈折率は、それぞれ、

$$n_1 = \frac{c}{v_1}, \quad n_2 = \frac{c}{v_2} \tag{2}$$

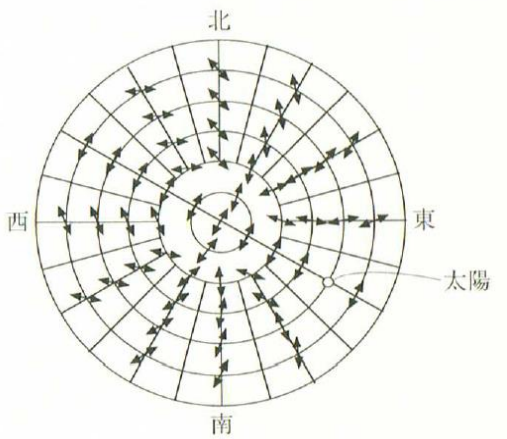
と表され、相対屈折率は

$$n = \frac{n_2}{n_1} \tag{3}$$

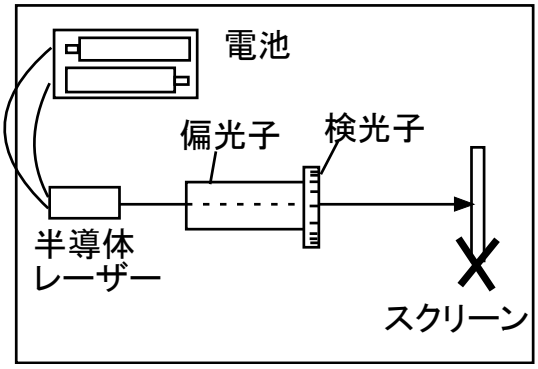
と与えられる。物質 I として空気を考えた場合 $n_1 = 1.0003$ であるので、$n_2 \cong n$ とみなせる。

[参考：空の青色 － 偏光あり]

空の青色は太陽の方向に依存して偏光している。但し人間の目は偏光は感知できないためその違いを見ることはできない。ミツバチはこの空の偏光状況から太陽の位置（高度）を割り出します。



実験 C　光の偏光



準備:右図のように装置を組みたてましょう。
マグネットをマグネット付き半導体レーザーの下に１個敷き、高さを調節します。

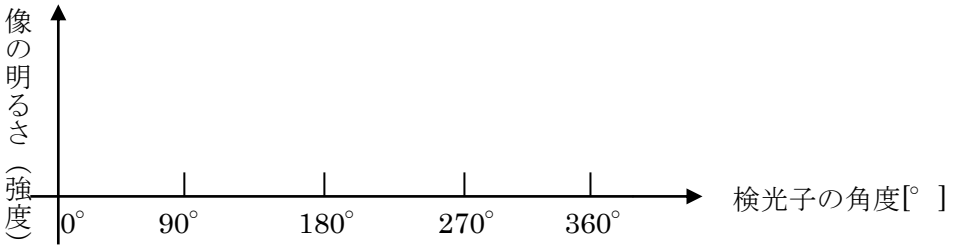
注意：レーザー光を直接目に入れないこと！！

実験:(1)検光子を回転させ、スクリーン上の像がもっとも暗くなる角度（位置）を探します。この角度を 0°とします。この検光子の角度を変化させたとき、スクリーン上の像の明るさがどう変わるかを調べましょう。

① 像が最も明るくなる角度は何度ですか？ただし、90 度は最小目盛り約 24 個分に相当します。(1 周 95 個の刻み目がついているから、１刻みが約 3.8°に相当する)

② 像が最も暗くなる角度は、0 度のほかに何度がありますか？

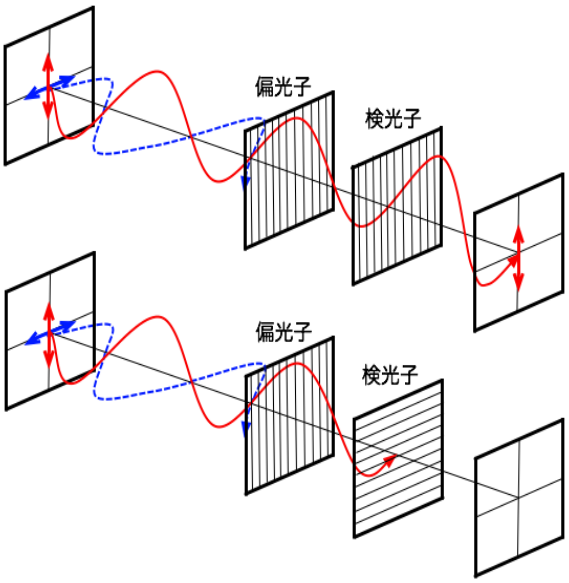
③ ①②をふまえて、グラフを書きましょう。中間の角度の明るさは想像して、線を結んでください。



(2)検光子だけで、手持ちの液晶画面をのぞいてみましょう（携帯電話、液晶の時計など)。検光子を回転させると、画面がどう変化しますか？また、教室の明かりをのぞいて、同じことを試してみましょう。

(3)* 余力がある人は、光の強度を実際測定してみましょう。(次のページへジャンプ！)

解説:



偏光していない光が
偏光子と検光子を通過する様子

●<u>太陽光、白熱灯、希ガスレーザー光</u>
<u>--- 横波／偏光なし</u>

- 光の振動成分（電場成分）は、光の進行方向に対して垂直な面内で振動している。
  光は横波⇔音は縦波。
- 太陽光などは、その面内で 360°あらゆる方向を向いている。(偏光なし)

●<u>半導体レーザー光 --- 横波／偏光あり</u>

- 特定の方向の振動成分を多く含んだ光 (偏光)

●<u>偏光子（検光子）</u>

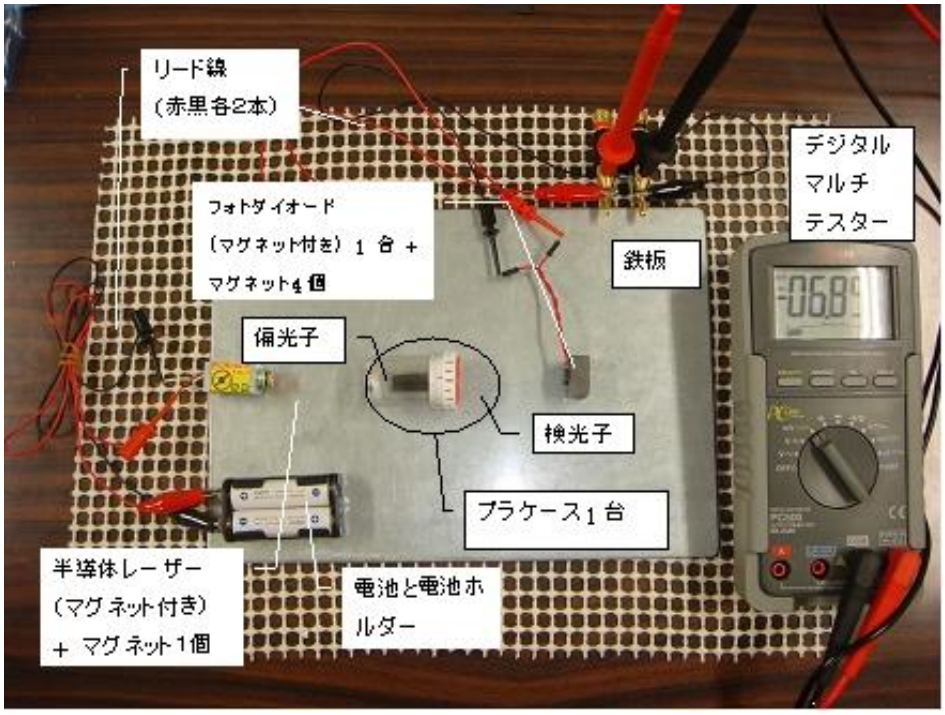
- 光の特定の方向の振動成分のみが透過できる。
  通過した光は偏光となる。
- 偏光子と検光子のそれぞれの偏光方向が、
  →平行のとき、光は透過できる（左上図）
  →垂直のとき、光は透過できない（右下図）

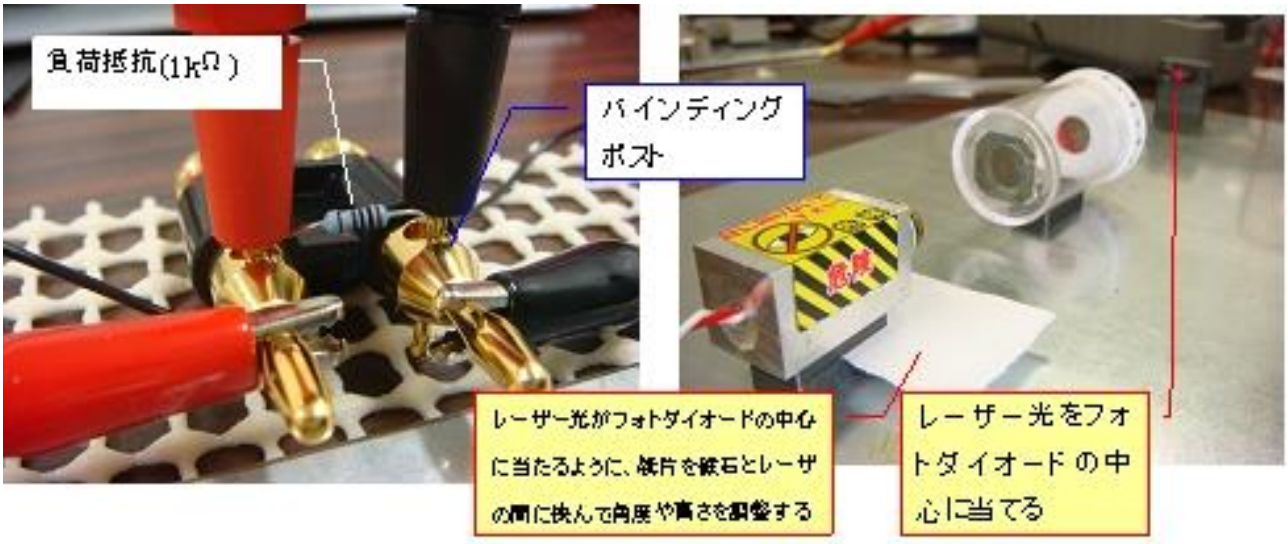
＜発展実験：光の強度を実際に測定してみよう＞

“フォトダイオード”という部品を使用すると、光を電気に変換することができます。光の強度を電圧値として、測定してみましょう。

１．写真のように実験の準備をしましょう。デジタルマルチメータは電圧計として使用します。電圧計は並列につなぐことは中学校で学びましたね。

鉄板　１枚	半導体レーザー（マグネット付き）　１台	リード線（黒、赤 各２本）
電池（1.2V x ２個）＋電池ホルダー　１個	マグネット ５個（高さ調整用）	ﾃﾞｼﾞﾀﾙﾏﾙﾁﾃｽﾀｰ（DMT）１台
バインディングポスト　１個	偏光子・検光子(ﾌﾟﾗｹｰｽ底)１個	スリット無しフォトダイオード（マグネット付き）　１台
負荷抵抗（1kΩ）　１個	高さ角度調整用紙片（TA が紙をちぎって用意する）	





２．さあ、測定を始めよう！

最も像が暗くなる角度０°からスタートし、刻み目 8 つごとにデジタルマルチメータの電圧値を測定していこう。下表を順に埋めていこう。

刻み目の数	角度[°]	光の強度[mV]
0	０	
8	３０	
16	６０	
24	９０	
32	１２０	
40	１５０	
48	１８０	
56	２１０	
64	２４０	
72	２７０	
80	３００	
88	３３０	
95	３６０	

光の強度の強弱によって、電圧値が上げ下げしている様子を確認しましたか？

それではグラフにしてみましょう。横軸を検光子の角度、縦軸を電圧値（光の強度）にします。

点を滑らかにつなぎましょう。

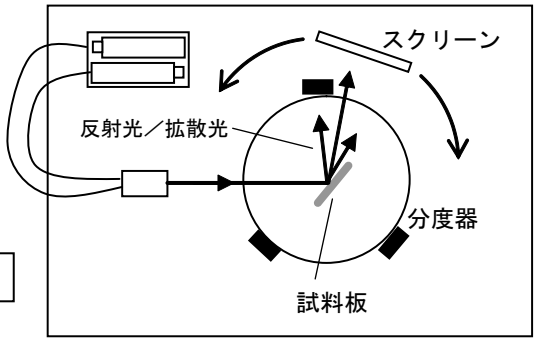
偏光子を透過した光のすべてが、検光子を透過できるわけではないことがわかります。

偏光子を透過した光は偏光しているからです。

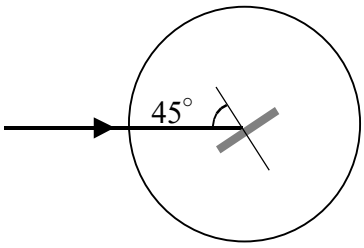
実験Ｄ　　光の散乱

準備:右図のように装置を組みたてましょう。
分度器は小磁石で挟み固定すると便利。
分度器の中心に試料板を置き、反射光や
拡散光を観察する。

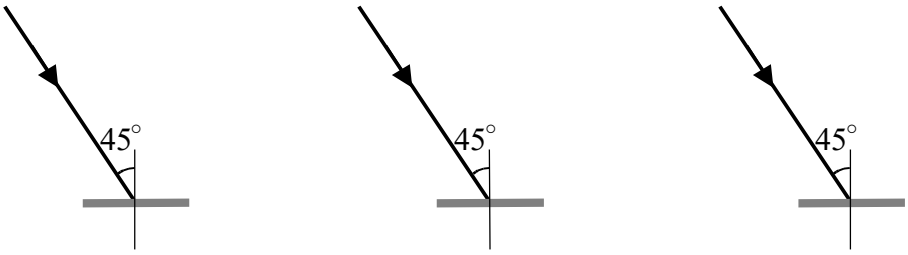
注意：レーザー光を直接目に入れないこと！！



実験:①入射角を４５°とした時の試料２から出る強い輝点は何度の角度に現れますか？

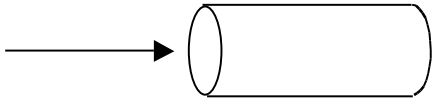


②入射角を４５°とした時、３種類の試料から光はどのように反射、ないし拡散されますか。また、透過光はどうなりますか。



試料板１　　試料板２　　試料板３

③試料４を観察してその様子をスケッチしてみよう。

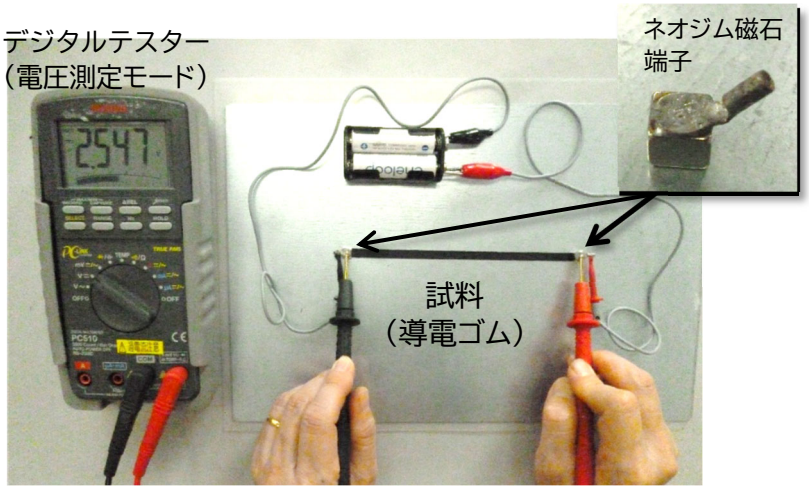


２．電場の実験

「電気の性質を体験してみよう！」　抵抗と抵抗率

実験１．電圧と電流の関係を調べ、オームの法則を調べよう。

(1) **電圧測定** － 電池と試料(導電ゴム)で回路をつくり、導電ゴムの両端間の電圧をデジタルテスターで測定しましょう。電池の本数を増やしたとき、それぞれの電圧を測定しましょう。



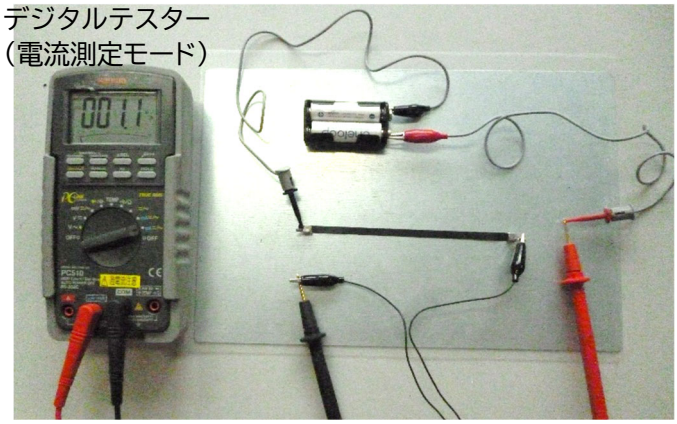
0 本　　V

1 本　　V

2 本　　V

この実験から何がわかりますか？

(2) **電流測定** － デジタルテスターを回路から外し、電流測定モードに切り換え、電池と試料(導電ゴム)の回路に直列につなぎ換え、電流値を測定しましょう。電池の本数を増やしそれぞれの電流を測定しましょう。



0 本　　μA

1 本　　μA

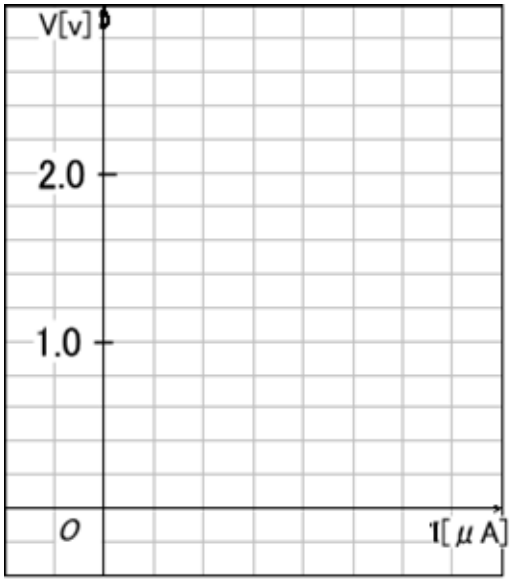
2 本　　μA

この実験から何がわかりますか？

(3) **測定結果からグラフを作りましょう**

- 横軸を電流 I[μA]、縦軸を電圧 V[V]として、測定した結果を 3 点プロットし、直線で結びましょう。
- この傾きが「抵抗」です。これを計算しましょう。

抵抗（V-I グラフの傾きの値）　　Ω



(4) **導電ゴムの抵抗をデジタルテスターで測定しましょう**

抵抗（デジタルテスター測定値）　　Ω

2 つの抵抗値は一致していますか？

実験 2. 試料の長さ・厚さを変えると、抵抗値はどう変化するかを調べよう。

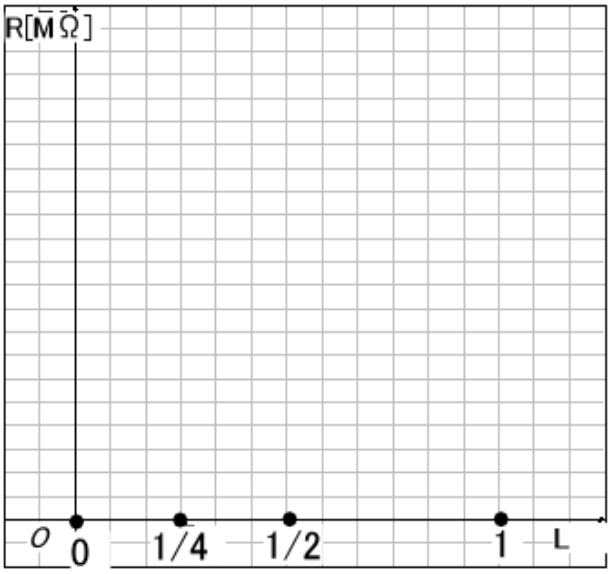
(1) 抵抗と試料の長さの関係を調べよう

幅 5mm×長さ 145mm の導電ゴムの抵抗値は①の(4)で測定しました。このシートの長さを L=1 としましょう。

ｱ) これを、長さ方向に 2 等分して、幅 5mm×長さ 72.5mm の 2 枚に切断します。このうちの 1 枚の抵抗を測定しましょう。(L=1/2)

ｲ) さらに、2 等分すると、5mm×36.25mm が 4 枚できます。このうちの一枚の抵抗を測定しましょう。(L=1/4)

ｳ) 縦軸に抵抗 R、横軸に長さ L をとって、これら 3 点をプロットし直線で結びましょう。



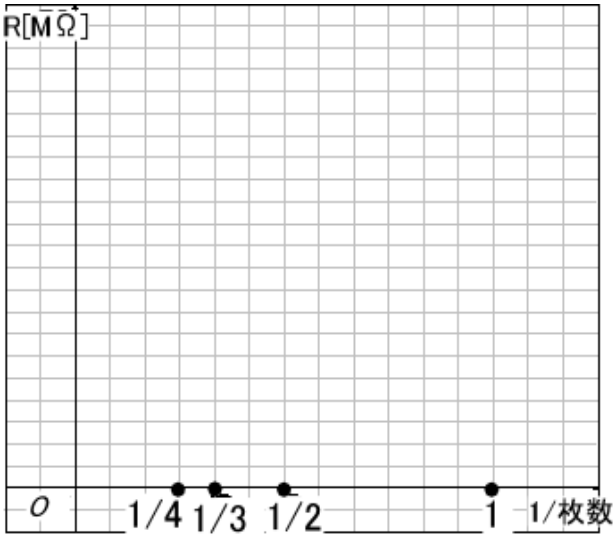
この実験から何がわかりますか？

(2) 抵抗と試料の厚さ（枚数）の関係を調べよう

幅 5mm×長さ 36.25mm の導電ゴムの抵抗値は②の(1)のｲ)で測定しました。

ｱ) これを、2 枚/3 枚/4 枚と重ねて、それぞれの抵抗を測定しましょう。

ｲ) 縦軸に抵抗 R、横軸にシートの枚数（試料の厚み）の逆数をとって、1, 1/2, 1/3, 1/4[1/枚]それぞれの抵抗をプロットしましょう。これら 4 点を直線で結びます。



この実験から何がわかりますか？

○<u>オームの法則</u>：電圧 V = 抵抗 R×電流 I（電圧は電流に比例している）

○ $R = \rho \dfrac{L}{S}$ ：抵抗 R は長さ L に比例し、断面積 S に反比例します。ここで、ρ（ロー）は**抵抗率**と呼ばれる物質固有の定数です。

抵抗と抵抗率　（提出用）

学籍番号（　　）氏名（　　）

③　電圧と電流の関係を調べて、オームの法則を体験しましょう。

（１）**電圧測定**

0 本　　V　　1 本　　V　　2 本　　V

この実験から何がわかりますか？

（２）**電流測定**

0 本　　μ A　　1 本　　μ A　　2 本　　μ A

この実験から何がわかりますか？

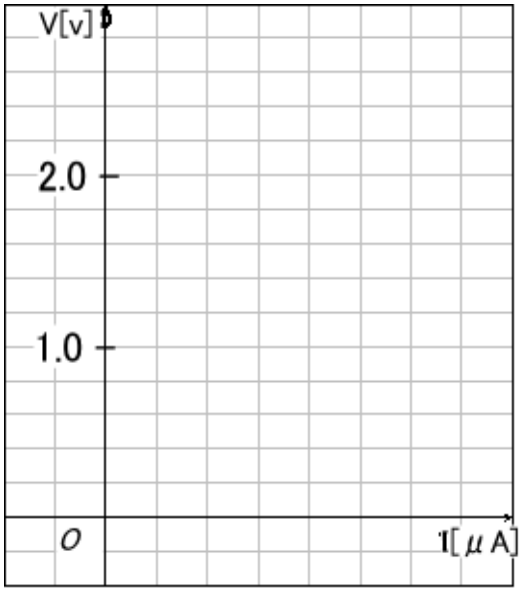
（３）測定結果をグラフにしましょう

(ｱ)　右のグラフを完成させる

(ｲ)　抵抗（V-I 特性）　　Ω

（４）　抵抗（DMT の測定値）　　Ω

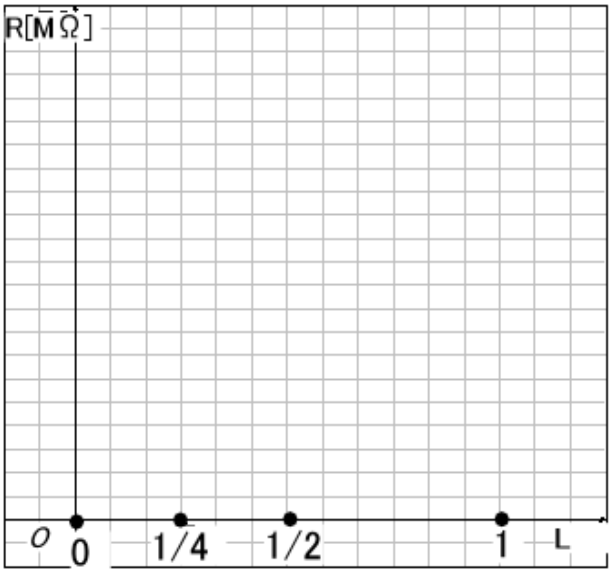
上の 2 つの測定結果は一致していますか？



②試料の長さや厚みを変えると抵抗値がどう変化するか

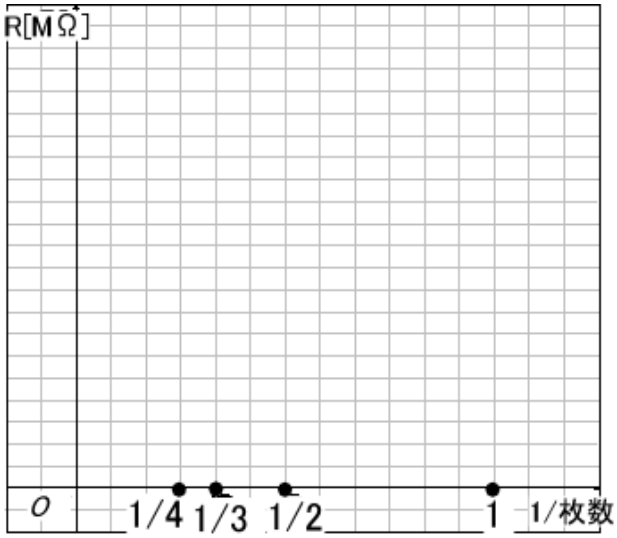
(1) 抵抗と長さの関係を調べましょう

この実験から何がわかりますか？



（2）抵抗とシートの枚数（試料の厚み）の関係を調べましょう

この実験から何がわかりますか？



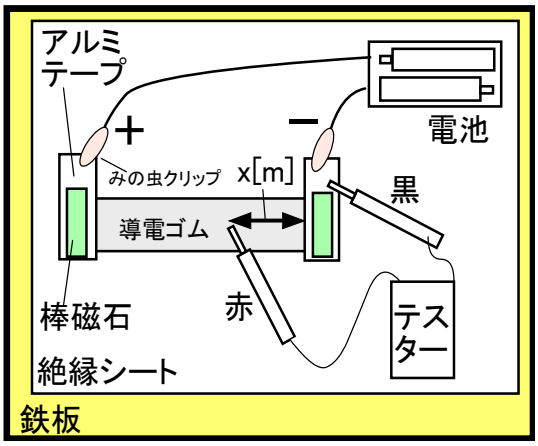
この実験についてどのような感想を持ちましたか？自由に書いてください。

実験で体験する物理「電気の性質を体験してみよう！」

電位分布

準備:使用する器具

鉄板　1枚	絶縁シート 1枚	試料-導電性ゴムシート （幅 40mm×長さ 145mm）　2枚
電池（1.3V×2個）＋ 電池ホルダー　1個	リード線 （赤・黒各2本）	アルミテープ付き棒磁石　2本
ﾃﾞｼﾞﾀﾙﾏﾙﾁ ﾃｽﾀｰ（DMT）　1台	ものさし　一個	



右図のように装置を組みたてましょう。
電池と試料(導電ゴム)を直列につなぎます。
テスターのファンクションは、直流電圧を選びます。

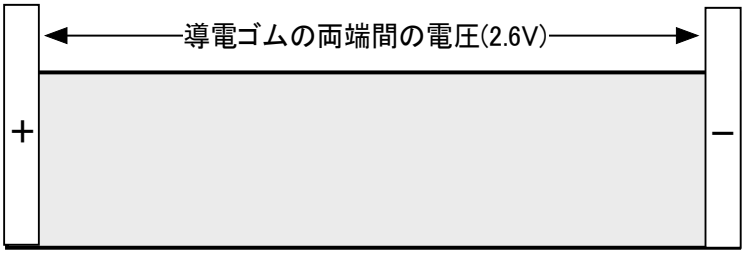
実験:

① 導電ゴムの両端の電圧を１０等分する電圧の曲線を探し出しましょう-電池２本の場合

(1) アルミテープの負極にテスターの黒端子を当て、正極にテスターの赤端子を当てて、電圧を測定します。2.6V 程度であることを確認します。大きくずれている場合は、別の電池に交換しましょう。

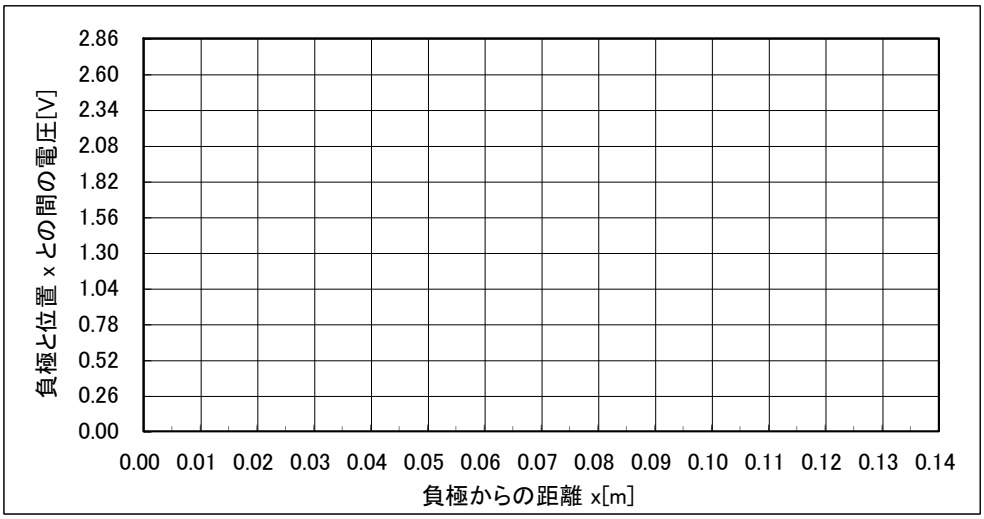
(2) テスターの黒の端子と赤の端子の両方を負極にあてて、電圧が 0V であることを確認します。

＜課題＞導電ゴムの両端の電圧を１０等分する電圧を探し出します。実験に入る前に、予想図を描いてみましょう



予想図

(3) 次にテスターの黒の端子は負極に固定したまま、赤の端子を導電ゴム上にあて、0.26V となる位置を探します。その位置で、赤のテスター端子を強く押し付け、導電ゴムにしるしをつけます。再び 0.26V となる別の位置を探し、しるしをつけます。これを繰り返し、これらのしるしが描く曲線がはっきりと分かるまで、続けましょう。



(4) 今度は 0.52V(＝ 0.26V×2) となる位置を探し、(2) と同様にしるしをつけていきます。

(5) 以降、0.26V の 3 倍、4 倍、・・・、8 倍、9 倍の電圧を示す曲線を描いていきます。全部で９本の曲線が出来上が

ります。

(6) テスターの黒の端子を当てている負極とこれら９本の曲線との距離(x[m])をそれぞれものさしで測ります。この距離とそれぞれの位置での電圧値のグラフを書きましょう。横軸が距離 x[m]、縦軸が負極とその位置との間の電圧 V[V]とします。さらに、(2)で測定した x=0[m]の時の電圧と、(1)で測定した x が最も長い時（正極と負極の距離）の電圧もプロットしてください。プロットするのは、全部で１１点です。

(7) 11 点を結ぶ線は、直線ですか？直線ならば傾きを計算しましょう。これを電場（電界）E と言います。

E（電池２本）＝　　[V/m]

直線でないならば、その理由を考えましょう。

この実験から何がわかりますか？

②　導電ゴムの両端の電圧を１０等分する電圧の曲線を探し出しましょう-電池１本の場合

今度は、電池を１本に減らして、①と同じ手順で測定をしましょう。新しい導電性ゴムシートを使います。留意点としては、

(a) 導電ゴムの両端が約 1.3V です。大きくずれている場合は、新しい電池と交換してください。

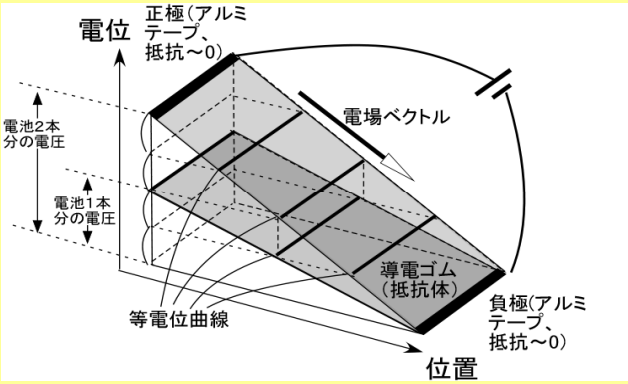
(b) ２本のときと同様に、0.26V ごとに曲線のしるしをつけるため、４本の曲線が完成します。

(c) これを、電池２本の時の①のグラフと一緒にプロットします。ただし、x=0[m]の時の電圧と x が最も長い時（正極と負極の距離）の電圧もプロットしてください。よって、プロットするのは、全部で６点です。これらを結ぶ線は直線ですか？直線ならば傾きを計算しましょう。これが電池１本の場合の電場です。

E（電池１本）＝　　[V/m]

この実験から何がわかりますか？

＜解説＞本講義では、負極を基準にして、ゴム上の各点の電圧を測定しました。電圧は“電位”とも言い、地図上の標高に似ています。同じ電位の位置をつなぐと等電位線を描くことができ、本講義ではこれを確認したのです。これは等高線に似ています。電位の傾きは等電位線に垂直な方向で最大となり、これをその位置での電場（ベクトル）と言います。地図上で等高線と物体が転げ落ちる方向が垂直になることに似ています。

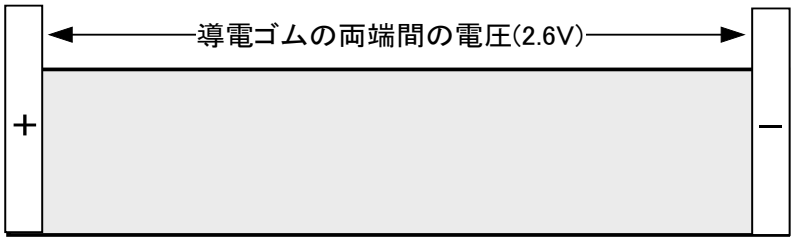


電位分布（提出用）

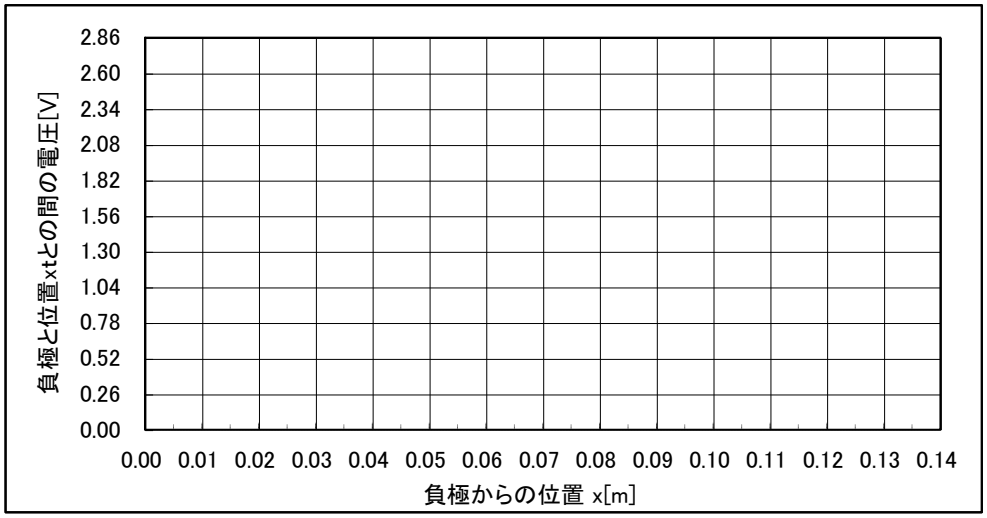
学籍番号(　　)氏名(　　)

①　導電ゴムの両端の電圧を１０等分する電圧の曲線を探し出しましょう-電池２本の場合

＜課題＞導電ゴムの両端の電圧を１０等分する電圧を探し出します。実験に入る前に、予想図を描いてみましょう



予想図



(7)　11 点を結ぶ線は、直線ですか？　＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

直線ならば傾きを計算しましょう。これを電場（電界）E と言います。

E（電池２本）＝　　[V/m]

直線でないならば、その理由を考えましょう。

この実験から何がわかりますか？

②　導電ゴムの両端の電圧を１０等分する電圧の曲線を探し出しましょう-電池１本の場合

(c)　電池２本の時の①のグラフと一緒に上のグラフにプロットします。

E（電池１本）＝　　[V/m]

この実験から何がわかりますか？

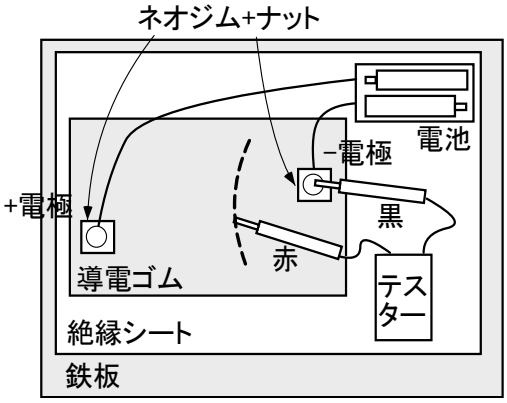
この実験についてどのような感想をもちましたか？自由に書いてください。（裏も使ってください）

実験で体験する物理「**電気の性質を体験してみよう！**」

電流分布Ⅰ

準備:使用する器具

鉄板　1枚	絶縁シート 1枚	試料−導電性ゴムシート　1枚
電池（1.3V×2個）＋ 電池ホルダー　1個	リード線 （赤・黒各2本）	ネオジム磁石　2個　＋　ナット 2 個
ﾃﾞｼﾞﾀﾙﾏﾙﾁ ﾃｽﾀｰ（DMT）　1台		



右図のように装置を組みたてましょう。電極は、シートの隅に自由に置きましょう。テスターのファンクションは、直流電圧を選びます。

実験:

導電ゴム上の電極間の電圧を１０等分する電圧の曲線を探し出しましょう

(1) 負極にテスターの黒端子を当て、正極にテスターの赤端子を当てて、電圧を測定します。2.6V 程度であることを確認します。大きくずれている場合は、別の電池に交換しましょう。

(2) テスターの黒の端子と赤の端子の両方を負極にあてて、電圧が 0V であることを確認します。

(3) 次にテスターの黒の端子は負極に固定したまま、赤の端子を導電ゴム上にあて、0.26V となる位置を探します。その位置で、赤のテスター端子を軽く突き刺し、導電ゴムにしるしをつけます。再び 0.26V となる別の位置を探し、しるしをつけます。これを繰り返し、これらのしるしが描く曲線がはっきりと分かるまで、続けましょう。

(4) 今度は 0.52V(=0.26V × 2)となる位置を探し、(3)と同様にしるしをつけていきます。

(5) 以降、0.26V の 3 倍、4 倍、・・・、8 倍、9 倍の電圧を示す曲線を描いていきます。全部で９本の曲線が出来上がります。

＜課題１＞実験に入る前に、電池の電圧を１０等分する９本の曲線の予想図を電極の位置とともに描いてみましょう。

導電ゴムシート

予想図

＜課題２＞２つの電極を描き、実験で得られた９本の曲線群をスケッチしましょう。これが等電位線です。

導電ゴムシート

実験結果

＜課題３＞
ゴムシートの端と等電位線はどのように交差していますか？

なぜ、このように交差するのでしょうか？

＜課題４＞
正極に始まり負極に終わり、どの等電位線とも垂直となるような曲線をスケッチした等電位線の図に描いてみましょう。これが、電流線です。

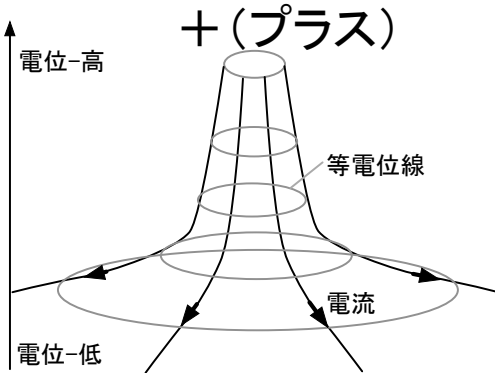
解説：● <u>等電位線：電位の等高線　→　等電位線に垂直な方向に電流が流れる</u>

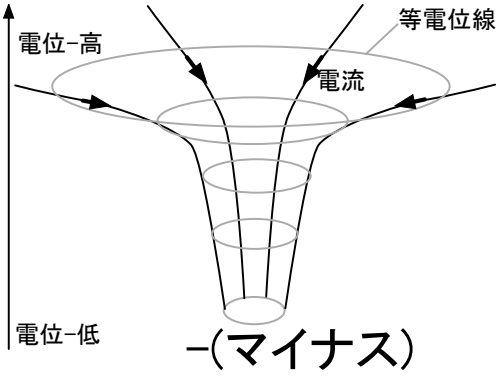
電位の傾きが急 ＝ 等電位線が密 ＝ 強い電場→大きい電流

電位の傾きが緩 ＝ 等電位線が疎 ＝ 弱い電場→小さい電流

● <u>電場：電気を流そうとする強さ（電位の勾配の大きさ）</u>

● <u>電流線：電流の流れを表す曲線</u>





電流分布（提出用）

学籍番号(　　)　氏名(　　)

＜課題１＞実験に入る前に、電池の電圧を１０等分する９本の曲線の予想図を電極の位置とともに描いてみましょう。

導電ゴムシート

予想図

＜課題２＞２つの電極を描き、実験で得られた９本の曲線群をスケッチしましょう。これが等電位線です。

導電ゴムシート

実験結果

＜課題３＞

ゴムシートの端と等電位線はどのように交差していますか？

なぜ、このように交差するのでしょうか？

＜課題４＞

正極に始まり負極に終わり、どの等電位線とも垂直となるような曲線をスケッチした等電位線の図に描いてみましょう。これが、電流線です。

この実験についてどのような感想をもちましたか？自由に書いてください。

実験で体験する物理「**電気の性質を体験してみよう！**」

電流分布 II

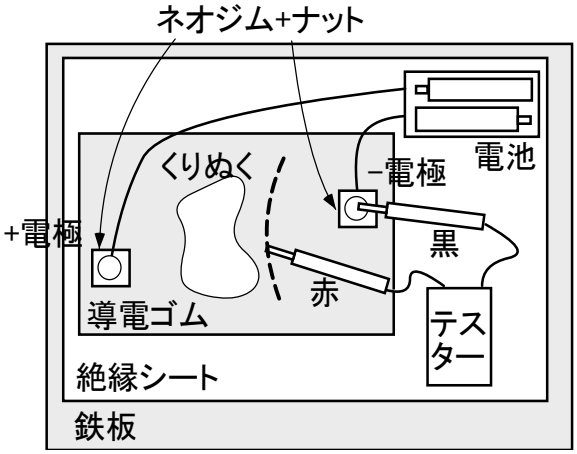
実験１と２のどちらかを選びます。

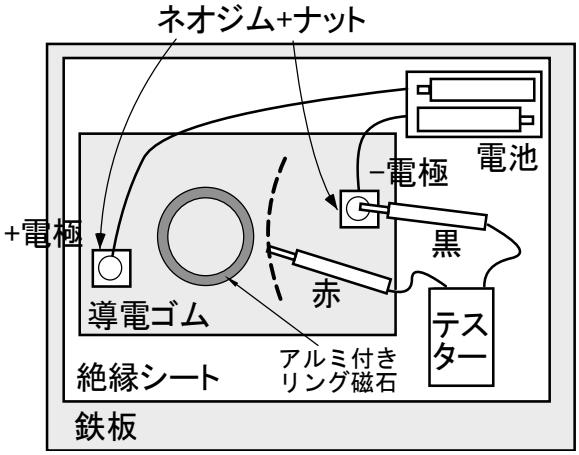
実験1:

導電ゴムを自由な形にくりぬいた時の電位分布を測定しましょう。

実験2:

導電ゴム上にアルミテープ付きリング状磁石を置いた時の電位分布を測定しましょう。





準備:使用する器具

鉄板　1枚	絶縁シート 1枚	試料−導電性ゴムシート　1枚
電池（1.3V×２個）＋ 電池ホルダー　1個	リード線 （赤・黒各2本）	ネオジム磁石　2個 ＋ ナット　2 個
ﾃﾞｼﾞﾀﾙﾏﾙﾁ ﾃｽﾀｰ（DMT）　1台	実験1の場合---はさみ　1個 実験2の場合---アルミテープ付きリング状磁石　1つ	

上図のように装置を組みたてましょう。電極は、シートの隅に自由に置きましょう。テスターのファンクションは、直流電圧を選びます。

実験:

(1) 実験１の場合は、はさみで導電ゴムを自由な形にくりぬきます。実験２の場合は、アルミ付きリング状磁石を中央あたりに置きます。

(2) 負極にテスターの黒端子を当て、正極にテスターの赤端子を当てて、電圧を測定します。2.6V 程度であることを確認します。大きくずれている場合は、別の電池に交換しましょう。

＜課題１＞実験に入る前に、電池の電圧を１０等分する９本の等電位線の予想図を描いてみましょう。実験１の場合は、電極とくりぬいた図形を、実験２の場合は電極とアルミ付きリング磁石も一緒に描きましょう

予想図

(3) テスターの黒の端子と赤の端子の両方を負極にあてて、電圧が 0V であることを確認します。

(4) 次にテスターの黒の端子は負極に固定したまま、赤の端子を導電ゴム上にあて、0.26V となる位置を探します。その位置で、赤のテスター端子を軽く突き刺し、導電ゴムにしるしをつけます。再び 0.26V となる別の位置を探し、しるしをつけます。これを繰り返し、これらのしるしが描く曲線がはっきりと分かるまで、続けましょう。

(5) 今度は 0.52V(=0.26V × 2)となる位置を探し、(3)と同様にしるしをつけていきます。

(6) 以降、0.26V の 3 倍、4 倍、・・・、8 倍、9 倍の電圧を示す曲線を描いていきます。全部で９本の曲線が出来上がります。

＜課題２＞実験で得られた９本の曲線群をスケッチしましょう。

導電ゴムシート

実験結果

＜課題３＞

前回の実験 C の曲線と比較してみましょう。くりぬいた図形またはアルミ付きリング磁石を置くと等電位線はどのように変化しましたか？

なぜ、このように変化するのでしょうか？

＜課題４＞

くりぬいた部分またはアルミ付きリング磁石の中の電圧（電位差）を測定してみましょう

＜課題５＞余力がある人は、

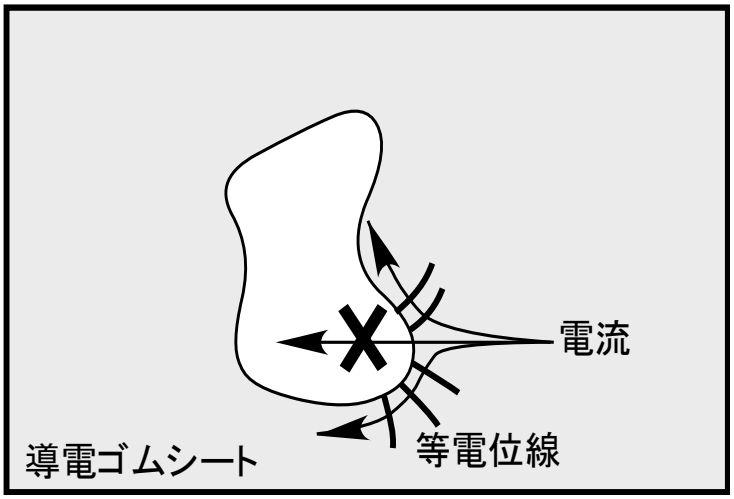
正極に始まり負極に終わり、どの電位線とも垂直となるような曲線（電流線）をスケッチした等電位線の図に上書きしましょう。

解説:

＜実験１＞

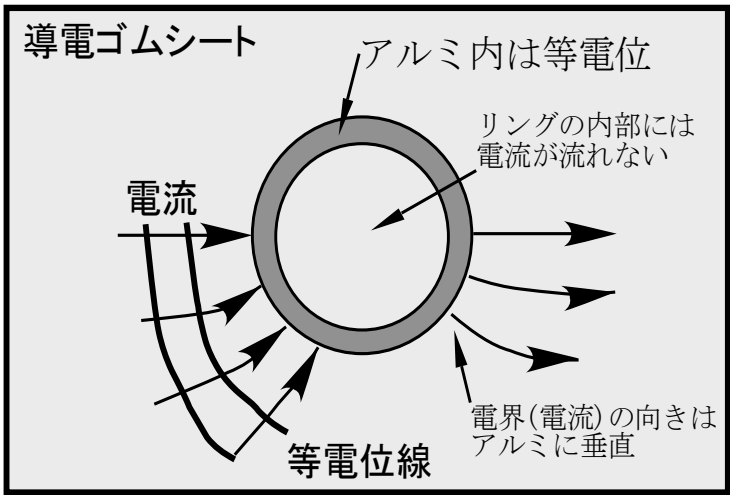
電流はくりぬいた図形で消滅することはなく、くりぬいた図形の縁を流れる。

等電位線は電流の向きに垂直なのだから、電位線はこの図形に垂直に交わる。



＜実験２＞

アルミの比抵抗 2.5×10^{-8}[Ωm]は、導電ゴムの比抵抗 約 5[Ωm] に比べ非常に小さい。よって、アルミ内部には電位差がないと考えてよく、内部は等電位とみなせる。また、等電位線は交差することがないため、等電位線はこのアルミを避けるような曲線を描く。電流の方向はアルミに垂直である。



３．磁場の実験

磁場はめぐる　$div\,\mathbf{B} = 0$

皆さんのまわりに満ちあふれている「磁場」（ＺＩＢＡ）。身近なはずなのに、なぜか実感がありません。冷蔵庫にくっついているメモ留め磁石から、産業用強力磁石、そして地球も大きな磁石です。この磁石から出ている磁場にはどのような性質があるのでしょうか。また、磁場は他の物にどのような作用を及ぼすのでしょうか。色々な物で調べてみましょう。

（１）磁場はどのような性質があるのだろうか。　　（向き、大きさ）

・実験Ａ：　棒磁石のまわりに置いた方位磁針はどのように向くだろうか。

（２）磁石から広がる「磁束」を磁場観察槽を使って観察し、記録しよう。　（方向、濃さ）

・実験Ｂ１：　１つの棒磁石のまわりの磁場　　どのように分布？
・実験Ｂ２：　２つ以上の棒磁石を取り囲む磁場　　ＮＳ、　ＮＮ、　ＳＳなど自由にどうぞ

（３）磁石にくっつくもの（あるある）、　つかないもの（ざらにある）、　反発するもの？！

・実験Ｃ：色々なものが磁石にくっつく（引かれる）かどうか調べ分類しよう。
　例：　クリップ、　消しゴム、　シャーペンの芯
　　＝＞高感度に調べるために：　調べるものを糸で釣り、強力磁石を近づけてみる。

（４）磁場を通すもの、通さないもの　（シールド）

・実験Ｄ：　色々な材料の板で磁場が通るかどうか調べよう。
　　プラスチック板、鉄板、銅板、アルミ板など手近にあるもので試してみよう。

（５）磁石になったクリップ

・実験Ｅ：　クリップ自身が磁石になったことを示して下さい。

裏技シリーズ１：方位磁石の直し方

準備する道具：磁場観察槽（１台）、方位磁針（１セット）、棒磁石（２個）、強力磁石（１個）、ゼムクリップ（１個）、シャーペン芯（１本）、糸（１本）、鉄板、銅板、アルミ板（各１枚）目盛り付きプラスチック台（１台）

（１）実験Ａ：棒磁石のまわりの方位磁針はどのように向くだろうか。（向き）

（２）磁石から広がる「磁束」を観察しよう。　（方向、濃さ）

予想	実験結果

（３）いろいろな物の磁性（磁場に対する応答）を調べよう。
クリップ、消しゴム、シャーペンの芯、硬貨、お札・・　なんでも調べてみてください。

・磁石にくっつくもの＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿
・つかないもの　＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿
・反発するもの　＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

（４）実験Ｄ：プラスチック板、鉄板、銅板で磁場が通るかどうか調べよう。

・　プラスチック板　＿＿＿＿＿＿＿＿　アルミ板　＿＿＿＿＿＿＿＿
・　鉄板　＿＿＿＿＿＿＿＿　（　　）＿＿＿＿＿＿＿＿
・　銅板　＿＿＿＿＿＿＿＿　（　　）＿＿＿＿＿＿＿＿

結局、どのようなものを使えば磁場を遮ることができるのだろう？

（５）実験Ｅ：クリップが磁石になったことを示して下さい。（方法と結果を書いてください）

アンケート：気が付いたこと、感想などなんでも書いてください。

電流の正体を磁場であばく　ホール効果

日常生活で不可欠の電気製品、これは電気が流れることで動作しています。この「電流」の正体は導線を流れる「電子」だということは、中学校の理科で勉強した（はず？）です。これも身近な事のはずなのに、なぜか実感がありません。それを目に見える形にしてくれるのが「磁場」なのです。今日は実験がしやすいように「ケイ素（シリコン)」に電流を流し、そこに流れている電流の正体が電子である事を調べてみましょう。また、電気測定に使われる「テスター」の使い方に慣れて下さい（役に立つよ)。

参考：等電位線の実験で学んだことをぜひ利用してください。

（1）ケイ素に電池をつなぎ、電流を流す。

・実験Ａ１：　このときの電池の電圧をテスターで調べよう。
・実験Ａ２：　ケイ素に流れる電流の大きさをテスターで調べよう。
　・　ケイ素の抵抗の値を計算してください。
　・　このときのケイ素の中の等電位線を予想して書いてください。

（2）電流をまたいだ配置の電極間の電圧を測定。（正・負、大きさ）

・実験Ｂ：　電流をまたいだ電極間の電圧を測定して記録

（3）電流をまたいだ配置の電極間の電圧を「磁場を加えて」測定。

・実験Ｃ：　電流をまたいだ電極間の電圧を「棒磁石」をケイ素に当てて測定し、記録
　（あ）Ｎ極近づけたとき　（い）Ｓ極近づけたとき

（4）余裕があれば・・

・実験Ｄ：　棒磁石の先に、強力磁石をつけて磁場の強さをパワーアップする。これを使って実験Ｃを試みてください。磁場が強くなると何か変わりましたか？

（5）考えてみよう

電気を持った粒子が磁場中を運動すると、「ローレンツの力」を受けます。ローレンツ力により、その電気を持った粒子の分布に偏りを生じ電位差が生じます（ホール効果)。この力の向きは、有名なフレミングの左手の法則で表される向きです。さあ、皆さんが実験した結果（実験Ｃ）によると、ケイ素を流れていた電流の正体は、どのような電荷（正・負）を持った粒子だったと結論されますか？

準備する道具：ホール効果観察器（ケイ素に電極をつないだガラス容器　１台)、電池ボックス入り電池（２個入り)、リード線（赤２本・黒２本)、テスター（１台)、棒磁石（１個)、強力磁石（１個）

実験で体験する物理：「**電流の正体を磁場であばく**」レポート

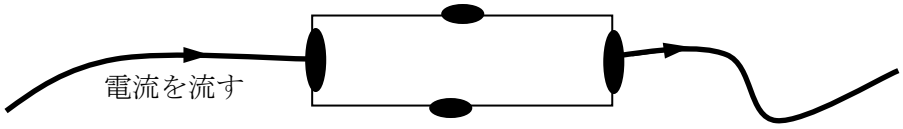
所属・学年、氏名＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

（１）テスターに慣れよう　（単位を忘れずに書いて下さい）

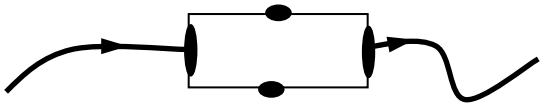
・実験Ａ１：　電池の電圧は ＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

・実験Ａ２：　ケイ素に流れる電流の大きさは＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　抵抗値 ＿＿＿＿＿＿＿＿

・　このときの等電位線



（２）実験Ｂ：　電流をまたいだ電極間の電圧を測定して記録



基準の電極　（　上　・　下　）

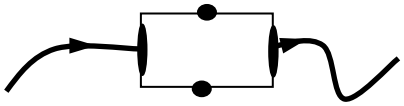
電圧の大きさ＿＿＿＿＿＿＿＿

（３）ホール効果の測定

電圧（Ｎ極を近づけた）＿＿＿＿＿＿＿＿ } 差

電圧（磁石なし）＿＿＿＿＿＿＿＿

電圧（Ｓ極を近づけた）＿＿＿＿＿＿＿＿ } 差



（４）ホール効果の測定２（強力磁石で）

電圧（Ｎ極を近づけた）＿＿＿＿＿＿＿＿ } 差

電圧（磁石なし）＿＿＿＿＿＿＿＿

電圧（Ｓ極を近づけた）＿＿＿＿＿＿＿＿ } 差

気づいたこと

（５）考えてみよう

アンケート：この実験で気が付いたこと、感想などなんでも書いてください。

電流が作る磁場　$rot\mathbf{H} = \dfrac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{i}$

皆さんが磁場を利用するときは何を使っていますか？　もちろんすぐに思いつくのは磁石(永久磁石)でしょう。でも日常生活の様々な場面では電磁石が活用されています。これは電流が作る磁場を利用したものです。電流が流れているまわりには、必ず磁場が生じます。それは電流に対してどのように生じているのでしょうか。ＰＤＬ実験で確かめてみましょう。

（1）１本の電線のまわりの磁場。

・実験Ａ：　電流を取り囲むように磁場が生じている事を、電線の上や下に置いた方位磁針で確かめてみてください。

（2）５０回巻いた円形コイルの磁場（強い！？)。　（向き、大きさ）

・実験Ｂ１：　円形コイルに生じた磁場の向きを方位磁針で調べ、スケッチしてください。
・実験Ｂ２：　円形コイルに流す電流の向きを変えると、生じる磁場の向きはどうなりますか。

（3）５０回巻いた円形コイルの磁場の分布の詳細。

・実験Ｃ：　実験Ｂを方位磁針の代わりに磁場観察槽を置いて磁場の分布を観察してください。

（4）考えてみよう　円形コイルの作る磁場はどのような分布？　何かに似ている？

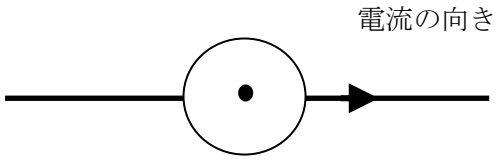
電気の世界では、＋電荷や－電荷が存在し、＋電荷から「電束」(電気力線）が湧き出して広がり、－電荷で吸い込まれています。また、一方の電荷だけ存在する場合でも電束は広がっています。では、磁場も同様に考える事ができるのでしょうか。磁場実験の１回目「磁場はめぐる」では、磁束はすべて途切れることなく永久磁石の周りに分布していることを見ました。今回の電流が作る磁場も全く同様に電流を取り巻くように分布しています。これは、磁場の世界に「磁荷」が存在しないことを示しています。つまり、すべての磁場はある意味で「電流」により生じており、永久磁石も例外ではありません。それでは、永久磁石の磁場はどのような「電流」により生じているのでしょうか。想像してみてください。

準備する道具：　磁場観察槽（１台)、方位磁針（１セット)、棒磁石（1 個)、コイル＋輪ゴム（１セット)、リード線（赤２本、黒２本)、電池ボックス入り電池（２個入り)、ゼムクリップ（１つ)、目盛り付きプラスチック台（１台）

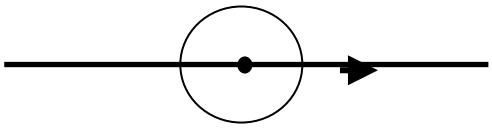
実験で体験する物理：「電流がつくる磁場」レポート

所属・学年、氏名＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

（１）実験Ａ：電流を取り囲むように磁場が生じている事を、電線の上に置いた方位磁針で確かめる。



方位磁石を電線の上に置いた場合



方位磁石を電線の下に置いた場合

（２）実験Ｂ１：円形コイルに生じた磁場の向きをスケッチ。

予想

実験結果

実験Ｂ２：円形コイルに流す電流の向きを変えると磁場の向きは＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

（３）実験Ｃ：実験Ｂを磁場観察槽で観察。

実験結果

（４）考察：　永久磁石の磁場はどのような「電流」により生じているか。

アンケート：気が付いたこと、感想などなんでも書いてください。

磁場が作る電流　$rot\mathbf{E} = -\dfrac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$

前回は電流が磁場を作っていることを見てきました。じゃあ、逆に磁場が電流を作ってもよさそうです。ぜひ実験で確かめてみましょう。静電気や雷以外の「使い物になる電気」は、実際、なんとほとんどが磁場を用いて作られています。

（1）磁場により電流は発生するか？

・実験Ａ１：　コイル内に磁石を置いた後、コイルの電線にテスターをつないで、コイルに電流が流れているかどうか（または電圧が発生しているかどうか）確かめてください。

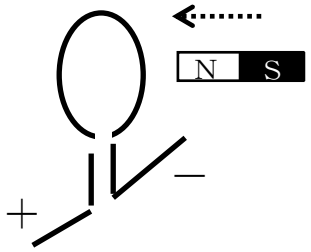
・実験Ａ２：　コイルの電線にテスターをつないだままで測定値を監視しながら、コイル内から磁石を取り出してみてください。何が起きましたか。

（2）磁場によりコイルに生じる電圧の性質。　（向き、大きさ）

・実験Ｂ：　円形コイルに生じた電圧の大きさや向き（符号）は何で決まるのでしょうか。色々やってみて、その特徴を調べて下さい。

（3）考えてみよう　円形コイルに生じる「起電力」と誘導電流

磁場の変化によりコイルに生じた電圧を「誘導起電力（ゆうどう　きでんりょく)」と言います。どうしてこのような電圧がコイルに生じるのでしょうか。元々、電線に電流を流そうとするときは、電池を使って「電圧（電位差)」を加えます。単位長さ（１ｍ）当たりの電位差のことを「電場」と言います。導線で作られているコイルに電圧が発生したという事を素朴に考えると、磁場によりコイルの電線に沿って「電場」が生じ、それをコイルの電線に沿って足し合わせた値が「コイル全体に生じた誘導起電力」であると思われます。つまり、磁場が<u>変化</u>しているところのまわりには電場が発生しているものと考えられます。
今、図のような１回巻きのコイルに磁石のＮ極を近づけたところ誘導起電力が生じて左の電極が＋、右の電極が－となる電圧が生じたとします。このとき、コイルの左右の電極をつなぐと、電流が流れるはずです。コイルにはどちら向きの電流が流れるでしょうか。また、この電流によりコイルに生じる磁場の向きはどうなっているでしょうか。



準備する道具：　棒磁石（1 個)、強力磁石（１個)、リード線（赤２本、黒２本)、テスター（１台)、コイル＋輪ゴム（１セット)、目盛り付きプラスチック台（１台)

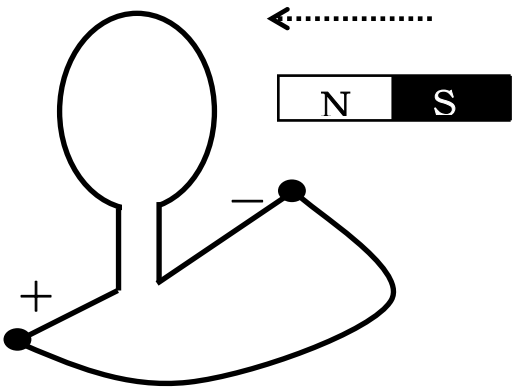
実験で体験する物理：「電流がつくる磁場」レポート

所属・学年、氏名

（１）実験Ａ１：コイル内に磁石を**置いた後**、テスターでコイルに電流が流れているかどうか（または電圧が発生しているかどうか）確かめる。

（２）実験Ａ２：テスターで測定値を監視しながら、コイル内から磁石を取り出すとどうなるか。

（３）考察：　コイルの電線をつなぐとどちら向きに電流が流れるか書き込んでください。
また、その電流によりコイルに生じる磁場の向きを矢印で書いてください。



アンケート：気が付いたこと、感想などなんでも書いてください。

４．力学の実験

振り子の実験

A 君と B さんの会話

A「振り子は周期的に左右に往復しているよね」

B「そうね。振り子の周期は何で決まるの？」

A「さあ、なんだろう」

B「ひもの長さと錘（おもり）の重さかしら」

A「試して見たら？」

B「そうね」

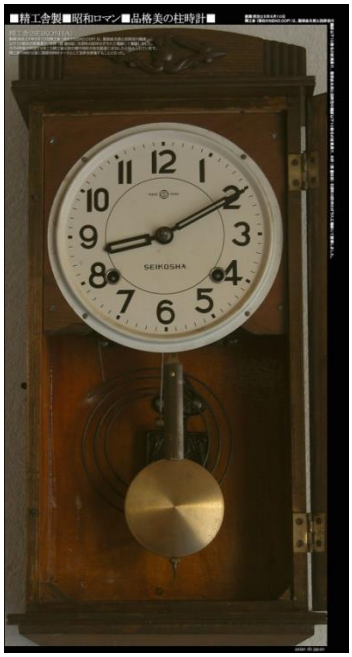
B さんはひもが短くなるように持って揺らした。

B「短く持つと速くなるわね」

A「じゃ、錘としてもう一枚５０円玉を付けてみたら？」

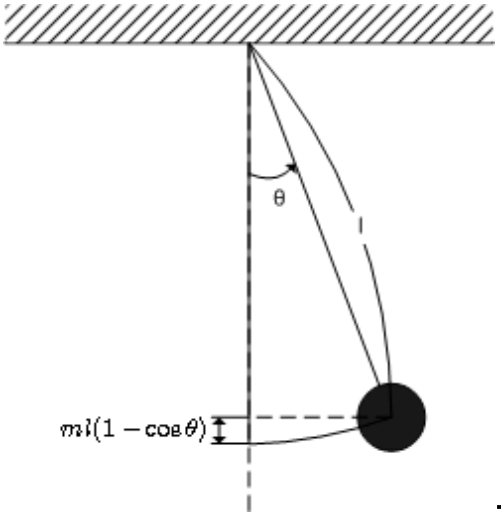
B「ええと..... あら、殆ど変わらないわ」

A「そうなんだ。長さには関係するけど、重さには殆ど関係ないんだ？？？？？？？」



柱時計

「振り子の長さを変えたときの振動周期を測定してみよう！」



単振り子

実験Ａ.　PDL の振り子の周期測定をして重力加速度を求める。

実験Ｂ.　巨大振り子の振動周期の測定（理学部３号館で測定）

ストップウォッチ、記録ノート、筆記用具を持参。

実験A「PDL：振り子をつかって重力加速度 g を求めよう」

加速度とは単位時間当たりの速度の変化率のことをいいます。アクセルを踏むと車が加速します。このとき車に乗っている人は，後ろにひっぱられる感覚で加速度を感じます。地上の物体は常に下向きの重力が働いています。自由落下運動，振り子の運動，重りをつるしたバネの振動などはこの重力によって引き起こされる運動です。物体に加わる力を F，質量を m，加速度を a とすると，$F=ma$ の関係が成り立ちます。

重力によって生ずる加速度を**重力加速度**といい g で表します。重力加速度は地上ではおおよそ 9.8 m/s² の値を示しますが，どこでも同じ重力加速度というわけではなく，南極や北極ではだいたい 9.82 m/s² ,赤道地方では 9.78 m/s² 程度です。日本でも北海道北東部で 9.806 m/s²，沖縄で 9.791 m/s²，千葉県では 9.798 m/s² という値が観測されています。9.80665 m/s² の加速度を 1G と表します。スペースシャトル打ち上げ時の加速度は３Ｇ，2008 年 6 月 14 日に発生した岩手・宮城内陸地震の瞬間的な揺れの強さを表す加速度はそれよりも強い４Ｇ超（4,022 ガル，1Gは 980.665 ガル）でした。これは国内観測史上最大のものです。

今回はＰＤＬ（パーソナル・ディスク・ラボ）によって，どの程度の精度で重力加速度が求められるかを実験します。なるべく正確に測定することを心掛けましょう。また測定値がおおよそ 9.8 m/s² にならない場合はその原因も考えてみましょう。

準備：

使用する器具

鉄板 １枚	ものさし １本	くし型 台 ２個	Ｌ型金具 １個	ネオジム磁石 ２個
振り子 １個	電卓 1台	ガラス棒 ２本	フェライト磁石 ２個	ストップウォッチ １台

図１

(1) 図１のように，くし型台の溝の中央に鉄板を立て，隙間にガラス棒を入れて固定します。（鉄板は重いので倒さないように注意する）

(2) ネオジム磁石（小さくて強力な磁石）を使って，Ｌ型金具を鉄板の上部に貼り付けます。

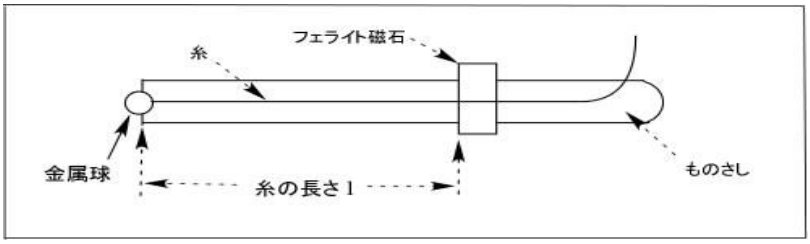


図２

(3) 図２のように，ものさしを使って振り子の糸の長さがほぼ指定した長さ（5, 10, 15, 20ｃｍ）になるように，フェライト磁石ではさみます。振り子の糸の長さとは金属球の中心からフェライト磁石の端までの長さのことをいいます。

(4) ものさしからフェライト磁石をはずして，Ｌ型金具に取り付けます。（図１参照）

(5) 重りで糸が伸びる場合があるので，取り付けた後にもう一度振り子の糸の長さをものさしで測ります。測定した長さを下の表の一番上の段に書き込みます。（記入例 0.052m）

※金属球についた糸はとれやすいので取扱いに注意しましょう。

実験方法： 振り子の長さを変化させたときの振動周期を測定します

(1)振り子の糸の長さを５ｃｍ，10ｃｍ，15ｃｍ，20ｃｍなどいくつか設定し，それぞれについて往復20回の時間（秒）をストップウォッチで測定します。振り子の振幅は小さい方がうまく測定できます。同じ長さについて往復時間を3～4回測定し，極端な値を除いて平均をとります。（結果は別紙に記入します）

振り子の長さ l	m	m	m	m	m
20往復時間（s）　1回目					
2回目					
3回目					
4回目					
20往復の平均時間（s）					
周期 T （s）					
周期 T の２乗（s^2）					
重力加速度 g （m/s^2）					

(2)20往復の平均時間を20で割って、1往復あたりの時間を求めます。この時間が周期 T になります。（別紙に記入）

(3)振り子の長さ l と周期 T の関係をグラフにします。(別紙にグラフ作成)

(4)振り子の長さ l と周期の２乗 T^2 の関係をグラフにします。(別紙にグラフ作成)

l と T^2 はどのような関係になっていますか？

(5)計算式（別紙　①式）を使って重力加速度を計算します。（別紙に記入）

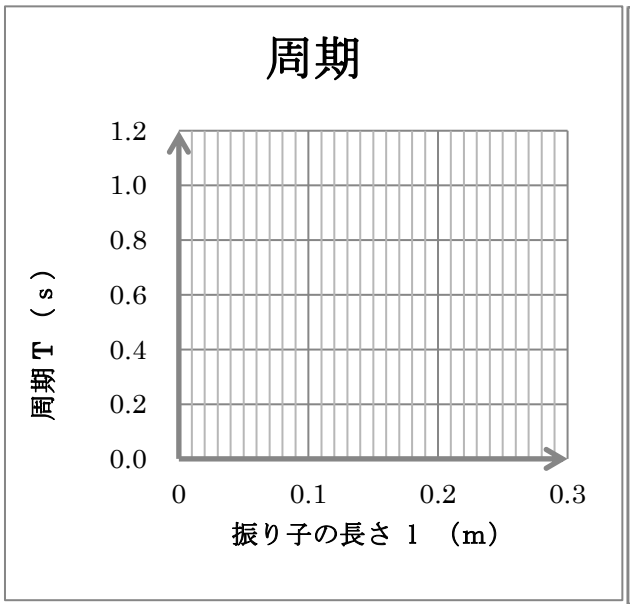
(6)重力加速度の値は9.8 m/ｓ^2 に近い値がでましたか？良い値がでなかったときはその原因を考えてみましょう。この実験の感想も書いてください。（別紙に記入）

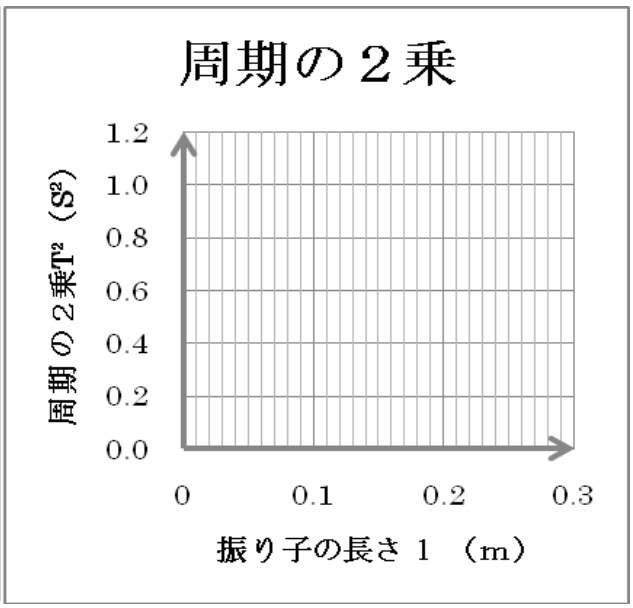
実験で体験する物理：

学籍番号(　　) 氏名(　　)

実験A 「PDL 振り子をつかって重力加速度 g を求めよう」レポート

振り子の長さ　l	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
20 往復時間(s)　1 回目					
2 回目					
3 回目					
4 回目					
20 往復の平均時間(s)					
周期　T (s)					
周期 Tの 2 乗（s^2）					
重力加速度 g (m/s^2)					





単振り子における周期を求める式は、$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$　で与えられます。

この式の両辺を 2 乗して、g について解くと

$$g = \boxed{} \quad \cdots ①$$

上の①式に $\pi = 3.1416$ と測定値 l, T を代入して重力加速度を計算します。（上の表に記入）

重力加速度の平均値 _____ (m/s^2)

重力加速度の値は 9.8 m/s^2 に近い値がでましたか？良い値がでなかったときはその原因を考えてみましょう。
この実験の感想も書いてください。

回転運動

物体が運動するとき，物体に変形がなければ，その動きには，物体の大きさに比べて大きな空間を動き回る場合と，どこかを中心にぐるぐる回る場合があります。サッカーや野球のボールがまっすぐ進んだり，重力その他の影響で軌跡（動いた道筋）が弓なりに曲がったりする運動と，ボール自身がぐるぐるスピンする運動があります。大きな空間を動き回る運動は『並進運動』と呼ばれ，その様子を観察するには物体の大きさに比べて大きな空間が必要ですが，ぐるぐる回る『回転運動』は物体程度の空間で観察できます。そして、特に大きな勢いのある回転運動には不思議で興味深い現象があります。さまざまな現象を体験し，**回転の向きと，三次元的な方向の関係に注意しながら，正確に記録**しましょう。

目的

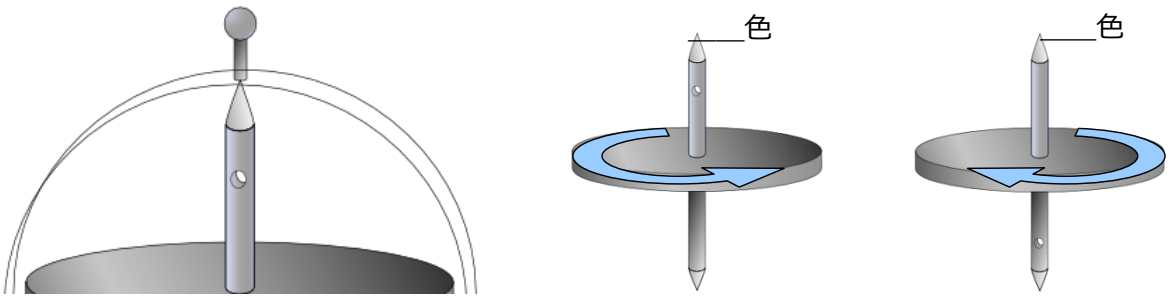
１．地球ゴマを決められた方向に回転させる。

２．コマに力をかけたとき、回転軸の向きの変化には法則性があることを調べる。

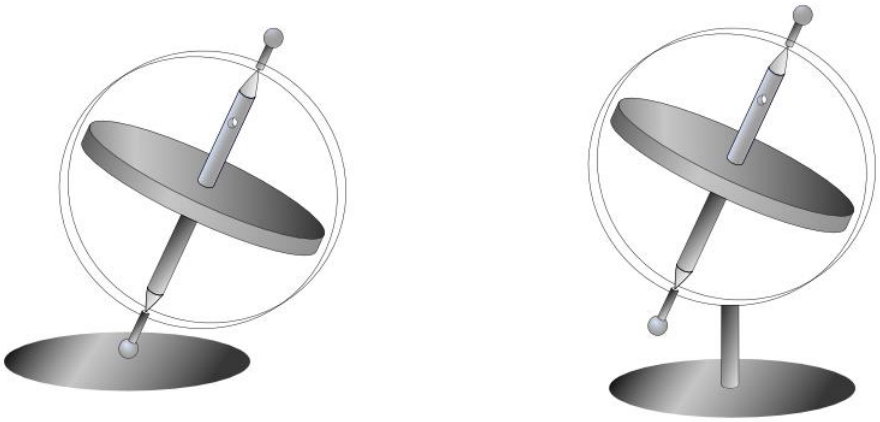
３．回転台に乗り、自分でかけた力とは異なる方向に回転することや、質量分布の変化により回転速度が変化する様子を体験する。

作業

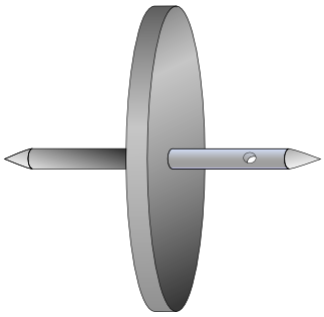
作業１：指示された向きに回すための，ひもの巻き付け方を図示しよう。（板書の指示を記入）

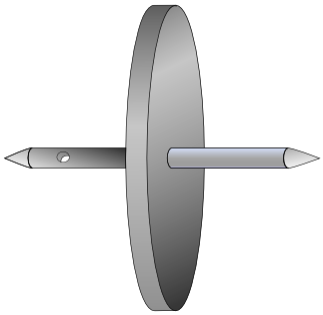


作業２：地球ゴマでいろいろな回転運動を観察しよう。スピン回転の向き，首振り運動の向き，また重力の向きや指で押した向きを記入し、それらのあいだに法則性があることを見出そう。



作業３：地球ゴマで，重力の効果を消し去り，指の力で補いながら，いろいろな向きでの　　実験をしてみよう。高速回転の向き，指で押した向き，首振り運動の向きを図に記入する。図は自由に使ってよい。系統的に変える場合だけでなく，全く違う場合も試してみること。





作業４：回転台による観察を行う。回転台に乗り降りするとき、台が勝手に回ることがあるので十分注意すること。

（１）回転台の中心の真上に自分の重心が来るように回転台に乗る。車輪の軸を水平に持ち、友人に車輪を勢いよく回してもらってから、右の軸を上げ左の軸を下げたり、あるいは逆の向きに力をかけると、自分の力で体が回転し始める。力の向きと回転の向きが直交するという現象を体験しよう。

（２）両手にアレイをもって回転台の中心の真上に自分の重心が来るように回転台に乗る。両腕を縮め、あれいを回転台の回転軸の近くで支える体勢をとり、友人にからだを回してもらう。回転台が一様な速さでうまく回ったら、両手を広げ、あれいを回転台の回転軸の遠くで支える体勢をとる。からだの回転の速さが変化する様子を体験しよう。

MEMO

実験日　　学生証番号・氏名

実験で体験する物理　回転運動　（担当　教育学部　加藤徹也）

５．音の実験

周波数と音

音は、気体や液体、固体中をその原子や分子の振動が伝わっていく波である。空気中では、音は空気分子の振動が伝わっていく波である。例えば、太鼓を叩くと膜が振動する。このままでは音にならないが、膜近くに空気分子があることによって、空気分子が膜に押されて振動し、これがさらに隣の空気分子を押して振動させ、次々に空気分子の振動が空気中に伝わっていく音となる。

今回は、電磁石（コイル）と発信器を使った簡単な装置で音を発生させてみよう。

実験１「発信器と電磁石で紙コップから音を出してみよう」

1. 振動数と周波数

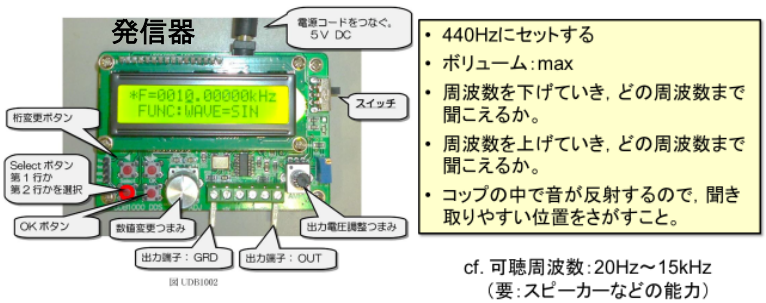
音源となる物体（例：太鼓の膜）が一秒間に振動する回数を振動数[回/s]=[Hz]といい、音波（空気分子の振動）の振動数を周波数[回/s]=[Hz]という。

2. 装置の組み立て

紙コップの内側に磁石、外側に電磁石（コイル）をおき、コイルに発信器をつなぎ、交流電流を流す。交流によってコイルの磁力が周期的に変化し、これによって磁石が振動して紙コップが振動し、音が発生する。

3. 音の高さを変えてみよう

紙コップの振動数を発信器で変化させ、振動数と音の高さとの関係をみてみよう。



- 440Hzにセットする
- ボリューム：max
- 周波数を下げていき，どの周波数まで聞こえるか。
- 周波数を上げていき，どの周波数まで聞こえるか。
- コップの中で音が反射するので，聞き取りやすい位置をさがすこと。

cf. 可聴周波数：20Hz～15kHz
（要：スピーカーなどの能力）

① 表 1. 音と周波数を参照し、「ド，レ，ミ，ファ，ソ，ラ，シ，ド」を出してみよう。

② 聞こえる音と、音叉やキーボードの音と聞き比べてみる。

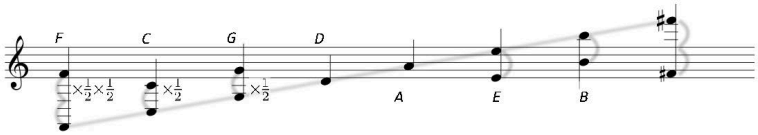


図１　ピタゴラス音階の振動数比（オクターブと五度による音程だけを繰り返すことで構成）

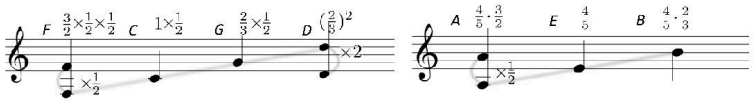


図２　純正調音階の振動数比（オクターブと五度を基本、一部で長三度を重視した音程で構成）

参考図書：小方 厚 著「音律と音階の科学」講談社ブルーバックスB1567、2007年

備考：音階と振動数比

ひとつの弦からなる楽器をモノコードという。弦にかかる張力を一定に保ち, 駒の位置を変えて (長さ L を変えて) 弾いたとき, 整数比で分割した一部分が鳴る音の高さは, 残りの部分が鳴る場合と響きあう音程となる。主な整数比は

1:1 分割長さは1/2と1/2, 元の長さの音より両方とも1オクターブ高い

2:1 分割長さは2/3と1/3, 元の音より五度上と, そのオクターブ上 (例：ド→ソ+$\dot{ソ}$)

2:3 分割長さは2/5と3/5, 元の音より六度上と, その五度上 (例：ド→ラ+$\dot{ミ}$)

である。現代的には, より一般的に議論できる振動数で比をとる。振動数 f と長さ L は逆数の関係 $f = v/2L$ がある。ただし, v は弦に伝わる横波の速さで, 一般の場合, 振動数 f に依存しない。

長さを繰り返し2/3倍し, 必要に応じてオクターブ低くとることにより, 1オクターブ中にある音すべて (ピアノの白鍵7+黒鍵5と対応する12音) が得られる。紀元前580年頃生まれたピタゴラスが示したというこの**ピタゴラス音階**は数学的に美しいものの, 三度 (例：ド→ミ) が美しく響かないなど, 音楽的感覚とは少しずれている。紀元140年頃のプトレマイオスは, 少しだけ整数比の数を増やすことで美しい三度の響きが得られることを使い, E, A, B の音を少し低めにとった。これは**純正調音階**として知られている。なお, 現在ピアノなどでは, 転調のしやすさを優先し, 等比級数に基づく**平均率音階**が用いられている。最高に美しいハーモニーを響かせるためには, 響きあう音のあいだの音程は純正調音階に近いものでなければならない。

音名	C(ド)	D(レ)	E(ミ)	F(ファ)	G(ソ)	A(ラ)	B(シ)	C($\dot{ド}$)
ピタゴラス	1.0000	1.1250	1.2656	1.3333	1.5000	1.6875	1.8984	2.0000
音階	1	9/8	81/64	4/3	3/2	27/16	243/128	2
		$=\frac{1}{2}(\frac{3}{2})^2$	$=\frac{1}{2^2}(\frac{3}{2})^4$	$=2\times\frac{2}{3}$	$=\frac{3}{2}$	$=\frac{1}{2}(\frac{3}{2})^3$	$=\frac{1}{2^2}(\frac{3}{2})^5$	
振動数 [Hz]	260.74	293.33	330.00	347.65	391.11	440.00	495.00	521.48
純正調音階	1.0000	1.1250	1.2500	1.3333	1.5000	1.6667	1.8750	2.0000
	1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2
			$=\frac{5}{4}$			$=2\times\frac{2}{3}\frac{5}{4}$	$=\frac{3}{2}\frac{5}{4}$	
振動数 [Hz]	264.00	297.00	330.00	352.00	396.00	440.00	495.00	528.00
平均率音階	1.0000	1.1225	1.2599	1.3348	1.4983	1.6818	1.8877	2.0000
		$=10^{\frac{2}{12}r}$	$=10^{\frac{4}{12}r}$	$=10^{\frac{5}{12}r}$	$=10^{\frac{7}{12}r}$	$=10^{\frac{9}{12}r}$	$=10^{\frac{11}{12}r}$	
振動数 [Hz]	261.63	293.66	329.63	349.23	392.00	440.00	493.88	523.25

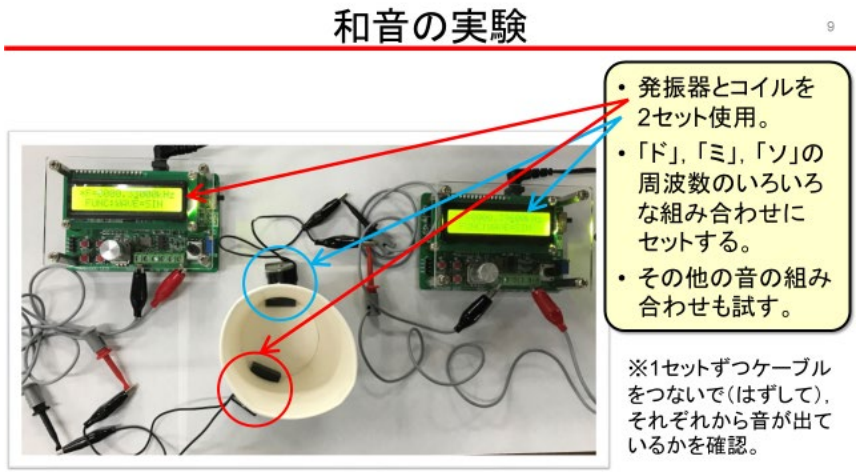
表１　音階と振動数。A音＝440.00 Hzを基準とした。$r = \log_{10} 2 = 0.30103$ である。

実験２「和音やうなりを作り出してみよう」

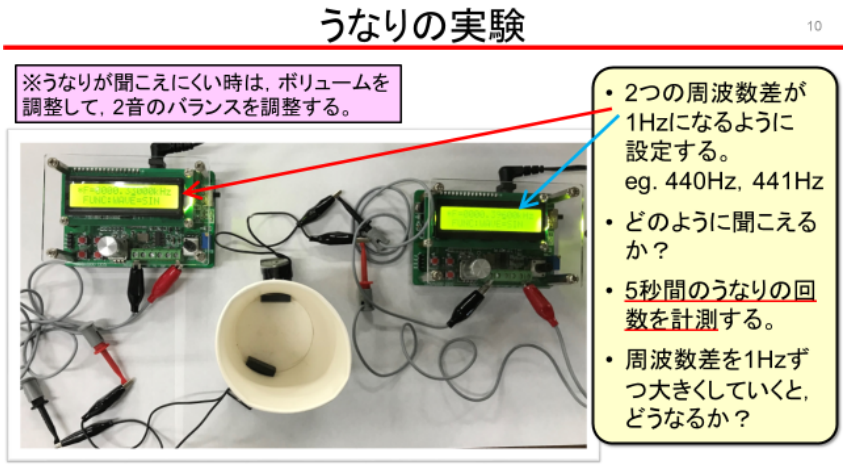
２つの音を重ね合わせると、うつくしいハーモニー(協和音)やうなりが生まれる。それらは、２つの音の振動数の関係による。振動数比が簡単な整数比の時にハーモニーとなり、振動数の差がわずかなときに（例えば１Hz）うなりとなる。

1.　和音を作る

１つの紙コップで２つの音を同時に鳴らしてみる。表１を参照しながら２音の振動数比を設定し、和音を作ってみよう。



2.　うなりを作る



•うなりが生じる回数は，1秒間に$|f_1 - f_2|$回。
(330Hz, 331Hz), (440Hz, 441Hz),
(10,000Hz, 10,001Hz)など
→ 周波数調整に利用

付録1　発信器 UDB1002 について

機能と特徴

- 0V から設定された最大値までの間の電圧として，設定された振動数の正弦波（SIN），三角波（TRI），矩形波（SQR）をデジタル生成して出力する。
- 出力電圧の最大値は 0.1V 程度から 9V 程度まで設定可能であり，設定はアナログ式で，振幅調整つまみを回すことで連続的に変化させることができる。
- 振動数は 0.01Hz から 2000000.00Hz（2MHz）まで設定可能であり，設定はデジタル式で，変更する桁を選び，その数値をひとつづつ上げたり下げたりする。このとき振動数の変化は不連続になる。
- ５V の直流電源（AC・DC アダプタ）による電源供給が必要である。
- 本体のスイッチが ON になると，既定（デフォルト振動数：10 kHz の正弦波）の出力が行われる。

本実験で使用しない機能

- TTL（トランジスタ論理回路）への出力が可能
- 外部の信号を Ext.Input 端子に入力すると，その信号のパルス計数や振動数表示が可能
- パラメータ設定値の保存と読み込みが可能

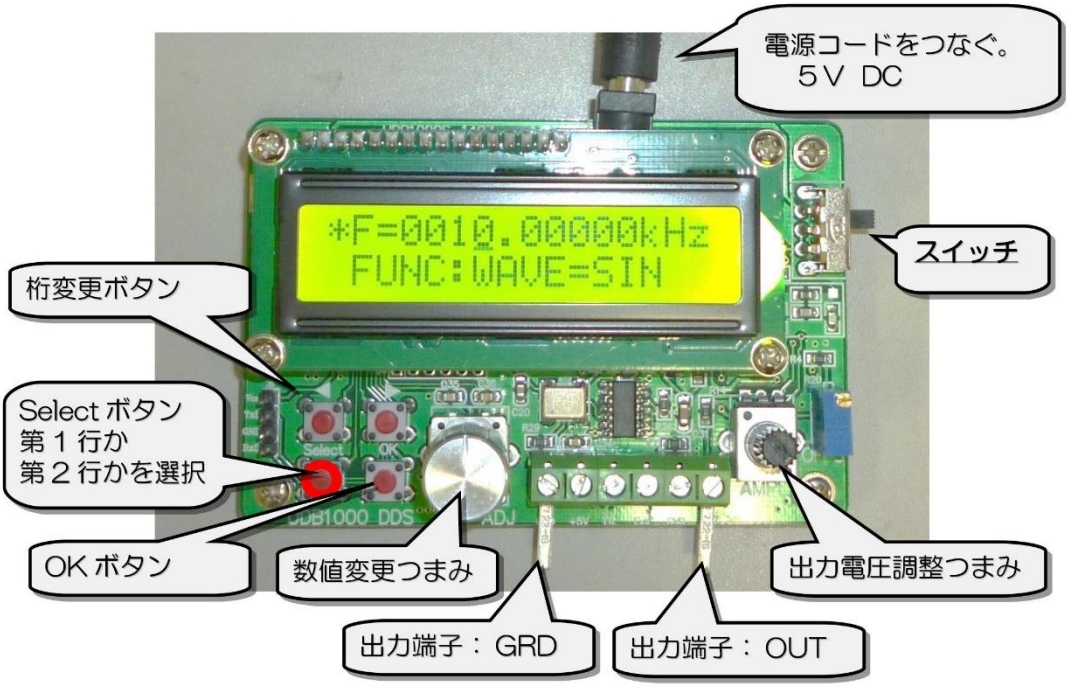


図 UDB1002

使用上の注意

- 数値変更つまみおよび出力調整つまみは二本の指で挟んで回すこと。一本の指で押すように回すと軸に力がかかり、つまみが故障しやすくなる。
- 回路が露出しているので、清潔な乾燥した指で触れること。

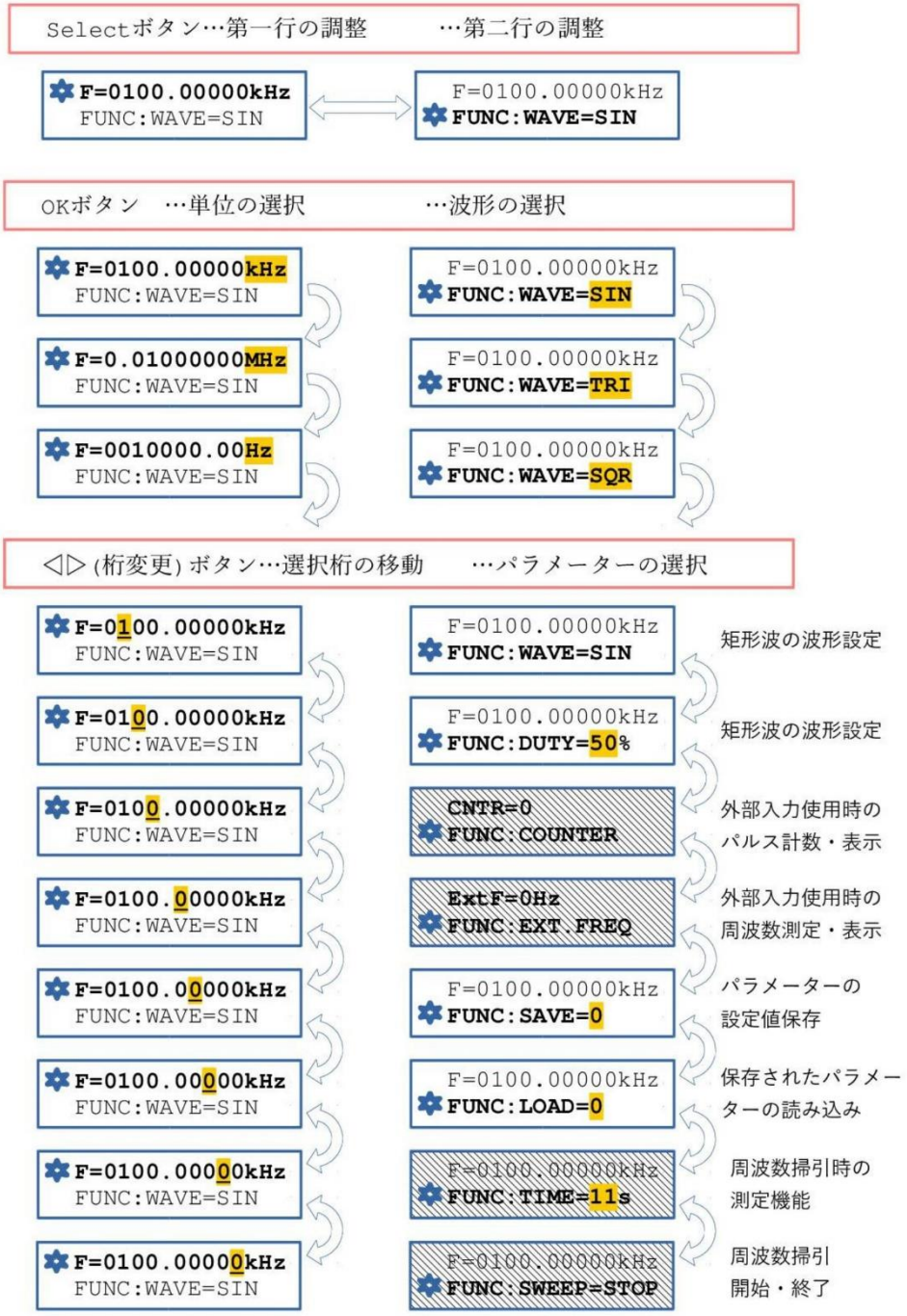


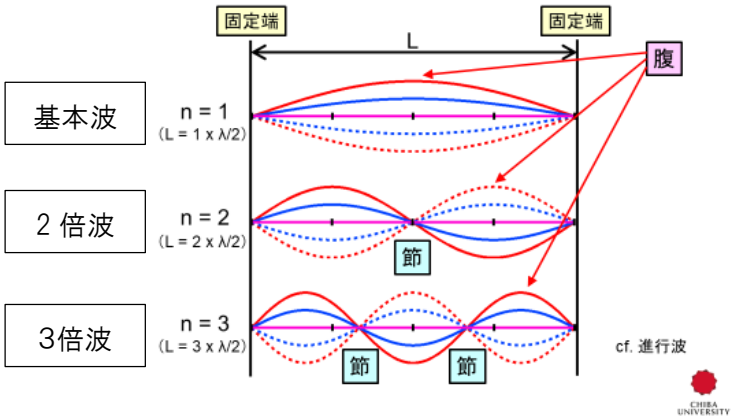
図 UDB1002 の4つのボタンによる状態の変化

弦の振動

弦の共振（定在波）について

ギターやバイオリンなど両端が固定された弦は、弦を弾くと、同じ材質で長さと張力が同じであれば、弾き方に関係なく同じ高さ（周波数）の音が出る。このとき、**共振(定在波)** が起きている。

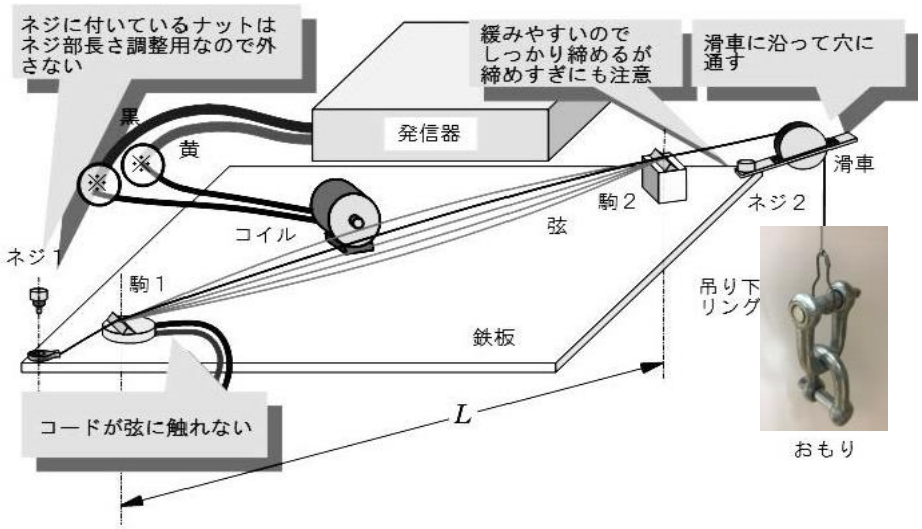
弦の共振は、弦に発生した波が弦の両端で反射を繰り返してお互いに強め合う現象であり、弦の長さが波長の半分の長さの整数倍であるときに限り生じる。共振の周波数は、弦の長さ L[m]、弦の張力 T[N]、線密度 σ[kg/m]（同じ材質であれば太さに相当）に依存する。



実験１　「弦を共振させてみよう（基本波）」

1.　装置の組み立て

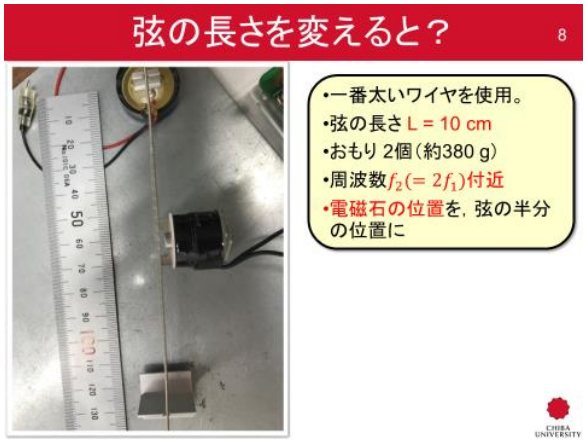
右図のように弦を組み立てる。弦に電磁石（コイル）を近づけて置き、コイルに交流電流を流すと、コイルの磁力が交流に応じて周期的に変化し、スチール製の弦は押されたり引かれたりして振動が与えられることになる。



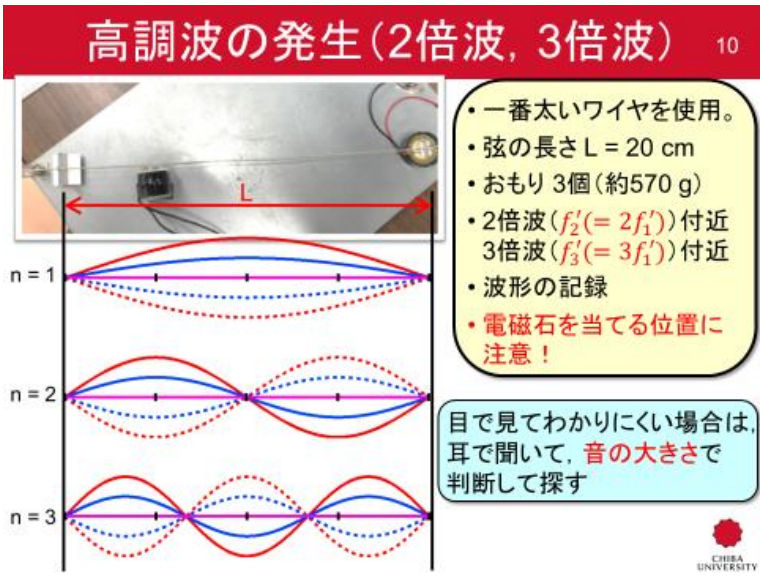
＜設定条件＞

- **一番太い弦**を使用
- **弦の長さ L ＝20 cm**（コマとコマの長さ）
  ※コマの下に磁石などで高くし、弦がコマから浮かないようにすること。
- **おもり２個**（約 380 g）
- **コイルは弦の中央付近に、**弦に接触しない程度になるべく近く置く。
- 発信器の周波数　**f_1～70Hz付近。**
- 発信器の周波数を 1 Hz ずつ変えながら共振周波数を探す。

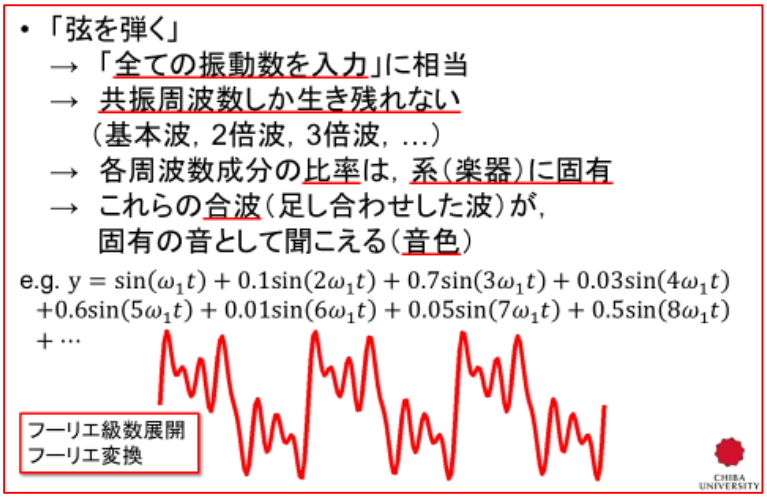
2.　弦の長さ、おもりの重さを変えてみよう



3.　2 倍波、3 倍波を発生させてみよう



4.　弦を弾くと共振が起こるという現象



６．太陽電池の実験

太陽電池

身の回りは光であふれています。その光が持つエネルギーを電気エネルギーに変換する素子を太陽電池といいます。太陽電池は如何にして光のエネルギーを電気のエネルギーに変えているのか？普通の電池との違いは？太陽電池のしくみや、特性について本 PDL 実験を通して考え、理解を深めましょう！

〔目的〕

（１）太陽光発電のしくみ、特性について学ぶ。

考えてみよう！　太陽電池はどのようにして作られている？
普通の電池（乾電池）と何か違う？

（２）光エネルギー、電気エネルギーについての理解を深める。

考えてみよう！　光のもつエネルギーって？色（波長）によって異なるの？
電気のエネルギーは？　電圧×電流×時間　単位はジュールだよね。

〔実験器具〕

太陽電池（可変抵抗 1.5 Ω～100 kΩ 付き）・モーター・羽・フォトダイオード(足の長い方がプラス)・電子オルゴール・コンデンサー・マイナスドライバー・リード線（赤、黒　各２本)・デジタルマルチメーター(DMM)

〔原理〕

太陽電池は光のエネルギーを直接、電気エネルギーに変換する素子です。どのような構造をしているのかを簡単に説明してみましょう。まず、重要なことは、太陽電池はｎ型、ｐ型と呼ばれる半導体から構成されていることです。ケイ素 Si の結晶は半導体であることは聞いたことがあるでしょう。Si は価電子の数が 4 つで、隣接する４つの Si がもつ価電子と結合電子対をつくりネットワークをつくることで結晶ができます。ここに、リン P のような価電子の数が 5 つの原子を不純物として添加するとどうなるでしょうか？（図 1(a)）結合に使われない 1 つの電子（過剰の電子）が存在しますね。この電子は正にイオン化した P からの電気力で緩やかに束縛されていますが、常温では熱エネルギーによって束縛から離れて自由電子として振舞います。このような過剰の電子がいる半導体をｎ型半導体と呼びます。では、Si の結晶にインジウム In のような価電子の数が 3 つの原子を不純物として添加するとどうでしょうか？（図 1(b)）今度は電子の不足が生じますね。この状態を正孔（ホール）と呼びます。常温では近くの電子が移動してホールを埋めることで、電子の移動したあとに新たなホールができるといったことの繰り返しで、(正孔）ホールは自由に動くことができるようになります。動くのはあくまでも電子ですが、正の電荷をもった粒子（正孔）の動きとして考えることが一般的です。このように電子の不足（正孔）が生じている半導体をｐ型半導体と呼びます。

(a) ｎ型半導体　　(b) ｐ型半導体

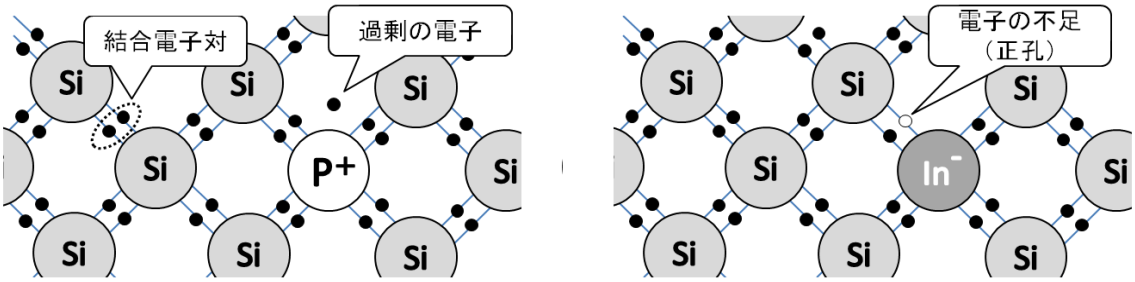


図 1.（a）ｎ型半導体、(b）ｐ型半導体

これらの n 型、p 型半導体を接合させるとどうなるでしょうか？図 2(a)に示すように、接合面付近では、n 型の過剰な電子が、p 型の正孔と合体して見かけ上消滅します。その領域を空乏層と呼びます。そうすると、P+と In－イオンが接合付近に存在することになり、空乏層には電位差が生じます。エネルギーで考えると図 2(b)のようになります。

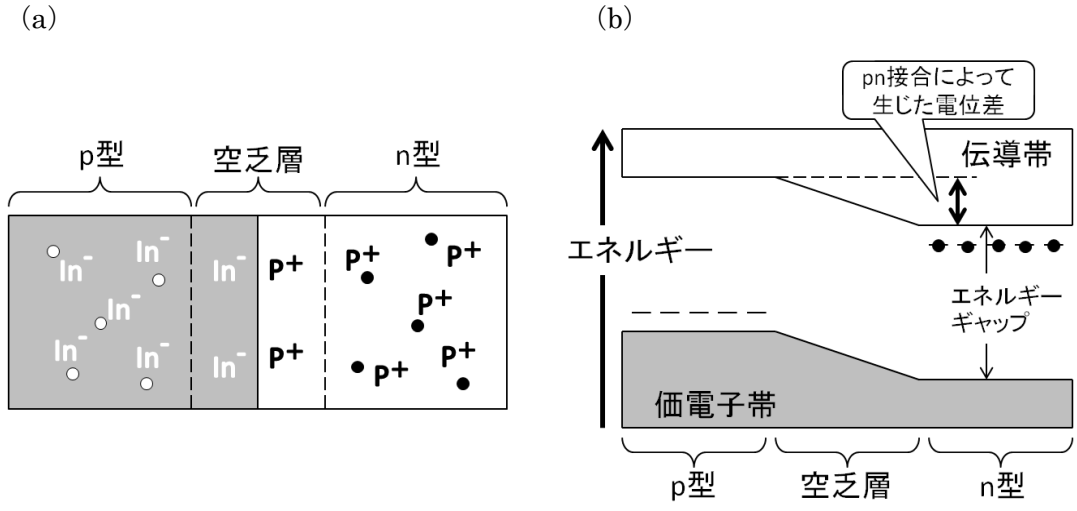


図 2. pn 接合

ここにエネルギーギャップを超えるエネルギーをもつ光を入射すると、図 3(a)で示すように、光によって価電子帯にいる電子が伝導帯にたたき上げられ、電子と正孔ができ、空乏層での電位差によって、電子は n 型の方へ、正孔は p 型の方へと移動します。図 3(b)に示すように、n 型、p 型の両端に電極を付け、電極間を回路でつなげると光照射で生成される電子と正孔が互いに逆向きに流れることで電気が流れ、電球などを光らせることができます。

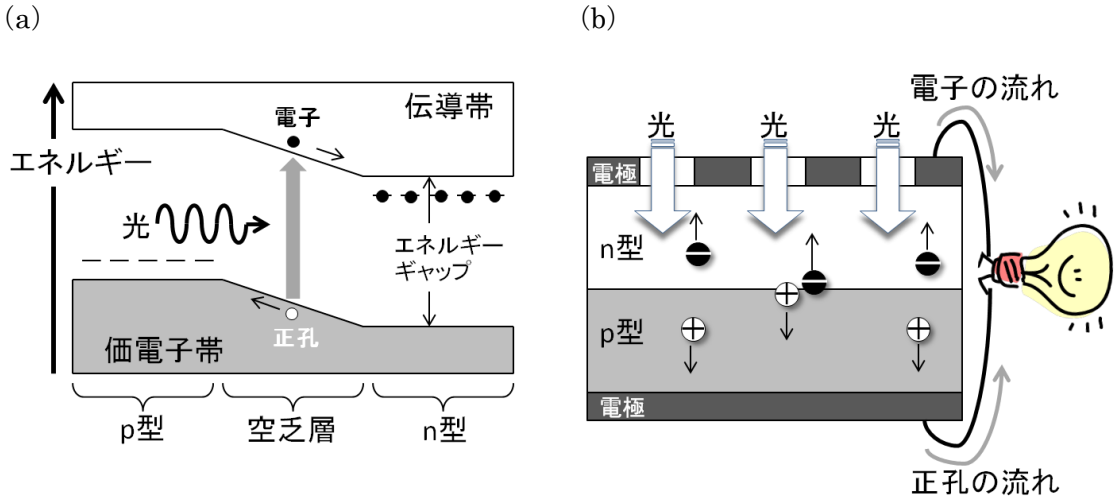
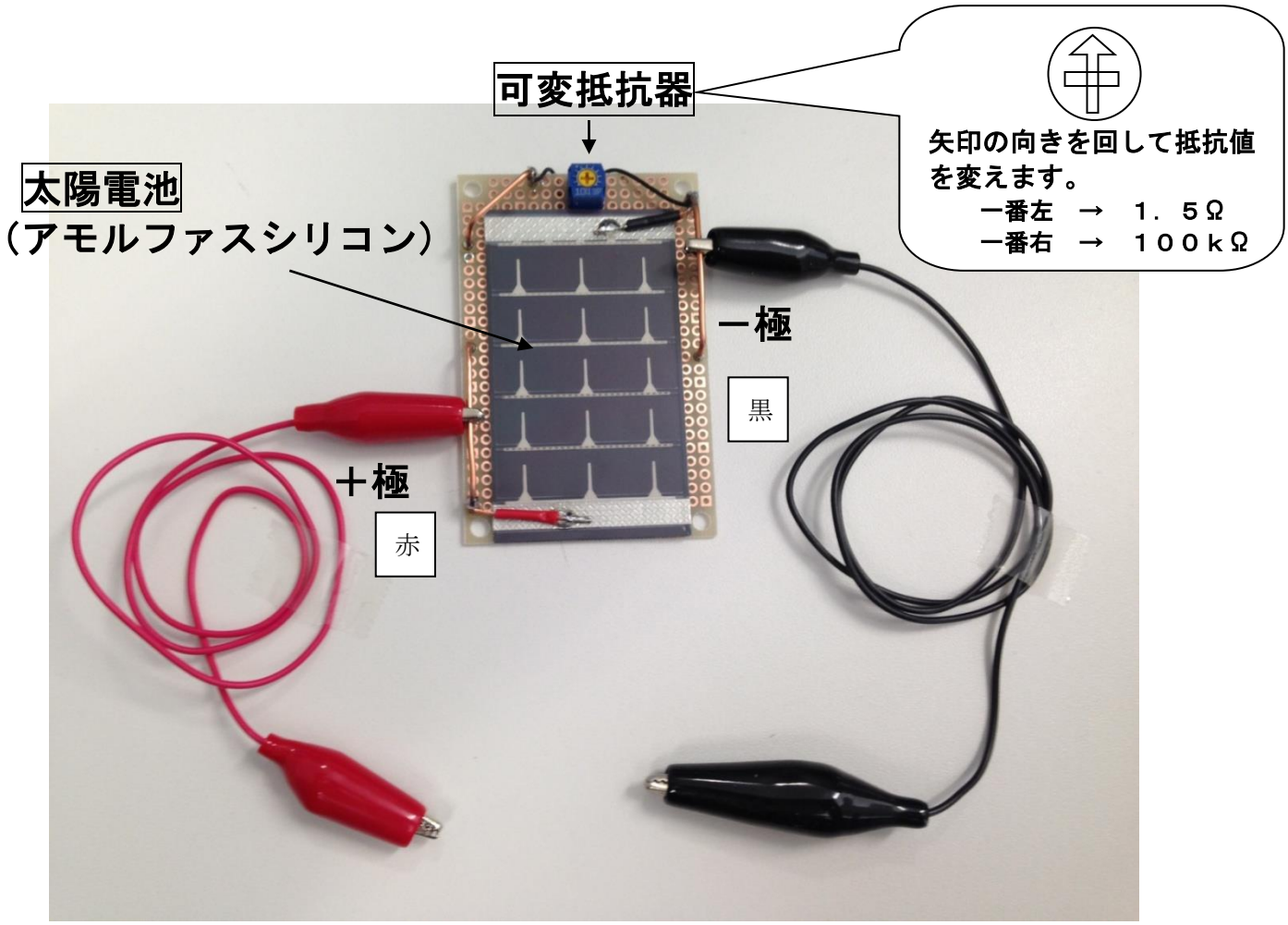


図 3. 光起電力の発生と太陽電池の動作

以上が簡単な原理です。では、実験をしてみましょう！

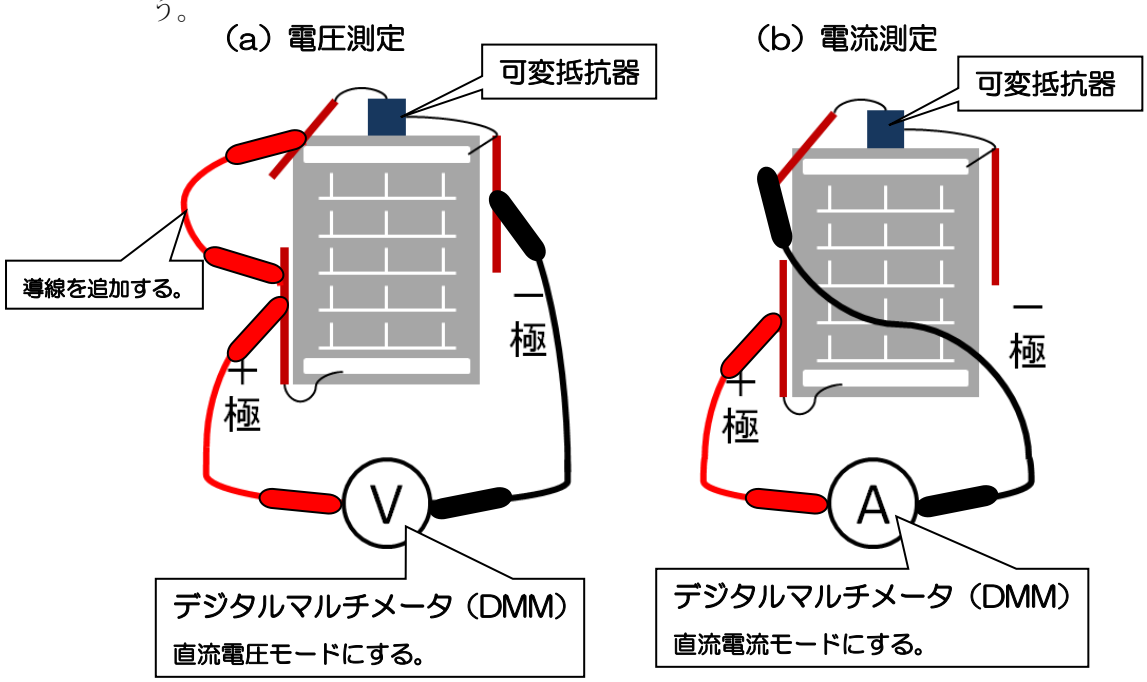
〔実験〕

① 下図のように太陽電池と導線をつないでみよう。太陽電池の電極の極性に注意すること。

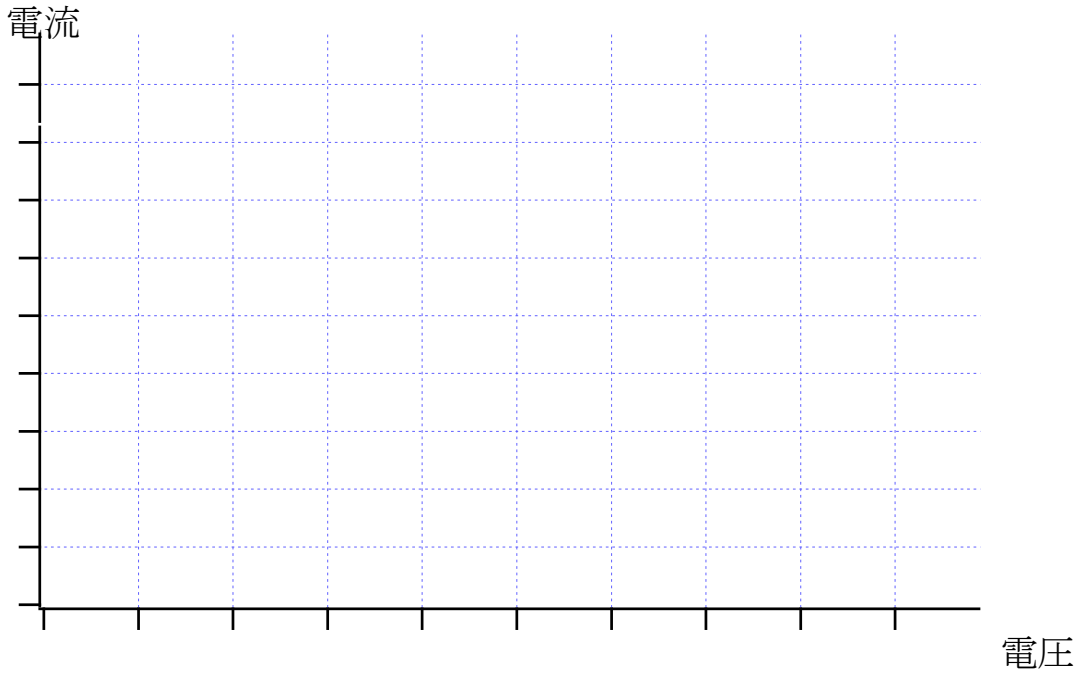


② 太陽電池の＋極、－極につながった導線をデジタルマルチメータの電圧測定端子に接続して、電圧値を見てみよう。太陽電池に光を照射すると表示される電圧の値が開放電圧（回路につながない状況での光起電力）になります。同じ配置で、導線をデジタルマルチメーターの電流測定用端子に接続して得られる電流値を見てみましょう。この電流値は短絡電流になります。

③ 次に、可変抵抗器を経由した回路を下図(a)(b)のようにつないで作り、電圧、電流を測定してみよう。



マイナスドライバーで可変抵抗器の矢印の向きを変えて固定した状態（抵抗値一定）で電圧、電流を測定し、抵抗値の値をいくつか変えて電圧、電流の測定を繰り返し、電圧－電流特性グラフを作成してみよう。



〔太陽電池について考えてみよう〕

○　どのような光を照射したら良いか？（太陽光と蛍光灯の光の違いなど）
○　光の強度、光のエネルギーとは？（強度とエネルギーの違いは？）
○　光の照射強度を変えると何が変化する？（電流値と電圧値どちらが大きく変化するかな？）
○　開放電圧、短絡電流とは？（電圧－電流特性グラフのどの点？）
○　太陽電池の出力の評価方法は？最大出力とは？（電圧－電流特性グラフから読み取ろう）
○　乾電池との違いは？（乾電池の電圧－電流特性グラフはどうなる？）

太陽電池に光を照射して生じる電気エネルギーを使って何ができるかな？
①LED を光らせる　②電子オルゴールを鳴らす　③羽つきモーターを回す
それぞれ動作させるには最低限必要な電力がある。
※電力不足で動作できない場合はどうしたら良いか？考えてみよう。

７．熱の実験

「熱放射」

放射温度計

ステファン・ボルツマンの法則

黒体の表面から単位面積、単位時間当たりに放出される電磁波のエネルギー j が、その黒体の温度 T の 4 乗に比例するという物理法則である

$$j = \sigma T^4 \ [\mathrm{W/m^2}]$$

ここで、ステファン・ボルツマン定数は $\sigma = 5.7 \times 10^{-8}$ [W/m²/K⁴]である。

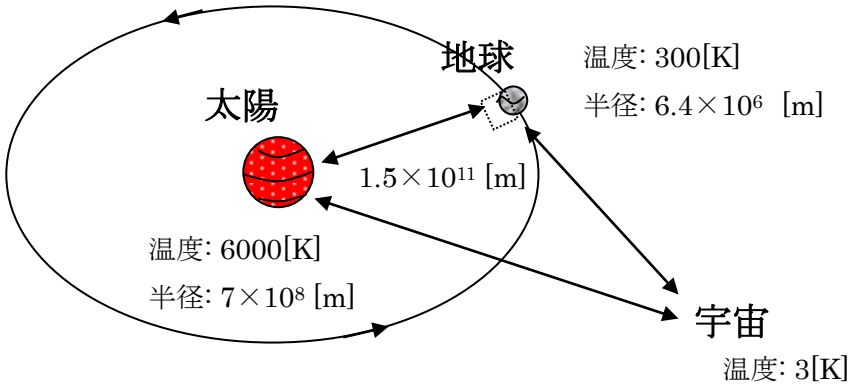
ウィーンの変位則

黒体から放射のピークの波長が温度に反比例するという法則である。

$$T \times \lambda_{\max} = 0.003 \ [\mathrm{K \cdot m}]$$

ここで、T は黒体の温度[K]，$\lambda_{\max}$ はピークの波長[m]，0.003 [K・m]は比例定数である。

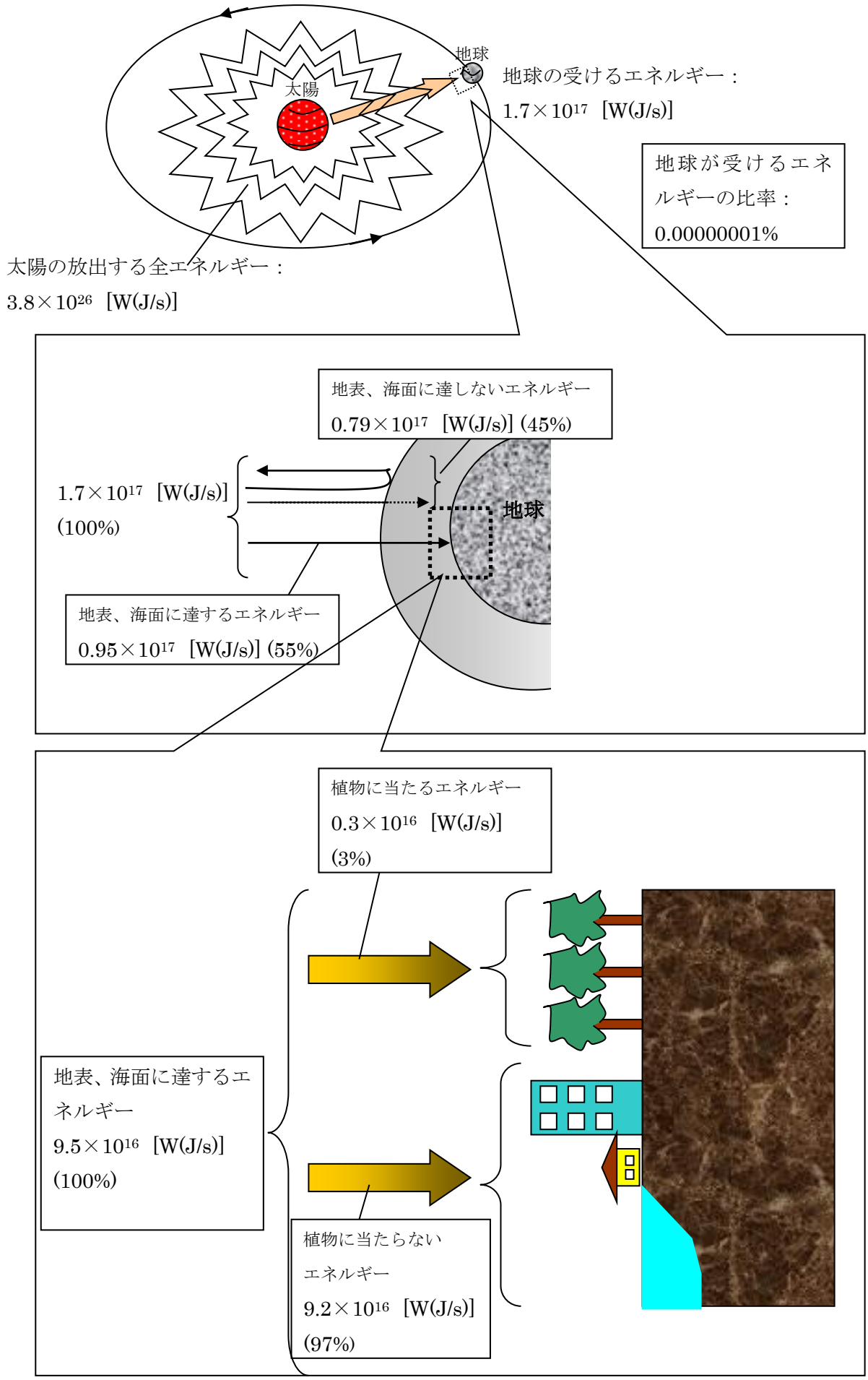
太陽-地球-宇宙の温度の関係

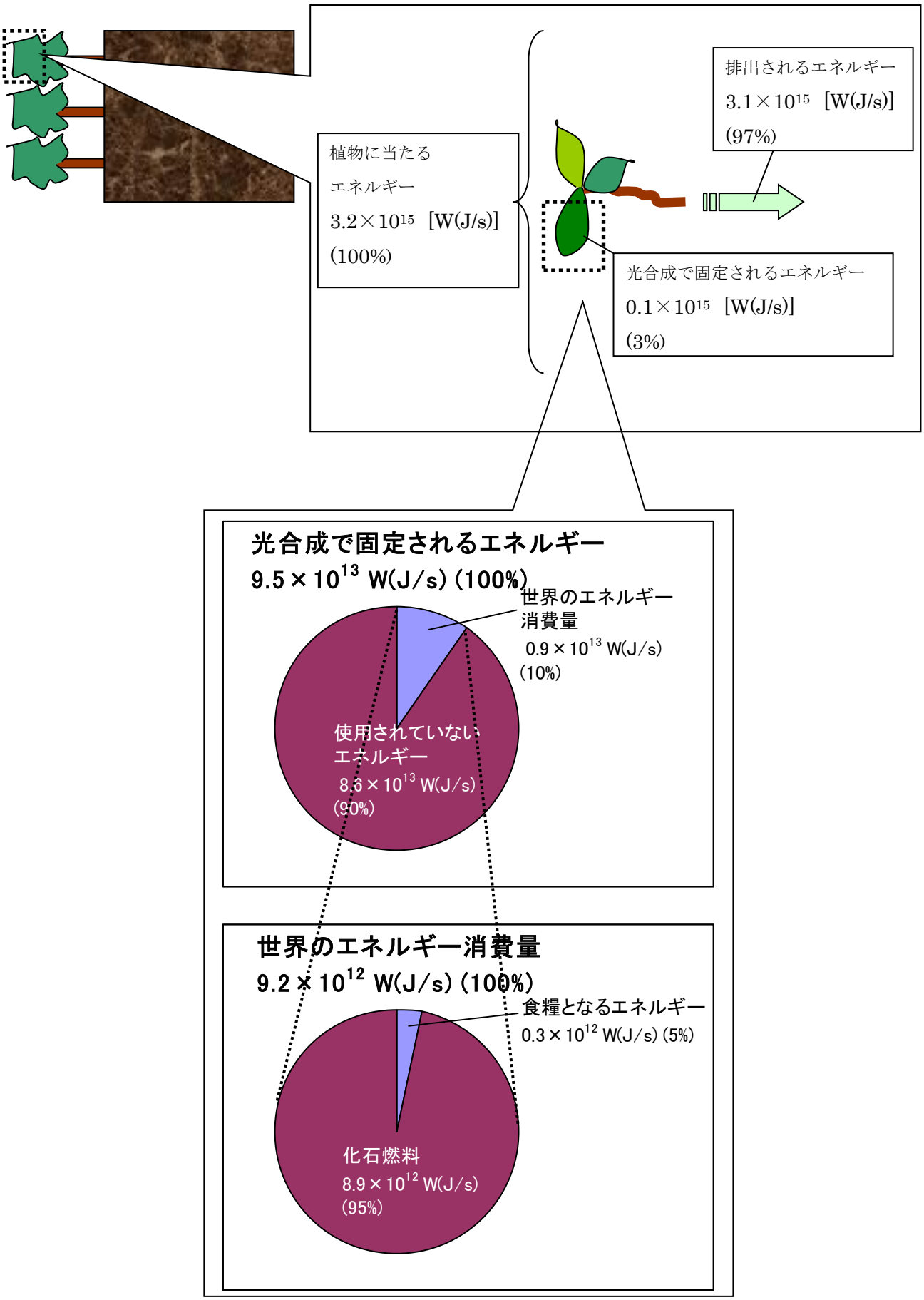


【小論文】（アンケートに追加）
①,②のテーマについて報告を書く。内容は授業全体についてのものであっても 1 又は複数のテーマに関するものであってもよい。目的は「受講者と授業の評価資料」と「将来の本授業履修者への紹介」。

○科学的結果の報告（通常のデータに基づくもの）
①受講者の行動と心（感動、好奇心の高揚、詰まらないという思いなど）の動きや変化について（そのような動きが生じた理由や説明もあればなお良い）
②本実験体験による「人と自然世界との係わりについての考え」の変化（例えば：自然世界ついてのイメージ、自然法則についての信頼性、自分にとっての価値序列、自然界における人類や個人の行動規範（モラル）の変化についてなど）

太陽エネルギーのサイズ




植物に当たる
エネルギー
3.2×10¹⁵ [W(J/s)]
(100%)
排出されるエネルギー
3.1×10¹⁵ [W(J/s)]
(97%)
光合成で固定されるエネルギー
0.1×10¹⁵ [W(J/s)]
(3%)
光合成で固定されるエネルギー
9.5×10¹³ W(J/s) (100%)
世界のエネルギー
消費量
0.9×10¹³ W(J/s)
(10%)
使用されていない
エネルギー
8.6×10¹³ W(J/s)
(90%)
世界のエネルギー消費量
9.2×10¹² W(J/s) (100%)
食糧となるエネルギー
0.3×10¹² W(J/s) (5%)
化石燃料
8.9×10¹² W(J/s)
(95%)