

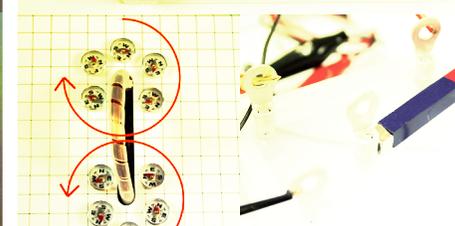
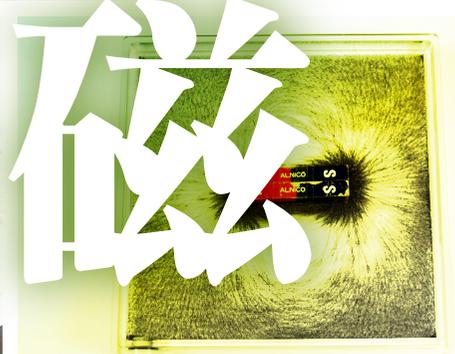
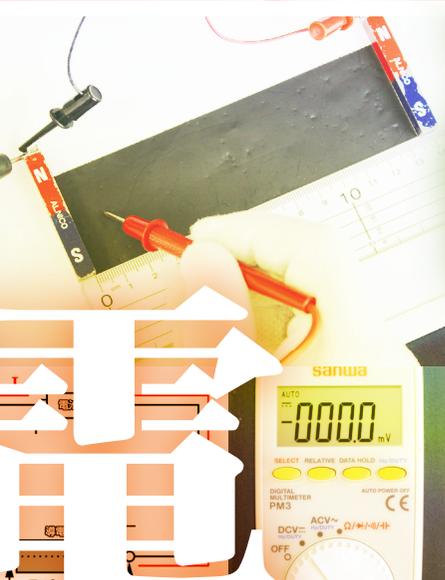
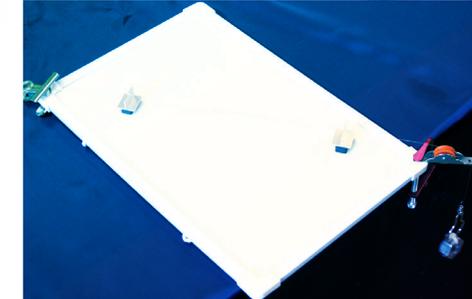
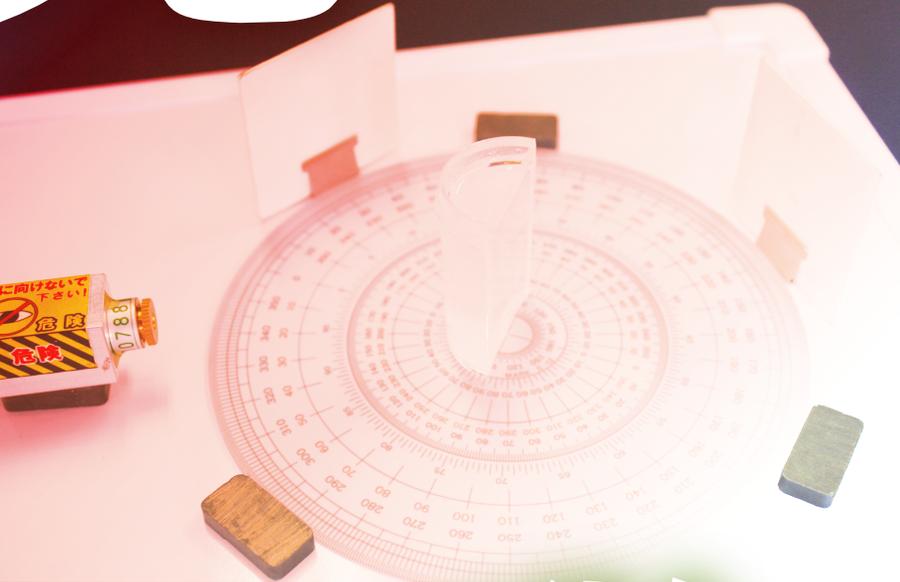
勉強机が“実験室”に早がわり!

特許第4654448号



# パーソナル・デスク・ラボ 実験ガイド

# 光





## はじめに

### 物理実験は面白い！

この楽しさを若者や学生に体験してほしい。これが本教材の開発のねらいです。

どうして虹は7色なのか？ 磁石はどうして北を指すのか？ モータはどうして電流を流すと回転するのか？ 世の中には不思議がいっぱいです。

ガリレオやニュートンをはじめとする多くの科学者たちが今日の科学技術の礎を築いてきました。そして今も新しい分野・新しい課題に科学技術者たちが取り組んでいます。

時代を変える、世界を変える革新的な発見や発明には、苦しい努力はつきものです。

誰もが諦めそうな困難にぶつかるところもあるでしょう。それでも先人たちは、多分、わくわくしながら研究や開発を続けたのではないのでしょうか。それは研究に対する熱い心だけでなく、何よりその根っこにある未知なるものへ挑戦するよろこび、探究心が彼らを魅了し続けたからだと確信しています。

だからこそ理科を、学校の授業だから、受験に必要だからという理由で仕方なしに勉強しては勿体ない。

昨今の教科書は親切丁寧に記述されていますが、のどが渇いていない人に水を飲ませるような、過保護な教育環境も学生の探究心を削いでしまう原因の一つではないのでしょうか。

「これは何故なんだ？」「仕組みはどうなっているの？」と不思議に思うことがあっても、教科書をめくれば答えがすぐに書いてある、先生がすぐに教えてくれる環境では、疑問をもつ大切さ、発見の価値は小さくなってしまいます。

これからの教育は、学生からより多くの疑問とやる気を引き出し、自力で解決する手助けを行うことが重要だと考えています。些細な疑問や問題でも、自分の力で解決する、発見することで格別の味をもたらしてくれるからです。

本教材の原型は、学生ひとりひとりが実体験の感動を味わえる環境を提供したいという思いから千葉大学教育学部の先生方により開発され、特許も取得されています。

「革新的な教育システムの創造」を使命に掲げる弊社もこの信念にいたく共感しました。そこで全国へ普及させるべく千葉大学よりライセンスを受け、発展させたのが「PDL 実験教材」です。

いま日本は東日本大震災で未曾有の苦難に直面しています。震災は甚大な苦痛と悲痛を大変多くの人々に与えました。しかし私たちは決して負けてはいけません。新しい日本を作り上げなければなりません。環境負荷を軽減する技術や資源問題を克服する技術、安全なエネルギー開発に取り組み、新しい道を開かなければなりません。

そのためにも、今の子供たちや若者に科学の本質的な面白さを伝え、探求心を育む教育が必要です。今回、光・電気・磁気・力の4分野を取り上げましたが、今後さらなる内容の充実や分野の拡張を計画しています。この教材を全世界の教育現場で活躍する、価値ある財産に育て上げるのが私の願いです。

株式会社アドウィン 代表取締役

答 島 一 成

## 目次

はじめに .....	001
目次 .....	002
部品紹介 .....	004
本書の使い方 .....	008

## LABORATORY - I 光の実験 009

<b>SECTION 01</b> 光の縞 .....	010
解答のサンプル .....	015
<b>SECTION 02</b> 回り込む光 .....	018
解答のサンプル .....	022
<b>SECTION 03</b> 反射した光の行方 .....	023
解答のサンプル .....	027
<b>SECTION 04</b> 光波の通り道 .....	028
解答のサンプル .....	032
<b>理論・解説</b> 光の干渉と回折① .....	034
光の干渉と回折② .....	036
光とは何か? .....	038
光の干渉とは .....	040
光の反射と屈折 .....	042
光の全反射とは .....	044
偏光とは .....	046
空はなぜ青いのか .....	048

## LABORATORY - II 電場の実験 051

<b>SECTION 01</b> 電気の流れ方 .....	052
解答のサンプル .....	060
<b>SECTION 02</b> 電位分布 - 平行電極 .....	062
解答のサンプル .....	066
<b>SECTION 03</b> 電位分布 - 点電極 .....	067
解答のサンプル .....	070
<b>理論・解説</b> 電気って何? .....	072
電流と電圧と抵抗 .....	074
抵抗の直列・並列 .....	076

理論・解説	電気って何? .....	072
	電流と電圧と抵抗 .....	074
	抵抗の直列・並列 .....	076

## LABORATORY - III 磁場の実験 079

SECTION 01	磁場はめぐる .....	080
	解答のサンプル .....	085
SECTION 02	電流の正体を磁場であばく .....	087
	解答のサンプル .....	091
SECTION 03	電流がつくる磁場 .....	092
	解答のサンプル .....	096
SECTION 04	磁場がつくる電流 .....	097
	解答のサンプル .....	102
付録	目盛付コイル固定台の組み立て .....	103
理論・解説	磁石とは? .....	104
	磁石と磁力 .....	106
	電流がつくる磁界 .....	108
	電流が磁界から受ける力 .....	110
	電磁誘導とは .....	112

## LABORATORY - IV 力学の実験 115

SECTION 01	単振り子と重力加速度 .....	116
	解答のサンプル .....	122
SECTION 02	バネ振り子と重力加速度 .....	124
	解答のサンプル .....	130
SECTION 03	弦の共振 (固有振動) .....	133
	解答のサンプル .....	138
理論・解説	振り子の等時性 .....	140
	振動と共振 .....	142

## 部品紹介

ベースプレート × 1



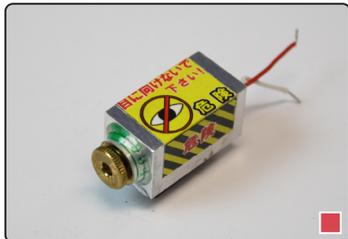
乾電池ボックス (単三型 2本) × 1



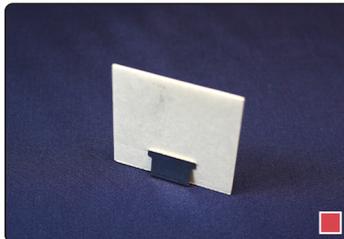
リード線 (赤・黒セット) × 1



半導体レーザー × 1



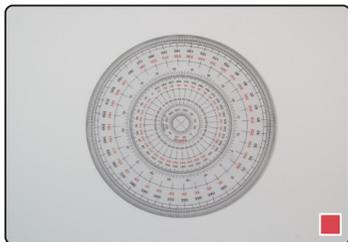
スクリーン × 2



スリット × 1



全円分度器 × 1



フェライト磁石 × 3



回折格子 (CD-R) × 1



プリズムカプセル × 1



偏光子と検光子 × 1



フォトダイオード × 1



デジタルマルチテスター(\*) × 1



導電性ゴムシート × 2



ネオジム磁石 × 2



※部品の色、形状は実物と異なる場合があります。予めご了承ください。

※デジタルマルチテスターは電流計のないタイプが付属しますが、解説の都合上、テキストでは電流計付きのタイプ(黒色のテスター)を使用している箇所があります。予めご了承ください。

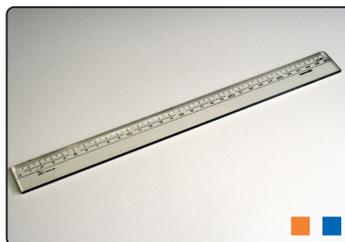
ナット × 2



アルミテープ付き棒磁石 × 2



ものさし × 1



方位磁針 × 10



磁場観察槽 × 1



ゼムクリップ × 5



セロハンテープ × 1



消しゴム × 1



シャープペンの芯 × 1



糸 (細い紐) × 1



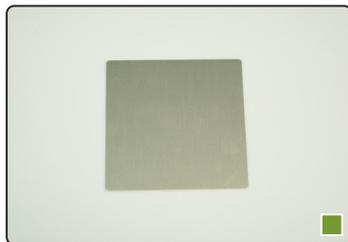
鉄板 × 1



銅板 × 1



アルミ板 × 1



プラスチック板 × 1



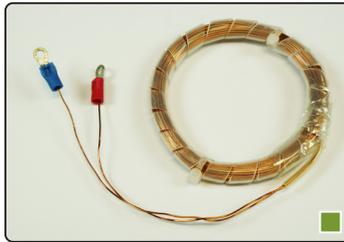
ホール効果観察器 × 1



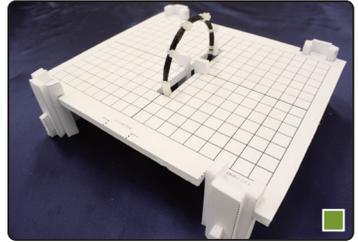
220 Ω抵抗 × 1



コイル (50 巻き) × 1



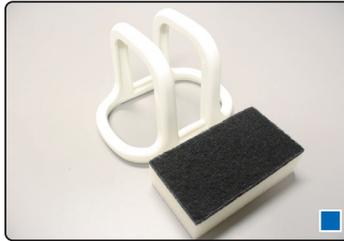
目盛付コイル固定台(\*) × 1



クランプ × 1



スタンド&スポンジ × 1



L 型金具 × 1



金属球 (糸付き) × 1



バネ × 1



電卓 × 1



ストップウォッチ × 1



おもり 1 (ナット: 20g) × 1



おもり 2 (ナット: 40g) × 1



クリップ × 1



弦 1 (直径 0.2mm) × 1



弦 2 (直径 0.6mm) × 1



※目盛付コイル固定台は組み立てが必要な部品です。組み立て方法についてはP.144【付録1】を参照ください。  
※部品の色、形状は実物と異なる場合があります。予めご了承ください。

紙コップ × 1



吊り下げ用リング × 1



駒 × 2



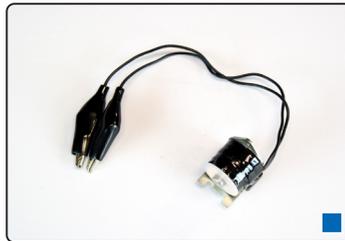
滑車 × 1



発振器 × 1



コイル × 1



乾電池ボックス (単三型 4本) × 1



充電器 × 1



単三型充電電池 × 4



# 本書の使い方

## 実験に使う部品を準備する

実験で使う部品の一覧を確認することができます。部品の名称だけで分からない場合は、表に記している部品に対応したページを参照して確認してください。

## 装置の組み立て方

組み立て時の注意事項や、その実験を進める上での注意事項を記載しています。最終的に出来上がる実験装置の全体図も掲載しているので、参考にしてください。

## 実験の手順と課題

実験の手順を記載しています。より円滑に実験を行ううえでの助言なども併せて掲載しています。ヒントを頼りに実験を行ってみてください。

## ■ 解答のサンプル

筆者が実験を行い、導き出した結果をまとめたものです。あくまで解答のサンプルなので、これが絶対的に正しいというわけではありません。一応の参考として頂ければと思います。

## ■ ちょっと寄り道

各実験で起こった現象について、ちょっとだけ踏み込んだ説明がしてあります。ここで説明している内容はあくまで実験結果の補足に過ぎないので、更に詳しく起こった現象について知りたい場合は「理論・解説」のページを参照してください。

## 手順のタイトル

各 SECTION で進めていく手順です。装置の組み立て方から実験の手順と課題まで 01 連番が付いています。

## 3種類の注釈



## NOTES

各手順に突出した補足事項を掲載しています。実験を行う上で起こりうる危険についても掲載しています。



## SUBJECT

本書とは別紙の、実験シートに解答を書き込む際、どこへ記述すればいいのかが記載されています。



## HINT

実験を円滑に行うための助言を記載しています。実験に行き詰りそうな場合に読んでみて下さい。

## 写真・イラスト・表

実験中の写真やイラスト等を掲載しています。装置の組み立て方や、実験方法に迷った際の足がかりとして下さい。

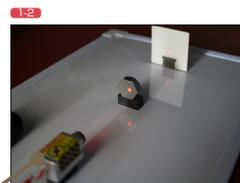
## SECTION 01 実験で体験する物理 光の影

### 装置の組み立て方

01 まずは実験の土台となるベースプレートを手平な場所に置きます。その上に、マグネット付き電池ボックスと半導体レーザーを設置し、端子同士を **図1-1** のようにリード線で繋いでください。次に、半導体レーザーとスリットを適当な位置へ配置し、その直線上にスクリーンを配置してください **図1-2**。スリットの高さは、隙間にレーザー光が通るようにフェライト磁石で高さ調節をしてください。

### NOTES

リード線の繋がった状態で、電池ボックスに充電池単三電池を二本設置すると、半導体レーザーから光が出る状態となります。この光が目に入ると、**網膜が損傷するなどの危険**があります。準備段階、実験問わず細心の注意を払ってください。



02 光の実験では、半導体レーザーから出た光が、スリットなどを通しスクリーンにどのような像が映るかを検証するものです。実験する室内が明るい状態だと結果を観察しにくい場合があるので、可能であれば部屋を暗くして実験を行ってください。難しい場合は、スクリーン付近に両手を添えるなどして、暗い環境を創ることでほぼ同様の効果を得ることが出来ます **図1-3**。



01  
02  
03  
04  
05  
06  
07  
08  
09  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100

# LABORATORY - I

## ■ 光の実験

空に輝く**太陽の光**は、色で例えると**白く**見えます。実はこれ、**無数の色の集合体**なんです。例えば、いろんな色の絵の具を混ぜると黒になりますが、光は**合わせると白**になりますよね。

物体には色があります。赤いリンゴ、これはリンゴが赤いのではなく、リンゴが**赤い色を反射**して私達の目に届いているのです。光はなにも目に見えるものばかりではありません。赤外線、紫外線は**肉眼で見ることでできない光**の一種です。

**見える見えない**は、全て**光の波長**によって決められています。さらに波長によって速度も変わってきます。赤は波長が長く速度は遅い、紫は波長が短く速度は速いのです。

雨上がりの空に架かる**虹**も、この**光の仕業**です。無数の色を持つ太陽光が、七色に分かれたものが虹です（文化により色数は異なります）。虹が複数の色に分かれて見えるのは色、つまり波長ごとに、こうした違いがあるからです。

光はまだ**多くの性質**を持っています。ここでは光がもたらす性質の一部を、実験を通して体験してみましょう。

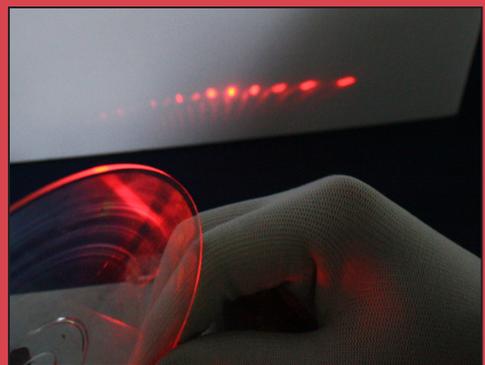
## SECTION

01 光の縞

02 回り込む光

03 反射した光の行方

04 光波の通り道



## SECTION

## 01

# 実験で体験する物理

## 光の縞

光の実験で最初に扱うこの実験では、光の性質が見せる「光の縞」を観察します。光の性質について何も知らない人でも大丈夫です。注意事項をしっかりと守り、その目で不思議な現象を見てみましょう。手順としては、まず実験を行う装置を組み立てます。各実験手順に従い、分からないなりにある程度の予測をつけながら実験を進めていきます。その後で、解答のサンプルを見て、自分の出した結果と比べてみましょう。そこから生まれた疑問点は、理論・解説編で詳しく説明していきます。

### 実験に使う部品を準備する

名称	個数	備考	写真
ベースプレート	× 1	(共通)	P004
電池ボックス	× 1	(共通) 充電式単三電池含む	P004
リード線	× 1	(共通)	P004
半導体レーザー	× 1	(共通)	P004
スクリーン	× 1	(共通)	P004
スリット	× 1		P004
フェライト磁石	× 1	スリットの高さ調節に利用	P004



### NOTES

備考に(共通)と記述されているものは「LABORATORY I 光の実験」に共通して使用する部品です。部品の写真は、表に記載された各ページを参照してください。

## 装置の組み立て方

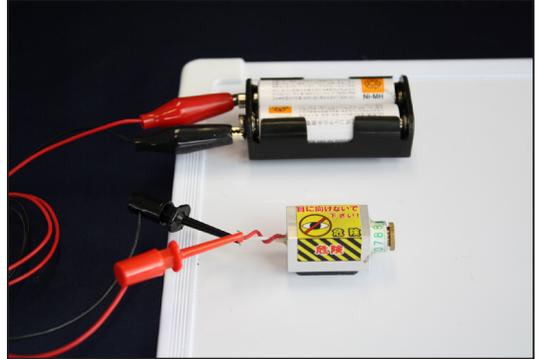
**01** まずは実験の土台となるベースプレートを手平な場所に置きます。その上に、マグネット付き電池ボックスと半導体レーザーを設置し、端子同士を **1-1** のようにリード線で繋いでください。次に、半導体レーザーとスリットを適当な位置へ配置し、その直線上にスクリーンを配置してください **1-2**。スリットの高さは、隙間にレーザー光が通るようにフェライト磁石で高さ調節をしてください。



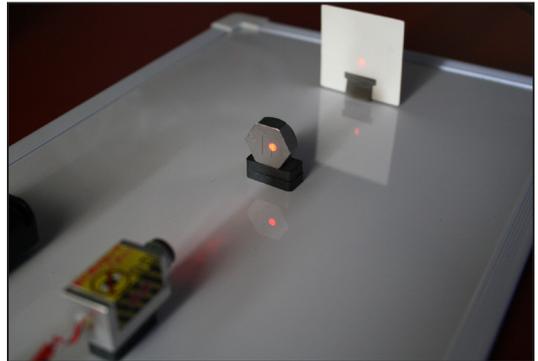
## NOTES

リード線の繋がった状態で、電池ボックスに充電式単三電池を二本設置すると、半導体レーザーから光が出る状態となります。この光が目に入ると、**網膜が損傷するなどの危険**があります。準備段階、実験問わず、光が目に入らないよう細心の注意を払ってください。

1-1

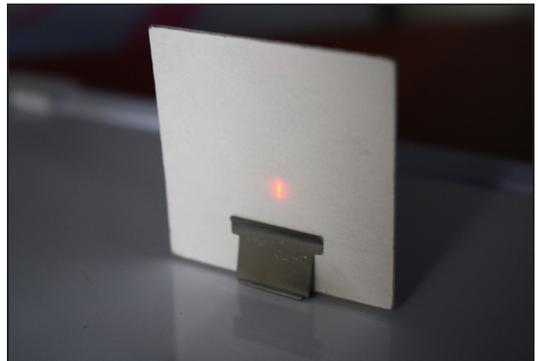


1-2



**02** 光の実験では、半導体レーザーから出た光が、スリットなどを通しスクリーンにどのような像が映るかを検証するものです。実験する室内が明るい結果を観察しにくい場合があるので、可能であれば部屋を暗くして実験を行ってください。難しい場合は、スクリーン付近に両手を添えるなどして、暗い環境を作ることではほぼ同様の効果を得ることが出来ます **2-1**。

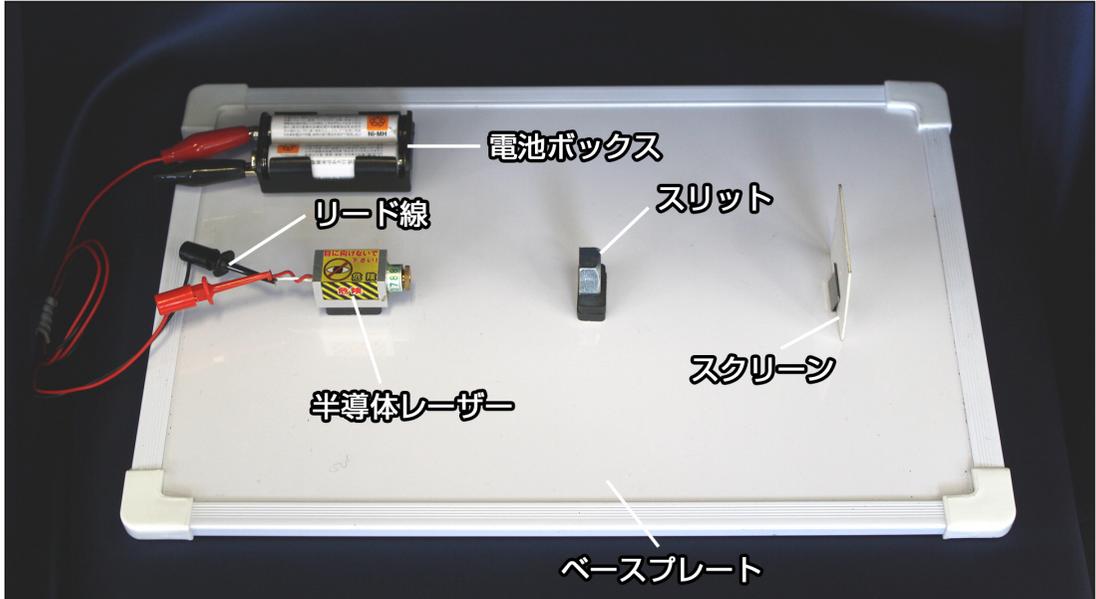
2-1



03

01、02の注意点を踏まえて、3-1を参考に実験装置を組み立ててください（実際の部品とは異なる場合があります）。

3-1

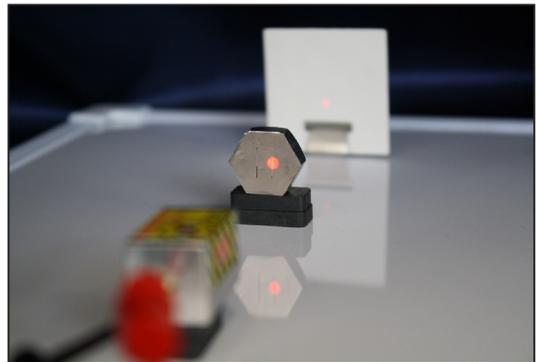


### 実験の手順と課題

04

最初は細いスリットを使った実験を行ってみましょう。半導体レーザーから出た光が、スリットの細い穴を通過するように、スリットの位置をずらしてください4-1。スリットの幅とスクリーンに映った幅（像幅）は、どちらが大きいですか？

4-1



#### SUBJECT

実験シート「光の実験 1-1」に観察結果を記入してください。

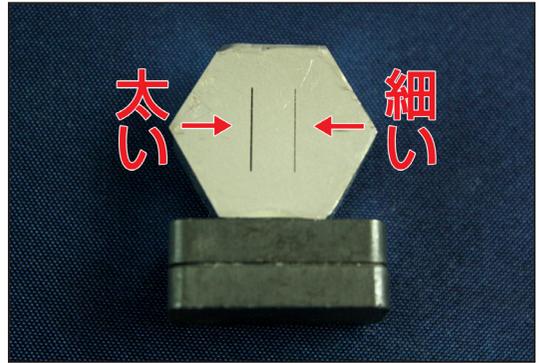
**05** スリットがない場合とある場合のスクリーン上の像を比較し、実験シートにスケッチしてみましよう。スリットがある場合を検証する際は、細い隙間の方を使用してください **5-1**。正確な実験結果を得るために、スクリーン上の光がよく見えるよう周囲を暗くしてみてください。



### SUBJECT

実験シート「光の実験 1-2」に観察結果をスケッチしてください。

**5-1**



**06** 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。どのような違いが見られるでしょうか。



### SUBJECT

実験シート「光の実験 1-3」に観察結果をスケッチしてください。

光は波だということが分かったのでしょうか。回折、干渉の意味を理解したうえで、07～09のような実験を行うとどうなるか自分なりに仮説を立てて、検証してみましょう。また気になったことがあれば、独自に検証してみても面白いでしょう。

**07** スクリーンの位置をスリットに近づけた場合像はどのように変化するでしょうか **7-1**。



### HINT

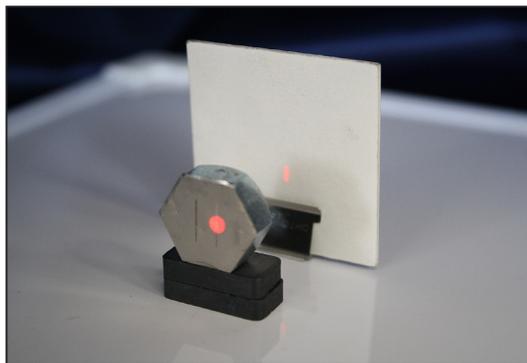
光がスリットの間を抜けた後、波は広がりはじめたばかりの状態ですクリーンに当たることになりませんか？



### SUBJECT

実験シート「光の実験 1-4」に観察結果を記入してください。

**7-1**



**08** スリットをベースプレートから取り除き、スリットの代わりにワイヤを通して、レーザー光をスクリーンへ映し出した場合、像はどのように映るでしょうか。結果を予想したうえで、実験してみましょう。

**8-1**



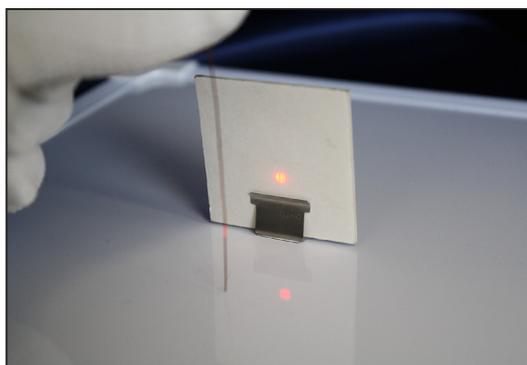
### NOTES

ワイヤを固定する際は、フェライト磁石などで固定してください **8-1**。



### SUBJECT

実験シート「光の実験 1-5」に観察結果をスケッチしてください。

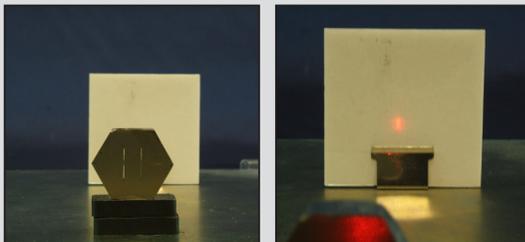


## ■ 解答のサンプル

04 実験シート  
光の実験 1-1

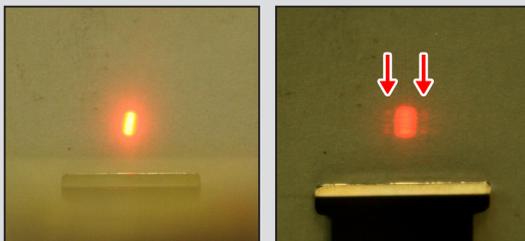
スリットの細い方の幅と、スクリーンに映った像幅の大きさを比べる実験です。スリットに開いた細い幅に比べて、スクリーンに映し出されたものは、大きくなっていますね ①。

①

05 実験シート  
光の実験 1-2

スリットがない場合と、ある場合のスクリーン上の像を比較する実験です。スリットがない場合、レーザー光はぼやけた光となってスクリーンへ映し出されます。一方、スリットの間を通った光は、一番強い光が中央にあり、その左右に、薄い光が見えています ②。

②

06 実験シート  
光の実験 1-3

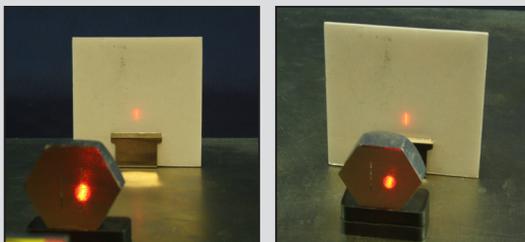
スリット幅が太い場合と細い場合を比較する実験です。太い隙間を通った光は、一番強い光の部分を中心に、薄い光が周囲に漏れています。細い隙間を通ったものは、⑤と同じ結果ですね ③。

③

07 実験シート  
光の実験 1-4

スクリーンの位置をスリットに近づけた場合の、像の大きさの変化を検証します。スクリーンを近づけた場合、離れていた場合と比べて光の幅が細くなっているのが分かります ④。

④

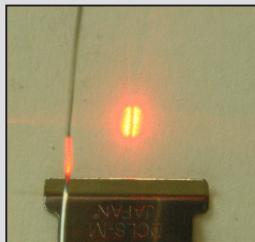
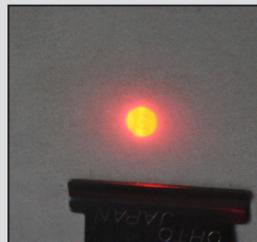


## 08 実験シート 光の実験 1-5

ワイヤを通してレーザー光をスクリーンへ映し出した場合の像を検証します。スリットを通した光はその後広がりを見せましたが、ワイヤで光を遮った場合は当たる面積が小さすぎるため、映る光はそのままワイヤの影が落ちる形となります **5**。

ただし、ワイヤの直径が  $0.1 \sim 0.2\text{mm}$  ぐらい細くなると干渉が起き、縞が見えるようになります。 **6** (毛髪などでも可)

※ LABORATORY-IV 力学の実験の SECTION 03 で使用する直径  $0.6\text{mm}$  と  $0.2\text{mm}$  のワイヤを使用して試してみてください。

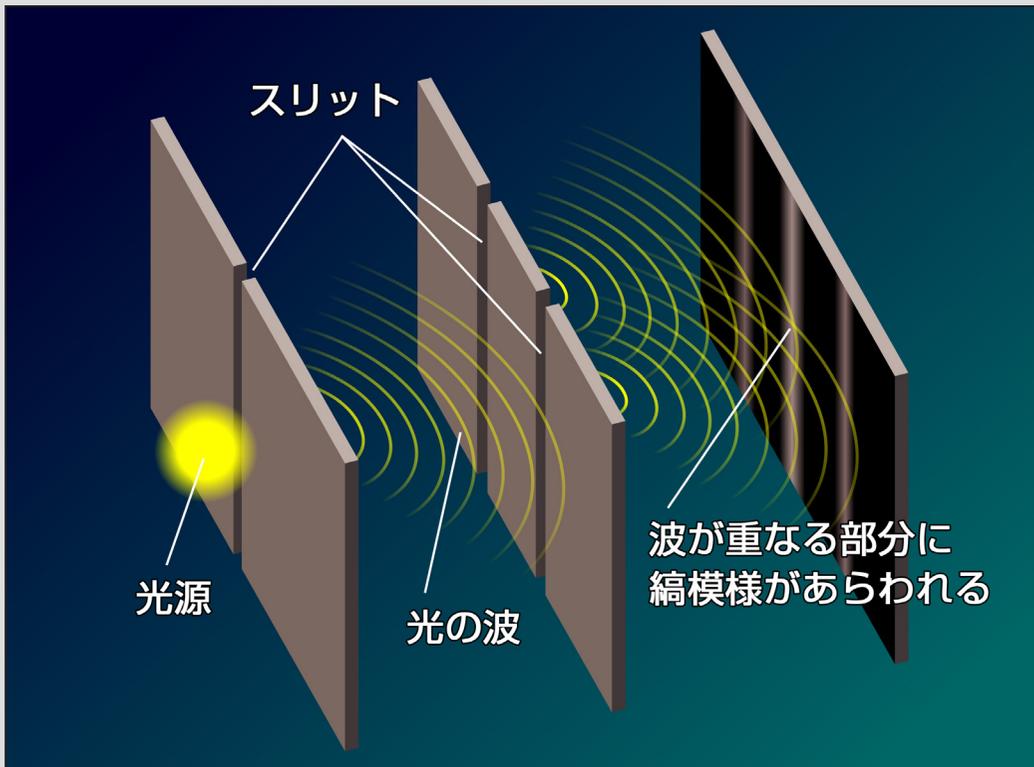
**5****6**

## ■ ちょっと寄り道

### スクリーンに映る光の干渉

**SEC 01** では、スリットの穴を通してスクリーン上に映る像を観察しましたが、その時に見た光の縞模様はどのようにして現れたのか考えてみましょう。光源から出た光の波は山を成して広がりを見せます。二つのスリット（隙間）を抜ける場合、光の波はその先で互いに重なり合い光の強さを増します。二つ以上の同じ種類の波が重なり、互いに強め合ったり弱め合ったりする現象、つまりこれが干渉です。こうして波が強まった部分が、スクリーンへ干渉縞として映し出されるわけです。よって一番強い干渉縞の周りには、縞の明るさに比べてやや薄暗く見えるのです **1**。

**1**



## SECTION

## 02

# 実験で体験する物理 回り込む光

光が見せる筋、どうだったでしょうか。理屈はわかって、なぜ光ってそんな性質をもってるんだろうと考えてしまうかもしれません。しかしこれはあくまで性質です。現段階ではそういうものだとしか言えません。それでも、疑問に思ったことに対し追求していくことこそが、この分野の真骨頂だと思います。その気持ちを忘れずに次の実験へ取り掛かりましょう。

光は反射もするし、屈折もする。それは多くの人が知っている事実だと思います。この実験では、そのどちらでもない「回り込む光」の正体に迫ります。

## 実験に使う部品を準備する

名称	個数	備考	写真
ベースプレート	× 1	(共通)	P004
電池ボックス	× 1	(共通) 充電式単三電池含む	P004
リード線	× 1	(共通)	P004
半導体レーザー	× 1	(共通)	P004
スクリーン	× 2	(共通)	P004
全円分度器	× 1	SEC 02、SEC 03 で共通	P004
フェライト磁石	× 3	SEC 02、SEC 03 で共通	P004
回折格子	× 1	CD-R で代用	P004
クランプ	× 1		P006
L型金具	× 1		P006

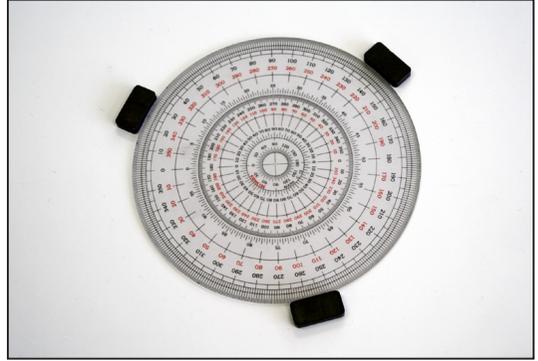


### NOTES

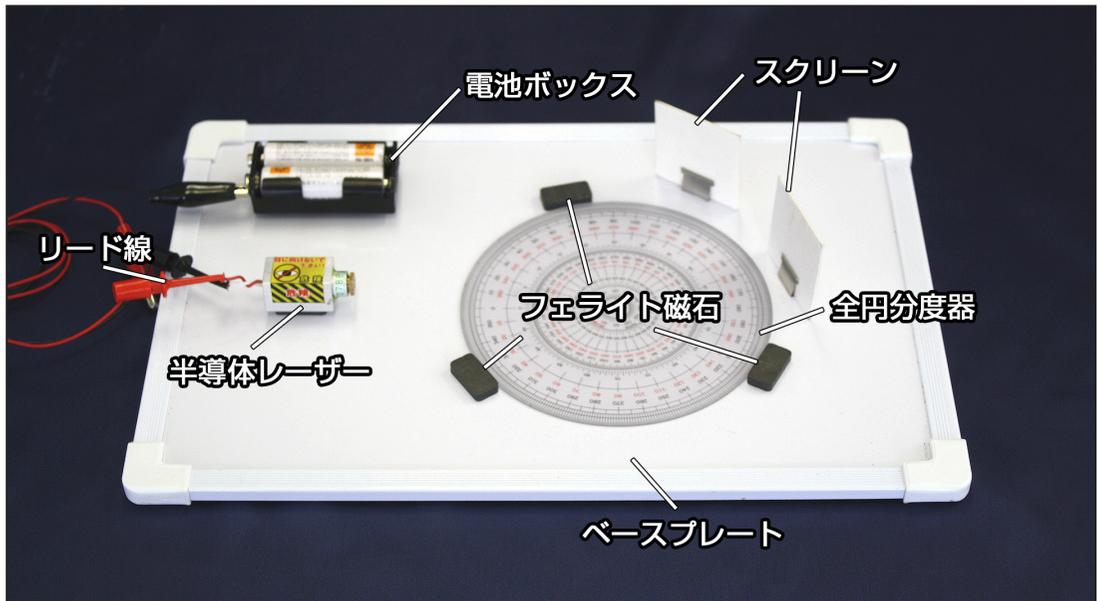
備考に (共通) と記述されているものは「LABORATORY I 光の実験」に共通して使用する部品です。部品の写真は、表に記載された各ページを参照してください。

## 装置の組み立て方

**01** この実験では回折格子と呼ばれるものを使いますが、ここではCD-Rで代用します。回折格子に反射した光の角度を測るために、全円分度器を使用します。動かないようフェライト磁石で挟み、しっかり固定してください **1-1**。

**1-1**

**02** **01**の注意点を踏まえて、**2-1**を参考に実験装置を組み立ててください（実際の部品とは異なる場合があります）。スクリーンの位置は任意に動かしてください。

**2-1**

## 実験の手順と課題

**03** 回折格子を使って反射させた光には、反射光のほかに回折光が観察できます。全円分度器の中央に回折格子（CD-R）を設置し、レーザー光をスクリーンに当てて観察します **3-1**。その様子をスケッチしてみましょう。

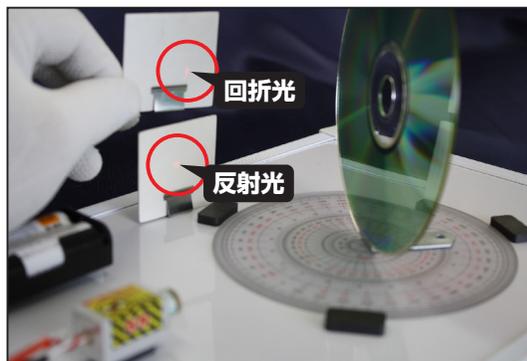
回折格子を自立させるには L 型金具とクランプを使います。クランプで回折格子と L 型金具をはさむようにしてしっかりと留めましょう **3-2**。



## SUBJECT

実験シート「光の実験 2-1」に観察結果をスケッチしてください。

3-1



3-2



**04** レーザー光の入射角を  $45^\circ$  で観察した場合、反射光と回折光の角度は何度になりますか？



## SUBJECT

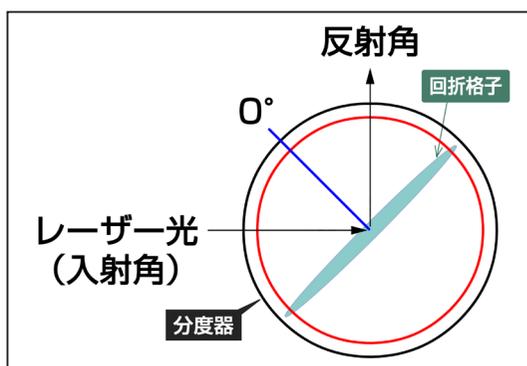
実験シート「光の実験 2-2」に観察結果を記入してください。



## NOTES

全円分度器の扱い方について説明します。 $0^\circ$  の位置の決め方は、入射角と反射角のちょうど真ん中になります。測定したい入射角が、レーザー光と重なるよう全円分度器を回転させてください。基準とした任意の角度から左右どちらの角度が測りたいかによって、赤と黒の数値を読み分けます。例えば反射角を測りたい場合、 $0^\circ$  から右側に大きくなっている数値を読み取ればよいでしょう **4-1**。

4-1



## ■ ちょっと寄り道

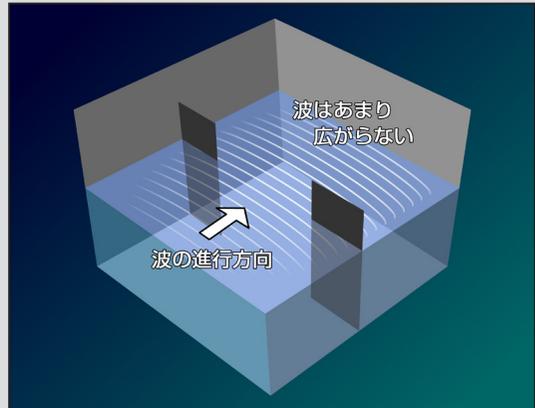
### 広がらない波と広がる波

SEC 02 では、回折という現象が出てきました。回折とは、波が狭い隙間を通った後や、ちいさな障害物にぶつかった後に、波が回り込んで広がっていく現象のことを言います。

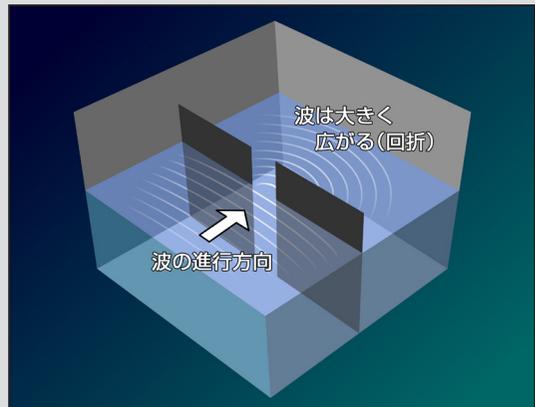
水槽に水を溜め、その中央に隙間の開いた仕切りを置いたと仮定しましょう。隙間の多い水槽で波を起こした場合、仕切りをまたいだところでさほど波に変化はありません①。しかし、隙間が狭いと、仕切りを越えた先で波が広がっていきます②。光の回折も、これと同じ原理だと考えてよいでしょう。

今回の実験で使用した CD-R の表面には、ちいさな凹凸が沢山あります。その凹凸に光が反射し、回折が起こるのです。この話についての詳しい説明は「理論・解説」のページをご覧ください。

①



②



■ 解答のサンプル

03 実験シート  
光の実験 2-1

回折光を観察します。波である光は、回折格子を通して反射光とは違った角度に映っているのがわかります ①。

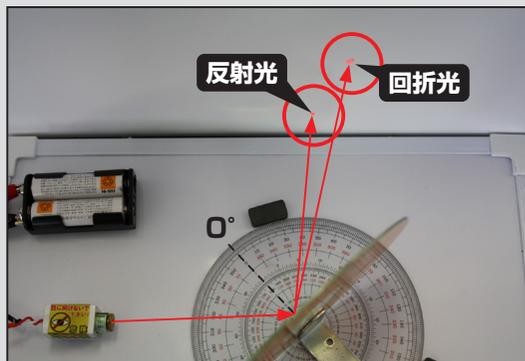
①



04 実験シート  
光の実験 2-2

実験結果は、反射光が「 $45^\circ$ 」となりました。また 03 で観察した回折光を、入射角を  $45^\circ$  で検証すると「約  $70^\circ$ 」になります。回折格子の置いた角度によって、多少のずれは生じますので、近似値かどうかで判断してください ②。

②



# 実験で体験する物理

## 反射した光の行方

光の反射についてはみなさん比較的なじみ深いかと思います。反射しやすいものや、しにくいもの色々あると日常生活の中で私たちはごく自然な形でそれを知っているわけですが、ここではもう少し踏み込んで、確かな角度のもとに、その反射角度を検証してみましょう。角度を少しずつ変えていくと、ここでも光は不思議な現象を見せてくれます。それではさっそく、実験に取り掛かりましょう。

### 実験に使う部品を準備する

名 称	個数	備 考	写 真
ベースプレート	× 1	(共通)	P004
電池ボックス	× 1	(共通) 充電式単三電池含む	P004
リード線	× 1	(共通)	P004
半導体レーザー	× 1	(共通)	P004
スクリーン	× 2	(共通)	P004
全円分度器	× 1	SEC 02、SEC 03 で共通	P004
フェライト磁石	× 3	SEC 02、SEC 03 で共通	P004
プリズムカプセル	× 1	容器の中に水を入れる	P004



#### NOTES

備考に（共通）と記述されているものは「LABORATORY I 光の実験」に共通して使用する部品です。部品の写真は、表に記載された各ページを参照してください。

## 装置の組み立て方

**01** この実験では、回折格子に代わってプリズムカプセルを使用します。プリズムにはあらかじめ水をいれておきましょう。石鹼などを少し混ぜると、水が白く濁って光の道筋が見えやすくなります

**1-1**。ただし入れすぎるとぼやけてしまうので注意してください。

※インスタントコーヒーや牛乳でも可

※液もれの原因となりますので、プリズムに接着してある透明シートには、強い衝撃などダメージを与えないよう注意してください。

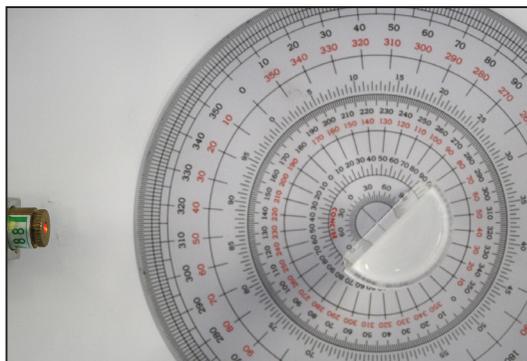
1-1



**02** 装置の基本的な構造は、**SEC 02** とほぼ同じ形です。全円分度器の中心と、プリズムカプセル反射面の中心が一致するように設置してください

2-1

2-1



### NOTES

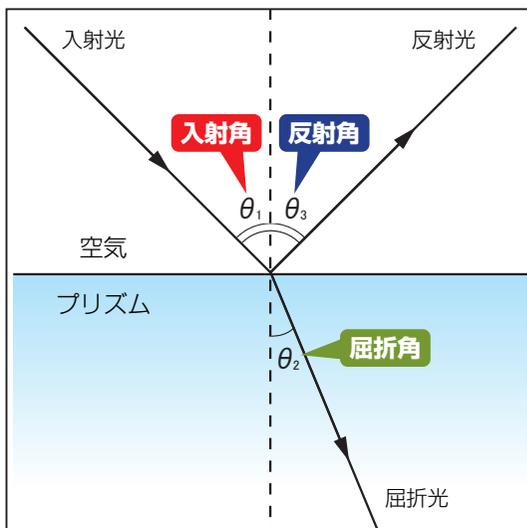
全円分度器の中心に、プリズムカプセル反射面の中心を  $45^\circ$  の角度で合わせて置いてください。すると実験したい入射角に合わせて全円分度器を回転させれば、上に乗ったカプセルも一緒に回り測定しやすくなります。例えば、入射角  $30^\circ$  で実験したい場合は、そのまま半導体レーザーの光が入る角度を  $30^\circ$  になるように全円分度器を回してください。



### NOTES

レーザー光がプリズムの境界面へ斜めに入射するとき、境界面で折れ曲がって進む現象を確認できます。この現象を光の屈折といいます。また光が当たった点を原点として、境界面に対し垂直に引いた線と屈折光とが作る角度を屈折角といいます **2-2**。角度の求め方に注意しましょう。

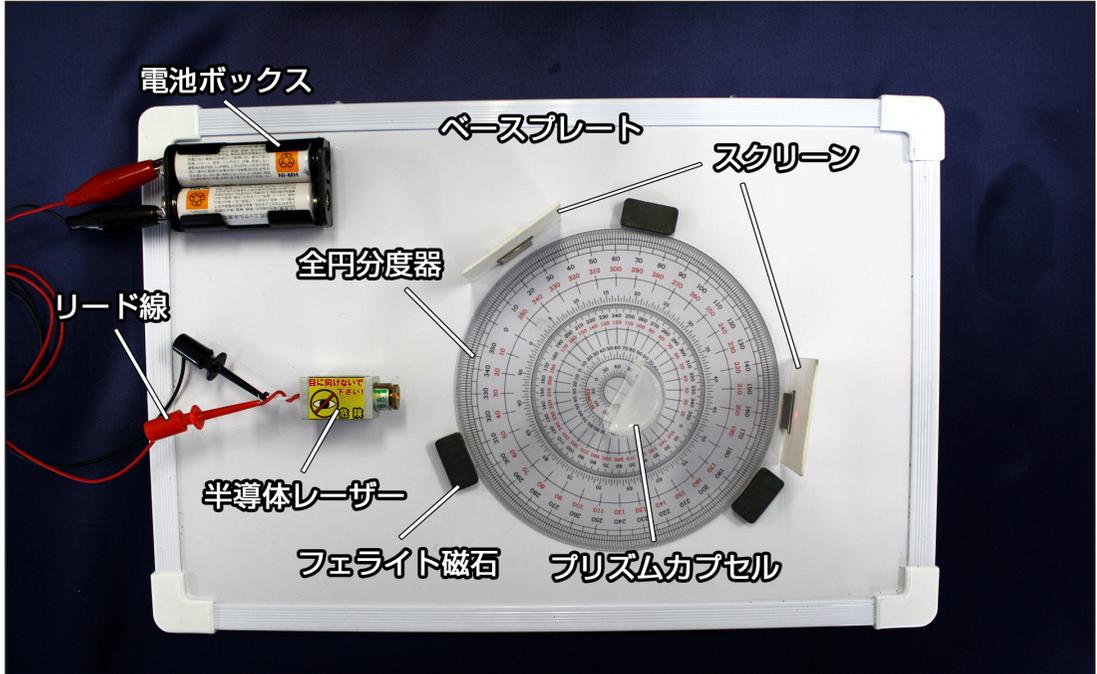
2-2



03

01、02の注意点を踏まえて、3-1を参考に実験装置を組み立ててください（実際の部品とは異なる場合があります）。

3-1



### 実験の手順と課題

04

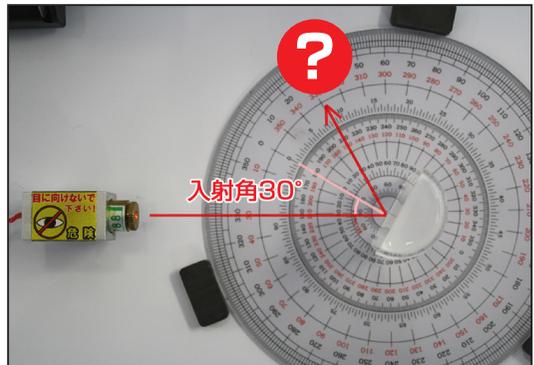
入射角を  $30^\circ$  にした時、反射角と屈折角は何度になりますか？ 4-1



#### SUBJECT

実験シート「光の実験 3-1」に観察結果を記入してください。

4-1



**05** 入射角を徐々に大きくすると、反射光と屈折光はどうなりますか？



**SUBJECT**

実験シート「光の実験 3-2」に観察結果を記入してください。

I 光の実験

**06** 今度は、プリズムカプセルを逆向き、つまり曲がっている面が最初に当たるように置いてみましょう **6-1**。入射角を  $30^\circ$  にした時、反射角と屈折角は何度になるでしょうか。

**6-1**

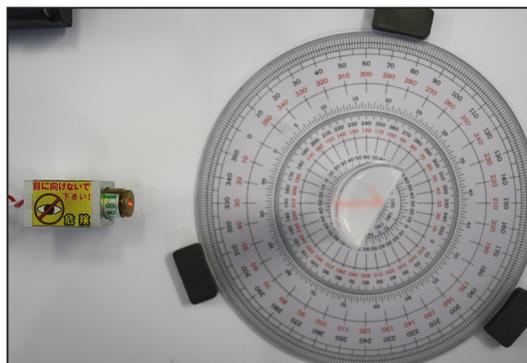


**SUBJECT**

実験シート「光の実験 3-3」に観察結果を記入してください。

II 電場の実験

III 磁場の実験



**07** **06**と同じくプリズムカプセルを逆向きにした状態で入射角を徐々に大きくすると、ある角度で屈折光がなくなります。その角度を求めてみましょう。

**7-1**



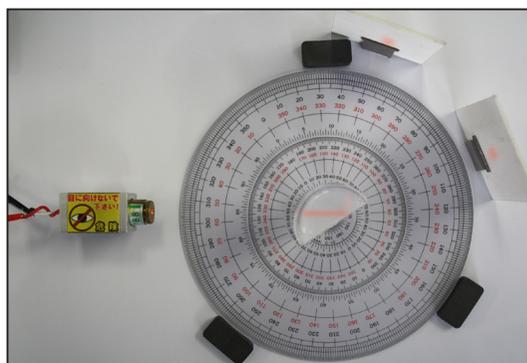
**SUBJECT**

実験シート「光の実験 3-4」に観察結果を記入してください。



**NOTES**

この実験では、プリズムカプセルの平らな面が、全円分度器の中心に来よう設置すると、観察しやすいと思います **7-1**。

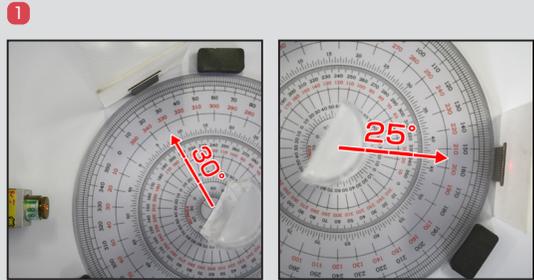


IV 力学の実験

## ■ 解答のサンプル

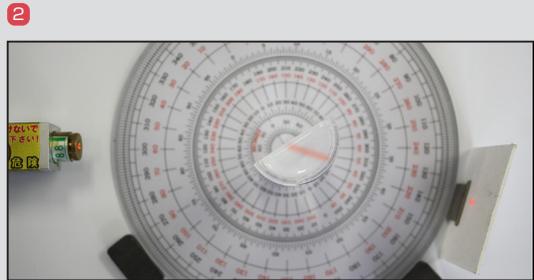
### 04 実験シート 光の実験 3-1

入射角を  $30^\circ$  にした時の、反射角と屈折角を求める問題です。全円分度器を読み取ると、反射角が「 $30^\circ$ 」、屈折角が「 $155^\circ$ 」となります **1**。若干の誤差は許容範囲ですので、近似値で判断してください。



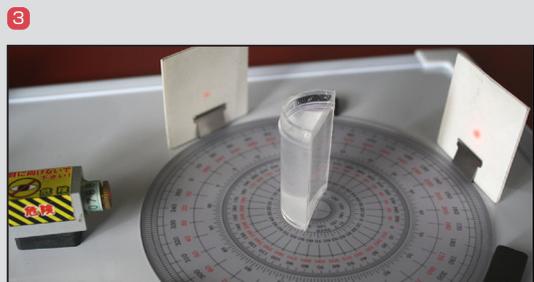
### 05 実験シート 光の実験 3-2

**04**の状態から、入射角を徐々に大きくしたときの、反射光と屈折光を観察します。反射光は入射角に比例して大きくなりますが、屈折角は入射角  $30^\circ$  の場合  $155^\circ$  で、倍の  $60^\circ$  の場合は  $135^\circ$  とちいさくなっていることがわかります **2**。



### 06 実験シート 光の実験 3-3

プリズムカプセルを逆向きに置いて、入射角を  $30^\circ$  にした時の、反射角と屈折角を求める問題です。反射角が「 $30^\circ$ 」、屈折角が「 $140^\circ$ 」となります **3**。若干の誤差は許容範囲ですので、近似値で判断してください。



### 07 実験シート 光の実験 3-4

入射角がある角度になると屈折光がなくなります。その角度を求める問題です。その角度は理論的には「 $48.6^\circ$ 」となります。実際には光の当たる角度などで誤差がでることがあるので、近似値を測定してください。これは光の全反射という現象が起こっている状態です **4**。



## SECTION

## 04

# 実験で体験する物理

## 光波の通り道

光が波であることはわかったと思います。しかし、その波はいったいどのように進んでいるのでしょうか。立体的に捉えたとして、X軸だけに進むのか、Y軸も同時に進むのか、全体に広がっているのか。もし進む道がいくつも分かれているなら、片方だけ塞いでやると光はどういった変化を見せるのか。この実験では「光波の通り道」について、詳しく検証していきます。

### 実験に使う部品を準備する

名称	個数	備考	詳細
ベースプレート	× 1	(共通)	P004
電池ボックス	× 1	(共通) 充電式単三電池含む	P004
リード線	× 1	(共通)	P004
半導体レーザー	× 1	(共通)	P004
スクリーン	× 2	(共通)	P004
フェライト磁石	× 3	(共通)	P004
偏光子と検光子	× 1	筒が偏光子、蓋が検光子	P004
フォトダイオード	× 1		P004
L型金具	× 1		P006
クリップ	× 1		P006



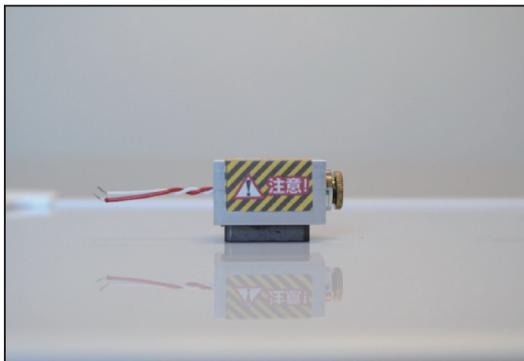
#### NOTES

備考に(共通)と記述されているものは「LABORATORY I 光の実験」に共通して使用する部品です。部品の写真は、表に記載された各ページを参照してください。

## 装置の組み立て方

- 01 フェライト磁石付き半導体レーザーの下に1個敷いて、高さを調節してください 1-1。

1-1



- 02 今回の実験では検光子（蓋）を回転させて、見え方の違いを観察します。そのため、検光子には  $10^\circ$  刻みで計 36 本の目盛がひいてあります 2-1。検光子（蓋）の目盛上にある▽と、偏光子（筒）の△が重なる点が  $0^\circ$  となります。

※偏光子と検光子に貼り付けてある偏向シート（黒色のフィルム）は非常にデリケートですので、指や鋭利なもので触れないよう注意してください。

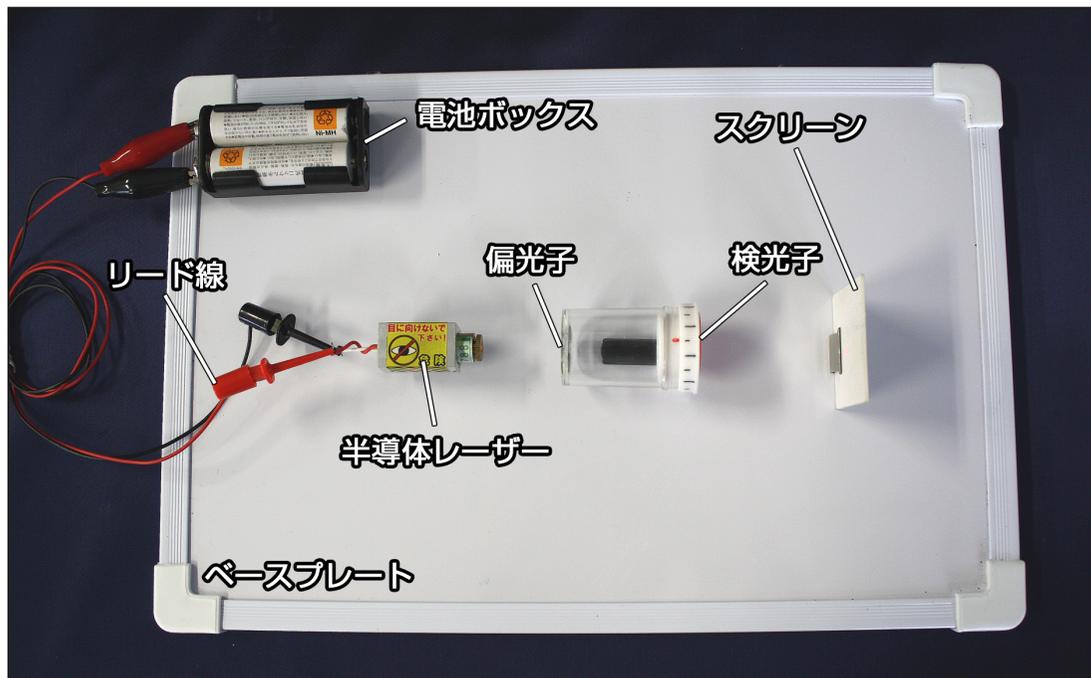
2-1



03

01、02の注意点を踏まえて、3-1を参考に実験装置を組み立ててください（実際の部品とは異なる場合があります）。

3-1



### 実験の手順と課題

04

検光子を回転させ、スクリーン上の像が最も暗くなる角度を探します。その位置を $0^\circ$ としましょう。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 4-1。像が最も明るくなる角度は何度ですか？

4-1



#### SUBJECT

実験シート「光の実験 4-1」に観察結果をスケッチしてください。

**05** 像が最も暗くなる角度は、初めに決めた $0^\circ$ のほかに何度がありますか？



### SUBJECT

実験シート「光の実験 4-2」に観察結果を記入してください。



### NOTES

**5-1** のように、検光子から偏光子にかけて $0^\circ$ の位置を赤線で記しておくとし、すぐに最も暗い場所に戻すことができます。

**5-1**



**06** **04**と**05**を踏まえて、像の明るさ（光の強度）と検光子の角度との関係をグラフを書き、線を結んでみましょう。中間の角度の明るさは、実際に回転させた時の感覚で予想してみてください。



### SUBJECT

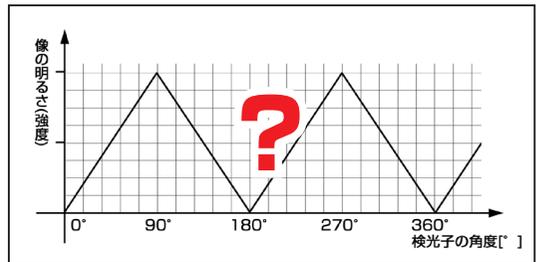
実験シート「光の実験 4-3」に観察結果を記入してください。

感覚だけではグラフ作成は難しいかも知れませんが**6-1**。光の強度を数値化できればいいのですが…。そんな時、「フォトダイオード（光センサ）」という部品を使えば、光の強度を電圧値として数値化できます。電圧を計測するには「テスター」を使用します。電圧、テスターの使い方は「LABORATORY- II 電場の実験」編の**SECTION 01**で学びます。興味のある方は実験してみましょう。

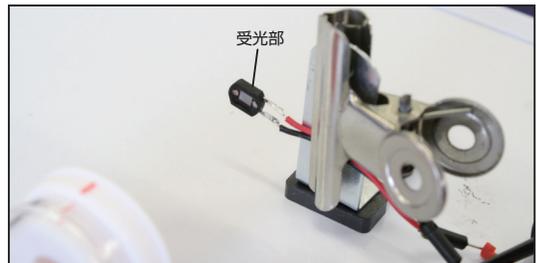
[装置の組み立て方]

実験装置**3-1**のスクリーンを外してフォトダイオードを設置します。L型金具をフェライト磁石を使ってベースプレートに留め、レーザー光がフォトダイオードの中心に当たるようにダイオードのリード線をクリップでL型金具に留めます**6-1**。次にフォトダイオードのリード線をテスターにつないで電圧を計測しながら検光子を回転させ、光の強度変化と電圧の関係を「光の実験 4-3」のグラフに記入しましょう。

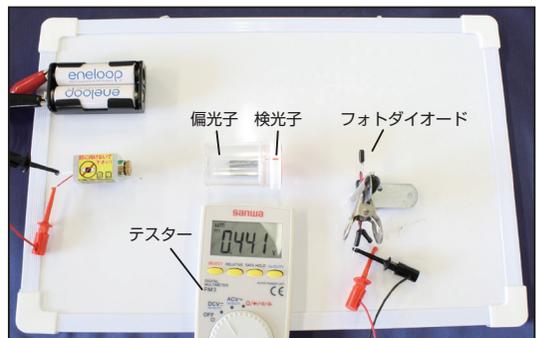
**6-1**



**6-1**



**6-1**



**07** 検光子だけで液晶画面（携帯電話、ディスプレイなど）をのぞいてみましょう **7-1**。



**SUBJECT**

実験シート「光の実験 4-4」に観察結果を記入してください。



**NOTES**

携帯電話が有機 EL 画面だと真っ暗になることはありません。検光子を回転させると、画面はどのように変化しますか？

**7-1**



**08** **07**と同じように、次は教室の明かり（蛍光灯）をのぞいて、同じことを試してみましょう **8-1**。どのように違いましたか？



**SUBJECT**

実験シート「光の実験 4-5」に観察結果を記入してください。

**8-1**



**■ 解答のサンプル**

**04** 実験シート  
**光の実験 4-1**

検光子を回転させ、最も明るくなる角度を求める問題です。最も暗い場所を  $0^\circ$  と決めているので、その場所から「 $90^\circ$ 」回した箇所が正解になります **1**。

**1**



### 05 実験シート 光の実験 4-2

04で決めた $0^\circ$ のほかに、像が最も暗くなる角度があります、その何度を求める問題です。検光子を回していくと、最初の $0^\circ$ から「 $180^\circ$ 」回した角度に、真っ暗になる箇所があることがわかります<sup>2</sup>。

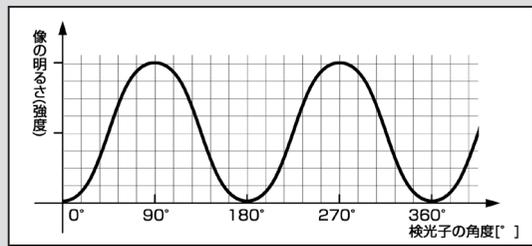
2



### 06 実験シート 光の実験 4-3

04と05を踏まえて、グラフを書いてみます。最も明るい角度と暗い角度から予想して、間の曲線は<sup>3</sup>のようになればよいでしょう。興味がある方はフォトダイオードを使った実験にも挑戦してみましょう。

3



### 07 実験シート 光の実験 4-4

検光子だけで、手持ちの液晶画面を覗いてみる実験です。検光子（ふた）の部分をとって観察してください。偏光子と一緒に覗いた時と同じように、回すことで液晶画面の明るさに変化がでますね<sup>4</sup>。

4

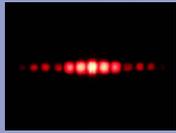


### 08 実験シート 光の実験 4-5

07と同じ要領で教室の明かり（蛍光灯）を覗いてみる実験です。先ほどと違い、いくら検光子を回しても明るさは変化しないのがわかります<sup>5</sup>。

5





## 光の干渉と回折①

1つのスリットでも  
光の干渉を起こすのは、  
スリットに「幅」がある  
から

スリットの幅が 1mm や 0.5mm 程度ではレーザー光が赤い点となってスクリーンに映るだけですが、スリットの幅を光の波長（およそ  $5.0 \times 10^{-7} \text{m}$ ）の数百倍程度まで細くすると、光が横に広がってなんとなく縞模様が見られるようになります。（※見えにくい場合は周囲を暗くすればはっきりと見えるようになる）

ではなぜ1つの光でも干渉を起こすのでしょうか？

簡単に言ってしまうと「スリットに幅がある」からです。なんだかよくわからないかもしれませんが、単スリット（1つのスリットのことをこう呼ぶ）は、とても小さいスリットが無数に並んでいるようなものと考えてください。その場合の干渉パターンは、矩形のフーリエ変換（の2乗）の形になり、 $x$  を中心からの距離に比例するものとして、 $(\sin x / x)^2$  の形になります。

## レーザー光を細いスリットに通したとき、

2つのスリットに通した光が互いに干渉しあって縞模様では、どうして1つのスリット（1つの光）でも干渉縞



■ 単スリットによる光の干渉実験のようす

2つのスリットによる干渉を考えた場合、スリット自身の幅はスリット間隔に比べて無視できるとして計算しますが、2つのスリットの場合でも、きちんとスリット自身の幅も考慮して計算すると、本当は、干渉縞は一樣に現われるのではなく、 $(\sin x / x)^2$  の強度をともなって現われ、その結果干渉パターンは、**{単スリットによる干渉効果  $(\sin x / x)^2$ } × {2重スリットによる干渉効果}** という形になることがわかります。ただしスリットの幅の効果は  $(\sin x / x)^2$  の形なので、中心以外はかなり光の強度が弱くなります。

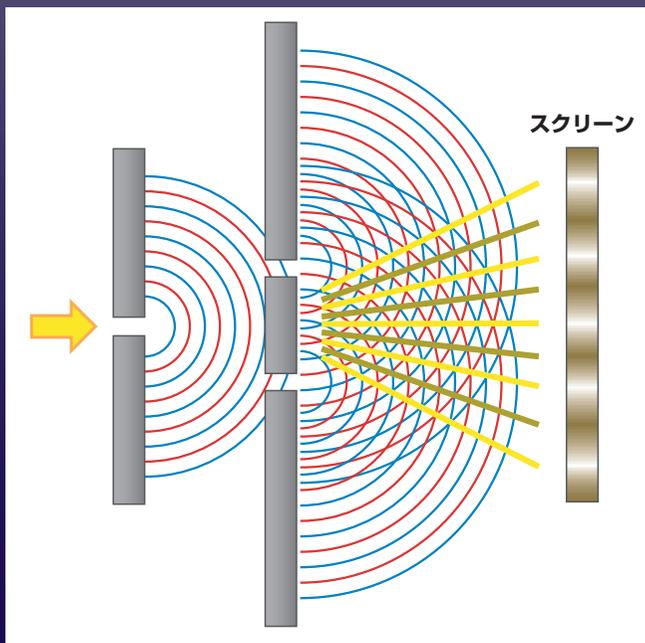
また、単スリットがつくる干渉パターンのスケールの方が、2つのスリットがつくる干渉パターンのスケールよりずっと大きく、単スリットでの干渉模様が、スリットを2つにすることで細かい格子模様になる・・・と考えた方がよいでしょう。

## スクリーンに干渉縞が見られるのはどうしてか？

が現れるのは、「2つだから干渉しあう・・・」と、なんとなく理解できるでしょう。  
が現れるのでしょうか？



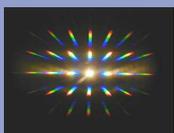
■ 単スリットによる干渉縞



■ 複スリットによる光の干渉

もう少し、単スリットでも干渉縞が現れる要因を別角度から解説してみましょう。実は「回折」という現象もおおきく関わっているのです。「回折」とは、波が小さな隙間を通過した後や、小さな障害物にぶつかった後に、その先で広がる現象のことです。

※「回折」と「干渉」を理解するためには、光は波の性質をもっている（正確には電磁波：電波、赤外線、可視光、紫外線、X線、ガンマ線など）ということを前提条件として理解しておく必要があります。理解とまでいなくても、知っておいてほしい事です。「光の干渉と回折②」へGO!



## 光の干渉と回折②

回折はなぜ起こるのか？  
【ホイヘンスの原理】

右の図のように、単一方向（一列になって進むイメージ）に進む波を考えてみましょう。

波の先端の各点では、その地点を中心とした半円状（半球状）の新たな波が発生しています。これらの無数の波が重なって次の波が作られていきます。（もちろん瞬間的・連続的に）もしも障害物がなければ、次の瞬間も波は一列に揃って進んでいきます。

これがホイヘンス（オランダ）が1687年に発表した、波の進行方向を定める考え方の基本で、もちろん波の性質を持っている光にも、この考え方はあてはまるのです。

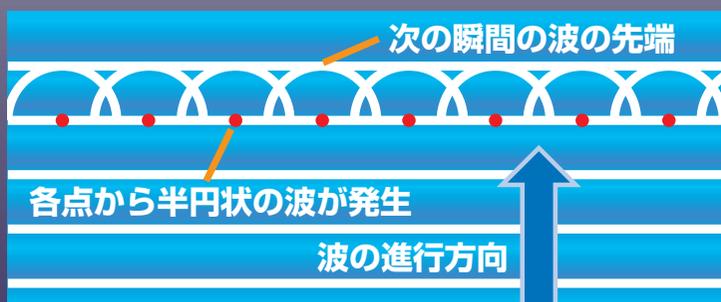
では、波の進行方向に壁があり、そこに小さな隙間が開いている場合はどうなるのでしょうか？

隙間を通り過ぎた波の点は生き残り、そこから半円状に広がりながら、また次の波が作られていきます。

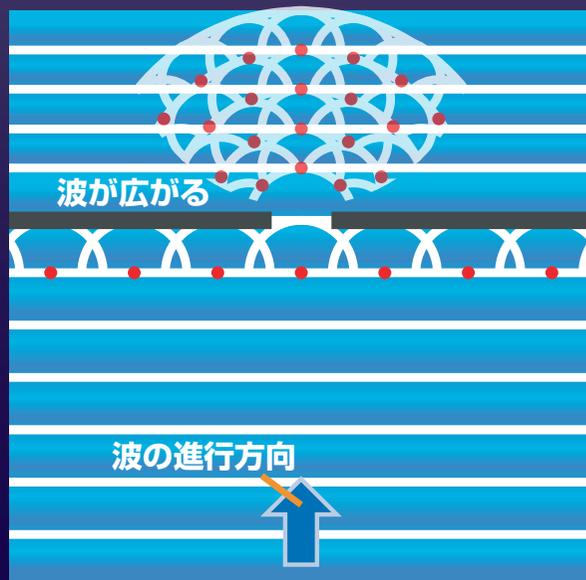
結果として壁の向こう側にも波が回り込んでいるように見えます。これが回折の原理です。

## 防波堤に当たった波が回り込んで防波堤の

光には「波」としての性質もあります。波であれば「回折」、そもそも光は“直進するもの！”というイメージがありま進んでいます。ここではその経路のうちのひとつ、「回折」



■ 波の各点で半円状の新たな波が発生し、それが次の瞬間の波をつくる



■ 壁に隙間が開いている場合

上図からもわかるように中心部ほど波が強く、周辺部ほど波は弱くなります。さらに波同士が重なっている場所では、打ち消し合ったり強めあつたりの干渉も起こしています。

## 裏にも届くのはどうしてか？ 回折ってなに？

つまり回り込むという現象が起きるのも不思議ではないのです。

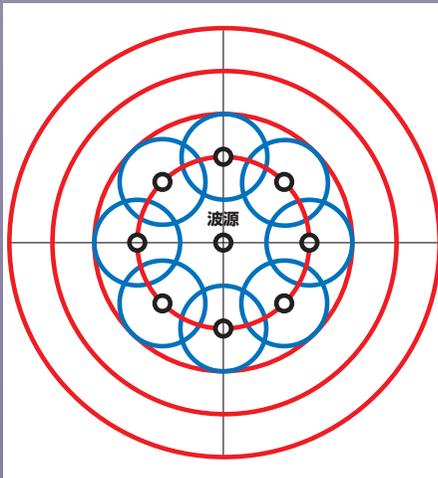
すが、本来は“直進しているように見える”だけで、実際にはいろんな経路を通して光はについて解説しましょう。



■ 防波堤に当たった波が回り込んで裏に当たる

●ホイヘンスの原理：1678年（ホイヘンス・フレネルの原理：1836年）

波は波源から媒質を通して伝搬されるが、1つの波面上の全ての点は、新たな波源となって、同じ速度、同じ振動数の小波を出す。個々の小波は観測されず、これらの小波の波面に共通に接する曲面が、その後の波面として観測される。波の進行方向は波面を垂直につないだ線になる。



クリスティアーン・ホイヘンス（オランダ）  
Christiaan Huygens：1629～1695



## 光とは何か？

光は「波」？  
それとも別のものなの？

理科の実験で行った「プリズム分光」。わたしたちの目にはただの（白い）光に見えた太陽光が、プリズムによって7色の光に分かれました。その際、波長の長い赤から、波長の短い紫までの色が見えると教えられませんでしたか？

ここでも「波長」という言葉がなげなく出てくるように、どうやら光は波の性質を持っているとみて間違いのないようです。

では、光は波だとして、具体的にはどういう意味として捉えればよいのでしょうか。結論から言うと、「光は電磁波」だということです。電磁波にもいろいろと種類があり、現代の生活で一番身近なもので言えば携帯電話にも使われている「電波」、ものを温める「赤外線」、私達の目にも見える「可視光」、殺菌効果があり、日焼けやシミのもとになる「紫外線」、レントゲン撮影に使われる「X線」、そして放射性物質から出る「 $\gamma$ （ガンマ）線」、これらは波長がそれぞれ違うだけで、すべて電磁波です。すべて電磁波ということは、可視光以外の目には見えないものも、光の仲間だといえるのです。

## ここまで「光は波である！」という前提で

理科の実験で見られる「プリズム」や、雨上がりの空に7色が分かれて見えます。そしてそれはプリズムや雨粒と教わったはずですが、はたして・・・



■ プリズムによる分光

### ● 光の性質について

「光は波である！！（波動）」（ただし粒子としての性質も併せ持つが、ここでは波としての光に重点を置く）

光通信や光インターネットがあることでもわかるように、光は波としての性格を持っています。電波と同じようなもので「光波」といいます。

波というからには、それ相応の性質があり、「（全）反射」・・・凸凹の無い平面鏡に当たった光は、鏡に当たったときと同じ角度で反射する。（エウクレイデスの光の反射の法則）  
「屈折」・・・屈折率の異なる物質の境界面では光の速度が変化する。その結果、境界面への入射角が直角でない場合には、光の進路が折れ曲がる。

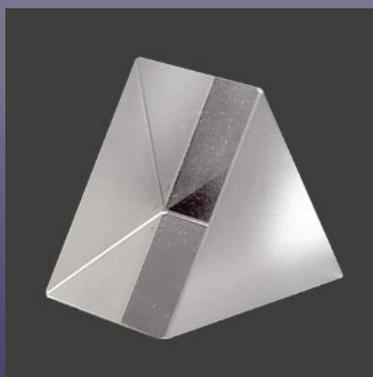
「干渉（ホログラフィ）」

「回折」

「偏光」

話が進んできたが、そもそも光とは何で、どういう性質があるのか？

現れる「虹」。これらは“七色の虹”といわれるように、私達の目には白色だった太陽光によって太陽光が色分け（分光）され、波長の長い赤から波長の短い紫までの色が見える、

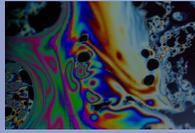


■ プリズム（60° 分光器）

### 電磁波の種類



■ 電磁波（光）の種類



## 光の干渉とは

### 回折格子による 光の干渉実験

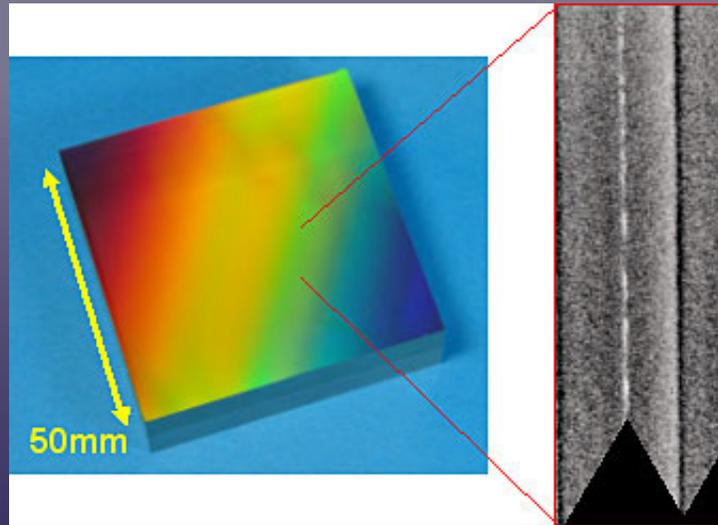
回折格子というのは、右の写真のようにガラス板などに1mmあたり数百本程度の割り合いで細かい溝を刻んだものです。

回折格子に光を当てると、“溝に当たった”光はいろいろな方向に反射・屈折（要するに乱反射する）しますが、溝ではない平面に当たった光はそのまま通り抜けます（透過光）。結果としてごく細いスリットを密集させた多重スリットのような働きをして光の干渉を起こします。

教材用や工業用としていろいろな回折格子がありますが、以外に身近なところにこの回折格子があります。それは「CD」や「DVD」といった記録用メディアです。これらの記録面に光を当てると、そのままでも虹のような色が確認できます。

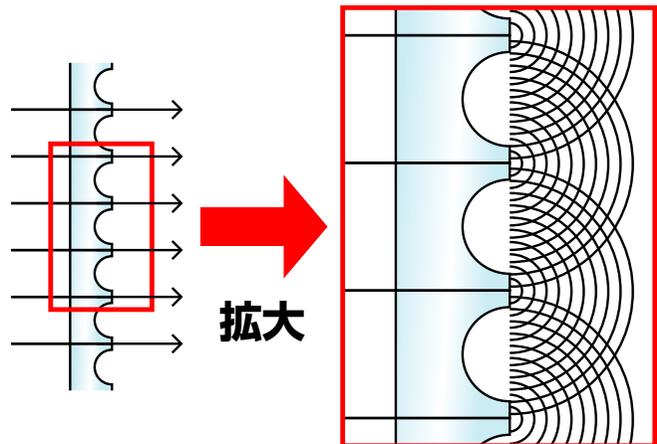
※プリンタブルタイプ（レーベル面が白）ではないものがよい。レーベル面をカッターナイフ等で少し擦ると、保護皮膜が剥がれる。保護皮膜を剥がした面に光を当てると「直進光」と「反射光」が、皮膜を剥がさないところに光を当てると「反射光」と「回折光」が見られる。反射光に対して、回折光の角度は何度であるか観測する。

光は波である！ということは、水の波と同波には強弱があります。（だから“波”なのですが・・・）波の山同士が重なれば強めあい、波の山と谷が重なれば



■ 回折格子と表面の拡大写真

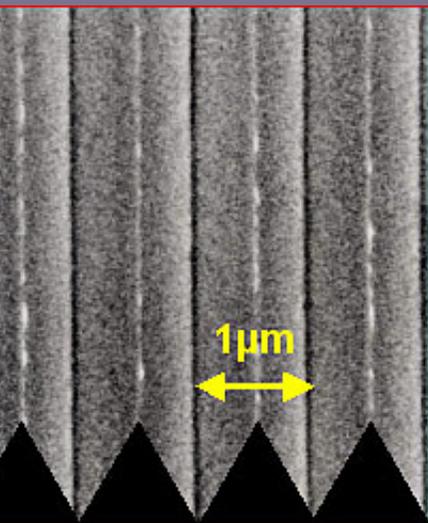
### 横から見た場合



■ 回折格子のしくみ

じょうにぶつかりあえば干渉を起こすはずであるが、はたして…

しかも回り込むために波同士が重なり、その結果干渉を起こすことになります。  
弱めあいます。



■ CD, DVD の記録面に見られる干渉による虹色



■ CD の記録面にレーザー光を当てると、反射光と回折光が確認できる

#### ●自然界の回折・干渉現象

自然界には巧みに回折と干渉を利用している生物がいます。右の写真は「モルフォ蝶」と呼ばれる、世界に80種ほどが生息している大型の蝶の仲間です。モルフォ蝶の鱗粉は、回折格子とうす膜が組み合わさった櫛形の構造をしていて、これに光が当たると光の干渉によって鮮やかな青色に発色します。このような現象を「構造色」といいます。





## 光の反射と屈折

## 水を入れたグラスに棒を入れて横から見る

音や波と同様、光にも反射の法則があてはまり、[入射角 または光は、異なる媒体（空気→水、水→空気、空気→ガラ 場合と同じように「屈折の法則」が成り立ちます。

### 屈折の法則

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{12} = \text{一定}$$

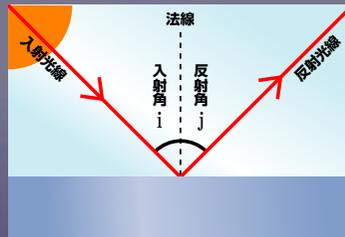
光が異なる媒質を通るとき、その境界面では屈折します。このとき音や（光波以外の）波と同様に「屈折の法則」が成り立ちます。入射光、屈折光、法線は同一平面内にあります。

右図のように媒質1から媒質2へ光が進むときの屈折率  $n_{12}$  を「相対屈折率」といいます。

※  $n_{12}$  は媒質1から媒質2へ進むときの定数という意味

対して、真空中から媒質1へ進む場合の屈折率を、媒質1の「絶対屈折率」といいます。

屈折率は、光の色や媒質の温度によって異なります。



■ 反射の法則



■ 屈折の法則（スネ

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\sin 60^\circ}{\sin 41^\circ} \doteq \frac{0.866}{0.650} \doteq \frac{1.333}{1.000} \\ \frac{\sin 50^\circ}{\sin 35^\circ} \doteq \frac{0.766}{0.575} \doteq \frac{1.333}{1.000} \\ \frac{\sin 40^\circ}{\sin 29^\circ} \doteq \frac{0.643}{0.482} \doteq \frac{1.333}{1.000} \\ \frac{\sin 30^\circ}{\sin 22^\circ} \doteq \frac{0.500}{0.375} \doteq \frac{1.333}{1.000} \end{array} \right\} \text{一定}$$

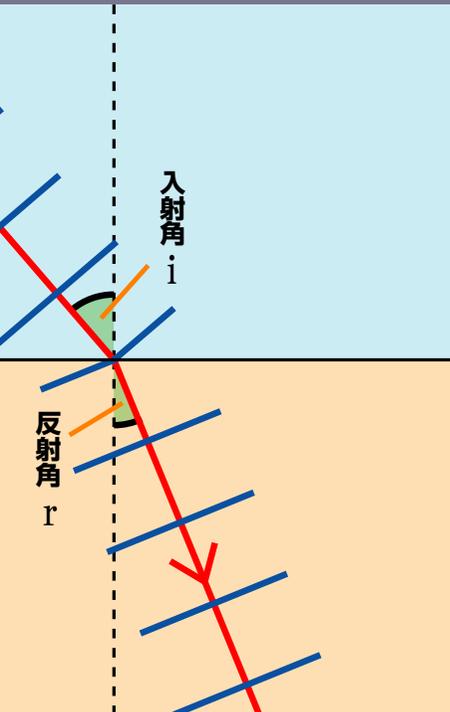
	絶対屈折率	真空中からその物質へ光が進むとき
空気	1.0003	ほとんど曲がらない
水	1.3330	ほぼ上図のように曲がる
ガラス	1.4585	水の時より曲がる
ダイヤモンド	2.4195	ものすごく曲がる

■ 絶対屈折率

と棒が曲がって見える。この屈折現象は光でも起こるのだろうか？

$\theta_i = \text{反射角} \theta_r$  となります。

スなど）を通るときに、その境界面で屈折する性質があります。このときやはり音や波の



ルの法則)



■ 水による屈折のようす

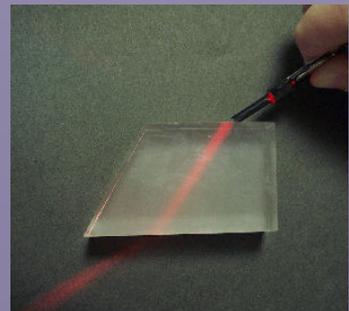
#### ● 相対屈折率の求め方

例えば空気から水へ光が進む場合の「相対屈折率」は、光が先に通る方（空気）の絶対屈折率である 1.0003（ほぼ 1 として扱われる）を分母として、これと光が後に通る方（水）の絶対屈折率である 1.3330 との比率で求められる。空気の絶対屈折率は 1.0003 と、ほぼ 1 として見てもよいので、結局空気から水への相対屈折率は 1.333 ということができる。

これから、入射角が  $60^\circ$  のときは屈折角は  $41^\circ$ 、入射角が  $30^\circ$  のときは屈折角は  $22^\circ$  ということが計算によって求めることができる。

ちなみに空気以外、例えば水からガラスへ光が進む場合の相対屈折率は、やはり光が先に通る方の物質の絶対屈折率（例：水なら 1.333）を分母として、光が後に通る方の物質の絶対屈折率（例：ガラスなら 1.4585）を分子として、その割合で求める。

この例の場合は  $1.4585 \div 1.3330 \div 1.0941$





## 光の全反射とは

### 光の全反射と臨界角

ある角度になると透過光が見えなくなり、反射光のみ見えるようになる現象は、屈折率の大きい物質から屈折率の小さい物質（今回のように、水→空気）へ進むときに起きる現象で、入射角が“ある角度”になると、屈折角が $90^\circ$ になります。屈折角が $90^\circ$ ということは、透過光が2つの物質の境界面（ここでは水面）を進むということで、結果として人間の目には見えなくなり、入射した光は反射光しか見えなくなります。この状態を「全反射」といい、さらに全反射を起こす入射角のことを「臨界角」といいます。

ちなみに、水→空気の場合の臨界角は $48.6^\circ$ です。（実験でも $50^\circ$ あたりで全反射を起こしたと思います）

臨界角  $i_c = \frac{\text{後に通る物質の絶対屈折率（空気} \approx 1 \text{）}}{\text{先に通る物質の絶対屈折率（水} = 1.333 \text{）}}$   
 $\approx 0.75$

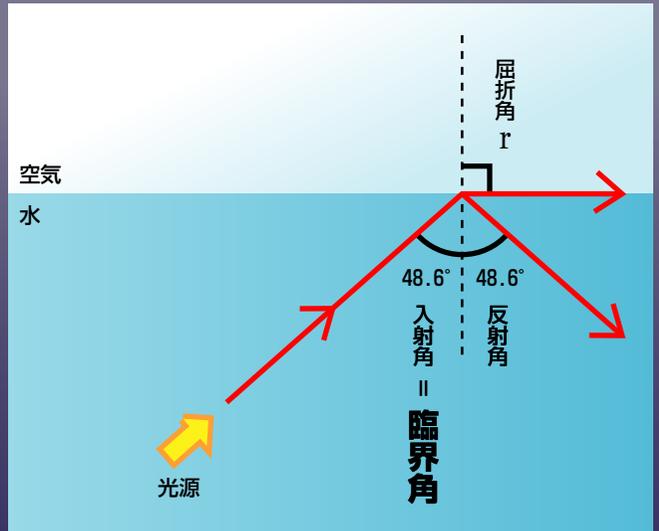
これを三角関数表で確認すると、 $48.6^\circ$ ということがわかります。

つまり、「入射角が臨界角より大きいときは光の屈折は起こらず、光は全て反射（全反射）する」ということです。

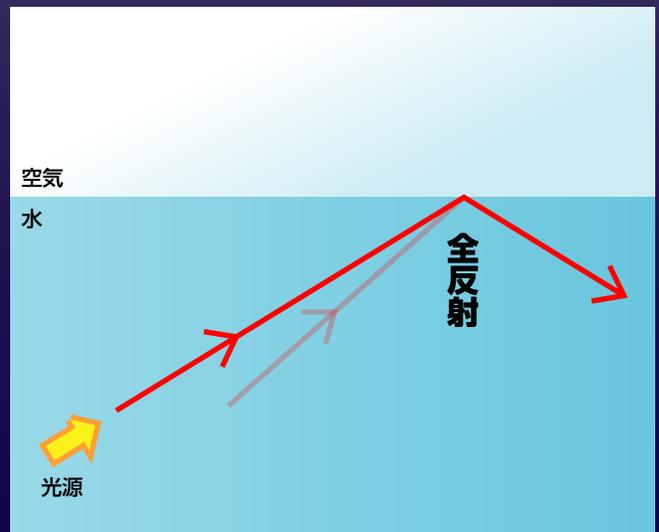
ただし、屈折率の小さい物質から屈折率の大きい物質へ光が進むとき（例：空気→水）は、全反射は起こりません。どうしても屈折角が $90^\circ$ にならないからです。

## 光の実験中に半円プリズムから透過光が出

光が異なる物質を通る時に屈折する（透過光が）のは実験ところが、ある角度になると透過光が見えなくなり、反射



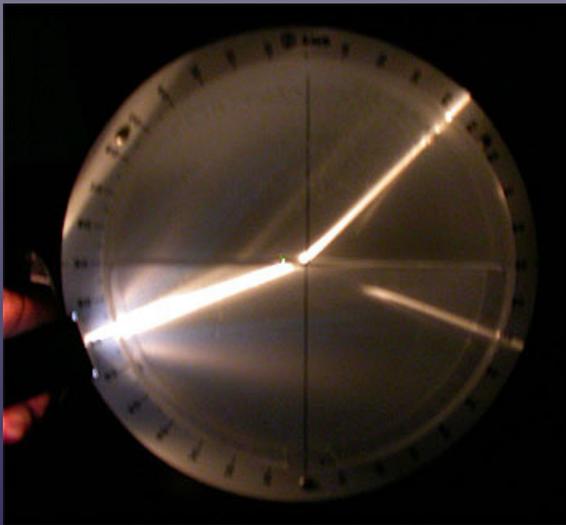
■ 全反射する入射角＝臨界角（水→空気の場合）



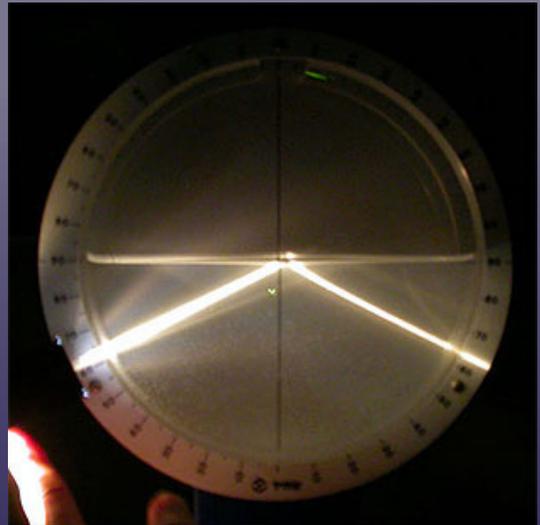
■ 入射角が臨界角より大きいときは光の屈折は起こらず光は全て反射する

## なくなる現象が起きませんでしたか？

により確認できたと思うが、実際には一部の光は反射すること（反射光）も見られたはずである。光のみ見えるようになる・・・これはどうしてか？



■ 屈折光と反射光が・・・

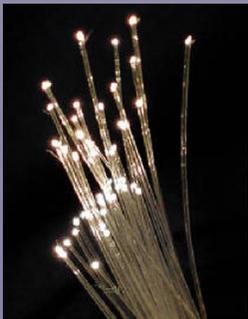


■ 全反射する光（水→空気の場合）

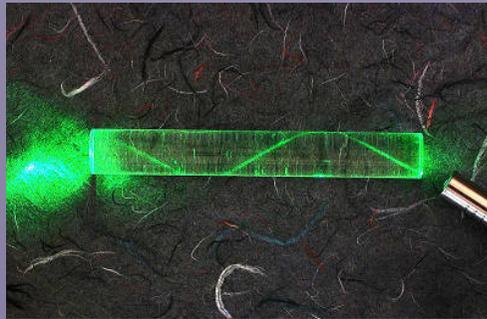
### ●全反射を利用した通信・・・[光ファイバー]

全反射現象を利用したのが、現在の高速ネットワーク通信には欠かせない「光ファイバーケーブル」です。

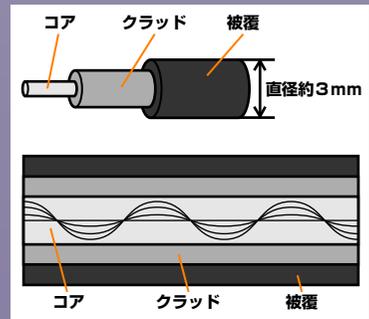
これは屈折率の大きいガラスファイバー（旧来は石英の繊維、最近ではプラスチック）などの素材を中心部に用い、その周りに屈折率の小さい素材（やはり屈折率を小さくした石英繊維かプラスチック）で覆うことで、光は全反射を繰り返しながらケーブル内を進んでいくことになります。光はファイバーの中に閉じ込められています。



◆ 光ファイバーケーブル



◆ 光ファイバーケーブル内で光が全反射するようす



◆ 光ファイバーケーブルの構造



## 偏光とは

特定の方向しか振動して  
いない光波の状態が偏光

光は電磁波と呼ばれる波のひとつでもあることは前に説明しましたが、電磁波とは電場（電界）と磁場（磁界）の振動が伝搬する（伝わる）現象のことでもあります。※ 1

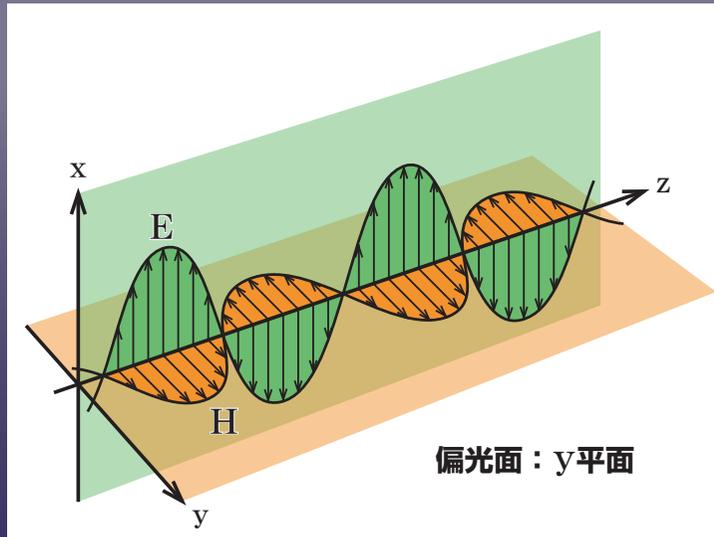
右の図において、電場 E と磁場 H の振動方向は互いに垂直で、かつ進行方向に垂直な平面内にある平面波と呼ばれるもの。このうち、光の進行方向と磁場を含む面を、“光の偏りの面”、または「偏光面」といいます。※ 2

※ 1：「光」は電磁波、つまり波の一種ですが、その波は「横波」です。（縦波ではない）

※ 2：電場を含む面は、電場の「振動面」といいます。そして偏光面の方向が揃っている場合を「偏光」といいます。半導体レーザー光などは偏光している光のひとつです。

## プラスチック製のサングラスを回転させな

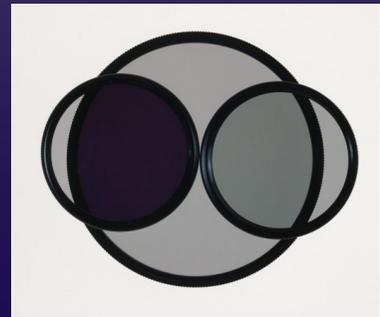
いろいろな光の性質（速度、波長、屈折、吸収、反射など）それでもケータイやパソコンのモニター、電卓の画面、近年「偏光」は物理学、科学、生物、機械、電気のあらゆる分



■ 電磁波の電界ベクトル (E) と磁界ベクトル (H)



■ 偏光グラス（釣り用途）



■ カメラ用偏光フィルター

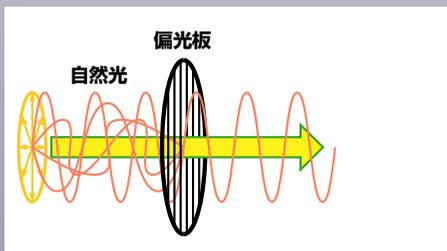
## からケータイの画面を見てください。どうなりましたか？

に比べてあまりなじみのない性質である「偏光」。

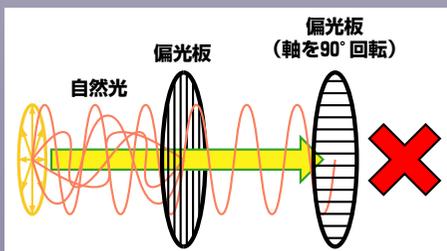
では薄型テレビなど、液晶表示は偏光の性質抜きには成り立ちません。

野、また私たちの日常生活の中にも広く利用されているのです。

太陽光や白熱光などから放射される光の振動方向は、任意の方向に一樣に分布していて、時間に対して不規則な振動をしています。このような光を「自然光（偏光していない）」といいます。そしてこの光を「偏光板」に通すと、一方向（偏光板の透過軸と同一方向）に揺れる波だけが通り抜けます。



2枚の偏光板をそれぞれの軸が90°になるようにおくと、光は2つ目の偏光板を通り抜けられなくなります。1枚目は軸が縦方向だとすると、2枚目は軸が横方向だからです。



### 【偏光板とは】

分子がきれいに一方向に揃っていて、あらゆる方向に振動している光から、透過軸と同一方向に振動している光だけを取り出すもの。身近なものでは電卓や液晶ディスプレイに使われている。パソコンの液晶モニタを偏光板を通して見ると、画面が見える角度と見えない角度が存在することに気が付くことでしょう。これは液晶モニタが偏光しか出していないからです。

さらに窓ガラスに写り込んだものや反射した光などを覗いてみると、これも角度によっては写り込みが消えたり反射光が弱まったりします。釣りなどに使われる偏光グラスは、この性質を利用したもので、いろいろな方向に乱反射する光を一方向のみの光に偏光してギラつきを抑えているのです。



見える状態



見えない状態



見える状態



見えない状態



## 空はなぜ青いのか

空が青いのではなく  
青くしか見えない

太陽からの光は人間の目には7色の光に分解できることはなんとなく知っていますね。(虹の色が7色ということは知っているはず)

これはプリズム(ガラスでできた三角柱)での分光実験などでもおなじみです。

プリズムによってなぜ7色に分光されるのかは、それぞれの色成分には波長があって、波長が長い色は屈折率が少なく、波長が短い色は屈折率が大きいからです。

なぜ波長によって屈折率が変わるのか、ということについては、難しく言うと大変なのでかいつまんで言うと、「振動数(≒波長が短い)の大きい光ほど、物質中(例えば水やガラス)の原子によって邪魔されるので、進む速さが遅くなる」。ということ。そして遅くなると、それだけ屈折率が大きくなるということなのです。

この波長の長短が空の色に大きく関係しています。

もし光の進路上に障害物があったとすると、図のように波長の短い光は反射され、波長の長い光は通り抜け、中くらいの波長の光はいろいろな方向に反射することになります。これを光の「散乱」といいます。

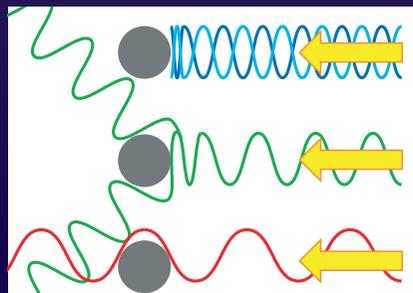
そこで右の説明を見てください。

## そらはなぜあおいの？ ゆうやけはなぜあか

空の色が青く見えたり、朝焼けや夕焼けが赤く見えたり・・・  
(海の色が映っているわけではありません。念のため・・・)



■ プリズムによる分光実験



波長が短い→反射する

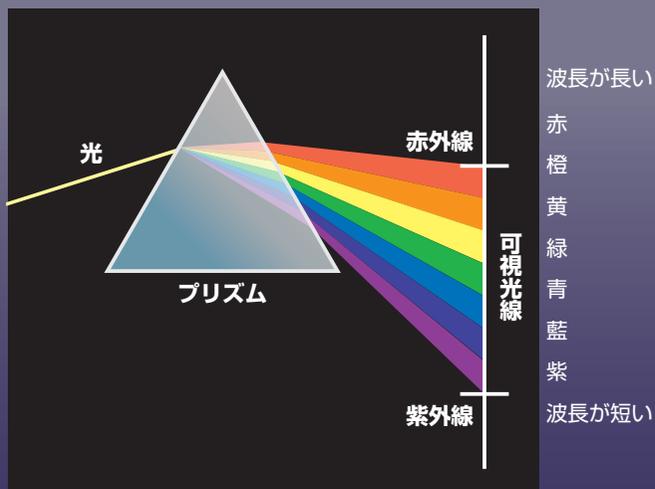
波長が中ぐらい→散乱する

波長が長い→通り抜ける

■ 光は波長の長短によって障害物の通り抜け方が違う

## いの？ 虹はなぜ7色なの？ … 光の散乱と分散

これらはなぜそう見えるのでしょうか？

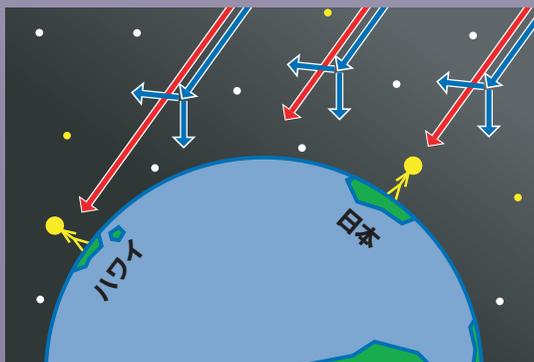


■ 波長の長い赤よりも波長の短い青の方がより大きく屈折している

### ● 昼間の空が青いわけ、夕方の空が赤いわけ

昼間、太陽の光が上から向かってくると、中くらいの波長である青色の光は、空気中のいろいろな分子に当たっていろいろな方向に散乱するのでよく見えるようになります。もちろん波長の長い赤色の光も届いているのですが、青の方が散乱している分、より多く見えてしまうので、昼間の空は青く見えるのです。

しかし、朝方や夕方は太陽の光が斜め、もしくは横から向かってきます。こうなると散乱する青色の光は、主に大気層で散乱して遠くにはとどまらなくなってしまいます。一方、波長が長く障害物を通り抜ける赤色の光は遠くまで届きます。こうして朝焼けや夕焼けがおこるのです。





# LABORATORY - II

## 電場の実験

今やなくてはならない存在、**電気**。その正体は**電子と呼ばれる素粒子**で、宇宙を構成する最小単位のひとつでもあります。こんな小さな世界がある、さらに宇宙と関係があるなんて聞いたら、なんだかワクワクしてきませんか？

この分野には多くの**紛らわしい点**が存在しています。中学校で電気の授業が苦手だった人は、この紛らわしい部分に惑わされたのではないのでしょうか。

もしくは、電気の授業なんていろんな公式がでてきて、それを覚えて答えを出すだけのつまらない授業だ、と思っている人も多いと思います。

無理ありません。別に電気の授業を否定しているわけではありませんが、そんな授業されたら、誰だってつまらないのはあたりまえです。

電気の話も、過去に遡れば多くの**希望と実験**にあふれていました。当時の研究者たちが抱いていたであろう**好奇心**を、ここで少しでも実感していただければと思います。

電気がわかれば、日常使っている電気製品の仕組みがわかり、自分で作ることもできるようになります。

## SECTION

01 電気の流れ方

02 電位分布 - 平行電極

03 電位分布 - 点電極



## SECTION

## 01

# 実験で体験する物理

## 電気の流れ方

電気の世界は、非常にややこしい定義や公式が多いですが、ここでは気楽に実験していきましょう。実験すること、結果を予想してみること、そして結果を知ること。それらのどこかでつまずくかもしれませんが、予想される疑問点について解説をいれています。まずは「電気の伝わり方」について検証していくのですが、基本となる部分は押さえておきたいものですね。電圧、電流、抵抗という言葉、聞くだけで苦手意識を持つ方もいると思いますが、そこは少しだけ我慢して、解説を読んでみてください。

### 実験に使う部品を準備する

名称	個数	備考	写真
ベースプレート	× 1	(共通)	P004
電池ボックス	× 1	(共通) 充電式単三電池含む	P004
リード線	× 1	(共通)	P004
デジタルマルチテスター	× 1	(共通)	P004
導電性ゴムシート	× 1	(共通) 幅 200mm × 長さ 150mm	P004
ネオジム磁石	× 2		P005
ナット	× 2		P005



### NOTES

備考に (共通) と記述されているものは「LABORATORY II 電場の実験」に共通して使用する部品です。部品の写真は、表に記載された各ページを参照してください。

## 電圧・電流・抵抗ってなに？

**01** 実験装置を組み立てる前に、まずは大前提となる事柄について、いくつか確認していきましょう。まずは冒頭の話にも出てきた、電気を扱う上での紛らわしい点として、単位の話をしたと思います。今回登場するのは「電圧・電流・抵抗」の三種類ですが、電気に苦手意識を持っている人は、これらの言葉を聞いただけで嫌気が出さずと思います。しかし、少しずつ理解を深めていけば、日常生活でも役立つものへと変化するのははずです。中学生時代を振り返りつつ、一緒に勉強していきましょう。

**02** 最初に「電圧」の話をしましょう。電圧とは、その名の通り電気の圧力です。これが強いほど、電流の勢いが増します。では次にその「電流」の話です。電流は前述したとおり、電気の流れる勢いです。「抵抗」とはなんでしょうか。これは電気の流れにくさを表しています **2-1**。

ここでひとつ、単位の話でもしましょう。生活をしていても、よくボルトやアンペアといった文字は、電化製品に表記されています。これらの単位はボルトが「V」で電圧のことです。アンペアが「A」で電流のことです。そのまま頭文字をとっているのだからわかりやすいですね。では抵抗は何かといえば「R」です。これは「抵抗する」という意味の英語で、レジスト(Resist) からきています。ゲームなどで聞いたことがある人もいるかもしれません。また「～に逆らう組織」という意味で使われるレジスタンス、映画などで聞いたことがある人も多いと思います。語源は同じです。ここで、単位を表にしてまとめてみましょう **2-2**。

表を見ると、見慣れないものが増えていきますね。電圧に「E」、電流に「I」、抵抗に「Ω」が増えてますね。これは、単位と量記号の違いなのですが、難しいことは置いておきましょう。ここでは「EとV」が電圧、「AとI」はどちらも電流を、「ΩとR」はどちらも抵抗を表すものなのだという解釈で大丈夫です。この複数の表現方法が、電気の紛らわしい要因の一つでもあります。

## 2-1



## 2-2

量	単位	記号
電 圧	V	E
電 流	A	I
抵 抗	Ω	R

## 装置の組み立て方

電気について少し触れたところで、さっそく実験をしていきましょう。知識を覚えることも大切ですが、この分野では実際に実験して、結果を見ることがとても重要です。

**03** 実験に使う装置を組み立てていきます。土台となるベースプレートの上に、導電ゴムシート（幅5mm×長さ150mm）をしっかりと伸ばして置き、その両端にネオジム磁石を置き固定します

**3-1**。※幅5mm×長さ150mmのゴムシートは、幅200mm×長さ150mmの大きなゴムシートから切り出して準備しましょう。

電池ボックスを設置し、そこからリード線を繋ぎます。先ほど導電ゴムシートの上に置いたネオジム磁石の上に、更にナットを立てて、電池ボックスから伸びたリード線を引っ掛けます **3-2**。

次にデジタルマルチテスターを用意してください。接続や計測方法など詳しい説明はまた後ほどします。

3-1



3-2

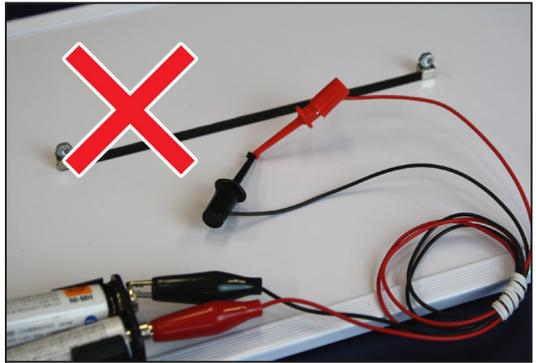


**04** この実験の注意点として電気が流れている状態で、電池の「+」と「-」の端子同士を繋いではいけません。ショートする原因となります

**4-1**。これは回路の組み方が正常な場合も例外ではなく、電球など放出する媒体がない状態で、長時間電流を流し続けると電池ボックスが溶け始めますので、実験するとき以外は、回路を繋がないように注意しましょう。

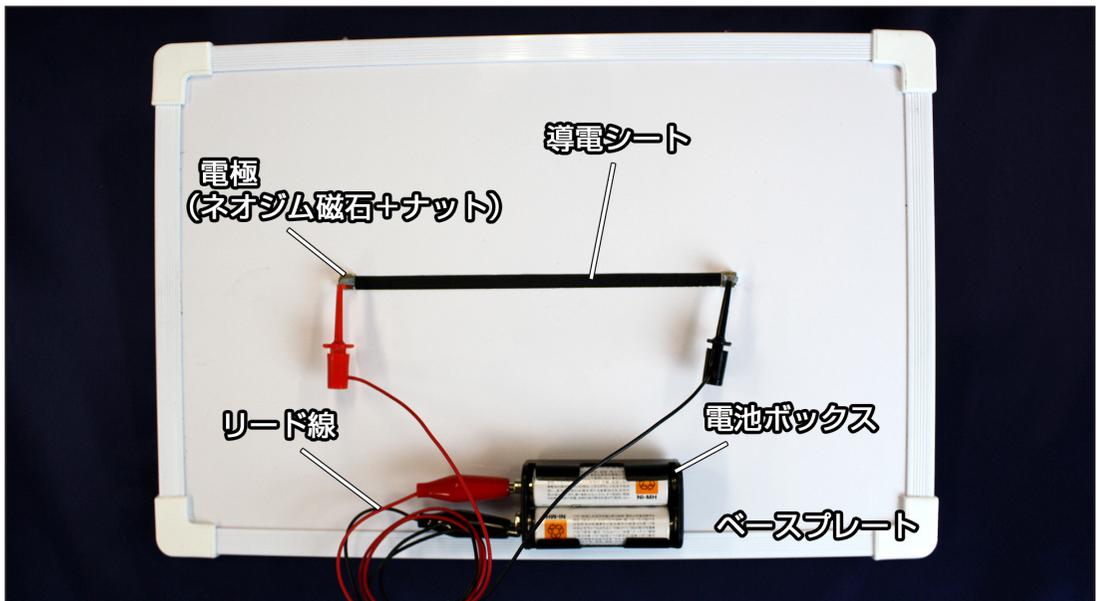
また、使用している電池は充電電池なので、一般のものとはV（電圧）が異なります。一般的な単三電池は「1.5V」あるのに対し、充電電池は「1.2V」程度しかありません。つまり、電池ボックスには二つの単三電池が入るので、最高でも「3V以下」となります。その値を踏まえたうえで実験を検証してみましょう。

**4-1**



**05** **03**、**04**の注意点を踏まえて、**5-1**を参考に実験装置を組み立ててください（実際の部品とは異なる場合があります）。

**5-1**



## 実験の手順と課題

**06** 電圧と電流の関係を調べるため、実際に電圧を測ってみましょう。電圧の測定は、電池と導電ゴムを直列につなぎ、導電ゴムの両端間の電圧をテスターで測定します (6-1)。電池の本数を増やしてそれぞれの電圧を測定しましょう。



### HINT

電圧を測定するには、テスターのテストリード（赤と黒の計測用端子）を測定したい対象の両端に、並列接続になるようにあてます (6-2)。図の黒矢印がテスターの先端を表しています。

電圧は「電位差」ともいわれ、「二点間の電位（電気的な位置エネルギー）の差」を指します。

つまり電圧を測ることで、二点間の電気的なエネルギーの差がどの程度知ることができるのです。

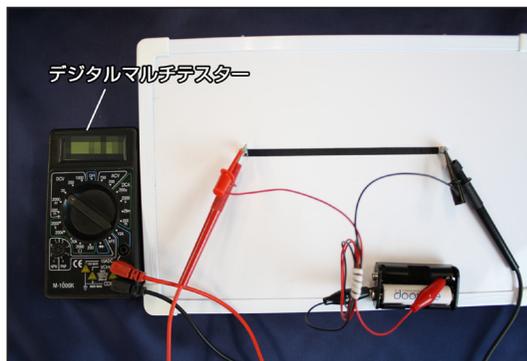
次ページの「デジタルマルチテスターの使い方」も一緒に読みながら実験してみてください。



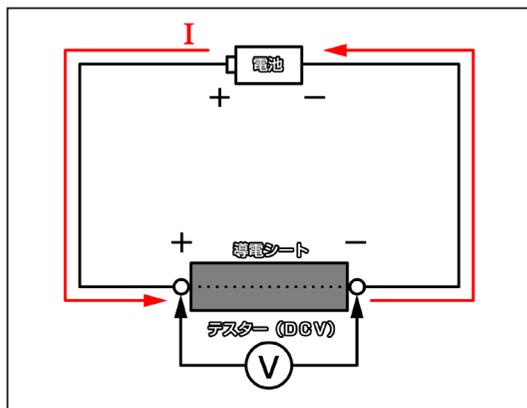
### SUBJECT

実験シート「電場の実験 1-1」に観察結果を記入してください。

#### 6-1



#### 6-2



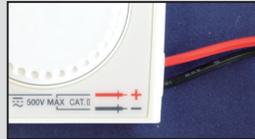
## デジタルマルチテスターの使い方

### テストリードについて

テストリードの赤色端子は回路のプラス側、黒色端子はマイナス側にあてて測定します ①。

本教材に付属のテスターでは必要ありませんが、テストリードを測定対象（電圧・電流・抵抗）に応じて付け替える必要があるものもあります。（例えば、②③のタイプのテスターでは、黒色端子をテスターのCOMに接続、赤色端子は「VΩmA」端子と「10ADC」端子のいずれかに接続して使用します）

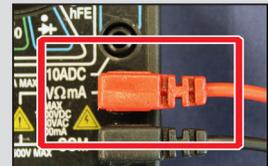
①



②



③



### 測定エリアの選択

電圧はP.53 ②の表を見ると「V」となっています。テスターのつまみを調整して、「V」のエリアまでもって行きましょう。しかしよく見ると、「V」という表記はなく、「DCV」と「ACV」という二種類の表記があります。DCは直流、ACは交流を表しています。電池は直流の電源なので今回は「DCV」に合わせましょう ③。

本教材に付属のテスターは自動的に単位を調節しますが、テスターによっては「200V」「20V」「2000mV（mVはVの1/1000の単位）」など、いくつものエリアを持ち、切り替え（レンジ調整）が必要なものもあります ④。

③



### （参考）レンジ調整

参考までに、レンジ調整が必要なテスターのレンジ調整について説明します。測定する箇所の数値が予想できない場合は、基本的に大きなレンジから小さくしていきます。単三充電池を測定する場合、P.55 ④で前述したとおり1.2Vですので、二本合わせても3V以下となります。このように予想ができる状態では、それに近い数値でなおかつその数値より大きな数、つまり3Vに近くて3Vより大きな数を探してみましょう。2000mVは、ようするに2Vなので足りません。ここでは20Vが適正なレンジとなります ④。

④

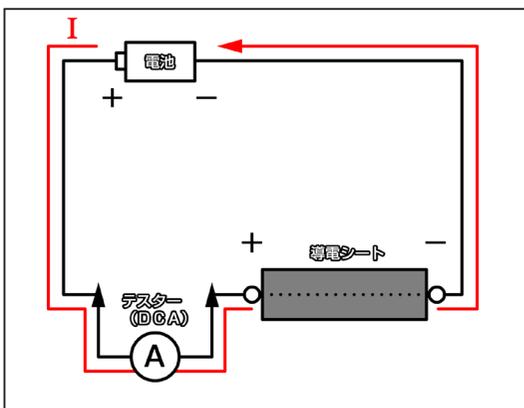


**07** 次は電流値を測定しましょう。電流計を内蔵したテスターなら、**7-1**のように電池と導電ゴムとテスターを直列に繋いで測定できます。しかし、本教材に付属のテスターには電流計がありません。そうすると、電流を調べることはできないのでしょうか…？

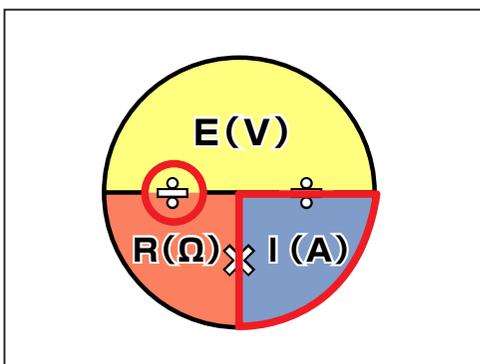
実は、電流値を計算で求める方法があります。皆さんは、電気回路の重要な公式「オームの法則」を覚えているでしょうか？電圧・電流・抵抗のうち、どれか2つの値が分かれば、残り1つの値は計算で求められるという公式です**7-2**。

例えば電流  $I(A)$  は **7-2** 図より、「電圧  $E(V)$  ÷ 抵抗  $R(\Omega)$ 」の計算で求められます。今回の場合、電圧は**06**で測定したため、後は導電ゴムの抵抗値を測定すれば、電流が求められることになります。電池0～2本の場合で、それぞれの電流の値を計算してみましょう。  
※導電ゴム(100%)の抵抗値は**08**で測定しますので、電流の計算はその後で構いません。

**7-1**



**7-2**

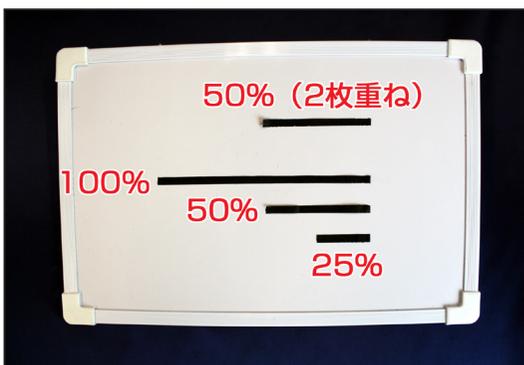


**SUBJECT**

実験シート「電場の実験 1-2」に観察結果を記入してください。

**08** 最後に抵抗値の測定です。導電ゴムの幅(5mm)は変えずに長さや厚みを変えると、抵抗値がどう変化するか調べてみましょう。仮説を立ててから実験し、検証してみましょう。抵抗値はテスターのレンジを「 $\Omega$ 」に変更して測定します。  
※抵抗を測定する際、電池は接続不要ですので外しておきましょう。また長さ50%、25%のゴムシートは大きなゴムシートから切り出して準備しましょう。

**8-1**



**SUBJECT**

実験シート「電場の実験 1-3」に観察結果を記入してください。



**NOTES**

厚みを変える場合は、導電ゴムシートを重ねて測定してください**8-1**。

## ■ ちょっと寄り道

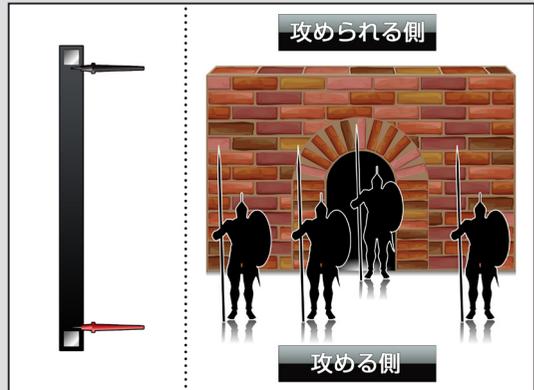
### 電子のレジスタンス

P.58 08 の実験を検証したところで、P.53 02 で話したレジスタンス（反抗勢力）を例にとって、抵抗の意味を考えて見ましょう。反抗勢力の「攻める側」と「攻められる側」を思い浮かべてください。彼らの境界には、攻められる側の防御壁があります。

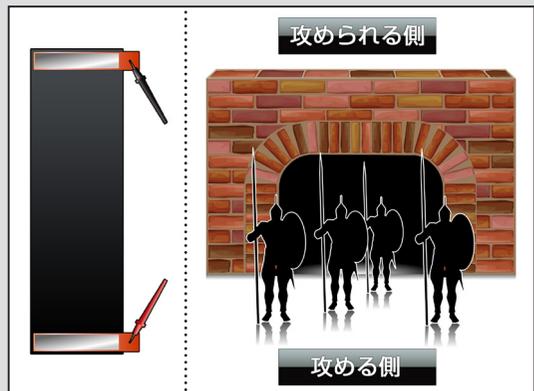
その壁にある扉が狭いと、一人ずつしか攻め込むことが出来ません。それだけ抵抗しているということです ①。扉が広いと、一度に沢山攻め込むことが出来ます。まるで抵抗ができていません ②。このように幅が狭いと抵抗は大きく、広いと抵抗は小さいことがわかります。

また距離（長さ）も関係してきます。長い距離を測るほど、抵抗値はどんどん大きくなっていきます。先ほどの壁の例でいえば、距離が長いほど、多くのバリケードを突破しなければなりません。それだけ抵抗しているということです ③。

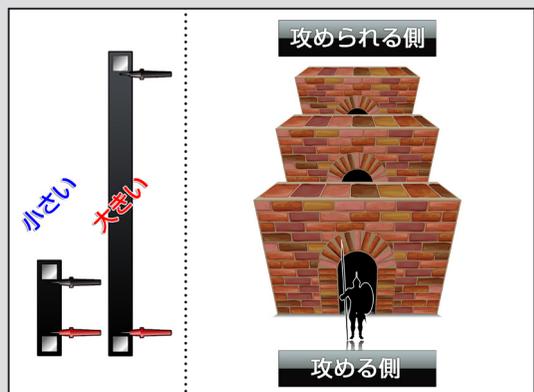
①



②



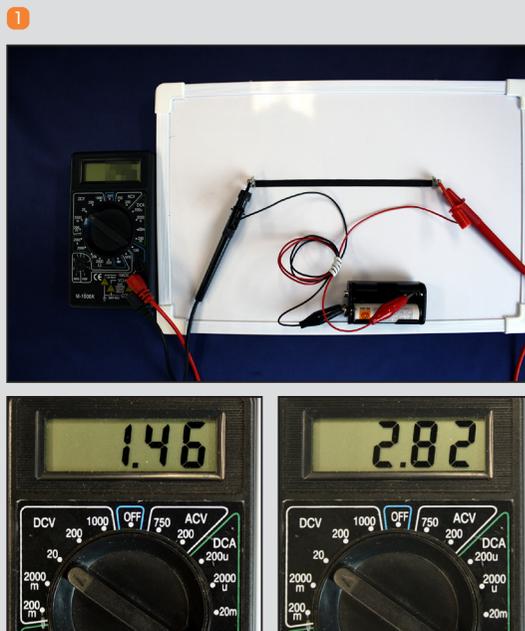
③



## ■ 解答のサンプル

### 06 実験シート 電場の実験 1-1

導電ゴムの両端間の電圧を、電池の本数によって電圧がどのように変化するかを測定する実験です。0本の場合は電池がないのですから当然電圧はないですね。1本の場合は、04で説明した通り充電電池1本分の電圧がそのままです。つまり1.2V前後の値が出ればよいでしょう。2本の場合は、その倍の値。つまり2.4V程度の値ができれば、うまく測定できたとみてよいでしょう①。



### 07 実験シート 電場の実験 1-2

電池の本数によって電流がどのように変化するかを求める実験です。オームの法則より、「電流  $I(A) = \text{電圧 } E(V) \div \text{抵抗 } R(\Omega)$ 」の式を使って電流値を求めましょう。

仮に導電ゴムの抵抗値が  $2M\Omega$  ( $M\Omega$  / メガオーム…オームの 1000000 倍) だった場合、電池0本の場合は  $0(V) \div R(\Omega) = 0(A)$  なので電圧と同様に電流は発生しません。

電池1本の場合は、電池の電圧が 1.46V と測定できたので、 $1.46(V) \div 2000000(\Omega) = 0.00000073(A) = 0.73(\mu A)$  となります。  
( $\mu A$  / マイクロアンペア…アンペアの 1/1000000)

電池2本の場合は  $2.82(V) \div 2000000(\Omega) = 1.41(\mu A)$  となります。

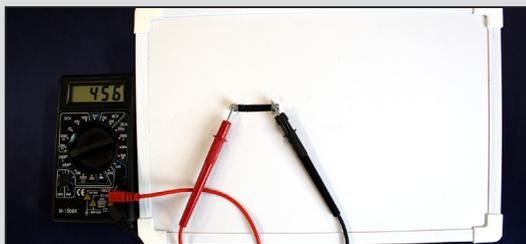
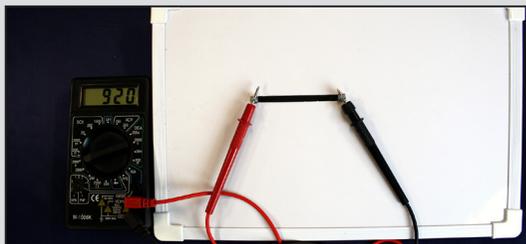
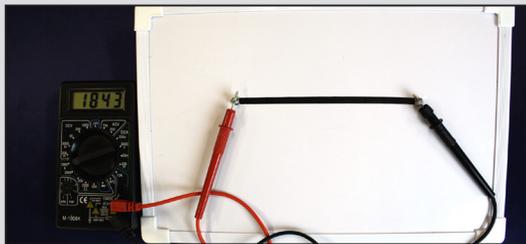
## 08 実験シート 電場の実験 1-3

導電ゴムの長さや厚みを変えたとき、抵抗値がどのように変化するかを測定する実験です。測定する距離が短いと、抵抗値もその長さに比例して低くなっていることが分かります ③。

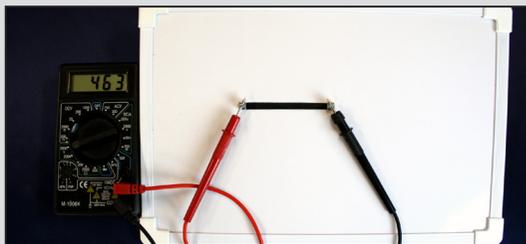
厚さを変えた場合、つまり2枚重ねた状態だと一見して、抵抗値が増えそうな気がするかもしれませんが、実際測定してみると抵抗値はこれまで測ったどの値とも似つかない値になっています ④。数値を見ると、同じ長さの導電ゴムシート1枚の場合の約半分の値になっています。

これは、電気が直列に流れたのではなく並列に、つまり分岐して流れたためです。

③



④



## SECTION

## 02

# 実験で体験する物理

## 電位分布 – 平行電極

テスターの使い方や、抵抗についての理解が深まってくると、電気について興味が湧いてきたでしょうか。今回の実験では、+と-の電極から広がる電位の分布を調べ、その時の抵抗値についての検証を行います。導電ゴムシート全体の抵抗値の半分の地点では、抵抗値はそのまま半分になるのでしょうか。また導電ゴムシートの厚さ、長さが変わったらどうなるのでしょうか。様々な仮説を立てながら実験に臨みましょう。

### 実験に使う部品を準備する

名称	個数	備考	写真
ベースプレート	× 1	(共通)	P004
電池ボックス	× 1	(共通) 充電式単三電池含む	P004
リード線	× 1	(共通)	P004
デジタルマルチテスター	× 1	(共通)	P004
導電性ゴムシート	× 1	(共通) SECTION1 で切り出した残りのゴムシート	P004
アルミテープ付き棒磁石	× 2		P005
ものさし (プラスチック製)	× 1		P005



#### NOTES

備考に (共通) と記述されているものは「LABORATORY II 電場の実験」に共通して使用する部品です。部品の写真は、表に記載された各ページを参照してください。

## 装置の組み立て方

**01** **SEC 01** とほぼ同じ形ですが、幅の広い導電ゴムシート（幅 40mm × 長さ 150mm）を使用します。（**SEC 01** の残りから切り出してください）ネオジム磁石に代わって今回はアルミテープ付き棒磁石を両端に置きます。このとき、棒磁石の端とゴムシートの端が一致するように置いてください。ものさしは、棒磁石の内側のラインに数字の0がくるよう設置し  
ます **1-1**。

1-1



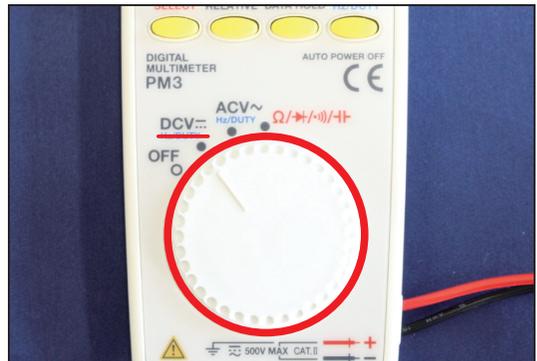
**02** テスターのファンクションは直流電圧 (DCV) を選びます。

2-1



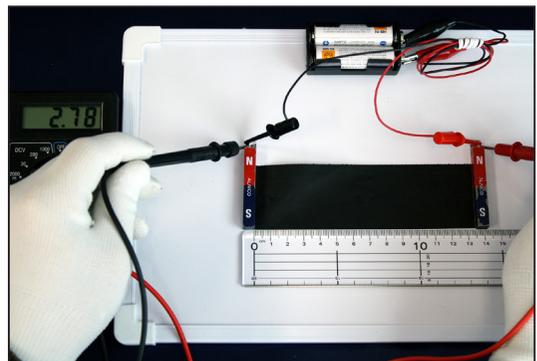
## NOTES

ファンクションとは、テスターのレンジで選べる各エリアのことを指します **2-1**。



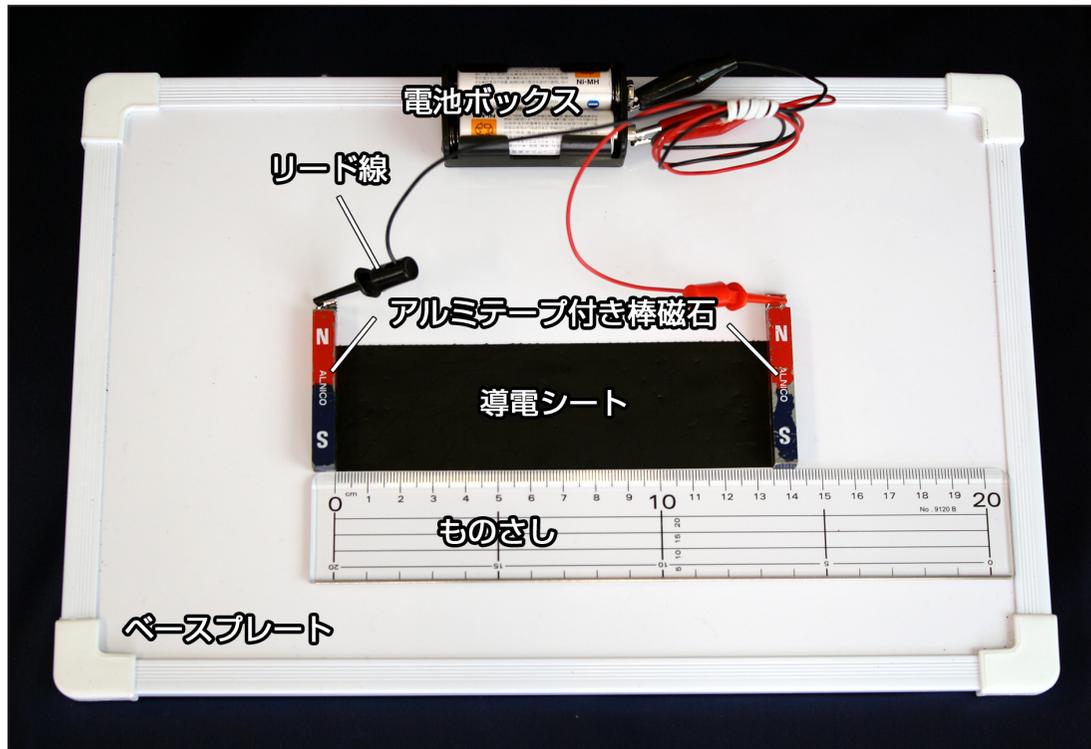
**03** 事前準備として電源（電池）の電圧を測定します。棒磁石の両端の電圧を測り、2.4 ~ 2.8V 程度であることを確認します。満充電時の電圧から大きく電圧が降下している場合は、電池を充電しましょう **3-1**。

3-1



04 01～03の注意点を踏まえて、4-1を参考に実験装置を組み立ててください（実際の部品とは異なる場合があります）。

4-1



実験の手順と課題

05 導電ゴムシート全体の1/10の地点を、ものさしを頼りに計測してみてください 5-1。単純に考えて03で計測した電圧値の1/10の値になるでしょうか、それとも違った答えが出るでしょうか。仮説を立てた上で実験してみましょう。

5-1



SUBJECT

実験シート「電場の実験 2-1」に観察結果を記入してください。

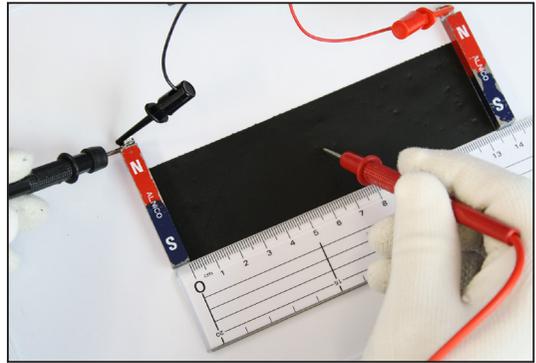
**06** **05**と同様にして、全体の半分の地点も測ってみましょう **6-1**。計測から出た答えから、どのようなことがわかるでしょうか。



### SUBJECT

実験シート「電場の実験 2-2」に観察結果を記入してください。

**6-1**



**07** テスターの黒端子は一極に固定したまま、赤端子を導電ゴム上にあて、テスターの電圧値が**03**で計測した値の  $1/10$  となる位置を探します。(例えば、電池の電圧が  $2.7V$  の場合は  $0.27V$  となる位置を探します) 目的の位置を発見したら、その位置に赤端子を軽く突き刺し、導電ゴム上に印を付けます。次に、導電ゴム上で目的となる別の位置を探し、同様に印をつけてください **7-1**。これを繰り返すと、どのようなことがわかりますか？



### SUBJECT

実験シート「電場の実験 2-3」に観察結果をスケッチしてください。

**7-1**



## ■ 解答のサンプル

### 05 実験シート 電場の実験 2-1

導電ゴムシート全体の 1/10 の地点を計測する問題です。実際に測定してみると、結果は「0.55V」となりました<sup>①</sup>。これがもし「全体の電圧 ÷ 10」であれば「 $2.7 \div 10 = 0.27V$ 」になるはずですが、どうやらそうはならないようです。

①



### 06 実験シート 電場の実験 2-2

導電ゴムシート全体の半分の地点を測る実験です。測定してみた結果、電圧は「1.27V」<sup>②</sup>。今回も「 $2.7 \div 2 = 1.35V$ 」といった答えにはなりませんでした。<sup>05</sup>と同様に、単純に計算した値とは異なった測定値になるようです。

②



<sup>05</sup>も<sup>06</sup>も計算値と実際の測定値が異なっていました。これは接触抵抗による影響です。接触抵抗とは、例えばアルミテープと導電シートの接触面に接触不良や汚れ、ホコリ、錆びなどがあるために、アルミテープや導電シートそのものが持つ抵抗値より大きな抵抗が発生することをいいます。

### 07 実験シート 電場の実験 2-3

テスターの黒端子は一極に固定したまま、赤端子を導電ゴム上にあて、0.27Vとなる位置をひたすら探してみる実験です。導電ゴムシートが広いので、同じ電圧の箇所を見つけやすいと思います。見つけた箇所に点を刻んでいくと、<sup>③</sup>の赤い線のようにになりました。果たして、これはまっすぐな線でしょうか。それとも少し円弧を描いているように見えますか？ 真実のほどは

③



**SEC 03** で確かめてみましょう。

# 実験で体験する物理

## 電位分布 - 点電極

SEC 02 の実験と違い、この実験では点電極を使用します。分かりやすく言えば、任意に選んだ一点から電位がどのような広がりを見せるかといった感じでしょうか。ここではネオジム磁石の上にナットを乗せて電極としています。抵抗の測定方法自体は同じですので、さくさく課題をこなしていきましょう。

### 実験に使う部品を準備する

名称	個数	備考	写真
ベースプレート	× 1	(共通)	P004
電池ボックス	× 1	(共通) 充電式単三電池含む	P004
リード線	× 1	(共通)	P004
デジタルマルチテスター	× 1	(共通)	P004
導電性ゴムシート	× 1	(共通)	P004
ネオジム磁石	× 2		P004
ナット	× 2		P005



### NOTES

備考に(共通)と記述されているものは「LABORATORY II 電場の実験」に共通して使用する部品です。部品の写真は、表に記載された各ページを参照してください。

## 装置の組み立て方

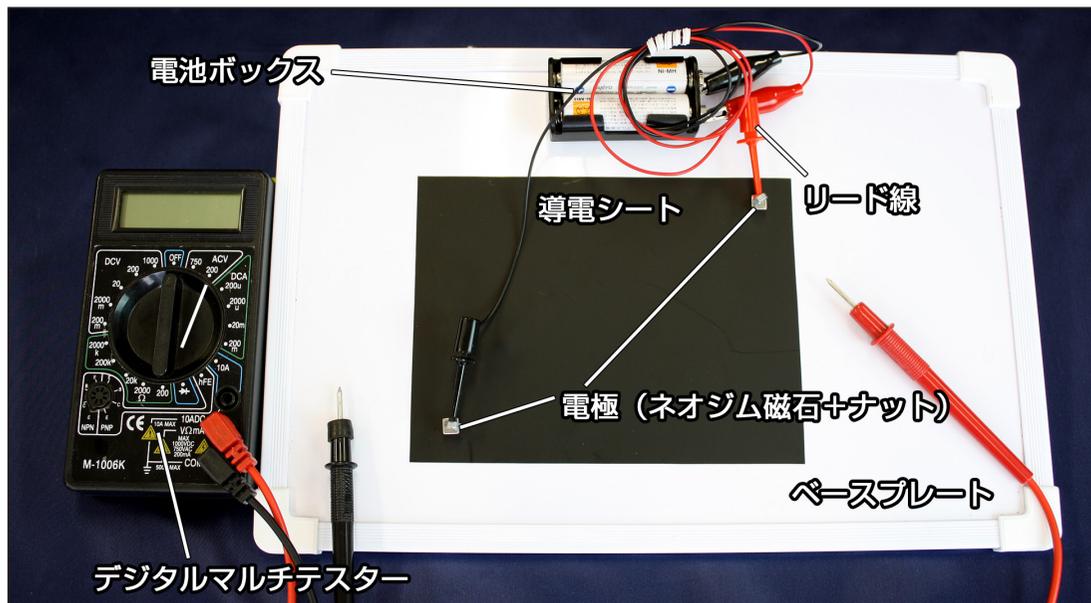
**01** 今回の実験で使う導電ゴムシートは幅 150mm × 長さ 150mm 程度の大きなシートを使用します。ネオジウム磁石とナットを組み合わせたものを電極として自由な場所に設置してください。

1-1



**02** 01の注意点を踏まえて、2-1を参考に実験装置を組み立ててください。

2-1



## 実験の手順と課題

**03** 測定する電極をどちらかひとつ決めてください。テスターの黒端子は一極に固定したまま、赤端子を導電ゴム上にあて、電源（電池）電圧の  $1/10$  の電圧値となる位置を探します。その位置で、赤テスター端子を軽く突き刺し、導電ゴム上に印を付けます **3-1**。次に、導電ゴム上で同じく電源電圧の  $1/10$  の電圧値となる別の位置を探し、印をつけてください。内容自体は **SEC 02** の **07** と同じですが、電極となるものが点電極となっているので、その違いが明確に分かると思います。平行電極と比べて、どのようなことがわかりましたか？



## SUBJECT

実験シート「電場の実験 3-1」に観察結果を記入してください。

3-1



**04** **03** に引き続いて実験を行います。この実験では電源電圧の  $1/10$  値の 2 倍、3 倍、4 倍… 9 倍の値が見つかる地点を探してください。例えば電源電圧の  $1/10$  値が  $0.27\text{V}$  の場合は **4-1** 表のように計算し、これらの電圧値となる地点を探します。二つの電極から描かれた等電位線（同じ値の印を結んだ線）は、どのような形になりましたか？



## SUBJECT

実験シート「電場の実験 3-2」に観察結果を記入してください。

4-1

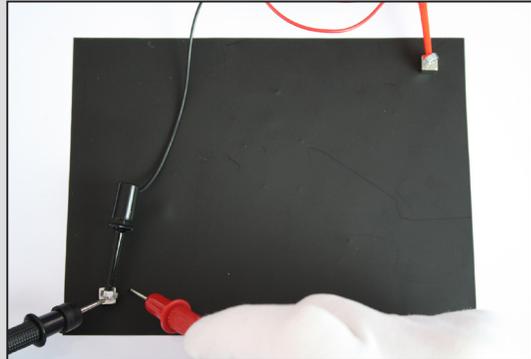
$0.27 \times$	計測値	$0.27 \times$	計測値
2 倍	0.54	3 倍	0.81
4 倍	1.08	5 倍	1.35
6 倍	1.62	7 倍	1.89
8 倍	2.16	9 倍	2.43

## ■ 解答のサンプル

### 03 実験シート 電場の実験 3-1

テスターの黒端子は一極に固定したまま、赤端子を導電ゴム上にあて、電源電圧の  $1/10$  値となる地点を探してみる実験です。印をつける数に決まりはないので、等電位線が分かる程度に印をつければよいでしょう。平行電極と違い、露骨にその線が出ています。

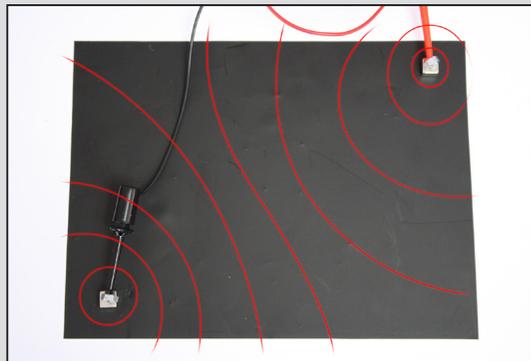
1



### 04 実験シート 電場の実験 3-2

03 の実験に加えて、2 倍～9 倍した値の地点をそれぞれ探し、二つの電極から描かれた等電位線を調べる実験です。2 の赤い線はそれらの点を繋いだものですが、これは電極の周りの電場を示しています。電極を点電極とすることで、ここまで分かりやすい等電位線が観察できました。SEC 02 の 07 で、半分の地点が半分の電圧でなかった理由は、裏にこのような曲線が隠れていたからです。

2



---

■ MEMO

---



## 電気って何？

## "電気"といわれて連想するものは何ですか？

電気は「あかり」？、電気製品を動かす「動力」？、それ  
電気の本質にせまってみよう。

### 電気って何だろう？

「電気」と言われて連想するものは  
なんですか？

昔なら「電気つけてーっ！」とい  
うように、電気といえば「電灯」、「明  
かり」のことでした。今でも電気とい  
えば蛍光灯などの「明かり」を連  
想する人が多いと思います。これは  
電気が引き起こす結果を捉えている  
意見といえるでしょう。

もう少し違った連想として、電気  
とはテレビやパソコン、冷蔵庫や電  
子レンジなどを動かすもの。という  
連想の仕方をする人もいます。これは  
電気を「動力」として捉  
えているといえます。

さらに違った連想として、発電所  
で発電されて、電信柱や送電線  
を通して送られてくるもの。あるいは  
雷によって落ちてくるもの。と、電  
気そのものを連想する人もいます  
でしょう。

### 電気って何だろう？

では電気の本質とは何か？、と言  
われれば、とても小さな物質である  
「電子」の動きが電気だといえるか  
もしれません。

まず、地球上の全ての物質は「原  
子」という、非常に細かい粒子から  
できていると聞いたことはありません  
か？



■ 電気はあかり？



■ 電気は電化製品の動力？



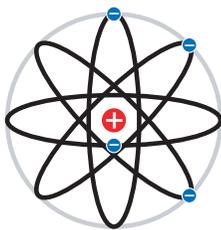
■ 電気は発電所から送られてくるもの？

とも発電所でつくられて電線を通して送られてくるもの？

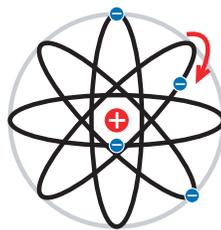
●原子と電子と帯電と・・・

ではその「原子」の構造はどうなっているかというと、「原子核」という核のまわりを「電子」という物質がまわっているのが基本構造です。

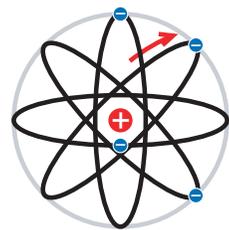
そして原子核は+の電荷を帯びていて、電子は-の電荷を帯びています。(この電荷が電気と思ってもらってもよいです) なぜそうなのかは難しい原子核物理の話になってしまうのでここでは省略しますが、とにかくそうなのです。普段は、というか安定している状態では原子核の+の電気と、電子の-の電気はつり合っています。(下図)



+と-がつり合った原子



電子が出て行くと原子は+の電気を帯びる



電子が入ってくると原子は-の電気を帯びる

しかし何かのキッカケで、電子が原子の粒から出ていったり、逆に入ってきたりもすることがあります。電子が出ていけば-が少なくなって電気のつり合いが崩れ、その原子は+の電気を帯びることになります。電子が入ってくれば-が多くなって、その原子は-の電気を帯びることになります。そして電気のつり合いが崩れた原子が集まると、その物質全体が電気を帯びることになります。このように電気を帯びることを「帯電」する、といい、帯電した物質を帯電体といいます。

●身近な電気「静電気」

身近な所では、下敷きで髪の毛を擦って髪の毛を立てる・・・という遊びがありますね。

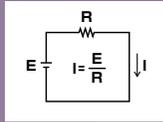
なぜこうなるかというと、髪の毛は+に帯電しやすく、下敷き(塩化ビニル製が多い)は-に帯電しやすいからです。

髪の毛と下敷きを摩擦させると、髪の毛を構成している原子の中の電子が塩化ビニル(下敷き)に移り、これによって髪の毛は+の電気を帯びることになります。一方下敷きは、髪の毛から電子が移ることによって-の電気を帯びることになります。

結果として、+の髪の毛と-の下敷きが引きつけ合うことになるのです。



では、このように物質に帯電した電気を何と申すか??? そう!これが「静電気」なのです。冬に不用意にドアノブなどに触れたときに「パチッ!!!」とくるアレです。+に帯電した人の手と、-に帯電したドアノブとの僅かな空間を電子が飛び、瞬間的に数千ボルトの電気が走る、やっかいな現象ですね。なぜ冬に多いかというと、夏は湿度が高く、目には見えませんが空気中の水分を伝って放電されているからです。



## 電流と電圧と抵抗

生活に密着している  
電気単位 W (ワット)

私たちの生活する上で身近にある電気の単位として、W (ワット) があります。

「60W の電球」とか、  
「1000W のドライヤー」とか、  
「1200W の電気ポット」とか……  
これら W (ワット) という電気単位は電気のエネルギー量を表す単位ともいえ、「電力」のことを表しています。

各家庭の電気料金は、この電力の消費量によって決められています。家電のほとんどが 100V の電圧で動いていますが、中にはエアコンや IH クッキングヒーターのように 200V の電圧で動くものもあります。電力が多く必要な家電は、電圧を大きくして電力をかせいでいるのです。

電力と電圧、電流の関係を表してみると、右のようになります。

さらにメジャーな電気関係の記号として、「Ω」を思い浮かべる人もいるでしょう。

例えばある長さの電線（導線ともいう）の両端に電圧をかけたとすると、そこに流れる電流値は電圧の大きさ（電位差）に比例する、つまり電圧が高いと電流も大きくなるということです。このことを「オームの法則」といいます。1826 年にドイツの物理学者ゲオルク・オームが公表しました。

## 電気の3大要素、「電流」、「電圧」、「抵抗」

電子が動いている状態の電気を「電流」という……  
「1秒間に 1C (クーロン) の電荷 (電子) が流れるときの  
そして、電流を流そうとする力、圧力のことを「電圧」と

### ●クーロン (C)

電気量の SI 単位。1 アンペアの電流が 1 秒間に運ぶことのできる電気量、つまり電荷の量。フランスの物理学者シャルル・ド・クーロンの名前からきている。

### ●アンペア (A, I)

電流を表す単位。フランスの物理学者アンドレ・マリ・アンペールの名前からきている。単位は A で表すが、量記号は I (Intensity of electricity = 電流の強さ) で表す。

### ●ボルト (V)

電圧・電位差・起電力を表す単位。イタリアの物理学者アレッシンドロ・ボルタの名前からきている。単位、量記号とも V で表す。

### ●電流と電圧、電力の関係

$$P = I \times V$$

P は電力 (W) → P は Power = 力

I は電流 (A) → I は Intensity = 強度

V は電圧 (V) → V は Voltage = 電圧



+

ドライヤー (1200W)

この関係式は家庭でのちょっとした場面で利用することができます。家庭の電気はブレーカーボックス内のブレーカー (漏電遮断機) によって管理されています。このボックスを覗くと、大きなブレーカー (主幹用漏電遮断機) と、小さなブレーカー (分岐遮断機) 数個があるのがわかります。この分岐遮断機ひとつひとつが「キッチンまわり」、「リビング」、「洗面まわり」というように各エリアを管理しています。例えばこの分岐遮断機 1 つの容量が「15A」だとすると、これを超える電流を流してしまうと、回路を保護するために自動的にブレーカーが切れ、俗に言う「ブレーカーが落ちた!」ということになります。

では、容量 15A のエリアで、1200W のヘアドライヤーと 700W の電子レンジを同時に使用したとしたら、どのくらいの電流が流れるのでしょうか?

100V の電圧で合計 1900W の電力を使うので、そこに流れる電流は  $P = I \times V$  を変形させて、「 $I = P \div V$ 」で求められます。つまり  $1900W \div 100V$  で 19A。電源容量の 15A を超えているので、使用後しばらくするとブレーカーが「ポスンッ!」となるでしょう……。

ということは前に説明しましたが、この電流にはきちんと単位があります。  
電流の大きさが「1 A (アンペア)」と定義されています。  
います。



シャルル・ド・クーロン  
1736～1806年



アンドレ＝マリ・アンペール  
1775～1836年



アレッサンドロ・ボルタ  
1745～1827年



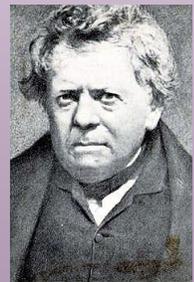
電子レンジ 700W

= ○ A?

ゲオルク・ジモン・オーム

1789～1854年

オームの法則の発見・公表者。ただし実際に最初に発見したのは1781年のヘンリー・キャヴェンディッシュであるが、公表しなかったため、45年後に再発見して公表(1826年)したオームの名前が法則の冠に付いている。



●オームの法則とは

ここで電流を  $I$  , 電圧を  $V$  , 比例定数を  $R$  とすると、電圧 ( $V$ ) = 比例定数 ( $R$ ) × 電流 ( $I$ ) となる。

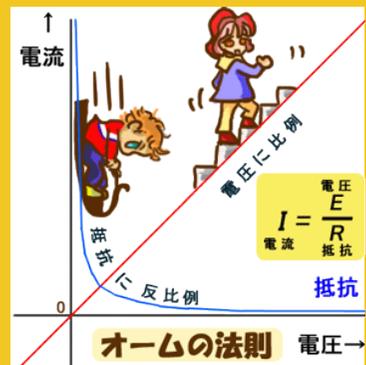
( $R$  は Resistance : 抵抗) 比例定数  $R$  は「電気抵抗」と呼ばれ、電気の流れ「にくさ」を表している。単位は  $\Omega$  (オーム) (おっ！ ここでオームの名前が出てくるのか！でもこれは単位記号のこと。量記号は前にも出ている  $R$ )

この式をもう少し砕いて解説すると、「同じ電気抵抗だとすれば、電流が大きいほど電圧も大きい。そして同じ電流値だとすれば、電気抵抗が大きいほど電圧も大きい」ということになる。

また、 $V = R \times I$  の式を変形させると、 $R = V \div I$  となり、

- ①電圧が同じなら・・・電流が大きいほど電気抵抗は小さくなる
  - ②電流が同じなら・・・電圧が大きいほど電気抵抗も大きくなる
- ということになる。さらに式を変形させて、 $I = V \div R$  とすると、
- ①電圧が同じなら・・・電気抵抗が大きいほど電流は小さくなる
  - ②電気抵抗が同じなら・・・電圧が大きいほど電流も大きくなる
- ということになる。

つまり、3つの要素、 $V$  (電圧)・ $I$  (電流)・ $R$  (抵抗) のうちどれか2つの値がわかれば、残り1つの値も計算によって求められることを示している。電気工学において、クーロンの法則とともに最も重要な法則のひとつといわれる所以である。





## 抵抗の直列・並列

材質が同じで  
長さが違う導線の抵抗値

Q：材質が同じで、長さが違う導線が2本あるとする。この場合どちらの電気抵抗が大きいか？

Q：抵抗を直列ではなく、並列につないだときの電気抵抗値はどうなるか？

## 電気抵抗を直列に接続した場合と並列に

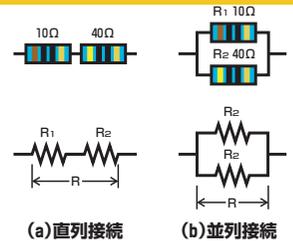
オームの法則において  $V = R \times I$  の比例定数  $R$  を「電気電流を流しにくい材質の導線であれば、電気抵抗は大きく

A：材質が同じであれば、長い方が電流が流れにくくなる。（電気抵抗が大きい）つまり、仮に長さが10cmの導線と20cmの導線とでは、電気抵抗は2倍になるということ。



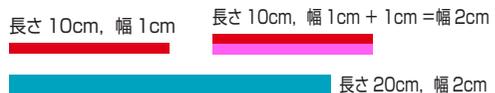
ということは、10cmの導線を2本つないだら長さは20cmになるので、電気抵抗値も10cmのときの抵抗値+10cmのときの抵抗値と同じということになり、抵抗を直列につないだときの電気抵抗値は足し算で求められることがわかる。（ $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$ ）

例：1Ωと3Ωの抵抗を直列につないだら、1Ω+3Ωで4Ωの電気抵抗値になる



A：導線が長ければ電流は

流れにくくなるが（ホースが長いとなかなか水が出てこない）、導線が太くなれば電流が流れやすくなる（ホースが太いと水がたくさん流れる）。導線（抵抗）を並列につなぐということは、通り道が2つできるということで、それは導線が太くなったことと同じことで、電流は流れやすくなる。



仮に、電流の流れやすさを  $T$  で表すとすると、電気抵抗  $R$  (=流れにくさ) を使って「 $T = 1 / R$ 」と表される。これは流れやすさを表すものなので、その逆数が流れにくさ、つまり  $R$  を表す。流れやすさ  $T$  が大きくなると流れにくさ  $R$  は小さくなる。

## 接続した場合の抵抗値は？

抵抗」と呼び、電気抵抗とは電流の流れにくさを表すと説明したが、  
なり、流しやすい材質の導線であれば電気抵抗の値は小さくなる、これは当然ですね。

今、断面積が  $2\text{cm}^2$  の導線の電気抵抗が  $3\ \Omega$  だとすると、このときの電流の流れやすさ  $T$  は  $\frac{2}{3}$  と表される。

逆に流れにくさはその逆数で、 $R = \frac{3}{2}$  と表される。

断面積が  $4\text{cm}^2$  になると、電流の流れやすさ  $T$  は  $\frac{4}{3}$

流れにくさ  $R$  は  $\frac{3}{4}$  と表される。

さらに断面積  $2\text{cm}^2$  の導線 (a) と  $4\text{cm}^2$  の導線 (b) を束ねたとする。

(a)  $2\text{cm}^2$

(b)  $4\text{cm}^2$

このときの電流の流れやすさは、単純に (a) + (b) である。

(a) の導線の流れにくさを  $R(a)$   $\Omega$  だとすると、流れやすさはその逆数で、 $(a) = \frac{1}{R(a)}$  ……①

(b) の導線の流れにくさを  $R(b)$   $\Omega$  だとすると、流れやすさはその逆数で、 $(b) = \frac{1}{R(b)}$  ……②

2本の導線を束ねたときの流れにくさを  $R(a) + (b)$   $\Omega$  だとすると、流れやすさはその逆数で、 $(a) + (b) = \frac{1}{R(a) + (b)}$  ……③

①式と②式を、③式に代入すると、

$$\frac{1}{R(a)} + \frac{1}{R(b)} = \frac{1}{R(a) + (b)} \text{ となる。}$$

つまり抵抗を並列接続した場合は、電気抵抗の逆数を足し算できるのである。

ちなみに、複数の抵抗を並列に接続してひとつの大きな抵抗とみなすとき、これを「合成抵抗」という。

まとめると、

直列抵抗では、各抵抗の和が合成抵抗値になり、 $R(\text{合成抵抗}) = R_1 + R_2 + R_3 \dots$

並列抵抗（合成抵抗）では、各抵抗の逆数の和が合成抵抗の「逆数」になり、

$$\frac{1}{R(\text{合成抵抗})} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots$$

つまり、 $20\ \Omega$  と  $30\ \Omega$  の抵抗を並列につないだ場合の合成抵抗値は、 $\frac{1}{20}\ \Omega + \frac{1}{30}\ \Omega = \frac{1}{12}\ \Omega$

の逆数ということになり、 $12\ \Omega$  が合成抵抗値になる。

※こういう理論的な考察とは別に、単純に合成抵抗値を求めるために、俗に「和分の積」という計算方法がある。

例えば先の抵抗値 ( $20\ \Omega$  と  $30\ \Omega$ ) で言えば、 $\frac{20 \times 30}{20 + 30} = \frac{600}{50}$  で、 $12\ \Omega$  ということである。

このほうが簡単！



# LABORATORY - III

## ■ 磁場の実験

私たちの生活に根付く感のある **IH クッキングヒーター**。「ウチにはまだないよ」という方のご家庭でも、炊飯ジャーが IH タイプではないですか？

**IH** とは Induction Heating の略で**電磁誘導加熱**という意味。そのしくみを大雑把にいうと、磁力を発生させるためのコイルに高周波電流を流すと、発生した磁力線によって鍋底にうず電流が流れ、この電流と鍋の金属抵抗によってジュール熱が発生して鍋底自体が発熱する・・・というものです。

このしくみの大本になっているのが、1820年にデンマークの物理学者ハンク・クリスティアン・エルステッドが発見した、「**電流によって磁場が発生する**」というもの。彼は導線に電流を流すと近くに置いた磁針が振れることに気が付いたのです。

このように、電流と磁場には密接な関係があるということを、実験によって確かめてみましょう。

## SECTION

- 01 磁場はめぐる
- 02 電流の正体を磁場であばく
- 03 電流がつくる磁場
- 04 磁場がつくる電流



## SECTION

## 01

# 実験で体験する物理

## 磁場はめぐる

皆さんのまわりに満ちあふれている「磁場」。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、産業用の強力な磁石、そして地球も大きな磁石といえます。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、磁場は他のもの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。

### 実験に使う部品を準備する

名称	個数	備考	写真
アルミテープ付き棒磁石	× 2	(共通)	P005
方位磁針	× 10	(共通)	P005
磁場観察槽	× 1	(共通)	P005
ゼムクリップ	× 2	(共通) 2 個以上	P005
セロテープ	× 1	04	P005
消しゴム	× 1	05	P005
シャープペンの芯	× 1	05	P005
糸 (細い紐)	× 1	05	P005
鉄板	× 1	06	P005
銅板	× 1	06	P005
アルミ板	× 1	06	P005
プラスチック板	× 1	06	P005
ネオジウム磁石	× 1	05	P005



#### NOTES

備考に (共通) と記述されているものは「SECTION 01 磁場の実験」に共通して使用する部品です。部品の詳細については、表に記載された各ページを参照してください。

## 実験の手順と課題

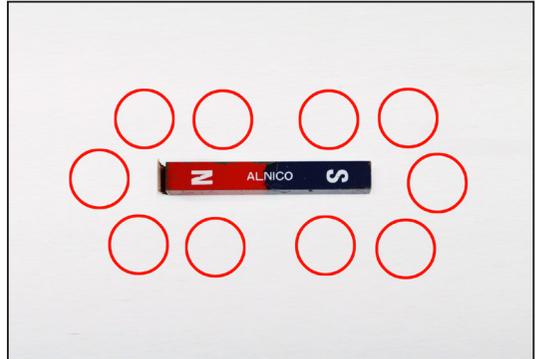
**01** 磁場の性質を調べるために方位磁針で磁場の向きを調べて見ましょう。**1-1**を参考にして棒磁石の周りに方位磁針を配置し、方位磁針の向きを観察してみましょう。  
※もし方位磁針の向きが他と逆を指しているものがあれば、P.84 ■を参考に向きを直してください。



## SUBJECT

実験シート「磁場の実験 1-1」に観察結果を記入してください。

## 1-1



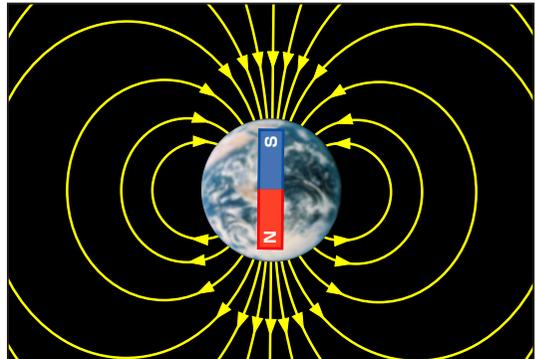
**02** **01**の実験を参考にして「磁束」を予想し、実験シートに書いてみましょう。「磁束」とは、磁力の向きと強さを書き表したもので、例えば地球の磁束を描いてみると**1-2**のようになります。



## SUBJECT

実験シート「磁場の実験 1-2」に予想を記入してください。

## 1-2



**03** では実際に磁場観察槽を使って磁束を観察してみましょう。**3-1** のように磁場観察槽の上に棒磁石を配置し、磁束を観察してください。磁場観察槽の中には鉄粉が入っていますが、これが均等に分散していないときれいな磁束は観察できません。

**3-2** のようによく振って、鉄粉を適度に分散させてから実験してください。



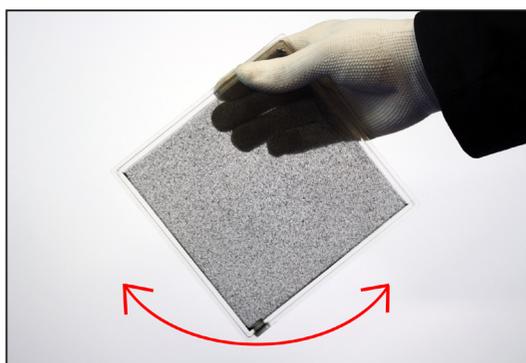
**SUBJECT**

実験シート「磁場の実験 1-2」に観察結果をスケッチしてください。

**3-1**



**3-2**



**04** **03** で磁束を観察しましたが磁石を2つにするとうどのような結果になるでしょう。同極、異極それぞれで実験してみましょう **4-1**。



**SUBJECT**

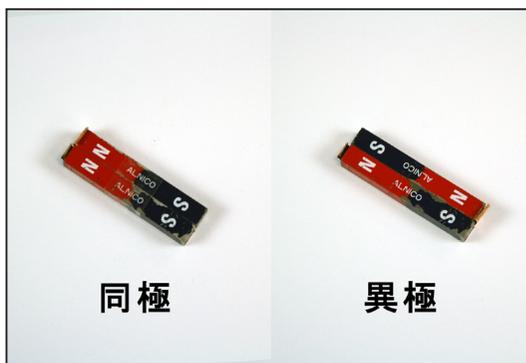
実験シート「磁場の実験 1-3」に観察結果をスケッチしてください。



**NOTES**

2つの磁石で実験する際、同極同士は反発するのでセロテープ等で固定して実験をしましょう。

**4-1**



05 どのようなものが磁石にくっつくのでしょうか？ クリップ、消しゴム、シャーペンの芯など身近にあるものを糸で釣り、そこに強力磁石（棒磁石にネオジウム磁石をくっつける）を近づけて反応を調べてみましょう 5-1



### SUBJECT

実験シート「磁場の実験 1-4」に実験結果を記録してください。



### INFORMATION

ネオジウム磁石 (Neodymium magnet) 5-2  
磁束密度が非常に高く、永久磁石のうちでは最も磁力が強力であるとされている。2004年に日本で開発された。ネオジウム、鉄、ホウ素を主成分としたレアアース磁石で錆びやすいため、ニッケルめっきされていることが多い。

5-1



5-2



06 色々な材料の板で磁場が通るかどうか調べてみましょう。磁石と磁場観察槽の間にいろいろな素材の板を置いて確かめてください。 6-1

- ・プラスチック板
- ・鉄板
- ・銅板
- ・アルミニウム板 その他なんでも。



### SUBJECT

実験シート「磁場の実験 1-5」に実験結果を記録してください。

6-1



**07** 予想をしてみましょう。**06**での実験をふまえると、どのようなものを使えば磁場を遮ることができるでしょうか。



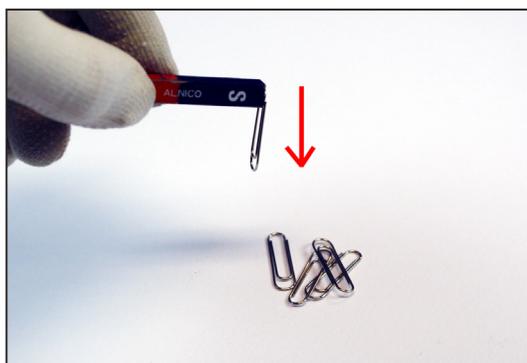
**SUBJECT**

実験シート「磁場の実験 1-5」に予想を記入してください。

I 光の実験

**08** クリップにクリップを近づけてもクリップ同士はくっつきません。では磁石にくっついたクリップに別のクリップを近づけるとどのような反応をするでしょう。 **8-1**

**8-1**



**SUBJECT**

実験シート「磁場の実験 1-6」に観察結果を記入してください。

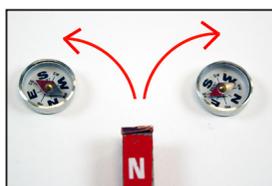
II 電場の実験

III 磁場の実験

方位磁針の直し方

**#1** 実験では小さな方位磁針を 10 個使いましたが、中には狂って逆をさしているものありませんでしたか？ **e-1** 日常生活ではいろいろなところに磁気や磁場があふれているので、このようなことも起こります。そこで、狂ってしまった方位磁針を簡単に直す方法を紹介しましょう。

**e-1**



まずわりと強力な磁石を 1 つ用意します。実験で使った棒磁石でよいと思います。

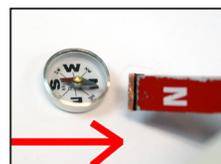
この磁石のどちらかの極を方位磁針の横からゆっくりと近づけていきます。 **e-2**

**e-2**



そのまま方位磁針の上をこするようにして反対側まで移動して通過させます。 **e-3**

**e-3**



こうすることで方位磁針は正常に戻るはずですが。

なお、この操作は 1 回だけにしてください。2 度、3 度こすると、そのたびに狂ったり直ったりして結局狂ったままになることがあります。

IV 力学の実験

## ■ 実験・解答のサンプル

01 実験シート  
磁場の実験 1-1

棒磁石のまわりの方位磁針は磁束線にそって針が一定の方向に向きます。①

①

03 実験シート  
磁場の実験 1-2

磁場観察槽をつかって磁束を観察しました。磁力が弱くて磁束がうまく出なかった場合は右図を御覧下さい②。①の方位磁針の向きと同じになりませんでしたか？

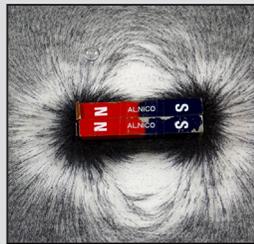
②

04 実験シート  
磁場の実験 1-3

③の実験結果と比べてみると違いがよくわかりますね③。

③

同極の場合



違極の場合

05 実験シート  
磁場の実験 1-4

どのようなものが磁石にくっつくのかを観察しました。実験で用意したものでは④のようになりました。

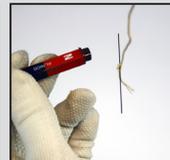
④

消しゴム



くっつかない

シャープペンの芯



くっつかない

ゼムクリップ



くっつく

**06 実験シート  
磁場の実験 1-5**

どのようなものが磁場を妨げないのか、棒磁石と磁場観察槽の間に4種類の板を挟んで観察しました。それぞれの板を棒磁石ごとずらしてみるとこのような結果になりました **5**

**5** プラスチック板



鉄板



銅板



アルミ板



**08 実験シート  
磁場の実験 1-6**

磁石にくっついているゼムクリップに別のゼムクリップに近づけると、磁石ではないのにゼムクリップ同士がくっついてしまいました。 **6**

**6**



# 実験で体験する物理

## 電流の正体を磁場であばく

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」の正体は導線を通る「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実感がわきません。それを目に見える形にしてくれるのが「磁場」なのです。この実験では、「ホール素子」という部品に電流を流し、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」の使い方にも慣れてください。

### 実験に使う部品を準備する

名 称	個数	備 考	写 真
ホール効果観察器	× 1	(共通)	P005
電池ボックス	× 1	(共通)	P004
デジタルマルチテスター	× 1	(共通)	P004
リード線	× 2	(共通)	P004
棒磁石	× 1	03	P005
ネオジム磁石	× 1	04	P005



### NOTES

備考に（共通）と記述されているものは「SECTION 02 電流の正体を磁場であばく」に共通して使用する部品です。部品の詳細については、表に記載された各ページを参照してください。

## 実験の手順と課題

- 01** テスターを使って電圧を計測し、電流を求めましょう。ホール効果観察器と電源を **1-1** のようにつなぎ、テスターで電圧を計測します。
- ・電源（電池）の電圧を測定する **1-2**
  - ・抵抗（1kΩ）の電圧を測定し、「オームの法則」をもとにホール素子に流れる電流を求める **1-3**
- ※オームの法則は **2-1** を参照。



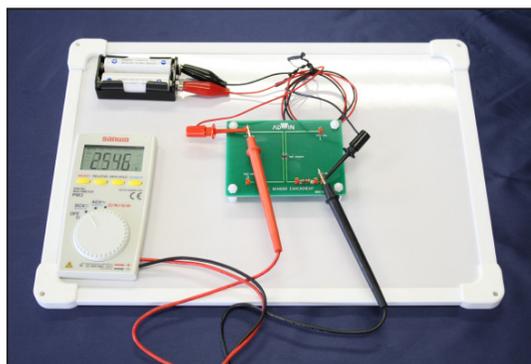
### SUBJECT

実験シート「磁場の実験 2-1」に計測・計算結果を記入してください。

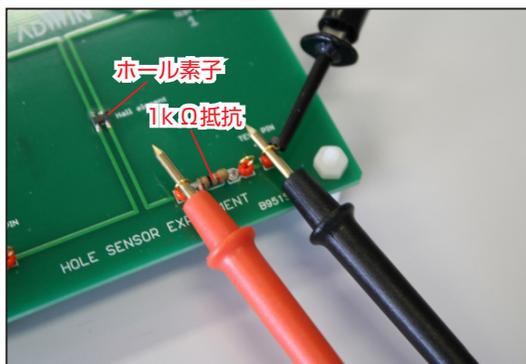
#### 1-1



#### 1-2



#### 1-3



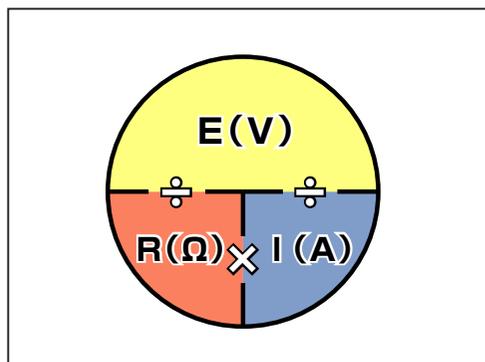
- 02** 電気回路の重要な公式に「オームの法則」があります。電圧・電流・抵抗のうち、どれか2つの値が分かれば、残りの値は計算で求められるという公式です **2-1**。例えば、**1-3** の場合、抵抗は 1kΩ のため、抵抗にかかる電圧を測定すれば電流は「 $E \div R$ 」で求められます。では、今度はホール素子の抵抗値をオームの法則で求めてみましょう。



### SUBJECT

実験シート「磁場の実験 2-1」に計算結果を記入してください。

#### 2-1



**03** ホール効果観察器を流れる電流をまたぐようにテスターを接続して「またぎ電圧」を測定してみましょう **3-1**。

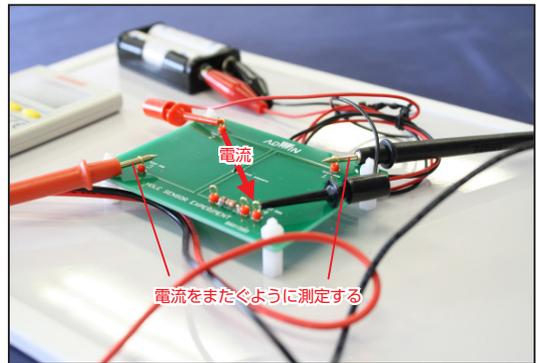
さらに、ホール素子に棒磁石のN極とS極を近づけたとき、それぞれ電圧がどうなるかも観察してみましょう **3-2**。



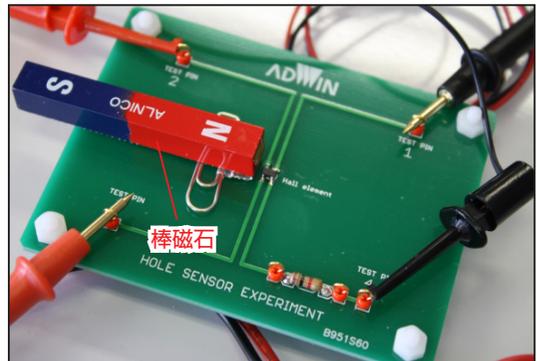
### SUBJECT

実験シート「磁場の実験 2-2」に観察結果を記入してください。

**3-1**



**3-2**



**04** 前の実験に今度は強力な磁石（ネオジウム磁石）を加えてみましょう。棒磁石の先にネオジウム磁石をくっつけて磁力をアップさせた場合、N極とS極でそれぞれ測定値はどうか計測してみましょう **4-1**。



### SUBJECT

実験シート「磁場の実験 2-3」に観察結果を記入してください。

**4-1**



## 考えてみよう 1

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。このローレンツの力により、その電気を持った粒子の分布に偏りを生じ電位差が生まれます。これが「ホール効果」です。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。

**05** 03の実験結果から、ホール素子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づけられるでしょうか？



## SUBJECT

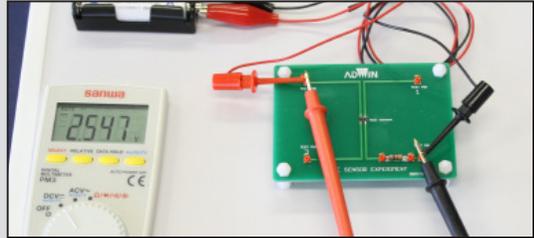
実験シート「磁場の実験 2-4」に考察を記入してください。

## ■ 実験・解答のサンプル

### 01 実験シート 磁場の実験 2-1

ホール効果観測器と電源をつなぎテスターで電圧を計測すると、2.539Vとなりました①。  
また、このとき  $1\text{k}\Omega$  の抵抗にかかる電圧は 1.963V でした。これより  $1\text{k}\Omega$  抵抗を流れる電流は、オームの法則により  $1.963 \div 1000 = 0.001963\text{(A)} = 1.963\text{(mA)}$  となります。 $1\text{k}\Omega$  抵抗とホール素子は直列に接続されているので、抵抗とホール素子に流れる電流は等しく、ホール素子を流れる電流も 1.963mA となります。

①



### 03 実験シート 磁場の実験 2-2

電流をまたいだ場合の電圧を測定すると、1.4mV となりました。さらに棒磁石のN極とS極をホール素子に近づけた場合、電圧は下記のように変化しました。

- N 極を近づけた場合・・・140.5mV
- S 極を近づけた場合・・・-124.6mV

### 04 実験シート 磁場の実験 2-3

実験③の棒磁石に強力磁石（ネオジウム磁石）をつけて磁場を強くした場合のまたぎ電圧値は、下記のように変化しました。

- N 極を近づけた場合・・・201.3mV
- S 極を近づけた場合・・・-196.8mV

※上記①～③の計測結果は一例です。皆さんの計測結果はどうになりましたか？

## SECTION

## 03

# 実験で体験する物理

## 電流がつくる磁場

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。実験で確かめてみましょう。

### 実験に使う部品を準備する

名称	個数	備考	写真
電池ボックス	× 1	(共通)	P004
リード線	× 2	(共通)	P004
方位磁針	× 10	(共通)	P005
抵抗 (220 Ω)	× 1	(共通)	P006
コイル (50 巻き)	× 1	03~04	P006
目盛付コイル固定台	× 1	03~04 ※組立式 組立方法は P.103 を参照	P006
磁場観察槽	× 1	04	P005



### NOTES

備考に（共通）と記述されているものは「SECTION 03 電流がつくる磁場」に共通して使用する部品です。部品の詳細については、表に記載された各ページを参照してください。

## 実験の手順と課題

**01** 電流を取り囲むように磁場が生じている事を確かめてみましょう。まずは回路を作成して電流を流します。**1-1** そして電線の上や下に方位磁針を置いてください。**1-2** 向きはどのように変化しましたか。



## SUBJECT

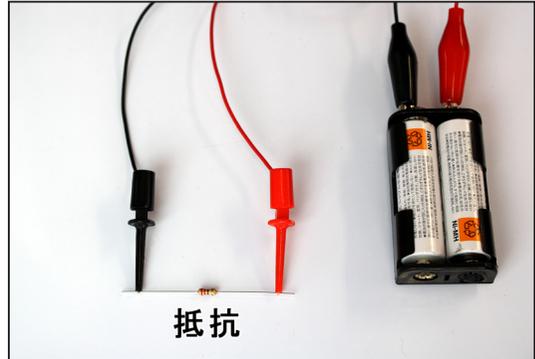
実験シート「磁場の実験 3-1」に観察結果を記入してください。



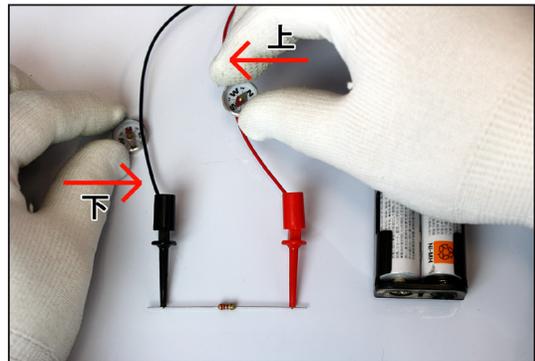
## NOTES

電流が弱い場合は方位磁針が動かない場合があります。

1-1



1-2



02

**01** の実験で磁場の向きを確認しましたが円形コイルの場合はどのような向きになるでしょうか？予想してみましょう。



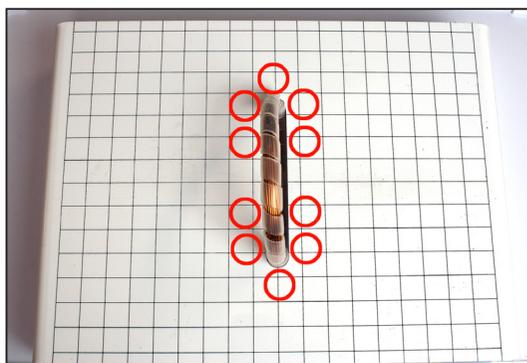
## SUBJECT

実験シート「磁場の実験 3-2」に予想を記入してください。

**03** では実際に円形コイルに電流を流して方位磁針を観察してみましょう。まずは目盛付コイル固定台にコイル（50回巻き）をセットし、方位磁針を配置します。**3-1** 次に電流を流し、方位磁針がどのような向きになるか観察しましょう。また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るでしょう。

※目盛付コイル固定台は組立式ですので、P.103の手順に従って組み立てておきましょう。

**3-1**



**HINT**

方位磁針を置くだけでなく、コイルの中に通したり、まわりで動かしてみるとわかりやすいかもしれません。

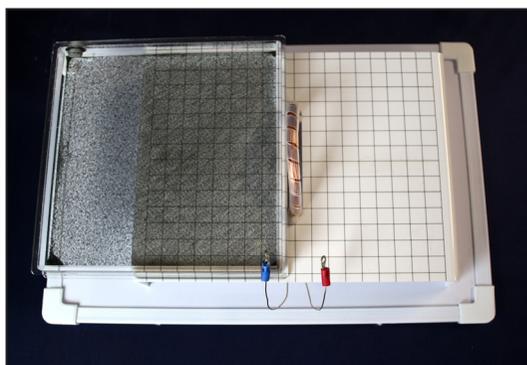


**SUBJECT**

実験シート「磁場の実験 3-2」に観察結果をスケッチし、実験結果を記入してください。

**04** **03** の実験で方位磁針を使い磁場の向きを調べましたが、今度は磁場の分布を調べてみましょう。方位磁針の代わりに磁場観察槽を配置し、磁場の分布を観察してください。**4-1**

**4-1**



**HINT**

実験キットには磁場観察槽は1つしか同梱されていませんが、手元にもうひとつある場合はコイルの両側に挟むように配置して実験をしてください。



**SUBJECT**

実験シート「磁場の実験 3-3」に観察結果をスケッチしてください。

## 考えてみよう2 円形コイルの作る磁場はどのような分布？

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。「SECTION 01 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」が存在しない事を示しています。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。

05 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。考えてみましょう。



### SUBJECT

実験シート「磁場の実験 3-4」に考察を記入してください。

■ 実験・解答のサンプル

01 実験シート  
磁場の実験 3-1

電流で生じた磁場を方位磁針を使って観察しました。方位磁針のリード線の上下に置いた方位磁針はそれぞれこのような向きになりました。

① ※電流の向きは↓

① リード線の上



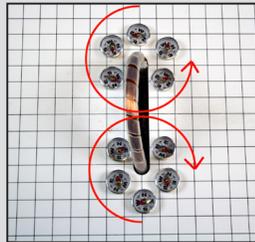
リード線の下



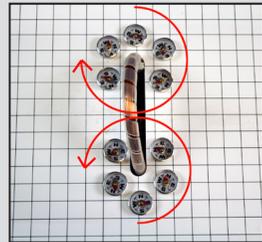
03 実験シート  
磁場の実験 3-2

円形コイルに電流を流し、磁場の向きを観察しました。②電流の向きを逆にすると磁場の向きも逆になります。

②



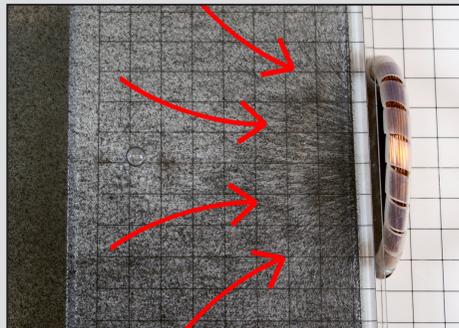
逆向き



04 実験シート  
磁場の実験 3-3

円形コイルの磁場の分布を磁場観察槽を使って観察しました。③方位磁針と同じ方向が観察できます。

③



# 実験で体験する物理

## 磁場がつくる電流

SECTION03では、電流が磁場を作っていることを見てきました。では逆に、磁場が電流を作ってもよさそうなものです。それを実験で確かめてみましょう。静電気や雷以外のいわゆる「使い物になる電気(商用電気)」は、なんと実際にはすべて磁場を用いて作られています。(動力がなんであれ、発電機には必ず磁気が使われているという意味です。)

### 実験に使う部品を準備する

名称	個数	備考	写真
リード線	× 2	(共通)	P004
アルミ付き棒磁石	× 2	(共通)	P005
コイル (50回巻き)	× 1	(共通)	P006
目盛付コイル固定台	× 1	(共通)	P006
デジタルマルチテスター	× 1	(共通)	P004



### NOTES

備考に(共通)と記述されているものは「SECTION 04 磁場がつくる電流」に共通して使用する部品です。部品の詳細については、表に記載された各ページを参照してください。

### 03 実験の手順と課題

**01** 磁場により電流が発生するか実験で確かめてみましょう。目盛付コイル固定台にコイルをセットし、コイルの中に磁石を置きます。この状態でコイルの電線にテスターをつないで電流（電圧）が発生しているか確かめてください **1-1**。

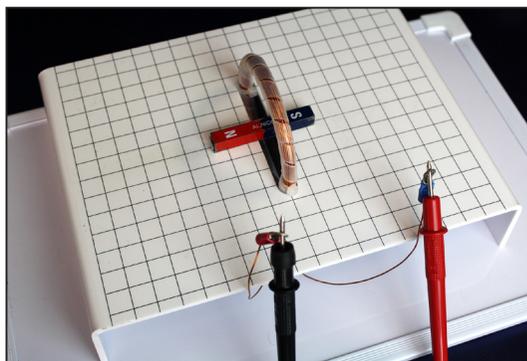
※ SECTION4 では実験の都合上、電流を計測することの出来るテスターを用いています（実験は電圧の計測のみで薦めることが可能です）。予めご了承ください。



#### SUBJECT

実験シート「磁場の実験 4-1」に観察結果を記入してください。

1-1



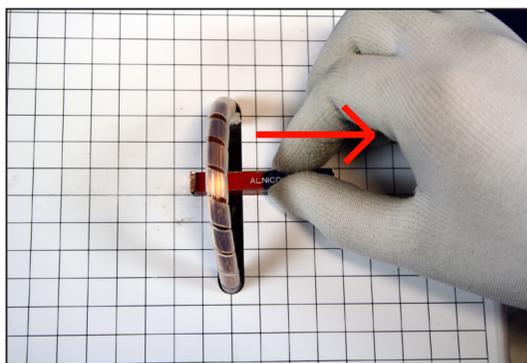
**02** コイルにテスターをつないだ状態で、測定値を観察しながらコイル内から磁石を取り出し、測定値はどうなりましたか？ **2-1**



#### SUBJECT

実験シート「磁場の実験 4-2」に観察結果を記入してください。

2-1



03 02の実験で円形コイルに電流（電圧）が生じる事がわかりました。ではその電流（電圧）の大きさや向きは何で決まるのでしょうか。02の実験を棒磁石1つと2つの場合で、またそれぞれS極とN極の場合とで数値を測定してみましょう。3-1



### HINT

計測時の数値が安定しない場合は磁石の取り出しを毎回一定の力で行うように心がけてみよう。

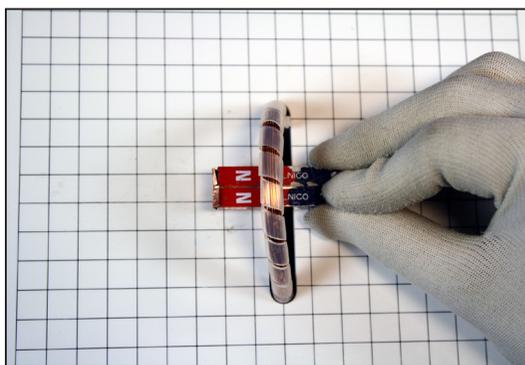
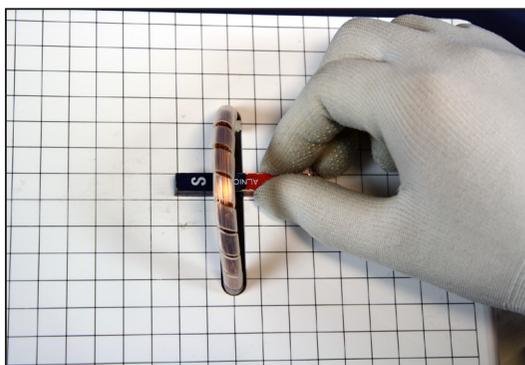


### SUBJECT

実験シート「磁場の実験 4-2」に計測結果を記入してください。

※電流の計測が可能な場合は電流の計測結果も記入してみましょう。

3-1



## 考えてみよう 3 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」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。もともと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ことを素朴に考えると、磁場によって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」であると考えられます。

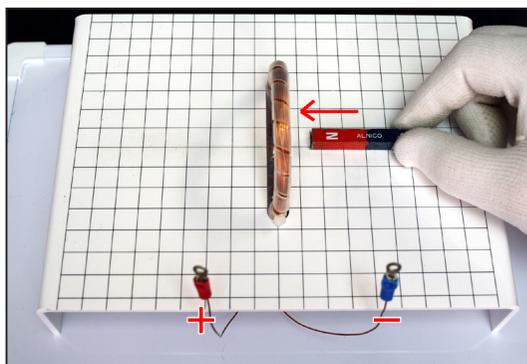
つまり、磁場が“変化”しているところのまわりには電場が発生しているものと考えられます。

このことを、次の実験で確かめてみましょう。

**04** **4-1** のようにコイルに磁石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。

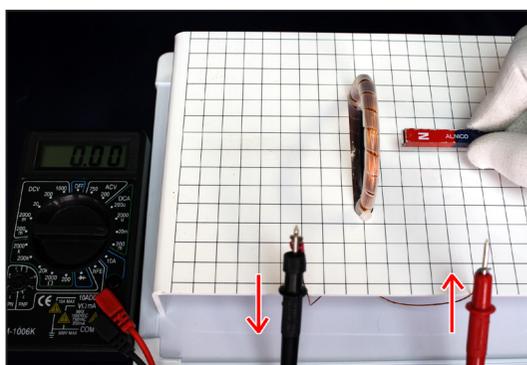
このとき、コイルの左右の電極をつなぐと電流が流れるはずですが、コイルにはどちら向きの電流が流れるのか実験してみましょう。

**4-1**



**05** まずは **4-1** のように台にコイルをセットし、コイルの電線と回路になるようにテスター **5-1** をつなぎます。この状態でN極側から棒磁石を入れた際の電流（電圧）の向きを確かめましょう。

**5-1**



**HINT**

電流（電圧）の向きが逆になってしまう場合はテスターの配置を見直してみよう。



**SUBJECT**

実験シート「磁場の実験 4-3」に実験結果を記入してください。

06 次にコイルに電源をつなぎ<sup>05</sup>と同じ向き  
の電流を再現しましょう。 6-1

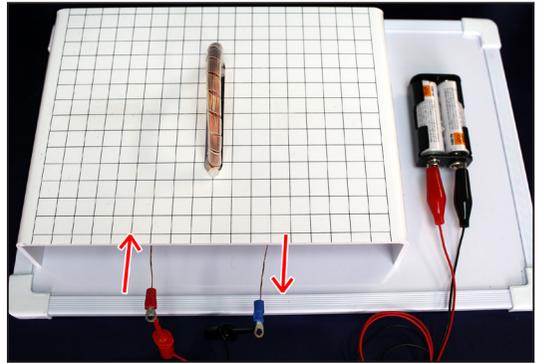
コイルのまわりに方位磁針を配置することで磁場の  
向きがわかるようになります。 6-2



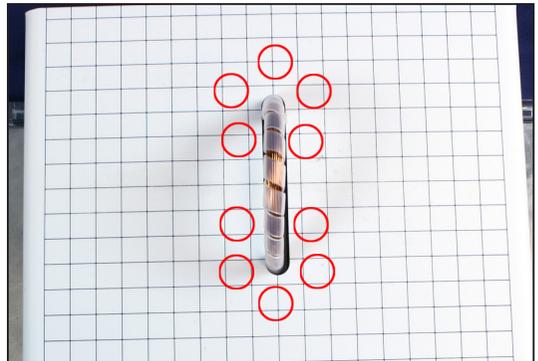
### SUBJECT

実験シート「磁場の実験 4-3」に実験結果を記入し  
てください。

6-1



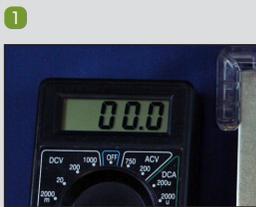
6-2



## 実験・解答のサンプル

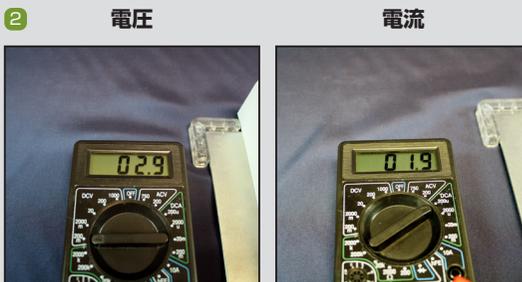
### 01 実験シート 磁場の実験 4-1

磁場により電流（電圧）が発生するかを観察しました。棒磁石が置いてあるだけでは電流（電圧）は発生しないようです **1**。



### 02 実験シート 磁場の実験 4-2

**01**と同様の観察を行いました。今回は磁石を取り除いてみました。するとテスターにこのような変化が起きました **2**。どうやら磁石を引き抜く際に電流（電圧）が発生するようです。



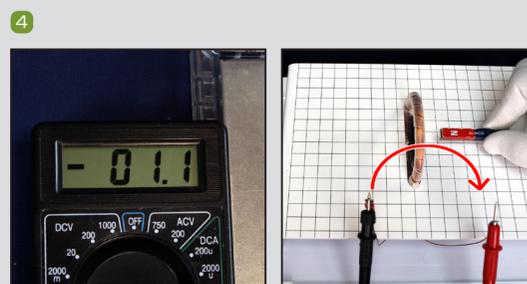
### 03 実験シート 磁場の実験 4-3

**02**の実験を棒磁石の数や極を変えて行いました。すると右図 **3** のような数値がでました。

	電圧	電流
N極（1本）	2.9mV	1.9 $\mu$ A
N極（2本）	7.8mV	6.0 $\mu$ A
S極（1本）	-2.7mV	-2.0 $\mu$ A
S極（2本）	-7.5mV	-6.1 $\mu$ A

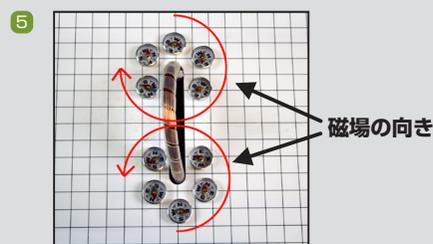
### 05 実験シート 磁場の実験 4-4

**04**のコイルにどちら向きの電流が流れているかを観測しました。コイルを入れると-の数値が出たので電流の向きは画面上で左の端子から右の端子に流れたという事がわかりますね **4**。



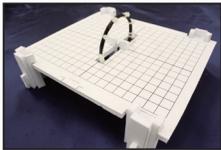
### 06 実験シート 磁場の実験 4-5

**04**のコイルに生じた磁場の向きを計測しました。方位磁針を近づけると針の向きが図のようになりますので磁場の向きがわかりますね **5**。



# 目盛付コイル固定台の組み立て

PDL 実験教材では、皆さんにもものづくりの楽しさ、自分の手で実験することの感動をより味わっていただくために多くの装置を手作りできるよ、また身近な部品で実験できるように構成しました。コイルを固定する台も、自分で手作りできるようになっています。下記手順を参考に、自分だけの実験装置を作ってみましょう！



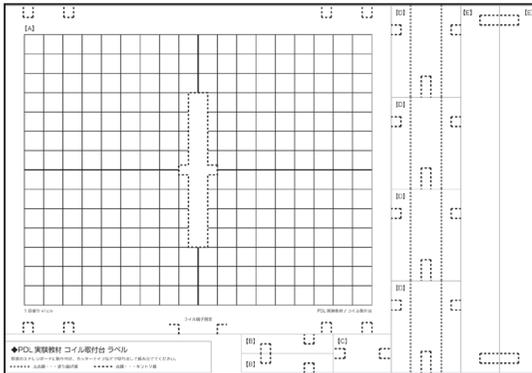
【用意するもの】

- ① スチレンボード (5mm 厚 / 両面紙張り) …… 1 枚 (PDL 実験教材に付属)
- ② コイル取付台ラベル用紙 (接着のり付き) …… 1 枚 (PDL 実験教材に付属)
- ③ カッターナイフ、カッターマット、…………… 1 セット

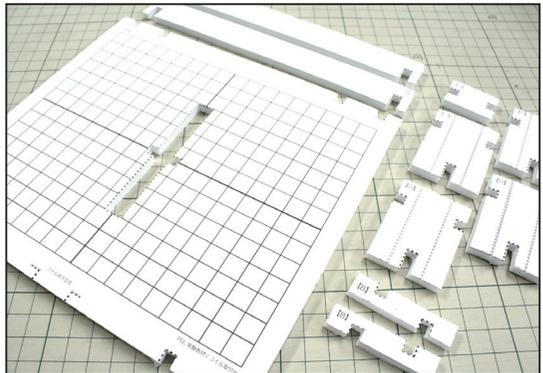
01

スチレンボードの表面 (表裏は特にありません) にラベル用紙 1-1 を貼り付けます。ラベル用紙の裏紙をはがすと接着面が現れますので、しわにならないようにスチレンボードに貼り付けましょう。次に、カッターナイフでラベルに印刷された各部品の外枠と、点線部分をカットします 1-2。部品【D】に印刷された丸い点線は折り曲げ線です 1-3。折り曲げ線は表面の紙をカットしたあと、裏面の紙を曲げて加工します 1-4。

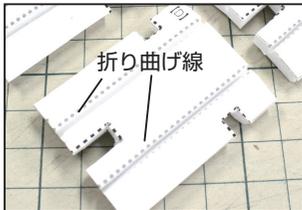
1-1



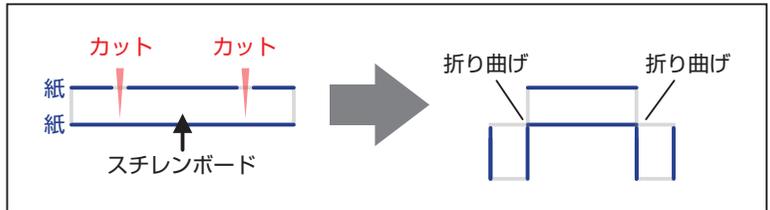
1-2



1-3



1-4



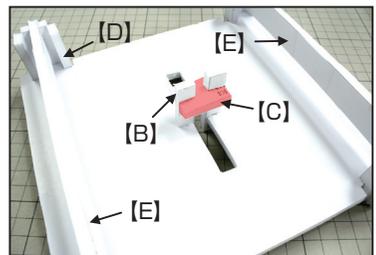
02

いよいよ組み立てに取りかかりましょう 2-1。

1-4 で曲げ加工した部品【D】は、固定台の足になります。まず、部品【A】の四隅に部品【D】を取り付けます。各部品の切れ込みをかみ合わせて、奥までしっかり差し込みんで取り付けましょう。これだけだと足が取れる場合がありますので、部品【E】を部品【D】の切れ込みに差し込んで補強します。

部品【A】中央の穴には 2 つの切れ込みがあります。部品【B】2 本をそれぞれ差し込み、その間に部品【C】を取り付けて (2-1 の赤色部分) 補強すれば、コイル固定台の完成です。

2-1





## 磁石とは？

## けっこう身近にある磁石・・・でも磁石のこと

磁石にはN極とS極があり、N極とS極は引きつけあうが、磁石にはN極とS極が“必ず”あり、どちらかの極だけ、ことを「磁力」といいますが、この力は磁石から遠ざかる

### 磁力と磁界

磁力という力が働いている場所を「磁界」といいますが、この磁界のようすは何度か目にしたことがあるのではないのでしょうか？

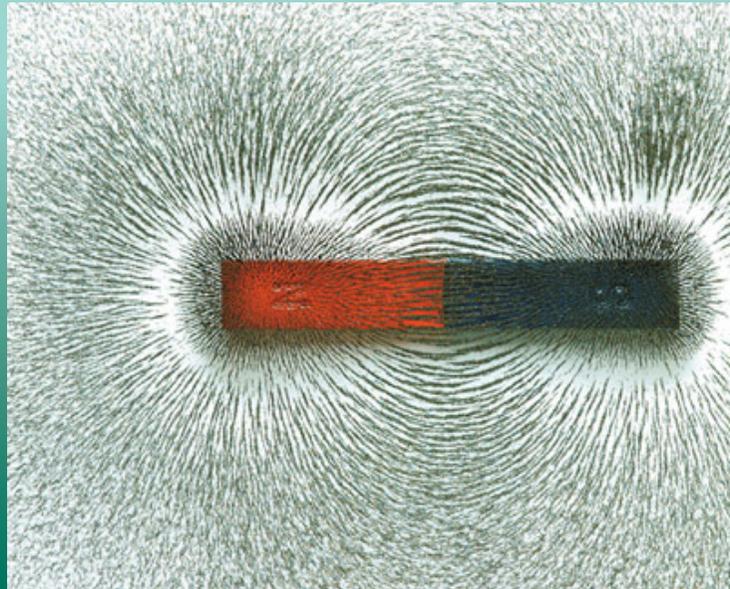
実験でも確認できますが、砂鉄をまいたところに棒磁石を置くと、砂鉄が模様を描き始めます。(右図)

この模様が磁界の様子を表しているといわれています。

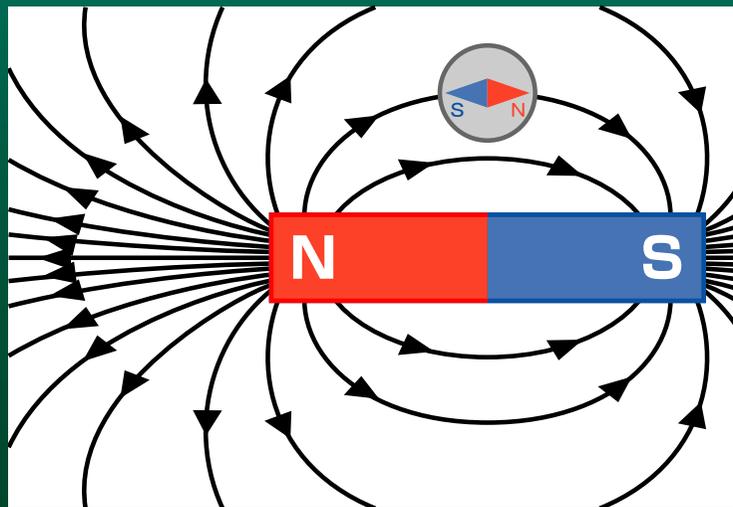
磁界の様子をもっとはっきり見るために、「磁力線：磁力の等高線みたいなもの」という概念でもって、磁界の方向に沿って線を結んでいくと・・・下の図のようになります。

当然、線に沿って力の「向き」というものが存在していて（そうでないと磁力の“力”というものが説明できなくなる）、力の向きはN極からS極に向かっていきます。

方位磁針（=方位磁石）を置くと、針の向きは磁力線に平行になり、方位磁針のN極は磁石のS極の方を向く。つまり磁力線は磁石のN極から出てS極へ向かっているということです。磁力線はS極をめざしていると覚えればよいでしょう。



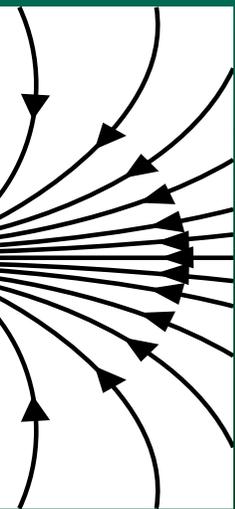
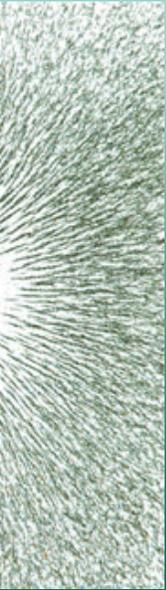
■ 砂鉄が描く磁界のようす



■ 磁力線のようすと向き

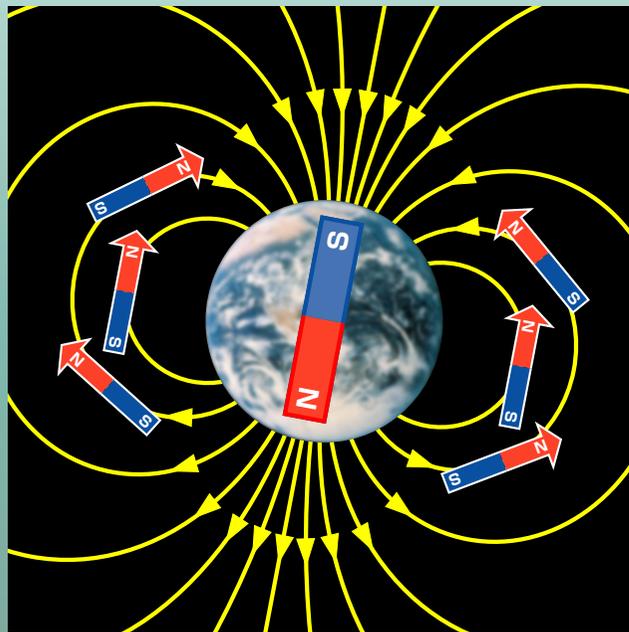
## をどれくらい知っていますか？

同じ極どうしは反発しあう・・・ということは知っていますね。  
というのはありえないのです。そしてこの「引きつけあう力」、「反発しあう力」、この力の  
ほど弱くなり、いずれ力が及ばなくなります



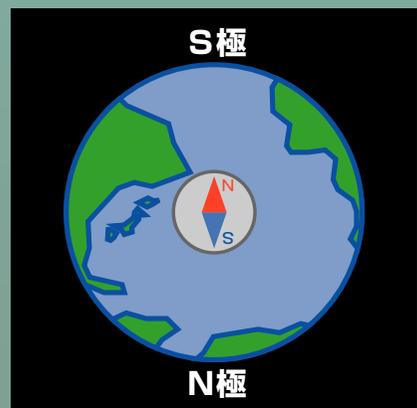
### ●地球は大きな磁石

そこで考えるのが、「そういえば方位磁針を持つと、(必ず) N 極が (赤い方) 北を向くよね  
・・・」ということ。もしかして地球って大きな磁石のようなものなのでは？ と考えたアナタは  
正解。地球もひとつの大きな磁石とみなすことができる。  
この地球のもっている磁力のことを「地磁気」という。



方位磁針はもともと地球上での東西南北を調べる  
ための道具で、方位磁針の N 極 (赤い針) が示  
す方向が地球の S 極ということになる。ちなみに  
N とは North = 北のことを表し、S とは South  
= 南のことを表す。

ここまで聞いて、「あれ?? なんで北をさした  
のに S 極 (= 南) なの?」と思った方もいると思う。  
これは方位磁針を基準にして N 極と S 極を割り  
振ったのでこんな紛らわしいことになっているの  
である。





## 磁石と磁力

電子のスピンによって  
磁力が発生する

地球上の全ての物質は原子という粒子からできていて、その原子の中には原子核があり、その周りを電子がまわっています。そしてまわると同時に電子は自転（スピン）しています。これらの動きによって磁力が発生するのです。磁力は電子（＝電荷）が動くとき発生するのです。

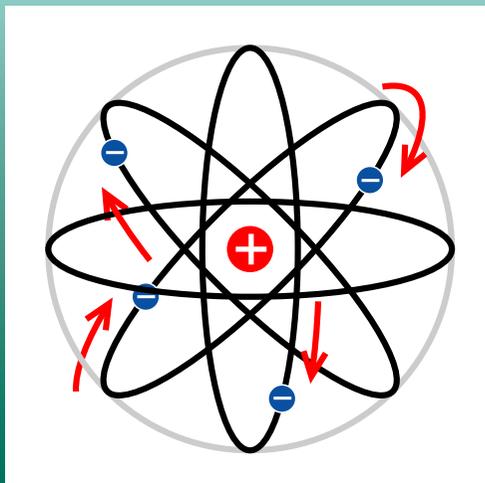
なぜ発生するか、といわれると非常に難しい話になるのでここではしませんが、とにかく原子の中の電子が動いていることによって磁力が発生するのです。この「電子がうごく…」ということが重要です。

でも、それでは全ての物質は磁力を持っていそうですがそうではないですね。

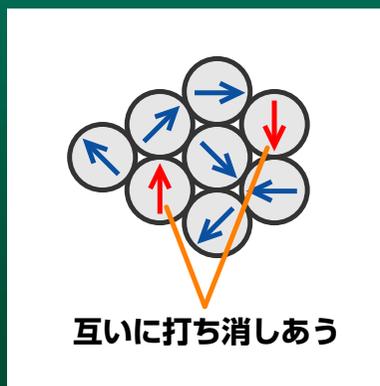
磁石に磁力があって、ほかの物質に磁力がないのは、磁石は原子の向きが揃っているのに対して、ほかの物質は原子の向きがほどよくバラけているので、ちょうどお互いの磁力を打ち消し合っているからです。

## なぜ磁石には磁力があるのでしょうか？

電気のところでも説明しましたが、地球上の全ての物質はがまわると同時に自転（スピン）しています。そうすると



■ 原子核のまわりを電子が動いている



互いに打ち消しあう

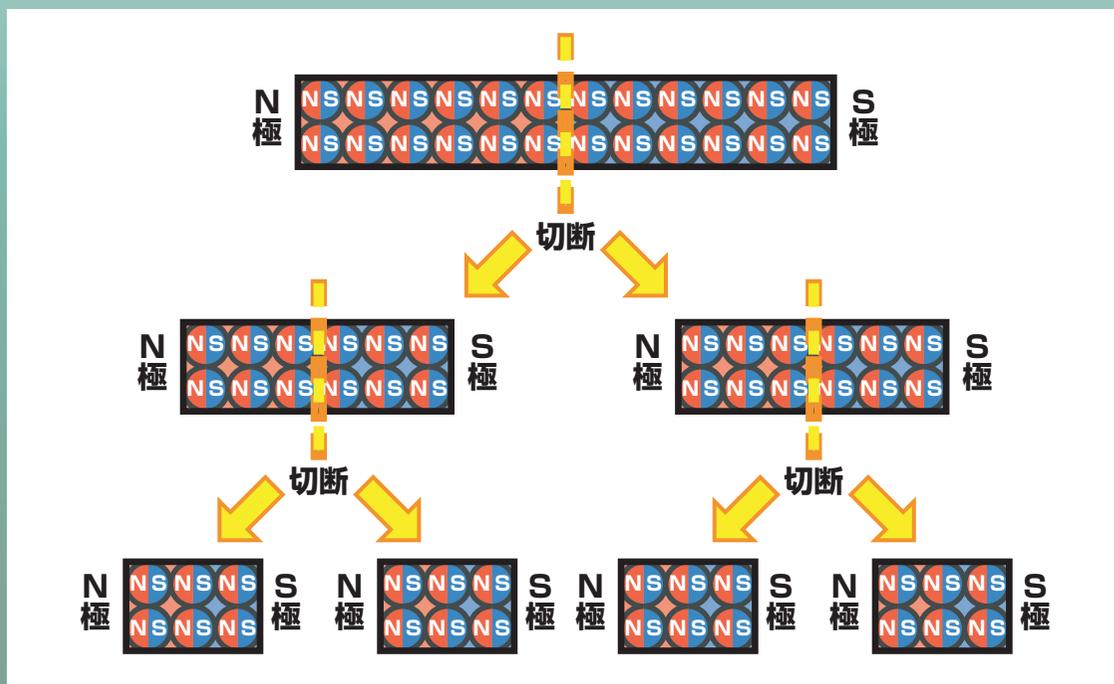
■ 原子の向きがバラバラ

「原子」という粒子からできていて、その原子の中には原子核があり、そのまわりを「電子」  
どうなるか・・・

●磁石は切っても磁石？

磁石は切っても切っても磁石であり続けます。これは原子のひとつひとつが磁力を発生させているので、どこを切っても関係ないのです。

そして、切ったら極性はどうなるのか？ 例えばS極側を少し切ったら、S極だけの磁石ができるのか？ という考えも出るかもしれませんが、そんなことはありません。どんなに小さく切ろうと、片方がS極ならばもう片方は必ずN極です。N極だけ、あるいはS極だけの磁石なんてものはありえないのです。これも原子のひとつひとつがきちんと磁力を持っているからです。





## 電流がつくる磁界

### 電流が流れると 磁界ができる

電子が動くときと磁力が発生します。電子が動くということは、電流が流れるということです。電流が流れると磁力が発生するということなのです。磁力が発生することを「磁界ができる」といいます。この原理はとても難しくここでは説明できません。とにかく電流が流れると磁界ができるのです。

このとき、電流の流れる方向と磁界の方向には決まりがあり、右ねじの法則（またはアンペールの右ねじの法則）といいます。ここでは、

- (1) 直線電流
- (2) 円形電流
- (3) ソレノイド

のときに右ねじの法則によってどのような磁界ができるかを説明します。

## 電子が動くと磁力が発生する・・・電子が動

磁力は発生する原理の説明で、「電子が動くから磁力が発生」ということは、電流が流れたら磁力が発生するのかな？

### ●（アンペールの）右ねじの法則

右ねじの法則とは、電流とそのまわりにできる磁場との関係を表す法則である。フランスの物理学者アンドレ＝マリ・アンペールが1820年に発見した。（電流の単位 A のアンペールさんと同じ）

その概要は、「電流を右ねじが進む方向に直進させると、磁場が右ねじの回転方向に発生する」というもの。

右手を握って親指を立てたとき、親指の差す方向に電流が流れるとすると、親指以外の指の巻き方向が磁場の向きになることから、「右手の法則」とも呼ばれる。（フレミングの右手の法則」とは関係ない）当然、電流の向きを逆にすると、磁場の向きも逆になる。

### ● 直線電流の場合

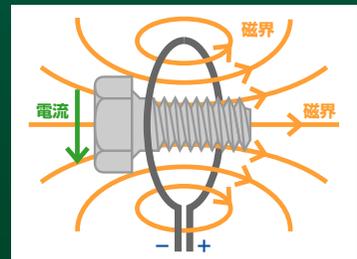
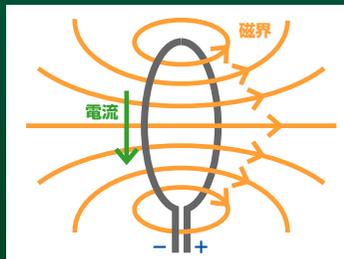
直線状の導線に電流を流すと、導線に垂直な平面内で、導線を中心とする同心円状の磁界ができる。磁界の向きはネジの進む方向に見て右まわり。

### ● 円形電流の場合

わか状の導線に電流を流すと、右のような磁界ができる。さらに下の図のように大きいねじをイメージすれば、電流と磁界を入れ替えて考えても、右ねじの法則が当てはまることがわかる。

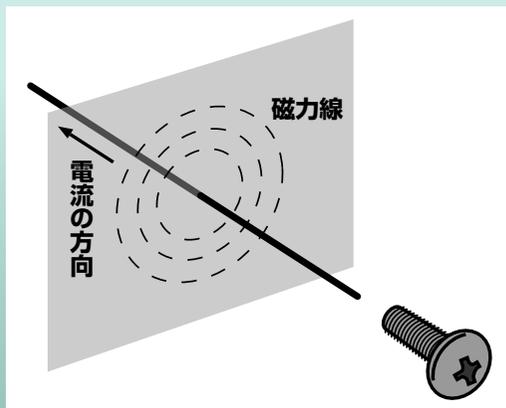
右ねじの法則は、「ねじが進む方向に電流を流すと、ねじのまわる向きに磁界が生じる」だったが、これを「ねじをまわす向きに電流を流すと、ねじが進む向きに磁界が生じる」と考えてもいいのである。

右ねじの法則は、電流と磁界を入れ替えて覚えても大丈夫なのである！そして、円形電流では、電流が大きいほど、また円の径が小さいほど、円の中心部での磁界が強くなる。



## くということは、もしかして・・・？

する」と説明しました。電子が動くということは電流が流れるということですね。



■ 右ねじの法則

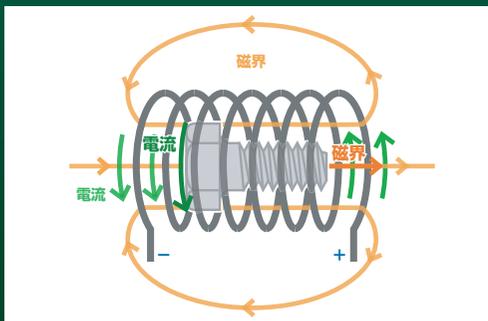
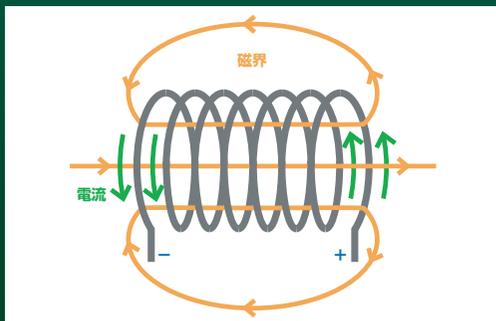
### ● ソレノイド（円筒型コイル）の場合

ソレノイドとは、導線を密に長く巻いた円筒形コイルのことで、円形の導線をたくさん集めたようなもの。

このソレノイドに電流を流すと、下左のような磁界ができる。（棒磁石がつくる磁界に似ているかも）

これも右ねじの法則を適用して、電流と磁界を入れ替えて考えることができる。

ソレノイド内部では、電流が大きいほど、さらにコイルの巻きが密であればあるほど、磁界が強くなる。





## 電流が磁界から 受ける力

## 磁界の中に電流を流すと、電流はどのような

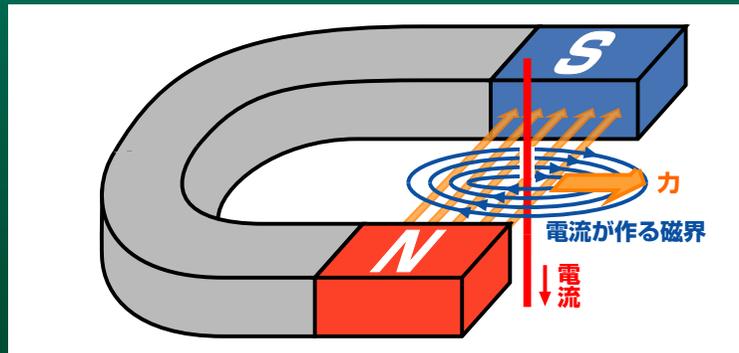
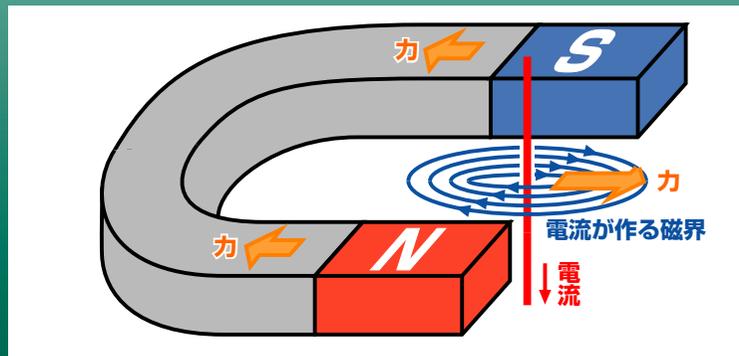
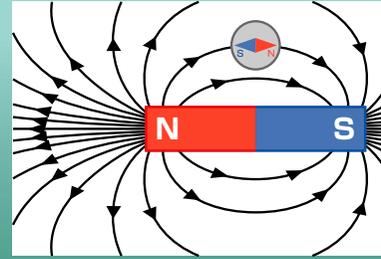
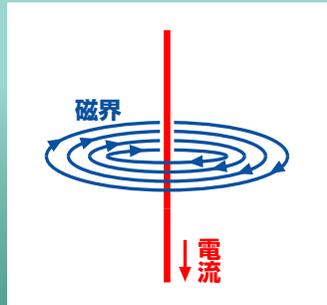
直流電流のまわりには同心円状の磁界ができる。これをする。これはなぜなんだろう？

磁界の中に電流を流すと・・・？

直流電流のまわりには同心円状の磁界ができることは前に説明しましたが、この直流電流（が流れている導線）を右図のような磁石の間に置くと、磁石は左側へ、導線は右側へ動こうとします。これはなぜなのでしょう？

「磁石とは？」の項で説明したように、方位磁針のN極は磁力線の方に移動しよう（磁力線の方に向く）とし、S極は反対の方向へ移動しよう（反対に向く）とします。これはつまり、方位磁針も小さな磁石であると考えれば、磁石のN極は磁力線の方に、磁石のS極は磁力線とは反対の方向に移動しようとする性質があると考えればよいことになります。

だからこそ、右図のような位置関係に磁石と導線を置いたときに、磁石は左側に移動しようとするのです。もし磁石が固定されていれば、当然導線が右側へ移動しようとする。

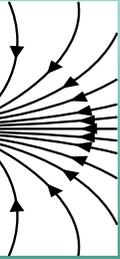


●電流が流れている導線が磁界から受ける力を電磁力という

このように、電流が流れている導線から磁界が受ける力のことを「電磁石の磁気のおもとは前に説明した通り電子のスピンによって発生力も電磁力の一種と言えるのです。わたしたちの身の回りの「力」と

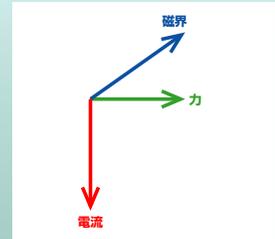
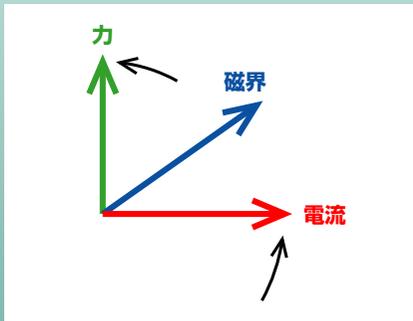
## 影響を受けるのだろうか？

磁石の間（S 極と N 極の間）に置くと、磁石も電流を流している導線もある方向へ動こうと



### ●フレミングの左手の法則

左下の図において、「電流」、磁石による「磁界」、「力」の方向を書きだすと右のようになりますが、これらの方向を簡単に覚える方法として、「フレミングの左手の法則」があります。右図を回転させると下図のようになります・・・



これに左手の3本の指を当てはめるのがフレミングの左手の法則です。中指から順番に、「電」、「磁」、「力」、です。親指がいちばん力が入るので、「力」と覚えてください。



磁力」といいます。また電流とは関係のない、磁石同士が及ぼし合う力も電磁力の一種で、特に「磁気力」といいます。したものなので、この電子のスピンも小さな円電流とみなせば、この円電流によって磁気力が生まれたと言え、よって磁気いうものは「重力」と「磁気力」のどちらかなのです。



## 電磁誘導とは

### なぜコイルと磁石で 電流が発生するのか

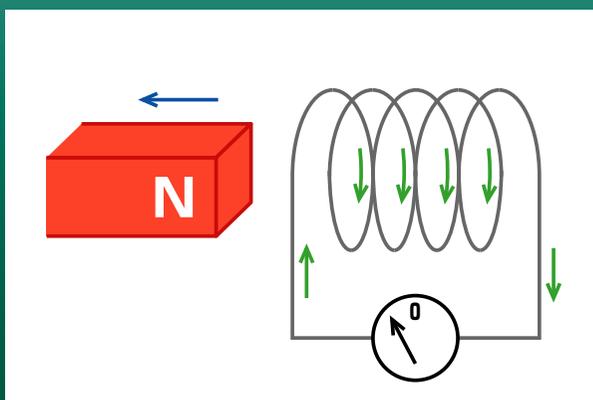
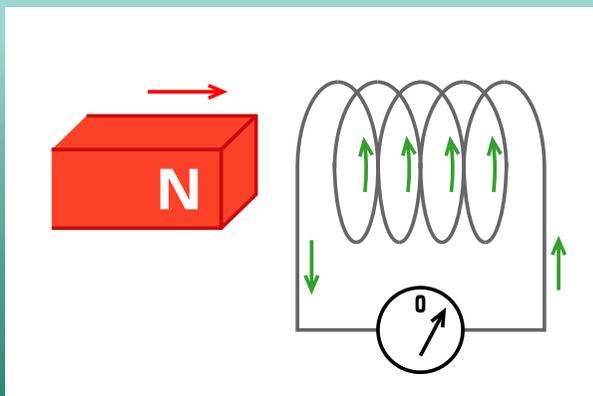
右図のように、コイルと磁石を近づけたり遠ざけたりするとコイルに電流が流れます。コイルも磁石も動かさないと電流は流れません。コイル内の磁界が変化するときだけ電流が流れます。

この現象を「電磁誘導」といい、発生した電圧を「誘導起電力」、流れた電流を「誘導電流」といいます。このことは右ねじの法則で説明したことと逆のようなものですが、ただ磁界（磁力線）があるだけで電流が流れるというわけではなく、磁界が“変化”することで電流が流れるのです。

このとき流れる「誘導電流」の向きには決まりがあります。

## 実験ではコイル内で磁石を動かしたら電流

コイルに磁石を近づけたり遠ざけたりする（磁石にコイルつまりコイル内の磁界が変化するときだけ電流が流れるの



## が流れた・・・これはなぜ？

を・・・でもよい)と、コイルに電流が流れました。コイルも磁石も動かないと電流は流れません。です。

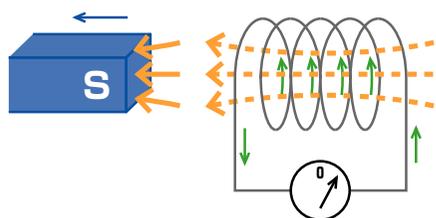
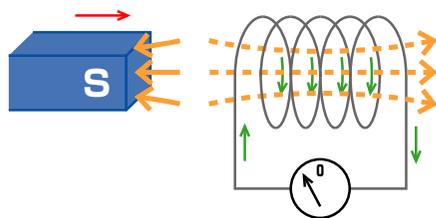
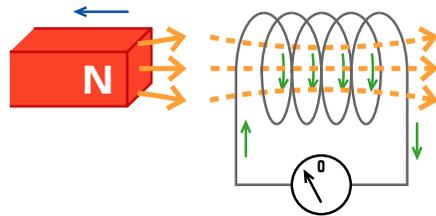
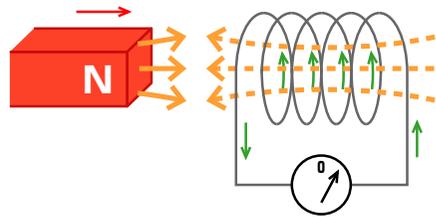
磁石のN極がコイルに近づいてくると、その磁力線 (= N 極から出て S 極に入る) に抵抗するかのような磁力線が発生します。この磁力線は磁石の動きを阻止しようとしています。この磁力線を発生させるのは、右ねじの法則により右図のような方向の電流です。つまり磁石のN極がコイルに近づいてくると、右図のように電流が発生するのです。

磁石のN極がコイルから遠ざかる場合は、右向きの磁力線が減っていくのでそれに抵抗して右向きの磁力線が発生し、右ねじの法則により右図のような電流が流れます。発生した磁力線は磁石が遠ざかってしまわないように抵抗するのです。

磁石のS極が近づく場合は、左向きの磁力線が増加するのでそれに抵抗して右向きの磁力線が発生し、右図のような電流が流れます。これはN極が遠ざかる場合と同じです。

磁石のS極が遠ざかる場合は、左向きの磁力線が減っていくのでそれに抵抗して左向きの磁力線が発生し、右図のような電流が流れます。これはN極が近づく場合と同じです。

このような向きの決まり方をレンツの法則といいます。またこのとき、磁石を動かす速度が速いほど、磁石の磁力が強いほど、コイルの巻き数が多いほど、発生する誘導起電力が大きくなります。これら3つのこととレンツの法則を足し合わせて、ファラデーの電磁誘導の法則といいます。





# LABORATORY - IV

## 力学の実験

ガリレオは19歳の時に**振り子の等時性**を発見しました。これは振り子の周期は振幅の大小に関わらず一定であるということです。

振り子のおもりを引張っている力は地球による**重力**です。バネに重りを吊るした場合の伸びや物体の自由落下運動はこの重力によって引き起こされる現象です。地上の物体には常に地球の中心に向かう力（重力）が働いています。重力の原因は地球が地上の物体に及ぼす万有引力です。**万有引力 ( $F=Gm_1m_2R^{-2}$  という関係、 $G(=6.67E-11Nm^2kg^{-2})$ : 万有引力定数 (宇宙で一定)、 $m$ : 質量、 $R$ : 物体間の距離)** はニュートンによって発見されました。

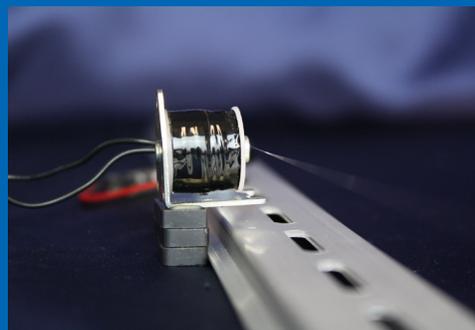
**物体に加わる力を  $F$ 、質量を  $m_1$ 、加速度を  $a$  とすると、 $F=m_1a$  という関係があります (ニュートンの運動方程式)**。加速度とは単位時間当たりの速度の変化率のことをいいます。重力によって生ずる加速度を重力加速度といい  $g$  で表します。地球による万有引力が働く場合、 $g = Gm_2R^{-2}$  という関係になります。 $g$ 、 $G$  と  $R$  (地表では地球の半径:  $6.4E+6m$ ) がわかっているれば地球の質量  $m_2(=6.0E+24kg)$  だってわかってしまいます。重力加速度は地上では約  $9.8 m/s^2$  の値を示しますが、どこでも同じ値というわけではなく、千葉県では  $9.798m/s^2$  という値が観測されています。南極や北極ではこの値より少し大きく ( $9.82 m/s^2$ )、赤道地方では小さいです ( $9.78m/s^2$ )。これは地球の回転 (自転) による遠心力が影響しているためです。また地球の中心からの距離によって変わるので、当然地上の高度によって違ってきます。高い場所ほど  $R$  が大きくなるので  $g$  の値は小さくなります。

## SECTION

01 単振り子と重力加速度

02 バネ振り子と重力加速度

03 弦の共振 (固有振動)



## SECTION

## 01

# 実験で体験する物理

## 単振り子と重力加速度

振り子の往復運動の周期は何で決まるのでしょうか？ おもりの重さ？ それともひもの長さでしょうか？  
 かのガリレオ・ガリレイは、19歳（1583年）のときに「振り子の等時性」を発見しました。これは振り子の周期は振幅の大小やおもりの重さに関わらず一定であるということです。振り子のおもりを下方に引っ張っている力は、地球の重力によるものです。その源はあのニュートンが発見した万有引力です。  
 ニュートンは物体に働く力をF、物体の質量をm、加速度をaとすると、 $F = ma$ という関係であることを説きました。（ニュートンの運動方程式）  
 このSECTIONでは、振り子の周期を計測する実験によって、どこまで正確に重力加速度が求められるかを試してみましょう。

### 実験に使う部品を準備する

名称	個数	備考	写真
ベースプレート	× 1	(共通)	P004
フェライト磁石	× 2	(共通)	P004
クランプ	× 1	(共通)	P006
スタンド&スポンジ	× 1	(共通)	P006
L型金具	× 1	(共通)	P006
金属球(糸付き)	× 1	(共通)	P006
電卓	× 1	03~04	P006
プラスチックものさし	× 1	03~04	P005
ストップウォッチ	× 1	03~04	P006



### NOTES

備考に(共通)と記述されているものは「SECTION 01 単振り子と重力加速度」に共通して使用する部品です。部品の詳細については、表に記載された各ページを参照してください。

## 実験の手順と課題

**01** 実験に必要な振り子の組み立てからはじめましょう。スタンドを使ってベースプレートを垂直に立て、スポンジをはさんで固定します。次にベースプレート上面にL型金具をクランプで固定します。

## 1-1

## 1-1

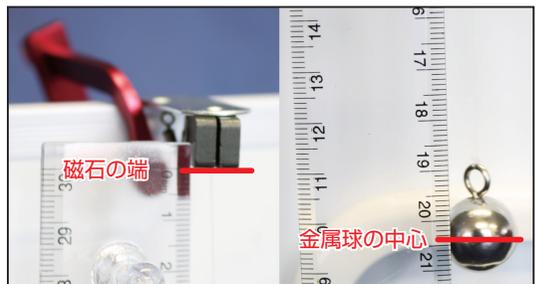
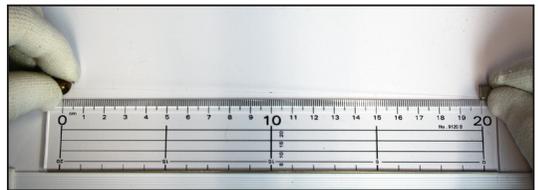


**02** 振り子部分をセッティングしましょう。まずはものさしを使って振り子の糸の長さが20cm程度になるように測り、フェライト磁石で挟みます。**2-1** 「振り子の糸の長さ」とは、金属球の中心からフェライト磁石の端までの長さのことです。

長さが計れたら、フェライト磁石をL型金具に吸着させます。**2-2** このとき余った糸はL型金具に開いている穴を通して、振り子の妨げとにならないようによけておきましょう。

また、金属球のおもみで糸が伸びる場合があるので、取り付けた後にもう一度糸の長さを確認しておきましょう。

## 2-1



## 2-2



## NOTES

金属球についた糸はとれやすいので取り扱いに注意しましょう。



## SUBJECT

実験シート「振り子の実験 1-1」に実測した糸の長さを記入してください。

**03** 振り子の振動周期を測定してみましょう。振動数 20 回当たりの時間をストップウォッチなどを使って測定します。ストップウォッチを押した後に往復運動を開始させ、20 往復後にストップを押すようにしましょう。同じ長さで 4 回測定し、平均時間をだします。 **3-1**



### SUBJECT

実験シート「振り子の実験 1-1」に 20cm での測定結果と平均時間を記入してください。

**3-1**



**04** **03** の測定結果をもとに 1 往復あたりの時間を求めましょう。**03** で出した平均時間を 20 で割ると求められます。この時間を周期  $T$  で表します。



### SUBJECT

実験シート「振り子の実験 1-1」に計算結果を記入してください。

**05** **03** ~ **04** の実験と計算を、糸の長さを変えて行いましょう。**02** を参考に糸の長さをそれぞれ 5cm, 10cm, 15cm に変更し、平均値、周期  $T$  を求めてください。



### SUBJECT

実験シート「振り子の実験 1-1」に測定結果と計算結果を記入してください。

**5-1**



06 振り子の長さ ( $l$ ) と、周期 ( $T$ ) の関係をグラフにしましょう。

**SUBJECT**

実験シート「振り子の実験 1-2」のグラフを完成させてください。

07 振り子の長さ ( $l$ ) と周期の2乗 ( $T^2$ ) の関係をグラフで表しましょう。

**SUBJECT**

実験シート「振り子の実験 1-1」に周期の2乗 ( $T^2$ ) を書き込んでください。  
また、実験シート「振り子の実験 1-3」のグラフを完成させてください。

08 07のグラフから、振り子の長さ ( $l$ ) と、周期の2乗 ( $T^2$ ) はどのような関係だといえるでしょうか。

**SUBJECT**

実験シート「振り子の実験 1-4」に考察を記入してください。

## 重力加速度を求めよう

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。

アクセルを踏んで車を発車させたとき、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、重りをつるしたばね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  $9.8\text{m/s}^2$  の値を示しますが、実はどこでも同じ重力加速度というわけではありません。南極や北極ではだいたい  $9.82\text{m/s}^2$ 、赤道地方では  $9.78\text{m/s}^2$  程度と、地域により若干の差が発生します。日本でも北海道北東部で  $9.806\text{m/s}^2$ 、沖縄で  $9.791\text{m/s}^2$ 、千葉県では  $9.798\text{m/s}^2$  という値が観測されています。

$9.80665\text{m/s}^2$  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事を心掛けましょう。

09

07で実験シート「振り子の実験 1-1」の表がすべて埋まったので、それぞれの糸の長さでの重力加速度（ $g$ ）を求めましょう。まずは単振り子における周期を求める式を展開しましょう。9-1 この式の両辺を2乗して、 $g$ について解いてください。



## SUBJECT

実験シート「振り子の実験 1-5」に $g$ についての展開式を記入してください。

9-1

## 周期を求める式

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

 $\pi$ …円周率 $T$ …周期 $l$ …振り子の長さ $g$ …重力加速度

10

09で展開した式を使って重力加速度を求めます。 $\pi = 3.1416$ と実験シート「振り子の実験 1-1」の測定値 $l$ 、 $T$ を代入して計算しましょう。また、重力加速度の平均値も求めましょう。



## SUBJECT

実験シート「振り子の実験 1-6」に09の展開式を使用して、平均値を記入してください。

11

10で求めた重力加速度がおよそ $9.8\text{m/s}^2$ にならない場合はその原因を考えてみましょう。また、この実験の自分なりの感想も書きましょう。



## SUBJECT

実験シート「振り子の実験 1-7」に考察を記入してください。

実験・解答のサンプル

03 04 05 07 実験シート  
振り子の実験 1-1

振り子の長さがそれぞれ 5, 10, 15, 20cm の場合の振動周期を求めました。実験結果はこのようになりました。①

①

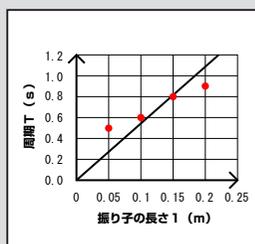
振り子の長さ	5cm	10cm	15cm	20cm
1 回目	10.0s	12.9s	15.7s	17.7s
2 回目	10.1s	13.0s	15.7s	17.9s
3 回目	10.3s	13.0s	15.7s	17.7s
4 回目	10.2s	12.9s	15.8s	17.7s
平均	10.15s(10s)	12.95s(13s)	15.725s(16s)	17.75s(18s)
周期	0.5075s(0.5s)	0.6475s(0.6s)	0.78625s(0.8s)	0.8875s(0.9s)
周期の二乗	0.25s <sup>2</sup>	0.36s <sup>2</sup>	0.64s <sup>2</sup>	0.81s <sup>2</sup>

06 実験シート  
振り子の実験 1-2

振り子の長さ、と、周期の関係をグラフにしました。①の表を使用した場合このようになります。

②

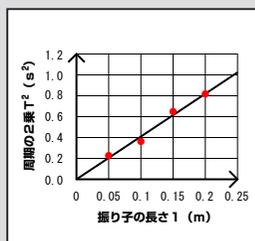
②



07 実験シート  
振り子の実験 1-3

②のグラフを今度は周期を2乗して作成しました。③

③



## 08 実験シート 振り子の実験 1-4

07のグラフから振り子の長さ $\ell$ と、周期の2乗 $T^2$ の関係をみると、それぞれの点がほぼ一直線に右上がりになることから $\ell$ と $T^2$ は比例関係（正比例）だといえますね。

## 09 実験シート 振り子の実験 1-5

重力加速度を求めるために、単振り子における周期を求める式を $g$ について解きました。展開するとこのようになります。④

④

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{\ell}{g} \quad \dots\dots \text{両辺を2乗}$$

$$T^2 g = 4\pi^2 \ell \quad \dots\dots g \text{を移項}$$

$$g = \frac{4\pi^2 \ell}{T^2} \quad \dots\dots T^2 \text{を移項}$$

## 10 実験シート 振り子の実験 1-6

09で展開した式を使い、重力加速度を求めました。①の数値を使用した場合それぞれの重力加速度、及び平均値はこのようになりました。⑤

⑤

振り子の長さ	0.05cm	0.10cm	0.15cm	0.20cm
重力加速度	7.90m/s <sup>2</sup>	10.97m/s <sup>2</sup>	9.25m/s <sup>2</sup>	9.75m/s <sup>2</sup>
平均	9.47m/s <sup>2</sup>			

## 11 実験シート 振り子の実験 1-7

求めた重力加速度の数値が9.8m/s<sup>2</sup>に近くない場合の原因を考察しました。計算ミスがない場合は振り子の長さや往復周期の計測ミスが考えられます。

## SECTION

## 02

# 実験で体験する物理

## バネ振り子と重力加速度

この SECTION では、バネ振り子の振動周期を計測する実験によって、重力加速度を求める実験を行ってみましょう。バネ振り子から重量加速度を求めるには、バネの先につけたおもりに重力加速度  $g$  が作用する場面を作ってやればよさそうです。つまりおもりの重さと重力加速度が釣り合ったところ（要するにバネが伸びて安定した状態）で伸び縮みさせればよいですね。今回はこの実験を行ってみましょう。

### 実験に使う部品を準備する

名称	個数	備考	写真
ベースプレート	× 1	(共通)	P004
クランプ	× 1	(共通)	P006
スタンド&スポンジ	× 1	(共通)	P006
L型金具	× 1	(共通)	P006
バネ	× 1	(共通)	P006
おもり1 (ナット: 20g)	× 1	02	P006
おもり2 (ナット: 40g)	× 1	02	P006
プラスチックものさし	× 1	02	P005
ストップウォッチ	× 1	05	P006



### NOTES

備考に(共通)と記述されているものは「SECTION 02 バネ振り子と重力加速度」に共通して使用する部品です。部品の詳細については、表に記載された各ページを参照してください。

## 実験の手順と課題

01 SECTION01 で使用した単振り子の実験装置から糸付き金属球（振り子）を外し、代わりにL型金具の穴にバネをひっかけます。 1-1

1-1



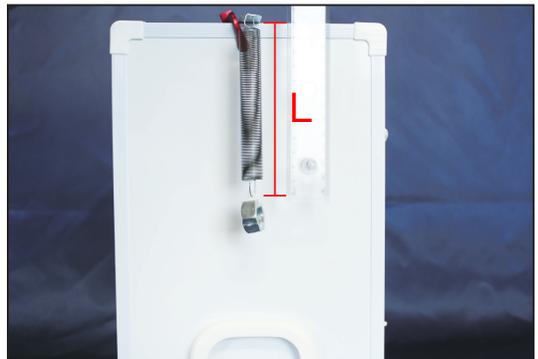
02 バネの先におもりを取り付けます。まずは小さい方のおもり（20g ナット）をバネにひっかけます。 2-1 おもりには吊り下げ用のバンドが巻いてあるので、そこにバネの先をひっかけます。

2-1



この状態でバネの長さ（ $l$ ）を計測します。 2-2 バネの長さ  $l$  は、L型金具からおもりであるナットの上端までの長さとしてます。

2-2



バネの長さは次の3パターンで測定してください。

- ① おもり1（20g ナット）の場合
- ② おもり2（40g ナット）の場合
- ③ おもり1+おもり2（60g）の場合



## SUBJECT

実験シート「振り子の実験 2-1」に実測したバネの長さを記入してください。

03 おもりの質量Mとばねの伸びLとの関係をグラフにしてみましょう。この2つの関係は比例関係にあるというのがフックの法則です。そのようになりましたか？ 3-1



### SUBJECT

実験シート「振り子の実験 2-2」におもりの質量Mとバネの伸びLについて記入してください。



### NOTES

フックの法則：

つる巻きばねにおいて、伸び（縮み）が  $x$  (m) のときの弾性力の大きさ  $F$  (kgw) は、比例定数  $k$  (kgw/m) によって定まるばね定数に比例するので、 $F = k x$

という式が成り立つというもの。

3-1



04  $L=L_0 + aM$  という関係があるとして、 $L_0$  と係数  $a$  を求めましょう。

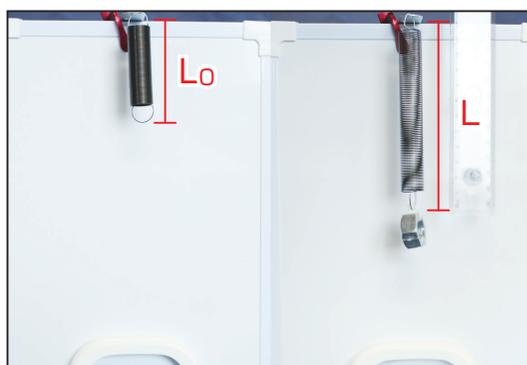
ここで、係数  $a$  の単位は mm/g (m/kg でも可) グラフが原点を通る場合は  $L_0 = 0$  になります。つまり  $L_0$  とは、ばねにおもりを吊るさない状態で自然に伸びている長さだといえますね。 4-1



### SUBJECT

実験シート「振り子の実験 2-3」に  $L_0$  と係数  $a$  の値を計算して記入してください。

4-1



**05** ばね振り子の振動周期を測定してみましょう。  
振動数 20 回当たりの時間をストップウォッチなどを使って測定します。ストップウォッチを押した後に伸び縮みを開始させ、20 振動後にストップを押すようにしましょう。同じおもりで4回測定し、平均時間を出します。 **5-1**



### SUBJECT

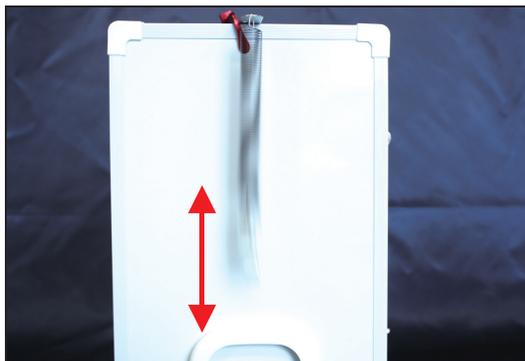
実験シート「振り子の実験 2-4」に（おもり 1 での）測定結果と平均時間を記入してください。



### NOTES

ばね振り子実験について：  
振動はあまり大きくとると（強く引っ張ると）うまくいかない場合がありますので、控え目に引っ張って振動（伸び縮み）させるようにしてください。

**5-1**



**06** **05**の測定結果をもとに 1 振動あたりの時間を求めましょう。**05**で出した平均時間を 20 で割ると求められます。この時間を周期といい  $T$  で表します。



### SUBJECT

実験シート「振り子の実験 2-4」に計算結果を記入してください。

07

05 06 実験と計算を、おもりの重さを変えて行いましょう。04を参考におもりの重さをそれぞれ「おもり1」、「おもり2」、「おもり1+おもり2」に変更し、平均値、周期Tを求めてください。

7-1



## SUBJECT

実験シート「振り子の実験 2-4」に測定結果と計算結果を記入してください。

08

おもりの重さ (M) と周期の2乗 ( $T^2$ ) の関係をグラフで表しましょう。

次に、比例関係が成り立っているか確認しましょう。

$$T^2 = (2\pi)^2 k^{-1} (M + M_0)$$

という関係があるとする、グラフの直線の傾きは  $(2\pi)^2 k^{-1}$  になるはず。

ここから係数  $k$  と  $M_0$  を求めてみましょう。

(係数  $k$  の単位は  $g/s^2$  となります)



## SUBJECT

実験シート「振り子の実験 2-4」におもりの重さ (M) と周期の2乗 ( $T^2$ ) を書き込んでください。

また、実験シート「振り子の実験 2-5」のグラフを完成させてください。

さらに実験シート「振り子の実験 2-6」に係数  $k$  と  $M_0$  を計算して書き込んでください。

09

08で求めた  $M_0$  は、いったい何を表しているのでしょうか？ どうやらなにかの重さのようですが…



## SUBJECT

実験シート「振り子の実験 2-7」に  $M_0$  についての考察を記入してください。

10

04で求めた  $a$  と 07で求めた  $k$  の積を計算しましょう。この計算結果の単位は、 $(\text{mm/g}) \times (\text{g/s}^2) = (\text{mm/s}^2)$  になります。実はこの値は「重力加速度  $g$ 」の値 ( $\text{mm/s}^2$ ) になります。なぜ  $a$  と  $k$  の積が重力加速度  $g$  に等しくなるのかも考えてみてください。ちなみに重力加速度  $g$  の標準値は  $9798\text{mm/s}^2$  です。計算結果がこの値と一致しなかった場合は、なぜなのかその理由を考えてください。



## SUBJECT

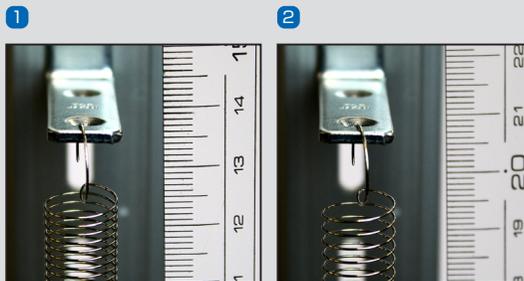
実験シート「振り子の実験 2-8」に積  $ak$  を記入してください。さらにこの計算結果がなぜ重力加速度  $g$  と等しくなるのか、また  $g$  の標準値  $9798\text{mm/s}^2$  と等しくならなかった場合の理由も考察して記入してください。

■ 解答のサンプル

02 実験シート  
振り子の実験 2-1

バネの先におもりをつけて、伸びたバネの長さ (L 型型具からおもりであるナットの中心部までの長さ) を測定しました。

- ① がもり 1 (20g)
- ② がもり 2 (40g)
- ③ がもり 1 + おもり 2 (60g) です。



135mm

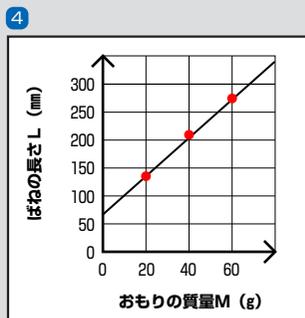
205mm



275mm

03 実験シート  
振り子の実験 2-2

おもりの質量Mとバネの長さLとの関係をグラフにしてみました。④



04 実験シート  
振り子の実験 2-3

$L=L_0 + aM$  という関係があるとして、 $L_0$  と係数  $a$  を求めてみました。⑤

$L_0$  は実測で 65mm、

係数  $a$  は、

$$a = \frac{L - L_0}{M} \text{ で求められます。}$$

$$a = \frac{135 - 65}{20} = 3.5$$

$$a = \frac{205 - 65}{40} = 3.5$$

$$a = \frac{275 - 65}{60} = 3.5$$

## 05 06 実験シート 振り子の実験 2-4

バネ振り子の振動周期を測定してみました。振動数 20 回当たりの時間をそれぞれ 4 回測定しています。さらにそれぞれの平均値、周期も算出しました⑥。

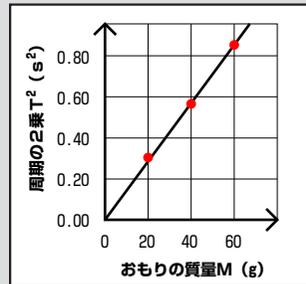
⑥

おもりの重さ	おもり 1 (20g)	おもり 2 (40g)	おもり 1 + 2 (60g)
1 回目	10.90s	15.15s	18.46s
2 回目	10.80s	15.16s	18.51s
3 回目	10.94s	15.16s	18.49s
4 回目	10.93s	15.15s	18.48s
平均	10.89s(11s)	15.16(15s)	18.49s(18s)
周期	0.5445s(0.54s)	0.758s(0.76s)	0.9245s(0.92s)
周期の二乗	0.30s <sup>2</sup>	0.57s <sup>2</sup>	0.85s <sup>2</sup>

## 07 実験シート 振り子の実験 2-5

おもりの重さ (M) と周期の 2 乗 (T<sup>2</sup>) の関係をグラフで表しました。⑦

⑦



## 08 実験シート 振り子の実験 2-6

$$T^2 = (2\pi)^2 k^{-1} (M + M_0)$$

という関係式から、係数 k と M<sub>0</sub> を計算してみてください。

周期 T<sup>2</sup> とおもりの重さの関係のグラフが原点を通る場合、M<sub>0</sub> は 0 と考えられます。

**10** 実験シート  
**振り子の実験 2-8**

a と k の積を計算しました。この結果は重力加速度  $g$  ( $9798\text{mm/s}^2$ ) に等しくなる（または近似になる）はずです。

---

## SECTION

## 03

# 実験で体験する物理 弦の共振（固有振動）

この SECTION では、交流電流を流した電磁石（コイル）による周期的な磁力によって、スチール製の弦が共振して大きな横振動を起こす様子を観察します。また、この共振現象がいくつかの振動数（周波数）で起こることも確認します。そしてこれらが弦の波動方程式の解としての固有振動の性質を持つことを理解しましょう。

## 実験に使う部品を準備する

名称	個数	備考	写真
ベースプレート	× 1	(共通)	P004
クランプ	× 1	(共通)	P006
弦 1 (直径 0.2mm)	× 1	02~04、06	P006
弦 2 (直径 0.6mm)	× 1	07	P006
駒	× 2	(共通)	P007
滑車	× 1	(共通)	P007
クリップ	× 1	(共通)	P006
ネオジム磁石	× 1	(共通)	P004
おもり 1 (ナット: 20g)	× 1	02~04、06	P006
おもり 2 (ナット: 40g)	× 1	07	P006
吊り下げ用リング	× 1	(共通)	P007
コイル	× 1	03~07	P007
発振器	× 1	03~07	P007
乾電池ボックス (単三型 4 本)	× 1	03~07	P007
リード線	× 1	03~07	P004
単三型充電電池	× 4	03~07	P007
フェライト磁石	× 1	05	P004
紙コップ	× 1	05	P007



### NOTES

備考に (共通) と記述されているものは「SECTION 03 弦の共振（固有振動）」に共通して使用する部品です。部品の詳細については、表に記載された各ページを参照してください。

## 実験の手順と課題

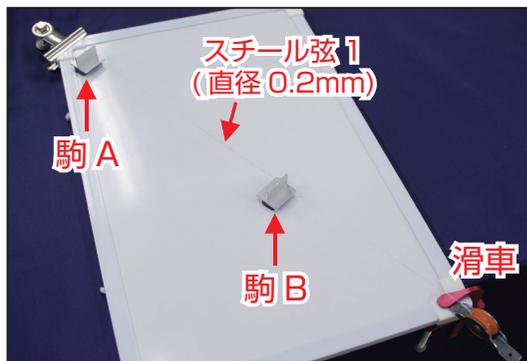
**01** ベースプレートに駒 (2 個)、スチール弦 1、滑車を **1-1** のように取り付けます。

写真では駒 A を弦の左端から 50mm の位置に、駒 B を駒 A から 180mm の位置になるように設置しています。

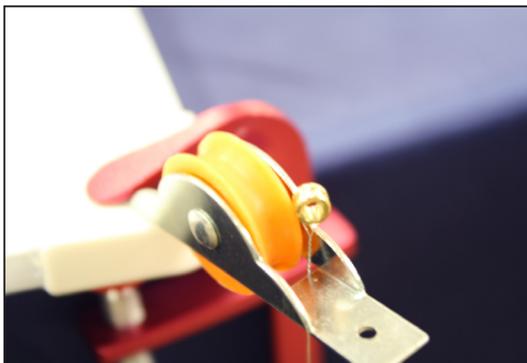
滑車はクランプでベースボードに固定し、スチール弦の一端を車輪の間から通します **1-2**。

クリップを滑車の反対側に留めます。スチール弦を駒上面の溝に引っ掛けながら引っ張り、クリップの穴に通した後、ネオジム磁石で穴にフタをするように留めます。 **1-3**

**1-1**



**1-2**



**1-3**



**02** 滑車側の弦の先におもり 1 (20g ナット) を、吊り下げ用リングを使って取り付けます。

**2-1**

**2-1**

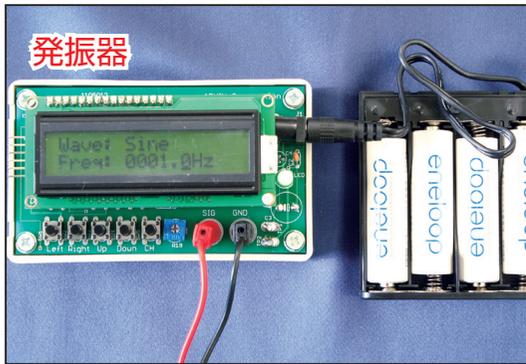


**03** 乾電池ボックス (単三型 4 本) へ向きに気を付けて充電電池をセットします。次にテスターを使って電池の電圧を計測します。電池ボックスのプラグ端子の内側にテスターの赤端子を、外側に黒端子をそれぞれあててことで計測できます **3-1**。5V 前後の電圧が出ていない場合は電池を充電します。次に、電池ボックスを発振器に接続し、写真のように赤と黒の専用リード線を取り付けます **3-2**。また発振器のリード線でコイルから出ているケーブルの先端をつかみます **3-3**。(コイルのケーブルはどちらをつかんでも実験に影響はありません)

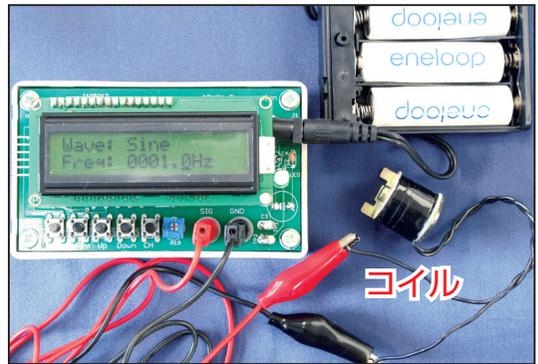
3-1



3-2



3-3



**04** 発振器の液晶画面の「freq」(Frequency/周波数) 表示を確認してみましょう。発振器の周波数は初期設定で 1.0Hz になっています **4-1**。(1.0Hz でない場合はスイッチを操作して 1.0Hz になるよう調整してみましょう)

[周波数の調整方法]

freq は 4 桁 + 小数点以下 1 桁で表示され、カーソル (下線) が表示されている数字を変更できます。

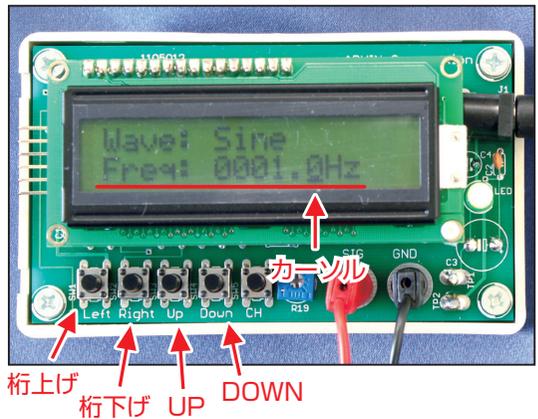
「Left」スイッチ …… カーソルの桁を 1 桁上げる

「Right」スイッチ …… カーソルの桁を 1 桁下げる

「UP」スイッチ …… 周波数を 1 ずつ上げる

「DOWN」スイッチ …… 周波数を 1 ずつ下げる

4-1



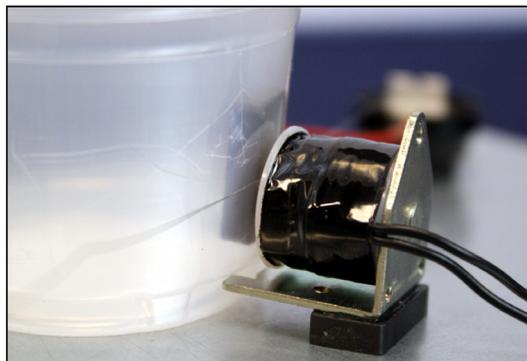
**05** 発振器の操作練習と発振周波数の増減を音で聞いて確認してみましょう。**5-1**のように紙コップをコイルとフェライト磁石ではさんで、発振器の周波数を増減します。周波数の増減によって音はどう変わりましたか？



### NOTES

紙コップがない場合は、プラスチック製のコップや薄手の紙箱などでも代用できます。

**5-1**

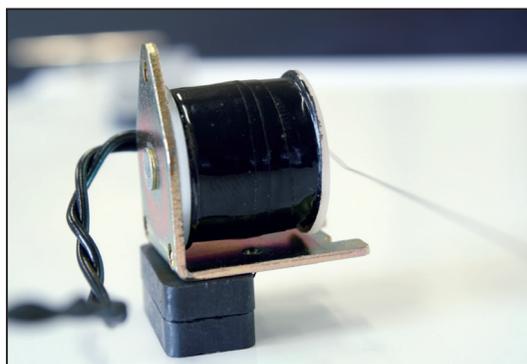


**06** いよいよ弦を振動（共振）させてみましょう。発振器に接続したコイルを弦の近くに設置します。**6-1**

写真では駒と駒のちょうど中間、駒1から90mmの位置に、弦から2mm程度離して設置しています。弦から離しすぎると共振が発生しない場合があるので注意しましょう。

コイルの中心と弦の高さが合わない場合は、フェライト磁石を置いて調節してください。

**6-1**



発振周波数をいろいろ変更して、弦が大きく共振する周波数を探してください。なお、共振する周波数は1つだけとは限りません。写真の例では102Hz付近で共振が最も大きくなり、以下37Hz、22Hz、16Hz付近でも共振が起こりました。また、大きい周波数帯で探すと363Hz付近でも共振が起こりました。



### SUBJECT

実験シート「共振の実験 1-1」に実験結果を記入してください。

07

06の実験をおもり2（40gナット）で行い、さらに弦2でも2つのおもりで実験を行ってください。7-1

弦2（直径0.6mm）の張力がおもりの重さを上回っていた場合は弦がピンと張れず正確な数値が測定できないので注意しましょう。

**SUBJECT**

実験シート「共振の実験 1-1」に実験結果記入してください。

7-1



I 光の実験

II 電場の実験

III 磁場の実験

IV 力学の実験

## ■ 解答のサンプル

**06** 実験シート  
共振の実験 1-1

共振の実験をおもり 1 (20g ナット) と弦 1 (直径 0.2mm) で行いました。

0Hz から計測し、共振を起こした周波数を 4 つ目まで記録しています。①

①

弦 1 (直径 0.2mm)	
おもりの重さ	おもり 1 (20g)
1 つ目	16Hz
2 つ目	37Hz
3 つ目	102Hz
4 つ目	363Hz

**07** 実験シート  
共振の実験 1-2

⑥ と同じ実験を、おもりと弦を変えて行いました②。

②

	弦 1 (直径 0.2mm)	弦 2 (直径 0.6mm)
おもりの重さ	おもり 2 (40g)	おもり 2 (40g)
1 つ目	19Hz	11Hz
2 つ目	27Hz	18Hz
3 つ目	44Hz	62Hz
4 つ目	132Hz	173Hz

■ MEMO

---



## 振り子の等時性

発見とひらめき  
19歳での発見

イタリアの天才物理学者（天文学者で哲学者でもある）、ガリレオ・ガリレイは、1583年、19歳のある日の夕方にピサの大聖堂にいました。大聖堂の中は薄暗く、天井からは大きな青銅のランプに灯りが灯っていました。灯りを入れた直後だったらしく、ランプは大きく揺れていてそれをガリレオは何気なく眺めていたらしい。時間が経つとだんだんと揺れはおさまってきます。しかしそこでガリレオはあることに気がつきました。

「揺れが小さくなってきたのに、さっきまで大きく揺れていたときと比べても、ランプが行って戻ってくるまでの時間は変わりがないように感じる…」

そこでさっそく手首の脈を頼りに、揺れの時間を計ってみました。揺れが大きくても小さくても周期はほぼ同じ…。そこでガリレオは思いました。

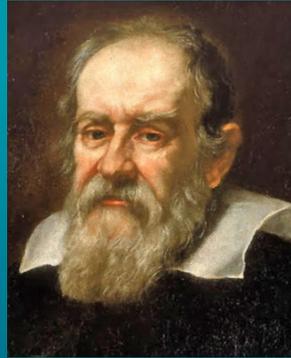
「振り子が揺れて往復する時間は、揺れの幅で変わるのではない。重さでも変わらない。振り子の長さが変わって初めて変わるんだ！」と。

これがガリレオが「振り子の等時性」を発見したときのエピソードとされています。

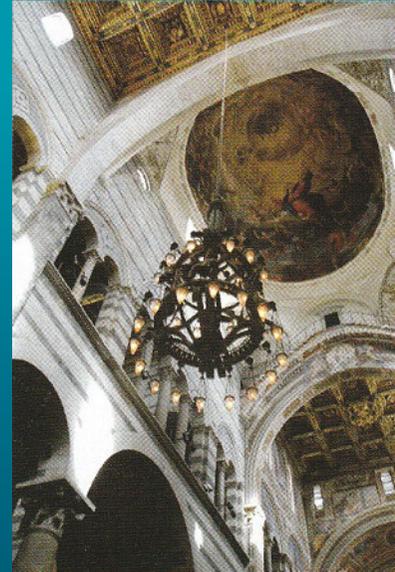
（※もっとも後世の創作だともいわれていますが…）

## 天才物理学者 ガリレオ・ガリレイが発見

「振り子の等時性」とは、揺れの大きさにかかわらず、ではその振り子の等時性とはどんなもので、どうしてそう



ガリレオ・ガリレイ  
(Galileo Galilei)  
1564 ~ 1642年



■ ガリレオが「振り子の等時性」について着目したといわれるピサの大聖堂のシャンデリア

### ●振り子の周期を考えてみよう

単振り子の周期は実習で示した通り、

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

T：周期

l：振り子の長さ (m)

g：重力加速度 (9.8m/s<sup>2</sup>)

これに振り子の長さを当てはめていくと、それぞれの長さでの理論的な周期が算出できます。例えば…

振り子の長さ (cm)	25cm	50cm	75cm	100cm
理論的周期 (秒)	1.00	1.41	1.73	2.00

今ではあまり見かけなくなった柱時計ですが、家庭用の小さなものの振り子の長さが25cm、ホールなどにある大きな柱時計が1mになっているものが多いのは、理論的周期から見てもわかるように秒単位の時間が制御しやすいからです。

ただし、現代の私たちが目にするストップウォッチなどは、1/100秒まで詳しく計ることができるものがほとんどです。これを使って計測すると、等時性が少しズれてくることがわかるかも…（Tとlの関係式はあくまで近似値だからです。）

## したといわれる「振り子の等時性」とはどんなものか？

その周期は常に一定・・・というものです。物理の時間に必ず一度は耳にすることですね。なるか考えてみましょう。

### ●なぜ揺れの大きさが違ってても周期は一定なのか

糸の先などにおもりを吊るして左右に振らせる振り子を「単振り子」といいます。※この際の糸は質量が0とみなせる軽い糸で、運動エネルギーや位置エネルギーがないという意味、

おもりは大きさが0で空気抵抗がないとみなせるくらい小さいという意味です。

このときおもりを下向きに引張っている力は重力によるものです。地上の物体は常に地球の中心に向かう力（重力）がはたらいていて、この重力の原因はニュートンが発見した、あの有名な「万有引力」によるものです。

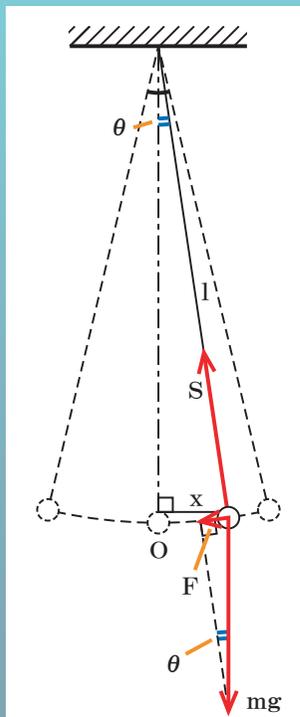
つまりおもりにはたらく重力（右図で  $mg$ ）の向きは地球の中心、鉛直下向きです。

もう一方で、おもりには支えている糸からの力もはたらきます。

この力は支点の方向に向かう斜め上向きで（右図で  $S$ ）、この2つの力の合力（右図で  $F$ ）が振り子の接線方向に残り、その合力によって振り子は元の位置（右図の最下点  $O$ ）に戻ろうとするのです。

振り子が大きく振れれば振れるほど支点の方向が鉛直（真下）より傾き（右図の  $\theta$  の角度が大きくなる）、接線方向の合力も大きくなり、戻そうとする力が大きくなります。これはあとで実験する“ばねにおもりをつけて振らせるばね振り子”と同じです。（ばねが伸びれば伸びるほど縮もうとする力は大きくなります）

このような、変位に比例して元の位置に戻そうとする力のことを「復元力」といいます。



振れ（振幅）を大きくしても周期が変わらなかったのは、振れの大きさに比例して復元力も大きくなり、大きな力で元の位置に戻そうとするから、結果として時間が同じになるのです。

ちなみに、おもりが重いと復元力も大きくなりますが、おもり自身の重みによって慣性の力がはたらいてなかなか戻らせることが出来なくなり、結局、おもりの重さも周期には影響しなくなります。



■ 振り子の長さが 25cm の壁掛け時計と振り子の長さが 1m の置時計



## 振動と共振

### 弦の振動

物体を叩くと、物体は振動して（物体内で）波が起こり、起こった波は物体の境界（表面）で何度も反射されて幾重にも重なり、やがて定常波を作ります。この現象を「固有振動」といいます。

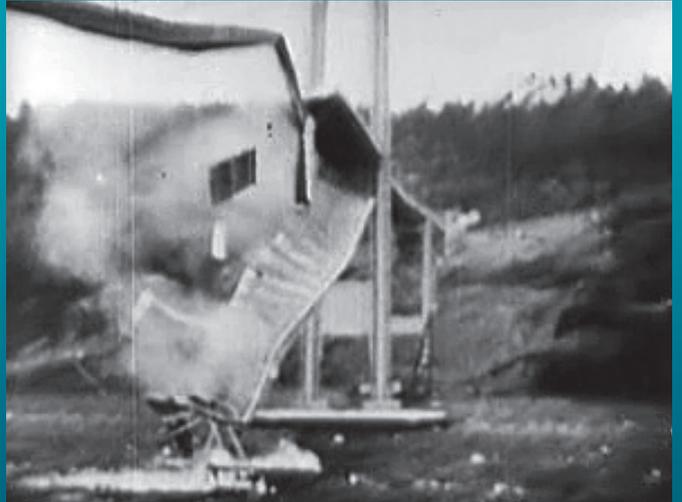
“固有”と名が付いているのは、物体の大きさや形、材質によって、その物体固有の振動数があるからです。この固有振動は石のような、およそ硬くて振動しそうにない物体でもちゃんと起こりますが、観測しづらいので実験では「弦」を使用しています。

弦の両端を固定してはじくと、波が両端に伝わって行って反射し、もとの波と重ね合わされて定常波ができます。これを「弦の固有振動」といい、このときの振動数を「固定振動数」といいます。この振動数、つまりそのときに一緒に出る音は弦の長さによって決まっています、これを利用するのがギターをはじめとする弦楽器です。

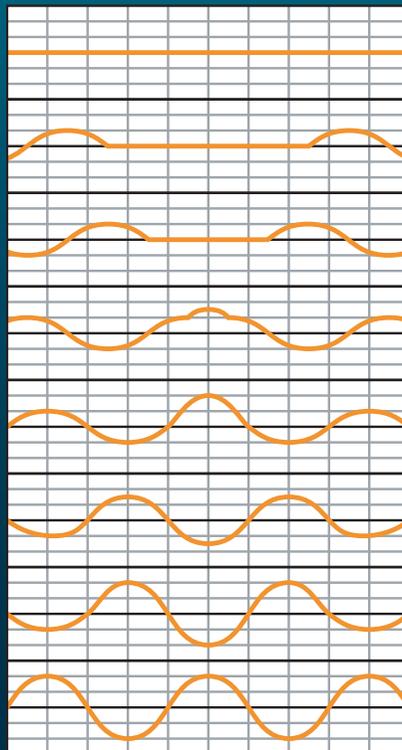
※実際には弦の長さに加えて、「弦の張力」、「弦そのものの密度」によって固有振動数が定まる

## 時に巨大な建造物さえも破壊してしまう共

1940年11月7日、アメリカワシントン州のタコマにまいりました。わずか風速19m/sという風で崩壊した要因が共振を起こしてしまったためといわれています。



■ タコマローズ橋の崩壊（1940年11月7日）



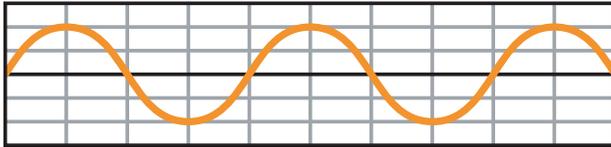
左右から、波長、周期、振幅が等しい2つの進行波が発生して、中央でぶつかり、合成されて定常波になるようす

## 振現象とはどんなものなのでしょうか？

あった大きな橋（タコマローズ橋）が、風の力によって激しく振動してついには崩壊してしは、風が吹くことで橋の周りに渦ができて、その渦からの周期的な力とタコマ橋のねじれ振

### ●定常波とは

普通、波は揺れながら進んでいく（進行波）が、弦楽器の弦のように両端を固定されていると、波長、周期、振幅が等しい2つの進行波がぶつかることになり、やがて揺れてはいるもののその場にとどまる波が発生する。それが定常波である。



### ●共振とは

右図のように、横糸にいろいろな長さの振り子をつるし、Aの振り子を振動させたとします。するとAと同じ長さのCの振り子が、徐々に振動を始めます。Cには一切力を加えていないのに…  
違う長さのBとDの振り子は振動しません。振り子は弦と違ってその長さだけで固有振動数が決まっているので（不思議なことに）、AとCは同じ固有振動数だといえます。

このように、自分と同じ固有振動数と同じ振動数で変化するような力を外から加えられて振動してしまう現象を、「共振」といいます。

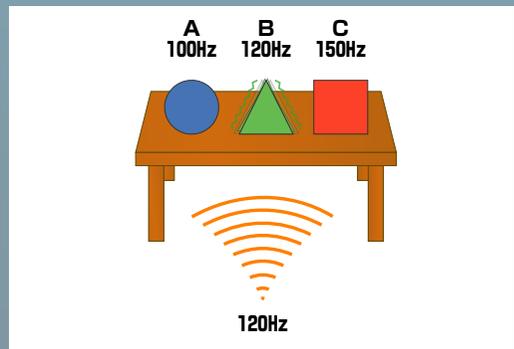
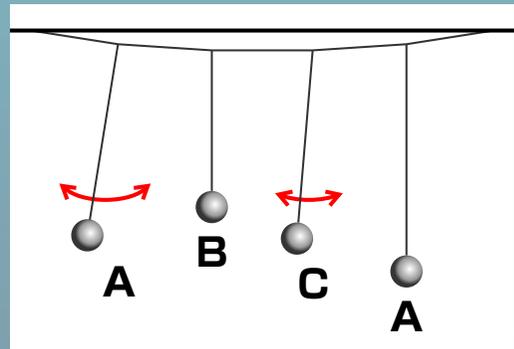
もうひとつ別の例を見てみましょう。

テーブルなど台の上にそれぞれ違う固有振動数をもつ物体を置いたとします。

Aの固有振動数は100Hz、Bの固有振動数は120Hz、そしてCの固有振動数は150Hz。

こうして、台に120Hzの振動を与えると、Bだけが共振して振動を始めます。

見えないようにコツリと台に振動を与えれば、マジックのようなことができるかもしれませんね。（「これが〇〇パワーです！」と言いながら…）



## PDL(パーソナル・デスク・ラボ) 実験ガイド

---

2011年9月1日 初版 第1刷発行  
2023年5月1日 第2版 第1刷発行

著者 PDL(パーソナル・デスク・ラボ)教材研究委員会  
発行者 答島 一成  
発行所 株式会社アドウィン  
広島市西区楠木町3-10-13  
TEL: 082-537-2460 (代表)  
FAX: 082-238-3920

アドウィンホームページ URL :  
<http://www.adwin.com>

お問い合わせ等は e-mail :  
[hanbai@adwin.com](mailto:hanbai@adwin.com)



- 
- ・本書の一部または全部を著作権法の定める範囲を越え、無断で複写、複製、転載、デジタル化することを禁じます。
  - ・本書の内容、実習方法など、技術に関するお問い合わせはFAXまたは電子メール等をお願い致します。電話では受け付けておりませんので、あらかじめご了承ください。また、実験以外の一般的な事柄に関するお問い合わせは受け付けておりませんのでよろしくお願い致します。



勉強机が“実験室”に早がわり!

