

# 実験動画と実験セットを使おう

【2023年7月版】

社会連携委員会 動画ワーキンググループ編





# 実験動画と実験セットを使おう

【2023年7月版】

社会連携委員会 動画ワーキンググループ編



一般社団法人電気学会



## 目次

1. この冊子に込めた願い .....	3
2. 電気を遠くに送るには .....	6
2. 1 動画教材 .....	6
2. 2 利用マニュアル .....	6
2. 3 小冊子シリーズ .....	13
3. 電気と磁気のチカラ ～ 電磁誘導って何？ .....	14
3. 1 動画教材 .....	14
3. 2 「ストンピカ」解説書 .....	15
3. 3 「ふわっと君」解説書 .....	25
3. 4 一歩先へ .....	34
3. 4. 1 銅板上へ落下する磁石の運動を測定してみよう .....	34
3. 4. 2 ふわっと君が「ふわっと」落ちるわけを理論で考えてみよう .....	52
4. モーターはなぜ回るの？ .....	62
4. 1 動画教材 .....	62
4. 2 「フレキコイル」解説書 .....	63
5. スピーカーはどうやって音を出すの .....	79
5. 1 動画教材 .....	79
5. 2 一歩先へ .....	79
5. 3. 1 フレミングの左手の法則によるダイナミックスピーカーの動作説明 .....	79
5. 3. 2 ある大学の電気系研究室の学生同士の仮想対話 .....	83
6. 置くだけで充電 なぜ？ .....	89
6. 1 動画教材 .....	89
7. みんなの知らない LED 発電！？ .....	90
7. 1 動画教材 .....	90
7. 2 LED 発電の解説 .....	90

8. リモコンから出ている光は○○○！？ .....	93
9. 液晶ってなに？ .....	95
10. ご自身で実験をやってみたい方へ .....	98
あとがき .....	99
名簿.....	102

## 1. この冊子に込めた願い

この冊子をまとめる原動力となったのは、「アレッ！ なぜだろう？ 知りたい。」という言葉です。

私たちの身近にある電気。電気はよほどのことがない限り、使いたいときに使いたいだけ使えるし、目には見えないシロモノです。ですから、あまり関心を持たれません。しかし、電気をめぐる状況が静かに、しかし激的に変化しつつあります。その変化を無関心のまま受け止めるのではなく、あるべき変化の姿を考え、変化を引き起こす人たちが、今必要なのです。そのような人たち、これからの社会の在り方に関心をもち、きっかけさえあれば電気に興味をもってくれる人たちと、一緒に行動したいと私たちは考えています。その出発点が、「アレッ！ なぜだろう？ 知りたい。」と思ってもらえることなのではないか、そのために私たちには何ができるだろうかと考えました。

私たちがまず行動したのが、教材として使うことを想定した電気の実験動画作りです。見えない電気を目で見て、体で感じるのが、なによりも大切だろうと考えました。次がマニュアル・解説書の公開と、動画で用いた実験セットの無償配布、さらには、関心を持ってくださった方々が「一歩先へ」進むための資料整備です。

これらの活動成果を、私たちは電気学会社会連携員会のウェブサイト「世界は電気できている」(<https://renkei.iee.jp/>)で公開してきました。その公開努力は今後も続けますが、現時点での公開資料をまとめたものが、この冊子です。

この冊子の各章の中の構成は、原則として次のようになっています。

- 動画教材
- マニュアル・解説書
- 一歩先へ

しかし、それぞれのテーマですべてが揃っているわけではありませんし、これら以外の記述を入れたものもあります。ご理解ください。いずれにせよ、章ごとにかなり独立した構成になっていますので、順を追って読む必

要はありません。興味を感じたところをつまみ食い的にご覧いただくことでよいと思います。

社会連携委員会のウェブサイト「世界は電気できている」についても、少し説明させてください。グーグル等で「電気 社会連携」を検索語にすると、そのトップに出てきます。選択すると、次の画面が現れます（スマホでもご覧いただけるようにしてありますが、多少画面構成が変わります）。



メニューバーには次のページが現れます。

- ホーム
- 私たちは誰
- 動画を使おう
- 小冊子を使おう
- つながる窓口
- 参加しよう
- お問い合わせ



この冊子に含めた記事は「動画を使おう」に載せてあります。しかし関連する事項は、他のページにもあります。委員会では「電気の知識を深めようシリーズ」小冊子を刊行していますが、それは「小冊子を使おう」ページにあります。電気学会以外の組織も興味深い活動を展開していますので、「つながる窓口」ページではそれらの活動へのリンクを貼っています。

「ホーム」ページを下に辿ると、「落書き帳」への入り口が出てきます。その記事はまだ少ないのですが、「No.003 理科や電気の動画のウェブ情報」を見ると、国内外の情報も出てきます。

「参加しよう」ページにある社会連携委員会内の WG 活動の紹介も見ていただきたいです。

注：ウェブページの説明は「あとがき」にもありますので、併せてごらんください。



ご質問、ご意見等、何でもお気軽に「お問合せ」ページからお寄せください。

## 2. 電気を遠くに送るには

### 2. 1 動画教材



電気は電線をつなげばどこへでも送れる？ 実はそうではありません。電気を遠くに送るには、秘密の技術があるのです。それは何か？ この動画をご覧ください。

### 2. 2 利用マニュアル

#### 「電気を遠くに送るには」利用マニュアル(2019/06)

(出所：「電気を遠くに送るには」利用マニュアル.pdf  
図を一部改変)

電気学会 電気知識 WG  
長谷川 有貴, 新藤 孝敏

#### 1. まえがき

本動画は、電気を遠くに送るには送電線で高圧化しなければならないということをモデルで説明したものです。動画では分かり易さのため現象を単純化して示していますが、授業などで使われる場合には、適宜補足説明をして戴ければと思います。

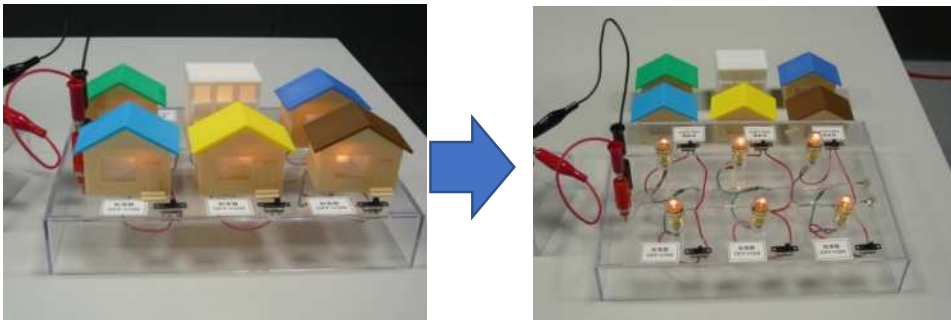
なお、このモデルでは 100V の電圧がかかる箇所があります。特に子供の前で実演する場合には、子供は思わぬ動きをする場合がありますので、安全には十分ご注意ください。

以下、モデルの詳しい説明です。

## 2. モデルの等価回路

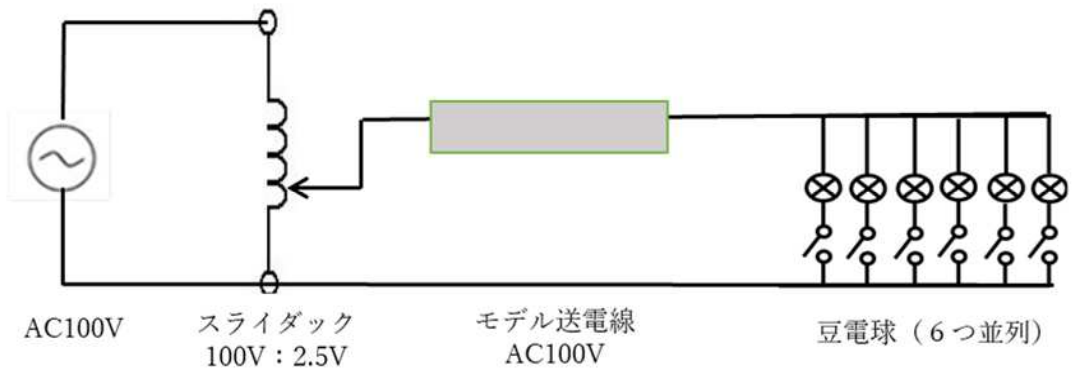
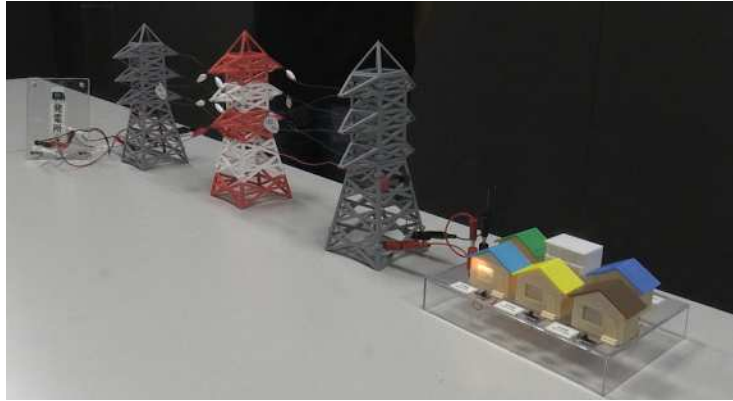
### ステップ 1：発電所の近くで家の灯りがつく。

家の灯りは定格 2.5V、0.5A の豆電球で模擬しています。また、豆電球はスイッチで一つずつ投入できるようにしてあります。すべてスイッチを入れると、6つの電球が並列に接続されます。



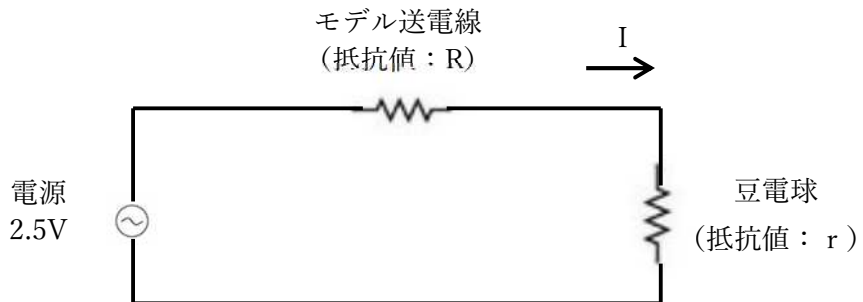
電源は AC100V を使い、スライダック（単巻変圧器）で電圧を調整し、2.5V に変えています。（注1）





ここでモデル送電線に用いた線の抵抗値は3オーム程度となるようにして下さい(注2)。

豆電球の定格は2.5V, 0.5Aですので, 抵抗値は5オームになります。豆電球を二つ並列に入れると2.5オームに, 3つ並列に入れると1.66オームになります。

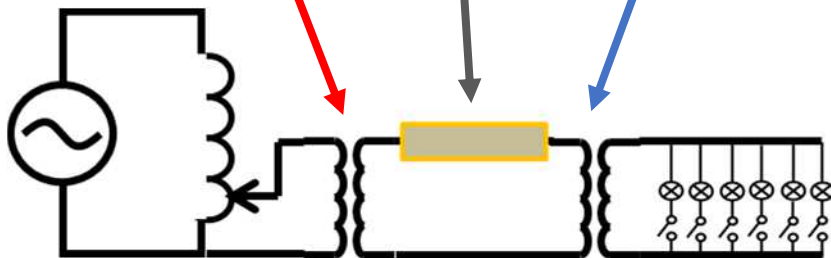
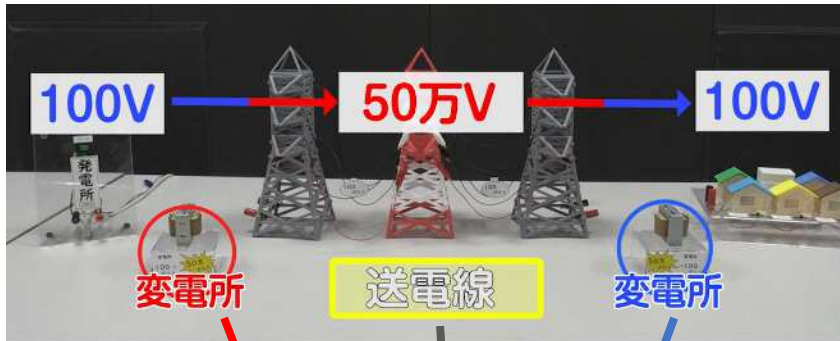


スライダックの2次側から豆電球までの部分の等価回路は上図のようになります。この回路に流れる電流  $I$  は、オームの法則から、 $2.5V$  を全抵抗値  $(R + r)$  で割った値になります。送電線部分での電圧降下は、流れる電流  $I$  に送電線部分の抵抗  $R$  をかけたものになるので、豆電球1個、2個、3個の場合、それぞれ  $0.9V$ 、 $1.37V$ 、 $1.61V$  となります。このように豆電球が2個、3個となるとかなりの部分の電圧が送電線にかかってしまい、豆電球にかかる電圧が小さくなるので、暗くなってしまいます。(注3)

送電線が短ければ送電線の抵抗は小さいですが、送電線が長くなると送電線の抵抗の影響が出てくるわけです。

**ステップ3：変電所を入れると、家の灯りが点くようになる。**

モデル送電線の手前で、変圧器①(動画では変電所としています)で電圧を  $2.5V$  から  $100V$  に上げて、モデル送電線の反対側で変圧器②(動画では変電所としています)で、 $100V$  から  $2.5V$  に下げています。(注4)



AC100V スライダック 変圧器① モデル 変圧器② 豆電球  
 100V:2.5V 2.5V:100V 送電線 100V:2.5V (6つ並列)

変圧器①で2.5Vから100Vに電圧を高くすると(40倍です), 流れる電流は同じ割合で小さくなります(この場合には, 電流は1/40に小さくなるということです。)

モデル送電線の抵抗値は変わりませんので, モデル送電線部分での電圧降下も1/40になり, さらにモデル送電線の電圧は100Vにしていますので, 豆電球の数が増えても電圧降下は無視できるほど小さくなり, モデル送電線の変圧器②での電圧もほぼ100Vになります。したがって, 変圧器②で電圧を下げた時に豆電球にかかる電圧も, ほぼ2.5Vとなり, すべての豆電球が明るく点くこととなります。

(注1) このモデルを自作される場合, スライダックで正確に豆電球の

定格の低い電圧を出すのは難しい場合があります（特に、定格 1.5V の豆電球を使った場合など）。その場合には、100V : 2.5V 程度の変圧器をスライダックの 2 次側に入れて、スライダックでは変圧器の 1 次側の電圧を調整するようにすると、豆電球の定格の電圧を正確に出せるようになります。また、100V の電圧がかかる部分がありますので、安全にはご注意ください。

(注 2) このモデルを自作される場合、モデル送電線に使う線にビニール電線を使うと抵抗が小さいため、うまくいかない場合があります。ステンレス線などの抵抗値の比較的高い線を使うか、数オーム程度の抵抗をモデル送電線に直列に接続するなどして抵抗値を調整下さい。

(注 3) 厳密には、豆電球の抵抗値は一定ではなく、流れる電流によって変化します。一般に、流れる電流が少なくなると抵抗値は小さくなります。この効果を考慮すると、本文で示した値よりもさらに豆電球にかかる電圧は小さくなります。

(注 4) 動画では分かり易さのため、100V から 50 万 V に上げて送電し、家庭のところで 50 万 V から 100V に下げると説明しています。現実の電力システムでは、発電所で発生した電圧を昇圧し、高圧の送電線で送電した後、段階的に降圧し、個別の需要家に供給しています。

<もっと知りたいあなたに>

1) 電気を送る途中で失われる損失（熱損失）については、「電気の知識を深めようシリーズ 1 電気とは何だろう」の P.12 には次の記事があります。

『電気を送るには、送電線を使います。送電線で送れる電気の量は、電圧と電流を掛け合わせたものとなります。そのため、送る量を大きくするためには、電圧を高くするか電流を大きくします。また、送電線は、銅やアルミなど比較的電気の流れやすい金属で作られていますが、電気の流れを妨げる抵抗があるため、発生した熱が大気中に放出されます。この熱の量は電圧には依らず電流の二乗に比例するため、なるべく高い電圧を使用して、電流を少なくする努



力がされています。』

詳細は「電気の知識を深めようシリーズ－5 電気を送る・配る」をご覧ください。

また、大学の電気工学科のレベルでの理解のためには、交流回路論で取り扱うインピーダンスの概念（抵抗だけでなく送電線のインダクタンスとか送電線と対地や送電線相互の静電容量（キャパシタンス）を用いることとなります。

2) この実験では、豆電球（需要家を模擬）6個を並列接続しました。並列接続と直列接続、さらには交流と直流に関する記述が「電気の知識を深めようシリーズ－3 電気の基本を考えてみよう」の次の項にありますから、興味があったら一読して下さい。

「発電機・白熱電球の発明と電力事業化」 pp.22 - 25

「交流と直流のどちらが優れているのか」 pp.25 - 26

## 2. 3 小冊子シリーズ

前節の末尾でも一部述べましたが、7冊の小冊子「電気の知識を深めようシリーズ」のうち、この実験動画に関係が深い小冊子は、次のものです。

Vol.1 「電気とは何だろう？」

Vol.3 「電気の基本を考えてみよう」

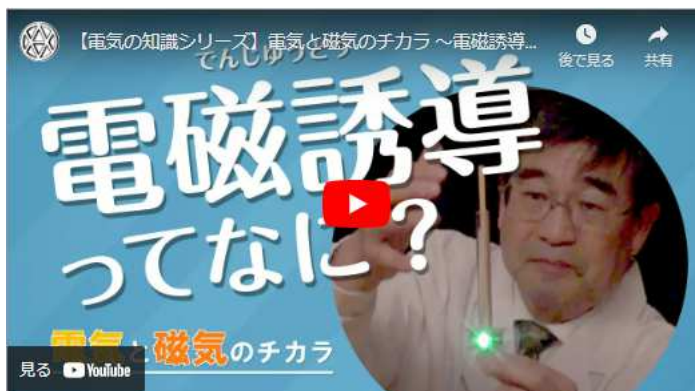
Vol.5 「電気を送る・配る」

これらの小冊子は、次の URL から PDF ファイルの形でダウンロードできます。

<https://renkei.iee.jp/pamphlet>

### 3. 電気と磁気のチカラ ～ 電磁誘導って何？

#### 3. 1 動画教材



磁石をストンと落とすだけでLEDがピカッと光る？ 磁石と電気のふしぎな関係を紹介します。

### 3. 2 「ストーンピカ」解説書

#### 発電コイル「ストーンピカ」を用いた実験の解説

電気学会社会連携委員会

(出所: 解説書\_ストーンピカ\_1.2 版.pdf)

#### 安全上のご注意：ストーンピカを扱う前に必ずお読みください

ネオジム磁石はたいへん強い磁石です。その特性を生かしてさまざまな楽しい実験ができますが、強さゆえに安全に関する細心の注意が必要です。小さなネオジム磁石であっても、幼児が誤って飲み込んでしまうと重篤な事故になりかねません。ネットで次の事故事例をお読みください。

- (1) 強力な磁石のマグネットボールで誤飲事故が発生 - 幼児の消化管に穴があき、開腹手術により摘出 - 国民生活センター

([http://www.kokusen.go.jp/pdf/n-20180419\\_1.pdf](http://www.kokusen.go.jp/pdf/n-20180419_1.pdf))

- (2) 複数個の磁石の誤飲 日本小児科学会

([https://www.jpeds.or.jp/uploads/files/injuryalert/0057\\_example.pdf](https://www.jpeds.or.jp/uploads/files/injuryalert/0057_example.pdf))

また、ネットの YouTube で検索語を「ネオジム磁石 危険」として検索すると、いくつかの動画がヒットしますので、どれでも結構ですからご覧ください。



## 1. 先生方・保護者の方々へのお願い

ストーンピカはネオジム磁石を用います。ネオジム磁石は磁力が強いため、磁気カードを近づけるとデータが消えるおそれがあります。また、鉄製品に強力にくっつくため取り扱いには十分注意してください。

図1にストーンピカの構成部品を示します。

【注：この実験セットの供与は2020年から行っています。ガイド用パイプはアクリルが望ましいのですが、当初は肉厚の薄い規格品がなかったためガラス管を使用しています。強い力がかかると割れますので使用上の注意が必要です。現在はアクリル管を使用していますので割れる心配はありません。】



図1. ストーンピカの構成部品

## 2. ストーンピカについて

この教材は中学校2年の理科などで使われているものです。ある教材会社では発電原理実験器という名称で販売されていたり、「ふりふりくん」と呼ばれたりしています。

私たちが提供するものは原理的にこれと同じものですが、コイルの巻き数を多くし(1200ターン)、竹箸の先にネオジム磁石をくっつけるようにしているため、磁石を取りはずして極を変えることができます。また、コイルの上下を変えてアクリル管を差し込むようにして実験の自由度を高めています。

そのため、ストーンピカは図1に示したように「LEDのついたコイル」「ネオジム磁石」「ナットのついた竹箸」「ガイド用アクリル管」の4つのパーツで構成しています。コイル両端には赤色と緑色のLEDを電流の流

れる方向が逆さまになるように接続しています。

### 3. ストンピカの実験

竹箸の一端に固定しているナットにネオジム磁石をくっつけます。磁石の底面に赤色のマーキングがあるのがN極側です。そしてLEDのついたコイルの中心穴にガイド用アクリル管を挿入します。後は箸を持ってアクリル管の中を落とすだけです。たいへん簡単にできる実験ですが、以下に示すように磁石の極性、落下させる位置(高さ)、コイルの上下の反転などにより現象は変わります。生徒主体で実験させ、結果とその理由を説明させ、気づきを促すことも大切です。

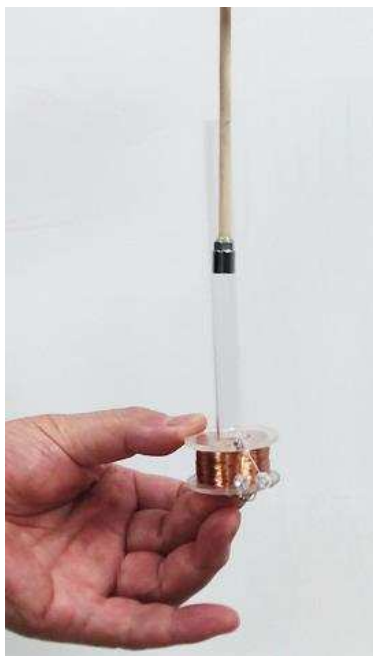


図2. 実験1のコイルの持ち方

#### 【実験1】

図2のように親指でコイルの上面を支え、中指はアクリル管の下部をふさぐようにしてコイルを持ち、磁石を下部に付けた箸をストンと落としてみましょう。

赤色もしくは緑色のLEDがピカッと点灯します。

つぎに箸につけた磁石の極を反対にして落としてみましょう。すると初めに点灯したLEDとは違う色のLEDが点灯します。コイルの上下を反転させても、点灯するLEDは変わります。

落下し始めの位置が分かるようにアクリル管にマーキング<sup>(1)</sup>を行い、磁

---

(1)ガイド用パイプにアクリル管を使用しています。生徒の実験指導にあたって落とす位置を明示するためマーキングしたい場合があります。油性ペンでマーキングすると消えなくなりますので、水性ペンをご使用ください。ポストイットの切れ端を貼り付けてもよいでしょう。

石が落下する高さを変えながら LED の明るさを観察しましょう。低い位置から落下させると LED は点灯しませんが、高い位置から落とすと明るく点灯します。

これを赤色と緑色の LED で比べてみましょう。緑色の LED は赤色の LED より高い位置から落とさないと光りません。

赤色 LED は 2V 程度の電圧で光りますが、緑色 LED は 3V 近い電圧が必要です。これは光の色とエネルギーが関係しているからです。

オシロスコープで測定した電圧信号を次のページに載せていますので参照ください。

### 【実験 2】

図 3 のように LED のついたコイルをアクリル管の下部より数センチほど上の位置にして、コイルを指でつまんで持ち、落下する磁石がコイルを通りぬけて、手のひらで止まるようにしてみましょう。

赤色と緑色の両方の LED が点灯することが確認できます。磁石がコイルに近づいてくる時と離れていく時で発生する電圧の極が反対になり、電流の流れが変わるため、初めは一方が発光し、次に他方が発光します。一瞬の現象ですがよく見れば順序がわかります。

オシロスコープがあれば電圧波形を生徒に見せてあげてください。

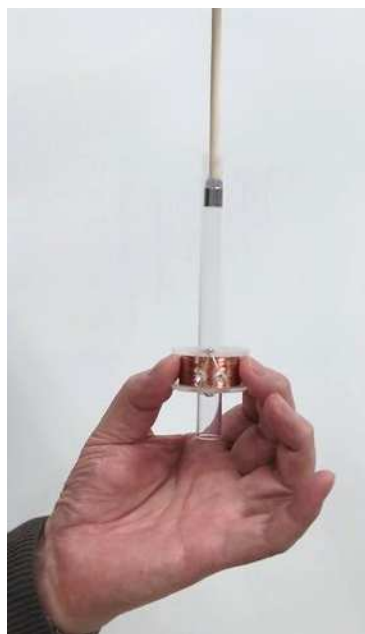


図 3. 実験 2 のコイルの持ち方



### 【コイルに生じる電圧波形】

図 4(A)は、LED を外して、コイルの両端に発生する電圧をオシロスコープで測定する回路図です。オシロスコープ付属の「プローブ」をコイルの両端に接続します。図 4(B)は測定した電圧波形です。横軸は時間軸で 1 秒間 (1 目盛が 0.1 秒) の波形です。磁石がコイルに入って 3.5V のピーク電圧を示しました。磁石がコイルの中間位置でゼロとなります。コイルから出ようとするときにマイナス方向に 3.8V のピーク電圧を示しました。

なぜ電圧が異なるのでしょうか。磁石が落下し始める位置で発生する電圧は変化し、コイルに入るときよりも出るときの方が加速度を得て速く落下しているために電圧は大きくなるのです。

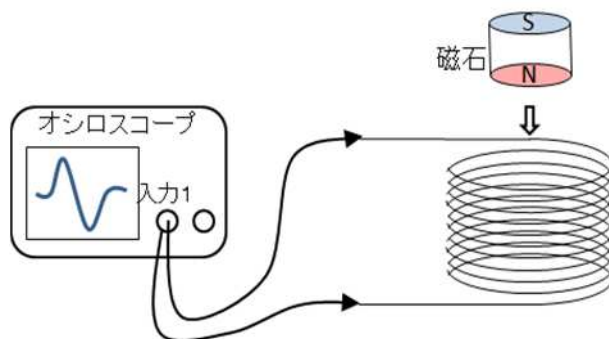


図 4(A). LED を外して電圧を測定する接続図

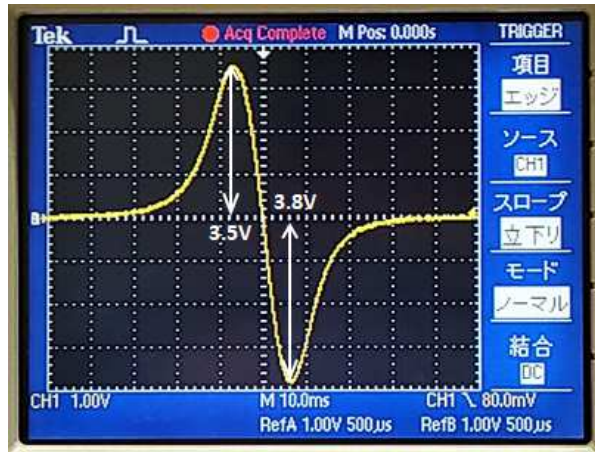


図 4(B). LED を外したときのオシロスコープの波形

つぎに、図 5(A)に示すように緑色と赤色の LED を付けて電圧波形を測定しましょう。最初に緑色の LED が点灯しその後に赤色 LED が点灯します。

図 4 のときと同じ高さから磁石を落下させました。電圧が 0V からプラスになり、反転してマイナスになり 0V に戻っています。その時間はほとんど変わりませんがピークが大きさが変わっています。時間が変わらないのはコイルを磁石が通過する時間が変わらないからです。電圧のピークが低くなったのはなぜでしょうか。

図 5(B)のオシロスコープの波形では、プラス側の 2.9V 付近でピークとなります。これは、緑色 LED に流れる電流が始めはわずかなのですが<sup>(2)</sup>,

---

<sup>(2)</sup> この段階で赤色 LED は逆向き接続なので電流は流れません。LED は Light Emitting Diode の頭文字をとったもので、電流が流れると発光するダイオードです。ダイオードは順方向には電流が流れますが、逆方向には流れません。順方向電流はあるレベルまではわずかししか流れませんが、そのレベルを越えると急激に流れやすくなります。LED は LED ランプとして家庭の省エネの切り札になっているだけでなく、さまざまところで使われているすごい部品です。



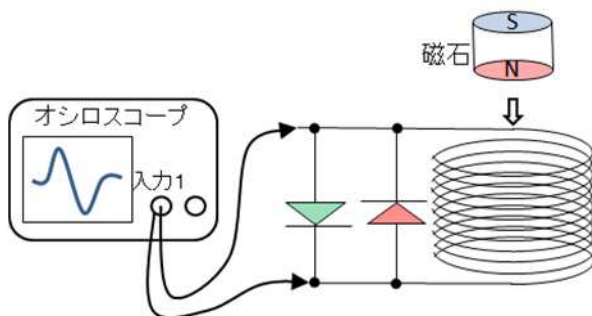
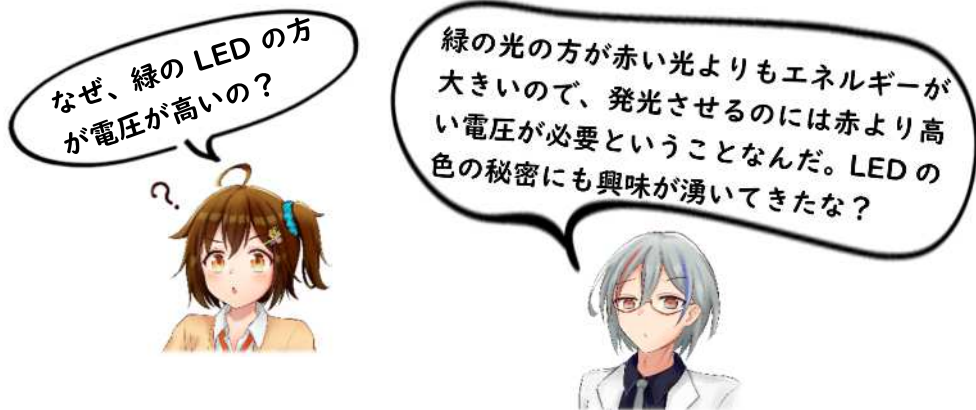


図 5(A). LED をつけて電圧を測定する接続図

2.9V 付近を越すと電流がたくさん流れるようになり電圧が頭打ちになるためです。そして、磁石がコイルの中間地点を過ぎると反対方向の電圧が発生し赤色 LED に電流が流れます。赤色 LED では 2V 付近を越えると電流がたくさん流れるようになり 2.2V で頭打ちになります。

このことから緑色 LED が発光するためには赤色 LED より高い電圧が必要とすることが分かります。

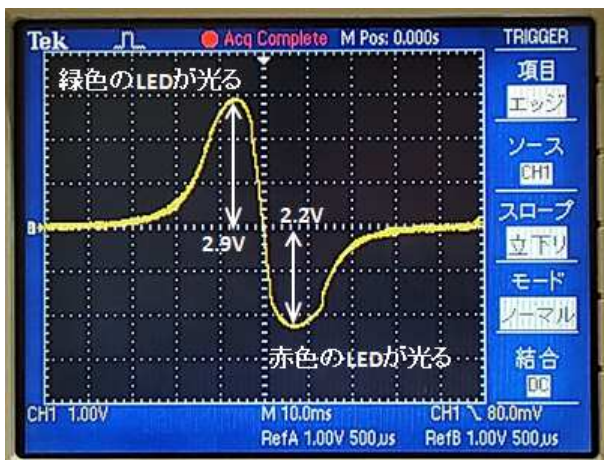


図 5(B). LED をつけたときのオシロスコープの波形

### 【電気が発生するしくみ】

コイルに向かって磁石が落下してくると、磁界の変化によって誘導起電力<sup>(3)</sup>が生じ電流が流れます(図 6(A))。この電流は磁石の落下を妨げる方向の磁界(磁石の N 極と反発するためにコイルの上が N 極)を作ります。コイルの上側がプラス電圧となるため、緑色 LED に電流が流れてピカッと光るのです。磁石がコイルを抜けて反対側に落ちていくと逆方向の誘導起電力が生じ、先ほどと逆方向の電流が流れて、磁石が離れるのを妨げる方向の磁界(コイルの下が N 極で磁石の S 極を引きつける)を作ります(図 6(B))。コイルの下側がプラス電圧となりますので、赤色 LED に電流が流れます。この原理は「ふわっと君」<sup>(4)</sup>と同じです。

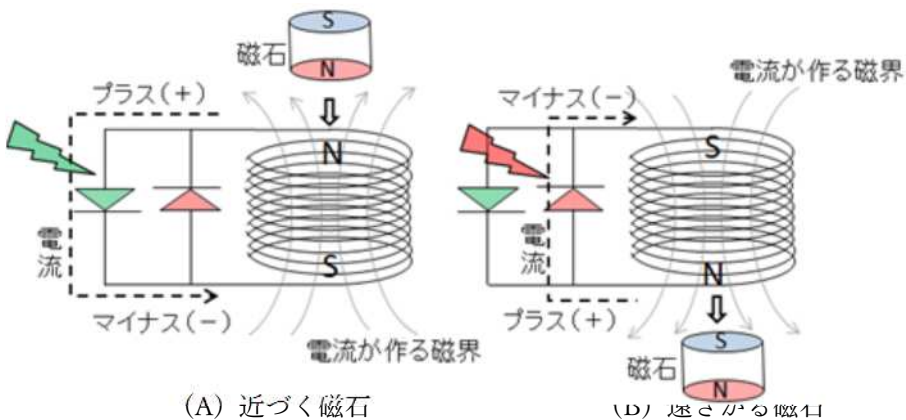


図 6. 電気が発生するしくみ

<sup>(3)</sup> 起電力は、英語で electromotive force と言い、電気を起こす力のことで、電力(electric power)とは関係ありません。起電力の大きさを単に電圧とすることが多いです。

<sup>(4)</sup> 社会連携委員会が提供しているネオジム磁石を銅板の上に落とす実験キットの愛称です。

磁石がコイルに向かって落ちてくる  
ときには、上がプラスになって、通り過  
ぎたら今度は下がプラスになって緑と  
赤のLEDが順番に点くのね！  
でも、なぜ電圧の向きが逆になるの？



説明しよう。

誘導起電力が発生するのは、コイル部分の磁界が時間的に変化するからなんだ。磁石が落ちてくる時は磁石が近づいてくるのでコイル部分の磁界はだんだん強くなるし、コイルを通り過ぎた後は、磁界はだんだん弱くなる。だんだん強くなるか、逆にだんだん弱くなるかの違いで、起電力の向きも逆になるんだ。さらに言えば、この誘導起電力の大きさは、磁界がどのくらい速く変化するか、その大きさで決まるんだ。試しに手で磁石を出し入れしてごらん。ゆっくり動かしていると、誘導起電力は小さいのでLEDは点かなくて、速く動かすとLEDが点くことが判るよ。

ところで、コイルが作る磁界は磁石がコイルを通り過ぎる前も後も磁石が落ちるのを防ぐ向きになっているって、おもしろいよね。



## 参考

発光ダイオード (LED: Light Emitting Diode) の図記号は、本解説書では何色の LED が発光したかを表すために、強調した表現を用いていますが、正式な図記号は、JIS (日本工業規格) で右図のように定められています。  
(JIS C 0617-5: 2011 参照)



### 3. 3 「ふわっと君」解説書

## 磁石落下実験器「ふわっと君」を用いた実験の解説 (初等中等教育用)

電気学会社会連携委員会

(出所:解説書\_ふわっと君\_初等中等\_1.1版.pdf)

### **安全上のご注意：ふわっと君を扱う前に必ずお読みください**

ネオジム磁石はたいへん強い磁石です。その特性を生かしてさまざまな楽しい実験ができますが、強さゆえに安全に関する細心の注意が必要です。小さなネオジム磁石であっても、幼児が誤って飲み込んでしまうと重篤な事故になりかねません。ネットで次の事故事例をお読みください。

- (1) 強力な磁石のマグネットボールで誤飲事故が発生 — 幼児の消化管に穴があき、開腹手術により摘出— 国民生活センター

([http://www.kokusen.go.jp/pdf/n-20180419\\_1.pdf](http://www.kokusen.go.jp/pdf/n-20180419_1.pdf))

- (2) 複数個の磁石の誤飲 日本小児科学会

([https://www.jpeds.or.jp/uploads/files/injuryalert/0057\\_example.pdf](https://www.jpeds.or.jp/uploads/files/injuryalert/0057_example.pdf))

また、ネットの YouTube で検索語を「ネオジム磁石 危険」として検索すると、いくつかの動画がヒットしますので、どれでも結構ですからご覧ください。

### 1. 先生方・保護者の方々へのお願い

理科実験等で磁石落下実験器「ふわっと君」を扱う場合、必ず先生方・保護者の方々の目が届くところで行い、絶対に子供たちだけで磁石を扱

うことがないようにしてください。この実験では磁石を数 cm 程度の高さから落としますが、目を離すと子供たちは高いところから落としたり、放り投げたりしかねません。また複数の磁石がある場合、非常に強い磁力<sup>(5)</sup>で引き合いますので、絶対にくっけないように指導する必要があります。

「ふわっと君」のネオジム磁石の吸着力は非常に強くなりますので、1 教室で複数の実験セットを取り扱うことはお勧めできません。1 セットだけで実演してください。最初の実験は先生方ご自身で行い、それを子供たちに見せてください。

このような配慮をした上であれば、子供たちに自由に磁石の落下実験をさせてください。子供たちの目の輝きが一瞬にして増すでしょう。先生方の説明を一言も聞き漏らすまいとの積極的な態度を見せてくれるはず



---

(5) 地球は大きな磁石です。北極部 (North Pole) が S 極、南極部 (South Pole) が N 極で、その間は磁界で満たされています。この磁界を「地磁気」といいます。方位磁針は、この地磁気によって、南北を指し示すのです。ところで、実は地理上の北極点と地磁気の北極点は若干ずれています。なぜずれているのでしょうか。そもそも地球はどうして大きな磁石になっているのでしょうか。興味があったら調べてみてください。

参考ウェブサイト：京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センター (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/index-j.html>)

## 2. 磁石落下実験器「ふわっと君」取り扱い上の注意

### 1) 磁気カードや鉄製品は 10cm 以内には近づけないでください

強い磁気の影響で「磁気カード」のデータは消えてしまいます。鉄製品（機械式時計）など磁石にくっつくものにも影響を与えます。

### 2) 磁石を落下させる実験では、落差は数センチメートル以内で実験してください

落差が大きくなると磁石を水平に落とすことが難しくなり、落下の衝撃で破損します。破損しても破片が飛び散らないように保護はしていますが、落差は数センチメートル以内にしてください。

### 3) 磁石の平面側を鉄板（黒板を含む）や鉄製品などに不用意にくっけないでください

ネオジム磁石は吸着力がたいへん強く、思いもかけず強い力で引き込まれて指を挟んで怪我をすることがあります。とくに平面側は鉄板などにくっけないでください。ひき離すのに専用の道具が必要になる場合があります。また、落下したり鉄にくっついたりした衝撃で、割れたり欠けたりして断面が鋭い刃物状になり、それで怪我をすることもあります。使用する前に表面を養生テープで覆うことが望まれます。

### 4) ネオジム磁石どうしを絶対にくっけないでください

複数の実験セットを扱う場合、この注意が必要です。非常に強い力でくっついてしまいますので怪我をすることもあります。くっつけてしまうと引き離すのに専用の道具が必要になる場合があります。

## 3. ふわっと君の実験目的と解説

私たちの身の回りには電気を使ったものが多くあり、電気に囲まれた豊かな暮らしをしています。多くの方が使っているスマホは、通話はもちろんインターネットに接続され写真の撮影だけでなくテレビやゲーム・・・今や欠かすことのできないツールとなっています。

でも、多くの方は「どうしてこのようなことができるの?」とは考えません。分解しても多くがブラックボックスの部品の集合体でしかないので、分解しようなんて気にもなりませんし、なぜ?と疑問に思うことも

あまりありません。

このようなブラックボックスに囲まれて生活していると、厚い銅板の上に強いネオジム磁石を落下させるという単純な実験なので、「落下の衝撃でガツンと音が立つ」と思ってしまいます。しかし、実際にやってみると、磁石は音を立てずに銅板上に“ふわっ”と着地します。このような現象を見ることで、これまでの経験的常識が覆され「エッ、なんで？」という疑問と、「知りたい」という知的な好奇心が醸成されます。この知的好奇心を湧き上がらせるのがこの実験器の目的です。

### 【実験方法】

木製など、磁石の付かない実験台の上に銅板をセットします（スチール製の机では磁石がくっつくようになりますので**危険**です）。まずは、磁石を持って、銅板の上ではなく実験台の上に数 cm の高さから磁石の平面と実験台が平行になるように落下させます。「ガツン！」 磁石は実験台に音を立てて落ちます。

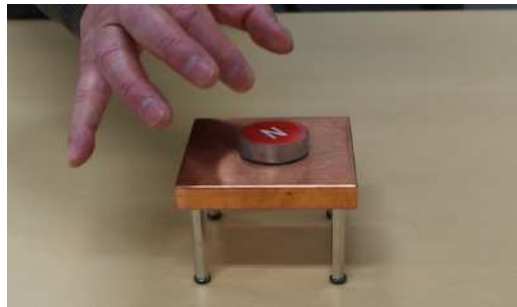
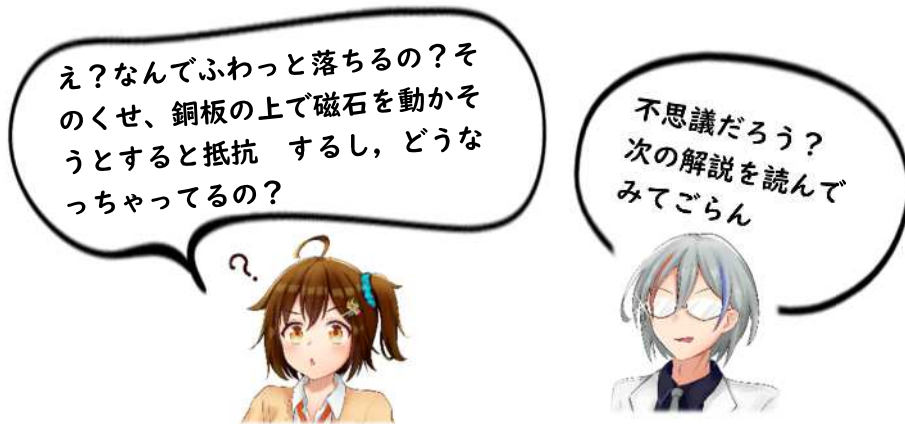


図 1. ふわっと君 実験の様子

次に、銅板の上に同じように数 cm の高さから磁石を落下させます。すると、磁石は音を立てずに“ふわっ”と着地します（図 1）。

もう一つ実験してみましよう。銅板の上に磁石を置いて、磁石を左右に動かしてみましよう。すると、磁石を動きにくくする力を感じます。早く動かそうとすればするほど抵抗感は強くなります。





### 【解説】

先生が実験をした後に、  
『銅板の中には誰かがいて、「磁石に落ちてこないで！」と頼んでいるから、磁石はガツンと落ちられないのだよ (図2)』と説明したら、子供たちはどんな顔をするでしょう。  
『ウッソー！』でしょうか。

磁石は磁界を作ります。もし磁界が時々刻々と変化し、そばに導体があると、磁界の変化に応じた電流が流れます。これが、イギリス人のファラデーが発見した電磁誘導という現象です。

ネオジム磁石が落下してくると、下の銅板のところでは急速に磁界が変化し、変化する磁界が銅板の表面にリング状の電流(「うず電流」と呼びます)が流れます。リング状の電流は「右ねじの法則」と呼ばれる法則に従って、磁界を発生させます。発生する磁界は、落ちてくる磁石の磁界と逆向きになります。棒磁石を2本用意して、N極とN極(またはS極とS極)を向かい合わせると、2本の棒磁石は反発します。それと同じ現象が落下するネオジム磁石と下にある銅板の間で起きるため、磁石は音



図2. 銅板の中に誰がいる？

もなく“ふわっ”と落ちるのです。この実験セットでは、厚い銅板を使っているので強い抵抗を感じますが、銅板が薄いと磁界の影響を受ける銅板内の自由電子が少ないため、大きな抵抗感は得られません。

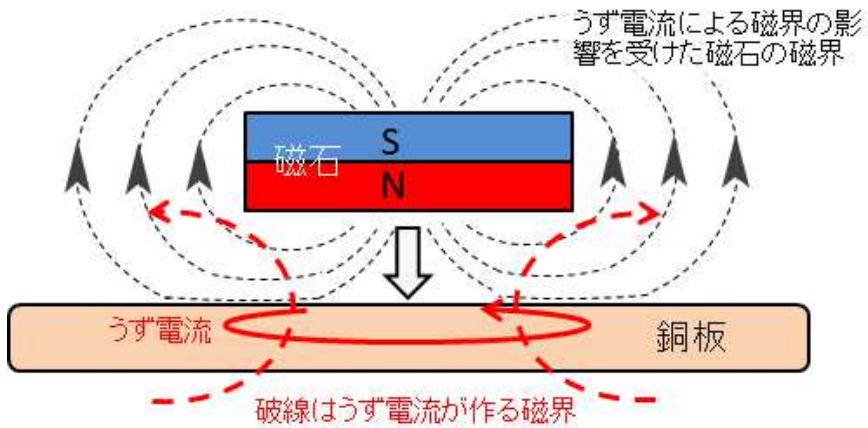
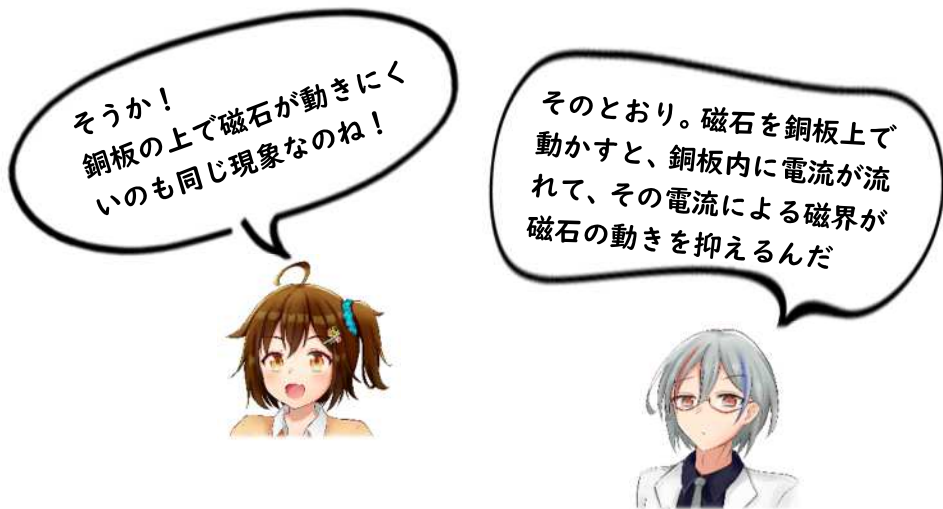


図 3. 電磁誘導によって銅板に生じたうず電流と磁界のイメージ



#### 4. 電気学会の小冊子の紹介

電気学会社会連携委員会のウェブサイトでは、【電気の知識を深めようシリーズ】を、「小冊子を使おう (<https://renkei.iee.jp/pamphlet>)」のページで無料で公開しています。

##### 【電気の知識を深めようシリーズ】

Vol.1 電気とはなんだろう

Vol.2 私達の身近にある電気

Vol.3 電気の基本を考えてみよう

Vol.4 電気をつくる

Vol.5 電気を送る・配る

Vol.6 電気を貯める

Vol.7 スマートに安全・確実に電気を使う

このページからは、巻ごとの PDF ファイルだけでなく、7冊を合本した PDF ファイルも入手可能ですので、そのファイルを開いて「電磁誘導」で検索してみてください。電気のさまざまな場面で電磁誘導が登場していることが分かります。ファラデーの説明は、Vol.3 の「電気を起こす」(pp.17-19) にあります。

同じように「磁石」でも検索してみてください。どこから読んだらよいのかわからないくらい小冊子のさまざまな場所で使われていることばです。磁石落下実験器「ふわっと君」と関係するお勧めは、Vol.3 の「2 昔から電気はおもしろかった」(pp.10-19) です。

是非読んでみてください。

## 付録：小学校、中学校の学習指導要領との関連

下図は、小学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説【理科編】の p.22 にある「図1 小学校・中学校理科の「エネルギー」、「粒子」を柱とした内容の構成」の部分です。

校種	エネルギー			
	エネルギーの捉え方	エネルギーの変換と保存	エネルギー資源の有効利用	
第3学年	<ul style="list-style-type: none"> <li>風とゴムの力の働き</li> <li>馬の力の働き</li> <li>ゴムの力の働き</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>光と音の性質</li> <li>光の反射・屈折</li> <li>光の当て方と明るさや暗かさ</li> <li>音の伝わり方と大小</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>磁石の性質</li> <li>磁石に引き付けられる物</li> <li>異極と同極</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気の通り道</li> <li>電気を通すつな</li> <li>ぎ方</li> <li>電気を通す物</li> </ul>
第4学年			<ul style="list-style-type: none"> <li>電流の働き</li> <li>乾電池の数とつながり方</li> </ul>	
第5学年	<ul style="list-style-type: none"> <li>振り子の運動</li> <li>振り子の運動</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>電流がつくる磁力</li> <li>磁心の磁化、極の変化</li> <li>電磁石の強さ</li> </ul>	
第6学年	<ul style="list-style-type: none"> <li>てこの傾斜性</li> <li>てこのつり合いの原理性</li> <li>てこの利用</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>電気の利用</li> <li>発電(光電池(小.4から移行)を含む)、蓄電</li> <li>電気の交換</li> <li>電気の利用</li> </ul>	

第1学年	<div data-bbox="244 1182 386 1348" style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px;"> <b>力の働き</b>          ・力のつり合い          (中3から移行)          を含む)       </div> <div data-bbox="244 1000 386 1166" style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <b>光と音</b>          ・光の反射・屈折          (光の色を含む)          ・白レンズの働き          ・音の性質       </div>		
第2学年	<div data-bbox="436 1182 565 1348" style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px;"> <b>電流</b>          ・回路と電流・電圧          ・電流・電圧と抵抗          ・電気とそのエネルギー          (静電気と電流(電子、荷電量を含む))       </div> <div data-bbox="436 1000 565 1166" style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <b>電流と磁界</b>          ・電流がつくる磁界          ・磁界中の電流が受ける力          ・電磁誘導と発電       </div>	<div data-bbox="436 629 565 1166" style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px;">         ・電流による発熱 (小6から移行) を含む)       </div>	
中学校			
第3学年	<div data-bbox="710 1182 839 1348" style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px;"> <b>力のつり合いと合成・分解</b>          ・水中の物体に働く力(水圧、浮力          (中1から移行)を含む)          ・力の合成・分解       </div> <div data-bbox="710 1000 839 1166" style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <b>運動の規則性</b>          ・運動の速さと向き          ・力と運動       </div>	<div data-bbox="861 1182 990 1348" style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px;"> <b>力学的エネルギー</b>          ・仕事とエネルギー          ・力学的エネルギーの保存       </div>	

小学校・中学校では図に示す○印部分で本実験を取り扱っていると、効果的でしょう。

高等学校の学習指導要領では、[第3 物理] - [2 内容] - [(3) 電気と磁気] を参照ください。

### 3. 4 一歩先へ

#### 3. 4. 1 銅板上へ落下する磁石の運動を測定してみよう

## 銅板上へ落下する磁石の運動を測定してみよう

狐崎晶雄 桂井誠

出所：銅板上へ落下する磁石の運動を測定.pdf

### 1. はじめに

図1のように、純銅板の上方から円板形の磁石を落とします。そうすると静かに着地します。この「ふわっと君」と呼ばれる理科実験装置は大阪大学の久保等先生によって考案されたもので、電磁誘導現象を観察、体験できます。試しにこの磁石を手で持って銅の円板に平行を保って銅板にグイと近づけてみてください。反発力を感じるとと思います。ここでは磁石を銅板の上から落とした時に、磁石がどんな速度で落下するのか、装置を工夫して計測してみましよう。

何を測定するのか、そう、落下中の磁石の高さ（位置）の時間変化とそこでの速度ですね。そして、速度は2つの点（A点とB点）の高さを測り、それぞれの高さを通じた時刻を測定して、

$$\text{速度} = \frac{\text{A点の高さ} - \text{B点の高さ}}{\text{A点を通じた時刻} - \text{B点を通じた時刻}}$$

を計算して出すことができます。さらにこの速度の変化から加速度（重力や制動力）を求めることができます。ふわっと着地することは速度が着地前にゼロになることですが、その様子が測定できるでしょうか。

**注意** この実験では、普通にある磁石とは桁違いに強力な永久磁石を使います。実験を試みる場合は以下の危険性を知って、磁石の取り扱いに十分注意してください。できれば実験のベテランの立ち合いのもとで行うようにしてください。磁石が机の上の鉄の文具を急速に引きつけ、場

合によってはナイフが飛んでくることもありえます。2つの磁石がくっついたら、道具がないと離せません。鉄に吸い寄せられた磁石との間に指などを挟まれると怪我をします。手袋で防御してください。磁石が欠けて鋭い角ができたり、割れた磁石片が針のように飛び散る可能性もあります。机の目に見えない釘やボルトに引き寄せられるので、それにも注意。

もうひとつ大事なことです。磁気カードやクレジットカードの内容を壊す可能性もあります。1 m以内にクレジットカードなどがいないことを確認してください。

この実験を行う場合は自己責任で行って下さい。

## 2. 磁石（永久磁石）

### 2-1 実験に使う磁石と銅板

「ふわっと君」の実験では図1の磁石と銅板を使用しましたが、ここで説明する実験では図2のような純銅の円板と強力な磁石（ネオジム永久磁石）を使用します。磁石は直径 3.8cm、厚さ 1.2cm、重さは 109g です。磁石中心、磁石面上での磁界強度は 370mT（ミリテスラ）です。銅板は、直径 15cm、厚さ 0.3cm の銅板を 3 枚重ねて使います。

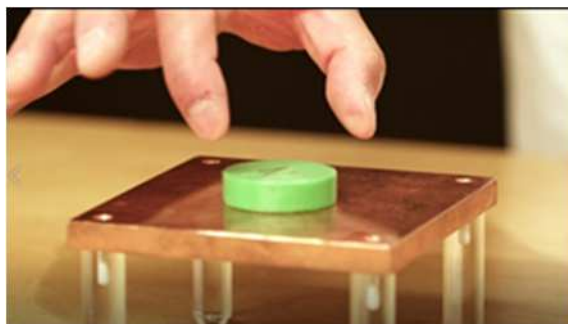
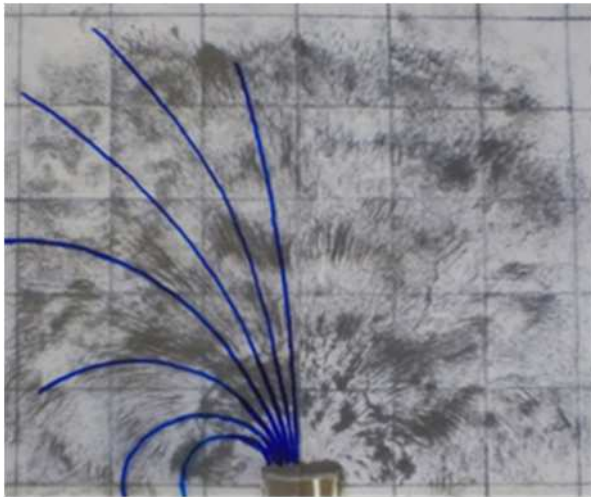


図1 「ふわっと君」 [久保等（大阪大学）提供]



図2 銅板（上）と永久磁石（下）

最初にこの磁石からどんな磁界（磁力線）が出ているのかを調べてみました。それには小さな鉄の粒子である「砂鉄」を使います。その結果が下の図3です。左半分には、写真をもとにして、磁力線を何本か手で書きこんでみました。（砂鉄でこの図をつくるのにもコツがあります。「subaru」という名のホームページに書いておきますので、参考にしてください。）



中央下の円板が磁石を横から見た像です。格子状の線で、磁石の中央の縦線は、円板の磁石の中心線です。マス目は5cm角。  
（砂鉄を撒いて出てきた模様）  
左半分には、砂鉄の模様をもとに磁力線を青線で描き加えました。

図3 磁石から出ている磁力線の様子



### 3. 落下実験装置

実験では銅板の上方から磁石を水平に保って放し、どのような速度で落ちていくのかを測ろうとします。さて、どんな装置がいいのか、考えてみましょう。

1. まず、何をしたいのか、できるだけ細かく手順を書きあげて見ましよう。
2. その手順を実行するために、どんな仕組み、装置がいいのか、考えてみましょう。

(皆さんは上の1. 2 を自分で考えてみましょう。以下は私の考えた手順と測定法です。)

#### 3-1 何をしたいのか

私は以下のように整理してみました。

- 1) 落下させるまで磁石を固定しておく(台の上に載せておくか、吊り下げておく)。
- 2) 落とそうと思った時に(いつでも)落とせるような仕組みにする。
- 3) 磁石が垂直に落ちること。横方向(水平方向)には動かないようにする。
- 4) 磁石が水平なまま、傾いたりしないで落下するように
- 5) 落ちた時に衝撃で磁石が割れないように。
- 6) 何回でも、落下を繰り返せるようにする。
- 7) (できれば)落下する距離を変えられるようにする。(たとえば、落下する距離を3cm, 5cm, 10cmなどに変えられるように。)
- 8) 落下する磁石の落下の速度を測れるようにする。
- 9) 速度を測って、それを記録できるようにする。

ところで、みなさんが書いたのはどんなでしたか？最後の9)はたぶん書き落としているでしょうね。「測る」というのは、台秤で重さを測るように針の動きをその時に読み取るだけでは、役に立ちません。測った結果の数字や、電圧の波形を何かの方法で記録して、あとで何回でも見直すことができるようにしておかないと（研究の）役に立ちません。台秤でお芋の重さを測っているときでも、きっと読み取った重さをノートなどに記録しているはずですが、記録のない「測定」はありえないと覚えておいてください。

ここで最も難しいのは8)の速度の測定です。いろいろ考えてみてください。

### 3-2 磁石を銅板の上方の位置から落下させるための装置

同じ位置から磁石を静かに落とす方法にはいろいろな案が考えられます。

- 1) 台から落とす方式 (a) 台を水平方向に引いて落とす
- 2) 台から落とす方式 (b) 台を半分に割れるようにしておいて、台を左右に開いて落とす
- 3) 磁石に糸をつけて、糸を切って落とす (ナイフで糸を切る/ 火で糸を焼き切る )
- 4) 電磁石に磁石を吸いつけておいて、電磁石の電流を切って落とす
- 5) 磁石に糸をつけて、糸の反対側に小さな輪をつけ、輪の中に棒を差し込んで止めておく。

その横棒を引き抜いて落下させる

- 6) まだいろいろな案があるかもしれません。考えてみてください。

いろいろな方法が考えられます。大事なことは、少なくとも2つ、できれば3つ以上は、違う方式を考えてみることです。そして、考えた2つ以上の方式について、ここはいいけど、ここはまずい、という比較表を作ってみましょう。

比較するには、なにが実験の上で大事なのかを考えてみる必要があります。いまの場合、そういう装置が作れるのか、作りやすいか、という点も大事な点です。そしてもうひとつ、落下を何回も簡単に繰り返せるかどうか、ということも大事です。どんな実験でも、装置を作ったらすぐに最初からデータがとれるわけではありません。まともなデータがとれるようになるまで、何回も、何日も、繰り返して、不都合なところがあればそこを作り直して、ようやくデータがとれるのです。1回落下させるのにすごい手間がかかるようでは、データがとれるようになるまで、何十日も必要になってしまいます。手軽に、再現性良く落下させることができるか、ということを重視する必要があります。

落下させるときに磁石が傾かないで静かに水平に落ちることも必要です。これはどうしたらできるでしょうか。考えてみてください。

#### 4. 測定装置

落下の様子（落下速度）を測る装置についても考えてみましょう。考えられる3つの例を書いておきます。ほかにもいい方法があるかもしれません。

- 1) 落下する様子をビデオカメラで撮影して、あとで撮影した1コマ1コマから位置を読み取る。そのためには、落下コースの隣にものさしを置いておく必要があります。
- 2) 磁石にひもをつけて、繰り出される紐の長さを測る。たとえば、大きな輪（プーリー）に糸を巻き付けておき、プーリーの軸にはバリオーム（注）をつけて、プーリーが回ったらバリオームの抵抗値が変化するので、その抵抗値を測る。

（注）軸を回すとリード線間の電気抵抗値が変化する部品を「バリ

オーム」といいます。昔のラジオやテレビの音量調節に使っていました。バリエブル（変化できる）とオーム（抵抗）からの造語です。

3) 磁石の上にもものさしをつけ、落下中に通り過ぎる目盛の数をフォトダイオードなどで読み取る装置を設置しておく。

この3つのうち、2)は、落下する磁石がプーリーを回すのですが、そのために落下が自由落下ではなくなります。銅板の落下への影響を調べる、という目的からは、自由落下である必要は特にないので、この方法もいいかもしれません。プーリーに摩擦装置をつけて、落下速度を一定にすることができれば、この方法が3つのうちで一番実験に適しているかもしれません。

（なお、地球の重力以外の何の力も加わらない落下を「自由落下」と言います。）

きっとほかにも方法があると思うので、考えてみてください。

## 5. 実際に製作して実験に使った例

この論文で製作した装置は図4です。

上に書いた諸案の中で、磁石を吊り上げておいて、吊っている針金の上の端に輪をつけ、輪の中に通した横棒を横に引き出して落下させる、という方法を採用しました。台に乗せると水平のまま落とすのが困難ですし、落下させるとき台を大きく引いたりする構造が難しいと思ったからです。

図4の装置では、最初は緑色の台が一番上だったのですが、一度作った後に、落下距離をすこし増やそうとして高さを継ぎ足したので、緑色の台の上に4本の柱を立てて継ぎ足しています。ちょっと見栄えが悪いですが、実験に困ることはありません。実験には試行錯誤がつきものです。見栄えが悪くても恥じることはありません。（でも、よく考えてよくできた装置は自然にきれいな美しい装置になります。そういう意味で、この写真は、いい例ではないかもしれません。みなさんは、がんばって、もっと見栄えの

いい装置を作ってください。)

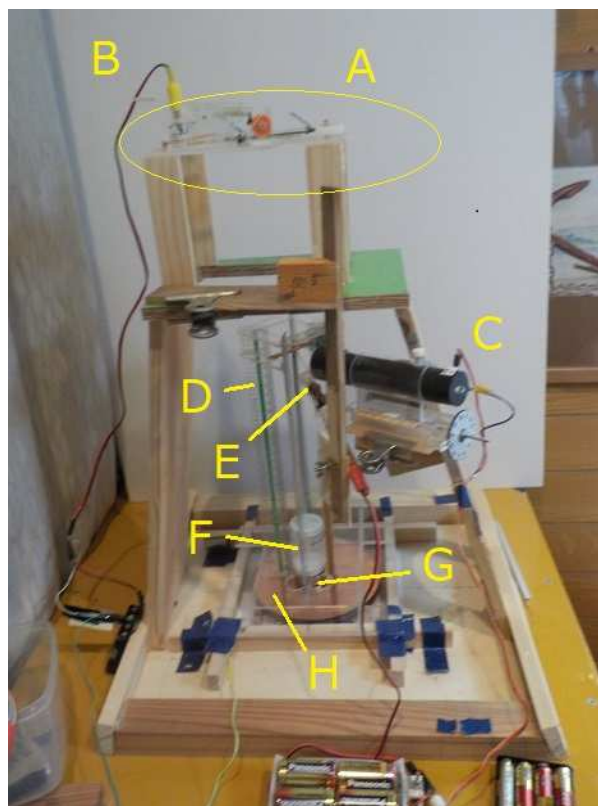


図4 磁石落下実験装置

- |                        |
|------------------------|
| A: 落下トリガー装置            |
| B: 電気接点（スイッチ）からの信号ケーブル |
| C: 目盛検出用スコープ           |
| D: ガイド用のものさし（周囲に4本）    |
| E: 照明用パワーLED           |
| F: プラスチックの筒            |
| G: 磁石                  |
| H: 銅板                  |

下の図5にはこの装置の基本部分の構成を説明してあります。装置設計のポイントは、①円形磁石を水平のまま落下させること、②どれだけ落下

したかを計測できるようにすることです。落下させる磁石の上には、長さ 6cm の薄いプラスチックのシートを丸めた筒を接着してあります。一方、垂直な落下コースの周囲 4 か所にはガイドレールが立ててあり、筒のついた磁石はその中を落下中、水平な姿勢を保って落下します。磁石の直径は 3.8cm、ガイドレールは直径 4cm の円に沿って設置してあり、磁石とガイドレールの間には薄いプラスチックの円筒があるので、磁石は落下中、ガイドレールには触れません。筒の上部には中心線に沿って長さ 20cm の幅 7mm、厚さ 1mm のものさしが垂直に接着してあります。ものさしに光をあて、落下する目盛の反射光を集光レンズで集めて、その焦点位置にフォトダイオードを置いて検出します。これによって磁石落下中の目盛から光のパルス列（ものさしは白く、目盛りは黒いので、光のマイナス・パルス列）がシンクロスコープに記録されます。パルスの個数をカウントすれば落下位置（落下距離）が分かります。

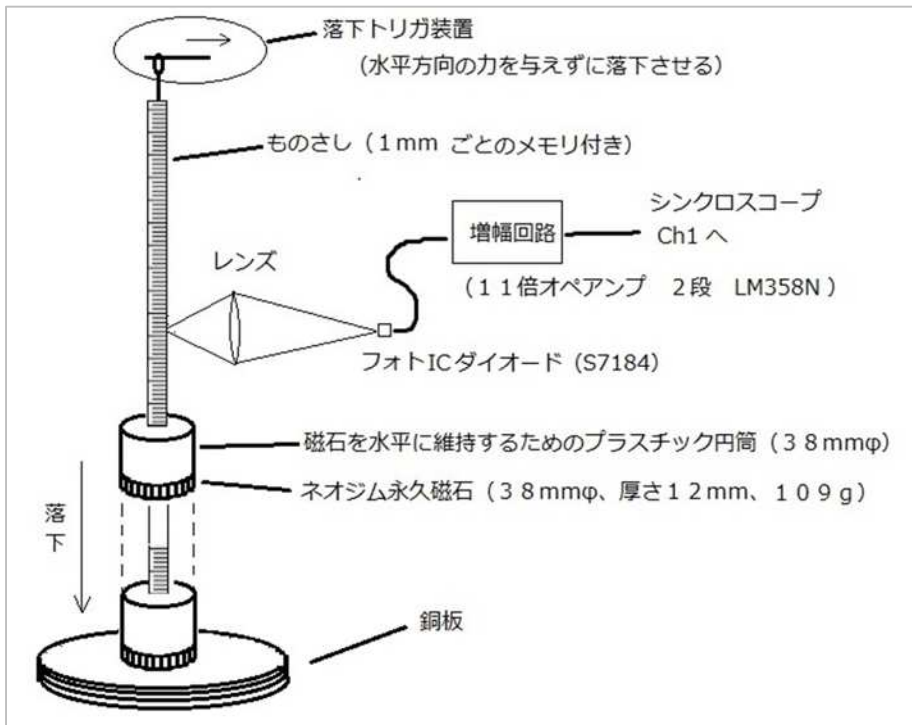


図5 磁石落下実験装置の基本部分

## 6. 実験結果

### 6-1 実は・・・

次の6-2以降に実験の結果などを書きますが、実はその前に別の方法で測定しようとして2か月かけましたが、うまくいきませんでした。それは、測定に4.の1)に書いた、ビデオカメラを使う方法でした。失敗の原因は、ビデオカメラでは、1)写真を撮った正確な時刻が分からないことと、2)位置の測定もできなかったためです。1)に対しては、時刻が分かる「時計」を一緒に撮影すれば解決すると思ったのですが、カメラがシャッターを開いている時間が5ms近くあって、1msの精度では時刻を読み取れませんでした。(シャッター開の時間が5msということは、普通のカメラの1/200の設定に相当します。)また、シャッターが開いている時間が長いために、磁石の位置がぼやけて撮影されてしまい、位置の判定もできませんでした。以下のデータの中にms(ミリ秒,1/1000秒)単位の時間信号を使っていますが、この回路は実は上記の「時計」として使ったLEDを光らせるために作ったものです。)でも、ビデオカメラを使った試行もいい経験でした。実験に失敗はありません。思った通りにならなくても、くじけずに次の手を試すのが実験です。そのためにも、いろいろなオプションを考えて比較しておくことが大事です。一つ失敗したら、すぐに次のトライに取り掛かれるようになりますから。

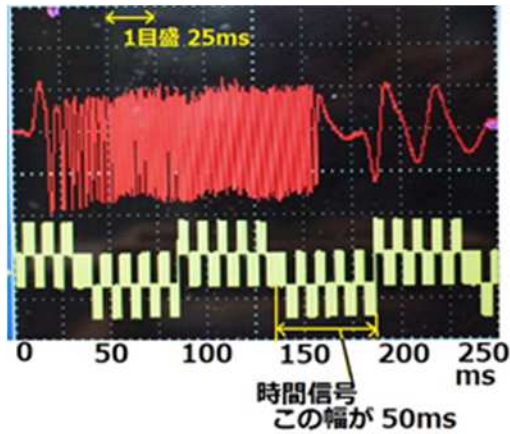
皆さんは、テレビで見た超スローモーションの動画を思い出して、「あれと同じにすればよい」と思っているかもしれませんね。それはそれで正しい。でも超スローモーション撮影が可能なビデオカメラは高価です。私たちは自分の頭を使って、安価な実験装置を工夫することもできます。

## 6-2 オシロスコープ波形と落下距離の計測

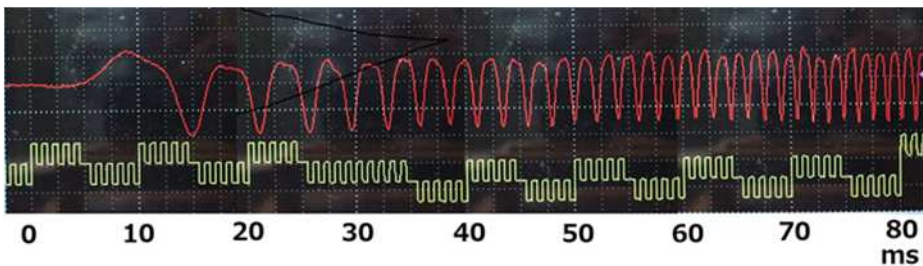
ここで採用した方法、フォトダイオード (PD) で光学的にものさしの目盛を測定する方法には、ここではオシロスコープという測定装置を使用しました。オシロスコープという単語は馴染みがなく、はじめてかもしれません。最後に付録として説明しているので、それを見てください。また、オシロスコープの波形について、少し詳しい説明を文末に書いた「subaru」に載せてありますので見てください。(4. の 2) の場合も落下が 1 秒以下と速い現象なので、抵抗値の測定にはオシロスコープが必要です。)

実験においては、磁石を高さ約 100mm の位置から銅板の上に落下させます。その時のフォトダイオードで測定したものさしの目盛りの信号の例を図 6 に示します。図 6 (a) は横軸 (時間軸) の 1 単位 (方眼目盛の単位長) が 50ms (ミリ秒) で、波形の谷がものさしの黒い目盛りの線に対応しています。図 6(b) は、図(a)の横軸 (時間軸) を 20 倍引き伸ばして、細かい変化が見えるようにした図です。1 パルスごとに 1mm 落下しています。パルス信号の間隔がだんだん短くなっていますが、これは重力による加速を示しています。そして図(a)の落下開始から約 0.15 秒間(150ms の間) 速い速度で落下し、その後、150ms から 240ms までは非常にゆっくりした速度で落下して着地したことが分かります。 図 6(b) は 80ms までの拡大図しか示していませんが、実際には 240ms まで全部の拡大図を作って約 100 個の目盛全部について、フォトダイオードで測定している地点を通過した時刻を読み取って、表に記入しています。その値をパソコンの Excel というソフトに打ち込み、グラフにしたり計算処理をしました。





(a) 落下全行程の波形 (50ms / 横軸目盛)



(b) (a) の 0 ms から 80 ms まで取って横軸時間を 20 倍に拡大 (2.5ms / 横軸目盛)

(シンクロスコープの画面を撮った写真 4 枚をつなげたもの)

図6 フォトダイオード信号

(a) (b) 両図の下半分に出ているのこぎりの歯のような波形は、時間測定を容易にするために入れた時間信号。

### 6-3 測定結果 落下中の高さ、速度、加速度の時間変化

#### (1) 高さ 対 時間

落下開始からの時間 (ミリ秒 以下 ms と記す) と落下距離との測定結果は図7に示すとおりです。この図から、さらに何段階かの計算処理をします。

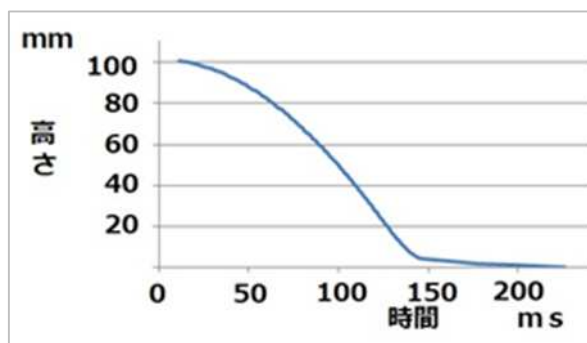


図7 高さ 対 時間

(2) 速度 対 時間

図7の高さ対時間のグラフから、隣り合う2つの測定点の値の、位置の差を時間の差で割って速度を出したグラフが図8です。2つの測定点の間の速度の平均値ということになります。その値に対応する時刻は、2つの測定点の時刻の中間点とします。

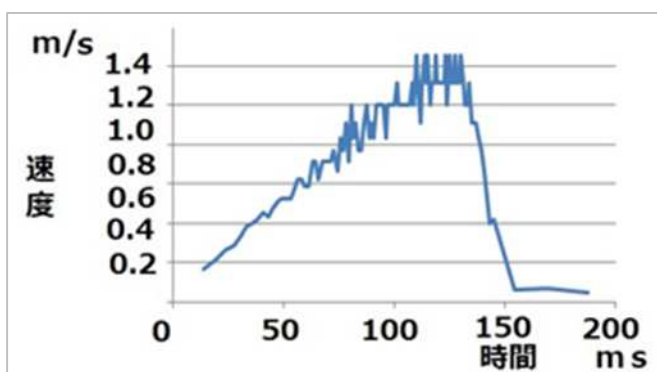


図8 速度 対 時間

100msまでの間、速度はほぼ一定の割合で増加し、100msで約1m/sに達していますが、これは地球の重力加速度（約9.8m/s/s）による加速で、自由落下と呼ばれる状態です。図8の速度対時間のグラフで注目すべき点は、初期の自由落下による加速に続いて140ms付近から減速が始まり、

150ms 以降に非常な低速となって、落下していることです。

### (3) 加速度 対 時間

図8の速度のカーブでもう一回、位置から速度を出した方法で計算すると、加速度が時間とともにどのように変化するのが分かります。それを示したのが図9です。

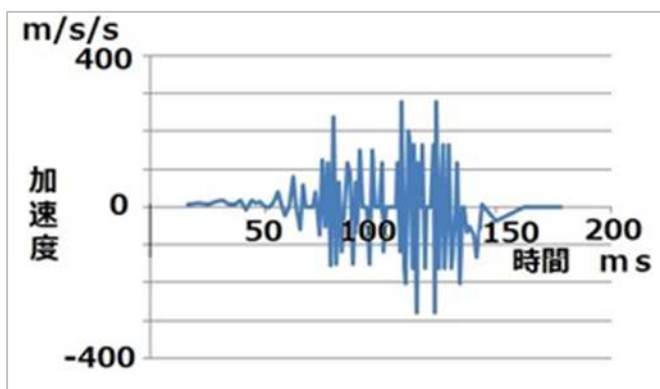


図9 加速度 対 時間

図8の速度のカーブの小さなばらつきが図9に大きく影響して、上下に乱れたカーブとなっています。が、本当はなめらかなカーブであるはずで、そこで、図9のグラフのデータで、各点と両側2点との5点の平均値をとってカーブを滑らかにしたものが図10です。

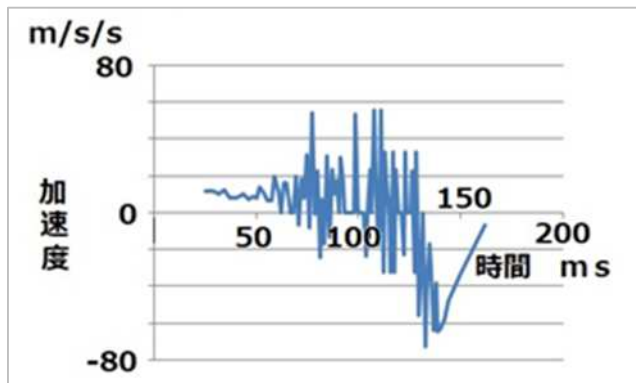


図10 加速度 (5点平滑化) 対 時間

図10では、縦軸の値が400から80に小さくなって、グラフが上下に5倍拡大されていることに注意してください。最初から50ms付近までの間では、プラス約10 m/s/sの加速度を受けていることが分かります。これは地球の重力加速度です。(プラス・マイナスは、下向きの加速度がプラスになるような決めかたをこの資料では採用しています。)そして、140-150msほどの間ではマイナス側に短時間の間大きな値のパルス的な加速度がありそうです。そのピーク値は60 m/s/s くらいありそうです。

100msまで一定な加速度 約10m/s/s は、地球がものを引き付ける加速度で、「重力加速度」と言います。加速度に質量をかけると「力」ですね。重力加速度が重力、重さを作っています。

そのあと、約130msからは図10でマイナスの値、すなわち重力加速度と反対方向の強い加速度が加わっていることが分かります。この重力と反対方向(上向き)の強い加速度は、銅板の中に生じた誘導電流(渦電流)が作った磁界がネオジム磁石に与えるものです。ほんの20ms くらいの短い時間に強い加速度を出すので、衝撃加速度と呼ぶべきものです。が、分かりやすいように、これを「衝撃力」とも呼ぶことがあります。この衝撃加速度は図10で分かるように、地球の重力加速度の6倍の-60 m/s/s にもなる大きな加速度です。地球の重力加速度の倍数で○G (何ジー) という言い方をよくしますが、その言い方で言うと、「6Gもの強い上むきの加

速度で落下速度を急激に低下させる」です。

## 7. 結果と考察

- 1) 強力な磁石を銅板上に落下させたときの、落下速度の変化を測定することができました。
- 2) 磁石が銅板からまだ遠い距離にある間は、地球の重力加速度 ( $G$ , ジー) だけで速度が加速されているはずですが、図 10 で比較的乱れが少ない 45ms までの間の加速度の平均値は  $9.795\text{m/s/s}$  です。東京の  $G$  の正確な値は  $9.796\text{ m/s/s}$  ですから、すごい精度で  $G$  が出てきました。こんな簡単な装置で大事な物理定数が高い精度で測れたのは驚きです。(ただし、何個目のデータまでで平均をとるかで、相当違う値が出てしまいますので、高い精度で測れた、という言い方は不正確です。 $G$  の測定という意味では、違う計算法をとるべきでしょう。(文末付録の\*印参照)
- 3) 磁石が落下してほとんど銅板に密着しそうになると、すなわち銅板と磁石の距離が 5mm 以下程度に接近すると、突然、磁石は非常に強い反発力を受けて、減速し、銅板に激突することはありません。その過程での速度の変化を 1mm ごとに測定することができました。
- 4) 上記の最終段階において、銅板と磁石の間に作用する強い反発力、すなわち衝撃加速度は、地球重力加速度を 1G とするとき、6G にもなる強い加速度であることが分かりました。(落下距離約 10cm で実験した場合)。その結果、磁石は速度を失って低速で銅板表面に軟着陸します。6G という加速度は宇宙ロケットや戦闘機レベルの加速度で安全性に心配はありますが、数 10 ミリ秒のごく短時間のパルス的加速度なので、大丈夫かもしれません。普通の人がこの衝撃力を受ける状況になったら、安全性の検討も十分に行われるでしょう。  
なお、150ms 以降、着地寸前の数 mm については、1 mm ごとの目盛データしか取れていません。着地寸前については、別の方法でもっと詳細な

データをとりたいものです。

- 5) この実験で明らかになったちょっとした驚きは、磁石減速が銅板に衝突直前になって急激に働くことです。この装置は「ふわっと」と名付けられたように、当初、磁石はフワッと銅板に着地するものと思っていたのですが、そうではなくて、音は出ないもののまず最初に「ガクンと」減速してから「ふわっと」着地する2段階過程であることが明らかになりました。

この接近時の急減速は磁気の反発力の特徴とって良いでしょう。今話題の超電導リニア列車は磁気反発力で浮上しているのですが、その乗り心地は「ふわふわ」というより「かたかた」というようなものです。当然、実用列車においては機械的な緩衝装置を組み合わせる乗り心地を改善する予定と聞いています。

## 付録：電圧の時間変化を観測するオシロスコープ（シンクロスコープ）

2次元の表示板があって、横軸を  $x$ 、縦軸を  $y$  として任意の点  $(x, y)$  の位置が発光する表示装置（ディスプレイ）を持った計測装置です。昔はブラウン管という大きな真空管を使っていましたが今は液晶が使われています。表示面の横軸を  $x$  軸として、 $x$  の値は時間とともに増える値を入れ、縦軸（ $y$  軸）に測定しようと思う電圧の時刻  $t$  での値を入れてグラフを描くと  $y=y(t)$  の波形を描くことができます。

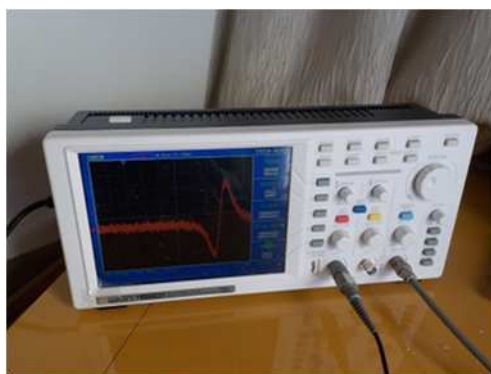
周期性の現象であればその周期に合わせて横軸の時間をくりかえせば、周期波形は重なるので止まって見えることになります。また、この実験のように1回だけの単発の波形は波形の開始時に合わせて横軸  $x$  を時間  $t$  で動かせば良いことになります。このように横軸を波形の出発に合わせることを同期、あるいはトリガーと呼びます。いま販売されているオシロスコープにはトリガー回路が備わっています。トリガー信号は  $y$  軸の測定波形の初期変化信号でもいいし、外部から別の信号を入れることでもいいのです。

## 実験におけるオシロスコープの利用

磁石が 10cm 落ちるのにかかる時間は 1 秒以下です。1 秒以下の短い時間で起こる現象の様子を正確に測るのにはオシロスコープを用いれば良いわけです。

これは第一線の専門家たちも使っている便利な装置ですが、安いものならば 2 万円程度で買えます。パソコンにつないでパソコンの画面を使うものもあり、それは 1 万円以下でも入手できます。オシロスコープの簡単な歴史は以下のサイトに記載されています。

<http://www.jemida.jp/column/column02-11.php>



付図 筆者が使っているオシロスコープ

これは筆者が使っているオシロスコープです。2015 年ころですが、1 万 5 千円でした。非常に高い性能で、光が 1 m 伝わる時間（約 3 ナノ秒、ナノ秒は、1 秒の 10 億分の 1）も測定できます。

画面には、横軸に時間、縦軸に電気信号の電圧をとったグラフを表示します。

装置の右半分は、電圧を 1 目盛何 V で表示するか、時間は 1 目盛何秒で表示するか、などを設定するためのボタンやダイヤルが付いています。

\*ここで報告した実験のより詳細な説明 <http://subaru.jakou.com> に載せてありますので、ご覧になってください。

原稿提出 2022 年 2 月 7 日

再提出 2022 年 2 月 15 日

### 3. 4. 2 ふわっと君が「ふわっと」落ちるわけを理論で考えてみよう

## ふわっと君が「ふわっと」落ちるわけを理論で考えてみよう

新藤孝敏

出所：ふわっと君の理論.pdf

### 1. はじめに

[ふわっと君の動画](#)をご覧になりましたか。なぜ「ふわっと君」は、銅板上に「ふわっと」落ちるのでしょうか。[「ふわっと君」の解説書](#)には、銅板の中に渦電流が流れて、その渦電流が作る磁界により、磁石（永久磁石）に重力とは逆の上向きの反発力が働いてゆっくり落ちると説明されています。それでは、その反発力はどこで働いて、どの程度の大きさなのでしょう。これから、それを理論的に検討してみましよう。

なお、「一步先へ」には、磁石が銅板上に落ちる様子を詳しく測定した結果が紹介されています。

#### [「銅板上へ落下する磁石の運動を測定してみよう」](#)

本稿の4章でいう実験結果とは、上記の実験結果ですので、できればこちらを先にご覧下さい。

(専門家の方々への注：以下に示すのは磁石や銅板の大きさや厚さ、材料による透磁率の違い等は無視した簡略化した考察です。)

### 2. 円形状電流もしくは、円盤状磁石の作る磁界

まず、磁石の作る磁界を計算しておきましょう。

図1に示す、半径  $r$  の円形状電流もしくは半径  $r$  の円盤状磁石による中心軸上の磁界の強さを考えます。磁界の強さ

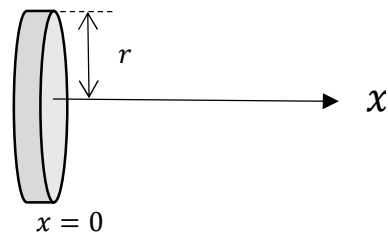


図1 円盤状磁石



$H(x)$  [単位：A/m, アンペア毎メートル] は次式 (1) で計算できます<sup>(6)</sup>。

$$H(x) = k_1 \frac{r^2}{(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (1)$$

ただし、電流もしくは磁石の位置を $x = 0$ としています。また $k_1$ は磁石が作る磁界の強さなどで決まる定数です。

ここで (1) 式で、磁石が作る磁界の強さなどによらない部分 (半径  $r$  と距離  $x$  だけで決まる部分) を、 $f(x) = \frac{r^2}{(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}$  とおきます。ふわっと君の磁石は直径 38[mm]ですので、 $r = 19$  [mm]として、 $f(x)$  の  $x$  に対する変化様相を図示したものが図 2 です。これを見ると、磁石の直径程度以上磁石から離れると、磁界の強さはかなり弱くなることが判ります。

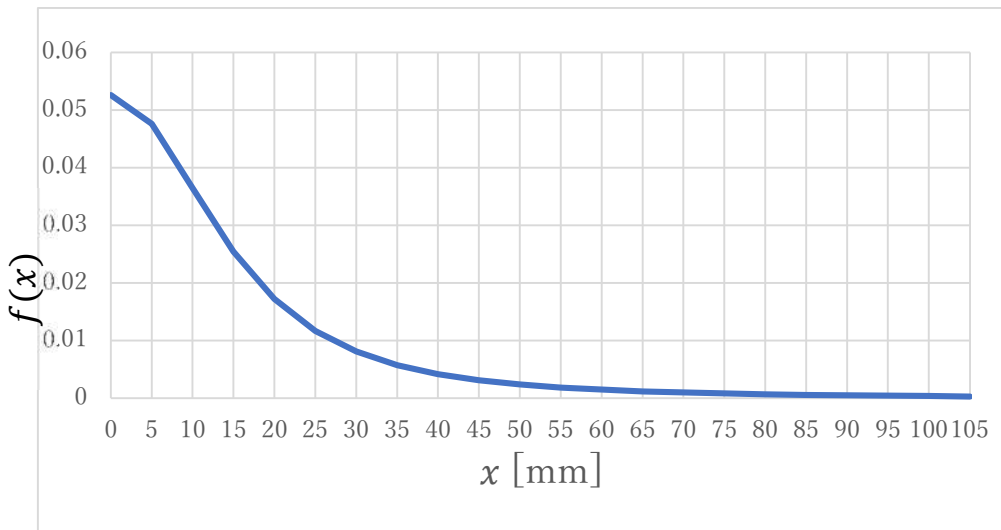


図 2 中心軸上で磁界が変化する姿

---

(6) 詳しくは、石川「改訂電気磁気学演習」学献社 などをごらん下さい。

以下では、この軸上の磁界の特性を用いて検討を進めます。なお、磁界の強さと同じような言葉で磁束密度という言葉があります。磁束密度は物質中の磁界の強さを表すもので、磁界と磁束密度は定性的には同じものと考えて構いません<sup>(7)</sup>。

### 3. 落下する磁石に働く力

図3は、銅板に落ちる磁石の距離（高さ）が  $x$  である一瞬をとらえたものです。

このような状況のもと、磁石に働く力を考えるため、まず磁石に

よって銅板内に流れる渦電流を考えます。次に、その渦電流によって生じる磁界が、落ちてくる磁石に働く力を考えます。以下では、磁石のN極が下側にあるものとします。

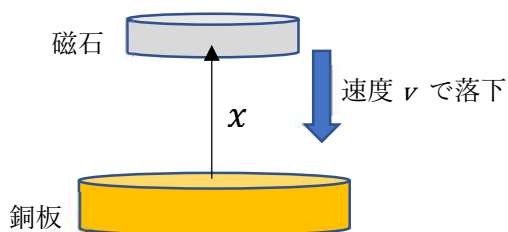


図3 銅板に落下する磁石

---

(7) 磁界と磁束密度について、もっと詳しく知りたい方は、例えば次の本をご覧ください。『電気磁気学 [3版改訂]』 山田直平原著 桂井誠改訂著 電気学会

### 3. 1 磁石によって銅板内に流れる渦電流

磁石が落下している時には銅板部分の磁界は変化します。この変化によって銅板中には電圧が誘起され、円状の渦電流が流れます。

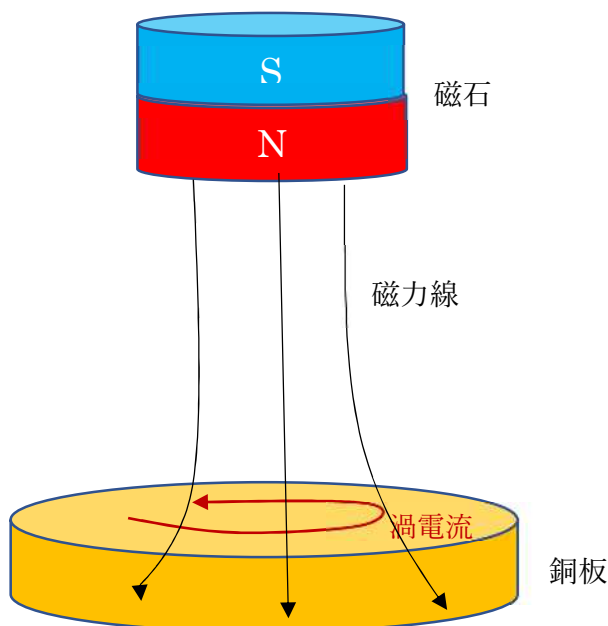


図4 銅板に流れる渦電流（磁力線，渦電流はイメージ）

この渦電流の大きさは銅板中の磁束密度 $B$ の単位時間あたりの変化  $\frac{dB}{dt}$  に比例します。

磁石と銅板の距離 $x$ が変われば，図2にあるように磁界の強さも変わります。磁束密度 $B$ の単位時間あたりの変化  $\frac{dB}{dt}$  は，①磁石と銅板の距離 $x$ が変わるとどのくらい磁界が変わるかということと，②磁石と銅板の距離 $x$ が時間 $t$ によってどのくらい変わるかということ，二つのことで決まります。式で表すと以下のようになります。

$$\frac{dB}{dt} = \frac{dB}{dx} \frac{dx}{dt}$$

$x$ が変わるとどのくらい  
磁界が変わるか

磁石と銅板の距離 $x$ が時間によ  
ってどのくらい変わるか

右辺の第1項は図2のカーブの傾きなので、 $f(x)$ を微分すれば求められます。第2項は磁石の落下速度 $v$ です。つまり銅板内に流れる渦電流の大きさは、 $f'(x) \cdot v$ に比例するものとみなせます。ただし、 $f'(x)$ は、 $f(x)$ を $x$ で微分した関数です。

### 3. 2 銅板内に流れる渦電流による磁界が磁石に及ぼす力

銅板内に流れる渦電流を、半径 $r$ の円状電流とみなすとすれば、その作る磁界は図5のような形で、中心軸上での大きさは図2のように変化します、

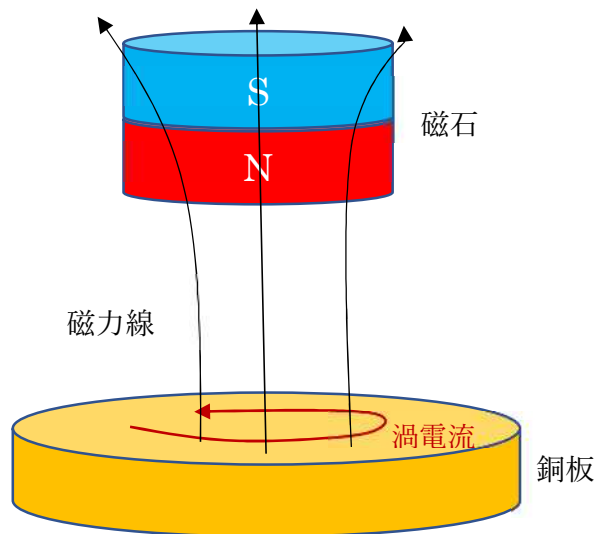


図5 銅板内に流れる渦電流の作る磁界（磁力線、渦電流はイメージ）

この磁界は磁石のN極には反発力として作用します。しかし、磁石にはS極があり、これには吸引力として作用します。すると、これらの力は相殺されてゼロになるのでしょうか。ここで重要なのが、銅板内の渦電流からの距離 $x$ が大きくなると、図2にあるように磁界の強さは弱くなることです。磁石の厚みを考えると、N極の方がS極より渦電流に近いので、磁界が大きく、働く力も大きくなるので、結果的に磁石には反発力が働きます。

磁石の位置を $x$ 、磁石の厚みを $2d$ とすると、N極に働く反発力は $f(x-d)$ に比例し、S極に働く吸引力は $f(x+d)$ に比例するものと考えられます。図6にあるように

$$f(x-d) - f(x+d) \approx f'(x) \cdot 2d$$

ですので、結局、トータルとしての反発力は $f'(x)$ に比例すると考えられます。

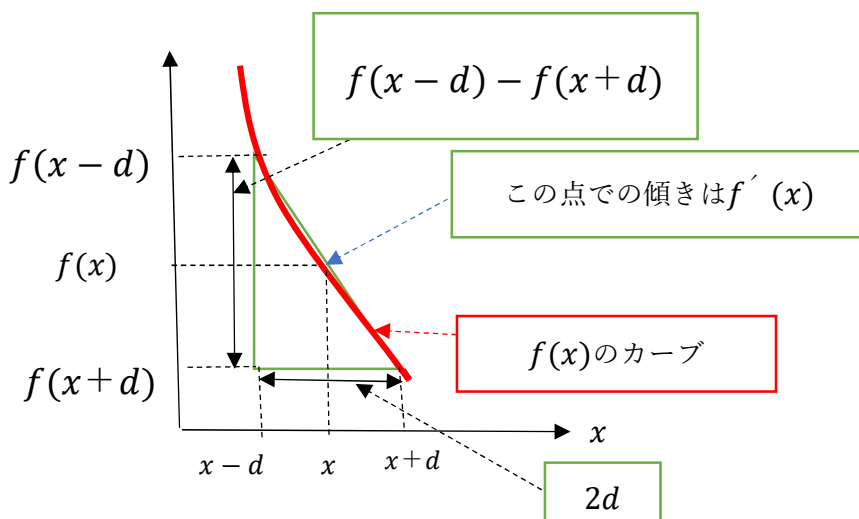


図6  $f(x-d) - f(x+d) \approx f'(x) \cdot 2d$  の説明のためのグラフ

### 3. 3 磁石に働く反発力

上記を総合すると、落下する磁石に働く反発力は、 $f'(x) \cdot f'(x) \cdot v$  に比例するものと考えることができます。したがって、磁石の運動方程式は、 $m$ を磁石の質量、 $\alpha$ を磁石の加速度、 $g$ を重力加速度、 $k$ を比例定数として次式になります。

$$-m\alpha = -mg + k\{f'(x)\}^2 \cdot v$$

つまり加速度  $\alpha = \frac{dx^2}{dt^2}$  は次の式で表現できます。

$$\alpha = g - K\{f'(x)\}^2 \cdot v \quad (2)$$

ただし、 $K (= \frac{k}{m})$ は定数です。

## 4. 解析結果

(2) 式から解析的に解を求めるのは困難なので、数値計算で解くことにしました。具体的な方法ですが、まず位置、速度の初期条件から(2)式により加速度を求めます。これらの値から、ある時間ステップ後の位置や速度を計算します。新たに得られた位置や速度の値を使って加速度を再計算して、次の時間ステップ後の位置や速度を計算します。このようなプロセスを繰り返して、長い時間にわたる位置や速度の変化を計算しました。

実験条件に合わせて、初期条件は時間  $t = 0[s]$  で、位置  $x = 105[mm]$ 、速度  $v = 0[m/s]$  としました。(位置  $x$  は銅板からの高さで表しています。) 時間ステップは  $1[ms](=0.001[s]=1.0 \times 10^{-3}[s])$  としました。重要なのが  $K$  の値ですが、これは厳密には、銅板内の渦電流の大きさと分布、その渦電流が空間に作る磁界分布を考慮して算出しなければなりません。しかし、その解析は非常に難解なので、ここでは簡単のため、実験結果との比較から  $K$  を  $0.00004$  として計算を行いました。(注)

計算結果が図7，図8です。 図7，図8を実験結果と比べてみれば明らかなように，実験結果とほぼ同様の特性が得られており，Kの値も含め，これまでの仮定が妥当なものであると言えます。

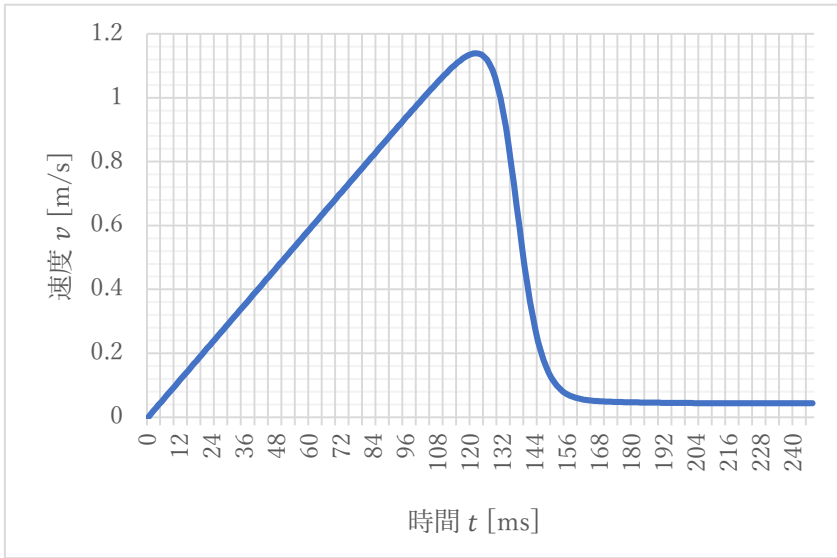


図7 落下速度の時間変化

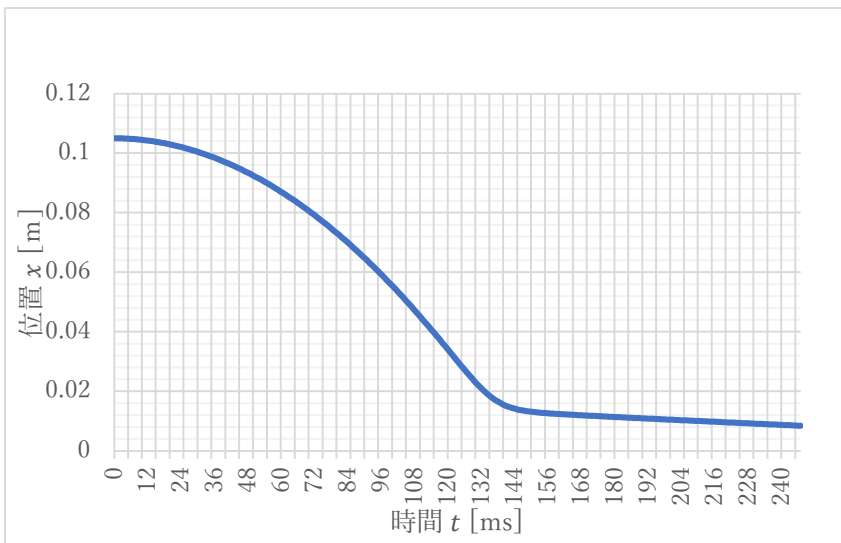


図8 磁石の位置の時間変化

図9は(2)式の第2項で表される反発力の大きさを磁石の位置に対して示したものです。この縦軸で9.8のところは重力と同じになります。

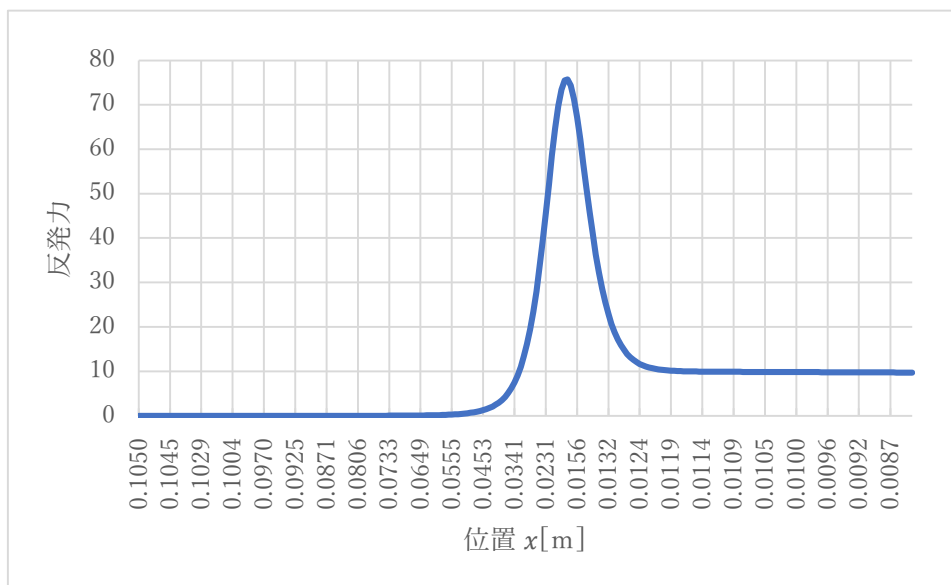


図9 磁石の位置と反発力の関係

銅板から1~3[cm]の位置で、最大で重力の7倍程度の強い反発力が生じていることが判ります。この反発力で磁石の落下速度は急激に減少します。一方、銅板から1[cm]程度に近づくと、反発力は重力と同程度になり、平衡状態となっていることが判ります。ただし平衡状態といっても磁石が空間にじっと浮かんでいるわけではなく、その直前の速度から、加速も減速もせず一定速度で落下している状態です。この速度は、それ以前よりもかなり低速ですので、「ふわっと」落ちるのです。



## 5. まとめ

磁石が銅板の上に落下するときの挙動を、単純化したモデルで検討したところ、計算で求められた磁石の挙動は実験結果とよく一致した結果が得られました。銅板に流れる渦電流による反発力は磁石が銅板から1～3 [cm]の領域で最大となりました。これは、図2の軸上の磁界の空間変化が最も大きい領域に対応しており、反発力が生じるには磁石と銅板の距離によって磁界が大きく変化することが重要であることが判りました。

さらに、最終段階では落下速度は非常に低速となり、ふわっと落ちることも判りました。

注) 先進核融合・物理教育研究所の御手洗氏は、導体板を流れる渦電流がドーナツ状に流れると仮定したモデルを用いて、落下する磁石の挙動の詳細な定量的解析を行われています(私信)。ただ、それはかなり複雑なモデルなので、ここでは定性的な特性の把握を目的に、簡略化したモデルを用いて検討を行いました。

### 謝辞

本稿をまとめるにあたり、桂井誠先生、相知政司先生、久保等先生、大来雄二氏をはじめとして、多くの方々に貴重なご示唆、コメントを戴きました。上記の方々に心よりお礼を申し上げます。

原稿提出 2022年2月23日  
再提出 2022年3月14日

## 4. モーターはなぜ回るの？

### 4. 1 動画教材



モーターはなぜ回るのでしょうか。私たちの身の回りは、右を向いても左を向いてもモーターだらけです。コンセントにつなげばモーターは回るなどと言わず、ちょっと動画を見てください。

## 4. 2 「フレキコイル」解説書

### 磁界実験器「フレキコイル( )」を用いた実験の解説

電気学会社会連携委員会

出所：解説書\_フレキコイル\_1.1 版.pdf

小学校の理科では電圧や磁界は出てきませんが、電流や磁力は出てきます。方位磁針も出てきます。中学校2年の理科や高等学校の物理などの教科書では、電流が作る磁界（右ねじの法則<sup>(8)</sup>）が教えられ、磁界を磁力線で表すことの理解が必要になります。鉄粉を用いた磁界の様子の写真が掲載され、図1もよく用いられます。

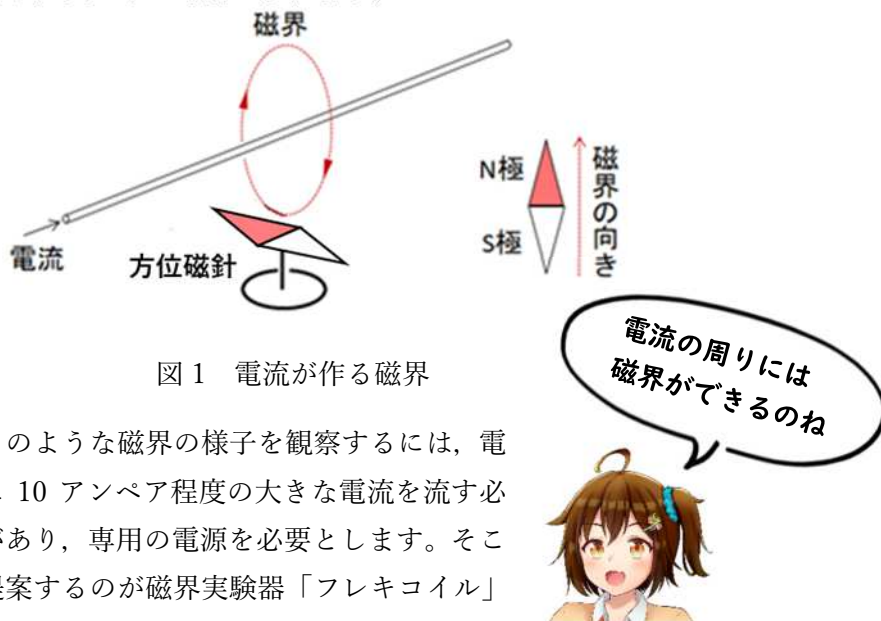


図1 電流が作る磁界

このような磁界の様子を観察するには、電線に10アンペア程度の大きな電流を流す必要があります。専用の電源を必要とします。そこで提案するのが磁界実験器「フレキコイル」です。

<sup>(8)</sup> 「アンペール（またはアンペア）の右ねじの法則」ともいいます。アンペールとは、フランスの物理学者、アンドレ＝マリ・アンペール（André-Marie Ampère）のことで、電流の単位 アンペア[A]の由来となった人物です。

この磁界実験器は、エナメル線を 20 回巻き、解けないようにスパイラルチューブで覆い、エナメル線の終端が疲労破壊しないように固定しただけのもので（付録 1 参照）が、同じ磁界を得るための電流は 20 分の 1 で済み、乾電池で右ねじの法則を観察できるだけでなく、コイルを用いたさまざまな実験への応用が可能です。

学習指導要領と照らし合わせると（付録 2 参照）、フレキコイルは中学理科にもっともよく適合します。しかし高校にも適合しますし、小学生においては理科に対する関心を高め観察・実験を通して能動的な学習態度を獲得させるために、大きな力を発揮する実験器です。

#### 【実験 1 右ねじの法則を観察しよう】

図 2(A)のように観察台の上に方位磁針を置き、フレキコイルを観察台の中央を上下に貫通する形にします。コイルの両端を電池ボックスに接続して、図 2(B)のような回路を作ります<sup>(9)</sup>。電流が流れると（上から下）、方位磁針の赤い針

（N 極）が右回りを示します。

単純な実験ですが、これが自然界の法則の一つで、電磁気の学びへの出発点になります。

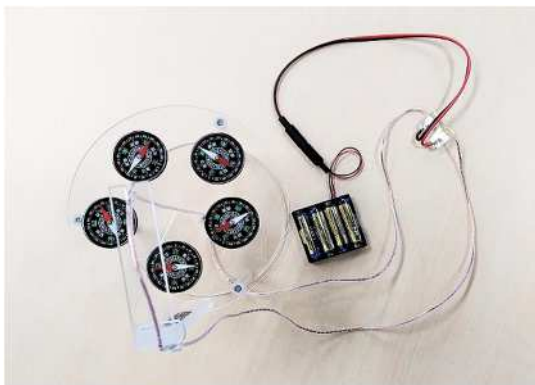


図 2(A). 観察台の上で右ねじの法則を示す方位磁針

---

<sup>(9)</sup> 電池ボックスは単 3 乾電池を 4 本直列接続しています。フレキコイルの抵抗値は  $8.5\Omega$  程度です。流れる電流は  $1.5V \times 4 \div 8.5\Omega \approx 0.7A$  ですが、エナメル線を 20 回巻いているので等価的に 14A の電流となります。電池 2 本でも観察はできますが、磁針の振れが弱い場合はフレキコイルを 2 重にすることで強い磁界が得られます。

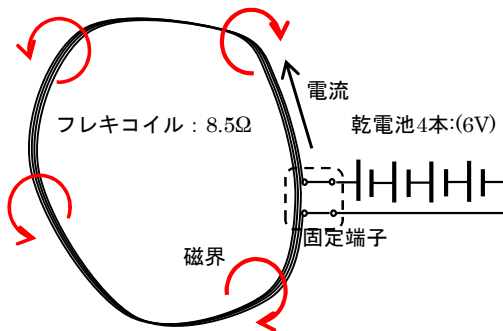


図 2(B). フレキシコイルと電池の回路

フレキシコイルを机上に置いて、その上と下に方位磁針をセットして電流を流すと、図 3 のように磁針はそれぞれ逆方向を示します。この現象は図 1 を理解すれば納得できますが、小学生だけでなく中学生の段階でも、最初はこれが右回りの磁界には結びつきません。

実験に当たって、最初は観察台を用いず、図 4 のようにフレキシコイルを上下に持ち「方位磁針でこの周りを観察してごらん」と指示することもできます。子どもたちの作業が始まり、電流が上から下流るときは「右回り」、下から上流るときは「左回り」（いずれも上から観察して）という結果を得ることができます。その後で観察台に図 2(a)のように方位磁針を配置し電流を流し、フレキシコイルと

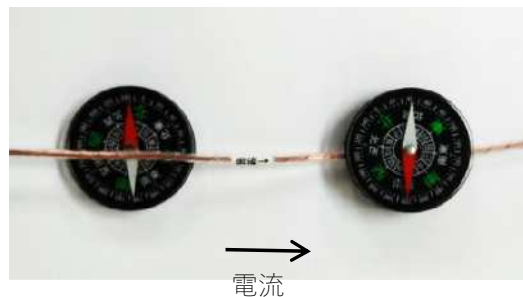


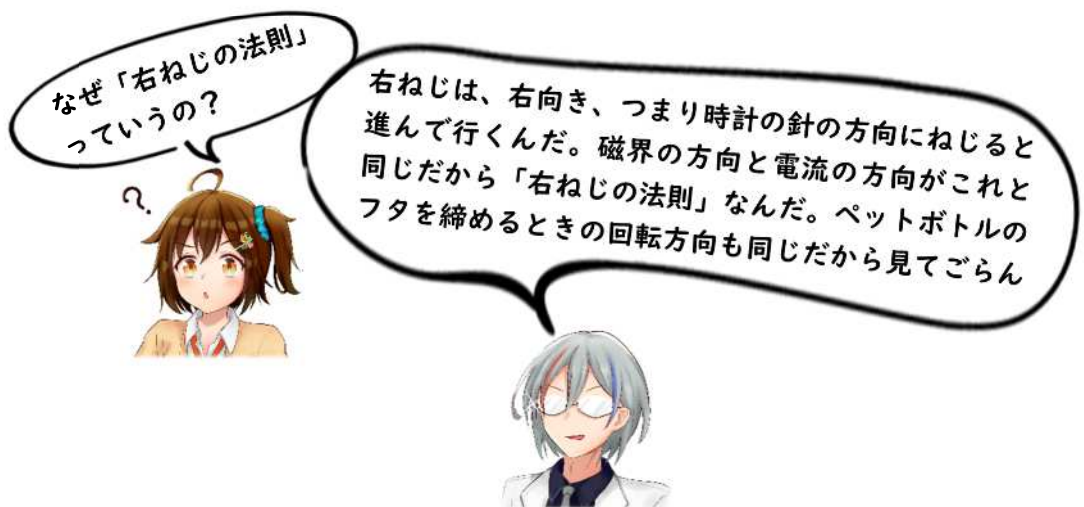
図 3 フレキシコイルの上と下の磁針の向き



図 4 フレキシコイルを上下に持って方位磁針で観察しよう

電池との接続の極性を変えてその様子をお子たちに観察させて、より納得を高めることもできます。

中学校や高等学校ではまさに学習指導要領の求める「電気や磁気について、観察、実験などを通して探究し、電流と磁界における規則性や関係性を見いだして表現する」ことができます。小学校では「右ねじの法則」を教えませんが、5年生で習う「電磁石」の基礎でもあり、観察を通して理解が進みます。



#### 【実験2 コイルの中磁界を観察】

図5のようにフレキコイルをコイル状に数回巻いたものを準備します<sup>(10)</sup>。その中に方位磁針を入れて電流を流して方位磁針の向きを確かめましょう。電流の向きを反対にすると方位磁針も反対を向きます。この実験によって、コイルの中にコイルを貫く方向にできる磁界を観測することができます。コイルが作る磁界の様子を表したのが図6です。

<sup>(10)</sup>綿棒の空ケースなどを使ってコイルを巻くポピンを作り、フレキコイルを数回巻いてセロテープで止めたものです。



図5 コイルの中の磁界の向きを確かめる

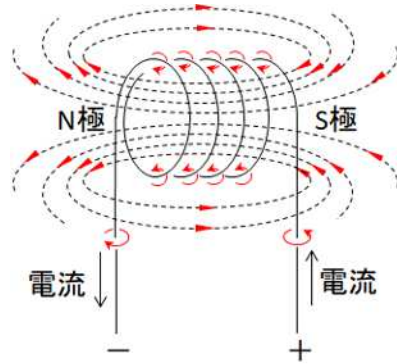


図6 コイルが作る磁界

### 【実験3 フレキコイルで電磁石】

小学校5年生で電磁石を学習します。ストローにエナメル線を巻き、その中に釘を入れて電磁石になっていることを確かめるという内容です。

図7のように、太い釘を準備しフレキコイルを10ターンほど巻いて電池をつなげば電磁石の完成です。子どもたちの見ている前で演示することができます。



図7 フレキコイルを用いた電磁石

#### 【実験4 フレキコイルでスピーカー】

フレキコイルは何といってもコイルです。黒板（ホワイトボード）などに磁石をくっつけておきます。音源（たとえば iPod）とフレキコイルを接続し、フレキコイルをぐるぐる巻いて磁石の上に持っていくと、黒板が音楽を奏でます（図8）。

これはダイナミックスピーカーの原理です。

音源からの電気信号の振動がフレキコイルによる磁界の変化になり、それが磁石を動かし、磁石をつけた黒板が振動して、その振動が空気の疎密波となって人間の耳に届いているのです。

電気信号をアンプ<sup>(11)</sup>で増幅しフレキコイルを接続するとさらに大きな音量が得られ、教室などで実験すると「すごい！」と子どもたちは目を輝かせることでしょう。

外部スピーカー端子のあるオーディオ機器に接続しても大きな音量が得られます。

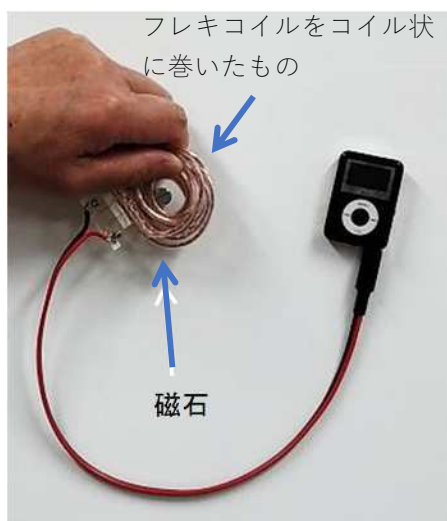


図8 ホワイトボードに磁石を貼り付けて音を出す実験

---

(11) 100円ショップで販売されているアンプでも可能です。電子工作でアンプ作製にチャレンジという方はLM386(NJM386)を検索してください。回路図が掲載されています。



### 【実験5 磁界の中で電流が受ける力を観察しよう】

この実験は中学校の教科書で必ず出てくる内容です。図9のように、フレキコイルをブランコのように曲げ、磁界の中に設置し電流を流してフレキコイルの動きを観察してみましょう。

挿入図のように磁気回路の下がN極で上がS極となっています。この磁界の中でフレキコイルの右から左に向かって電流が流れると、コイルは奥に向かって動きます。高校の物理ではこの力をローレンツ力と習います。

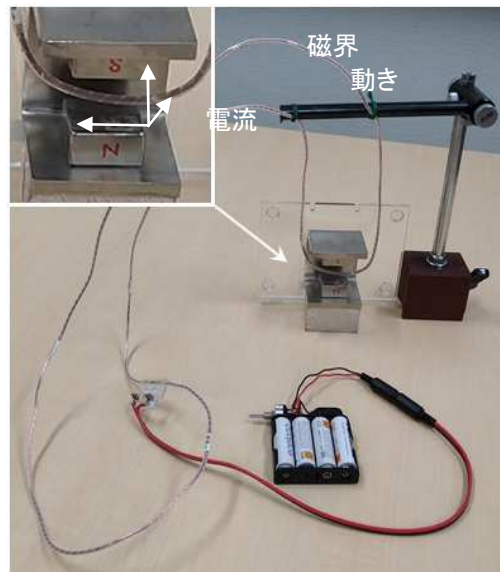


図9 磁界の中でフレキコイルに電流を流す実験



【実験6 フレキコイルで電磁誘導（注意事項をよく読んでから行ってください）】

IH 調理器<sup>(12)</sup>は大きなコイルがトッププレートの下に設置されており、高速度(20kHz~90kHz)で電流をオン・オフさせ、鍋底に生じる誘導電流のジュール熱<sup>(13)</sup>で加熱する調理器です。



図10 IH 調理器を用いた電磁誘導の実験

この調理器の上に水を入れたIH用の鍋を置き、鍋の下部にフレキコイルを1巻状態で固定し、白熱電球を接続すれば明るく点灯します（図9）。

この状態で調理器の上で鍋をスライドさせてみてください。鍋が中心部にあるとき、白熱電球は明るく点灯し、周辺部に移動させると暗くなります。周辺部に移動させると調理器のコイルと鍋の重なり部分が少なくなり、電磁誘導が弱くなって火力調整ができるのです。

コンセントからIH調理器に流れる電流の測定ができれば、周辺部に移動するにしたがって、電流が小さくなるのが確認できます。もちろんフレキコイルに流れる電流も小さくなります。



(12) IH 調理器の IH は、Induction Heating の頭文字で誘導加熱のことです。

(13) 抵抗を持つ導体に電流を流したときに生じる熱エネルギー。

(注意)

- 1) この実験では 40 ワットの白熱電灯を用いています。白熱電灯が明々と点灯するほどの電圧が発生しますので感電しないようにしてください。
- 2) フレキコイルを 2 重に巻くと 2 倍の電圧が発生し危ないので、必ず 1 巻き状態で実験してください。
- 3) 大きな負荷(60 ワット以上の電球)は接続しないでください。
- 4) コイルが熱が発生しますので実験は短時間で終了してください。

## 付録1:磁界実験器(フレキコイル)の作り方<sup>(14)</sup>

図1のように0.29mmのエナメル線(ポリウレタン線)をテーブルの脚などを利用して20回巻き、スパイラルチューブで解けないようにします。そして、アクリル板で製作した端子台にエポキシ樹脂で固定しただけのものです(図2)。

1周を150cmにして20回巻くとコイルの抵抗は $8\Omega$ 程度になります。

電池ボックスと接続しやすいようにミニプラグを付けています(図3)。

電池ケースの先端もミニジャックにしているため、差し込むだけで電流が流れます。

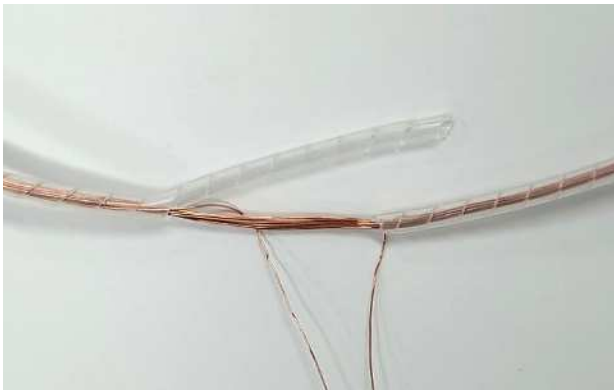


図1 エナメル線を20回巻き、スパイラルチューブを被せた状態

---

### (14)作るときの注意事項

\*20ターンでなく1ターンだったとすると抵抗値が $1/20$ になり電池の内部抵抗を無視すれば20倍(14A)の電流が流れ、電池が発熱し短時間で消耗して危険です。

\*エナメル線は薄い絶縁物で被覆されているため、隣り合うコイルの導体は接触しませんが、被覆を傷つけて導体同士が接触(短絡)すると、上の理屈で大きな電流が流れる恐れがあります。製作にあたってはエナメル線を傷つけないように注意してください。

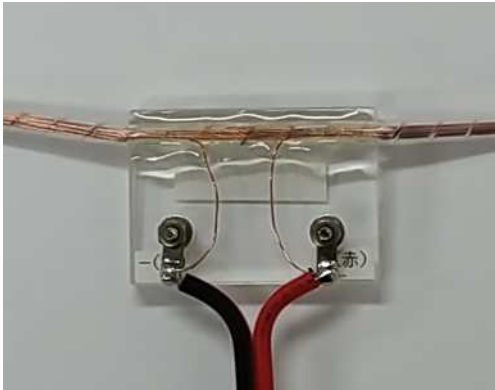


図 2 アクリル板で製作した端子台にフレキコイルをエポキシ樹脂で固定



図 3 フレキコイルセットの中身

\*この実験セットには方位磁針と電池は含まれていませんのでご準備願います。

\*紹介した実験以外にも応用があると思います。提案などをお寄せください。

## 付録2：学習指導要領の「解説」にみる電流と磁界の学習について

自分自身の得意領域以外について子供たちなどに話をする場合、教科書等の記述に過度に依存しがちとなり、知識を獲得させることに重点が偏りがちになる。子供たちの関心、意欲を引き出し、自ら学ぼうとする気持ちを持たせることこそ重要である。学習指導要領の「解説」は、その視点で参照すると多くの示唆を与えてくれるので、磁界実験器「フレキコイル」に関連が深い箇所を抜粋してみる。

### 小学校

理科編の「解説」にあるエネルギー関係の図を右欄に示す。

図にあるように、第5学年で電流が作る磁力を学習する。その内容は第4学年「電流の働き」を踏まえ、電磁石に導くもので、この段階で磁界は登場しないが、磁力は登場する。『電流には磁力を発生させ、鉄心を磁化させる働きがあり、電流の向きがかかると、電磁石の極性も変わることを捉えるようにする』(p.66)ことに注目する。また電磁石に関して、『電流が作る磁力を捉える際には、電流を流したコイルに方位磁針などを近づけて確かめること等が考えられる。』(p.67)ことも注目である。「解説」の付録3には次の表現もある。『電流が作る磁力について追及する中で、電流が作る磁力の強さに関係する条件についての予想や仮説を元に、解決の方法を発想し、表現すること。』(p.124)

上述の注目点に留意するならば、第5学年次の電磁石の学習に組み合わせてフレキコイルを用いて、子どもの能動的な学びを促して、学習効果を増すことには高い意義があるといえよう。

図1 小学校・中学校理科の「エネルギー」、 「粒子」を柱とした内容の

校種	学年	エネルギー			
		エネルギーの捉え方		エネルギーの変換と保存	
小学校	第3学年	<b>風とゴムの力の働き</b> ・風の力の働き ・ゴムの力の働き	<b>光と音の性質</b> ・光の反射・集光 ・光の当て方と明るさや暖かさ ・音の伝わり方と大小	<b>磁石の性質</b> ・磁石に引き付けられる物 ・異極と同極	<b>電気の通り道</b> ・電気を通すつなぎ方 ・電気を通す物
	第4学年			<b>電流の働き</b> ・乾電池の数とつなぎ方	
	第5学年	<b>振り子の運動</b> ・振り子の運動		<b>電流がつくる磁力</b> ・鉄心の磁化、極の変化 ・電磁石の強さ	
	第6学年	<b>てこの規則性</b> ・てこのつり合いの規則性 ・てこの利用		<b>電気の利用</b> ・発電(光電池(小4から移行)を含む)、蓄電 ・電気の変換 ・電気の利用	

「解説」理科編 (p.22 ; 小学校の部分のみ提示)

## 中学校

理科編の「解説」の「第2章－第2節－〔第1分野〕－2」からの抜粋を以下に示す。

### 第2章 理科の目標及び内容

#### 第2節 各分野の目標及び内容

##### 〔第1分野〕

##### 2 第1分野の内容

###### (3) 電流とその利用 (p.40)

電流とその利用についての観察、実験などを通して、次の事項を身に付けることができるよう指導する。

ア 電流、磁界に関する事物・現象を日常生活や社会と関連付けながら、次のことを理解するとともに、それらの観察、実験などに関する技能を身に付けること。

イ 電流、磁界に関する現象について、見通しをもって解決する方法を立案して観察、実験などを行い、その結果を分析して解釈し、電流と電圧、電流の働き、静電気、電流と磁界の規則性や関係性を見いだして表現すること。

「解説」では電流と磁界の学習に次の事項を求めており、フレキコイルは㉗にかかわる。

###### (イ) 電流と磁界 (p.44)

###### ㉗ 電流がつくる磁界

磁石や電流による磁界の観察を行い、磁界を磁力線で表すことを理解するとともに、コイルの回りに磁界ができることを知ること。

###### ㉘ 磁界中の電流が受ける力

磁石とコイルを用いた実験を行い、磁界中のコイルに電流を流すと力が働くことを見いだして理解すること。

###### ㉙ 電磁誘導と発電

磁石とコイルを用いた実験を行い、コイルや磁石を動かすことにより電流が得られることを見いだして理解するとともに、直流と交流の違いを理解すること。



## 高等学校

理科編の「解説」の「第1部-第2章-第2節-(3)」からの抜粋を以下に示す。

第1部 理科編

第2章 理科の各科目

第2節 物理基礎

(3) 電気と磁気 (p.72)

電気や磁気に関する現象についての観察、実験などを通して、次の事項を身に付けることができるよう指導する。

ア 電気や磁気について、日常生活や社会と関連付けて、次のことを理解するとともに、それらの観察、実験などに関する技能を身に付けること。

イ 電気や磁気について、観察、実験などを通して探究し、電気と電流、電流と磁界における規則性や関係性を見いだして表現すること。

「解説」では電流と磁界の学習に次の事項を求めており、フレキコイルは㉗にかかわる。

(イ) 電流と磁界 (p.75)

㉗ 電流による磁界

電流がつくる磁界の様子を理解すること。

㉘ 電流が磁界から受ける力

電流が磁界から受ける力について理解すること。

㉙ 電磁誘導

電磁誘導に関する実験などを行い、磁束の変化と誘導起電力の向きや大きさとの関係を見いだして理解するとともに、電磁誘導の法則を理解すること。また、交流の発生について理解すること。

㉚ 電磁波

電磁波の性質とその利用を理解すること。

㊦について、次の説明がある。

㊦ 電流による磁界について (p.75)

中学校では、第1分野「(3) 電流とその利用」で、電流によって、コイルの回りに磁界ができることについて学習している。

ここでは、電流がつくる磁界の様子を理解させることがねらいである。

電流がつくる磁界については、直線電流の回り、円形電流の中心、ソレノイドの内部にできる磁界を扱う。また、関連して、磁性体や地磁気について触れることも考えられる。

例えば、方位磁針などを用いて磁界の様子を観察することが考えられる。また、例えば、直線電流がつくる磁界については、電流の大きさや導線からの距離と磁界の強さとの関係を調べる実験を行うことが考えられる。

出典

- 小学校学習指導要領(平成29年告示)解説【理科編】平成29年7月
- 中学校学習指導要領(平成29年告示)解説【理科編】平成29年3月
- 高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説【理科編 理数編】平成30年7月

## 5. スピーカーはどうやって音を出すの

### 5. 1 動画教材



スピーカーはどうやって音を出すのでしょうか。分解して中をのぞいてみましょうか。いえいえ、そんな必要はありません。この動画をご覧ください。

### 5. 2 一歩先へ

#### 5. 3. 1 フレミングの左手の法則によるダイナミックスピーカーの動作説明

出所：フレミングの左手の法則によるダイナミックスピーカーの動作説明.pdf

#### 1. はじめに

ダイナミックスピーカーの動作を理解するためには、磁石が作る磁界の中に置かれた電線に電流を流したとき、電線が受ける力を知ることが必要です。

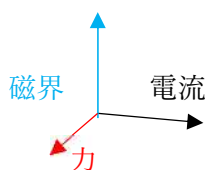
中学校では「電流と磁界」の単元で電流が磁界の中で受ける力を調べ、高校の物理では「フレミングの左手の法則」を学習し、その力をローレンツ力と学ぶ。

## 2. フレミングの左手の法則

フレミングの左手の法則とは、磁界中に流れる電流に働く力を表すもので、次のように表せる。磁界の中で、導体に電流を流すと、導体は力を受ける。人差指が磁界の向き、中指が電流の向きとすると、導体に働く力は親指の方向となる。これら3成分はすべて直交していることに

注意されたい。

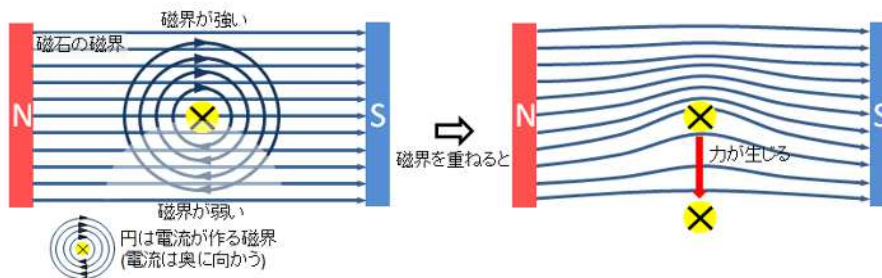
そもそも磁界の中で電流を流すとなぜ力が働くのだろうか。



電流が流れると右回りの磁界（右ねじの法則）が発生する。永久磁石の磁界の中で電流を流すと下の図のように磁界が影響を及ぼし合い、磁力の向きが同じところでは磁力は強まり、反対方向を向いているところでは相殺されて磁力が弱まる。磁力の強いところと弱いところは、ちょうど強く張ったゴムひもとゆるんだゴムひものようなものであり、導体は、強く張った（磁力が強い）方から弱い方へ押し出されるような力を受けるのである。

磁界の中で電流が流れる電線にはたらく力をローレンツ力と呼ぶ。

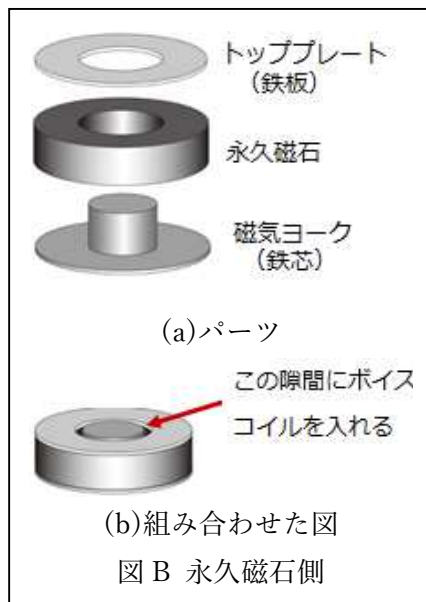
フレミングの左手の法則はローレンツ力の方向を覚えやすく考案されたものと言える。



### 3. ダイナミックスピーカーの構造と動作原理

ダイナミックスピーカーでは、固定された永久磁石の作る磁界の中に可動コイル（ボイスコイル）が置かれている。ボイスコイルにはスピーカーの振動板が直結されているので、ボイスコイルが動けば振動板（コーン）が動く。振動板が動けば空気に疎密が出来て、人間の耳に音として聞こえることになる。

実際のダイナミックスピーカーの構造を図 A に示す。図の左側で、ボイスコイルの反対側には振動板がある。（ダンパーは振動板が慣性で振動を続けないようにするブレーキの役割を果たしている。） 図 A の右側は永久磁石側で、ボイスコイルが入る狭い隙間が空いている。永久磁石側は図 B のようにリング磁石、磁気ヨーク（鉄芯）、トッププレート（鉄板）からなる。分解すると、図 B(a)、組み立てたものが図 B(b)である。



ダイナミックスピーカーでボイスコイルが動く原理は以下のようなになる。

図 C はダイナミックスピーカーの断面図で、図中の青い線は磁力線であり、赤い丸は円周状に巻かれたボイスコイルを表している。磁気ヨークは鉄（強磁性体）でできていて、永久磁石からの磁力線の良い通り道になる。N 極から出た磁力線は磁気ヨークを伝って S 極に戻る。この磁力線の通る経路にはボイスコイルが置かれており、ボイスコイルの電線に電流が流れると、電線には前述

のフレミングの左手の法則にしたがって(注1)、図にあるような上下方向の力が働く。(図 C では力は上方向であるが、電流の方向が逆になれば、働く力は下方向になる。)ボイスコイルに音を電気変換した電流(音声電流)を流せば、音声電流の変化にしたがってボイスコイルは上下に振動し、音を出すことになる。

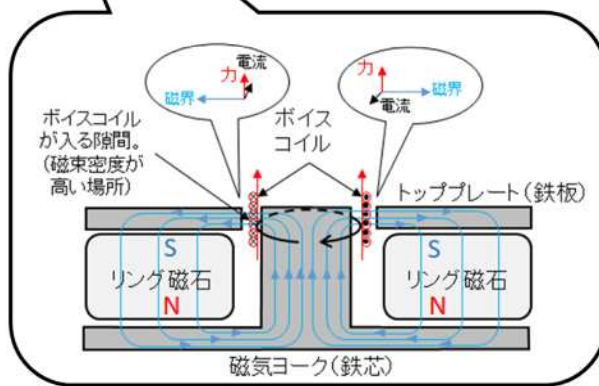
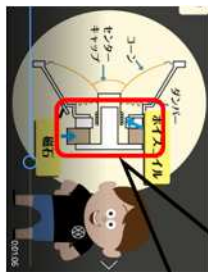


図 C 赤枠部分の拡大図

注1) 前述のフレミングの左手の法則の図とは、電流や磁界の方向が異なるが、電流・磁界と力は同じ位置関係にあることを確認されたい。

5. 3. 2 ある大学の電気系研究室の学生同士の仮想対話

出所：ある大学の電気系研究室の学生同士の仮想対話.pdf

A 君：電気学会が公開している動画があるだろ。あのスピーカー編，見た？

B 君：見た。面白かった。子供たちは結構喜ぶんじゃないかな。

C さん：私も見たわ。でも，どうしたの。

A 君：先生がああの動画を見て，しきりに面白がっていたんだ。何でだろう  
と  
思  
っ  
て。

C さん：アレアレ，それは危険な兆候ね。グッドなヒントと言ってもよい  
か  
も。

B 君：何なの，それ？

C さん：危険な兆候というのはね，先生が面白がっているということは，  
次  
の  
試  
験  
問  
題  
に  
な  
る  
か  
も  
知  
れ  
な  
い  
と  
い  
う  
こ  
と。  
い  
く  
つ  
も  
前  
例  
が  
あ  
る  
の  
。  
だ  
か  
ら  
，  
ち  
ゃ  
ん  
と  
勉  
強  
し  
て  
お  
け  
ば  
試  
験  
準  
備  
に  
な  
る  
と  
い  
う  
意  
味  
で  
は  
，  
グ  
ッ  
ド  
ニ  
ュ  
ー  
ス  
ね。

A 君：もう一度よく見てみよう。前半はホワイトボードがスピーカーのよ  
う  
に  
音  
を  
出  
す  
実  
験  
で  
，  
後  
半  
が  
ダイ  
ナ  
ミ  
ック  
ス  
ピ  
ー  
カ  
ー  
の  
説  
明  
だ  
よ  
ね。

B 君：子供は，ホワイトボードがスピーカーになったら，ビックリする。  
「  
な  
ぜ  
っ  
！  
？」  
っ  
て  
な  
る。

A 君：ホワイトボードには永久磁石がつけてある。手に持ったコイルには  
音  
声  
電  
流  
（  
音  
を  
電  
気  
変  
換  
し  
た  
電  
流  
）  
を  
流  
し  
て  
い  
る。  
音  
声  
電  
流  
は  
交  
流  
だ。  
コ  
イ  
ル  
は  
電  
磁  
石  
に  
な  
り  
，  
磁  
界  
が  
音  
に  
応  
じ  
て  
振  
動  
し  
て  
，  
永  
久  
磁  
石  
の  
NS  
の  
磁  
極  
と  
作  
用  
し  
て  
，  
磁  
石  
に  
軸  
方  
向  
の  
振  
動  
力  
が  
働  
く。  
永  
久  
磁  
石  
は  
ホ  
ウ  
イ  
ト  
ボ  
ー  
ド  
の  
上  
に  
あ  
る  
か  
ら  
，  
ホ  
ウ  
イ  
ト  
ボ

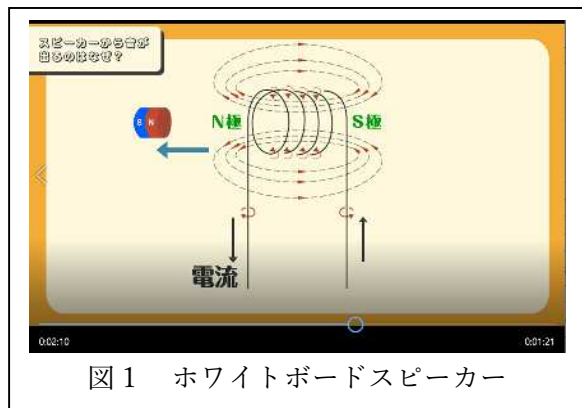


図1 ホワイトボードスピーカー

ードは音声電流に対応して振動することになる。つまりホワイトボードがスピーカーになる。

B 君：正解だね。じゃ、ダイナミックスピーカーの方は？

A 君：簡単だよ。リング型の永久磁石の磁束が、鉄芯を伝わって、狭い空間に集中している。そこにはボイスコイルが置かれ、コイルはスピーカーコーンに直結している。コイルに音声電流を流せば、電流の向きはプラス方向であろうとマイナス方向であろうと、狭い空間にできている磁界と直交している。コイルには電流の向きと磁界の向きの両方に直角になる方向に力が働く。電磁気学ではそれをローレンツ力と呼ぶ。力の向きを視覚的に表したのがフレミングの左手の法則だ。要するにコイルが振動し、直結されたコーンが振動して、音が出る。

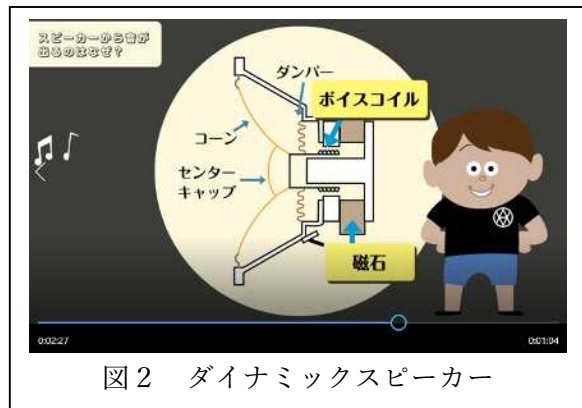


図2 ダイナミックスピーカー

B 君：分かりやすい。

C さん：ちょっと待って！ それじゃ、大学の試験問題にならないわ。磁石の引力、斥力の実験は小学生の理科。ファラデーの法則は中学校の理科で習ったわ。いまの A 君の説明は、何で先生がおもしろがっていたかを、ぜんぜん説明できない。

B 君：アッ！ ちょっと待って。先生の授業のノートを見ているから。僕は分かって無くてもノートはちゃんととるからね。もしかすると、これかも。先生はこういったんだ。磁石の話のところだ。『磁石には磁極モデルと電流モデルがあり通常は等価である。現在の電磁気学では、磁石の感じる磁力とは物質内電流の受ける力であると見做す。それも（電線を通る電流が受ける力と同じ）ローレンツ力。磁石が動こうとコイルが動こうと、電流の受けるローレンツ力が両者間の力の源泉になる。一方、昔の磁極モデルだと電流コイルは双極磁石板に置き換えられるので、



その場合にはいずれも磁極間の力という事になる。』

A 君：エッ！ そんな話あったっけ。俺だってその授業出てたはずだぜ。

C さん：出てたって、寝てりゃ仕方がない。

A 君：起きてさえすれば、多少は理解できるときもあります。電磁気学は苦手だけれど。いまの B 君の話は、俺のさっきの説明でいうと、ホワイトボードスピーカーが磁極モデル、ダイナミックスピーカーが電流モデルってことだね。

C さん：読めてきたわ。二つのスピーカーの原理をローレンツ力で説明しなさい、それが試験問題候補ね。もしかしたら、磁極モデルで説明しなさいかもしれない。両方とも出題されるかもしれない。

A 君：確かに使いやすいモデルだけを使っていたのでは、電磁気学を勉強したことにならないかもね。それに、磁石の引力と斥力だけどね、力学で出てきた作用反作用の法則と同じかな。それだと説明しやすいかも。

B 君：ノートを見るからちょっと待って。先生の話、『力学において力点は接触しているので、作用反作用は分かりやすい。電磁気学では離れた物体同士の力なので、説明は簡単ではない。マックスウェルの方程式から導かれる運動量保存則(応力テンソルの式)を出発点にして説明する。』

C さん：それも試験問題候補になりそうね。

A 君：今の話を SNS で皆に伝えておこう。せっかく同じクラスで勉強しているんだから、皆でいい点とれば楽しいよ。カンニングじゃババいけれど。

C さん：皆で勉強すれば、みなでいい点とればなの。ちょっと気楽すぎない？ 「マックスウェルの方程式から導かれる運動量保存則」って、何よ。B 君、先生はなんて説明していたの？

B 君：う〜ん。ノートには何も無い。ということは、先生は何も説明しなかった。

C さん：そうなの、何もなかったの。じゃ、勉強しようがないじゃない。アッ！ 博士課程の D さんがいる。教えてくれるかも。

(D さんに対して、皆で事情を説明。)

D 君：分かる、分かる。先生が興奮するのがよく分かる。これ、結構高級

だけ。図1だってそうだ。コイルが作る磁力線は、軸方向だけ見れば、磁石の中心を通るだろ。磁石の作る磁力線だって、コイルの中心を通る。中心を通過しているのに、何で作用・反作用なの？力が働かないことにならないか。

B君：先生は『力学において力点は接触しているのです、作用反作用は分かりやすい。電磁気学では離れた物体同士の力なので、説明は簡単ではない』と。

D君：その話はさっき聞きました。それじゃ、説明になってません。力学の力点は点だろ。図1の磁石は、点とは考えられません。有限の大きさを持っている。磁石のN極はS極よりコイルのN極に近いところにある。また直線とは直交する方向（ラジアル方向）に広がりもある。コイルの作る磁力線は、確かに中心部分は無限遠方に向かうが、わずかでも中心から外れれば、湾曲してコイルの反対の極に戻ってくる。コイルの作る磁力線のラジアル成分は、磁石のN極とS極の位置では異なる。 $(N極の部分での磁界) > (S極の部分での磁界)$ だ。だから引力が働く。コイルには振動電流が流れているから、コイルの作る磁界も変動し、それに応じて磁石も振動する。だから磁石をつけたホワイトボードも振動し、音が出る。

Cさん：それ、磁極モデルの話ね。でも先生は、昔は磁極モデルで説明したけど、現在の電磁気学は電流モデルとおっしゃっていたのよ。そちらの話もお願いします。

D君：電流は磁界を作る。右ねじの法則だ。磁界の中の電流は力を受ける。それ、ローレンツ力だ。知ってるよね。現在、磁石の中にはたくさんのループ状の微小電流が生じていることが知られている。結局、磁界は電流と電流に働く力ということになる。ホワイトボードスピーカーもダイナミックスピーカーも電流と電流に働く力だ。

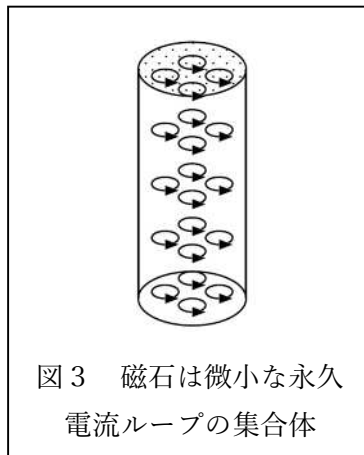


図3 磁石は微小な永久電流ループの集合体

(こうして、4人の話は延々と続いたのでした。)

#### 補足説明1：

磁石の磁極モデルと電流モデルは、先生の話にもあるように、通常は等価です。以前、磁極モデルは物理的背景がないとの意見が出された時期もあり、電流モデルによる説明が多くなされるようになりました。

ところが高性能磁石(サマリウムコバルト、ネオジム磁石)が出回って、永久磁石の電動機が多用されるようになり、その動作原理説明設計とか機器設計で、高性能磁石に対して固定磁極モデルを用い、磁極の概念と磁界Hを基本とするようになり、電磁気学でもこれを反映するようになってきたのです。基本を電流モデルに置きつつ、磁極モデルでの説明が簡便な場合にはそれも利用するというのがよいのではないのでしょうか。

#### 補足説明2：

電磁気学は体系がきちんとした学問の代表的な一分野で、学ぶことによって、「体系」とはどのようなものかを理解する力が、必ず養われます。現象を定式化し、定式を体系的に組み上げてゆくことによって、いろいろな現象を理解し、定量的に表現することを可能にし、新しい現象の予測さえ可能にします。電磁気学は伝統的な学問分野ですが、今も新しい定式が提

案されています。ダイナミックスピーカーの原理を電磁気学的に理解しようと努力すると、さらに上位の電磁気学への関心も増すのではないのでしょうか。

#### 参考資料

岡部洋一：「電磁気学」2021年6月10日（起草：1997年），

<http://www.moge.org/okabe/temp/elemag.pdf>

D君の最後の発言と図3は、この本の1.2節にある。

桂井誠：「電磁気学の学び方(そのI)」、電学誌, 101巻3号, p.221-224(1981年)

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejjournal1888/101/3/101\\_3\\_221/\\_article/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejjournal1888/101/3/101_3_221/_article/-char/ja)

最後の部分に磁石の磁極モデルと電流ループモデルの等価性についてコメントがある。

## 6. 置くだけで充電 なぜ？

### 6. 1 動画教材



私たちの身の回りには、置いたり近づけたりするだけで電気が通じるものが増えています。

電線をつなぐに、このようなことができるのはどうしてでしょうか？

今回はその謎を解き明かしましょう。

## 7. みんなの知らない LED 発電！？

### 7. 1 動画教材



太陽の光を浴びて電気を作る太陽電池。

太陽電池は、どのように光から電気を作っているのでしょうか？

その秘密は「半導体」にあります

### 7. 2 LED 発電の解説

LED は半導体で、電気を流せば発光します。この動画教材のポイントは、LED に光を当てたらどうなるのだろうかとの点にあります。その実験は、まず赤色 LED に電池から電流を流すと発光することを確認したのち、次の画面に進みます。電池をつないでない LED に緑色レーザーポインタを照射するとどうなるのかの実験です (図 1)。

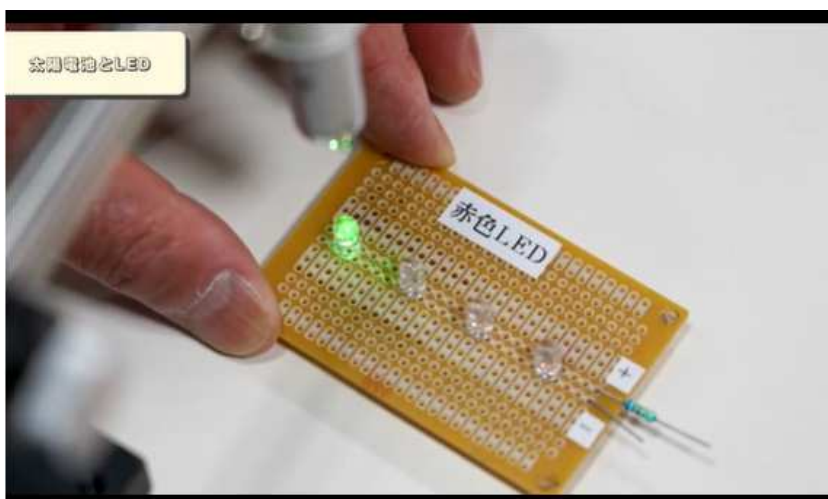


図1 赤色 LED に緑色レーザーポインタの光を当てると・・・

動画は光が当たっていない LED が赤く光る現象をとらえています (図2)。この画面では、緑色レーザーポインタの光が見えません。これは緑色



図2 光が当たっていない LED が光る

レーザーの当て方と、受光する LED,赤く発光する LED の指向性に関係しています。図 2 で手前にぼやけて写っているのは、治具に固定したレーザーポインタです。LED を取り付けた基板に垂直に光を当てるために、治具を用いています。赤く発光するための LED の撮影のためには基板の垂直方向から撮影したい、そうするとレーザーポインタの後ろ側しか映らず、緑色は写らない。実験の様子は図 2 の左下の円内に示されています。

この実験をうまくやるには、次の事項に留意する必要があります。

- \*レーザーポインタの波長と光出力
- \*LED の光度，最大発光波長，半減角

実験に用いたレーザーポインタ (LP) の仕様は下表のとおりです。

	コクヨ型番	波長 (エネルギー; eV)	光出力
緑色 LP	サシ 81N	532nm (2.33eV)	0.79mW
赤色 LP	サシ 50N	650nm (1.91eV)	0.97mW

動画で用いた赤色 LED は標準的な 5mm 砲弾型の OSH R5111A である。この LED は安価なうえ通信販売で容易に入手が出来る、LED 発電の実験に適したものである。

この実験は、当然であるが、レーザーポインタの代わりに太陽光を使っても実施できる。並列接続した複数の LED で、あるものは太陽光が当たるように、他のものは当たらないようにしておけばよい。子供たちの興味も増すのではないだろうか。

子供たちが LED も太陽光発電パネルも半導体であること、すぐれた太陽光発電パネルを得るためには半導体材料の研究開発が極めて重要で、今も世界中の研究者がそのために努力していることなどを知ってもらえれば幸いである。



## 8. リモコンから出ている光は〇〇〇! ?

2023年4月に公開した新作です。

### 8. 1 動画教材



テ

テレビやエアコンなどを操作するリモコン。

リモコンからはどのような信号が送られ、テレビやエアコンのどこで、どのように受け取っているのでしょうか？

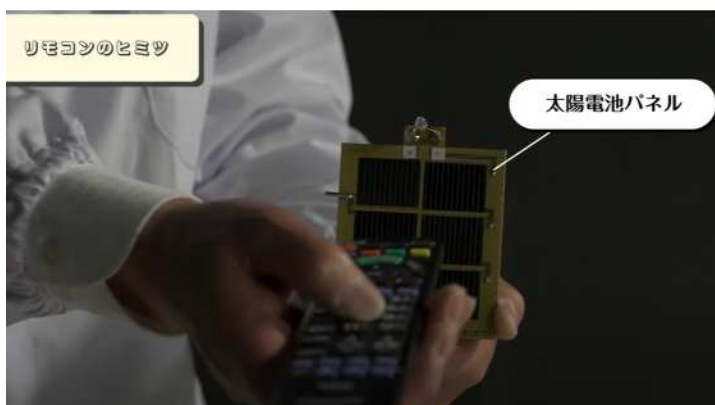
ここでも「半導体」が活躍しています。リモコンのヒミツを覗いてみましょう。

## 8. 2 リモコンの解説

この動画ではリモコンを動かす半導体を学びます。

リモコンの光は目には見えませんが、スマホのカメラを通すと見ることができます。リモコンは目に見えない赤外線で信号を送っているのです。光と色については『みんなの知らないLED発電』の動画で詳しく説明しているので、ご覧ください。

太陽電池パネルに向けて、リモコンのボタンを押すと。。。半導体のpn接合の仕組みを学習してください。



## 9. 液晶ってなに？

2023年4月に公開した新作です。

### 9. 1 動画教材



毎日何気なく見ているスマホやテレビなどに使われている液晶ディスプレイ。

液晶ディスプレイでいろいろな色が表現できるのは、ディスプレイ内部で電気が光をあやつっているからなんです。そもそも液晶ってなに？電気で光をあやつるってどういうこと？液晶ディスプレイのしくみを見てみましょう。

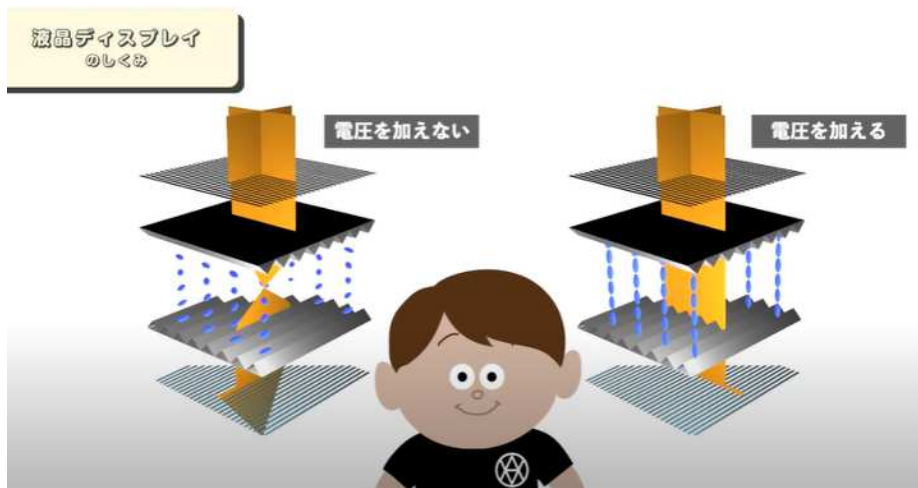
## 9. 2 液晶の解説

液晶テレビやスマートホンの液晶ディスプレイ。でもそもそも液晶って何、テレビに液晶がどのように使われているのでしょうか？ その謎を解き明かすために偏光フィルターを使います。



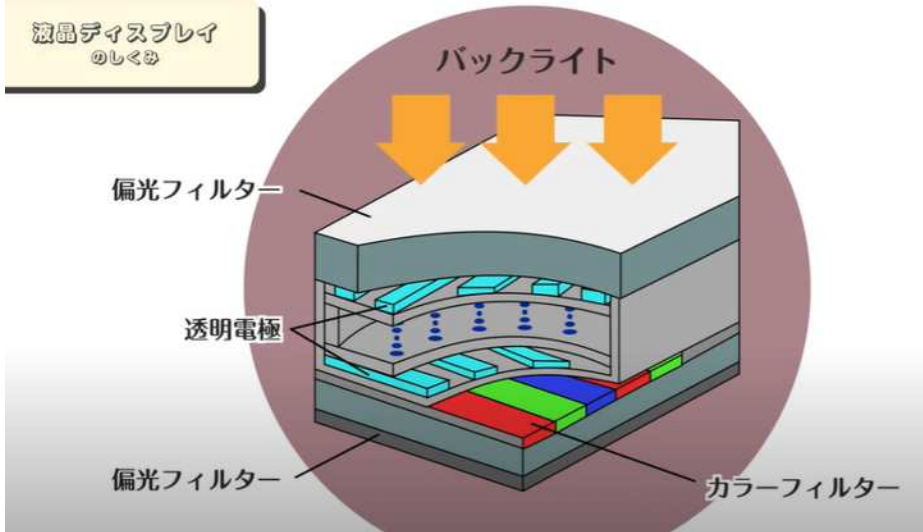
光は波なので、偏光フィルターの配置によって、光は等価出来たりできなかったりします。液晶ディスプレイの上に変更フィルターを置いて、回転させてみましょう。

液晶そのものについても説明します。微細な溝のある板（配向膜と呼びます）に液晶を接触させると、溝に沿って液晶分子が並びます。溝の向きを 90 度変えた 2 枚の配向膜で液晶をサンドイッチのようにはさむと。。。それと変更膜を組み合わせると。。。2 枚の配向膜に電圧を加えると、つまり液晶の分子に電圧がかかると。。。液晶はねじれたり立ったりして、光を通したり通さなかったりのスイッチの役目を果たします。



実際の液晶ディスプレイでは背後にバックライトがあり、縦方向の偏光フィルターで縦方向だけの波の光となります。そして、透明な電極をぬけて液晶層に入ります。液晶に電圧がかかっていなければ光は 90° ねじれ、

透明電極を抜け、カラーフィルターで特定の色光だけが通過し、横方向の偏光フィルターを通過する仕組みになっています。



## 10. ご自身で実験をやってみたい方へ

電気学会では動画で使用了した実験教材を、解説書（「実験教材と解説書」を参照）とともに教育関係者に無料で提供しています。ご希望の方は、以下の「実験セット申込書」に必要事項を記入して、eメールで申込書に記載のある宛先まで送付ください。

実験セット申込書 1.1 版.xlsx

（申込書の電子ファイルは 電気学会社会連携委員会ウェブページ「世界は電気でできている」の「動画を使おう」(<https://renkei.iee.jp/video>) から入手ください。）

## あとがき

この冊子は、電気学会社会連携委員会の動画ワーキンググループ（動画WG）が提供している、電気にかかわる動画教材や実験セットを「安全に、正しく、効果的に」利用していただくために、作成しました。元となる情報は委員会ウェブ「世界は電気のできている」（<https://renkei.iee.jp/>）の「動画を使おう」ページにアップしてあるものを使っています。経費削減のため紙版は白黒印刷してありますが、フルカラー版のpdfファイルをウェブアップしてあります。併せてご利用ください。

「世界は電気のできている」には、動画教材や実験セットに関係が深いさまざまな情報もアップしてありますので、簡単に紹介します。

### ④小冊子を使おう（<https://renkei.iee.jp/pamphlet>）

このウェブページには「電気の知識を深めようシリーズ」をアップしてあります。シリーズは次の7冊で、電気のことをわかりやすくご理解いただけます。pdfファイル（カラー）を無料でダウンロードできます。ウェブには7冊を合本したpdfファイルもアップしてあります。

Vol.1 電気とはなんだろう

Vol.2 私達の身近にある電気

Vol.3 電気の基本を考えてみよう

Vol.4 電気をつくる

Vol.5 電気を送る・配る

Vol.6 電気を貯める

Vol.7 スマートに安全・確実に電気を使う

ちなみに、Vol.1～3が導入編、Vol.4～7が応用編です。pdfファイルだけでなく、電気学会員からの寄付金で印刷した紙版（白黒）もあり、非営利でご利用していただける方には無料配布しています。希望される

方は電気学会にお申し込みください（学会の住所等は奥付参照）。在庫があるうちはお送りさせていただきます。

## ②つながる窓口 (<https://renkei.iee.jp/connection>)

「世界は電気できている」に関係があるウェブページへのリンクを貼ってあります。

電気理科クラブは、子供たち向けの理科教室の開設、文部科学省の活動など、いろいろな活動を展開しています。

NIMS ムービーライブラリーは国立研究開発法人物質・材料研究機構（NIMS）が運営するサイトで、興味深い動画が数多く公開されており、電気関係のものもあります。

## ③落書き帳

(<https://renkei.iee.jp/9c74c00a470063e0ec6ec47eba409649/notebook>)

トップページの画面を下に送ると、「落書き帳」の入り口があります。そこに入ると次の記事があります。

No.003「理科や電気の動画のウェブ情報」

この記事には The Engineering Mindset という団体や、アメリカのコロラド大学がウェブ上で公開している興味深い動画の数々の紹介があります。



## ④電華・磁郎のご挨拶 (<https://renkei.iee.jp/>)

トップページには東京スカイツリー®の写真があります。その写真の中で、電華・磁郎がご挨拶をしています。この挨拶記事は毎月3回（上旬・中旬・下旬）入れ換えをしています。挨拶内容の追加説明がある場合には、画面右上の「もっと知ろう！」をクリックして見るようにしてあります。





過去の挨拶は、画面下部の「バックナンバー」をクリックして見ることもできます。

ウェブ情報は日々更新していますので、必要に応じて最新情報をご確認ください（詳しくは本文第1章をご覧ください）。

動画WGでは、利用者からの「声」を随時反映して、より安全で、より正しく、より効果的な小冊子にしてゆきたく、ご批判、ご要望をお寄せください。ご連絡は委員会ウェブの「お問合せ」ページ

<https://renkei.iee.jp/9c74c00a470063e0ec6ec47eba409649>

からお願いします。

この冊子は（一財）関東電気保安協会の助成金で作られています。

## 名簿

### 社会連携委員会

委員長	難波 雅之
副委員長	田中 博文
副委員長	大来 雄二
1号委員	池田 佳和
1号委員	臼田 誠次郎
1号委員	大島 正明
1号委員	佐々木 豊
1号委員	中村 格
1号委員	長谷川 有貴 (幹事兼務)
2号委員	佐藤 信利
2号委員	竹下 隆晴
2号委員	南方 英明
2号委員	山内 経則
幹事	長谷川 匡彦
事務局	本吉 高行
事務局	佐々木 敏男
事務局	山崎 晋一

### 動画ワーキンググループ

代表者	長谷川 有貴
委員	久保 等
委員	服部 邦彦
委員	大来 雄二
委員	中村 格
委員	木村 軍司
委員	川畑 良尚
委員	神津 薫
事務局	佐々木 敏男

### 外部協力者

岡部 洋一
桂井 誠
金丸 公春
狐崎 晶雄
鈴木 克巳
高田 達雄
谷口 元

## 実験動画と実験セットを使おう 「2023年7月版」

2023年7月31日発行

非売品

---

編集者 一般社団法人 電気学会 社会連携委員会  
動画ワーキンググループ

発行者 一般社団法人 電気学会

代表者 本吉 高行

〒102-0076 東京都千代田区五番町 6-2

Tel 03-3221-7275 Fax 03-3221-3704

<https://www.iee.jp>

印刷所 芝サン陽印刷株式会社

---

©2022 Japan by Denki-gakkai





トランジスタ  
デザインの  
ヘアピン

名前：越野 エレカ（こしの えれか）  
どこにでもいる普通の高校 1 年生の女子。意味も分からずにデザインで買ったヘアピンのせいで電研部長に目をつけられ、そのまま電研に入部して「助手」に。そこで実験や工作の楽しさを知る。



自作の  
マグネット風  
ネクタイピン

名前：真具音 光（まぐね ひかる）  
電研部長を務める高校 2 年生の男子。将来、自分はノーベル賞を取ると確信している優秀な変わり者。形から入るタイプで常に白衣を着ているため、よく教師と間違えられる。部員のことを「助手」と呼ぶ。



一般社団法人電気学会