

解説書

磁界実験器「フレキコイル」を用いた実験

(Ver.1.0)

2021年3月

電気学会社会連携委員会

磁界実験器「フレキコイル⁽¹⁾」を用いた実験の解説

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⁽²⁾）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。

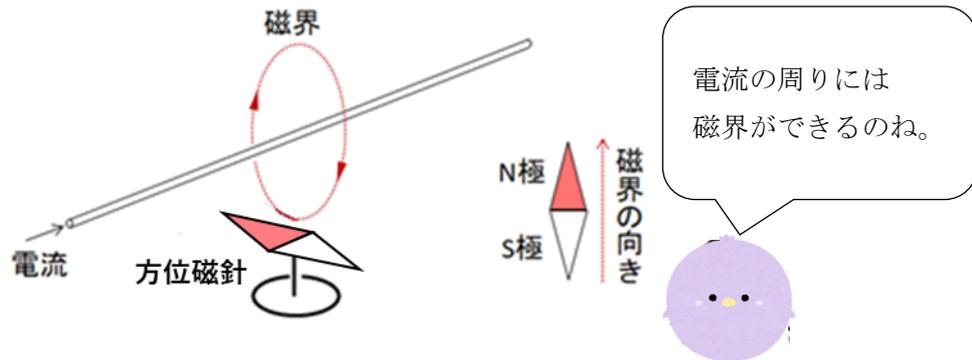


図1 (a) 電流が作るによる磁界 (b) 磁界の向き

このような磁界の姿を観察するには、電線に10アンペア程度の大きな電流を流す必要があり、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。

磁界実験器といってもエナメル線を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す（付録1参照）。しかし、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、コイルを用いた様々な実験への応用が可能です。

学習指導要領面から言えば（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ます。フレキコイルは観察台の中央を上下に貫通する形になります。コイルの両端を電池ボックスに接続します⁽³⁾。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。

(1) フレキコイルは可撓性のあるフレキシブルコイルの愛称です。

(2) 「アンペアの右ねじの法則」ともいう。アンペア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、電流の単位にもなっています。

(3) 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 8.5Ω 程度です。巻き数は20回。流れる電流は $1.5V \times 4 \div 8.5\Omega \approx 0.7$ アンペアですが、20回巻いているので等価的に14アンペアの電流となります。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。

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。

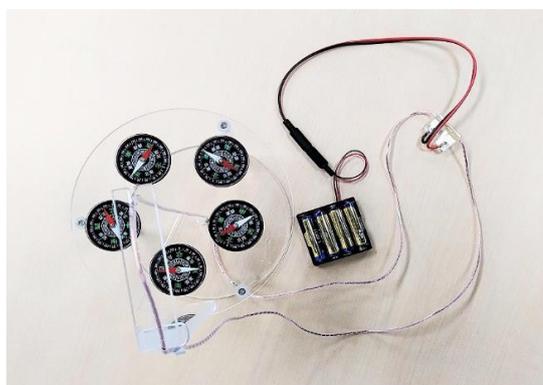


図2(a) 観察台の上で右ねじの法則を示す方位磁針

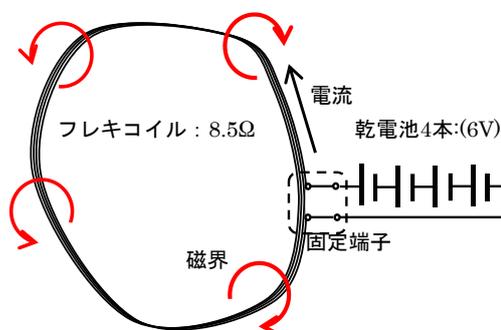


図2(b) 左の図の回路

フレキシコイルを机の上に置いて、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。



図3 フレキシコイルの上と下の磁針の向き

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、電流が上から下に流れるときは「右回り」、下から上に流れるときは「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、フレキシコイルと電池との接続の極性を変えてその様子を子供たちに観察させて、より納得を高めることもできます。

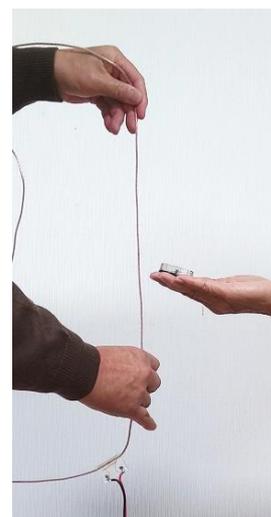


図4 フレキシコイルを上下に持って方位磁針で観察しよう

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すすみます。



右ねじは、右向き、つまり時計の針の方向にねじると進んで行くんだ。磁界の方向と電流の方向がこれと同じなので、この名がついたんだ。ねじ回しでねじを締めるときの回転方向を考えてごらん。

【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した(4)。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。このようにコイルの中にはコイルを貫く方向に磁界が出来ています。

それを表したのが図6です。



図5 コイルの中の磁界の向き

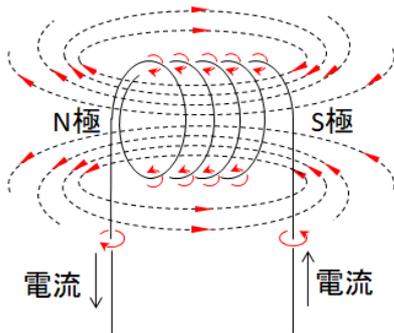


図6 コイルが作る磁界

【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出来ます。



図7 フレキコイルを用いた電磁石

(4)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。

【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。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、それが磁石を動かす、磁石をつけたホワイトボードが振動して、その振動が空気の粗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⁽⁵⁾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。

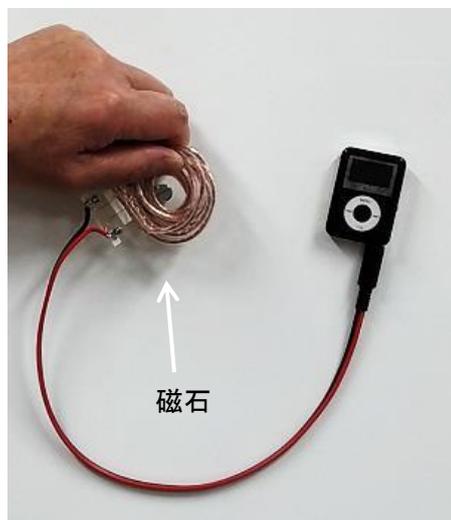


図7 ホワイトボードに磁石を貼り付けて音を出す実験

【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7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。

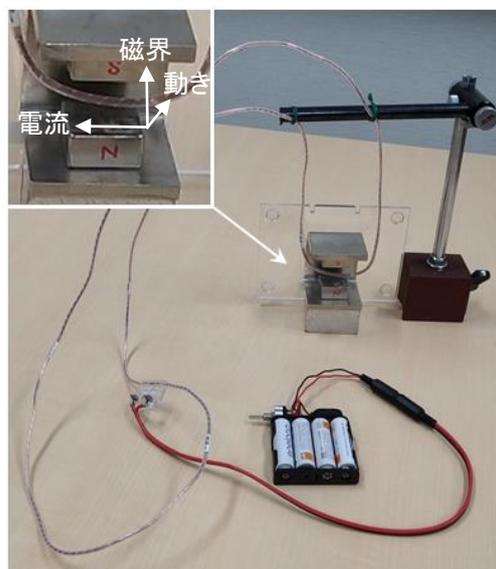


図7 磁界の中で電流を流す実験

ローレンツ力ね。
覚えておこうっと。



⁽⁵⁾ 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6 フレキコイルで電磁誘導】

IH 調理器⁽⁶⁾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⁽⁷⁾で加熱する調理器です。

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。

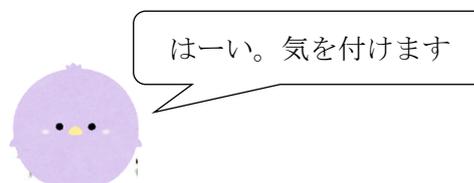
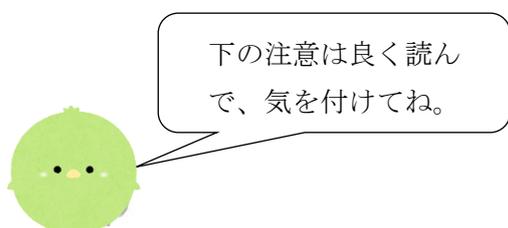
この状態で調理器の上で鍋をスライドさせてみてください。中心部では明るく点灯し，周辺部に移動させれば暗くなります。

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。



図6 IH調理器を用いた電磁誘導の実験



(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) コイルが熱を発生しますので実験は短時間で終了してください。

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

(7)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。

付録1:磁界実験器(フレキコイル)の作り方⁽⁸⁾

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 8Ω 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。

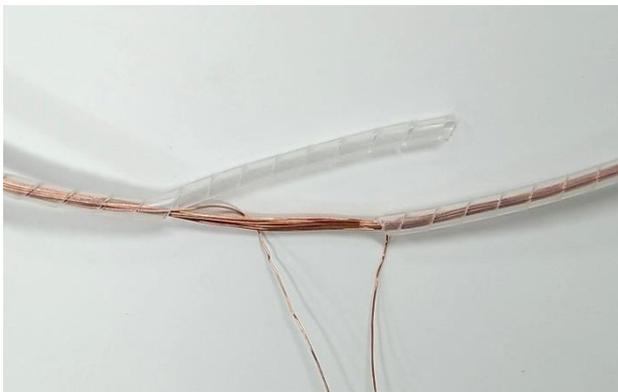


図1 エナメル線を20回巻き、スパイラルチューブを被せた状態

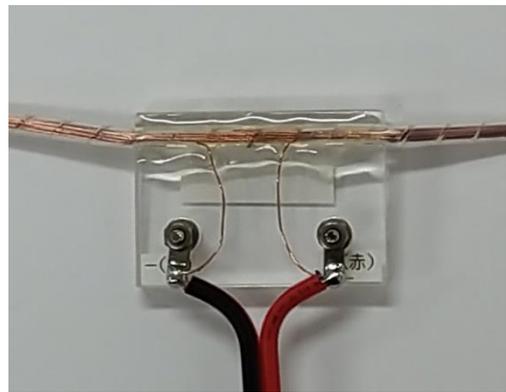


図2 アクリル板で製作した端子台にフレキコイルをエポキシ樹脂で固定



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ります。提案などをお寄せください。

(8)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。

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、5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	風とゴムの力の働き ・風の力の働き ・ゴムの力の働き	光と音の性質 ・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
	第4学年		磁石の性質 ・磁石に引き付けられる物 ・異極と同極
	第5学年		電気の通り道 ・電気を通すつなぎ方 ・電気を通す物
	第6学年		電流の働き ・乾電池の数とつなぎ方
	第5学年	振り子の運動 ・振り子の運動	電流がつくる磁力 ・鉄心の磁化、極の変化 ・電磁石の強さ
	第6学年	てこの規則性 ・てこのつり合いの規則性 ・てこの利用	電気の利用 ・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⑦にかかわる。

(イ) 電流と磁界 (p.44)

⑦ 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。

① 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。

⑦ 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⑦にかかわる。

(イ) 電流と磁界 (p.75)

㉞ 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。

㉟ 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。

㊱ 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。

㊲ 電磁波

電磁波の性質とその利用を理解すること。

㉞について、次の説明がある。

㉞ 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

電気学会社会連携委員会 (<https://renkei.iee.jp>)

本委員会は、電気工学・電気技術が社会的価値を創出するための、電気学会と社会との連携のあり方を初中等教育や教養教育を含む、一般の教育や学習の分野を中心に審議し、具現化することを目的としています。そのために知見の共有を図り、連携活動を展開する場を創出するとともに、その場を利用して、下部に設ける多様性を持ったワーキンググループの活動と学会内外の組織、個人との連携活動を展開、活性化します。

動画ワーキンググループ

主査 新藤 孝敏
委員 大来 雄二
委員 金丸 公春
委員 木村 軍司
委員 久保 等 (主執筆者, 実験キット企画・製作)
委員 鈴木 克己
委員 中村 格
委員 長谷川 有貴
委員 服部 邦彦 (実験キット企画・製作)
事務局 佐々木 敏男

アドバイザーグループ

アドバイザー 今井 伸一
アドバイザー 岡部 洋一
アドバイザー 桂井 誠
アドバイザー 高田 達雄
アドバイザー 高橋 一弘

解説書 磁界実験器「フレキコイル」を用いた実験 (Ver. 1.0)

発行日 2021年3月1日
編集者 一般社団法人 電気学会
社会連携委員会
発行者 一般社団法人 電気学会
〒102-0076 東京都千代田区五番町6-2
電話 03-3221-7312 FAX 03-3221-3704
<https://www.iee.jp>

©2021 Japan by Denki-gakkai

この著作物は著作権法で保護されています。同法30条(私的使用のための複製)、同法35条(学校その他の教育機関における複製等)に該当する場合は著作権者に断りなく利用することができますが、その他の用途でのご利用を希望される場合には、営利・非営利に関わらず、電気学会にご連絡ください。

《問い合わせ先》

一般社団法人電気学会 総務課 電話 03-3221-3710 e-mail kanri@iee.or.jp

この解説書の実験セットは、一般財団法人 関東電気保安協会の助成を得て企画・製作されました。