

小学校理科指導力向上講座（物理）

開催日：7月30日(木)，31日(金)

午前の部 9.30-12.30

午後の部 14.00-17.00

場 所：近畿大学本部キャンパス 33号館 2階 物理学実験室

主 催：大阪市教育委員会

担 当：近畿大学理工学部理学科物理学コース

目次

1. 電気、磁気に関する科学の簡単な歴史	1
2. 静電気について	3
クーロンの法則	3
電気力線と磁力線	3
帯電	4
誘電分極	5
3. 電流について	6
電気回路	6
オームの法則	6
電磁誘導現象	6
直流と交流	8
4. 安全について	9
5. 箔検電器の製作	11
6. 実験 電流と方位磁石	13
7. クリップモータの製作	15

1. 電気、磁気に関する科学の簡単な歴史

古代ギリシャでは、すでに「琥珀（こはく）」をこすると、ものを吸い付けることが知られていた。長い間、特にその現象が役にたつこともなく、この現象に関する理解に全く進展はなかった。しかし、16 世紀末にイギリスのギルバート¹によって琥珀のほかにも、硫黄やガラスなど、いろんな物質に同様の現象を発見され、この「こすったものが、軽いものを引き付ける現象」が、琥珀を意味するラテン語 *electrum* から「*electric*」と名付けられた。「エレクトリシティ」の語源である。



ウィリアム・ギルバート

17 世紀に入ると、静電気には吸い付けるだけでなく反発する場合もあることがわかってきた。また、電気を帯びた物質の側に帯びていない物質を置くと、その物質も電気を帯びるという現象が発見された。そして 18 世紀には、「金属などに摩擦電気現象が見られないのは金属が電気を逃がしやすいから」ということがわかり、「導体」（電気を逃がしやすい）と「絶縁体」（電気を逃がさない）の区分が生まれた。絶縁体には電気が動かずに留まるということから、「静」電気という概念が生まれる。また、フランスのデュフェーが電気には 2 種類あって、同種のもの同士は反発して、異種のものは引き合う性質があるということを発見した²。そこで、一方を「プラス」、他方を「マイナス」と呼ぶことになる。このプラスとマイナスの名付け親は 18 世紀のアメリカの政治家でもあったフランクリン³である。



ベンジャミン・フランクリン



ライデン瓶の模式図（左）と4つのライデン瓶の「バッテリー」、Museum Boerhaaveにおいて



ルイージ・ガルヴァーニ

18 世紀の初めにはオランダのライデン大学でライデン瓶⁴が発明され、電気の研究が進む。ライデン瓶の発明にはガラス技術の発展が不可欠であり、技術の進歩と科学の進歩が協調して進む良い例になっている。イタリアのガルヴァーニ⁵は静電気による蛙の筋肉収縮

¹ 肖像画は、[http://ja.wikipedia.org/wiki/ウィリアム・ギルバート_\(物理学者\)](http://ja.wikipedia.org/wiki/ウィリアム・ギルバート_(物理学者)) より転載。

² 琥珀、エボナイト、ガラスなど多数の物質に生じる電気が 2 種類だけであるという理解は、電気現象に理解のために重要な発展であった。素粒子を構成するクォークでは 3 種類の「電荷」に相当するものが存在することに対比できるだろう。

³ 肖像画は <http://ja.wikipedia.org/wiki/ベンジャミン・フランクリン> より転載。

⁴ ライデン瓶の図は <http://ja.wikipedia.org/wiki/ライデン瓶> より転載。

⁵ 肖像画は <http://ja.wikipedia.org/wiki/ルイージ・ガルヴァーニ> より転載。

の研究（1791 年、「筋肉運動による電気の力」）によって異なった 2 種の金属を触れることによって電気が発生することを発見した。もっとも、彼自身はこの電気は蛙（動物）に由来した電気であると考えており、「動物電気」という名称をつけている。また、電流計のことを「ガルヴァノメーター」というのは、彼の功績を讃えたものである。一方、イタリアのボルタ⁶（電圧の単位ボルトの語源）は、この「動物電気」の考えに疑問を抱き、動物を使わない実験装置で電気を発生させることによって「2 種の金属の接触によって」電気が発生することを証明した。ボルタの考えの背景にはドイツのズルツァーが、「異なる金属を接触させて、もう一方で舌を挟むと妙な味がする」という報告があった。「ボタン電池を舐めると変な味がする」のも同じ現象である。（**ボタン電池を飲み込んでしまうと危険なので、実験をする場合はくれぐれも注意を！**）ボルタの実験装置は銅板と亜鉛板との間に塩水をしみこませた紙を挟んだものを幾つも積み重ねた「電堆」（1899 年）と、それを改良した「電池」⁷（塩水の代わりに希硫酸を用いる）である。このボルタの電池の発明により動電気すなわち継続して流れる電流が得られるようになり、電気に関する研究が進んだ。オーム⁸は現在オームの法則で知られる「電圧は電流に比例する」ことを 19 世紀に発見した。この発見によって電流、電圧に対して数学的な取り扱いができるようになった。また、電流が得られたことによって電気と磁気との関係が明らかになった。エルステッド⁹が電流は磁石に力を及ぼすことを発見したのである¹⁰。これに引き続いて、アンペール¹¹が電気と磁気の精緻な数学理論を作り上げた。



アレッサンドロ・ボルタ



ゲオルク・オーム



ハンス・クリスティアン・エルステッド



アンドレ＝マリ・アンペール

⁶ 肖像画は <http://ja.wikipedia.org/wiki/アレッサンドロ・ボルタ> より転載。

⁷ 電池の原理の簡単な説明：希硫酸という溶液には水素イオン（＋イオン）と硫酸イオン（－イオン）が存在する。この中に亜鉛と銅を入れると、銅に比べてイオン化傾向の大きい亜鉛は、希硫酸の中に溶け出す。亜鉛は溶け出るとき、電子を二つ残して、亜鉛イオン（＋イオン）になる。亜鉛イオンに追いやられた水素イオンは、銅の方に寄って行って、銅のところで電子を一個もらって、水素分子になって出ていく。 $(2(H^+ + e^-) \rightarrow H_2)$ こうして、亜鉛側から銅側に電子の流れができる、すなわち電気が流れる。

⁸ 肖像画は <http://ja.wikipedia.org/wiki/ゲオルク・オーム> より転載。

⁹ 肖像画は <http://ja.wikipedia.org/wiki/ハンス・クリスティアン・エルステッド> より転載。

¹⁰ 電場と磁場を統一した電磁場（電磁気力）の概念の芽生えである。現在自然界には 4 つの基本的な力、重力、弱い力、電磁気力、強い力の存在が知られている。その中で弱い力と電磁気力は同じ起源を持つ力であることが示されている。

¹¹ 肖像画は <http://ja.wikipedia.org/wiki/アンドレ＝マリ・アンペール> より転載。

19 世紀のイギリスのファラデー¹²は電磁誘導現象を発見し、電気力線と磁力線によって視覚化される場の概念を電磁気現象に導入した。ファラデーによれば、電場や磁場は物理的な実体である。イギリスのマクスウェル¹³はファラデーの電気と磁気の理論をもとに 1864 年にマクスウェルの方程式を導いて古典電磁気学を確立した。マクスウェルの方程式から、電磁波の存在が理論的に予言される。ヘルツ¹⁴は 1888 年に電気火花の実験によって電波の存在を確認し、マクスウェルの理論を検証した。ここに、電磁場（電場・磁場）がエネルギー・運動量を持って運動する物理的な実体であることが確立したのである。



マイケル・ファラデー



ジェームズ・クラーク・マクスウェル



ハインリヒ・ルドルフ・ヘルツ

2. 静電気について

クーロンの法則

以下の法則をクーロンの法則と呼ぶ。

同種の電荷（ $+$ と $+$ あるいは $-$ と $-$ ）は反発し、異種の電荷（ $+$ と $-$ ）は引き合う。力の大きさはそれぞれの電荷の積に比例し、その距離の 2 乗に反比例する。力の向きは 2 電荷を結ぶ線に平行である。

電荷を持った物体間には静電気力が働き、その向きと大きさはクーロンの法則に従って計算することができる。一方、磁気に関しても仮想的な磁荷を考えて電荷と同様な取り扱いが可能である。磁荷の場合に電荷と異なっているのは正負（N と S）が必ず対で観測され、単極磁石（単極子、あるいはモノポールと呼ばれる）は観測されていないことである。

電気力線と磁力線

ファラデーによって提唱された電気力線、磁力線の考えを取り入れると電荷をもった物体間、磁石間に働く力がどのようになるかを視覚化することで、電磁気現象のより具体

¹² 肖像画は <http://ja.wikipedia.org/wiki/マイケル・ファラデー> より転載。

¹³ 肖像画は <http://ja.wikipedia.org/wiki/ジェームズ・クラーク・マクスウェル> より転載。

¹⁴ 肖像画は <http://ja.wikipedia.org/wiki/ハインリヒ・ヘルツ> より転載。

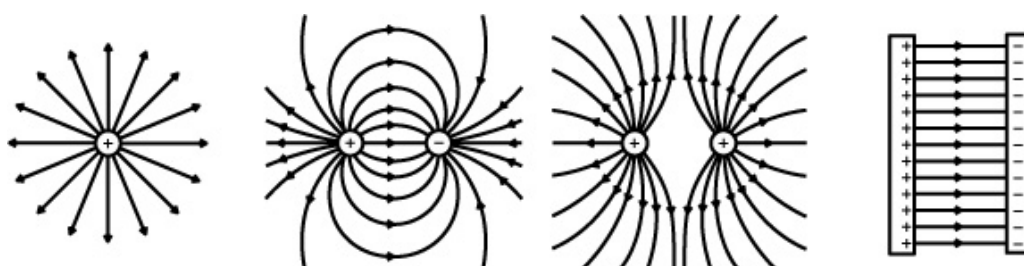
的な理解が可能である。ここでは電気力線に関して「正しい」定義などは一旦おいて直感的に理解することを目指す。

クーロンの法則で表される電気力は「遠隔力」、すなわち直接に接しておらず、離れているものの間に働く力である。一方、ファラデーは離れていても力が働く物体間は何らかの糸で結ばれているのだらうと考え、それを電気力線で表現した。このファラデーの考えは物理学で言うところの場の概念になっている。あまり「厳密」ではない電気力線の性質は以下ようになる。

- (1) 電気力線は、正電荷から出発して負電荷に終端する。
- (2) 電気力線の接線の方向は、その位置に正電荷を置いたとき正電荷に働く電気力の向きになる。
- (3) 電気力線の密度が電場の大きさになる。
- (4) 電気力線が消えたり、何もない空間から現れたりはしない。
- (5) 電気力線同士が交差、または分岐することはない。
- (6) 電気力線は縮もうとし、お互いに反発する。

これらの性質から電荷を持った物体があったときにどのような電場が発生し、電荷を持った物体間に働く力を定性的に理解することができる。

以下に典型的な電荷間の電気力線の図を示す。左から順に正電荷、正電荷と負電荷、2個の正電荷の周囲と平行平板コンデンサーの極板間の電気力線を表している。正電荷と負電荷の周囲の電気力線の様子から正負の電荷の間には引力が働き（電気力線は縮もうとする）、正（同種）電荷間には斥力が働く（電気力線同士は反発する）ことが直感的に分かる。磁力線についても同様である。



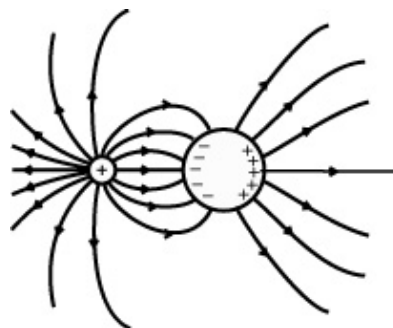
帯電

物質は分子から、そして分子は原子からできている。その原子は正の電荷を持った原子核と負の電荷を持った電子からできている。通常は物質内に一様に正と負の電荷がちょうど等しいだけ存在するので、電荷の効果は現れない。ところが何らかの方法（下敷きを衣服でこする、など）でどちらか一方の電荷が多くなった場合、電荷差の効果が見える。ま

た、そのような電荷が現れている状態のことを帯電していると表現する。帯電した物体には他の帯電した物体との間でクーロン力が働く。このクーロン力が様々な静電気現象の主たる原因である。

物体が電気をよく流す場合（金属など）には帯電してもすぐにその電荷は逃げてしまうので、静電気の効果を見ることは少ない。一方電気を流さない物体の場合（絶縁体）では帯電した電荷が動けないので静電気の効果が顕著になる。ただし、金属でも周囲から孤立している場合は、**電荷は金属内では一様に分布するが外には逃げていかない**ので静電気の効果を見ることができる。今回製作する（簡易）箔検電器はまさに、そのような例である。また、湿度が高いと空気中に電荷は（空気中の水分を媒介して）逃げてしまうので、夏のように湿度の高い季節には静電気の効果を見ることは少ない。逆に冬のように湿度が低い季節には静電気の効果を見ることが多いのは理解しやすいことであろう。

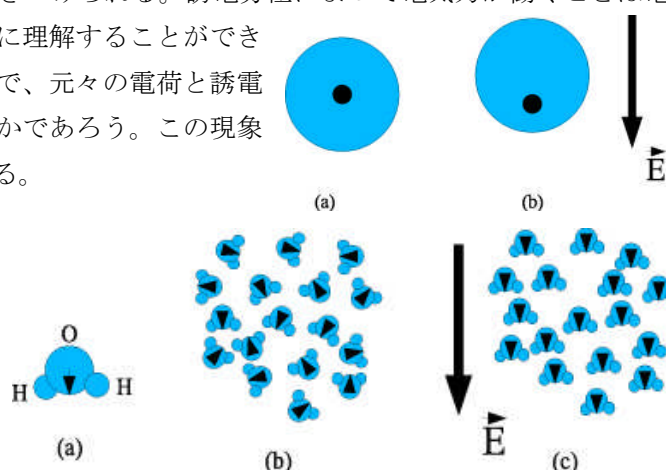
静電気現象で帯電する電荷の量は通常小さくなく、電荷の移動（電流）の大きさは通常小さなものである。例えば、冬季にセーターを脱ぐときの静電現象も実は数千～数万ボルトという非常に高い電圧になっている。しかしながら、流れる電流が小さいので「痛い！」という程度ですむ。同じ静電気現象である雷では桁違いに大きな電流が流れており、十分な注意が必要である。雷については安全に関する項目でもう一度触れる。



誘電分極

帯電した物体に絶縁体を近づけてみる。帯電した物体の近くの絶縁体の部分には帯電した電荷と反対の符号の電荷が現れ、遠くの部分には同じ符号の電荷が現れる。この現象を誘電分極と呼ぶ。クーロン力は距離に依存した力であるので近くの電荷の効果が大きくなり、絶縁体は帯電した物体に引きつけられる。誘電分極によって電気力が働くことは電気力線を用いて図のように定性的に理解することができる。電気力線は縮もうとするので、元々の電荷と誘電体の間に引力が働くことは明らかであろう。この現象を応用したものが、集塵機である。

誘電分極には大別して2種類ある。一つは原子内で電荷の分布が変化する場合であり、もう一つは最初から分極した分子の向きが揃う場合である。



3. 電流について

電気回路

電気回路を流れる電流を理解するために、水路を水が流れる場合を考えよう。水路を作れば、人の意図に従って水を流すことができる。一方、洪水のように水路が出来ていないと水の流れを制御できずに大きな被害をもたらすことがある。電気の場合も同じである。水の場合は溝や管を用いて水路（水が流れやすいところ）を作るが、電気の場合は電気を流しやすいものを用いて電気の流れ道、すなわち回路、を作って電気の流れを制御する。

下図の右の電気回路は閉じた冷却水循環システムと対応づけることができる。冷却水循環システムにおけるポンプは電池、放熱するために管が細くなっている部分は抵抗、そして太い管は抵抗を無視できる導線に対応する。



オームの法則

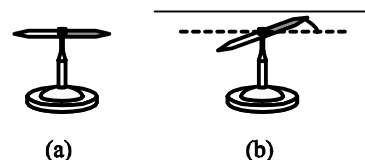
オームの法則の本来の意味はある導体に電流を流したとき、その両端の電圧降下は電流に比例するというものであった。しかしながら、一般には

$$\text{電圧 (ボルト)} = \text{抵抗 (オーム)} \times \text{電流 (アンペア)}$$

の関係式をオームの法則と呼ぶ。この法則によって、上記3変数のうち2つがわかれば残りの変数を求めることができる。先の水の循環にたとえると、電圧はポンプが水を押し出す圧力、電流は水流、そして抵抗は水の流れにくさに相当する。抵抗の単位オームはボルト/アンペアである。

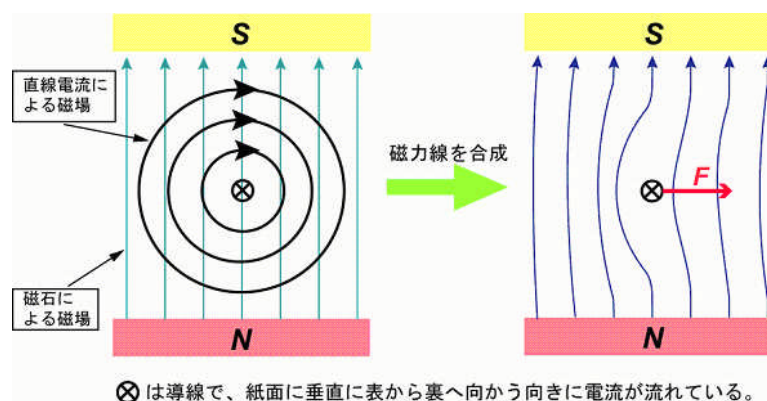
電磁誘導現象

磁針の近くにおいた導線に電流を流すと、磁北を指していた磁針が異なる方向を指すようになる。これは、磁針の近くに磁石を置いたときの反応と同じであり、区別が



かない。従って、電流によってその周囲には磁界が発生したと考えても良いであろう。

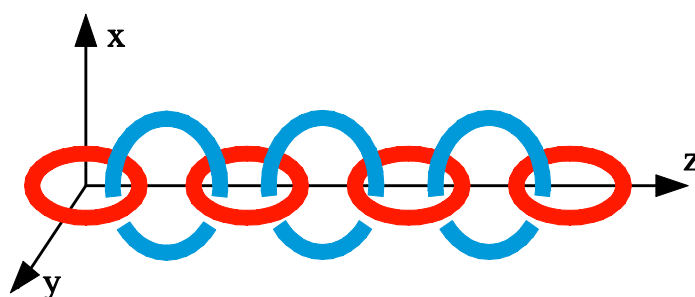
電流によって磁界が生じると考えると、磁力線を使って磁界中の電流にどのような力が働くか視覚的に理解することができる。上の場合に磁針が動くのは導線が固定されているので、その反作用が磁針に作用するためである。このように磁場を利用することで、電気エネルギー（導線内を運動する電子のエネルギー）を磁場を発生させることによって運動エネルギーに変換できる。



磁石の N 極と S 極の間に、紙面に垂直に表から裏へ向かう向きに電流が流れている導線がある。

磁石は N 極から S 極の向きに磁場を作り、導線は時計回りの方向に磁場を作る。このとき、導線の左側（図の左側）では磁石による磁場と電流による磁場の向きが同じなので磁場が強くなり、反対側（図の右側）では磁場が弱くなる。お互いの磁力線は反発しあい、また磁力線は縮もうとする性質があるので、導線は図の右向きに力を受ける。

一方、導線のおかれている場所の磁場を時間的に変化させると電圧が発生する。これが発電機の原理である。また、電磁波は電場と磁場が相互に絡み合いながら、空間を伝搬する現象である。



図は電場（赤）と磁場（青）が相互に絡み合いながら z 軸方向に進む電磁波のイメージを示している。

直流と交流

ある回路に流れる電流の向きが一定の場合には、その電流を直流電流と呼ぶ。一方、回路に流れる電流の向きが時間的に変化する電流を交流電流と呼ぶ。直流の典型的な例は電池によって作られる電流である。また、交流の典型的な例は家庭のコンセントから機器に流れる電流である。

電池の典型的な電圧は乾電池が約 1.5 V である。ただし、新しい電池の電圧は 1.5 V 以上あるが、使っているうちにその電圧は下がっていき機器を動かすために十分な電圧を出せなくなる。典型的な充電電池であるニッケル・カドミウム電池の電圧は約 1.2 V である。最近では省電力機器のおかげでボタン電池もよく使われるようになっている。ボタン電池には約 3 V のものも多い。これらの電圧の違いは電気を発生する材料の違いによる。また、同種の電池を積み重ねて高い電圧を発生することができる積層電池もある。積層電池でよく使われるものは 006P 電池で約 9 V の電圧が得られる。

家庭に来ている交流の電圧は 100 V と言われるが、その最大値は約 140 V で最小値はマイナス約 140 V である¹⁵。また、交流が一秒間に電圧の正負が入れ替わる回数のことを周波数（単位はヘルツ）とよび、日本では静岡県富士川と新潟県糸魚川を境界として東は 50 Hz（50 ヘルツと読む、電波の発見者に由来している。）で西は 60 Hz である。なお発電所から一般家庭の近くにある変電所まで送られる交流の電圧は、送電線に流れる電流による損失（ジュール発熱）を小さくするために、100 V より高い電圧になっている。

参考書：

山本義隆著「磁力と重力の発見」

¹⁵ 100V を $\sqrt{2}$ 倍すると最高電圧（約 140V）が得られる。

4. 安全について

1. 家庭の AC100 V の取り扱いについての注意

電気とは言っても電池で得られる電気とは取り扱い上別物であると考える必要がある。電池の両端を手でもって感電することはないが、AC100 V では感電して死んでしまうことがある。AC100 V は危険なものであるという点を教育するべきである。その危険をよく理解した上で AC100 V を取り扱う必要がある。

2. 雷について

雷も静電気現象である。しかしながら、セーターで火花が飛ぶのとは異なり、雷の電流（電荷量）は非常に大きいので雷によって甚大な被害を受ける場合もある。有名なフランクリンの雷雨の中で凧をあげる実験は非常に危険な実験であった。実際、後に同じ実験を行った人が死亡しているそうである。雷が近づいている状況では凧揚げを中止するように。雷に関連して、避雷針の原理について触れよう。避雷針は尖った金属が地上から突出しているものと考えることができる。電位差が避雷針と雷雲の間にある場合、このような尖った金属の近傍では電場が大きくなる。従って、雷（空気の絶縁破壊現象と考えることができる）はその金属の近傍で起こると期待される。ただし、避雷針が機能せずに雷に打たれた事例もあるので避雷針を過信することは禁物である。また、以上の観点から雷が鳴っているときには伏せて体を低くすることが必要であることもわかるであろう。

3. 工作上的注意

ニッパやペンチ、カッターなどは電気回路制作などの工作でよく用いられる工具である。注意点として、刃物は絶対人に向けない、工具を持ってふざけないなどの教育を徹底する必要がある。刃物や工具でふざけている児童には厳しく対処する必要があるだろう。また、刃物を使う場合は刃先の進行方向に自ら（他人のものは当然）の体をおかないようにする¹⁶。

4. 電池の使用方法、廃棄に関する注意

電池には、原理の違いからマンガン乾電池、アルカリ乾電池、水銀電池、リチウム・イオン電池、空気電池、鉛蓄電池など様々な種類がある。また、形状の違いから単一、単二、単三、単四、単五、積層電池、ボタン電池などの違いもある。あるいは充電のできない一次電池と充電のできる2時電池の違いもある。これら様々な電池の特性をよく理解して、有効にそして最も重要な点としては安全に使用することが必要である。ここで、注意すべき点を網羅することはできないが、実生活で特に気をつけるべき点をいくつかまとめる。

(a) 電池の(+)端子と(-)端子を金属で接続する（ショート）ことをしない。異常に発

¹⁶ 例えば、彫刻刀を使う場合を考えよう。彫刻刀は刃を押し出すようにして使うので、彫る対象を押さえる手は彫刻刀より手前側に置く。

熱し、最悪の場合は電池の爆発の危険がある。また、電池の保管時や運搬時にショートしないようにネックレスなどの金属と一緒にしない。ただし、10 秒程度ならば発生する熱の総量は大きいものではなく、特に問題になることはないだろう。しかし、発熱は使用している電池の種類や数などにも依存することなので児童にさせる時には十分な注意を要する。教員ならば異常を感じてすぐに電流を流すことを止めるなどの対応がとれるであろう。

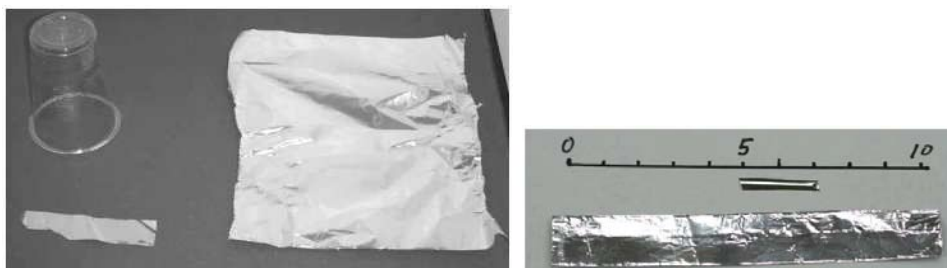
- (b) 異なった種類の電池を混ぜて使用しない。
- (c) 新しい電池と古い電池を混ぜて使用しない。
- (d) アルカリ電池の内部抵抗は比較的大きく、ニッケル水素電池の内部抵抗は小さい。従って、ニッケル水素電池をショートすると大きな発熱が生じる場合もある。
- (e) 電池を火の中へ投入、あるいは加熱しない。
- (f) 電池の(+)(-)の逆挿入を絶対にしない。うまく電池が入らないときは極性の確認を行なう。
- (g) 電池を電源コンセントや自動車のシガレットライターの差し込み口に直接接続しない。
- (h) 電池の分解、改造を行なわない。電池に直接ハンダ付けしない。
- (i) 充電機の場合はその電池の特性にあった充電器を使用すること。典型的な例としてはニッケル水素電池用の充電器とニッカド電池用の充電器は混用できないことを挙げておく。これはニッケル水素電池が充電時に強く発熱するのに対して、ニッカド電池の充電時の発熱は大きくないためである。また、リチウム・イオン電池などは制御回路がついた充電器で充電しないと最悪の場合、爆発する恐れがある。
- (j) ニカド電池には、内部のガスを放出するためのガス抜き構造を備えているので、(+)端子の部分を変形させない。

環境保全のために電池は地方行政体が指定した条例に従った方法で廃棄する必要がある。安全性の面で最近では使われなくなっているが、水銀電池の廃棄は特に注意が必要である。また、重さに比較して容量の大きいリチウム・イオン電池も最近携帯電話やノートブック PC などによく使われるようになっているが、「条例に従って廃棄してください。」という注意をよく見ることであろう。

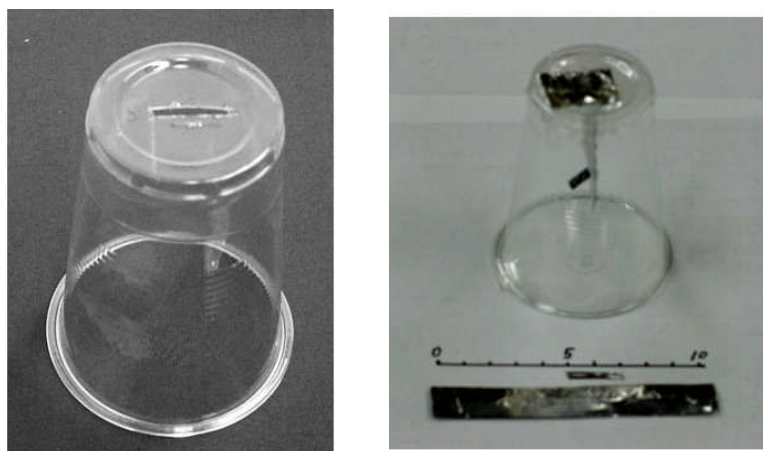
5. 箔検電器の製作

箔検電器は「静電気の存在を確認する＝**静電気を見る**」ための装置である。

材料は以下の透明な使い捨てコップ、アルミ箔、非常に薄い導電性フィルムである。



- (1) アルミ箔を繰り返し折って適当なリボン（幅 15 mm、長さ 100 mm ぐらい）を作る。また、導電性フィルムも適当な大きさ（幅 5 mm、長さ 20 mm）に切り取る。**導電性フィルムの長い辺が丸まっている方向と垂直になるように切り取る。**（できたフィルムが丸まらないようにするため。）
- (2) 導電性フィルムの導電面をアルミ箔側にしてセロテープで貼り付ける。
- (3) 透明コップにアルミ箔のリボンを通すための穴をカッターで作る。



- (4) 導電性薄膜付きのアルミ箔のリボンを穴に通してコップに固定する。固定はセロテープで行なう。図では製作途中にコップが帯電したために、導電性薄膜が開いている。今回作った検電器は敏感に静電気を検出することが可能である。
- (5) プラスチックのコップが帯電してしまう（コップに手を近づけると、導電性フィルムが開いたり閉じたりする）ことがある。その場合には静電気除去スプレー¹⁷をティッシュに一拭きして、それでコップの外側面を撫でると良い。なお、導電性フィルムを小さくしているのは、コップの帯電の影響を減らすためである。

¹⁷ LION のエレガードなど。「まつわりつきも一瞬で解消」と宣伝されているもの。

ここで用いる薄い導電性フィルムはTorayのACトレファンALという商品名の品番8.0タイプAT20というもので、主な用途は電解コンデンサーの電極である。このフィルムを少量だけ入手することは一般には困難かも知らない。実験材料として導電性フィルムが必要な方は大阪市教育センター教育振興担当 (<http://www.ocec.jp/center/index.cfm/>、電話06-6572-0657) に問い合わせください。

参考資料

静電気（高圧）発生装置

- (1) 本講座では塩ビ・パイプを絹布でこすって静電気を起こす。確実に静電気（高電圧）を発生させたいときには種々の装置が販売されている。
- (2) 静電高圧ゼネコン:ナリカ販売(カタログ No.B10-1324)2万円弱である。Gakken販売の「大人の科学 Vol. 22」に平賀源内のエレキテルのモデルが付録になっている。大きさは違うがナリカの装置とほぼ同じ構造をしている。
- (3) テンヨーというおもちゃメーカーが販売しているマジックウェーブ・ステッキは高電圧発生装置のバンデグラフをおもちゃにしたものである。

参考になりそうなホームページ

- (1) 理科ねっとわーく <http://www.rikanet.jst.go.jp/> 科学技術振興機構。
- (2) 科学おもちゃ <http://scitoys.com/> 英語だけれど情報量はすばらしい。
- (3) 新理科教育メーリングリスト <http://www.rika.org/rikaml/> 理科教育に関する活発な議論がある。
- (4) 科学工作&科学マジック <http://sky.geocities.jp/noroshigeki3/> 今回紹介するクリップ・モータの作り方もこのホームページを参照している。
- (5) 秋月電子のWEBショップ <http://akizukidenshi.com/catalog/default.aspx> 様々な電気関連の部品が安価に購入できる。
- (6) ナリカ（旧名は中村理科工業）のホームページ <http://www.rika.com/>。

6. 実験 電流と方位磁石

導線に電流を流すと磁場が生じる。歴史的には 1819 年にエルステッド (1777-1851) が、電流を流した導線の近くにある方位磁石 (コンパス) の磁針が振れることを発見した。その後、ビオとサバールは実験を繰り返して導線に流れる定常電流が磁場の源になっていると解釈し、ビオ・サバールの法則を作った。図 1 のように、直線状の導体に電流が流れるときに、導線を中心とした円形で電流の向きに右ねじを進めるときにねじが回転する向きの磁場が生じる。生じる磁場の強さ B は導線からの距離 r が同じなら電流 I に比例する。一般に、導線が直線上ではない任意の形状の時にも磁場が生じる。

ここでは、導線に電流を流して方位磁石の磁針が偏向することを観察する。

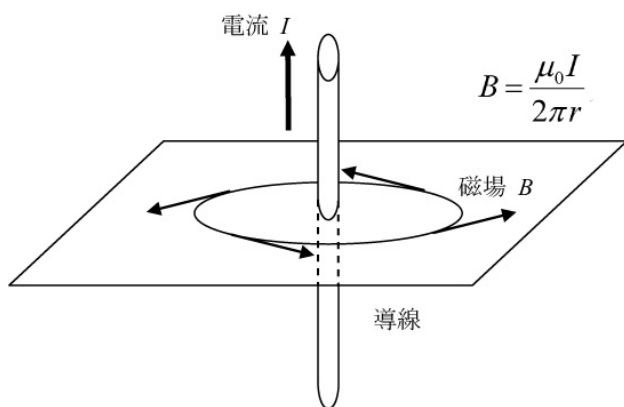


図 1

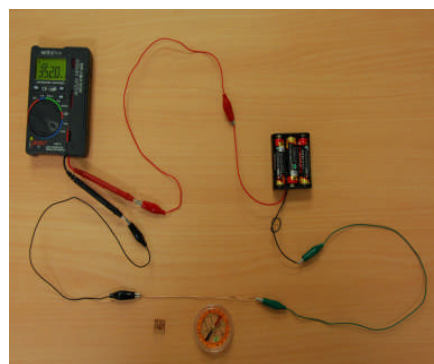


図 2

準備するもの

方位磁石 1 個、テスター 1 台、銅線 (太さ 1.0 mm、長さ 15 cm 程度)、鉄釘、電池ホルダ、単三電池 3 本、わにロクリップ

方法

1. 電池ホルダーに真っ直ぐな銅線を接続して方位磁石に近づけ、磁針が振れることを観察する。図 2 を参考にして、銅線をどのような向きで方位磁石に近づけると、磁針の振れが大きくなるかにも注目してみる。

2. 銅線を鉛筆などに巻き付けて右のような小さなソレノイド (弦巻バネ状) コイルを作る。そのコイルに電流を流して方位磁石に近づけ、磁針が振れることを観察する。さらにコイルの空芯部に鉄釘を入れて、磁針の振れの変化をみてみよう。このように空芯より、鉄などの芯を入れると磁場が強くなることが知られている。



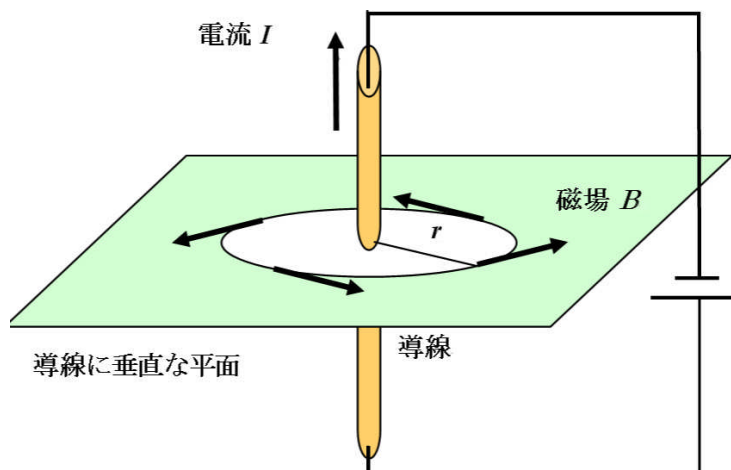
参考 電流と方位磁石: 導線に電流を流すと磁場が生じる

(1) 棒磁石を方位磁石に近づけると、磁針の向きが変わる

(2) 導線に電流を流して方位磁石に近づけると、磁針の向きが変わる

→ 導線に電流を流したときの磁針に対する作用は、磁石による作用と同等である

図のように直線状の導体に電流が流れるときには、導線を中心とした円形で電流の向きに右ねじを進めるときにねじが回転する向きの磁場が生じる。生じる磁場の強さ B は導線からの距離 r と電流 I の関数である。
ビオ・サバールの法則より、生じる磁場の強さは



$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} [\text{T}] \quad \text{ここで、定数 } \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} [\text{T} \cdot \text{m/A}] \text{ である。}$$

★ 今回、実験で用いる導線に電流を流したときの磁場の強さを計算してみよう。

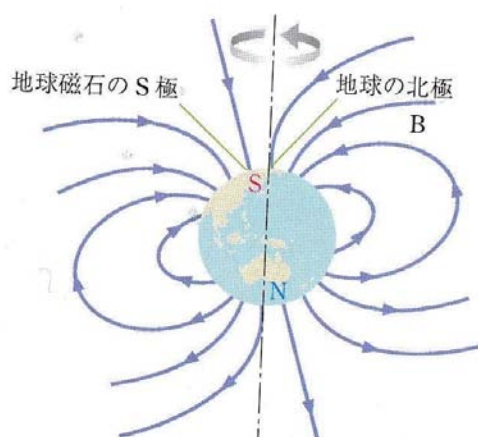
実際に測定すると導線（直径 0.4mm の銅線）には約 200mA の電流が流れ、導線から 5mm 離れた位置での磁場は、次のように計算できる。

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} [\text{T} \cdot \text{m/A}] \times 200 \times 10^{-3} [\text{A}]}{2\pi \times 5 \times 10^{-3} [\text{m}]} \approx 1 \times 10^{-5} [\text{T}] \Rightarrow 0.1 [\text{G}]$$

地表での地磁気による磁場の強さは約 0.3-0.5 G(ガウス)であるから、地磁気の数分の1程度の強さであり、導線に電流を流した時に、電流により生じる磁場の影響を受け、方位磁石の磁針の偏向が見られる。

cf. 地磁気:

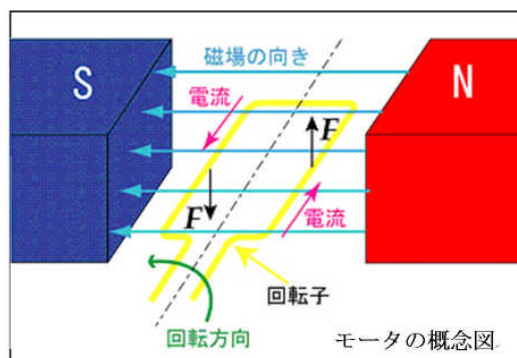
北磁極 (S) が約北緯 73° 西経 98° , 南磁極 (N) が約南緯 70° 東経 145° 地磁気があるお陰で宇宙放射線から守られている (バンアレン帯の形成)



7. クリップモータの製作

静磁場中に置かれたコイルに電流を流すと、電流は電磁誘導現象による力を受ける。電流の受ける力の向きが、常に同じ回転方向になるように工夫したものが**モータ**である。簡単なモータ（クリップモータ）の製作を通して、電気エネルギーが運動エネルギーに変換されることを実感する。

右図は、直流電流で動作するモータの概念図である。磁石の N 極と S 極の間に、中心軸（回転軸）のまわりで回転するコイル（回転子）を置く。回転子に電流を図の向きに流すと、回転子は磁場から力 F を矢印の向きに受ける。その結果、回転子は時計と反対方向の向きに回り始める。ただし回転子を流れる電流の向きが一定ならば、回転子の導線が作る面が磁場に垂直の位置を越えると、今度は逆向きの力を受けるために回転子の回転が止まる。そこで整流子と呼ばれる機構を用いて、回転子の面が垂直になったら電流の方向を逆にして常に同じ方向に回り続けるようにする。このような原理でモータ（直流モータ）は回転し続ける。モータに発生する力は、磁場が強いほど、また回転子に流れる電流が大きいほど大きくなる。



クリップモータの製作

実験器具（材料）：

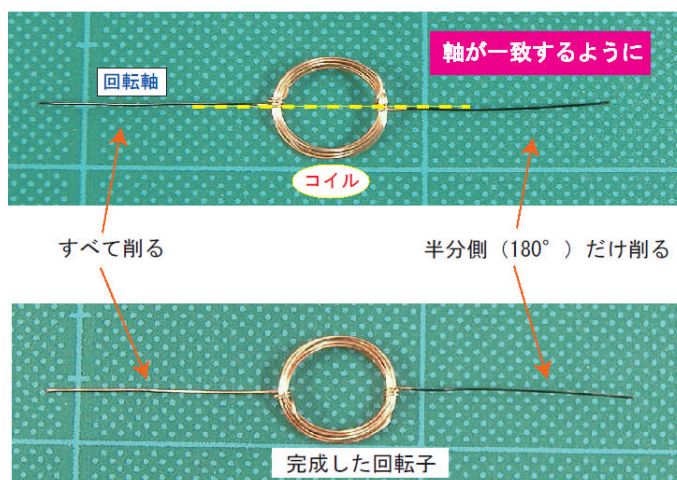
ゼムクリップ（大）、合成樹脂被覆銅線（ここでは、通称ホルマル線。長さは 30cm くらい）、単三乾電池、工作用紙、磁石（出来れば強力磁石）、はさみ、紙やすり、セロハンテープ。

製作方法：

A. 回転子の製作

(1) ホルマル線を乾電池に 10 回

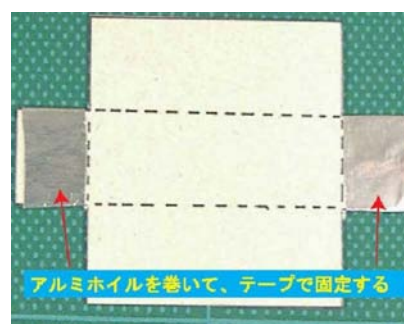
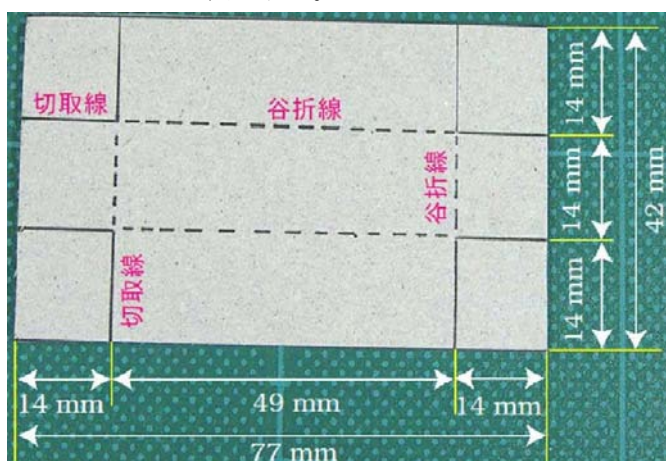
程度巻いて、右図のようなコイルを作る。コイル部分がばらけることのないように固定し、余ったホルマル線の両端をのばして回転軸を作る。



- (2) 回転軸になる部分のホルマル線にマジック（図では黒マジックで色をつけた）で色をつける。そして、一方の回転軸の被覆(ホルマル)を、紙やすりでけずって全部はがす。反対側の回転軸の被覆は、軸の半周分だけはがす。もし、**はがしすぎた場合は、マジックを塗りなおせばよい。**
- (3) コイルの中心軸と両端のホルマル線（回転軸）が、**一直線**になるように調整する。そして、回転子を回転軸のまわりで回転させたときコイルの位置がぶれないように、コイルと回転軸の位置関係を調整する。

B. 電池ボックスと電極の製作

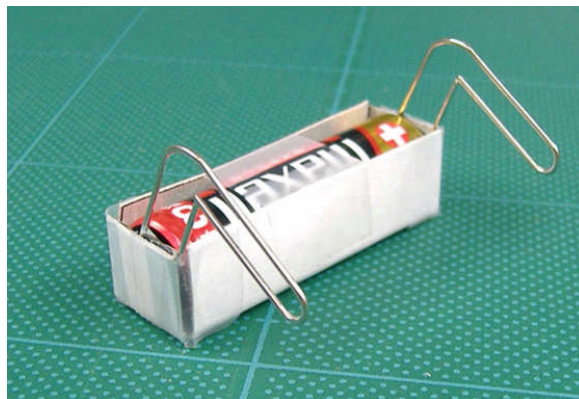
- (1) 電池ボックスは、工作用紙とアルミホイルで作る。下図左側の寸法を参考にして、工作用紙をはさみで加工する。（寸法は使用した単三乾電池のサイズに準拠している）電池の+極（正極）と-極（負極）に接する部分には、右側の図のようにアルミホイルを巻いてテープで固定する。



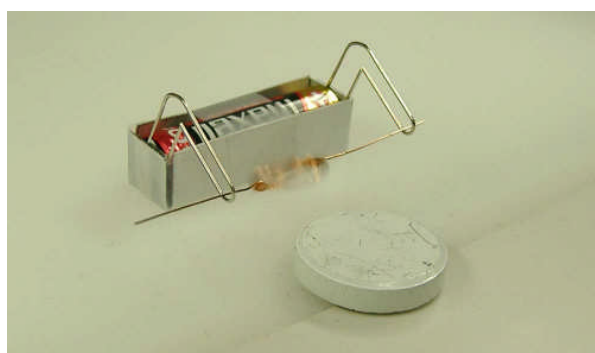
- (2) 電極はクリップを用いて製作する。右図のようにクリップを伸ばす。クリップの**大きい弧**の部分は電池と接触させるので、アルミホイルを動かさないように巻きつける。**小さい弧**の部分に、製作した回転軸を乗せるために用いる。伸ばした後のクリップの形は、できるだけ同じ形になるようにする。（電流を流さない色付きクリップなどがあるので、注意すること。）
- (3) 電池ボックスになる工作用紙に電池をおき、アルミホイルで覆われていない部分を用いて電池を電池ボックスにテープで固



定する。次に、電池の+極とクリップに巻いたアルミホイルが確実に接触するように注意しながら、電池ボックスとクリップ、電池の+極をテープで固定する。+極側を固定してから、一極側も同様に固定する。なお、一極から固定すると、+極の固定がうまくいかないことがあるので、**必ず+極から固定すること**。右の図が、完成した電池ボックスと電極である。2本の電極の回転軸と接触する部分が、**同じ高さ**になるように調整する。



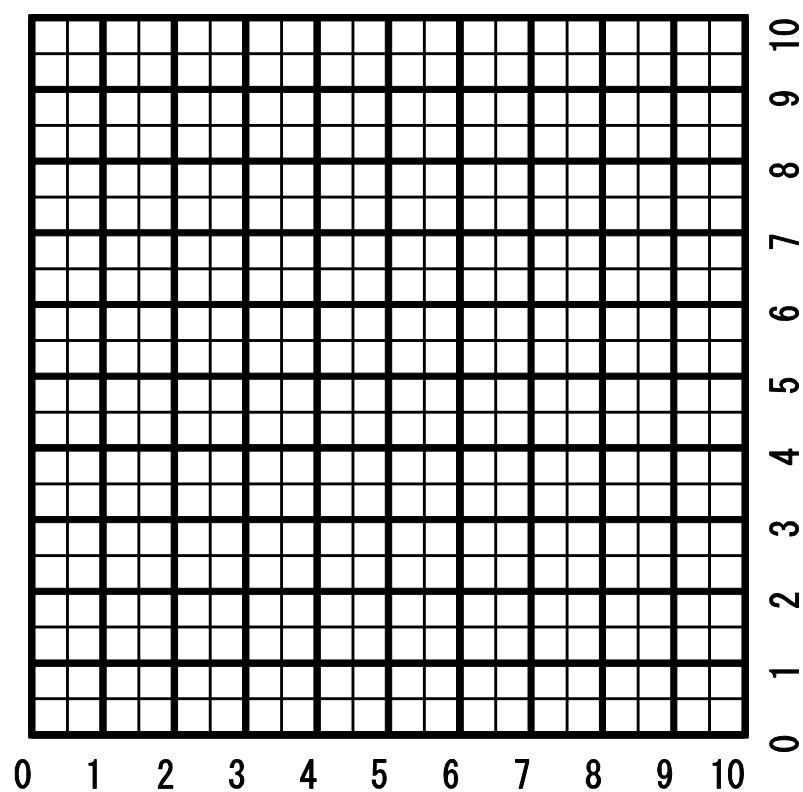
- (4) 回転子に電流が流れるように、二つのクリップの間に回転軸を通して、コイルに磁石を近づける。磁石を近づけただけでコイルは回りだす。回りださない場合は、はじめにコイルを少し回してやると、その後は回り続ける。



C. うまく回転しない場合

- (1) 磁石を近づけてもコイルがまったく動かないときは、**コイルに電流が流れていない可能性**がある。電池とクリップが正しく接続されていること、また**被覆がきれいにはがれている**ことを確かめる。
- (2) 磁石を近づけるとコイルは振動するがうまく回らないときは、**回転軸がずれている**可能性**がある**。回転軸を指で回してみ、**軽く回転するように軸の位置を調整**する。

大きさの目安のためのスケール



太い線間が 1cm。ただし、あまり正確ではないので注意。