

# 電気と磁気

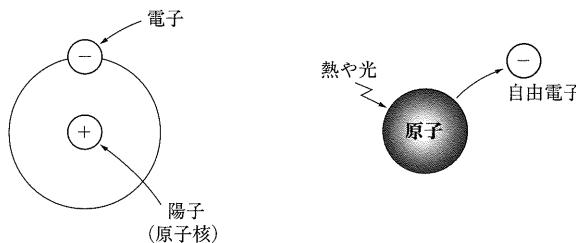
## 1-1 静電気

### 1-1-1 電気の本質と帶電現象

電気というのはいろいろな仕事をしてくれるのですが、目に見えないので、一見つかみどころのないものです。その電気の本質は、原子の中で見つけることができます。

図1-1(a)は、もっとも簡単な構造を持った水素の原子モデルです。これでわかるように、原子はプラスの電気を持った陽子と、その周りを回るマイナスの電気を持った電子からできています。陽子は原子核の中にあり、原子核の中では動くことはできません。また、陽子の持っているプラスの電気と電子の持っているマイナスの電気は絶対値が等しく、原子全体では両者が打ち消し合っていて外部には影響を及ぼしません。

さて、原子核の中にある陽子は動けませんが、電子は原子核の周りを回っていて、場合によっては図1-1(b)のように原子の外に飛び出して自由電子になります。この自由電子が、電気のことだと思ってよいでしょう。



(a) 水素の原子モデル

(b) 実際に動くのは自由電子

図1-1 電気の素は原子の中にある

私たちが日常生活に用いる電気製品や電子機器は、すべて電子が導体中を動いて電流となる、いわゆる動電気を利用したものです。ところが、物体を摩擦（例えばガラス棒を絹布でこする。これらは絶縁体）したとき発生する電気は、物体に着いて静止している電気です。このように静止した電気を静電気といい、このような現象を静電現象とか帯電現象といいます。電気回路や電子回路の勉強をするときには、まず、その根本となる静電気から始める必要があります。

### 1-1-2 摩擦電気

摩擦によって物体がプラスに帯電するかマイナスに帯電するかは、表1-1に示した物体の摩擦電気系列によって決まります。表1-1に示した任意の二つの物質を摩擦すると、上位のものがプラスに、また下位のものがマイナスに帯電します。そして、二つの物質の序列の差が大きいほど、帯電の度合が大きくなります。

これは、摩擦によって上位のものから下位のものへと電子の一部が移動するため、電子が不足した上位のものはプラスに、また、電子が過剰になった下位のものがマイナスに帯電するためです。ちなみに、ガラス棒を絹布でこすると、ガラス棒はプラス、絹布はマイナスに帯電します。

帯電現象によって物体が電気を帯びた場合、その物体の持つ電気の量を電荷といい、大きさを表す単位はクーロン[C]です。また、摩擦によって生じたプラスとマイナスの電荷は二つの物質の間を移動しただけなので、その絶対値は同じです。

### 1-1-3 静電誘導と静電遮へい

図1-2のように、プラスに帯電している物体Aに帶電していない物体Bを近づけると、BのAに近い端にはマイナス、そしてBのAに遠い端にはプラスの

表1-1 摩擦電気系列

- |         |         |
|---------|---------|
| ① 毛布    | ⑧ 絹     |
| ② 水晶    | ⑨ 木材    |
| ③ 雲母    | ⑩ 金属    |
| ④ ガラス   | ⑪ カーボン  |
| ⑤ フランネル | ⑫ ゴム    |
| ⑥ もめん   | ⑬ エポナイト |
| ⑦ 紙     |         |



図1-2 静電誘導

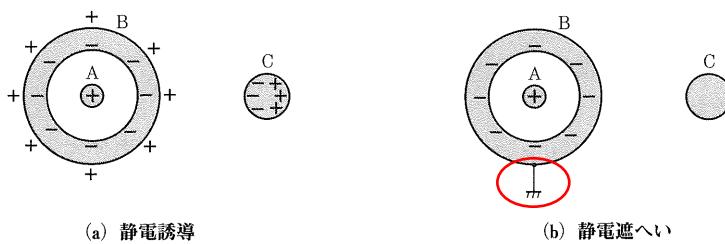


図1-3 静電誘導と静電遮へい

電荷が現れます。このような現象を静電誘導といいます。このような場合、物体Bの両側に生じたプラスとマイナスの電荷の量は、互いに等量です。

つぎに、図1-3(a)のようにプラスに帯電している球Aを中空導体Bでつつむと、Bの内面にはマイナス、外側にはプラスの電荷が現れます。そこで帶電していない物体Cを近づけると、Cは静電誘導を受けてBに近い端にマイナス、遠い端にプラスの電荷が現れます。これは、物体Cは物体Aの影響を受けたことになります。

そこで、図1-3(b)のようにBをアースするとBの外側のプラスの電荷は大地に逃げ去り、外側の電荷は無くなります。その結果、帶電していない物体Cを物体Bに近づけてもCは静電誘導を受けません。

このように、AとCの2個の物体の間に接地した導体Bを置き、静電誘導を受けないようにすることを、静電遮へいといいます。

#### 1-1-4 静電気におけるクーロンの法則

フランスの電気および土木工学者であるクーロンは、1785年に実験によって二つの電荷の間に働く力の関係を示す法則を発見しました。

『二つの帶電体の間に働く力Fは、その大きさは各々の持っている電荷 $Q_1$ ,  $Q_2$ の積に比例し、帶電体間の距離 $r$ の2乗に反比例し、その方向は両電荷を結ぶ直線上にある』

これがクーロンの法則です。これは、二つの電荷の間に働く力を $F[N]$ （ニュートン），電荷の強さを $Q_1 [C]$ （クーロン）， $Q_2 [C]$ ，距離を $r[m]$ とすると，

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{r^2} [N] \quad \dots \dots \dots \text{1-1}$$

のようになります。ここで、 $K$ は電荷の置かれている物質(誘電体)によって異なる比例定数です。

図1-4は二つの電荷 $Q_1$ と $Q_2$ にどのような力が働くかを示したもので、 $Q_1$ と $Q_2$ がどちらもプラスまたはマイナス、すなわち同種の電荷であれば式1-1の $F$ の値はプラスとなり反発力となります。また、 $Q_1$ がプラスで $Q_2$ がマイナス、またはその逆、すなわち異種の電荷であれば式1-1の $F$ の値はマイナスとなり、吸引力となります。そして、 $Q_1$ と $Q_2$ の間に働く力は、 $Q_1$ と $Q_2$ の間の距離 $r$ の2乗に反比例します。

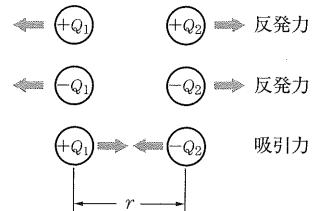


図1-4 クーロンの法則

### ●真空中の場合

式1-1の比例定数 $K$ は、真空中では、

$$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = \frac{1}{4\pi \times 8.855 \times 10^{-12}} \doteq 9 \times 10^9 \quad \dots\dots\dots 1-2$$

となります。ここで $\varepsilon_0$ は静電気の作用を伝える真空の性質を表すもので、これを真空中の誘電率といいます。式1-2でわかるように、 $\varepsilon_0$ の値は、

$$\varepsilon_0 = 8.855 \times 10^{-12}$$

です。そこで、真空中で $Q_1$ と $Q_2$ に働く力 $F$ は、

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \doteq 9 \times 10^9 \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad [\text{N}] \quad \dots\dots\dots 1-3$$

のようになります。

### ●任意の誘電体の場合

任意の物質の誘電率を $\varepsilon$ とすると、 $\varepsilon$ と真空中の誘電率 $\varepsilon_0$ の比を比誘電率といい、これを $\varepsilon_s$ で表します。 $\varepsilon$ と $\varepsilon_0$ 、 $\varepsilon_s$ の間には、

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \varepsilon_s \quad \therefore \varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_s \quad \dots\dots\dots 1-4$$

のような関係があります。

すると、任意の誘電体において $Q_1$ と $Q_2$ に働く力 $F$ は、

エボナイト	3	ゴム	3	パラフィン	2
磁器	6	石英ガラス	4	水	80
マイカ	6	酸化チタン	100	紙	2
ペークライト	5~10				

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \times \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{Q_1 Q_2}{\varepsilon_0 r^2} \div 9 \times 10^9 \frac{Q_1 Q_2}{\varepsilon_0 r^2} \quad [\text{N}] \quad \dots \dots \dots \quad 1-5$$

のようになります。表1-2に、主な物質の比誘電率 $\varepsilon_s$ を示します。ちなみに、空気の比誘電率 $\varepsilon_s$ はほぼ1です。

### 1-1-5 電界と電氣力線

空間に電荷があってクーロンの法則による力が働いているような場合、その空間を電界といい、どのような力が働いているかは電気力線で表されます。電気力線はプラスの正電荷から出発してマイナスの負電荷に到達する力線を仮想的に表したもので、図1-5のようになります。

電気力線の性質を整理してみると、

- (1) 電気力線は正電荷の表面から出て負電荷の表面に終わる.
  - (2) 電気力線はゴムひものように常に縮まろうとし, 電気力線どうしは反発している.
  - (3) **電気力線に接線を引くと, 接線はその点の電界の方向を示す.**
  - (4) 電気力線どうしが交わることはない.
  - (5) 電気力線は等電位面と垂直に交わる.
  - (6) 電気力線は導体の面に直角に出入りする.
  - (7) 電気力線の密度は その点の電界の強さを表す.

のようになります。なお、等電位面というのは電界内で電位の等しい点が集まって作る面のことです。

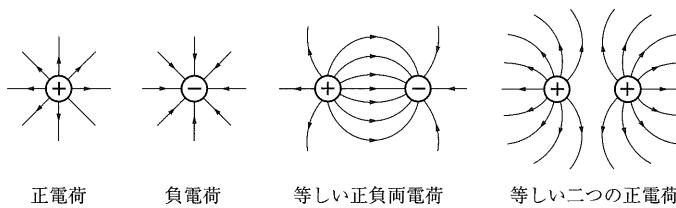


図1-5 電氣力線の性質

電界の強さは、電界中のある点に1Cの正電荷を置いたときにそれに働く力の大きさで表します。**電界の強さを表す記号は $E$ 、単位は[V/m]**です。

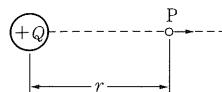


図1-6 雷界の強さ

図1-6のように真空中に $+Q$ [C]の電荷から $r$ [m]離れた点Pに1Cの正電荷を置いた場合の電界の強さ $E$ は、式1-3で $Q_1=Q$ ,  $Q_2=1$ ですから、

のようになります。

### 1-1-6 電束と電束密度

誘電率  $\epsilon$  の誘電体中にある  $Q$  [C] の電荷からは  $\frac{Q}{\epsilon}$  [本] の電気力線が出ますが、これは誘電率  $\epsilon$  によりその本数が変わります。そこで、電気力線の代わりに誘電率  $\epsilon$  に関係なく  $1C$  の電荷からは  $1$  本の電束が出ると考えます。これを  $1C$  の電束といいます。すなわち、電荷  $Q$  [C] から出る電束は  $Q$  [C] です。また、電束と直角な単位面積  $1 \text{ m}^2$ あたりに通過する電束を電束密度といい、電束密度の記号は  $D$ 、単位は  $[\text{C}/\text{m}^2]$  です。電束密度  $D$  と電界の強さ  $E$  の間には、

$$D = \epsilon E \quad [\text{C/m}^2] \qquad \dots \dots \dots \quad 1-7$$

のような関係があります。 $\varepsilon$ は、誘電体の誘電率です。

また、電束に直角な面  $S [m^2]$  を電束  $Q [C]$  が通過しているとき、その点の電束密度は、

$$D = \frac{Q}{S} \quad [\text{C/m}^2] \qquad \dots \dots \dots \quad 1-8$$

のようになりますから、式1-7と式1-8より平行導体板に働く電界の強さ $E$ は、

となります。

### 1-1-7 コンデンサ

コンデンサは、静電気を蓄える電子部品です。二つの導体の間に電圧を加えると電荷を蓄えることができますが、この電荷をどれくらい蓄えられるかを表

## 1-1 静電氣

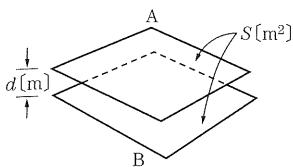


図1-7 平行板コンデンサ

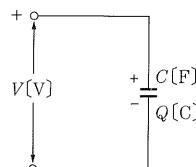


図1-8 コンデンサに蓄えられる電荷

すのが静電容量です。静電容量は、導体の種類や形、また間に挟まれる誘電体によって異なります。

図1-7は、2枚の金属板を向かい合わせて電極とした平行板コンデンサです。図1-7において金属板AとBの面積を  $S [m^2]$ 、両板の間隔が  $d [m]$ 、両板の間の物質の比誘電率を  $\epsilon_s$ 、真空中の誘電率を  $\epsilon_0 (8.855 \times 10^{-12})$  とすると、静電容量  $C [F]$  は、

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_s S}{d} \quad [\text{F}] \quad \dots \dots \dots \quad 1-10$$

となります。この式より、静電容量は金属板の面積と両板の間の物質の比誘電率に比例し、両板の間隔に反比例することがわかります

#### ●コンデンサに蓄えられる電荷

図1-8のように静電容量  $C$  [F] のコンデンサに  $V$  [V] の電圧を加えたとき、コンデンサに蓄えられる電荷  $Q$  [C] は

のようになります。これより、1Vの電圧によって1Cの電荷を蓄えることができる静電容量が1Fだということがわかります

### ●コンデンサに蓄えられるエネルギー

コンデンサに蓄えられるエネルギー  $W$ [J] (ジュール) は、静電容量を  $C$ [F]、電圧を  $V$ [V]、電荷を  $Q$ [C] とすると

$$W = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 \quad [\text{J}] \quad \dots \dots \dots \quad 1-12$$

と表されます

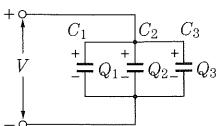


図1-9 コンデンサの並列接続

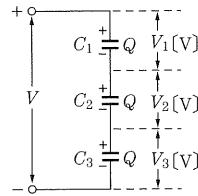


図1-10 コンデンサの直列接続

### ●コンデンサの並列接続

図1-9のようにコンデンサ $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ を並列に接続し, その端子に電圧 $V$ [V]を加えると, それぞれのコンデンサに蓄えられる電荷 $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ は式1-11より,

$$Q_1=C_1V, \quad Q_2=C_2V, \quad Q_3=C_3V$$

のようになります. また, 端子から見た全電荷 $Q$ は

$$Q=Q_1+Q_2+Q_3$$

ですから,

$$Q=C_1V+C_2V+C_3V=(C_1+C_2+C_3)V$$

となり, そこで合成静電容量 $C_P$ [F]は,

$$C_P=\frac{Q}{V}=C_1+C_2+C_3 \quad [F] \quad \dots\dots\dots 1-13$$

となります. これより, コンデンサを並列接続した場合には, それぞれのコンデンサの静電容量の和が合成静電容量になることがわかります.

### ●コンデンサの直列接続

図1-10のようにコンデンサ $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ を直列に接続して電圧 $V$ [V]をえた場合,  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ に加わる電圧をそれぞれ $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ とすると,

$$V=V_1+V_2+V_3$$

となります. また, 蓄えられる電荷を $Q$ [C]とすれば, それぞれのコンデンサにかかる電圧は

$$V_1=\frac{Q}{C_1}, \quad V_2=\frac{Q}{C_2}, \quad V_3=\frac{Q}{C_3}$$

となり, そこで合成静電容量 $C_S$ [F]は,

$$C_S=\frac{Q}{V}=\frac{1}{\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}} \quad [F] \quad \dots\dots\dots 1-14$$

## 1-1 静電気

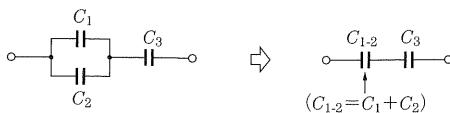


図 1-11 コンデンサの直並列接続

となります。これは

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad \cdots \cdots \cdots \quad 1-15$$

のように書くこともでき、これよりコンデンサを直列接続した場合にはそれぞれのコンデンサの静電容量の逆数の和が合成静電容量  $C_s$  の逆数になることがわかります。

### ●コンデンサの直並列接続

直列や並列に接続されたコンデンサが複雑に絡み合っているような場合、合成静電容量を求めるのはやっかいです。そのような場合には、簡単に静電容量の求まる並列接続から計算をすませ、その後で直列接続の計算をするのがうまい手です。

図 1-11 はその一例を示したもので、まず  $C_1$  と  $C_2$  の合成静電容量  $C_{1-2}$  を求めます。 $C_{1-2}$  は  $C_1$  と  $C_2$  の和ですから、 $C_{1-2} = C_1 + C_2$  と簡単に求まります。そのうえで、 $C_{1-2}$  と  $C_3$  の直列接続の合成静電容量を計算します。すなわち、

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_{1-2}} + \frac{1}{C_3}} = \frac{1}{\frac{C_3 + C_{1-2}}{C_{1-2} \times C_3}} = \frac{C_{1-2} \times C_3}{C_3 + C_{1-2}}$$

となります。

### ●静電容量の単位

コンデンサの記号は  $C$ 、静電容量の単位は F(ファラッド)ですが、この F は実用上は大きすぎるので、実際には  $\mu F$ (マイクロファラッド)や  $pF$ (ピコファラッド)が使われます。 $\mu F$  の  $\mu$  は  $10^{-6}$  の補助単位で、 $pF$  の  $p$  は  $10^{-12}$  の補助単位です。

例えば、 $5 \mu F$  といえば  $5 \times 10^{-6} [F]$ 、 $20 pF$  といえば  $20 \times 10^{-12} [F]$  ということになります。

## 1-2 磁 気

### 1-2-1 磁 石

天然に産出する鉄鉱石の一種の磁鉄鉱は、鉄を引き付ける性質を持っています。このような性質を持ったものが磁石で、その性質の元になっているものを磁気といいます。磁石は、磁気を帯びているとか帶磁しているといいます。

自由に動ける棒磁石は、地球の南北を指します。この場合、北を指したほうをN極、南を指したほうをS極といいます。

### 1-2-2 磁界におけるクーロンの法則

二つの磁石のN極とN極、またはS極とS極を近づけると、互いに反発力が作用します。また、二つの磁石のN極とS極とを近づけると、互いに吸引力が作用します。すなわち、同種の磁極は互いに反発し、異種の磁極は互いに吸引し合います。

クーロンは静電気におけるクーロンの法則を発見しましたが、同じように磁界における法則も発見しました。

『二つの磁極間に働く力は、二つの磁極の強さの積に比例し、それらの間の距離の2乗に反比例する』

この法則は、二つの磁極間に働く力を $F[N]$ （ニュートン）、磁極の強さをそれぞれ $m_1[Wb]$ （ウェーバ）、 $m_2[Wb]$ 、距離を $r[m]$ とすると、

$$F = K \frac{m_1 m_2}{r^2} [N] \quad \dots \dots \dots \quad 1-16$$

のようになります。ここで、 $K$ は比例定数です。

#### ●真空中の場合

式1-16の比例定数 $K$ は、真空中では、

$$K = \frac{1}{4\pi\mu_0} = \frac{1}{4\pi \times 1.257 \times 10^{-6}} \doteq 6.33 \times 10^4 \quad \dots \dots \dots \quad 1-17$$

となります。この式の $\mu_0$ を真空中の透磁率といい、式1-17でわかるように、

$$\mu_0 = 1.257 \times 10^{-6}$$

です。そこで、真空中で  $m_1$  と  $m_2$  に働く力  $F$  は、

$$F = \frac{1}{4\pi\mu_0} \times \frac{m_1 m_2}{r^2} \doteq 6.33 \times 10^4 \times \frac{m_1 m_2}{r^2} [\text{N}] \quad \dots\dots\dots 1-18$$

となります。

### ●任意の媒体の場合

任意の媒体の透磁率を  $\mu$  とすると、 $\mu$  と真空中の透磁率  $\mu_0$  の比を比透磁率といい、これを  $\mu_s$  で表します。 $\mu$  と  $\mu_0$ 、 $\mu_s$  の間には、

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \mu_s \quad \therefore \mu = \mu_0 \mu_s \quad \dots\dots\dots 1-19$$

のような関係があります。

すると、任意の媒体において  $m_1$  と  $m_2$  に働く力  $F$  は、

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{4\pi\mu} \times \frac{m_1 m_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\mu_0 \mu_s} \times \frac{m_1 m_2}{r^2} \\ &= \frac{1}{4\pi\mu_0} \times \frac{m_1 m_2}{\mu_s r^2} \doteq 6.33 \times 10^4 \frac{m_1 m_2}{\mu_s r^2} [\text{N}] \end{aligned} \quad \dots\dots\dots 1-20$$

のようになります。

この式 1-20 が磁界におけるクーロンの法則を示す一般式です。なお、真空中では  $\mu_s = 1$ 、空気中でも  $\mu_s \doteq 1$  として実用上差し支えありません。

### 1-2-3 磁界と磁力線

磁石の近くへ磁針を持っていくと、磁針が動きます。このように磁極の作用の及ぶ範囲を、磁界または磁場といいます。そして、磁界の中に 1[Wb] の正磁極（単位正磁極という）を置いたとき、これに作用する力の大きさと方向によって、その点における“磁界の強さ”と“磁界の方向”を決めます。

また、MKS 単位では、磁界内に 1Wb の磁極を置いたときにこれに作用する力が 1N であるとき、その点の磁界の強さを 1A/m (アンペア毎メートル) としています。

図 1-12 のように磁界内で小さい磁針を動かすと、磁針を置く点によって磁針の指す方向はいろいろ変わります。そして、多くの点に磁針を動かしてみてその点における磁針の示す方向に短い直線を引き、それらをなめらかに結ぶと曲線になります。

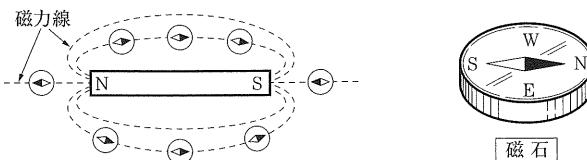


図 1-12 磁力線

すなわち、磁界内の各点において磁界の方向を示す短い直線を引き、これらをつなげば一つの曲線が得られます。これを、磁力線といいます。

ファラデーとマクスウェルは、磁力線について次のように考えることを提案し、これが現在、磁力線の性質と考えられています。

- (1) 磁力線は N 極から出発して S 極に終わる。
- (2) 磁力線は途中でわかれたり、交わることはない。
- (3) 磁力線はその長さの方向に（ゴムひものように）締まろうとし、また、長さと直角な方向に対して相互に反発する。
- (4) 磁界中の任意の点を通る磁力線の接線は、その点の磁界の方向を示す。
- (5) 磁界中の任意の点における磁力線の密度（単位面積内の磁力線の数）はその点の磁界の強さを表す。すなわち、磁界の強さが  $H$  [A/m] のところは、その点で磁界の方向に直角な  $1\text{m}^2$  の面積あたりに  $H$  [本] の磁力線が通っていると考える。

\*

磁界の強さは磁界中のある点に  $1\text{Wb}$  の正磁極（N 極）を置いたときに、それに働く力の大きさで表し、磁界の強さを表す記号は  $H$ 、単位は [A/m] です。

真空中において、 $m$  [Wb] の正磁極から  $r$  [m] 離れた点 P に  $1\text{Wb}$  の正磁極を置いてみましょう。するとクーロンの法則において  $m_1 = m$ 、 $m_2 = 1$  ですから、磁界の強さ  $H$  は、

$$H = \frac{m}{4\pi\mu_0 r^2} \quad [\text{A}/\text{m}] \qquad \dots \dots \dots \quad 1-21$$

のようになります。

#### 1-2-4 磁束と磁束密度

磁気によって生じる作用を定量的に扱うために、 $1\text{Wb}$  の磁極からは 1 本の磁束が出ているとし、これを  $1\text{Wb}$  の磁束といいます。また、磁束と直角な面積

$1\text{m}^2$ に何 [ $\text{Wb}$ ] の磁束があるかを磁束密度というもので表します。磁束密度の記号は  $B$ 、単位は [ $\text{Wb}/\text{m}^2$ ] となりますが、 $[\text{Wb}/\text{m}^2]$  を [T] (テスラ) と呼んでいます。

磁束密度  $B$  [T] と磁界の強さ  $H$  [A/m] および透磁率  $\mu$  の間には、

の関係があります。また、式1-21と式1-22から、

$$B = \mu_0 \mu_s \times \frac{m}{4\pi\mu_0 r^2} = \mu_s \times \frac{m}{4\pi r^2} \quad \dots\dots\dots 1-23$$

が得られます。なお、比透磁率  $\mu_s$  は空气中ではほぼ 1 です。

### 1-2-5 磁氣誘導

磁石の近くに鉄片を持ってくると磁化され、磁石のN極に近いほうはS極になり、反対の端はN極になります。そして、磁石は鉄片を吸引します。これを、磁気誘導といいます。

一般に、磁気誘導を生じる物質を磁性体といい、磁気誘導作用の特に強い物質、例えば鉄やニッケル、コバルトなどを強磁性体といいます。また、逆にアルミニウムのようにほとんど磁気誘導作用の生じないものを、非磁性体といいます。

一方、鉄のように磁石のN極に近いほうにS極を生じるように磁化されるものを常磁性体、その反対に銅やアンチモンなどのように、わずかですが磁石のN極に近いほうにN極を生じるように磁化されるものを反磁性体といいます。

### 1-2-6 磁気遮へい

鉄のような強磁性体で箱を作つてその中に電子部品を入れておくと、外部からの磁束はほとんど箱の中に入らず、また箱の内部でできる磁束は外部へ出ません。このように、箱の内部と外部を磁気的に絶縁することを、**磁気遮へい**といいます。磁気遮へいに用いる箱は、厚い材料を1枚使用するよりも薄い材料を2~3枚使用したほうがその効果をあげることができます。

### 1-2-7 漏れ磁束

磁気回路では電気回路と異なり、空気をはじめあらゆる物質が磁束に対しては導体と同じですから、磁束は予定の通路を通らずに空気中に漏れやすくなつ

ています。このように予定の通路を通らない磁束を、漏れ磁束(漏洩磁束ともい)うといいます。漏れ磁束は変圧器などでは損失になります。漏れ磁束があると相互誘導回路では結合係数が小さくなります。

### 1-3 電気と磁気の関係

#### 1-3-1 電流による磁界

電流の流れている導線に磁針を近づけると磁針が振れます。これら間の関係を表したのが有名なアンペアの法則とビオ・サバールの法則です。

##### ●アンペアの法則

アンペアの法則には、アンペアの右ねじの法則と、アンペアの周回路の法則の二つがあります。

まず、アンペアの右ねじの法則は、

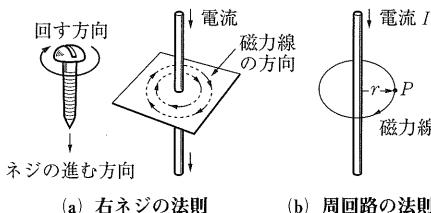
**『一つの右ねじをとて、ねじの進む方向に電流を流すと、ねじの回転する方向に磁力線ができる。』**

というものです。図1-13(a)のようになります。なお、電流の向きは図1-14のように表し、その場合には図のような磁力線ができます。

つぎに、図1-13(b)のように長くてまっすぐな導線に電流  $I$  [A] を流したとき、導線から垂直に  $r$  [m] 離れた点  $P$  の磁界の強さ  $H$  [A/m] は

$$H = \frac{I}{2\pi r} [\text{A}/\text{m}]$$

..... 1-24



(a) 右ねじの法則

図1-13 アンペアの法則

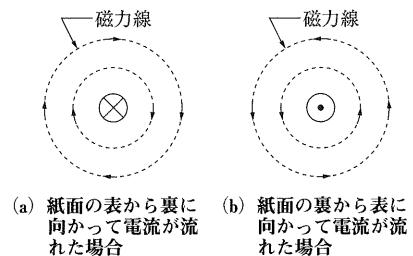


図1-14 電流の方向を表す方法

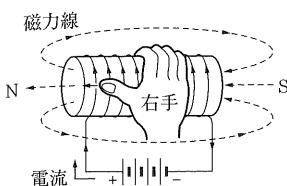


図 1-15 コイルに電流を流した場合

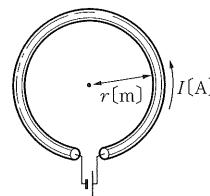


図1-16 1回巻きのコイル

のようになります。これがアンペアの周回路の法則です。

\*

コイルに図1-15のように電流を流した場合、右手の人差し指から小指を電流の方向に合わせると、親指がN極の方向を示します。

また、図1-16のように半径 $r$ [m]で1回巻きのコイルを作り、それに $I$ [A]の電流を流すと、コイルの中心における磁界の大きさ $H$ [A/m]は

$$H = \frac{I}{2r} \text{ [A/m]} \quad \dots\dots\dots 1-25$$

となります。

## ● ビオ・サバールの法則

電流によって作られる磁界の強さを求める基本になる法則に、ビオ・サバルの法則があります。ビオとその弟子のサバルの二人はいろいろな実験から、

『短い導線  $\Delta l$  [m] を流れる電流  $I$  [A] によって、導線から  $r$  [m] の距離にある P 点にできる磁界の大きさ  $\Delta H$  [A/m] はつぎの式で求められ、磁界の方向は点 P と導線とを含む面に垂直で、向きは右ねじの法則にしたがう.』  
のような法則をみつけました.

まず、図1-17(a)のようにP点が導線に直角な場合、磁界の大きさは

$$\Delta H = \frac{I \Delta \ell}{4\pi r^2} \text{ [A/m]} \quad \dots \dots \dots 1-26(a)$$

また、(b)のような場合には、

$$\Delta H = \frac{I \Delta \ell}{4\pi r^2} \sin \theta \quad [\text{A/m}] \quad \dots \dots \dots \quad 1-26(\text{b})$$

のようになります。

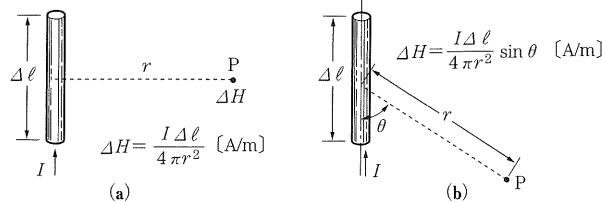


図 1-17 ビオ・サバールの法則

### 1-3-2 フレミングの左手の法則

図 1-18 (a) のように磁石を固定しておき、その磁界の中に電流の流れている導線を入れると、導線にはある方向の力が働きます。その関係を示すのがフレミングの左手の法則で、図 1-18 (a) のように導線に働く力の方向は磁界の方向と電流の方向の両者に対して直角となります。

フレミングの左手の法則は図 1-18 (b) から、

『左手の親指、人差し指、中指を互いに直角になるように曲げ、人差し指で磁界の方向を示し、中指で電流の向きを示すと、親指の向きに力が働く。』のようになります。

図 1-19 は磁界中にある導線に実際に電流を流した場合に発生する力を示した

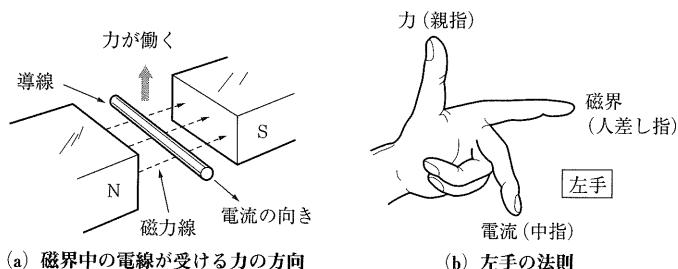


図 1-18 フレミングの左手の法則

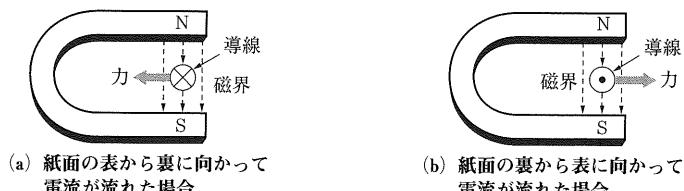


図 1-19 フレミングの左手の法則の応用

### 1-3 電気と磁気の関係

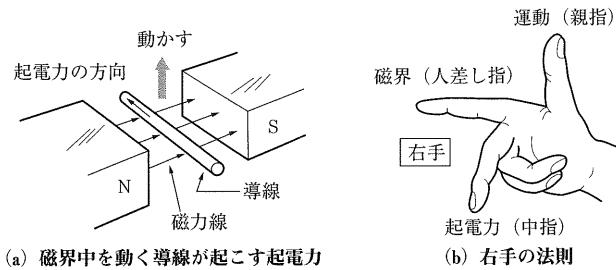


図 1-20 フレミングの右手の法則

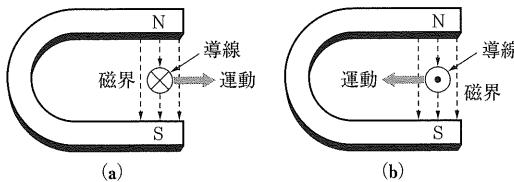


図 1-21 フレミングの右手の法則の応用

もので、フレミングの左手の法則を応用したものには電動機（モータ）や可動コイル型電流計、可動コイル型スピーカなどがあります。

### 1-3-3 フレミングの右手の法則

図 1-20 (a) のように磁界の中で導線を動かすと、導線に起電力が発生します。その関係を示すのがフレミングの右手の法則で、磁界の方向、導線を動かす方向、それに起電力の方向はそれぞれ互いに直角となります。

フレミングの右手の法則は図 1-20 (b) から、

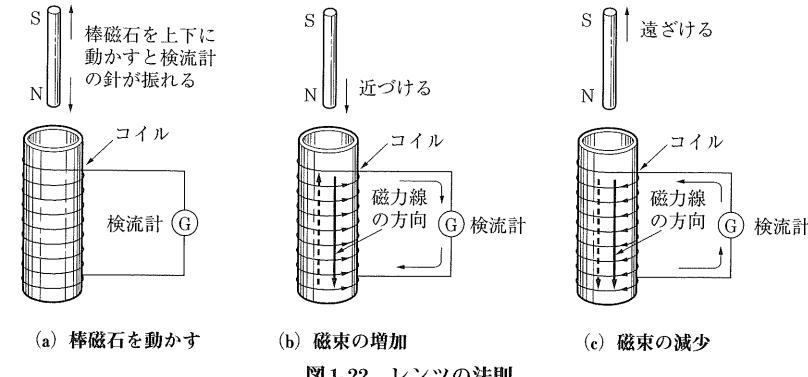
『右手の親指、人差し指、中指を互いに直角になるように曲げ、人差し指で磁界の方向を示し、親指で導線の動く方向を示すと、中指の示す向きに起電力が発生する。』

のようになります。

図 1-21 は磁界の中で導線を実際に動かしたときに導線に発生する起電力の様子を示したもので、発電機や可動コイル型マイクロホンに応用されています。

### 1-3-4 レンツの法則

図 1-22 (a) のようにコイルの両端に検流計 G をつないでおき、棒磁石を上ま



たは下に動かすと、棒磁石より出る磁束をコイルの導線が切れます。するとコイルの中に起電力が発生し、検流計Gの針が振れます。このような現象を、一般に電磁誘導といいます。そして、コイルの中に生じた起電力を誘導起電力といいます。

【中2理科・物理】電磁誘導と誘導電流(16分)

【高校物理】電磁気43電磁誘導(21分)

図1-22の実験をしてみると、つぎのようなことがわかります。

- (1) 棒磁石をコイルに近づけるときと遠ざけるときでは、Gの振れる向きが反対になる。すなわち、コイルに棒磁石を近づけるときと遠ざけるときでは起電力の向きが互いに反対になる。
- (2) 棒磁石を動かす速度が早いほど、Gはよく振れる。すなわち、起電力は大きくなる。

レンツは、以上のうち(1)の現象を、

『電磁誘導によって生ずる起電力は、磁束の変化を妨げる電流を生ずるような向きに発生する。』

のように表現しました。これが、レンツの法則です。

図1-22(b)のように棒磁石がコイルに近づくとき、棒磁石の磁束はコイル内で実線の向きに増加しようとします。すると、その増加を妨げようとしてコイルの中には点線で示す向きの磁束ができるような向きに起電力が発生します。

また、図1-22(c)のように棒磁石をコイルから遠ざけるとき、実線で示す棒磁石の磁束は減少しようとします。すると、その減少を妨げようとしてコイルの中には点線で示す向きの磁束ができるような向きに起電力が発生します。

### 1-3-5 鉄心におけるヒステリシス現象

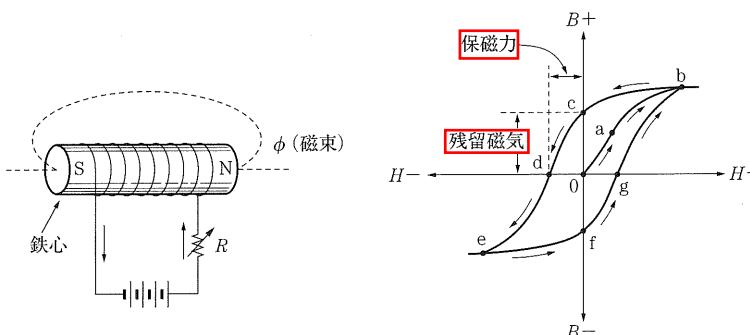
鉄心におけるヒステリシスというのは、鉄心を磁化する場合に磁界の強さを増加していくときの磁束密度の変化を示す曲線と、磁界を減少していくときの磁束密度の変化を示す曲線が一致しないことで、このような現象をヒステリシス現象、またヒステリシス現象を表すループをヒステリシス曲線といいます。

図1-23(a)のようにコイルの中に鉄心を入れ、コイルに電流を流したときのヒステリシス曲線を示したのが図1-23(b)です。図(b)の横軸はコイルの電流による磁界の強さ $H$ で、縦軸は単位面積 $1\text{m}^2$ 内における磁力線の数、すなわち磁束密度 $B$ です。

まったく磁化されたことのない鉄をコイル内に入れて磁化するとき、磁化は原点0より始まります。そして、コイルを流れる電流を増加すると磁界の強さも強くなり、 $0 \rightarrow a \rightarrow b$ となってbで飽和します。

つぎに、電流を減少させて磁界の強さを弱くしていくと元の曲線をたどらずに $b \rightarrow c$ のようになります。ここで、cでは電流がゼロになり、コイルの発生する磁界もゼロなのに鉄心には磁気が残ります。このときの縦軸の0からcまでの値を、残留磁気といいます。

では、コイルに流す電流の向きを逆にして電流を増加させてみましょう。すると曲線は $c \rightarrow d$ をたどりますが、残留磁気を打ち消して磁束密度をゼロにするには、電流を流して磁界を発生させなければなりません。このときの横軸の0からdまでの値を、保磁力といいます。



(a) 鉄心に巻いたコイルに電流を流し鉄心を磁化する

(b) ヒステリシス曲線

図1-23 ヒステリシス現象

このあと、電流を増加していくと磁束密度はeで飽和し、電流を減少させてゼロにするとe→fをたどります。ここで電流の方向を元に戻して電流を増加させるとg→bと進み、ヒステリシス曲線は元に戻ります。

ヒステリシス曲線をみると、鉄心の性質がわかります。図1-23 (b) のループの面積が狭いものは変圧器の鉄心として使用すると都合がよく、ループの面積の広いものは永久磁石の材料に向いています。

### 1-3-6 磁気ひずみ現象

一般に、磁性体にひずみ力（物理的な大きさを変えるような圧力または張力）を加えると、その磁化の状態が変化します。これを、ピラリ現象といいます。また逆に、磁性体の磁化の強さを変化させると、ひずみ（伸びまたは縮み）がれます。これを、磁気ジユール現象といいます。これらのピラリ現象と磁気ジユール現象をあわせて、磁気ひずみ現象といっています。

磁性体に、その物体の物理的な固有振動数に一致するような周期の交流の磁界を加えると、物体が弾性と慣性によって共振を起こします。これを利用したもののが一つが、メカニカルフィルタです。

### 1-3-7 うず電流

図1-24のように磁束が金属板を貫いている場合、金属板の中には磁束が変化するとその磁束の変化を妨げるような向きに電流が流れます。これを、うず電流といいます。

うず電流の向きは、図1-24 (a) や図(b) に示したように磁束が増加するときと減少するときでは互いに逆向きになっています。

金属板の中をうず電流が流れると電力損失が起こり、ジュール熱を発生して

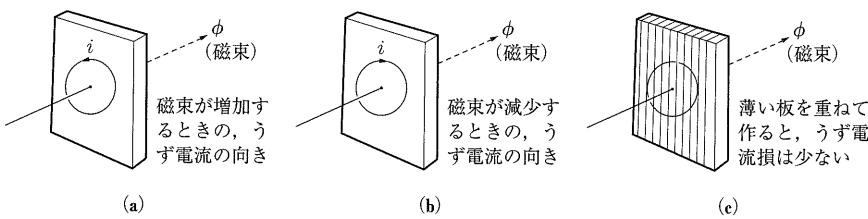


図1-24 うず電流

金属板の温度を上昇させます。この電力損失を、うず電流損といいます。

変圧器の鉄心は、図1-24(c)のように薄い鉄板を何枚も積み重ねていわゆる積層鉄心とし、うず電流損を少なくしています。また、高周波ではさらにうず電流損の少ない圧粉鉄心(ダストコア)を用います。

### 1-3-8 自己誘導作用

コイルに電流が流れているとき、コイルには磁束が発生しており、その磁束はコイル自身を切っています。

このとき、コイルを流れる電流が変化すると、レンツの法則によって電流の変化を妨げる向きにコイルに起電力を生じます。この現象を、自己誘導作用といいます。

いま、 $\Delta t$ [秒]間に $\Delta I$ [A]の電流が変化すると、コイル内に生ずる起電力 $e$ [V]は、

$$e = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad [V] \quad \dots \dots \dots \quad 1-27$$

となります。

ここで $L$ は比例定数で、これを自己インダクタンスといいます。 $L$ の単位はH(ヘンリー)を使用します。また、1秒間に1Aの電流が変化したときに、1Vの起電力を生じるようなコイルのインダクタンスが1Hです。

図1-25のような円筒形のコイルのインダクタンスは、コイルの直径を $2r$ 、コイルの長さを $\ell$ 、巻き数を $n$ とすると、

$$L = K \frac{\mu \pi r^2 n^2}{\ell} \quad \dots \dots \dots \quad 1-28$$

のようになります。ここで、 $K$ は長岡係数と呼ばれるものです。

式1-28から、コイルのインダクタンスはコイルの巻かれている物質の透磁率 $\mu$ と断面積( $\pi r^2$ )、それに巻き数 $n$ の2乗に比例し、コイルの長さに反比例することがわかります。

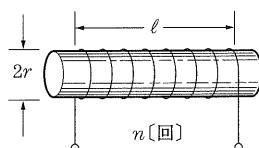


図1-25  
コイルのインダクタンス

### 1-3-9 相互誘導作用

図1-26のように二つのコイル $L_1$ と $L_2$ を互いに近づけて置き、 $L_1$ に流れる電流を変化させると、 $L_2$ に起電力を生じて検流計Gの針が振れます。このように、一方のコイルの電流が変化すると、そのコイルから出ている磁束が切っている他のコイルに起電力を生ずるような作用を、相互誘導作用といいます。

図1-26において、一方のコイル $L_1$ を流れる電流が1秒間に1Aの割合で変化したときに、もう一方のコイル $L_2$ に1Vの起電力が生じるとき、 $L_1$ と $L_2$ の間の相互インダクタンスは1Hとなります。

ここで注意することは、図1-26においてスイッチを開閉して $L_1$ に流れる電流が変化した瞬間（磁束 $\phi$ が変化した瞬間）だけ、 $L_2$ に起電力を生じるということです。スイッチを入れたままにすると $L_1$ に磁束は生じますが、それが変化しないため、もう $L_2$ には起電力は生じません。

さて、 $L_1$ に流れる電流が $\Delta t$ [秒]間に $\Delta I$ [A]だけ変化した場合、 $L_2$ に生ずる起電力 $e$ [V]は、

$$e = -M \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad [V] \quad \dots \dots \dots \quad 1-29$$

ようになります。この $M$ は比例定数で、これを相互インダクタンスといい、単位はH(ヘンリー)です。

一般に、 $M$ は $M < \sqrt{L_1 L_2}$ の関係があり、

$$M = k \sqrt{L_1 L_2} \quad \dots \dots \dots \quad 1-30$$

とおいたとき、比例定数 $k$ を結合係数といいます。

図1-27のように二つのコイル $L_1$ [H]と $L_2$ [H]を直列に接続し、その間の相互インダクタンスが $M$ [H]だとすると、端子AB間の合成インダクタンス $L$ [H]は、 $L_1$ と $L_2$ に生ずる磁束の向きが同一のときは

$$L = L_1 + L_2 + 2M \quad \dots \dots \dots \quad 1-31$$

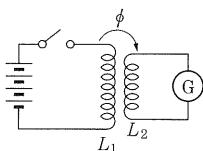


図1-26 相互誘導

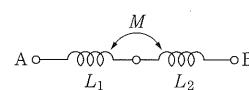


図1-27 コイルの直列接続

で、 $L_1$ と $L_2$ に生ずる磁束の向きが逆のときは

$$L = L_1 + L_2 - 2M \quad \dots \dots \dots 1-32$$

のようになります。

## 1-4 いろいろな電気現象

### 1-4-1 壓電効果

電気石やロッセル塩、水晶などの結晶体から切り出した板に図1-28(a)のように圧力を加えると、誘電分極が生じて圧力に比例した電荷が現れます。その結果、板の一方の面がプラス、他の面がマイナスに帯電します。また、図1-28(b)のように板に引っ張りの力を加えると、図(a)とは逆方向にプラスとマイナスに帯電します。このような現象を、圧電直接効果といいます。

これと反対に、それらの板の両面に電圧を加えると図1-29のように伸びたり縮んだりします。この現象を圧電逆効果といい、図(a)のように電圧を加えた場合に板が伸びたとすると、図(b)のように電圧の極性を逆にすると板は縮みます。

このような圧電直接効果と圧電逆効果を合わせて、圧電効果や圧電現象、あるいはピエゾ電気効果と呼んでいます。

圧電効果のある物質は、電気石やロッシェル塩、水晶などです。このうちロッシェル塩は圧電効果が最も大きい物質ですが、湿気に弱く、物理的にもろいものです。また、電気石は良好な結晶が得られないという欠点があります。

水晶は三者のうちでもっとも圧電効果が小さい物質ですが、物理的に強く、また良好な結晶体が容易に得られるため、水晶振動子として広く利用されています。

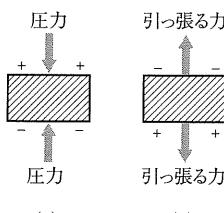


圖 1-28 壓電直接効用

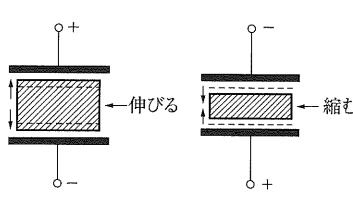


圖 1-30 壓電逆轉用

ます。

水晶振動子では水晶片の両面に交流（または高周波）電圧を加えると圧電逆効果のため伸縮振動をします。すると、それによって同時に圧電直接効果のために水晶片の表面に電荷が現れ、外部から加えた電圧に対して逆起電力の働きをします。

その結果、外部から加えた交流の周波数と水晶片の固有周波数が一致すると圧電効果は大きくなり、共振したことになります。この原理を応用したものが、水晶発振器です。

また、セラミックなどの誘電体に電界をかけると、その誘電体は伸び縮みをします。この現象を電気ひずみ現象や電気ひずみ効果といい、セラミック共振子に応用されています。

#### 1-4-2 ゼーベック効果

銅線と鉄線など異なった金属で図1-30のように閉回路を作り、その二つの接続点XとYを異なる温度にすると、その回路に電流が流れます。この場合、回路を流れる電流を熱電流といい、熱電流を生じる起電力を熱起電力といいます。そして、このような現象をゼーベック効果（熱電流現象または熱電効果ともいう）と呼んでいます。

また、熱電流を生ずる2種の金属の組み合わせを熱電対といい、その組み合わせには次のようなものがあります。

銅…コンスタンタン    クロメル…アルメル    白金…白金ロジウム

ゼーベック効果を応用したものには、高周波電流計として使用する熱電电流計があります。これは、図1-30の一方の接点Xを高周波電流により加熱し、図1-31のようにして熱電対に流れる熱電流を可動コイル型の直流電流計で測定して空中線電流の大きさを知るようになっています。

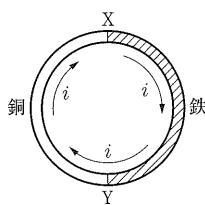


図1-30 ゼーベック効果

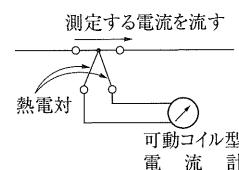


図1-31 热電電流計

図1-30の接点Yの温度を一定に保っておき、接点Xを測定しようとする温度のところへもっていくと、熱電流の大きさによってその温度を知ることができます。このように、熱電効果を応用して温度の測定をすることもできます。

ゼーベック効果と類似のものに、次のようなものがあります。

### ●ペルチェ効果

一定の温度に保たれた異種の2金属の接点に電流を流すと、その電流の向きによって、熱を発生したり吸収(冷却)したりします。これを、ペルチェ効果といいます。

### ●トムソン効果

1種類の金属でも2点の温度が異なると、その金属に電流を流すと熱を吸収または発生します。これを、トムソン効果といいます。

## 1-4-3 表皮効果

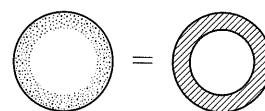
1本の導線に交流(高周波)電流を流すと、周波数が高くなるにつれて図1-32(a)のように導体の中央部分には電流が流れにくくなり、導体表面にのみ電流が流れるようになります。これを、表皮効果といいます。

表皮効果のために電流が導線の表面のみに流れると、実質的に導線の断面積が図1-32(b)のように小さくなったのと同じで、導線の抵抗が増加します。すなわち、導線内における電力損失が増加します。この損失を軽減するため、大電力の送信機で使われるコイルは中空の銅管を使用し、さらにその表面に銀メッキを施して使用しています。

表皮効果は周波数が高くなるにしたがって大きくなりますから、VHFやUHF帯の送信機ではコイルを作るときに注意しなければなりません。

## 1-4-4 接触電位

二つの物質、例えば亜鉛と銅を接触させると、亜鉛にプラス、銅にマイナスの電気が現れます。このような作用によっ



導線の表面だけ  
電流が流れる

導線の断面積が  
小さくなつたのと  
同様である

(a) (b)

図1-32 表皮効果

⊕	亜鉛	鉛	錫	鉄	銅	銀	金	白金	炭素	燐	⊖
---	----	---	---	---	---	---	---	----	----	---	---

図1-33 ボルタの列

て現れる電位を、接触電位差といいます。

接触電位差は非常に小さいものなので、それで豆電球を点燈するなどということはできませんが、高感度の受信機や増幅度の大きい低周波増幅器などでは雑音の原因となり、S/N(信号対雑音比)を低下させます。

接触電位差の原因是、つぎのように考えられています。すなわち、金属などの導体内には自由に動くことができる自由電子を単位体積内に一定数含んでいますが、それは導体の種類によって異なっています。そこで2種の異なった導体を接触させると自由電子が接触面を通して拡散しますが、結局一方の導体に多くの自由電子が進入し、自由電子を多く得たほうの導体がマイナスに帯電し電子を失ったほうがプラスに帯電して接触電位差を生ずると考えられます。

接触電位差は接触面積に無関係で、金属の物理的性質や温度などに関係するものです。これを表したものに、図1-33のようなボルタの列というものがあります。例えば、亜鉛と鉄を接触させると亜鉛がプラスで鉄がマイナスになり、鉄と炭素を接触させると鉄がプラスで炭素がマイナスになります。また、その電位差はボルタの列で離れているほど大きくなります。

## 1-5 基本的な電子部品

### 1-5-1 導体と絶縁体

電気を通す導体と電気を通さない絶縁体は、配線コードやプリント基板などの電子部品の基本となるものです。

電気をよく通す導体とほとんど通さない絶縁体との間にははっきりした区別があるわけではありませんが、普通は抵抗率が $10^{-4} [\Omega \cdot m]$ くらいより小さいものを導体といい、また抵抗率が $10^8 [\Omega \cdot m]$ より大きいものを絶縁体といいます。なお、抵抗率についてはこの後の『1-5-2 抵抗器』の項を参照してください。

金属は電気をよく通す導体で、銀や金は電気をよく通すので特殊な用途に使

われますが、一般的には銅やアルミニウムが使われます。

一方、絶縁材料として使われる絶縁体には、マイカやセラミック、各種のプラスチックなどがあり、空気も良好な絶縁体です。絶縁材料は絶縁抵抗が大きく、絶縁耐力が高いこと、また電気的損失が少ないことが必要です。

導体と絶縁体の間には半導体と呼ばれるものがありますが、これについては第3章で説明します。

### 1-5-2 抵抗器

抵抗というのは電流の流れにくさを表すもので、抵抗器というのはあらかじめ決められた値の抵抗を持つように作られた電子部品です。抵抗器の例を写真1-1に示します。

抵抗のことは電気抵抗ともいいますが、導線の長さを  $\ell$  [m]、断面積を  $S$  [ $m^2$ ] とすると抵抗  $R$  [ $\Omega$ ] は、

$$R = \rho \frac{\ell}{S} \quad [\Omega] \quad \dots \dots \dots \quad 1-33$$

のようになります。 $\rho$  は材質と温度によって決まる物質固有の比例定数で、これを抵抗率（または固有抵抗）といいます。式1-33から、抵抗は導線の長さ  $\ell$  に比例し、断面積  $S$  に反比例することがわかります。

抵抗器を大別すると、抵抗値が決まっていて変えられない固定抵抗器（写真1-1）と、抵抗値を変えられる可変抵抗器（写真1-2）があります。普通、抵抗器といえば固定抵抗器のことを指します。

固定抵抗器として一般に広く用いられているのは、炭素皮膜抵抗器や金属皮

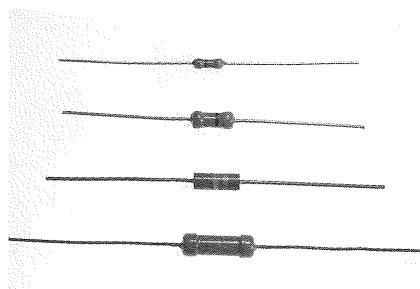


写真1-1 固定抵抗器

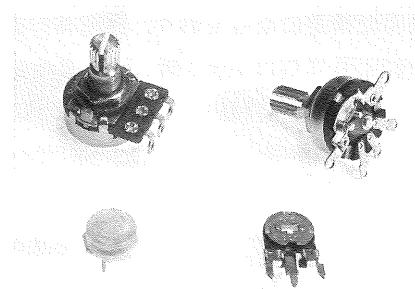


写真1-2 可変抵抗器の例



(a) 固定抵抗器の回路図記号 (b) 可変抵抗器の回路図記号

図 1-34 抵抗の回路図記号

膜抵抗器です。また、電力用のものには磁器の筒に抵抗線を巻いて作った巻線抵抗器もあります。

抵抗器の回路記号は、図 1-34 のようになります。図 (a) は抵抗値が決まっていて変えられない固定抵抗器の場合で、記号は  $R$ 、単位は  $\Omega$  です。図 (b) は抵抗値を変えられるように作られた可変抵抗器で、記号は  $VR$  です。

抵抗の基本単位は  $\Omega$  (オーム) ですが、これより大きい値を扱う場合には  $k\Omega$  (キロオーム) や  $M\Omega$  (メガオーム) が使われます。なお、 $k$  は  $10^3$  の補助単位、また  $M$  は  $10^6$  の補助単位です。

抵抗器には抵抗値のほかに定格電力が決まっており、定格電力を超えて使うと抵抗器を焼損します。抵抗器に電流が流れると電力を消費しますが、どれくらいの電力に耐えられるかを表すのが定格電力です。定格電力の単位は  $W$  (ワット) で、小形のもので  $\frac{1}{4} W$  や  $\frac{1}{2} W$ 、電力用になると数  $W$  から数十  $W$  以上のものまであります。

### 1-5-3 コンデンサ

コンデンサは、あらかじめ決められた静電容量を持つように作られた電子部品です。写真 1-3 にコンデンサの例を示します。

コンデンサは金属板の間に誘電体を挟んだ構造になっており、誘電体の種類により空気コンデンサ、セラミックコンデンサ、各種のフィルムコンデンサ、電解コンデンサなどに大別できます。

空気コンデンサは誘電体に空気を用いたもので、同調用の可変コンデンサはその例です。

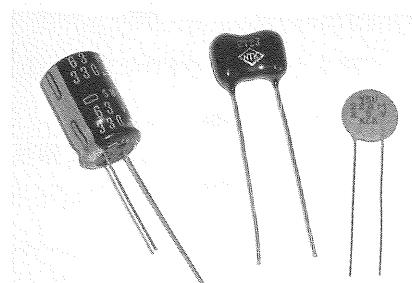


写真 1-3 コンデンサの例

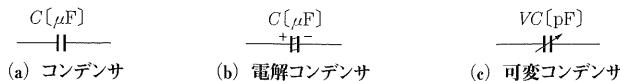


図 1-35 コンデンサの回路図記号

セラミックコンデンサはセラミックを誘電体としたもので、大きな静電容量が得られる高誘電率系と温度補償用の二種類があります。共に高周波特性が良いので無線機などで使われますが、高誘電率系のものは温度係数が大きいので使用にあたっては注意が必要です。

フィルムコンデンサはスチロール、ポリカーボネートなどのフィルムを誘電体としたもので、電極と誘電体を重ねて巻いた巻き型と、電極と誘電体を積み重ねた積層型があります。巻き型は高周波特性が良くないので低周波用ですが、積層型は高周波でも使われます。

電解コンデンサは化学作用で作られた酸化皮膜を誘電体としたもので、そのためにプラス・マイナスの極性があります。静電容量の大きなものが作れるのが特徴で、もっぱら電源回路や低周波で使われます。

コンデンサの回路記号は、図 1-35 のようになります。図 (a) と図 (b) は静電容量が決まっていて変えられない固定コンデンサの場合で、図 (a) は一般のコンデンサ、図 (b) は電解コンデンサの場合です。電解コンデンサの場合には、プラス・マイナスの極性をつけます。図 (c) は、静電容量を変えられるように作られた可変コンデンサです。

コンデンサの記号は、固定コンデンサは  $C$ 、可変コンデンサの場合は  $VC$  が使われます。また、静電容量の基本単位は  $F$  (ファラード) ですが、実際には大きすぎるので  $\mu F$  (マイクロファラード) や  $pF$  (ピコファラード) が使われます。なお、 $\mu$  は  $10^{-6}$ 、 $p$  は  $10^{-12}$  の補助単位です。

コンデンサの静電容量は一般に  $\mu F$  で表されますが、図 1-35 に示した同調用の可変コンデンサは静電容量が小さいので  $pF$  で表示されています。

コンデンサでは静電容量のほかに定格電圧が決まっており、定格電圧を超えて電圧を加えると絶縁物(誘電体)が破損します。定格電圧はコンデンサにもよりますが、普通は数Vから数百Vといったところです。

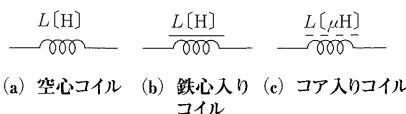


図1-36 コイルの回路図記号

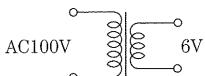


図1-37 トランスの回路図記号

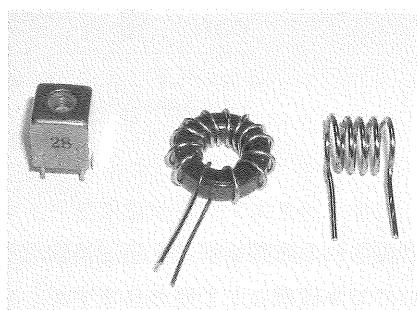


写真1-4 高周波回路で使われるコイルの例

#### 1-5-4 コイル、インダクタ

コイルはインダクタンスを持つように作られた電子部品で、大きく分けると同調コイル、チョークコイル、それにコイルの応用として各種のトランスがあります。写真1-4に主なコイル、インダクタを示します。

**同調コイル**はコンデンサと組み合わせて共振回路を作りますし、**チョークコイル**はコイルの持つリアクタンスを利用してノイズ対策などに使われます。各種のトランス（変圧器）には、電源トランスやパルストラント、高周波トランスなどがあります。

図1-36はコイルの回路図記号を示したもので、図(a)は空心コイル、図(b)はコア（鉄心）入り、図(c)はダストコア入りの場合です。インダクタンスは、コイルの中にコアを入れると増えます。空心とダストコア入りは、もっぱら高周波用です。

コイルの記号は $L$ 、インダクタンスの単位はH（ヘンリー）ですが、基本単位のHでは大きすぎるので、実際にはmH（ミリヘンリー）や $\mu\text{H}$ （マイクロヘンリー）が使われます。

図1-37は、トランスの回路図記号を示したものです。トランスにはさまざまなものがあり、用途に応じて書き方が違ってきます。図1-37は、AC100Vから6Vを得る電源トランスの場合の例です。