

4.キルヒホッフの法則

I. 複雑な電気回路になると、開路が網の目のようになっているので、これを**回路網**といい、その一つ一つの閉じた回路を**網目**、あるいは**閉路**と呼ぶ。この回路網を解く一つの方法として**キルヒホッフの法則**がある。

II. 起電力の正負と電圧降下の向き

下図(a)のように起電力Eの電池があるとき、矢印の向きの起電力を正とすれば、矢印の方向に電流を流すので、+Eの起電力と考えられる。しかし、下図(b)の向きの起電力を正とすれば、起電力は-Eとなる。

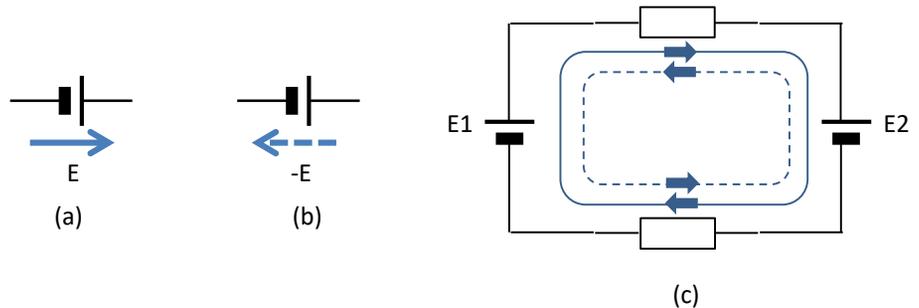
従って図(c)のような場合は、回路全体の起電力は、実線の向きに一周する起電力を正とした場合、

$$E1 + (-E2) = E1 - E2$$

であり、逆に破線の方向に一周する向きの起電力を考えれば、

$$-E1 + E2$$

となり、各起電力の代数和を求めればよいことになる。

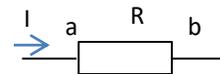


図のような抵抗Rに電流Iがa端からb端に向かって流れている時、電位はa端からb端に向かって降下し、IRの電圧降下が生じる。電圧降下は

電流と同じ向きの時 +IR

電流と反対向きの時 -IR

と考えることができる。



III. キルヒホッフの第1法則

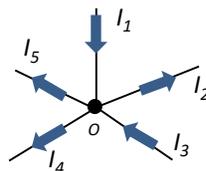
回路網の中のある接続点では、その点の流れ込む電流の総和と、流れ出る電流の総和は相等しい
または
電気回路中の接続点に流入する電流の代数和は0である。

例えば、下図のような場合では、接続点Oに適用すれば

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4 + I_5$$

または、

$$I_1 + I_3 - I_2 - I_4 - I_5 = 0$$



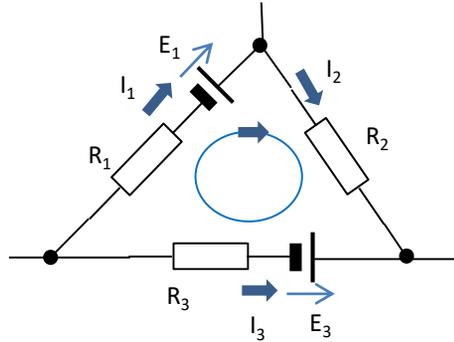
4.キルヒホッフの法則

IV. キルヒホッフの第2法則

回路網中の任意の閉回路を一定方向に一周したとき、その閉回路中の起電力の総和と電圧降下の総和は等しい。

例えば、下記の回路であれば

$$E_1 - E_3 = I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3$$



キルヒホッフによる回路の解きかた例

右図の回路網の電流をもとめる。

b点での電流を右下図のように $I_1 \sim I_3$ とすれば

$$I_3 = I_1 + I_2$$

網目①、②を図のようにとれば

$$0.2I_1 - 0.1I_2 = 4 - 1.9$$

$$0.1I_2 + 0.8I_3 = 1.9$$

整理して

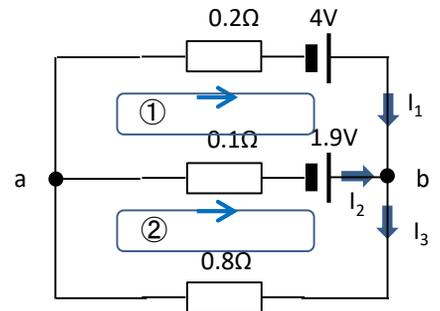
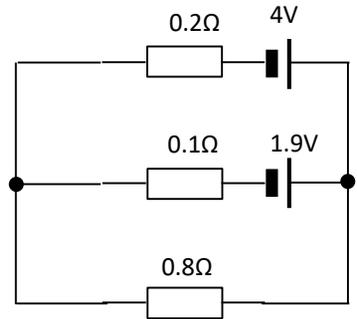
$$0.2I_1 - 0.1I_2 = 2.1$$

$$0.8I_1 + 0.9I_2 = 1.9$$

連立方程式を解いて

$$I_1=8A, I_2=-5A, I_3=3A$$

I_2 は符号が一なので、図に示した方向とは逆に流れることになる。



5.電力

I. 電気エネルギー

電流が流れて電灯が点いたり、モータが回転したりするのは、電気が仕事をしたためであり、この仕事は**電気エネルギー**により行われたものである。

この仕事は、電圧の定義により、「2点間に1Vの電圧を加え、1Cの電荷量が移動すると1Jの仕事をする」ということができる。従って、V[V]を加え、Q[C]の電荷が移動したときの電気エネルギーは

$$\text{電気エネルギー} = VQ = VIt \quad [J]$$

II. 電力

1秒間に電気のする仕事量を**電力**といい**ワット[W]**という単位を使用する。

また、1ワットとは、1秒間に1ジュールの仕事をする量でもあるので、1ワットはジュール/秒[J/s]の単位と同じである。

V[V]の電圧を印加し、t秒間にQクーロンの電荷が移動したときの電力Pは

$$P = \frac{VQ}{t} \quad [W]$$

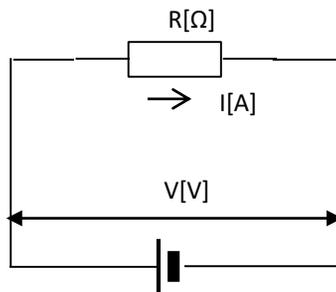
となり、Q/tは電流I[A]を表すので、以下のようにも表される。

$$P = VI \quad [W]$$

従って例えば、下図のような回路の場合、電力は、

$$P = VI = I^2R \quad [W]$$

で表される。



III. 電力量

電気の仕事、つまりエネルギーはVQ[J]で表されるが、この電気のエネルギーを**電力量**といい、Wとすれば

$$W = VQ \quad [J]$$

また、I[A]がt秒間流れれば、Q=Itであり、電力P=VIであるので

$$W = VIt = Pt \quad [J]$$

Pはワット、tは秒なので、ジュールはワット・秒[W・s]と同じとなる。

時間に秒の単位を持った単位は小さいので、時間に時を持った**ワット時[Wh]**、この1000倍の**キロワット時[kWh]**の単位がよく用いられる。

$$1Wh = 3600J \quad (\text{あるいは } W \cdot s)$$

$$1kWh = 1000Wh$$

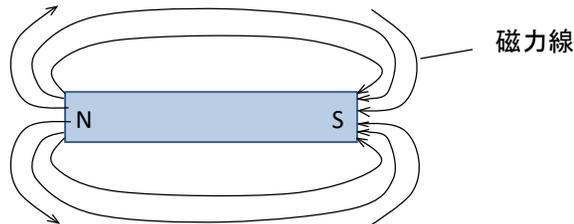
6.磁気の性質

I. 磁極

磁石の両端は極めて磁性が強いが、この部分を**磁極**といい、両極を連結した線を磁軸という。

方位磁石は南北を指して静止するが、この時、北の方向を向く磁極を**N極**または正(+)**極**、南の方向を向く極を**S極**または負(-)**極**という。

磁極の間には力が働き、**異極の磁極は互いに吸引し、同極の磁極は互いに反発する**。このように磁極の間に働く力を**磁気力**という。



II. 磁極の強さ

磁極の強弱を表すのに、**磁極の強さ**という言葉を用い、**ウェーバー[Wb]**という単位で表す。

これはまた、電荷に対応する意味で**磁荷**という。



III. 磁極のクーロンの法則

二つの磁極の間に生ずる磁気力について、磁極の大きさが磁極間の距離に比べて非常に小さければ、「**磁気力の方向は両磁極を結ぶ直線上にあり、その大きさは磁極の強さの相乗積に正比例し、磁極間の距離の二乗に反比例する**」

これを**クーロンの法則**という。

下図のように点磁極の強さ m_1, m_2 が距離 r であるとき、**磁気力 F** は以下に表される。

$$F \propto \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

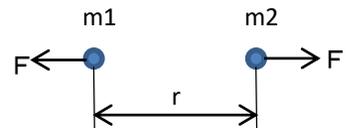
比例定数を k とおけば

$$F = k \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

真空中では、 $k=6.33 \times 10^4 [\text{Nm}^2/\text{Wb}^2]$

$6.33 \times 10^4 = 1/(4\pi\mu_0)$ とおけば、上式は以下の式で表される。

$$F_0 = \frac{m_1 m_2}{4\pi\mu_0 r^2} \quad [N]$$



ここで、 μ_0 は**真空の透磁率**といい、ヘンリー毎メートル[H/m]で表される。

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} = 12.56 \times 10^{-7} \left[\frac{H}{m} \right]$$

6.磁気の性質

一般に磁極がおかれた媒質の透磁率を μ とすれば、以下で表される。

$$F = \frac{m_1 m_2}{4\pi\mu r^2} \quad [N]$$

IV. 磁界と磁界の強さ

ある磁極が鉄片を吸収したり、他の磁石の磁極に磁気力を及ぼしたりする、磁気力の作用している空間を**磁界**、または**磁場**という。

この磁界の強弱を表すのに、**磁界の強さ**という言葉を用い、次のように定める。**磁界中の1点にその磁界を乱すことなく単極正磁極(+1Wb)を持ってきたと仮定したとき、これに作用する力(ニュートン)の大きさを磁界の大きさと定め、その力の働く方向を磁界の方向と定める。(ベクトル量)**

従って、磁界の強さは1Wb当たりのニュートン数であるので、N/Wbの単位となるが、後記コイルの磁界の強さにより、アンペア回数メートル[AT/m]あるいは**アンペア毎メートル[A/m]**の単位を用いる。

次に、磁極の強さ m [Wb]の点磁極から r [m]離れた真空中の磁界の強さについて考えてみる。

r [m]離れた P 点に+1Wbの単位点磁極をおけば、これに加わる力は、クーロンの法則から

$$F = \frac{m \times 1}{4\pi\mu_0 r^2} \quad [N]$$

従って磁界の強さ H は

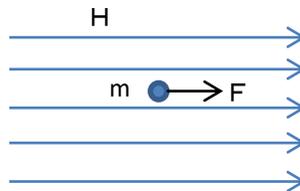
$$H = \frac{m}{4\pi\mu_0 r^2} \quad [A/m]$$



磁界の強さの定義より、ある点の磁界の強さが H [A/m]のところ、1Wbの磁極をおけば H [N]の磁気力を生じることになる。従って磁界の強さ H [A/m]の磁界の中に m [Wb]を持って来れば、これに加わる力 F は

$$F = mH \quad [N]$$

となる。



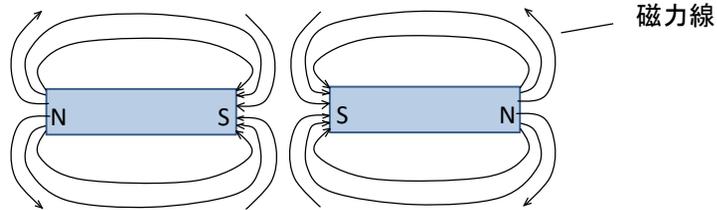
6.磁気の性質

V. 磁力線

磁界の様子を知るために、N極からでて、S極に終わる、連続する指力線を仮定し、これを磁力線という。これにより、その密度、接線の方向によって、磁界の大きさと方向を知ることができる。

磁力線の性質

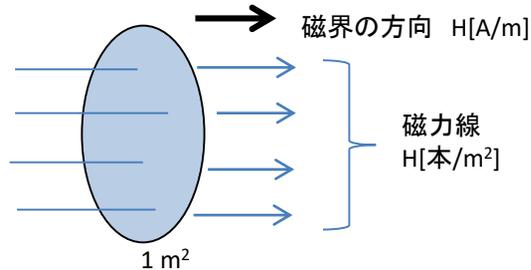
- N極からでて、S極に入る
- 同方向の磁力線どうしは反発し、反対方向の磁力線どうしは引き合う。
- 磁力線どうしは交差しない。



磁界の強さと、磁力線の関係は、

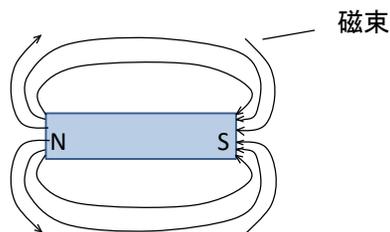
磁力線と直角な面の磁力線の密度が磁界の大きさと等しく、かつ磁力線の接線の方向が磁界の方向と一致する

と約束する。例えば、磁界の強さが $H[A/m]$ の点では、 $1m^2$ 当たり H 本の磁力線が垂直にとおり、方向が磁界の方向を表す。



VI. 磁束と磁束密度

磁力線は物質(媒体)の条件(透磁率 μ (*1))により変わるので、磁力線を μ 倍した**磁束(Φ [Wb])(*2)**というものを考え、 $m[Wb]$ の磁極からは $m[Wb]$ の磁束が生じるとする。性質は磁力線と全くおなじである。



また、**磁束密度 B** というものを考え、面積 $S[m^2]$ の断面を垂直に Φ [Wb]の磁束が通っているとしたとき、以下の式で表される。単位は**テスラ[T]**(*3)を用いる。

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad [T]$$

本ページの参考文献: 新編 電気理論 I [東京電機大学出版局]
新入生のための電気工学 [東京電機大学出版局]

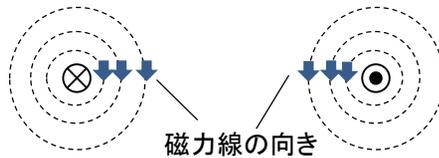
- *1) μ ミューと読む
- *2) Φ ファイと読む
- *3) 古くは Wb/m^2 と表記した

7.電流の磁気作用

I. 電流の作る磁界

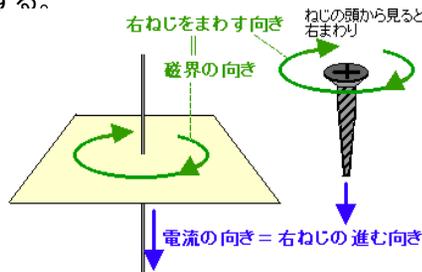
電流の方向を表す場合、紙面の表から裏に向かうときはクロス(⊗)、裏から表に向かうときはドット(⊙)を用いる。

電流と磁力線の向きを表すと下図のようになる。



II. 右ねじの法則

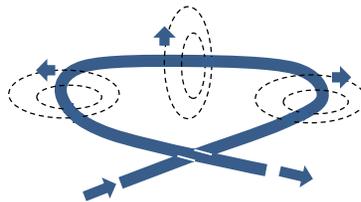
直流電線の場合、電流に沿って右ねじを置き、電流の方向にねじの進む方向をとると、ねじを回す方向が磁力線の方向と一致する。



図は りかちゃんのサブノート
<http://www.max.hi-ho.ne.jp/lylle/jikai2.html>
より

III. コイルの作る磁界

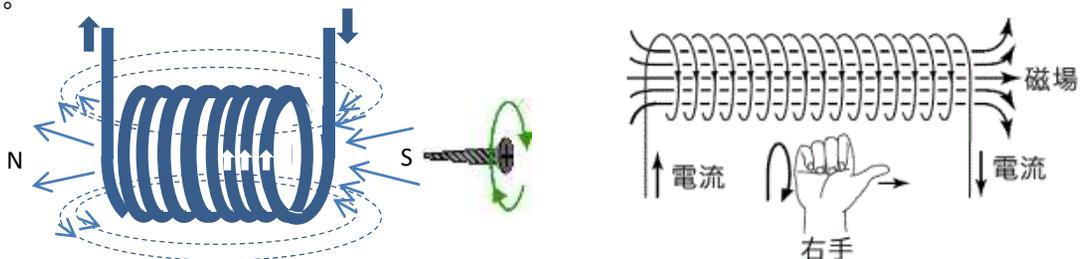
電線を環状(コイル)にして電流を流すと、コイルの間では磁力線の方向が一致するため、各部の磁力線が加わりあって、強い磁界ができる。また、コイルの巻数を増やせば、より強い磁界を作ることができる。



電線を密接して、筒状にまいたコイルはソレノイドと呼ばれ、磁力線の状態は下図のようになる。

このとき、大部分の磁力線は合成されて、一端から他端までソレノイド内を貫き、ソレノイド内の全ての電線を取り巻く環状の磁力線となり、一つの棒磁石と同じになり、コイルの両端に磁極、N、Sができる。これを電磁石という。

また、コイルの場合も、電流の方向にねじを回したとき、ねじの進む方向がコイル内の磁力線の向きと一致する。



右図は進研ゼミ 高校講座 より

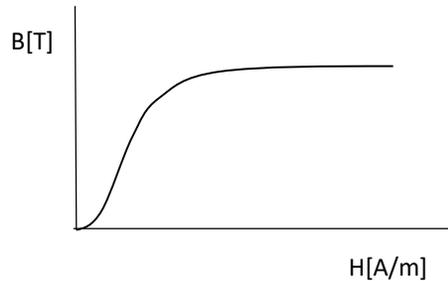
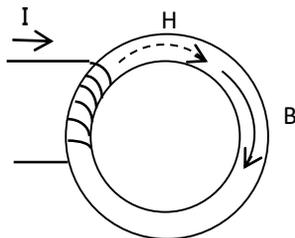
<https://kou.benesse.co.jp/nigate/science/a13p10bb01.html>

8.鉄の磁化

IV. 強磁性体の磁化曲線

下図左のように強磁性体(鉄)にコイルを巻き、コイルに流れる電流を0から次第に増加すれば、強磁性体の磁界の強さ(磁化力)Hは、次第に増加する。この場合のHと磁束密度Bとの関係は下図右のグラフのように表され、これを**磁化曲線**、または**磁気飽和曲線**、**B-H曲線**という。

この曲線において、Hがある値に達するとBの増し方が減ってきて、Hの増加に対するBの増加は次第に小さくなり、Bの値は一定の値に近づく。この現象を**磁気飽和**という。



ヒステリシスループ

磁性体に磁化力を与えたあと、磁化力を減少しても可逆的に前の磁化曲線をたどらず、下図左のような曲線を描く。このように磁性体の磁氣的履歴が後の磁化状態に影響する現象を**磁気ヒステリシス**という。

では、磁化力Hを循環させてみる。(下図右)まず、0点から+方向にHを増していくと、0Aのような曲線を描き、A点からHを減少していくと、ABの曲線となるが、磁化力Hが0になっても、 B_r の磁束密度が残る。ここで磁化の方向を-にしていくと、 $-H_c$ の磁化力を与えて、磁束密度は初めて0となる。以下同様にHを変化させれば、下図した右図のように閉じた磁化曲線(ループ)を得る。これを**ヒステリシスループ**という。

ここで、 B_r の大きさを**残留磁気**、 H_c の大きさを**保磁力**という。

