

# 電動機の技術 第1回

## — 電動機を理解するための電磁気と電気回路 —

森本 雅之\*

### 1 はじめに

本講座では電動機についての解説を10回の連載で行う予定である。今回は、手始めとして、電動機を理解するための基礎となる電気と磁気の基本、および電気回路の基本について、電動機に関連する事柄を中心に述べてゆく。

### 2 電流の三作用

電気エネルギーを利用する場合、電気機器に電流を流す。例えば、電動機に電流を流すと、電動機は回転する。電気エネルギーの利用は電流の利用である。電流とは電子またはイオンの移動である。電子、イオンは電気を持っている。電子、イオンの持つ電気の量を電荷という<sup>1</sup>。ある断面を、時間  $t$  に通過する電荷の量  $Q$  を電流  $I$  と定義している。

$$I[A] = \frac{Q[C]}{t[s]} \quad (1)$$

電流を流す力を起電力と呼ぶ。起電力は電位を上げる働きをする。電流は電位が高いところから電位の低いところへ流れる。電位とは電気的な位置エネルギーである。したがって、基準電位 (0V) を定めて電位を考えなくてはならない。接地は安全上の目的のほかに、大地 (アース) に接続することにより、基準電位を得ることも目的としている。

電流は電位の差に応じて流れる。電位の差 (電位差) を電圧と呼ぶ。電位、電圧、起電力の関係を図1に示す。1.5Vの乾電池とは1.5Vの起電力

をもっていることを表している。乾電池の極の電位は接地との関係により決まる。図では点Bが接地なので基準電位であり、点Bの電位を0Vとする。このとき、乾電池の起電力はいずれも1.5Vなので、接地していない他方の極の電位はそれぞれ、点Aは+1.5V、点Cは-1.5Vとなる。したがって、点Aと点Cの間の電圧 (電位差) は3Vとなる。乾電池を逆に接続すると電位の符号は逆になるが、その場合も電圧は3Vである。電位、電圧、起電力の単位はいずれも [V] である。

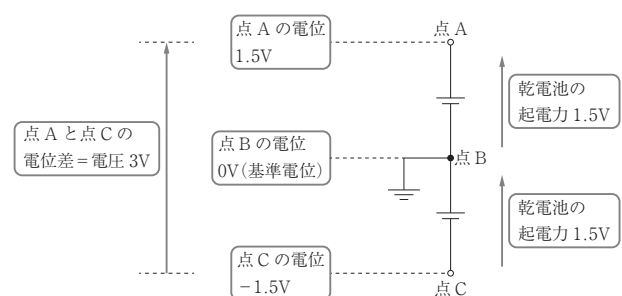


図1 電位、電圧、起電力

オームの法則は、二点間の電位差  $V$  は二点間を流れる電流  $I$  に比例することを表している。このとき、その比例定数を抵抗  $R(\Omega)$  と呼ぶ。オームの法則は電気の基本中の基本の法則である。

$$V = RI \quad (2)$$

電流の働きは電流の三作用により説明される。電気エネルギーを利用する場合、電流の三作用のいずれかを利用するのがほとんどである。電流の三作用とは、次の三つの作用である。

<sup>1</sup> 電子1個が持つ電荷の大きさ  $e$  は  $e = -1.6 \times 10^{-19}$  [C] であり、これが電気量の最小単位である。すべての電荷の量は  $2e$ ,  $3e$  というように、 $e$  の整数倍になる。

- (1)電流の熱作用 電流が流れると発熱する。  
 (2)電流の磁気作用 電流が流れると周囲に磁界ができる。  
 (3)電流の化学作用 電流が流れると化学反応することがある。

電流の熱作用とは、電流が流れると、その物体の温度が高くなる現象である。電気抵抗を生じる原因は導体内部を電子が移動するときに原子核と衝突して進みにくくなることによる。電子が原子核に衝突すると原子核の熱振動が激しくなる。すなわち、原子の温度が上がる。つまり発熱する。電流が流れると、電流の熱作用により電気エネルギーは熱エネルギーに変換されることになる。電流により発生する熱をジュール熱と呼ぶ。エネルギー保存の法則から、抵抗で発生する熱エネルギーは抵抗で消費される電気エネルギーと等しい。抵抗で消費される電力 $P$ は次のように表される。電動機で発生する損失の大半はジュール熱である。

$$P=RI^2 [W] \quad (3)$$

電流の磁気作用とは、電流が流れるとその周囲に磁界が発生する現象である。電流による磁界は電流の周囲に同心円状に広がる。磁界には向きがあり、磁界の向きと電流の向きの間には図2に示すような関係がある。電流が右ねじの進む方向に流れているとき、右ねじを回す方向に磁界が生じる。これはアンペアの右ねじの法則と呼ばれる。電動機はこの磁気作用を利用している。

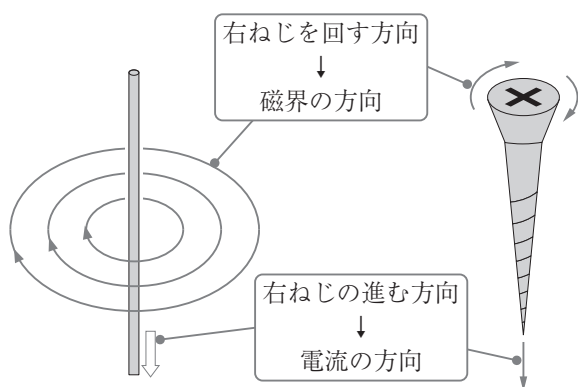


図2 右ねじの法則

電流の化学作用とは、電流により化学反応が生じる現象である。食塩水や酸などではイオンの移動により電流が流れる。イオンをもつこれらの物質は電解質と呼ばれる。電解質に電流を流すと内部で化学反応することがある。これが電流の化学

作用である。イオンは電子が不足している陽イオンと電子を余分にもっている陰イオンがある。電解質に電流を流すと、外部から電子が供給されることになる。すると、陽イオンが電子に引き寄せられ移動する。最終的には陽イオンは電子を受け取るので、電氣的に中性になり、イオンは原子や中性分子に変化する。これにより物質の合成または分解という化学反応が生じる。電池の充放電は電流の化学作用を利用している。

### 3 磁気現象

磁化される物質を磁性体という。磁化とは磁性体に磁極ができることであり、磁極ができることを磁気誘導という。鉄は磁性体である。図3に示すように、鉄片を磁石のN極に近づけると、鉄片の磁石側の表面にS極、反対側にN極が現れる。これが磁気誘導により生じる磁極である。磁石のN極と鉄片に誘導されたS極の間に吸引力が働く。鉄片が磁石から遠ざかると、磁気誘導により生じた磁極は消滅するので吸引力もなくなる。鉄は磁気誘導により磁石に吸引されるのである。

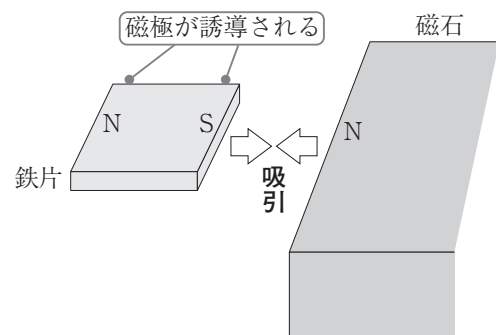


図3 磁気誘導

磁極が影響を及ぼす空間を磁界という。電流の磁気作用および永久磁石により生じる磁界は磁力線で説明される。磁力線とは次のような性質をもつ仮想の線である。

- (1)磁力線はN極から出て、S極に戻る。
- (2)磁力線の向き（接線）がその位置での磁界の方向を示す。
- (3)磁力線の密度が磁界の強さを示す。
- (4)磁力線はまっすぐになろうとして縮む。
- (5)同じ方向の磁力線は互いに反発し、反対方向の磁力線は打ち消しあう。

磁力線により磁界を表すと図4のようになる。

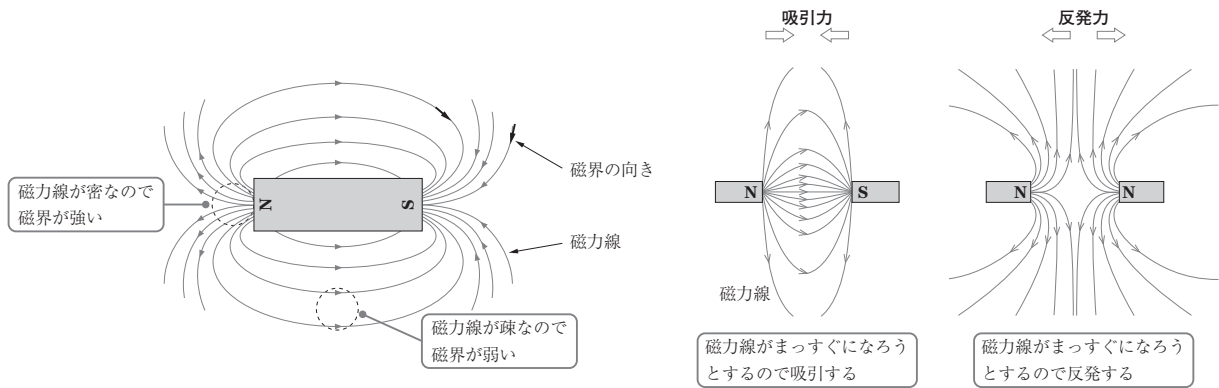


図4 磁界

しかし、磁気の通りやすさは物質により異なる。異なる物質を通り抜けるとき、磁界の様子は磁力線では正しく表すことができない。また、磁力線では磁界の強さを数値で表すことができない。そのために使うのが磁束である。

いま、図5のように、一部に切り欠きがある鉄心にコイルが巻かれているとする。コイルに電流を流すと鉄心が磁路となる。磁力線は切り欠きを通過し、鉄心を1周する。このとき、切り欠きの端面は磁力線が出入りするので磁極となる。そのため、切り欠き内にはN極からS極に向かう磁力線も描かなくてはならない。つまり、図に示すように、コイルに流した電流による磁力線のほかに、鉄の端面の磁極による磁力線も描かなくてはならず、磁力線の数が多くなってしまう。しかし、切り欠き内には鉄心内部と同じ磁気しか通っていないはずである。そこで、磁束という概念を導入し、磁界の様子を表す。磁束の数は物質によって変化しないと約束する。鉄心内部でも隙間でも磁束数は変わらないので、一定数の磁束が連続して

1周すると考えることができる。磁束数の単位は[Wb]である。

磁化についてももう少し理解するために、分子磁石説を説明する。磁石はいくら分割してもそれぞれ小さな磁石になる。このことから、磁石をはじめとする磁性体は、ごく小さな分子サイズの磁石により構成されていると考えるのが分子磁石説である。磁性体が磁化されていないとき、内部の分子磁石は図6(a)のように不規則な方向を向いている。外部の磁界が強くなると、それまで不規則な方向を向いていた分子磁石が、図(b)のように徐々に同じ方向を向き始める(配向)。そして図(c)のように内部のすべての分子磁石が同じ方向を向く。それ以上配向が進まない。これが磁気飽和である。このときの配向のしやすさは物質によって異なる。これは物質の透磁率として表される。

また、外部の磁界がなくなると、不規則な配向に戻る。外部磁界を取り去っても配向した分子磁石が図(d)のように残るのが残留磁気であり、残留磁気が多く残る物質が永久磁石である。

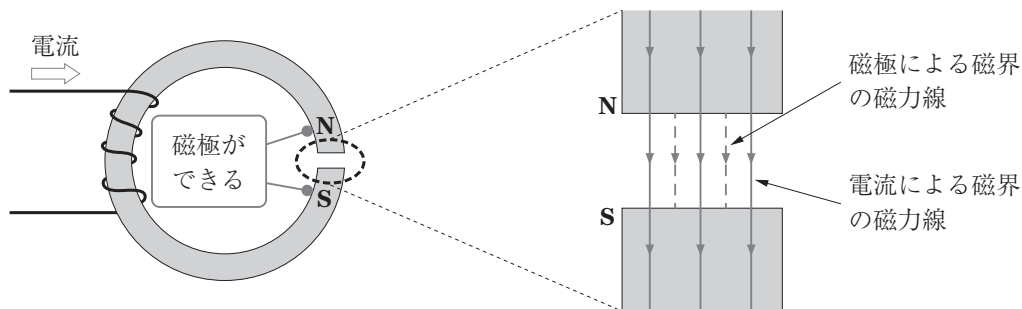


図5 磁束と磁力線

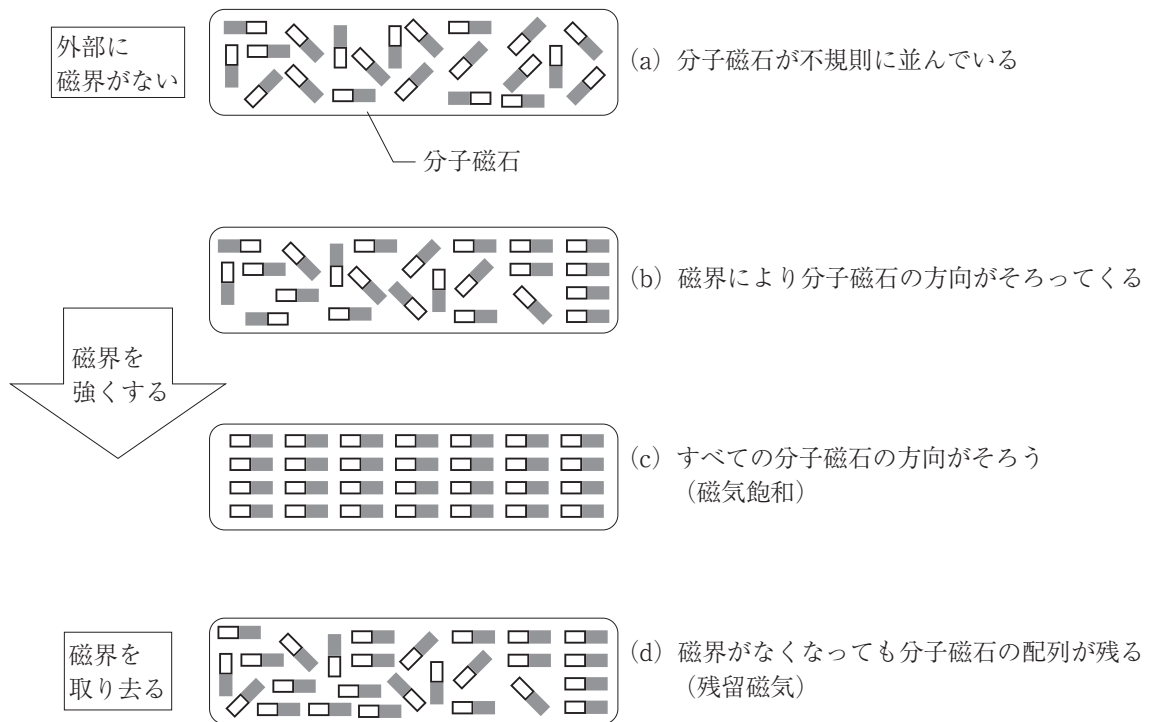


図6 分子磁石

#### 4 電磁誘導とインダクタンス

電流計がつながったコイルに永久磁石を近づけたり離したりすると、永久磁石が動いているときにだけ電流が流れる。この現象を電磁誘導という。永久磁石が近くにあるだけで動かないと電磁誘導は生じない。逆に、永久磁石が静止して、コイルが動いても電磁誘導が生じる。電磁誘導により生じる起電力を誘導起電力という。

図7に示すように、永久磁石がコイルに近づくと、永久磁石の磁界がコイルの内側に入り込もうとする。このとき、コイルに入り込もうとする磁界をキャンセルして押し返そうとする。コイルはいりこもうとする磁界と反対方向の磁界を生じるように働く。そのために、その方向の磁界が生じる方向に電流を流すような起電力が誘導されるのである。誘導される電流の方向は右ねじの法則の方向である。永久磁石が遠ざかるときには、逆方向の誘導起電力が生じる。

この現象について別の説明をすると、永久磁石のN極が近づいてくると、それを阻むために、コイルの左端が電磁石のN極になるような電流

を流そうとする、ともいえる。永久磁石が遠ざかるときには、永久磁石を吸引するS極になるような電流を流そうとするということである。

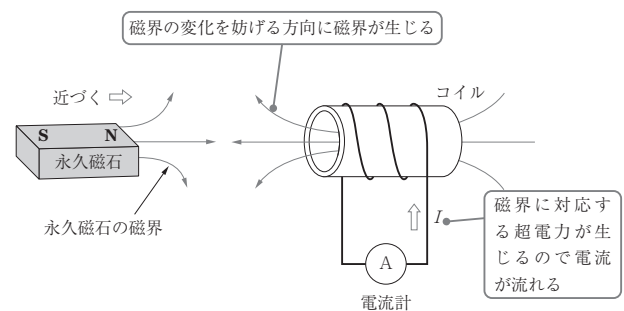


図7 電磁誘導

電磁誘導によりコイルに生じる誘導起電力の大きさはファラデーの法則による示される。ファラデーの法則は、電磁誘導による誘導起電力  $e$  は、コイルの巻数  $N$  と磁束の時間的な変化の割合  $\frac{d\phi}{dt}$  に比例する、ということであり、次の式で示される。

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \text{ [V]} \quad (4)$$

この式にはマイナスの符号がついているが、これ



は、状態の変化を妨げる方向に起電力を生じることを表している。ファラデーの法則は、運動により磁束が増減するだけでなく、時間的な増減に対しても誘導起電力が生じることも表している。

電磁誘導は、接近して置かれた二つのコイルでも生じる。一方のコイルだけに電流を流すと、その周囲に磁界ができる。この磁界は、もう一方のコイルからは近くにある永久磁石の磁界と同じように見えるはずである。しかし、二つのコイルは静止している。しかし、静止したコイルを流れる電流が時間的に変化すると、電流によってできる磁界も変化する。そのため、他方のコイルに電磁誘導による起電力が生じる。この作用を相互誘導という。

図8に示すようにコイルAの回路のスイッチをオンして電流を流すと、コイルAの周囲に磁界ができる。スイッチをオンするということは、コイルAの電流が、ゼロからある値まで増加するということである。電流の増加に従って、電流によってできる磁界も強くなってゆく。磁界が変化するので、コイルBに電磁誘導が生じる。コイルBには、コイルAの磁界と逆方向の磁界ができるような方向に起電力が誘導され、電流が流れる。コイルAの電流が一定になると、コイルAの作る磁界は変化しなくなるのでコイルBの電磁誘導は終了し、電流は流れない。このような現象が相互誘導である。

相互誘導により生じる誘導起電力の大きさは電流の変化率に比例する。誘導起電力と電流の関係を相互インダクタンス  $M$  により表す。

$$e_B = -M \frac{\Delta I_A}{\Delta t} \quad [V] \quad (5)$$

ここで、 $e_B$  はコイルBに生じる誘導起電力、 $M[H]$  は相互インダクタンス、 $I_A$  はコイルAの電流である。

相互インダクタンスが1Hとは、コイルAの電流が1秒間に1A変化したとき、コイルBに誘導される起電力が1Vであるようなコイルの関係をいう。また、コイルBを流れる電流が変化したときにコイルAに生じる誘導起電力も同一の相互インダクタンスで表される。

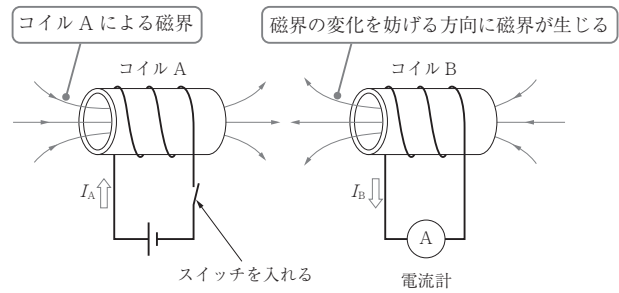


図8 相互誘導

コイルが一つだけでも電磁誘導が生じる。コイル自身に流れる電流が変化するとそのコイルに電磁誘導が生じる。図9に示すように、コイルに直流電源を接続する。スイッチをオンした瞬間にコイルに流れる電流がゼロから増加する。電流が流れるので、コイルの周囲に磁界ができる。磁界も電流の増加に連れて増加する。このとき、電流による磁界と逆方向の磁界が生じるような誘導起電力がコイル自身に生じる。コイルの電流が一定になると、コイルの磁界は一定になるので電磁誘導は生じなくなる。これを自己誘導という。

自己誘導により生じる誘導起電力の大きさは電流の変化率に比例する。この誘導起電力と電流の関係を自己インダクタンス  $L$  により表す。

$$e = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad [V] \quad (6)$$

ここで、 $e$  は自己誘導により生じる誘導起電力、 $L [H]$  は自己インダクタンス、 $I$  はコイル電流である。

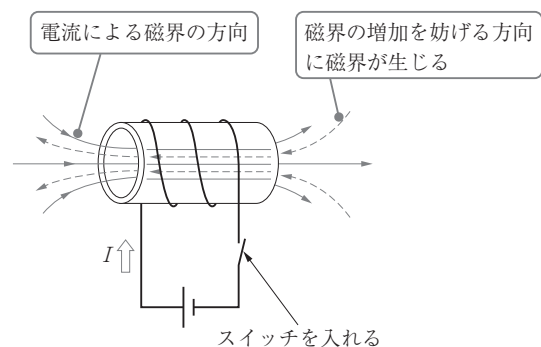


図9 自己誘導

また、自己インダクタンスは、コイルに鎖交する磁束数と電流の関係を表しており、鎖交磁束数  $\phi$  とコイル電流  $I$  との間の比例定数である。

$$\phi = LI \text{ [Wb]} \quad (7)$$

同様に、相互インダクタンス  $M$  は、他方のコイルに鎖交する磁束数と電流の間の比例定数である。

コイルに電流が流れると、コイルには磁気エネルギーが蓄積される。蓄積されるエネルギーの大きさ  $U$  は自己インダクタンスに比例する。

$$U = \frac{1}{2} LI^2 \text{ [J]} \quad (8)$$

この式の表しているのは、電流が流れているコイルにはエネルギーが蓄積されていることである。このことは逆に、コイルにエネルギーが蓄えられている間は電流が流れるということである。コイルに蓄積されているエネルギーがゼロになるまで電流は流れ続ける。

## 5 インピーダンス

直流の場合、電圧と電流はオームの法則により比例関係で表される。一方、交流の場合、コイルとコンデンサが交流特有のふるまいをするため、電圧と電流の関係をインピーダンスで考えなくてはならない。

インピーダンスは交流電圧と交流電流の関係を表しているが、インピーダンスの大きさは周波数で変化する。ある周波数において交流電圧の実効値と交流電流の実効値は比例し、その比例定数がインピーダンスの大きさ（単位  $[\Omega]$ ）となる。

インピーダンスが周波数に関係するのは、コイルの場合、交流電流の大きさが常に変化するため、電磁誘導が常時生じることによる。電圧が増加する場合、誘導起電力は電流が流れにくくする方向に生じるため、電圧の増加よりも電流の増加は時間的に遅れて生じる。電流の周波数が高いほど、電流が増加しないうちに電圧の極性が切り替わってしまい、ますます電流が流れにくくなる。すなわち、コイルは周波数が高いほど電流が流れにくくなる。

このように、コイルの見かけ上の抵抗は周波数に応じて大きくなる。交流電流に対するコイルの見かけ上の抵抗を、コイルのリアクタンスと呼ぶ。コイルのリアクタンスは交流の周波数に比例する。コイルのリアクタンスの大きさ  $|X_L|$   $[\Omega]$  はインダクタンス  $L$  を用いて次のように表される。

$$|X_L| = \omega L$$

ここで、 $\omega$  は交流の角周波数 (rad/s) で、周波数  $f$  (Hz) とは  $\omega = 2\pi f$  の関係となる。

コンデンサは静電誘導を利用して内部の誘電体（絶縁体）に電荷を蓄積する働きをする。コンデンサに蓄積される電荷  $Q$  は次のように表される。

$$Q = CV \quad (9)$$

ここで、 $Q$  は電荷  $[C]$ 、 $C$  はコンデンサの静電容量  $[F]$ 、 $V$  はコンデンサの電圧  $[V]$  である。

コンデンサの場合、電荷を蓄積するときに電流が流れる。電圧の増加に従い、すでに電荷が蓄積されているので、電流が流れにくくなっていく。すなわち、コイルとは逆に、電流の変化が電圧の変化より先に生じる。

コンデンサは電荷を蓄積するための絶縁体で構成されているので直流電流は流れない。しかし、交流電圧により電荷の蓄積放出を繰り返すので、これが交流電流となって流れる。この性質から、交流の周波数が高いほど電流を流しやすくなる。交流電流に対するコンデンサの見かけ上の抵抗を、コンデンサのリアクタンスと呼ぶ。コンデンサのリアクタンスの大きさ  $|X_C|$  （単位  $[\Omega]$ ）は静電容量  $C$  を用いて次のように表される。

$$|X_C| = \frac{1}{\omega C} \quad (10)$$

このように、リアクタンスは交流の周波数で変化するが、抵抗の大きさは周波数で変化しない。そこで、それらを合わせたインピーダンスという量を導入する。インピーダンス  $Z$  は抵抗  $R$  とリアクタンス  $X$  を合わせて考えた量で、抵抗  $R$  とコイルのリアクタンス  $X_L$  とコンデンサのリアクタンス  $X_C$  の和として表される。リアクタンスは周波数で変化するので、インピーダンスの大きさも周波数で変化する。

コイルやコンデンサは電圧と電流が同時に変化しない。これを電圧と電流に位相差がある、という。位相差を表しやすくするため、交流の諸量を複素数で表す。複素数は（実部+虚部）で表されるが、電気工学では虚数単位として  $j$  を使用する。数学では虚数単位として  $i$  を用いるが、電気工学では  $i$  は電流の記号である。したがって、虚数を次のように定義している。

$$j^2 = -1 \quad (11)$$

電圧，電流，インピーダンスを複素数として，複素平面上のベクトルと考える。すると「 $j$ 」をかけることは位相が $90^\circ$ 進むことを表し，「 $-j$ 」をかけることは位相が $90^\circ$ 遅れることを表している。このような約束での取り扱いを記号法という。

記号法によりインピーダンスを表す。このとき，複素数表示していることを示すために，記号の上に  $\dot{V}$ ,  $\dot{I}$ ,  $\dot{Z}$  のようにドットをつける。

抵抗のインピーダンス  $\dot{Z}_R$  は周波数で変化しないので，直流と同じ抵抗値を用いる。

$$\dot{Z}_R = R \quad (12)$$

コイルのインピーダンス  $\dot{Z}_L$  は「 $j$ 」をかけて表され，電流の位相を $90^\circ$ 遅らせる働きを表している。

$$\dot{Z}_L = j\omega L = \dot{X}_L \quad (13)$$

コンデンサのインピーダンス  $\dot{Z}_C$  は「 $-j$ 」をかけて表され，電流の位相を $90^\circ$ 進める働きを表している。

$$\dot{Z}_C = \frac{1}{j\omega C} = -j \frac{1}{\omega C} = \dot{X}_C \quad (14)$$

インピーダンスは一般に，次のように表される。

$$\begin{aligned} \dot{Z} &= R + \dot{X} = R + \dot{X}_L + \dot{X}_C \\ &= R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \\ &= R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \end{aligned} \quad (15)$$

RLC の直列回路の場合，インピーダンスをベクトルとして表すと，**図10**に示すような合成インピーダンスとなる。電動機を等価回路で検討する場合，リアクタンスはほとんどコイルによるものなので  $\dot{X}_L \gg \dot{X}_C$  として  $\dot{X}_C$  は無視している。

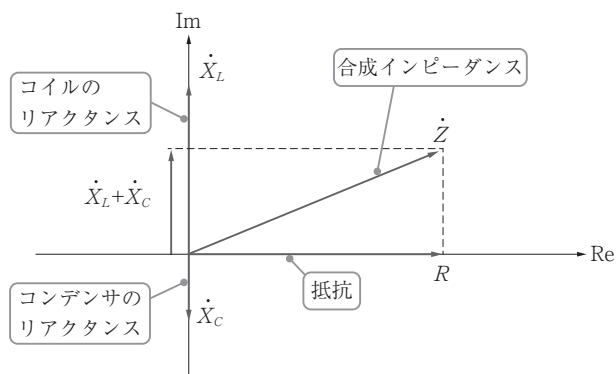


図10 RLC直列回路の合成インピーダンス

## 6 三相交流

交流の電圧，電流は大きさが常に変化しているため，電圧，電流を瞬時値と実効値として別個に考える。瞬時値は各時刻の電圧，電流の大きさであり，正弦波状に変化する。一方，実効値は一つの値を用いる。交流の実効値とは，直流電流と同じ働きをする交流電流の大きさを表している。つまり，直流電流を抵抗に流したときの発熱量と同じ発熱量となる交流電流の大きさを同一数値として実効値とする。また，電圧も同様に発熱量から交流電圧の大きさを実効値で表す。

電動機は小容量のものを除いて三相交流を使用する。三相交流は単相交流が三つ組み合わせられたようなものと考えることができる。**図11**は三相交流電圧を示している。それぞれの単相交流電圧  $V_a, V_b, V_c$  は図に示すように，互いに $120^\circ$ 位相が異なっている。それぞれの単相交流を相と呼ぶ。図で▲で示した時刻での三相交流電圧の大きさは  $V_a$  が $+1$ で， $V_b, V_c$  は $-0.5$ である。この時刻の三相の電圧を合計するとゼロとなる。

$$V_a + V_b + V_c = 0 \quad (16)$$

実はどの時刻でも  $V_a + V_b + V_c$  は常にゼロとなる。このように位相が $120^\circ$ 異なる三つの正弦波であれば，三相交流電圧の瞬時値の合計は常にゼロとなる。しかし，三つの相の電圧が同時にゼロになる瞬間がない。

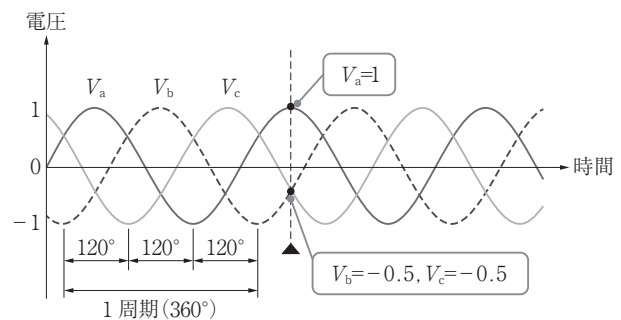


図11 三相交流電圧

三相交流の接続は**図12**に示すように Y 結線または  $\Delta$  結線される。三相交流は3本の線で供給されるが，電源，負荷の内部は Y,  $\Delta$  のいずれかで結線されている。そのため，外部の3本の動力線で測定可能な線間電圧と線電流に対し，内部の結線により各相の相電圧，相電流は異なる。

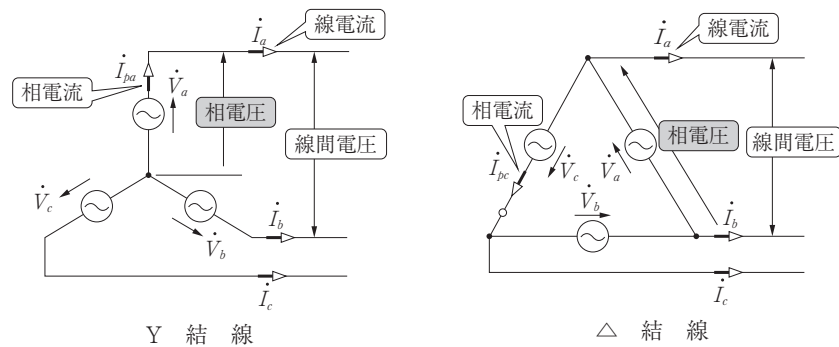


図12 Y結線とΔ結線

Y結線の場合，線間電圧  $V_l$ ，線電流  $I_l$ と相電圧  $V_{ph}$ ，相電流  $I_{ph}$ は次のような関係になる。

$$V_l = \sqrt{3}V_{ph}, \quad I_l = I_{ph} \quad (17)$$

Δ結線の場合，線間電圧  $V_l$ ，線電流  $I_l$ と相電圧  $V_{ph}$ ，相電流  $I_{ph}$ は次のような関係になる。

$$V_l = V_{ph}, \quad I_l = \sqrt{3}I_{ph} \quad (18)$$

電動機の等価回路はY結線の1相を示すので，等価回路計算にはY結線の相電圧を用いる。

## 7 交流電力

直流の場合，電圧の大きさと電流の大きさの積が電力  $P$  [W] となる。しかし，交流の場合，電圧の実効値と電流の実効値の積は交流の消費電力とはならない。交流では，コンデンサやコイルの作用により電圧と電流に位相差を生じるので，電圧と電流の実効値だけでは電力は定まらない。

図13に示すように，交流電圧と交流電流に位相差  $\theta$ がある場合を考える。このとき，交流電圧  $v(t)$

と交流電流  $i(t)$ の瞬時値の積を，図では  $p$ の曲線で示している。 $p$ を瞬時電力と呼ぶ。瞬時電力  $p$ は一定値ではなく，変化している。時刻0から  $\theta$ の区間では，電圧  $v(t)$ がプラスで，電流  $i(t)$ がマイナスなので，瞬時電力  $p$ はマイナスになっている。瞬時電力がマイナスになるということは，電力を差し引く作用をするということである。差し引きした結果が交流の実効的な電力である。この実効的な電力を有効電力と呼ぶ。マイナスの電力として差し引かれる電力を無効電力と呼ぶ。

電圧と電流に位相差があることで無効電力が生じる。位相差が小さければ，無効電力が小さくなる。そこで，位相差を力率として表す。力率は位相差  $\theta$ のとき， $\cos \theta$ となる。このとき，位相差  $\theta$ は力率角と呼ばれる。

有効電力  $P$  [W] は電圧の実効値  $V$ と電流の実効値  $I$ により次のように表される。

$$P = VI \cos \theta \quad (19)$$

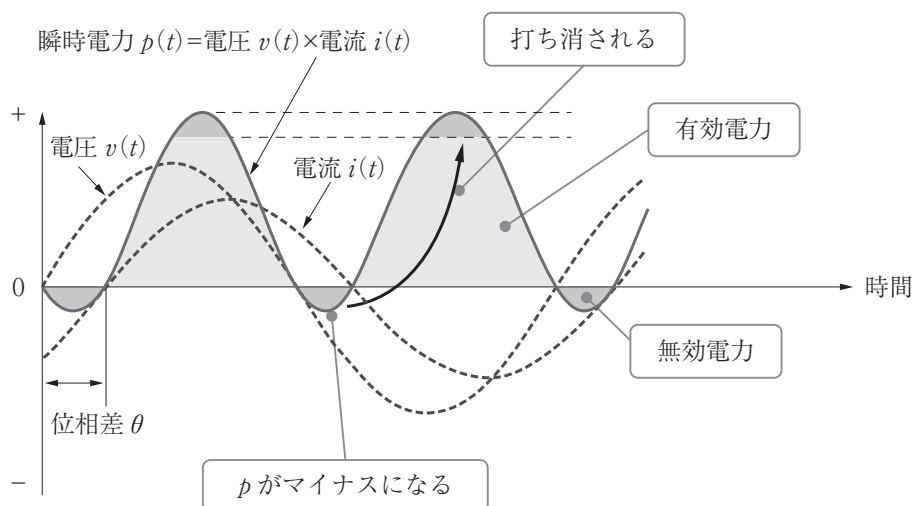


図13 交流の電力



また、無効電力  $Q$  [var] は次のように表される。

$$Q = VI \sin \theta \quad (20)$$

さらに、電圧と電流の実効値の積は皮相電力  $S$  [VA] と呼ばれる。

$$S = VI \quad (21)$$

また、三相交流の場合、有効電力  $P$  は、結線方式に無関係に、線電流  $I_l$  と線間電圧  $V_l$  の実効値を用いて次のように表される。

$$P = \sqrt{3} V_l I_l \cos \theta$$

なお、ここでは力率は電流と電圧の位相差から  $\cos \theta$  と説明しているが、力率の正しい定義は皮相電力  $S$  と有効電力  $P$  の比である。正弦波の場合には、その比が  $\cos \theta$  と等しいということである。電圧、電流に高調波を含む場合、皮相電力には高調波が含まれるので、位相差ではなく、高調波を含んだ、皮相電力と有効電力の比率から力率を求める必要がある。

## 8 おわりに

本稿では電動機を理解するために必要な電磁気と電気回路の基本について説明した。本来、電磁気、電気回路については、数式による詳細な説明が望まれるが、本稿は理解することを目的としているので数式は最小限にした。さらにわかりやすい説明が望まれる場合、拙著「交流のしくみ、講談社ブルーバックス (2016)」などを参照していただきたい。

本講座の掲載予定を以下に示す。

- 1 電動機を理解するための電磁気と電気回路 (本号)
- 2 電動機の基礎技術 (2022年6月号掲載予定)
- 3 直流電動機
- 4 直流電動機の制御
- 5 誘導電動機
- 6 かご型誘導電動機の駆動と制御
- 7 巻線型誘導電動機
- 8 同期電動機
- 9 電動機の絶縁
- 10 電動機技術の動向