

家電製品の原理と IoT

—家庭電気と情報その1—

比内 馨*

Physical laws of Home electronics and IoT

—Home electronics and IT no.1—

Kaoru HINAI

Key words : 電磁誘導 electromagnetic induction
誘導加熱 induction heating
誘電加熱 dielectric heating
モノのインターネット Internet of Things

はじめに

長年、家庭電気・機械を担当してきて気が付いたことを、数回に分けてまとめ、さらに、今後の課題も提供してみたい。40年も教鞭を取っていると、どうしても、当初文科省が規定していた内容に古臭さを覚える。時を超えて伝えるべき普遍的な内容は何なのかを意識しながら、内容を少しずつ変えてきた。しかし、情報化時代の教科内容としてこのままでよいのかと疑問が残る。家電製品にマックアドレスを持たせ、いよいよ IoT (internet of things) が進んでいくネットワーク社会において、教えるべき内容を一度吟味するべきであろう。この辺りで、家庭電気・機械の在り方を考え直してみたいというのが、本音である。社会評論家の大宅壮一氏が、テレビの普及を嘆いて『一億総白痴化』と言ったのも半世紀前のことである。現在は、インターネットの普及が『一億総白痴化』の温床となっている。検索エンジンにもよるが、たいていのことがインターネットだとヒットする。それが間違った内容でも、サーファーに分かり易

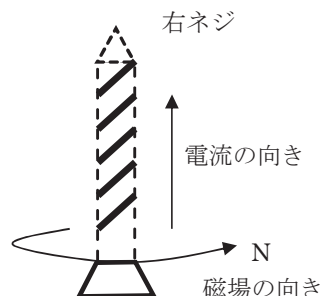
ければ、ネット上でたちまち拡散してしまう。30～40年前だと考えられない。表面的な分かり易さが支配している。例えば、電子レンジの原理が水分子の摩擦によって発熱するという説明は、インターネットだとすぐにヒットする。それも大手企業の web サイトの「電子レンジの仕組み」にもある。さらには、一部の家庭科教科書「生活一般」にも掲載されており、科学的には定義されていない「水分子の摩擦という概念」が、一人歩きしている。マクロ的な意味での摩擦は、日常よく知られている。日常よく知られているこの概念を、ミクロ的現象の説明に用いることは危険である。研究者や教育者が分かりやすさ故に、安易な説明に走ることは戒めなければならない。今、インターネット上の間違いや嘘をいかに見極めるのかが問われている。次代を担う学生に真偽の判断力をつけさせるには、結局、基本的な学問（物理学等）の学習しかないであろう。

* 東北女子大学

第1章

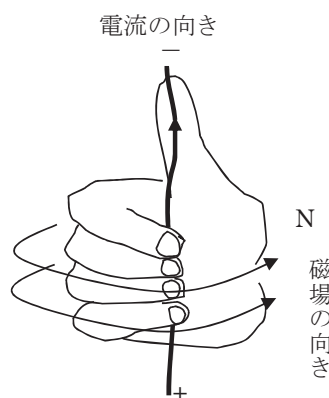
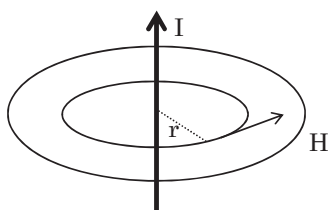
§1 直線電流による磁場(磁場の方向:右ネジの法則)

1820年、エルステッド(Hans Christian Oersted, デンマーク)が『導線に電流を流すと、その周囲に磁場が発生する』(電流の磁気作用)を発見してから、アンペール(Andre Marie Ampere, 仏)がこの現象を調べた結果、次のような事実が確かめられた。



《アンペールの法則》

導線に電流を流したとき、その周囲に同心円状に発生する磁場の強さHは電流の強さIに比例し、電流からの距離rに反比例する。



$$H = \frac{I}{2\pi r} \quad [A/m] \quad \dots \dots (*)$$

磁場Hの方向は、円形の磁力線の接線方向。特に発生する磁場の方向については、次の右ネジの法則が成立する。

なお(*)式は、直線電流Iとその周囲に同心円状に発生する磁場Hの関係を表現している。この式の両辺に円周の長さ $2\pi r$ をかけてやると

$$H \cdot 2\pi r = I$$

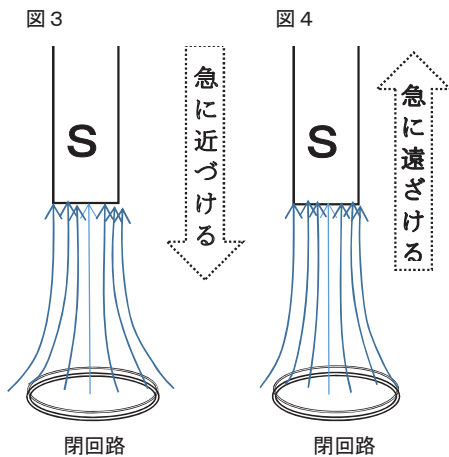
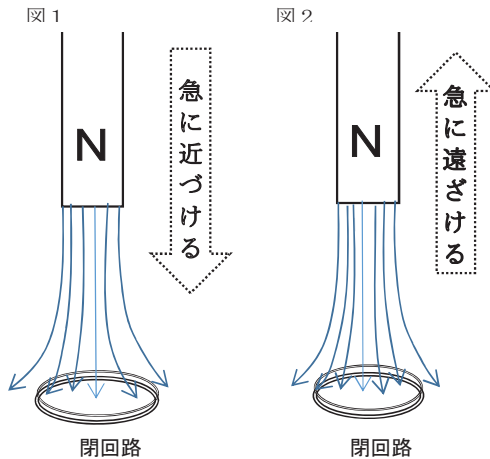
〔右ネジの法則〕

導線に電流を流したとき、その周囲に同心円状に発生する磁場の向きは、右ネジが進む方向を電流の向きとしたとき、右ネジが回転する方向である。

となる。この式は、磁場Hを円周に沿って1回転させてやると直線電流Iが生じると解釈できる。実際、アンペールの法則は電氣的現象と磁氣的現象の掛け橋をする基本法則なのである。

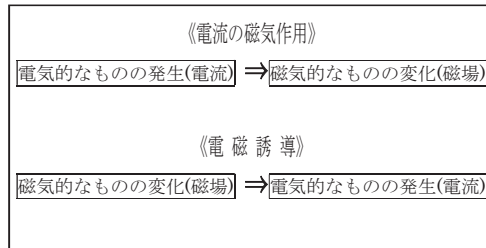
§ 2 電磁誘導とレンツの法則

『閉回路に磁石を急に近づけたり遠ざけたりすることによって、閉回路に電流が流れる現象』を電磁誘導という。この磁石の代わりに、電磁石を用いて、電磁石のスイッチを ON、OFF しても同じ現象が起きる。このとき流れる電流を誘導電流と呼ぶ。この誘導電流の流れる方向に関しては、『電磁誘導による誘導電流は閉回路を貫く磁力線の本数の変化を妨げる向きに流れる』というレンツの法則が成立する。



レンツの法則を理解するために、電磁誘導をもっと詳しく考察してみよう。閉回路に磁石を急に近づけたり遠ざけたりすることによって、閉回路を貫く磁力線の本数が時間的に変化する。そうすると、何が起きるのか。ここで、電流の磁気作用を思い出してほしい。

導線に電流が流れると、導線の回りに磁場ができる。このことは、電気的なものが変化すれば、磁気的なものが発生すると言っているのに他ならない。これから逆に、磁気的なものが変化すれば、電気的なものが発生するのではないかと考えてほしい。すなわち、閉回路を貫く磁力線の本数が時間的に変化する、その閉回路には電流が流れるのではないかと発想してほしい。この発想は正しい。このことを図示しておこう。



この図から、電気的なものと磁気的なものとの相互依存性を汲み取って欲しい。

さて、レンツの法則で、磁力線の数の変化を妨げる向きとは、どういう向きだろうか。上図のように磁石を近づける場合、閉回路を貫く磁力線の数は増える。だから、磁力線の数の変化を妨げる向きとは、磁力線の数を減らす向きであり、近づく磁石を押し戻そうとする向きである。あるいは磁石を遠ざける場合、閉回路を貫く磁力線の数は減少する。だから、磁力線の数の変化を妨げる向きとは、磁力線

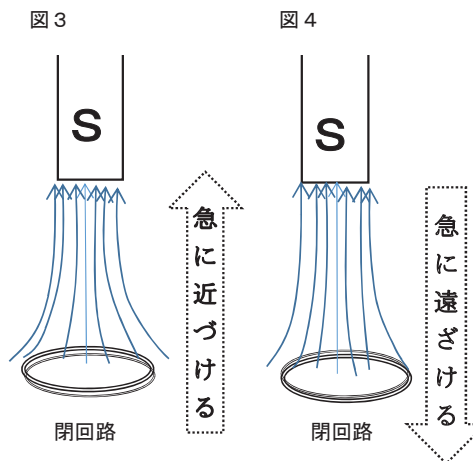
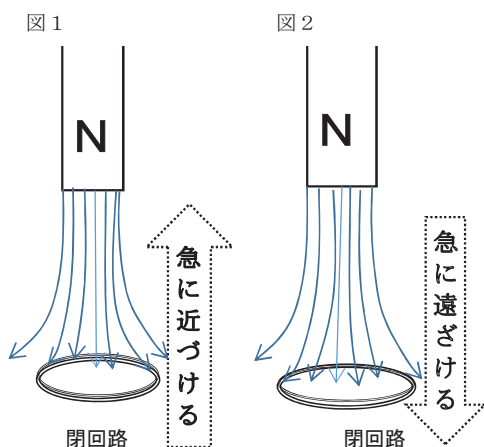
の数を増やす向きであり、遠ざかる磁石を引
き戻そうとする向きである。以上のことをま
とめると、レンツの法則は、次のように考え
てもよい。

『電磁誘導による誘導電流は、磁石の運動を
妨げる向きに流れる。』

ここで磁石の運動を妨げる為には、磁石の
N極が閉回路に近づく場合、閉回路の磁石側
がN極になればよい。また、磁石のN極が閉
回路から遠ざかる場合、閉回路の磁石側がS
極になればよい。同様に、磁石のS極が近づく
場合あるいは遠ざかる場合を考えて下さい。
したがって、閉回路のどちら側がN極である
かが分かれば、右ネジの法則を用いて誘導電
流の流れる方向が決定される。

※ 注) コイルと磁石による電磁誘導の場合には、
上述の閉回路をコイルに読み替えて下さ
い！

設問 次の各図は、閉回路を磁石に対して急
に近づけたり、遠ざけたりした場合である。
それぞれの閉回路に発生する磁力線と誘導電
流の向きを記入せよ。



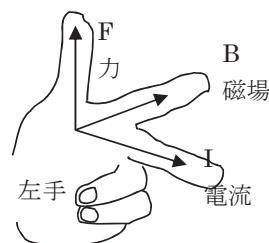
§ 3 右ネジの法則とフレミングの左手の法則

1) 磁場中の電流に働く力: フレミングの左手の法則

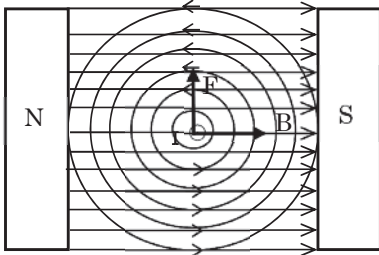
磁場内を電流が流れると、磁場から電流は
力を受ける。その力Fの方向を、磁場Bと電
流Iの方向から決めることができる。

〔フレミングの左手の法則〕

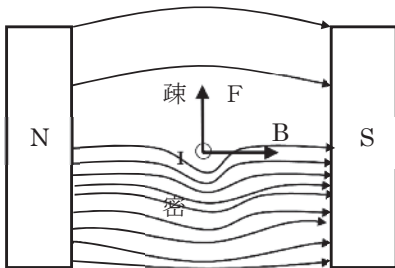
左手の親指・人差し指・中指を互いに直
交させた時、磁場から電流が受ける力Fの
方向は、人差し指を磁場Bの向き、中指を
電流Iの向きとして、親指の向きである。



- ① 直線電流が磁場から受ける力 F は、フレミングの左手の法則を使用しなくても、右ねじの法則からでも決定できる。磁石の磁場と電流の回りの磁場を記入する。電流の回りの磁場は、右ねじの法則に従って、その方向も記入しておくこと。

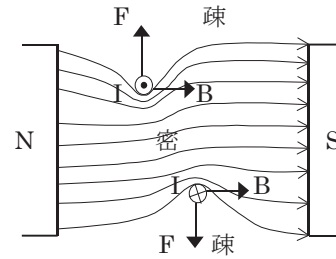
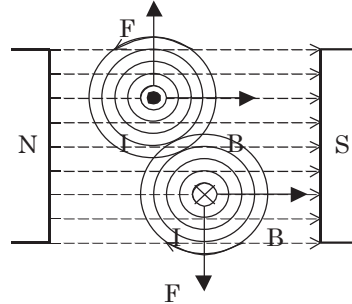


上記の磁石の磁場と電流の回りの磁場とを合成してみる。例えば、下記のような合成磁場ができるだろう。特に注意してほしいのは、磁場に疎の部分と密の部分ができている点だ。



ここで、ギッシリできている磁場の密の部分が、直線電流を磁場の疎の部分へと押しやると考えれば、この方向がフレミングの左手で決定される力 F の方向と一致する。

- ② 円形電流が磁場から受ける力 F の方向も、フレミングの左手の法則を使用しなくても、右ねじの法則からでも決定できる。



上記のように、磁石の磁場と円形電流による磁場を合成して考えるとよい。また、右ネジの法則を用いて、円形電流を磁石のように考えてもよい。そうすれば、N極とS極の間には引力が働くことから、あるいは同極間には斥力働くことから、磁石の回転方向、すなわち円形電流やソレノイドなどのコイルの回転方向が予想できる。

2) フレミングの左手の法則と右ネジの法則

フレミングの左手の法則は、基本的には、磁場 B 内で電流 I に働く力 F の方向を決定する為の法則である。また、右ネジの法則は、電流の回りに発生する磁場の方向を決める法則である。しかし、フレミングの左手の法則は、電流の回りに出来る磁場の方向は決定できない。これに反して、右ネジの法則は、上述の1)の①、②で見たように、間接的に、磁場 B 内で電流 I に働く力 F の方向も決定できる。このことから、右ネジの法則の方が、現

象を本質的に理解する上で、より基本的な法則であることが分かる。今一度、右ネジの法則についてまとめると、第1に、『電流の回りに発生する磁場の方向』を決める法則である。第2に、『導線の回りに発生する磁場の方向から、導線を通る電流の向き』を決める法則である。第3に、『右ネジの法則によって求められた磁場と外部磁場との合成によって、電流に働く力の方向』を決める法則である。第4に、『右ネジの法則により円形電流やコイルを電磁石と見なすことによって、外部磁場内でのそれらの回転方向』を決める法則でもある。

3) フレミングの右手の法則は必要か？

磁場内で導体（あるいはコイル）を動かすとき、導体（あるいはコイル）に発生する誘導電流の方向を決定するのに、フレミングの右手の法則がある。これは、右手の親指・人差し指・中指を互いに直交させた時、誘導電流 I が流れる方向は、人差し指を磁場 B の向き、親指を力 F の向き（導体を動かす向き）として、中指の指す向きであるという法則だ。しかし、フレミングの左手の法則と混同するので注意を要する。しかも誘導電流の方向が問われるのであるから、この現象は電磁誘導なのである。フレミングの右手の法則を使用するよりも、まずは電磁誘導（レンツの法則）に精通することを勧める。その際、磁石を動かすのではなく、導体（あるいはコイル）を動かすということである。これは相対的には、磁石を動かす場合の電磁誘導と何ら変わりがないからである。（p. 4 の設問参照）

§ 4 発電機（ジェネレーター）のメカニズム

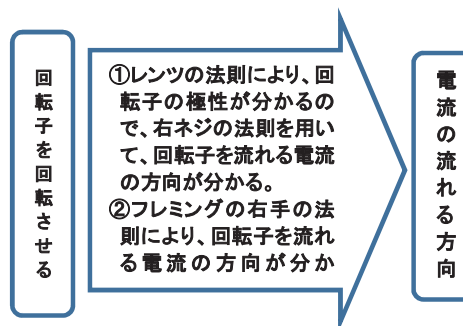
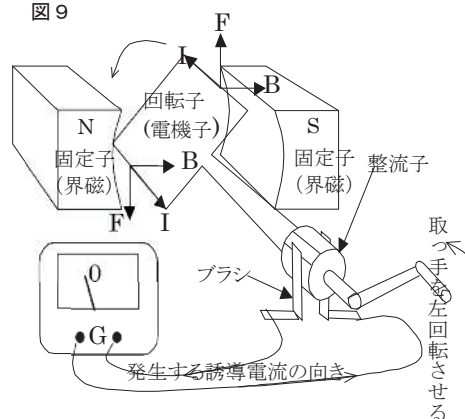
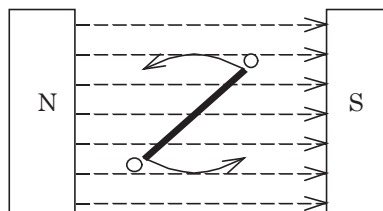


図 9



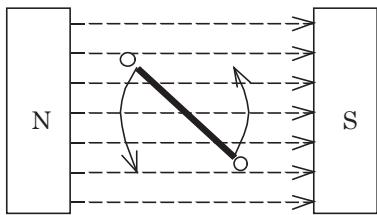
設問 図 10 で回転子(電機子)は、貫く磁力線の本数が増大する方向に回転している。これは相対的に回転子に磁石の N 極を急に近づけるのに相当する。このとき誘導電流は図 1 (p.3) で与えられる方向に流れる。このとき、○印の中に発生する誘導電流の向きを記入せよ。

図 10



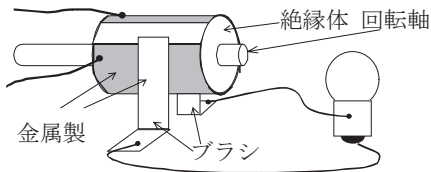
問 図 11 で回転子(電機子)は、貫く磁力線の本数が減少する方向に回転している。これは相対的に回転子から、磁石のN極を急に遠ざけるのに相当する。このとき誘導電流は図 2 (p. 4) で与えられる方向に流れる。このとき、○印の中に発生する誘導電流の向きを記入せよ。

図 11

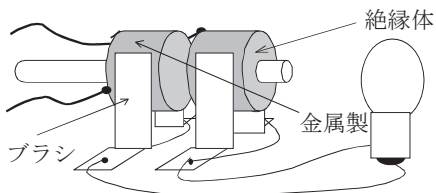


ここでスリップリングに次のようなものを使用することによって、直流電流や交流電流がられることが分かる。

〈直流発電機のスリップリング(整流子)〉

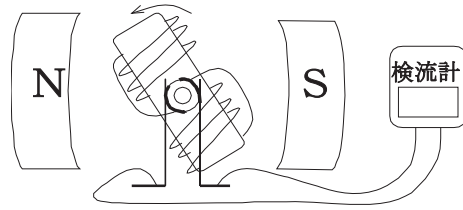


〈交流発電機のスリップリング〉

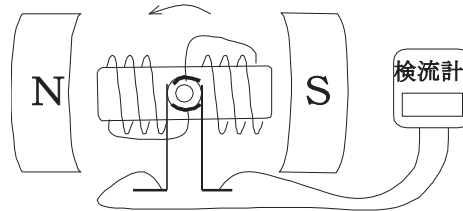


問(発電機:ジェネレーター) 固定子NとSの磁極間で、回転子(=電機子)の軸に取っ手をつけて左回転させるとき、次の各場合における誘導電流の向きを検流計の四角の中に矢印で記入せよ。

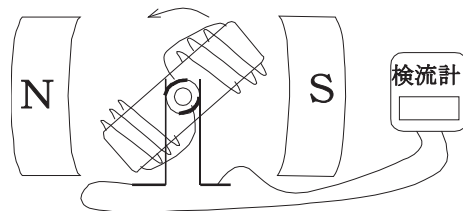
①



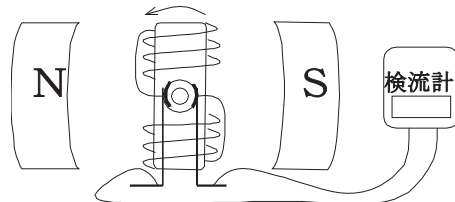
②



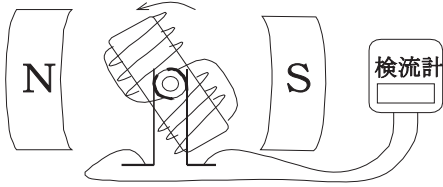
③



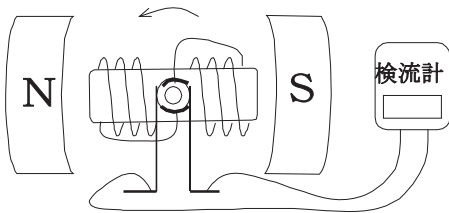
④



⑤



⑥



§ 5 変圧器 (トランス) のメカニズム

明治初年、我が国に入ってきた最初の電灯は直流電源によるものであった。この致命的な欠点は、電力輸送途中で送電線の電気抵抗による電圧降下であった。直流の送電の場合、全く変圧器は使用できず、ただ送電線の電気抵抗によって電圧は下がる一方である。直流用変圧器は存在しないのである。変圧器では、必ず1次側には交流電圧が加わる。このことは、変圧器のメカニズムから即座に分かることである。

1次コイルにある瞬間、図のような向きに電流が流れていたとする。この電流によって磁界ができ、磁力線が2次コイルを貫くことになる。これは、棒磁石のN極を2次コイルに急に近づけた場合の電磁誘導と同じである。すなわち、この磁界を打ち消すように2次コイルに誘導電流が流れる。次の瞬間、1次コイルに流れる電流の向きが逆転すると、2次コイルに発生する誘導電流の向きも逆転する。この繰り返しによって、1次側の交流電源と同じ周波数の交流が、負荷側にも発生することになる。なお、鉄棒の磁化のため、磁力線は鉄棒の外には出ず、鉄棒に沿って曲げられる。(※注 負荷とは、電力を受け取り、消費するものの総称である。)

ところで、変圧器の1次側に加えた電圧 E_1 と2次側に発生する電圧 E_2 は、1次コイルの巻き数 n_1 と2次コイルの巻き数 n_2 に比例する。

$$E_1 : E_2 = n_1 : n_2$$

$$(E_1/E_2 = n_1/n_2)$$

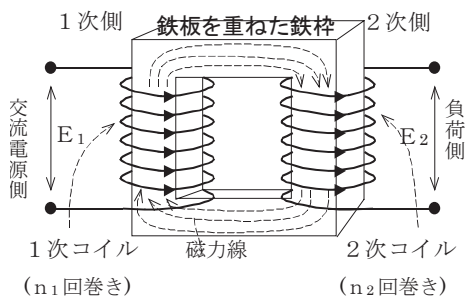
1次側の電流を I_1 、発生する2次側の電流を I_2 、1次側の電力を P_1 、発生する2次側の電力を P_2 とする。1次側の電力と2次側の電力の間には、

$$P_1 \geq P_2$$

なる大小関係が成立する。これは、変圧器内部で熱や振動が発生し、電気エネルギーの損失があるためである。等号は、変圧器の電気エネルギーの損失が非常に小さく無視できる場合である。この条件の下で、 $P_1 = P_2$ であるとは

$$E_1 \cdot I_1 = E_2 \cdot I_2$$

$$\therefore E_1/E_2 = I_2/I_1$$



であるから、次の関係が成り立つ。

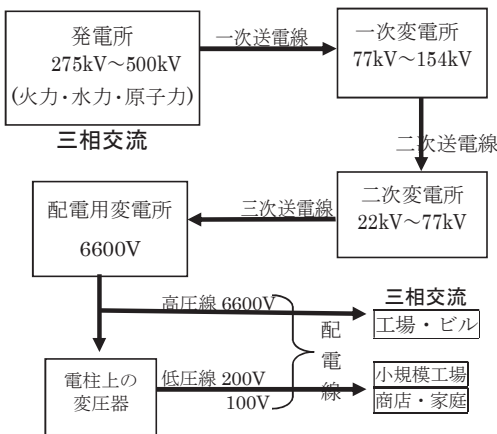
$P_1 = P_2$ のとき (変圧器の電気エネルギーの損失が無視できる場合)

$$I_2 : I_1 = E_1 : E_2 = n_1 : n_2$$

$$(I_2 / I_1 = E_1 / E_2 = n_1 / n_2)$$

§ 6 電力輸送経路

～発電所でつくられた三相交流の輸送経路～

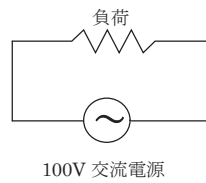


問 何故、送電は直流でなく交流でないかと実用化されないのか、本質的な理由を述べよ。直流も交流も、送電線の電気抵抗による電圧降下は大きいので、その理由にはならない。

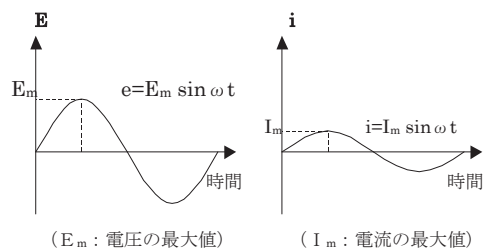
問 一定の電力を送る場合、電圧を上げて送電すると、何故施設費を安くおさえられるのか。

§ 7.1 交流の実効値

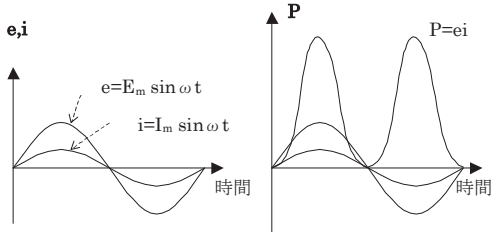
オームの法則は、直流の場合、すなわち導線の両端にかかる電圧あるいは起電力が一定であるときに成り立っていた。しかし交流の場合、すなわち電圧や電流が時間とともに変化する場合でも、その変化が非常に大きくない限りオームの法則が成り立つことがわかっている。電熱器などのように、負荷が純粋に電気抵抗からなる場合は、交流電源と電気製品の組み合わせを次のような交流回路として考えることができる。なお、負荷とは、電力を受け取り消費するものの総称である。



この場合、電圧と電流の時間的ずれはない。このことを、電圧と電流の位相は同じであるとも言う。いま電気抵抗 R の電熱器 (純粋に抵抗だけ) に交流が流れていて、時々刻々変化する電圧 e と電流 i とが、下のグラフのように表わされているとする。



電圧と電流の位相が同じだと、それぞれ最大値と最小値をとる周期が同じことになり、下の左図のように周期が一致する。



上の右図は電圧 e と電流 i の積をとったもの、すなわち時々刻々変化する電力のグラフである。しかし交流の場合でもオームの法則が使える為には、時々刻々変化する電力、電圧、そして電流などの物理量は使いづらい。そこでまず、電力の平均値を求めてみよう。各時刻の電力 P は

$$\begin{aligned} P &= e i = E_m I_m \sin^2 \omega t \\ &= E_m I_m \{1/2 (1 - \cos 2\omega t)\} \\ &= (1/2) E_m I_m - (1/2) E_m I_m \cos 2\omega t \end{aligned}$$

と表わされるから、交流の1周期にわたる平均をとると、上式の第2項はゼロとなり、

電力の平均値 \bar{P} は

$$\bar{P} = (1/2) E_m I_m$$

(E_m : 電圧の最大値、 I_m : 電流の最大値)

で与えられる。ここで交流の電力を直流のときと同じ形式で表わすために、この式を

$$\bar{P} = (1/2) E_m I_m = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 E_m I_m$$

と変形して、

$$\therefore \bar{E} = E_m / \sqrt{2}, \quad \bar{I} = I_m / \sqrt{2}$$

と考えれば、常に

$$\bar{P} = \bar{E} \bar{I}$$

(\bar{P} : 電力の平均値、 \bar{E} : 電圧の実効値、 \bar{I} : 電流の実効値)

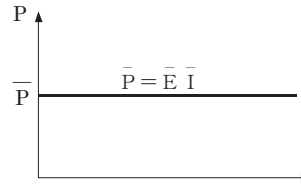
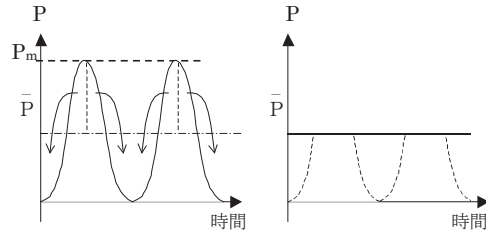
が成立し、またオームの法則は、

$$\bar{E} = R \bar{I}$$

となる。

このように電圧の実効値と電流の実効値を考えることで、直流回路で使用した電力を求める式やオームの法則が、交流回路でも使えることがわかる。

最後に電力の平均値をグラフで確認してみよう。ここで、 $\bar{P} = P_m / 2$ となるように設定した。(P_m : 電力の最大値、 \bar{P} : 電力の平均値)



電力の 平均値	=	電圧の 実効値	×	電流の 実効値
------------	---	------------	---	------------

$\bar{P} = P_m / 2$
$\bar{E} = E_m / \sqrt{2}$
$\bar{I} = I_m / \sqrt{2}$

(\bar{P} : 電力の平均値、 \bar{E} : 電圧の実効値、 \bar{I} : 電流の実効値)

問 普通、100Vの交流というとき、この100Vが実効値である。このときの最大電圧はいくらか。

(141V)

問 交流100V用の電熱器350W、電気ポット400W、ホットプレート1200W、オーブントースター650Wを同時に2時間使用した。このときの消費電力量は何kWhか、また屋内配線には何Aの電流が流れ込んでいるか。

(5.2kWh, 26A)

問 交流100V用の電熱器500Wの電熱線が断線したので修理したら、電熱線の長さが元の半分になった。もしこの修理した電熱器を使用すれば、何Wの電力が得られるのか。

(1000W)

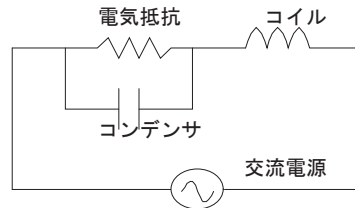
電圧の実効値 = $\frac{\text{電圧の最大値}}{\sqrt{2}}$

電流の実効値 = $\frac{\text{電流の最大値}}{\sqrt{2}}$

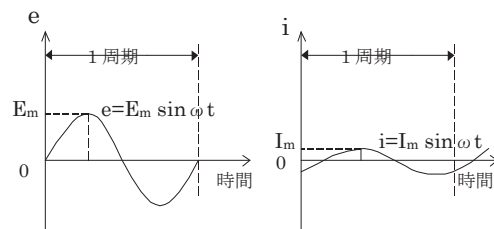
§ 7.2 交流電力と力率

電池に豆電球をつないだ簡単な直流回路では、電池に対して豆電球を負荷という。また

交流電源に電気製品をつなぐと、これは立派な交流回路である。このとき電源に対して電気製品を負荷という。このように負荷とは、電力を受け取り消費するものの総称である。負荷が、電熱器や白熱灯のように、純粹に電気抵抗だけからなる場合は、電源が直流であろうが交流であろうが、§ 7. 1 で見たように、電力を求める式やオームの法則が使えた。しかし、負荷が、蛍光灯、ラジオ、テレビや掃除機などのように、コイルやコンデンサを含む電気製品の場合、§ 7. 1 のようなことは言えず、電力を求める式やオームの法則は修正されなければならない。今の場合、電気製品を含む交流回路は、例えば次のようになる。

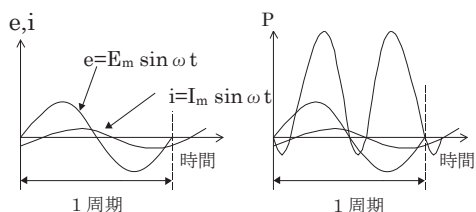


この場合、電気抵抗のほかに、コイルによる誘導リアクタンスやコンデンサによる容量リアクタンスという抵抗によって、交流電圧 e とそれによって流れる交流電流 i との間には、時間的なずれ（位相差）が発生する。

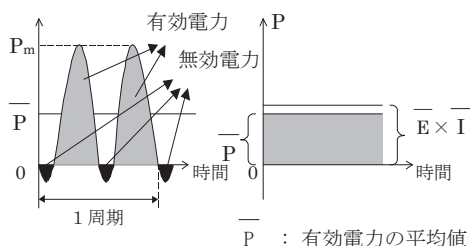


(E_m : 電圧の最大値) (I_m : 電流の最大値)

上図のように電圧と電流の最大値や最小値をとる周期がずれて、電圧と電流の位相が異なることになる。さてこの時、時々刻々変化する電力は下の左のグラフのようになる。



この時、瞬間、瞬間には、負の値の電力が発生する。この負の電力は、負荷側にとっては仕事にならないので、無効電力と呼ばれる。負荷側にとって有効な電力は、正の値を持つ電力で、有効電力と呼ばれる。



特に、有効電力と無効電力の絶対値の和を皮相電力と呼ぶ。この皮相電力は、考察する回路（あるいは電気製品）に含まれているコイルやコンデンサをすべて取り去った、抵抗だけを含む回路（あるいは電気製品）の消費電力の平均値に相当し、見かけの電力である。

皮相電力=有効電力+無効電力の絶対値

だから電圧の実効値が \bar{E} 、電流の実効値が \bar{I} のとき、皮相電力は $\bar{E} \times \bar{I}$ と表される。有効電力の平均値を \bar{P} とおくと、皮相電力に対する有効電力の平均値の割合が力率である。

$$\text{力率} = \frac{\text{有効電力の平均値}}{\text{皮相電力}} = \frac{\bar{P}}{\bar{E} \times \bar{I}}$$

なお、考えている回路(あるいは電気製品)に抵抗しか含まれていない場合は、無効電力は発生せず、皮相電力と有効電力の平均値は等しくなり、力率は1となる。だから一般的には、有効電力の平均値は皮相電力よりも小さく、力率は1より小さい。力率1とか力率0.5とかの1以下の数値で与えられるが、%で表される場合もある。これは力率に100を掛けて考えればよい。例えば、力率1とか力率0.5とかは、それぞれ力率100%とか力率50%と同じことである。さて、家庭での消費電力は電力量計で確認できる。電力量計に表示される消費電力は、各電気製品によって使用された有効電力の平均値の総和である。だから、上式の有効電力の平均値を消費電力と置き換えた方が分かりやすいだろう。

$$\text{力率} = \frac{\text{消費電力}}{\text{皮相電力}} = \frac{\bar{P}}{\bar{E} \times \bar{I}}$$

問 ある電気製品に、交流100Vで4Aの電流が流れたとき、1時間使用して電力量計が0.3kWhを示したという。力率はいくらか。

(0.75 or 75%)

問 100V用20Wの蛍光灯の電気スタンドがある。この装置全体として24Wの電力を消費するならば、この装置には何Aの電流が流れるか。ただし、装置の力率は65%とする。

(約0.37A)

問 交流電源 100V で 60W の白熱電球が点灯しているとき、この白熱灯に流れる電流はいくらか。また、この白熱電球の力率は何%か。

(0.6A, 力率 1 or 100%)

§8 電動機（モーター）のメカニズム

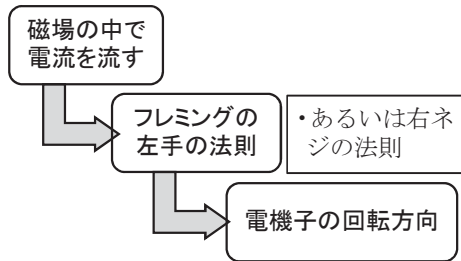
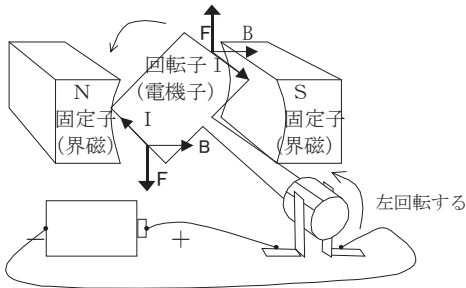
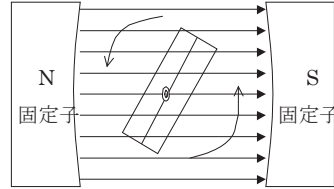


図 1



① 直流電動機

図 1 で、回転子（＝閉回路）には直流電流が流れている。だから右ネジの法則にしたがって、回転子（＝閉回路）には磁場（＝磁界）が発生している。この磁場と固定子の磁場が作用し合って、回転子（＝閉回路）に力が働く。その結果、回転子（＝閉回路）が回り出すことになる。このことは下図のように、回転子を磁石に置き換えて考えると、より分かりやすいだろう。



しかし、この磁石は永久磁石であっては困る。回転がストップするからだ。そこで整流とブラシがだいたいな働きをする。回転子が半回転すると、回転子に流れる電流の向きが入れ替わるようになっている。すなわち、回転子に置き換えられた磁石が半回転すると、その磁石の極が入れ替わって、さらに同じ方向に回転していくようになっている。

また次のように考えてもよい。回転子の磁場と固定子（永久磁石）の磁場を合成してみる。合成した磁場の疎密によって、回転子にどの方向の力が働くか予想することができる。

図 2

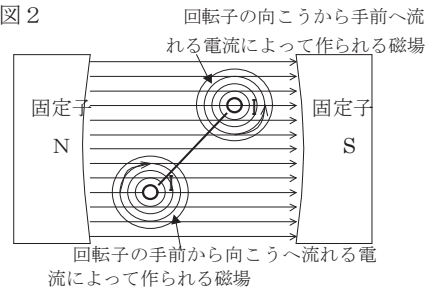


図 3

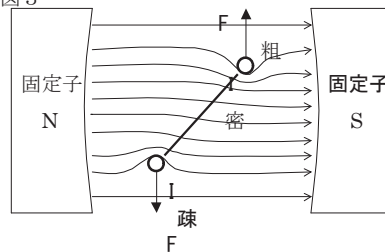


図 4

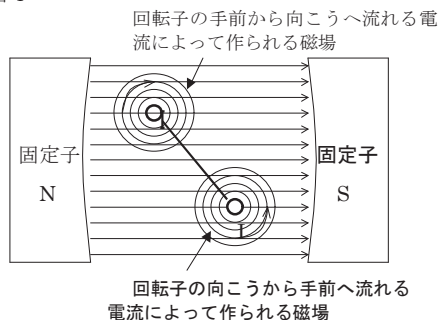
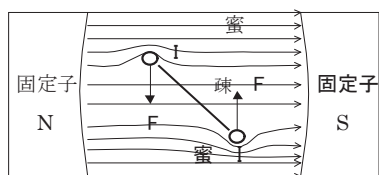


図 5



磁力線の束を磁束というが、この磁束には弾性がある。例えば、磁力線 1 本 1 本をゴム紐と置き換えてみれば直感できよう。磁束の密な箇所は、元に戻ろうとする。その結果、回転子には図 3 のような力 F が働く。さらに回転子が回転していくと、そのうち電流の向きが入れ替わる。この時の回転子の磁場と固定子の磁場の合成は、例えば次のようになる。今度は磁束の密な箇所は、ちょうど回転子のすぐ外側である。磁束の弾性によって、回転子は力 F の方向へ押され、回転を続けて行くことになる。

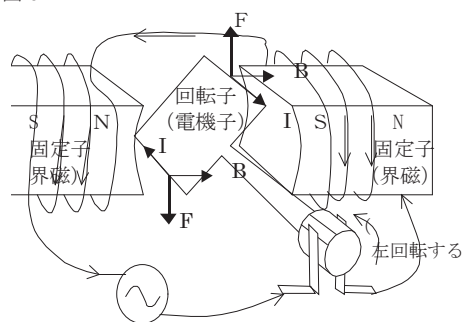
これらの結果を機械的に考える為には、フレミングの左手の法則が便利である。これは一般に、磁場 B の方向とその磁場中の電流 I

の方向とから、電流に働く力 F の方向を決める法則である。

直流電動機の使用例：携帯用ひげそり、電動おもちゃ、電動消しゴム、巻き上げ自動式カメラ。

② 交流整流子電動機

図 6

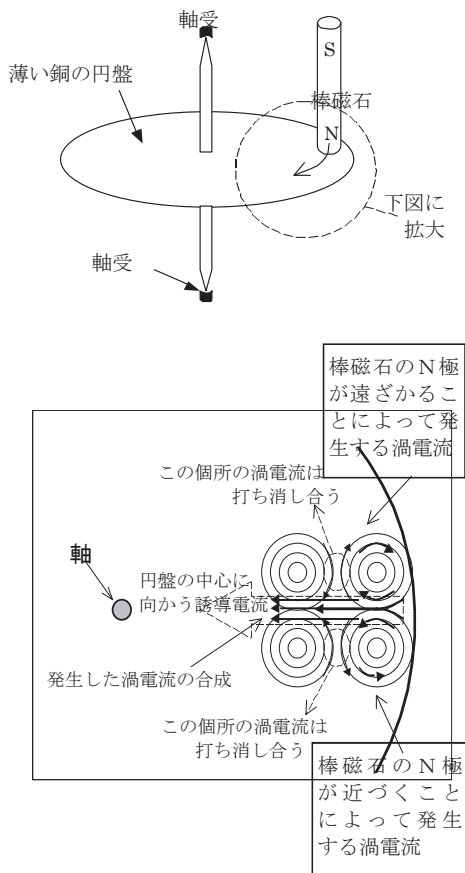


この交流整流子電動機の原理は、基本的には①の直流電動機と同じである。しかし、交流電源を使用しているため、電流の流れる方向が周期的に入れ替わる。単に①の電動機に交流を流しても、同じ向きの回転を継続することはできない。そのために整流子とブラシを用いて、さらに固定子にコイルを巻きつけるような工夫をしている。電流の向きが周期的に変われば、それに応じて固定子（軟鉄で永久磁石ではない）の磁極も周期的に入れ替わるのである。

単相交流整流子電動機の使用例（特徴→高速回転）：
電気掃除機、電動ミシン、ヘアドライヤ、ミキサー、
ジューサー、電気ドリル

§ 9 アラゴの円板によるモーター

アラゴの円板の原理は、銅やアルミでできた円板を磁石で挟んで、磁石を動かすと、円板に渦電流が発生し、この渦電流によって、円板には磁石の移動方向に動こうとする力が発生するというものです。



《アラゴの円板》

棒磁石を円板に沿って銅の円板矢印の向きに回転させると、銅の円板もこれについて、やや遅れながら同じ方向に回転する現象。銅の円板に沿って棒磁石を動かすということは、棒磁石の真下の円板部分では、棒磁石が遠ざかる部分と近づく部分とが生じるということ

である。棒磁石のN極が近づくことによって誘導される渦電流と、棒磁石のN極が遠ざかることによって誘導される渦電流とを合成すれば、図のように円盤の中心に向かう誘導電流が発生していることが分かる。この誘導電流の周りに同心円状に磁界が発生し、この磁界と磁石とが相互作用することによって、円盤が動くという仕組みである。

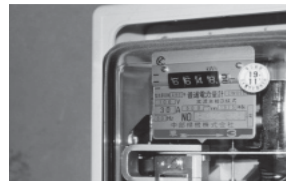
③ 誘導電動機

この原理によって動いている身近な機器に、各家庭の電力引込線に設けられている積算電力計（誘導型電力量計）（図 2.43）がある。

円板の中心に向かう誘導電流による磁界と、棒磁石による磁界との相互作用によって棒磁石を回転させる方向に、円板も回転していく。積算電力計では、アルミ円板を挟んで、一方に細い電線を多数巻いたコイルの磁心がある。コイルを電灯線に並列接続しても、電線が細く長いため、消費電流はわずかである。このコイルを電圧コイルと呼ぶ。反対側には、十分太い電線を少しだけ巻いたコイルの磁心が対向している。このコイルを、電灯線に直列接続すると、家庭で消費する電流はすべてこのコイルを経由して流れる。

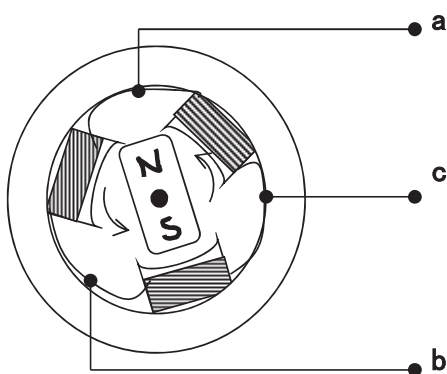
しかし、コイルの電線は太く短いので、電圧降下はわずかである。このコイルを電流コイルと呼ぶ。2つのコイルは、インダクタンスの違いにより電流位相がほぼ90°異なり、コンデンサラン型モータのときと同じように回転磁界が発生する。

図 2.43



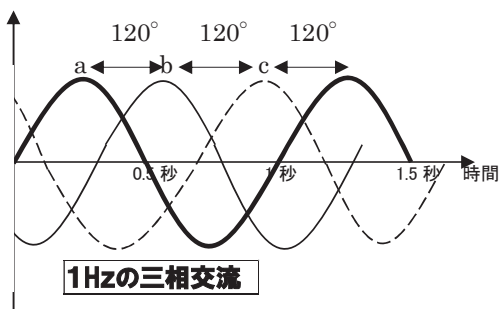
§ 10 三相交流

次の図は、三相同期発電機の構造の概要である。



コイルが 120° の間隔で配置された固定子の中で、図の回転子（電磁石あるいは磁石）を矢印方向へ左回転させると、時間的に 120° だけ位相のずれた3種類の交流が得られる。この交流が発電所で発電される三相交流である。

起電力(電圧)



《三相交流誘導電動機》

発電所でつくられる電力は三相交流で、3本の送電線で輸送される。これは大形の電動機にとって効率がよく、動力線として工場や大きい農器具などで使用されている。この三

相交流を使う誘導電動機が、三相交流誘導電動機である。

《単相交流誘導電動機、単相交流同期電動機》

一方、一般家庭で使う電力は、電灯線と呼ばれる単相2線式か単相3線式によって供給されている。単相用柱上変圧器は、三相交流のうちの一相（単相という）を使用して、100Vか200Vの電圧に下げる変圧器である。この単相交流を使う誘導電動機が、単相交流誘導電動機である。単相交流電圧で回転磁界をつくるにはコイルだけでは無理なのでコンデンサが用いられ、このことからコンデンサモータとも呼ばれている。コンデンサは交流電圧を加えると、電圧より 90° 位相が進む電流を発生させる。コンデンサを接続したコイルに、最初に電流が流れ、最初の磁界ができる。このコイルを始動巻線（あるいは補助巻線）という。次に、主巻線と呼ばれるもう一方のコイルに位相が 90° 遅れた電流が流れ、二番目の磁界ができる。あとはこの繰り返しで、回転磁界が発生することになる。また、単相交流誘導電動機と同じような構造で、回転子に永久磁石を使用したのが、単相交流同期電動機（シンクロサモータ）である。

☆単相交流誘導電動機（コンデンサモータ）
の使用例：電気洗濯機、衣類乾燥機、扇風機、換気扇

☆単相交流同期電動機（シンクロサモータ）
の使用例：デジタル電気時計、カセットテープレコーダ、ビデオデッキ、タイマ、フォノモータ

問 固定子の磁極の数を p 、供給電源の周波数を f とするとき、回転磁界の速さ N_0 を p と f で表わせ。

ヒント：2極の場合、回転磁界1回転につき、1往復の磁界が1回発生する。 $f = 1\text{ Hz}$ の場合、回転磁界は1秒間に1回転になる。4極の場合、回転磁界1回転につき、1往復の磁界が2回発生する。 $f = 1\text{ Hz}$ の場合、回転磁界は1秒間に1/2回転となる。

$$N_0 = 2f/p$$

④ ステッピングモータ(パルスモータ)

ステッピングモータは、例えばコンピュータの出力装置であるプリンタには必要不可欠なモータである。印字や作図が自由にできるためには、コンピュータと同様にプリンタのモータもデジタル制御されなければならない。この種のモータでは、連続回転ではなく、例えば1度ずつ小刻みに断続的に任意の速度で回転することが要求される。これはアナログ制御される従来の直流モータや誘導モータでは原理的に不可能で、パルス信号によってデジタル的に回転角と回転速度が制御されるモータの登場によって可能になった。このステッピングモータはパルスモータとも呼ばれる。

☆ステッピングモータ(パルスモータ)の使用例：ファックス、プリンタ、グラフプロッタ、フロッピーディスクドライブ

⑤ インバータやサイリスタによる速度制御

インバータとは、コンバータ(交流-直流変換器)の逆の変換をする装置あるいは方式のことで、ダイオードやトランジスタあるいはサイリスタなどのスイッチング素子により構成されている。家電製品にインバータが接続される場合には、その前段階に必ずコンバータが接続されている。正確に表現すればコンバータ+インバータであるが、一般には簡略化してインバータと呼ぶ。このインバータは、周波数が自由に変えられることから、特に周波数変換装置として利用されている。誘

導電動機の回転磁界の速さは、周波数に比例するから、インバータ制御によって誘導電動機の回転数を自由にコントロールすることができる。

使用例：インバータエアコン、インバータ付き洗濯機、インバータ付き洗濯機、インバータ付き扇風機。

サイリスタは、電流を制御するSCR(シリコン制御素子)である。サイリスタを取り付けた電動機では、電動機に流れる電流が制御されて変速可能になる。

使用例：家電製品の電動機の回転速度の制御、家電製品の温度制御、各種照明装置の調光に応用。

【参考書籍】

- ・『電磁気学』、柿内 賢信 訳(スレーター・フランク共著)、丸善株式会社
- ・Electromagnetism, by J.Slater & N.H.Frank, Dover Publications,INC.
- ・『理論電磁気学』、砂川 重信 著、紀伊國屋書店
- ・『電磁気学』、平川 浩正 著、培風館
- ・『基礎物理学』(下巻)、金原 寿郎 編、裳華房
- ・『物理学の基礎概念』、拙著、東北女子大学出版会