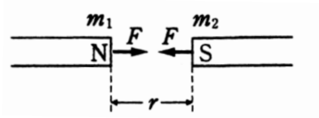
## IV.【電流と磁場】




### ■磁気力■

○磁気力に関するクーロンの法則

2 つの磁極の間にはたらく磁気力の大きさ $F$ は，磁気量を $m_1$，$m_2$[Wb]，磁極間の距離を $r$ とすると

$$F = k_m \frac{m_1 m_2}{r^2}$$ （$k_m$ は比例定数，真空中では $k_m = 6.33\times10^4$N・m/Wb$^2$）

※N 極の磁気量を+，S 極の磁気量を－で表す。

※N 極，S 極を単独で取り出せない。

※ $k_m = \dfrac{1}{4\pi\mu}$ （$\mu$：透磁率，真空の透磁率 $\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}$ [N/A$^2$]）

### ■磁場■

磁気量 $m$[Wb]の磁極が磁場 $\vec{H}$ [N/Wb]から受ける力：$\vec{F} = m\vec{H}$

※磁場の重ね合わせ：ベクトルの合成

### ■磁束密度■

磁束密度 $\vec{B}$ [Wb/m$^2$](=[N/A・m]=[T])と磁場の強さ $\vec{H}$ [N/Wb](=[A/m])との関係 $\boxed{\vec{B} = \mu\vec{H}}$

### ■磁束■

面積 $S$ [m$^2$]の平面上の磁束密度の大きさが $B$ [Wb/m$^2$]であるとき，この面を貫く磁束 $\boxed{\Phi = BS}$ [Wb]

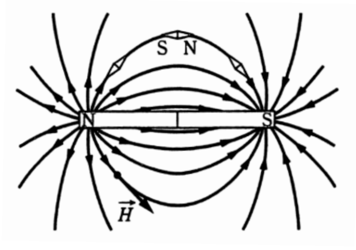
### ■磁力線・磁束線■

磁場内に引いた曲線で，その接線が磁場ベクトル $\vec{H}$ の方向を表す。

**磁力線：磁場の強さ $H$ [N/Wb]のところでは，磁場に垂直な面に 1m$^2$ 当たり $H$ 本の割合で引く。**

磁場が強い⇔磁力線は密集

磁場が弱い⇔磁力線はまばら




＜磁力線の性質＞

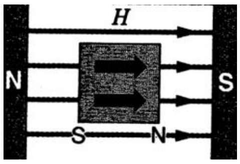
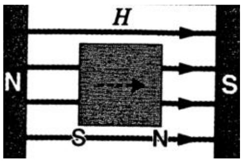
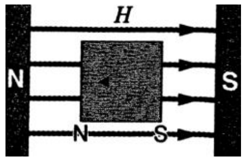
電気力線の性質と同じである。

**磁束線：磁場の強さ $B$ [Wb/m$^2$]のところでは，磁場に垂直な面に 1m$^2$ 当たり $B$ 本の割合で引く。**

○地球の磁場（地磁気）

地球は北部に S 極，南部に N 極をもつ 1 つの大きな磁石であると考える。

## ■磁化■

| 種類 | 強磁性体 | 常磁性体 | 反磁性体 |
|---|---|---|---|
| 磁化のされ方 | <br>磁場の向きに強く磁化される | <br>磁場の向きに弱く磁化される | <br>磁場と逆向きに弱く磁化される |
| 例 | 鉄，コバルト，<br>ニッケルなど | アルミニウム，空気<br>など | 銅，水，水素など |

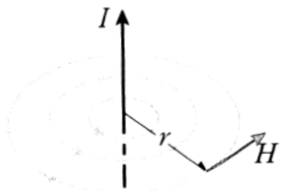
## ■電流のつくる磁場■

場の向き：右ねじの法則で考えること。

○直線電流がつくる磁場

直線電流 $I$ から距離 $r$ の点の磁場の強さ $H$ は

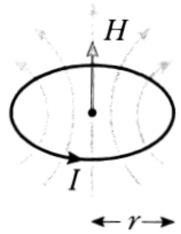
$$\boxed{H = \frac{I}{2\pi r}}$$




○円形電流がつくる磁場

半径 $r$ で $N$ 巻きの円形電流 $I$ の，円の中心の磁場の強さ $H$ は

$$\boxed{H = \frac{NI}{2r}}$$

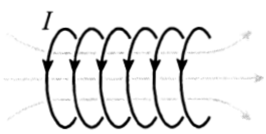



○ソレノイドの電流がつくる磁場

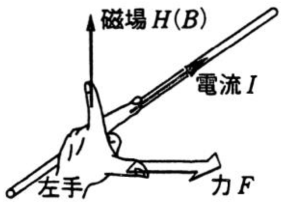
1m 当たりの巻き数を $n$ とすると

$$\boxed{H = nI}$$

※ソレノイド：円筒形で筒の長さが半径に比べて十分長い場合のこと。



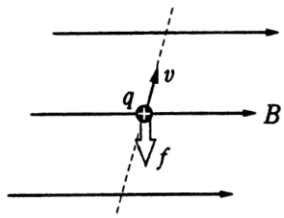
## ■電流が磁場から受ける力■




○直線電流が受ける力（電磁力）

(ⅰ)向き：フレミングの左手の法則を用いる。

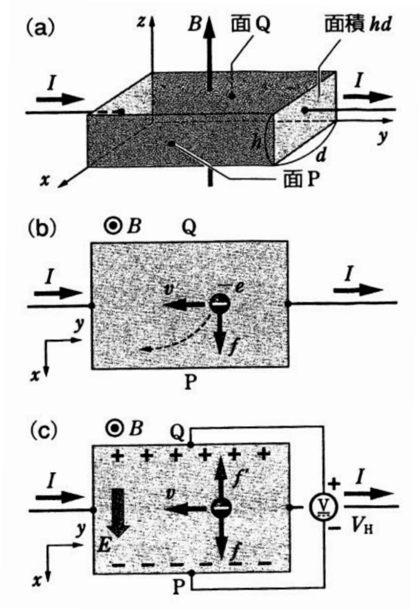
(ⅱ)大きさ：$\boxed{F = IBl}$




○ローレンツ力

(ⅰ)向き：正電荷の運動の向きを電流の向きとして，
　　　　フレミングの左手の法則を用いる。

(ⅱ)大きさ：$\boxed{f = qvB}$




○ホール効果

図(a)のように，$y$ 軸の正の向きに電流 $I$ [A]が流れている薄い物体に，$z$ 軸の正の向きの磁場（磁束密度 $B$ [Wb/m$^2$]）を加えると，$x$ 軸方向に電位差が生じる。

これは，電流をになう荷電粒子（キャリアという）にローレンツ力がはたらき（図(b)），運動の方向が曲げられ，キャリアが電流と磁場とに垂直な方向に集められるからである。この現象をホール効果という。

　幅 $d$ [m]，厚さ $h$ [m]の薄片を考える。

速さ $v$ [m/s]で $y$ 軸の負の向きに動いている電子（電気量$-e$ [C]）は，$x$ 軸の正の向きにローレンツ力 $evB$ を受け面 P に集まる。

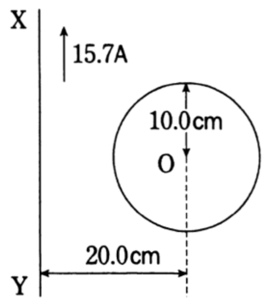
これは，磁場を加えると瞬時に起こる。これより，面 P は負に，面 Q は正に帯電し，導体中に $x$ 軸の正の向きの電場 $E$ [V/m]ができる。ローレンツ力 $evB$ と電子が電場から受ける力 $eE$ とがつりあうと，電子はまっすぐ進むようになる。つまり，$E = vB$

よって PQ 間の電位差（ホール電圧）は，$V_{\mathrm{H}} = Ed = vBd$

さらに，$I = envS$ より，$v = \dfrac{I}{enhd}$ であるから，$V_{\mathrm{H}} = vBd = \dfrac{IB}{enh}$

＜例題１＞

図の向きに 15.7A の電流が流れている長い直線状の導線 XY と，それから 20.0cm の所に中心 O をもつ半径 10.0cm の 2 回巻きの円形導線が同一平面内にある。次の問いに答えよ。



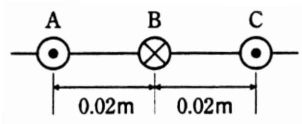

（１）直線電流が円の中心 O につくる磁場の強さと向きを求めよ。

（２）円の中心 O の磁束密度を求めよ。ただし，空気の透磁率を $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$[N/A$^2$]とする。

（３）円形導線に電流を流して中心 O の磁場を 0 にするには円形導線に，どちら向きにどれだけの電流を流せばよいか。

＜例題２＞

3 本の平行な長い直線の導線 A，B，C が，図のように一直線上に 0.02m の間隔をおいて並べられ，A には紙面の裏から表の向きに $I_1 = 6.28$A，B には紙面の表から裏の向きに $I_2 = 6.28$A，C には紙面の裏から表の向きに $I_3 = 10.0$A の電流を流した。透磁率を $4\pi \times 10^{-7}$N/A$^2$ とする。




（１）導線 A，B に流れる電流が，導線 C の位置につくる磁場の向きと強さを求めよ。

（２）導線 C の 1.00m 当たりが受ける力の向きと強さを求めよ。

＜例題３＞

図１のように，真空中で原点をＯとする直交座標 $xyz$ をとり，$z$ 軸の正の向きに磁束密度 $B$ の一様な磁場を加える。図１および図２のように，$y$ 軸上の正のある点から $yz$ 面に垂直に初速 $v$（$v>0$）で荷電粒子が入射したところ，粒子は $xy$ 面内で原点を中心に $z$ 軸の正の向きから見て左まわりの向きの円運動を行った。荷電粒子の質量を $m$，電気量を $q$ とし，重力を無視して以下の問いに答えよ。

（１）荷電粒子が入射した $y$ 軸上の位置を求めよ。

（２）もし荷電粒子の初速が $2v$ であったならば，円運動の周期は何倍になるか。

（３）円運動の向きと周期から，この荷電粒子の質量や電荷についてどのようなことがわかるか，それぞれ 20 字以内で答えよ。

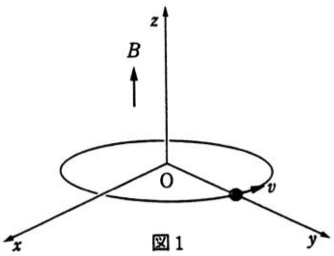


図１

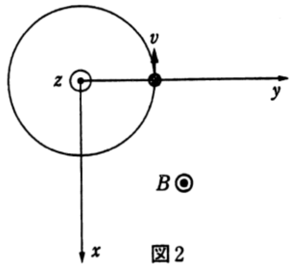
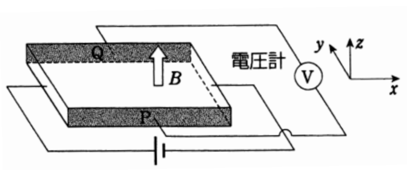


図２

＜例題４＞

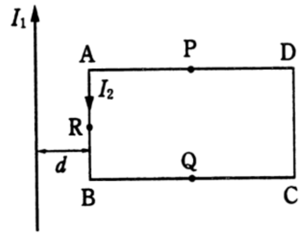
図のような直方体の固体に電流を $x$ 軸の正の向きに流し，$z$ 軸の正の向きに磁束密度 $B$ の一様な磁場を加える。




（１）固体中を速さ $v$ で移動する電荷 $q$ の荷電粒子が，磁場から受ける力の大きさ $F$ を求めよ。

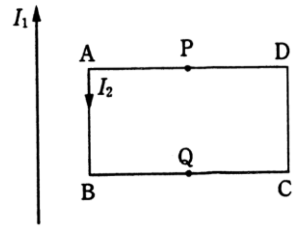
（２）荷電粒子は力 $F$ の向きに移動し，側面の一方に集まり，電場が発生する。この電場によって，側面ＰとＱの中央の２点間には電位差が生じる。Ｐ，Ｑのどちらが高電位か。荷電粒子が正電荷，負電荷の場合のそれぞれについて答えよ。

【１】図のように，平面内に長い導線と長方形 ABCD のコイルが置かれている。導線に $I_1$[A]，コイルには $I_2$[A]の電流が図中の矢印の向きに流れている。辺 AB の長さを $a$ [m]，辺 BC の長さを $b$ [m]，導線と辺 AB は平行であり，その間隔を $d$ [m]とする。空気の透磁率を $\mu_0$[N/A$^2$]として，次の問いに答えよ。




（１）辺 AB の中点 R において直線電流 $I_1$ のつくる磁束密度の大きさと，その向きを求めよ。

（２）直線電流 $I_1$ により，辺 AD の中点 P および辺 BC の中点 Q の受ける力の向きを右図中に示せ。




（３）辺 AB が直線電流 $I_1$ から受ける力の大きさを求めよ。また，力の向きを右図中に示せ。

（４）　辺 CD が直線電流 $I_1$ から受ける力の大きさを求めよ。また，力の向きを右図中に示せ。

（５）コイル ABCD が全体として受ける力（合力）の大きさと向きを求めよ。

（2002 年　高知女子大）

【２】図１のように，$xy$ 平面上において，Ⅰを $y<0$ の領域，Ⅱを $0 \leqq y \leqq l$ の帯状の領域，Ⅲを $y>l$ の領域とする。領域Ⅱでは $z$ の正の向き（紙面の裏から表の向き）に磁束密度 $B$ の一様な磁場（磁界）がかかっている。質量 $m$，電荷 $q$（>0）の粒子が領域Ⅰを運動して，図１のように原点 O において角度 $\theta$（>0）でⅡの $x>0$ の領域に入射する。入射時の粒子の速さを $v_0$ とし，重力の影響は無視して，以下の問いに答えよ。

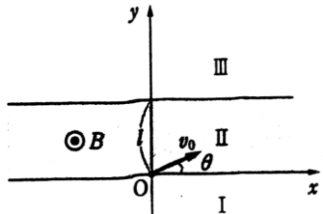


図 1

　ただし，（１），（３），（４），（５）の答えは，$m$，$q$，$v_0$，$B$，$\theta$，$l$ の中から必要なものを用いて表せ。

（１）粒子が領域Ⅱに入射した直後に粒子にはたらく力の大きさを求め，力の向きを図２中に矢印で示せ。

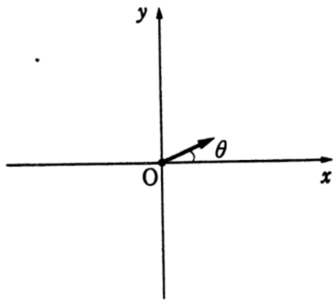


図 2

（２）粒子は常に $xy$ 平面上を運動する。その理由を述べよ。

（３）領域Ⅱ内では，粒子は半径 $r$ の円周上を運動する。$r$ を求めよ。

（４）粒子が領域Ⅱを運動した後，再び領域Ⅰへ戻る場合を考える。

(a)　粒子が領域Ⅱから領域Ⅰへ飛び出す方向と $x$ 軸とのなす角 $\theta'$ を求めよ。

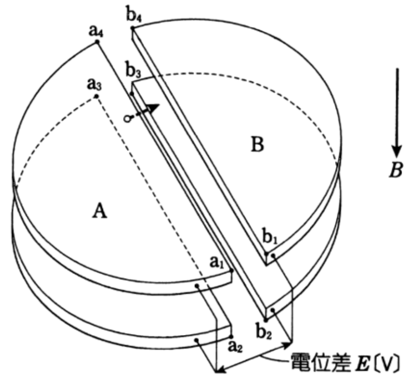
(b)　粒子が領域Ⅰへ飛び出すときの $x$ 座標を求めよ。

(c)　粒子が領域Ⅱ内で運動しているときの $y$ 座標の最大値 $y_M$ を求めよ。

（５）粒子の速さ $v_0$ がある値 $v_1$ より大きくなると，粒子は領域Ⅱを通過して領域Ⅲへ飛び出す。$v_1$ を求めよ。

（2004 年　奈良女子大）

【３】（サイクロトロン）




真空中において，質量 $m$ [kg]，電荷 $-e$ [C]の電子が，速さ $v$ [m/s]で磁束密度 $B$ [T]の一様な磁場に垂直に運動している。このとき，電子は磁場からローレンツ力を受け，その大きさは［ ア ］[N]で表される。このローレンツ力が向心力となり，電子は円運動をする。この場合，電子の円運動の軌道半径は［ イ ］[m]と求まる。また，円運動の周期は［ ウ ］[s]であり，周期は，電子の速さと軌道半径には無関係であることがわかる。ただし，電子にはたらく重力は無視できるものとする。このような電子の運動をサイクロトロン運動という。

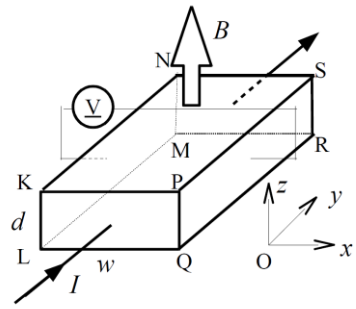
図のような鉛直な磁場中に，半円形の上下１対の金属板でつくられた２組の電極 A，B を，微小な間隙を離して水平に置く。電極 A がつくる端面 $a_1a_2a_3a_4$，および，電極 B がつくる端面 $b_1b_2b_3b_4$ は互いに平行である。時刻 0 では，電極 A の電位を 0V，電極 B の電位を $E$ [V]に保っておき，図のように端面 $a_1a_2a_3a_4$ 上で電子を発生させる（図中の白丸）。電子は，A から B に進むときに，両電極板に生じた電場によって加速される。電子の初速度が無視できる場合，電子の運動エネルギーは［ エ ］[J]となる。その後，電子は磁場からローレンツ力を受け，電極 B 内を円運動する。その軌道半径は，電位 $E$ [V]を用いて表すと，［ オ ］[m]となる。B の内部を円運動した電子は，電極 B と A の間隙に到達する。このとき，電極 A と B の電位を瞬時に逆転させ，B を 0V，A を $E$ [V]に変化させる。これによって，電子は B から A に向かって電場によって再び加速され，その後，電極 A 内で電子は円運動をする。その軌道半径を $E$ [V]を用いて表すと，［ カ ］[m]となる。この運動をくり返すことによって，電子を次々と加速させるためには，電位を切り替える回数を１秒あたり［ キ ］回としなければならない。上のような原理を利用した加速器を，サイクロトロンという。

ところが，これだけではエネルギーの増加とともに，電子の円運動の軌道は広がり，電子は電極の外側に飛び出してしまう。これを防ぐためには，電子を $N$ 回目に加速するタイミングに合わせて，磁束密度の大きさを最初の［ ク ］倍にする。すると，円運動の軌道半径を一定に保つことができ，電子を安定な軌道上で周回させることができる。この原理を利用した加速器は，シンクロトロンとよばれる。

（2006 年　立命館大）

【４】自由電子が移動することによって導体には電流が流れる。導体中の自由電子の数密度（単位体積当たりの個数）$n$ は，その導体を特徴づける基本的な量の一つである。$n$ を求める実験を考えてみよう。

図のように，幅が $w$ ，高さが $d$ の長方形断面を持つまっすぐな導体中を大きさ $I$ の電流が $y$ 軸の正の向きに流れている。導体の幅と高さの方向にそれぞれ $x$ 軸と $z$ 軸をとる。また，導体の両方の側面 KLMN と PQRS の間の電位差を測定できるように電圧計が接続されている。電子の電荷を－$e$（$e > 0$）として，次の各問いに答えよ。




（１）自由電子はすべて速さ $v$ で $y$ 軸に平行に運動しているものとして，電流の大きさ $I$ を $w$，$d$，$n$，$e$，$v$ を用いて表せ。

（２）この導体に $z$ 軸正の向きに，磁束密度 $B$ の一様な磁場をかけた。このとき，自由電子 1 個の受けるローレンツ力の大きさはいくらになるか。また，力の向きは $x$ 軸の正または負のどちらか。

（３）自由電子はローレンツ力により，導体側面の一方に集まり，他方は少なくなる。この結果，両方の側面には互いに反対符号で等しい量の電荷が現れ，導体内部には $x$ 軸方向に電場が発生する。最終的には，この電場からの力と磁場によるローレンツ力がつりあって自由電子は（１）と同じように $y$ 軸に平行に運動する。このときの電場の強さ $E$ を $v$ と $B$ を使って求めよ。

（４）（３）で自由電子が $y$ 軸に平行に運動するようになったとき，導体の両方の側面の間の電位差 $V$ を測定した。自由電子の数密度 $n$ を，この $V$ と $I$，$B$，$d$，$e$ を用いて求めよ。

（2002 年　奈良女子大）

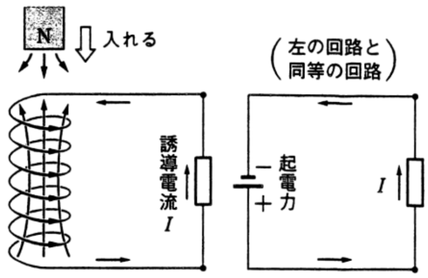
## ■電磁誘導の法則■

　コイルを貫く磁束が変化すると，コイルに誘導起電力が生じる。回路が閉じていると，この起電力によって電流が流れる場合，この電流を誘導電流という。

○レンツの法則

　誘導起電力は，それによって流れる誘導電流のつくる磁束が，外から加えられた磁束の変化を打ち消すような向きに生じる。

○ファラデーの電磁誘導の法則

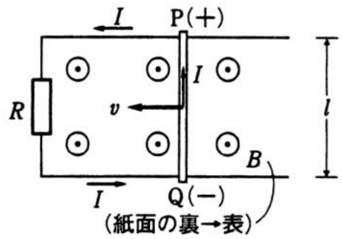



　$N$巻きコイルを通る磁束$\Phi$ [Wb]が時間 $t$ [s]の関数として変化するとき，そのコイルに生じる

誘導起電力 $V$ [V]は $\boxed{V = -N\dfrac{d\Phi}{dt}}$

※負号は，起電力の向きが磁束の時間変化と逆向きであることを示している。

○磁場を横切る導線と誘導起電力




　一様な磁場（磁束密度 $B$ ）の中で導線（磁場内の長さ $l$ ）を速さ $v$ で磁場に垂直に動かすとき，生じる誘導起電力の大きさ $\boxed{V = vBl}$

○渦電流

中心軸まわりに回転できる金属円板の上で棒磁石を軸を中心にまわすことを考える。

棒磁石の N 極が近づくと，下向きの磁束が増すから，これを妨げるように上向きの磁束をつくるような渦上の誘導電流が流れる。逆に，遠ざかる点では，下向きの磁束が減少するため，下向きの磁束をつくるように逆回りの誘導電流が流れる。これらの誘導電流を渦電流という。

渦電流がつくる磁束を磁石とみなすと，それぞれからは斥力，引力を受けるため，これらの力はいずれも磁石の移動の向きと同じ向きであるから，円板は磁石に引きずられるように同じ向きに回転を始める。一方，磁石を固定し，金属円板を回転させる場合は，円板の回転を止めるような渦電流が生じるため，円板にブレーキがかかるようになる。この原理は，大型のトラックやバスで渦電流ブレーキとして補助ブレーキ装置に利用されている。

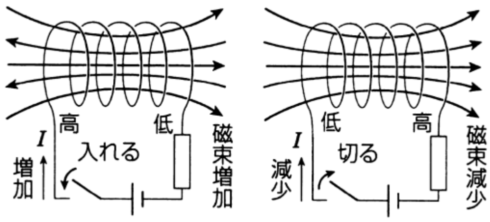
　電磁調理器や IH 炊飯器は，渦電流によって発生するジュール熱を利用して加熱する装置である。

## ■インダクタンス■

○自己誘導：コイルに流れる電流を変化させると，コイルを貫く磁束が変化するので，
そのコイル自身に，磁束の変化を打ち消す向きに誘導起電力が生じる。

コイル内の磁束$\Phi$ [Wb]はコイルを流れる電流 $I$ [A]に比例するから，
自己誘導起電力 $V_L$[V]は，比例定数を $L$ [H]として，

$$\boxed{V_L = -L\frac{dI}{dt}}$$ （$L$：自己インダクタンス）

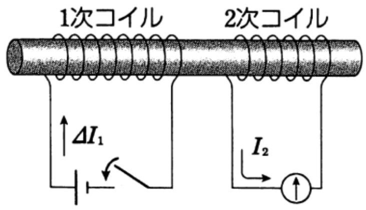



コイルに蓄えられるエネルギー$W$ [J]は，
自己誘導起電力で消費される電力量に
対応するので，

$$W = \int_0^r i\cdot(-V_L)dt = \int_0^r Li\frac{di}{dt}dt = L\int_0^I idi = \boxed{\frac{1}{2}LI^2}\ \text{[J]}$$

典型的な導入例

○相互誘導：1 次コイルによる磁界は 1 次コイルを流れる
電流 $I_1$[A]に比例する。そしてこの磁力線が
2 次コイルを通るので，2 次コイル内の
磁束 $\Phi$ [Wb]も $I_1$ に比例する。よって
2 次コイルで生ずる相互誘導起電力 $V_M$ [V]は，
比例定数を $M$ [H]として




$$\boxed{V_M = -M\frac{dI_1}{dt}}$$
（$M$: 相互インダクタンス）

典型的な導入例

○変圧器：相互誘導を利用した例として変圧器がある。1 次側と 2 次側の電圧と電流と巻き数との間には，一般に次のような関係がある。

$$\boxed{V_1 : V_2 = N_1 : N_2 \qquad I_1V_1 = I_2V_2}$$

○送電

都市から離れた発電所で起こした電気を，遠い消費地に送ることを送電という。電力 $P = IV$ [W]を輸送する場合，電圧 $V$ [V]を高くすると，電流 $I$ [A]は小さくなるので，送電線で熱となって失われる電力 $RI^2$[W]を小さくすることができる。

通常発電所では，交流発電機を用いて交流をつくり，変圧器によって高電圧として消費地に送電し，消費地では再度変圧器によって低電圧に変えて消費者に配電する。直流では変圧器が使えず，また直流発電機はその構造上，高電圧の発電ができないので，電力輸送が経済的に不利である。

＜例題１＞

図１のように，真空中に金属レールが置かれ，その上を金属棒がなめらかに移動できるようになっている。金属棒の長さは $l$ [m]で，レールの間隔に等しい。またレール面と垂直に，磁束密度 $B$ [T]の磁場がかけられている。レールの方向を $x$ 軸，金属棒の方向を $y$ 軸とする。磁場の向きは+$z$ 向き（紙面裏から表の向き）である。また，金属棒の抵抗は $R$ [Ω]である。

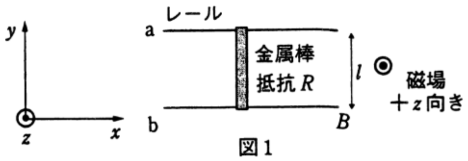



図1

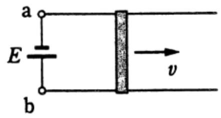



図2

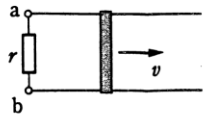



図3

[A]　図２のように，端子 a，b 間に起電力 $E$ [V]の電池（内部抵抗 0）を接続したところ，金属棒は動き始めた。金属棒が+$x$ の向きに速さ $v$ [m/s]で動いているとき

（１）金属棒の両端に発生する誘導起電力の大きさ $V$ [V]を求めよ。

（２）金属棒に流れる電流の大きさ $I$ [A]と向きを求めよ。

（３）金属棒に加わる力の大きさ $F$ [N]を求めよ。

十分長い時間が経過し，金属棒の速さは一定になった。このとき

（４）金属棒の速さ $v_0$ [m/s]を求めよ。

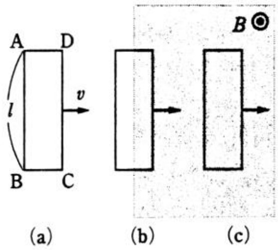
[B]　図３のように，端子 a，b 間に固定抵抗 $r$ [Ω]を接続し，金属棒に外部から力を加えて動かした。

金属棒が+$x$ の向きに速さ $v$ [m/s]で動いているとき

（５）金属棒に流れる電流の大きさ $I'$ [A]と向きを求めよ。

<＜例題２＞

図のように，影をつけた長方形の領域に，磁束密度 $B=10\mathrm{T}$ の一様な磁場（紙面の裏→表）がある。そこに，AB の長さが $l=0.1\mathrm{m}$ の１巻きコイル ABCD を，一定の速さ $v=0.1\mathrm{m/s}$ で磁場と垂直に挿入する。コイル全体の抵抗値を $R=0.1\Omega$ とする。



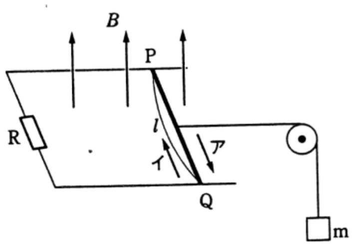

（１）図の(a)，(b)および(c)の各状態で，コイルに流れる電流の大きさをそれぞれ求めよ。

（２）図の(b)の状態のとき，コイルに流れる電流が磁場から受ける力の大きさと向きを求めよ。

（３）このとき，コイルを挿入する速さを一定に保つために，外から加える力がする仕事率を求めよ。

（４）このとき，コイルの抵抗で消費される電力を求めよ。

【１】鉛直上向きの一様な磁束密度 $B$ [Wb/m²]の磁場中に，水平に置かれた図のような回路がある。R は $R$ [Ω]の抵抗，m は質量 $m$ [kg]のおもり，PQ はコの字形の導線上を長方形を描きながらなめらかに動く長さ $l$ [m]の軽い導線である。鉛直につるされたおもり m は，なめらかに動く軽い滑車を通して，PQ に軽いひもでつながれている。なお，重力加速度の大きさを $g$ [m/s²]とする。




（１）おもりの速さが $v$ [m/s]のとき，回路に生じる誘導起電力は何 V か。

（２）導線 PQ を流れる電流の大きさは何 A か。その向きは図のアとイのどちらか。

（３）導線 PQ が磁場から受ける力の大きさは何 N か。

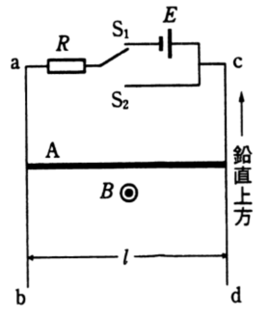
（４）このときのおもりの加速度の大きさは何 m/s² か。

（５）やがておもりは一定の速さで落下する。このときの速さは何 m/s か。

（６）このとき，おもりに作用する重力が１秒間にする仕事は何 J か。

（７）このとき，抵抗 R で１秒間に発生する熱エネルギーは何 J か。

【２】図のように，内部抵抗の無視できる起電力 $E$ の電池，抵抗値 $R$ の抵抗およびスイッチからなる回路がある。回路内の ab と cd は間隔 $l$ だけ離れて鉛直方向に立てられ，それに接した長さ $l$，質量 $m$ の導体棒 A が水平に配置されている。A は鉛直方向のみに，ab，cd に接しながらなめらかに動くようになっている。また，磁束密度 $B$ の一様な磁場（磁界）が回路に垂直に，紙面の裏から表の向きにかけられている。重力加速度の大きさを $g$ とし，回路内の導体の抵抗は無視する。



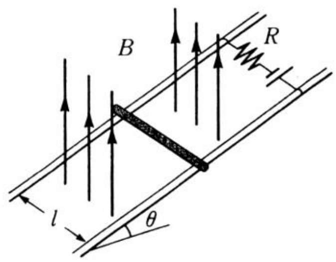

（１）A を支えたままスイッチを $S_1$ に入れた。その後，支えをとると，A は鉛直上方へ動きだした。速さが $v$ のときの電流 $I$ を求めよ。

（２）しばらくすると一定の速さになった。この速さ $v_1$ を求めよ。

（３）このとき，単位時間当たりに，電池がする仕事 $W$，抵抗で発生するジュール熱 $Q$，A が得る重力による位置エネルギー $U$ を，それぞれ求めよ。また，$W$，$Q$，$U$ の間に成り立つ関係式を求めよ。

（４）A が一定の速さになった後，スイッチを $S_2$ に入れたところ，A は少し上昇した後に落下を始め，しばらくすると一定の速さになった。この速さ $v_2$ を求めよ。

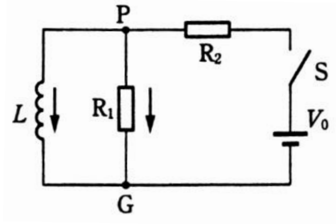
【３】図のように，導体でできた２本の平行なレールを間隔 $l$ ，水平方向と $\theta$ の角度をなすように置く。レールの上には質量 $m$ の金属棒をレールと直角にのせ，回路全体は磁束密度 $B$ の一様な鉛直上向きの磁場中にある。金属棒とレールの間の静止摩擦係数は $\mu$（$\mu < \tan\theta$）である。




電池の起電力がある範囲内にあるとき，金属棒は静止の状態を続けることができる。そのための起電力の最小値 $E_m$ ，最大値 $E_M$ を求めよ。ただし，重力加速度の大きさを $g$ とし，レールと金属棒の電気抵抗および電池の内部抵抗は無視できるものとする。

＜例題＞

図のような，自己インダクタンス $L$ のコイル，抵抗値 $R_1$，$R_2$ の 2 つの抵抗 $R_1$，$R_2$，電圧 $V_0$ の電源，スイッチ S からなる回路がある。電流は図の矢印の向きを正，GP 間の電圧は P 側が高電位のときを正とする。

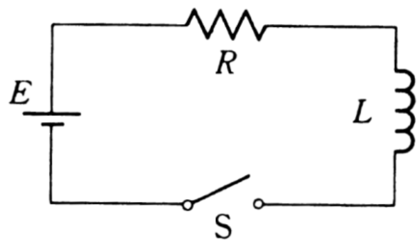



（1）S を閉じて十分に時間が経過したとき，コイルに流れる電流 $I_0$ を求めよ。

（2）その後，S を開いた。その直後の，抵抗 $R_1$ に流れる電流 $I$ および PG 間の電圧 $V$ を求めよ。

（3）S を開いたあとで，抵抗 $R_1$ で消費されるエネルギーの総量 $Q$ を求めよ。

【１】図の回路で $E = 50$[V]，$R = 20$[Ω]，$L = 8.0$[H]である。




（1）スイッチ S を入れて電流が 0.50A になった瞬間に，コイルに生じている誘導起電力の向きと大きさを求めよ。ただし，電池の起電力の向きを正とする。

（2）（1）の瞬間の電流の増加率 $\Delta I / \Delta t$ を求めよ。

【２】空気の透磁率は真空の透磁率$\mu_0$に等しいとする。

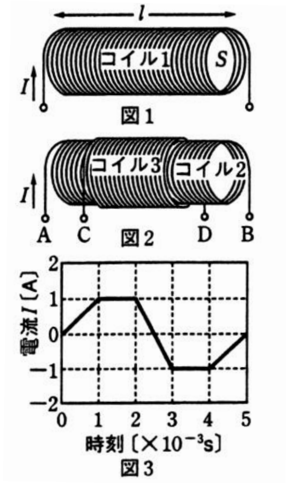


図1
図2
図3

（１）図１に示すように断面積 $S$ [m²]，長さ $l$ [m]，巻き数 $N_1$[回]の中空ソレノイドコイル１がある。コイル１に電流 $I$ [A]を流したとき内部には一様な磁場（$H = I\dfrac{N_1}{l}$ [A/m]）ができるとする。

(a)　コイル１を貫く磁束$\phi$ [Wb]はいくらか。

(b)　微小時間$\Delta t$ [s]の間に電流が$\Delta I$ [A]変化したときの誘導起電力をコイル１を貫く磁束変化を考えて導き，コイル１の自己インダクタンス $L$ [H]を示せ。

(c)　コイル１の内部を透磁率$\mu$の物質で満たした。このコイルに $I$ [A]の電流を流したとき，内部の磁束密度は満たす前の磁束密度の何倍になるか。

（２）図２に示すように中空ソレノイドコイル２（$S = 1.0\times10^{-4}$[m²]，$l = 0.13$[m]，$N_2 = 3000$[回]）の外側に接して $N_3 = 500$[回]巻きのコイル３を巻いた。コイル２に図３に示すような時間とともに変化する電流 $I$ を流した。コイル３に生じる誘導起電力の値[V]をグラフに示せ。ただし，電流 $I$ は図２の矢印方向を正，誘導起電力は C より D の電位が高いときを正，$\mu_0 = 1.3\times10^{-6}$[Wb/A・m]として計算せよ。

（1998 年　信州大）