ハカセの宇宙一キビしいチェック!!

理解できたものに，☑チェックをつけよう。

- ☐ 磁束の式$\Phi = BS$を覚えた。
- ☐ 誘導電流が流れる向きを，コイルを貫く磁束が増えたか減ったかによって判断することができる。
- ☐ ファラデーの電磁誘導の法則の式 $V = N\left|\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|$ を覚えた。
- ☐ 導体棒が動くときに発生する誘導起電力の公式 $V = vB\ell$ を，$V = N\left|\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|$ の式，およびローレンツ力と電場による力のつり合いの両方から導ける。
- ☐ 導体棒におもりがついた回路では，「電源の仕事＝ジュール熱＋おもりの位置エネルギーの変化分」が成り立つ。
- ☐ 相互誘導および自己誘導の原理を理解し，発生する誘導起電力の公式を覚えた。
- ☐ コイルを含む回路では，コイルにはいきなり電流は流れず，少しずつ流れていき，最終的に導線と同じように扱える。
- ☐ コイルに蓄えられるエネルギーの公式を覚えた。

Chapter

7

電磁誘導

Chapter 7

電磁誘導

はじめに

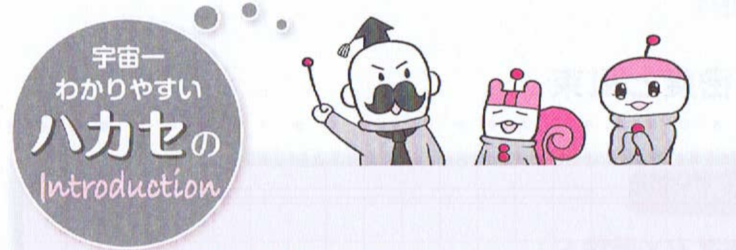
Chapter 7は電磁誘導です。

電磁誘導は，モーターや，IHコンロなどにも適用されており，
私たちの生活となじみの深い現象です。
電磁誘導は，コイルを貫く磁束の変化によって，電圧が生じる現象です。

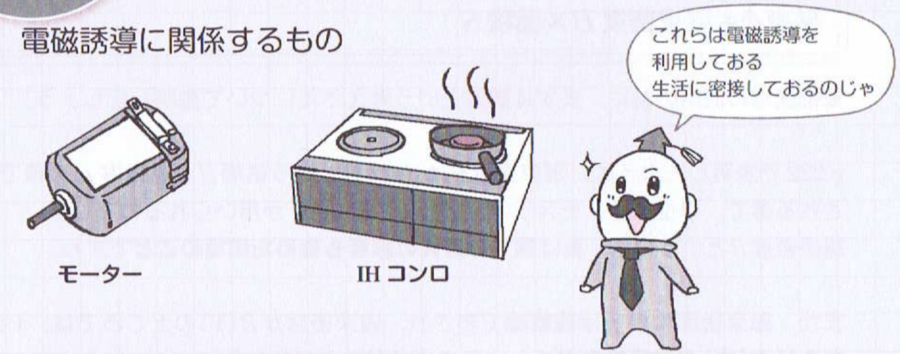
電磁誘導は「ビックリしやすいコイル」の立場になって考えてみましょう。
もし，磁束が急にたくさん自分を通り抜け始めたら…。
あるいは，もし，自分を貫く磁束が急に減少し始めたら…。
コイルはあわてて，その変化を打ち消そうとするでしょう。
コイルの性格を考えて，たのしく学んでいきましょう。

この章で勉強すること

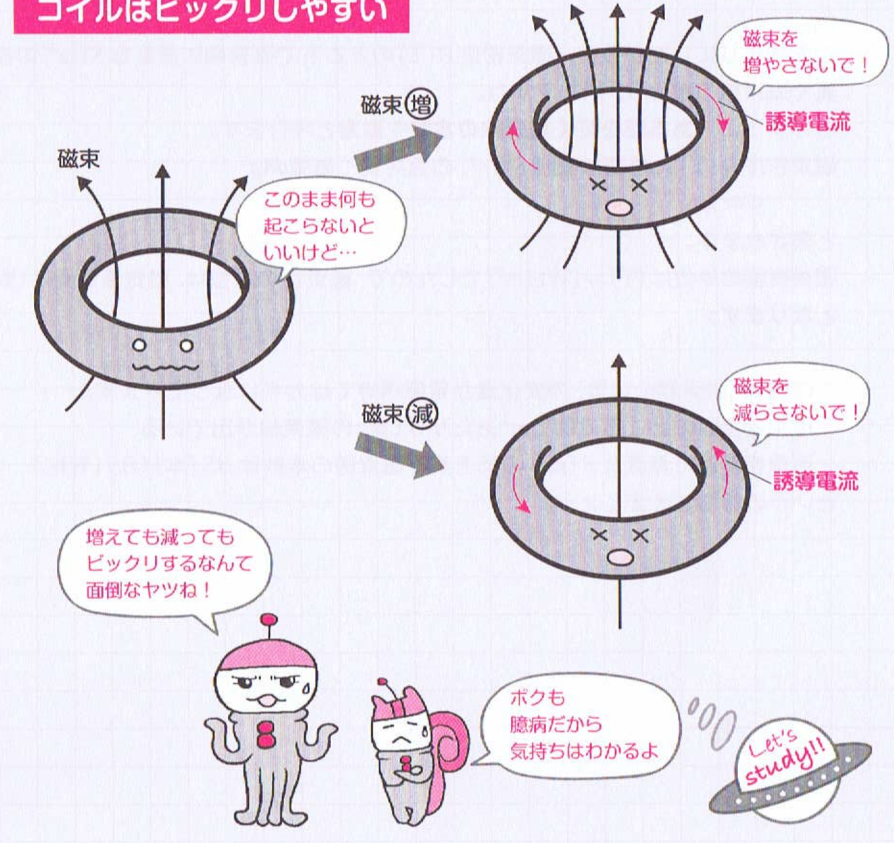
はじめに，電磁誘導で大切な磁束と磁束密度について補足します。
それをふまえ，電磁誘導はどんな現象なのかを説明していきます。
さらに，導体棒が移動するパターンの電磁誘導も紹介し，
自己誘導・相互誘導といった，電磁誘導の応用的な現象も紹介します。



電磁誘導に関係するもの



コイルはビックリしやすい



7-1 磁束密度と磁束

ココをおさえよう！

磁束Φ＝磁束密度B×面積S

電磁誘導の説明の前に，まずは**磁束**という考えかたについて説明しましょう。

p.222で説明したように，磁束密度Bは$B=\mu H$という磁場Hと透磁率μの積で表される量で，単位には，テスラ〔T〕または〔Wb/m^2〕が用いられるのでした。
磁束密度Bというのは，要は**周りの媒質の影響も含めた磁場のこと**ですね。

また，磁束密度の様子は**磁束線**で表され，磁束密度がB〔T〕のところでは，**1 m^{2}あたりB〔本〕の磁束線をかく**というきまりがあるのでしたね。

このきまりにしたがうと，磁束密度B〔T〕のところで磁束線に垂直なS〔m^2〕の面を貫く磁束線の数はBS〔本〕ですね。
このように，**ある面を貫く磁束線の本数**を**磁束**と呼びます。
磁束密度B〔T〕に垂直な面積S〔m^2〕の面を貫く磁束Φは

$$\Phi=BS$$

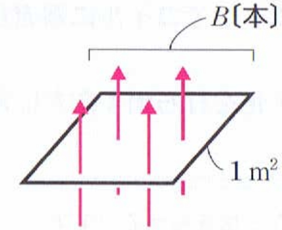
と表されます。
磁束密度の単位は〔T〕＝〔Wb/m^2〕でしたので，磁束Φの単位は，磁気量と同じ〔Wb〕となります。

この磁束（磁束線の本数）の変化量が電磁誘導ではカギになってきます。
・磁束密度Bのところでは1 m^{2}あたりB〔本〕の磁束線が出ている
・磁束密度Bに垂直なS〔m^2〕の面を貫く磁束線の本数はBS〔本〕(BS〔Wb〕)
というのをおさえましょう。

7

磁束

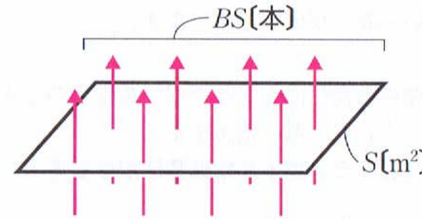
磁束密度B〔T〕



1 m^{2}あたりB〔本〕の磁束線をかく

S〔m^2〕では

BS〔本〕⇒ 磁束ΦはBS



ある面を貫く磁束線の本数を磁束といいΦで表す

ここまでやったら 別冊 P. 56へ

7-2 電磁誘導

ココをおさえよう！

電磁誘導：コイルを貫く磁束の変化によってコイルに電流が流れる現象。

レンツの法則：誘導起電力は磁束の変化を打ち消す向きに電流が流れるよう生じる。

コイル（導線を巻いたもの）はちょっと変わった一面をもっています。
それは「とてもビックリしやすい」という一面です。

右ページの図のように，磁石のN極の前にコイルを置くと，磁束はコイルを通り抜けますね。
コイルは，この**「自分を通り抜ける磁束（磁束線の本数）」にとても敏感**なのです。

ここで，N極を急にコイルから遠ざけたとしましょう。
すると，コイルを通り抜ける磁束がいきなり減ってしまいますね。
そのとき，コイルの「ビックリしやすい一面」が出てしまいます。

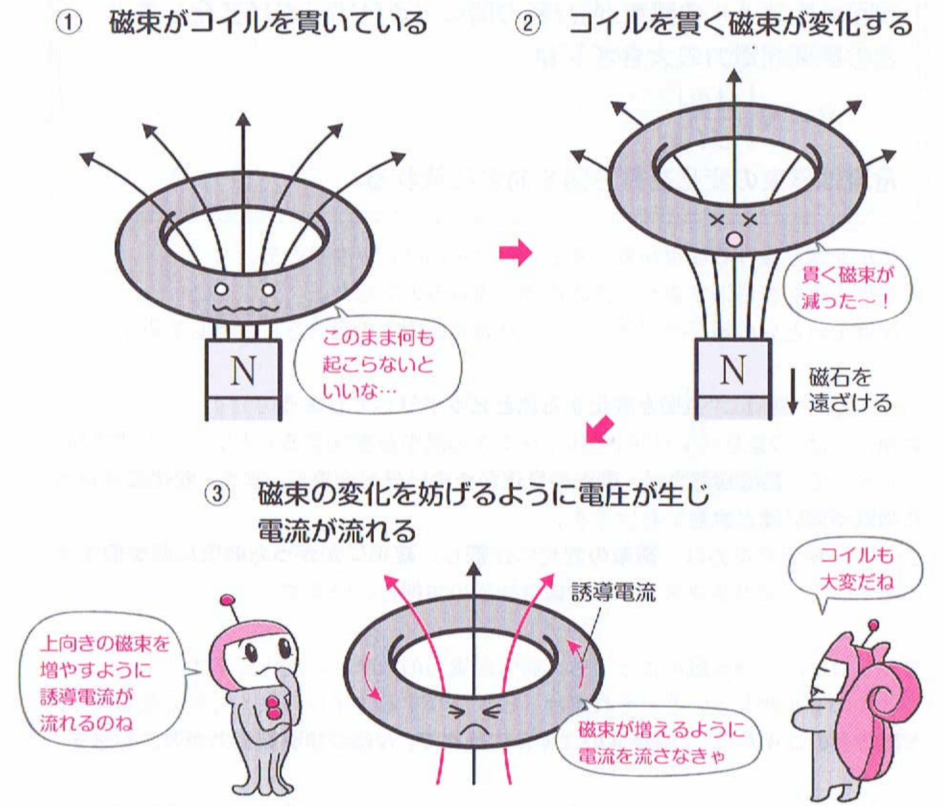
コイルは「磁束が減った！」と驚き，磁束の変化に大きな戸惑いを示すのです。
すると，反射的に「磁束を増やさなきゃ！」と，思い始めます。
よって，磁束が増える向きに電流が流れるよう，**コイルには電圧が生じる**のです。

このような，**コイルを貫く磁束の変化によってコイルに電流が流れる現象**が**電磁誘導**です。
電磁誘導によって流れる電流を**誘導電流**，生じる電圧を**誘導起電力**といいます。

N極を急に近づけて，コイルを通る磁束がいきなり増えた場合は，
「磁束が増えた！」と驚き，今度は磁束が減る向きに電流が流れるように，コイルには電圧（誘導起電力）が生じるわけですね。

つまり，**誘導電流は，磁束の変化を打ち消す向きに流れる**のです。
これを**レンツの法則**といいます。

電磁誘導 …コイルを貫く磁束が変化することにより，
その磁束変化を妨げようと，
コイルに電圧が生じ，電流が流れる現象。



レンツの法則 …誘導電流は
磁束の変化を打ち消す向き
に流れる。

7-3 ファラデーの電磁誘導の法則

ココをおさえよう！

N回巻きコイルの磁束がΔt秒の間に$\Delta\Phi$〔Wb〕だけ変化したときの誘導起電力の大きさVは

$$V = N\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|$$

電流は磁束の変化を打ち消す向きに流れる。

コイルを通り抜ける磁束が変化すると，コイルはビックリして，
磁束の変化を打ち消すように誘導電流が流れるのでした。
今度はそのときの電圧の大きさ，つまり誘導起電力の大きさに注目してみます。

コイルは，**“急激に”磁束が変化するほどビックリしてしまう**のです。
急激にとは，つまり「より短い間に，たくさん磁束が変化する」ということですね。
したがって，**誘導起電力は，磁束の変化が大きいほど大きく，また，変化にかかった時間が短いほど大きい**わけです。
よって，誘導起電力は，**磁束の変化に比例し，変化にかかった時間に反比例する**のです。この関係を**ファラデーの電磁誘導の法則**といいます。

また，コイルの巻き数によっても，誘導起電力の大きさは変化します。
コイルの巻き数が多いと，それだけ「ビックリするコイルの数」も多くなるので，
N回巻きのコイルは，1回巻きのコイルに比べて，N倍の誘導起電力が発生します。

以上より，N回巻きのコイルを貫く磁束Φ〔Wb〕が，Δt秒の間に$\Delta\Phi$〔Wb〕だけ変化したときの誘導起電力の大きさVは，以下のように表されます。

$$V = N\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|$$

誘導起電力により電流が流れる向きは，「コイルの驚きを抑える向き」です。
レンツの法則でしたね。なので，誘導起電力を求めるときには

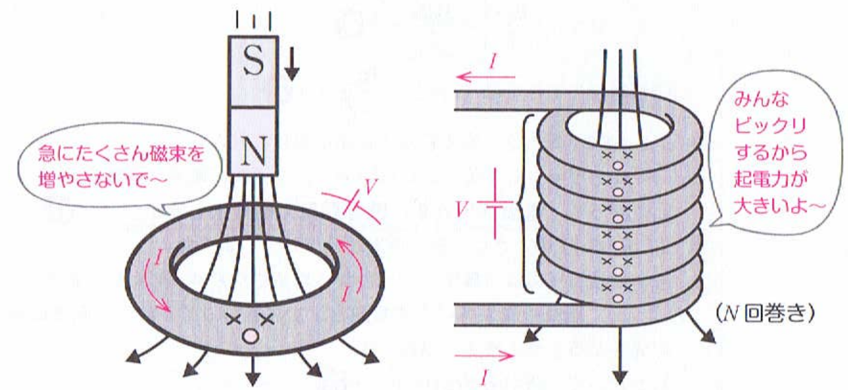
- **公式を使ってVの大きさを求める。**
- **流れる電流の向きがコイルの磁束変化を抑える向きになるように，誘導起電力の向きが決まる。**

の2点に注意しましょう。

7

ファラデーの電磁誘導の法則　$V = N\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|$

コイルに生じる誘導起電力の大きさ V は，
磁束の変化 $\Delta\Phi$ が大きいほど，
変化にかかった時間 Δt が短い(小さい)ほど，
コイルの巻き数 N が多い(大きい)ほど大きくなる！



増やされた磁束　　増やされた磁束

問 7-1 右ページの図のように，面積Sの1巻きのコイルを抵抗値Rの抵抗とつないだ。コイルを磁場の中に垂直に置き，磁束密度をグラフのように変化させた。
時刻が(1) $0 \leqq t \leqq T$，(2) $T \leqq t \leqq 2T$，(3) $2T \leqq t \leqq 4T$のときについて，抵抗を流れる電流の向きを図中のaかbで答えよ。また，発生する誘導起電力の大きさと誘導電流の値も求めよ。磁束密度は図の上向きを正とする。

コイルの様子をイメージしながら考えましょう。

解きかた

(1) グラフを見ると，$0 \leqq t \leqq T$のときは，磁束密度が増加していますね。
ですからコイルは「磁束が増えたから減らさなきゃ！」と焦ります。
よって，磁束の増加を打ち消す向き，すなわちコイル内に下向きに磁束が発生するように電流は流れることになりますね。
すなわち，**流れる方向はb** …答
また，グラフから，磁束密度は0からB_0へと増えていることがわかります。
よって，貫く磁束は0からB_0Sへと変化したので，誘導起電力の大きさは

$$V = 1 \cdot \left|\frac{B_0S}{T}\right| = \frac{B_0S}{T} \cdots \text{答}$$

誘導電流の大きさは $I = \frac{V}{R} = \frac{B_0S}{RT}$ …答

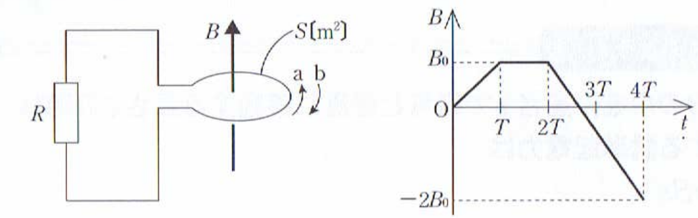
(2) $T \leqq t \leqq 2T$のとき，磁束密度に変化はありません。
コイルもビックリすることはないので，コイルに電流は流れません。
したがって，**電流は流れず，誘導起電力も発生しない。** …答

(3) $2T \leqq t \leqq 4T$のときは，磁束密度が減少していますね。
ですからコイルは「磁束が減ったから増やさなきゃ！」と思います。
よって，磁束の減少を打ち消す向き，すなわちコイル内に上向きに磁束が発生するように電流は流れます。
したがって，**流れる方向はa** …答
また，グラフより，磁束密度はB_0から$-2B_0$へと減っていますね。
よって，磁束の変化は$-3B_0S$なので，誘導起電力の大きさは

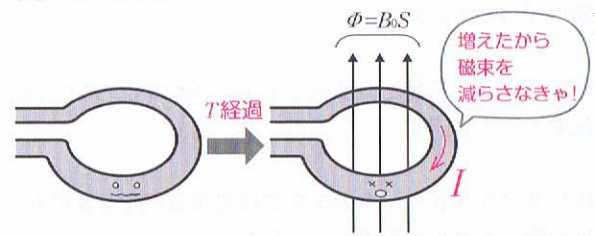
$$V = 1 \cdot \left|-\frac{3B_0S}{2T}\right| = \frac{3B_0S}{2T} \cdots \text{答}$$

誘導電流の大きさは $I = \frac{V}{R} = \frac{3B_0S}{2RT}$ …答

問 7-1



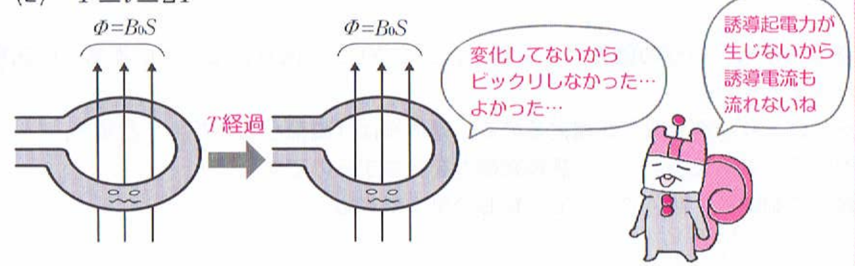
(1) $0 \leqq t \leqq T$



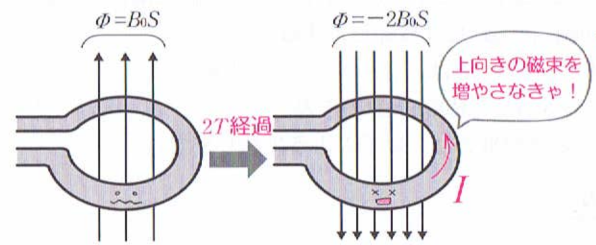
$$V = 1 \cdot \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = \frac{B_0S}{T} \cdots \text{答}$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{B_0S}{RT} \cdots \text{答}$$

(2) $T \leqq t \leqq 2T$



(3) $2T \leqq t \leqq 4T$



$$V = 1 \cdot \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = \frac{3B_0S}{2T} \cdots \text{答}$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{3B_0S}{2RT} \cdots \text{答}$$

ここまでやったら 別冊 P. 57へ

7-4 導体棒の誘導起電力

ココをおさえよう！

磁束密度 B の中を，速さ v で磁場と垂直に移動する長さ ℓ の導体棒に発生する誘導起電力は

$$V=vB\ell$$

右ページの図のような，コの字型のレールと，導体棒からなる回路を見てください。
この回路を，一様な磁束密度が貫いています。

この回路も，コイルと同じように，ぐるりと1回りになっているので，この1回りを貫く磁束が変化すると起電力が生じます。

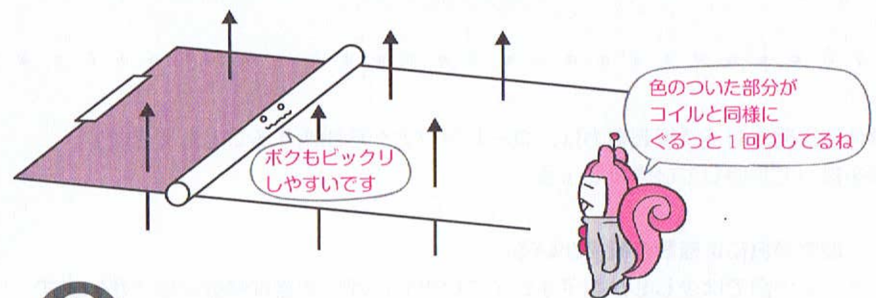
この回路は一様な磁場の中にありますから，そのままでは磁束は変化しません。
では，どういうときに誘導起電力が発生するのでしょうか。
それは**導体棒が動くとき**です。

導体棒が右ページの図のように動くと，ぐるりと1回りになっている部分の面積が増えますね。
それにより，貫く磁束が増えるので，導体棒は「磁束が増えた！」と驚き，
その驚きを抑えるように，誘導起電力を発生するのです。
自分で動いて，自分で驚いて，忙しいヤツですね。

そのときの誘導起電力の大きさを求めてみましょう。
長さ ℓ の導体棒が，一様な磁束密度 B の中を速さ v で磁場と垂直に動いています。
この導体棒は，時間 Δt の間に，$v\Delta t$ だけ移動しますね。
よって，時間 Δt の間に増える面積 ΔS は，$\Delta S=v\Delta t\times\ell$ です。
増えた磁束 $\Delta\Phi$ は，$\Delta\Phi=B\times\Delta S=B\times v\ell\Delta t$ ですね。
よって，このとき発生する誘導起電力は，以下のようになります。

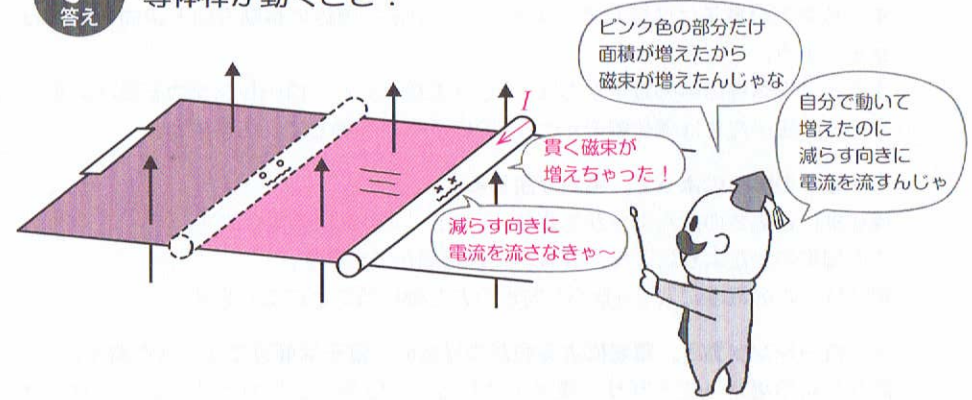
$$V=1\cdot\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|=\underline{\underline{vB\ell}}$$

7



質問 導体棒に誘導電流が流れるのはどんなとき？

答え 導体棒が動くとき！



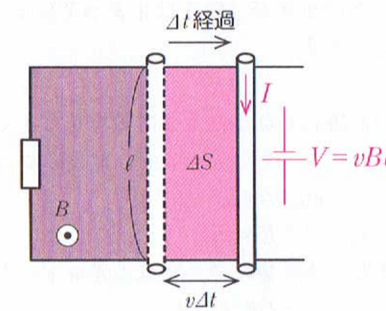
$$\Delta S=v\Delta t\times\ell$$

$$\Delta\Phi=B\times\Delta S=vB\ell\Delta t$$

よって

$$V=1\cdot\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|=\frac{vB\ell\Delta t}{\Delta t}$$

$$=vB\ell$$



導体棒に発生する誘導起電力は，ローレンツ力から説明することもできます。
順を追って説明していきましょう。

① **導体棒内には無数の電子がいる。**
右ページの図では少ししか電子をかいていませんが，本当は無数に電子がいます。

② **導体棒を動かすと，ローレンツ力によって，電子たちが移動する。**
導体棒を磁束密度 B の中で動かします。
"導体棒の動く方向に電子が動いた"と考えてフレミングの左手の法則を使います。負電荷の電子に注目していますので，中指を導体の移動方向と逆向きに合わせましょう。
すると，導体棒の中の電子たちは，「じゃまだ！」と，ローレンツ力を受けます。
なので，電子たちは導体棒のbからaのほうへと移動していきますね。

③ **電子の移動によって，電場が生じる。**
導体棒には電気のかたよりが生まれ，bは正，aは負に帯電します。
この電気のかたよりにより，導体内には電場ができます。
電子は，この電場によりaからb向きの力を受けることになります。

④ **ローレンツ力と，電場による力がつり合い，電子は等速でb → aへ動く。**
最終的に電場が一定となり，電子にはたらく，電場による力とローレンツ力がつり合いますが，電子は止まっているわけではありません。等速でb → aへと動いています。

力が等しくなったときの電場を E とすれば，
ローレンツ力は $f_B = evB$，電場による力は $f_E = eE$ と表されるので

$$evB = eE$$

これより　$E = vB$

また，導体棒にできた電位差は $V = E\ell$ なので

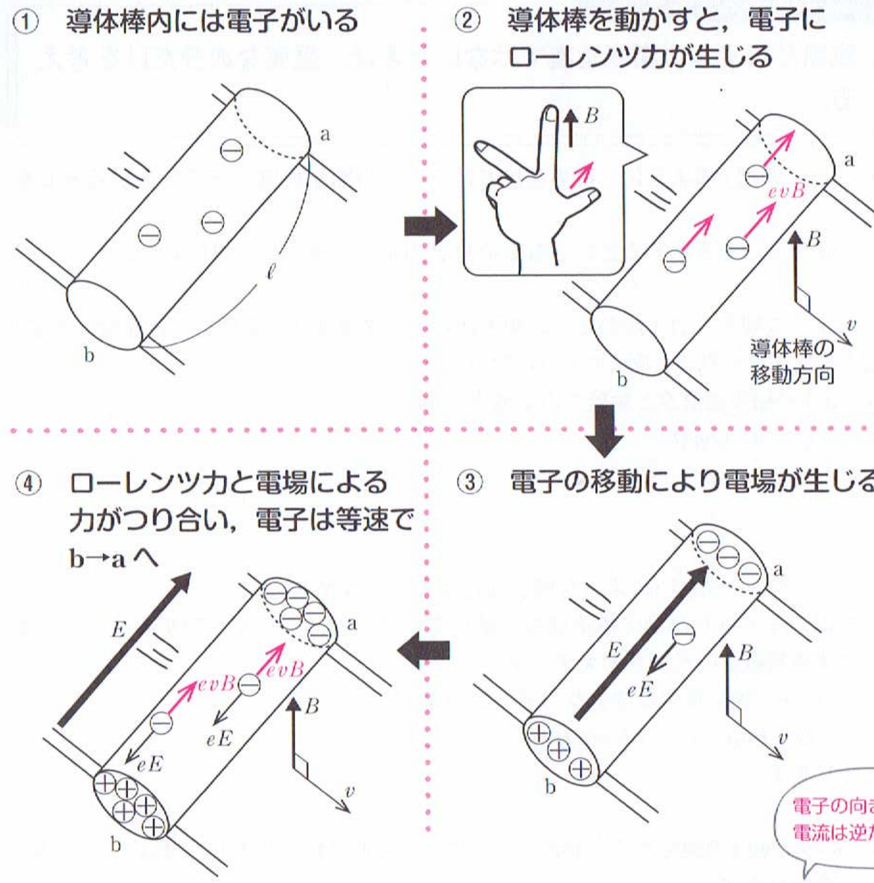
$$V = E\ell = vB\ell$$

この電位差が，誘導起電力となるのですね。
磁束密度 B の磁場中を，速さ v で磁場と垂直に動く，長さ ℓ の導体に生じる起電力

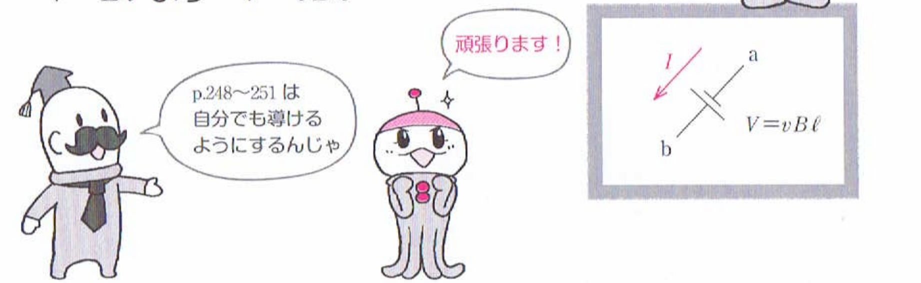
$$V = vB\ell$$

は，公式として覚えてもかまいませんが，自分でも導けたほうがいいですよ。

**導体棒に生じる誘導起電力を
ローレンツ力から説明**



$evB = eE$ より　$E = vB$
$V = E\ell$ より　$\boldsymbol{V = vB\ell}$



7-5 磁場とコイルの面が垂直じゃないときの磁束

ココをおさえよう！

磁場とコイルの面が垂直ではないときは，垂直な成分だけを考える。

右ページの図1のように，磁束密度Bとコイルの面が角度θをなしているとします。
コイルの面積をSとするとき，磁束Φはどのように表されるでしょうか？

このような場合，コイルの面と磁束密度が互いに垂直になる成分だけを考えます。
図1を真横から見ると図2のようになりますね。
$S\cos\theta$が磁束密度Bと垂直なので磁束Φは

$$\Phi = BS\cos\theta$$

となります。

また，右ページの図3のような場合はどうでしょうか？
これは，与えられた図の磁束密度が傾いていて，面は真っすぐですから，面に垂直な磁束密度Bの成分を考えましょう。
$B\sin\theta$が，面に垂直な成分なので，磁束Φは

$$\Phi = B\sin\theta S = BS\sin\theta$$

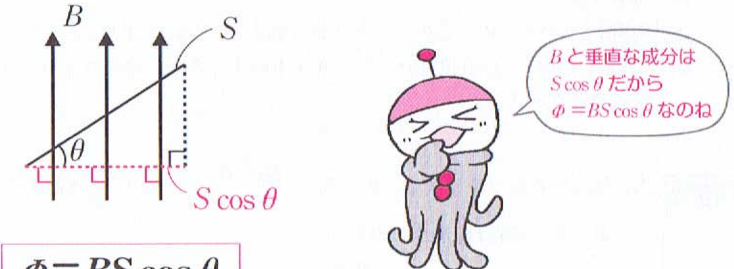
となります。

図1の例と図3の例を見るとわかるように，θのとりかたが変われば$\cos\theta$か$\sin\theta$かは変わります。
大事なのは，コイルの面と磁束密度が垂直になる成分を考えるということですよ。

磁場とコイルの面が垂直じゃないとき

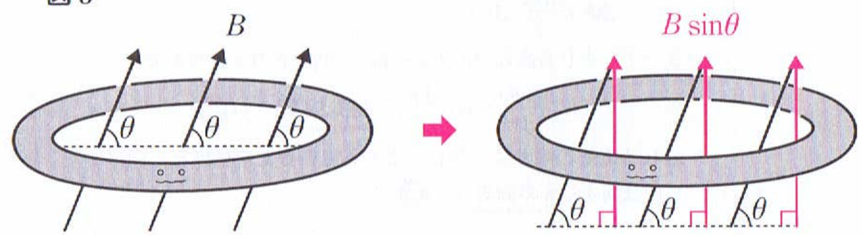
図1

図2



$$\boxed{\Phi = BS\cos\theta}$$

図3



$$\boxed{\Phi = BS\sin\theta}$$

ここまでやったら
別冊 P.58へ

7-6 電磁誘導のさまざまな問題

ココをおさえよう！

- Φをtの式で表し，tをΔtに置き換えて$V=N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$を求める。
- 電流が磁場から受ける力$BI\ell$を忘れずに考える。

では，さまざまな問題を解いて，電磁誘導に慣れていきましょう。

問7-2 右ページの図のグラフのように磁束密度B〔T〕が変化する磁場があるとする。この磁場に垂直に6回巻きのコイルがあり，その面積をS〔m^2〕とするとき，次の各問いに答えよ。

(1) 時刻t〔s〕のときの，このコイルを貫く磁束Φ〔Wb〕を求めよ。

(2) このコイルに生じる起電力の大きさを求めよ。また，電流はa，bどちら向きに流れるか答えよ。

解きかた

(1) 与えられたグラフより，$B=B_0+\dfrac{4B_0-B_0}{2}\cdot t=B_0+\dfrac{3B_0}{2}t$と表される。

よって，時刻tのときの磁束Φは

$$\Phi=BS=B_0S+\frac{3B_0S}{2}t\,〔\mathrm{Wb}〕$$ …答

(2) Δt秒間の磁束変化$\Delta\Phi$は

$$\Delta\Phi=\frac{3B_0S}{2}\Delta t$$

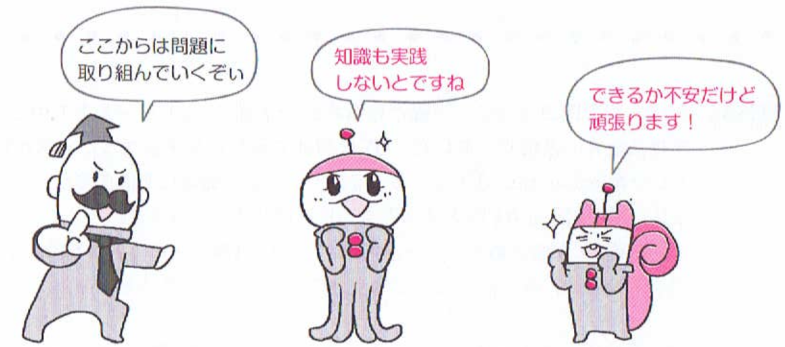
よって，生じる起電力の大きさは，6回巻きコイルなので

$$V=N\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|=6\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|=9B_0S\,〔\mathrm{V}〕$$ …答

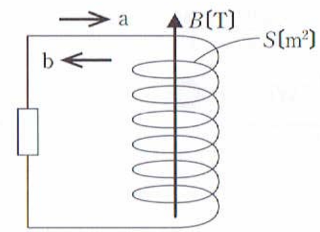
流れる電流の向きは上向きに増える磁束変化を妨げる方向なので，右ねじの法則より**aの向き** …答

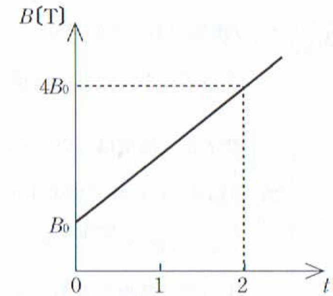
磁束の式に時間tが含まれるとき，tをΔtに置き換えて$\Delta\Phi$を求めていきますが，時間変化tと関係ない部分は，起電力には影響しないので消えてしまいます。

ですので，(2)では$\Delta\Phi=\dfrac{3B_0S}{2}\Delta t$となり，(1)の$\Phi=B_0S+\dfrac{3B_0S}{2}t$の$B_0S$の部分は消えてしまったのです。



問7-2





(1) グラフの傾きは $\dfrac{4B_0-B_0}{2}=\dfrac{3B_0}{2}$

よって $B=B_0+\dfrac{3B_0}{2}t$

$$\Phi=BS=B_0S+\frac{3B_0S}{2}t\,〔\mathrm{Wb}〕$$ …答

(2) Δt秒間の磁束変化$\Delta\Phi$は

$$\Delta\Phi=\frac{3B_0S}{2}\Delta t$$

よって，生じる起電力の大きさVは

$$V=N\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|=6\left|\frac{3B_0S\Delta t}{2\Delta t}\right|=9B_0S\,〔\mathrm{V}〕$$ …答

問7-3 右ページの図のように，一部が寸断された半径r〔m〕のレール上で中心Oと点Xを抵抗値Rの抵抗でつないだ。OYは導体で点XとYが重なった状態からスタートし，角速度ω〔rad/s〕でレール上を動くとする。磁場は紙面の裏から表の方向へ生じ，磁束密度をB〔T〕とするとき，以下の各問いに答えよ。

(1) 導線OYが動き始めてからt秒後の，コイルOXYを貫く磁束を求めよ。

(2) 誘導電流の向きをa，bのどちらかで答え，その大きさも求めよ。

コイルが四角ではない場合の問題ですが，考えかたは**問7-2**と同じです。
$\Delta\Phi$をΔtを含む式で表しましょう。

解きかた

(1) t秒後のおうぎ形OXYの中心角の大きさはωt

よって，おうぎ形の面積Sは $S=\pi r^2\times\dfrac{\omega t}{2\pi}=\dfrac{r^2\omega t}{2}$

ゆえに，磁束は $\Phi=BS=\dfrac{Br^2\omega t}{2}$〔Wb〕…答

(2) (1)よりΔt秒間での磁束の変化$\Delta\Phi$は

$$\Delta\Phi=\frac{Br^2\omega}{2}\Delta t$$

よって，誘導起電力の大きさは

$$V=1\cdot\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|=\frac{Br^2\omega}{2}$$

ゆえに，誘導電流Iの大きさは

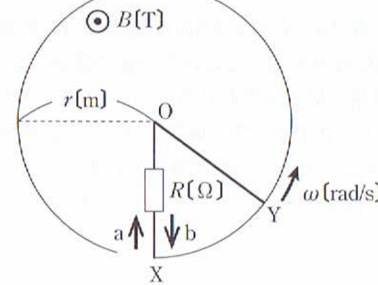
$$I=\frac{V}{R}=\frac{Br^2\omega}{2R}\text{〔A〕}$$ …答

誘導電流の向きは，コイルOXYを紙面の裏から表へ貫く磁束を減らす向きなので a …答

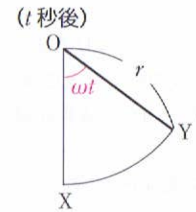
補足 弧度法で中心角の大きさがθ〔rad〕のとき
弧の長さは$r\theta$，おうぎ形の面積は$\dfrac{1}{2}r^2\theta$となります。
これは理系ならば覚えておきましょう。
(1)のSはこれより，$S=\dfrac{1}{2}r^2\omega t$とすぐに求められます。

7

問7-3



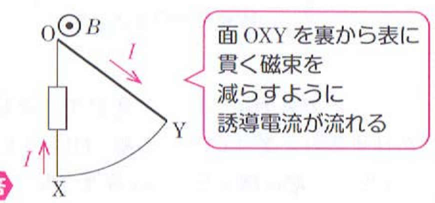
(1)



$$S=\pi r^2\times\frac{\omega t}{2\pi}$$
$$=\frac{r^2\omega t}{2}$$
$$\Phi=BS=\frac{Br^2\omega t}{2}\text{〔Wb〕}$$ …答

(2) $\Delta\Phi=\dfrac{Br^2\omega}{2}\Delta t$なので

$$V=1\cdot\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|=\frac{Br^2\omega}{2}$$
$$I=\frac{V}{R}=\frac{Br^2\omega}{2R}\text{〔A〕}$$ …答



Iの向きは **aの方向** …答

問7-4 右ページの図のように縦がℓ〔m〕，横がx〔m〕の長方形の導線があり，抵抗値Rの抵抗がつながっている。この導線に外力を加えることで一定の速さv〔m/s〕で幅$2x$の磁場を横切るようにする。磁場の磁束密度をB〔T〕とし，導線CDが磁場にさしかかった瞬間を$t=0$とするとき，次の(1)〜(3)の場合について，誘導電流の大きさと向きを求めよ。電流の向きはa，bのどちらかで答えること。また，このとき導線に加えている外力の大きさと向きを求めよ。向きは右か左かで答えよ。

(1) $0 \leqq t \leqq \dfrac{x}{v}$ のとき

(2) $\dfrac{x}{v} \leqq t \leqq \dfrac{2x}{v}$ のとき

(3) $\dfrac{2x}{v} \leqq t \leqq \dfrac{3x}{v}$ のとき

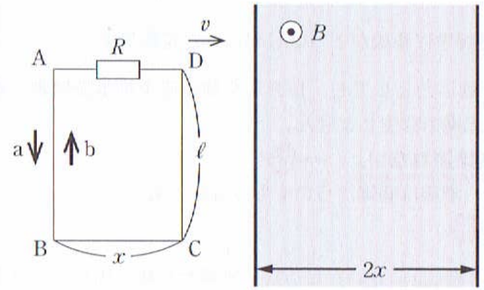
解きかた (1) まずは導線CDの部分が磁場を横切っていくことになります。
導線でできた長方形ABCDを貫く磁束は増えていくことになりますね。
誘導電流の向きは，長方形の中の裏から表に向かう磁束を減らす方向なので **b** …答
長さℓの導線CDが，一様な磁束密度Bの中を速さvで動いていくので時間Δtの間に，$v\Delta t$だけ移動しますね。
よって，時間Δtの間に増える面積ΔSは $\Delta S = v\Delta t \times \ell$
増えた磁束$\Delta\Phi$は $\Delta\Phi = B \times \Delta S = B \times v\ell\Delta t$
よって，誘導起電力の大きさVは $V = 1 \cdot \left|\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = vB\ell$
誘導電流の大きさは $I = \dfrac{V}{R} = \dfrac{vB\ell}{R}$〔A〕…答

さて，ここで外力について考えます。導線に電流が流れますが，磁場中に導線CDがありますね。ですので，導線CDは磁場から$BI\ell$の力を受けます。
vの速さで一定に横切らせる（等速運動させる）ために外力を加えるので，加える外力と磁場からの力$BI\ell$はつり合うのです。

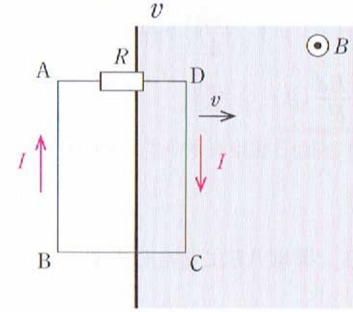
解きかた 導線CDにはD→Cの方向に電流が流れるので，フレミングの左手の法則より，導線CDは磁場から左向きに$BI\ell = \dfrac{vB^2\ell^2}{R}$の力を受けます。
よって，加える外力は，**右向きに $\dfrac{vB^2\ell^2}{R}$〔N〕** …答

補足 導線ADと導線BCが磁場から受ける力は互いに逆向きで等しいので無視しました。

問 7-4

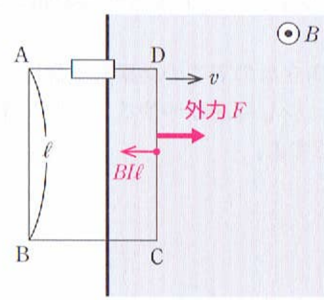


(1) $0 \leqq t \leqq \dfrac{x}{v}$ のとき



長方形 ABCD を貫く
⊙向きの磁束が増える。
⇓
それを妨げる向きに誘導
電流が流れる。

$\Delta S = v\Delta t \times \ell$
$\Delta\Phi = vB\ell\Delta t$
$V = 1 \cdot \left|\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = vB\ell$　　$I = \dfrac{V}{R} = \dfrac{vB\ell}{R}$〔A〕…答



外力 F は導線 CD が
磁場から受ける力 $BI\ell$ と
同じ大きさで逆向き

$F = BI\ell = \dfrac{vB^2\ell^2}{R}$〔N〕…答

右向き …答

解きかた

(2) $\dfrac{x}{v} \leqq t \leqq \dfrac{2x}{v}$ では，磁場中に導線がすっぽり収まった状態です。

この状態では導線が動いたとしても，長方形を貫く磁束の本数は常に変わらないので，誘導起電力は生じません。

ですので，**誘導電流は流れない。** …答

電流が流れないので，導線は磁場から力を受けないため

外力は0 …答

(3) $\dfrac{2x}{v} \leqq t \leqq \dfrac{3x}{v}$ では，導線CDに近いところから磁場から抜け出していきます。

時間 Δt の間に変化する面積 ΔS は　$\Delta S = -v\Delta t \times \ell$

変化した磁束 $\Delta\Phi$ は　$\Delta\Phi = B \times \Delta S = B \times (-v\ell\Delta t) = -vB\ell\Delta t$

よって，誘導起電力の大きさ V は　$V = 1 \cdot \left|\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = vB\ell$

誘導電流の大きさは　$I = \dfrac{V}{R} = \dfrac{\boldsymbol{vB\ell}}{\boldsymbol{R}}$〔A〕 …答

向きは，長方形の中の裏から表に向かう磁束を増やす方向なので **a** …答

次に外力についてですね。
磁場中に残っているのは導線AB部分ですから，導線ABに注目します。

解きかた

導線ABにはA→Bの方向に電流が流れるので，フレミングの左手の法則より，導線ABは磁場から左向きに $BI\ell = \dfrac{vB^2\ell^2}{R}$ の力を受けます。

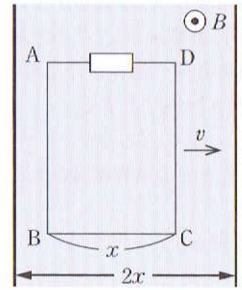
よって，加える外力は，**右向きに $\dfrac{vB^2\ell^2}{R}$〔N〕** …答

(1)と(3)を比べると，流れる電流の向きは変わりますが，加える外力の向きは変わらないのがわかります。
レンツの法則を考えると，磁束変化を妨げる向きなのでこの結果も当然ですね。
電流が磁場から受ける力 $BI\ell$ が絡んでくると，少し問題がややこしくなりますが，1つずつ積み重ねて考えていけば難しくないですよ。
自力で問題を解けるように復習しましょう。

7

つづき

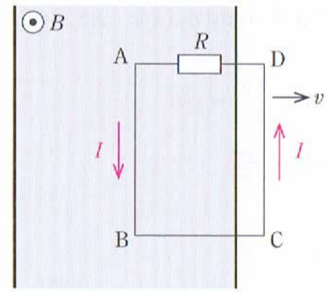
(2) $\dfrac{x}{v} \leqq t \leqq \dfrac{2x}{v}$



長方形ABCDを貫く磁束の数は
不変なので，**誘導電流は流れない。** …答

電流が流れないので，磁場から
力を受けない。
よって　**外力は0** …答

(3) $\dfrac{2x}{v} \leqq t \leqq \dfrac{3x}{v}$

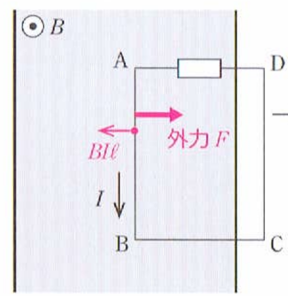


長方形ABCDを貫く
⊙向きの磁束が減る。
⇓
それを妨げる向きに
誘導電流が流れる。

$\Delta S = -v\Delta t \times \ell$

$\Delta\Phi = B \times \Delta S = -vB\ell\Delta t$

$V = 1 \cdot \left|\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = vB\ell$　　$I = \dfrac{V}{R} = \dfrac{\boldsymbol{vB\ell}}{\boldsymbol{R}}$〔A〕 …答



外力 F は導線ABが
磁場から受ける力 $BI\ell$ と
同じ大きさで逆向き

$F = BI\ell = \dfrac{\boldsymbol{vB^2\ell^2}}{\boldsymbol{R}}$〔N〕 …答

右向き …答

問7-5　質量の無視できる長さℓ〔m〕の導線ABがあり，回路は抵抗値R〔Ω〕の抵抗につながっており，回路を下から上へ垂直に貫く形で磁束密度B〔T〕の磁場が生じている。この導線ABに糸をつけて，右ページの図のように質量m〔kg〕のおもりにつないだところ，しばらくすると導線ABは等速で図の方向へ動くようになった。以下の問いに答えよ。ただし，重力加速度の大きさをg〔m/s²〕とする。

(1)　誘導電流の流れる向きは，導線ABでA→B，B→Aのどちらか。

(2)　導線ABが速さv〔m/s〕で図の右向きに動いているときの誘導電流の大きさを求めよ。

(3)　導線ABが等速で動くようになったときの速さを求めよ。

解きかた

(1)　コイル中を下から上へ貫く磁束が増えるので，それを妨げる方向に誘導電流が流れます。よって　**A→B** …答

(2)　速さvで動いているのでΔt秒間での面積の増加分ΔSは　$\Delta S = v\Delta t\ell$

よって　$\Delta\Phi = B\Delta S = vB\ell\Delta t$

ゆえに，起電力Vの大きさは　$V = 1\cdot\left|\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = vB\ell$

誘導電流Iの大きさは　$I = \dfrac{vB\ell}{R}$〔A〕…答

(3)　導線ABの速さがv_0で一定になったとします。

(1)，(2)より，このとき導線ABにはA→Bの方向に電流$I_0 = \dfrac{v_0B\ell}{R}$が流れているとわかります。

導線ABが磁場から受ける力の向きは，フレミングの左手の法則より左向きで大きさは　$BI_0\ell = \dfrac{v_0B^2\ell^2}{R}$

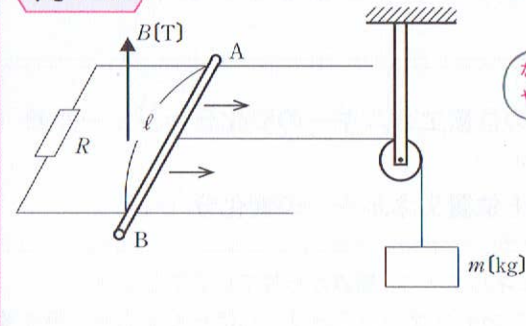
導線は等速で運動しているので，この力と糸から受ける張力Tが等しくなるということです。

糸から受ける張力Tは重力mgと等しいので

$\dfrac{v_0B^2\ell^2}{R} = T = mg$ より　$\dfrac{v_0B^2\ell^2}{R} = mg$

ゆえに　$v_0 = \dfrac{mgR}{B^2\ell^2}$〔m/s〕…答

問7-5



(1)　コイル中を下から上へ貫く磁束が増える。

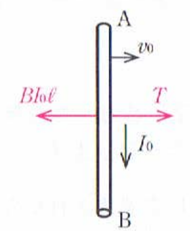
⇒妨げる向きに電流が流れるので　**A→B** …答

(2)　$\Delta S = v\Delta t\times\ell$

$\Delta\Phi = B\Delta S = vB\ell\Delta t$

$V = 1\cdot\left|\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = vB\ell$　　$I = \dfrac{V}{R} = \dfrac{vB\ell}{R}$〔A〕…答

(3)



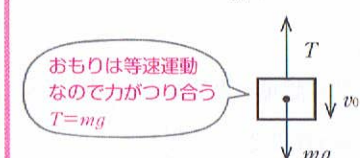
v_0で速さが一定になったとすると等速運動なので，導体ABにはたらく力はつり合う。

$BI_0\ell = \dfrac{v_0B^2\ell^2}{R}$

$T = mg$より

$\dfrac{v_0B^2\ell^2}{R} = mg$

$v_0 = \dfrac{mgR}{B^2\ell^2}$〔m/s〕…答



ここまでやったら
別冊 P. 60へ

7-7 エネルギーから見る導体棒の移動

ココをおさえよう！

導体棒を引っ張るおもりの位置エネルギーの変化分＝ジュール熱
電源がある場合は
電源の仕事＝ジュール熱＋位置エネルギーの変化分

p.262，263で扱った回路を，“エネルギー”の観点から見ていきましょう。
長さℓの軽い導体棒には質量mのおもりがついており，しばらくすると，導体棒はレール上を一定の速さvで動くようになるのでしたね。
導体棒には誘導起電力$V=vB\ell$が発生し，回路には電流Iが流れます。
電流は磁場中で$BI\ell$の力を受けるので，この力$BI\ell$と，おもりが導体棒を引っ張る力mgがつり合い，導体棒は等速で移動するのでした。

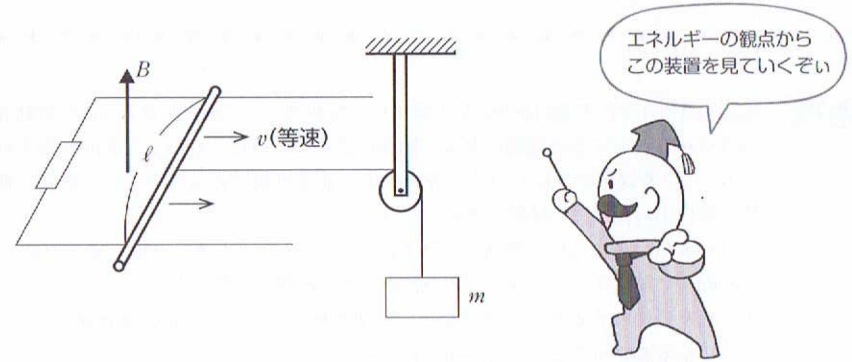
“導体棒が等速になってからのあるとき（$t=0$）”と“そのt秒後（$t=t$）”の2つの時点で「エネルギーの移り変わり」を考えてみましょう。
この装置全体で考えるべきエネルギーは「おもりの運動エネルギー」と「おもりの位置エネルギー」と「抵抗で消費されるジュール熱」です。
（導体棒には質量が与えられていないので，導体棒の運動エネルギーは考えません）

おもりは等速vで落下しますから，おもりの運動エネルギーは$\frac{1}{2}mv^2$で，$t=0$でも$t=t$でも一定です。

おもりの位置エネルギーは，おもりが落下するにつれて，少なくなりますね。
t秒後にはvtだけ下に落下しているので，$mgvt$だけ少なくなります。

少なくなった位置エネルギーは，抵抗でジュール熱として消費されたのです。
計算で確認してみましょう。
t秒間に失われるジュール熱はIVtですね（p.140）。
抵抗にかかる電圧は，他に電源などがないので，誘導起電力と同じ$V=vB\ell$です。
また導体棒にはたらく力のつり合いより，$BI\ell=mg$なので　$I=\frac{mg}{B\ell}$

よって　$IVt=\frac{mg}{B\ell}\times vB\ell\times t=mgvt$　となります。
ジュール熱が位置エネルギーの減少分と一致していますね。
このようにエネルギーの変換から問題にアプローチすることもあるので，考えかたに慣れていきましょう。



この装置で考えるべきエネルギー

おもりの運動エネルギー	おもりの位置エネルギー	抵抗で消費されるジュール熱

おもりの運動エネルギーの変化　$\frac{1}{2}mv^2$で一定なので変化は0

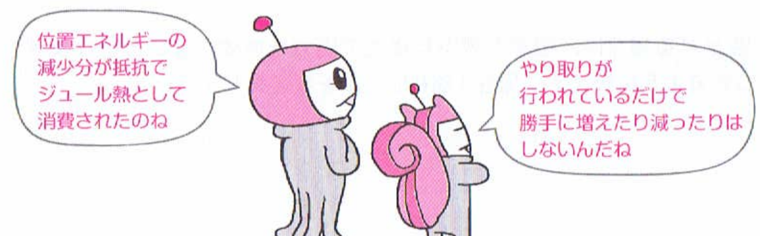
おもりの位置エネルギーの変化　t秒間でvtだけ下がるので$\underbrace{mgvt}_{IVt}$だけ減少。

抵抗で消費されるジュール熱

$$BI\ell=mg \text{ より } \quad I=\frac{mg}{B\ell}$$

$$V=vB\ell$$

$$\text{よって} \quad IVt=\frac{mg}{B\ell}\times vB\ell\times t=mgvt$$



問7-6 電源電圧がV〔V〕で抵抗値R〔Ω〕の抵抗につながれた，一部が長さℓ〔m〕の可動式の導体棒になっている回路があり，回路に対して垂直に下から上の方向へ磁束密度B〔T〕の磁場が存在している。導体棒の質量は無視できるものとし，導線の抵抗や電源の内部抵抗も無視できるとする。
右ページの図のように，導体棒に外力F〔N〕を与えたところ，一定の速さv〔m/s〕で右向きに動くようになった。このとき，次の各問いに答えよ。

(1) 回路に流れる電流の大きさをB，F，ℓを使って表せ。また，導体棒ABを流れる電流の向きは図のA→B，B→Aのどちらか。
(2) 回路に流れる電流の大きさを，V，B，v，ℓ，Rを使って表せ。
(3) 1秒間あたりに，外力のした仕事W_1をV，B，v，ℓ，Rを使って表せ。
(4) 1秒間あたりに，抵抗で消費されたジュール熱J，電源のした仕事W_2をV，B，v，ℓ，Rを使って表せ。
(5) W_1，J，W_2の間にはどんな関係があるか。

p.262～265とよく似た回路ですが，電源があります。
ひとつひとつしっかり確認して理解を深めましょう。

解きかた (1) 等速で動くので，導体棒についての力のつり合いが成立しています。
外力Fと，磁場から受ける力$BI\ell$がつり合うということです。
ゆえに，磁場から受ける力$BI\ell$が左向きとわかり，磁場の向きが下から上なので，フレミングの左手の法則より電流の向きは**A→Bの向き**…答

$$BI\ell=F\text{より}\quad I=\frac{F}{B\ell}\text{〔A〕}\cdots\text{答}$$

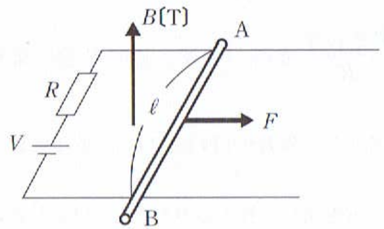
(2) 導体棒は速さvで動き，コイルを下から上へと貫く磁束は増えていくので，その変化を妨げるように導体棒には誘導起電力が生じます。
その誘導起電力の大きさは$V'=vB\ell$なので，右ページの回路で電圧1周0ルール（1周すると電圧の変化が0）を考えると

$$V-RI+vB\ell=0$$

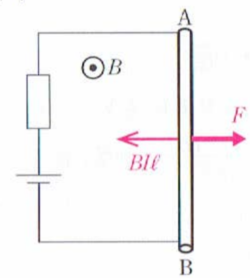
$$I=\frac{V+vB\ell}{R}\text{〔A〕}\cdots\text{答}$$

回路に電源が含まれる場合は，電源と誘導起電力の両方を考慮しないといけません。電源が2つあるように考えて，電圧1周0ルールを考えましょう。

問7-6



(1)

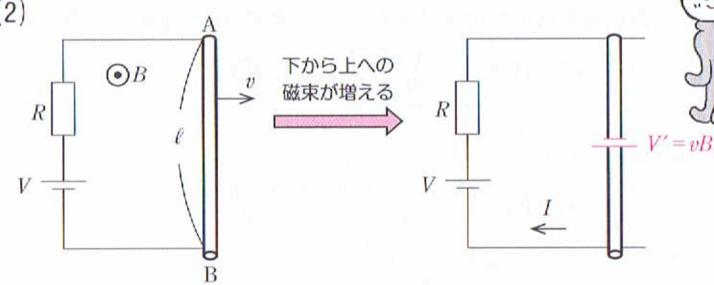


等速で動くので，$BI\ell$とFはつり合っている。
左図からフレミングの左手の法則より流れる電流の向きは**A→B**…答

$BI\ell=F$より

$$I=\frac{F}{B\ell}\text{〔A〕}\cdots\text{答}$$

(2)



電圧1周0ルールを考えると，右上の図より

$$V-RI+\underbrace{V'}_{vB\ell}=0$$

$$I=\frac{V+vB\ell}{R}\text{〔A〕}\cdots\text{答}$$

(1)，(2)より，$I=\dfrac{F}{B\ell}$，もしくは$I=\dfrac{V+vB\ell}{R}$となります。これを使いますよ。

解きかた

(3) 1秒間でv〔m〕だけ動くので，外力が1秒あたりにする仕事W_1は

$$W_1=Fv$$

ここで，V，B，v，ℓ，Rを用いて答えるので，(1)，(2)よりFを消去して

$$(I=)\frac{F}{B\ell}=\frac{V+vB\ell}{R}$$

$$F=\frac{B\ell(V+vB\ell)}{R}$$

ゆえに　$W_1=Fv=\dfrac{\boldsymbol{vB\ell(V+vB\ell)}}{\boldsymbol{R}}$〔J〕…答

(4) 抵抗で消費されるジュール熱Jと，電源のした仕事W_2をV，B，v，ℓ，Rを用いて答えます。Fは用いないので，$I=\dfrac{V+vB\ell}{R}$を利用します。

$J=I^2Rt$において，$t=1$として

$$J=I^2R=\frac{\boldsymbol{(V+vB\ell)^2}}{\boldsymbol{R}}\text{〔J〕…答}$$

「I〔A〕の電流」は「1秒間にI〔C〕が移動する」ということであり，I〔C〕をV〔V〕の高さまで運んだのが，電源のした仕事W_2なので

$$W_2=IV=\frac{\boldsymbol{V(V+vB\ell)}}{\boldsymbol{R}}\text{〔J〕…答}$$

(5) (3)，(4)より

$$W_1+W_2=\frac{vB\ell(V+vB\ell)}{R}+\frac{V(V+vB\ell)}{R}$$

$$=\frac{(V+vB\ell)^2}{R}=J$$

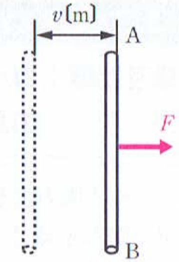
ゆえに　$\boldsymbol{W_1+W_2=J}$〔J〕…答

文字の扱いかたなどが，少し難しい問題でした。
電磁誘導の問題で，仕事やエネルギーについて問われる場合は，設問の順序で求めていけば答えが導けるものがほとんどです。自力で解けるように復習しましょう。

7

つづき

(1)，(2)より　$I=\dfrac{F}{B\ell}$，$I=\dfrac{V+vB\ell}{R}$



(3) 1秒間にv〔m〕導体棒が動くので
外力のした仕事は

$$W_1=Fv$$

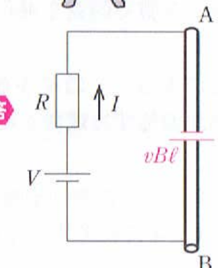
ここで

$$(I=)\frac{F}{B\ell}=\frac{V+vB\ell}{R}\text{ より }F=\frac{B\ell(V+vB\ell)}{R}$$

ゆえに　$W_1=Fv=\dfrac{\boldsymbol{vB\ell(V+vB\ell)}}{\boldsymbol{R}}$〔J〕…答

(4) 抵抗で消費されるジュール熱はI^2Rtで

$t=1$として　$J=I^2R=\dfrac{\boldsymbol{(V+vB\ell)^2}}{\boldsymbol{R}}$〔J〕…答



電源のする仕事は，V〔V〕の高さに電荷を持ち上げることで，I〔A〕の電流では1秒間にI〔C〕の電荷が移動するので

$$W_2=IV=\frac{\boldsymbol{V(V+vB\ell)}}{\boldsymbol{R}}\text{〔J〕…答}$$

(5) (3)，(4)より

$$W_1+W_2=\frac{vB\ell(V+vB\ell)}{R}+\frac{V(V+vB\ell)}{R}$$

$$=\frac{(V+vB\ell)^2}{R}$$

$$=J$$

よって　$\boldsymbol{W_1+W_2=J}$〔J〕…答

ここまでやったら
別冊 P. 62へ

7-8 相互誘導

ココをおさえよう！

相互誘導：コイルの電流の変化で，その近くのコイルに誘導起電力が発生する現象。

右ページの図のように1本の鉄心に，2つのコイルが巻かれています。
電流が流れるほうのコイルを**1次コイル**，隣にあるコイルを**2次コイル**といいます。
1次コイルに電流が流れると，それにより磁場が生じます。
そしてその磁場による磁束が，隣の2次コイルにまで及ぶのです。

1次コイルの電流が変化し大きくなると，2次コイルを貫く磁束が増加します。
すると，2次コイルは「隣のコイルのせいで，磁束が増えた〜！」と驚き，
自分を貫く磁束を減らすように，誘導起電力を発生させるのです。

このように，**コイルを流れる電流の変化によって，その近くのコイルに誘導起電力が発生する現象**を**相互誘導**といいます。

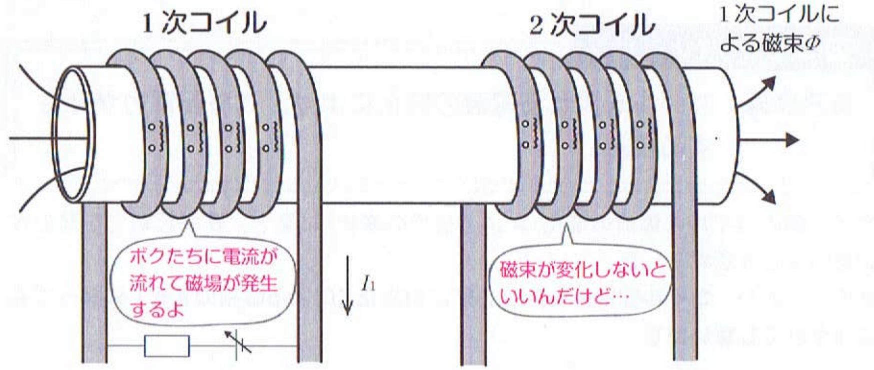
1次コイルを流れる電流が，Δt秒の間に，ΔI_1〔A〕だけ変化したとき，
2次コイルに発生する誘導起電力V_2の大きさは，以下のようになります。

$$V_2 = M\left|\frac{\Delta I_1}{\Delta t}\right|$$

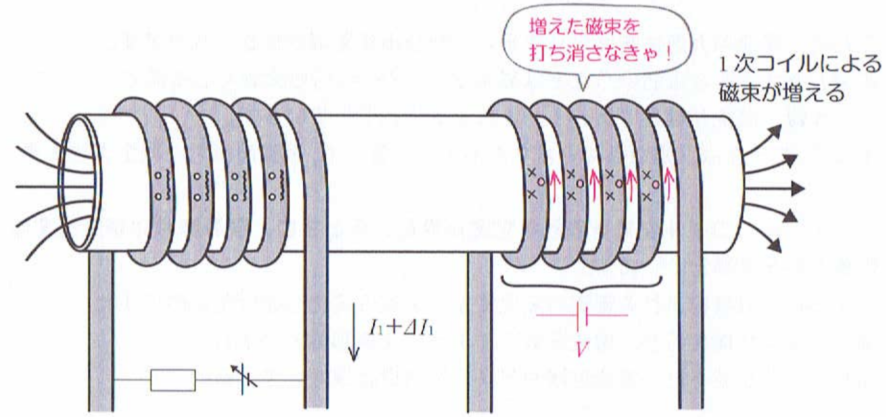
Mはそのコイルの相互誘導のしやすさを表す**相互インダクタンス**という値です。
単位は，ヘンリー〔H〕が用いられます。
誘導起電力による電流は，磁束の変化を打ち消す方向に流れます。

これまでは，コイルに生じる誘導起電力を求めるのに，磁束の変化$\Delta\Phi$を求める必要がありました。
相互誘導の場合は，相互インダクタンスMの値がわかれば，1次コイルに流れる電流の変化ΔI_1から，すぐに2次コイルの誘導起電力が求められるのです。

相互誘導



Δt秒で1次コイルの電流が
ΔI_1〔A〕増える



隣にあるコイル(1次コイル)の電流の変化によって
誘導起電力が発生 ⇒ 相互誘導

$$V = M\left|\frac{\Delta I_1}{\Delta t}\right|$$

ここまでやったら
別冊 P. 64へ

7-9 自己誘導

ココをおさえよう！

自己誘導：コイルを流れる電流の変化により，誘導起電力が発生する現象。

さて，隣のコイルの電流の変化（による磁場の変化）に驚き，誘導起電力を発生させるのが相互誘導でした。
あろうことか，**コイルは自分を流れる電流の変化（による磁束の変化）によっても驚かされてしまいます。**

コイルに電流が流れると，電流は磁場を呼び出すので，
コイルの中には，呼び出された磁場が通り抜けますね。

ここで，電流の大きさを大きくすると，呼び出す磁場が大きくなります。
磁場Hが大きくなるということは磁束$\Phi=\mu HS=BS$も大きくなるので，
コイルは「磁束が増えてる〜！」とビックリしてしまいます。
そして，コイルは「磁束を減らさなきゃ！」と言って，誘導起電力を発生させます。

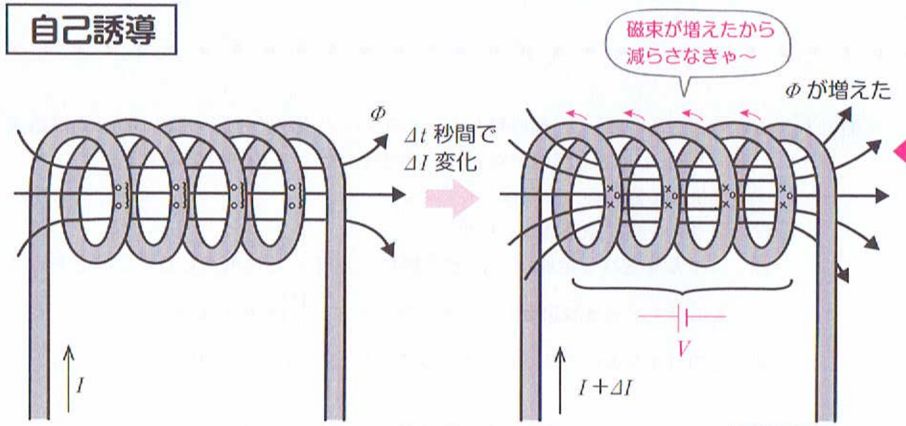
このように，**コイル自身を流れる電流が変化したときに，誘導起電力が発生する現象**を**自己誘導**といいます。
コイルは，自身を流れる電流の変化による磁束の変化も妨げたいのですね。
流れる電流が増えると，電流を減らすように誘導起電力が生じ，
流れる電流が減ると，電流を増やすように誘導起電力を生じるのです。

コイルを流れる電流が，Δt秒の間に，ΔI〔A〕だけ変化したときに発生する誘導起電力の大きさは，以下のように表されます。

$$V=L\left|\frac{\Delta I}{\Delta t}\right|$$

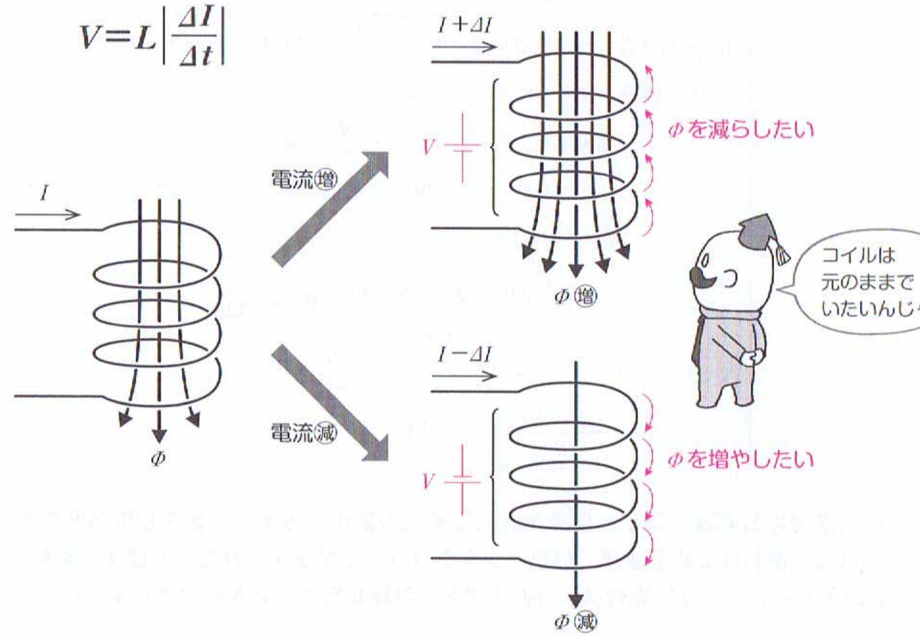
Lは，そのコイルの自己誘導のしやすさを表す値で，**自己インダクタンス**といい，単位はヘンリー〔H〕です。
Lはコイルのビックリ度合い，変化の嫌がり度合いを表していると思ってください。Lが大きいほど変化を妨げる誘導起電力が大きいんですよ。

自己誘導



コイル自身を流れる電流の変化によって
誘導起電力が発生 ⇒ 自己誘導

$$V=L\left|\frac{\Delta I}{\Delta t}\right|$$



問7-7 巻き数N，長さℓ〔m〕，断面積S〔m^2〕のソレノイドがある。このコイルには電流I〔A〕が流れている。透磁率をμ〔N/A^2〕として，以下の問いに答えよ。

(1) 発生する磁場の大きさはいくらか。

(2) コイルを貫く磁束はいくらか。

(3) コイルを流れる電流が，Δt秒の間に，ΔI〔A〕だけ増加した。このときコイルに発生する誘導起電力の大きさを$V=X\left|\dfrac{\Delta I}{\Delta t}\right|$の形で表せ。

(4) このコイルの自己インダクタンスを，μ，N，S，ℓで表せ。

解きかた

(1) ソレノイドに発生する磁場は$H=nI$でした（p.212）。

nは「1 mあたりの巻き数」でしたから，そのままNを入れてはいけません。Nは「コイル全体の巻き数」ですからね。

このコイルの1 mあたりの巻き数は$n=\dfrac{N}{\ell}$ですから，求める磁場は

$$H=nI=\frac{NI}{\ell}\text{〔A/m〕} \cdots \text{答}$$

(2) 磁束は$\Phi=BS=\mu HS$なので

$$\Phi=\mu\times\frac{NI}{\ell}\times S=\frac{\mu NIS}{\ell}\text{〔Wb〕} \cdots \text{答}$$

(3) そのまま，自己誘導の公式$V=L\left|\dfrac{\Delta I}{\Delta t}\right|$を使いたいところですが，

Lは問題で与えられていないので，使えませんね。

なので，誘導起電力の公式$V=N\left|\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|$を使いましょう。

ℓ，μ，N，Sは不変なので，電流がΔI変化したときの磁束の変化$\Delta\Phi$は

$$\Delta\Phi=\frac{\mu NS}{\ell}\Delta I$$

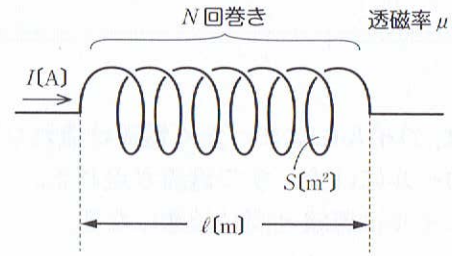
よって　$$V=N\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|=\frac{\mu N^2 S}{\ell}\left|\frac{\Delta I}{\Delta t}\right|\text{〔V〕} \cdots \text{答}$$

(4) (3)の解答と，自己誘導の公式$V=L\left|\dfrac{\Delta I}{\Delta t}\right|$を比べて

$$L=\frac{\mu N^2 S}{\ell}\text{〔H〕} \cdots \text{答}$$

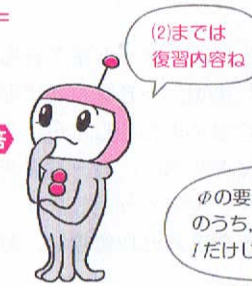
自己誘導の公式は，コイル自身を流れる電流の変化からすぐに誘導起電力を求められる，便利な公式ですが，自己インダクタンスLが与えられないと使えません。Lが与えられていない場合は，$\Delta\Phi$を求めて誘導起電力の式を使いましょう。

問7-7



(1) 1 mあたりの巻き数は$\dfrac{N}{\ell}$

よって　$$H=nI=\frac{NI}{\ell}\text{〔A/m〕} \cdots \text{答}$$



(2) $$\Phi=BS=\mu HS$$
$$=\frac{\mu NIS}{\ell}\text{〔Wb〕} \cdots \text{答}$$

(3) $$\Delta\Phi=\frac{\mu NS}{\ell}\Delta I$$

$$V=N\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|=\frac{\mu N^2 S}{\ell}\left|\frac{\Delta I}{\Delta t}\right|\text{〔V〕} \cdots \text{答}$$

(4) $V=L\left|\dfrac{\Delta I}{\Delta t}\right|$より

$$L=\frac{\mu N^2 S}{\ell}\text{〔H〕} \cdots \text{答}$$

ここまでやったら
別冊P.65へ

7-10 コイルを含む回路

ココをおさえよう！

コイル回路の特徴
- スイッチを入れた直後は，コイルにはまったく電流は流れない。
- 時間が経つにつれて，コイルには少しずつ電流が流れる。
- 十分に時間が経つと，コイルは導線と同じ状態になる。
- コイルに蓄えられるエネルギーは $\frac{1}{2}LI^2$

コイルを含んだ回路でも，コイルのビックリしやすい一面が発揮されます。
右ページの図のような回路を作り，スイッチを入れます。
電流が流れ始めると，コイルを磁束が通り抜け始めますね。

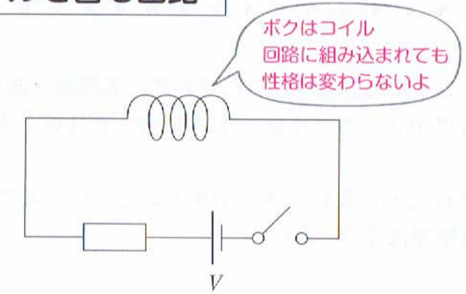
コイルからしてみれば，さっきまで何も通っていなかったのに，
スイッチを入れた途端，いきなり磁束が通ろうとするわけです。
ビックリしがちのコイルからしたら，たまったものじゃありません。
コイルは大きな驚きを示し，自己誘導を起こして，誘導起電力を発生させ，
流れ始めた電流を打ち消そうとします。
ですから，**スイッチを入れた直後は，電流はまったく流れない**のです。

しかし，時間が経つにつれて，徐々に驚きも収まっていくので，
少しずつコイルに流れる電流は増えていくことになります。
そして最終的には驚かなくなり，**導線のように電流が流れるようになる**のです。

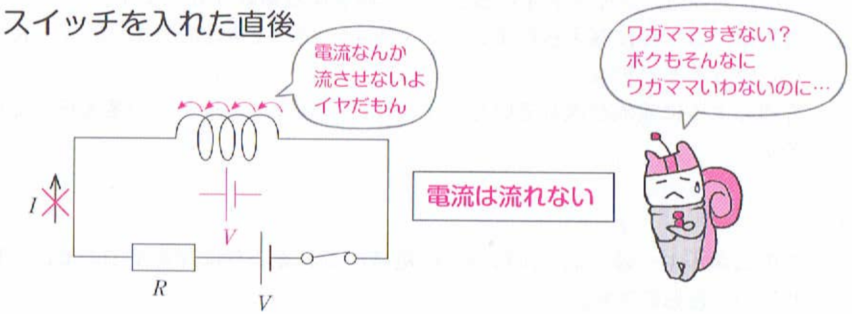
要点をまとめれば，次のようになります。
- **スイッチを入れた直後は，まったく電流は流れない。**
- **時間が経つにつれて，コイルには少しずつ電流が流れる。**
- **十分に時間が経つと，コイルは導線と同じ状態になる。**

コンデンサー回路とは真逆であることに注意しましょう。
コンデンサーは大人気の広場だったので，スイッチを入れた直後に電流が流れますが，時間が経つにつれて電流が流れなくなっていき，十分に時間が経つと，まったく電流が流れなくなるのでしたね(p.172)。

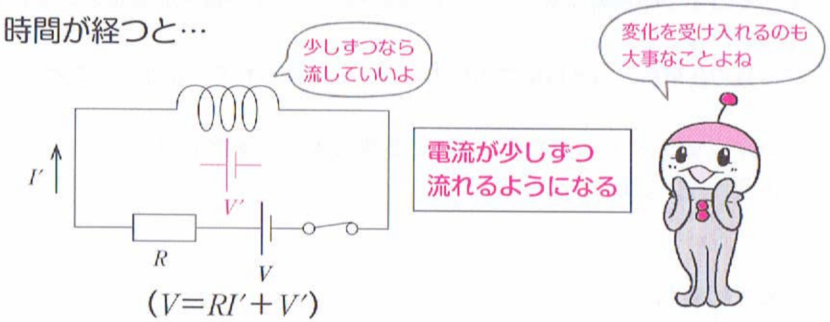
コイルを含む回路



① スイッチを入れた直後

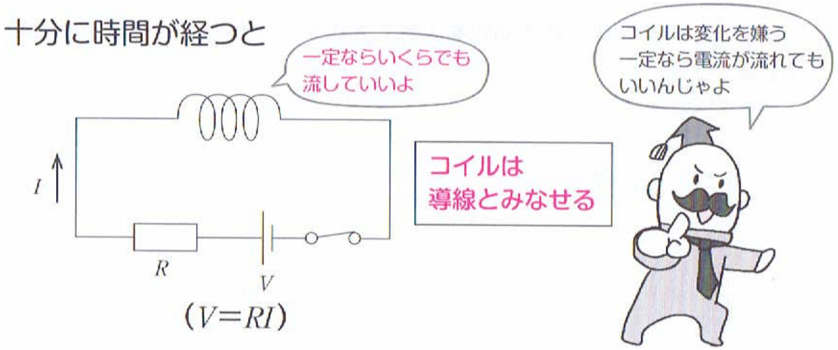


② 時間が経つと…



$(V=RI'+V')$

③ 十分に時間が経つと



$(V=RI)$

右ページの図のように，電源にコイルと豆電球がつながれている回路があります。スイッチを閉じてからしばらくすると，コイルに一定の電流が流れるようになります。
このとき，コイルは導線のようになり，電流が流れやすくなっているので，豆電球のほうには電流が流れず，豆電球は光りません。

この状態から，スイッチを切ると，その瞬間に豆電球が光ります。
これは，コイルに蓄えられていたエネルギーが，豆電球の光エネルギーに変わったということですね。
導線のように電流が流れていたコイルには，実はエネルギーが蓄えられていたのです。

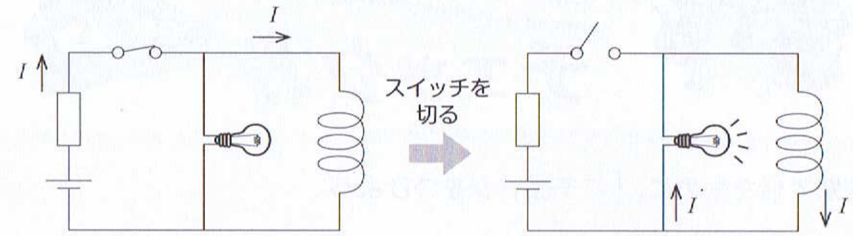
このエネルギーは，コイルに一定の電流が流れるようになるまでの間に，蓄えられていったものです。
嫌がるコイルの誘導起電力に逆らいながら，少しずつ電荷を運ぶという仕事を回路はしたのです。
その分の仕事が，コイルにエネルギーとして蓄えられていたということですね。

自己インダクタンスL〔H〕のコイルに電流I〔A〕が流れているとき，そのコイルに蓄えられているエネルギーU〔J〕は

$$U=\frac{1}{2}LI^2$$

と表されます。

別冊ではこの式を導く誘導問題を入れておきましたが，公式として覚えておけば大丈夫です。

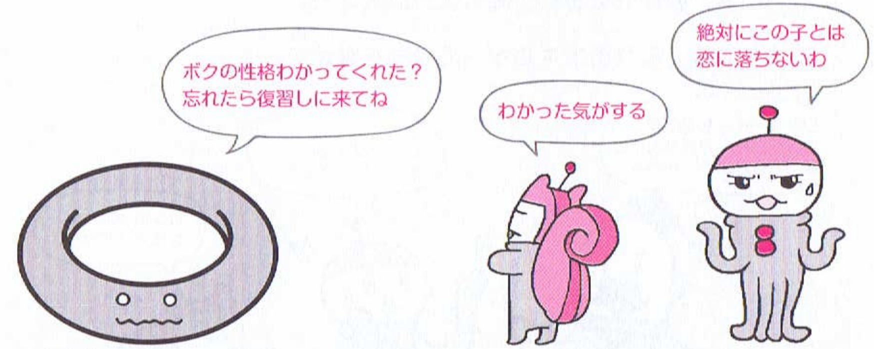


（コイルは導線のように なっているので，豆電球 に電流は流れない （光らない））

（スイッチを切った瞬間に 豆電球が光る ⇒コイルにエネルギーが 蓄えられていた）

コイルに蓄えられるエネルギー

$$U=\frac{1}{2}LI^2$$



ここまでやったら
別冊 P. 66 へ