１６．電磁誘導

《ａ》コイルによる電磁誘導　（教科書Ⅱ P.135 ～ 140、問題集 P.195 ～ 203）

磁束と磁束密度

磁束の定義　$\boxed{\Phi =\qquad\qquad}$　Φ磁束、B磁束密度、S面積

[Wb] [Wb/m^2] [m ^{2}]　※空間を満たす磁束線の本数

電磁誘導

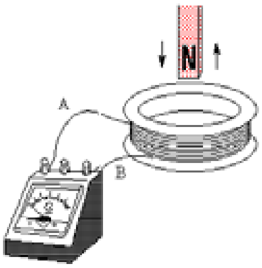
コイルを貫く磁束が変化するとコイルに起電力が生じる　→　**誘導起電力**
その際、回路が閉じていれば電流が流れる　→　**誘導電流**

レンツの法則　【誘導電流の向き】（２年の復習）

> 誘導起電力は、誘導電流の作る磁界が、コイルを貫くもとの磁束の変化を妨げるような向きに生じる。

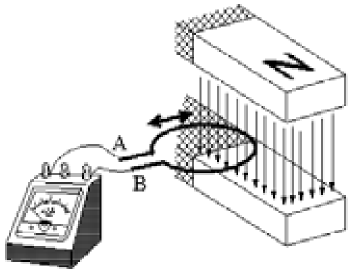
※回路が閉じていなければ実際には誘導電流は流れない。

【問】次の場合、誘導電流はどちら向きに流れるか。



棒磁石を出す

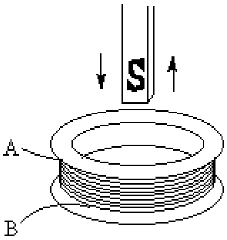
棒磁石を入れる



コイルを出す

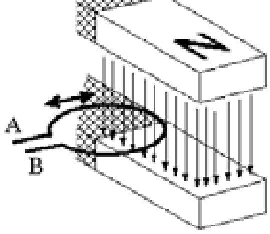
コイルを入れる

【問】次の場合、高電位になるのはＡ，Ｂのいずれか。



棒磁石を出す

棒磁石を入れる



コイルを出す

コイルを入れる

※誘導起電力を生じている**コイルは電池**と考えよ。電位の高低は仮に抵抗をつないでみて、流れる電流の向きにより判定せよ。

ファラデーの法則　【誘導起電力の大きさ】

一回巻きコイルに生じる誘導起電力の大きさ

$\lvert \boldsymbol{V} \rvert =$

$\Delta\,\Phi$ 磁束の変化
$\Delta\,t$ かかった時間

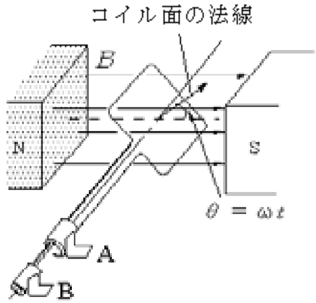
単位：　[V]　[Wb]／[s]

関連公式
- 磁束と磁束密度　$\boldsymbol{\Phi} =$
- 磁束密度と磁界　$\boldsymbol{B} =$

※向きはレンツの法則で判定する。
※ $\boldsymbol{N}$ 回巻きコイルは直列接続と考え $\boldsymbol{N}$ 倍する。

【問】断面積 1 cm^2、100 回巻きのソレノイドに 10V の誘導起電力を生じさせるには、　どのような磁束変化を与えればよいか。

交流の発生　（交流発電の原理）



右の図のように磁束密度 $\boldsymbol{B}$ の一様磁界内で、角速度 $\boldsymbol{\omega}$ で回転する面積 $\boldsymbol{S}$ のコイルがある。磁界に垂直な位置から回転が始まるとする。

時刻 $\boldsymbol{t}$ におけるコイルの有効断面積　$\boldsymbol{S}' =$

↓

時刻 $\boldsymbol{t}$ にコイルを貫いている磁束　$\boldsymbol{\Phi} =$

↓

コイルに生じる誘導起電力の大きさ　$\lvert \boldsymbol{V} \rvert =$　←　ファラデーの法則　$\lvert \boldsymbol{V} \rvert =$

↓

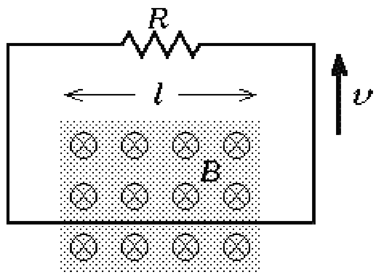
点Aを基準とした点Bの電位　$\boldsymbol{V} =$

↓

$\boldsymbol{V}_0 = \boldsymbol{BS}\,\boldsymbol{\omega}$ として整理する　$\boldsymbol{V} =$　交流電圧の式

※ $\boldsymbol{V}_0$ を交流の電圧振幅、$\boldsymbol{\omega}$ を交流の角周波数という。

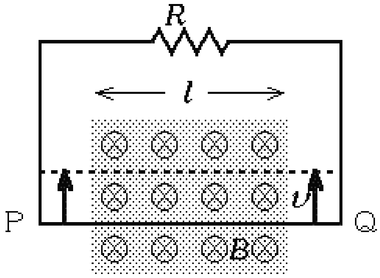
【問】図のような閉回路の一部を幅 $\boldsymbol{l}$ の磁界（磁束密度 $\boldsymbol{B}$）に垂直に通し、回路全体を磁界に垂直に速さ $\boldsymbol{v}$ で動かす。誘導起電力の大きさ、誘導電流の強さおよび向きを求めよ。



磁界の向きは手前から奥

《ｂ》**磁界を横切る導線に生じる起電力**（教科書Ⅱ P.141 ～ 144、問題集 P.195 ～ 203）

前ページ下の問いで磁界中を動く導線に生じる起電力は、抵抗 ***R*** などを取り去ってもなお生じると考えられる。つまり、磁界を横切って運動する導体には誘導起電力が発生する。



磁束密度 ***B*** の磁界を速度 ***v*** で垂直に横切る導体（磁界内の長さ ***l***）に生じる起電力

V ＝

エネルギー保存の法則

上図で導線ＰＱを速さ ***v*** で引き上げる場合を考える。加える力を ***F*** とする。

ＰＱに生じる起電力　***V*** ＝

回路に流れる電流　***I*** ＝

電流が磁界から受ける力　***F*** ＝

外力がする仕事の仕事率　***P*** ＝

電力の定義
P ＝ ***V I***

回路の消費電力　***P*** ＝

比較

※外力によってされた仕事が電力として消費されてジュール熱に変わっている。
力学的エネルギー　→　電気エネルギー　→　熱エネルギー

【問】海水を導体と考える。磁束密度の鉛直成分 3 × 10^{-5}T の地球磁界を切って北上する黒潮（流速２ m/s）は東西方向 100m あたり何 V の電位差を生じているか。また、東西どちらが高電位か。

《まとめ》電磁誘導には２つのタイプがある。

①磁界が変化するために生じる誘導起電力

ファラデーの法則（磁束 ***Φ***、時間 ***t***）　***V*** ＝　　　向きはレンツの法則

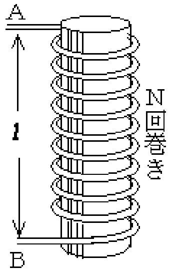
②磁界内を導体が運動するために生じる誘導起電力

磁束密度 ***B***、導体の長さ ***l***、速さ ***v***　***V*** ＝

《ｃ》自己誘導（教科書Ⅱ P.145 ～ 148、問題集 P.195 ～ 203）

自己誘導

コイルを流れる電流が変化する → コイル内の磁束が変化する → コイルに誘導起電力が発生する



透磁率 μ、断面積 S の鉄芯に巻いた、巻き数密度 n、長さ l の
ソレノイドを考える。コイルには電流 I が流れているものとする。

電流により生じる磁界 $H=$

↓

鉄芯内の磁束密度 $B=$　　ソレノイドの全巻き数 $N=$

↓

鉄芯内の磁束 $\Phi=$　　ファラデーの法則 $V=$

↓

I が変化するときの誘導起電力 $V=$

↓

$L=\mu n^2 lS$ とおいて $V=$ **自己誘導の式**

★ L をコイルの**自己インダクタンス**という。L はソレノイドの体積に比例する。

自己インダクタンスの単位

電流変化率１ A/s あたり１ V の誘導起電力を生じるコイルの自己インダクタンスを１ヘンリー[H]とする。[H]＝[Vs/A]である。

【問】上図で矢印の向きに流れている電流 I を切ろうとすると、誘導起電力はA , B いずれが高電位になるように生じるか。

自己誘導の式 $V=$ 　　は一般のコイルでも成り立つ。

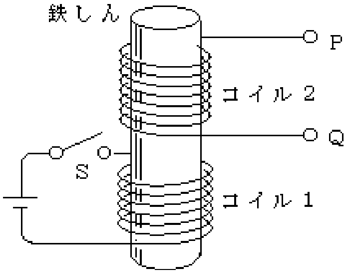
誘導起電力の向きは　　　　である。

※式には符号をつけず、絶対値として扱い、向きは別途考える方が混乱が少ない。

《ｄ》相互誘導（教科書Ⅱ P.149、問題集 P.195 ～ 203）

相互誘導

コイル１を流れる電流が変化 → コイル２内の磁束が変化する → コイル２に誘導起電力が発生



透磁率 μ、断面積 S の鉄芯に巻いた、巻き数密度 n_1、n_2 長さ l_1、l_2 のソレノイドを考える。コイル１には電流 I_1 が流れているものとする。

I_1 により生じる磁界　$H_1 =$

鉄芯内の磁束密度　$B =$

コイル２の全巻き数　$N_2 =$

鉄芯内の磁束　$\Phi =$

ファラデーの法則　$V_2 =$

I_1 の変化によるコイル２の誘導起電力　$V_2 =$

$M_{12} = \mu n_1 n_2 l_2 S$ とおいて　$V_2 =$　**相互誘導の式**

★ M_{12} をコイル１から２への**相互インダクタンス**という。単位はヘンリー[H]。

注）２次コイル（上図のコイル２）に負荷をつないで電流を取り出すと、逆誘導によって１次コイル側にも相互誘導が起き、これが１次コイル側の負荷になる。

【問】巻き数密度 n_1、n_2 を変えずに２次コイル側の誘導起電力を増すには１次、２次どちらのコイルの巻き数を増やせばよいか。

相互誘導の式　$V_2 =$　は一般のコイルでも成り立つ。

誘導起電力の向きは　　　　である。

※式には符号をつけず、絶対値として扱い、向きは別途考える方が混乱が少ない。

《ｅ》コイルに蓄えられるエネルギー（教科書Ⅱ P.148、問題集 P.195 ～ 203）

コイルに流れている電流が減少すると、コイルは電流を流し続けるように起電力を発生する。誘導起電力は仕事ができるので、電流の流れているコイルはエネルギーを蓄えている。電気的な慣性によるものと考えてもよい。

電流 I が流れている自己インダクタンス L のコイルが蓄えているエネルギー　　$\boxed{U =\qquad\qquad}$　単位[J]

【問】40mH のコイルに 0.1A の電流が流れているとき、コイルに蓄えられているエネルギーは何 J か。

【問】プリント P.120 で、断面積 S、長さ l、巻き数密度 n のソレノイドの自己インダクタンスは $L = \mu n^2 lS$ となることを導いた。これに電流 I が流れているときの磁界を H としてコイルが蓄えているエネルギーを H を用いて表せ。さらにこれをコイルが囲む体積で割って、単位体積当たりのエネルギー u（エネルギー密度）を求めてみよ。

《参考》コイルとコンデンサーの比較

コイル		コンデンサー
$V = L\dfrac{dI}{dt}$	特性式	$Q = CV$ または $I = C\dfrac{dV}{dt}$
$U = \dfrac{1}{2}LI^2$	エネルギー	$U = \dfrac{1}{2}CV^2$
$u = \dfrac{1}{2}\mu H^2$	エネルギー密度	$u = \dfrac{1}{2}\varepsilon E^2$
$K = \dfrac{1}{2}mv^2$ 運動エネルギー	力学的エネルギーとの比較	$U = \dfrac{1}{2}kx^2$ 位置エネルギー

★コイルをおもり、コンデンサーをばねにたとえて考えるとよい。コイルとコンデンサーをつなぐと何が起こるだろうか。