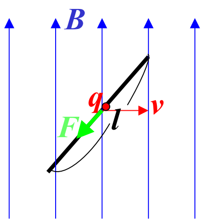
6-2 導体が動く場合　ローレンツ磁気力



ローレンツ力　$F_L = q\mathbf{v}\times\mathbf{B}$

ローレンツ力によって電荷が動く。

↓

電荷が、電線の端にたまる。

↓

その電荷が、電場Eを作る。

↓

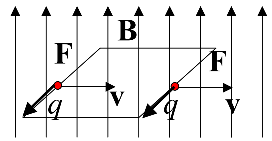
電場(ホール電場)による力qEがF_Lを打ち消す。

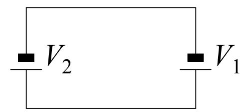
↓

電流が流れなくなる。

↓

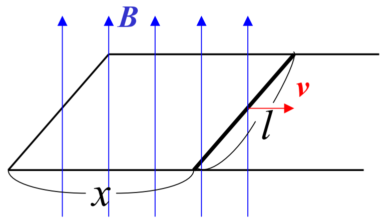
電線の両端に電圧が発生したと見なせる。
(あるいは、電線内に電場が発生した)





$\boxed{\dfrac{d\Phi}{dt}=0}$

一様な磁場中を長方形の回路を動かすと、
回路内に、同じ大きさ、逆向きの起電力(V_1,V_2)が
発生し、電流は流れない。

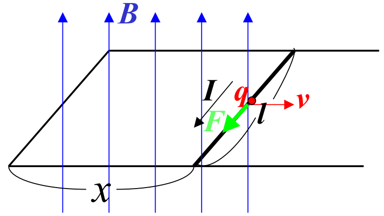


ファラデーの電磁誘導の法則で
考えると･･･

$$V_e = -\frac{d\Phi}{dt}$$
$$= -\frac{d}{dt}(Blx) = -Bl\frac{dx}{dt} = -vBl$$

$$\Phi = BS = Blx$$

ローレンツ力で考えると････



$$F = q\mathbf{v}\times\mathbf{B}$$

電荷qが導線の端から端まで長さlだけ動く時の仕事:W

$$W = Fl = qvBl$$

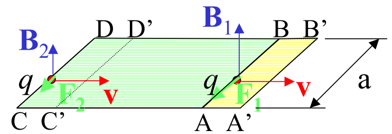
電荷qを動かした仕事 = 静電エネルギー (電荷×電位)

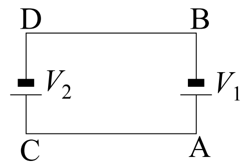
$$W = qvBl = qV$$

↓

$$V = vBl$$

一般(一様でない)磁場の場合





F_1=qvB_1，　F_2=qvB_2

AB間にV_1, CD間にV_2の電位差があるとすると、

$$E_1 = \frac{V_1}{a} \quad \rightarrow \quad F_1 = qE_1 = q\frac{V_1}{a} = qvB_1$$
$$\therefore V_1 = avB_1, \quad V_2 = avB_2$$

回路に電流を流す起電力は、ABDCAの向きに、

$$V_e = -V_1 + V_2$$
$$= -(B_1 - B_2)av$$

短い時間Δtの間に、回路の位置はABCDからA'B'C'D'に、
AA'(=CC') = $v\Delta t$

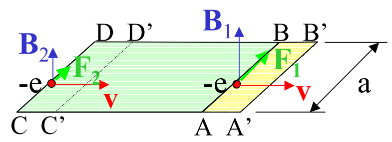
回路を貫く磁束の変化ΔΦ

$$\Delta\Phi = (\text{ABB'A'で増える分}) - (\text{CDD'C'で減る分})$$
$$= B_1 av\Delta t - B_2 av\Delta t$$
$$= (B_1 - B_2)av\Delta t$$

$$\therefore \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = (B_1 - B_2)av = -V_e$$

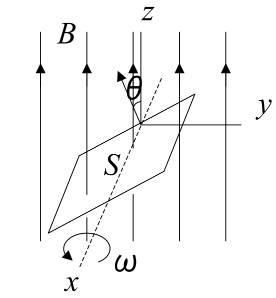
Δ$t \to 0$ の極限で

$$\boxed{V_e = -\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}}$$



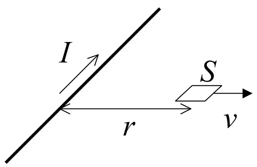
例題

一様な静磁場中で回路を
磁場に垂直な軸まわりで
一定の各速度で回転させた
ときの、回路に生じる起電力



問題2

導線に電流Iを流し、そこから面積Sの
一巻のコイルを一定の速さvで遠ざける
時に生じる起電力。



少し変わった例：磁場中で回転する金属円盤

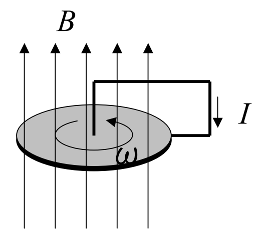
中心から距離rの位置の電荷qの速さvは
$$v = r\omega$$

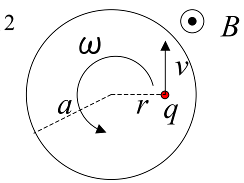
距離rからΔrだけ動かす仕事ΔWは
$$\Delta W = F\Delta r = qvB\Delta r = qr\omega B\Delta r$$

中心から端(r=a)までの仕事Wは
$$W = \int_0^a dW = \int_0^a qr\omega B dr = \frac{1}{2}qB\omega a^2$$

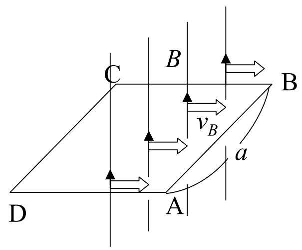
中心から端(r=a)までの電圧をV_eとすると
$$W = \frac{1}{2}qB\omega a^2 = qV_e$$

したがって、 $V_e = \dfrac{1}{2}B\omega a^2$





6-3 磁束が動く場合　誘導電場



導体は静止、磁束が運動(変動)

$\longrightarrow$ ローレンツ力は働かない

しかし、「運動の相対性」を考えると
導体中の電荷には「力が働くはず」

$\longrightarrow$ 磁束の運動で電場が発生

どういう電場が発生するか？

$$\boxed{V_e = -\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}}$$

•磁場が時間的に変化したときに生じる起電力

$$V_e = -\frac{\mathrm{d}\Phi(t)}{\mathrm{d}t}$$

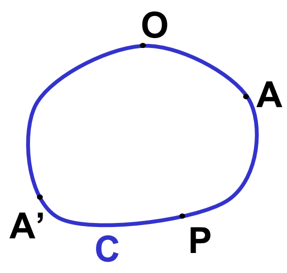
起電力:導線中に生じた電場を回路に沿ってひと回り積分したもの。

$$V_e = \oint_C \mathbf{E}\cdot d\mathbf{s}$$

したがって、

$$\boxed{\oint_C \mathbf{E}\cdot d\mathbf{s} = -\frac{\mathrm{d}\Phi(t)}{\mathrm{d}t}}$$

ファラデーの電磁誘導の法則



•静電磁場(時間に依存しない場合)

電場の渦無しの法則: $\boxed{\oint_C \mathbf{E}\cdot d\mathbf{s} = 0}$

•磁場が時間に依存する場合

$$\oint_C \mathbf{E}\cdot d\mathbf{s} = -\frac{\mathrm{d}\Phi(t)}{\mathrm{d}t}$$

磁束の定義 $\Phi(t) = \int_S B_n(t)\mathrm{d}S$

一般形のファラデーの電磁誘導の法則

$$\boxed{\oint_C \mathbf{E}\cdot d\mathbf{s} = -\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\int_S B_n(t)\mathrm{d}S}$$

$\oint_C \mathbf{E}\cdot d\mathbf{s}$ がゼロで無いというのは、どういうことか？

$\oint_C \mathbf{E}\cdot d\mathbf{s} = 0$ 渦無しの法則

$\Updownarrow$

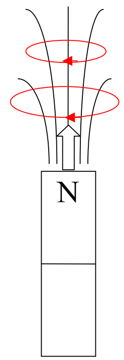
$\oint_C \mathbf{E}\cdot d\mathbf{s} \neq 0$ 渦あり！！

アンペールの法則

$\oint_C \mathbf{B}\cdot d\mathbf{s} = \mu_0 I$ 電流により渦磁場が発生

一般形のファラデーの電磁誘導の法則

$$\boxed{\oint_C \mathbf{E}\cdot d\mathbf{s} = -\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\int_S B_n(t)\mathrm{d}S}$$



変動する磁場により渦電場が発生！！