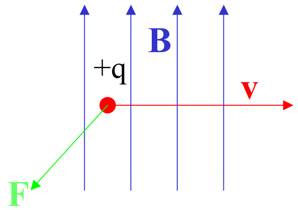
6-1 電磁誘導の法則

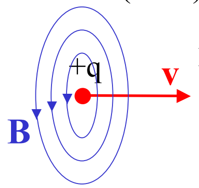
•磁場中を運動する電荷qに働く力



ローレンツ力

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

•運動する電荷(電流)が作る磁場



$\mathbf{i} = q\mathbf{v}$

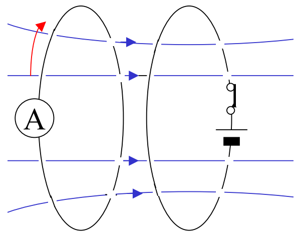
アンペールの法則

$$\boxed{\oint_C \mathbf{B}(\mathbf{r}) \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 \int_S \mathbf{i}(\mathbf{r}) \cdot d\mathbf{S}}$$

電気現象 ←→ 磁気現象

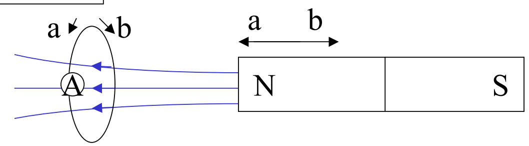
ファラデーの電磁誘導の発見

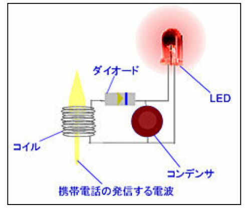
回路2　回路1



回路1のスイッチを入れたり切ったりするときに、回路2に電流が流れる。

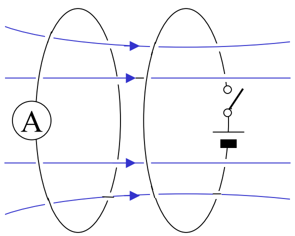
電磁誘導





ファラデーの電磁誘導

回路2　回路1

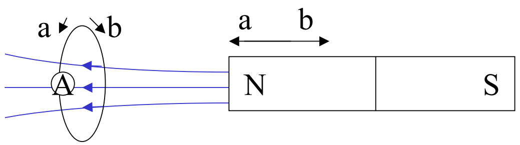


レンツの法則

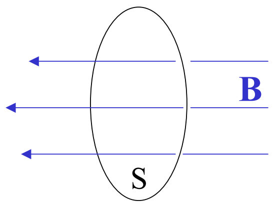
誘導電流は磁場の変化を打ち消す向きに流れる。

↓

電磁誘導起電力の発生

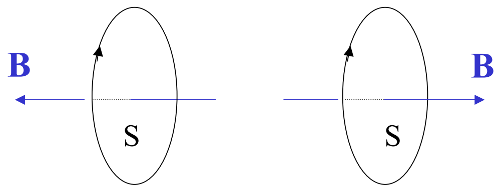


磁束 (magnetic flux): Φ



一様な磁場中

$\Phi = BS$



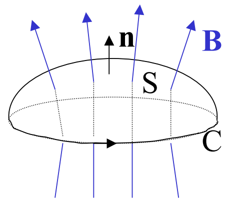
$\Phi > 0$　　$\Phi < 0$

右ネジの関係

磁束：一般の場合

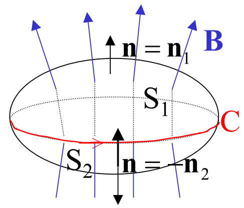
- 回路: 曲線
- **B**: 場所に依存

$$\boxed{\Phi = \int_S \mathbf{B}\cdot d\mathbf{S} = \int_S B_n dS}$$



ガウスの法則

$$\int_S B_n dS = \int_{S_1+S_2} B_n dS$$
$$= \int_{S_1} B_{n_1} dS - \int_{S_2} B_{n_2} dS = 0$$



$$\longrightarrow \Phi = \int_{S_1} B_{n_1} dS = \int_{S_2} B_{n_2} dS$$

Φ は曲面Sの選び方によらない

回路を貫く磁束が変化すると「電流が流れる」。

⇕

回路を貫く磁束が変化すると「起電力が発生する」。

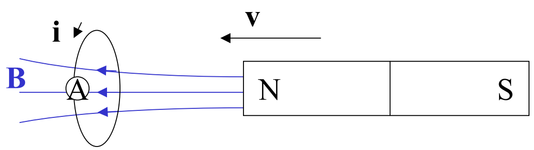
↓

電磁誘導により生じる起電力(ポテンシャル) V_e

$$\boxed{V_\mathrm{e} = -\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}}$$ ファラデーの誘導法則

- 磁束の時間変化に比例
- 磁束の時間変化を打ち消す向きに生じる

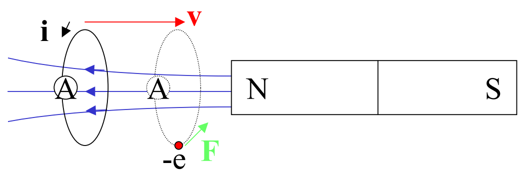
- 磁石が動いている(磁場が変化している)場合



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

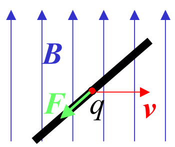
同じ結果！

- 回路が動いている場合



ローレンツ力により、回路中の電子が運動する。→ϕ が発生

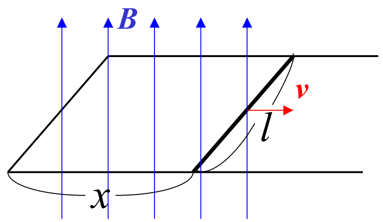
6-2 導体が動く場合　ローレンツ磁気力



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

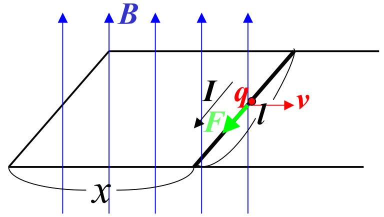
導体中の電荷(電子)はローレンツ力で動き、電流が流れる。

ファラデーの電磁誘導の法則で考えると･･･



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

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

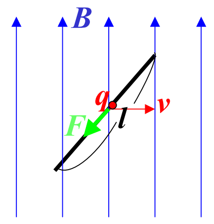
$$W = Fl = qvBl$$

電荷qを動かした仕事 = 静電エネルギー (電荷×電位)

$$W = qvBl = qV$$

↓

$$V = vBl$$



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

金属棒だけの場合、電荷が端にたまる。

↓

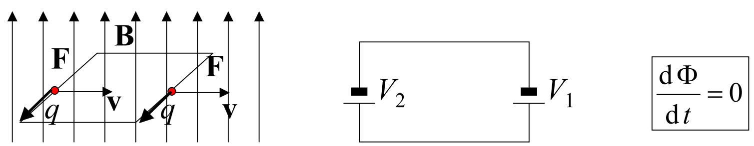
その電荷が、電場Eを作る。

↓

電場(ホール電場)による力qEがF_Lを打ち消す。

↓

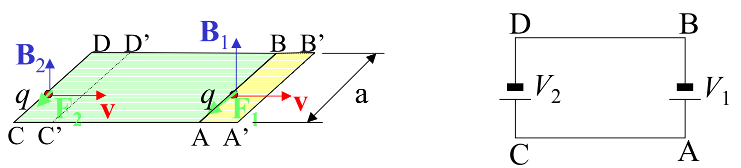
電流が流れなくなる。



$$\boxed{\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} = 0}$$

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。

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、

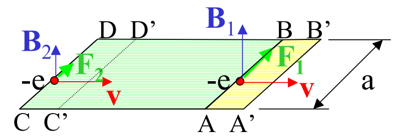
$$V_e = -V_1 + V_2$$
$$= -(B_1 - B_2)av$$

短い時間Δtの間に、回路の位置はABCDからA'B'C'D'に、
AA'(=CC') = vΔt
回路を貫く磁束の変化ΔΦ

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

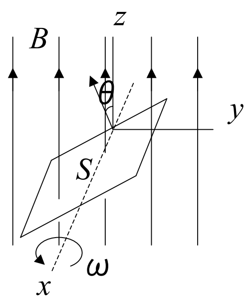
Δ$t \rightarrow 0$ の極限で

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



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。