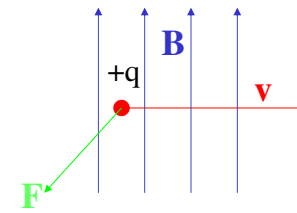


1. 電磁気学Iのおさらい
2. 電流と電流密度
3. オームの法則
4. 金属電子論
5. 準定常電流
6. 電流間に生じる力と磁場
7. ローレンツ力
8. 電流が作る磁場
9. アンペールの法則
10. 前半のまとめと確認
11. 磁束と電磁誘導
12. 自己インダクタンスと相互インダクタンス
13. 磁場のエネルギー
14. 交流回路と複素インピーダンス
15. まとめ

4-1 磁束と電磁誘導

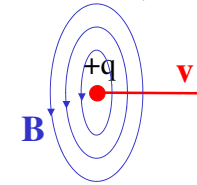
• 磁場中を運動する電荷qに働く力



ローレンツ力

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

• 運動する電荷(電流)が作る磁場

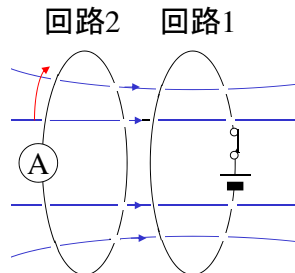


$\mathbf{j} = q\mathbf{v}$ アンペールの法則

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \int_S \mathbf{j} \cdot \mathbf{n} dS$$

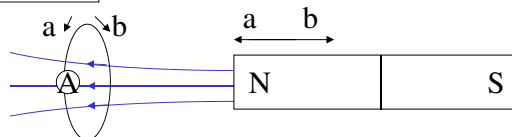
電気現象 ←→ 磁気現象

ファラデーの電磁誘導の発見

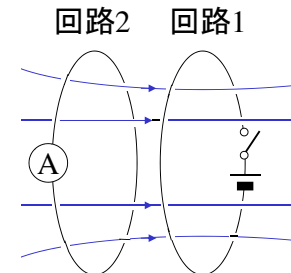


回路1のスイッチを入れたり切ったりするときに、回路2に電流が流れる。

電磁誘導



ファラデーの電磁誘導

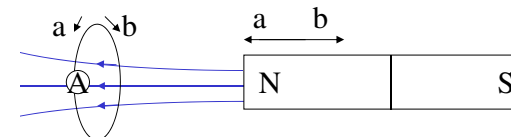


レンツの法則

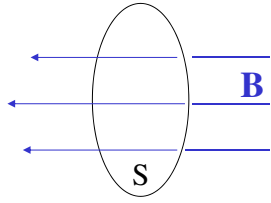
誘導電流は磁場の変化を打ち消す向きに流れる。



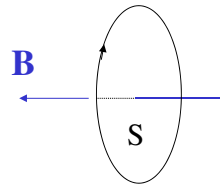
電磁誘導起電力の発生



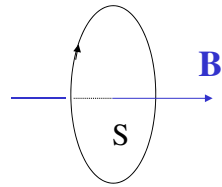
磁束 (magnetic flux): Φ



一様な磁場中
 $\Phi = BS$



$\Phi > 0$



$\Phi < 0$

右ネジの関係

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

$$V_e = -\frac{d\Phi}{dt}$$

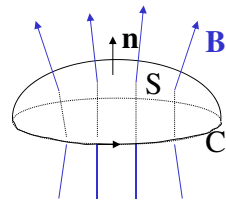
ファラデーの誘導法則

- 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

磁束: 一般の場合

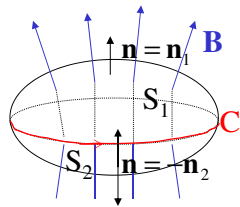
- 回路: 曲線
- B: 場所に依存

$$\Phi = \int_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} dS$$



ガウスの法則

$$\begin{aligned} \int_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} dS &= \int_{S_1+S_2} \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} dS \\ &= \int_{S_1} \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} dS - \int_{S_2} \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} dS = 0 \end{aligned}$$

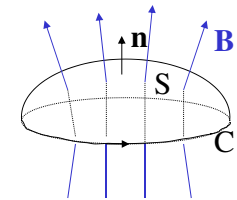


$$\rightarrow \Phi = \int_{S_1} B_{n_1} dS = \int_{S_2} B_{n_2} dS$$

Φ は曲面Sの選び方によらない

•回路を貫く磁束: Φ

$$\Phi = \int_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} dS$$



•回路に生じた起電力: $V_e = \oint_C \mathbf{E} \cdot \mathbf{t} dl$

$$V_e = \oint_C \mathbf{E} \cdot \mathbf{t} dl$$

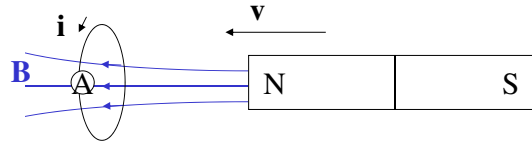
ファラデーの誘導法則

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot \mathbf{t} dl = -\frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} dS$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

微分形

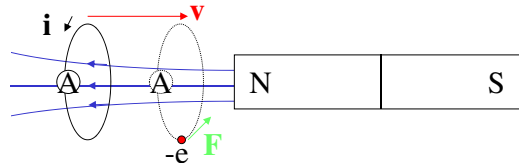
•磁石が動いている(磁場が変化している)場合



$$V_e = -\frac{d\Phi}{dt}$$

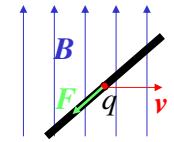
同じ結果!

•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。→Vが発生

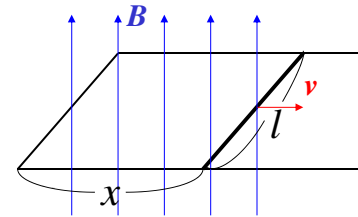
導体が動く場合 ローレンツ磁気力



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

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...

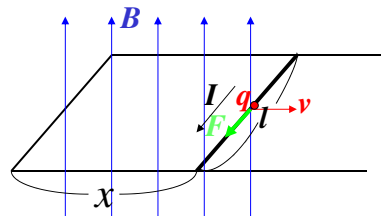


$$\Phi = BS = Blx$$

$$V_e = -\frac{d\Phi}{dt}$$

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

ローレンツ力で考えると.....



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

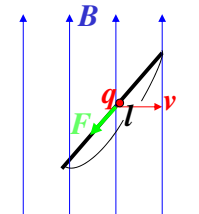
電荷qが導線の端から端まで長さだけ動く時の仕事:W

$$W = Fl = qvBl$$

電荷qを動かした仕事 = 静電エネルギー (電荷 × 電位)

$$W = qvBl = qV$$

$$V = vBl$$



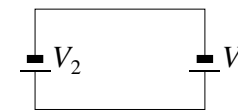
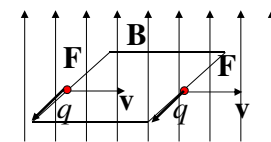
$$F_L = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

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。

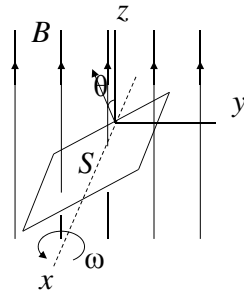


$$\frac{d\Phi}{dt} = 0$$

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(V₁,V₂)が発生し、電流は流れない。

演習4.1

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



演習4.2

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。

