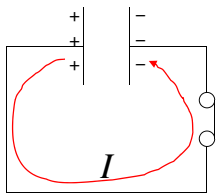
電磁気学II

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

電流と電流密度

電流 = 電荷の移動



電流 I [A]

1 A = 1 C/s

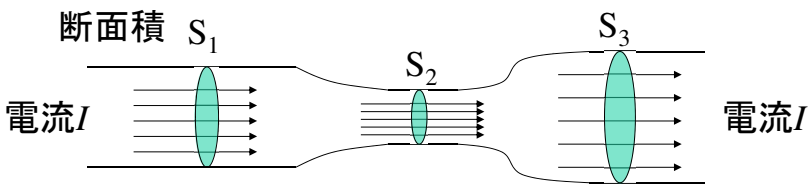
多くの場合、移動する電荷は電子

電子の電荷量: $e=1.602\times10^{-19}$ C

t秒間に電荷量Qの移動 $I=\dfrac{Q}{t}$

移動する電荷量が時間的に変動する場合 $I=\dfrac{dQ}{dt}$

電流密度



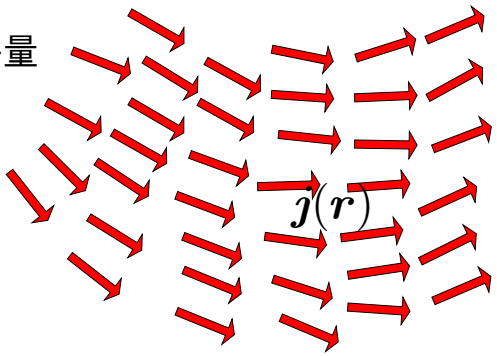
電流密度 $j_1=\dfrac{I}{S_1}$ $j_2=\dfrac{I}{S_2}$ $j_3=\dfrac{I}{S_3}$

一般にはベクトル量

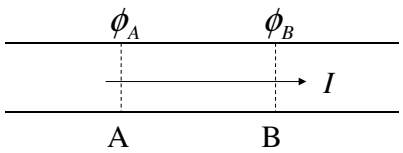
$\boldsymbol{j}(\boldsymbol{r})$

単位面積
あたりの電流

単位 [A/m^2]



オームの法則



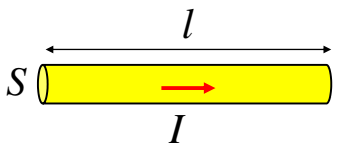
$V=\phi_A-\phi_B$

電流が小さい時、「電流は電圧に比例する。」

$I=\dfrac{V}{R}$ あるいは $V=RI$

R: 電気抵抗 [Ω] =[V/A]

オームの法則



電気抵抗は
導線の長さに比例
断面積に反比例

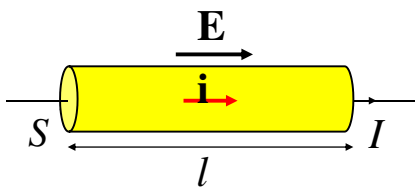
$$R = \rho \frac{l}{S}$$

ρ : 抵抗率(比抵抗)[Ω・m]
S : 断面積[m²]
l : 長さ[m]

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

σ : 電気伝導率(Ω⁻¹・m⁻¹)

オームの法則



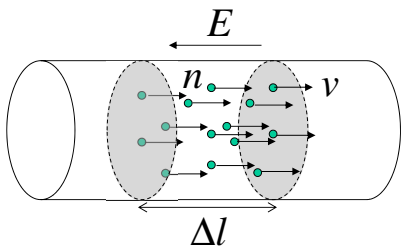
$$V = RI$$
$$= \rho \frac{l}{S} I$$

$$V = lE, \quad i = \frac{I}{S}$$

$\longrightarrow$

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \rho(\mathbf{r})\mathbf{i}(\mathbf{r})$$

$$\mathbf{i}(\mathbf{r}) = \sigma(\mathbf{r})\mathbf{E}(\mathbf{r})$$



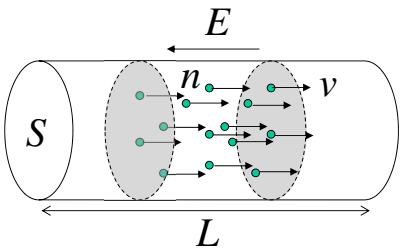
電場EからFの力を受けている1つの電子がΔtの時間の間にΔlだけ動いた時の仕事ΔW

$$\Delta W = F\Delta l = -eEv\Delta t$$

単位体積あたりの仕事率w

$$w = \frac{n\Delta W}{\Delta t} = -nevE = Ej = \sigma E^2 = \rho j^2$$

$\longrightarrow$ ジュール熱



断面積S、長さLの導線全体からの単位時間当たりの発熱量Pは、体積がSLなので

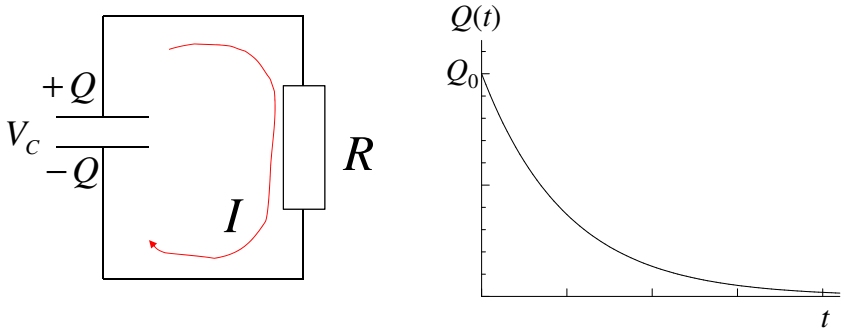
$$P = wSL = EjSL = LEjS$$

導体内で、電場、電流が一様ならば、両端電圧Vおよび電流Iは、$V=LE$、$I=jS$だから、

$$P = VI = RI^2 \longrightarrow \text{ジュール熱}$$

単位:W(ワット)=J/S

直流回路



$\tau = RC$ ：緩和時間→1/eになる時間

電流の間にはたらく力

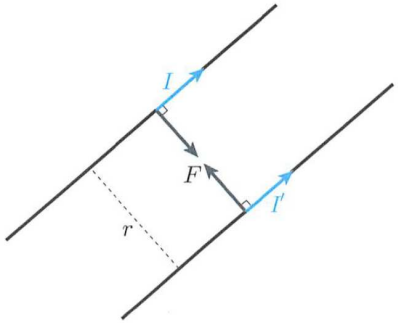


図 3.9　2つの平行な電流の間に働く力

単位長さ当たりの力の大きさ

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi_0}\frac{I \times I'}{r}$$

真空の透磁率

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\,\mathrm{Nm/A^2}$$

電荷の間にはたらく力：電荷＝スカラー
電流の間にはたらく力：電流＝ベクトル

電場：$\mathbf{E}$

電荷qに働く力：$\mathbf{F} = q\mathbf{E}$

電流素片$I\mathrm{d}\mathbf{l}$に働く力：$\mathrm{d}\mathbf{F} = I\mathrm{d}\mathbf{l} \times \mathbf{B}$

磁束密度：$\mathbf{B}$

単位：テスラ(T=N/(Am)

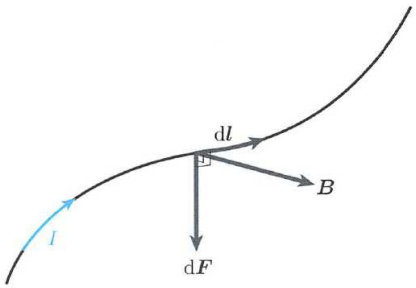
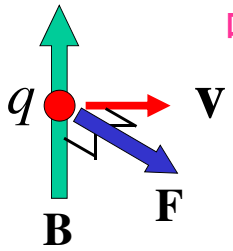


図 3.10　電流素片に働く力

ローレンツ力



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

ローレンツ力の場合、力と粒子の動く方向が常に垂直であるから、粒子に仕事をしない！

磁場 $\mathbf{B}$ とともに、電場 $\mathbf{E}$ がある場合

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

電場: $\mathbf{E}$

電荷qに働く力: $\mathbf{F} = q\mathbf{E}$

電荷qが作る電場: $\mathbf{E} = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{q}{r^2}\dfrac{\mathbf{r}}{r}$ クーロンの法則

磁束密度: $\mathbf{B}$

電流素片$I\mathrm{d}\mathbf{l}$に働く力: $\mathrm{d}\mathbf{F} = I\mathrm{d}\mathbf{l}\times\mathbf{B}$

電流素片$I\mathrm{d}\mathbf{l}$が作る磁場: $\mathrm{d}\mathbf{B} = \dfrac{\mu_0}{4\pi}\dfrac{I\mathrm{d}\mathbf{l}}{r^2}\times\dfrac{\mathbf{r}}{r}$

ビオ・サバールの法則

S極やN極を単独で分離できない！

磁場に対するガウスの法則

$$\int_S \mathbf{B}\cdot\mathbf{n}dS = 0$$

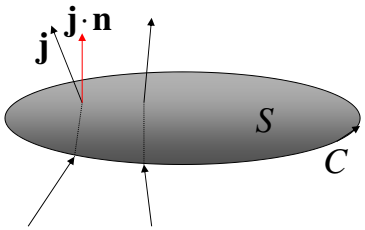
単極磁荷無し！！

アンペールの法則

$$\oint_C \mathbf{B}\cdot\mathbf{t}dl = \mu_0\sum_i I_i$$

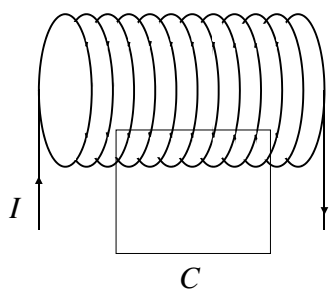
$$\oint_C \mathbf{B}\cdot\mathbf{t}dl = \mu_0\int_S \mathbf{j}\cdot\mathbf{n}dS$$

$\mathbf{j}$:電流密度



アンペールの法則の応用

例題3.6 半径a、単位長さあたり巻き数nのコイルを巻いたソレノイドに、電流Iを流したとき生じる磁場を求めよ。



P.55

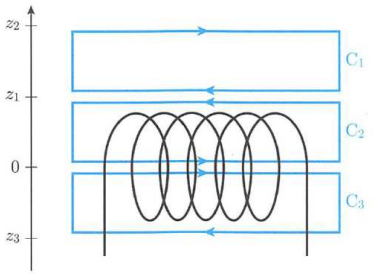


図 3.18　ソレノイドが作る磁場

誤

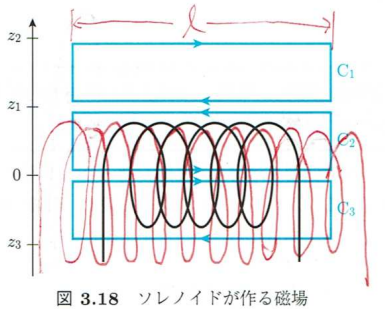


図 3.18　ソレノイドが作る磁場

正