

## 授業予定(変更されたシラバス)

- ①原子の構造と電気力
- ②クーロンの法則
- ③電場1 (小)
- ④電場2 (小)
- ⑤電位1 (小)
- ⑥電位2
- ⑦電流1 (小)
- ⑧電流2 (＋確認試験1)
- ⑨電流が作る磁場1 (小)
- ⑩電流が作る磁場2
- ⑪ローレンツ力1 (小)
- ⑫ローレンツ力2 (小)
- ⑬電磁誘導 (小)
- ⑭発展 (＋確認試験2)
- ⑮まとめ
- ⑯期末試験

# ◇静電場での力学的エネルギー保存則 (テキスト p.49~50)

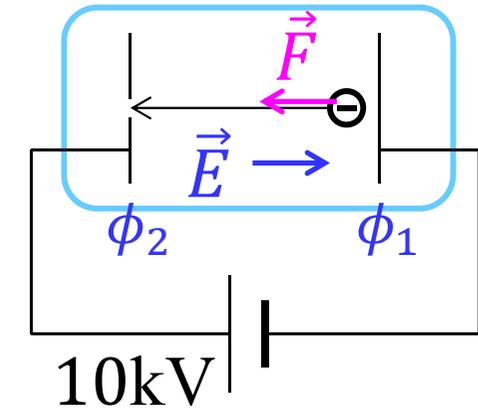
仕事と運動エネルギーの関係

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = W = qV_{12}$$

力学的エネルギー保存則  $K_1 + U_1 = K_2 + U_2$

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + q\phi_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + q\phi_2$$

陽極(2) 陰極(1)



加速電圧  $V = 10 \text{ kV}$  で電子を加速する。 $V_{12} = \phi_1 - \phi_2 = -V$   
初速  $v_1 = 0 \text{ m/s}$  とする。

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}m \cdot 0^2 = qV_{12} = eV$$

$$q = -e = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$
$$m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2eV}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 10 \times 10^3 \text{ V}}{9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}}}$$
$$= 5.9 \times 10^7 \text{ m/s}$$

## 基礎物理A ≪ 学習到達目標 ≫

- 1) 電気力と電場の関係を説明できる。
- 2) 電位と静電エネルギーを説明できる。
- 3) ミクロな視点で電流を説明できる。
- 4) ローレンツ力と磁場(磁束密度)の関係を説明できる。
- 5) 直線電流がつくる磁束密度を図を使って説明できる。

## 第7回目 電流1

### 今日の授業の目的

- 自由電子の振る舞いから、平衡状態にある**導体の性質**を理解する.
- **コンデンサー**が電気を蓄える仕組みを理解する.
- 電気容量を用いて、コンデンサーに蓄えられた電気量を求める.
- 電気容量を用いて、コンデンサーの静電エネルギーを求める.
- **電流**において**自由電子**はどのように進んでいるのかを考える.
- 電池の起電力は電流を引き上げるポンプの役目である.
- **オームの法則**と**電気抵抗**の意味を理解する.
- **電力**と**ジュール熱**を求める.

# § 5 コンデンサー

# ◇ 導体

(テキスト p.58~59)

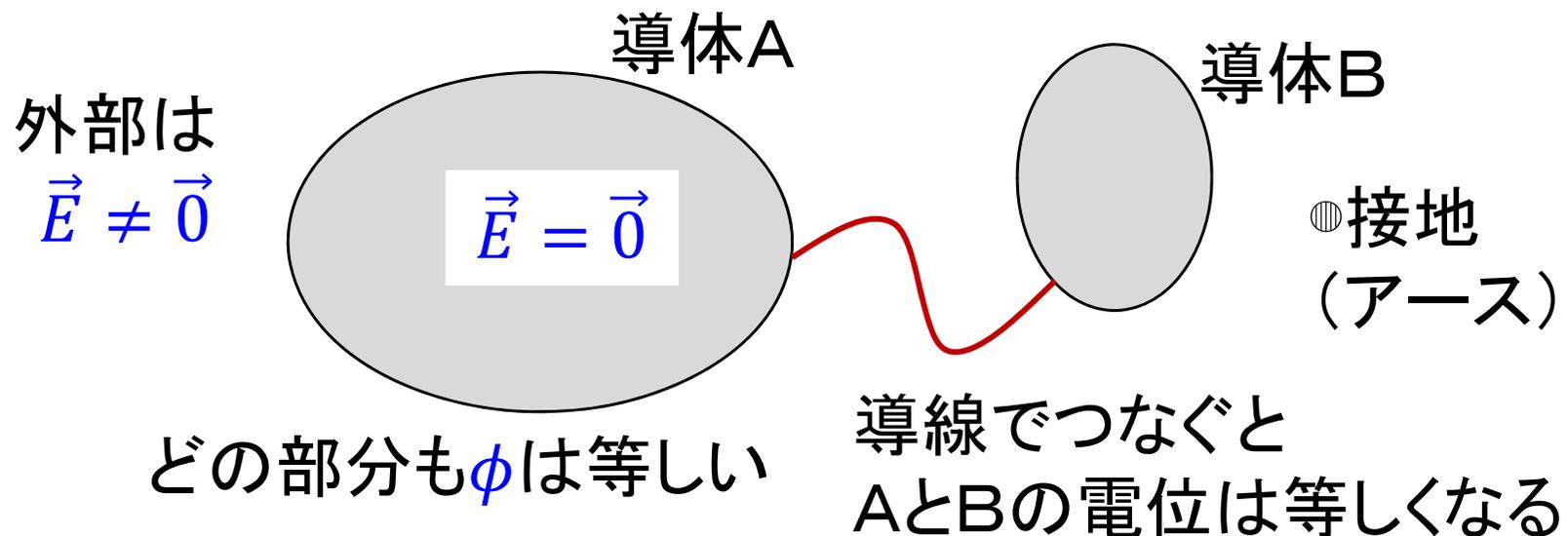
導体の性質 ここまで学んだことを使って説明できますか？

★ 性質1. 平衡状態にある導体の内部には、静電場はない。

理由：平衡状態・・・自由電子の移動が無い状態。もし導体内部に静電場があるならば、・・・

★ 性質2. 平衡状態にある一つの導体の全ての点で、電位は等しい。

理由：導体内部で  $\vec{E} = \vec{0}$  と  $V = Ed$  から考える。



# ◇ 導体

(テキスト p.58~59)

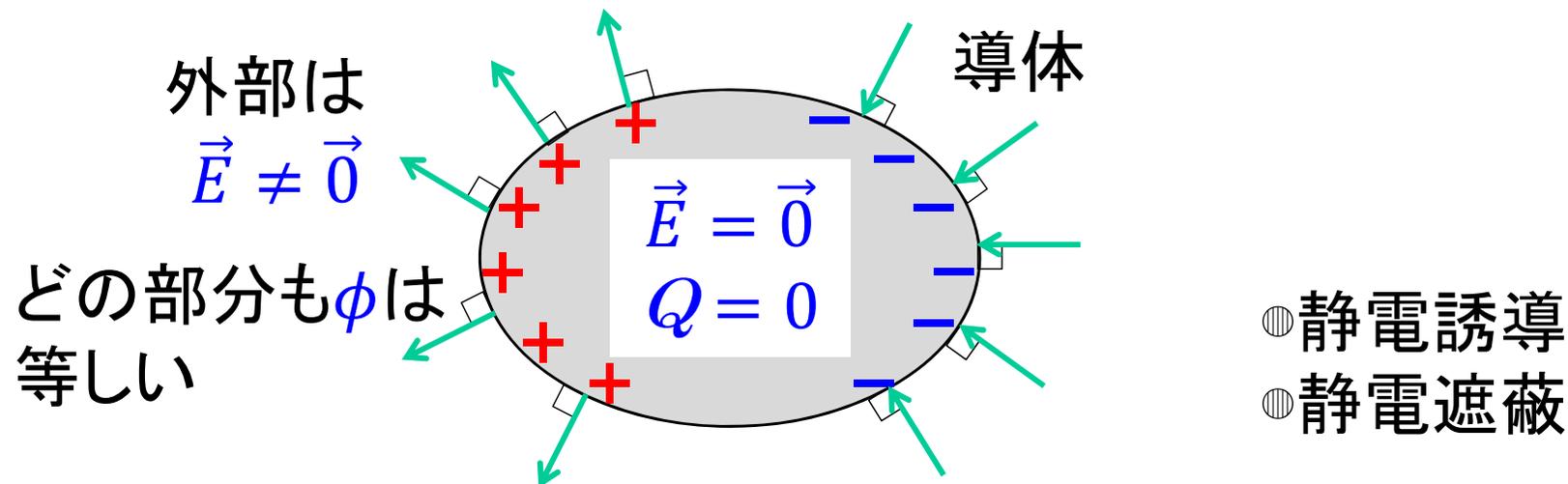
導体の性質 ここまで学んだことを使って説明できますか？

★ 性質3. 平衡状態にある導体の内部では、電荷はゼロである。(導体表面には電荷が分布していてもよい.)

理由: ガウスの法則(3.10) で, 導体内部に閉曲面 $S$ をとて考える。閉曲面 $S$ の内部の電荷  $Q_{in}$  はゼロ。

★ 性質4. 導体表面での電場(電気力線)は、導体表面に垂直である。

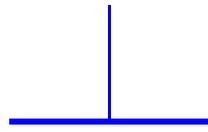
理由: 性質2より, 導体表面は等電位面だから。



# ◇コンデンサー

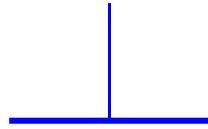
(テキスト p59~60)

コンデンサー: 電気を蓄える装置(電気部品)

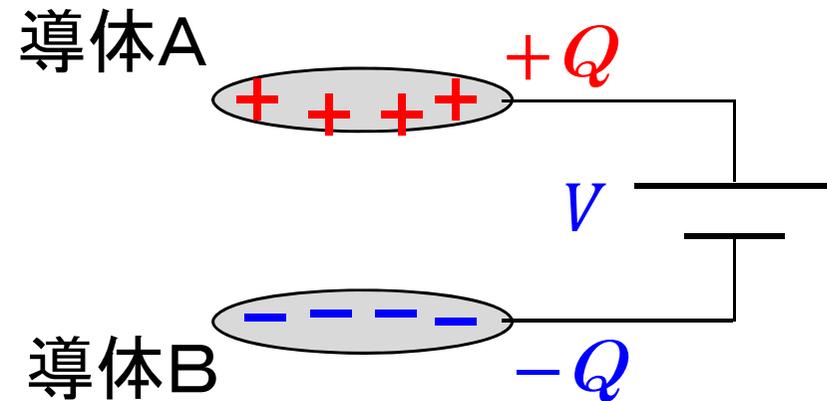
回路記号: 

- ・電圧を安定化させる
- ・直流を遮断し, 交流電流を通す

電池: 化学反応などで電位差(電圧)  $V$  を発生させ, 外部に加える。

回路記号: 

(長い方がプラス極)



蓄えられた電荷  $Q$  は電圧  $V$  に比例

$$Q = CV$$

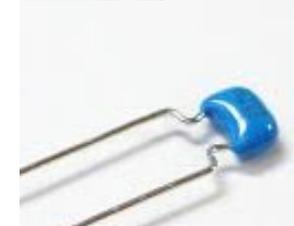
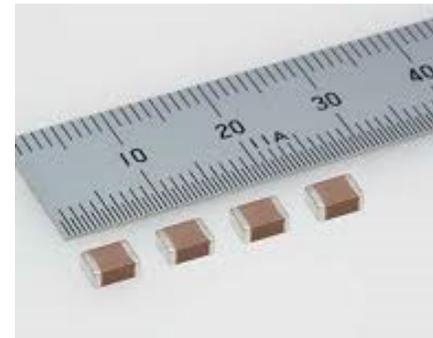
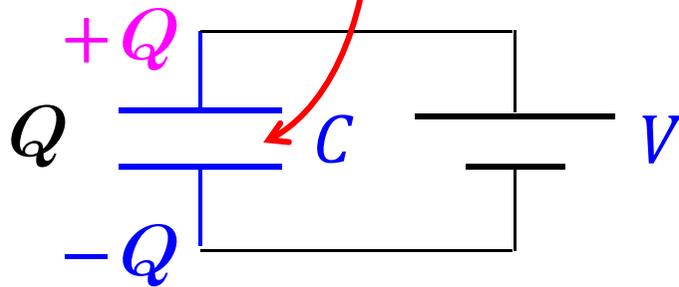
$C$ : 電気容量 単位 F(ファラド)

# ◇コンデンサー

(テキスト p59～60)

電気容量 $C$ のコンデンサーに電圧 $V$ を加えて電荷 $Q$ が蓄えられているとき、静電エネルギー $U$ も蓄えられている。

$$U = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$



発電した電気(エネルギー)をためておくことは難しい。

- 蓄電池の研究
- コンデンサーによる蓄電 大容量のコンデンサーの開発

# § 6 電流

# ◇電流と起電力

(テキスト p.66)

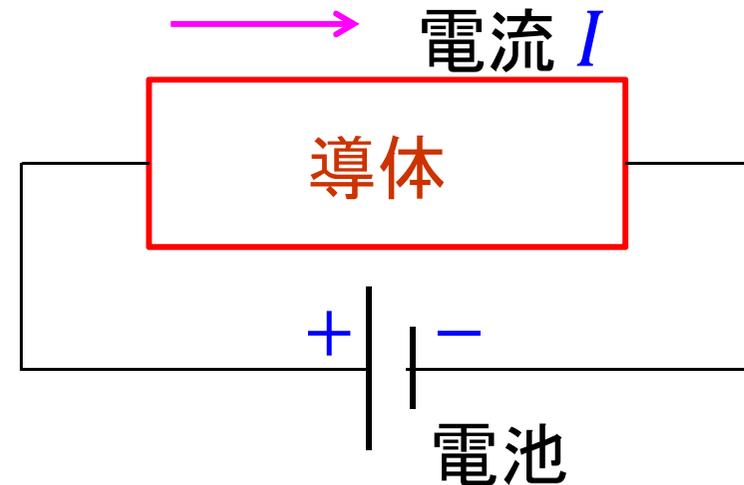
復習：電流を自由電子の移動として理解できますか？

導線の断面を  
1秒間に通過する電気量  
：電流の強さ  $I$

$\Delta t$ 秒の間に通過した電気量  $q$

$$I = \frac{q}{\Delta t}$$

電流の単位 A(アンペア) = C/s



練習 60秒の間に300C通過した。電流の強さ  $I$  は？

$$I = \frac{q}{\Delta t} = \frac{300 \text{ C}}{60 \text{ s}} = 5.0 \text{ A}$$

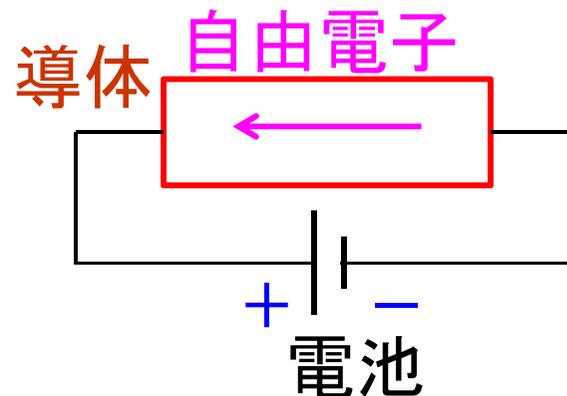
## ◇電流と起電力

(テキスト p66～67)

導体に、一定の電圧の電池を接続するとき、一定の電流が流れる。(導体は平衡状態ではないことに注意)

このときの自由電子の振る舞い:

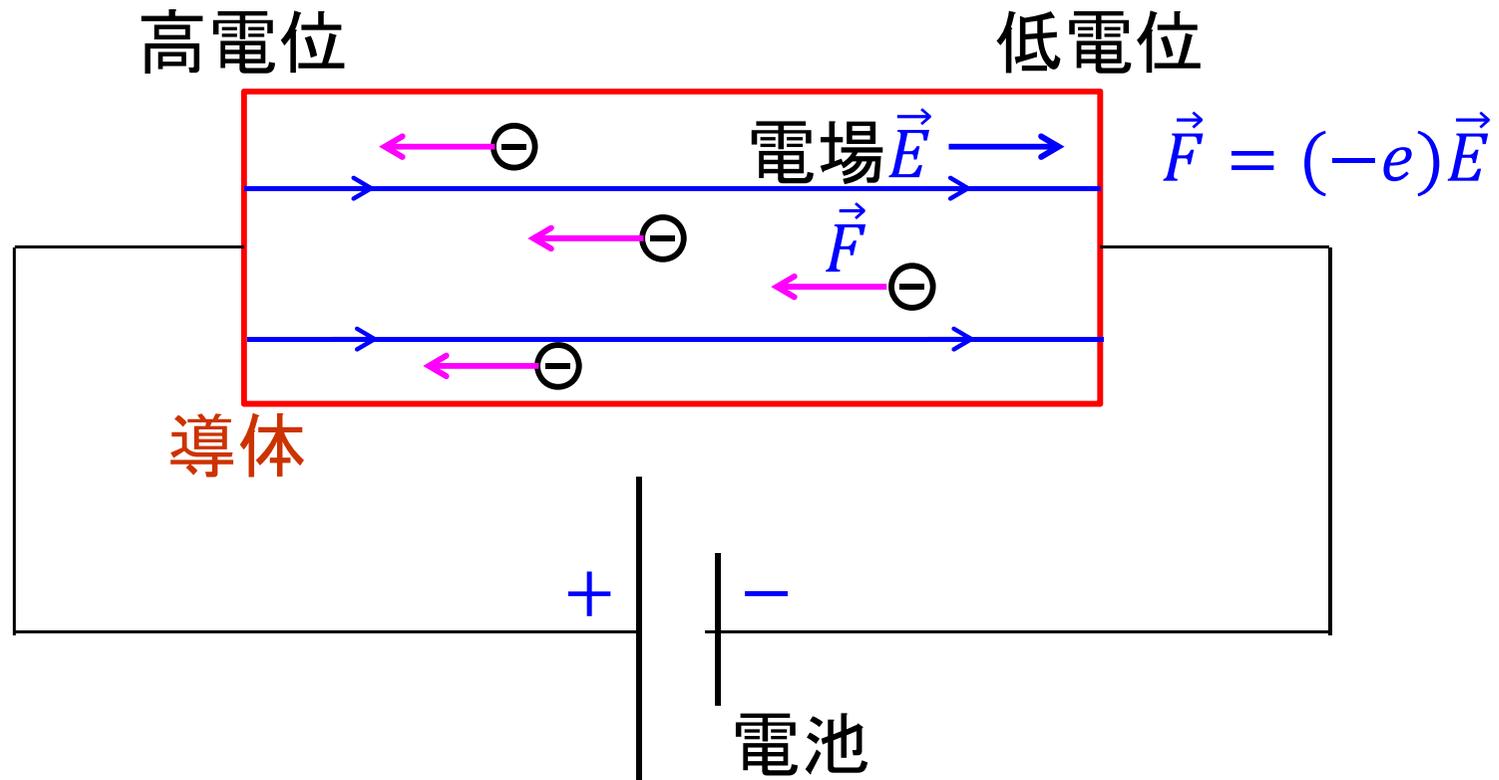
- 電池の作用で**導体内に電場**が生じる。**自由電子は電氣力を受けて加速**する。
- 加速された自由電子は、**陽イオンと衝突して減速**する。加速と減速を繰り返しながら移動する。
- 正極に到達した自由電子は、**電池の中で正極から負極**に運ばれる。(水をくみ上げるポンプのように。)



# ◇電流と起電力

(テキスト p66~67)

- 電池の作用で**導体内に電場**が生じる。自由電子は電気力を受けて加速する。

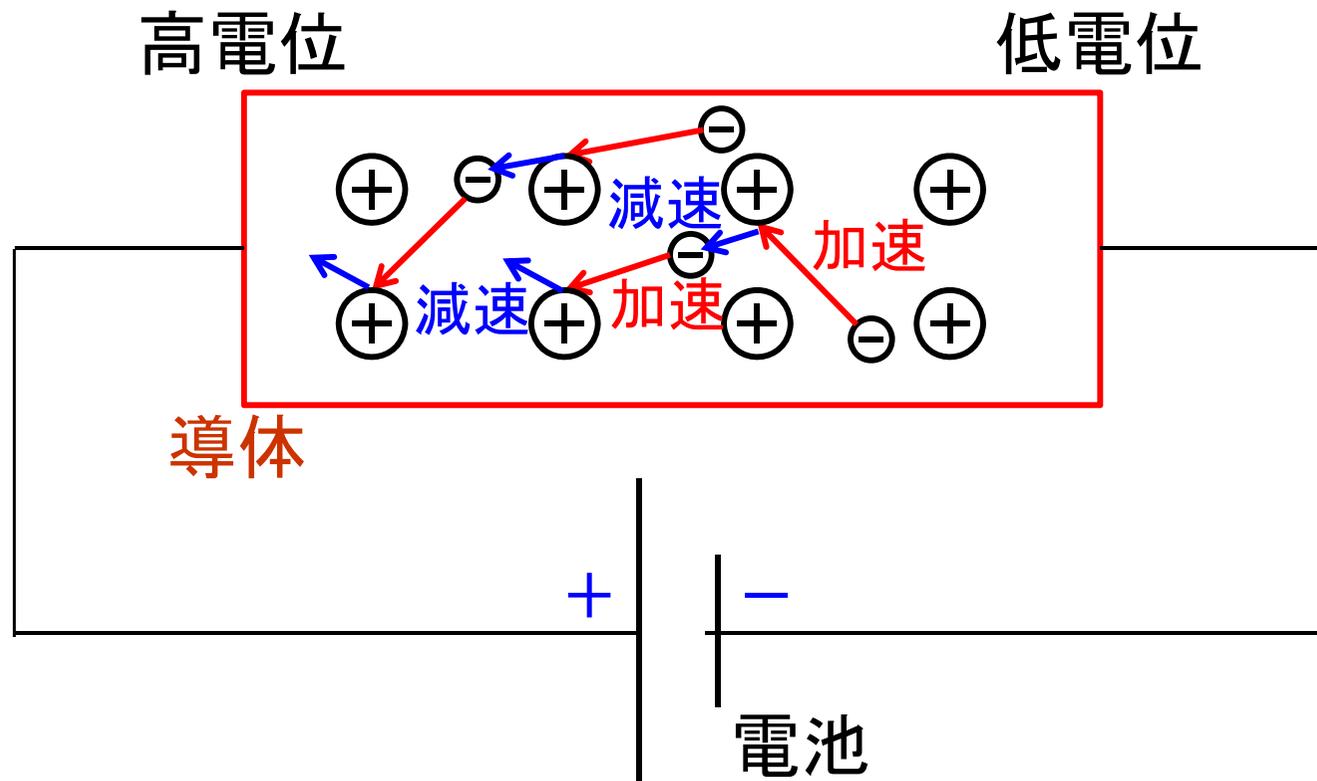


# ◇電流と起電力

(テキスト p66~67)

- 加速された自由電子は、陽イオンと衝突して減速する。加速と減速を繰り返しながら移動する。

平均の速度一定に → 電流の強さも一定に

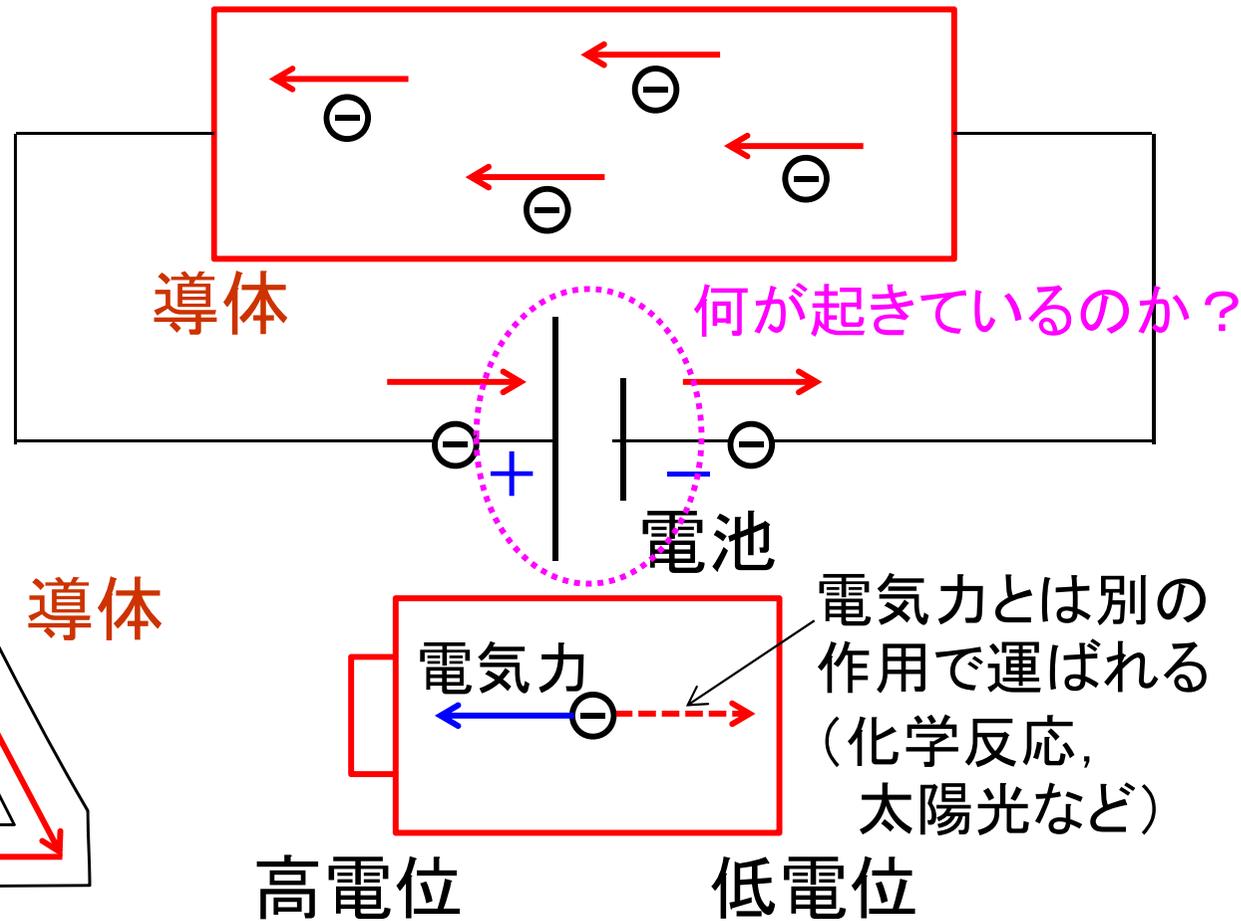
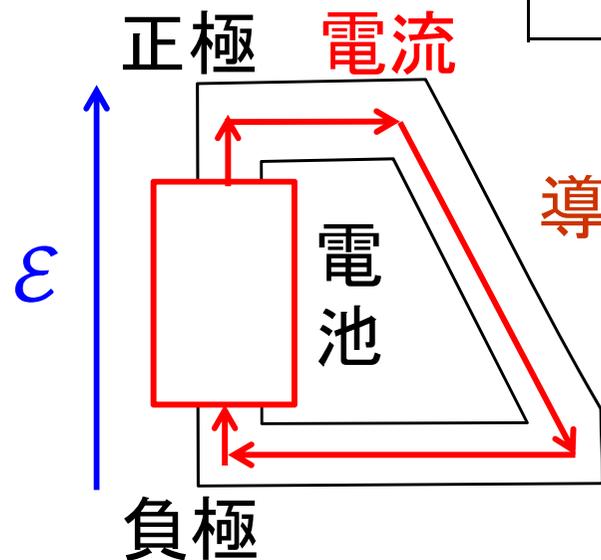


# ◇電流と起電力

(テキスト p66~67)

- 正極に到達した自由電子は、電池の中で正極から負極に運ばれる。(水をくみ上げるポンプのように。)

正の電荷を負極から正極へくみ上げる電池の作用  
:起電力  $\mathcal{E}$  [V]



電気力とは別の作用で運ばれる  
(化学反応, 太陽光など)

# ◇オームの法則

(テキスト p68)

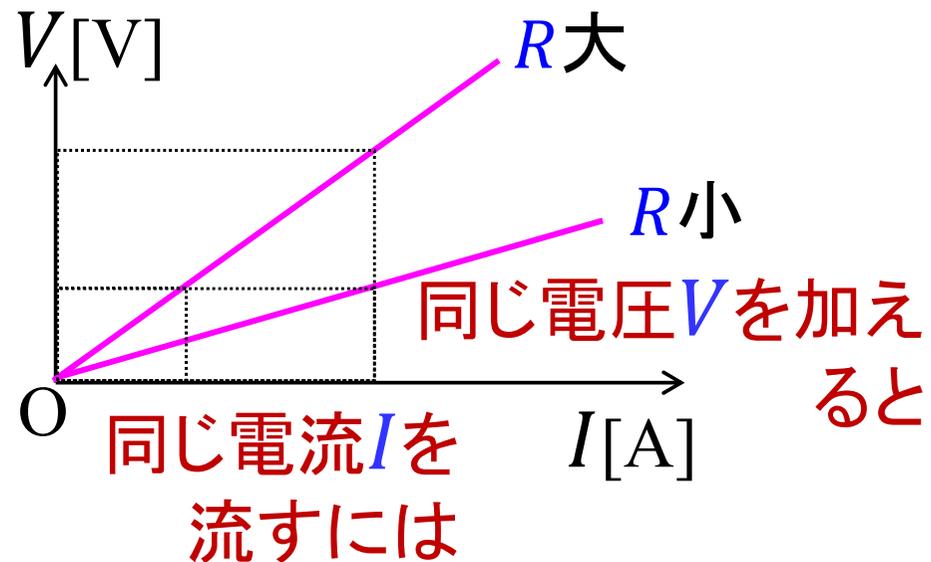
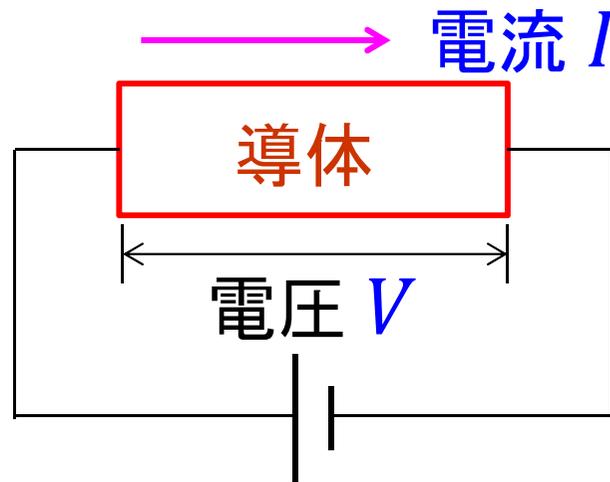
「導体を流れる電流  $I$  は導体の両端の電圧  $V$  に比例する」  
: オームの法則

$$V = RI$$

(電気回路で最も基本になる法則)

$R$ : 電気抵抗 単位  $\Omega$  (オーム) =  $V/A$

電流の流れにくさを表す ( $R$  大きいほど流れにくい)

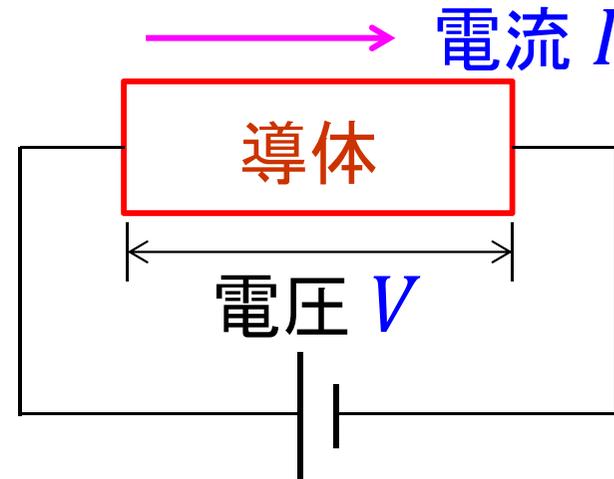


# ◇オームの法則

(テキスト p68)

オームの法則

$$V = RI$$



練習①電気抵抗が $30\Omega$ の導体に、 $1.5\text{V}$ の電圧を加えた。流れる電流 $I$ は？

②導体に $3.0\text{V}$ の電圧を加えたら、 $0.60\text{mA}$ の電流が流れた。導体の電気抵抗 $R$ は？

$$\textcircled{1} I = \frac{V}{R} = \frac{1.5\text{V}}{30\Omega} = 0.050\text{A} = 50\text{mA}$$

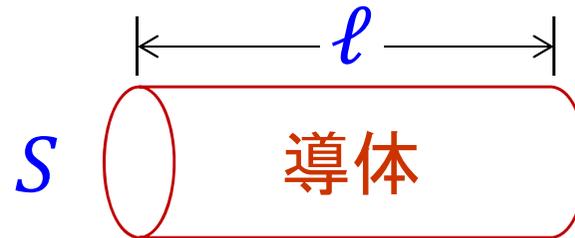
$$\textcircled{2} R = \frac{V}{I} = \frac{3}{0.60\text{mA}} \frac{\text{V}}{\text{mA}} = 5 \times 10^3 \Omega = 5\text{k}\Omega$$

# ◇オームの法則

(テキスト p69)

オームの法則

$$V = RI$$



電気抵抗 $R$ は導体の材質や形状で決まる。

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

$S$ : 導体が太いほど電流は流れ やすい。

$l$ : 導体が長いほど電流が流れ にくい。

$\rho$ : 電気抵抗率 材質に固有の電流の通しにくさ。

0°Cでの $\rho_0$ , 銅:  $1.55 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ , ゴム:  $10^{13} \sim 10^{15} \Omega \cdot \text{m}$

導体(銅)と不導体(ゴム)で約 $10^{23}$ 倍違う

(参考 アボガドロ定数 $N_A = 6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$ )

# ◇オームの法則

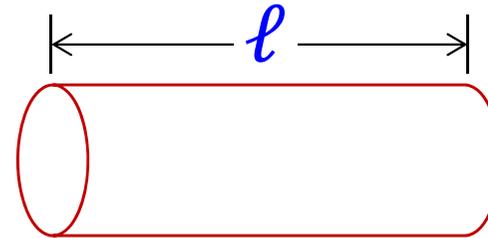
(テキスト p.69)

## オームの法則

$$V = RI$$

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

$S$



電気抵抗率  $\rho$  は温度にも依存する。

セ氏温度  $t$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] で,  $\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$

**導体(金属)**  $\Rightarrow \alpha > 0$  温度が上昇すると流れにくくなる。

理由: 温度上昇で陽イオンとの衝突が激しくなる。

**半導体・不導体**  $\Rightarrow \alpha < 0$  温度が上昇すると流れやすく。

理由: 温度上昇で束縛電子から自由電子になる数が増える。

なぜ? と関心を持った人は, 将来, 電気電子材料(金属, 半導体)の授業, 物性物理学を学ぶとよい。

# ◇電力

(テキスト p.70~71)

電流は仕事をする。

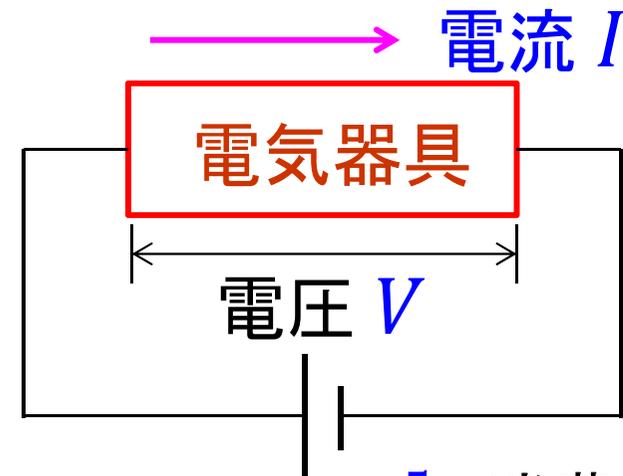
熱・光・力学的エネルギーなど  
に変換して利用

60W(ワット)の電球

単位  $W = J/s$  は仕事率の単位

1時間つけっぱなし  $\Rightarrow 60W \times 3600s = 2.16 \times 10^5 J$  消費した

$$\text{電力 } P = IV \quad [W]$$



練習 抵抗値が $5.5\Omega$ の導体に,  $110V$ の電圧を加えた。

①流れる電流 $I$ は? ②導体の消費電力 $P$ は?

$$\text{① } I = \frac{V}{R} = \frac{110 \text{ V}}{5.5 \Omega} = 20 \text{ A}$$

$$\text{② } P = IV = 20 \text{ A} \times 110 \text{ V} = 2200 \text{ W}$$

# ◇電力

(テキスト p.70~71)

$$\text{電力 } P = IV$$

[W]

$\Delta t$  秒  $\longrightarrow$  電流  $I$

$\Delta t$  秒間に強さ  $I$  の電流が流れた。  
通過した電気量  $q$  は？

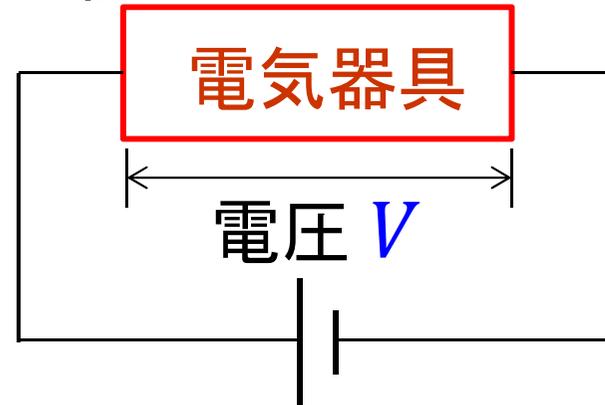
$$q = I\Delta t$$

電気がした仕事  $W$  は？  $\Rightarrow$  電流は  $W$  だけ仕事をする。

$$W = qV = I\Delta t \cdot V$$

電流がした仕事率  $P$  は？

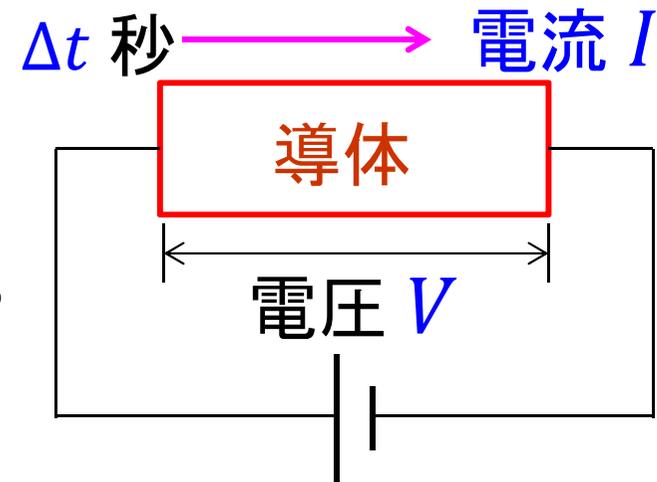
$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{I\Delta t \cdot V}{\Delta t} = IV$$



# ◇電力

(テキスト p.71)

$$\text{電力 } P = IV \quad [\text{W}]$$



導体に電流を流すと熱を発生する。

ジュール熱

電気ヒーターの原理

送電のとき，送電線での発熱は無駄なエネルギー消費

電流を $\Delta t$  秒間流したときの発熱量  $Q$  [J]

$$Q = P\Delta t = IV \cdot \Delta t$$

練習 抵抗値 $5.5\Omega$ の導体に， $110\text{V}$ の電圧を加えたときの消費電力は $2200\text{W}$ であった。

5分間電圧を加え続けたとき発生するジュール熱は？

$$Q = P\Delta t = 2200\text{W} \times 300\text{s} = 6.6 \times 10^5\text{J}$$

## 次回 第1回確認テスト

- ・レポート問題（解答用紙付き）  
を必ず持って帰ること