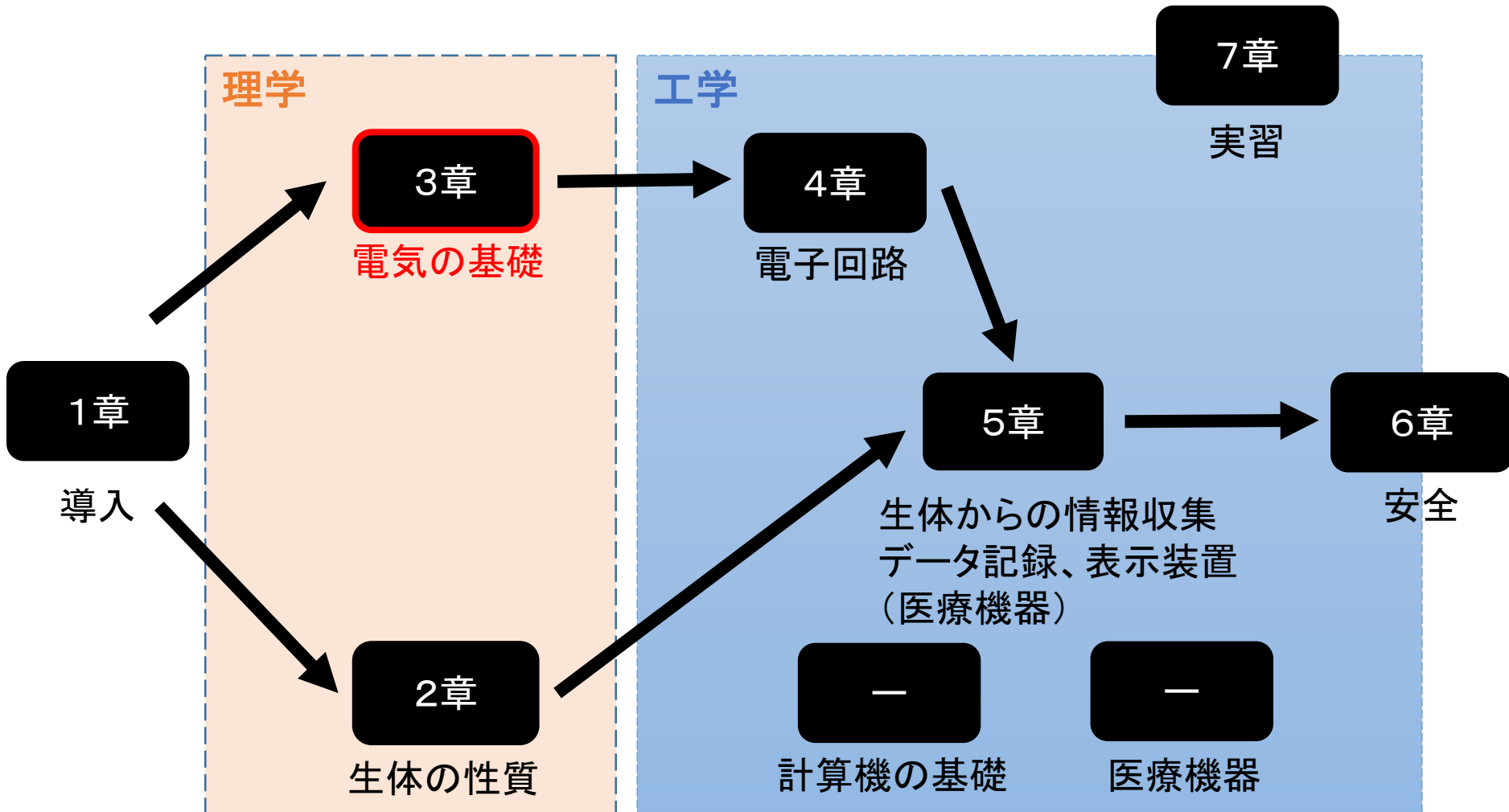


# 医用工学概論

## 第4回 電気回路の基礎

# 医用工学概論の章立て



# 今回の内容について

## 電気回路の基礎

電気とは何か. 電圧、電流、抵抗、オームの法則 ...

## 目標

基本的な電気、電気回路の **用語**、**法則** を理解する。

# 目次

## 電気の基礎知識

## 電気回路

- オームの法則
- 抵抗、合成抵抗
- キルヒホッフの法則
- ホイトストンブリッジ
- 電力、熱

# 目次

## 電気の基礎知識

### 電気回路

- オームの法則
- 抵抗、合成抵抗
- キルヒホッフの法則
- ホイートストンブリッジ
- 電力、熱

# 電荷

原子

電荷： 物質が帯びる電気の量

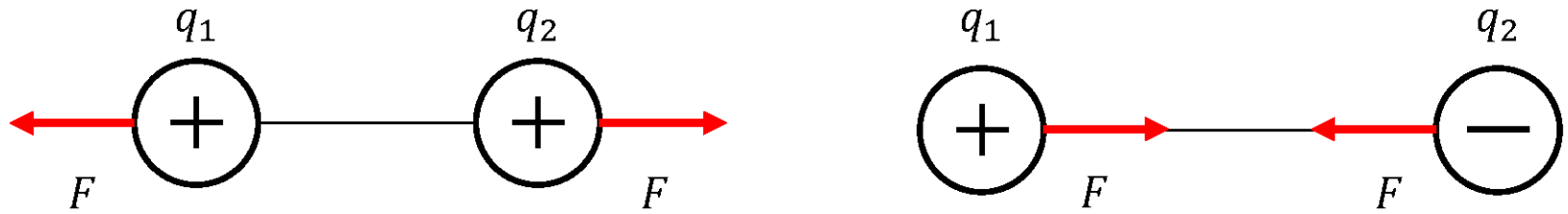
単位 [C クーロン]



通常、原子はプラスとマイナスの電荷が打ち消しあって、電荷を **持たない** が、電子の個数が偏る( **イオン化する** )ことで電荷を **持つ** ようになる。

# 静電気力

同符号の電荷は **反発** し、異符号の電荷は **引き合う** 。



## 静電気力に関するクーロンの法則

2電荷間の静電気力  $F$  は、

電荷  $q_1(q_2)$  に **比例** し、距離  $r$  の2乗に **反比例** する。

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

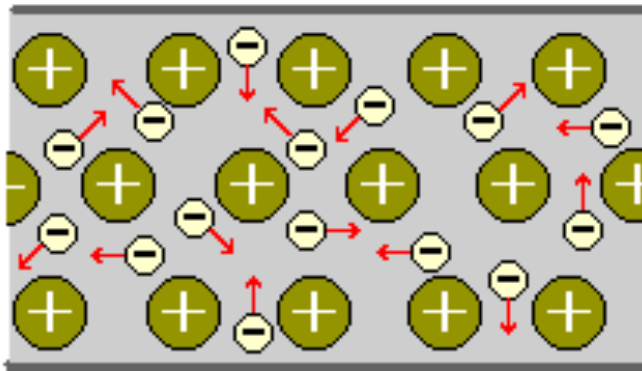
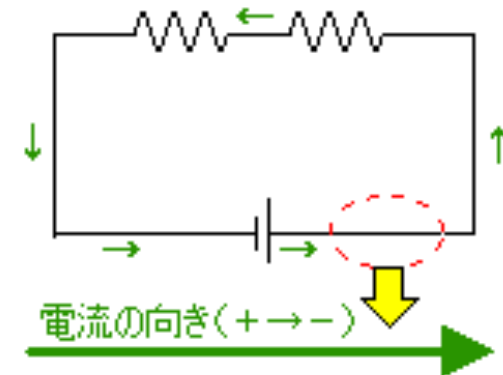
# 電流

電荷の流れを **電流** という。 1秒間に1 [C]流れたら1 [A]

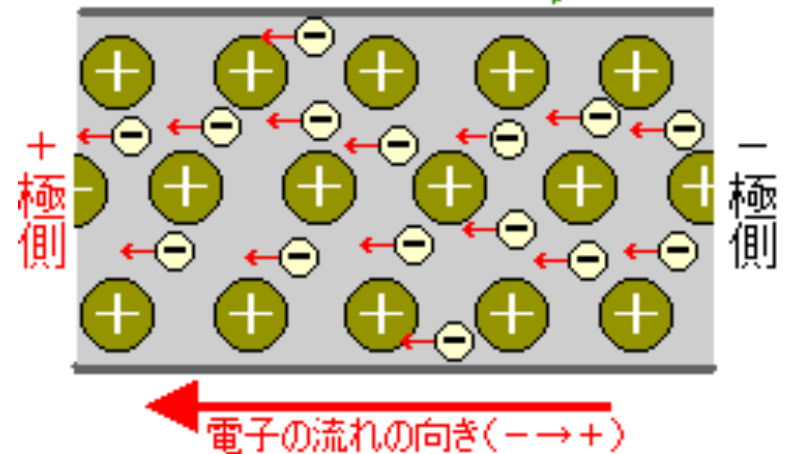
$$I = \frac{dQ}{dt} [\text{A}] \quad (\text{単位: アンペア})$$

電子: マイナス極からプラス極へ

電流: プラス極からマイナス極へ



⊖ 自由電子





# 電圧と抵抗

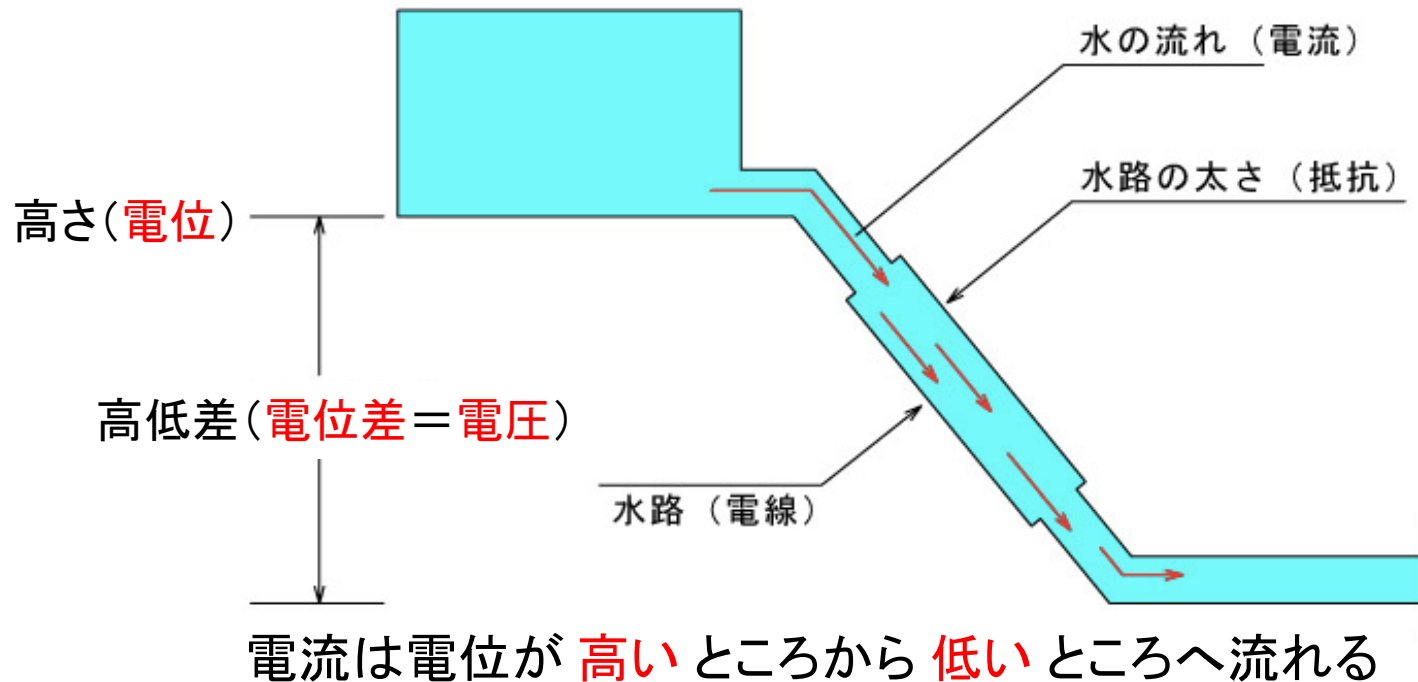
電圧 = 電流を流そうとする力

・・・単位[  $V$  ] ( ボルト )

抵抗 = 電流の流れにくさ

・・・単位[  $\Omega$  ] ( オーム )

水の流れに例えた例



# 電位の変化

電位：基準電位に対する電氣的な高さ

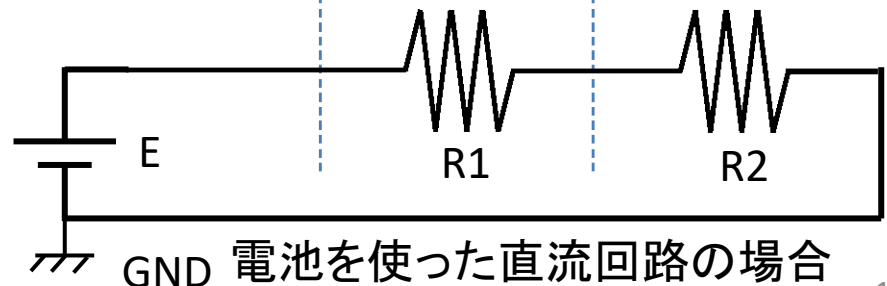
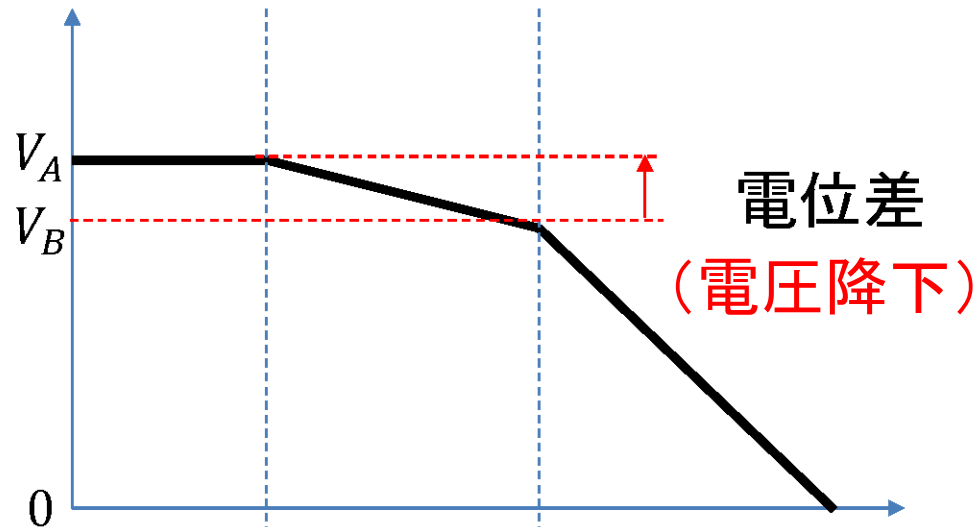
基準電位、グランド(GND)

電気回路で、  
基準(0V)となる電位。

電位

地表を基準電位とすることを  
接地(アース)という。

抵抗による電位の変化を  
電圧降下ともいう



電池を使った直流回路の場合  
マイナス極をグランドとして考える。

# 電気の基礎知識 まとめ

**電荷** [ **C クーロン** ]: 物質が持つ電気の量


同符号の電荷は引き合い、異符号の電荷は反発する

クーロンの法則: 電荷間に働く力は  $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$

**電流** [ **A アンペア** ]: 電荷の流れ

**電圧** [ **V ボルト** ]: 電流を流す力

**抵抗** [ **Ω オーム** ]: 電流の流れにくさ

 電荷の積に **比例**  
距離の2乗に **反比例**

**電位**: 電氣的な高さ。 **電位差** = **電圧**

**電圧降下**: 抵抗両端の電位差 = 抵抗に加わる電圧

**基準電位、グランド(GND)**: 基準(0V)として扱う電位

**接地(アース)**: 地表を基準電位とすること。(単に基準電位)

# 目次

## 電気の基礎知識

### 電気回路

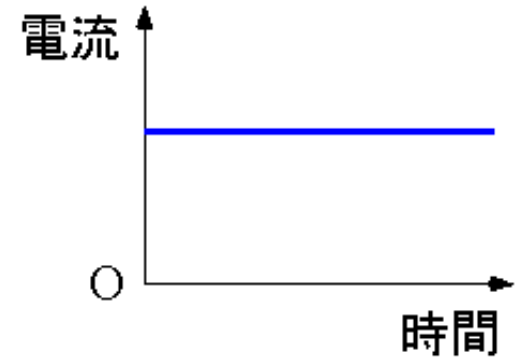
- オームの法則
- 抵抗、合成抵抗
- キルヒホッフの法則
- ホイートストンブリッジ
- 電力、熱

# 直流と交流

## 直流 (direct current: DC)

流れる電流は時間が経過しても大きさも向きも変わらない

- 化学反応で電気が得られる
- ほとんどの電気製品は直流で動いている

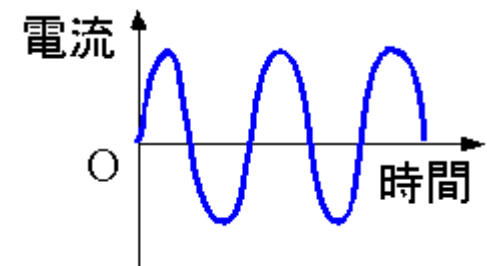


## 交流 (alternating current: AC)

交互の

流れる電流は時間とともに大きさと向きが変わる

- トランスという非常に原始的な道具によって自由に電圧が変えられる
- 送電効率がよい



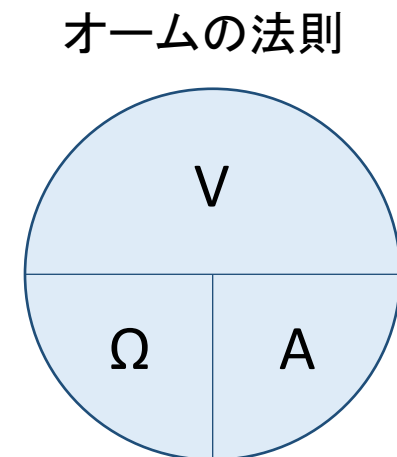
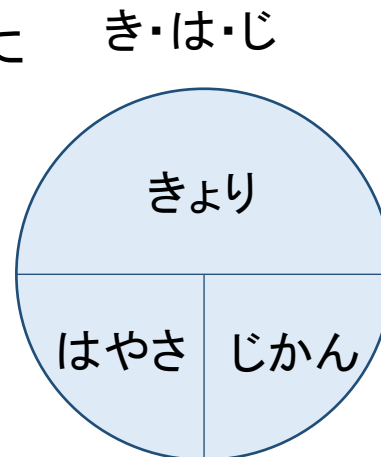
# オームの法則

導体に流れる **電流** $I$  は両端に加わる **電圧** $E$  に **比例** する。

$$V = RI$$

$R$  を **電気抵抗** といい、電流の流れにくさを表す（単位  $[\Omega]$  **オーム**）。  
 $R$  の逆数はコンダクタンスと呼ばれ、電流の流れやすさを表す。

速度と時間の計算と同じように  
考えると使いやすい。



# 例題 1-1

ある抵抗  $R$  に電圧  $V$  を加えたところ電流  $I$  が流れた。  
次の問いに答えよ。

(1)  $R=1$ 、 $I=2$ の時、電圧  $V$  を求めよ。

(2)  $I=3$ 、 $V=12$ の時、抵抗  $R$  を求めよ。

(3)  $R=6$ 、 $V=24$ の時、電流  $I$  を求めよ。

# 例題1-1 解答

ある抵抗  $R$  に電圧  $V$  を加えたところ電流  $I$  が流れた。  
次の問いに答えよ。

(1)  $R=1$ 、 $I=2$ の時、電圧 $V$ を求めよ。

$$V = R I = 1 \times 2 = 2 \text{ [V]}$$

(2)  $I=3$ 、 $V=12$ の時、抵抗 $R$ を求めよ。

$$R = V \div I = 12 \div 3 = 4 \text{ [\Omega]}$$

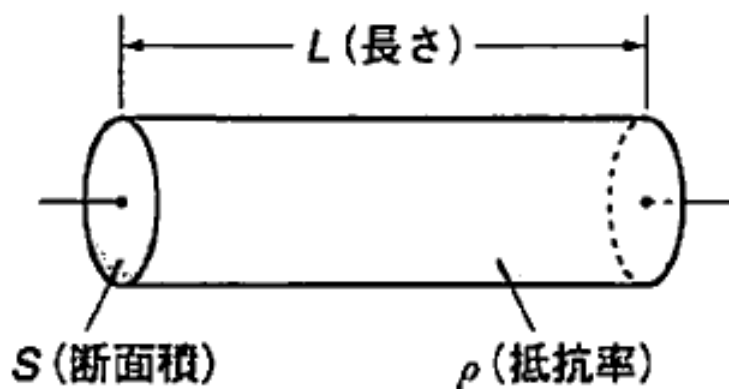
(3)  $R=6$ 、 $V=24$ の時、電流 $I$ を求めよ。

$$I = V \div R = 24 \div 6 = 4 \text{ [A]}$$



# 電気抵抗 $R$

$$V = RI$$



$$R = \rho \frac{L}{S} [\Omega]$$

物質	抵抗率( $\rho$ )	温度係数( $\alpha$ )
銀	$1.62 \times 10^{-8}$	$+4.0 \times 10^{-3}$
銅	$1.72 \times 10^{-8}$	$+4.3 \times 10^{-3}$
アルミニウム	$2.8 \times 10^{-8}$	$+3.9 \times 10^{-3}$
タングステン	$5.5 \times 10^{-8}$	$+5.3 \times 10^{-3}$
タングステン(3,000°C)	$1.23 \times 10^{-6}$	—
鉄	$9.8 \times 10^{-8}$	$+6.6 \times 10^{-3}$
ニクロム	$1.09 \times 10^{-6}$	$+0.1 \times 10^{-3}$
ガラス	$10^{10}$	—
セラミックス(アルミナ)	$10^9 \sim 10^{12}$	—
ゴム	$10^{10} \sim 10^{13}$	—

抵抗は導体の **長さ** と **抵抗率** に **比例** し、  
**断面積** に **反比例** する

第2章 p.35 表2-2

第2章 p.35 図2-25<sup>17</sup>

# 例題1-2

抵抗が $10\Omega$ の導体棒について以下の問いに答えよ。

(1)この棒の長さを変えずに、断面積を2倍にしたら抵抗はいくらになるか。

(2)この棒の断面積を変えずに、長さを半分にしたら抵抗はいくらになるか。

# 例題1-2 解答

抵抗が $10\Omega$ の導体棒について以下の問いに答えよ。

(1)この棒の長さを変えずに、断面積を2倍にしたら抵抗はいくらになるか。

抵抗は断面積に反比例するため、

$$10 \times \frac{1}{2} = 5 [\Omega]$$

(2)この棒の断面積を変えずに、長さを半分にしたら抵抗はいくらになるか。

抵抗は長さに比例するため、

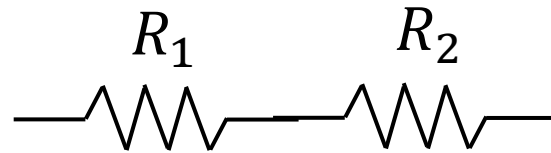
$$10 \div 2 = 5 [\Omega]$$

# 合成抵抗

## 抵抗の接続方法

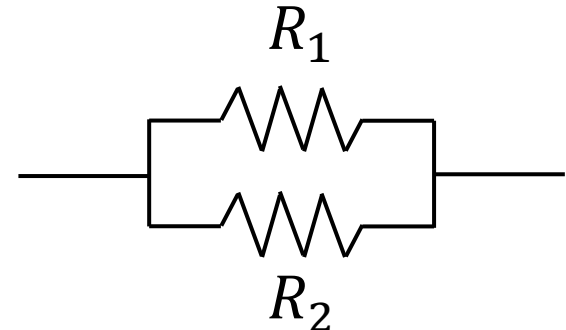
- 直列接続

$$R = R_1 + R_2$$



- 並列接続

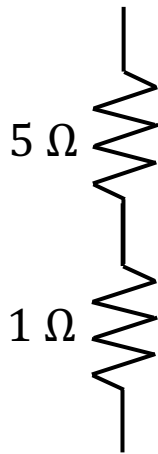
$$R = \frac{\text{積}}{\text{和}} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$



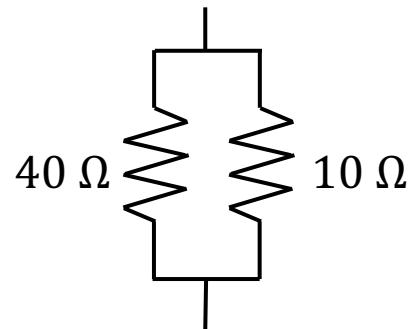
# 例題 1-3

合成抵抗を求めよ

(1)



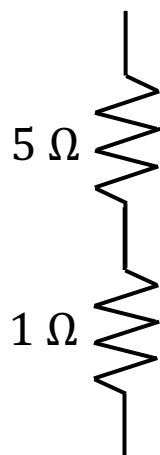
(2)



# 例題1-3 解答

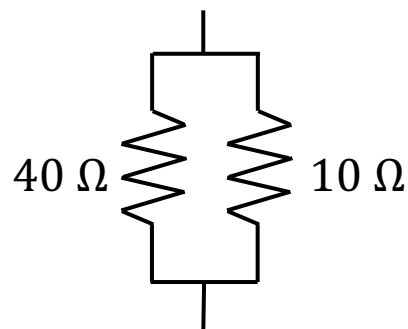
合成抵抗を求めよ

(1)



$$R = 1 + 5 = 6\ [\Omega]$$

(2)



$$R = \frac{40 \times 10}{40 + 10} = \frac{400}{50} = 8\ [\Omega]$$

# 電気回路 まとめ1

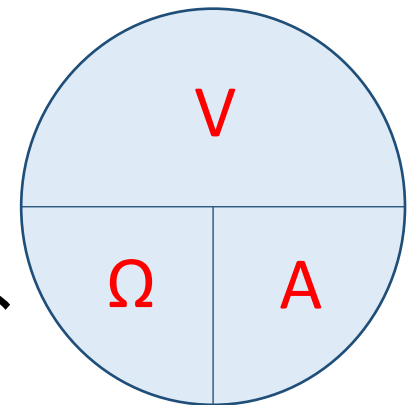
電気回路の分類      直流 ( DC ) / 交流 ( AC )

オームの法則

電流は電圧に 比例 する。       $V = RI$

抵抗率

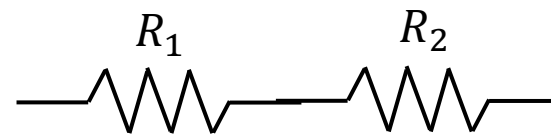
抵抗は導体の 長さ と 抵抗率 に 比例 し、  
断面積 に 反比例 する。



合成抵抗

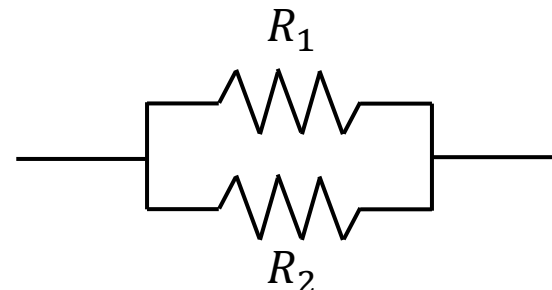
・ 直列接続:

$$R = R_1 + R_2$$



・ 並列接続:

$$R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$



# 目次

## 電気の基礎知識

## 電気回路

- オームの法則
- 抵抗、合成抵抗
- キルヒホッフの法則
- ホイトストンブリッジ
- 電力、熱

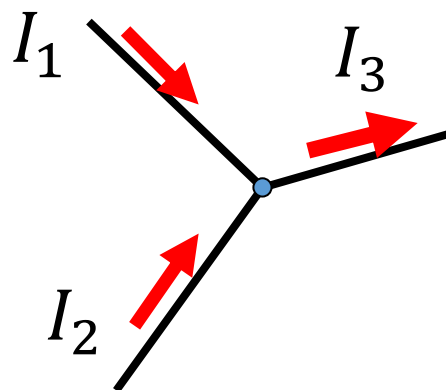


# キルヒホッフの法則

- 第一法則(電流則)

回路網のある接続点において、流れ込む電流の総和と流れ出る電流の総和は等しい。

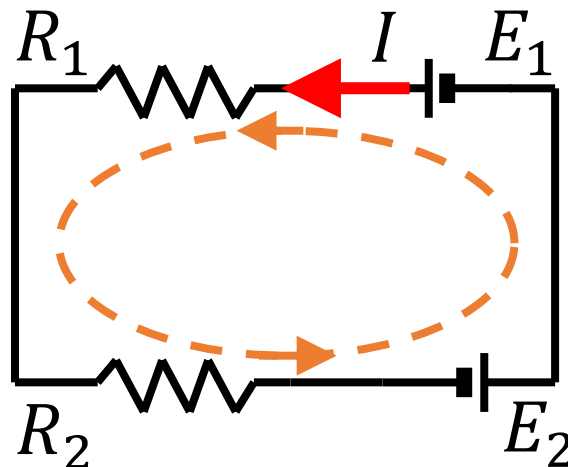
$$I_1 + I_2 = I_3$$



- 第二法則(電圧則)

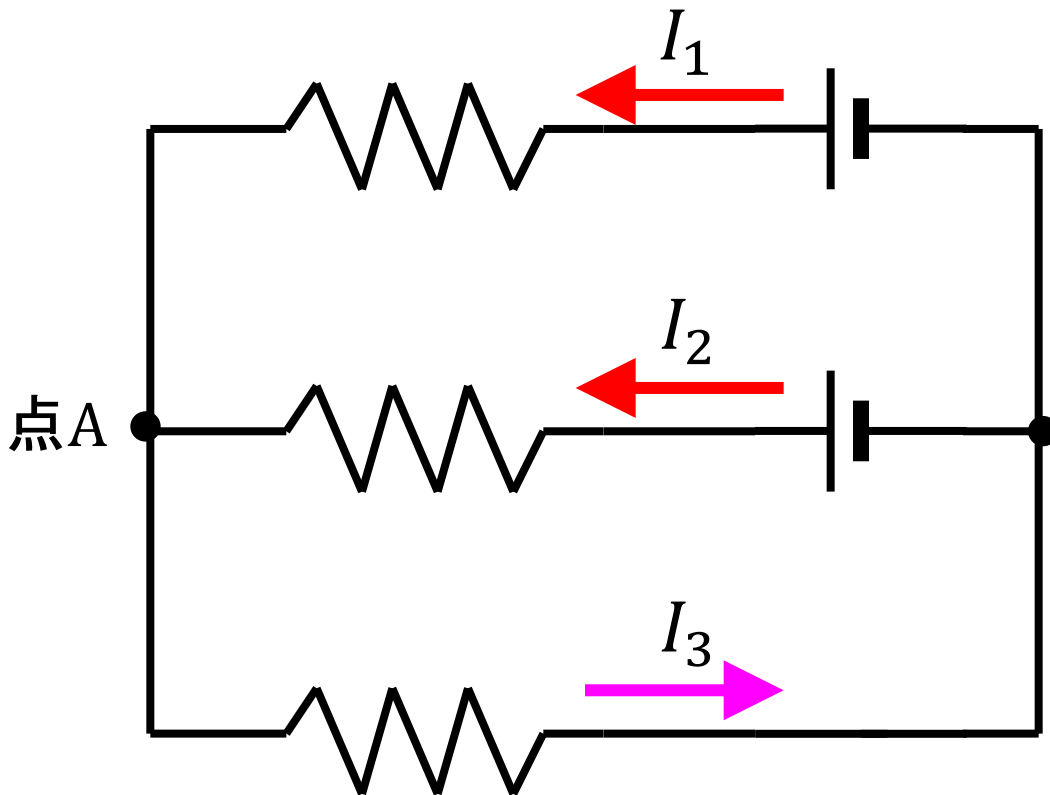
回路網の一つの閉回路において、起電力(電源)の総和と電圧降下の総和は等しい。

起電力:  $E_1, E_2$   
電圧降下:  $IR_1, IR_2$   
$$E_1 + E_2 = IR_1 + IR_2$$



# 例（電流則）

点Aについてキルヒホッフの  
第1法則の式を立ててみる



点Aに流入する電流:

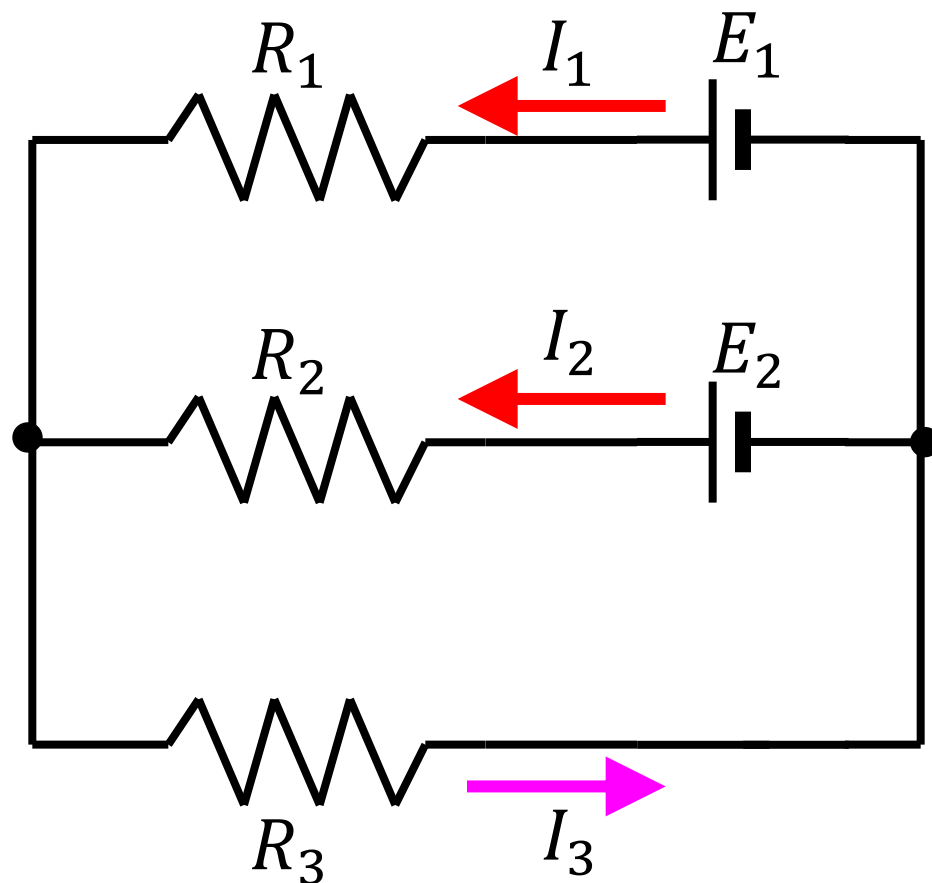
$$I_1, I_2$$

点Aから流出する電流:

$$I_3$$

$$I_1 + I_2 = I_3$$

# 例 (電圧則)



大回りする回路について

起電力:  $E_1$

電圧降下:  $I_1 R_1, I_3 R_3$

$$E_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3$$

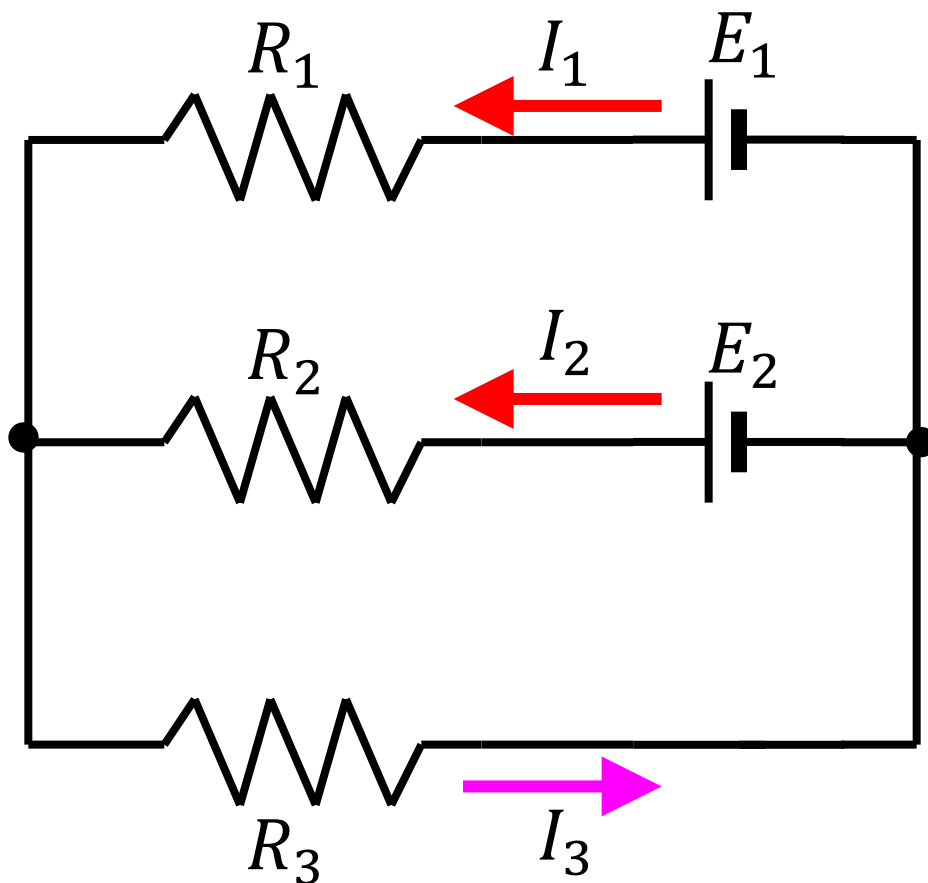
下半分の回路について

起電力:  $E_2$

電圧降下:  $I_2 R_2, I_3 R_3$

$$E_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3$$

# 例 (電圧則)



連立方程式

$$I_1 + I_2 = I_3$$

$$E_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3$$

$$E_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3$$

## 例題2

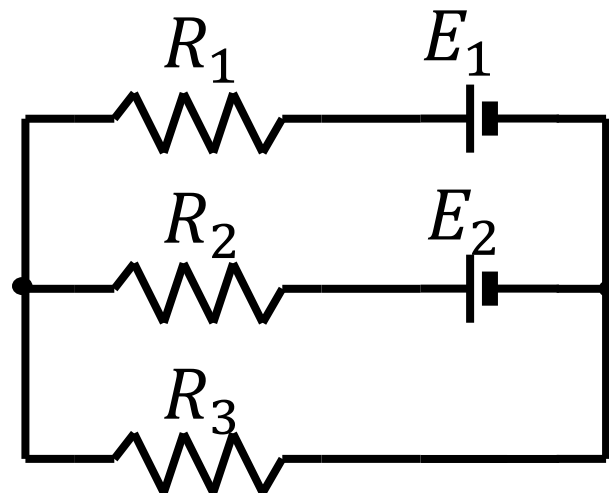
図の回路で

$R_1 = 1 [\Omega]$ 、 $R_2 = 2 [\Omega]$ 、

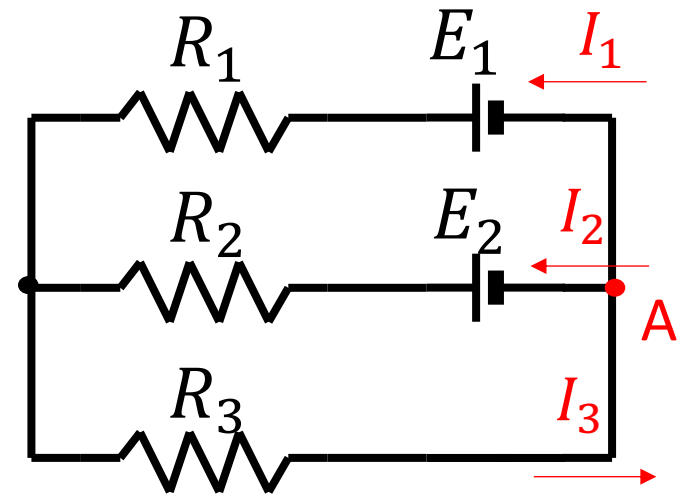
$R_3 = 4 [\Omega]$ 、 $E_1 = 10 [\text{V}]$ 、

$E_2 = 8 [\text{V}]$ の時、

それぞれの抵抗に流れる電流 $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ を求めよ。



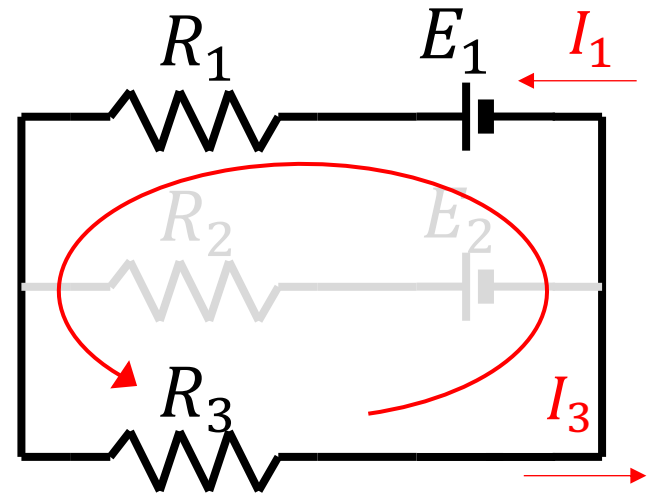
## 例題2 解答



点Aにキルヒホッフの電流則を使うと、

$$I_3 = I_1 + I_2$$

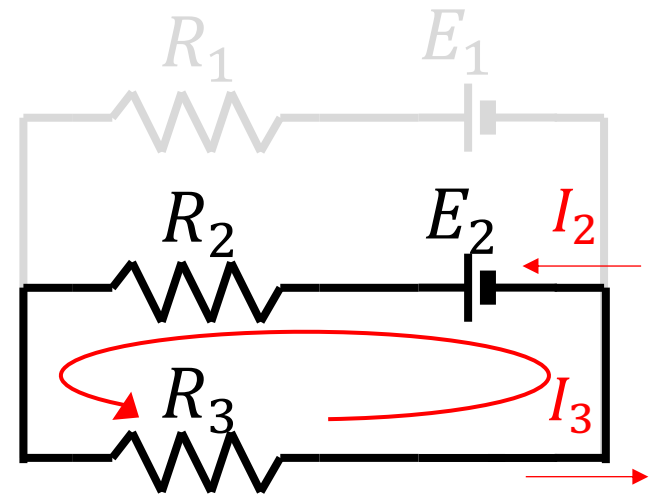
## 例題2 解答



外側の大きな回路で電圧則を使うと、

$$E_1 = R_1 I_1 + R_3 I_3$$

## 例題2 解答



下側の小さな回路で電圧則を使うと、

$$E_2 = R_2 I_2 + R_3 I_3$$



# 例題2

まとめると

$$\begin{cases} I_3 = I_1 + I_2 \\ E_1 = R_1 I_1 + R_3 I_3 = 10 \\ E_2 = R_2 I_2 + R_3 I_3 = 8 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_3 = I_1 + I_2 \dots \textcircled{1} \\ 10 = I_1 + 4I_3 \dots \textcircled{2} \\ 8 = 2I_2 + 4I_3 \dots \textcircled{3} \end{cases}$$

①を②と③にそれぞれ代入すると、

$$\begin{cases} 10 = I_1 + 4(I_1 + I_2) = I_1 + 4I_1 + 4I_2 = 5I_1 + 4I_2 \dots \textcircled{2}' \\ 8 = 2I_2 + 4(I_1 + I_2) = 2I_2 + 4I_1 + 4I_2 = 4I_1 + 6I_2 \dots \textcircled{3}' \end{cases}$$

$$\textcircled{2}' \times 3 - \textcircled{3}' \times 2$$

$$30 = 15I_1 + 12I_2$$

$$-) 16 = 8I_1 + 12I_2$$

$$\hline 14 = 7I_1$$

$$I_1 = 14 \div 7 = 2 \text{ [A]}$$

②'に $I_1 = 2$ を代入すると

$$10 = 10 + 4I_2$$

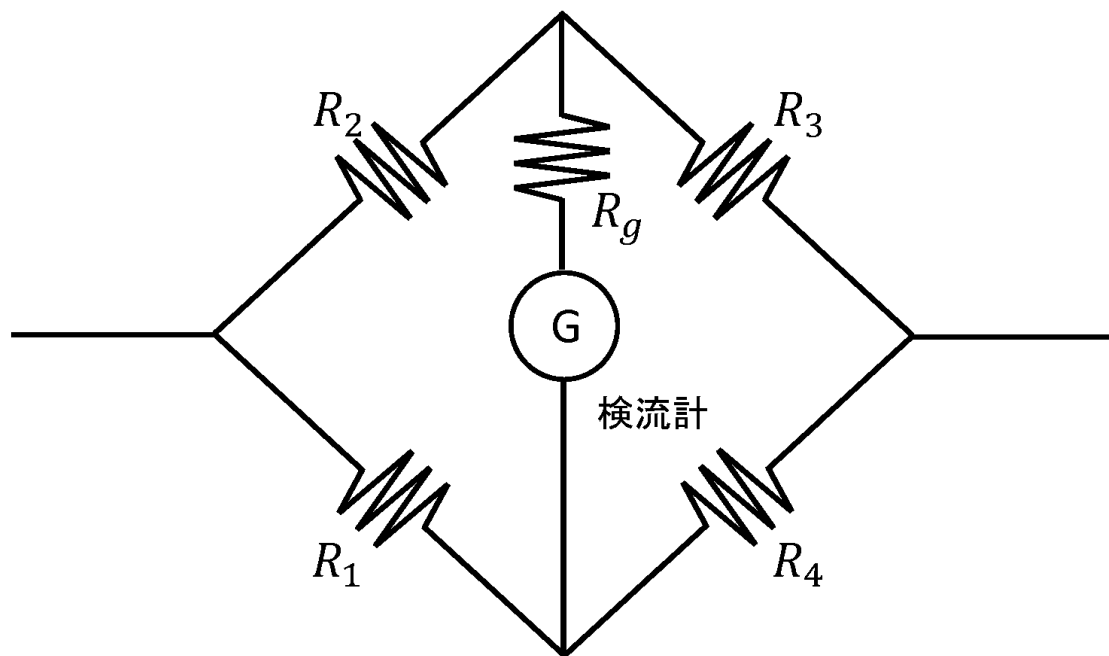
$$4I_2 = 0$$

$$I_2 = 0 \text{ [A]}$$

①に $I_1 = 2$ と $I_2 = 0$ を代入すると

$$I_3 = 2 + 0 = 2 \text{ [A]}$$

# ホイートストンブリッジ



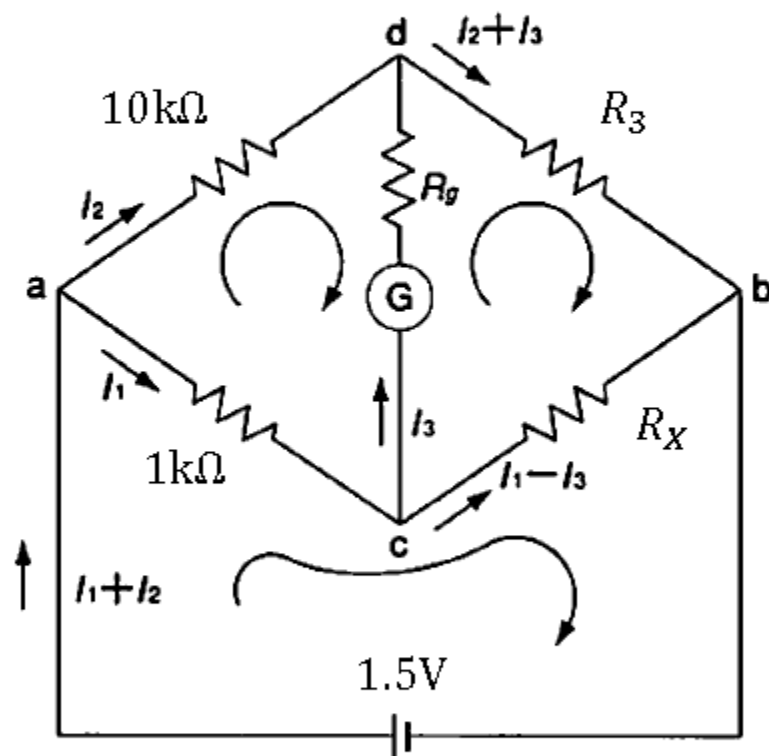
図のような回路で中央の検流計部分を流れる電流が0になる時、次の式が成り立つ。

$$R_2 R_4 = R_1 R_3 \quad \text{ブリッジの平衡条件}$$

微小な **抵抗変化** の検出や **未知抵抗** の精密な測定に用いられる。

# 例題3

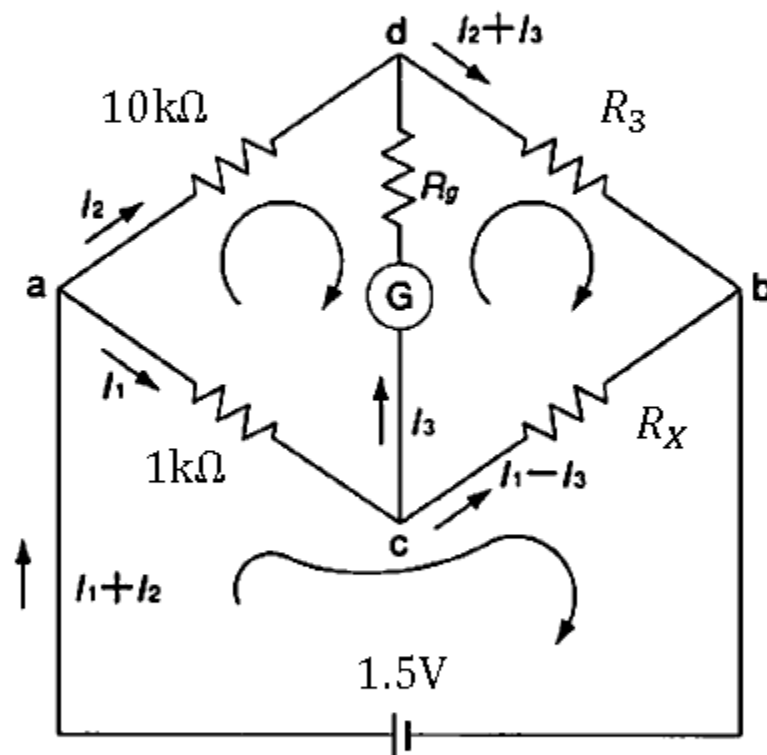
$R_3$  を  $5\text{k}\Omega$  としたとき, 検流計Gに電流が流れなくなった.



未知抵抗  $R_X =$

## 例題3 解答

$R_3$  を  $5\text{k}\Omega$  としたとき, 検流計Gに電流が流れなくなった.



未知抵抗  $R_X = 500\Omega$

# 熱と電力

抵抗に加わる電圧  $E$  と電流  $I$  の積を **電力** という。

$$\text{電力 } P = \text{電圧 } V \times \text{電流 } I \quad (\text{単位 } [W \text{ ワット}])$$

電力はエネルギーの大きさを表す。

## ジュールの法則

導体に電流を流すと熱が発生する。発生する熱量  $H$  は、電流  $I$  と抵抗  $R$ 、電流を流し続ける時間  $t$  (秒) を用いて次の式で表される。

$$H = I^2 R t = I \times R \times I \times t = V \times I \times t = P \times t$$

(単位  $[J \text{ ジュール}]$ )

電力と時間の積

# 例題4

ある抵抗 $R$ に電圧 $V$ を加えた。以下の問いに答えよ。

(1)  $R=5\ [\Omega]$ 、 $V=20\ [V]$ の時、この抵抗における電力を求めよ。

(2) 3秒間電圧を加え続けた場合、発生する熱量を求めよ。

## 例題4 解答

ある抵抗Rに電圧Vを加えた。以下の問いに答えよ。

(1)  $R=5\ [\Omega]$ 、 $V=20\ [V]$ の時、この抵抗における電力を求めよ。

$$\text{オームの法則より } I = V \div R = 20 \div 5 = 4\ [A]$$

$$\text{電力は } P = V \times I = 20 \times 4 = 80\ [W]$$

(2) 3秒間電圧を加え続けた場合、発生する熱量を求めよ。

$$\text{熱量 } H = P \times \text{時間(秒)} = 80 \times 3 = 240\ [J]$$

# 電気回路 まとめ2

電力 [ $W$  ワット]: 電流  $\times$  電圧

熱量 [ $J$  ジュール]: 電力  $\times$  時間(秒)

## キルヒホッフの法則

- ・ 電流則: 回路網中の接点に **流れ込む電流** の総和と **流れ出る電流** の総和が等しい。
- ・ 電圧則: 回路網中の一つの閉じた回路で **起電力** の総和と **電圧降下** の総和が等しい。

電流則と電圧則を組み合わせて連立方程式を解く。

## ホイートストンブリッジ

ブリッジの平衡条件が成り立つ時、中央のブリッジ部分に電流が **流れなくなる**。



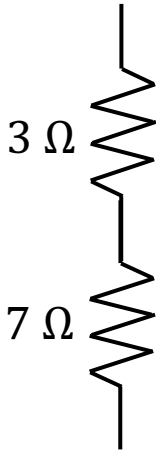
# 確認

- 電気の基礎知識  
用語は理解できた？
- オームの法則、合成抵抗、熱、消費電力  
式、関係は理解できた？
- キルヒホッフの法則、ホイートストンブリッジ  
練習問題を解けるようになった？

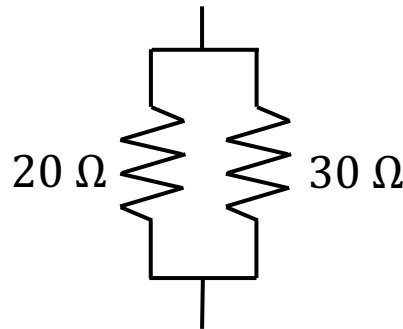
# 練習問題1

## 1. 合成抵抗を求めよ

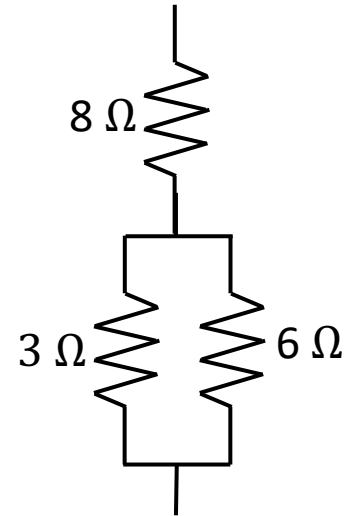
(1)



(2)



(3)

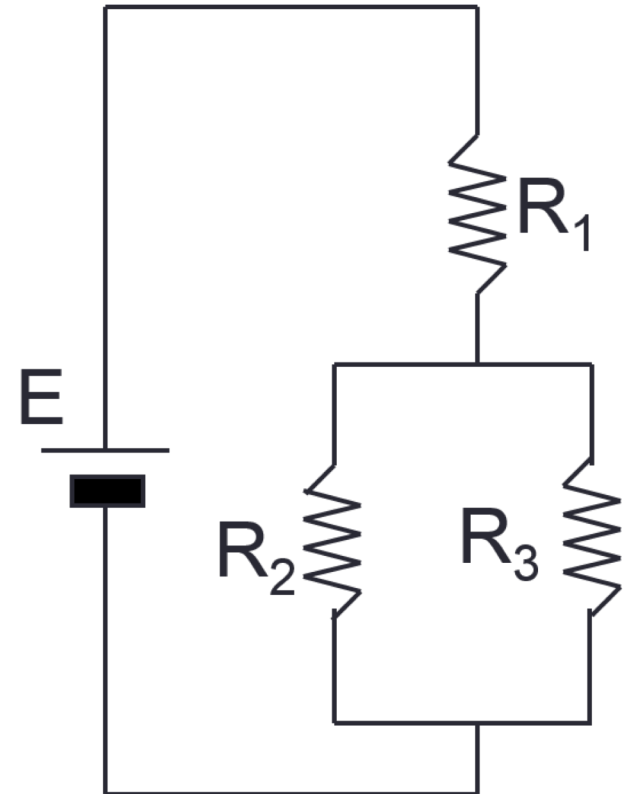


## 2. 抵抗が $40\ \Omega$ の導体棒について、以下の問いに答えよ

- (1) この棒の断面積を変えずに長さを2倍にした時、抵抗はいくつになるか。
- (2) この棒の長さを変えずに断面積を半分にした時、抵抗はいくつになるか。

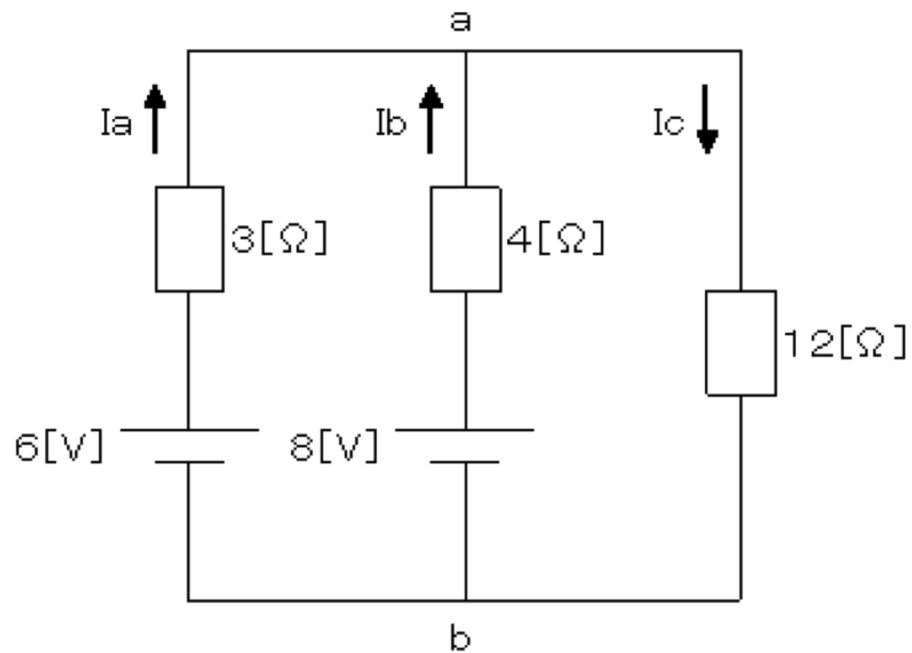
# 練習問題2

$R_1=2.6$ ,  $R_2=4$ ,  $R_3=6[\Omega]$ ,  $E=20[V]$   
となる以下のような回路を作製  
したときの回路全体の消費電力  
を求めよ。



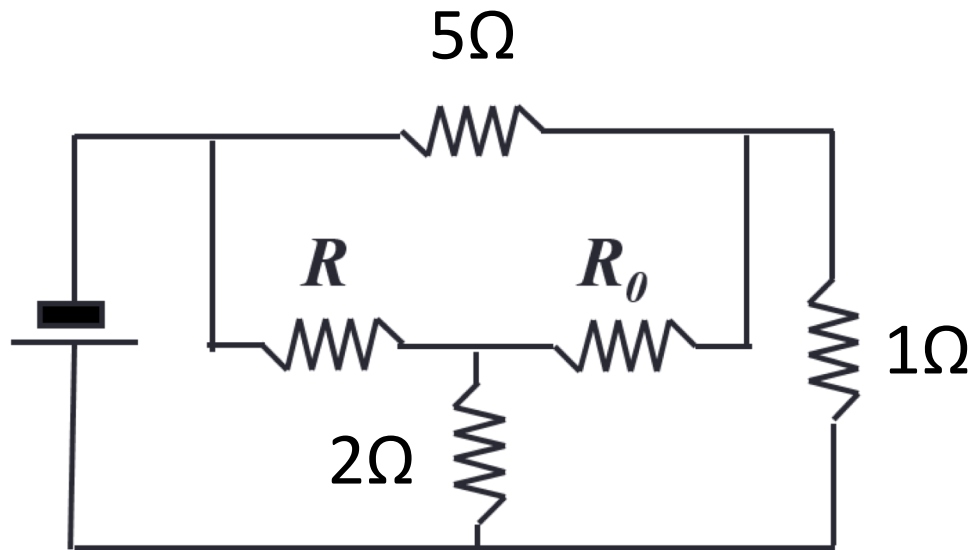
# 練習問題3

図の回路で $I_a, I_b, I_c$ をそれぞれ求めよ。



# 練習問題4

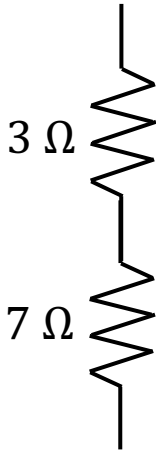
抵抗 $R_0$ に流れる電流が0[A]になるとき、抵抗 $R$ の値を求めよ



# 練習問題1 解答

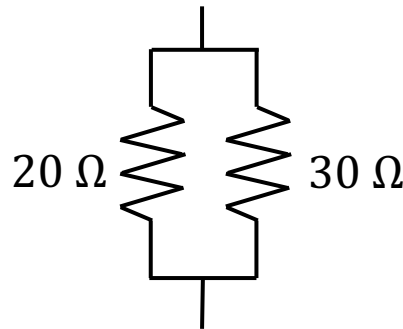
1. 合成抵抗を求めよ

(1)



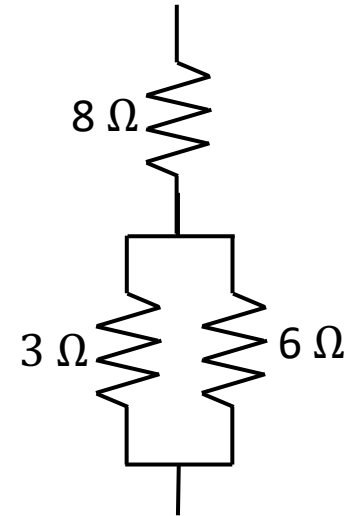
$$(1) R = 3 + 7 = 10 \text{ } [\Omega]$$

(2)



$$(2) R = \frac{20 \times 30}{20 + 30} = \frac{600}{50} = 12 \text{ } [\Omega]$$

(3)



$$(3) R = 8 + \frac{3 \times 6}{3 + 6} = 8 + \frac{18}{9} = 8 + 2 = 10 \text{ } [\Omega]$$

# 練習問題1 解答

2. 抵抗が $40\ \Omega$ の導体棒について、以下の問いに答えよ

(1) この棒の断面積を変えずに長さを2倍にした時、抵抗はいくつになるか。

抵抗は長さに比例するため、

$$40 \times 2 = 80\ [\Omega]$$

(2) この棒の長さを変えずに断面積を半分にした時、抵抗はいくつになるか。

抵抗は断面積に反比例するため、

$$40 \div \frac{1}{2} = 40 \times 2 = 80\ [\Omega]$$

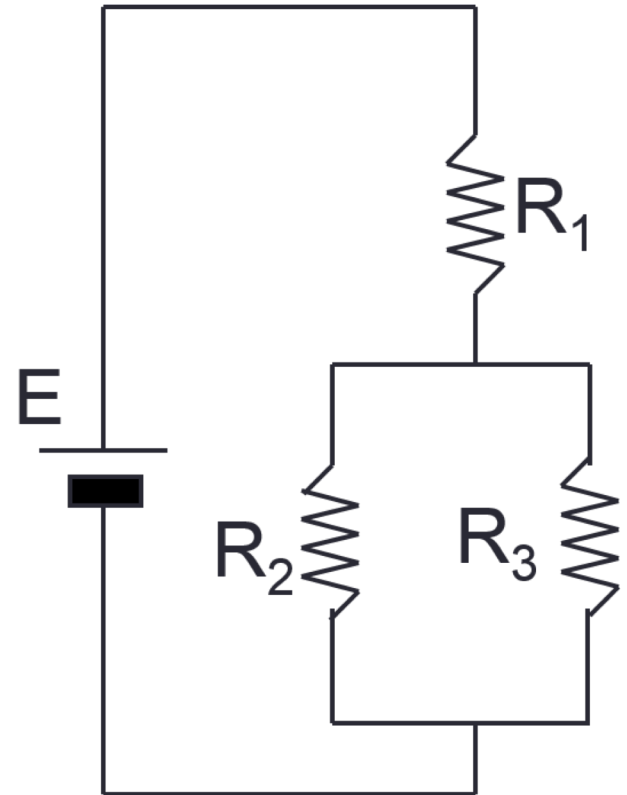
## 練習問題2 解答

$R_1=2.6$ ,  $R_2=4$ ,  $R_3=6[\Omega]$ ,  $E=20[V]$   
となる以下のような回路を作製  
したときの消費電力を求めよ。

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{4 \times 6}{4 + 6} = \frac{24}{10} = 2.4$$

$$R_{123} = R_1 + R_{23} = 2.6 + 2.4 = 5$$

$$P = VI = V \frac{V}{R} = \frac{V^2}{R} = \frac{20^2}{5} = \frac{400}{5} = 80 \text{ [W]}$$





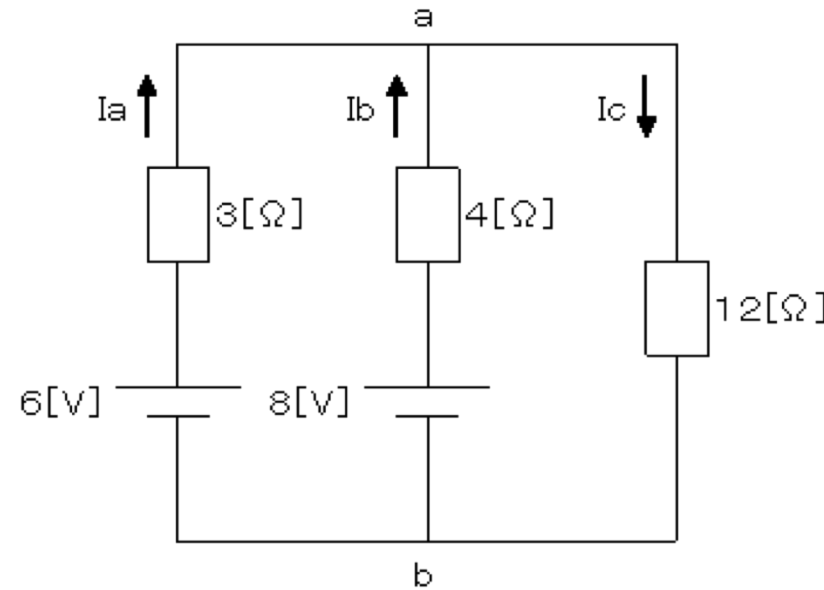
# 練習問題3 解答

連立方程式

$$\begin{cases} I_c = I_a + I_b \cdots \textcircled{1} \\ 6 = 3I_a + 2I_c \cdots \textcircled{2} \\ 8 = 4I_b + 12I_c \cdots \textcircled{3} \end{cases}$$

①を②と③に代入

$$\begin{cases} 6 = 3I_a + 12(I_a + I_b) = 15I_a + 12I_b \\ 8 = 4I_b + 12(I_a + I_b) = 12I_a + 16I_b \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 2 = 5I_a + 4I_b \cdots \textcircled{2}' \\ 2 = 3I_a + 4I_b \cdots \textcircled{3}' \end{cases}$$



# 練習問題3 解答

②' - ③'

$$\begin{array}{rcl} 5I_a + 4I_b & = & 2 \\ -) 3I_a + 4I_b & = & 2 \\ \hline 2I_a & = & 0 \\ I_a & = & 0 \end{array}$$

②'に $I_a = 0$ を代入

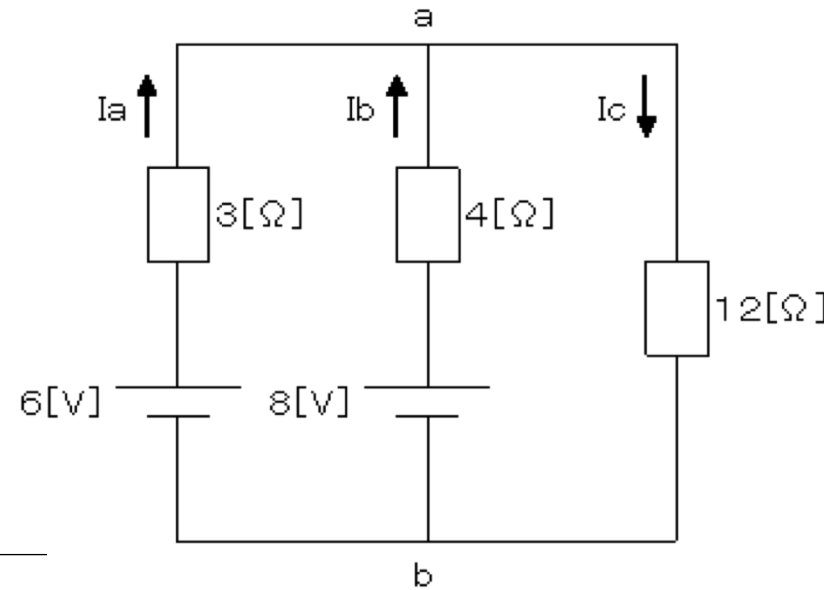
$$2 = 5I_a + 4I_b$$

$$2 = 4I_b$$

$$I_b = 2 \div 4 = 0.5$$

①に $I_a = 0$ 、 $I_b = 0.5$ を代入

$$I_c = 0 + 0.5 = 0.5$$



$$\begin{aligned} I_a &= 0 \text{ [A]}, \\ I_b &= 0.5 \text{ [A]}, \\ I_c &= 0.5 \text{ [A]} \end{aligned}$$

# 練習問題4 解答

平衡条件

$$5 \times 2 = R \times 1$$
$$R = 10 [\Omega]$$

