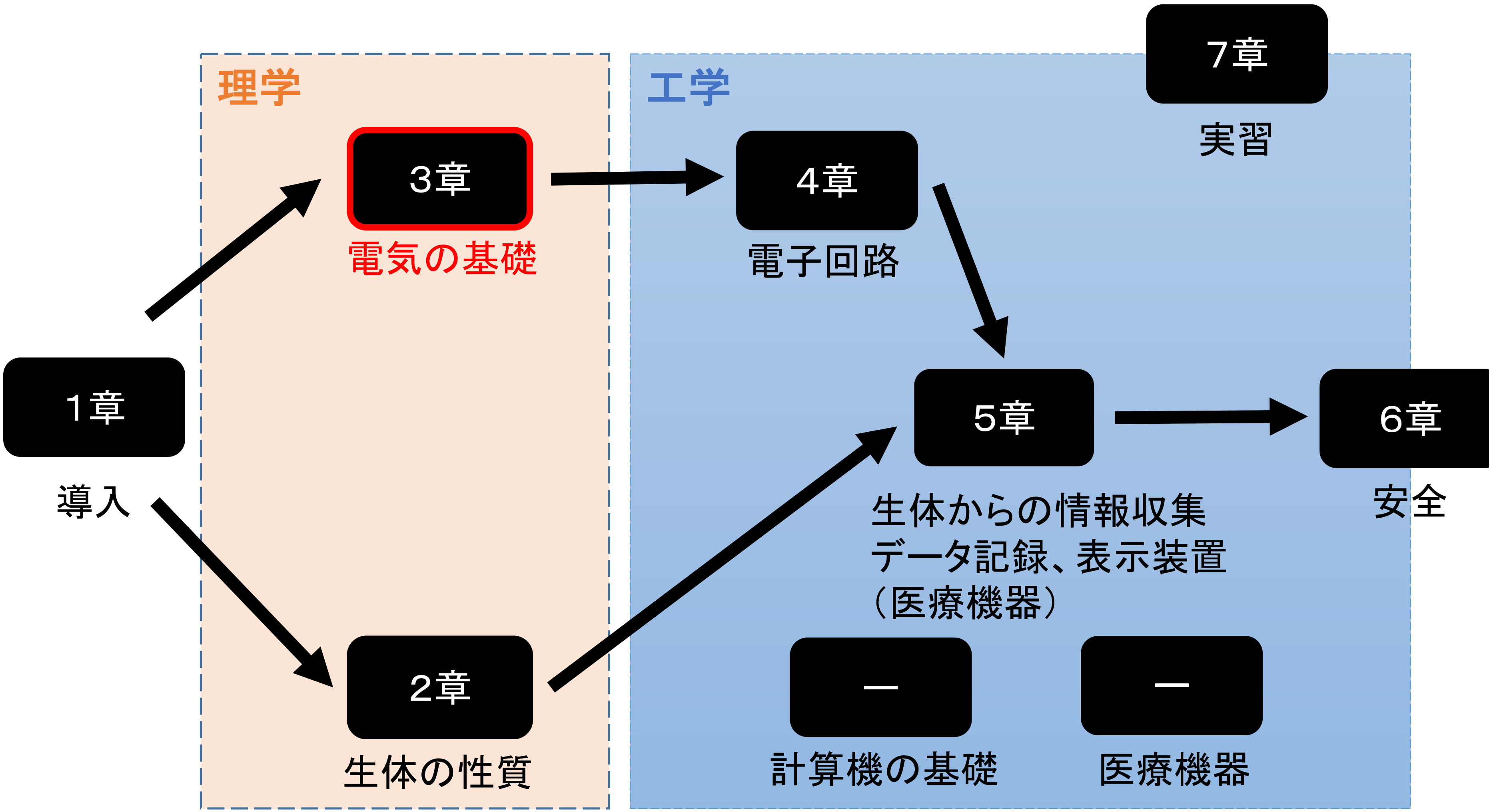
医用工学概論

第4回
電気回路の基礎

医用工学概論の章立て



理学
工学
1章
導入
2章
生体の性質
3章
電気の基礎
4章
電子回路
5章
生体からの情報収集
データ記録、表示装置
（医療機器）
6章
安全
7章
実習
ー
計算機の基礎
ー
医療機器

目次

電気回路の基礎

- 電気の基礎知識

- オームの法則
- 抵抗、合成抵抗

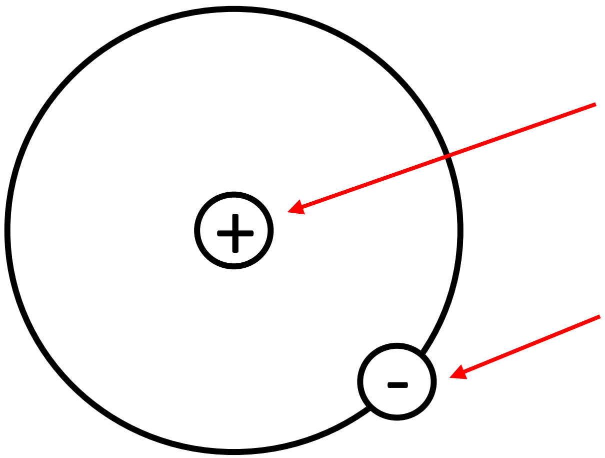
- キルヒホッフの法則
- ホイートストンブリッジ
- 電力、熱

電荷

電荷:　物質が帯びる電気の量

単位 [C クーロン]

原子



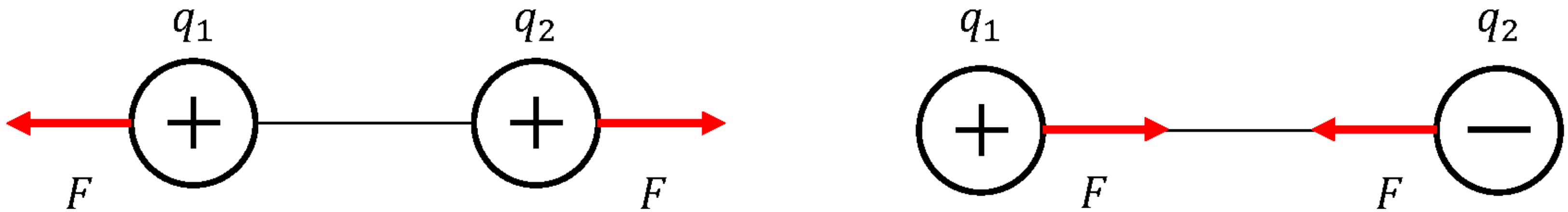
陽子　プラスの電荷を持つ

電子　マイナスの電荷を持つ

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．

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

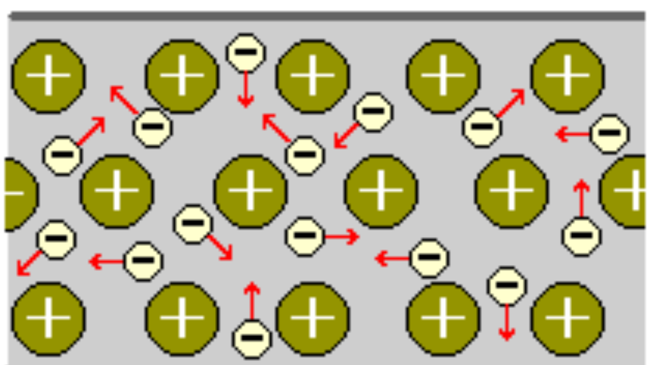
電流

電荷の流れを　電流　という。　１秒間に1 [C]流れたら1[A]

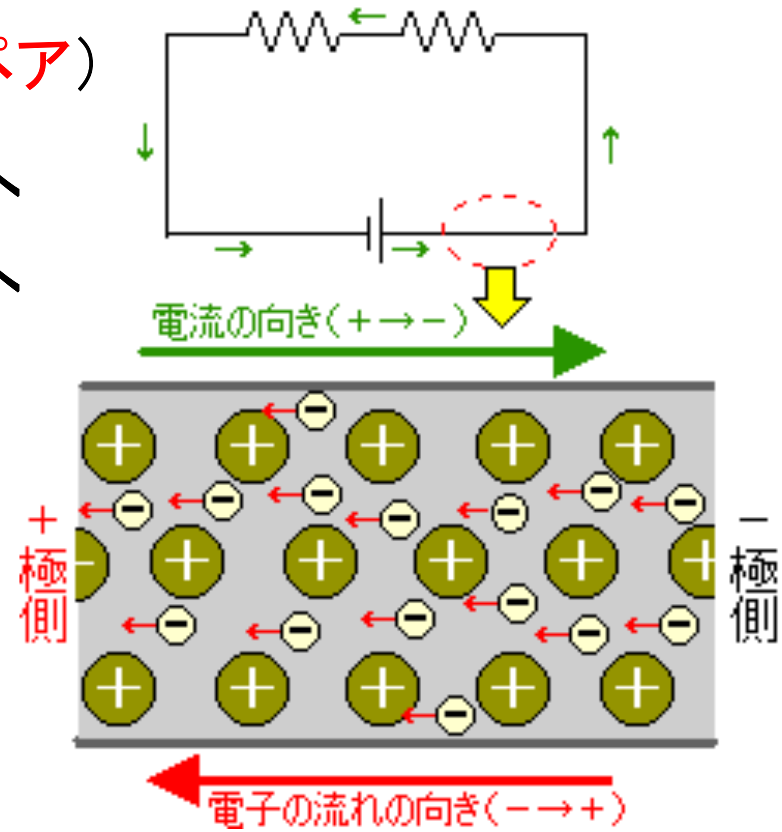
$$I=\frac{dQ}{dt}\,[\,\mathrm{A}\,]$$ （単位: アンペア）

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

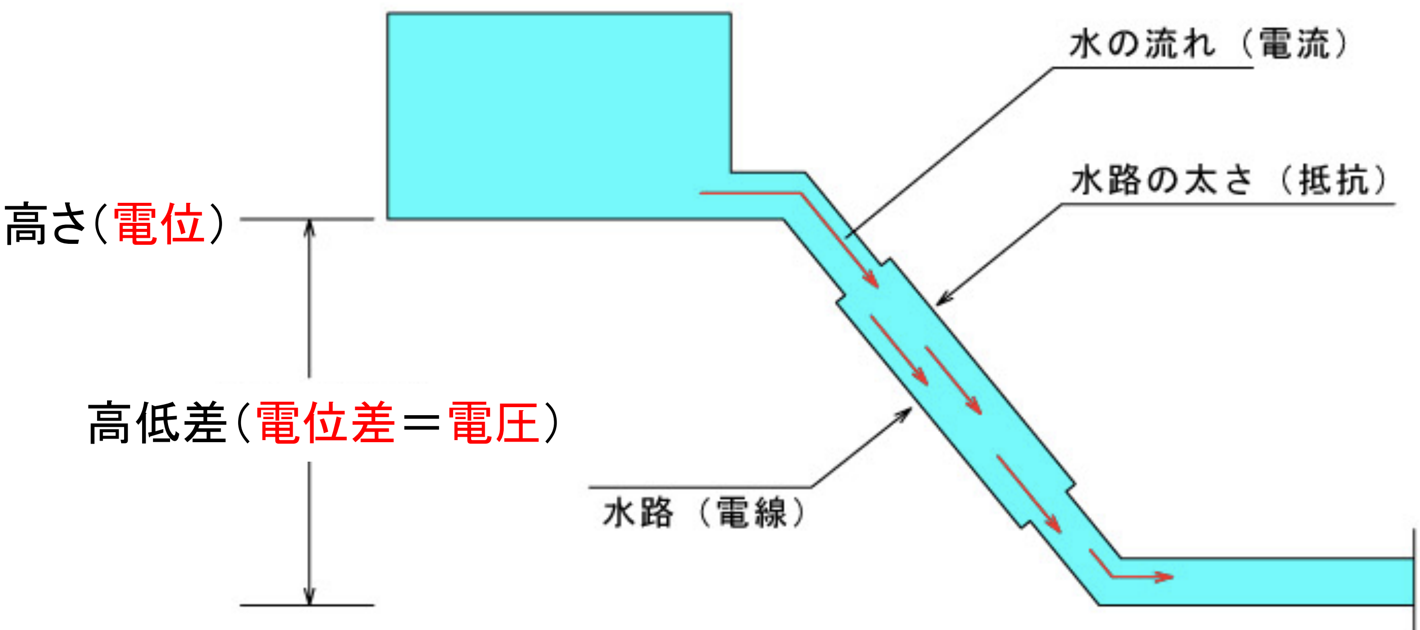


電圧と抵抗

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[Ω](オーム)

<u>水の流れに例えた例</u>



電流は電位が 高い ところから 低い ところへ流れる

電位の変化

電位：基準電位に対する電気的な高さ

基準電位、グランド(GND)

電気回路で、

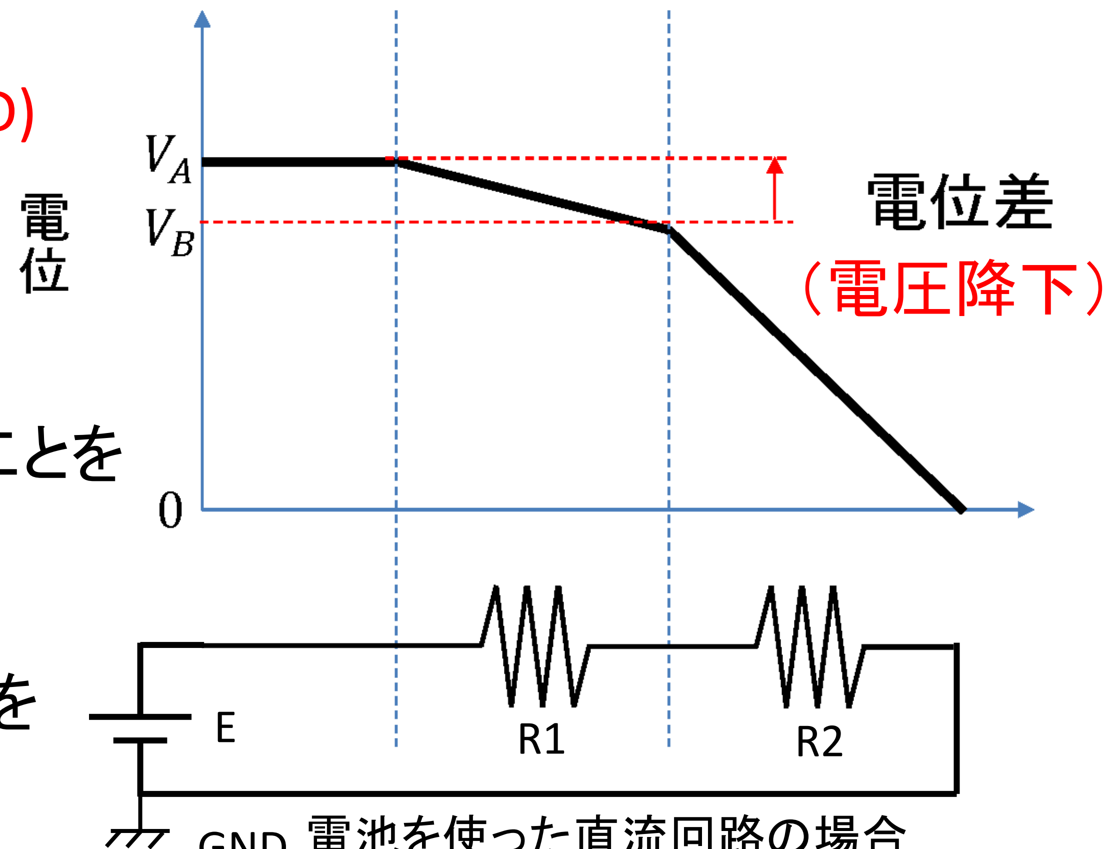
基準（0V）となる電位。

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。

おさらい

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　$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$

電荷の積に 比例
距離の2乗に 反比例

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

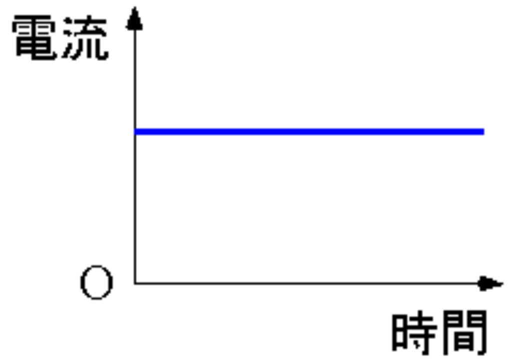
電位:　電気的な高さ。　電位差　＝　電圧
電圧降下:　抵抗両端の電位差。抵抗に加わる電圧。
基準電位、グランド(GND):　基準(0V)として扱う電位
接地(アース):　地表を基準電位とすること。(単に基準電位)

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

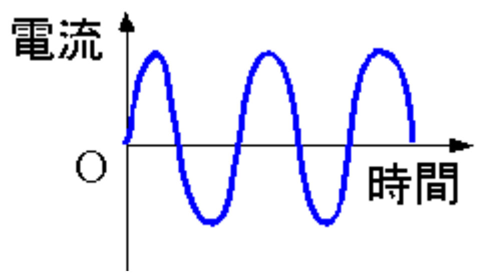


交流（alternating current: AC）

alternating：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

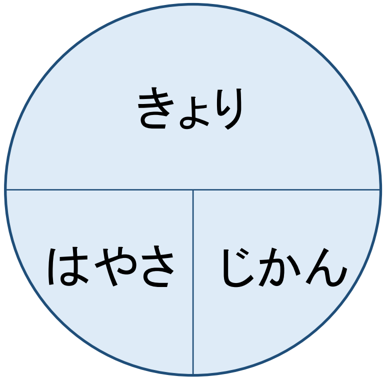
導体に流れる 電流I は両端に加わる 電圧E に 比例 する。

$$V = RI$$

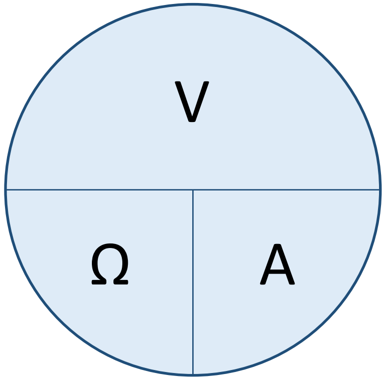
Rを 電気抵抗 といい、電流の流れにくさを表す（単位 [Ω]オーム ）。
Rの逆数はコンダクタンスと呼ばれ、電流の流れやすさを表す。

速度と時間の計算と同じように
考えると使いやすい。

き･は･じ



オームの法則



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。

$V = RI = 1 \times 2 = 2$ [V]

（２）I=3、V=12の時、抵抗Rを求めよ。

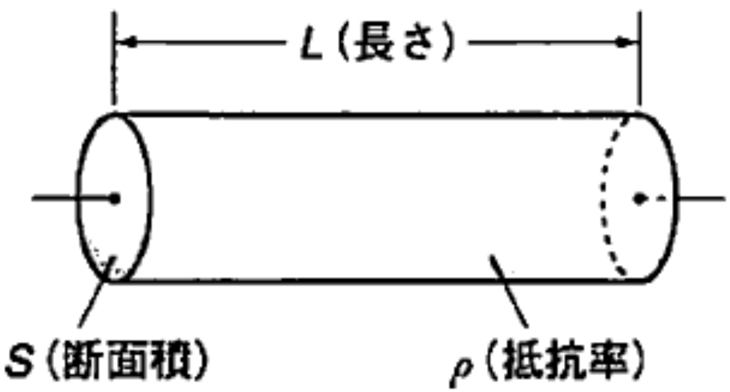
$R = V \div I = 12 \div 3 = 4$ [Ω]

（３）R=6、V=24の時、電流Iを求めよ。

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

電気抵抗 R

$$V = RI$$



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

物質	抵抗率(ρ)	温度係数(α)
銀	1.62×10^{-8}	$+4.0\times10^{-3}$
銅	1.72×10^{-8}	$+4.3\times10^{-3}$
アルミニウム	2.8×10^{-8}	$+3.9\times10^{-3}$
タングステン	5.5×10^{-8}	$+5.3\times10^{-3}$
タングステン(3,000℃)	1.23×10^{-6}	—
鉄	9.8×10^{-8}	$+6.6\times10^{-3}$
ニクロム	1.09×10^{-6}	$+0.1\times10^{-3}$
ガラス	10^{16}	—
セラミックス(アルミナ)	$10^{9}\sim10^{12}$	—
ゴム	$10^{10}\sim10^{13}$	—

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

例題1－2

抵抗が10Ω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10Ω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、

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

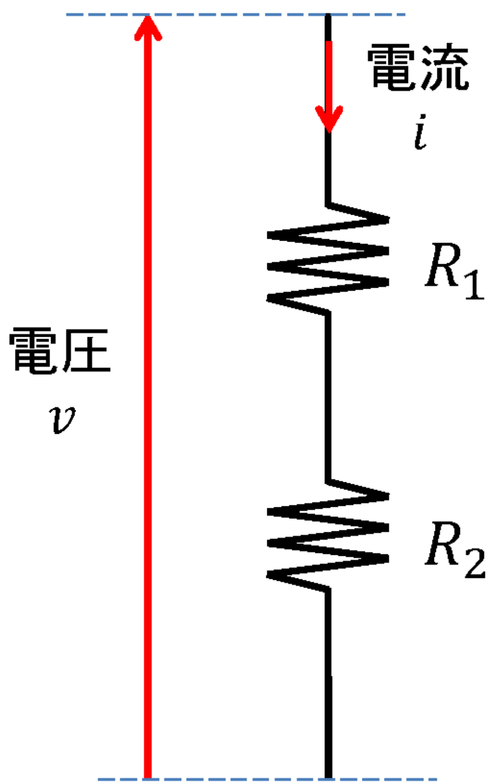
（２）この棒の断面積を変えずに、長さを半分にしたら抵抗はいくらになるか。

抵抗は長さに比例するため、

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

合成抵抗(直列)

直列接続



$$v = R_1 i + R_2 i$$
$$= (R_1 + R_2) i$$
$$= R_0 i$$

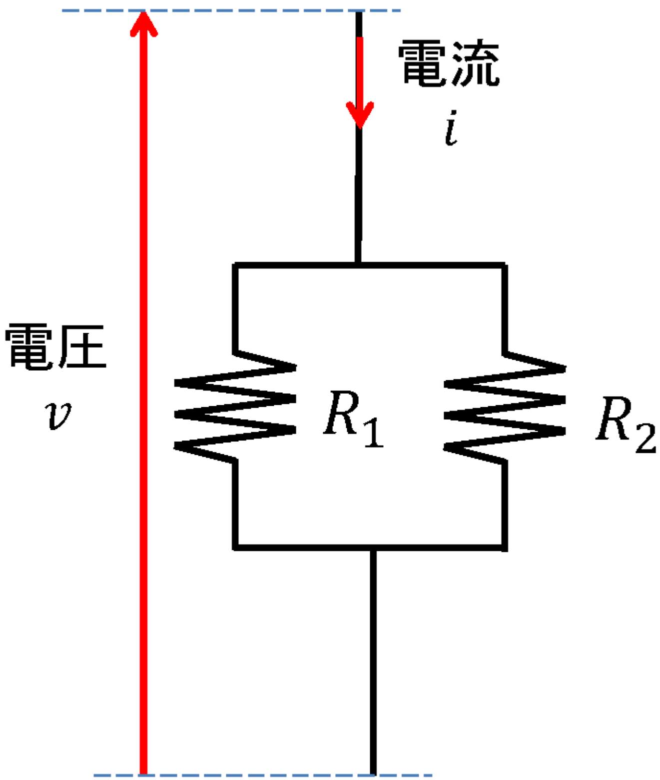
区間に流れる
電流は等しい.

合成抵抗

$$R_0 = R_1 + R_2$$

合成抵抗（並列）

並列接続



$$i = \frac{1}{R_1}v + \frac{1}{R_2}v$$

$$= \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)v$$

$$= \frac{1}{R_0}v$$

区間に加わる電圧は等しい．

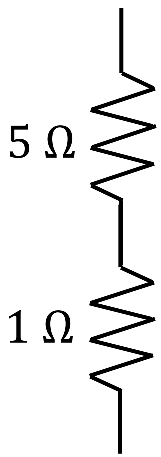
合成抵抗

$$R_0 = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

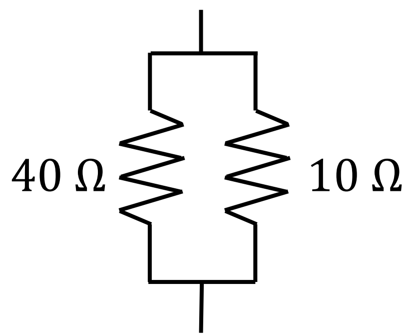
例題1－3

合成抵抗を求めよ

（1）



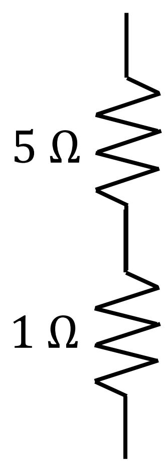
（2）

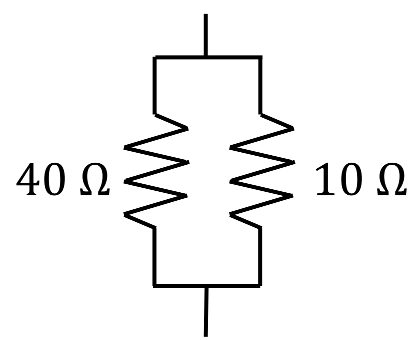


例題1－3　解答

合成抵抗を求めよ

（1）　（2）





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

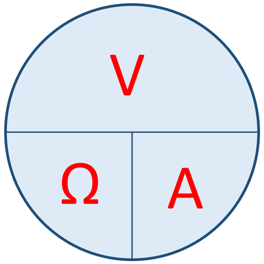
$$R = \frac{40 \times 10}{40 + 10} = \frac{400}{50} = 8\ [\Omega]$$

おさらい

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

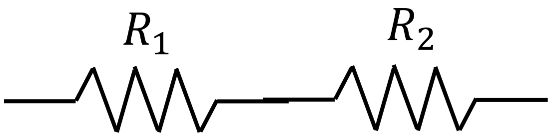
　抵抗は導体の　長さ　と 抵抗率 に比例し、

　断面積 に反比例する。

合成抵抗

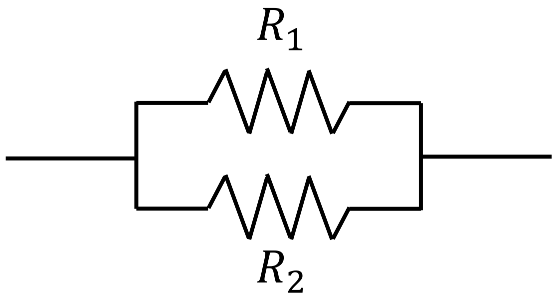
・直列接続:

$$R_{12} = R_1 + R_2$$



・並列接続:

$$R_{12} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

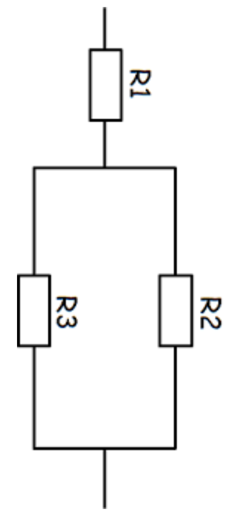


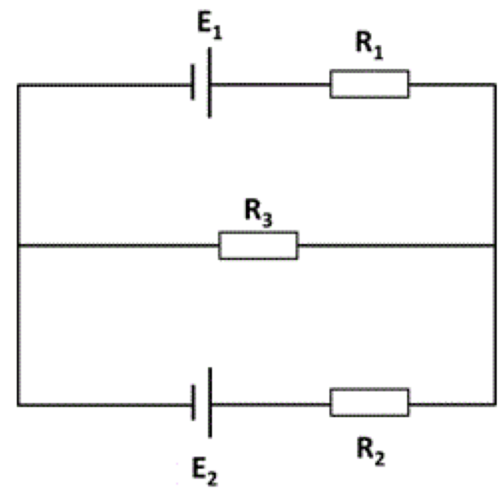
キルヒホッフの法則

分岐のある複雑な回路の電流、電圧を求めたい。

1.合成抵抗を求める。

2.キルヒホッフの法則を使う。





<u>キルヒホッフの法則</u>

第一法則:電流則

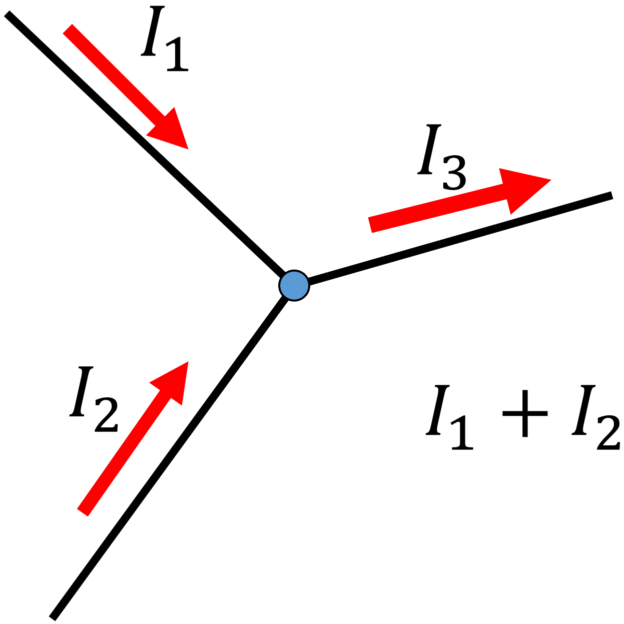
第二法則:電圧則

→ 連立方程式を立てる

キルヒホッフの第一法則（電流則）

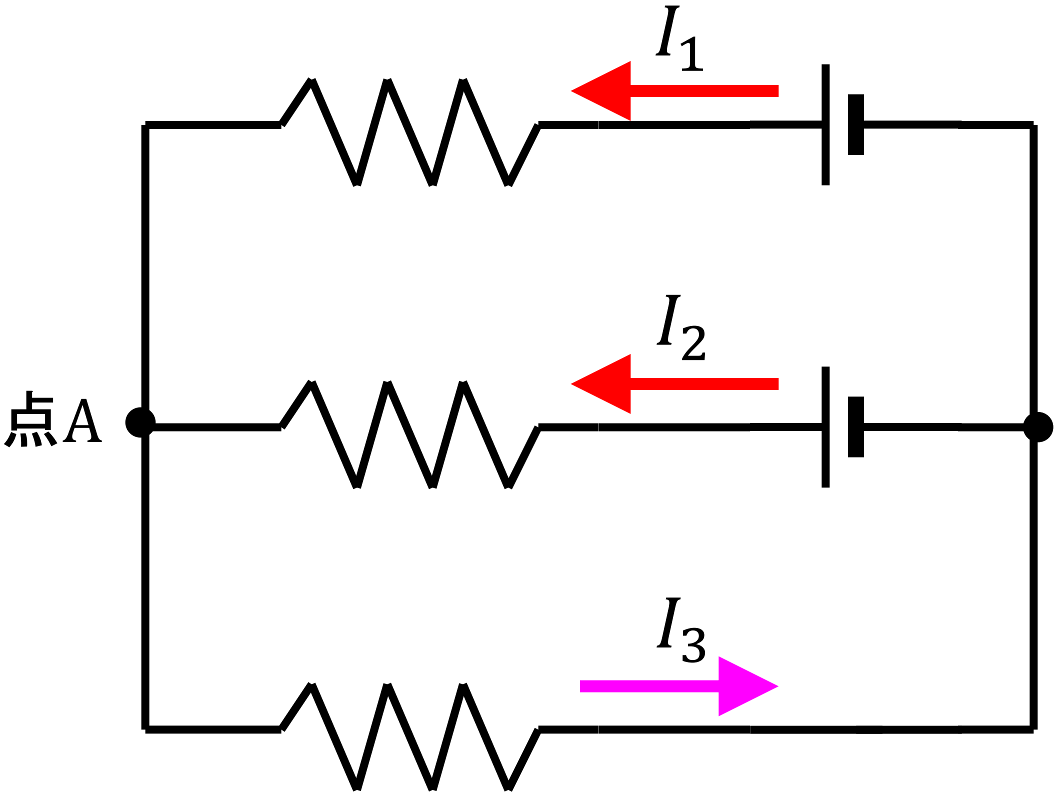
回路網のある接続点において

流入する電流と流出する電流の総和は等しい



$$I_1 + I_2 = I_3$$

例



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:

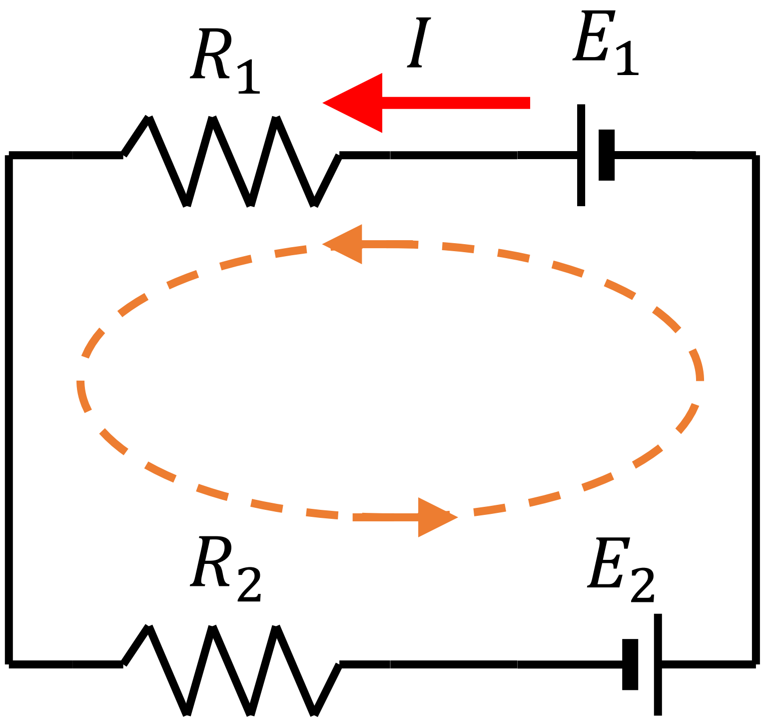
I_3

$$I_1 + I_2 = I_3$$

キルヒホッフの第二法則（電圧則）

回路網内のひとつの閉じた回路（閉ループ）において

起電力（電源）の総和と電圧降下の総和は等しい

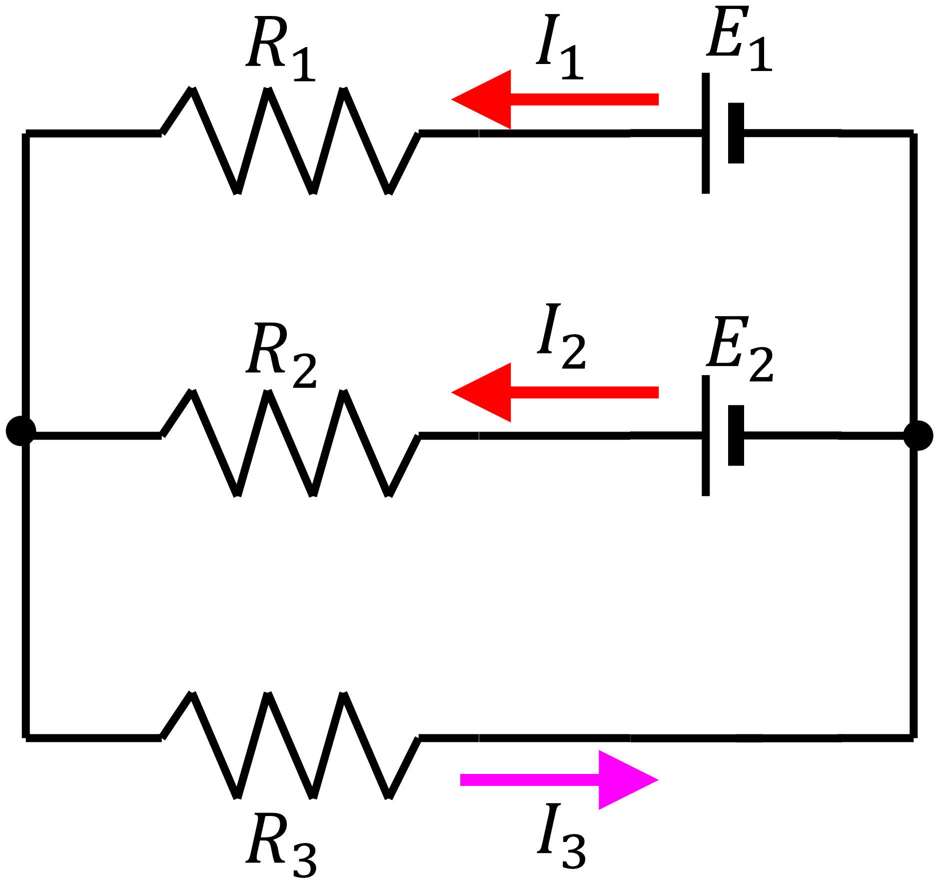


起電力：　E_1, E_2

電圧降下：　IR_1, IR_2

$$E_1 + E_2 = IR_1 + IR_2$$

さっきの例



大回りする回路について

起電力:　E_1

電圧降下:　I_1R_1, I_3R_3

$$E_1 = I_1R_1 + I_3R_3$$

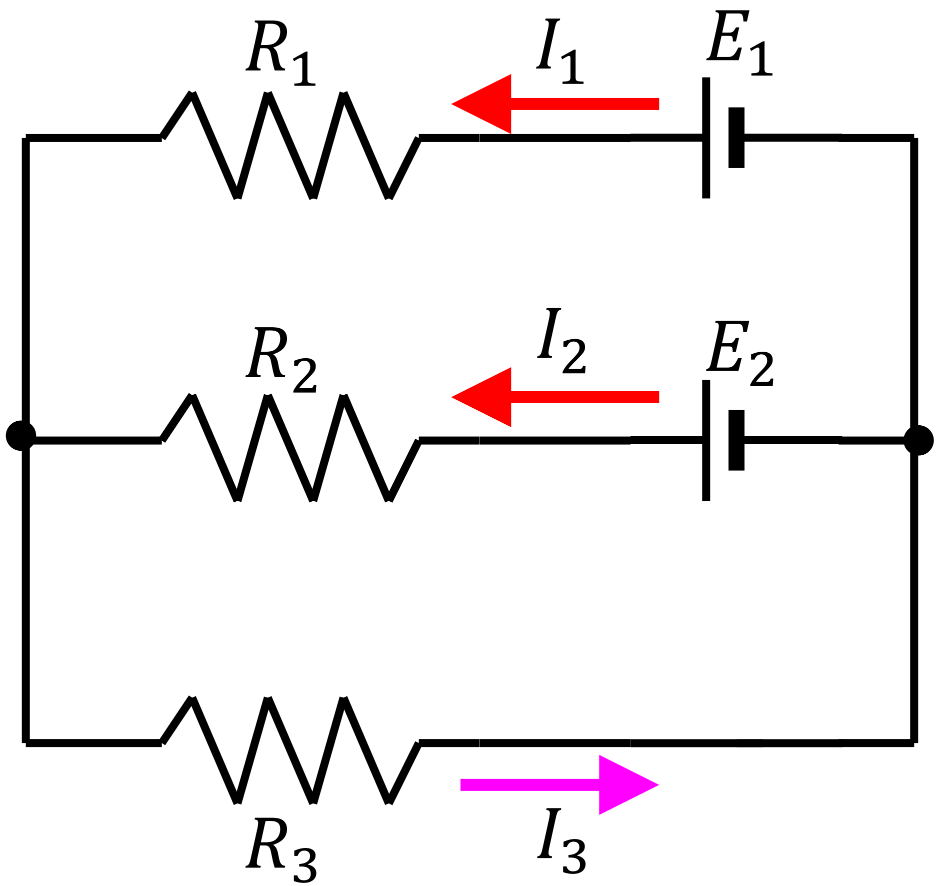
下半分の回路について

起電力:　E_2

電圧降下:　I_2R_2, I_3R_3

$$E_2 = I_2R_2 + I_3R_3$$

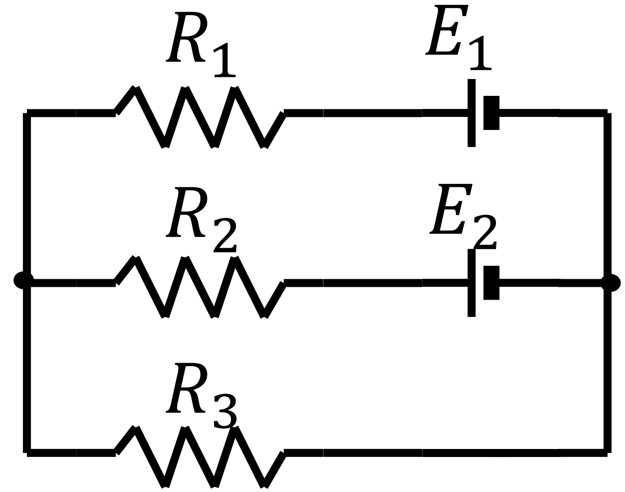
さっきの例



連立方程式

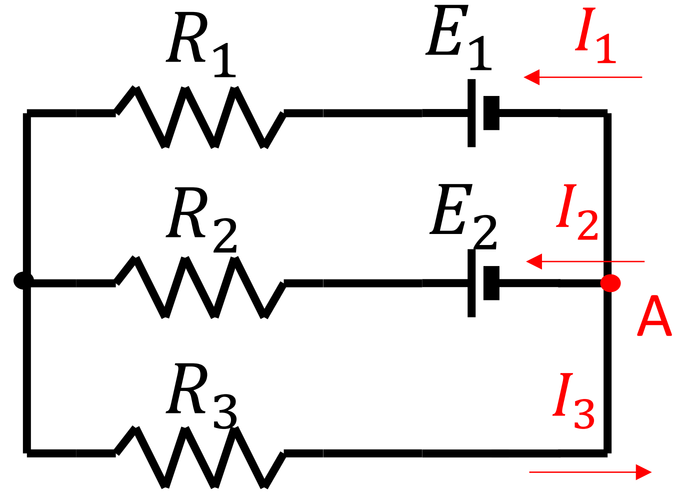
$$I_1 + I_2 = I_3$$
$$E_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3$$
$$E_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3$$

例題2



図の回路で
$R_1 = 1\ [\Omega]$、$R_2 = 2\ [\Omega]$、
$R_3 = 4\ [\Omega]$、$E_1 = 10\ [\mathrm{V}]$、
$E_2 = 8\ [\mathrm{V}]$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。

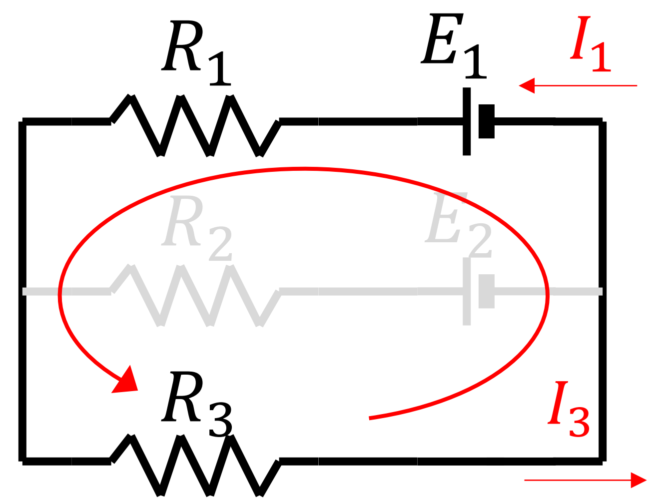
例題2 解答



点Aにキルヒホッフの電流則を使うと、

$$I_3 = I_1 + I_2$$

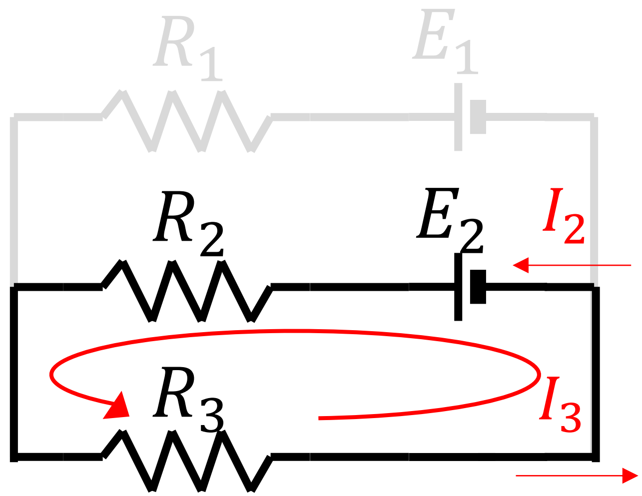
例題2 解答



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

$$\begin{cases} I_3 = I_1 + I_3 \\ E_1 = R_1 I_1 + R_3 I_3 \\ E_2 = R_2 I_2 + R_3 I_3 \end{cases} = \begin{cases} I_3 = I_1 + I_2 \quad \cdots ① \\ 10 = I_1 + 4I_3 \cdots ② \\ 8 = 2I_2 + 4I_3 \ldots ③ \end{cases}$$

①を②と③にそれぞれ代入すると、

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

②' ×3 - ③' ×2

$$\begin{array}{rl} & 30 = 15I_1 + 12I_2 \\ -) & 16 = 8I_1 + 12I_2 \\ \hline & 14 = 7I_1 \\ & I_1 = 14 \div 7 = 2\ [\mathrm{A}] \end{array}$$

②'に$I_1 = 2$を代入すると

$10 = 10 + 4I_2$

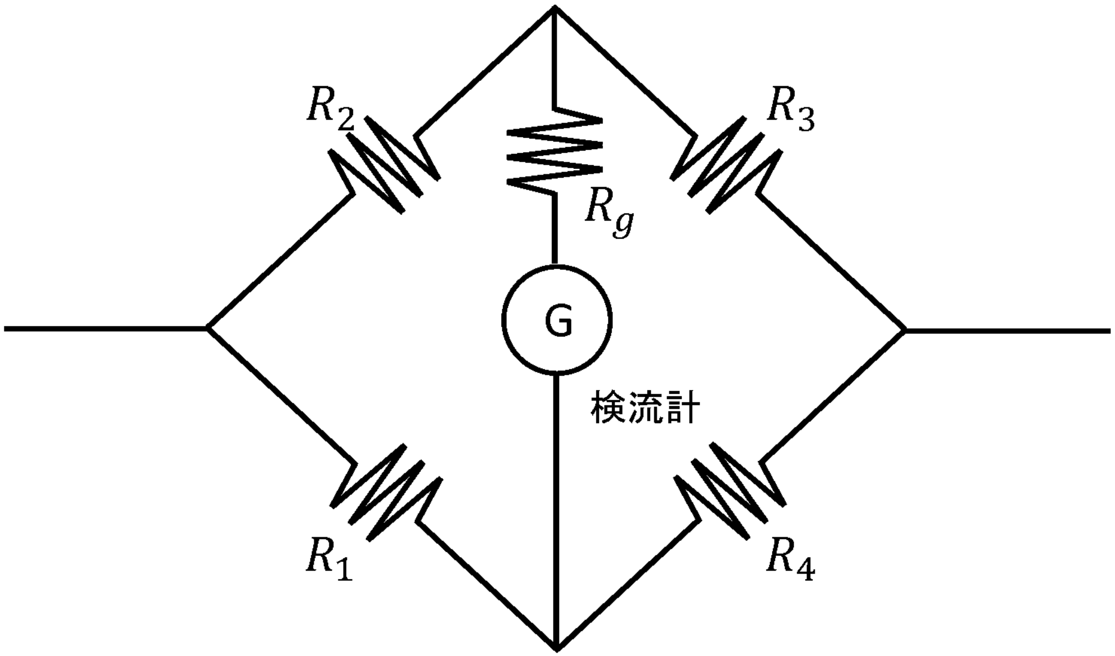
$4I_2 = 0$

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

①に$I_1 = 2$と$I_2 = 0$を代入すると

$I_3 = 2 + 0 = 2\ [A]$

ホイートストンブリッジ



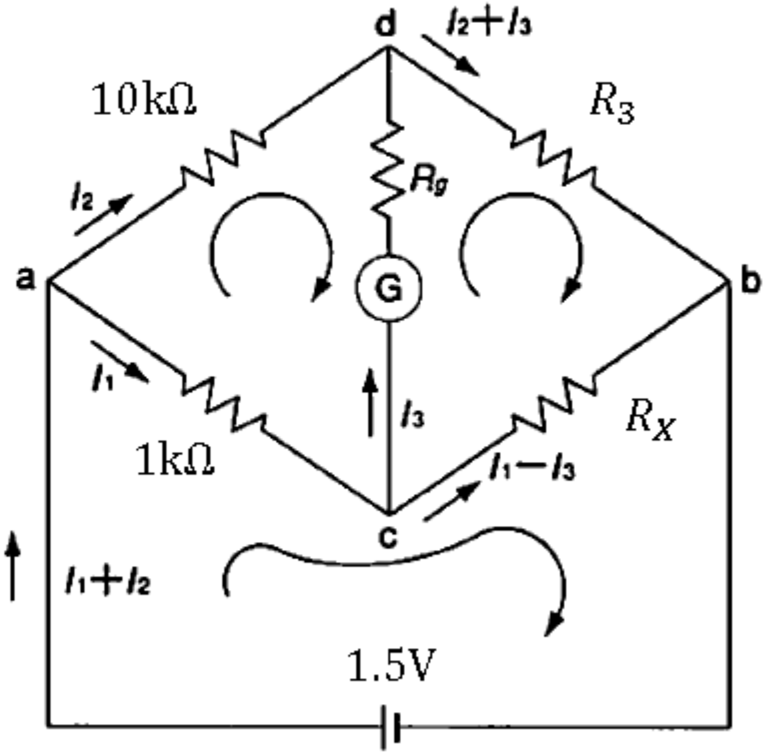
図のような回路で中央の検流計部分を流れる電流が0になる時、次の式が成り立つ。

$R_2 R_4 = R_1 R_3$　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 $5\mathrm{k}\Omega$ としたとき，検流計Gに電流が流れなくなった．

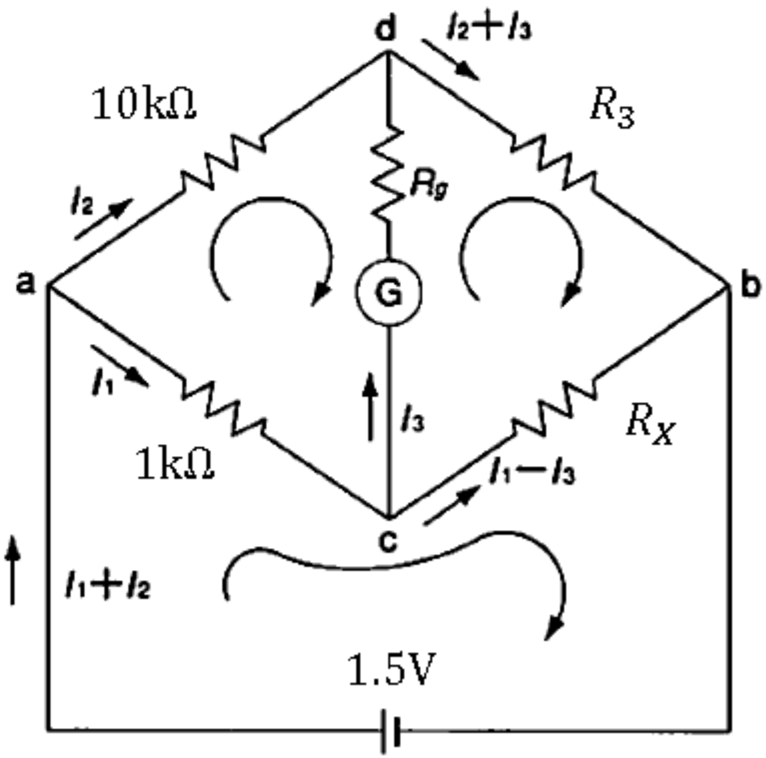


未知抵抗 $R_X = \boxed{}$

第2章 p.38 図2-28

例題3　解答

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



未知抵抗　$R_X = 500\Omega$

第2章 p.38　図2-28

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。

電力P = 電圧V×電流I （単位 [W 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。

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

電力と時間の積

(単位 [J ジュール])

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 [Ω]、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 [Ω]、V=20 [V]の時、この抵抗における電力を求めよ。

オームの法則より I = V ÷ R = 20 ÷ 5 = 4 [A]

電力は　P = V × I = 20 × 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。

熱量H = P × 時間（秒） = 80 × 3 = 240 [J]

おさらい

電力 [W ワット]:　電流 × 電圧

熱量 [J ジュール]:　電力 × 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。

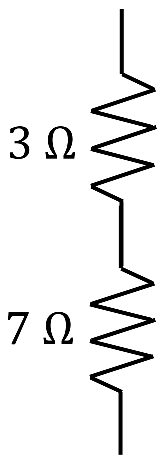
ホイートストンブリッジ

　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　。

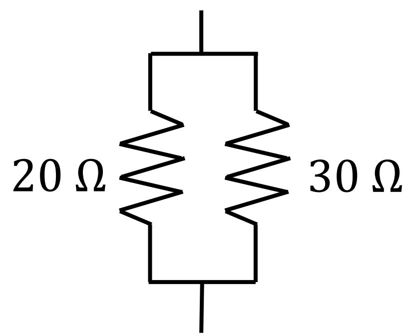
練習問題1

1. 合成抵抗を求めよ

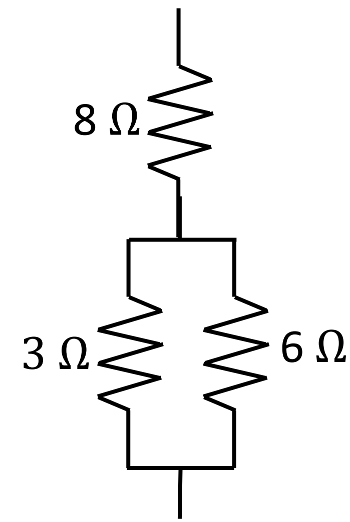
（1）



（2）



（3）



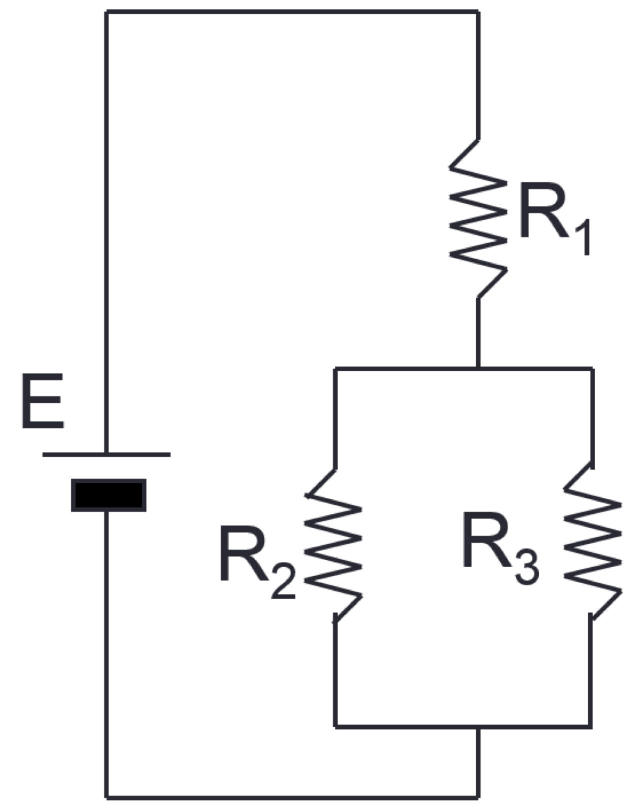
2. 抵抗が40 Ωの導体棒について、以下の問いに答えよ

（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。

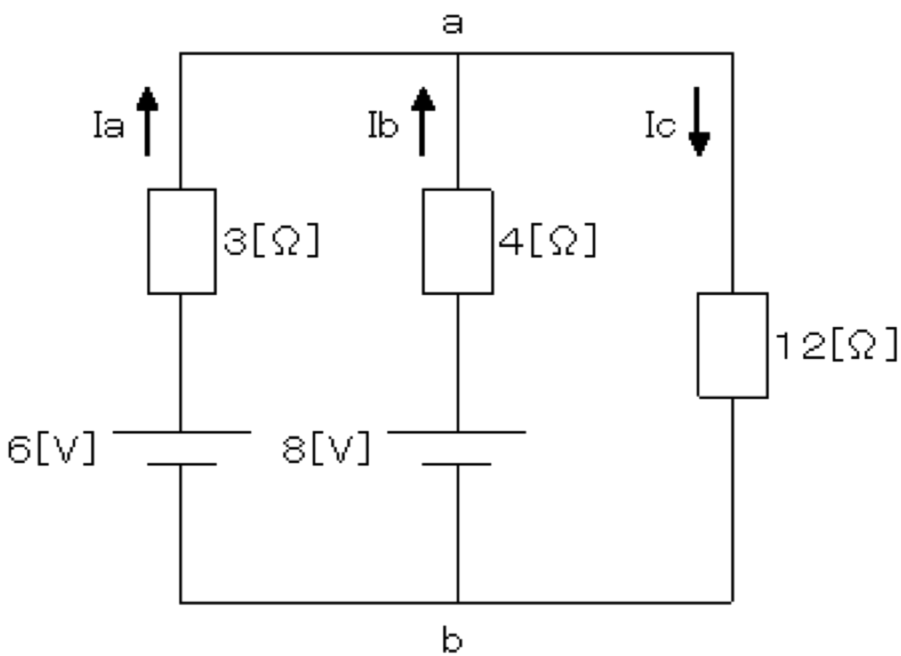
練習問題2

R_1=2.6, R_2=4, R_3 = 6[Ω], 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。



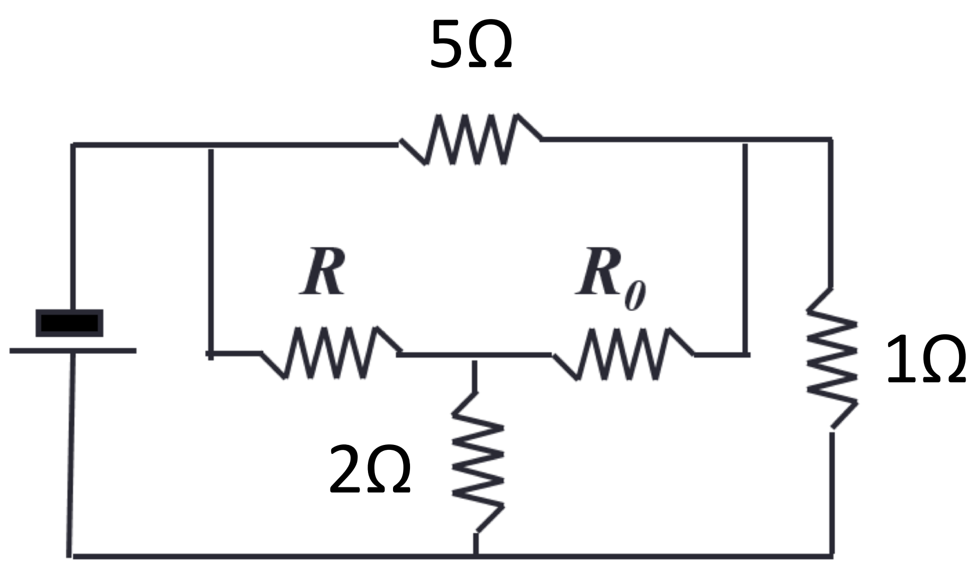
練習問題3

図の回路でIa,Ib,Icをそれぞれ求めよ。



練習問題4

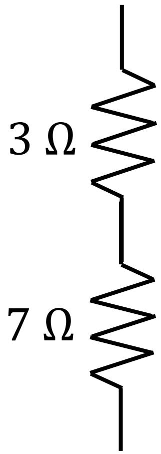
抵抗R_0に流れる電流が0[A]になるとき、抵抗*R*の値を求めよ



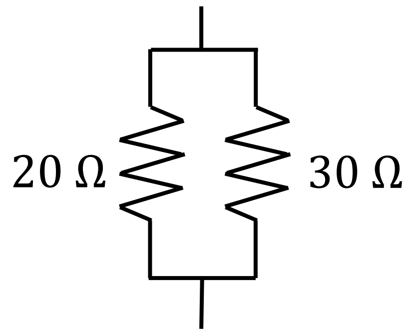
練習問題1　解答

1. 合成抵抗を求めよ

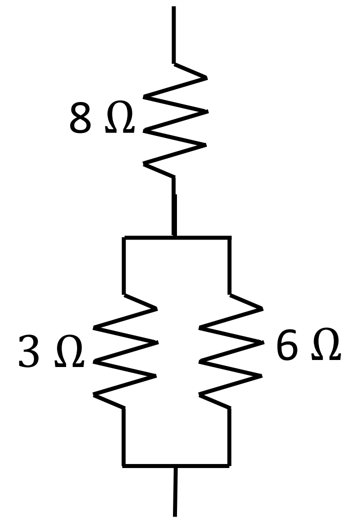
（1）



（2）



（3）



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

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

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

練習問題1　解答

2. 抵抗が40 Ω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、

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

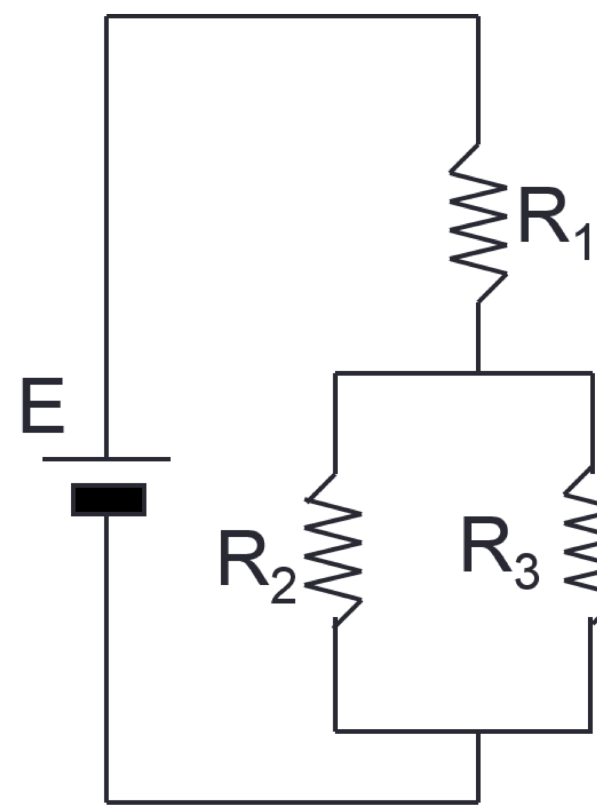
（2）この棒の長さを変えずに断面積を半分にした時、抵抗はいくつになるか。

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[Ω], 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。

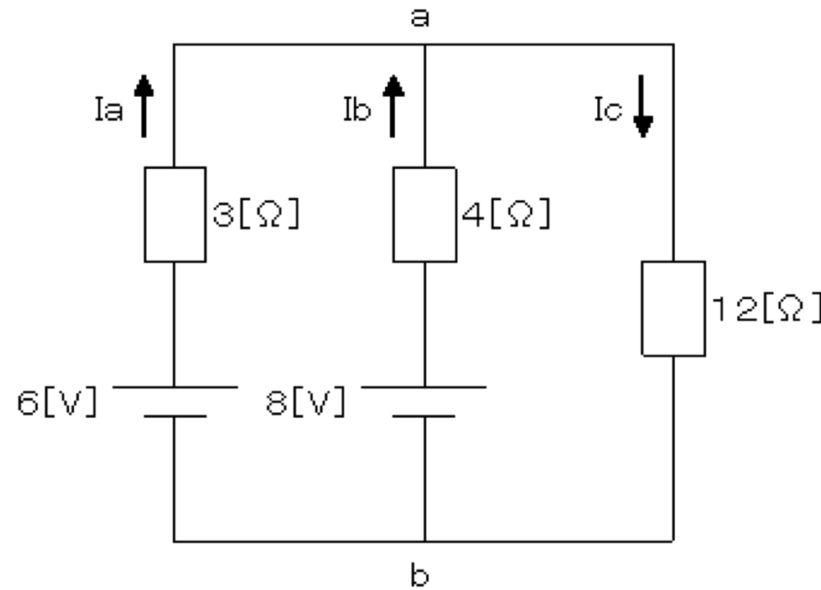


$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{4\times 6}{4+6} = \frac{24}{10} = 2.4$$

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

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

練習問題3　解答



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

$$\begin{cases} 6 = 3I_a + 12(I_a + I_b) = 15I_a + 12I_b \\ 8 = 4I_b + 12(I_a + I_b) = 12I_a + 16I_b \end{cases}$$

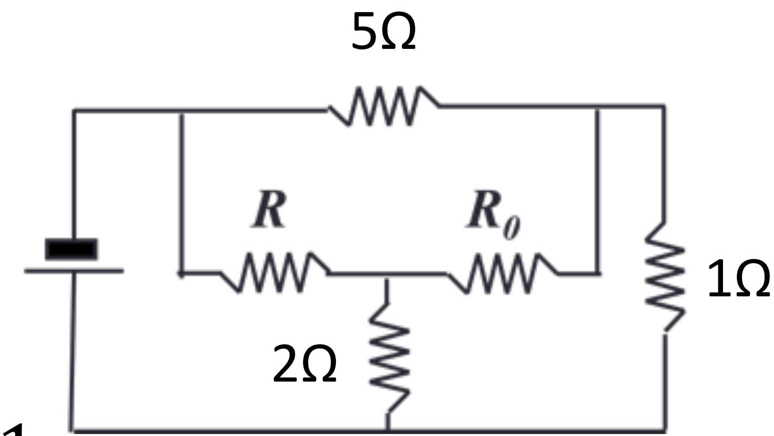
$$\begin{array}{rr} & 5I_a + 4I_b = 2 \\ -) & 3I_a + 4I_b = 2 \\ \hline & 2I_a = 0 \\ & I_a = 0 \end{array}$$

$$4I_b = 2$$
$$I_b = 0.5$$

$$I_c = 0 + 0.5 = 0.5$$

$$\underline{I_a = 0\ [A],\ I_b = 0.5\ [A], I_c = 0.5\ [A]}$$

練習問題4　解答



平衡条件

$$5 \times 2 = R \times 1$$
$$R = 10$$