

# 電気工学2 第1回

## 直流回路

公立小松大学

藤田 一寿

## ■ 目的

---

- 電磁気学の習得
- 電気回路の復習
- 電子回路の予習
  
- 裏の目的
- ME2種，国家試験の電気電子関連の計算問題を解けるようになる.

# 講義予定

講義回数	実施日	電気工学2	電気工学演習2
1	2025/04/14	抵抗	抵抗
2	2025/04/21	キルヒホッフの法則、電力	内部抵抗
3	2025/04/28	交流	キルヒホッフ,電力
4	2025/05/08	クーロンの法則、電場	交流, 複素数
5	2025/05/12	ガウスの法則、電位	試験1
6	2025/05/19	コンデンサ	電場
7	2025/05/26	磁場、誘導起電力	コンデンサ, 磁場
8	2025/06/02	トランス	ソレノイド
9	2025/06/09	過渡現象	変圧器, コンデンサ回路
10	2025/06/16	フィルタ	コンデンサ回路, インダクタ回路, RLC回路
11	2025/06/23	ダイオード	試験2
12	2025/06/30	増幅回路	ダイオード
13	2025/07/07	オペアンプ	増幅器, オペアンプ
14	2025/07/14	ローレンツ力	オペアンプ
15	2025/07/23	電磁波	試験3

# 評価

- 電気工学2（2単位）
  - 3回のテストで評価
- 電気工学演習2（1単位）
  - 演習の点で評価

試験	講義回数	実施日	試験範囲（内容）	試験範囲（問題番号）
試験1	5	2025/05/12	抵抗，内部抵抗，キルヒホッフの法則，テブナンの定理，電力，交流，複素数表示	1-39
試験2	11	2025/06/23	電場，磁場，コンデンサ，インダクタ，コイル，変圧，フィルタ，過渡現象	40-90
試験3	15	2025/07/23	ダイオード、増幅器、オペアンプ	91-138

第3回の試験内容は，第1回，第2回の試験の結果が全体的に悪い場合，第1回，第2回の試験内容を合わせたものに変更される。

## ■ 講義資料の場所

---

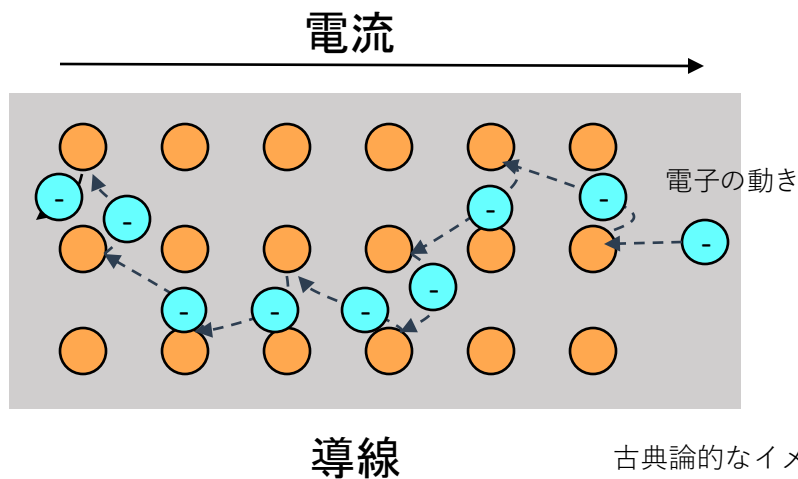
- [http://spikingneuron.net/ja/electro\\_eng2/](http://spikingneuron.net/ja/electro_eng2/)
- 参考ページ
  - <https://mgkca.com/>
  - 国家試験とME2種の答え付き過去問がある。ただし問題解説はない。

# 電流とは

- 電流とは電荷の流れ
- 単位時間あたりの電荷の変化で定義される.

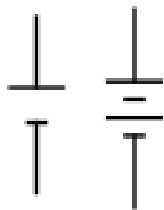
$$I = \frac{dQ}{dt}$$

- 電流と電子の流れる方向は逆となる.
- 単位はアンペア[A]



# ■ 電圧

- 電位の差を電圧（電位差）という.
  - 電位の詳しい説明は電磁気の講義のときに説明する.
- 単位はボルト[V]



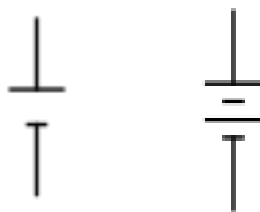
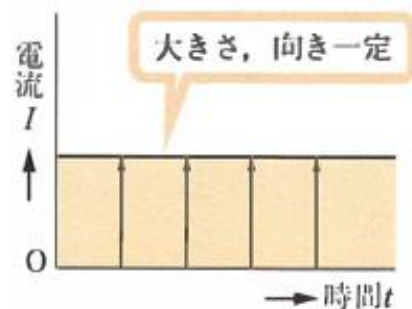
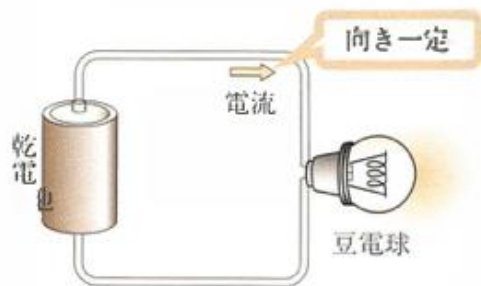
定電圧源



交流電圧源

# 直流

- 電圧や電流の大きさと向きが一定



定電圧源



定電流源



## ■ 単位の接頭語

接頭語の名称	接頭語の記号	単位に乘じられる倍数
ギガ (giga)	G	$10^9$
メガ (mega)	M	$10^6$
キロ (kilo)	k	$10^3$
ミリ (milli)	m	$10^{-3}$
マイクロ (micro)	$\mu$	$10^{-6}$
ナノ (nano)	n	$10^{-9}$
ピコ (poco)	p	$10^{-12}$

電気電子回路では，キロ，マイクロ，ナノ，ピコをよく使うので覚えておこう．

## ■ 問題

- 次の補助単位を使った値が等しくなるよう空欄を埋めよ.

$$10\text{k}\Omega = \boxed{\phantom{000}} \Omega$$

$$1\text{nF} = \boxed{\phantom{000}} \mu\text{F}$$

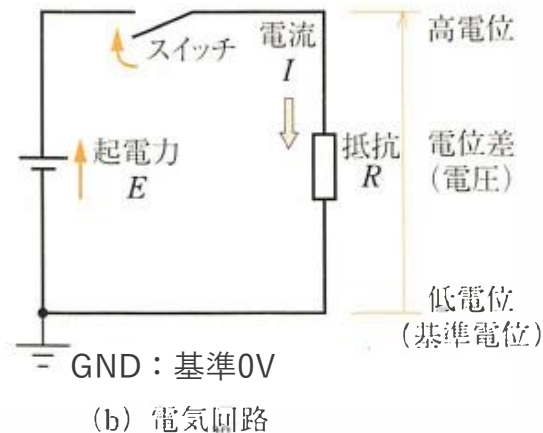
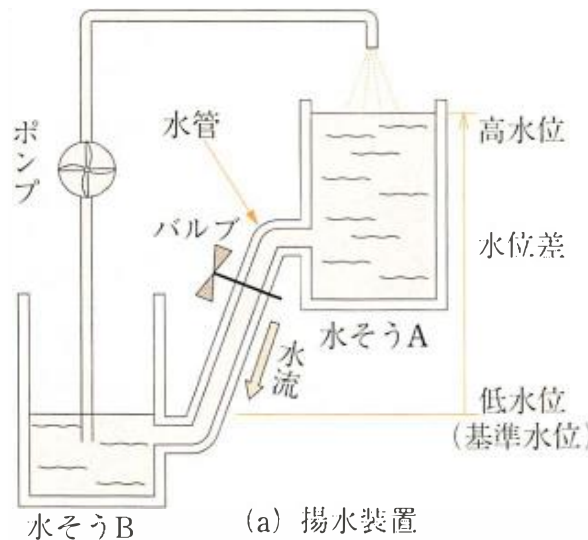
$$0.1\mu\text{F} = \boxed{\phantom{000}} \text{nF}$$

$$1\text{kHz} = \boxed{\phantom{000}} \text{MHz}$$

$$10\text{mV} = \boxed{\phantom{000}} \text{V}$$

# 電流と電圧の簡単な解釈

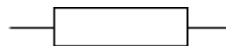
- 回路：水が流れる水路
- 電流：水の流れ
- 電圧：水路の高低差



**抵抗**

# ■ 抵抗

- 物質の電流の流しにくさを表す指標
- 抵抗値が大きければ大きいほど電流が流れにくい
- 単位は $\Omega$ （オーム）
- 抵抗値と抵抗率の違いに注意する.

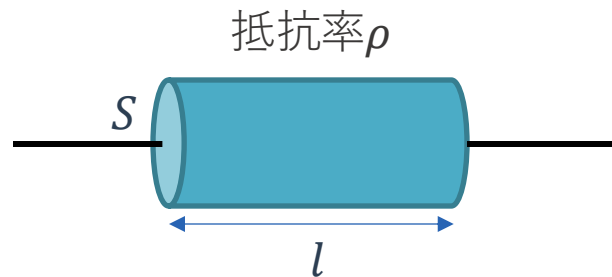


図記号



## ■ 抵抗と抵抗率

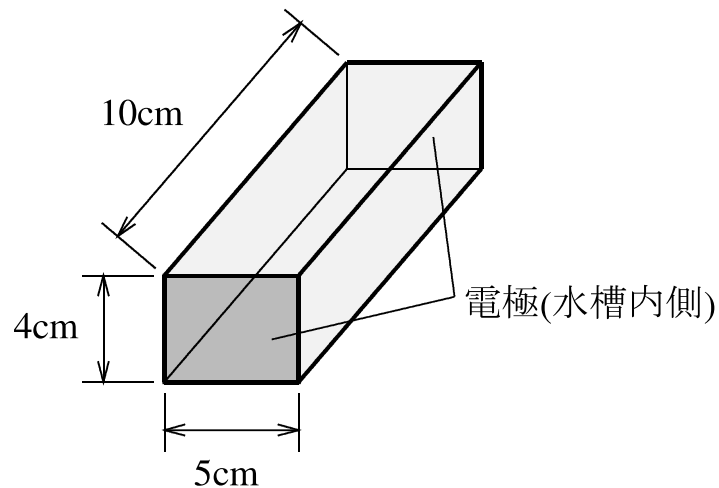
- 抵抗が長ければ長いほど、その抵抗値は大きくなる。
  - 人で考えると、長い道のりは疲れる。短いほうが楽。
- 抵抗の断面積が大きければ大きいほど、その抵抗値は小さくなる。
  - 人で考えると、狭い道は大人数歩けない。広い道は大人数歩ける。
- 抵抗 $R[\Omega]$ 、断面積 $S[\text{m}^2]$ 、長さ $l[\text{m}]$ の関係は次のように表される。
- $R = \rho \frac{l}{S}$
- 定数 $\rho$ を抵抗率という。
  - $\sigma = 1/\rho$ を導電率という。



## 問題解説

【AM23】 図のような水槽に抵抗率  $5\ \Omega\text{ m}$  ( $500\ \Omega\text{ cm}$ ) の溶液が一杯に満たされている。両側面には  $4\text{ cm} \times 5\text{ cm}$  の金属電極が貼り付けてある。電極間の抵抗は何  $\Omega$  になるか。

- (1) 50
- (2) 125
- (3) 200
- (4) 250
- (5) 500



## 問題解説

【AM23】 図のような水槽に抵抗率  $5\ \Omega\text{m}$  ( $500\ \Omega\text{cm}$ ) の溶液が一杯に満たされている。両側面には  $4\text{ cm} \times 5\text{ cm}$  の金属電極が貼り付けてある。電極間の抵抗は何  $\Omega$  になるか。

- (1) 50
- (2) 125
- (3) 200
- ④ 250
- (5) 500

単位に注意しよう！！

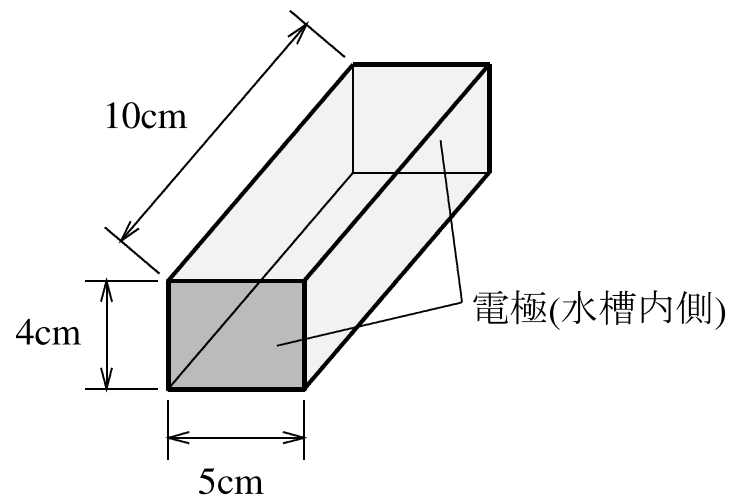
$$\text{公式 } R = \rho \frac{l}{S}$$

単位にcmを使った場合

$$R = 500\ \Omega\text{cm} * 10\text{cm} / (4\text{cm} * 5\text{cm}) = 250\ \Omega$$

単位にmを使った場合

$$R = 5\ \Omega\text{m} * 0.1\text{m} / (0.04\text{m} * 0.05\text{m}) = 250\ \Omega$$

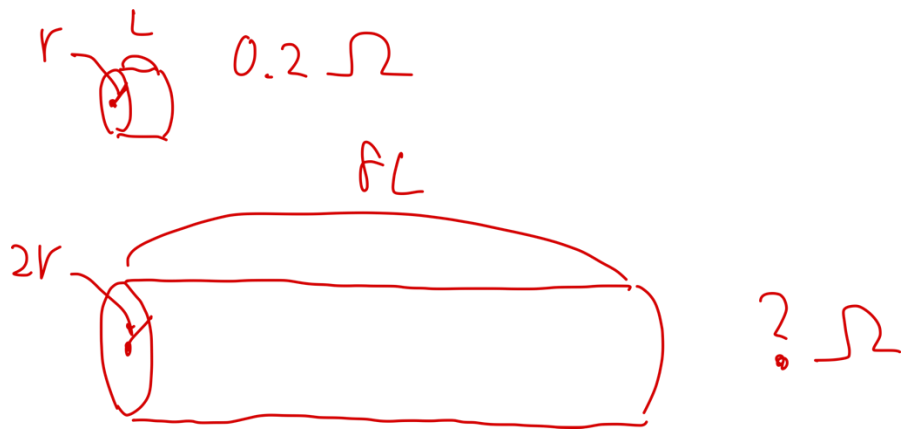




## 問題解説

半径 $r$ [m], 長さ $L$ [m], 電気抵抗 $0.2\Omega$ の導線がある. 同一素材で作られた半径 $2r$ , 長さ $8L$ の導線の電気抵抗 $[\Omega]$ はいくらか. (第38回ME2種)

1. 0.1
2. 0.2
3. 0.4
4. 0.8
5. 1.0



## 問題解説

半径 $r$ [m], 長さ $L$ [m], 電気抵抗 $0.2\Omega$ の導線がある. 同一素材で作られた半径 $2r$ , 長さ $8L$ の導線の電気抵抗 $[\Omega]$ はいくらか. (第38回ME2種)

1. 0.1

2. 0.2

3. 0.4

4. 0.8

5. 1.0

抵抗率を $\rho$ とする.  $S = \pi r^2$ だから電気抵抗は

$$\rho \frac{L}{\pi r^2} = 0.2$$

と書ける.

求める電気抵抗 $R$ は,  $S = \pi(2r)^2 = 4\pi r^2$ だから

$$R = \rho \frac{8L}{4\pi r^2} = 2 \times \rho \frac{l}{\pi r^2} = 2 \times 0.2 = 0.4$$

## ■ 問題

- 直径4mmで長さ1mの金属導体がある. この導体の長さを変えずに直径2mmにしたとき, 抵抗値はもとの何倍か. (臨床工学技士国家試験 32回)

1.  $\frac{1}{4}$

2.  $\frac{1}{2}$

3. 1

4. 2

5. 4

## 問題

- 直径4mmで長さ1mの金属導体がある。この導体の長さを変えずに直径2mmにしたとき、抵抗値はもとの何倍か。（臨床工学技士国家試験32回）

1.  $\frac{1}{4}$

2.  $\frac{1}{2}$

3. 1

4. 2

5. 4

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

元の導体の抵抗は

$$R_1 = \rho \frac{1}{\pi \times (4 \times 10^{-3}/2)^2}$$

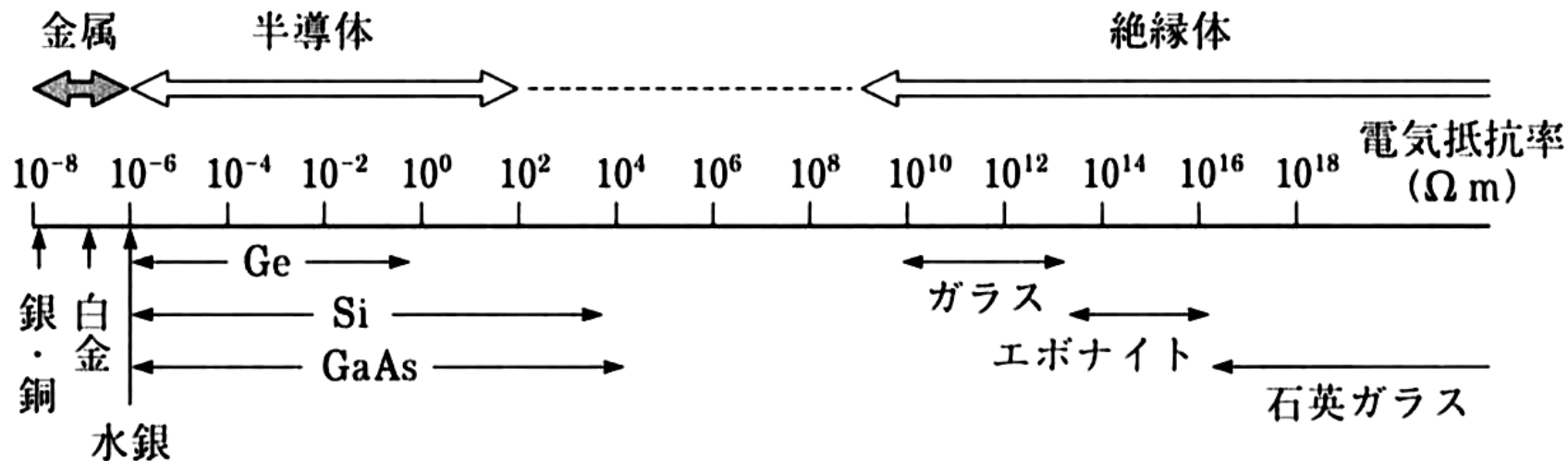
直径を変えた導体の抵抗は

$$R_2 = \rho \frac{1}{\pi \times (2 \times 10^{-3}/2)^2}$$

よって

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\pi \times (4 \times 10^{-3}/2)^2}{\pi \times (2 \times 10^{-3}/2)^2} = \frac{4^2}{2^2} = 4$$

# 物質の抵抗



(豊田, 半導体の科学とその応用)

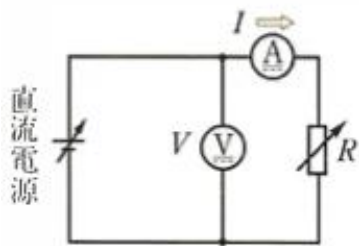
導体 (金属) : 電気を通す  
半導体 : 導体と絶縁体の中間  
絶縁体 : 電気をほとんど通さない

# オームの法則

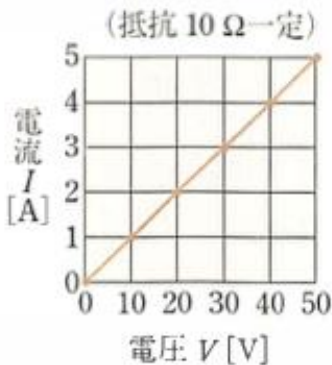
# オームの法則

- 電圧 $V$ は電流 $I$ に対し比例する。比例定数は抵抗 $R$ である。 図は逆に書いてある。
- 電流 $I$ は抵抗 $R$ に対し反比例する。
- これを数式で表すと
- $V = RI$
- これをオームの法則という。

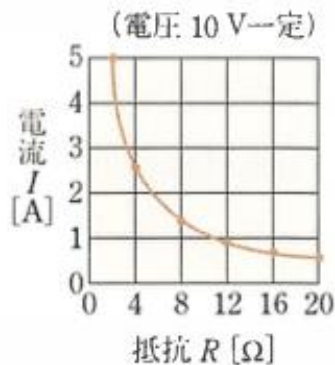
キャベンディッシュがすでに見つけていたのだが…



(a) 測定回路



(b) 電圧と電流の関係



(c) 抵抗と電流の関係

## ■ 問題

---

- $50\ \Omega$  の抵抗に  $100\text{V}$  の電圧を加えると電流はいくら流れるか？



## ■ 問題

- $50\Omega$  の抵抗に  $100V$  の電圧を加えると電流はいくら流れるか？

オームの法則から

$$V = RI$$

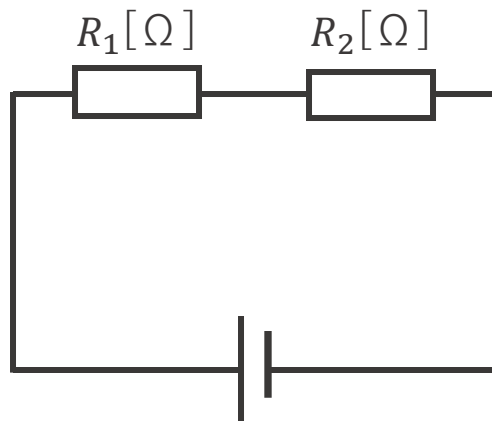
$$100 = 50I$$

$$I = 2A$$

# 抵抗の直列接続

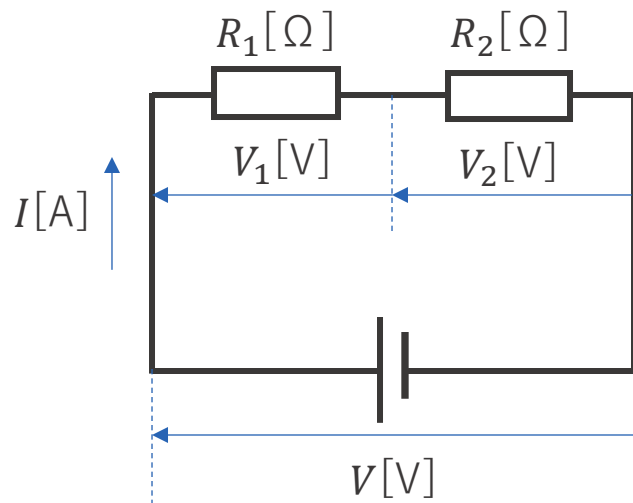
## ■ 抵抗の直列接続

- 図のように抵抗の一端にもう一つの抵抗の一端をつなぐつなぎ方を直列接続という



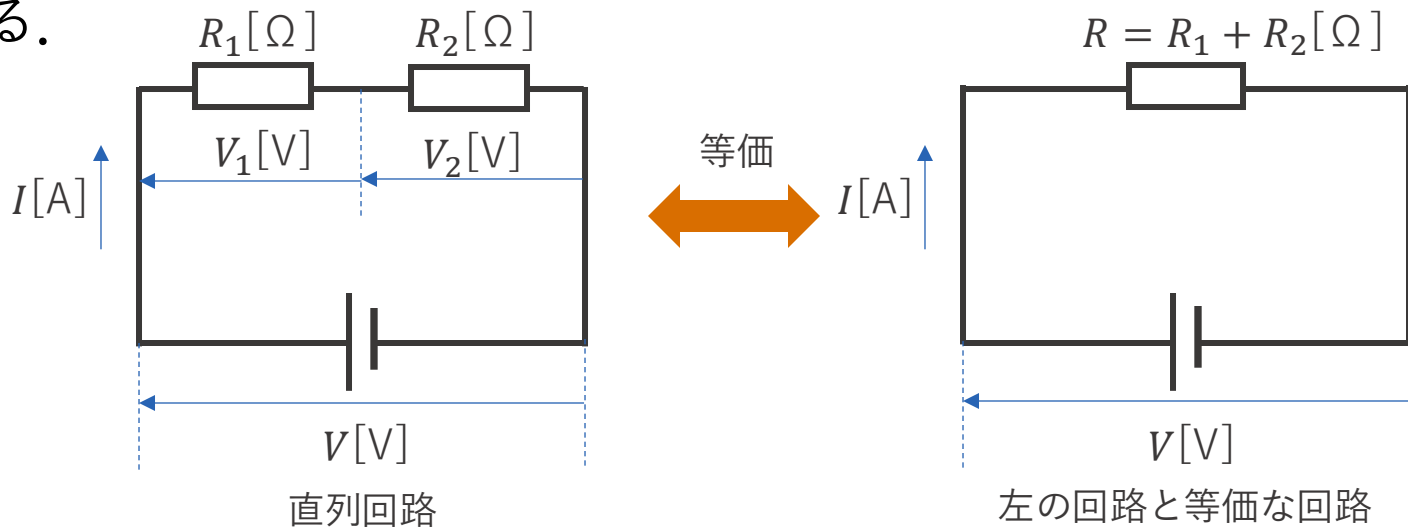
## ■ 抵抗の直列

- 各抵抗に流れる電流は同じである.
- 各抵抗にかかる電圧の総和は電源電圧に等しい.
  - $V = V_1 + V_2$
- 各抵抗にかかる電圧は
  - $V_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V$
  - $V_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V$
- 直列回路の合成抵抗 $R$ は抵抗値の総和
  - $R = R_1 + R_2$



# 合成抵抗

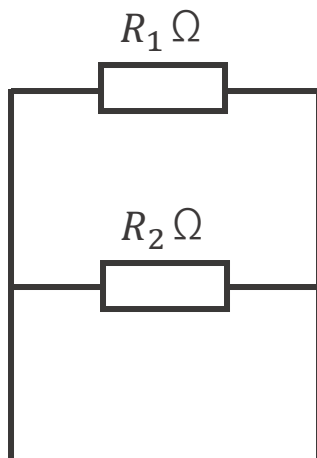
- 複数の抵抗を1つとみなした（抵抗を合成した）ときの抵抗を合成抵抗とよぶ.
- 抵抗 $R_1$ と $R_2$ を直列接続した時の合成抵抗 $R$ は
- $R = R_1 + R_2$
- である.



# 抵抗の並列接続

## ■ 並列回路

- 図のように複数の抵抗の一端を接続し、他端も同様に接続したものを並列接続という.



# ■ 並列回路

- 各抵抗にかかる電圧は等しい。

- $V = I_1 R_1 = I_2 R_2$

- 各抵抗に流れる電流の総和は，並列回路に流れ込む電流に等しい。

- $I = I_1 + I_2$

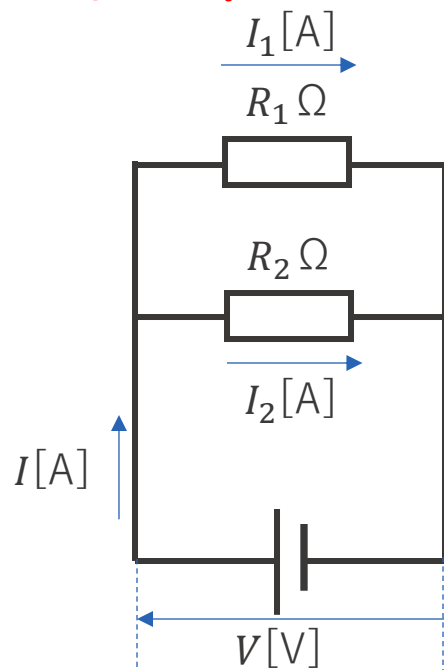
- 各抵抗に流れる電流は

- $I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$

- $I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$

- 並列回路の合成抵抗 $R$ の逆数は抵抗値の逆数の和

- $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$



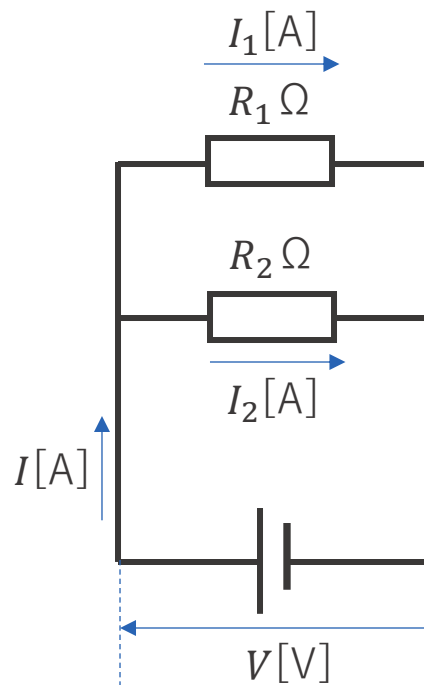


## ■ 並列回路の合成抵抗

$$I = I_1 + I_2 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} = V \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

並列回路の合成抵抗の逆数とみなせる

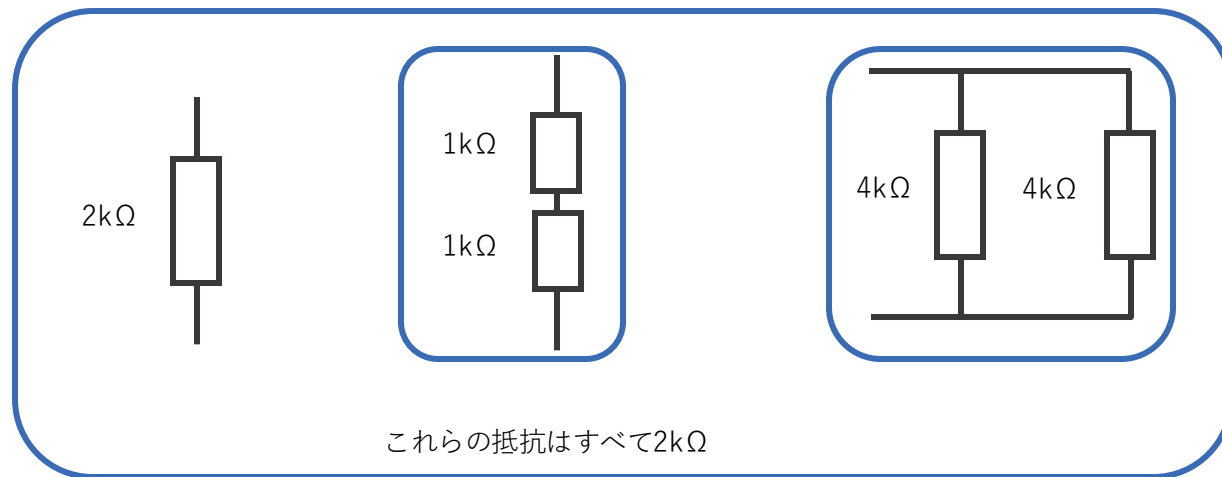
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$



等価回路

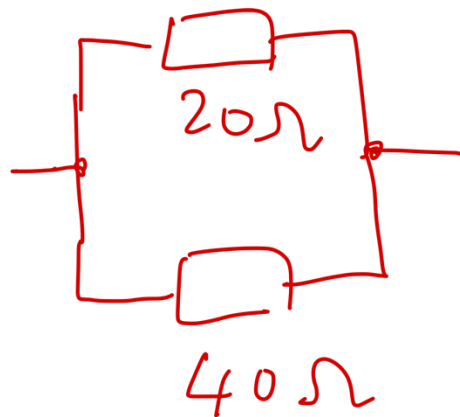
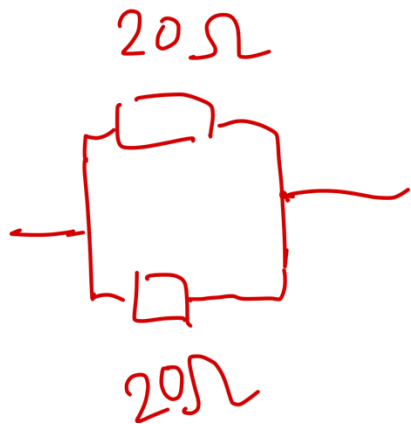
## ■ 等価回路

- 実際の回路は異なっているが、外から見て同じ働きをする回路のことを等価回路という。



## 問題

- $20\ \Omega$  の抵抗を2つ並列に接続した回路の合成抵抗はいくらか.
- $20\ \Omega$  と  $40\ \Omega$  の抵抗を並列に接続すると、その合成抵抗はいくらか.



## ■ 問題

- $20\Omega$  の抵抗を2つ並列に接続した回路の合成抵抗はいくらか.

- $\frac{1}{R} = \frac{1}{20} + \frac{1}{20} = \frac{2}{20} = \frac{1}{10}$

- 合成抵抗は $10\Omega$

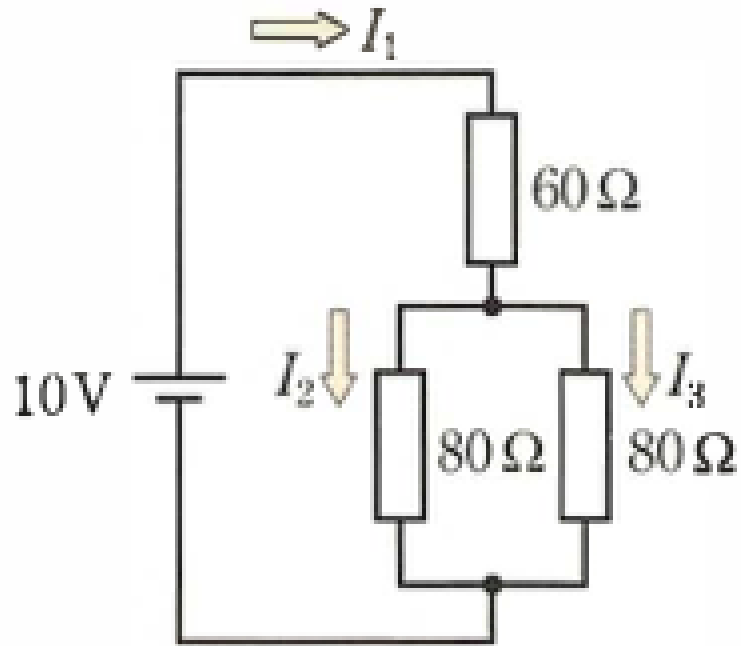
- $20\Omega$  と  $40\Omega$  の抵抗を並列に接続すると, その合成抵抗はいくらか.

- $\frac{1}{R} = \frac{1}{20} + \frac{1}{40} = \frac{2+1}{40} = \frac{3}{40}$

- 合成抵抗は  $40/3 \cong 13.3\Omega$

## 問題

- この直並列回路の合成抵抗を求めよ.
- 電流 $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ を求めよ.



## 問題

1. この直並列回路の合成抵抗を求めよ.
2. 電流 $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ を求めよ.

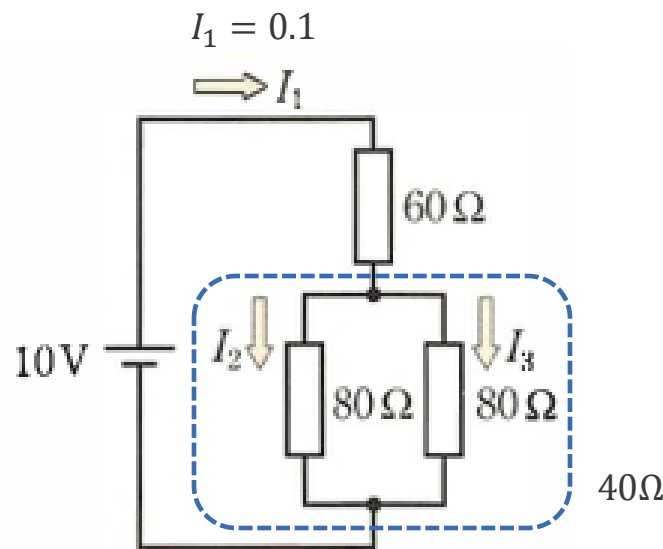
1. 並列回路の合成抵抗は $40\Omega$ .  
よって直並列回路の合成抵抗は $60+40=100\Omega$

2. オームの法則より

$$I_1 = \frac{10}{100} = 0.1\text{A}$$

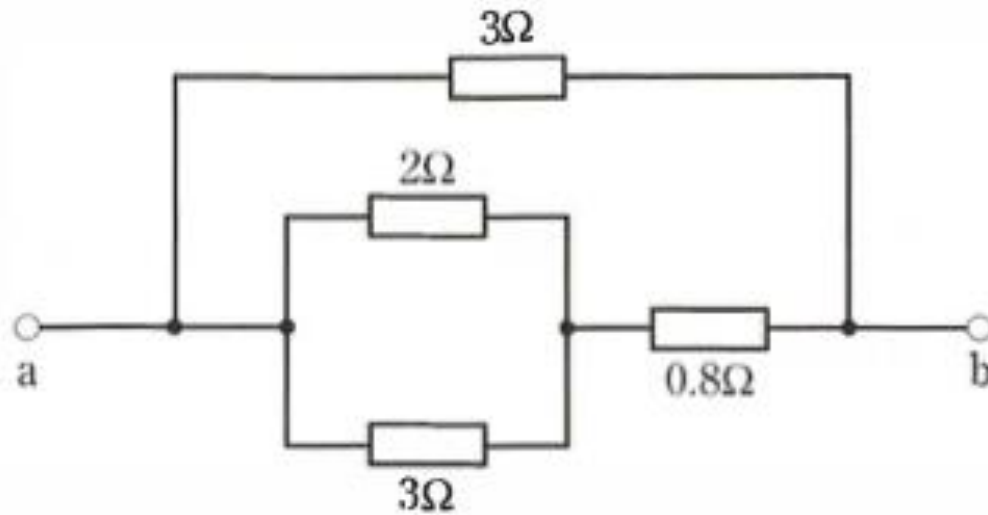
並列回路は同じ抵抗なので, 同じ電流が流れる.  
よって

$$I_2 = I_3 = \frac{0.1}{2} = 0.05\text{A}$$



## 問題

- a-b間の合成抵抗を求めよ





## 問題

- a-b間の合成抵抗を求めよ

- ①  $2\Omega$  と  $3\Omega$  の並列回路の合成抵抗は

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} = \frac{5}{6}$$

より  $1.2\Omega$

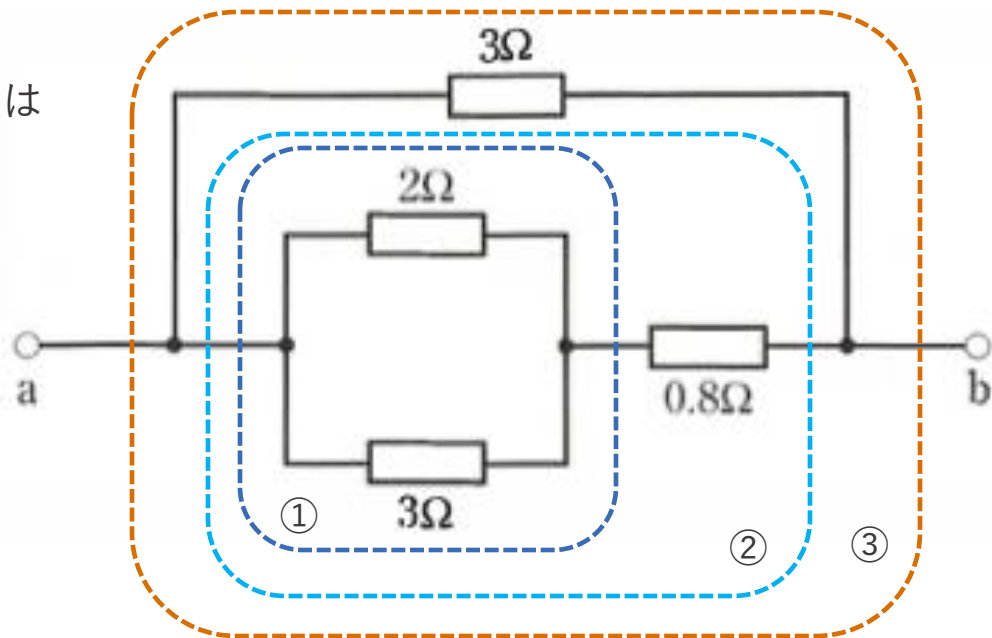
- ②  $2\Omega$  と  $3\Omega$  の並列回路と  $0.8\Omega$  の合成抵抗は

$$1.2 + 0.8 = 2$$

- ③ よって ab間の合成抵抗は

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{3} + \frac{1}{2} = \frac{5}{6}$$

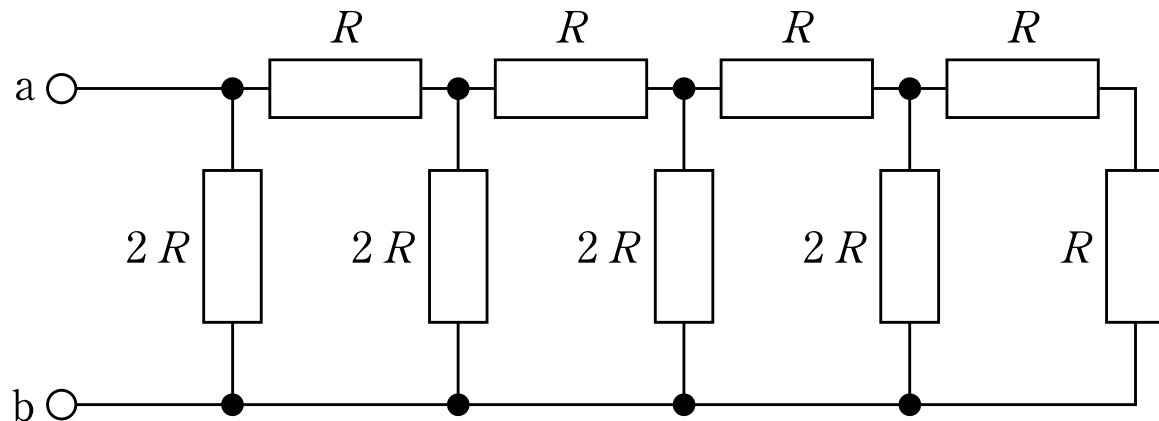
つまり  $1.2\Omega$



## 問題

- 図の回路で端子 ab 間の合成抵抗はどれか。(臨床工学技士国家試験29回)

1.  $\frac{1}{3}R$
2.  $\frac{1}{2}R$
3.  $R$
4.  $2R$
5.  $3R$



## 問題

- 図の回路で端子 ab 間の合成抵抗はどれか。（臨床工学技士国家試験29回）

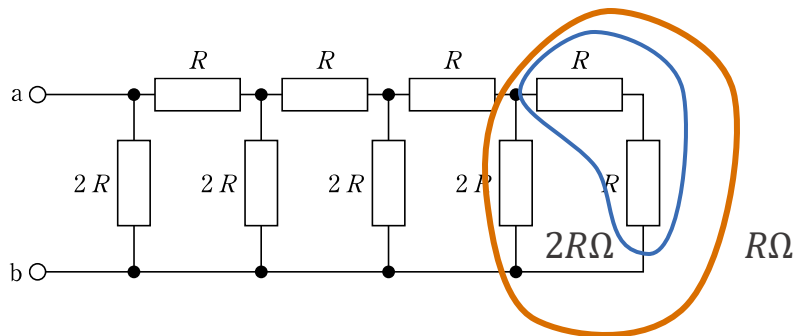
1.  $\frac{1}{3}R$

2.  $\frac{1}{2}R$

3.  $R$

4.  $2R$

5.  $3R$

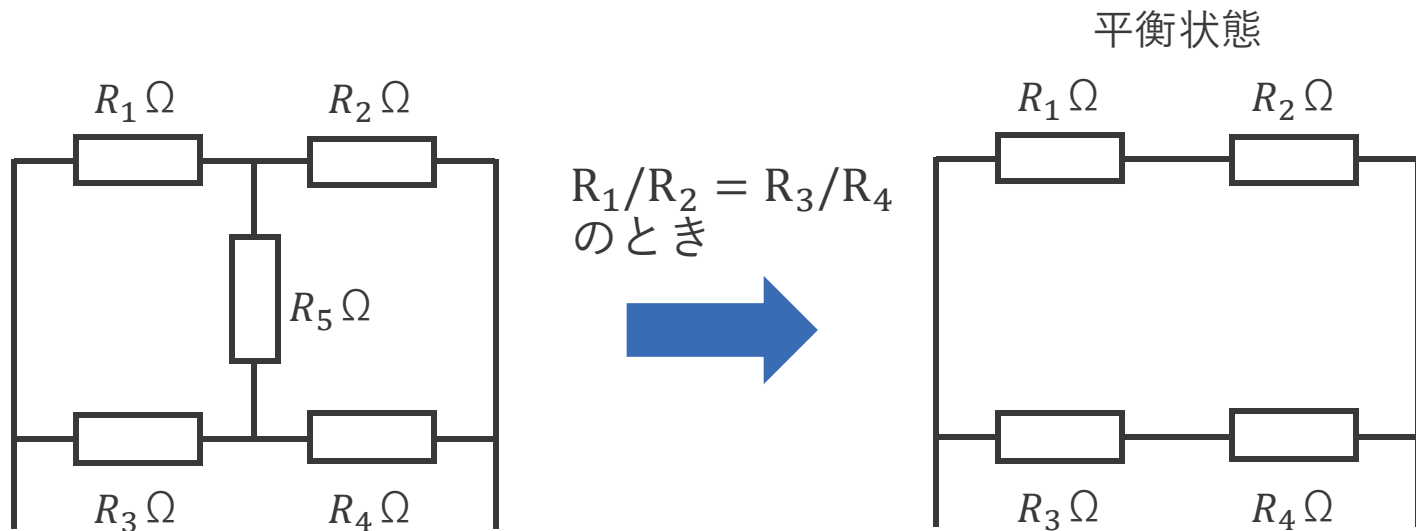


青い線で囲まれた直列回路の合成抵抗は $2R\Omega$ である。よって赤い線で囲まれた並列回路の合成抵抗は $R\Omega$ となる。  
このように右端から順番に合成抵抗の計算をしていくと、この回路の合成抵抗は $R\Omega$ となる。

# ブリッジ回路

## ■ ブリッジ回路

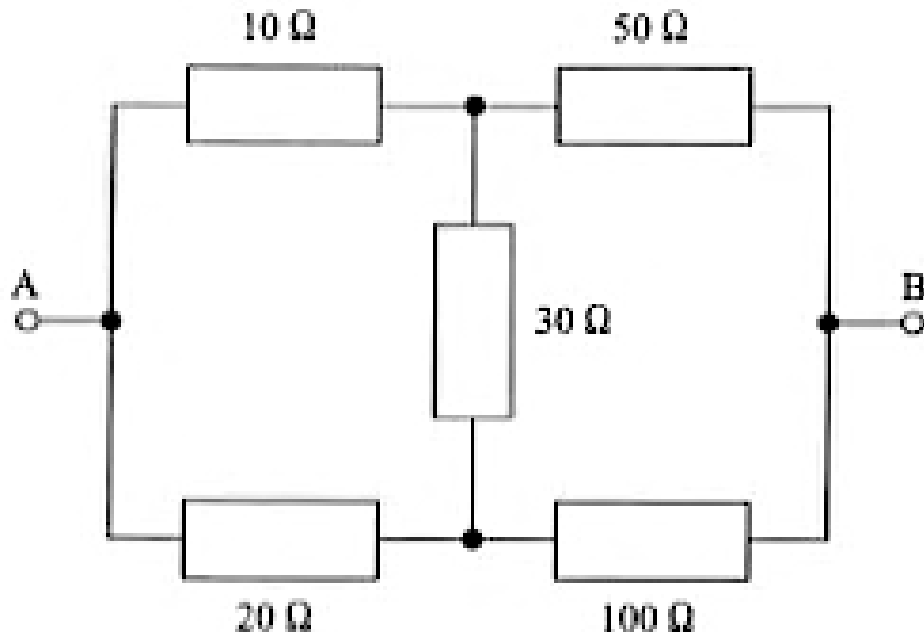
- 左図の回路をブリッジ回路と言う.
- $R_1/R_2 = R_3/R_4$  のときブリッジ回路は平衡状態となる.
- このとき,  $R_5$  を流れる電流は0である.
- つまり  $R_5$  は無視できる (**開放とみなせる**) .



## 問題解説

- 図の回路の端子A, B間の合成抵抗は何 $\Omega$ か。(第39回ME2種)

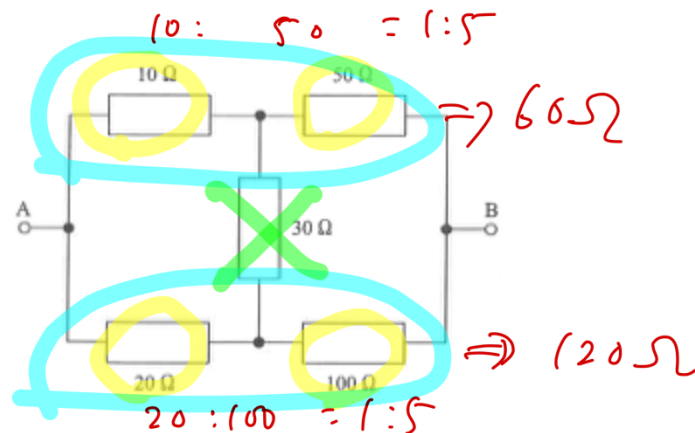
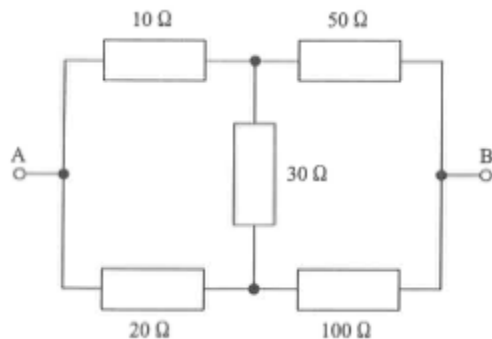
1. 10
2. 20
3. 30
4. 40
5. 50



## 問題解説

• 図の回路の端子A, B間の合成抵抗は何Ωか。(第39回ME2種)

1. 10
2. 20
3. 30
4. 40
5. 50



このブリッジ回路は平衡状態であるので、抵抗値から30Ωの抵抗には電流は流れない。  
つまり30Ωの抵抗は無視できる。  
よって合成抵抗は

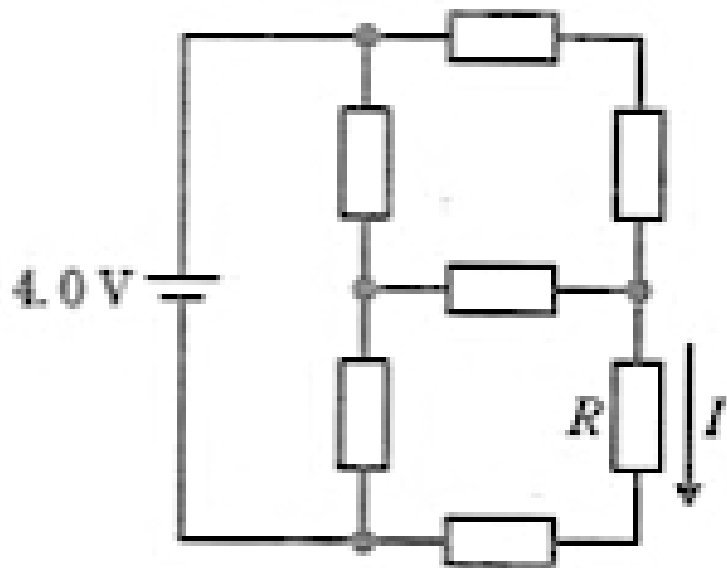
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{10 + 50} + \frac{1}{20 + 100} = \frac{1}{60} + \frac{1}{120} = \frac{3}{120} = \frac{1}{40}$$

より40Ωである。

## 問題

- 図の回路で抵抗に流れる電流 $I$ [A]はどれか。ただし、電池の起電力は $4.0\text{V}$ 、抵抗はすべて $1.0\Omega$ とする。（臨床工学技士国家試験35）

1.  $1.0$
2.  $2.0$
3.  $3.0$
4.  $4.0$
5.  $5.0$





## 問題

- 図の回路で抵抗に流れる電流 $I$ [A]はどれか。ただし、電池の起電力は4.0V、抵抗はすべて $1.0\Omega$ とする。(臨床工学技士国家試験35)

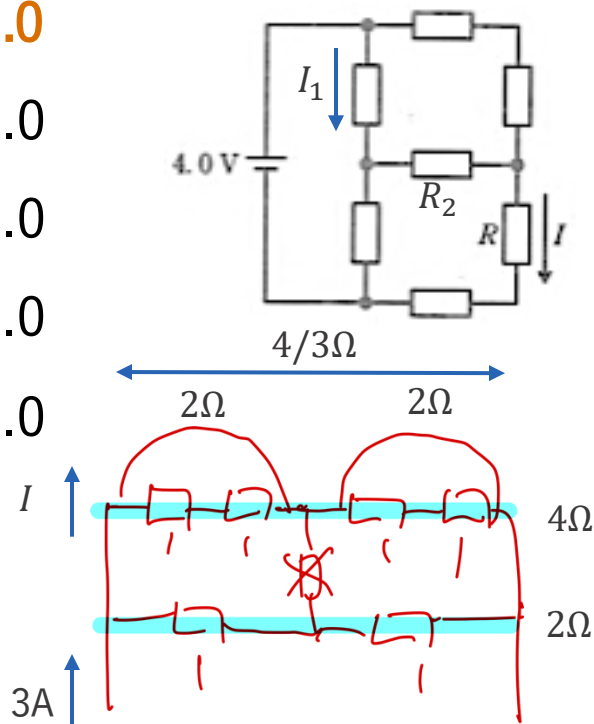
1. 1.0

2. 2.0

3. 3.0

4. 4.0

5. 5.0



抵抗値を見ると、このブリッジ回路は平衡状態であることが分かる。つまり $R_2$ は無視できる。

よって回路の合成抵抗は、

$$\frac{1}{4} + \frac{1}{2} = \frac{3}{4}$$

から $4/3\Omega$ である。よって、回路を流れる電流は

$$4.0 \div \left(\frac{4}{3}\right) = 4 \times \frac{3}{4} = 3.0\text{A}$$

$R_2$ を無視できるため、並列回路とみなすことができる。つまり、電流 $I$ と $I_1$ の比は抵抗値の逆比に等しいので

$$I:I_1 = 2:4$$

よって電流 $I$ は

$$I = 3.0 \times \frac{2}{6} = 1.0\text{A}$$

である。

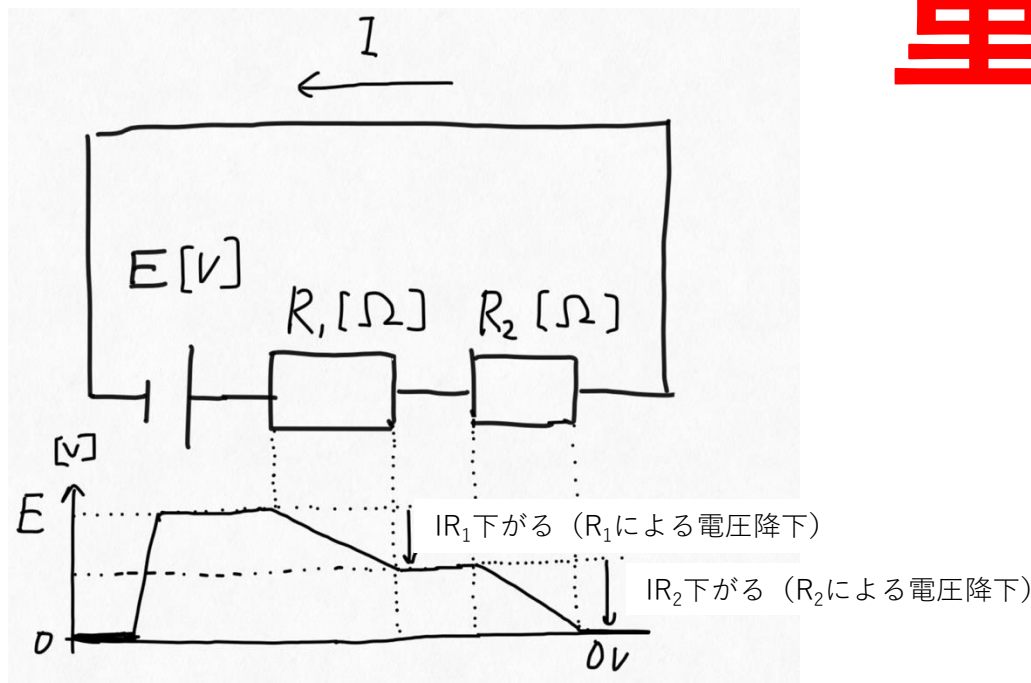
電圧降下

電気電子回路で最も重要!!

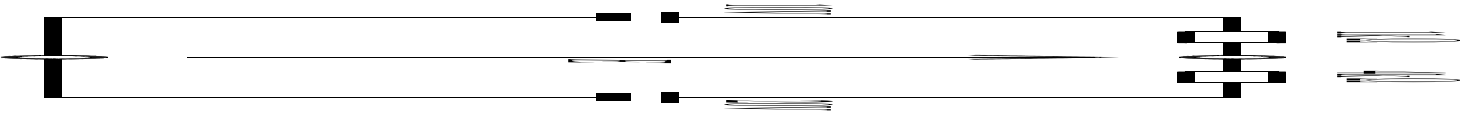
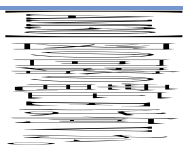
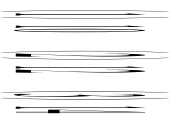
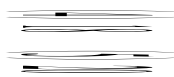
## ■ 電圧降下

- 回路を一周すると各抵抗の**電圧降下**により電圧は下がっていき、最終的に0となる.
- 各抵抗に電圧が分かれることを**分圧**という.

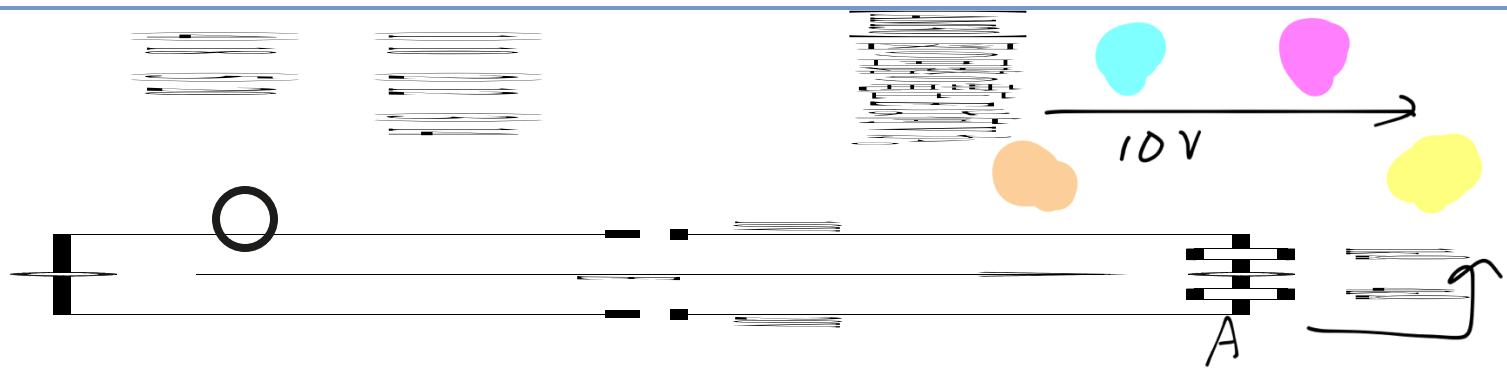
重要!!



# ■ 問題解説

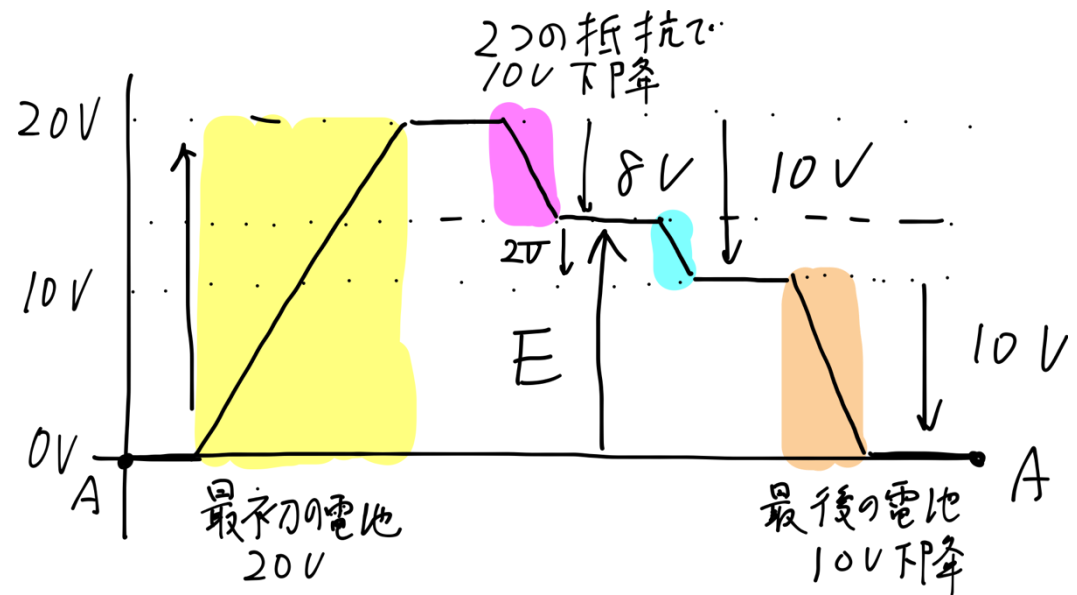


# 問題解説



Aから時計と逆周りに電圧の変化を試みる。そうすると、1つ目の電源で20V上昇し、2つ目の電源で10V下がっている。回路を一周しAに戻るとき電圧は0Vとならなければならないので、2つの抵抗で10V電圧が下がる必要がある。

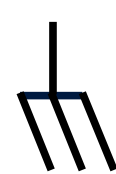
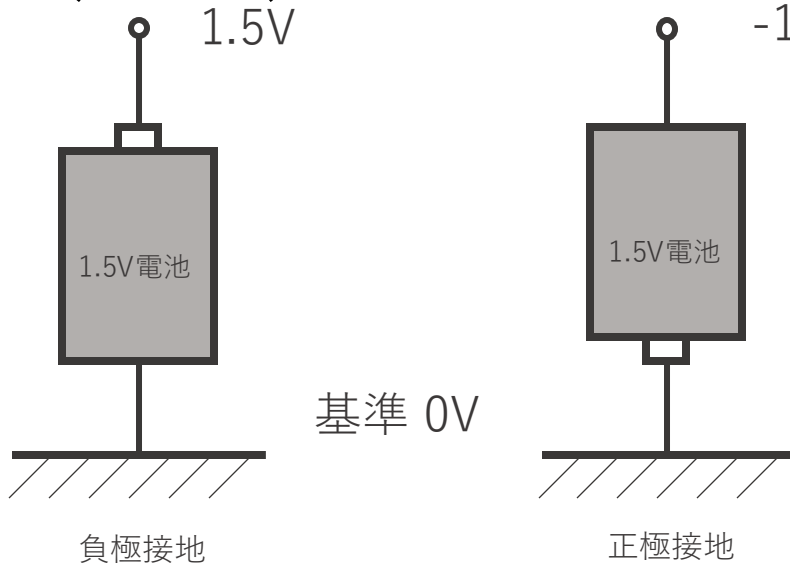
また、Eは1つ目の電源の電圧から4kΩの抵抗の電圧降下分を引いた値になる。4kΩの抵抗に加わる電圧は、  
 $10 \times 4 / 5 = 8V$   
となるため、Eは12Vである。



グランド

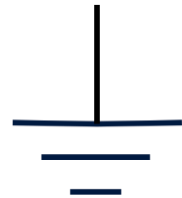
# ■ グランド（GND）， 接地（アース）

- ・ グランド：電位基準（0V）
- ・ 接地：地面に接続すること．地球は巨大な導体としてみなせるため，電荷与えても電位変化はないと考える．そのため，大地に接続した点を基準（0ボルト）とする．



GND

電位基準



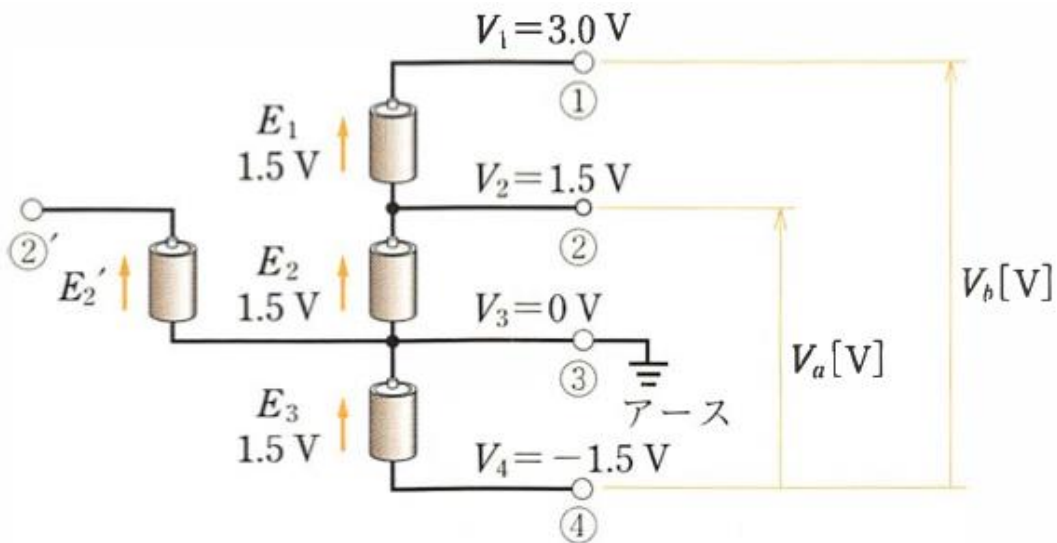
接地，アース

大地に接続  
電位基準

これらの記号とつながっている場所は電圧0Vである．

## 問題

- 図において、電圧 $V_a$ 、 $V_b$ を求めよ。
- また、点①と点②'が等電位であるとすれば、起電力 $E_2'$ はいくらか。

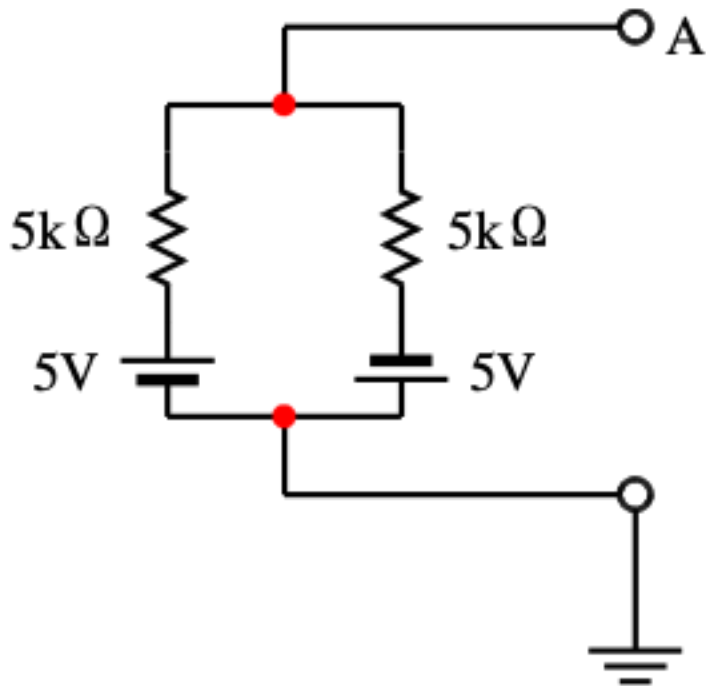




### 第27回 (2005)

【AM21】 図の直流回路で、A 点の電位は何 V か。

- (1)  $-5$
- (2)  $-2.5$
- (3)  $0$
- (4)  $2.5$
- (5)  $5$



## 問題解説

### 第27回(2005)

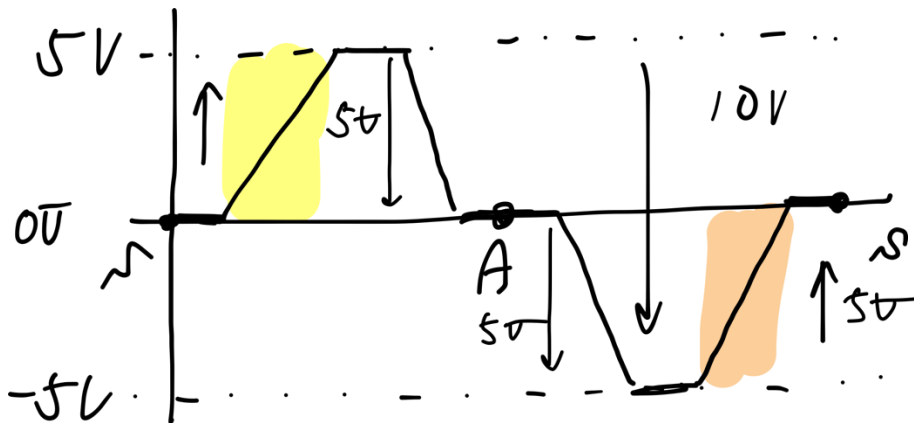
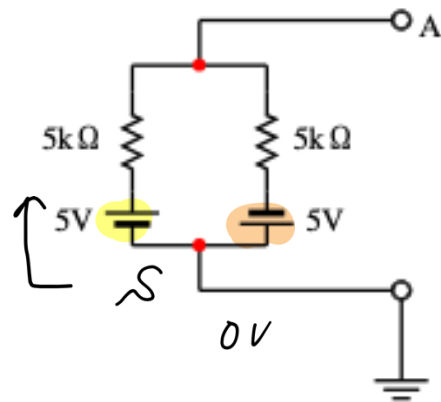
【AM21】 図の直流回路で、A 点の電位は何 V か。

- (1)  $-5$
- (2)  $-2.5$
- (3)  $0$**
- (4)  $2.5$
- (5)  $5$

まず点Sの電圧は接地されているので0Vとする。

点Sから時計回りに電圧の変化を見てみる。そうすると、1つ目の電源で5Vと上がり更に、2つ目の電源で5Vと上がることが見て取れる。そのため、2つの抵抗で10Vの電圧降下が起こらなければ点Sの電圧が0に戻らない。2つの抵抗の抵抗値は等しいため、それぞれの抵抗で同じ電圧降下が起こる。つまり、一つの抵抗で5Vの電圧降下が起こる。

よって、最初の電圧で5Vの電圧が上昇し、最初の抵抗で5V電圧が下がるので、点Aの電圧は0Vである。



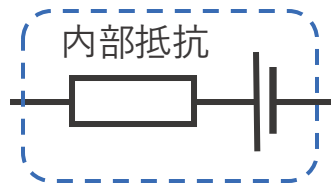
**内部抵抗**

## ■ 電源の内部抵抗

- 理想的な電源の抵抗値は0である.
- 現実の電源の抵抗値は 0 ではない（内部抵抗）.
  - 実際は内部抵抗があり電源内部で電圧降下が起こる.
- 計算するときは、電源を、右図のように理想的な電源と内部抵抗の2つに分け、それらを直列につないだものとして考える.



理想的な電源



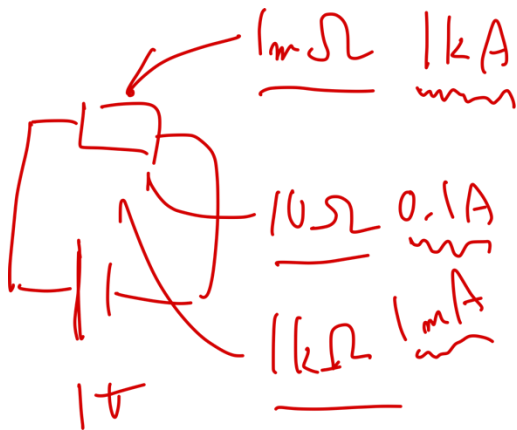
実際の電源

# なぜ内部抵抗を考えるのか

- 理想的な電源の抵抗値は0である。
  - 理想的な電源は電流を無限に供給できる。
- 現実の電源の抵抗値は0ではない。
  - 現実の電源は電流を無限に供給できない。それを内部抵抗で表現する。

左以外の解釈

バッテリーの電圧が下がる現象を内部抵抗が増えていく現象と捉えることができる。



現実の電源はこんなに電流を流せない、

現実の電源でもこの電流なら流せる。

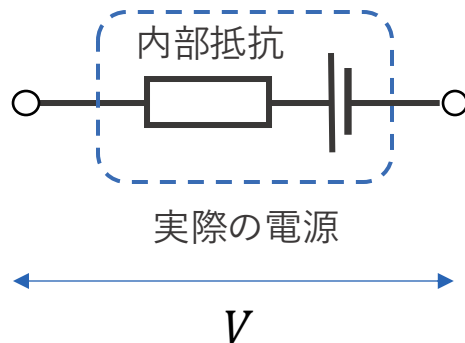


1Aまで流せる電源なら内部抵抗を $1\Omega$ とすれば辻褄が合う。

電源の内部抵抗は、講義後半で出てくる出力インピーダンスのことである。

## ■ 開放電圧

- 内部抵抗 $r$ ，起電力 $E$ の電源があるとする.
- この両端電圧 $V$ を計測する.
- このとき， $V = E$ となる．この $V$ を開放電圧と呼ぶ.
  - 開放のとき，電源に抵抗無限大の負荷抵抗がつながっていると考えられる．分圧を考えれば，起電力のすべてが負荷抵抗にかかることになる．つまり，開放電圧は起電力となる．



## 問題

- 図1の回路における端子電圧  $V$  と電流  $I$  の関係を図2に示す。この電池の両端子を短絡したとき(負荷抵抗 = 0)、電流  $I$  [A] はどれか。ただし、図1の点線内は電池の等価回路である。(臨床工学技士国家試験29回)

- 0
- 1.5
- 2.0
- 3.0
- 6.0

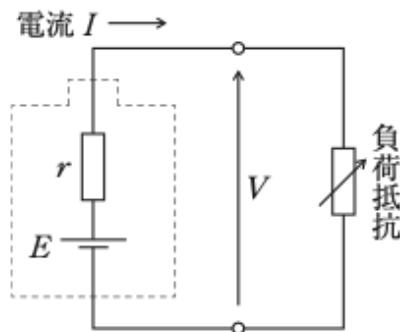
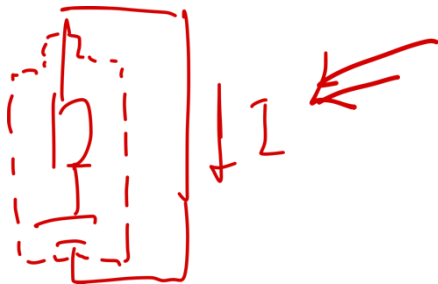


図1

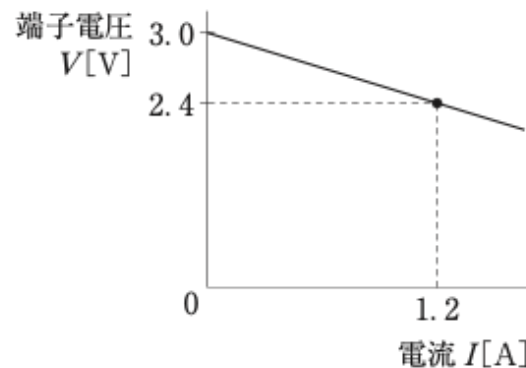


図2

# 問題

- 図1の回路における端子電圧  $V$  と電流  $I$  の関係を図2に示す。この電池の両端子を短絡したとき(負荷抵抗=0)、電流  $I$  [A]はどれか。ただし、図1の点線内は電池の等価回路である。(臨床工学技士国家試験29回)

- 0
- 1.5
- 2.0
- 3.0
- 6.0**

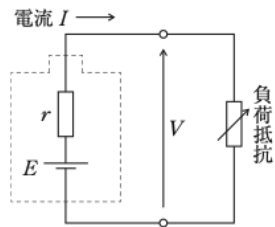


図1

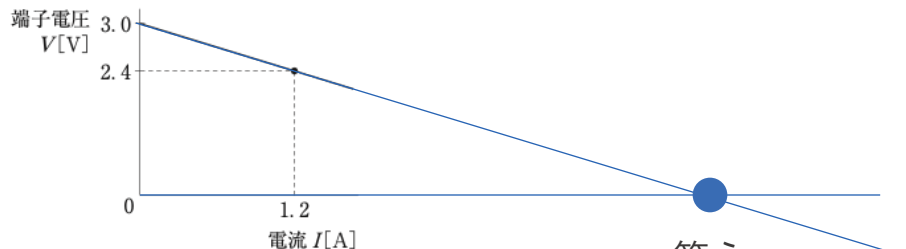


図2

短絡するとは、負荷抵抗が0にすることである。このとき、内部抵抗に電圧  $E$  がかかる。そのため、両端電圧  $V$  は0となる。 $V = 0$ ，すなわち直線と  $I$  軸が交わるときの  $I$  が答えとなる。直線の式は  $V = aI + b$  なのでグラフ上の点を代入すると

$$a = -0.5 \quad b = 3$$

となる。よって  $V = 0$  のときの  $I$  は

$$0.5I = 3$$

$$I = 6$$



# 問題

- 図1の回路における端子電圧  $V$  と電流  $I$  の関係を図2に示す。この電池の両端子を短絡したとき(負荷抵抗=0)、電流  $I$  [A] はどれか。ただし、図1の点線内は電池の等価回路である。(臨床工学技士国家試験29回)

- 0
- 1.5
- 2.0
- 3.0
- 6.0**

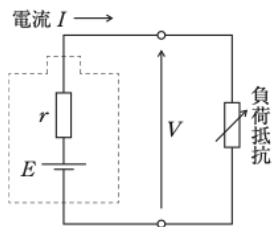


図1

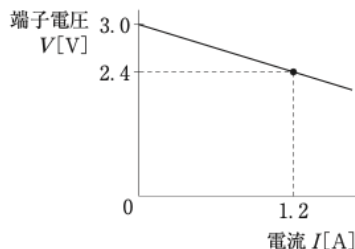
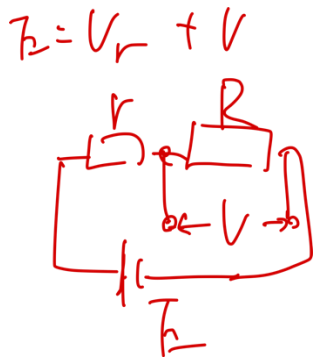


図2

別解

負荷抵抗を  $R$  とする。電源電圧と各抵抗にかかる電圧は等しいので

$$E = Ir + IR$$

端子電圧  $V$  は負荷抵抗にかかる電圧と同じなので

$$V = IR$$

である。よって  $V$  と  $I$  の関係は

$$E = Ir + V$$

となる。  $I = 0$  のとき  $V = 3$  なので

$$E = 3$$

$I = 1.2$  のとき  $V = 2.4$  なので

$$3 = 1.2r + 2.4$$

$$1.2r = 0.6$$

$$r = 0.5$$

よって、最初の式は

$$0.5I + IR = 3$$

端子を短絡した場合  $R = 0$  なので

$$0.5I = 3$$

$$I = 6$$

# 電池の内部抵抗のまとめ

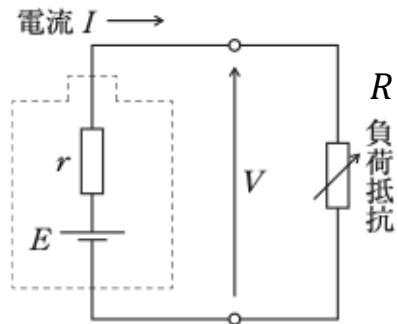


図1

$I = 0$ のときの電圧 $V$ が電源電圧 $E$

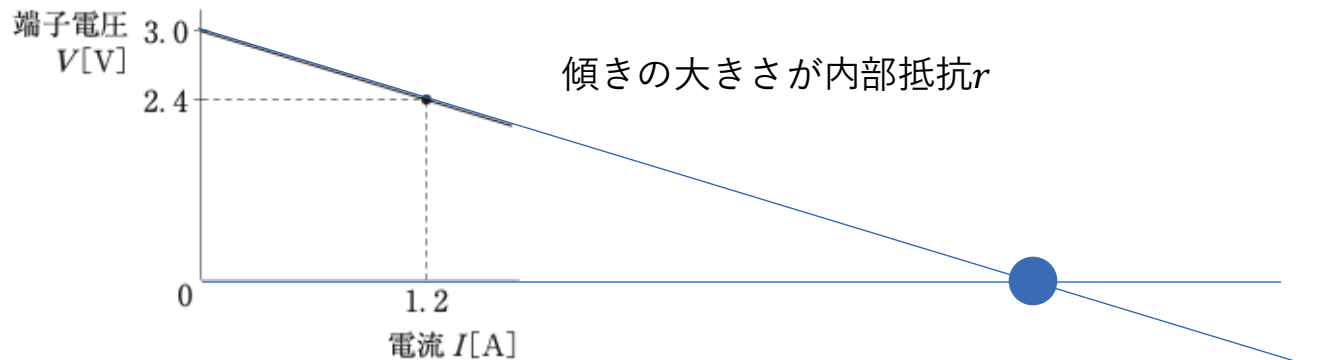


図2

$V = 0$ のときの電流 $I$ が負荷抵抗 $R = 0$ のときの電流

オームの法則より $V = IR$

負荷抵抗にかかる電圧は $V = \frac{R}{R+r} E$

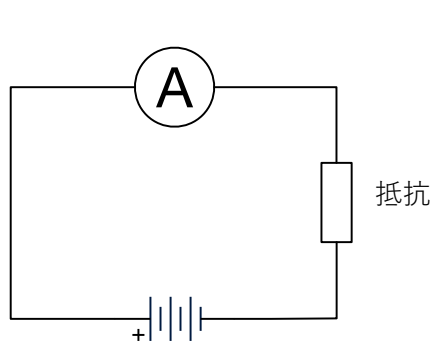
よって負荷抵抗は $R = \frac{rV}{E-V}$

これをオームの法則に代入すると $V = I \times \frac{rV}{E-V}$

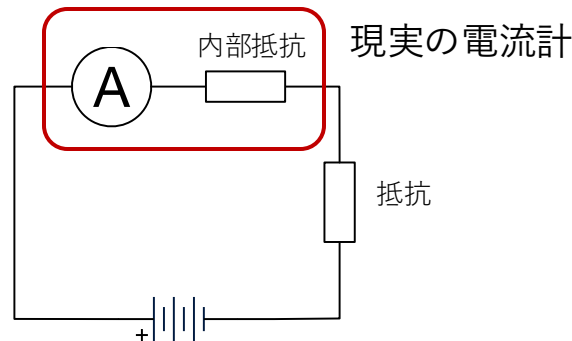
よって、 $V = E - rI$

## ■ 電流計の内部抵抗

- 理想的な電流計の抵抗値は0.
- 実際の電流計の抵抗値は0ではない（内部抵抗）.
  - 左図のような接続をした場合，電流計で電圧降下が起こる.
- 計算するときは，電流計を，右図のように理想的な電流計と内部抵抗の2つに分け，それらを直列につないだものとして考える.



電流計でわずかに電圧が下がる.

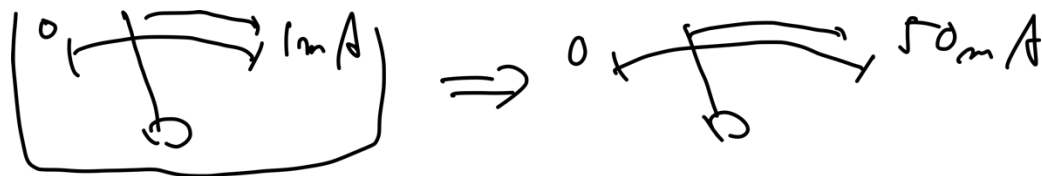


電流計内部に抵抗があるため電圧が下がると考える.

## 問題解説（分流器）

- フルスケール1mA、内部抵抗4.9Ωの電流計を使って50mAまでの電流を測定したい。正しいのはどれか。

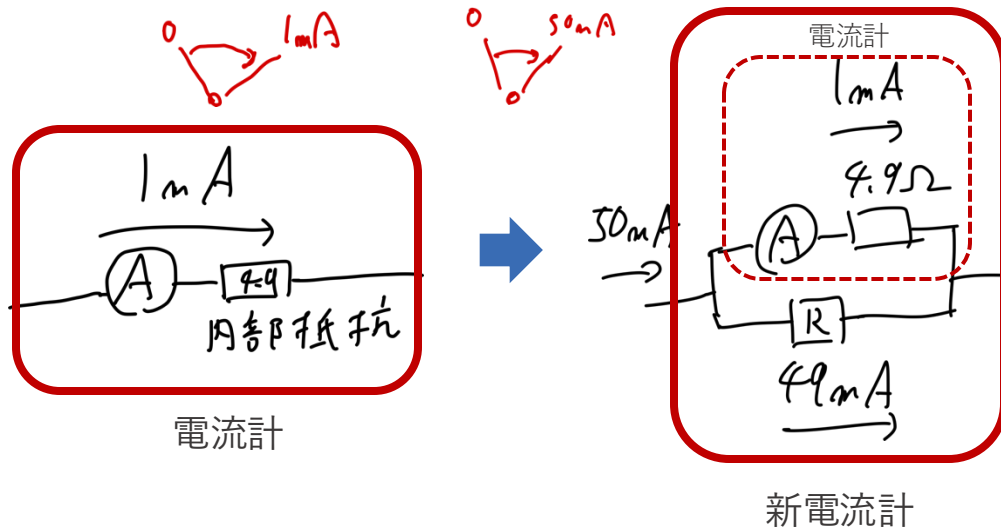
- 1.00Ωの抵抗を電流計に直列に接続する。
- 0.49Ωの抵抗を電流計に並列に接続する。
- 0.10Ωの抵抗を電流計に直列に接続する。
- 1.00Ωの抵抗を電流計に並列に接続する。
- 0.10Ωの抵抗を電流計に並列に接続する。



## 問題解説（分流器）

- フルスケール1mA、内部抵抗4.9Ωの電流計を使って50mAまでの電流を測定したい。正しいのはどれか。

- 1.00Ωの抵抗を電流計に直列に接続する。
- 0.49Ωの抵抗を電流計に並列に接続する。
- 0.10Ωの抵抗を電流計に直列に接続する。
- 1.00Ωの抵抗を電流計に並列に接続する。
- 5. 0.10Ωの抵抗を電流計に並列に接続する。**



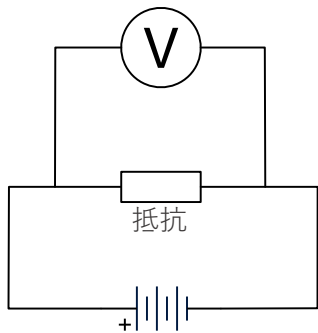
この問題の電流計だけでは1mAまでしか流せない。50mAの電流を計測したければ、電流計に抵抗を並列に抵抗Rを加え、電流計に1mA、抵抗Rに残りの49mA流せばよい。並列回路なので、電流計と抵抗Rには等しい電圧が加わる。つまり、次の式が成り立つ。

$$1\text{mA} \times 4.9\Omega = 49\text{mA} \times R$$

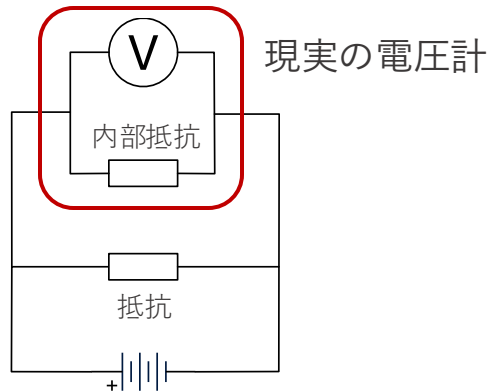
よって、 $R=0.1\Omega$ である。

# 電圧計の内部抵抗

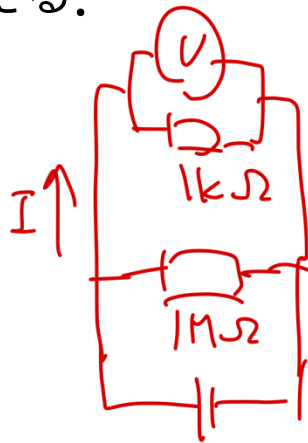
- 理想的な電圧計の抵抗値は無限大。
- 実際の電圧計の抵抗値は無限大ではない（内部抵抗）。
  - 左図のような接続をした場合，電圧計にも電流が流れる。
- 計算するときは，電圧計を，右図のように理想的な電圧計と内部抵抗の2つに分け，それらを並列につないだものとして考える。



電圧計にわずかに電流が流れる。



電圧計内部に抵抗があるため，電圧計に電流が流れると考える。



もし，計測対象の抵抗が大きかった場合，電流の多くが内部抵抗に流れるかもしれない。

## 問題解説（倍率器）

- フルスケール1V、内部抵抗 $1\text{k}\Omega$ の電圧計を使ってフルスケール10Vの電圧計としたい。正しいのはどれか。（第41回ME2種）

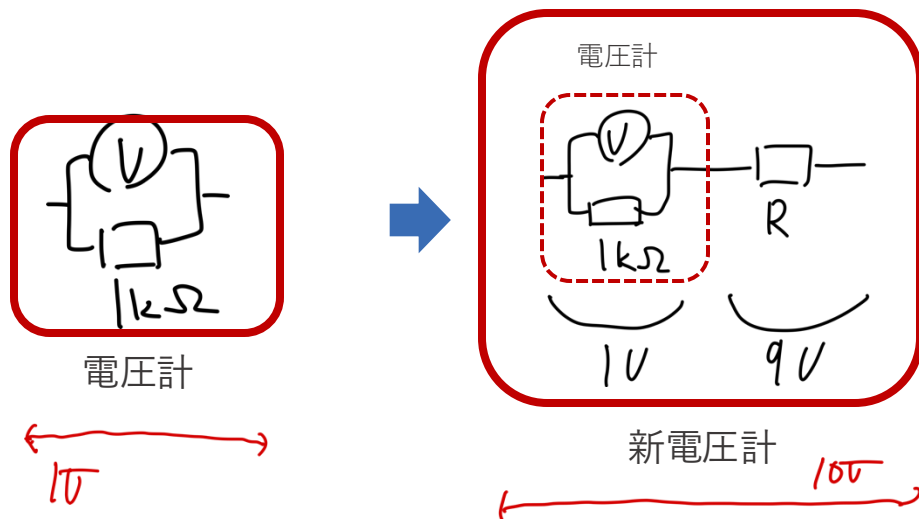
1.  $9\text{k}\Omega$ の抵抗を電圧計に並列に接続する。
2.  $9\text{k}\Omega$ の抵抗を電圧計に直列に接続する。
3.  $10\text{k}\Omega$ の抵抗を電圧計に並列に接続する。
4.  $11\text{k}\Omega$ の抵抗を電圧計に直列に接続する。
5.  $11\text{k}\Omega$ の抵抗を電圧計に並列に接続する。



## 問題解説（倍率器）

- フルスケール1V、内部抵抗1k $\Omega$ の直列電圧計を使ってフルスケール10Vの電圧計としたい。正しいのはどれか。

- 9k $\Omega$ の抵抗を電圧計に並列に接続する。
- 9k $\Omega$ の抵抗を電圧計に直列に接続する。**
- 10k $\Omega$ の抵抗を電圧計に並列に接続する。
- 11k $\Omega$ の抵抗を電圧計に直列に接続する。
- 11k $\Omega$ の抵抗を電圧計に並列に接続する。



この問題の電圧計には1Vまでしか加えることができない。10Vの電圧を計測したければ、直列に抵抗Rを加え、10Vを電圧計で1V、抵抗で9Vに分圧すれば良い。電圧計と抵抗Rには等しい電流が流れるので、次の式が成り立つ。

$$1V/1k\Omega = 9V/R$$

よって、 $R=9k\Omega$ となる。

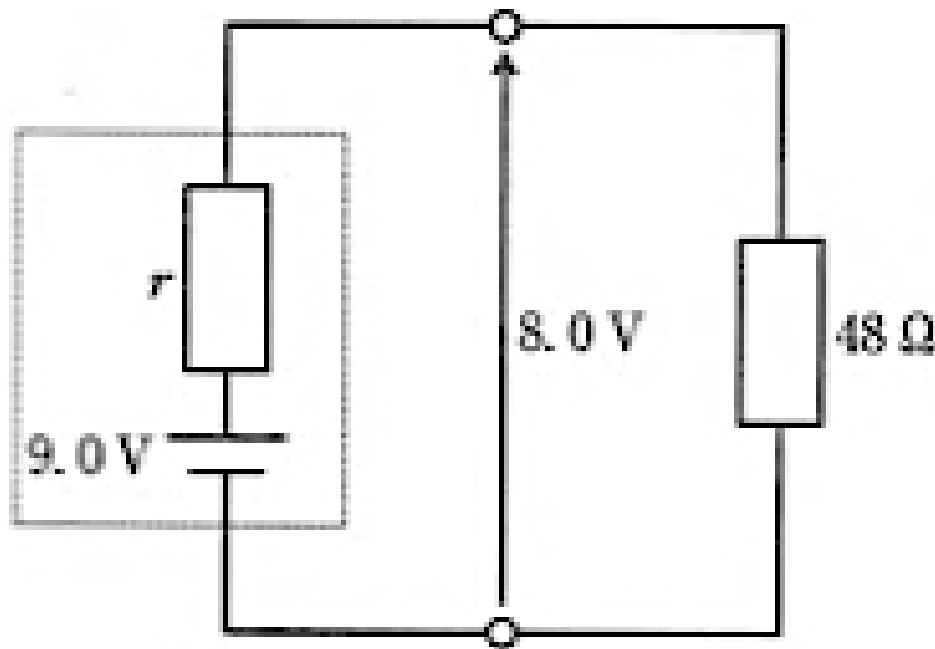




## 問題

- 図は内部抵抗 $r$ ，起電力 $9.0\text{V}$ の電池に， $48\Omega$ の負荷抵抗を接続した回路である．抵抗の端子間電圧が $8.0\text{V}$ のとき，内部抵抗 $r[\Omega]$ はどれか．  
(臨床工学技士国家試験35)

1. 1.0
2. 2.0
3. 3.5
4. 5.0
5. 6.0



## 問題

- 図は内部抵抗 $r$ ，起電力 $9.0\text{V}$ の電池に， $48\Omega$ の負荷抵抗を接続した回路である．抵抗の端子間電圧が $8.0\text{V}$ のとき，内部抵抗 $r[\Omega]$ はどれか．  
(臨床工学技士国家試験35)

1. 1.0

2. 2.0

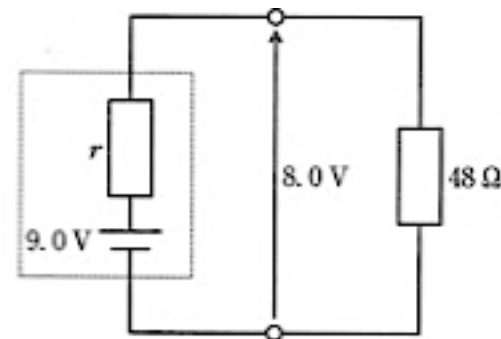
3. 3.5

4. 5.0

5. 6.0

内部抵抗にかかる電圧は $9 - 8 = 1\text{V}$ である．  
直列接続なので，電源電圧は抵抗値の比で分圧される．よって

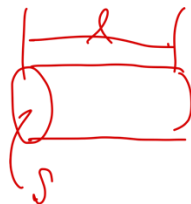
$$\frac{r}{48} = \frac{1}{8}$$
$$r = \frac{48}{8} = 6\Omega$$



# 抑えるポイント

- 抵抗の計算

- $R = \rho \frac{l}{S}$  ( $\rho$ 抵抗率,  $l$ 抵抗の長さ,  $S$ 抵抗の断面積)



- オームの法則

- $V = RI$  ( $V$ 抵抗にかかる電圧,  $R$ 抵抗の抵抗値,  $I$ 抵抗を流れる電流)

- 直列回路

- 合成抵抗  $R = R_1 + R_2 + \dots$

- 各抵抗 (2抵抗) の電圧降下は  $V_1 = V \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ ,  $V_2 = V \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

- 各抵抗に流れる電流は同じ

- 並列回路

- 合成抵抗  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$

- 各抵抗にかかる電圧は同じ

- 各抵抗 (2抵抗) に流れる電流は並列回路に流れ込む電流を  $I$  とすると  $I_1 = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ ,  $I_2 = I \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

# ■ 抑えるポイント

- 内部抵抗
  - 電源の内部抵抗は、電源と直列
  - 電圧計の内部抵抗は、電圧計と並列
  - 電流計の内部抵抗は、電流計と並列

