

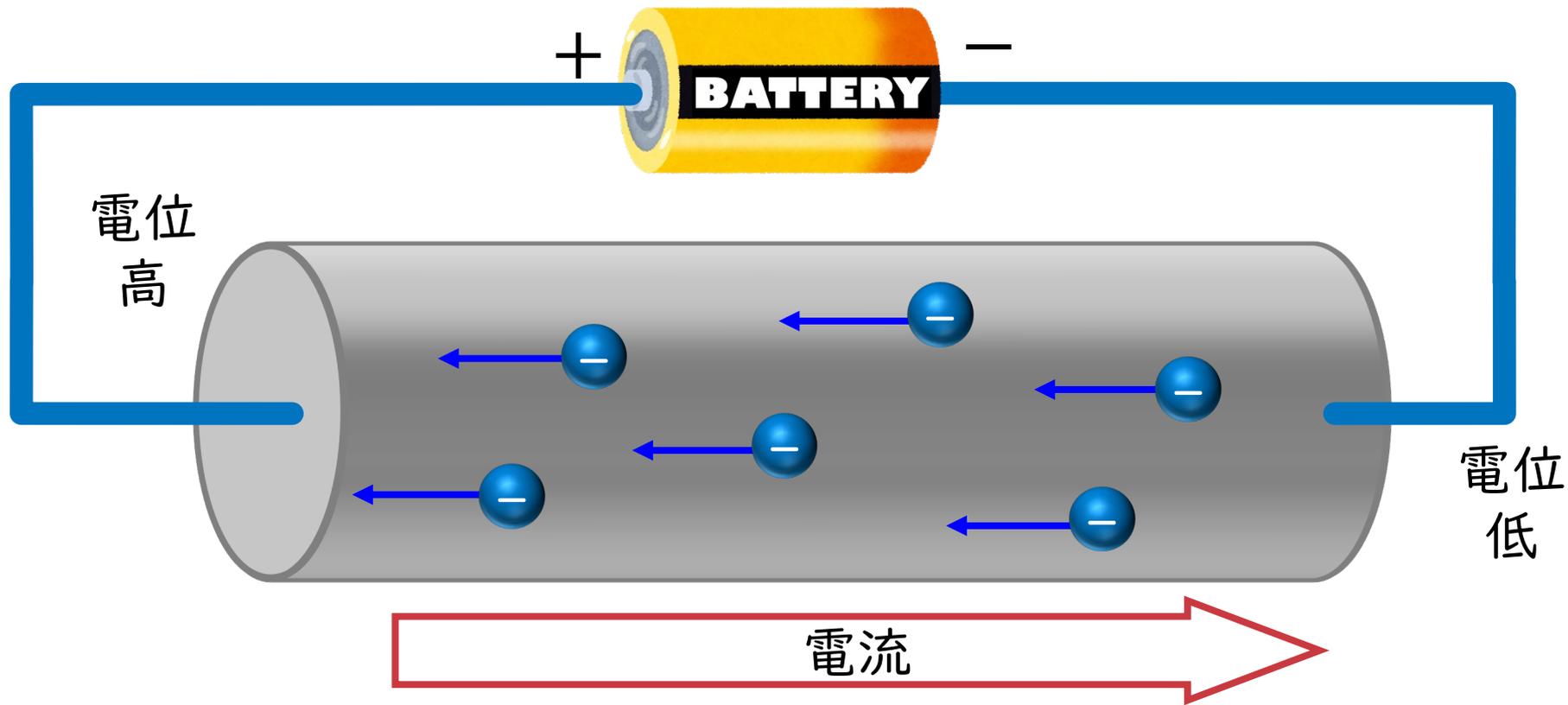
基礎物理学 II

(第5回) 電気回路の基礎(1)

【今日の内容】

- 電流の定義
- オームの法則
- 直列・並列接続と合成抵抗

電流の定義(向き)

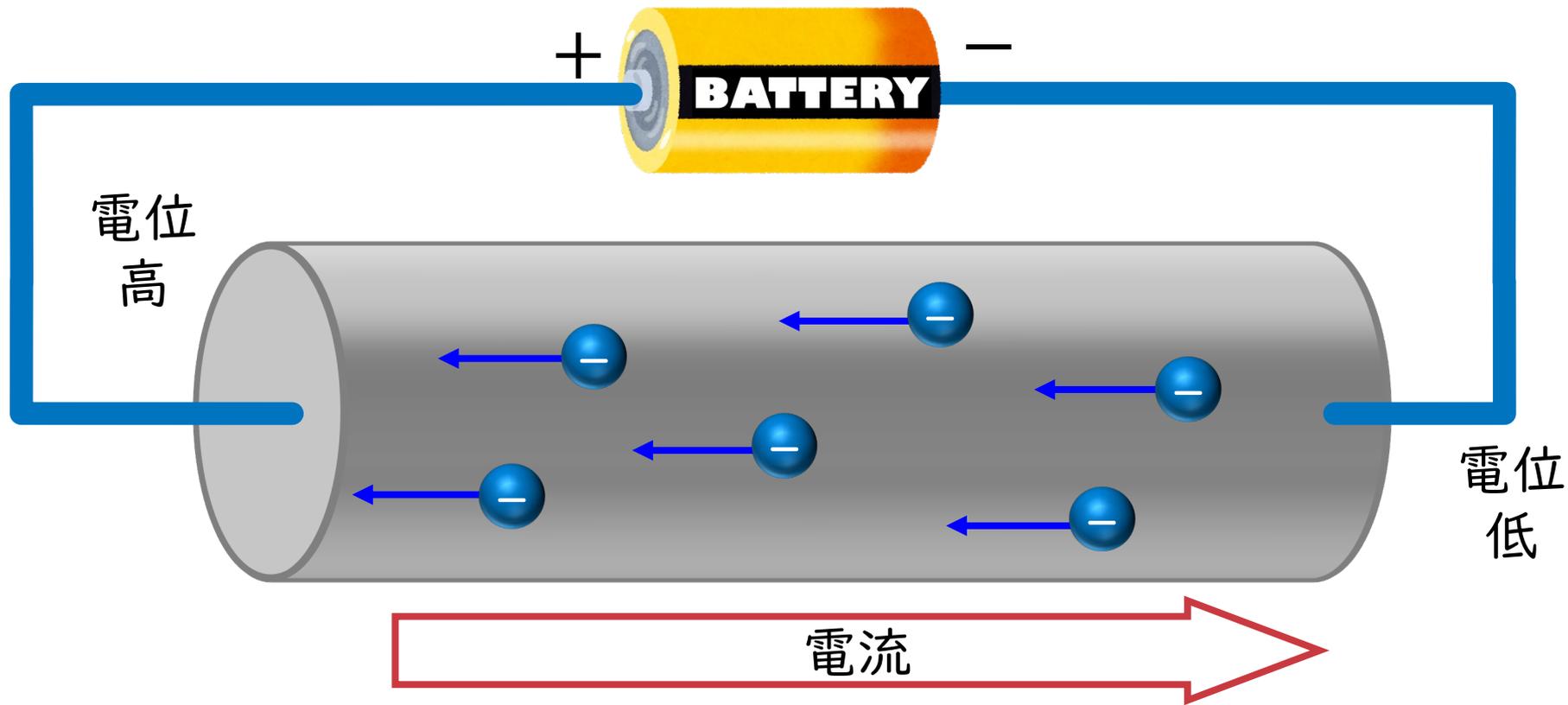


物質の両端に電池などで電位差をつくるとその間に電場が生じる。

物質中に自由電子がある場合、自由電子(負電荷)は電場によって電位の _____ 方向から _____ 方向に流れる。このような電荷粒子の流れを _____ とよぶ。

電流の向きは _____ と定義されている(電場と同じ向き)ため、電子が流れる場合、電流の向きとは _____ となる。

電流の定義 (大きさ)



電流の大きさ(定義) = 導体の面積を単位時間に流れる電荷の量

1[s]に1[C]の電荷が移動する電流を 1[A] (アンペア)という

$$1[\text{A}] =$$

$I[\text{A}]$ の電流が $\Delta t[\text{s}]$ の間流れるとき、移動する電荷 $\Delta Q[\text{C}]$ は $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$

電流の向きが一定で大きさが時間的に変わらない電流を 直流 という。

直流の場合、
一定

例題Ⅰ [電流(と電荷)の定義]

針金に $1.0[\text{A}]$ の電流が流れているとき、その断面を通過して毎秒何個の電子が通過しているか。ただし、電子の持つ電荷は、 $e = 1.602 \times 10^{-19} [\text{C}]$ である。

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \text{ より } \Delta Q = I \times t = 1.0 [\text{A}] \times 1[\text{s}] = 1.0 [\text{C/s}] \times 1[\text{s}] = 1.0 [\text{C}]$$

$$\therefore \frac{1.0[\text{C}]}{1.602 \times 10^{-19}[\text{C}]} = \underline{\underline{6.242 \times 10^{18} [\text{個}]}}$$

アボガドロ数に似ているが関係ないので注意

【閑話】

体脂肪計は人体に微弱な電流を流して抵抗を測定することにより体脂肪を推定している。

筋肉は血液などの水分を多く含んでいるので電流が流れやすく、志望はでんりゅうが流れにくい。

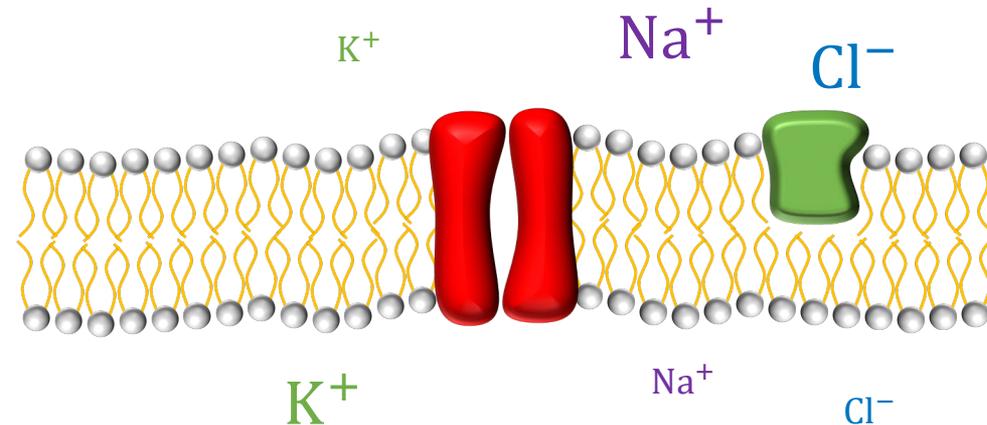
生体内での電流は主にイオンが運んでいる。生体内には、
 $\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Ca}^{2+}, \text{Cl}^+$

などのイオンが大量に存在し、それらイオンの移動により電流が流れる



演習1 [電流(と電荷)の定義]

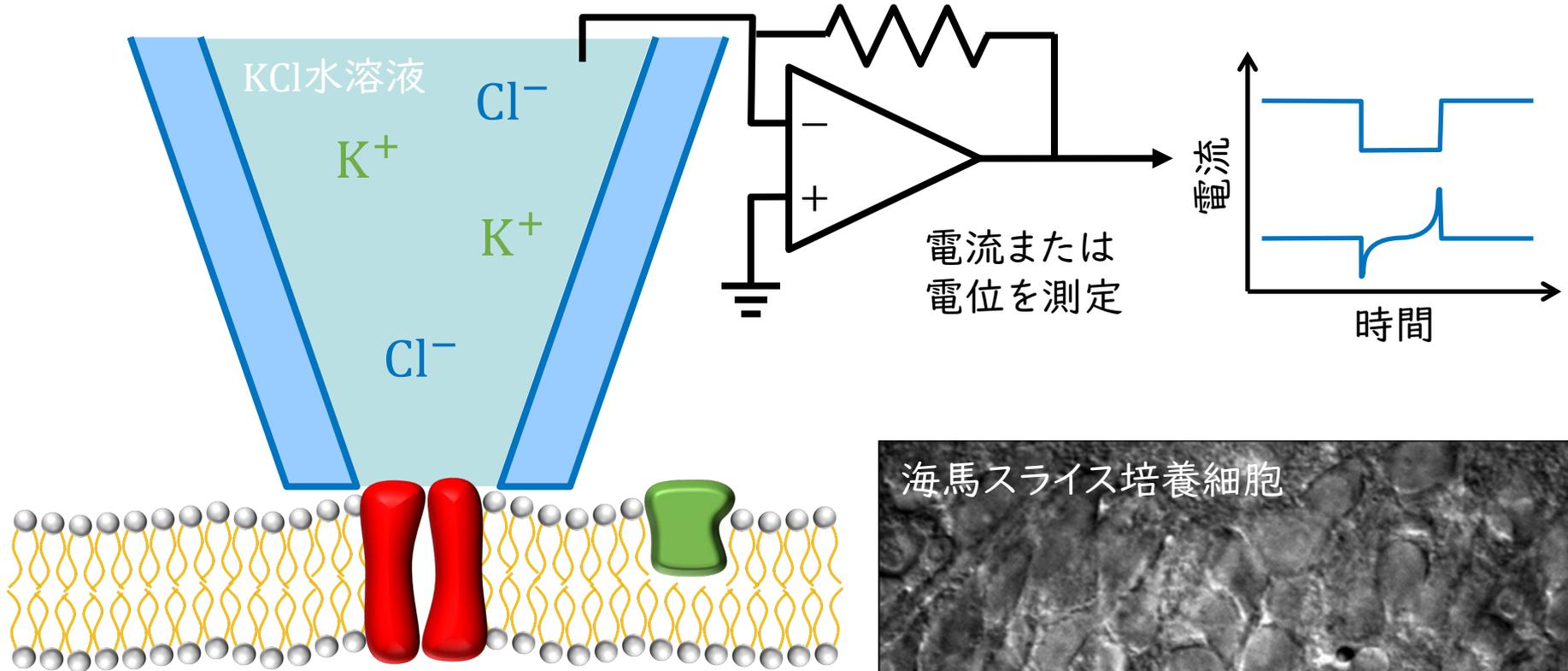
1. 図のような体脂肪計を使ったとき、人体に流れる電流が $50 \mu\text{A}$ だったとする。イオンが仮に Na^+ のみだったとすると、足の裏を通して流れる Na^+ の個数は毎秒いくらか
2. 細胞膜は絶縁体である(前回)が、神経細胞からの信号を受けると Na^+ を通すイオンチャンネルが開き濃度差により Na^+ が細胞内に流れる。いま、 4ms 間に 5pA の電流が流れたとすると、細胞膜を通過する Na^+ の個数はいくらか



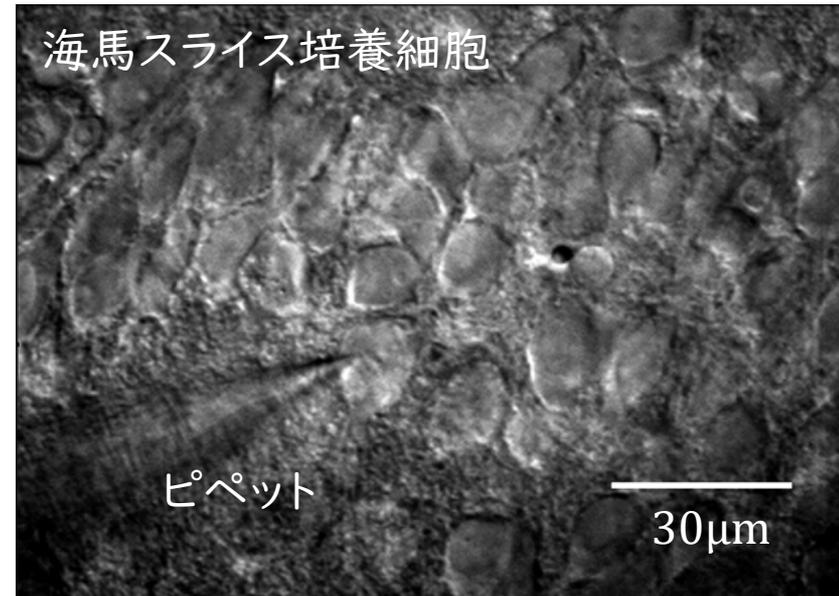
【閑話】 パッチクランプ法

<https://bsd.neuroinf.jp/wiki/パッチクランプ法>

細胞膜上のイオンチャネル1個が開閉するのに伴う電流を測る方法
ガラスピペット先端を $1\mu\text{m}$ まで細くし細胞表面に密着、流れる電流を測定する



海馬スライス培養細胞

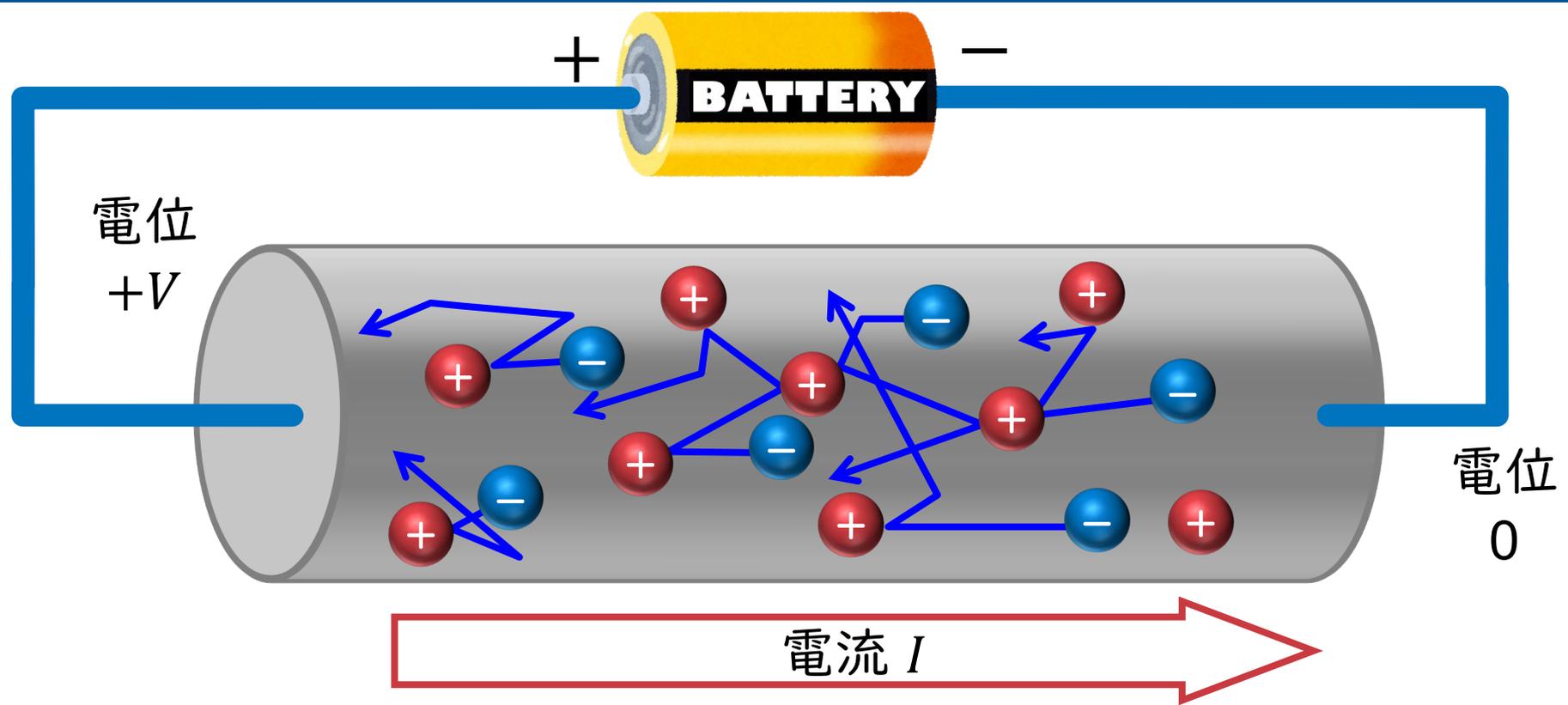


1991年にノーベル生理学・医学賞をパッチクランプ法の開発により受賞

Prof. E. Neher (左)

Prof. B. Sakmann (右)

オームの法則



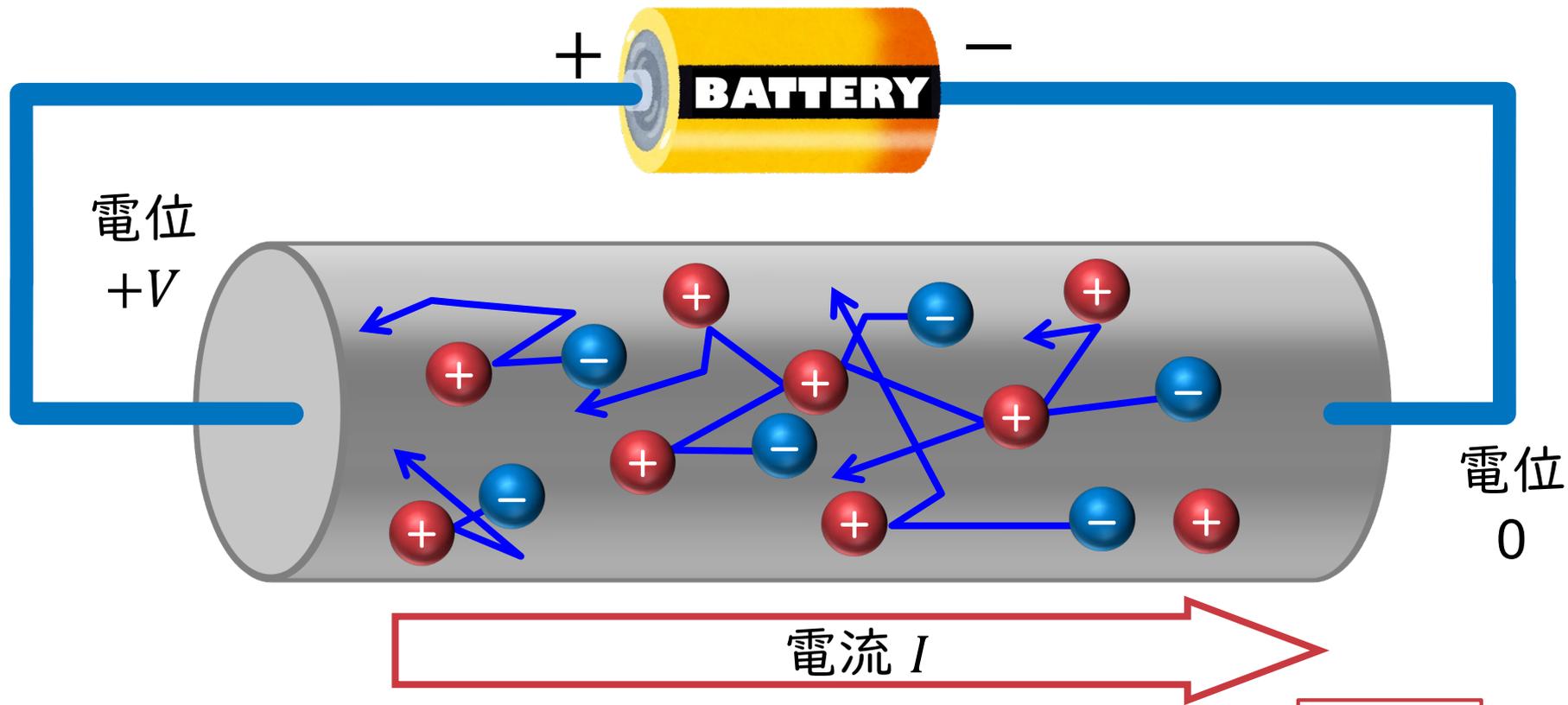
自由電子が移動するとき、実際には陽イオンの熱振動によって阻害される。
 これは導体の材質や太さ、長さ、温度に依存する。

電圧 V を印加したとき、流れる電流 I の大きさは $I = \frac{V}{R}$ または $V = IR$ と書ける。
 このとき、比例定数 R を _____ という。

1[V]印加したとき、1[A]の電流が流れる抵抗を1[Ω] (オーム)という

1[Ω] =

電気抵抗と抵抗率



電気抵抗の大きさ $R[\Omega]$ は長さ $l[m]$ に比例し、断面積 $S[m^2]$ に比例する。

$R =$

ρ は導体の材質と温度に関する量で _____ という。

_____ は長さ $1[m]$ 、断面積 $1[m^2]$ あたりの抵抗で単位は $[\Omega m]$ である。

$\rho =$

抵抗率

物質の電気の流しにくさを示す物性値

	物質	温度 [°C]	抵抗率 [Ωm]
伝導体	銀 Ag	20	1.62×10^{-8}
	銅 Cu	20	1.72×10^{-8}
	アルミニウム Al	20	2.75×10^{-8}
	タングステン W	20	5.50×10^{-8}
	鉄 Fe	20	9.8×10^{-8}
	ニクロム	20	$\sim 100 \times 10^{-8}$
半導体	ゲルマニウム Ge	20	6.9×10^{-1}
	シリコン Si	20	4×10^3
	ダイヤモンド C	20	$10^{11} \sim 10^{18}$
絶縁体	雲母	22	$10^{12} \sim 10^{15}$
	天然ゴム	20	$10^{13} \sim 10^{15}$
	石英 SiO ₂	0	7.50×10^{17}

抵抗率の逆数 $1/\rho$ を電気伝導率と呼び、電流の流しやすさで比較する分野もある

人体組織

物質	温度 [°C]	抵抗率 [Ωm]
血液(順方向)	体温	~1.2
血液(逆方向)	体温	~1.6
筋肉(平行)	体温	2~5
筋肉(垂直)	体温	5~10
肝臓	体温	8
肺(空気含)	体温	数10
脂肪	体温	数10~100
純水	0	2.50×10^5
皮膚表面	体温	5×10^5

不純物を添加することで大きく変化させることができる

例題2 [オームの法則、抵抗、抵抗率]

1. 6.0Vの電池に抵抗をつないだところ、0.20Aの電流が流れた。抵抗はいくらか。

$$V = IR \quad \text{より} \quad R = \frac{V}{I} = \frac{6.0}{0.20} = \underline{30 [\Omega]}$$

2. 人の人差し指と親指の間の抵抗は乾燥時におよそ 100 k Ω 程度である。
単3乾電池 (1.5V) の両端を指で持ったときに流れる電流はいくらか。
家庭用電源 (100V) のときはいくらか。

単3電池の場合

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1.5}{100 \times 10^3} = 1.5 \times 10^{-5} = \underline{15 \mu\text{A}}$$

家庭用電源の場合

$$I = \frac{V}{R} = \frac{100}{100 \times 10^3} = 1 \times 10^{-3} = \underline{1 \text{ mA}}$$

【注意】これは乾燥時の値である。
次の演習で確認するように体表が濡れていると
著しく抵抗値は下がるので、決して実験しないように。

電流値	人体への影響
0.5mA~1mA	・最小感知電流、「ピリツ」と感じる、人体に危険性はない
5mA	・人体に悪影響を及ぼさない最大の許容電流値 ・相応の痛みを感じる
10~20mA	・離脱の限界（不随意電流）、筋肉の随意運動が不能に ・持続して筋肉の収縮が起こり、握った電線を離すことができなくなる
50mA	・疲労、痛み、気絶、人体構造損傷の可能性 ・心臓の律動異常の発生、呼吸器系等への影響 ・心室細動電流の発生ともいわれ、心肺停止の可能性も
100mA	・心室細動の発生、心肺停止、極めて危険な状態に

演習2 [オームの法則、抵抗、抵抗率]

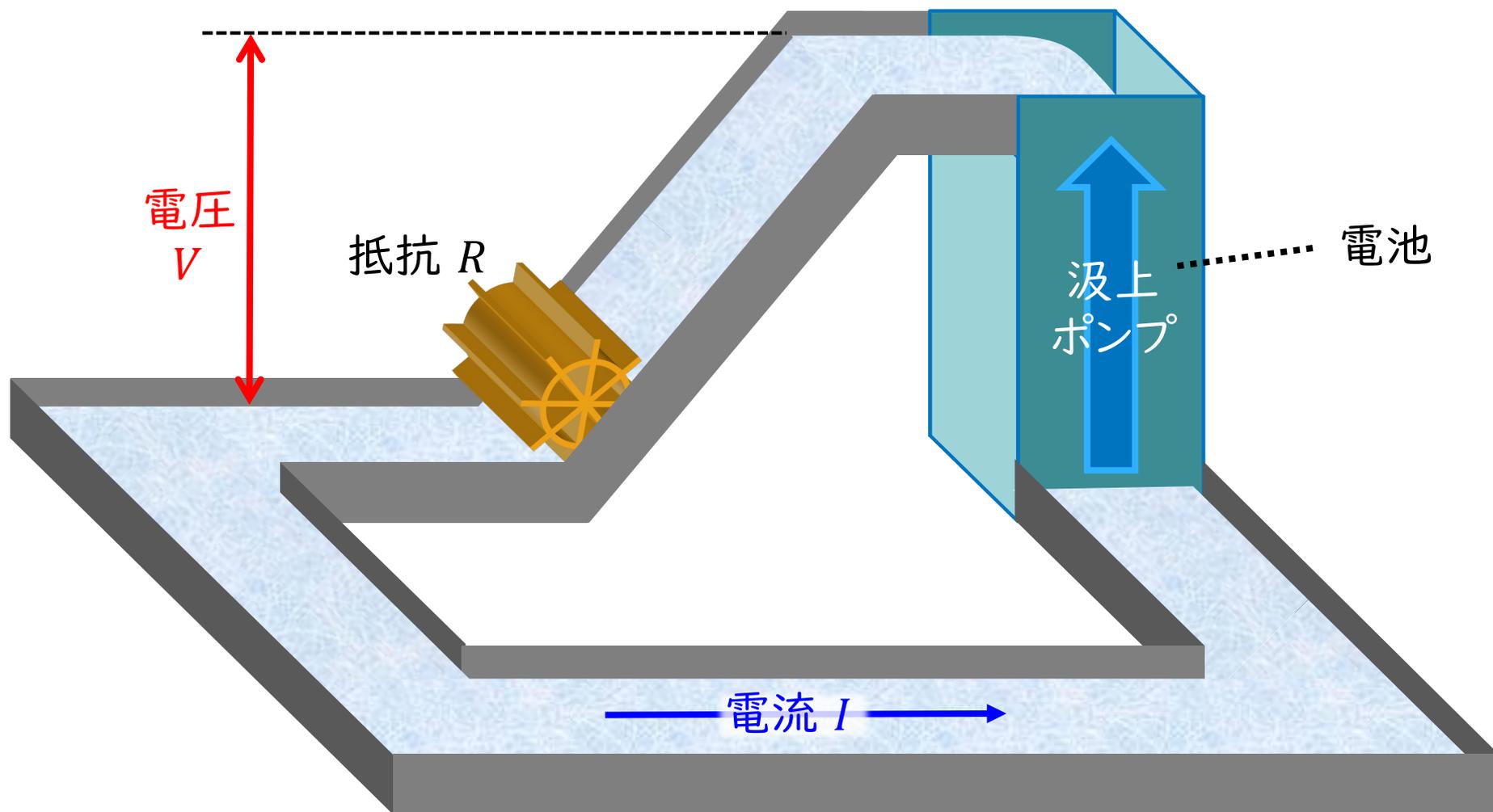
1. 電源の電圧が $5V$ の体脂肪計を使ったとき、Aさんの両手間に $25\mu A$ の電流が流れた。Aさんの両手間の抵抗は何 $k\Omega$ くらいか。
2. 人体に $20mA$ の電流が流れると命にかかわることが多い。
Aさんの両手間に何 kV の電圧がかかったら電流 $20mA$ 流れて危険だろうか。
3. Aさんの両手が濡れているとき、両手間の電気抵抗は $1k\Omega$ に低下した。
このとき、両手間に何 V の電圧がかかったら電流 $20mA$ 流れて危険だろうか。
4. 両手が濡れているとき家庭用電源をさわるとどうなるか。



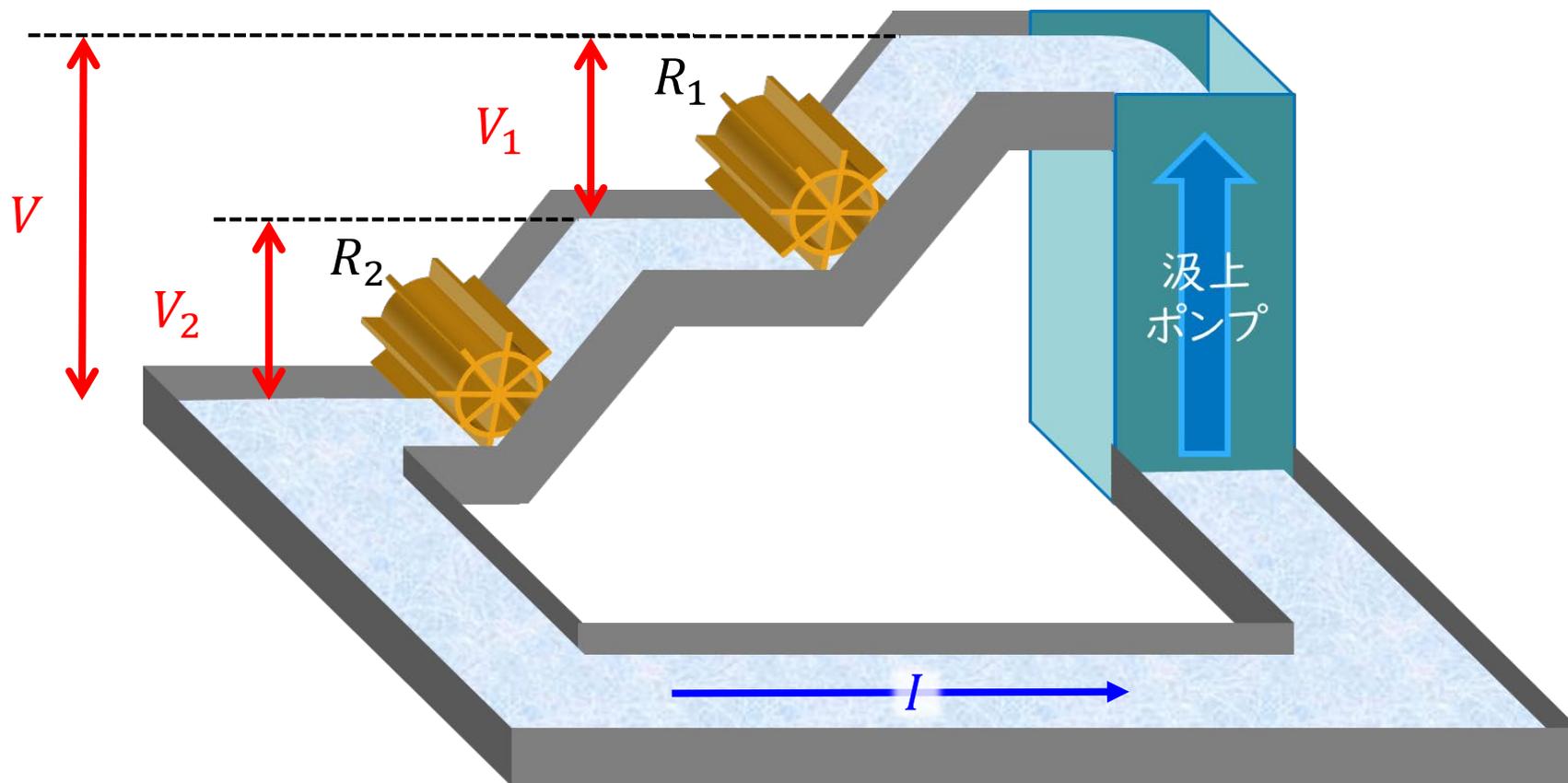
【注意】実際には通電時間が短ければよいのだが、電流により筋肉の収縮がおこり、通電部分を手離すことができなくなる

中学理科における回路理解のための水流モデル

電気抵抗を電池とつないだ回路は水車（傾斜）とポンプで考えると中学で習った人も多い



直列接続



直列接続では、
電流は同じ、
電圧はそれぞれの和

$$V_1 = IR_1$$

$$+) \quad \underline{V_2 = IR_2}$$

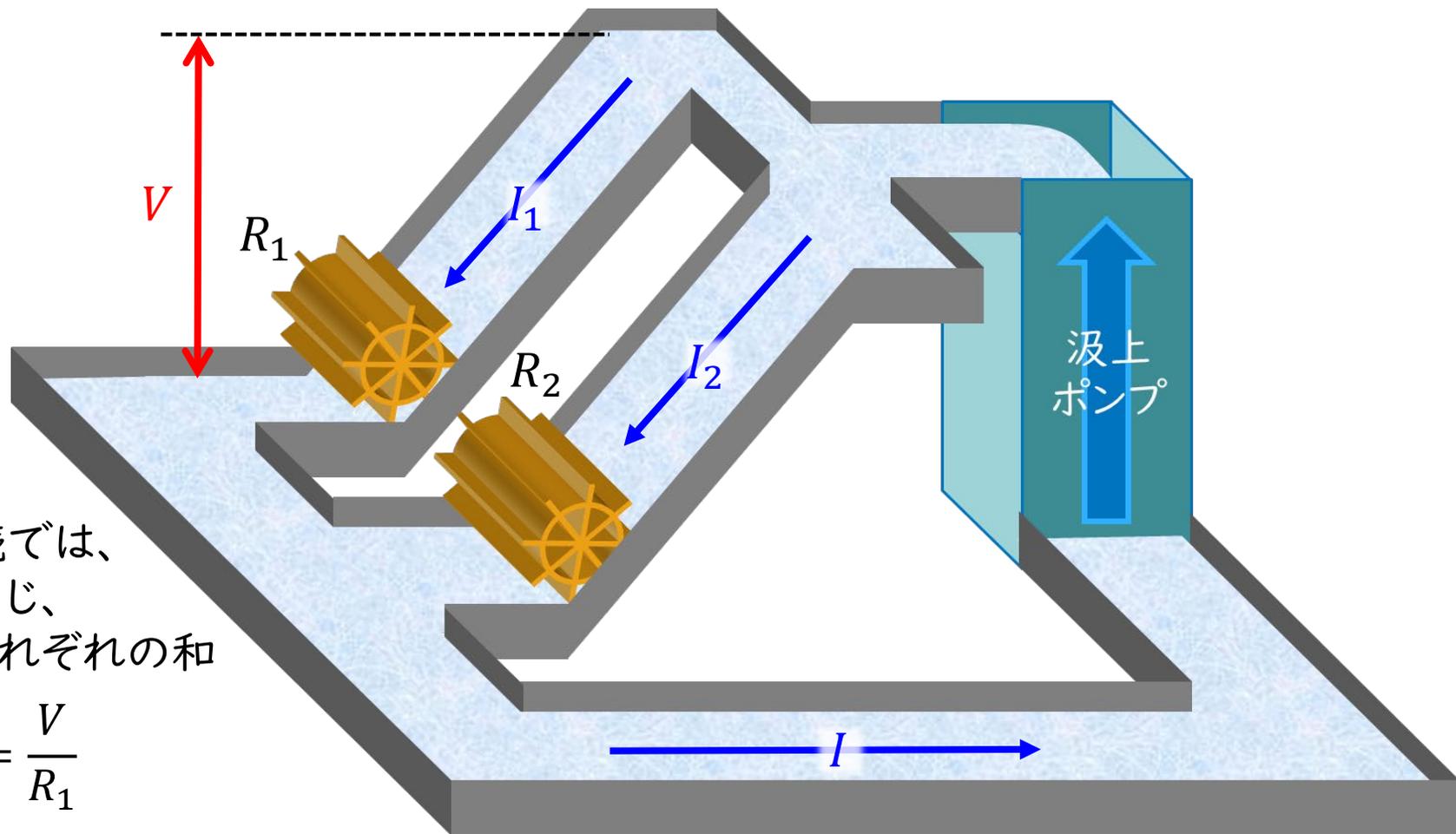
$$V_1 + V_2 = IR_1 + IR_2$$

$$V = I(R_1 + R_2)$$

よって、合成抵抗は

$$R_{12} = \underline{\hspace{2cm}}$$

並列接続



並列接続では、
電圧は同じ、
電流はそれぞれの和

$$I_1 = \frac{V}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2}$$

+))

$$I_1 + I_2 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2}$$

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

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

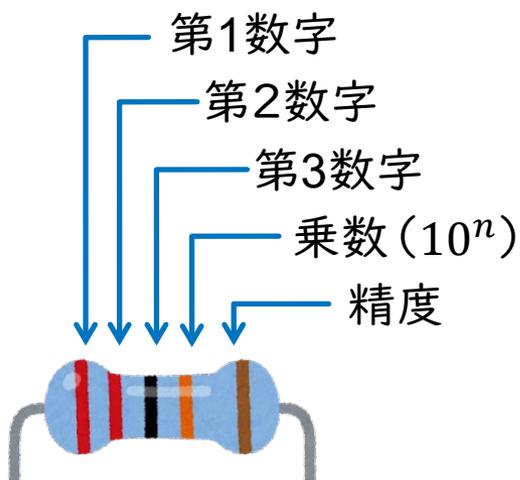
よって、合成抵抗は

$$R_{12} =$$

演習3 [直列・並列接続と合成抵抗]

2Ωと3Ωの抵抗を直列と並列につないだとき、合成抵抗はそれぞれいくつになるか

『閑話』 電気工作で用いる電気抵抗にはその抵抗値を示す色の帯が記してある。



色	数	精度
黒	0	
茶	1	±1%
赤	2	±2%
橙	3	
黄	4	
緑	5	
青	6	
紫	7	
灰	8	
白	9	
金		±5%
銀		±10%

- 黒, 0, 黒い礼 (0) 服
- 茶, 1, 小林一 (1) 茶
- 赤, 2, 赤いニ (2) ンジン
- 橙, 3, み (3) かんは橙
- 黄, 4, 黄色いヨ (4) ット
- 緑, 5, 緑はGO (5)
- 青, 6, 青虫 (む (6) し)
- 紫, 7, 紫七 (7) 部
- 灰, 8, ハイヤ (8) ー
- 白, 9, ホワイトク (9) リスマス

