第 093 講 電流・電圧・抵抗

この講でできるようになること

- 電流を単位時間あたりに通過する電気量として捉え、電流の大きさと向きを求めることができる。
- 電流の向きと金属中の自由電子の移動方向を区別できる。
- 電流・電圧・抵抗が表すものと、それぞれの単位を説明できる。
- オームの法則が成り立つ条件を判断し、電流・電圧・抵抗を計算できる。
- 簡単な閉回路で、電池の極性、電流の向き、抵抗の両端の電圧を説明できる。

1. 電流は何を表しているか

1.1 電荷の移動と電流

電池と導線を使って豆電球を点灯させるとき、導線の中では何が起こっているのだろうか。

電気に関係する量として、正または負の電荷をもつ粒子がある。金属の導線には、金属内部を移動できる自由電子が存在する。電源をつないで適切な閉回路をつくると、自由電子が一定の向きに少しずつ移動する。

このような電荷の流れを表す物理量が**電流**である。

電流の大きさを知るには、導線の一か所に注目する。導線を輪切りにしたときの断面を考え、その断面を一定時間にどれだけの電気量が通過したかを調べる。

電流と平均電流

時間間隔 Δt の間に、導線の断面を正電流方向に通過した正味の電気量を ΔQ とする。

この時間間隔の平均電流は、次の式で表される。

$$I_{\mathrm{avg}} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

- I_{avg}：平均電流（単位 A）
- ΔQ：通過した正味の電気量（単位 C）
- Δt：経過時間（単位 s）

電流が時間によらず一定なら、平均電流はその一定の電流 I に等しく、次の式を使える。

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

ここで、電気量は指定した正電流方向に対して符号をもつ量として扱う。通過電気量の大きさだけを考える場合は、正の値を用いる。

©ミライコーチング

電流の単位はアンペア（A）である。1 s あたり 1 C の電気量が通過する電流の大きさを、1 A という。

$$1\,\mathrm{A} = 1\,\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{s}}$$

たとえば、ある向きに一定の電流が流れていて、2.0 s の間に 3.0 C の電気量がその向きに通過したとする。このとき、

$$I = \frac{3.0\,\mathrm{C}}{2.0\,\mathrm{s}} = 1.5\,\mathrm{A}$$

となる。

電流が大きいとは、同じ時間に、より多くの正味の電気量が断面を通過するという意味である。

平均電流と一定の電流

有限の時間間隔で求めた $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ は、一般にはその区間の平均電流である。

途中で電流が変化していても、通過電気量を経過時間で割れば平均電流は求められる。ただし、その値が区間内のどの時刻の電流とも必ず一致するわけではない。

本講の計算では、特に断らない限り、時間によらず一定の電流が流れる状況を扱う。

1.2 電流の向きと電子の向き

電流には、大きさだけでなく向きもある。

電流の向きは、正電荷が移動する向きと定義されている。 これは電流の向きについての約束である。

一方、金属中で実際に移動する自由電子は負の電荷をもつ。そのため、金属導線の自由電子の移動方向は、電流の向きと逆になる。

注目するもの	向き
電流の向き	正電荷が移動する向き
金属中の自由電子の移動方向	電流の向きと逆

たとえば、金属中の自由電子が左向きに移動していれば、電流の向きは右向きである。

金属中の正イオンは結晶を構成しており、通常の金属導線で電流を運ぶために導線に沿って流れているわけではない。

1.3 電子の個数から電流を求める

電子 1 個がもつ電荷は負であり、その電荷の大きさを**電気素量** e という。

$$e = 1.60 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$$

ここで、e は正の値として定義した電荷の大きさである。電子 1 個の電荷そのものは $-e$ である。

同じ断面を電子が N 個通過したとき、その電子が運ぶ電気量の大きさは、

$$Q = Ne$$

である。

電子がすべて同じ向きに移動し、時間 t の間に N 個通過したなら、電流の大きさは、

$$|I| = \frac{Ne}{t}$$

と求められる。

電子の電荷が負であることと、電流の大きさが負であることは別である。**大きさは負にならず、方向を符号付きで表す場合にだけ正負を指定する。**

電流の向きを決める順序

金属中を電子が移動する問題では、まず電子の移動方向を確認する。次に、その逆を電流の向きとする。

右向きを正と決めた場合、右向きの電流は正、左向きの電流は負である。向きの指定がなければ、電流の大きさと方向を別々に答えればよい。

2. 電圧は 2 点間の電位差

2.1 電位と電圧

電荷が移動するとき、その動きには電気的なエネルギーが関係する。

電荷のもつ電気的な位置エネルギーを、単位電荷あたりで表した量が電位である。

電位は場所によって異なる。2 点の電位の差を**電位差**といい、回路ではこれを電圧と呼ぶ。

たとえば、点 A の電位が 10 V、点 B の電位が 4.0 V なら、B を基準にした A の電位差は、

$$V_{\mathrm{A}} - V_{\mathrm{B}} = 10\,\mathrm{V} - 4.0\,\mathrm{V} = 6.0\,\mathrm{V}$$

である。

電圧の単位はボルト（V）である。

ここで大切なのは、**電圧は 1 点だけの量ではなく、必ず 2 点間の差を表す**ということである。

2.2 電流と電圧は別の量

電流と電圧は、どちらも電気に関係するが、表すものは異なる。

物理量	記号	単位	表しているもの
電流	I	A	単位時間あたりの正味の通過電気量
電圧	V	V	2 点間の電位差
抵抗	R	Ω	素子の両端の電圧と通過電流の比

通常の抵抗では、正の向きに流れる電流は高電位側から低電位側へ進む。

このとき、抵抗の高電位端と低電位端の電位差を正の電圧 V として扱える。

一方、金属の自由電子は、その電流と逆向きに移動する。

電流と電圧を同じものと考えると、回路の意味を読み違える。電流は電気量の移動を時間で捉えた量であり、電圧は 2 点間の電位差である。

3. 抵抗とオームの法則

3.1 同じ電圧でも電流が異なる理由

同じ電圧を加えても、電流が流れやすい素子と流れにくい素子がある。

この違いを表す量が**電気抵抗**である。本講では単に抵抗と呼び、記号 R で表す。

ある抵抗に電流 I が流れ、その電流の向きに沿った電圧降下が V であるとする。$I \neq 0$ のとき、電圧と電流の比を、

$$R = \frac{V}{I}$$

と表せる。

抵抗の単位はオーム（Ω）であり、

$$1\,\Omega = 1\,\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{A}}$$

となる。

同じ電圧を加える条件で比較した場合、抵抗が大きいほど電流は小さくなる。ただし、この比較には、各素子の抵抗値を一定として扱える条件が必要である。

3.2 オームの法則と適用条件

同じ抵抗素子について、温度などの状態を一定に保ったとき、加える電圧と流れる電流が比例する場合がある。

このような条件で成り立つ関係が**オームの法則**である。

オームの法則

同一の素子について、温度などの状態が一定で、電圧と電流が比例する条件では、抵抗 R を一定として、

$$V = RI$$

が成り立つ。

これを変形すると、$R \neq 0$ のとき、

$$I = \frac{V}{R}$$

となる。

また、$I \neq 0$ のとき、

$$R = \frac{V}{I}$$

と求められる。

この式を使うとき、V は対象の抵抗の両端の電圧降下、I はその抵抗を流れる電流である。別の素子の電圧や電流を無関係に組み合わせてはいけない。

温度などが一定で抵抗値が変わらないなら、電圧を 2 倍にすると電流も 2 倍になる。

©ミライコーチング

しかし、実際の抵抗値は温度などの状態によって変わる場合がある。電圧を変えた結果として温度も変化するなら、同じ抵抗値を使い続けてよいとは限らない。

1 回の測定では比例関係を証明できない

ある素子について、$V = 6.0\,\mathrm{V}$、$I = 0.30\,\mathrm{A}$ が測定されたとする。

この測定状態における比は、

$$R = \frac{6.0\,\mathrm{V}}{0.30\,\mathrm{A}} = 20\,\Omega$$

である。

ただし、この結果だけでは、電圧を 2 倍にしたとき電流も 2 倍になるとは断定できない。比例関係を判断するには、同じ素子の状態をそろえ、複数の電圧と電流の組を比較する必要がある。

また、$I = 0$ のときに $\frac{V}{I}$ を計算することはできない。$V = 0$、$I = 0$ の場合も、$\frac{0}{0}$ から抵抗値は求められない。

3.3 ミリアンペアとキロオーム

電流や抵抗では、小さい値や大きい値を表すために接頭語を使うことがある。

ミリ（m）は 1000 分の 1、キロ（k）は 1000 倍を表す。

$$1\,\mathrm{mA} = 10^{-3}\,\mathrm{A}$$

$$1\,\mathrm{k\Omega} = 10^{3}\,\Omega$$

たとえば、

$$30\,\mathrm{mA} = 0.030\,\mathrm{A}$$

$$3.0\,\mathrm{k\Omega} = 3000\,\Omega$$

である。

オームの法則に数値を代入するときは、電流を A、抵抗を Ω にそろえると計算しやすい。

4. 最も簡単な電気回路を読む

4.1 電池・抵抗・スイッチの役割

ここでは、理想電池 1 個、抵抗 1 個、スイッチ 1 個、導線を使った最も簡単な回路を考える。

電池は、回路内の電荷に電気的なエネルギーを与える役割をもつ。抵抗は、電気的なエネルギーが熱などへ移る場所になる。

スイッチは回路のつながりを切り替える部品である。閉じたスイッチは導線をつなぎ、開いたスイッチはその場所の接続を切る。

電流が一周できるようにつながった回路を**閉回路**という。

電池の記号では、通常、長い線が正極、短い線が負極を表す。

4.2 電池 12 V と抵抗 6 Ω の閉回路

次の回路では、理想電池の端子間電圧を 12 V、抵抗の値を 6.0 Ω とする。

スイッチ S は閉じており、導線と閉スイッチの抵抗は無視する。また、抵抗の温度などは一定で、電流が時間によらず一定の定常状態を考える。

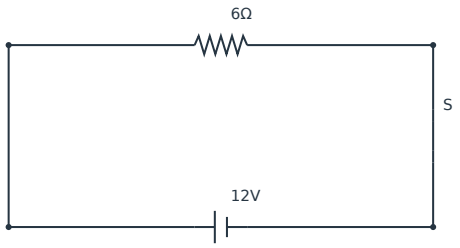

図 1　理想電池 12V・抵抗 6Ω・閉スイッチ S の 1 ループ。導線と閉スイッチの抵抗は無視。 定温・定常状態。下辺左の長線側 D が正極、右の短線側 C が負極。外部電流は D から上辺左端 A、抵抗、上辺右端 B、S を経て C へ流れ、上辺で左から右へ 2.0A。金属中の電子は逆向き。A・B・C・D は接続位置の呼び名で、図に電流矢印は描いていない。抵抗両端は 12V、理想導線・閉スイッチの電圧降下は 0V。高電位から低電位への降下は外部抵抗での説明であり、電源内部へ一般化しない。

この回路の下辺には電池があり、左側の長い線に接続する点 D が正極、右側の短い線に接続する点 C が負極である。

電池の外側の回路では、正極 D から左側の導線を上へ進み、上辺左端 A、抵抗、上辺右端 B、閉スイッチS を通って負極 C へ向かう向きが電流の向きである。

つまり、外部の電流は D→A→B→C の順に流れる。上辺の抵抗では左から右へ流れ、金属中の自由電子はその逆である右から左へ移動する。

導線と閉スイッチの電圧降下を 0 V とみなすため、抵抗の両端には電池の端子間電圧と同じ 12 V がかかる。

オームの法則を使うと、

$$I = \frac{12\,\mathrm{V}}{6.0\,\Omega} = 2.0\,\mathrm{A}$$

となる。

したがって、抵抗を流れる電流は、上辺の左から右へ 2.0 A である。

電位は、外部の抵抗を電流が通過するときに高い側から低い側へ下がる。一方、電源内部では電荷にエネルギーが与えられるため、外部抵抗の電圧降下と電源内部の作用を同一視してはいけない。

抵抗は電流を消費するのか

抵抗を通った後で電流がなくなるわけではない。

この定常閉回路では、電荷は回路内を移動し続け、抵抗を通過する前後で電荷が消費されることはない。抵抗で変化するのは主に電気的なエネルギーの形であり、電荷の総量が失われるのではない。

電池も電子を無からつくり出しているわけではない。回路内にもともと存在する電荷にエネルギーを与え、定常的な電流を保つ役割を果たす。

5. 例題で考える

例題 1

ある金属導線に右向きの一定電流が流れている。導線のある断面を、2.0 s の間に、右向きの正電流として 3.0 C の電気量が通過した。

例題 1(1) 電流の大きさを求めよ。

例題 1(2) 同じ一定電流が 6.0 s 流れたとき、その断面を右向きの正電流として通過する電気量を求めよ。

例題 1(1) 解答・解説 電流の大きさは 1.5 A である。一定電流なので、電気量を経過時間で割る。

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{3.0\,\mathrm{C}}{2.0\,\mathrm{s}} = 1.5\,\mathrm{A}$$

例題 1(2) 解答・解説 通過する電気量は 9.0 C である。電流が一定であるため、式 $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ を変形して、時間と電流を掛ければよい。

$$\Delta Q = I\Delta t = 1.5\,\mathrm{A} \times 6.0\,\mathrm{s} = 9.0\,\mathrm{C}$$

ここで、$1\,\mathrm{A} = 1\,\mathrm{C/s}$ であるため、計算結果の単位は C となる。

例題 2

前節の理想電池 12 V と抵抗 6.0 Ω の回路を考える。スイッチ S は閉じ、導線とスイッチの抵抗を無視し、抵抗の温度は一定である。電流は定常状態に達している。

例題 2(1) 抵抗を流れる電流の大きさを求めよ。

例題 2(2) 抵抗の上辺左側の端と右側の端のうち、どちらの電位が高いか。また、電位差の大きさを答えよ。

例題 2(3) 上辺の抵抗を通過する電流と自由電子の移動方向をそれぞれ答えよ。

例題 2(1) 解答・解説 電流の大きさは 2.0 A である。理想導線と閉スイッチの電圧降下はないため、抵抗の両端に 12 V がかかる。

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12\,\mathrm{V}}{6.0\,\Omega} = 2.0\,\mathrm{A}$$

例題 2(2) 解答・解説 上辺左側の端の電位が高く、両端の電位差の大きさは 12 V である。外部抵抗では、電流の向きに沿って電位が下がるため、左側が高電位、右側が低電位となる。

例題 2(3) 解答・解説 電流は左から右へ、自由電子は右から左へ移動する。金属中の電子は負の電荷をもつため、その移動方向は正電荷を基準として定義した電流の向きと逆である。

この回路では、外部の電流は電池の正極から出て負極へ戻る。電池内部でも常に高電位から低電位へ電流が流れると一般化してはいけない。

例題 3

ある抵抗素子の両端に 9.0 V の電圧を加えたところ、電流が 30 mA 流れた。両端の高電位側から低電位側へ流れる電流を正とする。

例題 3(1) この測定状態での電圧と電流の比 R を求めよ。

例題 3(2) この 1 回の測定だけから、電圧を 18 V にすれば電流は必ず 60 mA になると判断してよいか。理由とともに答えよ。

例題 3(1) 解答・解説 電圧と電流の比は 300 Ω である。まず電流の単位を A にそろえる。

$$30\,\mathrm{mA} = 0.030\,\mathrm{A}$$

よって、

$$R = \frac{V}{I} = \frac{9.0\,\mathrm{V}}{0.030\,\mathrm{A}} = 300\,\Omega$$

となる。

例題 3(2) 解答・解説 必ず 60 mA になるとは判断できない。9.0 V と 30 mA の 1 組だけでは、電圧と電流が比例することや、電圧変更後も抵抗値が一定であることを確認できないためである。

同じ素子の温度などを一定に保ち、比例関係が成り立つと分かっている場合に限り、電圧を 2 倍にすれば電流も 2 倍と判断できる。

©ミライコーチング

例題 4

同じ抵抗素子を一定の温度に保って測定する。この素子は測定範囲でオームの法則に従い、抵抗値は 10 Ω で一定とする。

例題 4(1) 両端の電圧を 2.0 V にした場合と 4.0 V にした場合、それぞれの電流を求めよ。

例題 4(2) 電圧を 2 倍にしたとき、電流と抵抗値がどのように変わるか説明せよ。

例題 4(1) 解答・解説 電流はそれぞれ 0.20 A、0.40 A である。抵抗値が一定なので、オームの法則をそれぞれに適用する。

2.0 V の場合、

$$I_1 = \frac{2.0\,\mathrm{V}}{10\,\Omega} = 0.20\,\mathrm{A}$$

4.0 V の場合、

$$I_2 = \frac{4.0\,\mathrm{V}}{10\,\Omega} = 0.40\,\mathrm{A}$$

となる。

例題 4(2) 解答・解説 電流は 2 倍になり、抵抗値は 10 Ω のまま変わらない。温度などが一定でオームの法則に従うため、電圧と電流は比例する。

電圧を 2 倍にしたから抵抗も 2 倍になると考えるのは誤りである。ここでは抵抗値を固定して電圧を変えた結果として、電流が変化している。

6. 電圧と電流の測定から何が分かるか

6.1 比が一定かを確認する

実際に電圧と電流の関係を調べるときは、同一の素子を使い、温度などの状態をそろえることが重要である。

たとえば、ある素子を一定温度に保ち、次の測定結果が得られたとする。

電圧 V（V）	電流 I（A）	比 $\frac{V}{I}$（Ω）
2.0	0.10	20
4.0	0.20	20
6.0	0.30	20

この表では、測定した各点について電圧と電流の比が 20 Ω で一致している。

また、電圧が 2 倍、3 倍になると、電流もそれぞれ 2 倍、3 倍になっている。

したがって、**この温度で測定した範囲のデータは、電圧と電流が比例する関係と整合している**と判断できる。

ただし、測定していない電圧や別の温度でも、抵抗値が必ず同じになるとはいえない。

6.2 温度を変えると同じ抵抗値を使えるか

同じ金属製の抵抗素子でも、温度が変わると抵抗値が変化することがある。

たとえば、ある安定した温度 T_1 では、電圧 6.0 V に対し電流が 0.30 A であったとする。

別の安定した温度 T_2 では、同じ 6.0 V に対して電流が 0.20 A であった。

それぞれの測定状態での比を計算すると、

$$R_1 = \frac{6.0\,\mathrm{V}}{0.30\,\mathrm{A}} = 20\,\Omega$$

$$R_2 = \frac{6.0\,\mathrm{V}}{0.20\,\mathrm{A}} = 30\,\Omega$$

となる。

この 2 つの状態では電圧が同じでも電流が異なる。したがって、T_1 で求めた 20 Ω を、そのまま T_2 に当てはめることはできない。

なお、それぞれの温度での測定値は 1 組ずつなので、各温度で電圧と電流が全範囲にわたり比例することまでは分からない。

オームの法則を使う前の確認

計算の前に、次の 3 点を確かめるとよい。

- 電圧と電流は、同じ抵抗素子についての値か。
- 温度などの状態が一定で、抵抗値を一定として扱えるか。
- 求める量に合わせて単位をそろえ、式を正しく変形しているか。

特に、測定から得た $\frac{V}{I}$ と、条件が変わっても一定とみなせる抵抗値とは区別する必要がある。

演習問題

演習 1

金属導線のある断面を、4.0 s の間に 5.0×10^{18} 個の自由電子が左向きに通過した。電子 1 個の電荷の大きさを $e = 1.60 \times 10^{-19}$ C とし、電子は一定の割合で通過している。

演習 1(1) この間に通過した電子が運ぶ電気量の大きさを求めよ。

演習 1(2) 電流の大きさと向きを求めよ。

演習 1(3) 右向きを正方向としたとき、電流の符号付きの値を求めよ。 対応する解説は「演習 1 の解答・解説」を参照。

演習 2

ある抵抗素子を温度一定に保ち、両端に 24 V の電圧を加えた。この素子はオームの法則に従い、抵抗値は 3.0 kΩ で一定である。電流は時間によらず一定とする。

演習 2(1) 抵抗を流れる電流を A と mA の両方で求めよ。

演習 2(2) この電流が 60 s 続いたとき、抵抗の断面を通過する電気量の大きさを求めよ。 対応する解説は「演習 2 の解答・解説」を参照。

©ミライコーチング

演習 3

同じ抵抗素子を一定温度に保ち、電圧を変えて電流を測定した。測定値は次のとおりである。

電圧 V（V）	電流 I（A）
2.0	0.10
4.0	0.20
6.0	0.30

演習 3(1) 各測定点における $\frac{V}{I}$ を求めよ。

演習 3(2) この測定範囲では、電圧と電流はどのような関係にあると判断できるか。数値を根拠に説明せよ。

演習 3(3) この測定結果だけから、別の温度や未測定のすべての電圧でも抵抗値が変わらないと断定できるか。理由とともに答えよ。 対応する解説は「演習 3 の解答・解説」を参照。

演習 4

同じ金属製の抵抗素子を、2 つの異なる安定した温度 T_1、T_2 に保って測定した。

温度条件	電圧 V（V）	電流 I（A）
T_1	6.0	0.30
T_2	6.0	0.20

演習 4(1) それぞれの測定状態での電圧と電流の比 R_1、R_2 を求めよ。

演習 4(2) T_1 で求めた抵抗値をそのまま使い、T_2 での電流を予測してはいけない理由を説明せよ。

演習 4(3) 各温度での測定が 1 組ずつであることを踏まえ、この結果だけでは判断できないことを 1 つ答えよ。 対応する解説は「演習 4 の解答・解説」を参照。

演習 5

電流・電圧・抵抗の意味について、次の問いに答えよ。

演習 5(1) ある回路の抵抗を電流が通過すると、抵抗の手前より後の方が電流が小さくなるという説明は正しいか。定常状態で電荷が蓄積されない状況を考え、理由とともに答えよ。

演習 5(2) 理想電池が回路に電流を流すことを、「電池が電子を無からつくり出して導線に送り出す」と説明してよいか。理由とともに答えよ。

演習 5(3) ある抵抗素子について $V = 0\,\mathrm{V}$、$I = 0\,\mathrm{A}$ と測定された。この 1 組の値から $R = \frac{V}{I}$ を計算して抵抗値を求められるか。理由とともに答えよ。

演習 5(4) 電流が一定であるとき、ある導線の断面を通過する電気量が 2 倍になるために必要な経過時間は、元の時間の何倍になるか。理由とともに答えよ。 対応する解説は「演習 5 の解答・解説」を参照。

©ミライコーチング

演習問題の解答・解説

演習 1 の解答・解説

演習 1(1) 解答・解説 通過した電気量の大きさは 0.80 C である。電子の個数に、電子 1 個の電荷の大きさ e を掛ける。

$$\begin{aligned} Q &= Ne \\ &= \left(5.0 \times 10^{18}\right) \times \left(1.60 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}\right) \\ &= 0.80\,\mathrm{C} \end{aligned}$$

この値は通過した電気量の大きさであり、電子の負の電荷を理由に負の値にはしない。

演習 1(2) 解答・解説 電流の大きさは 0.20 A、向きは右向きである。

電流の大きさは、通過した電気量の大きさを経過時間で割ればよい。

$$|\,I\,| = \frac{Ne}{t} = \frac{0.80\,\mathrm{C}}{4.0\,\mathrm{s}} = 0.20\,\mathrm{A}$$

電子は左向きに移動している。金属導線では電流の向きが自由電子の移動方向と逆になるため、電流は右向きである。

演習 1(3) 解答・解説 右向きを正とした電流は $+0.20\,\mathrm{A}$ である。

(2)より電流は右向きである。指定された正方向と一致するので、符号は正となる。電流の大きさ 0.20 A と、右向き成分 $+0.20\,\mathrm{A}$ を区別して答えることが重要である。

演習 2 の解答・解説

演習 2(1) 解答・解説 電流は 0.0080 A、すなわち 8.0 mA である。

まず抵抗の単位を Ω にそろえる。

$$3.0\,\mathrm{k\Omega} = 3000\,\Omega$$

温度が一定でオームの法則に従うため、

$$I = \frac{V}{R} = \frac{24\,\mathrm{V}}{3000\,\Omega} = 0.0080\,\mathrm{A}$$

となる。

また、

$$0.0080\,\mathrm{A} = 8.0\,\mathrm{mA}$$

である。

演習 2(2) 解答・解説 通過電気量の大きさは 0.48 C である。

一定電流なので、電流と経過時間の積から求められる。

$$\begin{aligned} Q &= It \\ &= 0.0080\,\mathrm{A} \times 60\,\mathrm{s} \\ &= 0.48\,\mathrm{C} \end{aligned}$$

抵抗を電荷が通過しているのであり、0.48 C の電荷が抵抗によって消費されたわけではない。

演習 3 の解答・解説

演習 3(1) 解答・解説 3 つの測定点では、いずれも $\frac{V}{I} = 20\,\Omega$ となる。

各点で電圧を電流で割る。

$$R_1 = \frac{2.0\,\mathrm{V}}{0.10\,\mathrm{A}} = 20\,\Omega$$

$$R_2 = \frac{4.0\,\mathrm{V}}{0.20\,\mathrm{A}} = 20\,\Omega$$

$$R_3 = \frac{6.0\,\mathrm{V}}{0.30\,\mathrm{A}} = 20\,\Omega$$

演習 3(2) 解答・解説 測定した範囲では、電圧と電流が比例する関係と整合していると判断できる。

電圧を 2.0 V から 4.0 V に 2 倍にすると、電流も 0.10 A から 0.20 A に 2 倍になっている。

さらに、6.0 V は 2.0 V の 3 倍であり、0.30 A も 0.10 A の 3 倍である。

また、(1)で求めた電圧と電流の比がすべて 20 Ω であることも、この判断を支えている。

演習 3(3) 解答・解説 別の温度や未測定のすべての電圧でも抵抗値が一定であるとは断定できない。

測定結果から分かるのは、指定した温度と測定範囲での関係である。温度が異なれば同じ素子でも抵抗値が変化する場合があり、未測定の条件に比例関係を無条件に広げることはできない。

演習 4 の解答・解説

演習 4(1) 解答・解説 T_1 では $R_1 = 20\,\Omega$、T_2 では $R_2 = 30\,\Omega$ である。

各温度での測定値を用いて求める。

$$R_1 = \frac{6.0\,\mathrm{V}}{0.30\,\mathrm{A}} = 20\,\Omega$$

$$R_2 = \frac{6.0\,\mathrm{V}}{0.20\,\mathrm{A}} = 30\,\Omega$$

電圧が同じ 6.0 V でも、電流が違うため、比 $\frac{V}{I}$ も異なる。

演習 4(2) 解答・解説 温度が異なると抵抗値が変わる場合があるため、T_1 で得た 20 Ω を T_2 でも一定とみなしてはいけない。

実際に T_2 では、6.0 V に対して 0.20 A が測定されている。T_1 の 20 Ω を使うと、

$$I = \frac{6.0\,\mathrm{V}}{20\,\Omega} = 0.30\,\mathrm{A}$$

となり、T_2 の測定値と一致しない。この計算では温度の違いを無視したことが問題である。

演習 4(3) 解答・解説 たとえば、各温度で電圧と電流が未測定の全範囲にわたり比例するかどうかは判断できない。

それぞれの温度で得られたのは 1 組の電圧と電流の値だけである。比例関係を確かめるには、同じ温度を保ちながら電圧を変え、複数の測定値を比較する必要がある。

温度によって比 $\frac{V}{I}$ が異なることと、各温度でオームの法則が成り立つかどうかは、別々に判断する。

演習 5 の解答・解説

演習 5(1) 解答・解説 この説明は誤りである。定常状態で電荷が蓄積されない抵抗では、抵抗を通過する前後で電荷が消費されるわけではない。

抵抗では電気的なエネルギーが熱などへ移る。しかし、電気的なエネルギーの変化と、電荷の総量の変化は別である。したがって、抵抗を通ることで電流そのものが使い尽くされるとはいえない。

演習 5(2) 解答・解説 そのようには説明できない。電池は、電子を無から生成する装置ではないからである。

金属導線にはもともと自由電子が存在する。電池は化学反応などによって電荷にエネルギーを与え、閉回路で定常的な電流が流れる状態を保つ役割を果たす。

演習 5(3) 解答・解説 この 1 組の値から抵抗値を求めることはできない。

式 $R = \frac{V}{I}$ に代入しようとすると、

$$R = \frac{0\,\mathrm{V}}{0\,\mathrm{A}}$$

となるが、0 で割る計算は定義されていない。したがって、この式から抵抗値は決まらない。

抵抗値が別の方法で既知なら、電圧と電流がともに 0 であること自体は矛盾しない。しかし、$V = 0$、$I = 0$ だけから抵抗値を逆算することはできない。

演習 5(4) 解答・解説 必要な経過時間は元の 2 倍である。

電流が一定なら、

$$Q = It$$

であり、電流 I が変わらない条件では通過電気量 Q は経過時間 t に比例する。

したがって、同じ電流を流し続けて通過電気量を 2 倍にするには、経過時間を 2 倍にすればよい。