第 096 講 電力とジュール熱

この講でできるようになること

- 電力と時間から、消費した電気エネルギーを求められる。
- 電力の単位 W と、エネルギーの単位 J・Wh・kWh を区別して換算できる。
- 純抵抗で発生するジュール熱を、電圧・電流・抵抗から計算できる。
- 電圧を一定にした場合と電流を一定にした場合で、抵抗と電力の関係を説明できる。
- 直列・並列回路の各抵抗で消費する電力と、電源が供給する電力を照合できる。
- 電気入力、対象への受熱、効率を区別し、水の温度上昇を求められる。
- 電力が途中で変わる場合や定格と異なる条件でも、適切な式を選んでエネルギーを評価できる。

1. 電気を使う速さと、使ったエネルギー

電気ヒーターを使って水を温める場面を考える。同じヒーターでも、短い時間だけ使った場合と長い時間使った場合では、水に伝わる熱量が異なる。

ここでは二つの量を区別する必要がある。

- **電力**：1 秒当たりに電気エネルギーがどれだけ供給・変換されるか。
- **電気エネルギー**：ある時間の間に供給・変換されたエネルギーの総量。

まず、電気入力がすべて熱になり、その熱が損失なく水へ伝わる理想的な装置を考える。ヒーター自身にエネルギーが蓄積されることも無視する。

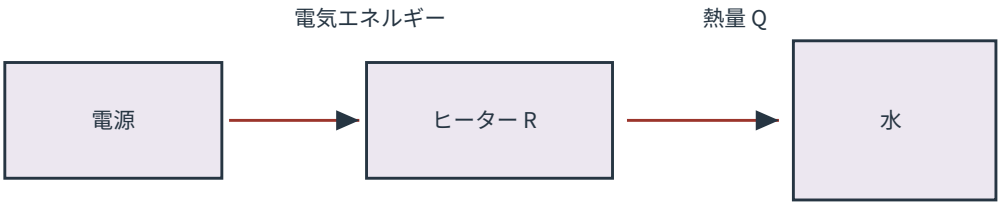


図 1　電力は 1 秒当たり、電気エネルギーと熱量は積算量。

図の矢印は、エネルギーがどのように移り変わるかを示している。電子が移動する軌道や、電流の向き、回路の配線を表すものではない。

電流が流れるとき、電荷が消費されてなくなるわけではない。電気エネルギーが熱などの別の形へ変わるのである。

電力の定義

電力をP、時間をt、その間に変換された電気エネルギーをEとする。

一定の電力でエネルギーが変換される場合、次の関係が成り立つ。

電力と電気エネルギー

$$P = \frac{E}{t}$$

電力Pが一定なら、

$$E = Pt$$

- P：電力（W）
- E：電気エネルギー（J）
- t：時間（s）

$1\,\mathrm{W} = 1\,\mathrm{J/s}$である。したがって、1 Wの電力を1 s保つと、1 Jのエネルギーが変換される。

例えば、20 Wの装置を10 s使用したとき、電力が一定なら電気エネルギーは

$$E = 20\,\mathrm{W} \times 10\,\mathrm{s} = 200\,\mathrm{J}$$

となる。

電力が大きいことと、使ったエネルギーの総量が大きいことは同じではない。電力が小さくても、長時間使えば電気エネルギーの総量は大きくなる。

2. 電圧・電流から電力を求める

直流回路では、電圧と電流から電力を計算できる。

電圧（電位差）をV、電流をIとすると、機器が受け取る電力は

直流回路の電力

$$P = VI$$

- P：電力（W）
- V：電圧（V）
- I：電流（A）

単位の関係は

$$1\,\mathrm{V} \times 1\,\mathrm{A} = 1\,\mathrm{W}$$

である。

この関係は、電気エネルギーの意味からも理解できる。

電圧Vが一定の部分を電荷q（単位 C）が通過するとき、その部分に渡される電気エネルギーをEとすれば、

$$E = Vq$$

となる。また、一定の電流Iが時間tだけ流れるとき、

$$I = \frac{q}{t}$$

である。

したがって、

$$\begin{aligned} P &= \frac{E}{t} \\ &= \frac{Vq}{t} \\ &= VI \end{aligned}$$

となる。

ここでqは電荷、後で用いるQは熱量である。記号が似ていても異なる量を表す。

抵抗で消費する電力

抵抗値Rが一定で、オームの法則$V = IR$が成り立つ純抵抗を考える。

純抵抗とは、ここでは電気エネルギーを熱へ変える抵抗素子を指す。

$P = VI$へ$V = IR$を代入すると、

$$P = I^2R$$

となる。

また、$I = \frac{V}{R}$を代入すると、

$$P = \frac{V^2}{R}$$

となる。

純抵抗の電力を表す 3 つの式

$$P = VI = I^2R = \frac{V^2}{R}$$

抵抗値が一定でオームの法則が成り立つ場合、三つの式は同じ電力を表す。

- 電圧と電流が分かるとき：$P = VI$
- 電流と抵抗が分かるとき：$P = I^2R$
- 電圧と抵抗が分かるとき：$P = \frac{V^2}{R}$

ただし、すべての電気機器で、入力した電気エネルギーが全て熱になるわけではない。

例えばモーターでは、電気エネルギーの一部が機械的な仕事へ変換される。機器全体の電気入力をVIで求められても、それを無条件にジュール熱と等しくしてはいけない。

3. ジュール熱と電気エネルギー

抵抗に電流が流れると、電気エネルギーが熱へ変わる。このとき発生する熱を**ジュール熱**という。

抵抗値と電流が一定の純抵抗に、時間tだけ直流を流すとする。

電気入力が全てジュール熱へ変換されるため、その熱量をQとすると、

ジュール熱

$$Q = I^2Rt$$

オームの法則が成り立ち、電圧・電流・抵抗が一定なら、

$$Q = VIt = \frac{V^2}{R}t$$

- Q：発生したジュール熱（J）
- I：電流（A）
- R：抵抗（Ω）
- V：電圧（V）
- t：時間（s）

これらは、抵抗が一定で、電力も一定に保たれる条件で使える式である。

また、**抵抗で発生した熱量**と、**別の物体が受け取った熱量**は必ずしも等しくない。

例えば水を温めるヒーターでは、ヒーターで発生した熱の一部が周囲へ逃げたり、ヒーター自身に蓄積されたりする場合がある。その場合、水が受け取った熱量は電気入力の総量より小さくなる。

4. W・Wh・J を区別する

電気機器の表示には、W だけでなく Wh や kWh も用いられる。

名前は似ているが、表す量が異なる。

単位	読み方	表す量	意味
W	ワット	電力	1 秒当たりのエネルギー変換量
J	ジュール	エネルギー	エネルギーの総量
Wh	ワット時	エネルギー	W で表した電力と h で表した時間の積
kWh	キロワット時	エネルギー	1000Wh

$1\,\mathrm{h} = 3600\,\mathrm{s}$なので、

$$\begin{aligned} 1\,\mathrm{Wh} &= 1\,\mathrm{W} \times 1\,\mathrm{h} \\ &= 1\,\mathrm{J/s} \times 3600\,\mathrm{s} \\ &= 3600\,\mathrm{J} \end{aligned}$$

となる。

同様に、

$$\begin{aligned} 1\,\mathrm{kWh} &= 1000\,\mathrm{Wh} \\ &= 3.6 \times 10^6\,\mathrm{J} \end{aligned}$$

である。

W と Wh を取り違えない

600 Wは電力であり、そのままでは何 J 使ったかは分からない。電力が一定なら、使用時間を掛けることでエネルギーを求められる。

また、Wh の h は時間の単位である。Wh を W/h（ワット毎時）と書いてはいけない。

仕事を表す記号としてWを使う場合もあるが、単位記号の W（ワット）とは区別する。本講では電気エネルギーの量記号をEとする。

5. 電力–時間グラフとエネルギー

電力が一定の場合、$E = Pt$は、横軸を時間t、縦軸を電力Pとしたグラフの長方形の面積に対応する。

例えば、24 Wで180 s使用すると、面積に対応する電気エネルギーは

$$24\,\mathrm{W} \times 180\,\mathrm{s} = 4320\,\mathrm{J}$$

である。

図の縦方向は電力の大きさ、横方向は継続時間を表す。灰色の長方形の面積が、時間内に使われた電気エネルギーの総量である。

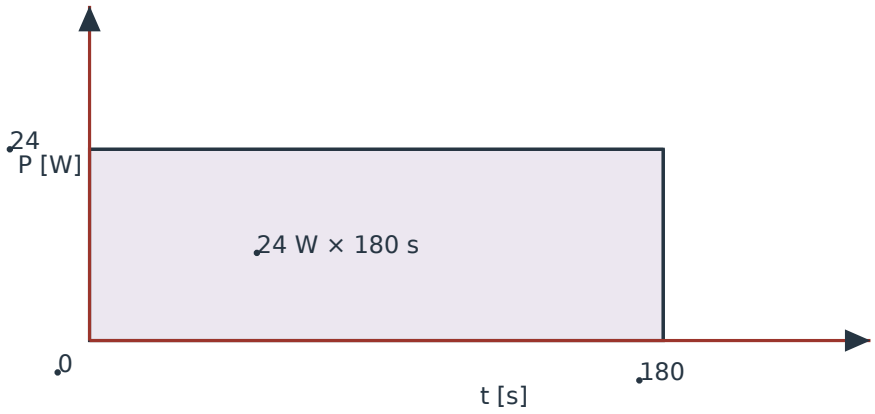


図 2　P–t グラフの面積：4320 J。一定電力の場合。

電力の単位は W、時間の単位は s であり、その積の単位が J になることからも面積の意味を確かめられる。

電力が途中で変わる場合

電力が途中で変わるとき、全区間に一つの電力をそのまま掛けることはできない。

ただし、区間ごとに電力が一定なら、それぞれの区間で$E = Pt$を使い、得られたエネルギーを足せばよい。

例えば前半をP_1、時間をt_1、後半をP_2、時間をt_2とすると、

$$E = P_1 t_1 + P_2 t_2$$

である。

これは P–t グラフで、二つの長方形の面積を足す操作に対応する。

6. 抵抗を変えたときの電力

同じ抵抗を使っていても、電圧を一定にするか、電流を一定にするかによって電力の変化が異なる。

ここでは純抵抗を使い、抵抗値は各条件で一定とする。抵抗を交換する二つの独立した実験を考える。

電圧を一定にする

$$P = \frac{V^2}{R}$$

電圧Vを一定にすると、抵抗Rが大きいほど電力Pは小さくなる。

例えば、12 Vの電源につないだ抵抗を6 Ωから12 Ωへ交換すると、

$$P_1 = \frac{(12\,\mathrm{V})^2}{6\,\Omega} = 24\,\mathrm{W}$$

$$P_2 = \frac{(12\,\mathrm{V})^2}{12\,\Omega} = 12\,\mathrm{W}$$

となり、電力は半分になる。

電流を一定にする

$$P = I^2 R$$

電流Iを一定にすると、抵抗Rが大きいほど電力Pは大きくなる。

例えば、2 Aを保ちながら抵抗を6 Ωから12 Ωへ交換すると、

$$P_1 = (2\,\mathrm{A})^2 \times 6\,\Omega = 24\,\mathrm{W}$$

$$P_2 = (2\,\mathrm{A})^2 \times 12\,\Omega = 48\,\mathrm{W}$$

となり、電力は 2 倍になる。

©ミライコーチング

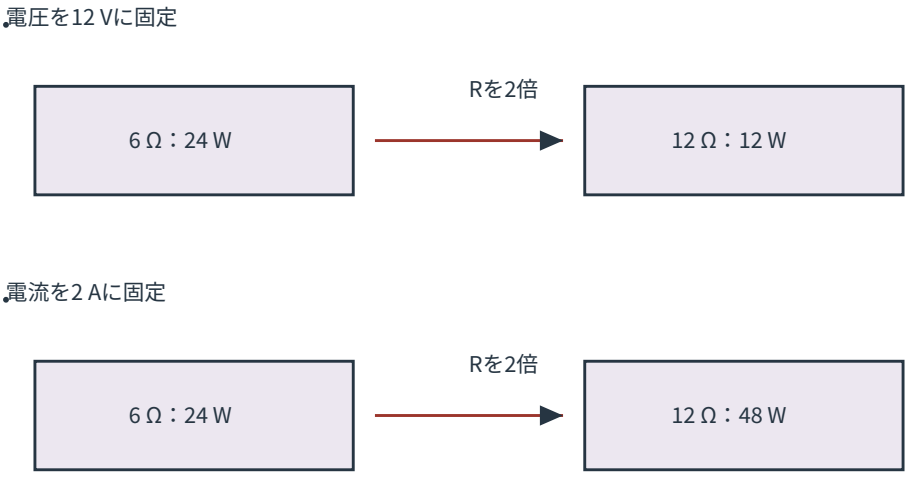


図 3　P=V²/R と P=I²R は固定条件が違う。

図の上下の比較は別々の実験である。抵抗の変更を示す矢印は、電流の向きではない。

抵抗と電力を比べるときの判断

比較条件	使う式	抵抗を 2 倍にすると
電圧Vを固定	$P = \frac{V^2}{R}$	電力は半分
電流Iを固定	$P = I^2R$	電力は 2 倍

抵抗以外の条件を同じにした比較である。発熱量を比べる場合は、使用時間も同じにする必要がある。

抵抗が増えたから必ず発熱が増える、という判断は誤りである。

7. 直列回路と並列回路の電力

複数の抵抗がある回路では、各抵抗で消費する電力と、電源が供給する電力を分けて考える。

ここでは理想電源を用い、導線の抵抗は0 Ω、各抵抗の値は一定とする。電源が供給した電気エネルギーは全て回路内の抵抗で熱へ変換され、他への蓄積や損失はないものとする。

直列接続

直列回路では、全ての抵抗を流れる電流が同じである。

したがって、各抵抗の消費電力を比べるときは

$$P = I^2R$$

を使う。

同じ電流であれば、抵抗が大きいほど消費電力は大きくなる。

並列接続

並列回路では、各抵抗の両端に加わる電圧が同じである。

したがって、

$$P = \frac{V^2}{R}$$

を使う。

同じ電圧であれば、抵抗が小さいほど消費電力は大きくなる。

各抵抗の電力と電源全体の電力

各抵抗で消費する電力をP_1, P_2、電源が供給する電力をP_{all}とする。

理想的な直流抵抗回路では、

$$P_{\text{all}} = P_1 + P_2$$

が成り立つ。

ただし、直列と並列の総電力を比較する場合、電源電圧などの条件もそろえなければ、接続方法だけによる変化とは判断できない。

8. 電気入力と水が受け取る熱量

電熱器で水を温める場合、電気エネルギーの入力をE、水が受け取る熱量をQ_{water}とする。

電気入力がすべて水へ伝わる理想条件なら、

$$Q_{\text{water}} = E$$

となる。

一方、電気入力の一部だけが水へ伝わる場合には、効率を考える必要がある。

効率の意味

水への受熱効率をη（イータ）とする。

受熱効率

$$\eta = \frac{Q_{\text{water}}}{E}$$

したがって、

$$Q_{\text{water}} = \eta E$$

である。

効率を百分率で示した場合は、計算前に小数へ直す。

例えば、効率80%は$\eta = 0.80$である。

電気入力と水が受け取る熱量の差は、周囲へ逃げた熱やヒーター自身に蓄積されたエネルギーなどに対応する。

$$E = Q_{\text{water}} + E_{\text{other}}$$

ここでE_{other}は、水以外へ移ったり蓄積されたりしたエネルギーの総量である。効率で考慮済みの損失を、さらに別の損失として二重に差し引いてはいけない。

水の温度上昇

相変化がなく、比熱が一定の水について、受け取った熱量と温度変化は

$$Q_{\text{water}} = mc\Delta T$$

で結ばれる。

- m：水の質量（kg）
- c：水の比熱（J/(kg K)）
- ΔT：温度上昇（K）

温度上昇が1 Kであることは、温度差が1 ℃であることに対応する。

水が受け取った熱量から温度上昇を求める場合は、

$$\Delta T = \frac{Q_{\text{water}}}{mc}$$

を用いる。

9. 定格電力は条件付きの値

電気機器には「定格電圧 100 V、定格電力 500 W」などと表示される場合がある。

定格電力とは、指定された定格条件で使用したときの電力であり、どの電圧でも一定という意味ではない。

抵抗値が変わらない直流の純抵抗器なら、

$$P = \frac{V^2}{R}$$

であるため、加える電圧を変えると電力も変わる。

例えば電圧を元の0.8倍にすると、

$$P_{\text{new}} = (0.8)^2 P_{\text{rated}} = 0.64 P_{\text{rated}}$$

となる。

この関係は抵抗値を一定と仮定した計算である。実際の電熱器で温度によって抵抗が変化する場合には、そのまま適用できないことがある。

例題で判断を確かめる

例題 1：純抵抗で消費する電力とジュール熱

例題 1

抵抗値6 Ωの純抵抗の両端に、直流12 Vを180 s加える。抵抗値は一定であり、入力された電気エネルギーは全てジュール熱になるものとする。

例題 1(1) 抵抗に流れる電流を求めよ。

例題 1(2) 消費電力を$P = VI$で求め、$P = I^2R$および$P = \frac{V^2}{R}$でも同じ結果になることを確認せよ。

例題 1(3) 180 sの電気エネルギーと、発生したジュール熱を求めよ。

例題 1 の解答・解説

例題 1(1) オームの法則を用いる。

$$I = \frac{12\,\mathrm{V}}{6\,\Omega} = 2\,\mathrm{A}$$

よって、電流は2 Aである。

例題 1(2) 電圧と電流から、

$$P = 12\,\mathrm{V} \times 2\,\mathrm{A} = 24\,\mathrm{W}$$

となる。

電流と抵抗から計算すると、

$$P = (2\,\mathrm{A})^2 \times 6\,\Omega = 24\,\mathrm{W}$$

である。

さらに、電圧と抵抗からは、

$$P = \frac{(12\,\mathrm{V})^2}{6\,\Omega} = 24\,\mathrm{W}$$

となる。いずれも同じ抵抗の消費電力を示している。

例題 1(3) 電力が一定なので、

$$E = 24\,\mathrm{W} \times 180\,\mathrm{s} = 4320\,\mathrm{J}$$

である。

入力が全てジュール熱になる条件より、

$$Q = E = 4320\,\mathrm{J}$$

となる。したがって、電気エネルギーもジュール熱も4320 Jである。

例題 2：Wh と J の換算

例題 2

直流で消費電力が600 W一定の器具を、15分間使用した。器具が消費した電気エネルギーを考える。

例題 2(1) 使用時間を h と s で表せ。

例題 2(2) 電気エネルギーを Wh と kWh で求めよ。

例題 2(3) 同じ電気エネルギーを J で求め、W と Wh が異なる量の単位である理由を説明せよ。

例題 2 の解答・解説

例題 2(1) 15分を時間へ換算すると、

$$t = \frac{15}{60}\,\mathrm{h} = 0.25\,\mathrm{h}$$

である。秒では、

$$t = 15 \times 60\,\mathrm{s} = 900\,\mathrm{s}$$

となる。

例題 2(2) W と h を掛けると Wh になる。

$$E = 600\,\mathrm{W} \times 0.25\,\mathrm{h} = 150\,\mathrm{Wh}$$

よって、

$$E = 0.150\,\mathrm{kWh}$$

である。

例題 2(3) $1\,\mathrm{Wh} = 3600\,\mathrm{J}$より、

$$E = 150\,\mathrm{Wh} \times \frac{3600\,\mathrm{J}}{1\,\mathrm{Wh}}$$

$$= 540000\,\mathrm{J}$$

となる。

秒を用いて直接計算しても、

$$E = 600\,\mathrm{W} \times 900\,\mathrm{s} = 540000\,\mathrm{J}$$

となり一致する。

W は単位時間当たりのエネルギー変換量を表す電力の単位である。一方、Wh は電力と時間の積であり、使ったエネルギーの総量を表す。

例題 3：電圧一定と電流一定の比較

例題 3

抵抗値6 Ωの純抵抗を12 Ωへ取り替える二つの独立した実験 A、B を考える。

実験 A では抵抗の両端電圧を12 Vに固定する。実験 B では抵抗に流れる電流を2 Aに固定する。各抵抗値は一定とする。

例題 3(1) 実験 A で、交換前後の電流と電力を求めよ。

例題 3(2) 実験 B で、交換前後の電圧と電力を求めよ。

例題 3(3) 抵抗値を 2 倍にした場合、発生するジュール熱が必ず 2 倍になるか説明せよ。ただし、それぞれの実験で交換前後の使用時間は同じとする。

例題 3 の解答・解説

例題 3(1) 実験 A では電圧が一定である。

交換前は、

$$I_1 = \frac{12\,\mathrm{V}}{6\,\Omega} = 2\,\mathrm{A}$$

$$P_1 = \frac{(12\,\mathrm{V})^2}{6\,\Omega} = 24\,\mathrm{W}$$

である。

交換後は、

$$I_2 = \frac{12\,\mathrm{V}}{12\,\Omega} = 1\,\mathrm{A}$$

$$P_2 = \frac{(12\,\mathrm{V})^2}{12\,\Omega} = 12\,\mathrm{W}$$

となる。

抵抗を 2 倍にすると、電流と電力はいずれも半分になる。

例題 3(2) 実験 B では電流が一定である。

交換前は、

$$V_1 = 2\,\mathrm{A} \times 6\,\Omega = 12\,\mathrm{V}$$

$$P_1 = (2\,\mathrm{A})^2 \times 6\,\Omega = 24\,\mathrm{W}$$

である。

交換後は、

$$V_2 = 2\,\mathrm{A} \times 12\,\Omega = 24\,\mathrm{V}$$

$$P_2 = (2\,\mathrm{A})^2 \times 12\,\Omega = 48\,\mathrm{W}$$

となる。

電流が一定なので、抵抗を 2 倍にすると電圧と電力は 2 倍になる。

例題 3(3) 必ず 2 倍になるわけではない。

同じ時間tだけ電流を流す場合、ジュール熱は$Q = Pt$であるため、熱量比は電力比と同じになる。

実験 A では熱量が半分になり、実験 B では 2 倍になる。抵抗値だけでなく、電圧と電流のどちらを固定したかを確認する必要がある。

例題 4：直列回路の電力

例題 4

抵抗値3 Ωと6 Ωの純抵抗を、直流18 Vの理想電源に直列接続する。導線の抵抗は0 Ω、各抵抗値は一定である。

次の回路について考える。

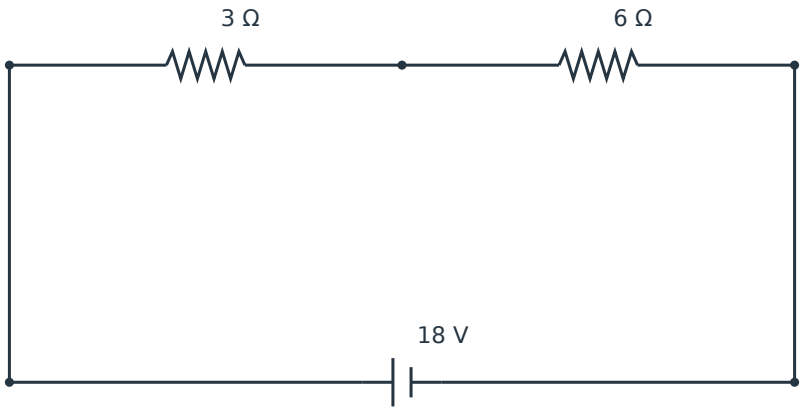


図 4　直列：二つの抵抗を流れる電流が同じ。

例題 4(1) 合成抵抗と回路を流れる電流を求めよ。

例題 4(2) 各抵抗に加わる電圧を求めよ。

例題 4(3) 各抵抗の消費電力と、電源が供給する全電力を求め、両者の関係を確認せよ。

例題 4 の解答・解説

例題 4(1) 直列接続なので、合成抵抗は

$$R_{\text{all}} = 3\,\Omega + 6\,\Omega = 9\,\Omega$$

である。

回路の電流は、

$$I = \frac{18\,\text{V}}{9\,\Omega} = 2\,\text{A}$$

となる。直列回路では、二つの抵抗に同じ2 Aが流れる。

例題 4(2) 3 Ωの抵抗に加わる電圧は、

$$V_1 = 2\,\text{A} \times 3\,\Omega = 6\,\text{V}$$

である。

6 Ωの抵抗では、

$$V_2 = 2\,\text{A} \times 6\,\Omega = 12\,\text{V}$$

となる。

二つの電圧の和は18 Vであり、電源電圧と一致する。

例題 4(3) 各抵抗の消費電力は、

$$P_1 = (2\,\text{A})^2 \times 3\,\Omega = 12\,\text{W}$$

$$P_2 = (2\,\text{A})^2 \times 6\,\Omega = 24\,\text{W}$$

である。

電源が供給する電力は、

$$P_{\text{all}} = 18\,\text{V} \times 2\,\text{A} = 36\,\text{W}$$

である。

また、

$$P_1 + P_2 = 12\,\text{W} + 24\,\text{W} = 36\,\text{W}$$

となり、電源の供給電力と一致する。

直列回路では電流が共通なので、6 Ωの抵抗の方が3 Ωの抵抗より大きな電力を消費する。

例題 5：並列回路の電力

例題 5

抵抗値3 Ωと6 Ωの純抵抗を、直流12 Vの理想電源に並列接続する。導線の抵抗は0 Ω、各抵抗値は一定である。

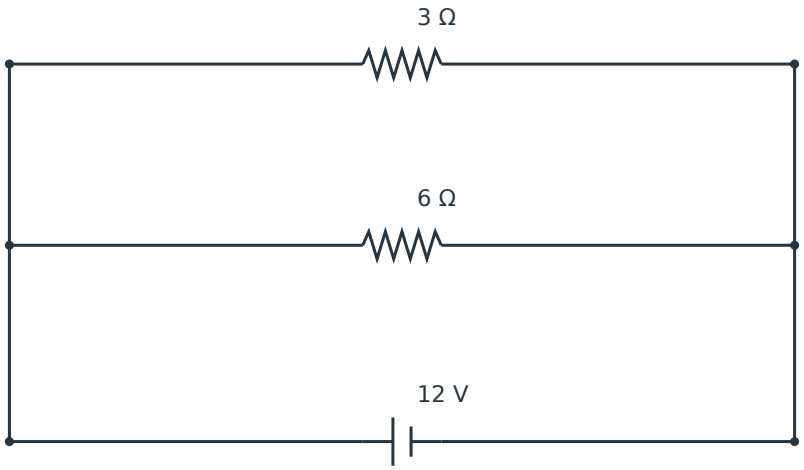


図 5　並列：二つの抵抗の両端電圧が同じ。

例題 5(1) 各抵抗を流れる電流を求めよ。

例題 5(2) 各抵抗の消費電力を求めよ。

例題 5(3) 電源から流れる全電流と、電源が供給する全電力を求め、各抵抗の電力の和と比較せよ。

例題 5 の解答・解説

例題 5(1) 並列回路では、各抵抗の両端電圧がともに12 Vである。

したがって、

$$I_1 = \frac{12\,\mathrm{V}}{3\,\Omega} = 4\,\mathrm{A}$$

$$I_2 = \frac{12\,\mathrm{V}}{6\,\Omega} = 2\,\mathrm{A}$$

となる。

例題 5(2) 各抵抗の消費電力は、

$$P_1 = \frac{(12\,\mathrm{V})^2}{3\,\Omega} = 48\,\mathrm{W}$$

$$P_2 = \frac{(12\,\mathrm{V})^2}{6\,\Omega} = 24\,\mathrm{W}$$

である。

電圧が共通なので、抵抗値が小さい3 Ωの方が消費電力は大きい。

例題 5(3) 電源から流れる全電流は枝電流の和であり、

$$I_{\mathrm{all}} = 4\,\mathrm{A} + 2\,\mathrm{A} = 6\,\mathrm{A}$$

である。

電源の供給電力は、

$$P_{\mathrm{all}} = 12\,\mathrm{V} \times 6\,\mathrm{A} = 72\,\mathrm{W}$$

となる。

各抵抗の電力の和も、

$$48\,\mathrm{W} + 24\,\mathrm{W} = 72\,\mathrm{W}$$

であり、一致する。

直列と並列の比較条件

例題 4 では18 V、例題 5 では12 Vの電源を使っている。

したがって、全電力が36 Wと72 Wで異なることを、接続方法だけの効果と説明してはいけない。

二つの例題で比較できるのは、それぞれの回路内での電力の分配と電源全体との関係である。

例題 6：電熱器の効率と水の温度上昇

例題 6

消費電力500 W一定の電熱器で、質量0.50 kg、初めの温度20 °Cの水を300 s温める。

電気入力の80%が水の受熱に使われる。残りには周囲への損失や電熱器自身に蓄積されるエネルギーが全て含まれる。水の比熱を4200 J/(kg K)とし、この区間で水の相変化はなく、比熱も一定とする。

例題 6(1) 電気エネルギーの入力を求めよ。

例題 6(2) 水が受け取った熱量と、水以外へ移ったり蓄積されたりしたエネルギーを求めよ。

例題 6(3) 水の温度上昇と終温を求めよ。

例題 6 の解答・解説

例題 6(1) 電力が一定なので、

$$\begin{aligned} E &= 500\,\mathrm{W} \times 300\,\mathrm{s} \\ &= 150000\,\mathrm{J} \\ &= 150\,\mathrm{kJ} \end{aligned}$$

である。

例題 6(2) 効率は$\eta = 0.80$である。

水への熱量は、

$$\begin{aligned} Q_{\mathrm{water}} &= 0.80 \times 150000\,\mathrm{J} \\ &= 120000\,\mathrm{J} \end{aligned}$$

となる。

水以外へ移ったり蓄積されたりしたエネルギーは、

$$\begin{aligned} E_{\mathrm{other}} &= 150000\,\mathrm{J} - 120000\,\mathrm{J} \\ &= 30000\,\mathrm{J} \end{aligned}$$

である。

エネルギーの分配を図にすると、次のようになる。

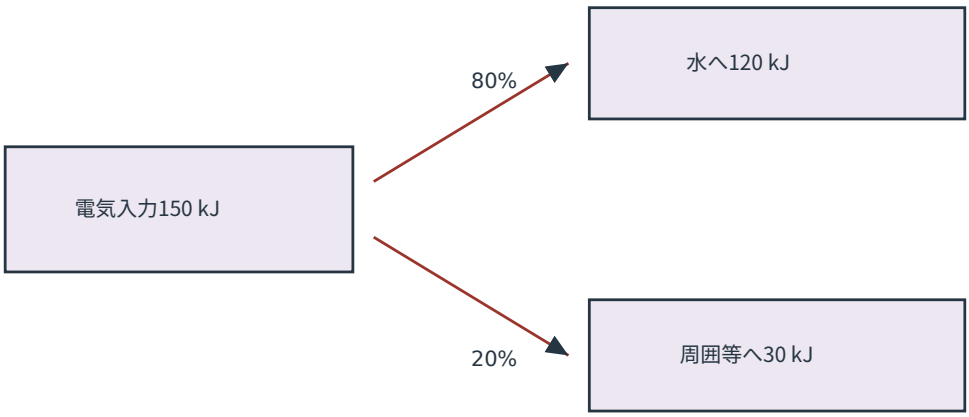


図 6　受熱の効率と全エネルギー保存は両立する。

矢印はエネルギーの分配を表すものであり、電流や電荷の流れではない。

$120\,\mathrm{kJ} + 30\,\mathrm{kJ} = 150\,\mathrm{kJ}$となり、全エネルギーが保存される。

例題 6(3) 水が受け取った熱量を使う。

$$Q_{\mathrm{water}} = mc\Delta T$$

より、

$$\Delta T = \frac{120000\,\mathrm{J}}{0.50\,\mathrm{kg} \times 4200\,\mathrm{J/(kg\,K)}}$$

$$\approx 57.1\,\mathrm{K}$$

となる。

温度差$57.1\,\mathrm{K}$は$57.1\,^\circ\mathrm{C}$の温度上昇に相当するため、終温は

$$T = 20\,^\circ\mathrm{C} + 57.1\,^\circ\mathrm{C} = 77.1\,^\circ\mathrm{C}$$

となる。

したがって、水の温度上昇は約$57.1\,\mathrm{K}$、終温は約$77.1\,^\circ\mathrm{C}$である。

効率80%を使って水への受熱を求めた後、さらに周囲への損失を差し引くことはしない。残り20%はすでに効率へ反映されている。

例題 7：途中で変わる電力と平均電力

例題 7

ある純抵抗の消費電力が、次のように変化した。

時間区間	消費電力
0 sから60 s	20 W
60 sから120 s	40 W

それぞれの区間で電力は一定であり、60 sでの切替は理想的に行われるものとする。切替時の過渡的な変化や抵抗の温度依存性は考えない。

例題 7(1) 0 sから120 sまでに消費した電気エネルギーを求めよ。

例題 7(2) 全区間の平均電力を求めよ。

例題 7 の解答・解説

例題 7(1) 電力が異なるので、前半と後半を分けて考える。

次の P–t グラフでは、最初の60 sに対応する長方形の高さが20 W、次の60 sに対応する長方形の高さが40 Wである。

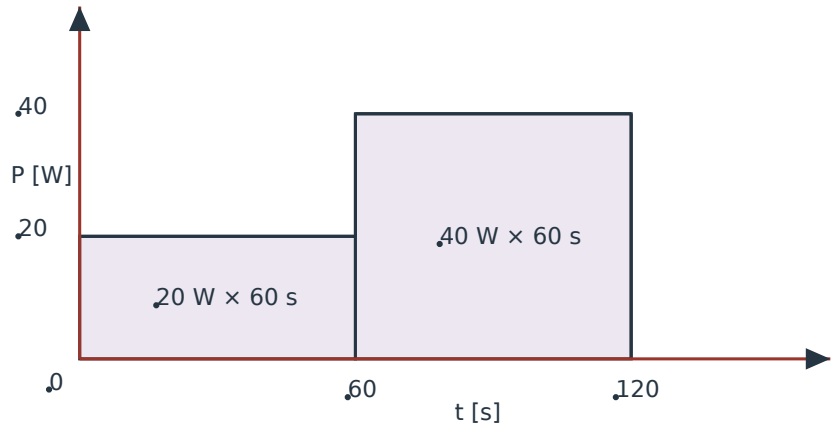


図 7　20 W と 40 W の二つの区間の面積を足して、全エネルギーを求める。

左の長方形の面積は、

$$E_1 = 20\,\mathrm{W} \times 60\,\mathrm{s} = 1200\,\mathrm{J}$$

である。

右の長方形の面積は、

$$E_2 = 40\,\mathrm{W} \times 60\,\mathrm{s} = 2400\,\mathrm{J}$$

である。

したがって、全体の電気エネルギーは、

$$\begin{aligned} E_{\text{all}} &= E_1 + E_2 \\ &= 1200\,\text{J} + 2400\,\text{J} \\ &= 3600\,\text{J} \end{aligned}$$

となる。

二つの長方形は幅が同じで、高さだけが異なる。面積の和が全区間の電気エネルギーを表している。

例題 7(2) 全区間の平均電力は、全エネルギーを全時間で割って求める。

$$\begin{aligned} P_{\text{avg}} &= \frac{3600\,\text{J}}{120\,\text{s}} \\ &= 30\,\text{W} \end{aligned}$$

である。

したがって、平均電力は30 Wとなる。

20 W + 40 W = 60 Wと足しただけでは平均電力にならない。今回は二つの区間の時間が同じなので、平均電力は二つの電力の算術平均とも一致する。

例題 8：定格と異なる電圧で使う電熱器

例題 8

ある純抵抗の電熱器には、定格電圧が直流100 V、定格電力が500 Wと表示されている。

この電熱器に直流80 Vを加える。電熱器の抵抗値は定格条件のときと同じで一定とし、オームの法則が成り立つものとする。

例題 8(1) 電熱器の抵抗値を求めよ。

例題 8(2) 80 Vを加えたときの電流と消費電力を求めよ。

例題 8(3) 定格電力500 Wを、80 Vで使用した場合にもそのまま適用できるか。理由を説明せよ。

例題 8 の解答・解説

例題 8(1) 定格条件では、電圧が100 V、電力が500 Wである。

$P = \frac{V^2}{R}$を変形すると、

$$R = \frac{V^2}{P}$$

となる。よって、

$$R = \frac{(100\,\mathrm{V})^2}{500\,\mathrm{W}} = 20\,\Omega$$

である。

例題 8(2) 抵抗値は20 Ωのままなので、オームの法則より、

$$I = \frac{80\,\mathrm{V}}{20\,\Omega} = 4\,\mathrm{A}$$

となる。

消費電力は、

$$P = 80\,\mathrm{V} \times 4\,\mathrm{A} = 320\,\mathrm{W}$$

である。

$P = \frac{V^2}{R}$を使っても、

$$P = \frac{(80\,\mathrm{V})^2}{20\,\Omega} = 320\,\mathrm{W}$$

となり、一致する。

例題 8(3) 適用できない。

定格電力500 Wは、定格電圧100 Vで使用した場合の電力である。

抵抗値が一定なら、電力は電圧の 2 乗に比例する。今回は電圧が0.8倍なので、

$$\begin{aligned} P_{\mathrm{new}} &= 500\,\mathrm{W} \times (0.8)^2 \\ &= 320\,\mathrm{W} \end{aligned}$$

となる。

定格電力は、どの電圧でも一定という意味ではない。実際の電熱器では温度によって抵抗値が変わる場合もあるため、ここでの計算は抵抗一定という仮定に基づく結果である。

演習問題

電力と時間から、電気エネルギーを求める

演習 1

抵抗値4 Ωの純抵抗に、直流12 Vを10分間加える。

抵抗値は一定であり、電気入力は全てジュール熱になるものとする。

演習 1(1) 抵抗に流れる電流と消費電力を求めよ。

演習 1(2) 10分間に消費する電気エネルギーを J で求めよ。また、発生するジュール熱を求めよ。

演習 1(3) 消費した電気エネルギーを Wh と kWh で表せ。また、W と Wh の違いを説明せよ。

解答・解説は巻末の「演習 1 の解答・解説」を参照。

固定条件によって変わる電力と発熱量

演習 2

抵抗値5 Ωの純抵抗を、10 Ωの純抵抗へ交換する二つの独立した実験 A、B を考える。

実験 A では抵抗の両端電圧を直流10 Vに固定し、実験 B では抵抗に流れる電流を2 Aに固定する。

各抵抗値は一定であり、電気入力は全てジュール熱になる。交換前後の使用時間はいずれも30 sとする。

演習 2(1) 実験 A について、交換前後の電流と消費電力を求めよ。

演習 2(2) 実験 B について、交換前後の電圧と消費電力を求めよ。

演習 2(3) 実験 A、B それぞれについて、交換前後の30 s間に発生するジュール熱を求めよ。

演習 2(4) 「抵抗値が 2 倍になれば、ジュール熱も必ず 2 倍になる」という考えが正しくない理由を説明せよ。

解答・解説は巻末の「演習 2 の解答・解説」を参照。

©ミライコーチング

直列回路と並列回路における電力の分配

演習 3

抵抗値4 Ωと8 Ωの二つの純抵抗を使用し、次の二つの回路を別々に作る。

- 回路 A：二つの抵抗を直流12 Vの理想電源に直列接続する。
- 回路 B：同じ二つの抵抗を直流12 Vの理想電源に並列接続する。

いずれも導線の抵抗は0 Ω、各抵抗値は一定であり、電源が供給する電力は全て二つの抵抗で消費されるものとする。

演習 3(1) 回路 A の合成抵抗と、各抵抗を流れる電流を求めよ。

演習 3(2) 回路 A の各抵抗の消費電力と、電源が供給する全電力を求め、両者の関係を確認せよ。

演習 3(3) 回路 B で各抵抗を流れる電流と、各抵抗の消費電力を求めよ。

演習 3(4) 回路 B で電源から流れる全電流と全電力を求め、各抵抗の電力の和と一致することを示せ。

演習 3(5) 回路 A では大きい抵抗の方が、回路 B では小さい抵抗の方が大きな電力を消費する。その理由を、二つの回路で共通となる物理量の違いから説明せよ。

解答・解説は巻末の「演習 3 の解答・解説」を参照。

電気入力と水への受熱

演習 4

消費電力が400 W一定の電熱器を使い、質量0.50 kg、初めの温度22 °Cの水を210 s温める。

電気入力の75%が水へ伝わり、残りには周囲への熱損失や電熱器自身に蓄積されるエネルギーが全て含まれるものとする。

水の比熱は4200 J/(kg K)で一定とし、加熱中に水の相変化はない。

演習 4(1) 電熱器に入力された電気エネルギーを求めよ。

演習 4(2) 水が受け取った熱量と、水以外へ移ったり蓄積されたりしたエネルギーを求めよ。

演習 4(3) 水の温度上昇と終温を求めよ。

演習 4(4) 電気入力をそのまま$Q = mc\Delta T$のQに代入してはいけない理由を説明せよ。

解答・解説は巻末の「演習 4 の解答・解説」を参照。

P–t グラフの面積と平均電力

演習 5

ある純抵抗の消費電力が、次のように変化した。

時間区間	消費電力
0 sから40 s	15 W
40 sから100 s	35 W

各区間で電力は一定であり、区間の切替は理想的に行われる。切替時の過渡的な変化や抵抗の温度依存性は考えない。

演習 5(1) 前半と後半の各区間で消費した電気エネルギーを求めよ。

演習 5(2) 全100 s間に消費した電気エネルギーを求めよ。また、P–t グラフの面積と対応させて説明せよ。

演習 5(3) 全区間の平均電力を求めよ。

演習 5(4) 二つの電力の算術平均を計算するだけでは、全区間の平均電力を正しく求められない理由を説明せよ。

解答・解説は巻末の「演習 5 の解答・解説」を参照。

定格電圧と異なる条件での消費電力

演習 6

ある純抵抗の電熱器には、定格電圧が直流120 V、定格電力が360 Wと表示されている。

この電熱器へ直流60 Vを加え、10分間使用する。

抵抗値は定格条件のときと同じで一定とし、オームの法則が成り立つものとする。

演習 6(1) 定格条件での抵抗値を求めよ。

演習 6(2) 60 Vを加えたときの電流と消費電力を求めよ。

演習 6(3) 10分間に消費する電気エネルギーを J と Wh で求めよ。

演習 6(4) 定格電圧を半分にしたとき、消費電力は半分になるか。抵抗一定という条件を使って説明せよ。

解答・解説は巻末の「演習 6 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) 抵抗に流れる電流は、オームの法則より、

$$I = \frac{12\,\mathrm{V}}{4\,\Omega} = 3\,\mathrm{A}$$

である。

消費電力は、

$$P = 12\,\mathrm{V} \times 3\,\mathrm{A} = 36\,\mathrm{W}$$

となる。

したがって、電流は3 A、消費電力は36 Wである。

演習 1(2) 10分を秒へ換算すると、

$$t = 10 \times 60\,\mathrm{s} = 600\,\mathrm{s}$$

である。

電力が一定なので、

$$\begin{aligned} E &= 36\,\mathrm{W} \times 600\,\mathrm{s} \\ &= 21600\,\mathrm{J} \end{aligned}$$

となる。

電気入力が全てジュール熱になるため、

$$Q = E = 21600\,\mathrm{J}$$

である。

よって、電気エネルギーとジュール熱はともに21600 Jとなる。

演習 1(3) 使用時間は、

$$t = \frac{10}{60}\,\mathrm{h} = \frac{1}{6}\,\mathrm{h}$$

である。

したがって、

$$\begin{aligned} E &= 36\,\mathrm{W} \times \frac{1}{6}\,\mathrm{h} \\ &= 6\,\mathrm{Wh} \\ &= 0.006\,\mathrm{kWh} \end{aligned}$$

となる。

$1\,\mathrm{Wh} = 3600\,\mathrm{J}$より、

$$6\,\mathrm{Wh} = 21600\,\mathrm{J}$$

となり、演習 1(2)の答えと一致する。

W は、単位時間当たりに消費する電気エネルギーを示す電力の単位である。Wh は、電力と使用時間の積で表される電気エネルギーの単位である。

演習 2 の解答・解説

演習 2(1) 実験 A では、抵抗の両端電圧10 Vを一定に保つ。

交換前の抵抗は5 Ωなので、電流と電力は、

$$I_1 = \frac{10\,\mathrm{V}}{5\,\Omega} = 2\,\mathrm{A}$$

$$P_1 = \frac{(10\,\mathrm{V})^2}{5\,\Omega} = 20\,\mathrm{W}$$

となる。

交換後の抵抗は10 Ωなので、

$$I_2 = \frac{10\,\mathrm{V}}{10\,\Omega} = 1\,\mathrm{A}$$

$$P_2 = \frac{(10\,\mathrm{V})^2}{10\,\Omega} = 10\,\mathrm{W}$$

となる。

したがって、交換前は電流2 A、電力20 W、交換後は電流1 A、電力10 Wである。

電圧が一定の場合、抵抗を 2 倍にすると電流と電力は半分になる。

演習 2(2) 実験 B では、電流2 Aを一定に保つ。

交換前の電圧と電力は、

$$V_1 = 2\,\mathrm{A} \times 5\,\Omega = 10\,\mathrm{V}$$

$$P_1 = (2\,\mathrm{A})^2 \times 5\,\Omega = 20\,\mathrm{W}$$

である。

交換後は、

$$V_2 = 2\,\mathrm{A} \times 10\,\Omega = 20\,\mathrm{V}$$

$$P_2 = (2\,\mathrm{A})^2 \times 10\,\Omega = 40\,\mathrm{W}$$

となる。

したがって、交換前は電圧10 V、電力20 W、交換後は電圧20 V、電力40 Wである。

電流が一定の場合、抵抗を 2 倍にすると電圧と電力は 2 倍になる。

演習 2(3) どちらの実験も、交換前後の使用時間は30 sである。純抵抗への電気入力が全てジュール熱になるので、$Q = Pt$を用いる。

実験 A の交換前は、

$$Q_{\mathrm{A1}} = 20\,\mathrm{W} \times 30\,\mathrm{s} = 600\,\mathrm{J}$$

である。

交換後は、

$$Q_{\mathrm{A2}} = 10\,\mathrm{W} \times 30\,\mathrm{s} = 300\,\mathrm{J}$$

となる。

一方、実験 B の交換前は、

$$Q_{\mathrm{B1}} = 20\,\mathrm{W} \times 30\,\mathrm{s} = 600\,\mathrm{J}$$

である。

交換後は、

$$Q_{\mathrm{B2}} = 40\,\mathrm{W} \times 30\,\mathrm{s} = 1200\,\mathrm{J}$$

となる。

結果を整理すると、次のようになる。

実験	交換前のジュール熱	交換後のジュール熱
A：電圧一定	600 J	300 J
B：電流一定	600 J	1200 J

実験 A ではジュール熱が半分、実験 B では 2 倍になる。

演習 2(4) 抵抗値が 2 倍になっても、ジュール熱が必ず 2 倍になるわけではない。

電圧を一定にすると、

$$Q = \frac{V^2}{R}t$$

より、同じ時間ではジュール熱が抵抗値に反比例する。

一方、電流を一定にすると、

$$Q = I^2 R t$$

より、同じ時間ではジュール熱が抵抗値に比例する。

したがって、抵抗とジュール熱の関係を判断するには、電圧と電流のどちらを固定しているかを確認する必要がある。

演習 3 の解答・解説

演習 3(1) 回路 A では、4 Ωと8 Ωの抵抗が直列接続されている。

合成抵抗は、

$$R_{\mathrm{A}} = 4\,\Omega + 8\,\Omega = 12\,\Omega$$

である。

電源電圧は12 Vなので、回路を流れる電流は、

$$I_{\mathrm{A}} = \frac{12\,\mathrm{V}}{12\,\Omega} = 1\,\mathrm{A}$$

となる。

直列回路では電流が共通である。したがって、4 Ωの抵抗にも8 Ωの抵抗にも1 Aが流れる。

演習 3(2) 回路 A では、各抵抗を流れる電流が1 Aであるため、$P = I^2 R$を用いる。

4 Ωの抵抗の消費電力は、

$$P_1 = (1\,\mathrm{A})^2 \times 4\,\Omega = 4\,\mathrm{W}$$

である。

8 Ωの抵抗では、

$$P_2 = (1\,\mathrm{A})^2 \times 8\,\Omega = 8\,\mathrm{W}$$

となる。

電源が供給する全電力は、

$$P_\mathrm{A} = 12\,\mathrm{V} \times 1\,\mathrm{A} = 12\,\mathrm{W}$$

である。

各抵抗の消費電力を足すと、

$$P_1 + P_2 = 4\,\mathrm{W} + 8\,\mathrm{W} = 12\,\mathrm{W}$$

となる。

したがって、各抵抗の電力の和は電源の供給電力と一致する。

演習 3(3) 回路 B では、二つの抵抗が並列接続されているため、各抵抗の両端電圧はともに12 Vである。

4 Ωの抵抗を流れる電流は、

$$I_1 = \frac{12\,\mathrm{V}}{4\,\Omega} = 3\,\mathrm{A}$$

である。

8 Ωの抵抗では、

$$I_2 = \frac{12\,\mathrm{V}}{8\,\Omega} = 1.5\,\mathrm{A}$$

となる。

各抵抗の消費電力は、$P = \frac{V^2}{R}$ より、

$$P_1 = \frac{(12\,\mathrm{V})^2}{4\,\Omega} = 36\,\mathrm{W}$$

$$P_2 = \frac{(12\,\mathrm{V})^2}{8\,\Omega} = 18\,\mathrm{W}$$

である。

したがって、4 Ωの抵抗は3 A、36 W、8 Ωの抵抗は1.5 A、18 Wとなる。

演習 3(4) 回路 B で電源から流れる全電流は、二つの枝電流の和である。

$$I_{\mathrm{B}} = 3\,\mathrm{A} + 1.5\,\mathrm{A}$$
$$= 4.5\,\mathrm{A}$$

したがって、電源が供給する全電力は、

$$P_{\mathrm{B}} = 12\,\mathrm{V} \times 4.5\,\mathrm{A} = 54\,\mathrm{W}$$

である。

一方、各抵抗の消費電力の和は、

$$P_1 + P_2 = 36\,\mathrm{W} + 18\,\mathrm{W} = 54\,\mathrm{W}$$

となる。

よって、電源が供給する全電力と各抵抗で消費する電力の和は一致する。

演習 3(5) 回路 A では、直列接続なので各抵抗を流れる電流が等しい。

この場合、

$$P = I^2 R$$

より、電流が同じなら抵抗値が大きいほど消費電力は大きくなる。

そのため、8 Ωの抵抗の方が大きな電力を消費する。

一方、回路 B では、並列接続なので各抵抗の両端電圧が等しい。

この場合、

$$P = \frac{V^2}{R}$$

より、電圧が同じなら抵抗値が小さいほど消費電力は大きくなる。

そのため、4 Ωの抵抗の方が大きな電力を消費する。

両回路の電源電圧は同じ12 Vであるが、各抵抗について共通になる物理量が異なる。

直列回路では電流、並列回路では電圧を共通条件として判断することが重要である。

演習 4 の解答・解説

演習 4(1) 電熱器の消費電力は400 W、使用時間は210 sである。

電力が一定なので、

$$E = 400\,\mathrm{W} \times 210\,\mathrm{s}$$
$$= 84000\,\mathrm{J}$$

となる。

したがって、電気入力は84000 Jである。

演習 4(2) 電気入力の75%が水へ伝わるため、受熱効率は$\eta = 0.75$である。

水が受け取った熱量は、

$$Q_{\text{water}} = 0.75 \times 84000\,\text{J}$$
$$= 63000\,\text{J}$$

である。

水以外へ移ったり蓄積されたりしたエネルギーは、

$$E_{\text{other}} = 84000\,\text{J} - 63000\,\text{J}$$
$$= 21000\,\text{J}$$

となる。

したがって、水が受け取った熱量は63000 J、それ以外へ分配されたエネルギーは21000 Jである。

確認すると、

$$63000\,\text{J} + 21000\,\text{J} = 84000\,\text{J}$$

であり、電気入力の総量と一致する。

演習 4(3) 水の温度上昇をΔTとする。

水の質量は0.50 kg、比熱は4200 J/(kg K)である。

水が受け取った熱量を用いて、

$$Q_{\text{water}} = mc\Delta T$$

より、

$$\Delta T = \frac{63000\,\text{J}}{0.50\,\text{kg} \times 4200\,\text{J/(kg K)}}$$
$$= 30\,\text{K}$$

となる。

30 Kの温度上昇は、摂氏温度で30 °Cの上昇に相当する。

したがって、終温は、

$$T = 22\,^\circ\text{C} + 30\,^\circ\text{C} = 52\,^\circ\text{C}$$

である。

答えは、温度上昇30 K、終温52 °Cとなる。

演習 4(4) $Q = mc\Delta T$のQは、対象である水が実際に受け取った熱量を表す。

本問では電気入力の全てが水へ伝わるわけではなく、25%は水以外へ移ったり蓄積されたりする。

そのため、電気入力84000 Jをそのまま水の熱量として代入すると、温度上昇を過大に計算してしまう。

まず効率を用いて水への熱量63000 Jを求め、その値を$Q = mc\Delta T$へ代入する必要がある。

なお、効率の残り25%は水へ伝わらなかった分として既に計上されているため、これをさらに差し引いてはいけない。

演習 5 の解答・解説

演習 5(1) 電力が途中で変化するため、時間区間を分けて電気エネルギーを求める。

最初の区間は0 sから40 sまでなので、継続時間は40 sである。

電力は15 W一定だから、

$$E_1 = 15\,\mathrm{W} \times 40\,\mathrm{s} = 600\,\mathrm{J}$$

となる。

次の区間は40 sから100 sまでなので、継続時間は、

$$t_2 = 100\,\mathrm{s} - 40\,\mathrm{s} = 60\,\mathrm{s}$$

である。

電力は35 W一定だから、

$$E_2 = 35\,\mathrm{W} \times 60\,\mathrm{s} = 2100\,\mathrm{J}$$

となる。

したがって、前半の電気エネルギーは600 J、後半は2100 Jである。

演習 5(2) 全区間の電気エネルギーは、各区間の電気エネルギーの和である。

$$E_{\mathrm{all}} = E_1 + E_2 = 600\,\mathrm{J} + 2100\,\mathrm{J} = 2700\,\mathrm{J}$$

となる。

P–t グラフで考えると、最初の区間には幅40 s、高さ15 Wの長方形が対応する。

次の区間には幅60 s、高さ35 Wの長方形が対応する。

それぞれの面積は600 Jと2100 Jに相当するため、二つの長方形の面積の和が全体の電気エネルギー2700 Jとなる。

演習 5(3) 平均電力は、全区間で消費した電気エネルギーを全時間で割ることで求められる。

$$P_{\mathrm{avg}} = \frac{2700\,\mathrm{J}}{100\,\mathrm{s}} = 27\,\mathrm{W}$$

したがって、全区間の平均電力は27 Wである。

演習 5(4) 二つの電力を単純に算術平均すると、

$$\frac{15\,\mathrm{W} + 35\,\mathrm{W}}{2} = 25\,\mathrm{W}$$

となる。しかし、これは本問の平均電力27 Wとは異なる。

理由は、二つの電力が続いた時間が等しくないためである。

15 Wの区間は40 s、35 Wの区間は60 s続いている。

平均電力は時間の長さを考慮して、

$$P_{\text{avg}} = \frac{15\,\text{W} \times 40\,\text{s} + 35\,\text{W} \times 60\,\text{s}}{40\,\text{s} + 60\,\text{s}}$$

$$P_{\text{avg}} = 27\,\text{W}$$

と求める必要がある。

全区間の平均電力は、各区間の電力そのものではなく、全電気エネルギーを全時間で割った値である。

演習 6 の解答・解説

演習 6(1) 定格電圧は直流120 V、定格電力は360 Wである。

純抵抗について、

$$P = \frac{V^2}{R}$$

が成り立つ。

これを抵抗値について変形すると、

$$R = \frac{V^2}{P}$$

である。

したがって、

$$R = \frac{(120\,\text{V})^2}{360\,\text{W}}$$

$$= 40\,\Omega$$

となる。

よって、定格条件での抵抗値は40 Ωである。

演習 6(2) 本問では抵抗値が定格条件のときと同じ40 Ωで一定と仮定されている。

直流60 Vを加えたときの電流は、オームの法則より、

$$I = \frac{60\,\text{V}}{40\,\Omega} = 1.5\,\text{A}$$

となる。

消費電力は、

$$P = 60\,\text{V} \times 1.5\,\text{A}$$

$$= 90\,\text{W}$$

である。

したがって、電流は1.5 A、消費電力は90 Wとなる。

演習 6(3) 10分を秒へ換算すると、

$$t = 10 \times 60\,\text{s} = 600\,\text{s}$$

である。

電力が90 W一定なので、電気エネルギーは、

$$\begin{aligned} E &= 90\,\mathrm{W} \times 600\,\mathrm{s} \\ &= 54000\,\mathrm{J} \end{aligned}$$

となる。

次に、時間を h で表すと、

$$t = \frac{10}{60}\,\mathrm{h} = \frac{1}{6}\,\mathrm{h}$$

である。

したがって、

$$\begin{aligned} E &= 90\,\mathrm{W} \times \frac{1}{6}\,\mathrm{h} \\ &= 15\,\mathrm{Wh} \end{aligned}$$

となる。

15 Wh = 54000 Jなので、二つの単位による計算は一致する。

よって、電気エネルギーは54000 J、すなわち15 Whである。

演習 6(4) 消費電力は半分にはならない。抵抗値が一定の場合、電力は電圧の 2 乗に比例するからである。

定格電圧120 Vに対し、実際に加える電圧は60 Vなので、電圧は0.5倍である。

したがって、

$$\begin{aligned} P_{\mathrm{new}} &= 360\,\mathrm{W} \times (0.5)^2 \\ &= 360\,\mathrm{W} \times 0.25 \\ &= 90\,\mathrm{W} \end{aligned}$$

となる。

電圧を半分にすると、抵抗値が一定なら消費電力は元の 4 分の 1 になる。

定格電力360 Wは、定格電圧120 Vで使用した場合の値であり、異なる電圧でも同じ電力が維持されるわけではない。

なお、実際の電熱器では温度変化によって抵抗値が変わる場合がある。本問の90 Wという結果は、抵抗値を40 Ωで一定とする条件に基づくものである。