

1 ジュール熱

図1に示す装置で、スイッチSを入れると、ニクロム線に電流が流れ、水の温度が上昇する。かくはん器で水をかくはんしながら、温度計で水温をはかると、ニクロム線に電流が流れることによって熱量が発生したことがわかる。抵抗 $R[\Omega]$ に電圧 $V[V]$ を加え、電流 $I[A]$ が t 秒間流れたときに発生する熱量 $H[J]$ は、次の式で表される。

$$\bullet \text{ジュールの法則} \quad H = RI^2t [J] \quad (1)$$

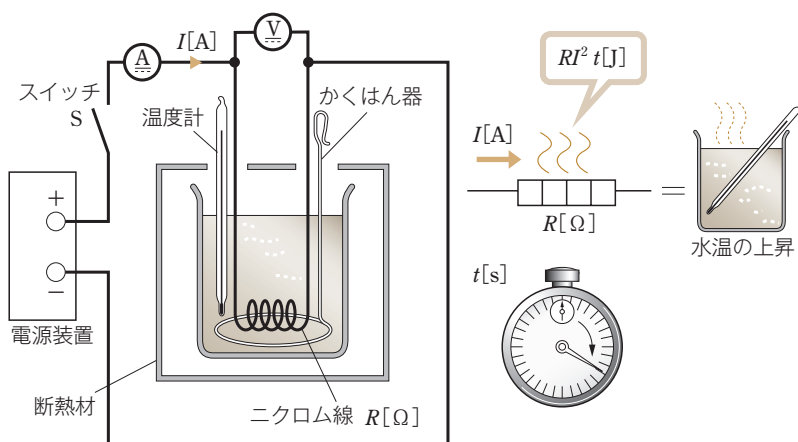


図1 抵抗に発生する熱エネルギー

① Joule's law

参考 1gの水の温度を 1°C 上昇させるのに必要な熱量は、 $4.2\text{J} = 1\text{cal}$ である。

この関係をジュールの法則^①といい、このとき発生する熱エネルギーをジュール熱とよぶ。単位には、ジュール(単位記号J)を用いる。

1Jとは、1 Ω の抵抗に1Aの電流が1秒間流れたときに発生する熱エネルギーの大きさである。また、電熱器・電気アイロンなどの家庭用電熱器具や工場で使用される電気炉・スポット溶接機などは、ジュール熱を利用したものである。

例題1 抵抗値50 Ω の電熱器に、2Aの電流が50秒間流れたとき、この電流による発熱量は何ジュールか。

解答… 発生する発熱量は、式(1)から、

$$H = RI^2t = 50 \times 2^2 \times 50 = 10\,000\text{J} = 10\text{kJ}$$

熱量の単位

J

[ジュール]

ジュール [James Prescott Joule, 1818 ~ 1889]

イギリスの物理学者。機械のする仕事や、それが動いている間の熱の測定の研究を行い、1840年、電流の熱作用に関するジュールの法則を確立した。さらに1843年、力学的エネルギーが熱に変わるという論文を発表し、熱力学論の展開を促進した。

問 1 電圧200Vで4Aの電流が流れる電熱線がある。この電熱線に5分間電流を流し続けると、何ジュールの熱が発生するか。

問 2 図2は、電流によって発生する熱量を測定する熱量計の原理図である。次の問いに答えよ。

(1) 電圧計、電流計の指示がそれぞれ15V、20Aであった。このとき、1秒間に発生する熱量は何ジュールか。

(2) 熱量計に使われている電熱線の抵抗の大きさを求めよ。

(3) 熱量計の容器の中には、はじめ10℃の水が100gはいていたという。この水の温度を60℃まで上昇させるのに、電流を流しはじめてから何秒かかるか。

ただし、1gの水の温度を1℃上昇させるのに、4.2Jが必要であり、熱の損失はないものとする。

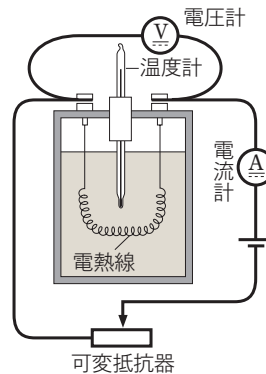


図2

2 電力と電力量

電熱器・ランプ・電動機などの負荷に、電圧を加えて電流を流すと、それらの負荷には、熱・光・動力が生じ、いろいろな仕事をする。図3^①は、供給された電気エネルギーが、負荷を通して熱エネ

^① 交流電源による例であるが、電気エネルギーの例として示した。

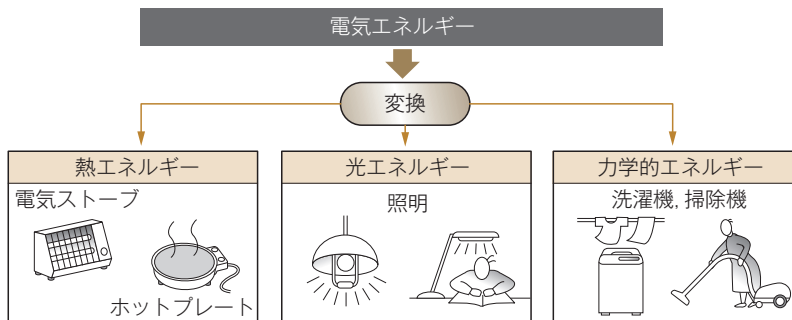


図3 身近な電気エネルギーの変換例

① electric power

ルギー・光エネルギー・力学的エネルギーなどに変換される例である。

電気エネルギーが、単位時間あたりにする仕事の大きさを**電力^①**という。電力の単位には、**ワット**(単位記号**W**)が用いられる。

1 Wは1秒間に1 Jの仕事をする電力である。したがって、1 Wは1 J/sに相当する。電圧 $V[V]$ で $I[A]$ の電流が流れているときの電力 $P[W]$ は、次の式で表される。

$$\bullet \text{電力} \quad P = VI = RI^2 = \frac{V^2}{R} [W] \quad (2)$$

また電流が、ある時間内にする仕事の量を**電力量**といい、電力と時間の積で表す。すなわち、 $P[W]$ の電力を t 秒間使用したときの電力量 W は、次の式で表される。

$$\bullet \text{電力量} \quad W = Pt [W \cdot s] \quad (3)$$

電力量の単位には、 $W \cdot s$ または J が用いられる。大きな電力量を表す単位には、**ワット時**(単位記号**W·h**)、**キロワット時**(単位記号**kW·h**) が用いられ、一般の家庭の使用電力量の単位には、 $kW \cdot h$ が用いられる。電力と電力量の単位を表1に示す。

また、図4に電力量をはかる電力量計の外観を示す。

表1 電力と電力量の単位

量	単位	単位記号	単位の関係
電力	ミリワット	mW	$1mW = \frac{1}{1000} W = 10^{-3} W$
	ワット	W	
	キロワット	kW	$1kW = 1000 W = 10^3 W$
電力量	ジュール	J	
	ワット秒	$W \cdot s$	$1 W \cdot s = 1 J$
	ワット時	$W \cdot h$	$1 W \cdot h = 3600 W \cdot s = 3.6 \times 10^3 W \cdot s = 3.6 \times 10^3 J$
	キロワット時	$kW \cdot h$	$1 kW \cdot h = 1000 \times 3600 W \cdot s = 3.6 \times 10^6 W \cdot s = 3.6 \times 10^6 J$



図4 電力量計

例題2 100 V, 60 Wの白熱電球に、100 Vの電圧を加えるとき、流れる電流はいくらか。また、抵抗はいくらか。

解答… 式(2)から、流れる電流 $I[A]$ は次のように求められる。

$$I = \frac{P}{V} = \frac{60}{100} = 0.6 A$$

オームの法則から、抵抗 $R[\Omega]$ は次のように求められる。

$$R = \frac{V}{I} = \frac{100}{0.6} = 167 \Omega$$

例題3 800Wの電気ストーブを毎日4時間使用すると、30日間に使用する電力量は何kW・hになるか。

解答… 求める使用電力量 $W[\text{kW}\cdot\text{h}]$ は、式(3)から、

$$W = Pt = 800 \times 4 \times 30 = 96\,000\text{W}\cdot\text{h} = 96\text{kW}\cdot\text{h}$$

5 **問3** 100Vの電源に接続された抵抗器がある。流れる電流は8Aであった。この抵抗器に供給されている電力は何ワットか。

問4 25Ωの抵抗をもつ電熱器に5Aの電流を流して、20℃の水500gを80℃まで上昇させるには何分かかかるか。ただし、1gの水の温度を1℃上昇させるために、4.2Jが必要であり、熱の損失はないものとする。

10 **問5** 100V、0.6kWの電熱器について、次の問いに答えよ。

- (1) この電熱器に100Vの電圧を加えると、何アンペアの電流が流れるか。
- (2) この電熱器の抵抗は、何オームか。
- (3) この電熱器を1時間使用したときに生じる熱量は何ジュールか。

3 許容電流とヒューズ

15 電線に電流が流れると、電線中にあるわずかな抵抗によってジュール熱が発生し、電線自身の温度が高くなる。温度が高くなりすぎると、電線をおおっている絶縁物が劣化して絶縁性が悪くなり、火災の危険が生じる。これを防ぐため、電線には安全に流すことのできる最大電流が決められている。この電流をその電線の**許容電流**^①といい、許容電流は、電線の太さや周囲の温度によって異なる。

20 また、コンセントなどの配線器具の端子間で、2本の電線が直接接触したり、その他の原因によって、回路に許容電流を超える電流が流れたとき、その回路を遮断して危険を防止する器具として、**ヒューズ**^②(図5)や**配線用遮断器**^③(図6)が使われている。

規定以上の電流が流れたとき、ヒューズはジュール熱による溶断により回路を遮断し、配線用遮断器は自動的に接点の開放を行うことにより回路を遮断する。ヒューズや配線用遮断器は回路に合わせた適正な容量のものを使用する。

① allowable current

ビニル絶縁電線の場合、直径によって許容電流は次のように定められている。

直径	1.6mm	2.0mm
許容電流	27A	35A

周囲温度30℃以下のとき
(電気設備技術基準の解釈第172条による)

② fuse

ヒューズには、すずや鉛などの溶けやすい合金が使われている。

③ molded-case circuit-breaker

一般にブレーカとよばれている。



図5 ヒューズ



図6 配線用遮断器



ポリマー・リセッタブル・ サーキット・プロテクタ (ポリスイッチ)

ヒューズに代わって過電流を遮断する素子としては、ポリマー・リセッタブル・サーキット・プロテクタ(ポリスイッチ)が用いられている。

ポリスイッチは、電氣的な過負荷や短絡が発生した場合、低抵抗から超高抵抗に瞬時に切り替える働きをする。また、故障条件の修正や電力の除去が発生した場合は、すばやく自動的に低抵抗にリセットする。小形でヒューズホルダも不要であり、自動リセットは数千回可能である。

これらの性質を生かして、電源装置や自動車用部品・医療機器・コンピュータ関連など広い用途で使用する。

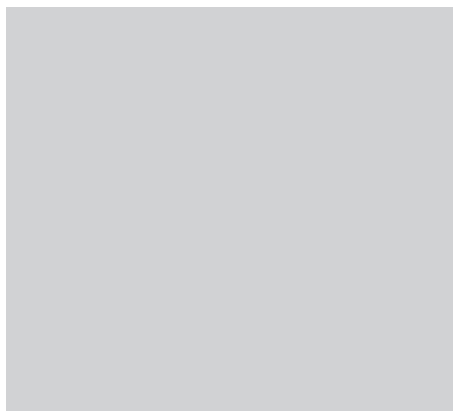


図7 ポリスイッチの外観例

4 熱電気現象

2種類の金属の両端を接合して回路をつくり、その二つの接合部に温度差を与えると、回路に起電力が発生して電流が流れる。また、この回路に電流を流すと、接合部の温度が上がったり下がったりする現象が現れる。これを**熱電気現象**という。

① 銅60%，ニッケル40%の合金。

1 ゼーベック効果

2種類の金属を、たとえば銅とコンスタンタン^①とし、図8(a)のように接続

して、A部を加熱し、B部を冷やすと、回路に一定の向きの起電力が発生し、電流が流れる。

② thermocouple
温度の高いほうを温接点，低いほうを冷接点という。

このとき発生する起電力を**熱起電力**といい、流れる電流を**熱電流**という。また、このような2種類の金属線の組み合わせを**熱電対^②**という。

③ Seebeck effect

この現象は、ゼーベックによって発見されたので、**ゼーベック効果^③**という。

熱電温度計は、このゼーベック効果を利用した温度計で、電気炉などの温度測定に用いられる。図(b)に、熱電温度計の基本的な構成を示す。

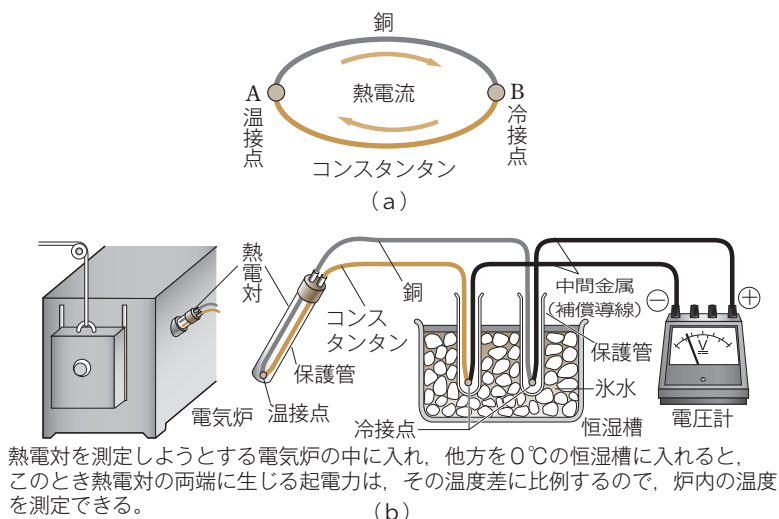


図8 ゼーベック効果

2 ペルチエ効果

図9のように、銅とコンスタンタンの2種類の異なった金属線を接合させ、図(a)のように、銅からコンスタンタンの向きに電流を流すと、接合部で熱を発生する。また、図(b)のように、コンスタンタンから銅の向きに電流を流すと、接合部で吸熱する。なお、これらの熱はジュール熱ではない。

この現象は、ゼーベック効果と逆の現象で、ペルチエによって発見されたので、**ペルチエ効果^①**とよばれる。

① Peltier effect

ペルチエ効果の利用例としては、パーソナルコンピュータ（以下パソコン）のCPU冷却装置や、自動車などに搭載する小形冷蔵庫がある。

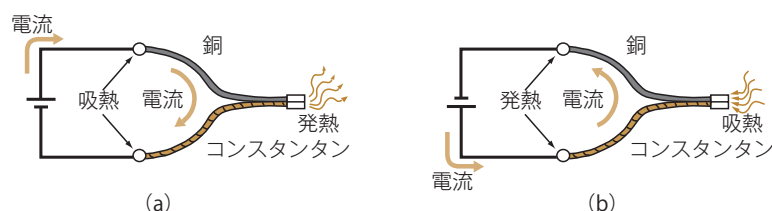


図9 ペルチエ効果