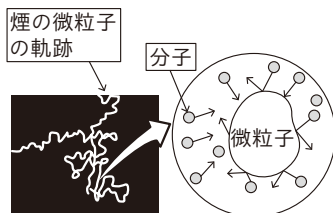




熱運動とは何か？

物質を構成している分子や原子は、目には見えない乱雑な運動をしている。この運動を[**熱運動**]という。

煙の微粒子や、水中の絵の具の微粒子を顕微鏡で観察すると、図のように、煙や絵の具の微粒子が不規則に運動していることがわかる。このような微粒子の運動を[**ブラウン運動**]という。



ブラウン運動は、熱運動をしている分子や原子が微粒子に衝突するために生じる現象である。

温度とは何か？

POINT 分子や原子の熱運動の激しさを表す物理量が[**温度**]である。

温度が高い ⇒ 熱運動が[**激しい**]

セルシウス温度とは何か？

私たちに最もなじみ深い温度は[**セルシウス温度**] (セ氏温度)で、単位の記号は[**°C**]である。これは、1気圧のもとで氷が融けて水になる温度を[**0°C**], 水が沸騰して水蒸気になる温度を[**100°C**]として定めたものである。

絶対温度とは何か？

物質の温度を下げていくと、物質を構成する分子や原子の熱運動がにぶくなり、約-273°Cで停止する。したがって、これよりも低い温度は[**存在しない**]。この温度を[**絶対零度**]という。絶対零度を基準とし、温度間隔をセルシウス温度と同じにした温度を[**絶対温度**]といい、単位は[**ケルビン**] [K]を用いる。絶対温度 T [K]とセルシウス温度 t [°C]の関係は、次の式で表される。

$$T = t + 273$$

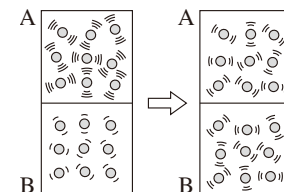
Q 27°Cは何Kか。

$$T = 27 + 273 = 300$$

$$300 \text{ K}$$

熱と熱量

図のように、高温物体Aと低温物体Bを接触させると、高温物体Aの温度は[**下がり**], 低温物体Bの温度は[**上がる**]。やがて、両者の温度は[**同じ**]になり、それ以降温度は変わらなくなる。このような状態を[**熱平衡**]の状態という。



このとき、高温の物体Aから低温の物体Bに移動したエネルギーを[**熱**]といい、また、その量を[**熱量**]という。

熱はエネルギーの一種であるので、熱量の単位は[**ジュール**] [**J**]を用いる。

比熱とは何か？

単位質量(1g, 1kgなど)の物質の温度を1K(1°Cでも同じ)上昇させるのに必要な熱量を、その物質の[**比熱**]という。比熱の単位には、[**J/g・K**]や[**J/kg・K**]などが用いられる。

比熱 c [J/g・K]の物質 m [g]の温度を ΔT [K]上昇させるのに必要な熱量 Q [J]は、 $Q = [**mc\Delta T**]$ と表される。

熱容量とは何か？

ある物体の温度を1K上昇させるのに必要な熱量を、その物体の[**熱容量**]という。

熱容量の単位には、[**J/K**]などが用いられる。熱容量 C [J/K]の物体の温度を ΔT [K]上昇させるのに必要な熱量 Q [J]は、 $Q = [**C\Delta T**]$ と表される。

POINT

$$\text{熱量 } Q = [**mc\Delta T**] = [**C\Delta T**]$$

\まとめ/

$$\star \text{ 絶対温度 } T = t + 273$$

$$\star \text{ 熱量 } Q = mc\Delta t = C\Delta t$$

36

熱量の保存

解説動画

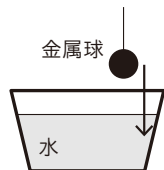


復習

熱量 $Q = mc\Delta T = C\Delta T$ (c : 比熱, C : 熱容量)

熱量の保存とは何か?

図のように、高温にした金属球を断熱容器内の低温の水に入れると、金属球の温度は[下がり], 水の温度は[上がる]。やがて、両者の



温度は[同じ]になり、[熱平衡]に達する。

一般に、高温物体Aと低温物体Bだけで熱の移動が起こるとき、高温物体Aが[失った]熱量は低温物体Bが[得た]熱量に等しい。この関係を[熱量の保存]という。

POINT



熱量の保存

高温物体が[失った]熱量 = 低温物体が[得た]熱量

Q

熱容量 20 J/K の容器に水を 100 g 入れたところ、全体の温度が 5.0°C で一定となった。 95°C に温めた 110 g の金属球を水の中に入れたところ、全体の温度が 15°C で一定になった。水の比熱を $4.2 \text{ J/g}\cdot\text{K}$ 、また、熱は外へ逃げないものとして次の問いに答えよ。

\つづき/

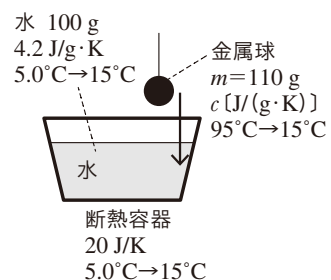
Q

(1) 金属球の比熱を $c [\text{J/g}\cdot\text{K}]$ とする。金属球の失った熱量は何 J か。

 $Q = mc\Delta T$ より

$$110 \times c \times (95 - 15) = 8800c$$

$$8800c [\text{J}]$$



\つづき/

Q

(2) 水の得た熱量は何 J か。

 $Q = mc\Delta T$ より

$$100 \times 4.2 \times (15 - 5.0) = 4200$$

4200 J

\つづき/

Q

(3) 容器の得た熱量は何 J か。

 $Q = C\Delta T$ より

$$20 \times (15 - 5.0) = 200$$

200 J

\つづき/

Q

(4) 金属球の比熱 c は、何 $\text{J/g}\cdot\text{K}$ か。

熱量の保存より

$$8800c = 4200 + 200$$

$$c = 0.50$$

0.50 $\text{J/g}\cdot\text{K}$

\まとめ/



☆ 熱量の保存

高温物体が失った熱量 = 低温物体が得た熱量



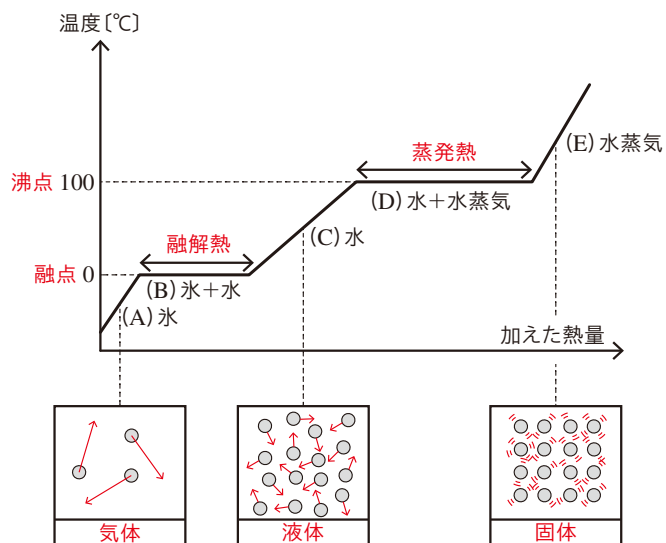
物質の三態とは何か？

氷に熱を加えるととけて[**水**]になり、さらに熱を加え続けると沸騰して[**水蒸気**]になる。このように、物質には[**固体**], [**液体**], [**気体**]の3つの状態がある。

これを物質の[**三態**]という。物質の三態の違いは、原子や分子の結びつき方で理解できる。固体では、物質を構成する原子や分子が強く[**結合**]しており、つりあいの位置を中心として温度に応じた振動をしている。液体では、原子や分子がゆるく結合しており、互いに[**位置**]を変えながら熱運動をしている。気体では、原子や分子の結合が[**切れて**],自由に飛びまわっている。

潜熱とは何か？

下のグラフは、物質に加えた熱量に対する物質の温度変化の様子を、水を例にして表したものである。グラフを見ながら物質の状態変化について考えてみよう。



Q (1) グラフ中の(B)の部分は、氷(固体)と水(液体)が共存した状態である。

つづき/

Q ① このときの温度を何というか。

[**融点**]

つづき/

Q ② 氷(固体)が水(液体)に変わるのに必要な熱を何というか。

[**融解熱**]

つづき/

Q (2) グラフ中の(D)の部分は、水(液体)と水蒸気(気体)が共存した状態である。

① このときの温度を何というか。

[**沸点**]

つづき/

Q ② 水(液体)が水蒸気(気体)に変わるのに必要な熱を何というか。

[**蒸発熱(気化熱)**]

つづき/

Q (3) グラフ中の(B) (D)の部分では、物質に加えた熱量は温度上昇のためではなく、状態変化のために費やされている。このような熱を一般に何というか。

[**潜熱**]

つづき/

Q (4) グラフ中の(A) (C) (E)の部分では、物質に加えた熱量は温度上昇のために費やされている。このような熱を一般に何というか。

[**顕熱**]

POINT



融解熱や蒸発熱のように、状態変化にともなう熱のことを一般に[**潜熱**]という。

38

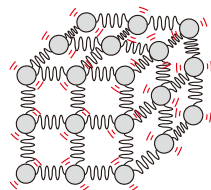
熱力学の第1法則

解説動画



内部エネルギーとは何か？

物質を構成する原子や分子は互いに力を及ぼしあっており、位置エネルギーをもっている。この分子間の力による[**位置エネルギー**]と分子の熱運動による[**運動エネルギー**]の総和を、その物質の[**内部エネルギー**]という。



気体の場合、分子は空間を自由に飛びまわっていて、分子間の力は[**0**]と見なせるので、位置エネルギーも[**0**]と考えてよい。したがって、気体の内部エネルギーは、気体分子の[**運動**]エネルギーの総和となる。

分子の熱運動による運動エネルギーは温度によって決まるので、気体の内部エネルギーも[**温度**]によって決まる。

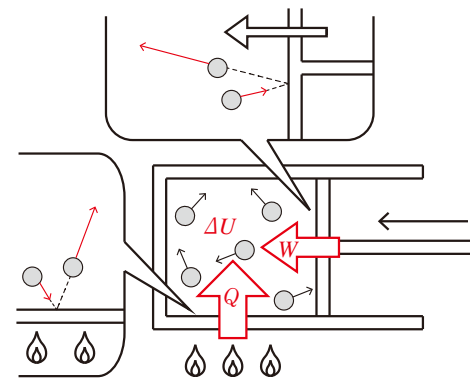
POINT



(内部エネルギー) = (分子の[**運動**]エネルギーの総和)
+ (分子の[**位置**]エネルギーの総和)
気体の場合 ⇒ (分子の位置エネルギー) = [**0**]と見なせるので、
(内部エネルギー)
= (分子の[**運動**]エネルギーの総和)
気体の内部エネルギーは[**温度**]によって決まる。

熱力学の第一法則

図のように、気体は外部から熱を吸収したり、外部から仕事をされたりすると、その分だけ内部エネルギーが増加する。気体が吸収する熱量を Q 、気体がされる仕事を W とすると、気体の内部エネルギーの増加 ΔU は、次の式で表される。この関係を[**熱力学の第一法則**]という。



POINT



熱力学の第一法則

 ΔU : 内部エネルギーの[**増加**] Q : 気体が[**吸収**]する熱量 $\Delta U = [\quad Q + W \quad]$ W : 気体が[**される**]仕事

熱力学の第1法則は、 ΔU 、 Q 、 W の符号に注意して用いなければならない。気体が熱を吸収する場合、 Q は[**正**]であり、気体が熱を放出する場合、 Q は[**負**]である。また、気体が外部から仕事をされる場合、 W は[**正**]であり、気体が外部に仕事をする場合、 W は[**負**]である。内部エネルギーが増加する場合、 ΔU は[**正**]であり、内部エネルギーが減少する場合、 ΔU は[**負**]である。

Q

気体が $5.0 \times 10^2 \text{ J}$ の熱を吸収し、外部に $2.0 \times 10^2 \text{ J}$ の仕事をしたとする。このとき、気体の内部エネルギーの変化を求めよ。

熱力学の第一法則 $\Delta U = Q + W$ より、

$$Q = 5.0 \times 10^2 \text{ J}, W = -2.0 \times 10^2 \text{ J}$$

だから、

$$\Delta U = 5.0 \times 10^2 - 2.0 \times 10^2 = 3.0 \times 10^2 \text{ J}$$

 $3.0 \times 10^2 \text{ J}$ 増加する



波とは何か？

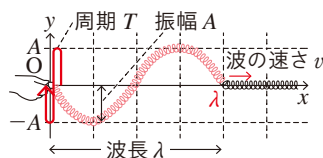
静かな池の水面に石を投げ込むと、そこを中心に同心円状の波紋が広がっていく。このように、ある点で起きた振動が次々と周囲に伝わる現象を[**波**]または[**波動**]という。また、水のように波を伝える物質を[**媒質**]といい、石が投げ込まれた点のように振動を始めた点を[**波源**]という。

次に、水面に浮かぶ木の葉の動きに注目してみよう。木の葉は波紋が通過するとき、ほぼ[**上下に振動**]するだけで波紋とともに移動することはない。これは、波紋の広がり、水そのものが広がっていくのではなく、水の[**振動**]が次々とまわりに伝わっていくことを表している。

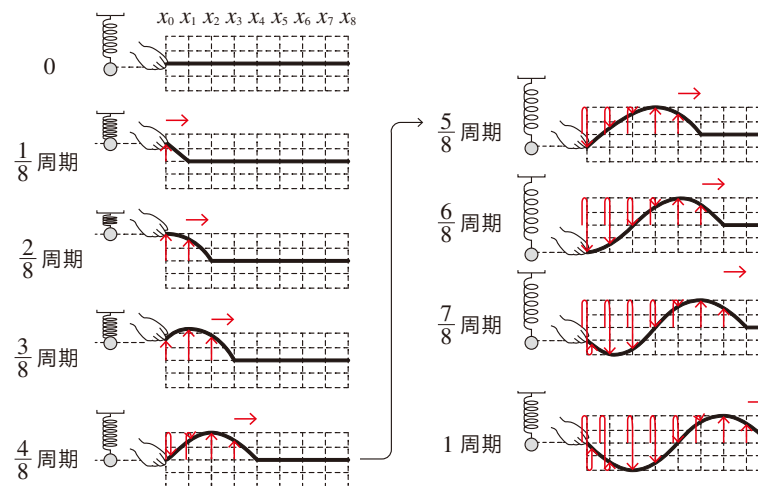


波の要素

図のように、ばねの一端を手で上下に振動させると、手が[**波源**]、ばねが[**媒質**]となって波が伝わっていく。隣り合う山と山または谷と谷の間の距離、すなわち、波1個分の長さ λ を[**波長**]という。手が1回



振動するのに要する時間 T を[**周期**], 振動の中心から折り返し点までの距離 A を[**振幅**]という。また、山や谷が進んでいく速さ v を[**波の速さ**]という。



波の基本式

図のように、手が上下に1回振動する間、つまり[**周期 T**] [s]の間に、波は[**波長 λ**] [m]進む。したがって、波の速さ v [m/s]は

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

と表される。

また、媒質は T [s]間に1回振動するので、1 s間では[**$\frac{1}{T}$**]回振動する。媒質の1 s間あたりの振動の回数 f を[**振動数**]といい、単位は[**ヘルツ**] [**Hz**]を用いる。振動数 f [Hz]と周期 T [s]の関係は、次のように表される。

$$f = \frac{1}{T}$$

POINT



波の基本式

$$v = \left[\frac{\lambda}{T} \right] = [f \lambda]$$

周期 T と振動数 f の関係

$$f = \left[\frac{1}{T} \right]$$

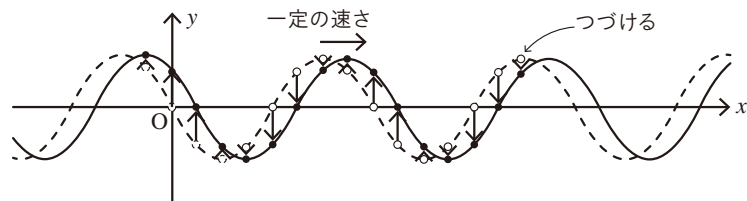
40

正弦波と単振動

解説動画



正弦波と単振動



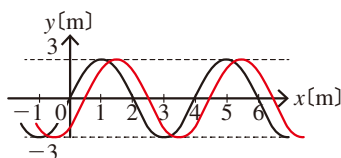
連続した波が x 軸正の向きに一定の速さで進んでいる。この波の形が正弦曲線を描いている場合、この波を[**正弦波**]という。正弦波において、媒質のある1点注目すると、この点は上下に[**振動**]していることがわかる。この振動を[**単振動**]という。

 y - x グラフと y - t グラフ

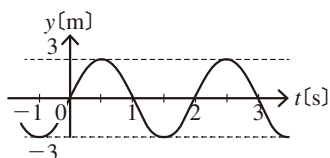
Q

x 軸正の向きに正弦波が進んでいる。図1は時刻 $t=0$ s の瞬間の波形を表している。図2はある位置 x での媒質の単振動の様子を表している。

(図1)



(図2)



\つづき/

Q

(1) この正弦波の振幅 A , 波長 λ , 周期 T , 振動数 f , 波の進む速さ v をそれぞれ求めよ。

$$A=3 \text{ m}, \lambda=4 \text{ m}, T=2 \text{ s}$$

$$f=\frac{1}{T}=0.5 \text{ Hz}$$

$$v=\frac{\lambda}{T}=2 \text{ m/s}$$

\つづき/

Q

(2) 媒質が図2のように振動するのは、図1のグラフ中のどの位置か。

$$x=2, 6$$

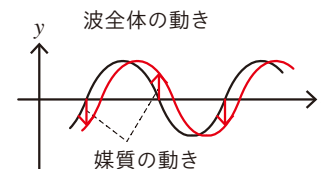
\つづき/

Q

(3) 時刻 $t=0$ s のとき、媒質の速度が下向きに (y 軸負の向き) になっているのは、図1のグラフ中のどの位置か。

$$x=0, 4$$

「波全体の動き」と「媒質の動き」の両方を知りたいとき

 y - x グラフを少し進めるPOINT
!

41

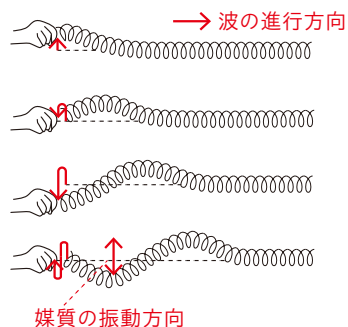
横波と縦波

解説動画



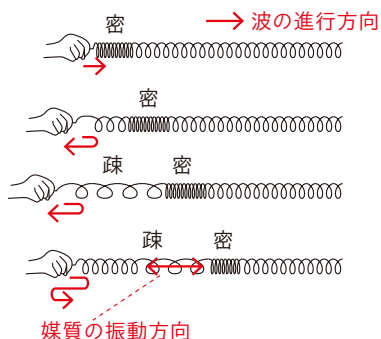
横波とは何か？

右図のようにばねを水平に張り、一端を鉛直方向に振動させると、波が水平方向に伝わっていく。このように、媒質の振動方向と波の進行方向が、互いに垂直な波を[**横波**]という。
例) ひもや弦を伝わる波, 光波, 電波, 地震の S 波



縦波とは何か？

右図のようにばねを水平に置き、一端を水平方向に振動させると、疎密な状態が水平方向に伝わっていく。このように、媒質の振動方向と波の進行方向が一致している波を[**縦波**]という。
例) 音波, 地震の P 波



POINT



媒質の振動方向と波の進行方向が、

互いに垂直な波 ⇒ [**横波**]一致している波 ⇒ [**縦波**]

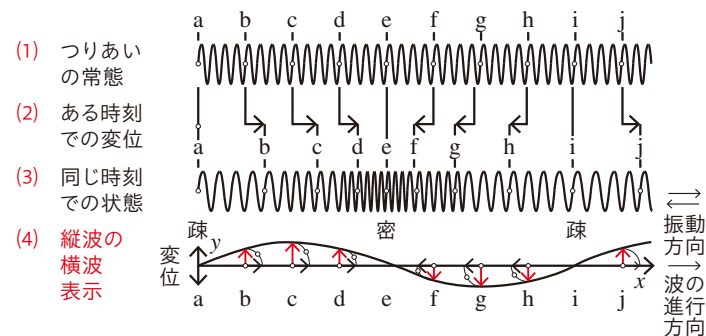
縦波の表し方

縦波は横波のように波形があらわれないので、そのままでは波の状態がわかりにくい。そこで、縦波をわかりやすく表現する方法として、縦波の横波表示がある。

下の(1)は、ばね(媒質)がつりあいの状態にあるとき、等間隔に記された点 a~j の位置を表している。

ある時刻において、点 a~j が(2)のように変位し、ばねが(3)のような状態になったとする。この状態を横波表示にしたものが(4)である。横波表示は、(2)の x 軸正の変位を[**y**]軸[**正**]の向きの変位として表し、x 軸負の変位を[**y**]軸[**負**]の向きの変位として表したものである。

点 e のように、左右から媒質が集まり密集している部分を[**密**]な部分、点 a, i のように、左右に媒質が離れていき、まばらにたっている部分を[**疎**]な部分という。



42

重ね合わせの原理

解説動画



重ね合わせの原理とは何か？

右の図①のように、2つの独立した波（パルス波）が互いに逆向きに進んでいる状態を考えよう。

②のように、媒質の1点に2つの波が到達すると、その点での変位はそれぞれの波の変位の[**和**]になる。それぞれの波の変位を y_1 , y_2 とすれば、その点での変位 y は次のように表すことができる。

$$y = [\text{ } y_1 + y_2 \text{ }]$$

これを波の[**重ね合わせの原理**]という。

波の独立性とは何か？

上の図②のように2つ波が重なったあとは、③のように何事もなかったかのようにすれ違い通り過ぎていく。2つの波が重なり合う現象は、2つの物体が衝突する現象とは異なり、互いに他の波の進行を妨げたり、他の波に影響を与えたりすることはない。これを波の[**独立性**]という。

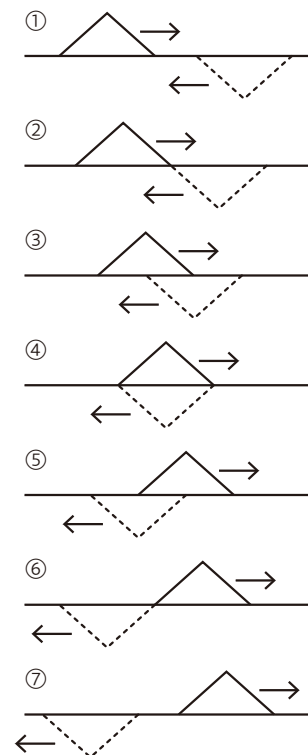
POINT



媒質の1点に2つの波が到達したとき、
それぞれの波の変位を y_1 , y_2 とすれば、
その点での変位 y は
 $y = [\text{ } y_1 + y_2 \text{ }]$

Q

図のように、2つの三角波（実線と点線）が、互いに逆向きに進んでいる。③～⑤に合成波の波形をかけ。



43

定常波(定在波)

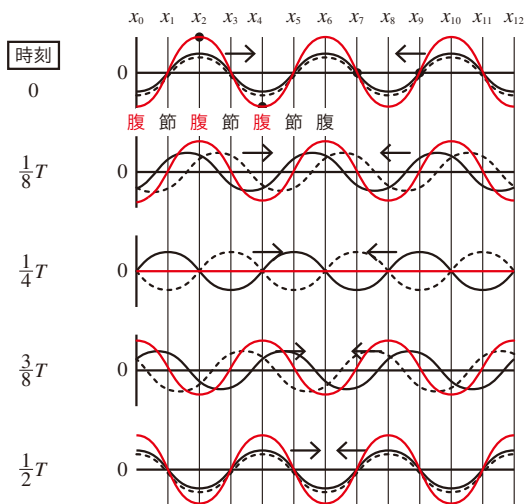
解説動画



定常波を作図してみよう！

Q

図のように, 同じ形の2つの波が, 一直線上を同じ速さで互いに逆向きに進んでいる。重ね合わせの原理を用いて, 2つの波の合成波を作図せよ。



(T: 周期)

作図した合成波を見ると, まったく振動していない点と大きく振動する点とが交互に並び, 合成波はどちらにも進行していないことがわかる。

このような波を[**定常波**]または[**定在波**]といい, まったく振動していない点を[**節**], 大きく振動している点を[**腹**]という。

POINT



同じ形の2つの波が, 一直線上を同じ速さで互いに逆向きに進んで重なりあうと, [**定常波**]が生じる。

定常波の特徴を見てみよう！

定常波の節と節, 腹と腹の間隔は, もとの波の波長の[**$\frac{1}{2}$**]倍である。

また, 定常波の腹の振幅は, もとの波の振幅の[**2**]倍であり, 周期はもとの波の周期に[**等しい**]。

POINT



節と節, 腹と腹の間隔 \Rightarrow もとの波の[**半波長**]

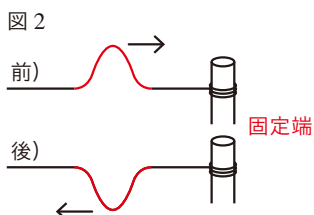
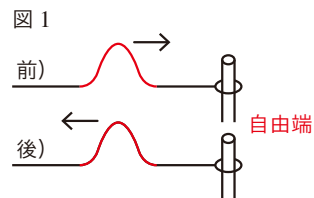


自由端・固定端とは何か？

波が反射するときの様子について考えてみよう。

図1のように、ロープの端に質量の無視できるリングを取り付けたものを考える。このように、媒質が自由に変位できる端を[**自由端**]という。

図2のように、ロープの端を棒に固定したものを考える。このような、媒質が変位できない固定されている端を[**固定端**]という。



自由端・固定端での反射のしかたの違い

図1のように、1つの波が自由端に入射すると、山は[**山**], 谷は[**谷**]となって反射し、波は同じ振動状態で反射する。これを入射波と反射波は[**同位相**]であるという。

また、図2のように、1つの波が固定端に入射すると、山は[**谷**], 谷は[**山**]となって反射し、波は逆の振動状態で反射する。これを入射波と反射波は[**逆位相**]であるという。

POINT

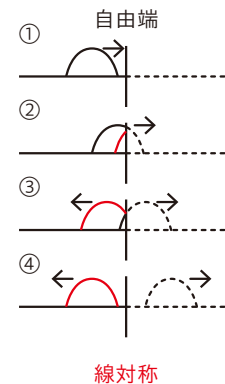


自由端 ⇒ [**同位相**]で反射

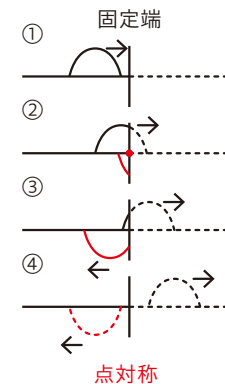
固定端 ⇒ [**逆位相**]で反射

反射波の描き方

〔自由端反射の場合〕
入射波を延長したものを自由端に関して[**線対称**]に移せば、反射波が描ける。

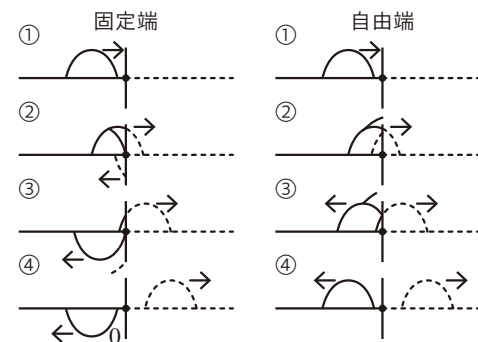


〔固定端反射〕
入射波を延長したものを固定端に関して[**点对称**]に移せば、反射波が描ける。



合成波の描き方

重ね合わせの原理を用いて、入射波と反射波の変位を足し合わせて合成波を描いていく。



45

正弦波の反射と定常波

解説動画



正弦波の反射について考えてみよう！

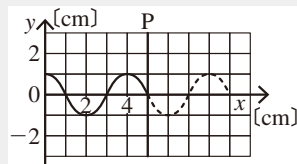
正弦波が自由端や固定端に入射した場合、反射波は同じ形の正弦波になるので、入射波と反射波の合成波は[**定常波**]となる。

復習

同じ形の2つの波が、一直線上を同じ速さで互いに逆向きに進んで重なりあうと、定常波が生じる。

Q

振幅1 cm、波長4 cmの正弦波が、 x 軸正の向きに速さ1 cm/sで進んでいる。右の図は、時刻 $t=0$ sの瞬間を表している。実線は入射波を表し、点線は入射波を境界Pより延長して描いたものである。



\つづき/

Q

(1) 境界Pが自由端の場合と固定端の場合について、反射波を点線で、合成波(実際に観測される定常波)を実線で、次ページの図に時刻 $t=4$ sまで描け。

次ページで描いた図を見ながら以下の問いに答えよ。

\つづき/

Q

(2) 自由端と固定端は、定常波の腹・節のどちらになるか。

[**自由端は腹, 固定端は節になる。**]

\つづき/

Q

(3) 境界Pが自由端の場合、 $0 \text{ cm} \leq x \leq 5 \text{ cm}$ の範囲にできる定常波の腹と節の位置をすべて答えよ。

腹： $x = [\text{1, 3, 5 cm}]$

節： $x = [\text{0, 2, 4 cm}]$

\つづき/

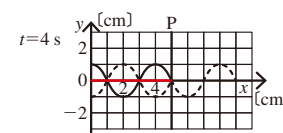
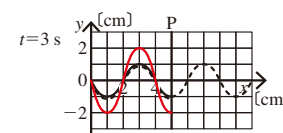
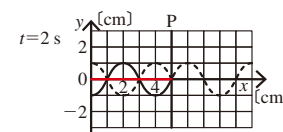
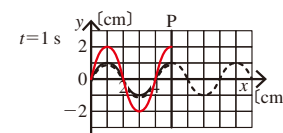
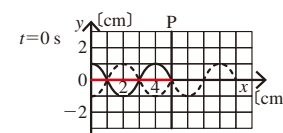
Q

(4) 境界Pが固定端の場合、 $0 \text{ cm} \leq x \leq 5 \text{ cm}$ の範囲にできる定常波の腹と節の位置をすべて答えよ。

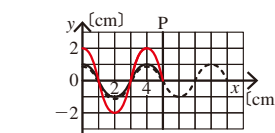
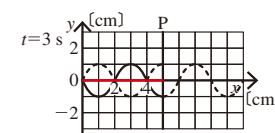
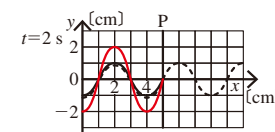
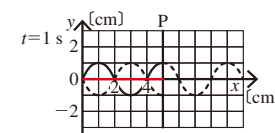
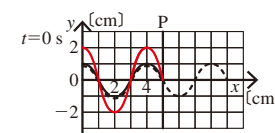
腹： $x = [\text{0, 2, 4 cm}]$

節： $x = [\text{1, 3, 5 cm}]$

[自由端の場合]



[固定端の場合]



POINT



自由端 \Rightarrow 定常波の[**腹**]

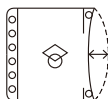
固定端 \Rightarrow 定常波の[**節**]



音波とは何か？

音が出ている太鼓やスピーカーの膜を手でさわると、小刻みに振動していることがわかる。このように、物体が振動すると、まわりの空気を圧縮，膨張させて、空気に[**疎密**]な状態をつくり，それが縦波となって空気中を伝わっていく。これが[**音波**]である。

また，太鼓やスピーカーのように，振動して音を発生させている物体を[**音源**]という。



音の3要素とは何か？

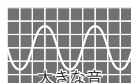
音の特徴は，①音の大きさ ②音の高さ ③音色で表すことができる。これらを[**音の3要素**]という。

① 音の大きさは，波の[**振幅**]で表される。振幅が大きいほど，音は[**大きい**]。

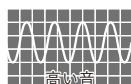
② 音の高さは，波の[**振動数**]で表される。振動数が大きいほど，音は[**高い**]。

③ 音色のちがいは，波の[**波形**]のちがいで表される。

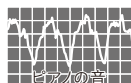
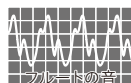
①音の大きさ



②音の高さ



③音色



音の速さ

空気中を伝わる音の速さは，温度が高いほど速くなる。1 気圧， $t[^\circ\text{C}]$ の空気中では，音の速さ $v[\text{m/s}]$ は，次の式で表される。

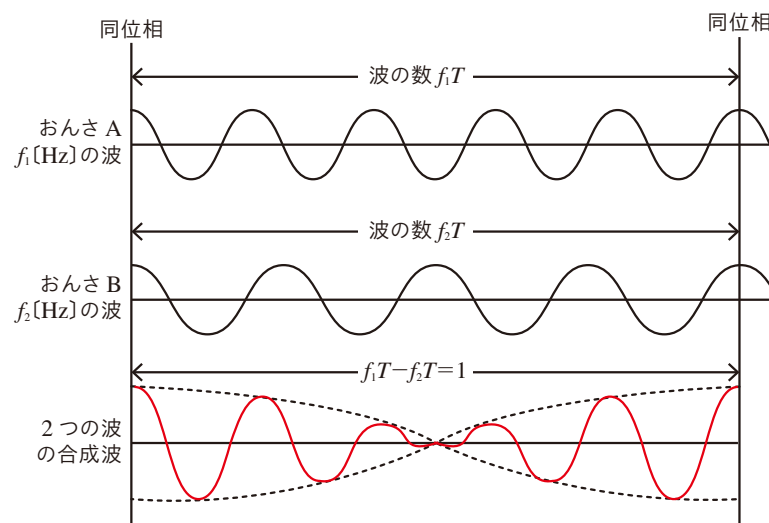
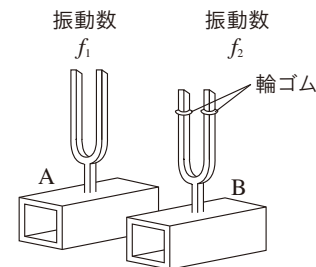
$$[\quad v=331.5+0.6t \quad]$$

音の反射

校庭に立ち校舎に向かって手をたたくと，少し遅れて音が返ってくる。また，山に向かって大きな声を出すと，こだまが返ってくる。これは音波の[**反射**]を表す例である。

うなり

図のように，同じおんさ A，B を用意し，B のおんさにだけ輪ゴムを巻いて，A，B の振動数がわずかに異なるようにする。そして，2 つのおんさを同時に鳴らすと，音の大きさが周期的に変化してウォーン，ウォーンというように聞こえる。これを[**うなり**]という。



おんさ A，B の振動数をそれぞれ $f_1, f_2 [\text{Hz}]$ とする。おんさ A，B から出た音波が，同位相となつてから次に同位相になるまでの時間を $T[\text{s}]$ とする。 $T[\text{s}]$ が[**うなり**]の周期である。 $T[\text{s}]$ 間に，おんさ A，B からはそれぞれ[f_1T]個，[f_2T]個の波が出ていて，その差が[**1**]個だから，

$$|f_1T - f_2T| = 1$$

$$|f_1 - f_2| = \frac{1}{T}$$

うなりの振動数を $f[\text{Hz}]$ とすると， $f = [\quad \frac{1}{T} \quad]$ だから，次の式が成り立つ。

POINT



$$\text{うなりの振動数 } f = [\quad |f_1 - f_2| \quad]$$



弦には、どのような波が生じるのだろうか？

両端を固定した弦の1点をはじくと、その点から弦の両端へ波が入射し、両端で波が反射する。このとき、入射波と反射波が重ね合わされて、弦には[**定常波**]が生じる。弦の両端は[**固定**]端なので、定常波の[**節**]となる。このように、定常波ができる振動を弦の[**固有振動**]といい、そのときの振動数を[**固有振動数**]という。

弦の固有振動のうち、最も単純な形の振動を[**基本振動**]という。基本振動の形2個分、3個分の振動を2倍振動、3倍振動といい、これらを[**倍振動**]という。また、基本振動による音を[**基本音**]、倍振動による音を[**倍音**]という。

弦の固有振動数を式で表そう！

Q

弦の長さを L 、弦を伝わる波の速さを v とする。

\つづき/

Q

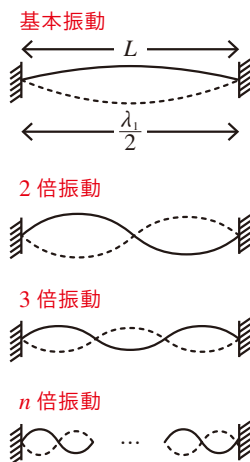
(1) 弦に基本振動が生じているとき、基本振動での波長 λ_1 を求めよ。同様にして、2倍振動、3倍振動、 n 倍振動が生じているとき、それぞれの倍振動での波長 λ_2 , λ_3 , λ_n を求めよ。

$$\frac{\lambda_1}{2} = L \quad \text{より} \quad \lambda_1 = 2L$$

$$\frac{\lambda_2}{2} = \frac{L}{2} \quad \text{より} \quad \lambda_2 = L$$

$$\frac{\lambda_3}{2} = \frac{L}{3} \quad \text{より} \quad \lambda_3 = \frac{2L}{3}$$

$$\frac{\lambda_n}{2} = \frac{L}{n} \quad \text{より} \quad \lambda_n = \frac{2L}{n}$$



\つづき/

Q

(2) 弦に基本振動が生じているとき、基本振動の振動数 f_1 を求めよ。同様にして、2倍振動、3倍振動、 n 倍振動が生じているとき、それぞれの固有振動数 f_2 , f_3 , f_n を求めよ。

$v = f\lambda$ より、 $f = \frac{v}{\lambda}$ だから

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{2L}$$

$$f_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{v}{L}$$

$$f_3 = \frac{v}{\lambda_3} = \frac{3v}{2L}$$

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{nv}{2L}$$

POINT



弦の固有振動数

$$f_n = \left[\frac{nv}{2L} \right] \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

Q

弦の固有振動数の式を見ながら、弦楽器の発する音の特徴について答えよ。

- (1) 基本音が最も(低く・高く)、2倍音、3倍音となるにつれて、音は(低く・高く)なっていく。
- (2) 弦の長さ L を長くするほど、音は(低く・高く)なる。
- (3) 弦を伝わる波の速さが速いほど、音は(低く・高く)なる。

48

気柱の振動 I

解説動画



気柱には、どのような波が生じるのだろうか？

試験管の縁を強く吹くと音が出る。これは、試験管の底へ入射した波と底で反射した波が重なり合って、管内の気柱に[**定常**]波ができ、それが音源となって周囲に伝わるからである。気柱の振動も[**固有**]振動といえる。



試験管の底のように、空気が振動できない閉口端は、[**固定**]端になるので定常波の[**節**]になる。

また、管口のように、空気が自由に振動できる開口端は、[**自由**]端になるので定常波の[**腹**]になる。

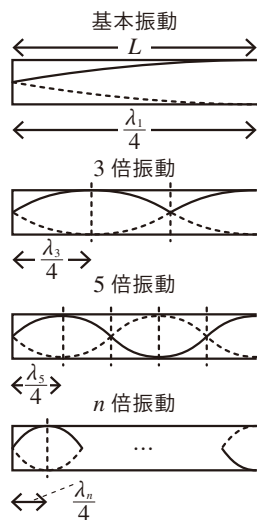
試験管のように、一端が閉じている管を[**閉管**]といい、両端が開いている管を[**開管**]という。

閉管の固有振動数を式で表そう！

閉管の固有振動のうちで、もっとも単純な形の振動を[**基本振動**]という。基本振動の形3個分、5個分の振動を[**3倍振動**], [**5倍振動**]という。

管の長さを L 、音の速さを V とする。

(1) 気柱に基本振動が生じているとき、基本振動での波長 λ_1 を求めよ。同様に、3倍振動、5倍振動、 n 倍振動が生じているとき、それぞれの倍振動での波長 λ_3 , λ_5 , λ_n を求めよ。ただし、 $n=1, 3, 5, \dots$ とする。



$$\frac{\lambda_1}{4} = L \quad \text{より} \quad \lambda_1 = 4L$$

$$\frac{\lambda_3}{4} = \frac{L}{3} \quad \text{より} \quad \lambda_3 = \frac{4L}{3}$$

$$\frac{\lambda_5}{4} = \frac{L}{5} \quad \text{より} \quad \lambda_5 = \frac{4L}{5}$$

$$\frac{\lambda_n}{4} = \frac{L}{n} \quad \text{より} \quad \lambda_n = \frac{4L}{n}$$

つづき/

Q

(2) 気柱に基本振動が生じているとき、基本振動の振動数 f_1 を求めよ。同様に、3倍振動、5倍振動、 n 倍振動が生じているとき、それぞれの固有振動数 f_3 , f_5 , f_n を求めよ。

$$V = f\lambda \quad \text{より、} \quad f = \frac{V}{\lambda} \quad \text{だから}$$

$$f_1 = \frac{V}{\lambda_1} = \frac{V}{4L}$$

$$f_3 = \frac{V}{\lambda_3} = \frac{3V}{4L}$$

$$f_5 = \frac{V}{\lambda_5} = \frac{5V}{4L}$$

$$f_n = \frac{V}{\lambda_n} = \frac{nV}{4L}$$

POINT



閉管の固有振動数

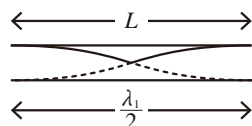
$$f_n = \left[\frac{nV}{4L} \right] \quad (n=1, 3, 5, \dots)$$



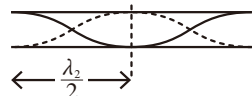
開管の固有振動数を式で表そう！

開管の固有振動のうちで、もっとも単純な形の振動を[**基本振動**]という。基本振動の形2個分、3個分の振動を[**2倍振動**], [**3倍振動**]という。

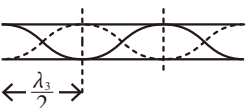
基本振動



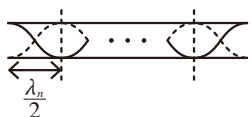
2倍振動



3倍振動



n倍振動



$$\frac{\lambda_1}{2} = L \quad \text{より} \quad \lambda_1 = 2L$$

$$\frac{\lambda_2}{2} = \frac{L}{2} \quad \text{より} \quad \lambda_2 = L$$

$$\frac{\lambda_3}{2} = \frac{L}{3} \quad \text{より} \quad \lambda_3 = \frac{2L}{3}$$

$$\frac{\lambda_n}{2} = \frac{L}{n} \quad \text{より} \quad \lambda_n = \frac{2L}{n}$$

(2) 気柱に基本振動が生じているとき、基本振動の振動数 f_1 を求めよ。同様にして、2倍振動、3倍振動、 n 倍振動が生じているとき、それぞれの固有振動数 f_2, f_3, f_n を求めよ。

$$v = f\lambda \quad \text{より、} \quad f = \frac{v}{\lambda} \text{ だから}$$

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{2L}$$

$$f_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{v}{L}$$

$$f_3 = \frac{v}{\lambda_3} = \frac{3v}{2L}$$

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{nv}{2L}$$

POINT

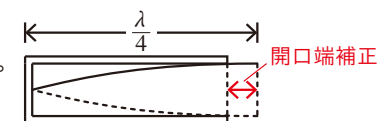


開管の固有振動数

$$f_n = \frac{nv}{2L} \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

開口端補正とは何か？

開口端での腹の位置は、実際には管口より少し外側に出ている。管口から腹の位置までの長さを[**開口端補正**]という。



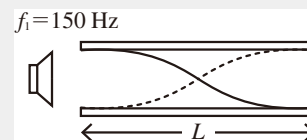
共振・共鳴とは何か？

物体には、その材質や形状によって決まる固有の振動数([**固有振動数**])がある。振り子をその固有振動数と同じ振動数でゆらすと振り子の振動はしだいに大きくなっていく。このような現象を[**共振**]という。また、音がともなう共振を、特に[**共鳴**]という。



Q

図のように、開管の管口近くにスピーカーを置き音波を発する。音波の振動数を徐々に大きくしていくと、振動数が150 Hzのときに1回目の共鳴が聞こえた。次に共鳴が聞こえるのは、音波の振動数が何 Hz になったときか。ただし、開口端補正は無視できるものとする。



1回目の共鳴では

$$f_1 = \frac{2v}{2L} = 150 \quad \text{より} \quad \frac{v}{L} = 300$$

2回目の共鳴では

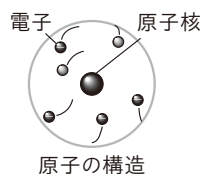
$$f_2 = \frac{2v}{2L} = \frac{v}{L} = 300$$

300 Hz

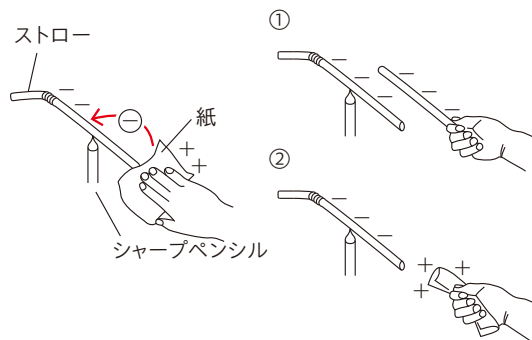


物質が帯電するとは、どういうことか？

すべての物質は[**原子**]からできている。原子は、正(+)の電気をもつ1つの[**原子核**]と、そのまわりにある負(-)の電気をもついくつかの[**電子**]から成り立っている。物質中の原子は、電氣的に[**中性**]であるため、物質はふつう電気を帯びていない。物質が電気を帯びる([**帯電する**])のは、物質内の[**電子**]に過不足が生じるためである。物質内の電子が余分になると、その物質は[**負**]に帯電し、物質内の電子が不足すると、その物質は[**正**]に帯電する。帯電した物体を[**帯電体**]といい、帯電体がもつ電気を[**電荷**]といい、電荷の量のことを[**電気量**]という。同種(同符号)の電荷は互いに[**反発**]しあい、異種(異符号)の電荷は互いに[**引きあう**]。電気量の単位には、[**クーロン**] [[**C**]]が用いられる。



Q 図のように、ストローが自由に回転できるようになっている。このストローともう1本のストローを紙でこすると、紙は正に帯電した。次の問いに答えよ。



つづき/
Q

(1) ①のように、紙でこすった2本のストローを近づけると、どのようになるか。理由とともに答えよ。

ストローを紙でこすると、紙の電子がストローに移りストローは負に紙は正に帯電する。

2本のストローは、どちらも負に帯電しているため互いに反発しあう。

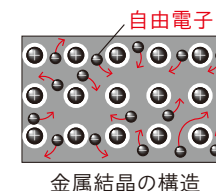
つづき/
Q

(2) ②のように、設置されたストローに、ストローをこすった後の紙を近づけると、どのようになるか。理由とともに答えよ。

ストローは負に、紙は正に帯電しているため、互いに引きあう。

導体と不導体の違い

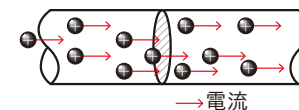
電気をよく通す物質を[**導体**]という。金属は導体である。金属では、原子を離れて自由に移動することのできる電子、すなわち[**自由電子**]が存在する。この自由電子の移動によって電気が運ばれている。一方、アクリルやガラスなどのように、電気を通しにくい物質を[**不導体**]という。不導体では、電子はすべて原子の中にあり、自由電子が存在しない。そのため、不導体は電気を通しにくい。



電流とは何か？

電荷の流れを[**電流**]という。電流の向きは[**正**]の電荷が移動する向きと定められている。

電流の大きさは、[**単位時間**]あたりに導体の断面を通過する[**電気量**]で表される。したがって、 t [s]間に導体の断面を q [C]の電気量が通過しているとき、電流の大きさ I は、次の式で表される。



POINT



$$\text{電流の大きさ } I = \left[\frac{q}{t} \right]$$

この式から電流の単位は[[**C/s**]]となるが、これを[**アンペア**] [[**A**]]と表す。

51

オームの法則

解説動画



オームの法則とは何か？

図1は、電気回路を水路に例えて表現したものである。電流は水流で表されている。水路の高低差が大きいほど、水流も速くなり量も多くなる。電気回路において、この高低差に相当するものが[**電圧**]

([**電位差**])であり、単位は

[**ボルト**] ([**V**])で表される。

電気回路に加える電圧を $V[V]$ 、回路に流れる電流の大きさを $I[A]$ とすると、上の波線部分の例えからもわかるように、 V と I は [**比例**] の関係にある。これを [**オームの法則**] という。

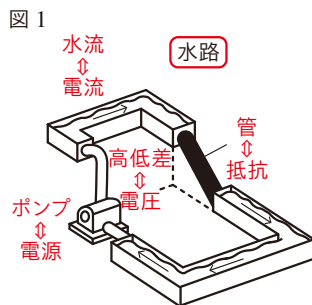


図1

POINT



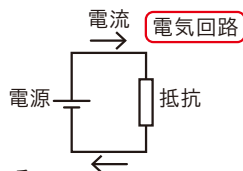
オームの法則 $V=[\text{ **RI** }]$

上式の比例定数 R は、電流の流れ [**にく**] さを表している。これ

を [**電気抵抗**] または単に

[**抵抗**] といい、単位には

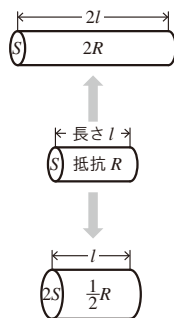
[**オーム**] ([**Ω**]) が用いられる。



抵抗についてくわしく見てみよう！

図2のように、長さ l 、断面積 S 、抵抗値 R の抵抗がある。この抵抗の長さ l や断面積 S を2倍にしたとき、抵抗値 R がどのようなになるかを考えてみよう。図1では、抵抗を管で例えたので、管の長さや断面積を2倍にしたとき、抵抗値すなわち流れにくさがどうなるかをイメージしてみ

図2



よう。

まず、抵抗(管)の長さ l を2倍にすると、電流(水流)は流れ [**に**] くなるので、抵抗値 R (流れにくさ) は [**2**] 倍になりそうである。次に、抵抗(管)の太さ S を2倍にすると、電流(水流)は流れ [**やす**] くなるので、抵抗値 R (流れにくさ) は

[**$\frac{1}{2}$**] 倍になりそうである。

実際、抵抗値 R は長さ l に [**比例**] し、断面積 S に [**反比例**] するので、次のように表すことができる。

POINT



抵抗 $R=[\text{ **$\rho \frac{l}{S}$** }]$

ここで、比例定数 ρ の値は、抵抗の材質や温度によって決まり、 [**抵抗率**] とよばれる。単位は [[**Ωm**]] である。

Q

抵抗の両端に $12V$ の電圧を加えたところ、 $0.30A$ の電流が流れた。

つづき/

Q

(1) この抵抗の抵抗値を求めよ。

$V=RI$ より

$$R = \frac{V}{I} = \frac{12}{0.30} = 40$$

40Ω

つづき/

Q

(2) この抵抗の断面積が $2.0 \times 10^{-10} m^2$ 、長さ $0.40 m$ であった。この抵抗の抵抗率を求めよ。

$R = \rho \frac{l}{S}$ より

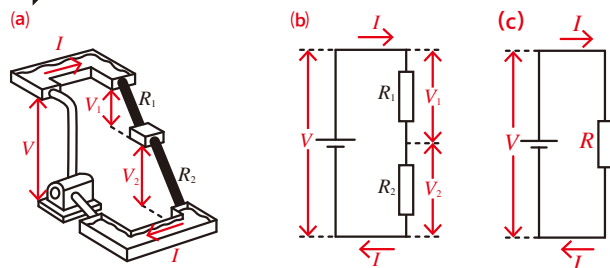
$$\rho = \frac{RS}{l} = \frac{40 \times 2.0 \times 10^{-10}}{0.40} = 2.0 \times 10^{-8}$$

$2.0 \times 10^{-8} \Omega m$



前回と同様に、電気回路を水路に置き換えて考えてみよう。

抵抗の直列接続



図(b)の回路は、電圧 V [V] の電池に R_1, R_2 [Ω] の2つの抵抗を [**直列**] 接続した回路である。図(a)は、図(b)の回路を水路に置き換えて描いたものであり、高さは [**電圧**]、水流は [**電流**] に相当する。

まず、電流について考える。水路は1本道になっているので、水流はどこでも同じになる。すなわち、電流の大きさ I [A] はどこでも [**同じ**] になる。

次に、電圧について考える。 R_1, R_2 [Ω] の抵抗にかかる電圧をそれぞれ V_1, V_2 [V] とする。ポンプでくみ上げた高さは、2つの管による高さの減少の和に等しいので、

$$V = [V_1 + V_2]$$

となる。また、2つの抵抗にそれぞれオームの法則を適用すると、

$$V_1 = [R_1 I], \quad V_2 = [R_2 I]$$

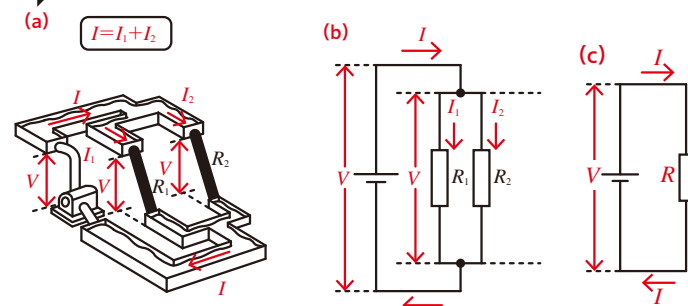
となる。これらをまとめると、 V は次のように表される。

$$V = [V_1 + V_2] = [R_1 I + R_2 I] = [(R_1 + R_2) I]$$

図(c)のように、2つの抵抗は、これと同じはたらきをする1つの抵抗に置き換えることができる。これを [**合成抵抗**] という。合成抵抗を R [Ω] とすると、 V は R を用いて $V = [RI]$ となるので、次の式が成り立つ。

$$R = [R_1 + R_2]$$

抵抗の並列接続



図(b)の回路は、電圧 V [V] の電池に R_1, R_2 [Ω] の2つの抵抗を [**並列**] 接続した回路である。

まず、電圧について考える。ポンプでくみ上げた高さは、2つの管のどちらの高さの減少にも等しい。すなわち、 R_1, R_2 [Ω] の各抵抗にかかる電圧は、電源の電圧 V [V] に [**等しい**]。

次に、電流について考える。電池から流れ出た電流の大きさを I [A]、 R_1, R_2 [Ω] の抵抗に流れる電流をそれぞれ I_1, I_2 [A] とする。ポンプから流れ出た水流は、2つの管に分かれて流れるので、

$$I = [I_1 + I_2]$$

となる。また、2つの抵抗にそれぞれオームの法則を適用すると、

$$I_1 = [\frac{V}{R_1}], \quad I_2 = [\frac{V}{R_2}]$$

となるので、これをまとめると、 I は次のように表される。

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

図(c)のように、2つの抵抗の合成抵抗を R [Ω] とすると、 I は R を用いて $I = [\frac{V}{R}]$ となるので、次の式が成り立つ。

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

POINT



合成抵抗

直列接続 $R = [R = R_1 + R_2]$

並列接続 $\frac{1}{R} = [\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}]$

53

ジュール熱と電力

解説動画



ジュール熱とは何か？

電熱線などの抵抗に電流が流れると熱が発生する。電流が流れたときに抵抗で発生する熱を[**ジュール熱**]という。抵抗 R [Ω]に電圧 V [V]を加えて、電流 I [A]を t [s]間流すと、発生するジュール熱 Q [J]は、次のように表される。

POINT



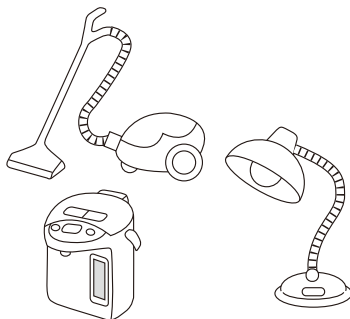
$$\text{ジュール熱 } Q = [IVt] = [RI^2t] = [\frac{V^2}{R}t]$$

この関係を[**ジュールの法則**]という。

電力量・電力とは何か？

身の回りにある電気器具は、電気エネルギーを他のエネルギーに変換してはたらいっている。ヒーターは電気エネルギーをジュール熱に、モーターは力学的エネルギーに、LED は光エネルギーに変換している。

一般に、電気器具にかかっている電圧を V [V]、流れている電流を I [A]、電流を流す時間を t [s]とすると、この電気器具で消費される電気エネルギー W [J]は、ジュール熱と同様に次の式で表される。



POINT



$$W = [IVt]$$

W は[**電力量**]と呼ばれ、単位は[**ジュール**] [**J**]である。

電気器具が単位時間に消費する電力量を[**消費電力**]または単に[**電力**]という。したがって、電力 P は次の式で表される。

POINT



$$P = [\frac{W}{t}] = [IV]$$

電力 P の単位は、仕事率と同じ[**ワット**] [**W**]である。

電力量の実用的な単位として、1 W または 1 kW の電力を 1 時間消費したときのエネルギーである 1 [**ワット時**] [**Wh**]や 1 [**キロワット時**] [**kWh**]を使うこともある。

Q

あるヒーターに 100 V の電圧を加えたら 4.0 A の電流が流れた。

\つづき/

Q

(1) このヒーターの消費電力は何 W か。

$$P = IV = 4.0 \times 100 = 400$$

$$400 \text{ W } (4.0 \times 10^2 \text{ W})$$

\つづき/

Q

(2) このヒーターを 50 秒間使用したときの電力量は何 J か。

$$W = IVt = 4.0 \times 100 \times 50 = 20000$$

$$2.0 \times 10^5 \text{ J}$$

\つづき/

Q

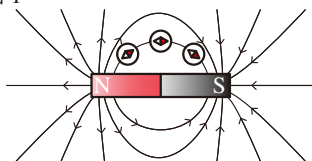
(3) このヒーターを 20 時間使用したときの電力量は何 kWh か。

$$\begin{aligned} 400 \text{ W} \times 20 \text{ 時間} &= 8000 \text{ Wh} \\ &= 8.0 \text{ kWh} \end{aligned}$$



磁石のまわりの磁場はどのように表せばよいか？

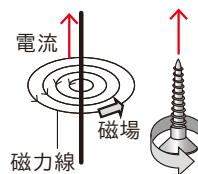
磁石が鉄などを引き付ける力を **磁気力** といい、磁気力がはたらく空間を **磁場** または **磁界** という。磁場の向きは磁石の **N** 極が受ける力の向きと定められている。図1のように、磁場の中に小さい磁針を置き、磁針のN極が指している向きに少しずつ動かしていくと、磁場の向きを表す曲線が描ける。この線を **磁力線** という。



電流がつくる磁場について見てみよう！

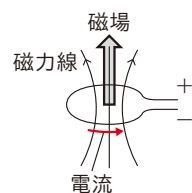
【直線電流】

直線電流がつくる磁場について見てみよう。図2のように、電流の向きを右ねじの **進む** 向きにとると、磁場の向きは右ねじの **回る** 向きになる。これを **右ねじ** の法則という。また、電流が大きいほど生じる磁場は **強く** , 電流から離れるほど磁場は **弱く** なる。



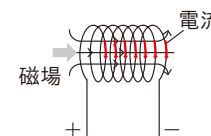
【円形電流】

円形電流がつくる磁場について見てみよう。図3のように、電流の向きを右ねじの **回る** 向きにとると、円形電流の中心の磁場の向きは右ねじの **進む** 向きになる。ここでも右ねじの法則を使うことができる。右ねじの法則は、右手を握り親指を立てて表すこともできる。



【ソレノイド】

ソレノイドがつくる磁場について見てみよう。図4のように、電流の向きを右ねじの **回る** 向きにとると、ソレノイド内部の磁場の向きは右ねじの **進む** 向きになる。



電流が磁場から受ける力について見てみよう。

図5のように、電流が流れている導体棒を磁場の中に置くと、導体棒は電流の向きと磁場の向きの両方に **垂直** な向きに **力** を受ける。この関係をフレミングの **左手** の法則という。

また、電流が磁場から受ける力の大きさは、電流の大きさや磁場の強さに **比例** する。

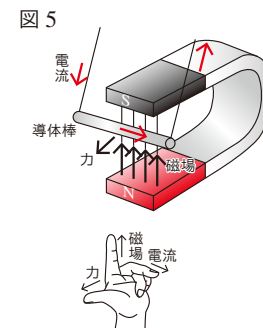
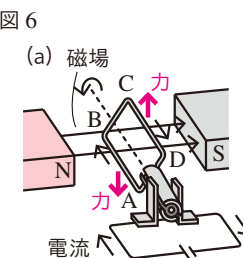


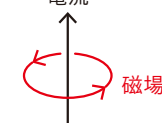
図6はモーターが回転するしくみを表している。

モーターは、電流が **磁場** から受ける力を利用してコイルを回転させ、電気エネルギーを力学的エネルギーに変換している。



○電流がつくる磁場

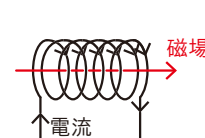
【直線電流】
電流



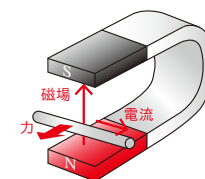
【円形電流】
磁場



【ソレノイド】
磁場



○電流が磁場から受ける力





電磁誘導とは何か？

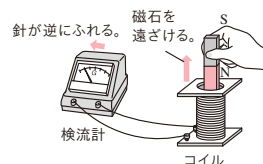
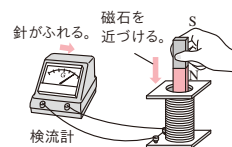
図のように、コイルに磁石を近づけたり遠ざけたりすると、検流計に電流が流れる。これは、コイルを貫く[**磁力**]線の数が増えるため、コイルに**電圧**が生じ、電流が流れるからである。

この現象を[**電磁誘導**]といい、コイルに生じた電圧を

[**誘導起電力**], 流れた電流を[**誘導電流**]という。

磁石を近づけるとときと遠ざけるとときは、流れる電流は[**逆**]向きになる。

また、N極をS極に変えても流れる電流は[**逆**]向きになる。

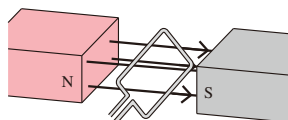


発電のしくみについて考えてみよう！

図のように、コイルを磁場の中で回転させると、コイルを貫く磁力線の数が増える、減るが周期的に変化し、

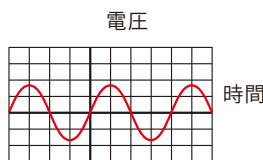
[**電磁誘導**]により点 a, b 間

には周期的に変化する[**電圧**]が生じる。このような電圧を[**交流電圧**]という。

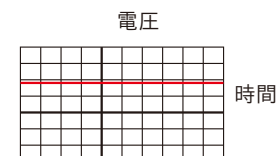


交流と直流

周期的に向きや大きさが変化する電圧を[**交流**]電圧という。家庭用電源の電圧は[**交流**]電圧である。交流電圧のようすをオシロスコープなどで観察すると、図のようになる。

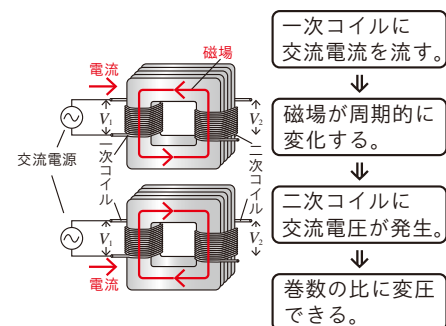


一方、乾電池の電圧は一定であり、このような電圧を[**直流**]電圧という。直流電圧のようすをオシロスコープなどで観察すると、図のようになる。



変圧のしくみについて考えよう！

図のように、閉じた鉄心に2つのコイルを巻き付け、電源側の一次コイルに交流電流を流すと、鉄心内部に[**磁場**]が生じ、その磁場は二次コイルも貫く。一次コイル側の交流電流は周期的に変化するため、交流電



流のつくる磁場も周期的に変化し、[**電磁誘導**]によって、二次コイル側には交流電圧が発生する。このとき、一次コイルと二次コイルの巻き数をそれぞれ N_1 , N_2 , コイル両端の電圧をそれぞれ V_1 , V_2 とすると、これらの間には次の関係が成り立つ。

POINT



変圧器 $V_1 : V_2 = [\mathbf{N_1 : N_2}]$

このように、交流電圧を変化させることを[**変圧**]といい、変圧する装置を[**変圧器**]という。

Q

一次コイルの巻き数が 500 回、二次コイルの巻き数が 200 回の変圧器がある。一次コイルの電圧が 100 V のとき、二次コイルの電圧はいくらか。

$$100 : V_2 = 500 : 200$$

$$500V_2 = 20000$$

$$V_2 = 40$$

$$40 \text{ V}$$