物理基礎　臨時休校中の課題

①以下の問題に各自で取り組み、自己採点する。
②物理基礎「教科書」P.155～P.175を各自で予習する。

---

1 (1)　気体のモル比熱　物質 1 mol の温度を 1 K 高めるのに必要な熱量を ア〔　　〕という。体積を一定に保つ場合のモル比熱 C_V〔J/(mol·K)〕を イ〔　　〕といい，n〔mol〕の気体を ΔT〔K〕高めるのに必要な熱量 Q〔J〕は，$Q=$ ウ〔　　〕と表される。このとき W は エ{正，0，負}であるから $\Delta U=$ オ〔　　〕となる。これは，定積変化や単原子分子の気体に限らず，理想気体の状態変化一般について成りたつ。圧力を一定に保つ場合のモル比熱 C_p〔J/(mol·K)〕は カ〔　　〕という。

解答　(ア)　モル比熱
(イ)　定積モル比熱(定容モル比熱)　(ウ)　$nC_V\Delta T$　(エ)　0
(オ)　$nC_V\Delta T$ (Q)　(カ)　定圧モル比熱

解説

2　振幅 A，周期 T の単振動をしている原点 O の，時刻 t での変位 y が $y=A\sin\dfrac{2\pi}{T}t$ で表されるとする。原点 O の振動が x 軸の正の向きに速さ v で伝わるとき，時刻 t，位置 x での変位 y は，波長を λ として $y=A\sin\dfrac{2\pi}{T}(t-$ ア〔　　〕$)=A\sin 2\pi\left(\dfrac{t}{T}-\dfrac{x}{\lambda}\right)$ と表される。このとき，$2\pi\left(\dfrac{t}{T}-\dfrac{x}{\lambda}\right)$ を イ〔　　〕という。

解答　(ア)　$\dfrac{x}{v}$　(イ)　位相（詳しくは物理基礎「教科書」P.155を確認しよう！）

解説

3　ある理想気体 1.5 mol に，圧力一定のもとで熱量 63 J を与えたところ，温度が 2.0 K 上昇した。この気体の定圧モル比熱 C_p〔J/(mol·K)〕と定積モル比熱 C_V〔J/(mol·K)〕を求めよ。気体定数を8.3 J/(mol·K) とする。

解答　C_p : 21 J/(mol·K)，C_V : 13 J/(mol·K)

解説

「$Q=nC_p\Delta T$」より　$63=1.5\times C_p\times 2.0$

$$C_p=\frac{63}{1.5\times 2.0}=\mathbf{21\ J/(mol\cdot K)}$$

マイヤーの関係　「$C_p=C_V+R$」より

$$C_V=C_p-R=21-8.3\fallingdotseq\mathbf{13\ J/(mol\cdot K)}$$

4　ある熱機関では，高温物体から吸収した熱量が 600 J，低温物体へ放出した熱量が 450 J であった。このときの熱機関のした仕事 W'〔J〕と熱効率 e を求めよ。

解答　W' : 150 J，e : 0.25

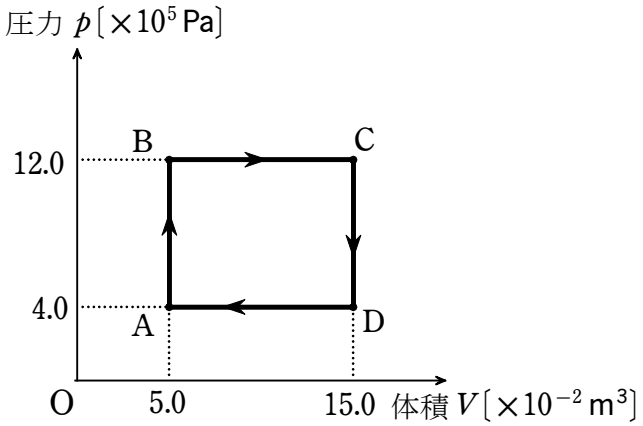
解説

高温物体から吸収した熱量を Q_1〔J〕，低温物体へ放出した熱量を Q_2〔J〕とすると

$$W'=Q_1-Q_2=600-450=\mathbf{150\ J}$$

熱効率　$e=\dfrac{W'}{Q_1}=\dfrac{150}{600}=\mathbf{0.25}$

5　単原子分子理想気体 n〔mol〕を，次の p-V 図のように，A → B → C → D → A と状態変化させた。次の問いに答えよ。ただし，気体定数を R〔J/(mol·K)〕とし，$nR=50$ J/K とする。



(1)　状態 A での温度 T_A〔K〕を求めよ。

(2)　状態 B，C，D での温度 T_B，T_C，T_D〔K〕をそれぞれ求めよ。

(3)　A → B，B → C，C → D，D → A の各過程で吸収する熱量 Q_{AB}，Q_{BC}，Q_{CD}，Q_{DA}〔J〕をそれぞれ求めよ。

(4)　熱効率 e を求めよ (分数で答えてよい)。

解答　(1)　4.0×10^2 K　　(2)　$T_B=1.2\times 10^3$ K，$T_C=3.6\times 10^3$ K，$T_D=1.2\times 10^3$ K

(3)　$Q_{AB}=6.0\times 10^4$ J，$Q_{BC}=3.0\times 10^5$ J，$Q_{CD}=-1.8\times 10^5$ J，

$Q_{DA}=-1.0\times 10^5$ J　　(4)　$\dfrac{2}{9}$

(解説)

(1)　理想気体の状態方程式 $pV=nRT$ より　$T=\dfrac{pV}{nR}$

よって　$T_{\mathrm{A}}=\dfrac{4.0\times10^{5}\times5.0\times10^{-2}}{50}=\mathbf{4.0\times10^{2}\ K}$

(2)　(1) と同様に,

$$T_{\mathrm{B}}=\frac{12.0\times10^{5}\times5.0\times10^{-2}}{50}=\mathbf{1.2\times10^{3}\ K}$$

$$T_{\mathrm{C}}=\frac{12.0\times10^{5}\times15.0\times10^{-2}}{50}=\mathbf{3.6\times10^{3}\ K}$$

$$T_{\mathrm{D}}=\frac{4.0\times10^{5}\times15.0\times10^{-2}}{50}=\mathbf{1.2\times10^{3}\ K}$$

(3)　単原子分子理想気体の定積モル比熱 $C_V=\dfrac{3}{2}R$，および定圧モル比熱 $C_p=\dfrac{5}{2}R$ を用いてそれぞれ求める。

p-V 図より，状態 A → B，C → D は定積変化。

$Q=nC\Delta T$ より

$$Q_{\mathrm{AB}}=nC_V(T_{\mathrm{B}}-T_{\mathrm{A}})=\frac{3}{2}nR(T_{\mathrm{B}}-T_{\mathrm{A}})$$

$$=\frac{3}{2}\times50\times(1.2\times10^{3}-4.0\times10^{2})$$

$$=\mathbf{6.0\times10^{4}\ J}$$

$$Q_{\mathrm{CD}}=nC_V(T_{\mathrm{D}}-T_{\mathrm{C}})=\frac{3}{2}nR(T_{\mathrm{D}}-T_{\mathrm{C}})$$

$$=\frac{3}{2}\times50\times(1.2\times10^{3}-3.6\times10^{3})$$

$$=\mathbf{-1.8\times10^{5}\ J}$$

また，p-V 図より，状態 B → C，D → A は定圧変化。

$Q=nC\Delta T$ より

$$Q_{\mathrm{BC}}=nC_p(T_{\mathrm{C}}-T_{\mathrm{B}})=\frac{5}{2}nR(T_{\mathrm{C}}-T_{\mathrm{B}})$$

$$=\frac{5}{2}\times50\times(3.6\times10^{3}-1.2\times10^{3})$$

$$=\mathbf{3.0\times10^{5}\ J}$$

$$Q_{\mathrm{DA}}=nC_p(T_{\mathrm{A}}-T_{\mathrm{D}})=\frac{5}{2}nR(T_{\mathrm{A}}-T_{\mathrm{D}})$$

$$=\frac{5}{2}\times50\times(4.0\times10^{2}-1.2\times10^{3})$$

$$=\mathbf{-1.0\times10^{5}\ J}$$

(4)　(3) の結果から，$Q_{\mathrm{AB}}>0$，$Q_{\mathrm{BC}}>0$，$Q_{\mathrm{CD}}<0$，$Q_{\mathrm{DA}}<0$

よって，状態 A → B，B → C では気体は熱量を吸収し，状態 C → D，D → A では放出する。

1サイクルで吸収する熱量 Q_1〔J〕は

$$Q_1 = Q_{AB} + Q_{BC} = 6.0 \times 10^4 + 3.0 \times 10^5 = 3.6 \times 10^5 \text{ J}$$

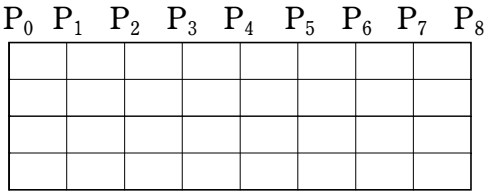
1サイクルで放出する熱量 Q_2〔J〕は

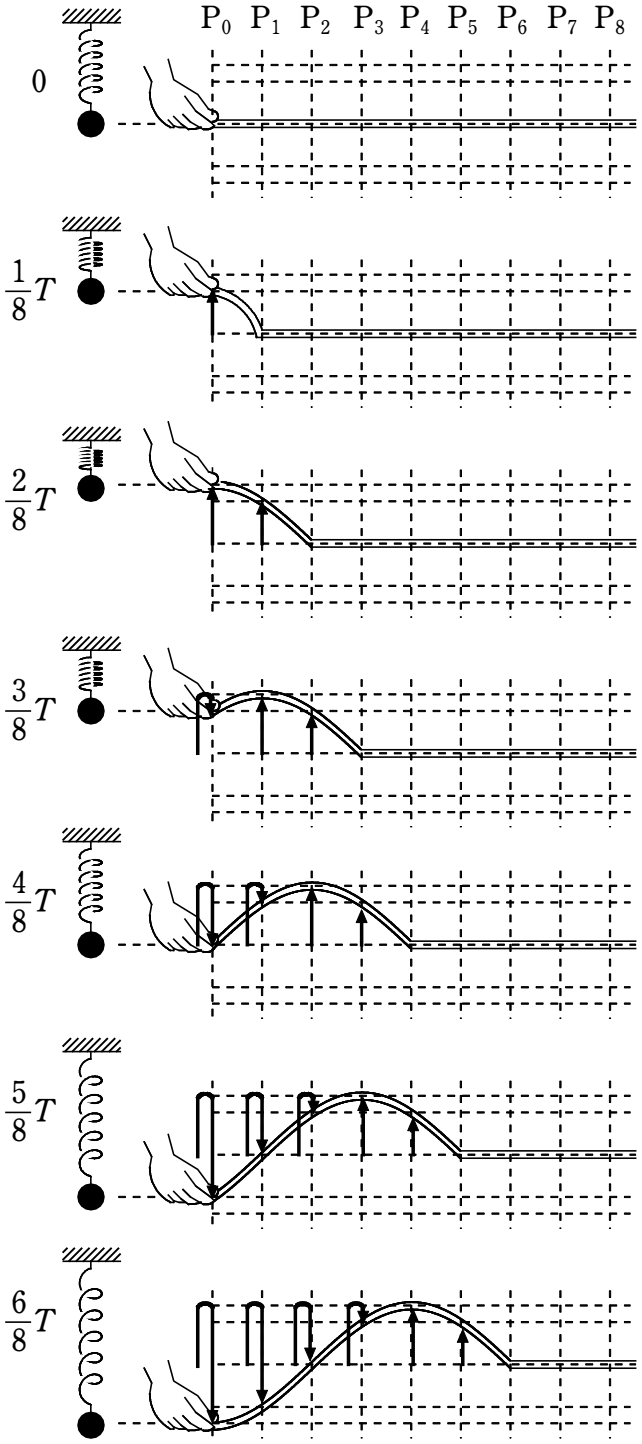
$$Q_2 = -(Q_{CD} + Q_{DA}) = -\{-1.8 \times 10^5 + (-1.0 \times 10^5)\}$$
$$= 2.8 \times 10^5 \text{ J}$$

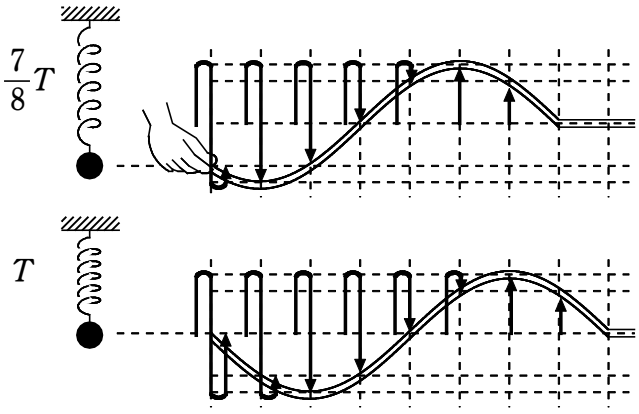
以上より

$$e = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{3.6 \times 10^5 - 2.8 \times 10^5}{3.6 \times 10^5} = \frac{2}{9}$$

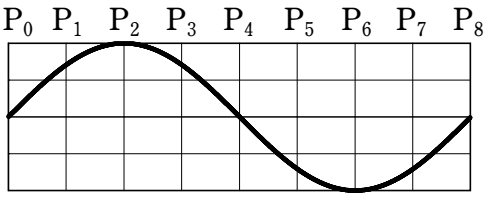
6　下図は，水平に張ったひもの端 P_0 を周期 T の単振動と同様に振るときの波形を，時刻 0 から 8 分の 1 周期ごとに表している。P_8 は 1 周期後に波の先端が到達する点である。この図をもとにして，時刻 $\frac{12}{8}T$ における波形のグラフをかけ。




P_0 P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6 P_7 P_8
0
$\frac{1}{8}T$
$\frac{2}{8}T$
$\frac{3}{8}T$
$\frac{4}{8}T$
$\frac{5}{8}T$
$\frac{6}{8}T$

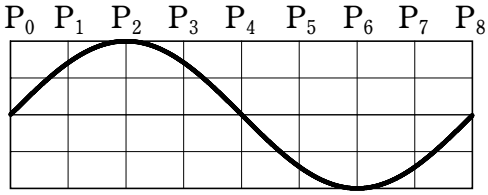


解答



解説

波が時間 $\frac{12}{8}T$ の間に進む距離は，時間 T の間に進んだ距離 P_0P_8 の長さの $\frac{12}{8}(=1.5)$ 倍となる。したがって，時刻 $\frac{12}{8}T$ での波形は下図のようになる。



7　正弦波の波長が 1.5 m，振動数が 3.0 Hz のとき，波の速さは何 m/s か。

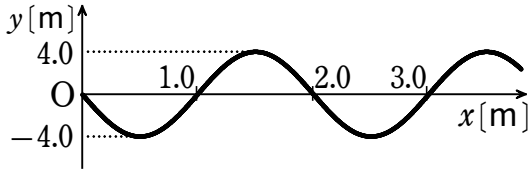
解答　4.5 m/s

解説

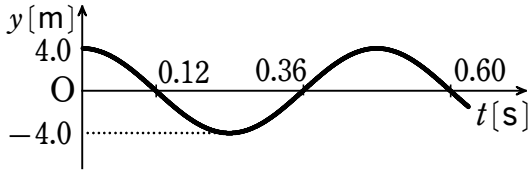
「$v=f\lambda$」より

$v=3.0\times1.5=$ **4.5 m/s**

8 (1)　x 軸上を進む正弦波がある。図は時刻 $t=0$ s での波形を表している。この波の振幅 A〔m〕，波長 λ〔m〕を求めよ。



(2)　図は位置 $x=1.5$ m の媒質の振動のようすを表している。この波の周期 T〔s〕を求めよ。



解答　(1)　A：4.0 m，λ：2.0 m　　(2)　0.48 s

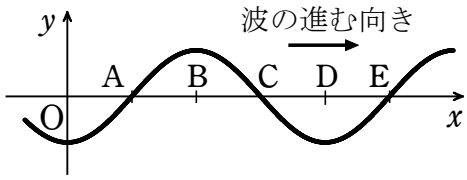
解説

(1)　振幅 $A=$**4.0 m**

波長 $\lambda=$**2.0 m**

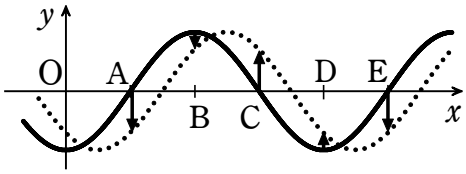
(2)　周期 $T=0.60-0.12=$**0.48 s**

9　正弦波について，波形が図のように表されるとき，媒質の速度が y 軸の正の向きである点を，A～E からすべて選べ。



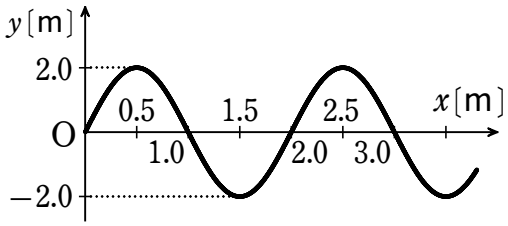
解答　C

解説

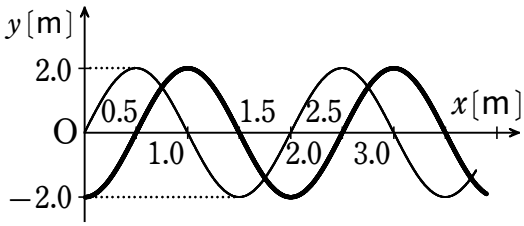


波形をわずかに進めたときの，媒質の動きを調べる。山と谷の位置では媒質の速度が 0 であることに注意して，速度が正の向きであるのは点 **C** である。

10　図は，x 軸上を正の向きに速さ 0.10 m/s で進む正弦波の時刻 $t=0$ s での波形を表す。時刻 $t=5.0$ s での波形を図にかきこめ。



解答

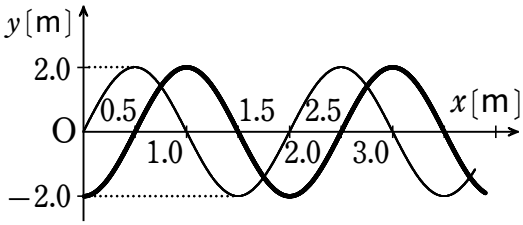


解説

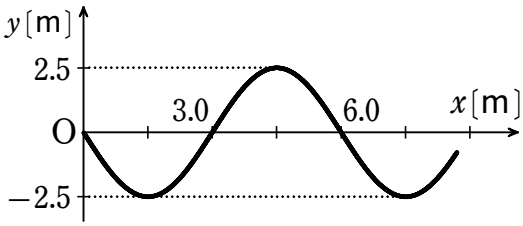
波の速さは 0.10 m/s なので，5.0 秒間に波形の進む距離は

$$0.10\times5.0=0.50\ \text{m}$$

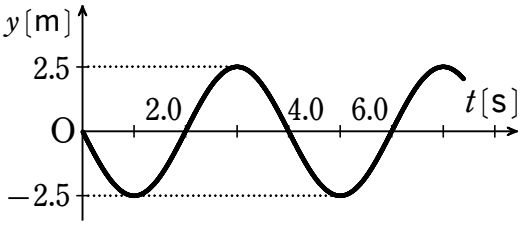
よって，波の進む正の向きに 0.50 m 平行移動させればよい。



11　図は，x 軸上を正の向きに速さ 1.5 m/s で進む正弦波の時刻 $t=0$ s での波形を表す。位置 $x=3.0$ m での媒質の振動のようすを y-t 図に表せ。



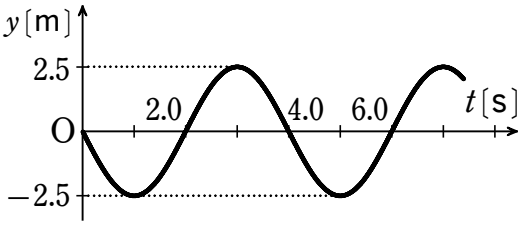
解答



解説

まず，振動の周期 T を求める。y-x 図より波長は $\lambda=6.0$m，波の速さは $v=1.5$ m/s である。「$v=\dfrac{\lambda}{T}$」より

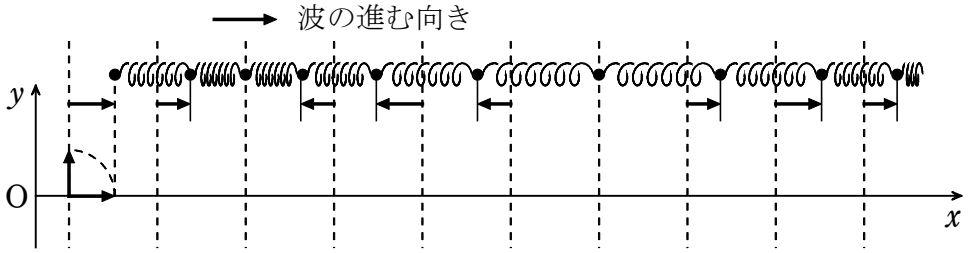
$$T=\frac{\lambda}{v}=\frac{6.0}{1.5}=4.0\ \text{s}$$



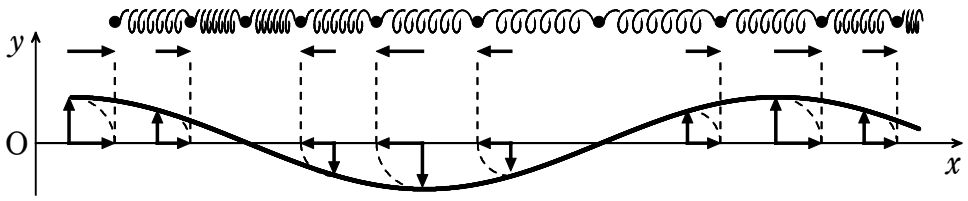
次に，位置 $x=3.0$ m の媒質がどのように時間変化するかを調べる。

$t=0$ s での変位は y-x 図より $y=0$ m である。そしてその次の瞬間には下向きに動く。以上より，y-t 図をかく。

12　図は x 軸上を正の向きに伝わる縦波の，ある時刻における疎密の状態を示したものである。この縦波を横波のように表せ。図中の破線は，媒質の各点のつりあいの位置を表している。

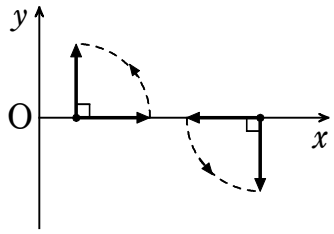


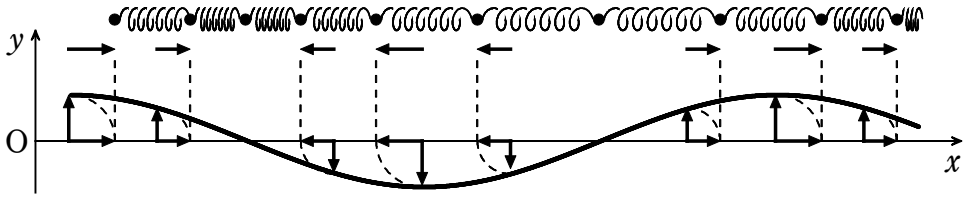
解答



解説

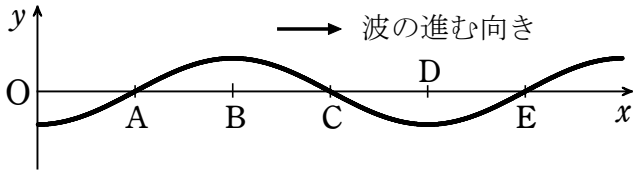
x 軸の正の向きの変位は y 軸の正の向きへ，x 軸の負の向きの変位は y 軸の負の向きへそれぞれ 90° 回転させる。





13　図は，x 軸上を正の向きに進む縦波の，ある時刻における変位を横波のように表したものである (x 軸の正の向きの変位を，y 軸の正の向きに表す)。次の状態の媒質の点を A～E からすべて選べ。

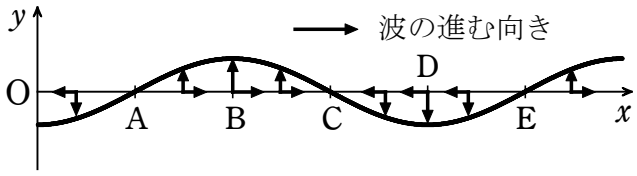
(1)　最も密
(2)　最も疎
(3)　媒質の速さが 0
(4)　媒質の速さが最大
(5)　媒質の速度が右向きに最大



解答　(1)　C　　(2)　A，E　　(3)　B，D　　(4)　A，C，E　　(5)　C

解説

まず，y 軸方向に表された変位を x 軸方向にかき直す。



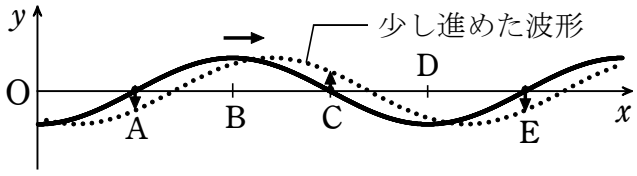
(1)　最も密な点は媒質が周囲から集まる点である。
よって **C**

(2)　最も疎な点は媒質が周囲へ遠ざかる点である。
よって **A，E**

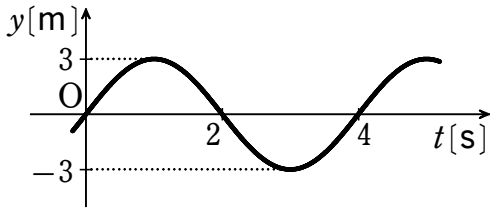
(3)　媒質の速さが 0 の点は媒質の変位の大きさが最大の点である。
よって **B，D**

(4)　媒質の速さが最大となるのは，媒質が振動の中心を通過するときであるから，
A，C，E

(5)　媒質の速度が右向きのとき，これを横波表示にすると y 軸の正の向きとなる。(4) で求めた A，C，E のうち，波形を少し進めたとき，媒質が y 軸の正の向きに動いているのは **C**



14　x 軸上を正の向きに速さ 5 m/s で進む正弦波がある。原点の媒質の変位 y〔m〕は図のように表される。円周率を π とする。



(1)　時刻 t〔s〕での原点の媒質の変位 y〔m〕を，t を用いて表せ。

(2)　時刻 t〔s〕での位置 x〔m〕の媒質の変位 y〔m〕を，x，t を用いて表せ。

解答　(1)　$3\sin\dfrac{\pi}{2}t$　　(2)　$3\sin\dfrac{\pi}{2}\left(t-\dfrac{x}{5}\right)$

解説

(1)　図より原点の媒質は，振幅が 3 m，周期が 4 s の単振動を行う。

$$y=3\sin 2\pi\frac{t}{4}=\mathbf{3\sin\frac{\pi}{2}t}$$

(2)　原点から位置 x〔m〕まで振動が伝わるのに時間 $t_0=\dfrac{x}{5}$〔s〕かかる。よって，時刻 t〔s〕での位置 x〔m〕の媒質の変位 y〔m〕は，(1) で求めた式の t を，$t-t_0$ で置きかえればよい。

$$y=3\sin\frac{\pi}{2}(t-t_0)=\mathbf{3\sin\frac{\pi}{2}\left(t-\frac{x}{5}\right)}$$