H26年度実施（H27年1月15日(木)）学習到達度試験（物理）の解答

H28. 01. 05

領域１；変位・速度・加速度

1

（1） 加速度 a は，初速度を v_0， t 秒後の速度を v として，次のように得られる。

$$a=\frac{v-v_0}{t}=\frac{3.0-6.0}{2.0}=-1.5\ \mathrm{m/s^2}.$$

→ ア －， イ 1， ウ 5， エ ②

（2） 下向きを+方向に，重力加速度の大きさ $g=9.8\ \mathrm{m/s^2}$ とすると，自由落下させてから，時刻 $t=3.0$ 秒間に動いた距離 y は，$y=gt^2/2=4.9\,t^2=4.9\times3.0^2=44.1\fallingdotseq$ 44 m と得られる。

→ オ 4， カ 4

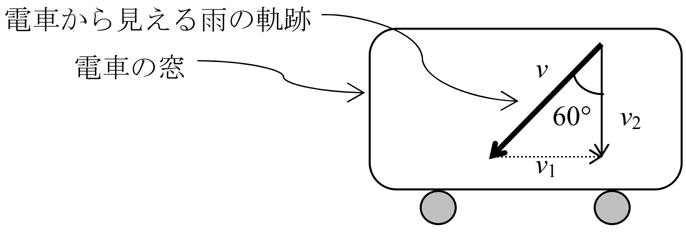
（3） 上向きを+方向にとると，初速度 $v_0=9.8$ m/s，重力加速度の大きさ $g=9.8\ \mathrm{m/s^2}$ とすると，時刻 t での速度 v と位置 y は 次の式のように表される(ここで，初期位置=地面の高さ= $y_0=0$ m とした)

$$v=v_0-g\,t=9.8-9.8\,t\,,\qquad y=y_0+v_0\,t-g\,t^2/2=9.8\,t-4.9\,t^2\,.$$

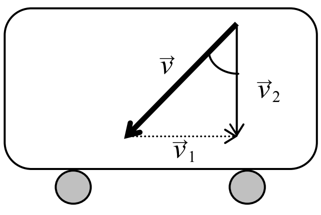
最高地点では，速度 v が一瞬「0」となるので，その時刻は，第1式より，時刻 $t=1.0$ 秒となる。これを第2式に代入すると，最高地点での高さ $y_{max}=9.8\times1-4.9\times1^2=4.9$ m と得られる。

→ キ 4， ク 9

2 電車の窓から見える雨の軌跡は下の図のように，電車の進む向きと逆の斜め下方にみえる。止まっている場所での)雨の降る速さ= $v_2=5.0$ m/s，電車の速さ= $v_1=6.0$ m/s を書き加えると下のような図になる。



（1） 上の図について，ベクトルを用いて描くと，下の図のように表すことができる。



ベクトルの矢印の向きに注意すると，上の図より，$\vec{v}+\vec{v}_1 = \vec{v}_2$ の関係が成り立つ。この式を移項すると，$\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ となる。

→ $\boxed{\text{ア}}$ ③， $\boxed{\text{イ}}$ ②

（2） この図より， $\tan 60° = v_1 / v_2$ → $v_2 = v_1 / \tan 60° = 6.0/\sqrt{3} \fallingdotseq 3.464 \fallingdotseq 3.5$ m/s

→ $\boxed{\text{ウ}}$ ③

領域２；　力の性質と運動方程式

$\boxed{1}$

（1）　圧力 p は平面を押す力の大きさ F と平面の面積 S を用いて，「$p = F/S$」と表される。 従って，

$$圧力\ p = \frac{10\ \mathrm{N}}{1.0\times10^{-3}\ \mathrm{m}^2} = 1.0\times10^{4}\quad \mathrm{Pa.}$$

→　$\boxed{ア}$　④

（2）　ニュートンの運動の第２法則を表す運動方程式「$\vec{F} = m\,\vec{a}$」より，物体に生じる加速度$\vec{a}$の向きは物体に働く合力$\vec{F}$と同じ向きとなる。この物体に働く力は重力（重力は鉛直下向きの力）のみなので, 物体に生じる加速度の向きも常に鉛直下向きとなる。

→　$\boxed{イ}$　⑦

（3）　鉛直上方向を+(正)とすると，物体を引き上げる力は正(上向き)で重力は負(下向き)となるので，運動方程式は下の式のように表すことができる。

$$m\,a = 合力 = 引く力+重力 = F + (-m\,g) = F - m\,g.$$

→　$\boxed{ウ}$　②，　$\boxed{エ}$　①

$\boxed{2}$

（1）　物体 A には鉛直上向きには引く力 F が，鉛直下向きには重力 Mg と糸の張力 T が働いている。一方，物体 B には鉛直上向きに糸の張力 T と鉛直下向きに重力 $m\,g$ が働いている。従って，物体 A と物体 B における運動方程式は下の式のように表すことができる。

物体 A；　$M\,a = F - (Mg + T),$

物体 B；　$ma = T - mg\,.$

→　$\boxed{ア}$　⑦，　$\boxed{イ}$　④，　$\boxed{ウ}$　⑧　，　$\boxed{エ}$　②

（2）　上の２つの運動方程式より，加速度の大きさ a は，$a = F/(M+m) - g$ となる。さらに，物体 B に関する運動方程式に代入し，張力の大きさ T を求める。

$$T = m(a+g) = m\,F/(M+m)\,.$$

→　$\boxed{オ}$　⑤

領域３．　力学的エネルギー・運動量

1

（1）　加える力が物体にした仕事 W は，加える力の大きさ F，変位の大きさ(移動距離)s，力と変位の間の角度 θ を用いて表すと，次のように得られる。

$$W = F\,s\cos\theta = 3.0\ \mathrm{N} \times 2.0\ \mathrm{m} \times 0.80 = 4.8\ \mathrm{J}.$$

→　ア　⑦

（2）　質量 m の物体が始速さ v で動いているとき，物体が持つ運動エネルギーK は次のように得られる。

$$K = \frac{1}{2}\,m\,v^2 = \frac{1}{2}\times 0.2\times 3.0^2 = 0.9\ \mathrm{J}.$$

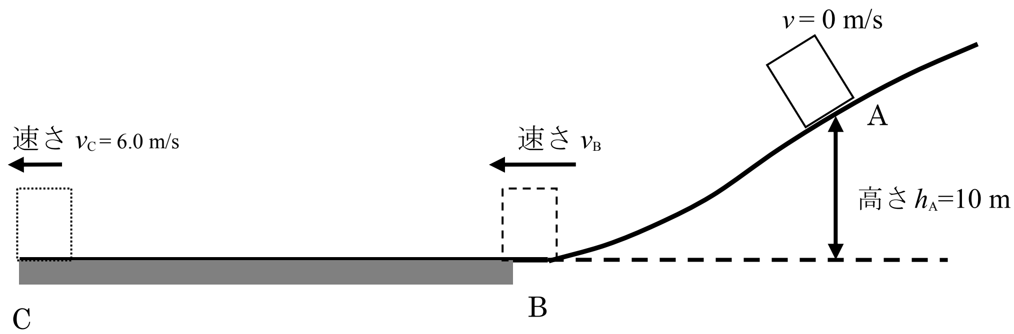
→　イ　④，　ウ　0

（3）　右向きを正の向きとする。速度 v_A= 6.0 m/s, 質量 m_A=2.0 kg の物体 A と速度 v_B=0.0 m/s, 質量 m_B=3.0 kg の物体 B が一直線上で衝突した。衝突後，物体 A と物体 B の速度は v'_A と v'_B = 3.0 m/s となった。衝突前後で，運動量保存則を用いると，速度 v'_A を求めることができる。

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B' \rightarrow 2.0\times 6.0 = 2v_A' + 3.0\times 3.0 \rightarrow 2v_A' = 12 - 9.0 = 3.0 \rightarrow$$
$$v_A' = 1.5\ \mathrm{m/s}.$$

→　カ　＋，　キ　1，　ク　5

2



（1）　力学的エネルギー保存則より，「点 A での力学的エネルギー ＝ 点 B での力学的エネルギー」が成立するので，地点 B での速さ v_B は次のように得られる。

$$m\,g\,h_A = \frac{1}{2}\,m\,v_B^2, \quad\rightarrow\quad v_B = \sqrt{2\,g\,h_A} = \sqrt{2\times 9.8\times 10} = \sqrt{196} = 14\ \mathrm{m/s}.$$

→　ア　1，　イ　4

（2）　さらに，「点 C での運動エネルギー ＝ 点 B での運動エネルギー ＋ 摩擦力がした仕事」となるので，摩擦力のした仕事を W とすると，仕事 W は次のように得られる。

$$\frac{1}{2}\,m\,v_C^2 = \frac{1}{2}\,m\,v_B^2 + W, \rightarrow W = \frac{m}{2}(v_C^2 - v_B^2) = \frac{0.1}{2}\times(6.0^2 - 14^2) = \frac{0.1}{2}\times(36 - 196) = -8.0\ \mathrm{J}.$$

→　ウ　－，　エ　8，　エ　0

領域４；円運動・単振動・万有引力

$\boxed{1}$

（1） 回転の角速度 ω，回転数 f，周期 T の間の関係式より，周期 T は次のように得られる。

$$\omega = 2\pi f = 2\pi/T, \quad \rightarrow \quad T = 2\pi/\omega = 2\times3.14/0.157 = 40 \text{ s.}$$

従って，時刻 $t = 20$ s は周期の半分の時間となるので，回転角 θ は π となる。

→ ⑤

（2） グラフより，周期 $T = 0.4$ s，振幅 $A = 0.20$ m，初期位相 $\theta_0 = 0$ とわかる。従って，物体の変位 x [m] を表す式は，次のように表される。

$$x = A\sin(\omega t) = A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) = 0.2\sin\left(\frac{2\pi}{0.4}t\right) = 0.2\sin(5\pi t)$$

→ $\boxed{ア}$ ①， $\boxed{イ}$ ⑧

（3） 距離 R 離れた質量 m の物体と質量 M の 2 つの物体間に働く万有引力の大きさ F は，万有引力定数 G とすると，次のように得られる。

$$F = G\frac{mM}{R^2} = 6.7\times10^{-11}\times\frac{1.0\times10^2\times1.0\times10^{13}}{(1.0\times10^3)^2} = 6.7\times10^{-11+2+13-6} = 6.7\times10^{-2}\text{ N.}$$

→ ③

$\boxed{2}$ 物体が等速円運動するためには，「物体に中心力が働く」必要がある。ここでは，ばねの弾性力が向心力を担っている。

（1） 弾性力の大きさ F は，(ばね定数×ばねの伸び)なので，次のように得られる。

$$F = kx = 60\times(0.15-0.13) = 60\times0.02 = 1.2 \text{ N.}$$

→ $\boxed{ア}$ ⑤(中心方向)， $\boxed{イ}$ ③

（2） 「向心力の大きさ ＝ 弾性力の大きさ」なので，角速度 ω は次のように得られる。

$$mr\omega^2 = kx \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{kx}{mr}} = \sqrt{\frac{1.2}{0.08\times0.15}} = \sqrt{100} = 10 \text{ rad/s.}$$

→ $\boxed{ウ}$ **1**， $\boxed{エ}$ **0**

領域５．　熱

1

（１）　物体の比熱 c は物体 1 g(グラム)の温度を 1 K (=1 ℃)上昇させるのに必要な熱量なので，質量 m の物体の温度が ΔT 上昇した時に加えた熱量 Q は，次のように得られる。

$$Q = m\,c\,\Delta T = 400\times0.45\times(50-30) = 3600 = 3.6\times10^3 \text{ J.}$$

→ $\boxed{\text{ア}}$ **3**， $\boxed{\text{イ}}$ **6**， $\boxed{\text{イ}}$ **3**

（２）　系を熱機関につないで，高温の熱源から低温の熱源に熱を移動させる。その際，熱機関が外部に仕事 W を与えることができる。熱機関がする仕事 W は熱と仕事の関係より，次のように得られる。

$W = Q_1$(高温の熱源から吸収した熱) $- Q_2$(低温の熱源に放出した熱) $= 80 - 60 = 20$ J.

また，熱効率 η はその定義より，次のように得られる。

$$\eta = \frac{\text{外にした仕事}}{\text{高温の熱源から吸収した熱}} = \frac{W}{Q_1} = \frac{20}{80} = 0.25.$$

→ $\boxed{\text{エ}}$ ②， $\boxed{\text{オ}}$ **2**， $\boxed{\text{カ}}$ **5**

（３）　外から気体に加えた仕事を ΔW (注意；気体が外にする仕事 Δw は，「$\Delta w = -\Delta W$」となる)。気体の圧力 p が一定で気体の体積変化を ΔV(注意；気体が膨張する場合，ΔV は正となる)とする外から気体に加えた仕事を ΔW は「$\Delta W = -\Delta w = -p\,\Delta V$」と表されるので，気体が外にする仕事 Δw は次のように得られる。

$$\Delta w = p\,\Delta V = 1.0\times10^5\times2.0\times10^{-4} = 2.0\times10^1 = 20 \text{ J.}$$

一方，外から気体に加える熱を ΔQ，外から気体に加えた仕事を ΔW とすると，熱力学第 1 法則により，気体の内部エネルギー変化 ΔU は，$\Delta U = \Delta Q + \Delta W = \Delta Q - \Delta w$ と表されるので，気体の内部エネルギー変化 ΔU は次のように得られる。

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta w = 50 - 20 = 30 \text{ J.}$$

→ $\boxed{\text{キ}}$ **2**， $\boxed{\text{ク}}$ **0**， $\boxed{\text{ケ}}$ **3**， $\boxed{\text{コ}}$ **0**

2

（１）　単原子分子の理想気体の内部エネルギー U は絶対温度 T に比例する。物質量 n mol，気体定数 R とすると，$U = 3nRT/2$ と表される。系に外から熱を加えたところ，温度上昇が ΔT であったとすると，単原子分子の理想気体の内部エネルギー変化 ΔU は，次のように表される。

$\Delta U = 3nR\Delta T/2.$ → $\boxed{\text{ア}}$ ④

一方，体積が一定となる場合，気体が外にする仕事 Δw は体積変化 $\Delta V = 0$ となるので，次のように仕事はしない。

$\Delta w = p\,\Delta V = 0.$ → $\boxed{\text{イ}}$ ①

（２）　理想気体の内部エネルギー U は絶対温度 T に比例し，体積や圧力によらないので，内部エネル

ギー変化 ΔU は，次のように表される。

$\Delta U = 3nR\Delta T/2.$ → $\boxed{ウ}$ ④

一方，理想気体の状態方程式は「$pV = nRT$」と表されるが，両辺で状態変化を取り入れると，「左辺 $=\Delta(pV) = (p+\Delta p)(V+\Delta V) - p\,V = p\,\Delta V + \Delta p\,V + \Delta p\,\Delta V \fallingdotseq p\,\Delta V + \Delta p\,V$ (2 次の微少量 $\Delta p\,\Delta V$ は無視した)」となり，「右辺$=\Delta(nRT) = n\,R\,\Delta T$」となる。さらに，圧力 p が一定なら，圧力変化 $\Delta p = 0$ となるので，「$p\,\Delta V = n\,R\,\Delta T$」が成立する。従って，圧力が一定の条件下で気体が外にする仕事 Δw は次のように得られる。

$\Delta w = p\,\Delta V = n\,R\,\Delta T$. → $\boxed{エ}$ ③

領域６．波動

$\boxed{1}$

（１） 波の速さ v，波長 λ，振動数 f の関係式より，波長 λ は次のように得られる。

$$v = f\lambda \quad \rightarrow \lambda = v/f = 3.0\times10^{8}/(600\times10^{3}) = 5.0\times10^{8-3-3} = \quad 5.0\times10^{2}\ \text{m}.$$

→ $\boxed{ア}$ **5，** $\boxed{イ}$ **0，** $\boxed{ウ}$ **②**

（２） 音源 A，B，C から出る音波の周波数をそれぞれ，f_A= 422 Hz，f_B= 420 Hz，f_C とする。1 秒間当たりのうなりの回数より，周波数 f_C は次のように得られる。

A と C から； $f_C = f_A \pm 1 = 422 \pm 1$ → 423 Hz or 421 Hz,

B と C から； $f_C = f_B \pm 3 = 420 \pm 3$ → 423 Hz or 417 Hz.

→ $\boxed{エ}$ **4，** $\boxed{オ}$ **2，** $\boxed{カ}$ **3**

（３） 図より，最も疎となっている位置は x =3.0 m である。

→ $\boxed{キ}$ **3，** $\boxed{ク}$ **0**

$\boxed{2}$

（１） 定常波の節では，2 つの波の変位が打ち消しあって，合成波の変位 y = 0 m となる地点である。図より，位置 x =7.0 m の地点で 2 つの波の変位が打ち消される。

→ $\boxed{ア}$ **7，** $\boxed{イ}$ **0**

（２） 波の波長 λ = 8.0 m となる(これは，定常波の波長と同じ)。定常波の節の位置は上の問いより，x = ・・，3.0 m, 7.0 m, 11 m, ・・ = 7.0 + n λ/2 [m] となる(整数 n = 0 , ±1, ±2,・・である)。従って，定常波の腹の位置は節と節との中間地点なので，x = ・・，1.0 m, 5.0 m, 9.0 m, ・・ = 5.0 + n λ/2 [m] となる。例えば，位置 x =1.0 m の地点では，2 つの波が強めあって，定常波の変位が最大となるのは，2 つの波が距離 1.0 m 進んだ時である。つまり，波の速さ v = 1.0 m/s なので, 1.0 秒後である。

→ $\boxed{ウ}$ **1，** $\boxed{エ}$ **0**

領域７．電気

1

（1） 同符号となる電荷の間には「斥力(反発力)」が，異符号となる電荷の間には「引力」が働く。距離 r だけ離れた電荷 q_1 と q_2 の間に働く静電気力の大きさ F は，静電気力に関するクーロン則の定数を k_e とすると，次のように得られる。

$$F = k_e \frac{|q_1 q_2|}{r^2} = 9.0\times10^9 \frac{1.0\times10^{-9}\times1.0\times10^{-9}}{(1.0\times10^{-3})^2} = 9.0\times10^{9-9-9+6} = 9.0\times10^{-3}\,\mathrm{N}.$$

→ ア ①， イ 9， ウ 0， エ 3

（2） 負の点電荷 $-Q$ が作る電場 $\vec{E}$ の向きは，この点電荷に向かう向きであり，点電荷から距離 r だけ離れた地点での電場の大きさ E は，次のように表される。

$$E = k_e \frac{|-Q|}{r^2} = k_e \frac{Q}{r^2}.$$

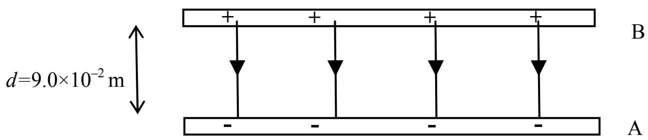
→ オ ③， カ ②

（3） アルミ缶は金属(導体)なので，静電誘導によって自由電子が移動し，A 側は正の電荷，B 側は負の電荷に帯電する。自由電子は負の電荷を持っているので B 側に移動する。負の電気を帯びたプラスチック棒と静電誘導によって生じた正の電荷を帯びたアルミ缶の A 側は引力が働く。

→ ③

2

平行な 2 枚の極板 A と B の間の距離を d とする。極板 B が正の電荷に帯電し，極板 A が負の電荷に帯電している場合，図のような一様な電場となる。



（1） 極板 A を電位の基準にとったので，極板 A での電位 $\varphi_A = 0$ V である。2 つの極板 AB 間の電位差を φ，電界の大きさを E とすると，「$E = \varphi/d$」の関係が成立するので，極版 B での電位 φ_B は次のように得られる。

$$\varphi_B = \varphi = E\,d = (1.0\times10^3\times4.0\times10^{-2}) = 4.0\times10^1 = 40\ \mathrm{V}.$$

→ ア ＋， イ 4， ウ 0

（2） 正の電荷を電場の中に置くと電場と同じ向きに静電気力を受ける。従って，極板 AB 間に負の電荷を置くと，上向きの静電気力が働く。電荷の大きさを q とすると，重力と静電気力の力のつり合いから，電荷の大きさ q は次のように得られる

$$q\,E = m\,g \ \rightarrow\ q = m\,g/E = (1.0\times10^{-5}\times9.8)/(\,1.0\times10^3) = 9.8\times10^{-8}\ \mathrm{C}.$$

→ エ −， オ 9， カ 8

領域８．磁気

1

（１） 電流 I が流れる円形(円の半径 r)導線の中心における磁場の大きさ H は，$H = I/(2r)$ と表されるので，半径を 2 倍にすると，磁場の大きさ H は 1/2 倍となる。

→ ア ⑥

（２） 正の電荷 e を持つ荷電粒子が磁束密度 $\vec{B}$ の中を速度 $\vec{v}$ で進む場合に受けるローレンツ力 $\vec{F}$ は，「$\vec{F} = e(\vec{v}\times\vec{B})$」と表される。従って，正の荷電粒子が進む向きは $+y$ 方向，磁束密度の向きは $+z$ 方向なので，ローレンツ力の向きは右ネジの法則より，$+x$ 方向となる。さらに，速度 $\vec{v}$ と磁束密度 $\vec{B}$ の間の角度が θ なので，ローレンツ力の大きさ F は，「$F = evB\sin\theta$」となる。

→ イ ①， ウ ②

（３） 電流の流れている向きを考慮して，電流ベクトル $\vec{I}$ を考える。磁束密度 $\vec{B}$ の中を，長さ ℓ の導線に電流 $\vec{I}$ がで流れている時，発生するローレンツ力 $\vec{F}$ は，$\vec{F} = (\vec{I}\times\vec{B})\ell$ と表される。従って，ローレンツ力の向きは右ネジの法則より，点 A の位置では $-y$ 方向で，点 B の位置では $+y$ 方向となる。

→ エ ④， オ ③

2

（１） 単位長さ当たりの巻き数 n $(=N/L)$ のソレノイドコイルがある。ソレノイドコイルに電流 I を流した時，コイルにできる磁場の大きさ H は，「$H = nI = NI/L$」と表される。

→ ア ②

（２） 磁束 Φ は，磁束密度の大きさ B $(= \mu_0 H)$ と断面積 S の積として，「$\Phi = BS = \mu_0 HS$」と表される。従って，磁束 Φ は次のように得られる

$$\Phi = \mu_0 HS = \mu_0 nIS = \mu_0 NIS/L = \frac{\mu_0 NS}{L} I.$$

→ イ ⑨

1

（1） 下のように時刻 t での位置 $x(t)$は速度 $v(t)$を時間 t で積分することで得られる。

$$x(t) = x(0) + \int_0^t v(t)\ dt = 0 + \int_0^t (3t^2+2)\ dt = t^3 + 2t.$$

→ ア ⑤

（2） 時刻 t での速度 $v(t)$は加速度 $a(t)$を時間 t で積分することで得られる。

$$v(t) = v(0) + \int_0^t a(t)\ dt = 9.0 + \int_0^t (6t+2)\ dt = 9.0 + 3\,t^2 + 2t.$$

上の式に時刻 $t = 2.0$ s を代入して，時刻 $t = 2$ 秒での速度が得られる。

$$v(t = 2.0\ \mathrm{s}) = 9 + 3\times2^2 + 2\times2 = 9+12+4 = 25\ \mathrm{m/s}.$$

→ イ **2**， ウ **5**

（3） 力積は力 F と時刻 t のグラフ(F-t グラフ)で積分した値となる。

$$力積 = \int_0^{10} F(t)\ dt = \int_0^{10} (30t-3t^2)\ dt = \left[15t^2 - t^3\right]_0^{10} = 15\times10^2 - 10^3 = 1500-1000 = 500\ \mathrm{N\,s}.$$

→ エ **5**， オ **0**

2

（1） 質量 m の物体がある。この物体の時刻 t における位置 $\vec{r}(t) = (x(t),\ y(t)) = (3t+5,\ t^2+7)$ [m] とすると，物体の速度$\vec{v}(t)$は位置$\vec{r}(t)$を時間微分したものなので，次のように表される。

$$\vec{v}(t) = (v_x(t)\ ,\ v_y(t)\ ) = \frac{d\vec{r}}{dt} = \left(\frac{dx}{dt}\ ,\ \frac{dy}{dt} \right) = (3,\ 2t\ ) \quad [\mathrm{m/s}].$$

従って，時刻 t=2.0 s での速度は，「$\vec{v}(t = 2.0\ \mathrm{s}) = (3,4)$ [m/s]」となる。この速さ v は，三平方の定理より，「$v = \sqrt{3^2+4^2} = \sqrt{25} = 5.0$ m/s」と得られる。

→ ア ③， イ ⑨， ウ ⑤

（2） さらに，加速度$\vec{a}(t)$は速度$\vec{v}(t)$を時間微分したものなので，次のように表される。

$$\vec{a}(t) = (a_x(t)\ ,\ a_y(t)\ ) = \frac{d\vec{v}}{dt} = (\ 0\ ,\ 2\ ) \quad [\mathrm{m/s^2}].$$

物体に働く力$\vec{F}$は，運動方程式より，「$\vec{F} = m\vec{a} = 5\ (0\ ,\ 2) = (0,\ 10)$ N」と得られる。これより，物体に働く力の大きさ F は「$F = 10$ N」と得られる。

→ エ **1**， オ **0**