

# 令和2年度入学者選抜試験問題

## 工 学 部

(高分子・有機材料工学科, 化学・バイオ工学科,  
情報・エレクトロニクス学科,  
機械システム工学科, システム創成工学科)

## 理 科 ( 物 理 )

### 前 期 日 程

#### 注 意 事 項

- 1 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- 2 この問題冊子の本文は、1ページから6ページまでです。
- 3 解答は、物理専用の解答用紙を使用してください。
- 4 問題は3問からなっています。解答は問題番号と一致した解答用紙に記入してください。解答用紙は裏面まで使用できます。解答用紙には、計算過程も記入してください。
- 5 すべての解答用紙に**大学受験番号**を正しく記入してください。大学受験番号が正しくない場合は、採点できないことがあります。
- 6 試験終了後、問題冊子および下書き用紙は持ち帰ってください。

## 第1問

次の文章を読んで、以下の問い合わせに答えよ。解答は、小問番号 (1), (2), ⋯, (12) を明記し、途中の計算過程も記入して、答えに下線を引くこと。

[A] 軽いばねと、長さ  $L[\text{m}]$ 、質量  $m[\text{kg}]$  の一様な棒がある。棒の左端はあらい鉛直な壁に点  $O$  で接し、右端にはばねが結ばれ、ばねの他端は壁に取り付けられている。ここで、棒の右端に質量  $m_D[\text{kg}]$  の球  $D$  を軽い糸で結んで静かに設置したところ、図 1 のように棒は水平になり、ばねと棒のなす角度は  $\theta [\text{rad}]$  となった。棒が壁から受ける垂直抗力を  $N[\text{N}]$ 、棒が壁から受ける上向きの静止摩擦力を  $F[\text{N}]$ 、ばねが棒を引く力を  $T[\text{N}]$ 、重力加速度の大きさを  $g[\text{m/s}^2]$  とする。小問(1)から(5)の解答は、 $\theta, g, m, m_D, F, L, N, T$  の中から必要な記号を用いて表せ。

棒にはたらく力のつり合いを考える。

- (1) 水平方向の力のつり合いの式を求めよ。
- (2) 鉛直方向の力のつり合いの式を求めよ。

点  $O$  のまわりの力のモーメントを考える。

- (3) ばねが棒を引く力  $T$  によって生じる力のモーメントの大きさ  $M_1[\text{N}\cdot\text{m}]$  を求めよ。
- (4) 棒にはたらく重力によって生じる力のモーメントの大きさ  $M_2[\text{N}\cdot\text{m}]$  を求めよ。
- (5) 球  $D$  にはたらく重力によって生じる力のモーメントの大きさ  $M_3[\text{N}\cdot\text{m}]$  を求めよ。

つぎに、球  $D$  を棒から静かに取り外すと、図 2 のように棒は少しだけ持ち上がり、棒と水平方向のなす角度は  $\alpha [\text{rad}]$ 、ばねと水平方向のなす角度は  $\beta [\text{rad}]$ 、ばねが棒を引く力は  $T'[\text{N}]$  となった。

- (6) 点  $O$  のまわりの力のモーメントのつり合いを考え、ばねが棒を引く力  $T'$  を、 $\alpha, \beta, g, m$  を用いて表せ。

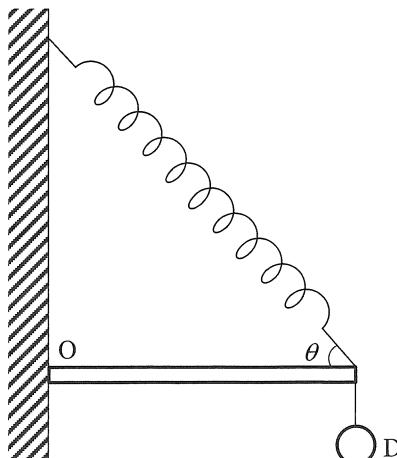


図1

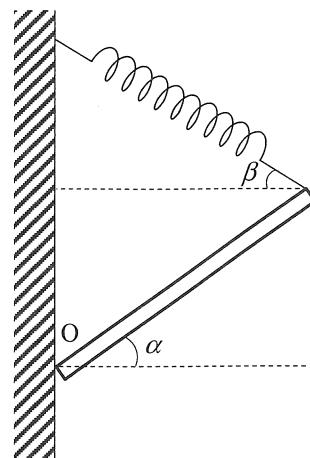


図2

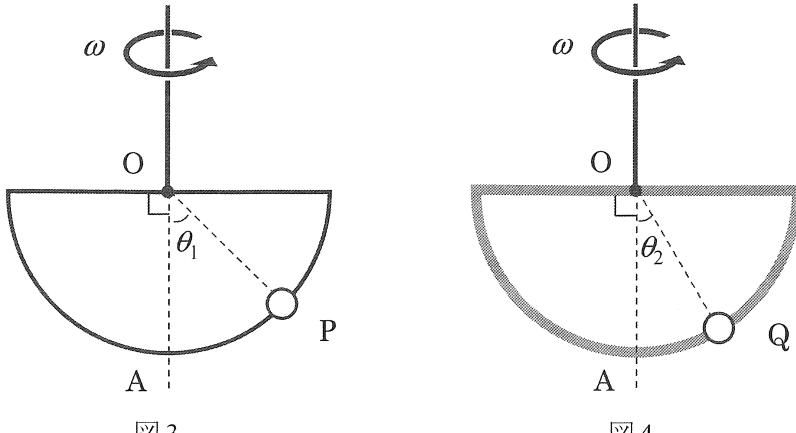


図3

図4

[B] 図3のように、鉛直に立てた半径  $R$  [m]の半円リングに沿って動くことができる質量  $m$  [kg]の小物体がある。この半円リングを、円の中心  $O$  と最下点  $A$  を通る鉛直軸のまわりに一定の角速度  $\omega$  [rad/s]で回転させた。重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>]とする。

はじめに、半円リングと小物体の間に摩擦はなく、小物体は半円リングに沿ってなめらかに動くことができる場合を考える。小物体が半円リング上の位置  $P$  にあるとき、小物体は半円リングに対して静止し、回転軸に対して等速円運動をした。そのときの  $OP$  と回転軸のなす角を  $\theta_1$  [rad] ( $0 < \theta_1 < \frac{\pi}{2}$ )とする。

- (7) 小物体の円運動の速さ  $v$  [m/s]を、 $\theta_1$ ,  $\omega$ ,  $R$  を用いて表せ。
- (8) 小物体の円運動の角速度  $\omega$ を、 $g$ ,  $m$ ,  $\theta_1$ ,  $R$  から必要な記号を用いて表せ。
- (9) 小物体の円運動の周期  $T$  [s]を、 $g$ ,  $\theta_1$ ,  $R$  を用いて表せ。

つぎに、図4のように、半円リングと小物体の間に摩擦がある場合を考える。位置  $Q$  を、 $OQ$  と回転軸のなす角が  $\theta_2$  [rad] ( $0 < \theta_2 < \frac{\pi}{2}$ )となる半円リング上の点とする。半円リングが回転しない状態で、小物体を位置  $Q$  まで持ち上げると、小物体は半円リング上を滑り落ちた。一方、半円リングを一定の角速度  $\omega$  で回転させると、小物体は位置  $Q$  で半円リングに対して静止し、滑り落ちなかつた。半円リングと小物体の間の最大摩擦力は、点  $O$  に向かって小物体にはたらく垂直抗力  $N$  [N]と静止摩擦係数  $\mu$ との積で表されるとする。

- (10) 半円リングが回転しない状態で小物体が半円リング上を滑り落ちたことから、 $\mu$ が満たす条件を、 $\theta_2$  を用いて表せ。
- (11) 角速度  $\omega$ で回転しているときの垂直抗力  $N$ を、 $g$ ,  $m$ ,  $\theta_2$ ,  $\omega$ ,  $R$  から必要な記号を用いて表せ。
- (12) 回転しているときに小物体が滑り落ちないためには、角速度  $\omega$ が、

$$\omega \geq \boxed{(\alpha)}$$

を満たす必要がある。 $(\alpha)$ に入る式を、 $g$ ,  $m$ ,  $\theta_2$ ,  $\mu$ ,  $R$  から必要な記号を用いて表せ。

## 第2問

次の文章を読んで、以下の問い合わせに答えよ。解答は、小問番号 (1), (2), ⋯, (13) を明記し、途中の計算過程も記入して、答えに下線を引くこと。

[A]  $x$  軸上を正の向きに進む正弦波がある。原点 ( $x=0$ ) から  $x$  軸の正の向きに距離  $X$  [m] 離れた位置での、時刻  $t$  [s] における媒質の変位  $y$  [m] を測定したところ、

$$y = a \sin\left(bt + \frac{\pi}{4}\right)$$

と表されることがわかった。また、隣りあう山と山の間隔を測定したところ、 $d$  [m] であった。この波の振幅は  [m]、周期は  [s]、振動数は  [Hz]、速さは  [m/s] である。

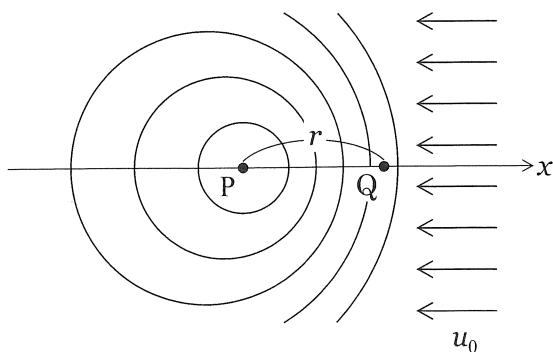
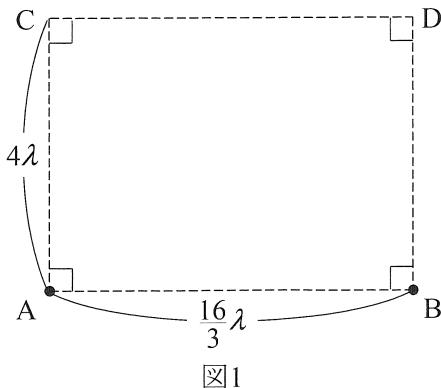
- (1) 上の文章の  から  に入る適切な式を、 $a$ ,  $b$ ,  $d$ ,  $X$  の中から必要な記号を用いて表せ。
- (2) 原点 ( $x=0$ ) での時刻  $t=0$  における位相  $\phi$  [rad] を、 $a$ ,  $b$ ,  $d$ ,  $X$  の中から必要な記号を用いて表せ。

[B] 図 1 のように、長方形をなす 4 点 A, B, C, D が水面上にある。波長  $\lambda$  [m] の波が、距離  $\frac{16}{3}\lambda$  離れた 2 点 A, B から同位相でそれぞれ出ている。線分 CD と線分 AB の距離は  $4\lambda$  である。

- (3) 線分 CD 上で、波が強め合い大きく振動する点の数を求めよ。
- (4) 線分 CD 上で、波が弱め合いほとんど振動しない点の数を求めよ。

[C] 静かな水面上に点波源 P を置き振動させたところ、波長が  $\lambda$  [m] で振動数が  $f$  [Hz] の円形波が伝わった。つぎに、流れのある水の表面上に波源 P を置いたところ、図 2 のように波が伝わった。ここで、水は  $x$  軸の負の向きに一様な速さ  $u_0$  [m/s] で流れしており、波源 P の位置は固定されている。点 Q は、波源 P から  $x$  軸上に  $r$  [m] 上流方向に離れた点である。

- (5) 点 Q において  $x$  軸方向に波が伝わる速さ  $U$  [m/s] を、 $\lambda$ ,  $f$ ,  $r$ ,  $u_0$  の中から必要な記号を用いて表せ。
- (6) 点 Q における振動数  $f'$  [Hz] を、 $\lambda$ ,  $f$ ,  $r$ ,  $u_0$  の中から必要な記号を用いて表せ。



[D] 図3のように、管口からピストンまでの距離を変化させることのできる円筒がある。この円筒の管口の近くに音源Aを置き、一定の振動数の音波を出し続けた。ピストンの位置を管口から徐々に遠ざけていくと、管口からの距離が $L_1$  [m]のところで最初の共鳴が起こり、 $L_2$  [m]のところで2回目の共鳴が起こった。音速は $V$  [m/s]であり、開口端補正は常に一定とする。小問(7)から(10)の解答は、 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $V$ の中から必要な記号を用いて表せ。

- (7) 音源Aが発する音波の波長 $\lambda$  [m]を求めよ。
- (8) 音源Aが発する音波の振動数 $f$  [Hz]を求めよ。
- (9) 開口端補正 $\Delta L$  [m]を求めよ。
- (10) 3回目の共鳴が起こるときの管口からピストンまでの距離 $L_3$  [m]を求めよ。

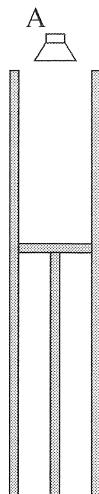


図3

[E] 音源Aと観測者M、反射板Nが図4のように一直線上に並んでいる。音速を $V$  [m/s]、音源Aの振動数を $f_A$  [Hz]とする。

今、観測者Mが静止していて、音源Aと反射板Nが右向きにそれぞれ $v_A$  [m/s]および $v_N$  [m/s]の速さで動いている。観測者Mが聞く音源Aからの直接音の振動数を $f_1$  [Hz]とする。また、観測者Mが聞く反射板Nからの反射音の振動数を $f_2$  [Hz]とする。なお、反射板N以外での音の反射は考えなくてよい。

- (11) 観測者Mが聞くうなりの周期 $T_0$  [s]を、 $f_1$ 、 $f_2$ を用いて表せ。
- (12) 直接音の振動数 $f_1$ を、 $f_A$ 、 $v_A$ 、 $v_N$ 、 $V$ の中から必要な記号を用いて表せ。
- (13) 反射音の振動数 $f_2$ を、 $f_A$ 、 $v_A$ 、 $v_N$ 、 $V$ の中から必要な記号を用いて表せ。

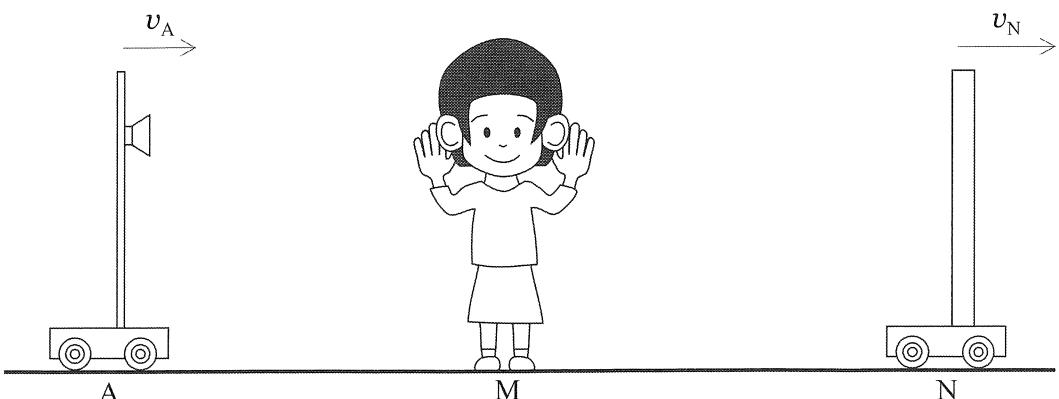


図4

### 第3問

次の文章を読んで、以下の問い合わせに答えよ。解答は、小問番号 (1), (2), ⋯, (13) を明記し、途中の計算過程も記入して、答えに下線を引くこと。

- [A] 電圧  $E$  [V]の電池、抵抗値  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  [ $\Omega$ ]の3つの抵抗、電気容量  $C_1$ ,  $C_2$  [F]の2つのコンデンサー、スイッチ  $S_1$ ,  $S_2$ を図1のように接続した。

はじめ、全てのスイッチは開いており、2つのコンデンサーには電荷は蓄えられていない。

- (1) 抵抗  $R_2$ に流れる電流  $I_2$  [A]を、 $C_1$ ,  $C_2$ ,  $E$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ から必要な記号を用いて表せ。
- (2) 抵抗  $R_2$ の両端の電位差を  $V_2$  [V], 抵抗  $R_3$ の両端の電位差を  $V_3$  [V]とする。 $V_2$ ,  $V_3$ を、それぞれ  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $E$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ から必要な記号を用いて表せ。

はじめの状態からスイッチ  $S_1$ を開じて十分な時間が経過した。

- (3) 点dを基準とした点aの電位  $V_a$  [V]を、 $C_1$ ,  $C_2$ ,  $E$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ から必要な記号を用いて表せ。
- (4) コンデンサー  $C_1$ と  $C_2$ の合成容量  $C$  [F]を、 $C_1$ ,  $C_2$ ,  $E$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ から必要な記号を用いて表せ。
- (5) コンデンサー  $C_1$ に蓄えられている電気量  $Q_1$  [C]を、 $C$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ から必要な記号を用いて表せ。

つぎに、スイッチ  $S_2$ も閉じて十分な時間が経過した。

- (6) コンデンサー  $C_1$ の両端の電位差  $V_4$  [V]を、 $C_1$ ,  $C_2$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ から必要な記号を用いて表せ。
- (7) コンデンサー  $C_1$ に蓄えられている電気量を  $Q'_1$  [C], コンデンサー  $C_2$ に蓄えられている電気量を  $Q'_2$  [C]とする。 $Q'_1$ ,  $Q'_2$ を、それぞれ  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ から必要な記号を用いて表せ。
- (8) スイッチ  $S_2$ を閉じた直後から十分時間が経過するまでに、スイッチ  $S_2$ を通過した正味の電気量の大きさ  $Q$  [C]を、 $C_1$ ,  $C_2$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ から必要な記号を用いて表せ。なお、通過した正味の電気量は、スイッチを閉じる前と十分時間が経過した後のコンデンサーに蓄えられた電気量から求められる。

- [B] 真空中の水平な面上に  $x$  軸,  $y$  軸をとり、鉛直上向きに  $z$  軸をとる。図2に示すように、長い導線Pと長い絶縁棒Wを  $y$  軸と平行に同じ高さで設置した。絶縁棒Wには、質量が無視できる導線AB, DCが取り付けられている。また、導線AB, DCの他端には質量  $m$  [kg], 長さ  $\ell$  [m]の導体棒BCが接続されている。導線AB, DCはそれぞれ、点A, 点Dを中心として  $y$  軸に垂直な面内をなめらかに回転できる。長方形ABCDの形状は変わらないものとする。

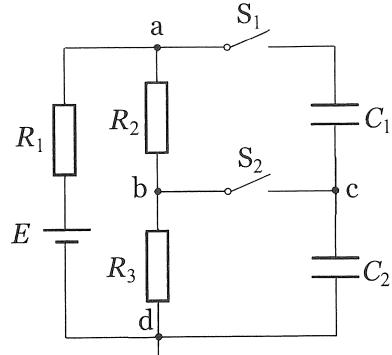


図1

導線 P には  $y$  軸正の向きに電流  $I_P$  [A] が流れている。ここで、点 A と点 D の間に電池をつなぎ導体棒 BC に電流  $I$  [A] を流したところ、導線 P と導体棒 BC の間に磁場（磁界）による引力がはたらいた。導線 AB, DC が磁場から受ける力は、それぞれを流れる電流が逆方向のため互いに打ち消し合い無視できる。その結果、導体棒 BC が導線 P と平行を保ったまま導線 AB および導線 DC が鉛直方向となす角が  $\theta_1$  [rad] となったところで導体棒 BC が静止した。図 3 は、そのときの様子を電流  $I_P$  の流れる方向に見たものである。重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>]、真空の透磁率を  $\mu_0$  [N/A<sup>2</sup>] とする。

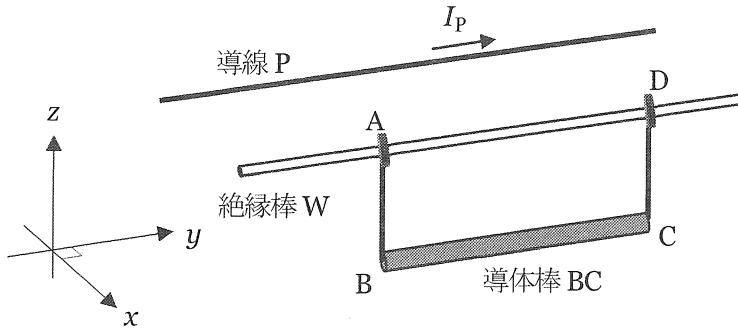


図 2

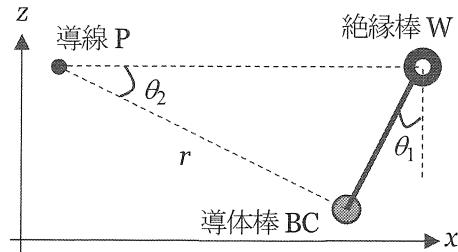


図 3

- (9) 電流  $I$  の向きは、(点 B から点 C, 点 C から点 B) のどちら向きが答えよ。
- (10) 図 3 に示すように、導線 P と導体棒 BC の距離を  $r$  [m] とする。電流  $I_P$  が導体棒 BC の位置につくる磁場  $H_P$  [A/m] の大きさを、 $r, I_P$  を用いて表せ。
- (11) 導体棒 BC が磁場  $H_P$  から受ける力の大きさを  $F$  [N] とする。 $F$  を、 $\mu_0, \ell, H_P, I$  を用いて表せ。
- (12) 導線 AB, DC が導体棒 BC を引く力をそれぞれ  $T$  [N] とすると、導体棒 BC には  $2T$  の力が作用している。また、図 3において、導線 P と導体棒 BC を結ぶ線が水平線となす角を  $\theta_2$  [rad] とする。 $x$  軸方向および  $z$  軸方向の力のつり合いの式を、それぞれ  $\theta_1, \theta_2, g, m, F, T$  から必要な記号を用いて表せ。
- (13)  $F$  を、 $\theta_1, \theta_2, g, m$  を用いて表せ。