

2026 年度 入学 試験 問題

理 科

(試験時間 10:30~12:10 100分)

1. 解答用紙は、記述解答用紙(「物理」,「化学」,「生物」の3種類)のみです。
2. 問題は、I~IX(「物理」:I~III,「化学」:IV~VI,「生物」:VII~IX)の9題あります。そのうち3題を採点します。「生物」は基幹理工学部応用化学科・生命科学科,社会理工学部ビジネスデータサイエンス学科・人間総合理工学科,先進理工学部精密機械工学科・電気電子情報通信工学科・情報工学科受験者のみ選択解答できます。基幹理工学部数学科・物理学科,社会理工学部都市環境学科の受験者は、「生物」を選択解答できません。採点を希望する3題には解答用紙の設問番号の右側にある選択欄に○を,採点を希望しない残りすべての問題の選択欄には×を記入してください(選択欄の記入がない場合は採点の対象となりませんので注意してください)。

なお,4題以上○を記入した場合は,理科の解答はすべて無効となります。

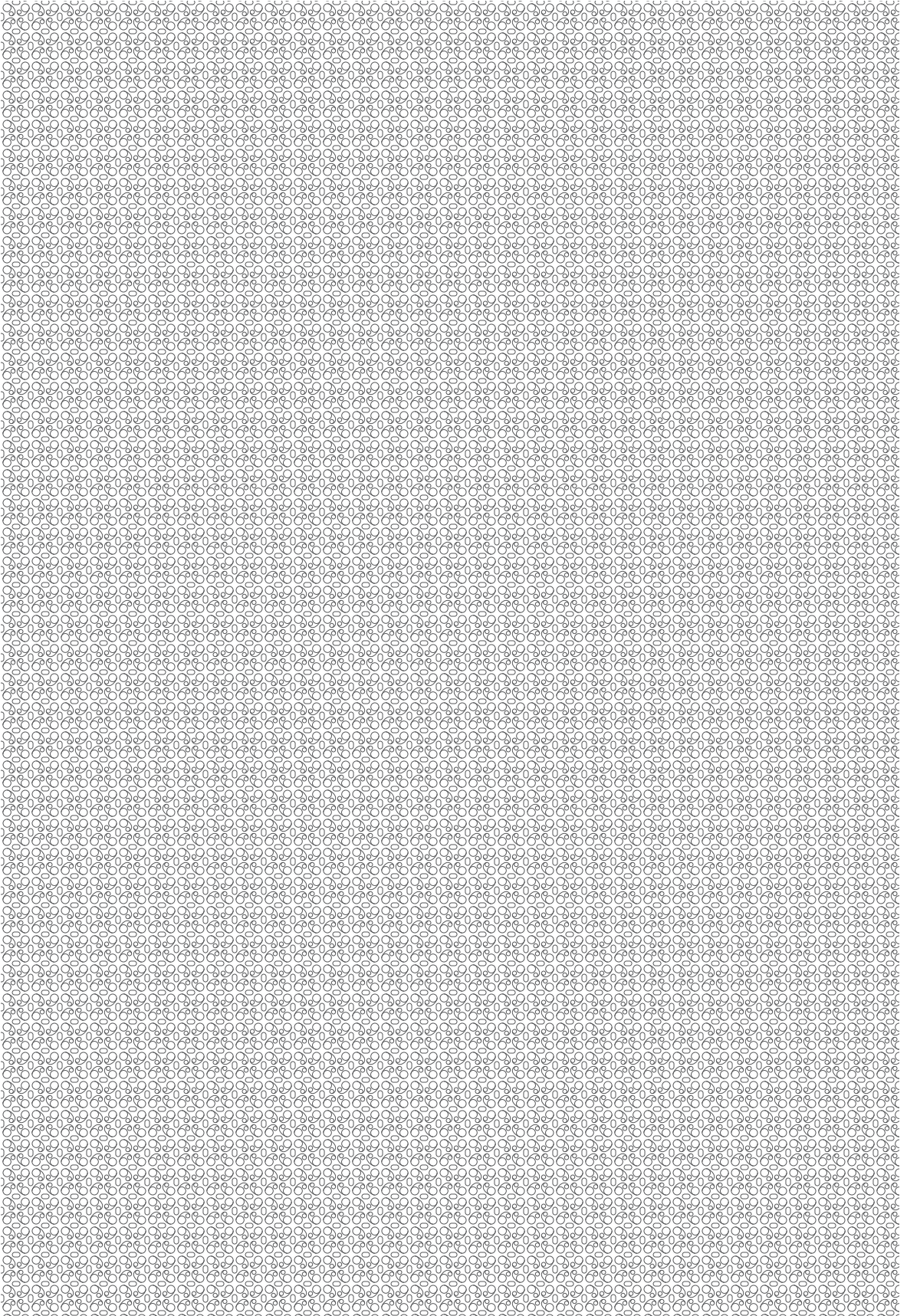
また,「生物」を選択解答できる学科とできない学科を併願した場合,後者の学科において,「生物」の解答はすべて無効です。

(記入例)

I	選 択	○
---	-----	---

II	選 択	×
----	-----	---

3. 解答は,必ず解答欄の枠内に記入してください。解答欄以外に記入した解答はすべて無効となります。特に,採点欄に解答を記入しないよう,注意してください。
4. 解答は,HBの鉛筆またはシャープペンシルを使用し,訂正する場合は,プラスチック製の消しゴムを使用してください。
5. 解答用紙を折り曲げたり,切り離したり,汚したりしないでください。
6. すべての解答用紙に受験番号と氏名を必ず記入してください。1題も選択していない科目がある場合でも受験番号,氏名は必ず解答用紙に記入してください。試験終了後,すべての解答用紙を回収します。未記入や記入ミスがあった場合は,当該科目の解答は無効になります。



(設問は次ページより始まる)

I 次の問題の答えを解答用紙の所定の場所書きなさい。ただし、小問1, 3, 5(a)については答えのみでよい。(50点)

斜面上を跳ね返りながら落下する物体の運動について考えよう。図1のように、水平右向きに x 軸を、鉛直下向きに y 軸を設定する。 xy 平面の原点を通り、 x 軸、 y 軸と45度の角度をなす、なめらかな斜面を xy 平面に垂直に配置する。質量 m で大きさが無視できる物体がこの斜面で跳ね返りながら落下するときの、物体の運動について考える。ただし、物体の運動は常に xy 平面内で行われるものとする。また、斜面と物体との間の反発係数(はねかえり係数)は1であるとし、重力加速度の大きさを g とする。

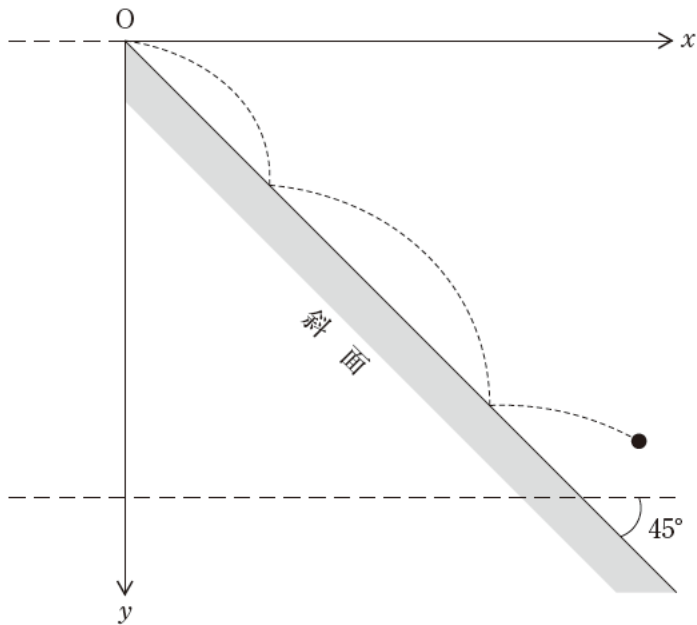


図1

時刻 $t = 0$ に原点から物体が放出された。このときの物体の速度の x 成分を v 、 y 成分を w とする。ただし、物体の速度の x 成分、 y 成分の正の向きは、それぞれ x 軸、 y 軸の正の向きと同じにとる。このため、特に、物体の速度の y 成分は鉛直下向きが正の向きとなる。また、 $v > w \geq 0$ であるとする。

その後、物体は斜面に衝突し、跳ね返った。この1回目の衝突直後の物体の速度の x 成分を v_1 、 y 成分を w_1 とする。物体はその後も斜面との衝突をくりかえしながら落下していった。一般に、 n 回目の衝突で斜面から跳ね返った直後の物体の速度の x 成分を v_n 、 y 成分を w_n と表すことにする。

問い

1. 以下の文中の(1)~(5)にあてはまる数式を書きなさい。

物体が原点から放出されてから1回目に斜面に衝突するまでの時間を Δt とおく。このとき、1回目の衝突が起きた地点の座標 (x_1, y_1) は、 Δt 、 v を用いて $x_1 = \boxed{(1)}$ 、 Δt 、 w 、 g を用いて $y_1 = \boxed{(2)}$ と表される。 $x_1 = y_1$ であることに注意すると、 v 、 w 、 g を用いて $\Delta t = \boxed{(3)}$ と表される。このため、1回目の衝突の直前の物体の速度の x 成分を V_1 、 y 成分を W_1 とすると、 v 、 w を用いて $V_1 = \boxed{(4)}$ 、 $W_1 = \boxed{(5)}$ と表される。

次に、物体が斜面に衝突する直前、直後の物体の速度の関係を調べてみよう。ここでは衝突直前の物体の速度ベクトルを $\vec{U} = (U_x, U_y)$ 、衝突直後の速度ベクトルを $\vec{u} = (u_x, u_y)$ とおく。斜面への物体の衝突は弾性衝突であるから、物体の速度ベクトルのうち斜面に平行な成分は衝突の前後で変化せず、斜面に対して垂直な成分は衝突の前後でその符号を変える。図2には \vec{U} および \vec{u} の例が記入してある。図2より、衝突の前後で物体の速度の x 成分と y 成分が互いに入れ替わること、すなわち $(u_x, u_y) = (U_y, U_x)$ となることがわかる。この結果を用いて、1回目の衝突の直後の物体の速度の x 成分 v_1 と y 成分 w_1 を v 、 w を用いて書くと、それぞれ $v_1 = (5)$ 、 $w_1 = (4)$ となる。

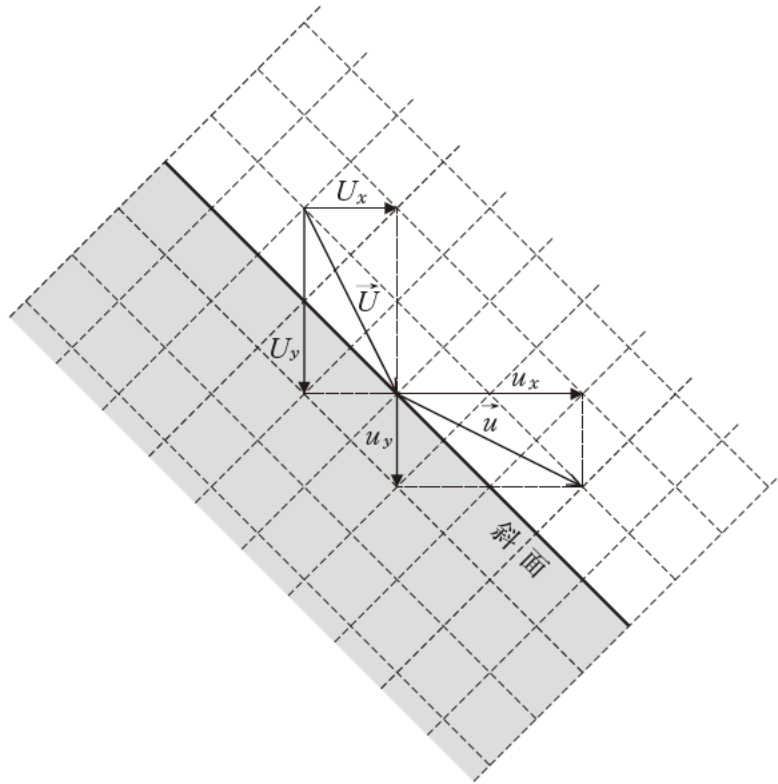


図 2

問い

2. 1回目の衝突が起きてから物体が2回目に斜面に衝突するまでの時間 Δt_1 が Δt に等しいことを示しなさい。

以降の問題では $w = 0$ ，すなわち物体が原点から水平方向に放出された場合のみを考える。

問い

3. 以下の文中の(6)~(10)にあてはまる数式を書きなさい。

n 回目の衝突が起きてから物体が $n + 1$ 回目に斜面に衝突するまでの時間を Δt_n と書くことにする。小問1と同様に考えると、 Δt_n は v_n , w_n , g を用いて $\Delta t_n = \boxed{\text{(6)}}$ と表すことができるが、小問2の結果から Δt_n は n の値によらない。このことから、 v_n と w_n の差は $v_n - w_n = \boxed{\text{(7)}}$ と n によらない形で表すことができる。さらに w_n と v_{n-1} の関係は $w_n = \boxed{\text{(8)}}$ である。これらを用いると、物体の n 回目の衝突直後の物体の速度の x 成分 v_n , y 成分 w_n は、それぞれ v と n だけを用いて表すことができ、 $v_n = \boxed{\text{(9)}}$, $w_n = \boxed{\text{(10)}}$ となる。

4. 物体が n 回目に斜面に衝突した地点の座標を (x_n, y_n) とする。 x_n の値を n , v , g を用いて書きなさい。ただし、必要であれば以下の公式を用いてよい。

$$\sum_{k=1}^n k = \frac{n(n+1)}{2}$$

5. 原点から放出されてから n 回目に斜面に衝突するまでの間に増加した物体の運動エネルギーを ΔE と書くことにする。

- (a) ΔE を v_n , w_n , v , m を用いて書きなさい。
- (b) 原点から放出されてから n 回目に斜面に衝突するまでの間に減少した物体の位置エネルギーが、上の(a)で答えた ΔE と等しいことを示しなさい。

(計算用紙)

(計算用紙)

(設問は次のページにつづく)

Ⅱ 次の問題の答えを解答用紙の所定の場所書きなさい。ただし、小問3以外については答えのみでよい。(50点)

電圧や抵抗を測定するために回路に測定器を接続すると、測定値が本来の値からずれてしまうことがある。こうした測定器の影響について実験を通して確かめてみよう。ただし、この問題では電池および電流計の内部抵抗はすべて無視できるものとする。

【実験1】まず、図1に示すように、抵抗値が未知の抵抗(抵抗値を $R[\Omega]$ とおく)、抵抗値 $R_0[\Omega]$ の抵抗、起電力の大きさが $E[V]$ の電池からなる回路に電圧計を接続し、未知抵抗にかかる電圧を測定しよう。ここで用いる電圧計は、図2に示すように、電流計 A と抵抗値 $R_v[\Omega]$ の抵抗を直列に接続したものであり、今後これを V で表記する。電圧計 V の表示盤には、電圧計 V に流れる電流 $I_v[A]$ に R_v をかけた値が表示される。電圧計 V を接続した結果、回路は図3のようになった。この回路について考えよう。

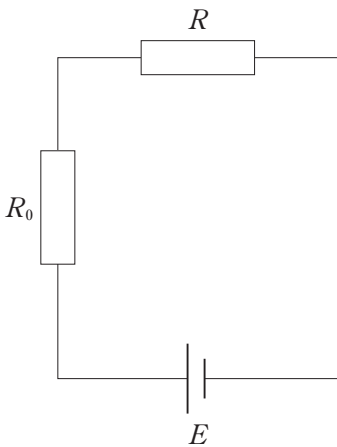


図1

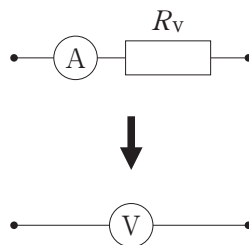


図2

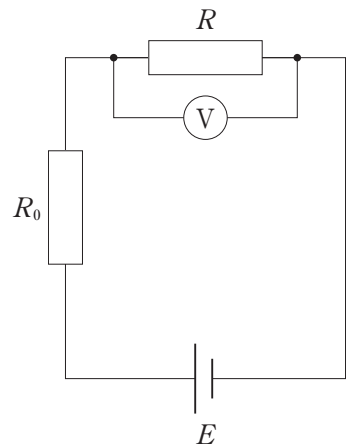


図3

問い

1. 電圧計 $\text{\textcircled{V}}$ を接続する前(図1)における未知抵抗の両端の電位差を、 R , R_0 , E を用いて表しなさい。
2. 電圧計 $\text{\textcircled{V}}$ を接続した後(図3)に電圧計 $\text{\textcircled{V}}$ に表示される値を、 R , R_0 , R_V , E を用いて表しなさい。
3. 電圧計 $\text{\textcircled{V}}$ に表示される値を、図1の未知抵抗の両端の電位差に近づけるためには、 R_V をどのような値にすればよいか。答えを次の選択肢から選びなさい。また、その答えを選んだ理由を、式を使ってわかりやすく説明しなさい。

選択肢：

- (ア) 0に近づける。
- (イ) R に近づける。
- (ウ) R に比べて十分大きくする。

【実験2】今度は、抵抗値が未知の抵抗(抵抗値を $R[\Omega]$ とおく)を、その抵抗から離れた位置にまとめて置かれた、起電力の大きさが $E[V]$ の電池、電流計 $\text{\textcircled{A}}$ 、電圧計 $\text{\textcircled{V}}$ を用いて測定する。電池、電流計 $\text{\textcircled{A}}$ 、電圧計 $\text{\textcircled{V}}$ のそれぞれと未知抵抗との接続には、図4(a)および図5(a)に示すように、長い導線を用いるしかなく、この導線は無視できない抵抗値 $R_w[\Omega]$ をもつものとする。一方、電流計 $\text{\textcircled{A}}$ と電池、および電圧計 $\text{\textcircled{V}}$ と電池の接続には、抵抗が無視できる導線を用いるものとする。また、起電力 E の値は、測定するまでわからないものとする。

まず、電圧計 $\text{\textcircled{V}}$ を図4(a)のように、電池をはさむ形で回路に接続し、回路が図4(b)のように書き表せる場合を考えよう。このとき電池、未知抵抗、電圧計 $\text{\textcircled{V}}$ に流れる電流を、図4(b)に示すように、それぞれ $I[A]$, $I_R[A]$, $I_V[A]$ とし、電圧計 $\text{\textcircled{V}}$ の抵抗による電圧降下を $V_V[V]$ 、未知抵抗による電圧降下を $V_R[V]$ とする。

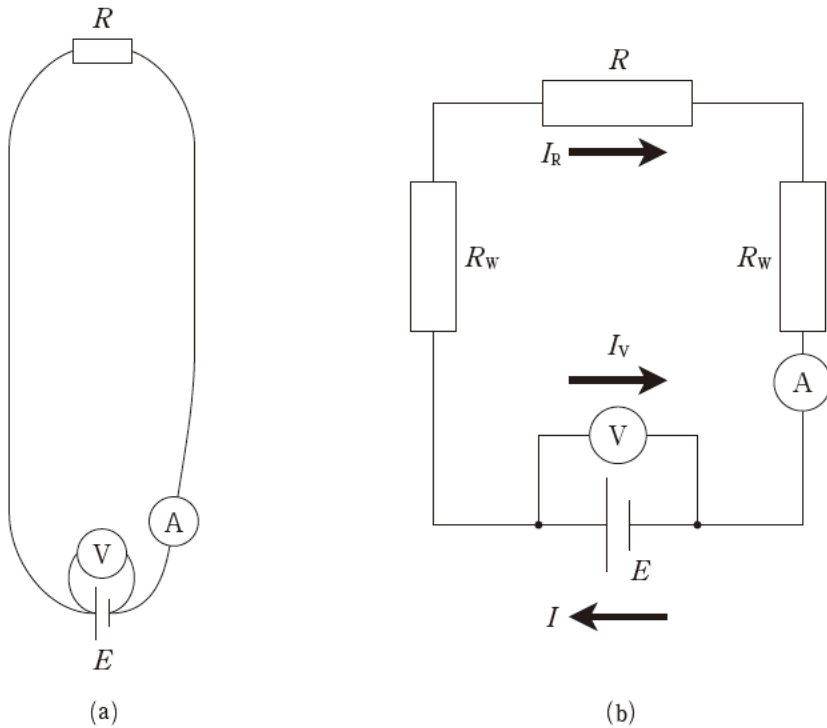


図 4

問い

4. I_R , I_V , I の比は,

$$I_R : I_V : I = \boxed{(1)} : \boxed{(2)} : 2R_w + R_V + R$$

で表される。一方, V_R と V_V の比は,

$$V_R : V_V = R : \boxed{(3)}$$

で表される。空欄の中に入る式を R , R_w , R_V のうち必要なものを用いて表しなさい。

5. この方法による抵抗の測定値は電圧計Ⓧの表示値を電流計ⓐの表示値で割ったものであり, これを測定値 R' [Ω] とよぶことにする。この R' と本来の抵抗の値である R との相対誤差 $\left| \frac{R' - R}{R} \right|$ を R , R_w , R_V のうち必要なものを用いて表しなさい。

6. R , R_w , R_v の値がそれぞれ, 0.010Ω , 0.010Ω , 0.97Ω であるとき, 小問 5 で求めた相対誤差はいくらになるか。有効数字 2 桁で答えなさい。

次に, 図 5(a)のように, 電圧計 V と回路との接続位置を未知抵抗のごく近くに移し, 回路が図 5(b)のように書き表せる場合を考えよう。このとき電池, 未知抵抗, 電圧計 V に流れる電流を, 図 5(b)に示すように, それぞれ $I[\text{A}]$, $I_R[\text{A}]$, $I_V[\text{A}]$ とし, 電圧計 V の抵抗による電圧降下を $V_V[\text{V}]$, 抵抗 R による電圧降下を $V_R[\text{V}]$ とする。

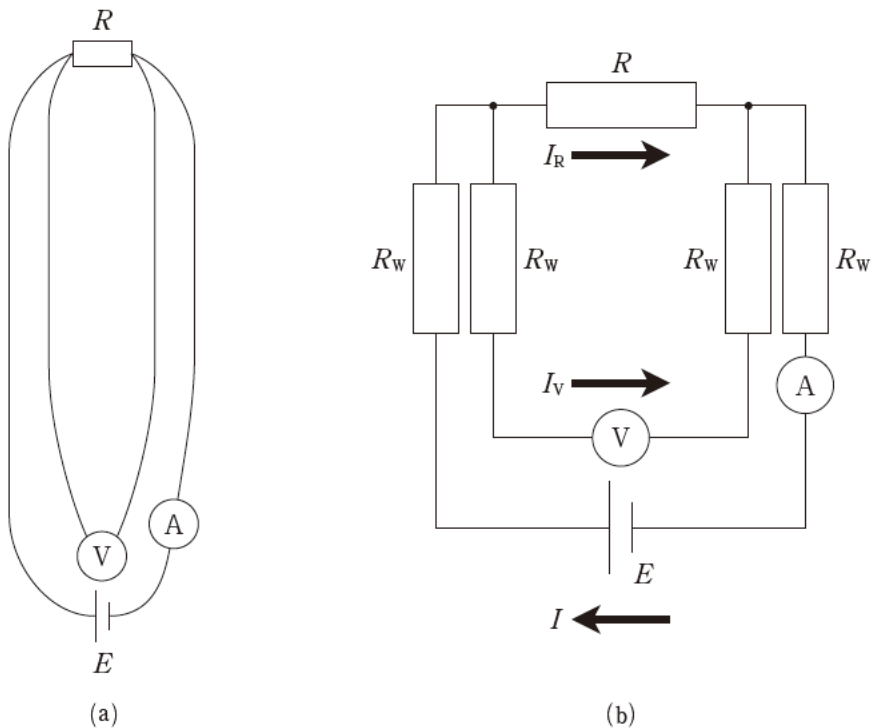


図 5

問い

7. この場合の I_R , I_V , I の比は,

$$I_R : I_V : I = \boxed{(4)} : \boxed{(5)} : 2R_W + R_V + R$$

で表される。一方, V_R と V_V の比は,

$$V_R : V_V = \boxed{(6)} : R_V$$

で表される。空欄の中に入る式を R , R_W , R_V のうち必要なものを用いて表しなさい。

8. この方法による抵抗の測定値は電圧計 \textcircled{V} の表示値を電流計 \textcircled{A} の表示値で割ったものであり, これを測定値 $R''[\Omega]$ とよぶことにする。この R'' と本来の抵抗の値である R との相対誤差 $\left| \frac{R'' - R}{R} \right|$ は,

$$\frac{\boxed{(7)}}{\boxed{(7)} + \boxed{(8)}}$$

という比で表され, $\boxed{(7)} \ll \boxed{(8)}$ の場合, 相対誤差は 0 に近づく。空欄に入る式を, R , R_W , R_V のうち必要なものを用いて表しなさい。

9. 小問 8 で求めた, R の測定値の相対誤差が最も小さくなる R , R_W , R_V の組み合わせを次の選択肢から選びなさい。また, そのときの相対誤差を有効数字 2 桁で答えなさい。

選択肢:

(ア) $R = 0.010 \Omega$, $R_W = 0.010 \Omega$, $R_V = 0.97 \Omega$

(イ) $R = 0.32 \Omega$, $R_W = 0.32 \Omega$, $R_V = 0.040 \Omega$

(ウ) $R = 0.010 \Omega$, $R_W = 0.010 \Omega$, $R_V = 0.010 \Omega$

これらの実験でわかるように, 電圧や抵抗を精度良く測定するためには, 測定器自体の抵抗値や, 測定器を回路にどのように接続するかについて工夫する必要がある。

(計算用紙)

(設問は次のページにつづく)

- Ⅲ 次の問題の答えを解答用紙の所定の場所書きなさい。ただし、小問1～4, 7, 10については答えだけを、小問5, 6, 8, 9については答えとその導出を書きなさい。(50点)

xy 平面上の点 $(L[\text{m}], 0)$ ($L > 0$) に波源 S_1 を、 x 軸上、 y 軸上にそれぞれ波の媒質の変位を測定できる検出器 M_1 , M_2 を設置した。ただし、この問題では波は横波とし、波の速さを $V[\text{m/s}]$ とする。

最初に図1のように検出器 M_1 を原点に固定し、波源 S_1 から波を発生させた。このとき、検出器 M_1 と M_2 で観測される媒質の変位の時間変化が同位相となる M_2 の位置の情報から、波源 S_1 の位置を特定できるか考えてみよう。

問い

1. 検出器 M_1 で周波数 $f[\text{Hz}]$ の波を観測した。このとき S_1 から発生させた波の波長 $\lambda[\text{m}]$ 、および周期 $T[\text{s}]$ を求めなさい。
2. 検出器 M_1 で媒質の変位の時間変化 $u_1(t)$ を観測したところ

$$u_1(t) = A_1 \sin(2\pi ft)$$

のようになった。このとき y 軸上の点 $(0, d[\text{m}])$ ($d > 0$) に置かれた検出器 M_2 で観測される媒質の変位の時間変化 $u_2(t)$ を求めなさい。ただし、この点における波の振幅を A_2 とする。

3. 以下の文中の空欄にあてはまる言葉、および文章として最も適当なものを選択肢(ア)～(ウ)の中から1つ選びなさい。

ある時刻 t_0 において、検出器 M_1 と点 $(0, d)$ に置かれた検出器 M_2 で媒質の変位の山を同時に観測し、 $u_1(t_0) = A_1$, $u_2(t_0) = A_2$ となった。波源 S_1 から広がる波は

(1) 波であるため、 xy 平面上において、時刻 t_0 の瞬間に波の山の位置を結んでできる線のうち、原点を通る線と点 $(0, d)$ を通る線は (2) となる。

選択肢：

- (ア) (1) 平面, (2) y 軸と平行な直線
(イ) (1) 球面, (2) S_1 を焦点とする双曲線
(ウ) (1) 球面, (2) S_1 を中心とする同心円

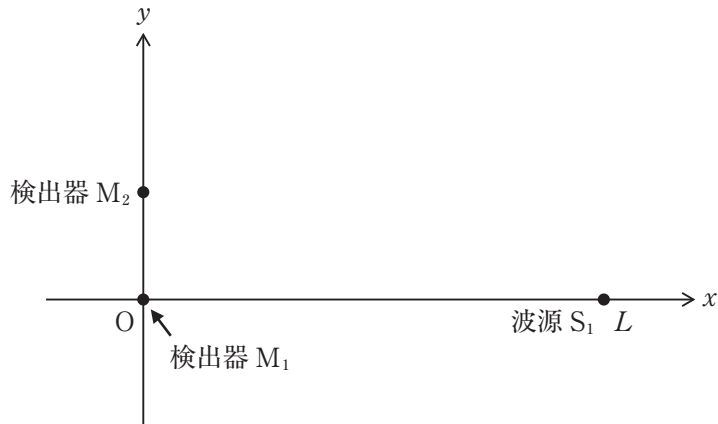


図1

4. y 軸上の各点に検出器 M_2 を置き媒質の変位を測定したところ、原点での媒質の変位の時間変化と同位相となる点が y 軸上の正の領域に多数見つかった。それらのうち原点に近いものから数えて n 番目のものを点 P_n とし、その座標を $(0, a_n [\text{m}])$ ($a_n > 0, n = 1, 2, 3, \dots$) とする。 a_n の満たすべき条件式を a_n, L, f, V, n を用いて表しなさい。
5. 小問4で得られた条件式を解き a_n を L, f, V, n を用いて表しなさい。ただし、 L は $n\lambda$ よりも十分大きいとし、 $1 + \frac{n\lambda}{2L} \doteq 1$ としなさい。
6. 点 P_{n+1} と点 P_n との間隔を $\Delta_n [\text{m}]$ とする。このとき L を f, V, n, Δ_n を用いて表しなさい。

小問6で得られた式を用いると、いずれかの n について Δ_n を測定することにより波源 S_1 の位置を求めることができる。

次に、図2のように波源 S_1 に加えて波源 S_2 を点 $(L [\text{m}], l [\text{m}])$ に設置し、 S_1 と S_2 から等しい振動数を持ち同位相の波を発生させ検出器 M_1 で媒質の変位を測定した。すると、2つの波源から出た波は原点で弱め合うことがわかった。このとき、 M_1 を用いて波が弱め合う点を検出することにより2つの波源の位置を特定できるか考えてみよう。ただし以下では各小問の指示にしたがって、 x が ε よりも十分大きいときに成り立つ次の近似式を用いなさい。

$$\sqrt{x^2 + \varepsilon^2} \doteq x \left(1 + \frac{\varepsilon^2}{2x^2} \right)$$

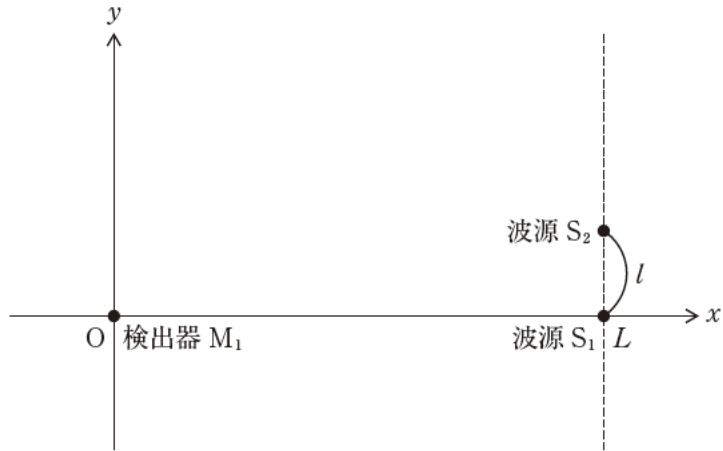


図2

7. 波源 S_1 と S_2 から出た波が原点で弱め合う条件を L , l , f , V , および 0 以上の整数 N を用いて表しなさい。ただし, L は l よりも十分大きいとする。
8. 検出器 M_1 を原点から x 軸上の正の方向にきわめてゆっくと動かしていったところ, M_1 は強め合う点を検出した後, 点 $Q_1(b_1[\text{m}], 0)$ ($b_1 > 0$) に来たときに再び弱め合う点を検出した。このとき, l を b_1 , L , f , V を用いて表しなさい。ただし, $L - b_1$ は l よりも十分大きいとする。
9. 検出器 M_1 を点 Q_1 からさらに x 軸上の正の方向にきわめてゆっくと動かしていくと, 波が弱め合う点が次々と検出された。それらのうち原点から数えて m 番目の点を Q_m とよび, その座標を $(b_m[\text{m}], 0)$ ($b_m > 0$, $m = 1, 2, 3, \dots$) とする。このとき, L を m , b_1 , b_m を用いて表しなさい。ただし, $L - b_m$ は l よりも十分大きいとする。

10.

※問題が成立しないため、掲載しません

以上の結果から, b_1 と b_2 を測定することにより 2 つの波源 S_1 と S_2 の位置を求めることができる。

(計算用紙)

(設問は次のページにつづく)

Ⅳ 次の文章を読み，以下の問い(1)～(9)に答えなさい。解答の数値は有効数字2桁で答えなさい。必要な場合は，次の値を用いなさい。(50点)

ファラデー定数 $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$

【実験A】

図1に示すように，電極として一枚の亜鉛板と一枚の銅板を用意し，それぞれを 0.10 mol/L の硫酸亜鉛 (ZnSO_4) 水溶液および 0.10 mol/L の硫酸銅(Ⅱ) (CuSO_4) 水溶液に浸した。これらの電極を導線でつなぎ，あいだには塩橋 (KCl 溶液をしみこませた寒天) を設置して電池を完成させた。導線には電流・電圧計を接続し，電池の起電力を測定した。

このとき，次のような現象が観察された：

- 亜鉛板の表面から気泡は発生せず，徐々に金属が減っていった。
- 銅板には赤褐色の金属が析出した。
- 時間が経つと，反応開始前に比べて，亜鉛板を浸した水溶液では亜鉛イオンの濃度は増加し，銅板を浸した水溶液では銅(Ⅱ)イオンの濃度は減少した。

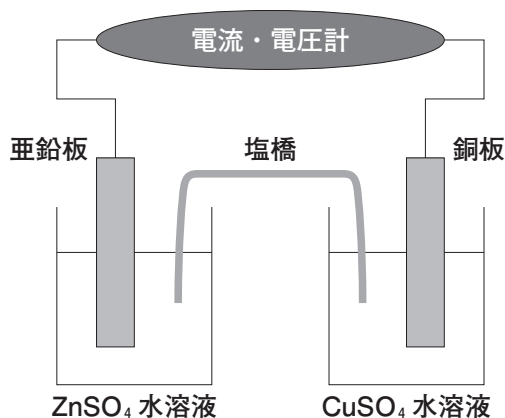


図1

【実験B】

実験Aの電池を新たに作成し、塩化ナトリウム (0.10 mol/L) の水溶液を電気分解する実験を行った。鉄電極と炭素電極を用意し、塩化ナトリウム水溶液に浸して、図2に示すように電池と接続した。それぞれの電極からは気体が発生した：

- 鉄電極 (左) では、気体Xが発生した。
- 炭素電極 (右) では、気体Yが発生した。

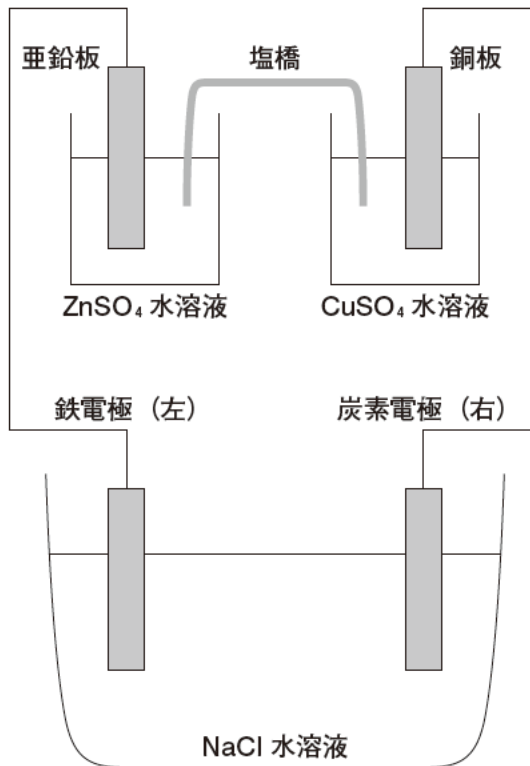
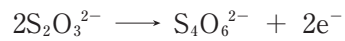


図2

問い

- (1) **実験A**の電池で、負極となる金属を答えなさい。
- (2) **実験A**の電池で、正極で起こる反応をイオン反応式で答えなさい。
- (3) **実験A**の電池の起電力は1.10 Vであった。この起電力は、使用した金属の標準電極電位（ただし、標準電極電位とは、金属のイオン化傾向を定量的に表したもので、標準電極電位の低い金属ほどイオン化傾向が大きい）の差によって決まる。銅と亜鉛の標準電極電位はどちらが高いか答えなさい。
- (4) **実験A**において、回路に流れた電流は常に0.20 Aであった。このとき、最初の30分間で溶け出した亜鉛の物質量 (mol) を答えなさい。
- (5) (4)のとき、電池の ZnSO_4 水溶液中の亜鉛イオンの濃度 (mol/L) を答えなさい。ただし、電池の ZnSO_4 水溶液の体積は100 mLであったとし、反応の前後で溶液の体積が変化しなかったと仮定する。
- (6) **実験B**において発生した気体Xと気体Yの化学式をそれぞれ答えなさい。
- (7) **実験B**の後、気体Yが溶けた水溶液100 mLに過剰のヨウ化カリウムを加え、暗所で5分間放置したところ、溶液は黄褐色を呈した。この反応の化学反応式を答えなさい。

- (8) (7)で生成した黄褐色の溶液を 0.010 mol/L のチオ硫酸ナトリウム ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 水溶液で滴定したところ、160 mL を滴下した段階で無色になった。(7)の 100 mL の水溶液に溶けていた気体 Y の物質量 (mol) を答えなさい。ただし、(7)において気体 Y はすべて反応したものとし、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ の半反応式は以下のよう
に書けるものとする。



- (9) 気体 Y を、水に溶かすと酸性を示した。このときの気体 Y と水の化学反応式を
答えなさい。

(計算用紙)

(計算用紙)

(設問は次のページにつづく)

V 次の文章を読み、以下の問い(1)～(7)に答えなさい。必要な場合は、次の値を用いなさい。(50点)

原子量：H = 1.0, C = 12, O = 16, アボガドロ定数 $N_A = 6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$,

気体定数 $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K})$

CO_2 (気)；二酸化炭素の生成エンタルピー： -394 kJ/mol

H_2O (液)；水の生成エンタルピー： -286 kJ/mol

CH_4 (気)；気体状メタンの生成エンタルピー： -74.9 kJ/mol

従来より電気エネルギーは私達の生活に不可欠であり、家庭用電気製品を動かすだけでなく、交通機関や産業活動に利用されている。さらに、近年の AI の急激な発展、電気自動車の使用台数の急激な増加は、今後の電気エネルギーの使用量をさらに増加させると予想される。電気エネルギーを生む発電の方法には、火力発電、水力発電、原子力発電、太陽光発電、風力発電など、さまざまな種類があり、それぞれのメリット・デメリットがあるが、現時点でのおもな発電方法は火力発電である。火力発電は、熱を使って水を水蒸気に変えてタービンを回転させる方法であるため、多量の熱が必要である。

化学的に熱を発生させるためには発熱反応を使うことになるが、最も単純な発熱反応として、炭素 (C) の完全燃焼反応や水素 (H_2) の燃焼反応があり、さらには、炭素と水素を合わせもった分子である炭化水素 (メタン、エタンやプロパンなど) の完全燃焼反応もある。また近年、メタンの供給源としては深海の海底面下に存在するメタンハイドレートの利用も期待されている。今後も私達が消費する電気エネルギーが膨大な量であることを考えると、膨大な量の炭素、水素や炭化水素が必要となり、同時に膨大な量の反応生成物が発生することになる。私達の電気エネルギーを使った便利な生活は、それと引き換えになっているのである。さらに、炭素 (C) 1 mol が完全燃焼する時に生じる発熱量は、水素 (H_2) 1 mol が完全燃焼する時に生じる発熱量の $\boxed{\text{ア}}$ 倍であるため、今後エネルギー源を炭素や石油から水素に変えた場合、これまで以上に膨大な量の水素が必要となるのである。

水素やメタン、エタン、プロパンとは異なり、石炭や黒鉛は常温・常圧下で安定に

固体の状態が存在するため保存や運搬などでも扱いやすい物質である。黒鉛の同素体にはダイヤモンド、フラーレン、カーボンナノチューブの存在も知られているが、これら同素体の燃焼エンタルピーの値は異なっている。

問い

- (1) 下線部(a)の燃焼反応が起こる際に生成する物質を化学式で示しなさい。
- (2) 下線部(b)の燃焼反応が起こる際に生成する物質を化学式で示しなさい。
- (3) に入る数値を有効数字2桁で求めなさい。
- (4) メタンの燃焼エンタルピー (kJ/mol) を有効数字3桁で求めなさい。
- (5) メタンハイドレートは、メタン分子が低温、高圧の条件下で水分子のつくるかご状構造の中に取り込まれた固体である。その固体内のメタンと水の物質質量比は、メタン：水 = 4：23 で、密度は 0.91 g/cm^3 である。メタンハイドレート 1.0 m^3 から得られるメタンの体積は、 0°C 、 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ の条件において何 m^3 か、有効数字2桁で求めなさい。ただし、メタンは理想気体とする。
- (6) 黒鉛は、炭素原子が正六角形に敷きつめられたシートが積み重なった構造を持つ。このシートの名称と、シート間に働く力の名称をそれぞれ答えなさい。
- (7) 図1に示すダイヤモンドの単位格子より、ダイヤモンドの密度 (g/cm^3) を有効数字2桁で求めなさい。この時、ダイヤモンドの単位格子の一辺の長さは 0.36 nm とする。

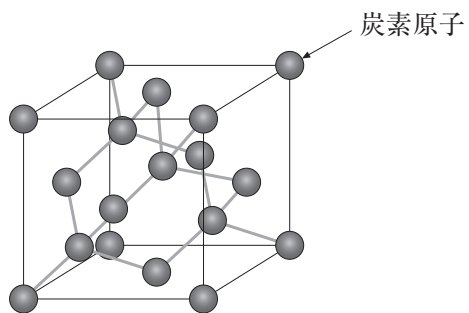


図1 ダイヤモンドの単位格子の構造

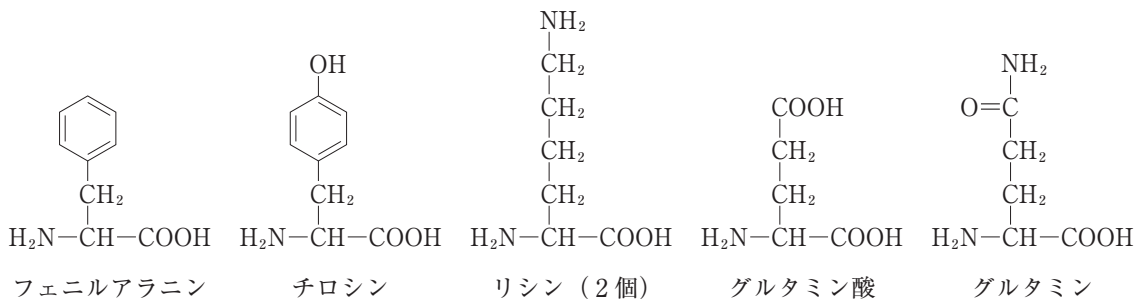
(計算用紙)

(設問は次のページにつづく)

VI 次の文章を読み、以下の問い(1)～(9)に答えなさい。(50点)

自然界のタンパク質は、約 20 種類の天然型 α -アミノ酸から構成されており、タンパク質を構成する個々のアミノ酸を残基（アミノ酸残基）という。6 個の天然型 α -アミノ酸残基からなる直鎖状ペプチド A について考える。なお、A のペプチド結合は、各アミノ酸残基の不斉炭素原子上に位置するカルボキシ基とアミノ基とが脱水縮合して形成されているものとする。また、以下に述べる直鎖状ペプチド A～E の両末端に位置するアミノ酸残基の不斉炭素原子上には、アミノ基またはカルボキシ基がそれぞれ存在する。このうちアミノ基が残る末端を N 末端とよび、カルボキシ基が残る末端を C 末端とよぶ。

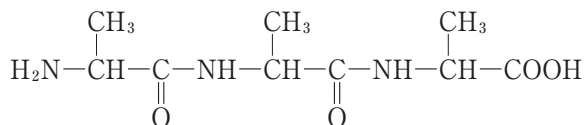
- ・ペプチド A を構成する 6 個のアミノ酸残基としては、以下の構造式に示す 5 種類のアミノ酸が各 1 個（リシンは 2 個）含まれることが分かっている。



- ・ペプチド A をキモトリプシンで加水分解すると、2 種類のペプチド B および C がそれぞれ等しい物質で得られた。なお、キモトリプシンはベンゼン環をもつアミノ酸残基のカルボキシ基側のペプチド結合を加水分解する酵素である。参考として、以下にキモトリプシンを用いた加水分解反応の例を示す。

問い

- (1) キモトリプシンやトリプシンを用いた加水分解反応で見られるように、酵素はある特定の基質にしか働かない。この性質を 性という。 にあてはまる最もふさわしい語句を答えなさい。
- (2) ペプチドAを構成する5種類のアミノ酸の等電点を調べたところ、等電点が3.2であるアミノ酸があった。このアミノ酸の化合物名を答えなさい。
- (3) ペプチドAに濃硝酸を加えて加熱すると黄色になり、冷却後にアンモニア水を加えて塩基性になると橙黄色になった。この呈色反応の名前を答えなさい。
- (4) 下線部の呈色反応の名前を答えなさい。
- (5) ペプチドA～Eのうち、ニンヒドリン溶液を加えて温めると赤紫～青紫色を呈するものはどれか。ふさわしいものをすべてアルファベットで答えなさい。
- (6) ペプチドDのC末端に位置するアミノ酸残基を答えなさい。
- (7) ペプチドAのC末端に位置するアミノ酸残基を答えなさい。
- (8) ペプチドBのN末端に位置するアミノ酸残基を答えなさい。
- (9) ペプチドEの構造式を書きなさい。構造式は以下の例にしたがって書くこと。



(計算用紙)

(設問は次のページにつづく)

この問題は「生物」の問題です。

数学科，物理学科，都市環境学科においては，「生物」の解答は無効になります。

VII 以下の文章を読み，問い(1)～(5)に答えなさい。(50点)

遺伝子の発現とは，染色体に含まれる DNA の塩基配列にもとづいて，主にタンパク質が合成されることを指す。この一方向に伝達される一連の情報の流れは (ア) とよばれ，まず DNA の特定の領域が mRNA (伝令 RNA) に転写されることで始まる。このとき，① 鋳型となる DNA 鎖をアンチセンス鎖，対になる鎖をセンス鎖とよぶ。

真核生物では，大部分の遺伝子で，転写された直後の RNA 分子はスプライシングとよばれる過程で (イ) が除去され，翻訳に関わる部分だけがつなぎ合わされて mRNA となる。mRNA は (ウ) を通って細胞質に移動し，(エ) と結合する。mRNA と (エ) の複合体に，(オ) と結合したアミノ酸が運ばれ，タンパク質が合成される。また，② 遺伝子の発現過程で選択的スプライシングにより，同じ遺伝子から部分的に配列の異なるタンパク質が合成されることがある。

真核生物の核内では，DNA がクロマチン構造を形成している。これは，ヌクレオソームとよばれる，ヒストンタンパク質複合体に DNA が巻き付いた構造が基本となっている (図1)。核内でヌクレオソームが強く凝集している部分をヘテロクロマチン，逆にゆるんでいる部分をユークロマチンとよぶ。細胞が分裂するときに ③ DNA は複製される。新規に合成された DNA には，ヒストンタンパク質複合体が分配されるとともに，新しいヌクレオソームも形成される (図2)。このときにクロマチン構造も新規 DNA に引き継がれ，④ 細胞の分化に影響することが知られている。

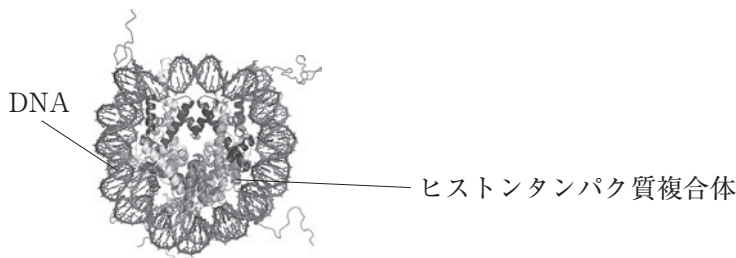


図1 ヌクレオソームの分子モデル

中央のヒストンタンパク質複合体に DNA が巻き付いている。

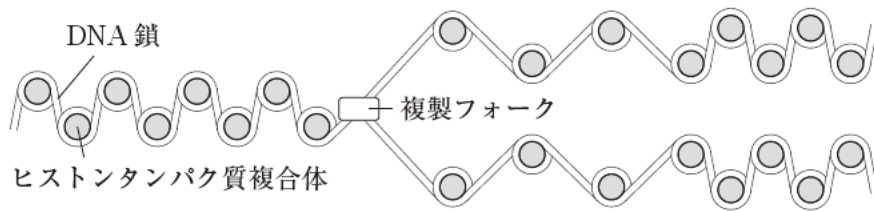


図2 DNA複製のモデル図

DNAの複製時に、ヒストンタンパク質複合体は新しく合成されたDNAに分配され、再度ヌクレオソームを形成することで、クロマチン構造を維持する。

問い

(1) 本文中の空欄 ～ にあてはまる語を答えなさい。

(2) 下線部①について、以下の問い(i), (ii)に答えなさい。

(i) 図3はある遺伝子の配列(一部)を示す。センス鎖はどちらの配列か、(い), (ろ)の記号で答えなさい。

(い) 5'-ATG TGT GAC GAT GAA GAG ACT-3'

(ろ) 3'-TAC ACA CTG CTA CTT CTC TGA-5'

図3 あるタンパク質のアミノ酸配列を指定するDNA配列の一部
下線部のATGは開始コドン(メチオニン)を指定する。

(ii) 図3の遺伝子領域から合成されるmRNAの配列を、以下の[選択肢](は)~(へ)から1つ選び、記号で答えなさい。

[選択肢]

(は) 5'-UAC ACA CUG CUA CUU CUC UGA-3'

(に) 5'-AGU CUC UUC AUC GUC ACA CAU-3'

(ほ) 5'-UCA GAG AAG UAG CAG UGU GUA-3'

(へ) 5'-AUG UGU GAC GAU GAA GAG ACU-3'

- (3) 下線部②について、選択的スプライシングにより、多様なタンパク質がどのようにできるのか、説明しなさい。
- (4) 下線部③に関連して、図4は、図2の複製フォークの部分を拡大した模式図である。図4のX, Y, Zが示すものの名称を記しなさい。またその説明を後の[選択肢] (a)~(e)から選び、記号で答えなさい。

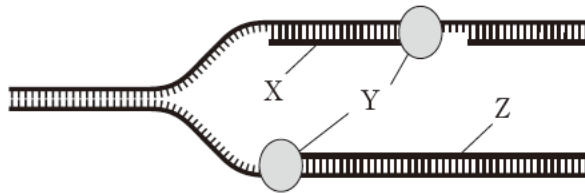


図4 複製フォークの領域の模式図

[選択肢]

- (a) タンパク質を合成する酵素
- (b) 連続的に合成される新規 DNA 鎖
- (c) ラギング鎖で合成される短い DNA 鎖
- (d) ヌクレオチドのリン酸基を糖と結合する酵素
- (e) PCR の際に合成反応開始点として用いられる短い DNA 鎖

- (5) 下線部④に関する以下の文章を読み、問い(i)～(iv)に答えなさい。

動物の体を構成する多数の細胞は、ほぼ同じゲノムをもつにもかかわらず、さまざまな種類の細胞へと分化する。これは、発生の過程を通じて、遺伝子の発現調節や、転写される調節タンパク質の組み合わせが、細胞ごとに異なるためである。遺伝子の発現は、調節タンパク質の有無だけではなく、核内でのクロマチン構造の変化によっても制御される。例えば、ヒストンへのメチル基の結合（メチル化）はヘテロクロマチン化を促すことで転写を抑制し、アセチル基の結合（アセチル化）は転写を促進する傾向がある。ヒストンのメチル化やアセチル化は、発生段階で細胞が分裂したあとも引き継がれるので、転写活性も次の細胞に引き継がれる。このような DNA の配列変化を伴わない遺伝子の発現調節をエピジェネティクスとよぶ。

- (i) ゲノムに関する記述として誤っているものを、以下の [選択肢] (a)～(d)から1つ選び、記号で答えなさい。

[選択肢]

- (a) 全染色体に含まれる DNA の塩基配列情報
- (b) ある生物が個体を形成し、生命活動を営むのに必要な全遺伝情報
- (c) DNA をもたないウイルスの全 RNA 情報
- (d) ある細胞が合成している全 mRNA の情報

- (ii) 細胞の分化に関連して、中胚葉に由来する細胞として適切なものを、以下の [選択肢] (a)～(e)からすべて選び、記号で答えなさい。

[選択肢]

- (a) 小腸上皮細胞
- (b) 小脳神経細胞
- (c) 腎臓細尿管細胞
- (d) すい臓ランゲルハンス島B細胞
- (e) 上腕二頭筋細胞

(iii) 真核生物の転写調節について述べた以下の文章の正誤を判断し、正しい文章には○と、誤った文章には×と、解答用紙に記入しなさい。

- (a) 転写の可否は、エキソン領域に結合する調節タンパク質によって制御される。
- (b) ある調節タンパク質のアミノ酸配列は、その遺伝子によって指定されている。
- (c) 1つの遺伝子に対して複数の調節領域が存在し、環境や発生段階に応じた調節を行う。
- (d) 基本転写因子が、mRNA の特定の領域と結合することで転写が開始される。

(iv) 細胞が分化状態を維持できるのは、エピジェネティクスによる影響が大きい。分化の方向が決まった細胞が違う種類の細胞へと変化しない理由としてもっとも適切なものを、以下の [選択肢] (a)~(e)から1つ選び、記号で答えなさい。

[選択肢]

- (a) mRNA のスプライシングが起きるため
- (b) ゲノムの配列が変化するため
- (c) ヒストンの修飾が細胞分裂を経ても引き継がれるため
- (d) 染色体の乗換えが起きるため
- (e) ヒストンがメチル化されてもクロマチン構造が変化しないため

(設問は次のページにつづく)

この問題は「生物」の問題です。

数学科，物理学科，都市環境学科においては，「生物」の解答は無効になります。

VIII 以下の文章A，Bを読み，問い(1)～(8)に答えなさい。(50点)

A 江戸時代まではサクラといえば，ヤマザクラ，エドヒガン，オオシマザクラといった自生種を指していた。東京都西部に位置する多摩丘陵では，江戸時代に落葉広葉樹を優占種とする二次林が広がり，そこにヤマザクラも存在していた。自生する姿が一般的であったサクラは，御殿山（現在の品川区）のように大量に植樹され，花見の名所が複数作られたことで，江戸の庶民文化にひろく浸透した。

サクラの中でもミザクラの果実はサクランボとよばれ，花の [ア] が発達した部分が一般に食される。 [ア] を形成する植物は [イ] 植物とよばれる。種子植物の中でも，古生代のデボン紀に出現した [ウ] 植物と比較して，中生代の白亜紀に出現した [イ] 植物では，花の構造の複雑化と果実の発達により，昆虫類や動物による送粉や種子散布のしくみが大きく進化した。

問い

- (1) 文中の下線部①に関連して，落葉広葉樹が優占種である森林を，[選択肢] (a)～(i)からすべて選び，記号で答えなさい。

[選択肢]

- (a) 雨緑樹林 (b) 熱帯多雨林 (c) 亜熱帯多雨林
(d) サバンナ (e) 夏緑樹林 (f) 照葉樹林
(g) 針葉樹林 (h) ステップ (i) ツンドラ

- (2) 文中の下線部②に関連して、二次林の記述として適切なものを、[選択肢]
(a)～(f)からすべて選び、記号で答えなさい。

[選択肢]

- (a) 火山灰の堆積によりできた裸地に、先駆種の草本が進出することで形成される。
- (b) 人の手が入らず、大規模な植生の破壊を経ずに形成される。
- (c) 森林を開墾して作られた耕地が放棄され、雑木林が形成される。
- (d) 低木の点在する草原地帯に、先駆種の樹木が進出することで形成される。
- (e) 燃料や建材となる樹木が、定期的に伐採されることで維持される。
- (f) 台風や火災で林冠が大規模に破壊され、陽樹が増加することで形成される。

- (3) 文中の空欄 ～ にあてはまる語句を答えなさい。

B 現代の日本社会においてサクラといえば、ソメイヨシノを指す場合が多い。ソメイヨシノはオオシマザクラとエドヒガンの交雑もしくは交配で生まれた単一個体由来するクローンであると考えられている。 (エ) 生殖ではクローンが生じる。 (エ) 生殖の例としては、アメーバ、ミカヅキモ、ゾウリムシなどにみられる (オ) や、サンゴ、ヒドラなどにみられる (カ) がある。植物が (キ) 器官からクローンをつくることは、 (キ) 生殖とよばれる。ソメイヨシノのクローンは、 (キ) 生殖のしくみにもとづいて職人が近縁種の株元を切断し、ソメイヨシノから切り取った若い枝を差し込む接ぎ木によって繁殖が行われる。

例年ニュースで見かけるサクラ開花予想は、おもにソメイヨシノを対象としている。一般に、発芽や花芽形成は、環境要因によって誘導される。例えば発芽は、温度や光、水分などの要因に加え、山火事の煙に含まれる物質が要因となる場合もあり、いずれも植物ホルモンが作用する。さまざまな環境要因の中でも、低温にさらすことで休眠を終わらせ、花芽形成が誘導される現象は春化とよばれる。ソメイヨシノは秋から冬にかけて気温が下がることで、まず春化が起き、その後の花芽成長期における気温の積算値が目安の値に近づくと、開花する可能性が高まる。

気候変動や都市化が原因と考えられる気温上昇は、ソメイヨシノの開花にさまざまな影響を与える。ソメイヨシノの開花数や開花時期が変化すると、受験合格を知らせるためのサクラサクという慣用句も変容する可能性がある。日常文化に浸透するさまざまな植物を生物学の観点から観察することで、気候変動や都市化が人間社会に与える影響を理解することができる。

問い

- (4) 文中の空欄 (エ) ~ (キ) にあてはまるもっとも適切な語を、それぞれ [語群] から選び、答えなさい。

[語群]

栄養	感覚	運動	消化	孢子	有性
無性	出芽	分化	分裂	分離	

- (5) 文中の下線部③は、種子の休眠に関連する記述である。種子の休眠の役割について、成長、種子生産、環境条件の3語をすべて用い、40字以内で述べなさい。ただし、英数字や句読点は1字と数える。
- (6) 文中の下線部④に関連して、アブシシン酸とジベレリンのはたらきの記述として誤っているものを、[選択肢] (a)～(g)からすべて選び、記号で答えなさい。

[選択肢]

- (a) 種子のアブシシン酸濃度が上昇すると、脱水が進み、活動を停止して休眠状態に入る。
- (b) 水分不足が起きると、アブシシン酸が合成され、水分の損失を減らすために、気孔が閉じやすくなる。
- (c) 種子のアブシシン酸に対するジベレリンの濃度が相対的に上昇すると、発芽が誘導される。
- (d) ジベレリンには、植物の茎の、軸方向の成長を促すはたらきがある。
- (e) 光発芽種子は、暗所でジベレリンを与えても発芽しない。
- (f) ジベレリンは、種子の無いブドウを栽培するために活用されることがある。
- (g) ジベレリンには、クロロフィルの減少など、葉の老化を誘導または促進するはたらきがある。

- (7) 文中の下線部⑤に関連して、吸水させた発芽種子を低温下で管理した後に、常温に戻し、さまざまな効果を得ることを春化处理という。春化处理に関する記述として誤っているものを、[選択肢] (a)~(h)から3つ選び、記号で答えなさい。

[選択肢]

- (a) 植物ホルモンを使用することで、同様の効果を得ることができる。
- (b) 開花を早めると、開花の時期が揃わなくなる場合が多い。
- (c) 開花を早めると、開花しない個体も増える。
- (d) 開花を早めることができる植物は、長日植物が多い。
- (e) 一定時間までは、低温にさらす時間が長いほど、開花を早めることができる。
- (f) 開花を早める最適な温度は、植物の種類によらず一定である。
- (g) 開花を早める効果が、得られない植物がある。
- (h) 効果を得るために、日照時間も考慮する場合が多い。

- (8) 文中の下線部⑥に関連して、以下は気温上昇がソメイヨシノの開花に与える影響を、3段階に分けて考えた文章である。文中の空欄 (ク) ~ (コ) にあてはまる記述としてもっとも適切なものを、後の〔選択肢〕(a)~(e)から選び、記号で答えなさい。

気温上昇が進行しても、寒冷期において休眠を終わらせるために十分冷え込む日数が、例年とあまり変わらない場合は、その後に例年より暖かい日が続くことで、(ク)。気温上昇がさらに進行すると、寒冷期に休眠を終わらせるために十分冷え込む日数が、例年より減少することで、(ケ)。気温上昇がさらに進行すると、休眠を終わらせるために十分な冷え込みが、寒冷期にほとんど起きないことで、(コ)と考えられる。

〔選択肢〕

- (a) 各地点内の、開花時期のばらつきが小さくなる
- (b) 開花が早まる地点が増加する
- (c) 開花しない、もしくは満開にならない地点が増加する
- (d) 全国的な、開花時期のばらつきが小さくなる
- (e) 開花が遅れる地点が増加する

この問題は「生物」の問題です。

数学科，物理学科，都市環境学科においては，「生物」の解答は無効になります。

Ⅸ 以下の文章を読み，問い(1)～(10)に答えなさい。(50点)

① ウイルス，細菌，寄生虫などの病原体が外界からヒトの体内に侵入することによつて，さまざまな病気が引き起こされる。 これらを防御するしくみに免疫がある。直ちに応答する生体防御のしくみは自然免疫とよばれ，物理的・化学的防御と食作用を含む。 ② また，血管が傷つくと病原体が侵入しやすくなるが，血液凝固による止血や血管の修復も防御のひとつと言える。 ③

免疫ではさまざまな白血球が重要な役割を果たしている。白血球は，骨髄にある (ア) からつくられる。白血球のうち，マクロファージ，好中球，(イ) は，食作用を示すので，(ウ) とよばれる。白血球には (ウ) 以外にもさまざまなリンパ球が含まれる。NK細胞と胸腺で分化する (エ) は，病原体が感染した細胞や，がん細胞などの異常な細胞を排除する。同じく胸腺で分化する (オ) は，他の白血球の活性化に関わる。骨髄で分化する (カ) は，抗体の産生に参与する。これらの白血球は協調してはたらしながら，ヒトを病原体から守っている。

マクロファージはヒトの体内を巡回し，異物を見つけ貪食する。ウイルスや細菌，寄生虫の表面には，ヒトにはない固有の分子や構造がある。マクロファージはそれらの分子や構造を検出できる，Toll様受容体というタンパク質をもっている。ヒトには10種類のToll様受容体があり，それぞれ，対応する病原体の分子が異なる。例えば，TLR2というToll様受容体は，細菌の細胞壁に網の目のように存在する特別な分子と結合する。④ TLR5は大腸菌などの細菌の鞭毛にあるフラジェリンというタンパク質を認識する。⑤ 異物が侵入した部位では，マクロファージが炎症性サイトカインを放出し，その部位は熱をおびて赤く腫れ，炎症が引き起こされる。 ⑥ 炎症には白血球の活動を高める効果がある。

⑦ 自然免疫には，体温調節のためのしくみも関わっている。サイトカインの一種は，間脳の視床下部にある体温の調節中枢にはたらきかけ，体温を上昇させる。 いわゆる「発熱した」という状態である。高熱は不快なものと考えられることもあるが，体温

が上昇すると病原体の増殖が抑制され、免疫細胞のはたらきが活発になるなど、自然免疫による生体防御を促進するはたらきもある。

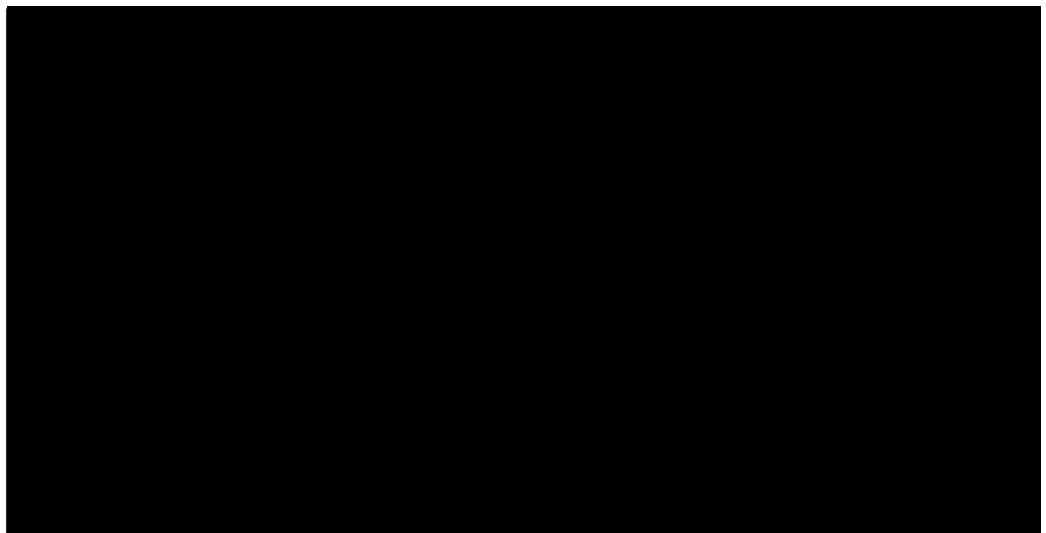
問い

(1) 文中の空欄 ～ にあてはまるもっとも適切な細胞の名称を答えなさい。

(2) 下線部①に関連して、以下に示した病気(a)～(i)の原因となる病原体はウイルス、細菌、寄生虫のうちどれか。解答用紙の該当する欄に、ウイルスであればV、細菌であればB、寄生虫であればPと記入しなさい。

- | | | |
|-----------|-------------|---------|
| (a) 百日咳 | (b) インフルエンザ | (c) エイズ |
| (d) ジフテリア | (e) マラリア | (f) 破傷風 |
| (g) 結核 | (h) 天然痘 | (i) 狂犬病 |

(3) 

※選択肢の中に不適切な内容が含まれていたため、掲載しません。

- (4) 下線部③に関連して、以下の〔選択肢〕(a)～(f)から、血管が傷ついた部位で起こる現象を4つ選びなさい。そのうえで、それらの現象が起こる順に並べ、記号で答えなさい。

〔選択肢〕

- (a) 血しょうが固まる
 - (b) フィブリンが集まってできた繊維が生成される
 - (c) 血ぺいができる
 - (d) トロンビンがフィブリンを分解する
 - (e) 血小板が集まる
 - (f) 線溶が起こる
- (5) 下線部④に関連して、ヒトの分泌液に含まれ、細菌の細胞壁を分解する酵素の名称を答えなさい。また、この酵素を含む分泌液の例、および、それを分泌する器官の名称を3つ挙げなさい。

- (6) 下線部⑤に関連して、真核生物の鞭毛(繊毛)は、細菌の鞭毛とは構造も動くしくみも異なる。以下の〔選択肢〕(a)~(f)から、真核生物の鞭毛について説明した記述として適切なものをすべて選び、記号で答えなさい。

〔選択肢〕

- (a) 鞭毛をもつ真核生物は、光合成をしない。
- (b) 微小管に結合したダイニンが、隣の微小管上を滑り運動することが、鞭毛の動きの原動力となる。
- (c) 鞭毛の動きは、おもに水素イオンの流れによるものであり、ATPを必要としない。
- (d) 鞭毛の微小管はアクチンとミオシンフィラメントでできており、それらの相互作用によって動きが生じる。
- (e) 鞭毛は、微小管という直径25 μm ほどの中空の管で形成されている。
- (f) 鞭毛の主要な構成タンパク質は、フラジェリンではなく、チューブリンである。
- (7) 下線部⑥について、炎症によって引き起こされるどのような変化が、白血球のはたらきに有利となるか。例を2つ挙げ、それぞれ1文で簡潔に答えなさい。
- (8) 以下の〔選択肢〕(a)~(e)から、炎症部位ではたらく白血球を説明した記述として適切なものをすべて選び、記号で答えなさい。

〔選択肢〕

- (a) 膿^{うみ}には生きた好中球が大量に含まれ、活発に食作用を行っている。
- (b) 好中球は細菌を取り込むと、取り込んだ細菌を攻撃して殺し、好中球も死ぬ。
- (c) 炎症の過程で死んだ好中球は、マクロファージによって貪食される。
- (d) 単球は、毛細血管内でマクロファージに分化する。
- (e) 好中球は、マクロファージに比べて数が多い。

- (9) マクロファージの食作用はエンドサイトーシスのひとつである。いま、外界の異物がエンドサイトーシスによって細胞内に取り込まれ、小胞を形成するとする。このとき細胞膜の外側と内側の関係はどうなっていると考えられるか。図1で示した細胞の模式図を参考に、小胞内で異物が消化される前の状態としてもっとも適切なものを、後の〔選択肢〕(a)~(d)から1つ選び、記号で答えなさい。

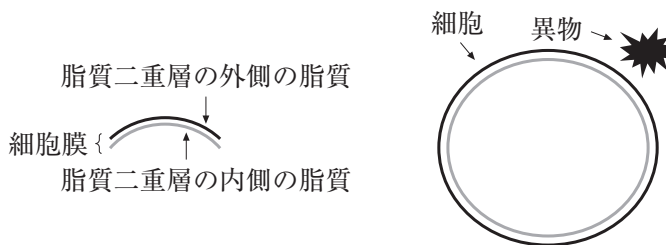
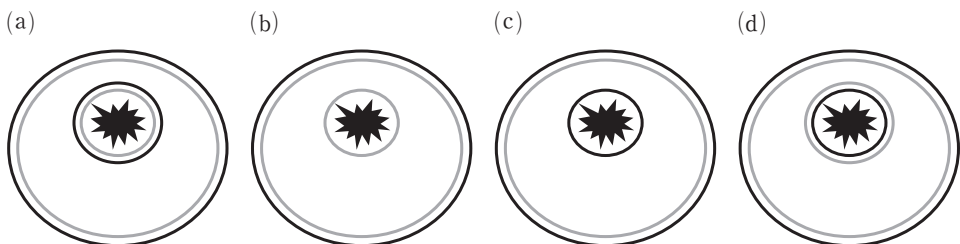


図1 外界の異物を取り込む前の細胞を示す模式図

〔選択肢〕



- (10) 下線部⑦に関連して、以下の〔選択肢〕(a)~(e)から、体温調節のしくみを説明した記述として適切なものをすべて選び、記号で答えなさい。

〔選択肢〕

- (a) 体温が低下すると、皮膚の血管が拡張し、代謝が促進される。
- (b) 体温が低下すると、肝臓で代謝が促進され、発熱量が増加する。
- (c) 体温が低下すると、脳下垂体前葉からチロキシンが分泌され、代謝が促進される。
- (d) 体温が上昇すると、副交感神経が皮膚の汗腺を刺激して、発汗が促進される。
- (e) 体温が低下すると、交感神経が白色脂肪細胞に作用して、代謝が促進される。

