



# 理 科

(120 分)

## 環境科学部・工学部・人間文化学部

物理(1～10 ページ) 化学(11～22 ページ) 生物(23～33 ページ)

### 注意事項

1. 解答開始の合図があるまで、この問題冊子および解答冊子の中を見てはいけません。
2. 問題は物理 4 題、化学 4 題、生物 4 題ありますが、志望学部学科によって解答する科目・問題が異なるので注意ください。指定されていない科目・問題を解答しても採点しません。
3. 環境科学部(環境生態学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答ください。
  - ・物理、化学、生物のうちから 2 科目選択ください。
  - ・物理を選択する場合、「物理問題Ⅰ」、「物理問題Ⅱ」の 2 題を解答ください。
  - ・化学を選択する場合、「化学問題Ⅰ」、「化学問題Ⅱ」の 2 題を解答ください。
  - ・生物を選択する場合、「生物問題Ⅰ」、「生物問題Ⅱ」の 2 題を解答ください。
4. 環境科学部(生物資源管理学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答ください。
  - ・物理、化学、生物のうちから 1 科目選択ください。
  - ・物理を選択する場合、「物理問題Ⅰ」～「物理問題Ⅳ」の 4 題を解答ください。
  - ・化学を選択する場合、「化学問題Ⅰ」～「化学問題Ⅳ」の 4 題を解答ください。
  - ・生物を選択する場合、「生物問題Ⅰ」～「生物問題Ⅳ」の 4 題を解答ください。
5. 工学部(材料科学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答ください。
  - ・物理、化学の 2 科目を選択ください。
  - ・物理は、「物理問題Ⅰ」、「物理問題Ⅱ」の 2 題を解答ください。
  - ・化学は、「化学問題Ⅰ」、「化学問題Ⅱ」の 2 題を解答ください。
6. 工学部(機械システム工学科・電子システム工学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答ください。
  - ・物理のみ解答ください。
  - ・「物理問題Ⅰ」～「物理問題Ⅳ」の 4 題を解答ください。

この注意事項は、問題冊子の裏表紙にも続きます。問題冊子を裏返して必ず読みなさい。

7. 人間文化学部(生活栄養学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答しなさい。
  - ・物理，化学，生物のうちから1科目選択しなさい。
  - ・物理を選択する場合，「物理問題Ⅰ」～「物理問題Ⅳ」の4題を解答しなさい。
  - ・化学を選択する場合，「化学問題Ⅰ」～「化学問題Ⅳ」の4題を解答しなさい。
  - ・生物を選択する場合，「生物問題Ⅰ」～「生物問題Ⅳ」の4題を解答しなさい。
8. 解答開始後，選択した科目の解答冊子の表紙所定欄に受験番号，氏名をはっきり記入しなさい。表紙にはこれら以外のことを書いてはいけません。選択しなかった科目の解答冊子は，試験終了20分前に回収します。
9. 解答は，すべて解答冊子の指定された箇所に記入しなさい。解答に関係のないことを書いた答案は無効にすることがあります。
10. 解答冊子は，どのページも切り離してはいけません。解答のための下書き・計算などには，解答冊子の下書き用ページを使いなさい。
11. 試験終了後，問題冊子は持ち帰りなさい。選択した科目の解答冊子を持ち帰ってはいけません。

# 物 理

## 物理問題 I

次の文を読んで、 に適した式を解答欄に記入せよ。また、問1では指示にしたがって作図を行い、問2には導出過程も示して答えよ。なお、重力加速度の大きさは  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とする。

図1(a)のように、質量の無視できるゴムひもが天井からつり下げられている。ゴムひもが自然長のときの下端の位置を原点として、鉛直下向きが正となる  $x$  座標を設定する。ゴムひもは、図1(b)のように  $x$  [m] だけ引き伸ばされた状態では、フックの法則にもとづく弾性力を生じるが、図1(c)のように、たるんだ状態では弾性力を生じることはない。すなわち、ゴムひも下端が  $x \geq 0$  のとき、ゴムひもはばね定数  $k$  [N/m] のばねとして考えることができ、ゴムひもの弾性力の大きさ  $F$  [N] は、ばねと同じ  $F = kx$  となる。また、 $x < 0$  のとき、ゴムひもの弾性力がないので  $F = 0$  となる。

- (1) 図1(d)のように、質量  $m$  [kg] の大きさが無視できる小物体をゴムひも下端につり下げたところ、小物体は静止した。このときのゴムひも下端の位置を小物体の位置と考え、その  $x$  座標を  $x_0$  [m] ( $x_0 > 0$ ) とすると、 $x_0 =$   [m] となる。その後、図1(e)のように小物体を  $A$  [m] ( $A > 0$ ) だけ鉛直下向きに引っ張り、時刻  $t$  [s] が0のときに静かにはなすと、小物体が単振動した。このとき、単振動の振幅は  [m]、周期は  [s] である。また、小物体の  $x$  座標と時刻  $t$  の関係式は  になる。ただし、小物体の位置が  $x < 0$  になるとき、ゴムひもはばねとして考えることができなくなり、 $F = kx$  の関係ではないため、小物体の運動は単振動ではなくなる。したがって、小物体が単振動するための  $A$  と  $x_0$  の関係式は  になる。

問 1 (1)において小物体が単振動しているとき、小物体の  $x$  座標の時間変化を  $t = 0$  から 1 周期分描き、振幅と周期がわかるように縦軸と横軸に目盛を入れよ。

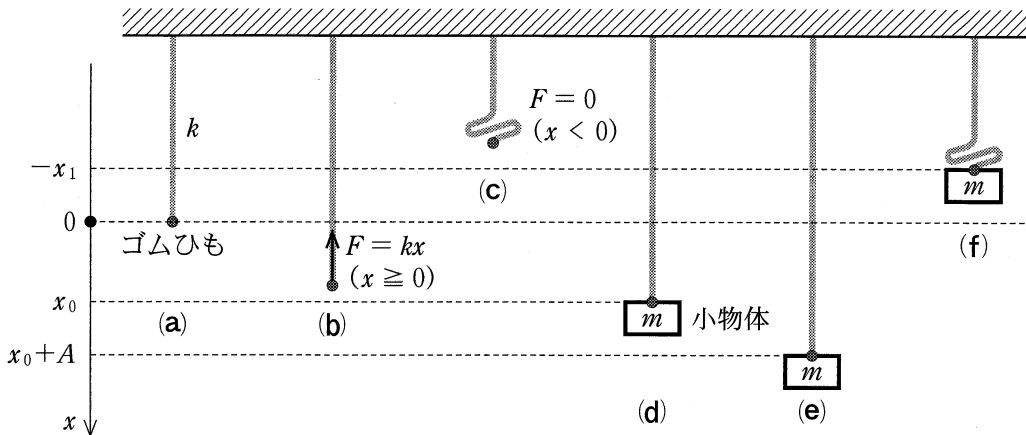


図 1

(2) 図 1(f)のように、小物体の  $x$  座標が  $-x_1 (x_1 > 0)$  になるまで小物体を持ち上げ、時刻  $t$  [s] が  $t_0$  [s] のときに小物体を静かにはなす。  $x < 0$  であるとき、ゴムひもは小物体に対して力をおよぼさないで、小物体は自由落下運動を行う。自由落下中の小物体の  $x$  座標と時刻  $t$  の関係式は  $x =$   となる。また、小物体の  $x$  座標が  $x = 0$  となったとき、小物体の運動エネルギーは  [J] である。小物体の  $x$  座標が  $x \geq 0$  になると、ゴムひもから弾性力が作用する。その力と小物体に対してはたらく重力が等しくなる位置は  $m, g, k$  を用いると  [m] であり、そこより下にいくと小物体の速度が減少し、小物体は最下点に達した後に上昇する。

問 2 (2)における小物体の最下点の  $x$  座標を求めよ。

(3) (2)において、小物体が  $x \geq 0$  の位置にあれば、ゴムひもから弾性力が作用しているため、小物体は  [m] の位置を中心とした単振動と同じ動きとなり、この単振動の振幅に相当する長さは  [m] である。また、上昇する小物体の位置が  $x < 0$  の範囲になると、ゴムひもからの弾性力がなくなるため、鉛直投げ上げ運動へと変わる。このときの小物体の最高点の  $x$  座標は  [m] である。

## 物理問題 II

次の文を読んで、 に適した式を解答欄に記入せよ。また、問1および問2に答えよ。

物体や水の比熱を測定するため、図1に示す水熱量計を用いた実験を行う。水熱量計は、ふた、かき混ぜ棒、温度計、抵抗値  $R[\Omega]$  の電気ヒーターおよび断熱材で覆われた銅製容器からなる。銅製容器に入れた水に熱を加えた場合、熱の一部が銅製容器やかき混ぜ棒、温度計などの水に接する水熱量計にも移動する。そこで、水熱量計の熱容量を  $D[\text{J/K}]$  とする。

(1) 物体Aの熱容量  $C_A[\text{J/K}]$  を求める。まず、図1の水熱量計の銅製容器に水を  $m_1[\text{g}]$  入れてじゅうぶん時間が経過した後に温度を計測すると、 $T_1[^\circ\text{C}]$  であった。つぎに、 $T_A[^\circ\text{C}]$  ( $T_A > T_1$ ) まで加熱した物体Aを水の中に沈めてふたを閉め、かき混ぜ棒で静かにかき混ぜたところ、水温が上昇して  $T_2[^\circ\text{C}]$  となった。このとき、物体Aが放出した熱量は  ア  [J] である。一方、水熱量計およびその銅製容器内の水が物体Aから受け取ったと考えられる熱量は、水の比熱  $c[\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})]$  を用いると  イ  [J] である。よって、 $C_A =$   ウ  [J/K] となる。

(2) 水の比熱  $c[\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})]$  を求める。まず、図1の水熱量計の銅製容器に水を  $m_2[\text{g}]$  入れてふたをし、じゅうぶん時間が経過した後の温度は  $T_3[^\circ\text{C}]$  であった。つぎに、水にじゅうぶんに浸った電気ヒーターに  $I[\text{A}]$  の電流を、銅製容器内の水の温度がどこも一定になるようかき混ぜ棒で静かにかき混ぜながら  $t_1[\text{s}]$  の時間流した。このとき、電気ヒーターが発生する熱量は  エ  [J] である。また、銅製容器内の水および水熱量計の温度は  $T_4[^\circ\text{C}]$  まで上昇した。このことから、水および水熱量計の温度上昇に使われた熱量は  オ  [J] である。ここで  エ  =  オ  より、水の比熱  $c$  を求めることができる。

問 1 室温  $18.00\text{ }^{\circ}\text{C}$  の実験室に水熱量計を置きじゅうぶん時間が経過した後、その空の銅製容器に、 $18.00\text{ }^{\circ}\text{C}$  の水を  $300\text{ g}$  入れてふたをした。その後、抵抗  $2.50\ \Omega$  の電気ヒーターに  $2.00\text{ A}$  の電流を流したところ、 $7.00$  分で水熱量計と水の温度が  $21.00\text{ }^{\circ}\text{C}$  となった。つぎにこの水を捨てて、再び水熱量計の温度を室温に戻した。そして、空の銅製容器に  $18.00\text{ }^{\circ}\text{C}$  の水を  $500\text{ g}$  入れたあと、電気ヒーターに  $2.00\text{ A}$  の電流を流したところ、 $15.0$  分で水熱量計と水の温度が  $22.00\text{ }^{\circ}\text{C}$  となった。以上の2つの結果より、水の比熱  $c$  と水熱量計の熱容量  $D$  の連立方程式を示した上で、水の比熱および水熱量計の熱容量を求めよ。なお、解答の数値は有効数字3桁で示せ。

問 2 水の比熱は  $4.18\text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K})$  であることが知られているが、問1の解答はその値と異なる。これは、ふたやかき混ぜ棒、温度計を通した容器の外部との熱の出入りなどが無視できないためである。そこで、室温  $18.00\text{ }^{\circ}\text{C}$  の実験室で、熱容量が  $D[\text{J}/\text{K}]$  である水熱量計の空の  $18.00\text{ }^{\circ}\text{C}$  の銅製容器に  $10.00\text{ }^{\circ}\text{C}$  の水を  $m[\text{g}]$  入れた直後に電気ヒーターに電流を流し、水温が  $T[{}^{\circ}\text{C}]$  ( $T < 18.00\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) で終了した場合、求められる水の比熱は  $4.18\text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K})$  と比較してどうなるか。解答欄の適切な語句を○で囲め。また、その理由を 工 = 才 の式を利用しながら説明せよ。なお、かき混ぜることによって水に与えられる仕事は無視できるものとする。

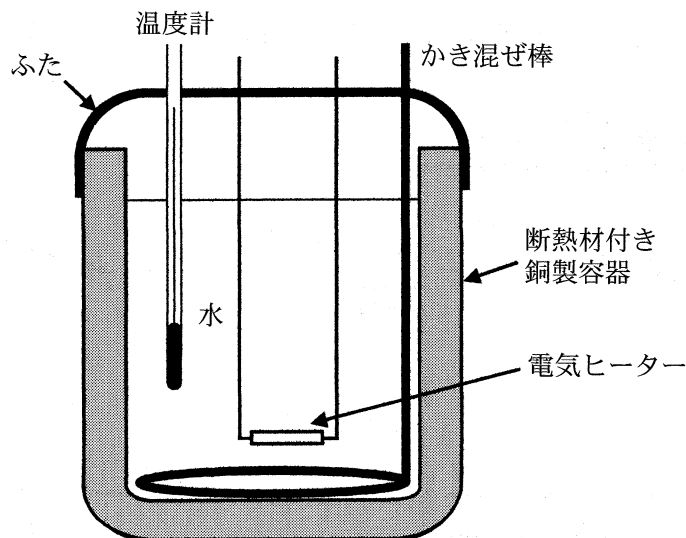


図 1

### 物理問題 III

次の文を読んで、 に適した式を、{ } には適した語句を解答欄に記入せよ。< >については、解答欄の適切な語句を○で囲め。また、問1および問2に答えよ。問2には導出過程も示して答えよ。

変形しないガラス容器の中に、図1のようにハーフミラー AB と鏡が設置されている。ハーフミラー AB は、光の半分が透過し、残りの半分が反射する半透明鏡で、AB の中点 M を通り紙面に垂直な線を中心軸として回転させることができる。容器の上面と鏡はともに水平で、鏡と点 M の距離は  $L$  [m] である。容器にはバルブ付きの管が接続されており、この管を使って、容器内を真空にしたり、容器内に空気を入れたりすることができる。この装置に対して、真空中での速さと波長がそれぞれ  $c$  [m/s]、 $\lambda$  [m] の単色光の平行光線を鉛直方向下向きに入射させる。ここで、大気圧での空気の屈折率は  $n$  とする。容器による光の屈折・反射、ハーフミラーの厚み、空気の流れは無視できるものとする。

- (1) はじめバルブは開いており、容器内は大気圧の空気で満たされていた。このとき、図1のように、水平から非常に小さな角度  $\theta$  [°] だけハーフミラーを回転させて固定し、単色光を鉛直下向きに入射した。屈折の法則より、大気圧の空気中での

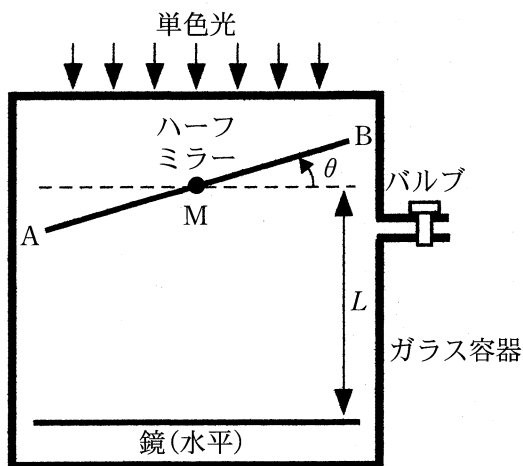


図 1

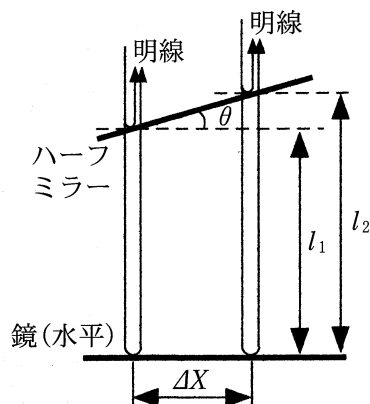


図 2

単色光の波長は  $\boxed{\text{ア}}$  [m]、速さは  $\boxed{\text{イ}}$  [m/s] である。この状態で、ハーフミラーを単色光の入射方向から観察したところ、明暗の縞が見えた。これは、ハーフミラーで反射した光と、ハーフミラーを透過して鏡で反射した光とが強めあったり、打ち消しあったりしたためである。このようにしてできる縞を  $\{ \text{ウ} \}$  縞という。まず、この縞の間隔について考える。図2のように、ある明線が観察された位置でのハーフミラーと鏡との鉛直方向の距離を  $l_1$  [m]、その隣の明線の位置でのハーフミラーと鏡との鉛直方向の距離を  $l_2$  [m] とすると、その差  $(l_2 - l_1)$  は、明線の水平方向の間隔  $\Delta X$  [m] と  $\theta$  を用いて  $\boxed{\text{エ}}$  と表せる。一方、差  $(l_2 - l_1)$  は、 $n$  と  $\lambda$  を用いて  $\boxed{\text{オ}}$  と表せる。したがって、 $\Delta X$  は、 $n$ 、 $\lambda$ 、 $\theta$  を用いて  $\boxed{\text{カ}}$  と表せる。

問1 ハーフミラー AB をゆっくり回転させて角度を  $\theta$  より少しだけ大きくした。このときの、隣りあう明線の間隔の変化の様子と明線の移動方向を 30 字以内で述べよ。

(2) つぎに、ハーフミラーをもとの角度  $\theta$  にもどして固定したのち、空気を徐々に排気しながら縞の様子を観察した。容器内の空気を排気する過程で、ガラス容器内の屈折率は小さくなるので、隣りあう明線の間隔は <キ：大きくなる，変化しない，小さくなる>。また、明線の位置は <ク：A の方に移動する，移動しない，B の方に移動する>。

(3) 容器内を真空まで排気したのちにバルブを閉めたところ、点 M の位置で明線が観察された。その後、バルブをわずかに開き、容器内にゆっくりと空気を入れながら、点 M の位置での明るさを観察したところ、容器内が大気圧になるまでに暗くなったり明るくなったりを  $N$  回繰り返して、大気圧では真空のときと同様、点 M の位置で明線が観察された。点 M の位置において明線が観察されてから次に明線が観察されるまでの間に、光の進む距離と屈折率の積である  $\{ \text{ケ} \}$  は真空中での 1 波長に相当する長さだけ変化するので、容器内が真空から大気圧になるまでの間の屈折率の変化  $\Delta n$  は、 $L$ 、 $\lambda$ 、 $N$  を用いて  $\boxed{\text{コ}}$  と表せる。また、大気圧での空気の屈折率  $n$  は  $L$ 、 $\lambda$ 、 $N$  を用いて  $\boxed{\text{サ}}$  と表せる。

問2 (3)において、 $L = 0.20$  m、 $\lambda = 5.9 \times 10^{-7}$  m、 $N = 198$  回であった。このときの  $\Delta n$  を有効数字 2 桁で答えよ。



## 物理問題 IV

次の文を読んで、 に適した式を、 には適切な語句を解答欄に記入せよ。<  >については、解答欄の適切な語句を○で囲め。また、問1および問2に答えよ。問2には導出過程も示して答えよ。なお、重力加速度の大きさは  $g$  ( $\text{m/s}^2$ ) とする。

図1のように、鉛直下向きで磁束密度  $B$  (T) の一様な磁場中に、間隔  $d$  (m) でじょうぶんに長い平行な2本の導体のレールが、水平面に対する角度  $\theta$  (rad) で設置されている。このレールの上に、両レールと直角に質量  $M$  (kg) の導体棒 PQ を置く。本問題では導体棒 PQ はレールとの角度を直角に保った状態でレールの上を移動するものとし、レールと導体棒の間の摩擦や空気抵抗は無視できるとする。また、抵抗器以外の抵抗、および導体棒以外で発生する誘導起電力は無視できるとする。また回路を流れる電流が作る磁場は無視できるとする。

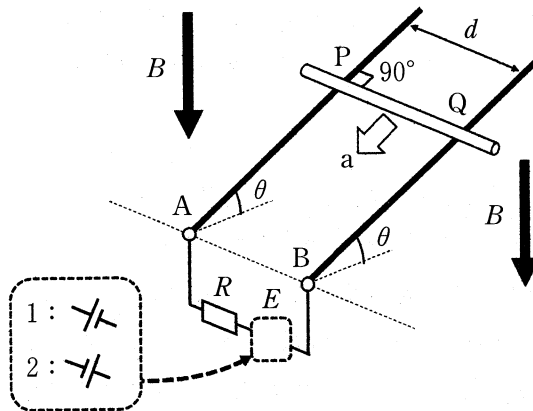


図1

このレールの端点 A, B の間に抵抗値  $R$  ( $\Omega$ ) の抵抗器と、起電力  $E$  (V) の電池を接続することで導体棒をレール上に静止させた。まず、導体棒には鉛直下向きに重力がはたらくから、レールに沿った方向には大きさ  (N) の力がはたらく。導体

棒 PQ を静止させるには、電流を流すことでこの重力による力とつり合う力を発生させる必要があるので、電池を接続する向きは、図 1 中の<イ：1 の向き， 2 の向き>で、そのとき回路に流れる電流の大きさはオームの法則より **ウ** [A]，回路で消費される電力は **エ** [W] である。磁場と電流によって導体棒にはたらく力の大きさは **オ** [N] であり、この力のレールに沿った方向にはたらく成分の大きさは **カ** [N] となる。磁場と電流による力と重力による力がつりあったときに導体棒は静止するから、このときの電池の起電力  $E$  は **キ** [V] と表される。

次に、導体棒 PQ に外力を加えてレールとの角度を直角に保ったまま矢印 a の向きに一定の速度で動かした。時間  $\Delta t$  の間に導体棒 PQ がレールに沿って  $\Delta L$  だけ移動したとすると、回路に発生する誘導起電力の大きさは **ク** [V] となる。この誘導起電力の大きさを  $\Delta V$  とすると、導体棒を動かしている間、回路には **ケ** [A] の電流が流れる。つまり、回路で消費される電力は **コ** [W] になる。消費される電力が増えたことは、外力のした仕事が電気エネルギーに変換されたことを示している。この電気エネルギーは、さらに抵抗器で発生する { **サ** } に変換される。

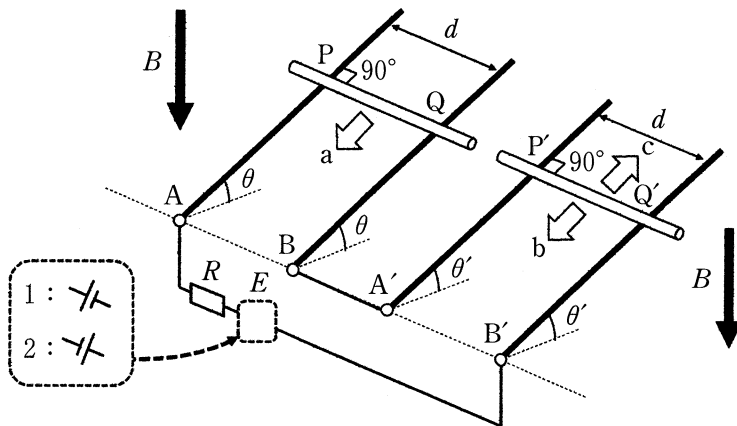


図 2

次に図 2 のように、図 1 に加えてもう一組のレールを直列に接続した。追加したレールの間隔を  $d$  [m]，水平面からの角度を  $\theta'$ ，上に乗せた導体棒 P'Q' の質量を

$M'$  (kg)とする。端子Bと端子A'を導線で接続し、端子Aと端子B'の間に抵抗値  $R$  ( $\Omega$ )の抵抗器と起電力  $E$  (V)の電池を接続した。 $\theta' = \theta$ ,  $M' = M$ のとき、導体棒 PQと導体棒 P'Q'がともにレール上で静止するために必要な電池の起電力  $E$ は  (V)である。ただし、電池は< イ >と同じ向きで接続されているとする。また、導体棒 PQに流れる電流と導体棒 P'Q'に流れる電流がおよぼし合う力は無視できるものとする。

問 1 2本の導体棒が静止した状態から、導体棒 PQだけに外力を加えて矢印 a の向きに一定の速度で動かした。このとき、外力の加わっていないもう一方の導体棒 P'Q'の動きについて、< 静止したまま、矢印 b の向きに動く、矢印 c の向きに動く >から適切なものを選び、解答欄の適切な語句を○で囲め。また、その理由を説明せよ。

問 2 電池の起電力  $E$ を  (V)とし、導体棒 P'Q'の質量  $M'$ を  $2M$ とした場合に、導体棒 P'Q'の乗っているレールの角度  $\theta'$ のみを変えて導体棒 PQ, 導体棒 P'Q'をともに静止させた。このとき、 $\tan \theta'$ を導出せよ。

理科の試験問題は次に続く。

# 化 学

## 化学問題 I

次の文を読んで、問1～問3に答えよ。必要であれば、ファラデー定数として  $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$  を用いよ。解答の数値は有効数字2桁で記せ。

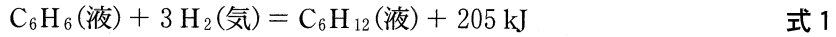
次世代のエネルギーとして水素の利用に注目が集まっており、水素の製造と貯蔵を効率よく行うことが重要である。純粋な水素の製造技術としては、石油や天然ガスなどの工業的なプロセスで発生する水素を含むガスの精製、水の電気分解<sup>(a)</sup>などがある。他方で、水素の貯蔵技術としては、水素の圧縮、水素の液化、水素吸蔵合金の利用などを挙げることができる。また、芳香族炭化水素への水素の付加<sup>(b)</sup>、水素を用いるアンモニア合成<sup>(c)</sup>などで水素を含む化合物を得て貯蔵し、触媒などを利用してこれらの化合物から水素を取り出す方法もある。

問1 下線部(a)について以下のような実験を行った。

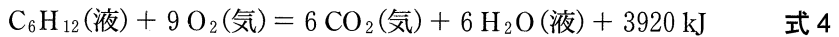
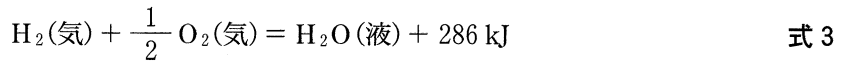
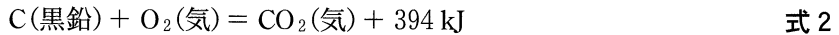
陽極と陰極にそれぞれ炭素電極を用い、塩化ナトリウム水溶液を電気分解したところ、いずれの電極でも気体が発生した。この実験について、以下のi)～iii)に答えよ。

- i) 水素が発生したのは陽極、陰極のどちらか答えよ。また、水素が発生した電極で生じた化学変化を電子  $e^-$  を含むイオン反応式で示せ。
- ii) 水素が発生した電極で金属ナトリウムは生じなかった。この理由を説明せよ。
- iii)  $0.100 \text{ A}$ の電流を965秒間流したとき、発生した水素分子の物質量を求めよ。導出過程も記せ。

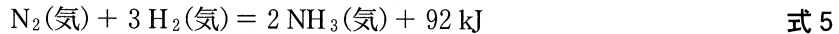
問 2 下線部(b)の例として、ベンゼンに水素が付加してシクロヘキサンが生じる反応がある。この反応の熱化学方程式は、



である。式 1 と以下の黒鉛、水素、シクロヘキサンの酸化に関する熱化学方程式(式 2 ~ 4)から、ベンゼンの生成熱を求めよ。計算過程も記せ。



問 3 下線部(c)について、窒素と水素からアンモニアを合成する方法としてハーバー・ボッシュ法(ハーバー法)が知られている。この反応の熱化学方程式は、



である。

圧力を一定に保った密閉容器内で、式 5 の反応を触媒を用いずに反応温度を 300, 500, 700 °C で行った。この反応におけるアンモニアの生成率の時間変化を図 1 に示す。以下の i), ii) に答えよ。

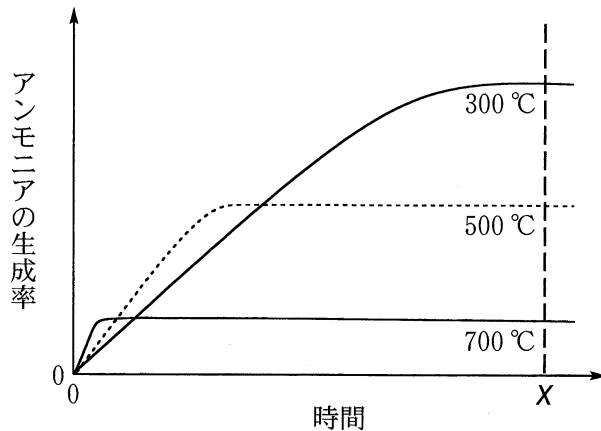


図 1 異なる反応温度における反応時間とアンモニアの生成率の関係

- i) 反応温度が異なると、時間  $X$  でのアンモニアの生成率が異なる。生成率が図 1 のようになる理由について、平衡移動の原理 (ルシャトリエの原理) に基づいて説明せよ。
- ii) 適切な触媒を用いると、アンモニア合成の反応速度が上昇した。図 1 の  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  における反応時間とアンモニアの生成率の関係がどのように変化するか、解答欄中の図に実線で図示せよ。また、アンモニアの生成率の時間に対する変化がそのようになる理由について文章で説明せよ。

理科の試験問題は次に続く。



## 化学問題 II

次の文を読んで、問1～問6に答えよ。必要であれば、原子量として  $H = 1.0$ ,  $C = 12.0$ ,  $O = 16.0$  を用いよ。解答の構造式は図1の例にならって記せ。ただし、不斉炭素がある場合は、その炭素原子に\*印をつけよ。鏡像異性体(光学異性体)を区別しなくてよい。

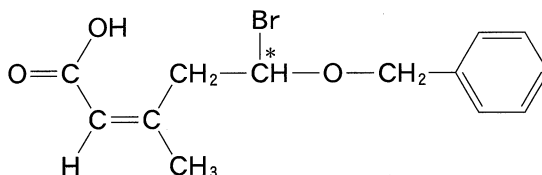


図1 構造式の例

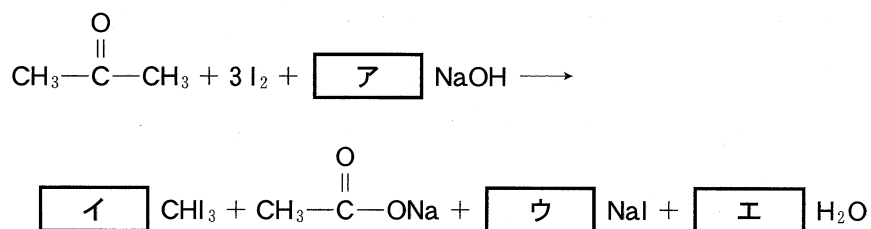
互いに構造異性体である化合物A～Cは、炭素、水素、酸素のみからなり、ベンゼンの水素原子が一つまたは二つ置換された芳香族化合物である。また、A～Cはベンゼン環以外の環構造をもたず、分子量が200より小さい。A～Cを詳しく調べたところ、以下の①～⑥の結果が得られた。

- ① 化合物A～Cをそれぞれ244 mg ずつ完全に燃焼させたところ、いずれの化合物からも二酸化炭素704 mg と水180 mg が生じた。
- ② 化合物A～Cはいずれも金属ナトリウムと反応して水素を発生した。
- ③ 化合物Aは水酸化ナトリウム水溶液に溶解したが、化合物BとCは水酸化ナトリウム水溶液に溶解しなかった。
- ④ 化合物Aを酸化すると、サリチル酸が生じた。
- ⑤ 化合物Bを酸化すると、2価カルボン酸(ジカルボン酸)Dが生じた。カルボン酸Dとエチレングリコール(1,2-エタンジオール)を縮合重合させるとポリエチレンテレフタレートが得られた。<sup>(a)</sup>
- ⑥ 化合物Cを酸化すると、還元性を示さない化合物Eが生じた。化合物Eにヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱すると、特有の臭気をもつ黄色の沈殿が生じた。<sup>(b)</sup>

問 1 化合物 A ~ C の分子式を求めよ。計算過程も記せ。

問 2 下線部(a)について、カルボン酸 D の構造式を記せ。また、分子量  $2.40 \times 10^4$  のポリエチレンテレフタレート 1 分子中に含まれるエステル結合の数を、有効数字 2 桁で求めよ。計算過程も記せ。

問 3 下線部(b)について、この反応の名称を記せ。また、化合物 E のかわりにアセトンを用いた反応は、以下の化学反応式で表される。 ア ~ エ に係数としてあてはまる適切な数字を整数値で記せ。



問 4 トルエンを穏やかな条件で酸化すると、アーモンドに似た芳香をもつ液体の化合物 F が得られる。化合物 F をさらに酸化すると安息香酸が生成する。化合物 F を還元すると、第一級アルコール G が生成する。化合物 G を酸化した場合も、化合物 F を経て安息香酸が得られる。化合物 F および G の構造式を記せ。

問 5 化合物 A ~ C の構造式を記せ。

問 6 化合物 E の構造式を記せ。

### 化学問題 III

次の文を読んで、問1～問5に答えよ。必要であれば、原子量として  $H = 1.0$ ,  $C = 12.0$ ,  $O = 16.0$ ,  $Cl = 35.5$ ,  $Ca = 40.0$  を用いよ。解答の数値は、有効数字2桁で記せ。気体はすべて理想気体とし、標準状態における  $1.00 \text{ mol}$  の気体の体積を  $22.4 \text{ L}$  とする。

カルシウムは、常温で水と反応して気体の ア を発生し、水酸化物になる。水酸化カルシウムの結晶は白色の粉末で消石灰とよばれる。その飽和水溶液は石灰水とよばれ、二酸化炭素を吹き込むと、炭酸カルシウムの白色沈殿を生じることから、<sup>(a)</sup>二酸化炭素の検出に利用されることがある。石灰水に二酸化炭素を過剰に通じると、生じた炭酸カルシウムは イ となって溶解する。この溶液を加熱すると、再び白色沈殿が生じる。

炭酸カルシウムは石灰岩、大理石、貝殻などの主成分として天然に広く存在し、セメントやガラスの原料、歯磨き粉、チョークなどに利用されている。炭酸カルシウム<sup>(b)</sup>は塩酸と反応して、気体を発生する。また、炭酸カルシウムを強熱すると、生石灰とよばれる ウ が生成する。生石灰に水を加えると、発熱しながら反応して水酸化カルシウムになる。この反応性により、生石灰は発熱剤や乾燥剤などに用いられている。反応によって生成した水酸化カルシウムはわずかに水に溶ける。

硫酸カルシウムの二水和物はセッコウとよばれ、天然に存在している。<sup>(c)</sup>これを約<sup>(d)</sup>  $140 \text{ }^\circ\text{C}$  に加熱すると水和水の一部を失い、焼きセッコウとなる。焼きセッコウは白色の粉末で、適量の水と混合すると、やや体積を増しながら再びセッコウとなって硬化する。このような性質により、セッコウは建築材料やギプスに使用されている。

問1 文中の ア ~ ウ にあてはまる物質を化学式で記せ。

問2 下線部(a)で起こる反応の化学反応式を記せ。

問 3 下線部(b)について、次のような実験を行った。以下の i) ~ iv) に答えよ。

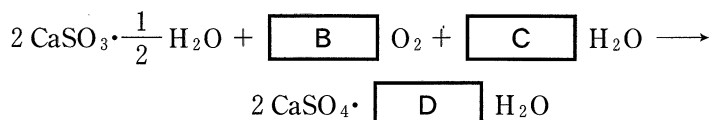
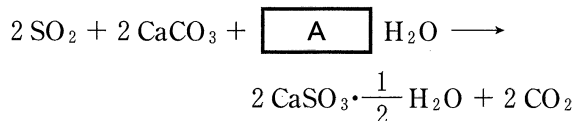
実験 主成分が炭酸カルシウムで、それ以外の鉱物を不純物として少量含む大理石の粉末 2.70 g に塩酸を 5.00 mL ずつ合計 40.0 mL 加えたところ、標準状態で 0.560 L の気体が発生した。実験で用いた塩酸のモル濃度は 2.00 mol/L であり、不純物は塩酸と反応しないものとする。

- i) 炭酸カルシウムと塩酸の反応を化学反応式で示せ。
- ii) 大理石中の炭酸カルシウムをすべて反応させるのに必要な塩酸の体積を求めよ。導出過程も記せ。
- iii) 大理石の炭酸カルシウムの純度を質量パーセントで求めよ。
- iv) 発生した気体の質量を縦軸に、加えた塩酸の体積を横軸にとり、グラフを解答用紙に作成せよ。

問 4 下線部(c)について、35 °C の水酸化カルシウムの飽和水溶液では、水 100 g に水酸化カルシウムが 0.148 g 溶けている。この温度における水酸化カルシウムの溶解度積  $K_{sp}$  をカルシウムイオンの濃度  $[Ca^{2+}]$  と水酸化物イオンの濃度  $[OH^-]$  を用いた式で表せ。また、この  $K_{sp}$  の値を求め、その単位とともに記せ。導出過程も記せ。ただし、この飽和水溶液の密度は  $1.00 \text{ g/cm}^3$  とする。

問 5 下線部(d)に示したセッコウは、大気汚染を防ぐ技術と関わりがある。日本では、大気汚染物質である二酸化硫黄 ( $SO_2$ ) を大気中に排出させない技術が、火力発電所などの大型ボイラーの排煙脱硫装置で用いられている。この装置では、炭酸カルシウムに  $SO_2$  を吸収させ、亜硫酸カルシウムとしたのち、空気中の酸素と反応させ、硫酸カルシウムをセッコウとして回収している。

次の  ~  に適当な整数値を入れて、化学反応式を完成させよ。



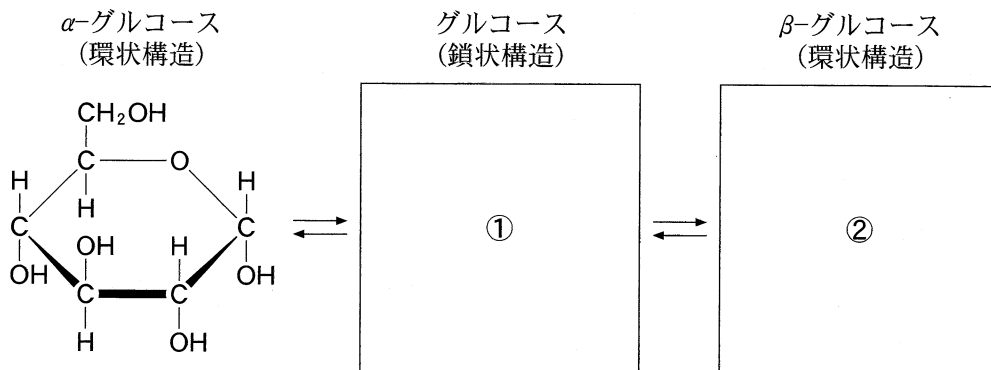
## 化学問題 IV

次の文を読んで、問1～問6に答えよ。必要であれば、原子量として  $H = 1.0$ ,  $C = 12.0$ ,  $O = 16.0$ ,  $Cu = 63.5$  を用いよ。また、気体はすべて理想気体とし、標準状態における  $1 \text{ mol}$  の気体の体積を  $22.4 \text{ L}$  とする。解答の数値は有効数字2桁で記せ。

糖類は生命の維持に欠かすことのできない天然の有機化合物である。糖類の中でも、それ以上加水分解できない化合物として単糖がある。グルコースは代表的な単糖の一つである。グルコースは水によく溶け、水溶液中では3種類の異性体が平衡状態となる。<sup>(a)</sup> また、砂糖の主成分であるスクロースはグルコースとフルクトースが脱水縮合した構造で、還元性を示さない二糖である。スクロースは希酸を加えて加熱することで、グルコースとフルクトースに加水分解される。<sup>(b)</sup>

植物細胞内において、グルコースは縮合重合されデンプンとして貯蔵される。デンプン水溶液にヨウ素ヨウ化カリウム水溶液(ヨウ素溶液)を加えると青紫色に呈色する(ヨウ素デンプン反応)。<sup>(c)</sup> また、植物の細胞壁は多数のグルコースが縮合重合したセルロースにより主に構成される。一方、動物体内では、過剰のグルコースは肝臓で縮合重合されグリコーゲンとして蓄えられる。肝臓中のグリコーゲンは必要に応じて加水分解されてグルコースとなり、血液中のグルコース濃度は一定に維持される。グリコーゲンの分解により放出されたこのグルコースは酸素と反応し、最終的に水と二酸化炭素となる。この反応が生じるときに細胞にエネルギーが供給される。<sup>(d)</sup>

問 1 下線部(a)について、グルコースの水溶液中における平衡状態を構造式で示すと、下の反応式のようなになる。下の反応式の①と②にあてはまる適切な構造式を、下の  $\alpha$ -グルコースにならって記せ。



問 2 下線部(b)について、次の i), ii) に答えよ。

- i) 質量パーセント濃度 1.60 % のスクロース水溶液 590 mL を完全に加水分解してグルコースとフルクトースの混合物の水溶液を得た。この加水分解を行う前の水溶液中のスクロースの質量を求めよ。ただし、スクロース水溶液の密度は  $1.00 \text{ g/cm}^3$  とする。
- ii) i) で得た単糖類の混合物に過剰にフェーリング液を加えて加熱したときに生じる酸化銅(I)の沈殿物の質量を求めよ。導出過程も記せ。ただし、還元性を示す単糖類 1 mol を含む水溶液にフェーリング液を作用させると、1 mol の酸化銅(I)が生じて完全に沈殿するものとする。

問 3 デンプンとセルロースはいずれもグルコースが多数結合した高分子化合物であるが、互いに異なる構造を示す。下の語をすべて用いてデンプンとセルロースの構造の違いを説明せよ。

$\alpha$ -グルコース  $\beta$ -グルコース 直線状 らせん状

問 4 下線部(c)について、ヨウ素デンプン反応によりデンプン水溶液は青紫色を呈する。また、この青紫色のデンプン水溶液を加熱すると色が消える。青紫色を呈する、および加熱により色が消える理由について、デンプンの構造に基づいてそれぞれ説明せよ。

問 5 セルロースはその分子間にはたらく引力が強いため、水に溶けにくい。どのようにして強い引力が生じているか説明せよ。

問 6 下線部(d)について、次の i), ii) に答えよ。

i) 1 mol のグルコースが燃焼すると 2800 kJ の熱が発生する。このグルコースの燃焼の熱化学方程式を記せ。

ii) ヒトが一分間に 0.28 L の酸素を体内に取り込み、その酸素をすべてグルコースの燃焼により消費すると仮定した場合に、一日あたりに生成されるエネルギーを求めよ。導出過程も記せ。なお、気体の体積は標準状態におけるものとする。

理科の試験問題は次に続く。



# 生 物

## 生物問題 I

次の文を読んで、問1～問7に答えよ。

学生たちは夏休みに中部地方のある高い山へ登った。山麓<sup>さんろく</sup>から乗ったバスの車窓には、はじめ  やトチノキ・ミズナラ・カエデ類などの夏緑樹林(落葉広葉樹林)が見え、標高が上がるとともにそれはやがて  ・コメツガなどの常緑の針葉樹林に変わった。登山口から歩いて登り始めてからしばらく針葉樹林の中を通ったが、それを抜けると標高約 2500 m で高い木がなくな<sup>(a)</sup>って見通しが開け、ダケカンバ・  ・ウラジロナナカマドなどからなる低木林や、イワギキョウ・ハクサンイチゲなど多種の花が咲く高山草原が見られた。一方、高山草原には外来生物のセイヨウタンポポも生えていて、その影響が懸念されていた。そのため自然保護団体の人たちによってセイヨウタンポポを抜いて除去する作業が行われていた。また、種子が持ち込まれることを防ぐために、地域の自治体によって登山道に靴底の土を落とす<sup>(b)</sup> マットが置かれていた<sup>(c)</sup>。低木林と高山草原では、高山にすむ鳥で特別天然記念物のライチョウも見られた。その後、険しい斜面を登って標高約 3000 m の山頂に立った。

大学に戻ってから図書館やインターネットで調べたところ、高山草原で見た植物にはレッドリストに記載された絶滅危惧種が 10 種以上あることがわかった。また、ライチョウは寒冷な氷期に日本へやってきたと考えられる留鳥(渡りをしない鳥)で、約 2500 m 以上の環境で繁殖をしているが冬季には夏緑樹林で観察されることがあること、現在個体数が減っていること、地球の温暖化が進行すると絶滅の恐れがあることを学んだ。<sup>(d)</sup>

問 1 文中の **ア** ~ **ウ** に、あてはまる樹木の種名を入れよ。

問 2 北海道の針葉樹林では、この山の針葉樹林で見たものとは異なる種の樹木が自生している。その樹木の種名としてあてはまるものを、次の語群の中から二つ選び答えよ。

**語群**

スギ、アラカシ、クロマツ、ソテツ、トドマツ、スダジイ、タブノキ、  
ヒノキ、エゾマツ、アコウ

問 3 登山しながら見たように、山の低いところから高いところにかけて異なるバイオームが並んで分布する状態を何と呼ぶか、答えよ。

問 4 問 3 の現象が生じる原因は何か、山岳の気候における気温と標高の関係とともに、簡潔に説明せよ。

問 5 下線部(a)の位置のことを、植生の変わり目の観点から何と呼ぶか、適切な語句を答えよ。

問 6 この山では現在、外来生物の侵入は初期段階にある。下線部(b)や(c)のように、生えた草を抜き取ったり種子の持ち込みを防いだりする対策を行うのは、これらの対策を行わない場合にどのようなことが生じると考えられるためか、説明せよ。

問 7 下線部(d)に関連し、控えめな予測でも、今世紀末の気温は 2℃ 程度上昇すると考えられている。その変化は、バイオームの垂直方向の移動をもたらすと予測されている。そうなった場合、この山でライチョウが絶滅する恐れがあると考えられるのはなぜか、説明せよ。

## 生物問題 II

次の文を読んで、問1～問3に答えよ。

イネやダイズなどの自殖性植物は自家受粉(自家受精)を行うため、繰り返し自家受粉して得られる自殖種子はすべての遺伝子座がホモ接合(体)の純系になる(図1(a))。自殖性植物の場合でも、受粉前に葯を除く(除雄<sup>やく</sup>という)などして自家受粉を防ぎ、他個体の花粉をかけて交雑することができる。除雄した純系品種 $P_1$ に純系品種 $P_2$ の花粉を交雑して得られる子を $F_1$ (雑種第一代)と呼び、 $F_1$ が自家受精して得られる子を $F_2$ (雑種第二代)と呼ぶ(図1(b))。メンデルは自殖性植物であるエンドウを用い、 $F_2$ でみられる形質の分離比から遺伝の法則を導いた。

イネの純系品種AとBとCでは、草丈(イネの背丈)と開花時期という2種類の形質に違いがある。Aの草丈はBとCの半分程度で半わい性と呼び、BやCの標準的な草丈と区別できる。BはAとCよりも開花時期が2週間程度早く、Bを<sup>わせ</sup>早生、AとCを<sup>なかて</sup>中生と呼んで区別できる。AとCを交雑して得た $F_1$ の草丈はCと同じ標準の草丈になった。この $F_1$ 同士を自家受粉した $F_2$ は、草丈が標準のものと半わい性のものがそれぞれ3:1の割合で生じた。BとCを交雑した $F_1$ はCと同じ開花時期で、その $F_1$ 同士が自家受粉した $F_2$ では中生と早生が3:1の割合になった。

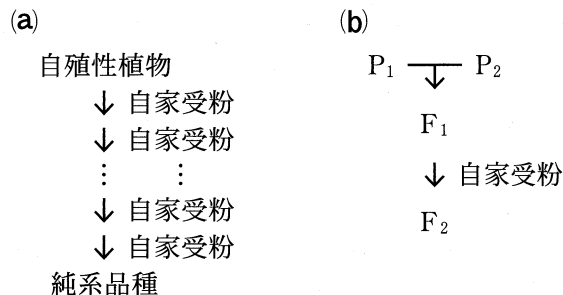


図1 (a)純系品種の作出と(b) $F_1$ および $F_2$ の作出



問 3 早生遺伝子と連鎖する 2 種類の DNA 配列(DNA 1 と DNA 2 とする)は, A と B の品種間で塩基配列の違いを持っている。DNA 1 と早生遺伝子との組換え価は 10 % で, DNA 2 と早生遺伝子との組換え価は 8 %であった。A と B を交雑した  $F_1$  に B を交雑した個体群の中で DNA 1 と DNA 2 がともに B 型ホモ接合(体)になった個体の 98 % 以上が早生型を示した。

(1) 下線部<sup>(a)</sup>の情報から, DNA 1, DNA 2, 早生遺伝子の染色体地図上の位置関係はどのようになると考えられるか。すべての場合を答えよ。

(2) 下線部<sup>(b)</sup>より, DNA 1, DNA 2, 早生遺伝子の染色体地図上の位置関係はどのようになると考えられるか。根拠とともに示せ。

理科の試験問題は次に続く。

### 生物問題 III

次の文を読んで、問1～問5に答えよ。

生物の代謝には分子量の小さい物質から大きい物質を合成する同化と、分子量の大きい物質を小さい物質に分解する異化とよばれる過程がある。生物が生命活動を行うには、分子量の大きい物質の異化で放出されたエネルギーを用いて合成されたATP<sup>(a)</sup>が必要となる。

真核生物は呼吸によってグルコースを分解しATPを合成する。この過程は、大きく<sup>(b)</sup> 、、の3つの段階に分けることができる。に関わる酵素は細胞質に、に関与する酵素はミトコンドリアのマトリクスに、そしてのタンパク質はミトコンドリアの内膜に存在することから、これらの過程は細胞内の異なる場所で行われることがわかる。

生物はグルコースのほかにも脂肪酸やからもATPを合成することができる。

問1 文中の～に適切な語句を入れよ。

問2 下線部(a)に関連して、次のA～Fのうち正しいものに○、正しくないものに×を記せ。

- A 呼吸の過程ではATPは消費されない。
- B アルコール発酵ではATPとエタノールが合成される。
- C ATPを加水分解することでADPが2分子合成される。
- D 植物は光合成を行いATPを合成することができる。
- E ATPはアデノシンのリボースに3分子のリン酸が結合した構造をもつ。
- F ヒトは1分子のグルコースから最大で38分子のATPを合成することができる。

問 3 下線部**(b)**について、以下の問いに答えよ。

(1) 乳酸菌は乳酸発酵によって1分子のグルコースから最大何分子の乳酸を合成することができるか。数字で答えよ。

(2)  ではグルコースの分解により ATP が合成されるが、 では異なるしくみで ATP が合成される。 の呼吸経路のしくみを、句読点を含め 120 字以内で説明せよ。ただし、「ATP」は 3 文字とする。

問 4 骨格筋を収縮させるための主なエネルギー源はグルコースと脂肪酸である。ヒトが軽いジョギングを行っているときの呼吸商を調べたところ、空腹時では 0.7 であったが、食後には 1.0 に上昇した。空腹時と食後でエネルギー源として主に利用されたのは、それぞれグルコースと脂肪酸のどちらと考えられるか。物質名とそのように考えた理由を簡潔に説明せよ。

問 5 細胞内の酸素が非常に少ない状況では、グルコースからの ATP 合成が高まり、反対に脂肪酸からの ATP 合成は低下する。このような応答が起こる理由を簡潔に説明せよ。



## 生物問題 IV

次の文を読んで、問 1～問 8 に答えよ。

細胞や多くの細胞小器官は膜によって囲まれており、この膜を生体膜という。生体膜は基本的に同じ構造をしており、疎水性と親水性の性質をもつ **ア** が規則的に並んでいる。細胞の最外層の生体膜である細胞膜には、多様なタンパク質がモザイク状に埋め込まれ、流動性をもって分布している。極性をもつアミノ酸や糖、電荷をもつイオンなどは細胞膜を通過しにくい<sup>(a)</sup>ため、膜に埋め込まれたタンパク質によって輸送が行われている。これらの膜タンパク質には特異性があり、特定の物質のみを通過させる性質を持っている。<sup>(b)</sup>一方、水分子は細胞膜を通過することができるが、細胞内に含まれる水の量はほぼ一定に保たれている。<sup>(c)</sup>

細胞の内外に物質の濃度差がある場合、物質の輸送は濃度の高い側から低い側に拡散などによって行われる。これを **イ** 輸送といい、エネルギーを必要としない。イオンの **イ** 輸送に関わるタンパク質はイオン **ウ** と呼ばれ、決まった種類のイオンだけを通す。一方、細胞膜をはさんで物質の濃度勾配に逆らって輸送が行われることもあり、これを **エ** 輸送といい、エネルギーを必要とする。ナトリウムイオンなどの **エ** 輸送に関わる膜タンパク質やその機構は **オ** とよばれる。

細胞間の情報伝達にはホルモンが重要な役割を担っている。内分泌細胞から分泌されるさまざまなホルモンは、体液中を運ばれて標的細胞の受容体タンパク質に結合することによって情報を伝達している。<sup>(d)</sup>

問 1 文中の **ア** ~ **オ** に適切な語句を入れよ。

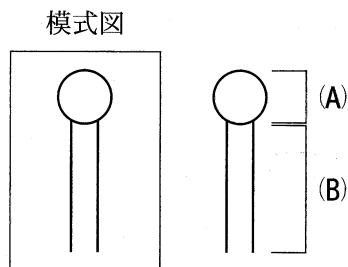
問 2 下線部(a)について、(1)~(4)の説明に最も関係の深い細胞小器官もしくは構造物を以下の**選択肢**から選んで、記号で答えよ。

- (1) リボソーム RNA が合成される。
- (2) 核 DNA とは別に独自の DNA をもっており、酸素を生成する。
- (3) mRNA の遺伝情報をタンパク質に翻訳する。
- (4) 動物細胞内の不要な物質の分解に関与する。

**選択肢**

- |        |         |      |           |
|--------|---------|------|-----------|
| A ゴルジ体 | B リソソーム | C 核  | D ミトコンドリア |
| E 葉緑体  | F リボソーム | G 液胞 | H 小胞体     |

問 3 生体膜の構造を以下の枠内の分子の模式図を 10 個使って図示せよ。ただし(A)の部分は親水性であり、(B)の部分は疎水性である。



問 4 下線部(b)の性質は何というか。その名称を答えよ。

問 5 下線部(c)について、次の実験を行った。以下の(1)~(3)の液体 1 mL に、凝固防止処理を行ったウサギの血液を 1 滴加えてかくはんし、1 分後に顕微鏡で赤血球の様子を観察した。

- (1) 0.9 % (質量パーセント濃度) の塩化ナトリウム水溶液
- (2) 1.2 % (質量パーセント濃度) の塩化ナトリウム水溶液
- (3) 蒸留水

これらの実験の結果として最も適切なものを以下の**選択肢**から選んで、記号で答えよ。

**選択肢**

- A 血しょう中の様子と変わらなかった。
- B 大きさが小さくなり、表面がでこぼこになった。
- C 見えなくなった。

問 6 腎臓の細尿管や集合管などの細胞は、他の細胞に比べて水の透過性が非常に高い。水の透過性が高い細胞膜の特徴を簡潔に述べよ。

問 7 膜タンパク質で輸送できないような大きな分子の細胞外への輸送はどのように行われるのかを簡潔に説明せよ。また、その作用(現象)の名称を答えよ。

問 8 下線部(d)について、ホルモンには水に溶解しやすい水溶性ホルモンと、脂質に溶解しやすい脂溶性ホルモンがある。それぞれのホルモンの受容体タンパク質は細胞のどこに存在するか、その理由とともに述べよ。

平成31年度 一般入試 (後期日程)

問題訂正 (理科)

2ページ 物理問題 I 問 1 上から 2 行目

(誤) 振幅と周期がわかるように縦軸と横軸に目盛を入れよ。

(正) 振幅と周期がわかるグラフとせよ。

(訂正内容は共通で以下2か所)

3ページ 物理問題 II (1) 上から 1 行目

3ページ 物理問題 II (2) 上から 1 行目

(誤) 図 1 の水熱量計の銅製容器に

(正) 図 1 の水熱量計の空の銅製容器に