

平成 31 年 度

前 期 日 程

理 科 問 題

〔注 意〕

1. 問題冊子及び解答用冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはいけない。
2. 問題冊子は、物理、化学、生物の順序で 1 冊にまとめてある。

問題は $\left\{ \begin{array}{ll} \text{物理} & 2 \text{ ページから } 14 \text{ ページ} \\ \text{化学} & 15 \text{ ページから } 27 \text{ ページ} \\ \text{生物} & 28 \text{ ページから } 43 \text{ ページ} \end{array} \right\}$ にある。

ページの脱落があれば直ちに申し出ること。

3. 解答用紙は、物理 3 枚、化学 4 枚、生物 4 枚と一緒に折り込まれている。受験する科目の解答用紙をミシン目に従って切り離すこと。
4. 受験番号は、受験する科目の解答用紙の受験番号欄(1 枚につき 2 か所)に 1 枚ずつ正確に記入すること。
5. 解答は、1 ページの「理科の解答についての注意」の指示に従い、解答用紙の指定されたところに記入すること。
6. 問題冊子の余白は、適宜下書きに使用してもよい。
7. 配付した解答用紙は持ち帰ってはいけない。
8. 問題冊子は持ち帰ること。

平成31年度個別学力検査等

問 題 訂 正

【 前期日程 理科（化学） 】

問題冊子 24ページ 上から 4行目

（誤）「上記の方法では、・・・消費されてエステルに変化する。」

（正）「前ページの方法では、・・・消費されて中性の化合物に変化する。」

問題冊子 24ページ 上から 7行目

（誤）「・・・，そのエステルは沸点が高く、・・・」

（正）「・・・，その中性の化合物は沸点が高く、・・・」

「理科の解答についての注意」

理学部志願者

- 数学科，化学科，生物科学科生物科学コースを志望する者は，物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。
- 物理学科を志望する者は，物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。
- 生物科学科生命理学コースを志望する者は，物理と化学の2科目を解答すること。

医学部医学科・医学部保健学科(放射線技術科学専攻・検査技術科学専攻)・歯学部・薬学部志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。

医学部保健学科(看護学専攻)志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから1科目を選んで解答すること。

工学部・基礎工学部志願者

物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。

物 理 問 題

(解答はすべて物理解答用紙に記入すること)

〔1〕 ヘリコプターなどで物資を空輸し、上空から地上に落下させることがある。着地時の衝撃が大きいと物資は壊れてしまう。物資を小物体とみなして、落下時に小物体が受ける力について考えてみよう。なお小物体の質量を m 、位置の座標を x 、速度と加速度をそれぞれ v 、 a とし、鉛直下向きを正の向きとする。運動は鉛直下向きの運動のみであり、パラシュートの質量は無視し、地面は十分に硬いとせよ。重力加速度は鉛直下向きで大きさを g とする。

- I. 小物体は自由落下で着地すると衝撃で壊れることがある。そこで図1のように、パラシュートを用いて落下速度の大きさの増加を抑制する。小物体とパラシュートは一体のものと考えよ。空気抵抗の力は小物体の速度と逆の向きであり、大きさは落下速度の大きさに比例し、その比例定数を $b (> 0)$ とする。

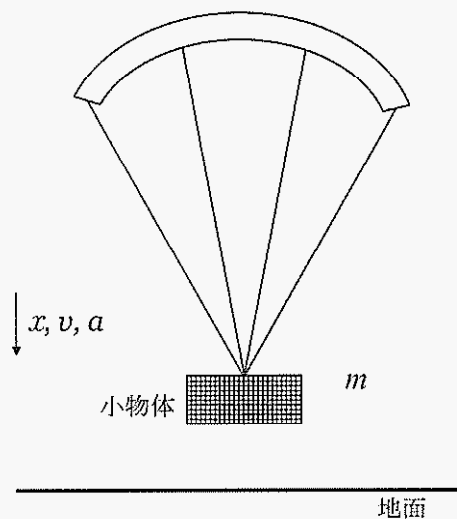


図 1

問 1 小物体についての運動方程式を、 a 、 b 、 g 、 m 、 v のうち必要なものを用いて表せ。

問 2 小物体を十分高いところから落下させたところ、地面に達する前に重力と空気抵抗の力が釣り合って、一定の終端速度に達した。終端速度の大きさ v_f を、 b , g , m を用いて表せ。

II. たとえパラシュートを用いても、地面が硬ければ小物体は着地時の衝撃で壊れてしまう。この衝撃をやわらげるために、二つの方法を考えてみよう。最初の方法は、小物体の底面にばね定数 k のばねを取付けて、反発力で減速する方法である（図 2）。終端速度（大きさ v_f ）で落下してきた小物体は、ばねの下端が地面に接した後、重力に加えてばねから鉛直上向きの力を受けて減速し、速度が 0 になった。この間、ばねは一定のばね定数 k でフックの法則に従って縮んだ。ばねの下端が地面に接した後は、空気抵抗の力を 0 とせよ。ばねの質量は無視せよ。

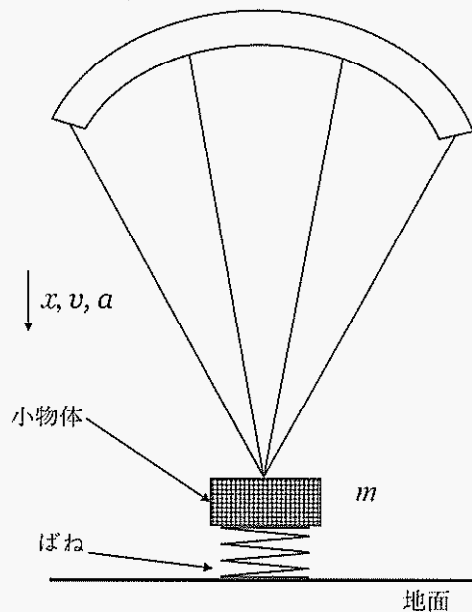


図 2

問 3 ばねの下端が地面に接した時の小物体の位置を $x = 0$ とする。この時、ばねは自然長であった。その後、ばねが縮んで $x = L_1$ になった時に、小物体の速度が 0 になった。ばねが縮んでいく間で成り立つ小物体の運動方程式を、 a , g , k , m , x のうち必要なものを用いて表せ。

問 4 ばねの下端が地面に接した時と、ばねが縮んで小物体の速度が 0 になった時とで、小物体とばねの力学的エネルギーの合計が保存されていることを表す式を、 g , k , L_1 , m , v_f を用いて表せ。

問 5 この小物体は下向きの重力に加えてばねから上向きの力を受けるが、その結果として加速度 a の大きさが $15g$ （重力加速度の大きさ g の 15 倍）を超えると、壊れてしまうものであった。小物体が壊れないようにするための、ばね定数 k の上限値を、 g , L_1 , m を用いて表せ。

問 6 これまでの結果を用いて、ばね定数 k を問 5 で求めた上限値にした場合の L_1 を、 g , v_f を用いて表せ。ばねの自然長はこれより長い必要がある。

もう一つの方法は、図 3 のように、平らな緩衝材を小物体の底面に取り付けるものである。この緩衝材はつぶれていく間、小物体に大きさ F_R で一定の上向きの力を与え続け、緩衝材の厚みが 0 になる前に小物体は静止した。緩衝材の下端が地面に接した後は、空気抵抗の力を 0 とせよ。また緩衝材の質量は無視せよ。

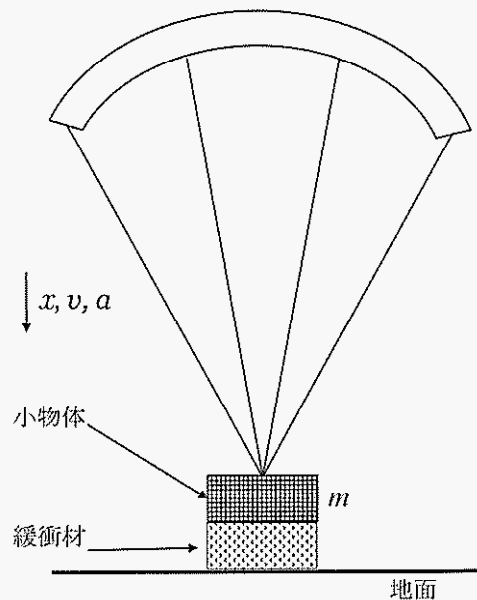


図 3

問 7 緩衝材がつぶれていく間で成り立つ小物体の運動方程式を、 a , F_R , g , m のうち必要なものを用いて表せ。

問 8 緩衝材の下端が地面に接してから小物体が静止するまでにかかる時間 T を、 F_R , g , m , v_f を用いて表せ。

問 9 小物体は重力に加えて緩衝材から上向きの力を受ける。これらによる加速度 a の大きさが $15g$ を超えると小物体が壊れるので、加速度の大きさがちょうど $15g$ になるように緩衝材の F_R を決めた。この場合に、小物体が静止するまでに緩衝材が厚み L_2 だけつぶれた。 L_2 を、 g , v_f を用いて表せ。緩衝材の厚みはこれ以上必要である。

問 10 上の 問 6, 問 9 で求めた L_1 , L_2 を比較した以下の文章の空欄に最もふさわしいものを、下の選択肢 (あ)～(け) からそれぞれ一つずつ選べ。なお、選択肢は複数回使用してよい。

小物体が壊れないために必要なばねの長さと緩衝材の厚みを比較してみよう。力学的エネルギーの保存則を用いて考える。ばねあるいは緩衝材が地面に接した後、小物体はこれらに力を及ぼしながら下降することで仕事をし、最終的に運動エネルギーがゼロになって静止する（ばねの場合は反発力によって小物体が再上昇するが、一旦静止するまでのみを考える）。小物体が静止するまでに、緩衝材がされる仕事の大きさは、小物体が緩衝材に及ぼす力と (a) の積である。ばねでも緩衝材でも、小物体が壊れない最大の力の大きさは同じである。緩衝材の場合は一定の力を出すことができる。一方、ばねの場合は力の大きさが変化するために、その平均は (b) 値より (c) なる。従って、衝撃をやわらげる方法としては、(d) のほうが (e) より厚みを薄くできる。

選択肢

(あ) ばね (い) 緩衝材 (う) 最大 (え) 最小 (お) ゼロ
(か) 小さく (き) 大きく (く) 縮む長さ (け) 縮む時間

〔2〕 以下のような，二種類の回路で起こる現象について考えよう。

I. 図1に示すように，3枚の平行極板A，B，Dが置かれている。極板Aと極板Bの位置は固定されており，極板Dは摩擦なく，平行を保ったまま極板に垂直な方向に動く。極板Dは，スイッチ S_1 を介して電圧 V の直流電源，スイッチ S_2 を介して自己インダクタンス L のコイルとつながっている。

最初に極板Dは極板A-Bの中間に置かれており，極板D-Aと極板D-Bの間隔はともに d で，極板間は真空になっている。このとき極板D-A，極板D-Bからなるコンデンサーの静電容量は両方ともに C であった。スイッチ S_1 とスイッチ S_2 はともに開いていて，どの極板にも電荷は蓄積していないものとする。極板Dの変位を x ($|x| < d$)，最初の位置を $x = 0$ とし，極板Bから極板Aへの向きを x の正の向きとする。極板の面積 S は十分広く，極板の厚みは d に比べて十分薄いものとする。極板の端の影響は無視できる。また導線及びコイルの抵抗は十分小さく，無視できるとする。

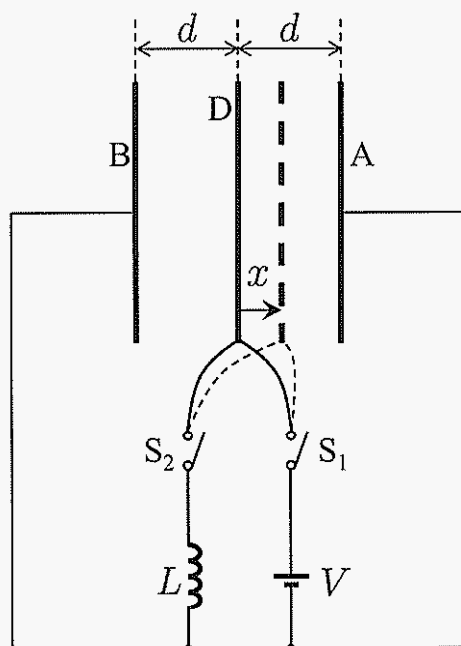


図1

極板 D は $x = 0$ で固定されている。スイッチ S_1 を閉じて十分に時間が経過した後にスイッチ S_1 を開いて、スイッチ S_2 を閉じたところ、極板 D に蓄積する電荷（電気量） q が振動し、その振幅は減衰しなかった。スイッチ S_2 を閉じた時刻を $t = 0$ とする。

問 1 このとき極板 D に蓄積する電荷 q の振動の周期 T を、 V , L , d , C , S のうち必要なものを用いて表せ。

問 2 極板 D に蓄積する電荷 q の時間変化を、 $t = 0$ から 1 周期の範囲 ($0 \leq t \leq T$) で図示せよ。ただし図中に、電荷の最大値、最小値を、 V , L , d , C , S のうち必要なものを用いて記すこと。

図 1 の回路で次の異なる実験を考える。スイッチ S_1 とスイッチ S_2 はともに開いていて、どの極板にも電荷は蓄積していないことを確認した。スイッチ S_1 を閉じて十分に時間が経過後にスイッチ S_1 を開いて、今度は極板 D の固定を外して、極板 A の向きに x だけ動かした。

問 3 極板 D-A、極板 D-B からなるコンデンサーの静電容量を、それぞれ V , d , C , x , S のうち必要なものを用いて表せ。

問 4 極板 A, B に対する極板 D の電位 V_D を、 V , d , C , x , S のうち必要なものを用いて表せ。

問 5 極板 D-A 間の電場 E_A 、極板 D-B 間の電場 E_B を、 V , d , C , x , S のうち必要なものを用いて表せ。ただし、極板 B から極板 A への向きを正とする。

問 6 極板 D に働く力 F_D を、 V , d , C , x , S のうち必要なものを用いて表せ。ただし、極板 B から極板 A への向きを正とする。なお、一般に 2 枚の平行板コンデンサーの両極板に、正負等量の電荷 Q , $-Q$ を与え、極板間の電場の大きさが E のとき、 $\frac{1}{2}QE$ の大きさの力が各極板に働くことを用いてよい。

II. 図2に示すように、図1と同じ3枚の極板A, B, Dとスイッチ S_1 及び電圧 V の直流電源を考え、さらに極板D-A間、極板D-B間にそれぞれ同種の気体を漏れないように封入した場合を考える。

最初、極板Dは極板A-Bの中間に置かれており、極板D-A間と極板D-B間の気体の圧力はともに p であった。極板Dの変位を x 、最初の位置を $x = 0$ とし、極板Bから極板Aへの向きを x の正の向きとする。スイッチ S_1 を閉じて十分に時間が経過した後にスイッチ S_1 を開いて、極板Dを極板Aの向きに x だけ動かした。極板Dには $x = 0$ に戻ろうとする復元力が働いた。気体の温度は常に一定で、理想気体の状態方程式に従うものとする。気体の比誘電率は1とする。

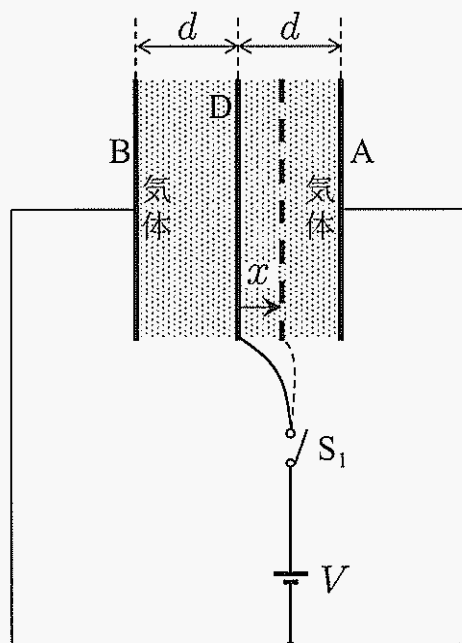


図2

問 7 極板Dを x だけ動かした後の状態では、極板Dは左右両方の気体から合力 F' を受ける。 F' を、 V , d , C , x , S , p のうち必要なものを用いて表せ。ただし、極板Bから極板Aへの向きを正とする。

問 8 平行板コンデンサーでは、問 6 にあるように、極板間に働く電氣的

な力 F_D も考慮する必要がある。あらゆる x の範囲 ($|x| < d$) で極板 D に復元力が働くための p の条件を, V , d , C , S のうち必要なものを用いて, 解答欄に合う形で記入せよ。

〔3〕以下のA、Bの両方の問題に解答せよ。なおAとBは独立した内容の問題である。

A. 固体媒質を伝播する波には縦波と横波が存在する。例えば地震波のP波は縦波でありS波は横波である。一般に、縦波は横波よりも速く伝播する。以下のような実験を行なって、この性質を確認してみる。

図1に示すように、真空中に大きな面積を有する厚さ d の絶縁体の固体平板を設置する（図1は固体平板の断面図である）。平板の厚さ方向に z 軸をとり、これに垂直な方向に x 軸と y 軸をとる。平板の中央面に細長い導線が y 軸と平行に多数埋め込まれている。下面下方に設置した変位計測器は、平板の下面が変形したとき、下面の x 方向の変位 u_x と z 方向の変位 u_z の和 ($u_x + u_z$) を非接触に計測し出力することができる。平板の左右遠方の端は動かないように固定されているとする。また、平板内に発生した波は平面波であるとし、波は平板の上下面で自由端反射するとし、その波長は $2d$ 以下とする。なお、導線は十分に細いため、波の伝播には影響を与えないとする。また、平行電流が及ぼし合う力や誘導電流は無視する。

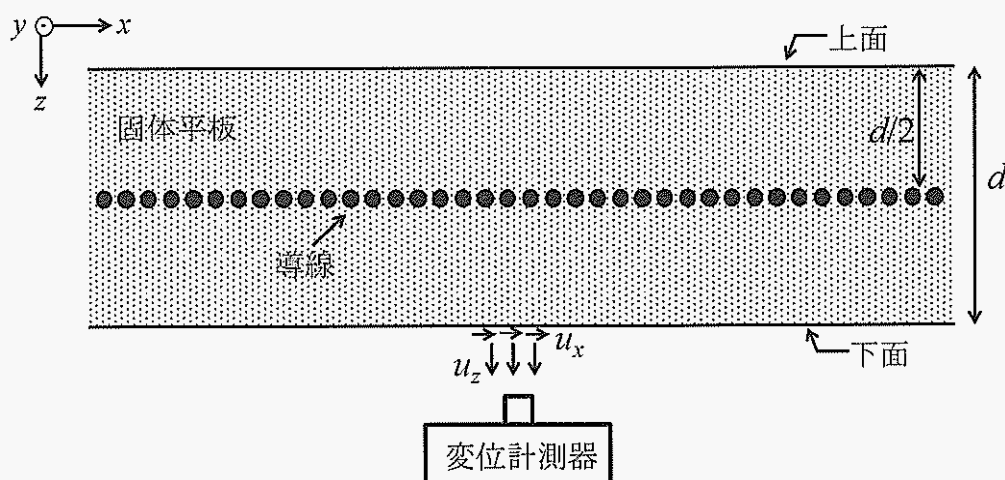


図1

問1 まず、平板内に x 軸方向に一樣な静磁場（時間的に変化しない磁場）を印加した。この状態で、全ての導線に同時に周波数 f の交流電流を

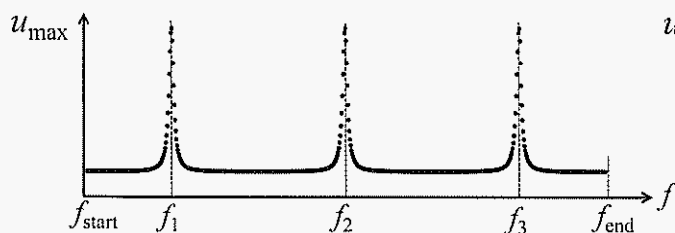


図 2

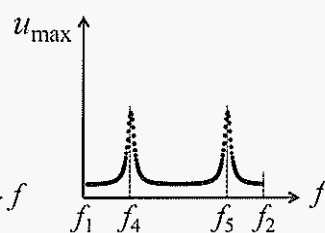


図 3

同位相で流した。すると、変位計測器の出力値が周期 $\frac{1}{f}$ で変動しはじめた。この理由を以下に示す。空欄 (a)～(c) に入るべき語句として最も適切なものを、下記の選択肢から選べ。

静磁場中で交流電流が流れる導線には、(a) 軸に平行に振動数 f で振動する力がはたらき、振動数 (b) の (c) が z 軸方向に伝播したため。

選択肢 (あ) x (い) y (う) z (え) f (お) $\frac{f}{2}$
 (か) $2f$ (き) 縦波 (く) 横波

問 2 全ての導線に流す交流電流の周波数 f をある適当な値 f_{start} に設定し十分に時間が経過してから、変位計測器の出力の時間変化を長時間観測して、出力の最大値 u_{max} を測定した。その後、 f を少しだけ増加させて同様に変位計測器の出力の最大値 u_{max} を測定した。この作業を $f = f_{\text{end}}$ となるまで少しずつ f を増加させて繰り返し、 f と u_{max} の関係を調べた。この結果を図にしたところ、図 2 に示すように f_1 , f_2 , f_3 の 3 つの周波数において u_{max} が大きな値を示し、また、 $f_3 - f_2 = f_2 - f_1$ であった。このとき平板内に発生した波が伝播する速さを、 f_1 , f_2 , d を用いて表せ。

問 3 次に、 x 軸方向の静磁場の印加を停止し、その後、平板全体に z 軸方向に一律な静磁場を印加した。そして、 $f_1 < f < f_2$ の範囲で **問 2** の実験と同様に全ての導線に流す交流電流の周波数を少しずつ変化させな

がら $u_{\max}$ を測定したところ、図 3 に示すように、2 つの周波数 f_4 と f_5 において $u_{\max}$ は大きな値を示した。平板内を伝播する縦波の速さに対する横波の速さの比を、 f_1 , f_2 , f_4 , f_5 により表せ。(この結果から、縦波は横波より速く伝播することが分かる。)

B. 太陽の中心部では、陽子（水素原子核）などの軽い原子核が起こす様々な核融合反応によって莫大なエネルギーが発生している。そこで、陽子（ ${}^1_1\text{H}$ ）と重陽子（重水素原子核、 ${}^2_1\text{H}$ ）が衝突して核融合反応し、ヘリウム3原子核（ ${}^3_2\text{He}$ ）とガンマ線になる過程を考える。

陽子と重陽子はともに正電荷を持っているため、粒子間には静電気力による斥力が生じている。核融合が起こるためには、この斥力に打ち勝って原子核同士が核融合を起こす距離まで接近することが必要である。陽子の質量を m_p 、重陽子の質量を m_d 、ヘリウム3原子核の質量を M とし、素電荷を e 、光速を c として、以下の問に答えよ。ただし、陽子や重陽子、ヘリウム3原子核の速さは光速 c に比べて十分に小さいものとする。なお、電荷 q_1 と q_2 が距離 r 離れて位置している場合の位置エネルギーは、静電気力の比例係数を k_0 として $\frac{k_0 q_1 q_2}{r}$ である。

まず、陽子が初期運動エネルギー E_p を持ち、十分に離れた位置に静止している重陽子に正面から接近する場合を考える。ただし、核融合反応は起こらないとし、陽子と重陽子はある同一直線上を運動するものとする。両粒子は互いに静電気力を及ぼしながら接近し、陽子は減速され、重陽子は加速される。両粒子が向き、大きさともに同じ速度になった時に最接近する。

問 4 最接近した瞬間の両粒子の速度の大きさを、 m_p 、 m_d 、 E_p を用いて表せ。

問 5 両粒子の間の最接近距離を、 m_p 、 m_d 、 E_p 、 k_0 、 e を用いて表せ。

次に、逆に、陽子が静止していて、重陽子が初期運動エネルギー E_d で接近する場合を考える。

問 6 このとき、最近接距離が問 5 の場合と同じになるための E_d の大きさは、先の場合の E_p の何倍か。次の選択肢の中から最も近いものを選び記号で答えよ。

選択肢

(あ) 0.5 倍 (い) $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍 (う) 1 倍 (え) $\sqrt{2}$ 倍 (お) 2 倍

次に、陽子と重陽子が互いに十分に離れた位置で逆向きに同じ大きさの初期運動量で出発し、同一直線上を運動し正面衝突して核融合反応を起こし、速さ V_h のヘリウム3原子核とエネルギー E_G のガンマ線（光子1個）になる反応を考える。

問 7 この核融合反応による質量欠損で発生するエネルギーを、 M , m_p , m_d , c を用いて表せ。ただし、光子には質量は無い。

問 8 運動量保存の法則を用いることにより、 E_G を、 V_h , M , c を用いて表せ。

問 9 ヘリウム3原子核の運動エネルギーの、ガンマ線のエネルギーに対する比を V_h と c を用いて表せ。（これにより、核融合で放出されるエネルギーのほぼ全てはガンマ線のエネルギーであることがわかる。）

問 10 一般の原子核において、核子の間の距離はおよそ 10^{-15} m である。陽子と重陽子が核融合を起こす距離を 10^{-15} m としたとき、その距離での位置エネルギー E_s を、電子ボルトの単位で、有効数字1桁で求めよ。ただし $k_0 = 9.0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$ 、素電荷の値を $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ とする。

問 11 陽子と重陽子が気体としてふるまうと考える。気体の温度が、粒子の熱運動の平均エネルギーが問 10 の E_s と等しくなる温度 T_s 以上であれば、核融合反応はひんぱんに起こると考えられる。この温度 T_s [K] を有効数字1桁で求めよ。ただしボルツマン定数の値を $1.4 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ とし、粒子の熱運動の平均エネルギーについては、理想気体の場合を仮定した式を用いよ。（ T_s に比べて、太陽の中心部の推定温度は非常に低い。しかし、トンネル効果という現象により、この反応が起きていると考えられる。）

化 学 問 題

(解答はすべて化学解答用紙に記入すること)

【注意】

1. 必要があれば次の数値を用いよ。

Hの原子量 = 1.0

Mgの原子量 = 24.3

Cの原子量 = 12.0

Sの原子量 = 32.1

Nの原子量 = 14.0

Clの原子量 = 35.5

Oの原子量 = 16.0

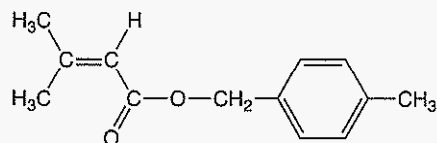
Mnの原子量 = 54.9

Naの原子量 = 23.0

アボガドロ定数 $N_A = 6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$

2. 特にことわらない限り，構造式は下の例にならって示すこと。

(例)



3. 字数制限のある解答は，下に示す例にならって書くこと。

(例)

D	—	グ	ル	コ	—	ス	を	5	.	0	×	1	0	-	²	g	/	L	の
N	a	N	O	₃	水	溶	液	に	溶	か	し	た	。						

〔1〕 以下の文章を読み、問1～問5に答えよ。

図1に示す実験装置1のXに塩化ナトリウム、Yに濃硫酸を入れた後、濃硫酸をYからXへ滴下しながら穏やかに熱すると、刺激臭のある気体Aが発生した。発生した気体Aを水に通じると、気体Aは水によく溶けてほぼ飽和状態になり、水溶液Bが得られた。図1に示す実験装置2のX'に酸化マンガン(IV)、Y'に水溶液Bを入れた後、水溶液BをY'からX'へ滴下しながら熱すると、気体Cが発生した。

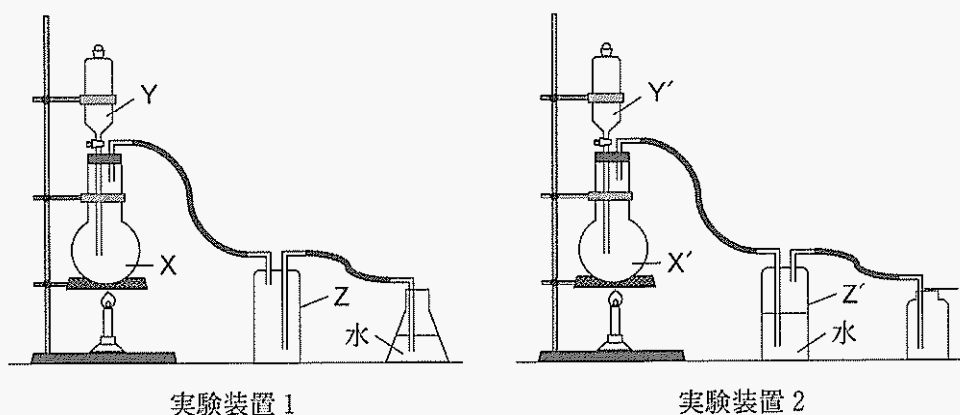


図1

問1 下線部①および下線部②の反応の化学反応式を記せ。

問2 ア) 実験装置1で、器具Zが必要な理由を説明せよ。

イ) 実験装置2で、器具Z'が必要な理由を説明せよ。

問3 表1に気体A、気体C、ナトリウムおよび塩化ナトリウムの融解熱、蒸発熱、昇華熱、格子エネルギーを、表2に結合エネルギーを示した。HとNaのイオン化エネルギーはそれぞれ1312.0 kJ/mol、495.8 kJ/molである。また、Clの電子親和力は349.0 kJ/molである。必要があれば、これらの値を用いて、気体A、気体C、および塩化ナトリウムの生成熱を計算し、解答欄に記せ。

表1 融解熱，蒸発熱，昇華熱，格子エネルギー[kJ/mol]

	融解熱	蒸発熱	昇華熱	格子エネルギー
気体 A	2.0	16.2	—	—
気体 C	6.4	20.4	—	—
ナトリウム	2.6	89.1	—	—
塩化ナトリウム	28.2	—	215.0	772.0

表2 結合エネルギー[kJ/mol]

H—H	432.0
H—Cl	427.7
Cl—Cl	239.2
Cl—Na	410.2
Na—Na	72.9

問4 酸化マグネシウムの結晶は，塩化ナトリウムと同様に，図2のような立方体の構造をとることが知られている。これらの結晶を構成するイオンの半径は， Na^+ は 0.11 nm， Cl^- は 0.17 nm， Mg^{2+} は 0.080 nm，および O^{2-} は 0.13 nm であり，陽イオンと陰イオンは接しており，陽イオンどうしまたは陰イオンどうしは接していない。このとき，酸化マグネシウムの結晶の密度は塩化ナトリウムの密度の何倍になるか，有効数字2桁で答えよ。解答欄には計算過程も示せ。

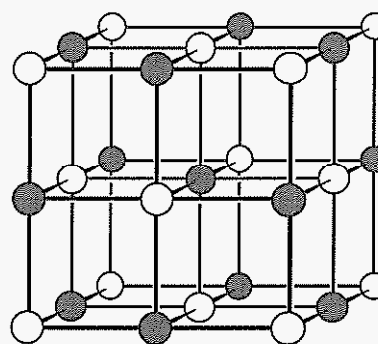


図2 酸化マグネシウムの結晶構造。●は陽イオン，○は陰イオンの位置を表す。

問5 塩化ナトリウムと酸化マグネシウムの格子エネルギーはどちらが大きいか答えよ。また，その理由を50文字以内で説明せよ。

〔2〕 以下の文章を読み、問1～問5に答えよ。

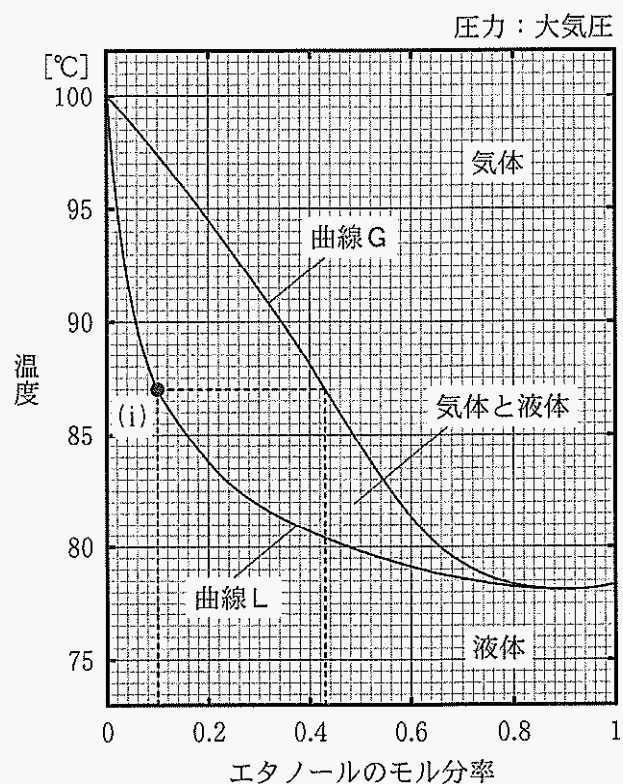
物質の状態変化は、化学工業における分離操作に広く利用されている。例えば、蒸留(分留)の場合、2種類の揮発性物質の液体混合物を加熱し、目的物質を多く含む蒸気を再び液体に戻して回収する操作を繰り返すことにより、目的物質の濃度を高めることができる。

【1】

図1には、大気圧において、各々207gのエタノール、水(液体)、または、エタノール-水混合物に、単位時間当たり一定の熱量 M [J/分]を加えていったときの温度上昇の様子を示している。エタノールの沸点は約78℃、水の沸点は100℃で一定値を示すが、エタノール-水混合物の場合、沸騰が始まってからも一定の温度を示さず、温度は上昇する。ここで、沸点に達するまでの温度における蒸気圧は考慮しないものとする。

【Ⅱ】

物質の出入りのない容器内でエタノール-水混合物を沸騰させた。このとき、大気圧を保ったまま沸騰する温度を一定に保つと、液体と気体が共存する平衡状態になる。ここで、液体混合物が沸騰する温度と平衡状態にある液体中のエタノールのモル分率の関係は、図2の曲線Lのように示される。また、液体混合物から蒸発する気体の温度と、平衡状態にある気体中のエタノールのモル分率の関係は曲線Gのように示され、液体混合物とは異なる組成となる。例えば、モル分率が0.1のエタノール-水混合物(液体)を加熱すると87℃で沸騰するが(曲線L上の点(i))、図2の曲線Gから、この温度において平衡状態にある気体中のエタノールのモル分率は0.43であることが読み取れる。この気体(エタノールと水の混合蒸気)を冷却してすべて凝縮させると、モル分率0.43のエタノール-水混合物(液体)が得られる。



問 3 下線部について、 87°C で平衡状態にある気体中に存在するエタノールの分圧は、水(蒸気)の分圧の何倍になるか、有効数字 2 桁で答えよ。

問 4 モル分率 0.05 のエタノール-水混合物(液体)を原料として、下線部と同様に、組成一定で加熱し、沸騰した温度で平衡状態にある気体を凝縮させる操作を行う。凝縮して得られる液体混合物におけるエタノールのモル分率を、有効数字 2 桁で答えよ。

問 5 モル分率 0.05 のエタノール-水混合物(液体)を原料として、下線部と同様に、組成一定で加熱し、沸騰した温度で平衡状態にある気体を凝縮させて液体混合物を得て、それを新しい原料として下線部と同様の操作を繰り返す。最終的にモル分率 0.66 以上のエタノール-水混合物(液体)を得るために必要な繰り返し操作の回数を答えよ。また、回数の根拠を、解答用紙の温度-組成図に、図 2 の点線にならって補助線を描くことにより示せ。

〔 3 〕 以下の文章を読み、問 1 ～問 5 に答えよ。

【 I 】

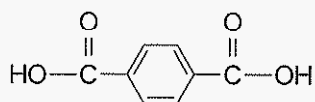
不斉炭素原子を持つ分子式 $C_{12}H_{14}O_4$ の化合物 A を加水分解すると化合物 B と化合物 C が得られた。化合物 B, C はいずれも 6 個の炭素原子を持ち、不斉炭素原子は持っていないかった。化合物 B は塩化鉄(Ⅲ)水溶液と反応して紫色を呈した。化合物 C の 1.0×10^{-2} mol/L 水溶液 50 mL を 0.10 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液で滴定したところ、10 mL で中和点に達し、その溶液はアルカリ性を示した。また、化合物 C に脱水剤を加えて加熱すると分子内で脱水反応が起こり、不斉炭素原子を持たない六員環化合物 D となった。この化合物 D を、不斉炭素原子を持たない芳香族化合物 E と反応させると、不斉炭素原子を持つ分子式 $C_{12}H_{15}NO_3$ の化合物 F が得られた。化合物 E を氷冷下において塩酸水溶液中、亜硝酸ナトリウムと反応させると化合物 G になり、 5°C 以上に温度を上昇させると化合物 G は水と反応して化合物 B となった。

問 1 化合物 A～F の構造式を示せ。ただし、光学異性体の構造は区別しなくてよい。

問 2 化合物 B に水酸化ナトリウム水溶液を加え、これに氷冷下で化合物 G を加えると赤橙色の有機化合物 H が得られた。化合物 H の構造式を示せ。

【Ⅱ】

図1に示す装置を用いて、テレフタル酸のエステル化反応を行った。200 mLの丸底フラスコaにテレフタル酸(5.0 g)，1-ノナノール $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{OH}$ (15 mL，密度 0.83 g/cm^3 ，沸点 215°C)，濃硫酸(0.10 g)およびトルエン(100 mL，密度 0.87 g/cm^3 ，沸点 111°C)を入れ，これらを 140°C の油浴で加熱した。図1の装置は次のような仕組みになっている。まずフラスコaが加熱され，沸点に達した物質は蒸気となり，枝管bを通して冷却管cに達する。蒸気はここで冷やされて液化し，下方にある側管d(容積5.0 mL，図2がその拡大図)にたまる。側管dからあふれた液体は枝管bを通してフラスコaにもどる。



テレフタル酸

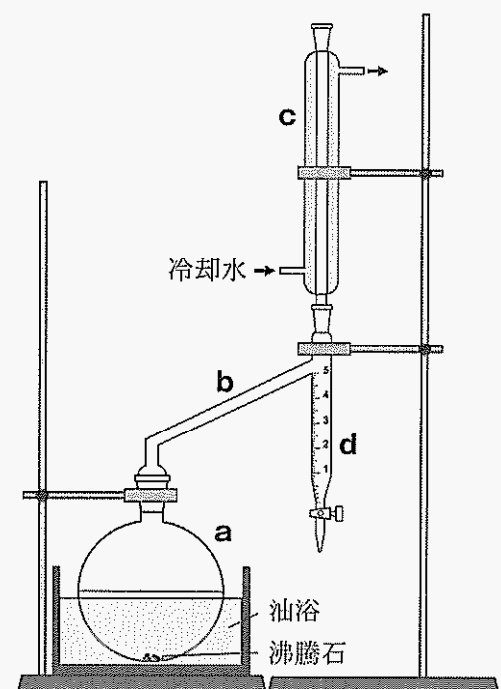


図1

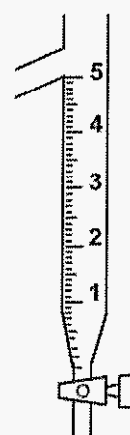


図2

- 問 3 カルボン酸とアルコールからエステルを合成する反応は平衡反応である。
テレフタル酸と 1-ノナノールから中性の化合物が生じる反応の化学反応式を書け。
- 問 4 上記の方法では、テレフタル酸はすべて消費されてエステルに変化する。
このとき、側管 d にたまっている全ての物質名とその体積を有効数字 2 桁で答えよ。また、側管 d に物質がたまっている様子を、目盛りに注意して解答欄の図に書き込め。なお、テレフタル酸および、そのエステルは沸点が高く、この条件では気化しない。
- 問 5 図 1 の装置を用い、トルエンの代わりにクロロベンゼン (100 mL, 密度 1.11 g/cm^3 , 沸点 131°C) を使って同様のエステル化反応を行ったところ、長時間加熱しても反応は完結しなかった。その理由を述べよ。

〔4〕 以下の文章を読み、問1～問6に答えよ。

【1】

タンパク質を形成する基本物質となるアミノ酸は、pHに応じて異なるイオン状態を持つ。例えば、アスパラギン酸はpHによって図1のような構造になりうる。

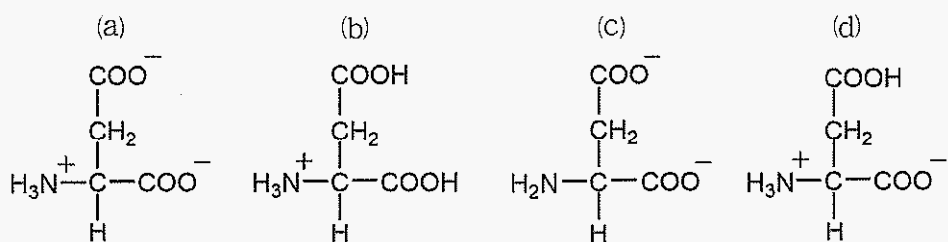


図1

アスパラギン酸の酸性水溶液を水酸化ナトリウム水溶液で滴定したところ、図2のような結果を得た。

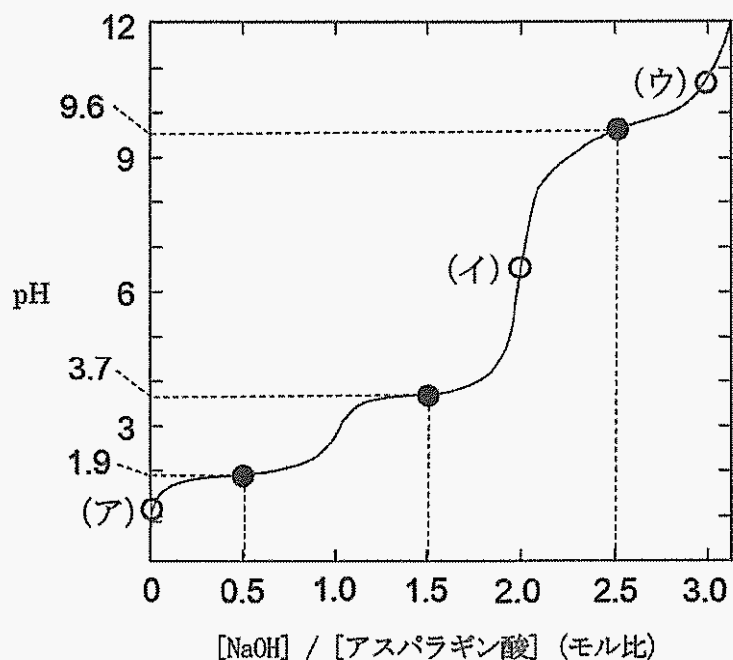


図2

アミノ酸の分子中の正と負の電荷が等しくなり、分子全体としての電荷が 0 になる pH は、アミノ酸の種類によって異なり、それぞれのアミノ酸で固有の値をもつ。このことを利用すれば、数種類のアミノ酸を含む混合溶液からアミノ酸を種類ごとに分離できる。この分離には、イオン交換樹脂を利用することがある。アミノ酸の混合水溶液を強酸性にすると、すべてのアミノ酸が正に荷電した状態になるので、この溶液をスルホ基を持つ陽イオン交換樹脂が充填されたカラムに通すと、すべてのアミノ酸が樹脂に吸着する。そのカラムに緩衝液を順次 pH を大きくしながら流すと、pH により各アミノ酸の樹脂との吸着力が異なるために、アミノ酸がカラムから順次溶出してくる。ここでは図 3 のセリン、リシン、アスパラギン酸の 3 種類のアミノ酸を分離する実験を行った。最初に、この 3 種類のアミノ酸を樹脂に吸着させた。pH の異なる複数の緩衝液を用意して、陽イオン交換樹脂に通す緩衝液の pH を大きくしていくと、3 つのアミノ酸を一つずつ溶出して分離することができた。

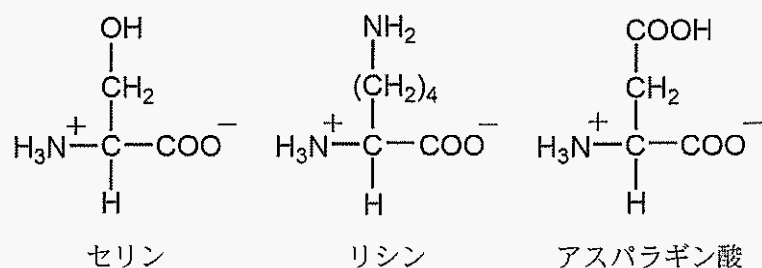


図 3

問 1 図 2 の(ア)、(イ)、(ウ)で示した白丸○におけるアスパラギン酸の状態を表す最も適切な構造を図 1 の(a)~(d)からそれぞれ選べ。

問 2 図 2 の滴定曲線上の黒丸●で表したところは変曲点を示し、pH の変化が小さい。なぜ pH の変化が小さいのか、理由を説明せよ。

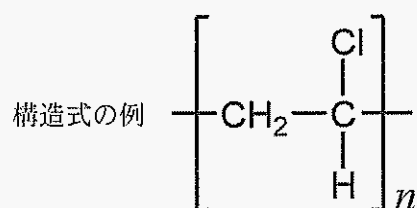
問 3 アスパラギン酸の等電点を求めよ。解答用紙に計算過程も示せ。

問 4 下線部①において、陽イオン交換樹脂から溶出された順番にアミノ酸の名前を答えよ。

【Ⅱ】

生体内にあるタンパク質には、構成するアミノ酸の種類や数、配列の違いにより、多くの種類が存在する。タンパク質に熱や酸、塩基、アルコール、重金属イオンなどを加えると、タンパク質の高次構造が変化し、変性する。タンパク質の高次構造変化を理解するためのモデル化合物として、リシンが複数連結したポリリシンや、不斉炭素を持ち、天然のタンパク質を構成する最も分子量が小さい1種類のアミノ酸のみが縮合したポリペプチドがしばしば用いられる。ポリペプチドの中には、水中で α -ヘリックスを形成するものがある。

問 5 下線部②のポリペプチドの構造式を例にならって示せ。その際、不斉炭素の右上に*を付け。



問 6 下線部③において、 α -ヘリックスの形成に重要な化学結合の名前を記せ。この結合に直接関与する原子団を、問 5 で答えた構造式に丸で囲んで示せ。

生 物 問 題

(解答はすべて生物解答用紙に記入すること)

〔1〕 以下の文章を読み、問1～問7に答えよ。

酵母は単相 (n) でも増殖することができる真核生物である。接合型の異なる単相の酵母が接合(交配)すると複相 ($2n$) の酵母となる。複相の酵母は減数分裂を経て4つの胞子を生じる(図1)。酵母のタンパク質AはDNAが複製する前に染色体に結合し、DNA複製後にそれら(姉妹染色分体)をつないで分離しないようにする。しかし、細胞周期のM期になるとタンパク質Aはタンパク質Bにより分解されて姉妹染色分体は分離する。ある種の酵母では、タンパク質Aをコードする遺伝子Aとタンパク質Bをコードする遺伝子Bは同じ染色体上に存在し、それらの間の減数分裂期での組換え価は8%である。遺伝子aとbは、それぞれ遺伝子AとBの対立遺伝子である。遺伝子型ABの酵母は25℃と37℃のどちらの培養温度でも増殖する。しかし、遺伝子型aB、Ab、abの酵母は25℃では増殖するが37℃では増殖しない。37℃では、遺伝子aがコードするタンパク質aは染色体に結合しない。一方、遺伝子bがコードするタンパク質bは37℃ではタンパク質Aを分解する活性を持たない。

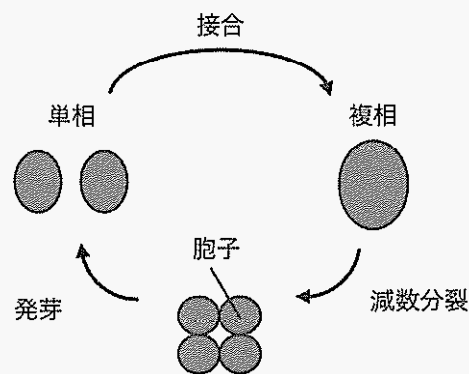


図1

問1 培養温度25℃で遺伝子型ABの酵母と遺伝子型abの酵母を接合し、複相の酵母を多数得た。これらの酵母から生じた合計100個の胞子の遺伝子型を調べた。遺伝子型AB:Ab:aB:abの胞子の予想される比率を答えよ。

問 2 遺伝子型 Ab の酵母と遺伝子型 aB の酵母を 25℃ で接合し、複相の酵母を多数得た。これらの酵母から生じた合計 100 個の胞子について、37℃ で増殖するかどうかを調べた。37℃ で増殖できる胞子と増殖できない胞子の予想される比率を答えよ。

問 3 遺伝子型 Ab の酵母からゲノム DNA を抽出し、遺伝子 A を含むゲノム領域を PCR (ポリメラーゼ連鎖反応) によって増幅した(図 2)。それをアガロースゲル電気泳動により分離した後、DNA を検出した(図 3)。レーン 1 は通常の反応条件で PCR を行った場合、レーン 2 はゲノム DNA を加えずに PCR を行った場合、レーン 3 は温泉などに生息する古細菌由来の DNA ポリメラーゼの代わりに大腸菌由来の DNA ポリメラーゼを使用した場合の結果である。レーン 3 で、DNA 断片が検出されなかった理由を 2 行以内で述べよ。

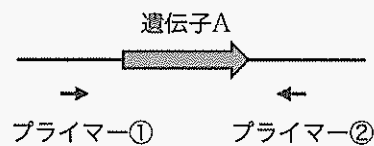


図 2

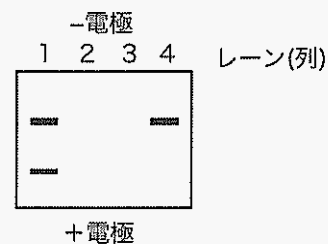


図 3

問 4 レーン 1 では、予想される DNA 断片に加え、それよりも短い DNA 断片も検出された(図 3)。これはプライマー①の塩基配列と相同性の高い配列が遺伝子 A の領域内に存在することが原因であると考えられた。そこで、プライマーと DNA を結合させる温度(アニーリング温度)を 55℃ から 60℃ に変更して、改めて PCR を行ったところ、レーン 4 の結果となった(図 3)。レーン 4 で、長い DNA 断片のみ検出され、短い DNA 断片は検出されなかった理由を 3 行以内で述べよ。

問 5 遺伝子 A と遺伝子 a の塩基配列を決定したところ、図 4 で示したセンス鎖の塩基配列の中で、遺伝子 A ではシトシンのところが遺伝子 a ではチミンに 1 塩基だけ変化することでアミノ酸置換が起きていた。遺伝暗号表を参考にして、タンパク質 A とタンパク質 a で異なっているアミノ酸を答えよ。ただし、遺伝子 A と遺伝子 a にイントロンは存在しない。

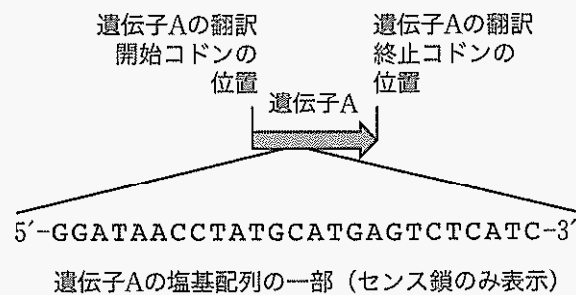


図 4

遺伝暗号表

UUU フェニルアラニン	UCU セリン	UAU チロシン	UGU システイン
UUC	UCC	UAC	UGC
UUA ロイシン	UCA	UAA 終止コドン	UGA 終止コドン
UUG	UCG	UAG 終止コドン	UGG トリプトファン
CUU	CCU	CAU ヒスチジン	CGU
CUC	CCC	CAC	CGC アルギニン
CUA ロイシン	CCA	CAA グルタミン	CGA
CUG	CCG	CAG	CGG
AUU	ACU	AAU アスパラギン	AGU セリン
AUC イソロイシン	ACC	AAC	AGC
AUA	ACA	AAA リシン	AGA アルギニン
AUG メチオニン	ACG	AAG	AGG
GUU	GCU	GAU アスパラギン酸	GGU
GUC バリン	GCC	GAC	GGC グリシン
GUA	GCA	GAA	GGA
GUG	GCG	GAG	GGG

問 6 遺伝子型 Ab の酵母を 25℃ で培養し、それらの中で細胞周期の G1 期にある酵母だけを集めた。その後、培養温度を 37℃ に変えて染色体の様子を観察した。その結果、最初の M 期中期で停止したままで後期への移行が見られなかった。その理由を 3 行以内で述べよ。

問 7 遺伝子型 ab の酵母を 25℃ で培養し、それらの中で細胞周期の G1 期にある酵母だけを集めた。その後、培養温度を 37℃ に変えて染色体の様子を観察した。その結果、両極への染色体の移動は不正確ながら、最初の M 期では中期から後期への移行が見られた。中期から後期に移行した理由を 3 行以内で述べよ。

〔2〕 以下の文章を読み、問1～問6に答えよ。

骨格筋は、ミオシンフィラメントを構成するミオシン重鎖の種類やエネルギー代謝機構により、速筋繊維と遅筋繊維に分類される。ミオシンフィラメントの運動にはATPがエネルギー分子として用いられる。ATPの合成には、有機物のような複雑な物質を単純な物質に分解する 作用の過程で放出されるエネルギーが利用される。

解糖系において、グルコースが酸化されてピルビン酸となる反応は、 NAD^+ がNADHに還元される反応と連動している。この反応によって、1分子のグルコースは 分子のピルビン酸となり、 分子のATPが合成される。ミトコンドリアの含有量が少ない速筋繊維では、エネルギー産生における酸素呼吸の寄与は小さく、激しい運動によって速筋繊維が嫌氣的になると、ピルビン酸は乳酸に変換される^①。ミトコンドリアを多く含む遅筋繊維では、酸素が十分に供給されている時にはピルビン酸はアセチル CoA (活性酢酸) となる。アセチル CoA のアセチル基は と結合してクエン酸となる。クエン酸は脱炭酸酵素の働きによって段階的に を放出し、また、脱水素酵素のはたらきによって酸化されて、 に戻る。この一連の反応はクエン酸回路と呼ばれ、クエン酸回路や解糖系で作られたNADHが電子の供与体となり、電子伝達系は作動する。電子伝達系の作動によって、ミトコンドリア内膜を挟んだ水素イオンの濃度差が形成されて、これがATP合成に用いられている。この水素イオンの濃度差が大きくなると電子の伝達が進みにくくなると考えられる。

筋繊維の収縮は、運動神経により制御されている。運動神経終末から分泌されるアセチルコリンが筋繊維上のアセチルコリン受容体に結合するとナトリウムイオン^②が筋繊維内に流入する。その結果、活動電位が発生し、活動電位は 管を伝わり筋小胞体からのカルシウムの放出につながる。放出されたカルシウムが に結合することで の構造が変化し、アクチンフィラメントとミオシンフィラメントの相互作用が可能となり骨格筋は収縮する。神経からの刺激がなくなるとカルシウムは 輸送により筋小胞体に取り込まれ、ミオシンフィラメントはアクチンフィラメントから解離し、筋繊維は弛緩する。

問 1 文章中の空欄 ア から ク に適切な用語又は数値を記入せよ。

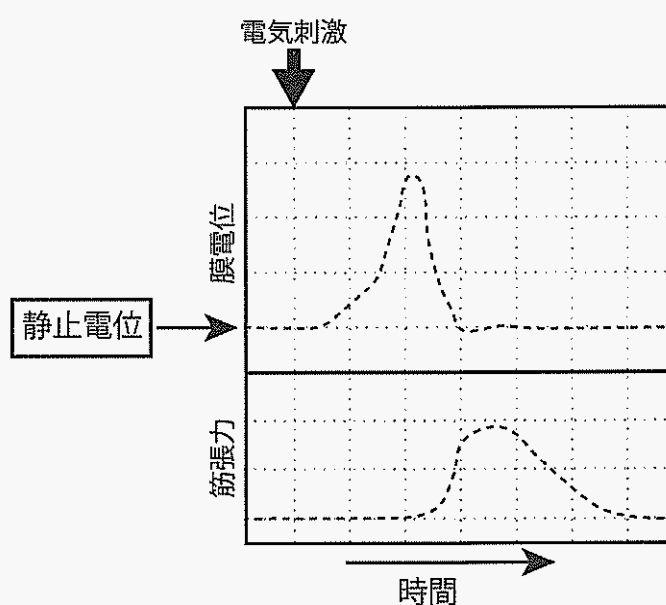
問 2 下線①において、ピルビン酸から乳酸への反応は、グルコースからピルビン酸に至る解糖系の反応を進めるために必須である。その理由を下記カッコ内の 2 つの語句を用いて 2 行以内で述べよ。
(NAD^+ , NADH)

問 3 ミトコンドリア内膜に存在する ATP 合成酵素を阻害する薬剤 O は、ATP 合成酵素の中を通る水素イオンの通過を止める。酸素が十分に供給される条件において、遅筋繊維に薬剤 O を与えたときの遅筋繊維における酸素消費量の変化について、理由とともに 3 行以内で述べよ。

問 4 通常の条件では、生体膜を構成する脂質二重層自体は、水素イオンをほとんど透過させない。2,4-ジニトロフェノール(DNP)という薬物は、ミトコンドリア内膜の水素イオンの透過性を大きく上昇させる作用を持っている。DNP は体重を減少させる作用があるので、過去に抗肥満薬として用いられていた(安全性の問題から、現在は使用されていない)。DNP が体重を減少させる理由を、下記カッコ内の 4 つの語句を用いて 3 行以内で述べよ。
(電子伝達系, NAD^+ , NADH , 有機物の代謝)

問 5 下線②のアセチルコリンのような神経伝達物質は、伝達に使われた後に速やかに除かれる。アセチルコリンが除かれないうちに骨格筋の収縮はどうなるかについて、10 文字以内で答えよ。

問 6 下图は、カエルの神経筋標本の神経を 1 回電気刺激した際の筋繊維膜の活動電位及び筋繊維の収縮力(筋張力)の変化を示した結果である。同様の実験を、筋小胞体からのカルシウム放出を阻害する薬物 D の存在下で行った。この場合の膜電位及び筋張力の結果を解答用紙のグラフに実線で記入せよ。なお、解答用紙のグラフ中の破線は薬物 D を加えない場合の結果である。



〔3〕 以下の文章【A】～【C】を読み、問1～問7に答えよ。

【A】

造血幹細胞から作り出される赤芽球は、核が抜け落ちる過程を経て、成熟し、赤血球になる。その結果、赤血球はいわば酸素運搬に特化した細胞となる。赤血球の主要な成分であるヘモグロビンは全身の組織への酸素運搬を担う。ヘモグロビンは2種類のグロビンタンパク質とヘム(鉄)からなり、グロビンタンパク質の主な組み合わせは胎児期から生後に大きく変化する。胎児期に主要なヘモグロビンは α グロビンと γ グロビンからなり、胎児型ヘモグロビン(HbF)と呼ばれる。一方、出生後からHbFの量は減少し、 α グロビンと β グロビンからなる成人型ヘモグロビン(HbA)に置き換えられる。図1に、ある二酸化炭素濃度におけるHbFとHbAの酸素解離曲線を示す。HbFとHbAでは、酸素との親和性が異なることが知られており、この点が胎児の生育に適している。

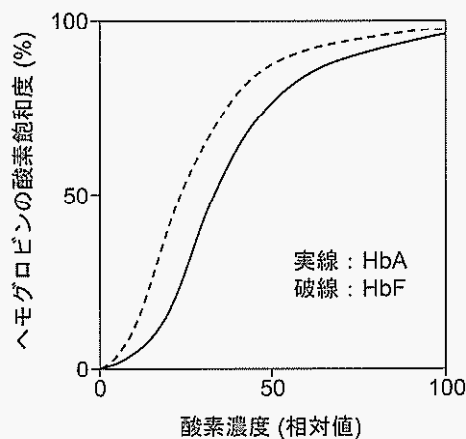


図1

問1 赤血球は円盤状の形態をしている。この形態は、赤血球と同じ体積をもつ球状の細胞であると仮定した場合よりも、酸素の獲得と放出を効率良く行える。その理由を2行以内で述べよ。

問 2 下線部について、胎児は HbF を多く持つことが生育に適している理由を 3 行以内で述べよ。

【B】

HbF から HbA への移行の仕組みを調べるため、HbF 量が胎児期では正常であるが成人でも多い群(A 群)と HbF 量が成人で標準である群(B 群)のゲノム塩基配列を比較した。その結果、遺伝子 X のプロモーター領域に塩基配列の違いが見られた。遺伝子 X は DNA に結合するタンパク質 X をコードする。ヒトとマウスの遺伝子 X は同一であり、同じ機能を持つ。そこで、マウスを用いて遺伝子 X に関する実験を行い、以下の結果を得た。

実験 1 胎生期のマウスから調製した赤芽球では、遺伝子 X の mRNA は検出されなかった。一方、成獣^{せいじゅう}の赤芽球では、遺伝子 X の mRNA は検出された。

実験 2 遺伝子 X を欠失した成獣のマウスでは、HbF 産生量は増加した。一方、HbA の産生量は変化しなかった。

実験 3 赤芽球を人工培養し、遺伝子 X の翻訳を RNA 干渉法により抑制したところ、HbF の産生量は増加した。この際、赤血球への分化に異常はなく、HbF を保有する赤血球の細胞数が増加した。

実験 4 人工的に作製したタンパク質 X は γ グロビン遺伝子のプロモーター領域 DNA に結合し、 γ グロビン遺伝子の転写量を変化させた。

問 3 実験 3 において、遺伝子 X が HbF の産生を調節する仕組みを調べるため、赤血球ではなく赤芽球を用いた理由を 3 行以内で述べよ。

問 4 タンパク質 X による γ グロビン遺伝子の転写調節の仕組みを説明し、A 群で通常よりも HbF の産生量が増加している理由について 4 行以内で述べよ。

【C】

HbA の産生に異常はないが、成人でも HbF の産生量が著しく多い家系と、標準である家系の間には、 γ グロビン遺伝子のプロモーター領域に DNA 塩基配列の違いが存在した。図 2 に HbF 産生量が標準である家系における片側 DNA 鎖の塩基配列を示す。認められた塩基配列の相違部位を三角印(▼)で示す。相違部位は全てアデニン(A)に変わっていた。

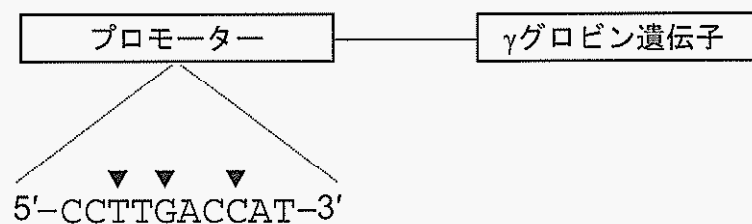
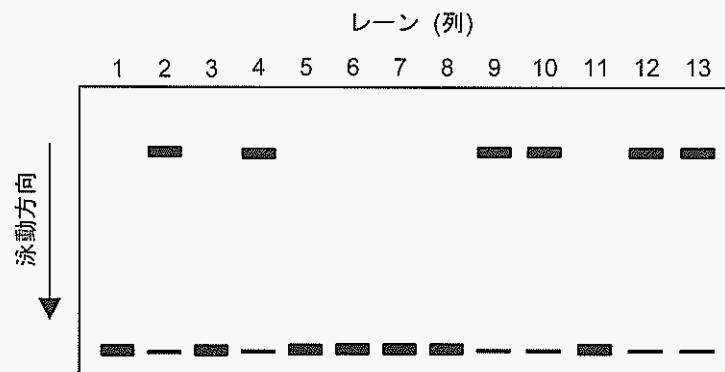


図 2

γ グロビン遺伝子のプロモーター領域におけるタンパク質 X の結合部位を調べるため、次に示す A, B, C を様々な組み合わせで混合した。混合液の電気泳動を行った後、DNA を染色し、図 3 に示す像を得た。DNA や分子複合体の分子量が小さいほど、泳動方向に移動しやすくなる。

- A. 図 2 の塩基配列を含む 10 塩基対の 2 本鎖 DNA (変異なし DNA), あるいは、これに 1 塩基対の変異を導入した 2 本鎖 DNA (図 3, 変異あり DNA 1 ~ 10) の各々
- B. タンパク質 X
- C. タンパク質 X に対する抗体



- 列1: 変異なしDNA (5'-CCTTGACCAT-3')
- 列2: 変異なしDNA + タンパク質X
- 列3: 変異なしDNA + タンパク質X + タンパク質Xに対する抗体
- 列4: 変異ありDNA 1 (5'-ACTTGACCAT-3') + タンパク質X
- 列5: 変異ありDNA 2 (5'-CATTGACCAT-3') + タンパク質X
- 列6: 変異ありDNA 3 (5'-CCATGACCAT-3') + タンパク質X
- 列7: 変異ありDNA 4 (5'-CCTAGACCAT-3') + タンパク質X
- 列8: 変異ありDNA 5 (5'-CCTTAACCAT-3') + タンパク質X
- 列9: 変異ありDNA 6 (5'-CCTTGGCCAT-3') + タンパク質X
- 列10: 変異ありDNA 7 (5'-CCTTGAACAT-3') + タンパク質X
- 列11: 変異ありDNA 8 (5'-CCTTGACAAT-3') + タンパク質X
- 列12: 変異ありDNA 9 (5'-CCTTGACCGT-3') + タンパク質X
- 列13: 変異ありDNA 10 (5'-CCTTGACCAA-3') + タンパク質X

図 3

問 5 列3の実験結果から考えられるこの抗体の特徴を1行で述べよ。

問 6 γ グロビン遺伝子のプロモーター領域 DNA とタンパク質 X の結合には、連続する7塩基対の DNA が必要である。図3の変異部位を図とは異なる塩基に置換した場合にも同じ結果が得られた。この実験からタンパク質 X の結合に必須であると判断できるすべての塩基を丸で囲め。

問 7 β グロビン遺伝子の特定の塩基に変異がある場合、赤血球の酸素運搬能が低下することが知られている。しかし、同じ変異を持つにもかかわらず、遺伝子 X の発現量が低い人では赤血球の酸素運搬能の低下が軽度である。その理由として考えられることを以下の語句をすべて用いて 3 行以内で述べよ。

HbF, γ グロビン遺伝子, 遺伝子 X, 赤血球の酸素運搬能

〔 4 〕 以下の文章を読み、問 1 ～問 5 に答えよ。

自己免疫疾患では、微生物の感染や種々の環境要因が自己免疫反応を起こすきっかけとなることがある。特に、微生物の成分が自己の成分によく似た構造である場合、微生物の成分に反応するリンパ球が自己成分にも反応する例がある。

1 型糖尿病は自己免疫疾患として知られ、自己反応性の T 細胞が膵臓のインスリン産生細胞を破壊することにより発症する。ウイルス感染が発症の引き金をひく 1 型糖尿病発症の仕組みを以下のモデルマウスを作製して解析した。

インスリンプロモーターにリンパ球性脈絡髄膜炎ウイルス (LCMV) の糖タンパク質 G をコードする DNA 配列を結合し、この融合 DNA 配列をマウスに導入して、トランスジェニックマウスを作製した。その結果、このマウスはインスリン産生細胞のみで LCMV の糖タンパク質 G を発現した。

なお、以下の実験において、LCMV はマウスの静脈から注射して感染させるものとする。LCMV をマウスに静脈注射すると脾臓等で感染が起こるが、感染細胞は LCMV に特異的な T 細胞によって除去される。また、LCMV は哺乳類と異なる性状の RNA を有することが知られている。

以下の実験結果を得た。

実験 1：このトランスジェニックマウスは、LCMV 感染がない通常の状態では、糖尿病を発症しなかった。しかし、LCMV に感染すると、感染 10 日後にはインスリン産生細胞が破壊され、糖尿病を発症した。なお、遺伝子操作を行っていない野生型マウスは、LCMV に感染しても糖尿病を発症しなかった。

実験 2：LCMV の糖タンパク質 G を、このトランスジェニックマウスに大量に注射すると、糖タンパク質 G に特異的な T 細胞が増殖したが、糖尿病は発症しなかった。

実験 3：実験 2 と同量の LCMV の糖タンパク質 G と、LCMV の核酸を、このトランスジェニックマウスに注射すると、血清中の炎症性サイトカイン A の濃度が上昇し、糖尿病を発症した。

実験4：実験2と同量のLCMVの糖タンパク質Gと、炎症性サイトカインAを、このトランスジェニックマウスに注射すると、糖尿病を発症した。

実験5：LCMVの核酸を、リンパ球を持たないマウスに注射したところ、血清中の炎症性サイトカインAの濃度が上昇した。

問1 T細胞による免疫応答の開始について述べた以下の文章において、文中の空欄 から に適切な語句を記入せよ。

は捕捉した抗原を断片化し、 の上にのせて、T細胞に する。 はマクロファージよりも の能力が高く、免疫応答の開始に重要な役割を果たす。T細胞は、 上の抗原を、 によって認識して活性化し、クローン増殖を行う。増殖した T細胞は局所に移動し、抗原をのせた をもつ標的細胞を攻撃する。なお、標的細胞において の発現量は種々の因子により、大きく変化することがある。

問2 このトランスジェニックマウスにおいて、ウイルスに感染していない状態ではLCMVの糖タンパク質Gは自己抗原と見なされるため免疫反応は起きない。免疫系が自己分子を攻撃しない仕組みは一般に何と呼ばれるか答えよ。

問3 血清中の炎症性サイトカインAの濃度上昇に獲得免疫は必ずしも必要ではないと考えられる。その実験的根拠を2行以内で述べよ。

問4 LCMVの糖タンパク質Gを、このトランスジェニックマウスに大量に注射し、その2週間後にLCMVを感染させたところ、このマウスは糖尿病を発症しなかった。細胞性免疫の働きを考慮して、考えられる理由を4行以内で述べよ。

問 5 LCMV の感染により糖尿病を発症したトランスジェニックマウスの脾臓からウイルスに反応する T 細胞を回収した。ウイルスに感染せず、糖尿病を発症していないトランスジェニックマウスに、(ア)この T 細胞のみを注射した場合、(イ)この T 細胞とともに LCMV の核酸を注射した場合、糖尿病は発症すると考えられるか、理由とともにそれぞれ 3 行以内で述べよ。ただし、注射した T 細胞の懸濁液に LCMV は含まれていない。