

令和 7 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 $\left\{ \begin{array}{l} \text{物理} \quad 2 \text{ ページから } 19 \text{ ページ} \\ \text{化学} \quad 20 \text{ ページから } 35 \text{ ページ} \\ \text{生物} \quad 36 \text{ ページから } 56 \text{ ページ} \end{array} \right\}$ 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、白紙 1 枚が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. 問題冊子及び白紙は持ち帰ること。

令和7年度 一般選抜

問 題 訂 正

【 前期日程 理科 】

<物理>

問題冊子7ページ 1行目

(誤) ただし、金属試料と電極 P_1 の間、・・・

(正) ただし、以下の間では、金属試料に照射する光の振動数 ν または強さ I のいずれか
を変更する場合、他方は変わらないものとする。金属試料と電極 P_1 の間、・・・

<生物>

問題冊子41ページ 【2】問2の全文を以下に訂正する。

問2 ラクトースオペロンを構成する遺伝子Aを欠失させた大腸菌で遺伝子BとCの発現を調べたところ、ラクトースを加えてもこれらの遺伝子の発現レベルの上昇が見られなかった。しかし、ラクトースの代わりにアロラクトースを加えると発現レベルが上昇した。【A】の説明文をふまえて、以下の文章①～⑤から、この実験結果より推測できることをすべて選び、数字で答えよ。

- ① 遺伝子Aは、ラクトースをアロラクトースに異性化(変換)する酵素の遺伝子である。
- ② ラクトースとアロラクトース間の異性化は酵素に依存せずに起こる。
- ③ 遺伝子Aは、 ア の遺伝子である。
- ④ 大腸菌では、ラクトースがない場合も、ラクトースオペロンの転写が完全に抑えられるわけではない。
- ⑤ 遺伝子BおよびCは遺伝子Aの下流に存在するため、遺伝子Aが存在しないと転写されなくなる。

令和7年度 一般選抜

板 書 訂 正

【 前期日程 理科 】

<化学>

理科問題冊子35ページ1行目

誤 ……、図1に示した……

正 ……、図5に示した……

「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〕 水平な床の上を運動する台と、台の上のせた小物体について考察する。台および小物体は x 軸に沿ってのみ運動するものとする。重力加速度の大きさは g である。速度，加速度の正の向きは x 軸の正の向きとする。

- I. 図1のように、水平な床の上に質量 M の台 A_I を静止させ、台 A_I の上に質量 m の小物体 B を静止させた。台 A_I と小物体 B の間には摩擦があり、その静止摩擦係数は μ 、動摩擦係数は μ' (ただし、 $\mu > \mu'$) である。床と台 A_I の間には摩擦はないものとする。また、小物体 B をのせた台 A_I の面は水平である。なお、台 A_I の長さは十分に長く、小物体 B は台 A_I の上からすべり落ちないものとする。

時刻 $t = 0$ から、台 A_I に対して x 軸の正の向きに大きさが F_1 の一定の力を加え続けた。

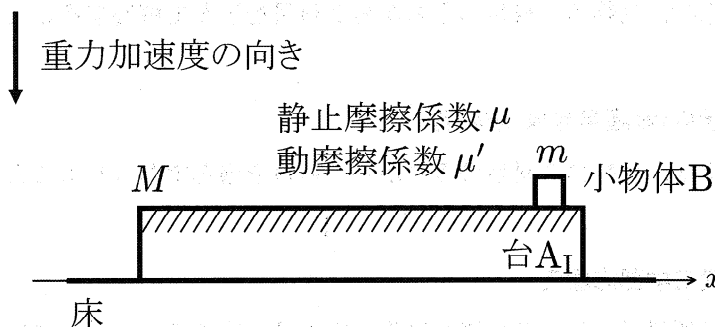
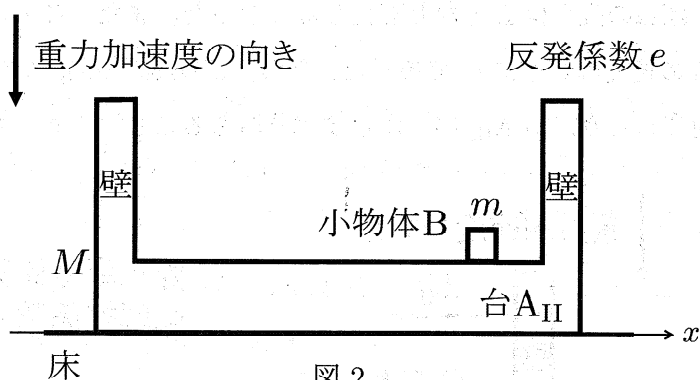


図 1

- 問 1 $F_1 > F_{\min}$ のとき、小物体 B は台 A_I に対してすべるように運動した。また、 $F_1 \leq F_{\min}$ のとき、台 A_I と小物体 B は一体となって運動した。 $F_{\min}$ を、 g , M , m , μ , μ' のうち必要なものを用いて表せ。
- 問 2 $F_1 > F_{\min}$ のとき、時刻 $t = T_1$ ($T_1 > 0$) における、台 A_I の速度 V_1 と小物体 B の速度 v_1 を、 F_1 , g , M , m , μ' , T_1 のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

II. 図2のように、両端に壁をもつ質量 M の台 A_{II} を水平な床の上に静止させ、台 A_{II} の上に質量 m の小物体 B を静止させた。台 A_{II} の壁と小物体 B との間の反発係数（はね返り係数）を e とし、 $0 < e < 1$ が満たされているとする。台 A_{II} と小物体 B の間、および、床と台 A_{II} の間に摩擦はないものとする。また、小物体 B をのせた台 A_{II} の面は水平である。

時刻 $t = 0$ から時刻 $t = T_2$ ($T_2 > 0$) までの間、台 A_{II} に対して x 軸の正の向きに大きさが F_2 の一定の力を加え続けた。時刻 $t = T_2$ での、台 A_{II} と小物体 B の速度はそれぞれ V_0 と v_0 であった。なお、この間に、小物体 B は台 A_{II} の壁に衝突することはなかった。



問 3 小物体 B の速度 v_0 および時刻 T_2 を、 F_2 、 M 、 m 、 V_0 のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

時刻 $t = T_2$ において、台 A_{II} に対して力を加えることをやめた。その後、小物体 B は台 A_{II} の壁と衝突を繰り返した。

問 4 十分に長い時間、衝突を繰り返した結果、台 A_{II} と小物体 B の速度はどちらも v_2 となった。速度 v_2 を、 e 、 F_2 、 M 、 m 、 V_0 のうち必要なものを用いて表せ。

問 5 小物体 B と壁が n 回目の衝突をした直後の、台 A_{II} の速度 V'_n および小物体 B の速度 v'_n を、 e 、 F_2 、 M 、 m 、 n 、 V_0 のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。ただし、 n は 1 以上の整数とする。

III. 図3のように、水平な床の上に質量 M の台 A_{III} を静止させ、台 A_{III} の上に質量 m の小物体 B を静止させた。さらに、台 A_{III} の壁と小物体 B を、質量の無視できるばね定数 k のばねでつないだ。台 A_{III} と小物体 B との間には摩擦があり、その静摩擦係数は μ 、動摩擦係数は μ' （ただし、 $\mu > \mu'$ ）とする。床と台 A_{III} の間には摩擦はないものとする。また、小物体 B をのせた台 A_{III} の面は水平である。

最初、ばねの長さは自然長 d であった。台 A_{III} に対して、 x 軸の正の向きに瞬間的な力を加えたところ、その直後の台 A_{III} の速度は V_0 となり、小物体 B は台 A_{III} の上をすべりはじめた。しばらくの間、ばねは伸び縮みを繰り返し、その後、ばねの長さは L となり変化しなくなった。また、このときの台 A_{III} と小物体 B の速度はともに v_3 であった。なお、この運動の間、小物体 B は台 A_{III} の壁に衝突したり、台 A_{III} の上からすべり落ちることはなかった。

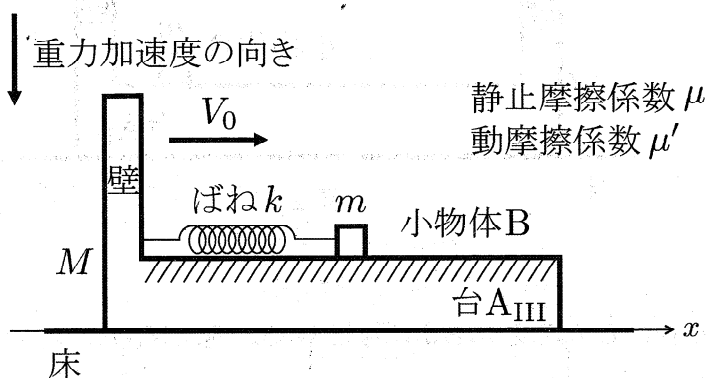


図 3

問 6 速度 v_3 を、 d, g, k, M, m, μ', V_0 のうち必要なものを用いて表せ。

問 7 小物体 B が台 A_{III} の上をすべり始めてからばねの長さが変化しなくなるまでの間に、小物体 B が台 A_{III} の上をすべった総距離を $d, g, k, L, M, m, \mu', V_0$ のうち必要なものを用いて表せ。

台 A_{III} が速度 V_0 を得てから、ばねの長さが L となり変化しなくなるまでの間の、小物体 B の運動について考察する。小物体 B が台 A_{III} の上をすべりはじめると、ばねは縮みはじめた。ばねの長さが d_1 となったとき、小物体 B は台 A_{III} の上で1回目の折り返しを行い、ばねは伸びはじめた。その後、ばねの長さが d_2 となったとき、小物体 B は台 A_{III} の上で2回目の折り返しを行い、ばねは再び縮みはじめた。以後、ばねはこのような伸び縮みを繰り返した。小物体 B は台 A_{III} の上で n 回目の折り返しを行ったのち、 $n+1$ 回目の折り返しをすることなく、台 A_{III} に対する運動を停止した。そしてそれ以降、ばねの長さは変化しなくなった。ここで、 n は3以上の整数とする。

問 8 台 A_{III} が速度 V_0 を得てから小物体 B が1回目の折り返しをするまでの間の運動を考える。その間のある時刻において、ばねの長さは D であった。その時刻における、台 A_{III} とともに運動する観測者からみた小物体 B の加速度 a を、 $D, d, g, k, M, m, \mu', V_0$ のうち必要なものを用いて表せ。

問 9 1回目の折り返しの時点でのばねの長さ d_1 を、 d, g, k, M, m, μ', V_0 のうち必要なものを用いて表せ。

問 10 小物体 B が台 A_{III} に対して運動を停止した後のばねの長さ L を、 $d, g, k, M, m, \mu', n, V_0$ のうち必要なものを用いて表せ。

〔2〕 ある振動数 ν と強さ I をもつ光を金属試料に照射し、光電効果により発生する光電子の運動について考察する。図1のように、真空中に装置を置き、原点を O とする直交座標系 x, y, z を設定する。まず、微小な穴をもつ電極 P_1 と金属試料を z 軸に直交するように配置し、電極 P_1 に対して金属試料に電圧 V を与える回路を設ける。この回路には、一様な抵抗線 $R_a R_b$ の間に端子 A_1 、および A_2 が接続されている。端子 A_1 の位置は固定されており、端子 A_2 の接続位置を変えることにより、電圧 V を設定したい値に調整することができる。

次に、微小な穴をもつ電極 P_2 を z 軸に直交するように配置し、電極 P_1 に対して電圧 V_1 ($V_1 > 0$) を加える。電極 P_1 と P_2 に設けられた微小な穴の中心は、 z 軸上に配置されている。 z 軸方向の長さが ℓ で、2枚の平行な電極 Q_1 と Q_2 の間には、強さ E の一様な電場（電界）が x 軸の負の向きにかかっている。ソレノイド内には z 軸の正の向きに一様な磁場（磁界）があり、その磁束密度の大きさは B である。観測者は、 z 軸上において、 z 軸の負の向きを向いている。また、電子がもつ電気量と質量をそれぞれ $-e$ (e は電気素量) と m 、プランク定数を h とする。

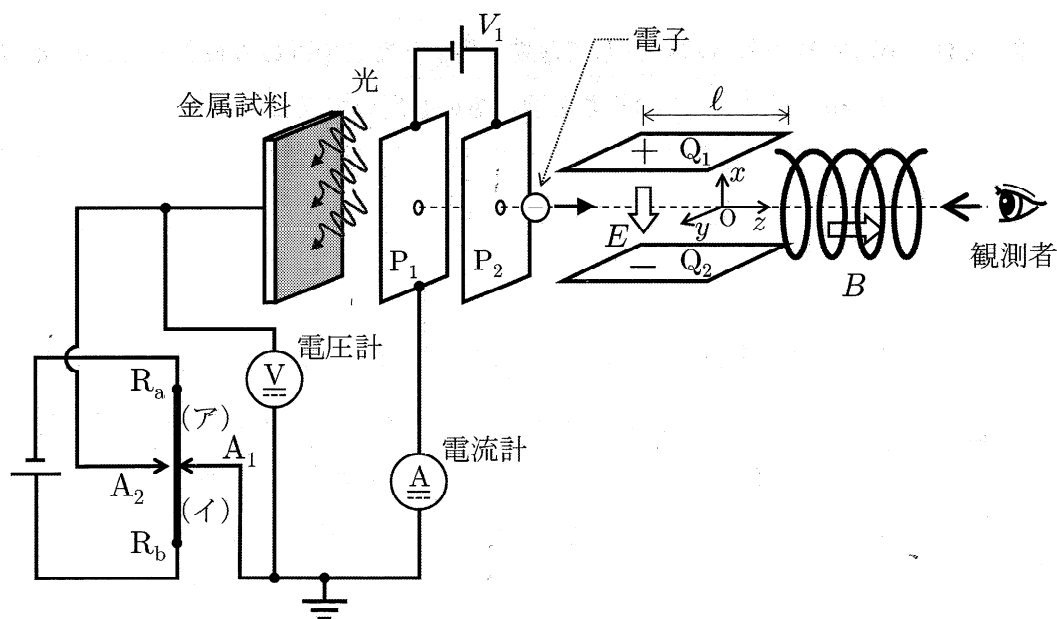


図 1

ただし、金属試料と電極 P_1 の間、電極 P_1 と P_2 の間、および、電極 Q_1 と Q_2 の間以外の場所には電場は無いものとする。また、電極 P_1 と P_2 の材質は常に金属試料と同じものを用いる。さらに、電極 Q_1Q_2 間を通過した電子は、その瞬間にソレノイドに入るものとする。電極 Q_1Q_2 間の間隔、および、ソレノイドの直径は十分に大きく、進行中の電子がこれらに衝突することはない。簡単のため、ソレノイド外部の磁場は無視でき、また、ソレノイドは十分に長いものとする。なお、光電子は質点として扱い、量子的な波動性は無視でき、その運動は重力の影響を受けないものとする。

- I. 仕事関数 W_1 をもつ金属試料（金属試料 1 とする）に光を照射した。端子 A_1 と A_2 の接続位置が一致する場合には、試料表面から光電子が飛び出した。次に端子 A_2 の位置を変え、電圧 V を徐々に大きくすると、電極 P_1 に到達する光電子の数は減少し、 $V = V_0$ においてその数は 0 になった。

問 1 このとき、端子 A_2 の接続位置は、図 1 における (ア) A_1R_a 間、もしくは (イ) A_1R_b 間のどちらの範囲内で調整したか、(ア) または (イ) の記号で答えよ。

問 2 仕事関数 W_1 を ν , e , h , V_0 を用いて表せ。

V_0 よりもわずかに小さい電圧 V において、電極 P_1 に到達した電子の一部が穴を通過した。そして、電極 P_2 の穴も通り抜けて、 z 軸の正の向きに進んだ。ただし、電極 P_1 での電子の初速度は無視できるものとする。

問 3 電極 P_2 の穴を通過した瞬間の電子の速さ v_1 を e , m , V_1 を用いて表せ。

問 4 問 3 の電子が電極 Q_1Q_2 間を通過し、ソレノイドに入った瞬間の速度の x 成分 v_x を e , ℓ , m , v_1 , E を用いて表せ。

問 5 z 軸上の観測者からは、ソレノイド内を進行する電子が等速円運動をしているように見える。この円運動の角速度を e , m , B を用いて表せ。

II. 次に、金属試料 1 を金属試料 2 に交換した。金属試料 2 の仕事関数 W_2 は W_1 よりも w ($w > 0$) だけ小さく、 $W_2 = W_1 - w$ の関係がある。電極 P_1 と金属試料 2 の間の電圧が $V = V_0$ になるように、端子 A_2 の接続位置を調整し、金属試料 2 に光を照射して光電子を発生させた。このとき、 z 軸の正の向きに進行し、電極 P_1 の穴を通過した瞬間の電子の初速度の大きさは、照射する光の強さ I によらず、0 から v_0 の範囲内で連続的に分布した。

問 6 電極 P_1 の穴を通過する電子がもちうる最大の初速度の大きさ v_0 を m , w を用いて表せ。

以下では、 $w = 2eV_1$ となる金属試料 2 を用いる場合を考える。

問 7 問 6 で求めた最大の初速度の大きさ v_0 をもつ電子が電極 P_1P_2 間と電極 Q_1Q_2 間を通過し、ソレノイド内を進行した。 z 軸上の観測者がこの電子を見た場合の等速円運動の半径は、問 5 における等速円運動の半径の何倍になるか、答えよ。

問 8 十分に長い時間、金属試料 2 に光を照射した。その間に発生し、 z 軸の正の向きに進行するすべての電子について考える。ソレノイド内を進行する電子の軌跡を xy 平面上に投影した図（投影図）は、観測者にはどのように見えるか。図 2 の（あ）～（た）の中から最も適切なものを選んで記号で答えよ。ただし、（あ）～（た）では電子の軌跡が投影される場所を黒色または灰色で表示している。また（あ）～（た）における円 C は、金属試料 1 を用いた場合の投影図（図 2 中の参考図）を表すものとする。

参考図

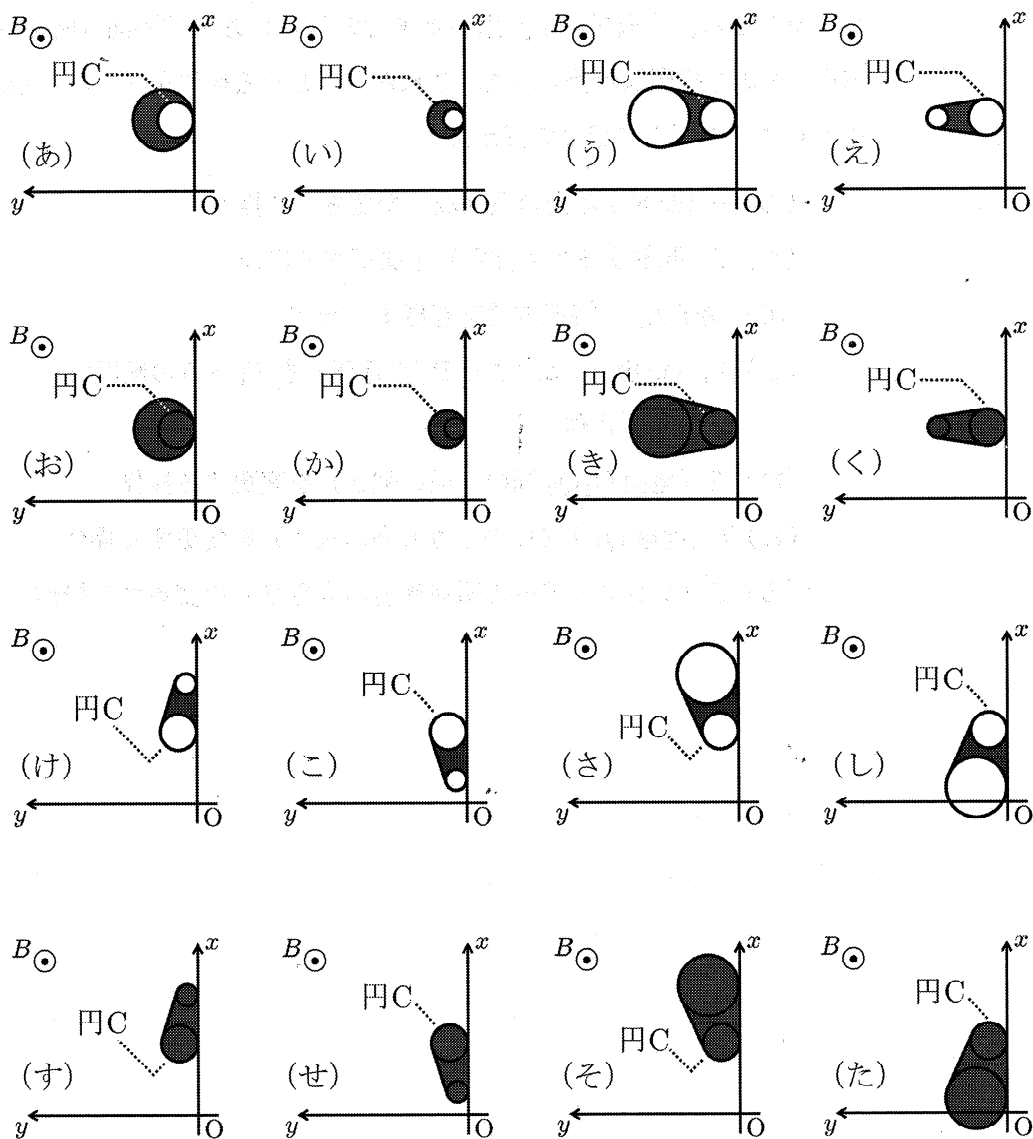
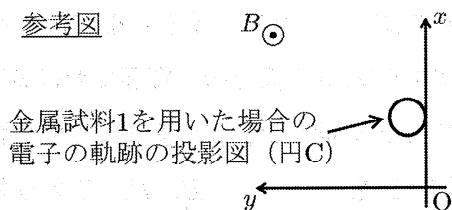


図 2

問 9 問 8 の状況において、ソレノイド内を進行するある 1 つの電子について考える。その電子の xy 平面上の投影図における円の中心座標を (X, Y) とする。座標 X と Y の間には、観測するすべての電子において同じ関係式が成り立つ。座標 Y を e, ℓ, m, B, E, X のうち必要なものを用いて表せ。

問 10 問 8 の状況において、以下の (ち) ~ (ぬ) の中のいずれか 1 つの操作を行ったところ、金属試料 1 を用いた場合の円 C のみの投影図 (図 2 中の参考図) と同じ投影図が得られた。これが可能となる操作を (ち) ~ (ぬ) の中からすべて選んで記号で答えよ。

(ち) ν (照射する光の振動数) を変更する操作

(つ) I (照射する光の強さ) を変更する操作

(て) 端子 A_2 の接続位置を変更する操作

(と) V_1 (電極 P_1 に対する P_2 の電圧) を $V_1 > 0$ の範囲で
変更する操作

(な) E (電極 $Q_1 Q_2$ 間の電場の強さ) を変更する操作

(に) ℓ (電極 Q_1 と Q_2 の z 軸方向の長さ) を変更する操作

(ぬ) B (ソレノイド内の磁束密度の大きさ) を変更する操作

〔3〕 以下のAと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. 屈折率（絶対屈折率）が n_G ($n_G > 1$) で一定とみなせる2枚のガラス平板の間に薄膜をはさみ、光の干渉を観察することを考える。ただし、ガラス平板は力を加えても変形せず、厚さも屈折率も変化しないものとする。ガラス平板の厚さは一定で十分に厚いとみなしてよく、上側ガラス平板の上面と下側ガラス平板の下面からの反射光の影響、ガラス平板にかかる重力の影響は無視できるものとする。また、薄膜の厚みは常に一様であり、空気の屈折率は1とする。以下では、すべての屈折率は光の波長に依存しないものとする。

I. 図1のように、空気中で2枚のガラス平板を重ね、一端に薄膜をはさんだ状態で水平な床の上に置いた。このときの薄膜の厚さは D_0 であった。その後、床に対して真上から波長 λ_0 の単色光を当て、真上から観察した。すると、ガラス平板の間にできるくさび形の空気層の下面で反射する光aと空気層の上面で反射する光bが干渉して、明暗のしま模様が観察された。下側ガラス平板の上面に沿って x 軸をとり、上下のガラス平板が接する左端位置を原点Oとする。原点Oから薄膜の左端までの距離 L は、薄膜の厚さに比べて十分に大きいとする。

問 1 位置 $x = x_0$ ($0 < x_0 < L$) における、光aとbの経路差の絶対値を、 x_0 , D_0 , L を用いて表せ。

問 2 観察されたしま模様の隣り合う明線の間隔を Δx とする。このときの薄膜の厚さ D_0 を、 Δx , L , λ_0 を用いて表せ。

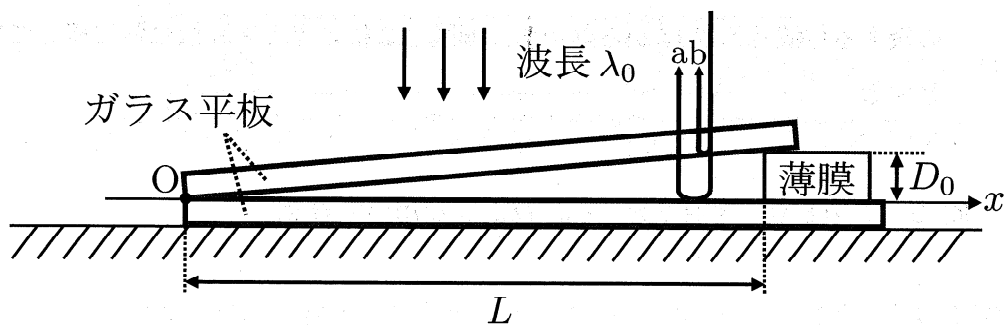


図 1

次に、2枚のガラス平板の間にできるくさび形の空間を屈折率 n ($1 < n < n_G$) の媒質で満たした。このとき、薄膜の厚さは D_0 のままであった。この状態で、先ほどと同様に真上から波長 λ_0 の単色光を当て、光 a と b の干渉によるしま模様を観察した。すると、しま模様の明線の間隔 Δx は、問2の状態から変化した。

さらに、ガラス平板ではさんだ薄膜に力を加えることで、薄膜の厚さが変化する場合を考える。この薄膜は、上から力 F を加えることにより $F = kX$ の法則に従って、全体の厚さが一様に X だけ縮むとする。ただし、 k は薄膜の特性を表す正の定数である。

図2のように、2枚のガラス平板の間を屈折率 n の媒質で満たしたまま、右端にはさんだ薄膜に力 F_0 をかけて厚さを X_0 だけ減少させた。この状態で、光 a と b の干渉によるしま模様を観察したところ、明線の間隔 Δx が、問2の場合と同じになった。ただし、屈折率 n は変化しない定数であり、上下のガラス平板の接する位置は原点 O から動かず、薄膜と2枚のガラス平板は常に接しているとする。

問3 このとき、定数 k を、 F_0 、 D_0 、 n を用いて表せ。

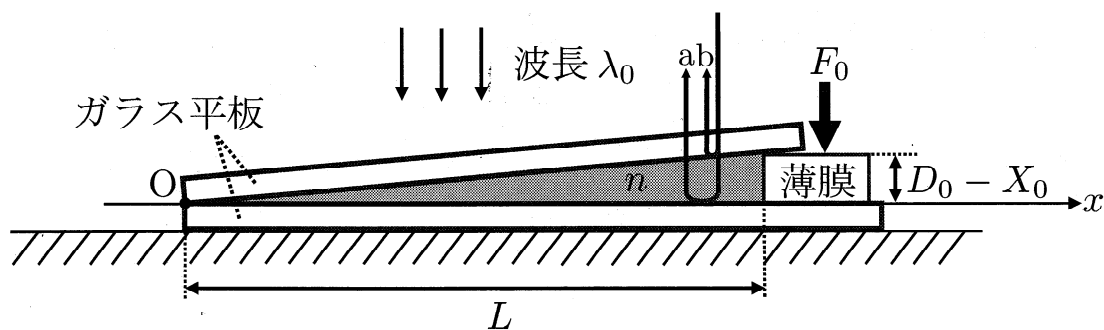


図2

II. 図3のように、両端に同じ薄膜をはさんだ2枚の平行なガラス平板を水平な床の上に置いた。この状態で、ガラス平板の真上から白色光を当てた。以下では、2枚のガラス平板の間にはさまれた空気層の下面で反射する光aと、空気層の上面で反射する光bの干渉により強め合う光について考える。ガラス平板をのせた状態で、両端の薄膜の厚さは $D_1 = 4.20 \times 10^{-7} \text{ m}$ であった。このとき、波長 λ_1 の可視光が干渉により強められた。ただし、可視光の波長範囲を $3.60 \times 10^{-7} \sim 7.70 \times 10^{-7} \text{ m}$ とし、白色光は可視光の波長をすべて含むものとする。

問 4 波長 λ_1 は何 m か、有効数字2桁で求めよ。

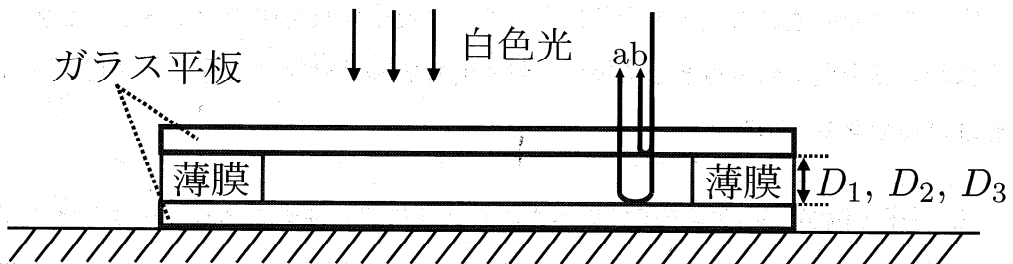
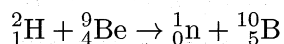


図 3

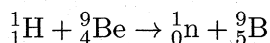
この状態から、上側ガラス平板の上面に一樣な力を徐々に加え、両端の薄膜の厚さを一様に小さくすることで、2枚のガラス平板を平行に保ちつつ空気層の厚さをゆっくりと変化させた。すると、干渉により強め合う光の波長が λ_1 から連続的に変化し、薄膜の厚さが D_2 より小さくなったところで強め合う光の波長が可視光の波長範囲から外れた。さらに力を徐々に大きくして厚さを変化させたところ、薄膜の厚さが D_3 より小さくなったときに、再び強め合う光の波長が可視光の波長範囲に入った。

問 5 厚さ D_2 , D_3 は何 m か、それぞれ有効数字2桁で求めよ。

B. 重陽子 (${}^2_1\text{H}$) とベリリウム (${}^9_4\text{Be}$) の核反応



および、陽子 (${}^1_1\text{H}$) と ${}^9_4\text{Be}$ の核反応



を用いて中性子 (${}^1_0\text{n}$) を発生させることを考える。最初、 ${}^9_4\text{Be}$ は静止しており、静電気が無視できるほど十分に遠方から、加速した ${}^2_1\text{H}$ や ${}^1_1\text{H}$ を ${}^9_4\text{Be}$ に正面衝突させた。

電気素量は $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ とする。必要ならば、図 1 に示した核子 1 個あたりの結合エネルギーと質量数の関係を用いよ。以下では、原子核および中性子の速さは真空中での光の速さに比べて十分に小さく、核反応は真空中で起こるものとする。原子核および中性子は質点として扱い、量子的な波動性は無視できる。また、重力の影響は無視できるものとする。

I. 電子 1 個が 1 V の電位差で加速されたときに得る運動エネルギーは 1 eV である。

核反応で放出される核エネルギーを表すには、MeV ($= 10^6 \text{ eV}$) という単位を用いるとわかりやすい。

問 6 1 MeV は何 J か、有効数字 2 桁で求めよ。

問 7 核反応 ${}^2_1\text{H} + {}^9_4\text{Be} \rightarrow {}^1_0\text{n} + {}^{10}_5\text{B}$ で放出される核エネルギーは何 MeV か。以下の (ア) ～ (コ) の中から最も近いものを選んで記号で答えよ。

(ア) 1.1×10^{-1} (イ) 4.3×10^{-1} (ウ) 8.6×10^{-1} (エ) 1.1

(オ) 4.3 (カ) 6.5 (キ) 8.6 (ク) 1.1×10^1

(ケ) 6.5×10^1 (コ) 1.3×10^2

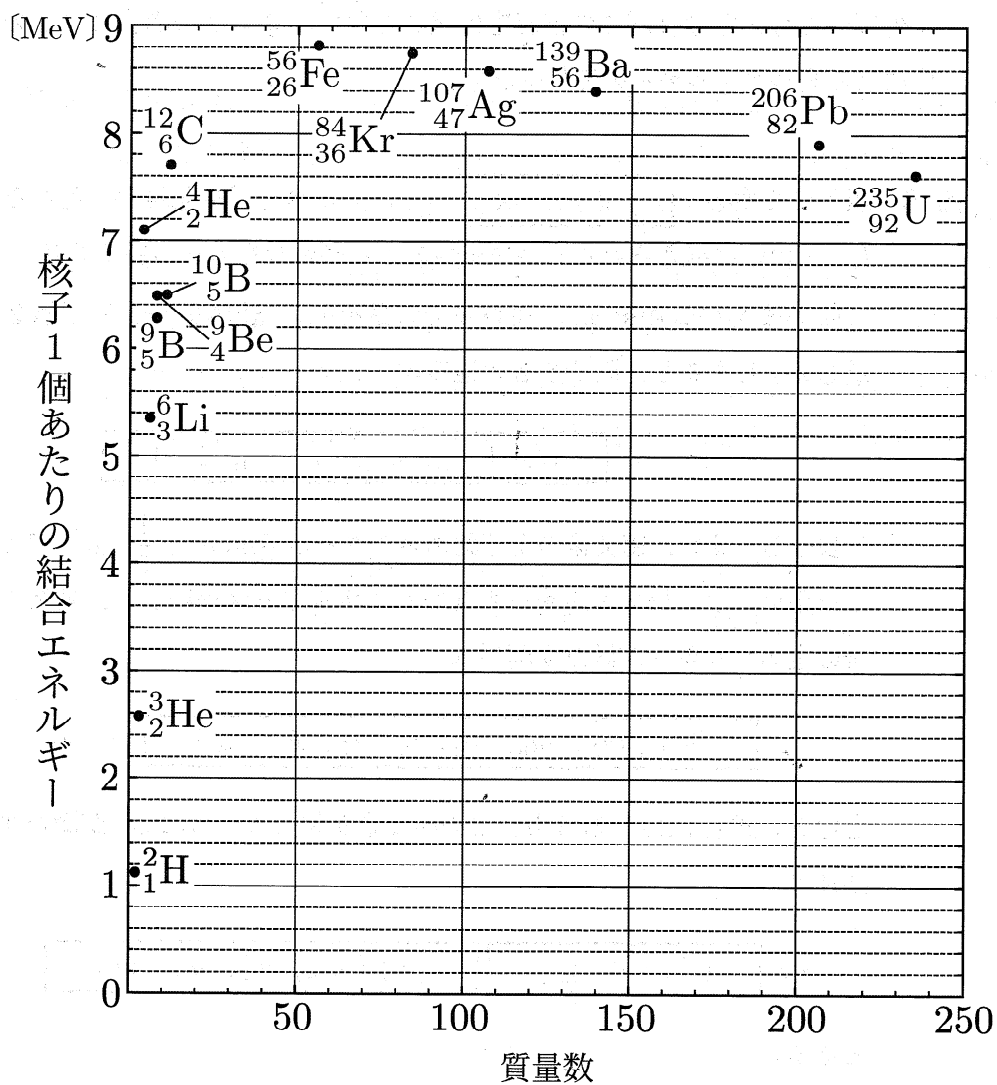


図 1

- II. 原子核 X と原子核 Y が x 軸上で正面衝突し、核反応を起こして、中性子と原子核 Z に変化した。その後、中性子と原子核 Z は x 軸上を運動した。最初、原子核 Y は x 軸上の原点に静止しており、原子核 X は静電気力を無視できるほど十分に原子核 Y から離れた状態で、運動エネルギー E_X をもっていた。この核反応で放出される核エネルギーを Q とする。 $Q < 0$ の場合には、 $|Q|$ のエネルギーを外部から与えなければこの核反応は起こらない。 $Q = 0$ の場合にはこの核反応による全核エネルギーの変化はない。

問 8 以下の文章の (あ) ~ (え) に入るべき式や記号を、それぞれの $\{ \quad \}$ の中に与えられた文字や記号のうち必要なものを用いて表せ。

原子核 X の質量を m_X 、中性子の質量を m_n 、速度を v_n 、原子核 Z の質量を m_Z とすると、原子核 Z の速度は

$$v_Z = \boxed{(あ) \{ m_X, m_n, m_Z, v_n, E_X \}} \quad (1)$$

と表せる。また、衝突後の全運動エネルギーが $\frac{1}{2}m_n v_n^2 + \frac{1}{2}m_Z v_Z^2$ であることを用いると、核エネルギーも含めたエネルギー保存則より、衝突の前と後の全エネルギーが満たす関係は

$$\boxed{(い) \{ m_X, m_n, m_Z, v_n, v_Z, E_X, Q \}} = 0 \quad (2)$$

となる。式 (1) と式 (2) より、この核反応が起こるために E_X が満たすべき条件は

$$E_X \quad \boxed{(う) \{ \geq, \leq \}} \quad \boxed{(え) \{ m_X, m_n, m_Z, Q \}} \quad (3)$$

となる。

一方で、原子核 X と原子核 Y は共に正の電荷を持つので、核反応が起こるためには静電気力に逆らって両者が十分に接近する必要もある。このために必要な運動エネルギー E_X の最小値を $E_{\text{接近}}$ とする。

条件式 (3) と条件 $E_X \geq E_{\text{接近}}$ の両方が満たされたとき、またそのときに限り必ず核反応は起こるものとして以下の問に答えよ。

問 9 核反応 ${}_1^1\text{H} + {}_4^9\text{Be} \rightarrow {}_0^1\text{n} + {}_5^9\text{B}$ が起こり、中性子が発生した場合について考える。この核反応における $E_{\text{接近}}$ を 1.00 MeV とする。核反応が起こる前に、静電気力が無視できるほど十分に ${}_4^9\text{Be}$ から離れた場所で、 ${}_1^1\text{H}$ がもっていた運動エネルギーを E_H [MeV] とする。この核反応を起こすことができる運動エネルギー E_H としてあてはまるものを、以下の (サ) ~ (タ) の中からすべて選んで記号で答えよ。必要ならば、 ${}_1^1\text{H}$, ${}_0^1\text{n}$, ${}_4^9\text{Be}$, ${}_5^9\text{B}$ の質量がそれぞれ 1.01 u, 1.01 u, 9.01 u, 9.01 u であることを用いてもよい。

- | | | |
|--------------------------|---------|-----------------------|
| (サ) 5.0×10^{-1} | (シ) 1.3 | (ス) 2.9 |
| (セ) 4.3 | (ソ) 8.6 | (タ) 4.3×10^1 |

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

C の原子量 = 12

N の原子量 = 14

O の原子量 = 16

Na の原子量 = 23

P の原子量 = 31

S の原子量 = 32

Cl の原子量 = 35.5

Zn の原子量 = 65

Br の原子量 = 80

Sn の原子量 = 119

I の原子量 = 127

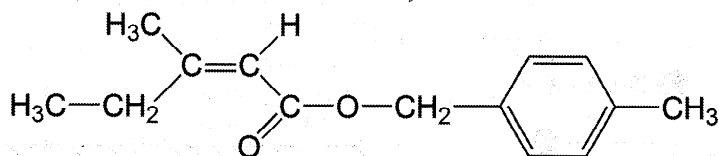
アボガドロ数 $N_A = 6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$

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

気体定数 $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})$

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. 体積の単位記号 L はリットルを表す。

4. 字数制限のある解答は、下の例にならって書くこと。

(例)

α	-	グ	ル	コ	-	ス	を	,	5	.	0	$\times$	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8に答えよ。

亜鉛は ア 族元素であり、その原子の最外殻電子は イ 殻にある。単体の亜鉛は、塩酸、水酸化ナトリウム水溶液の双方に溶解し、いずれの場合も水素を発生する。

亜鉛は硫化亜鉛を主成分とする閃亜鉛鉱として産出する。硫化亜鉛は亜鉛イオンと硫化物イオンからなるイオン結晶であり、② 図1に示す一辺 $5.4 \times 10^{-10} \text{ m}$ の立方体の単位格子をもつ。

亜鉛は金属の腐食防止(防食)に用いられている。例えば、図2に示すように、水分を含む土の中に埋められた鉄の構造物の防食を目的として、絶縁体で被覆した導線で亜鉛を接続し一緒に埋めるという手法がある。

亜鉛はさまざまな電池の電極に用いられている。空気亜鉛電池は、負極活物質として亜鉛、正極活物質として大気中の酸素、電解質溶液として塩基性水溶液を用いる一次電池である。放電させると、④ 負極では亜鉛が酸化されて酸化亜鉛が生じ、正極では酸素が還元されて水酸化物イオンが生じる。両極の化学変化をまとめた反応式は、次のように表される。

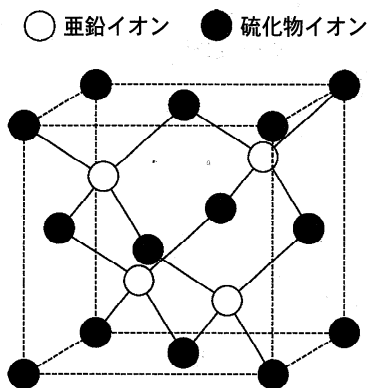


図1

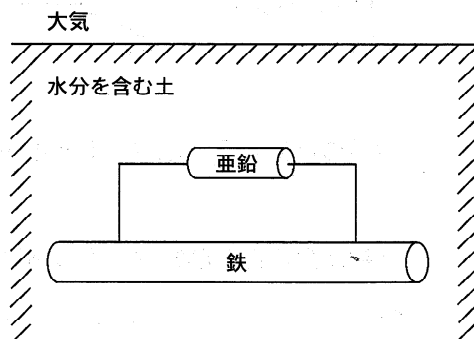


図2

問 1 と にあてはまる最も適切な数字またはアルファベットの記号を記入せよ。

問 2 下線部①の 2 通りの溶解反応をそれぞれ反応式で示せ。

問 3 下線部②の単位格子から硫化亜鉛の密度 $[\text{g}/\text{cm}^3]$ を有効数字 2 桁で求めよ。

問 4 下線部③について、鉄の腐食が起こりにくくなる理由を 40 字以内で記せ。

問 5 下線部④について、負極と正極で進行する化学変化をそれぞれ電子 e^- を含む反応式で示せ。

問 6 式 1 の反応のエントロピー変化 ΔS とエンタルピー変化 ΔH に関する以下の文章の ～ にあてはまる最も適切な語句を、次の語群の中から選んで書け。

空気亜鉛電池は式 1 の反応が自発的に進む力を起電力として取り出している。式 1 は乱雑さが する反応であり、 ΔS の符号は である。反応が自発的であることと ΔS の符号が であることから、 ΔH の符号は と判断することができる。つまり、式 1 は である。

[増大, 減少, 正, 負, 発熱反応, 吸熱反応]

問 7 空気亜鉛電池のエネルギー密度 $[\text{J}/\text{g}]$ を有効数字 2 桁で求めよ。エネルギー密度は、亜鉛負極の質量 $m[\text{g}]$ 、完全放電により外部回路を流れる電気量 $Q[\text{C}]$ 、起電力 $E[\text{V}]$ を用いて、 $QE/m[\text{J}/\text{g}]$ と定義されるものとする。空気亜鉛電池の起電力は 1.4V とする。

問 8 ある空気亜鉛電池の正極・負極間に抵抗をつなぎ放電させると、放電中の電池の両端にかかる電圧 V は放電開始からの時間 t に対して図 3 のように変化した。電圧 V は時間 t_1 までは V_1 のまま一定であり、その後直線的に低下し、時間 t_2 に V_2 となったところで放電を停止させた。このとき、電池の質量 W は放電前の W_0 から放電停止時の W_2 まで増加した。電池の質量 W の変化を表すグラフとして最も適切なものを以下の(a)~(f)から選んで書け。ここでは、式 1 の反応による質量変化のみを考えるものとする。

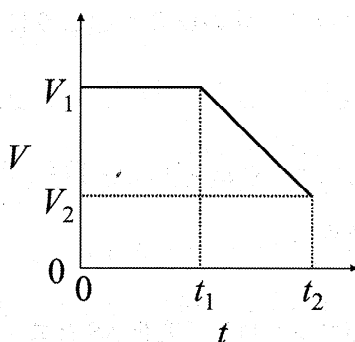
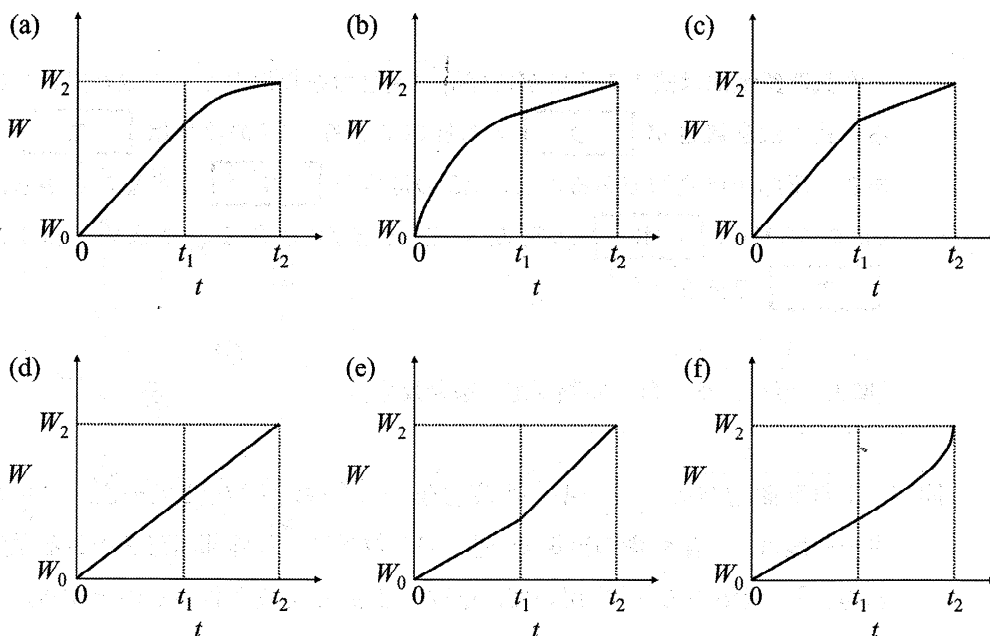


図 3



〔2〕 以下の文章を読み、問1～問7に答えよ。

粒子の直径が $10^{-9} \sim 10^{-7}$ m 程度の大きさで、均一に分散している状態をコロイドといい、分散している粒子をコロイド粒子という。コロイド粒子を含む溶液をコロイド溶液または **ア** といい、**ア** が固まって流動性を失った状態を **イ**、さらに乾燥して水(分散媒)を除いたものを **ウ** という。また、コロイドの中でも、電解質溶液を少量加えたとき凝析を起こしやすいコロイドを **エ**、凝析しにくいコロイドを **オ** という。

コロイド粒子や電解質のモル質量を求める方法として、これらの希薄溶液の浸透圧を利用した方法がある。これは溶液の浸透圧が、その溶液に溶解している「全溶質粒子のモル濃度」と「気体定数」と「溶液の温度」の積で表されることを利用したものである。今、以下に示す手順にて、ある物質のモル質量を求めることを考える。

図1のようなピストンと半透膜が付いた体積可変のU字管(断面積： S)に水(体積：左右に V_w ずつ)と窒素(圧力： P_1 、体積： V_1)が充填されている。初めにピストンを固定した状態で半透膜の右側部分の水にある溶質を加え全量溶解させたところ、十分時間が経過した後に図2のように左右の液面差が $2d$ となった。このときの窒素の圧力と体積はそれぞれ P_2 、 V_2 であった。次に、ピストンの固定を解除しゆっくりと下に引いたところ、図3のように窒素の圧力と体積がそれぞれ P_3 、 V_3 となったときに左右の液面差が0となった。

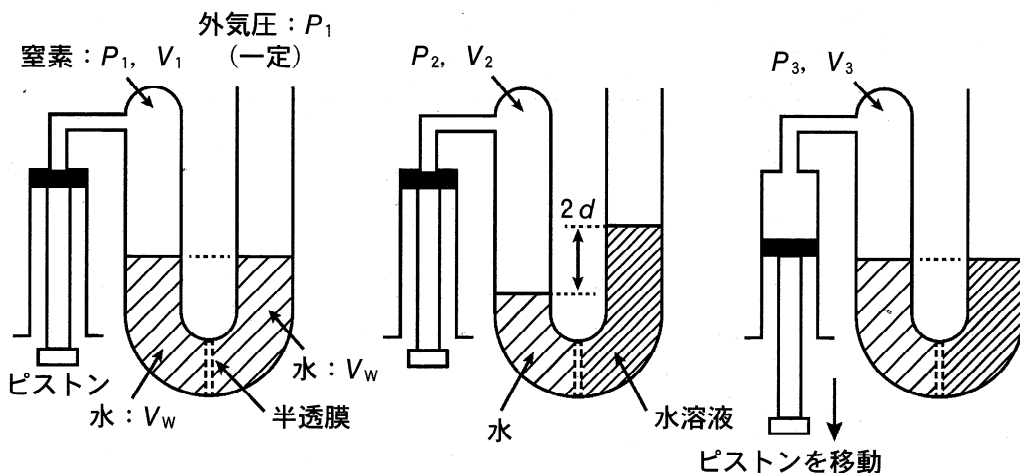


図1

図2

図3

この一連の変化は次のように整理することができる。まず図2においては、窒素の体積 V_2 は液面位の変化から ① と表される。そのため、窒素の全圧 P_2 は ② と表すことができる。このとき、水溶液の浸透圧は「外気と容器内の窒素との圧力差 ③」と「液面差 $2d$ の水溶液柱の圧力」の和で表される。また図3においては、液面差が0になることから水溶液の浸透圧は ④ と表される。

なお、気体は全て理想気体とみなせ、気体の水への溶解、水および溶質の蒸気圧、溶質の溶解に伴う液体の体積変化は無視できるものとする。また、気体や液体の温度および外気圧は一定とみなせるものとする。なお、必要に応じて以下の値を用い、解答の数値は有効数字2桁とすること。

$P_1 = 1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$, $V_1 = 4.00 \text{ L}$, $V_3 = 6.00 \text{ L}$, $V_w = 2.70 \text{ L}$, 温度 $T = 300 \text{ K}$, $\sqrt{113} = 10.630$, $\sqrt{129} = 11.358$, $\sqrt{576} = 24$

問1 ア ~ オ にあてはまる最も適切な語句を記入せよ。

問2 ① ~ ④ に入る量を P_1 , V_1 , V_3 , d , S のうち必要なものを用いて記号で表せ。ただし、 d と S の積の単位は V_1 , V_2 , V_3 の単位と等しいとする。

問3 一連の変化が質量 60.0 g の非電解質を溶解させたコロイド溶液を用いた場合の結果であるとして、このコロイド粒子のモル質量を g/mol 単位で計算せよ。

次に、質量 3.40 g (物質量 $n[\text{mol}]$)、電離定数 $K[\text{mol/L}]$ の電解質 XY (電離式: $\text{XY} \rightarrow \text{X}^+ + \text{Y}^-$) を溶質として図1～図3の操作を行った場合を考える。この場合も窒素の圧力と体積がそれぞれ P_3 , V_3 のときに、左右の液面差が0となった。ここで $C = n/V_w[\text{mol/L}]$ とすると、 $K/C = 3.20$ であった。

問4 図3における XY の電離度 α を計算せよ。

問 5 問 3 と問 4 それぞれにおける図 3 の状況を比較した(1)~(5)の文章のうち、正しいものをすべて選びその番号を答えよ。

- (1) 電解質 XY の溶解では電離度 α の分だけ全溶質粒子のモル濃度が減少するので、XY 水溶液の方がコロイド水溶液より浸透圧が低い。
- (2) 電解質 XY の溶解では電離度 α の分だけ全溶質粒子のモル濃度が増加するので、XY 水溶液の方がコロイド水溶液より浸透圧が高い。
- (3) 電解質 XY のモル質量はコロイド粒子のモル質量より小さい。
- (4) 電解質 XY のモル質量はコロイド粒子のモル質量より大きい。
- (5) 全溶質粒子のモル濃度は、XY 水溶液とコロイド水溶液で等しい。

続いて、この XY を溶解した水溶液に別の電解質 AB(電離式： $AB \rightarrow A^+ + B^-$)を一定量加え溶解させたところ、直ちに XB が沈殿として生成した。このとき、電離していなかった XY の一部がさらに電離し、溶液中の全溶質粒子のモル濃度は AB を添加する前に比べ $x\%$ 増加した。またこのとき $[A^+] = 0.400 \times C [\text{mol/L}]$ であり、 $[B^-]$ は無視できるほど小さかった。

その後、時間の経過とともに液面位の変化が見られたが、ピストンをさらに引いて窒素の体積を V_4 としたところ、やがて左右の液面差は再び 0 となった。

問 6 下線部①において新たに電離する割合を β とすると、 β は以下のように表される。

$$\beta = \frac{\text{AB 溶解後に新たに電離した XY の物質質量}}{\text{AB 溶解前に電離せずに溶解していた XY の物質質量}}$$

電離定数 K が AB を溶解させる前後で変化しないことを用いて β および x の値を計算せよ。なお、AB および AY の電離度は 1 であり、沈殿 XB が生成した時点での水溶液の体積変化は無視できるものとする。

問 7 V_4 は V_3 の何倍になるか。記号 x を使って示せ。

〔3〕 以下の文章を読み、問1～問8に答えよ。

【1】

ある有機化学反応の効率を評価するための指標の一つに原子効率がある。原子効率とは、出発物質に含まれる原子がどれくらいの割合で目的物質に取り込まれているかを示す値であり、下式より算出される。なお、触媒を用いる反応では、触媒は原子効率の計算には含めない。

$$\text{原子効率}(\%) = \frac{\text{目的物質の分子量}}{\text{出発物質の分子量の総和}} \times 100$$

例えば、酢酸(分子量：60)とブタノール(分子量：74)から酸触媒により酢酸ブチル(分子量：116)を得る反応の原子効率は、

$$\frac{116}{60 + 74} \times 100 \approx 87(\%)$$

と計算される。このことは、この反応が完全に進行した場合、出発物質の質量の総和のうち、87 % が目的物質に取り込まれることを示している。

問1 無水酢酸1分子とブタノール1分子との反応でも、同様に酢酸ブチルを得ることができる。この反応の原子効率の値を有効数字2桁で求めよ。

問2 ブタノールとそれと同じ物質量の酢酸とを酸触媒にて反応させる条件ではすべてのブタノールを酢酸ブチルへ変換することはできない。この理由を20字以内で記せ。

問 3 実験室では、アセトアルデヒドはエタノールを酸性条件下、二クロム酸カリウムで酸化することにより合成されるが、この反応の原子効率は低い。一方、工業的には、アセトアルデヒドはエチレンを出発物質として用いることで、より高い原子効率で製造されている。このエチレンを用いる反応の化学反応式を記せ。ただし、その反応に必要な触媒については記載する必要はない。

問 4 次の(a)~(e)の有機化学反応のうち、最も原子効率の高い反応を選び、その記号を答えよ。また、その反応の原子効率の値もあわせて答えよ。

- (a) アセトンとヨウ素と水酸化ナトリウムからヨードホルムを得る反応
- (b) 酸素を用いる酸化によりクメンからフェノールを得る反応
- (c) ニトロベンゼンを塩酸酸性条件下、スズにより還元してアニリン塩酸塩を得る反応
- (d) シクロヘキセンと臭素から 1,2-ジブロモシクロヘキサンを得る反応
- (e) アニリンと無水酢酸からアセトアニリドを得る反応

【II】

ある有機化合物を構成する水素原子を別の置換基で置き換えると、もとの化合物に比べて反応性がしばしば変化する。これを置換基効果とよび、置換基効果を調査することは有機化学反応の反応機構に関する知見を得るための重要な手段の一つとなっている。例えば、式1に示した安息香酸とその誘導体(**G**はH, CH₃O, NO₂のいずれか)の電離定数は、**G**の種類によって大きく変化する。安息香酸の電離定数を1としたときの各安息香酸誘導体の電離定数の相対値を表1に示した。一般にカルボン酸の電離定数は、カルボン酸イオンが安定化されるほど大きくなる。つまり表1の値は、各置換基によってカルボン酸イオンのもつ負電荷が、水素に比べてどの程度安定化、あるいは不安定化されるかを相対的に示している。一方、式2に示したアニリンとその誘導体(**G**はH, CH₃O, NO₂のいずれか)の電離定数における置換基効果は、式1の場合とは逆の傾向を示す(表1)。さらに、置換基は化学反応の速度にも影響する。例えば、式3に示したエステル塩基による加水分解における置換基効果は、式1と同じ傾向であった(表1)。このことから式3における反応の ア において イ 電荷が増大しており、置換基が ア に含まれるその電荷を安定化あるいは不安定化することにより、反応速度を変化させると考察することができる。

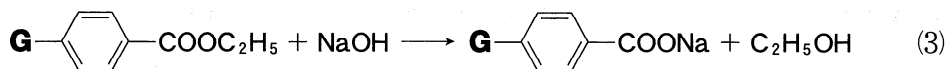
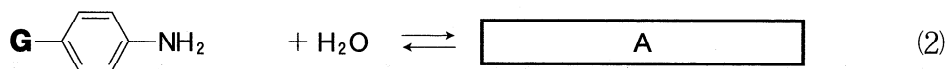
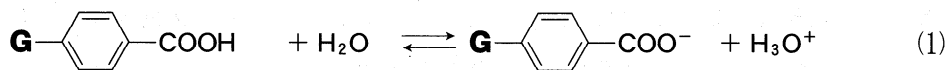


表 1

G の種類	H	CH ₃ O	NO ₂
式 1 の電離定数の相対値	1.0	0.54	6.0
式 2 の電離定数の相対値	1.0	5.5	0.0070
式 3 の反応速度定数の相対値	1.0	0.21	90

問 5 式 2 の A にあてはまる適切な化学式を書き加えて、化学反応式を完成させよ。

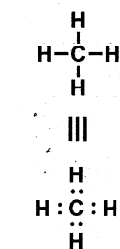
問 6 ア にあてはまる最も適切な語句を答えるとともに、イ にあてはまるものとして正または負のいずれか適切な方を選び答えよ。

問 7 ベンゼンおよびその誘導体 C₆H₅-G (G は H, CH₃O, NO₂ のいずれか) に対して、濃硝酸と濃硫酸の混合物を作用させたときに起こるニトロ化反応の反応速度における置換基効果を調べたところ、表 2 のような結果が得られた。この結果から、ニトロ化反応の反応途中に生成する化合物を表すのに最も適切な構造式を図 1 の(a)~(f)から選べ。また、その構造式を電子式で表したときに●印をつけた炭素原子の周りにおける電子数を例にならって答えよ。ただし、これらの構造式中の⊕印はその原子がもつ価電子を 1 つ失った状態、⊖印は逆に電子を 1 つ余分に得た状態を表している。また、選択肢(c), (f)にある・印は不対電子を示している。

表 2

G の種類	H	CH ₃ O	NO ₂
反応速度定数の相対値	1.0	39	0.0

例



炭素原子まわりの
電子数 = 8

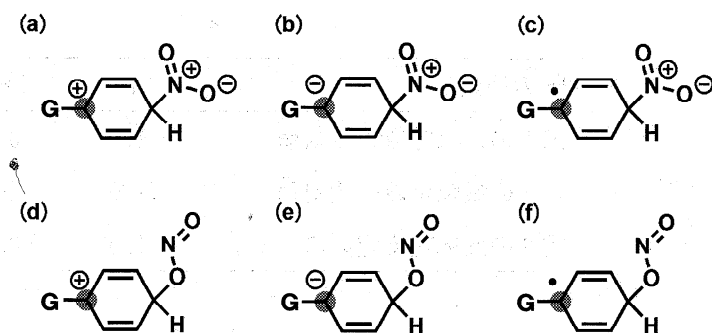
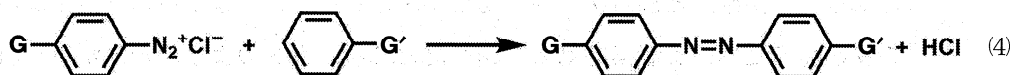


図 1

問 8 下に示した式 4 の反応 (**G**, **G'** は H, CH₃O, NO₂ のいずれか) は, 問 7 のニトロ化反応と類似の反応機構で進行することが知られている。式 4 の反応の速度が最も速くなると期待されるのは, **G**, **G'** がそれぞれ H, CH₃O, NO₂ のいずれであるときか, その組み合わせを答えよ。



〔4〕 以下の文章を読み、問1～問7に答えよ。

セッケンは高級脂肪酸のナトリウム塩(RCOONa)やカリウム塩(RCOOK)の総称である(Rは炭化水素基を表す)。セッケンはその構造に炭化水素基(R)からなる親油性(疎水性)の部分と、水溶液中で電荷を帯びて、親水性を示す部分があり、そのような物質を **ア** という。セッケンや合成洗剤は、水に溶解すると水の **イ** を低下させ、繊維などを濡れやすくする。セッケン分子は希釈条件では、水に溶けているが、ある濃度以上になると、会合し、球状のミセルを形成する。セッケン分子の親油性の部分は繊維に付着した油状物質を取り囲んで、水中に分散させる。この作用を **ウ** という。

上記のセッケン分子が示す会合には、元となる脂肪酸分子の構造も関係している。飽和脂肪酸のステアリン酸(図1)は炭化水素鎖が直線状に伸びた構造を取り、分子鎖どうしが **エ** により密に集合する。一方で、不飽和脂肪酸であるオレイン酸(図2)は分子鎖に二重結合が存在するために、立体的に折れ曲がった構造となり、密に集合できない。この性質はそれぞれの脂肪酸の融点にも関係し、ステアリン酸の融点はオレイン酸に比べて **オ** 。

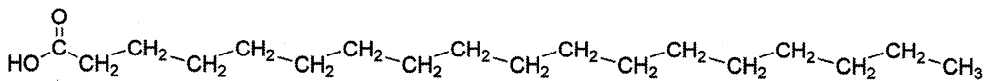


図1 ステアリン酸の化学構造

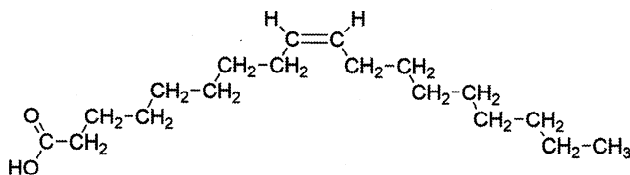


図2 オレイン酸の化学構造

問 1

ア	～	ウ
---	---	---

 にあてはまる最も適切な語句を記入せよ。

問 2

工

 と

才

 にあてはまる最も適切な語句を次の語群の中から
選んで答えよ。

[ファンデルワールス力, イオン結合, 配位結合, 共有結合, 高い, 低い, 変わらない]

問 3 セッケン分子は図 3 の簡略化された構造で示すことができる。下線(a)に記載された現象は図 4 に示される。

あるセッケン分子は濃度 C [mol/L] 以上にてミセルを形成する。集合体のミセル 1 個は z 個のセッケン分子で構成されているとする。

濃度 C よりも高い溶液濃度 x [mol/L] の溶液が y [L] ある。アボガドロ定数を N_A [/mol] として、この溶液に含まれるミセルの個数を C, x, y, z, N_A の記号を用いて記せ。ただし、濃度 C を超えた分のセッケン分子はすべてミセルを形成するものとする。

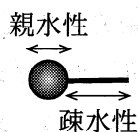


図 3 セッケン分子の簡略化された構造

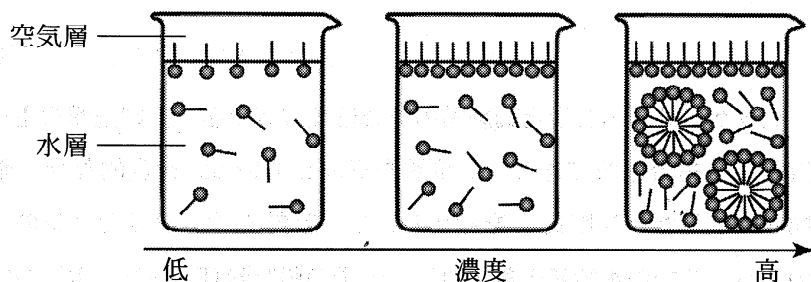


図 4 セッケン分子の濃度とミセルの形成の関係

問 4 セッケンを水に溶かし、激しく攪拌させたり、吹き上げたりすると、薄い膜からなる気泡(シャボン玉)が形成される。空気中に浮遊する気泡の膜の断面構造を図 3 と図 4 の表記方法にならって、解答用紙に図示せよ。図示にあたり、断面構造の空気層と水層を明記し、セッケン分子がどのようなになっているかを明確にせよ。

問 5 セッケンに関する以下の記述のうち、正しいものをすべて選び、記号で答えよ。

- (ア) 硫酸アルキルナトリウムやアルキルベンゼンスルホン酸ナトリウムなどからなる合成洗剤は、弱酸と弱塩基からなる塩であり、その水溶液の水素イオン指数はおおよそ7を示す。
- (イ) セッケンの水溶液中のミセルの形成はチンダル現象により観察できる。
- (ウ) セッケンは弱酸と強塩基の塩であり、水溶液中で一部が加水分解して弱塩基性を示す。
- (エ) 酵素であるプロテアーゼは0℃～50℃までの温度域で油脂を加水分解し、セッケンを合成できる。
- (オ) セッケンはカルシウムイオン(Ca^{2+})やマグネシウムイオン(Mg^{2+})を多く含む水溶液を用いると、その洗浄力が低下する。
- (カ) セッケンの水溶液にアンモニア性硝酸銀水溶液を加えると、銀が析出する。

セッケン分子の会合と細胞膜の形成は類似点が多い。細胞膜の主成分はリン脂質という複合脂質であり、二重層を形成している。代表的なリン脂質として、図5に示したリン脂質Aを考える。リン脂質Aは、グリセリンの3つの水酸基のうち、2つの水酸基それぞれに1分子の脂肪酸(RCOOH , $\text{R}'\text{COOH}$)が脱水縮合し、残りの1つの水酸基にトリメチルアンモニウム基が結合したリン酸誘導体が1分子脱水縮合した化学構造を形成している。

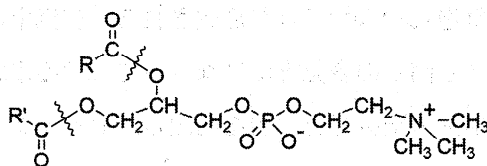


図5 リン脂質Aの化学構造

以下に示す〔実験 1〕と〔実験 2〕を行い、図 1 に示したリン脂質 A の化学構造の決定を試みた。

〔実験 1〕 リン脂質 A (182.8 g) の 2 ヶ所のエステル結合を水中にて酵素で加水分解した(図 5 の波線の箇所 で切断)。反応液を酸性にしたところ、沈殿物が生じた。沈殿物から脂肪酸 B と脂肪酸 C の混合物を得た。水層を適切に処理した後、溶け込んでいた双性イオン D (64.3 g) を得た。得られた双性イオン D の分子量は 257 であった。上記のエステル結合の加水分解は完全に進行し、脂肪酸 B と脂肪酸 C の混合物と水溶性の双性イオン D は完全に分離し、回収されるものとする。

〔実験 2〕 〔実験 1〕で得た脂肪酸 B と脂肪酸 C の混合物の質量は 127.5 g であり、これに触媒を用いて水素を反応させた。反応は完全に進み、反応終了後、単一の脂肪酸 C (128.0 g) を得た。

問 6 リン脂質 A の分子量を有効数字 3 桁で記せ。

問 7 脂肪酸 B の分子式を記せ。

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4に答えよ。

地球上の生物を大きく2つに分類すると、細胞内に核を持つ真核生物と持たない原核生物に分類できる。真核細胞では、細胞内DNAの大部分が核の中に格納されており、その遺伝情報は、mRNAに転写されて細胞質に存在するリボソームによってタンパク質に翻訳される。リボソームは、大サブユニットと小サブユニットからなる。真核細胞と原核細胞のリボソームは、異なる型に分けられる。特定の型のリボソームの働きを阻害する化合物が存在し、抗生物質として感染症の治療に利用されている。また、真核細胞の細胞質には特定の生体反応をつかさどる様々な細胞小器官が存在している。

地球上の生物は、もう一つの指標である生命活動に必要なエネルギー獲得方法によって、独立栄養生物と従属栄養生物に分類できる。これらは生態系ではそれぞれ生産者と消費者として存在している。このうち生産者である大部分の生物は、光エネルギーを用いて無機物の ア から有機物を、 イ から酸素を産生する仕組みを備えている。生産者である植物の葉の細胞を顕微鏡で観察すると、細胞内に5～10 μ mの緑色の粒が多数観察できる。これらは下線①を行う細胞小器官であり、以下これを小器官Aと呼ぶことにする。小器官Aの中には独自のDNAが存在しており、その遺伝情報を発現するための独自の転写と翻訳の仕組みが備わっている。

問1 文章中の下線①について以下の問いに答えよ。

- (1) 空欄 ア イ に当てはまる物質名を答えよ。
- (2) この仕組みの名称を答えよ。

小器官 A 内のリボソームの特徴を調べるため、【実験 1】と【実験 2】を行った。

【実験 1】

1. 実験植物として用いたタバコの葉を破碎し、細胞破碎液を遠心分離によっていくつかの細胞画分に分画した。このうち 3 つの細胞画分 i, ii, iii は、小器官 A、核、細胞質基質のいずれかに対応している。
2. 細胞画分 i, ii, iii から調製した抽出液中の翻訳によるタンパク質の合成量を調べた。まず 8 本の試験管を用意し、それぞれ (1 ~ 8) に翻訳の鋳型になる mRNA と翻訳に必要な全ての物質 (アミノ酸, ATP など) を等量ずつ加えた (図 1)。
3. 次に、試験管 1 ~ 6 では細胞画分 i, ii, iii の抽出液をそれぞれ 2 本ずつの試験管に入れ、さらにその片方の試験管には抗生物質 K の水溶液を加え (図 1 に有と表示)、もう片方には同量の水 (図 1 に無と表示) を加えて試験管内で翻訳を行わせた。試験管 7 ~ 8 では、大腸菌の抽出液を加えて翻訳を行った時の抗生物質 K の効果を調べた。
4. 試験管 1 ~ 8 内のタンパク質の合成量を図 1 のグラフに示した。グラフでは、縦軸にタンパク質の合成量、横軸に各試験管に加えた細胞画分と抗生物質 K の有無を記載した。

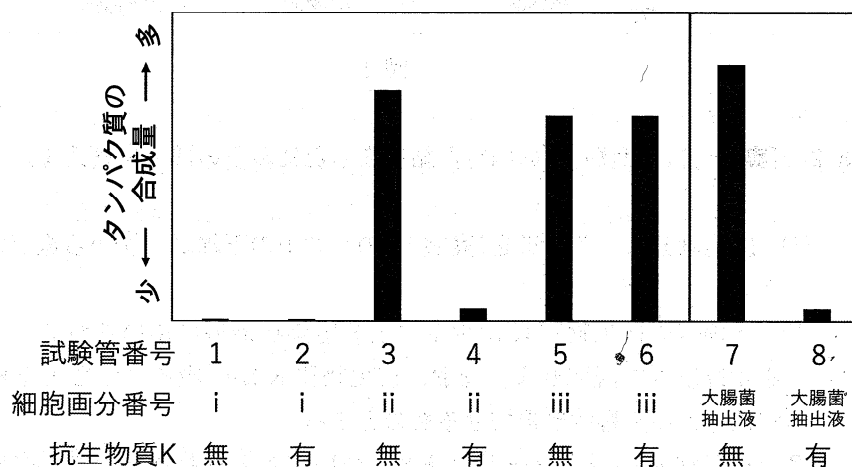


図 1

【実験 2】

細胞画分 ii と iii から調製した抽出液をショ糖密度勾配遠心^{*1} にかけてリボソームを分離した。比較として大腸菌のリボソームを同様に分離した。それぞれの分離パターンを図 2 に示した。図 2 では、濃灰色の線(3 本のバンド)は分離されたリボソームの位置を示している。リボソームを構成する 2 つのサブユニット(2 本の細いバンド)と、それらが結合したリボソーム(太いバンド)の合計 3 本のバンドが検出されている。

用語説明

^{*1} ショ糖密度勾配遠心：細胞内の高分子複合体を密度の違いによって分離する方法。

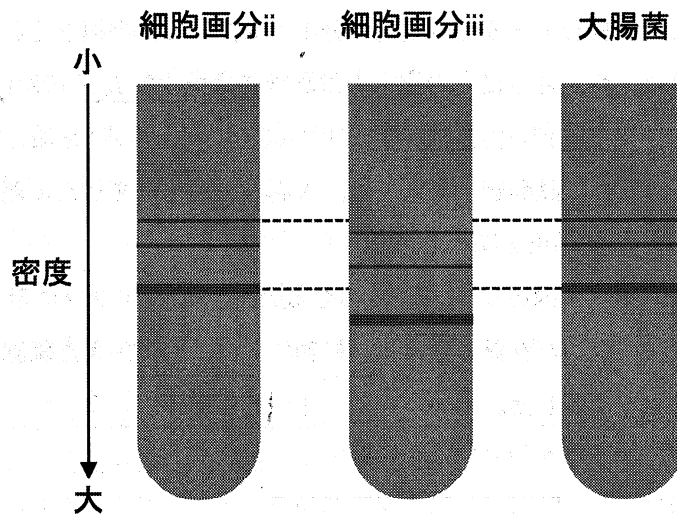


図 2

問 2 【実験 1】と【実験 2】の内容と結果をもとに以下の問いに答えよ。

- (1) 細胞画分 i, ii, iii を【実験 1】の文章中の下線②～④から選び番号で答えよ。
- (2) 下線⑤の抗生物質 K は細菌による感染症治療に用いられる。その理由を 4 行以内で説明せよ。なお、抗生物質 K が呼吸をつかさどる細胞小器官に与える影響は無視できるものとする。
- (3) 小器官 A のリボソームの特徴について考えられることを、根拠となる 2 つの実験結果を挙げ 5 行以内で説明せよ。

小器官 A のリボソームに含まれる rRNA の特徴を【解析 1】で調べた。

【解析 1】

DNA の塩基配列情報データベースから、小器官 A や微生物に含まれる 6 種類の rRNA の塩基配列情報を取得した。表 1 には、取得した各 rRNA の塩基数とタバコ小器官 A の rRNA の塩基配列に対する配列類似性*2 を示した。

用語説明

*2 配列類似性：2 つの塩基配列を比較した際の一致する配列が全体配列に占める割合を百分率で表したものの。

表 1

由 来	塩基数	タバコ小器官 A rRNA の塩基配列との配列類似性
タバコ小器官 A rRNA	1491	(100 %)
イネ小器官 A rRNA	1491	96 %
微生物 Q rRNA	1489	84 %
根粒菌 rRNA	1477	79 %
アグロバクテリウム rRNA	1485	79 %
大腸菌 rRNA	1542	76 %

問 3 タバコ小器官 A の rRNA の塩基配列は、4 種類の微生物の rRNA の塩基配列といずれも高い配列類似性を示した。その中で最も高い配列類似性を示した微生物 Q は、文章中の下線①を行う原核生物の仲間である。この一群の名称を答えよ。

問 4 【実験 1，2】と【解析 1】の結果は、小器官 A の進化上の起源に関する説を支持する結果と言える。小器官 A の起源説の内容と実験及び解析結果がそれを支持する理由を、5 行以内の文章で説明せよ。まず小器官 A の名称を解答欄のカッコ内に記載し、それに続けて文章を記載すること。

〔2〕 以下の文章【A】と【B】を読み、問1～問6に答えよ。

【A】

複数の関連する遺伝子がセットとなり、1つのプロモーターからひと続きのRNAとして転写される転写単位をオペロンと呼び、主に原核生物においてよく見られる。大腸菌のラクトースオペロンはその代表例で、ラクトース代謝に関わる3つの遺伝子A、B、Cが1つのプロモーターの下流に位置している(図1)。また、その転写調節系は実験室における組換えタンパク質の発現にも利用されている。

ラクトースオペロンの転写は、大腸菌が利用する糖の濃度に応じて調節される。大腸菌は炭素源としてグルコースを優先的に利用するが、グルコース濃度が低い場合は、ラクトースの存在下でこのオペロンの転写レベルが上昇する。この理由は、 と呼ばれるタンパク質が、ラクトース非存在下ではプロモーターのすぐ下流の と呼ばれる配列に結合することでRNAポリメラーゼの結合のさまたげとなり、ラクトース存在下では から解離するからである。ラクトースは、異性体(分子式は同じだが、構造が異なる分子)であるアロラクトースに変換され、それが に結合することにより の立体構造が変化することが分かっている。その結果、 の への結合の強さが低下する。

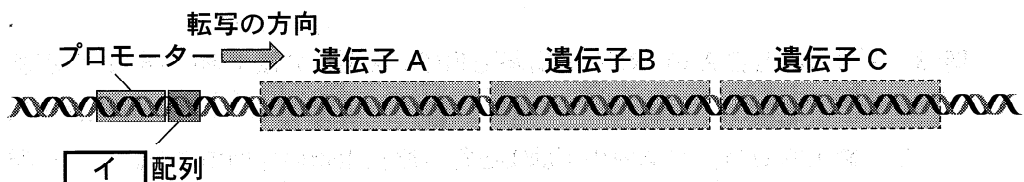


図1 ラクトースオペロンの模式図

問1 文中の空欄 , に当てはまる最も適切な語句を入れよ。

問 2 ラクトースオペロンを構成する遺伝子 A を欠失させた大腸菌で遺伝子 B と C の発現を調べたところ、ラクトースを加えてもこれらの遺伝子の発現レベルの上昇が見られなかった。しかし、ラクトースの代わりにアロラク トースを加えると発現レベルが上昇した。以下の文章①～⑥から、この実験 結果より推測できることをすべて選び、数字で答えよ。

- ① 遺伝子 A は、ラクトースをアロラク トースに異性化(変換)する酵素の 遺伝子である。
- ② ラクトースとアロラク トース間の異性化は酵素に依存せずに起こる。
- ③ 大腸菌ゲノムのラクトースオペロン以外の場所に存在している遺伝子か ら発現する酵素が、ラクトースをアロラク トースに異性化している。
- ④ 遺伝子 A は、 ア の遺伝子である。
- ⑤ 大腸菌では、ラクトースがない場合も、ラクトースオペロンの転写が完 全に抑えられるわけではない。
- ⑥ 遺伝子 B および C は遺伝子 A の下流に存在するため、遺伝子 A が存在 しないと転写されなくなる。

問 3 トリプトファンオペロンは、トリプトファンの合成に必要な 5 つの遺伝子 がオペロンを構成している。このオペロンは、トリプトファンが結合する ア と、 ア が結合する イ 配列によって転写が調節さ れる。トリプトファンの有無によって、このオペロンの転写がどのように調 節されるかを、 ア および イ を用いて 4 行以内で説明せよ。

【B】 大腸菌の増殖を抑制するタンパク質の発現を制御する実験

あるタンパク質を大量に得るために、そのタンパク質の遺伝子を組み込んだプラスミドを大腸菌に導入し、大腸菌内でタンパク質の産生を行う実験を以下のように行なった。この実験系においては、1個の大腸菌内で100コピー以上のプラスミドが保持されている。そのため、プラスミドに組み込んだ遺伝子からの発現が一斉に起こると、大腸菌ゲノムからのタンパク質合成が抑制され、大腸菌の増殖が阻害されることがある。そこで、まずは大腸菌を十分に増殖させた後にプラスミド上の遺伝子の発現を促す必要がある。液体培地中で大腸菌が増えると培地が濁っていく。これを利用して大腸菌の増殖を培地の濁りの度合い(濁度)で測定することができる。

【実験1】 大腸菌内で保持されるプラスミド上に、プロモーターと イ を含むラクトースオペロンの転写調節領域を組み込み、その下流に目的のタンパク質XまたはYの遺伝子を配置した。これらのプラスミドを導入した大腸菌を液体培地で培養し、濁度を測定した(図2)。すると、タンパク質Xの遺伝子を組み込んだプラスミドを持つ大腸菌は、プラスミドを持たない大腸菌とほとんど変わらない速度で活発に増殖し、ラクトースを添加することで十分量のタンパク質Xを得ることができた。一方、タンパク質Yの遺伝子を組み込んだプラスミドを持つ大腸菌は増殖速度が著しく低かった。

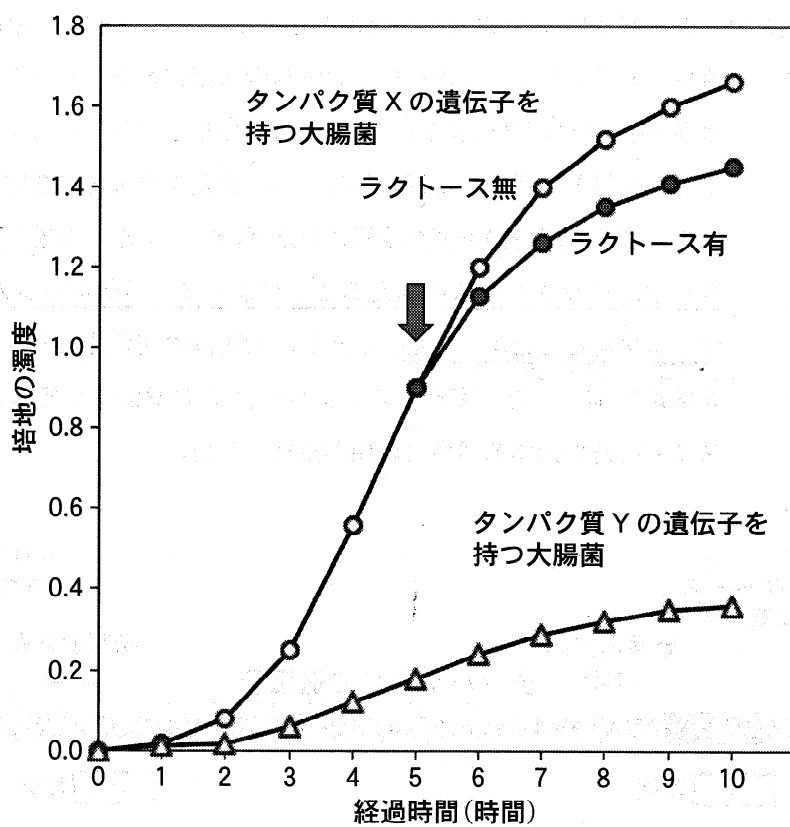


図2 実験1の発現用プラスミドを持つ大腸菌の増殖速度
矢印はラクトースを添加した時間を指す。タンパク質Yの
遺伝子を組み込んだプラスミドを保持した大腸菌はラクトー
スがない条件のみでの増殖速度を示している。

【実験2】 タンパク質 Y の発現系の改善のために、タンパク質 Y の遺伝子の下流に、トリプトファンオペロンの転写調節領域をラクトースオペロンとは逆向きに挿入した(図3)。ここからの転写はラクトースプロモーターからの転写とは逆向きに行われる。この改変プラスミドを使用することによって、大腸菌の増殖が改善された(図4)。また、増殖した大腸菌を含む培地にラクトースを加えることによって、目的のタンパク質 Y を十分な量得ることができた。しかし、大腸菌の増殖時にトリプトファンを培地に加えると、実験1のタンパク質 Y の遺伝子を組み込んだプラスミドを持つ大腸菌同様に増殖が阻害された。

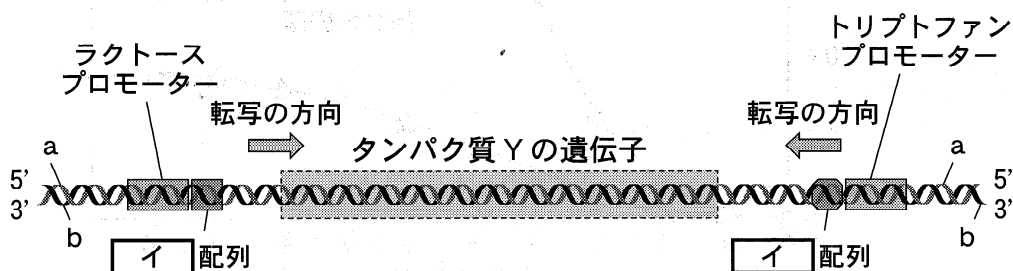


図3 実験2で使用されたプラスミドの発現調節部位の模式図

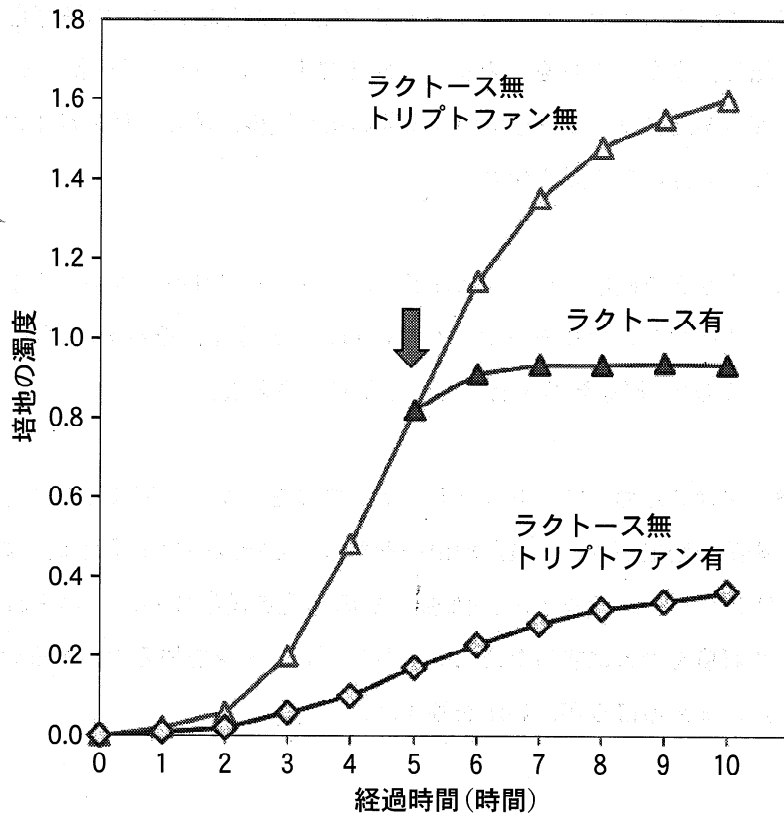


図4 実験2の発現用プラスミドを持つ大腸菌の増殖速度
 △と◇はラクトースなしでの増殖を，▲はラクトースを添加後の増殖を指す。図中の矢印はラクトースを添加した時間を指す。

以上の2つの実験をもとに以下の問4～問6に答えよ。ただし、ラクトースオペロンおよびトリプトファンオペロンの ア の遺伝子はこれらのプラスミドの別の位置に存在し、常に発現しているため、大腸菌内でそれぞれの ア は十分に存在するものとする。また、グルコース濃度は低く保たれているため、考慮に入れる必要はない。

問 4 これらの実験から、タンパク質 Y のもつ性質について推測されることを記せ。また、これをもとに、実験 1 において、タンパク質 Y の遺伝子を組み込んだプラスミドを持つ大腸菌の増殖速度が著しく低い理由について考察し、2 行以内で記述せよ。

問 5 実験 2 で使用したプラスミドで、ラクトースオペロンおよびトリプトファンオペロンのプロモーターから行われる転写は、それぞれ図 3 の a、b どちらの DNA 鎖を鋳型鎖とするかを記号で答えよ。

問 6 実験 2 において、トリプトファンプロモーターを配置したことによって大腸菌の増殖が改善された理由を考察し、4 行以内で記述せよ。また、下線部①について、ラクトース添加で Y の発現を誘導する時、得られるタンパク質収量を最大にするためには、トリプトファンを加えないままのほうが良いか、加えるほうがよいかを答えよ。

〔3〕 以下の文章を読み、問1～問5に答えよ。

神経系では神経細胞(ニューロン)がシナプスを介して情報を伝達している。シナプス前細胞に活動電位が生じると、活動電位は軸索を伝導し、シナプス前細胞の神経終末に到達する。到達した活動電位はシナプス前細胞の神経終末に脱分極^{*1}を引き起こし、それが刺激となって電位依存性 チャンネルが開き、細胞外から が神経終末内部に流入する。この のはたらきで、シナプス前細胞の細胞膜と が融合し、 の内部にある神経伝達物質がシナプス間隙へと放出される。この神経伝達物質がシナプス後細胞のリガンド依存性イオンチャンネルに結合すると、シナプス後細胞に電位変化を引き起こす。

脊椎動物では、脳からの運動指令が脊髄の運動ニューロンに到達し、活動電位が生じると、 をもつ有髄神経繊維である運動ニューロンの軸索を活動電位が伝導^①し、その終末に到達する。到達した活動電位により、運動ニューロンの神経終末から神経伝達物質である が放出され、 が筋細胞の受容体に結合することで脱分極が生じ、一連の過程を経て、骨格筋が収縮する^②。

用語説明

^{*1} 脱分極：膜電位が静止電位から 0 mV に近づくこと。

問 1 文中の空欄 **ア** ～ **エ** に当てはまる適切な語句を入れよ。

ただし、**ウ** はグリア細胞が形成する構造である。

問 2 ニューロンにおける活動電位の発生の仕組みについて 6 行以内で説明せよ。

図 1(a)に示す 3 つの神経細胞の電位変化を計測することで、興奮性シナプスと抑制性シナプスを区別する実験を行った。ニューロン 1 とニューロン 2 はシナプス前細胞、ニューロン 3 はシナプス後細胞である。図 1(b)はニューロン 3 に存在する受容体 X の阻害薬の非存在下および存在下でニューロン 1 またはニューロン 2 を刺激して活動電位を発生させ、ニューロン 1 ～ 3 の電位を測定した結果を示している。

ただし、図 1 に示している刺激条件は以下の通りである。また、各条件で刺激している時間の長さは同じである。

刺激条件 1 ニューロン 1 を 1 回刺激

刺激条件 2 ニューロン 1 を 10 ミリ秒間隔で 2 回刺激

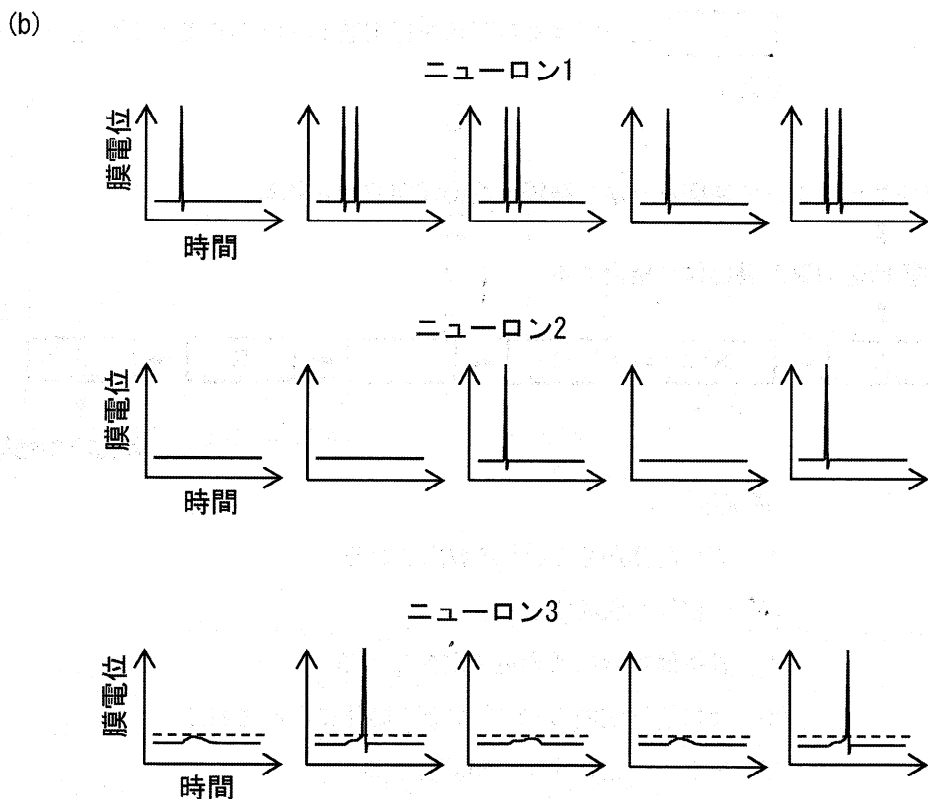
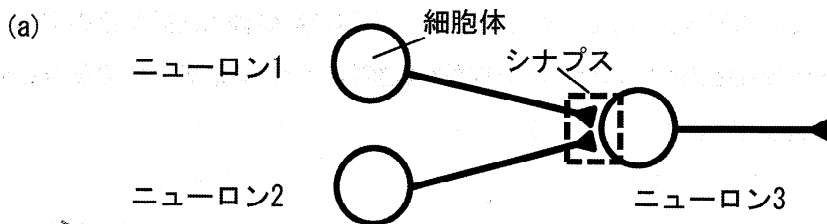
刺激条件 3 ニューロン 1 を 10 ミリ秒間隔で 2 回刺激し、ニューロン 1 の 1 回目の刺激と同時にニューロン 2 を刺激

問 3 (1) 図 1(b)の結果から読み取れる解釈として正しいものを選択肢(あ)～(か)から全て選び、記号で答えよ。

[選択肢]

- (あ) ニューロン 1 の情報がニューロン 3 に興奮性シナプスを介して伝達される。
- (い) ニューロン 1 の情報がニューロン 3 に抑制性シナプスを介して伝達される。
- (う) ニューロン 2 の情報がニューロン 3 に興奮性シナプスを介して伝達される。
- (え) ニューロン 2 の情報がニューロン 3 に抑制性シナプスを介して伝達される。
- (お) 受容体 X は興奮性シナプス後電位の発生に必要である。
- (か) 受容体 X は抑制性シナプス後電位の発生に必要である。

(2) シナプス後細胞では、膜電位が図 1(b)の破線の値を超えると活動電位が生じる。この値を何と呼ぶか答えよ。



刺激条件	1	2	3	1	3
受容体X の阻害薬	無	無	無	有	有

図1

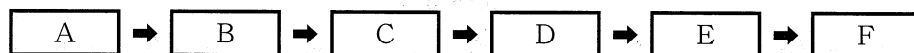
問 4 文中の下線部①に記載されている，有髄神経繊維の活動電位の伝導は無髄神経繊維に比べて速い。この有髄神経繊維における活動電位の伝導を何と呼ぶか答えよ。

問 5 (1) 文中の下線部②に関して，運動神経終末から神経伝達物質が放出され，骨格筋が収縮し弛緩するまでの過程について，空欄 A ～ F に当てはまる現象を選択肢(さ)～(た)からそれぞれ選び，記号で答えよ。

運動ニューロンの神経終末から神経伝達物質が放出される



神経伝達物質が受容体に結合する



骨格筋が弛緩する

[選択肢]

- (さ) 筋小胞体から Ca^{2+} が放出される
- (し) 骨格筋が収縮する
- (す) 骨格筋細胞に活動電位が発生する
- (せ) 骨格筋細胞内の Ca^{2+} が筋小胞体に回収される
- (そ) アクチンとミオシンが結合する
- (た) 放出された Ca^{2+} がトロポニンと結合する

(2) 骨格筋は、細胞内 Ca^{2+} 濃度が上昇することで収縮する。骨格筋細胞に発生する収縮の大きさと筋細胞内 Ca^{2+} 濃度の増加量との関係を調べたところ、図 2 の関係が得られた。続いて、骨格筋細胞に接続する神経に 1 回刺激を与えた際の骨格筋細胞内における Ca^{2+} 濃度の増加量の時間経過を調べたところ、図 3 の結果が得られた。なお、図 2 の横軸の 1 目盛りは、図 3 の縦軸の 1 目盛りと同じ値である。

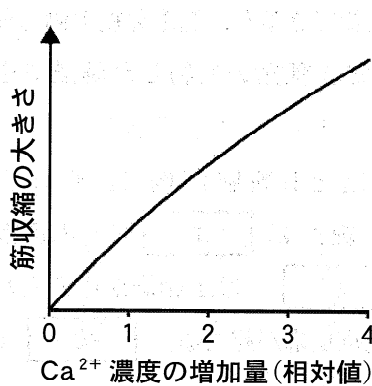


図 2

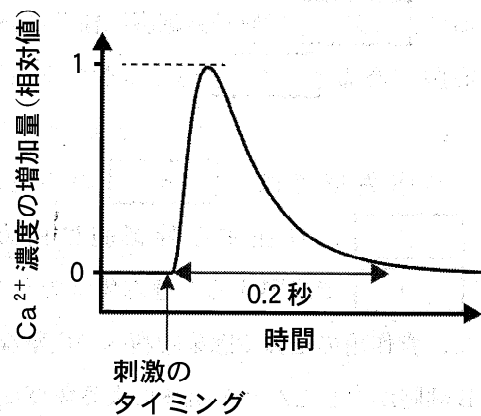


図 3

次に、骨格筋に接続する神経に 10 回刺激を与えて、収縮の大きさを測る実験を行った(図 4)。刺激の頻度は図 4 に示す(a), (b), (c)の 3 種類とした。刺激の頻度が高くなるほど収縮の大きさの最大値が大きくなった理由について、図 2 と図 3 の結果をふまえて、8 行以内で説明せよ。

刺激の頻度 (a) 10 回/秒

(b) 25 回/秒

(c) 40 回/秒

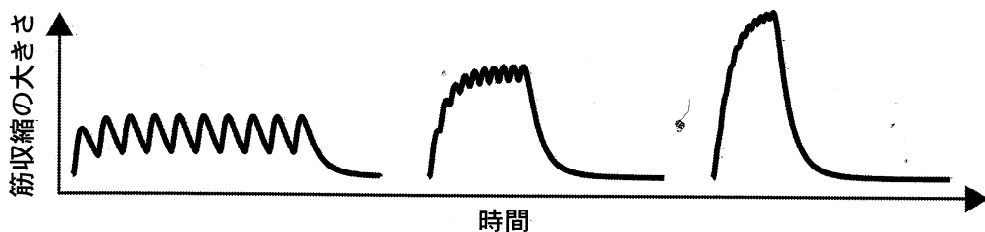


図 4

〔4〕 以下の文章【A】～【C】を読み、問1～問5に答えよ。

【A】

体内に異物が侵入したとき、ヒトの免疫系のひとつとして最初に が幅広い病原体に対して働く。その応答の結果を受けて、適応免疫(獲得免疫)が開始される。適応免疫においては、微生物のタンパク質などの異物(抗原)を免疫細胞が認識し、その構造に特異的に結合する受容体を持つ細胞が増殖して分化する。 で働く食細胞は様々な異物を認識できるが、適応免疫で働く免疫細胞である は、1クローン^{*1}につき1種類の異物しか認識できない。

適応免疫では、 のうち、T細胞とB細胞が働く。それらは に存在する幹細胞に由来し、T細胞は で、B細胞は で成熟する。適応免疫のうち、 ではT細胞が中心となつて、食作用の増強や感染細胞への攻撃などの免疫反応が起こる。 ではB細胞が中心となって抗体による免疫反応が起こる。

用語説明

^{*1} クローン：遺伝的に同一である個体や細胞のこと。

問1 文中の空欄 ～ に当てはまる適切な語句を入れよ。

問2 病原体に対して働く初期の排除機構として物理的防御機構と化学的防御機構がある。それらについて、それぞれ2行以内で説明せよ。

【B】

肺炎球菌は病原性のレンサ球菌の一種である。肺炎球菌の表面に発現するタンパク質 X を精製し、抗原 X としてマウスに 2 週間毎に合計 4 回皮下組織に接種する実験を行った(図 1)。

6 週目の接種を行った 1 週間後(7 週目)に、抗原 X と結合する血液中の抗体の量を測定したところ、抗原 X に対する抗体量が十分に存在することが示された。そこで、抗体量を測定した 1 週間後(8 週目)に、抗原 X を接種したマウス群と、何も接種していないマウス群にそれぞれ同量の肺炎球菌を感染させた。何も接種していないマウスは 2 週間以内にすべて死亡したが、抗原 X を接種したマウスは 2 週間経過しても 1 匹も死亡しなかった。

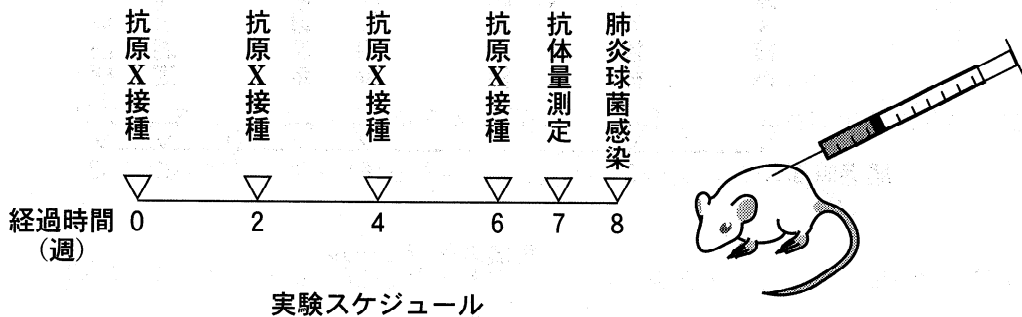


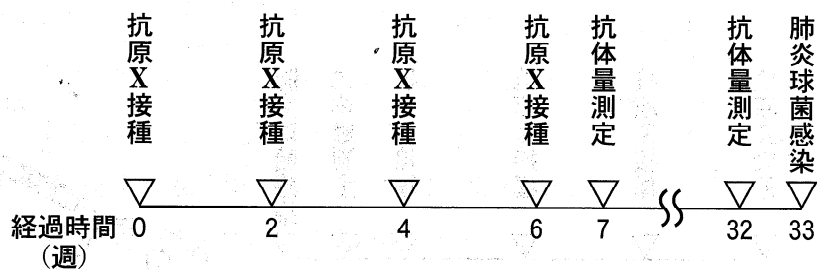
図1

問 3 下線部①に関して、皮下組織に接種した抗原 X に対する抗体が産生された仕組みについて、以下の語句をすべて用いて 7 行以内で説明せよ。

語句：樹状細胞、抗原提示、ヘルパー T 細胞、B 細胞、形質細胞、抗体

【C】

次に、新たな実験として図1の実験スケジュールで抗原Xの接種を行い、6週目の接種を行った1週間後(7週目)と半年後(32週目)に、抗原Xと結合する血液中の抗体の量を測定した(図2)。何も接種していないマウスと抗原Xを接種したマウスの抗原Xに対する抗体量は、図3に示す結果となった。さらに33週目に、何も接種していないマウス群ならびに抗原Xを接種したマウス群にそれぞれ同量の肺炎球菌を感染させた。何も接種していないマウスは2週間以内にすべて死亡したが、抗原Xを接種していたマウスは2週間経過しても8割のマウスが生存していた。



実験スケジュール

図2

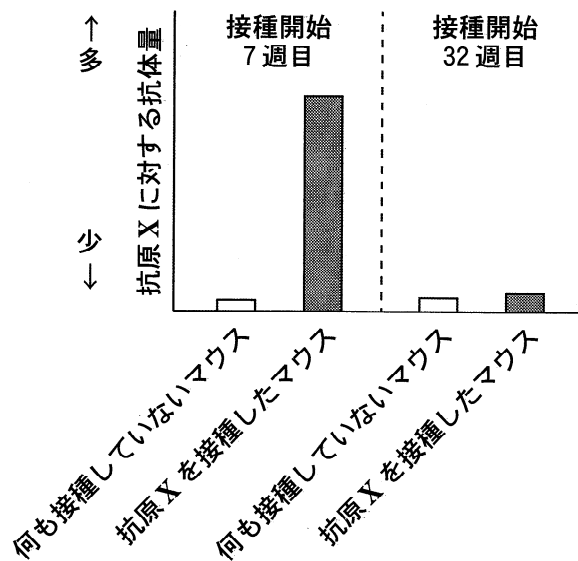


図3

問 4 下線部②について、抗原 X を接種していたマウスの生存率が高くなったのはなぜか。実験結果をふまえて、3 行以内で説明せよ。

問 5 抗原 X のアミノ酸配列を調べたところ、哺乳類でヒトのみが持つ、細胞表面のタンパク質 Y のアミノ酸配列と部分的に類似していることが明らかになった。抗原 X をヒトに4回皮下接種したときの免疫応答については、マウスでの実験結果と異なる可能性がある。どのようなことが起こりうるかを2つ挙げて、それぞれを2行以内で説明せよ。