



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(11～24 ページ) 生物(25～31 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。また、解答開始の合図があるまで、筆記用具を使用してはいけません。
2. 問題は物理4題、化学4題、生物2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・生物資源管理学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答してください。
 - ・物理、化学、生物のうちから2科目選択してください。
 - ・物理を選択する場合、「物理問題Ⅰ」、「物理問題Ⅱ」の2題を解答してください。
 - ・化学を選択する場合、「化学問題Ⅰ」、「化学問題Ⅱ」の2題を解答してください。
 - ・生物を選択する場合、「生物問題Ⅰ」、「生物問題Ⅱ」の2題を解答してください。
4. 工学部(材料化学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答してください。
 - ・物理、化学の2科目を選択してください。
 - ・物理は、「物理問題Ⅰ」、「物理問題Ⅱ」の2題を解答してください。
 - ・化学は、「化学問題Ⅰ」、「化学問題Ⅱ」の2題を解答してください。
5. 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・問題を解答してください。
 - ・物理のみ解答してください。
 - ・「物理問題Ⅰ」～「物理問題Ⅳ」の4題を解答してください。
6. 人間文化学部(生活栄養学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答してください。
 - ・化学のみ解答してください。
 - ・「化学問題Ⅰ」～「化学問題Ⅳ」の4題を解答してください。

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. 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。
8. 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。
9. 解答冊子は、どのページも切り離してはいけません。
10. 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

次の文章を読んで、 に適した式を解答欄に記入せよ。また、問1～問3に導出過程を示して答えよ。なお、重力加速度の大きさを g [m/s²]、円周率を π とし、空気の抵抗は無視できるものとする。

- (1) 図1に示すように、なめらかな水平面上に質量が m [kg] で大きさが無視できる物体 A とその右側に質量が M [kg] で大きさが無視できる物体 B がある。両物体は左右方向の同一直線上のみで運動し、直線上の速度は右向きを正とする。物体 A は、最初は速度 v (> 0) [m/s] で右向きに等速直線運動をしており、その後静止していた物体 B に衝突した。衝突後、物体 A は速度 v_1 [m/s]、物体 B は速度 V_1 ($\neq 0$) [m/s] でどちらも等速直線運動をした。なお、衝突は瞬間的に生じた。また、この衝突の前後で両物体の運動エネルギーの和は保存されていた。

問1 この衝突後の物体 A の速度 v_1 と物体 B の速度 V_1 を求めよ。

問2 この衝突の反発係数を計算し、この衝突が弾性衝突であることを示せ。



図1

(2) 図2に示すように、水平面に対して角度が θ [rad] ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ rad)で斜め右上向きに傾いたじゅうぶんに長いなめらかな斜面上に、質量が m [kg]で大きさが無視できる物体Aが固定され、そこから斜面右上方向に L [m]離れて質量が M [kg]で大きさが無視できる物体Bが固定されていた。両物体は斜面に沿った同一直線上のみで運動し、直線上の速度は斜め右上向きを正とする。時刻 $t = 0$ において、物体Aが斜め右上向きに速度 $v(> 0)$ [m/s]で射出され、物体Bの固定がはずされたため、両物体は同時に運動を開始した。その後、両物体は衝突した。両物体の運動開始から衝突までの間の、時刻 t [s]における物体Aの速度は [m/s]、物体Bの速度は [m/s]である。また、両物体が衝突した時刻は [s]である。

問3 物体Aと物体Bが衝突した直後の物体Aと物体Bの速度をそれぞれ求めよ。ただし、衝突は瞬間的に生じた。また、衝突は弾性衝突であった。

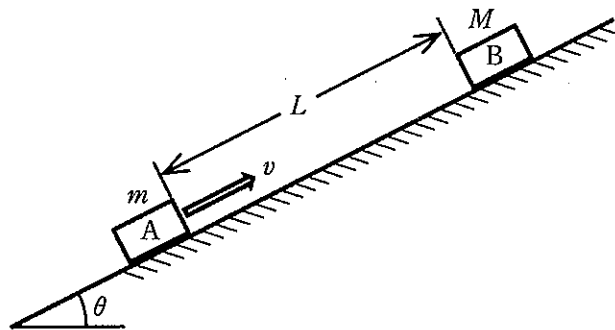


図2

(3) 図3に示すように、なめらかな水平面上に質量が m [kg] で大きさが無視できる物体 A とその左側に質量が M [kg] で大きさが無視できる物体 B があり、両物体は軽くて伸びない有限長の糸で結ばれている。両物体は左右方向の同一直線上のみで運動し、直線上の速度は右向きを正とする。最初、物体 A は速度 $v (> 0)$ [m/s] で右向きに等速直線運動をしており、物体 B は静止していたが、糸はゆるんだ状態であった。その後、糸がぴんと張り、両物体に糸の張力がはたらいた。糸は伸びないため、糸がぴんと張って両物体に糸の張力がはたらくと、その瞬間に物体 B に対する物体 A の相対速度が正から 0 または負に変化し、相対速度変化後は両物体に糸の張力がはたらかなくなる。そのため、糸がぴんと張った瞬間に両物体の速度が変化し、その直後には、物体 A は速度 v_2 [m/s]、物体 B は速度 $V_2 (\neq 0)$ [m/s] でどちらも等速直線運動をした。両物体と糸からなる物体系では糸の張力は内力であるため、両物体の質量と糸がぴんと張った前後の速度を用いて、 $mv = \boxed{\text{工}}$ の関係式が成り立つ。さらに、この糸がぴんと張った瞬間の前後で、両物体の運動エネルギーの和が保存されていた。この場合、両物体の質量と糸がぴんと張った前後の速度を用いて、 $\frac{1}{2}mv^2 = \boxed{\text{オ}}$ の関係式も成り立つ。両関係式から v_2 と V_2 を求めると、 $v_2 = \boxed{\text{カ}}$ [m/s]、 $V_2 = \boxed{\text{キ}}$ [m/s] が得られる。したがって、糸がぴんと張った後は、物体 B に対する物体 A の相対速度は $\boxed{\text{ク}}$ [m/s] となり、それは負であるので、両物体は接近していくことがわかる。



図 3

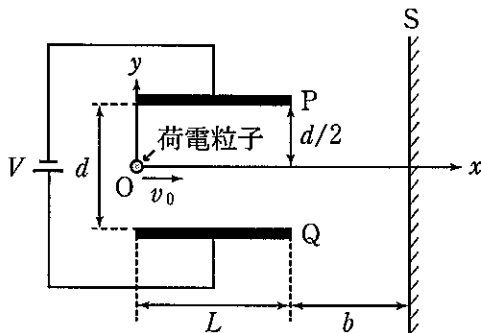
理科の試験問題は次に続く。

物理問題 II

次の文章を読んで、 に適した式を解答欄に記入せよ。また、問1～問3に導出過程を示して答えよ。なお、円周率を π とする。

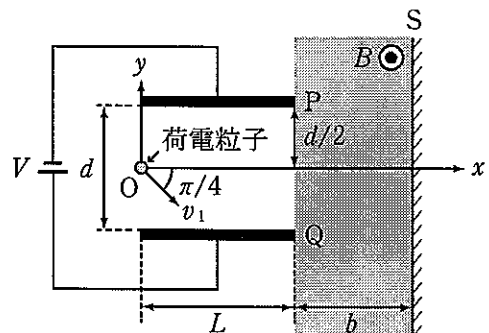
図1に示すように、真空中に原点 O 、 x 軸、 y 軸、 z 軸をとる。 xy 平面は紙面と平行であり、 x 軸は左から右の方向を正とし、 y 軸は下から上の方向を正とする。 z 軸は紙面に対して垂直で、裏から表の方向を正とする。 x 軸方向の長さ L 〔m〕、 y 軸方向の間隔 d 〔m〕で、 z 軸の正負両方向にじゅうぶん広い幅をもつ平行板電極 P 、 Q を y 軸に対して垂直に配置し、両電極の左端間の中央を原点 O に合わせた。さらに、平行板電極 P 、 Q の間に電圧 $V(>0)$ 〔V〕の直流電圧源を、平行板電極 P 、 Q の間の電場の向きが y 軸の正の方向となるように、図1に示す向きに接続した。平行板電極の右端($x=L$)から距離 b 〔m〕離れたところには、じゅうぶん広い蛍光面 S が yz 平面と平行に設置してある。

質量 m 〔kg〕、電荷 $q(>0)$ 〔C〕の荷電粒子を、原点 O から速さ v_0 〔m/s〕で x 軸の正の向きに射出した。その後の、荷電粒子が蛍光面 S に到達する過程を考える。ただし、荷電粒子は質点とみなし、その運動は、重力による影響が無視でき、 xy 平面内でのみ行われるものとする。また、電場は、平行板電極 P 、 Q の間の空間のみに一様に分布するものとする。



(注) z 軸は紙面の手前向きを正とする

図1



(注) z 軸は紙面の手前向きを正とする

図2

平行板電極 P, Q 間に生じる電場の y 成分は [V/m] であるため, 荷電粒子に対してはたらく力の y 成分は [N] となる。したがって, 電極間における荷電粒子の加速度の y 成分は [m/s^2] となる。荷電粒子が電極に接触しないとすると, 荷電粒子を射出してから電極の右端 ($x = L$) に到達するまでの時間は [s] となるため, $x = L$ における荷電粒子の y 座標は [m] となる。また, そのときの荷電粒子の速度の x 成分は [m/s], y 成分は [m/s] である。

問 1 荷電粒子が蛍光面 S に到達したときの y 座標を求めよ。

つぎに, 図 2 に示すように, 平行板電極 P, Q と蛍光面 S の間の $L \leq x \leq L + b$ の領域全体に磁束密度の大きさが B [T] の一様な磁場を z 軸の正の向きに新たに加え, さらに, 原点 O から射出する質量 m [kg], 電荷 $q (> 0)$ [C] の荷電粒子の速さを v_1 [m/s] に, また, その向きを xy 平面内で x 軸の正の向きとなす角が $\frac{\pi}{4}$ rad となる斜め下方に変更した。この場合, 平行板電極 P, Q 内を通過中の荷電粒子の速度の y 成分は, 射出直後からの経過時間を t [s] とすれば, [m/s] となる。ただし, 荷電粒子は電極に接触しないものとする。

問 2 荷電粒子が平行板電極の右端から出る ($x = L$ に到達する) ときの y 座標が 0 であった。この場合の, 直流電圧源の電圧 V [V] および荷電粒子が平行板電極の右端から飛び出すときの荷電粒子の速さと向きを求めよ。

問 3 荷電粒子は, 平行板電極 P, Q の右端から出たあと, 磁場が存在する領域を運動する。荷電粒子は, 平行板電極の右端から蛍光面 S までの距離 b [m] が短いと蛍光面に到達するが, その距離が長いと蛍光面に到達できない。直流電圧源の電圧 V [V] が問 2 で求めた値の場合に, 荷電粒子が蛍光面に到達できる最大の b を m, q, B, v_1 を用いて表せ。ただし, 荷電粒子が蛍光面に接触すれば, 荷電粒子が蛍光面に到達したものと見なすことにする。

物理問題 III

次の文章を読んで、 に適した式を解答欄に記入せよ。また、問1～問3に答えよ。ただし、問3は導出過程も示せ。なお、気体定数を R [J/(mol·K)] とする。

図1のように、圧力 p_0 [Pa] の空気中に、質量が無視でき、なめらかに動く断面積 S [m²] のピストンを備えたじゅうぶんに長い円筒形のシリンダーが鉛直に置かれている。シリンダーの内部にはピストンにより物質 n [mol] の単原子分子理想気体が閉じ込められ、体積および熱容量の無視できるヒーターが取り付けられている。ただし、シリンダーおよびピストンは断熱材でできており、シリンダー内部の気体(以後、気体と呼ぶ)とシリンダー外部の空気との熱のやりとりはないものとする。

- (1) 最初、気体の圧力と体積はそれぞれ p_0 [Pa]、 V_0 [m³] であった。このときの気体の温度は ア [K] と表される。この状態からヒーターで気体の体積が $V_1 (> V_0)$ [m³] になるまで気体をゆっくり加熱した。加熱後の気体の圧力は イ [Pa]、加熱前後での気体の内部エネルギーの変化量は ウ [J]、加熱中に気体がピストンに行った仕事は エ [J] と表される。加熱中にヒーターが気体に与えた熱量を測定したところ $5p_0V_0$ [J] であった。このとき、熱力学第1法則より、 V_1 は V_0 を用いて オ [m³] と表され、加熱後の気体の温度は p_0 、 V_0 、 n 、 R を用いて カ [K] と表される。

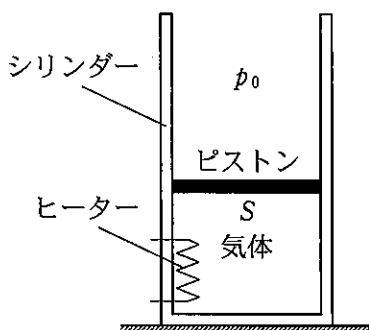



図1

問 1 気体を加熱している間の気体の温度と体積の変化を、横軸を温度、縦軸を体積として解答欄のグラフに示せ。ただし、横軸に **ア** の温度と **カ** の温度を、縦軸に V_0 と **オ** の体積を記すこと。

(2) 次に、気体の圧力 p_0 [Pa]、体積 V_0 [m³] の状態で、図 2 のように、質量と体積と熱容量が無視できるばね定数 k [N/m] のばねにより、ピストンの中心とシリンダー底面の中心が繋がれている場合を考える。このとき、ばねは自然の長さであった。この状態から体積が $2V_0$ になるまで気体をヒーターでゆっくり加熱した。加熱後の気体の圧力を p_1 [Pa] とすると、 p_1 は p_0 、 V_0 、 k 、 S を用いて **キ** [Pa] と表される。また、加熱前後における気体の内部エネルギーの変化量は p_0 、 p_1 、 V_0 を用いて **ク** [J] と表される。

問 2 加熱中の気体の状態変化を、横軸を体積、縦軸を圧力として解答欄のグラフに示せ。また、描いたグラフを参考に、加熱中に気体がピストンに行った仕事を p_0 、 p_1 、 V_0 を用いて答えよ。さらに、加熱中に気体がピストンに行った仕事のうち、ばねの弾性力による位置エネルギーとして蓄えられた仕事は、グラフのどの領域の面積に相当するか、解答欄のグラフ中に斜線()で示して答えよ。

問 3 加熱中にヒーターが気体に与えた熱量が $6p_0V_0$ [J] であったとき、ばね定数 k を p_0 、 V_0 、 S を用いて表せ。

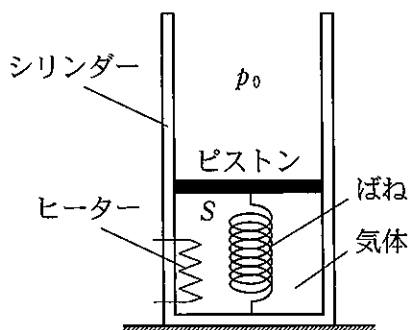


図 2

物理問題 IV

次の文章を読んで、 に適した式を、 には適した語句を下の語群から選び、解答欄に記入せよ。また、問1～問5に導出過程を示して答えよ。なお、空気の屈折率は1とし、円周率を π とする。

語群

反射 屈折 回折 干渉 変化しない $\frac{\pi}{2}$ rad ずれる π rad ずれる

- (1) 2枚の同じ形の長方形平面ガラスを空気中で重ね、一端に厚さ $D(>0)$ [m]の薄いフィルムをはさんだ、断面が図1のような、くさび形空気層がある。ガラスが接している点Oからフィルムの左端までの距離は $L(\gg D)$ [m]であり、ガラスの屈折率は $n(>1)$ である。空気中での波長が λ [m]の平行光線をガラスの真上から当てて真上から観察したところ、明線の間隔が a [m]で等間隔の、明暗の縞模様が現れた。これは、上のガラスの下面で反射した光と下のガラスの上面で反射した光が { ア } するためである。図1のガラス間の空気層の厚さが $d(< D)$ [m]の位置では、上のガラスの下面の点Pで反射する光と下のガラスの上面の点Qで反射する光の光路差は イ となる。また、点Pの反射では、入射光に比べて反射光の位相は { ウ } が、点Qの反射では、入射光に比べて反射光の位相は { エ }。以上より、ガラス間の空気層の厚さが d の位置に明線が現れる条件は、波長 λ と0以上の整数 m を用いて $d =$ オ と表される。

問1 フィルムの厚さ D を a, L, λ を用いて表せ。

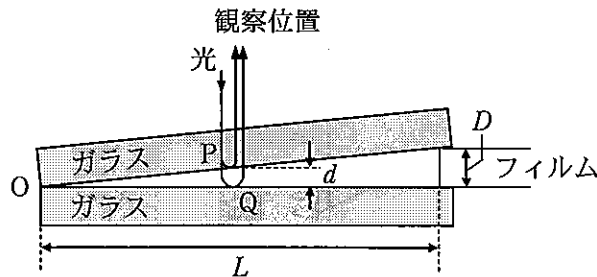


図1

問 2 2枚のガラス間の空気層に屈折率 $n' (> 1)$ の液体を満たすと、液体を満たす前に比べて明線の間隔が何倍になるかを求めよ。ただし、 $n' \neq n$ とする。

(2) 図 2 に示すように、表面が平らで屈折率 n_b の基板の上に厚さ $d (> 0)$ [m] で屈折率 n_f の薄膜がつけられており、空気中での波長が λ [m] の平行光線が空気中から薄膜に入射角 θ_i [rad] で入射している。ただし、 $1 < n_f < n_b$ とする。このとき、図 2 の屈折角 θ_r [rad] は θ_i と $\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \boxed{\text{力}}$ の関係がある。

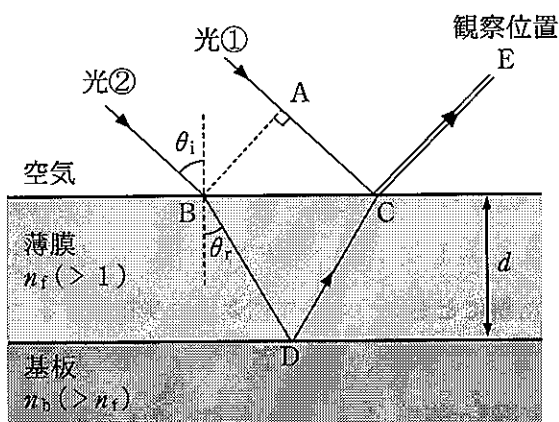


図 2



図 3

問 3 図 2 の、薄膜の表面で反射する $A \rightarrow C \rightarrow E$ の経路の光①と、薄膜を透過しその下面で反射する $B \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow E$ の経路の光②に着目し、光①と光②の光路差を d , n_f , θ_r を用いて表せ。なお、解答に必要であれば解答欄の図を用いよ。

問 4 図 2 の観察位置の方向から反射光を観察するとき光①と光②が強め合う条件を満たす薄膜の厚さ d を n_f , θ_i , λ と 1 以上の整数 m を用いて表せ。

問 5 薄膜の厚さと屈折率が $d = 2.0 \times 10^{-7}$ m と $n_f = 1.5$ (光の波長によらず一定) で、入射光の入射角が $\theta_i = \frac{\pi}{4}$ rad のとき、可視光線の波長範囲内の入射光で反射光が強め合う条件となる波長の光の色を答えよ。なお、可視光線の空気中での波長と色の関係は図 3 を参考にせよ。また、 $\sqrt{2} \approx 1.41$, $\sqrt{3} \approx 1.73$, $\sqrt{5} \approx 2.24$, $\sqrt{7} \approx 2.65$ である。

化 学

化学問題 I

次の文章を読んで、問1～問3に答えよ。必要であれば、原子量として $H = 1.0$ 、 $C = 12.0$ を、気体定数として $8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{mol} \cdot \text{K})$ を用いよ。解答の数値は有効数字2桁で示せ。気体はすべて理想気体とする。

湖沼や湿原などの湿地では硫化水素やメタンなどのガスが発生することがある。メタンは二酸化炭素について地球温暖化に影響を与えていると考えられており、湿地におけるメタン発生に関する研究は世界各地で行われている。湿地の水(湿地水)に溶解しているメタンの物質量を求める実験の内容を、手順1～3と図1に記す。なお、実験は 27°C で行った。メタンの湿地水への溶解度はヘンリーの法則に従い、 $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、 27°C において、湿地水 1.00 L に対して $1.40 \times 10^{-3} \text{ mol}$ 溶けるものとする。また、水の蒸気圧、気体の水への溶解にともなう水の体積変化は無視できるものとする。

手順1 ゴム栓で密封したガラス瓶の中に、体積 50.0 mL の湿地水をすき間なく満たした。

手順2 ガラス瓶内から湿地水を注射器で吸い出し、それと同じ体積の窒素ガスを別の注射器で瓶内に送り込んだ。このとき、瓶内の窒素ガスの分圧は $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$ であった。

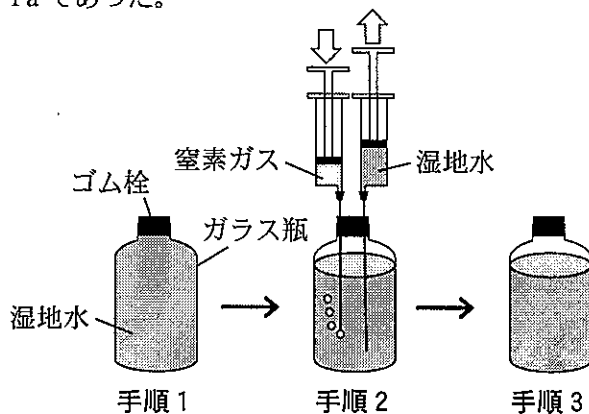


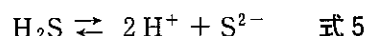
図1 実験の模式図

手順3 しばらくすると湿地水に溶けていたメタンの一部が、湿地水中から窒素ガス中へ移動して平衡状態に達し、ガラス瓶内の湿地水上の気体が窒素とメタンの混合気体となった。このとき、混合気体中のメタンの質量を測定すると 3.20×10^{-6} g であった。また、ガラス瓶内に残っている湿地水は 40.0 mL であった。

問 1 下線部(a), (b)の分子を電子式で記せ。

問 2 下線部(a)について、次の文章を読んで以下の i) ~ iii) に答えよ。

金属イオンとして亜鉛(II)イオンのみが溶けている酸性の水溶液がある。この水溶液に硫化水素を通じると沈殿は生じなかった。その後、水溶液に硫化水素を通じながらアンモニア水を加えていくと、白色沈殿(硫化亜鉛(II))が生じた。水溶液中において硫化水素は下の式1、式3のように二段階で電離し、その電離定数 K_1 、 K_2 は式2、式4のようになる。また、式1と式3を合わせた反応は式5で表現することができ、その平衡定数を K とする。



i) K を、 K_1 、 K_2 を用いて記せ。

ii) 下線部①の白色沈殿(硫化亜鉛(II))が生じた理由について、下の語句をすべて用いて説明せよ。

水素イオン

平 衡

溶解度積

iii) 硫化亜鉛(II)の溶解度積を K_{sp} としたとき、ii)における白色沈殿が生じ始める水素イオン濃度(mol/L)を、 K_{sp} 、 K を用いて記せ。導出過程も示せ。なお、硫化水素を通じる前の水溶液の亜鉛(II)イオン濃度は 1.00×10^{-1} mol/L、水溶液中の硫化水素濃度($[\text{H}_2\text{S}]$)は常に 1.00×10^{-1} mol/L であったとする。

問 3 手順 1 ~ 3 による湿地水中のメタンの物質量の測定について、以下の i) ~ iii) に答えよ。

i) 手順 3 の状態における混合気体中のメタンの分圧 [Pa] を求めよ。導出過程も記せ。

ii) 手順 3 の状態におけるガラス瓶内の湿地水に含まれるメタンの物質量 [mol] を求めよ。導出過程も記せ。

iii) 手順 1 の状態の湿地水 1.00 L あたりに溶けていたメタンの物質量 [mol] を求めよ。導出過程も記せ。

理科の試験問題は次に続く。

化学問題 II

次の文章を読んで、問1～問4に答えよ。必要であれば、原子量として $H = 1.0$, $C = 12.0$, $O = 16.0$, $Br = 80.0$ 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、鏡像異性体(光学異性体)は区別しないものとする。

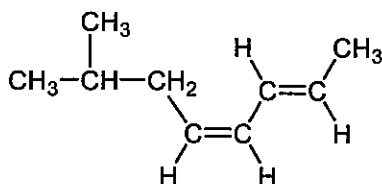
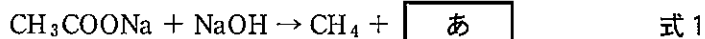


図1 構造式の例

鎖式炭化水素には、炭素原子間の結合がすべて単結合であるアルカン C_nH_{2n+2} 、および炭素原子間に二重結合を一つ含むアルケン C_nH_{2n} や三重結合を一つ含むアルキン C_nH_{2n-2} などがある。アルカンはアルケンやアルキンに比べ、安定で反応性に乏しい。しかし、アルカンに太陽光などの光を当てると塩素分子や臭素分子と反応する。^(a) アルケンとアルキンに含まれる二重結合や三重結合は反応性に富むため、付加反応等^(b)を起しやす。この反応性を利用して、アルケンとアルキンは化学製品や高分子化合物の原料として用いられている。

問1 アルカン C_nH_{2n+2} について、以下の i), ii) に答えよ。

- i) メタン CH_4 は、酢酸ナトリウムの無水物と水酸化ナトリウムの混合物を加熱すると得られる。式1の あ にあてはまる適切な化学式を記せ。



- ii) 同一炭素数のアルカンの沸点は、枝分かれが多くなるほど、また分子が球状に近い形になるにつれて低くなる。分子式 C_5H_{12} で表されるアルカンの異性体のうち、最も沸点が低いと予想される分子の構造式を一つ記せ。

問 2 下線部(a)について、メタンと塩素の混合気体に光を当てると、メタンの1個の水素原子が塩素原子で置き換わった化合物が生じた。この反応の化学反応式を記せ。

問 3 下線部(b)について、アルケン A に臭素を付加させると、分子量 216 の化合物が得られた。以下の i) ~ iii) に答えよ。

i) アルケン A の分子式を示せ。

ii) i) の分子式で表されるアルケンの異性体の構造式をすべて記せ。

iii) アルケン A の構造をさらに詳しく調べるために、図 2 に示すオゾン分解を行ったところ、アルケン A から一つのアルデヒドと一つのケトンが得られた。この二つの分解物のうち、一方だけがヨードホルム反応を示した。アルケン A の構造式を記せ。

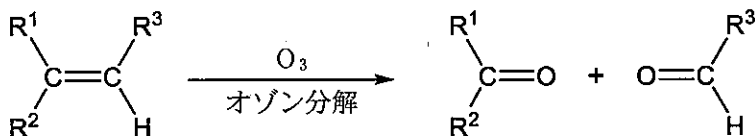


図 2 オゾン分解 (R^1 , R^2 , R^3 は、水素原子または炭化水素基を表す)

問 4 下線部(b)について、アセチレンを出発物質とした反応の経路を図 3 に示す。以下の i), ii) に答えよ。

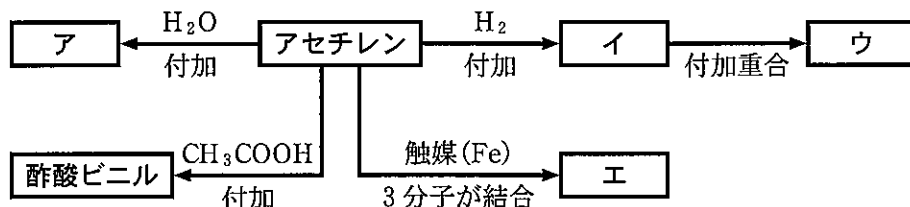


図 3 アセチレンとその関連化合物の反応

i) 図 3 の ~ にあてはまる適切な化合物の名称を答えよ。ただし、いずれも常温で安定な化合物である。

ii) 酢酸ビニルを付加重合させるとポリ酢酸ビニルが生じる。これを水酸化ナトリウムで完全に加水分解すると、水溶性の高分子化合物のポリビニルアルコール(PVA)となる。PVA をアセタール化すると、図 4 に示す水に不溶な繊維のビニロンが得られる。308 g の PVA から 322 g のビニロンが生成したとき、PVA 中のヒドロキシ基のうちアセタール化された割合[%]を小数点以下 1 桁まで求めよ。導出過程も記せ。なお、ビニロンの末端の構造は無視せよ。

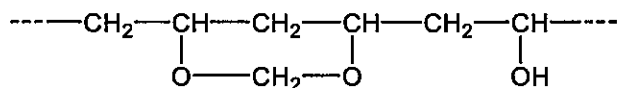


図 4 ビニロンの構造式の一部

理科の試験問題は次に続く。

化学問題 III

次の文章を読んで、問1～問5に答えよ。必要であれば、原子量としてC = 12.0, Si = 28.0を用いよ。

炭素とケイ素からなる炭化ケイ素 SiC の結晶は、形や大きさが異なるいくつかの単位格子をもつ。そのうちの一つは図1に示すような、ダイヤモンドの結晶に類似した立方体の単位格子である。図1中の単位格子の中のケイ素の配置だけを見ると、ケイ素原子は立方体の各頂点と各面の中心に位置し、**ア**格子に配列している。この単位格子の内部には、**イ**個のケイ素原子があり、炭素原子はすべて単位格子の内部にある。また、この単位格子の1辺の長さは、^(a)ダイヤモンドとケイ素の単位格子の1辺の長さの中間程度の値である。結晶中の炭素原子とケイ素原子の間の結合は、^(b)ダイヤモンドと同様に**ウ**結合であり、炭素原子の配位数は**エ**である。

炭化ケイ素は2000℃でも安定で耐熱性に優れているが、炭化ケイ素に^(c)酸化銅を接触させると、1000℃以下でも反応が起こる。炭化ケイ素は、^(d)電気的にはケイ素と同じように、**オ**として^(d)の性質を示す。その性質を利用し、高い電圧や電流に耐えられる材料として、鉄道車両や電気自動車などにも使われ始めている。

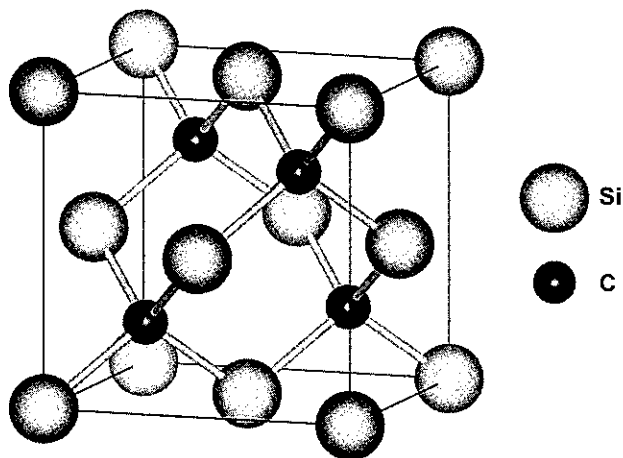


図1 炭化ケイ素 SiC の単位格子

問 1 ア ~ オ にあてはまる適切な語句や整数値を記せ。

問 2 下線部(a)について、ダイヤモンドは炭素の同素体の一つである。炭素の同素体に関する以下の i), ii) に答えよ。

i) ダイヤモンドとグラファイトの性質について、最も適切なものを以下の(a)~(o)から一つ選び、記号で記せ。

(a) ダイヤモンドは導電性が高く、グラファイトは無色で硬い。

(i) ダイヤモンドは無色・透明であり、グラファイトは絶縁体である。

(u) ダイヤモンドは無色・透明で硬く、グラファイトは無色でやわらかい。

(e) ダイヤモンドは導電性が高く、グラファイトは黒色でやわらかい。

(o) ダイヤモンドは無色・透明であり、グラファイトは導電性が高い。

ii) 筒状の構造、球状の構造をもつ炭素の同素体の名称を、それぞれ一つ記せ。

問 3 下線部(b)について、図 1 の炭化ケイ素の単位格子の 1 辺の長さは、 4.36×10^{-8} cm である。以下の i), ii) に答えよ。必要であれば、アボガドロ定数として $6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$ を、また、 $(4.36)^3 = 82.9$ を用いよ。解答の数値は有効数字 2 桁で示せ。

i) 図 1 の炭化ケイ素の結晶 1 cm^3 中に含まれる、炭素原子とケイ素原子の物質質量 [mol] をそれぞれ求めよ。導出過程も記せ。

ii) i) の結果を用いて、炭化ケイ素の結晶の密度 [g/cm^3] を求めよ。導出過程も記せ。

問 4 下線部(c)について、炭化ケイ素を空気中で加熱し室温に戻すと、炭化ケイ素の表面のごく一部が酸化し、安定な酸化物の薄い膜ができる。この酸化物の膜が 2 種類の元素から構成されているとき、考えられる酸化物を化学式で記せ。

問 5 下線部(d)の酸化銅について、以下の i), ii) に答えよ。

i) 単体の銅(固体)を空気中で加熱していくと、 $500 \text{ }^\circ\text{C}$ で発熱反応により固体の酸化銅(II)ができ、酸化銅(II) 1 mol あたり 154 kJ の熱が発生するものとする。この反応の熱化学方程式を記せ。

ii) 固体の酸化銅(II)を加熱していくと、 $1030 \text{ }^\circ\text{C}$ で吸熱反応により固体の酸化銅(I)ができ、酸化銅(I) 1 mol あたり 135 kJ の熱が吸収されるものとする。この反応の熱化学方程式を記せ。

化学問題 IV

次の文章を読んで、問1～問4に答えよ。必要であれば、原子量として $H = 1.0$, $C = 12.0$, $O = 16.0$, $Na = 23.0$, $K = 39.0$ を用いよ。解答の数値は、整数値で示せ。また、気体はすべて理想気体とし、標準状態における理想気体 1.00 mol の体積を 22.4 L とする。解答の構造式は、図1の例にならって記せ。

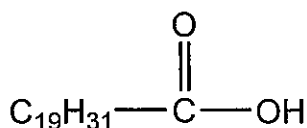


図1 構造式の例

私たちにとって身近な食品に含まれる食用油やバターは、油脂と呼ばれる。油脂は、1分子のグリセリン(1, 2, 3-プロパントリオール)と3分子の高級脂肪酸の 化により生じた 結合をもつ化合物である。油脂に含まれる高級脂肪酸を表1に示す。構成する高級脂肪酸に飽和脂肪酸の割合が多い油脂は常温で固体のものが多く、不飽和脂肪酸の割合が多い油脂は常温で液体のものが多く。

表1 油脂に含まれる高級脂肪酸

	高級脂肪酸	示性式	二重結合 (C=C)の数	分子量
飽和脂肪酸	パルミチン酸	$\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$	0	256
	ステアリン酸	$\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$	0	284
	アラキジン酸	$\text{C}_{19}\text{H}_{39}\text{COOH}$	0	312
不飽和脂肪酸	オレイン酸	$\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$	1	282
	リノール酸	$\text{C}_{17}\text{H}_{31}\text{COOH}$	2	280
	リノレン酸	$\text{C}_{17}\text{H}_{29}\text{COOH}$	3	278
	アラキドン酸	$\text{C}_{19}\text{H}_{31}\text{COOH}$	4	304

問 4 次の文章を読んで、i)～iv)に答えよ。

油脂 A はグリセリンと表 1 の 2 種類の高級脂肪酸から構成され、不斉炭素原子を一つもっている。油脂 A の構造式を調べるために、以下の実験 1～3 を行った。

実験 1 水酸化ナトリウムを用いて油脂 A 44.3 g を完全に加水分解させたところ、グリセリン 4.60 g と 2 種類の高級脂肪酸 (C と D) のナトリウム塩 (セッケン) が得られた。

実験 2 触媒を用いて水素と油脂 A 44.3 g を完全に反応させたところ、標準状態で 2.24 L の水素が付加し、油脂 B が生じた。

実験 3 酵素を用いて油脂 B を完全に加水分解したところ、グリセリンと高級脂肪酸 C のみを得られた。

- i) 油脂 A の分子量を求めよ。計算過程も記せ。
- ii) 油脂 A 1 分子に含まれる C = C 二重結合の数を求めよ。計算過程も記せ。
- iii) 表 1 にならって、高級脂肪酸 C の示性式を記せ。
- iv) 油脂 A として考えられる構造式をすべて記せ。ただし、脂肪酸由来の鎖式炭化水素基については、C = C 二重結合の位置を示す必要はなく、表 1 の示性式にならって、それぞれ C_mH_n- の形 (m, n は自然数) で示せ。また、鏡像異性体 (光学異性体) は区別しなくてよい。

理科の試験問題は次に続く。

生 物

生物問題 I

次の文章を読み、問 1～問 6 に答えよ。

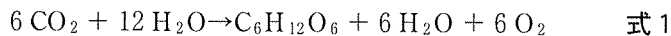
光合成は、光エネルギーを利用して二酸化炭素(CO₂)と水(H₂O)から有機物を合成する反応であり、以下のように表される。



この反応は葉緑体で行われるが、以下の連続した二つの反応から成り立っている。

- ① 光エネルギーがクロロフィルなど光合成色素に吸収されることで、H₂O が O₂ と水素イオン(H⁺)に分解され、NADPH と ATP が合成される。
- ② ①で合成された NADPH と ATP を使って、CO₂ が還元され有機物が合成される。

この過程において、CO₂は酵素のはたらきで1分子のリブローズ 1,5-ビスリン酸^(a)(RuBP)と反応し、2分子のホスホグリセリン酸(PGA)となる。PGA から何段階かの反応を経て RuBP が再生産される。このように炭酸同化反応は循環しているため、その発見者の名前をとって ア 回路と呼ばれる。この循環する炭酸同化反応における最終産物はグリセルアルデヒド 3-リン酸(GAP)であり、これを1分子作るのに3分子の CO₂ が必要である。光合成産物をグルコースとすると GAP 2 分子からグルコース 1 分子が作られるため、光合成全体の反応式は以下の式 1 のように表すことができる。



問 1 ア に適切な語句を入れよ。

問 2 ②の反応が行われる葉緑体内の場所を答えよ。

問 3 式 1 をみると、取り込まれた CO_2 あるいは放出された O_2 の質量を測定すれば光合成量を求めることができそうである。単位体積当たりの水中に含まれる O_2 の質量を溶存酸素濃度 (mg/L) という。これの変化量を測定することによって、オオカナダモ (水生植物) の単位時間当たりの光合成量を求めるための実験方法を考えた。

容量が等しく $V(\text{L})$ の透明な容器を二つ用意する。これらのそれぞれに試験水を、気泡が混入しないよう慎重に注ぎ、同じ湿重量のオオカナダモを一株ずつ入れて、ふたをする。このとき容器内部に気泡が混入しないよう充分に注意し、最初の溶存酸素濃度を測定しておく。^(b)片方の容器をアルミ箔で完全につつみ、^(c)両方の容器に一定時間光をあてる。実験終了後、容器内に気泡ができていないことを確認し、再び試験水の溶存酸素濃度を測定する。なお、溶存酸素濃度の測定時には、気泡が混入しないよう注意して試験水をよくかき混ぜる。

- (1) 下線部(b)で気泡が混入すると正しい実験結果が得られなくなる理由二つを、句読点を含めてそれぞれ 30 字以内で説明せよ。

- (2) 下線部(c)で片方の容器をアルミ箔でつつみ、光合成を抑制する理由について句読点を含めて 20 字以内で説明せよ。

- (3) 実験の結果、光にあてる前の試験水の溶存酸素濃度は、どちらの容器内も同じ濃度 (DO_i) であった。一方、 t 時間後に測定したアルミ箔でつつんだ容器内とつつまなかった容器内の溶存酸素濃度はそれぞれ DO_D と DO_L であった。放出された酸素量 (mg) で光合成量を表したいとき、実験に用いたオオカナダモ一株当たり 1 時間当たりの総光合成量 (呼吸量 + 純光合成量) を求めるための式を示せ。

問 4 下線部(a)の過程を経て CO_2 が PGA のような C_3 化合物として固定される植物を C_3 植物と呼ぶ。一方、植物の中には光が強く高温な熱帯地方や乾燥地域に適応した特殊な光合成のしくみを持つものがある。これらの植物は葉肉細胞だけでなく、維管束鞘細胞にも葉緑体をもつ特徴を有する。

(1) このような植物を C_3 植物に対して何と呼ぶか、そのように呼ばれる理由と共に答えよ。

(2) この特殊な光合成では、 CO_2 を濃縮するしくみが備わっている。なぜそのようなしくみが必要なのか、高温・乾燥に対する植物の反応を考慮して説明せよ。

(3) このようなしくみの光合成を行う植物を以下の(A)~(F)から一つ選んで記号で答えよ。

- (A) ゲンゲ (B) ヒマワリ (C) イネ
(D) トウモロコシ (E) コムギ (F) セイタカアワダチソウ

問 5 光合成は、光エネルギーを用いて CO_2 から有機物を合成するしくみである。一方、ある種の細菌は光合成を行うことなく CO_2 から有機物を合成することができる。このような細菌のことを何と呼ぶか、また、どのような方法で得られたエネルギーを使って有機物を合成しているのか答えよ。

問 6 呼吸は、有機物を酸化することでエネルギーを得るしくみで、ちょうど式 1 の矢印を逆向きにした反応式で表すことができる。これら呼吸と光合成において ATP が合成される反応は、以下のように類似のしくみで機能している。

呼吸と光合成は、それぞれ細胞内の と葉緑体で行われるが、これらはともに 構造を持ち、ここには 系が存在する。どちらの にも ATP 合成酵素があり、その構造も類似している。この 系に電子が流れると、 では 間腔に、葉緑体では 内にそれぞれ が輸送され、 を隔ててこの濃度に勾配が生じる。この濃度勾配によって、 が ATP 合成酵素を通過して移動するときに ATP が合成される。

(1) 上の文章中の ~ に適切な語句を入れよ。

(2) 呼吸とは異なり，酸素を使わないで有機物を分解し ATP を合成する過程がある。これを何と呼ぶか，またこれを行っている生物の名称を一つ答えよ。

生物問題 II

次の文章を読み、問1～問5に答えよ。

タンパク質は多数のアミノ酸がペプチド結合によって鎖状につながってできた物質^(a)であり、それぞれ固有の立体構造を形成する。細胞内には、タンパク質が正しく折りたたまれて立体構造を形成するように補助する とよばれるタンパク質が存在する。

タンパク質はそれぞれ機能に応じた立体構造をもつ。例えばヒトのリゾチームには基質である細菌の細胞壁の多糖類が結合するくぼみが存在し、結合した多糖類は切断される。このようにタンパク質固有の立体構造が特定の物質との結合に密接にかかわっている事例は、化学反応を促進する酵素だけでなく生体膜での輸送にかかわるタンパク質や、免疫にかかわる抗体などでも見られる。^(b) ^(c)

抗体は というY字型のタンパク質であり、H鎖2本とL鎖2本の4本のポリペプチドからなる。抗体には種類によってアミノ酸配列の異なる可変部と、それ以外の部分である定常部があり、可変部の立体構造の違いによって と特異的に結合する。この結合を 抗体反応という。ヒトの作り出すことのできる抗体は1億種類以上ともいわれる。しかし、ヒトの遺伝子は2万個程度しかなく、抗体の種類と比べて非常に少ない。このことから、ヒトには限られた数の抗体の遺伝子から多様な抗体をつくりだすしくみが存在すると考えられる。^(d)

問1 ～ に適切な語句を入れよ。

問2 下線部(a)について、以下の(1)と(2)に答えよ。

- (1) タンパク質を構成するアミノ酸に含まれる元素をすべて、元素記号で答えよ。
- (2) (1)のアミノ酸に含まれる元素のうち核酸には含まれない元素の原子同士が結合し、ポリペプチドの内部や間を橋渡しする場合がある。この結合の名称を答えよ。

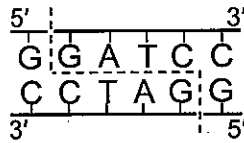
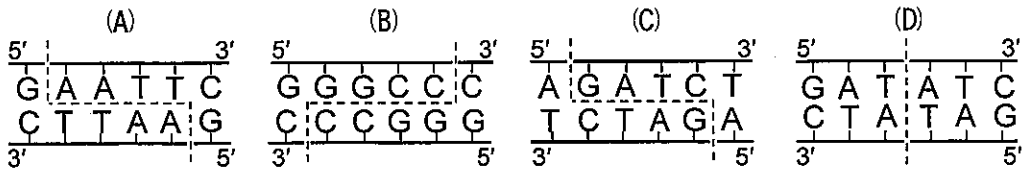


図1 制限酵素 X の認識する塩基配列(破線は切断部位を示す)

問 3 下線部(b)について、以下の問いに答えよ。

図1は制限酵素 X が認識して切断する DNA の塩基配列と切断部位を示している。ある生物のゲノム DNA から X を用いて切り出した DNA 断片を、プラスミド P に組み込む実験を計画した。プラスミド P は X では切断できないが、以下の(A)~(D)に示すような塩基配列を認識して切断する制限酵素によってそれぞれ1箇所ずつ切断することができる。このとき、ゲノム DNA から X で切り出した DNA 断片とプラスミド P を連結するためには、プラスミド P をどの種類の制限酵素で切断し、DNA リガーゼを作用させることが適当と考えられるか、(A)~(D)の記号で答えよ。またその理由について、DNA の分子構造の性質をふまえ、句読点を含めて 90 字以内で説明せよ。



問 4 下線部(c)について、以下の問いに答えよ。

動物細胞の内部は、ナトリウムポンプによって、細胞外と比べナトリウムイオンの濃度が低く、カリウムイオンの濃度が高い状態に保たれている。ナトリウムポンプとしてはたらくタンパク質には、ナトリウムイオンやカリウムイオンが結合するだけでなく、ATP も結合する。ナトリウムポンプにおいて ATP はどのような役割をもっているか、句読点を含めて 80 字以内で説明せよ。

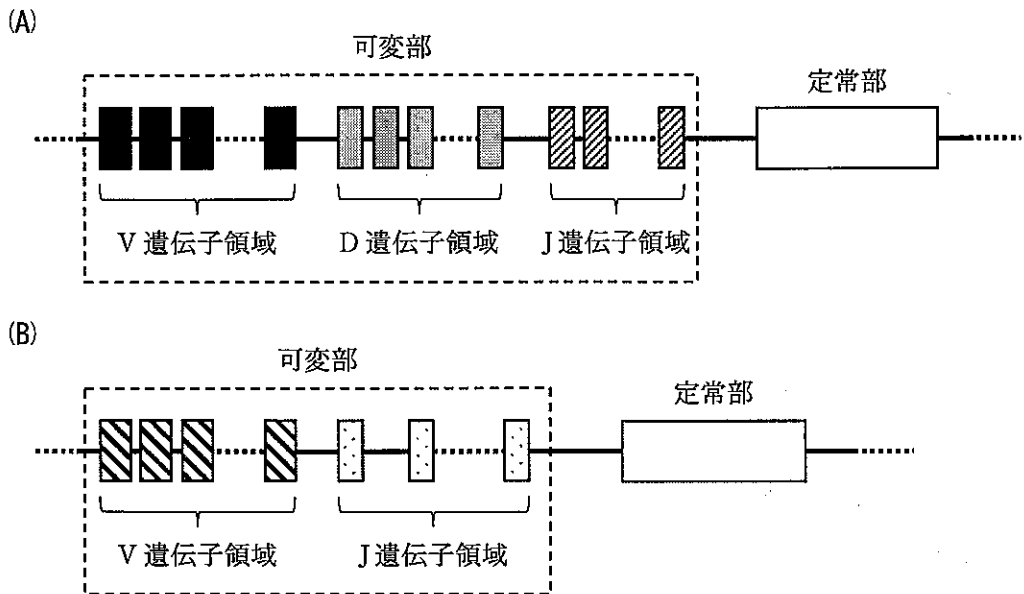


図2 H鎖(A)およびL鎖(B)の可変部と定常部に相当する遺伝子

問5 下線部(d)について、以下の(1)と(2)に答えよ。

(1) 未分化のB細胞において、抗体の可変部に相当する遺伝子はH鎖の場合V、D、Jの3つの領域に、L鎖の場合V、Jの2つの領域に分かれており、それぞれの領域には多数の遺伝子断片が並んでいる(図2)。B細胞が成熟する間に抗体の可変部に相当する遺伝子にどのような変化が起きるか、句読点を含めて80字以内で説明せよ。

(2) (1)で起きた変化を受けて、B細胞の集団全体からつくりだされる抗体は膨大な種類となる。その理由について、抗体分子の構造をふまえ句読点を含めて100字以内で説明せよ。