

3月1日実施

理科

医学部

物理

I 次の文章を読み、それぞれの設問に答えよ。

図1のように、床に固定されている、なめらかな水平面をもつ台上の左端に、ばね定数 k [N/m] のばねが固定されている。質量 m [kg] の小物体 A をばねに押しつけ、自然の長さから x [m] 縮めてから静かにはなしたところ、小物体 A は速さ v_0 [m/s] で運動した(図1上)。その後、小物体 A は静止している質量 M [kg] の物体 B 上に乗り、物体 B がなめらかな床面上を運動し始めた。小物体 A が物体 B 上に乗ってから t [s] 後、小物体 A は物体 B に対して静止し、両物体はともに床面に対して速さ V [m/s] で運動した(図1下)。小物体 A と水平面の間、および物体 B と床面との間に摩擦はない。小物体 A と物体 B の運動は紙面内に限り、台の水平面と物体 B の上面の高さは同じである。重力加速度の大きさを g [m/s²]、小物体 A と物体 B の間の動摩擦係数を μ とし、空気抵抗はないものとする。

- (1) 小物体 A が水平面上で運動しているときの速さ v_0 [m/s] を、 k , m , x を用いて答えよ。
- (2) 小物体 A が物体 B 上に乗った後の、物体 B の床面に対する加速度 a_B [m/s²] を、 g , m , M , μ を用いて答えよ。
- (3) 小物体 A が物体 B 上に乗った後、物体 B に対して静止するまでの時間 t [s] を、 g , k , m , M , μ , x を用いて答えよ。
- (4) 小物体 A が物体 B 上で静止するまでに、物体 B 上を動いた距離 l [m] を、 g , k , m , M , μ , x を用いて答えよ。
- (5) 小物体 A が物体 B に対して静止した後の、両物体の速さ V [m/s] を、 k , m , M , x を用いて答えよ。
- (6) 小物体 A が物体 B 上を運動している間に、動摩擦力がした仕事 W [J] を、 k , m , M , x を用いて答えよ。

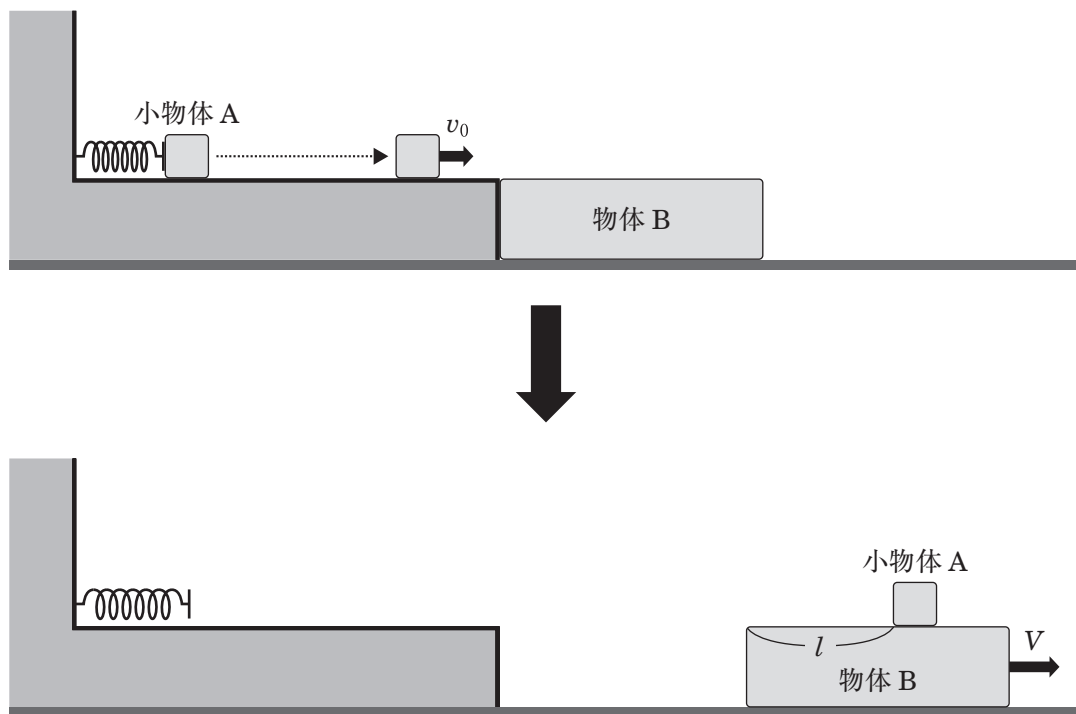


图 1

(計算用紙)

(計算用紙)

Ⅱ 次の文章を読み、それぞれの設問に答えよ。

- (1) 次の文章の空欄 1 ～ 9 を埋めよ。なお、解答にはこの問題文および図1中に登場した記号のみを使用すること。また、単位は省略してよい。

図1のように、底面が1辺の長さ L [m] の正方形からなる直方体型シリンダー容器がある。この容器を横向きに倒し、分子1個の質量が m [kg] の単原子分子理想気体を n [mol] 入れ、底面から L [m] の距離までピストンを挿入した。分子は互いに衝突することなく等速直線運動を行い、容器の壁やピストンと弾性衝突するものとする。気体定数を R [J/(mol·K)]、アボガドロ定数を N_A [mol⁻¹] とする。

分子の速度の大きさを v [m/s] とする。
容器の底面からピストンに向かう向き（水平方向）を正として x 軸をとり、この方向の速度成分を v_x [m/s] とする。このとき、1個の分子が時間 t [s] の間にピストンに衝突する回数は 1 となる。また、

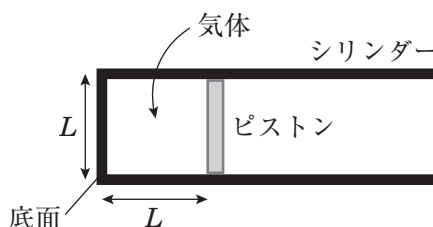


図1

1回の衝突におけるこの分子の運動量の変化は 2 [kg·m/s] である。作用反作用の法則より、ピストンは同じ大きさで反対向きの力積を受けるため、ピストンが時間 t [s] の間に1個の分子から受ける力積の合計は 3 [N·s] であり、ピストンが1個の分子から受ける平均の力は 4 [N] となる。したがって、気体分子全体の v_x^2 の平均を $\overline{v_x^2}$ とすると、ピストンが容器内の全分子から受ける力は 5 [N] となり、ピストンが受ける気体の圧力は 6 [Pa] となる。ここで、容器内の分子の総数がきわめて大きく、かつ分子が特定の方向にかたよることなく不規則に運動しているとして、 $\overline{v_x^2} = \frac{1}{3} \overline{v^2}$ の関係式が成り立つと仮定すると、6 の圧力は 7 [Pa] となる。容器内の温度を T [K] として理想気体の状態方程式を適用すると、この容器内の全分子の運動エネルギーは 8 [J] (ただし T を使用して答えよ) となり、気体分子の二乗平均速度は $\sqrt{\overline{v^2}} =$ 9 [m/s] となる。

(計算用紙)

(2) 次の文章の空欄 10 ～ 20 を埋めよ。なお、解答にはこの問題文および図 2 中に登場した記号のみを使用すること。ただし、気体定数は途中式で用いてもよいが、最終的な解答には使用しないこと。また、単位は省略してよい。

(1)と同様の底面が1辺の長さ L [m]の正方形からなる直方体型シリンダー容器がある。図2のように、この容器内に単原子分子理想気体を n [mol]入れ、ピストンで封じ込めたところ、ピストンは底面から L [m]の距離で静止し、容器内の圧力は大気圧と同じ P_0 [Pa]、温度は T_0 [K]となった。ただしピストンは、容器内の圧力と外気圧がつり合うことで静止している。この状態をAとする。ピストンの可動範囲は、底面からの距離 L [m]から $3L$ [m]

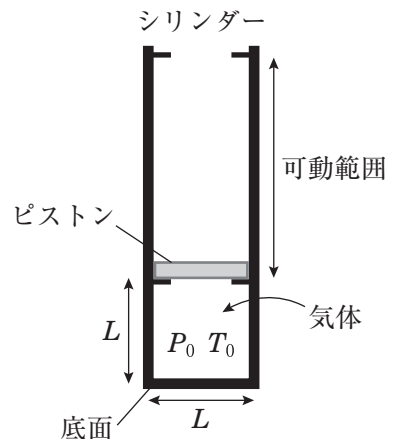


図 2

までとし、この範囲内でなめらかに動くものとする。なお、ピストンの質量は無視でき、重力加速度は g [m/s²]とする。

この容器内のピストンに質量 M [kg]の重りを乗せ、容器内の気体を加熱した。ピストンはしばらく静止していたが、やがて上昇を始め、底面からの距離が $3L$ [m]となった。ピストンが動き始めた状態をB、底面から距離 $3L$ [m]に到達した状態をCとする。このときの状態Bにおける容器内の圧力は 10 [Pa]、温度は 11 [K]である一方、状態Cにおける容器内の圧力は 12 [Pa]、温度は 13 [K]である。状態Cとなった直後に加熱を終了し、ピストンの上に乗せた重りを取り除いたところ、しばらくピストンは静止していたが、やがて下降を始め、底面からの高さが L [m]に到達し、最初の状態Aと同じ状態になった。ピストンが下降をし始めた状態をDとすると、状態Dにおける容器内の圧力は 14 [Pa]、温度は 15 [K]である。状態Aから状態Bの間に気体に与えられた熱量は 16 [J]であり、状態Bから状態Cの間に気体に与えられた熱量は 17 [J]である。状態Aから状態B、状態C、状態Dを経て、再び状態Aに戻るまでの間で容器内の気体が外にした仕事は 18 [J]なので、この

一連の状態変化の熱効率は となる。ここで、重りにかかる重力と大気圧が
ピストンに与える力の間に $Mg=2P_0L^2$ の関係が成り立つとき、熱効率は
となる。ただし は百分率〔%〕とし、有効数字3桁で答えよ。

(計算用紙)

(計算用紙)

Ⅲ 次の文章を読み、それぞれの設問に答えよ。

ある研究所で、放射性物質 Ra-226 (ラジウム 226) の性質を調べる実験を行った。Ra-226 は質量数 226, 原子番号 88 の放射性核種で、半減期は1600年である。また、Ra-226 は放射性崩壊して Rn-222 (ラドン 222) になり、最終的に安定な Pb-206 (質量数 206, 原子番号 82) になる。

実験では、ある時刻 t_0 において質量 64 mg の Ra-226 試料 A と、質量が未知の Ra-226 試料 B を用意した。試料 A から出る放射線を調べたところ、紙 1 枚 (厚さ 0.1 mm) で α 線が遮蔽されたが、 γ 線は透過した。また、試料 B については、時刻 t_0 から 3200 年後、ちょうど 2 半減期経過後の質量が 4 mg であることが測定により判明した。

- (1) Ra-226 から Pb-206 になるまでの崩壊過程について答えよ。
 - (a) α 崩壊は何回起こるか。
 - (b) β 崩壊は何回起こるか。
 - (c) この崩壊系列の途中で、原子番号 84 の核種 Po が複数回生成される。(a) と (b) の結果を用いて、生成される Po の質量数をすべて答えよ。
- (2) 試料 B について、時刻 t_0 における質量は何 mg であったか答えよ。
- (3) Ra-226 から放出される γ 線の遮蔽について調べたところ、厚さ 1 cm の鉛板を透過すると、 γ 線の強度が元の強度の 50% になることが分かった。このとき、半価層 (half-value layer) は 1 cm である。
 - (a) γ 線の強度 I と鉛の厚さ x [cm] の関係を、初期強度 I_0 を用いて表せ。
 - (b) γ 線の強度を初期強度の 10% 以下にするためには、最低何 cm の鉛板が必要か。整数で答えよ。必要であれば、 $\log_2 10 = 3.32$ を用いよ。

(計算用紙)

(計算用紙)

(計算用紙)

化 学

大問 I～III に答えよ。(問題は化 7 まである)

必要があれば, 次の値を使用せよ。

ファラデー定数 $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$, 水のイオン積 $K_w = 1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$,

原子量: $\text{H} = 1.0$, $\text{C} = 12$, $\text{N} = 14$, $\text{O} = 16$, $\text{Al} = 27$, $\text{Cl} = 35.5$, $\text{Ca} = 40$,

$\sqrt{92} = 9.6$, $\log_{10} 2.4 = 0.38$

化学の問題は次ページから

I 次の文章を読み、以下の設問(a)～(g)に答えよ。

アルミニウムは地殻中に、1およびケイ素に次いで多く存在する(質量%)。①アルミニウムの単体は塩酸とも水酸化ナトリウム水溶液とも反応して溶解する。このように、酸とも塩基とも反応する性質のことを2という。空気中では表面に酸化アルミニウムの緻密な酸化被膜を生じ、酸化が内部まで進行しにくくなる。このような状態を3という。人工的に酸化被膜をつけたものを4という。アルミニウムの単体は、鉱石である5から精製した酸化アルミニウムを氷晶石の融解液に溶かし、②これを電気分解して得ている。このような操作を6という。

鉄は、金属元素のうち、アルミニウムに次いで地殻中に多く存在する。塩基性条件下で鉄を含む触媒を用いて、7を過酸化水素で酸化すると、明るい青色の発光が観察される。この反応は7反応とよばれ、化学発光の一つとして知られている。③塩化鉄(III)の濃い水溶液を沸騰水中に加えると、水酸化鉄(III)がコロイド粒子となって水中に分散したコロイド溶液が得られる。水酸化鉄(III)のコロイド粒子は、水に対する親和性が低いため疎水コロイドとよばれ、それぞれのコロイド粒子は同種の電荷を帯びているため、その反発力により水中で安定に分散している。④水酸化鉄(III)のコロイド溶液に少量の電解質を加えると、コロイド粒子が反発力を失い、集まって沈殿する。

⑤アルミニウムの粉末と酸化鉄(III)の混合物に点火すると、激しく反応して多量の熱を発生し、単体の鉄が得られる。

(a) アルミニウムに関して正しいものを下記の選択肢からすべて選び、記号を答えよ。

- (ア) 水酸化アルミニウムはアルミナとよばれる。
- (イ) ジュラルミンはアルミニウムを含む合金である。
- (ウ) 酸化アルミニウムはルビーやサファイアの主成分である。
- (エ) アルミニウムイオン Al^{3+} を含む水溶液にアンモニア水を加えると、黒色沈殿を生じる。
- (オ) 硫酸アルミニウムと硫酸カリウムの混合水溶液を濃縮すると、ミョウバンの結晶が得られる。

(b) 1～7に入る最も適切な語句を答えよ。

(c) 下線部①について、反応式をそれぞれ答えよ。ただし、水酸化ナトリウム水溶液との反応では、錯塩が生じるものとする。

(d) 下線部②について、電極に炭素を用いて電気分解すると、陰極にアルミニウムが析出し、陽極では一酸化炭素と二酸化炭素が発生する。通電により、 $1.351 \times 10^9 \text{ C}$ の電気量に相当する電気分解を行ったところ、陽極で一酸化炭素と二酸化炭素が合計 160 kg 発生した。以下の設問 1)～3)に答えよ。ただし、発生する気体は溶液に溶解しないものとする。

- 1) 陽極で起こる一酸化炭素の発生および二酸化炭素の発生について、それぞれの反応を電子 e^- を含む反応式で答えよ。
- 2) 得られたアルミニウムの質量は何 kg か、整数値で答えよ。
- 3) この反応の二酸化炭素の発生量は何 kg か、整数値で答えよ。

(e) 下線部③について、以下の設問 1)と 2)に答えよ。

1) このコロイド溶液の色を下記の選択肢から選び、記号を答えよ。

(ア) 淡緑色 (イ) 赤褐色 (ウ) 青紫色 (エ) 淡桃色 (オ) 白色

2) 得られたコロイド溶液をセロハン袋に包んでビーカーに入れた純水中に浸し、しばらく放置した。

その後、セロハン袋の外部の溶液を試験管にとり、硝酸銀水溶液を滴下したところ、白色沈殿が生成した。この沈殿の化学式を答えよ。

(f) 下線部④について、以下の設問 1)と 2)に答えよ。

1) この現象の最も適切な名称を答えよ。

2) 水酸化鉄(III)のコロイド溶液に電極を入れ、直流電圧をかけるとコロイド粒子が陰極の方向に移動した。このコロイド粒子を沈殿させるのに、最も少量でよい電解質水溶液を下記の選択肢から選び、記号を答えよ。ただし、電解質の水溶液のモル濃度は同じとする。

(ア) CaCl_2 (イ) MgSO_4 (ウ) $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ (エ) Na_2SO_4 (オ) K_3PO_4

(g) 下線部⑤について、以下の設問 1)と 2)に答えよ。

1) アルミニウムの粉末と酸化鉄(III)の混合物の名称を答えよ。

2) この反応式を答えよ。

II 次の文章を読み、以下の設問(a)～(g)に答えよ。

窒素 N_2 は、①空気の成分の中で最も高い割合を占める無色・無臭の気体である。窒素は、②実験室では亜硝酸アンモニウムの熱分解によって得られる。窒素は常温では反応性が乏しく安定であるが、高温・高圧では様々な化合物をつくる。

アンモニア NH_3 は水によく溶け、水溶液（アンモニア水）は③弱い塩基性を示す。市販されている④濃アンモニア水は質量パーセント濃度が 28 %、密度が 0.90 g/cm^3 である。⑤アンモニアは、実験室では塩化アンモニウムと水酸化カルシウムの混合物を加熱して得られる。工業的には四酸化三鉄を主成分とした触媒を用いて、⑥空気中の窒素と化石燃料から得られる水素を直接反応させて合成される。

(a) 窒素原子およびその化合物に関する説明として正しいものを下記の選択肢からすべて選び、記号を答えよ。

- (ア) 硝酸は接触法により工業的に製造される。
- (イ) 硝酸に含まれる窒素原子の酸化数は +5 である。
- (ウ) 一酸化窒素を空气中で酸化すると二酸化窒素になる。
- (エ) 一酸化窒素は水に溶けやすく、二酸化窒素は水に溶けにくい。
- (オ) 窒素原子は価電子を 5 個もち、アンモニア中の窒素原子の原子価は 2 である。

(b) 下線部①に関して、以下の設問 1) と 2) に答えよ。ただし、空気は窒素と酸素が 4 : 1 の分子の数の割合で含まれる混合気体とし、気体はすべて理想気体としてふるまうものとする。また、 0°C 、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ （標準状態）で、水 1 L に溶ける酸素は 48 mL、窒素は 24 mL であり、標準状態の気体 1 mol の体積は 22.4 L とする。

- 1) 空気の平均分子量を小数第 1 位まで答えよ。
- 2) 0°C 、 $5.065 \times 10^5 \text{ Pa}$ の空気が水 1 L と接したとき、水に溶解した酸素と窒素の質量比を答えよ。

(c) 下線部②の反応式を答えよ。

(d) 下線部③に関して、 25°C における 0.25 mol/L アンモニア水の電離度と pH を、電離度は有効数字 2 桁で、pH は小数第 1 位まで答えよ。ただし、アンモニアの電離度は 1 に比べて十分に小さく、 25°C におけるアンモニアの電離定数は $2.3 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ とする。

(e) 下線部④に関して、濃アンモニア水中のアンモニアのモル濃度と質量モル濃度をそれぞれ小数第 1 位を四捨五入して、整数値で答えよ。

(f) 下線部⑤に関して、以下の設問 1)と 2)に答えよ。

1) 反応式を答えよ。

2) 塩化アンモニウム 0.856 g と水酸化カルシウム 1.48 g の混合物を加熱して十分に反応させたとき、発生した気体のアンモニアの体積は 0℃、 1.013×10^5 Pa（標準状態）で何 mL か。最も近い値を下記の選択肢から選び、記号を答えよ。ただし、標準状態の気体 1 mol の体積は 22.4 L とする。

(ア) 220 mL

(イ) 360 mL

(ウ) 450 mL

(エ) 540 mL

(オ) 720 mL

(g) 下線部⑥に関して、アンモニアが生成する反応は次のように表される。



図 1 は平衡状態に達したときのアンモニアの体積百分率と温度、圧力の関係を示す。反応器に 3.0 mol の窒素と 9.0 mol の水素を入れ、ある反応温度を保ち、全圧が 1.0×10^8 Pa の条件下で平衡状態まで反応させたところ、アンモニアが 4.0 mol 生成した。以下の設問 1)～4)に答えよ。ただし、気体はすべて理想気体としてふるまうものとする。

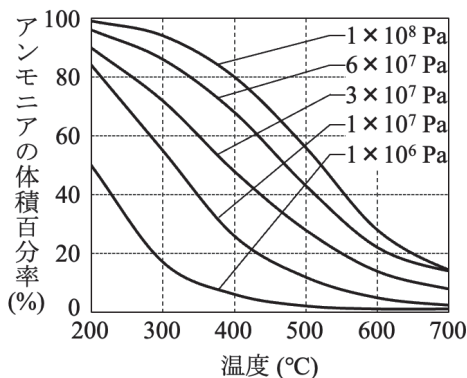


図 1. NH_3 の生成と温度 (圧力一定)

1) 平衡状態のときのアンモニアの体積百分率を下記の選択肢から選び、記号を答えよ。

(ア) 30 %

(イ) 40 %

(ウ) 50 %

(エ) 60 %

(オ) 70 %

2) 平衡状態のときの反応温度について、最も近い値を下記の選択肢から選び、記号を答えよ。

(ア) 200 °C

(イ) 350 °C

(ウ) 400 °C

(エ) 480 °C

(オ) 540 °C

3) 平衡状態時、混合気体の体積は 4.5 L であった。このときの濃度平衡定数を答えよ。単位も記せ。

4) この反応に関する説明として正しいものを下記の選択肢からすべて選び、記号を答えよ。

(ア) 平衡状態にあるときは正反応、逆反応ともに起こらず反応速度は 0 である。

(イ) 温度が低いほど反応速度は小さくなり、平衡状態に達するまでに時間がかかる。

(ウ) 触媒がない場合、平衡状態に達する時間が遅延するが、平衡の移動はおこらない。

(エ) 温度 300 K と 500 K の平衡定数をそれぞれ K_{300} 、 K_{500} とおくと、 $K_{300} < K_{500}$ になる。

(オ) 温度を保ち、反応器の体積を半分に圧縮すると、平衡は気体分子が増加する方向に移動する。

III 次の文章を読み、以下の設問(a)～(i)に答えよ。

水溶液中でグルコースは、2種類の環状構造（ α -グルコース、 β -グルコース）と1種類の鎖状構造の合計3種類が平衡状態で存在する（図1）。

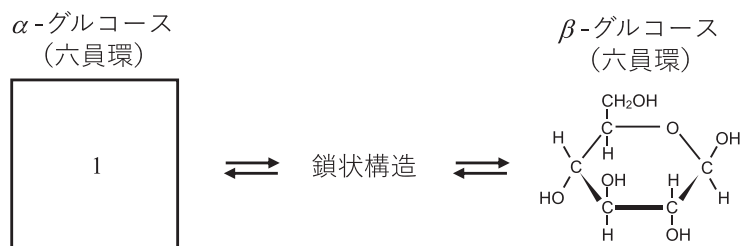


図1. 水溶液中のグルコースの平衡

フルクトースはグルコースの構造異性体であり、水溶液中では六員環の環状構造、鎖状構造のほか、五員環の環状構造も存在する（図2）。

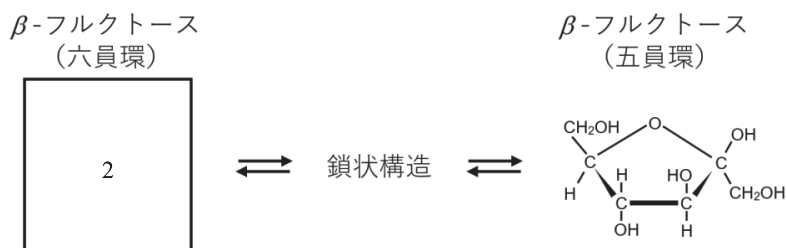


図2. 水溶液中のフルクトースの構造
(環状構造は β 型のみ記載)

①グルコースやフルクトースは、酵母に含まれる酵素の混合物（チマーゼ）の作用によって、エタノールと二酸化炭素に分解される。この反応は、酒類の醸造やパンの製造に利用されている。

② 3 は、 α -グルコースと五員環構造の β -フルクトースとの間で脱水縮合した二糖である。

多糖は多数の単糖が縮合重合してできた構造をもつ。多糖には、植物の細胞壁の主成分であるセルロースや光合成によってつくられるデンプン、動物体内で α -グルコースから合成され肝臓や筋肉に貯蔵される 4 などがある。

セルロースの分子は、5-グルコースが次々に脱水縮合して6 状に連なった構造をもち、平行に並んだ分子間の7 結合によって、繊維を形成する。③水酸化銅(II)を濃アンモニア水に溶かして得られる深青色の水溶液にセルロースを溶かすと粘性の高い溶液になる。これを細孔から希硫酸中に押し出すと、セルロース繊維が再生され 8 が得られる。8 は人工透析の透析チューブに利用されている。

- (a) , に入る構造式を答えよ。ただし、構造式は図 1 の β -グルコースにならって示せ。
- (b) 下線部①に関して、以下の設問 1)~3)に答えよ。
- 1) この反応の名称を答えよ。
 - 2) 下線部①の反応式を答えよ。
 - 3) グルコース 135 g があるとき、この反応によって得られるエタノールと二酸化炭素は何 g か。それぞれ整数値で答えよ。
- (c) 下線部②に関して、以下の設問 1)と 2)に答えよ。
- 1) に入る最も適切な糖類の名称を答えよ。
 - 2) を酵素インベルターゼで加水分解すると、グルコースとフルクトースの等量混合物になる。この等量混合物の名称を答えよ。
- (d) に入る最も適切な糖類の名称を答えよ。
- (e) ~ に入る最も適切な語句を下記の選択肢から選び、記号を答えよ。
- (ア) α (イ) β (ウ) 直鎖 (エ) らせん (オ) グリコシド
(カ) イオン (キ) 水素 (ク) キュプラ (ケ) アセテート (コ) ビスコスレーヨン
- (f) 下線部③に関して、この水溶液はテトラアンミン銅(II)イオンを含む水溶液である。銅(II)イオン Cu^{2+} を含む水溶液に塩基の水溶液を加えると、水酸化銅(II)の沈殿を生じる。水酸化銅(II)の沈殿に過剰のアンモニア水を加えたときに起こる反応式を答えよ。
- (g) 次の糖類の水溶液において還元性を示さないものを下記の選択肢からすべて選び、記号を答えよ。
- (ア) デンプン (イ) マルトース (ウ) セロビオース (エ) トレハロース (オ) ガラクトース
- (h) 糖類に関する記述として正しいものを下記の選択肢から 2 つ選び、記号を答えよ。
- (ア) 核酸を構成する糖はペントースである。
(イ) デキストリンはデンプンより水に溶けにくい。
(ウ) 六員環の糖をピラノース、五員環の糖をフラノースという。
(エ) ラクトースはラクターゼで加水分解され、グルコース 2 分子となる。
(オ) ヨウ素デンプン反応では、アミロースは赤紫色、アミロペクチンは濃青色を示す。
- (i) セルロース 16.2 g に濃硫酸と濃硝酸の混合物（混酸）を作用させたところ、ヒドロキシ基の一部が硝酸エステルになったニトロセルロース 24.3 g が得られた。
- 1) 重合度を n として、トリニトロセルロースの分子量を答えよ。
 - 2) 反応したヒドロキシ基の割合は何%か、有効数字 3 桁で答えよ。

生 物

解答は必ず別に配布する解答用紙に記入すること。

漢字の生物用語は，原則として正しい漢字を用いて解答すること。

I 次の文章を読んで下の問いに答えよ。

DNA は化学的に比較的安定な物質である。しかし、放射線やある種の化学物質によって DNA が損傷を受けたり、DNA 複製の誤りによって、塩基配列が変化することがある。これを突然変異という。突然変異が生殖細胞で起こると、発生の過程で致死的でなければ子に受け継がれる。

MSTN 遺伝子は、主に骨格筋細胞でつくられて細胞間情報伝達物質として働くミオスタチンタンパク質をコードしている。細胞外に分泌されたミオスタチンタンパク質は、細胞外の酵素の働きにより活性部位が切り出されて活性型ミオスタチンとなり、骨格筋細胞の細胞膜上にある受容体に結合して、筋肉の成長を抑制する働きをもつ。ウシでは、*MSTN* 遺伝子の突然変異によって筋肉が著しく増大する個体がみられる系統がいくつかある。このような系統の *MSTN* 遺伝子の塩基配列を調べたところ、2 種類の変異型（変異型 1 または変異型 2）がみつかった。図 1 は、*MSTN* 遺伝子の野生型と変異型のそれぞれのセンス鎖の塩基配列の一部を図示したものである。同遺伝子内でタンパク質のアミノ酸配列をコードする領域の塩基配列について、開始コドンに相当するトリプレットの最初の塩基を 1 番目の塩基として順に番号を振ると、変異型 1 では 818 番目からの 11 塩基が欠失し、変異型 2 では 938 番目の塩基がグアニンからアデニンに置き換わっていた。

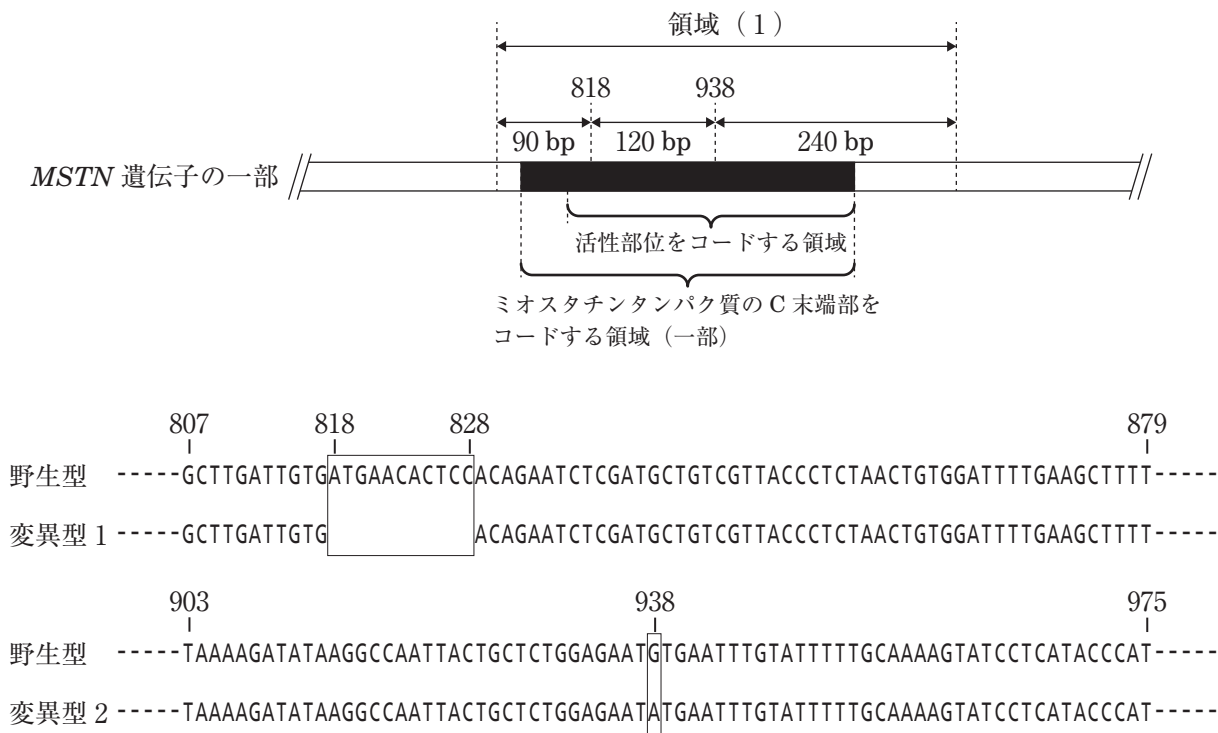


図 1. *MSTN* 遺伝子の変異部位付近の構造

[] は変異部位を示す。

問 1 変異型 1，変異型 2 のアミノ酸変化について，以下の小問に答えよ。

なお，アミノ酸番号は開始コドンに対応するメチオニンを 1 番とする。また，遺伝暗号表を参照してよい。

- (1) 変異型 1 のようにコドンの読み枠がずれることを何というか。
- (2) 変異型 1 がコードするアミノ酸配列の 272 番目から 274 番目までの 3 つのアミノ酸を順に記せ。
- (3) 変異型 1 の mRNA において，11 塩基の欠失領域より 3' 側の配列で最初に出現する終止コドンとなるトリプレット（3 塩基）を答えよ。
- (4) 変異型 2 の変異部位について，野生型と変異型 2 がそれぞれコードするアミノ酸を答えよ。
- (5) 変異型 2 のようにタンパク質のコード領域内に生じる，1 つの塩基が別の塩基に置き換わる突然変異（置換変異）のうちアミノ酸が別のアミノ酸に置き変わる変異を何というか。

遺伝暗号表

		2 番目の塩基					
		U	C	A	G		
1 番目の塩基	U	UUU フェニルアラニン	UCU セリン	UAU チロシン	UGU システイン	U	3 番目の塩基
		UUC	UCC	UAC	UGC	C	
		UUA ロイシン	UCA	UAA 終止	UGA 終止	A	
		UUG	UCG	UAG	UGG トリプトファン	G	
	C	CUU ロイシン	CCU プロリン	CAU ヒスチジン	CGU アルギニン	U	
		CUC	CCC	CAC	CGC	C	
		CUA	CCA	CAA グルタミン	CGA	A	
		CUG	CCG	CAG	CGG	G	
	A	AUU イソロイシン	ACU トレオニン	AAU アスパラギン	AGU セリン	U	
		AUC	ACC	AAC	AGC	C	
		AUA	ACA	AAA リシン	AGA アルギニン	A	
		AUG メチオニン	ACG	AAG	AGG	G	
	G	GUU バリン	GCU アラニン	GAU アスパラギン酸	GGU グリシン	U	
		GUC	GCC	GAC	GGC	C	
		GUA	GCA	GAA グルタミン酸	GGA	A	
		GUG	GCG	GAG	GGG	G	

問2 変異型1および野生型のいずれかもしくは両方の *MSTN* 遺伝子をもつ個体A～Cについて、変異型1の有無を調べるために、図1に示した領域(1)をPCR法により増幅し、その産物を制限酵素X(図2)で処理したのち、生じたDNA断片を電気泳動によって分離した。図3はDNA断片を染色し可視化した結果である。変異型1のホモ接合体およびヘテロ接合体はそれぞれA～Cのどれか。



図2. 制限酵素Xの認識配列
点線は切断部位を示す。

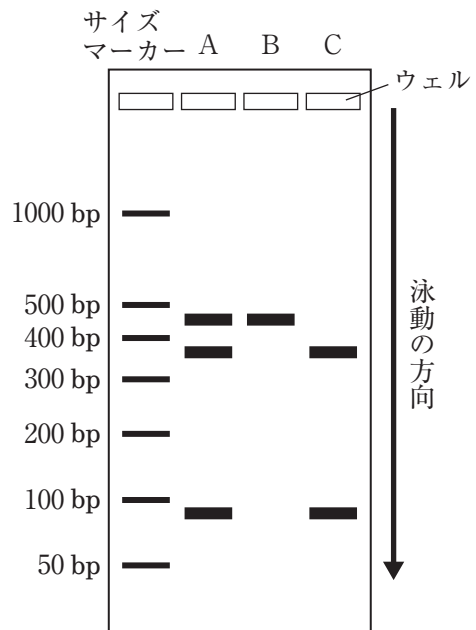


図3. DNA 電気泳動の結果

問3 変異型1をホモ接合でもつ個体と野生型純系の個体を交配して生まれた子は、すべて野生型と同等の筋肉量をもつ個体であった。変異型1をヘテロ接合でもつ個体どうしを交配して生まれた子のうち、筋肉量が増加する子が生まれる割合(%)を答えよ。なお、*MSTN* 遺伝子の変異は受精や妊娠、出産などの効率に影響を与えないものとする。

問4 ミオスタチンタンパク質は、図1に示した活性部位のアミノ酸側鎖どうしが分子内でジスルフィド結合を形成して三次構造をとり、さらに、サブユニット間のジスルフィド結合を介して四次構造を形成する。その後、活性部位が切り出され、活性型のミオスタチンとして機能する。野生型の活性型ミオスタチンをSDS-PAGE電気泳動（タンパク質を変性させて分子量に応じて分離する方法）により解析した結果、非還元条件下では分子量26000、還元条件下では分子量13000と推定されるポリペプチドが検出された。これに対して、変異型2では、非還元条件下および還元条件下のいずれの場合も分子量13000と推定されるポリペプチドが検出された。以下の小問に答えよ。

- (1) (a)タンパク質の立体構造が正しく形成されることを何というか。
(b)その過程を補助する機能を担うタンパク質を何というか。
- (2) 変異型2のミオスタチンの高次構造は野生型とどのように異なると考えられるか。40字以内で述べよ。

問5 *MSTN* 遺伝子がコードするタンパク質の1番目から24番目のアミノ酸配列は、合成中のタンパク質の輸送先を指定する役割を担っている。分泌タンパク質や膜タンパク質のアミノ末端には、これと同様の機能をもつ配列がみられる。以下の小問に答えよ。

- (1) このような配列を何というか。
- (2) ミオスタチンタンパク質のような分泌タンパク質は、この配列をもつことで小胞体に輸送される。その後、分泌タンパク質は分泌小胞に含まれるようになるが、その過程で通過する細胞小器官は何か。
- (3) ミオスタチンタンパク質は、小胞体や(2)の細胞小器官から小胞輸送により移送される。この時、小胞輸送のレールの役割を果たすのは、微小管である。微小管を構成する2種類のタンパク質名を答えよ。
- (4) 微小管に沿った小胞輸送では、細胞の中心部にあるマイナス端から細胞表層のプラス端へと小胞が送られる。この輸送を担うモータータンパク質を何というか。

Ⅱ 次の文章を読んで下の問いに答えよ。

ヒトの血液は、有形成分である赤血球・白血球・血小板などの血球と、液体成分である [ア] から構成される。血液が赤く見えるのは、赤血球の [イ] というタンパク質に鉄イオンをもつ [ウ] という色素が含まれているためである。
[イ] は酸素と結合する能力をもち、このような酸素と結合した [イ] は [エ] と呼ばれる。

組織の細胞は、赤血球の [エ] より解離した酸素を利用して、呼吸を行っている。細胞の呼吸によって細胞外に放出された二酸化炭素の多くは、まず赤血球に入る。
① 赤血球の内部では、酵素の働きにより、水と二酸化炭素から、炭酸を経て [オ] と [カ] がつくられる。[オ] は、赤血球から [ア] 中に拡散して、肺へ運ばれる。赤血球中の [カ] が増加すると、その結果、[エ] からの酸素の解離が促進される。

一方で、ヒトの成熟赤血球は、細胞小器官のひとつである [キ] をもたないため、酸素を使った呼吸を行うことができない。赤血球内では解糖系によりエネルギー通貨である ATP がつくられる。解糖系では、まず、グルコースが ATP のエネルギーを利用してリン酸化され、いくつかの反応を経て、グルコース 1 分子から 2 分子の [ク] が生じる。次に [ケ] 酵素の働きで、2 分子の [ク] から [カ] と [コ] が [サ] に渡され、2 分子の [シ] と 2 個の [カ] を生じる。その後いくつかの反応を経て、グルコース 1 分子あたり、2 分子の [ス] と 4 分子の ATP が生じる。ATP は、この過程で、中間生成物に結合しているリン酸を ADP に移すことによって合成される。
② さらに、酵素の働きで [ス] が [セ] に変換される。この過程で、[シ] が酸化されて [サ] が生成され、赤血球における ATP 産生が継続される。

問 1 文章中の [ア] ～ [セ] に入る最も適切な語句を答えよ。

問 2 下線部①に関して、この二酸化炭素の主な発生源となる代謝経路の名称を答えよ。

問3 下線部②に関して、このようなリン酸化のしくみを何というか。

問4 1モルのグルコースに蓄えられた化学エネルギーは2880 kJであり、1モルのATPを加水分解して得られるエネルギーが30.5 kJであるとする。細胞の呼吸によって、グルコースのエネルギーのうち40%がATPに蓄えられるとする。このとき、1モルのグルコースから何モルのATPが生成されるか。小数点以下第2位を四捨五入し、小数点以下第1位まで求めよ。

問5 問4で、ATPに蓄えられなかった残りのエネルギーは、主にどのような形で処理されるか。最も適切なものを次のa～eより選び記号で答えよ。

- a. アンモニアとして排出される。
- b. 熱として放出される。
- c. 酸素と結合して保存される。
- d. 脂肪に変換される。
- e. 二酸化炭素として排出される。

問6 図は、一定の二酸化炭素濃度における、血液中の酸素濃度と、イ 全体に占める エ の割合との関係を示したグラフである。二酸化炭素濃度が高くなると、このグラフの曲線はどのように変化するか。解答用紙の図に描き加えよ。

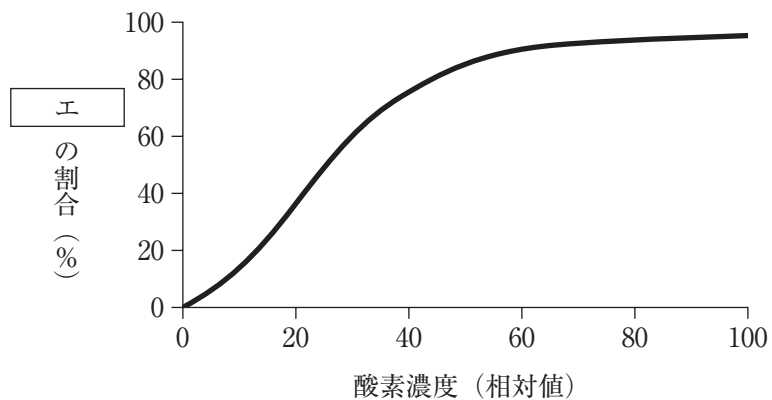


図. 酸素解離曲線

問7 問6のような変化には、どのような利点があると考えられるか。組織の細胞呼吸の状態と関連づけて25字以内で答えよ。

Ⅲ 次の文章を読んで下の問いに答えよ。

現在の医学は、遺伝子組換え技術によって支えられている。例えば、治療薬やそれらをつくるための酵素の多くが、細菌や菌類、あるいは動物由来の遺伝子を遺伝子組換え技術により大腸菌に導入し発現させることで作製されている。細菌由来の遺伝子がコードするタンパク質を大腸菌で作製する際には、一般に次の①～⑥の手順に従う。

- ① 細菌からゲノム DNA を抽出する。
- ② ①の DNA を鋳型として、図のように目的のタンパク質をコードする遺伝子の DNA 配列の両端に特定の制限酵素認識配列を付加した配列を PCR 法により増幅する。
- ③ ②の PCR 産物と^①プラスミドのそれぞれを、PCR 産物の末端の付加配列を認識する制限酵素で処理する。
- ④ ③で処理した PCR 産物とプラスミドを混合し、酵素アを用いて両者を結合させて環状の組換えプラスミドを作製する。
- ⑤ ④の組換えプラスミドを大腸菌に導入することで、大腸菌は目的のタンパク質をつくるようになる。組換えプラスミドの、外来遺伝子を挿入する部位の近傍には、転写酵素である酵素イが結合する部位である領域ウが配置されている。この領域に大腸菌の酵素イが結合することで転写が開始される。
- ⑥ ⑤の遺伝子組換え大腸菌を培養して増やすことで、目的とするタンパク質を大量に合成する。

なお、マウスやヒトのタンパク質を大腸菌につくらせる場合では、手順①で、^②ゲノム DNAではなく mRNA を細胞から回収する必要がある。これは原核生物の DNA には領域エが含まれないが、真核生物の DNA には領域エが含まれているためである。

遺伝子組換え技術を利用した比較的新しいがん免疫療法に、キメラ抗原受容体 T 細胞療法 (CAR-T 療法) がある。キメラ抗原受容体 (CAR) は、マウス T 細胞受容体に由来する抗原認識部位^③と、ヒト T 細胞受容体に由来する膜貫通部位と細胞内シグナル伝達部位とを人為的に連結させた構造をもつ組換えタンパク質である。CAR はヒト

のがん細胞の表面にある特定の抗原を認識する。CAR-T 細胞は、患者本人の血液から採取した T 細胞^④に、遺伝子組み換え技術により CAR を発現させた細胞である。この細胞を、治療に必要とされる数になるまで培養したのち患者血液に戻すことで、難治性の血液がんなどの治療が行われる。

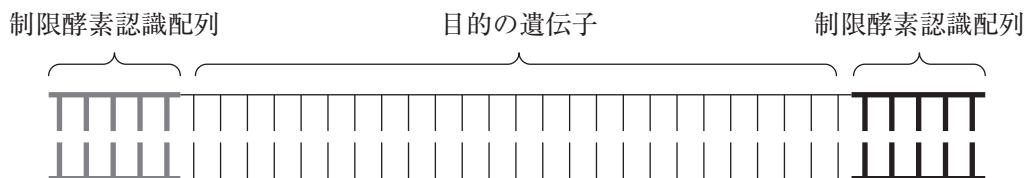


図. PCR 産物の模式図

- 問 1 文章中の空欄 酵素ア ～ 領域エ のそれぞれに入る語を答えよ。
- 問 2 PCR を行う際に反応液に入れるものとして、鋳型 DNA、緩衝液、電解質以外に必須なものが3つある。3つすべてを答えよ。
- 問 3 下線部①のプラスミドのように、遺伝子を細胞内に運ぶものを何と呼ぶか。また、プラスミド以外で遺伝子を運ぶものの例をひとつ挙げよ。
- 問 4 下線部②の mRNA はそのままでは PCR 法の鋳型として使うことができない。mRNA 回収後どのような操作を行えば PCR 法に使用できるようになるか、25 字以内で答えよ。
- 問 5 遺伝子を導入するために使用するプラスミドには抗菌薬などの薬剤に対する耐性遺伝子が含まれていることが多い。薬剤耐性遺伝子が含まれているプラスミドを用いることの利点は何か、50字以内で述べよ。

問 6 下線部③の抗原認識部位のように抗原と特異的に結合するものとして抗体の可変部がある。抗体およびその可変部に関する次の小問に答えよ。

- (1) 抗体の可変部以外の領域を何と呼ぶか。
- (2) 抗体の模式図を描き、可変部の位置を図に示せ。抗体の L 鎖, H 鎖, ジスルフィド結合の位置と数がわかるように描くこと。

問 7 下線部④に関して、なぜ患者本人から採取した T 細胞を使用するのか。その理由を MHC という語句を使い、60 字以内で説明せよ。

問 8 患者に戻された CAR-T 細胞に期待される働きは何か。30 字以内で述べよ。

問 9 治療薬として用いられることもある次の a～e の分子のうち、遺伝子組換え技術によってつくられているものを 1 つ選べ。

- | | | |
|---------------------------|-----------|----------|
| a. アドレナリン | b. 成長ホルモン | c. チロキシン |
| d. テストステロン (ステロイドホルモンの一種) | e. ビタミン A | |