

平成 30 年 度

前 期 日 程

理 科 問 題

見
本

〔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。

問題冊子は、

{	物理	2 ページから 12 ページ
	化学	13 ページから 21 ページ
	生物	22 ページから 35 ページ

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. 問題冊子は持ち帰ること。

平成30年度個別学力検査等

問 題 訂 正

【 前期日程 理科（物理・化学） 】

問題冊子 4 ページ 上から 11, 12 行目

【誤】

- (あ) 位置エネルギー (い) 力学的エネルギー
(う) 運動量の x 軸方向の成分 (え) 運動量の鉛直方向の成分

【正】

- (あ) 車の 位置エネルギー (い) 車の 力学的エネルギー
(う) 車の 運動量の x 軸方向の成分 (え) 車の 運動量の鉛直 上向き 方向の成分

問題冊子 10 ページ 上から 6 行目

【誤】

力は常に引力であるとし、修正万有引力定数 G' は正であるとする。

【正】

力は常に引力であるとし、修正万有引力定数 G' は正であるとする。ただし、問2のボーア半径において、修正万有引力の大きさはクーロン力の大きさに比べて十分小さいものとする。

問題冊子 15 ページ 上から 1 行目

【誤】

……。Aは結晶状態において、面心立方格子の原子位置に……

【正】

……。Aは結晶状態において、面心立方格子の各頂点と各面の中心に……

平成30年度個別学力検査等

問 題 補 足

【 前期日程 理科（物理） 】

問題冊子 1 1 ページ [3] B

浮力を発生させる圧力差は，シリンダー内の圧力に比べて十分小さいものとする。

「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 〕 図1のように、水平な地上をまっすぐに走る車を考える。車の前方には、厚みの無視できる高さ h の塀がある。走ってきた車は、ある時点でジャンプをして地面を離れ、最大の高さ h に達し、塀の最上部すれすれを飛び越えた。この様子について、以下の二種類のジャンプの方法を考え、比較しよう。

図1において、車の初期の進行方向である水平右向きを x 軸の正の向きとし、車の質量を m とする。車の大きさは考えず、質点として取り扱う。また、車は地上を水平方向に通常走行している間は、加速することができ、最大の加速度の大きさは a である。宙を運動している間は加速できない。空気抵抗は無視できるものとする。重力加速度を鉛直下向き、大きさ g とする。

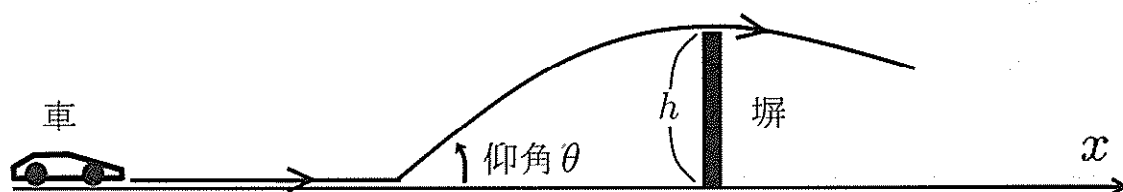


図1

- I. ジャンプ台を使って、塀を越えることを考える。 x 軸上で塀の手前にジャンプ台を置き、車の速さを変えずに速度の向きだけを仰角 $\theta = 45^\circ$ の方向に変えることができるようにする。ジャンプ台の大きさは無視できるものとし、その地点で車はすぐに方向を変えると仮定する。

車が、地上を x 軸の正の向きに等速運動してきた。以下の問に答えよ。

- 問 1 ジャンプ台を通過した瞬間から塀の直上に車が達するまでの時間を、 g 、 h を用いて表せ。
- 問 2 ジャンプ台に達する前における、車の等速運動の速さを、 g 、 h を用いて表せ。

次に、等速運動ではない状況を考える。車は静止状態から出発し、ジャンプするまでの間、地上で等加速度運動をした。

問 3 塀を越えるためには、車はある最小距離以上は地上を助走せねばならない。この最小距離を、 a 、 g 、 h を用いて表せ。

II. ジャンプ台を使わずに、塀を飛び越えることを考える。新しい車を用意した。車は圧縮空気を鉛直下向きに解放することで、瞬間的に鉛直上向きの力積を受けることができるジャンプ機構を持っているものとする。車は同じく質量 m の質点として取り扱う。また、車の質量はジャンプ機構の使用により変化しないものとする。

塀の手前から、地上を x 軸の正の方向に車が等速運動をして走ってきた。塀に近づいたある瞬間にジャンプ機構を用い、車は宙を飛び、塀を飛び越えた。以下の問に答えよ。

問 4 ジャンプ機構を用いたときに車が受けた力積の大きさを、 m 、 g 、 h を用いて表せ。

問 5 地上における車の等速運動の速さを v とする。車がジャンプ機構を用いて宙に浮き始めた地点と塀との間の x 軸方向の距離を、 v 、 g 、 h を用いて表せ。

次に、等速運動ではない状況を考える。車は静止状態から出発し、等加速度運動をして、ある瞬間にジャンプ機構を用い、塀を越えた。ジャンプの際の車の運動の方向は、仰角が $\theta = 45^\circ$ になるように設定したとする。

問 6 塀を越えるためには、車はある最小距離以上は地上を助走せねばならない。この最小距離を、 a 、 g 、 h を用いて表せ。

Ⅲ. ジャンプ台を使う問3と、ジャンプ機構を使う問6の二つの場合を比較する。

問 7 問3の結果に比べ、問6の結果は常に短いことがわかる。すなわち、ジャンプ機構を用いる方が、より短い助走で塀を飛び越えられる。この理由を説明する次の文章中の空欄にふさわしいものを、下の選択肢(あ)～(え)の中からそれぞれ一つずつ選べ。なお、選択肢は重複して使用してよい。

ジャンプの直前と直後で、は、問6の場合は保存しているが問3の場合は減少している。また、は、問3の場合は保存しているが問6の場合は増加している。

選択肢

(あ) 位置エネルギー

(い) 力学的エネルギー

(う) 運動量の x 軸方向の成分

(え) 運動量の鉛直方向の成分

問 8 車は塀を飛び越えた後、地面に達した。この様子を表す次の文章中の空欄にふさわしいものを、下の選択肢(あ)、(い)、(う)の中からそれぞれ一つずつ選べ。なお、選択肢は重複して使用してよい。

問6の場合に塀を越えてから地面に達するまでの時間は、問3の場合と比較して、。また、問6の場合に塀の位置から車が地面に達した点までの x 軸方向の距離は、問3の場合と比較して、。

選択肢

(あ) 増加している

(い) 減少している

(う) 変化していない

〔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. 起電力 E の直流電源，自己インダクタンス L のコイル，抵抗値がそれぞれ R_1 ， R_2 の抵抗 1，抵抗 2，およびスイッチ S をつないだ，図 1 のような回路がある。抵抗 1，抵抗 2 以外の電気抵抗は無視でき，回路を流れる電流は図 1 に示した矢印の向きを正とする。初期状態では，スイッチ S は開いており，スイッチ S を開いてからは十分に時間が経過しているとする。以下の問に答えよ。

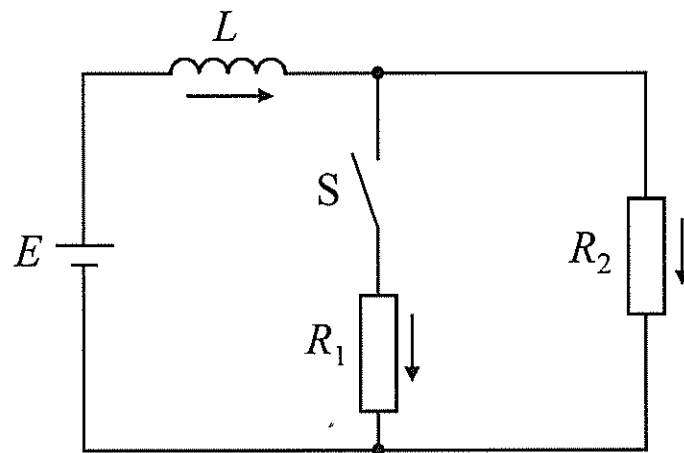


図 1

問 1 初期状態において，コイルを流れる電流 I_0 を， E ， L ， R_1 ， R_2 のうち必要なものを用いて表せ。

次にスイッチ S を閉じた。このとき，以下の問に答えよ。

問 2 スwitch S を閉じた直後における，抵抗 1 を流れる電流 I'_0 ，および抵抗 1 と抵抗 2 における消費電力の総量 P_0 を，それぞれ E ， L ， R_1 ， R_2 のうち必要なものを用いて表せ。

問 3 スwitch S を閉じた直後の微小時間 Δt の間に，コイルを流れる電流が ΔI_0 だけ変化し，コイルに蓄積されているエネルギーが ΔU_0 だけ変化したとする。このとき， $\frac{\Delta I_0}{\Delta t}$ および $\frac{\Delta U_0}{\Delta t}$ を，それぞれ E ， L ， R_1 ， R_2 のうち必要なものを用いて表せ。

II. 図 1 における抵抗 2 をネオン管に置き換え，図 2 のような回路を作製した。

このとき，ネオン管以外の素子はすべて置き換える前と同じ性質を持つものとする。ネオン管では，端子間の電圧が定数 V_N より低いときに電流は流れないが，端子間の電圧が上昇し， V_N に達すると電流が流れて発光し始める。ここでは簡単化するため，発光中の端子間の電圧は常に V_N であり，ひとたび発光を開始すると電流がゼロになるまで発光し続けるものとする。また，ネオン管の電気容量は無視できるほど小さいものとする。初期状態（時刻 $t = 0$ ）ではスイッチ S は開いており， $E < V_N$ のため回路に電流は流れていない。時刻 $t = T_0$ ($T_0 > 0$) にスイッチ S を閉じ，十分に時間が経過したところ，コイルを流れる電流は一定値 I_1 となった。電流は図 2 に示した矢印の向きを正とし，以下の問に答えよ。

問 4 I_1 を求めよ。また，このときコイルに蓄積されているエネルギー U_1 を求めよ。ただし，解答には， E ， L ， R_1 のうち必要なものを用いよ。

その後，時刻 $t = T_1$ においてスイッチ S を開いたところ，ただちにネオン管が発光をはじめ，しばらく光り続けた後，時刻 $t = T_2$ において発光が停止した。

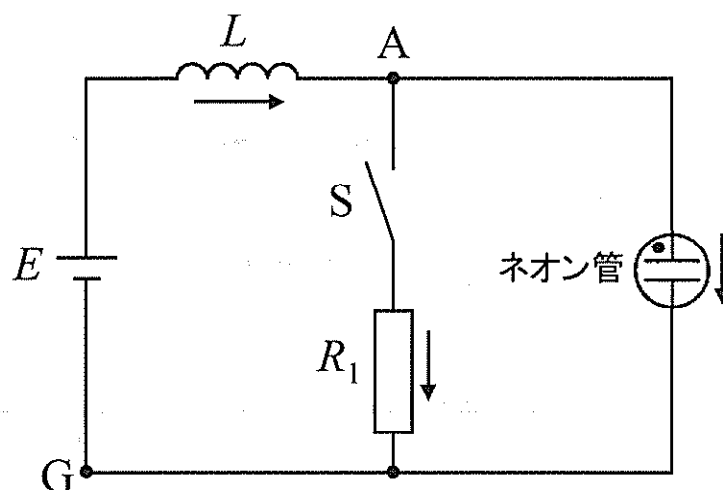


図 2

問 5 発光中のネオン管を流れる電流が、微小時間 Δt の間に ΔI だけ変化したとする。 $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ を、 E , L , R_1 , V_N のうち必要なものを用いて表せ。

問 6 $\frac{\Delta I}{\Delta t} = \alpha$ (α は定数) と表されるとき、ネオン管を流れる電流は、 $I = \alpha t + \beta$ (β は定数) となる。このことを用いて、時刻 t ($T_1 < t < T_2$) における I を、 E , L , I_1 , V_N , t , T_1 のうち必要なものを用いて表せ。

問 7 ネオン管の発光が停止する時刻 T_2 を、 E , L , I_1 , V_N , T_1 のうち必要なものを用いて表せ。

問 8 図 3 はコイルを流れる電流と、G 点に対する A 点の電位の時間変化を描いたグラフである。図の領域 1, 2, 3 それぞれにおいて、最も適切なグラフの概形を (あ), (い), (う) の中から選んで答えよ。

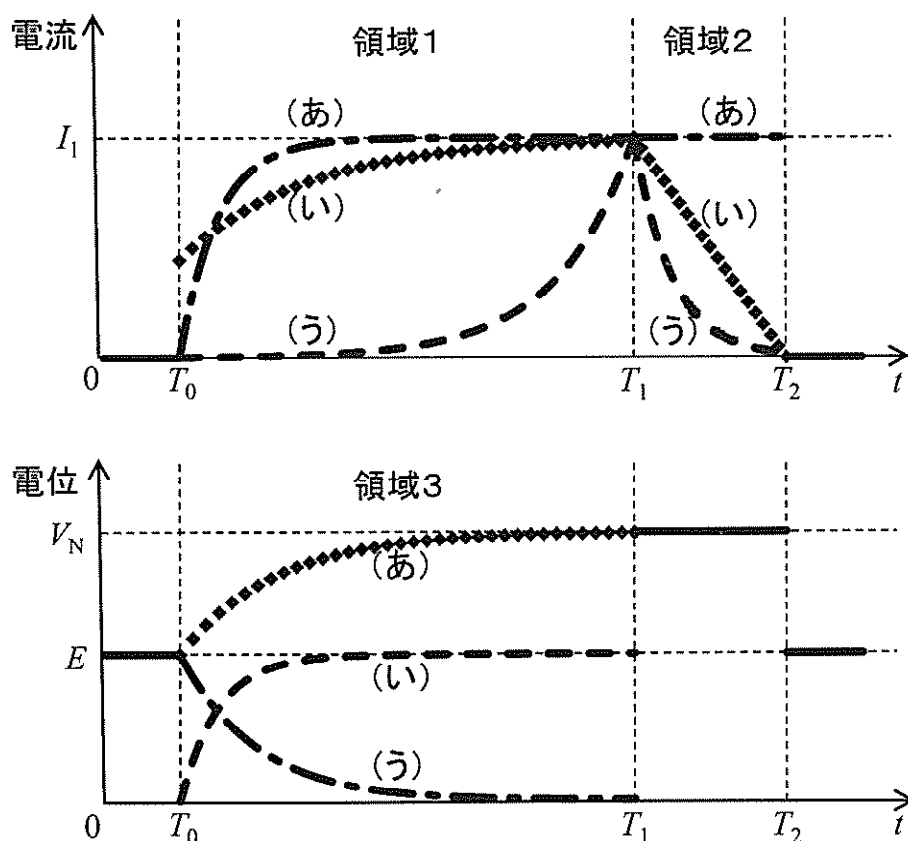


図 3

問 9 次の文章中の空欄にふさわしいものを、下の選択肢 (あ)～(お)の中からそれぞれ一つずつ選べ。なお、選択肢は重複して使用してよい。

ネオン管が発する光の明るさは、ネオン管を流れる電流に比例するものとする。コイルのインダクタンス L を 2 倍にしてネオン管を発光させたとき、元の場合と比べ、(a) 明るさで光り始め、その発光時間は (b) 長さであった。

選択肢

(あ) 4 倍の

(い) 2 倍の

(う) 同じ

(え) 2 分の 1 の

(お) 4 分の 1 の

〔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. 水素原子の線スペクトルは、電子と原子核（陽子）の間に働く力に関する基礎的な情報を与える。この力の性質を詳しく調べるため、以下では一つの水素原子内にある電子と原子核の間にはたらく力のみを考え、ボーアの仮説に従って、電子が原子核の位置を中心とした円運動をすると考えよう。プランク定数を h 、電子の質量を m 、原子核の質量を M 、電子の電荷の大きさ（電気素量）を e 、真空中のクーロンの法則の比例定数を k_0 、万有引力定数を G とする。

ボーアの量子条件とは、電子が原子核を中心として半径 r の円運動をしていると仮定した際に、電子の軌道の一周の長さが電子のド・ブロイ波長の自然数倍であるという条件のことである。速さ v で運動している電子のド・ブロイ波長は $\lambda = \frac{h}{mv}$ で与えられる。以下の問に答えよ。

問 1 ボーアの量子条件から、電子の速さ v を、 h 、 m 、 r 、および自然数 n を用いて表せ。

問 2 水素原子内で、電子は原子核からクーロン力を受ける。円運動の運動方程式とボーアの量子条件から、電子の軌道半径 r が求まる。最小の軌道半径（ボーア半径）を、 k_0 、 m 、 e 、 h を用いて表せ。

問 3 電子と水素原子核の間には、万有引力も働いているはずである。ニュートンの万有引力とクーロン力の大きさの比 s は、 $s = \frac{GMm}{k_0e^2}$ と与えられる。クーロン力に加えてニュートンの万有引力も考慮したとき、最小の軌道半径は、万有引力を考慮しないときに比べて何倍になるか。 s を用いて表せ。

実は、物体間の距離がおよそ 0.1 ミリメートルよりも短い場合には、ニュートンの万有引力の法則は実験的に確認されていない。そこで、万有引力の法則に修正が必要な可能性を探ってみよう。力の大きさ F が式 (1) のように距離 r の 3 乗に反比例する仮想的な修正万有引力の法則を考える。

$$F = G' \frac{Mm}{r^3} \quad (1)$$

力は常に引力であるとし、修正万有引力定数 G' は正であるとする。

問 4 このとき、ボーアの量子条件を用いて最小の軌道半径を求めると、問 2 の結果に比べて $(1 - \delta)$ 倍になった。正の定数 δ を、 h , m , M , G' , k_0 , e のうち必要なものを用いて表せ。

問 5 式 (1) で表される修正万有引力の法則は、通常のニュートンの万有引力の法則とは異なっている。(この違いは空間次元数の変化に対応していることが知られている。) そこで、ある距離 R を境に、長距離 ($r > R$) では通常の万有引力の法則であるが、近距離 ($r < R$) では修正万有引力の法則 (1) になっていると考えよう。これらの法則の間に矛盾がないためには、距離 $r = R$ においてそれぞれの法則が同じ大きさの力を与える必要があるため、次の式が成立するとしよう。

$$G \frac{Mm}{R^2} = G' \frac{Mm}{R^3}$$

例として $R = 1 \times 10^{-4}$ メートルと仮定する場合に、問 3 で導入した s の観測値が $s \doteq 4 \times 10^{-40}$ であることと、問 2 の最小軌道半径がおよそ 5×10^{-11} メートルであることを用いて、問 4 の δ の値を有効数字 1 桁で求めよ。

B. 図1のように、ピストンを備えた断面積 S のシリンダー容器 A の中に、球形の密閉容器 B が入っている。容器 A は圧力 P 、絶対温度 T 、密度（単位体積当たりの質量） ρ の理想気体 X で、容器 B は圧力 P 、絶対温度 T 、密度 $\frac{\rho}{2}$ の理想気体 Y で、それぞれ満たされている。今、容器 B は浮力によって容器 A の上面まで上昇している。容器 A のピストンは、外力や容器内外の圧力差によって滑らかに動くものとし、外力が加わっていない初期の状態では端から距離 L の位置にあるものとする。気体 Y を除いた容器 B 自体の質量は M であり、その壁面の厚さは十分薄く無視できるが、壁面は変形しない材質でできており、容器 B の容積は常に一定値 V であるとする。なお、容器 A は一定圧力 P 、一定温度 T の大気中に置かれているものとし、容器 A、B ともにその壁面は十分よく熱を伝えるものとする。重力加速度の大きさを g として以下の間に答えよ。

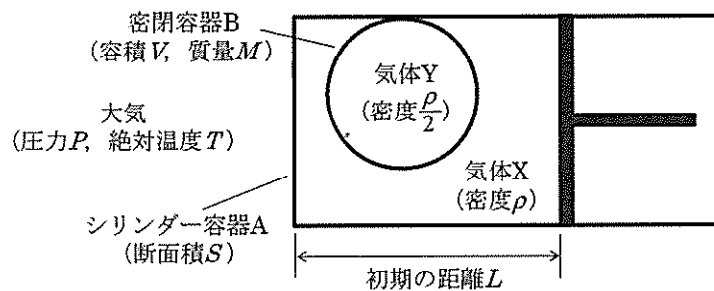


図 1

問 6 容器 B にはたらく浮力の大きさを、 ρ 、 V 、 M 、 g のうち必要なものを用いて表せ。

問 7 容器 B が容器 A の上面まで上昇していることから、 M はいくら未満と考えられるか。 ρ 、 V 、 g のうち必要なものを用いて表せ。

問 8 外力を加えて、容器 A のピストンを初期の位置から一方向にゆっくりと移動させると、端からの距離 L' の位置を過ぎたところで、容器 B がゆっくりと下降し始めた。ピストンが端からの距離 L' の位置にあるときの気体 X の密度を ρ' とするとき、 ρ' を、 ρ 、 V 、 M 、 g のうち必要なものを用いて表せ。

以下の問9～問11では、容器Bの質量を $M = \frac{V\rho}{4}$ として答えよ。

問9 問8における L' を、 L 、 V 、 S を用いて表せ。

問10 外力を加えて、容器Aのピストンをゆっくりと元の位置（端からの距離 L ）まで戻したところ、容器Bは再び容器Aの上面まで上昇した。このとき、気体Xの温度は T であった。その後、容器A全体を断熱材で覆い、熱の出入りを無くした。ピストンには外力を加えない状態で、容器Aに内蔵されているヒーターによって気体Xをゆっくりと加熱したところ、ピストンはなめらかに移動し、気体Xの温度が絶対温度 T' を超えたところで容器Bが再び下降し始めた。 T' を、 T を用いて表せ。

問11 問10において気体Xの温度が T' となったとき、容器B内の気体Yの圧力 P' を、 P を用いて表せ。

問12 次の文章中の空欄にふさわしいものを、下の選択肢(あ)、(い)、(う)の中からそれぞれ一つずつ選べ。

問8では、容器A内外で温度差が生じない条件の下で、外力によりピストンを移動させている。ピストンをゆっくり引いた場合には、容器Aの外部 (a) ため、容器A内の気体Xの温度は一定に保たれ、気体分子の平均速度は一定に保たれる。しかし、気体Xの体積が増加することで、気体分子が容器壁面に衝突する頻度が少なくなり、圧力は減少することになる。一方で問10では、容器A内外で圧力差が生じない条件の下で、気体Xを加熱してピストンを移動させている。このとき、加熱によって容器A内の気体Xの (b) ため、体積が増加しても圧力は一定に保たれている。

(a) の選択肢

- (あ) に内部から熱量が流出する
- (い) から内部に熱量が流入する
- (う) と内部で熱量の流入はなし

(b) の選択肢

- (あ) 内部エネルギーが増加する
- (い) 内部エネルギーが減少する
- (う) 内部エネルギーは変化しない

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 = 12.0

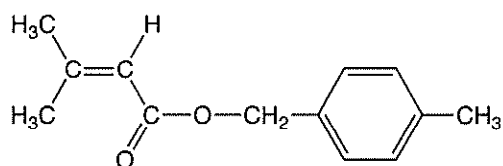
Nの原子量 = 14.0

Oの原子量 = 16.0

Cuの原子量 = 63.5

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〕 問1～問8に答えよ。必要があれば次の数値を用いよ。

Sの原子量 = 32, アボガドロ定数 $N_A = 6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$

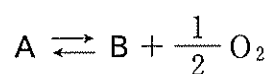
問1 硫黄 16 g を出発物質として用い、硫酸水溶液 1.0 L を調製した。調製した硫酸水溶液の中和を以下の水酸化ナトリウム水溶液を用いて試みた。調製した硫酸を中和できる量の水酸化ナトリウムを含む水溶液全てを a から d の記号で答えよ。

- a. 1.0 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液 800 mL
- b. 2.0 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液 600 mL
- c. 3.0 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液 360 mL
- d. 4.0 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液 240 mL

問2 強塩基である水酸化ナトリウムに代えて弱塩基である重曹(ベーキングパウダーの主成分)を用いて問1の硫酸水溶液を中和した。この反応を化学反応式で示せ。

問3 問2の中和反応で発生した気体を A とする。発生した A の物質量を答えよ。

問4 気体 A の分子式より酸素原子(O)が1つ少ない気体を B とする。A と B との間には以下の平衡が成り立つとする。



問3で求めた物質量の気体 A と 0.50 mol の気体 B を大気圧下 ($1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$)、温度 T まで昇温し、平衡状態にしたところ、微量の酸素が生成した。この状態(大気圧下、温度 T)では K_p を圧平衡定数とすると以下の式が成り立つとして、生成した酸素の分圧を有効数字 2 桁で答えよ。

$$K_p = \frac{P_B \sqrt{P_{\text{O}_2}}}{P_A} = 2.0 \times 10^{-6} \text{ Pa}^{\frac{1}{2}}$$

ただし、 P_A , P_B , P_{O_2} はそれぞれ A, B, 酸素の分圧とする。

気体 A を固化させた。A は結晶状態において、面心立方格子の原子位置に 原子が配置した構造をとっている。その単位格子の一边は、0.56 nm である。この結晶は、分子結晶、イオン結晶、 結晶、 結晶のうち、分子結晶に分類される。イオン結晶では、多数の陽イオンと陰イオンが 力によりイオン結合を形成している。

問 5 の空欄にあてはまる元素名、 ~ の空欄にあてはまる適切な語句を答えよ。

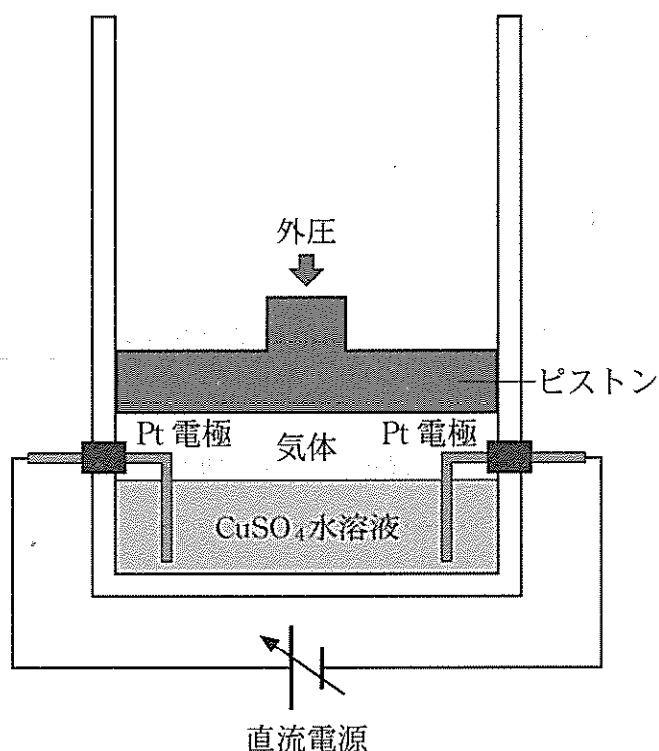
問 6 結晶中の A 同士に分子間力が生じる要因を 20 字程度で述べよ。

問 7 A の結晶の単位格子に含まれる原子数を求めよ。

問 8 A の結晶の密度は、何 g/cm^3 か。有効数字 2 桁で答えよ。

〔2〕 電気分解に関する次の文章を読み、問1～問5に答えよ。

図に示すように、2本の白金電極がついた容器が、温度は20℃で一定に、さらに内部の気体の圧力はピストンによって1.00気圧(1.01×10^5 Pa)に保たれている。この容器内に、気体が溶解していない 5.00×10^{-2} mol/Lの硫酸銅(Ⅱ) CuSO_4 水溶液 0.500 Lと、20℃、1.00気圧で0.200 Lのアルゴン(物質量 8.29×10^{-3} mol)を入れ、ピストンによって封じた。その後、2本の白金電極をそれぞれ陽極、陰極とし、直流電源につないで水溶液の電気分解を行った。気体はすべて理想気体とみなせる。水の蒸気圧は無視してよい。また、水溶液へのアルゴンの溶解は無視してよい。



必要であれば、次の値を用いよ。

ファラデー定数： 9.65×10^4 C/mol, 気体定数： $8.31 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / (\text{K} \cdot \text{mol})$

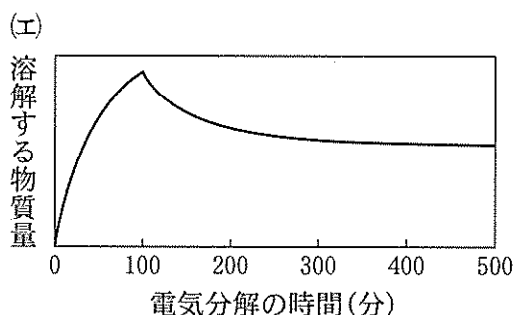
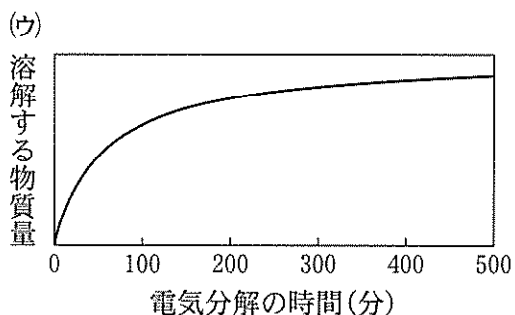
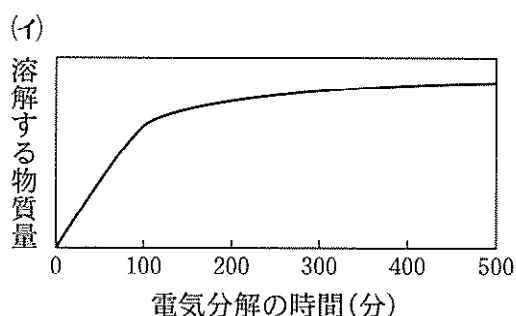
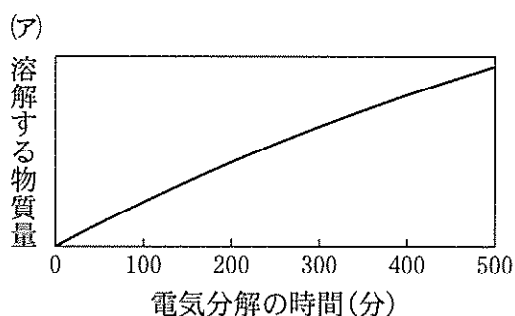
問1 水溶液の電気分解を行うと、陽極からは気体が発生し、陰極は質量が増加した。それぞれの電極で起こる反応をイオン反応式で示せ。

問2 0.800 A の一定電流で60.0分間電気分解した。このとき陰極で増加する質量を求めよ。

問 3 問 2 の過程で陽極から発生した気体(気体 A とする)は、一部水溶液に溶解し、気体として存在する物質量は $7.13 \times 10^{-3} \text{ mol}$ であった。このときの分圧と水溶液中に溶解している物質量を計算することで、気体 A の 20°C での水溶液への溶解度(気体の分圧が 1.00 気圧のとき水溶液 1.00 L あたりに溶ける物質量)を求めよ。また、計算過程も示せ。

問 4 さらに長い時間電気分解を行うと、ある時間経過後からは陰極からも気体(気体 B とする)が発生するようになる。 0.800 A の一定電流で計 200 分間電気分解したときの、陽極および陰極から発生した気体 A と気体 B の物質量の総和を求めよ。また、計算過程も示せ。

問 5 0.800 A の一定電流で計 500 分間電気分解を行ったときの、水溶液に溶解する気体 A の物質量の変化を示す図は次の(ア)~(エ)のいずれかである。気体 A の分圧について、問 3 より計算される 60.0 分間の電気分解を行ったときの値と、充分長い時間電気分解を行ったときの値を比較することで正しい図を選び、(ア)~(エ)の記号で答えよ。なお、 20°C での水溶液への気体 B の溶解度は、気体 A の溶解度と同程度である。



〔3〕 次の文章を読み、問1～問6に答えよ。

化合物 A, B, C, F, G は、炭素、水素、酸素からなる 2 価カルボン酸である。化合物 A と B は立体異性体であり、化合物 A の融点は化合物 B の融点よりも低い。^①これらの化合物を用いて以下の実験を行った。

- (a) 1 mol の化合物 A と B それぞれに、白金触媒存在下で 1 mol の水素 H_2 を付加させると同一の化合物 C が生成した。化合物 A を加熱すると分子内での脱水反応を伴って化合物 D が生成したが、化合物 B では分子内での脱水反応が起こりにくかった。
- (b) 化合物 C と十分量のエタノールを少量の硫酸とともに加熱すると化合物 E が生成した。化合物 E の分子量は 200 以下で、その組成式は $C_4H_7O_2$ であった。
- (c) 化合物 F は、キシレンを過マンガン酸カリウムで酸化することにより得られた。化合物 F の芳香環に結合している水素原子 1 つを臭素原子で置き換えたとしても 2 つの異性体が考えられる。
- (d) 化合物 G は、シクロヘキセンを過マンガン酸カリウムの硫酸酸性溶液を用いて酸化することにより得られた。化合物 G とヘキサメチレンジアミンの混合物を加熱し、縮合重合させると高分子化合物が生成した。^②

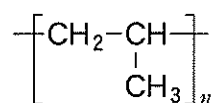
問 1 化合物 E の分子式を答えよ。

問 2 化合物 A～G の構造式を示せ。

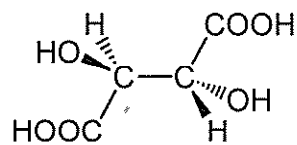
問 3 下線部①について、化合物 A の融点が化合物 B の融点よりも低い理由を 50 字以内で答えよ。

問 4 下線部②の高分子化合物の構造式を下記の例にならって示せ。

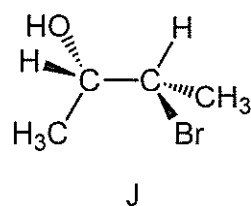
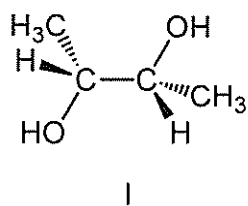
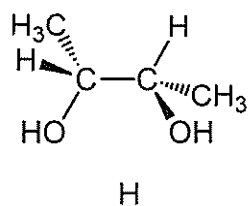
(例)



問 5 酒石酸は 2 つの不斉炭素原子をもつ 2 価カルボン酸であり、3 つの立体異性体をもつ。そのうちの 1 つの立体異性体の立体構造を下に示す(ここで、 $\text{HOOC}-\text{C}-\text{C}-\text{COOH}$ の 4 つの炭素原子は紙面上にあり、くさび型の太い実線は紙面手前への結合を、くさび型の破線は紙面奥への結合を示している)。この構造の例にならって、 $\text{HOOC}-\text{C}-\text{C}-\text{COOH}$ の 4 つの炭素原子を紙面上に置き、酒石酸の残り 2 つの立体異性体の立体構造を示せ。



問 6 以下の化合物のうち、鏡像異性体が存在しないものを選び、記号で答えよ。



- 〔4〕 グリセリンのヒドロキシ基すべてが脂肪酸とエステル結合を形成して生じる油脂に関して、以下の【Ⅰ】～【Ⅲ】の文章を読み、問1～問6に答えよ。なお、問3、問4、問6の解答において構造式を示す場合には、炭化水素基は $-C_xH_y$ (x, y は整数、例えば $-C_2H_5$)として記すこと。

【Ⅰ】

油脂は我々の生活と深く関わっており、例えばマーガリンには、不飽和脂肪酸を多く含む植物性の油脂に水素を付加することで融点を上げた ア 油が含まれている。

その他にも、油脂はバイオ燃料の1つであるバイオディーゼル燃料の原料としても用いられる。バイオディーゼル燃料は、油脂をメタノールと反応させて、メタノールと脂肪酸のエステルを生成させることにより得ることができる。この反応の触媒としては、水酸化カリウムもしくは水酸化ナトリウムが広く用いられている。その他にも、エステルの加水分解酵素であるエステラーゼの一種であり、生体内で油脂の加水分解を触媒する イ が用いられることもある。この反応の副生物はグリセリンであり、各種用途への利用が実施、検討されている。例えば化学工業においてグリセリンは、無水フタル酸などの酸無水物との反応により得られる比較的安価で耐熱性や耐候性に優れた ウ 樹脂の原料として重要である。

問1 ア ～ ウ に適切な語句を入れよ。

【Ⅱ】

下線部の反応について、油脂Aを用いてバイオディーゼル燃料の合成を行った。この油脂Aを分析したところ、以下の①～④の情報が得られた。

- ① 分子式は $C_{61}H_{108}O_6$ である。
- ② 1分子中に1つの不斉炭素原子が含まれる。
- ③ 不斉炭素原子を含まない2種類の不飽和脂肪酸から構成されており、そのうちの1種類はリノール酸(分子式 $C_{18}H_{32}O_2$)である。
- ④ 1molの油脂Aに含まれる炭素原子間の二重結合 $C=C$ に水素を付加させると、5molの水素 H_2 が消費される。

問 2 リノール酸分子 1 つに含まれる炭素原子間の二重結合 $C=C$ の数を答えよ。

問 3 油脂 A の構造式を示せ。また、不斉炭素原子を丸で囲め。

問 4 油脂 A を用いた場合の、下線部に対応する反応式を示せ。ただし、鏡像異性は考慮しなくてよいものとする。

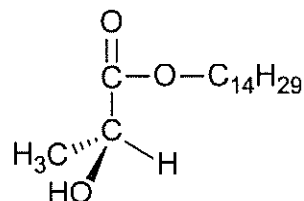
【Ⅲ】

構成脂肪酸が全てリノール酸である油脂を用いて、下線部に示したバイオディーゼル燃料の合成を行った。バイオディーゼル燃料の合成の途中で、生成した物質を分離し、化合物 B を得た。この化合物 B 20.00 mg を完全に燃焼させたところ、二酸化炭素 52.13 mg と水 19.29 mg が得られた。

問 5 化合物 B の組成式を示せ。解答欄には計算過程も示すこと。

問 6 化合物 B の候補として適切な構造式を全て示せ。ただし、鏡像異性体が存在する場合には、下の例にならって、その全てを示すこと。なお、下の例において、くさび型の太い実線は紙面手前への結合を、くさび型の破線は紙面奥への結合を表す。

(例)



生 物 問 題

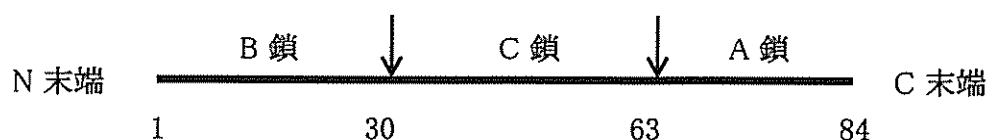
(解答はすべて生物解答用紙に記入すること)

〔1〕 タンパク質に関する以下の文章を読み、問1～問4に答えよ。

タンパク質は、細胞の形や構造を維持するだけでなく、細胞内の化学反応の触媒や、細胞間の情報伝達を仲介するなど、生体内の様々な機能に関与している。何十億年にもわたる生物の進化の過程で、タンパク質は固有の構造と機能を獲得してきた。その中でも、細胞外へ分泌されるタンパク質は、外的環境にさらされても機能を維持できるように安定化されているものが多い。たとえば、血糖値を低下させる働きを持つインスリンは、分子内の異なる部分が共有結合で結ばれ、安定化されている。

インスリンは、膵臓のランゲルハンス島に存在する β 細胞から分泌される。まず、前駆体であるプロインスリンとして発現され、その後、システイン(Cys)の側鎖のSH基同士がS-S結合を形成する。さらに、特異的なアミノ酸配列を切断するタンパク質分解酵素で切断されて、活性型インスリンとなる。

下図は、プロインスリンの一次構造を直鎖状に簡略化したものである。まず、プロインスリンが β 細胞内で折りたたまれ、3か所にS-S結合が形成される。アミノ末端から数えて7番目と70番目、19番目と83番目、69番目と74番目のCysがそれぞれ結合する。その後、タンパク質分解酵素により30番目のアミノ酸と63番目のアミノ酸のカルボキシ基側で切断され、A鎖とB鎖からなる活性型インスリンとなって、血中に分泌される。C鎖も同様に分泌され、血中の活性型インスリンとC鎖を定量すると、モル比1：1で検出される。



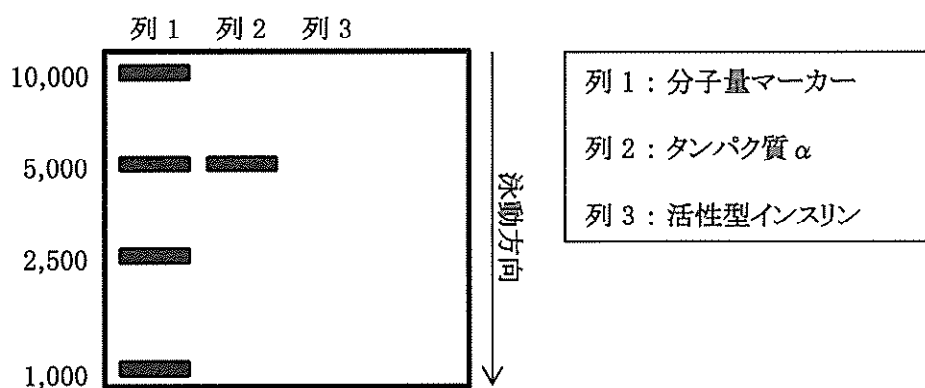
上図の左側はアミノ末端(N末端)とし、右側はカルボキシ末端(C末端)とする。図中の数字は、N末端からのアミノ酸数を示す。矢印は、タンパク質分解酵素による切断部位を示す。

問 1 タンパク質の機能発現には、その構造が重要である。タンパク質の構造は、一次構造、二次構造、三次構造、四次構造の4つの階層から構成されている。それぞれの意味について、1行ずつで説明せよ。

問 2 タンパク質分解酵素で切断される前の折りたたまれたプロインスリンの構造を問題文の図にならって示せ。さらに、タンパク質分解酵素で切断された後の活性型インスリンの構造も図示せよ。ただし、それぞれの図中には、A鎖、B鎖、C鎖の別、S-S結合の位置が分かるように示せ。また、活性型インスリンの構造には、A鎖及びB鎖の両端のアミノ酸の番号を明記せよ。アミノ酸の番号は、プロインスリンで付された番号とする。

問 3 タンパク質の純度などを調べるための手法として、異なるタンパク質を分子量の違いによって分離するための電気泳動法がある。この手法では、分子量が小さいタンパク質ほど、泳動方向に速く移動する。たとえば、既知の分子量のタンパク質4種類の混合物(分子量マーカー)と分子量5,000のタンパク質 α を同時に電気泳動すると、下図のようなバンドとなって現れる。

S-S結合を全て切断できる濃度の還元剤を加えた活性型インスリンを、分子量マーカー(列1)とタンパク質 α (列2)と同時に電気泳動した。どのような大きさのバンドが現れるか、下図の列3に図示し、バンドの横に分子量を記載せよ。また、そのように考えた根拠を2行以内で述べよ。ただし、全てのアミノ酸の分子量は100として計算せよ。



問 4 活性型インスリンは、糖尿病患者の治療に古くから用いられており、血糖値の維持が図られている。しかし、活性型インスリンを血中投与するには、その度に自己注射が必要であり、患者にとって負担が大きい。このような背景のもと、ヒトランゲルハンス島の移植を試みる臨床研究がなされている。ヒトランゲルハンス島を移植する際、その初期には、活性型ヒトインスリンも血中投与される。

この併用投与において、血中の何を定量すれば、移植細胞から分泌される活性型ヒトインスリン量のみを把握できるかについて、根拠とともに 3 行以内で述べよ。ただし、移植される患者自身は、プロインスリンを発現しないものとする。

〔2〕 免疫に関する以下の文章を読み、問1～問7に答えよ。

ヒトは、細菌やウイルスなどの病原体の侵入に対して、これを排除して体を防御する(生体防御と呼ぶ)ために、免疫というしくみを備えている。免疫の特徴のひとつは、大部分の病原体を特異的に認識して排除できることであり、これには、抗体が重要な役割を果たす。ある病原体が侵入すると、その病原体の成分と特異的に結合する抗体を産生することができる細胞が、細胞分裂によって増加し、生体防御に十分な量の抗体を産生するに至る。^①この他、ある病原体に感染し、重い症状が出たとしても、同じ病原体に二度目に感染した時には、症状が著しく軽いという特徴があり、免疫記憶と呼ばれる。^②

問1 抗体を構成する主な分子をa－eの中から1つ選択し、記号で答えよ。

a 核酸 b 脂質 c タンパク質 d 炭水化物 e 無機物

問2 抗体を産生する細胞の名前を答えよ。

問3 抗体を産生する細胞は、生体内の臓器(器官)で、造血幹細胞という細胞から生み出される。その臓器の名前を答えよ。

問4 ヒトの遺伝子の総数は約2万であるが、抗体の種類は数十億以上あると考えられている。ヒトが遺伝子の総数よりはるかに多くの種類の抗体を産生することができるしくみを3行以内で述べよ。なお、抗体を産生する個々の細胞は1種類の抗体のみを産生する。

問5 下線部①について、ある抗原と結合する抗体を産生する細胞が、その抗原を認識する方法を2行以内で述べよ。

問 6 下線部①のように，抗体が病原体の成分と結合することが，どのようなしくみで生体防御につながるかについて， 3 行以内で述べよ。

問 7 下線部②のように，免疫記憶により二度目の感染時の症状が軽減することが，どのようなしくみで起きるかについて， 3 行以内で述べよ。

〔 3 〕 植物の分裂組織の発達に関する以下の文章【A】～【C】を読み、問 1 ～問 4 に答えよ。

【A】

植物に対する光の重要性は、大きく 2 つに分けて考えることができる。光は、 という細胞小器官に含まれる主要な色素である に吸収され、同化反応である のために必要なエネルギーを供給する。一方、光は、クリプトクロム、フォトトロピン、フィトクロムなどの に吸収され、それぞれ特定の 域の情報を伝える。

【B】

光がどのようにして植物の茎頂分裂組織、根端分裂組織の発達を制御するのかについて、以下の実験を行なった。ある植物の種子を、糖や植物ホルモンを含まない培地で発芽させた後、4 日間暗黒で育てると、茎頂分裂組織、根端分裂組織の発達が停止した状態になる。その後、次の 3 つの操作を、表 1 の実験番号①～⑦に示す組み合わせで行なった。

- ・ 光処理：光を 15 分間あてる。
- ・ 糖添加：培地に糖を加える。
- ・ オーキシン添加：培地にオーキシンを加える。

さらに、植物を 4 日間暗黒で育てた。最後に、それぞれの植物の茎頂分裂組織、根端分裂組織を観察し、発達していた場合を「+」、していなかった場合を「-」として、表 1 にまとめた。なお、すべての操作を行なった場合は、茎頂分裂組織、根端分裂組織はともに発達した。

表 1

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
光処理	無	有	無	有	無	無	有
糖添加	無	有	有	無	無	有	無
オーキシン添加	無	無	無	無	有	有	有
茎頂分裂組織の発達	－	＋	－	－	－	＋	－
根端分裂組織の発達	－	＋	＋	－	－	＋	－

注：糖添加，オーキシン添加の操作以降は，常に培地中に一定の濃度の糖，オーキシンが存在する。また，培地に加えた糖，オーキシンは，植物全体に行き渡ることがわかっている。

問 1 文章の空欄 ア から オ に適切な語句を入れよ。

問 2 表 1 の結果にもとづいて，下記の i) ～iv) の結論を出した。これらについて，正しいと考えられる場合には「○」，正しくないと考えられる場合には「×」，表 1 の結果からだけでは判断できないと考えられる場合には「△」をつけよ。また，そのように判断した根拠について，実験番号(①～⑦)をあげながら，2 行以内で述べよ。

この植物の茎頂分裂組織の発達について：

- i) 糖は必要ない。
- ii) オーキシンが必要である。

この植物の根端分裂組織の発達について：

- iii) 光処理が阻害する。
- iv) 糖さえあればよい。

【C】

光がどのようにして茎頂分裂組織の発達を制御するのかについて，以下の植物の株を用いて，さらに調べることにした。

- ・野生株：すべての正常な遺伝子を持っている株（【B】で用いた植物と同じもの）
- ・クリプトクロム欠損株：クリプトクロムの遺伝子だけを欠損した株
- ・フィトクロム欠損株：フィトクロムの遺伝子だけを欠損した株
- ・オーキシンの生合成に関与する酵素の遺伝子だけを欠損した株

これらの植物を，暗黒で8日間育てる，もしくは，青色光，赤色光，白色光のいずれかを連続的にあてて8日間育てた後，茎頂分裂組織を観察し，発達していた場合を「+」，していなかった場合を「-」として，表2にまとめた。

表2

	⑧	⑨	⑩	⑪
光条件	暗黒	連続 青色光	連続 赤色光	連続 白色光
野生株	—	+	+	+
クリプトクロム欠損株	—	—	+	+
フィトクロム欠損株	—	+	—	+
オーキシンの生合成に関与する酵素の欠損株	—	—	—	—

注：培地に糖添加，オーキシン添加の操作は行っていない。

問 3 表 2 の結果から、この植物の茎頂分裂組織の発達に、クリプトクロム、フィトクロムが関与していることが示唆される。このうち、フィトクロムが関与していることを別の方法で確認するには、どのような実験をして、どのような結果が得られるとよいかについて、フィトクロムによる種子発芽の制御を参考に、4 行以内で述べよ。

問 4 表 2 の実験⑪では、表 1 の実験④とは異なり、野生株を連続白色光のもとで育てただけで茎頂分裂組織が発達した。表 1、表 2 の実験結果にもとづいて、この植物の茎頂分裂組織の発達において光が果たす役割について、4 行以内で考察せよ。

〔 4 〕 体節の発生に関する以下の文章【A】と【B】を読み、問 1 ～問 6 に答えよ。

【A】

多くの脊椎動物は、体の力学的支柱として背骨を持っている。背骨は、複数の椎骨が連なることで脊髄を守りつつ、滑らかな体の運動を可能にしている。椎骨は、神経管に沿った「体節」と呼ばれる繰り返しの構造をもとに作られる。体節は、中胚葉が形成される の過程で新たに発生する沿軸中胚葉の細胞群から形成される。 の過程では骨格系ができ始めるまで神経管の腹側で体軸としての作用を持つ も同時に発生する。沿軸中胚葉は、神経管の両側に体節が無い状態で発生するが、新しい体節が発生する時間間隔は、ほぼ一定で、ヒトでは約 8 時間であることが知られている。この過程^①では、ある特定のタンパク質 X の量を周期的に増減させることでリズムカルな体節の形成が制御されると考えられている。このようなタンパク質の量の周期的な増減は、タンパク質がそれ自身の mRNA の産生を抑制する の機構によって起こる。

問 1 文章の空欄 から に適切な語句を入れよ。

問 2 文中の下線部①について、タンパク質 X は以下の性質を持っているものとする。

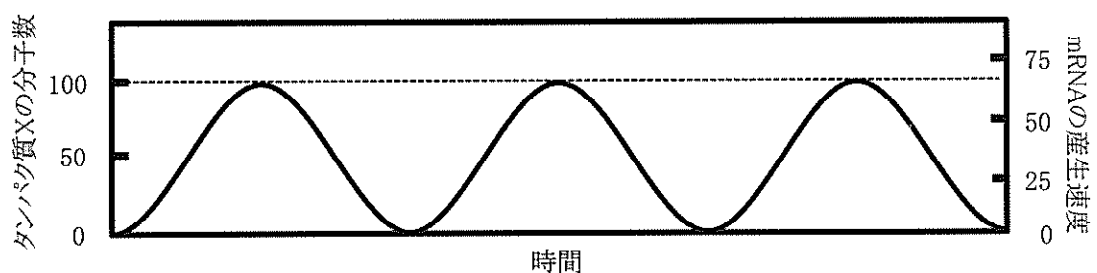
- ・タンパク質 X は、常に発現され続ける。
- ・タンパク質 X は、それ自身の mRNA の産生を抑制する。
- ・タンパク質 X は、常に分解され続ける。

以上の性質をふまえて、タンパク質 X の量が周期的に増減するしくみについて、3 行以内で述べよ。

問 3 タンパク質 X の mRNA が 1 分間あたりに産生される速度を v ，時間 T におけるタンパク質 X の分子数を $P(T)$ とするとき，以下の式が成立するものと仮定する。

$$v = \frac{33}{1 + \left(\frac{P(T)}{40} \right)^2}$$

タンパク質 X の分子数の変動は以下のグラフのようになっていた。



上のグラフにタンパク質 X の mRNA の産生速度の変動を記入せよ。この時，縦軸の数値は，グラフの右側の値を使用せよ。また，タンパク質 X の mRNA の産生速度の最大値と最小値を計算せよ。数値が割り切れない場合は，四捨五入して小数点第 1 位まで答えよ。

【B】

体節が周期的に形成される原理を明らかにするために，体節構造の形成に異常を持つ動物を解析することにした。この動物の DNA 配列を解析した結果，下図のように，ある遺伝子の DNA 配列の 1 か所にグアニンからチミンへの一塩基置換による変異が見出された。また，遺伝子型と体節形成の表現型解析から，この体節形成の異常は，常染色体劣性遺伝形式を示していると考えられた。

正常の DNA 配列 5'-GGATCCGTGGGA[G]AATCTACCATGGTT-3'

変異した DNA 配列 5'-GGATCCGTGGGA[T]AATCTACCATGGTT-3'

問 4 この動物の遺伝子型を，ポリメラーゼ連鎖反応(PCR)法と以下にあげる制限酵素 A～C の中の一つだけを使用して判定する場合，その方法について，5 行以内で述べよ。

制限酵素	認識配列
A	GAATC
B	GGATCC
C	GAATTC

問 5 見出した一塩基置換の部位において，正常の DNA 配列のアミノ酸はアルギニンであったが，変異した DNA 配列では，異なるアミノ酸へ変化していた。以下の表を参考にして，変異した DNA 配列から生じるアミノ酸を答えよ。

1 番目の塩基	2 番目の塩基								3 番目の塩基
	T		C		A		G		
T	TTT	フェニルアラニン	TCT	セリン	TAT	チロシン	TGT	システイン	T
	TTC		TAC		TGC		C		
	TTA	ロイシン	TCA		TAA	終止コドン	TGA	終止コドン	A
	TTG		TCG		TAG		TGG	トリプトファン	G
C	CTT	ロイシン	CCT	プロリン	CAT	ヒスチジン	CGT	アルギニン	T
	CTC		CCC		CAC		CGC		C
	CTA		CCA		CAA	CGA	A		
	CTG		CCG		CAG	CGG	G		
A	ATT	イソロイシン	ACT	トレオニン	AAT	アスパラギン	AGT	セリン	T
	ATC		ACC		AAC		AGC		C
	ATA	メチオニン/ 開始コドン	ACA		AAA	AGA	アルギニン	A	
	ATG		ACG		AAG	AGG		G	
G	GTT	バリン	GCT	アラニン	GAT	アスパラギン酸	GGT	グリシン	T
	GTC		GCC		GAC		GGC		C
	GTA		GCA		GAA	グルタミン酸	GGA		A
	GTG		GCG		GAG	GGG	G		

問 6 下線部②について，ある形質の異常が劣性遺伝する場合，ヘテロ型では，正常タンパク質と変異したタンパク質が 1 : 1 で発現する。劣性遺伝のヘテロ型では，正常タンパク質と変異したタンパク質のそれぞれが形質の発現にどのような影響を与えるかについて，3 行以内で述べよ。