

令和6年度
一般選抜（前期）

14時00分～16時30分

理 科

科目名	問 題 冊 子 頁
物 理	1 ～ 9 頁
化 学	11 ～ 16 頁
生 物	17 ～ 23 頁

科目名	解 答 用 紙 頁
物 理	1 ～ 3 頁
化 学	1 ～ 3 頁
生 物	1 ～ 3 頁

注 意 事 項

1. 試験開始の合図〔チャイム〕があるまで、この注意をよく読むこと。
2. 試験開始の合図〔チャイム〕があるまで、問題冊子は表紙を上、解答用紙は裏面を上置き、問題冊子は開かないこと。
3. 試験開始の合図〔チャイム〕の後に問題冊子ならびに解答用紙の全ページの所定の欄に受験番号と氏名を記入すること。
4. 解答はかならず定められた解答用紙を用い、はっきり読みやすく記入すること。
また解答欄以外には何も書かないこと。
5. 解答用紙のホチキスははずさないこと。
6. 試験開始60分以内および試験終了前10分間は、途中退場を認めない。
7. 途中退場、質問、トイレ、体調不良等で用件がある場合は、挙手のうえ監督者の指示に従うこと。
8. 問題冊子に、落丁や乱丁があるときは、挙手のうえ交換を求めること。
9. 試験終了の合図〔チャイム〕があったときは、ただちに筆記用具を置くこと。
10. 試験終了の合図〔チャイム〕の後には、解答用紙は裏返しにして、通路側に置くこと。
なお、途中退場の場合は解答用紙を裏返しにして、問題冊子の上に置くこと。
11. 問題冊子は持ち帰ること。なお、途中退場する場合は問題冊子を持ち帰れない。
12. 選択科目の変更は認めない。
13. その他、監督者の指示に従うこと。

受験番号		氏 名	
------	--	-----	--

物 理

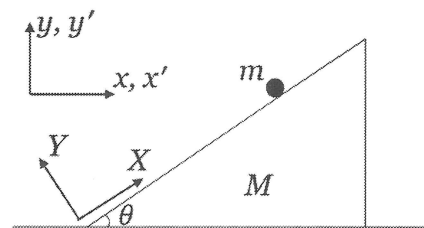
解答はすべて解答欄に記入しなさい。特に指示のない限り解答の過程は示さなくてよい。

1 以下の文章の (①) から (⑫) に適切な数値または語句を入れなさい。

- [1] なめらかな水平面上に静止している質量 4.0 kg の物体に対して、水平方向に 2.0 N の大きさの一定の力を 2.0 秒間加えると、物体の運動量の大きさは (①) $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 、運動エネルギーは (②) J になる。その後、この物体が鉛直な壁に対し、壁面に垂直に弾性衝突してはねかえると、物体が壁から受ける力積の大きさは (③) $\text{N} \cdot \text{s}$ である。
- [2] 自己インダクタンスが 10 H のコイルに 40 mA の電流が流れている。このコイルに蓄えられているエネルギーは (④) J である。このコイルに流れていた 40 mA の電流を 10 ミリ秒間に一様に減少させて 0 mA にした。このとき生じる誘導起電力の大きさは (⑤) V である。このコイルを 1 次コイルとした変圧器において、1 次コイルに対して同じ操作をしたら 2 次コイルには 24 V の誘導起電力が生じた。したがって、この 2 つのコイルの相互インダクタンスは (⑥) H である。
- [3] ある長さの閉管を鳴らしたところ、基本音の振動数が 500 Hz であった。音速を 340 m/s とすると、基本音の波長は (⑦) m である。したがって、この閉管の長さは開口端補正を無視すると (⑧) m である。この基本音の次に高い音の固有振動数は (⑨) Hz である。
- [4] ある熱機関が、高温の物体から熱量 2000 J を吸収し、低温の物体に熱量 1500 J を放出した場合、熱機関により得られた仕事は (⑩) J であり、その熱効率は (⑪) である。一般に、熱効率が 1 の熱機関は存在しないが、このことは熱が関与する現象は不可逆変化であることを意味している。不可逆変化の方向を示す自然法則を熱力学第 (⑫) 法則という。

2 水平な床に対して角度 θ ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$) の斜面をもつ、

質量 M の台が図のように床に静止している。この台の斜面に質量 m の小球を静かに置いた後の、台と小球の運動を考える。床に静止した人の立場から見て、水平方向右向きを x 軸方向、鉛直方向上向きを y 軸方向として xy 座標を定める。また台上に静止した人の立場から見て、水平方向右向きを x' 軸方向、鉛直方向上向きを y' 軸方向として $x'y'$ 座標を定める。さらに台上に静止した人の立場から見て、台の斜面に沿って上がる向きを X 軸方向、斜面に垂直で斜め上向きを Y 軸方向として XY 座標を定める。 a_x 、 a_y をそれぞれ小球の加速度の x 、 y 成分とし、また $a_{x'}$ 、 $a_{y'}$ をそれぞれ小球の加速度の x' 、 y' 成分とし、さらに a_X 、 a_Y をそれぞれ小球の加速度の X 、 Y 成分とする。重力加速度の大きさを g 、台が小球に与える垂直抗力の大きさを N とし、摩擦の影響は無視できるものとする。以下の文章 [A]、[B] の (①) から (⑩) に最も適切な式を入れなさい。



[A] 台を床に固定した。台の斜面に小球を置くと、小球は斜面に沿って運動を開始した。

小球の斜面上での運動をまずは XY 座標で考える。小球の運動方程式の X 、 Y 成分はそれぞれ

$$ma_X = (\text{①}), \quad ma_Y = (\text{②})$$

である。小球が斜面上を運動するということは $a_Y = (\text{③})$ という条件を満たすことに対応する。以上より、 N は m 、 θ 、 g を用いて $N = (\text{④})$ であることがわかる。

小球の斜面上での運動を今度は xy 座標で考える。小球の運動方程式の x 、 y 成分はそれぞれ

$$ma_x = (\text{⑤}), \quad ma_y = (\text{⑥})$$

である。小球が斜面上を運動するということは $\frac{a_y}{a_x} = (\text{⑦})$ という条件を満たすことに対応する。以上より、この場合も $N = (\text{④})$ が得られる。

[B] 台が床の上を x 軸に沿った向きに動けるようにした。台の斜面に小球を置くと、台と小球はともに床に対して運動を開始した。 xy 座標において、床に対する台の加速度の x 成分を b とおくと、台の運動方程式の x 成分は $Mb = (\text{⑧})$ である。

小球の斜面上での運動をまずは XY 座標で考える。この場合、小球に慣性力がはたらく。 b を用いて慣性力を表せば、小球の運動方程式の X 、 Y 成分はそれぞれ

$$ma_X = (\text{⑨}), \quad ma_Y = (\text{⑩})$$

である。小球が斜面上を運動するということは $a_Y = (\text{③})$ という条件を満たすことに対応する。以上より、 N は m 、 M 、 θ 、 g を用いて $N = (\text{⑪})$ であることがわかる。

小球の斜面上での運動を今度は $x'y'$ 座標で考える。 b を用いて慣性力を表せば、小球の運動方程式の x' 、 y' 成分はそれぞれ

$$ma_{x'} = (\text{⑫}), \quad ma_{y'} = (\text{⑬})$$

である。小球が斜面上を運動するということは、 $\frac{a_y'}{a_x'} = (\text{⑦})$ という条件を満たすことに対応する。以上より、この場合も $N = (\text{⑪})$ が得られる。

小球の斜面上での運動を次は xy 座標で考える。小球の運動方程式の x 、 y 成分はそれぞれ

$$ma_x = (\text{⑭}), \quad ma_y = (\text{⑮})$$

である。ここで $\frac{a_y'}{a_x'}$ を、 a_x 、 a_y 、 b を用いて表すと $\frac{a_y'}{a_x'} = (\text{⑯})$ であるから、小球が斜面上を運動するということは、 $(\text{⑯}) = (\text{⑦})$ という条件を満たすことに対応する。以上より、この場合も $N = (\text{⑪})$ が得られる。

3 以下の各問に答えなさい。電荷、あるいは帯電球の電気量はすべて正とし、真空中にあるものとする。真空中でのクーロンの法則の比例定数を $k [\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2]$ とする。円周率は π を用いなさい。

〔1〕 以下の文章はある法則の説明である。(①) から (③) に適切な式または語句を入れなさい。

電場の強さが $E [\text{N/C}]$ の位置では、電場に垂直な 1 m^2 あたりの面積を E [本] の電気力線が貫くものと定める。任意の閉曲面の内部に電気量 $Q [\text{C}]$ の電荷があるとき、この閉曲面を貫いて外部に出る電気力線の本数 N [本] は、 k を含む式として、式(*)のように表すことができる。

$$N = (\text{①}) \cdots (*)$$

ここで、真空の誘電率 $\epsilon_0 [\text{F/m}]$ を用いて N を表すと、 $N = (\text{②})$ と書ける。この法則を (③) の法則という。

〔2〕 以下の文章は〔1〕に示した法則から点電荷のつくる電場を導く方法である。(④)、(⑤) に適切な式を入れなさい。

電気量 Q の点電荷を含む閉曲面として、点電荷を中心とした半径 $r [\text{m}]$ の球を考える。まず、式(*)の左辺、すなわち球面を貫く電気力線の総数 N を求める。電気力線は放射状に広がり、閉曲面を垂直に貫く。したがって、 N は、球面上の電場の強さ E 、球の半径 r を用いて、 $N = (\text{④})$ と表すことができる。次に、式(*)の右辺は (①) である。以上より、(④) = (①) が成り立つ。この式を変形すると、点電荷からの距離 r に対する電場の強さは $E = (\text{⑤})$ となる。

〔3〕 以下の文章は、電気量 Q の電荷が半径 $R [\text{m}]$ の球の内部に一様に分布しているとき、この帯電球の内外の電場を求める方法である。(⑥) から (⑩) に適切な式を入れなさい。

帯電球を含む閉曲面として、帯電球の中心を中心とした半径 r の球を考える。帯電球内の電荷は一様に分布しているので、電気力線は閉曲面を垂直に貫き、閉曲面上の電場は一様である。

(ア) 帯電球の外部 ($r \geq R$) の電場

〔1〕に示した法則を適用すると、帯電球の外部の電場の強さ $E_{\text{外}}$ は、帯電球の中心からの距離 r を用いて、 $E_{\text{外}} = (\text{⑥})$ である。

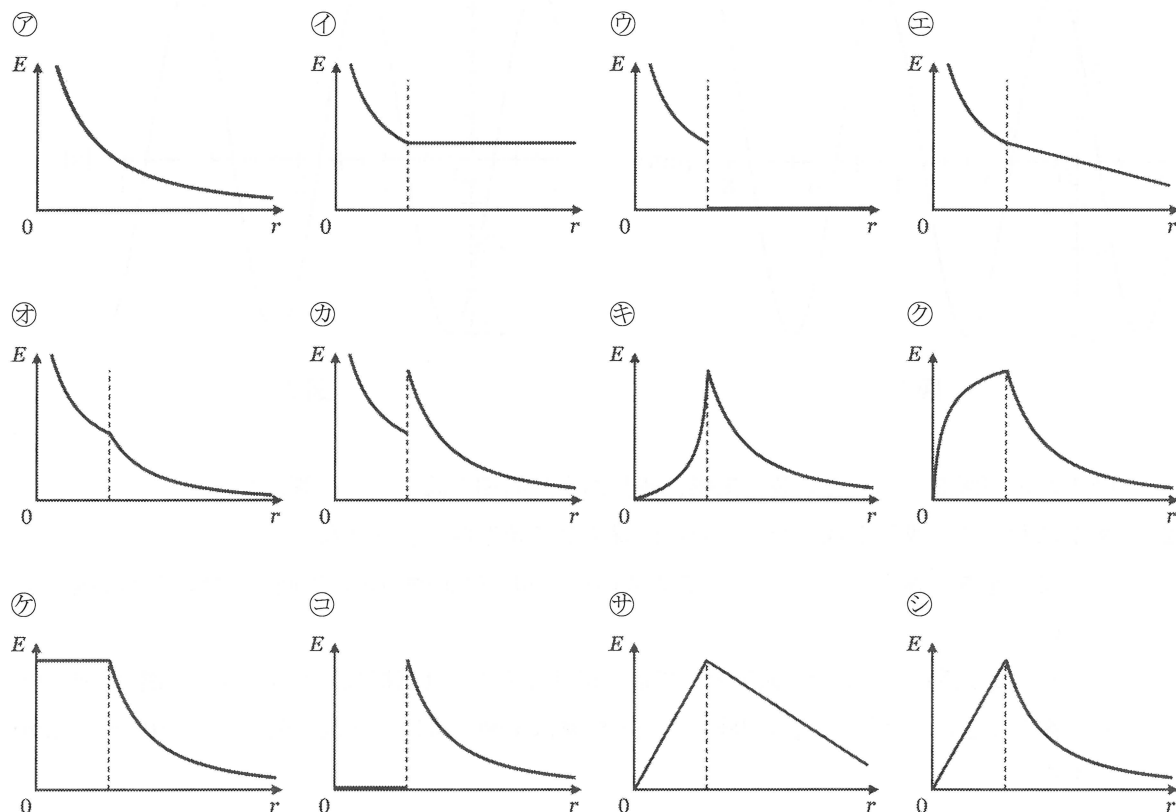
(イ) 帯電球の内部 ($r < R$) の電場

まず、式(*)の左辺を考える。閉曲面を貫く電気力線の総数 N は、閉曲面の球面上の電場の強さ $E_{\text{内}}$ 、球の半径 r を用いて、 $N = (\text{⑦})$ と書ける。次に、式(*)の右辺を考える。帯電球内の電荷は一様に分布しているので、単位体積あたりの電気量を一定値 $\rho [\text{C/m}^3]$ とおくことができ、 ρ を Q 、 R を用いて表すと $\rho = (\text{⑧})$ である。閉曲面で囲まれている空間の体積を $V [\text{m}^3]$ とすると、閉曲面内の電気量 q は $q = \rho V$ である。したがって、 q を r 、 R 、 Q を用いて表すと $q = (\text{⑨})$ となる。これで式(*)の左辺と右辺が定まった。以上より、 $E_{\text{内}}$ は帯電球の中心からの距離 r を用いて、 $E_{\text{内}} = (\text{⑩})$ となる。

〔4〕 電気量 Q の電荷が半径 R の球の内部に一様に分布している。球の中心からの距離 r に対する電場の強さ E を表す最も適切なグラフを【選択肢】から選び、その記号を答えなさい。

〔5〕 電気量 Q の電荷が半径 R の球の表面だけに一様に分布している。球の中心からの距離 r に対する電場の強さ E を表す最も適切なグラフを【選択肢】から選び、その記号を答えなさい。選んだ理由も簡潔に示しなさい。

【選択肢】



4 一様な媒質中を x 軸に沿って進む縦波を考える。図 1 は時刻 $t = 1 \text{ s}$ での縦波による媒質の変位を横波と同じような波形で表したものである。図 2 は位置 $x = 4 \text{ cm}$ での媒質の振動の様子を表している。2 つの図の縦軸は媒質の変位 $y [\mu\text{m}]$ を表し、 x 軸の正の方向への媒質の変位を y 軸の正としている。いずれの変位も正弦曲線で表される。以下の各問に答えなさい。ただし、円周率は π を用いなさい。

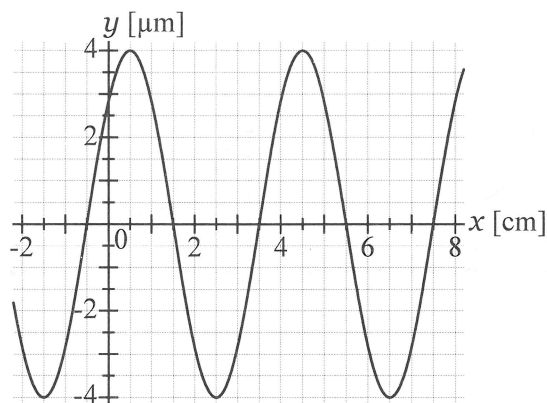


図 1

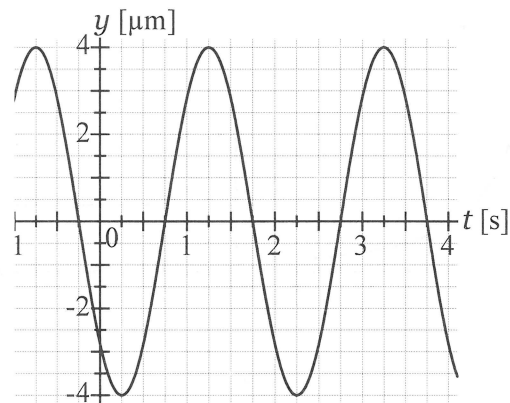
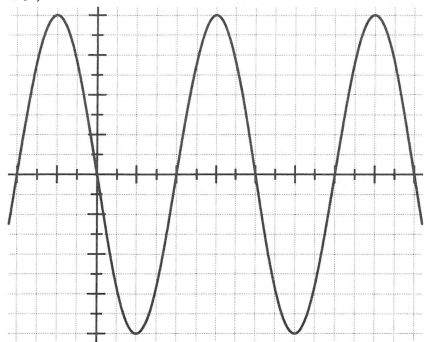


図 2

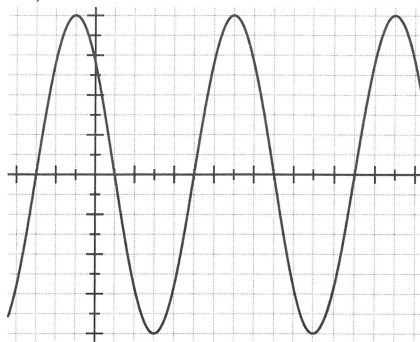
- [1] 図 1 および図 2 から、この波の振幅、波長および周期を読み取り、答えなさい。
- [2] 図 1 において、媒質が疎となっている位置を全て読み取り、答えなさい。
- [3] この波の速さを答えなさい。また、この波の進む向きは x 軸の正の方向か、負の方向かを答えなさい。
- [4] $t = 0 \text{ s}$ および $t = 5 \text{ s}$ での波形として最も適切なものを【選択肢】からそれぞれ選び、その記号を答えなさい。ただし、【選択肢】の図の横軸は x 軸、縦軸は y 軸、軸の交点は $(0 \text{ cm}, 0 \mu\text{m})$ とする。
- [5] $x = 0 \text{ cm}$ および $x = 9 \text{ cm}$ での媒質の振動として最も適切なものを【選択肢】からそれぞれ選び、その記号を答えなさい。ただし、【選択肢】の図の横軸は t 軸、縦軸は y 軸、軸の交点は $(0 \text{ s}, 0 \mu\text{m})$ とする。
- [6] 図 2 において、媒質が密となっている時刻を全て読み取り、答えなさい。
- [7] この波の変位は $y = A \sin \left[B \left(t - \frac{x}{C} \right) + D \right]$ と表すことができる。 A 、 B 、 C 、 D にあてはまる物理量を答えなさい。位相の単位はラジアン（記号 rad ）を用いなさい。ただし、 $A > 0 \text{ m}$ 、 $0 \leq D < 2\pi \text{ rad}$ とする。

【選択肢】

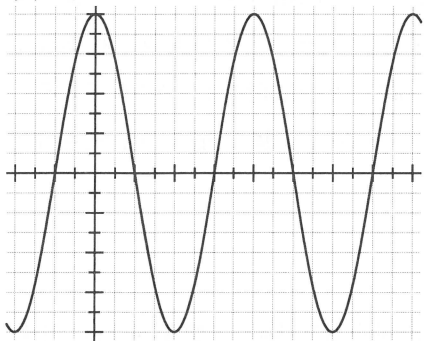
あ)



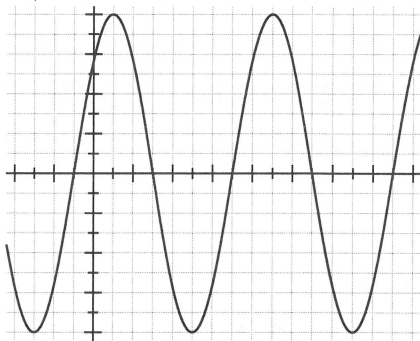
い)



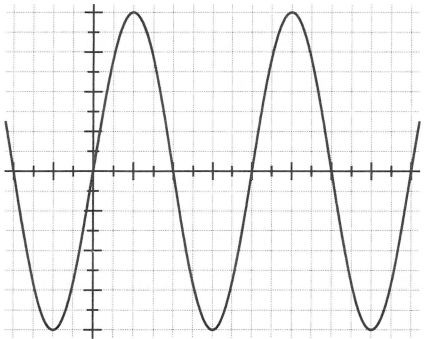
う)



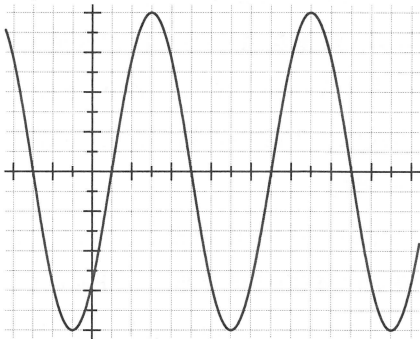
え)



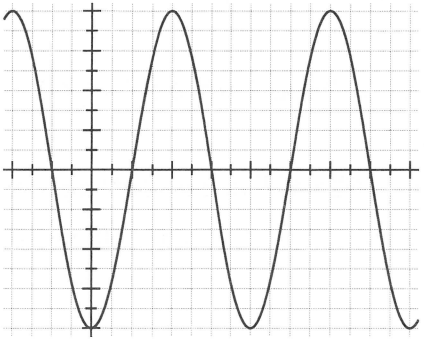
お)



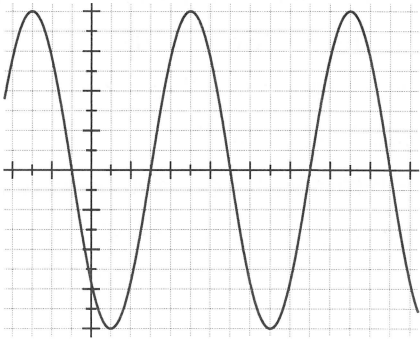
か)



き)



く)



5 以下の文章を読み、それに続く各問に答えなさい。特に指示のない限り光速を c とする。また、電気素量を $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、統一原子質量単位を $1\text{u} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$ とする。本問に用いられる元素記号はすべて原子核を表すものとする。

^1H 以外の原子核の質量は、それを構成する核子の質量の和よりも小さい。この質量差を質量欠損という。原子核の質量欠損は、アインシュタインの相対性理論における質量とエネルギーの等価性により、原子核を構成する核子をばらばらの陽子または中性子にするためにエネルギーが必要であることを意味する。このエネルギーを結合エネルギーという。原子核の結合エネルギーを表す単位として、電子ボルト（記号 eV ）が用いられることがある。 1 eV は、電子が真空中で 1 V の電圧によって加速されるときに得る運動エネルギーに等しい。

太陽のような恒星の内部では、核融合による発熱反応が起きており、主に結合エネルギーのより大きな原子核が生成される。例えば ^1H と ^1H が反応し、 ^2H と陽電子とニュートリノが生成される反応などである（ここで陽電子とは電子と同じ質量を持ち、電気素量と同じ正の電荷をもつ粒子である）。この他の複数の反応も段階的に起こることで、太陽内部では 4 個の ^1H から 1 個の ^4He が生成されている。

- [1] 1 eV は何 J かを答えなさい。
- [2] 原子番号 Z 、質量数 A の原子核を考える。この原子核の質量を M 、陽子の質量を m_p 、中性子の質量を m_n とするとき、この原子核の質量欠損 Δm を、 Z 、 A 、 M 、 m_p 、 m_n 、 c のうち必要なものを用いて表しなさい。
- [3] 原子番号 Z 、質量数 A の原子核の質量欠損を Δm とするとき、この原子核の核子 1 個あたりの結合エネルギーを、 Z 、 A 、 Δm 、 c のうち必要なものを用いて表しなさい。
- [4] 次の反応式は、太陽中心部で起こる核融合反応の一つを表したものである。
- $$^3\text{He} + ^4\text{He} \rightarrow \text{X} + \gamma$$
- ここで X はある原子核を表し、 γ は光子を表す。 X の質量数と原子番号を答えなさい。
- [5] ^4He の質量は 4.0015u である。 ^4He の核子 1 個あたりの結合エネルギーは何 MeV かを求めなさい。ただし $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ 、陽子の質量を 1.0073u 、中性子の質量を 1.0087u とする。
- [6] 次の反応式は、太陽中心部で起こる核融合反応の一つを表したものである。
- $$^3\text{He} + ^3\text{He} \rightarrow ^4\text{He} + 2\ ^1\text{H}$$
- ^3He の核子 1 個あたりの結合エネルギーは 2.6 MeV である。この反応で放出されるエネルギーは何 MeV かを求めなさい。
- [7] 太陽が 1 秒間に放出するエネルギーは $3.9 \times 10^{26} \text{ J}$ であり、太陽の質量は $2.0 \times 10^{30} \text{ kg}$ である。太陽の質量は 1 秒間に何%減少しているかを求めなさい。ただし $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ とする。

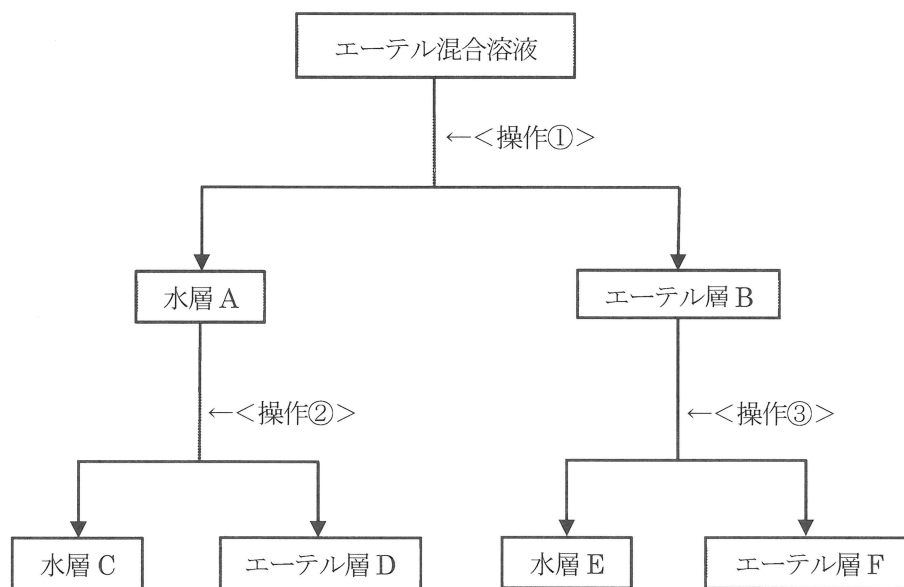
以 上

化 学

〔注意〕 原子量は次の値を用いよ。

H=1.00 C=12.0 O=16.0 Br=80.0

- 1 アニリン、ニトロベンゼン、フェノールおよび安息香酸の4種類の溶質をジエチルエーテルに溶かした混合溶液（エーテル混合溶液）がある。この混合溶液から各溶質を分離するため、下図に示す順序で分液ろうとを用いた抽出を常温常圧で行った。ただし各溶質あるいは生成された塩は、抽出によりエーテル層または水層のどちらかに完全に分離できたものとする。また、化学反応式中の有機化合物は示性式で示せ。



操作①：NaOH 水溶液を加えて振り混ぜ、十分に静置した。2層に分かれたのち、水層を新たな分液ろうとに移した。

操作②：CO₂ を十分に吹き込み、次にジエチルエーテルを加えて振り混ぜ、十分に静置した。2層に分かれたのちに、エーテル層と水層をそれぞれビーカーに移した。

操作③：HCl 水溶液を加えて振り混ぜ、十分に静置した。2層に分かれたのち、エーテル層と水層をそれぞれビーカーに移した。

〔1〕以下の問いに答えよ。

- 1) クロロベンゼンの示性式は $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ である。これにならい、ニトロベンゼンを示性式で示せ。
- 2) 操作①の結果、下線で示した4種類の溶質のうち、2種類の溶質に変化が生じて塩が生成し、これらの塩はすべて水層 A に分離された。
 - i) 操作①で生じた二つの変化を、化学反応式でそれぞれ示せ。
 - ii) 「目的とする物質」と「溶解度」の語句を必ず用いて、「抽出」という操作を2行以内で説明せよ。

〔2〕操作②の結果、水層 A に分離された2種類の塩のうち、一方に変化が生じて下線で示した4種類の溶質のいずれかに再生され、エーテル層 D に分離された。以下の問いに答えよ。

- 1) 生じた変化を化学反応式で示せ。
- 2) ジエチルエーテルは揮発しやすい性質をもつので、エーテル層 D に含まれる溶質を再結晶により容易にとり出すことが可能である。操作②で得られたエーテル層 D をすべて移したビーカーを湯浴して、溶媒をすべて揮発させた。室温になるまで冷却したところ溶質がすべて析出し、無色の結晶 1.13 g が得られた。この結晶がもつ性質を調べるため、充分量の水を加えて結晶を完全に溶解させたのち、以下の実験を行った。なお、溶質は揮発しないものとする。
 - i) この無色の結晶を溶解させた水溶液にある量の臭素水を加えたところ、白色沈殿 3.31 g が生じた。白色沈殿の成分を組成式で示せ。また、エーテル層 D に含まれていた溶質の何%が沈殿したか。有効数字2桁で記せ。なお、反応は理想的に進行したものとする。
 - ii) この無色の結晶を溶解させた水溶液に塩化鉄(III)水溶液を加えた。水溶液の色が変化する場合、何色に変化するか。【選択肢】から一つ選び記号で記せ。変化しないと考えられる場合は(カ)を選ぶ。

【選択肢】 (ア) 黄 (イ) 黒 (ウ) 橙赤 (エ) 緑 (オ) 紫 (カ) 変化しない

〔3〕操作③の結果、エーテル層 B に分離された2種類の溶質のうち、一方の溶質が変化して塩となって水層 E に分離された。この塩が生成する反応を化学反応式で示せ。

- 〔4〕水層 C と水層 E にそれぞれ分離された塩を、下線で示した 4 種類の溶質のいずれかに再生したい。
再生に必要な化合物を、【選択肢】(キ) ～ (サ) より一つずつ選び、それぞれの変化を化学反応式で
示せ。

【選択肢】 (キ) HCl (ク) $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (ケ) CH_3COONa (コ) NaOH (サ) NaCl

- 〔5〕エーテル混合溶液の溶質を *o*-クレゾール、サリチル酸、トルエンの 3 種類として同様の抽出を
行った場合、各溶質が分離されると考えられる層を C～F で記せ。

— 以下余白 — (計算スペースとして利用可)

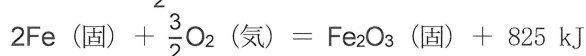
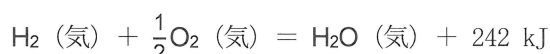
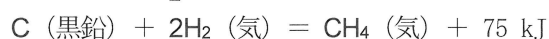
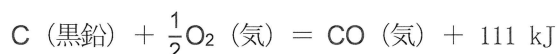
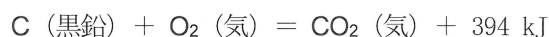
問題は

2

 につづく

2

(a) 鉄鉱石をコークス C と石灰石とともに高炉で反応させることで得られる硬いがもろい鉄を (ア) という。(b) (ア) を転炉に移し、再び石灰石を加えて (イ) を吹き込むと硬くて粘り強い (ウ) となる。製鉄にコークスを用いると温室効果ガスが大量に発生する。そこで、(e) コークスの代わりに廃プラスチックを利用することで温室効果ガスの発生を抑制する取り組みが試みられている。必要に応じて下記の熱化学方程式を用いよ。



[1] 下線部(a)について以下の問いに答えよ。ただし、鉄鉱石の主成分は Fe_2O_3 であるものとする。

- 1) コークスの燃焼で発生する気体が Fe_2O_3 を還元することで (ア) が得られる。この変化を熱化学方程式で示し、(ア) の名称を漢字で記せ。
- 2) 石灰石を加えるのはなぜか。その理由を2行以内で説明せよ。

[2] 下線部(b)について以下の問いに答えよ。

- 1) (イ) と (ウ) の名称をそれぞれ漢字で記せ。
- 2) (イ) を吹き込むのはなぜか。その理由を2行以内で説明し、反応により生成する気体を化学式で記せ。

〔3〕下線部(c)について以下の問いに答えよ。ただし、廃プラスチックはポリエチレンのみを扱うものとする。

- 1) 酸素が十分に存在する環境でエチレンを燃焼させたときの変化を化学反応式で示せ。
- 2) 酸素分圧を下げて廃プラスチックを加熱するとエチレンが生成し、さらにエチレンから還元性を有し、かつ、製鉄に利用できる2種類の気体が発生する。発生する気体のうち1種類は水素である。もう1種類の気体はなにか。その名称を漢字で記せ。また、エチレンと酸素が反応して2種類の気体が発生する変化を化学反応式で示せ。
- 3) 水素を利用して製鉄する製鉄の方法を水素還元製鉄とよぶ。 Fe_2O_3 が水素によって還元されて Fe が生成する変化を熱化学方程式で示せ。
- 4) 以下の問いについて、〔1〕1) で解答した式と〔3〕3) で解答した式を対比して、それぞれ3行以内で説明せよ。ただし、解答欄に指定する文頭から書き始めよ。
 - i) 水素還元製鉄はコークスを用いた製鉄に比べて炉が冷えやすいのはなぜか。
 - ii) 水素還元製鉄はコークスを用いた製鉄に比べて温室効果ガスの発生を抑制できるのはなぜか。

以 上

生 物

1 次の文章を読んで下の質問に答えなさい。

被子植物の配偶子形成は胚珠と葯で起こる。胚珠では、胚のう母細胞から（ ア ）分裂によって4個の細胞が生じる（図1）。そのうち3個は退化し、1個が胚のう細胞となる。胚のう細胞では3回の核分裂によって8個の核が生じる。そのうち6個の核の周りは仕切られて細胞化し、2個の助細胞、1個の（ イ ）、3個の（ ウ ）となる。残りの2個の核は中央細胞の中の極核となる。このようにして生じた7個の細胞と8個の核のまとまりを胚のうという。一方、葯では花粉母細胞が（ ア ）分裂を行い、4個の細胞の集まり、即ち（ エ ）をつくる。（エ）のそれぞれは成熟する過程で（オ）分裂を行い、大型の花粉管細胞と小型の（カ）に分かれる。（カ）は花粉管細胞に取り込まれて成熟した花粉ができる。

めしべの柱頭に付着した花粉は、花粉管を胚珠へ向けて伸ばす。花粉管内では、（カ）が（オ）分裂を経て2個の精細胞になり、これらが花粉管の先端を移動する。このとき、花粉管を正確に胚珠に導くために誘引物質（ペプチド）を分泌するのが助細胞である。a 珠孔（胚珠先端にある珠皮の開口部）に達した花粉管は、片方の助細胞を破壊して胚のう内へ侵入し、2つの精細胞を胚のうへ放出する。すると、精細胞の1つは（イ）と融合して受精卵をつくり、他方は中央細胞と融合して胚乳細胞（後の胚乳）をつくる。この受精様式を（キ）という。（キ）の後、b 崩壊せずに残った方の助細胞（残存助細胞）は花粉管の誘引を停止し、余分な花粉管が胚珠に到達するのを防ぐ。

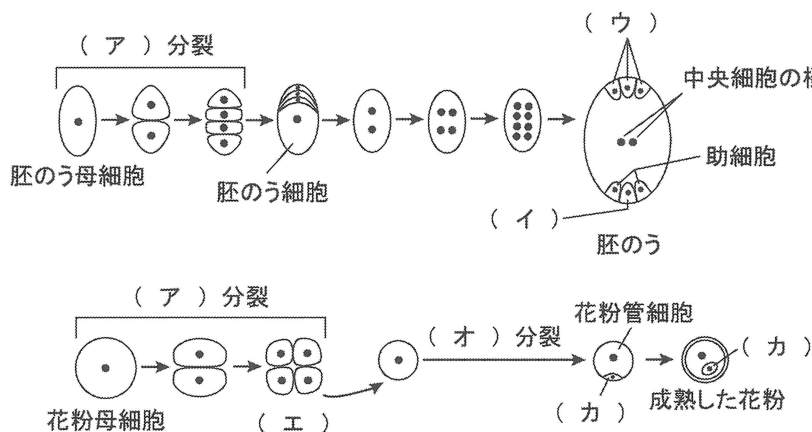


図1

〔1〕 上の文および図中の空欄（ア）～（キ）に入る適切な語を答えなさい。

〔2〕 下線部 a について、花粉管によって精細胞を胚のうへ届ける受精方法は、コケ植物、シダ植物における精子による受精と比べて、どのような利点があると考えられるか、2行以内で説明しなさい。

〔3〕被子植物には、胚乳に養分を蓄える種子と子葉に養分を蓄える種子とがあるが、それぞれを何と称するか。また、イネ、ソラマメ、カキはそれぞれどちらに属するか、答えなさい。

〔4〕下線部 b について、花粉管の誘引停止機構は幾つか知られているが、そのうちの 1 つについて行われた研究の一部を示す。

【実験 1】シロイヌナズナを実験材料に、受粉後の胚のうの微細構造を透過型電子顕微鏡で観察した。その結果の断面図を図 2 に模式的に示す。胚乳細胞と残存助細胞の間では細胞壁が失われ、胚乳細胞と残存助細胞が融合して両者の細胞質が連絡していた (図 2*)。また、残存助細胞の核が、胚乳細胞の方へ位置を変えている像が得られることがあった。受粉させなかった場合は、このような細胞壁の消失や細胞の融合は観察されなかった。

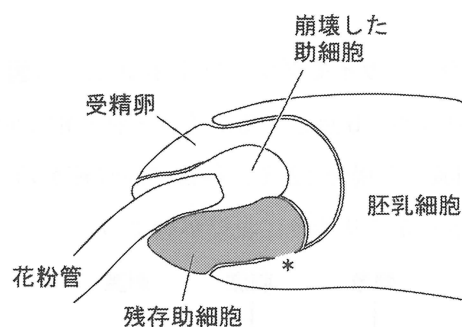


図 2

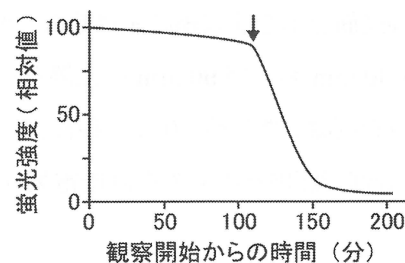


図 3

【実験 2】花粉管誘引物質に蛍光タンパク質 (GFP) を連結した人為的なタンパク質を助細胞において発現させたところ、分泌前の誘引物質-GFP 融合タンパク質に由来する蛍光が助細胞の細胞質に認められた。受粉させ、図 2 に灰色の網がけで示した部分 (残存助細胞に相当する部分) における蛍光強度を経時観察すると、図 3 に示すような変化が観察された。なお、縦軸の値が大きいくほど灰色の網がけ部分 (図 2) に誘引物質-GFP 融合タンパク質が多く存在することを示しており、グラフ中の矢印は胚乳細胞と残存助細胞の融合が始まった時点を示す。

【実験 3】融合後の残存助細胞の核を経時観察したところ、胚乳細胞の核の分裂に伴い残存助細胞の核も分裂の準備に入ったが変性し、最終的に崩壊して失われた。残存助細胞の核の崩壊は、多くの場合、胚乳細胞が 2 回目の核分裂を行う時 (胚乳細胞と残存助細胞の融合から約 150 分後) に見られた。

- 1) 脂質二重層を構成する特定の脂質を蛍光物質で標識できる特殊な方法により、助細胞の細胞膜を標識したシロイヌナズナを作出した。これを受粉させると、残存助細胞に局在する蛍光は、胚乳細胞と残存助細胞の融合後にどのような分布を示すと考えられるか、脂質二重層の流動性を念頭に 3 行以内で説明しなさい。
- 2) 残存助細胞はどのように花粉管の誘引を停止し、その機能を失うと考えられるか、3 行以内で説明しなさい。なお、胚乳細胞の体積は助細胞に比して著しく大きい。

2

次の文章を読んで下の質問に答えなさい。

私たちの身体の筋肉は、意思に基づいて動かすことができる骨格筋、心臓を拍動させる心筋、消化管などの臓器の壁を構成し臓器の動きを生み出す（ア）の3種類に大別できる。骨格筋と心筋を構成する細胞（筋繊維）では筋原繊維が規則的に配置されているため、光学顕微鏡で観察すると筋原繊維に沿って（イ）が見られる。このことから、骨格筋と心筋をまとめて（イ）筋と呼ぶ。

骨格筋の収縮は運動神経により制御される。一方、心筋や（ア）の収縮の制御は主として自律神経によってなされる。自律神経は（ウ）神経と（エ）神経から構成される。（ウ）神経は脊髄から、（エ）神経は中脳、延髄、脊髄の下部（仙髄）から出て様々な器官等の標的に達する。

カエルのふくらはぎを構成する骨格筋の一つを、これを支配する運動神経と共に切り出した神経筋標本を用いて次のような実験を行った。

〔実験〕 神経筋標本を筋収縮の記録装置（キモグラフ（カイモグラフ））に接続した（図4）。神経筋接合部から 30 mm および 90 mm の位置をそれぞれ a 点、b 点とする。それぞれに電気刺激を与えたところ、a 点を刺激した場合 10 ミリ秒後、b 点を刺激した場合 12 ミリ秒後に筋収縮が始まった。また、神経筋接合部で筋肉そのものを直接電気刺激すると 5 ミリ秒後に収縮が始まった。

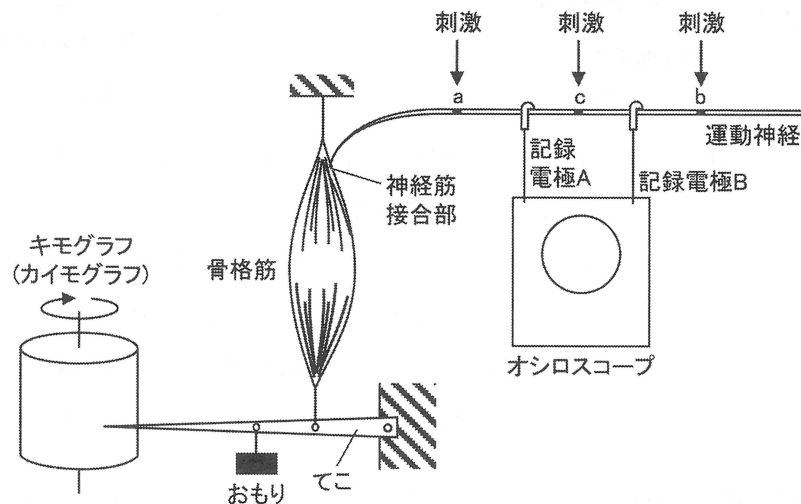


図4

〔1〕 上の文中の空欄（ア）～（エ）に入る適切な語を答えなさい。

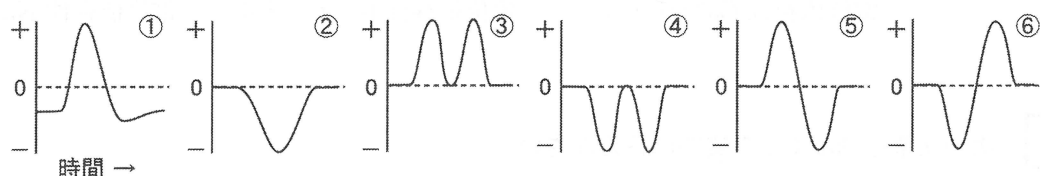
〔2〕 心臓の拍動と消化管の動き（ぜん動）を、（ウ）神経および（エ）神経は促進するか、それとも抑制するか答えなさい。解答欄には、拍動やぜん動がそれぞれの神経によって促進されると考える場合は「促進」、抑制されると考える場合は「抑制」と記入しなさい。

〔3〕 実験について、以下の問に答えなさい。

- 1) この運動神経の伝導速度を m/秒の単位で求めなさい。
- 2) 神経筋接合部での伝達に要する時間は何ミリ秒か答えなさい。

3) 神経筋接合部から 60 mm の位置を c 点とする (図 4)。c 点に刺激を与えると筋収縮は何ミリ秒後に始まるか。

4) 記録電極 A、B を図 4 に示した位置関係で細胞膜の外側に接して配置し、b 点を刺激した。A を基準とした B の電位変化として適切なオシロスコープ画面の表示はどれか、下の①～⑥から選びなさい。



5) 神経筋接合部で運動神経の軸索終末から放出される神経伝達物質の名称を答えなさい。

〔4〕運動神経からの入力に応じた骨格筋の収縮の説明として最も適切なのはどれか。

- ① 神経伝達物質の作用により、筋繊維内の ATP やクレアチンリン酸の合成が促され、エネルギーの供与開始により筋収縮が起こる。
- ② 神経伝達物質が筋原繊維のミオシン頭部に直接作用することにより筋収縮が起こる。
- ③ 神経の興奮が筋繊維に伝えられ、 Ca^{2+} が筋小胞体から放出されると、アクチンフィラメントとミオシン頭部が相互作用できるようになり、筋繊維が収縮する。
- ④ アクチンとミオシンが相互作用できるようになると、アクチンフィラメントとミオシンフィラメントの長さが短くなって全体として筋繊維が収縮する。

〔5〕骨格筋の個々の筋繊維には、1 個の運動ニューロンのみが神経筋接合部を形成する (ただし 1 個の運動ニューロンは分岐して複数の筋繊維を支配する)。これに対して、1 個のニューロンには別のニューロンからの多数のシナプスが形成される。この違いについて、機能の面から説明する下記の文中の空欄 (あ) ～ (お) に入る適切な語を下の語群から選び、文を完成させなさい。

ニューロンには興奮性ニューロンおよび抑制性ニューロンがあり、それぞれシナプス結合する相手のニューロンの膜電位が (あ) する興奮性シナプス後電位と、膜電位が (い) する抑制性シナプス後電位を発生させる。シナプスから情報を受けるニューロンでは、単一の興奮性ニューロンからの 1 回の入力で活動電位の生成に至ることはまずなく、複数の入力による興奮性シナプス後電位と抑制性シナプス後電位の加算の結果や、興奮性入力の反復による膜電位変化の加算の結果が閾値を超えると (う) の開口により活動電位を発生する。すなわちニューロンは多数の入力の多数決を行う一種の判断装置である。これに対して骨格筋の筋繊維では、運動神経を構成する運動ニューロン 1 本の 1 回の活動電位発生により 1 回のごく短時間の収縮が引き起こされる。この

短時間の収縮を（ え ）といい、筋繊維は指令に忠実な効果器といえる。実際の体内では運動ニューロンは短時間に活動電位の発生を繰り返すので、筋繊維は持続的な強い収縮である（ お ）を引き起こす。従って動物の随意的な運動は、ふつう、（ お ）によるものである。

語群：上昇 低下 強縮 単収縮

電位依存性 Ca^{2+} チャンネル 電位依存性 K^{+} チャンネル 電位依存性 Na^{+} チャンネル

3 次の文章を読んで下の質問に答えなさい。

泌尿器系は、尿を生成する腎臓と尿を体外へ送る尿路から成り、体液中の不要な代謝産物を除去し、水や電解質を取捨選択して体液の量や組成を一定に保つ。腎臓は左右 1 対のソラマメのような形をした器官であり、その上には（ ア ）がある（図5A）。腎臓で生成された尿は輸尿管から（ イ ）に送られ、そこで一時的に蓄えられた後、尿道から体外へ排出される。

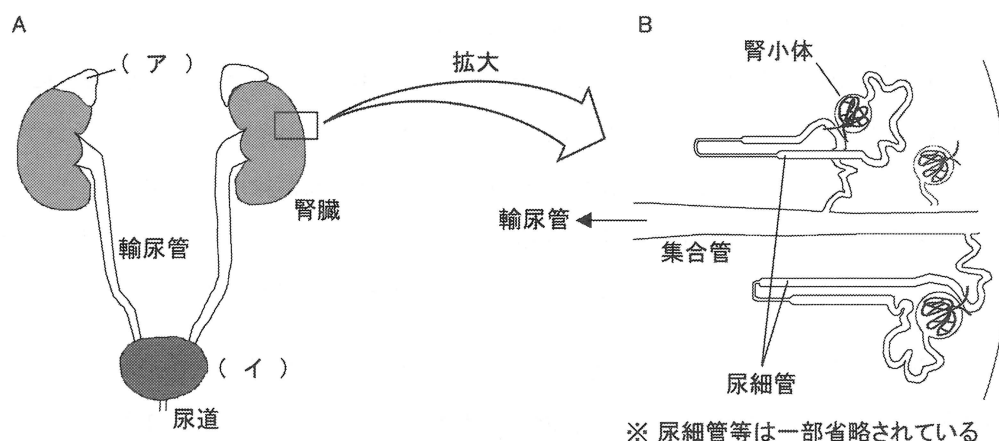


図5

腎臓をさらに細かくみると、a 皮質と髄質に分けられ、内部には構造上の単位である b ネフロン（腎単位）がヒトの場合 1 つの腎臓当たり約 100 万個存在している。下の図 6 は、図 5 B に示された構造をそれらの関係が分かるようにさらに模式的に示したものである。腎小体は、図 6 の B が示す（ウ）と C が示す（エ）から成り、c 腎動脈（図 6 A）から来た血液を B から C へろ過することで原尿を作る。原尿からは、尿

細管（細尿管、腎細管）（図 6 D ～ F）と集合管（図 6 G）を通る間に水や無機塩類の大部分と全てのグルコースが血液中に再吸収される。尿細管は、腎小体から近い順に近位尿細管（図 6 D）、中間尿細管（図 6 E）、

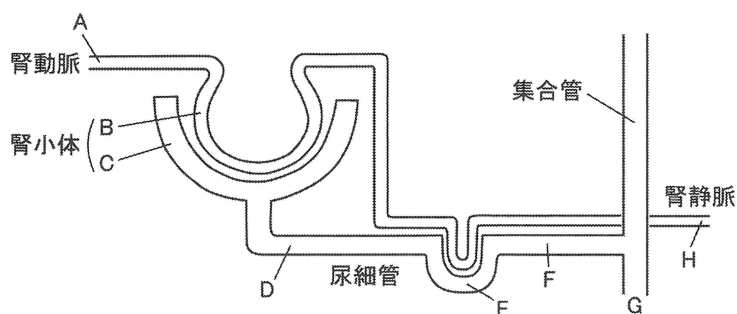


図6

遠位尿細管（図 6F）と呼ばれる。

a 再吸収には、ホルモンにより調整されるものがある。例えば、（ ア ）皮質から分泌される鉱質コルチコイドは遠位尿細管や集合管でナトリウムイオンと水の再吸収を促進する。

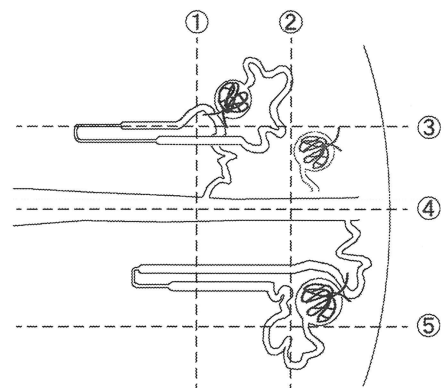
グルコースの再吸収は近位尿細管で行われる。ナトリウム/グルコース共輸送体（SGLT）は、ナトリウムイオンの濃度勾配を利用してグルコースを輸送する輸送体で、SGLT1 が近位尿細管や腸管に、SGLT2 が近位尿細管に存在している。ろ過されたグルコースの約 90% は SGLT2 により再吸収される。

〔1〕上の文中の空欄（ ア ）～（ エ ）に入る適切な語を答えなさい。

〔2〕下線部 a について、下の問に答えなさい。

1) 図 5 において、皮質と髄質の境界はどれか。右図（図 5B を再掲）の①～⑤から選びなさい。

2) 1) で境界を判別した理由を 2 行以内で説明しなさい。ただし、皮質および髄質が境界線のどちら側かが分かるように説明すること。



〔3〕下線部 b について、ネフロンに含まれるものを図 6 の A ～ H から全て選びなさい。

〔4〕下線部 c について、図 6 の B から C へろ過されないのはどれか、下の①～⑧から全て選びなさい。

- | | | | |
|--------|---------|------|--------|
| ① アミノ酸 | ② グロブリン | ③ 尿素 | ④ 尿酸 |
| ⑤ 赤血球 | ⑥ 好中球 | ⑦ 単球 | ⑧ リンパ球 |

〔5〕下線部 d について、鉱質コルチコイドの他に脳下垂体後葉から分泌されるバソプレシンも再吸収に関与する。集合管に存在するバソプレシンの受容体に対する拮抗薬（受容体の働きを妨げる薬剤）を投与したとき、尿量に変化が起きる。その変化はどのような変化か、変化が起きる理由と共に 1 行で説明しなさい。

〔6〕下線部 e について、近年糖尿病治療薬の開発が進み、インスリンの他に SGLT2 の働きを阻害する薬（SGLT2 阻害薬）が糖尿病の治療に用いられることがある。

1) 糖尿病患者に SGLT2 阻害薬を投与したとき、血液中のグルコース濃度はどのように変化するか、下の①～③から選びなさい。

- ① 上がる ② 変わらない ③ 下がる (次頁に続く)

2) 1) で答えた変化が起きる理由について 2 行以内で説明しなさい。説明に際しては以下の語を必ず使い、用いた語に下線を付すこと。

語群： SGLT2 再吸収 尿中

以 上