



[平成 29 年度入学試験問題：前期]

理 科

(120 分)

環境科学部・工学部・人間文化学部

物理(1～8 ページ) 化学(9～21 ページ) 生物(23～34 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。
2. 問題は物理 4 題、化学 4 題、生物 4 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)を受験する者は、次の科目・問題を解答ください。
 - ・物理、化学、生物のうちから 2 科目選択ください。
 - ・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 題を解答ください。
4. 環境科学部(環境建築デザイン学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答ください。
 - ・物理のみ解答ください。
 - ・「物理問題Ⅰ」～「物理問題Ⅳ」の 4 題を解答ください。
5. 環境科学部(生物資源管理学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答ください。
 - ・物理、化学、生物のうちから 1 科目選択ください。
 - ・物理を選択する場合、「物理問題Ⅰ」～「物理問題Ⅳ」の 4 題を解答ください。
 - ・化学を選択する場合、「化学問題Ⅰ」～「化学問題Ⅳ」の 4 題を解答ください。
 - ・生物を選択する場合、「生物問題Ⅰ」～「生物問題Ⅳ」の 4 題を解答ください。
6. 工学部(材料科学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答ください。
 - ・物理、化学のうちから 1 科目選択ください。
 - ・物理を選択する場合、「物理問題Ⅰ」～「物理問題Ⅳ」の 4 題を解答ください。
 - ・化学を選択する場合、「化学問題Ⅰ」～「化学問題Ⅳ」の 4 題を解答ください。

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. 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・問題を解答しなさい。
 - ・物理のみ解答しなさい。
 - ・「物理問題Ⅰ」～「物理問題Ⅳ」の4題を解答しなさい。
8. 人間文化学部(生活栄養学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答しなさい。
 - ・化学のみ解答しなさい。
 - ・「化学問題Ⅰ」～「化学問題Ⅳ」の4題を解答しなさい。
9. 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。
10. 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。
11. 解答冊子は、どのページも切り離してはいけません。解答のための下書き・計算などには、解答冊子の下書き用ページを使いなさい。
12. 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1および問2は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/s^2] とし、空気の抵抗は無視できるものとする。

図1のように、なめらかに回転する滑車が天井に固定されており、この滑車に質量 $2m$ [kg] の物体Aと質量 m [kg] の物体Bを結んだ糸をかけた。なお、以下の問題では、物体AおよびBの大きさは無視でき、滑車と糸の質量も無視できるものとする。また、糸は伸び縮みせず、じゅうぶん長く、滑車から外れないものとする。

最初、図1のように物体Aを高さ h [m] の台の上に置くと、物体Bは地面からの高さが h となって静止した。このとき、物体AおよびBのそれぞれの力のつり合いから、糸の張力は ア [N]、台が物体Aに作用する垂直抗力は イ [N] とそれぞれ求められる。

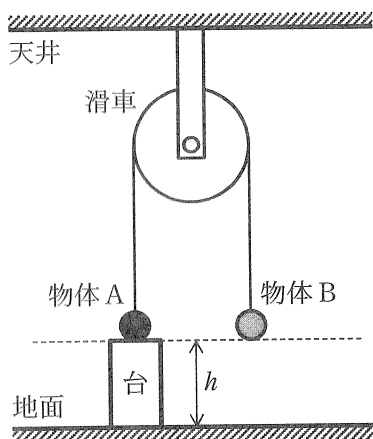


図1

つぎに、物体 A および B を手で支えながら台を外し、両物体を高さ h の位置から同時に静かに放すと物体 A および B は運動を始めた。運動時の物体 A および B の加速度の大きさを a [m/s²]、糸の張力を T [N] とすると、物体 A の運動方程式は 、物体 B の運動方程式は とそれぞれ表される。したがって、 T は m, g を用いて [N]、 a は g を用いて [m/s²] とそれぞれ表される。

問 1 上記のように物体 A および B が運動しているとき、滑車が天井を引く力の大きさを m, g を用いて表せ。

上記のように物体 A および B が運動しているときの力学的エネルギーについて考える。なお、重力による位置エネルギーの基準となる水平面は地面とする。物体 A および B が運動を始める直前の物体 A と物体 B の力学的エネルギーの和は [J] である。物体が運動を始めてから t 秒経過した時、物体が移動した距離が L [m] ($L < h$) であった。物体が運動を始めてから t 秒経過した時、物体 A の位置エネルギーは m, g, h, L を用いて [J] と表され、物体 B の位置エネルギーは m, g, h, L を用いて [J] と表される。また、物体が運動を始めてから t 秒経過した時、物体 A の運動エネルギーは m, a, t を用いて [J] と表され、物体 B の運動エネルギーは m, a, t を用いて [J] と表される。さらに、物体 A および B の移動距離 L は a, t を用いて [m] と表される。

問 2 物体 A および B が運動を始めてから t 秒経過後の物体 A と物体 B の力学的エネルギーを、 m, g, h, t を用いてそれぞれ示せ。また、それらの和が、運動を始める直前の物体 A と物体 B の力学的エネルギーの和と等しいことを示せ。

問 3 物体 A のみの力学的エネルギーを考えると、物体 A が運動を始める直前と t 秒経過後の力学的エネルギーは等しくならない。この理由について「保存力」、「仕事」、「糸の張力」の語句をすべて用い、句読点を含めて 25 文字以内で説明せよ。

物理問題 II

次の文を読んで、 に適した式を解答欄に記入せよ。また、問1および問2に導出過程を示して答えよ。なお、スイッチ、導線および接触棒の抵抗と、検流計および電池の内部抵抗は無視できるものとする。

(1) 図1に示すように、直流電源、起電力 E_0 [V] が既知の電池、起電力 E_x [V] が未知の電池、太さが一様で長さが L [m]、抵抗値 R [Ω] の抵抗線 AB、接触棒、検流計 G、およびスイッチ S を導線で接続した電気回路がある。

S を P 側に接続し、抵抗線の点 C に接触棒を接触させたとき、G に電流は流れなかった。このとき、経路 A—C—P—A について、キルヒホッフの法則 II (第2法則) から、A—C 間の電圧降下 V_{AC} は ア [V] である。S を Q 側に接続し、抵抗線の点 D に接触棒を接触させたとき、G に電流は流れなかった。このとき、A—D 間の電圧降下 V_{AD} は イ [V] である。

S が P 側で接触棒を点 C に接触させたときも、S が Q 側で接触棒を点 D に接触させたときも G に電流が流れないので、抵抗線を通る電流 I [A] は同じになる。A—C 間の長さが L_0 [m] のとき、A—C 間の抵抗は ウ [Ω] であり、 V_{AC} は L 、 L_0 、 R 、 I を用いて エ [V] と表される。A—D 間の長さが L_x [m] であるならば、 V_{AD} は L 、 L_x 、 R 、 I を用いて オ [V] と表される。したがって、 E_x は E_0 、 L_0 、 L_x を用いて カ [V] と表される。

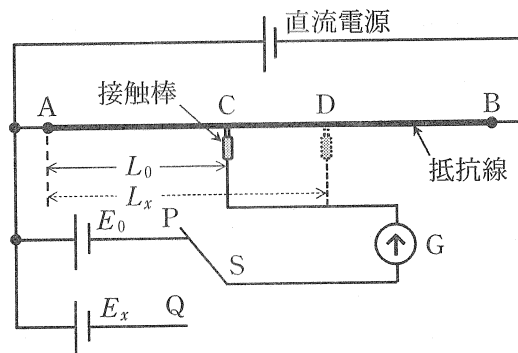


図1

(2) 図2に示すように、起電力 E [V] の直流電源、抵抗値 R_1 [Ω] の抵抗、未知の抵抗値 R_x [Ω] をもつ抵抗、太さが一様で長さが L [m]、抵抗値 R [Ω] の抵抗線 ab 、接触棒、および検流計 G を導線で接続した電気回路がある。

問1 抵抗線の点 c に接触棒を接触させたとき、 G に電流は流れなかった。 $a-c$ 間の長さが L_c [m] のとき、この回路をホイートストンブリッジとみなして、 R_x を求めよ。

(3) 図2の $a-d$ 間に、起電力が未知の電池を正極を a 側にして挿入した。抵抗線の $a-b$ 間を二等分する位置に接触棒を接触させたとき、 G に電流は流れなかった。ここで、 $f-e$ 間および抵抗線 ab を図に示す向きに流れる電流をそれぞれ I_1 [A]、 I_2 [A] とおくと、 $e-g$ 間を流れる電流は、キルヒホッフの法則 I (第1法則) から、 I_1 と I_2 を用いて [A] と表される。また、経路 $d-f-e-g-d$ において、キルヒホッフの法則 II より、 E は R_1 、 R_x 、 I_1 を用いて [V] と表される。同様に、経路 $d-c-f-d$ において、挿入した電池の起電力は、 R 、 R_1 、 I_1 、 I_2 を用いて [V] と表される。さらに、経路 $f-e-c-f$ では、 R 、 R_x 、 I_1 、 I_2 の関係は = 0 と表される。

問2 挿入した電池の起電力を R 、 R_x 、 E を用いて示せ。また、 $e-g$ 間を流れる電流の大きさを R 、 R_1 、 R_x 、 E を用いて表せ。

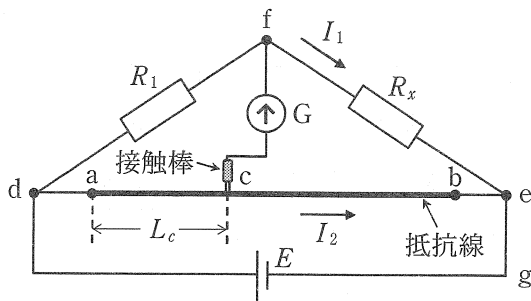


図2

物理問題 III

次の文を読んで、 に適した式または数値を解答欄に記入せよ。また、問 1 および問 2 に導出過程を示して答えよ。なお、気体定数を $R[\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})]$ とする。

- (1) 容器に閉じ込められた気体分子は熱運動をしているために、容器の内壁に次々と衝突して力を及ぼしている。このとき、多数の分子が単位面積あたりの壁に及ぼす平均の力が気体の圧力である。体積 $V[\text{m}^3]$ の容器に閉じ込められた理想気体の圧力 $p[\text{Pa}]$ は、分子 1 個の質量を $m[\text{kg}]$ 、分子の総数を N 個、分子の熱運動の速さの 2 乗平均を $\overline{v^2}[\text{m}^2/\text{s}^2]$ として、以下の式で表すことができる。

$$p = \frac{Nm\overline{v^2}}{3V} \quad \text{式 1}$$

問 1 単原子分子の理想気体をもつ内部エネルギーは、分子の運動エネルギーを合計したものである。式 1 の関係と理想気体の状態方程式を用いて、温度 $T[\text{K}]$ の単原子分子の理想気体 1 モルをもつ内部エネルギー $U[\text{J}]$ は、 $U = \frac{3}{2}RT$ と表されることを示せ。

- (2) なめらかに動くことのできるピストンをもつシリンダーの内部に、1 モルの単原子分子の理想気体が閉じ込められている。この気体に外部から $Q[\text{J}]$ の熱を加えたときの、内部エネルギーの変化を $\Delta U[\text{J}]$ 、気体が外部に対してする仕事を $W[\text{J}]$ とする。このとき、 Q と ΔU と W の間には $Q = \text{ア}$ の関係が成り立つ。この関係式を用いて、気体の圧力と体積を、図 1 に示すように $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ の順にゆっくりと変化させる熱機関について考えてみる。ここで、図 1 のすべての区間は直線に沿って変化し、過程 $A \rightarrow B$ は定積変化、過程 $B \rightarrow C$ は定圧変化である。

まず、過程 $A \rightarrow B$ における温度変化は イ [K] であるので、このときの内部エネルギー変化は ウ [J] と表すことができる。また、過程 $A \rightarrow B$ において気体が外部にする仕事は エ [J] であるので、過程 $A \rightarrow B$ において外部から気体に加えられた熱量は オ [J] と求めることができる。

つぎに、過程 B→C における温度変化は [K] であるので、このときの内部エネルギー変化は [J] である。また、過程 B→C において気体が外部にする仕事は [J] であるので、過程 B→C において外部から気体に加えられた熱量は [J] と求めることができる。

さらに、1 サイクルにおける内部エネルギーの変化は [J] であるので、過程 C→A における内部エネルギーの変化は [J] である。また、過程 C→A において気体が外部にする仕事は図 1 から [J] と求めることができるので、過程 C→A において外部から気体に加えられた熱量は [J] である。

問 2 この熱機関の熱効率を有効数字 2 桁で求めよ。

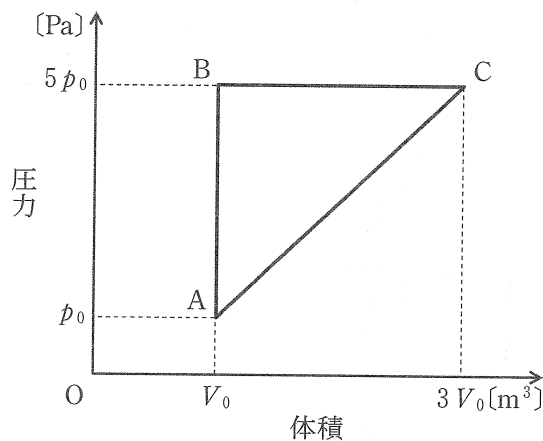


図 1

物理問題 IV

次の文を読んで、 に適した式または数値を、 $\{ \quad \}$ には適した語句を解答欄に記入せよ。また、問1および問2に答えよ。なお、円周率を π とする。

- (1) 図1のように、空気中にある一様な厚さ d [m] の薄膜に、波長 λ [m] の単色光を上面から垂直に入射した。なお、空気に対する薄膜の屈折率は n ($n > 1.0$) であり、薄膜中での光の吸収、散乱は起こらないものとする。

単色光が薄膜の上面で反射するとき、反射による位相の変化は [rad] である。また、薄膜の下面で反射するとき、反射による位相の変化は [rad] である。この2つの反射光の光路差は [m] であり、この光路差に応じて2つの反射光が互いに強め合ったり弱めあったりする。この現象を $\{ \quad \}$ と呼ぶ。2つの反射光が互いに強め合って明るくなる条件は m ($m = 0, 1, 2, \dots$) を用いると = であり、互いに弱め合って暗くなる条件式は同様に m を用いると = である。

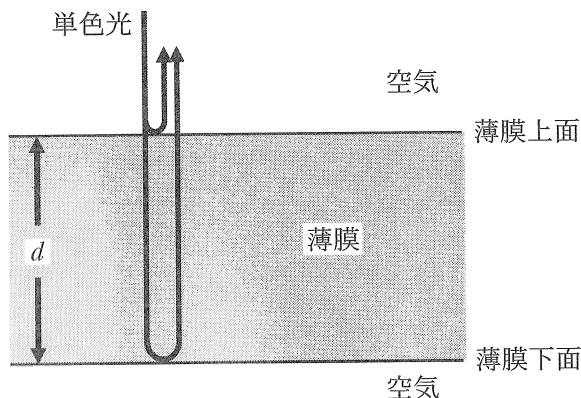


図1

- (2) 図1の薄膜を図2のように傾けて、波長 λ の単色光を薄膜の上面へ入射角 i [rad] ($0 \leq i < \frac{\pi}{2}$) で入射した。屈折角を r [rad] ($0 \leq r < \frac{\pi}{2}$) とすると、 r と i との関係は $n =$ である。また、波面 AB は屈折して薄膜中では波面 CD となる。よって、 i, n, d を用いると、2つの反射光の光路差は [m] であり、2つの反射光が互いに強め合う条件式は = である。

問 1 $i = 0$ の状態で、2つの反射光が互いに強め合っただけで最も明るくなった場合を考える。薄膜を傾けて入射角を $i = 0$ の状態から徐々に増加させると、2つの反射光は { 工 } により徐々に暗くなり、 $i = \frac{\pi}{3}$ のとき、最も暗くなった。さらに薄膜を傾けると、再び明るくなり始めた。屈折率 $n = 1.5$ 、波長 $\lambda = 5.9 \times 10^{-7} \text{ m}$ として、薄膜の厚さ d を導出過程も示しながら有効数字2桁で求めよ。なお必要であれば、 $\sqrt{2} = 1.4$ 、 $\sqrt{3} = 1.7$ 、 $\sqrt{5} = 2.2$ 、 $\sqrt{6} = 2.4$ 、 $\sqrt{7} = 2.6$ を用いよ。

問 2 図2の単色光の代わりにあらゆる可視光の波長からなる白色光を薄膜に入射させると、その薄膜の傾きによって見える反射光の色が変化しますがそれはなぜか。2つの反射光が互いに強め合う条件式である ク = オ の関係系を考慮しながら、「入射角」、「波長」の語句を用いて説明せよ。ただし、波長による薄膜の屈折率の変化は無視できるものとする。

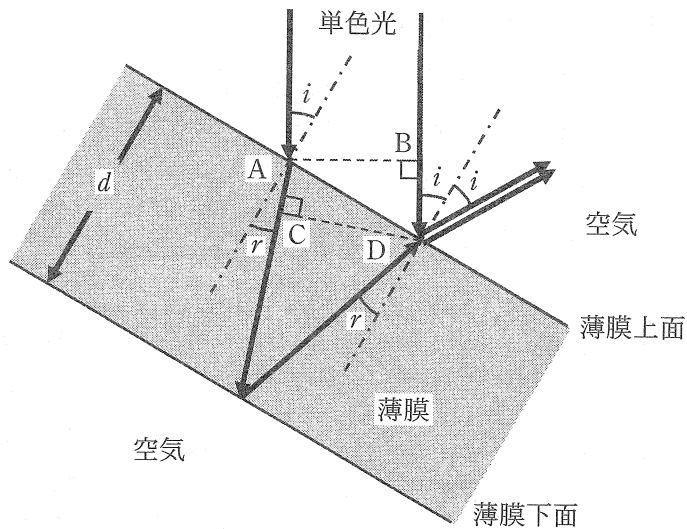


図 2

化 学

化学問題 I

次の文を読んで、問1～問4に答えよ。必要であれば原子量として $H = 1.0$, $C = 12.0$, $O = 16.0$ を用いよ。解答の数値は有効数字2桁で示せ。

19世紀のはじめ、新しい元素が次々と発見されて元素の数が増えるにつれ、元素の性質の多様性を説明し、すでに知られていた元素の表に「秩序」を与える仕事に関心が向けられた。そして19世紀半ばには、元素を原子量が増える順に並べると、その配列は元素の化学的性質において一定の規則性をもつことが認識されるようになった。

このような状況のなか、原子量が増える順に元素を並べると の数値が周期的に変化することに着目する研究者が現れた。その一人であるメンデレーエフは、当時は未発見だった元素を空欄にして、 の同じ元素が縦の列に並ぶようにして組んだ元素の周期表を19世紀後半に発表した。 は、その原子が他の原子と最大何個結合するかの目安となる数を表している。この周期表は、20世紀になり18族元素や同位体^(a)の発見を経て、原子番号の順に元素が並ぶ現在の周期表につながった。

周期表には現在でも、新たに発見された元素が追加されている。新元素を認定する国際純正および応用化学連合(IUPAC)は2016年6月、これまで報告があった118種の元素のうち命名されていなかった新元素4種類の名称案を発表した。日本が初めて命名権を得た原子番号113番の新元素は、30番の亜鉛^(b)の を特殊な装置で加速して、83番のビスマスの に衝突させて創りだされた人工の元素である。このようにして追加される元素は、周期表の正しさを検証する機会を提供してきた。そのなかで、周期表の規則性はいまだ否定されることはなく、19世紀に基本形がまとめ上げられたその体系の確かさは増すばかりである。

問 1 元素の性質について，以下の i)～iii)に答えよ。

i) ア に適切な語を記せ。

ii) ヘリウム原子，フッ素原子およびナトリウム原子の電子配置を，図1にならって記せ。

iii) 第1周期の元素の水素とヘリウムは，空気に比べてじゅうぶん軽い気体であるというよく似た特徴をもつが，気球や飛行船などに用いられるのはヘリウムに限られる。これは，水素が酸素と反応して燃える性質をもつなど反応性が高いのに対して，ヘリウムはそのような性質をもたないためである。このヘリウムの安定性を電子配置に関連づけて説明せよ。

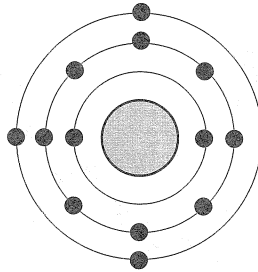


図1 アルミニウム原子の電子配置の模式図

●は電子を示す。

問 2 元素の性質の周期性について、以下の i) と ii) に答えよ。

i) イオン化エネルギーは、図 2 のように同じ族の元素では原子番号が大きいほど低下する傾向がある。この理由について述べた以下の文の ， に適切な語を記せ。なお， には、化学問題 I 本文の と同一の語が入る。

「 のまわりの電子は， に近いものほど に強く引きつけられるため， に対して遠い外側の に入る電子ほど取り去られやすい。」

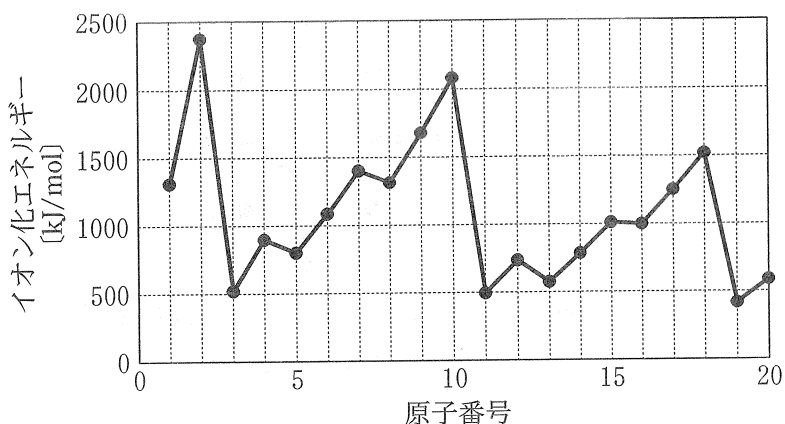


図 2 原子番号の順に並べた各原子のイオン化エネルギー

ii) 図 2 に示す原子番号 20 番までの原子について、アルカリ金属およびハロゲンに含まれる元素の原子番号をそれぞれすべて記せ。また、アルカリ金属およびハロゲンの元素の特徴について、「イオン化エネルギー」あるいは「電子親和力」の語を用いて記せ。

問 3 下線部(a)について、塩素には、相対質量が 35.0 の ^{35}Cl と、37.0 の ^{37}Cl という二つの同位体が存在する。それらの存在する割合を考慮した「相対質量の平均値」により求められる塩素の原子量は 35.5 となる。このとき、 ^{35}Cl の存在する割合 [%] を求めよ。計算過程も記せ。

問 4 下線部(b)について、希塩酸、水酸化ナトリウム水溶液それぞれに対する単体の亜鉛の反応を反応式で記せ。

化学問題 II

次の文を読んで、問1～問6に答えよ。必要であれば、原子量として $H = 1.0$ 、 $C = 12.0$ 、 $O = 16.0$ 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)は区別しなくてよい。

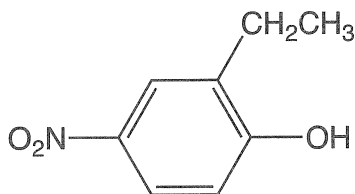


図1 構造式の例

環境にやさしい材料として、生分解性高分子が注目されている。生分解性高分子は、環境中の微生物などによって単量体間の結合が加水分解(a)されることで低分子量の化合物となる特徴を有する。生分解性高分子の多くはポリエステルと呼ばれる高分子化合物に分類される。ポリエステルとはエステル結合により重合した高分子一般のことを指し、必ずしも生分解性を示すわけではない。そして、身近な樹脂・繊維材料として利用されているものの中にもポリエステルは多く含まれている。

炭素、水素、酸素のみからなる生分解性高分子であるポリエステルAを加水分解したところ、化合物Bのみが得られた。この化合物Bは水溶性の物質であった。化合物Bの構造を分析したところ、不斉炭素原子を有することと炭素数が3であることがわかった。

環境中では分解されないとされているポリエステルCを完全に加水分解したところ、化合物Dと芳香族化合物Eが同じ物質ずつ生成した。どちらの化合物も炭素、水素、酸素のみからなる物質であった。化合物Dは水に容易に溶解し、化合物Eはアルカリ性の水によく溶けた。化合物Dの構造を分析したところ、炭素数が4で直鎖状の構造をもつことがわかった。また化合物Dを穏やかに酸化したところ、分子量118の酸性化合物Fが得られた。さらに59gの化合物Fを溶かした水溶液を完全に中和するためには1molのNaOHが必要であった。化合物Eを分析したところ、ベンゼ

ンの水素 2 個を置換した化合物であることと分子式が $C_8H_6O_4$ であることがわかった。

問 1 下線部(a)に関して、酢酸エチルの加水分解反応の化学反応式を記せ。

問 2 化合物 B, D, F の構造式を記せ。

問 3 化合物 E として考えられる構造式をすべて記せ。

問 4 問 3 で答えたもののうち、一つだけが分子内で脱水反応を起こし、他のものは起こさない。この違いが生じる理由を分子構造の観点から簡単に説明せよ。

問 5 2 分子の化合物 B を脱水縮合して得られる環状化合物の構造式を記せ。

問 6 化合物 B と D の混合物から脱水縮合によりエステルを合成した。生成した化合物のうち、2 分子が結合してできた化合物すべての構造式を記せ。

化学問題 Ⅲ

次の文を読んで、問1～問3に答えよ。必要であれば、原子量として $O = 16.0$ を用いよ。解答の数値は有効数字2桁で示せ。

河川や湖沼における水質汚染の原因物質の一つとして有機物が挙げられる。水中の有機物は微生物によって分解される。その際に、水中の酸素が消費されるため、有機物の量が多いほど微生物による酸素の消費量も増える。したがって、水中の有機物量が多すぎると、水中の酸素も欠乏しやすく、魚類をはじめとした水生生物の多くが生息困難となる。このように水中の酸素が欠乏した状況が続くと、酸素が無くても生息できる微生物によって有機物がさらに分解され、アンモニアや硫化水素が発生し、悪臭を放つようになる。^(a)有機物による水質汚染の程度を評価する指標として、化学的酸素要求量(COD)がある。CODとは、測定する水に過マンガン酸カリウムなどの酸化剤を加えることで、有機物を化学的に酸化し、そのときに消費した酸化剤の量を酸素の消費量として換算した値のことであり、単位は mg/L で表示する。例えば、渓流水などのきれいな水のCODは 1 mg/L 未満、雨水では $1 \sim 2 \text{ mg/L}$ 、生活排水などの汚水では 10 mg/L 以上を示すことが多い。

いま、ある溜め池から水を採取し、この水のCODを決定するため、以下の手順1～4に沿って実験をおこなった。

手順1 溜め池から採水した試料水 100 mL をガラス容器に入れる。試料水にじゅうぶんな量の硫酸を加え、手順4まで酸性が保たれるようにする。

手順2 手順1で酸性になった試料水に $2.00 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ の過マンガン酸カリウム水溶液を 10.0 mL 加え、沸騰水の中でガラス容器ごと30分間加熱しながら試料水中の有機物を完全に酸化する。反応後の試料水は一部の過マンガン酸イオンが未反応のまま残るため赤紫色となる。

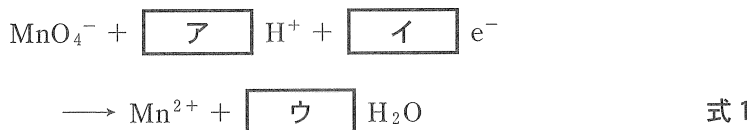
手順3 手順2で赤紫色になった試料水に、 5.00×10^{-3} mol/Lのシュウ酸水溶液を10.0 mL加え、余った過マンガン酸イオンを完全に反応させる。反応後の試料水は、加えたシュウ酸によって過マンガン酸イオンが完全に消費されるため無色となる。

手順4 手順3で無色になった試料水中の余ったシュウ酸を完全に反応させるため、 2.00×10^{-3} mol/Lの過マンガン酸カリウム水溶液で滴定をおこなう。赤紫色になったところを終点とする。

問1 下線部(a)について、アンモニアおよび硫化水素の説明として最も適しているものをそれぞれ(1)~(5)から一つ選び、番号で記せ。

- (1) 刺激臭をもつ無色の有毒な気体で、水によく溶け、水溶液は弱い塩基性を示す。硝酸や窒素肥料などの原料である。
- (2) 水に溶けやすく、刺激臭をもつ赤褐色の有毒な気体で、銅と濃硝酸を反応させると発生する。
- (3) 単体の塩素と水素から直接作られる。実験室では、塩化ナトリウムに濃硫酸を加え、加熱すると発生する。
- (4) 腐卵臭をもつ無色の有毒な気体で、酸化されやすく、強い還元剤としてはたらく。
- (5) 刺激臭をもつ無色の有毒な気体で、亜硫酸水素ナトリウムや亜硫酸ナトリウムに希硫酸または希塩酸を加えると発生する。

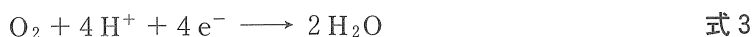
問 2 酸性条件下での過マンガン酸カリウムとシュウ酸の酸化還元反応はそれぞれ電子を含む以下のイオン反応式で表される。次の i) と ii) に答えよ。



- i) MnO_4^- , Mn^{2+} , $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, CO_2 のそれぞれに含まれるマンガン原子と炭素原子の酸化数を記せ。
- ii) $\boxed{\text{ア}}$ ~ $\boxed{\text{オ}}$ に適切な整数を入れて、式 1 と式 2 を完成させよ。

問 3 手順 1 ~ 4 で得られた結果を用い、試料水の COD を求めるために次の i) ~ v) に答えよ。

- i) 手順 4 において、滴定に要した $2.00 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ の過マンガン酸カリウム水溶液は 4.0 mL であった。このとき、手順 1 ~ 4 を通して試料水に加えた過マンガン酸イオンの物質量の合計を求めよ。計算過程も記せ。
- ii) 手順 3 と手順 4 について、試料水に加えたシュウ酸と完全に反応した過マンガン酸イオンの物質量を式 1 と式 2 をもとに求めよ。計算過程も記せ。
- iii) 手順 2 において、試料水中の有機物と完全に反応した過マンガン酸イオンの物質量を求めよ。計算過程も記せ。
- iv) 酸素の還元は式 3 のような電子を含むイオン反応式で表される。このとき、式 1 と式 3 をもとに、試料水中の有機物を完全に酸化するために必要だと考えられる酸素 (O_2) の物質量を求めよ。計算過程も記せ。



- v) 試料水の COD [mg/L] を求めよ。計算過程も記せ。

理科の試験問題は次に続く。

化学問題 IV

次の文を読んで、問1～問4に答えよ。必要であれば、原子量として $H = 1.0$, $C = 12.0$, $O = 16.0$ を、気体定数として $R = 8.31 \times 10^3 \text{ L}\cdot\text{Pa}/(\text{K}\cdot\text{mol})$ を用いよ。気体はすべて理想気体とする。解答の数値は有効数字2桁で示せ。

携帯用燃料ボンベには、プロパンやブタンなどのアルカンの混合物が使われているものが多い。図1にプロパン、ブタン、および水の蒸気圧曲線を示す。プロパンもブタンも 20°C , $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ においては気体として存在するが、温度を一定に保ちながら圧力を上げていくと、それぞれある圧力に達したところで凝縮し液体となる。^(a)

プロパンとブタンのみが入った図2のような燃料ボンベを考える。ボンベ内の圧力がじゅうぶん高いとき、ボンベ内には両成分の気体と液体が同時に存在した。このとき、気体中と液体中ではプロパンとブタンの物質量の比は異なっており、気体中における物質量の比はラウールの法則により予測することができる。プロパンとブタンの混合物においてラウールの法則が成り立つとすると、気液平衡にある気体中のプロパンとブタンの分圧 p_1 , p_2 は、液体中のプロパンとブタンのモル分率 x_1 , x_2 ($x_1 + x_2 = 1$) およびその温度における純粋なプロパンとブタンの蒸気圧 p_1^* , p_2^* を使い、それぞれ $p_1 = x_1 p_1^*$, $p_2 = x_2 p_2^*$ と書くことができる。したがって、ボンベの気体中のプロパンのモル分率は、液体中のプロパンのモル分率に比べて **ア**。そのため、ボンベから気体を放出していくと、ボンベ内の **イ** のモル分率が上昇する。

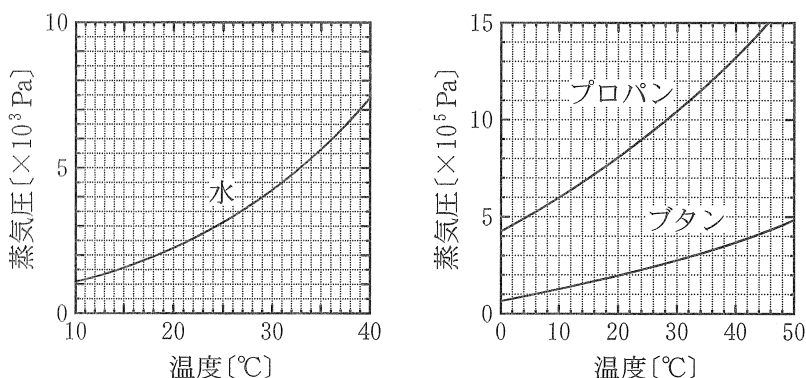


図1 プロパン、ブタン、および水の蒸気圧曲線

問 1 ア イ に入る語の組合せとして最も適切なものを次の(1)~(4)の中から一つ選び、その記号を記せ。

- (1) ア：高い イ：ブタン
- (2) ア：高い イ：プロパン
- (3) ア：低い イ：ブタン
- (4) ア：低い イ：プロパン

問 2 図 2 のポンベにプロパンとブタンのみを入れ、 20°C でじゅうぶん長い時間保った。このときポンベ内には気体と液体が存在し、液体中のプロパンのモル分率は $x_1 = 0.20$ 、ブタンのモル分率は $x_2 = 0.80$ であった。コックを開いた直後に放出される気体中のプロパンのモル分率を求めよ。導出過程も記せ。ただし、気体中でプロパンとブタンは均一に混ざっているとす。

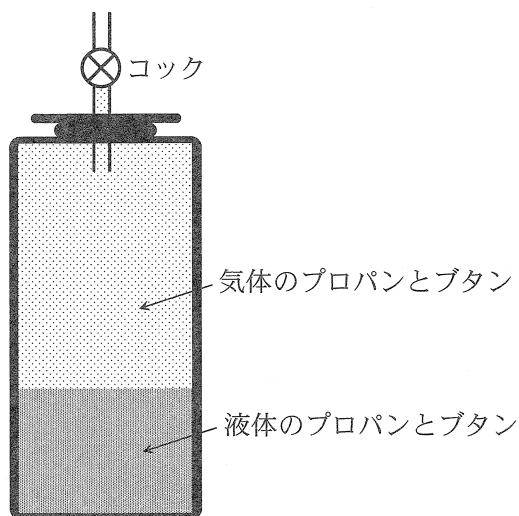


図 2 燃料ポンベの模式図

問 3 下線部(a)について、ピストンを備えたシリンダー内に気体のプロパンと気体のブタンを同じ物質質量ずつ入れ、温度を 20℃ に保ちながらプロパンとブタンの両方が液化するまで体積を減少させた。この操作終了時のシリンダー内には気体と液体の両方が存在した。この操作の最初から最後まで全圧の変化を表す図として、最も適切なものを図 3 の A～D の中から一つ選び、その記号を記せ。

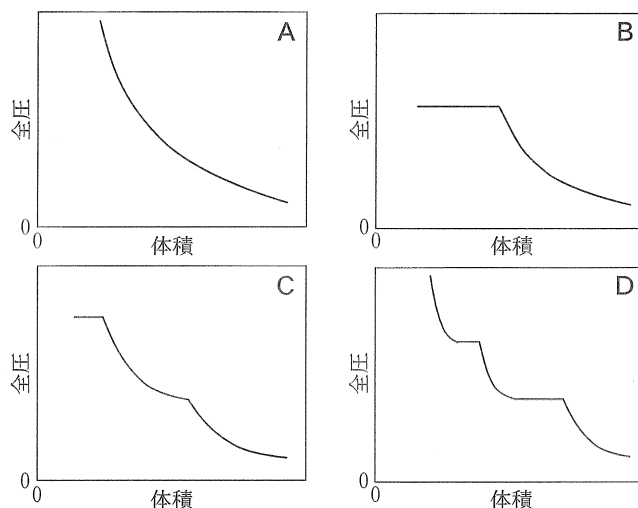


図 3 容器内の全圧と体積の関係

問 4 プロパンとブタンが同じ物質質量ずつ含まれる混合気体を酸素 0.90 mol とともに着火装置をそなえた容積 3.00 L の容器に入れたところ、27℃ において全圧は 8.31×10^5 Pa であった。その後、容器内でプロパンとブタンを完全燃焼させた。以下の i)～iv) に答えよ。

- i) 燃焼前の容器内に含まれるプロパンとブタンの物質量を求めよ。導出過程も記せ。
- ii) プロパンとブタンの燃焼熱を求めよ。導出過程も記せ。ただし、水、二酸化炭素、プロパン、ブタンの生成熱はそれぞれ 285×10^3 J/mol, 395×10^3 J/mol, 105×10^3 J/mol, 125×10^3 J/mol とする。
- iii) プロパンとブタンがそれぞれ完全燃焼するときの熱化学方程式を記せ。
- iv) 燃焼後、容器内の温度が 27℃ になったときの容器内の水の蒸気圧を求めよ。導出過程も記せ。ただし、生成した水に気体は溶け込まないものとする。

理科の試験問題は次に続く。

生 物

生物問題 I

次の文を読んで、問1～問7に答えよ。

オカダンゴムシは陸生の甲殻類(節足動物門甲殻亜門)の一種である。原産地はヨーロッパでもともと日本には分布して^(a)いなかったが、明治時代に侵入・^(b)定着したとされている。野外では枯死した植物や動物の遺体を主なえさとしており、熱帯魚用の人工飼料なども好んで食べるため飼育は容易である。このオカダンゴムシの行動について以下の実験1～5を行った。なお、実験で用いるプラスチックケース、ペトリ皿、迷路の壁面はいずれも平滑でオカダンゴムシは登ることができない。

実験1 透明なプラスチックケースの片側半分を黒い紙でおおい(図1)、ケースの中央付近にオカダンゴムシ20匹を入れた。このケースを照明や窓のない暗い室内に静置し、装置の上方30cmから白色光で照らした。なお、光照射による温度変化は無視できるものとする。30分後に各個体がケースの中の紙でおおわれた側にいたか、紙でおおわれていない側にいたかを観察したところ、20匹中19匹が紙でおおわれた側にいた。

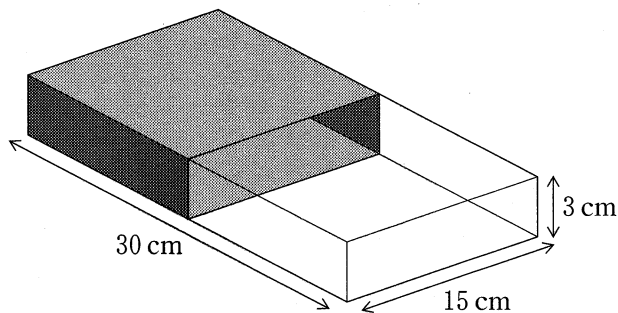


図1 実験1で用いた装置

実験 2 実験 1 と同じ実験を、白色光の代わりに赤色光を使って行った。なお、光照射による温度変化は無視できるものとする。30 分後に各個体がケースの中の紙でおおわれた側にいたか、紙でおおわれていない側にいたかを観察したところ、20 匹中 10 匹が紙でおおわれた側にいた。

実験 3 黒いエナメル塗料で左右の複眼を塗りつぶしたオカダンゴムシ 20 匹を用いて、実験 1 と同じ実験を行ったところ、20 匹中 10 匹の個体が紙でおおわれた側にいた。

実験 4 黒い紙でおおわない透明なプラスチックケースの中央付近に 20 匹のオカダンゴムシを入れた。熱帯魚用の人工飼料を小さな透明ペトリ皿に載せ、このペトリ皿にふたを被せない状態でケース内部の端に置いた。また、反対側の端にも同じペトリ皿を置いたが、人工飼料は載せなかった。このケースを明るい室内に静置した。30 分後に観察すると、20 匹中 12 匹が人工飼料を載せたペトリ皿のまわりに集まっていた。空の皿のまわりに集まったオカダンゴムシはいなかった。

実験 5 紙製の壁を組み合わせて図 2 のような T 字路が連続した迷路を作り、オカダンゴムシを矢印の方向に頭部を向けて迷路の入口に置いた。オカダンゴムシは壁に突き当たるたびに、右、左、右、左、右と交互に転回を繰り返し、破線で示した経路で出口へとたどり着いた。

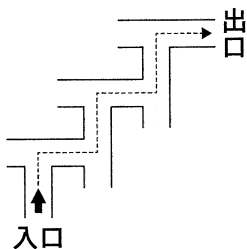


図 2 実験 5 で用いた迷路とオカダンゴムシの移動経路(破線)

問 1 下線部(a)の分類群に含まれない生物を、次から二つ選び記号で答えよ。

- A イセエビ, B ミジンコ, C サザエ, D カイコガ, E アカウミガメ

問 2 下線部(a)の分類群の特徴として正しいものを、次から一つ選び記号で答えよ。

- A 散在神経系を持ち中枢神経系はない。
B 外骨格を持ち脱皮を繰り返して成長する。
C 体は鱗でおおわれ、えらで呼吸を行う。
D 一生のうち脊索を持つ時期がある。

問 3 下線部(b)のように、人為的な影響によって自然には分布しない地域に生息するようになった生物は何と呼ばれるか、その名称を答えよ。

問 4 刺激に対して一定の方向に移動する生得的行動は走性と呼ばれる。実験 1 で見られたオカダンゴムシの行動も走性の一つであるが、この場合の刺激は何か。また、刺激に向かって近づく方向に移動する場合を正の走性、遠ざかる方向に移動する場合を負の走性と呼ぶ。実験 1 で見られた走性は、正の走性か負の走性か。解答用紙の選択肢を丸で囲め。

問 5 オカダンゴムシの刺激の受容について実験 2 と実験 3 の結果を実験 1 の結果と比較して分かることを、それぞれ句読点を含め 40 字以内で説明せよ。

問 6 実験 4 の結果から、オカダンゴムシがえさを探索するのに主に嗅覚、すなわち揮発性化学物質の受容にのみ依存していると仮定して、次の A～D の実験から得られる結果を予想した。結果の予想が間違っているものを二つ選び記号で答えよ。

A 実験：照明や窓のない暗い室内で**実験 4**と同様の実験を行った。

結果の予想：人工飼料を載せたペトリ皿のまわりにオカダンゴムシが集まる。

B 実験：人工飼料を載せたペトリ皿と空のペトリ皿を、それぞれ通気性はあるが光を遮る黒い紙製の箱の中に入れて、それを**実験 4**と同様にオカダンゴムシを入れた透明なプラスチックケースに入れた。

結果の予想：人工飼料が入っている箱のまわりにオカダンゴムシが集まる。

C 実験：人工飼料を載せたペトリ皿と空のペトリ皿を、それぞれ通気性がなく光を通す透明プラスチック製容器の中に入れて、それを**実験 4**と同様にオカダンゴムシを入れた透明なプラスチックケースに入れた。

結果の予想：人工飼料を入れた容器のまわりにオカダンゴムシが集まる。

D 実験：人工飼料を載せたペトリ皿と空のペトリ皿を、それぞれ通気性がなく光を通さない黒色プラスチック製容器の中に入れて、それを**実験 4**と同様にオカダンゴムシを入れた透明なプラスチックケースに入れた。

結果の予想：どちらの容器にもオカダンゴムシが集まる。

問 7 実験 5 で観察された，障害物に突き当たったときに左右交互に規則正しく転回を行う反応は交替性転向反応と呼ばれる。

- (1) 図 3 の迷路の中央に記した矢印の場所に，矢印の方向に頭部が向くようにオカダンゴムシを置いた。[右，左]の転回を規則正しく繰り返す交替性転向反応を行った場合，オカダンゴムシの移動経路を解答用紙の迷路に実線で記せ。
- (2) 仮に，交替性転向反応で見られるような[右，左]の繰り返しでなく，[右，右，左]の繰り返しで転回を行う場合，オカダンゴムシの移動経路はどのようになるか。解答用紙の迷路に実線で記せ。
- (3) これまでの研究で，交替性転向反応は，棒でつつくなど外的な刺激が加えられた後で見られることが知られている。この交替性転向反応は，オカダンゴムシの生存上どのような利点があると考えられるか。句読点を含め 60 字以内で説明せよ。

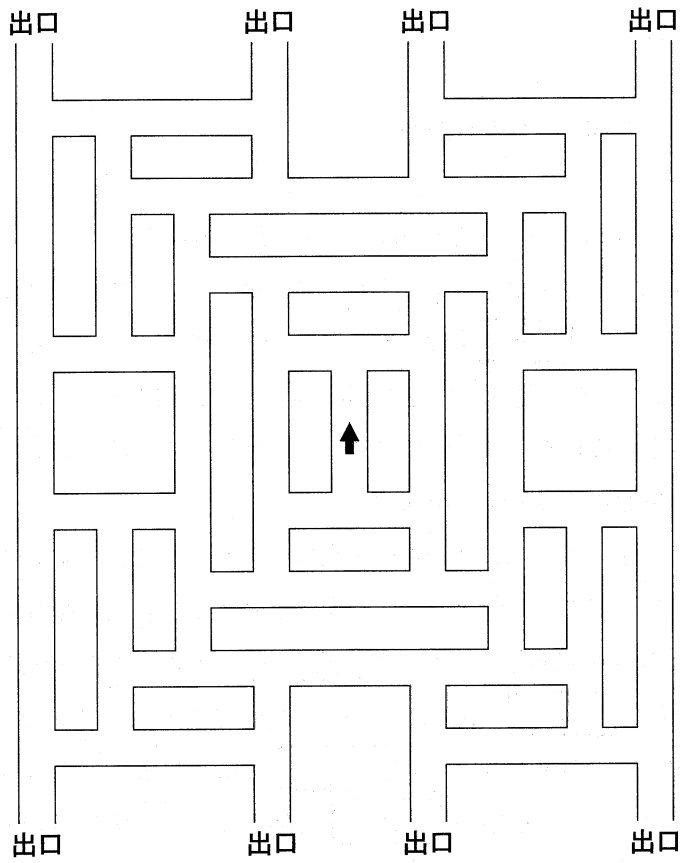


図3 問7の(1)および(2)で用いる迷路

生物問題 II

次の文を読んで、問1～問5に答えよ。

多くの植物は、光エネルギーを利用してCO₂と水からデンプンなどの有機物を合成する。光エネルギーは葉緑体の **ア** に存在する光合成色素によって捕らえられ、光化学系I、IIの **イ** のクロロフィルを活性化し、水の分解による電子の放出を引き起こす。その結果、電子伝達反応が生じ、化学エネルギーがATPやNADPHとして蓄えられる。この化学エネルギーを用いて葉緑体の **ウ** に存在する **エ** 回路によりCO₂が固定される。

独立栄養の細菌類には、光エネルギーを利用して有機物を合成する光合成細菌や、無機物の酸化によって得られる化学エネルギーを利用して有機物を合成する化学合成細菌がある。光合成をする細菌として緑色硫黄細菌が知られている。緑色硫黄細菌は、植物と同様に **エ** 回路により^(a)CO₂を固定するが、このとき必要な電子を、植物が利用している水ではなく、 **オ** の酸化により得ている。

化学合成細菌として、土壤中の **カ** を酸化する亜硝酸菌やNO₂⁻を酸化する硝酸菌が知られている。これらの細菌の働きにより生じたNO₃⁻は、植物の根から吸収された後、主として葉の細胞に輸送され、硝酸還元酵素、亜硝酸還元酵素が順に作用して、 **カ** に還元される。続いて **カ** はグルタミン酸と結合して、グルタミンとなり、このグルタミンと **キ** から再びグルタミン酸が生成される。その後、さまざまな有機酸にアミノ基が転移する過程で、いろいろな種類のアミノ酸がつくられ、最終的にタンパク質や核酸などの有機窒素化合物に合成される。この過程を窒素同化という。

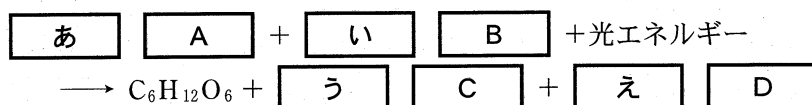
^(b)窒素は大気中の約78%を占めるが、ほとんどの生物は大気中の窒素分子を利用することはできない。しかし、根粒菌やシアノバクテリアのネンジュモなどは、大気中の窒素分子を直接 **カ** に変換する窒素固定を行うことが知られている。根粒菌は土壤中に単独で生活しているときは窒素固定を行わないが、マメ科植物と一緒にになると窒素固定を行うようになる。マメ科植物の根に着生した根粒菌は根から糖やアミノ酸などの有機物を供給され、^(c)一方でマメ科植物は根粒菌が固定した **カ** を受け

取る。こうして両者とも利益を得ている。生物間のこのような関係を **ク** という。

問 1 **ア** ~ **ク** に適切な語句を入れよ。

問 2 下線部(a)について次の問いに答えよ。

- (1) 以下の **あ** ~ **え** に数字を, **A** ~ **D** に化学式を入れて, 緑色硫黄細菌における光合成の反応式を完成させよ。



- (2) 緑色硫黄細菌がもち, 植物はもたない光合成色素を答えよ。
- (3) 緑色硫黄細菌と海底の熱水噴出孔周辺に生息する硫黄細菌の相違点を, 有機物合成の観点から, 句読点を含めて 80 字以内で説明せよ。

問 3 下線部(b)について, 植物の窒素同化と動物の窒素同化が異なる点を, 句読点を含めて 80 字以内で説明せよ。

問 4 下線部(c)について, 水田で秋にイネを収穫した後, ゲンゲ(レンゲソウ)の種子をまき, 翌年, 田植えを行う前までゲンゲを育てる農法がある。このようにゲンゲを水田で育てる意義について, 句読点を含めて 40 字以内で説明せよ。

問 5 硝酸還元酵素は, 明条件では活性化し, 暗黒条件では不活性化することが知られている。そのため, ホウレンソウやコマツナの葉に含まれる NO_3^- の量は 1 日の中で変化する。収穫後の葉に含まれる NO_3^- の量を減らしたい場合は, 4 時, 10 時, 16 時のうち, いずれの時刻に収穫することが有利となるか。その理由とともに, 句読点を含めて 80 字以内で説明せよ。なお, 収穫日の日の出, 日の入り時刻はそれぞれ 6 時, 18 時とする。

生物問題 III

次の文を読んで、問1～問7に答えよ。

被子植物の花では、おしべのやくの中で花粉がつくられ、めしべの胚珠内で胚のうがつくられる。おしべの先端のやくの中では、花粉母細胞が減数分裂を行って、4個の細胞からなる **ア** ができる。**ア** のそれぞれは、不均等な細胞分裂によって **イ** とその中にある **ウ** に分かれ、やがて成熟した花粉となる。

子房内の胚珠では、胚のう母細胞の減数分裂によって4個の細胞が生じる。大きな1個の細胞が **エ** として残り、他の3個は退化する。**エ** の核は3回の核分裂を行って、8個の核をもつ胚のうとなる。8個の核のうち6個のまわりが細胞膜で仕切られて細胞化し、1個の **オ** とその両脇の2個の **カ** そして **オ** の反対側に位置する3個の **キ** が生じる。胚のうの大部分の細胞質を含む **ク** は残りの2個の極核をもつ。

花粉はめしべの柱頭につくと発芽する。発芽した花粉から花粉管が胚珠に向かって伸長する。**ウ** は花粉管の中で1回分裂して2個の **ケ** となる。花粉管の先端が胚のうに達すると、**ケ** の1個が **オ** と受精し、**コ** となる。**ケ** の他の1個は **ク** と融合し、**サ** を形成する。このような受精の様式は **シ** と呼ばれ、被子植物特有の現象である。

イネ科やカキノキ科などの植物では **サ** は種子の完成まで発達を続け、発芽 (a) 時に必要な栄養分を蓄える。 一方、マメ科やアブラナ科などの植物では **サ** (b) は種子の完成までに消滅してしまう。

被子植物の花は4つの領域からなり、外側から内側に向かって、領域1～4に、がく片、花弁、おしべ、めしべがこの順に配置されている(表1)。このような花器官の形態形成では、クラスA, B, Cとよばれる3つのクラスの遺伝子がつくるタンパク質の組み合わせによって、花のどの部分が形成されるかが決まる。 (c) Aクラスの遺伝子のはたらくと、がく片がつくられ、AクラスとBクラスの遺伝子のはたらくと、花弁がつくられる。また、BクラスとCクラスの遺伝子のはたらくと、おしべがつく

られ、Cクラスの遺伝子がはたらくと、めしべがつくられる(表1)。そのため、これらの遺伝子A, B, Cのどれかが欠損すると野生型が示す花の構造が^(d)つくられなくなる。

表1 花器官形成にかかわる遺伝子型と表現型

遺伝子型	領域1	領域2	領域3	領域4
野生型	がく片	花弁	おしべ	めしべ
B遺伝子欠損型	①	②	③	④
A遺伝子欠損型	めしべ	おしべ	おしべ	めしべ

問1 ~ に適切な語句を入れよ。

問2 花粉母細胞と胚のう母細胞の染色体数を $2n$ としたとき、
 の染色体数を答えよ。

問3 下線部(a)に関して、このような植物の種子は何と呼ばれるか答えよ。

問4 下線部(b)に関して、発芽時に必要な栄養分を蓄える器官は何か答えよ。また、
このような植物を以下に列挙した中から二つ選んで答えよ。

カキ、シロイヌナズナ、ダイズ、トウモロコシ

問5 下線部(c)のようなしくみを何というか答えよ。

問6 下線部(d)に関連して、B遺伝子欠損型では、どのような花器官が形成されるか、表1の①~④にあてはまるそれぞれの名称を答えよ。

問7 下線部(d)に関連して、A遺伝子欠損型では、本来がく片となる部分がめしべに、本来花弁となる部分におしべが形成され、おしべとめしべのみの花を生じる(表1)。このことから、Aクラスの遺伝子の作用とCクラスの遺伝子の作用の間にはどのような関係があるか、句読点を含め50字以内で説明せよ。

生物問題 IV

次の文を読んで、問 1～問 4 に答えよ。

バイオテクノロジーは、20 世紀後半から急速に発達し、医療や農業などさまざまな分野で応用されてきた。

1970 年代、ある生物のもつ特定の遺伝子を人工的に別の生物の細胞内に導入して発現させる技術が開発された。このような技術を **ア** という。この技術では、DNA を特定の塩基配列で切断する制限酵素や、その切断部位を連結する **イ** ^(a) という酵素などを用いて、特定の遺伝子を大腸菌などに組み込み、人工的に増幅させることができる。たとえば、血糖値を下げる作用を持つホルモンである **ウ** はこの技術を用いて大量に生産することが可能になった。

1980 年代、特定の DNA 領域を人工的に短時間で多量に増幅する方法として、ポリメラーゼ連鎖反応法(PCR 法)が開発された。PCR 法は次のような手順ですすめられる。まず、鋳型になる DNA、DNA ポリメラーゼ、**エ** ^(b)、4 種類の塩基のヌクレオチドと適切な濃度の電解質を含む反応液を調製する。次に、この反応液に対して、例えば、94℃で加熱し、55℃で冷却し、72℃で加熱するという処理を 30 回程度繰り返す ^(c) ことで特定の DNA 領域を増幅することができる。

問 1 ア ~ エ に適切な語句を入れよ。

問 2 下線部(a)について、あるプラスミド X (全長 7,500 塩基対) をさまざまな制限酵素で切断し、電気泳動を行ったところ、次の①~③の結果が得られた。

- ① 制限酵素 A で切断した場合には、5,500 塩基対と 2,000 塩基対のバンドが検出された。
- ② 制限酵素 A と制限酵素 B を同時に加えて切断した場合には、3,000 塩基対と 2,500 塩基対と 2,000 塩基対のバンドが検出された。
- ③ 制限酵素 A と制限酵素 C を同時に加えて切断した場合には、5,500 塩基対と 1,000 塩基対のバンドが検出された。

これらの結果から、プラスミド X に制限酵素 B と制限酵素 C を同時に加えて切断した場合には、何塩基対のバンドが検出されると考えられるか全て答えよ。

問 3 下線部(b)について、PCR 反応にはある特殊な微生物に由来する DNA ポリメラーゼが使われる。この酵素は哺乳類などの DNA ポリメラーゼにはない特性を持っている。その特性とは何か、簡潔に答えよ。

問 4 下線部(c)について、次の問いに答えよ。

- (1) 94℃, 55℃, 72℃ ではどのような反応が起こっているか。各温度での反応について、それぞれ句読点を含め 50 字以内で説明せよ。
- (2) 94℃ で加熱し、55℃ で冷却し、72℃ で加熱する処理を 1 回行うのに合計 2 分かかるとする。理想的な条件では、目的の DNA 領域は反応開始後の 20 分間で何倍に増幅されたか答えよ。

平成29年度 一般選抜試験（前期日程）

問題訂正（理科）

物理問題 IV

8ページ 上から3行目

（誤）反射光は { エ } により

↓

（正）反射光の { エ } により