

令和5年度(前期日程)

入学者選抜学力検査問題

# 化 学

## 〔注意事項〕

1. 問題冊子が1冊，解答用冊子が1組配られていることを確認しなさい。
2. 監督者の指示があるまで，問題冊子および解答用冊子を開いてはいけません。
3. 問題冊子は10ページから，また，解答用冊子は，解答用紙4枚と下書用紙4枚からなっています。解答開始の合図があったら，すぐに両方の冊子を確認しなさい。  
落丁・乱丁および印刷の不鮮明な箇所などがあれば，手をあげて監督者に知らせなさい。
4. 各解答用紙には，受験番号を記入する欄が**2箇所**あります。各解答用紙にある2箇所の受験番号記入欄の両方に「**本学の受験番号**」を忘れずに記入しなさい。  
(合計**8箇所**に受験番号を記入することになります。)
5. この問題冊子の1ページ目に「**解答に必要な注意事項**」が書いてあります。それをよく読んでから，解答しなさい。
6. **解答は，必ず別紙の解答用紙の指定された場所(問題番号と一致した場所)に記入しなさい。指定された場所以外への解答は採点対象外です。**
7. 解答用紙は，持ち帰ってはいけません。
8. 問題冊子と下書用紙は，持ち帰りなさい。

## 訂正箇所及び訂正内容

7 ページ

Ⅲ 問1の5行目

〔誤〕 (c) …体積  $V$  を, …

↓

〔正〕 (c) …体積  $V$  〔L〕 を, …

[解答に必要な注意事項]

1. SI 単位以外の単位の意味。

$$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 10^3 \text{ cm}^3$$

2. 問題の計算に必要な場合、次の原子量を用いよ。

原子量：H = 1.0, C = 12, N = 14, O = 16, S = 32

I 次の文を読んで、問1～問6に答えよ。

(配点率 25%)

ハロゲン元素のうち、ヨウ素の単体は、2個のヨウ素原子が価電子を出しあって電子対をつくることで結合しており、 $I_2$ の分子式<sup>①</sup>で表される。この結合を(ア)という。同種の原子からなる二原子分子では、2つの原子の間で電荷が均等に分布しているため、ヨウ素は無極性分子である。ヨウ素はヘキサンやエタノールには溶解するが、水には溶解しにくい。ヨウ素は室温で黒紫色の固体で、ヨウ素分子が(イ)により引きあうことで規則正しく配列した結晶となり、この結晶を(ウ)とよぶ。他方、ヨウ化カリウムの結晶は、正電荷をもつカリウムイオンと負電荷をもつヨウ化物イオンが(エ)により引きあうことで形成され、その結晶を(オ)という。ヨウ化カリウムの表記であるKIは、分子式ではなく(カ)である。ヨウ化カリウムは水に溶けやすい。一般に、(オ)に比べて、(ウ)はやわらかく融点が(キ)。また、ヨウ素の(ウ)は、二酸化炭素の固体であるドライアイスと同様に(ク)性を有するため、これを利用してヨウ素とヨウ化カリウムの混合物から純粋なヨウ素を取り出すことができる。

原子が共有電子対を引き寄せる強さを相対的な数値で表したものを(ケ)という。(ケ)が異なる2つの原子が結合した二原子分子の場合、その結合は極性をもち、原子の間には電荷の偏りが生じる。3原子以上からなる分子では、互いに結合している原子間の電荷の偏りとともに、分子の形が分子全体の極性を左右する。<sup>②</sup>最大の(ケ)をもつフッ素の水素化合物であるフッ化水素HFは極性分子であり、その結合には電荷の偏りがある。フッ素F、酸素O、窒素Nなどの(ケ)の大きな原子の間に、正に帯電した水素原子をはさんでできる分子間の結合を水素結合<sup>③</sup>という。水素結合は分子間だけでなく、分子内ではたらく場合もある。

問1 文中の空欄(ア)～(ケ)に最も適した語句を書け。ただし、同じ記号の空欄内には同じ語句が入る。

問2 下記の物質の中から、下線部①に示した分子式として表記されているものをすべて選び、番号を書け。該当するものがない場合には、「なし」と記せ。

- (1) CsCl                      (2) HCl                      (3) MgCl<sub>2</sub>                      (4) C<sub>60</sub>(フラーレン)  
(5) SiO<sub>2</sub>                      (6) C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>(グルコース)

問3 次の文を読んで、問(a)および(b)に答えよ。

塩素原子の同位体には質量数が35の<sup>35</sup>Clと質量数が37の<sup>37</sup>Clが存在し、また、炭素原子の同位体には質量数が12の<sup>12</sup>Cと質量数が13の<sup>13</sup>Cが存在している。ここでは、これら以外の同位体はなく、存在比は<sup>35</sup>Clが75%で<sup>37</sup>Clが25%、<sup>12</sup>Cが99%で<sup>13</sup>Cが1%とする。このとき、四塩化炭素CCl<sub>4</sub>には質量数の総和が異なる分子が(A)種類あり、それらのうち最も大きな質量数の総和は(B)である。

- (a) 空欄(A)および(B)にあてはまる数値を書け。
- (b) 四塩化炭素の分子のうち、1個の $^{13}\text{C}$ 、1個の $^{35}\text{Cl}$ 、3個の $^{37}\text{Cl}$ からなる $(^{13}\text{C})(^{35}\text{Cl})(^{37}\text{Cl})_3$ の存在する割合[%]を求めよ。計算過程を示し、有効数字2桁で答えよ。ここで、ある同位体組成の分子の割合は、同位体の存在比に基づく確率のみで決まるものとする。

問4 原子番号が11から20である元素の単原子イオンの一部を下に示す。

- (1)  $\text{Al}^{3+}$                       (2)  $\text{Ca}^{2+}$                       (3)  $\text{Mg}^{2+}$                       (4)  $\text{K}^+$   
 (5)  $\text{Na}^+$                         (6)  $\text{Cl}^-$                         (7)  $\text{S}^{2-}$

上記の単原子イオンの中から、アルゴン原子と同じ電子配置を有するものをすべて選び、番号を書け。また、選択した単原子イオンの中でイオン半径が最小となるものの番号を選び、このイオンのイオン半径が最小となる理由を書け。

問5 下線部②に関連して、下記の分子のうち無極性分子であるものをすべて選び、番号を書け。該当するものがない場合には、「なし」と記せ。

- (1)  $\text{H}_2\text{S}$                       (2)  $\text{CH}_4$                       (3)  $\text{CS}_2$                       (4)  $\text{CH}_3\text{Cl}$   
 (5)  $\text{NH}_3$                       (6)  $\text{CCl}_4$

問6 下線部③に関連して、水素結合には起因しない内容の記述を、下記よりすべて選び、番号を書け。該当するものがない場合には、「なし」と記せ。

- (1) ポリペプチドは、 $\alpha$ -ヘリックスとよばれるらせん構造をとる。  
 (2)  $\text{CO}_2$ は無極性分子であるのに対して、 $\text{H}_2\text{O}$ は極性分子である。  
 (3) 常圧下でできる氷は、すき間の多い結晶構造からなり、液体の水より密度が小さい。  
 (4) 少量の酢酸をベンゼンに溶かして、その溶液の凝固点降下度の測定から酢酸の分子量を算出したところ、酢酸の分子量の約2倍の値が得られた。  
 (5)  $\text{H}_2\text{O}$ は、同族元素の水素化合物である $\text{H}_2\text{S}$ や $\text{H}_2\text{Se}$ に比べて分子量が小さいにもかかわらず、沸点が異常に高い。  
 (6) 直鎖状のアルカンの融点や沸点は、炭素原子の数が増加するにつれて高くなる。  
 (7) 尿素と酢酸ナトリウムを用いて同じ質量モル濃度の希薄水溶液をそれぞれつくり、凝固点降下度を比較すると、酢酸ナトリウム水溶液の方がより大きな凝固点降下度を示した。

II 次の文を読んで、問1～問4に答えよ。

(配点率 25%)

石油は、さまざまな炭化水素を含む混合物である。油田からくみ上げられた石油を分留すると、沸点の差によりナフサ(粗製ガソリン)、灯油、軽油などが得られる。石油を分留して得られるガス分を冷却・圧縮して液体とした燃料を、液化石油ガス(LPGまたはLPガス)という。液化石油ガスの主成分は、プロパンやブタンなどであり、硫黄化合物もわずかに含まれている。液化石油ガスを燃焼させたとき、水と二酸化炭素を主成分とした気体が生じる。生成した気体には、硫黄化合物に由来する二酸化硫黄などの硫黄酸化物も含まれる。硫黄酸化物は、大気汚染物質となるため、生成した気体を大気に放出する際には、その濃度が規制されている。

液化石油ガスを燃焼させて生じた気体中の二酸化硫黄の量は、次のように求めることができる。まず、生成した気体を、過剰のヨウ素を含むヨウ素水溶液(ヨウ素ヨウ化カリウム水溶液)に通して反応させる。このとき、二酸化硫黄  $\text{SO}_2$  はヨウ素  $\text{I}_2$  によって硫酸  $\text{H}_2\text{SO}_4$  に酸化される(式(1))。



次に、反応後に残ったヨウ素をチオ硫酸ナトリウム  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  水溶液で滴定する(式(2))。



式(2)のチオ硫酸ナトリウム水溶液の滴定量から、ヨウ素と反応した二酸化硫黄の量を求める。

問1 下線部①に関して、プロパンとブタンのうち、同一温度において低い飽和蒸気圧を示すものを分子式で答えよ。

問2 下線部②の二酸化硫黄について、問(a)および(b)に答えよ。

(a) 二酸化硫黄は、水に溶解して亜硫酸  $\text{H}_2\text{SO}_3$  を生じる。 $\text{H}_2\text{SO}_3$  の電離は、式(3)のように表される。 $K_a$  は電離定数である。



$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{HSO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{SO}_3]} = 1.4 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$

式(3)の電離のみを考えて、水溶液のpHが3のときの  $\text{H}_2\text{SO}_3$  の電離度  $\alpha$  を求めよ。計算過程を示し、有効数字2桁で答えよ。

(b) 二酸化硫黄は酸性酸化物であるが、両性酸化物や塩基性酸化物も存在する。次の(1)～(5)から塩基性酸化物をすべて選び、番号を書け。該当するものがない場合は、「なし」と記せ。

(1)  $\text{NO}_2$       (2)  $\text{ZnO}$       (3)  $\text{CaO}$       (4)  $\text{Na}_2\text{O}$       (5)  $\text{Al}_2\text{O}_3$

**問 3** 下線部③について、問(a)～(c)に答えよ。

(a) 式(1)の(ア)に相当する二酸化硫黄とヨウ素との反応を、化学反応式で示せ。また、その反応の前後における硫黄原子の酸化数を答えよ。

(b) 二酸化硫黄は、ヨウ素水溶液のかわりに、酸性にした過酸化水素  $\text{H}_2\text{O}_2$  の水溶液に通しても硫酸に酸化される。このとき、過酸化水素の酸化剤としてのはたらきを、電子  $e^-$  を用いたイオン反応式で示せ。

(c) 二酸化硫黄と過酸化水素は、反応する相手の物質によって酸化剤としても還元剤としてもはたらく。次の(1)～(3)の実験結果に基づいて、二酸化硫黄と過酸化水素と硫化水素の間で還元剤としてのはたらきの強さを比較し、強い順に化学式で答えよ。

(1) 二酸化硫黄を過酸化水素水溶液に通すと硫酸が生じた。

(2) 硫化水素を過酸化水素水溶液に通すと水溶液が白濁した。

(3) 二酸化硫黄を硫化水素水溶液に通すと水溶液が白濁した。

**問 4** 液化石油ガスに含まれる硫黄成分中の硫黄 **S** の質量を以下のように求めた。式(1)および式(2)に基づいて、問(a)および(b)に答えよ。

液化石油ガス 5.00 kg を完全に燃焼し、生成した気体を 0.0100 mol/L のヨウ素水溶液 1.00 L にゆっくりと通すことによって、気体中に含まれる二酸化硫黄を完全に反応させた。得られた溶液のうち 25.0 mL をビーカーに取り出し、その中に含まれるヨウ素を④ 0.0100 mol/L のチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定したところ、20.0 mL を要した。ここで、燃焼で生成した気体中の硫黄酸化物は二酸化硫黄のみであるとし、二酸化硫黄の溶解によって水溶液の体積は変化しないものとする。

(a) 下線部④の溶液に含まれるヨウ素の濃度 [mol/L] を求めよ。計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。

(b) 液化石油ガス 1 kg あたりに含まれる硫黄成分中の硫黄 **S** の質量 [mg] を求めよ。計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。

III

次の文を読んで、問1～問4に答えよ。

(配点率 25%)

図1に示すような、一定温度  $T$  [K] に保たれた、ピストンのついた容器がある。容器には、コックを通じて注射器がつながっている。容器には、窒素および1-プロパノール  $C_3H_8O$  が入っている。はじめ、容器内の圧力は  $P_A$  [Pa] に保たれており、1-プロパノールは気液平衡状態にある(状態A)。ここで、状態Aにおける容器内の混合気体中の窒素の物質量を  $n_N$  [mol]、1-プロパノール蒸気の物質量を  $n_P$  [mol] とし、温度  $T$  [K] における1-プロパノールの蒸気圧を  $P_P$  [Pa] とする。この状態Aの容器に対して、次の実験(i), (ii)をそれぞれ行った。ただし、実験(ii)の操作中を除いてコックは閉じられており、容器内の気体は理想気体としてふるまうものとする。

実験(i) 容器内の圧力が  $P_B$  [Pa] ( $P_B > P_A$ ) となるまでピストンをゆっくり動かして、圧力  $P_B$  [Pa] での平衡状態にした(状態B)。すると、1-プロパノールに溶解する窒素の物質量が増加した。

実験(ii) 容器内の圧力が  $P_A$  [Pa] のもとで、注射器から容器内に不揮発性物質を注入し、すべて1-プロパノールに溶解させて新しい平衡状態にした(状態C)。すると、容器内の1-プロパノールの蒸気圧が低下した。

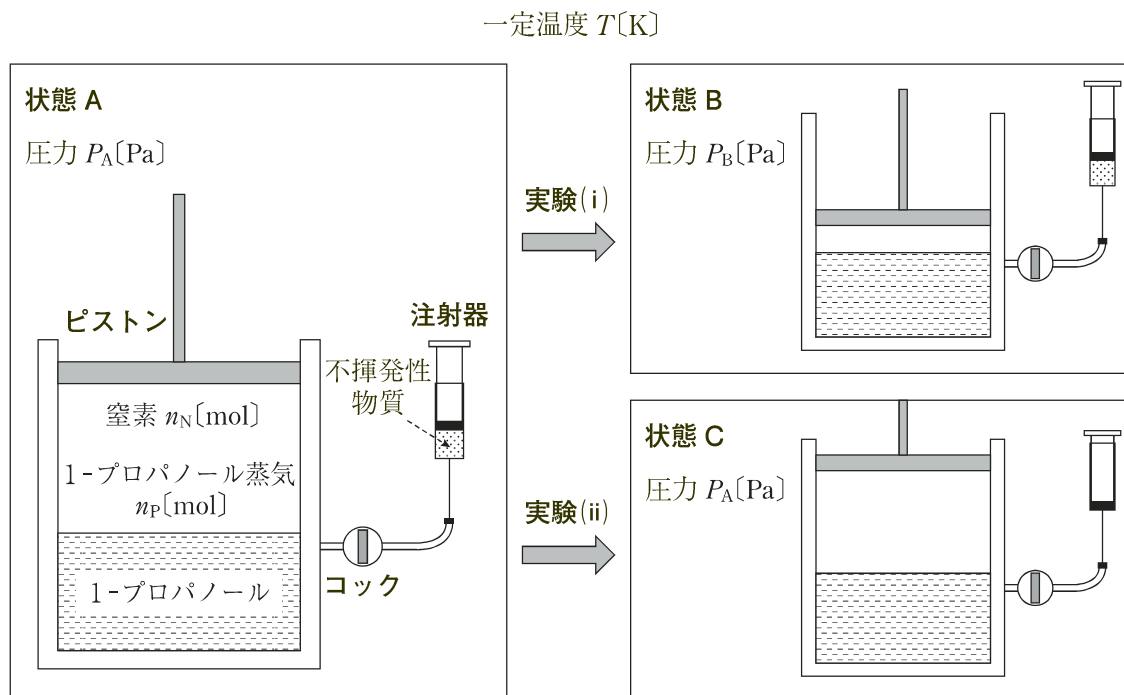


図1 実験に用いた装置と実験(i), (ii)の概略図



問 1 状態 A に関する次の問(a)~(c)に答えよ。

- (a) 分圧と物質量の関係を考えることにより、容器内の窒素の分圧  $P_N$  を  $P_A$ ,  $n_N$ , および  $n_P$  を用いて表せ。
- (b)  $n_P$  を  $n_N$ ,  $P_A$ , および  $P_P$  を用いて表せ。
- (c) 容器内の混合気体の体積  $V$  を,  $n_N$ ,  $P_A$ ,  $P_P$ ,  $T$ , および気体定数  $R[\text{Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})]$  を用いて表せ。

問 2 状態 A における混合気体中の窒素のモル分率  $\frac{n_N}{n_N + n_P}$  を  $x_A$ , 状態 B における混合気体中の窒素のモル分率を  $x_B$  としたとき,  $\frac{x_B}{x_A}$  を  $P_A$ ,  $P_B$ , および  $P_P$  を用いて表せ。

問 3 実験(i)に関する次の文を読んで、問(a)~(c)に答えよ。ただし,  $P_A = 1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$ ,  $P_B = 4.00 \times 10^5 \text{ Pa}$ ,  $P_P = 2.50 \times 10^4 \text{ Pa}$  とする。

実験(i)で観察されたように、一般に気体は圧力が高くなるほど液体によく溶解する。気体の溶解度が低く、気体と液体が反応しない場合、一定温度のもとでの気体の溶解度は、その気体の分圧に比例する。<sup>①</sup>

- (a) 下線部①の関係を何とよぶか。その名称を書け。
- (b) 状態 A における容器内の窒素の分圧  $P_N[\text{Pa}]$  を有効数字 2 桁で答えよ。
- (c) 状態 B のとき、1-プロパノール 1 kg あたりに溶解していた窒素は  $2.5 \times 10^{-2} \text{ mol}$  であった。下線部①の関係が成立するとき、状態 A において 1-プロパノール 1 kg あたりに溶解していた窒素は何 mol か。計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。

問 4 実験(ii)に関する次の文を読んで、問(a)~(c)に答えよ。

状態 A および状態 C において、容器内で液体の 1-プロパノールの質量は 288 g であり、実験(ii)で加えた不揮発性物質の質量は 18.4 g であった。このとき、1-プロパノールの蒸気圧  $P_P$  は、 $2.50 \times 10^4 \text{ Pa}$  (状態 A) から  $2.40 \times 10^4 \text{ Pa}$  (状態 C) に変化した。

一般に、揮発性の溶媒  $n_S[\text{mol}]$  に少量の不揮発性物質  $n[\text{mol}]$  を溶解させると、蒸気圧が低下する。この現象を蒸気圧降下とよび、このとき溶液の蒸気圧  $P_S$  は、純溶媒の蒸気圧  $P_0$  と、溶液中における溶媒のモル分率  $x_S = \frac{n_S}{n_S + n}$  を用いて、 $P_S = x_S P_0$  と表される。この関係をラウールの法則とよぶ。

- (a) 容器内で液体の 1-プロパノールの物質量は何 mol か。有効数字 2 桁で答えよ。
- (b) 状態 C での溶液中における溶媒(1-プロパノール)のモル分率  $x_S$  を有効数字 2 桁で答えよ。ただし、1-プロパノールに溶解する窒素の物質量は無視せよ。
- (c) ラウールの法則が成立するものとして、問(b)で求めた  $x_S$  を用いて、加えた不揮発性物質の分子量を求めよ。計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。

IV 次の文を読んで、問1～問3に答えよ。

(配点率 25%)

多糖の一種であるデンプンは、多数の $\alpha$ -グルコースが脱水縮合した構造をもつ高分子化合物である。 $\alpha$ -グルコースでは、その構成炭素原子を区別するために、**図1**に示すような番号を炭素原子につける。デンプンには、2種類の成分があり、水(熱水)に可溶性(ア)と、水に溶けにくい(イ)からできている。熱水に可溶性(ア)は、 $\alpha$ -グルコースの1位の炭素原子(C1)に結合したヒドロキシ基と4位の炭素原子(C4)に結合したヒドロキシ基との間で脱水縮合による結合(グリコシド結合)を形成し、直鎖状に連なった構造をもつ。一方、水に溶けにくい(イ)は、C1とC4で縮合した直鎖状の部分に加えて、C1と6位の炭素原子(C6)で縮合した部分があり、そのため**枝分かれ構造**を含む。デンプンは酵素のはたらきによりグルコースに加水分解され、生物のエネルギー源となる。さらに、グルコースを主な炭素源とし、微生物によってつくられるポリエステルは、生分解性高分子として注目されている。

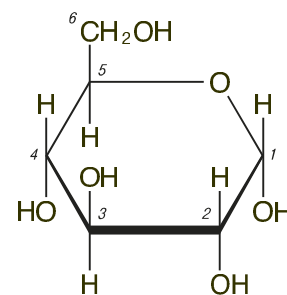


図1  $\alpha$ -グルコースの構造

問1 文中の空欄(ア)および(イ)にあてはまる適切な語句を書け。

問2 下線部①について、以下の文を読んで、問(a)～(c)に答えよ。

$\alpha$ -グルコースのみからなる多糖の枝分かれ構造の存在を調べる手法として、次のような実験がある。まず、多糖のヒドロキシ基にメチル基を導入(メチル化)し、メトキシ基( $\text{CH}_3\text{O}-$ )へと変化させる。つづいて、グリコシド結合を加水分解することで、**図2**に示すような3つのヒドロキシ基をもつ**A**(分子量 208)、2つのヒドロキシ基をもつ**B**(分子量 222)、1つのヒドロキシ基をもつ**C**(分子量 236)の3種類の化合物が主に得られる。**図2**には、化合物**A**～**C**の $\alpha$ 型構造を示しているが、ここでは $\alpha$ 型と $\beta$ 型を区別しないものとする。

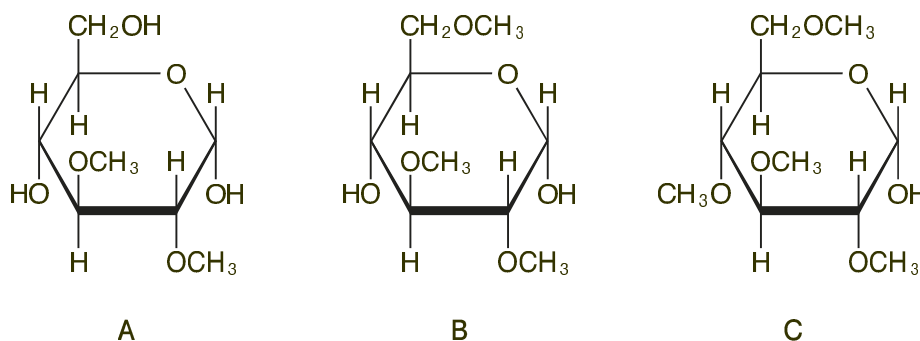


図2 化合物A, B, およびCの $\alpha$ 型構造

化合物 **A**~**C** について、その由来を考える。多糖においてグリコシド結合を **C1** でのみ形成していたグルコース単位からは(ウ)が、**C1** および **C4** で形成していたグルコース単位からは(エ)が、**C1**、**C4**、および **C6** で形成していたグルコース単位からは(オ)が生成する。そのため、**A**~**C** の物質量の比から多糖の枝分かれ構造が何箇所あるかを見積もることができる。ここでは、多糖に含まれるすべてのヒドロキシ基がメチル化され、すべてのグリコシド結合が加水分解されたとする。また、加水分解によって **A**~**C** のみを得られたとする。

たとえば、グルコース単位のみからなる3種類の多糖 **D**、多糖 **E**、および多糖 **F** にメチル化および加水分解を行ったとする。枝分かれ構造を含む多糖 **D** からは(カ)が得られる。一方、枝分かれ構造を含まず、グルコース単位が直鎖状に結合した多糖 **E** からは(キ)が得られ、枝分かれ構造を含まず、グルコース単位が環状に結合した多糖 **F** からは(ク)が得られる。

(a) 文中の空欄(ウ)~(オ)にあてはまるものを、**図2**に示す化合物 **A**~**C** からそれぞれ1つずつ選び、記号で答えよ。

(b) 文中の空欄(カ)~(ク)にあてはまる適切な語句を、次の(1)~(7)の選択肢から選び、番号で答えよ。

(1) **A** のみ            (2) **B** のみ            (3) **C** のみ            (4) **A** と **B** のみ

(5) **A** と **C** のみ    (6) **B** と **C** のみ    (7) **A** と **B** と **C**

(c) グルコース単位のみからなる分子量  $2.0 \times 10^5$  の多糖 **G** 1.0 g を完全にメチル化し加水分解すると、**A** が 26 mg 得られた。多糖 **G** は、1分子あたり何箇所の枝分かれ構造をもつか。計算過程を示し、有効数字2桁で答えよ。

(次ページに続く)

問 3 下線部②について、以下の文を読んで、問(a)~(c)に答えよ。

ある微生物が産出するポリエステルを塩酸で加水分解したところ、カルボキシ基とヒドロキシ基をもち、分子式  $C_4H_8O_3$  で表される化合物 **H** が得られた。カルボキシ基とヒドロキシ基をもち、分子式  $C_4H_8O_3$  で表される化合物には、化合物 **H** の他に 4 種類の構造異性体 (化合物 **I**, 化合物 **J**, 化合物 **K**, 化合物 **L**) がある。ただし、ここでは光学異性体は区別しないものとする。これらの化合物について、化学構造を決定するために次の実験(i)~(iv)を行った。

- (i) **H**~**L** について不斉炭素原子の有無を調べたところ、**H**, **I**, および **J** は不斉炭素原子をもつが、**K** および **L** は不斉炭素原子をもたない化合物であった。
- (ii) **H**~**L** に硫酸酸性の二クロム酸カリウム水溶液を添加し加熱すると、**H**, **I**, **J**, および **K** では酸化反応の進行を確認したが、**L** は酸化されなかった。また、**J** および **K** を二クロム酸カリウムでおだやかに酸化し、生成した化合物をアンモニア性硝酸銀水溶液に加えて加熱すると、銀が析出した。<sup>③</sup>
- (iii) **H**~**L** を酸性条件下で加熱すると、分子内脱水反応が進行し、**J** および **L** からは同一の化合物が得られた。得られた化合物は、**図 3** に示す化合物 (メタクリル酸) であった。

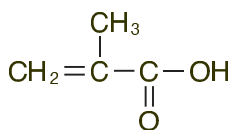
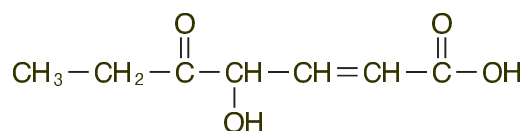


図 3 メタクリル酸の構造式

- (iv) **H** にヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱すると、黄色沈殿が生じた。<sup>④</sup>

- (a) 下線部③について、この反応の名称を書け。
- (b) 下線部④について、この反応の名称を書け。
- (c) 化合物 **H**~**L** の構造式を下の記入例にならって書け。

記入例



(以 上)