

# 令和3年度 入学試験問題

## 理 科

ページ

物 理…………… 1～14

物理については、問題 **1** から問題 **3** までは必ず解答し、問題 **4** と問題 **5** はいずれか一方を選択し、解答用紙のマーク欄に○を記入して解答すること。

化 学…………… 15～30

化学については、問題 **1** から問題 **4** までは必ず解答し、問題 **5** と問題 **6** はいずれか一方を選択し、解答用紙のマーク欄に○を記入して解答すること。

生 物…………… 31～48

生物については、問題 **1** から問題 **3** には選択問題が存在するので、よく読んで注意して解答すること。

地 学…………… 49～58

地学については、問題 **1** と問題 **2** は必ず解答し、問題 **3** と問題 **4** はいずれか一方を選択し、解答用紙のマーク欄に○を記入して解答すること。

### 注 意 事 項

試験開始後、選択した科目の問題冊子及び解答用紙のページを確かめ、落丁、乱丁あるいは印刷が不鮮明なものがあれば新しいものと交換するので挙手すること。

1. 試験開始の合図があるまで問題冊子を開かないこと。
2. 試験開始後は、すべての解答用紙に受験番号（2か所）・氏名を記入すること。
3. 解答は、必ず解答用紙の指定されたところに記入すること。
4. 解答する数字、文字、記号等は明瞭に書くこと。
5. 解答用紙は持ち出さないこと。

# 化 学

問題 5 と問題 6 については、どちらか一方を選択して解答すること。

必要があれば、次の値を用いよ。原子量：H = 1.00, C = 12.0, N = 14.0,  
O = 16.0, Ar = 40.0。気体定数： $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$ 。

気体はすべて理想気体として取り扱うものとする。

1 次の文章を読み、問 1～問 5 に答えよ。

地球上の大気の主成分は、窒素、酸素、アルゴン、二酸化炭素、水蒸気である。このほかの微量成分としては、ネオン、ヘリウム、メタン、クリプトン、水素、オゾン、キセノンなどがある。<sup>①</sup>近年では、さらにオゾン層の破壊を促すフロン類、光化学スモッグの発生および酸性雨の原因となる窒素酸化物  $\text{NO}_x$ 、温室効果を示す六フッ化硫黄も大気に見出されている。これら大気中の成分のうち、水蒸気である水の成分量は不定とされている。水とその他の微量成分を除いた大気の成分組成は表 1 の数値とする。

表 1 水とその他の微量成分を除いた大気の成分組成

成分	体積比 (%)	質量比 (%)
窒素	78.09	75.52
酸素	20.95	23.15
アルゴン	0.93	1.28
二酸化炭素	0.03	0.05

また、水が温度と圧力の違いによってどのような状態をとるかを表した状態図が図 1 である。この図を見れば、水が条件によって気体、液体あるいは固体の状態をとりうる事がわかる。境界線(曲線)上では、複数の状態が共存している。

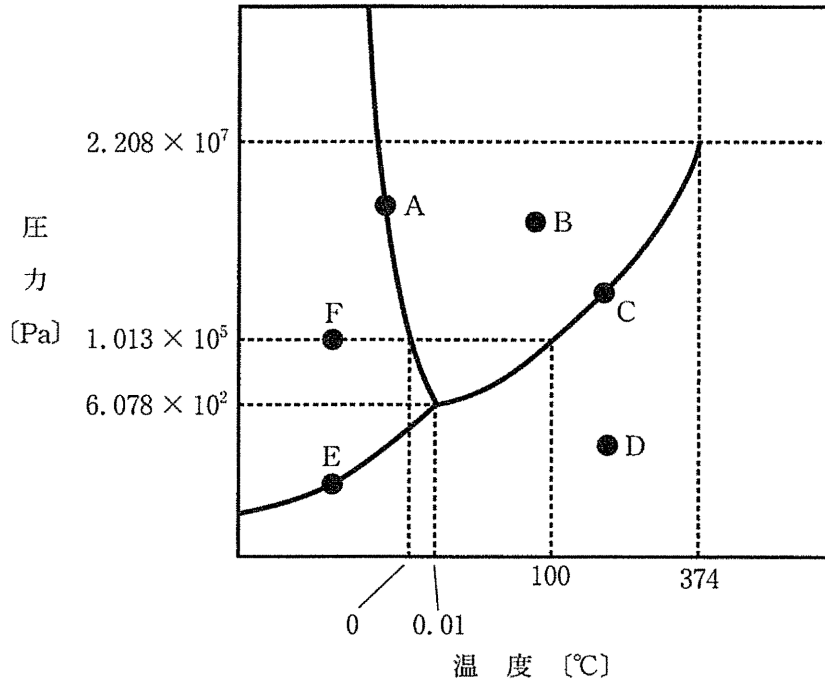


図1 水の状態図

問1 下線部①の物質に関する記述(あ)~(う)のうち、正しいものに○、誤りを含むものに×を解答欄の正誤欄に書け。また、誤りを含む記述については、解答用紙の解答例を参考にして、下線の語句のいずれか一か所を正しい語句に書き直せ。

- (あ) 貴ガス(希ガス)の価電子の数は2あるいは8で安定な電子配置をとっているため、他の原子と結合しにくく、化合物をつくりにくい。
- (い) 同温、同圧の条件下で同体積を占める気体のうち、最も質量の大きい気体はキセノンであり、原子の数が最も多い気体はメタンである。
- (う) 水素は、貴ガス(希ガス)以外のほとんどすべての元素と共有結合あるいは水素結合により水素化合物をつくる。

(問題は、次ページに続く。)

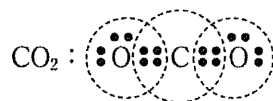
問 2 大気圧を  $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$  としたときのアルゴンの分圧 [Pa] を求め、有効数字 2 桁で示せ。

問 3 下線部②の六フッ化硫黄  $\text{SF}_6$  に関する次の(1)と(2)に答えよ。

(1)  $\text{SF}_6$  の硫黄の酸化数と異なる酸化数を持つ硫黄の化合物を次の(あ)～(か)の中からすべて選び、記号で答えよ。

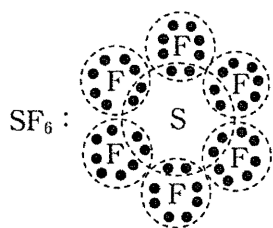
- (あ) 硫化水素      (い) 硫酸水素ナトリウム      (う) 硫酸ナトリウム  
 (え) 三酸化硫黄      (お) チオ硫酸ナトリウム      (か) 亜硫酸

(2) 一般に非金属元素からなる分子やイオンは電子式を用いて表すことができる。例として二酸化炭素を示す。



このとき、炭素および酸素原子の周りの電子の数は 8 であり、同周期の貴ガス(希ガス)と同じ電子配置をとっている。このような安定な電子配置をとることをオクテット則と呼ぶ。

一方、 $\text{SF}_6$  の電子式は、次のように表される。



$\text{SF}_6$  ではフッ素原子周りの電子数は 8 であるが、硫黄原子周りの電子数は 12 となっておりオクテット則を満たしていない。このように化合物の中にはオクテット則を満たしていない原子を含む分子やイオンが存在する。

次の(あ)～(え)の分子やイオンのうち、オクテット則を満たしていない原子を含むものをすべて挙げ、記号で答えよ。

- (あ)  $\text{CN}^-$       (い)  $\text{N}_2$       (う)  $\text{NO}$       (え)  $\text{Cl}_2$

問 4 図 1 の点 A ~ F では、水がそれぞれの状態にあるか。次の(あ)~(き)のうち最も適するものを 1 つ選び記号で答えよ。

- (あ) 気体      (い) 液体      (う) 固体      (え) 気体と液体  
(お) 液体と固体      (か) 気体と固体      (き) 気体と液体と固体

問 5 液体の水に気体は溶解するが、その溶解度は気体の種類によって異なる。気体の水への溶解に関する次の記述(あ)~(お)のうち、正しいものをすべて選び記号で答えよ。

- (あ) アンモニアと塩化水素は、 $0^{\circ}\text{C}$ で一定量の水に溶ける体積には限界がある。
- (い) 塩化水素が $0^{\circ}\text{C}$ で一定量の水に溶ける物質量は、塩化水素の分圧が 2 倍になれば 2 倍になる。
- (う) 温度一定下で一定量の水に溶ける窒素や酸素の体積は、窒素と酸素を含む気体全体の全圧に反比例する。
- (え) 温度一定下で一定量の水に溶ける窒素や酸素の質量は、窒素や酸素それぞれの分圧に比例する。
- (お) 一般に温度を高くすると気体分子の運動が活発になり、気体は水の中に溶け込みやすくなる。

2 次の文章を読み、問1～問7に答えよ。

プロパンは、液化石油ガス(LPG)の主成分であり、家庭用燃料やタクシーの燃料などに幅広く用いられている。通常プロパンは、加圧されて一部が液化した状態でボンベ内に充填されている。これは、① 気体と液体のプロパンを比較したとき、同じ質量ならば、体積は液体の方が小さく、運搬や保管に都合がよいためである。一方で、使用時には、② 蒸発熱により温度が下がるため、大量に使うとボンベのまわりに水滴がつくといった特徴もある。

プロパンなどの燃焼熱は、図1に示す装置を用いることにより、熱媒体の温度の上昇度から求めることができる。発熱量および温度の上昇度を試算するために、次の実験を想定した。

< 想定した実験 >

耐圧性の密閉容器(内容積0.50 L)に27.0℃で $1.2 \times 10^5$  Paの酸素(気)を充填する。さらに注射器を用いて、中の気体が漏れないように、27.0℃、 $1.0 \times 10^5$  Paのプロパン(気)を0.10 L注入する。密閉容器を断熱容器に入れ、熱媒体として1.0 Lの水を注ぎ、密閉容器を完全に水中に沈ませる。断熱容器の蓋をして、静かに磁気式の攪拌装置かくはんと回転子で熱媒体を攪拌するかくはん。反応前の熱媒体の温度は、27.0℃とする。その後、自動点火装置により点火し、密閉容器内のプロパンを完全燃焼させる。反応熱は熱媒体の温度の上昇のみに用いられるとする。

解答には、必要ならば以下の値を用いること。

生成熱	プロパン(気) : 105 kJ/mol,	水(液) : 286 kJ/mol,
	二酸化炭素(気) : 394 kJ/mol	
密度	プロパン(液) : 0.50 g/mL,	水(液) : 1.0 g/mL
蒸発熱	プロパン : 19 kJ/mol,	水 : 41 kJ/mol
比熱	水(液) : 4.2 J/(g・K)	

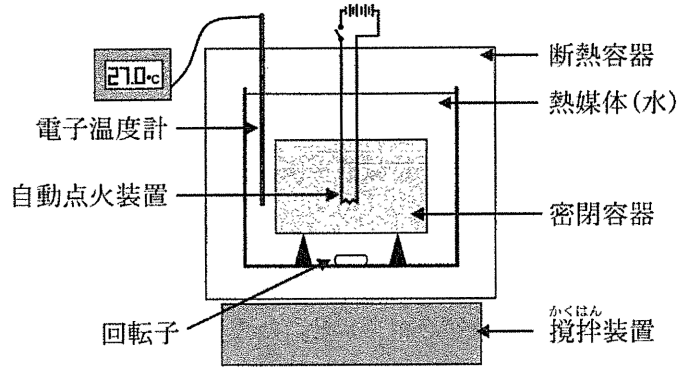


図1 実験に用いる装置の概略図

問 1 下線部①について、1.0 L の液体のプロパンがすべて蒸発したとき、発生する気体のプロパンの体積 [L] を求め、有効数字 2 桁で示せ。ただし、液体のプロパンの密度は温度や圧力の違いにより変化しないものとする。気体プロパンの温度、圧力はそれぞれ  $27.0^{\circ}\text{C}$ 、 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  とする。

問 2 下線部②について、1.0 L の液体のプロパンがすべて蒸発したとき、周囲から吸収する熱量 [kJ] を求め、有効数字 2 桁で示せ。

問 3 次の(1)および(2)の場合のプロパンの燃焼反応を熱化学方程式で記せ。ただし、熱量 [kJ] は整数で示せ。

- (1) 生成物の水が液体の場合。
- (2) 生成物の水が気体の場合。

問 4 反応前に密封容器内に存在するプロパンの分圧 [Pa] を求め、有効数字 2 桁で示せ。

(問題は、次ページに続く。)

- 問 5 反応後に密閉容器内に存在する水のうち、 $27.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ において液体として存在する比率(%)を求めよ。解答欄には計算の過程を含めて記入し、有効数字2桁で示せ。ただし、 $27.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ における水の飽和蒸気圧を $3.2 \times 10^3\text{ Pa}$ とし、生成した水は速やかに気液平衡に達するものとする。
- 問 6 プロパンの燃焼による発熱量[kJ]を求めよ。解答欄には計算の過程を含めて記入し、有効数字2桁で示せ。ただし、温度上昇に伴う、水の飽和蒸気圧の変化は無視できるとする。
- 問 7 反応後に、熱媒体の温度がどれだけ上昇したか、その値[K]を求め、有効数字2桁で示せ。





3 次の文章Ⅰおよび文章Ⅱを読み、問1～問8に答えよ。

(文章Ⅰ)

11族元素であるX、Yの単体は、貨幣金属と呼ばれ、加工がしやすく、硬貨やオリンピックのメダル、装飾品だけでなく、様々な工業製品にも利用されている。X、Yの単体の粉末は、硝酸を加えると反応して溶けるが、塩酸や希硫酸とは反応しない。Xのイオンを含む水溶液を食塩水に加えると白色の沈殿を生じるが、さらにアンモニア水を加えると無色の水溶液に変化する。一方、Yのイオンを含む水溶液に塩基の水溶液を加えると青白色の沈殿が生じ、その青白色の沈殿に過剰のアンモニア水を加えると深青色の水溶液が得られる。

(文章Ⅱ)

X、Yの単体と硝酸との反応では、どちらも使用する硝酸の濃度(希硝酸と濃硝酸)の違いにより、2種類の気体AまたはBが生成する。気体Aは赤褐色で水に溶けやすく、水と反応して水溶性の化合物Cを生じる。一方、気体Bは無色で水に溶けにくい、空気中では不安定で、気体Dと反応して気体Aを生じる。

問1 下線部①の反応を化学反応式で記せ。

問2 下線部①の反応で生じる化合物中のXのイオンと同じ酸化数をもつYのイオンを含む化合物の例を1つ化学式で記せ。

問3 下線部②の反応を化学反応式で記せ。

問 4 下線部①および②の反応で生成した錯イオンの形として適切なものを，次の(あ)～(か)のうちから選び，それぞれ記号で答えよ。

- (あ) 正八面体形                      (い) 正四面体形                      (う) 正方形  
(え) 正三角形                        (お) 折れ線形                        (か) 直線形

問 5 気体 A, B, D および化合物 C を化学式で記せ。

問 6 下線部③において，Y の単体と希硝酸との反応を化学反応式で記せ。

問 7 気体 A および B の捕集法を答えよ。

問 8 文章Ⅱに記述されているように，X, Y の単体と硝酸との反応性には大きな差は見られない。X, Y の単体の化学反応性の違いを見分けるために，それぞれを空气中で 900 °C および 1100 °C で加熱した。この操作で化学反応が起こる場合には，生成する化合物を化学式で記せ。また，化学反応が起こらない場合には，「変化なし」と記せ。

- 4 次の文章を読み、問1～問4に答えよ。解答を構造式で示す場合には次ページの図1の構造式にならって記せ(点線や矢印等は不要)。ただし、鏡像異性体(光学異性体)がある場合は区別する必要はない。

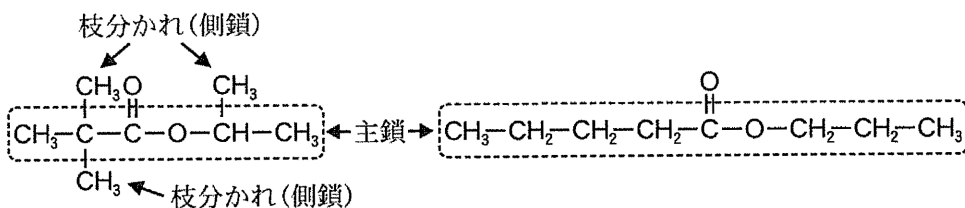
同じ炭素数の鎖式飽和炭化水素では、炭素鎖の枝分かれが多いほど分子同士の接触面積が減少し、分子間にはたらく引力が小さくなる。また、鎖式飽和炭化水素の水素原子をヒドロキシ基に置換した1価のアルコールで、炭素原子の数が3以上の場合に存在する構造異性体を比べると、第一級アルコールよりも第二級アルコールの方が、第二級アルコールよりも第三級アルコールの方がヒドロキシ基の周辺がアルキル基で混み合うため水素結合が形成されにくくなる。このような分子間力の違いは物質の沸点に影響する。

エステルの構造異性体について枝分かれの数と沸点との関係を考える。表1は、炭素数3以上の6種類のアルコールA～Fと3種類のカルボン酸X～Zが結合した、分子式 $C_7H_{14}O_2$ の8種類のエステルの沸点を示している。各エステルの構造はカルボン酸とアルコールの記号を組み合わせで示されている。例えば記号X-Aは、カルボン酸XとアルコールAからなるエステルである。アルコールAとBは互いに構造異性体であり、アルコールC、D、E、Fも互いに構造異性体である。このうちアルコールEは、不斉炭素を持ち、ヨウ素と水酸化ナトリウムとを反応させると特異臭をもつ黄色沈殿が生成する。アルコールFは酸化されにくく、アルコールDよりも沸点が低い。アルコールDとFの分子内脱水反応では同じアルケンJができる。また、カルボン酸X、Y、Zは、それぞれアルコールD、C、Aを酸化することで得られる。

表1 分子式 $C_7H_{14}O_2$ のエステルの沸点

エステル	X-A	X-B	Y-A	Y-B	Z-C	Z-D	Z-E	Z-F
沸点[°C]	135	121	143	131	146	137	133	118

これら 8 種類のエステルはいずれもアルキル基の枝分かれが異なる構造異性体である。ここでのエステル分子中の枝分かれの数え方については、図 1 に示すように、エステル結合とその両側の最も長い炭素のつながりを主鎖とし、主鎖から分枝したアルキル基の数を数えることとする。



側鎖の数 = 枝分かれの数 : 3

側鎖の数 = 枝分かれの数 : 0

図 1 エステルの枝分かれの数え方

問 1 アルコール E の構造式を記せ。

問 2 アルコール F とアルケン J の構造式を記せ。

問 3 4 種類のエステル X-A, Y-B, Z-C および Z-D の構造式を記せ。

問 4 8 種類のエステルについて、枝分かれの数に対する沸点(表 1 の値)を、解答欄にあるグラフの対応する位置にそれぞれプロットしなさい(エステル 1 つにつき 1 つの ● 印を記入する)。8 種類のエステルすべてについてプロットした後、枝分かれの数と沸点の関係を最もよく表す直線を 1 本引きなさい(数学的処理はしなくてよく、直線はフリーハンドでかまわない)。その直線の傾きから読み取れることを 40 字以内で記せ。

〔5〕か〔6〕のどちらか一方を選択して解答せよ。〔5〕を選択した場合は、解答用紙の〔5〕の下のマーク欄に○を記入せよ。両方に○を記入したり、どちらにもマークしていない答案は無効となる。

〔5〕 次の文章を読み、問1～問5に答えよ。

単糖類であるグルコース  $C_6H_{12}O_6$  は、常温で白色の結晶であり、5個の炭素原子と1個の酸素原子が環状につながった六員環構造をとる。結晶を水に溶かすと、図1に示すように環を構成する炭素原子( $C^1$ )と酸素原子との間の結合が開裂した鎖状構造体と、それが再び環化して生じる環状構造体1または2の平衡状態となる。鎖状構造体のホルミル基(アルデヒド基)の還元性により、グルコースの水溶液をフェーリング液と混合して加熱すると赤色の沈殿を生じる。

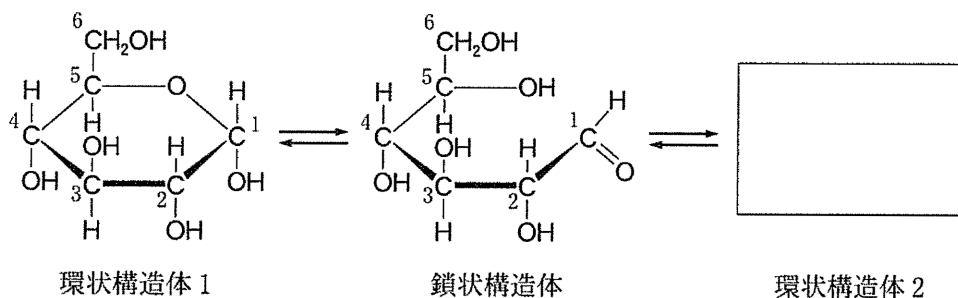


図1

水あめの主成分であるマルトースは、環状構造体1のグルコース2分子が、一方の1位の炭素原子( $C^1$ )に結合したヒドロキシ基(-OH)ともう一方の4位の炭素原子( $C^4$ )に結合した-OHの間で脱水〔ア〕してつながったものである。このように糖類どうし、あるいは糖類と他の有機化合物との連結に使われるエーテル結合を特に〔イ〕結合という。また一般に、単糖2分子が脱水〔ア〕してできた分子を二糖類と呼ぶ。

天然には、さらに多数の糖が〔ア〕重合した高分子化合物が存在する。例えばじゃがいもなど植物の地下茎や種子に多く含まれるデンプン粒は、冷水には

溶けにくい、80℃以上の温水に浸しておくと、可溶性成分と不溶性成分に分かれる。可溶性成分は、図1の環状構造体1のグルコースがマルトースと同様にC<sup>1</sup>に結合する-OHとC<sup>4</sup>に結合する-OHの間の  結合で直鎖状につながった分子量数万から数十万の高分子で、 と呼ばれる。不溶性成分は、 分子の末端にあるグルコース単位のC<sup>1</sup>に結合する-OHと、別の 分子中のグルコース単位のC<sup>6</sup>に結合する-OHとの間でさらに結合することによって分枝したものであり、 と呼ばれる。

植物の細胞は、細胞壁と呼ばれる硬い構造物で囲まれているが、その主成分もグルコースが連結した高分子化合物であり、セルロースと呼ばれる。デンプンの成分である  と同じくグルコースがC<sup>1</sup>とC<sup>4</sup>に結合する-OHの間で重合したものであるが、図1の環状構造体2のグルコースで構成されているため、となり合うグルコース単位が環平面の向きを交互に反転して連なっている。このためセルロースは特に直線状の構造を取り、分子内および分子間で多数の水素結合を形成することが可能になる。分子量も数千万に達し、水に溶けず強い繊維のような性質を示す。一方  では、隣り合うグルコース単位がすべて同じ方向で連結し、セルロースとは異なるグルコース単位の間で水素結合が形成されるため、グルコース単位6個で1回転するらせん構造<sup>④</sup>を保持している。以上のように、モノマー単位でのわずかな立体構造の違いが、高分子としての物理的性質に著しい違いを生ずる。

問1 文章中の  ～  に入る適切な語句を記せ。

問2 下線部①に関して、環状構造体2の構造を、図1の環状構造体1の表記にならって記せ。ただし、炭素原子に付記した1～6の番号はつけなくてよい。

(問題は、次ページに続く。)

問 3 図 2 の A～D は、それぞれある二糖類の構造を示したものである。これらのうち、水溶液が下線部②のような反応を示さないものをすべて選び、記号で答えよ。

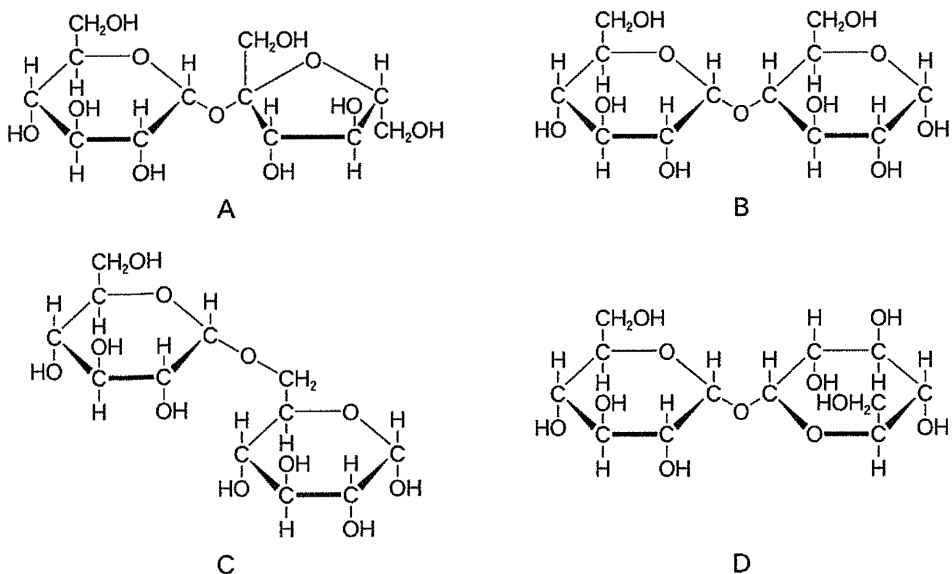
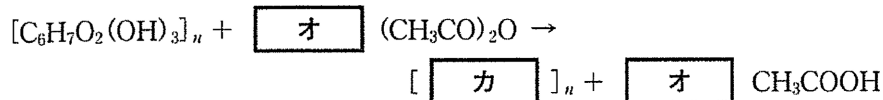


図 2

問 4 下線部③の物質を無水酢酸と反応させるとグルコース単位内のすべてのヒドロキシ基がアセチル化される。この反応について、次の(1)と(2)に答えよ。

(1) 次の式の オ に係数を入れ、カ にあてはまる物質を示性式で表し、反応式を完成させよ。



(2) (1)の反応で 40.5 g の出発原料をすべて完全にアセチル化するのに必要な無水酢酸の質量 [g] を求めよ。解答欄には計算の過程を含めて記入し、有効数字 3 桁で示せ。

問 5 デンプンの水溶液にヨウ素ヨウ化カリウム水溶液を加えると青紫色を呈する。この混合液を 50～60℃に加熱すると色が消え、冷却すると再び呈色する。この可逆的変化が起こるしくみについて、下線部④の語句を用いて説明せよ。





( 5 か 6 のどちらか一方を選択して解答せよ。 6 を選択した場合は、  
解答用紙の 6 の下のマーク欄に○を記入せよ。両方に○を記入したり、  
どちらにもマークしていない答案は無効となる。 )

6 次の文章を読み、問1～問5に答えよ。

高校生の妹が、大学で化学を勉強している兄にポリマーについて質問している。以下は、二人の会話の内容である。

妹：ペットボトルのペットって何？

兄：ペットボトルのペットは、原料として使われるポリマーの英語表記の略称で、PETと書くよ。正式には、ポリエチレンテレフタレートだね。

妹：そうか。それなら、ポリエチレンテレフタレートは何からできているか知ってる？

兄：もちろん。ポリエチレンテレフタレートは2価アルコールの **ア** と2価カルボン酸のテレフタル酸からつくられるんだよ。重合するときに水分子が放出されるから **イ** 重合ってよばれているよ。

妹：だから、ポリマーの名前がポリエチレンテレフタレートなのか。ポリマーの名前って原料由来が多いよね。ポリエチレンの原料はエチレンだし、ポリスチレンの原料はスチレンだもんね。

兄：では問題です。ポリビニルアルコール、PVAの原料は何？

妹：ビニルアルコール。

兄：ブブー。これ、よく間違うんだ。PVAは.....

妹：へー、そうなんだ。あ、そういえば、<sup>①</sup>確かPVAから繊維が合成できるよね。

兄：よく知ってるね。 **ウ** という繊維で、PVAを常温、硫酸存在下、ホルムアルデヒド水溶液で処理してできるんだ。この処理のことを **エ** 化っていうよ。

妹：そうなんだね。ところで、PVAのすべてのヒドロキシ基がホルムアルデヒドによって処理されるのかな？

兄：いいや。通常は紡糸して、さらに熱処理したPVA繊維をホルムアルデヒド水溶液で処理するんだ。このため、ホルムアルデヒドと反応することにより② エ 化されるヒドロキシ基の割合は、すべてのヒドロキシ基の30～40%程度っていわれているよ。

問1 文章中の ア ～ エ に入る化合物名、もしくは適切な語句を記せ。

問2 平均分子量が  $3.4 \times 10^4$  のポリエチレンテレフタラートを1.0 mol 作るのに必要なテレフタル酸の質量[g]を求めよ。解答欄には計算の過程も含めて記入し、有効数字2桁で示せ。なお、ここでの平均分子量は、高分子化合物を構成する分子の分子量の総和を分子の総数で割ったものである。

問3 ビニルアルコールは不安定であるため、アセチレンと水との反応ではビニルアルコールを得ることはできなかった。アセチレンと水との反応の化学反応式を構造式を用いて記せ。また、生成物の名称を記せ。

問4 下線部①で、兄は妹にPVAの合成方法を説明している。PVAの合成方法を、次の2つの語句を使って説明せよ。

(語句) 付加重合、加水分解

問5 PVA繊維は結晶部分と無定形部分(非結晶部分)が入り混じった構造をもつ。このPVA繊維を適切に熱処理すると、結晶部分の割合が増加する。熱処理をしていないPVA繊維は、常温の水を吸収して膨らみ、ついには溶解してしまう。一方、熱処理をしたPVA繊維では、水の吸収が抑えられ膨らみにくくなる。

このことを踏まえ、熱処理したPVA繊維を、十分な量のホルムアルデヒド水溶液で、十分な時間(数時間程度)処理しても、下線部②のように、一部のヒドロキシ基しか反応していない理由を説明せよ。説明には、次の3つの語句を使うこと。

(語句) 結晶部分、無定形部分、ホルムアルデヒド水溶液