

平成 28 年度

## 理 科 問 題

(物理・化学・生物・地学)

## 注 意 事 項

- 1 問題冊子は、監督者が「解答始め」の指示をするまで開かないこと。
  - 2 問題冊子は「物理」1～7ページ、「化学」8～21ページ、「生物」22～33ページ、「地学」34～41ページである。解答用紙は、「物理」3枚、「化学」3枚、「生物」4枚、「地学」3枚である。脱落のあった場合には申し出ること。なお、解答用紙は上部で接着してあるので、はがさずに解答すること。
  - 3 解答用紙の各ページ所定欄に、それぞれ氏名、受験学部、受験番号（最後のページは、左右2か所）を忘れずに記入すること。
  - 4 解答は、すべて解答用紙の所定欄に記入すること。
  - 5 解答以外のことを書いたときは、該当箇所の解答を無効とすることがある。
  - 6 解答用紙の裏面は計算等に使用してもよいが、採点はしない。
  - 7 理学部の受験者は、次により解答すること。
    - (1) 数学科・生物学科・地球学科・理科選択を志望する者は、「物理」・「化学」・「生物」・「地学」のうちから2科目を選択解答すること。
    - (2) 物理学科を志望する者（第3志望までを含む）は、「物理」と、その他に「化学」・「生物」・「地学」のうちから1科目を選択し、計2科目を解答すること。
    - (3) 化学科を志望する者（第3志望までを含む）は、「化学」と、その他に「物理」・「生物」・「地学」のうちから1科目を選択し、計2科目を解答すること。
  - 8 工学部の受験者は、「物理」・「化学」の計2科目を解答すること。
  - 9 医学部医学科の受験者は、「物理」・「化学」・「生物」のうちから2科目を選択解答すること。
  - 10 生活科学部食品栄養科学科の受験者は、「化学」・「生物」のうちから1科目を選択解答すること。
  - 11 机上に各自の「受験票」と「大学入試センター試験受験票」を出しておくこと。
  - 12 問題冊子および選択しない科目の解答用紙は持ち帰ること。
- ※ 本冊子の理科科目は以下を表す。
- |            |            |
|------------|------------|
| 物理：物理基礎・物理 | 化学：化学基礎・化学 |
| 生物：生物基礎・生物 | 地学：地学基礎・地学 |

# 化 学

第1問～第3問において、必要であれば次の原子量を用いよ。H = 1.0, C = 12.0,  
N = 14.0, O = 16.0, I = 127

## 第 1 問 (33点)

次の問1と問2に答えよ。

問1 次の文章を読み、(1)～(6)の問いに答えよ。

酸素と硫黄は周期表の16族に属する元素である。それらの単体あるいは化合物では、酸素原子の酸化数は-2, -1, 0となり、硫黄原子の酸化数は小さいものでは-2, 大きいものでは+6となる。過酸化水素や二酸化硫黄は酸化剤としても還元剤としてもはたらく。例えば、① 過酸化水素は硫化水素に対して酸化剤としてはたらく。一方、硫酸で酸性にした過マンガン酸カリウム水溶液に過酸化水素水を加えると、過酸化水素は還元剤としてはたらし、水溶液の赤紫色が消える。

二酸化硫黄は無色の有毒な気体であり、硫黄を燃やしたときに生じる。この気体を③ 水に溶かすと弱い酸性を示す。また、二酸化硫黄は硫酸を製造するための原料として用いられる。水に溶けにくい硫酸塩に硫酸鉛(Ⅱ)がある。鉛と酸化鉛(Ⅳ)を電極とする鉛蓄電池を放電すると、両極の表面が硫酸鉛(Ⅱ)でおおわれる。逆に④ 充電すると、硫酸鉛(Ⅱ)が還元および酸化される。

- (1) 二酸化硫黄が硫化水素と反応すると、下線部①の反応と同じ生成物を生じる。二酸化硫黄の硫黄原子の酸化数と、生成物中の硫黄原子の酸化数を記せ。
- (2) 下線部②の反応の過酸化水素水を二酸化硫黄に替えたところ、水溶液の赤紫色が下線部②と同様に消えた。二酸化硫黄と過マンガン酸カリウム水溶液の反応を化学反応式で記せ。

- (3) 過酸化水素と二酸化硫黄のそれぞれについて、硫酸で酸性にしたヨウ化カリウム水溶液との反応を調べたところ、過酸化水素を加えた溶液だけが褐色に変化した。どのような化学反応が起きたかを説明したうえで、過酸化水素と二酸化硫黄のどちらが酸化剤あるいは還元剤として強いかを述べよ。
- (4) 下線部③の二酸化硫黄の性質を表す電離平衡の式を記せ。
- (5) 水溶液が酸性を示す化合物および塩基性を示す化合物を次の (a) ~ (d) の中からすべて選び、それぞれ記号で答えよ。
- (a) 硫酸ナトリウム                      (b) 亜硫酸ナトリウム  
(c) 硫酸銅 (II)                          (d) 硫酸アンモニウム
- (6) 下線部④について、充電時に鉛蓄電池の正極で起こる反応を電子  $e^-$  を含むイオン反応式で記せ。

問2 次の文章を読み、(1)～(6)の問いに答えよ。必要であれば表の25℃における溶解度積の値を用いよ。水のイオン積の値は25℃において、 $1.0 \times 10^{-14}$  (mol/L)<sup>2</sup>である。

Ca(OH) <sub>2</sub>	$5.5 \times 10^{-6}$ (mol/L) <sup>3</sup>
Sr(OH) <sub>2</sub>	$5.6 \times 10^{-4}$ (mol/L) <sup>3</sup>
Fe(OH) <sub>3</sub>	$1.0 \times 10^{-38}$ (mol/L) <sup>4</sup>

貝殻には、95%以上の炭酸カルシウムと数%のタンパク質から構成される層がある。以下の操作①～⑥により、タンパク質やカルシウム以外の金属イオンの量を減らし、貝殻から純度の高い炭酸カルシウムを得ることができる。金属イオンには、アルカリ土類金属でカルシウムイオンとよく似た性質をもつストロンチウムイオン (Sr<sup>2+</sup>) のほか、鉄(Ⅲ)イオンなどの遷移金属イオンがある。

#### 操作

- ① 貝殻から炭酸カルシウムを主成分とする層のみを集め粉碎する。
- ② 得られた粉末を塩酸に溶かし、不溶物をろ過で除く。
- ③ アンモニア水を加えてpHを9に調整し、生じた沈殿をろ過で除く。
- ④ ③のろ液に水酸化ナトリウムを加えてpHを13に調整し、生じた沈殿をろ過し、水で洗浄する。
- ⑤ ④で得られた沈殿に塩酸を加えて再び溶かす。
- ⑥ ⑤で得られた溶液にアンモニア水を加えてpHを9に調整したあと、炭酸アンモニウムを加えて得られた沈殿を集め、水で洗浄する。

(1) ②の操作で起こる炭酸カルシウムの反応を化学反応式で記せ。

(2) ③の操作によって、鉄(Ⅲ)イオンは水酸化鉄(Ⅲ)となって沈殿する。このろ液の鉄(Ⅲ)イオンの濃度を求めよ。

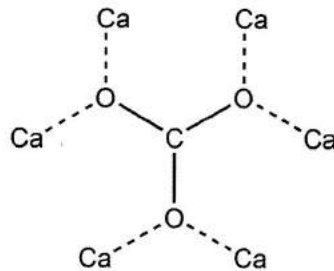
(3) ③の操作後のカルシウムイオンの濃度は  $2.0 \text{ mol/L}$  であり、ストロンチウムイオンはカルシウムイオンに対して物質量の比で  $3.1\%$  含まれていた。④と⑤の操作によってこの物質量の比は何%まで低下するかを答えよ。ただし、水酸化ナトリウムを加えることによる溶液の体積変化は無視できるものとする。

(4) ⑥の操作において、炭酸アンモニウムを用いる代わりに二酸化炭素を通じると、いったん沈殿が生じ、さらに二酸化炭素を通じると沈殿が溶けて透明な溶液になった。この下線部で起こった反応を化学反応式で記せ。

(5) ⑥の操作によって得られた粉末をよく乾燥し、元素分析を行ったところ、次の分析値が得られた。検出された窒素は、すべて⑥の操作で用いた炭酸アンモニウムの混入によるものである。炭酸アンモニウムが炭酸カルシウムに対して物質量の比で何%含まれているか、有効数字2桁で答えよ。ただし、粉末にはこれらの2種類の塩しかないものとする。

元素分析値： C,  $12.01\%$  ; N,  $0.41\%$

(6) 方解石は炭酸カルシウムの結晶である。この結晶では、図に示すように、炭酸イオンの酸素原子はそれぞれ2個のカルシウムイオンと結合し、またすべてのカルシウムイオンは酸素原子とのみ結合して同じ配位数（結合している酸素原子の数）をもつ。方解石におけるカルシウムイオンの配位数を答えよ。



図

# 化 学

## 第 2 問 (34 点)

次の問 1 と問 2 に答えよ。

問 1 次の文章を読み、(1)～(4)の問いに答えよ。なお気体はすべて理想気体とする。



式〈1〉に示す気体 A と気体 B の可逆反応において、正反応の反応速度を  $v_1$ 、逆反応の反応速度を  $v_2$  とすると、反応速度式は、

$$v_1 = k_1[A]$$

$$v_2 = k_2[B]^2$$

で与えられる。ここで、 $k_1$  と  $k_2$  はそれぞれ正反応と逆反応の速度定数、 $[A]$  と  $[B]$  はそれぞれ A と B のモル濃度である。

- (1) 式〈1〉の反応において、モル濃度を用いた平衡定数（濃度平衡定数） $K_c$  を速度定数  $k_1$  と  $k_2$  を用いて表せ。
- (2) 気体の反応の場合、濃度平衡定数  $K_c$  以外に、成分気体の分圧から求めた平衡定数が使われることがある。これを圧平衡定数と呼び、 $K_p$  で表す。式〈1〉の反応において、温度  $T$  [K] での  $K_p$  と  $K_c$  の関係式を記せ。必要なら気体定数  $R$  [Pa・L/(mol・K)] を用いよ。
- (3) 一定温度  $T_1$  [K] に保った容積一定の密閉容器に 0.0800 mol の A を入れた。反応開始時の圧力は  $p_0$  [Pa] であり、平衡状態に達した時の全圧は  $p_0$  の 1.25 倍であった。なお、反応開始時には B は容器内には含まれていない。次の (i) と (ii) の問いに有効数字 2 桁で答えよ。

- (i) 平衡状態における A の物質量を答えよ。
- (ii) 反応開始時における正反応の速度  $v_1$  は平衡状態における正反応の速度  $v_1$  の何倍かを答えよ。
- (4) (3) の容器を加熱し、一定温度  $T_2$  [K] に保った。この温度  $T_2$  は  $T_1$  の 1.12 倍であり、平衡に達したときの全圧は  $p_0$  の 1.61 倍であった。以下の (i) と (ii) の問いに有効数字 2 桁で答えよ。
- (i) 温度  $T_2$  での平衡状態における A の物質量を答えよ。
- (ii) 温度  $T_2$  における濃度平衡定数  $K_c$  は  $T_1$  における濃度平衡定数  $K_c$  の何倍かを答えよ。

問2 次の文章を読み、(1)～(6)の問いに答えよ。必要であれば次の数値を用いよ。

$$\sqrt{3} = 1.73, \text{ アボガドロ定数 } 6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$$

炭素の同素体には、黒鉛（グラファイト）やダイヤモンドがある。炭素原子の価電子の数は4個である。黒鉛では、4個のうち  個の価電子により、各炭素原子が同一平面内で隣接する  個の炭素原子との間に等しい強さの結合を作ること、正六角形を基本単位とする平面層状構造ができています。4個のうち  個の価電子は特定の原子間に共有されるのではなく、複数の結合に広く分布する。この電子が層に沿って動くことができるので、黒鉛は電気をよく通す。層状構造どうしは弱いファンデルワールス力で積み重なっているため、黒鉛はこの層にそってはがれやすく軟らかい。一方、ダイヤモンドでは、各炭素原子が隣接する4個の炭素原子との間に等しい強さの結合を作ること、正四面体を基本単位とする立体構造ができています。ダイヤモンドは、すべての炭素原子が共有結合でつながっているため、非常に硬く、電気を通さない。

黒鉛とダイヤモンドをそれぞれ 酸素中で完全燃焼させると、ともに二酸化炭素を生じる。<sup>①</sup> 黒鉛とダイヤモンドの燃焼熱はそれぞれ 394 kJ/mol, 396 kJ/mol である。また、高温・高圧のもとでは、黒鉛からダイヤモンドが生成する。<sup>②</sup>

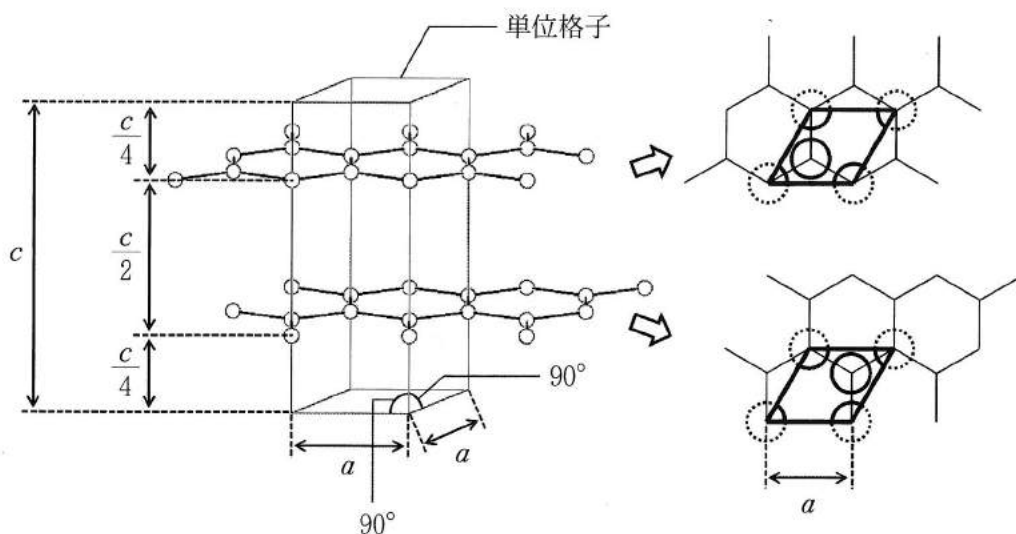
(1)  と  にあてはまる数字を記せ。

(2) 黒鉛とダイヤモンドそれぞれについて、炭素原子間の結合距離が最も近い化合物を次の(a)～(d)の中から選び、記号で答えよ。

(a)アセチレン (b)エチレン(エテン) (c)ベンゼン (d)エタン

(3) 黒鉛の結晶構造を図に示す。単位格子の底面は1辺の長さ  $a$  のひし形で、底面に垂直な方向の単位格子の長さ  $c$  は、層状構造の面間隔の2倍である。図の右側には、2つの層それぞれを層に垂直な方向から見た様子を示す。ひし形の対角にある2個ずつの炭素原子はそれぞれ原子の  $\frac{1}{6}$  および  $\frac{1}{3}$  だけが単位格子に属している。さらに、各層内にはもうひとつずつ炭素原子があり、それらは原子全体が単位格子に属している。次の(i)～(iii)の問いに答えよ。





図

- (i) 単位格子には、何個分の炭素原子が属しているか。
- (ii) 単位格子の体積  $V$  [ $\text{cm}^3$ ] を、単位格子の底面の長さ  $a$  [ $\text{cm}$ ] と高さ  $c$  [ $\text{cm}$ ] を用いて表せ。
- (iii) 結晶の密度  $d$  [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ] は、単位格子の底面の長さ  $a$  [ $\text{cm}$ ] と高さ  $c$  [ $\text{cm}$ ] を用いて下のように表せる。  ~  に当てはまる数を答えよ。ただし、 は有効数字2桁で答えよ。 ~  は指数を表す。

$$d = \text{あ} \times 10^{\text{い}} \times a^{\text{う}} \times c^{\text{え}} \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

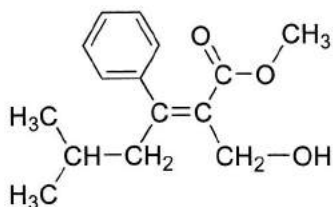
- (4) 下線部①について、黒鉛の完全燃焼を表す熱化学方程式を記せ。
- (5) 下線部②の反応の反応熱を求めよ。
- (6) ダイヤモンドの C-C の結合エネルギーを求めよ。必要なら以下の値を用いよ。
- |  |            |
|--|------------|
| 酸素 $\text{O}_2$ の $\text{O}=\text{O}$ の結合エネルギー     | 494 kJ/mol |
| 二酸化炭素 $\text{CO}_2$ の $\text{C}=\text{O}$ の結合エネルギー | 799 kJ/mol |

# 化 学

## 第 3 問 (33 点)

次の問 1 と問 2 に答えよ。ただし、構造式は次の例にならって記せ。

例



問 1 次の文章を読み、(1)～(6)の問いに答えよ。

酸とアルコールの脱水縮合反応によって生成するエステルは、身近な化合物である。例えば、解熱鎮痛剤として使用されるアセチルサリチル酸は、無水酢酸とサリチル酸から得られるエステルである。テレフタル酸と1,2-エタンジオール（エチレングリコール）の縮合重合で生成するポリエチレンテレフタレートは図1のように表される。ポリエチレンテレフタレートは、加熱すると軟化し冷却すると硬化する  樹脂であり、飲料容器などに大量に使用されている。① 油脂は脂肪酸と  のエステルであり、油脂をけん化（アルカリ加水分解）して得られる脂肪酸ナトリウム塩は、セッケンとして使用される。一方、硫酸水素ドデシルは1-ドデカノールの硫酸エステルであり、そのナトリウム塩は合成洗剤として使用される。セッケンの水溶液はアルカリ性を示すので動物性繊維の洗浄には適さないが、合成洗剤の水溶液は中性なので動物性繊維の洗浄にも適する。②

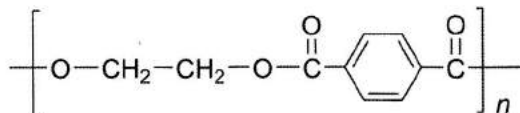


図 1

(1)  と  に当てはまる適切な語句を記せ。

- (2) アセチルサリチル酸のエタノール溶液に塩化鉄(Ⅲ)の水溶液を滴下しても呈色は見られない。アセチルサリチル酸を熱水に溶かし、室温まで冷却すると白色固体が生じる。この固体をエタノール溶液にし、塩化鉄(Ⅲ)の水溶液を滴下するとわずかに呈色する。この違いが生じる理由を60字程度で記せ。
- (3) テレフタル酸  $x$  mol と 1,2-エタンジオール  $x$  mol を重合させて、すべて図1の構造をもつポリエチレンテレフタレート(重合度  $n$ )にした。このとき反応で得られるポリエチレンテレフタレートの重量を  $x$  を含む式で表せ。1,2-エタンジオールとテレフタル酸の分子量は、それぞれ 62, 166 とする。
- (4) ポリエチレンテレフタレート以外で、下線部①の性質をもち、縮合重合で生成する高分子の名称を一つ記せ。
- (5) 油脂 A の三つのエステル結合を加水分解して得られるカルボン酸はステアリン酸(示性式  $C_{17}H_{35}COOH$ , 分子量 284) とオレイン酸(示性式  $C_{17}H_{33}COOH$ , 分子量 282) のみであった。100 g の油脂 A には、ヨウ素 29 g が付加した。油脂 A は純物質であり不斉炭素をもたない。油脂 A の構造式を記せ。ただし、油脂の中でカルボン酸から構成される部分の炭化水素基は、 $C_{17}H_{35}-$  や  $C_{17}H_{33}-$  と表記せよ。
- (6) 下線部②以外に、セッケンと比較して合成洗剤が洗剤として優れている点を一つ挙げ、それがどのような化学的性質に基づいているかを60字程度で記せ。

問2 次の文章を読み、(1)～(4)の問いに答えよ。

アニリンと水はほとんど混ざり合わないため、一方の成分が他方の成分の蒸気圧に影響を与えない。アニリンと水の混合物を加熱したとき、混合蒸気の全圧はそれぞれ単独で加熱したときに示す蒸気圧の和に等しくなる。この混合蒸気の全圧が大気圧 ( $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ ) と等しくなったときに沸騰が始まる。したがって、①アニリンと水の混合物を加熱するときは、アニリンの沸点 ( $174 \text{ }^\circ\text{C}$ ) および水の沸点 ( $100 \text{ }^\circ\text{C}$ ) よりも低い温度 ( $98.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) で蒸留を行うことができる。このような蒸留を水蒸気蒸留という。この蒸留法は水と混ざりにくい高沸点化合物を分離・精製する方法として有用である。

オレンジの皮に含まれる ②不飽和炭化水素 X (分子式  $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$ 、沸点  $176 \text{ }^\circ\text{C}$ ) も水とほとんど混ざり合わないため、水蒸気蒸留を利用することで分離・精製できる。図2に示した蒸留装置を組み立て、枝付きフラスコに細かく切ったオレンジの皮と十分な量の水を入れた。大気圧のもとで加熱したところ、 $98 \text{ }^\circ\text{C}$ で沸騰し、水とXの混合物が受け器にたまった。受け器にジエチルエーテルを加えて、ジエチルエーテルの層を別の容器に移した後、ジエチルエーテルのみを蒸発させることでXが得られた。

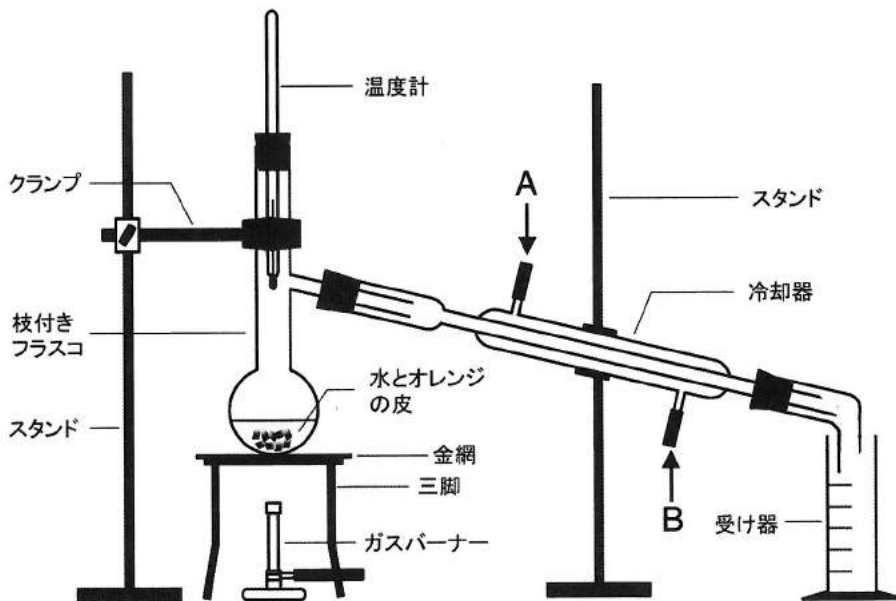


図2

(1) 下線部①に関して、以下の (i) と (ii) の問いに答えよ。

(i) 98.5 °Cにおけるアニリンの蒸気圧 [Pa] を有効数字2桁で記せ。ただし、98.5 °Cにおける水の蒸気圧は  $9.6 \times 10^4$  Pa とする。

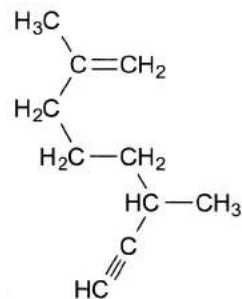
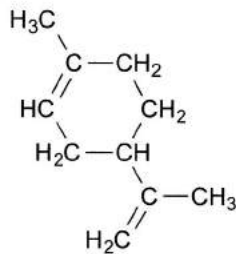
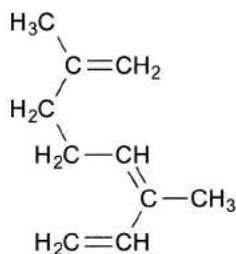
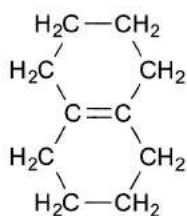
(ii) アニリン 0.050 mol を得るのに必要な水の物質量を求め、有効数字2桁で答えよ。ただし、アニリンと水のそれぞれの蒸気圧の比と留出する成分の物質量の比は等しいとする。

(2) 下線部②に関して、以下の (i) と (ii) の問いに答えよ。

(i) 不飽和炭化水素であるエチレン (エテン) を臭素の四塩化炭素溶液に通じると、臭素の赤褐色が消えた。このときの反応で生じる化合物の構造式を書け。

(ii) 硫酸水銀 (II) を含む希硫酸中に不飽和炭化水素であるアセチレンを通じたところ特有の刺激臭をもつ化合物が生じた。生じた化合物の構造式を書け。

(3) 不飽和炭化水素 X は次の構造式 (a) ~ (d) のうちいずれかで示される化合物である。化合物 X 136 mg は、白金を触媒として用いることで水素 44.8 mL (標準状態 0 °C,  $1.01 \times 10^5$  Pa における体積) と反応して飽和炭化水素を生じた。化合物 X を (a) ~ (d) の中から選び、記号で答えよ。



(4) オレンジの皮から化合物 X を分離・精製する実験に関して、以下の (i) と (ii) の問いに答えよ。

(i) 図 2 の冷却器に冷却水を流す方向について、適切なものを次の (a) ~ (c) の中から選び、記号で答えよ。

(a) A から流す      (b) B から流す      (c) A と B のどちらから流してもよい

(ii) 化合物 X と水の混合蒸気は冷却器で冷やされることで濁った液体となって流れてきたが、やがて、無色透明の液体が流れてくるようになった。無色透明の液体が流れてきたときの蒸気の温度として最も適当なものを次の (a) ~ (d) の中から選び、記号で答えよ。

- (a) 95 °C以下      (b) 98 °C      (c) 100 °C      (d) 176 °C