

2020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」2～7ページ、「化学」8～21ページ、「生物」22～31ページ、「地学」32～36ページである。解答用紙は、「物理」3枚、「化学」4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。なお、第2・3志望がある場合、志望する学科についても確認すること。
    - (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科目を選択し、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科目を選択し、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科目を選択し、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, Na = 23.0, Cl = 35.5

## 第 1 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。必要であれば次の値を用いよ。

気体定数  $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

非電解質を溶媒に溶かしたとき、希薄溶液では、凝固点が低下する温度は、溶かした非電解質の種類によらず、その溶液の  に比例する。この性質を利用すれば、非電解質の分子量を測定することができる。この方法で、分子量を求める際には、非電解質 1 mol を 1 kg の溶媒に溶かしたときの凝固点降下度に相当する、溶媒の  の値が必要である。水の  は、 $1.85 \text{ K} \cdot \text{kg}/\text{mol}$  である。また電解質を水に溶解させた場合には、 によって溶質粒子の数が増加するため、凝固点は、同じ濃度の非電解質水溶液よりも  なる。電解質の分子量を求める際には、このことを考慮する必要がある。一方、高分子化合物の溶液の場合は、凝固点降下度が非常に小さく、上記の方法で分子量を正確に求めることが難しい。そのため、高分子化合物の分子量を求める際には、浸透圧を測定する方法を用いることが多い。希薄溶液の浸透圧は、溶質の種類によらず、溶液の  および絶対温度に比例する。この法則は、発見者の名前にちなんで、 の法則と呼ばれている。

(1) 文章中の  ～  に当てはまる最も適切な語句を記せ。

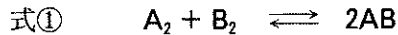
(2) 水 200 g に分子量  $M$  の非電解質 2.4 g を溶かした溶液の凝固点降下度は  $0.37 \text{ K}$  であった。分子量  $M$  を有効数字 2 桁で答えよ。

(3) 水 200 g に塩化ナトリウム 2.0 g を溶かしたときの凝固点降下度  $[\text{K}]$  を有効数字 2 桁で答えよ。

- (4) 非電解質の高分子化合物 2.0 g を溶かして全量を 500 mL にした水溶液がある。この高分子化合物の分子量は、 $1.0 \times 10^4$  であることがわかっている。27 °C でこの水溶液の浸透圧を測定した。得られた浸透圧 [Pa] の値を有効数字 2 桁で答えよ。

問2 次の文章を読み、(1)～(5)の問いに答えよ。

2個の原子からなる気体分子  $A_2$ 、 $B_2$  および  $AB$  の間には、次に示す可逆反応が起こる。



式①の正反応の反応速度は  $A_2$  および  $B_2$  のモル濃度の積に比例し、逆反応の反応速度は  $AB$  のモル濃度の累乗に比例する。 $A_2$ 、 $B_2$  および  $AB$  を表1および表2に示す条件1～6の濃度になるように容器に入れた。気体の温度を  $T_1$  [K] に保ち、各条件において反応を開始した直後の反応速度を測定した。以下の問いに有効数字2桁で答えよ。

表1.  $T_1$  [K] における式①の正反応の反応速度と反応条件

条件	$A_2$ [mol/L]	$B_2$ [mol/L]	$AB$ [mol/L]	反応速度 [mol/(L・s)]
1	2.0	2.0	0	$1.0 \times 10^{-2}$
2	4.0	2.0	0	$2.0 \times 10^{-2}$
3	4.0	4.0	0	$4.0 \times 10^{-2}$

表2.  $T_1$  [K] における式①の逆反応の反応速度と反応条件

条件	$A_2$ [mol/L]	$B_2$ [mol/L]	$AB$ [mol/L]	反応速度 [mol/(L・s)]
4	0	0	2.0	$4.0 \times 10^{-4}$
5	0	0	4.0	$1.6 \times 10^{-3}$
6	0	0	5.0	$2.5 \times 10^{-3}$

(1)  $T_1$  [K] における式①の正反応および逆反応の速度定数を求めよ。解答用紙には単位も含めて記せ。

(2) 式①が平衡状態に達すると、正反応と逆反応の反応速度は等しくなる。 $T_1$  [K] における式①の平衡定数を求めよ。

- (3)  $A_2$ ,  $B_2$  および  $AB$  を表 3 および表 4 に示す条件 7 および条件 8 の濃度になるように容器に入れた。温度を  $T_2$  [K] に保ち、各条件において反応を開始した直後の反応速度を測定した。また、条件 7 で反応を開始させた後、温度を  $T_2$  [K] に保ったまま、平衡状態になるまで静置した。平衡状態における  $AB$  の濃度 [mol/L] を求めよ。ただし、 $T_2 > T_1$  とする。

表 3.  $T_2$  [K] における式①の正反応の反応速度と反応条件

条件	$A_2$ [mol/L]	$B_2$ [mol/L]	$AB$ [mol/L]	反応速度 [mol/(L·s)]
7	1.0	1.0	0	$5.0 \times 10^{-3}$

表 4.  $T_2$  [K] における式①の逆反応の反応速度と反応条件

条件	$A_2$ [mol/L]	$B_2$ [mol/L]	$AB$ [mol/L]	反応速度 [mol/(L·s)]
8	0	0	2.0	$5.0 \times 10^{-3}$

- (4) 式①の反応を加速する触媒を容器に入れた。気体の温度を  $T_1$  [K] と  $T_2$  [K] に保ち、それぞれの温度での速度定数を求めたところ、 $T_2$  [K] における式①の正反応の速度定数は、 $T_1$  [K] のときと比べて 1.5 倍になった。このとき、温度  $T_2$  [K] における式①の逆反応の速度定数は、 $T_1$  [K] のときと比べて何倍になるか答えよ。
- (5) 式①の反応が  $T_1$  [K] で平衡状態になっているとする。圧力を一定に保ったまま、 $T_1$  [K] から  $T_3$  [K] に温度を上げた後、平衡状態になるまで静置した。 $T_3$  [K] における式①の正反応および逆反応の速度定数は、 $T_1$  [K] のときと比べて、それぞれ  $x$  倍および  $y$  倍になった。ただし、 $x$  と  $y$  は 1 より大きい正の値とする。次の (i) と (ii) の問いに答えよ。
- (i)  $T_1$  [K] および  $T_3$  [K] における式①の平衡定数を、それぞれ  $K_1$  および  $K_3$  とする。 $x$ ,  $y$  および  $K_1$  を用いて  $K_3$  を表せ。

(ii)  $A_2$ ,  $B_2$  および  $AB$  の結合エネルギーを、それぞれ  $a$  [kJ/mol],  $b$  [kJ/mol] および  $c$  [kJ/mol] とする.  $x < y$  のとき,  $a$ ,  $b$  および  $c$  の間に成り立つ関係式として最も適切なものを次の選択肢 (あ) ~ (お) から選び, 記号で答えよ. ただし, ここでは, ルシャトリエの原理が成り立つものとする. また結合エネルギーは, 温度によらず一定とする.

(あ)  $a + b > 2c$

(い)  $a + b < 2c$

(う)  $a > b > 2c$

(え)  $a > b > c$

(お)  $a = b > 2c$

# 化 学

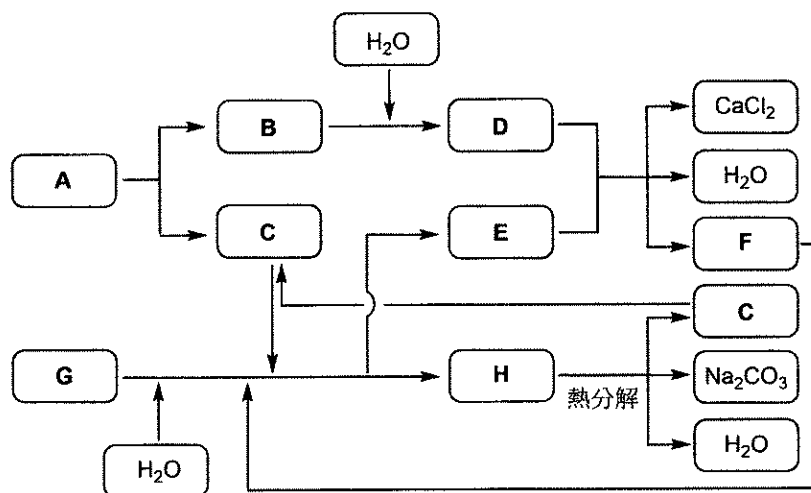
## 第 2 問 (33点)

次の問1と問2に答えよ。

問1 次の文章を読み、(1)と(2)の問いに答えよ。

塩化ナトリウムと炭酸カルシウムから工業的に炭酸ナトリウムを得る製法はアンモニアソーダ法、またはソルベー法とよばれている。炭酸カルシウムを加熱すると二酸化炭素および酸化カルシウムが生成する。酸化カルシウムは水との反応で水酸化カルシウムとなる。生成した水酸化カルシウムと塩化アンモニウムを反応させることで、塩化カルシウム、水およびアンモニアが生成する。ここでアンモニアは回収され、炭酸水素ナトリウムの生成反応に用いられる。塩化ナトリウムを水に溶かし、飽和水溶液とした後、アンモニアを吹き込み、次に二酸化炭素を吹き込むと塩化アンモニウムの生成とともに比較的水に溶けにくい炭酸水素ナトリウムが沈殿する。得られた炭酸水素ナトリウムを熱分解すると、炭酸ナトリウム、水および二酸化炭素がそれぞれ生成する。このときに生成する二酸化炭素は回収され、再度、炭酸水素ナトリウムの生成反応に用いられる。

(1) 下図は上記のアンモニアソーダ（ソルベー）法の工程を図式化したものである。A～Hに当てはまる最も適切な化合物を化学式で記せ。



(2) 以下の (i) と (ii) に答えよ。

(i) 水酸化カルシウムの飽和水溶液に二酸化炭素を通じると白色沈殿が生じた。この反応を化学反応式で記せ。

(ii) 白色沈殿が生じた (i) の懸濁液にさらに過剰に二酸化炭素を通じ続けると白色沈殿は溶解し、無色透明となった。この反応を化学反応式で記せ。



問2 次の文章を読み、(1)～(4)の問いに答えよ。必要であれば次の値を用いよ。

$$\text{塩化銀 AgCl の溶解度積 } K_{\text{sp1}} = 1.8 \times 10^{-10} \text{ mol}^2/\text{L}^2$$

$$\text{クロム酸銀 Ag}_2\text{CrO}_4 \text{ の溶解度積 } K_{\text{sp2}} = 3.6 \times 10^{-12} \text{ mol}^3/\text{L}^3$$

$$\sqrt{1.8} = 1.34, \quad \sqrt{10} = 3.16$$

水溶液中の塩化ナトリウム濃度を求める方法としてモール法が知られている。この方法では、濃度未知の塩化ナトリウム水溶液（試料溶液）に指示薬としてクロム酸カリウム  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  を加え、濃度既知の硝酸銀  $\text{AgNO}_3$  水溶液で滴定を行う。硝酸銀水溶液の滴下を開始すると、試料溶液中に塩化銀の白色沈殿が生成し始める。滴下された硝酸銀の物質①と試料溶液中の塩化ナトリウムの物質量が一致する当量点に至るまで、銀イオンのほとんどが塩化銀として沈殿する。当量点をこえて滴下された硝酸銀の銀イオンは、指示薬のクロム酸イオンと反応し、赤褐色のクロム酸銀の沈殿を生成する。

- (1) 下線部①の当量点において、試料溶液中にわずかに溶解する銀イオンの濃度 [mol/L] を有効数字2桁で答えよ。
- (2) 滴定が当量点に到達すると同時にクロム酸銀が沈殿し始めるようにするには、試料溶液中のクロム酸イオンの濃度 [mol/L] をいくらにすればよいか。有効数字2桁で答えよ。ただし、滴定に伴う試料溶液の液量増加は、無視できるものとする。
- (3) 実際には、滴定に伴い試料溶液の液量が増加する。いま、濃度未知の塩化ナトリウム試料溶液  $2.0 \times 10^{-1} \text{ L}$  にクロム酸イオン濃度が  $5.4 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$  となるようにクロム酸カリウムを溶解させた。この試料溶液を濃度  $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$  の硝酸銀水溶液で滴定したところ、 $1.0 \times 10^{-1} \text{ L}$  を滴下し、試料溶液の液量が  $3.0 \times 10^{-1} \text{ L}$  となったところで、クロム酸銀の赤褐色沈殿が生成し始めた。以下の(i)～(iii)に答えよ。
  - (i) クロム酸銀が沈殿し始めたとき、試料溶液に溶解している銀イオンおよび塩化物イオンの濃度 [mol/L] はいくらか。それぞれ有効数字2桁で答えよ。
  - (ii) クロム酸銀が沈殿し始めたとき、試料溶液中に沈殿している塩化銀の物質質量 [mol] を有効数字2桁で答えよ。

- (iii) 試料溶液中の塩化ナトリウム濃度〔mol/L〕を有効数字2桁で答えよ。
- (4) モール法の滴定実験では、指示薬を溶解させた試料溶液および硝酸銀水溶液を中性付近に保つ必要がある。以下の(i)と(ii)に答えよ。
- (i) 用いる溶液が酸性の場合、滴定を妨害する主な反応をイオン反応式で答えよ。
- (ii) 用いる溶液が塩基性の場合、滴定を妨害する主な反応をイオン反応式で答えよ。

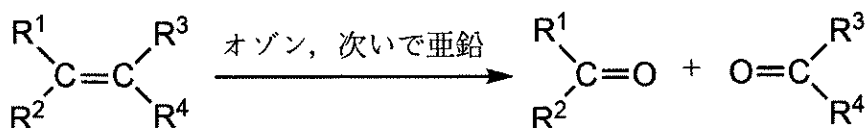
# 化 学

## 第 3 問 (33点)

次の問1と問2に答えよ。

問1 次の文章を読み、(1)～(5)の問いに答えよ。

炭素原子間に二重結合をもつ炭化水素に低温でオゾンを反応させた後、亜鉛と反応させると、二重結合が切れ、カルボニル基をもつ化合物を生じる。次にその例を示す。



$\text{R}^1 \sim \text{R}^4$ は、水素原子またはアルキル基を示す。

$\text{C}_6\text{H}_{10}$ の分子式をもつ不飽和炭化水素A、BおよびCがある。A、BおよびCはいずれも二重結合を少なくとも1つもつ。

化合物Aを上と同じ方法でオゾン、次いで亜鉛と反応させると、化合物D(分子式 $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_2$ )と化合物E(分子式 $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ )の2種類の化合物を生じた。DとEはいずれもアルデヒド基をもつことがわかった。

化合物Bを上と同じ方法でオゾン、次いで亜鉛と反応させると、化合物D、化合物Fとホルムアルデヒドの3種類の化合物を生じた。Fはヨードホルム反応を示すことがわかった。

化合物Cを上と同じ方法でオゾン、次いで亜鉛と反応させると、直鎖状の化合物Gのみを生じた。Gはヨードホルム反応を示さないことがわかった。Gを酸化して得られるジカルボン酸Hは合成繊維の原料に用いられる。

(1) 化合物がアルデヒド基をもつことは、アンモニア性硝酸銀水溶液と反応させると銀が析出することで確認できる。これはアルデヒドが  性を示すためである。

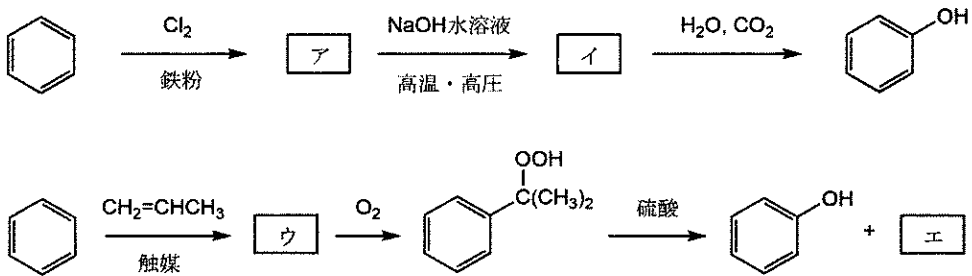
に当てはまる最も適切な語句を記せ。

- (2) 次の (a)～(d) 中で、ヨードホルム反応を示すものをすべて選び記号を記せ。
- (a) エチルメチルケトン (b) ジエチルエーテル (c) ギ酸  
(d) エタノール
- (3) 化合物 D, E および F の構造式を記せ。
- (4) 化合物 H の名称を記せ。
- (5) 化合物 A, B および C の構造式を記せ。ただし、立体異性体が存在する場合は、区別しなくてもよい。

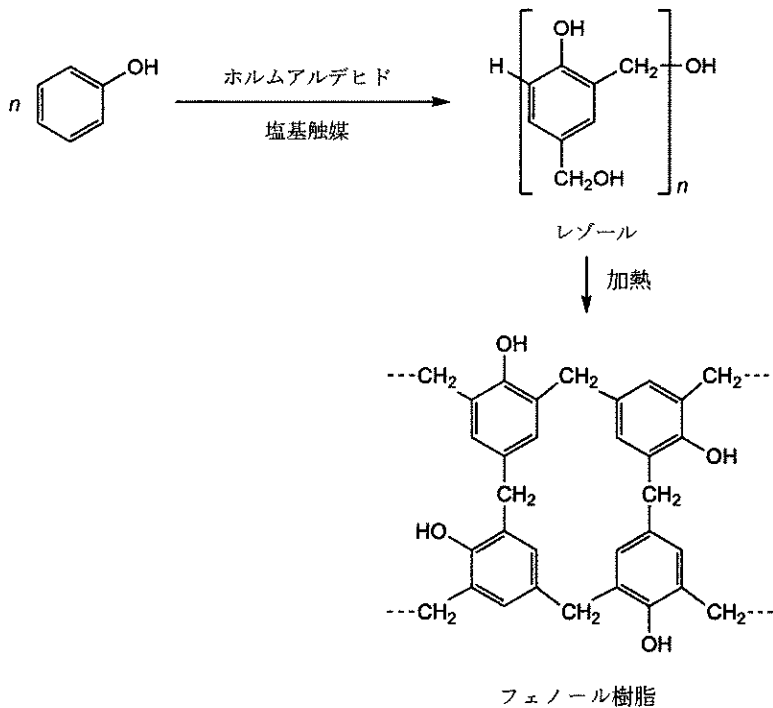
問2 次の(1)と(2)の問いに答えよ。

(1) (i)と(ii)の問いに答えよ。

(i) 下図にフェノールの2つの合成法を示した。ア～エに最も適切な構造式を記せ。



(ii) フェノールとホルムアルデヒドを、塩基触媒と加熱すると、レゾールという中間生成物が得られる。これをさらに熱すると硬化し、フェノール樹脂が得られる。下線部①で硬化する理由を25字以内で簡潔に説明せよ。



(2) (i) ~ (iii) の問いに答えよ。

(i) スチレンと少量の化合物 A を共重合させると、下に示すような構造をもつ樹脂 B が得られる。化合物 A の構造式を記せ。

(ii) 樹脂 B に試薬 C を作用させると、下に示すような構造をもつイオン交換樹脂 D が得られる。試薬 C の名称を答えよ。

(iii) スチレン 5.2 g と少量の化合物 A を共重合させて樹脂 B を合成し、さらに試薬 C を作用させてイオン交換樹脂 D を得た。このとき、樹脂 B 中のすべてのフェニル基のうち、40% にスルホ基 ( $-\text{SO}_3\text{H}$ ) が 1 個ずつ導入された。ただし、フェニレン基にはスルホ基がまったく導入されなかった。このイオン交換樹脂 D をすべて円筒ガラス管につめた。ここに、上から 0.2 mol/L の硝酸ナトリウム水溶液 50 mL を通じた後、さらに水を通じて樹脂を完全に水洗した。すべての流出液を集めたところ、体積は 500 mL となった (流出液 I)。一方、上から 0.2 mol/L の硝酸ナトリウム水溶液 150 mL を通じた後、さらに水を通じて樹脂を完全に水洗した。すべての流出液を集めたところ、体積は 500 mL となった (流出液 II)。流出液 I および II の pH をそれぞれ小数第 1 位までの値で答えよ。必要であれば次の値を用いよ。  $\log_{10} 2.0 = 0.30$

