

## 2020 年度 入学 試験 問題

# 化 学

(試験時間 13:15~14:45 90分)

1. この問題冊子が、出願時に選択した科目のものであることを確認のうえ、解答してください。
2. 解答用紙には、記述解答用紙とマーク解答用紙の2種類があります。
3. 解答は、必ず解答欄に記入およびマークしてください。解答欄以外への記入およびマークは無効となります。
4. 解答は、HBの鉛筆またはシャープペンシルを使用し、訂正する場合は、プラスチック製の消しゴムを使用してください。特に、マーク解答用紙には鉛筆のあとや消しくずを残さないでください。
5. 解答用紙を折り曲げたり、汚したりしないでください。また、マーク解答用紙を記述解答用紙の下敷きを使用しないでください。
6. 解答用紙には、必ず受験番号と氏名を記入およびマークしてください。
7. マーク解答用紙への受験番号の記入およびマークは、コンピュータ処理上非常に重要なので、誤記のないようにしてください。
8. 一度記入したマークを修正する場合、しっかりと消してください。消し残しがあると、マーク読み取り装置が反応して解答が無効となることがあります。



問題Ⅰ，Ⅱの解答は，マーク解答用紙の指定された欄にマークしなさい。問題Ⅲ，Ⅳの解答は，記述解答用紙の解答欄に書きなさい。必要な場合は，次の値を用いなさい。

$$\text{ファラデー定数} : F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$$

Ⅰ 以下の問い(1)～(10)の解答は，それぞれの解答群のどれに該当するか。番号を選んでマークしなさい。(40点)

(1) ある原子を  ${}^a_bX$ 、あるイオンを  ${}^d_eY^+$  と表記した場合、X と Y は、お互い異なる元素記号であったが、質量数は同じであった。次の式(ア)~(ウ)の正誤について、正しい組み合わせはどれか。以下の解答群から1つ選びなさい。

(ア)  $a = c$

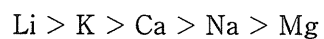
(イ)  $b = d$

(ウ)  $|b - a| = |d - c|$

[解答群]

	(ア)	(イ)	(ウ)
①	正	正	正
②	正	正	誤
③	正	誤	正
④	正	誤	誤
⑤	誤	正	正
⑥	誤	正	誤
⑦	誤	誤	正
⑧	誤	誤	誤

- (2) 金属原子の序列に関する次の記述(ア)~(ウ)の正誤について、正しい組み合わせはどれか。以下の解答群から1つ選びなさい。



ここで  $X > Y$  は Y より X が大きいことを表す。

- (ア) 電気陰性度の大きい順に並べたものである。  
(イ) 原子のイオン化エネルギーの大きい順に並べたものである。  
(ウ) イオン化傾向の大きい順に並べたものである。

[解答群]

	(ア)	(イ)	(ウ)
①	正	正	正
②	正	正	誤
③	正	誤	正
④	正	誤	誤
⑤	誤	正	正
⑥	誤	正	誤
⑦	誤	誤	正
⑧	誤	誤	誤

- (3) 体心立方格子の単位格子中の原子の数とそれぞれの原子の配位数について、正しい値の組み合わせはどれか。以下の解答群から1つ選びなさい。

[解答群]

	原子の数	配位数
①	1	2
②	1	4
③	2	4
④	2	8
⑤	4	8
⑥	4	12
⑦	6	12
⑧	6	14

(4) 反応速度に関する次の記述(ア)~(ウ)の下線をつけた部分の正誤について、正しい組み合わせはどれか。以下の解答群から1つ選びなさい。

(ア) 反応物の濃度が高いと反応速度が大きくなるのは、反応する分子が互いに衝突する回数が増えるためである。

(イ) 反応温度の上昇で反応速度が大きくなるのは、活性化エネルギーを超える運動エネルギーをもつ分子の数の割合が増えるためである。

(ウ) 触媒を用いると反応速度が大きくなるのは、活性化エネルギーがより大きい反応経路で反応が進行するためである。

[解答群]

	(ア)	(イ)	(ウ)
①	正	正	正
②	正	正	誤
③	正	誤	正
④	正	誤	誤
⑤	誤	正	正
⑥	誤	正	誤
⑦	誤	誤	正
⑧	誤	誤	誤

- (5) 水 100 g に水和物  $M \cdot nH_2O$  の結晶  $a$  [g] を  $40^\circ\text{C}$  で溶かし、この溶液を  $20^\circ\text{C}$  まで徐々に冷却したところ、 $M \cdot nH_2O$  の結晶  $b$  [g] が析出した。一方、 $20^\circ\text{C}$  では無水物  $M$  は水 100 g に  $c$  [g] 溶解して飽和溶液となる。 $M \cdot nH_2O$  の結晶水の数  $n$  を含む関係式として正しいものを、以下の解答群から 1 つ選びなさい。ただし、 $M$  の式量を  $m$  とする。必要な場合は、次の値を用いなさい。

原子量 :  $H = 1.0$ ,  $O = 16.0$

[解答群]

$$\textcircled{1} \quad \frac{c}{100} = \frac{a-b}{100+a-b} \left( \frac{m}{m+18.0n} \right)$$

$$\textcircled{2} \quad \frac{c}{100+c} = \frac{a-b}{100+a-b} \left( \frac{m}{m+18.0n} \right)$$

$$\textcircled{3} \quad \frac{c}{100} = \frac{a-b}{100+a+b} \left( \frac{m}{m+18.0n} \right)$$

$$\textcircled{4} \quad \frac{c}{100+c} = \frac{a-b}{100+a+b} \left( \frac{m}{m+18.0n} \right)$$

$$\textcircled{5} \quad \frac{c}{100} = \frac{a-b}{100-a-b} \left( \frac{m}{m+18.0n} \right)$$

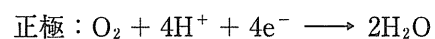
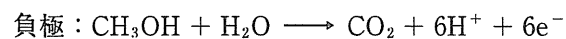
$$\textcircled{6} \quad \frac{c}{100+c} = \frac{a-b}{100-a-b} \left( \frac{m}{m+18.0n} \right)$$

$$\textcircled{7} \quad \frac{c}{100} = \frac{a-b}{100-a+b} \left( \frac{m}{m+18.0n} \right)$$

$$\textcircled{8} \quad \frac{c}{100+c} = \frac{a-b}{100-a+b} \left( \frac{m}{m+18.0n} \right)$$



(6) メタノールを用いた燃料電池においては、両極で起こる化学反応は次の式で示される。



この燃料電池を作動させたところ、平均 0.20 A の電流が流れ、メタノールは 0.010 mol 消費された。電流が流れた時間にもっとも近いものを以下の解答群から 1 つ選びなさい。なお作動中の電流は一定であり、提示した電極反応のみが起きるものとする。

[解答群]

- |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ① $8.0 \times 10^1$ 分 | ② $4.8 \times 10^2$ 分 | ③ $4.8 \times 10^3$ 分 |
| ④ $5.4 \times 10^3$ 分 | ⑤ $2.9 \times 10^4$ 分 | ⑥ $3.2 \times 10^4$ 分 |
| ⑦ $3.2 \times 10^5$ 分 | ⑧ $1.9 \times 10^6$ 分 |                       |

(7)  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Sn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  のいずれか 1 種類の金属イオンを含む水溶液 (0.1 mol/L) がそれぞれ入った 2 本の試験管がある。それぞれの試験管に、以下の操作 1 ~ 4 を個別に行った。

操作 1 希塩酸を過剰に加えても 2 本の試験管とも沈殿はできなかった。

操作 2 酸性条件下で硫化水素ガスを通すと、一方の試験管には沈殿が生じたが、他方の試験管には沈殿がなかった。

操作 3 アンモニア水を少量加えると 2 本の試験管とも沈殿が生じ、さらにアンモニア水を過剰に加えると、一方の試験管の沈殿は溶けてなくなったが、他方の試験管の沈殿はなくならなかった。

操作 4 水酸化ナトリウム水溶液を少量加えると 2 本の試験管とも沈殿が生じ、さらに水酸化ナトリウム水溶液を過剰に加えると、一方の試験管の沈殿は溶けてなくなったが、他方の試験管の沈殿はなくならなかった。

以下の解答群に示した金属イオンの組み合わせのうち、操作 1 ~ 4 を行った結果がすべてあてはまる組み合わせはどれか。以下の解答群から 1 つ選びなさい。

[解答群]

- |                                       |                                       |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| ① $\text{Ag}^+$ , $\text{Al}^{3+}$    | ② $\text{Ag}^+$ , $\text{Fe}^{2+}$    |
| ③ $\text{Al}^{3+}$ , $\text{Cu}^{2+}$ | ④ $\text{Al}^{3+}$ , $\text{Sn}^{2+}$ |
| ⑤ $\text{Al}^{3+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ | ⑥ $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Fe}^{2+}$ |
| ⑦ $\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Sn}^{2+}$ | ⑧ $\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ |

(8) 物質の沸点は分子間に働くファンデルワールス力や水素結合の強さによって決まる。ファンデルワールス力は、分子どうしの接触面積が大きいほど強くなる。また、水素結合は、電気陰性度の大きい原子の間に水素原子をはさんでできる結合で、その強さはファンデルワールス力よりはかなり強い。図1に示す6種類の化合物A～Fを沸点の高い順番に並べたとき、正しいものを以下の解答群から1つ選びなさい。

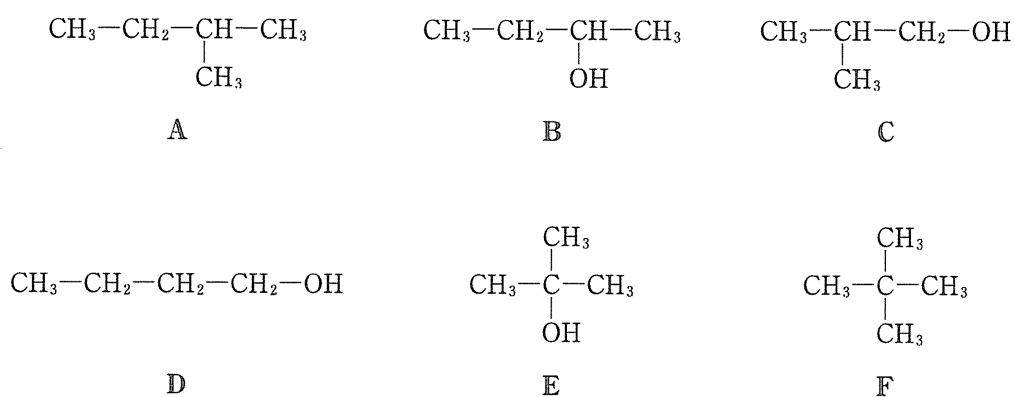


図1

[解答群]

- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| ① F > A > E > B > C > D | ② A > F > D > C > B > E |
| ③ A > F > D > B > C > E | ④ F > A > E > C > B > D |
| ⑤ D > C > B > E > A > F | ⑥ D > B > C > E > A > F |
| ⑦ E > B > C > D > F > A | ⑧ E > C > B > D > F > A |

- (9) 3分子のオレイン酸と1分子のグリセリンからなるエステルであるトリオレイン (化学式： $C_{57}H_{104}O_6$ ，モル質量：885.4 g/mol) と，3分子のステアリン酸と1分子のグリセリンからなるエステルであるトリステアリン (化学式： $C_{57}H_{110}O_6$ ，モル質量：891.5 g/mol) の混合物 890.9 mg がある。この混合物をオレイン酸ナトリウム，ステアリン酸ナトリウムおよびグリセリンまで完全にけん化するのに必要な水酸化ナトリウムは  $3.000 \times 10^{-3}$  mol であった。このとき反応に用いた混合物中のトリオレインの質量について，もっとも近い数値を以下の解答群から1つ選びなさい。

[解答群]

- |           |           |
|-----------|-----------|
| ① 0.29 mg | ② 0.87 mg |
| ③ 2.9 mg  | ④ 8.7 mg  |
| ⑤ 29 mg   | ⑥ 87 mg   |
| ⑦ 290 mg  | ⑧ 870 mg  |

(10) タンパク質の呈色反応に関する次の記述(ア)~(ウ)の正誤について、正しい組み合わせはどれか。以下の解答群から1つ選びなさい。

(ア) タンパク質水溶液に濃硝酸を加えて加熱すると黄色になり、さらにアンモニア水を加えて塩基性になると紫色になる。この反応はキサントプロテイン反応と呼ばれ、システインなどに含まれるベンゼン環のニトロ化により起こる。

(イ) タンパク質水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を加えて塩基性にした後、少量の硫酸銅(Ⅱ)水溶液を加えると赤紫色になる。この反応はビウレット反応と呼ばれ、トリペプチド以上のペプチドで見られる。

(ウ) タンパク質水溶液に薄いニンヒドリン溶液を加えて温めると、赤紫~青紫色になる。この反応はニンヒドリン反応と呼ばれ、タンパク質の遊離カルボキシ基の検出に用いられる。

[解答群]

	(ア)	(イ)	(ウ)
①	正	正	正
②	正	正	誤
③	正	誤	正
④	正	誤	誤
⑤	誤	正	正
⑥	誤	正	誤
⑦	誤	誤	正
⑧	誤	誤	誤

Ⅱ アボガドロ定数はさまざまな物質を表す際の基本となる定数であるが、いろいろな方法により、その値が求められてきた<sup>註1</sup>。以下の問い(1)~(3)に答えなさい。解答は、それぞれの解答群のどれに該当するか。番号を選んでマーク解答用紙の指定された欄にマークしなさい。(20点)

(1)  $a$  [mg] のステアリン酸 (モル質量  $M$  [g/mol]) をシクロヘキサンに溶かし、水面に静かに注いで静置すると、シクロヘキサンが揮発した後、ステアリン酸は1分子ずつ水面に垂直に立って並ぶので、水面に分子1層のステアリン酸の単分子膜が生成する。ステアリン酸の単分子膜の面積を  $A$  [cm<sup>2</sup>]、ステアリン酸分子1個の断面積を  $s$  [cm<sup>2</sup>]、ステアリン酸分子1個の体積を  $V$  [cm<sup>3</sup>] とするとき、アボガドロ定数  $N$  は  /mol で表される。(ア)としてもっともふさわしい式を、以下の解答群から1つ選びなさい。

[解答群]

- ①  $\frac{AM}{as}$       ②  $\frac{10^3 AM}{as}$       ③  $\frac{as}{AM}$       ④  $\frac{10^3 as}{AM}$   
 ⑤  $\frac{10^{-3} AM}{as}$       ⑥  $\frac{10^{-3} as}{AM}$       ⑦  $\frac{10^3 AM}{asV}$       ⑧  $\frac{10^{-3} asV}{AM}$

(2) 白金電極を希硫酸中に浸し、 $I$  [A] の電流を  $t$  [s] 流して電気分解を行うと、陰極から水素ガスが  $n$  [mol] 発生した。電子1個がもつ電荷の絶対値を  $q$  [C] とするとき、アボガドロ定数  $N$  は  /mol で表される。(イ)としてもっともふさわしい式を、以下の解答群から1つ選びなさい。

[解答群]

- ①  $\frac{It}{nq}$       ②  $\frac{nq}{It}$       ③  $\frac{It}{2nq}$       ④  $\frac{nq}{2It}$   
 ⑤  $\frac{nt}{Iq}$       ⑥  $\frac{nt}{2Iq}$       ⑦  $\frac{Iq}{nt}$       ⑧  $\frac{Iq}{2nt}$

(3) ケイ素結晶について、以下の問い(a), (b)に答えなさい。

(a) ケイ素結晶の単位格子中のケイ素原子の配列を図1に示す。ここでは、ケイ素原子は単位格子の立方体の各頂点と各面の中心に位置し、さらに内部に4個存在している。ケイ素結晶の単位格子に存在する原子数は  個である。(ウ)としてもっともふさわしい値を、以下の解答群から1つ選びなさい。

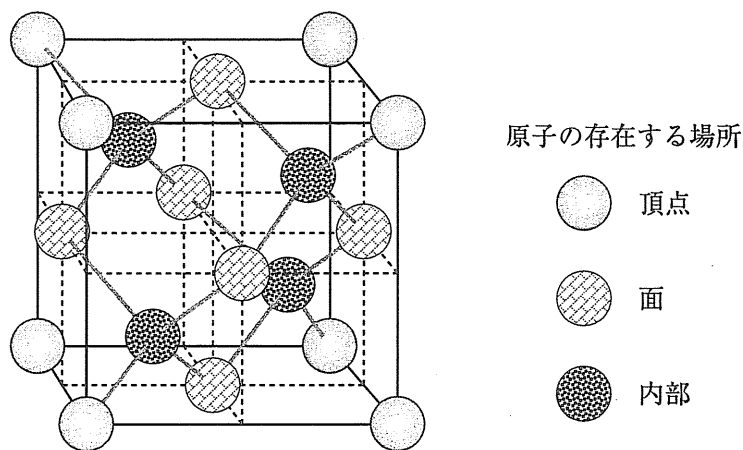


図1

[解答群]

- ① 6      ② 8      ③ 10      ④ 12  
 ⑤ 14      ⑥ 16      ⑦ 18      ⑧ 20

(b) (a)のケイ素の単位格子中に含まれるケイ素原子数を  $n$ 、ケイ素の単位格子の一辺の長さを  $d$  [cm]、ケイ素結晶の密度を  $\rho$  [g/cm<sup>3</sup>]、ケイ素原子のモル質量を  $M$  [g/mol] とするとき、これらの値を用いて得られるアボガドロ定数は  /mol で求められる。(エ)としてもっともふさわしい式を、以下の解答群から1つ選びなさい。

[解答群]

- ①  $\frac{nM}{\rho d^3}$       ②  $\frac{\rho d^3}{nM}$       ③  $\frac{n\rho d^3}{M}$       ④  $\frac{M}{n\rho d^3}$   
⑤  $\frac{nd^3}{\rho M}$       ⑥  $\frac{\rho M}{nd^3}$       ⑦  $\frac{n\rho}{d^3 M}$       ⑧  $\frac{d^3 M}{n\rho}$

---

<sup>註1</sup> アボガドロ定数は、2019年5月から七つの基礎物理定数の一つとして採用され、キログラムの定義に依存しないものとなった。



(設問は次のページにつづく)

Ⅲ 醤油中の塩化物イオンを定量するのに、醤油 10 mL を水で希釈して 500 mL とし、この希釈液から 25 mL を取り試料とした。指示薬として 1.0 mol/L のクロム酸カリウム水溶液 0.10 mL を加え、0.10 mol/L の硝酸銀水溶液で滴定したところ、15 mL を要した。以下の問い(1)~(7)に答えなさい。ただし、AgCl の溶解度積  $K_{sp}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10} (\text{mol/L})^2$ 、 $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  の溶解度積  $K_{sp}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 3.6 \times 10^{-12} (\text{mol/L})^3$  とし、塩化物イオンのみが滴定によって定量されると考えてよい。また、指示薬を加えたことによる試料の体積変化は無視してよい。解答の数値は有効数字 2 桁で答えなさい。(20 点)

問い

(1) 下線部で硝酸銀水溶液を滴下すると、まず初めに(i)式の反応が起こり、

(a) 色の沈殿が生じる。

(b) (i)

試料中の  $\text{Cl}^-$  がすべて沈殿すると(ii)式の反応が起こり、

(c) 色の沈殿が生じる。

(d) (ii)

空欄(a)と(c)にあてはまるもっとも近い色を以下の解答群よりそれぞれ選び、①~⑧の番号で答えなさい。また、空欄(b)と(d)には、あてはまるイオンを含む反応式をそれぞれ書きなさい。

[解答群]

- ① 白            ② 淡緑            ③ 黄            ④ 濃青  
 ⑤ 赤紫            ⑥ 橙赤            ⑦ 黄褐            ⑧ 赤褐

(2) 下線部の滴定終点でのクロム酸イオンのモル濃度  $[\text{CrO}_4^{2-}]$  を求めなさい。

- (3) 下線部の滴定終点での銀イオンのモル濃度 $[\text{Ag}^+]$ を求めなさい。ただし、 $\sqrt{14.4} = 3.79$ とする。
- (4) 下線部の滴定終点での塩化物イオンのモル濃度 $[\text{Cl}^-]$ を求めなさい。
- (5) 醤油中の塩化物イオンのモル濃度 $[\text{Cl}^-]$ を求めなさい。
- (6) 下線部の滴定終点では、試料 25 mL 中の塩化物イオンの何%が沈殿したか、求めなさい。
- (7) この塩化物イオンの定量法は何法と呼ばれているか、答えなさい。

IV 次の文章を読み、以下の問い(1)~(6)に答えなさい。必要な場合は、次の値を用いなさい。(20点)

原子量：H = 1.00, C = 12.0, O = 16.0

化合物A, BおよびCはいずれも2つの置換基をもつ芳香族化合物で、*o*-異性体である。化合物A, BおよびCの混合物を分離するため、図1にしたがって実験操作を行った。まず、混合物をジエチルエーテルに溶解し、炭酸水素ナトリウム水溶液とよく振り混ぜてから、水層Iとジエチルエーテル層IIに分離した。水冷下で水層Iを希塩酸で中和したところ、化合物Aが析出した。次に、ジエチルエーテル層IIを水酸化ナトリウム水溶液とよく振り混ぜてから、水層IIIとジエチルエーテル層IVに分離した。水冷下で水層IIIを希塩酸で中和したところ、化合物Bが得られた。最後に、ジエチルエーテル層IVのジエチルエーテルを蒸発させたところ、化合物Cが得られた。

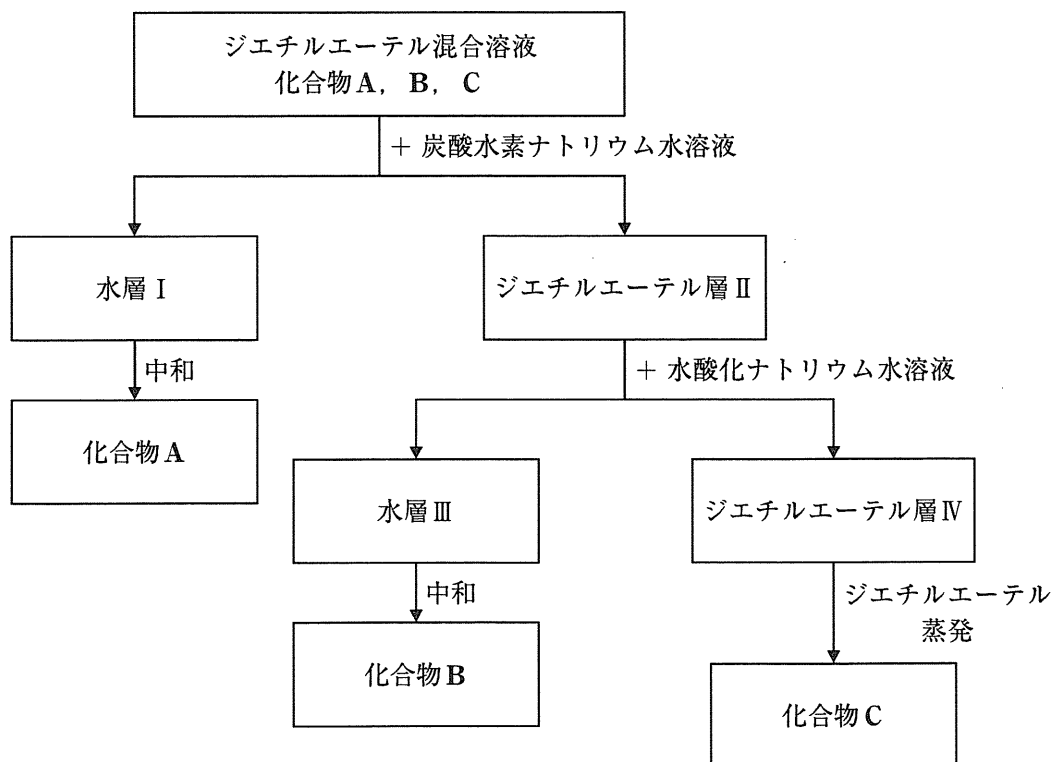


図1

問い

- (1) 化合物Aは分子量が136, 融点が約102~107℃の無色結晶で, コバルト触媒を用いて空気酸化すると化合物Dを与えた。化合物Dの分子量は166で, 融点が約210℃の無色結晶であった。化合物AとDの構造式をそれぞれ答えなさい。なお, 構造式は図2の例にしたがって書くこと。

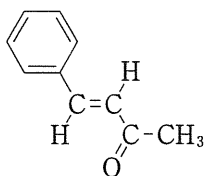
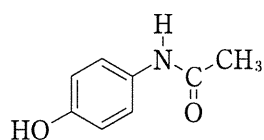


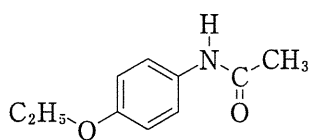
図2

- (2) 化合物Bは分子量が108, 融点が約30℃の無色結晶であった。炭素, 水素, 酸素からなる化合物B 54 mgを完全燃焼させると, 二酸化炭素154 mgと水36 mgが得られた。化合物Bの分子式を答えなさい。
- (3) 化合物Bはナトリウムと反応して気体を発生した。この気体は何か。分子式で答えなさい。
- (4) 化合物Bの構造異性体のうち, ベンゼン環を含み, 常温常圧でナトリウムと反応しない化合物の構造式をすべて答えなさい。なお, 構造式は図2の例にしたがって書くこと。
- (5) 化合物Cは黄色の液体で, スズと濃塩酸で還元した後, 水酸化ナトリウム水溶液を加えると化合物Eを与えた。化合物Eをさらし粉水溶液に滴下すると赤紫色を示した。化合物Eの氷冷した希塩酸溶液に亜硝酸ナトリウム水溶液を加え, その後25℃に温めると, 気体を発生しながら化合物Bを生成した。化合物CとEの構造式をそれぞれ答えなさい。なお, 構造式は図2の例にしたがって書くこと。

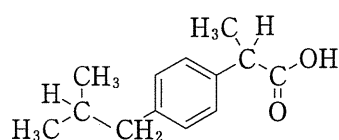
(6) 図3に示すアセトアミノフェン，フェナセチンおよびイブプロフェンの混合物について，図1にしたがって実験操作を行った場合，これらの化合物はそれぞれ水層Ⅰ，Ⅲおよびジエチルエーテル層Ⅳのいずれから回収されるか。それぞれの解答欄の記号を○で囲んで答えなさい。



アセトアミノフェン



フェナセチン



イブプロフェン

図3



