

# 化 学

(解答番号  ~ )

必要があれば、原子量は次の値を使うこと。

H	1.0	C	12	N	14	O	16
Mg	24	Cl	35.5	Cu	64	Zn	65
Ag	108						

気体は、実在気体とことわりがない限り、理想気体として扱うものとする。

**第 1 問** 次の問い(問 1 ~ 4)に答えよ。(配点 20)

問 1 三重結合をもつ分子として最も適当なものを、次の①~④のうちから一つ選べ。

- |          |           |
|----------|-----------|
| ① シアン化水素 | ② フッ素     |
| ③ アンモニア  | ④ シクロヘキセン |

問 2 実在気体は、理想気体の状態方程式に完全には従わない。実在気体の理想気体からのずれを表す指標として、次の式(1)で表される  $Z$  が用いられる。

$$Z = \frac{PV}{nRT} \quad (1)$$

ここで、 $P$ 、 $V$ 、 $n$ 、 $T$  は、それぞれ気体の圧力、体積、物質量、絶対温度であり、 $R$  は気体定数である。300 K におけるメタン  $\text{CH}_4$  の  $P$  と  $Z$  の関係を図 1 に示す。1 mol の  $\text{CH}_4$  を 300 K で  $1.0 \times 10^7 \text{ Pa}$  から  $5.0 \times 10^7 \text{ Pa}$  に加圧すると、 $V$  は何倍になるか。最も適当な数値を、後の①～⑤のうちから一つ選べ。 2 倍

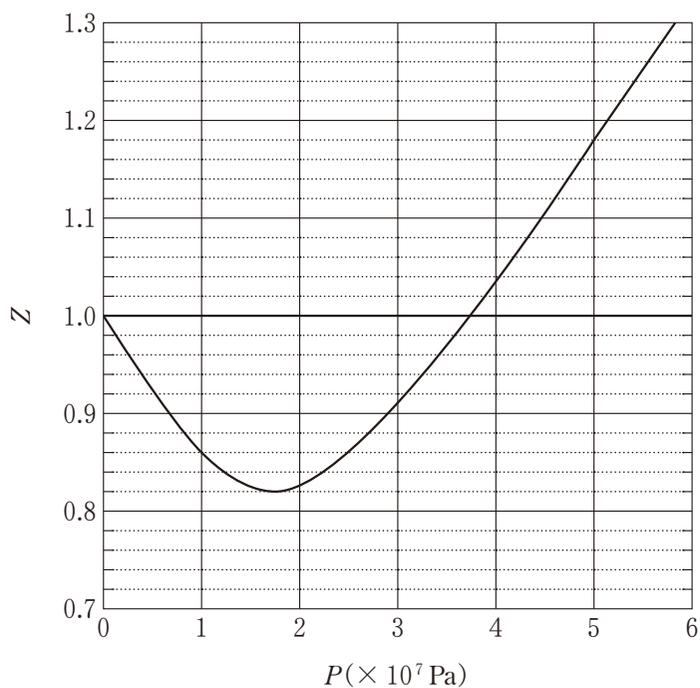


図 1 300 K における  $\text{CH}_4$  の  $P$  と  $Z$  の関係

- ① 0.15      ② 0.20      ③ 0.27      ④ 0.73      ⑤ 1.4

## 化 学

- 問 3 次の実験で観察された下線部(a)~(c)の現象に関する記述ア~ウのうち、正しいものはどれか。すべてを選択しているものとして最も適当なものを、後の①~⑧のうちから一つ選べ。 3

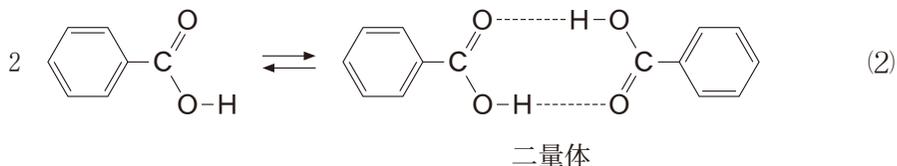
**実験** ガラス容器にシクロヘキサンの液体を入れ、ゴム栓をして室温で放置したところ、シクロヘキサンの一部が気体となり、(a)容器内の圧力は一定になった。ゴム栓を外し、大気圧のもとでガラス容器を加熱すると、シクロヘキサンは (b)81℃で沸騰した。しばらく沸騰させてガラス容器内の空気を追い出した後、加熱をやめてすぐにガラス容器にゴム栓をした。ガラス容器の全体を室温の水で冷却すると、シクロヘキサンが (c)81℃よりも低い温度で再び沸騰した。

- ア (a)の状態に達したとき、単位時間に液面から蒸発するシクロヘキサン分子の数と凝縮するシクロヘキサン分子の数が等しい。
- イ (b)では、液体の表面だけでなく内部からもシクロヘキサンが蒸発している。
- ウ (c)では、容器内の圧力は、大気圧よりも低くなっている。

- |           |             |        |
|-----------|-------------|--------|
| ① ア       | ② イ         | ③ ウ    |
| ④ ア, イ    | ⑤ ア, ウ      | ⑥ イ, ウ |
| ⑦ ア, イ, ウ | ⑧ 正しいものはない。 |        |

## 化 学

問 4 ある溶媒 A に溶解した安息香酸(分子式  $C_7H_6O_2$ , 分子量 122)は, その一部が水素結合により会合して二量体を形成し, 式(2)の化学平衡が成り立つ。



一方, 溶媒 A に溶解したナフタレン(分子式  $C_{10}H_8$ , 分子量 128)は, カルボキシ基をもたないので, このような二量体を形成しない。

安息香酸による凝固点降下では, 二量体は 1 個の溶質粒子としてふるまう。そのため, ナフタレンによる凝固点降下と比較することで, 二量体を形成する安息香酸の割合を知ることができる。次の問い(a ~ c)に答えよ。

a 図 2 は, 溶媒 A にナフタレンを溶解した溶液(ナフタレンの溶液)の質量モル濃度と凝固点との関係を表したグラフである。

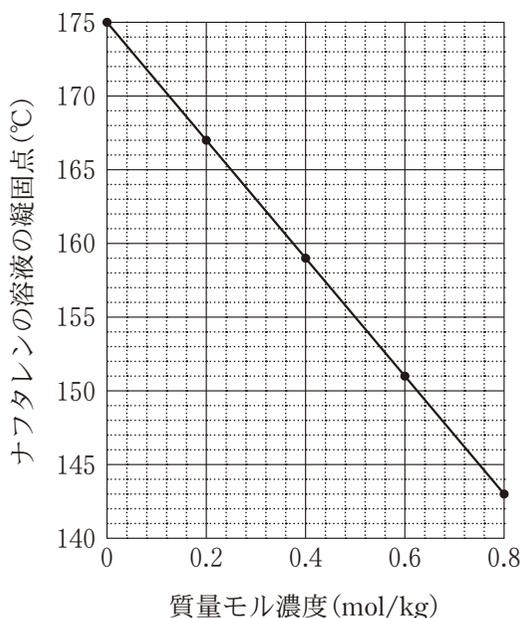


図 2 ナフタレンの溶液の質量モル濃度と凝固点との関係

図 2 から求められる溶媒 A のモル凝固点降下の値を 2 桁の整数で表すとき、 と  に当てはまる数字を、次の①～⑩のうちから一つずつ選べ。ただし、同じものを繰り返し選んでもよい。また、値が 1 桁の場合には、 には⑩を選べ。   K・kg/mol

- ① 1            ② 2            ③ 3            ④ 4            ⑤ 5  
 ⑥ 6            ⑦ 7            ⑧ 8            ⑨ 9            ⑩ 0

- b 溶液中でどのくらいの安息香酸が二量体を形成しているかを示す値として、式(3)で定義される会合度  $\beta$  を求めたい。

$$\beta = \frac{\text{二量体を形成している安息香酸の物質質量}}{\text{溶液に含まれる安息香酸の全物質質量}} \quad (3)$$

ある質量モル濃度になるように溶媒 A に安息香酸を溶解し、この溶液(安息香酸の溶液)の凝固点を測定した。同じ質量モル濃度のナフタレンの溶液における凝固点降下度(凝固点降下の大きさ) $\Delta T_f$  と安息香酸の溶液における凝固点降下度  $\Delta T_f'$  を比較したところ、 $\Delta T_f' = \frac{3}{4} \Delta T_f$  であった。このときの  $\beta$  の値として最も適当な数値を、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし、 $\beta$  の値は温度によらず変わらないものとする。

- ① 0.13            ② 0.25            ③ 0.50            ④ 0.75

- c 式(2)の平衡状態において、二量体を形成していない安息香酸分子の数  $m$  に対する二量体の数  $n$  の比  $\frac{n}{m}$  を、式(3)の  $\beta$  を用いて表すとき、最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。

- ①  $\frac{2\beta}{1-\beta}$             ②  $\frac{\beta}{1-\beta}$             ③  $\frac{\beta}{2(1-\beta)}$   
 ④  $\frac{1-\beta}{\beta}$             ⑤  $\frac{\beta}{2}$

## 化学

### 第2問 次の問い(問1～4)に答えよ。(配点 20)

問1 反応速度に関する記述として下線部に誤りを含むものはどれか。最も適切なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 8

- ① 亜鉛が希塩酸に溶けて水素を発生する反応では、希塩酸の濃度が高い方が、反応速度が大きくなる。
- ② 水素とヨウ素からヨウ化水素が生成する反応では、温度が高い方が、反応速度が大きくなる。
- ③ 石灰石に希塩酸を加えて二酸化炭素を発生させる反応では、石灰石の粒を砕いて小さくし、表面積を大きくすると反応速度が大きくなる。
- ④ 過酸化水素の分解反応では、過酸化水素水に触媒として酸化マンガン(IV)を少量加えると、活性化エネルギーが大きくなるので反応速度が大きくなる。

問2 白金電極を用いて  $\text{CuSO}_4$  水溶液 200 mL を 0.100 A の電流で電気分解した。このとき、陽極では  $\text{O}_2$  が発生し、陰極では表面に Cu が析出したが気体は発生しなかった。一方、水溶液中の水素イオン濃度  $[\text{H}^+]$  は  $1.00 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$  から  $1.00 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$  に変化した。電流を流した時間は何秒か。最も適切な数値を、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし、ファラデー定数は  $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$  とし、 $[\text{H}^+]$  の変化はすべて電極での反応によるものとする。 9 秒

- ① 48                      ②  $1.9 \times 10^2$                       ③  $3.8 \times 10^2$                       ④  $7.6 \times 10^2$

問 3 ある温度の  $\text{AgCl}$  飽和水溶液において、 $\text{Ag}^+$  および  $\text{Cl}^-$  のモル濃度は、 $[\text{Ag}^+] = 1.4 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ 、 $[\text{Cl}^-] = 1.4 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ であった。この温度において、 $1.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$  の  $\text{AgNO}_3$  水溶液 25 mL に、ある濃度の  $\text{NaCl}$  水溶液を加えていくと、10 mL を超えた時点で  $\text{AgCl}$  の白色沈殿が生じ始めた。 $\text{NaCl}$  水溶液のモル濃度は何 mol/L か。最も適当な数値を、次の①～④のうちから一つ選べ。  mol/L

- ①  $8.1 \times 10^{-5}$       ②  $9.6 \times 10^{-5}$       ③  $2.0 \times 10^{-4}$       ④  $5.1 \times 10^{-4}$

## 化 学

問 4 次の化学平衡が、温度によってどのように変化するかを考える。



ピストンの付いた密閉容器に  $2.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$  の  $\text{NO}_2$  を入れ、圧力  $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  のもとで温度を変えて平衡に達したときの体積を測定した。30℃、60℃、90℃での測定結果を表1に示す。表1から、温度が上昇すると平衡が **ア** に移動したことがわかる。また、 $\text{NO}_2$  から  $\text{N}_2\text{O}_4$  が生成する反応(式(1)の正反応)は、**イ** 反応であることがわかる。後の問い(a～c)に答えよ。ただし、気体定数は  $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$  とする。

表1 温度と体積の関係(圧力  $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ )

温度(℃)	体積(mL)
30	350
60	450
90	560

a 空欄 **ア** ・ **イ** に当てはまる語の組合せとして最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 **11**

	ア	イ
①	左向き	発熱
②	左向き	吸熱
③	右向き	発熱
④	右向き	吸熱

- b 温度 60℃では、初期の  $\text{NO}_2$  の物質量  $2.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$  の何%が  $\text{N}_2\text{O}_4$  に変化しているか。最も適当な数値を、次の①～⑥のうちから一つ選べ。

%

- |       |       |       |
|-------|-------|-------|
| ① 1.9 | ② 3.7 | ③ 8.1 |
| ④ 19  | ⑤ 37  | ⑥ 81  |

- c 式(1)の正反応の反応熱を計算により求めるために必要な量をすべて含むものを、次の①～⑤のうちから二つ選べ。ただし、解答の順序は問わない。

・

- ①  $\text{NO}_2$  の生成熱および式(1)の正反応の活性化エネルギー
- ②  $\text{N}_2\text{O}_4$  の生成熱および式(1)の逆反応の活性化エネルギー
- ③ 式(1)の正反応および逆反応の活性化エネルギー
- ④  $\text{NO}_2$  と  $\text{NO}$  の生成熱および反応  $2\text{NO} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{NO}_2$  の反応熱
- ⑤  $\text{N}_2\text{O}_4$  と  $\text{NO}$  の生成熱および反応  $2\text{NO} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{NO}_2$  の反応熱

## 化 学

### 第 3 問 次の問い(問 1 ~ 3)に答えよ。(配点 20)

問 1 リンに関する記述として誤りを含むものを、次の①~⑤のうちから一つ選べ。 

15
----

- ① リン酸のリン原子の酸化数は、+3である。
- ② 十酸化四リンは、塩化水素など酸性の気体の乾燥に適している。
- ③ 過リン酸石灰は、肥料として用いられる。
- ④ 黄リンは、空気中で自然発火する。
- ⑤ リンは生命活動に必須の元素で、DNAに含まれている。

問 2 元素ア～エは Hg, Ni, Pb, W(タングステン)のいずれかであり, 次の記述

I ~ III に示す特徴をもつ。ア, ウとして最も適当な元素を, それぞれ後の①～

④のうちから一つずつ選べ。

ア 

16
----

ウ 

17
----

I アやイの単体や化合物がもつ毒性に配慮して, アやイを身のまわりの製品に利用することが制限されている。

II イやウの化合物には, 市販の二次電池の正極活物質として用いられているものがある。

III 金属元素の単体の中で, アは最も融点が低く, エは最も融点が高い。

① Hg

② Ni

③ Pb

④ W

## 化 学

問 3 次の文章を読み、後の問い(a～c)に答えよ。

マグネシウム Mg は陽イオンになりやすく、その単体は強い還元剤としてはたらく。たとえば、単体の Mg の固体と塩化銀 AgCl の固体を適切な条件下で反応させると、AgCl が還元され、単体の銀 Ag と塩化マグネシウム MgCl<sub>2</sub> が生じる。また、単体の Mg と AgCl を用いて、電池をつくることができる。単体の Mg による AgCl の還元反応に関して、次の実験 I・II を行った。

**実験 I** 0.12 g の単体の Mg 粉末と過剰量の AgCl 粉末を、急激に反応しないよう注意しながら十分に反応させたところ、単体の Ag、MgCl<sub>2</sub>、未反応の AgCl のみからなる混合物が得られた。MgCl<sub>2</sub> が水溶性であること、および AgCl がある液体に溶ける性質を利用して、この混合物から単体の Ag を取り出した。

a **実験 I** で、得られた混合物から単体の Ag を取り出す方法として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① 温水で洗う。
- ② 水酸化ナトリウム水溶液で洗った後に水洗する。
- ③ 水洗した後に水酸化ナトリウム水溶液で洗う。
- ④ 水洗した後にアンモニア水で洗う。

b **実験 I** で、取り出された単体の Ag の質量は何 g か。最も適当な数値を、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし、使用した単体の Mg はすべて AgCl の還元反応に使われたものとする。  g

- ① 0.27
- ② 0.54
- ③ 1.1
- ④ 1.4

実験Ⅱ 単体の Mg による AgCl の還元反応を利用した、食塩水を電解液とする電池の反応は、次の式(1)、(2)によって表される。



この電池の負極を、単体の Cu、Zn、Sn にかえた電池を組み立てて、これらの起電力を測定すると、表 1 の結果が得られた。

表 1 負極の種類と起電力

負 極	起電力(V)
Cu	0.26
Zn	1.07
Sn	0.51

c 単体の Mg を負極として用いた電池の起電力を  $x$ (V) とする。表 1 と金属のイオン化傾向から考えられる、 $x$  を含む範囲として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 20

①  $x < 0.26$

②  $0.26 < x < 0.51$

③  $0.51 < x < 1.07$

④  $1.07 < x$

# 化学

## 第4問 次の問い(問1～4)に答えよ。(配点 20)

問1 濃硫酸を用いて、エタノールを脱水してエチレン(エテン)を得るために、図1のような装置を組み立てた。この装置を用いたエチレンの合成に関する説明として誤りを含むものはどれか。最も適当なものを、後の①～④のうちから一つ選べ。

21

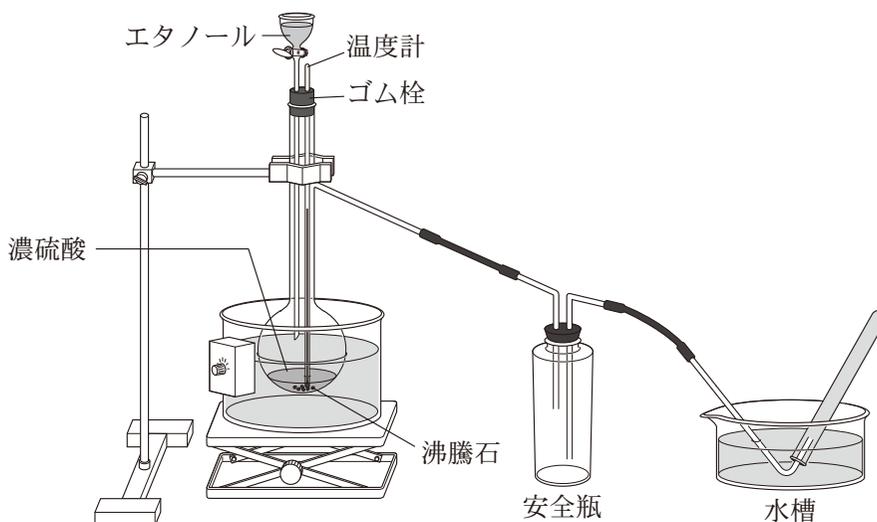


図1 エチレンの合成装置

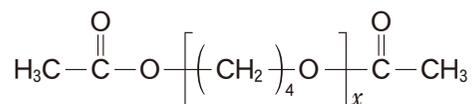
- ① エチレンを水上置換により捕集するのは、エチレンが水に溶けにくいからである。
- ② 安全瓶は、水槽の水が逆流するのを防ぐために用いられる。
- ③ エチレンの生成に適した反応温度にするために、フラスコを水浴で加熱する。
- ④ 反応溶液の温度が下がらないように、エタノールを少しずつ加える。

問 2 分子式が  $C_8H_{10}O$  で、ベンゼン環を一つもつ化合物には、いくつかの異性体がある。それらのうちナトリウムと反応しない化合物は、何種類あるか。最も適当な数を、次の①～⑥のうちから一つ選べ。 22 種類

- ① 4      ② 5      ③ 6      ④ 7      ⑤ 8      ⑥ 9

問 3 次の構造式で表される重合体 966 g がある。この両末端のエステル部分を完全にけん化したところ、112 g の水酸化カリウム(式量 56)が消費された。構造式中の  $x$  の値として最も適当な数値を、後の①～④のうちから一つ選べ。

23



- ① 5      ② 7      ③ 12      ④ 13

## 化学

問 4 次の文章を読み、後の問い(a～c)に答えよ。

ポリ塩化ビニルの合成原料である塩化ビニル  $\text{CH}_2=\text{CHCl}$  は、図2に示すように複数の反応を組み合わせることで工業的に生産されている。一つ目の反応はエチレン(エテン)  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$  への塩素  $\text{Cl}_2$  の付加反応であり、1,2-ジクロロエタン  $\text{CH}_2\text{Cl}-\text{CH}_2\text{Cl}$  が得られる。二つ目の反応では、得られた  $\text{CH}_2\text{Cl}-\text{CH}_2\text{Cl}$  を熱分解することで  $\text{CH}_2=\text{CHCl}$  と塩化水素  $\text{HCl}$  が得られる。三つ目の反応では、この  $\text{HCl}$  と、酸素  $\text{O}_2$  および  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$  を反応させることで  $\text{CH}_2\text{Cl}-\text{CH}_2\text{Cl}$  と水  $\text{H}_2\text{O}$  を得ている。これらの反応を適切に組み合わせることで、反応中に生成する  $\text{HCl}$  をすべて用いることができ、副生成物は  $\text{H}_2\text{O}$  だけとなる。

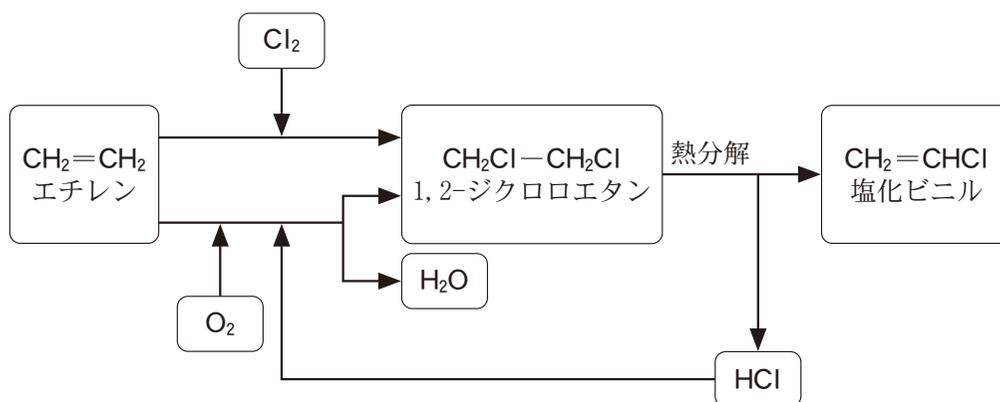


図2 エチレンを原料とする塩化ビニルの合成法

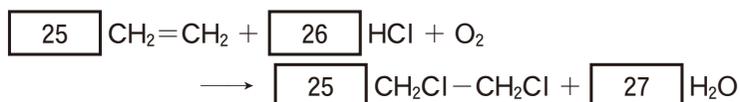
a ポリ塩化ビニルと塩化ビニルに関する記述として誤りを含むものを、次の

①～④のうちから一つ選べ。

- ① ポリ塩化ビニルは、塩化ビニルの付加重合で合成される。
- ② ポリ塩化ビニルは、熱可塑性樹脂の一種である。
- ③ 塩化ビニルには、構造異性体が存在する。
- ④ 塩化ビニルは、アセチレンに1分子のHClを付加させると合成できる。

b 図2の中で、 $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ にHClと $\text{O}_2$ を作用させ、 $\text{CH}_2\text{Cl}-\text{CH}_2\text{Cl}$ と $\text{H}_2\text{O}$

を得る反応は、次の化学反応式で表される。  ～  に当てはまる数字を、後の①～⑨のうちから一つずつ選べ。ただし、同じものを繰り返し選んでもよい。



- ① 1            ② 2            ③ 3            ④ 4            ⑤ 5
- ⑥ 6            ⑦ 7            ⑧ 8            ⑨ 9

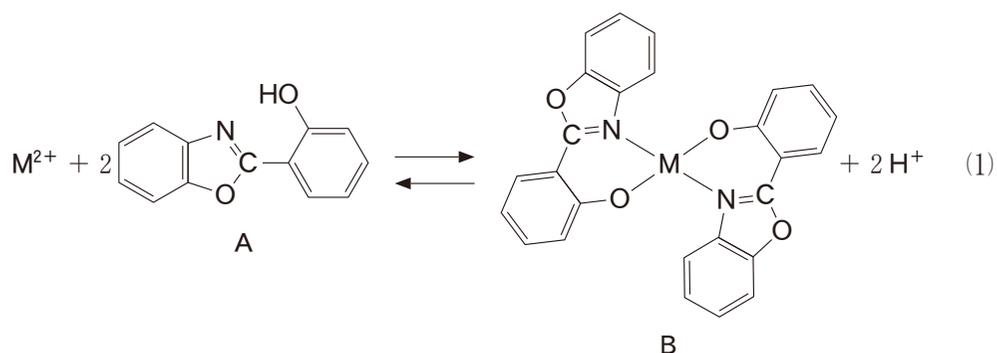
c 図2に示すように複数の反応を組み合わせることで、副生成物を $\text{H}_2\text{O}$ だけにして $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ が生産されている。4 molの $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ をすべて反応させて $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ を生産する際に消費される $\text{O}_2$ の物質質量は何 molか。最も適当な数値を、次の①～⑤のうちから一つ選べ。  mol

- ① 0.5            ② 1            ③ 2            ④ 3            ⑤ 4

## 化学

### 第5問 次の文章を読み、後の問い(問1～3)に答えよ。(配点 20)

水溶液中に少量含まれる金属イオンの物質量を求めたいとき、分子量の大きい有機化合物を金属イオンに結合させて生成する沈殿の質量をはかる方法がある。この有機化合物の例として、化合物 A (分子式  $C_{13}H_9NO_2$ 、分子量 211) がある。pH を適切に調整すると、式(1)のように化合物 A の窒素原子と酸素原子が 2 価の金属イオン  $M^{2+}$  に配位結合し、 $M^{2+}$  が化合物 B としてほぼ完全に沈殿する。



問 1 図 1 に従って化合物 A を合成した。後の問い(a・b)に答えよ。

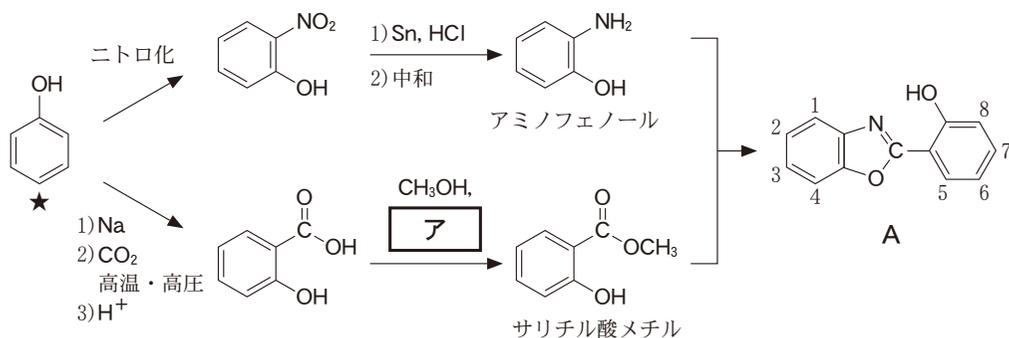


図 1 化合物 A の合成方法(★はフェノールのパラ位の炭素原子)

a 空欄  に当てはまる試薬として最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。

- ① 水酸化ナトリウム水溶液
- ② 無水酢酸
- ③ 希塩酸
- ④ 濃硫酸
- ⑤ 二酸化炭素

b 図 1 に示すフェノールの★をつけた炭素原子は、合成された化合物 A の 1～8 の番号を付した炭素原子のどれに相当するか。適当な番号を、次の①～③のうちから二つ選べ。ただし、解答の順序は問わない。

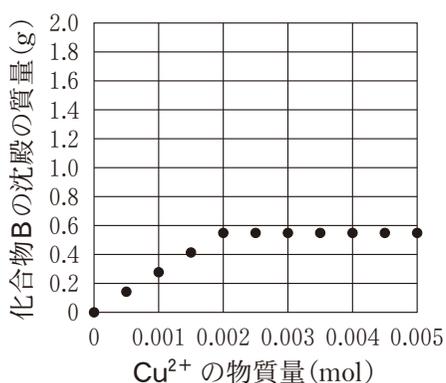
- ① 1                      ② 2                      ③ 3                      ④ 4
- ⑤ 5                      ⑥ 6                      ⑦ 7                      ⑧ 8

# 化学

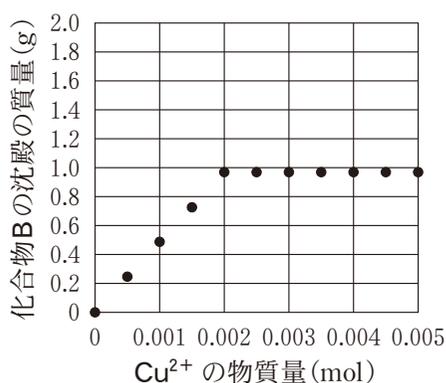
問 2 式(1)の  $M^{2+}$  として  $Cu^{2+}$  を用いて次の実験を行った。0 mol から 0.005 mol までの  $Cu^{2+}$  を含む水溶液を用意し、それぞれの水溶液に 0.0040 mol の化合物 A を加え、pH を調整して  $Cu^{2+}$  と十分に反応させ、化合物 B を沈殿させた。用意した水溶液中の  $Cu^{2+}$  の物質量と、生じた化合物 B の沈殿の質量の関係を表したグラフとして最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

32

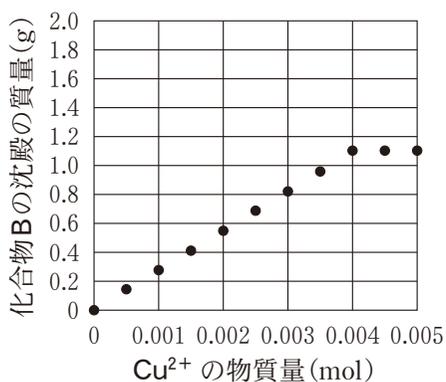
①



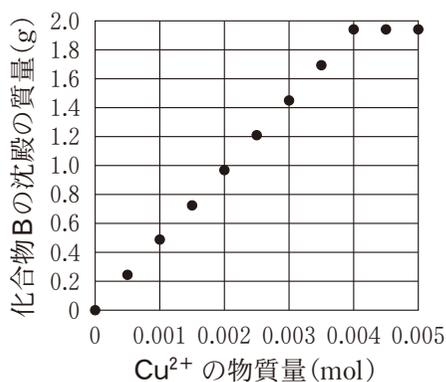
②



③



④



## 化 学

問 3 Cu と Zn からなる合金 C に含まれる Cu の含有率(質量パーセント)を求めたい。式(1)の反応は  $\text{Cu}^{2+}$  と  $\text{Zn}^{2+}$  の両方のイオンで起こるが、沈殿が生じる pH は異なる。図 2 は、 $\text{Cu}^{2+}$  または  $\text{Zn}^{2+}$  のみを含む水溶液に化合物 A を加えて反応させたとき、化合物 B として沈殿した金属イオンの割合(%)を pH に対して示したものである。後の問い(a・b)に答えよ。

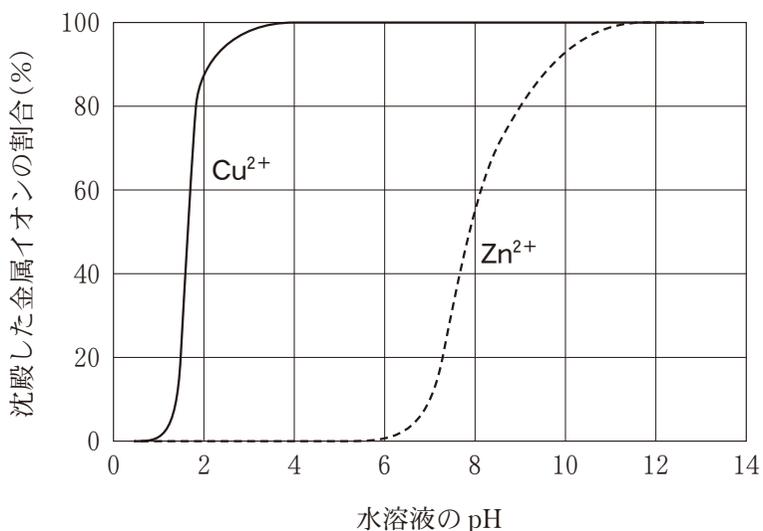


図 2 水溶液の pH と沈殿した金属イオンの割合(%)との関係

- a 図2より、 $\text{Cu}^{2+}$  と  $\text{Zn}^{2+}$  を含む水溶液から  $\text{Cu}^{2+}$  のみが化合物 B としてほぼ完全に沈殿する pH の範囲が読み取れる。次に示す水溶液ア～エのうち、pH がこの範囲内にあるものはどれか。最も適当なものを、後の①～④のうちから一つ選べ。 33

ア 0.1 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液

イ 0.1 mol/L のアンモニア水と 0.1 mol/L の塩化アンモニウム水溶液を 1 : 1 の体積比で混合した水溶液

ウ 0.1 mol/L の酢酸水溶液と 0.1 mol/L の酢酸ナトリウム水溶液を 1 : 1 の体積比で混合した水溶液

エ 0.1 mol/L の塩酸

- ① ア                      ② イ                      ③ ウ                      ④ エ

- b 合金 C 2.00 g をすべて硝酸に溶かし、化合物 A を加え、pH を調整して  $\text{Cu}^{2+}$  のみを化合物 B として沈殿させた。このとき、得られた化合物 B の質量は 6.05 g であった。合金 C 中の Cu の含有率(質量パーセント)は何%か。最も適当な数値を、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし、すべての  $\text{Cu}^{2+}$  は化合物 B として沈殿したものとする。 34 %

- ① 40                      ② 60                      ③ 71                      ④ 80