

# 化 学

問 題	選 択 方 法		解 答 番 号 数
	新教育課程履修者	旧教育課程履修者等	
第 1 問	必 答	必 答	<input type="text" value="1"/> ~ <input type="text" value="6"/>
第 2 問	必 答	必 答	<input type="text" value="7"/> ~ <input type="text" value="12"/>
第 3 問	必 答	必 答	<input type="text" value="13"/> ~ <input type="text" value="18"/>
第 4 問	必 答	必 答	<input type="text" value="19"/> ~ <input type="text" value="26"/>
第 5 問	必 答	} いずれか1問を 選択し、解答しな さい。	<input type="text" value="27"/> ~ <input type="text" value="32"/>
第 6 問	解答してはいけません。		<input type="text" value="33"/> ~ <input type="text" value="38"/>

## 化 学

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
Na	23	Al	27	S	32	Cl	35.5
Ca	40	Cu	64				

気体は、実在気体とことわりがない限り、理想気体とみなせるものとする。

### 第 1 問 次の問い(問 1 ~ 4)に答えよ。(配点 20)

問 1 18 族を除く第 3 周期までの原子とそのイオンの大きさに関する記述として誤りを含むものはどれか。最も適当なものを、次の①~④のうちから一つ選べ。

- ① 同族の原子の大きさは、原子番号とともに大きくなる。
- ② 同一周期の原子の大きさは、原子番号とともに大きくなる。
- ③ 原子が陽イオンになると、もとの原子よりも大きさが小さくなる。
- ④ 原子が陰イオンになると、もとの原子よりも大きさが大きくなる。

問 2 図1は陽イオンAと陰イオンBからなる、ある結晶の単位格子を示している。Aは面心立方格子と同じ配置をとり、Bは隣接する4個のAがつくる正四面体の重心に位置する。Aの配位数および、この単位格子中に含まれるAの数とBの数の組合せとして最も適当なものを、後の①～⑥のうちから一つ選べ。

2

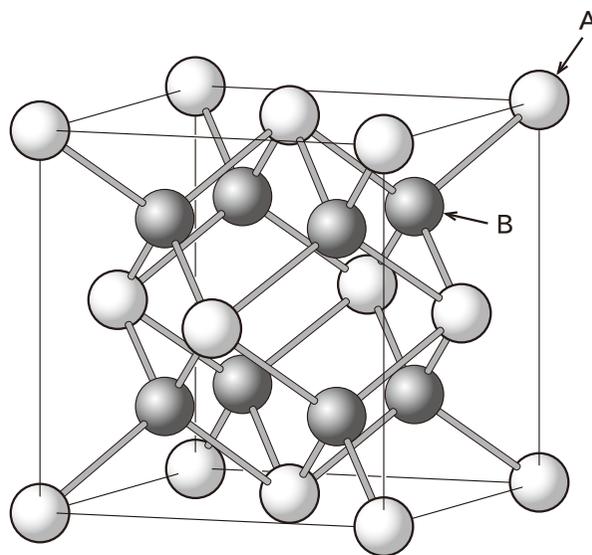


図1 陽イオンAと陰イオンBからなる、ある結晶の単位格子

	Aの配位数	Aの数	Bの数
①	4	4	4
②	8	4	8
③	12	8	4
④	4	8	8
⑤	8	14	4
⑥	12	14	8

## 化学

問 3 図 2 のアに示すように、ピストンの付いた密閉容器に、温度  $T$  における飽和蒸気圧が  $P_0$  の揮発性の純物質の液体のみを空気を含まないように入れ、容器内の温度を  $T$  に保ったまま、以下の一連の操作を行う。

密閉容器のピストンをゆっくりと引き上げると、密閉容器内の液体が蒸発し、液体と気体が共存する。ピストンを引き上げ続けると、図 2 のイに示すように、気体の体積が  $V_0$  になったときに、すべての液体が気体になる。さらに、図 2 のウに示すように、気体の体積が  $4V_0$  になるまでピストンを引き上げる。

この一連の操作で予想される、気体の体積と圧力の関係を表すグラフとして最も適当なものを、後の①～⑤のうちから一つ選べ。 3

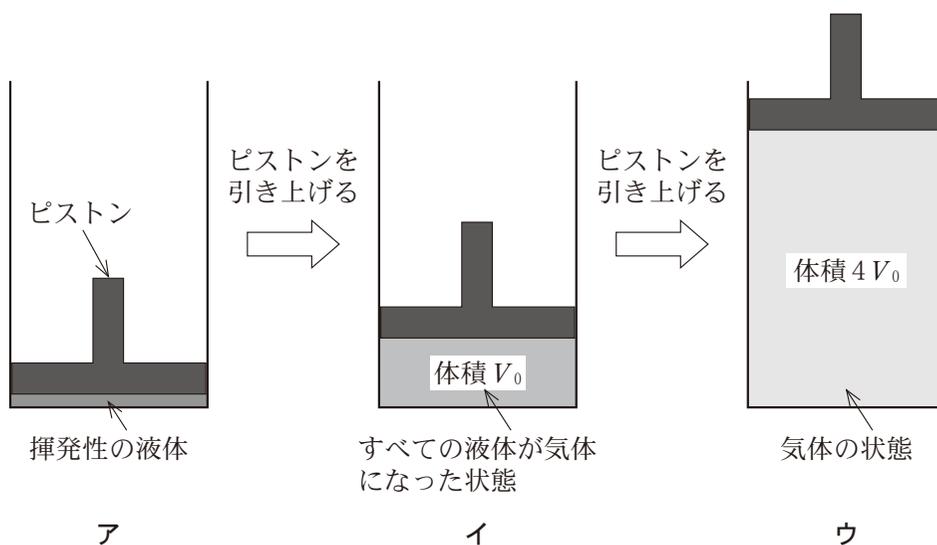
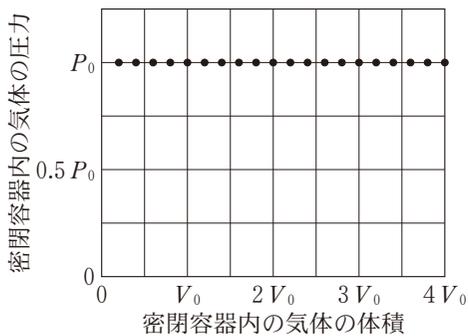
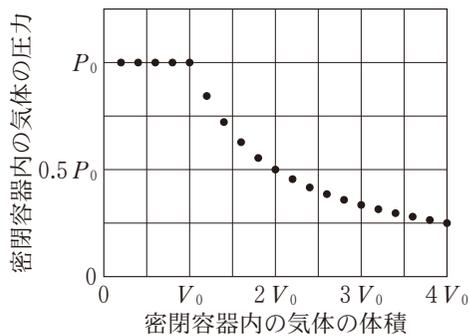


図 2 揮発性の純物質の液体のみを入れた密閉容器のピストンを引き上げたときの模式図

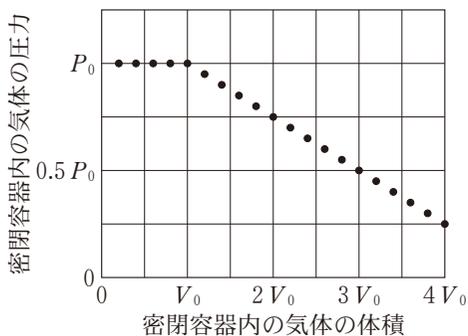
①



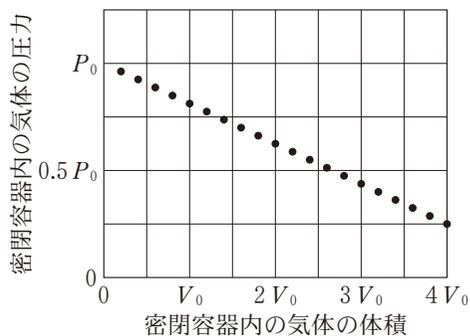
②



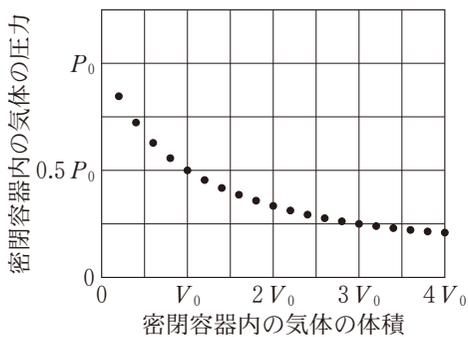
③



④



⑤



## 化 学

問 4 水溶液の濃度および凝固点降下に関する次の問い(a～c)に答えよ。

- a 沸点上昇や凝固点降下を測定する実験では、モル濃度(mol/L)ではなく質量モル濃度(mol/kg)が用いられる。シヨ糖水溶液および塩化ナトリウム水溶液についての、モル濃度および質量モル濃度に関する記述として誤りを含むものはどれか。最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし、シヨ糖または塩化ナトリウムと水から、それぞれの水溶液を調製した場合、水溶液の体積は水の体積に比べて増加することがわかっている。なお、水溶液からの水の蒸発や凝固、および溶質の析出はないものとする。

4

- ① ある温度で1 mol/Lに調製したシヨ糖水溶液の温度を変化させると、モル濃度も変化する。
- ② ある温度で1 mol/kgに調製した塩化ナトリウム水溶液の温度を変化させても、質量モル濃度は変化しない。
- ③ それぞれ1 mol/kgのシヨ糖水溶液および塩化ナトリウム水溶液を比べると、溶質と水の物質量の比は同じになる。
- ④ 同じ温度で、1 Lの水の物質量と、1 mol/Lのシヨ糖水溶液1 Lに含まれる水の物質量は同じになる。

- b ある希薄な塩化ナトリウム NaCl 水溶液の凝固点降下度(凝固点降下の大きさ)が0.052 Kであった。同じ質量モル濃度の硫酸ナトリウム Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 水溶液の凝固点降下度は何 K 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、電解質は水溶液中で完全に電離しているものとする。

5 K

- ① 0.026                      ② 0.052                      ③ 0.078                      ④ 0.104

c 大気圧  $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$  のもと、 $1.00 \text{ kg}$  の水に  $0.100 \text{ mol}$  のシヨ糖のみが溶解している水溶液を、室温から冷却していく。図3は、この水溶液の温度と冷却時間との関係を示す冷却曲線である。この図では、凝固開始後、点Aから点Bの間のように水溶液と氷が共存し、温度が徐々に低下する領域が見られる。この氷を含む水溶液の温度が点Aの  $t_A = -0.370 \text{ }^\circ\text{C}$  から点Bの  $t_B = -0.740 \text{ }^\circ\text{C}$  まで低下する間における氷の質量の増加量として最も適当な数値を、後の①～④のうちから一つ選べ。ただし、水のモル凝固点降下は  $1.85 \text{ K}\cdot\text{kg}/\text{mol}$  で、シヨ糖はすべて水溶液中に存在するものとする。

kg

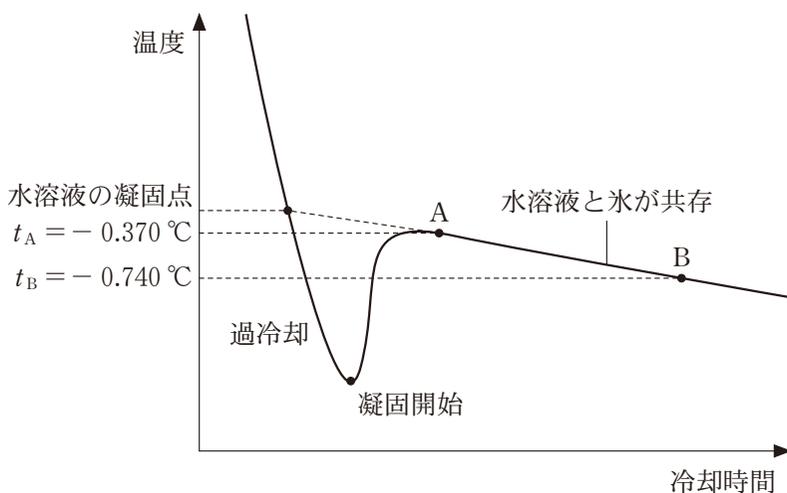


図3 シヨ糖水溶液の冷却曲線

- ① 0.250                      ② 0.500                      ③ 0.750                      ④ 1.00

## 化学

### 第2問 次の問い(問1～4)に答えよ。(配点 20)

問1 常温・常圧における無機物質の性質に関する記述として誤りを含むものはどれか。最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 7

- ①  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{He}$  はいずれも無色・無臭の気体である。
- ②  $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HI}$  の水溶液はいずれも強酸である。
- ③  $\text{Li}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$  はいずれも水と反応して水素を発生する。
- ④  $\text{AgF}$ ,  $\text{AgCl}$ ,  $\text{AgBr}$  はいずれも水に溶けにくい。

問2 非金属元素の化合物に関する記述として誤りを含むものはどれか。最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。 8

- ① 過塩素酸  $\text{HClO}_4$  の  $\text{Cl}$  原子の酸化数は +7 である。
- ② 二酸化硫黄  $\text{SO}_2$  は水溶液中で、反応する相手の物質により酸化剤としても還元剤としてもはたらく。
- ③ 硝酸  $\text{HNO}_3$  は、金  $\text{Au}$  と反応する。
- ④ 十酸化四リン  $\text{P}_4\text{O}_{10}$  を多量の水に加えて加熱すると、リン酸  $\text{H}_3\text{PO}_4$  が生成する。
- ⑤ 濃硫酸  $\text{H}_2\text{SO}_4$  には脱水作用があり、スクロース(ショ糖)  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$  を炭化する。

## 化学

問 3 図 1 に示すように、3 本の試験管 A, B, C には、それぞれ  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$  の塩化物の  $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$  水溶液が 5.0 mL ずつ入っている。25 °C において、それぞれの水溶液に、 $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$  硫酸  $\text{H}_2\text{SO}_4$  水溶液を 0.50 mL 加えた。このときに生じる沈殿の有無を記した組合せとして最も適当なものを、後の①～⑧のうちから一つ選べ。必要があれば、表 1 に示す 25 °C における硫酸マグネシウム  $\text{MgSO}_4$  飽和水溶液のモル濃度、および硫酸カルシウム  $\text{CaSO}_4$  と硫酸バリウム  $\text{BaSO}_4$  の溶解度積を用いよ。 9

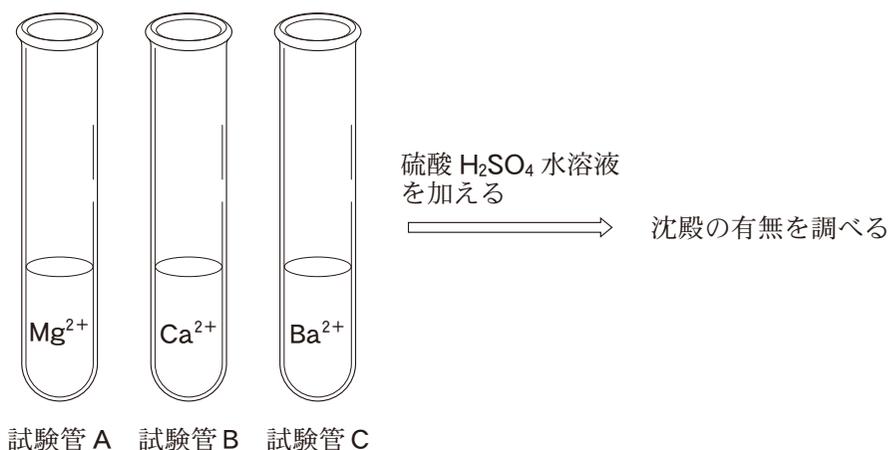


図 1

表 1  $\text{MgSO}_4$  飽和水溶液のモル濃度、および  $\text{CaSO}_4$  と  $\text{BaSO}_4$  の溶解度積 (25 °C)

$\text{MgSO}_4$ 飽和水溶液のモル濃度	3.0 mol/L
$\text{CaSO}_4$ の溶解度積	$1.9 \times 10^{-4} (\text{mol/L})^2$
$\text{BaSO}_4$ の溶解度積	$9.2 \times 10^{-11} (\text{mol/L})^2$

	試驗管 A	試驗管 B	試驗管 C
①	有	有	有
②	有	有	無
③	有	無	有
④	有	無	無
⑤	無	有	有
⑥	無	有	無
⑦	無	無	有
⑧	無	無	無

## 化 学

問 4 アルミニウム Al の工業的製造法に関する次の文章を読み、後の問い(a～c)に答えよ。

原料であるボーキサイトは、 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  を主成分とし、 $\text{SiO}_2$  や  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  を含むので、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  を取り出す必要がある。

ボーキサイトの粉末を、加熱した高濃度の水酸化ナトリウム NaOH 水溶液に混ぜると、溶解しない化合物と、テトラヒドロキシドアルミン酸イオン  $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$  を含む溶液に分離できる。(a)  $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$  を含む溶液に二酸化炭素  $\text{CO}_2$  の気体を通じると、(b) 水酸化アルミニウム  $\text{Al}(\text{OH})_3$  の沈殿が生じる。 沈殿として取り出した(c)  $\text{Al}(\text{OH})_3$  を加熱することで  $\text{Al}_2\text{O}_3$  が得られる。

得られた(d)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を氷晶石  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  とともに約  $1000^\circ\text{C}$  で融解させ、 熔融塩(融解塩)電解することで、Al を得ることができる。

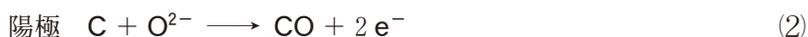
a 下線部(a)～(d)に関連した記述が、それぞれ次の①～④に示されている。

①～④の下線部に誤りを含むものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

10

- ① 下線部(a)の操作により、溶液の pH の値が下がる。
- ② 下線部(b)は、 $[\text{Al}(\text{OH})_4]^- \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 + \text{OH}^-$  の 化学平衡が右側に移動することを利用している。
- ③ 下線部(c)の反応により、2 mol の  $\text{Al}(\text{OH})_3$  から 1 mol の  $\text{Al}_2\text{O}_3$  と 2 mol の水  $\text{H}_2\text{O}$  が生成する。
- ④ 下線部(d)のように行うのは、純物質の  $\text{Al}_2\text{O}_3$  が融解する温度よりも、 $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  と  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の混合物が融解する温度の方が低いという性質を利用している。

b  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を次の式(1)~(3)に従って熔融塩電解させることで、 $\text{Al}$  を得ることができる。このとき、陰極・陽極ともに炭素  $\text{C}$  電極を用いる。陽極では式(2)と(3)の反応が同時に起こる。



一定の電流を 9650 秒間流したところ、 $2.70 \times 10^5 \text{ g}$  の  $\text{Al}$  が生成し、陽極の  $\text{C}$  は  $1.08 \times 10^5 \text{ g}$  減少した。このときの電流と式(3)により発生した  $\text{CO}_2$  の物質量の組合せとして最も適当なものを、次の①~⑨のうちから一つ選べ。ただし、ファラデー定数は  $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$  とする。なお、流した電流はすべて式(1)~(3)の反応のみに消費され、これら以外の反応は起こらないものとする。

11

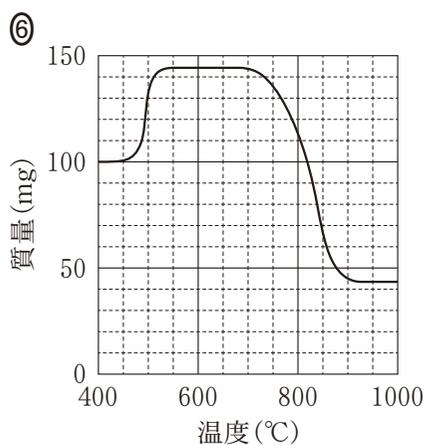
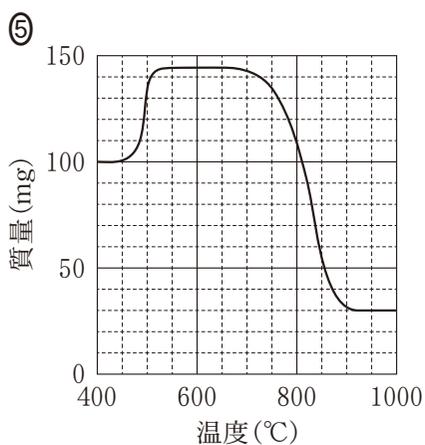
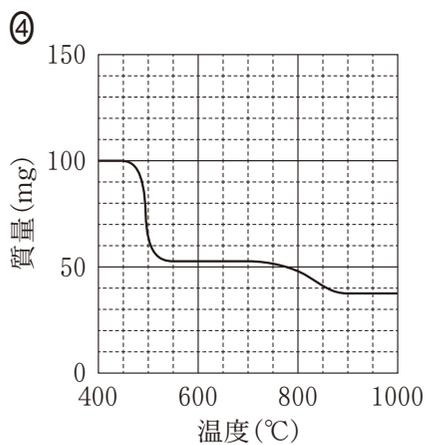
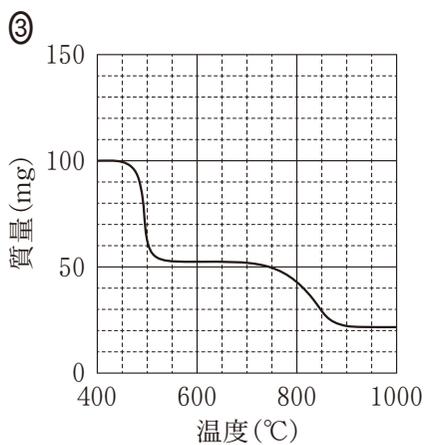
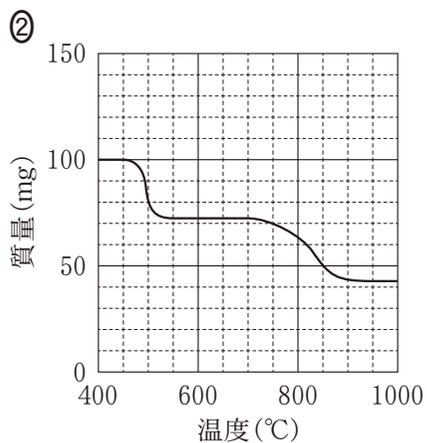
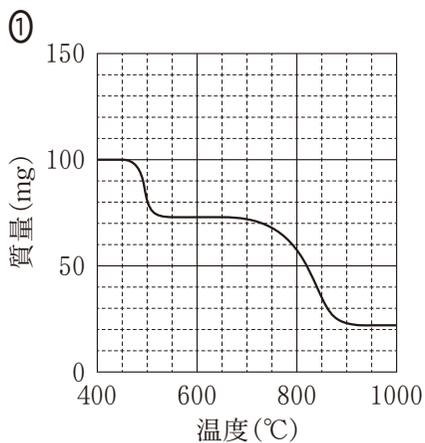
	電流 (A)	発生した $\text{CO}_2$ の物質量 (mol)
①	$1.00 \times 10^5$	$3.00 \times 10^3$
②	$1.00 \times 10^5$	$6.00 \times 10^3$
③	$1.00 \times 10^5$	$9.00 \times 10^3$
④	$3.00 \times 10^5$	$3.00 \times 10^3$
⑤	$3.00 \times 10^5$	$6.00 \times 10^3$
⑥	$3.00 \times 10^5$	$9.00 \times 10^3$
⑦	$1.20 \times 10^6$	$3.00 \times 10^3$
⑧	$1.20 \times 10^6$	$6.00 \times 10^3$
⑨	$1.20 \times 10^6$	$9.00 \times 10^3$

## 化 学

- c 溶融塩電解で得た Al を原料としてつくられる硫酸アンモニウムアルミニウム十二水和物  $\text{Al}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  (式量 453) は、再結晶を繰り返すことで高純度の結晶になる。この結晶を加熱すると、脱水が起こり  $300^\circ\text{C}$  までには  $\text{Al}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2$  (式量 237) に変化する。そのまま加熱すると約  $450^\circ\text{C}$  から変化が起こり、約  $550^\circ\text{C}$  までには  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (式量 342) となる。引き続き加熱すると約  $650^\circ\text{C}$  からさらに変化が起こり、 $950^\circ\text{C}$  に達すると高純度の  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (式量 102) が得られる。これはファインセラミックスなどに用いられる。

100 mg の  $\text{Al}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2$  を  $400^\circ\text{C}$  から  $1000^\circ\text{C}$  まで加熱したときの温度と質量の関係を表すグラフとして最も適当なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし、 $\text{Al}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2$  のアルミニウムはすべて  $\text{Al}_2\text{O}_3$  になるものとする。

12

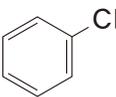
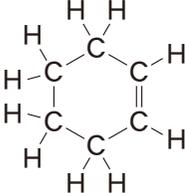
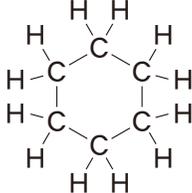


# 化学

## 第3問 次の問い(問1～5)に答えよ。(配点 20)

問1 反応①～⑤のうち、付加反応であり、かつ反応の生成物に含まれるすべての炭素原子が同一平面上にあるものはどれか。最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。

13

①	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\xrightarrow[\text{光}]{\text{Cl}_2}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{Cl} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$
②	$\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$	$\xrightarrow[\text{触媒}]{\text{H}_2}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \\ \diagdown \quad / \\ \text{C}=\text{C} \\ / \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$
③	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_3 \\   \\ \text{OH} \end{array}$	$\xrightarrow{\text{濃硫酸}}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{H} \\ \diagdown \quad / \\ \text{C}=\text{C} \\ / \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array}$
④		$\xrightarrow[\text{鉄粉}]{\text{Cl}_2}$	
⑤		$\xrightarrow[\text{触媒}]{\text{H}_2}$	

問 2 シクロプロパンは環のひずみが大きい化合物であるため、図 1 に示すように臭素  $\text{Br}_2$  と反応して環が開く。



シクロプロパン

波線 (~~~~) は反応によって共有結合が切断される位置を示す

図 1 シクロプロパンと  $\text{Br}_2$  との反応

図 2 に示すメチルシクロプロパンは  $\text{Br}_2$  と反応して、ア～ウのいずれかの位置で結合が切断され、環が開く。切断位置と、不斉炭素原子をもつ開環生成物が得られるかどうかの組合せとして最も適当なものを、後の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし、選択枝中の○は不斉炭素原子をもつ開環生成物が得られることを、×は不斉炭素原子をもつ開環生成物が得られないことを表す。 14

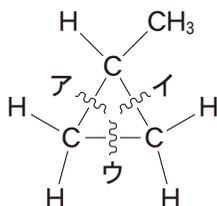


図 2 メチルシクロプロパンの構造式

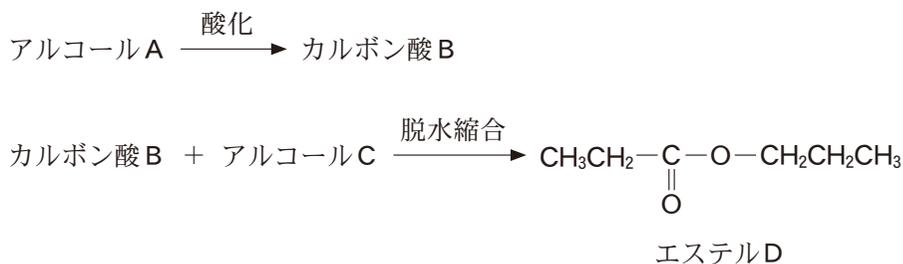
	切断位置ア	切断位置イ	切断位置ウ
①	×	×	×
②	○	×	×
③	×	○	×
④	×	×	○
⑤	○	○	×
⑥	×	○	○
⑦	○	×	○
⑧	○	○	○

## 化 学

問 3 合成高分子化合物に関する記述として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。 15

- ① ポリ酢酸ビニルは、熱硬化性樹脂である。
- ② アラミド繊維は、強度(引っ張り強度)に優れた繊維である。
- ③ メラミン樹脂の合成には、単量体の一つとしてホルムアルデヒドが用いられる。
- ④ シリコーンゴムは、分子鎖(主鎖)中に炭素原子間の二重結合(C=C)をもたない。

問 4 次のようにアルコールAを酸化してカルボン酸Bを得て、これをアルコールCと脱水縮合させてエステルDを得る。



この反応のアルコールAとアルコールCの組合せとして最も適当なものを、後の①～⑨のうちから一つ選べ。ただし、アルコールAとアルコールCは、次のア～ウのいずれかである。 16

ア  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$     イ  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$     ウ  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$

	アルコールA	アルコールC
①	ア	ア
②	ア	イ
③	ア	ウ
④	イ	ア
⑤	イ	イ
⑥	イ	ウ
⑦	ウ	ア
⑧	ウ	イ
⑨	ウ	ウ

## 化 学

問 5 図 3 は、天然の飽和脂肪酸  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$  ( $n = 8, 10, 12, 14, 16, 18$ ) について分子量と融点 ( $^{\circ}\text{C}$ ) の関係を示したグラフである。また図 4 は、炭素数 18 の飽和脂肪酸であるステアリン酸  $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$  (分子量 284) と、炭素数 18 の不飽和脂肪酸であるオレイン酸  $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$ 、リノール酸  $\text{C}_{17}\text{H}_{31}\text{COOH}$ 、リノレン酸  $\text{C}_{17}\text{H}_{29}\text{COOH}$  の炭化水素基中の二重結合の数と融点の関係を示したグラフである。後の問い (a・b) に答えよ。

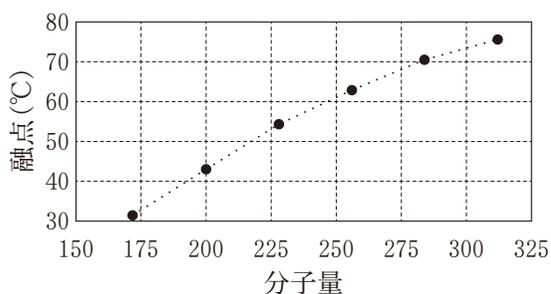


図 3 天然の飽和脂肪酸の分子量と融点の関係

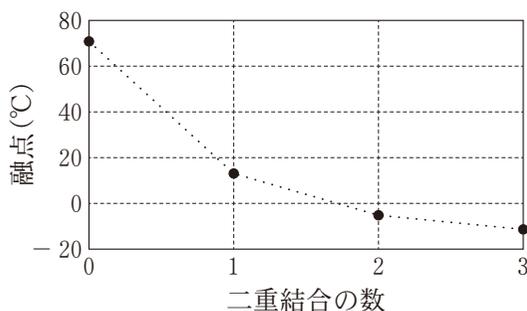


図 4 炭素数 18 の脂肪酸における炭化水素基中の二重結合の数と融点の関係

- a 図3と図4のグラフから読み取れる，飽和脂肪酸および不飽和脂肪酸の融点に関する記述として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

17

- ① 分子量 172 から 228 までの飽和脂肪酸の融点は， $n$  の値が 2 ずつ増えると約 20 K ずつ高くなる。
- ② 飽和脂肪酸  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$  の融点は，約 70 °C と予想される。
- ③ 炭素数 18 の脂肪酸では，炭化水素基中の炭素原子間の二重結合の数が 1 から 2，2 から 3 と増えた場合の融点の低下よりも，0 から 1 になった場合の融点の低下が大きい。
- ④  $\text{C}_{17}\text{H}_{31}\text{COOH}$  は常温で固体である。

## 化 学

b 図5は、4種の**油脂ア**～**油脂エ**をそれぞれ加水分解して得られる脂肪酸**A**～**F**の含有率(質量パーセント)を示したグラフである。また、脂肪酸**A**～**F**は表1に示す6種の脂肪酸のいずれかである。

**油脂ア**と**油脂イ**は常温で液体であり、**油脂ウ**と**油脂エ**は常温で固体で、**油脂ウ**は**油脂エ**より融点が高い。脂肪酸**A**がリノレン酸、脂肪酸**C**がオレイン酸であるとき、脂肪酸**B**として最も適当なものを、後の①～④のうちから一つ選べ。ただし、油脂の融点は、油脂に含有される脂肪酸の融点と含有率が反映されるものとする。 18

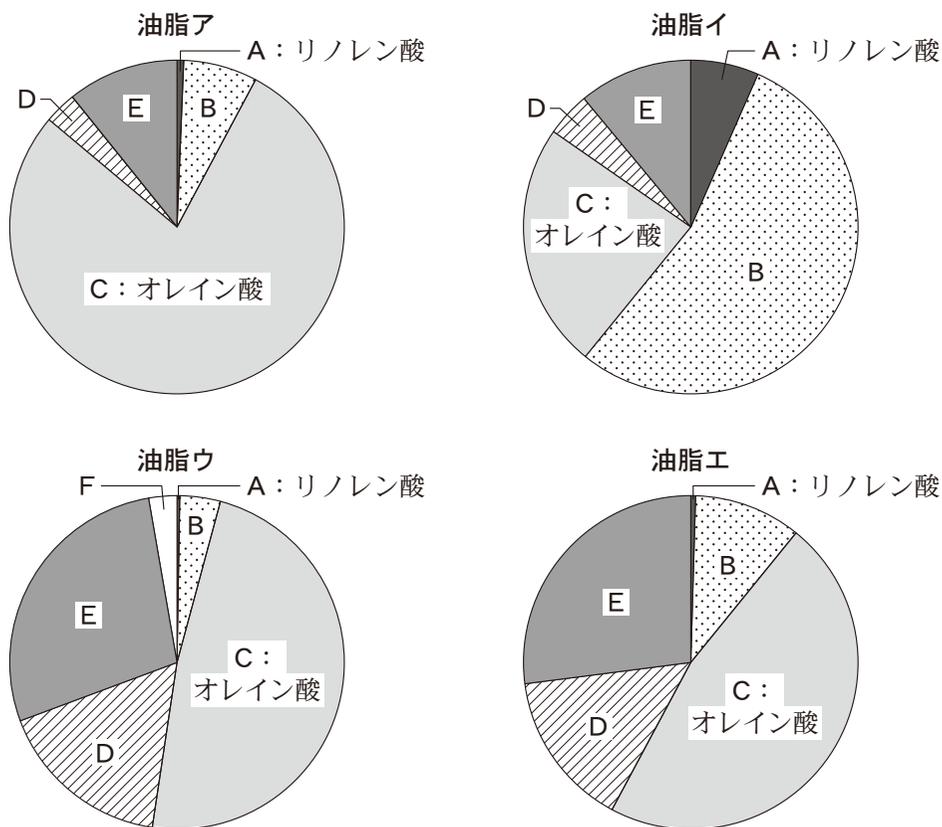


図5 油脂ア～エを加水分解して得られる脂肪酸A～Fの含有率(質量パーセント)

表 1

脂肪酸	炭素数	炭化水素基中の二重結合の数
ミリスチン酸	14	0
パルミチン酸	16	0
ステアリン酸	18	0
オレイン酸	18	1
リノール酸	18	2
リノレン酸	18	3

① ミリスチン酸

② パルミチン酸

③ ステアリン酸

④ リノール酸

## 化 学

### 第 4 問 美術や工芸と化学とのかかわりに関する次の問い(問 1 ~ 3)に答えよ。

(配点 20)

問 1 <sup>しつくい</sup>漆喰は壁や天井などに塗る材料である。漆喰に関する次の問い(a・b)に答えよ。

a 漆喰の調製と乾燥過程に関する次の文章中の空欄 **ア** ~ **ウ** に当てはまる物質として最も適当なものを、後の①~⑨のうちから一つずつ選べ。

漆喰を得るには、次の操作 I・II を行う。

操作 I 石灰石を高温で加熱して得られた **ア** に水  $\text{H}_2\text{O}$  を加えると、水酸化カルシウム  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  になる。

操作 II 操作 I で得た  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  にさらに  $\text{H}_2\text{O}$  を加え、補強材として砂などを混ぜて、よく練り合わせる。

壁や天井に塗った漆喰が乾く過程で  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  が空気中の **イ** と反応して **ウ** となる。漆喰が生乾きのときに顔料を塗ってから乾燥させると、顔料は **ウ** で覆われるため、鮮やかな色彩を数百年以上保つことができる。このような方法で制作された絵として、フレスコ画などがある。

ア **19**      イ **20**      ウ **21**

- ①  $\text{CaCl}_2$     ②  $\text{CaCO}_3$     ③  $\text{CaO}$     ④  $\text{CaSO}_4$     ⑤  $\text{CO}_2$   
⑥  $\text{SO}_2$     ⑦  $\text{O}_2$     ⑧  $\text{N}_2$     ⑨  $\text{H}_2\text{O}$

b aの操作Ⅱに関して、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ のみが $\text{H}_2\text{O}$ に飽和した状態で溶けているとすると、 $25^\circ\text{C}$ での $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の飽和水溶液のpHの値はいくらか。最も適当なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。

ただし、 $\text{H}_2\text{O}$ に溶けた $\text{Ca}(\text{OH})_2$ は完全に電離しており、その溶解度積 $K_{\text{sp}} = [\text{Ca}^{2+}][\text{OH}^-]^2 = \frac{1}{2}[\text{OH}^-]^3 = 5.00 \times 10^{-6}(\text{mol/L})^3$ 、水のイオン積 $K_{\text{w}} = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1.00 \times 10^{-14}(\text{mol/L})^2$ とする。必要であれば、 $\log_{10} 2 = 0.3$ 、 $\log_{10} 5 = 0.7$ を用いよ。

22

① 11.3

② 11.4

③ 11.5

④ 12.2

⑤ 12.3

⑥ 12.4

## 化 学

問 2 <sup>らんどうこう ぐんじょう</sup>藍銅鈇は群青色の  $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$  を主成分とする顔料であり、<sup>くじゃくいし</sup>孔雀石は青緑色の  $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$  を主成分とする顔料である。日本画では、黒色の酸化銅(Ⅱ)  $\text{CuO}$  を主成分とする顔料と、<sup>あおみどり</sup>藍銅鈇および孔雀石の粉末を混合することで、顔料の色相や明るさを調整している。

ある絵画で用いられた顔料を再現するために、 $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$  と  $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$  と  $\text{CuO}$  のみを混ぜることで、色相と明るさを似せた顔料 X を調製したが、その混合した割合は未知であった。X を加熱することでこの割合を知ることができる。加熱によって  $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$  と  $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$  は、それぞれ式(1)と(2)に従って分解する。



このとき、X に含まれる  $\text{CuO}$  は加熱しても変化しない。X を式(1)と(2)の反応が完了するまで加熱した結果、 $\text{H}_2\text{O}$  は 0.50 mol、 $\text{CO}_2$  は 0.70 mol 生成し、 $\text{CuO}$  の物質量は 1.30 mol になった。加熱前の X に含まれていた  $\text{CuO}$  の物質量は何 mol か。最も適当な数値を、次の①～⑨のうちから一つ選べ。なお、式(1)と(2)以外の反応は考えないものとする。 23 mol

- ① 0.10      ② 0.20      ③ 0.30      ④ 0.40      ⑤ 0.50  
⑥ 0.60      ⑦ 0.70      ⑧ 0.80      ⑨ 0.90

問 3 次の文章を読み、後の問い(a～c)に答えよ。

天然の有機化合物にも顔料や染料として用いられているものがある。藍は、<sup>あい</sup>「青は藍より出<sup>いで</sup>て藍より青し」と『荀子』にあるように、古来より使用されてきた染料である。日本では、タデ科植物のアイ(藍)などから得られるインジゴが藍染めに利用されてきた。インジゴの構造式を図1に示す。

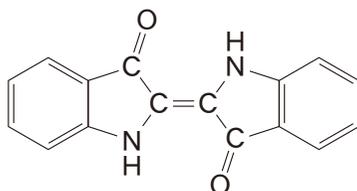


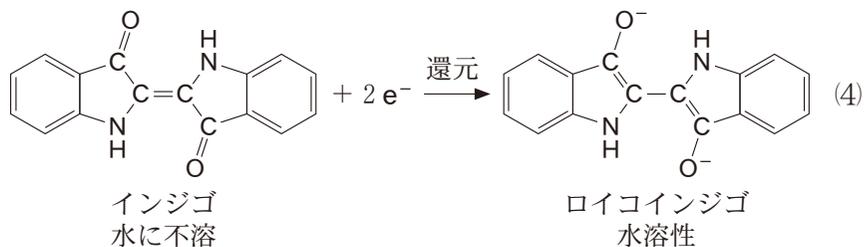
図1 インジゴの構造式

インジゴは水に不溶であり、このままでは染色に用いることができないが、塩基性の条件で適切な還元剤を使用すると、(a)還元されて水に溶けるようになる。この水溶液に繊維を浸けてから、空気にさらすと(b)酸化されて、水に不溶なインジゴに戻るため、繊維を水洗いしても色落ちしない。

現在ではインジゴを含め、さまざまな染料が人工合成されるようになっており、その代表的なものとしてアゾ化合物がある。アゾ化合物は繊維等を染める目的以外にも利用され、例えば化学分野では、(c)メチルオレンジが中和滴定の指示薬として用いられている。

## 化 学

- a 下線部(a)について、水に不溶なインジゴは、次の式(3)と(4)に示すように、還元剤である亜ジチオン酸ナトリウム  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  の塩基性水溶液により、水溶性のロイコインジゴに還元される。



いま、インジゴをロイコインジゴに変換して水に溶解させるのに必要な  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  (式量 174) の量を求めるために、次の実験を行った。

**実験** 図2に示すように、1.0 mol/Lの水酸化ナトリウム  $\text{NaOH}$  水溶液 200 mLに、質量  $x$  (g)の粉末のインジゴ(分子量 262)を加える。これを加熱してよくかき混ぜながら、0.20 mol/Lの  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  水溶液を滴下し、インジゴの粉末がすべて消失するまでに加えた  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  水溶液の滴下量  $V$  (mL)を測定した。

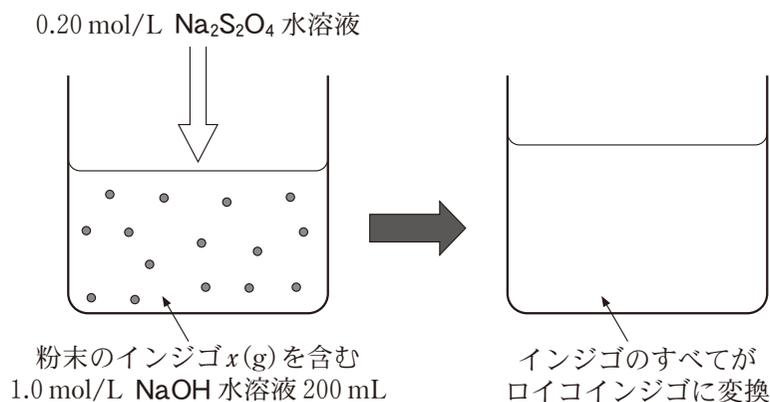
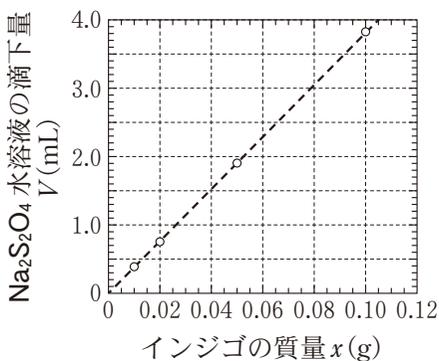


図2 インジゴをロイコインジゴに変換して水に溶解させる実験

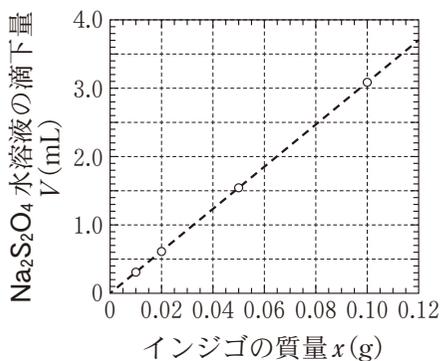
インジゴの質量  $x$ (g) が、それぞれ 0.010 g, 0.020 g, 0.050 g, 0.10 g であるときに、加えた  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  水溶液の滴下量  $V$ (mL) を表したグラフとして最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし、この実験において式(3)と(4)以外の反応は考えないものとする。

24

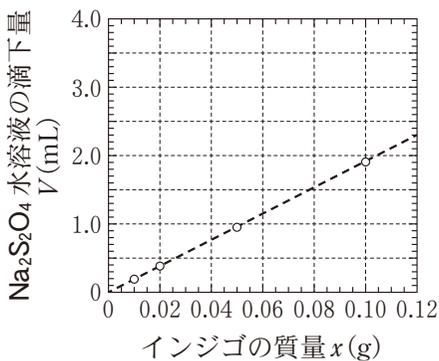
①



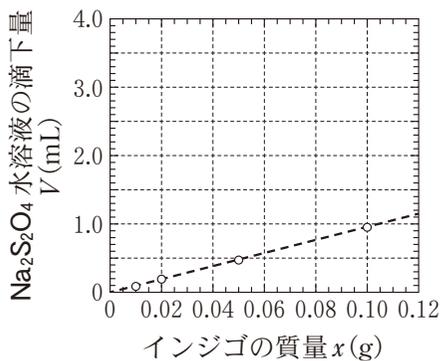
②



③



④



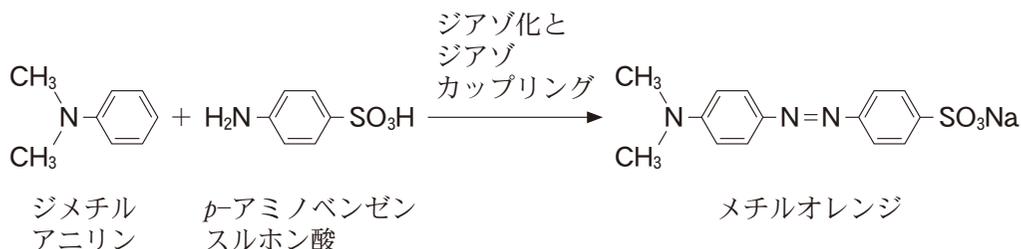
## 化 学

- b インジゴの染色では下線部(a), (b)のように, 酸化還元反応を利用している。次の記述において下線部の有機化合物が酸化も還元もされないものはどれか。最も適当なものを, 次の①~④のうちから一つ選べ。 25

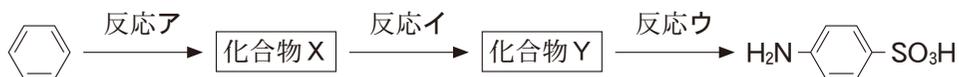
- ① 2-プロパノール  $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$  に硫酸酸性の二クロム酸カリウム水溶液を加えて反応させる。
- ② マルトース(麦芽糖)  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$  の水溶液にフェーリング液を加えて加熱しながら反応させる。
- ③ ニトロベンゼン  $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$  をニッケルの触媒を用いて高温で水素と反応させる。
- ④ 安息香酸  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  のメタノール溶液に触媒として少量の濃硫酸を加えて加熱しながら反応させる。

## 化学

- c 下線部(c)のメチルオレンジは、ジメチルアニリンと *p*-アミノベンゼンスルホン酸から得たジアゾニウム塩とのジアゾカップリングにより合成される。



*p*-アミノベンゼンスルホン酸はベンゼンを原料として、化合物 X と Y を経由して、3段階の反応で合成できる。



このとき用いられる反応ア、イ、ウの組合せとして最も適当なものを、後の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし、ベンゼンの一置換体の置換反応は、次の性質Ⅰ～Ⅲを示すものとする。 26

- Ⅰ ベンゼンスルホン酸をニトロ化すると、*m*-（メタ）の位置にニトロ基が置換された化合物が生成しやすい。
- Ⅱ ニトロベンゼンをスルホン化すると、*m*-（メタ）の位置にスルホ基が置換された化合物が生成しやすい。
- Ⅲ アニリンをスルホン化すると、*p*-（パラ）の位置にスルホ基が置換された化合物が生成しやすい。

	反応ア	反応イ	反応ウ
①	スルホン化	ニトロ化	還 元
②	スルホン化	還 元	ニトロ化
③	ニトロ化	スルホン化	還 元
④	ニトロ化	還 元	スルホン化
⑤	還 元	スルホン化	ニトロ化
⑥	還 元	ニトロ化	スルホン化

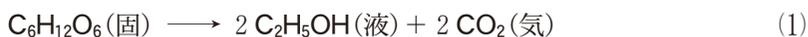
# 化 学

「新教育課程履修者」は、第 5 問を解答しなさい。

「旧教育課程履修者等」は、第 5 問又は第 6 問のいずれかを選択し、解答しなさい。

## 第 5 問 次の問い(問 1～4)に答えよ。(配点 20)

問 1 グルコースのアルコール発酵は、酵素のはたらきでグルコースがエタノールと二酸化炭素に分解する反応である。式(1)に示すグルコースの分解反応の、25℃、 $1.013 \times 10^5$  Pa におけるエンタルピー変化  $\Delta H$  は何 kJ か。また、この反応は発熱反応・吸熱反応のいずれか。その組合せとして最も適当なものを、後の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし、グルコースとエタノールの燃焼エンタルピーは、25℃、 $1.013 \times 10^5$  Pa においてそれぞれ、 $-2803$  kJ/mol と  $-1368$  kJ/mol である。 27



	エンタルピー変化 $\Delta H$ (kJ)	発熱反応か吸熱反応か
①	-1435	発熱反応
②	-1435	吸熱反応
③	-67	発熱反応
④	-67	吸熱反応
⑤	67	発熱反応
⑥	67	吸熱反応
⑦	1435	発熱反応
⑧	1435	吸熱反応

問 2 濃度が不明で pH が 9.3 の、炭酸水素ナトリウム  $\text{NaHCO}_3$  と炭酸ナトリウム  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  の混合水溶液が 100 mL ある。この水溶液中に含まれる炭酸水素イオン  $\text{HCO}_3^-$  の濃度は、pH を測定しながら 1.00 mol/L の塩酸を滴下することにより求められる。

塩酸を 0.50 mL 滴下したときに pH は 8.3 となり、さらに滴下を続けると、滴下量が合計で 6.00 mL に達したときに pH は 4.0 となった。pH が 9.3 から 8.3 になるまでは式(2)の反応のみが進み、pH が 8.3 ですべての  $\text{CO}_3^{2-}$  が  $\text{HCO}_3^-$  に変化したとみなせる。pH が 8.3 から 4.0 になるまでは式(3)の反応が進み、pH が 4.0 ですべての  $\text{HCO}_3^-$  が  $\text{H}_2\text{O}$  と  $\text{CO}_2$  に変化したとみなせる。滴下前の水溶液中の  $\text{HCO}_3^-$  の濃度は何 mol/L か。最も適当な数値を、後の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし、式(2)と(3)以外の反応は無視できるものとする。 28 mol/L



- |                         |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| ① $5.00 \times 10^{-3}$ | ② $5.50 \times 10^{-3}$ | ③ $6.00 \times 10^{-3}$ |
| ④ $5.00 \times 10^{-2}$ | ⑤ $5.50 \times 10^{-2}$ | ⑥ $6.00 \times 10^{-2}$ |

## 化学

問 3 同じ物質の水素  $\text{H}_2$  とヨウ素  $\text{I}_2$  を体積一定の容器に入れ、ある一定温度に保つと、式(4)の反応が平衡状態に達した。この平衡状態に至るまでのヨウ化水素  $\text{HI}$  の物質量は、時間の経過とともに図 1 に示すように変化した。



同様の実験を、反応条件を条件Ⅰまたは条件Ⅱのように変えて行い、 $\text{HI}$  の物質量の時間変化を測定した。その結果を図 1 に重ねて実線で示したのとして最も適当なものを、後の①～⑤のうちからそれぞれ一つずつ選べ。なお、正反応の反応速度  $v_1$  と逆反応の反応速度  $v_2$  は、 $v_1 = k_1[\text{H}_2][\text{I}_2]$ 、 $v_2 = k_2[\text{HI}]^2$  で表され、平衡定数は 64 であるとする。ここで、 $k_1$ 、 $k_2$  は、それぞれ正反応、逆反応の反応速度定数であり、 $[\text{H}_2]$ 、 $[\text{I}_2]$ 、 $[\text{HI}]$  は、それぞれ  $\text{H}_2$ 、 $\text{I}_2$ 、 $\text{HI}$  のモル濃度である。

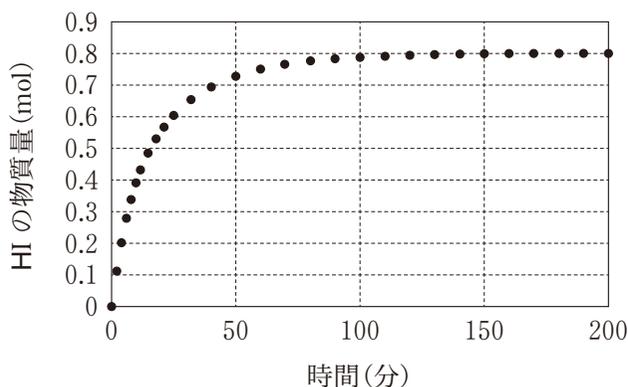
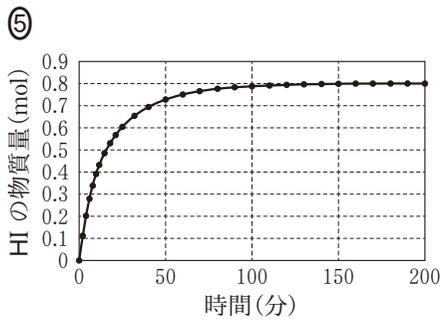
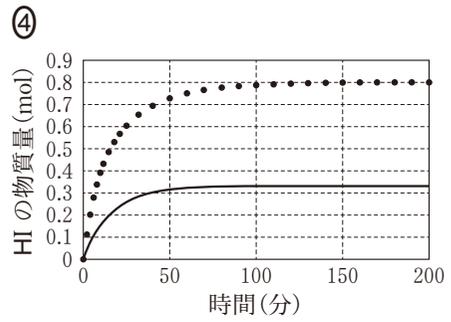
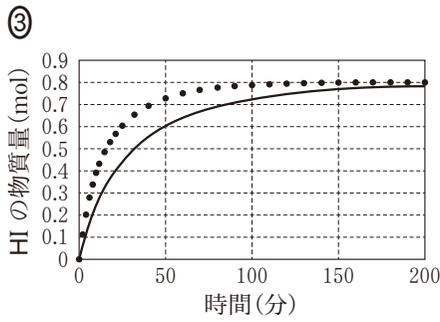
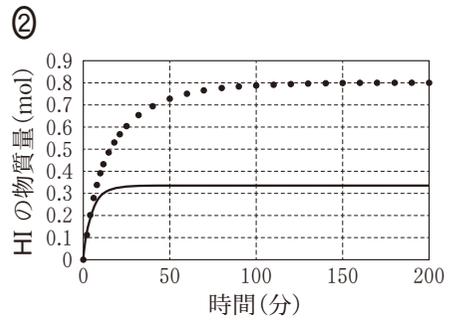
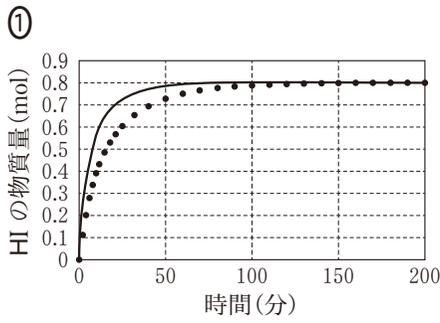


図 1 HI の物質量の時間変化

条件Ⅰ 容器の体積を 2 倍にした。

条件Ⅱ 容器に入れる  $\text{H}_2$  と  $\text{I}_2$  の物質量を変え、反応開始時の  $\text{H}_2$  のモル濃度を 3 倍、 $\text{I}_2$  のモル濃度を  $\frac{1}{3}$  倍にした。



## 化学

問 4 食塩の製造過程で広く用いられているイオン交換膜法による海水の濃縮装置の模式図を図 2 に示す。陰イオン交換膜，陽イオン交換膜はそれぞれ陰イオン，陽イオンを選択的に透過させる膜である。これらを交互に配列して仕切った電解槽に海水を満たし，両端に直流電圧をかけると，陽極で塩化物イオン  $\text{Cl}^-$  が酸化により減少，陰極で水  $\text{H}_2\text{O}$  の還元により水酸化物イオン  $\text{OH}^-$  が増加し，この両極間の電荷の偏りを打ち消すようにイオンが移動する。このときイオン交換膜の性質によってイオンが減少する希釈室 1・希釈室 2 と，イオンが増加する濃縮室に分かれ，濃縮室から塩化ナトリウム  $\text{NaCl}$  が濃縮された海水を得ることができる。イオン交換膜法による海水の濃縮に関する後の問い (a・b) に答えよ。

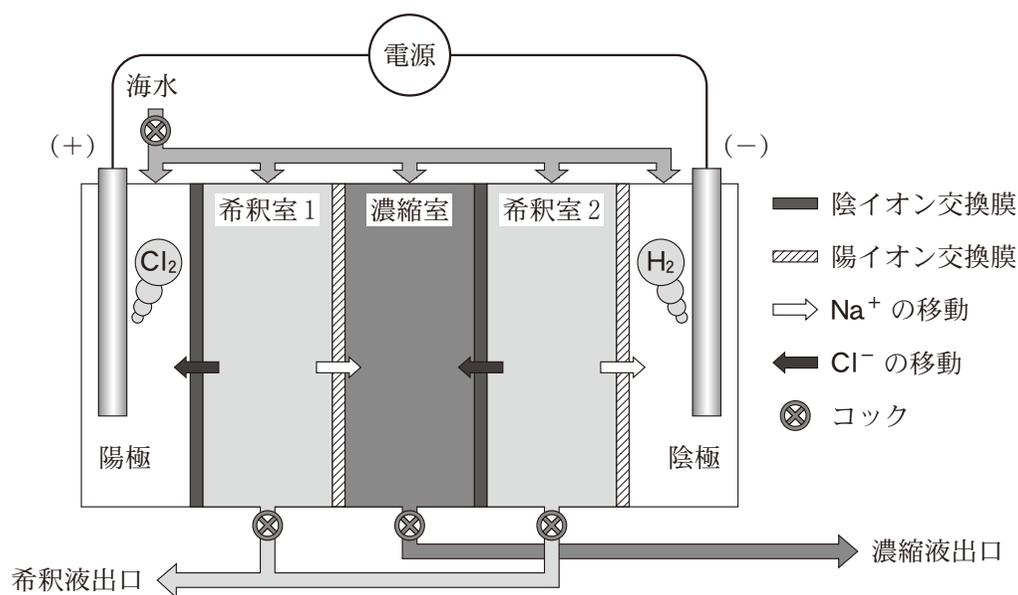


図 2 イオン交換膜法による海水の濃縮装置の模式図

a 陰イオン交換膜が  $\text{Cl}^-$  を選択的に透過させる様子を，図 3 に示す模式図を用いて次のように考える。

$\text{Cl}^-$  を選択的に透過させる陰イオン交換膜は，膜を貫通する細孔を多数もつ膜状の陰イオン交換樹脂に対して，陰イオンをあらかじめ  $\text{Cl}^-$  に交換したものである。電解槽の両端に直流電圧をかけると膜の両側に電位差が生じ，膜の陰極側の溶液中にある  $\text{Cl}^-$  は細孔に吸い込まれ，細孔内の  $\text{Cl}^-$  が陽極側に移動し，細孔の陽極側からは溶液中に  $\text{Cl}^-$  が放出される。陽極側溶液中のナトリウムイオン  $\text{Na}^+$  は膜の表面に引き寄せられるが，官能基 X との相互作用のために細孔内に入り込むことはできない。

$\text{Cl}^-$  を選択的に透過させる官能基 X として最も適当なものを，後の①～④のうちから一つ選べ。 31

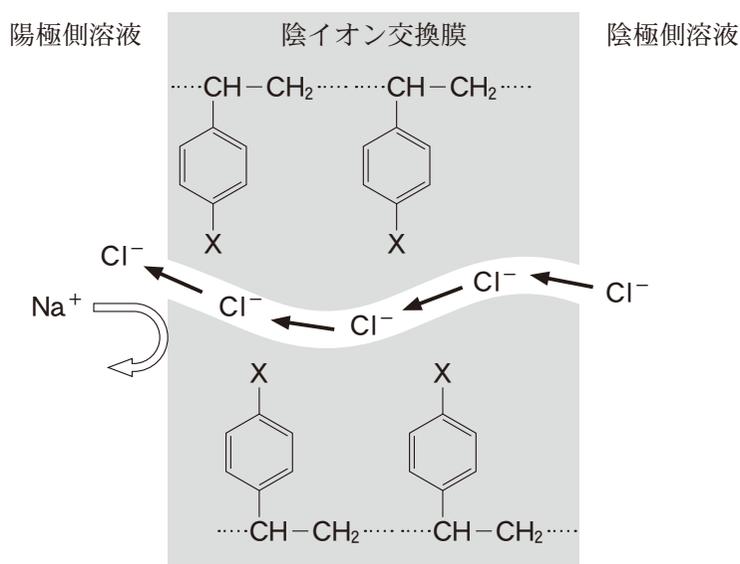


図 3  $\text{Cl}^-$  の陰イオン交換膜透過の模式図

- ①  $-\text{CH}_3$       ②  $-\text{CH}_2\text{N}^+(\text{CH}_3)_3$       ③  $-\text{SO}_3^-$       ④  $-\text{NO}_2$

## 化 学

- b 体積がそれぞれ  $V(\text{L})$  である希釈室 1, 濃縮室, 希釈室 2 を, モル濃度が  $x(\text{mol/L})$  である  $\text{NaCl}$  水溶液で満たす。電流を流して濃縮室の  $\text{NaCl}$  の物質量を希釈室 1 の  $\text{NaCl}$  の物質量の 2 倍にするのに必要な電気量はいくらか。このときの電気量  $Q(\text{C})$  を表す式として最も適当なものを, 後の①~⑥のうちから一つ選べ。ただし,  $\text{NaCl}$  水溶液中の  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  以外のイオン, および溶液の体積変化は無視できるものとし, ファラデー定数を  $F(\text{C/mol})$  とする。

$$Q = \boxed{32}$$

①  $\frac{xV}{F}$

②  $\frac{xV}{2F}$

③  $\frac{xV}{3F}$

④  $xVF$

⑤  $\frac{xVF}{2}$

⑥  $\frac{xVF}{3}$

## 化 学

「新教育課程履修者」は、第 6 問を解答してはいけません。

「旧教育課程履修者等」は、第 5 問又は第 6 問のいずれかを選択し、解答しなさい。

第 6 問を選択する場合は、解答用紙の解答番号の  ～  の解答欄は空欄になります。

### 第 6 問 次の問い(問 1～4)に答えよ。(配点 20)

問 1 グルコースのアルコール発酵は、酵素のはたらきでグルコースがエタノールと二酸化炭素に分解する反応である。式(1)にグルコースの分解反応の熱化学方程式を示す。式(1)中の反応熱  $Q$  は何 kJ か。また、この反応は発熱反応・吸熱反応のいずれか。その組合せとして最も適当なものを、後の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし、グルコースとエタノールの燃焼熱はそれぞれ、2803 kJ/mol と 1368 kJ/mol である。



	反応熱 $Q$ (kJ)	発熱反応か吸熱反応か
①	- 1435	発熱反応
②	- 1435	吸熱反応
③	- 67	発熱反応
④	- 67	吸熱反応
⑤	67	発熱反応
⑥	67	吸熱反応
⑦	1435	発熱反応
⑧	1435	吸熱反応

## 化学

問2 濃度が不明で pH が 9.3 の、炭酸水素ナトリウム  $\text{NaHCO}_3$  と炭酸ナトリウム  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  の混合水溶液が 100 mL ある。この水溶液中に含まれる炭酸水素イオン  $\text{HCO}_3^-$  の濃度は、pH を測定しながら 1.00 mol/L の塩酸を滴下することにより求められる。

塩酸を 0.50 mL 滴下したときに pH は 8.3 となり、さらに滴下を続けると、滴下量が合計で 6.00 mL に達したときに pH は 4.0 となった。pH が 9.3 から 8.3 になるまでは式(2)の反応のみが進み、pH が 8.3 ですべての  $\text{CO}_3^{2-}$  が  $\text{HCO}_3^-$  に変化したとみなせる。pH が 8.3 から 4.0 になるまでは式(3)の反応が進み、pH が 4.0 ですべての  $\text{HCO}_3^-$  が  $\text{H}_2\text{O}$  と  $\text{CO}_2$  に変化したとみなせる。滴下前の水溶液中の  $\text{HCO}_3^-$  の濃度は何 mol/L か。最も適当な数値を、後の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし、式(2)と(3)以外の反応は無視できるものとする。  mol/L



①  $5.00 \times 10^{-3}$                       ②  $5.50 \times 10^{-3}$                       ③  $6.00 \times 10^{-3}$

④  $5.00 \times 10^{-2}$                       ⑤  $5.50 \times 10^{-2}$                       ⑥  $6.00 \times 10^{-2}$

## 化学

問 3 同じ物質の水素  $\text{H}_2$  とヨウ素  $\text{I}_2$  を体積一定の容器に入れ、ある一定温度に保つと、式(4)の反応が平衡状態に達した。この平衡状態に至るまでのヨウ化水素  $\text{HI}$  の物質量は、時間の経過とともに図 1 に示すように変化した。



同様の実験を、反応条件を条件Ⅰまたは条件Ⅱのように変えて行い、 $\text{HI}$  の物質量の時間変化を測定した。その結果を図 1 に重ねて実線で示したのとして最も適当なものを、後の①～⑤のうちからそれぞれ一つずつ選べ。なお、正反応の反応速度  $v_1$  と逆反応の反応速度  $v_2$  は、 $v_1 = k_1[\text{H}_2][\text{I}_2]$ 、 $v_2 = k_2[\text{HI}]^2$  で表され、平衡定数は 64 であるとする。ここで、 $k_1$ 、 $k_2$  は、それぞれ正反応、逆反応の反応速度定数であり、 $[\text{H}_2]$ 、 $[\text{I}_2]$ 、 $[\text{HI}]$  は、それぞれ  $\text{H}_2$ 、 $\text{I}_2$ 、 $\text{HI}$  のモル濃度である。

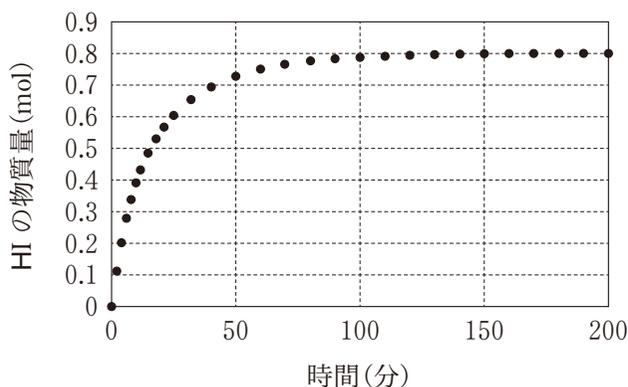


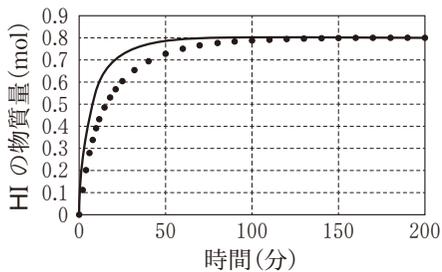
図 1 HI の物質量の時間変化

条件Ⅰ 容器の体積を 2 倍にした。

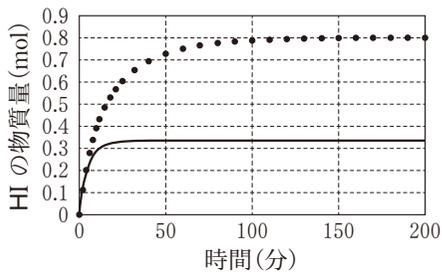
条件Ⅱ 容器に入れる  $\text{H}_2$  と  $\text{I}_2$  の物質量を変え、反応開始時の  $\text{H}_2$  のモル濃度を 3 倍、 $\text{I}_2$  のモル濃度を  $\frac{1}{3}$  倍にした。

化学

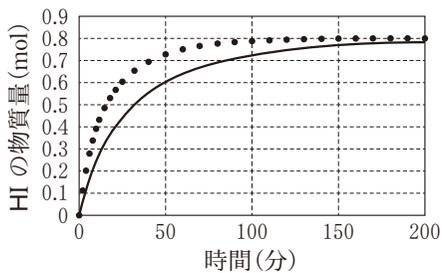
①



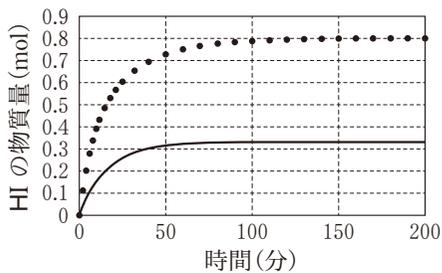
②



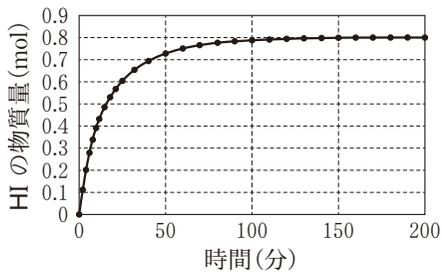
③



④



⑤



## 化学

問 4 食塩の製造過程で広く用いられているイオン交換膜法による海水の濃縮装置の模式図を図 2 に示す。陰イオン交換膜，陽イオン交換膜はそれぞれ陰イオン，陽イオンを選択的に透過させる膜である。これらを交互に配列して仕切った電解槽に海水を満たし，両端に直流電圧をかけると，陽極で塩化物イオン  $\text{Cl}^-$  が酸化により減少，陰極で水  $\text{H}_2\text{O}$  の還元により水酸化物イオン  $\text{OH}^-$  が増加し，この両極間の電荷の偏りを打ち消すようにイオンが移動する。このときイオン交換膜の性質によってイオンが減少する希釈室 1・希釈室 2 と，イオンが増加する濃縮室に分かれ，濃縮室から塩化ナトリウム  $\text{NaCl}$  が濃縮された海水を得ることができる。イオン交換膜法による海水の濃縮に関する後の問い (a・b) に答えよ。

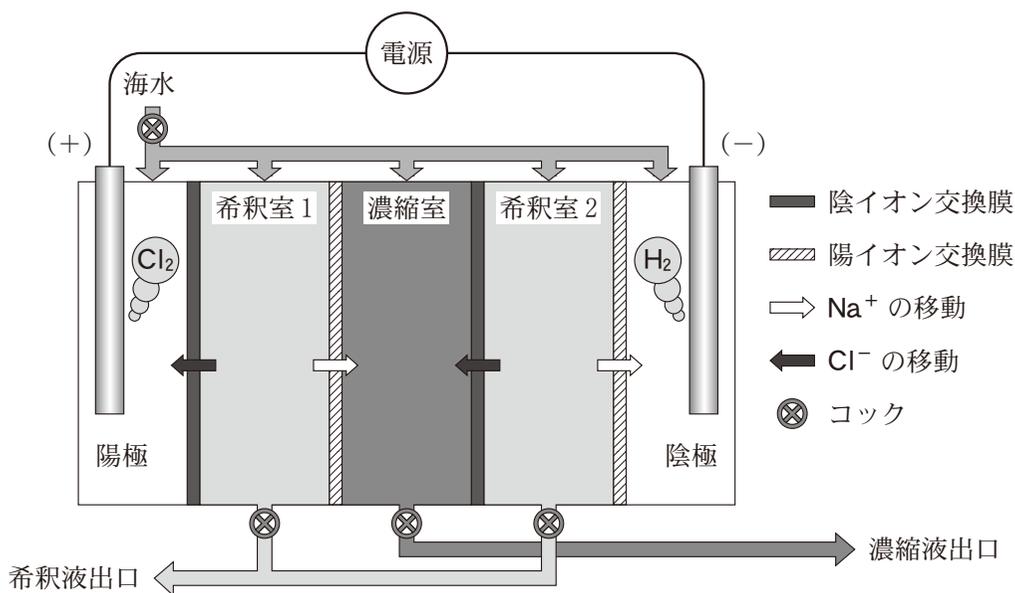


図 2 イオン交換膜法による海水の濃縮装置の模式図

化学

- a 陰イオン交換膜が  $\text{Cl}^-$  を選択的に透過させる様子を、図3に示す模式図を用いて次のように考える。

$\text{Cl}^-$  を選択的に透過させる陰イオン交換膜は、膜を貫通する細孔を多数もつ膜状の陰イオン交換樹脂に対して、陰イオンをあらかじめ  $\text{Cl}^-$  に交換したものである。電解槽の両端に直流電圧をかけると膜の両側に電位差が生じ、膜の陰極側の溶液中にある  $\text{Cl}^-$  は細孔に吸い込まれ、細孔内の  $\text{Cl}^-$  が陽極側に移動し、細孔の陽極側からは溶液中に  $\text{Cl}^-$  が放出される。陽極側溶液中のナトリウムイオン  $\text{Na}^+$  は膜の表面に引き寄せられるが、官能基 X との相互作用のために細孔内に入り込むことはできない。

$\text{Cl}^-$  を選択的に透過させる官能基 X として最も適当なものを、後の①～④のうちから一つ選べ。 37

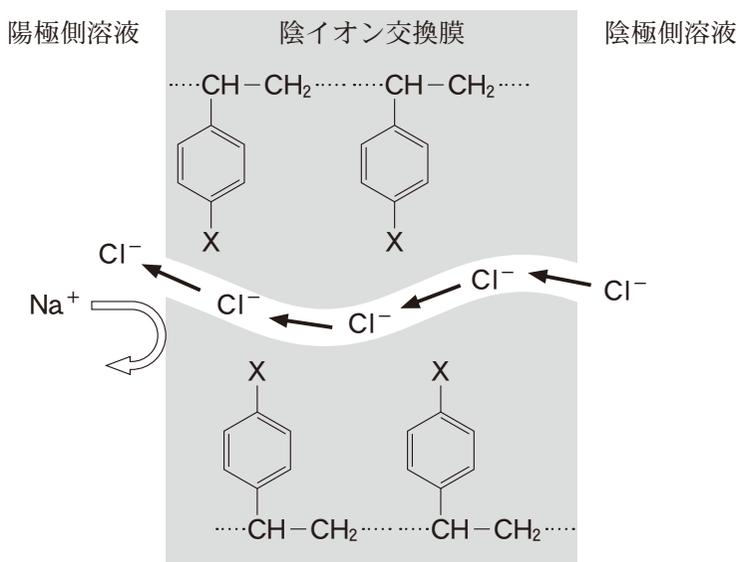


図3  $\text{Cl}^-$  の陰イオン交換膜透過の模式図

- ①  $-\text{CH}_3$       ②  $-\text{CH}_2\text{N}^+(\text{CH}_3)_3$       ③  $-\text{SO}_3^-$       ④  $-\text{NO}_2$

## 化 学

- b 体積がそれぞれ  $V$ (L)である希釈室1, 濃縮室, 希釈室2を, モル濃度が  $x$ (mol/L)である NaCl 水溶液で満たす。電流を流して濃縮室の NaCl の物質量を希釈室1の NaCl の物質量の2倍にするのに必要な電気量はいくらか。このときの電気量  $Q$ (C)を表す式として最も適当なものを, 後の①~⑥のうちから一つ選べ。ただし, NaCl 水溶液中の  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  以外のイオン, および溶液の体積変化は無視できるものとし, ファラデー定数を  $F$ (C/mol)とする。

$$Q = \boxed{38}$$

①  $\frac{xV}{F}$

②  $\frac{xV}{2F}$

③  $\frac{xV}{3F}$

④  $xVF$

⑤  $\frac{xVF}{2}$

⑥  $\frac{xVF}{3}$