

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 |
| Na | 23 | Al | 27 | Si | 28 | Fe | 56 |

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 次の記述(ア・イ)の両方に当てはまるものを、下の①~⑤のうちから一つ選べ。

ア 二重結合をもつ分子

イ 非共有電子対を4組もつ分子

- ① 酢酸 ② ジエチルエーテル ③ エテン(エチレン)
④ 塩化ビニル ⑤ 1,2-エタンジオール(エチレングリコール)

問 2 容積 x (L) の容器 A と容積 y (L) の容器 B がコックでつながれている。容器 A には 1.0×10^5 Pa の窒素が、容器 B には 3.0×10^5 Pa の酸素が入っている。コックを開いて二つの気体を混合したとき、全圧が 2.0×10^5 Pa になった。 x と y の比 $x:y$ として最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。ただし、コック部の容積は無視する。また、容器 A、B に入っている気体の温度は同じであり、混合の前後で変わらないものとする。 2

- ① 3 : 1 ② 2 : 1 ③ 1 : 1 ④ 1 : 2 ⑤ 1 : 3

化 学

問 3 水中のコロイド粒子に関する次の文章中の **ア** ~ **ウ** に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを、下の①~⑧のうちから一つ選べ。

3

界面活性剤 **A** ($\text{C}_{12}\text{H}_{25}-\text{OSO}_3^-\text{Na}^+$) は合成洗剤として使われており、濃度が $8.2 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ 以上になると多数の **A** が集合したミセルとよばれるコロイド粒子になる。これは **ア** である。濃度が $1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$ の **A** の溶液はチンダル現象を **イ**。また、この溶液に電極を入れて電気泳動を行うと、**A** のミセルは **ウ** 側に移動する。

| | ア | イ | ウ |
|---|--------|------|----|
| ① | 分子コロイド | 示す | 陽極 |
| ② | 分子コロイド | 示す | 陰極 |
| ③ | 分子コロイド | 示さない | 陽極 |
| ④ | 分子コロイド | 示さない | 陰極 |
| ⑤ | 会合コロイド | 示す | 陽極 |
| ⑥ | 会合コロイド | 示す | 陰極 |
| ⑦ | 会合コロイド | 示さない | 陽極 |
| ⑧ | 会合コロイド | 示さない | 陰極 |

化 学

問 4 クロマトグラフィーに関する次の文章を読み、下の問い(a・b)に答えよ。

シリカゲルを塗布したガラス板(薄層板)を用いる薄層クロマトグラフィーは、物質の分離に広く利用されている。この手法ではまず、分離したい物質の混合物の溶液を上記の薄層板につけて乾燥させる。その後、図1のように薄層板の一端を有機溶媒に浸すと、有機溶媒が薄層板上昇する。この際、適切な有機溶媒を選択すると、主にシリカゲルへの吸着のしやすさの違いにより、混合物を分離できる。

図1には、3種類の化合物A~Cを同じ物質質量ずつ含む混合物の溶液をつけ、溶媒を蒸発させて取り除いた薄層板を2枚用意し、有機溶媒として薄層板1にはヘキサンを、また薄層板2にはヘキサンと酢酸エチルを体積比9:1で混合した溶媒(酢酸エチルを含むヘキサン)を用いて分離実験を行った結果を示している。

a 図1の実験結果とその考察に関する次の記述(I・II)について、正誤の組合せとして最も適当なものを、下の①~④のうちから一つ選べ。

| |
|---|
| 4 |
|---|

I Aの方がBよりもシリカゲルに吸着しやすい。

II BとCを分離するための有機溶媒としては、酢酸エチルを含むヘキサンが、ヘキサンよりも適している。

| | I | II |
|---|---|----|
| ① | 正 | 正 |
| ② | 正 | 誤 |
| ③ | 誤 | 正 |
| ④ | 誤 | 誤 |

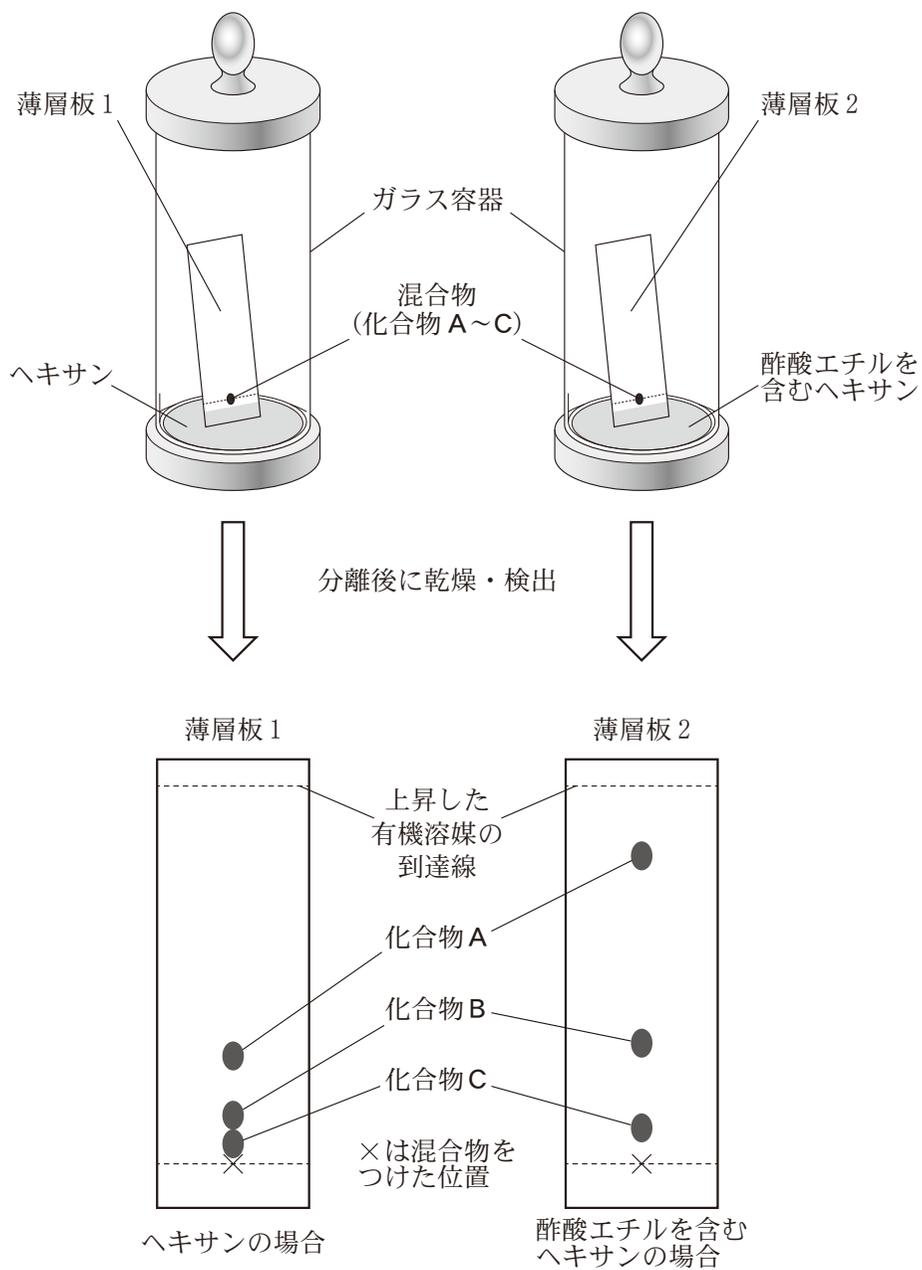


図 1 薄層クロマトグラフィーによる混合物の分離実験

化 学

- b 溶液中で化合物 D を反応させ、化合物 E の合成を行った。この反応溶液を X とする。反応の進行を確認するために、図 2 のように純粋な D の溶液、E の溶液および X の一部を薄層板に並列につけ、溶媒を蒸発させて取り除いた後、適切な有機溶媒を用いて分離実験を行った。反応開始直後、反応途中および反応終了後の結果は、図 2 (a)~(c) のようになった。ただし、分離実験中には反応が進行しないものとする。

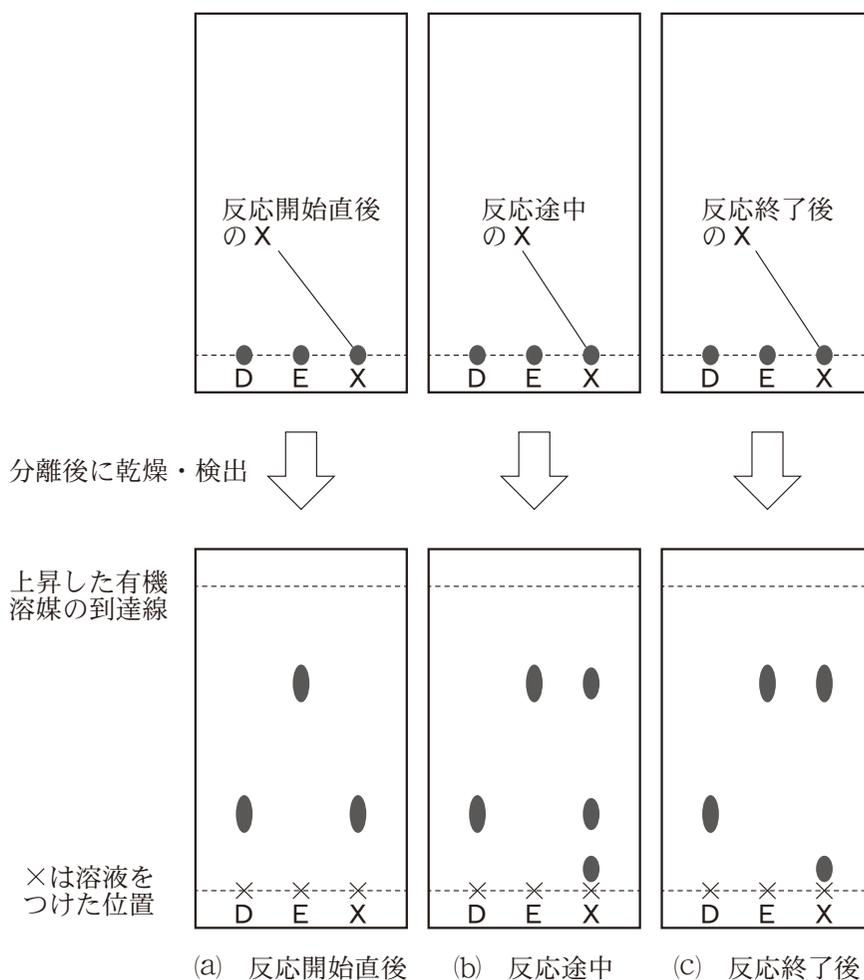


図 2 薄層クロマトグラフィーによる X の分離実験

図 2 の実験結果とその考察に関する次の記述 (I ~ III) について, 正誤の組合せとして最も適当なものを, 下の①~⑧のうちから一つ選べ。 5

- I 反応開始直後 : E の生成が確認できる。
- II 反応途中 : E の生成と D の残存が確認できる。
- III 反応終了後 : E とは別の物質も生成したと考えられる。

| | I | II | III |
|---|---|----|-----|
| 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 |

化学

第2問 次の問い(問1～3)に答えよ。(配点 20)

問1 鉄の腐食は、鉄のイオン化によって引き起こされる。このため、橋脚などの鉄柱には鉄のイオン化を防ぐため、金属のイオン化傾向や電池の原理が応用されている。

図1に示した、ZnやSnを用いた実験の装置ア～エのうち、Feがイオン化されにくい装置が二つある。その組合せとして最も適当なものを、下の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし、ウ、エでは食塩水中を流れる電流は微小であり、電気分解はほとんど起こらないものとする。

6

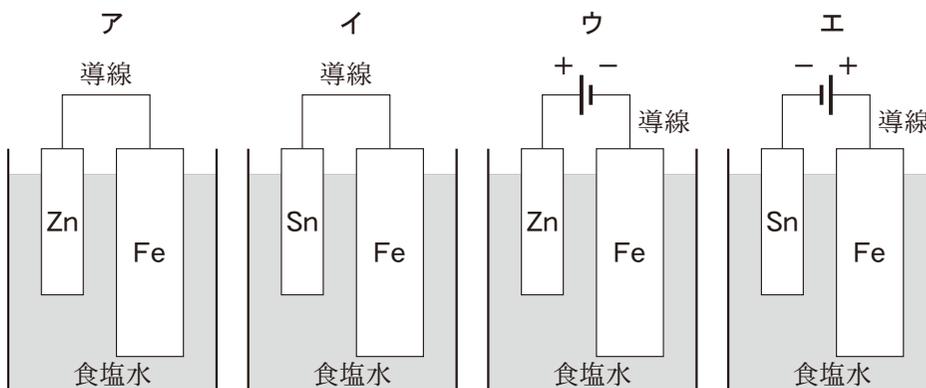


図1 鉄のイオン化を防ぐ実験の装置

- | | | |
|--------|--------|--------|
| ① ア, イ | ② ア, ウ | ③ ア, エ |
| ④ イ, ウ | ⑤ イ, エ | ⑥ ウ, エ |

問 2 水溶液の緩衝作用に関する次の文章中の **ア** ~ **ウ** に当てはまる物質またはイオンとして最も適当なものを、下の①~⑨のうちから一つずつ選べ。

ア

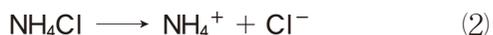
イ

ウ

NH_3 は弱塩基で、水溶液中ではその一部が反応して、次のような電離平衡となる。



NH_4Cl は、水溶液中ではほぼ完全に電離している。



同じ物質量の NH_3 と NH_4Cl を両方溶かした混合水溶液に、少量の塩酸を加えた場合、 H^+ が **ア** と反応して **イ** となるので、pH はあまり変化しない。また、少量の NaOH 水溶液を加えた場合には、 OH^- が **イ** と反応して **ア** と **ウ** を生成するので、この場合も pH はあまり変化しない。

- ① HCl ② NaOH ③ H^+ ④ Cl^- ⑤ Na^+
 ⑥ OH^- ⑦ NH_3 ⑧ H_2O ⑨ NH_4^+

化学

問 3 N_2 と H_2 から NH_3 が生成する反応



について、次の問い(a～c)に答えよ。

- a 式(1)の反応における反応熱、および結合エネルギーの関係を図2に示す。
 NH_3 分子の N-H 結合 1 mol あたりの結合エネルギーは何 kJ か。最も適当な
 数値を、下の①～⑤のうちから一つ選べ。 10 kJ

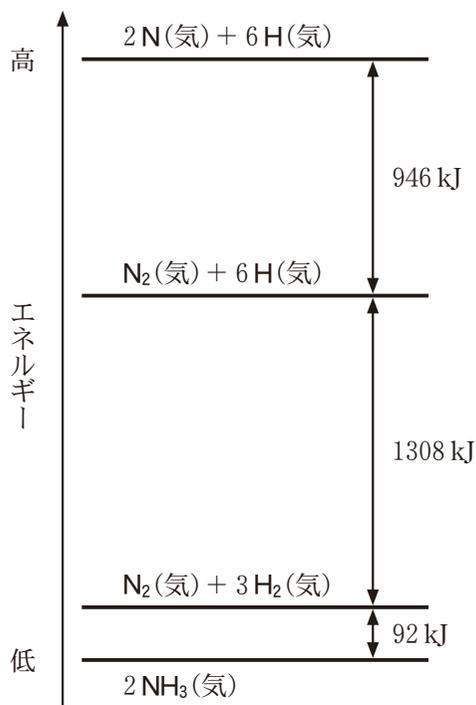


図2 NH_3 の生成における反応熱、および結合エネルギーの関係

- ① 46 ② 391 ③ 782 ④ 1173 ⑤ 2346

- b 式(1)の反応について文献を調べたところ、次の記述(ア～エ)および図3に示すエネルギー変化が掲載されていた。これらと図2をもとに、この反応のしくみや触媒のはたらきに関する次ページの記述(I～III)について、正誤の組合せとして最も適当なものを、次ページの①～⑧のうちから一つ選べ。

11

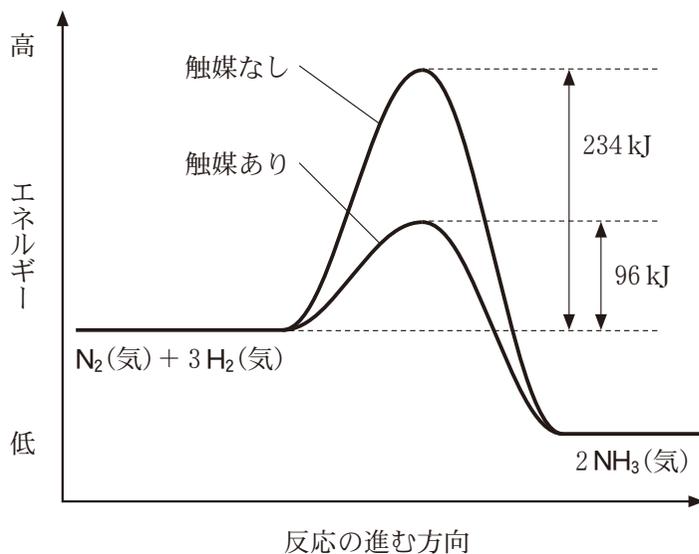
文献調査のまとめ

触媒がないとき

- ア 式(1)の反応は、いくつかの反応段階を経て進行する。
イ 正反応の活性化エネルギーは、234 kJである。

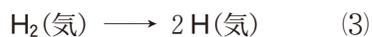
触媒があるとき

- ウ 式(1)の反応は、いくつかの反応段階を経て進行する。
エ 正反応の活性化エネルギーは、96 kJである。

図3 NH₃の生成反応におけるエネルギー変化

化 学

I 図2と図3より， N_2 、 H_2 分子の結合エネルギーと活性化エネルギーを比較すると，式(1)の反応は気体状態で次の反応段階を経ていないことがわかる。



II 図3より，触媒のあるときもないときも，逆反応の活性化エネルギーは正反応よりも大きいことがわかる。

III 図3より，反応熱の大きさは，触媒の有無にかかわらず，変わらないことがわかる。

| | I | II | III |
|---|---|----|-----|
| 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 |

- c N_2 とその 3 倍の物質量の H_2 を混合して、 $500\text{ }^\circ\text{C}$ で平衡状態にしたときの全圧と NH_3 の体積百分率(生成率)の関係を図 4 に示す。触媒を入れた容積一定の反応容器に N_2 0.70 mol, H_2 2.10 mol を入れて $500\text{ }^\circ\text{C}$ に保ったところ平衡に達し、全圧が $5.8 \times 10^7\text{ Pa}$ になった。このとき、生成した NH_3 の物質量は何 mol か。最も適当な数値を、下の①~⑤のうちから一つ選べ。

mol

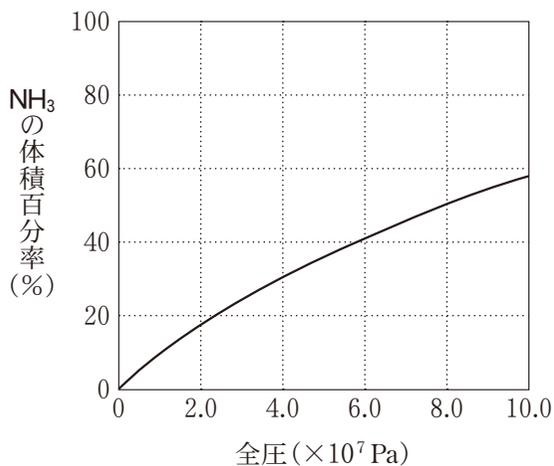


図 4 $500\text{ }^\circ\text{C}$ における平衡状態での全圧と NH_3 の体積百分率の関係

- ① 0.40 ② 0.80 ③ 1.10
 ④ 1.40 ⑤ 2.80

化 学

第 3 問 次の問い(問 1 ~ 4)に答えよ。(配点 20)

問 1 金属元素とその用途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。

| |
|----|
| 13 |
|----|

- ① 第 4 周期の遷移金属元素の原子がもつ最外殻電子数は、1 または 2 である。
- ② 銅は、金や白金と同様、天然に単体として発見されることがある。
- ③ リチウムイオン電池とリチウム電池は、ともに一次電池である。
- ④ 銀鏡反応を応用すると、ガラスなどの金属以外のものにもめっきすることができる。

問 2 Al と Fe の混合物 2.04 g に、十分な量の NaOH 水溶液を加えたところ、 3.00×10^{-2} mol の H_2 が生じた。混合物に含まれていた Fe の質量は何 g か。最も適当な数値を、次の①～⑤のうちから一つ選べ。 g

① 1.23

② 1.50

③ 1.64

④ 1.77

⑤ 1.91

化学

問 3 Ag^+ , Ba^{2+} , Mn^{2+} を含む酸性水溶液に, KI 水溶液, K_2SO_4 水溶液, NaOH 水溶液を適切な順序で加えて, それぞれの陽イオンを別々の沈殿として分離したい。表 1 に, 関連する化合物の水への溶解性を, また図 1 に実験操作の手順を示す。図 1 の操作 1 ~ 3 で加える水溶液の順序を表 2 のア ~ エとするとき, Ag^+ , Ba^{2+} , Mn^{2+} を別々の沈殿として分離できないものはどれか。最も適当なものを, 次ページの① ~ ④のうちから一つ選べ。 15

表 1 化合物の水への溶解性 ○ : 溶ける, × : 溶けにくい

| | | |
|------------------|----------------------------|----------------------------|
| AgI × | Ag_2SO_4 ○ | Ag_2O × |
| BaI_2 ○ | BaSO_4 × | $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ○ |
| MnI_2 ○ | MnSO_4 ○ | $\text{Mn}(\text{OH})_2$ × |

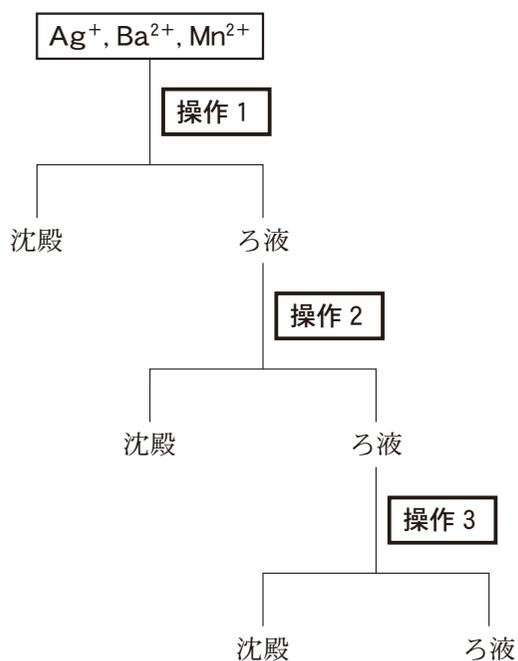


図 1 陽イオンを分離する手順

表 2 操作 1 ~ 3 で加える水溶液の順序

| | 操作 1 | → | 操作 2 | → | 操作 3 |
|---|------------------------------------|---|------------------------------------|---|------------------------------------|
| ア | KI 水溶液 | → | K ₂ SO ₄ 水溶液 | → | NaOH 水溶液 |
| イ | KI 水溶液 | → | NaOH 水溶液 | → | K ₂ SO ₄ 水溶液 |
| ウ | K ₂ SO ₄ 水溶液 | → | KI 水溶液 | → | NaOH 水溶液 |
| エ | K ₂ SO ₄ 水溶液 | → | NaOH 水溶液 | → | KI 水溶液 |

① ア

② イ

③ ウ

④ エ

化 学

問 4 二酸化硫黄 SO_2 を溶かした水溶液の性質を調べた次の**実験**に関連して、下の問い(a・b)に答えよ。

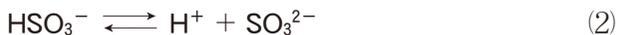
実験 SO_2 を水に通じて得た水溶液Aに試薬Bを加えると、無色透明の溶液が得られた。このことから、水溶液Aが還元作用をもつことがわかった。

a **実験** で用いた試薬Bとして最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

| |
|----|
| 16 |
|----|

- ① ヨウ素溶液(ヨウ素ヨウ化カリウム水溶液)
- ② アルカリ性のフェノールフタレイン水溶液
- ③ 硫酸鉄(Ⅱ)水溶液
- ④ 硫化水素水(硫化水素水溶液)

- b SO₂ を溶かした水溶液の電離平衡を考える。次の式(1)と(2)に示すように、SO₂ は 2 段階で電離する。



これらの電離に対する平衡定数(電離定数)を K_1 と K_2 とすると、式(3)と(4)のようになる。

$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HSO}_3^-]}{[\text{SO}_2]} = 1.2 \times 10^{-2} \text{ mol/L} \quad (3)$$

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{SO}_3^{2-}]}{[\text{HSO}_3^-]} = 6.6 \times 10^{-8} \text{ mol/L} \quad (4)$$

SO₂ の電離が平衡に達したときの [SO₂] を $8.3 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ 、[H⁺] を 0.010 mol/L とすると、[SO₃²⁻] は何 mol/L か。最も適当な数値を、次の①～⑤のうちから一つ選べ。 17 mol/L

- ① 5.5×10^{-6} ② 5.5×10^{-8} ③ 6.6×10^{-8}
 ④ 6.6×10^{-10} ⑤ 9.5×10^{-12}

化 学

第 4 問 次の問い(問 1 ~ 5)に答えよ。(配点 20)

問 1 アルデヒドやケトン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。 18

- ① アセトンは、フェーリング液を還元する。
- ② アセトンにヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて反応させると、ヨードホルムが生じる。
- ③ アセトアルデヒドは、工業的には、触媒を用いたエテン(エチレン)の酸化によりつくられている。
- ④ ホルムアルデヒドは、常温・常圧で気体であり、水によく溶ける。

問 2 分子式 $C_4H_{10}O$ で表される化合物には、鏡像異性体(光学異性体)も含めて 8 個の異性体が存在する。このうち、ナトリウムと反応する異性体はいくつあるか。正しい数を、次の①~⑨のうちから一つ選べ。 19

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

化学

問 3 フェノール，サリチル酸および関連する化合物に関する次の問い(a・b)に答えよ。

a 図1にベンゼンからサリチル酸を合成する経路を示す。化合物A～Cに当てはまる化合物として最も適当なものを，それぞれ次ページの①～⑥のうちから一つずつ選べ。

化合物A

化合物B

化合物C

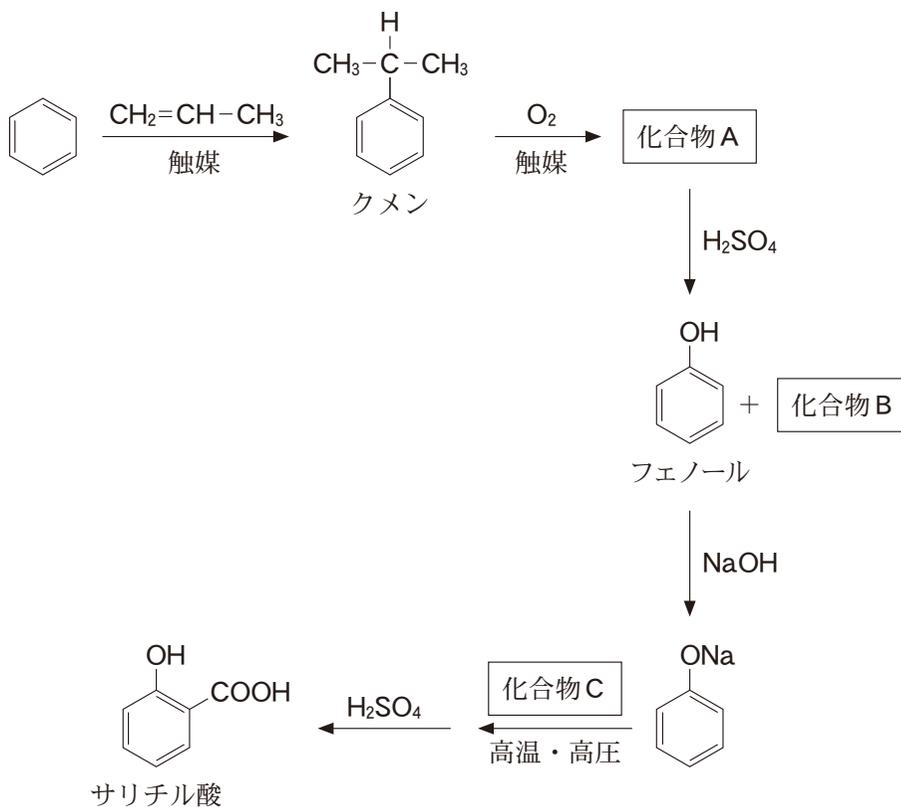
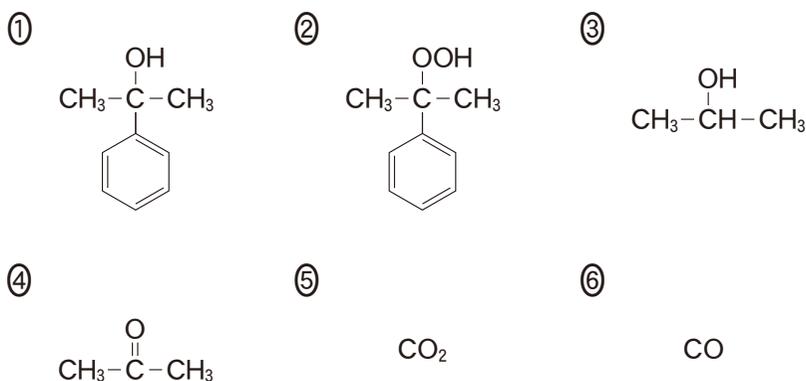


図1 ベンゼンからサリチル酸を合成する経路



- b フェノール，サリチル酸，クメンを含むジエチルエーテル溶液(試料溶液)に，次の操作Ⅰ～Ⅲを行うと，フェノールのみを取り出すことができた。これらの操作で用いた水溶液 X～Z の組合せとして最も適当なものを，下の①～⑥のうちから一つ選べ。 23

操作Ⅰ 試料溶液に，水溶液 X を加えてよく混ぜたのち，エーテル層と水層を分離した。

操作Ⅱ 操作Ⅰで分離したエーテル層に，水溶液 Y を加えてよく混ぜたのち，エーテル層と水層を分離した。

操作Ⅲ 操作Ⅱで分離した水層に，水溶液 Z とジエチルエーテルを加えてよく混ぜたのち，エーテル層と水層を分離した。分離したエーテル層から，ジエチルエーテルを蒸発させるとフェノールが残った。

| | 水溶液 X | 水溶液 Y | 水溶液 Z |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|
| ① | 塩 酸 | NaHCO_3 水溶液 | NaOH 水溶液 |
| ② | 塩 酸 | NaOH 水溶液 | NaHCO_3 水溶液 |
| ③ | NaHCO_3 水溶液 | 塩 酸 | NaOH 水溶液 |
| ④ | NaHCO_3 水溶液 | NaOH 水溶液 | 塩 酸 |
| ⑤ | NaOH 水溶液 | NaHCO_3 水溶液 | 塩 酸 |
| ⑥ | NaOH 水溶液 | 塩 酸 | NaHCO_3 水溶液 |

化 学

問 4 図 2 に示すビニル基をもつ化合物 A を、単量体(モノマー)として付加重合させた。0.130 mol の A がすべて反応し、平均分子量 2.73×10^4 の高分子化合物 B が 5.46 g 得られた。B の平均重合度(重合度の平均値)として最も適当なものを、下の①~④のうちから一つ選べ。ただし、A の構造式中の X は、重合反応に関係しない原子団である。 24

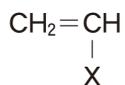


図 2 化合物 A の構造式

① 42

② 65

③ 420

④ 650

問 5 タンパク質およびタンパク質を構成するアミノ酸に関する記述として下線部に誤りを含むものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 25

- ① 分子中の同じ炭素原子にアミノ基とカルボキシ基が結合しているアミノ酸を、 α -アミノ酸という。
- ② アミノ酸の結晶は、分子量が同程度のカルボン酸やアミンと比べて、融点の高いものが多い。
- ③ グリシンとアラニンからできる鎖状のジペプチドは1種類である。
- ④ 水溶性のタンパク質が溶解したコロイド溶液に多量の電解質を加えると、水和している水分子が奪われ、コロイド粒子どうしが凝集して沈殿する。

化学

第5問 水に溶かすと泡の出る入浴剤に関する下の問い(問1・問2)に答えよ。

(配点 20)

図1の成分を含む入浴剤を水に溶かすと二酸化炭素が発生する。この入浴剤を試料Xとして、試料Xに含まれている物質の量を求めたい。

| | | |
|--|-----|-----|
| 炭酸水素ナトリウム NaHCO_3 | 式量 | 84 |
| 炭酸ナトリウム Na_2CO_3 | 式量 | 106 |
| コハク酸 $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$ | 分子量 | 118 |
| コハク酸以外の有機化合物 | | |

図1 入浴剤(試料X)の成分

問1 試料X 10.00 gに含まれる NaHCO_3 の物質量 $x(\text{mol})$ と Na_2CO_3 の物質量 $y(\text{mol})$ を求めるために、**実験I・II**を行った。これらの**実験**に関する次ページの問い(a・b)に答えよ。ただし、この試料に含まれているコハク酸以外の有機化合物は、中和反応に関係せず、Naを含まないものとする。

実験I 10.00 gの試料Xに塩酸を十分に加えると、次の中和反応が起きて3.30 gの CO_2 が発生した。



実験Ⅱ 10.00 g の試料 X を二酸化ケイ素 SiO_2 とともに加熱したところ、次の反応が起きて、 Na_2O (式量 62) を 3.10 g 含むガラスが得られた。



実験Ⅰより、 NaHCO_3 と Na_2CO_3 それぞれの物質質量 x と y の関係式は、 $x + y = 0.0750$ となる。また、実験Ⅱより x と y の関係式をもう一つ導くことができる。

a 実験Ⅱの結果より得られる関係式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 $x + 2y = 0.0500$

② $x + 2y = 0.100$

③ $2x + y = 0.0500$

④ $2x + y = 0.100$

b 実験Ⅰ・Ⅱの結果より、10.00 g の試料 X に含まれていた NaHCO_3 の質量は何 g か。その数値を、小数第1位まで次の形式で表すとき、それぞれ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。 . g

① 1

② 2

③ 3

④ 4

⑤ 5

⑥ 6

⑦ 7

⑧ 8

⑨ 9

⑩ 0

化学

問 2 入浴剤中のコハク酸に関する次の文章を読み、次ページの問い(a～c)に答えよ。

図 2 に水酸化ナトリウム NaOH 水溶液によるコハク酸水溶液の滴定曲線の例を示す。コハク酸は 2 価のカルボン酸であるが、1 段階目と 2 段階目の電離定数が同程度であるため、滴定曲線は 2 段階とならず、見かけ上、1 段階となる。

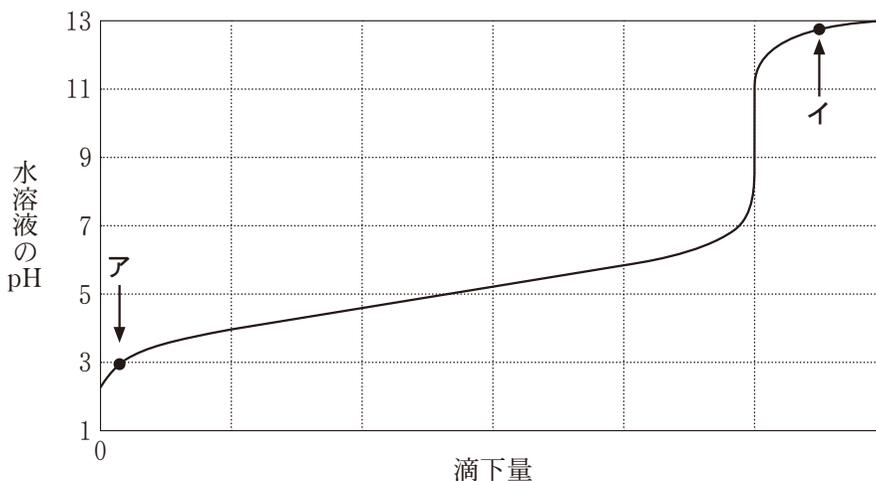


図 2 コハク酸水溶液の NaOH 水溶液による中和滴定曲線

このことを踏まえて、**試料 X** に含まれるコハク酸の量を求めるために、次の**実験 III**を行った。ただし、この試料に含まれているコハク酸以外の有機化合物は、中和反応に関係しないものとする。

実験 III 10.00 g の**試料 X** に(a)塩酸を十分に加えて、問 1 の式(1)・(2)の反応を完了させて水溶液を得た。コハク酸が分解しない温度でこの水溶液を加熱し、乾燥したのち、(b)水を加えてさらに加熱・乾燥することを繰り返して塩化水素を除去し、NaCl とコハク酸を含む固体を得た。この固体に(c)水を加えて溶かし、**水溶液 Y** を得た。

次に、(d)1.00 mol/L の NaOH 水溶液を調製し、これによりフェノールフタレインを指示薬として**水溶液 Y** の中和滴定を行った。

- a 図2の点ア・イにおいて、コハク酸は主にどのような形で存在しているか。コハク酸イオン($^-OOC(CH_2)_2COO^-$)を A^{2-} と表したとき、それぞれの形として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つずつ選べ。

ア

イ

- ① H_3A^+ ② H_2A ③ HA^- ④ A^{2-}

- b 水溶液 Y と 1.00 mol/L の NaOH 水溶液 50.00 mL が過不足なく中和したとき、10.00 g の試料 X に含まれていたコハク酸の質量は何 g か。最も適当な数値を、次の①～⑤のうちから一つ選べ。 g

- ① 1.00 ② 1.48 ③ 2.95
④ 4.43 ⑤ 5.90

- c 実験Ⅲを何度か行ったとき、コハク酸の質量が正しい値よりも小さく求まることがあった。そのようになった原因として考えられることを、次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① 下線部(a)で、加えた塩酸の量が十分でなく、 $NaHCO_3$ や Na_2CO_3 が残っていた。
② 下線部(b)で、繰り返しの回数が少なく、塩化水素が残っていた。
③ 下線部(c)で、加えた水の量が、正しく求めたときよりも多かった。
④ 下線部(d)で、実際に用いた NaOH 水溶液の濃度が 1.00 mol/L よりも低いことに気づかずに滴定した。