

平成 27 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、「空白」1ページ、「物理」5ページ、「空白」1ページ、「化学」14ページ、「生物」8ページ、「地学」7ページ、合計36ページである。解答用紙は、「物理」3枚、「化学」3枚、「生物」4枚、「地学」2枚である。脱落のあった場合には申し出ること。
  - 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 理学部の受験者は、次により解答すること。
    - (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2科目を選択解答すること。
    - (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。
  - 7 工学部の受験者は、「物理」・「化学」の計2科目を解答すること。
  - 8 医学部医学科の受験者は、「物理」・「化学」・「生物」のうちから2科目を選択解答すること。
  - 9 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科目を選択解答すること。
  - 10 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。
  - 11 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 (32点)

次の問1と問2に答えよ。

問1 次の文章を読み、(1)～(3)の問いに答えよ。

金属イオンに非共有電子対をもつ分子や陰イオンが配位結合したイオンを錯イオンという。錯イオンの構造や配位数は、主に金属イオンの種類によって決まる。錯イオンの形は、配位数が2の場合には直線形、配位数が4の場合には正四面体または正方形、配位数が6の場合には正八面体になる。

(1) 次の(i)～(iii)の反応を化学反応式で記せ。

(i) 酸化銀  $\text{Ag}_2\text{O}$  の褐色沈殿にアンモニア水を加えると、沈殿は溶けて無色の溶液となる。

(ii) 水酸化亜鉛  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  の白色沈殿に水酸化ナトリウム水溶液を加えると、沈殿は溶けて無色の溶液となる。

(iii) 塩化銀  $\text{AgCl}$  の白色沈殿にチオ硫酸ナトリウム  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  水溶液を加えると、沈殿は溶けて無色の溶液となる。

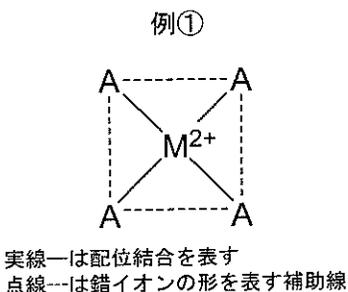
(2) 次の(a)と(b)の文中の鉄イオンの価数を電荷の正負の符号とともに答えよ。

(a) 鉄イオンを含む水溶液に水酸化ナトリウムを加えると緑白色沈殿が生じる。

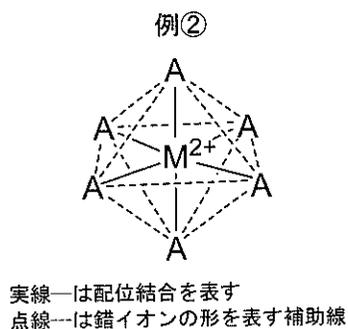
(b) 鉄イオンを含む水溶液にチオシアン酸カリウム  $\text{KSCN}$  を加えると血赤色溶液となる。

(3) 下線部に関して、(i)と(ii)の問いに答えよ。

(i) 金属イオン  $M^{2+}$  に、配位子 A が 4 つ配位した錯イオンを  $[MA_4]^{2+}$  と表す。  $[MA_4]^{2+}$  の形が正方形であるときの構造を例①に示す。金属イオン  $M^{2+}$  に 2 種類の配位子 A および B が 2 つずつ配位した  $[MA_2B_2]^{2+}$  の形が正方形であるとき、  $[MA_2B_2]^{2+}$  には幾何異性体がある。例①の描き方にしたがって、  $[MA_2B_2]^{2+}$  の幾何異性体をすべて記せ。



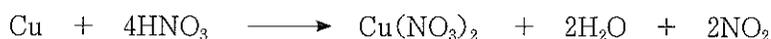
(ii) 金属イオン  $M^{2+}$  に、配位子 A が 6 つ配位した錯イオンを  $[MA_6]^{2+}$  と表す。  $[MA_6]^{2+}$  の形が正八面体であるときの構造を例②に示す。金属イオン  $M^{2+}$  に 2 種類の配位子 A および B が 3 つずつ配位した  $[MA_3B_3]^{2+}$  の形が正八面体であるとき、  $[MA_3B_3]^{2+}$  には 2 つの立体異性体がある。解答用紙の空欄に A または B を記入し、  $[MA_3B_3]^{2+}$  の 2 つの立体異性体の構造を示せ。



問2 次の文章を読み、(1)～(6)の問いに答えよ。必要であれば、次の原子量を用いよ。

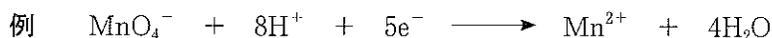
$$\text{Cu} = 64$$

銅は水素よりもイオン化傾向が小さいため、塩酸には溶けない。硝酸銀の水溶液に銅線をつけると、銅は酸化されてイオンとなり、銅線のまわりに固体が析出する。また、硝酸や熱濃硫酸など酸化力をもつ酸を用いると銅を溶かすことができる。濃硝酸が銅を酸化する反応は次式で表される。



銅は様々な金属と合金をつくり、代表的なものに亜鉛との合金である黄銅（真鍮）がある。黄銅に含まれる銅の含有量は、硝酸を用いて黄銅をすべて溶かし、水で希釈した後、水溶液中の銅（Ⅱ）イオンのみを定量することによって求められる。また、電気分解によって銅のみを電極上に析出させ、その質量から求めることもできる。

- (1) 下線部①において、析出する固体の名称を答えよ。また、0.064 gの銅が溶けだしたときに析出する固体の物質量を求めよ。
- (2) 硝酸が二酸化窒素に還元される反応を、次式に示すような電子を含む反応式で記せ。



- (3) 下線部②において、黄銅を溶かして得られた酸性水溶液に硫化水素を通じて銅（Ⅱ）イオンのみを硫化銅（Ⅱ）として沈殿させ、その質量から黄銅中の銅の含有量を求めようとしたがうまくいかなかった。その原因として最も適切なものを次の(a)～(d)の中から一つ選び、記号で答えよ。
- (a) 酸性条件では硫化銅（Ⅱ）が沈殿しないため
- (b) 酸性条件では硫化亜鉛も沈殿するため
- (c) 硝酸と硫化水素が反応して沈殿を生じるため
- (d) 硫化水素を通じると銅（Ⅱ）イオンは金属銅に還元されるため

- (4) 黄銅の釘 0.10 g を濃硝酸で完全に溶かした後、水で希釈して正確に 20 mL とした。希釈後の銅 (II) イオン濃度は 0.050 mol/L であった。この黄銅の釘に含まれていた銅の質量を求めよ。
- (5) 下線部③において、炭素電極を用いて電気分解すると、陰極には銅が析出し、陽極からは気体が発生した。ある一定時間電気分解を行ったところ、陰極の質量は 0.016 g 増加した。陽極で発生した気体の名称を記せ。また、標準状態 ( $0^{\circ}\text{C}$ ,  $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ ) での気体の体積は何 mL になるか、有効数字 2 桁で答えよ。
- (6) 黄銅以外にも様々な金属の合金が使われている。次の (あ) ~ (う) に該当する金属を元素記号で答えよ。
- (あ) 銀白色の柔らかい金属で、展性・延性に富む。この金属と少量の銅、マグネシウムなどとの合金はジュラルミンと呼ばれ、軽量で強度が大きいので航空機の機体などに利用される。
- (い) 銀白色の光沢をもち、融点が比較的 low、展性・延性に富む。この金属と鉛の合金ははんだとして知られ (最近では、鉛を含むはんだは環境問題のため使われなくなった)、電子回路で電子部品をプリント基板に固定するために使われる。
- (う) この金属は常温、常圧で液体である。この金属の蒸気は神経を侵し極めて有毒である。この金属は他の金属をよく溶かし、アマルガムと呼ばれる合金をつくる。

# 化 学

## 第 2 問 (35 点)

次の問 1 と問 2 に答えよ。

問 1 次の (1) ~ (3) の問いに答えよ。必要であれば次の原子量を用いよ。H = 1.0, He = 4.0, N = 14.0, O = 16.0

(1) 次の文章を読み、(i) ~ (iv) の問いに答えよ。必要であれば気体定数  $8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{mol} \cdot \text{K})$  を用いよ。

蒸発熱は、1 mol の分子が蒸発して液体から同じ温度の気体になるときに  する熱量である。凝縮熱は、1 mol の分子が凝縮して気体から同じ温度の液体になるときに  する熱量である。

液体の蒸発と、蒸気の凝縮の間に平衡が成り立つとき (気液平衡)、蒸気が示す圧力を飽和蒸気圧という。ある温度の空気に含まれている水蒸気が示す圧力と、その温度における水の飽和蒸気圧の比をパーセントであらわしたものを相対湿度とよぶ。温度を下げると水の飽和蒸気圧は小さくなるため、相対湿度は大きくなる。

- (i)  と  にあてはまる適切な語句を記せ。
- (ii) 下線部の現象が起こる理由を、60 字以内で記せ。ただし、解答に際しては次の語句「ルシャトリエの原理」を必ず含めること。
- (iii) 27 °C において、密閉した容器内の相対湿度が 90% であった。容器中に水蒸気として含まれる水の物質量はいくらか、有効数字 2 桁で答えよ。ただし、容器の容積は  $2.0 \times 10^3 \text{ L}$ 、飽和水蒸気圧は 27 °C で  $3.6 \times 10^3 \text{ Pa}$  である。
- (iv) (iii) の容器内の温度を、27 °C から 17 °C まで下げたところ、容器内で水蒸気が凝縮して水が生じた。生じた水の質量は何 g か、有効数字 2 桁で答えよ。ただし、飽和水蒸気圧は 17 °C で  $1.9 \times 10^3 \text{ Pa}$  である。

(2) 次の文章を読み、(i)と(ii)の問いに答えよ。

ヘリウムと酸素の混合ガスが入ったボンベが市販されている。この混合ガスのなかの酸素のモル分率を求めるために、内部の圧力を測ることができる容器を用意した。まず、容器内を真空にしてから、ある圧力  $P$  [Pa] になるまで窒素を満たしたところ、容器の質量は、内部が真空であった場合と比べて  $4.4\text{ g}$  増加した。次に、容器内を再び真空にしてから、混合ガスを圧力  $2P$  [Pa] になるまで満たしたところ、容器の質量は、内部が真空であった場合と比べて  $3.0\text{ g}$  増加した。ただし、容器の容積と温度は変化しないとする。

- (i) 混合ガスのなかの酸素のモル分率を  $x$  とすると、混合ガスの平均分子量はいくらか、 $x$  を用いて表せ。ただし  $0 < x < 1$  とする。
- (ii) 混合ガスのなかの酸素のモル分率は何 %か、有効数字 2 桁で答えよ。

問2 次の(1)～(3)の問いに答えよ。

(1) 次の文章を読み、(i)と(ii)の問いに答えよ。

原子は原子核といくつかの電子から構成される。電子は原子核を中心とする電子殻とよばれるいくつかの層にわかれて存在すると考えることができ、電子殻は原子核に近い内側から順にK殻、L殻、M殻、N殻、……とよばれる。電子殻に収容できる電子の最大数は、電子殻ごとに決まっており、K殻では2、L殻では8である。

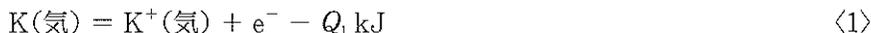
(i) M殻とN殻に収容できる電子の最大数をそれぞれ答えよ。

(ii) カリウム原子の電子配置を次の例にならって示せ。

例 炭素原子の電子配置 K2L4

(2) 次の文章を読み、(i)～(v)の問いに答えよ。必要であれば、表に示した値を用いよ。

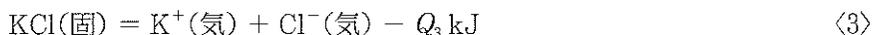
原子が、電子1個を放出すると1価の陽イオンとなり、電子1個を受け取ると1価の陰イオンとなる。カリウム原子Kからカリウムイオン $K^+$ が生成する反応の熱化学方程式は、電子を $e^-$ 、第一イオン化エネルギーを $Q_1$ (kJ/mol)とすると、式〈1〉となる。



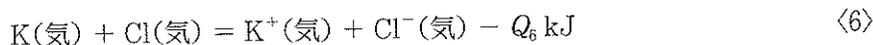
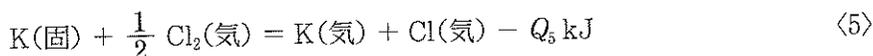
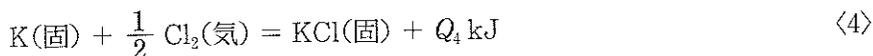
また、塩素原子Clから塩化物イオン $Cl^-$ が生成する反応の熱化学方程式は、電子親和力を $Q_2$ (kJ/mol)とすると、式〈2〉となる。



陽イオンと陰イオンがイオン結合によって多数結合してできた結晶をイオン結晶とよぶ。一般にイオン結晶における結合の強さは、結晶を構成するすべてのイオンを完全に引き離して気体にするために必要なエネルギーとして求めることができる。KCl結晶の場合、このエネルギーを $Q_3$ (kJ/mol)とすると、熱化学方程式は式〈3〉で表すことができる。



エネルギー  $Q_3$  は、次の式〈4〉～式〈6〉を組み合わせて求めることができる。



式〈4〉は KCl(固)が生成する反応の熱化学方程式で、 $Q_4$ [kJ/mol]はその生成熱である。K(固)と  $\text{Cl}_2$ (気)を気体の原子とするために必要なエネルギーを  $Q_5$ [kJ/mol]とすると、その熱化学方程式は式〈5〉で表される。また、カリウム原子 K と塩素原子 Cl をカリウムイオン  $\text{K}^+$  と塩化物イオン  $\text{Cl}^-$  とするために必要なエネルギーを  $Q_6$ [kJ/mol]とすると、その熱化学方程式は式〈6〉で表される。

表

KCl(固)の生成熱	437 kJ/mol
K(固)の昇華熱	89 kJ/mol
K(気)の第一イオン化エネルギー	419 kJ/mol
Cl(気)の電子親和力	349 kJ/mol
$\text{Cl}_2$ (気)の結合エネルギー	244 kJ/mol

- (i) 第3周期の元素 Na ~ Ar において、第一イオン化エネルギーの最も大きい原子を元素記号で示し、その価電子の数を記せ。
- (ii) ネオン原子 Ne と同じ電子配置をもつイオンを下の選択枝からすべて選び、イオン半径の小さい順に解答欄の左から右へイオン式で記せ。また、そのような順になる理由を答えよ。

選択枝

$\text{Be}^{2+}$	$\text{O}^{2-}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{K}^+$
------------------	-----------------	------------------	---------------	--------------

- (iii) エネルギー  $Q_3$  は K(固)の昇華熱と  $\text{Cl}_2$ (気)の結合エネルギーから求めることができる。エネルギー  $Q_5$  を求めよ。
- (iv) エネルギー  $Q_6$  を求めよ。
- (v) エネルギー  $Q_3$  を求めよ。

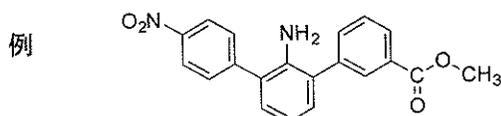
(3) 次の文章を読み、～にあてはまる適切な語句を記せ。

KCl 結晶を水に溶かすとカリウムイオンと塩化物イオンに分かれる。これらのイオンは水溶液中の方が気体の状態に比べて安定である。これは、水分子がを持つため、水溶液中ではそれぞれのイオンと水分子の間に静電的な引力が働くからである。水分子のわずかに負の電荷を帯びた原子とカリウムイオンが引き合い、塩化物イオンはわずかに正の電荷を帯びた原子と引き合う。このため、これらのイオンは水分子に囲まれ、安定なイオンを形成する。

# 化 学

## 第 3 問 (33 点)

次の問 1 と問 2 に答えよ。ただし、構造式は次の例にならって記せ。



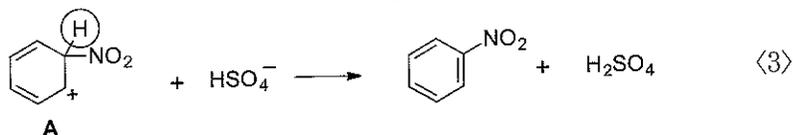
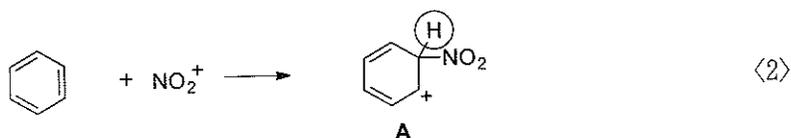
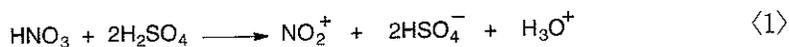
問 1 分子の構造式と反応性に関する次の (1) と (2) の問いに答えよ。

(1) 次の文章を読み、(i) ~ (iii) の問いに答えよ。

エタンは炭素原子間が単結合の飽和炭化水素である。エタンと臭素を混合して光をあけると置換反応が起こりブロモエタンが生じる。一方、エチレンは炭素原子間に二重結合をもつ不飽和炭化水素である。エチレンと臭素を混合すると付加反応が起こり 1,2-ジブロモエタンが生じる。

ベンゼンの構造式は、単結合と二重結合を交互に書いて表すが、炭素-炭素結合はすべて等しく、単結合と二重結合の中間の状態とみなされる。したがって、ベンゼンではエチレンに比べて不飽和結合への付加反応が起こりにくい。

ベンゼンを硝酸と硫酸からなる混酸と反応させるとニトロベンゼンが生じる。この反応では、まず、式〈1〉のように、混酸中で正電荷を帯びたニトロニウムイオン ( $\text{NO}_2^+$ ) が生じる。これが、式〈2〉のように、ベンゼン環の炭素原子の 1 個と共有結合で結びつき、正電荷を帯びた不安定な A をつくる。次に、式〈3〉のように、硫酸水素イオンが A から (H) で示した水素原子を水素イオンとして引き抜き、ニトロベンゼンが生じる。



- (i) エタン，エチレン，ベンゼンについて，炭素-炭素結合の長さが短いものから長いものへと順に化合物名を記せ。
- (ii) 下線部について，ベンゼンからニトロベンゼンが生じる反応の化学反応式を記せ。
- (iii) ベンゼンのニトロ化反応における濃硫酸の役割を簡潔に記せ。

(2) 次の文章を読み，(i)～(iii)の問いに答えよ。

ベンゼンの一置換体 ( $C_6H_5X$ ) の置換反応において，どの水素原子が置換されるかは置換基  $X$  の種類によって異なる。

フェノールを混酸と反応させると，化合物 **B** (分子式  $C_6H_3N_3O_7$ ) が生じる。フェノールでは，酸素のもつ非共有電子対がベンゼン環に影響するために，構造式 **a** のほかに特定の原子が正電荷または負電荷をもつ構造式 **b**，**c**，**d** を書くことができる (図1)。これらの構造式から，フェノールでは図2の番号 ア の炭素原子がその他の炭素原子と比べてわずかに負電荷を帯びていると考えられる。したがって，正電荷を帯びたニトロニウムイオンは番号 ア の炭素原子と結びつきやすい。

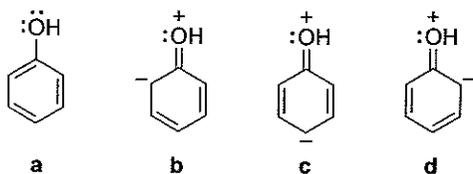


図1

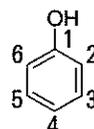


図2

ニトロベンゼンを混酸と反応させると，化合物 **C** (分子式  $C_6H_4N_2O_4$ ) が生じる。ニトロベンゼンでは， $\ddot{O}=\overset{+}{N}=\ddot{O}$  で表したニトロ基がベンゼン環に影響するために，特定の原子が正電荷または負電荷をもつ構造式 **e**，**f**，**g**，**h** を書くことができる (図3)。これらの構造式から，ニトロベンゼンでは図4の番号 イ の炭素原子がその他の炭素原子よりもわずかに正電荷を帯びていると考えられる。したがって，正電荷を帯びたニトロニウムイオンは番号 イ の炭素原子とは結びつきにくい。

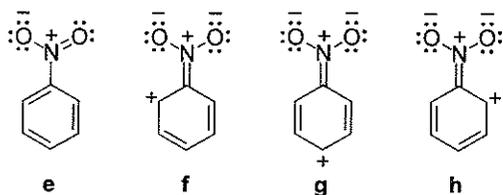


図3

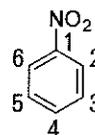


図4

(i) 化合物 B と C の構造式を例にならって記せ。

(ii)  と  にあてはまる最も適切なものを次の (a) ~ (d) の中から選び、記号で答えよ。ただし、同じ記号を選んでもよい。

(a) 1, 2, 3      (b) 2, 3, 4      (c) 2, 4, 6      (d) 1, 3, 5

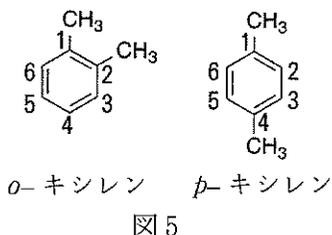
(iii) ベンゼン、フェノール、ニトロベンゼンのニトロ化に関する以下の文章を読み、

~  にあてはまる化合物名を記せ。

ベンゼン、フェノールおよびニトロベンゼンの構造式、さらにニトロニウムイオンが正電荷を帯びていることを考えると、ニトロ化反応は  ,  ,  の順で起こりやすいと予測できる。実際、 は室温で希硝酸と速やかに反応して、ニトロ化された化合物を生じる。これに対し、 や  のニトロ化反応は希硝酸ではほとんど起こらない。 は、混酸中で 60 °C に加熱してはじめてニトロ化される。 をニトロ化するにはさらに高温が必要である。

問2 芳香族化合物に関する次の(1)と(2)の問いに答えよ。

- (1) ベンゼン環に2個のメチル基が結合したキシレン  $C_8H_{10}$  では、2個のメチル基が結合する位置によって、*o*-キシレン、*m*-キシレン、*p*-キシレンの3種類の異性体が存在する。*o*-キシレンと*p*-キシレンのベンゼン環を構成するそれぞれの炭素原子に図5のように1～6の番号をつけた。

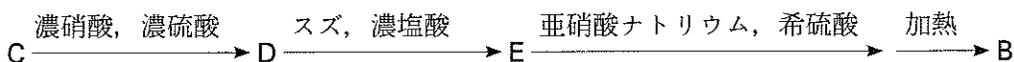


*o*-キシレンにおいて、1と2の炭素原子がおかれている環境（結合している原子やさらにその先の原子の種類や数）は同じである。3と6および4と5の炭素原子についても同様である。したがって、*o*-キシレンではおかれている環境が同じ炭素原子が2個ずつ3組ある。*p*-キシレンにおいて、2の炭素原子とおかれている環境が同じ炭素原子の番号をすべて答えよ。

- (2) 芳香族化合物AとBはサリチル酸の異性体であり、二種類の官能基がベンゼン環に結合する位置のみが異なる。以下の文章を読み、(i)～(iv)の問いに答えよ。

Aには7個の炭素原子がある。それらのなかで、おかれている環境が同じ炭素原子が2個ずつ2組ある。

Bは芳香族化合物C（分子式  $C_8H_8O_2$ ）から、次に示すように芳香族化合物DとEを経て合成される。



- (i) 図6に示す反応装置を用いて、DからEを合成した。還流冷却管の上部と半分ほど水が入ったフラスコをつないでいるのは、反応中に発生する ア を捕集するためである。ア にあてはまる適切な化合物名を記せ。

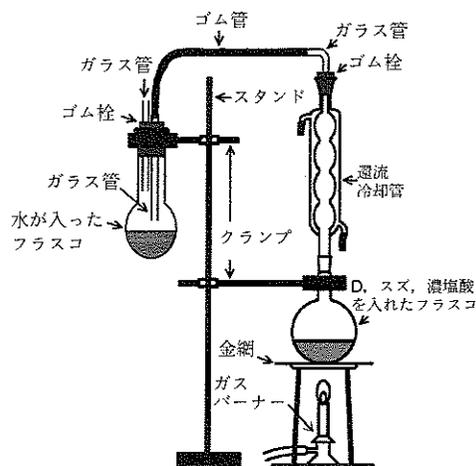


図 6

- (ii) D から E を合成する反応が終わると、ほとんどのスズが溶けた。上澄み液を別のフラスコに移し、濃アンモニア水を加えて、溶液をアルカリ性 (pH 8) にした。沈殿した酸化スズ (IV) をろ過で取り除いて得られた透明なる液に酢酸を加えて、溶液を酸性 (pH 5) にした。生じた E の粒状結晶をろ過によって集めた。

この実験で、濃アンモニア水の代わりに水酸化ナトリウム水溶液を加えると、酸化スズ (IV) は溶けた。そこで、水層から E をジエチルエーテルで抽出しようと試みたが、抽出することはできなかった。ジエチルエーテルで水層から E を抽出できなかった理由を 60 字以内で記せ。

- (iii) B ~ E の性質を下の表にまとめた。解答用紙の空欄イ ~ コに○か×を記入し、表を完成させよ。

	B	C	D	E
炭酸水素ナトリウム水溶液に溶ける	○	×	×	○
希塩酸に溶ける	イ	×	オ	ク
塩化鉄 (III) 水溶液で呈色する	ウ	×	カ	ケ
さらし粉水溶液で呈色する	エ	×	キ	コ

○：溶ける，または呈色する    ×：溶けない，または呈色しない

- (iv) A, C, D の構造式を例にならって記せ。