

# 化学

## 1 物質の構成, 気体の法則, 結晶格子 (25 点)

解答・配点

問1  $2a + 1$

問2 **4**

問3  $8.4 \times 10^4$  L

問4  $1.5 \times 10^3$  kg

問5 **2, 3**

問6 (1) 6個

(2) **2**

問7  $d = \frac{3\sqrt{3}M}{32N_A r^3}$  [g/cm<sup>3</sup>]

3点

3点

3点

4点

3点(順不同・完解)

2点

3点

4点

### ●解説

問1 原子核に含まれる陽子の数を原子番号, 原子核に含まれる陽子の数と中性子の数の和を質量数という。原子 X の原子番号が  $a$  なので, 陽子の数は  $a$  個である。また, X の中性子の数は陽子の数よりも 1 個多いので,  $a + 1$  個である。したがって, X の質量数は,

$$a + (a + 1) = 2a + 1$$

問2 共有結合の結晶(共有結合結晶)は, 多数の原子が共有結合によって次々に結びついた結晶であり, 二酸化ケイ素 SiO<sub>2</sub>, ケイ素 Si, ダイヤモンド C, 黒鉛 C などがある。よって, 正解は **4** である。

**1** マグネシウム Mg は, 金属元素であるマグネシウム原子 Mg が金属結合により規則正しく配列してできた金属結晶である。

**2** ヨウ素 I<sub>2</sub> は, 非金属元素であるヨウ素原子 I が共有結合してできた分子である。形成された分子どうしは, 分子間力により規則正しく配列し, 分子結晶となる。

**3** 二酸化炭素 CO<sub>2</sub> は, 非金属元素である炭素原子 C と酸素原子 O が共有結合してできた分子である。形成された分子どうしは, 分子間力により規則正しく配列し, 分子結晶となる。

**5** 酸化マンガン(IV) MnO<sub>2</sub> は, マンガン(IV)イオン Mn<sup>4+</sup> と酸化物イオン O<sup>2-</sup> がイオン結合により規則正しく配列してできたイオン結晶である。

問3  $7.0 \times 10^7$  Pa で 120 L のタンクに入っている水素を, 温度を一定に保ったまま, 大気圧  $1.0 \times 10^5$  Pa にすると, その体積  $V'$  [L] は, ボイルの法則  $PV = P'V'$  より,

$$7.0 \times 10^7 \text{ Pa} \times 120 \text{ L} = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa} \times V' \text{ [L]}$$

$$V' = 8.4 \times 10^4 \text{ L} \text{ となる。}$$

問4 求める空気 の質量を  $w$  [g] とすると, 空気(平均分子量 29 (=モル質量 29 g/mol)) が, 87 °C,  $6.0 \times 10^4$  Pa で内容積  $2.5 \times 10^6$  L の球皮に詰まっているので, 気体の状態方程式(公式)参照)より,

$$w = \frac{MPV}{RT} = \frac{29 \text{ g/mol} \times 6.0 \times 10^4 \text{ Pa} \times 2.5 \times 10^6 \text{ L}}{8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol}) \times (273 + 87) \text{ K}}$$

$$= 1.45 \cdots \times 10^6 \text{ g} \approx 1.5 \times 10^6 \text{ g}$$

よって, 球皮に詰められている空気 の質量 [kg] は,

$$1.5 \times 10^6 \times 10^{-3} \text{ kg} = 1.5 \times 10^3 \text{ kg}$$

問5 気体の状態方程式  $PV = nRT$  が厳密に成り立つ気体を理想気体という。理想

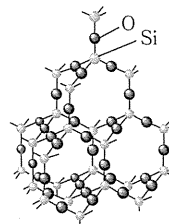
### 正解への Point

原子番号と質量数

- ・原子番号 = 陽子の数 = 電子の数
- ・質量数 = 陽子の数 + 中性子の数

### 参考

二酸化ケイ素の結晶構造



### 公式 気体の状態方程式

$$PV = nRT$$

$$PV = \frac{w}{M} RT$$

$P$ : 圧力 [Pa]

$V$ : 体積 [L]

$n$ : 物質量 [mol]

$R$ : 気体定数 [Pa · L / (K · mol)]

$T$ : 絶対温度 [K]

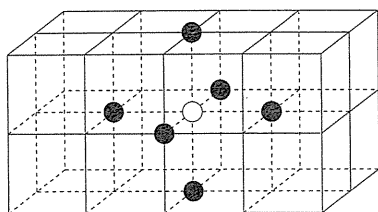
$w$ : 質量 [g]

$M$ : モル質量 [g/mol]

気体は、分子自身の体積がなく、分子間力がはたらかないとした仮想の気体である。分子間力がはたらかないため、冷却や圧縮により凝縮することはない。また、実在気体は、高温・低圧条件で理想気体に近づく。これは、高温にすると、分子の熱運動が活発になるので分子間力の影響が小さくなり、低圧にすると、気体の全体積が大きくなるので気体分子自身の体積が全体積に与える影響が小さくなるためである。よって、正解は**2, 3**である。

- 1 理想気体は、分子自身に体積がないとした仮想の気体である。  
 4 どのような実在気体であっても、理想気体の状態方程式は厳密には成り立たない。  
 5 0°C,  $1.013 \times 10^5$  Paにおいて、理想気体 1 mol の体積は気体の種類によらず 22.4 L であるが、実在気体では気体の種類により異なる値となる。

問6 (1) 塩化ナトリウムの結晶では、図1の単位格子が規則正しくくり返されている。単位格子が2個つながった構造を考えると、図アのようになる。



- : 中心の  $\text{Cl}^-$   
 ● : 隣接する  $\text{Na}^+$

図ア

よって、1個の  $\text{Cl}^-$  に接している  $\text{Na}^+$  は **6** 個である。1個の粒子に最も近いほかの粒子の数を配位数といい、NaCl 型の結晶では配位数は 6 である。

(2) イオン結晶は、結晶を構成するイオンが自由に動けないため電気を導かない。よって、正解は**2**である。イオン結晶の水溶液や融解液では、イオンが自由に動けるため電気をよく導くようになる。

- 1 イオン結晶は、陽イオンの総電荷と陰イオンの総電荷がつり合っていて、結晶全体では電氣的に中性になる。  
 3 イオン結晶は、結晶を構成する陽イオンと陰イオンの種類とその数の割合を最も簡単な整数比で示した組成式で表される。  
 4 イオン結晶は、硬いのもろく、強い力を加えると特定の面に沿って割れやすい。この性質をへき開という。

問7 図2の Fe 原子の単位格子は体心立方格子であり、単位格子の中心には1個の原子が、単位格子の各頂点には  $\frac{1}{8}$  個の原子がそれぞれ含まれる。したがって、図2の単位格子に含まれる Fe 原子の数は、

$$1 + \frac{1}{8} \times 8 = 2 \text{ 個}$$

である。

また、単位格子の一辺の長さを  $a$  [cm] とおくと、単位格子の質量は、結晶の密度が  $d$  [g/cm<sup>3</sup>] なので、

$$a^3 \text{ [cm}^3\text{]} \times d \text{ [g/cm}^3\text{]} = a^3 d \text{ [g]}$$

となり、単位格子中に原子が2個含まれるので、原子1個の質量は、

$$a^3 d \text{ [g]} \div 2 = \frac{a^3 d}{2} \text{ [g]}$$

である。

したがって、Fe 原子のモル質量  $M$  [g/mol] は、原子1個の質量とアボガドロ定数  $N_A$  [/mol] より、

$$M \text{ [g/mol]} = \frac{a^3 d}{2} \text{ [g]} \times N_A \text{ [/mol]} = \frac{a^3 d N_A}{2} \text{ [g/mol]} \quad \cdots \cdots \textcircled{1}$$

**正解への Point** 理想気体と実在気体

- ・理想気体  
 分子間力がはたらかず、分子自身の体積を0とした(ただし、質量はある)仮想の気体。温度や圧力に関係なく、常に気体の状態方程式が成り立つ。
- ・実在気体  
 低温や高圧のとき、分子間力や分子自身の体積が大きく影響する。高温・低圧のときは、理想気体とみなすことができる。

となる。①式より、密度  $d$  [g/cm<sup>3</sup>] を求める式は、

$$d \text{ [g/cm}^3\text{]} = \frac{2M \text{ [g/mol]}}{a^3 \text{ [cm}^3\text{]} \times N_A \text{ [/mol]}} \quad \dots\dots\text{②}$$

となる。

ここで、単位格子の一辺の長さ  $a$  [cm] と原子半径  $r$  [cm] の関係は、

$$r \text{ [cm]} = \frac{\sqrt{3}}{4} a \text{ [cm]} \text{ より、}$$

$$a \text{ [cm]} = \frac{4}{\sqrt{3}} r \text{ [cm]} \quad \dots\dots\text{③}$$

となるので、③式を②式に代入して、

$$\begin{aligned} d \text{ [g/cm}^3\text{]} &= \frac{2M \text{ [g/mol]}}{a^3 \text{ [cm}^3\text{]} \times N_A \text{ [/mol]}} = \frac{2M \text{ [g/mol]}}{\left(\frac{4}{\sqrt{3}}r\right)^3 \text{ [cm}^3\text{]} \times N_A \text{ [/mol]}} \\ &= \frac{3\sqrt{3}M}{32N_A r^3} \text{ [g/cm}^3\text{]} \end{aligned}$$

**(重要)** 金属の単位格子と原子半径

原子半径を  $r$  [cm]、単位格子の一辺の長さを  $a$  [cm] とするとき、

・体心立方格子

$$r = \frac{\sqrt{3}}{4} a \text{ [cm]}$$

・面心立方格子

$$r = \frac{\sqrt{2}}{4} a \text{ [cm]}$$

## 2 物質の変化、電池・電気分解 (30 点)

解答・配点

問1	2	4点
問2	28.0	4点
問3	3	4点
問4	0.30 g	4点
問5	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	3点
問6	銅よりイオン化傾向が小さい(13字)	4点
問7	(1) 11.2 L	3点
	(2) 65 %	4点

### ●解説

問1 1 正しい。CuSO<sub>4</sub>・5H<sub>2</sub>O は組成式であり、原子やイオンの組成比を表すため、1 mol の CuSO<sub>4</sub>・5H<sub>2</sub>O に銅(II)イオン、硫酸原子ともに 1 mol ずつ含まれている。

2 誤り。酸素原子は CuSO<sub>4</sub> 部分の 4 mol だけでなく、5H<sub>2</sub>O 部分にも 5 mol 含まれるため、あわせて 9 mol 含まれている。

3 正しい。水素原子は 5H<sub>2</sub>O 部分に 10 mol 含まれるため、アボガドロ定数  $6.0 \times 10^{23}$  /mol より、 $6.0 \times 10^{23}$  /mol  $\times$  10 mol =  $6.0 \times 10^{24}$  個含まれている。

4 正しい。水 H<sub>2</sub>O は 5 mol 含まれており、水のモル質量が 18 g/mol であることから、18 g/mol  $\times$  5 mol = 90 g の水が含まれている。

よって、正解は **2** である。

問2 気体は、その種類に関係なく 1 mol の体積は 0℃、 $1.013 \times 10^5$  Pa で 22.4 L である。したがって、モル体積は 22.4 L/mol である。この気体の密度は 1.25 g/L なので、そのモル質量は、

$$1.25 \text{ g/L} \times 22.4 \text{ L/mol} = 28.0 \text{ g/mol}$$

となり、分子量は **28.0** である。

問3 1 誤り。水溶液を正確に希釈するにはメスフラスコを用いる。

2 誤り。水溶液を正確にはかりとるにはホールピペットを用いる。

3 正しい。モル濃度を 10 分の 1 にするためには、溶媒である水を加えて水溶液の体積を 10 倍にすればよい。

4 誤り。0.10 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液をつくるには、4.0 g の水酸化ナト

**(法則)** アボガドロの法則

同温・同圧で同体積の気体には、その種類に関係なく同数の分子が含まれる。

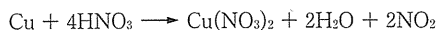
リウム(モル質量 40 g/mol)を水に溶かして 1 L にする。1 L の水に 4.0 g の水酸化ナトリウムを溶かすと、加えた水酸化ナトリウムの分、溶液の体積が 1 L より大きくなる。

5 誤り。10%の塩化ナトリウム水溶液を 100 g つくるときは、塩化ナトリウム 10 g を水 90 g に溶かす。100 g の水に塩化ナトリウムを 10 g 溶かすと、水溶液の質量パーセント濃度は、

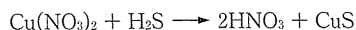
$$\frac{10 \text{ g}}{(100 + 10) \text{ g}} \times 100 \approx 9.1 \%$$

よって、正解は **3** である。

問4 黄銅を濃硝酸に溶かすと、黄銅中の銅は次のように反応する。



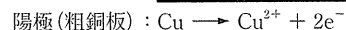
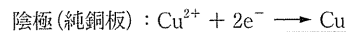
また、得られた水溶液に硫化水素を通じると、次の反応が起こる。



したがって、硫化銅(II) CuS 0.45 g 中に含まれる銅(II)イオン  $\text{Cu}^{2+}$  の質量を求めればよい。 $\text{Cu}^{2+}$  と CuS のモル質量は、それぞれ 64 g/mol, 96 g/mol なので、

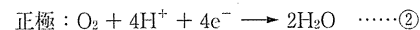
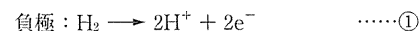
$$0.45 \text{ g} \times \frac{64 \text{ g/mol}}{96 \text{ g/mol}} = \underline{0.30 \text{ g}}$$

問5 銅の電解精錬は純銅板を陰極に、粗銅板を陽極にして行う。各電極で起こる反応は次のようになる。

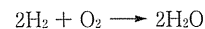


問6 電解精錬が十分に進むと、粗銅中に含まれている銅よりもイオン化傾向が大きい金属は陽イオンになって溶け出すが、銅よりイオン化傾向が小さい金属は陽イオンにならないため、単体のまま陽極の下に沈殿する。これを陽極泥という。

問7 (1) 燃料電池の各電極で起こる反応は次のようになる。



燃料電池全体の化学反応式は、①式  $\times 2$  + ②式より、



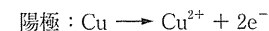
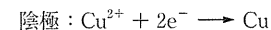
となり、負極で反応した水素と正極で反応した酸素の物質量の比は  $\text{H}_2 : \text{O}_2 = 2 : 1$  である。したがって、燃料として、0 °C,  $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$  で 4.48 L の水素を消費したときに必要な酸素の体積(0 °C,  $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ )は、

$$4.48 \text{ L} \times \frac{1}{2} = 2.24 \text{ L}$$

したがって、必要な空気(体積比で窒素 80%, 酸素 20% の混合気体)の体積(0 °C,  $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ )は、

$$2.24 \text{ L} \times \frac{100}{20} = \underline{11.2 \text{ L}}$$

(2) 電解槽の各電極で起こる反応は次のようになる。



陰極に析出した銅(モル質量 64 g/mol)の質量が 8.32 g であるので、反応に使われた電子の物質量は、

$$\frac{8.32 \text{ g}}{64 \text{ g/mol}} \times 2 = 0.26 \text{ mol}$$

また、4.48 L の水素が反応して放出される電子の物質量は、①式より、

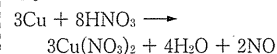
$$\frac{4.48 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} \times 2 = 0.400 \text{ mol}$$

ここで、電子  $\text{e}^-$  の物質量[mol]と電気量[C]は比例関係にあるので、銅の析出に使われた電気量の割合は、

$$\frac{0.26 \text{ mol}}{0.400 \text{ mol}} \times 100 = \underline{65 \%}$$

**参考** 銅と希硝酸の反応

銅と濃硝酸との反応では二酸化窒素が発生するが、銅と希硝酸との反応では、次の反応式のように一酸化窒素が発生する。



**正解へのPoint** 酸化還元の量的関係

酸化剤が受け取る電子の物質量 = 還元剤が失う電子の物質量

電池の場合、負極で酸化反応、正極で還元反応が起こり、電気分解の場合、陰極で還元反応、陽極で酸化反応が起こる。

3 溶液, 化学平衡 (25点)

解答・配点

問1 (ア) 2 (イ) 6

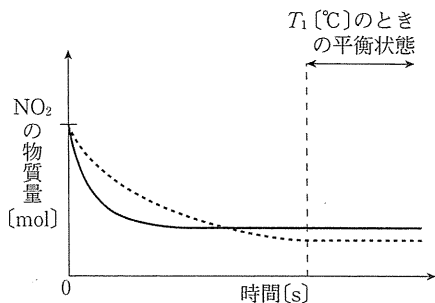
問2 0.64 g

問3  $5.0 \times 10^{-5}$  mol

問4 3

問5 1, 5

問6 (1)



(2)  $K_p = 1.9 \times 10^{-6} \text{ Pa}^{-1}$

3点(完解)

4点

3点

3点

4点(順不同・完解)

4点

4点

●解説

問1 (ア) 粘土や水酸化鉄(Ⅲ)のコロイド粒子は、水との親和力が小さく、これらを含むコロイド溶液を疎水コロイドという。疎水コロイドに硫酸ナトリウムなどの電解質を少量加えると沈殿する。このような現象を凝析(2)という。

(イ) コロイド溶液に横から強い光を当てると、光の進路が明るく輝いて見える。このような現象をチンダル現象(6)という。これは、コロイド粒子が分子やイオンなどより大きく、光をよく散乱するために起こる現象である。

問2 0.020 mol/Lの硫酸ナトリウム水溶液を100 mLつくるのに必要な硫酸ナトリウムの物質量は、

$$0.020 \text{ mol/L} \times \frac{100}{1000} \text{ L} = 0.0020 \text{ mol}$$

硫酸ナトリウム十水和物  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  のモル質量は 322 g/mol なので、必要な硫酸ナトリウム十水和物の質量は、

$$322 \text{ g/mol} \times 0.0020 \text{ mol} = 0.644 \text{ g} \approx 0.64 \text{ g}$$

問3 水溶液中のコロイド粒子の物質量  $n$  [mol]は、ファントホッフの法則

$\Pi V = nRT$  より、

$$n = \frac{\Pi V}{RT} = \frac{415 \text{ Pa} \times 0.300 \text{ L}}{8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol}) \times (273 + 27) \text{ K}} = 5.0 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

問4 1 正しい。「見かけの反応速度 = 正反応の反応速度 - 逆反応の反応速度」である。

2 正しい。反応物の濃度が大きくなると、単位体積中の粒子数が増加し、単位時間の粒子どうしの衝突回数が増加するので、反応速度は大きくなる。

3 誤り。触媒を加えると、活性化エネルギーが小さくなり、同じ温度でも反応できる粒子の割合が増加するので、反応速度は大きくなる。

4 正しい。温度が上昇すると、粒子の熱運動が激しくなり、大きな運動エネルギーをもつ粒子(活性化状態にある粒子)の割合が増えるので、反応速度は大きくなる。

よって、正解は3である。

問5 水溶液中に  $\text{H}^+$  が増えても、 $\text{OH}^-$  が増えても、それらを消費して pH の値をほぼ一定に保つはたらきがある溶液を緩衝液という。1は弱酸  $\text{CH}_3\text{COOH}$  とその酸の

重要 凝析と塩析

- ・凝析：少量の電解質で疎水コロイドが沈殿する現象。
- ・塩析：少量の電解質では沈殿しない親水コロイドが、多量の電解質で沈殿する現象。

法則 ファントホッフの法則

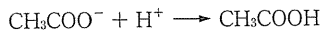
- $\Pi V = nRT$
- $\Pi$  : 浸透圧 [Pa]
- $V$  : 溶液の体積 [L]
- $n$  : 溶質粒子の物質量 [mol]
- $R$  : 気体定数 [Pa · L / (K · mol)]
- $T$  : 絶対温度 [K]

重要

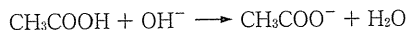
- 反応速度に影響を与えるもの
- ・濃度(気体反応では分圧)
  - …反応する粒子の衝突回数が増える。
- ・温度…反応に必要なエネルギーをもつ粒子の数が変化する。
- ・触媒…活性化エネルギーが変化する。
- ・固体の表面積…単位時間あたりの固体表面への衝突回数が増える。

塩  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , **5** は弱塩基  $\text{NH}_3$  とその塩基の塩  $\text{NH}_4\text{Cl}$  であり, これらの水溶液は緩衝液となる。

たとえば, **1** の水溶液に少量の酸を加えると, 多量に存在する  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  と  $\text{H}^+$  の反応が起こるので,  $[\text{H}^+]$  はほとんど増加しない。



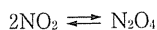
また, 少量の塩基を加えると, 多量に存在する  $\text{CH}_3\text{COOH}$  と  $\text{OH}^-$  との中和反応が起こるので,  $[\text{OH}^-]$  はほとんど増加しない。



問6 (1)  $T_1$  より  $T_2$  の方が温度は高いため反応速度は大きくなり, 早く平衡に達する。また, 問題文の式よりこの反応は発熱反応であるため, 高温では平衡は左に移動し,  $\text{NO}_2$  は増加していると考えられる(ルシャトリエの原理)。

温度上昇により容器内の圧力が上がり, 右向きの反応が進むことも考えられるが, 設問文の「平衡状態に達したときは  $T_1$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] のときとくらべて混合気体の色が濃い状態であった」という点から, 平衡時の  $\text{NO}_2$  は  $T_1$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] のときより多くなっていると覚えてよい。

(2) 最初の  $\text{NO}_2$  の物質量を  $n$  [mol] とすると, 40% が  $\text{N}_2\text{O}_4$  に変化していたため, 反応した  $\text{NO}_2$  の物質量は  $0.4n$  [mol] である。



反応前	$n$	0	mol
変化量	$-0.4n$	$+0.2n$	mol
平衡時	$0.6n$	$0.2n$	mol

平衡時の全物質量は,

$$0.6n \text{ [mol]} + 0.2n \text{ [mol]} = 0.8n \text{ [mol]}$$

また, 分圧 = 全圧  $\times$  モル分率より,

$$P_{\text{NO}_2} : 2.4 \times 10^5 \text{ Pa} \times \frac{0.6n}{0.8n} = 1.8 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{N}_2\text{O}_4} : 2.4 \times 10^5 \text{ Pa} \times \frac{0.2n}{0.8n} = 0.60 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$K_p = \frac{P_{\text{N}_2\text{O}_4}}{(P_{\text{NO}_2})^2} = \frac{0.60 \times 10^5 \text{ Pa}}{1.8 \times 10^5 \text{ Pa} \times 1.8 \times 10^5 \text{ Pa}} = \frac{1}{5.4 \times 10^5 \text{ Pa}}$$

$$= 1.85 \cdots \times 10^{-6} \text{ Pa}^{-1} \approx \underline{1.9 \times 10^{-6} \text{ Pa}^{-1}}$$

**正解へのPoint** 緩衝液

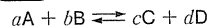
緩衝液は, 少量の酸や塩基を加えても pH がほとんど変化しない溶液であるから,  $\text{H}^+$  と反応する溶質粒子と,  $\text{OH}^-$  と反応する溶質粒子の両方が含まれる。

弱酸とその塩の混合溶液および, 弱塩基とその塩の混合溶液は, 緩衝作用を示す。

**重要** 分圧と物質量の関係

混合気体中における, 各成分気体の分圧の比は, 物質量の比に等しい。

**公式** 圧平衡定数



( $a \sim d$  は気体 A ~ D の係数)

の気体反応における圧平衡定数  $K_p$  は, それぞれの気体の分圧を  $p_A \sim p_D$  とすると,

$$K_p = \frac{p_C^c p_D^d}{p_A^a p_B^b}$$

**4** 無機物質 (20 点)

解答・配点

問1 **2**

2 点

問2 **6**

3 点

問3 **3**

3 点

問4  $2.8 \times 10^2 \text{ kg}$

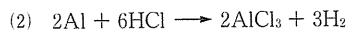
3 点

問5 **1, 4**

4 点(順不同・各2)

問6 (1) 両性

2 点



3 点

●解説

問1 **1** 正しい。貴ガス(希ガス)の原子の電子配置は安定で, 価電子の数は0としている。

**2** 誤り。同温・同圧の下での気体の密度は, 分子量に比例する。最も小さいものは水素  $\text{H}_2$  (分子量 2.0) である。ヘリウム  $\text{He}$  の分子量は 4.0 であり, 2 番目に小さい。

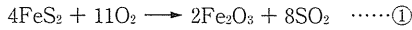
3 正しい。放電管に貴ガスを封入することで、さまざまな色の光を発することができる。

4 正しい。大気を構成する気体は、多い順に窒素、酸素、アルゴン、二酸化炭素の順である。

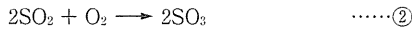
よって、正解は2である。

問2 工業的な硫酸の製造は接触法とよばれ、次のように行われる。

・現在では、石油精製の際に得られる硫黄を燃焼させて二酸化硫黄を得ている。また、過去には黄鉄鉱(主成分  $\text{FeS}_2$ )などの硫化物を燃焼させて、二酸化硫黄を得ていた。

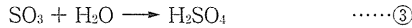


・酸化バナジウム(V)  $\text{V}_2\text{O}_5$  を触媒として、二酸化硫黄を空气中的酸素と反応させて三酸化硫黄とする。



(触媒  $\text{V}_2\text{O}_5$ )

・三酸化硫黄を濃硫酸に吸収させて発煙硫酸とし、希硫酸でうすめて濃硫酸をつくる。



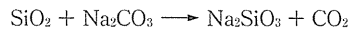
①~③の化学反応式より、1 mol の  $\text{FeS}_2$  から 2 mol の  $\text{SO}_2$  が得られ、1 mol の  $\text{SO}_2$  から 1 mol の  $\text{H}_2\text{SO}_4$  が得られるので、理論上は 1 mol の  $\text{FeS}_2$  からは  $\frac{b}{a}$  mol の硫酸  $\text{H}_2\text{SO}_4$  が得られることになる。

よって、正解は6である。

問3 1 誤り。岩石や鉱物といった地殻を構成する基本的な成分元素の質量百分率の値が最も大きいものは酸素で、次いで、ケイ素、アルミニウム、鉄の順である。

2 誤り。二酸化ケイ素は石英や水晶の成分で、酸性酸化物であり、酸とは反応しない。

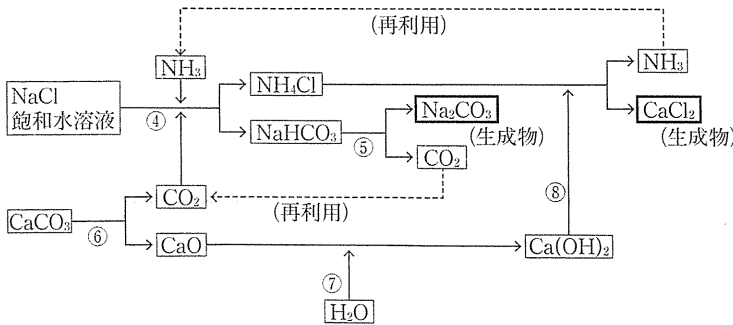
3 正しい。酸性酸化物の二酸化ケイ素は、水酸化ナトリウムや炭酸ナトリウムのような塩基と反応してケイ酸ナトリウムとなる。



4 誤り。ケイ酸ナトリウムに水を加えて加熱すると、水ガラスとよばれる粘度の大きい液体が得られる。水ガラスの水溶液に酸を加えると、ケイ酸  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  が析出し、これを乾燥させたものがシリカゲルである。

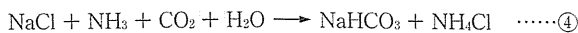
よって、正解は3である。

問4 炭酸ナトリウムの工業的製法であるアンモニアソーダ法は次のように示される。反応の過程で生じたアンモニアや二酸化炭素は再利用される(図ア)。

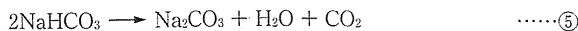


図ア

・塩化ナトリウムの飽和水溶液にアンモニアを吸収させた後、二酸化炭素を通じると、溶解度の小さい炭酸水素ナトリウムが析出する。



・炭酸水素ナトリウムを熱分解して炭酸ナトリウムを得る。



・⑤の反応で生じた二酸化炭素は回収して④の反応に利用し、不足分は石灰石の熱分

**重要** 貴ガス(希ガス)の性質

- ・空気中にわずかに存在する無色・無臭の気体で、融点・沸点が非常に低い。
- ・安定な電子配置をとり、価電子の数は0である。
- ・極めて安定で、ほかの原子と結びつかず、化合物をつくりにくい。

**参考** 工業的製法

反応容器や反応条件、触媒などを工夫した、次のような工業的製法が知られている。

- ・接触法：硫酸の製法
- ・オストワルト法：硝酸の製法
- ・ハーバー・ボッシュ法：アンモニアの製法
- ・アンモニアソーダ法(ソルベー法)：炭酸ナトリウムの製法

**参考** ケイ素の化合物の変化

- 石英  $\text{SiO}_2$
- ↓ (塩基を加えて加熱)
- ケイ酸ナトリウム  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$
- ↓ (水を加えて加熱)
- 水ガラス
- ↓ (酸を加える)
- ケイ酸  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
- ↓ (乾燥)
- シリカゲル

**正解へのPoint** アンモニアソーダ法

炭酸ナトリウムの工業的製法であり、左の④~⑧の反応を組み合わせで行われる。反応過程で生じた二酸化炭素やアンモニアは、再利用して用いられ、最終的には 2 mol の  $\text{NaCl}$  から 1 mol の  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  が生成する。

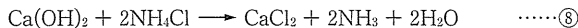
解で生成する。



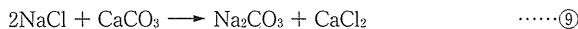
・⑥で生成した酸化カルシウムと水から、水酸化カルシウムを得る。



・④で生成した塩化アンモニウムと、⑦で生成した水酸化カルシウムを反応させてアンモニアを回収し、④の反応に利用する。



④～⑧の反応をまとめると次の化学反応式となる。



⑨の化学反応式より、2 mol の NaCl から 1 mol の Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> が生成することがわかる。100 kg の炭酸ナトリウムを得るために必要な塩化ナトリウムの質量を x [kg] とすると、NaCl のモル質量は 58.5 g/mol、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> のモル質量は 106 g/mol なので、

$$\frac{x \times 10^3 \text{ [g]} \times \frac{40}{100}}{58.5 \text{ g/mol}} \times \frac{1}{2} = \frac{100 \times 10^3 \text{ g}}{106 \text{ g/mol}}$$
$$x = 2.75 \dots \times 10^2 \text{ kg} \doteq \underline{2.8 \times 10^2 \text{ kg}}$$

問5 1 いずれにも当てはまる。マグネシウム、カルシウムともに周期表の2族に属し、価電子が2個なので、2価の陽イオンになりやすい。

2 マグネシウムのみ当てはまる。カルシウムは常温の水と反応して水素を発生するが、マグネシウムは熱水でないと反応しない。

3 マグネシウムのみ当てはまる。硫酸マグネシウム MgSO<sub>4</sub> は水に可溶だが、硫酸カルシウム CaSO<sub>4</sub> は水に微溶で、よく溶けるとはいえない。

4 いずれにも当てはまる。炭酸マグネシウム MgCO<sub>3</sub>、炭酸カルシウム CaCO<sub>3</sub> ともに水に不溶。

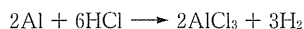
5 カルシウムのみ当てはまる。カルシウムは<sup>とろ</sup>橙赤色の炎色反応を示すが、マグネシウムは炎色反応を示さない。

よって、正解は **1, 4** である。

問6 (1) 酸や強塩基の水溶液と反応して、それぞれ塩をつくるような金属を**両性金属**といい、アルミニウム、亜鉛、スズ、鉛などが知られている。

(2) アルミニウムが塩酸、水酸化ナトリウム水溶液と反応するときの化学反応式は次のように示され、いずれも水素が発生する。

塩酸との反応



水酸化ナトリウム水溶液との反応



**参考** 両性金属の性質

Al, Zn, Sn, Pb の単体は、酸や強塩基の水溶液と反応して水素を発生する。このような金属を両性金属という。

両性金属の酸化物や水酸化物も、酸、強塩基のいずれとも反応するので、それぞれ両性酸化物、両性水酸化物という。

**5** 有機化合物 (20 点)

解答・配点

問1 2

3点

問2 3

3点

問3 2, 3, 5

3点 (順不同・完解)

問4 4

3点

問5 86%

4点

問6 6種類

4点



●解説

問1 1 正しい。成分元素の炭素は、完全燃焼して二酸化炭素となる。二酸化炭素を石灰水(水酸化カルシウム水溶液)に通すと、炭酸カルシウムの白色沈殿を生じて白濁する。

2 誤り。成分元素の窒素は、水酸化ナトリウムとともに加熱することでアンモニアとなる。アンモニアを湿った赤色リトマス紙に触れさせると青変する。

3 正しい。成分元素の硫黄は、単体のナトリウムとともに加熱すると硫化ナトリウムとなり、酢酸鉛(II)水溶液を加えると硫化鉛(II)PbSの黒色沈殿を生じる。

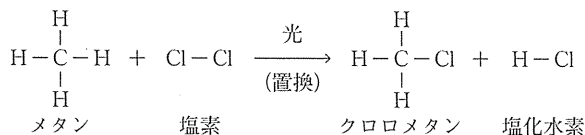
4 正しい。成分元素の塩素は、高温で銅と反応して塩化銅(II)となり、青緑色の炎色反応を示す(バイルシュタイン試験とよばれ、Cl, Br, Iの検出に用いられる)。

よって、正解は2である。

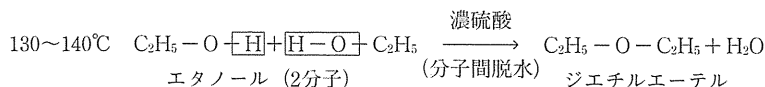
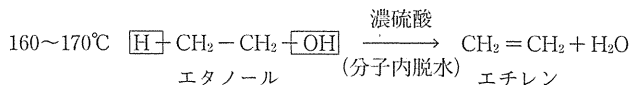
問2 元素分析の実験装置では、有機化合物に乾燥した酸素を通じて加熱し、生成した気体をまず a 酸化銅(II)の中を通す。これは不完全燃焼で生じる生成物を完全に酸化するためである。これに続く吸収管は最初に b 塩化カルシウム管、その後 c ソーダ石灰管を用いる。塩化カルシウム管では水が、ソーダ石灰管では二酸化炭素が吸収され、その質量増加の値から組成式を求めることができる。塩化カルシウム管とソーダ石灰管を連結する順序を変えると、ソーダ石灰は二酸化炭素だけでなく水も吸収するので、それぞれの質量の区別がつかなくなる。よって、正解は3である。

問3 常温で臭素の色が脱色される現象は、臭素 Br<sub>2</sub> 分子が有機化合物の構造の一部に付加反応を起こして、臭素の赤褐色が消える反応を意味する。常温で臭素分子が付加するのは、炭素原子間の二重結合(アルケン・シクロアルケン分子内)、または三重結合(アルキン分子内)の部分であるから、分子内にその構造をもつ、2(プロペン)、3(アセチレン)、5(シクロヘキセン)の三つが正解となる。

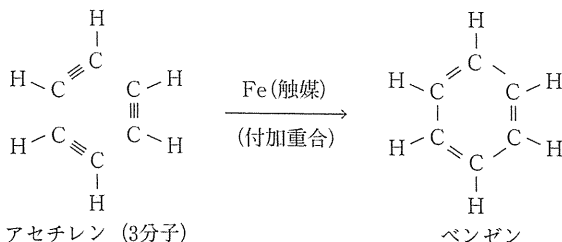
問4 1 正しい。アルカンは塩素とともに光を当てると、次のような置換反応が起こる。



2 正しい。エタノールと濃硫酸の反応は、次のように温度によって、おもに生成する物質が異なる。



3 正しい。アセチレン3分子が付加重合することで、ベンゼンが生成する。



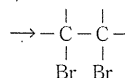
4 誤り。リン酸触媒を用いてエチレンに水を付加すると、次のように反応してエタノールが生成する。

【参考】有機化合物の成分元素の検出

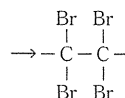
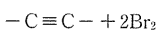
それぞれの元素に特有の検出反応がある。左に示したもののほかには、水素の検出があり、完全燃焼で生じる水を、硫酸銅(II)無水物の青変や、塩化コバルト紙の赤変で検出する。

【正解へのPoint】アルケンと

アルキンに対する臭素付加  
・アルケンに対する臭素付加  
-C=C- + Br<sub>2</sub>



・アルキンに対する臭素付加



【重要】エタノールと濃硫酸の反応

温度によって、おもな生成物が異なる。

- ・160~170℃:エチレンが生成(分子内脱水)
- ・130~140℃:ジエチルエーテルが生成(分子間脱水)

【正解へのPoint】脂肪族化合物の反応と生成物

- ・アセチレン3分子の付加重合  
→ベンゼンが生成
- ・エチレンへの水付加  
→エタノールが生成
- ・アセチレンへの水付加  
→アセトアルデヒドが生成
- ・酢酸ナトリウムに強塩基を加えて加熱  
→メタンが生成

