

クラス		受験番号	
出席番号		氏名	

2016年度 第2回 全統マーク模試
 学習の手引き【解答・解説集】

数 学 ・ 理 科

【2016年8月実施】

• 数 学

数学①

数学Ⅰ	1
数学Ⅰ・数学A	20

数学②

数学Ⅱ	46
数学Ⅱ・数学B	54

• 理 科

理科①

物理基礎	75
化学基礎	82
生物基礎	90
地学基礎	96

理科②

物理	108
化学	120
生物	137
地学	151

英語冊子巻末に「自己採点シート」と「学力アップ・志望校合格のための復習法」を掲載していますので、志望校合格へむけた効果的な復習のためにご活用ください。

河合塾



1660620119502140

≡ ≡ ≡ 化 学 ≡ ≡ ≡

【解答・採点基準】

(100点満点)

問題番号	設問	解答番号	正解	配点	自己採点
第1問	問1	1	③	3	
	問2	2	⑤	4	
	問3	3	⑥	3	
	問4	4	④	4	
	問5	5	④	4	
第1問 自己採点小計				(18)	
第2問	問1	1	②	4	
	問2	2	④	4	
	問3	3	⑥	3	
		4	⑤	3	
	問4	5	④	4	
第2問 自己採点小計				(18)	
第3問	問1	1	④	3	
	問2	2	⑤	3	
		3	⑥	4	
	問3	4	②	4	
	問4	5	②	4	
第3問 自己採点小計				(18)	
第4問	問1	1	②	3	
		2	③	3	
	問2	3	⑤	4	
	問3	4	⑤	4	
	問4	5	③	4	
第4問 自己採点小計				(18)	
第5問	問1	1	①	3	
	問2	2	⑤	4	
	問3	3	①	3	
	問4	4	③	4	
第5問 自己採点小計				(14)	
第6問	問1	1	③	3	
	問2	2	⑤	4	
	問3	3	④	4	
		4	②	3	
第6問 自己採点小計				(14)	
自己採点合計				(100)	

【解説】

第1問 物質の構成, 原子量, 化学反応の量的関係

問1 単体の状態

すべての元素の中で, 常温・常圧で単体が液体であるものは, 臭素 Br_2 と ③水銀 Hg のみである。よって, ③が正解である。

なお, ①Pt, ⑤Ag は固体, ② Cl_2 , ④ N_2 は気体である。

1 ... ③

問2 元素の性質, 電子配置

第2周期の元素は, Li, Be, B, C, N, O, F, Ne である。

① 正しい。Li, Be は金属元素, B, C, N, O, F, Ne は非金属元素である。

② 正しい。原子の最外電子殻は, 第1周期の元素の原子では K 殻, 第2周期の元素の原子では L 殻, 第3周期の元素の原子では M 殻, 第4周期の元素の原子では N 殻である。

③ 正しい。イオン化エネルギーは, 同一周期では1族の元素が最も小さく, 18族の希ガス元素が最も大きい。また, イオン化エネルギーが小さい元素ほど, 陽イオンになりやすい。よって, 第2周期の中で最も陽イオンになりやすい元素は, イオン化エネルギーが最も小さいリチウム Li である。

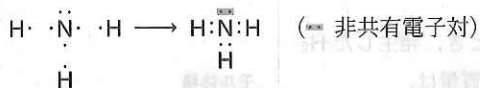
④ 正しい。電子親和力は, 同一周期では17族のハロゲン元素が最も大きい。よって, 第2周期の中で最も電子親和力が大きい元素は, フッ素 F である。なお, 電子親和力が大きい元素ほど陰イオンになりやすいので, 第2周期の中では, フッ素が最も陰イオンになりやすい。

⑤ 誤り。電気陰性度は, 18族を除き, 一般に周期表の右上にある元素ほど大きい。よって, 第2周期の中で, 電気陰性度が最も大きい元素はフッ素 F であり, 最も小さい元素がリチウム Li である。

2 ... ⑤

問3 電子式

ア アンモニア NH_3 は, 1個の窒素原子 N に3個の水素原子 H が共有結合により結びついた分子であり, 1組の非共有電子対をもつ。



イ フッ化水素 HF は, 1個の水素原子 H と1個のフッ素原子 F が共有結合により結びついた分子であり, 3組の非共有電子対をもつ。



ウ 塩素 Cl_2 は, 2個の塩素原子 Cl が共有結合により結びつい

【ポイント】

単体の状態(常温・常圧)

気体 $\text{H}_2, \text{N}_2, \text{O}_2(\text{O}_3), \text{F}_2, \text{Cl}_2$, 希ガス(He, Ne, Ar など)

液体 Br_2, Hg

固体 上記以外の単体

イオン化エネルギー(第一イオン化エネルギー)

原子から電子1個を取り去って, 1価の陽イオンにするときに必要なエネルギー。イオン化エネルギーが小さい原子ほど陽イオンになりやすい。

電子親和力

原子が電子1個を受け取って, 1価の陰イオンになるときに放出されるエネルギー。電子親和力が大きい原子ほど陰イオンになりやすい。

電気陰性度

原子が共有電子対を引きつける強さを数値で表したものの。電気陰性度の大きい原子ほど共有電子対を強く引きつける。おもな非金属元素の電気陰性度の大きさは, $\text{F} > \text{O} > \text{Cl} > \text{N} > \text{C} > \text{H}$ の順である。

不対電子

共有結合を形成する前の対になっていない価電子。Hには1個, Cには4個, Nには3個, Oには2個, Fには1個の不対電子がある。

共有電子対

二原子間で共有されている電子対。

非共有電子対

共有結合に使われていない電子対。

た分子であり、6組の非共有電子対をもつ。



以上より、非共有電子対の数が多い順は、⑥ウ>イ>アである。

3...⑥

問4 原子量

元素の原子量は、同位体の相対質量と存在比から求められる平均の相対質量であり、次式で表される。

$$\text{原子量} = \left(\text{同位体の相対質量} \times \frac{\text{存在比}(\%)}{100} \right) \text{の和}$$

質量数63の銅⁶³Cuの存在比を x (%)とすると、質量数65の銅⁶⁵Cuの存在比は $100-x$ (%)となり、銅の原子量について、

$$62.9 \times \frac{x}{100} + 64.9 \times \frac{100-x}{100} = 63.5$$

$$x = 70\%$$

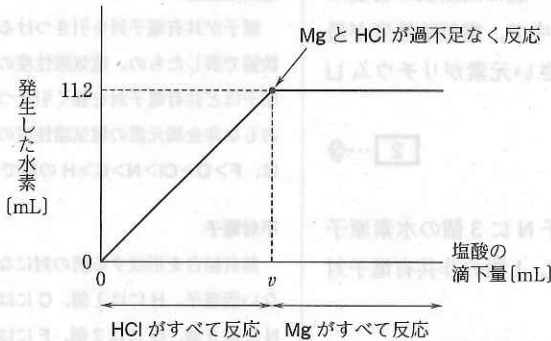
4...④

問5 化学反応の量的関係

マグネシウムMgに塩酸(HClの水溶液)を滴下すると、次の反応により水素H₂が発生する。



用いたMgの物質量を x [mol]とすると、(1)式より、加えたHClの物質量が $2x$ [mol]のとき、MgとHClが過不足なく反応する。加えたHClの物質量が $2x$ [mol]より小さいときは、HClがすべて反応し、Mgが残る。このときのH₂の発生量は、加えたHClの量に比例する。また、加えたHClの物質量が $2x$ [mol]より大きいときは、Mgがすべて反応し、HClが残る。このときのH₂の発生量は、Mgの量で決まり、一定となる。



① 正しい。塩酸の滴下量が v [mL]以上のとき、発生したH₂の標準状態での体積は11.2 mLであり、その物質量は、

$$\frac{11.2 \times 10^{-3} \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 5.0 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

② 正しい。塩酸の滴下量が v [mL]未満のとき、HClがすべて反応し、未反応のMgが残る。

③ 正しい。Mgがすべて反応するとき、発生するH₂の物質量

【解答】

原子の相対質量

質量数12の炭素原子¹²C1個の質量を12と定めたとときの、原子の質量の相対値。

原子量

元素を構成する同位体の相対質量と存在比から求められる平均の相対質量。

化学反応式と量的関係

(反応式中の係数の比)

$$= \left(\frac{\text{反応により変化する}}{\text{物質の物質量の比}} \right)$$

モル体積

物質1 molの体積をモル体積という。標準状態の気体のモル体積は、気体の種類によらず、22.4 L/molである。

は 5.0×10^{-4} mol なので、用いた Mg (24 g/mol) の質量を w [mg] とすると、(1)式より、

$$\frac{w \times 10^{-3} \text{ [g]}}{24 \text{ g/mol}} : 5.0 \times 10^{-4} \text{ mol} = 1 : 1$$

$$w = 12 \text{ mg}$$

④ 誤り。塩酸の滴下量が v [mL] のとき、Mg と HCl が過不足なく反応する。用いた Mg は 5.0×10^{-4} mol なので、(1)式より、

$$5.0 \times 10^{-4} \text{ mol} : 0.10 \text{ mol/L} \times \frac{v}{1000} \text{ [L]} = 1 : 2$$

$$v = 10 \text{ mL}$$

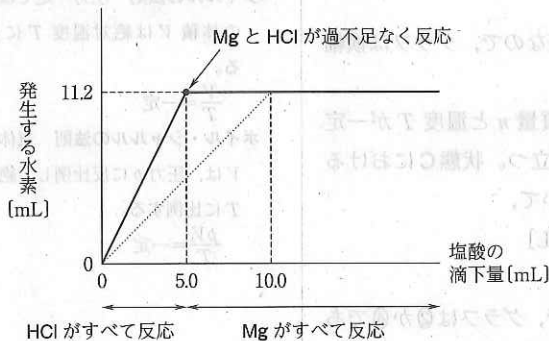
⑤ 正しい。(1)式より、発生する H₂ の物質量の最大量は、用いた Mg の物質量と等しい。よって、塩酸の濃度を 2 倍にしても、発生する水素の最大量は変わらない。

なお、Mg と HCl が過不足なく反応するときの 0.20 mol/L 塩酸の滴下量を v' [mL] とすると、

$$5.0 \times 10^{-4} \text{ mol} : 0.20 \text{ mol/L} \times \frac{v'}{1000} \text{ [L]} = 1 : 2$$

$$v' = 5.0 \text{ mL}$$

よって、この場合、塩酸の滴下量 [mL] と発生する水素の標準状態での体積 [mL] の関係は次のようになる。



5 ... ④

第2問 蒸気圧、気体の法則、気体の溶解度

問1 蒸気圧

① 正しい。蒸気圧(飽和蒸気圧)が外圧と等しくなると、液体の内部からも気泡が発生する。この現象を沸騰といい、沸騰が起こる温度を沸点という。蒸気圧曲線より、外圧 7.0×10^4 Pa のもとでの水の沸点は、その蒸気圧が 7.0×10^4 Pa になる 90°C である。

② 誤り。 100°C での水の蒸気圧は 1.013×10^5 Pa である。蒸気圧より低い圧力のもとで、物質はすべて気体になるので、 100°C 、 4.0×10^4 Pa に保つと、封入した水はすべて水蒸気になる。

③ 正しい。蒸気圧曲線より、同じ温度での蒸気圧は、水の方がジエチルエーテルより小さい。

モル質量

物質 1 mol の質量をモル質量という。原子・分子・イオンなどのモル質量は、原子量・分子量・式量に単位 g/mol をつけたものになる。

モル濃度

溶液 1 L あたりに溶けている溶質の物質量 [mol] で表した濃度。

モル濃度 [mol/L]

$$= \frac{\text{溶質の物質量 [mol]}}{\text{溶液の体積 [L]}}$$

蒸気圧(飽和蒸気圧)

液体とその蒸気が共存して気液平衡の状態にあるとき、蒸気の示す圧力。温度が一定のとき、蒸気圧は一定であり、共存している液体の量や、気体の体積に関係しない。

沸点

蒸気圧が外圧(明記されていない場合は 1.013×10^5 Pa)と等しくなる温度。

④ 正しい。分子間力が強い物質ほど蒸発しにくいので、同じ温度における蒸気圧は小さく、また、沸点は高くなる。水とジエチルエーテルでは、水の方が同じ温度での蒸気圧は小さく、また、沸点は高い(大気圧 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ のもとでの沸点は、ジエチルエーテル: 34°C 、水: 100°C)ことから、分子間力は、水の方がジエチルエーテルより強いことがわかる。

⑤ 正しい。グルコースのような不揮発性の物質を溶かした溶液では、溶液全体の粒子の数に対する溶媒分子の割合が減少し、液体表面から蒸発する溶媒分子の数が減少するため、溶液の蒸気圧は、同じ温度の純溶媒の蒸気圧より小さくなる。これを蒸気圧降下という。したがって、同じ温度でのグルコース水溶液の蒸気圧は、純水の蒸気圧より小さい。

1 ... ②

問2 気体の法則

状態AからBへの変化では、気体の物質質量 n と圧力 p が一定なので、シャルルの法則 $\left(\frac{V}{T} = \text{一定}\right)$ が成り立つ。状態Bにおける体積を V_B [L] とすると、状態A, Bについて、

$$\frac{V_0 \text{ [L]}}{T_0 \text{ [K]}} = \frac{V_B \text{ [L]}}{3T_0 \text{ [K]}}$$

$$V_B = 3V_0 \text{ [L]}$$

また、AからBへの変化では圧力が一定なので、グラフは横軸に平行な直線になる。

状態BからCへの変化では、気体の物質質量 n と温度 T が一定なので、ボイルの法則 ($pV = \text{一定}$) が成り立つ。状態Cにおける体積を V_C [L] とすると、状態B, Cについて、

$$P_0 \text{ [Pa]} \times 3V_0 \text{ [L]} = 3P_0 \text{ [Pa]} \times V_C \text{ [L]}$$

$$V_C = V_0 \text{ [L]}$$

また、圧力 p と体積 V は反比例するので、グラフは②か④である。

状態CからDへの変化では、気体の物質質量 n が一定なので、ボイル・シャルルの法則 $\left(\frac{pV}{T} = \text{一定}\right)$ が成り立つ。状態Dにおける体積を V_D [L] とすると、状態C, Dについて、

$$\frac{3P_0 \text{ [Pa]} \times V_0 \text{ [L]}}{3T_0 \text{ [K]}} = \frac{4P_0 \text{ [Pa]} \times V_D \text{ [L]}}{4T_0 \text{ [K]}}$$

$$V_D = V_0 \text{ [L]}$$

また、CからDへの変化では体積が一定なので、グラフは縦軸に平行な直線になる。

以上より、最も適当なグラフは④である。

2 ... ④

蒸気圧降下

溶質が不揮発性物質の場合、ある温度での溶液の蒸気圧は、純溶媒の蒸気圧より低い。希薄溶液の蒸気圧降下の度合いは、溶質が非電解質の場合、溶液の質量モル濃度に比例する。

気体の法則

一定量の気体では、

ボイルの法則 温度一定では、気体の体積 V は圧力 p に反比例する。

$$pV = \text{一定}$$

シャルルの法則 圧力一定では、気体の体積 V は絶対温度 T に比例する。

$$\frac{V}{T} = \text{一定}$$

ボイル・シャルルの法則 気体の体積 V は、圧力 p に反比例し、絶対温度 T に比例する。

$$\frac{pV}{T} = \text{一定}$$

問3 混合気体

a 理想気体の状態方程式より、 $n = \frac{pV}{RT}$ であり、一定温度では気体の物質量 n は圧力 p と体積 V の積に比例する。

容器 A, B 内の温度は等しいので、容器 A に封入されているアルゴン Ar の物質量を n_{Ar} [mol]、容器 B に封入されている窒素 N_2 の物質量を n_{N_2} [mol] とすると、これらの比は、

$$\begin{aligned} n_{Ar} : n_{N_2} &= (1.5 \times 10^5 \text{ Pa} \times 1.0 \text{ L}) : (4.5 \times 10^5 \text{ Pa} \times 2.0 \text{ L}) \\ &= 1 : 6.0 \end{aligned}$$

以上より、 N_2 の物質量は Ar の物質量の 6.0 倍である。

3 ... ⑥

b コックを開く前後では、気体の物質量および温度が一定なので、それぞれの気体についてボイルの法則が成り立つ。したがって、Ar の分圧を P_{Ar} [Pa]、 N_2 の分圧を P_{N_2} [Pa] とすると、

$$Ar \quad 1.5 \times 10^5 \text{ Pa} \times 1.0 \text{ L} = P_{Ar} \text{ [Pa]} \times (1.0 + 2.0) \text{ L}$$

$$P_{Ar} = 0.50 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$N_2 \quad 4.5 \times 10^5 \text{ Pa} \times 2.0 \text{ L} = P_{N_2} \text{ [Pa]} \times (1.0 + 2.0) \text{ L}$$

$$P_{N_2} = 3.0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

したがって、全圧 P [Pa] は、

$$P = P_{Ar} + P_{N_2} = 0.50 \times 10^5 \text{ Pa} + 3.0 \times 10^5 \text{ Pa} = 3.5 \times 10^5 \text{ Pa}$$

4 ... ⑤

問4 気体の溶解度

$1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ の空気(窒素 : 酸素 = 4 : 1 の体積比*の混合気体)中の窒素の分圧は、分圧 = 全圧 × モル分率より、

$$1.0 \times 10^5 \text{ Pa} \times \frac{4}{4+1} = 0.80 \times 10^5 \text{ Pa}$$

窒素などの水に難溶性の気体の水への溶解量(物質量や質量)は、ヘンリーの法則に従い、水に接しているその気体の分圧と水の量に比例するので、溶けている窒素 N_2 の物質量は、

$$\begin{aligned} 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \times \frac{0.80 \times 10^5 \text{ Pa}}{1.0 \times 10^5 \text{ Pa}} \times \frac{2.0 \text{ L}}{1.0 \text{ L}} \\ = 1.6 \times 10^{-3} \text{ mol} \end{aligned}$$

* 一般に気体の体積比は、同温・同圧での気体の体積の比を表す。同温・同圧の気体の体積は物質量に比例するので、体積比 = 物質量比である。

5 ... ④

第3問 結晶、固体の溶解度、コロイド

問1 結晶の分類

① 正しい。銅 Cu は、銅原子が自由電子による金属結合によって結びついた結晶で、金属結晶に分類される。

② 正しい。ヨウ素 I_2 は、2 個のヨウ素原子 I が共有結合で結びついた分子である。ヨウ素の結晶は、ヨウ素分子 I_2 がファンデ

理想気体の状態方程式

気体の物質量 n [mol]、圧力 p [Pa]、体積 V [L]、絶対温度 T [K]、気体定数 R [Pa·L/(K·mol)] とすると、

$$pV = nRT$$

混合気体の圧力

全圧 混合気体が示す圧力。

分圧 成分気体が単独で、混合気体と同じ体積を占めたときの圧力。

・全圧 = 分圧の総和(ドルトンの分圧の法則)

・分圧 = 全圧 × モル分率

・分圧の比 = 物質量の比

ヘンリーの法則

一定温度で一定量の液体に溶ける気体の物質量や質量は、その気体の圧力(分圧)に比例する。

結晶の分類

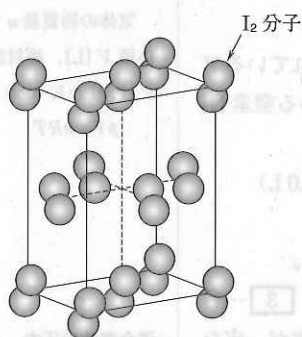
金属結晶 金属原子が自由電子による金属結合で結びついた結晶。

例 鉄 Fe、アルミニウム Al、銅 Cu

分子結晶 原子が共有結合で結びついて分子をつくり、その分子が分子間力(ファンデルワールス力や水素結合)で結びついてきた結晶。

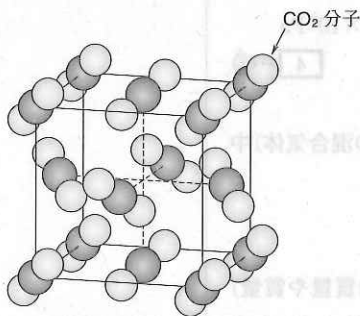
例 水 H_2O 、ドライアイス CO_2 、ヨウ素 I_2

ルワールス力によって結びついた結晶であり、分子結晶に分類される。



③ 正しい。硫酸ナトリウム Na_2SO_4 は、ナトリウムイオン Na^+ と硫酸イオン SO_4^{2-} がイオン結合で結びついた結晶であり、イオン結晶に分類される。

④ 誤り。二酸化炭素 CO_2 は、1 個の炭素原子 C と 2 個の酸素原子 O が共有結合で結びついた分子である。二酸化炭素の結晶(ドライアイス)は、二酸化炭素分子 CO_2 がファンデルワールス力によって結びついた結晶であり、分子結晶に分類される。



⑤ 正しい。塩化アンモニウム NH_4Cl は、アンモニウムイオン NH_4^+ と塩化物イオン Cl^- がイオン結合で結びついた結晶であり、イオン結晶に分類される。

1 ... ④

問2 塩化セシウムの結晶構造

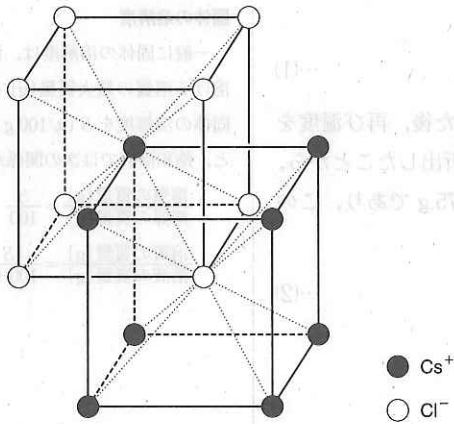
a 塩化セシウム CsCl の結晶では、次の図のように、1 個の塩化物イオン Cl^- に接しているセシウムイオン Cs^+ の数は 8 である。なお、1 個の Cs^+ に接している Cl^- の数も 8 である。

共有結合の結晶 原子が共有結合で次々と結びついた結晶。

例 ダイヤモンド C, 黒鉛 C, ケイ素 Si, 二酸化ケイ素 SiO_2

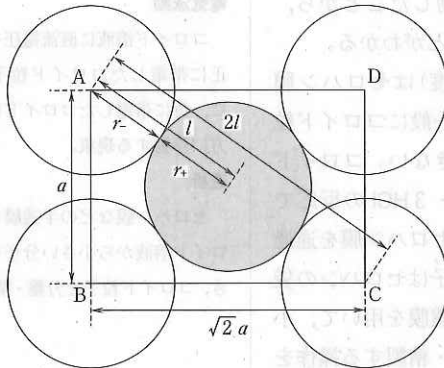
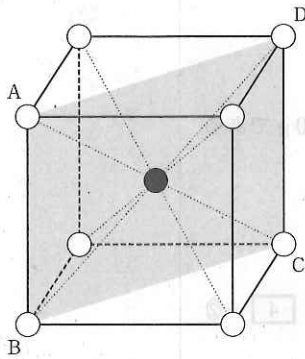
イオン結晶 陽イオンと陰イオンがイオン結合で結びついた結晶。

例 塩化ナトリウム NaCl , 炭酸カルシウム CaCO_3 , 塩化アンモニウム NH_4Cl



2 … ⑥

b 単位格子(立方体)の頂点A, B, C, Dを通る平面で切断したときの断面図は次のようになる。



隣り合うCs⁺とCl⁻の中心間距離を l [cm] とすると、図より、

$$2l = \sqrt{3} a$$

$$l = \frac{\sqrt{3}}{2} a$$

3 … ⑥

問3 固体の溶解度

40℃での塩化カリウム KCl の溶解度を S [g/100 g 水], 40℃の飽和水溶液 350 g 中に溶けている塩化カリウムを a [g] とする

と、次の関係が成り立つ。

$$\frac{\text{溶質の質量}}{\text{溶液の質量}} = \frac{S [\text{g}]}{100+S [\text{g}]} = \frac{a [\text{g}]}{350 \text{g}} \quad \dots(1)$$

この水溶液を加熱し、125 g の水を蒸発させた後、再び温度を 40 °C に保ったところ、50 g の塩化カリウムが析出したことから、残った飽和水溶液の質量は (350-125-50=)175 g であり、この溶液について次の関係が成り立つ。

$$\frac{\text{溶質の質量}}{\text{溶液の質量}} = \frac{S [\text{g}]}{100+S [\text{g}]} = \frac{a-50 [\text{g}]}{175 \text{g}} \quad \dots(2)$$

(1), (2)式より、

$$\frac{a [\text{g}]}{350 \text{g}} = \frac{a-50 [\text{g}]}{175 \text{g}}$$

$$a=100 \text{g}$$

よって、(1)式より、

$$\frac{S [\text{g}]}{100+S [\text{g}]} = \frac{100 \text{g}}{350 \text{g}}$$

$$S=40 \text{g}$$

[別解]

蒸発した水 125 g に溶解していた塩化カリウムが 50 g であることから、

$$\frac{\text{溶質の質量}}{\text{溶媒の質量}} = \frac{S [\text{g}]}{100 \text{g}} = \frac{50 \text{g}}{125 \text{g}}$$

$$S=40 \text{g}$$

4 …②

問4 コロイド

① 正しい。電気泳動により陰極方向に移動したことから、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ のコロイド粒子は、正の電荷をもつことがわかる。

② 誤り。小さい分子やイオン (10^{-10} m 程度) はセロハン膜 (目の大きさは 10^{-9} m 程度) を通過できるが、一般にコロイド粒子 ($10^{-9} \sim 10^{-7}$ m 程度) はセロハン膜を通過できない。コロイド溶液 A では、 $\text{FeCl}_3 + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3 \text{HCl}$ の反応で生成した水素イオン H^+ と塩化物イオン Cl^- はセロハン膜を通過して均一に拡散するが、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ のコロイド粒子はセロハンの袋の中にとどまる。なお、セロハン膜のような半透膜を用いて、小さい分子やイオンを除き、コロイド粒子を分離・精製する操作を透析という。

③ 正しい。コロイド溶液に横から光線をあてると、コロイド粒子が光を散乱させるため、光の通路が輝いて見える。この現象をチンダル現象という。

④ 正しい。疎水コロイドに少量の電解質を加えると、コロイド粒子が沈殿する。この現象を凝析という。凝析には、コロイド粒子と反対電荷の価数の大きいイオンほど有効である。 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ のコロイド溶液は疎水コロイドであり、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ のコロイド粒子

固体の溶解度

一般に固体の溶解度は、溶媒 100 g に溶ける溶質の最大質量 [g] で表される。固体の溶解度を S [g/100 g 溶媒] とすると、飽和溶液では次の関係が成り立つ。

$$\frac{\text{溶質の質量} [\text{g}]}{\text{溶媒の質量} [\text{g}]} = \frac{S}{100}$$

$$\frac{\text{溶質の質量} [\text{g}]}{\text{溶液の質量} [\text{g}]} = \frac{S}{100+S}$$

電気泳動

コロイド溶液に直流電圧をかけると、正に帯電したコロイド粒子は陰極の方に、負に帯電したコロイド粒子は陽極の方に移動する現象。

透析

セロハン膜などの半透膜を用いて、コロイド溶液から小さい分子やイオンを除き、コロイド粒子を分離・精製する操作。

チンダル現象

コロイド溶液に光線をあてると、光の通路が輝いて見える現象。

疎水コロイド

コロイド粒子の水との親和性が弱いコロイド。疎水コロイドに少量の電解質を加えると、コロイド粒子が沈殿する。この現象を凝析という。

は正の電荷をもつので、1 価の陰イオン Cl^- を含む塩化ナトリウム NaCl より、2 価の陰イオン SO_4^{2-} を含む硫酸ナトリウム Na_2SO_4 を加える方が有効であり、より少量で $\text{Fe}(\text{OH})_3$ を沈殿させることができる。

⑤ 正しい。疎水コロイドに親水コロイドを加えると、疎水コロイドの粒子が親水コロイドの粒子に取り囲まれ、凝析が起こりにくくなる場合があり、このとき加えた親水コロイドを保護コロイドという。ゼラチンのコロイド溶液は親水コロイドであり、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ のコロイド溶液に対して保護コロイドとしてはたらくので、少量の電解質を加えても沈殿が生じなくなる。

5 ... ②

親水コロイド

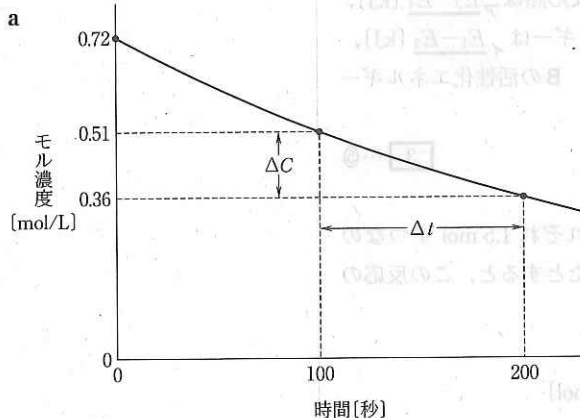
コロイド粒子が多くの水分子と水和しているコロイド。親水コロイドに多量の電解質を加えると、コロイド粒子が沈殿する。この現象を塩析という。

保護コロイド

疎水コロイドの凝析を防ぐはたらきをする親水コロイド。

第4問 反応速度と反応のしくみ、化学平衡

問1 反応速度



グラフより、100 秒から 200 秒の間の反応時間 Δt は、

$$\Delta t = 200 \text{ 秒} - 100 \text{ 秒} = 100 \text{ 秒}$$

この間の H_2O_2 のモル濃度の変化量 ΔC は、

$$\Delta C = 0.36 \text{ mol/L} - 0.51 \text{ mol/L} = -0.15 \text{ mol/L}$$

よって、 H_2O_2 の平均の分解速度 v は、

$$v = -\frac{\Delta C}{\Delta t} = -\frac{(-0.15 \text{ mol/L})}{100 \text{ 秒}} = 1.5 \times 10^{-3} \text{ mol/(L} \cdot \text{秒)}$$

1 ... ②

b 反応開始から 200 秒の間に分解した H_2O_2 の物質量は、

$$\begin{aligned} &0.72 \text{ mol/L} \times \frac{50}{1000} \text{ L} - 0.36 \text{ mol/L} \times \frac{50}{1000} \text{ L} \\ &= 1.8 \times 10^{-2} \text{ mol} \end{aligned}$$

反応式 $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ より、発生した O_2 の物質量は、

$$1.8 \times 10^{-2} \text{ mol} \times \frac{1}{2} = 9.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

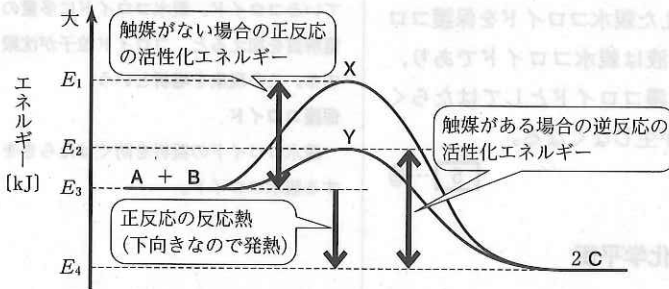
2 ... ③

反応速度

$$\text{反応速度} = \left| \frac{\text{モル濃度の変化量}}{\text{反応時間}} \right|$$

問2 反応のしくみ

反応熱は、反応物のエネルギーと生成物のエネルギーの差である。また、活性化エネルギーは、活性化状態と反応物のエネルギーの差である。触媒を用いると、活性化状態が変化し、活性化エネルギーの小さい経路で反応が進行するが、反応熱の大きさは変わらない。

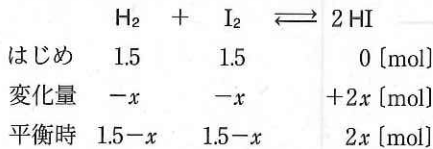


図より、正反応 $A + B \rightarrow 2C$ の反応熱は $E_3 - E_4$ [kJ]、触媒がない場合の正反応の活性化エネルギーは $E_1 - E_3$ [kJ]、触媒がある場合の逆反応 $2C \rightarrow A + B$ の活性化エネルギーは $E_2 - E_4$ [kJ] である。

3 …⑥

問3 化学平衡

容器に封入した H_2 , I_2 の物質量はそれぞれ 1.5 mol ずつなので、 x [mol] の H_2 が反応して平衡に達したとすると、この反応の量的関係は次のように表される。



体積が 1.0 L なので物質量とモル濃度は同じ値であり、化学平衡の法則より、

$$K = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]} = \frac{(2x \text{ [mol/L]})^2}{(1.5-x) \text{ [mol/L]} \times (1.5-x) \text{ [mol/L]}} = 64$$

$0 < x < 1.5$ より、

$$\frac{2x}{1.5-x} = 8.0$$

$$x = 1.2 \text{ mol}$$

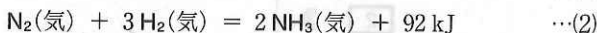
よって、平衡状態での HI の物質量は、

$$2x = 2.4 \text{ mol}$$

4 …⑤

問4 平衡移動

問題で与えられた反応式と熱化学方程式は次のとおりである。



反応熱と反応物・生成物のエネルギー

反応熱

$$= (\text{反応物のもつエネルギーの総和})$$

$$- (\text{生成物のもつエネルギーの総和})$$

活性化エネルギー

反応物を活性化状態(反応途中のエネルギーの高い不安定な状態)にするために必要な最小のエネルギー。

触媒

反応の前後で自身は変化せず、反応速度を大きくする物質。触媒を用いると、活性化エネルギーの小さい経路で反応が進行する。

化学平衡の法則(質量作用の法則)



この可逆反応の平衡定数 K は次式で表される。

$$K = \frac{[X]^x [Y]^y}{[A]^a [B]^b}$$

([] : 平衡状態における各物質のモル濃度)

平衡定数は、温度が一定ならば一定の値となる。

① 正しい。温度と体積を一定に保って H_2 を加えると、 H_2 の濃度が増加するので、ルシャトリエの原理より、(1)式の平衡は、 H_2 が減少する右に移動する。

② 正しい。(1)式の正反応では、 N_2 1分子と H_2 3分子の合計4分子から NH_3 2分子が生じるので、(1)式の正反応が進むと気体の総分子数(総物質質量)が減少し、逆反応が進むと気体の総分子数(総物質質量)が増加する。温度を一定に保って圧力を減少させると、ルシャトリエの原理より、(1)式の平衡は、気体の総分子数(総物質質量)が増加する左に移動する。

③ 誤り。(2)式より、(1)式の正反応は発熱反応であり、逆反応は吸熱反応である。温度を高くすると、ルシャトリエの原理より、(1)式の平衡は、吸熱方向である左に移動する。

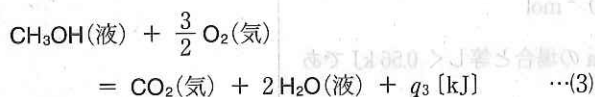
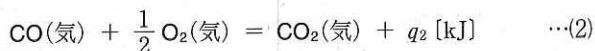
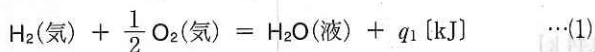
④ 正しい。触媒の有無は平衡状態に関係しないので、触媒を加えても平衡は移動しない。なお、触媒を加えると、反応速度が大きくなり、はやく平衡状態に到達する。

5 … ③

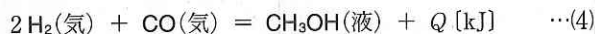
第5問 化学反応と熱、電気分解、電離平衡

問1 反応熱と熱化学方程式

水素、一酸化炭素、メタノールの燃焼熱を表す熱化学方程式は、それぞれ次の(1)~(3)式である。



反応熱を求める熱化学方程式は次の(4)式である。



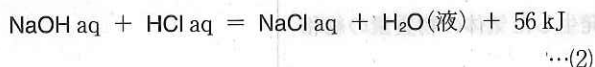
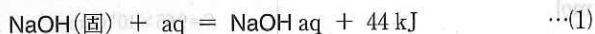
(4)式は、(1)式 \times 2+(2)式-(3)式により得られるので、

$$Q = 2q_1 + q_2 - q_3$$

1 … ①

問2 溶解熱と中和熱

水酸化ナトリウムの水への溶解熱と、水酸化ナトリウム水溶液と塩酸の中和熱を表す熱化学方程式は、それぞれ次の(1)、(2)式である。



a 水酸化ナトリウム水溶液に含まれる $NaOH$ 、および塩酸に含まれる HCl の物質質量は、ともに

ルシャトリエの原理

一般に、平衡が成立しているときの条件を変えると、その条件変化による影響を緩和する方向に平衡が移動する。

- ・温度を上げると、吸熱反応の方向に平衡は移動する。

- ・圧力を大きくすると、気体の総分子数(総物質質量)が減少する方向に平衡は移動する。

- ・物質の濃度を増加させると、その物質が反応して減少する方向に平衡は移動する。

また、逆の条件変化に対しては、それぞれ逆の方向に平衡は移動する。

なお、触媒の有無は平衡移動に無関係である。

燃焼熱

物質 1 mol が完全燃焼するときに発生する熱量。

溶解熱

溶質 1 mol が多量の溶媒に溶解するときに発生または吸収する熱量。

中和熱

酸と塩基が中和反応して水 1 mol が生成するときに発生する熱量。

$$0.10 \text{ mol/L} \times \frac{100}{1000} \text{ L} = 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

であり、中和反応によって $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$ の H_2O が生成する。(2)式より、中和熱は 56 kJ/mol なので、発生する熱量 Q_1 [kJ]は、

$$Q_1 = 56 \text{ kJ/mol} \times 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol} = 0.56 \text{ kJ}$$

b 水酸化ナトリウム水溶液に含まれる NaOH の物質量は、

$$0.10 \text{ mol/L} \times \frac{50}{1000} \text{ L} = 5.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

塩酸に含まれる HCl の物質量は、

$$0.10 \text{ mol/L} \times \frac{100}{1000} \text{ L} = 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

である。よって、 NaOH がすべて反応し、 HCl は $(1.0 \times 10^{-2} - 5.0 \times 10^{-3}) = 5.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$ が反応せずに残る。中和反応によって $5.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$ の H_2O が生成するので、発生する熱量 Q_2 [kJ]は、

$$Q_2 = 56 \text{ kJ/mol} \times 5.0 \times 10^{-3} \text{ mol} = 0.28 \text{ kJ}$$

c 固体の水酸化ナトリウムを塩酸に加えたときに発生する熱量は、ヘスの法則より、 NaOH の水への溶解による発熱量と、水溶液中での NaOH と HCl の中和反応による発熱量の和になる。

用いた NaOH (40 g/mol) の物質量は、

$$\frac{0.40 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

であり、(1)式より、 NaOH の水への溶解熱は 44 kJ/mol なので、溶解による発熱量は、

$$44 \text{ kJ/mol} \times 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol} = 0.44 \text{ kJ}$$

塩酸に含まれる HCl の物質量は、

$$0.10 \text{ mol/L} \times \frac{100}{1000} \text{ L} = 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

なので、中和反応による発熱量は、a の場合と等しく 0.56 kJ である。

よって、発生する熱量 Q_3 [kJ]は、

$$Q_3 = 0.44 \text{ kJ} + 0.56 \text{ kJ} = 1.00 \text{ kJ}$$

以上より、④ $Q_3 > Q_1 > Q_2$ である。

2 ... ⑤

問3 電気分解

流れた電気量は、

$$0.50 \text{ A} \times (32 \times 60 + 10) \text{ 秒} = 965 \text{ C}$$

導線中を流れた電子 e^- の物質量は、

$$\frac{965 \text{ C}}{9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}} = 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

電気分解により、陽極と陰極で発生した気体の物質量の総和は、

$$\frac{224 \times 10^{-3} \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

電気量

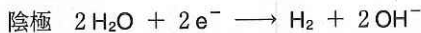
$$\text{電気量 [C]} = \text{電流 [A]} \times \text{時間 [秒]}$$

ファラデー定数

電子 1 mol のもつ電気量の絶対値。

$$F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$$

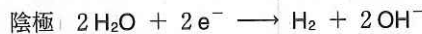
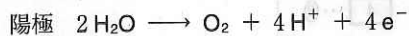
① NaCl を用いた場合、陽極と陰極では次の反応が起こる。



よって、電子 1.0×10^{-2} mol が流れる間に発生する塩素と水素の物質量の総和は、

$$1.0 \times 10^{-2} \text{ mol} \times \frac{1}{2} + 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol} \times \frac{1}{2} = 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

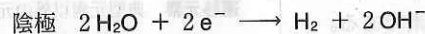
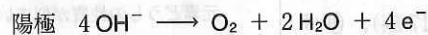
② Na_2SO_4 を用いた場合、陽極と陰極では次の反応が起こる。



よって、電子 1.0×10^{-2} mol が流れる間に発生する酸素と水素の物質量の総和は、

$$1.0 \times 10^{-2} \text{ mol} \times \frac{1}{4} + 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol} \times \frac{1}{2} = 7.5 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

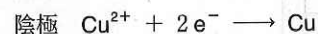
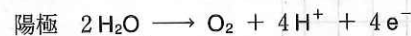
③ NaOH を用いた場合、陽極と陰極では次の反応が起こる。



よって、電子 1.0×10^{-2} mol が流れる間に発生する酸素と水素の物質量の総和は、

$$1.0 \times 10^{-2} \text{ mol} \times \frac{1}{4} + 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol} \times \frac{1}{2} = 7.5 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

④ CuSO_4 を用いた場合、陽極と陰極では次の反応が起こる。



よって、陰極では気体は発生せず、電子 1.0×10^{-2} mol が流れる間に陽極で発生する酸素の物質量は、

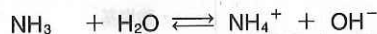
$$1.0 \times 10^{-2} \text{ mol} \times \frac{1}{4} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

以上より、①が正解である。

3 ... ①

問4 弱塩基の電離平衡

アンモニア水のモル濃度を c [mol/L]、電離度を α とすると、平衡状態での各分子、イオンのモル濃度は次のように表される。



はじめ c 0 0 [mol/L]

変化量 $-c\alpha$ $+c\alpha$ $+c\alpha$ [mol/L]

平衡時 $c(1-\alpha)$ $c\alpha$ $c\alpha$ [mol/L]

よって、アンモニアの電離定数 K_b は次のように表される。

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} = \frac{c\alpha \times c\alpha}{c(1-\alpha)} = \frac{c\alpha^2}{1-\alpha}$$

アンモニアは弱塩基であり、その電離度 α が 1 より十分小さい場合は、 $1-\alpha \approx 1$ と近似できるので、 K_b および α は次のように表される。

電気分解

陽極 外部電源の正極とつないだ電極。

酸化反応が起こる。

1. 電極が Cu や Ag のとき

・ Cu や Ag がイオンになって溶け出す。

2. 電極が C や Pt のとき

・ ハロゲン化物イオンが酸化され、ハロゲンの単体が生成する。

・ H_2O (電解液が酸性、中性のとき) や OH^- (電解液が塩基性のとき) が酸化され、 O_2 が発生する。

陰極 外部電源の負極とつないだ電極。

還元反応が起こる。

1. 電解液中の Ag^+ や Cu^{2+} が還元され、Ag や Cu が析出する。

2. H_2O (電解液が中性、塩基性のとき) や H^+ (電解液が酸性のとき) が還元され、 H_2 が発生する。

$$K_b = c\alpha^2$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_b}{c}} \quad (0 < \alpha < 1)$$

よって、水酸化物イオン濃度は次のように表される。

$$[\text{OH}^-] = c\alpha = c \times \sqrt{\frac{K_b}{c}} = \sqrt{cK_b}$$

c と K_b の値を代入して、

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{0.20 \text{ mol/L} \times 2.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}} = 2.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

4 … ③

第6問 無機物質

問1 元素の分類

周期表の1, 2族と12~18族の元素を典型元素といい、周期表の第4周期以降に現れる3~11族の元素を遷移元素という。選択肢の中では、8族の③鉄Feが遷移元素に属する。

これ以外の①アルミニウムAl(13族), ②臭素Br(17族), ④バリウムBa(2族), ⑤リンP(15族)はいずれも典型元素である。

族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1																		
2																		
3													Al		P			
4								Fe									Br	
5																		
6		Ba																
7																		

典型元素 遷移元素

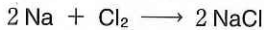
1 … ③

問2 ナトリウムとその化合物

① 正しい。ナトリウムNaは極めて還元力が強く、水と激しく反応して水素を発生する。



② 正しい。ナトリウムを塩素Cl₂と接触させると、常温では徐々に、高温では激しく反応して塩化ナトリウムNaClを生じる。



③ 正しい。水酸化ナトリウムNaOHの固体を湿った空气中に放置すると、空气中的水蒸気を吸収して溶ける。このような現象を潮解という。

④ 正しい。炭酸ナトリウム十水和物Na₂CO₃・10H₂Oの結晶を乾燥した空气中に放置すると、結晶水の一部を失い白色粉末状の炭酸ナトリウム一水和物Na₂CO₃・H₂Oになる。このような現象を風解という。

⑤ 誤り。炭酸水素ナトリウムNaHCO₃を加熱すると分解して炭酸ナトリウムNa₂CO₃になり、このとき二酸化炭素CO₂が

典型元素と遷移元素

典型元素 周期表の1, 2族と12~18族の元素。周期表の縦の列に並んだ元素どうしの性質が似ている。

遷移元素 典型元素以外の元素。周期表の第4周期以降の3~11族の元素。代表的なものにクロムCr, マンガンMn, 鉄Fe, 銅Cu, 銀Ag, 金Auなどがある。

ナトリウム

- ・水と激しく反応してH₂を発生し水酸化物を生成
- ・塩素や酸素と直接反応
- ・灯油(石油)中に保存

水酸化ナトリウム

- ・強塩基
- ・潮解性
- ・二酸化炭素を吸収する

炭酸ナトリウム

- ・水に溶けて塩基性
- ・炭酸ナトリウム十水和物：風解性
- ・工業的製法：ソルベー法

炭酸水素ナトリウム

- ・水に少し溶けて弱塩基性
- ・加熱すると分解しCO₂を発生

発生する。

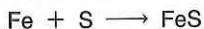


2 ... ⑤

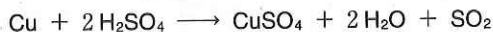
問3 硫黄とその化合物

a ① 正しい。硫黄の単体には、斜方硫黄、単斜硫黄、ゴム状硫黄などの同素体が存在する。なお、斜方硫黄と単斜硫黄はいずれも環状の S_8 分子からなる結晶で、常温では斜方硫黄が安定である。250℃ 以上に加熱した液体の硫黄を急冷すると、多数の S 原子が直鎖状につながったゴム状硫黄になる。

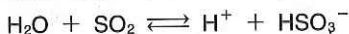
② 正しい。硫黄は常温では安定であるが、高温では反応性が高く、白金 Pt や金 Au などを除く多くの元素と硫化物をつくる。試験管に硫黄の粉末と鉄の粉末をとり、ガスバーナーで加熱すると黒色の硫化鉄(II) FeS が生じる。



③ 正しい。濃硫酸に銅を加えて加熱すると、二酸化硫黄が発生する。この反応では、熱濃硫酸が酸化剤としてはたらき、銅を酸化している。



④ 誤り。二酸化硫黄は酸性酸化物であり、水によく溶けて、その水溶液は酸性を示す。



なお、二酸化硫黄の水溶液は亜硫酸とよばれる。

⑤ 正しい。硫化水素 H_2S は、無色・腐卵臭の極めて有毒な気体である。

3 ... ④

b 硫黄からの硫酸の製造は、次の3つの過程からなる。

1. 硫黄を燃焼させて二酸化硫黄とする。



2. 触媒として酸化バナジウム(V) V_2O_5 を用いて、二酸化硫黄をさらに酸化し三酸化硫黄とする。



3. 三酸化硫黄と水を反応させて硫酸を得る。



したがって、S 1 mol から H_2SO_4 1 mol が得られ、このとき、過程1で1 mol の S に対して1 mol の O_2 が、過程2で1 mol の SO_2 に対して0.5 mol の O_2 が反応するので、合計1.5 mol の O_2 が消費される。

なお、過程2、過程3からなる硫酸の工業的製法は接触法(接触式硫酸製造法)とよばれる。接触法の過程3では、三酸化硫黄を濃硫酸に吸収させ発煙硫酸とし、これを希硫酸と混合して濃硫酸を製造している。

同素体

同じ元素からなる単体で性質が異なるものどうしを、互いに同素体という。

S...斜方硫黄, 単斜硫黄, ゴム状硫黄

C...ダイヤモンド, 黒鉛, フラーレン

O...酸素, オゾン

P...黄リン, 赤リン

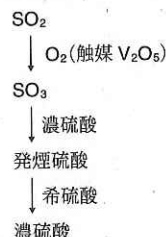
二酸化硫黄

- ・無色、刺激臭の有毒な気体
- ・水溶液は亜硫酸とよばれ、弱い酸性
- ・還元剤
- ・銅に熱濃硫酸で発生

硫化水素

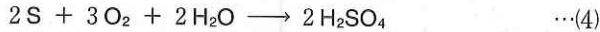
- ・無色、腐卵臭の有毒な気体
- ・弱酸
- ・還元剤
- ・硫化鉄(II)に希硫酸で発生

接触法(濃硫酸の工業的製法)



【別解】

(1)式×2+(2)式+(3)式×2により、中間生成物であるSO₂とSO₃を消去すると、次の(4)式になる。



したがって、1 molのH₂SO₄を得るために必要なO₂は1.5 molである。

4

① 2S + 3O₂ → 2SO₂
 ② SO₂ + H₂O → H₂SO₃
 ③ 2H₂SO₃ + O₂ → 2H₂SO₄

(2) 1 molのSを完全燃焼させたとき、生成するSO₂は1 mol、SO₃は1 molである。したがって、SO₂とSO₃の合計は2 molである。

(3) 1 molのSO₂を完全に酸化させたとき、生成するH₂SO₃は1 mol、H₂SO₄は1 molである。したがって、H₂SO₃とH₂SO₄の合計は2 molである。

(4) 1 molのSO₂を完全に酸化させたとき、生成するH₂SO₃は1 mol、H₂SO₄は1 molである。したがって、H₂SO₃とH₂SO₄の合計は2 molである。

① 2S + 3O₂ → 2SO₂
 ② SO₂ + H₂O → H₂SO₃
 ③ 2H₂SO₃ + O₂ → 2H₂SO₄

(2) 1 molのSを完全燃焼させたとき、生成するSO₂は1 mol、SO₃は1 molである。したがって、SO₂とSO₃の合計は2 molである。

(3) 1 molのSO₂を完全に酸化させたとき、生成するH₂SO₃は1 mol、H₂SO₄は1 molである。したがって、H₂SO₃とH₂SO₄の合計は2 molである。

(4) 1 molのSO₂を完全に酸化させたとき、生成するH₂SO₃は1 mol、H₂SO₄は1 molである。したがって、H₂SO₃とH₂SO₄の合計は2 molである。