

| | | | |
|------|--|------|--|
| クラス | | 受験番号 | |
| 出席番号 | | 氏名 | |

2016年度 第1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5月実施】

| | |
|--|-----|
| <ul style="list-style-type: none"> • 数 学 | |
| <ul style="list-style-type: none"> 数学① | |
| 数学Ⅰ | 1 |
| 数学Ⅰ・数学A | 18 |
| <ul style="list-style-type: none"> 数学② | |
| 数学Ⅱ | 45 |
| 数学Ⅱ・数学B | 53 |
| <ul style="list-style-type: none"> • 理 科 | |
| <ul style="list-style-type: none"> 理科① | |
| 物理基礎 | 72 |
| 化学基礎 | 80 |
| 生物基礎 | 88 |
| 地学基礎 | 93 |
| <ul style="list-style-type: none"> 理科② | |
| 物理 | 103 |
| 化学 | 113 |
| 生物 | 127 |
| 地学 | 142 |
| <p>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。</p> | |

河合塾



1660610119502140

≡≡≡ 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 | ⑤ | 3 | |
| | 問4 | 4 | ④ | 4 | |
| | 問5 | 5 | ① | 4 | |
| 第1問 自己採点小計 | | | | (18) | |
| 第2問 | 問1 | 1 | ⑤ | 4 | |
| | 問2 | 2 | ① | 4 | |
| | 問3 | 3 | ③ | 3 | |
| | | 4 | ② | 3 | |
| | 問4 | 5 | ③ | 4 | |
| 第2問 自己採点小計 | | | | (18) | |
| 第3問 | 問1 | 1 | ③ | 4 | |
| | 問2 | 2 | ① | 4 | |
| | 問3 | 3 | ④ | 3 | |
| | 問4 | 4 | ④ | 3 | |
| | 問5 | 5 | ① | 4 | |
| 第3問 自己採点小計 | | | | (18) | |
| 第4問 | 問1 | 1 | ① | 3 | |
| | 問2 | 2 | ④ | 4 | |
| | 問3 | 3 | ④ | 3 | |
| | 問4 | 4 | ② | 4 | |
| | 問5 | 5 | ③ | 4 | |
| 第4問 自己採点小計 | | | | (18) | |
| 第5問 | 問1 | 1 | ⑥ | 4 | |
| | | 2 | ④ | 3 | |
| | 問2 | 3 | ③ | 4 | |
| | | 4 | ① | 3 | |
| 第5問 自己採点小計 | | | | (14) | |
| 第6問 | 問1 | 1 | ④ | 3 | |
| | 問2 | 2 | ⑤ | 4 | |
| | 問3 | 3 | ① | 3 | |
| | | 4 | ③ | 4 | |
| 第6問 自己採点小計 | | | | (14) | |
| 自己採点合計 | | | | (100) | |

化学

【解説】

第1問 物質の構成

問1 同素体

同じ元素の単体で、性質の異なるものを互いに同素体という。

①黒鉛とフラーレンは炭素の同素体、②酸素 O_2 とオゾン O_3 は酸素の同素体、④黄リンと赤リンはリンの同素体、⑤単斜硫黄と斜方硫黄は硫黄の同素体である。③一酸化窒素 NO と二酸化窒素 NO_2 は単体ではなく化合物であり、同素体ではない。

1 … ③

問2 同位体

同位体どうしは原子番号が等しいが、質量数が異なる。原子番号は陽子の数に等しく、陽子の数と中性子の数の合計が質量数であるため、質量数から中性子の数を引くと、陽子の数すなわち原子番号が求まる。ア～オについて原子、原子番号、質量数および中性子の数を以下にまとめる。

| | | 原子番号 (=陽子の数) | 質量数 | 中性子の数 |
|---|--------------|-----------------|-----|-------|
| ア | ${}^{14}_7N$ | 7 (=14-7) | 14 | 7 |
| イ | ${}^{14}_6C$ | 6 (=14-8) | 14 | 8 |
| ウ | ${}^{16}_8O$ | 8 (=16-8) | 16 | 8 |
| エ | ${}^{18}_8O$ | 8 (=18-10) | 18 | 10 |
| オ | ${}^{19}_9F$ | 9 (=19-10) | 19 | 10 |

以上から、同位体の関係にあるものは、⑤ウとエである。

2 … ⑤

問3 電子配置

周期表の第1周期に属する元素の原子の最外電子殻はK殻、第2周期であればL殻、第3周期であればM殻、第4周期であればN殻である。ヘリウム He を除く典型元素の原子の最外殻電子の数は、周期表の族番号の一の位と一致する。⑤Caは第4周期で2族の原子だから、N殻が最外電子殻であり、最外殻電子の数は2である。よって、電子配置は、次のようになるので、⑤が誤りである。

| | K殻 | L殻 | M殻 | N殻 |
|----|----|----|----|----|
| Ca | 2 | 8 | 8 | 2 |

3 … ⑤

問4 周期表

次に第4周期までの周期表を示す。

周期表の1, 2, 12~18族に属する元素を典型元素といい、3~11族に属する元素を遷移元素という。次の図の□で示した元素

【ポイント】

同素体

同じ元素からなる単体で性質が異なるもの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)

O(酸素 O_2 , オゾン O_3)

P(黄リン, 赤リン)

同位体

原子番号が等しく、質量数が異なる原子どうし。つまり、陽子の数が等しく、中性子の数が異なる原子どうし。

原子番号, 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

電子殻

原子核に近いものから順にK, L, M, N殻…といい、 n 番目の電子殻に収容可能な電子の数は $2n^2$ である。

| 電子殻 | K | L | M | N | … |
|-----|---|---|----|----|---|
| n | 1 | 2 | 3 | 4 | … |
| 電子数 | 2 | 8 | 18 | 32 | … |

は非金属元素であり、□で示した元素は金属元素である。

| 族 期 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|--------|----|----|----|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | H | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | B | | | | | |
| 3 | Na | | | | | | | | | | | | Al | | | | | |
| 4 | | Ca | Sc | | | | | | | | | | | | | | | |

- ① 正しい。1族元素のうち水素Hを除く金属元素を、アルカリ金属元素という。
- ② 正しい。ホウ素BとアルミニウムAlはともに13族に属し、同族元素である。
- ③ 正しい。18族元素は希ガスとよばれ、単体はすべて常温・常圧で気体である。
- ④ 誤り。典型元素には、1族のナトリウムNaや2族のカルシウムCa、13族のアルミニウムAlのように金属元素も含まれる。
- ⑤ 正しい。遷移元素は第4周期のスカンジウムSc以降にあられる。

4 ... ④

問5 原子とイオン

- ① 誤り。イオン化エネルギーは、一般に、同一周期では原子番号が大きいほど大きく、同族では原子番号が小さいほど大きいという傾向がある。ヘリウムHeは全元素中で最もイオン化エネルギーが大きく、陽イオンになりにくい。
- ② 正しい。電子親和力は、同一周期では17族が最大で、最も陰イオンになりやすい。第3周期の元素で比較すると、塩素Clの電子親和力は、ナトリウムNaの電子親和力よりも大きい。
- ③ 正しい。フッ化物イオン F^- および塩化物イオン Cl^- の電子配置は次のとおりである。

| | K殻 | L殻 | M殻 |
|--------|----|----|----|
| F^- | 2 | 8 | |
| Cl^- | 2 | 8 | 8 |

F^- の最外電子殻はL殻であり、 Cl^- の最外電子殻はM殻であるので、フッ化物イオンのイオン半径は、塩化物イオンのイオン半径よりも小さい。

- ④ 正しい。水酸化物イオン OH^- は、酸素原子Oと水素原子Hが結合し、電子の総数が陽子の総数よりも1つ多いため、1価の陰イオンになっている。電子の総数は、イオンを構成する原子に含まれる陽子の総数(=原子番号の総和)を算出し、陰イオンの場合、陽子の総数よりもイオンの価数だけ電子が多く、陽イオンの場合、陽子の総数よりもイオンの価数だけ電子が少ないことを

同族元素

アルカリ金属元素：H以外の1族元素

アルカリ土類金属元素：

Be, Mg以外の2族元素

ハロゲン元素：17族元素

希ガス元素：18族元素

典型元素

周期表1族, 2族, 12~18族の元素。

非金属元素と金属元素が約半数ずつある。

遷移元素

周期表3~11族の元素。すべて金属元素である。Cr, Mn, Fe, Cu, Ag, Auなど。

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するエネルギー。電子親和力が大きい原子ほど、陰イオンになりやすい。

陰イオンの価数

電子の総数 - 陽子の総数
= 陰イオンの価数

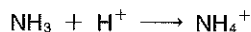
陽イオンの価数

陽子の総数 - 電子の総数
= 陽イオンの価数

用いて求められる。OH⁻はO原子とH原子が共有結合し、さらに電子1個を受け取ったイオンである。よって、OH⁻に含まれる電子の総数は、

$$8+1+1=10$$

⑤ 正しい。アンモニウムイオンは、アンモニアに水素イオンが配位結合したもので、NH₄⁺と表される1価の陽イオンである。



5...①

第2問 分子の形、化学結合と結晶の分類、結晶格子、組成式

問1 分子の形

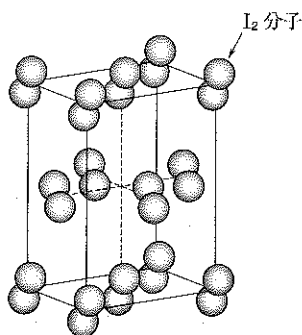
簡単な分子については、分子の形は覚えておきたい。HClなどの二原子分子は直線形であり、H₂OやH₂Sは折れ線形、NH₃は三角錐形、CH₄は正四面体形、CO₂は直線形である。よって、⑤ CH₄の形は正方形ではなく、正四面体形なので誤りである。

| | | | |
|--------------------|--|-------------------|--|
| ① NH ₃ | | ② HCl | |
| ③ H ₂ O | | ④ CO ₂ | |
| ⑤ CH ₄ | | | |

1...⑤

問2 化学結合と結晶の分類

① 誤り。ヨウ素分子I₂は、ヨウ素原子I間の共有結合によって形成されるが、I₂の分子どうしはファンデルワールス力によって結びついて分子結晶を形成している。



ヨウ素の結晶構造

② 正しい。二酸化ケイ素SiO₂は、ケイ素原子Siと酸素原子Oが共有結合で次々と結びついた共有結合の結晶であり、水晶、

分子の形

二原子分子(H₂, N₂, HF), CO₂

…直線形

H₂O, H₂S…折れ線形

NH₃ …三角錐形

CH₄ …正四面体形

結晶の分類と性質

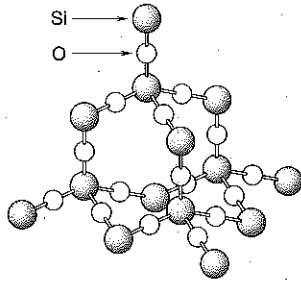
金属結晶 金属原子が自由電子による金属結合で結びついた結晶。展性や延性を示す。電気をよく導く。

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。硬くてもろい。結晶は電気を導かないが、水溶液や融解液は電気を導く。

分子結晶 分子が分子間力(ファンデルワールス力や水素結合)で結びついた結晶。軟らかくもろい。電気を導かない。

共有結合の結晶 原子が共有結合によって次々と結びついた結晶。非常に硬く、電気を導かない。(黒鉛は軟らかく、また、電気を導く。)

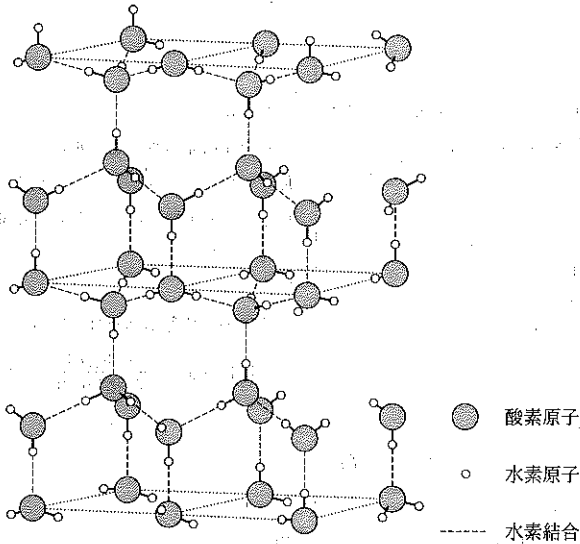
石英、ケイ砂などとして天然に存在している。



二酸化ケイ素の結晶構造の例

③ 正しい。一般に、金属元素と非金属元素からなる化合物では、金属元素は陽イオンに、非金属元素は陰イオンになり、静電気力(クーロン力)によって互いに結びついてイオン結晶を形成している。このように、陽イオンと陰イオンが静電気力で結びつく結合をイオン結合という。酸化カルシウム CaO は、カルシウムイオン Ca^{2+} と酸化物イオン O^{2-} がイオン結合で結びついたイオン結晶である。

④ 正しい。水は水の結晶であり、水素原子Hと酸素原子Oの共有結合によって形成された水分子 H_2O どうしが水素結合によって結びついて分子結晶を形成している。

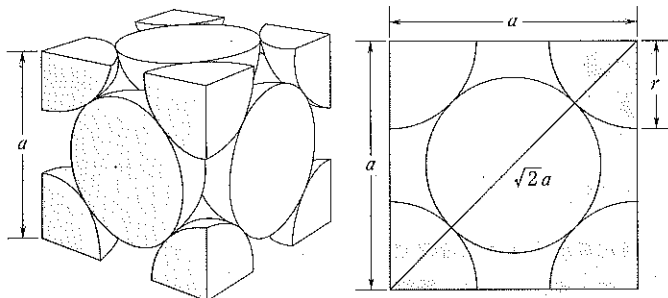


水の結晶構造

⑤ 正しい。銀は金属結晶であり、各原子の価電子はすべての原子によって共有され、特定の原子間にとどまることなく結晶全体を自由に移動することができる。このような価電子を自由電子といい、自由電子が存在するため、金属の結晶は電気や熱をよく導く。

問3 金属結晶の構造

a アルミニウム原子の原子半径を r [cm], 単体格子の一辺の長さを a [cm] とする。面心立方格子では, 次の図のように, 原子どうしは単体格子の各面(正方形)の対角線上で接している。



図より,

$$4r = \sqrt{2}a$$

$$r = \frac{\sqrt{2}}{4}a$$

3 ... ③

b 面心立方格子において, 単体格子の頂点にある各原子は単体格子中に $\frac{1}{8}$ 個含まれ, 単体格子の各面の中心にある各原子は単体格子中に $\frac{1}{2}$ 個含まれるので, 単体格子中に含まれるアルミニウム原子の数は,

$$\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4 \text{ 個}$$

したがって, アルミニウムの原子量を M とすると, アルミニウムのモル質量は M [g/mol] と表されるので, 密度について,

$$\begin{aligned} d \text{ [g/cm}^3\text{]} &= \frac{\text{単体格子の質量 [g]}}{\text{単体格子の体積 [cm}^3\text{]}} \\ &= \frac{M \text{ [g/mol]} \times \frac{4}{N_A} \text{ [mol]}}{a^3 \text{ [cm}^3\text{]}} \end{aligned}$$

上式を M について解くと,

$$M = \frac{a^3 d N_A}{4}$$

4 ... ②

問4 組成式の決定

求める酸化物中の M と O の原子数の比について,

$$M : O = \frac{68.4}{52} : \frac{31.6}{16} = 1.31 : 1.97 \approx 1 : 1.50 = 2 : 3$$

以上より, 求める酸化物の組成式は M_2O_3 である。

5 ... ③

第3問 酸・塩基, 酸化還元

問1 中和滴定

水酸化ナトリウム NaOH 水溶液のモル濃度を x [mol/L] とする

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。

密度

物質の単位体積あたりの質量。

$$\text{密度 [g/cm}^3\text{]} = \frac{\text{質量 [g]}}{\text{体積 [cm}^3\text{]}}$$

組成式

物質を構成する元素の種類と, それぞれの原子(原子団)の数を最も簡単な整数比で表した化学式。

と、シュウ酸は2価の酸、水酸化ナトリウムは1価の塩基なので、中和点では次の関係式が成り立つ。

$$2 \times 0.10 \text{ mol/L} \times \frac{10.0}{1000} \text{ L} = 1 \times x \text{ [mol/L]} \times \frac{5.0}{1000} \text{ L}$$

$$x = 0.40 \text{ mol/L}$$

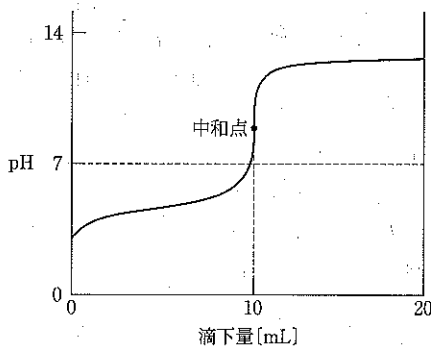
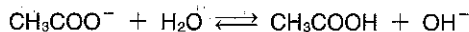
なお、この中和反応は、次の化学反応式で表すことができる。



1 ... ③

問2 滴定曲線

酢酸 CH_3COOH 水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を滴下すると水溶液の pH は次第に大きくなる。また、中和点では酢酸ナトリウムの水溶液となる。酢酸は弱酸であり、水酸化ナトリウムは強塩基なので、水酸化ナトリウム水溶液を 10 mL 滴下した中和点では、弱塩基性の水溶液になる。なお、水溶液が弱塩基性を示すのは、 CH_3COO^- の一部が加水分解して水酸化物イオンを生じるためである。



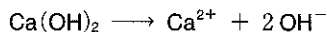
よって、最も適当な滴定曲線は①である。

2 ... ①

問3 水溶液の pH

ア 塩化カルシウム CaCl_2 は、強酸である HCl と強塩基である $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の中和によって生じる塩なので、その水溶液は中性であり、水酸化物イオン濃度は $[\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$ である。

イ 水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ は強塩基であり、水溶液中で次のように電離する。



したがって、0.010 mol/L の水酸化カルシウム水溶液中の水酸化物イオン濃度は、 $[\text{OH}^-] = 0.010 \times 2 = 0.020 \text{ mol/L}$ である。

ウ 酢酸カルシウム $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}$ は、弱酸である CH_3COOH と強塩基である $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の中和によって生じる塩なので、その水溶液は弱塩基性になる。水溶液が弱塩基性を示すのは、酢酸カルシウムの電離によって生成した酢酸イオン CH_3COO^- の一部

中和反応の量的関係

酸の価数 × 酸の物質質量

= 塩基の価数 × 塩基の物質質量

塩の水溶液の性質

強酸と強塩基から生じた塩…中性

(ただし、 NaHSO_4 は酸性)

弱酸と強塩基から生じた塩…塩基性

強酸と弱塩基から生じた塩…酸性

pH

| pH | $[\text{H}^+]$ | $[\text{OH}^-]$ |
|----|----------------|-----------------|
| 14 | 小 | 大 |
| 0 | 大 | 小 |

が加水分解して水酸化物イオンを生じるためである。



したがって、0.010 mol/L の酢酸カルシウム水溶液中の水酸化物イオン濃度は、 $(1.0 \times 10^{-7} <) [\text{OH}^-] < 0.020$ mol/L である。

以上より、水酸化物イオン濃度の大きさは、

イ > ウ > ア

よって、pH が大きいものから順に並べると、

イ > ウ > ア

3 … ④

問4 酸化数

化合物ア NH_3 、イ HNO_3 、ウ N_2O_4 それぞれの窒素原子の酸化数を x とすると、

$$\text{ア } \text{NH}_3 \quad x + (+1) \times 3 = 0 \quad x = -3$$

$$\text{イ } \text{HNO}_3 \quad (+1) + x + (-2) \times 3 = 0 \quad x = +5$$

$$\text{ウ } \text{N}_2\text{O}_4 \quad x \times 2 + (-2) \times 4 = 0 \quad x = +4$$

よって、酸化数が大きい順に並べると、

イ > ウ > ア

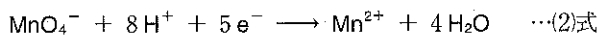
4 … ④

問5 酸化還元反応

硫酸鉄(II) FeSO_4 に含まれる鉄(II)イオン Fe^{2+} は、酸化されると、電子を失って鉄(III)イオン Fe^{3+} に変化する。



過マンガン酸カリウム KMnO_4 に含まれる過マンガン酸イオン MnO_4^- は、酸性溶液中で還元されると、電子を受け取ってマンガン(II)イオン Mn^{2+} に変化する。

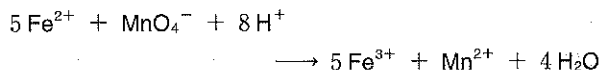


0.050 mol/L の硫酸鉄(II)水溶液 20.0 mL と過不足なく反応する 0.020 mol/L の過マンガン酸カリウム水溶液の体積を v [mL] とすると、 Fe^{2+} が与える電子の物質質量と MnO_4^- が受け取る電子の物質質量が等しいことから、次の式が成り立つ。

$$1 \times 0.050 \text{ mol/L} \times \frac{20.0}{1000} \text{ L} = 5 \times 0.020 \text{ mol/L} \times \frac{v}{1000} \text{ [L]}$$

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

なお、この反応は、(1)式 $\times 5 +$ (2)式より、次のイオン反応式で表すことができる。



5 … ①

酸化数の決め方

1. 単体中の原子：0
2. 化合物中の H 原子：+1
3. 化合物中の O 原子：-2
(ただし、 H_2O_2 中では -1)
4. 化合物中の原子の酸化数の総和：0
5. 単原子イオンの酸化数：イオンの価数に符号をつけた値
6. 多原子イオン中の原子の酸化数の総和：イオンの価数に符号をつけた値

酸化還元反応の量的関係

$$\begin{aligned} & \text{酸化剤が受け取った電子の物質質量} \\ & = \text{還元剤が放出した電子の物質質量} \end{aligned}$$

第4問 気体、化学反応の量的関係、蒸気圧

問1 気体の密度

モル質量が M [g/mol] の気体 1 mol の標準状態における体積は 22.4 L, 質量は M [g] である。したがって、標準状態における気体の密度を d [g/L] とすると、 d は、次のように表される。

$$d \text{ [g/L]} = \frac{M \text{ [g]}}{22.4 \text{ L}}$$

したがって、気体のモル質量が大きいほど、標準状態における気体の密度 [g/L] は大きい。選択肢中の各物質のモル質量は次のようになる。

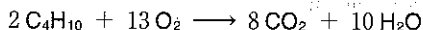
- ① Cl_2 : 71 g/mol ② H_2 : 2.0 g/mol
③ N_2 : 28 g/mol ④ CO_2 : 44 g/mol
⑤ CH_4 : 16 g/mol

以上より、① Cl_2 の密度が最も大きい。

1 ... ①

問2 化学反応の量的関係

ブタン C_4H_{10} の完全燃焼は次の化学反応式で表され、1 mol の C_4H_{10} を完全燃焼させるとき、反応する酸素 O_2 は $\frac{13}{2}$ mol である。



よって、5.8 g の C_4H_{10} (58 g/mol) を完全燃焼させるとき、反応する O_2 は、

$$\frac{5.8 \text{ g}}{58 \text{ g/mol}} \times \frac{13}{2} = 0.65 \text{ mol}$$

2 ... ④

問3 気体の状態方程式

封入した窒素の物質量を n [mol] とすると、理想気体の状態方程式より、

$$\begin{aligned} 1.0 \times 10^5 \text{ Pa} \times 16.6 \text{ L} \\ = n \text{ [mol]} \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times (273 + 127) \text{ K} \\ n = 5.0 \times 10^{-1} \text{ mol} \end{aligned}$$

3 ... ④

問4 混合気体

コックを開く前とコックを開いてピストンを押し込んだ後と比較すると、He のみに着目すれば温度、体積、物質量は変わらないので、He の分圧は、 1.5×10^5 Pa のままである。コックを開く前の容器 B の容積を V [L], コックを開いてピストンを押し込んだ後の酸素の分圧を P_{O_2} [Pa] とする。

気体のモル体積

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。

理想気体の状態方程式

理想気体では次の式が成り立つ。

$$pV = nRT$$

p : 圧力, V : 体積, n : 物質質量

T : 絶対温度, R : 気体定数

混合気体の圧力

全圧 混合気体全体が示す圧力。

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。

ドルトンの分圧の法則 全圧は、成分気体の分圧の和に等しい。

気体の法則

一定物質量の気体では、

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。

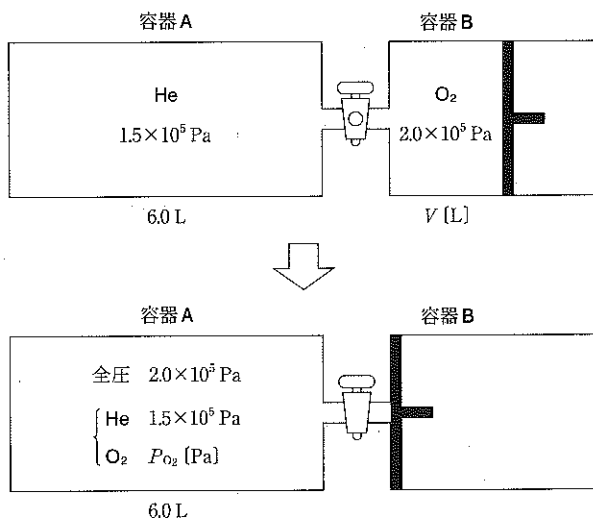
$$pV = \text{一定}$$

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。

$$\frac{pV}{T} = \text{一定}$$



ピストンを押し込んだ後の容器A内の圧力(全圧)が 2.0×10^5 Paなので、

$$1.5 \times 10^5 \text{ Pa} + P_{\text{O}_2} [\text{Pa}] = 2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{O}_2} = 0.50 \times 10^5 \text{ Pa}$$

コックを開く前の容器B内の酸素と、コックを開いてピストンを押し込んだ後の容器A内の酸素について、温度、物質量が一定なので、ボイルの法則より、

$$2.0 \times 10^5 \text{ Pa} \times V [\text{L}] = 0.50 \times 10^5 \text{ Pa} \times 6.0 \text{ L}$$

$$V = 1.5 \text{ L}$$

4 ... ②

問5 気液平衡

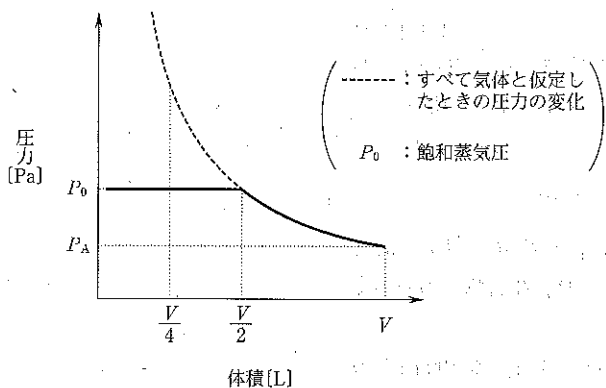
容積が V [L] のとき、水はすべて気体で存在しており、水蒸気の圧力は P_A [Pa] である。温度を一定に保ったまま、容積を小さくしていくと、水がすべて気体で存在する間はボイルの法則 ($PV = \text{一定}$) が成り立ち、水蒸気の圧力は大きくなっていく。やがて、水蒸気の圧力が飽和蒸気圧に等しくなると、液体の水が生じ始める。水蒸気の圧力が飽和蒸気圧より大きくなることはないで、液体の水が生じた後は、それ以上容積を小さくしていくと、凝縮が進んで水蒸気の圧力は飽和蒸気圧のままで一定となる。容積が $\frac{V}{2}$ [L] のときに液体の水が観察され始めたので、このときの圧力 P_B [Pa] は飽和蒸気圧に等しい。また、容積が $\frac{V}{4}$ [L] のときの圧力 P_C [Pa] も飽和蒸気圧に等しい。よって、③ $P_A < P_B = P_C$ となる。

なお、このときの圧力の変化をグラフで表すと、次のようになる。

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、蒸気の示す圧力を飽和蒸気圧という。

温度が一定のとき、飽和蒸気圧は一定であり、共存している液体の量や、気体の体積に依存しない。



5 ... ③

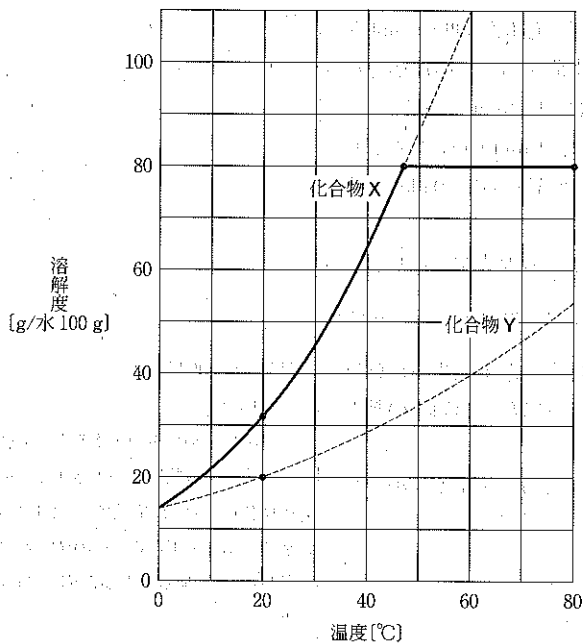
第5問 固体の溶解度、化学反応と熱

問1 固体の溶解度

a 40 g の化合物 X と少量の化合物 Y からなる混合物 A を、水 50 g に溶かしたので、水 100 g あたりに溶けている化合物 X の質量を x [g] とすると、

$$\frac{\text{溶質の質量}}{\text{溶媒の質量}} = \frac{40 \text{ g}}{50 \text{ g}} = \frac{x \text{ [g]}}{100 \text{ g}} \quad x = 80 \text{ g}$$

よって、化合物 X の溶解度が 80 [g/水 100 g] である 47 °C より温度が低くなると、化合物 X の結晶が析出する。このとき、混合物 A に含まれていた化合物 Y が少量であれば、析出する結晶は化合物 X のみであり、混合物 A から化合物 X を取り出すことができる。このように、少量の不純物を含む結晶を温水に溶かした後、温度による溶解度の差を利用して物質を精製する方法を、再結晶という。



固体の溶解度

一定量の溶媒に溶ける溶質の最大量。固体の溶解度はふつう、「溶媒 100 g に溶ける溶質(無水物)の最大の質量[g]」で表される。

飽和溶液では、次の式が成り立つ。

$$\frac{\text{溶質の質量}}{\text{溶媒の質量}} = \frac{\text{溶解度}}{100}$$

$$\frac{\text{溶質の質量}}{\text{溶液の質量}} = \frac{\text{溶解度}}{\text{溶解度} + 100}$$

1 … ⑥

b 20℃における化合物Yの溶解度は20 [g/水 100 g]である。用いた水は50 gなので、20℃で溶ける化合物Yの最大量をy [g]とすると、

$$\frac{\text{溶質の質量}}{\text{溶媒の質量}} = \frac{20 \text{ g}}{100 \text{ g}} = \frac{y \text{ [g]}}{50 \text{ g}} \quad y=10 \text{ g}$$

よって、混合物Aに含まれていた化合物Yが10 g以下であれば、20℃で化合物Yの結晶は析出せず、純粋な化合物Xの結晶を得ることができる。

なお、20℃における化合物Xの溶解度は32 [g/水 100 g]なので、このとき析出する化合物Xの質量は、

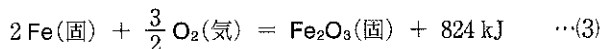
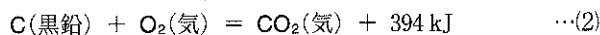
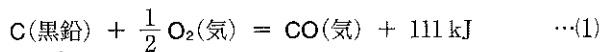
$$40 \text{ g} - 50 \times \frac{32}{100} \text{ g} = 24 \text{ g}$$

である。

2 … ④

問2 熱化学方程式と反応熱

a 問題で与えられた熱化学方程式は、次の(1)~(3)式である。



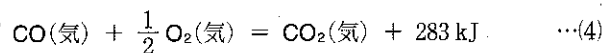
① 正しい。(1)式より、一酸化炭素の生成熱は111 kJ/molである。

② 正しい。(2)式より、黒鉛の燃焼熱は394 kJ/molである。なお、二酸化炭素の生成熱も、黒鉛の燃焼熱と等しく394 kJ/molである。

③ 誤り。酸化鉄(Ⅲ) Fe_2O_3 の生成熱は、酸化鉄(Ⅲ) 1 molがその成分元素の単体である鉄と酸素から生成するときの反応熱なので、(3)式より、酸化鉄(Ⅲ)の生成熱は824 kJ/molである。

④ 正しい。(2)式は、黒鉛 1 mol と酸素 1 mol のもつエネルギーの和が、二酸化炭素 1 mol のもつエネルギーより394 kJ大きいことを表している。

⑤ 正しい。(2)式-(1)式より、次の熱化学方程式が得られる。



(4)式より、一酸化炭素と酸素から二酸化炭素が生成する反応は発熱反応であり、二酸化炭素が1 mol 生じる場合、283 kJの熱が放出される。

なお、(1)、(2)、(4)式の反応物と生成物のもつエネルギーの関係は、次のエネルギー図で表される。

生成熱

化合物 1 mol が成分元素の単体から生成するときの反応熱。

燃焼熱

物質 1 mol が完全燃焼するときの反応熱。

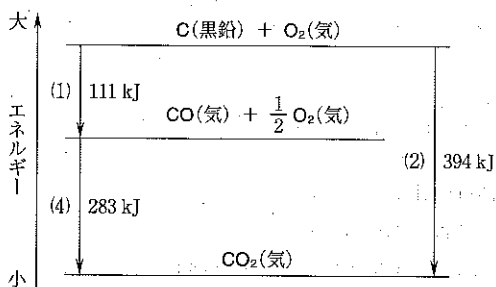
発熱反応と吸熱反応

反応熱

= 反応物のもつエネルギーの総和

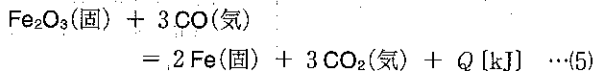
- 生成物のもつエネルギーの総和

の関係にあり、反応熱は、発熱反応(熱が放出される反応)では正の値となり、吸熱反応(熱が吸収される反応)では負の値となる。



3 ... ③

b 求める反応熱 Q [kJ] を含む熱化学方程式を(5)式とする。



(5)式は、(2)式 $\times 3$ - (1)式 $\times 3$ - (3)式 $\times 3$ - (4)式 $\times 3$ - (3)式で得られるので、

$$\begin{aligned} Q &= 394 \text{ kJ} \times 3 - 111 \text{ kJ} \times 3 - 824 \text{ kJ} \\ &= 283 \text{ kJ} \times 3 - 824 \text{ kJ} = 25 \text{ kJ} \end{aligned}$$

[別解]

(5)式について、反応熱 = (生成物の生成熱の総和) - (反応物の生成熱の総和) の関係より、

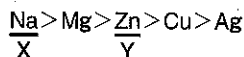
$$\begin{aligned} Q &= \text{CO}_2(\text{気}) \text{ の生成熱} \times 3 \text{ mol} \\ &\quad - (\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{固}) \text{ の生成熱} \times 1 \text{ mol} + \text{CO}(\text{気}) \text{ の生成熱} \times 3 \text{ mol}) \\ &= 394 \text{ kJ/mol} \times 3 \text{ mol} \\ &\quad - (824 \text{ kJ/mol} \times 1 \text{ mol} + 111 \text{ kJ/mol} \times 3 \text{ mol}) \\ &= 25 \text{ kJ} \end{aligned}$$

4 ... ④

第6問 金属のイオン化傾向、電池と電気分解

問1 金属のイオン化傾向

Mg, Cu と選択肢の表中の金属 Ag, Na, Zn のうち、アルカリ金属である Na のイオン化傾向が最も大きい。また、Zn は、2 族の金属である Mg よりイオン化傾向が小さいが、 H_2 よりイオン化傾向が大きい。一方、Cu と Ag は H_2 よりイオン化傾向が小さい金属であり、両者を比べると、Cu の方が Ag よりイオン化傾向が大きい。よって、これらの金属をイオン化傾向の大きい順に並べると、次のようになる。



1 ... ④

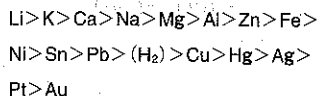
問2 鉛蓄電池

鉛蓄電池では、鉛 Pb が負極、酸化鉛(IV) PbO_2 が正極になる。鉛蓄電池を放電すると、負極と正極ではそれぞれ次の反応が起こり、生成した硫酸鉛(II) PbSO_4 は水に溶けないため、両極板に附着する。

金属のイオン化傾向

金属の単体が水(溶液)中で電子を放出し、陽イオンになろうとする性質。

イオン化傾向が大きい金属の単体ほど水中で電子を放出してイオンになりやすく、イオン化傾向が小さい金属のイオンほど電子を受け取り単体になりやすい。



電池

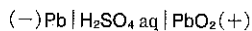
酸化還元反応を利用して電気エネルギーを取り出す装置を電池(化学電池)という。

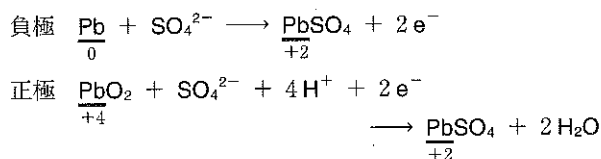
負極 外部回路へ電子が流れだす電極。

酸化反応が起こる。

正極 外部回路から電子が流れこむ電極。還元反応が起こる。

鉛蓄電池





(下線部の数値は酸化数を表す。)

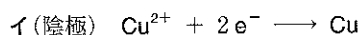
鉛蓄電池を放電すると、導線中を流れる電子 2 mol あたり、負極では Pb 1 mol が PbSO₄ 1 mol に変化するため、負極板の質量は S 1 mol と O 4 mol の質量の和に相当する 96 g 増加する。よって、負極板の質量が 2.4 g 増加する間に導線中を流れた電子の物質量は、

$$2 \text{ mol} \times \frac{2.4 \text{ g}}{96 \text{ g}} = 0.050 \text{ mol}$$

2 ... ⑤

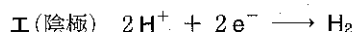
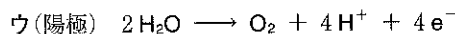
問3 水溶液の電気分解

a 電解槽 I の各電極で起きた反応は、次のとおりである。



3 ... ①

b 電解槽 II の各電極で起きた反応は、次のとおりである。



電気分解により、導線中を流れる電子 1 mol あたり、電極ウでは O₂ $\frac{1}{4}$ mol、電極エでは H₂ $\frac{1}{2}$ mol がそれぞれ発生する。

導線中を流れた電子の物質量は、

$$\frac{0.30 \text{ A} \times 3860 \text{ 秒}}{9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}} = 0.012 \text{ mol}$$

よって、電極ウ、エで発生した O₂ と H₂ の標準状態での体積の総和は、

$$\begin{aligned} & 22.4 \text{ L/mol} \times \left(0.012 \text{ mol} \times \frac{1}{4} + 0.012 \text{ mol} \times \frac{1}{2} \right) \\ & = 0.201 \div 0.20 \text{ L} \end{aligned}$$

4 ... ③

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。

・ H₂O (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、O₂ 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 Cu²⁺ が還元され、Ag や Cu が析出する。

2. H₂O (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、H₂ が発生する。

電気量

電気量 [C] = 電流 [A] × 時間 [秒]

ファラデー定数

電子 1 mol のもつ電気量の絶対値。

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