

【理科（化学基礎・化学）】

I

出題の意図

乳酸を題材にして、元素分析から組成式を、さらに中和滴定から分子式を導き出し、立体化学と官能基の情報を使って当該物質の構造に到達する過程を通して、「有機化合物」に関する基礎知識、理解度、計算力や思考力などを問う。

解答例

問1 (ア) 塩化カルシウム (イ) 水 (ウ) ソーダ石灰 (エ) 二酸化炭素

問2 <理由> (文字数指定無し)

酸化銅(II)は、高温で酸化作用を示し、試料の不完全燃焼で生じた一酸化炭素を完全に二酸化炭素に酸化する働きがあるので、試料の完全燃焼を達成する目的で使われる。

問3 <理由> (文字数指定無し)

塩化カルシウムは、水を吸収するが、二酸化炭素を吸収することはできない。一方、ソーダ石灰は二酸化炭素だけでなく水も吸収するので、吸水管(I)と(II)の順番を逆にすると試料の燃焼で生じた水と二酸化炭素の質量を区別して求められなくなるため。

問4 (オ) ホールピペット (カ) コニカルビーカー (キ) フェノールフタレイン
(ク) ビュレット

問5 <理由> (文字数指定無し)

水酸化ナトリウムは、潮解性があり、空気中の二酸化炭素と反応するので精密な秤量が難しい。そのため、正確な濃度の標準溶液の調整が困難で、また、空気中の二酸化炭素を吸収して塩基の濃度が変わる。一方、シュウ酸(二水和物)は、安定な固体で精密な秤量ができるので正確な濃度の標準溶液を調製できる。それゆえ、使用直前に水酸化ナトリウム標準溶液の正確な濃度を、シュウ酸標準溶液を用いて求める必要がある。

問6 <計算過程>

- ①二酸化炭素 CO_2 が 66.0 mg 生じたので、試料中の炭素 C の質量は、
 $66.0 \times (\text{Cの原子量} / \text{CO}_2\text{の分子量}) = 66.0 \times (12.0 / 44.0) = 18.0 \text{ (mg)}$ となる。
- ②水 H_2O が 27.0 mg 生じたので、試料中の水素 H の質量は、
 $27.0 \times (2 \times \text{Hの原子量} / \text{H}_2\text{Oの分子量}) = 27.0 \times (2.0 / 18.0) = 3.0 \text{ (mg)}$ となる。
- ③試料中の酸素 O の質量は、
試料 45.0 mg から C の質量 18.0 mg と H の質量 3.0 mg を引いた残りなので、
 $45.0 - (18.0 + 3.0) = 24.0 \text{ (mg)}$ となる。

④資料中の C, H, O の物質比から化合物 A の組成比を求めると,

$$\text{C の物質質量}:\text{H の物質質量}:\text{O の物質質量} = (18.0/12.0):(3.0/1.0):(24.0/16.0) \\ = 1.5:3.0:1.5 = 1:2:1 \text{ となる。}$$

∴化合物 A の組成式は, CH_2O となる。

組成式: CH_2O

問 7 <計算過程>

①水酸化ナトリウム標準溶液の濃度を $X(\text{mol/L})$ とすると, シュウ酸は 2 価の酸なので操作 2 より次の等式が成り立つ。

$$1_{(\text{価})} \times X \times 10.42 \times 10^{-3} = 2_{(\text{価})} \times 0.0500 \times 10.00 \times 10^{-3}$$

∴ $X = 0.09596 \cdots \approx 0.0960 (\text{mol/L})$ と求まる。

②化合物 A の分子量を M とすると, 操作 1 より,

$$[\text{化合物 A のモル濃度}] = (2.50/M) / (500 \times 10^{-3}) = 5.00/M (\text{mol/L}) \text{ となる。}$$

③化合物 A は 1 価の酸であり, 操作 3 より次の等式が成り立つ。

$$1_{(\text{価})} \times (5.00/M) \times 10.00 \times 10^{-3} = 1_{(\text{価})} \times 0.0960 \times 5.78 \times 10^{-3}$$

∴ $M = 50.00 / (0.0960 \times 5.78) \approx 90.1$ と化合物 A の分子量が求まる。

④化合物 A の分子量はその組成式 (CH_2O) 量の整数 (n) 倍なので,

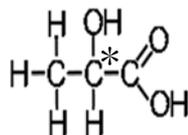
$$(\text{化合物 A の組成式量}) \times n = (12.0 + 2 \times 1.0 + 16.0) \times n = 30.0 \times n \approx 90.1$$

∴ $n = 3$ と求まる。

∴化合物 A の分子式は, $(\text{CH}_2\text{O})_3 = \text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ となる。

分子式: $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$

問 8



II

出題の意図

理想気体と実在気体の性質の違いや, 実在気体の圧力と体積の関係を「理想気体の状態方程式」に近づけるための状態方程式の 1 つである「ファンデルワールスの状態方程式」を導く過程を説明した上で, 「物質の状態」に関する基礎知識, 理解度, 計算力や思考力などを問う。

解答例

問 1 (ア) ボイル (イ) シャルル

問 2 <10 L の場合の計算過程>

理想気体の状態方程式 $P_i V_i = nRT$ より $P_i = nRT/V_i$, ここに当該数値を代入する。

$$\therefore P_i = 1.0 \times 8.31 \times 10^3 \times 300/10 \approx 2.49 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_i : 2.5 \times 10^5 \text{ Pa}$$

<0.10 L の場合の計算過程>

理想気体の状態方程式 $P_i V_i = nRT$ より $P_i = nRT/V_i$, ここに当該数値を代入する。

$$\therefore P_i = 1.0 \times 8.31 \times 10^3 \times 300 / 0.10 \cong 2.49 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$P_i : 2.5 \times 10^7 \text{ Pa}$$

問3 <10 L の場合の計算過程>

$$\text{ファンデルワールスの状態方程式 } (P_r + a n^2 / V_r^2) (V_r - nb) = nRT$$

に当該数値を代入する。

$$(P_r + 2.5 \times 10^4 \times 1.0^2 / 10^2) (10 - 1.0 \times 0.027) = 1.0 \times 8.31 \times 10^3 \times 300$$

$$\therefore P_r = (1.0 \times 8.31 \times 10^3 \times 300) / (10 - 1.0 \times 0.027) - 2.5 \times 10^4 \times 1.0^2 / 10^2 \\ \cong 2.49 \times 10^5$$

$$\text{また, } Z_r = P_r V_r / nRT = (2.49 \times 10^5 \times 10) / (1.0 \times 8.31 \times 10^3 \times 300) \cong 1.00$$

$$P_r : 2.5 \times 10^5 \text{ Pa} \quad Z_r : 1.0$$

<0.10 L の場合の計算過程>

$$\text{ファンデルワールスの状態方程式 } (P_r + a n^2 / V_r^2) (V_r - nb) = nRT$$

に当該数値を代入する。

$$(P_r + 2.5 \times 10^4 \times 1.0^2 / 0.10^2) (0.10 - 1.0 \times 0.027) = 1.0 \times 8.31 \times 10^3 \times 300$$

$$\therefore P_r = (1.0 \times 8.31 \times 10^3 \times 300) / (0.10 - 1.0 \times 0.027) - 2.5 \times 10^4 \times 1.0^2 / 0.10^2 \\ \cong 3.16 \times 10^7$$

$$\text{また, } Z_r = P_r V_r / nRT \cong (3.16 \times 10^7 \times 0.10) / (1.0 \times 8.31 \times 10^3 \times 300) \cong 1.27$$

$$P_r : 3.2 \times 10^7 \text{ Pa} \quad Z_r : 1.3$$

<理由>

容器の体積が小さくなると、気体の排除体積の割合が大きくなり自由に運動できる体積の割合が減少する。また、気体の密度が高くなり分子間力による圧力への影響も強くなるので理想気体とのずれがより大きくなるため。(100字)

問4 <0.10 L の場合の計算過程>

$$\text{ファンデルワールスの状態方程式 } (P_r + a n^2 / V_r^2) (V_r - nb) = nRT$$

に当該数値を代入する。

$$(P_r + 3.6 \times 10^5 \times 1.0^2 / 0.10^2) (0.10 - 1.0 \times 0.043) = 1.0 \times 8.31 \times 10^3 \times 300$$

$$\therefore P_r = (1.0 \times 8.31 \times 10^3 \times 300) / (0.10 - 1.0 \times 0.043) - 3.6 \times 10^5 \times 1.0^2 / 0.10^2 \\ \cong 7.68 \times 10^6$$

$$\text{また, } Z_r = P_r V_r / nRT = (7.68 \times 10^6 \times 0.10) / (1.0 \times 8.31 \times 10^3 \times 300) \cong 0.308$$

$$P_r : 7.7 \times 10^6 \text{ Pa} \quad Z_r : 0.31$$

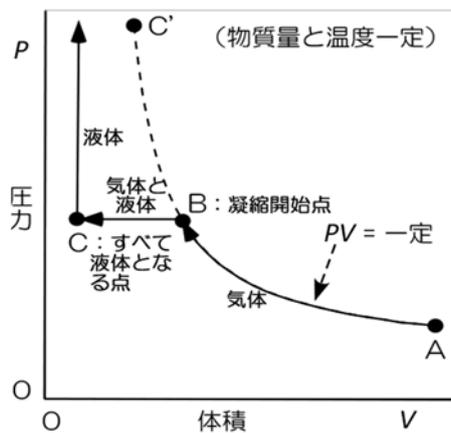
問5 <理由>

二酸化炭素は、C=O 結合に極性があるので、水素より大きな分子間力が働く。

また、分子量も大きいので排除体積もより大きい。従って、分子間力と排除体積がない理想気体に対し、二酸化炭素のずれが水素より大きくなった。(103字)

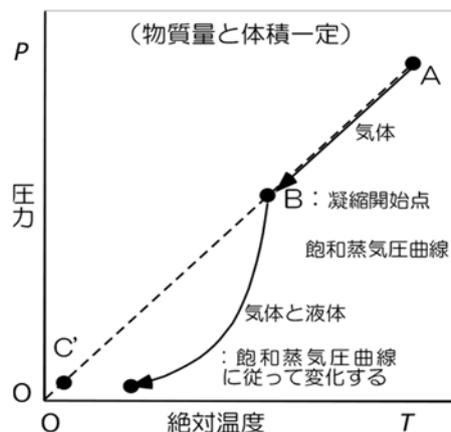
問6 <200K> i <300K> ii <400K> iii

問7



図II-1 体積Vと圧力Pの関係

問8



図II-3 絶対温度Tと圧力Pの関係

III

出題の意図

人とのかわりか深い一酸化窒素や尿素、さらに環境問題とも関連して二酸化窒素など窒素酸化物・窒素化合物を題材にして、「無機物質」に関する基礎知識、理解度、計算力や思考力などを問う。

解答例

問1 (ア) 水上 (イ) 下方 (ウ) 赤褐 (エ) ジアゾ (オ) ジアゾニウム

(カ) ジアゾカップリング (キ) アゾ (ク) 二酸化炭素

問 2 <窒素酸化物 A> 一酸化窒素 <窒素酸化物 B> 二酸化窒素

問 3 <元素記号> Hg, Ag

問 4 <理由> (文字数指定無し)

金属表面にち密な酸化被膜が形成されて不動態となり、内部が保護されるため。

問 5 <化学反応式> $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$

問 6 <窒素化合物 X> 硝酸 <酸化数> +5

<窒素化合物 Y> 亜硝酸 <酸化数> +3

問 7 <化学反応式> $3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HNO}_3 + \text{NO}$

問 8 <尿素の示性式> $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$

問 9 (i) 8 (ii) 6 (iii) 7 (iv) 12

問 10 <計算過程>

①尿素($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$)の分子量は、

$12.0 + 4 \times 1.0 + 2 \times 14.0 + 16.0 = 60.0$ である。

②質量パーセント濃度で 30% の尿素水溶液 1.0 g 中の尿素の質量は、

$1.0 \times (30/100)$ (g) である。

③②の尿素の物質量は、 $\text{②} \times (1/60.0) = 1.0 \times (30/100) \times (1/60.0)$ (mol) である。

④尿素 1 分子からアンモニアは 2 分子できるので、アンモニアの物質量は、

$\text{③} \times 2 = 1.0 \times (30/100) \times (1/60.0) \times 2$ (mol) である。

⑤ NO_2 とアンモニアは 6 対 8 の割合で反応するので、

求める二酸化窒素 NO_2 の物質量は、 $\text{④} \times (6/8)$ (mol) となる。

$\therefore 1.0 \times (30/100) \times (1/60.0) \times 2 \times (6/8) = 7.5 \times 10^{-3}$ (mol) と求まる。

答え 7.5×10^{-3} mol