

## 第4章 問題解答

### 4-1, 4-2 ドリル問題の解答

1. 1070kPa, 2.  $140 \times 10^6 \text{N}$  (答)

2. 23.4 dm<sup>3</sup>, 2.34  $\times 10^4$  cm<sup>3</sup>, 23.4L, 2.34  $\times 10^4$  mL (答)

3.

(1) 127kPa

(2) 203kPa

(3) 13.2L

(4) 5.60L

(5) 12.0L

(6) -1°C

(7) 313°C

(8) 189kPa

(9) 7.21L

(10) 0.466mol

(11) 81.0kPa

### 4-3 ドリル問題

1. 3.22%

2. 0.104mol/L

3. 1.25mol/kg

4. 30.0g

5. 0.313mol

6. 490g

7. 44.8g

8. 100.258°C

9. -0.927°C

10. 310kPa

#### 4章 演習問題

1. 酸素(O<sub>2</sub>)のモル質量は 32.0g/mol であるから、酸素(O<sub>2</sub>) 4.80g は 4.80/32.0 mol である。したがって、式 4-12 より

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{4.80}{32.0} \text{mol} \times 8.3145 \text{JK}^{-1} \text{mol}^{-1} \times 298 \text{K} \\ \frac{152.0 \times 10^3 \text{Pa}}{=} = 2.45 \times 10^{-3} \text{m}^3 = 2.45 \text{L} \quad (\text{答})$$

2. 気体が 1.00 L あるとすると、密度が 1.23g/L であるから、その質量は 1.23g となる。この気体の分子量を  $M$  とすると、モル質量は  $M$ g/mol となるから、気体 1.23g の物質量は  $1.23/M$  mol と表される。式 4-12 より

$$pV = \frac{1.23}{M} RT \quad \text{となるから,}$$

$$M = \frac{1.23RT}{pv} = \frac{1.23 \text{g} \times 8.3145 \text{JK}^{-1} \text{mol}^{-1} \times 298 \text{K}}{101.3 \text{kPa} \times 1.00 \text{L}} = 30.1 \text{g/mol}$$

よって分子量は 30.1 である。(答)

3. (1) 気体の体積と温度は一定であるから、圧力は気体分子数に比例する。気体分子 A が  $m_A$  個だけ入っているときの圧力が  $P_1$ [Pa] で、これに気体分子 B が加わって気体分子数が合計 ( $m_A + m_B$ ) 個となったときの圧力が  $P_2$ [Pa] であるから

$$P_1 : m_A = P_2 : (m_A + m_B)$$

これより

$$m_A + m_B = \frac{m_A P_2}{P_1} \quad \text{となるから,}$$

$$m_B = \frac{m_A P_2}{P_1} - m_A = \frac{m_A (P_2 - P_1)}{P_1} \quad \text{個 (答)}$$

- (2) 分圧の法則によると、混合気体の圧力は各気体の分圧の和に等しい。気体分子 A だけが容器に入っているときの圧力が  $P_1$  ということは、A, B の混合気体における気体 A の分圧が  $P_1$  ということである。知りたいのは気体 B だけが容器に入っているときの圧力、すなわち A, B の混合気体における気体 B の分圧である。したがって、気体 B の分圧は混合気体の圧力  $P_2$  から気体 A の分圧を引いたもので、 $(P_2 - P_1)$  kPa となる。(答)

4. 窒素のモル質量は 28.0g/mol であるから、窒素 15.0g は 15.0/28.0 mol である。したがって、この容器の容積  $V$  は式 4-12 より

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{15.0}{28.0} \text{mol} \times 8.3145 \text{JK}^{-1} \text{mol}^{-1} \times 298 \text{K} \\ \frac{50.7 \text{kPa}}{=} = 0.0262 \text{m}^3$$

容積  $0.0262\text{m}^3$  の容器に、 $35^\circ\text{C}$  で二酸化炭素を圧力  $50.7\text{kPa}$  になるまでつめたときの二酸化炭素の物質量を  $n\text{ mol}$  とすると、式 4-12 より

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{50.7\text{kPa} \times 0.0262\text{m}^3}{8.3145\text{JK}^{-1}\text{mol}^{-1} \times 308\text{K}} = 0.519\text{mol}$$

二酸化炭素のモル質量は  $44.0\text{g/mol}$  であるから、 $0.519\text{mol}$  は  $0.519\text{mol} \times 44.0\text{g/mol} = 22.8\text{g}$  となる。(答)

5. 水上置換とは、水を満たした試験管やメスシリンダーを、水槽に口を下にして立てて水中から気体を導入して、気体を集める方法である。こうすることによって、空気が混ざることなく気体を試験管やメスシリンダーにとることができる。ただし、このようにして集めた気体は水蒸気との混合気体となってしまう(このとき、水について気液平衡状態となっているものとする)。集めた気体の圧力を大気圧 ( $101.3\text{kPa}$ ) と同じにするためには、捕集器具内の水面と水槽の水面を一致させる必要がある。

集めた気体の圧力を  $P$  とすると、 $P = P_{\text{H}_2} + P_{\text{H}_2\text{O}}$  と表せる。ここで、

$P_{\text{H}_2}$ ,  $P_{\text{H}_2\text{O}}$  は水素および水蒸気に分圧であり、 $P_{\text{H}_2\text{O}}$  は水の飽和水蒸気圧とな

る。したがって、 $30^\circ\text{C}$  で水素のみが体積  $35\text{ml}$  ( $35 \times 10^{-6}\text{m}^3$ )、圧力 ( $P - P_{\text{H}_2\text{O}}$ ) であ

るときの水素の物質量  $n$  は

$$n = \frac{(101.3 - 4.243)\text{kPa} \times 35 \times 10^{-6}\text{m}^3}{8.3145\text{JK}^{-1}\text{mol}^{-1} \times 303\text{K}} = 1.34 \times 10^{-3}\text{mol}$$

よって、分子数は  $1.34 \times 10^{-3}\text{mol} \times 6.022 \times 10^{23}\text{mol}^{-1} = 8.1 \times 10^{20}$  となり、分子数は  $8.1 \times 10^{20}$  個である。(答)

6.  $50.0\text{L} = 50.0\text{dm}^3 = 50.0 \times 10^{-3}\text{m}^3$  である。理想気体の状態方程式の場合、式 4-12 より

$$p = \frac{nRT}{V} = \frac{2.00\text{mol} \times 8.3145\text{JK}^{-1}\text{mol}^{-1} \times 300\text{K}}{50.0 \times 10^{-3}\text{m}^3} = 9.98 \times 10^4\text{Pa}$$

ファンデルワールスの状態方程式の場合、式 4-16 より

$$p = \frac{nRT}{V - nb} - a \left( \frac{n}{V} \right)^2 = \frac{2.00\text{mol} \times 8.3145\text{JK}^{-1}\text{mol}^{-1} \times 300\text{K}}{50.0\text{L} - 2.00\text{mol} \times 4.31 \times 10^{-2}\text{Lmol}^{-1}} - 2.30 \times 10^5\text{L}^2\text{Pamol}^{-2} \times \left( \frac{2.00\text{mol}}{50.0\text{L}} \right)^2$$

$$= \frac{4988.7\text{J}}{49.9138\text{dm}^3} - 368\text{Pa} = 9.96 \times 10^3 \text{Pa} \quad (\text{答})$$

7. 溶液の質量は 204.5g となる。  $(4.5\text{g}/205.4\text{g}) \times 100 = 2.2$  となるから、質量パーセント濃度は 2.2%。(答)

尿素のモル質量は  $60.1\text{g/mol}$  であるから、尿素 4.5g の物質量は、 $4.5\text{g}/60.1\text{g}\cdot\text{mol}^{-1} = 0.0749\text{mol}$ 。一方、この溶液 204.5g の体積は、密度が  $1.03\text{g}/\text{cm}^3$  であるから、 $204.5\text{g}/1.03\text{g}\cdot\text{cm}^{-3} = 199\text{cm}^3 = 0.199\text{L}$  である。したがって、モル濃度は  $0.0749\text{mol}/0.199\text{L} = 0.38\text{mol/L}$  となる。(答)

また、水  $200\text{g} = 0.200\text{kg}$  であるから、質量モル濃度は  $0.0749\text{mol}/0.200\text{kg} = 0.37\text{mol/kg}$  である。(答)

8. まず、濃塩酸のモル濃度を求める。濃塩酸 1L ( $1000\text{cm}^3$ ) の質量は、密度  $1.18\text{g}/\text{cm}^3$  であるから、

$$1000\text{cm}^3(1\text{L}) \times 1.18\text{g}\cdot\text{cm}^{-3} = 1180\text{g}$$

となる。質量パーセント濃度が 36.5%なので、この中に含まれる塩化水素(HCl)は  $1180\text{g} \times 0.365 = 430.7\text{g}$  となる。塩化水素のモル質量は  $36.44\text{g}/\text{mol}$  であるから、 $430.7\text{g}$  は

$$430.7\text{g} \div 36.44\text{g}\cdot\text{mol}^{-1} = 11.82\text{mol}$$

である。よって、濃塩酸のモル濃度は  $11.8\text{mol/L}$  となる。

濃度  $1.00\text{mol/L}$  の希塩酸を  $50.0\text{mL}$  中には、塩化水素が

$$1.00\text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \times \frac{50.0\text{mL}}{1000\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}} = 0.0500\text{mol}$$

だけ含まれている。塩化水素を  $0.0500\text{mol}$  含む濃塩酸を取って、それを水で薄めて体積を  $50.0\text{mL}$  にすればよい。濃塩酸  $x[\text{mL}]$  を取ったとすれば

$$11.8\text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \times \frac{x}{1000\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}} = 0.0500\text{mol}$$

すなわち、

$$\frac{11.8x}{1000} = 0.0500 \quad \text{より } x = 4.24 \text{ となるから、} 4.24\text{mL} \text{ 必要である。} (\text{答})$$

(別解)

またモル濃度  $11.8\text{mol/L}$  の濃塩酸が 11.8 倍に薄まれば、濃度は  $1.00\text{mol/L}$  となるから、 $50.0\text{mL}$  の 11.8 分の 1 の量の濃塩酸をとって、これを水で薄めて体積を  $50.0\text{mL}$  にすると考えてもよい。 $50.0\text{mL}$  の 11.8 分の 1 は  $50.0\text{mL} \div 11.8 = 4.24\text{mL}$  である。

9. 式 4-23 より凝固点降下度は、質量モル濃度に比例する。一定質量の非電解質を一定質量の水に溶かすのであるから、物質の分子量が小さいほど質量モル

濃度が高くなり、凝固点降下度は高くなる。すなわち、凝固点は低くなる。したがって、凝固点の低い順とは分子量の小さい順ということになる。(ア)～(カ)の物質の分子量は、(ア)342、(イ)180、(ウ)60、(エ)92、(オ)63、(カ)162 $n$ ( $n$ は正の整数)となる。 $n$ の値は具体的にわからないが(カ)は高分子化合物であり、最も分子量が大きい。したがって、分子量は(ウ) (オ) (エ) (イ) (ア) (カ)の順で大きくなる。すなわち、この順で凝固点は低くなる。(答)

10. 表 4-4 より 80℃および 20℃における硝酸ナトリウムの溶解度(100g の水に溶ける質量)は、それぞれ 148g および 80g である。80℃の硝酸ナトリウム飽和水溶液 100g 中に溶けている硝酸ナトリウムの量を  $x$ [g]とすると、硝酸ナトリウム飽和水溶液 100g 中の水の量は  $(100-x)$  [g]と表せる。したがって、

$$148\text{g}:100\text{g}=x:(100-x)\text{ [g]}$$

となり  $x=59.7\text{g}$  となる。よって、水の量は 40.3g である。当然温度が下がっても水の量は変わらない。20℃において、40.3g の水に溶ける硝酸ナトリウムの質量を  $y$ [g]とすると

$$80\text{g}:100\text{g}=y:40.3\text{g}$$

これより  $y=32.2\text{g}$  となる。水 40.3g に 80℃で 59.7g 溶けていた硝酸ナトリウムが、20℃では 32.2g しか溶けなくなる。したがってこれらの差の 27.5g が析出することになる。(答)

11. 20℃における窒素のブンゼン吸収係数は、表 4-5 より 0.0152 である。これは 20℃, 1atm で 1L の水に溶ける窒素の体積を L 単位で表したものである。0℃, 1atm で 1mol の気体の体積は 22.41 L/mol なので、窒素 0.0152L の物質量は

$$0.0152\text{L}\div 22.41\text{Lmol}^{-1}=6.78\times 10^{-4}\text{mol}$$

となる。窒素のモル質量は 28.0g/mol であるから、窒素  $6.78\times 10^{-4}\text{mol}$  の質量は  $6.78\times 10^{-4}\text{mol}\times 28.0\text{gmol}^{-1}=0.0190\text{g}$  である。

ヘンリーの法則より 2atm の圧力では、この質量の 2 倍の 0.0380g 溶けることになる。したがって、水 2L には 0.0760g 溶けることになる。(答)

12. 20℃におけるアンモニアのブンゼン吸収係数は、表 4-5 より 319 である。アンモニアを理想気体とみなして、これより 20℃で水に溶けるアンモニアの物質質量  $n$ [mol]を求めると (大気圧を 1atm とすると)、

$$1.00\text{atm}\times 319\text{L}=n\times 0.082057\text{LatmK}^{-1}\text{mol}^{-1}\times 273\text{K}$$

$$n=\frac{1.00\text{atm}\times 319\text{L}}{0.082057\text{LatmK}^{-1}\text{mol}^{-1}\times 273\text{K}}=14.2\text{mol}$$

となる。アンモニアのモル質量は 17.0g/mol (分子量 17.0) であるから、14.2mol は  $14.2\text{mol}\times 17.0\text{g/mol}=241\text{g}$  となる。これは水 1L に溶ける量であるから、水の密度を 1.00g/cm<sup>3</sup> として、質量パーセント濃度は

$$\frac{241\text{g}}{241\text{g}+1000\text{g}} \times 100\% = 19.4\% \quad (\text{答})$$

である。飽和溶液の質量は 1241g となる。溶液の密度が  $0.90\text{g}/\text{cm}^3$  であることから、飽和溶液 1241g の体積は

$$1241\text{g} \div 0.90\text{g}/\text{cm}^3 = 1.4 \times 10^3 \text{cm}^3 = 1.4\text{L}$$

よって、モル濃度は

$$14.2\text{mol} \div 1.4\text{dm}^3 = 10\text{mol}/\text{L} \quad (\text{答})$$

13. 酸素のモル質量は  $32.0\text{g}/\text{mol}$ 、窒素のモル質量は  $28.0\text{g}/\text{mol}$  であるから、酸素と窒素の物質量をそれぞれ  $x, y[\text{mol}]$  とすると、

$$32.0x + 28.0y = 11.6\text{g}$$

混合気体は  $25^\circ\text{C}$ 、 $101.3\text{kPa}$  で体積  $9.78\text{L}$  であるから、総物質量は

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3\text{kPa} \times 9.78\text{L}}{8.3145\text{JK}^{-1}\text{mol}^{-1} \times 298\text{K}} = \frac{101300\text{Nm}^{-2} \times 0.00978\text{m}^3}{8.3145\text{Nm}^{-1}\text{mol}^{-1} \times 298} = 0.400\text{mol}$$

よって

$$x + y = 0.400\text{mol}$$

連立方程式を解いて

$$x = 0.100\text{mol}, \quad y = 0.300\text{mol}$$

したがって、酸素は  $0.100\text{mol}$ 、窒素は  $0.300\text{mol}$  である。(答)

14. 窒素とアルゴンの物質量を、それぞれ  $n_{\text{N}_2}[\text{mol}]$ 、 $n_{\text{Ar}}[\text{mol}]$  とすると、 $1\text{L} = 1\text{dm}^3$  なので、

$$n_{\text{N}_2} = \frac{2.00\text{dm}^3 \times 120\text{kPa}}{RT}, \quad n_{\text{Ar}} = \frac{5.00\text{dm}^3 \times 195\text{kPa}}{RT}$$

と表せる。混合気体の体積は  $7.00\text{L}$ 、物質量は  $n_{\text{N}_2} + n_{\text{Ar}}[\text{mol}]$  となるから、全圧

$P$  は

$$P = \frac{(n_{\text{N}_2} + n_{\text{Ar}})RT}{7.00\text{dm}^3}$$

となる。これに  $n_{\text{N}_2}$ 、 $n_{\text{Ar}}$  を代入して

$$P = \frac{2.00\text{dm}^3 \times 120\text{kPa} + 5.00\text{dm}^3 \times 195\text{kPa}}{7.00\text{dm}^3} = 174\text{kPa} \quad (\text{答})$$

窒素とアルゴンの分圧  $p_{\text{N}_2}$  と  $p_{\text{Ar}}$  は、それぞれの物質量と式 4-14 より、

$$p_{\text{N}_2} = \frac{\frac{2.00\text{dm}^3 \times 120\text{kPa}}{RT}}{7.00\text{dm}^3} = 34.3\text{kPa} \quad (\text{答})$$

$$p_{\text{Ar}} = \frac{5.00 \text{ dm}^3 \times 195 \text{ kPa}}{7.00 \text{ dm}^3} \frac{RT}{RT} = 139 \text{ kPa} \quad (139.3 \text{ kPa}) \quad (\text{答})$$

( $P_{\text{N}_2} + P_{\text{Ar}} = 34.3 \text{ kPa} + 139.3 \text{ kPa} = 173.6 \text{ kPa}$ , 有効数字を 3 桁として全圧は 174 kPa)

15. それぞれの気体の分圧  $p_A$ ,  $p_B$ ,  $p_C$  は

$$p_A = \frac{n_A RT}{V}, \quad p_B = \frac{n_B RT}{V}, \quad p_C = \frac{n_C RT}{V}$$

容器内の気体の全物質量は  $n_A + n_B + n_C$  [mol] であるから, 容器の容積は

$$V = \frac{(n_A + n_B + n_C) RT}{P} \quad \text{と表せる。これを上式に代入すると}$$

$$p_A = \frac{n_A}{n_A + n_B + n_C} P, \quad p_B = \frac{n_B}{n_A + n_B + n_C} P, \quad p_C = \frac{n_C}{n_A + n_B + n_C} P \quad \text{となる。} \quad (\text{答})$$

16. 化合物の分子量を  $M$  とすると, モル質量は  $M$  [g/mol] となる。この化合物 2.12 g は  $2.12/M$  mol となる。一方, ベンゼンの分子量は 76.1 であるから, モル質量は 78.1 g/mol となる。よって, ベンゼン 50.0 g は  $50.0/78.1$  mol。したがって, この溶液のベンゼンのモル分率  $\chi$  は

$$\chi = \frac{50.0}{78.1} \left/ \left( \frac{50.0}{78.1} + \frac{2.12}{M} \right) \right.$$

と表せるから, 式 4-21 より

$$12.37 \text{ kPa} = 12.69 \text{ kPa} \times \frac{50.0}{78.1} \left/ \left( \frac{50.0}{78.1} + \frac{2.12}{M} \right) \right.$$

これを解いて  $M = 128$ , よってこの化合物の分子量は 128。 (答)

17. 化合物の分子量を  $M$  とすると, モル質量は  $M$  [g/mol] となる。1 L = 1.00 dm<sup>3</sup> だから, 化合物 1.03 g を水に溶かして体積を 1.00 L とした溶液のモル濃度は,

$$\frac{1.03}{M} \text{ mol/dm}^3 \quad \text{となる。これと, 式 4-24 より } \Pi = \frac{1.03}{M} RT. \quad \text{よって,}$$

$$\begin{aligned} M &= \frac{1.03 RT}{\Pi} = 1.03 \text{ mol dm}^{-3} \times \frac{8.3145 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293 \text{ K}}{7.33 \text{ kPa}} \\ &= \frac{1.03 \text{ mol} \times 8.3145 \text{ N m K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293 \text{ K}}{10^{-3} \text{ m}^3 \times 7.33 \times 10^3 \text{ N m}^{-2}} = 342 \end{aligned}$$

となり, この化合物の分子量は 342 である。浸透圧が 23.7 kPa となるこの化合物の溶液のモル濃度  $c$  は, 式 4-24 より

$$\begin{aligned} c &= \frac{\Pi}{RT} = \frac{23.7 \text{ kPa}}{8.3145 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293 \text{ K}} = \frac{23.7 \times 10^3 \text{ N m}^{-2}}{8.3145 \text{ N m K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293 \text{ K}} \\ &= 9.728 \text{ mol m}^{-3} = 9.728 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3} \end{aligned}$$

したがって、 $20^{\circ}\text{C}$ におけるこの化合物の飽和水溶液  $5.00\text{g}$  中に溶けている化合物の質量は、 $9.728 \times 10^{-3}\text{mol} \times 342\text{g}\text{mol}^{-1} = 3.327\text{g}$  となる。よって、飽和水溶液  $5.00\text{g}$  中の水の質量は  $5.00\text{g} - 3.327\text{g} = 1.673\text{g}$  となるから、水  $100\text{g}$  には、 $(3.327\text{g}/1.673\text{g}) \times 100\text{g} = 199\text{g}$  溶けることになる。溶解度は  $199\text{g}/\text{水 } 100\text{g}$  である。(答)

18. 気体のモル質量を  $M$  とすると、圧力  $p$  において溶けた気体の質量  $w$  と気体の体積  $V$  の関係は、理想気体の状態方程式より

$$pV = \frac{w}{M} RT \rightarrow w = \frac{pVM}{RT} \text{ となるから、これを } w = kp \text{ に代入すると}$$

$$\frac{pVM}{RT} = kp \text{ となる。したがって、} V = \frac{kRT}{M} \text{ となる。右辺の値は一定であるから、}$$

$V$  は一定となる。(答)