第４章　問題解答

４－１，４－２ドリル問題の解答

１．1070kPa，2.140×10^{6}N（答）

２．23.4 dm^3，$2.34\times10^{4}cm^3$，23.4L，2.34×10^{4}mL　（答）

３．

（1）　127kPa
（2）　203kPa
（3）　13.2L
（4）　5.60L
（5）　12.0L
（6）　-1℃
（7）　313℃
（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℃
９．　－0.927℃
10.　310kPa

4章　演習問題

１．　酸素(O_2)のモル質量は 32.0g/mol であるから,酸素(O_2) 4.80g は 4.80/32.0 mol である。したがって，式 4-12 より

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

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 Mg/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

$$pV=\frac{1.23}{M}RT$$ となるから，

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

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

$$m_A+m_B=\frac{m_AP_2}{P_1}$$ となるから，

$$m_B=\frac{m_AP_2}{P_1}-m_A=\frac{m_A(P_2-P_1)}{P_1}\quad 個（答）$$

(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 15.0/28.0mol である。したがって，この容器の容積 V は式 4-12 より

$$V=\frac{nRT}{P}=\frac{\frac{15.0}{28.0}\mathrm{mol}\times 8.3415\mathrm{JK^{-1}mol^{-1}}\times 298\mathrm{K}}{50.7\mathrm{kPa}}=0.0262\mathrm{m^3}$$

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

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

二酸化炭素のモル質量は 44.0g/mol であるから，0.519mol は
0.519mol×44.0gmol^{-1}＝22.8g 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(101.3kPa)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，$P=P_{\mathrm{H_2}}+P_{\mathrm{H_2O}}$ と表せる。ここで，

$P_{\mathrm{H_2}}$，$P_{\mathrm{H_2O}}$ は水素および水蒸気の分圧であり，$P_{\mathrm{H_2O}}$は水の飽和水蒸気圧となる。したがって，30℃で水素のみが体積 35ml(35×10^{-6}m^3),圧力$(P-P_{\mathrm{H_2O}})$であるときの水素の物質量 n は

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

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

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

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

ファンデルワールスの状態方程式の場合，式 4-16 より

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

$$-2.30\times 10^5\,\mathrm{L}^2\mathrm{Pamol}^{-2}\times\left(\frac{2.00\mathrm{mol}}{50.0\mathrm{L}}\right)^2$$

$$=\frac{4988.7\mathrm{J}}{49.9138\mathrm{dm}^3}-368\mathrm{Pa}=9.96\times10^3\,\mathrm{Pa}$$ （答）

7．　溶液の質量は 204.5g となる。（4.5g/205.4g)×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 60.1g/mol であるから，尿素 4.5g の物質量は，4.5g/60.1gmol^{-1}＝0.0749mol。一方,この溶液 204.5g の体積は,密度が 1.03g/cm^3 であるから，204.5g/1.03gcm^{-3}＝199cm^3＝0.199L である。したがって，モル濃度は 0.0749mol/0.199L＝0.38mol/L となる。(答)

また，水 200g＝0.200kg であるから，質量モル濃度は 0.0749mol/0.200kg＝0.37mol/kg である。(答)

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

$$1000\mathrm{cm}^3(1\mathrm{L})\times1.18\mathrm{gcm}^{-3}=1180\mathrm{g}$$

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 1180g×0.365＝430.7g となる。塩化水素のモル質量は 36.44g/mol であるから，430.7g は

430.7g÷35.44gmol^{-1}＝11.82mol

である。よって，濃塩酸のモル濃度は 11.8mol/L となる。

濃度 1.00mol/L の希塩酸を 50.0mL 中には，塩化水素が

$$1.00\mathrm{molL}^{-1}\times\frac{50.0\mathrm{mL}}{1000\mathrm{mLL}^{-1}}=0.0500\mathrm{mol}$$

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

$$11.8\mathrm{molL}^{-1}\times\frac{x}{1000\mathrm{mLL}^{-1}}=0.0500\mathrm{mol}$$

すなわち，

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

（別解）

またモル濃度 11.8mol/ L の濃塩酸が 11.8 倍に薄まれば，濃度は 1.00mol/ L となるから，50.0mＬ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 50.0mL にすると考えてもよい。50.0mL の 11.8 分の 1 は 50.0mL÷　11.8＝4.24mL 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)162n(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，

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

となりx＝59.7g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

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

これよりy＝32.2g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

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

となる。窒素のモル質量は28.0g/molであるから，窒素6.78×10^{-4}molの質量は$6.78 \times 10^{-4}\mathrm{mol} \times 28.0\mathrm{gmol^{-1}} = 0.0190\mathrm{g}$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とけることになる。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量n[mol]を求めると（大気圧を1atmとすると),

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

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

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14.2mol×17.0g/mol＝241g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^{3}として，質量パーセント濃度は

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

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

1241g÷0.90g/cm^3=1.4×10^{3}cm^3=1.4L

よって，モル濃度は

14.2mol÷1.4dm^3＝10mol/L　（答）

13.　酸素のモル質量は 32.0g/mol，窒素のモル質量は 28.0.0g/mol であるから，酸素と窒素の物質量をそれぞれ x，y[mol]とすると，

$32.0x+28.0y=11.6$g

混合気体は 25℃，101.3kPa で体積 9.78L であるから，総物質量は

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

よって

$x+y=0.400$mol

連立方程式を解いて

$x=0.100$mol，$y=0.300$mol

したがって，酸素は 0.100mol，窒素は 0.300mol である。(答)

14.　窒素とアルゴンの物質量を，それぞれ $\boldsymbol{n}_{\mathbf{N_2}}$[mol]，$\boldsymbol{n}_{\mathbf{Ar}}$[mol]とすると，1L＝1dm^3 なので，

$$n_{\mathrm{N_2}}=\frac{2.00\text{dm}^3\times 120\text{kPa}}{RT},\quad n_{\mathrm{Ar}}=\frac{5.00\text{dm}^3\times 195\text{kPa}}{RT}$$

と表せる。混合気体の体積は 7.00L，物質量は $n_{\mathrm{N_2}}+n_{\mathrm{Ar}}$[mol]となるから，全圧 P は

$$\boldsymbol{P}=\frac{(\boldsymbol{n}_{\mathbf{N_2}}+\boldsymbol{n}_{\mathbf{Ar}})\boldsymbol{RT}}{\mathbf{7.00dm^3}}$$

となる。これに $n_{\mathrm{N_2}}$，n_{Ar} を代入して

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

窒素とアルゴンの分圧 $\boldsymbol{p}_{\mathbf{N_2}}$ と $\boldsymbol{p}_{\mathbf{Ar}}$ は，それぞれの物質量と式 4-14 より，

$$p_{\mathrm{N2}}=\frac{\dfrac{2.00\text{dm}^3\times 120\text{kPa}}{RT}RT}{7.00\text{dm}^3}$$ ＝34.3kPa（答）

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

（P_{N2}＋P_{Ar}＝34.3kPa＋139.3kPa＝173.6kPa，有効数字を 3 桁として全圧は 174kPa）

15.　それぞれの気体の分圧 p_A，p_B，p_C は

$$p_{\mathrm{A}} = \frac{n_{\mathrm{A}}RT}{V},\quad p_{\mathrm{B}} = \frac{n_{\mathrm{B}}RT}{V},\quad p_{\mathrm{C}} = \frac{n_{\mathrm{C}}RT}{V}$$

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 $V = \dfrac{(n_{\mathrm{A}} + n_{\mathrm{B}} + n_{\mathrm{C}})RT}{P}$ と表せる。これを上式に代入すると

$$p_{\mathrm{A}} = \frac{n_{\mathrm{A}}}{n_{\mathrm{A}} + n_{\mathrm{B}} + n_{\mathrm{C}}}P,\quad p_{\mathrm{B}} = \frac{n_{\mathrm{B}}}{n_{\mathrm{A}} + n_{\mathrm{B}} + n_{\mathrm{C}}}P,\quad p_{\mathrm{C}} = \frac{n_{\mathrm{C}}}{n_{\mathrm{A}} + n_{\mathrm{B}} + n_{\mathrm{C}}}P$$ となる。（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 2.12g 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 78.1g/mol となる。よって，ベンゼン 50.0g 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 χ は

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

と表せるから，式 4-21 より

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

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。1L＝1.00dm^3 だから，化合物 1.03g を水に溶かして体積を 1.00L とした溶液のモル濃度は，$\dfrac{1.03}{M}\mathrm{mol/dm^3}$ となる。これと，式 4-24 より $\Pi = \dfrac{1.03}{M}RT$。よって，

$$M = \frac{1.03RT}{\Pi} = 1.03\mathrm{moldm}^{-3} \times \frac{8.3145\mathrm{JK}^{-1}\mathrm{mol}^{-1} \times 293\mathrm{K}}{7.33\mathrm{kPa}}$$
$$= \frac{1.03\mathrm{mol} \times 8.3145\mathrm{NmK}^{-1}\mathrm{mol}^{-1} \times 293\mathrm{K}}{10^{-3}\mathrm{m}^3\,7.33 \times 10^3\,\mathrm{Nm}^{-2}} = 342$$

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

$$c = \frac{\Pi}{RT} = \frac{23.7\mathrm{kPa}}{8.3145\mathrm{JK}^{-1}\mathrm{mol}^{-1} \times 293\mathrm{K}} = \frac{23.7 \times 10^3\,\mathrm{Nm}^{-2}}{8.3145\mathrm{NmK}^{-1}\mathrm{mol}^{-1} \times 293\mathrm{K}}$$
$$= 9.728\mathrm{mol\ m}^{-3} = 9.728 \times 10^{-3}\mathrm{moldm}^{-3}$$

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

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

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