

5章 溶液③

問題

■演習

【1】

解答

問1 $1.5 \times 10^3 \text{ Pa}$

問2 4.0 mg

問3 10 cm

解説

問1 77 g のおもりを水銀柱の高さに換算すると、水銀の密度 13.5 g/cm^3 と、U字管の内側の断面積 5.0 cm^2 より

$$\frac{77[\text{g}]}{13.5[\text{g/cm}^3] \times 5.0[\text{cm}^2]} = 1.14 \text{ [cm]}$$

大気圧 ($1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$) は高さ $760\text{mm} = 76.0\text{cm}$ の水銀柱の圧力に相当することから、おもりによる圧力は

$$1.0 \times 10^5 \times \frac{1.14}{76.0} = 1.50 \times 10^3 \text{ [Pa]}$$

と求められる。これは水溶液の浸透圧に等しい。

問2 混合物に含まれるブドウ糖と尿素がそれぞれ $x[\text{g}]$, $y[\text{g}]$ であったとすると、次の式が成り立つ。

$$x+y=4.5 \times 10^{-3} \quad \dots \quad ①$$

ブドウ糖、尿素の分子量はそれぞれ 180, 60 であり、共に非電解質であるから、水溶液のモル濃度は

$$\left(\frac{x}{180} + \frac{y}{60} \right) \times \frac{1000}{50} \text{ [mol/L]}$$

である。問1で求めた浸透圧について、ファントホップの式を用いると

$$1.50 \times 10^3 = \left(\frac{x}{180} + \frac{y}{60} \right) \times \frac{1000}{50} \times 8.3 \times 10^3 \times 300 \quad \dots \quad ②$$

と表せる。 $①$, $②$ を解いて

$$x=4.04 \times 10^{-3} \text{ [g]}, \quad y=4.6 \times 10^{-4} \text{ [g]}$$

問3 水の液面が $h \text{ [cm]}$ 下がり、水溶液の液面が $h \text{ [cm]}$ 上がったとすると、水溶液の体積が増加するので、浸透圧は減少する。問1で求めた浸透圧に対し、ここでの浸透圧は

$$1.50 \times 10^3 \times \frac{50}{50+5.0h} \text{ [Pa]}$$

となる。これが、水面の高さの差 $2h \text{ [cm]}$ 分の水溶液柱による圧力とつりあう。水溶液柱

を水銀柱の高さに換算すると、水溶液の密度が 1.0g/cm^3 であるので

$$\frac{2h[\text{cm}] \times 5.0[\text{cm}^2] \times 1.0[\text{g/cm}^3]}{13.5[\text{g/cm}^3] \times 5.0[\text{cm}^2]} = \frac{2h}{13.5} [\text{cm}]$$

これより次式が成り立つ。

$$1.50 \times 10^3 \times \frac{50}{50 + 5.0h} = 1.0 \times 10^5 \times \frac{2h}{76.0 \times 13.5}$$

$$\therefore h^2 + 10h - 76.95 = 0$$

76.95=77 としこれに二次方程式の解の公式を用いると

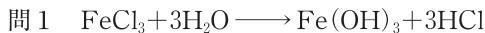
$$h = \frac{-10 \pm \sqrt{100 + 4 \times 77}}{2} = \frac{-10 \pm \sqrt{408}}{2} = \frac{-10 \pm 2\sqrt{2}\sqrt{51}}{2} = \frac{-10 \pm 20.1}{2}$$

$h > 0$ であることから

$$2h = 10.1 [\text{cm}]$$

【2】

解答



問2 操作の名称；透析，温水の色；変化なし，リトマス紙の色；青色リトマス紙が赤変



問4 2.0×10^2 個

問5

操作IV	Na_2SO_4 (溶液) 沈殿を生じた。		コロイド名 <u>疎水コロイド</u>
操作VI	Na_2SO_4 (溶液) <u>変化なし</u>	Na_2SO_4 (粉末) <u>沈殿を生じた。</u>	コロイド名 <u>親水コロイド</u>
操作VII	Na_2SO_4 (溶液) <u>変化なし</u>	Na_2SO_4 (粉末) <u>沈殿を生じた。</u>	

問6 (1) 凝析

(2) (ウ)

問7 (1) 陰極の周囲の色が濃くなる。

(2) 正に帯電している。

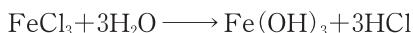
(3) (イ)

問8 (1) チンダル現象

(2) (イ), (ウ), (エ), (カ)

解説

問1 塩化鉄(Ⅲ)は、常温の水とは反応しないが、沸騰した水とは反応して水酸化鉄(Ⅲ)の赤褐色のコロイドを生じる。



問2 セロハン膜の穴よりも大きい溶質をセロハン内部に残し、それ以外の溶質をセロハンの外部に移す操作のことを透析という。逆に、セロハン膜のような半透膜を通して、溶媒が水溶液側に移動する現象を浸透という。操作Iの溶液をセロハン袋に入れ温水に浸しても、コロイド粒子はセロハン膜を通り抜けて、ビーカー内に移動することはないので、温水の色は変化しない。しかし、水分子や、 H^+ , Cl^- , OH^- , 未反応の Fe^{3+} といったイオンはセロハン膜を通り抜けて温水に移動する。

問3 先に述べたように、ビーカー内には Cl^- が存在するため、硝酸銀水溶液を加えると、 AgCl の白色沈殿を生じる。

問4 溶液Aのコロイド粒子のモル濃度を x [mol/L] とすると、ファントホップの式から、次の式が成り立つ。

$$3.0 \times 10^2 = x \times 8.3 \times 10^3 \times 300$$

$$\therefore x = 1.20 \times 10^{-4} \text{ [mol/L]}$$

[操作V]における、溶液A([操作II]後の溶液)の体積に明記はないが、[操作I]で全量を100mLとしていることより、コロイド粒子の物質量を求める

$$1.20 \times 10^{-4} \times \frac{100}{1000} = 1.20 \times 10^{-5} \text{ [mol]}$$

[操作 I] で用いた塩化鉄(Ⅲ)の水溶液に含まれていた Fe^{3+} の物質量は

$$2.4 \times \frac{1}{1000} = 2.4 \times 10^{-3} \text{ [mol]}$$

なので、これらすべてがコロイド粒子に含まれるとすると、コロイド粒子 1 個あたりには

$$\frac{2.4 \times 10^{-3}}{1.20 \times 10^{-5}} = 2.0 \times 10^2 \text{ [個]}$$

の鉄原子が含まれることになる。

問5 水酸化鉄(Ⅲ)のコロイドは代表的な疎水コロイドで、[操作IV]で、電解質(Na_2SO_4)水溶液を加えると、すぐに沈殿を生じる。これを凝析とよぶ。

一方、石けん水に含まれるミセルコロイドのように、電解質を加えても少量では沈殿を起こさず、多量に入れて初めて沈殿を生じるコロイドもある（親水コロイド）。親水コロイドに多量の電解質を加えたとき沈殿を生じる現象を塩析という。

[操作VI]で石けん水に Na_2SO_4 溶液を加えても、電解質は少量であるため沈殿を生じない。 Na_2SO_4 の粉末を加えて初めて沈殿を生じる (Na_2SO_4 は水溶液では $0.01 \times 2 \times 10^{-3} = 2.0 \times 10^{-5}$ [mol]、粉末では $\frac{100 \times 10^{-3}}{142} = 7.04 \times 10^{-4}$ [mol] (142 は Na_2SO_4 の式量) と、30 倍以上の分量を加えている)。

[操作VII] では疎水コロイドである水酸化鉄(Ⅲ)のコロイド溶液に、ゼラチン溶液を加えている。ゼラチンのように、疎水コロイドを保護して、沈殿しにくくする働きをもつコロイドのことを保護コロイドとよぶ。ゼラチンの働きで、 Na_2SO_4 の水溶液を加えても沈殿は生じないが、粉末を加えると、[操作VI]と同様、沈殿を生じる。

問6 凝析では、加えるイオンの価数が増えると飛躍的にその作用が起りやすくなる。

問7 コロイド溶液を U 字管に入れて直流電源に接続すると、コロイド粒子が一方の電極の方に向かって移動していく。この現象を電気泳動という。水酸化鉄(Ⅲ)コロイドは正に帯電しているため、陰極側に引き寄せられ陰極側の溶液の色が濃くなる。水酸化鉄(Ⅲ)の例から金属水酸化物のコロイドは正に帯電すると推測できるので、反対の負に帯電しているのは（イ）の硫黄と判断できる。

問8 コロイド粒子が分散媒に分散した分散系に強い光を当てると、コロイド粒子によって光が散乱され、光の進路が光って見える。これをチンダル現象という。

- (イ) タンパク質（ゼラチン）の分子が水中に分散している。
- (ウ) 石けんのミセルコロイドが水中に分散している。
- (エ) すす（炭素）が空気中に分散している。
- (カ) 塩化アンモニウムの粒子が空気中に分散している。

【3】

解答

問1 $\frac{W_1}{M_1} = \frac{W_2}{M_2}$

問2 N 量体の物質量 ; $\frac{W_1}{M_1 N} \times \alpha$ [mol] 総物質量 ; $\frac{W_1}{M_1} \left(1 - \alpha + \frac{\alpha}{N}\right)$ [mol]

問3 $\frac{\alpha(N-1)W_1RT_2}{M_1NV}$

問4 塩析, (d)

解説

問1 状態Ⅰでは液面の高さが等しいので、浸透する速度が左右で等しい。すなわちA側とB側のモル濃度が等しい。左右両側の液量も等しいことから、A側、B側の溶質の物質量が等しいので

$$\frac{W_1}{M_1} = \frac{W_2}{M_2}$$

問2 問題で与えられた会合度 α の定義より、 N 量体を形成した分子1の物質量は

$$\frac{W_1}{M_1} \times \alpha$$
 [mol]

これだけの分子1が N 量体を形成しているので、 N 量体の物質量は

$$\frac{W_1}{M_1 N} \times \alpha$$
 [mol]

次に、 N 量体を形成していない分子1の分子数の比は会合度 α を用いて $(1-\alpha)$ と表されるから、その物質量は

$$\frac{W_1}{M_1} \times (1-\alpha)$$
 [mol]

よって、単量体と N 量体を合わせた総物質量は

$$\frac{W_1\alpha}{M_1 N} + \frac{W_1}{M_1} \times (1-\alpha) = \frac{W_1}{M_1} \left(1 - \alpha + \frac{\alpha}{N}\right)$$
 [mol]

問3 状態ⅡではA側の粒子が会合しているため、総物質量はB側より減少している。したがって、濃度の大きいB側の水面が上昇する。水面の高さを等しくするためにB側に加える圧力の大きさは、A、B両側の浸透圧の差に等しい。A側、B側の浸透圧をそれぞれ Π_1 、 Π_2 とすると

$$A\text{側} : \Pi_1 = \frac{W_1}{M_1 V} \left(1 - \alpha + \frac{\alpha}{N}\right) RT_2, \quad B\text{側} : \Pi_2 = \frac{W_2}{M_2 V} RT_2$$

よって、求める圧力 P は、 $\frac{W_1}{M_1} = \frac{W_2}{M_2}$ であることを利用して

$$\begin{aligned}
P &= \Pi_2 - \Pi_1 = \frac{W_2}{M_2 V} R T_2 - \frac{W_1}{M_1 V} \left(1 - \alpha + \frac{\alpha}{N} \right) R T_2 \\
&= \frac{W_1}{M_1 V} R T_2 - \frac{W_1}{M_1 V} \left(1 - \alpha + \frac{\alpha}{N} \right) R T_2 \\
&= \left(\alpha - \frac{\alpha}{N} \right) \frac{W_1}{M_1 V} R T_2 \\
&= \frac{\alpha(N-1) W_1 R T_2}{M_1 N V}
\end{aligned}$$

問4 多量の電解質を加えることで、親水コロイドのまわりの水和水が奪われ沈殿が生じる現象を塩析という。したがって、最も関係のあることは(d)の水和である。

【4】

解答

問1 (b)

問2 (b)

理由: Na^+ と Cl^- と水は自由にセロハンを通過するが、タンパク質は通過できない。このため、タンパク質溶液の濃度を薄めようとして、A槽からB槽に水が浸透する。

問3 $7.9 \times 10^5 \text{ Pa}$

問4 硫酸アンモニウムを加える。

問5 人工透析の透析液として純水を使用してしまうと、血液中に必要な成分まで取り除かれてしまうことに加えて、浸透圧の差が大きく、過剰な水分が血液に入り込んでしまうから。

解説

問1 グルコースおよび尿素は非電解質である。分子量はそれぞれ、グルコース $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = 180.0$ 、尿素 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 = 60.0$ であるから、物質量を比較すると

$$\text{グルコース } \frac{1}{180.0} = 5.55 \times 10^{-3} \text{ [mol]} \quad \text{尿素 } \frac{1}{60.0} = 1.67 \times 10^{-2} \text{ [mol]}$$

これは、質量モル濃度の値に等しい。したがって、それぞれの液の沸点は

(a) 液 $100 + 0.515 \times 5.55 \times 10^{-3} = 100.0028 \text{ [}^\circ\text{C}]$

(b) 液 $100 + 0.515 \times 1.67 \times 10^{-2} = 100.0086 \text{ [}^\circ\text{C}]$

(c) 液 $78.3 + 1.07 \times 5.55 \times 10^{-3} = 78.3059 \text{ [}^\circ\text{C}]$

問2 本問では「セロハンは Na^+ や Cl^- を通過させる」とあることに注意する。十分に放置すると、A槽とB槽の NaCl 濃度は等しくなるので、 NaCl が溶けていることによる浸透圧の差は発生しない。よって、B槽のタンパク質についてのみ考えればよく、タンパク質溶液の濃度を下げるために水がA槽からB槽に入り込む。

問3 0.9% NaCl 溶液 1000g（水溶液の密度は与えられていないが、希薄な水溶液であるので体積も 1L としてよい）には、9g の NaCl が溶けている。 NaCl の式量は 58.5 であり、また、 NaCl は電解質であり、 Na^+ と Cl^- とになることより

$$\frac{2 \times \frac{9}{58.5}}{1} \times 8.3 \times 10^3 \times (273 + 37) = 7.91 \times 10^5 \text{ [Pa]}$$

問4 コロイド溶液か否かを見分けるための化学物質を用いた手法には、塩析・凝析がある。

疎水コロイド・親水コロイドにかかわらず、電解質を加えればよく、実際には硫酸アンモニウムを用いることが最も多いが、硫酸ナトリウム、リン酸ナトリウムなどを解答してもよい。

問5 実際の透析液には、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} などのイオンや、ブドウ糖などを含んだ、正常の血液に近い組成と濃度の電解質水溶液を用いることで、血液中に必要な成分は透析しないようにしている。人工透析では、血中に不要なタンパクや尿素などが蓄積した患者を対象に、透析液を用いて透析している。また、純水を使うと浸透圧の差が大きいために血液側に水分が多量に入り込んでしまい、血液中の水分が過剰になって心臓に負担がかかってしまう。透析液にはこれを防ぐ役割もある。

添削課題

解答

問1 (ウ), (エ)

問2 A チンダル B ブラウン運動 C 電気泳動
D 凝析 E 塩析 F 透析

問3 熱運動している分散媒の粒子が不規則にコロイド粒子に衝突するため。(32字)

問4 水酸化鉄(Ⅲ)コロイドが正電荷をもつ正コロイドであるため。(29字)

問5 親水コロイドは疎水コロイドと異なり、コロイド粒子のまわりに強く水分子を引きつけており、凝集しにくいため。(52字)

解説

問1 (ウ) の砂糖水では非電解質のグルコース分子が、水溶液中に拡散している。グルコースはヒドロキシ基を多くもつため、水和して水に溶けている。(エ)の食塩水では、NaClが電解質であるため、 Na^+ と Cl^- のイオンになって水溶液中に拡散している。それ以外のものはすべてコロイドである。

(ア) タンパク質や脂肪分子が水に分散したもの。

(イ) 炭素粒子が水に分散したもの(保護コロイドとしてにかわが加えてある)。

(オ) すす(炭素粒子)が、空気中に分散したもの。

(カ) 油滴がタンパク質分子に囲まれて水に分散したもの。

問3 観察しているコロイド粒子が、熱運動している分散媒(溶媒分子)と衝突することにより少し動かされるという現象が生じている。その向きや、衝突と衝突の時間間隔が不規則であるために、観察している分子も不規則に移動しているように見える。

問4 電荷をもつコロイドの溶液に電圧をかけると、その電荷とは反対符号の電極側に移動する。

問5 疎水コロイドに電解質を加えると、加えた電解質と疎水コロイドがすぐに接触して互いの反発力が弱まるため沈殿を生じる。親水コロイドではコロイド粒子の周りにある水分子を多量の電解質で引き離す必要があるため、凝集しにくい。