

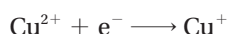
演習問題の解答

1 章 物理化学の基礎

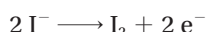
S1.1

金属銅は硝酸により酸化されて Cu^{2+} イオンとなる.

この溶液に KI を加えると, Cu^{2+} は次の反応式により Cu^+ に還元される.



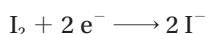
ヨウ素イオンは, 次の反応式によりヨウ素に酸化される.



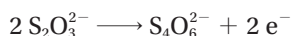
1 番目の反応式を 2 倍して, 二つの式を合わせると, 電子が消える.



ヨウ素は, チオ硫酸イオン ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) により還元される. この反応の半反応式は,



チオ硫酸は酸化され, テトラチオン酸 ($\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$) となる. この反応の半反応式は,



この二つの式を合わせて, 電子を消すと,



以上より, 2 モルの Cu^{2+} 当たり 1 モルの I_2 が放出され, 1 モルの I_2 は 2 モルの $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ で還元される. よって, 1 モルの Cu^{2+} と 1 モルの $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ は等価であることがわかる.

Cu^{2+} のモル数を計算するため, $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ のモル数を求める必要がある.

$$\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \text{ のモル数} = c \times v = 0.1500 \text{ mol dm}^{-3} \times 24.35 \times 10^{-3} \text{ dm}^3 = 3.6525 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

よって, 25.00 cm^3 中の Cu^{2+} のモル数 $= 3.6525 \times 10^{-3} \text{ mol}$ である.

$$500 \text{ cm}^3 \text{ 中の } \text{Cu}^{2+} \text{ のモル数} = 3.6525 \times 10^{-3} \times \frac{500}{25} = 73.05 \times 10^{-3} = 0.073 \text{ mol}$$

$$\text{Cu の質量} = n \times M = 0.073 \text{ mol} \times 63.5 \text{ g mol}^{-1} = 4.635 \text{ g}$$

$$\text{金属試料中の銅の割合} = \frac{4.635}{5.014} \times 100\% = 92.4\%$$

▶単位を cm^3 から dm^3 に変換することを忘れてはならない.

S1.2

この問題では, 部屋の体積を計算し, 与えられたモル体積を使い気体のモル数を求めることができる. 空気の組成は大まかにいって, 与えられた比率の N_2 と O_2 からなっており, この値より, 空気の質量を計算することができる.

$$\text{部屋の体積} = 3 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 36 \text{ m}^3 = 36 \times 10^3 \text{ dm}^3$$

24 dm^3 が 1 mol となることより,

1 dm^3 は $1/24 \text{ mol}$ である.

$36 \times 10^3 \text{ dm}^3$ は $1/24 \times 36 \times 10^3 \text{ mol} = 1.5 \times 10^3 \text{ mol}$ となる.

1 mol の空気は, 80% の N_2 と 20% の O_2 からなっており, 1 モルの空気の平均質量は $0.8 \times 28 \text{ g mol}^{-1}$

$$+ 0.2 \times 32 \text{ g mol}^{-1} = 28.8 \text{ g mol}^{-1}$$

よって, $1.5 \times 10^3 \text{ mol}$ の空気の質量は, $1.5 \times 10^3 \times 28.8 \text{ g} = 43.2 \times 10^3 \text{ g} \doteq 43 \text{ kg}$ となる.

S1.3

(a) 実験式を求めるため, まず, 各元素の割合をそのモル質量でわる.

$$\text{炭素} \quad 21.4/12 = 1.78$$

$$\text{フッ素} \quad 68/19 = 3.6$$

$$\text{酸素} \quad 9.5/16 = 0.59$$

$$\text{水素} \quad 1.1/1 = 1.1$$

次に, 上で求めた比をその最小値でわる.

$$\text{炭素} \quad 1.78/0.59 = 3.0$$

$$\text{フッ素} \quad 3.6/0.59 = 6.1$$

$$\text{酸素} \quad 0.59/0.59 = 1$$

$$\text{水素} \quad 1.1/0.59 = 1.87$$

実験式は次のようになる: $\text{C}_3\text{F}_6\text{OH}_2$

この式のモル質量は 168 g であり, 質量スペクトルの親イオンの質量と同じである. よって, 分子式は $\text{C}_3\text{F}_6\text{OH}_2$ となる.

(b) 混合物中の各気体のモル比は, 亜酸化窒素:酸素:デスフルラン = $10:5:1$

よって, 各気体のモル分率を求めることができる. 全モル数は 16 であるので, 各気体のモル分率は,

$$\text{亜酸化窒素} = 10/16 = 0.625$$

$$\text{酸素} = 0.3125$$

$$\text{デスフルラン} = 0.0625$$

よって, 分圧は,

全圧が 1 atm より, 亜酸化窒素 (N_2O) = 0.625 atm , 酸素 (O_2) = 0.3125 atm , デスフルラン = 0.0625 atm となる.

S1.4

(a) 地球の表面上の気体の総質量を求めるため, まず, 地球の表面積を平方センチメートル単位で求める必要がある. そして, 1 平方センチメートル上の空気の質量をかければ, 解を得ることができる.

▶ 10^3 倍して, km を m に変換する.

$$\text{地球の表面積} = 4\pi R^2 = 4 \times 3.142 \times (6400 \times 10^3 \text{ m})^2 = 5.148 \times 10^{14} \text{ m}^2$$

10^4 倍して cm^2 に変換する

$$\text{面積} = 5.148 \times 10^{14} \times 10^4 \text{ cm}^2 = 5.148 \times 10^{18} \text{ cm}^2$$

$$\text{空気の質量} = 5.148 \times 10^{18} \text{ cm}^2 \times 1 \text{ kg cm}^{-2} \doteq 5.1 \times 10^{18} \text{ kg}$$

(b) 気体の質量と 20°C での気体の平均モル質量がわかっているので, モル数を計算することができる.

$$n = \text{質量}/\text{モル質量} = 5.1 \times 10^{18} \text{ kg}/28.8 \text{ g mol}^{-1} = 5.1 \times 10^{21} \text{ g}/28.8 \text{ g mol}^{-1} \doteq 0.18 \times 10^{21} \text{ mol}$$

S1.5

滴定に使用された AgNO_3 のモル数は WCl_6 試料中の塩化物イオンのモル数と同じである.

$$N(\text{AgNO}_3) = 23.00 \times 10^{-3} \text{ dm}^3 \times 0.0105 \text{ mol dm}^{-3} = 0.2415 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$N(\text{Cl}^-) = 0.2415 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$N(\text{WCl}_6) = 0.2415 \times 10^{-3} / 6 = 0.04025 \times 10^{-3} = 4.025 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

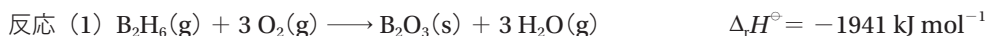
$$\begin{aligned} \text{よって, } 0.0216 \text{ g 中の } \text{WCl}_6 \text{ のモル数} &= m/M_r = 0.0216 \text{ g} / 396.54 \text{ g mol}^{-1} \\ &= 5.447 \times 10^{-5} \text{ mol とする.} \end{aligned}$$

$$\text{よって, } \text{WCl}_6 \text{ のパーセント純度} = 4.025 \times 10^{-5} / 5.447 \times 10^{-5} \times 100\% = 73.9\%$$

2章 熱力学

S2.1

- (a) ここで必要とされる方程式は、反応のエンタルピー変化 ΔH と内部エネルギー変化となされた圧力/体積仕事の関連を示すものであり、次の式である： $\Delta H = \Delta U + p\Delta V$
- (b) ヘスの法則とは、反応全体のエンタルピーは、全反応を分割した個々の反応の反応エンタルピーの合計であることを教えている。基本的にヘスの法則は、反応がどのような経路をとっても、反応のエンタルピー変化は一定でなければならないと教えている。
- (c) 298 K もしくは標準温度でのジボラン、 $\text{B}_2\text{H}_6(\text{g})$ 、標準生成エンタルピーをこの問題では求める。与えられた方程式に次のようにラベルをつける。



よって、第一段階として、ジボラン生成の化学反応を書く。



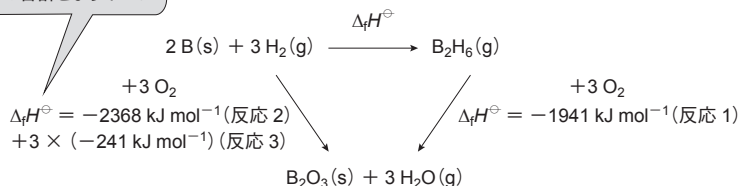
次の段階では、ヘスの法則を用いてエネルギーサイクルを構築し、

問題で与えられているデータを代入する。データより、ジボランか

ら $\text{B}_2\text{O}_3(\text{s})$ への燃焼のエンタルピー変化と、構成元素 B および H_2 の標準燃焼エンタルピーを得ることができ、妥当なエネルギーサイクルを以下に示す。

▶ 物質の標準生成エンタルピーは、標準条件下での物質 1 モルの生成のエンタルピー変化である。

ここでのエンタルピー変化は、2 モルの B 分子と 3 モルの H_2 分子の燃焼エンタルピーの合計となっている。



エンタルピーサイクルにヘスの法則を適用すると、 $2 \text{B}(\text{s}) + 3 \text{H}_2(\text{g})$ から $\text{B}_2\text{O}_3(\text{s}) + 3 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ に直接至る経路のエンタルピー変化と $2 \text{B}(\text{s}) + 3 \text{H}_2(\text{g})$ から $\text{B}_2\text{H}_6(\text{g})$ を経て $\text{B}_2\text{O}_3(\text{s}) + 3 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ に至る経路のエンタルピー変化と同じでなければならない。そして、以下の式のように書くことができる。

$$\Delta_r H^\ominus + \Delta_r H^\ominus (\text{反応 1}) = \Delta_r H^\ominus (\text{反応 2}) + 3 \times \Delta_r H^\ominus (\text{反応 3})$$

$$\Delta_r H^\ominus = \Delta_r H^\ominus (\text{反応 2}) + 3 \times \Delta_r H^\ominus (\text{反応 3}) - \Delta_r H^\ominus (\text{反応 1})$$

ここの反応のエンタルピー変化を代入すると、次のようになる。

$$-2368 + 3 \times (-241.8) - (-1941) \text{ kJ mol}^{-1} = -1152 \text{ kJ mol}^{-1}$$

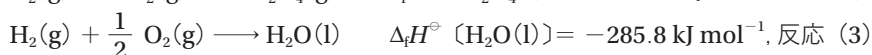
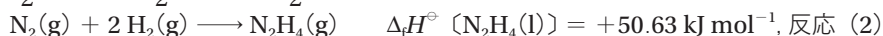
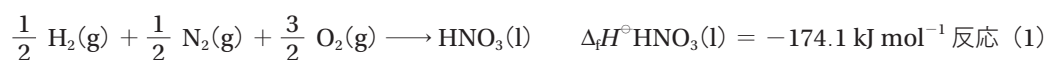
S2.2

与えられたデータを使いエンタルピー変化を求める反応が、問題に示されている。この種の問題は、エンタルピーサイクルをつくり、ヘスの法則を用いて解く。この問題では、反応物 (HNO_3 と N_2H_4) と生成物 (H_2O) の生成エンタルピー変化が与えられている。

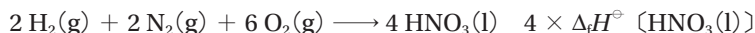
エンタルピー変化を求める反応は以下の反応である。



ヘスの法則を用いるため、この反応式をエンタルピーの三角形の一边とする。エンタルピーの三角形のほかの二つの辺には与えられた生成エンタルピーを用いる。反応物と生成物の生成エンタルピーを与える反応式を次のように完全な形で記述する必要がある、明確な説明のために反応に番号をつけている。



よって、4 モルの HNO_3 を得るには、反応 (1) を 4 倍する必要がある。

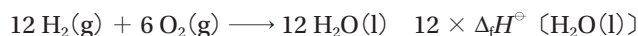


5 モルのヒドラジンを得るには、反応 (2) を 5 倍する必要がある。

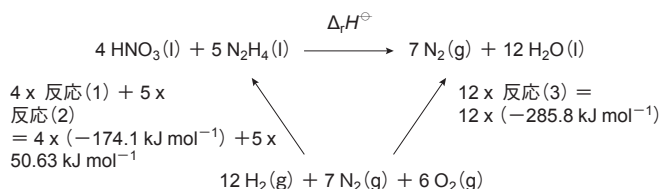


これら二つの反応は、エンタルピーの三角形の左の辺となる。

12 モルの水を得るには、反応 (3) を 12 倍する必要がある。



窒素分子の生成エンタルピーは、元素の状態なので、ゼロである。



このエンタルピーサイクルにヘスの法則を適用すると、 $12 \text{H}_2(\text{g}) + 7 \text{N}_2(\text{g}) + 6 \text{O}_2(\text{g})$ から上の辺を経て $7 \text{N}_2(\text{g}) + 12 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ に至るルートと $12 \text{H}_2(\text{g}) + 7 \text{N}_2(\text{g}) + 6 \text{O}_2(\text{g})$ から直接 $7 \text{N}_2(\text{g}) + 12 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ に至るルートのエンタルピー変化と同じでなければならない、次のような式になる。

$$\Delta_f H^\ominus + 4 \times \Delta_f H^\ominus [\text{HNO}_3(\text{l})] + 5 \times \Delta_f H^\ominus [\text{N}_2\text{H}_4(\text{l})] = 12 \times \Delta_f H^\ominus [\text{H}_2\text{O}(\text{l})] \quad \text{〔反応 (3)〕}$$

$\Delta_f H^\ominus$ を求める形に変形して、

$$\Delta_f H^\ominus = 12 \times \Delta_f H^\ominus [\text{H}_2\text{O}(\text{l})] - (4 \times \Delta_f H^\ominus [\text{HNO}_3(\text{l})] + 5 \times \Delta_f H^\ominus [\text{N}_2\text{H}_4(\text{l})])$$

▶この問題では、窒素は生成物であるが、標準状態の純粋な元素なので、その生成エンタルピーは 0 となる。

$$\begin{aligned}\Delta_r H^\ominus &= 12 \times -285.8 \text{ kJ mol}^{-1} - (4 \times -174.1 \text{ kJ mol}^{-1} + 5 \times 50.63 \text{ kJ mol}^{-1}) \\ &= -3429.6 \text{ kJ mol}^{-1} + 696.4 \text{ kJ mol}^{-1} - 253.15 \text{ kJ mol}^{-1} \\ &= -2986 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

S2.3

平衡定数の値が、問題に与えられているので、 $\Delta G = -RT \ln K$ を用いてギブズ自由エネルギー変化の値を求める。

$$\begin{aligned}\Delta G &= -RT \ln K = -8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 700 \text{ K} \times \ln(3.0 \times 10^4) = -59.996 \text{ kJ mol}^{-1} \\ &= -60 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

ギブズ自由エネルギーが負であり、平衡が生成物側により、反応が進むことを示唆している。このことは、与えられた温度で平衡定数が大きいことから確認される。

S2.4

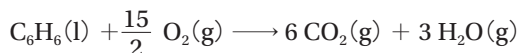
(a) ベンゼンの燃焼により $\text{CO}_2(\text{g})$ と $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ が生成する。気体が生成するので、体積が増加し、次式に従い大気に対して仕事をする： $w = -p\Delta V$

気体は理想気体であると仮定すると、この式は以下ようになる。

$$w = -\Delta n RT$$

この式で、 R は気体定数であり、 T は反応が進んでいるケルビン単位の温度である。気体のモル数の変化、 Δn は未知である。

第一段階では、反応式を書き、生成する気体のモル数を求める。



量論式より気体のモル数の変化、 Δn は $(9 - 15/2) = 1.5 \text{ mol}$ である。

$$\begin{aligned}w &= -\Delta n RT = -1.5 \text{ mol} \times 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 298 \text{ K} \\ &= -3.716 \text{ kJ}\end{aligned}$$

仕事は負であり、問題文の仕事が大気になされるという記述と一致する。そして、系は内部エネルギーを失う。

(b) 系の内部エネルギーの変化は、熱（燃焼）と行われた仕事として失われ、次の方程式で与えられる：

$$\Delta U = q + w \quad \text{モル燃焼エンタルピーと仕事の値を代入して、}$$

$$\Delta U = -3273 \text{ kJ mol}^{-1} - 3.72 \text{ kJ mol}^{-1} = -3276.72 \text{ kJ mol}^{-1} = -3277 \text{ kJ mol}^{-1}$$

S2.5

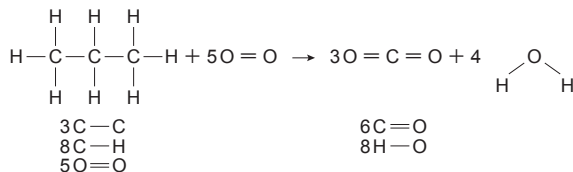
この問題を解くには、1 モルのプロパンの燃焼により CO_2 と H_2O が生成するときに切断される結合の種類とその数を、1 モルのブタンから同じ生成物が生成するときに切断される結合の種類と数とを比較する必要がある。また、ブタンの燃焼で CO_2 と H_2O が生成するときに結合をつくる際に放出されるエネルギーを計算し、プロパンの場合と比較する必要がある。

反応を下の図のように示す。

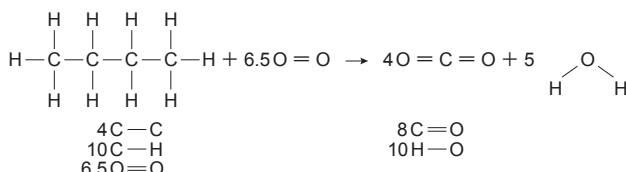
▶この温度では、ベンゼンは液体であり、1 モルのベンゼンを完全燃焼させるには 7.5 モルの気体の酸素が必要である。

▶系は仕事をするので、 w は負となり、内部エネルギーが失われる。

プロパンの燃焼



ブタンの燃焼



切断される結合の種類とその数と生成する結合の種類とその数を比べると、

ブタンはプロパンよりも以下に示すように、C-C が 1 本、C-H が 2 本、O=O が 1.5 本多く切断され、そのエネルギーは、

$$1 \text{ C}-\text{C} (348 \text{ kJ mol}^{-1}) = 348 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$2 \text{ C}-\text{H} (413 \text{ kJ mol}^{-1}) = 826 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$1.5 \text{ O}=\text{O} (498 \text{ kJ mol}^{-1}) = 747 \text{ kJ mol}^{-1}$$

ブタンの全結合の切断では、プロパンよりも 1921 kJ mol^{-1} だけ多くのエネルギーが必要となる。

結合の生成では、ブタンのほうが C=O が 2 本、O-H が 2 本多く生成する。

$$2(\text{C}=\text{O}) (805 \text{ kJ mol}^{-1}) = 1610 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$2(\text{O}-\text{H}) (464 \text{ kJ mol}^{-1}) = 928 \text{ kJ mol}^{-1}$$

ブタンのほうが 2538 kJ mol^{-1} だけ多くのエネルギーを放出する。この反応は発熱反応であり、エネルギー変化は負となる。

よって、1 モルのブタンの燃焼により理論的に、次の量だけエネルギーが多く放出される。

$$1921 - 2538 \text{ kJ mol}^{-1} = -617 \text{ kJ mol}^{-1}$$

実験的に求めた燃焼エンタルピーの差は $2220 - 2877 \text{ kJ mol}^{-1} = -657 \text{ kJ mol}^{-1}$ である。

S2.6

この問題では、次のギブズ自由エネルギーの式を使う： $\Delta_r G^\ominus = \Delta_r H^\ominus - T\Delta_r S^\ominus$ 。

反応が熱力学的に進むことが可能になる温度は、ギブズ自由エネルギーの値が 0 になる温度である。ギブズ自由エネルギーの値が正なら、反応はこの温度では自発的に進まないし、負なら、反応が熱力学的に進行可能であることを示している。

$$\Delta_r G^\ominus \text{ が } 0 \text{ なら, } \Delta_r H^\ominus = T\Delta_r S^\ominus$$

$$\Delta_r H^\ominus \text{ は次のように求めることができる: } \Delta_r H^\ominus = \Delta_f H^\ominus (\text{生成物}) - \Delta_f H^\ominus (\text{反応物})$$

$$\text{値を入れると, } \Delta_r H^\ominus = 3 \times (-393.5) - 2 \times (-824.2 \text{ kJ mol}^{-1}) = 467.9 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta_r S^\ominus \text{ は次のように求めることができる: } \Delta_r S^\ominus = \sum \nu S_m^\ominus (\text{生成物}) - \sum \nu S_m^\ominus (\text{反応物})$$

$$\text{値を入れると, } \Delta_r S^\ominus = (4 \times 27.3 + 3 \times 213.7) - (2 \times 87.4 + 3 \times 5.7) \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} = (750.3 - 191.9) \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} = 558.4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

T を求める形に変形して,

$$\Delta_r H^\ominus = T \Delta_r S^\ominus$$

$$T = \frac{\Delta_r H^\ominus}{\Delta_r S^\ominus} = \frac{467.9 \text{ kJ mol}^{-1}}{558.4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}} = \frac{467.9 \times 10^3 \text{ J mol}^{-1}}{558.4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}} = 838 \text{ K}$$

▶ kJ を J に変換するのを忘れないように。そうすると消える単位がある。

3章 化学平衡

S3.1

ステップ 1: 反応の標準ギブズエネルギー変化, $\Delta_r G^\ominus$ を計算する.

$$\Delta_r G^\ominus = \sum n \Delta_f G^\ominus (\text{生成物}) - \sum n \Delta_f G^\ominus (\text{反応物})$$

$$\Delta_r G^\ominus = [2 \times \Delta_f G^\ominus (\text{NO}_2(\text{g}))] - [1 \times \Delta_f G^\ominus (\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}))]$$

$$\Delta_r G^\ominus = [2 \times 51.8 \text{ kJ mol}^{-1}] - [1 \times 98.3 \text{ kJ mol}^{-1}]$$

$$\Delta_r G^\ominus = +5.3 \text{ kJ mol}^{-1}$$

ステップ 2: 気相反応での K_p を求めるためファントホッフの等温式を使う.

$$\Delta_r G^\ominus = -RT \ln K_p$$

$$\ln K_p = -\frac{\Delta_r G^\ominus}{RT}$$

$$K = e^{-\left(\frac{\Delta_r G^\ominus}{RT}\right)}$$

$$K = e^{-\left(\frac{+5300 \text{ J mol}^{-1}}{8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 298 \text{ K}}\right)}$$

$$K \doteq 0.12 \text{ atm}$$

ステップ 3: K_c を求めるため, $K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$ を使う.

$$K_c = \frac{K_p}{(RT)^{\Delta n}}$$

$$K_c = \frac{(0.118 \text{ atm})}{[(0.0821 \text{ dm}^3 \text{ atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (298 \text{ K})]^{+1}}$$

$$K_c \doteq 4.8 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$$

S3.2

この反応の平衡定数は, 次のようになる.

$$K_p = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}}$$

解離反応の平衡表を使う

	N_2O_4	2 NO_2
反応開始の分圧	1	0
分圧の変化	$-x$	$+2x$
平衡時の分圧	$1-x$	$+2x$

$$K_p = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}}$$

$$K_p = \frac{(2x)^2}{1-x}$$

問題より,

$$K_p = 47.9$$

よって,

$$\frac{(2x)^2}{1-x} = 47.9$$

解離の%は x の値であり, この式を解くことで求めることができる.

$$\frac{4x^2}{1-x} = 47.9$$

$$4x^2 = (47.9) \times (1-x)$$

$$4x^2 = (47.9) - (47.9x)$$

$$4x^2 + (47.9x) - (47.9) = 0$$

この場合, 式は二次方程式の形である: $ax^2 + bx + c = 0$

ここで, $a = +4$, $b = 47.9$, および, $c = -47.9$ である. よって, 解の公式により x を求める.

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

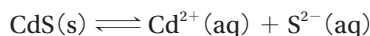
$$x = \frac{-(47.9) \pm \sqrt{(47.9)^2 - [4 \times 4 \times (-47.9)]}}{2 \times 4}$$

$$x = \frac{-47.9 \pm 55.3}{8}$$

$$x = 0.925 \text{ または } -12.9$$

この場合, x は 0.925 となり, この条件下では, 試料の 92.5% が解離する.

S3.3



$$K_{\text{sp}} = [\text{Cd}^{2+}][\text{S}^{2-}]$$

CdS が沈殿するなら, $[\text{Cd}^{2+}][\text{S}^{2-}] > K_{\text{sp}}$ である: Cd^{2+} の濃度は 0.15 mol dm^{-3} と与えられているので, 与えられている K_{sp} の値を入れると, 硫化物イオンの濃度を求めることができる.

$$\frac{K_{\text{sp}}}{[\text{Cd}^{2+}]} = [\text{S}^{2-}]$$

$$[\text{S}^{2-}] = \frac{K_{\text{sp}}}{[\text{Cd}^{2+}]}$$

$$[\text{S}^{2-}] = \frac{1.6 \times 10^{-28} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}}{0.15 \text{ mol dm}^{-3}}$$

$$[\text{S}^{2-}] = 1.1 \times 10^{-27} \text{ mol dm}^{-3}$$

CdS が沈殿する硫化物イオンの濃度は $1.1 \times 10^{-27} \text{ mol dm}^{-3}$ である.

S3.4

(a) $K_p = (p_c)^4 / (p_A)^2$ は atm^2 の単位をもつ (ほかの圧力の単位でもよい: 固体は式中に現れない).

(b) 問題の温度範囲では, 標準反応エンタルピーが一定であるとして, 下記の式を使い, 与えられている値を代入すると,

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{-\Delta_r H^\ominus}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{-(-91 \times 10^3 \text{ J mol}^{-1})}{8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}} \left(\frac{1}{675 \text{ K}} - \frac{1}{600 \text{ K}} \right)$$

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = -2.03$$

$\ln K_2/K_1$ は K_2/K_1 の自然対数であり、まず、逆対数を取り K_2 を求める。

$$\frac{K_2}{K_1} = e^{-2.03}$$

$$\frac{K_2}{K_1} = 0.132$$

そして、 K_2 を求める形に変形する。

$$K_2 = (0.132) \times (3 \times 10^3) = 396$$

$$K_2 = 396 \text{ atm}^2$$

675 K での平衡定数は 396 atm^2 である。

(c) この問題では、気体の反応物のモル数は 2 であり、気体の生成物のモル数は 4 である。

よって、 $\Delta n = +2$ である。よって、

$$K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$$

$$K_c = \frac{K_p}{(RT)^{\Delta n}}$$

$$K_c = \frac{(3 \times 10^3 \text{ atm}^2)}{[(0.0821 \text{ dm}^3 \text{ atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (600 \text{ K})]^2}$$

$$K_c = 1.24 \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$$

675 K の K_c は、 $1.24 \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$

(d) 逆反応



の平衡定数は、次の式で与えられる。

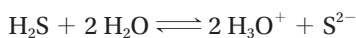
$$K_{p \text{ 逆反応}} = \frac{1}{K_{p \text{ 正反応}}}$$

$$K_{p \text{ 逆反応}} = \frac{1}{(3 \times 10^3 \text{ atm})}$$

$$K_{p \text{ 逆反応}} = 333 \times 10^{-6} \text{ atm}^{-2}$$

S3.5

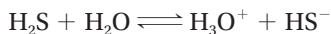
反応全体では、



$$K_c = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2 [\text{S}^{2-}]}{[\text{H}_2\text{S}]}$$

K_c がわからないため、ヒドロニウムイオン濃度と硫化物イオン濃度を直接求めることができないので、イオン化プロセスの各ステップを調べる必要がある。

第一段階目のイオン化では、



$$\text{p}K_1 = 7.05$$

であり、

$$K_1 = 10^{-7.05}$$

$$K_1 = 89 \times 10^{-9}$$

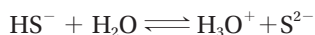
また,

$$K_1 = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HS}^-]}{[\text{H}_2\text{S}]}$$

なので,

$$\frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HS}^-]}{[\text{H}_2\text{S}]} = 89 \times 10^{-9}$$

第二段階目のイオン化では,



$$\text{p}K_2 = 12.92$$

$$K_2 = 10^{-12.92}$$

$$K_2 = 120 \times 10^{-15}$$

また,

$$K_2 = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{S}^{2-}]}{[\text{HS}^-]}$$

なので,

$$\frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{S}^{2-}]}{[\text{HS}^-]} = 120 \times 10^{-15}$$

K_1 と K_2 の大きさを比較すると, ほとんどのプロトンが第一段階で放出されていることがわかる. よって, 第一段階のイオン化プロセスにより, プロトン濃度を求めることができる. 第一段目の解離式より HS^- の濃度と H_3O^+ の濃度が同じであるので,

$$\frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{S}^{2-}]}{[\text{H}_2\text{S}]} = \frac{[x]^2}{0.15}$$

よって,

$$\frac{[x]^2}{0.15} = 89 \times 10^{-9}$$

$$[x]^2 = 0.15 \times (89 \times 10^{-9})$$

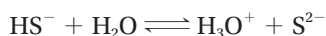
$$x = \sqrt{13.35 \times 10^{-9}}$$

$$x = 115.5 \times 10^{-6}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] \doteq 116 \times 10^{-6} \text{ mol dm}^{-3}$$

求められた値が, 第一段階目のイオン化で放出されたプロトン濃度である.

次に, 硫化物イオンと第二段階目のイオン化を考える.



$$\text{p}K_2 = 12.92$$

$$K_2 = 10^{-12.92}$$

$$K_2 = 120 \times 10^{-15}$$

また,

$$K_2 = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{S}^{2-}]}{[\text{HS}^-]}$$

よって,

$$\frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{S}^{2-}]}{[\text{HS}^-]} = 120 \times 10^{-15}$$

K_2 の値が小さいことは、第二段階目のイオン化プロセスがあまり重要ではないことを示しており、再度、 HS^- の濃度と H_3O^+ の濃度が同じであるとして（第一段階目のイオン化ステップで同じ量が生成されるため）、次の結果を与える。

$$[\text{S}^{2-}] = 120 \times 10^{-15} \text{ mol dm}^{-3}$$

これは、第二段階目のイオン化ステップで生成される硫化物イオンの濃度である。硫化物イオンの濃度の値は非常に小さいことに注意が必要であり、このことから、問題全体をとおして、置いた仮定が有効であることが確認できる。

4章 相 平 衡

S4.1

成分数は 2， $C = 2$ ，相数は 2（二つの分離した層がある）， $P = 2$ ，自由度， F は次の式から求める。

$$F = C - P + 2$$

ここで、 F は自由度（平衡状態で相数に影響を与えることなく変えることができる、圧力や温度などの示強変数の数）、 C は系の成分数、および P は相数。

$$F = 2 - 2 + 2$$

$$F = 2$$

S4.2

a = 固体， b = 液体， c = 蒸気，および， d = 固体と液体の混合相。

S4.3

トールトンの規則〔液体（水素結合のない）の沸点， T_b での気化エントロピー変化， $\Delta_{\text{vap}}S$ は約 $85 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ である〕を使う。問題に与えられている沸点を代入し、気化エンタルピー， $\Delta_{\text{vap}}H$ を求める形に変形する。

$$\frac{\Delta_{\text{vap}}H}{T_b} = 85 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$\frac{\Delta_{\text{vap}}H}{(353 \text{ K})} = 85 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$\Delta_{\text{vap}}H = (85 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (353 \text{ K}) = 30005 \text{ J mol}^{-1} = 30 \text{ kJ mol}^{-1}$$

S4.4

まず、気化した水の量を考える；問題では g 単位で存在している水の量が与えられている（ 18 g ）。これを、水のモル質量（ 18 g mol^{-1} ）でわって、モル数の変換をする。

$$\frac{18 \text{ g}}{18 \text{ g mol}^{-1}} = 1 \text{ mol}$$

トールトンの規則を使う。問題で与えられている気化エンタルピー， $\Delta_{\text{vap}}H$ と沸点を代入し、気化エントロピー， $\Delta_{\text{vap}}S$ を求める。

$$\Delta_{\text{vap}}S = \frac{\Delta_{\text{vap}}H}{T_b}$$

温度をケルビン単位にすることを忘れてはならない。つまり、沸点、 T_b は 100°C をケルビン単位：
 $(100.00 + 273.15) \text{ K} = 373.15 \text{ K}$

$$\Delta_{\text{vap}}S = \frac{40.7 \times 10^3 \text{ J mol}^{-1}}{(373.15 \text{ K})}$$

$$\Delta_{\text{vap}}S = 109 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

S4.5

浸透圧とモル濃度の関係を示す式を使い、溶液のモル濃度を求める形に変形し、与えられた値を代入する。
 このとき、温度をケルビン単位に変換することを忘れないこと。

$$\Pi = iRTc$$

$$c = \frac{\Pi}{iRT}$$

$$c = \frac{(232 \text{ Pa})}{1 \times (8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (298 \text{ K})}$$

$$= 93.64 \times 10^{-3} \text{ mol m}^{-3}$$

試料の体積は 100 mL ($100 \times 10^{-6} \text{ m}^3$) なので、試料のモル数、 n は、

$$n = (100 \times 10^{-6} \text{ m}^3) \times (93.64 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}) = 9.363 \times 10^{-6} \text{ mol}$$

試料中のタンパク質の質量は 7.5 g なので、分子質量は、

$$\text{分子質量} = \frac{(7.5 \text{ g})}{(9.363 \times 10^{-6} \text{ mol})} = 801 \times 10^3 \text{ g mol}^{-1} = 8.0 \times 10^5 \text{ g mol}^{-1}$$

タンパク質の分子質量は $8.0 \times 10^5 \text{ g mol}^{-1}$ となる。

5章 反応速度論

S5.1

(a) 速度式は、残存している ^{131}I の質量、もしくは原子数により表される：
 $\frac{dI}{dt} = -kI$

▶ マイナスの符号が必要である。
 これは、 I 原子の数が減少するからである。

(b) もとの物質の半分の量が失われるのに要する時間が半減期である。

半減期、 $t_{1/2}$ は一次の速度定数、 k により、次のように表される：

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

この式に数値を代入し、次のように変形する。

$$k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{\ln 2}{8.02 \text{ days}} = 0.0864 \text{ day}^{-1}$$

速度定数は 0.0864 day^{-1} となる。

▶ 放射性物質の壊変は、常に一次反応である。

(c) 放射能は、残存している ^{131}I の量に比例する。一次積分型速度式を使用して、放射能が問題で示されている量まで低下するのに要する時間を求めることができる。放射能 = A として、

$$\ln A = \ln A_0 - kt$$

$$\ln(2.6 \times 10^8) = \ln(4.5 \times 10^9) - 0.0864 \text{ day}^{-1} \times t$$

$$21.68 = 24.53 - 0.0864 \text{ day}^{-1} \times t$$

$$2.85 = 0.0864 \text{ day}^{-1} t$$

よって, $t = 32.99 \text{ 日} = 33.0 \text{ 日}$

S5.2

0 次反応では, 反応物の濃度は, 時間に対して直線的に減少する. よって, 時間に対し濃度をプロットすると直線となり, 傾きは速度定数と同じになる.

直線の式は, $[A] = kt$

この問題では, $[A]$ は圧力, p , と等しく, 次のような式となる.

$$p = kt \quad \text{または} \quad \Delta p = k\Delta t$$

この式に数値を代入して, $30 \text{ kPa} - p_t = 1.43 \times 10^{-2} \text{ kPa s}^{-1} \times 10 \text{ min}$

時間, t , の単位を秒にして, $30 \text{ kPa} - p_t = 1.43 \times 10^{-2} \text{ kPa s}^{-1} \times 10 \times 60 \text{ s}$

$$30 \text{ kPa} - p_t = 858 \times 10^{-2} \text{ kPa}$$

$$p_t = (30 - 858 \times 10^{-2}) \text{ kPa} = 21.4 \text{ kPa} \approx 21 \text{ kPa}$$

すべてのアンモニアが使われる時間を求めるため, この式に $p_t = 0$ を代入し, t を求める.

$$30 \text{ kPa} - 0 = 1.43 \times 10^{-2} \text{ kPa s}^{-1} t$$

$$t = 30 \text{ kPa} / 1.43 \times 10^{-2} \text{ kPa s}^{-1} = 20.98 \times 10^2 \text{ s} = 35 \text{ min}$$

S5.3

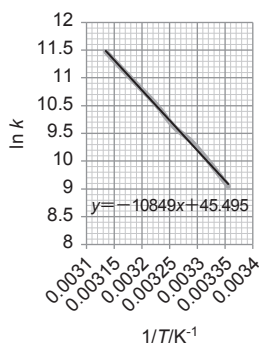
この問題では, さまざまな温度での臭化反応のデータが与えられている. アレニウスの式を使い, $\ln k$ のグラフを (アレニウス方程式から) $1/T$ に対してプロットし, 直線を得る. 直線の傾きは $-E_a/R$ であり, この値より E_a の値を計算する.

$1/T$ と $\ln k$ の値を計算してから, グラフにプロットする必要がある. Excel で行うのが最も簡単だが, 試験では電卓とグラフ用紙を使用して行う必要がある.

Excel を使用してグラフを描くための値を計算すると, 以下の新しい表のようになる.

T/K	$1/T/K^{-1}$	$k/\text{mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$	$\ln k$
298	0.003356	8.50E+03	9.047821
301	0.003322	1.30E+04	9.472705
304	0.003289	1.90E+04	9.852194
307	0.003257	2.50E+04	10.12663
310	0.003226	3.70E+04	10.51867
313	0.003195	5.10E+04	10.83958
316	0.003165	7.00E+04	11.15625
319	0.003135	9.60E+04	11.4721

$1/T$ に対して $\ln k$ をプロットすると, 次のような直線のグラフを得る.



グラフ中の直線の式から、傾きは -10849 K であると与えられる.

アレニウスの式より傾きは $-E_a/R$ である.

よって, $-E_a/R = -10\,849 \text{ K}$

$$E_a = 10\,849 \text{ K} \times 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} = 90\,198 \text{ J mol}^{-1} = 90.2 \text{ kJ mol}^{-1}$$

S5.4

(a) この反応は一次の分解反応であり、速度定数が与えられているので、次の式から半減期を求めることができる.

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

この式に、速度定数の値を入れて、

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{3.35 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}} = 2.07 \times 10^4 \text{ s}$$

(b) 積分型の速度式により、任意の時間での N_2O_5 の圧力を求めることができる.

$$\begin{aligned} \ln p &= \ln p_0 - kt = \ln 500 \text{ kPa} - 3.35 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1} \times 10 \times 60 \text{ s} \\ &= 6.2146 - 0.0201 = 6.1945 \end{aligned}$$

よって, $p = 490 \text{ kPa}$

S5.5

反応は二次であることがわかっており、二次反応の積分型速度式を使い、半減期に対する次式を導く.

$$\frac{1}{[A]_0/2} = \frac{1}{[A]_0} + kt_{1/2}$$

$$kt_{1/2} = \frac{2}{[A]_0} - \frac{1}{[A]_0} = \frac{1}{[A]_0}$$

$$\text{よって, } t_{1/2} = \frac{1}{k[A]_0}$$

もとの濃度の 4 分の 3 が消費されると、残りの A の濃度は $[A]_0/4$ となる. この値を積分型速度式に代入して、4 分の 3 が消費される点の時間、 $t_{3/4}$ の式を導く.

$$\frac{1}{[A]_0/4} = \frac{1}{[A]_0} + kt_{3/4}$$

$$kt_{3/4} = \frac{4}{[A]_0} - \frac{1}{[A]_0} = \frac{3}{[A]_0}$$

$$\text{よって, } t_{3/4} = \frac{3}{k[A]_0}$$

半減期の式 $\left(\frac{1}{k[A]_0}\right)$ と比べると、4 分の 3 が消費される時間は半減期の 3 倍となることがわかる.

S5.6

反応機構より、 N_2O は 2 段階反応により生成され、次式のように N_2O の生成速度で反応速度を表すことができる.

$$\frac{d[\text{N}_2\text{O}]}{dt} = k_2[\text{N}_2\text{O}_2][\text{H}_2]$$

一方、 N_2O_2 は中間体であり、定常状態近似を用いて N_2O_2 の式を導き、上記の全体の速度式に入れる. 定常状態近似では、

$$\frac{d[\text{N}_2\text{O}_2]}{dt} = \text{N}_2\text{O}_2 \text{ の生成速度} - \text{N}_2\text{O}_2 \text{ の消滅速度} = 0$$

N_2O_2 の生成速度と消滅速度の式が必要となる.

$$\text{第一段階より, } \text{N}_2\text{O}_2 \text{ の生成速度} = \frac{d[\text{N}_2\text{O}_2]}{dt} = k_1[\text{NO}]^2$$

N_2O_2 は二つの段階で消滅されるので, 各段階での消滅速度は, 次のように表すことができる.

$$-\frac{d[\text{N}_2\text{O}_2]}{dt} = k_{-1}[\text{N}_2\text{O}_2] \quad \text{と} \quad -\frac{d[\text{N}_2\text{O}_2]}{dt} = k_2[\text{N}_2\text{O}_2][\text{H}_2]$$

定常状態近似を使い,

$$k_1[\text{NO}]^2 = k_{-1}[\text{N}_2\text{O}_2] + k_2[\text{N}_2\text{O}_2][\text{H}_2]$$

$$[\text{N}_2\text{O}_2] = \frac{k_1[\text{NO}]^2}{k_{-1} + k_2[\text{H}_2]}$$

N_2O_2 の式を, 上記の全体の速度式に入れる.

$$\frac{d[\text{N}_2\text{O}]}{dt} = k_2 \left[\frac{k_1[\text{NO}]^2}{k_{-1} + k_2[\text{H}_2]} \right] [\text{H}_2]$$

この式と, 次の問題に与えられている速度式を比べる.

$$\frac{d[\text{N}_2\text{O}]}{dt} = k_{\text{obs}}[\text{NO}]^2[\text{H}_2]$$

導いた式は, $k_{-1} \gg k_2[\text{H}_2]$ のときに, 実験式と一致する. N_2O_2 から NO への逆反応速度が N_2O_2 から N_2O への反応速度よりもはるかに速い場合, k_{-1} は k_2 よりはるかに大きくなり, 反応速度は, 問題に与えられている実験式ようになる.

この仮定により, 速度式は次のようになり,

$$\frac{d[\text{N}_2\text{O}]}{dt} = k_2 \left[\frac{k_1[\text{NO}]^2}{k_{-1}} \right] [\text{H}_2] = \frac{k_2 k_1}{k_{-1}} [\text{NO}]^2 [\text{H}_2]$$

$$\text{よって, } \frac{k_2 k_1}{k_{-1}} = k_{\text{obs}}$$

6章 電気化学

S6.1

ステップ 1 :



ここで, $z_+ = 2$, $z_- = 1$, および, $|2 \times 1| = 2$ であり,

$$\log_{10} \gamma_{\pm} = -0.509 |z_+ z_-| I^{1/2}$$

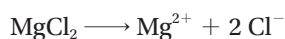
$$\log_{10} \gamma_{\pm} = -0.509 |2 \times 1| 0.110^{1/2}$$

$$\log_{10} \gamma_{\pm} = -0.338$$

$$\gamma_{\pm} = 0.459$$

ステップ 2 :

質量モル濃度 m をもつ MgCl_2 のような 1 : 2 電解質に対して, 次のように活量を求めることができる.



$$a_{+-} = (a_{\pm})^{\nu}$$

ここで, $a_{\pm} = \gamma_{\pm} m_{\pm}$, および, $\nu = 3$, これらを上記の式に代入して,

$$a_{\text{MgCl}_2} = (a_{\pm})^3$$

$$a_{\text{MgCl}_2} = (\gamma_{\pm} m_{\pm})^3$$

$$a_{\text{MgCl}_2} = \gamma_{\pm}^3 \times 4 m^3$$

$$a_{\text{MgCl}_2} = 0.459^3 \times 4 \times 0.110^3$$

$$a_{\text{MgCl}_2} = 5.15 \times 10^{-4}$$

S6.2

(a) $c^{1/2}$ に対してモル伝導率のグラフをプロットし, グラフの直線を無限希釈まで外挿する. 伝導率の SI 単位は $\text{S m}^2 \text{mol}^{-1}$ だが, $\text{S cm}^2 \text{mol}^{-1}$ でデータを扱うほうが簡単である.

1 m^2 は 10000 cm^2 なので, モル伝導率の値を 10000 倍する.

$c/\text{mol dm}^{-3}$	0.001	0.01	0.10
$c^{1/2}/\text{mol}^{1/2} \text{dm}^{-3/2}$	0.03	0.1	0.3
$\Lambda_m/\text{S m}^2 \text{mol}^{-1}$	112.4×10^{-4}	107.3×10^{-4}	95.9×10^{-4}
$\Lambda_m/\text{S cm}^2 \text{mol}^{-1}$	112.4	107.3	95.9

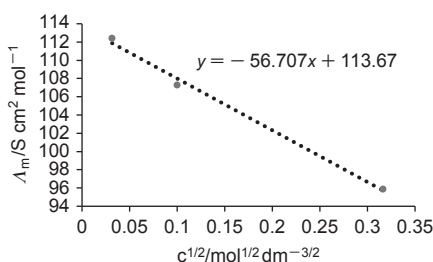


図 6.6.1 塩化リチウム水溶液の $c^{1/2}$ に対するモル伝導率のプロット

データに直線近似を適用 (プロットしたグラフに近似した式が示されている) し, y 切片から極限モル伝導率の値を求めると $113.7 \text{ S cm}^2 \text{mol}^{-1}$ となる.

(b) 直線の傾きの値はコールラウシュ定数であり, $56.71 \text{ S cm}^2 \text{mol}^{-1} (\text{mol dm}^{-3})^{-1/2}$ である.

(c) 陰イオンと陽イオンは極限モル伝導率に次のような寄与をする.

$$\Lambda_m^0 = n_+ \lambda_0^+ + n_- \lambda_0^-$$

ここで, Λ_m^0 は極限モル伝導率 ($\text{S m}^2 \text{mol}^{-1}$), n_+ は電解質 1 分子当たりの陽イオン数, λ_0^+ は陽イオンの極限モル伝導率 ($\text{S m}^2 \text{mol}^{-1}$), n_- は電解質 1 分子当たりの陰イオン数, および λ_0^- は陰イオンの極限モル伝導率 ($\text{S m}^2 \text{mol}^{-1}$) である. よって, リチウムイオンの極限モル伝導率は次のように式を変形して, 既知の値を代入して求める.

$$\Lambda_m^0 = n \lambda_0^+ + n \lambda_0^-$$

$$\Lambda_m^0 - n \lambda_0^- = n \lambda_0^+$$

$$113.7 \text{ S cm}^2 \text{mol}^{-1} - 76.4 \text{ S cm}^2 \text{mol}^{-1} = 37.3 \text{ S cm}^2 \text{mol}^{-1}$$

リチウムイオンの極限モル伝導率は, $37.3 \text{ S cm}^2 \text{mol}^{-1}$ となる.

S6.3

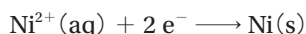
$$E_e = E^\ominus + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{酸化種}]}{[\text{還元種}]}$$

$$E_e = (+0.77 \text{ V}) + \left(\frac{(8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (298 \text{ K})}{1 \times (96\,485 \text{ C mol}^{-1})} \times \ln \frac{[0.03]}{[0.05]} \right)$$

$$E_e = +0.76 \text{ V}$$

S6.4

カソードでの反応は



1 モルのニッケルが析出するには 2 モルの電子が必要となり、この電荷は

$$Q = (2 \text{ mol}) \times (96\,485 \text{ C mol}^{-1})$$

$$Q = 192\,970 \text{ C}$$

この値と、与えられた情報より以下のようにして求められる電解中に流れた電荷とを比較する。

$$Q = It$$

ここで、 Q は電荷 (C)、 I は電流 (A)、および、 t は時間 (s) である。

電流を SI 単位に変換して： $76 \text{ mA} = [(1 \times 10^{-3}) \times 76 \text{ mA}] = 0.076 \text{ A}$

時間を SI 単位に変換して： $(85 \text{ min}) \times (60 \text{ s min}^{-1}) = 5100 \text{ s}$

$$Q = It$$

$$Q = (0.0760 \text{ A}) \times (5100 \text{ s})$$

1 A = 1 C s⁻¹ であることに注意して、

$$Q = (0.0760 \text{ C s}^{-1}) \times (5100 \text{ s})$$

$$Q = 387.6 \text{ C}$$

電解中に析出したニッケルの実際のモル数は、以下ようになる。

$$\text{析出したモル数} = 387.6 \text{ C} / 192\,970 \text{ C mol}^{-1}$$

$$\text{析出したモル数} = 2.00 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

ニッケルの相対モル質量は 58.69 g mol⁻¹ であり、電解中に実際に析出したニッケルの質量は、以下のようになる。

$$\text{析出した質量} = (2.00 \times 10^{-3} \text{ mol}) \times (58.69 \text{ g mol}^{-1})$$

$$\text{析出した質量} \approx 0.117 \text{ g}$$