

# 11 化学平衡

生徒 「化学平衡の問題には、量的な関係の問題に限っても、ずいぶん多くの種類がありますね」

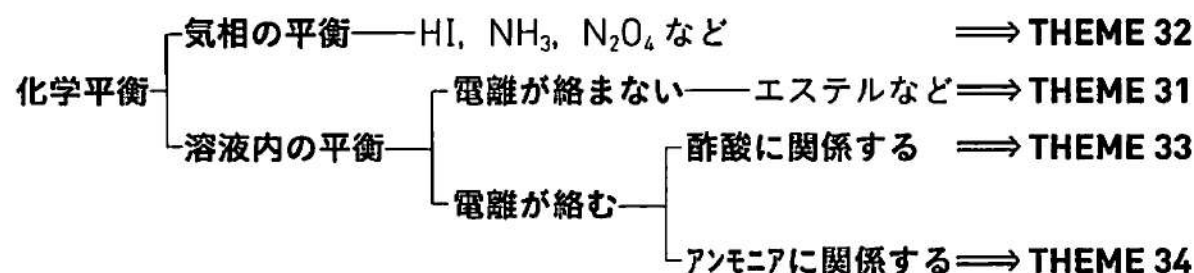
先生 「例えば、“酸塩基”や“酸化還元”といった反応のいずれにも、また、“気体”や“溶液”といった状態のいずれにも、化学平衡は深く関わっている。化学平衡は、一つのテーマというより、大袈裟に言えば、化学反応や状態変化全体に関わっている事象だからね」

生徒 「気相平衡とか溶液内平衡とか、問題の種類ごとに解法は異なりますか。例えば、気相平衡では、気体の状態方程式  $PV=nRT$  などを用いて解く問題もあるようですが」

先生  「化学平衡の量的な関係に関する問題である以上は、化学平衡の法則を用いれば解くことはできるはずだよ。もちろん、未知数が多い場合には、その他の関係式も必要になる。ただ、その他の関係式とは、気体が題材であるから状態方程式を用いるとか、気体の溶解が題材であるからヘンリーの法則を用いるとか、物質収支といったすべての化学反応や状態変化において当然の関係式を用いるとかであって、決して特別のものではないよ」

生徒 「ちなみに、ここでは、どんな題材を扱いますか」

先生 「まず、次のように、頻出な題材をおさらいする。」



さらに、幾分か発展的な 2 種類の弱酸の混合水溶液 や アミノ酸 (2 価の弱酸) の水溶液の電離平衡 へと進み、最後は、諸君の多くが苦手意識をもっている、溶解度積 で締めくくろう」

## 「化学平衡における量的関係」で用いる手順と式



手順

### STEP 1 情報の整理

- ① まず、バランスシート(具体例は以下の例題を参照)を書く。
- ② 次に、平衡定数の式を書く。

### STEP 2 式への代入

- ① 平衡定数の式に、バランスシートの結果(平衡時の値)を代入する。
- ② 計算の結果を、要求されている解答の形式に整える。



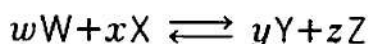
式

以下に示した、平衡定数の式。

## 「化学平衡における量的関係」で必要な知識

### 化学平衡の法則と平衡定数

次式の化学平衡( $w, x, y, z$ は物質  $W, X, Y, Z$  の係数である)が成立しているとき、



物質  $W, X, Y, Z$  それぞれのモル濃度  $[W], [X], [Y], [Z]$ の間には、次の関係式(本書では、平衡定数の式と呼ぶ)が成立する。

$$K_c = \frac{[Y]^y [Z]^z}{[W]^w [X]^x}$$

この式で表される関係を化学平衡の法則(質量作用の法則)といい、 $K_c$ を平衡定数(濃度平衡定数)と呼ぶ。平衡定数の値は、一定の温度のもとでは、濃度に関わらず一定に保たれる。

### 圧平衡定数

また、物質  $W, X, Y, Z$  がすべて気体であるとき、各分圧  $p_w, p_x, p_y, p_z$ の間には、次の関係式(本書では、平衡定数の式と呼ぶ)が成立する。

$$K_p = \frac{p_y^y \cdot p_z^z}{p_w^w \cdot p_x^x}$$

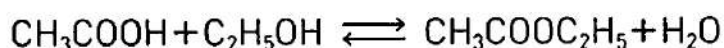
この式で表される関係もまた化学平衡の法則(質量作用の法則)であり、 $K_p$ を圧平衡定数と呼ぶ。圧平衡定数の値は、一定の温度のもとでは、圧力に関わらず一定に保たれる。

THEME  
31

## 溶液内平衡

## 【例題 65】エステル化①

20°Cで酢酸 1 モルとエタノール 1 モルを混ぜると、次式の平衡反応に従って、平衡状態で  $\frac{2}{3}$  モルの酢酸エチルが生成する。



問 1 上記の平衡反応の平衡定数  $K$  を整数で求めよ。

問 2 20°Cで酢酸 2 mol とエタノール 1 mol を混ぜると、平衡状態で何 mol の酢酸エチルが生成するか。ただし、 $\sqrt{2}=1.41$ 、 $\sqrt{3}=1.73$  とし、有効数字 2 桁で答えよ。

岡山学院大(理工)



まずは、極めて典型的な問題で練習してみましょう。

## 問 1 について

## STEP 1 情報の整理

① 『まず、バランスシートを書こう』

(バランスシート)

|     | $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}$ |                           |                           |                           |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 反応前 | 1                                                                                                                                   | 1                         | 0                         | 0                         |
| 反応量 | $-\frac{2}{3}$                                                                                                                      | $-\frac{2}{3}$            | $+\frac{2}{3}$            | $+\frac{2}{3}$            |
| 平衡時 | $\frac{1}{3} \text{ mol}$                                                                                                           | $\frac{1}{3} \text{ mol}$ | $\frac{2}{3} \text{ mol}$ | $\frac{2}{3} \text{ mol}$ |

② 『次に、平衡定数の式を書こう』

題意の平衡反応について、化学平衡の法則を式で表すと、次式となる。

平衡定数の式

$$K = \frac{[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}]} \quad \cdots \cdots (1 \text{ 式})$$

## STEP 2 式への代入

題意の溶液の体積を  $V(\text{L})$  とおき、I 式に、バランスシートの結果(平衡時の値)を代入しよう。

$$K = \frac{[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}]} = \frac{\frac{\frac{2}{3}}{V} \times \frac{\frac{2}{3}}{V}}{\frac{\frac{1}{3}}{V} \times \frac{\frac{1}{3}}{V}} = 4 \quad \leftarrow \text{問1の答}$$

## 問2について

## STEP 1 情報の整理

### ① 『まず、バランスシートを書こう』

酢酸とエタノールとが  $x(\text{mol})$  ずつ反応し、酢酸エチルと水とが  $x(\text{mol})$  ずつ生成したと考えてみよう。

(バランスシート)

|     | $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}$ |       |      |      |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------|------|
| 反応前 | 2                                                                                                                                   | 1     | 0    | 0    |
| 反応量 | $-x$                                                                                                                                | $-x$  | $+x$ | $+x$ |
| 平衡時 | $2-x$                                                                                                                               | $1-x$ | $x$  | $x$  |

### ② 『次に、平衡定数の式を書こう』

題意の平衡反応について、化学平衡の法則を式で表すと、次式となる。

平衡定数の式

$$K = \frac{[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}]} \quad \text{.....(I 式)}$$

## STEP 2 式への代入

題意の溶液の体積を  $V(\text{L})$  とおき、I 式にバランスシートの結果(平衡時の値)を代入して、整理しよう。ただし、問1の結果より、平衡定数は4である。

$$K = \frac{[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}]} \text{ より,}$$

$$4 = \frac{\frac{x}{V} \times \frac{x}{V}}{\frac{2-x}{V} \times \frac{1-x}{V}} \quad x \text{ について} \quad \xrightarrow{\text{整理}} \quad 3x^2 - 12x + 8 = 0$$

反応量であるから負の値であるはずがなく、エタノールは 1 mol しかないから 1 という値を超えるはずがない。

$3x^2 - 12x + 8 = 0 (0 < x < 1)$  を解くと、

$$x = \frac{12 - \sqrt{144 - 96}}{6} = 2 - \frac{2\sqrt{3}}{3} = 2 - \frac{2 \times 1.73}{3} \\ = 0.846 (\text{mol}) \quad \leftarrow \text{問 2 の答}$$

**【解答】** 問 1 4      問 2  $8.5 \times 10^{-1} \text{ mol}$

### 【例題 66】エステル化②

次の文章を読み、下記の問いに答えよ。

酢酸とエタノール(モル質量: 46 g/mol)をそれぞれ 1.00 mol ずつ用い、有機溶媒中で酸触媒を用いてエステル化を可逆反応となる条件下で行うものとする。ただし、反応温度は常に一定に保たれているものとする。また、この温度での平衡定数は 4.00 であるとする。

問 この温度での反応で、酢酸の残量を 0.100 mol としたい。このためにはあと何 mL のエタノールを反応溶液に加えればよいか。ただし、エタノールの密度は 0.800 g/mL とする。解答は有効数字 3 桁で示せ。

香川大



さて、ほんの少しだけ、応用的な問題です。

### STEP 1 情報の整理

#### ① 『まず、バランスシートを書こう』

平衡反応は、 $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}$  である。

あとから加えたエタノールの物質量を  $x(\text{mol})$  とおくと、平衡状態で 0.100 mol の酢酸が残存することは、酢酸とエタノールが  $1.00 - 0.100 = 0.900(\text{mol})$  ずつ反応して、エタノールが  $0.100 + x(\text{mol})$  残存することを意味する。

また、0.900 mol ずつの酢酸エチルと水が生成することをも意味する。

(バランスシート)

|     | $\text{CH}_3\text{COOH}$ | $+$ | $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ | $\rightleftharpoons$ | $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$ | $+$ | $\text{H}_2\text{O}$ |
|-----|--------------------------|-----|---------------------------------|----------------------|--------------------------------------|-----|----------------------|
| 反応前 | 1.00                     |     | $1.00+x$                        |                      | 0                                    |     | 0                    |
| 反応量 | -0.900                   |     | -0.900                          |                      | +0.900                               |     | +0.900               |
| 平衡時 | 0.100 mol                |     | $0.100+x(\text{mol})$           |                      | 0.900 mol                            |     | 0.900 mol            |

② 『次に、平衡定数の式を書こう』

題意の平衡反応について、化学平衡の法則を式で表すと、次式となる。

平衡定数の式

$$K = \frac{[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}]} \quad \dots\dots (\text{I 式})$$

## STEP 2 式への代入

① I 式に、バランスシートの結果(平衡時の値)を代入しよう。

題意の溶液の体積を  $V(\text{L})$  とおく。また、題意より、平衡定数は 4.00 である。

$$K = \frac{[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}]} \text{ より,}$$

$$4.00 = \frac{\frac{0.900}{V} \times \frac{0.900}{V}}{\frac{0.100}{V} \times \frac{0.100+x}{V}} \quad \text{—解くと—} \quad x = 1.925(\text{mol})$$

② 計算の結果を、要求されている解答の形式に整える。

求めるエタノール(モル質量:  $46 \text{ g/mol}$ )の体積を  $v_{\text{エタ}}(\text{mL})$  とおくと、

$$\text{密度}(\text{g/mL}) = \frac{\text{質量}(\text{g})}{\text{体積}(\text{mL})} = \frac{\text{モル質量}(\text{g/mol}) \times \text{物質}(\text{mol})}{\text{体積}(\text{mL})} \text{ より,}$$

$$0.800 = \frac{46 \times 1.925}{v_{\text{エタ}}}$$

$$v_{\text{エタ}} = 110.6(\text{mL})$$

という結果が得られる。

【解答】  $1.11 \times 10^2 \text{ mL}$

THEME  
32

## 気相平衡

## 「気相平衡」で必要な知識



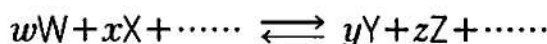
式

「化学平衡における量的関係」で必要な知識に加えて、気相平衡では、一般に、理想気体の状態方程式も成立する。

$$PV=nRT$$

 **$K_c$  と  $K_p$  の関係式**

次式の化学平衡 ( $w, x, \dots$  は気体物質  $W, X, \dots$  の係数である) が成立しているとき、



濃度平衡定数  $K_c$  と圧平衡定数  $K_p$  の間には、

$$K_c = K_p (RT)^{(w+x+\dots)-(y+z+\dots)}$$

という関係が成立する。

 **$K_c$  と  $K_p$  の関係式の誘導**

まず、 $PV=nRT$  より、 $P=\frac{n}{V}RT$  であるから、例えば、

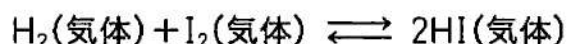
$$p_W = [W]RT \text{ すなわち、} [W] = \frac{p_W}{RT} \text{ であることを理解する。}$$

すると、以下の通りに誘導できる。

$$\begin{aligned} K_c &= \frac{[Y]^y [Z]^z \dots}{[W]^w [X]^x \dots} = \frac{\left(\frac{p_Y}{RT}\right)^y \times \left(\frac{p_Z}{RT}\right)^z \times \dots}{\left(\frac{p_W}{RT}\right)^w \times \left(\frac{p_X}{RT}\right)^x \times \dots} \\ &= \frac{p_Y^y \times p_Z^z \times \dots}{p_W^w \times p_X^x \times \dots} \times \left(\frac{1}{RT}\right)^{(y+z+\dots)-(w+x+\dots)} \\ &= \frac{p_Y^y \times p_Z^z \times \dots}{p_W^w \times p_X^x \times \dots} \times (RT)^{(w+x+\dots)-(y+z+\dots)} \\ &= K_p (RT)^{(w+x+\dots)-(y+z+\dots)} \end{aligned}$$

### 例題 67 ヨウ化水素の生成

問 1 次の反応が、 $450^{\circ}\text{C}$ において平衡状態にある。



このとき、 $[\text{H}_2] = [\text{I}_2] = 0.11(\text{mol/L})$ 、 $[\text{HI}] = 0.77(\text{mol/L})$ であった。この温度における平衡定数  $K$  の値を整数で求めよ。

問 2  $1.0\text{ L}$  の容器に  $\text{H}_2$  を  $2.0\text{ mol}$ 、 $\text{I}_2$  を  $2.0\text{ mol}$  入れて、ある温度に保って平衡状態に到達させた。生成した  $\text{HI}$  は何  $\text{mol}$  か。ただし、この温度における



の平衡定数を  $K=64$  とし、有効数字 2 桁で答えよ。

島根大



また、例によって、基本的な問題からです。問題の構成としては、THEME 31 の最初の例題 65 によく似ていますね。

生徒 「この問題は、気相平衡の問題ですね。ということは、(濃度)平衡定数でも、圧平衡定数でも、どちらでも使えるわけですね。というわけで、とても気になるのですが、この問題文中の『平衡定数』って、“(濃度)平衡定数”のことなののでしょうか、それとも、“圧平衡定数”のことなののでしょうか」

先生 「(濃度)平衡定数  $K_c$  と圧平衡定数  $K_p$  との間には、

$$w\text{W}(\text{気}) + x\text{X}(\text{気}) \rightleftharpoons y\text{Y}(\text{気}) + z\text{Z}(\text{気}) \text{ において,} \\ K_c = K_p (RT)^{(w+x)-(y+z)}$$

という関係式が成立する。上式( $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$ )においては、 $w+x=2$ 、 $y+z=2$  であって、 $(w+x)-(y+z)=0$  となる。だから、 $K_c = K_p (RT)^0$ 、つまり、 $K_c = K_p$  なんだよ」

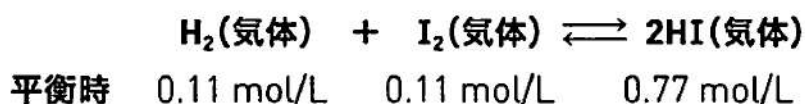
生徒 「なるほど、この問題に関しては、(濃度)平衡定数  $K_c$  も圧平衡定数  $K_p$  も同じ値だということですね」

### 問 1 について

#### STEP 1 情報の整理

① 『まず、バランスシートを書こう』

(バランスシート)



② 『次に、平衡定数の式を書こう』

題意の平衡反応について、化学平衡の法則を式で表すと、次式となる。

平衡定数の式

$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} \quad \dots\dots(\text{I 式})$$

### STEP 2 式への代入

I 式に、バランスシートの結果(平衡時の値)を代入しよう。

$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = \frac{(0.77)^2}{0.11 \times 0.11} = 49 \quad \leftarrow \text{問 1 の答}$$

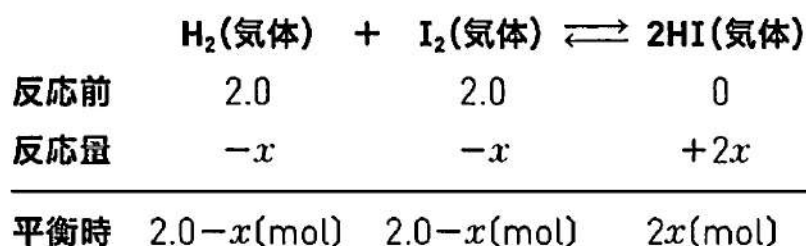
## 問 2 について

### STEP 1 情報の整理

① 『まず、バランスシートを書こう』

水素  $\text{H}_2$  とヨウ素  $\text{I}_2$  とが  $x(\text{mol})$  ずつ反応し、ヨウ化水素  $\text{HI}$  が  $2x(\text{mol})$  生成したと考えてみよう。

(バランスシート)



② 『次に、平衡定数の式を書こう』

題意の平衡反応について、化学平衡の法則を式で表すと、次式となる。

平衡定数の式

$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} \quad \dots\dots(\text{I 式})$$

**STEP 2 式への代入**

- ① I 式にバランスシートの結果(平衡時の値)を代入して、整理しよう。

ただし、題意の容器の体積は 1.0 L、平衡定数  $K=64$  である。

$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} \quad \text{より, } 64 = \frac{\left(\frac{2x}{1.0}\right)^2}{\frac{2.0-x}{1.0} \times \frac{2.0-x}{1.0}}$$

—整理→  $8^2 = \left(\frac{2x}{2.0-x}\right)^2$  ただし,  $0 < x < 2.0$

—解く→  $x = 1.6 (\text{mol})$

- ② 計算の結果を、要求されている解答の形式に整える。

求める HI の mol 数  $= 2x = 2 \times 1.6$

$$= 3.2 (\text{mol}) \quad \leftarrow \text{問 2 の答}$$

**【解答】** 問 1 49      問 2 3.2 mol

**【例題 68】 四酸化二窒素の解離**

次の文章を読み、下記の各問いに答えよ。ただし、気体定数  $R$  は  $8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$  とする。

いま、四酸化二窒素  $\text{N}_2\text{O}_4$  (分子量: 92) と二酸化窒素  $\text{NO}_2$  (分子量: 46) との混合気体があり、次の平衡状態にある。



最初  $n_1 (\text{mol})$ 、体積  $V_1 (\text{L})$  の四酸化二窒素から反応が開始し、四酸化二窒素が  $n_2 (\text{mol})$  解離して平衡状態に達した。この反応中に温度と圧力は変化しなかったが、体積が  $V_2 (\text{L})$  になった。

問 1 平衡状態において  $\text{N}_2\text{O}_4$  が解離している割合  $\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$  を解離度  $\alpha$  とし、

平衡状態にある混合気体の全圧を  $P (\text{Pa})$  とするとき、圧平衡定数  $K_p$  を、 $P$  および  $\alpha$  を用いて示せ。

問 2  $27^\circ\text{C}$ 、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$  において平衡状態にある混合気体の密度を測定したところ、 $3.155 \text{ g/L}$  であった。この温度、圧力における  $\text{N}_2\text{O}_4$  の解離度  $\alpha$  と、この温度における圧平衡定数  $K_p$  を求めよ。ただし、答はそれぞれ有効数字 3 桁まで求めよ。

千葉大



気相平衡(理想気体の場合)を取り扱うときには、理想気体の状態方程式も用いることができることをお忘れなく!

## 問1について

### STEP 1 情報の整理

#### ①『まず、バランスシートを書こう』

(バランスシート)

|     | $\text{N}_2\text{O}_4$    | $\rightleftharpoons$ | $2\text{NO}_2$       |
|-----|---------------------------|----------------------|----------------------|
| 解離前 | $n_1$                     |                      | 0                    |
| 変化量 | $-n_2$                    |                      | $+2n_2$              |
| 平衡時 | $n_1 - n_2 \text{ (mol)}$ |                      | $2n_2 \text{ (mol)}$ |

生徒 「確かに、バランスシートは書けましたが、どこかしっくりこないです。どうしてでしょう」

先生 「解離度 $\alpha$ のせいだよ。問題の本文中では、『四酸化二窒素が $n_2 \text{ (mol)}$ 解離して平衡状態に達した』と言っている。ところが、問1の設問文中では『 $\text{N}_2\text{O}_4$ が解離している割合 $\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$ を解離度 $\alpha$ とし』と、つまり $n_2 = n_1 \alpha$ だから、『四酸化二窒素が $n_1 \alpha \text{ (mol)}$ 解離して平衡状態に達した』と言っている。同じことを、別々の記号を用いて、二重に語っているわけだ。そこがしっくりこないんだろう。だから $\alpha$ を用いてこんな風に書いてもいいんだよ」

(バランスシート)

|     | $\text{N}_2\text{O}_4$          | $\rightleftharpoons$ | $2\text{NO}_2$              |                                    |
|-----|---------------------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| 解離前 | $n_1$                           |                      | 0                           |                                    |
| 変化量 | $-n_1 \alpha$                   |                      | $+2n_1 \alpha$              |                                    |
| 平衡時 | $n_1(1 - \alpha) \text{ (mol)}$ |                      | $2n_1 \alpha \text{ (mol)}$ | 合計 $n_1(1 + \alpha) \text{ (mol)}$ |

生徒 「なるほど、少しはしっくりし始めました。しかし、まだ少し違和感が残っています」

先生 「きっとそれは、バランスシートを物質質量(mol)で書いているからだよ。問1の設問文中では、圧平衡定数を要求しているだろう。だから、ここでは、バランスシートを分圧で書かないとね」

生徒 「具体的には、どのように書いたらよいでしょう」

先生 「気体の合計は  $n_1(1+\alpha)$  (mol) でその圧力は全圧  $P$  (Pa) だ。

すると、 $n_1(1-\alpha)$  (mol) である  $N_2O_4$  の分圧は  $P \times \frac{n_1(1-\alpha)}{n_1(1+\alpha)}$   
ドルトンの分圧の法則

$= \frac{1-\alpha}{1+\alpha} P$  (Pa) だね。また、 $2n_1\alpha$  (mol) である  $NO_2$  の分圧は

$P \times \frac{2n_1\alpha}{n_1(1+\alpha)} = \frac{2\alpha}{1+\alpha} P$  (Pa) だ。だから、次のように書けるよ」

|           |                                    |                      |                                   |
|-----------|------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| (バランスシート) |                                    |                      |                                   |
|           | $N_2O_4$                           | $\rightleftharpoons$ | $2NO_2$                           |
| 平衡時       | $\frac{1-\alpha}{1+\alpha} P$ (Pa) |                      | $\frac{2\alpha}{1+\alpha} P$ (Pa) |
|           |                                    |                      | 合計 $P$ (Pa)                       |

生徒 「なるほど。これであとは平衡定数の式に代入しさえすれば、圧平衡定数  $K_p$  を、 $P$  および  $\alpha$  を用いて示せるわけですね。やっとすっきりしました」

② 『次に、平衡定数の式を書こう』

題意の平衡反応について、化学平衡の法則を式で表すと、次式となる。

圧平衡定数の式

$$K_p = \frac{p_{NO_2}^2}{p_{N_2O_4}} \dots\dots (I \text{ 式})$$

## STEP 2 式への代入

① I 式に、バランスシートの結果(平衡時の値)を代入しよう。

$$K_p = \frac{p_{NO_2}^2 (Pa^2)}{p_{N_2O_4} (Pa)} = \frac{\left( \frac{2\alpha}{1+\alpha} P \right)^2}{\frac{1-\alpha}{1+\alpha} P} = \frac{4\alpha^2}{(1+\alpha)(1-\alpha)} P$$

$$= \frac{4\alpha^2}{1-\alpha^2} P (Pa) \dots\dots (II \text{ 式}) \quad \longleftarrow \text{問 1 の答}$$

## STEP 1 情報の整理

## ① 『まず、バランスシートを書こう』

(バランスシート)

|     |                        |                      |                    |                          |
|-----|------------------------|----------------------|--------------------|--------------------------|
|     | $\text{N}_2\text{O}_4$ | $\rightleftharpoons$ | $2\text{NO}_2$     |                          |
| 解離前 | $n_1$                  |                      | 0                  |                          |
| 変化量 | $-n_1\alpha$           |                      | $+2n_1\alpha$      |                          |
| 平衡時 | $n_1(1-\alpha)$ (mol)  |                      | $2n_1\alpha$ (mol) | 合計 $n_1(1+\alpha)$ (mol) |

生徒 「どうして今度は、物質量(mol)についてのバランスシートを書いたのですか」

先生 「この平衡状態にある混合気体の平均分子量を求めるためだよ。このバランスシートを使えば、この平衡混合気体の平均分子量が求められる。

$\text{N}_2\text{O}_4$  の分子量は 92,  $\text{NO}_2$  の分子量は 46 だから、

$$\text{平均分子量} = \frac{92 \times n_1(1-\alpha) + 46 \times 2n_1\alpha}{n_1(1+\alpha)} = \frac{92}{1+\alpha} \quad \dots\dots(\text{Ⅲ式})$$

ってね」

生徒 「どうして、この平衡状態にある混合気体の平均分子量を求めようと思ったのでしょうか」

先生 「問2で与えられている情報を検討してごらんよ。この平衡混合気体について、 $T=273+27(\text{K})$ ,  $P=1.013 \times 10^5 (\text{Pa})$ ,  $\frac{w}{V}=3.155(\text{g/L})$  が与えられている。これらの数値から求められるものは何かな」

## ② 『次に、情報を式に代入しよう』

理想気体の状態方程式

$$PV=nRT \quad \text{すなわち, } PV=\frac{w}{M}RT \quad \text{より, } M=\frac{w}{V} \times \frac{RT}{P}$$

生徒 「わかりました。これらの数値から求められるものは、この平衡混合気体の平均分子量です。具体的には、

$$M=\frac{w}{V} \times \frac{RT}{P}=3.155 \times \frac{8.31 \times 10^3 \times (273+27)}{1.013 \times 10^5}=77.64 \quad \dots\dots(\text{Ⅳ式})$$

と求まります」

先生 「そうだね。というわけで、(Ⅲ式)と(Ⅳ式)から、



$$\frac{92}{1+\alpha}=77.64 \quad \text{よって, } \alpha=0.1849 \quad \cdots \cdots (\text{V式}) \quad \longleftarrow \text{問2の答}$$

が求められ、さらに、(Ⅱ式)と(V式)から、

$$K_p = \frac{4\alpha^2}{1-\alpha^2} P = \frac{4 \times (0.1849)^2}{1-(0.1849)^2} \times 1.013 \times 10^5 = 1.434 \times 10^4 (\text{Pa})$$

が求められるわけだね」

↑  
問2の答

**【解答】** 問1  $K_p = \frac{4\alpha^2}{1-\alpha^2} P (\text{Pa})$

問2  $\alpha = 1.85 \times 10^{-1} \quad K_p = 1.43 \times 10^4 (\text{Pa})$