高校化学 L01 第 89 講 反応エンタルピーと反応量

対象：高 2 相当

この講でできるようになること

- 反応式の係数とエンタルピー変化の関係を説明できる。
- 反応した物質量から系の ΔH を求められる。
- 反応式を逆向きにした場合の ΔH の符号変化を判断できる。
- 物理状態の表記が反応エンタルピーの値に関係することを説明できる。

1. 反応エンタルピーと反応量

反応エンタルピー

反応エンタルピーとは、化学反応に伴う系のエンタルピー変化 ΔH を表す量である。

本講では、一定圧力、閉じた系、体積変化以外の仕事を考えない条件で、反応前後のエンタルピー差として考える。

$$\Delta H = H_{\text{後}} - H_{\text{前}}$$

反応式の係数と ΔH

反応エンタルピーは、書かれた反応式の係数で表される反応量に対応する値である。

例えば、ある反応式で 2 mol の物質が反応して $\Delta H = -572\,\text{kJ}$ と与えられている場合、その反応式全体が進んだときの系のエンタルピー変化を表している。反応量が半分なら ΔH も半分になり、逆向きなら符号が反転する。

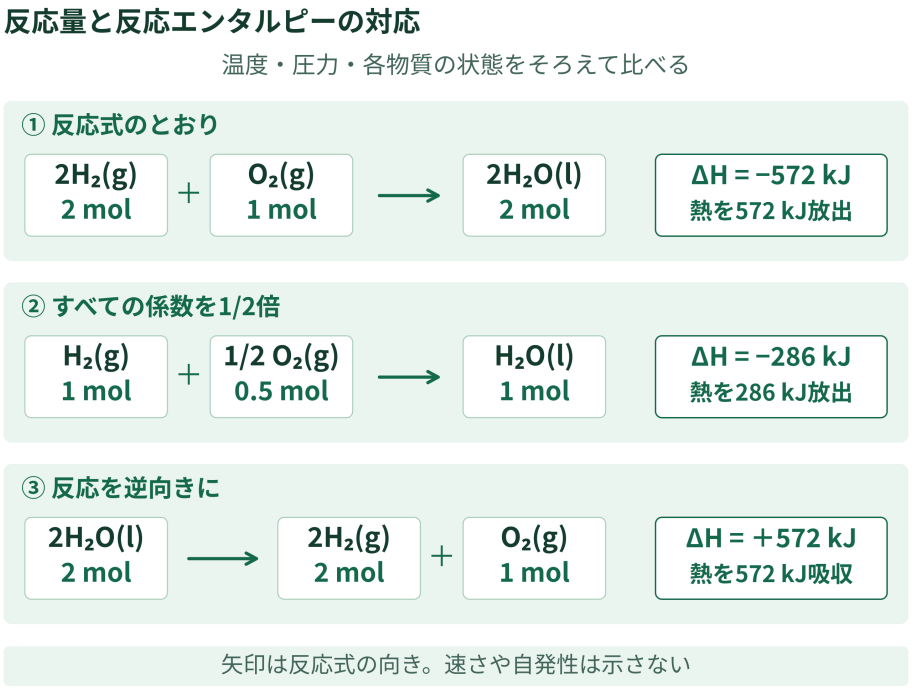

図 1　反応式の係数と反応エンタルピーを対応させる。

2. 正反応と逆反応

逆反応では符号が変わる

ある反応が進むときの ΔH が負であれば、その逆向きの反応では同じ大きさで正になる。

これは、エンタルピー変化が「反応後−反応前」で定義されているためである。逆向きでは反応前後が入れ替わるため、符号が反転する。

3. 物理状態と反応エンタルピー

状態表記が必要な理由

同じ化学式の物質でも、固体・液体・気体など状態が異なるとエンタルピーも異なる。

そのため、反応式では物質の状態を (s)、(l)、(g)、(aq) などで表す。水でも液体の水 $H_2O(l)$ と気体の水 $H_2O(g)$ は、同じ化学式でも異なる状態として区別する。

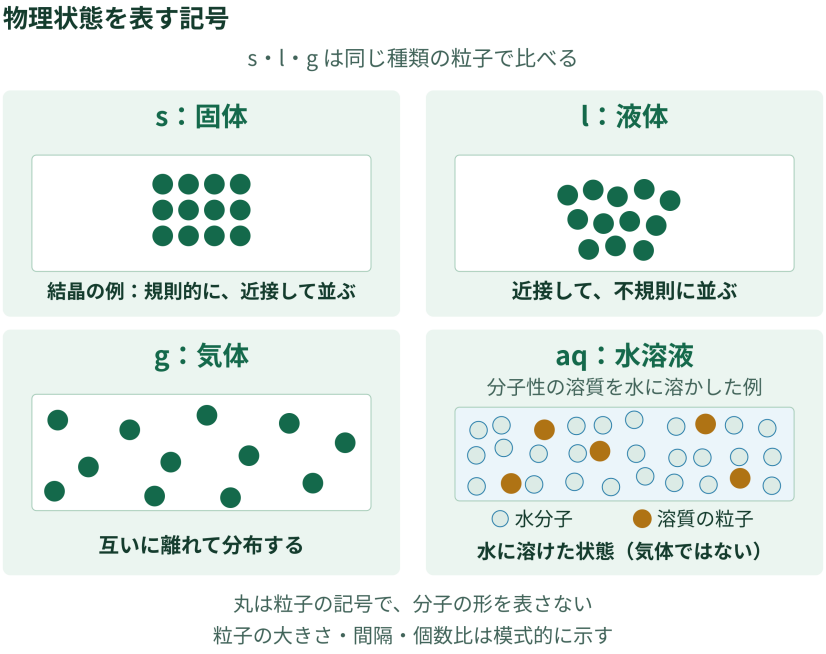

図 2　固体・液体・気体・水溶液の状態表記。

熱量の大きさと ΔH の符号を区別する

系から周囲へ熱が放出された場合、放出された熱量の大きさは正の値で表すことがある。

一方、系のエンタルピー変化 ΔH は、熱を放出した場合は負になる。熱量の大きさと系を基準にした符号を混同しない。

4. 反応量とエンタルピーの計算

反応した量だけを見る

反応エンタルピーは、実際に反応した物質量に対応する。過剰に存在して反応しなかった物質の量は、ΔH を決める量には含めない。

反応式の係数と実際に反応した量の比を合わせて考える。

例題

例題 1

一定圧力の条件で、次の反応を考える。

$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)$$

$$\Delta H = -572\,\mathrm{kJ}$$

酸素は十分に存在するものとする。

1. 水素 0.500 mol が実際に反応したときの系の ΔH を求めよ。
2. 水素 1.00 g が実際に反応したとき、放出される熱量の大きさを求めよ。ただし、水素のモル質量は $2.00\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$ とする。

解答・解説

1.
反応式では水素 2 mol の反応で $\Delta H = -572\,\mathrm{kJ}$ である。

0.500 mol はその 1/4 なので、$\Delta H = -572 \times 0.250 = -143\,\mathrm{kJ}$ となる。 答えは$\boldsymbol{\Delta H = -143\,\mathrm{kJ}}$ である。

2.
水素 1.00 g は、$\frac{1.00}{2.00} = 0.500\,\mathrm{mol}$である。

したがって、問 1 と同じく系の $\Delta H = -143\,\mathrm{kJ}$ であり、放出される熱量の大きさは **143 kJ** である。

例題 2

次の基準反応を考える。

$$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(l)$$

$$\Delta H = -286\,\mathrm{kJ}$$

1. すべての係数を 1/2 倍した反応式と、その ΔH を答えよ。
2. 逆反応で $H_2O(l)$ 0.250 mol を分解するときの系の ΔH を求めよ。

解答・解説

1.
係数を 1/2 倍すると、

$$\frac{1}{2}H_2(g) + \frac{1}{4}O_2(g) \rightarrow \frac{1}{2}H_2O(l)$$

となる。 反応量が半分なので、$\Delta H = -143\,\mathrm{kJ}$ である。

2.
逆反応では符号が反転する。 $H_2O(l)$ 0.250 mol は基準反応の 1/4 なので、$\Delta H = +286 \times 0.250 = +71.5\,\mathrm{kJ}$ となる。

これは逆反応が外部操作なしで進むという意味ではなく、反応方向を逆にした場合のエンタルピー変化を表している。

©ミライコーチング

例題 3

次の二つの反応条件を考える。

- 条件 A：

$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)$$

$$\Delta H = -572\,\mathrm{kJ}$$

- 条件 B：

$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$$

$$\Delta H = -484\,\mathrm{kJ}$$

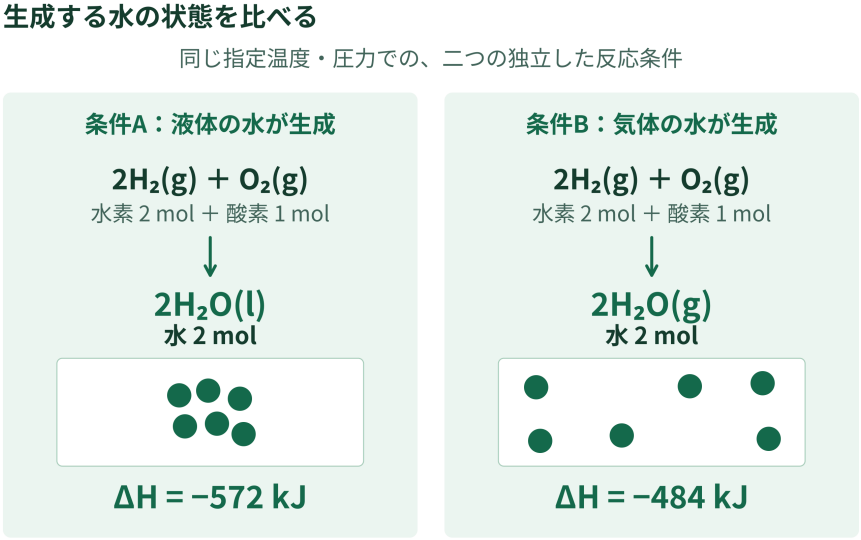

図 3　生成する水の状態が異なる二つの反応の与条件。

1. 水 1.00 mol を生成するときの条件 A、条件 B の系の ΔH をそれぞれ求めよ。
2.「水という化学式が同じだから、条件 A と条件 B の ΔH は同じである」という説明を訂正せよ。

解答・解説

1.

条件 A では水 2 mol 生成で−572 kJ なので、水 1 mol では、$\frac{-572}{2} = -286\,\mathrm{kJ}$ である。

条件 B では水 2 mol 生成で−484 kJ なので、水 1 mol では、$\frac{-484}{2} = -242\,\mathrm{kJ}$ である。 答えは**条件 A：−286 kJ、条件 B：−242 kJ** である。

2.

誤りである。 同じ化学式でも、水が液体か気体かによって状態が異なり、反応前後のエンタルピーも変化する。そのため、反応式には物理状態の表記が必要である。

演習問題

演習の共通条件

以下の演習では、一定圧力、同じ指定温度、閉じた系、体積変化以外の仕事なしの条件で反応エンタルピーを考える。

基準反応は次の反応式に対応するものとする。

$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)$$

$$\Delta H = -572\,\mathrm{kJ}$$

この ΔH は、書かれた反応式の係数分の反応量に対応する値である。反応方向・係数・物理状態は各問題の指定に従って考える。

演習 6 では、水が気体状態で生成する反応条件を用いるため、液体の水を生成する基準反応の値をそのまま使わない。

演習 1

次の反応を考える。

$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)$$

$$\Delta H = -572\,\mathrm{kJ}$$

酸素は十分に存在する。

1. 水素 1.50 mol が反応したときの系の ΔH を求めよ。
2. このとき生成する水の物質量を求めよ。

演習 2

次の反応を考える。

$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)$$

水素 3.00 g が反応した。水素のモル質量は $2.00\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$ とする。

1. 反応した水素の物質量を求めよ。
2. この反応で放出される熱量の大きさを求めよ。

演習 3

基準反応の $\Delta H = -572\,\mathrm{kJ}$ とする。

1. 反応式のすべての係数を 2 倍した場合の反応式と ΔH を答えよ。
2.「係数を 2 倍しても ΔH は変化しない」という説明の誤りを理由付きで訂正せよ。

©ミライコーチング

演習 4

基準反応の逆反応を考える。

$$2H_2O(l) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$$

液体の水 9.00 g を分解する。水のモル質量は $18.0\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$ とする。

1. 分解する水の物質量を求めよ。
2. この変化の系の ΔH と、吸熱反応か発熱反応かを答えよ。

演習 5

液体の水生成反応を考える。

$$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(l)$$

系から周囲へ 286 kJ の熱が放出された。酸素は十分に存在する。

1. 反応した水素の物質量を求めよ。
2. 生成した水の質量を求めよ。ただし、水のモル質量は $18.0\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$ とする。

演習 6

次の反応を考える。

$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$$

$$\Delta H = -484\,\mathrm{kJ}$$

水蒸気 0.500 mol が生成した。

1. このときの系の ΔH を求め、液体の水を生成する反応の $\Delta H = -572\,\mathrm{kJ}$ をそのまま使えない理由を説明せよ。

演習問題の解答・解説

解答 1

1.

反応式では水素 2 mol で $\Delta H = -572\,\mathrm{kJ}$ である。

水素 1.50 mol は 2 mol の 0.750 倍なので、$\Delta H = -572 \times 0.750 = -429\,\mathrm{kJ}$ 答えは$\boldsymbol{\Delta H = -429\,\mathrm{kJ}}$ である。

2.

水素 2 mol から水 2 mol が生成するため、水素と水の物質量比は 1:1 である。

したがって、生成する水は **1.50 mol** である。

解答 2

1.

水素の物質量は、$\frac{3.00}{2.00} = 1.50\,\text{mol}$である。 答えは **1.50 mol** である。

2.

水素 2 mol で 572 kJ 放出なので、1.50 mol では、$572 \times 0.750 = 429\,\text{kJ}$となる。 答えは**放出熱量 429 kJ** である。

解答 3

1.

係数を 2 倍すると、

$$4H_2(g) + 2O_2(g) \rightarrow 4H_2O(l)$$

となる。 反応量も 2 倍なので、$\Delta H = -1144\,\text{kJ}$である。

2.

誤りである。 反応エンタルピーは、書かれた反応式全体の反応量に対応する。係数を 2 倍すると反応する物質量も 2 倍になるため、ΔH も 2 倍になる。

解答 4

1.

水の物質量は、$\frac{9.00}{18.0} = 0.500\,\text{mol}$である。 答えは **0.500 mol** である。

2.

逆反応では符号が反転する。 基準反応の逆反応で水 2 mol を分解すると $+572\,\text{kJ}$ なので、水 0.500 mol では、$\Delta H = +143\,\text{kJ}$である。 答えは**$\Delta H = +143\,\text{kJ}$、吸熱反応**である。

解答 5

1.

この反応では、水素 1 mol の反応で 286 kJ 放出される。

したがって、反応した水素は **1.00 mol** である。

2.

水素 1 mol から水 1 mol が生成するので、生成水も 1.00 mol である。

質量は $1.00 \times 18.0 = 18.0\,\text{g}$ となる。 答えは **18.0 g** である。

解答 6

1.

水蒸気 2 mol 生成で $\Delta H = -484\,\mathrm{kJ}$ なので、水蒸気 0.500 mol では、$\Delta H = -484 \times 0.250 = -121\,\mathrm{kJ}$となる。 答えは$\boldsymbol{\Delta H = -121\,\mathrm{kJ}}$である。

液体の水を生成する反応とは生成物の状態が異なるため、$H_2O(l)$ の値である−572 kJ をそのまま使うことはできない。