高校化学 L01 第 41 講 反応効率と収率

この講でできるようになること

- 理論量と実際量の違いを説明できる。
- 理論量と実際量から収率を求められる。
- 収率から、実際に得られる目的物の量を求められる。
- 化学反応式や制限試薬から理論量を求め、収率の計算につなげられる。

理論量と実際量

理論量

与えられた反応物が指定された化学反応式に従って反応したとき、計算上得られる目的物の最大量を**理論量**という。
反応物が複数ある場合は、制限試薬によって理論量が決まる。

実際量

実際の反応や操作によって得られた目的物の量を**実際量**という。

理論量どおりに得られないことがある

実際の反応では、反応が十分に進まなかったり、副反応が起こったり、生成物を取り出す操作で一部を回収できなかったりすることがある。
そのため、実際に得られる目的物の量は理論量より小さくなることがある。
これは物質の質量そのものが消失したという意味ではなく、目的物として得られた量が理論上の最大量に届かなかったということである。

収率は理論量に対する実際量の割合

理論量を 100% として考える

ある目的物について、理論量が 10.0 g、実際量が 8.0 g だったとする。

	目的物の量
理論量	10.0 g
実際量	8.0 g

理論量 10.0 g を 100% としたとき、実際に得られた 8.0 g が何 % にあたるかを表すのが収率である。

©ミライコーチング

収率

同じ目的物について、同じ種類の量と単位で理論量と実際量を比較し、収率を次のように定める。

$$\text{収率}(\%) = \frac{\text{実際量}}{\text{理論量}} \times 100$$

理論量 10.0 g、実際量 8.0 g なら、収率は$\frac{8.0}{10.0} \times 100 = 80\%$である。

収率が表すもの

収率 80% とは、理論上得られる目的物の量を 100% としたとき、その 80% にあたる量が実際に得られたという意味である。
理論量 10.0 g に対して実際量 8.0 g なら差は 2.0 g だが、この 2.0 g は「質量が消えた量」ではなく、目的物として得られなかった理論量との差である。

収率から実際量・理論量を求める

割合は小数に直して使える

収率 80% は、小数では 0.80 である。
理論量が分かっているとき、実際量は次の関係で求められる。

$$\text{実際量} = \text{理論量} \times \frac{\text{収率}(\%)}{100}$$

反対に、実際量と収率が分かっているときは、理論量を次の関係で求められる。

$$\text{理論量} = \frac{\text{実際量}}{\frac{\text{収率}(\%)}{100}}$$

収率と反応速度は別の量

収率は、理論量に対して目的物がどれだけ得られたかを表す割合である。
反応が速いか遅いかを表す量ではない。

反応式から理論量を求めて収率へつなぐ



計算は 3 段階で考える

反応量から収率を求めるときは、次の順に考える。
1. 化学反応式の係数比を使って目的物の理論量を求める。
2. 問題で与えられた目的物の実際量を確認する。
3. 実際量を理論量で割り、100 を掛けて収率を求める。

反応物が複数与えられている場合は、必要に応じて制限試薬を先に判断する。

©ミライコーチング

理論量に収率を掛けるのは最後

化学反応式から求めるのは、まず**収率 100% としたときの理論量**である。
その後で収率を用いて、実際量との関係を考える。

実際量を扱うときの確認

目的物そのものの量を比べる

収率を求めるときは、理論量と実際量の両方が同じ目的物についての量であることを確認する。
本講では純粋な目的物の量を用いる。
測定した値から収率が 100% を超えるような場合には、水分や不純物を含んでいないかなど、測定した量の意味を確認する必要がある。

例題

例題 1

ある反応で、目的物の理論量が12.0 g、実際に得られた量が9.0 gだった。この反応条件では同じ収率が保たれるものとして答えよ。
1. 収率を求めよ。
2. 同じ収率で目的物の理論量が20.0 gとなる場合、実際に得られる目的物の量を求めよ。

解答・解説

1.
収率は、実際量を理論量で割って 100 を掛けて求める。
$\frac{9.0}{12.0} \times 100 = 75\%$より、収率は **75%** である。
2.
収率 75% は小数で 0.75 である。
実際量は$20.0 \times 0.75 = 15.0$ gとなる。
したがって、実際に得られる目的物の量は**15.0 g**である。

例題 2

次の反応を考える。

$$2\mathrm{Mg} + \mathrm{O_2} \rightarrow 2\mathrm{MgO}$$

Mg 2.4 gを用い、$\mathrm{O_2}$は必要量以上あるものとする。Mg と MgO のモル質量をそれぞれ 24 $\mathrm{g\,mol^{-1}}$、40 $\mathrm{g\,mol^{-1}}$とする。実際に純粋な MgO が3.2 g得られた。
1. MgO の理論量を求めよ。
2. MgO の収率を求めよ。

解答・解説

1.
Mg の物質量は$n(\mathrm{Mg}) = \frac{2.4}{24} = 0.10$ molである。
Mg と MgO の係数比は 2 : 2 なので、MgO の理論上の物質量も0.10 molである。
理論量は$m(\mathrm{MgO}) = 0.10 \times 40 = 4.0$ gとなる。
したがって、MgO の理論量は**4.0 g**である。

2.
実際量は3.2 g、理論量は4.0 gである。
$\frac{3.2}{4.0} \times 100 = 80\%$より、収率は **80%** である。
反応式から求めた4.0 gが収率 100% に対応する理論量であり、その後で実際量との割合を求める。

演習問題

演習 1

ある反応で、目的物の理論量が15.0 g、実際量が12.0 gだった。
1. 収率を求めよ。
2. 理論量に対して、目的物として得られなかった量は何 % にあたるか。

演習 2

ある目的物について、理論量と実際量をともに物質量で表す。
1. 理論量が0.50 mol、収率が 60% のとき、実際量を求めよ。
2. 同じ収率 60% で実際量0.24 molを得るには、理論量が何 mol 必要か。

演習 3

炭酸カルシウムから酸化カルシウムが生じる反応を次の式で表す。

$$\mathrm{CaCO_3} \rightarrow \mathrm{CaO} + \mathrm{CO_2}$$

純粋な$\mathrm{CaCO_3}$ 10.0 gを用いる。理論量を求める計算では反応式どおりに反応するものとし、モル質量は$\mathrm{CaCO_3}$が100 $\mathrm{g\,mol^{-1}}$、CaO が56 $\mathrm{g\,mol^{-1}}$、$\mathrm{CO_2}$が44 $\mathrm{g\,mol^{-1}}$とする。実際に純粋な CaO が4.48 g得られた。
1. CaO の理論量を求めよ。
2. CaO の収率を求めよ。

演習 4

次の反応を考える。

$$2\mathrm{H_2} + \mathrm{O_2} \rightarrow 2\mathrm{H_2O}$$

初めに$\mathrm{H_2}$が0.60 mol、$\mathrm{O_2}$が0.20 molある。反応式から理論量を求めるときは制限試薬がなくなるまで指定反応が進むものとし、実際には純粋な$\mathrm{H_2O}$が0.30 mol得られた。
1. 制限試薬を判断し、$\mathrm{H_2O}$の理論量を求めよ。
2. $\mathrm{H_2O}$の収率を求めよ。

演習問題の解答・解説

解答 1

1.

理論量が15.0 g、実際量が12.0 gなので、収率は$\frac{12.0}{15.0} \times 100 = 80\%$である。
したがって、収率は **80%** である。

2.

理論量を 100% とすると、実際に得られた割合が 80% なので、目的物として得られなかった割合は$100 - 80 = 20\%$である。
したがって、**20%** にあたる。

解答 2

1.

収率 60% は小数で 0.60 である。
実際量は$0.50 \times 0.60 = 0.30$ molとなる。
したがって、実際量は**0.30 mol**である。

2.

実際量は理論量の 60% なので、理論量をnとすると$0.60n = 0.24$ molである。
$n = \frac{0.24}{0.60} = 0.40$ molより、必要な理論量は**0.40 mol**である。

解答 3

1.

$CaCO_3$の物質量は$n(CaCO_3) = \frac{10.0}{100} = 0.100$ molである。
$CaCO_3$と CaO の係数比は 1 : 1 なので、CaO の理論上の物質量も0.100 molである。
CaO の理論量は$m(CaO) = 0.100 \times 56 = 5.60$ gとなる。
したがって、CaO の理論量は**5.60 g**である。

2.

実際量は4.48 g、理論量は5.60 gである。
$\frac{4.48}{5.60} \times 100 = 80.0\%$より、収率は **80.0%** である。

解答 4

1.

H_2については$\frac{0.60}{2} = 0.30$ mol、O_2については$\frac{0.20}{1} = 0.20$ molである。
小さい方はO_2なので、制限試薬は$\mathbf{O_2}$である。
O_2とH_2Oの係数比は 1 : 2 なので、H_2Oの理論量は$0.20 \times 2 = 0.40$ molである。
したがって、H_2Oの理論量は**0.40 mol**である。

2.

実際量は0.30 mol、理論量は0.40 molである。
$\frac{0.30}{0.40} \times 100 = 75\%$より、収率は **75%** である。
この収率だけから、目的物が得られなかった原因を未反応・副反応・回収損失などのどれか 1 つに決めることはできない。