高校化学 L01 第 40 講 制限試薬と過不足

この講でできるようになること

- 反応式の係数比に対して、各反応物がどれだけ用意されているかを比較できる。
- 先になくなる反応物である制限試薬を判断できる。
- 制限試薬から生成物の物質量を求められる。
- 過剰にある反応物の反応後の残量を求められる。

この講で扱う反応条件

指定された反応式に従って考える

本講では、反応が指定された化学反応式に従って進み、副反応は起こらず、制限試薬がなくなるまで反応するものとして扱う。
この条件のもとで、反応物のどちらが先になくなるか、生成物がどれだけできるか、どの反応物がどれだけ残るかを考える。

係数比に対して反応物の量を比べる

少ない mol の物質が制限試薬とは限らない

水が生成する反応を考える。

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

初めにH_2が$0.60\ \mathrm{mol}$、O_2が$0.20\ \mathrm{mol}$あるとする。
O_2 $0.20\ \mathrm{mol}$がすべて反応するために必要なH_2は、係数比 $2:1$ から$0.40\ \mathrm{mol}$である。
実際にはH_2が$0.60\ \mathrm{mol}$あるため、O_2が先になくなる。

	H_2	O_2	H_2O
反応前	$0.60\ \mathrm{mol}$	$0.20\ \mathrm{mol}$	$0\ \mathrm{mol}$
変化	$-0.40\ \mathrm{mol}$	$-0.20\ \mathrm{mol}$	$+0.40\ \mathrm{mol}$
反応後	$0.20\ \mathrm{mol}$	$0\ \mathrm{mol}$	$0.40\ \mathrm{mol}$

反応後に残る物質もある

この反応ではO_2がすべて使われ、H_2は$0.20\ \mathrm{mol}$残る。
生成するH_2Oは$0.40\ \mathrm{mol}$である。
反応式の係数比は、実際に反応した物質量どうしの関係を表している。

制限試薬

制限試薬

与えられた反応で先になくなり、生成物の最大量を決める反応物を**制限試薬**という。
一方、反応後に残る反応物を**過剰の反応物**という。

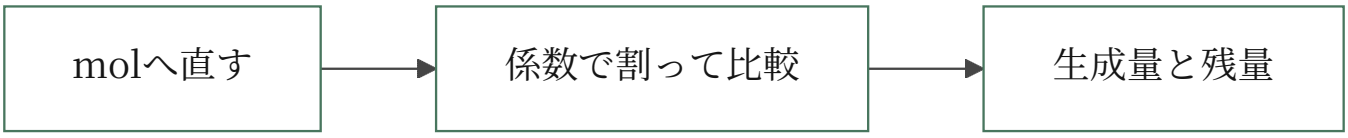
©ミライコーチング

係数に対してどれだけあるかを比較する

制限試薬は、初めの物質量だけを比べて決めることはできない。
一般に、$a\mathrm{A}+b\mathrm{B}\rightarrow p\mathrm{P}$という反応で、A、B の初期物質量をそれぞれ$n_{\mathrm{A}}$、$n_{\mathrm{B}}$とすると、次の 2 つを比較する。

$$\frac{n_{\mathrm{A}}}{a},\qquad \frac{n_{\mathrm{B}}}{b}$$

小さい方の反応物が、係数に対して不足しており、制限試薬となる。
2 つの値が等しい場合は、反応式の割合どおりに両方が使い切られる。



判断から残量までの手順

制限試薬を含む計算では、次の順に考える。
1. 必要なら各反応物を物質量に直す。
2. 各反応物について「物質量 ÷ 係数」を比較し、小さい方を制限試薬とする。
3. 制限試薬から生成物の物質量を求め、過剰な反応物について「初期量 − 消費量」で残量を求める。

残量が負になる場合は、制限試薬の判断や係数比の使い方を見直す。

制限試薬から生成量を求める

小さい方の値を基準にする

反応$a\mathrm{A}+b\mathrm{B}\rightarrow p\mathrm{P}$で A が制限試薬なら、$\frac{n_{\mathrm{A}}}{a}$を基準にして生成物 P の物質量を求める。

$$n_{\mathrm{P}}=\frac{n_{\mathrm{A}}}{a}\times p$$

B が制限試薬なら、$\frac{n_{\mathrm{B}}}{b}$を基準にする。
ここで比較している値は、反応式の係数に対応させた物質量である。

制限試薬を見分けるポイント

- 初めの mol が小さい物質をそのまま選ばない。
- 「物質量 ÷ 係数」で比較する。
- 小さい方が制限試薬となる。
- 等しい場合は反応式の割合どおりに両方使い切る。
- 生成量は制限試薬を基準に求める。

©ミライコーチング

例題

例題 1

次の反応を考える。

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

初めにH_2が0.30 mol、O_2が0.20 molある。
1. 制限試薬を判断せよ。
2. 生成するH_2Oの物質量と、反応後に残るO_2の物質量を求めよ。

解答・解説

1.
H_2については$\frac{0.30}{2} = 0.15$ mol、O_2については$\frac{0.20}{1} = 0.20$ molである。
$0.15 < 0.20$なので、制限試薬は$\mathbf{H_2}$である。
初めの物質量はH_2の方が多いが、係数 2 に対して考えるとH_2の方が不足している。
2.
H_2とH_2Oの係数比は 2 : 2 なので、H_2 0.30 molからH_2Oが0.30 mol生成する。
消費されるO_2は、係数比 2 : 1 から$0.30 \times \frac{1}{2} = 0.15$ molである。
したがって、反応後のO_2は$0.20 - 0.15 = 0.050$ mol残る。
生成するH_2Oは**0.30 mol**、残るO_2は**0.050 mol**である。

例題 2

次の反応式に従って反応が進み、制限試薬がなくなるまで反応するものとする。

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$$

初めにN_2が0.20 mol、H_2が0.30 molある。
1. 制限試薬を判断せよ。
2. 生成するNH_3の物質量と、反応後に残るN_2の物質量を求めよ。

解答・解説

1.
N_2については$\frac{0.20}{1} = 0.20$ mol、H_2については$\frac{0.30}{3} = 0.10$ molである。
$0.10 < 0.20$なので、制限試薬は$\mathbf{H_2}$である。
2.
H_2とNH_3の係数比は 3 : 2 なので、生成するNH_3は$0.30 \times \frac{2}{3} = 0.20$ molである。
消費されるN_2は$0.30 \times \frac{1}{3} = 0.10$ molなので、反応後には$0.20 - 0.10 = 0.10$ mol残る。
したがって、生成するNH_3は**0.20 mol**、残るN_2は**0.10 mol**である。

例題 3

次の反応を考える。

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

初めに Mg が4.8 g、$\mathrm{O_2}$が1.6 gある。モル質量は、Mg が24 $\mathrm{g\,mol^{-1}}$、$\mathrm{O_2}$が32 $\mathrm{g\,mol^{-1}}$、MgO が40 $\mathrm{g\,mol^{-1}}$である。

1. 制限試薬を判断せよ。
2. 生成する MgO の質量と、反応後に残る Mg の質量を求めよ。

解答・解説

1.
まず物質量へ直す。
Mg は$n(\mathrm{Mg}) = \frac{4.8}{24} = 0.20$ mol、$\mathrm{O_2}$は$n(\mathrm{O_2}) = \frac{1.6}{32} = 0.050$ molである。
係数で割ると、Mg は$\frac{0.20}{2} = 0.10$ mol、$\mathrm{O_2}$は$\frac{0.050}{1} = 0.050$ molである。
したがって、制限試薬は$\mathbf{O_2}$である。
2.
$\mathrm{O_2}$と MgO の係数比は 1 : 2 なので、生成する MgO は$0.050 \times 2 = 0.10$ molである。
MgO の質量は$0.10 \times 40 = 4.0$ gとなる。
消費される Mg は$0.050 \times 2 = 0.10$ molなので、Mg は$0.20 - 0.10 = 0.10$ mol残る。
残る Mg の質量は$0.10 \times 24 = 2.4$ gである。
したがって、生成する MgO は**4.0 g**、残る Mg は**2.4 g**である。

演習問題

演習 1

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0.40 mol、$\mathrm{O_2}$が0.30 molある。

1. 制限試薬を判断せよ。
2. 生成する$\mathrm{H_2O}$の物質量と、反応後に残る$\mathrm{O_2}$の物質量を求めよ。

演習 2

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0.80 mol、$\mathrm{O_2}$が0.20 molある。

1. 制限試薬を判断せよ。
2. 生成する$\mathrm{H_2O}$の物質量と、反応後に残る$\mathrm{H_2}$の物質量を求めよ。

©ミライコーチング

演習 3

次の反応式に従って、制限試薬がなくなるまで反応するものとする。

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$$

初めにN_2が0.10 mol、H_2が0.45 molある。
1. 制限試薬を判断せよ。
2. 生成するNH_3の物質量と、反応後に残るH_2の物質量を求めよ。

演習 4

次の反応を考える。

$$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$$

初めに CO が0.30 mol、O_2が0.15 molある。
1. どちらかの反応物が反応後に余るか判断せよ。
2. 生成するCO_2の物質量を求めよ。

演習 5

次の反応を考える。

$$2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$$

初めに Mg が2.4 g、O_2が3.2 gある。モル質量は、Mg が24 $g\,mol^{-1}$、O_2が32 $g\,mol^{-1}$、MgO が40 $g\,mol^{-1}$である。
1. 制限試薬を判断せよ。
2. 生成する MgO の質量と、反応後に残るO_2の質量を求めよ。

演習 6

次の反応を考える。

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

初めにH_2が0.60 mol、O_2が0.40 molある。
1.「初めの物質量が少ないO_2が制限試薬である」という判断は正しいか。理由も答えよ。
2. 生成するH_2Oの物質量と、反応後に残るO_2の物質量を求めよ。

©ミライコーチング

演習問題の解答・解説

解答 1

1.

H_2については$\frac{0.40}{2} = 0.20$ mol、O_2については$\frac{0.30}{1} = 0.30$ molである。
$0.20 < 0.30$なので、制限試薬は$\mathbf{H_2}$である。

2.

H_2とH_2Oの係数比は 2 : 2 なので、生成するH_2Oは0.40 molである。
消費されるO_2は$0.40 \times \frac{1}{2} = 0.20$ molなので、反応後には$0.30 - 0.20 = 0.10$ mol残る。
したがって、生成するH_2Oは**0.40 mol**、残るO_2は**0.10 mol**である。

解答 2

1.

H_2については$\frac{0.80}{2} = 0.40$ mol、O_2については$\frac{0.20}{1} = 0.20$ molである。
$0.20 < 0.40$なので、制限試薬は$\mathbf{O_2}$である。

2.

O_2とH_2Oの係数比は 1 : 2 なので、生成するH_2Oは$0.20 \times 2 = 0.40$ molである。
消費されるH_2は$0.20 \times 2 = 0.40$ molなので、反応後には$0.80 - 0.40 = 0.40$ mol残る。
したがって、生成するH_2Oは**0.40 mol**、残るH_2は**0.40 mol**である。

解答 3

1.

N_2については$\frac{0.10}{1} = 0.10$ mol、H_2については$\frac{0.45}{3} = 0.15$ molである。
$0.10 < 0.15$なので、制限試薬は$\mathbf{N_2}$である。

2.

N_2とNH_3の係数比は 1 : 2 なので、生成するNH_3は$0.10 \times 2 = 0.20$ molである。
消費されるH_2は$0.10 \times 3 = 0.30$ molなので、反応後には$0.45 - 0.30 = 0.15$ mol残る。
したがって、生成するNH_3は**0.20 mol**、残るH_2は**0.15 mol**である。

解答 4

1.

CO については$\frac{0.30}{2} = 0.15$ mol、O_2については$\frac{0.15}{1} = 0.15$ molである。
2 つの値が等しいので、反応式の割合どおりに**CO と$\mathbf{O_2}$の両方が使い切られる**。
したがって、どちらも余らない。

2.

CO とCO_2の係数比は 2 : 2 なので、生成するCO_2は**0.30 mol**である。

解答 5

1.

Mg は$n(\mathrm{Mg}) = \frac{2.4}{24} = 0.10$ mol、$\mathrm{O_2}$は$n(\mathrm{O_2}) = \frac{3.2}{32} = 0.10$ molである。
係数で割ると、Mg は$\frac{0.10}{2} = 0.050$ mol、$\mathrm{O_2}$は$\frac{0.10}{1} = 0.10$ molである。
したがって、制限試薬は **Mg** である。

2.

Mg と MgO の係数比は 2 : 2 なので、生成する MgO は0.10 molである。
MgO の質量は$0.10 \times 40 = 4.0$ gとなる。
消費される$\mathrm{O_2}$は$0.10 \times \frac{1}{2} = 0.050$ molなので、$\mathrm{O_2}$は$0.10 - 0.050 = 0.050$ mol残る。
残る$\mathrm{O_2}$の質量は$0.050 \times 32 = 1.6$ gである。
したがって、生成する MgO は**4.0 g**、残る$\mathrm{O_2}$は**1.6 g**である。

解答 6

1.

正しくない。
$\mathrm{H_2}$については$\frac{0.60}{2} = 0.30$ mol、$\mathrm{O_2}$については$\frac{0.40}{1} = 0.40$ molである。
$0.30 < 0.40$なので、制限試薬は$\mathbf{H_2}$である。
制限試薬は初めの物質量そのものの大小ではなく、物質量を反応式の係数で割って比較して判断する。

2.

$\mathrm{H_2}$と$\mathrm{H_2O}$の係数比は 2 : 2 なので、生成する$\mathrm{H_2O}$は0.60 molである。
消費される$\mathrm{O_2}$は$0.60 \times \frac{1}{2} = 0.30$ molなので、反応後には$0.40 - 0.30 = 0.10$ mol残る。
したがって、生成する$\mathrm{H_2O}$は**0.60 mol**、残る$\mathrm{O_2}$は**0.10 mol**である。