

## 第2編 物質の変化

### 第1章 化学反応とエネルギー

#### 1 化学反応と熱

##### A 化学反応とエネルギー

物質はそれぞれに固有の大きさのエネルギー（**内部エネルギー**）を持っている。  
またその状態（気体・液体・固体）でいるためのエネルギー（**状態エネルギー**）を持っている。

化学反応を起こすと内部エネルギーや状態エネルギーが変化するので、必要なエネルギーを吸収したり、余分なエネルギーを放出したりする。そのエネルギーが熱や電気となっている。

##### B 発熱反応と吸熱反応

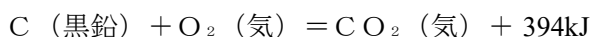
化学反応に伴い、発生または吸収する熱量を**反応熱**という。

化学反応において、反応物の持つ内部エネルギーの総和が生成物の内部エネルギーの総和より大きいと余分なエネルギーが放出されながら進む。このように反応熱が放出される反応を**発熱反応**という。逆に、反応物の持つ内部エネルギーよりも生成物の内部エネルギーが大きい場合には足りないエネルギーを吸収しながら進む。このように反応熱が吸収される反応を**吸熱反応**という。

##### C 熱化学方程式

決まった化学反応では反応熱の大きさは決まっている。例えば炭素（固体）が燃えて二酸化炭素（気体）になる反応では、394kJ（キロジュール）の熱が放出される。

この反応熱の大きさを化学反応式に加えると完全な化学反応式となり、矢印（→）ではなく、イコール（=）で結ぶことが出来る。この化学反応式を**熱化学方程式**という。



#### ※熱化学方程式の作り方

水素  $\text{H}_2$  1 mol を酸素  $\text{O}_2$  と反応させて液体の水  $\text{H}_2\text{O}$  を作る時、286kJ の熱量が発生する。この熱化学方程式は次のようにしてつくられる。

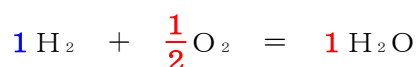
①まずは係数を付けずに化学反応式を書く。その時、生成物と反応物の間はイコール（=）で結ぶ。



②着目する物質（この場合は水素）の係数を「1」とする。

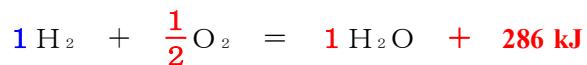


③それに合うように他の物質の係数を書き入れる。

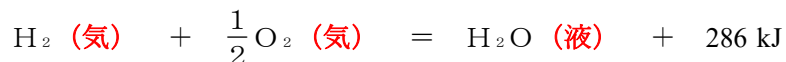


このとき、係数が分数になることがあるが、それはそのままにする。

④熱化学方程式の右辺に反応熱を書き入れる。このとき発熱の場合は正の符号「+」  
吸熱の場合は負の符号「-」を付ける。



⑤係数の「1」は省略し、各物質の状態を、気体には(気)、液体には(液)、固体には(固)のようにして化学式の後ろに書く。



\*熱化学方程式や反応熱は、ふつう、25℃、 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ における状態や熱量を用いる。

\*物質の状態を書くのは、状態によって物質のもつエネルギーが異なるためである。また、炭素 C のように、同素体が存在する場合には、それらを区別して書く。ただし、25℃、 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ で、その状態が明らかな場合には、状態を書かなくてもよい。

#### D 反応熱の種類

反応熱は、反応の種類によって固有の名称でよばれ、着目する物質 1 mol 当たりの熱量で表される。

##### ①燃焼熱

物質 1 mol が酸素  $\text{O}_2$  と化合するときに発生する熱量のことを燃焼熱という。

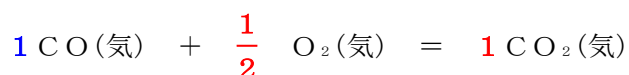
(例) 一酸化炭素 CO の燃焼熱は  $283 \text{ kJ} / \text{mol}$  である。

[書き方]

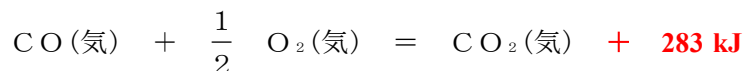
①着目する物質(この場合は一酸化炭素 CO)を左辺に書き、その後酸素  $\text{O}_2$  を書き加える。左辺には酸化物を書き、イコール(=)でつなぐ。



②着目する物質の係数を「1」として、他の物質の係数を付ける。



③係数 1 を省略し、燃焼熱を右辺に書き加える。



\*燃焼熱は全て発熱反応となるので、必ず「+」となる。

##### ②生成熱←一番分かりにくい熱化学方程式と思われる。

化合物 1 mol がその成分元素の単体から生成するときに出入りする熱量のことを生成熱という。

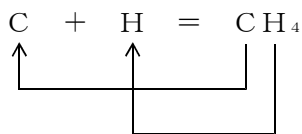
(例) メタン  $\text{CH}_4$  の生成熱は  $74.9 \text{ kJ} / \text{mol}$  である。

[書き方]

①着目する物質(この場合はメタン  $\text{CH}_4$ )を右辺に書く。



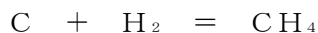
②その化合物を構成する元素の元素記号を左辺に分けて書く。



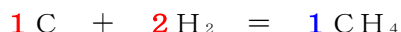
③次の7つの元素の単体は2原子分子となるので、その7つにだけ $\text{O}_2$ と付ける。

(水素  $\text{H}_2$ 、窒素  $\text{N}_2$ 、酸素  $\text{O}_2$ 、フッ素  $\text{F}_2$ 、塩素  $\text{Cl}_2$ 、臭素  $\text{Br}_2$ 、ヨウ素  $\text{I}_2$ )

\*それ以外には何も付けないこと。



④着目する物質の係数を1として、他の物質の係数を付けていく。



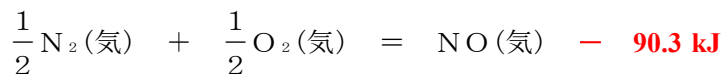
⑤それぞれの物質の状態を書き入れ、右辺に生成熱を書き加える。係数1は省略する。



(注)

生成熱は出入りする熱量なので、発熱反応とは限りません。吸熱反応の時もあるので、十分注意をしましょう。

(例) 一酸化窒素  $\text{NO}$  の生成熱は  $-90.3\text{kJ/mol}$  である。



### ③溶解熱

溶質 1 mol が多量の水に溶解するときに出入りする熱量を溶解熱という。

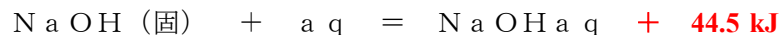
(例) 固体の水酸化ナトリウム  $\text{NaOH}$  の溶解熱は  $44.5\text{kJ/mol}$  である。

[書き方]

①溶質(この場合は水酸化ナトリウム  $\text{NaOH}$ )を左辺に書き、多量の水は  $a\text{q}$  と表すので、それをその後に書く。右辺には溶質の化学式と  $a\text{q}$  をくっつけたものを書き、間をイコール(=)で結ぶ。



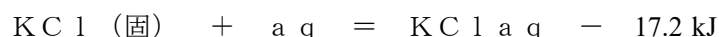
②右辺に溶解熱を書き加えて完成となる。



(注)

溶解熱も出入りする熱量なので、当然吸熱反応もあります。

(例) 固体の塩化カリウム  $\text{KCl}$  の溶解熱は  $-17.2\text{kJ/mol}$  である。



#### ④中和熱

酸と塩基とが中和反応して水 1 mol ができるときの反応熱を**中和熱**という。

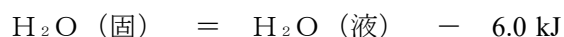
中和熱は次の熱化学方程式を覚えるようにしましょう。



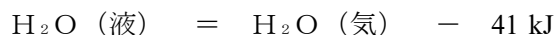
#### ⑤状態変化熱

物質の状態が変化するときに入出力する熱量のこと。固体→液体や液体→気体，固体→気体は必ず熱を吸収するので符号は「-」となり，逆現象の液体→固体や気体→液体，気体→固体は熱を放出するので符号は「+」となる。これは文章上には書かれないので注意すること。

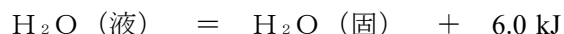
(例) 0℃の水の融解熱は 6.0 kJ / mol である。



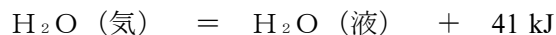
(例) 100℃の水の蒸発熱は 41 kJ / mol である。



(例) 0℃の水の凝固熱は 6.0 kJ / mol である。



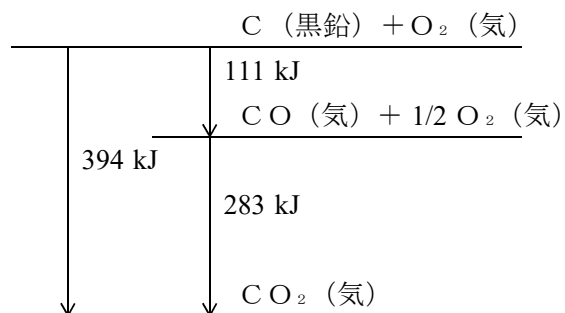
(例) 100℃の水蒸気の凝縮熱は 41 kJ / mol である。



### E ヘスの法則

#### ①ヘスの法則

物質が変化するときの反応熱の総和は、変化の前後の物質の種類と状態だけで決まり、変化の経路や方法には関係しない。

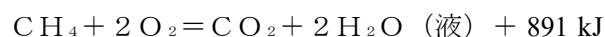
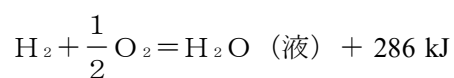
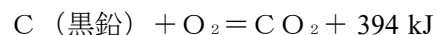


C (黒鉛) が完全燃焼して二酸化炭素  $\text{CO}_2$  になった時の反応熱 (394 kJ) は、C (黒鉛) がいったん一酸化炭素  $\text{CO}$  になったときの反応熱 (111kJ) と一酸化炭素  $\text{CO}$  が燃焼して二酸化炭素  $\text{CO}_2$  になった時の反応熱 (283 kJ) の和と同じである。

#### ②ヘスの法則の利用

ヘスの法則を利用すると，実験で測定することが難しい反応熱を，計算によって求めることができる。

例題 次の熱化学方程式から，メタン  $\text{CH}_4$  の生成熱を求め，整数値で答えよ。



解答

①まずは求めたい熱化学方程式を書く。  $\text{C (黒鉛)} + 2 \text{H}_2 = \text{CH}_4 + Q \text{ kJ}$

②与えられた熱化学方程式を自分が求めたい熱化学方程式下に並べる。並べるときの注意は以下の通りとなる。

\*自分が作りたい熱化学方程式書く  $\rightarrow \text{C (黒鉛)} + 2\text{H}_2 = \text{CH}_4 + Q \text{ kJ}$

\*同じ物質の化学式がその下に来るように並べていく

$\text{C (黒鉛)} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + 394 \text{ kJ} \rightarrow \text{C (黒鉛)} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + 394 \text{ kJ}$

\*係数が違う場合は、全体を何倍かして並べる。

$(\text{H}_2 + 1/2\text{O}_2 = \text{H}_2\text{O} + 286 \text{ kJ}) \times 2 \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2 = 2\text{H}_2\text{O (液)} + 572 \text{ kJ}$

\*左辺と右辺が違う場合は、両辺を入れ替えて並べる。

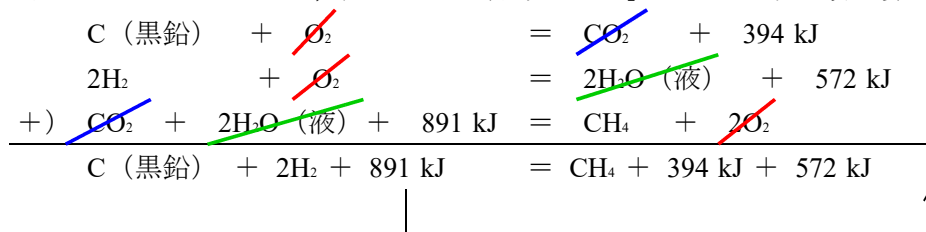
$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 891 \text{ kJ} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O (液)} + 891 \text{ kJ} = \text{CH}_4 + 2\text{O}_2$

\*酸素  $\text{O}_2$  のように何カ所も出てくる物質は無視する。

\*状態が違うものは違う物質として扱う ( $\text{H}_2\text{O (液)}$  と  $\text{H}_2\text{O (気)}$  が出来た場合など)。

\*イコール (=) の位置を合わせた方がその後の処理がしやすいので、イコール (=) の位置を合わせる。

③全部が並べ終わったら、左辺は左辺どうし、右辺は右辺どうしを足す。このとき両辺同じものがあれば消し、差があれば符号が「+」になるように引き算をする。



移項する。

\*熱化学方程式が合っているか確認する。

④エネルギーのところを計算してQの値を求める。

$\text{C (黒鉛)} + 2\text{H}_2 = \text{CH}_4 + \underline{394 \text{ kJ} + 572 \text{ kJ} - 891 \text{ kJ}}$

↑  
ここを計算する。

$Q = 394 + 572 - 891 = 75 \text{ kJ}$  ←これが答えになる。

※ここまでで確認して欲しいこと。

1. 熱化学方程式を自分でかけるようになりましたか。
2. 分かっている熱化学方程式を使って、未知の反応熱の大きさを求めることが出来るようになりましたか。

## F 結合エネルギーと反応熱

### ①結合エネルギー

気体状の分子の共有結合を切断して、ばらばらの原子にするのに必要なエネルギーを、その共有結合の結合エネルギーという。

結合エネルギーは、ふつう結合 1 mol 当たりの熱量で示される。

[結合エネルギーの熱化学方程式のつくり方]

(例)  $\text{H}-\text{H}$  の結合エネルギーは  $436\text{kJ} / \text{mol}$  である。

(解)  $\text{H}_2 (\text{気}) = 2 \text{H} (\text{気}) - 436 \text{ kJ}$

\* 結合エネルギーは吸熱反応となるので、必ず負の符号「-」になる。

(例)  $\text{C}-\text{H}$  の結合エネルギーは  $413\text{kJ} / \text{mol}$  である。気体の  $\text{CH}_4$  1 mol を全て原子の状態にするのに何 kJ のエネルギーが必要か。

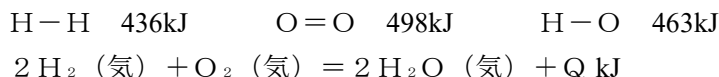
(解)  $\text{CH}_4$  には  $\text{C}-\text{H}$  結合が 4 つあるので、

$$413\text{kJ} \times 4 = 1652\text{kJ} \text{ となる。}$$

### ②結合エネルギーとヘスの法則

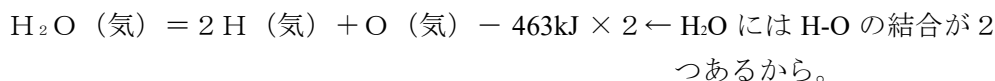
結合エネルギーも熱化学方程式で表されるので、今までと同じように考えて良い。

例題 3 次の結合エネルギーを用いて、水素  $\text{H}_2$  と酸素  $\text{O}_2$  とから水  $\text{H}_2\text{O}$  (気) ができる反応を表す次の熱化学方程式の  $Q$  [kJ] を求めよ。

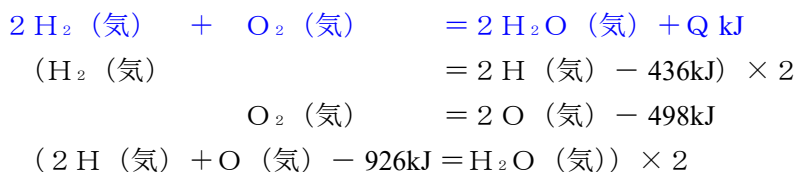


解答

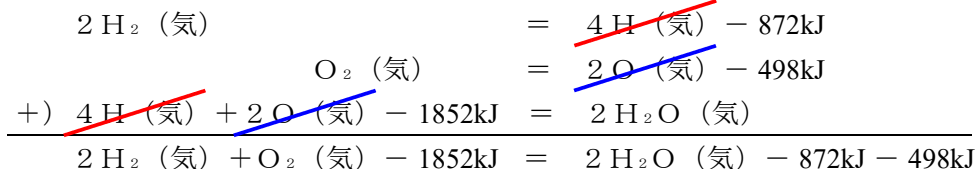
①それぞれの結合エネルギーを表す熱化学方程式を作る。



②これらを目標の熱化学方程式の下に並べる。



③左辺は左辺どうし、右辺は右辺どうしを足す。このとき両辺同じものがあれば消し、差があれば符号が「+」になるように引き算をする。



④ $Q$  の値を計算する。

$$Q = 1852\text{kJ} - 872\text{kJ} - 498\text{kJ} = 482\text{kJ} \leftarrow \text{これが答えになる。}$$