

7. 反応熱と熱化学方程式

はじめに

熱化学方程式の解法のコツ (木村式)

結合エネルギーを考えなくていい場合

熱化学方程式の物質をすべて単体で表すと、左辺と右辺の単体の種類と数は等しいので、単体が消去され、数式になる。

結合エネルギーを考える場合

熱化学方程式の物質をすべて原子で表すと、左辺と右辺の原子の種類と数は等しいので、原子が消去され、数式になる。

例題

CH₄, CO₂, H₂O (液体) の生成熱はそれぞれ 75kJ, 394kJ, 286kJ である。

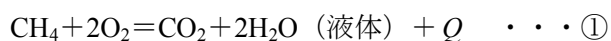
これらの値を使って CH₄ の燃焼熱をもとめよ。

解法のポイント

燃焼熱の熱化学方程式の両辺の化合物を生成熱と単体に置き換えてから整理すればよい。

求める燃焼熱を Q とすると、

CH₄ の燃焼の熱化学方程式は、



注意：燃焼熱で生成する水は液体という約束になっている。

熱化学方程式も化学反応式と同様、式の左辺の右辺で原子の種類と数が等しい。

ということは、

両辺の化合物を単体に置き換えると、**単体の種類と数が両辺で等しい**ことになる。

また、生成熱の熱化学方程式は、

化合物 1mol の成分元素の単体 = 化合物 1mol + 生成熱

より、

化合物 1mol = 化合物 1mol の成分元素の単体 - 生成熱

したがって、熱化学方程式の両辺の化合物を単体と生成熱で表して整理すると、

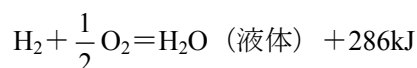
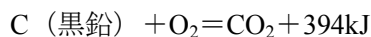
単体が消去され、燃焼熱 Q と生成熱だけの 1 次方程式になってしまうので、

燃焼熱 Q が簡単に求められる。

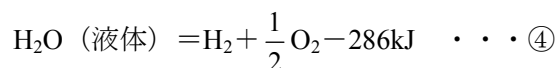
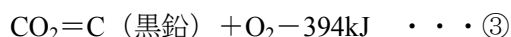
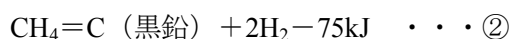
解法

手順 1.

化合物を成分元素の単体と生成熱で表す。

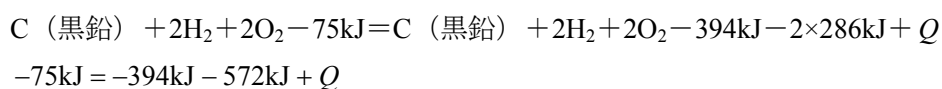
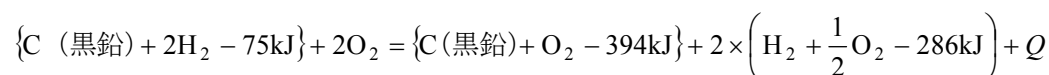


より,



手順 2.

①式に②, ③, ④を代入し, 整理する。



よって,

$$Q = 572\text{kJ} + 394\text{kJ} - 75\text{kJ} = 891\text{kJ}$$

補足

記述問題でなければ,

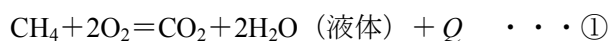
単体が消去されるのは明らかなので,

すべての単体, すなわち熱化学方程式に含まれる単体および

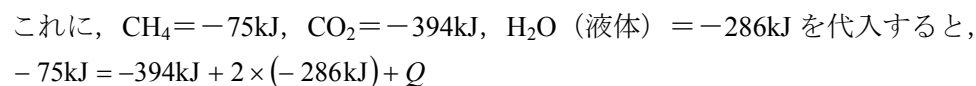
「化合物 1mol = 化合物 1mol の成分元素の単体 - 生成熱」の単体を無視し,

単体を除いた熱化学方程式に, **化合物 1mol = -生成熱**を代入すればよい。

したがって,



の単体を無視し,



よって,

$$Q = 891\text{kJ}$$

89. 反応熱の種類

反応熱

化学反応の前後での熱エネルギーの出入を表す方程式を熱化学方程式という。

熱化学方程式は化学反応式と似ているが、根本的に異なるので注意が必要である。

熱化学方程式の作り方

1. 化学反応式の「→」を「=」にする。
2. 反応熱は常温常圧（25℃，1気圧）での値を使い，方程式の右辺に記す。
このとき，発熱反応なら+の符号を，吸熱反応なら-の符号をつける。
3. 物質の化学式の後に常温常圧（25℃，1気圧）における物質の状態を，
固体なら（固体）（固）または固体は英語で solid なので（s）と，
液体なら（液体）（液）または液体は英語で liquid なので（l）と，
気体なら（気体）（気）または気体は英語で gas なので（g）と記す。
ただし，水などのように，常温常圧で2つ以上の状態をとる物質の場合，
H₂O（液体）なのか H₂O（気体）をはっきりさせる必要があるので，
必ずその状態を記さなければならない。
一方，酸素などのように1つの状態しかない物質の場合，その状態を記す必要はない。
4. 同素体がある場合は状態名の代わりに同素体名を書いてもよい。
同素体名には常温常圧で最も安定な状態にあるものが選ばれる。
たとえば，炭素は，C（固）でもよいし C（黒鉛）でもよい。
5. 化学反応式の各係数は物質質量比を表すが，
熱化学方程式の係数は物質質量そのものを表す。
例えば，物質に係数がついてなければ 1mol の物質，係数が 2 なら 2mol の物質である。

熱化学方程式の見方

例：C（黒鉛）+O₂（気体）=CO₂（気体）+394kJ

1. 熱の出入りによる見方

C（黒鉛）1mol と O₂（気体）1mol が反応して CO₂（気体）が 1mol 生成するとき，
394kJ の発熱がある。

2. エネルギー的見方

C（黒鉛）1mol と O₂（気体）1mol の化学エネルギーの和は，
CO₂（気体）1mol がもつ化学エネルギーより 394kJ 大きい。

熱化学方程式の計算問題では，エネルギー的見方が重要である。

反応熱の分類：注目する物質の係数を 1 にする

反応熱は化学変化の種類により、生成熱、燃焼熱、溶解熱、中和熱などに分類される。
熱化学方程式で表す場合、注目する物質の係数を 1, すなわち 1mol とおいて式を立てる。
そのため、他の物質の係数が分数になる場合もある。

生成熱

化合物 1mol がその成分元素の単体から生成するとき発生または吸収する熱量を
その化合物の生成熱という。

たとえば、メタン CH_4 (気) 1mol が、
その成分元素の単体である水素 H_2 (気) 2mol と C (黒鉛) 1mol から生成されると
74.9kJ の発熱がある。

よって、メタンの生成熱は 74.9kJ/mol である。

これを熱化学方程式で表すと、



となる。

燃焼熱

物質 1mol が酸素と反応して完全燃焼するときに発生する熱量を
その物質の燃焼熱という。

発熱反応のみである。

注意

水素が完全燃焼すると水になる。

水の常温常圧の状態は、液体または気体であり、
生成するのが液体の水と気体の水とでは燃焼熱の値が異なる。

燃焼熱の熱化学方程式では、液体の水が生じるときの値 286kJ を使う約束になっている。

エタノール $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (液) 1mol が完全燃焼し、

二酸化炭素 CO_2 (気) が 2mol, 水 H_2O (液) が 3mol 生成するときの燃焼熱は 1368kJ/mol
であるが、これを熱化学方程式で表すと、



となる。

溶解熱

物質 1mol を多量の溶媒に溶かすときに発生または吸収した熱量をその物質の溶解熱という。

物質が溶解する過程で、化学結合の切断や溶媒分子との結合（溶媒和）が起こるが、これも広い意味で化学反応とみなせるので、反応熱として扱う。

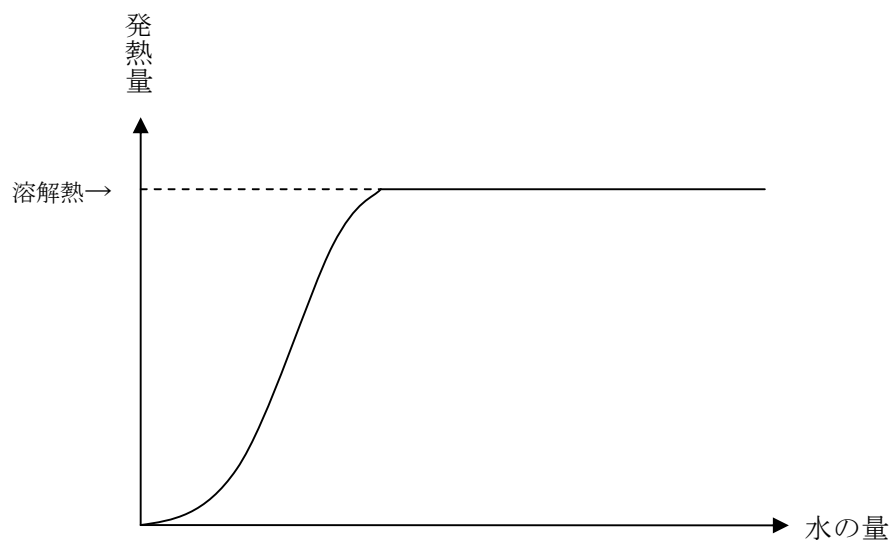
補足

「多量の溶媒に溶かすときに」としなければならない理由

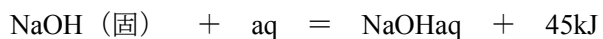
たとえば、水酸化ナトリウム 1mol を水の量を変えて溶かしたときの水の量と発熱量の関係を調べると、発熱量は水の量の増加とともに大きくなり、やがて一定になる。

この一定になったときの発熱量を溶解熱と定義するからである。

よって、「多量の溶媒に溶かすときに」としなければならない。



水酸化ナトリウムの溶解熱の熱化学方程式は



aq はラテン語 aqua の略で多量の水の意味

化学式の後に aq をつけると薄い水溶液の意味になる。

したがって、NaOHaq とは薄い水酸化ナトリウム水溶液のことである。

中和熱

水溶液中で酸と塩基が中和反応し H_2O が 1mol 生成するときの発生熱量を中和熱という。

電離による反応熱の影響を避けるために、酸も塩基も十分薄い水溶液を使う。

したがって、薄い水溶液という意味を表すために、酸・塩基の化学式の後に aq をつける。

強酸と強塩基の中和熱

強酸と強塩基の場合の中和熱は約 56.5kJ/mol である。



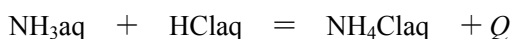
弱酸と強塩基または弱塩基と強酸の中和熱

中和反応と同時に弱酸（弱塩基）の電離反応も起こるので、その反応熱の影響が出る。

例えば、アンモニアと塩酸の中和反応では、アンモニアの電離反応が同時進行する。

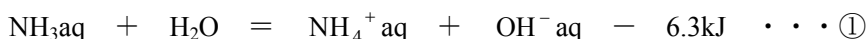
そのため、アンモニアの電離に必要な熱量だけ中和熱が小さくなる。

熱化学方程式を



とすると、

アンモニアの電離の熱化学方程式



中和反応の熱化学方程式



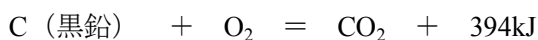
①+②より、



よって、中和熱 $Q = 50.2\text{kJ}$

熱化学方程式が同じでも、その反応熱は注目する物質で異なる

例



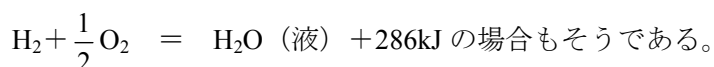
C (黒鉛) に注目したとき

C (黒鉛) (熱化学方程式では係数は物質質量 mol そのものを表す) の燃焼熱は 394kJ

CO_2 に注目したとき

その成分元素の単体である C (黒鉛) と O_2 から生成することを示しているから、394kJ は CO_2 の生成熱である。

このように、どの 1mol の物質に注目するかにより、同じ熱化学方程式であっても、反応熱が異なる場合がある。



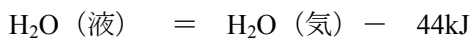
286kJ は $\text{H}_2\text{O}(\text{液})$ の生成熱とも H_2 の燃焼熱とも見ることができる。

状態変化も熱化学方程式のように表せる

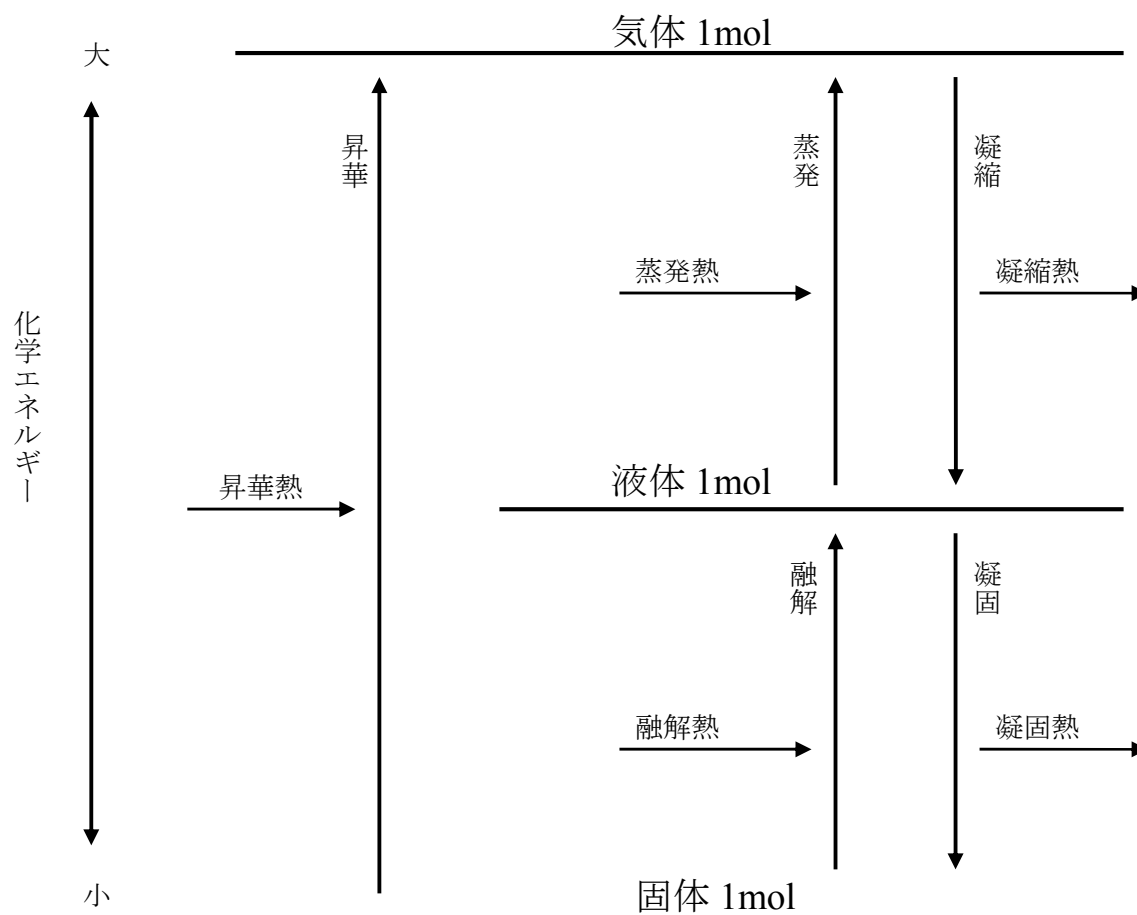
状態変化は化学変化ではないが、状態変化においても化学変化同様、熱の出入りを伴う。

よって、状態変化も熱化学方程式のように表すことができる。

たとえば、常温常圧の下、液体の水 1mol を水蒸気にするには 44kJ の熱が必要なので、



と表される。

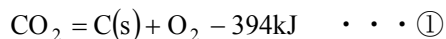
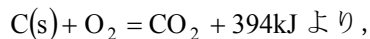


実験による測定から 昇華熱 \equiv 融解熱 + 蒸発熱 がいえる。

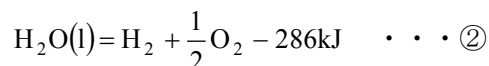
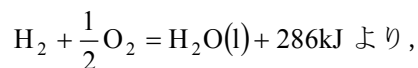
90. 燃焼熱と生成熱

ことわり g: 気体, l: 液体, s: 固体とする。

黒鉛の燃焼熱の熱化学方程式

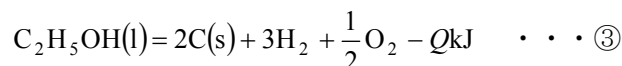
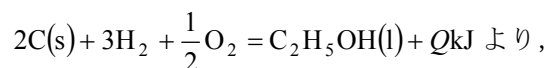


液体の水の生成熱の熱化学方程式



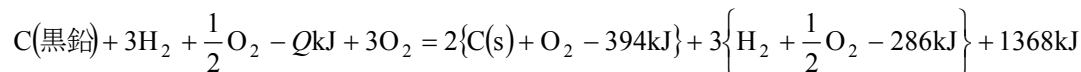
エタノールの生成熱を Q kJ/mol とすると,

エタノールの生成熱の熱化学方程式



エタノールの燃焼熱の熱化学方程式

$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH(l)} + 3\text{O}_2 = 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O(l)} + 1368\text{kJ}$ の各化合物に, ①, ②, ③を代入すると,



$$\therefore Q = 2 \times 394 + 3 \times 286 - 1368 = 278$$

よって,

エタノールの生成熱は, 278kJ/mol

注意

燃焼熱の定義では生成する H_2O は液体とする。

91. 生成熱と反応熱

$C(s) + 2H_2 = CH_4 + 74.8kJ$ より,

$$CH_4 = C(s) + 2H_2 - 74.8kJ \quad \dots \textcircled{1}$$

$2C(s) + 3H_2 = C_2H_6 + 84.7kJ$ より,

$$C_2H_6 = 2C(s) + 3H_2 - 84.7kJ \quad \dots \textcircled{2}$$

$3C(s) + 4H_2 = C_3H_8 + 104kJ$ より,

$$C_3H_8 = 3C(s) + 4H_2 - 104kJ \quad \dots \textcircled{3}$$

$C(s) + O_2 = CO_2 + 394kJ$ より,

$$CO_2 = C(s) + O_2 - 394kJ \quad \dots \textcircled{4}$$

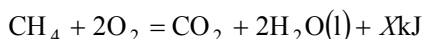
$H_2 + \frac{1}{2}O_2 = H_2O(l) + 286kJ$ より,

$$H_2O(l) = H_2 + \frac{1}{2}O_2 - 286kJ \quad \dots \textcircled{5}$$

(1)

メタンの燃焼熱を X kJ/mol とすると,

その熱化学方程式は,



これに, ①, ④, ⑤を代入して整理すると,

単体が全部消去され,

$$-74.8kJ = -394kJ + 2 \times (-286kJ) + XkJ$$

$$\therefore X = 891.2$$

よって,

$$891kJ/mol \quad \dots \text{(答)}$$

(2)

プロパンの反応熱を Y kJ/mol とすると,

その熱化学方程式は,



これに, ①, ②, ③を代入して整理すると,

単体が全部消去され,

$$-104kJ = -74.8kJ + (-84.7kJ) + YkJ$$

$$\therefore Y = 55.5$$

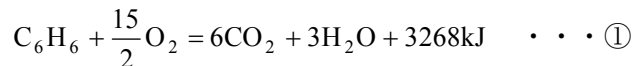
よって,

$$55.5kJ$$

92. 反応熱

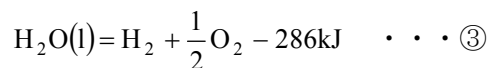
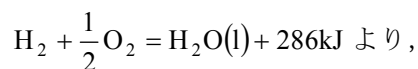
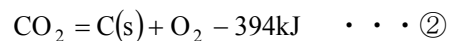
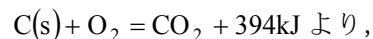
(2)

生成熱の熱化学方程式は、生成物以外はすべて単体だから、

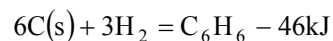
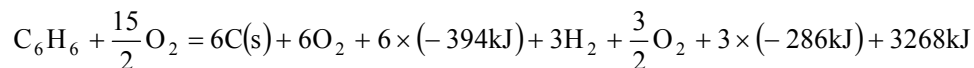


のベンゼン以外の化合物をすべて単体にした後

その式を整理すれば、ベンゼンの生成熱の熱化学方程式が得られる。



②, ③を①に代入すると、



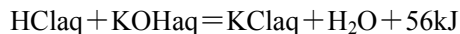
よって、



93.ヘスの法則と反応熱

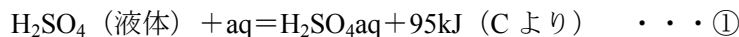
(1)

A の熱化学方程式



B の熱化学方程式の分類

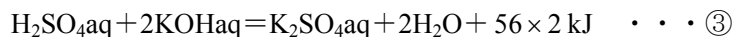
硫酸の溶解熱の熱化学方程式

水酸化カリウムの溶解熱の熱化学方程式 (溶解熱を Q kJ/mol とおく)

希硫酸と水酸化カリウム水溶液の中和反応の熱化学方程式

中和熱の定義は、中和反応により、水が 1mol 生成するときの発熱量である。

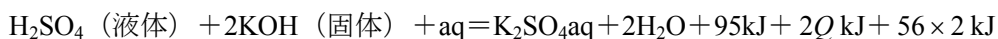
強酸と強塩基の中和反応は、酸と塩基のそれぞれが完全に電離した状態で起こると見なしてよいので、水が 1mol 生成するときの発熱量は A の場合と同じである。よって、



補足

強酸と弱塩基 (弱酸と強塩基) の中和反応は弱塩基 (弱酸) の電離 (吸熱反応) を伴うので、中和熱は強酸と強塩基の場合よりも小さい。

①+②×2+③より、



よって、

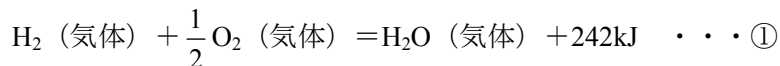
$$95 + 2Q + 56 \times 2 = 323 \quad \therefore Q = 58$$

KOH の溶解熱は 58kJ/mol \dots (答)

94. 結合エネルギーとエネルギー図

(1)

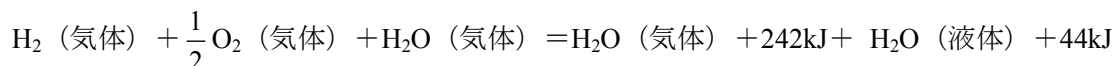
エネルギー図より,



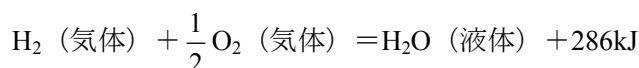
水の蒸発熱より,



①+②より,

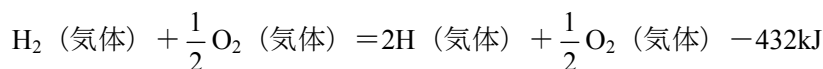


よって,

286kJ/mol \dots (答)

(2)

エネルギー図より,

よって, $\text{H}_2 (\text{気体}) = 2\text{H} (\text{気体}) - 432\text{kJ}$

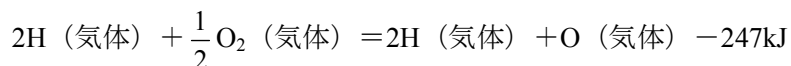
この式は, 1mol の H-H 結合を切るのに 432kJ 必要であることを示している。

結合エネルギーとは, 1mol の結合を切るのに必要とするエネルギーだから,

H-H 結合の結合エネルギーは, 432kJ/mol \dots (答)

(3)

エネルギー図より,

よって, $\frac{1}{2} \text{O}_2 (\text{気体}) = \text{O} (\text{気体}) - 247\text{kJ}$ これは, $\frac{1}{2}$ mol の O=O 結合を切るのにエネルギーが 247kJ 必要であることを示している。よって, O=O 結合の結合エネルギーは, $247 \times 2 = 494 \text{ kJ/mol}$ \dots (答)

(4)

エネルギー図より,

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O}(\text{気体}) &= 2\text{H}(\text{気体}) + \text{O}(\text{気体}) - (242 + 432 + 247) \text{ kJ} \\ &= 2\text{H}(\text{気体}) + \text{O}(\text{気体}) - 921 \text{ kJ} \end{aligned}$$

この 921 kJ は H_2O (気体) の O-H 結合を 2 mol 切るのに必要とするエネルギーである。

したがって, 1 mol の O-H 結合を切るのに必要とするエネルギー,

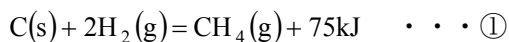
$$\text{すなわち O-H 結合の結合エネルギー} = \frac{921}{2} = 460.5 \approx 461 \text{ kJ/mol}$$

95. 結合エネルギー

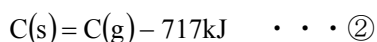
結合エネルギーを考える場合

熱化学方程式の物質をすべて原子で表せば、
左辺と右辺の原子の種類と数は等しいので、
原子が消去され、ただの数式にすることができる。

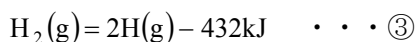
メタンの生成熱の熱化学方程式



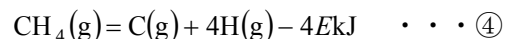
炭素の昇華熱の熱化学方程式



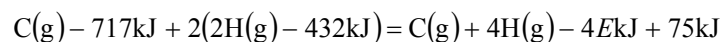
水素分子の結合エネルギーの熱化学方程式



メタンの C-H 結合の結合エネルギーを E kJ/mol とすると、
1mol のメタンに含まれる C-H 結合は 4mol だから、



式①に②、③、④を代入すると、



すると、原子がすべて消去され、

$$-717\text{kJ} + 2 \times (-432\text{kJ}) = -4E\text{kJ} + 75\text{kJ}$$

$$\therefore E = 414$$

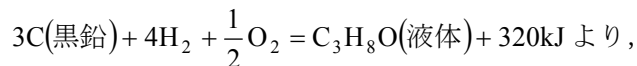
よって、

$$414\text{kJ/mol} \quad \dots \text{(答)}$$

96. 反応熱の計算

まず、化合物をすべて単体の式に変換する。

プロパノール（液体）の生成熱の熱化学方程式



$$\text{C}_3\text{H}_8\text{O(液体)} = 3\text{C(黒鉛)} + 4\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 - 320\text{kJ} \quad \dots \textcircled{1}$$

水（液体）の生成熱の熱化学方程式



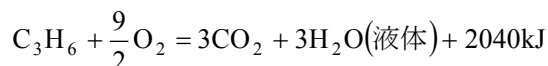
$$\text{H}_2\text{O(液体)} = \text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 - 286\text{kJ} \quad \dots \textcircled{2}$$

炭素（黒鉛）の燃焼熱の熱化学方程式



$$\text{CO}_2 = \text{C(黒鉛)} + \text{O}_2 - 394\text{kJ} \quad \dots \textcircled{3}$$

プロピレンの燃焼熱の熱化学方程式



$$\therefore \text{C}_3\text{H}_6 = -\frac{9}{2}\text{O}_2 + 3\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O(液体)} + 2040\text{kJ}$$

この式に②，③を代入すると，

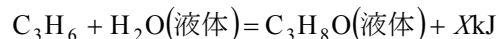
$$\text{C}_3\text{H}_6 = -\frac{9}{2}\text{O}_2 + 3\{\text{C(黒鉛)} + \text{O}_2 - 394\text{kJ}\} + 3\left\{\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 - 286\text{kJ}\right\} + 2040\text{kJ}$$

$$\therefore \text{C}_3\text{H}_6 = 3\text{C(黒鉛)} + 3\text{H}_2 + 0\text{kJ} \quad \dots \textcircled{4}$$

これで、目的の熱化学方程式を単体のみで表す準備ができた。

次に、

プロピレンに水（液体）を付加させ 2-プロパノール（液体）を生成するときの反応熱を X kJ/mol とし、目的の熱化学方程式を立てる。



これに①，②，④を代入すると，

$$3\text{C(黒鉛)} + 3\text{H}_2 + 0\text{kJ} + \text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 - 286\text{kJ} = 3\text{C(黒鉛)} + 4\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 - 320\text{kJ} + X\text{kJ}$$

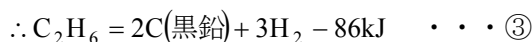
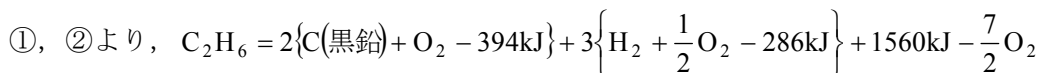
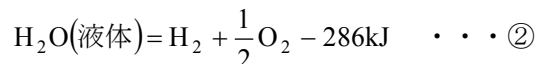
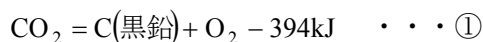
単体はすべて消去され，

$$-286\text{kJ} = -320\text{kJ} + X\text{kJ} \quad \therefore X = 34$$

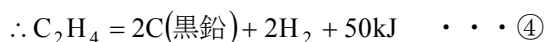
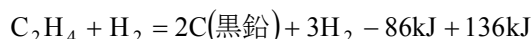
よって、34kJ/mol \dots (答)

97. 生成熱と燃焼熱

与式より,



③より,



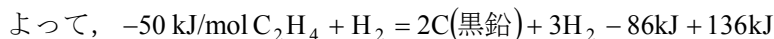
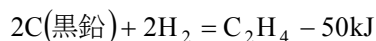
(1)

③より,

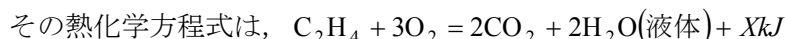


(2)

④より,

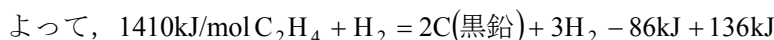


(3)

エチレンの燃焼熱を X kJ/mol とすると,

これに①, ②, ④を代入して整理すると, 単体がすべて消去され,

$$50\text{kJ} = 2 \times (-394\text{kJ}) + 2 \times (-286\text{kJ}) + X\text{kJ} \quad \therefore X = 1410$$



(4)

混合気体の標準状態体積 22.4L より, その物質量は 1.00mol である。

エタンの物質量を t , エチレンの物質量を $1.00 - t$ とすると,

完全燃焼させたときの発熱量の関係式は,

$$1560t + 1410(1 - t) = 1470 \quad \therefore t = 0.400 \text{ mol}$$

よって, 必要な酸素の物質量は,

$$0.400 \times \frac{7}{2} + (1.00 - 0.400) \times 3 = 3.20 \text{ mol}$$

ゆえに, その標準状態体積は, $22.4 \times 3.20 = 71.68 \approx 71.7 \text{ L} \quad \dots \text{(答)}$

98. 溶解熱と中和熱の測定

(1)

溶液の温度変化を調べる実験では、

実験開始前の水温を室温と温度平衡の状態にしておくのは常識である。

したがって、問題文に記されていないが、

実験 1 開始前の水温が 20°C より、室温も 20°C である。

断熱容器（保温容器）でないから、固体の水酸化ナトリウムの溶解による発熱で、

溶液の温度がわずかでも室温より高くなると、20°C の外気による冷却が起こる。

つまり、溶解による溶液の温度上昇と外気（気温 20°C）による溶液の冷却が同時進行する。

したがって、溶解開始後 180(s)あたりで温度が極大になるが、

その温度は溶解による加熱と外気による冷却の結果である。

しかし、溶解熱を求めるには外気による冷却作用を除外し、

溶解による温度上昇のみを知る必要がある。

水酸化ナトリウムが全部溶解すると冷却による温度降下のみが起こり、

その速さはグラフの右下がりの直線の傾きからわかる。

したがって、この右下がりの直線を延長し時間 0(s)の温度を読み取れば、

冷却が起こらないと仮定したときの、溶液の温度がわかる。

この温度を見ると、約 31°C である。

$$\text{比熱} : 4.2 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} = 4.2 \times 10^{-3} \frac{\text{kJ}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\text{溶液の質量} : 50\text{ml} \times \frac{\text{g}}{\text{ml}} + 2.0\text{g} = 52\text{g}$$

$$\text{温度上昇} : 31 - 20 = 11^\circ\text{C}$$

よって、

$$Q = 4.2 \times 10^{-3} \frac{\text{kJ}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \times 52\text{g} \times 11^\circ\text{C} \approx 2.40\text{kJ} \quad \dots (\text{答})$$

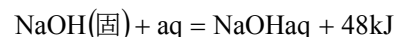
実験 1 のまとめ

水 50mL に固体の水酸化ナトリウム $\frac{2.0}{40} = 0.050 \text{ mol}$ 溶かしたときの発熱量は、2.40kJ である。

この実験は水酸化ナトリウムの溶解熱を求めるのが目的だから、水は十分量のはずである。
でなければ実験の意味がない。

よって、水酸化ナトリウム 1mol あたりの発熱量、すなわち溶解熱は $\frac{2.40}{0.050} = 48 \text{ kJ}$ である。

これを熱化学方程式で表すと、



となる。

(2)

実験 2 は,

0.050mol の NaOH を含む NaOHaq と 0.075mol の HCl を含む HClaq による中和反応である。

この中和反応で生成する H₂O は、0.050mol である。

また、中和熱の定義は中和反応で H₂O が 1mol 生成するときの反応熱である。

したがって、実験 2 の発熱量を求め、それを 20 倍すればよい。

$$\text{比熱} : 4.2 \times 10^{-3} \frac{\text{kJ}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

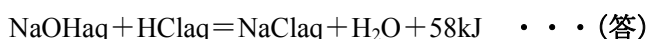
溶液の質量 : 52 + 75 = 127 g

温度上昇 : 5.4°C

より、実験 2 の発熱量 = $4.2 \times 10^{-3} \times 127 \times 5.4 \approx 2.88 \text{ kJ}$

よって、中和熱 = $2.88 \times 20 = 57.6 \approx 58 \text{ kJ}$

これを熱化学方程式で表すと、



(3)

実験 4 で起こる反応は、

濃硫酸の希釈による発熱と硫酸と水酸化ナトリウムとの中和による発熱である。

濃硫酸の希釈による発熱量

実験 3 は、濃硫酸の希釈による発熱量を求めるための実験である。

溶液の質量 : $1.8 \times 10 + 100 = 118 \text{ g}$

温度上昇 : 25°C

よって、濃硫酸の希釈による発熱量 = $4.2 \times 10^{-3} \times 118 \times 25 \approx 12.4 \text{ kJ} \quad \dots \text{①}$

中和による発熱量

0.10mol の NaOH と 0.18mol の H₂SO₄ が混じるから、

中和反応式 : $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ より、

生成する H₂O は、0.10mol である。

この反応は強塩基と強酸の反応だから、NaOHaq と HClaq の中和反応熱が使える。

よって、中和による発熱量 = $57.6 \times 0.10 = 5.76 \text{ kJ} \quad \dots \text{②}$

①+②より、

$12.4 + 5.76 = 18.16 \approx 18 \text{ kJ} \quad \dots \text{(答)}$

補足

強塩基と弱酸（強酸と弱塩基）の中和反応では、

中和反応と弱酸（弱塩基）の電離が同時に進行する。

電離は吸熱反応だから、

強塩基と弱酸（強酸と弱塩基）の中和反応の中和熱は強酸と強塩基の中和熱より小さい。

99. 結合エネルギー

(1)

n 個の C と $2n+2$ 個の H の結合の手の数の合計 $= 4 \times n + (2n+2) = 6n+2$
飽和炭化水素の場合、1 個の結合ができるとき、結合の手を 2 つ使うから、

$$1 \text{ 分子の } C_nH_{2n+2} \text{ の結合の数} = \frac{6n+2}{2} = 3n+1$$

このうち、C-H 結合の数 = H の数 $= 2n+2$

のこりが C-C 結合だから、その数は、 $(3n+1) - (2n+2) = n-1$

よって、

C-H 結合の数 : $2n+2$. . . (答)

C-C 結合 : $n-1$. . . (答)

(2)

nC (黒鉛) $+ (n+1)H_2$ (気) $= C_nH_{2n+2}$ (気) $+ 90$ [kJ] について、

両辺の原子の種類と数が等しいから、

両辺をすべて原子で表すことで Q が簡単に求められる。

$$nC \text{ (黒鉛)} = nC \text{ (気)} - 715n \text{ kJ}$$

$$(n+1)H_2 \text{ (気)} = (2n+2)H \text{ (気)} - 437(n+1) \text{ kJ}$$

$$C_nH_{2n+2} \text{ (気)} = nC \text{ (気)} + (2n+2)H - 416(2n+2) \text{ kJ} - 335(n-1) \text{ kJ}$$

より、

$$\begin{aligned} nC \text{ (気)} - 715n \text{ kJ} + (2n+2)H \text{ (気)} - 437(n+1) \text{ kJ} \\ = nC \text{ (気)} + (2n+2)H - 416(2n+2) \text{ kJ} - 335(n-1) \text{ kJ} + 90 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$- 715n \text{ kJ} - 437(n+1) \text{ kJ} = -416(2n+2) \text{ kJ} - 335(n-1) \text{ kJ} + 90 \text{ kJ}$$

$$\therefore n = 2 \quad \dots \text{ (答)}$$

100. 格子エネルギー

(1)・(2)

吸熱反応（エネルギーを必要とする反応・位置エネルギーが増加する反応）の符号は－
 発熱反応（エネルギーを放出する反応・位置エネルギーが減少する反応）の符号は＋

ア イオン化エネルギーだから－

イ 結合エネルギーだから－（結合エネルギーは結合を切るのに必要とするエネルギー）

ウ 電子親和力だから＋

補足

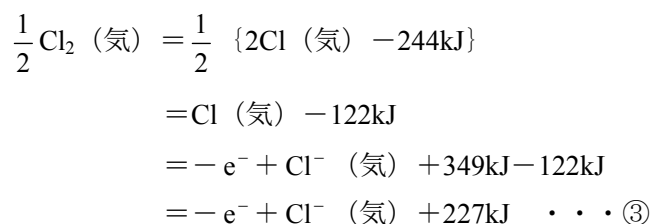
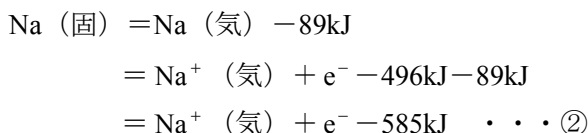
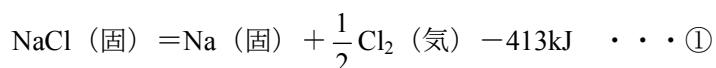
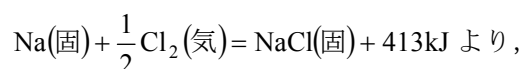
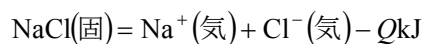
イオン化エネルギーのスケールは 300～2500kJ/mol

電子親和力のスケールは 0～350kJ/mol

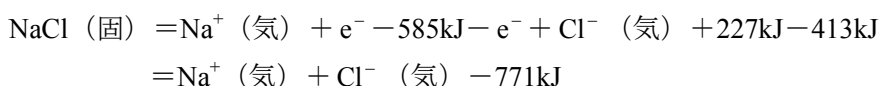
(4)

エネルギー図を使って解くのがいい

以下はエネルギー図を使わない解法



①, ②, ③より,



よって,

$$Q = 771$$