

### 例題 6.1 エネルギー単位を用いて

夏にウィスコンシン州、マジソンの地平面(平地)で受ける平均的な太陽エネルギーは1日当たり  $2.3 \times 10^7 \text{ J/m}^2$  です。このマジソンにある家の平たい屋根(10 m x 25 m)で、屋根が受けるエネルギー(キロジュール単位)はどれだけですか？

解：

屋根の広さ： $10 \times 25 = 250 \text{ (m}^2\text{)}$

受けるエネルギー =  $250 \text{ (m}^2\text{)} \times [2.3 \times 10^7 \text{ (J/m}^2\text{)}] = 5.8 \times 10^9 \text{ J/day}$

**$5.8 \times 10^6 \text{ kJ/day}$**

$5.8 \times 10^9 \text{ J} \times [(1 \text{ kWh}) / (3.61 \times 10^6 \text{ J})] = 1.6 \times 10^3 \text{ kWh}$

### 例題 6.2 比熱を用いて

広さ  $2.6 \times 10^6 \text{ m}^2$ 、平均の深さ 10 m の湖がある。湖の水の温度を  $1^\circ\text{C}$  上げるのに、必要とする熱量(キロジュール)はどれだけか？水の密度を  $1.0 \text{ g/cm}^3$  とする。

解：

水の体積： $(2.6 \times 10^6) \times (10) = 2.6 \times 10^7 \text{ (m}^3\text{)} = 2.6 \times 10^{13} \text{ cm}^3$

質量： $2.6 \times 10^{13} \text{ g}$

必要とする熱量  $q = (2.6 \times 10^{13} \text{ g}) \times (4.184 \text{ J/g}\cdot\text{K}) \times (1.0 \text{ K}) = 1.1 \times 10^{14} \text{ J}$

### 例題 6.3 比熱を決める

55g の重さの金属を沸騰水で  $99.8^\circ\text{C}$  に加熱、隔離されたビーカーの水の中にいれた。ビーカーには 225mL の水(密度= $1.00 \text{ g/mL}$ )があり、その温度は金属を入れる前は、 $21.0^\circ\text{C}$  であった。金属と水の最終温度は  $23.1^\circ\text{C}$  でなった。金属の比熱は？ビーカーの壁を通る、あるいは大気への熱移動はないものと仮定する。

解：

・  $q_{\text{金属}}$  は負の値を持つ、なぜなら熱は金属から移動するので、温度が下がるから。

・ は逆に正の値を持つ、なぜなら熱は水に移動するので、温度が上がるから。

$q_{\text{金属}} = -q_{\text{水から}}$

金属の比熱を  $C_{\text{金属}}$  とする

$(55.0 \text{ g}) \times (C_{\text{金属}}) \times (296.3 \text{ K} - 373.0 \text{ K}) = -(225 \text{ g}) \times (4.184 \text{ J/g}\cdot\text{K}) \times (296.3 \text{ K} - 294.2 \text{ K})$

$-4220 \text{ g}\cdot\text{K} \cdot (C_{\text{金属}}) = -1977 \text{ J}$

$C_{\text{金属}} = 0.469 \text{ J/g}\cdot\text{K}$

### 例題 6.4 状態のエネルギーと変化

Fig. 6.9 の各段階に含まれる熱量を計算しなさい。すなわち、 $-50^\circ\text{C}$  の氷、500g を  $200^\circ\text{C}$  の水蒸気に変えるに必要な熱を計算しなさい。必要な比熱( $\text{J/g}\cdot\text{K}$ )は氷；2.1、水；4.2、蒸気；2.0 とする。

解：

氷を  $-50.0^\circ\text{C}$  から  $0.0^\circ\text{C}$  まで温めるに必要な熱量：

$q_1 = (2.1 \text{ J/g}\cdot\text{K})(500 \text{ g})(273.2 \text{ K} - 223.2 \text{ K}) = 5.3 \times 10^4 \text{ J}$

氷を  $0.0^\circ\text{C}$  で水に融解するのに必要な熱量：

$q_2 = 500 \text{ g} (333 \text{ J/g 氷}) = 1.67 \times 10^5 \text{ J}$

水を融解後、 $0.0^\circ\text{C}$  から  $100.0^\circ\text{C}$  まで温めるに必要な熱量：

$q_3 = (4.2 \text{ J/g}\cdot\text{K})(500 \text{ g})(373.2 \text{ K} - 273.2 \text{ K}) = 2.1 \times 10^5 \text{ J}$

水を  $100.0^\circ\text{C}$  で蒸気にするのに必要な熱量：

$q_4 = 500 \text{ g} (2260 \text{ J/g 水}) = 1.13 \times 10^6 \text{ J}$

蒸気を 100.0°C から 200.0°C まで温めるに必要な熱量：

$$q_5 = (2.0 \text{ J/g}\cdot\text{K}) (500 \text{ g})(473.2 \text{ K} - 373.2 \text{ K}) = 1.0 \times 10^5 \text{ J}$$

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 = 1.7 \times 10^6 \text{ J} \text{ 又は } 1700 \text{ kJ}$$

#### 例題 6.5 状態変化と $\Delta H$

25°C、メタノール  $\text{CH}_3\text{OH}$  の蒸発のエンタルピー変化は 37.43 kJ/mol です。25g のメタノールを 25°C で蒸発させるに必要な熱エネルギーの量はいくらかですか？

解：

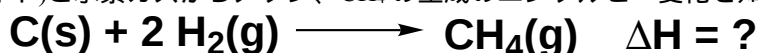
化合物の量をモル数に変換する： $25 / 32.04 = 0.780 \text{ mol CH}_3\text{OH}$

蒸発のエンタルピーを使って、必要な熱量を計算する。

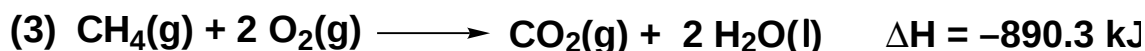
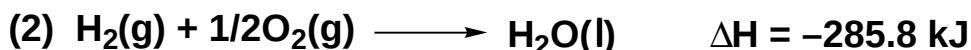
$$0.780 \times 37.43 = 29.2 \text{ (kJ)}$$

#### 例題 6.6 ヘスの法則を使って

固体の炭素(グラファイト)と水素ガスからメタン、 $\text{CH}_4$  の生成のエンタルピー変化を知りたいとする。

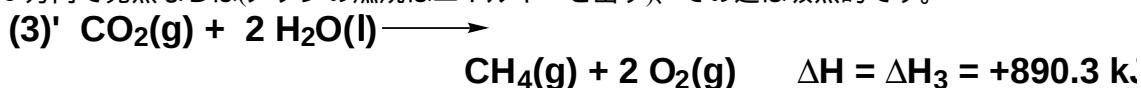


元素の直接反応によるエンタルピー変化を実験室で測定するのは極めて難しいものです。しかし、元素やメタンが酸素中で燃焼する時の $\Delta H$ を測定することが出来ます。



解：

反応 123 をこのまま、加えても、その元素から  $\text{CH}_4$  生成の式は得られません。 $\text{CH}_4$  は生成物です、しかし式 3 では反応物です。これを解決するには式酸を逆にすることです。同時に $\Delta H$ の符号は逆転します。もし反応が 1 方向で発熱ならば(メタンの燃焼はエネルギーを出す)、その逆は吸熱的です。

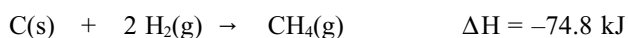
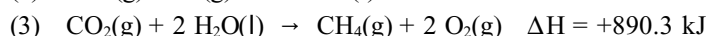
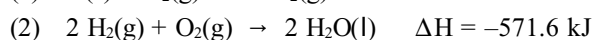
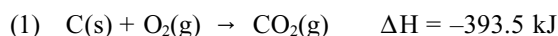


つぎに、この式では 2 モルの  $\text{H}_2\text{O(l)}$  が生成物として必要とされますが、式 2 では水 1 モルとして書かれています。

そこで式 2 の化学量論係数を 2 倍し、よって $\Delta H$ の値も 2 倍にします。



このように修正して、3 つの式を足し合わせるとその構成元素からメタンの生成の式が得られます。

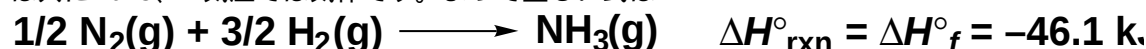


#### 例題 6.7 生成のエンタルピーを定義する式を書く

アンモニアの標準生成エンタルピーは -46.1 kJ/mol です。反応のエンタルピーが -46.1 kJ である均衡式を書きなさい。

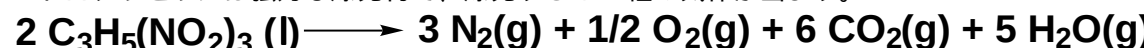
解：

式は必ず標準状態にある元素から 1 モルの  $\text{NH}_3(\text{g})$  が生成することを示さなければなりません； $\text{N}_2$  および  $\text{H}_2$  は共に  $25^\circ\text{C}$ 、1 気圧では気体です。よって正しい式は



例題 6.8 生成のエンタルピーを使って

ニトログリセリンは強力な爆発物で、爆発すると 4 種の気体が出ます。



ニトログリセリンの生成のエンタルピーは  $\Delta H^\circ_f$  が  $-364 \text{ kJ}$  です。

Table 6.2 の他の化合物のエンタルピーの値を使って、10g のニトログリセリンが爆発したときに、発生する熱(定圧での熱)を計算しなさい。

解：

$\text{N}_2$  と  $\text{O}_2$  は標準状態にある元素ですから  $\Delta H^\circ_f$  は 0 です。

Table 6.2 から

$$\Delta H^\circ_f [\text{CO}_2(\text{g})] = -393.5 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^\circ_f [\text{H}_2\text{O}(\text{g})] = -241.8 \text{ kJ/mol}$$

反応のエンタルピー変化は

$$\begin{aligned} &= 6 \times \Delta H^\circ_f [\text{CO}_2(\text{g})] + 5 \times \Delta H^\circ_f [\text{H}_2\text{O}(\text{g})] - 2 \times \Delta H^\circ_f [\text{C}_3\text{H}_5(\text{NO}_2)_3(\text{l})] \\ &= [6 \times (-393.5)] + [5 \times (-241.8)] - [2 \times (-364)] = -2842 \text{ (kJ)} \end{aligned}$$

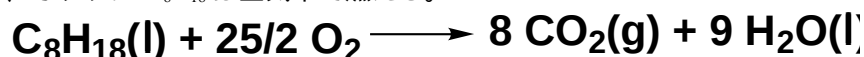
2 モルのニトログリセリンの爆発によるエンタルピー変化に基づいて、10.0g のニトログリセリンが使われたときの発熱反応により発生した熱量が計算できる。

$$10.0 \text{ g} / 227.1 \text{ g} = 0.0440 \text{ (mol ニトログリセリン)}$$

$$0.0440 \times 2842 / 2 = \mathbf{62.6 \text{ kJ}}$$

例題 6.9 熱量測定によって反応のエンタルピー変化を決める

ガソリンの主成分、オクタン  $\text{C}_8\text{H}_{18}$  は空気中で燃える。



1.20 kg の水のある熱量計で 1.00g のオクタンを燃やす。水とポンプの温度は共に、 $25.00^\circ\text{C}$  ( $298.15 \text{ K}$ ) から  $33.20^\circ\text{C}$  ( $306.35 \text{ K}$ ) まで上がった。ポンプの比熱( $C_{\text{bomb}}$ )は  $837 \text{ J/K}$  です。 $\text{C}_8\text{H}_{18}$ , 1.00 g の燃焼で移動する熱量を計算しなさい。

解：

$$\begin{aligned} q_{\text{水}} &= (\text{水の比熱}) \times (\text{水の質量}) \times (\text{温度変化} \Delta T) \\ &= (4.184) \times (1.20 \times 10^3) (306.35 - 298.15) = +41.2 \times 10^3 \text{ J} \end{aligned}$$

反応によって放出される熱はポンプの温度も上げる、そのための熱はポンプの比熱と温度変化  $\Delta T$  から計算される。

$$q_{\text{ポンプ}} = (C_{\text{bomb}}) \times (\Delta T) = (837) (306.35 - 298.15) = +6.86 \times 10^3 \text{ J}$$

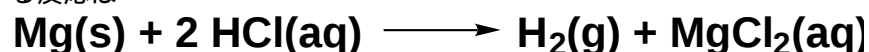
全ての熱は反応によって外界へ移動する、それは  $q_{\text{水}} + q_{\text{ポンプ}}$  の和の負の値に等しい。

$$\text{全熱移動量} = -(q_{\text{水}} + q_{\text{ポンプ}}) = -48.1 \text{ kJ}$$

$$\text{オクタン 1 モル当たり移動する熱量は} = (-48.1) \times (114.2) = -5.49 \times 10^3 \text{ (kJ/mol)}$$

例題 6.10 コーヒーカップの熱量計を使って

コーヒーカップの熱量計に 0.500g のマグネシウム小片を入れ、それに 1.00M の塩酸 100.0mL 加えます。起こる反応は



溶液の温度が  $22.2$  から  $44.8^\circ\text{C}$  に上がります。Mg モル当たりの反応のエンタルピー変化はどれだけですか？

(溶液の比熱を 4.20 J/g・K とし、HCl の溶液の密度は 1.00g/mL とする。)

解：

溶液の質量を 100.0 mL の HCl の溶液とマグネシウムの質量の和とする。

反応で発生した熱：

$$q = [100.0 + 0.5] \times (4.20 \text{ J/g}\cdot\text{K}) \times (318.0 \text{ K} - 295.4 \text{ K}) = 9.54 \times 10^3 \text{ J}$$

この熱量は 0.500g の Mg 当たりであるので、1.00mol に換算する。

$$\text{Mg モル当たりの熱量} = (9.54 \times 10^3 \text{ J} / 0.500\text{g}) \times (24.31 \text{ g}) = 4.64 \times 10^5 \text{ J/mol}$$