

Calcafer
@ Howl's Moving Castle

1

物理化学 2

目次
1. 熱と温度(熱容量と比熱)
2. 化学反応とエンタルピー

理工学部 応用化学コース
友野 和哲

物理化学_オンデマンド授業

1

積分の話

積分：単なる**足し算**です。 (高度な数学操作と思われ敬遠されてるかわいそうな記号)

$$y = \int_A^B f(x) dx$$

インテグラルは、足し算(Summation)の頭文字**S**をベースとしています。
英語のintegralの動詞は、integrateであって、直訳は「**統合する**」です。

物理化学_オンデマンド授業

2

2

(復習)内部エネルギー**変化**と熱力学第1法則

内部エネルギー

U

絶対量はわからないけど、**変化量**(=終状態－始状態)はわかる

Final state

U_f

Initial state

U_i

内部エネルギーの絶対量はわからん

熱 Q

仕事 W

外界からのエネルギー

$$U_f = U_i + Q + W$$

$$U_f - U_i = \Delta U = Q + W$$

外界からのエネルギーは、
内部**エネルギー変化**に**保存**される。
(熱力学第1法則)

物理化学_オンデマンド授業

3

3

(復習)定圧下および定容下における熱量Qは



$$\Delta U = Q + W$$

定圧下における熱 (エンタルピー変化の事)

定容下における熱 (内部エネルギー変化の事)

特別課程化学・応用化学・環境化学

4

4

定圧下と定容下が、ちよいちよい出てきます。

なぜかって??

定圧下とは、大気圧下の事であり、日常生活の話
定容下とは、体積一定の事であり、密閉容器をイメージ

つまり、
日常生活あるいは密閉容器での物理現象を解き明かしたい。

特別課程化学・応用化学・環境化学

5

5

目次

1. 熱と温度(熱容量と比熱)
2. 化学反応とエンタルピー

特別課程化学・応用化学・環境化学

6

6

熱と温度の違い 1

熱(Q) :
Heat

温度(T) :
Temperature



特別研究センター・デザイン・総務課設置

7

7

熱と温度の違い 2

熱(Q) :
温度(T)

特別研究センター・デザイン・総務課設置

8

8

熱と温度の違い 3

熱(Q) : 物体に蓄えられたエネルギーの形

温度(T) : 熱がどの程度蓄えられているかを示す尺度



$$Q = m \times c \times \Delta T$$

Q : 熱エネルギー
m : 質量
 ΔT : 温度(変化)
c : 比熱

物体間でやり取りされるのはエネルギーである熱であり、
物体に蓄えられた熱によって温度が変化



つまり、「100」という熱エネルギーをやりとりしても、
移動先の

特別研究センター・デザイン・総務課設置

9

9

比熱と熱容量 1

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

Q: 熱エネルギー, m: 質量,
ΔT: 温度(変化), c: 比熱

比熱と熱容量はほぼ同じ意味をもつ

比熱 は, $c [J/K \cdot kg]$

$$C = m \times c$$

熱容量 比熱

熱容量は, $C [J/K]$

$$Q = C \times \Delta T$$

※熱容量での熱エネルギー表記

つまり, 「100」という熱エネルギーをやりとりしても,
熱容量Cが大きければ, 温度変化ΔTは小さくなる。

「熱容量(あるいは比熱)が大きい」ということは, 「温度変化が小さい」ってことは
 ということです。

特別教育センター/デザイン/総務課

10

10

比熱と熱容量 2

$$Q = C \times \Delta T$$

※熱容量での熱エネルギー表記

つまり, 「100」という熱エネルギーをやりとりしても,
熱容量Cが大きければ, 温度変化ΔTは小さくなる。

「熱容量(あるいは比熱)が ということは,
「温度変化(ΔT)が小さい」ってことは,

ということです。

逆は

「熱容量(あるいは比熱)が ということは,
「温度変化(ΔT)が大きい」ってことは,

ということです。

特別教育センター/デザイン/総務課

11

11

比熱と熱容量 3

$$Q = C \times \Delta T$$

※熱容量での熱エネルギー表記

つまり, 「100」という熱エネルギーをやりとりしても,
熱容量Cが大きければ, 温度変化ΔTは小さくなる。

水(液体) : $4.18 \times 10^3 [J/K \cdot kg]$

水蒸気(100°C) : $2.08 \times 10^3 [J/K \cdot kg]$

<https://ja.wikipedia.org/wiki/比熱容量の比較>

熱容量が違うということは, 同じような温度変化(Δ90)でも
 。

特別教育センター/デザイン/総務課

12

12

比熱と熱容量 4



気体の熱容量 C は2種類ある。

気体は熱変化(ΔT)に対して、「体積膨張(収縮)」が大きいため、定圧と定容のふたつの熱容量(比熱)がある。

定圧過程 $Q_P =$

定容過程 $Q_V =$

特別課程 化学・環境・エネルギー学部

13

13

定圧と定容の熱容量 5



定圧過程 $Q_P = C_P \Delta T$

定容過程 $Q_V = C_V \Delta T$

マイヤーの関係式 (導出は別紙)

$$C_P = C_V + nR$$

定圧過程の熱容量の方が大きい

特別課程 化学・環境・エネルギー学部

14

14

目次

1. 熱と温度(熱容量と比熱)
2. 化学反応とエンタルピー

特別課程 化学・環境・エネルギー学部

15

15

化学反応とエンタルピー 1

高等学校の「物質変化と熱」で、【ウソ】を学ぶ**熱化学方程式**の範囲です。
(2020年より**熱力学方程式**は廃止、エンタルピー(とエントロピー)で教えています。教員志望の学生さんへ)

② 化学反応と熱・光について

中学校では、第1分野「(4)ア①② 化学変化と熱」で、化学変化には熱の出入りが伴うことについて学習している。

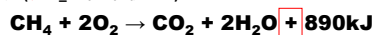
ここでは、化学反応と熱や光に関する実験などを行い、化学反応の前後における物質の**もつ化学エネルギーの差が熱**、**光の発生や吸収**となって現れることや、化学エネルギーの差を定量的に測ることを理解させることがねらいである。

熱の発生や吸収については、反応熱が生成物と反応物のもつそれぞれの化学エネルギーの総和の差で表せることやヘスの法則を使う。**化学エネルギーの差については、エンタルピー単位で表す**。また、反応熱と結合エネルギーとの関係にも触れる。発熱反応が自発的に進む傾向に定量的に触れる際には、**エンタルピー**が増大する方向に反応が進行することになれることが考えられる。

(新) 高等学校学習指導要領解説
理科編 理数編
平成30年7月 P103

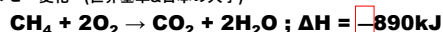
https://www.mext.go.jp/content/1407073_06_1_2.pdf

熱化学反応(廃止_日本の高校だけ)



プラス
マイナス
が違う!

エンタルピー変化 (世界基準&日本の大学)



特別課程(化学)カナンデバノ環境設備②

16

16

化学反応とエンタルピー 2

我々の取り扱う化学反応による**発熱・吸熱**反応は、
大気圧下(定圧下)における**熱(エンタルピー)**のことである。

$$Q_p = \Delta H = \Delta U + p\Delta V$$

定圧過程の熱 = エンタルピー変化

復習：**発熱・吸熱**反応とエンタルピーの関係

メタンの燃焼反応



化学的にエネルギーをもったメタン(**CH₄**)が燃焼することで

①化学的に安定な二酸化炭素と水 および ② 熱(890kJ) が得られる。

特別課程(化学)カナンデバノ環境設備②

17

17

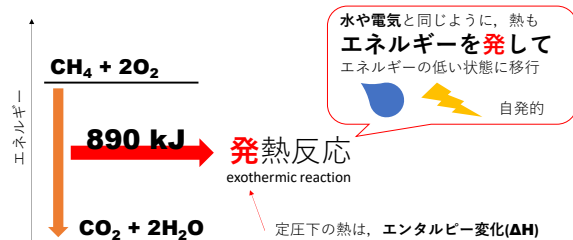
発熱・吸熱反応とエンタルピーの関係 1

メタンの燃焼反応



化学的にエネルギーをもったメタン(**CH₄**)が燃焼することで

①化学的に安定な二酸化炭素と水 および ② 熱(890kJ) が得られる。



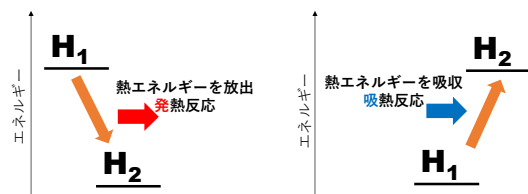
特別課程(化学)カナンデバノ環境設備②

18

18

発熱・吸熱反応とエンタルピーの関係 2

我々の取り扱う化学反応による**発熱・吸熱**反応は、大気圧下(定圧下)における**熱(エンタルピー)**のことである。

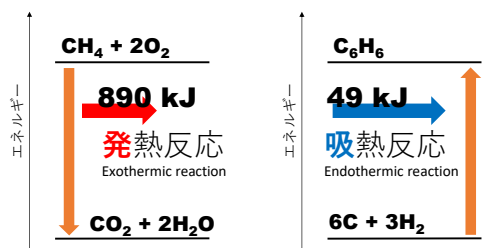


物質科学センター環境設備部

19

19

発熱・吸熱反応とエンタルピーの関係 3



反応することで、890 kJという(熱)エネルギーが**回収**(可能性がある。)

反応させるには、49 kJという(熱)エネルギーが**必要**(可能性がある。)

エンタルピー(の計算)を通して、上記のふたつを予想できることが大事

物質科学センター環境設備部

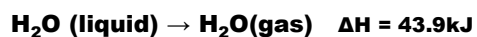
20

20

発熱・吸熱反応とエンタルピーの関係 4

エネルギーの流れやすい方向が見えるので、**間違えやすい**のですが

エンタルピーからは、反応が**自発的**かどうかは、実は判断できない
(**自発的**か否かは、必ず【**エントロピー**】が関与します。)



水の蒸発は、**吸熱**反応ですが、自発的に進みますよね。

物質科学センター環境設備部

21

21

発熱・吸熱反応とエンタルピーの関係 5

ΔH_{298}° ← 標準状態という意味
← 温度(K)の意味 (あまり書かない)

$\Delta_r H^{\circ}$ 標準反応エンタルピー
Standard reaction enthalpy
 $\Delta_c H^{\circ}$ 標準燃焼エンタルピー
Standard combustion enthalpy
 $\Delta_f H^{\circ}$ 標準生成エンタルピー
Standard formation enthalpy
 $\Delta_{sol} H^{\circ}$ 標準溶解エンタルピー
Standard solution enthalpy

物質科学センター/化学部/化学教育課

22

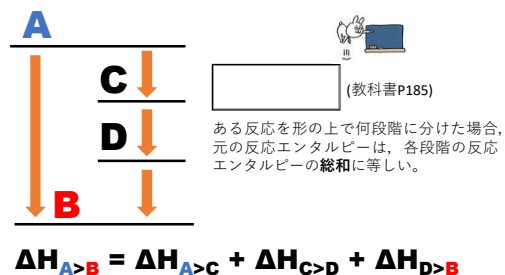
22

エンタルピーは状態関数(ヘスの法則)

状態関数：状態が決まれば、経路や履歴に関係なく一定

つまり、反応経路によらず

出発物と生成物のエンタルピー変化の値は一定



物質科学センター/化学部/化学教育課

23

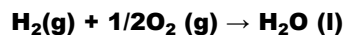
23

ヘスの法則を利用して、標準生成エンタルピーを算出

教科書P183の表9.3で様々な物質の 25°C における

標準生成エンタルピーが掲載されている。

単体(単一の元素からなる物質)の標準生成エンタルピーは反応におけるエンタルピー変化がないので、**ゼロ**です。



単体である H_2 と O_2 は、ゼロ 水の $\Delta H = -285.5 \text{ kJ/mol}$

$\Delta H =$ 生成物のエンタルピーの総和 - 出発物のエンタルピーの総和
 $= -285.5 - (0 + (1/2) \times 0)$
 $= -285.5 \text{ kJ/mol}$

発熱反応

表を使えば、

25°C における反応のエンタルピー変化(ΔH)を算出できる

物質科学センター/化学部/化学教育課

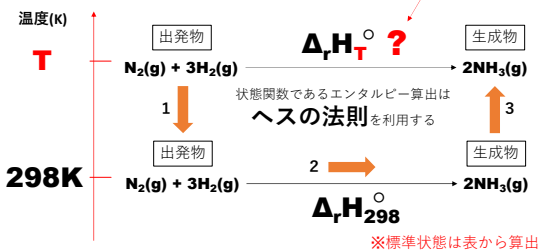
24

24

所望の温度のエンタルピーを求めたい(キルヒホッフの法則)

表を使えば、容易に25℃の標準○○エンタルピーは算出できる。
25℃ではない反応、つまり自分が必要としている所望の温度Tでのエンタルピー変化を算出するにはどうすればよいか？

例えば、500Kの $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$ の生成エンタルピーは？



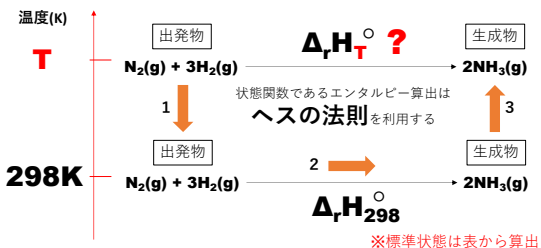
物質の標準生成エンタルピー表

25

25

所望の温度のエンタルピーを求めたい(キルヒホッフの法則)

例えば、500Kの $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$ の生成エンタルピーは？



$$\begin{aligned}\Delta_r H_T^\circ &= \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 \\ &= \Delta H_1 + \Delta_r H_{298}^\circ + \Delta H_3\end{aligned}$$

物質の標準生成エンタルピー表

26

26

所望の温度のエンタルピーを求めたい(キルヒホッフの法則)

$$\Delta_r H_T^\circ = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$

ΔH_1 出発物の温度Tから298Kまでのエンタルピー変化

ΔH_3 生成物の温度298KからTまでのエンタルピー変化 (同様に考えて)

$$\Delta H_3 = \int_{298}^T dH$$

$$\Delta H_3 = \int_{298}^T C_{p, \text{生成物}} dT$$

$$\Delta_r H_T^\circ = \int_T^{298} C_{p, \text{出発物}} dT + \Delta_r H_{298}^\circ + \int_{298}^T C_{p, \text{生成物}} dT$$

$$= \Delta_r H_{298}^\circ + \int_{298}^T C_{p, \text{生成物}} dT - \int_{298}^T C_{p, \text{出発物}} dT$$

物質の標準生成エンタルピー表

27

27

所望の温度のエンタルピーを求めたい(キルヒホッフの法則)

表を使えば、容易に25℃の標準〇〇エンタルピーは算出できる。
25℃ではない反応、つまり自分が必要としている所望の温度Tでのエンタルピー変化を算出するにはどうすればよいか？

↓

出発物と反応物の定圧熱容量 c_p がわかれば算出できる。

熱容量

キルヒホッフの法則を用いれば、
所望の温度(T)におけるエンタルピー変化を算出(予想)できる。

特別講義 化学・環境・デザイン・経済学 28

28

来週,

仮想熱機関「カルノーサイクル」の研究により熱力学第二法則(エントロピー)の原型を導いたことで知られる。



ニコラ・レオナルド・サディ・カルノー
37歳でコレラで病死

特別講義 化学・環境・デザイン・経済学 29

29
