

「熱化学方程式が廃止 どうするエンタルピーとエントロピー」

新学習指導要領の解釈 (5つのキーワード)

- いくつかの事象が同一の概念によって説明
- 概念や原則・法則を新しい事象の解釈に応用
- 身近な事象を実際に体験(実験)
- 化学エネルギーの差：エンタルピー変化の導入・理解
- 反応が自発か否か：エントロピー(ギブスエネルギー)の導入・理解

エンタルピーとエントロピー

A 背景

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扱う。化学エネルギーの差については、エンタルピー変化で表す。また、反応熱と結合エネルギーとの関係にも触れる。吸熱反応が自発的に進む要因に定性的に触れる際には、エントロピーが増大する方向に反応が進行することに触れることが考えられる。

参考：新) 高等学校学習指導要領(平成 30 年告示)解説 理科編 理数編 P103

結果として、プラスとマイナスが入れ変わっただけで、計算は「熱化学方程式」と同じです。エンタルピーとエントロピーの導入により、化学反応が「自発的」かどうかの判断が大事

2A.【音が同じだけど、意味は全く違うことをきちんと教える】

- エンタルピーとエントロピーは 音は似ていますが、意味は全く違います。
- > エンタルピー ギリシャ語の「enthalpein」= 温まる という意味
- > エントロピー ギリシャ語の「ev(中)」の「trope(変化)」= 状態の変化 という意味

2B.【表記方法】熱化学方程式 → エンタルピー



- ① =(イコール)を使わない。
- ② 反応が進む方向を「矢印」で示す。
- ③ 反応が進む方向に対するエンタルピー変化を プラスマイナス を考慮して並記する。

※ 熱化学方程式で考えていた値は、原則「プラスマイナス」が入れ替わります。

【廃止理由】日本の高等学校だけ、プラスマイナスを逆転して教えていた。グローバル化。

2B.【反応熱やエンタルピーが何だったかを?】

- 定圧下の反応熱を、エンタルピー【変化】(ΔH)と言います。 ※「変化」が必須。
- 発熱反応はマイナス 吸熱反応はプラス の値です
- 水や電気と同じで、エネルギーを放出して低いエネルギー状態へ熱も移動する。
- 熱を放出して低いエネルギー状態へ移行する発熱反応は ΔH<0 (負) となる。

- ・熱を吸収して高いエネルギー状態へ移行する吸熱反応は $\Delta H > 0$ (正) となる。
※改めて、反応式の【矢印の向き】と【符号】気を付けましょう。



- ・エネルギーの流れやすい方向が見えるので、エンタルピー変化である発熱反応か吸熱反応かで、反応が「自発か否か」を判断しがちだが、**エンタルピー変化だけでは判断できない。**



「吸熱反応で自発的な反応」 水の融解反応 > 自発か否かは、エントロピーが関与

2C. 【エントロピーの説明】

・インクがにじみ、部屋が散らかり、コーヒーがカフェオレになるように、エネルギーが低くなろうとする傾向とは無関係に、これらの「乱雑さ」は自発的に起きる。自然は乱雑になろうとする傾向があり、一度乱雑になると、元の状態に戻らない。

> エントロピーが増加する向きが「自発的に変化」 $\Delta S > 0$ (自発変化)

- ・エントロピーといえば 「乱雑さ」 = よくわからん
- ・0°Cの氷と0°Cの水を例にしたエントロピーのイメージの補完



Quiz. 吸熱反応($\Delta H > 0$)である自発的な氷の融解反応を止めるには？

Ans. _____

※ エントロピー変化と温度の関係は？

2D. 【自発的か否か】

自発か否かは、エンタルピーとエントロピーのバランスから決まる。

- ① 発熱反応 $\Delta H < 0$ 自発っぽい
- ② 乱雑さの増加 $\Delta S > 0$ 自発的
- ③ 乱雑さ ΔS は 温度 T が関係する。
- ④ ΔH と ΔS の「自発」を示す符号(プラスマイナス)は 逆

$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ が選定教科書に記載されているかどうかで指導案が変わりそうです。

- ・ ΔH と ΔS のバランス を 図で理解

| ΔH (kJ) | ΔS (J/K) | 自発・非自発 |
|-------------------------|---------------------|---------------|
| ① $\Delta H < 0$ (発熱反応) | $\Delta S > 0$ (増加) | 自発変化 |
| ② $\Delta H > 0$ (吸熱反応) | $\Delta S < 0$ (減少) | 非自発変化 |
| ③ $\Delta H < 0$ (発熱反応) | $\Delta S < 0$ (減少) | 自発変化 or 非自発変化 |
| ④ $\Delta H > 0$ (吸熱反応) | $\Delta S > 0$ (増加) | 自発変化 or 非自発変化 |

- ① ②は温度に無関係。③④の「自発」は温度に関係してくる。

友野研究室のHPとブログとYouTubeの紹介

本日お話しした内容は、下記のサイトで公開しています。パワーポイントもあります。
「友野らぼ」と明記していただければ自由に使っていただいて構いません。

友野研究室のホームページ&ブログ

▶ <https://tomonolab.com/>



【新課程 2022】化学・化学基礎 用語と定義の変更一覧 (随時更新中)

> https://tomonolab.com/2022/06/05/chem_basechem_term/

(化学を教え・学ぶ方へ) 新学習指導要領 高等学校 理科(化学) 改訂 8 選 (エンタルピー, 水酸化鉄, Mg のアルカリ土類金属, 等)と背景知識 【覚書】

> <https://tomonolab.com/2022/02/11/sidouyouryou2022/>

(朗報) やっと高校化学で原子軌道(s 軌道 p 軌道 d 軌道)を学び, あれらの疑問がスッキリ説明可能に

> <https://tomonolab.com/2022/02/15/orbital/>

(高校化学) 混成軌道のわかりやすい教え方を考察 ~メタンの立体構造を学ぶ~

> https://tomonolab.com/2022/02/26/hybrid_orbital_vserp/

YouTube「ともものらぼ」

▶ <https://www.youtube.com/c/tomonolab>

物理化学, 機器分析, 無機化学, 電気化学を ゼロからわかるように公開中

目次 https://tomonolab.com/2022/01/22/class_page/



文科省の資料

- 新学習指導要領

> https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1407074.htm

※ URL が変更になっている場合, ブログ内に直接アクセスできるリンクや PDF を準備しています。そちらからアクセスしてください。

- 旧 学習指導要領

https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2010/01/29/1282000_6.pdf

本講演の聴講対象者イメージは、

1. 私のように、化学科出身で物理化学を履修したが当時苦手だった方
※現在、物理化学を授業で教えていますのでご安心ください。
2. 大学の物理化学で、熱力学を履修したがあまり覚えていない方
※ゼロからわかるように資料作成しました。
3. 大学の物理化学は問題なかった。
※板書計画の参考例にご覧いただければ幸いです。

2

1. 5つのキーワード

- いくつかの事象が**同一の概念**によって説明
- 概念や原則・法則を**新しい事象の解釈**に応用
- 身近な事象を**実際に体験(実験)**
- 化学エネルギーの差: **エンタルピー変化**の導入・理解
- 反応が**自発**か否か: **エントロピー**(ギブズエネルギー)

10

2A. エンタルピー と エントロピー について

この**違い**を事前に説明しておくことが大事なようです。色々な大学で「意味が違うんですね」と聞きます。

エンタルピー と エントロピー 音は似てますが、意味は全く違う

エンタルピー (Enthalpy) = ギリシャ語の「enthalpein」
= **温まる**

エントロピー (Entropy) = ギリシャ語の「ev trope」
= 「ev(中)」「trope(変化)」
= (物質の)**状態が変化**

14

2B. 具体的に 化学反応による発熱・吸熱とエンタルピー

エンタルピー変化での表記

890 kJ
発熱反応
Exothermic reaction

$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
 $\Delta H = -890 \text{ kJ}$

49 kJ
吸熱反応
Endothermic reaction

C_6H_6
 $\Delta H = +49 \text{ kJ}$

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

熱化学方程式での表記
 $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 890 \text{ kJ}$
 $6\text{C} + 3\text{H}_2 = \text{C}_6\text{H}_6 - 49 \text{ kJ}$

反応させるには、49kJという(熱)エネルギーが必要(活性化エネルギーは考慮なし)

20

2. エントロピーについて



ミルクがコーヒー内に広がる変化は、エネルギーが低くなるとうする傾向とは無関係です。また、一度広がったミルクは元に戻ることはない。

ルドルフ・クラジウスなど

自然は乱雑になるとうする傾向があり、一度乱雑になったら、元の状態に「自発的に」戻らない。

エントロピーが増加する向きに自発的に変化
自発的变化 $\Delta S > 0$

27

2. 吸熱反応なのに自発的に変化する理由は?

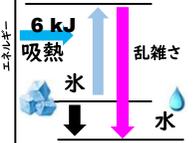
氷の融解は吸熱反応ですが、自発的に溶けます。(日本)

$\text{H}_2\text{O}(\text{Ice}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{Water})$
 $\Delta H = +6 \text{ kJ}$

吸熱反応は、エネルギーが**低い位置から高い位置**へ移動する反応である

吸熱反応による不安定化を打ち消すだけのエントロピーの増大(乱雑さ)の獲得がある。

ΔH と ΔS のトータルとして、エネルギー的に**安定化**



29

2D. 自発 = ΔH と ΔS のバランス(ギブズエネルギー)

自発的か否か

- ① 発熱反応 $\Delta H < 0$ は自発的(っぽい)
- ② 乱雑さの増加 $\Delta S > 0$ は自発的
- ③ 乱雑さ ΔS は温度が関係する
- ④ $\Delta H < 0, \Delta S > 0$ 自発的の**符号は逆**

反応の自発的か否か = **ギブズエネルギー(ΔG)の紹介**

$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$

① ④ ③ ②

自発的

$G_1 \rightarrow G_2$

$G_2 - G_1 = \Delta G < 0$

非自発的

$G_1 \rightarrow G_2$

$G_2 - G_1 = \Delta G > 0$

33

2. ΔH と ΔS および温度のまとめ

A \longrightarrow B

$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, 表でまとめ

| ΔH (kJ) | ΔS (J/K) | 自発・非自発 |
|-------------------------|---------------------|-----------------------|
| ① $\Delta H < 0$ (発熱反応) | $\Delta S > 0$ (増加) | 自発変化 |
| ② $\Delta H > 0$ (吸熱反応) | $\Delta S < 0$ (減少) | 非自発変化 |
| ③ $\Delta H < 0$ (発熱反応) | $\Delta S < 0$ (減少) | 低温: 自発変化 高温: 非自発変化 |
| ④ $\Delta H > 0$ (吸熱反応) | $\Delta S > 0$ (増加) | 低温: 非自発変化 高温: 自発変化 |

37

2. 例題

ギブズエネルギー変化 ($\Delta G = \Delta H - T\Delta S$)が誘導されたとして、下記のような問題が「身近な事象から、原則・法則を見出し、アウトプット(探求力)をはかれる。」

Q. H_2O の融解エンタルピー変化は6.01 kJ/molで、融解エントロピー変化は22.0 J/mol·Kとする。

(1) 25°C(298.15K)において、氷が融解して水になることを ΔG の変化から説明しなさい。
(2) 氷と水が平衡状態になる温度(K)を答え、平衡状態の温度より低い場合、何が起きるか答えなさい。

38