

2023年3月18日(土) 13:35-14:15
第26回理科・科学教育懇談会フォーラム「授業に役立つ化学の話IV」

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

- 本日の発表資料は期間限定(予定)で、**研究室ホームページ**のブログに公開します。
 - 講演時間中に回答できなかった質疑についても後ほどブログで回答していきます。
- 科学好きを増やすためにも、有効に活用していただければ幸いです。

<https://tomonolab.com/>

関東学院大学 理工学部
化学学系 友野和哲 准教授

1

本講演の聴講対象者イメージは、

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

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

目次

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も親ながら聴講できます

1. 高等学校学習指導要領の概略
キーワードの抽出
2. エンタルピーとエントロピー
具体例

3

目次

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も親ながら聴講できます

1. 高等学校学習指導要領の概略
キーワードの抽出
2. エンタルピーとエントロピー
具体例

4

1. 概略 「高等学校学習指導要領解説 理科編」の冒頭 各科目の「性格」

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

「化学基礎」の「性格」より抜粋

「化学基礎」の特徴は、物質とその変化に関わる基礎的な内容を扱い、日常生活や社会との関連を図りながら、化学が科学技術に果たす役割などについての認識を深めさせ、科学的に探究する力と態度を育成することである。

身近な物事や現象に興味・関心を【強調】

導入：(1)化学と人間生活



基本的概念や法則の理解：(2)物質の構成 (3) 物質の変化と利用

新設：(3) ア(ウ) 化学が拓く世界

生活や社会を支える科学技術との関連性を理解させる構成

5

1. 概略 「高等学校学習指導要領解説 理科編」の冒頭 各科目の「性格」

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

「化学」の「性格」より抜粋

「化学」は、中学校理科及び「化学基礎」との関連を図りながら、化学的な事物・現象を更に深く取り扱い、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、科学的に探究するために必要な資質・能力を育成する科目である。

化学は物質を対象とする科学であり、その特徴は、観察、実験を通して、物質の構造や性質、反応を調べることにより物質の特徴を理解し、物質に関する規則性や関係性を見いだすとともに、その知識を生かして物質を利用したり目的にかなった物質をつくりだしたりすることにある。

「化学」は、このような科目であるので、観察、実験などを通して探究の過程を踏まえた学習活動を行うことが重要である。また、化学の概念や原理・法則といった抽象化された事項も、単に記憶するだけではなく、常に物質の示す具体的なふるまいと結び付けて理解させることが求められる。探究の過程を踏まえた学習活動では、幾つかの事象が同一の概念によって説明できることや、事象の本質を突きつめていくことによって原理・法則に行きつくことを経験させることが大切である。また、習得した概念や原理・法則を新しい事象の解釈に応用したり、物質の変化の結果を予測したりできるようにすることも大切で

単なる暗記ではなく、覚えた知識を使える知識に規則や法則を見出し、新規に応用する

6

1. 概略

「高等学校学習指導要領解説 理科編」の冒頭 各科目の「目標」

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も親ながら聴講できます

「化学基礎」の目標

物質とその変化に関わり、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、物質とその変化を科学的に探究するために必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。

- (1) 日常生活や社会との関連を図りながら、物質とその変化について理解するとともに、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する基本的な技能を身に付けるようにする。
- (2) 観察、実験などを行い、科学的に探究する力を養う。
- (3) 物質とその変化に主体的に関わり、科学的に探究しようとする態度を養う。

「化学」の目標

化学的な事象・現象に関わり、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、化学的な事象・現象を科学的に探究するために必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。

- (1) 化学の基本的な概念や原理・法則の理解を深め、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する技能を身に付けるようにする。
- (2) 観察、実験などを行い、科学的に探究する力を養う。
- (3) 化学的な事象・現象に主体的に関わり、科学的に探究しようとする態度を養う。

目標1: 「化学基礎」「化学」の共通目標

いくつかの事象が**同一の概念によって説明**できることを見出し、概念や原則・法則を新しい事象の解釈に応用。結果を予測する活動が大切

目標2: 「化学基礎」「化学」の共通目標

実験(情報収集・仮説の検証・実技)を**習得**し、アウトプット(報告書・発表)を通じて、**科学的探究力**をつける

7

1. 学習指導要領「目標」の「キーワード」まとめ

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も親ながら聴講できます

いくつかの事象が**同一の概念によって説明**できることを見出し、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)し、アウトプット力を身につける

※ 私なりにキーワードを抽出しました

8

1. 学習指導要領変更点(エンタルピーとエントロピー)

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も親ながら聴講できます

「熱化学分野」の大幅な変化

(旧) 高等学校学習指導要領解説
理科編 P64-65

「熱化学方程式」

内容の(2)の(ア)の(イ)については、熱化学方程式やヘスの法則を扱うこと。また、結合エネルギーにも触れること。(イ)については、水溶液の電気分解を中心に扱うこと。(ウ)については、水の電気分解の逆反応を用いた電池を扱うこと。また、ダニエル電池や代表的な実用電池の反応にも触れること。

ここでは、化学反応に伴う熱、光、電気エネルギーなどの出入りについて観察、実験を行い、化学反応とエネルギーの関係を理解させることが主なねらいである。

(7) 化学反応と熱・光について

中学校では、第1分野「(4)イ(ウ) 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、これらのエネルギーの出入りが熱化学方程式で表せ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扱う。その際、反応熱と結合エネルギーとの関係にも触れる。

光の発生や吸収については、身近な例として、例えば、化学発光や光合成などを扱う。ここで扱う実験としては、例えば、ヘスの法則の検証実験などが考えられる。

(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

「エンタルピー変化(とエントロピー)」

㊦ 化学反応と熱・光について

中学校では、第1分野「(4)ア(イ)㊦ 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扱え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。

光の発生や吸収については、身近な例として、例えば、化学発光や光合成などを扱う。

ここで扱う熱に関する実験としては、例えば、ヘスの法則を用いる実験などが考えられる。その際、ヘスの法則を用いることにより測定が困難な反応熱を求められるという知識を活用して、実験計画を立案し、実験を行い、その結果を分析して解釈し、求めた反応熱と文献値を比較し、導き出した結論の妥当性について検討することが大切である。

※2022年度より実施(2019-2021年移行期間)

9

1. 注目すべき2点: エンタルピーとエントロピー

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も親ながら聴講できます

「エンタルピー変化(とエントロピー)」の抜粋

(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

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。

1. 化学エネルギーの差:

熱化学方程式 廃止 → エンタルピー変化の導入・理解

2. 反応が自発か否か:

エントロピーの導入・理解 → (ギブスエネルギー)

10

1. 5つのキーワード

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

- 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)

11

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

自発と非自発について

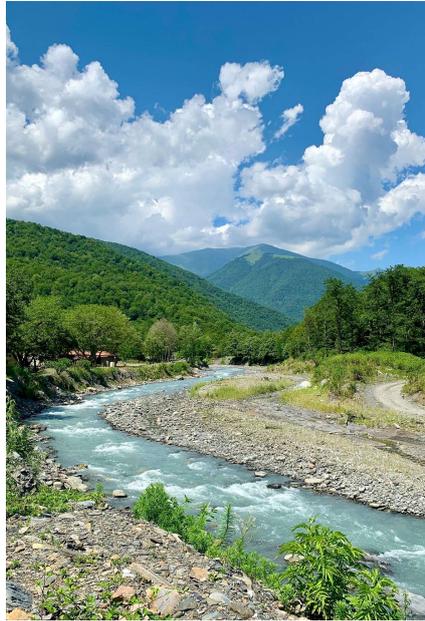
12

1. 自発と非自発をおさらい; 水の動きを例に。

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

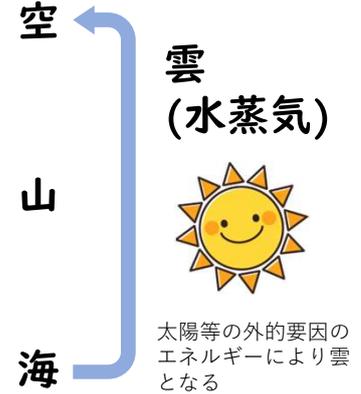
自発

水は自発的に山から海へ



非自発

太陽熱等で非自発的に海から山へ



13

目次

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

- 1. 高等学校学習指導要領の概略
 キーワードの抽出
- 2. エンタルピーとエントロピー
 具体例

14

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。
学生から「意味が違うんですね」とよく聞きます。。。

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も親ながら聴講できます

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**

15

エンタルピー(反応熱)が、何だったかを解説します。

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

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も親ながら聴講できます

16

2B. 反応熱 = エンタルピー変化について

⑦ 化学反応と熱・光について

(新) 高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説

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。

反応熱とは化学反応に伴い、**発生**もしくは**吸収**される**熱**の事です。
大気圧下(定圧下)における「**反応熱**」の事を、**エンタルピー変化**と言います。

※エンタルピー【だけ】ではありません。エンタルピー【変化】です。



※反応物の方が化学エネルギーが高い場合。

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も親ながら聴講できます

17

2B. メタンの燃焼反応を例にして解説

発熱・吸熱反応とエンタルピー変化の関係

メタンの**燃焼**反応

化学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。



メタンハイドレート

- ✓ メタンは、石油や石炭に比べて燃焼時の二酸化炭素排出量がおおよそ半分であるため、地球温暖化対策としても有効な新エネルギー源であるとされる。
- ✓ 2008年現在、日本は世界有数の埋蔵量を持つとされる。

出典：アメリカ地質調査所(<https://www.usgs.gov/>)
内山洋司「化石燃料のエネルギー転換」一般社団法人日本エレクトロヒートセンター



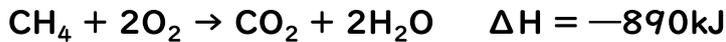
発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も親ながら聴講できます

18

2B. 化学反応による発熱・吸熱とエンタルピーの関係

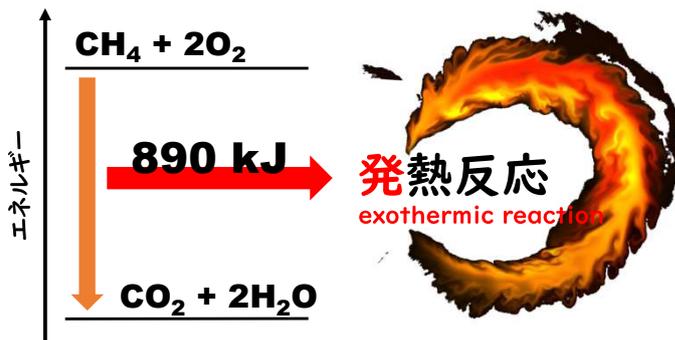
発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

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。



水・電気・音と同じように、
熱もエネルギーを放出
(発して)してエネルギー
の低い状態に変化

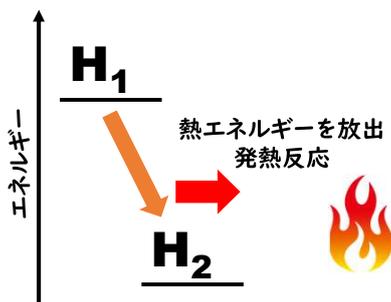


19

2B. 化学反応による発熱・吸熱とエンタルピー

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

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。

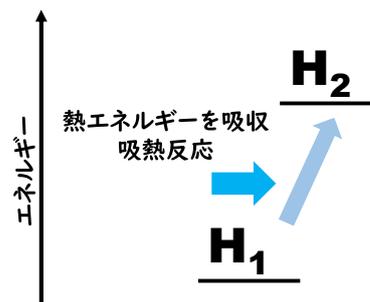


$$H_2 - H_1 = \Delta H < 0$$

発熱反応

exothermic reaction

低エネルギーを高エネルギーで引くのでΔHは**負**



$$H_2 - H_1 = \Delta H > 0$$

吸熱反応

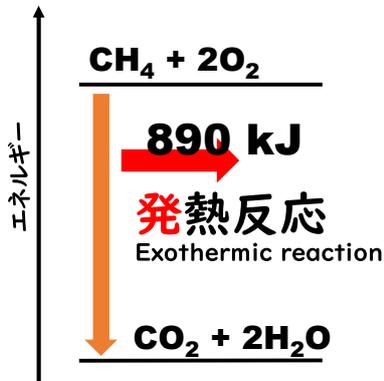
endothermic reaction

高エネルギーを低エネルギーで引くのでΔHは**正**

20

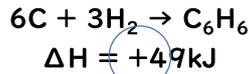
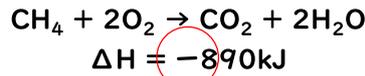
2B. 具体的に 化学反応による発熱・吸熱とエンタルピー

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も親ながら聴講できます

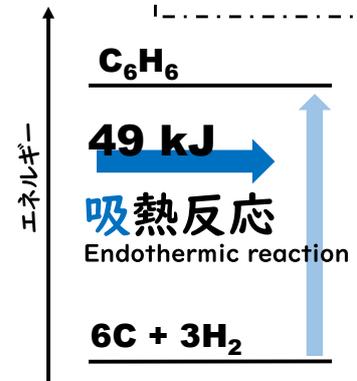
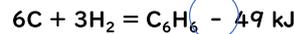
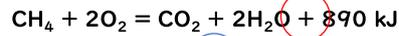


反応することで、890kJという
(熱)エネルギーが回収
(できる可能性がある。)

エンタルピー変化での表記



【廃止】熱化学方程式での表記

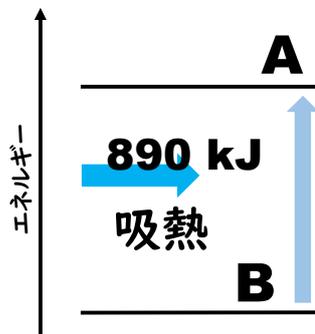
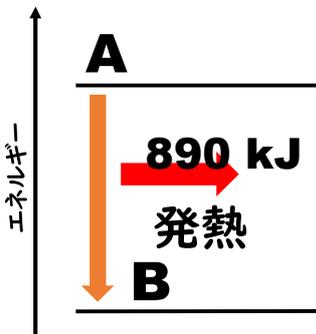
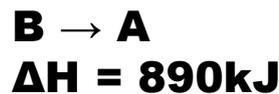


反応させるには、49kJという
(熱)エネルギーが必要
(活性化エネルギーは考慮なし)

21

2. 反応式の【矢印の向き】とΔHの【符号】

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も親ながら聴講できます



※矢印の【向き】と【符号】を気を付けましょう。
慣れないうちは「=(イコール)」を使いますが誤りです。

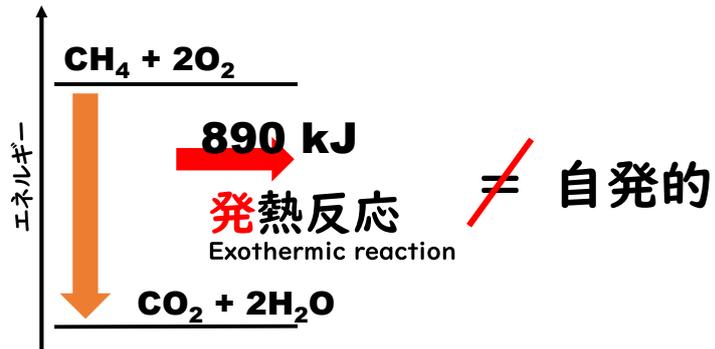
22

2B. 発熱と吸熱と【自発的】についての注意点

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

エネルギーの**流れやすい方向**が見えるので、
誤解しやすいですが、

エンタルピー変化だけでは、反応が自発的かどうかは判断できない
(自発的か否かは、必ず【エントロピー】が関与)



23

2B. 学生はここで混乱しやすい。

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

エンタルピー変化だけでは、反応が自発的かどうかは判断できない

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。

自発的か否かは、必ず【エントロピー】が関与

24

2B. 身近な例 氷の融解は吸熱だけど自発的に進む

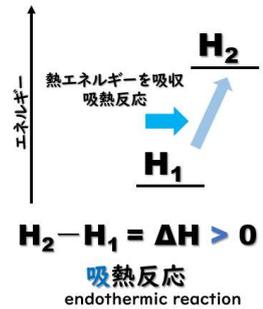
発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます



吸熱反応で自発的に進む例はたくさんある
(自発的か否かは、必ず【エントロピー】が関与します。)

氷

(氷 → 水 → 水蒸気; 吸熱反応で自発的)

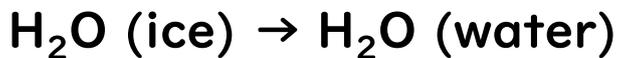


25

2B. 身近な例 氷→水は吸熱反応だから水が冷める。

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

吸熱反応で自発的に進む例はたくさんある
(自発的か否かは、必ず【エントロピー】が関与します。)



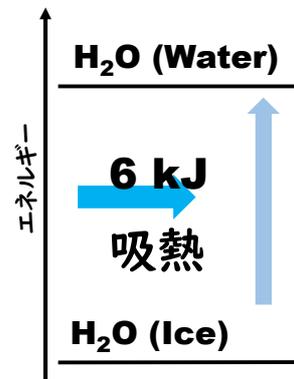
$$\Delta H = 6 \text{ kJ}$$

氷の融解は吸熱反応ですが、自発的に溶けますよね。(日本)

㊦ 化学反応と熱・光について

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。

(新) 高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説



26

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

エントロピー(乱雑さ)について解説します。

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**

27

2. エントロピーについて

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます



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ろうと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

自然は乱雑になろうとする傾向があり、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 $\Delta S > 0$

28

2. 「乱雑さ」というエントロピーのイメージ補完

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます



熱(エネルギー)を加え、氷は溶けて水に、自由度が増しても温度が変化しないことがある。



系(H₂O)が吸収した熱エネルギーは、温度上昇に使われずに、**何に使われたのか?**



エントロピー変化として、**物質の状態変化**に使われた。

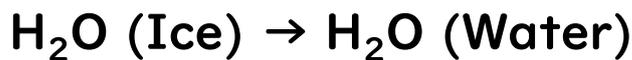
氷よりも「乱雑さが大きい」水の状態変化にエネルギーが使われた。

29

2. 吸熱反応なのに自発的に変化する理由は?

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

氷の融解は吸熱反応ですが、自発的に溶けます。(日本)



$$\Delta H = + 6 \text{ kJ}$$

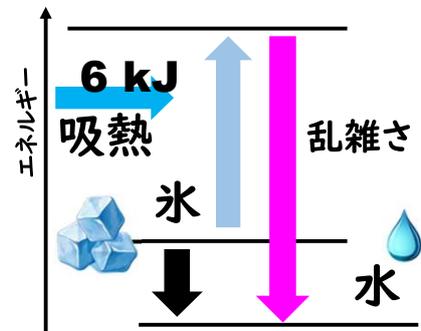
吸熱反応は、エネルギーが低い位置から高い位置へ移動する反応である



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**



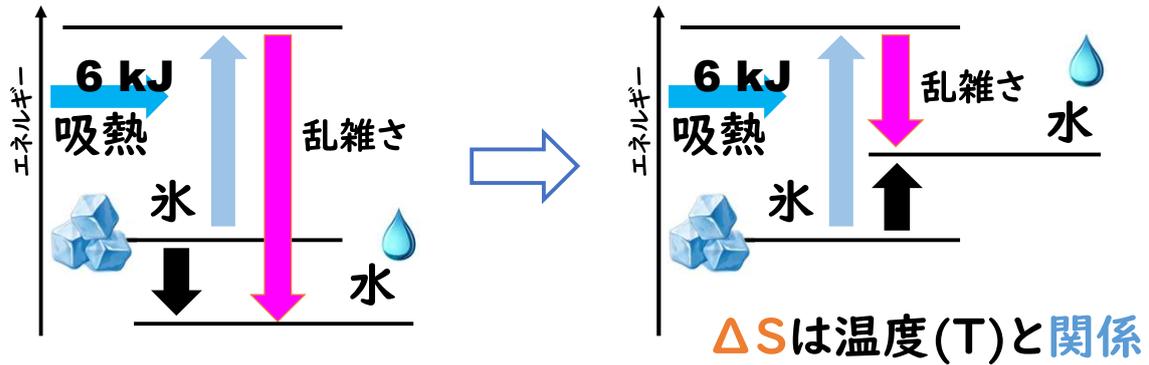
30

2. さらに発展して! 自発変化を止めるには?

氷の融解は吸熱反応ですが、自発的に溶けます。(日本)



Q. この融解反応を止めるには? A. 冷やす

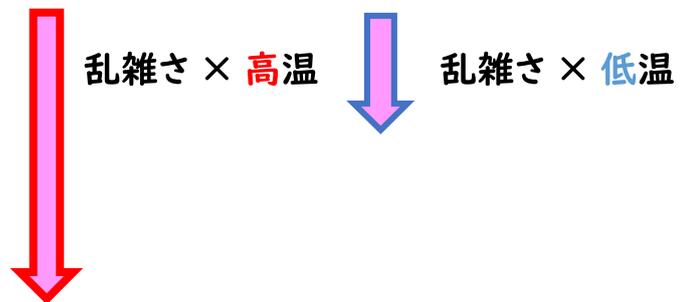


発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

31



寒いと乱雑さ(エントロピー)は低下



乱雑さ × 温度 = 矢印の長さ

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

32

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

がんばれ！ 阪神 タイガース

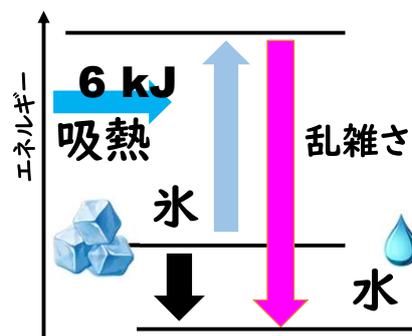
- ・ 学習指導要領には「ギブズエネルギー」の文言はない。
- ・ エンタルピーとエントロピーのバランス = ギブズエネルギー
- ・ 化学エネルギーの差を「エンタルピー」、自発性を「エントロピー」で扱う
- ・ いずれにしろ、このバランスの関係を議論(入試選抜試験で問う)



自発か否か。

大学の熱力学で学ぶギブズエネルギーには **2つの目的**がある。

1. 反応が自発か否か？ (外的な力無しで反応が進むのか?)
2. どのぐらいの自由に使えるエネルギーが取出せるのか?



発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

33

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

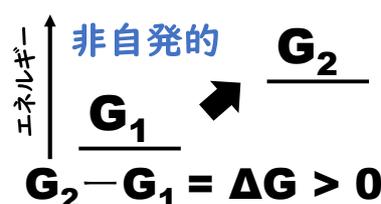
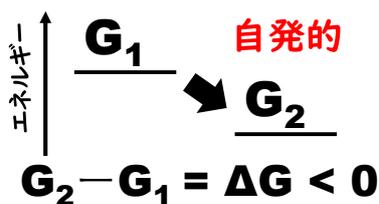


- ① 発熱反応 $\Delta H < 0$ は自発的(っぽい)
- ② 乱雑さの増加 $\Delta S > 0$ は自発的
- ③ 乱雑さ ΔS は 温度が関係する
- ④ $\Delta H < 0$, $\Delta S > 0$ 自発的の符号は逆

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



発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

ギブズエネルギー
という文言を使いま
す

34

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

エンタルピー変化(ΔH)とエントロピー変化(ΔS)
のバランス (ギブズエネルギー)について、詳しく見ましょう!

35

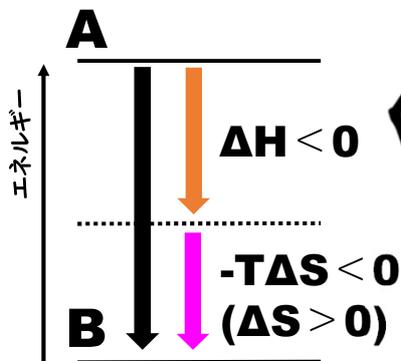
2. ΔH と ΔS の矢印の向きがそろってる場合



発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

① $\Delta H < 0, \Delta S > 0$

発熱反応



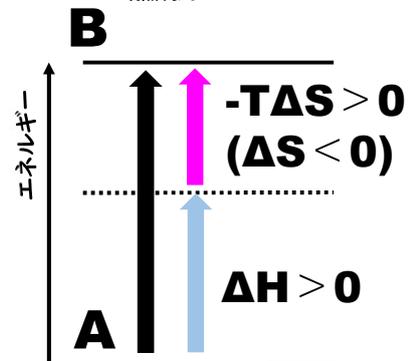
高→低(自発的)

エントロピー(乱雑さ)
温度の高低は
矢印の長さに関与
高温 → 長い
低温 → 短い

※エンタルピーとエントロピーの矢印の向きがそろっているときは簡単

② $\Delta H > 0, \Delta S < 0$

吸熱反応



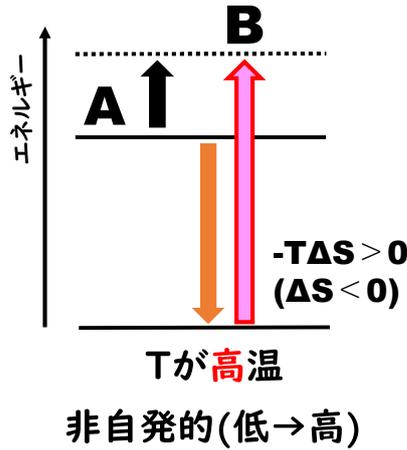
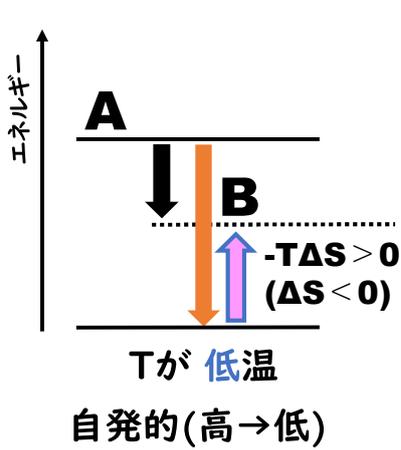
低→高(非自発的)

36

2. 発熱反応における温度の影響 > 自発 or 非自発



③ $\Delta H < 0$ (発熱), $\Delta S < 0$; 温度の高低



水の凝集 (雲)
気体から液体へ
(気体→液体→固体: 発熱反応)



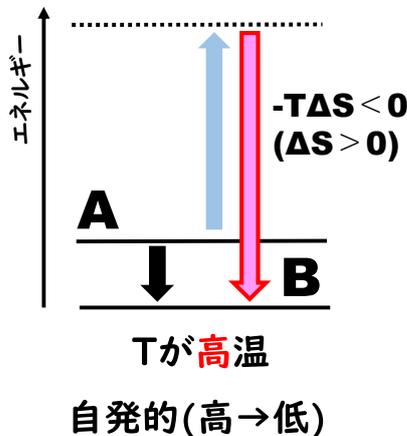
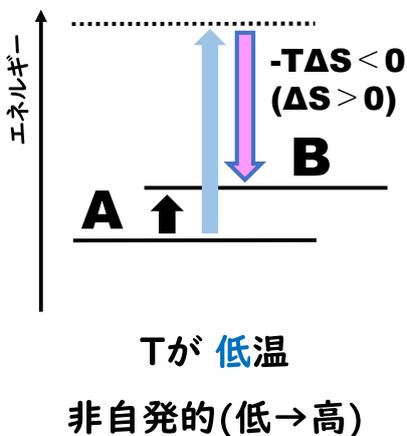
上空は寒いので
自発的に「雲(水滴)」が

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

2. 吸熱反応における温度の影響 > 自発 or 非自発



④ $\Delta H > 0$ (吸熱), $\Delta S > 0$; 温度の高低



水の蒸発・融解 (雲)
固体 > 液体 > 気体
(固体→液体→気体: 吸熱反応)



暑いと溶ける
地球温暖化(SDGs)

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

2. ΔH と ΔS および温度のまとめ

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます



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

この表を覚えるというのはやめてほしいです

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

39

2. 例題

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

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 $22.0 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ 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、エンタルピー変化とエントロピー変化のバランス(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。

40

5つのキーワードの「フリカエリ」

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

□ いくつかの事象が**同一の概念**によって説明

> 水をもちいて、雲の形成や氷山の融解を説明

□ 概念や原則・法則を**新しい事象の解釈**に応用

> 水の流れから、「エンタルピー」と「エントロピー」を学び、水の現象に応用

□ 身近な事象を**実際に体験**(実験)

> 水という身近な事象をもちいて、実際に体験

□ 化学エネルギーの差：**エンタルピー変化**の導入・理解

> メタンハイドレート(水による包接化合物)も例にして、発熱吸熱と ΔH の関係を導入・理解

□ 反応が**自発**か否か：**エントロピー**(ギブスエネルギー)

> 「乱雑さ」や「 $ev(中)trope(変化)$:状態変化」を強くイメージすると共に自発・非自発を理解

41

資料の提供とブログ(YouTube)の紹介

発表者画面のカメラ画像を
ここにはめると
発表者の「表情」や「身振り手振り」も観ながら聴講できます

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。

友野研究室のホームページとブログ

▶ <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 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/



友野研究室HP



YouTube「ともものらぼ」

42