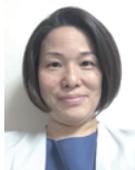


授業でお使い下さい



Topics

「熱化学方程式」が消える？



～新学習指導要領に向けて～

東京学芸大学附属国際中等教育学校

教諭

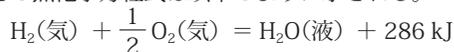
鮫島 朋美

1. 熱化学方程式が消える？

学習指導要領が約 10 年ぶりに改訂され、高等学校では令和 4 年度よりスタートする。新しい学習指導要領では、教育課程全体や各教科などの学びを通じて「何ができるようになるのか」という観点から、「知識および技能」「思考力・判断力・表現力等」「学びに向かう力、人間性等」の 3 つの柱からなる「資質・能力」を総合的にバランスよく育てていくことを目指している。その改訂プロセスの中で、化学の内容の取扱において、「熱化学方程式」というキーワードが消えた。詳細は図 2 をご覧いただきたい。これはどういふことだろうか？

まず、「熱化学方程式」とは何だろうか。これまで、化学反応における熱の発生や吸収を理解するために、日本の高校化学では、「熱化学方程式」を活用してきた。教科書の記述による¹⁾と、化学反応式の右辺の末尾に反応熱を書き加え、両辺を統合で結んだ式を熱化学方程式という。例えば、水素 1 mol が燃焼すると

きの熱化学方程式は以下のように示される。



この熱化学方程式により、水素 1 mol が燃焼するとき、286 kJ の発熱があることがわかる。つまり、熱化学方程式においては、 $\text{H}_2(\text{気})$ や $\text{H}_2\text{O}(\text{液})$ などの各項は物質 1 mol がもつエネルギーの大きさを表すことになる。そこで、ヘスの法則の扱いにおいても、以下の例題 1ⁱⁱ⁾のように、熱化学方程式を連立方程式のように扱い、式どうしの加算や減算を行う数学的处理による解法が用いられてきた。

例題 1

ヘスの法則

黒鉛とダイヤモンドの燃焼熱は、それぞれ 394 kJ/mol、395 kJ/mol である。黒鉛からダイヤモンドをつくるときの反応熱を求めよ。

解

黒鉛とダイヤモンドの燃焼反応の熱化学方程式は、次のようになる。



よって、求める反応熱は、1 kJ/mol の吸熱である。

■ 1 kJ/mol の吸熱

▲図 1 熱化学方程式を利用した解法

Contents

Topics

「熱化学方程式」が消える？

～新学習指導要領に向けて～

東京学芸大学附属国際中等教育学校 教諭 鮫島 朋美 1

結晶形成の瞬間をとらえた！
ってどういうこと？東京大学大学院理学系研究科 化学専攻
中室 貴幸, 原野 幸治, 中村 栄一

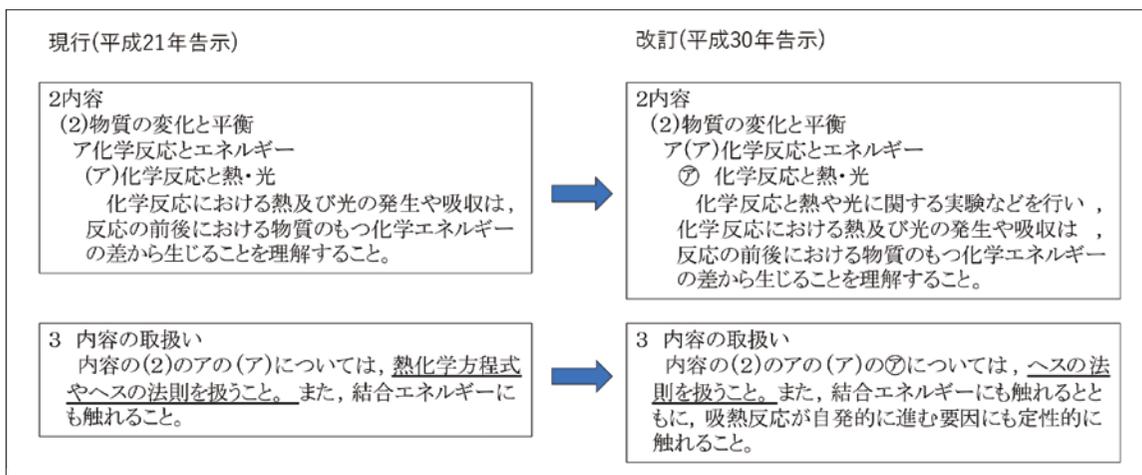
6

高校生へ私が選んだ 1 冊の本

三つの石で地球がわかる「カレーにたとえた地球」

大阪府大阪府立春日丘高等学校 植木 智大

12



▲図2 学習指導要領の変更点

しかし、このような表記や解法は日本の高校化学だけでしか使用されていない。また、大学で化学を学ぶ際にも、熱化学方程式を扱う機会はない。これらが問題提起され、日本の高校化学での熱化学方程式の扱いがこれまでも様々議論されてきたⁱⁱⁱ。

学習指導要領の改訂の基本方針^{iv}に示される通り、新学習指導要領は「社会に開かれた教育課程の実現」を重視し、そのために必要な資質・能力の育成を目指している。そして、平成27年8月に教育課程企画特別部会から示された論点整理の方向性に沿って、教科等別、学校種別に専門的に検討されてきた。高校化学の分野におけるこの検討においても、社会に開かれた教育課程であるための視点でもある高大接続や国際標準に沿うように、検討を重ねてきた。その1つにこの「熱化学方程式」が挙げられる。

2. 化学反応はどっちに進む？

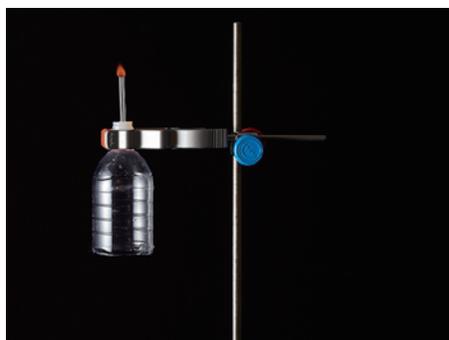
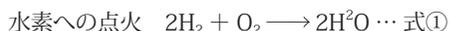
そもそも「化学反応とエネルギー」の単元で何を学び、何ができるようになり、どのように学ぶべきなのだろうか？少なくとも、学ぶべきことは連立方程式を解くことではないし、熱化学方程式が書けることや解けることでもないはずである。

新学習指導要領に示される内容は、「化学反応と熱や光に関する実験などを行い、化学反応における熱及び光の発生や吸収は、反応の前後における物質のもつ化学エネルギーの差から生じることを理解すること。」とある。さらに、内容の取扱いにおいては「吸熱反応が自発的に進む理由にも定性的に触れること」

とある。

ここで生徒と共に考えたいことは、化学反応の進む向きではないか。授業で取り上げたい探究の問いは「化学反応はどっちに進む？」である。

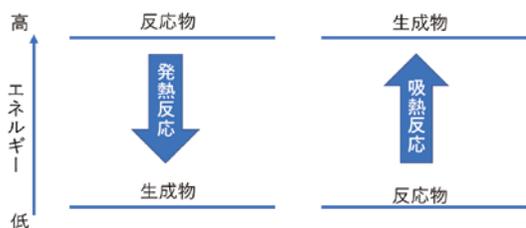
中学校の理科から、いくつも化学反応式を学んできている。身近な現象や授業で観察・実験を行った化学変化を、化学式を用いた反応式で表すことができることを学び、粒子のモデルを用いた考え方で原子の組み合わせが変わることを理解する。しかし、なぜそうなるかは学ばない。中学1年の気体の性質の学習において、水素発生の確認方法として、水素に点火し酸素と結びつき水が生成する(式①)化学変化を学ぶ。一方で、中学2年の物質の成り立ちの学習において、水を電気分解すると水素と酸素に分解される(式②)ことも学ぶ。この2つの反応は全く逆向きである。



▲ 水素への点火

これらの反応は、本当はどちらが「自発的に進む」反応なのだろうか。生徒は何を根拠に化学反応の進む向きを考えればよいのだろうか。この問いに向き合うことは、化学の本質に一步近づくことになるのではない。

化学反応は、エネルギーが高い状態から低い状態へ進む(図3左)。これは、山の上にある水が自発的に川や海に流れることから想像でき、理解しやすい。化学変化で考えると、生成物より反応物の持っていたエネルギーの方が多く、反応することによって、余計なエネルギーを捨てる。つまり発熱する向きに進みやすいことになる。



▲図3 発熱反応と吸熱反応

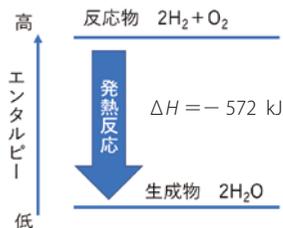
式①の水素への点火は、このような原理で進む発熱反応である。これを熱化学方程式で表すと、



となるが、図3のエネルギー図に基づき、反応の向きを明示した反応式とそのとき出入りする熱を別々に表すと、



となる。(図4参照)

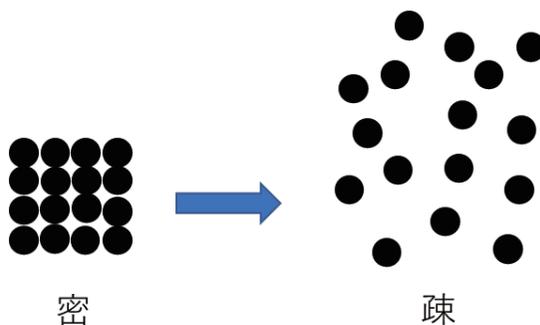


▲図4 水素への点火反応とエンタルピー変化

H はエンタルピーといい、反応物と生成物のもつエンタルピーの差を求めているので ΔH と表記する。行き先(生成物)のエンタルピーが出発点(反応物)のエンタルピーより小さいため、マイナスの符号がつく。

熱化学方程式の表記とは符号が反対になることが混乱しやすい部分である。しかし、この表記が海外の教科書や大学で学ぶ熱化学においては一般的である。

しかし、このエネルギー高→低の考え方だけでは、吸熱反応が進む理由を説明することができない。生徒たちは、日常的にも打ち水の効果やアルコールの気化によるひんやりする感覚、つまり熱が吸収される変化を知っているはずである。これらは吸熱反応が自発的に起こる実例である。化学反応の向きを決めるもう1つの要因として、集合状態が密から疎へ進む(図5)ことが考えられるようになる。



▲図5 集合状態の密と疎

液体の水が蒸発して空間に飛び出したり、食塩に水を溶かしたりするとナトリウムイオンと塩化物イオンに分かれ、水溶液中に散らばっていくなどがそれぞれある。この集合状態の乱雑さをエントロピー (S) という量で表す。

ここで、「化学反応はどっちに進む?」に向き合ってみよう。渡辺正氏の著書「高校で教わりたかった化学」⁶⁾においては、化学反応の向きを決めるこの2つの要因をそれぞれ「涼しくなりたい」「散らばりたい」と表現し、「肝心なのは合わせ技」としている。エンタルピー (H) はエネルギーの単位を持ち、変化は H が減る向きに進みやすい。エントロピー (S) は絶対温度 T をかけた TS でエネルギーの単位を持ち、変化は TS が増える向きに進みやすい。この2つの値を比較すればよい。図3からでは、高い山を登らなくてはいけないイメージをもつ吸熱反応でも、エントロピー増加が大きいなら、自発的に進むことになる。

このように学習することで、化学変化へのイメージがより具体化する。これまで学習してきた化学反応について、その変化がなぜその向きに起こるのか、考

えられるようになる。化学反応のしくみについて追究する次のステップに移行できる。この単元の学習において、熱化学方程式を使う必要はないのではないか。

3. ヘスの法則は、活用せよ

新学習指導要領では、その解説の内容も変更された。高等学校学習指導要領解説理科編においては、扱う実験について触れられているが、「化学反応とエネルギー」の単位ではこの内容が変わった。

(現行)

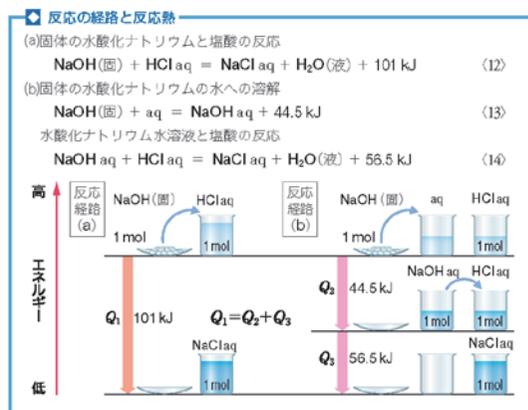
ここで扱う実験としては、例えば、ヘスの法則の検証実験などが考えられる。

(改訂)

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。

この背景にも、新学習指導要領のめざす資質・能力の育成がある。教育課程部会理科ワーキンググループによって示された理科における見方・考え方において、高等学校理科においては「自然の事物・現象を、質的・量的な関係や時間的・空間的な関係などの科学的な視点で捉え、比較したり、関係付けたりするなど、科学的に探究する方法を用いて、多面的・総合的に考えること」とされている。そして、新学習指導要領には「資質・能力を育むために重視する探究の過程のイメージ」が示された。課題の把握、課題の探究、課題の解決の一連の過程を辿ろうとするものである。その具体が、解説で示される扱う実験として紹介されているのである。

一方で、熱化学方程式のメリットとして、ヘスの法則に関する問題を解く際に方程式を変形すれば答にたどり着くことがある。これは、物質が変化する際の反応熱の大きさは、反応前の状態と反応後の状態だけで決まり、反応の経路には無関係であるというヘスの法則が前提にあり、現行の学習指導要領解説で扱う実験はその法則を検証してみようというものである。



▲図6 ヘスの法則の検証実験例

日本の多くの教科書で、この検証実験のために図6に示すような水酸化ナトリウムと塩酸の中和反応が用いられている。固体の水酸化ナトリウムと塩酸の反応で発生する熱量 (Q_1) は、固体の水酸化ナトリウムを水に溶解した時の熱量 (Q_2) と水酸化ナトリウム水溶液と塩酸との反応で発生する熱量 (Q_3) の合計に等しいことを、 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 それぞれの熱量を測定することにより検証する。この実験はヘスの法則を確認するためのものであり、探究の過程における課題の発見場面が見当たらない。

エネルギーの保存は、科学の基本原則であり、化学反応においてもすべてのエネルギーが保存される。ヘスの法則は、エネルギー保存則を応用したものであり、ヘスの法則を用いると、直接実験で求めることができない反応熱も求めることができることに科学的探究が実現する意義がある。

例えば燃焼熱は、カロリーメーターを用いて、燃焼で発生した熱で水を温度上昇させ、水の質量と温度変化から発生した熱量を測定する。しかし、熱が逃げたり、水以外の温度上昇に消費されたりすることで、実験によりその値を正確に測定することは難しい。そこで、ヘスの法則を活用し、直接測定できない燃焼熱を測定する探究実験を行うのである。ヘスの法則の理解に、熱化学方程式の数学的処理は必要ない。ヘスの法則や熱化学方程式は、それを活用し、化学の本質を捉え、探究することに意義があると考えられる。

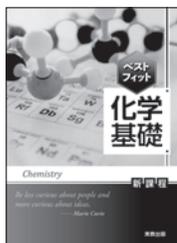
4, おわりに

高校化学では、学習者自身が「化学（科学）とは何か？」に向き合い、追究してもらいたい。新学習指導要領には、それを実現する工夫が散りばめられている。「化学反応はどっちに進む？」を問うこの単元もその1つである。先生に教わる化学ではなく、生徒の疑問や好奇心からスタートする化学が実現したら、理想的ではないか。これからの新たな時代に必要とされる創造性、判断力、問題解決力を化学を通して身につけさせていきたい。

参考文献

- i 新版化学 新訂版, 実教出版, 2018
- ii 化学 新訂版, 実教出版, 2018
- iii 後飯塚由香里, 熱化学方程式は必要か, 化学と教育 2018, 66, 454.
- iv 文部科学省 (2018): 高等学校学習指導要領 (平成 30 年 公示) 解説 理科編 理数編, 実教出版
- v 渡辺正, 北条博彦, 『高校で教わりたかった化学』, 日本評論社, 2008 年

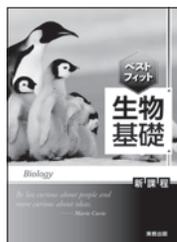
ベストフィットシリーズ 新課程用



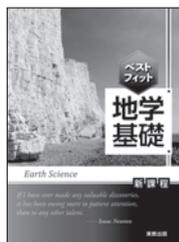
176p. (別冊解答 192p.)
定価 800 円 (税込)



168p. (別冊解答 176p.)
定価 840 円 (税込)



144p. (別冊解答 112p.)
定価 750 円 (税込)



144p. (別冊解答 120p.)
定価 770 円 (税込)

小判問題集をお使いの学校



文理共通で問題集を採用しているが、文系の生徒には難しいと感じている

- ▶ ベストフィットシリーズの学習到達度は「共通テスト満点レベル」です。
- 文系の生徒が受験で必要なレベルもしっかり学習できる
- 理系の生徒も共通テストレベルの学習が定着していると4単位科目の学習がスムーズになる



テスト前になると生徒からの質問が増える

- ▶ 随所に「つまずき」を防ぐ工夫を配置しています。
- 例題や解答のつまずきやすい部分をフォロー
- 図やグラフが多いまとめページで重要事項のイメージを掴みやすい



基礎的な学習事項の取りこぼしが多く、模試の成績が伸び悩んでいる

- ▶ 充実＆わかりやすい別冊解答で自学自習・テスト前学習をサポートします。
- 解答は図解が多くわかりやすい、重要事項もイメージしやすい
- 解答には問題文も掲載し、別冊解答のみで書き直し可能 (物基・化基)

ノート教材をお使いの学校



一度書き込んでしまうと、反復学習が難しいと感じている

- ▶ 何度も繰り返し学習できます。
- 何周も問題演習が可能
- 化学基礎のmol計算を「指数」や「有効数字」から何度も練習できる



受験版問題集は難しいので、やむなくノート教材を持たせている

- ▶ 解説がくわしく丁寧な別冊解答を用意しています。
- ノート教材の一般的な解答と異なり、「図」で重要事項をイメージできる
- 生徒がつまずきやすい部分を逐一フォロー



ノート教材を持たせているが、学習管理まではできていない

- ▶ 「正誤チェック」で用語の意味を正しく理解できます (生物基礎・地学基礎)。
- 用語の意味が正しく定着する
- 書き込まないので、何度も繰り返し学習することができる