

## 高校「化学基礎」「化学」教科書で使用される用語等とエンタルピーの扱いについて ー熱化学方程式からエンタルピー変化の表記へー

内 田 隆

### 1. はじめに

2018年改訂『高等学校学習指導要領』に対応した教科書「化学基礎」が2022年度、「化学」が2023年度から使用される。今回の改訂では「化学基礎」「化学」の科目の枠組みや単位数に変更がないため、新しい教科書は主体的・対話的で深い学び、ICT活用、探究活動の充実を図るように構成されているものの学習内容の変更は少ない。しかし、改訂に先立って日本化学会化学用語検討小委員会が、高校化学で用いる用語等に関する提案を行っていることから、教科書で使用される用語等の変更が多いことが予想される。また、新学習指導要領には「熱化学方程式」の記載がなく<sup>1)</sup>、『高等学校学習指導要領解説理科編理数編』に「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」<sup>2)</sup>と示されたので「化学」教科書の熱化学分野の構成が変更されることになる。

そこで、本稿では2022年度高校入学生から使用される「化学基礎」「化学」の教科書の記載内容を確認・比較し、現状をまとめて報告する。その際、この教科書で学習した高校生の2025年度大学入学を踏まえ、用語等変更の妥当性の検討ではなく、大学化学教育の関係者間で共通理解を図ることを目的とする。また、高校化学の熱化学分野で長く使用されてきた熱化学方程式がエンタルピー変化 $\Delta H$ 表記に変更になるため、各教科書の熱化学分野の記載内容等を確認・比較するとともに、中等教育化学における熱化学方程式の使用の歴史についても触れる。

### 2. 高校「化学基礎」「化学」教科書で使用される用語等の確認

日本化学会化学用語検討小委員会は、高校教科書や大学入試で使われてきた用語等のうち、用法の疑義を感じるものについて、①本来の意味が伝わるか、②大学で行われる教育・研究との整合性がよいか、③国境なき自然科学の一教科として国際慣行に合致するかの3点を考慮して検討し、2015、2016、2017年の3回にわたって日本化学会『化学と教育』に検討経過を報告している<sup>3)</sup>。

そこで「化学基礎」「化学」の教科書について、日本化学会化学用語検討小委員会が提案した用語等の使用状況を調査した。対象は以下の文部科学省教科用図書検定済みの教科書である。

- ・化学基礎 啓林館、実教出版、数研出版、第一学習社、東京書籍の5社12種
- ・化学 啓林館、実教出版、数研出版、第一学習社、東京書籍の5社7種

用語等の調査対象は、原則として「化学基礎」の教科書とし、「化学基礎」の学習内容ではない用語等については「化学」の教科書の使用状況を調査した。以下の表1に「化学基礎」、表2に「化学」における用語等の修正・変更や記載状況に関する調査結果を示す。

なお、化学用語検討小委員会は、2015年に『化学と教育』で1回目の提案を行っているため、改訂前の教科書の中で、すでに変更されている用語等もあるが、表1・2では、2022年度以降の教

科書の記載状況のみを示し、変更時期等については区別しない。また、委員会では一概に変更・不使用ではなく、今後も「代替案を検討」や「使用範囲の見直し」等も挙げているが、表 1・2 では区別せずに現状のみを示すものとする。詳細は文献を参照されたい<sup>3)</sup>。

表 1 2022（令和 4）年発行「化学基礎」教科書の使用用語等

| これまで主に使用されている用語等 | 化学用語検討小委員会提案 <sup>4)</sup>  | 2022 年度以降使用「化学基礎」教科書の対応（5 社 12 種）   |
|------------------|---|---|
| 化合               | 中学校では、単体どうしの反応だけに使用を限る  | 「化合」の記載なし   |
| 昇華（気体→固体）        | ” 気体→固体 ” は「凝華」と呼ぶ。（” 固体→気体 ” は従来のまま「昇華」）                             | 「凝華」に変更<br>「以前は昇華とよんでいた」等の注あり（3 社 5 種）。「昇華と凝華が連続する場合は昇華という」の注あり（1 社 2 種）                                    |
| イオン式             | 「イオン式」は使わず「化学式」を使用  | 本文中は化学式と表記し、「イオン式」の注あり（3 社 9 種）<br>「イオン式」の記載なし（2 社 3 種）   |
| （イオンの）価数         | イオンの電荷が定着するような記載に直す。「価数」を使う場合は、太字にはしない                                | 「価数」を使用しているが（全種）、太字の教科書はない  |
| 電子式              | 「電子式」を残す場合は一般用語とし、太字にはしない   | 「電子式」を使用。太字の教科書はないが項目名にしている教科書も多数。電子式（ルイス構造式）と記載（1 社 2 種）   |
| 価標               | 特別な呼称を付けない。<br>（必要なら「線」「結合」など）  | 「線（価標）」や「価標という」等の注がある（5 社 11 種）<br>「価標」の記載なし（1 社 1 種）   |
| 共有結晶             | 「共有結合の結晶」か「共有結合結晶」とする   | 「共有結合結晶」に変更<br>「共有結合の結晶」の併記もあり  |
| 金属の結晶            | 「金属結晶」とする   | 「金属結晶」に変更   |
| イオン反応式           | 「イオンを含む反応式」などのように表記   | 「イオン反応式」を使用<br>項目名等は「イオンを含む反応式」で本文中に「イオン反応式」の記載がある（3 社 6 種）   |
| 標準状態             | 「標準状態」を使わない。<br>「0℃、1.013×10 <sup>5</sup> Pa で」とする                    | 「0℃、1.013×10 <sup>5</sup> Pa で」に変更<br>本文中に「0℃、1.013×10 <sup>5</sup> Pa（標準状態）」や「この条件を標準状態ということがある」等の注がある（全種） |
| 希ガス              | 「貴ガス」に変更  | 「貴ガス」に変更。「貴ガス（希ガス）」や「希ガスと表されることもある」等の注がある（全種）   |
| アルカリ土類金属         | 2 族のすべてをアルカリ土類金属（元素）と呼ぶ。「Be と Mg を除くことがある」と付記してもよい                    | 「2 族がアルカリ土類金属」に変更<br>「Be や Mg はアルカリ土類金属に含めない場合もある」等の注あり（3 社 4 種）  |
| 遷移元素（3～11 族）     | 遷移元素は 3～12（または 3～11）族元素の総称として使用する。「12 族元素は遷移元素に含める場合と含めない場合がある」の注を付ける | 「遷移元素は 3～12 族」に変更<br>12 族元素を「遷移元素に含める場合と含めない場合がある」「典型元素に含める場合もある」等の注がある（全種）                                 |
| 融解塩電解            | 「熔融塩電解」に統一する  | 「熔融塩電解」に変更<br>「熔融塩電解（融解塩電解）」や「融解塩電解ともいう」等の注あり（5 社 11 種）。「熔融塩電解」のみ（1 社 1 種）                                  |

|         |                 |  |
|---------|-----------------|--|
| 気体反応の法則 | 「反応体積比の法則」に変更する | 「気体反応の法則」を使用<br>「気体反応の法則（反応体積比の法則）」や「反応体積比の法則ともいう」等の注がある（5社7種） |
| 定比例の法則  | 「一定組成の法則」に変更する  | 「定比例の法則」を使用<br>「定比例の法則（一定組成の法則）」や「一定組成の法則ともいう」等の注がある（5社8種）     |
| 倍数比例の法則 | 「倍数組成の法則」に変更する  | 「倍数比例の法則」を使用<br>「倍数比例の法則（倍数組成の法則）」や「倍数組成の法則ともいう」等の注がある（5社7種）   |

表2 2023（令和5）年発行「化学」教科書の使用用語等

| これまで主に使用されている用語等      | 化学用語検討小委員会提案                          | 2023年度以降使用「化学」教科書の対応（5社7種）   |
|-----------------------|---------------------------------------|--|
| 六方細密充填                | 「六方細密構造」                              | 「六方細密構造」に変更<br>「六方細密構造（六方細密充填構造）」の表記あり（1社1種）   |
| 沸点上昇度・凝固点降下度          | 「沸点上昇」「凝固点降下」に統一する                    | 「沸点上昇度」「凝固点降下度」を使用（4社6種）<br>「沸点上昇」「凝固点降下」に統一（1社1種）   |
| 反応熱などの符号              | 化学反応で出入りする熱はエンタルピー変化 $\Delta H$ を使う   | 「エンタルピー変化 $\Delta H$ 」に変更  |
| 質量作用の法則               | 変更が望ましい。例として「化学平衡の法則」                 | 「化学平衡の法則」に変更<br>「化学平衡の法則（質量作用の法則）」や「質量作用の法則ともいう」等の注あり（5社6種）。質量作用の法則の記載なし（1社1種）             |
| 両性元素                  | 「両性」は、両性を示す物質群の修飾語として使う（例：両性金属、両性酸化物） | 「両性」を太字用語として使用（2社2種）<br>第3周期元素の酸化物・水酸化物の「酸性」「塩基性」を分類する表の中で「両性」を使用（2社3種）<br>「両性」を使用せず（1社2種） |
| 二酸化マンガ<br>ン酸化マンガン(IV) | 両方の併記を認める                             | 「酸化マンガ(IV)」を使用<br>「酸化マンガン(IV)（二酸化マンガ(IV)）」や注あり（3社3種）                                       |
| アルデヒド基                | 「ホルミル基」とする<br>「アルデヒド基」は使わない           | 「ホルミル基」を使用<br>「ホルミル基（アルデヒド基）」や「アルデヒド基ともいう」の注あり（全種）   |
| ケトン基                  | 「カルボニル基」とする<br>「ケトン基」は使わない            | 「カルボニル基」を使用<br>「ケトン基とも呼ばれる」等の注あり（1社2種）   |
| 光学異性体                 | 「鏡像異性体」に一本化する                         | 「鏡像異性体」に変更。<br>「光学異性体」に関する注あり（5社5種）  |
| 活性化状態                 | 「遷移状態」に変更する                           | 「遷移状態」に変更。<br>「遷移状態（活性化状態）」や「または活性化状態」の併記（3社5種）。「活性化状態」の記載なし（2社2種）                         |
| 幾何異性体                 | 「シス-トランス異性体」に一本化する。                   | 「シス-トランス異性体」に変更<br>「シス-トランス異性体（幾何異性体）」や「幾何異性体とも呼ばれる」等の注あり（全種）                              |

「イオン反応式」「沸点上昇度」など従来から使用されている用語が継承されたものもあるが、「凝華」「遷移状態」等の多くの用語等が化学用語検討小委員会の提案に沿って変更されていた。新しい教科書では変更される用語等が多いことを踏まえ、記載状況を確認しておく必要がある。

### 3. 化学反応において出入りする熱量をエンタルピー変化で表すことへの各教科書の対応

#### (1) 熱化学方程式からエンタルピー変化 $\Delta H$ 表記へ

改訂前の旧学習指導要領（2009 年）では「ア 化学反応とエネルギー (ア) 化学反応と熱・光については、熱化学方程式やヘスの法則を扱うこと」<sup>5)</sup>とされ、解説編では「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」<sup>6)</sup>と示されているように、高校化学では化学反応における熱の出入りをこれまで一貫して熱化学方程式<sup>7)</sup>で表してきた。しかし、改訂後の新学習指導要領（2018 年）には熱化学方程式の記載がなく、解説編に「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」<sup>2)</sup>と示されたことから、高校化学も大学化学と同様に、化学反応に伴う熱の出入りをエンタルピー変化  $\Delta H$  で表すことになった。

以下の①はこれまで高校化学で使用されてきた熱化学方程式で、②は化学反応式にエンタルピー変化  $\Delta H$  を付したものである。式①では＝を使用した反応式の中に数値が記載され発熱反応では正の値になるが、式②では→を使用した反応式の外に数値が記載され発熱反応では負の値になる。



#### (2) 2023 年発行「化学」教科書の熱化学の記載内容の比較

##### 1) 熱化学方程式の記載状況

化学エネルギーの差をエンタルピー変化  $\Delta H$  で表すにあたって、「化学」教科書の記載状況を調査したところ、従来の熱化学方程式（式①）を使用しているものはなく、すべての教科書が化学反応式の右側または下部にエンタルピー変化  $\Delta H$  を書き加えた式②を使用していた。

多くの教科書（4 社 6 種）では、式②を「エンタルピー変化を付した反応式」「反応エンタルピーを含む化学反応式」「化学反応式に反応エンタルピーを書き加えた式」等と表記し、特別な呼称を用いていなかったが、熱化学方程式と呼ぶ教科書が 1 種あった<sup>8)</sup>。大学で使用されている教科書の中にも、式②を熱化学方程式と呼ぶものがあるので<sup>9)</sup>、エンタルピー変化  $\Delta H$  を付した化学反応式を熱化学方程式と呼ぶこと自体に問題はない。しかし、熱化学方程式（式①）を過去の表記法として参考欄で紹介し過去の資料を参照する際には注意をするように促している教科書や（1 種）反応エンタルピーを求める計算を行う時に数式と同様に扱うことができる便利な表記方法として熱化学方程式（式①）を参考欄で紹介している教科書があり（1 種）、教科書によって熱化学方程式が示す式の形式や位置付けが異なっている。

熱の出入りを表す式の記載方法が、式①から式②に改訂前後の教科書で変更されるだけでなく、改訂後の教科書の中にも熱化学方程式の形式が異なるものがあることを理解しておく必要がある。

##### 2) 熱化学分野の導入時における記載の工夫

熱化学の導入時に、発熱反応を従来の熱化学方程式のように、化学反応式の右側に放出されるエネルギーと発熱の文字を記載して表す教科書が 2 社 2 種あった<sup>10)</sup>。





右辺に反応熱が記載されている従来の熱化学方程式は、熱の出入りを直感的に表すのに都合がよい<sup>11)</sup>。例えば、日本の高校化学の教科書に大きな影響を与えたアメリカの『ケムス化学』(1965)では、発熱反応では発生する熱量を化学反応式の右辺に、吸熱反応では吸収する熱量を化学反応式の左辺に書き入れ、反応前後の熱の出入りについて理解を促した後、エンタルピー変化 $\Delta H$ を用いた学習が進められる<sup>12)</sup>。ただし、『ケムス化学』(1965)『新ケムス化学』(1973)では、式は=ではなく→が使用され、熱化学方程式という呼称は使われておらず、エンタルピーの扱いが現在のアメリカ中等教育化学の教科書と比較して少ない<sup>13)</sup>。

放出・吸収される熱量と化学反応式を関連付けて示す先掲の教科書のような記載方法は導入時には有効であり、正負の符号を付けずに「891 kJ 発熱」とすることで、発熱反応ではエンタルピー変化 $\Delta H$ が負であることと混乱しないように配慮もされていた。

### 3) 系・外界および反応熱・反応エンタルピーの教科書による位置付けの違い

これまで高校化学では、化学反応にともなって放出・吸収される熱量を「反応熱」とし、反応熱を燃焼熱や生成熱などに分類していた。改定後の教科書では、一定圧力条件下における化学反応で放出・吸収される熱量を「反応エンタルピー」とし、反応エンタルピーを燃焼エンタルピーや生成エンタルピーなどに分類している。しかし、高校化学の限られた時間の中でエンタルピーを詳細に解説するのは難しいため、教科書によって「系・外界」「反応熱・反応エンタルピー」等の定義や位置付けに差がある。以下にその違いに応じて3つに分けたものを示す。

#### ①系と外界の区別に触れず反応熱と反応エンタルピーをほぼ同義とする教科書 (2社3種)

- ・「反応熱は、エンタルピー変化 $\Delta H$  [kJ] で示す」「反応熱は反応エンタルピーともいう」とし、様々な反応熱を燃焼熱や生成熱等に分類したうえで、説明文中に「燃焼エンタルピーともいう」「生成エンタルピーともいう」と記載しているもの。
- ・「一定の圧力のもと、化学反応に伴って放出または吸収される熱量は、エンタルピーの変化量 $\Delta H$ で表される。これを反応エンタルピー (反応熱) という」としたうえで、反応エンタルピーを生成エンタルピー等に分類して学習を進め、燃焼熱や生成熱等の用語を使用しないもの。
- ・「化学反応にともなうエンタルピー変化を反応エンタルピーという (反応熱とよぶこともある)」とし、その種類を「燃焼エンタルピー (燃焼熱)」等に分類しているもの。

ここで挙げた3種の教科書は、系と外界の区別には触れず、一定圧力条件下での化学反応に伴って放出・吸収される熱量を、反応熱と反応エンタルピーのどちらを主として扱うかに違いがあるものの、反応熱と反応エンタルピー、生成熱と生成エンタルピーなどをほぼ同義としている。

#### ②系と外界を区別し反応熱には触れずに反応エンタルピーのみを扱う教科書 (1社2種)

系と外界を区別したうえで、熱の出入りと発熱反応・吸熱反応の関係性に触れるが、以降は、一定圧力条件下の系における化学反応で放出・吸収される熱量を反応エンタルピーとし、反応熱という用語を使用しない。また、反応エンタルピーを燃焼エンタルピーや生成エンタルピー等に分類し、燃焼熱や生成熱等の用語も使用しない (1社2種)。

#### ③系と外界を明確に区別し反応熱と反応エンタルピーを正負逆にする教科書 (2社2種)

一定圧力条件下における系のエンタルピー変化を反応エンタルピー、系の外界で受け取る熱量

を反応熱として明確に区別し、エンタルピー変化  $\Delta H$  と反応熱では正負が逆になることを記載している（1社2種）。うち1種は欄外の注に「反応エンタルピーに対応して、反応熱も燃焼熱、生成熱、溶解熱、中和熱のように特別な名称で呼ばれる」と区別しているが、もう1種は燃焼熱や生成熱等の用語を使用していない。

なお、エネルギー図（発熱反応）を枠で囲い、枠の内側に系におけるエンタルピー変化  $\Delta H$  を負の値で記載し、枠の外側に外界で受け取る反応熱を正の値で記載することで、系・外界、反応熱・反応エンタルピー、正・負の違いを一目で表す工夫が見られた（③の教科書のうち1種）。

高校化学で熱化学方程式からエンタルピー変化  $\Delta H$  に表記方法を変更することによって、大学化学教育との齟齬が解消されるが、高校「化学」教科書には、反応熱とエンタルピー変化  $\Delta H$  の符号が同じ教科書と反対の教科書が存在するなど、エンタルピーの扱い方に差があった。本稿で述べた改定後の教科書で学習した高校生が2025年度に大学に入学することを踏まえ、2024年度に作成する入試問題や2025年度以降の講義等において混乱することがないように、教科書の用語等や熱化学の扱いについて事前に確認し準備をすすめておく必要がある。

#### 4. 日本における熱化学方程式の歴史

本章では、日本の中等化学教育における、化学反応に伴う熱の出入りの記載方法について、熱化学方程式を中心に概観する。まず、熱化学方程式の前に化学反応式の呼称や表記方法を概観する。

##### (1) 日本の中等教育「化学」教科書における化学反応式の呼称・表記の歴史

明治初期の化学の教科書『化学訓蒙』（1870年）<sup>14)</sup> 『化学闡要』（1872年）<sup>15)</sup> 『新式近世化学』（1873年）<sup>16)</sup> 『化学日記』（1874年）<sup>17)</sup> では、化学反応を＝を用いた式で表しているが化学反応式や化学方程式といった呼称は記されていない。

＝を用いた式を化学方程式と呼んでいるのは、Roscoe, H.E. 著『Lessons in Elementary Chemistry』（1875）を翻訳して中学・師範学校用の教科書として作成された<sup>18)</sup> 『羅斯珂氏化学』（1876）<sup>19)</sup> が古く、翻訳ではない教科書で化学方程式と書かれた古いものには『化学理論一斑』（1885）<sup>20)</sup> があった。以降「化学方程式又化学反応式」<sup>21)</sup> 「化学交通式」<sup>22)</sup> 「化学上ノ方程式」<sup>23)</sup> 「化学上方程式」<sup>24)</sup> など散見され、呼称や表記方法は統一されていなかったが“chemical equation”の翻訳のためか<sup>25)</sup>、化学方程式が多く使用され、式中に→を使用しているものもあるが、多くが＝を使っていた<sup>26)</sup>。

終戦後の1947年『高等学校学習指導要領 物理・化学・生物・地学（試案）』<sup>27)</sup>、1951年『中学校・高等学校学習指導要領 理科編（試案）改訂版』<sup>28)</sup>も化学方程式と記されているが、1956年『高等学校学習指導要領 理科編改訂版』<sup>29)</sup>、1958年『中学校学習指導要領』<sup>30)</sup>には化学反応式と記載され、次第に化学方程式は化学反応式に、＝は→に統一されていったことがうかがえる。

##### (2) 日本の中等教育「化学」教科書における熱化学方程式の呼称・表記の歴史

明治初期の「化学」教科書は各元素・物質の性質等の各論が中心で理論的な記載は少なかったが、1890年代になると理論的な内容も増え『中等化学教科書 上巻』（1893）<sup>31)</sup>にはエネルギー不滅の法則が記載され、『中等化学教科書 下巻』（1893）<sup>32)</sup>では熱化学方程式の呼称は使用されてい

ないものの、熱量を書き入れた式「 $C + 2O = CO_2 + 97000$  カロリ」を用いた数学的な計算で一酸化炭素の生成熱を求めている。同様に『化学教科書 中巻』(1894)<sup>33)</sup>も熱量を書き入れた式「 $C + O_2 = CO_2 + 96,900$  カロリ」を使用して計算を行っていた。以降の教科書『新編中学化学書』(1898)<sup>34)</sup>『化学教科書』(1898)<sup>35)</sup>『化学新教科書』(1902)<sup>36)</sup>などでも熱量を書き入れた式が用いられているが、その式に特別な呼称はみられない。

「熱化学方程式」と呼んでいる最も古いものは、管見の限り、うまみ成分 L-グルタミン酸ナトリウムの発見者の池田菊苗が著した 1903 年発行『中学化学教科書』<sup>37)</sup>であった。なお、1899 年から留学していたドイツライプチヒ大学での師であったオストワルトの著書を翻訳した 1904 年発行『近世無機化学』では「熱化学的方程式」を用いている<sup>38)</sup>。以降「熱化学の方程式」<sup>39)</sup>「熱化学ノ方程式」<sup>40)</sup>といった呼称もあるものの、熱化学方程式(=)<sup>41)</sup>が多く見られるようになる。

1925 年『師範学校教授要目』改訂にともなって化学の学習内容に「熱化学の大要」が追加されたため<sup>42)</sup>、1925 年以降の師範学校や中学校や実業学校の化学の教科書の多くに、熱化学方程式(=)が記載されるようになる。なお、高等女学校の教科書には熱化学の記載はない。

戦後の 1947 年「高等学校学習指導要領 物理・化学・生物・地学(試案)」の教材に「12. 化学反応と熱、熱化学方程式」<sup>27)</sup>が示されたが、この頃の教科書に熱化学方程式の記載はみられない。

1951 年『中学校・高等学校学習指導要領 理科編(試案)改訂版』の「単元 V 燃料の特性をどのように活用しているか」に「6. 燃料が重要な物質の原料としても使用されることを理解する」<sup>28)</sup>があり、多くの教科書では戦前と同様に熱化学方程式(=)が使われているが、熱化学方程式(→)<sup>43)</sup>、熱化学式(=)<sup>44)</sup>を使用する教科書もあった。

1956 年『高等学校学習指導要領 理科編改訂版』<sup>29)</sup>、1960 年『高等学校学習指導要領』<sup>45)</sup>には、いずれも学習内容に熱化学方程式が記されている。1956 年改訂当初の教科書は、ほとんどが熱化学方程式(=)であったが<sup>46)</sup>、1960 年改訂後の教科書から次第に熱化学方程式(=)が熱化学反応式(→)に変更されて、ほとんどが熱化学反応式(→)になった<sup>47)</sup>。

1970 年『高等学校学習指導要領』<sup>48)</sup>にも熱化学方程式と記されたが、改訂時の教科書のほとんどが熱化学反応式(→)であった。しかし、教科書の改訂のたびに熱化学方程式(=)の教科書が増え、次第に熱化学方程式(=)が主流となり、1978 年『高等学校学習指導要領』<sup>49)</sup>以降の教科書では、すべてが熱化学方程式(=)となり現在に至っている。

本章において中等教育化学の教科書を調査した結果、以下の 2 点が明らかになった。1 点目は、日本に近代化学が輸入された当初から化学方程式(=)が使用され、1950 年代まで一般的に使われていたことから、化学反応式中に熱量を書き加えた熱化学方程式は、数式同様に扱うために意図的に「方程式」という用語を採用し、→ではなく=を使用したのではないことである。2 点目は、熱量を書き加えた化学方程式が記載された最も古い教科書は、管見の限り 1893 年の教科書<sup>32)</sup>で、この式が 1903 年に池田菊苗によって「熱化学方程式」と命名されたことである<sup>37)</sup>。

いずれにしても、約 130 年間一貫して中等教育において使われてきた熱化学方程式が、2022 年度高校入学生から使用される「化学」教科書から消え、エンタルピー変化  $\Delta H$  で表されるようになるのは、大きな変更であることが実感できる。

## 5. おわりに

ヘスの法則を用いて未知の反応熱を求めることに焦点化すれば、熱化学方程式の方が直感的にわかりやすく、数学の連立方程式のように扱えるため、熱化学方程式からエンタルピー変化  $\Delta H$  表記への変更に違和感を覚える教員もいる。しかし、熱化学を含む「化学」の履修者が 27.5%で<sup>50)</sup>、その多くが大学等で継続して化学を学習する可能性が高いこと、また、高校化学の「化学反応とエネルギー」の学習において「熱量とエネルギーと仕事」の関連を扱う必要性や、エントロピーと合わせて化学反応が起こる理由を説明できる力の育成の必要性を主張する教員も多いことから<sup>51)</sup>、高大接続や国際標準との整合性を優先すべきであろう。したがって、高校化学でのエンタルピーの学習の定着に向けて、学習者目線に立った実践・研究を積み重ね、授業・教材研究が進み、指導法や教材等の共有が図られることを期待したい。

最後に、本稿の執筆にあたって、東京薬科大学生命科学部応用生命科学科玉腰雅忠准教授に有益な助言を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

## 注および引用文献

1) 文部科学省 (2018)『高等学校学習指導要領』東山書房

2) 文部科学省 (2018)『高等学校学習指導要領解説理科編理数編』実教出版

なお、下線は強調するために筆者が付したものであり、以降の引用文中の下線も同様である。

3) 日本化学会化学用語検討小委員会 (2015)「高等学校化学で用いる用語に関する提案 (1)」『化学と教育』63(4)、204-206

日本化学会化学用語検討小委員会 (2016)「高等学校化学で用いる用語に関する提案 (2)」『化学と教育』64(3)、92-94

日本化学会化学用語検討小委員会 (2017)「高等学校化学で用いる用語に関する提案 (3)」『化学と教育』65(11)、596-597

日本化学会化学用語検討小委員会 (2019)「高等学校化学で用いる用語に関する提案 (2) への反応」『化学と教育』67(1)、38-40

4) 表中にまとめるため、日本化学会化学用語検討小委員会の提案の文章を一部省略して記載している。提案の意図や詳細は 3)の文献を参照されたい。

5) 文部科学省 (2009)『高等学校学習指導要領』東山書房

6) 文部科学省 (2009)『高等学校学習指導要領解説理科編理数編』実教出版

7) 4章で詳細を述べるように、熱化学方程式ではなく熱化学式、熱化学反応式という呼称や、 $=$ ではなく $\rightarrow$ を使用している式もあるが、ここではこれまで高校で一般に使用してきた、式中に熱量を書き入れる式を熱化学方程式とする。

8) 欄外の注で従来の熱化学方程式 (式①) にも言及している。

9) たとえば、チャン,R. オーバービー,J.、村田滋訳 (2010)『化学 基本の考え方を学ぶ (上)』東京化学同人、155

アトキンス,P. デ・ポーラ,J.、稲葉章・中川敦史訳 (2014)『アトキンス 生命科学のための物理化学 (第2版)』東京化学同人、47



10) 具体的な数値 (891 kJ) の記載はないが、以下のように書かれている教科書も1種ある。



11) 玉虫伶太 (1990) 「高校の化学教科書への意見 (II) : 熱化学方程式は必要か」『化学と教育』38(4)、464-465

12) ケムス委員会編、奥野久輝・白井俊明・塩見賢吾・大木道則訳 (1965) 『ケムス化学 付実験の手びき』共立出版、102-107

13) 『ケムス化学』ではエンタルピーではなく熱含量、『新ケムス化学』では熱含量またはエンタルピーとなっている。

パリー,R.W. スタイナー,L.E. テレフセン,R.L.、大木道則訳 (1973) 『新ケムス化学 : 実験に基づく科学』丸善、191-198

14) 石黒忠直編訳 (1870) 『化学訓蒙 卷之一 増訂』英蘭堂、22

なお、本稿では「學」等の旧字体は新字体で表記する。以降の文献においても同様とする。

15) ウェルズ,D.A.、土岐頼徳訳 (1872) 『化学闡要 五』鈴木喜右衛門発行、23

16) 三崎尚之述 得英学社編 (1873) 『新式近世化学 一』得英学舎、32

17) リヒテル,H.、文部省訳 (1874) 『化学日記 二編卷三』文部省、12

18) 稲田進治 (1884) 「羅斯珂氏化学」『化学史研究』23 (151)、129-139

19) ラスコー,H.E.、茂木春太訳、平岡盛三郎訳 (1876) 『閱羅斯珂氏化学』文部省編輯局、1巻、31

20) 菊池熊太郎編、宮崎道正訳 (1885) 『化学理論一斑』立真舎、38

21) 大石保吉 (1889) 『理化学教授法』柳原新一郎発行、50

22) リヒター,V.V.、片平周三郎訳、松尾周蔵訳 (1890) 『普通無機化学前編』赤城源次郎発行、36

23) 富山房編輯所編 (1891) 『化学新書』富山房、107

24) 西沢公雄編、吉田彦六郎訳 (1892) 『近世化学 : 理論実験 下巻』春陽堂、18

25) 訳語統一の必要性を痛感した東京化学会は1881 (明治14) 年に化学訳語の制定に着手し1891 (明治24) 年に『化学訳語集』を出版し“chemical equation”を「化学方程式」と訳している。

東京化学会 (1891) 『化学訳語集』丸善、14

26) ⇄を使用している式もある。

27) 文部省 (1947) 『高等学校学習指導要領 物理・化学・生物・地学 (試案)』

<https://erid.nier.go.jp/files/COFS/s22hn/index.htm>

28) 文部省 (1951) 『中学校・高等学校学習指導要領 理科編 (試案) 改訂版』

<https://erid.nier.go.jp/files/COFS/s26jhn/index.htm>

29) 文部省 (1956) 『高等学校学習指導要領 理科編改訂版』

<https://erid.nier.go.jp/files/COFS/s31hn/index.htm>

30) 文部省 (1958) 『中学校学習指導要領』

<https://erid.nier.go.jp/files/COFS/s33j/chap2-4.htm>

31) 吉田彦六郎 (1893) 『中等化学教科書 上巻』金港堂書籍、32

32) 吉田彦六郎 (1893) 『中等化学教科書 下巻』金港堂書籍、528-538

- 33) 池田菊苗 (1894)『化学教科書 中巻』金港堂書籍、285-287
- 34) 池田菊苗 (1898)『新編中学化学書』金港堂書籍、412-421
- 35) 池田菊苗 (1898)『化学教科書』金港堂書籍、595-603
- 36) 吉田彦六郎 (1902)『化学新教科書』金港堂書籍、182-189
- 37) 池田菊苗 (1903)『中学化学教科書』金港堂書籍、235-239
- 38) Ostwald,F.W.、池田菊苗訳 (1904)『近世無機化学』東京開成館、318
- 39) 池田清 (1907)『理論化学通解』高岡書店、134
- 40) 山下安太郎・帰山信順 (1904)『化学解義：理論計算』有朋堂、132
- 41) 式中で→を使用しているものを(→)、＝を使用しているものを(＝)と記す。
- 42) 堀七蔵 (1961)『日本の理科教育』福村書店、748
- 43) 玉虫文一 (1952)『自然の探究 (下) 修正版』中教出版
- 44) 千谷利三 (1952)『化学 (改訂版) 下』三省堂
- 45) 文部省 (1960)『高等学校学習指導要領』  
<https://erid.nier.go.jp/files/COFS/s35h/index.htm>
- 46) 44) 三省堂の教科書の改訂版は熱化学式(＝)のままであったが、43)の中教出版の教科書の改訂版は熱化学反応式(→)になった。『化学』(大原出版)と『化学』(清水書院)では熱化学方程式(→)が使用されている。  
飯島俊一郎・武谷琢美 (1955)『化学』大原出版  
江上不二夫・崎川範行・野口喜三雄・田村三郎 (1955)『化学』清水書院
- 47) 三省堂は、この間も熱化学方程式(＝)や熱化学式(＝)を使用している。
- 48) 文部省 (1970)『高等学校新学習指導要領』  
<https://erid.nier.go.jp/files/COFS/s45h/index.htm>
- 49) 文部省 (1978)『高等学校学習指導要領』  
<https://erid.nier.go.jp/files/COFS/s53h/index.htm>
- 50) 文部科学省 (2016) 平成 27 年度公立高等学校における教育課程の編成・実施状況調査の結果について  
[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/new-cs/\\_icsFiles/afieldfile/2019/02/12/1413569\\_002\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/_icsFiles/afieldfile/2019/02/12/1413569_002_1.pdf)
- 51) たとえば、今井泉 (2017)「中等教育化学における「化学反応とエネルギー」の現状と課題」、『化学と教育』65 (9)、428-431  
後藤顕一 (2020)「新学習指導要領の視点 変わる！高等学校での「熱化学」：「熱化学方程式」という文言が消去された件について」『化学と教育』68 (12)、501-501  
後飯塚由香里 (2018)「熱化学方程式は必要か」『化学と教育』66(9)、454-455