探究の流れ

探究 4　反応式の係数が表す量的関係

A 見通し

◆物質の量について粒子の数，物質量，質量，気体の体積といった表し方を学んだことを押さえ，これらが化学変化でどのような規則性をもって変化するのか考えさせ，自らの仮説を立てさせる。

☑ 評価の場面　主体

☑ 評価の場面　思・判・表

B 活動

◆炭酸カルシウムと塩酸を反応させて二酸化炭素を発生させ，反応前後の質量を測定させる。

☑ 評価の場面　知・技

C 整理・考察

◆測定した質量から炭酸カルシウムと二酸化炭素の物質量を求め，その関係をグラフに表す。グラフから物質量の比と反応式の係数の比について考察させ，化学変化の量的関係を見いださせる。

☑ 評価の場面　思・判・表

D 振り返り

◆A見通し～C結果・考察を振り返り，自己評価を行わせる。

☑ 評価の場面　主体

→　指導書付録ワークシートに自己評価欄あり

E 学習内容の理解　→図p.120

◆化学変化の量的変化について説明する。

☑ 評価の場面　知・技

1 探究 4　反応式の係数が表す量的関係

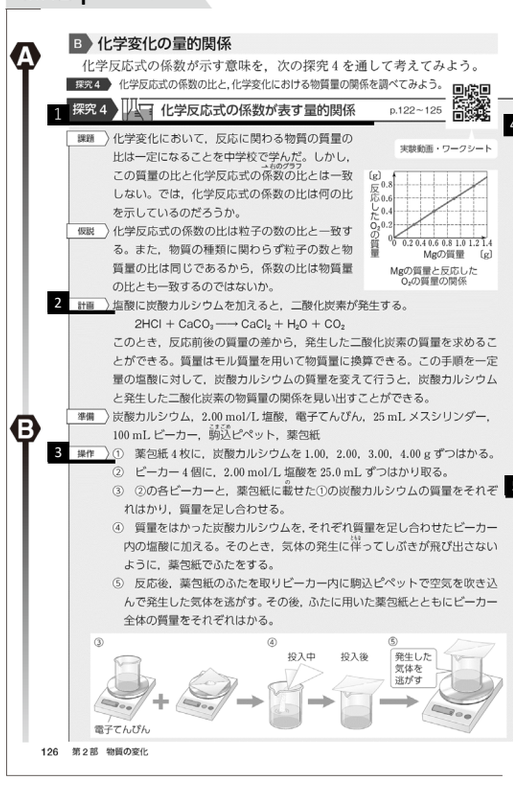
（配当時間 1 時間）

【指導目標】　本実験では「実験のための仮説を立てる技能」,「実験データを測定する技能」「データを解釈する技能」,「要因の抽出や観察・実験結果について推論する技能」などが求められる。特に化学基礎の中では条件を変えて複数の実験結果を得て，その間の定量的な規則・法則を見出す実験はほかにないため，その辺りを重点的に指導したい。

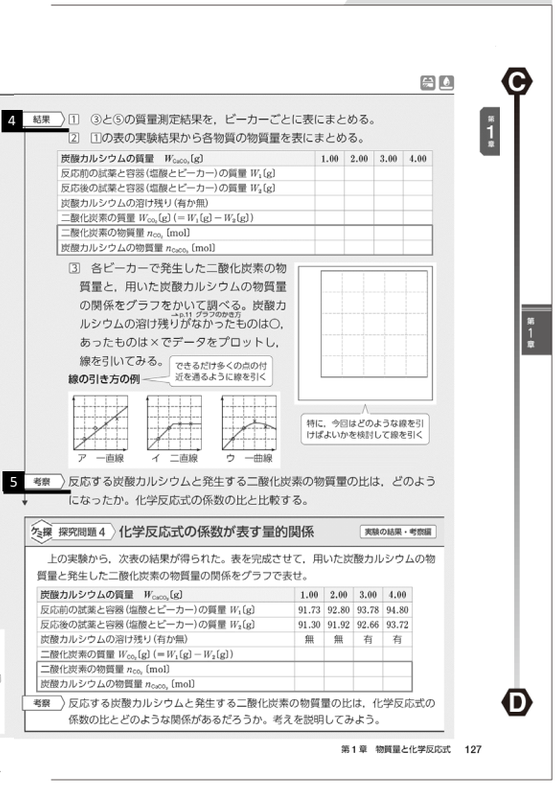
2 計画

反応によって生じた二酸化炭素の質量を決定するのに，二酸化炭素の質量を直接測定するのではなく，反応前後の容器の質量を測定し，差を求めることによって決定する。板書などできちんと概要を説明して理解させてから作業に入らせたい。

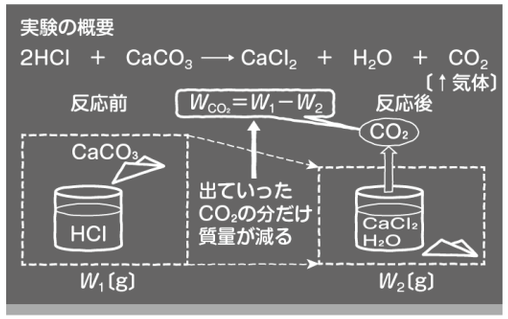
教科書 p.126



教科書 p.127



板書例



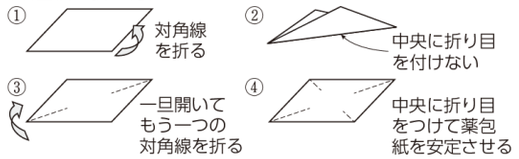
3 操作

実験のコツ

(1)　実験③で，ビーカーはすべて同じ質量だと思って，それぞれの質量測定を省く生徒がいる。ビーカーごとに質量が異なることを教えるために，4 個のビーカーの質量をそれぞれ測定し，記録させるとよい。

(2)　薬包紙にそのまま試薬を載せると，試薬がこぼれ落ちることがある。それを防ぐために薬包紙を対角線で折ってから，試薬を載せる。

〈薬包紙の折り方〉



(3)　反応させるときは，ビーカーを電子てんびんから降ろし，電子てんびんから遠ざけて行うこと。ビーカーを電子てんびんに載せたまま，反応させる生徒がいるので注意する。炭酸カルシウム $CaCO_3$ を塩酸 HCl に加えると，溶液の飛沫が飛び散ることがある。薬包紙に飛沫がつくのは構わないので，薬包紙でしっかりふたをして，飛沫が飛び散るのを防ぐようにする。多少振り混ぜると良い。

(4)　炭酸カルシウムが薬包紙に付着して残ることがあるので，薬包紙を液中に浸して反応させて測定しても良い。反応終了の確認は，反応液から気泡が生じなくなった時とする。多少濁っている程度であれば，溶け残りなしとする。

(5)　実験⑤の「空気を逃がす」とあるが，何も行わないと誤差がかなり大きくなる。記載した通り，液面に息を吹きかけるだけでも良いが，余裕があれば，ストローを用意し，ビーカー内の空間に呼気を入れてやるとよい。

(6)　3.0 g で溶け残りが出るとわかると 4.0 g の操作で溶液の攪拌を充分に行わない生徒が出てくる。反応が不十分なまま質量を測定すると考察のときに齟齬が生じるので，適宜声かけをしてやると良い。

参考　学び合いや ICT 活用について

(1)　1 人（1 グループ）で完結するように設計されているが，教室内で複数の班がいる場合は，いくつかの班には炭酸カルシウムを 1.5 g や 2.5 g で実験させ，複数の班の間でデータをシェアさせると，より考察のしやすいグラフになる。

(2)　ICT を活用できる場合は，表計算ソフトへ入力し，グラフ描画する。関数を使用すれば，授業内にグラフをプロジェクタで投影するなど共有し，全員で考察を行う時間を確保できる。なお，アナログで行うのであれば，黒板に座標軸を描いた模造紙などを貼り，磁石を置いてプロットするなどすれば良い。

(3)　学び合いによって生徒が他者に任せすぎて個々の学力に結びつかない場合や，ICT の活用によって，軸の書き方やデータプロットなどグラフの作法が身につかない場合がある。これらに対する対応も事前にイメージして設計しておきたい。

4 結果の整理と考察

図p.119 に示した通り，表にまとめ，データをプロットし，物質量の比と係数の比を比較するという手順で進める。

(1)　表を埋め，結果を座標平面にプロットする

表を埋める際はこれまでに学んだことを使う。充分に慣れていれば，ただ数値を書き並べるのではなく，日本語や文字式を挟みながら，レポートを書くための練習を促すと良い。どう書いて良いか分からない生徒には，例題や問いの解説を参考にするように促すとよい。板書例を p.176 に記載する。

1 化学変化の量的関係

本章の主な目的である，化学変化の量的関係の検討を行う。これまでの物質の量の換算を習熟していないとつまずく局面も多くなるので，留意する。

2 図8　反応に用いた炭酸水素ナトリウムと，得られた炭酸ナトリウムの質量の関係(左)と物質量の関係(右)

1つの反応について反応式の係数の比が物質量のと一致することを指摘して終わるのではなく，それがほかの反応でも一致することを指摘し，一般化できるように別の反応を挙げた。それぞれのグラフでは

質量の比　$NaHCO_3 : Na_2CO_3 = 168 : 106 \fallingdotseq 1 : 0.63$

物質量の比　$NaHCO_3 : Na_2CO_3 = 2 : 1$

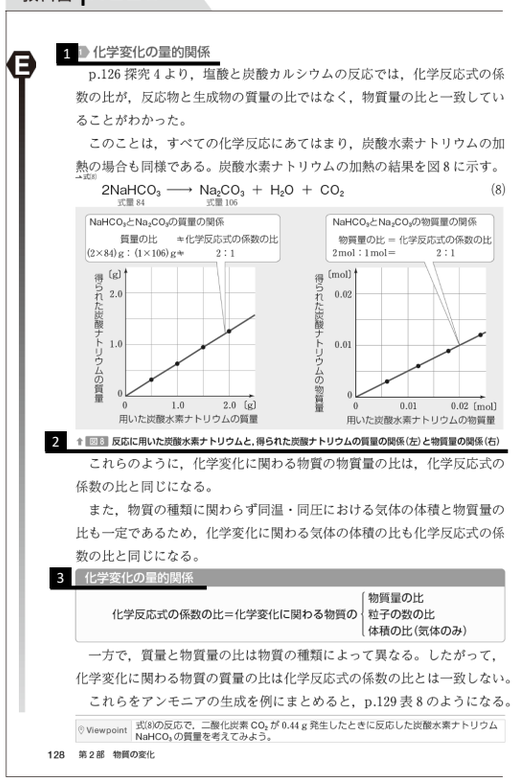
となっており，反応式の係数の比と同じになるのは物質量の比であることを指摘したい。

物質量のグラフのデータ点は，原点に近いほうから炭酸水素ナトリウムが 0.5 g，1.0 g，1.5 g，2.0 g の時のデータである。物質量のグラフではデータ点が格子点にのっておらず多少読みにくい。丁寧に説明すると良い。

3 化学変化の量的関係

実際に量的関係を活用し始めると，ほとんどの場合は物質量を求め，係数の比を使って，ほかの物質量を求めることが多い。しかし，物質量以外にも粒子の数の比と 0 ℃，1.013×10^5 Pa での気体の体積の比も同じになる。特に，気体の体積の比は頻繁に使うので，きちんと理解させておきたい。

教科書 p.128


1 化学変化の量的関係

p.126 探究 4 より，塩酸と炭酸カルシウムの反応では，化学反応式の係数の比が，反応物と生成物の質量の比ではなく，物質量の比と一致していることがわかった。

このことは，すべての化学反応にあてはまり，炭酸水素ナトリウムの加熱の場合も同様である。炭酸水素ナトリウムの加熱の結果を図 8 に示す。

$$2NaHCO_3 \longrightarrow Na_2CO_3 + H_2O + CO_2 \quad (8)$$

式量 84　式量 106

2 図8 反応に用いた炭酸水素ナトリウムと，得られた炭酸ナトリウムの質量の関係(左)と物質量の関係(右)

これらのように，化学変化に関わる物質の物質量の比は，化学反応式の係数の比と同じになる。

また，物質の種類に関わらず同温・同圧における気体の体積と物質量の比も一定であるため，化学変化に関わる気体の体積の比も化学反応式の係数の比と同じになる。

3 化学変化の量的関係

化学反応式の係数の比＝化学変化に関わる物質の { 物質量の比 / 粒子の数の比 / 体積の比(気体のみ) }

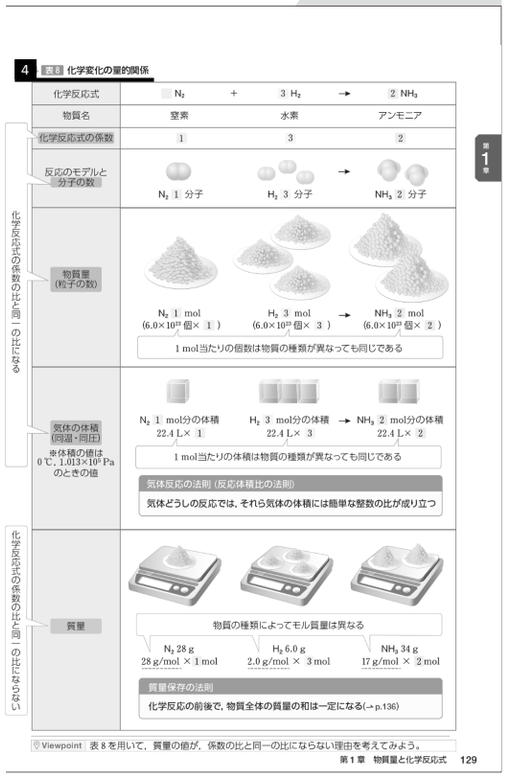
一方で，質量と物質量の比は物質の種類によって異なる。したがって，化学変化に関わる物質の質量の比は化学反応式の係数の比とは一致しない。

これらをアンモニアの生成を例にまとめると，p.129 表 8 のようになる。

Viewpoint 式(8)の反応で，二酸化炭素 CO_2 が 0.44 g 発生したときに反応した炭酸水素ナトリウム $NaHCO_3$ の質量を考えてみよう。

128　第2部　物質の変化

教科書 p.129

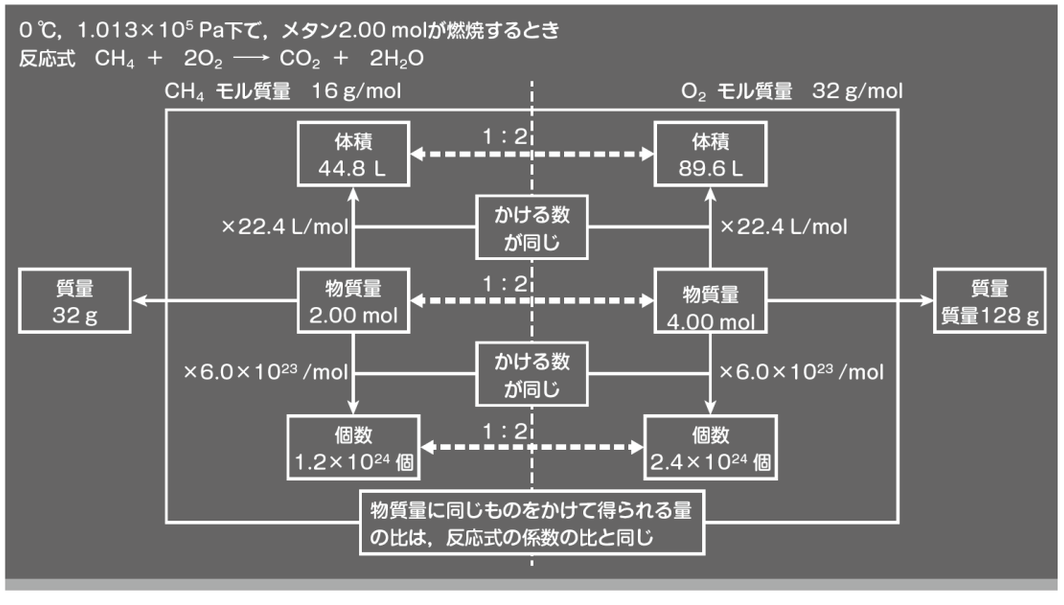

4 表8 化学変化の量的関係

化学反応式	N_2	+	$3\ H_2$	→	$2\ NH_3$
物質名	窒素		水素		アンモニア
化学反応式の係数	1		3		2
反応のモデルと分子の数	N_2 1 分子		H_2 3 分子	→	NH_3 2 分子
物質量(粒子の数)	N_2 1 mol (6.0×10^{23} 個× 1)		H_2 3 mol (6.0×10^{23} 個× 3)	→	NH_3 2 mol (6.0×10^{23} 個× 2)
	1 mol当たりの個数は物質の種類が異なっても同じである				
気体の体積(同温・同圧) ※体積の値は 0 ℃，1.013×10^5 Pa のときの値	N_2 1 mol分の体積 22.4 L× 1		H_2 3 mol分の体積 22.4 L× 3	→	NH_3 2 mol分の体積 22.4 L× 2
	1 mol当たりの体積は物質の種類が異なっても同じである				
	気体反応の法則(反応体積比の法則) 気体どうしの反応では，それら気体の体積には簡単な整数の比が成り立つ				
質量	物質の種類によってモル質量は異なる				
	N_2 28 g 28 g/mol × 1 mol		H_2 6.0 g 2.0 g/mol × 3 mol		NH_3 34 g 17 g/mol × 2 mol
	質量保存の法則 化学反応の前後で，物質全体の質量の和は一定になる(→p.136)				

Viewpoint 表 8 を用いて，質量の値が，係数の比と同一の比にならない理由を考えてみよう。

第1章　物質量と化学反応式　129

板書例



4 表7　化学変化の量的関係

教p.120 の内容を図を含めてまとめ直した表。

5 気体反応の法則(反応体積比の法則)

フランスのジョセフ・ルイ・ゲーリュサック(1778-1850)によって 1808 年に発表された。原義は「気体どうしは一定の体積比で反応する。」であり，英語訳は law of combining volumes である。和訳の「気体反応の法則」はその内容を表しているとは言い難いという理由から，日本化学会は 2017 年に「反応体積比の法則」の法則に改めるように提案している。教p.127 では(　)付きで表した。

ゲーリュサックは気体に関する法則を 2 つ発表しており，気体反応の法則(反応体積比の法則)はそのうちの 1 つである。ゲーリュサックは 1805 年にアレクサンダー・フォン・フンボルトとともに酸素と水素を体積の比 1 : 2 で反応させると，水蒸気が 2 体積生じる事を発見した。3 年後にまとまった形で発表され，ドルトンの原子説を支持するものと考えられたが，ドルトン自身は実験事実自体否定した。当時，ドルトンは水が HO であると考えていたためである。

スウェーデンのイェンス・ベルセリウス(→教p.101)は水の化学式が HO であること自体がおかしいと考え，ゲーリュサックの法則を認め，法則に一致するように物質の化学式を決定し，原子量を決定していった。O＝100 を基準にしてはいるが，43 の元素について，今の原子量表に近い比で値が得られている。

なお，ゲーリュサックが発見したもう 1 つの法則は一定圧力下での気体の温度と体積の関係であり，これは 1802 年のことである。シャルルが集めたデータを用いたので，現在ではシャルルの法則として知られている。

ゲーリュサックといえば，この業績も有名だが，熱気球で高度 6500 m まで浮上し，そこで気体を採取し，高度によらず大気の組成は同じであることを確認したことでも知られている。

6 質量保存の法則

アントワーヌ=ローラン・ド・ラボアジエ(1743-1794)によって発表された。その内容は本 p.184 でも触れる。

ラボアジエが発見したが，のちにスイスのハンス・ハインリヒ・ランドルト(1831-1910)やハンガリーのエトヴェシュ・ロラーンド(1848-1919)がそれぞれ 1908 年，1909 年に実験的に検討し，普通の化学反応では $\pm 2 \times 10^{-7} \sim 10^{-8}$ % 程度の誤差で正しいことを確かめた。

核分裂や核融合などの反応では，反応前後で質量の変化が認められる(質量欠損)が，エネルギーと質量を等価のものとして認めれば，広義の意味での保存則は成立するものとみなされる。

参考 まとめ

さまざまな計算ができるようになったが，これがどんな意味をもつのかについては必ず触れておきたい。

<中学校>

・銅の酸化，マグネシウムの酸化，水素の燃焼など特定の反応について，その質量の比を実験によって知ることができた。

→知らない反応については実験するしかなかった。

<高校>

・どのような化学反応においても反応式さえかければ，質量の比，物質量の比，個数の比，気体の体積の比を求めることができるようになった。

→これにより，初見の反応でも反応量を計算することができるようになった。