

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数、物質の質量、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する。

✓ 評価の場面 知・技

C 整理・考察

◆測定した質量から二酸化炭素と炭酸カルシウムの物質の質量を求め、その関係をグラフに表す。グラフから物質の比と反応式の係数の比について考察させ、化学反応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

◆見通し～整理・考察を振り返り、自己評価を行わせる。

→ 指導書付録ワークシートに自己評価欄あり

✓ 評価の場面 主体

E 学習内容の理解

◆化学変化の量的関係について説明する。

✓ 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】

化学変化は原子の組み替えであるから、化学反応式では反応の前後で原子の種類と数は等しく、反応物、生成物の化学式と物質質量比を示している。炭酸カルシウム CaCO_3 と塩酸(塩化水素) HCl の反応を例に、化学変化の量的関係について指導する。また、仮説に基づいて行った実験を、他の人に分かりやすく説明できるように、報告書(レポート)の書き方を学ばせる。

2 仮説と計画

このときの仮説は、「一方の反応物の量を変化させて実験を行い、グラフを描くと、過不足なく反応する量がわかる」はずだということになる。理論から実験結果に関する仮説を設定しやすい課題である。

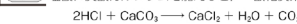
探究 4 反応式の係数の比と、化学変化における物質の量的関係を調べてみよう。

探究 4 反応式の係数が表す量的関係 p.114～117

【課題】 化学変化において、反応に関わる物質の質量の比は一定になることを中学校で学んだ。しかし、この質量の比と化学反応式の係数の比とは一致しない。では、化学反応式の係数の比は何の比を示しているのだろうか。

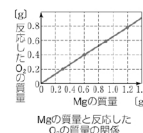
【仮説】 化学反応式の係数の比は粒子の数の比と一致する。また、物質の種類に関わらず粒子の数と物質の比は同じであるから、係数の比は物質の比とも一致するのではないかと。

【計画】 塩酸に炭酸カルシウムを加えると、二酸化炭素が発生する。



このとき、反応前後の質量の差から、発生した二酸化炭素の質量を求めることができる。質量はモル質量を用いて物質質量に換算できる。この手順を一定量の塩酸に対して、炭酸カルシウムの質量を変えて行うと、炭酸カルシウムと発生した二酸化炭素の物質質量の関係を見い出すことができる。

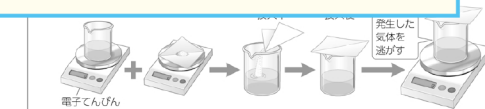
【準備】 炭酸カルシウム、2.00 mol/L 塩酸、電子てんびん、25 mL メスシリンダー、100 mL ビーカー、黄包紙



探究の流れ

探究の流れと評価を行う場面を整理して確認できるようにしました。

DVD-ROM 収録の「探究の指導と評価の計画例」と対応しています。



118 第2部 物質の変化

また、時間に余裕があり、実験方法まで生徒自身を考えさせようとするときは、どんな濃度の塩酸を使えばいいか、演示実験で示すとよい。6 mol/L、3 mol/L、2 mol/L、1 mol/L、0.5 mol/L の塩酸を用意する。使用する炭酸カルシウム粉末薬さじ1杯(約1 g)を 200 mL ビーカーに入れ、用意した塩酸 10～25 mL を生徒の前で入れて見せ、反応の速さや発泡の激しさなどから、適切な濃度を考えさせる。また、炭酸カルシウムは水に溶けないことを確認しておく方がよい。結果を考察するときが必要となる。

3 準備

(1) 炭酸カルシウム CaCO_3 は、粉末状のもの(沈降性炭酸カルシウム)を用いる。石灰石や大理石は、細かく砕いても反応に時間がかかり、また、純度も不明である。

探究の過程ごとに、丁寧な解説を掲載しています。よりスムーズな授業例なども紹介しています。

が、TARE(風袋)という表示が多い。

結果 ① ③と⑤の質量測定結果を、ビーカーごとに表にまとめる。

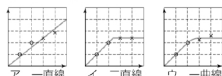
5

② ①の表の実験結果から各物質の物質量を表にまとめる。

炭酸カルシウムの質量 W_{CaCO_3} [g]	1.00	2.00	3.00	4.00
反応後の試薬と容器(ビーカー)の質量 W [g]				
反応後の試薬と容器(ビーカー)の質量 W_2 [g]				
炭酸カルシウムの溶け残り(有か無)				
二酸化炭素の質量 W_{CO_2} [g] ($= W_2$ [g] - W [g])				
二酸化炭素の物質量 n_{CO_2} [mol]				
炭酸カルシウムの物質量 n_{CaCO_3} [mol]				

③ 各ビーカーで発生した二酸化炭素の物質量と、用いた炭酸カルシウムの物質量の関係をグラフをかいて調べる。炭酸カルシウムの溶け残りがなかったものは○、あったものは×でデータをプロットし、線を引きしてみる。

線の引き方の例



横に、今回までのような線を引き、縦に、今回までのような線を引き、線を引く

考察 反応する炭酸カルシウムと発生する二酸化炭素の物質量の比は、どのようなものになったか。化学反応式の係数の比と比較する。

6

探究問題 4 反応式の係数が表す量的関係

上の実験から、次表の結果が得られた。表を完成させて、用いた炭酸カルシウムの物質量と発生した二酸化炭素の物質量の関係をグラフで表せ。

実験操作上のコツを「実施のコツ」にまとめています。
予想される実験操作上の失敗例も掲載しているので、より正確に実験を行いやすくなります。

4 操作

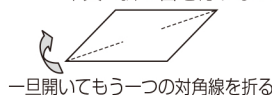
実施のコツ

- 実験③で、生徒の中には、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。
- 葉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。それを防ぐために葉包紙を折って載せる。

葉包紙の折り方



中央に折り目を付けない



中央に折り目がないと葉包紙が安定する

- 反応させるときは、ビーカーを電子天秤から降ろし、電子天秤から遠ざけて行うこと。

5 結果

- 結果①で、反応後のビーカー内の様子から、炭酸カルシウムが1.00 g、2.00 gのときは、液が無色透明である。このことから、炭酸カルシウムは残っていないことがわかる。一方、3.00 g、4.00 gのときは白濁しているの、炭酸カルシウムが残っていることがわかる。したがって塩酸がすべて反応しきっている。
- 物質量の計算において、すべてが反応した方の反応物の物質量を求めなくてはならない。計算すればわかることだが、観察結果から、どちらの物質の物質量を計算するかを決めてから計算した方がよい。

6 考察

- 炭酸カルシウム1.00 gと2.00 gを使用した場合、反応後のビーカー内は無色透明であったので、炭酸カルシウムの量により発生するCO₂の物質量が決まり、それぞれ0.010 mol、0.020 molとなる。
- 炭酸カルシウム3.00 gと4.00 gを使用した場合、反応後のビーカー内が白濁していたから、炭酸カルシウムが過剰である。従って生成物の量は塩酸の物質量で決まることになる。よって使用した塩酸0.0500 molであるから、発生するCO₂はどちらも0.0250 molである。

板書例

CO₂の予想発生量

(1) CaCO₃: 1.00 g, 2.00 g のとき



全て反応 過剰量

(係数比) CaCO₃: CO₂ = 1:1

CaCO₃のモル質量

$$= (40.0 + 12.0 + 16.0 \times 3) \text{ g/mol} = 100.0 \text{ g/mol} \quad \text{より}$$

CaCO₃の質量 CaCO₃の物質量 = CO₂の物質量

1.00 g 0.010 mol 0.010 mol

2.00 g 0.020 mol 0.020 mol

∴ 予想されるCO₂の物質量は、

CaCO₃が1.00 g のとき、0.0100 mol

2.00 g のとき、0.0200 mol

準備 約30分, 実験 約40分

費用 炭酸カルシウム 1,400~2,200円/500g

濃塩酸 500~1,100円/500mL

電子天秤 10,000~45,000円/1台

葉包紙 850~2,300円/1000枚

25 mL メスシリンダー 300~1,750円/1個

100 mL ビーカー 410~750円/1個

探究のまとめ

- ・ 反応する炭酸カルシウムと発生する二酸化炭素の物質量の比は、化学反応式の係数の比と一致する。

1 気体 1 mol の体積

よくある質問と回答

問 気体は種類によって分子の大きさも質量も違うのに、なぜ同体積になるのですか。

答 詳しくは、物理で学ぶ気体の分子運動論を理解しなくてはならないが、次のように考えるとおおよその理解はできる。 H_2 のような軽い分子は、同じ温度(エネルギー)でも速く運動することができる。一方、 O_2 のような H_2 より重い原子は、同じ温度ではゆっくりとしか動くことができない。

H_2 と O_2 をそれぞれ同じ大きさの袋に入れ同じ体積を保つには、大気圧(地上では 1 atm)と等しい圧力を袋の内側から外へ及ぼす必要がある。 H_2 は軽いが速く、 O_2 は重いが遅いので、それぞれの分子 1 個の衝突による袋の内側から外側へ及ぼす力は等しくなる。したがって、同数の H_2 分子と O_2 分子は同温・同圧では同体積を占めることになる。

2 表 7 化学変化の量的関係

つまずき対策 量的関係を把握するのが苦手な生徒は多いので、より具体的な例を示して説明するとよい。分子モデルの図を活用して、係数の比＝物質量の比になっていることと既習のモル質量を使って、質量の関係を導き出す。

板書例

	$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$			
(モデル)				
(モル質量)	12+4=16	16×2=32	12+16×2=44	2×16=32
(係数比)	1	2	1	2
(物質量比)	1	2	1	2
(質量比)	12+4=16g	2×16×2=64g	12+16×2=44g	2×(2+16)=36g
(体積比)	22.4 L	2×22.4 L	22.4 L	(液体)

3 気体反応の法則

ゲーリュサック(フランス, 1808 年)

「気体の反応では、反応する気体及び生成する気体の体積比は、同温同圧のもとで簡単な整数比になる」

実験的に導き出された法則。反応に関係する物質がすべて気体でなくても、反応に関係する気体相互間に当てはまる。例えば、 $Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$ の反応で CO と CO_2 の体積比は 1 : 1 である。

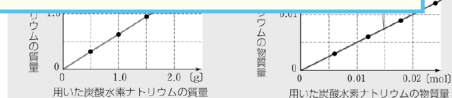
E

◆ 化学変化の量的関係

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。同様の結果は、炭酸水素ナトリウムとの加熱の場合でも見られる。この結

よくある質問と回答

授業中に、実際に生徒から先生に質問があった内容と、その回答例などを取り上げています。



▲ 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数(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。

1 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。

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。

120 第2部 物質の変化

つまずき対策

生徒が間違えやすい点、誤解する内容などを紹介し、その対策例を取り上げています。

一般的であることに気付いていた。同じ頃、デービーは種々の酸素の酸化物の研究で、酸素と酸素の組成比が

板書例

効果的な説明図やまとめ方などの板書例を、黒板イラストで示しています。

簡単な整数の関係にあるとした。これらの結果を総合して気体反応の体積比は簡単な整数比になると主張した。

気体反応の法則を原子説で説明しようとする矛盾につき当たる。このため、ドルトンは気体反応の法則を否定したといわれる。しかし、この矛盾は、後にアボガドロによって解決された。

つまずき対策 化学変化の係数の比は、反応物と生成物の物質量の比に相当する。したがって、「物質をすべて物質量(mol 単位)に換算し、それを係数比に合わせて計算するのが、量的関係の計算の基本である」と指導するとよい。そして、物質量(mol 単位)で解を求めた後、題意に応じて質量なり体積なりに換

これらをアンモニアの生成を例にまとめると、表7のようになる。

表7 化学変化の量的関係			
化学反応式	$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$		
物質名	窒素	水素	アンモニア
反応式の係数	1	3	2
反応のモルと分子の数	N_2 1 分子	H_2 3 分子	NH_3 2 分子
物質の量 (粒子の数)	N_2 1 mol (6.0×10^{23} 個 $\times$ 1)	H_2 3 mol (6.0×10^{23} 個 $\times$ 3)	NH_3 2 mol (6.0×10^{23} 個 $\times$ 2)
	1 mol 当たりの値は物質の種類が異なっても同じである		
気体の体積 (標準状態)	N_2 1 mol 分の体積 22.4 L $\times$ 1	H_2 3 mol 分の体積 22.4 L $\times$ 3	NH_3 2 mol 分の体積 22.4 L $\times$ 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		
3 気体反応の法則	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	N_2 28 g $28 \text{ g/mol} \times 1 \text{ mol}$	H_2 6.0 g $2.0 \text{ g/mol} \times 3 \text{ mol}$	NH_3 34 g $17 \text{ g/mol} \times 2 \text{ mol}$
	物質の種類によってモル質量は異なる		
4 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		

第1章 物質と化学反応式 121

算すればよい。こうすれば、化学変化の量概念を正確にとらえることができ、複雑な反応でも十分に理解できる。

$a\text{A} + \dots \rightarrow b\text{B} + \dots$ の化学変化で、Aの量からBの量を求める手続きを、次に簡単に示す。 w は質量、 V は標準状態の体積(気体の場合)、 M はモル質量(式量)である。

Aの量…… w_{A} [g], V_{A} [L]

↓ (質量や体積を物質質量に換算)

Aの物質質量…… $\frac{w_{\text{A}}}{M_{\text{A}}} [\text{mol}]$, $\frac{V_{\text{A}}}{22.4} [\text{mol}]$

Bの物質質量…… $\frac{w_{\text{A}}}{M_{\text{A}}} \times \frac{b}{a} [\text{mol}]$

$\frac{V_{\text{A}}}{22.4} \times \frac{b}{a} [\text{mol}]$

(物質質量を質量や体積に換算)

Bの量…… $\left\{ \begin{array}{l} M_{\text{B}} \times \frac{w_{\text{A}} b}{M_{\text{A}} a} [\text{g}], M_{\text{B}} \times \frac{V_{\text{A}} b}{22.4 a} [\text{g}] \\ 22.4 \times \frac{w_{\text{A}} b}{M_{\text{A}} a} [\text{L}], \frac{V_{\text{A}} b}{a} [\text{L}] \end{array} \right.$

4 質量保存の法則

ラボアジエ(フランス, 1774 年)

「化学反応の前後で、物質の質量の総和は変化しない。」

ラボアジエが発見したが、のちにランドルト(1908 年), エトヴェシュ(1909 年)らが実験的に検討し、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。

核分裂や核融合等の反応では、反応の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、広義の保存則は成立するものとみなされる。

ラボアジエは、ガラス製の容器(レトルト)に金属のスズを入れて密封後、加熱する実験を行った。すると、スズの表面に金属灰(酸化物)が生じたが、レトルトを含めた全体の質量は変化しなかった。冷却後にレトルトを開封すると、空気が吸い込まれ、その量はレトルトの容積の約 $\frac{1}{5}$ であり、その分だけ全体の質量が増加した。

ラボアジエは、この金属灰の生成は、金属が空気の一部と化合したためと解釈し、このことは燃焼一般に拡張できると考えた。しかし、空気中の何が金属と化

補充問題

教科書の問題に関連した補充問題を掲載しています。

補充問題

20℃, $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ において、0.20 L のメタンに、1.00 L の酸素を加えて完全に燃焼させた。

- (1) メタンと酸素のうち、反応後に残るのはどちらで、20℃, $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ で何Lか。
- (2) 生成した水をすべて液体にして除いた後、残った気体の体積は、20℃, $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ で何Lか。

答 (1) 酸素, 0.60 L (2) 0.80 L

解説 この反応を化学反応式で表すと、



(係数比) 1 : 2 : 1 : 2

- (1) アボガドロの法則により 同温・同圧において

他にも

- ・授業導入例
- ・指導の要点・指導上の留意点
- ・話題 発問例

などのコーナーを設けた、充実の解説書となっています。

1 : 1 = 0.20 L : y $y = 0.20 \text{ L}$

反応後に残る気体は、未反応の酸素との合計で、
 $0.60 \text{ L} + 0.20 \text{ L} = 0.80 \text{ L}$