

## 17

# 炭酸水素ナトリウムと塩酸の反応

## ～化学反応における量的関係～

化学と人間生活との  
かかわり

物質の探究

物質の構成粒子

物質と化学結合

物質と化学反応式

化学反応

巻末資料

難易度	教材の入手日数	準備時間	実施時間
★☆☆	1ヶ月	1時間	50分

### 目的と内容

化学反応式の係数の比が、化学反応における反応物の物質質量と生成物の物質質量の比を表していることを確かめる

「物質質量の概念を導入し、反応に関与する物質の量的関係について、観察、実験を行い、化学反応における物質の変化と量的関係を化学反応式で表すことができることを理解させること」がこの単元の主なねらいである。化学反応式を用いて化学反応における物質の変化とその量的関係について理解させる。

また、化学反応式の係数の比が化学反応における物質質量の比を表すことを扱う。さらに、反応に関与する物質の質量や体積の間に成り立つ関係を物質質量と関連付けて扱い、物質の変化量を化学反応式から求めることができるようにする。

ここでは、炭酸水素ナトリウムと塩酸の反応を用い、2つの反応物と、生成物の1つである二酸化炭素の量的関係を調べる。



### 既習事項

- 小学校：3年生の「物と重さ」  
5年生の「物の溶け方」
- 中学校：1年生の「水溶液」  
2年生の「化学変化」「化学変化と物質の質量」

中学校2年生で質量保存の法則を学習しているが、生徒にとって理解が難しい内容の一つである。化学反応式から分かることは、「反応する物質、反応してできる物質が何であるか」「化学反応式の前の数字から、反応する物質と、反応してできる物質の分子や原子の数の関係がどうなっているか」であることを学習している。化学反応式については、式を作ること、特に係数を付けることが苦手である生徒も多い。

実験では、金属を熱したときの質量の変化において銅粉末やマグネシウム粉末を加熱する実験を行っている。 $2\text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CuO}$ の反応において、質量比が銅4：酸素1：酸化銅5になることや $2\text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MgO}$ の反応において質量比が、マグネシウム：酸素：酸化マグネシウム=3：2：5になることなどを学んでいる。

また、物質が化学変化する前と後の質量を比べる実験で、気体が発生する反応において、密閉していると質量が保存されることを学習している。この実験では、炭酸水素ナトリウムと塩酸の反応を行っており、化学反応式、 $\text{NaHCO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$  は既習事項である。

## 留意点

### 【指導面】

○化学反応式  $a$  反応物 1 +  $b$  反応物 2 →  $c$  生成物 1 +  $d$  生成物 2

において、反応物と生成物の物質量の比は、

反応物 1 : 反応物 2 : 生成物 1 : 生成物 2 =  $a$  :  $b$  :  $c$  :  $d$  となる。

この考え方は生徒にとって難しくはないが、物質量、質量、体積、粒子の数の変換や、化学反応式を作ることに困難さを感じる生徒が多い。中学校でも化学反応式や質量の関係は学習しており苦手意識をもっている生徒も多いことに留意が必要である。生徒が化学を「難しい教科」と捉える要因の一つがこのような計算にある。実験を行い、理論値が実際の値となることから、化学の魅力や、有用性を感じさせる。

○この実験では、中学校で行った実験と同じ物質を用いることで、「中学校では質量で考えたことを、高校では物質量で考える」と生徒に意識させる。

炭酸水素ナトリウムと塩酸の反応を表す化学反応式は



$\text{NaHCO}_3 : \text{HCl} : \text{NaCl} : \text{H}_2\text{O} : \text{CO}_2 = 1 : 1 : 1 : 1 : 1$  である。

塩酸は 15mL ( $3.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$  の塩化水素) で一定とし、加える炭酸水素ナトリウムは 1.0 g ( $1.2 \times 10^{-2} \text{ mol}$ )、2.0 g ( $2.4 \times 10^{-2} \text{ mol}$ )、3.0 g ( $3.6 \times 10^{-2} \text{ mol}$ )、4.0 g ( $4.8 \times 10^{-2} \text{ mol}$ ) の 4 つである。

$\text{NaHCO}_3 : \text{CO}_2$  は 1 : 1 より、2.0 g のとき生じる二酸化炭素の質量は 1.0 g のときの倍であるが、3.0 g のときは 3 倍よりも少なく、4.0 g のときは 3.0 g のときと同じ質量となる。これは、塩酸中の塩化水素が不足するためであり、 $\text{HCl} : \text{CO}_2$  は 1 : 1 より、3.0 g、4.0 g のとき、生じる  $\text{CO}_2$  は塩化水素と同量の  $3.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$  となる。

結果をグラフに示すと、過不足なく反応する点が  $3.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$  であることをグラフからも読み取ることができる。

### 【安全面】

○保護めがねを着用させる。

### 【後処理】

○残った塩酸は保管し、再利用する。

## 導 入

### 【ポイント】

- 化学反応式の係数と物質質量との関係に興味・関心を高める。
- 反応物を過不足なく反応させるにはどうしたらよいか疑問を喚起させる。

### 【導入例】

- ブタン ( $C_4H_{10}$  カセットボンベ) と酸素の燃焼

シリンジに次の割合で混ぜた気体を燃焼したとき、どれが一番激しく燃焼するか考えさせる。

①ブタン：酸素=13：2 ②ブタン：酸素=7.5：7.5 ③ブタン：酸素=2：13

蒸発皿にシャボン液（食器用洗剤を水でうすめたもの）を作っておく。シリンジを用い、①～③の割合でブタンと酸素を混合した気体をつくる（例① ブタン 13mL をシリンジに取り、続けて酸素 2mL を加え全体で 15mL になるようにする）。次に、混合気体の入ったシリンジの先をシャボン液にいれ、すこしずつ気体を押し出すと、混合気体のシャボン玉ができる。そこに、チャッカマンで火をつけると③の割合で混ぜたものが激しい音をたてて燃焼する。①～③の順番は選択した生徒が少なかった順などどの順番でもよいが、最後に③を行うと、①②で拍子抜けした分、驚きは大きくなる。（音に驚くので、心臓の悪い生徒がいる場合は注意が必要。その場合、大きな音がすることをあらかじめ話しておく。そして、一番激しい③から行い、ついで②、①と行くと、③で驚いた分①②との違いを明らかに感じることができる。）

- 炭酸水素ナトリウムと 2.0mol/L の塩酸の入った試薬瓶を教卓に置き、「これを使って、1 mol の二酸化炭素を発生させるためにはどうしたらよいか」と発問する。

## ◎準備

### 準備の流れ

#### 1ヶ月前～

(発注, 調製, 代替の検討時間含む)

- 材料の準備
- 実験室の備品確認

#### ～前日

- 材料の確認
- 塩酸の調製
- プラスチックカップにラベルを貼る
- 器具・教材の分配

#### 当日

- 器具・教材の分配

## 必要な材料・器具・薬品

準備で必要なもの

濃塩酸, 蒸留水

必要な 2.0mol/L の塩酸の量  $70\text{mL} \times (\quad) \text{ 班/クラス} \times \text{クラス数} = (\text{X}) \text{ mL}$

必要な濃塩酸の量  $\text{X} \times 1/6$

当日必要なもの

[器具] プラスチックのコップ, 保護めがね

必要なプラスチックのコップ  $1 \text{ 班} 8 \text{ 個} \times (\quad) \text{ 班} = (\quad) \text{ 個}$

[薬品] 炭酸水素ナトリウム, 2.0mol/L 塩酸

炭酸水素ナトリウムの必要量  $10 \text{ g} \times (\quad) \text{ 班} = (\quad) \text{ g}$

## ☆教材の入手方法

### ①炭酸水素ナトリウム

理科消耗品カタログなどで購入可能 500mL で 3,500 円程度

### ②塩酸

理科消耗品カタログなどで購入可能 500mL で 1,500 円程度

### ③プラスチックのコップ (大, 小)

500mL で 1,500 円程度

### ④プラスチックカップ

※なくてもよいですが, 実験の試料配付にあると便利です。

インターネットでも購入可能 本体 50 個で 450 円程度

ふた 50 個で 300 円程度



③ 左: 大 約 510mL  
右: 小 約 220mL

## 当日のセット

### ☆生徒用

#### [器具]

- プラスチックカップ
  - 大 (約 510mL) 4 個
  - 小 (約 220mL) 4 個
- ストロー 1 本
- 薬さじ 1 本
- メスシリンダー 1 個
- 駒込ピペット 1 本
- 電子天秤 1 台
- オンスカップ (試料用) 1 個
- 100mL ビーカー (塩酸用) 1 個
- 保護めがね 人数分

#### [薬品]

- 希塩酸 (2.0mol/L) 70mL 程度
- 炭酸水素ナトリウム 15 g 程度

### ★教員用

- 生徒用と同じもの



#### (1) 前日まで

- 材料や器具の確認・調達を行う。
- 2.0mol/L 塩酸の調製を行う。

必要量の塩酸の 5/6 体積の蒸留水をメスシリンダーではかりとりビーカーに移し、そこに、必要量の 1/6 体積の濃塩酸をメスシリンダーではかりとりつつ少しずつ加えて混ぜる。

例) 900mL 調製するとき (塩酸は 12 で割り切れる量で調製するとよい)

蒸留水 750mL をメスシリンダーではかりとりビーカーに移し、そこに、150mL の濃塩酸をメスシリンダーではかりとり、少しずつ加えて混ぜる。

- プラスチックカップにビニールテープを貼り、大、小それぞれ 1.0 g, 2.0 g, 3.0 g, 4.0 g の 4 つずつ 1 セットとする。この作業は生徒にやらせてもよい。

#### (2) 実験当日

- 材料や器具の分配を行う。

プラスチックカップはビーカーやコニカルビーカー、三角フラスコなどで代用できる。ビーカー等を用いる場合、炭酸水素ナトリウムは薬包紙にはかりとる。塩酸が入った状態で、ビーカーごと電子天秤にのせ質量をはかり、それに加えた炭酸水素ナトリウムの質量を計算で合計したものと、反応後の質量の差から、発生した二酸化炭素の質量を求める。また、使用するビーカーは、使用する塩酸は 15mL と少量であるが、反応の際、発生した気体の二酸化炭素によって水溶液が跳ねてビーカーの外に出てしまう場合があるため、大きめの物を用いるとよい (200~500mL)。また、水溶液の飛び散りを防ぐため、薬包紙をビーカーの口にのせてもよい。この場合は、質量を測る際に、反応前、反応後ともに、薬包紙を加えた質量をはかる。プラスチックカップの大きさは、どのサイズでもよいが、上記と同様の理由から、反応させるコップは大きい方がよい。小さい方のコップは大きいコップが重なればよいので、大のコップの底より口は少し大きく、底はそれより小さいサイズであればよい。

ストローはなくてもよい。

駒込ピペットはスポイトでもよい。

炭酸水素ナトリウムは、定量実験であるため、できるだけ試薬を使用する。ただし、掃除用などで売られている重曹でも代用可能である。その場合は、成分が炭酸水素ナトリウムだけのものを用いる。

## ◎観察，実験

### 観察，実験の流れ

#### □導入（5分）

- \*導入のポイント及び例を参照
- \*目的を理解させる

#### □観察，実験（25分）

##### \*手順を指導する

- ・塩酸と炭酸水素ナトリウムをはかりとる
- ・塩酸に炭酸水素ナトリウムを加えて反応させ、質量の変化から生じた二酸化炭素の質量を調べる
- ・結果を表などに記入する

##### \*安全面を指導する（留意点の安全面を参照）

##### \*操作は全員で分担して行うように指導する

##### \*机間巡視を行いながら、生徒への実験のアドバイスや注意を促す

#### □結果のまとめ，考察（10分）

#### □授業のまとめ（5分）

#### □後片付け（5分）

## 手順

時間のめど（およそ20分）

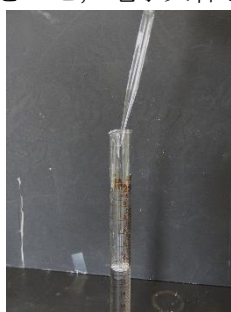
- ① メスシリンダーで2.0mol/Lの塩酸を15mLはかりとり、小さい方のプラスチックカップに入れる。これを、4つ作る。

はかりとるときは、メスシリンダーの目盛り15mLに少し足りないくらいまで、ビーカーから直接メスシリンダーに塩酸を注いだ後、駒込ピペットを用いて少しずつ滴下し、15mLちょうどにする。

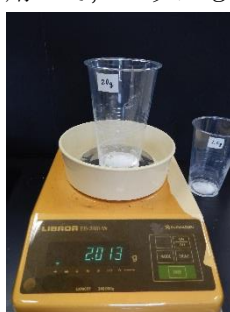
- ② 電子天秤に大きい方のプラスチックコップを置き、炭酸水素ナトリウムを1.0gはかりとる。このとき、カップの内壁になるべく炭酸水素ナトリウムがつかないようにする。同様に、2.0, 3.0, 4.0gをはかりとる。

**ポイント！炭酸水素ナトリウムが内壁につくと、塩酸と反応させる際にコップを斜めにするなどしなければならず、こぼれる危険性も出てくる。**

- ③ ①に②をのせ、電子天秤を用いて、コップも含めた質量をはかり、記録する。4組すべてをはかる。



①



②



①と②



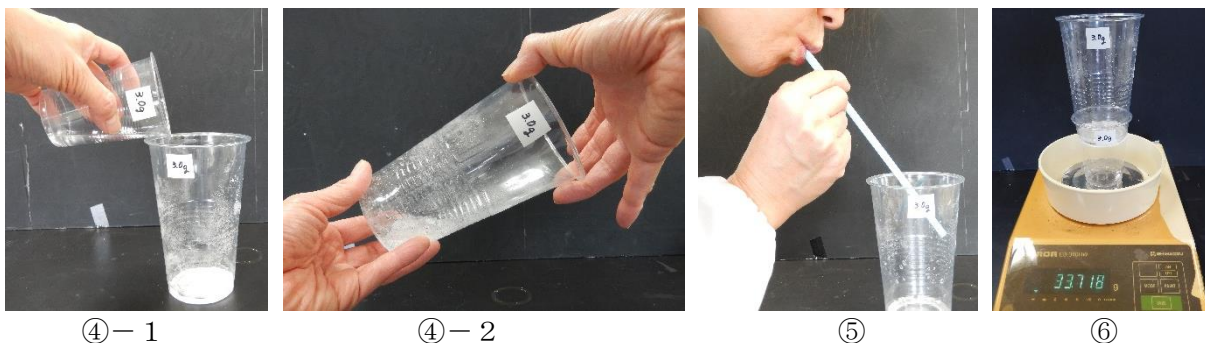
③

- ④ 炭酸水素ナトリウムが入った大きい方のコップに塩酸を静かに少しずつ加える。こぼさないように気をつけながらコップを傾けるなどして、コップの内壁についている炭酸水素ナトリウムも塩酸に浸るようにする。

- ⑤ 気体の発生が終了したら、カップを振るなどして液体中にある気泡を追い出した後、ストローでコップ内に息を静かに吹き込み、二酸化炭素を追い出す。このとき、未反応の炭酸水素ナトリウムがあるかどうか確認する。この条件で実験を行った場合、ストローで二酸化炭素を追い出さない場合、3.0

g, 4.0 g の時で約 0.01 g 重くなる。これは、生じた二酸化炭素の約 1.7% に当たり、物質質量に直すと  $2.2 \times 10^{-4}$  mol 程度である。有効数字 2 桁で考えた場合関係してくる所ではあるが、大きな影響はないので、状況により省略可能である。ただし、三角フラスコを用いた場合は、口が狭いため二酸化炭素が逃げにくい状態になるので、行った方がよい。また、「呼気＝二酸化炭素」と考え、息を吹き込むのは無意味と捉える生徒もいるが、呼気に含まれる二酸化炭素は 4% 程度であり、この操作においては空気とほぼ一緒と考えてよいことを伝えるとよい。

⑥ ③と同様に、空になった小さい方のカップに⑤を重ねて、電子天秤を用いて質量をはかり、記録する。



⑦ ④～⑥を 1.0～4.0 g すべてで行い、下のような表にまとめる。思考を高めたい場合は、表は与えず、表にまとめるように指示だけする。

	炭酸水素ナトリウムの質量 [g]	1.0	2.0	3.0	4.0
結果	反応前の総質量 a [g]				
	反応後の総質量 b [g]				
	発生した二酸化炭素の質量 a - b [g]				
	未反応の炭酸水素ナトリウムの有無				
処理	炭酸水素ナトリウムの物質質量 [mol]				
	用いた塩酸の物質質量 [mol]				
	発生した二酸化炭素の物質質量 [mol]				

## 結果のまとめ

生じた二酸化炭素の質量が、1.0 g → 2.0 g ではほぼ倍、3.0 g と 4.0 g ではほぼ同じになっていることを確認する。

## 考察

次の点などについて、考察させ、プリントに記入もしくは発表させる。

- ① 表のように、炭酸水素ナトリウムや塩酸、二酸化炭素を物質質量に直す。
- ② 物質質量のグラフを作成する。表と同様に、思考を高めたい場合は、グラフ用紙を配付し、単にグラフを作成するよう指示する。この場合、質量で作成する生徒もでてくるので、次の考察の際に質量比にしないか注意して見る必要がある。
- ③ 用いた塩酸と過不足なく反応する炭酸水素ナトリウムの物質質量はいくつか（グラフから読み取る）。
- ④ ③から、反応する  $\text{NaHCO}_3$  と  $\text{HCl}$  と生じる  $\text{CO}_2$  の物質質量の比はいくつか。
- ⑤ この反応を化学反応式で表し、④の結果と比較する。

## 授業のまとめ

以下の視点を参考に、まとめを行う。

- ① 化学反応式の係数の比が反応物と生成物の物質量の比になっていることが確認できた。
- ② 化学反応式が分かれば、計算によって、必要な反応物の量を求めることができることが分かった。

## 後片付け

生徒に次のように指示する。

- ビーカーに余った塩酸、炭酸水素ナトリウムはそのまま回収する。
- それ以外の器具はすべて水洗いさせる。

## 失敗例

### ●状態1 生じた二酸化炭素の量が理論値よりかなり小さくなった。

原因1 塩酸や炭酸水素ナトリウムを少なくはかりってしまった。

塩酸や炭酸水素ナトリウムはできるだけ正確にはかりとる。

原因2 二酸化炭素が残っていたため、その分反応後の質量が重くなった。

反応直後は、二酸化炭素の気泡が水溶液中に残っている。カップを動かすか、振動を与えるなどして、気泡を取り除くようにする。また、三角フラスコなどを用いた場合は、二酸化炭素が逃げにくい状態になるので、ストローで息を吹き込み、二酸化炭素を追い出す。

原因3 コップの内壁に炭酸水素ナトリウムが付着し、反応させなかった。

炭酸水素ナトリウムをはかりとるときにできるだけ内壁につかないようにし、付着した場合は、カップを傾けるなどして塩酸と反応させるようにする。

原因4 塩酸が薄かった。

この場合、特に3.0, 4.0 gの時にクラス全体で生じた二酸化炭素の量が少なくなる。調製を慎重に行う。(巻末資料参照)

### ●状態2 生じた二酸化炭素の量が理論値よりかなり大きくなった。

原因1 塩酸や炭酸水素ナトリウムを多くはかりってしまった。

塩酸が多いと、3.0 g, 4.0 gの時の二酸化炭素量が多くなる。炭酸水素ナトリウムを多く取ると1.0 g, 2.0 gの時の二酸化炭素量が多くなる。できるだけ正確にはかりとる必要がある。

原因2 液がこぼれるなどして、反応後の質量が実際より小さくなった。

塩酸を一気に入れたり、カップが小さかったりすると、反応の際、溶液がカップの外に飛び散ってしまうので注意が必要である。また、内壁についた炭酸水素ナトリウムと反応させるためカップを傾けるときなども注意が必要である。ただし、ガラス棒を用いると、ガラス棒に溶液が付着してしまうので、その場合はかき混ぜたガラス棒も一緒に質量をはかる必要が生じる。

原因3 塩酸が濃かった。

この場合、特に3.0, 4.0 gの時にクラス全体で生じた二酸化炭素の量が多くなる。調製を慎重に行う。(巻末資料参照)



●状態3 生じた二酸化炭素の量が3.0g, 4.0gで大きく異なった。

原因1 状態1, 2と同様の原因。

状態1, 2参照。特に、塩酸が濃い場合(状態2の原因3)は炭酸水素ナトリウムの量を増加しても、頭打ちにならない可能性も出てくるので注意が必要である。

## 別 法

別法① 炭酸水素ナトリウムではなく炭酸カルシウムを使う。

方法は同じであるが、炭酸カルシウムと塩酸の反応は

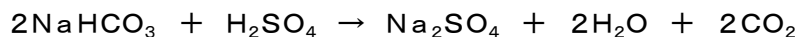


であるから、 $\text{CaCO}_3 : \text{HCl} : \text{CO}_2 = 1 : 2 : 1$ となる。

化学反応式の係数の比が物質量の比になることを確かめるにはよい教材といえる。また、炭酸カルシウムの式量は100であるため、計算もしやすい。

別法② 塩酸ではなく希硫酸を用いる。

方法は同じであるが、炭酸水素ナトリウムと硫酸の反応は



であるから、 $\text{NaHCO}_3 : \text{H}_2\text{SO}_4 : \text{CO}_2 = 2 : 1 : 2$ となる。

化学反応式の係数の比が物質量の比になることを確かめるにはよい教材といえる。ただし、硫酸は不揮発性であるため、衣服についたことに気付かずに放置すると、濃縮され脱水作用により布に穴が開くなどするので、注意が必要である。

別法③ 金属と塩酸を反応させ、発生する水素の体積をはかる。

ガス誘導管を取り付けた二股試験管を用いて金属と、塩酸を反応させる。水槽とメスシリンダーを用い、水上置換で発生した水素を捕集し、体積を調べる。

金属として適しているのはMgやAlである。Mgであれば $\text{Mg} : \text{HCl} : \text{H}_2 = 1 : 2 : 1$ 、Alは $\text{Al} : \text{HCl} : \text{H}_2 = 2 : 6 : 3$ となる。また、Alは表面にち密な酸化被膜を生じるため常温では塩酸と反応しにくい。ビーカーに50℃程度の湯を用意し、湯煎するとすぐに反応する。反応が始まると反応熱で反応が進むため、反応したら湯からあげる。