

16

シリンジで気体の分子量を測定する
～分子量～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

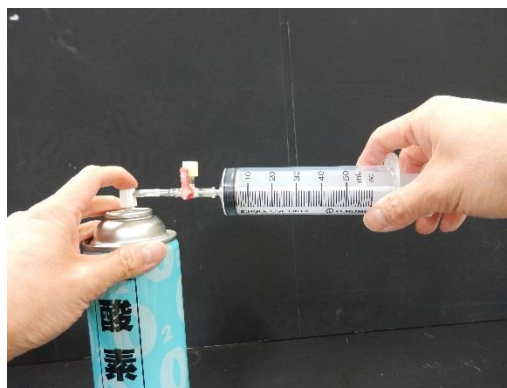
目的と内容

相対値から分子量を求めたり、密度から分子量を求めたりすることで、分子量や分子量とモル質量の関係について理解を深める

「物質と粒子数，質量，気体の体積との関係について理解すること」がこの単元の主なねらいである。

また、「粒子の数に基づく量の表し方である物質の概念を導入し，物質と質量，気体の体積との関係について理解させること」がねらいである。

ここでは，シリンジを用いて一定の体積の気体の質量をはかり，分子量既知の気体との比較や気体の物質と体積の関係から分子量を求めることで，物質の概念を，実感させる。



既習事項

小学校：4年生の「空気と水の性質」

5年生の「物の溶け方」

中学校：1年生の「水溶液」

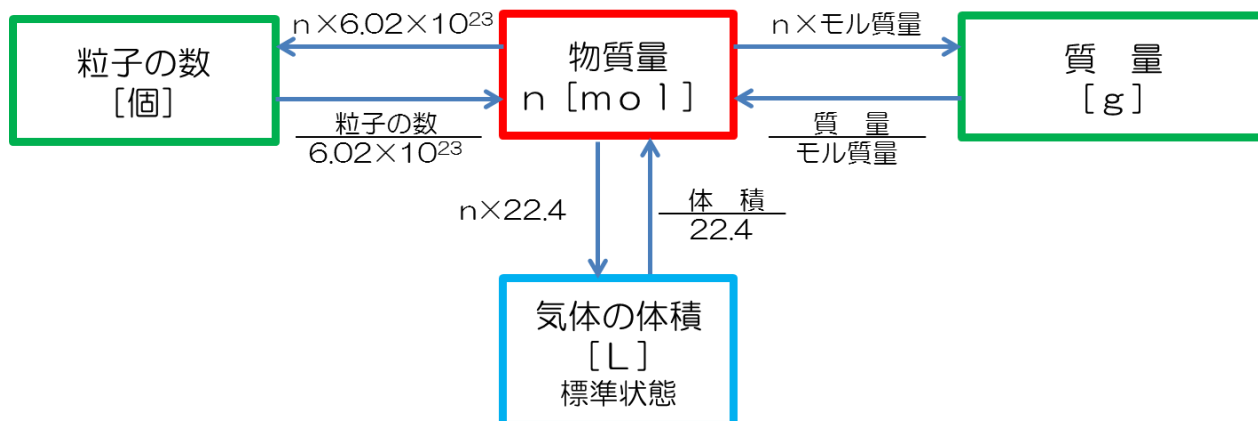
小学校では水に溶かす前と溶かした後の食塩の重さを調べる実験を行っている。また，空気にも質量があることを学んでいる

中学校では，コーヒーシュガーとデンプンの質量をはかった後，水に溶かし，再び質量をはかり，ろ過する実験を行っている。また，質量パーセント濃度についても学習しているが，苦手とする生徒が多い。

留意点

【指導面】

○粒子 1 molあたりの質量をモル質量 [g/mol] といい、原子量、分子量、式量に単位 g/molをつけた値と同じである。また、物質量の等しい気体は、その種類によらず、同温・同圧下では、同じ体積を占める。よって、気体の分子量は、体積と質量を測定することで求めることができる。



○物質量 [mol] , 体積 [L] , 質量 [g] の変換は、生徒にとって、化学の最初のつまづきとなることが多い。 6.02×10^{23} という想像しがたい数や、相対値や指数という数学的難しさが、生徒の理解の壁となっている。計算式として暗記してしまうと、物質量などの理解が不十分なままになってしまうこともある。比で考えるようにすると、理解の深まりにつながる上、今後いろんな場面で活用できるので、比、つまり相対値の考え方を身に付けさせたい。「相対値」は原子量を決めている基本となる重要な考え方でもある。

○この実験について

空気を基準として、その相対値から酸素、二酸化炭素、ブタンの分子量を求める。

例えば、実験の結果、分子量 29 の空気の質量が 0.059 g で、二酸化炭素がの質量が 0.091 g のとき、 $0.059 : 29 = 0.091 : \text{二酸化炭素の分子量}$ となり、二酸化炭素の分子量は 44 となる。空気の分子量が与えられることによって、それとの比から他の気体の分子量を求めることができる。

気体の密度 [g/L] から分子量を求める方法では、実験時の室温により気体 1 mol の体積を求めておくことや、気体の体積を正確にする必要がある。しかし、相対値で求める方法では、室温は関係せず、体積もすべての気体が同体積であればよいので、実験しやすい。計算も、簡単な比計算（かけ算とわり算）である。ただし、かなり小さい質量を扱うので、ちょっとした質量の違いでも結果にかなり大きく作用する。測定する際に注意が必要である。

【安全面】

なし

【後処理】

なし

導 入

【ポイント】

- 気体の分子量について興味・関心を高める。
- 気体の分子量をもとめるにはどのようにしたらよいか疑問を喚起する。

【導入例】

- 空のガスボンベの缶に空気を入れ、その前後の重さを比較し、空気にも重さがあることを確認する。このとき、上皿天びんを用いると、重くなったことが確認しやすい。次に、粒子1粒つまり、原子・分子に質量があることを確認する。他の種類の気体で行ったらどうなるか発問する。

空のガスボンベに穴をあけ、自転車のバルブをハンダでつける。ハンダはつきにくいですが、多めにつけて固定する。

ここから、自転車の空気入れを用いて、空気をつめる。



◎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
- シリンジのピストンに穴を空ける
- 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

シリンジ、三方活栓、鉄釘、ガスバーナー、軍手

当日必要なもの

[器具] 釘付シリンジ、三方活栓、電子天秤（最小単位 0.001g）

[薬品] O_2 、 CO_2 、 C_4H_{10}

☆教材の入手方法

①プラスチック注射器（50mL）

理科消耗品カタログなどで購入可能 1本で230円程度

インターネットでも購入可能 20本で3,300円程度

②三方活栓

医療用器具

インターネットでも購入可能 50個で6,500円程度

③鉄釘

ホームセンターなどで購入可能

④酸素・二酸化炭素等

理科消耗品カタログなどで購入可能

気体の種類により 1本5.8L 600～1,000円程度

⑤ボタン（カセットコンロガスボンベ）

ホームセンター等などで購入可能 3本で500円程度



①



②

当日のセット

☆生徒用

[器具]

<input type="checkbox"/> 三方コック	1 個
<input type="checkbox"/> プラスチック注射器 (50mL)	1 個
<input type="checkbox"/> 釘	2 本
<input type="checkbox"/> 電子天秤 (最小単位 0.001g)	1 台

[薬品]

<input type="checkbox"/> 酸素	1 本
<input type="checkbox"/> 二酸化炭素	1 本
<input type="checkbox"/> ブタン	1 本

□三方コックがない場合は、ゴム管とピンチコックで代用できる。ただし、真空にする際に少し漏れるため誤差が生じる場合がある。



★教員用

□生徒用と同じもの

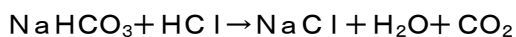


□気体は水素、ヘリウムなど、毒性のない気体であれば何でもよい。

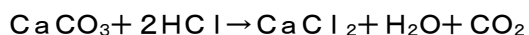
□ガスボンベがない場合は、下記の反応により気体を発生させ、水上置換等で気体を収集し、ストローをつけた注射器で吸い取ってもよい。

・二酸化炭素の発生

炭酸水素ナトリウム+塩酸



炭酸カルシウム+塩酸



・酸素の発生

過酸化水素に触媒として酸化マンガン (IV)



(1) 前日まで

○材料や器具の確認・調達を行う。

○シリンジのピストンに固定用の釘孔を開ける。

ピストンを引き、50mLにし、ピストンに印をつける。次に、ピストンを抜き、バーナーで釘を熱し、印のところに釘を刺し、孔を開ける



(2) 実験当日

○材料や器具の分配を行う。

◎観察，実験

観察，実験の流れ

□導入（10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（20分）

- *手順を指導する
 - ・真空状態 50mL の質量を測定する
 - ・各気体 50mL の質量を測定する
- *操作は必ず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（15分）

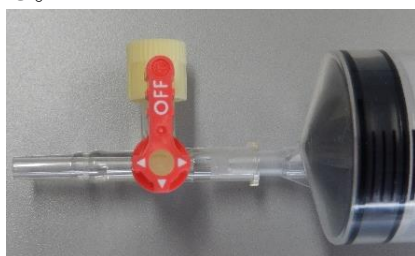
- *測定した質量から，分子量を求める。

□後片付け（5分）

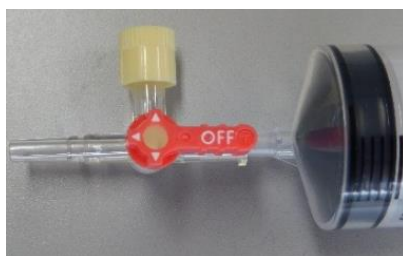
手順 時間のめど（およそ 15 分）

① 真空状態 50mL の質量を測定する。

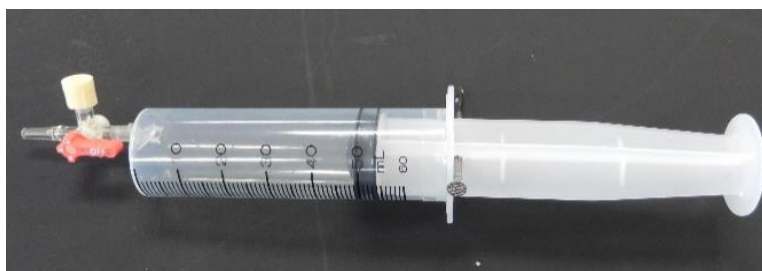
三方活栓のシリンジ側を開け（図①-1），シリンジ内の空気を全て押し出した後，三方活栓のシリンジ側を閉じ（図①-2），50mL を超えるまでピストンを引っ張り真空状態にし，ピストンの孔に釘を差し込んで固定する（図①-3）。この状態で注射器の質量を電子天秤で測定し（図①-4），記録する。



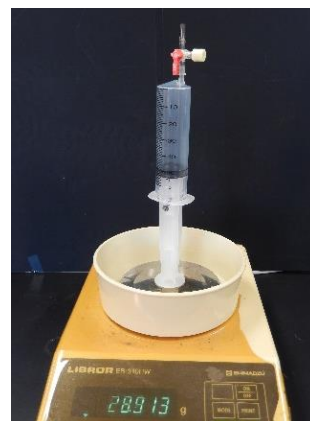
①-1



①-2



①-3



①-4

② 酸素 50mL を封入し質量を測定する。

三方活栓のシリンジ側を開け(図①-1), シリンジと逆側の栓に酸素ボンベをつなぐ。酸素を 50mL 以上入れ, ピストンの孔に釘を差し込み, ピストンが止まるまで押し, 三方活栓のシリンジ側を閉じる。この状態で注射器の質量を電子天秤で測定し, 記録する。



②

③ 二酸化炭素 50mL を封入し質量を測定する。

釘を外して三方活栓のシリンジ側を開き, シリンジ内の酸素をすべて押し出す。②と同様に二酸化炭素 50mL の質量を測定し, 記録する。

④ ブタン 50mL を封入し質量を測定する。

③と同様にして質量を測定し, 記録する。

	真空の注射器 の質量[g]⑥	気体を入れた 注射器[g]⑦	気体の質量[g] ⑦-⑥	求めた分子量	分子量 (理論値)
空気				29	29
酸素 O ₂					
二酸化炭素 CO ₂					
ブタン C ₄ H ₁₀					

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 空気との相対値から分子量を求める。
- ② 求めた分量と理論値を比べて分かることは何か。
- ③ 実験結果と $1\text{ mol}=22.4\text{ L}$ を利用して, 分子量を求める。

まとめ

以下の視点を参考に, 授業のまとめを行う。

- ① 相対値から気体の分子量を求めることができた。
- ② 「相対値」について理解することができた。

後片付け

すべてそのまま回収するよう, 指示する。

失敗例

●状態 理論値と値が大きくずれた。

原因 質量を正確に測定できなかった

気体の質量であるため、かなり小さい値となる。少しの誤差も大きく響くので、電子天秤は風の影響を受けない状態にし、正確に測定できるものを使用する。

別 法

別法① ガスボンベの気体をメスシリンダーではかりとり、質量をはかる。

ガスボンベの気体を水上置換でメスシリンダーに捕集し、目盛りを正確に読み体積をはかる。捕集前と捕集後のボンベの質量の差から、捕集した気体の質量を求める。

気体の温度と体積から、気体の状態方程式を用いて標準状態の体積に換算し、 $1\text{mol}=22.4\text{L}$ より、分子量を求める。

気体の状態方程式

気体の状態方程式については「化学」で取り扱われている。気体の状態方程式は、圧力 P 、体積 V 、物質量 n 、気体定数 R 、絶対温度 T とすると、 $P V = n R T$ と表され、気体の種類に関係なく成り立つ。

今回の実験では、仮に、実験時の実験室の気温を 20°C とすると、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ における 1mol の気体の体積は、 $1.013 \times 10^5 [\text{Pa}] \times V = 1.00 [\text{mol}] \times 8.31 \times 10^3 [\text{Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})] \times (273 + 20) [\text{K}]$
 $V = 24.0 [\text{L}]$ となる。このことから、 $1\text{mol} = 24.0 [\text{L}]$ として、分子量を求めることもできる。

また、気体定数 R はボイル・シャルルの法則から求めることができる。ボイル・シャルルの法則は、「一定質量の気体の体積 V は、圧力 P に反比例し、絶対温度 T に比例する」より、 $\frac{P V}{T} = k$

(k は一定) と表される。標準状態 (0°C , $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$) における 1mol の気体の体積は 22.4L であるから、 $k = \frac{1.013 \times 10^5 \text{ Pa} \times 22.4 \text{ L/mol}}{273 \text{ K}} = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})$ となる。これが、気体定数 R である。

この気体の状態方程式は、理想気体において成立する。理想気体とは、分子自身の体積が 0 で、分子間力も働かない気体をいう。実在気体は、分子自身に体積があり、分子間力も働くが、高温、定圧では理想気体とみなしてよいとされている。常温・常圧はこの高温、定圧であるとしてよいため、気体の状態方程式を適用してよい。