

実験で教える化学基礎

—原子量・極性・プラスチックの繊維—

1. 相対質量と原子量 (BB 弾によるモデル実験)
2. 共有結合の極性 (磁石によるモデル実験)
3. プラスチックを繊維にする (熔融延伸)

目指したこと

実験で教える・実験で考える
短時間で行える
結果が明快

準備

1. 相対質量と原子量

器具:BB 弾((株)バトン 0.12 g イエロー球 100 粒, 0.25 g ブラウン球 100 粒), 秤量皿 (M サイズ), 200 mL ビーカー, 電子天秤(最小秤量 0.1 g)

2. 共有結合の極性

器具:棒磁石(ケニス 角型フェライト磁石 3 型 50 mm×8 mm×7 mm)×2, 発泡スチロール板(ダイソー 5 mm 厚), 円形水槽

3. プラスチックを繊維にする

試薬・器具:プラスチック片(ポリエチレン, ポリスチレン, PET など), ガスバーナー, ライター, ピンセット×2

実験

1. 相対質量と原子量

- ① 黄色の球 100 粒を取り出す
「ここに黄色の球が 100 粒ある。1 粒のおもさを量るにはどうすればいいか」
- ② 黄色の球 1 粒を精度の粗い天秤(最小秤量 0.1 g)で量る
「0.1 g ぴったりか分からないね。どうすればもっと正確に 1 粒のおもさを量れるだろうか」
- ③ 黄色の球 100 粒を天秤で量る
「16.3 g と表示されている。(黒板に 16.3 g, 100 粒と書く。) 100 粒でこのおもさということは, 1 粒あたり 0.163 g と考えられる」



図1 黄色の球 100 粒



図2 混ぜた 200 粒

④ 茶色の球 100 粒を取り出し、天秤で量る

「ここに茶色の球が 100 粒ある。天秤には 24.6 g と表示されている。(黒板に 24.6 g, 100 粒と書く。) 100 粒でこのおもさということは、1 粒あたり 0.246 g と考えられる」

⑥ 黄色の球 100 粒と茶色の球 100 粒を混ぜる

「それでは黄色の球と茶色の球を混ぜてみよう。これは何粒だろうか。また何グラムだろうか。個数は足し算になるし、おもさも質量保存の法則を満たすはずだ。実際に量ってみよう。たしかに 40.9 g と出た」 *1

⑦ 黒板に 40.9 g, 200 粒と書く

「ということは 1 粒あたりのおもさは $40.9 \div 200 \approx 0.205$ g となる。ところで、この中の黄色の球も茶色の球も 0.205 g の粒はない。実在しない粒のおもさを計算することに意味があるのだろうか」

⑧ 黄色の球と茶色の球がたくさん混ざったビーカーを出す

「このビーカーには黄色の球と茶色の球が正確に 1 : 1 の割合で混ざって入っている。何粒入っているか調べるにはどうしたらいいだろうか」



図 3 混ざった
たくさんの粒

2. 共有結合の極性

① 棒磁石を 1 本取り出す

「ここに棒磁石が 1 本ある。赤いほうが N 極で黒いほうが S 極だ」

② 円形水槽に浮かべた発泡スチロール板の中央に棒磁石を乗せる

「どの方向に磁石を置いても、時間が経つとみな同じ方向に N 極が向く。これは知っているとおりに地球が磁場を発生させているためだ」

③ 棒磁石をもう 1 本取り出す

「それでは同じ強さの磁石をもう 1 本用意して、S 極を向かい合わせに置いてみよう。この磁石はどの方向を向くだろうか」

④ 水槽の発泡スチロール板の中央に、対称に 2 本の棒磁石を乗せる

「どうやらある方向に向くことはなさそうだ。2 本の磁石を向かい合わせに置くと方位磁石の働きをしないようだ」

⑤ 棒磁石をハの字形に置きなおす

「それではこのように置いたらどうなるだろうか。ある方向を向くだろうか」

⑥ ハの字形の磁石がある方向を向くことを 3 回ほど繰り返して確認する

「2 本の磁石を向かい合わせに置けば方位磁石の働きをしないと考えたが、どうやらそうとも言い切れないようだ。なぜだろう」



図 4 1 本の棒磁石



図 5 向かい合わせの
2 本の棒磁石



図 6 斜めに向い合わせ
の 2 本の棒磁石

3. プラスチックを繊維にする

- ① プラスチック片（ポリエチレン，ポリスチレン，PETなど）を適当な大きさ（5 mm×30 mm程度）に切る。
- ② プラスチック片をピンセットでつかみ，弱火である。プラスチックを炎に近づけ，やわらかくなったところで炎から離し，引き伸ばしたり曲げたりして加工できることを確認する。（図7）それを冷ますと変形したまま固まることを確認する。
- ③ プラスチック片をもっと炎に近づけると液体状になる。注意深く熱してプラスチックのしずく（液体の玉）が直径1 mm以上になったら炎から離し，ピンセットでつまんで速く長く引き伸ばす。（図8）繊維状のものができていることを確認する。



図7 変形の様子



図8 引き伸ばす様子

（引き伸ばすときは炎から離す）

解説

1. 相対質量と原子量

原子量の導入として，密度の異なる2種類のBB弾（イエロー球とブラウン球）を用いた実験を設定した。

質量が小さすぎるために，原子1個を扱うことは難しい。最小秤量を下回る1粒の質量を100粒の質量から求めることで，まとめて扱う利点（物質量の便利さ）が実感できる。

最後の問いにある「この中の黄色の球も茶色の球も0.205 gの粒はない。実在しない粒のおもさを計算することに意味があるのだろうか」とは元素の平均相対質量である原子量を理解することにつながる。イエロー球とブラウン球がいつも1：1で混ぜていれば1万粒でもそれ以上でも総質量から粒の数を簡単に求められることが理解できる。^{*3}

単に原子量の算出のための実験とせず，物質量と原子量の便利さを実感し，考えたりできる扱いにしたい。

2. 共有結合の極性

結合の極性と極性分子の導入として，磁石を用いた実験を設定した。^{*4}

極性は分子にとって「共有結合のイオン結合性」，「分子間のクーロン力」，「電場における極性分子の挙動」の3つの側面がある。今回提案する実験では，磁石のモデルによって，「分子間のクーロン力」，「電場における極性分子の挙動」を説明できる。演示実験としては磁石が点対称に置かれたCO₂モデルがコンパスにならず，線対称であるが点対称ではない置き方のH₂Oモデルがコンパスになることで対比させて，電場における極性分子の挙動をイメージさせやすくしている。^{*5 *6}

3. プラスチックを繊維にする

プラスチック片を炎に近づけて温めると柔らかくなり，その間にピンセットで変形させて冷ますと変形したまま固まる。（熱可塑性）

プラスチック片を炎であぶって液体状にし、その部分をピンセットでつまんで引き伸ばせる。(つまもうとすると初めはつまめないが数回繰り返すと引き伸ばせる。) すばやく引くと細い繊維状に伸びる。太さは直径 0.1 mm より細く、長さは 1 m 以上になる。得られた繊維を両手で慎重に伸ばすと、さらに 1.5 倍程度延伸できる。

さらに引き出そうとすると液体状の部分から生じる繊維が太くなり、あるところでぷつり音を立てて切れる。太い繊維を同様に両手で伸ばそうとしても、伸びずに切れる。

やけどに注意させるとともに、関連してポリエステルなどの熱可塑性樹脂の衣服が燃えたときの危険性を生徒に考えさせることができる。

実験卓にプラスチックが垂れることがあるが、冷めればヘラなどで簡単にはがすことができるので、生徒でも片付けることができる。

中学校でプラスチックを化学的に扱うときは燃焼させる実験を行うことが多い。高校では加熱することによって可塑性を持つことを示すと、中学校とのつながりを意識することができる。生徒の実態に応じて、熱可塑性の原因が高分子の構造にあることを考えさせることができる。

プラスチックにはガラス転移温度(T_g)と融点(T_m)があるため、流動性があっても液体ではない場合がある。

ポリマー	T_g (°C)	T_m (°C)
ポリエチレン	-80~-90	137
<i>it</i> -ポリプロピレン	-10~-18	167
<i>it</i> -ポリスチレン	100	240
ポリエチレンテレフタレート	69	270
ナイロン 6	48	225
ナイロン 66	50	265

柴田充弘, 基本高分子化学, 三共出版, 2012, p.87.

プラスチックが繊維状に加工されると分子鎖がそろう部分が多くなる。プラスチックは結晶領域と非晶領域の共存状態にあり、融解しながら延伸すると結晶領域が多くなる。繊維状のものをさらに延伸することができるのも分子鎖がそろっていたからであると捉えることができる。

- *1 黄色の球 100 粒と茶色の球 100 粒の合計の質量がそれぞれの質量の和になるように事前準備をしておく。
- *2 若干燃えたり黒くなったりしても支障ない。プラスチックから炎が出ていたら息で吹き消してから延伸する。
- *3 混合比を 1 : 1 にしたのは数えられないほど大きい粒数でも生徒が考えられるようにするためである。
- *4 中学校理科で力の合成・分解を学習しているが、結合の極性における電荷の受ける力とは生徒が関連させづらいと考えて、あえて力の合成という言葉を用いていない。また、高校において数学でベクトルを学習していない場合が想定されるのでベクトルという言葉を用いていない。
- *5 分子間のクーロン力をイメージさせるなら H_2O モデルを複数個水槽に浮かべることによって δ^+ と δ^- のクーロン力を見せることができる。なお、この実験では棒磁石の磁気双極子を 2 原子間の電気双極子のモデルとして用いているため H_2O の水素結合のような方向性のある分子間力を再現できないことに注意を要する。
- *6 図 6 の向かい合わせの磁石がどの方角を示すかを予想させると、回り続けると答える生徒がいる。

