

実験「金属の酸化」を成功させるために

中学校理科において、金属を酸化させ、金属の質量と結び付く酸素の質量との間に比例関係があることを調べる実験は、生徒に厳密な実験を経験させ、実験から得られた結果を考察する方法を習得させる上で非常に重要であるが、理論値と大きく異なった結果となることが多い。

そこで、授業時間内で理論値に近い結果が得られるような実験方法を検討し、まとめた。

【実験の目的】

金属を酸化させ、金属の質量と結び付く酸素の質量との間に比例関係があることを調べ、生徒に自分たちの実験から得られた結果を考察させ、金属の酸化反応における量的関係を見いださせる。

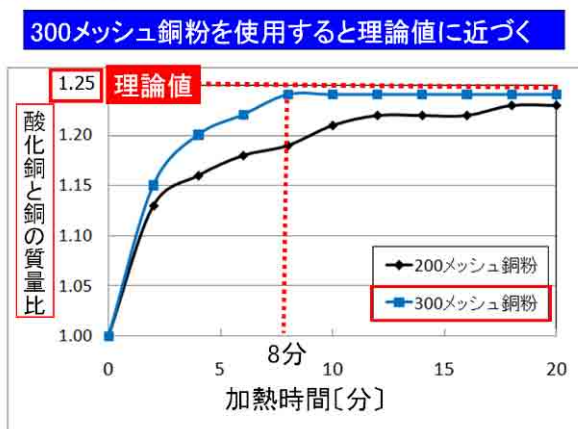
【実験方法の検討】

1 銅粉の粒度（メッシュ）

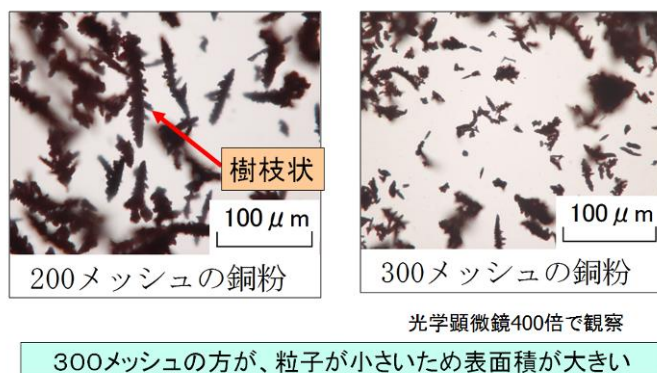
200メッシュと300メッシュ（昭和化学）の銅粉を加熱したときの酸化銅と銅の質量比の変化を示す。酸化銅と銅の質量比の理論値は1.25である。この結果より300メッシュの銅粉を使用すると短時間で理論値に近い結果を得ることができ、粒度の細かい銅粉を用いることが有効なことが分かった。

粒度の異なる銅粉を光学顕微鏡で観察すると、銅粉は球状ではなく、木の枝のような形をしていた。わずか100メッシュの違いで粒子の大きさが、かなり違うことがよく分かる。銅の酸化は、粒子表面の酸化になることから、粒子の小さいものを用いることで、表面積が増えて酸化しやすくなることが分かった。

銅粉の粒度(メッシュ)



粒度の異なる銅粉の顕微鏡写真



2 使用する銅粉の質量

使用する銅粉の質量については教科書によって異なっている。使用する銅粉の質量を増やすと、酸化に時間がかかり、酸素と未反応の銅粉が増えてくることが考えられる。教科書に記述されている4gを上限として、授業時間内での実験に適切な質量を検討した。

酸化銅の質量を変えて実験したときの酸化銅と銅の質量比の変化を示した。

この結果より15分以内に理論値に近い質量比1.24になったのは1.5g以下の銅粉で実験したときであった。このことより、授業時間内で理論値に近い結果を得るには、1.5g以下の銅粉を使用することが有効なことが分かった。

銅粉の質量

東京書籍 0.4g～1.4g(0.2gきざみ) 6データ

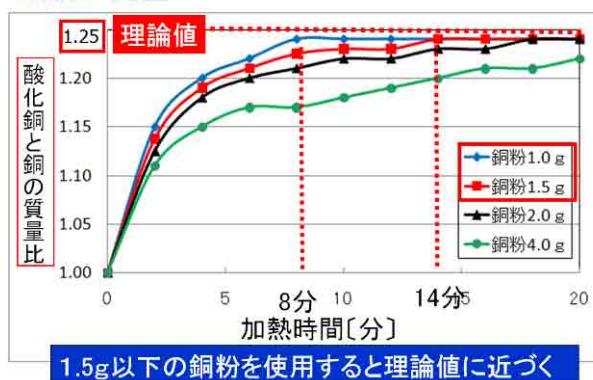
教育出版 1.0g～4.0g(0.5gきざみ) 9データ

質量を増やすと、酸化に時間がかかったり、未反応の銅粉が増加

↓

教科書の4gを限度に、授業時間内での実験に適切な質量を検討

銅粉の質量



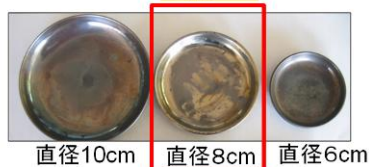
3 加熱に使用する容器

多くの学校では、直径8cmのステンレス皿を使用しているが、ステンレス皿の深さは6mmと浅いため、教科書どおりにかき混ぜの操作を行うと、生徒が銅粉をこぼす可能性がある。そこで、深さのあるステンレス製の玉じゃくしを柄の部分で切断し、加熱容器に使用することも試みた。加熱容器を変えて実験したときの酸化銅と銅の質量比の変化を示した。

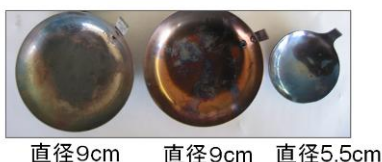
この結果より、直径が6cmのステンレス皿と直径が5.5cmの玉じゃくしを使用したときは、15分以内に理論値に近い質量比1.24になった。しかし、玉じゃくしはその形状から冷却に時間がかかるのでこの実験には適さないことが分かった。このことより、授業時間内で理論値に近い結果を得るには直径が6cmのステンレス皿を使用することが有効なことが分かった。

加熱に使用する容器

ステンレス皿 (深さが浅い)

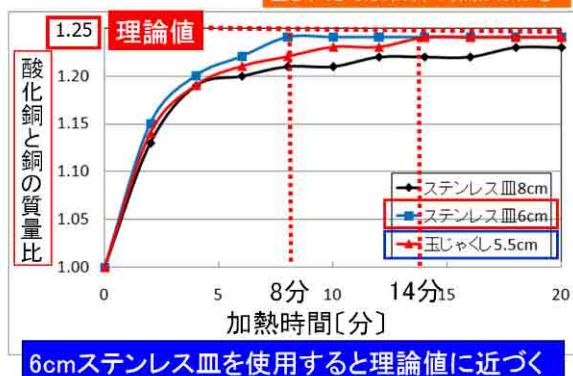


ステンレス製 玉じゃくし (深さが深い)



加熱に使用する容器

玉じゃくしでは冷却に時間がかかる



4 加熱条件

この実験では、ガスバーナーの炎を最大火力にして加熱することが必要である。炎の最高温度が1320°Cの時のステンレス皿の中央部と周辺部の表面温度をデジタルマルチメーターの熱電対で測定した結果を示した。

加熱容器の各部の温度

最大火力

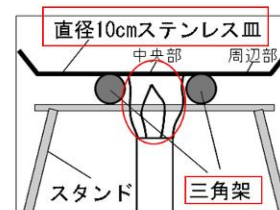
熱電対で測定 炎の最高温度 1320°C



加熱容器の種類・大きさ	中央部 (°C)	周辺部 (°C)
ステンレス皿 (直径10cm)	490	460
ステンレス皿 (直径8cm)	580	550
ステンレス皿 (直径6cm)	640	630
玉じゃくし (直径9cm)	580	550
玉じゃくし (直径5.5cm)	740	730

小型の容器ほど高温になり、周辺部との差少ない

三角架の問題点



炎が広がるのを邪魔
周辺部の温度が低くなる

直径6cmの小型の容器ではその影響は少ない

この結果より、直径が6 cmのステンレス皿と直径が5.5cmの玉じゃくしのような小型の容器ほど高温になり、周辺部との温度差が少ないことが分かった。この原因として、直径が大きいステンレス皿では、主に炎が当たるのは中央部だけであることが考えられる。

この実験では、質量が変化しなくなるまで加熱を繰り返し、また、冷却する時間も必要である。そこで、1回の加熱時間を2分～4分、加熱回数を4～6回として実験を行った。すると、ステンレス皿が高温になるまでに2分は必要なが分かった。50分の授業時間のうち、実験時間を25分として検討した結果、1回の加熱時間を4分、加熱回数を4回とすると、授業時間内で理論値に近くなることが分かった。

1回加熱するごとに、ステンレス皿を冷やしてから電子天秤で質量を測定するが、その冷却時間については教科書や指導書に記述がない。ステンレス皿を強熱して600℃以上にした後、三角架上で冷却する方法と、金属製のスタンド上に置いて冷やす方法を試みた結果を示した。

加熱時間と加熱回数

東京書籍 加熱時間2分 加熱回数6回

教育出版 質量が変化しなくなるまで繰り返す

授業時間50分のうち、**実験時間25分とすると、**

- ・質量が変化しなくなるまで加熱を繰り返す
- ・冷却時間も必要

加熱時間 3分×5回

加熱時間 4分×4回

ステンレス皿が高温になるまでの時間確保

加熱時間 4分を4回繰り返すのが有効

ステンレス皿の冷却時間と温度との関係



この結果より、金属製のスタンドの上に置いて冷却すると2分後にステンレス皿の表面温度が33℃になり、生徒が安全に扱える温度になることが分かった。これは、金属が熱を伝えやすいので、ステンレス皿の熱が一気に金属製のスタンドに移ったためと考えられる。

教科書には、加熱後冷やしてから薬さじなどでかき混ぜて再び加熱するという記述がある。実際にかき混ぜてみると、注意していても、銅粉や酸化銅がこぼれたり飛散したりする可能性が大きく、誤差の大きな原因になることが分かった。このかき混ぜ操作には技術が必要であり、この実験を初めて行う生徒には無理であると判断した。6 cm ステンレス皿を用いて1.5 g以下の銅粉で実験すると、かき混ぜなくても理論値に近い値が得られる。このことより、この実験では少量の銅粉をかき混ぜないで加熱する方が有効であることが分かった。

完全に酸化させるためのかき混ぜの必要性

教科書 加熱後、冷やしてから薬さじなどでかき混ぜて再び加熱する



かき混ぜ中に化合物がこぼれる可能性大

安全に正しくかき混ぜるには、技術が必要で生徒には無理

1.5g以下でかき混ぜないで実験しても理論値に近い値

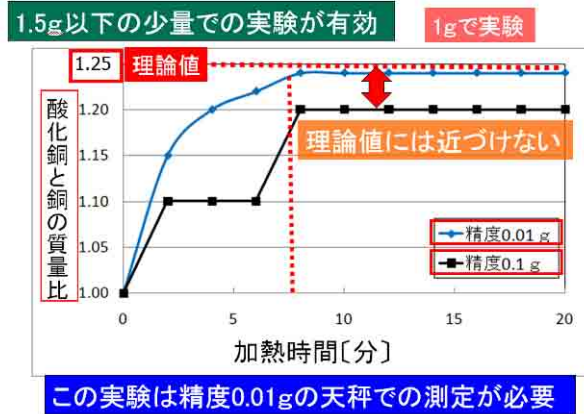
少量でかき混ぜない方法が有効

5 電子天秤の精度

1.5 g 以下の銅粉で実験する場合、質量を測定する電子天秤の精度が大きく影響する。1 g の銅粉を酸化させる実験を 0.1 g と 0.01 g の精度の電子天秤で測定したときの結果を示した。

これより 0.01 g の精度の電子天秤で実験する必要がある。

電子天秤の精度



6 マグネシウムの形状

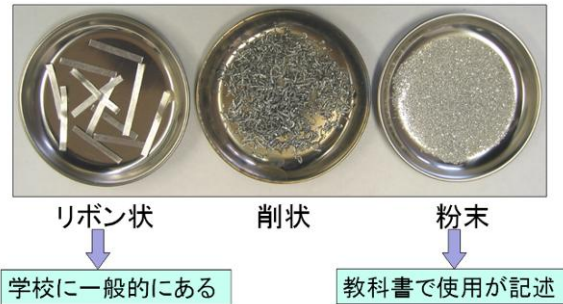
マグネシウムには主に3種類の形状がある。教科書には粉末を使用した実験が記述されているが、その有効性を実験で確認した。

各学校には、高価ではあるが水溶液の実験でも使用するため、マグネシウムリボンがある。まず、紙ヤスリで表面を処理したマグネシウムリボンをステンレス皿上で加熱した。火がつくまでに約1分かかった。白い光と多量の酸化マグネシウムの煙を飛散させながら激しく反応した。このため質量が減少し、正確な実験は行えないことが分かった。

また、削状を加熱すると、マグネシウムリボンより反応が穏やかであった。

次に、マグネシウム粉末を加熱してみると、最も早い28秒で火がついた。また、白い光や少量の煙は出たものの、穏やかに反応することが分かった。さらに、加熱を続けると表面が盛り上がり、反応しているところは赤くなっていた。このことより、生徒は酸化の終わりが見極めやすい。総合して考えると、マグネシウム粉末の使用が有効なことが分かった。

マグネシウムの形状



形状によるマグネシウムの酸化の比較

マグネシウムリボン 酸化マグネシウムの煙

- 火がつくまでの時間が約1分かかる
- 反応が激しい
- 酸化マグネシウムの飛散が多く質量が減少

マグネシウム削状

- 火がつくまでの時間が約40秒かかる
- 反応はやや激しい
- 酸化マグネシウムの飛散が少ない

マグネシウム粉末の酸化

- 火がつくまでの時間 28秒 一番早く火がつく
- 白い光と少量の煙が出るが比較的穏やかに反応
- 表面が盛り上がり反応しているところは赤色になる

マグネシウムの反応の終りが見極めやすい

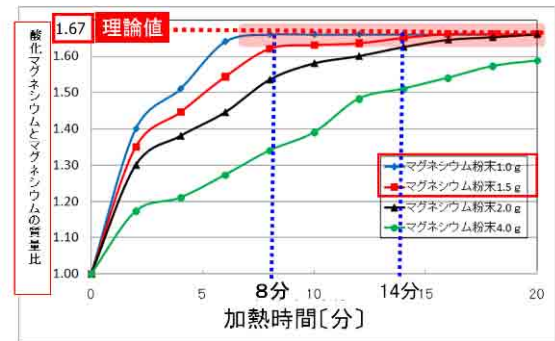
マグネシウム粉末の使用が適切

7 マグネシウムの質量

マグネシウム粉末の質量を変えて実験したときの酸化マグネシウムとマグネシウムの質量比の変化を示した。

この結果より、15分以内に理論値に近い質量比1.66になったのは、1.5g以下のマグネシウム粉末で実験したときであった。このことより、授業時間内で理論値に近いデータを得るには1.5g以下のマグネシウム粉末を使用することが有効なことが分かった。

マグネシウムの質量

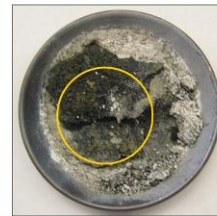


1.5g以下の粉末を使用すると理論値に近づく

8 窒化マグネシウムの生成

実験終了後の酸化物中には黄色の窒化マグネシウムが生成している場合がある。観察されたのは、質量を増やして実験したときや酸化マグネシウムの飛散を防ぐために金網をステンレス皿上に置いて実験したときである。いずれの場合も、酸素不足となったマグネシウムが空気中の窒素と化合し、窒化マグネシウムが生成したと考えられる。酸化マグネシウムが生成した場合、67%の質量増加が望まれるが、窒化マグネシウムが生成した場合、38%しか質量増加しない。1.5g以下のマグネシウム粉末で実験すると窒化マグネシウムは生成しないので、少量での実験が有効である。

窒化マグネシウムの生成



窒化マグネシウム
 Mg_3N_2 (黄色結晶)

- ・質量を増やして実験
- ・酸化マグネシウムの飛散を防ぐために金網を置いて実験

酸素不足になり内部に生成

MgO が生成→67%質量増加
 Mg_3N_2 が生成→38%質量増加

少量の粉末でかき混ぜずに実験することで解決

9 金属粉末の保存方法

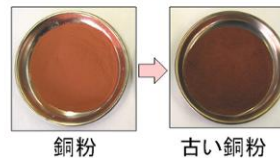
金属粉末は非常に酸化しやすく、新しく購入しても保存方法が悪いと酸化物になる。この金属粉末はこの单元だけで使用するの、1年に1回しか必要でない。

そこで、金属粉末を空気酸化から防ぐために、プラスチック製密閉容器内に化学カイロを入れて容器内の酸素の量を減少させて保存する方法を考えた。

金属粉末の保存方法の検討

金属粉末は酸化しやすい

金属粉末の空気酸化を防ぐ



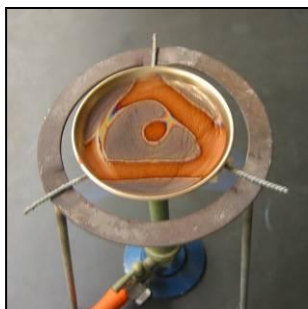
- ・プラスチック製密閉容器内で保存
- ・化学カイロを使用して容器内の酸素を減少



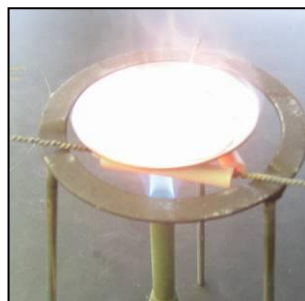
10 実験成功のポイント

純度の高い状態で保存した銅粉やマグネシウム粉を下記の条件のもとで実験を行うと、質量比 銅：酸化銅＝4：5 マグネシウム：酸化マグネシウム＝3：5 の理論値に近い実験データが得られることが分かった。

ただし、「かき混ぜの操作」については慎重に取り扱いたい。



銅粉(300メッシュ)の酸化



マグネシウム粉末の酸化



以上の検討したことをまとめると、金属の酸化による質量変化を効果的に行う実験方法は次のようになる。

「銅の酸化による質量変化」
効果的な実験条件(実験時間25分)

- ① 300メッシュ銅粉を1.5g以内で使用
(0.4g 0.6g 0.8g 1.0g 1.2g 1.4g)
- ② 6cmステンレス皿を使用
- ③ 4分加熱し、2分冷却を4回繰り返す
- ④ 最高温度で加熱し、かき混ぜはしない
- ⑤ 電子天秤は0.01gの精度のものを使用

「マグネシウムの酸化による質量変化」
効果的な実験条件(実験時間25分)

- ① マグネシウム粉末を1.5g以内で使用
(0.4g 0.6g 0.8g 1.0g 1.2g 1.4g)
- ② 6cmステンレス皿を使用
- ③ 4分加熱し、2分冷却を4回繰り返す
- ④ 最高温度で加熱し、かき混ぜはしない
- ⑤ 電子天秤は0.01gの精度のものを使用

金属の酸化における質量変化の実験での「成功のコツ」は、二つある。

一つは、教師が成功のための実験方法や留意点を知り、成功の環境を整えて実験することである。もう一つは、厳密な実験に慣れていない生徒に、細かな全体指導や机間巡視により、正確でいいいな実験操作を行うよう指示することである。

銅の酸化による質量増加は25%であるが、マグネシウムの酸化による質量増加は67%である。少量の酸化であればマグネシウムの方が短時間で理論値に近づきやすいことも分かった。

金属の酸化における質量変化の実験 定比例の法則「成功のコツ」

- 1 教師が成功のための実験方法、留意点を知る
実験成功のための環境整備
 - ・ 純度の高い金属粉末の用意
 - ・ 精度の高い電子天秤の用意
 - ・ 6cmステンレス皿の用意
- 2 生徒に正確でいいいな実験操作の徹底
厳密さが要求される実験操作に慣れていない

銅の酸化とマグネシウムの酸化

多くの学校では銅の酸化を実施



質量比 = 1:1.25

300メッシュ銅粉
500g 5250円

25%質量増加

未実施の学校も多い



質量比 = 1:1.67

マグネシウム粉末
500g 4000円

67%質量増加

マグネシウムは短時間で酸化、質量増加も大きい

マグネシウム粉末の酸化実験はメリット大きい

愛媛県総合教育センターHPに掲載

「金属の酸化反応における量的関係の指導法の検討」重松聖二

http://www.esnet.ed.jp/center/kenkyu/uploads/h19/h19_22-02.pdf