

金属と化合する酸素の量を増やす実験方法の工夫

The development of the experimental method which increases the quantity of the oxygen combined with metal

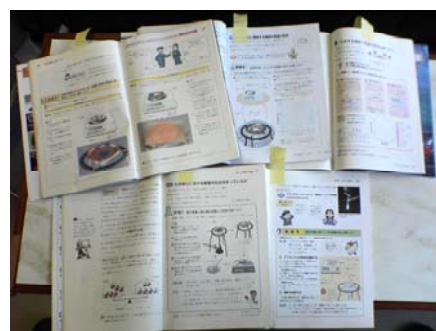
自然系(理科)コース 片山 隆志
総合学習開発コース 加納 真

1 はじめに

多くの現職中学校理科教員が、マグネシウム・銅の酸化実験で、質量比が教科書にあるような値にならないという現実直面している。また、酸化マグネシウムの色が真っ白にならない。実験に時間がかかり、1時間の授業時間内で終わらないなどの声もある。

教科書では、金属を加熱すれば、酸化物の質量が増えていくようすを調べる実験と、金属と化合する酸素の質量を求める実験の2つが示されている。また、用いる金属の量もごく少量を用いるものから、多くの試料を用いるものまで幅があることがわかった(レポート末の教科書比較参照)。

今回の研究では、マグネシウム・銅の酸化実験方法を検討し、現場での声に応えることにした。



2 課題

課題1 金属と化合する酸素の質量との比を理論値に近づける方法を工夫する。

課題2 酸化マグネシウムの色は真っ白であるという教科書の記述を実感できるような方法を開発する。

3 課題解決のために

(1) 仮説 十分に酸素を供給することで、金属と化合する酸素の質量との比は理論値に近づき、酸化物の色も教科書どおりになるだろう。

(2) 検討項目

- ・金属試料の形状
- ・加熱容器の工夫
- ・酸素の供給の仕方

4 実験と検証

(1) マグネシウム

ア 比較検討1：形状による違い

教科書により、扱うマグネシウムの形状が異なっている。粉末と削り状では、実験結果にどのような差異があるかを比較検討した。

○準備

- | | |
|------------------|------------------|
| ・マグネシウム(粉末, 削り状) | ・ステンレス皿(φ 100mm) |
| ・三角架 | ・三脚 |
| ・ガスバーナー | ・るつぼばさみ |
| ・チャッカマン | ・電子てんびん |

○実験方法

- 1 マグネシウム粉末（削り状）0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5g を電子てんびんではかりとる。
- 2 1 をステンレス皿にいれ，全体の質量をはかる。
- 3 マグネシウムを強熱し燃やす。（発火しない場合はチャッカマンで直接着火する）
- 4 マグネシウムが燃え尽きたら加熱をやめ，皿がじゅうぶん冷えてから，全体の質量をはかる。
- 5 3, 4 の操作を繰り返す。

○結果

表 1 粉末

マグネシウムの質量(g)	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
化合した酸素の質量(g)	0.2	0.36	0.57	0.72	0.89
化合した酸素の質量の理論値(g)	0.2	0.35	0.57	0.73	0.96
理論値に対する化合した酸素の割合	100.0%	90.0%	95.0%	91.2%	96.0%

グラフ 1

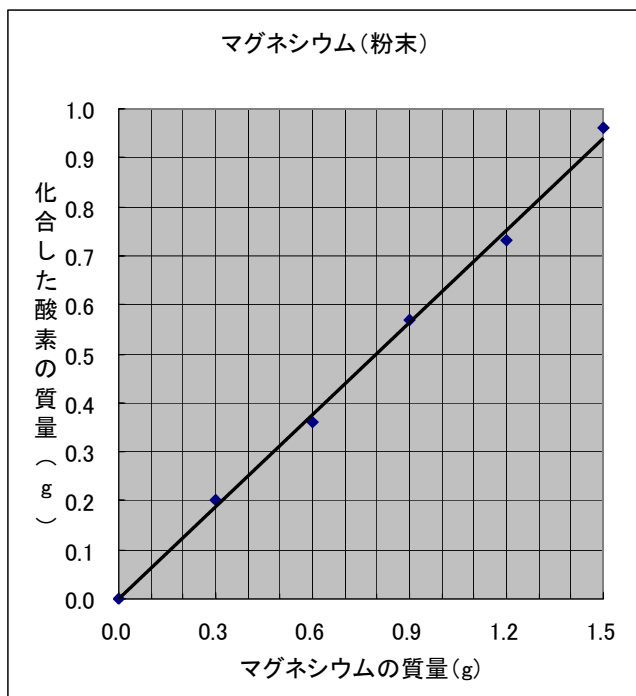
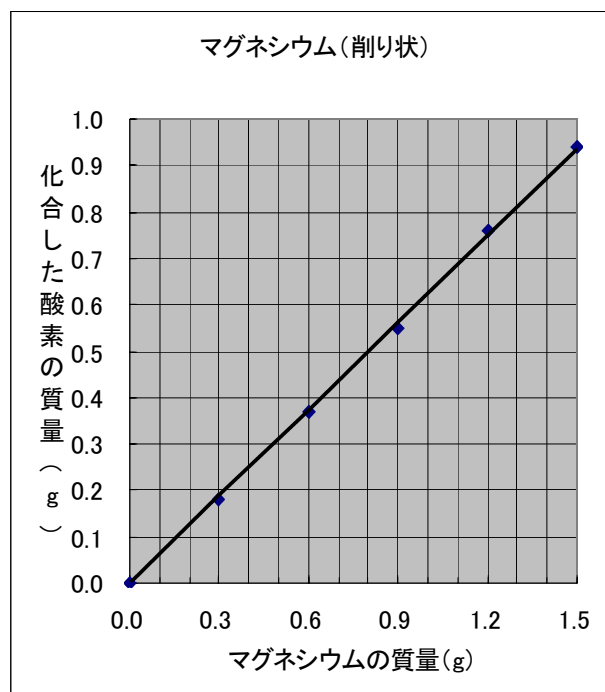


表 2 削り状

マグネシウムの質量(g)	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
化合した酸素の質量(g)	0.17	0.36	0.54	0.76	0.92
化合した酸素の質量の理論値(g)	0.18	0.37	0.55	0.76	0.94
理論値に対する化合した酸素の割合	90.0%	92.5%	91.7%	95.0%	94.0%

グラフ 2



マグネシウム(粉末)とマグネシウム(削り状)を比較すると，理論値に対する化合する酸素の割合には違いは見られない。しかし，マグネシウムが完全に酸化するまでにかかった時間を比較すると，マグネシウム(削り状)の方が圧倒的に短くてすむ。したがって，用いるマグネシウムは削り状の方が優れている。

- ・加熱回数：加熱回数を増やしても，化合する酸素の質量はほとんど増加しない。1回目に十分に混ぜれば，2回目以降の加熱は必要ない。
- ・かき混ぜ方：葉さじでステンレス皿をトントン叩きながら加熱すると，皿の上で粒子が浮き，底にある粒子が発火するのが観察される。これを繰り返すと完全に酸化が起こると考えられる。このようにトントン叩きながら加熱する方法は有効である。



イ 比較検討 2 : 開封後の時間経過による違い

何回か実験を行う途中で、極端に酸素の化合する割合の低いデータが得られた。理由を検討したところ、その試薬は薬包紙に包んだ状態で1週間放置してあったことに気づいた。学校現場でも、毎年新しいマグネシウムを購入して使うということが現実的ではなく、数年経過したものを使うことも少なくない。理論値に近づかないのは、開封してから時間が経過した試料を使うことが原因の一つであるかどうかを調べるために、新品、開封後1週間放置したもの、3年以上経過したものの3つを比較検討した。

○準備

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ・マグネシウム (粉末) <ul style="list-style-type: none"> ・ . . . 新品, 開封後1週間放置したもの, 開封後3年以上経過したもの ・ステンレス皿 (φ 100mm) ・三角架 ・ガスバーナー ・チャッカマン | <ul style="list-style-type: none"> ・三脚 ・るつぼばさみ ・電子てんびん |
|--|---|

○実験方法

比較検討 1 と同様

○結果

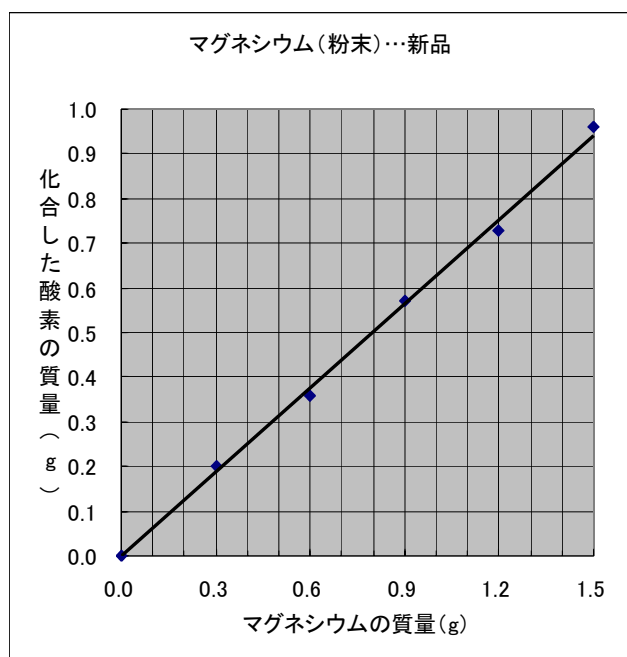
表 3 新品 (開封直後)

マグネシウムの質量 (g)	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
化合した酸素の質量 (g)	0.2	0.36	0.57	0.72	0.89
1回目	0.2	0.35	0.57	0.73	0.96
2回目				0.71	0.93
3回目	0.2	0.36	0.57	0.73	0.96
最終	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
化合する酸素の質量の理論値 (g)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
理論値に対する化合した酸素の割合	100.0%	90.0%	95.0%	91.2%	96.0%

表 4 開封後1週間放置

マグネシウムの質量 (g)	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
化合した酸素の質量 (g)	0.19	0.39	0.59	0.77	0.98
1回目					
2回目					
3回目	0.19	0.39	0.59	0.77	0.98
最終	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
化合する酸素の質量の理論値 (g)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
理論値に対する化合した酸素の割合	95.0%	97.5%	98.3%	96.3%	98.0%

グラフ 3



グラフ 4

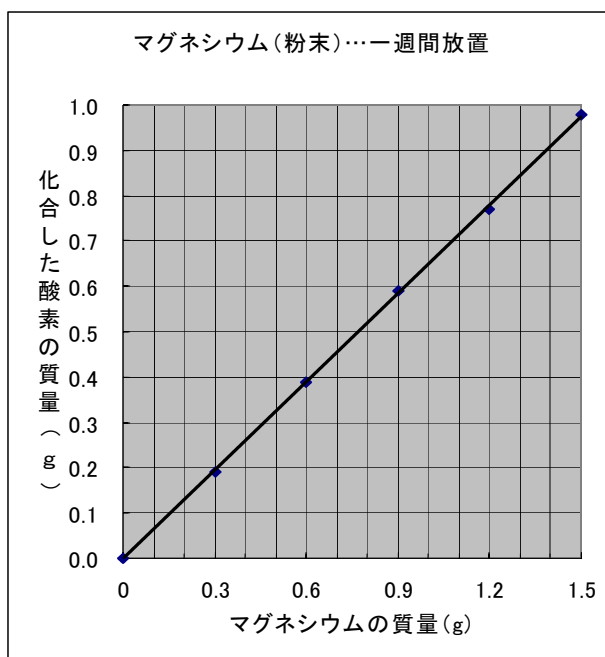
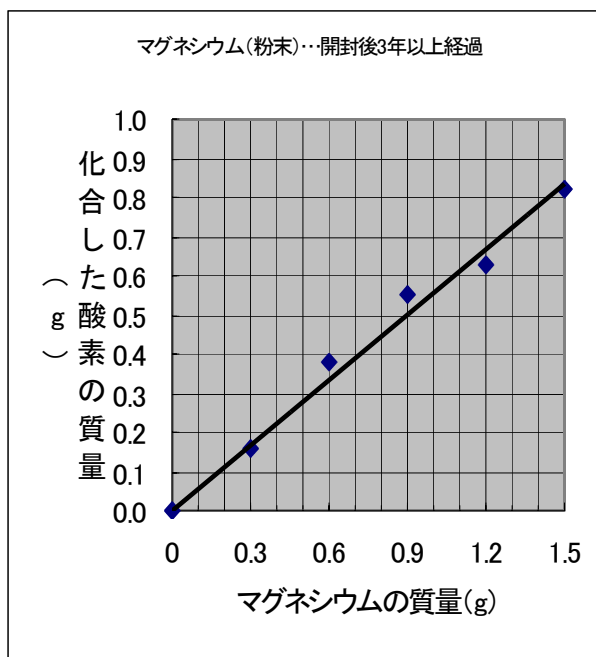


表5 開封後3年以上経過（1回目）

マグネシウムの質量(g)	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
化合した酸素の質量(g)	0.16	0.38	0.55	0.63	0.82
化合する酸素の質量の理論値(g)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
理論値に対する化合した酸素の割合	80.0%	95.0%	91.7%	78.8%	82.0%

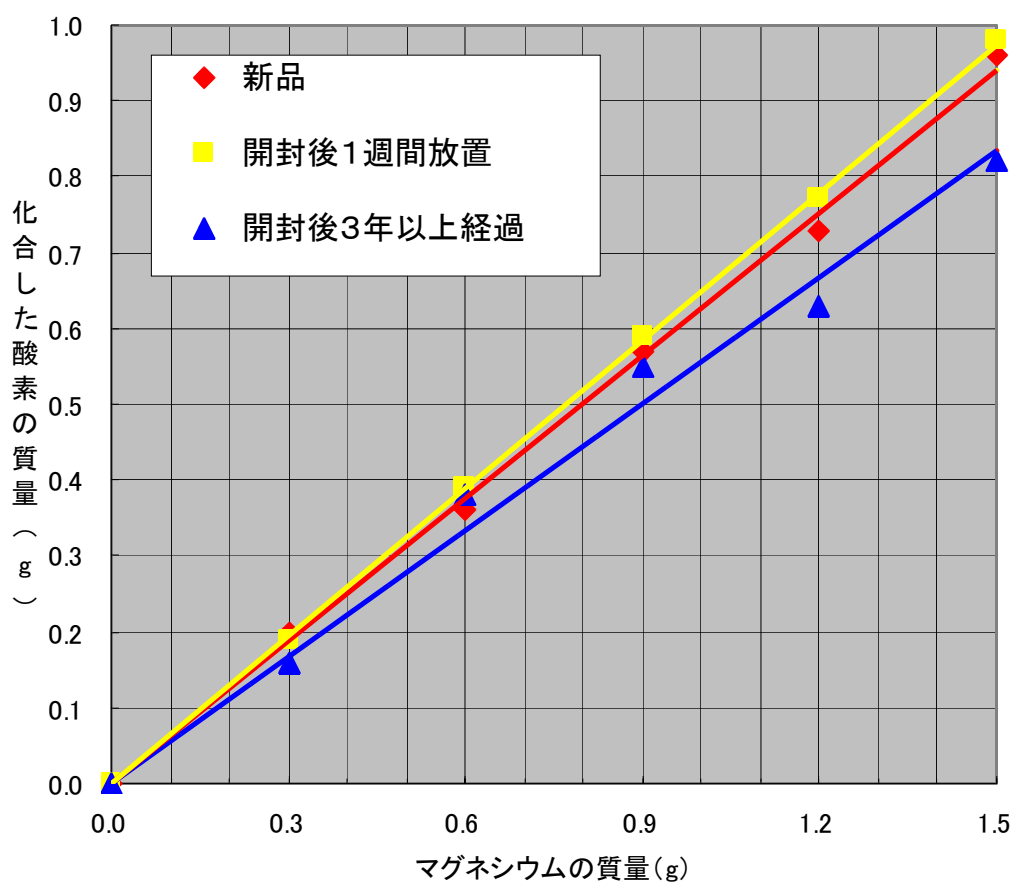
グラフ5



新品と開封後1週間放置したものの中には差はみられない。しかし、開封後3年以上経過した古いマグネシウムを用いると、化合する酸素の割合が小さくなり、化合する酸素の割合は理論値の80%台にとどまる。また古いマグネシウムを用いて実験した際、酸化マグネシウムを片付けるときに水を加えると、大変強いアンモニア臭がした。

開封してからあまり時間が経過していないマグネシウムを用いたほうがよい結果が得られる。

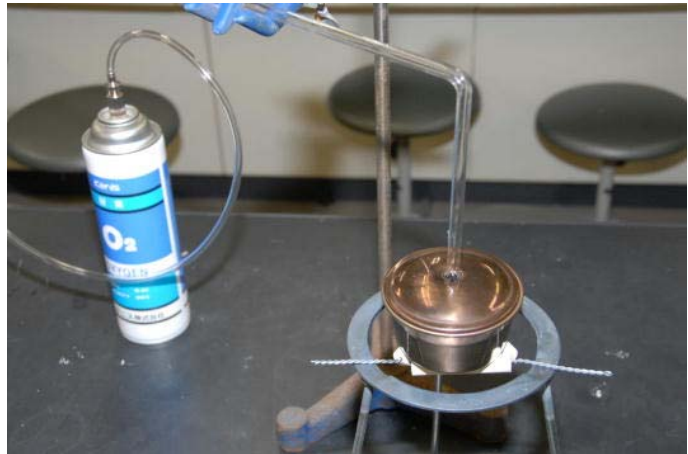
開封後の経過時間の影響(マグネシウム)



ウ 比較検討 3 : 酸素供給の有無による違い

前述までの実験で、化合する酸素の質量は理論値に近いものになった。しかし、得られた酸化マグネシウムの色は灰色で（窒化マグネシウムの色なのか黄色なども見られ）、真っ白とは言い難いものであった。そこで、酸素の供給を十分にすれば、化合する酸素の質量が、より理論値に近づき、酸化マグネシウムの色も白に近いものになると考えた。

酸素を充分供給できるように、酸素ボンベを用いた右のような実験装置を考えた。



(ア) プリンカップ使用の是非の検討

この実験を行うためには、ステンレス皿を用いた場合とプリンカップを用いた場合にマグネシウムと化合する酸素の質量に差がないことが前提となる。そこでステンレス皿、プリンカップを用い、実験結果を比較することにした。

○準備

- | | |
|---------------|--------------------|
| ・ マグネシウム（削り状） | ・ プリンカップ（100円ショップ） |
| ・ 三角架 | ・ 三脚 |
| ・ ガスバーナー | ・ るつぼばさみ |
| ・ チャッカマン | ・ 電子てんびん |
| ・ 酸素供給装置（別記） | |



商品名：ステンプリンカップ
材質：18-8 ステンレス
価格：105 円/個

○結果

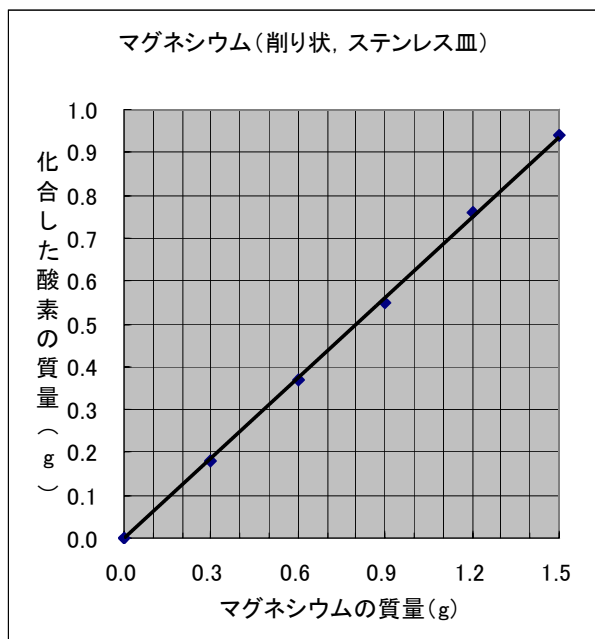
表2 ステンレス皿

マグネシウムの質量(g)	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
化合した酸素の質量(g)	0.17	0.36	0.54	0.76	0.92
1回目	0.18	0.37	0.55	0.76	0.94
2回目					
3回目					
最終	0.18	0.37	0.55	0.76	0.94
化合する酸素の質量の理論値(g)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
理論値に対する化合した酸素の割合	90.0%	92.5%	91.7%	95.0%	94.0%

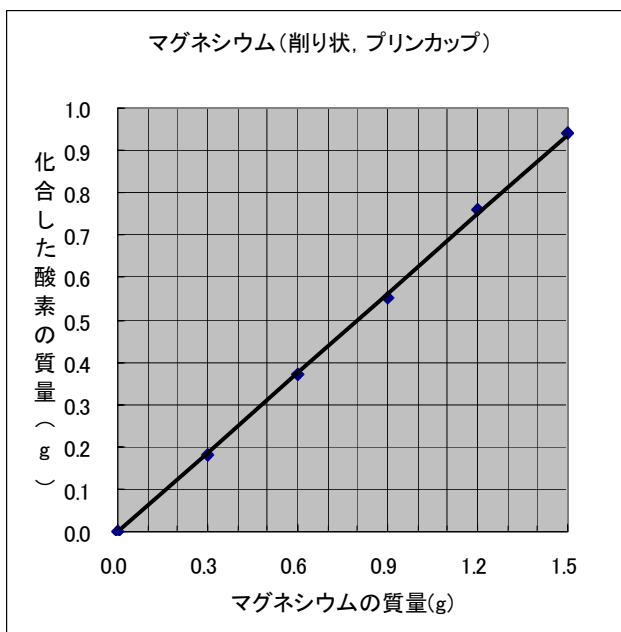
表6 プリンカップ

マグネシウムの質量(g)	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
化合した酸素の質量(g)	0.19	0.36	0.57	0.78	0.98
1回目		0.36			
2回目					
3回目					
最終	0.19	0.36	0.57	0.78	0.98
化合する酸素の質量の理論値(g)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
理論値に対する化合した酸素の割合	95.0%	90.0%	95.0%	97.5%	98.0%

グラフ2 ステンレス皿



グラフ6 プリンカップ



ステンレス皿を用いた場合とプリンカップを用いた場合にマグネシウムと化合する酸素の質量に差はない。プリンカップを用いて実験を行っても差し支えないことがわかった。

- ・プリンカップを用いると底が深いので、マグネシウムをかき混ぜるときに容器の外にこぼれるマグネシウムがないという利点がある。

(イ) 酸素供給装置を用いた実験

○準備

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ・マグネシウム (削り状) ・ステンレス製のふた ・三角架 ・ガスバーナー ・チャッカマン | <ul style="list-style-type: none"> ・プリンカップ (100円ショップ) ・酸素供給装置 (別記) ・三脚 ・るつぼばさみ ・電子てんびん |
|---|---|

- ・酸素供給装置について



プリンカップのふた

商品名：ふた付ステンレスマグカップ
 材質：ステンレス
 価格：105円/個

上部のふたの部分のみを用いる。
 取っ手を外し、穴をガラス管の太さに合わせて広げる。



酸素ポンペ：ケニス「理化学実験用ガス」
 左写真のように、付属の器具（ガス量調節器）を取り付け、ゆるめたり、締めたりすることで、酸素の量を調節することができる。

酸素誘導管

右写真のように、プリンカップの上から1/3程度までガラス管をさしこむ。



○実験方法

- 1 マグネシウム粉末（削り状）0.3, 0.6, 0.9g を電子てんびんではかりとる。
- 2 1をプリンカップにいれ、全体の質量をはかる。
- 3 マグネシウムを強熱し、チャッカマンで直接着火する。
- 4 マグネシウムが発火したら、すぐにふたをし、酸素供給装置から酸素を少しずつ送り、加熱を続ける。
- 5 マグネシウムが燃え尽きたら酸素の供給と加熱をやめ、プリンカップが十分冷えてから、全体の質量をはかる。
- 6 酸化マグネシウムの色を確認する。

○結果

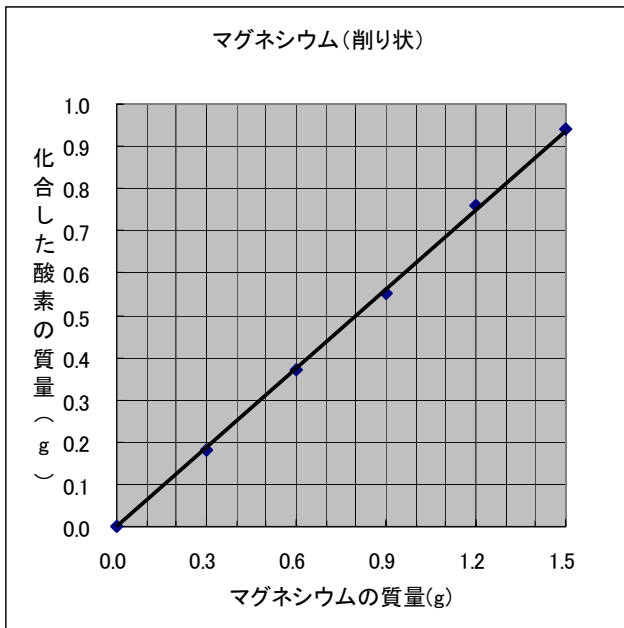
表6 酸素供給なし

マグネシウムの質量(g)		0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
化合した酸素の質量(g)	1回目	0.19	0.36	0.57	0.78	0.98
	2回目		0.36			
	3回目					
	最終	0.19	0.36	0.57	0.78	0.98
化合する酸素の質量の理論値(g)		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
理論値に対する化合した酸素の割合		95.0%	90.0%	95.0%	97.5%	98.0%

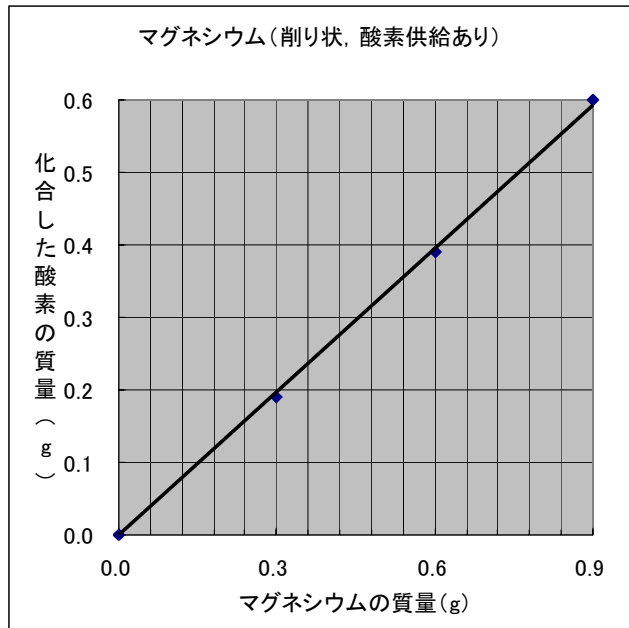
表7 酸素供給あり

マグネシウムの質量(g)		0.3	0.6	0.9
化合した酸素の質量(g)	1回目	0.19	0.39	0.6
	2回目			
	3回目			
	最終	0.19	0.39	0.6
化合する酸素の質量の理論値(g)		0.2	0.4	0.6
理論値に対する化合した酸素の割合		95.0%	97.5%	100.0%

グラフ6



グラフ7



大変激しい反応がおき、一瞬のうちに酸化反応が終わった。

- ・マグネシウムと化合する酸素の割合は、理論値にほぼ近い。
- ・真っ白な酸化マグネシウムが得られる。
- ・マグネシウムと酸素の反応の激しさを実感できる。しかし、反応が激しすぎて、1.2 g以上のマグネシウムを用いた場合、プリンカップの底に穴が開いてしまった。生徒実験にするには危険を伴うので、演示実験として行うのが適当である。



(2) 銅

ア 比較検討：酸素供給の有無による違い

(ア) 教科書の実験方法の検証

○準備

- | | |
|---------|-------------------|
| ・銅 (粉末) | ・ステンレス皿 (φ 100mm) |
| ・三角架 | ・三脚 |
| ・ガスバーナー | ・るつぼばさみ |
| ・電子てんびん | |

○実験方法

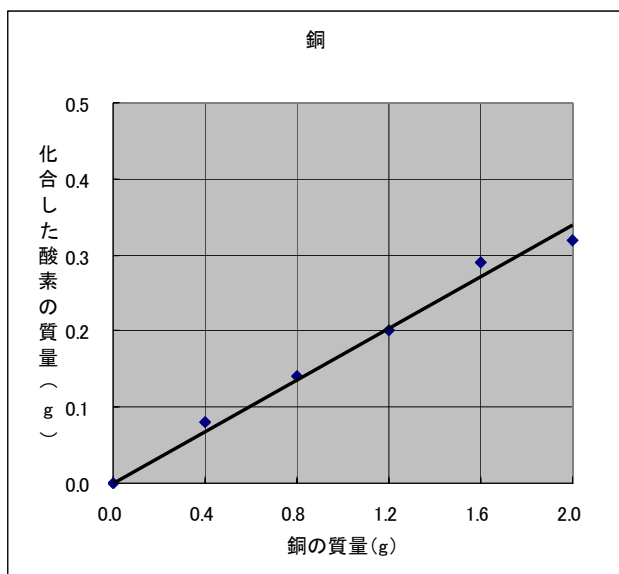
- 1 銅粉 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0g を電子てんびんではかりとる。
- 2 1 をステンレス皿にいれ、全体の質量をはかる。
- 3 銅粉をステンレス皿に広げ、強熱し加熱する。
- 4 銅粉を5分加熱したら加熱をやめ、皿がじゅうぶん冷えてから、全体の質量をはかる。
- 5 3, 4 の操作を繰り返す。

○結果

表 8

銅の質量(g)	0.4	0.8	1.2	1.6	2	
化合した酸素の質量(g)	1回目	0.08	0.12	0.16	0.25	0.23
	2回目	0.07	0.14	0.19	0.29	0.31
	3回目			0.2	0.29	0.32
	最終	0.08	0.14	0.2	0.29	0.32
化合する酸素の質量の理論値(g)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	
理論値に対する化合した酸素の割合	80.0%	70.0%	66.7%	72.5%	64.0%	

グラフ 8



銅と化合する酸素の質量は、いろいろと試みたが理論値には近づかなかった。また加熱回数を増やすと、2回目の加熱で化合する酸素の質量は増加するが、3回目の加熱ではほとんど増加しない。2回目まで加熱すれば、3回目以降の加熱は必要ない。

- ・かき混ぜ方：薬さじでステンレス皿をトントン叩きながら加熱すると、マグネシウムと同様に皿の上で粒子が浮く。これを繰り返すと完全に酸化が起こると考えられる。このようにトントン叩きながら加熱する方法が有効である。また、固まりがあるような状態ではなく、軽くたたきながら、完全に粉のような状態にすることが大切である。

(イ) 酸素・空気を供給した実験

酸素を十分供給することで、銅と化合する酸素の質量を増やそうと考えた。そこで、銅に酸素を直接吹きつけ、酸素を十分に供給することにした。また、ポリ袋に空気を入れ、ガラス管で加熱している銅に吹き付ける方法も試した。

○準備

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 銅 (粉末) 三角架 ガスバーナー 電子てんびん ポリ袋 (45 リットル), ガラス管付きゴム栓, ゴム管, ガラス管 | <ul style="list-style-type: none"> ステンレス皿 (φ 100mm) 三脚 るつぼばさみ 酸素ボンベ |
|--|---|

○実験方法

- 1 銅粉 1.2g を電子てんびんではかりとる。
- 2 1 をプリンカップにいれ、全体の質量をはかる。
- 3 銅粉を強熱する。
- 4 銅粉を加熱し始めたら、酸素を少しずつ吹きつけ、加熱を続ける。ポリ袋の場合は、ゆっくりと空気を吹き付け続ける。
- 5 銅粉を十分加熱し、十分冷えてから、全体の質量をはかる。

○結果

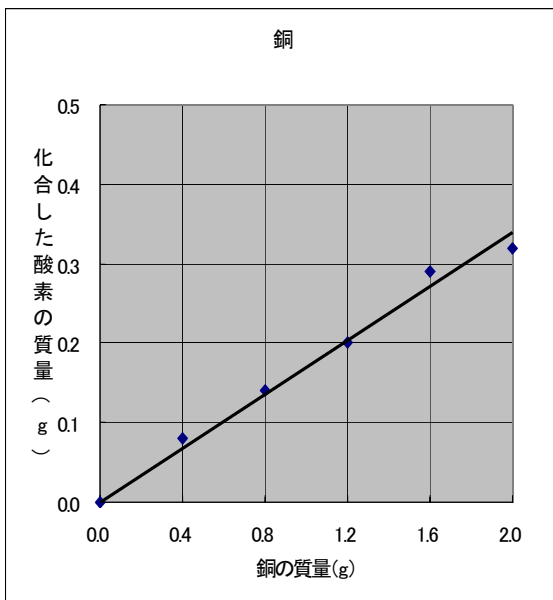
表 8 酸素供給なし

銅の質量(g)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
結びついた酸素の質量(g)	0.08	0.12	0.16	0.25	0.23
1回目	0.07	0.14	0.19	0.29	0.31
2回目			0.2	0.29	0.32
3回目	0.08	0.14	0.2	0.29	0.32
最終					
結びつく酸素の質量の理論値(g)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
理論値に対する結びつく酸素の割合	80.0%	70.0%	66.7%	72.5%	64.0%

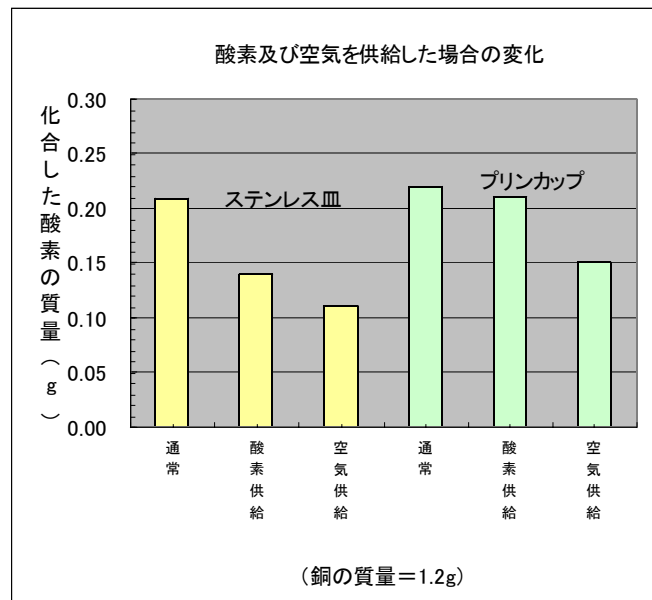
表 9 酸素供給あり

	皿A	皿B	皿C	カップA	カップB	カップC
	通常	酸素供給	空気供給	通常	酸素供給	空気供給
銅の質量(g)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
結びついた酸素の質量(g)	0.16	0.12	0.06	0.2	0.17	0.12
1回目	0.21	0.14	0.11	0.22	0.21	0.15
2回目						
3回目						
最終	0.21	0.14	0.11	0.22	0.21	0.15
結びつく酸素の質量の理論値(g)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
理論値に対する結びつく酸素の割合	0.7	0.46667	0.36667	0.73333	0.7	0.5

グラフ 8



グラフ 9



酸素や空気を供給しても、化合する酸素の割合は理論値に近づかなかった。それどころか、そのまま加熱したときよりも、化合する酸素の質量が減ってしまった。

- ・酸素や空気を供給しながら行くと、得られた酸化物はカチカチに固まってしまう。

5 考察

金属と結びつく酸素の質量を理論値に近づけるために実験方法の検討を行った。

マグネシウムの場合では、次のようなことがわかった。

- (1) 酸化を確実にを行うために、実験時に生徒の操作方法を統一することが重要である。生徒実験の場合は、化合が十分に進んでいない場合や、発火さえ起こっていない場合があるのではないかと考えられる。
- (2) 粉末のものよりも削り状のものの方が優れている。粉末状のものに比べて、時間が大幅に短縮できる上、化合する酸素の割合も理論値に近い。
- (3) 酸素を供給する新たな実験装置を用いると、真っ白な酸化マグネシウムが得られる。ただこの実験はあまりにも反応が激しいため、教師による演示実験がよい。

銅の場合は、今回の実験では、化合する酸素の割合を理論値に近づけることができなかった。原因として考えられることは、試料とした用いた銅がすでに酸化していたことや、加熱しても未反応の銅が残ってしまっていることなどが挙げられる。

6 今後の課題

- (1) 銅では、十分な結果が得られていない。例えば銅を還元してから用いるということ等が考えられるので、試してみたい。
- (2) チャッカマンを用いると、マグネシウムは簡単に発火する。私たちの実験では、安全に行うことができたが、万が一にも事故の可能性がないのか、検討する必要がある。
- (3) 授業の中で、操作方法を生徒に徹底する方法としては、デジタルコンテンツ等の活用が考えられるが、実際に用いて効果を検証する必要がある。

7 参考：教科書会社によるねらいや実験方法の違いのまとめ

	問題発見	実験の課題	実験	銅	マグネシウム	グラフ化	まとめ
東京書籍	金属を空气中で熱し続けて、酸素と化合させたとき、全体の質量はどう変化していくのだろうか。	金属を熱したときの質量の変化を調べよう。	銅、マグネシウム	粉末0.4g～1.4g(0.2g刻み)。ステンレス皿全体に広げて加熱。よくかき混ぜてから繰り返し質量変化を調べる。	銅と同じ	加熱の回数と化合物の質量の関係のグラフを例示。さらに金属の質量をいろいろ変えて酸素と化合させたときの化合物の質量、金属と酸素の質量を例示し、グラフも例示。	化合物の質量の増え方には限界があり一定の値になる。銅と酸素の質量の比は4:1、マグネシウムの場合は3:2になる。いつも一定の質量の割合で化合する。
大日本図書	銅や鉄を加熱して酸素と化合させるとき、酸素はいくらでも金属と化合するだろうか。	銅と酸素が化合するとき、生じる酸化銅の質量はどうなるだろうか。	銅のみ	粉末0.4g～2.0g(0.4g刻み)。黒くなるまでかき混ぜながらよく加熱する。もう一度繰り返し質量が(1回目の加熱後と)変わらないことを確かめる。	扱いなし	各班の実験結果からグラフ化。その後、結果の一例とすることで例示。	銅の質量が決まっていれば、いくら加熱しても生じる酸素の質量は決まってくる。
学校図書	マグネシウムや銅などの金属が、加熱により空气中の酸素と化合するとき、酸素はいくらでも金属と化合するのだろうか。	金属を加熱し続けてときの質量の変化を調べよう。	マグネシウム、銅(先にマグネシウム)	粉末(約1g)。加熱するとき、十分反応するようにかき混ぜる。	粉末(約1g)。加熱して中のほうまで十分酸素と反応するように、かき混ぜる。操作を数回繰り返し、質量を調べる。	加熱の回数と化合物の質量の関係のグラフを例示し、そこから限度があることを考察。さらに金属の質量をいろいろ変えて酸素と化合させたときの化合物の質量を例示し、グラフ化させる。	金属と酸素が化合する時の祖のれその質量の比は一定で決まっている。反応する二つの物質を作っている原子どうしが、決まった割合で結びつく。
教育出版	反応する鉄や銅の質量と、酸素の質量との間には、どのような関係があるのだろうか。	銅の質量と酸化銅の質量との関係を調べよう。	銅の酸化(「研究」として、欄外でマグネシウムでも同様に…)	粉末1.0g～5.0g(0.5g刻み)。変化が見られなくなるまで加熱。よくかき混ぜた後、質量変化がなくなるまで繰り返し。	「研究」として扱う。	銅の質量と酸化銅の質量との関係、銅の質量と化合した酸素の質量との関係のグラフを例示	銅の質量と酸素の質量は、4:1と一定になっている。化学変化において、反応する物質の質量比は常に一定であることがわかっている。
啓林館	加熱を繰り返したときの質量変化をグラフで提示し金属と化合する酸素の質量は決まっているのだろうか。	金属が酸素と化合するとき、金属と酸素の質量の関係はどうなるか調べよう。	銅かマグネシウムのどちらかを選択	粉末0.50g～0.90g(0.10g刻み)。5分間加熱。質量が一定になるまで繰り返す。	けずり状0.30g～1.50g(0.30g刻み)。燃え出したら金網でふた。5分間加熱し、質量が一定になるまで繰り返す。	理論的に近い参考データを例示	酸素がけいゆうぶんにあっても、一定量の金属と化合する酸素の質量は決まっている。どうは常に約4:1、マグネシウムは常に約3:2化合する物質の質量比が一定であるという関係は、いろいろな化学変化で広く成り立つ。

8 参考文献

- 全国理科教育センター研究協議会編, 1990. 身近な素材を生かした化学教材の研究. 東洋館出版社
竹内敬人ほか, 2002. 理科 1分野下. 新興出版社啓林館
三浦 登ほか, 2002. 新しい理科 1分野下. 東京書籍株式会社
戸田盛和ほか, 2002. 中学校理科 1分野下. 大日本図書株式会社
細矢治夫ほか, 2002. 中学理科 1分野下. 教育出版株式会社
霜田光一ほか, 2002. 中学校理科 1分野下. 学校図書株式会社

9 付録

動画1 マグネシウムを加熱する際の操作方法の工夫 (wmv1.3MB)



動画2 酸素供給装置を用いた際の激しい反応 (wmv 4.2MB)

