

「銅の酸化」に関する 効果的な授業の展開に向けた工夫

伊藤 崇由・佐藤 大・三木 勝仁

中学校「化学変化と原子・分子」における銅の酸化に関する定量実験について、加熱に要する銅粉の種類や量、使用するステンレス皿の選択等により、高率で酸化させることが可能になった。また、パワーポイントを用いた操作説明により生徒の操作ミスを減らす工夫や、銅粉の内部が未反応であることを示すモデル実験、および未反応の銅を確認する実験を通して、酸化反応を十分に進行させるための工夫を考えながら実験を進める授業づくりを提案する、新規のプログラムを開発したので、理科パワーアップ研修での実践結果とともに報告する。

[キーワード] 銅の酸化 定量実験 ステンレス皿 ステアリン酸添加銅粉末

はじめに

中学校理科粒子分野における定番実験の1つに、「化学変化と原子・分子」の単元における銅の酸化の定量実験がある^{*1) ~*4)}。この実験は、銅と酸素が反応するときその質量の割合が常に一定であるという、定比例の法則の内容を理解させる上で非常に大事な実験であるとともに、理科教員の間では「理論上の値を得ることが極めて難しい」ことで有名な実験でもある。

化学研究班では平成25年度より、中学校からの問合せも多い「銅の酸化」に関して、効果的な実験方法や授業の具体的な進め方を取り上げることが大きな授業改善につながると考え、札幌市を除く全道すべての中学校から教員が参加する理科パワーアップ研修において実施している。研修当初は実験器具や試薬の工夫による実験方法の改善が講座の中心であったが、平成25年秋からはパワーポイントの利用による安全で効率のよい実験手順を生徒に伝える工夫、平成26年度からは銅粉の加熱が不十分であるときの様子をわかりやすく提示するモデル実験を加え、実験の工夫・改善について生徒自身が見だし改善していく授業展開を想定した講座を段階的に実施してきた。本稿では理科パワーアップ研

修での実践成果を踏まえ、「銅の酸化」の効果的な授業の展開に向けた工夫について報告する。

1 試薬や実験器具の改善

講座の実施に向け、実験結果が理論値に近く、生徒が納得できる値が得られる実験方法を示すことが必要と考え、試薬や実験器具で改善できるところがないか検討した。

まず銅粉として、ステアリン酸2%添加のもの(325mesh)を使用した。通常の銅粉は、開封してしばらく経つと表面が酸化されてしまうが、ステアリン酸添加のものは、銅粉の表面が油膜でコーティングされており、長期にわたり酸化を防ぐことができる。加熱時にステアリン酸の揮発により白煙が上がること、若干の油臭を感じることもあるが、学校での保管状況や開封後の年数にとらわれず、ステアリン酸の質量の差を考慮するだけで実験結果を大幅に改善できることが利点である。また、試薬の価格についても、当センターで使用しているキンダ化学のもので25g 1,200円、500g 3,600円(共に税抜き)と、通常の銅粉と価格が同等であり、学校での負担が少ないことも、講座での展開に踏み切った理由である。

また、加熱に用いるステンレス皿を、中学校で通常使用するものより2周りほど小さい直径6 cmのものに変更した。このサイズだと皿の半径と三角架の中心から頂点の距離がほぼ同等であり、加熱時に皿のほぼ全域をムラなく均等に加熱することが可能になる。

これらの試薬と器具の工夫・改善を踏まえ、以下のようなような手順で実験を行った。

準備 銅粉 (325mesh), 電子天秤 (最小表示: 0.01 g), ガスバーナー, 三脚, 三角架, 薬さじ, ステンレス皿 (直径6 cm), りつばばさみ, セラミック板

方法

- ① ステンレス皿の質量をはかる。
- ② 銅粉約0.60 g をステンレス皿にはかり取り、薬さじでできるだけ薄く広げるようにして載せ、皿ごとをはかる。
- ③ ガスバーナーで4分間強熱する。
- ④ 方法③のステンレス皿をセラミック板において常温まで冷まし、質量をはかる。次に、銅粉を薬さじでよくかき混ぜてから再び4分間強熱し、同様に質量をはかる。
- ⑤ 質量の変化がなくなるまで方法④を繰り返す。
- ⑥ 銅粉の質量を0.40 g, 0.80 g, 1.00 g と変えて方法①～⑤と同様にして質量をはかり、銅の質量と化合物の質量、および銅の質量と化合した酸素の質量の関係をグラフに表す。

実験の結果、表に示すように、0.5 g 程度の銅粉がまた、通常この実験では2～3回の加熱を行うのが一般的であるが、検討の結果、再加熱は1回のみで質量が一定となることがわかった。ほぼ定量的に酸化されることがわかった。また、加熱時間を検討したところ、加熱時間が4分でも、従来実施してきた5分のと酸化の進行度合いがほとんど変化しなかったため、本プログラムでは4分で実施した。1回あたりの加熱時間の短縮とあわせ、全体の実験時間の短縮

にもつながる結果となった。

表 銅の酸化に関する実験結果の例

	質量	①との差	②との比
①皿のみ	12.27 g	—	—
②皿+銅	12.88 g	0.61 g	—
③加熱後	13.00 g	0.73 g	4 : 4.79
④再加熱後	13.02 g	0.75 g	4 : 4.92

2 パワーポイントによる説明の導入

銅の酸化実験は、高温に熱せられた実験器具を取り扱うため、安全への配慮が必要不可欠である。また、実験手順は慣れると単調な繰り返しとなるが、一般に時間不足に陥りやすく、手際よく説明し、実験に取り組む実時間を増やす必要があるほか、1つでも秤量を忘れるとデータが不完全となるので、注意を払って進めるよう指示が必要である。

これらの課題を解決する手立てとして、化学研究班では、パワーポイントで実験手順を説明しながら進めることを考えた。図1のように、実験の目的や大きな流れを示したり、秤量のポイントや実験器具の組み立て図を明示し、ミスを少なくすることを目的としたシートを作製した。また、生徒の学力レベルに応じて、ガスバーナーの使い方などの復習を行ったり、計算方法を表示するなどの利用も可能であり、研修講座内で紹介している。なお、実験の目的や手順、注意点等を明示しておくのが主目的なので、パワーポイントにこだわる必要はなく、あらかじめ黒板にまとめを記入する、模造紙等に記入し

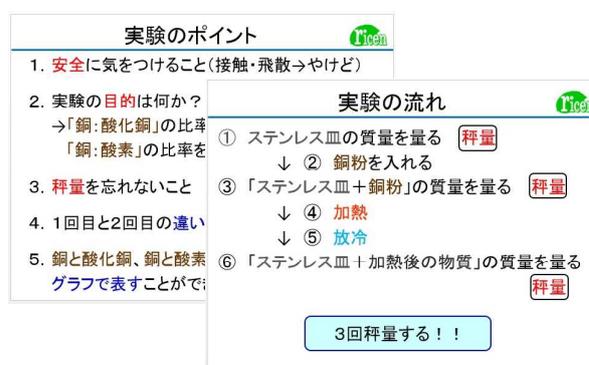


図1 使用したパワーポイントの例

掲示する等でも十分代替可能であると考える。

3 生徒自ら工夫改善をはかりながら実験を進める授業づくりに向けて

(1) 銅粉の内部が未反応であることを示すモデル実験

表面積を広げると酸化が進行しやすいことは、スチールウールの酸化実験などを通して生徒は理解していると思われるが、表面積を広げなければ実際に酸化が十分に進まない状況を見せることによって、粉末の銅を用いたり薄く広げて加熱する、かき混ぜて再加熱すること等の重要性をより深く認識できるのではないかと考えた。

まず、個々の銅粉は非常に小さく酸化の状況がよく見えないため、モデルの利用により理解を深めることを考えた。0.6 g の銅粉を薄く広げず小盛りのままステンレス皿にのせて4分加熱し、空冷後、ミクロスパーテル等の平らなヘラを用いてひっくり返すと、図2のように、中央部に赤褐色部分が残る酸化銅(II)の塊を得ることが出来た。赤褐色部分は中央部とその周辺で光沢の度合いが異なっており、未反応の銅と酸化銅(I)の混合物であると推測している。生徒には、色の確認とともに、導電性チェッカー等を用いて電気伝導性の確認を行うことで、酸化が不十分な部分が残ることを確認させることが可能である。



図2 銅粉内部の様子を示すモデル実験

(2) 未反応の銅を確認する実験

未反応の銅が存在することを確認するもう1つの方法として、酸化銅(II)と未反応の銅との、酸へのとけ方の違いを利用した実験を行った。

銅粉をステンレス皿に薄く広げて5分加熱し、黒変した生成物を0.1 g程度小型のシャーレに入れ、プチボトルに入れた20%硫酸を10滴程度加えようと、図3のように、生成物が徐々に消失するとともに硫酸が青変し、酸化銅(II)の溶解を確認することができた。一方、未反応の銅はイオン化傾向の関係でとけずに残る。酸化銅(I)についても溶けにくいようで、シャーレに残っていた。

このように、表面的には完全に黒変したように見えても、表面の酸化銅を溶解させると内部に未反応の銅が残っていることを見せることで、薄く広げて加熱したり、かき混ぜて完全に反応させることの大切さを考えるきっかけとなればよいと考えている。



図3 未反応の銅を確認する実験

また、学校に保管されている銅粉の中には、実験前であっても20%硫酸を加えると、硫酸が青変することを確認できるものがある。このような銅粉は、すでに酸化されており、銅粉の質量として大きく測定される。その結果、加熱による反応後の質量は期待される値よりも小さくなる。学校に保管されている銅粉を用いて実験を行い、実験値が理論値を大きく下回り、その原因を考える際に思い出していただきたい。

4 研修講座実施時の様子

この実験を、2年間で理科パワーアップ研修12回、中学校理科研修講座2回、中学校理科体験活動講座1回の計15回（各回4～5班、15～20名程度）実施したが、いずれの場合も銅：酸化銅＝4：4.8～4.9程度の比率で、安定した実験結果を出すことができた。銅：酸化銅＝4：5と、理論値通りの結果となった班もあった。

また、講座では図4のように、実験結果を班毎ホワイトボードに記入し、互いに発表し合う方法をとった。生徒に自然と競い合う意識を持たせ、一見地味なこの実験への興味関心を高めることをねらったのである。班内での教え合いにより、全体の計算力を高めることも同時に目指しているが、一部の生徒が計算するだけ、という事態にも陥りがちであるので、各学校で実施する際はワークシートも用意し、各生徒の記入内容を実物投影機で映し、実験結果を共有しながら指導する、といった方法も有効ではないかと考えている。

受講者からは、銅の酸化の実験をより効果的に実施するヒントが得られたこと等、おおむね好意的な声が多く聞かれた。特に、酸化銅の生成比率を大きく改善できるきっかけが得られたことについて評価する意見が多かった。このほか、授業の展開を含めた講座内容や時間の短縮、パワーポイントの提示等に対する肯定的な意見も見られた。

2つ目の実験 (銅 0.8g)											
① 皿のみ	12.27g										
② 皿+銅	13.08g										
③ 加熱後	13.23g $\xrightarrow{+0.15g}$										
④ 再加熱	13.25g $\xrightarrow{+0.17g}$										
<table border="0"> <tr> <td>1度目の加熱</td> <td>2度目の加熱</td> </tr> <tr> <td>銅 : 酸化銅</td> <td>銅 : 酸化銅</td> </tr> <tr> <td>0.8 : 0.95</td> <td>0.8 : 0.97</td> </tr> <tr> <td>↓</td> <td>↓</td> </tr> <tr> <td>4 : 4.75</td> <td>4 : 4.84</td> </tr> </table>		1度目の加熱	2度目の加熱	銅 : 酸化銅	銅 : 酸化銅	0.8 : 0.95	0.8 : 0.97	↓	↓	4 : 4.75	4 : 4.84
1度目の加熱	2度目の加熱										
銅 : 酸化銅	銅 : 酸化銅										
0.8 : 0.95	0.8 : 0.97										
↓	↓										
4 : 4.75	4 : 4.84										

図4 ホワイトボードの記入例

5 今後の課題

一方、実験実施上の課題として、先生方から上がっていた意見で最も多かったのは、0.01gまで測ることのできる電子天秤が学校に少ない、もしくはない、というものであった。この実験の場合は、酸化させる銅の量が増えると酸化銅の生成比率が下がるため、銅粉の量を増やすことで必要とする最小の桁を1つ上げる、というような対応は難しい。一方、電子天秤を買うとなると、0.01g対応のものは0.1g用と比べて一気に価格が上がるため、買える台数が限られてしまう。今後、少ない台数でも効率よく実施できる授業展開も追究する必要があるのではと感じた。

また、この単元の指導で予想される授業展開として、銅で定比例の法則が確認できたら、次はマグネシウムなど他の物質で、というものがある。マグネシウムの酸化については理論的に進行しやすい反面、教科書各社の実験方法が異なっていること、禁水性物質ゆえ、引火時に備えたの安全な対応方法を徹底すること等、教員研修で取り上げる余地は十分ある。今後の研究課題としていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 中学校学習指導要領解説理科編 文部科学省, 2008
- 2) 自然の探求 中学校理科2 教育出版
- 3) 未来へひろがるサイエンス2 啓林館
- 4) 新しい科学2年 東京書籍

(いとう たかゆき 化学研究班)
 (さとう ひろし 化学研究班)
 (みき かつひと 化学研究班)