

実験廃液の処理について

—中学校における銅イオンを含む廃液の処理を中心に—

石井 幹夫¹ 太田 励²

学校現場の先生方が安心してより多くの観察、実験を行えるよう、実験廃液の処理に関する調査研究を行った。特に中学校における銅イオンを含んだ廃液の簡便な処理方法、さらに実験廃液が少なくすむ実験方法についても検討した。

はじめに

環境保全及び環境教育啓発の立場から、学校における実験廃液の適正な処理が求められて久しい。一方、新学習指導要領では、理科における観察、実験のより一層の重視がうたわれている。多くの化学実験を行えば当然実験廃液も多量に生じる。また、児童・生徒が主体的に問題解決を行う授業の場合、今までの教師主導の一斉実験よりも実験廃液の種類も増え、量も多くなりがちである。そのため、教師は実験に際しさまざまな工夫をしていると思うが、一方で、実験を行うことをためらっている教師もいるのではないか。

そこで、当センター化学室では、学校現場において簡便に実験廃液の処理ができ、より多くの観察、実験を行いやすい環境を作るための支援の一つとして、実験廃液の処理に関する調査研究を行った。特に、中学校で多量に生じる銅イオンを含む廃液については、校内での簡便な処理方法について検討した。さらに、実験廃液そのものを少なくするための実験方法の工夫についても検討した。

研究の内容

1 校種別にみる廃液処理の現状

平成10年度、廃液処理に関する現状を把握するため、教科書で扱っている実験に使用する薬品の調査と、当センターの研修講座受講者（小中高各40名程度）に対して廃液処理に関するアンケート調査を行った（調査は現行の教育課程におけるものである）。

その結果、小学校（16市町村31校）では廃液のほとんどが塩酸や水酸化ナトリウムなどの酸塩基であり、わずかに硫酸銅などの銅化合物を使用している学校があった。

酸塩基の廃液は校内で簡単な処理（中和）をして放流することが可能である。しかし、無意識のうちに未

処理のまま高濃度の廃液を放流したり、逆にごくうすい廃液でもすべて貯留しているなどの例もあるので、研修講座などを通して適切な処理方法を啓発していくことが重要である。

高等学校（35校）では多種多様な薬品（塩酸や水酸化ナトリウムなどをはじめとする酸塩基類、Ag、Cu、Fe、Mn、Cr、Zn、Sn、Pbなどの重金属化合物、炭化水素類、アルコール、エステルなどの有機化合物、シアン系錯化合物など）が使用されており、一部を除いて校内で処理をすることは困難である。この場合、廃液の種類に応じて分別貯留し、処理業者に処理を委託することが適当である。

一方、中学校（19市町村30校）では、塩酸や水酸化ナトリウムなどの酸塩基に加え、塩化銅や硫酸銅などの銅イオンを含む水溶液、メタノールやエタノールなどの有機化合物が中心であった。また、一部の学校でバリウムイオンや銀イオンを含む水溶液が使用されていた。また、化学の分野ではないが銅イオンを含むペネジクト液も使用されている。

銅イオンを含む廃液はそのままでは放流できないので多くの学校で校内に貯留しているが、費用等の関係でその処理に困っている場合が多い。そのためか、少量の廃液を多量の水とともに放流している例もあった。しかし、銅イオンはイオン交換の方法で簡単に処理することが可能である。そこで、校内における銅イオンを含む廃液の簡便な処理方法の開発を試みた。

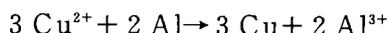
2 銅廃液の処理について

(1) 銅廃液処理の原理

A 反応の原理

これまでに、いろいろな廃液処理方法に関する研究がなされているが、いずれもその装置や操作は複雑で、学校現場で簡便に処理できるものではなかった。本研究では、中学校で多量に生じる銅イオンを含む廃液の処理に的を絞り、簡便に処理できる方法を考案した。

考案した処理方法の原理は、銅とアルミニウムのイオン化傾向の差を利用したものである。

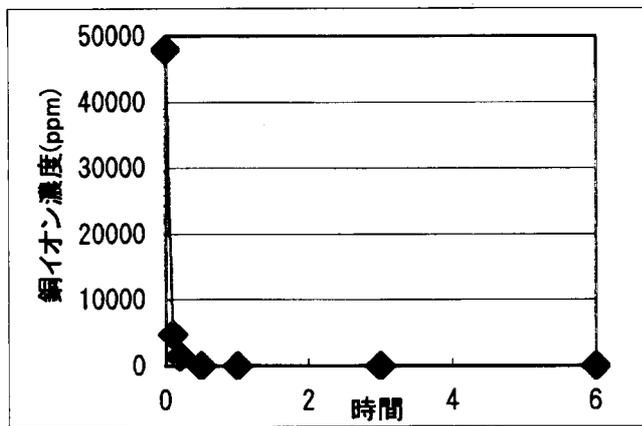


1 第二研修室（化学）研修指導主事

2 第二研修室（化学）研修指導主事兼指導主事

銅イオンを含む廃液にアルミ缶を裁断して作った細片を入れると、前記の反応が起こり、銅イオンが金属の銅として析出し、かわりにアルミニウムがアルミニウムイオンとなる。約10%塩化銅水溶液（銅イオン濃度に換算して、約48000ppm）を用いて実験したところ、発熱（約80℃）と水素の発生を伴いながら反応し、約1時間で本県の排出基準（1ppm、国は3ppm）に近い値（2ppm）まで減少した（第1図）。銅イオン濃度の測定に当たってはポナールキット（和光純薬）を用いた。なお、現在アルミニウムに関する排出基準はない。

また、この反応は鉄（スチール缶）を用いても可能であるが、鉄の場合排出基準は3ppm（県、国は10ppm）であるので実用にはならない。



第1図 銅イオン濃度の変化

イ pH の調整

処理液のpHは約3と低く、そのままでは放流することはできない（1000倍程度希釈する必要がある）。また、処理前の塩化銅水溶液のpHも2.8程度とかなり低い。そこで、処理前後においてpHを上昇させる方法の検討を行った（第1表）。

その結果、アルミニウム片で処理した後、石灰石を加えることがもっとも効果的であることが分かった。これによりpHは3.6まで上昇する。この溶液をさらに100倍以上に希釈してから放流する。

第1表 pHを上昇させる方法の検討

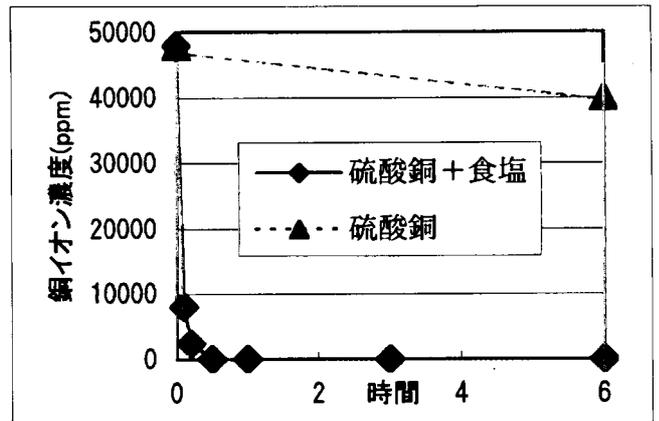
調整方法	pHを調整する液	処理前の銅廃液	処理後の溶液
薄い水酸化ナトリウム水溶液で中和		水酸化銅の沈殿を生じる	水酸化アルミニウムの沈殿を生じる
石灰石と反応		炭酸銅の沈殿を生じる	二酸化炭素を発生しながら反応し、pHは3.6まで上昇する

ウ 塩化物イオンの影響

銅イオンを含む廃液であれば全てアルミニウム片と

激しく反応するかというと、そうではなかった。例えば硫酸銅の廃液の場合、長時間かけて非常に穏やかに反応する。この場合は、廃液に食塩を添加することにより、塩化銅の場合と同じように激しく反応することが分かった（第2図）。

これは、食塩中の塩化物イオンが影響しているものと考えられる。



第2図 硫酸銅の廃液における銅イオン濃度の変化

(2) 処理方法の実際

ア アルミ缶の加工

今回の処理は廃物利用を考え、アルミ缶を用いた。もちろん使用済みのアルミ箔を用いてもよい（アルミ箔の場合、反応がアルミ缶の場合よりも激しくなる。また、浮き上がるので工夫が必要である）。



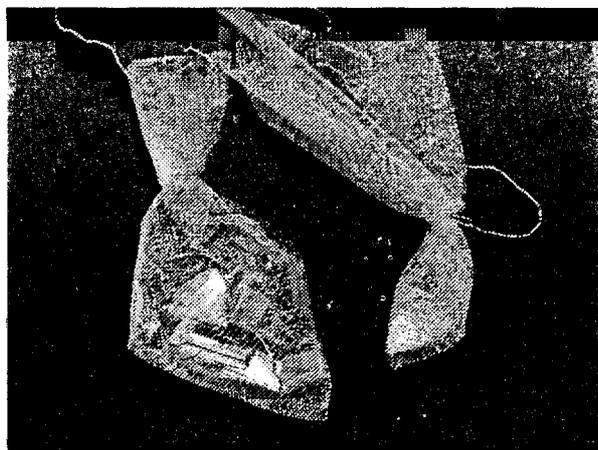
第3図 加工したアルミニウムの細片
(350ml 缶を3個使用している)

アルミ缶の場合、表面はコーティングされているので、反応は切り口でしか起こらない。そこで、できるだけ切り口を多くするために、ほぼ2cm四方の細片にして利用した（第3図）。裁断には、市販の万能ばさみの他、剪定ばさみも有効であった。

また、アルミ缶は上部と底部は比較的厚くなっており、加工しにくい。それに比べ筒の部分はかなり薄く加工しやすい。なお、アルミ缶を加工する作業は怪我

に十分注意した上で、是非生徒に行わせたい。小学校で行われている「ものづくり」とは少し異なるが、作業そのものは生徒にとって楽しいことである。また、アルミ片づくりから作業することで、処理に対し一層の目的意識をもてるのではないだろうか。また、この作業を通してアルミ缶の構造（厚さが部分によって微妙に異なる）も分かり、アルミ缶に込められた技術の工夫も感じ取ることができるのではないかと思う。

当初、塩化銅水溶液に直接アルミ片を入れて行ったが、処理後銅が付着した状態のアルミ片は取り出しにくい。そこで、加工したアルミ片を台所の流しでゴミの水切りに利用しているネットに入れた（第4図）。その状態で廃液に入れると、処理後の取り出しが簡単である（ティーバッグ方式と呼んでいる）。処理後、廃液の入っている容器からそっと取り出し、乾燥させたあとそのまま金属ゴミとして処分することが可能となる。ただし、乱暴に操作すると、付着している銅が落ちるので注意が必要である。



第4図 水切りネットに入れたようす
（左がアルミニウムの細片、右が石灰石）

イ 具体的な処理方法について

学校での処理を考えた場合、処理中ずっと誰かが付き添うことには無理がある。放置したままで安全に処理が進む方が現実的であるので、次の処理方法を考案した。なお、今回の方法は銅イオンや銀イオンなどのようにアルミニウムイオンよりもイオン化傾向の小さい金属を含む廃液に対して利用できる。廃液を貯留する際には、他の廃液が混ざらないように注意することが必要である。

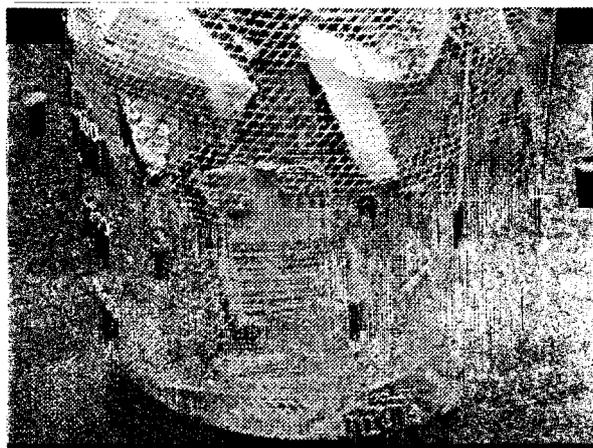
① 銅イオンを含む廃液の貯留槽に、アルミ缶の細片をネットに入れたものを浸し（第5図）、一晩放置する。

反応の際、発熱するので、貯留槽ならびにネットは耐熱性に注意する。また、水素が発生するので換気に注意する。

一晩放置すれば反応は十分進んでいる。廃液の濃度や使用したアルミ片の量により反応に必要な時間

は変わってくるが、一晩（12～24時間）放置すれば反応は十分進んでいると考えられる。また、最後の処理の段階で水で100倍程度に希釈するので銅イオンの濃度が100ppmまで下がっていれば問題はない。従って、処理液中の銅イオン濃度を測らなくても通常は大丈夫である。

- ② 翌日、アルミの細片の入ったネットを引き上げ、代わりに石灰石の入ったネットを入れ、一晩放置する。
- ③ さらに翌日、石灰石の入ったネットを引き上げたのち、多量の水（100倍量以上）とともに放流する。



第5図 処理中のようす
（アルミ片の切り口に金属の銅が付着している様子が観察される）

この方法では、処理中にそばについていなくてもよい。処理槽を流しの中に置き、帰りがけにネットを入れ、翌日の帰りがけに引き上げるといったやり方が現実的であろう。

なお、今回の処理により金属の銅を得ることができるので、この金属銅を酸化実験で活用することを試みた。しかし安定な状態で取り出し利用することはできなかった。現状では処理をした後は金属ゴミとして処理するのが最も適している。

3 簡易廃液処理装置を用いた授業

2「銅廃液の処理について」では、銅イオンを含む廃液を処理する方法を検討したが、この処理は次の2つの方法で授業への応用も可能である。

(1) 塩化銅水溶液の電気分解の実験とあわせた方法

新学習指導要領では「化学変化と原子、分子」の単元の中で、分解の例として電気分解を扱っている。また電気分解の実験の例として塩化銅水溶液があげられている。塩化銅水溶液の電気分解はもう1つの例の水に比べ、銅イオンを含む廃液を生じるという問題点は残るが、実験の安全性（水酸化ナトリウムや硫酸を使わずにすむ）や結果の説明のしやすさなどの理由でこれからも続けられると考えられる。

その際問題となる銅イオンを含む廃液の処理である

が、現状では実験後に回収し、流しには捨てないように指導している。しかし、これでは生徒にとって回収した廃液がその後どうなるのかわからない。今回開発した方法を用いれば、実験した生徒本人が廃液を処理することが可能となり、自分たちの実験を環境問題を含めた幅広い視野で捉えることも可能になる。

(2) 「物質と化学反応の利用」の単元での活用

多くの学校では2年生で「化学変化と原子、分子」の単元を学習し、3年生で「物質と化学反応の利用」の単元を学習することになると考えられる。この「物質と化学反応の利用」の単元の中で発熱反応を扱うことになっている。そこで3年生の授業の中で2年生の実験の際に生じた銅イオンを含む廃液を利用して発熱反応の授業を行うことが可能となる。

いずれにせよ、かなり激しい反応であるので、生徒に新鮮な驚きを与えられると思われる。もちろん、反応の原理にまで踏み込むことはできないが、ダイナミックな化学変化を実感させるとともに、環境問題への意識づけも可能にするものであろうと考える。

4 実験廃液を少なくする実験の工夫

できれば実験廃液は少ない方がよい。そこで当センター化学室の高橋教育指導員の助言を受けながら、「ろ紙と綿棒」を活用することにより実験廃液が余り出ない実験の工夫を行った。ここでは、一例として中和反応の実験(第6図)について報告をする。

試験管を使った中和反応の実験では、どうしても酸やアルカリを多量に使う。また実験中は色の変化がきれいなので、生徒も意欲的に取り組み、また結果もわかりやすいのだが、実験後に生徒の手もとには実験結果が残らない。そして、実験後には器具の洗浄で多量の水や洗剤も使用する。そこで、実験廃液を少なくすると同時に実験結果を生徒の手もとに残す工夫として、次のような方法でろ紙と綿棒を使った中和反応の実験を行った。

ろ紙に綿棒を使って指示薬をスポットし、乾燥させる。次に指示薬のスポットから少し離れた場所に調べたい溶液をやはり綿棒を使ってスポットする。すると、溶液がろ紙上をしみていき、指示薬と触れた所で呈色反応が起こるといものである。

この方法の利点と欠点を次にまとめておく。

利点・実験に使う溶液を少なくすることができる。

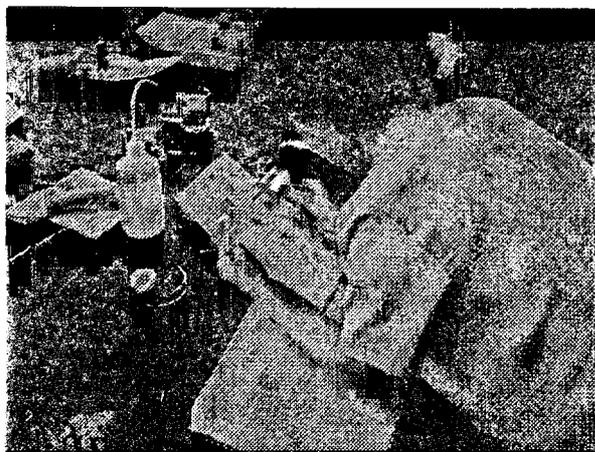
- ・実験結果を手元に残せる。
- ・一人ひとりが実験できる。

欠点・試験管で実験したときのような綺麗な色は見られない。場合により色が少しくくなる。

- ・長期間保管すると変色してしまうおそれがある。
- ・綿棒自体がゴミになる。

なお、この方法は酸化還元反応などでも活用できる。この方法を一つの例として実験の目的に合わせて最

適の実験方法を工夫する必要がある。



第6図 研修講座のようす
(ろ紙を使った中和反応
平成12年度小学校教育研修講座(理科)より)

おわりに

実験をたくさん行えば、当然薬品も多量に必要ななるし、実験廃液も多量に生じる。つまり環境に与える負荷も大きくなる。そこで、教師側が廃液処理の工夫、実験方法の工夫をすすめることにより、この矛盾が少しでも改善でき、より多くの学校でこれまで以上に観察、実験が行われることを期待している。当センター化学室も、今後できる限りの援助をしたいと考えている。

また、特に児童・生徒の主体的な問題解決活動においては、多くの種類と量の廃液を生じる可能性がある。児童・生徒が実験をする際に、その実験が環境に与える影響についても配慮できるよう育てたい。

今回開発した方法は、中学校における銅イオンを含む廃液の処理に適している。一方、高等学校においては銅にとどまらず他種類の金属イオンを含む廃液を生じる。今回の方法を応用し、高等学校でも使える廃液処理方法についてさらに研究を深めていきたい。

[教育センター元第二研修室員]

松本 幸久(平成10、11年度)

教育センター教育経営室研修指導主事兼指導主事
石井 晃(平成10年度)

教育庁義務教育課指導主事

参考文献

文部省 平成11年「中学校学習指導要領解説—理科編—」大日本図書

神奈川県環境科学センターホームページ

<http://www.fsinet.or.jp/~k-center/>

高橋一興 1995「ろ紙上における酸化・還元反応—実験結果が保存できる個別実験—」(『化学と教育』43巻12号) pp.768—769