

コンクリートを用いた重金属イオンの処理

静岡市立高等学校

2 年 石塚陽大 関日菜子 本多うらら 山田悠真

1 研究背景

現在の一般的な重金属イオンの処理法として用いられている水酸化物沈殿法では多量の試薬や大型の設備が必要になるので、処理に費用がかかる¹⁾。先行研究によると、銅(II)イオンが含まれている水溶液に焼成チョーク粉末を入れることで、焼成チョーク粉末に含まれる酸化カルシウムが Ca^{2+} と OH^- に電離し、溶液中の銅(II)イオンと結合して水に不溶な沈殿物として銅(II)イオンを処理できていることが分かっている²⁾。そこで私たちはコンクリートに注目した。コンクリートには酸化カルシウムが含まれている。近い将来、全国で高度経済成長期に建てられた建造物の解体・改築に伴って廃棄されるコンクリートが増えると予想される。もしコンクリートで銅(II)イオンを処理できるならば、他の重金属イオンの処理にもコンクリートを用いることができるうえに、廃棄コンクリートの有効活用にもつながると考えた。

2 実験 1

(1) 目的 コンクリートの重金属イオンの処理の性能を明確化する

(2) 仮説 コンクリートには銅(II)イオンを処理する能力がある

(3) 実験方法

ア コンクリート作成

(ア) セメント成分表³⁾を参考に SiO_2 11.0g, Al_2O_3 2.60g, Fe_2O_3 1.50g, CaO 32.0g, MgO 0.99g, CaSO_4 1.05g を用意してそれらを混ぜた。

(イ) 混ぜたものを電気炉(F0100)(1000℃)で1時間焼成した。

(ウ) コンクリート成分表⁴⁾を参考にセメント 4.0g, 水 7.0g, 砂 19g, 砂利 21g を混ぜて、混ぜたものを一日乾燥させた。

イ 銅(II)イオン処理能力測定

(ア) コンクリートをハンマーで粉々にし、ふるいで粒子の大きさを 0.52mm 以下にした。

(イ) 0.10mol/L 硝酸銅(II)水溶液 10ml ずつとコンクリート粉末を 0.1g~0.5g の 5 通りを遠沈管に入れた。

(ウ) それらをボルテックスミキサー(VORTEX-GENIE2 SI-0826)で10分攪拌し、ろ過した。

(エ) 分光光度計(APEL・PD-303S)(波長 808nm)で水溶液の吸光度を測定した。

(オ) 各水溶液に試薬を入れた際どれだけその pH に近づくか確認する目的でろ過した水溶液の pH を pH メーター(LAQUAtwin-pH-11B)で測定した。

(4) 実験結果

環境省の一律排水基準⁵⁾に従い、硝酸銅(II)水溶液の濃度が 4.7×10^{-3} mol/L より低い、つまり濃度の減少率が 95.4% 以上のとき、一律排水基準を満たしているとした。図 1 からコンクリート粉末量が 0.3g 以上のときに一律排水基準を満たしていることが分かった。

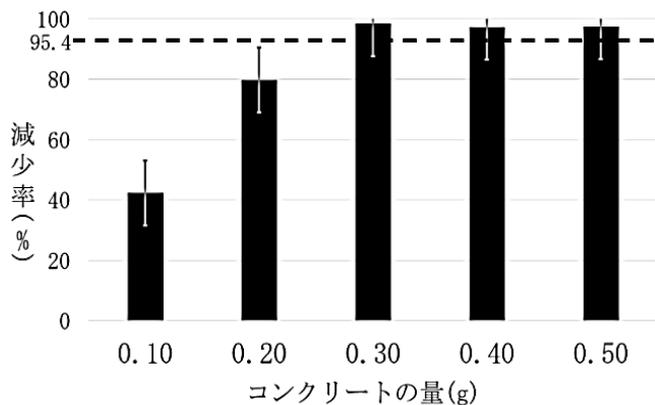


表1 コンクリートの量(g)と減少率(%)とpH

コンクリートの量(g)	減少量(%)	pH
0.1	42.3	4.9
0.2	79.8	5.8
0.3	98.5	6.5
0.4	97.3	10.6
0.5	97.4	10.2

図1 コンクリートの量(g)と減少率(%)

(5) 考察

銅(II)イオンはpHが6.0~7.0付近で沈殿する傾向にある¹⁾。今回の実験ではコンクリート粉末が0.3g以上の時は硝酸銅(II)水溶液のpHが6.0以上であり銅(II)イオンが十分沈殿しやすい環境にある。また、一律排水基準である $4.7 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ を満たしているという2点からこの水溶液10mLを処理するのに必要なコンクリート粉末量は0.3gであると考えられる。

3 実験2

(1) 目的 重金属イオンの処理に関与している成分を特定する

(2) 仮説 セメント中の全成分によりコンクリートによる重金属イオン処理が促進されている

(3) 実験方法

ア セメント作成

実験1の(3)と同様。

イ 銅(II)イオン処理能力測定

(ア) SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , CaSO_4 , セメントをふるいにかけて粒子の大きさを0.52mm以下にした。

(イ) 0.10mol/L 硝酸銅(II)水溶液10mlずつと各試薬を0.1g入れた。

(ウ) それらをボルテックスミキサーで10分攪拌し、ろ過した。

(エ) 分光光度計(波長808nm)で水溶液の吸光度を測定した。

(オ) ろ過した水溶液のpHをpHメーターで測定した。

(4) 実験結果

CaO と MgO が銅(II)イオンを多く処理していたことが分かった。

表2 銅(II)イオンの濃度と濃度の減少率とpH

	濃度(mol/L)	減少率(%)	pH
SiO_2	0.10	0	4.7
Al_2O_3	0.10	0	4.9
CaO	7.1×10^{-4}	99.3	11.5
CaSO_2	0.10	0	4.7
MgO	2.5×10^{-2}	75.3	5.9
Fe_2O_3	0.10	0	4.6
セメント	3.7×10^{-3}	96.3	5.7

(5) 考察

銅(II)イオンはpHが6.0~7.0付近で沈殿する傾向にある¹⁾。CaOとMgOではpHが6.0付近だったことから、この二つの成分が重金属イオンの処理に関与していると考えられる。しかし、セメント成分表³⁾によるとCaOは一般的なポルトランドセメントに含まれる化学成分の約64%を占めているのに対し、MgO約2%しか占めていないことがわかる。よって、本実験において重金属イオンの処理の大部分はCaOによるものと考えられる。

4 実験3

(1) 目的 セメントの加工による重金属イオン処理の効率向上を検討する

(2) 仮説 セメントの表面積が大きいほど銅(II)イオンの処理能力が大きい

(3) 実験方法

ア セメント作成

実験1の(3)と同様。

イ 銅(II)イオン処理能力測定

(ア) 作成したセメントをふるいで粒子の大きさを0.067mm以下、0.068以上0.52mmの二つに分けた。

(イ) 0.10mol/L硝酸銅(II)水溶液10mlずつとセメント粉末を遠沈管に入れた。

(ウ) それらをボルテックスミキサーで20分攪拌し、ろ過した。

(エ) 分光光度計(波長808nm)で水溶液の吸光度を測定した。

(オ) ろ過した水溶液のpHをpHメーターで測定した。

(4) 実験結果

セメントの大きさが小さい方が銅(II)イオンをより処理していた。

表3 銅(II)イオンと濃度の減少率とpH

	濃度(mol/L)	減少量(%)	pH
セメント大(0.068~0.52mm)	9.0×10^{-2}	9.5	4.7
セメント小(~0.067mm)	5.0×10^{-2}	47.2	4.9

(5) 考察

今回水溶液のpHが6.0に達していないのは実験で使用したセメントの量が少ないことで水酸化物イオンが発生する量が少なくなったため、減少率がどちらにおいても低くなったと考えられる。また、先行研究から粒子の大きさを小さくすることで、表面積が大きくなり、触媒を使用する際に表面積が大きいほうが化学反応の反応場が広くなり、その影響で反応速度が上昇すると考えられている⁹⁾ので、今回の重金属処理においても表面積の大きさが重要になってくると考えられる。

5 実験4

(1) 目的

コンクリートの様々な重金属への処理能力を解明する

(2) 仮説

コンクリートは銅(II)イオン以外の重金属イオンも処理する能力がある

(3) 実験方法

ア セメント作成

実験1の(3)と同様。

イ 重金属イオン処理能力測定

(ア) コンクリートをハンマーで粉々にし、ふるいで粒子の大きさを0.52mm以下にした。

(イ) 0.10mol/L 硝酸銅(II)水溶液, 0.10mol/L 硫酸ニッケル(II)水溶液 10ml, 0.10mol/L 塩化クロム(III)水溶液を10mlとコンクリート粉末0.1gずつの3通りを遠沈管に入れた。

(ウ) それらをボルテックスミキサーで20分攪拌し、ろ過した。

(エ) 分光光度計(波長808nm)で水溶液の吸光度を測定した。

(オ) ろ過した水溶液のpHをpHメーターで測定した。

(4) 実験結果

3つの重金属イオンとも高い減少率を示していた。ニッケル(II)イオンとクロム(III)イオンの濃度がマイナスになっていたことから、理論上水溶液中の銅イオンはすべて水酸化物イオンと結合して沈殿したと考えた。

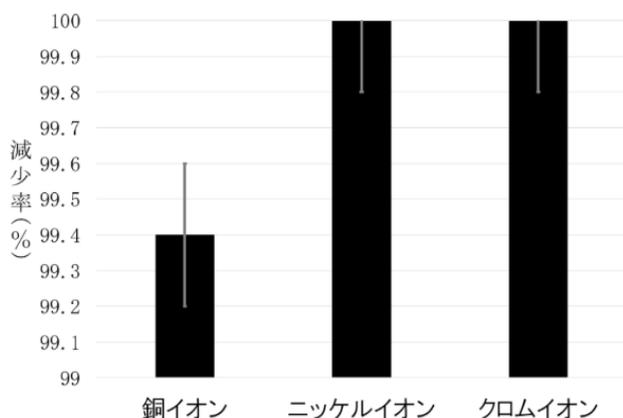


図2 各イオンとその減少

表4 各イオンの減少率と

試薬	減少率	pH
銅(II)イオン	99.4	12.6
ニッケル(II)イオン	100	12.4
クロム(III)イオン	100	11.4

(5) 考察

銅(II)イオンはpHが6.0~7.0付近、ニッケル(II)イオンはpHが5.0~5.5付近、クロム(III)イオンはpHが8.5~9.0付近で沈殿する傾向にある¹⁾。今回の実験でどの水溶液のpHも11.0以上であったので、どの重金属イオンも沈殿しやすい状態だったと考えられる。コンクリートを用いて複数の重金属イオンの処理を行える可能性があると考えられる。

6 結論

本実験ではコンクリートを用いて水溶液中の銅イオンを含む数種類の重金属イオンを処理できることが分かった。本実験で使用した水酸化物沈殿法はpHの上昇により重金属イオンを水酸化物として沈殿させているため、原理的に両性元素でなければ他のイオンも処理可能である³⁾。また、コンクリート粉末を小さくすることで表面積が大きくなると除去できる銅イオンの量が増えることも分かった。さらに、攪拌時間が短くても処理できる重金属イオンの量があまり変わらないことから、時間をあまりかけずに処理を行えると思われる。

以上のことから、この処理方法には実用性の可能性がある。しかし、処理に適切なコンクリート粉末の大きさや量が不明等の課題がある。

7 今後の展望

今後の実験では銅(II)イオン処理に適したコンクリートの量は明らかになったが、ほかの重金属イオン処理に適しているコンクリートの量は明らかになっていないので、今後の実験で重金属処理に適したコンクリートの大きさや量を明らかにしていきたい。

また、コンクリート粒子の大きさは小さいほうが処理率は上がるということが分かった。しかし、実用化にして関して言えば、コンクリートの粒子をどれくらいの大きさにすると費用の効率がよくなるか明らかではないので検討していきたい。

そして、本実験は少量の溶液を対象にしたものであるため、大規模な設備でも検証したい。それに加え、除去前と除去後の水溶液中の重金属イオンの量をより正確に比べるために、蛍光色素及び修飾核酸を利用した制単分子解析技術⁷⁾を用いて水溶液の重金属イオンの量をより細かく調べられないか検討していきたい。

8 謝辞

助成金をいただいた「公益財団法人 山崎賞自然科学教育振興会」関係者の方々、本研究を行うにあたりご協力いただいた静岡大学 近藤 満 教授に深く感謝申し上げます。

9 参考文献

1) 栗田工業株式会社. “水処理教室” .

<https://kcr.kurita.co.jp/wtschool/018.html>, (参照 2020-12-5).

2) 城北学園・城北中学校. “高校で運用可能な廃チョークによる銅廃液処理法の開発” .

https://www.jstage.jst.go.jp/article/kakyoshi/65/10/65_514/_pdf/-char/ja,
(参照 2020-12-5).

3) コンクリート工事ハンドブック委員会. “セメントの化学成分” .

edw.eng-book.com/pdfs/1636bea40acf1fab38b73a6835658947.pdf, (参照 2020-12-5).

4) 生コンクリート(株)豊岡工場. “レディーミクストコンクリート標準配合表” .

kita-hyodo.com/data/haigou-toyooka.pdf, (参照 2020-12-5).

5) 環境省. “一律排水基準” .

<https://www.env.go.jp/water/impure/haisui.html>, (参照 2020-12-5).

6) 山口拓哉・柴原一博. “触媒粉体の表面積物性評価技術” .

<https://www.scas.co.jp/scas-news/gn-back-issues/pdf/38/SCASNES2013-2-p11-14.pdf>,
(参照 2020-12-5).

7) 国立研究開発法人産業技術総合研究所 “蛍光色素及び修飾核酸を利用した制単分子解説技術の開発とその応用” .

<https://www.jstage.jst.go.jp/article/bunsekigaku/68/2/68-109/pdf>, (参照 2020-12-5)