

## 5 合金の分析

われわれの会合う物質は通常、気体・液体・固体などさまざまな状態で存在し、また多様な成分からなる。化学はそうした物質の姿をその成分・質の面から理解する学問といえよう。したがって物質の元素組成は化学にとって最も基本的な知見である。ここでは洋白（銅・亜鉛・ニッケルを主成分とする合金。洋銀）を題材に、その元素組成の決定法を実習する。

まず準備されている試料を硝酸に溶解する。その溶液について、銅はヨウ素滴定法で、ニッケルはジメチルグリオキシム塩として分離した後、キレート滴定法で、亜鉛は陰イオン交換樹脂を用いて分離した後、オキシソ錯体の重量分析でそれぞれ定量する。実験時間が不足した場合は亜鉛の重量分析の代わりにキレート滴定による定量を行う。なお洋白には鉛、鉄などが含まれている場合があるが、本実験で用いる試料についてはこれらの含有量が低い（総量が0.3%程度）ので、分離・定量に関わる操作は行わない。番号の肩に星印（\*）のある指示薬類は準備してあるものを使う。以下に示す一連の実験を各自、試料溶液の調製から始めて行い、銅、亜鉛、ニッケルがもとの洋白に質量%でそれぞれ何%ずつ含まれていたかを決定せよ。実験進行の目安としては第1週に「6-3 ニッケルの分離と定量」まで終了しておくのが望ましい。なお観察される定性的な現象の記録を怠らないこと。

### 5-1 試料の溶解

#### <概要>

試料が固体である場合、通常、適当な溶媒に試料を溶解させた後、分析を行う。ここでは洋白を硝酸に溶解してその構成元素の分析を行う。硝酸に試料を溶かし、硫酸を加えて窒素酸化物を追い出し、金属塩類を硫酸塩に変えて以降の分析に使用する溶液を調製する。

#### <試薬>

##### (1) 7 mol/L 硝酸

資料編 V-10 を参照して濃硝酸（60%）を希釈して調製する。

##### (2) 9 mol/L 硫酸

資料編 V-10 を参照して濃硫酸を希釈して調製する。希釈時の発熱に注意！

#### <操作>

(1) 試料約 250 mg をビーカーに精密にはかり取る。

(2) ドラフト中で 7 mol/L 硝酸を 5 mL と 9 mol/L 硫酸 2 mL を加え、時計皿で蓋をして、ホットプレート上に置く。完全に溶けたことを確認後、さらに 1 時間程度加熱濃縮する<sup>(注1)</sup>。蒸発を促進させるためにガラス棒を折り曲げて時計皿とビーカーの間に挿入し、水蒸気の通る隙間を作ると良い。

(3) イオン交換水を 50 mL 程度加えて可溶性塩を溶解させ、十分溶液が冷めてからメスフラスコを用いて全量を精確に 100 mL にする。

(4) (1) から (3) の操作をもう一度繰り返して試料溶液を計 2 種類調製し、溶液 A および溶

液 B とする。以下の操作はこの溶液 A と B について行う。

(注 1) この操作で亜硝酸等酸化窒素類を分解揮発させる。溶液を完全に乾固させると再溶解させるのに時間がかかる。析出した固体(硫酸ニッケルの無水塩と思われる)が溶解しない場合は溶液を煮沸しない程度にしばらく加熱するか、一晩放置するかしてみよ。

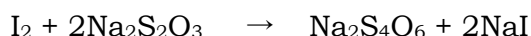
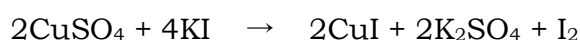
#### < 廃棄物処理 >

余った試薬類で以下の操作に用いないものは廃棄物指針 A に従って処理する。

## 5-2 銅の定量

#### < 概要 >

ヨウ素滴定によって銅を定量する(今回は銅の分離操作を行わない)。銅(II) はヨウ化物イオンと反応してヨウ素を遊離し自身はヨウ化銅(I)になる\*。この遊離したヨウ素をハイポで滴定することによって銅の量を求める。反応は次式による。



#### < 試薬 >

##### (1) ヨウ化カリウム溶液 (20 w/v %)

ヨウ化カリウム (KI、式量 166.00) 約 6 g をイオン交換水に溶かして 30 mL にする。黄色に変色している場合は、ハイポ溶液を色が消えるまで攪拌しながら滴下する。

##### (2) 硫酸銅標準液 (0.02 mol/L)

硫酸銅五水和物 ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、式量 249.69) 約 0.5 g を精密にはかり取り、イオン交換水に溶かしてメスフラスコを用いて精確に 100 mL にする。ここでは行わないが、純度の高い金属銅を溶解し硫酸銅標準溶液を作れば標定の精度を上げることが可能である。

##### (3) ハイポ溶液 (0.02 mol/L)

チオ硫酸ナトリウム五水和物 (ハイポ、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、式量 248.18) 約 0.5 g を秤量しイオン交換水に溶かして 100 mL にする<sup>(注1)</sup>。

##### (4 \*) でんぷん溶液

##### (5) 酢酸緩衝液

酢酸 6 mL と酢酸ナトリウム三水和物 14 g をイオン交換水に溶かして 50 mL にする。この緩衝液は亜鉛の重量分析でも使用する。

(注 1) 興味のある者はチオ硫酸ナトリウムを精秤して市販のチオ硫酸ナトリウムの純度を求めてみよ。なおチオ硫酸ナトリウム溶液は pH 条件等によっては分解することがあり、調製した日のうちに滴定を済ますのが無難である。

---

\* ヨウ素の生成による褐変はすぐに起きるが、溶液が懸濁しヨウ化銅(I)の沈殿の生成が認められるまでには、条件により若干の時間が必要である。

#### <操作>

##### [ハイポ溶液の標定]

(1) ビーカーに硫酸銅標準溶液 10 mL を精確にピペットで測り取り、ヨウ化カリウム溶液 3 mL とイオン交換水 10 mL を加える。

(2) 褐色になった溶液を調製したハイポ溶液で滴定する。液の色が淡黄色になった後、でんぷん溶液を数滴加える<sup>(注1)</sup>。さらに滴定を続け、ヨウ素でんぷんの青色が消え、溶液が白色の懸濁液となった点を終点とする。

★滴定は複数回行うのが望ましい。

(注1) でんぷんをあまり早く加えると終点が判定しづらい。

##### [銅の定量]

(1) 洋白の試料溶液を精確に 10 mL 測り取り、イオン交換水 10 mL および酢酸緩衝液 2 mL を加える。

(2) ヨウ化カリウム溶液約 3 mL を加え、先に標定したハイポ溶液で滴定する。終点付近になったらでんぷん液を数滴加える。さらに滴定を続け、ヨウ素でんぷんの青色が消え、溶液が白色の懸濁液となった点を終点とする。

#### <廃棄物処理>

滴定後の沈殿 (CuI) を含む溶液は過剰のハイポ溶液を加えて沈殿を溶解し、余った硫酸銅溶液とともに廃棄物指針 D-1 に従って処理する。強酸性条件ではハイポが分解して硫黄が沈殿するので、炭酸水素ナトリウムを加えて発泡が起きない程度の pH にしてから処理すること。残った試薬類は廃棄物指針 A に従って処理する。

### 5-3 ニッケルの分離と定量

#### <概要>

金属アルミニウムを加えて銅を析出分離させた後、ジメチルグリオキシム溶液を加えてニッケル塩を沈殿分離する。沈殿を塩酸に溶解し、一定量の EDTA を加えてニッケルの錯体を生成させる。指示薬としてエリオクロムブラック T (EBT) を加え、pH を調整した後、亜鉛標準溶液で過剰の EDTA を滴定する。

#### <試薬>

(1\*) ジメチルグリオキシム溶液：ジメチルグリオキシムの 1 w/v %エタノール溶液。

(2) アルミニウム片

(3) アンモニア水 (14 mol/L)

(4) 塩酸 (6 mol/L、0.2 mol/L)

(5) 酒石酸溶液 (25 w/v %)

(6) 塩化アンモニウム溶液 (25 w/v %)

(7\*) メチルレッド指示薬：メチルレッド 0.1 g をエタノールに溶解し 100 mL としたものを。

(8) EDTA 標準溶液 (0.02 mol/L)

必要量のエチレンジアミン四酢酸二ナトリウム二水和物 (式量 372.24) を精密にはかり取って調製する。標定はしなくてよい。

(9\*) 0.02 mol/L 塩化亜鉛溶液

(10\*) EBT 指示薬

(11) 塩化アンモニウム-アンモニア緩衝溶液 (課題 4-2 参照)

<操作>

(1) 溶液Aを 100 mL のビーカーに精確にホールピペットで 10 mL 測り取り、イオン交換水で希釈して全量を 20 mL 程度にする。

(2) 塩酸 (6 mol/L) 1 mL を加えた後、アルミニウム片約 0.5 g を加え、時計皿で蓋をして 10 分間程度おだやかに加熱しながら銅を析出させる<sup>(注1)</sup>。

(3) 残ったアルミニウム片と析出した銅をろ別し、ろ紙をイオン交換水で洗浄する。

(4) ろ液に酒石酸溶液と塩化アンモニウム溶液をそれぞれ 5 mL 加える。ここにメチルレッドを指示薬としてメチルレッドの色が赤から黄色に変わるまでアンモニア水を加える。さらにアンモニア水を 1 mL だけ過剰に加えた後、イオン交換水を加えて全量が 70 mL 程度になるようにする<sup>(注2)</sup>。

(5) 溶液を水浴中で加熱しながら<sup>(注3)</sup>ジメチルグリオキシム溶液を加えた後、30 分程度加熱を続け沈殿を熟成させる。ジメチルグリオキシム溶液は 10 mL も加えれば十分である<sup>(注4)</sup>。

(6) ろ紙を用いて沈殿をろ別し、温イオン交換水で十分洗浄する。ろ液および洗液はすてる。

(7) ろ紙の上の沈殿に 6 mol/L 熱塩酸 10 mL を注いで溶解させ、空のビーカーに洗い落とし、試料溶液とする (塩酸蒸気が出るので排気に注意)。ろ紙を 0.2 mol/L 温希塩酸で数回ずつ洗浄し、ニッケルの入った洗液を試料溶液に加える。ビーカーの器壁に残った沈殿も希塩酸で洗浄し、試料溶液に加える。

(8) 【空滴定】ビーカーに水 20 mL を取り、塩化アンモニウム-アンモニア緩衝溶液 1 mL を加え、ここに EDTA 溶液 10 mL をホールピペットで精確に測り取って入れる。EBT 指示薬を数滴加えた後、0.02 mol/L 塩化亜鉛溶液で滴定する。溶液の色がわずかに赤みを帯びた点を終点とする。

(9) EDTA 溶液 10 mL をホールピペットで精確に測り取り (7) の溶液に加え振り混ぜる<sup>(注5)</sup>。EBT 指示薬を数滴加えた後、溶液の色が青になるまで 7 mol/L アンモニア水を滴下し、直ちに 0.02 mol/L 塩化亜鉛溶液で滴定する。溶液の色がわずかに赤みを帯びた点を終点とする。EDTA による直接滴定を行わないのはニッケル(II)イオンの置換反応の反応速度が遅いためである。

★同様の操作を試料溶液 B についても行う。

(注1) 銅をあらかじめ分離するのはジメチルグリオキシムが銅と錯塩を作って浪費されるのを防ぐためである。長時間やりすぎないように注意すること。

(注2) 酒石酸を加えるのはキレートを生成させることで水酸化アルミニウムの沈殿を防ぐためである。中和後に、水酸化アルミニウムの沈殿が出た場合には溶液を酸性にもどし、沈殿を溶解させてから、酒石酸を過剰に加える。

(注3) 各机に置かれたホットプレートに水を入れ（水を入れすぎないように注意）、穏やかに沸騰する程度にして使用する。蒸発を防ぐため、発泡スチロール製のビーズを浮かべるとよい。

(注4) 沈殿の組成は  $\text{Ni}(\text{C}_4\text{H}_7\text{N}_2\text{O}_2)_2$  である。あらかじめ恒量化したガラスフィルターを用いれば重量分析も可能である。沈殿を  $110\text{-}120^\circ\text{C}$  の空気浴で約1時間乾燥し、デシケーター中で放冷後、重量を測る。恒量になるまでこの操作を繰り返す。

(注5) EBT 指示薬を加える前に、EDTA 溶液を加えて混合する。順序を逆にすると、一端生じた Ni-EBT キレートの EDTA とのキレート交換反応が遅いため変色が見づらい。

#### < 廃棄物処理 >

ジメチルグリオキシムの残った溶液は廃棄物指針 E-1 に従って有機廃液容器に捨てる。ニッケルジメチルグリオキシムは酸に溶解後、廃棄物指針 D-2 に従って処理する。

ニッケルおよび亜鉛の EDTA 錯体を含む溶液は指針 D-2、残った EDTA 溶液は指針 B、EDTA を含まない亜鉛溶液は指針 D-1 に従って処理する。その他の余った試薬類は廃棄物指針 A に従って処理する。操作 (6) のろ液を以下の操作に用いない場合はろ液を廃棄物指針 D-2 に従って処理する。

## 5-4 亜鉛の分離と定量

### < 概要 >

陰イオン交換樹脂を用いて亜鉛を吸着・溶離して分離した後、オキシシン (8-キノリノール) を加えて亜鉛を沈殿させ、重量分析により定量する。重量分析は亜鉛の分離から始めて2～3日は必要である。ガラスフィルターの恒量化を他の実験の間に済ませておくとよい。時間が不足した場合はイオン交換樹脂で亜鉛を分離した後、容量分析で定量する。

### < 試薬 >

(1) 陰イオン交換樹脂：アンバーライト IRA-400 (1.4 meq/mL)

(2) 水酸化ナトリウム溶液 (4 mol/L)

(3) 塩酸 (6 mol/L および 2 mol/L)

(4) 硝酸 (0.1 mol/L)

(5\*) フェノールフタレイン指示薬

(6) 酢酸-酢酸ナトリウム緩衝液

銅の定量 (5-2) で使用したものをを使う。

(7\*) オキシシン (8-キノリノール) のアルコール溶液 (2.5 w/v %)

以下の試薬は亜鉛の容量分析に用いる。

(8) アンモニア水 (7 mol/L)

(9) EDTA 標準溶液 (0.01 mol/L)

(10) 酢酸-酢酸アンモニウム混液

酢酸アンモニウム 10 g をイオン交換水に溶かし 40 mL にした後、酢酸 1 mL を加える。

(11\*) *p*-ニトロフェノール指示薬

*p*-ニトロフェノール 0.1 g をイオン交換水 100 mL に溶かす。

(12\*) XO 指示薬

XO (キシレノールオレンジ) 0.1 g をエタノール(50%) 100 mL に溶かす。

<操作>

[イオン交換樹脂カラムの作成・コンディショニング] <sup>(注1)</sup>

(1) クロマトグラフィーに使用するガラス管を用意する(クロマト管。耐熱ガラス製で、外径 10 mm、長さ 40~50 cm 程度、一端を引き延ばして内径 1~2 mm 程度のシリコンチューブを取り付けられるようにしたもの。既存のものをそのまま利用してもよいし、先端部等が痛んでいる場合には教員・TA等に指示を仰いで、新たに作成してもよい)。

(2) 陰イオン交換樹脂を懸濁させた溶液をビーカーに取る。イオン交換水を加えて静置し、樹脂を沈降させた後、ビーカーを静かに傾けて浮遊物などを流し出す(デカンテーション)。ここからメートルグラスで樹脂を 10 mL 取り、残った樹脂をもとの容器に返却する。樹脂はイオン交換水に浸したままにしておく。

(3) 脱脂綿をクロマト管に、イオン交換水で流しこんで詰める。クロマト管の先端にはシリコンチューブを付け、ピンチコックで止める。

(4) 陰イオン交換樹脂アンバーライト IRA-400 をイオン交換水に懸濁させながら流し込む。あまりイオン交換樹脂の濃度が高いと途中で詰まることがあるので、希薄な状態で何回かに分けて流し込む。<sup>(注2)</sup>

(5) 4 mol/L 水酸化ナトリウム溶液 40 mL (熱いまま用いない) を毎分 5 mL 程度の速さで流下させた後、イオン交換水を流下して溶出液が中性付近になるまで洗う。<sup>(注3)</sup>

(6) カラムから流出した溶液が中性付近になったことを確かめ(およそ 100 mL 程度必要)、続いて 2 mol/L 塩酸を 50 mL、毎分 5 mL 程度の速さで流し、イオン交換樹脂を Cl<sup>-</sup>型にする。2 回目の実験の際には、水酸化ナトリウム溶液による洗浄処理を省略し 2 mol/L 塩酸による洗浄から始めてもよい。

(注1) 無駄な廃液を出さないよう要領よく行うこと。

(注2) 作成したカラムに気泡が混入しないように液面が樹脂の面より下にこない状態で使用する。気泡のまわりでは液体の流れが滞り、分離が不十分になる。

(注3) 特に新しいイオン交換樹脂を使用する場合には気体が発生したり、著しく膨潤して流量が極端に落ちたりすることがある。このような場合は一端ビーカーにイオン交換樹脂を取り、イオン交換樹脂が浸る程度に水酸化ナトリウム溶液を加えてかき混ぜ、ある程度 OH 型にしてから、カラムに詰めるようにするとよい。

[亜鉛の吸着・溶離と重量分析による定量]

<概要>

イオン交換樹脂を用いて亜鉛を分離後、亜鉛を含む溶液にオキシシン (8-キノリノール) を加えて亜鉛を沈殿させ、重量分析により定量する。

<操作手順>

(1) ガラスフィルターの恒量化を以下の手順であらかじめ行っておく。

ガラスフィルターを温水 100 mL でろ過して洗浄した後、真空乾燥機中 約 140 °C で約 30 分乾燥し<sup>(注1)</sup>、デシケーターに入れ放冷 (約 30 分)<sup>(注2)</sup> した後、0.1 mg まで精確に秤量する。この後、乾燥、放冷、秤量のサイクルを、秤量値が前回の値と 0.3 mg 以内で一致するまで繰り返す。

(2) ビーカーに溶液 A を精確に 20 mL 取り<sup>(注3)</sup>、6 mol/L 塩酸約 10 mL を加える。この溶液を、イオン交換樹脂カラムに通して亜鉛を吸着させる。ビーカーは 2 mol/L 塩酸を用いて洗浄し、洗液は同じくカラムに通す。(流下速度は毎分 5 mL 程度)

(3) 2 mol/L 塩酸 150 mL でカラムを洗浄する。(流下速度は毎分 5-8 mL 程度)

(4) 樹脂に吸着された亜鉛を 0.1 mol/L 硝酸 150 mL を用いて溶離させる。溶離液はビーカーに受ける。(流下速度は毎分 5-8 mL 程度)

(5) 溶離した亜鉛を含む溶液に、フェノールフタレインを指示薬にして 4 mol/L 水酸化ナトリウム溶液を少しずつ加えて中和する。

(6) (5) の溶液に酢酸-酢酸ナトリウム緩衝液 (銅の滴定の際に使用したものを利用) 5 mL を加えて pH を調整する。

(7) (6) の溶液をセラミック金網上で約 60°C に加温し、一旦火を止めた後、オキシシンのアルコール溶液 (2.5 w/v %) 27 mL を加える。淡黄色沈殿が生じたら、再び火を付け数分間静かに煮沸して沈殿を熟成させる。

(8) ガラスフィルター (1G3 ルツボ型の目の細かいもの) を用いて沈殿をろ過した後、熱水で余分のオキシシンを十分に洗浄する。オキシシンは冷水にはほとんど溶解しないが、熱水にはよく溶ける。ガラスフィルターとアダプターの接続方法、ビーカーに付着した沈殿をかき取るのに使用するポリスマン (ガラス棒とシリコンチューブで作成) については資料編 II-6 を参照。

(9) 真空乾燥機中、約 140°C で約 30 分乾燥し、デシケーター内で放冷 (約 30 分) した後、0.1 mg まで精確に秤量する。この後、乾燥、放冷、秤量のサイクルを秤量値が前回の値と 0.3 mg

以内で一致するまで繰り返す<sup>(注4)</sup>。

★これらの操作は2種類の試料溶液について1回ずつ行えばよい。

(注1) ガラスフィルターは区別できるように名前を書いたビーカーに入れる。秤量の際には同じ天秤を使用することが望ましい。

(注2) 放冷時間をできるだけ一定に保つこと。放射温度計でガラスフィルターの温度をチェックしておくのも有効である。

(注3) 試料溶液が余分にある場合は溶液量を30 mLに増やしてもよい。

(注4) 沈殿は乾燥により無水塩 ( $\text{Zn}(\text{C}_9\text{H}_6\text{NO})_2$ 、式量 353.69) に変化する。色の変化に注意せよ。

#### <廃棄物処理>

(1) 亜鉛を吸着させたイオン交換樹脂カラムの洗浄液は廃棄物指針D-1に従って処理する。[イオン交換樹脂カラムの作成]の際の流出液および試薬の残りは廃棄物指針AあるいはBに従って処理する。イオン交換樹脂は再利用するので、回収用の容器に入れること。

(2) 操作(8)のろ液は廃棄物指針E-2に従って処理する。オキシシンが析出した場合には、希釈するか加温して溶解させる。

(3) 亜鉛オキシシン錯体のついたガラスフィルターは0.2 mol/L程度の温塩酸で洗浄して沈殿を溶かし、洗液は廃棄物指針E-2に従って処理する。ガラスフィルターにオキシシンや酸が残らぬよう十分洗浄する。余ったオキシシンのアルコール溶液は廃棄物指針E-1に従って処理する。

#### [亜鉛の吸着・溶離と容量分析による定量]

(1) ビーカーに溶液Aを精確に10 mL取り、6 mol/L塩酸約5 mLを加える。この溶液をイオン交換樹脂カラムに通して亜鉛を吸着させる。ビーカーは2 mol/L塩酸を用いて洗浄し、洗液は同じくカラムに通す。(流下速度は毎分5 mL程度)

(2) 2 mol/L塩酸150 mLでカラムを洗浄する。(流下速度は毎分5-8 mL程度)

(3) 樹脂に吸着された亜鉛は0.1 mol/L硝酸150 mLを用いて溶離させる。溶離液はビーカーに受ける。(流下速度は毎分5-8 mL程度)

(4) 溶離液に指示薬としてp-ニトロフェノールを加え、溶液の色がわずかに黄色になるまで7 mol/Lアンモニア水により中和する。次いで酢酸-酢酸アンモニウム混液20 mLを加える<sup>(注1)</sup>。

(5) XOを指示薬として0.01 mol/L EDTA溶液で滴定する<sup>(注2)</sup>。

(注1) XOを用いる滴定の際にはpHを5~6程度にしておく必要がある(EBTに比して最適pHの幅が狭いことに注意!)。p-ニトロフェノールはpH5~6以下では無色、それ以上では黄色を呈する。不安な場合はpHメータを用いてpHの確認をしてもよい。なお、アンモニア水で中和した際に溶液が青紫色を呈する場合はチオ硫酸ナトリウム溶液(10%)5 mLを加えよ。(青紫色を呈するのは銅が混入した可能性が大きい)

(注2) 赤みが完全に消え黄色になったところが終点である。終点の判定に不安を感じる者は、6-3の



亜鉛溶液を用いて練習実験をしておくが良い。

#### <廃棄物処理>

亜鉛を吸着させたイオン交換樹脂カラムの洗浄液は廃棄物指針D-1に従って処理する。滴定の済んだ溶液は廃棄物指針D-2に従って処理する。イオン交換樹脂カラムの作成の際の流出液および試薬の残りは廃棄物指針AあるいはBに従って処理する。なおイオン交換樹脂は再度使用するので、回収用の容器に入れること。

#### <解説>：イオン交換樹脂吸着分離法について

イオン交換樹脂はポリスチレンなどからなる高分子鎖をスルホン基 ( $-\text{SO}_3^-$ )、4級アンモニウム基 ( $-\text{NR}_3^+$ ) など電荷を持った基で修飾したものである。こうした高分子鎖は電荷密度が高く、溶液中に溶け込んだイオンを強く吸着する。またイオンとの親和性はイオンの種類によって異なり、この性質はイオンクロマトグラフィーに利用される。(一般に電荷の大きなイオンほど、また電荷が同じ場合にはサイズの大きなイオンほど親和性が高い。たとえば  $\text{Cl}^-$  型の陰イオン交換樹脂に硝酸イオンを含む溶液を流すと、硝酸イオンは塩化物イオンと定量的に交換される。)

亜鉛イオンは塩化物イオンの濃度が高いときにはクロロ錯体 ( $[\text{ZnCl}_4]^{2-}$  など) を作って陰イオンとして溶存している。今回の実験ではこのことを利用して亜鉛の吸着・溶離を行っている。なお、銅もクロロ錯体を形成するが、クロロ錯体が不安定なため塩化物濃度が 8 mol/L 程度ないと溶出してしまう。(このことを利用して、銅、亜鉛、ニッケルそれぞれを分離することもできる。最初 8 mol/L 塩酸でカラムを洗浄してニッケルを、次いで 2 mol/L 塩酸で銅を、最後に 0.1 mol/L 硝酸で亜鉛をそれぞれ溶離すればよい。高濃度の塩酸を使用するので推奨しない)