



化学グランプリ 2022

二次選考 問題冊子

2022 年 8 月 24 日（水）9:00～13:00（240 分）

問題冊子は、この表紙と裏表紙および草稿・実験メモ用ページを含めて 30 ページから構成されています。落丁や不明瞭な印刷があれば、すぐに申し出てください。一次選考で選ばれた諸君が世界に羽ばたくためには、柔軟な思考力と実験に基づく鋭い観察力が必要です。今回の二次選考において優れた洞察力を大いに発揮してもらうことを願っています。試験開始の合図までの間、問題冊子を開かずに、以下の手順および注意と裏表紙の実験上・解答上の注意を読んでください。

手順および注意

1. 9:00 の開始の合図で始め、13:00 の終了の合図で実験とレポートの作成（解答）を終え、レポート冊子を提出すること。その後、15 分程度で後片付けを行う。
2. 実験操作や実験室でのマナー等、監督者の指示に従わない場合は実験室から退去させることがある。この場合、二次選考の得点は 0 点となる。
3. 実験とレポート作成は並行して進めても構わない。制限時間内に完了できるように、時間配分をよく考えること。
4. 問題冊子の表紙とレポート冊子の各ページに、参加番号と氏名を記入し、解答はすべてレポート冊子に鉛筆またはシャープペンシルを用いて記入すること。
5. 問題冊子の余白をメモや草稿に使っても構わない。レポート冊子は破損・汚損しても交換には応じないので、注意して記入すること。
6. 途中で気分が悪くなった場合や、水分を補給したい場合、トイレに行きたくなった場合には、監督者に申し出ること。
7. 問題冊子は各自持ち帰ること。レポート冊子、試薬や許可のない器具類は持ち帰ってはならない。

参加番号 _____

氏名 _____

主催 「夢・化学-21」委員会、日本化学会

共催 国立研究開発法人科学技術振興機構、高等学校文化連盟全国自然科学専門部、国立大学法人秋田大学

後援 文部科学省

協賛 TDK 株式会社、株式会社大塚製薬工場、アルフレッサファインケミカル株式会社、秋田化学技術協会、DOWA メタルマイン株式会社、東北化学薬品株式会社、株式会社東北フジクラ



秋田大学

実験に必要な器具類と試薬類 一覧

器具リスト（個人用）

器具名	数量	使用	
バット	2 個	実験器具類を入れてある	
ビュレットスタンド	1 台	実験 1・2・4（移動しないこと）	
25 mL ビュレット	1 本	実験 1・2・4（スタンドに固定してある）	
足の細いポリろうと	1 個	実験 1・2・4（ビュレットへの溶液充填・補充用）	
足の太いポリろうと	1 個	実験 3・4（塩橋チューブの支持に使用）	
油性サインペン	1 本	全実験共通	
定規	1 本	全実験共通	
ピンセット	1 本	全実験共通	
ディスポ手袋	1 組	全実験共通	
キムタオル	1 束	全実験共通	
白い紙（2 枚）と黒い紙（1 枚）	1 組	全実験共通（自由に使ってよい）	
1 mL ポリスポイト	5 本	実験 1	
3 mL ポリスポイト	3 本	実験 2～5	
14 mL サンプル管びん	6 本	実験 1	
50 mL ビーカー	2 個	実験 1～4	
5 mL ホールピペット	1 本	実験 2	
ピペットポンプ（10 mL 用）	1 個	実験 2	
電卓	1 台	実験 2～5	
デジタルマルチメーター	1 台	実験 3～5	
みの虫クリップ付きデジタルマルチメーターケーブル（赤と黒）	1 組	実験 3～5	
みの虫クリップ付きケーブル（青）	1 本	実験 3～5	
電池ボックス	1 個	実験 3～5	
単 3 乾電池	2 本	実験 3～5	
キッチンタイマー	1 台	実験 3～5	
亜鉛ワイヤー（20 cm）	1 本	実験 3～5	
銅箔シート（4 cm×1 cm）	1 枚	実験 3・4	
100 mL ポリビーカー	1 個	実験 3・4（塩橋チューブなどの仮置き用）	
塩橋チューブ（小）（直径 8 mm）	1 本	実験 3・4	フィルムケースに入っている
塩橋チューブ（大）（直径 11 mm）	1 本	実験 4 で使ってもよい	
電解セル（20 mL サンプル管びん、銅板、電極ホルダーのセット）	1 式	実験 5	
秤量皿（樹脂製）	1 個	実験 5	
500 mL ポリビーカー	1 個	廃液入れ	

試薬リスト（個人用）

試薬名	容器	内容量	使用
EDTA 標準液	100 mL 細口ポリびん	80 mL	実験 1・2・4
亜鉛標準溶液	50 mL 細口ポリびん	30 mL	実験 1・2
酢酸-酢酸ナトリウム緩衝液 (pH 4.5)	100 mL 細口ポリびん	60 mL	実験 1～4
0.5 mol L ⁻¹ 硫酸ナトリウム水溶液	50 mL 細口ポリびん	50 mL	実験 3・4
2% 硫酸亜鉛水溶液	50 mL 細口ポリびん	20 mL	実験 5
XO 溶液 (0.1%)	10 mL ポリ点滴びん	5 mL	実験 1～4
0.075 mol L ⁻¹ 硫酸	14 mL スクリュー管びん	6 mL	実験 1
0.15 mol L ⁻¹ 水酸化ナトリウム水溶液	14 mL スクリュー管びん	6 mL	実験 1
精製水	500 mL 洗びん	500 mL	実験 1～5

共通器具類

名称	使用
電子天秤	実験 5
アセトン（250 mL 洗びん）	実験 5

※アセトンは指定された場所で使用すること。

器具・試薬に関する注意事項

- (1) 手袋の大きさが合わない場合は、監督者に申し出て交換する。また、汗で再度はめにくいなど手袋が使用できなくなった場合も、監督者に申し出て交換する。これらは減点対象にはならない。
- (2) 原則として、用意された試薬や器具などは与えられた量の中で実験すること。もし不足した場合には、監督者に申し出て補充することができるが、減点の対象となることがあるので、注意すること。ただし、精製水と手袋の追加は減点の対象としない。
- (3) 実験中に出た紙類のゴミは、配布されたポリ袋にまとめて入れておくこと。
- (4) 試薬は持ち帰ってはならない。
- (5) 許可された器具類のみ持ち帰ること。片付けの時に指示がある。

ビュレットへの EDTA 標準液の充填の仕方

通常はビュレットを少量の標準液で2～3回共洗いしてから使うが、本実験では洗浄して乾燥したビュレットが用意されているので、共洗いは省略する。顔よりも高い位置から液体を注ぐのは危険なので、スタンドに固定したままビュレットに標準液を注いではいけない。コックが閉じていることを確認してから、ビュレットをスタンドから取り外す。ビュレットの真下に廃液入れのポリビーカーを置き（床でもよい）、足の細いポリろうとを用いて、ビュレット上部から標準液を入れる。ビュレットをスタンドに垂直にしっかりと固定し、廃液用ポリビーカーを真下に置く。コックをひねって標準液を落とし、ビュレットの先端まで液体で満たしてからコックを閉じる。以上の手順をまとめたものが図1である。コックの先端に気泡が残っているときは、図2のように勢いよく標準液を出し気泡を追い出す。ビュレットを使わない時も、ポリビーカーは下に置いておく。

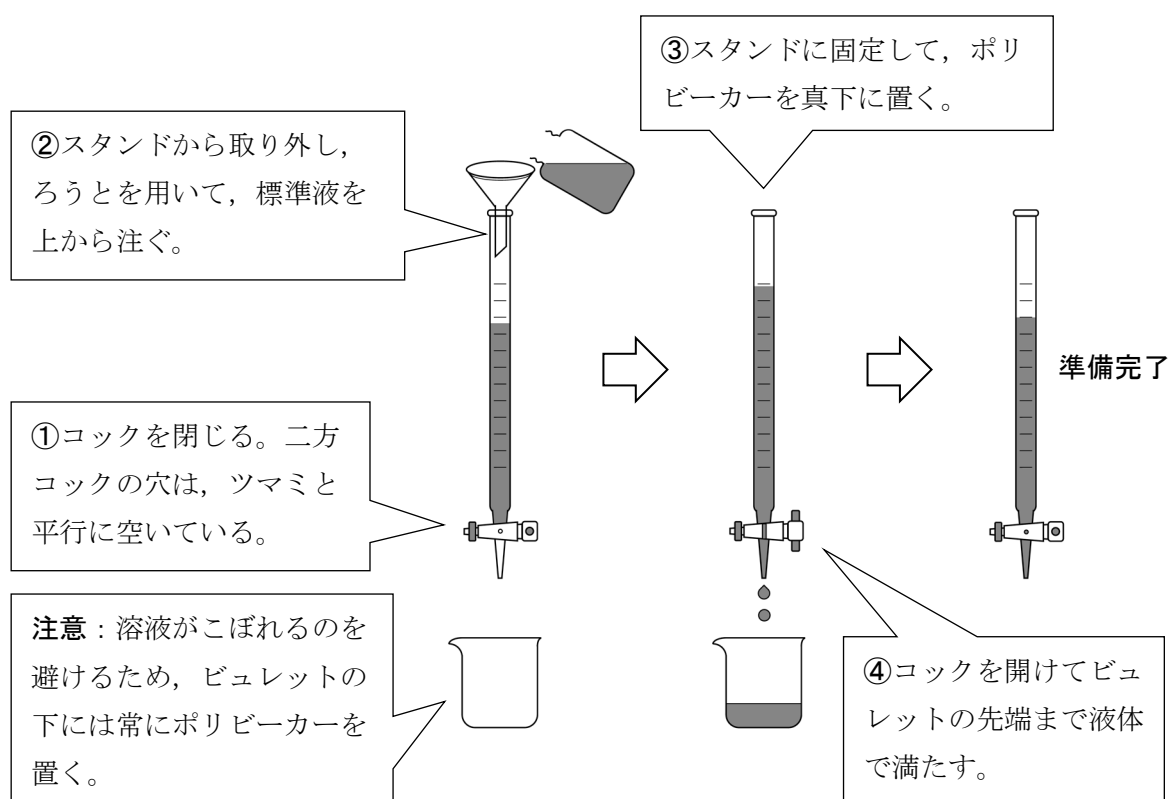


図1. ビュレットへの EDTA 標準液の充填

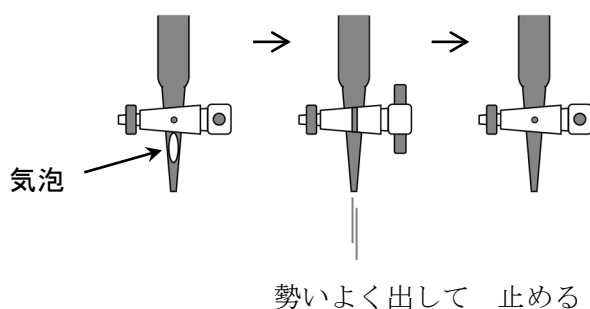


図2. ビュレット先端に気泡が残ったときの対処法

デジタルマルチメーターの使い方

パッケージを開封し、本体を取り出す(図3)。同梱されているケーブルは本実験では使用しない。別途用意してあるケーブル(赤と黒)には、みの虫クリップとバナナ端子がそれぞれの端についているので、バナナ端子をマルチメーターの端子口に接続する。ダイヤルがOFFになっていることを確認してから、マルチメーターの黒の端子口(COM)に黒のケーブルを接続し、下の赤の端子口(VΩmA)に赤のケーブルを接続する。上にある赤い端子口は今回は使わない。電流計として使用するときには、赤いケーブルの端を正極側、黒いケーブルの端を負極側に接続する。直流電流の測定モードには4つのレンジがあり、測定範囲の最大値はそれぞれ200mA、20mA、2000μA、200μAである。最大値の大きいレンジから測定を始め、電流値が小さければレンジを下げていくとよい。なお、電流測定モードで過大電流を流すとヒューズが切断されるので注意すること。マルチメーターの動作に異常があるときは、監督者に申し出ること。



図3. デジタルマルチメーター(左)と使用するケーブル(右)

キッチンタイマーの使い方

右の画像とはデザインが多少異なる場合がある。背面のスイッチをONにすると使用できる。表示が"00:00"のときにSTART/STOPボタンを押すと、カウントアップが始まる。もう一度START/STOPボタンを押すと、計時が一時停止する。表示をリセットするには、MINとSECのボタンを同時に押す。



はじめに

化学で物質を扱うときに、なくてはならないのが「原子量」である。原子量は、質量数 12 の炭素 (^{12}C) の質量を正確に 12 と定め、それを基準に元素の質量を表したものである。現在はほとんどの元素の原子量が質量分析という方法で測定されているが、かつては化学反応を利用して原子量の測定が行われてきた。例えば、式(1)の反応を考えてみよう。

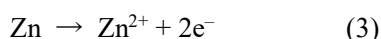


十分に純度の高い Zn と塩酸を用いてこの反応を行い、反応させた Zn と反応後に得られた ZnCl_2 の質量を精密に測定する。もしも Cl の正確な原子量を知っていれば、それを元に Zn の原子量を計算することができるだろう。

Cl の原子量を知らなくても、Zn の原子量を測定することはできる。二次選考まで進んだ皆さんなら、当然、ファラデー (M. Faraday) の電気分解の法則を知っているだろう。ファラデーの電気分解の法則は式(2)で表すことができる。

$$Q = znF \quad (2)$$

ここで、 Q は電気分解に使われた電気量、 z は反応時に移動する電子数 (反応物の 1 粒子あたり)、 n は反応した物質の質量、そして F はファラデー定数である。 F の値として 96500 C mol^{-1} を記憶している参加者も多いだろうが、5 桁目までの数値を示すと $F = 9.6485 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$ である。ここでは、電気分解の反応系として次の反応を使ってみよう。



すなわち金属亜鉛を作用電極に用い、電気分解によって亜鉛イオンとして溶出させるという実験だ。電気分解で流れた電気量から溶出した Zn の物質の質量 n を求め、その質量 m を何らかの方法で測定すれば、Zn のモル質量 M が計算できる。

$$m = nM \quad (4)$$

モル質量 (単位 g/mol) の数値部分は、原子量に等しい。操作としては、溶出した Zn^{2+} の定量が必要で、これには二つのアプローチが考えられる。

第一には、亜鉛電極の質量の減少を直接測定することが考えられる。この方法について検討してみよう。仮に、亜鉛電極に対して、1 A の電流を 600 s 通電したとしよう。このときの反応物質の質量は有効数字 1 桁で概算すると $3 \times 10^{-3} \text{ mol}$ であり、亜鉛の原子量は 60 から 70 の間であるから、0.2 g 程度の質量減少が予想される。しかし 1 A を実際に流そうとすると、かなり大きな電極が必要になる。電極を大きくすると、元の質量に対する質量変化は小さくなるため、大質量まで高い

分解能で測れる天秤がなければならない。電極の面積を大きくしてもよいが、汚れ等による影響も大きくなるなどの問題がある。今回用いる亜鉛電極は長さ数 cm のワイヤー状であり、無理に大きな電流を流そうとしても、亜鉛の溶解以外の副反応がおこり、むしろ解析は難しくなる。したがって、実験は小さい電流で行わざるをえず、亜鉛ワイヤーの質量変化は数 mg 程度となる。質量測定による方法は可能ではあるが、正確な測定は意外に難しい。

第二のアプローチとして、今度は溶出した Zn^{2+} を化学的に分析することを考えてみよう。化学分析は比較的高い感度と分解能を両立させやすい。やはり有効数字 1 桁での見積を行うと、電流が 10 mA として、600 s 通電した場合、溶出する Zn^{2+} は 3×10^{-5} mol、これが 10 mL の電解液に溶けているのなら、 $3 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ 程度になる。これは通常の化学分析には十分な濃度といえる。では、次のセクションで、このレベルの Zn^{2+} 水溶液の分析法を考えてみよう。

キレート滴定

滴定は古典的な定量分析方法ではあるが、感度、精度、適用範囲の広さ、器材の簡便さなどの点から、化学分析には今でも欠くことができない。 Zn^{2+} を滴定で分析するためには、

1) Zn^{2+} と定量的に反応する試薬

2) 滴定終点を判別する方法

の二つがセットで必要である。

Zn^{2+} のような金属イオンの分析に広く用いられる滴定に、キレート滴定がある。エチレンジアミン四酢酸（略称 EDTA）は図 4 左のような構造を持つ有機分子で、多くの金属イオンと 1:1 で反応して図 4 右のような安定な錯体を形成する。このように、1 つの分子内にある複数の原子が金属をはさむように結合することを、キレート配位とよぶ。EDTA は代表的なキレート剤であり、分析以外にもさまざまな目的で利用されている。

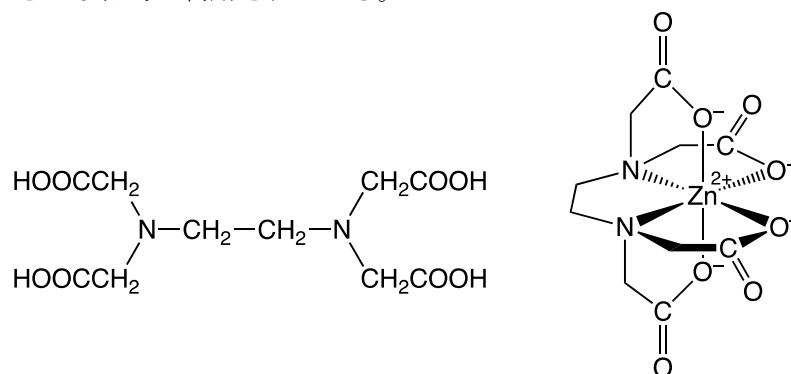


図 4. EDTA (H_4edta) の構造と Zn-EDTA 錯体の構造

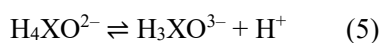
Zn^{2+} の溶液に EDTA を滴下する滴定では、すべての Zn^{2+} が EDTA 錯体になったとみなせる点が終点となる。これをどのように検出すればよいだろうか。考えられる基本方針は二つある：

1) Zn^{2+} と反応できない過剰の EDTA が出てきたら終点。

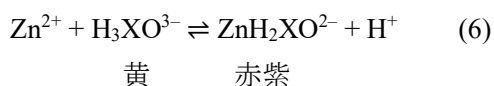
2) EDTA と反応できる Zn^{2+} がなくなったら終点。

ここでは2)の方針について考えを進めよう。 Zn^{2+} イオン、EDTA、およびZn-EDTA錯体は、いずれも可視光を吸収しないため、 Zn^{2+} とEDTAとの反応自体では色の変化は見られない。そこで、 Zn^{2+} と結合することによって色が変わる色素を加え、EDTAと結合していない Zn^{2+} イオンを検出できるようにする。このように、金属イオンと結合すると色が変わる色素は金属指示薬と呼ばれ、様々なものが開発されている。

Zn^{2+} の滴定でよく用いられる金属指示薬のキシレノールオレンジ (以下 XO) は、図5のような構造である。XO分子は複数の H^+ を生じることができる多価の酸である。電荷を持たない状態のXO分子には、 H^+ となりうるH原子が6個あるので、これを H_6XO と表すことにしよう。水溶液のpHに応じて H^+ が段階的に放出されるが、図5の構造は H_3XO^{3-} イオンを表したものである。pH 4.5の水溶液中では、(5)式のような電離平衡によって、 H_3XO^{3-} と H_4XO^{2-} が主に存在する。



H_3XO^{3-} と H_4XO^{2-} はいずれも黄色で、色の違いは区別できない。しかし、ここに Zn^{2+} が存在すると、(6)式のように H_3XO^{3-} と Zn^{2+} が1:1で反応して、赤紫色の錯体 $\text{ZnH}_2\text{XO}^{2-}$ が生成する。この平衡は、pH 4.5では大きく右に傾いている。



Zn^{2+} と結合することによってXO分子の電子状態が変化し、異なる波長の可視光を吸収ようになるため、 H_3XO^{3-} と $\text{ZnH}_2\text{XO}^{2-}$ とは違う色に見える。なお、pHが上がると(7)式のような電離平衡も重要となる。ここで生じる H_2XO^{4-} イオンは紫色であり、XOと H^+ との間のすべての電離平衡において、唯一の目立った色の変化が見られる。

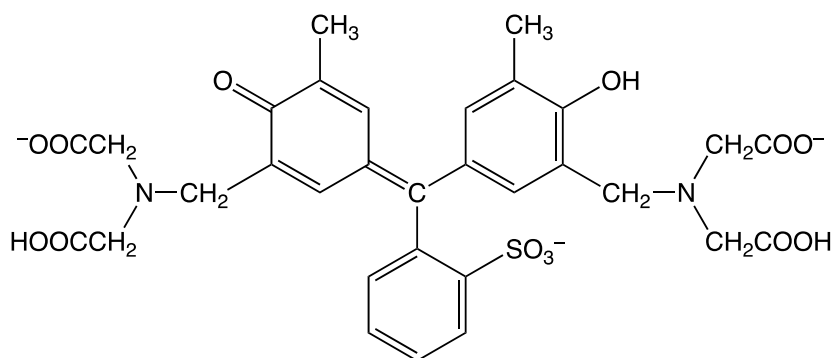
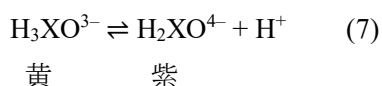


図5. 金属指示薬XOの構造 (H_3XO^{3-} イオン, 黄色)

問1 XO はどのような形で Zn^{2+} に配位するか、EDTA との構造の類似性から予想し、構造式などを用いて説明しなさい。

問2 EDTA によるキレート滴定において XO を指示薬に用いる場合、色の変化以外にどのような化学的性質を満たす必要があるか説明しなさい。

問3 水素イオンの解離平衡によって色が変わる分子は、pH 指示薬として用いられる。プロモチモールブルー（略称 BTB）は、 $\text{pH} < 6$ では図 6 のような構造をしているが、 $\text{pH} > 8$ では水素イオンが 1 つ解離して、電子状態が異なる構造になる。塩基性水溶液中（ $\text{pH} > 8$ ）の BTB（青色）の構造は、図 6 とどのように異なるのか説明しなさい。

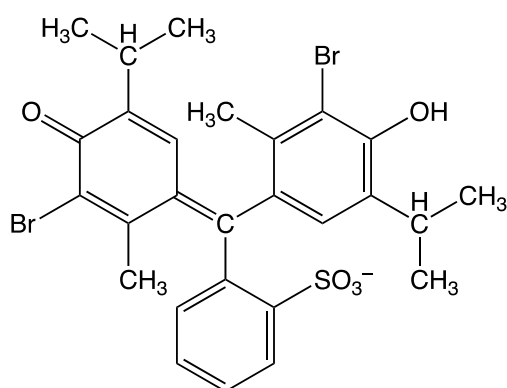


図 6. 酸性水溶液中（ $\text{pH} < 6$ ）における BTB（黄色）の構造

それでは初めに、金属指示薬 XO の色が pH や Zn^{2+} イオンによってどのように変化するのか、実験によって確認しよう。次の実験を行い、問 4 ～ 6 に答えなさい。

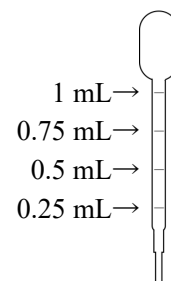
実験 1. 種々の条件における色素 XO の色の変化

試薬

- ・ EDTA 標準液 (100 mL 細口ポリびん), 1 本
- ・ 亜鉛標準溶液 (50 mL 細口ポリびん, ラベルに正確な濃度を記載), 1 本
- ・ XO 溶液 (点滴びん, 0.1%), 1 本
- ・ 酢酸-酢酸ナトリウム緩衝液 (100 mL 細口ポリびん, pH 4.5), 1 本
- ・ 0.075 mol L^{-1} 硫酸 (14 mL スクリュー管びん)
- ・ 0.15 mol L^{-1} 水酸化ナトリウム水溶液 (14 mL スクリュー管びん)
- ・ 精製水 (500 mL 洗びん), 1 本

器具

- ・ ビュレットスタンド
- ・ 25 mL ビュレット
- ・ 50 mL ビーカー
- ・ 14 mL サンプル管びん, 6 本
- ・ 1 mL ポリスポイト, 5 本
- ・ 500 mL ポリビーカー (廃液入れ)
- ・ 足の細いポリろうと



1 mL スポイトの目盛

操作

(1) 6 本のサンプル管びんに、油性サインペンで A～F の記号を書く。表 1 にある 4 つの水溶液と精製水は、それぞれ別の 1 mL ポリスポイトではかり取るので、スポイトが区別できるように油性サインペンで記号または目印をつける。ポリスポイトは、適度な大きさに広げたキムタオルの上に置く。精製水は、洗びんから 50 mL ビーカーに移したものを、スポイトで取ること。

(2) 表 1 にしたがって、サンプル管びん A～F に水溶液を取り、最後に XO 溶液を 1 滴ずつ加える。軽く振り混ぜてから、溶液の色（色彩や濃淡の違い）を観察して、表 1 の下の欄に記録する。

表 1 XO の色に対する pH と Zn^{2+} の影響を観察するための水溶液の調製法

サンプル管びん記号	A	B	C	D	E	F
酢酸-酢酸ナトリウム緩衝液 (pH 4.5)	2 mL	2 mL				
0.075 mol L^{-1} 硫酸			2 mL	2 mL		
0.15 mol L^{-1} 水酸化ナトリウム水溶液					2 mL	2 mL
精製水	1 mL		1 mL		1 mL	
亜鉛標準溶液		1 mL		1 mL		1 mL
観察された色						

(3) サンプル管びん A と B にキャップをして、実験 2・4 で行う滴定の色見本として水溶液を保存する。サンプル管びん C から F の中身を廃液入れのポリビーカーに捨て、内側を少量の精製水で数回すすいで洗う。洗ったサンプル管びんは次の操作で使うが、水滴がいくら残っていても影響はない。

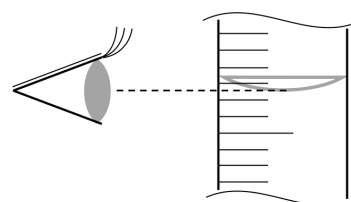
(4) (3) で洗ったサンプル管びんに、油性サインペンで C'～E' の記号を書く。表 2 にしたがって、それぞれのサンプル管びんに水溶液を取り、さらに XO 溶液を 1 滴ずつ加える。これらにビュレットから EDTA 標準液を滴下して、軽く振り混ぜながら、色と（もしあれば）その変化を観察して表 2 の下の欄に記録する。また、滴下前後のビュレット内の液量を、下記の「ビュレットの目盛の読み方」にしたがって読み取り、滴下した EDTA 標準液の量 (mL) を表 2 の下の欄に記録する。サンプル管びん C' と D' については、色がそれ以上変化しないことを確認するまで滴下を続ける。ただし、2 mL を超えて滴下する必要はない。サンプル管びん E' への EDTA の滴下は最後に行い、サンプル管びん D' の水溶液と同じ色になる少し手前でやめる。このときの滴下量を記録する。サンプル管びん C'～E' にキャップをして、実験 2・4 で行う滴定の色見本として保存する。

表 2 キレート滴定における XO の変色を確認するための水溶液の調製法

サンプル管びん記号	C'	D'	E'
酢酸-酢酸ナトリウム緩衝液 (pH 4.5)	2 mL	2 mL	2 mL
精製水	1 mL		
亜鉛標準溶液		1 mL	1 mL
観察された色とその変化			
EDTA 標準液の滴下量			

＜ビュレットの目盛の読み方＞

ビュレットの目盛は、右のようにメニスカスの下のところ（液面のくぼんだところ）で読み取る。最小目盛の 10 分の 1 までも目分量で読み取る。メニスカスが見にくいときは、背景に紙を置くと読みやすくなる。



問 4 実験操作(2)の A から F の溶液の色を転記し、XO 分子と H^+ および Zn^{2+} との間の平衡にもとづいて、色の違いとその理由を説明しなさい。

問 5 D' と E' の溶液の色の違いは何によるものか、推定して答えなさい。 Zn^{2+} を含む溶液を EDTA 標準液で滴定するとき、終点をどう判定すればよいか、理由を付けて答えなさい。

問6 この実験で用いた EDTA 標準液は、EDTA の二ナトリウム塩 ($\text{Na}_2\text{H}_2\text{edta}$) を水に溶解して調製したものである。XO を指示薬とした滴定で酢酸-酢酸ナトリウム緩衝液を加えないと、どのような問題が生じる可能性があるか、理由を付けて答えなさい。

滴定用標準液の濃度決定

金属指示薬 XO の色の変化が確認できたので、続いて行う亜鉛標準溶液のキレート滴定で、 Zn^{2+} と EDTA 標準液との量的関係を正確に決定しよう。用意されている亜鉛標準液は、精密に秤量した亜鉛を希硫酸に溶解したのち、水酸化ナトリウムで中和して、ある正確な体積まで希釈したものである。1 mL 中に含まれる Zn^{2+} の質量 (mg) は正確に分かっており、mg-Zn/mL という単位で容器のラベルに表示されている。これを正確に 5 mL 取り、EDTA 標準液で滴定することによって、EDTA 標準液 1 mL とちょうど反応する Zn^{2+} の質量が求められる。ここでは、この値を「力価」と呼び、mg-Zn/mL という単位で表そう。

$$\text{EDTA 標準液の力価 [mg-Zn/mL]} = \frac{\text{滴定溶液中の } \text{Zn}^{2+} \text{ の質量 [mg]}}{\text{滴下した EDTA 標準液の体積 [mL]}} \quad (8)$$

それでは実験 2 を行い、レポート冊子の所定の記録欄にデータをまとめよう。滴定は 3 回行い、それぞれの滴定における EDTA 標準液の滴下量を記録し、(8)式にしたがって EDTA 標準液の力価を求める。そして、3 回の滴定で得られた力価の平均を計算しなさい。また、配布された亜鉛標準溶液の亜鉛濃度 (mg-Zn/mL) も、ラベルから転記しなさい。

実験 2. XO を指示薬とする Zn^{2+} の EDTA 滴定

試薬

- ・ EDTA 標準液 (100 mL 細口ポリびん), 1 本
- ・ 亜鉛標準溶液 (50 mL 細口ポリびん, ラベルに正確な濃度を記載), 1 本
- ・ XO 溶液 (点滴びん, 0.1%), 1 本
- ・ 酢酸-酢酸ナトリウム緩衝液 (100 mL 細口ポリびん, pH 4.5), 1 本
- ・ 精製水 (500 mL 洗びん), 1 本

器具

- ・ ビュレットスタンド
- ・ 25 mL ビュレット
- ・ 5 mL ホールピペット
- ・ ピペットポンプ 10 mL 用
- ・ 50 mL ビーカー, 2 個
- ・ 3 mL ポリスポイト, 1 本
- ・ 足の細いポリろうと
- ・ 500 mL ポリビーカー (廃液入れ)

諸注意

- ・通常の滴定では、液体の飛び散りを防ぐために、口の狭いコニカルビーカーを使用する。今回は後の実験の都合により、普通のビーカーを用いるので、滴下や内容物をかくはんする際に飛び散らないよう十分気をつけること。
- ・酢酸-酢酸ナトリウム緩衝液を取るための 3 mL ポリスポイトは、後の実験で再使用するので、サインペンでマークしておくこと。

操作

- (1) 下記の「ピペットポンプとホールピペットの使い方」の手順を参照して、ホールピペットで亜鉛標準溶液を正確に 5 mL 取り、50 mL ビーカーに入れる。
- (2) そこに、酢酸-酢酸ナトリウム緩衝液 5 mL を 3 mL ポリスポイトで加え、点滴びんから XO 溶液を 2 滴入れる。
- (3) ビュレットから EDTA 標準液を加え、以下の①～⑤の手順で滴定する。滴下前後のビュレットの液量は、目盛の 10 分の 1 まで目分量で読み取って、問題冊子の余白などに記録し、レポート冊子には滴下量を報告する。
 - ①必要であれば、ビュレットに EDTA 標準液を補充する。この操作は、ビュレットをスタンドから外して行う。溶液の補充後はろうとを外すこと（液垂れで液面の高さが変わる）。
 - ②ビュレットをスタンドに固定し、滴定するビーカーを真下に置く。ビュレットの先端部がビーカーの中にわずかに入るように、ビュレットの高さを調節する。
 - ③滴下前のビュレット内の液量を読み取って記録する。
 - ④コックを開いて、標準液をビーカーに滴下する。滴下中はビーカーを回すように動かして、中の溶液をよくかくはんする。終点近くになったら、1 滴入れるごとによくかくはんし、最後はビュレット先端にしみ出した標準液をビーカーの内壁につけて加えるとよい。内壁につけた液滴が完全に滴定溶液と混ざるように、少量の精製水で洗い流してもよい。
 - ⑤終点の判定ができれば、ビュレット内の液量を読み取って記録する。
- (4) 滴定後のビーカーの中身を廃液入れに捨て、ビーカーを少量の精製水で数回すすいで洗う。
- (5) (1)～(4)の操作を 3 回行う。

<ピペットポンプとホールピペットの使い方>

ホールピペットを用いて溶液をはかり取るときは、安全ピペッターを取り付けて行うことが多いが、本実験では操作上のトラブルがより少ないピペットポンプという器具（図 7）を用いる。ホールピペットは通常は共洗いしてから使うが、本実験では洗浄して乾燥したものが用意されているので、共洗いは省略する。

- ①**図 8 の注意にしたがうこと。**ピペットポンプのピペット接続口に、ピペットの後端部（太い方）を差し込む。かける力が強すぎるとガラスのピペットを破損することもあるので、細心の注意を払うこと。また、ピペットが外れて落下することのないよう、以降の操作は必ずピペット本体とポンプの両方を持って行う。

- ②ピペット先端部（細い方）が下を向くように持ち、はかり取る液体の中に先端部を入れる。
- ③ピペットポンプの操作ホイールを親指で回し、液体をピペット内へ標線の少し上まで吸引する。その後、ピペット先端を液体から出し、容器壁に当てて液を排出しながらメニスカスを標線に正確に合わせる。
- ④排出レバーまたはプランジャーを押して、ピペット内の液体をすべてビーカーに出す。

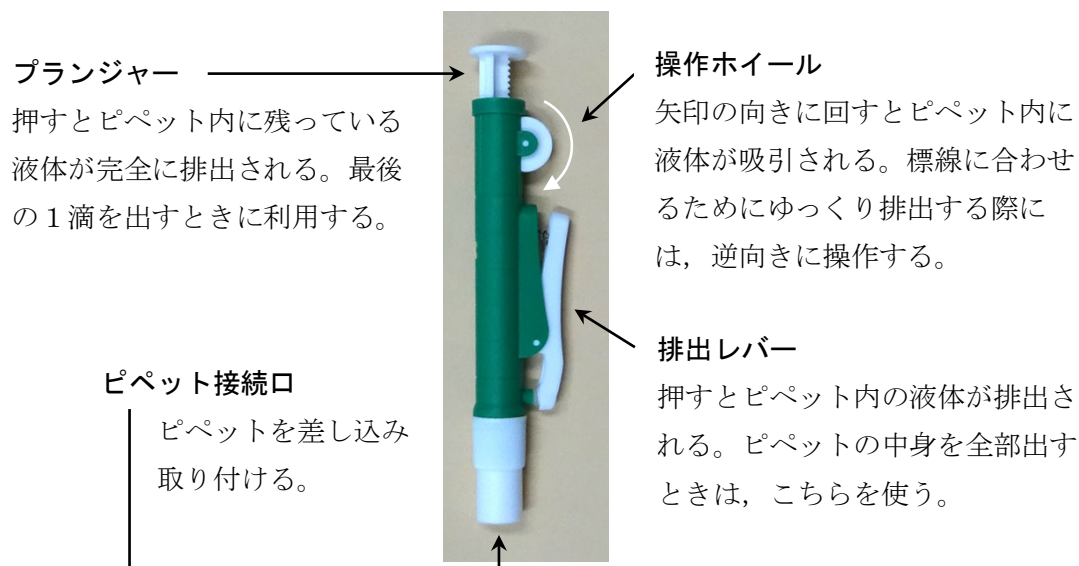
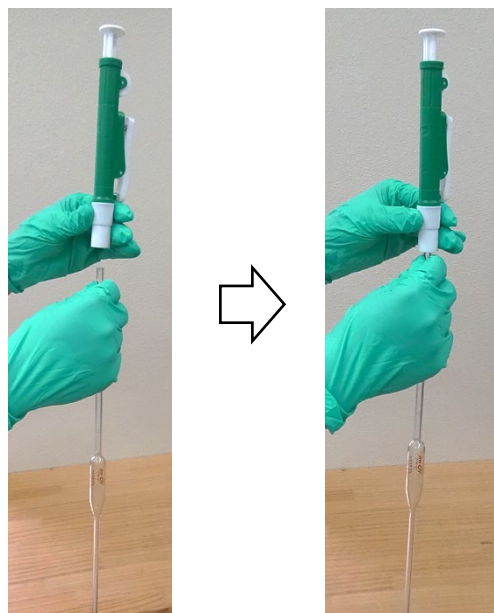


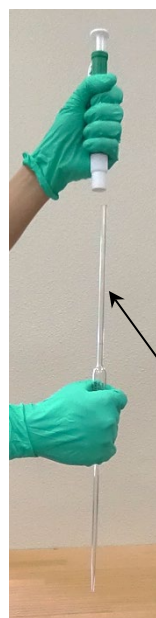
図7. ピペットポンプの各部名称

正しい方法



ピペットの端から1 cm くらい下を持ち、ピペットポンプに少しずつ差し込む。

悪い例



× 力いっぱい押し込んでいる。

× ピペットの端から離れたところを持っている。

ここで折れて破片が手に刺さる事故が、しばしば起こる。

図8. ピペットとピペットポンプの接続の仕方

電気分解による亜鉛の溶出

では、実際に電気分解を行って亜鉛電極から Zn^{2+} の溶出を行い、溶出量と電気量との関係を調べてみよう。この実験では、外部電源にアルカリマンガン乾電池（約 1.5 V）を用い、図 9 のように組み立てた電気分解装置に流れた電気量を測定する。亜鉛電極の対電極には銅電極を用いるが、2つの電極が浸っている電解液が互いに混ざらないように、塩橋によって両溶液を仕切る。具体的には、図 9 のように亜鉛電極はビーカーに入れて電解液に浸し、図 10 のように銅電極は塩橋チューブに入れた電解液に浸した上で、塩橋チューブをビーカー内に立てて入れる。

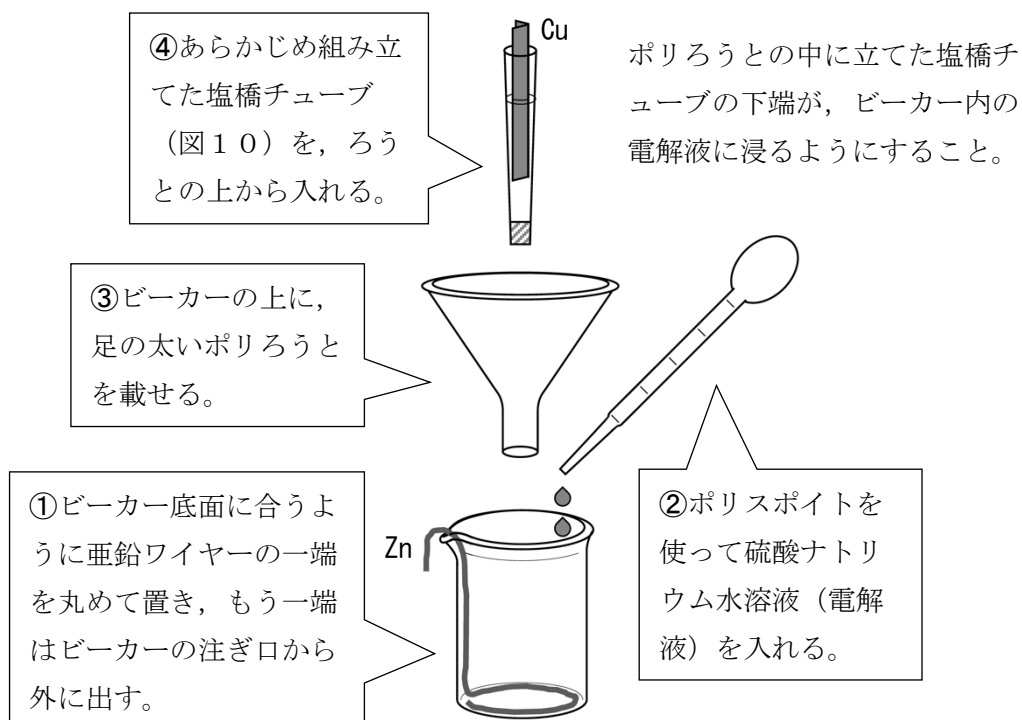


図 9. 亜鉛の電解溶出の実験装置の組み立て手順

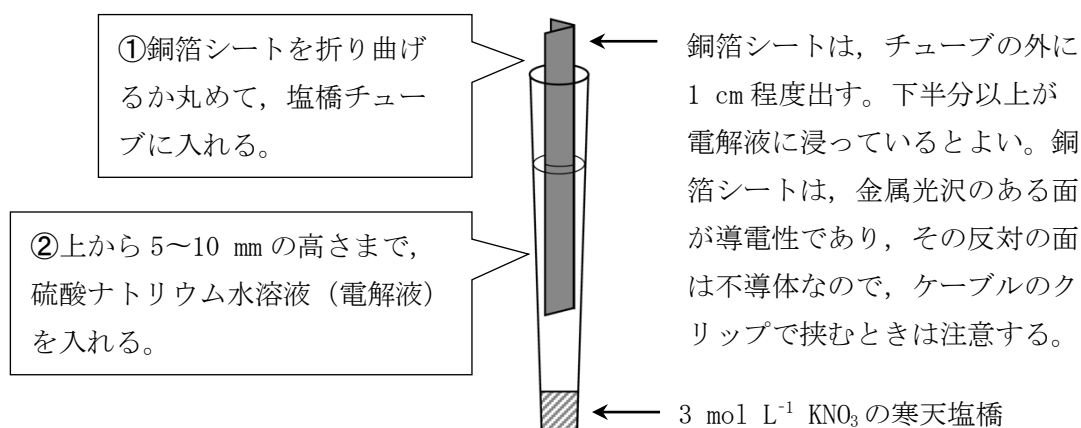


図 10. 塩橋チューブの組み立て方

問7 この実験の目的にあう電池、電流計、各電極の配線を図で示しなさい。そのとき、電池や電流計の向きが明確にわかるようにかくこと。また、電池の向きについて理由を説明しなさい。

問8 塩橋を使わずに、2つの電極を電解液のビーカーに直接入れると、どのようなことが起こるか。また、それが結果の解析にどう影響するか説明しなさい。

実験3. 亜鉛電極からの Zn^{2+} の電解溶出

試薬

- ・亜鉛ワイヤー (20 cm), 1 本
- ・銅箔シート (4 cm×1 cm), 1 枚
- ・硫酸ナトリウム水溶液 (50 mL 細口ポリびん, 0.5 mol L^{-1}), 1 本
- ・XO 溶液 (点滴びん, 0.1%), 1 本
- ・酢酸-酢酸ナトリウム緩衝液 (100 mL 細口ポリびん, pH 4.5), 1 本
- ・精製水 (500 mL 洗びん), 1 本

器具

- ・50 mL ビーカー, 1 個
- ・100 mL ポリビーカー, 1 個
- ・塩橋チューブ (小) (直径 8 mm, 先端開口部直径 5 mm), 1 本
- ・3 mL ポリスポイト, 硫酸ナトリウム水溶液用に新たに 1 本
- ・単 3 乾電池, 1 本
- ・電池ボックス
- ・デジタルマルチメーター
- ・みの虫クリップ付きケーブル, 赤, 黒, 青各 1 本
- ・キッチンタイマー
- ・500 mL ポリビーカー (廃液入れ)

操作

※(1)～(5)までは、図9と図10も参照する。

(1) 50 mL ビーカーを精製水ですすぎ、水滴を落とす（少し濡れているのは構わない）。

(2) 図9を参照して、亜鉛ワイヤーの形を整える。亜鉛ワイヤーを精製水でよくすすいで水気を切り、ビーカーにセットする。

(3) ビーカーに硫酸ナトリウム水溶液をポリスポイトで 5 mL 入れる。

(4) フィルムケースに入っている2本の塩橋チューブのうち、細い方（塩橋チューブ（小））を取り出す。図10を参照して、塩橋チューブに銅箔シートをセットし、チューブ上端から 5～10 mm の高さまで硫酸ナトリウム水溶液を入れる。塩橋チューブを一時的に置いておくには、100 mL ポリビーカーを使うとよい。塩橋チューブに入れた溶液が漏れるときは、チューブを交換するので申し出ること（減点しない）。

(5) 塩橋チューブの下端を精製水でよくすすぎ、水気を切る。少量の水滴の残留は問題ない。これをビーカーの中央に立てる。塩橋チューブの下端は、ビーカー内の電解液（硫酸ナトリウム水溶液）に浸っていること。

(6) 考えた配線にしたがって実験回路を組む。亜鉛ワイヤー、銅箔、電池ボックス（電池はセットしない）、マルチメーター（ダイヤルは OFF）をケーブルで接続する。以下の操作では乾電池を 1 本だけ使用するので、電池ボックスの端子とケーブルの接続方法は図 1 1 を参考にする。

(7) マルチメーターのダイヤルを回して、**200 mA** のレンジに合わせる。電池ボックスに乾電池を 1 本セットすることによって回路を閉じ、同時にキッチンタイマーの **START** ボタンを押して計時を開始する。電流値（mA 単位で表示される）とその向きを確認し、電流値が 10 mA 未満であれば、レンジを **20 mA** に切り替える。数秒間待ち、

mA (s 後)

電流値がおおよそ安定したら右に記録する。

注意） 数 mA 以上の電流が流れなければ、セットアップのどこかに問題があるか、または器具に不具合がある。もし、どうしても電流が数 mA 以上流れない場合は、監督者を呼ぶこと。監督者はセットアップをチェックし、間違っている場合は「セットアップに問題がある」ことのみを指摘する。セットアップが正しいにもかかわらず、電流が観測できないときは、器具を交換する。

(8) そのまま 120 s 間通電し、その間に 2 つの電極の周りの様子を観察する。120 s 後に電流値を読み取り、右に記録する。直ちにケーブルを全て外し、マルチメーターのダイヤルを OFF にする。

mA

(9) 塩橋と亜鉛ワイヤーをビーカーから取り出す。このとき、塩橋の外側と亜鉛ワイヤーに少量の精製水をかけてすすぎ、その洗液はビーカーの中に入れる。

(10) ビーカーの溶液に、酢酸-酢酸ナトリウム緩衝液をスポイトで 5 mL 加え、XO 溶液を 2 滴入れる。この実験はここで終了とする（なお、実験 2 の操作にしたがって EDTA 標準液で滴定すれば、溶出した Zn^{2+} を定量することもできる）。



図 1 1. 乾電池 1 本のときの電池ボックスの使い方

問 9 電流の方向は想定通りになったか。また、ビーカーの電解液中に亜鉛が溶出したことを確認できたか。解答欄に答えなさい。

問 10 操作(7)と(8)で読み取った電流値をレポート冊子に転記し、平均を求めなさい。120 s 間の通電において、この平均値で電流が一定だったとみなして、流れた電気量を求めなさい。

問 1 1 通電中および通電後に，2つの電極とその周りで観察されたことを書きなさい。また，それぞれの電極で起こった反応を化学反応式で書きなさい。

電気量の測定とファラデーの電気分解の法則の確認

次に必要なのは電気量の測定である。高校の化学の問題では「電流 1.0 A で 60 s 通電した」というような状況設定が多いだろう。一般にはこのような状況を作るために、一定の電流を流す装置（定電流電源）を用いる。この場合、電気量は電流×時間で計算される。定電流電源を用いない場合には、一般には電流が一定値にならず、時間変化する。そのような場合、電気量はどのように求められるだろうか。

電流の時間変化が緩やかな場合を考える。ごく短い時間間隔 Δt_1 において、電流値の変化が無視できる、つまり一定値 i_1 であると見なせたとしよう。その場合、この短い時間に流れた電気量 Q_1 は、 $Q_1 = i_1 \times \Delta t_1$ で計算してよいだろう（図 1 2 左側上参照）。長時間の測定で電流が変化する場合でも、短時間で区切って考え、それぞれの時間内で電流の変化が無視できるほど小さければ、流れた電気量はかなり正確に計算できる。適切な時間間隔 Δt_n で読み取った i_n に対して $Q_n = i_n \times \Delta t_n$ を求め、 Q_n の値をすべて合計すれば、測定全体での総電気量を求めることができる（図 1 2 左側下参照）。実際の電流が曲線のように変化するとき、それを一定の時間間隔で電流計により読み取ると、黒丸のプロットのようにになる。区間に対応する長方形の面積を合計することで、総電気量を求めていることがわかる。

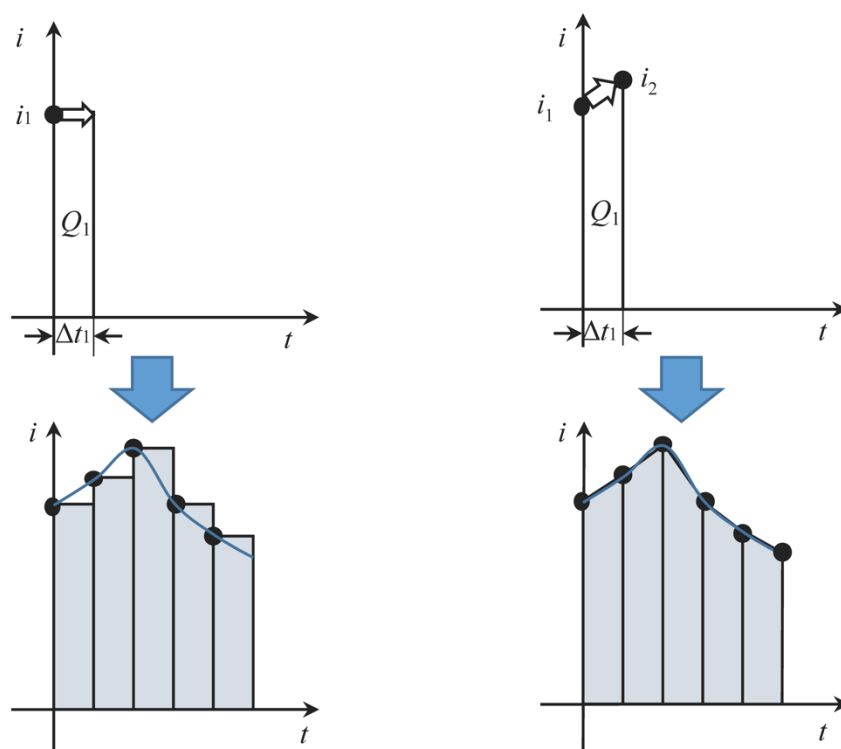


図 1 2. 電流が時間変化するときの総電気量計算の原理

もう少し精度を上げるには、 Δt_1 の区間の最初と最後の電流値 i_1 , i_2 を用いて、この区間に対応する台形の面積から電気量 Q_1 を次の式で求める：

$$Q_1 = \frac{(i_1 + i_2)}{2} \times \Delta t_1 \quad (9)$$

そして、同様に求めた区間ごとの電気量を合計する方法がある（図 1 2 右）。今回はこちらの方法を用いることにしよう。

ここまでの予備実験の結果を元に、各自で実験の条件を工夫して計画を立て、電気分解による亜鉛電極の溶出実験をしよう。溶出後の電解液は実験 2 の手順にしたがって滴定し、溶出した Zn^{2+} の質量を求める。電気分解で流した総電気量から、ファラデーの電気分解の法則を用いて、 Zn^{2+} の物質質量を見積もることができる。そして、これらから本課題の目的である、Zn のモル質量を求めよう。

亜鉛電極の溶出量がファラデーの電気分解の法則にしたがっていることを検証し、Zn のモル質量を実験的に求める方法について考えよう。実験の考え方としては、電気量を変えた電気分解をくりかえし行い、それぞれで溶出した亜鉛の質量を求め、比例関係が得られることを検証し、その傾きからモル質量を求めるということになる。

これから行う実験 4 では、電気分解から溶出亜鉛の滴定までの一連の測定を 3 回行ってもら。ただし、次の要件をみたすこと。

- ・ 1 回目の電気分解は、こちらで指示する標準的な実験条件にしたがって実施する。
- ・ 2 回目と 3 回目の電気分解は、何らかの実験条件を変えて行うものとする。3 回の測定が互いに異なる条件となるように、条件設定を計画しなさい。また、少なくとも 1 回は 5 C 以上の電気量を流すこと。
- ・ 電流値の読み取りは 30 s 間隔とする。
- ・ 実験 2 と実験 3 で使用したすべての試薬と器具の他に、もう 1 本の塩橋チューブ（大）と単 3 乾電池を使ってもよい。これらを使わなかったとしても減点にはならない。
- ・ 水溶液は配布されているものだけで実験を完了させること。どうしても試薬の補充が必要な場合は、監督者に申し出ること（減点対象となる場合がある）。

実験データは、レポート冊子 p. 7 の記入欄に記録しなさい。次のページに示す手順にしたがって、1 回目の測定を終えたら、この電気分解で流れた総電気量を計算しなさい。また、滴定によって求めた溶出 Zn^{2+} の質量 (mg) を記載しなさい。その結果を元に実験条件を考えて、2 回目と 3 回目の電気分解を実施し、実験条件を詳細に報告しなさい。

実験 4. 亜鉛電極からの Zn^{2+} の電解溶出とモル質量の測定

試薬

- ・実験 2 と実験 3 で使用した試薬すべて

器具

- ・実験 2 と実験 3 で使用した器具すべて
- ・塩橋チューブ（大）（直径 11 mm，先端開口部直径 8 mm），1 本
- ・単 3 乾電池，1 本追加

標準的な操作（1 回目の測定はこれにしたがうこと）

- (1) 50 mL ビーカーを精製水ですすぎ，水滴を落とす（少し濡れているのは構わない）。
- (2) 亜鉛の電解溶出の実験装置を，実験 3 と同じように組み立てる（図 9 と図 10 を参照）。
 - ・亜鉛ワイヤーと銅箔シートは，実験 3 で用いたものを再使用する。
 - ・塩橋チューブ（小）も再使用するが，チューブに入れた硫酸ナトリウム水溶液は廃液用ポリビーカーに廃棄し，新しい硫酸ナトリウム水溶液と交換する。溶液交換のときにチューブの中を洗浄する必要はない。
 - ・50 mL ビーカーに入れる硫酸ナトリウム水溶液の量は 5 mL である。
- (3) 実験 3 で確認した正しい配線で実験回路を組む。今回も乾電池を 1 本だけ使用するが，まだ電池ボックスにはセットしない。また，マルチメーターのダイヤルは OFF にしておく。
- (4) これから測定する電流値の時間変化は，レポート冊子 p. 7 に記入欄が設けてあるので，直接記録すること。
- (5) マルチメーターのダイヤルを回して，**200 mA** のレンジに合わせる。電池ボックスに乾電池を 1 本セットすると同時に，キッチンタイマーの **START** ボタンを押して計時を開始する。電流値が 10 mA 未満であれば，レンジを **20 mA** に切り替える。数秒待って電流値がおおよそ安定したら，時間と電流値を記録する。
- (6) 以降の電流値の記録は，キッチンタイマーの表示で 30 s 毎に行う。通電中の両電極の様子もときどき観察しなさい。300 s（表示は 5 分）での電流値を読み取ったら，直ちにケーブルを外して通電を停止する。
- (7) 塩橋と亜鉛ワイヤーをビーカーから取り出す。このとき，塩橋の外側と亜鉛ワイヤーに少量の精製水をかけてすすぎ，その洗液はビーカーの中に入れる。
- (8) ビーカーの溶液に，酢酸-酢酸ナトリウム緩衝液をスポイトで 5 mL 加え，XO 溶液を 2 滴入れる。色がうすいときは XO 溶液をさらに加えてもよいが，多すぎると滴定の精度に影響を及ぼす。実験 2 の操作にしたがって EDTA 標準液で滴定し，レポート冊子の記入欄に滴下量を記録する。

問 1 2 2 回目と 3 回目の電気分解について，そのように条件設定を行った理由を説明しなさい。

問 1 3 1 回目に行った電気分解について，電流の時間変化のグラフを作成しなさい。

問 1 4 3 回の実験で得られた電解電気量 (C) と溶出 Zn^{2+} の質量 (mg) との関係をグラフに表しなさい。

問 1 5 実験結果から、ファラデーの電気分解の法則が成立しているかどうかを検討しなさい。また、(2)式と(4)式を用いて、問 1 4 のグラフの傾きがどのような量を表しているかを示し、亜鉛のモル質量の実験値を算出しなさい。

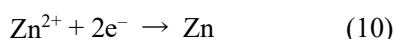
このページは白紙である。メモやレポートの下書きに使ってよい。

水溶液からの亜鉛の電解析出

ここ秋田大学は、明治 43 年に創設された秋田鉱山専門学校を前身校の一つとしており、鉱物資源の研究について現在まで続く長い歴史と実績を誇る。その背景としては、秋田県内に日本有数の鉱山が多くあり、江戸期以前から金銀銅をはじめとする金属の採掘と精錬が盛んに行われてきたことがある。明治期をピークとした鉱山開発はその後徐々に衰退し、現在では秋田県内のすべての鉱山が閉山したが、複雑な鉱物からいくつもの金属を取り出すことによって培われた高度な精錬技術を利用して、廃棄された工業製品から貴重な金属をリサイクルする事業へと転換した企業もある。

電気分解は、金属の精錬法として重要である。イオン化傾向の小さい銅や銀などの金属は水溶液の電気分解によって析出するが、イオン化傾向の大きいアルカリ金属やアルミニウムなどには熔融塩電解が使われる。先の実験で用いた亜鉛は、水素よりもイオン化傾向が大きいため、 Zn^{2+} を含む水溶液を電気分解しても、水が還元されて H_2 が生成すると思う人がいるかもしれない。実際には、電気分解の条件を調整すれば、 H_2 の生成を亜鉛の析出よりもずっと遅くすることが可能である。例えば、亜鉛製錬所では硫酸酸性の溶液から電気分解で亜鉛を析出させている。電解精錬によって得られた高純度の亜鉛は、従来からある合金材料やめっきの他、先端素材の原料としても重要である（半導体材料 IGZO (Indium-Gallium-Zinc oxide)、透明導電膜材料 AZO (Aluminum-doped Zinc Oxide) や GZO (Gallium-doped Zinc Oxide))。

Zn^{2+} イオンを含む電解液を電気分解して金属電極上に亜鉛を析出させる方法は、高純度亜鉛を製造するための湿式精錬で用いられており、電極材料にはアルミニウムが用いられることが多い。この方法はまた、鉄の表面に亜鉛のメッキ膜が形成されたトタンの製造にも使われる。実験 5 では、亜鉛ワイヤーを陽極として用い、亜鉛の析出が観察しやすいように、銅板を陰極として用いて電気分解を行う。陰極上では、(10)式の反応にしたがって亜鉛が析出するが、電解液として水溶液を用いると、他にもいくつかの副反応が起こる。



そのため、電極を通った電子のすべてが Zn^{2+} の還元に使われるわけではなく、その割合は電気分解の条件によって変わる。実験 5 では、与えられた電解セルと電解液とを用いて電気分解を行い、移動した電気量と析出した亜鉛の質量とを比較して、陰極上で Zn^{2+} の還元に使われた電子の割合を推定してみよう。電解セルの組み立て方は指示するが、回路の配線は自分で考えよう。

問 16 Zn^{2+} イオンを含む水溶液を亜鉛陽極と銅陰極で電気分解するとき、(10)式の反応の他に、陽極と陰極のそれぞれで起こる可能性のある反応を挙げなさい。

実験5．水溶液からの亜鉛の電解析出

試薬

- ・亜鉛ワイヤー (20 cm), 1 本
- ・銅板 (6 cm×1 cm), 1 枚 (電解セルに取り付けてある)
- ・硫酸亜鉛水溶液 (50 mL 細口ポリびん, 2%), 1 本
- ・精製水 (500 mL 洗びん), 1 本

器具

- | | | |
|-------------------------|---|----------------------------|
| ・ 20 mL サンプル管びん, 1 本 | } | 電解セル |
| ・ 電極ホルダー (ポリエチレン製), 1 個 | | |
| ・ ピンセット | | |
| ・ 秤量皿 (樹脂製) | | |
| ・ 3 mL ポリスポイト, 1 本 | | |
| ・ 単 3 乾電池, 1 本 | | ・ 電池ボックス |
| ・ デジタルマルチメーター | | ・ 配線用クリップコード, 赤, 黒, 青各 1 本 |
| ・ キッチンタイマー | | |
| ・ 500 mL ポリビーカー (廃液入れ) | | |

操作

※この実験の記録は、レポート冊子 p. 11 の記録欄に直接行うこと。

※(2)～(5)までは、図 1 3 も参照する。組み立てた電解セルは、ビーカーに入れると転倒しにくい。

(1) 電解セルに取り付けてある銅板を、ピンセットではさんで取り外す。銅板は洗浄済みであるので、汚れが付かないように秤量皿に載せて運び、銅板を電子天秤で秤量して、質量を 1 万分の 1 グラムの桁まで記録する。

(2) 電解セルのポリエチレン電極ホルダー (半分に切ったサンプル管びんのキャップ) を外す。実験 3, 4 で使用した亜鉛ワイヤーを、電解セルの 20 mL サンプル管びんの底面に合うように曲げて形を整える。

(3) サンプル管びんを精製水ですすぎ、水滴を落とす (少し濡れているのは構わない)。亜鉛ワイヤーも精製水でよくすすぎ、水気を切ってから、サンプル管びんにセットする。

(4) サンプル管びんに電極ホルダーを取り付け、その切れ込みに銅板をはさむ。亜鉛ワイヤーと銅板との距離は、最も近いところでも 5 mm 以上離す。

(5) 3 mL ポリスポイトを使って、サンプル管びんに 2%硫酸亜鉛水溶液を 15 mL 入れる。

(6) 考えた配線にしたがって実験回路を組む。亜鉛ワイヤー、銅板、電池ボックス (電池はセットしない)、マルチメーター (ダイヤルは OFF) をケーブルで接続する。

(7) マルチメーターのダイヤルを回して、**200 mA** のレンジに合わせる。電池ボックスに乾電池を 1 本セットすると同時に、キッチンタイマーの **START** ボタンを押して計時を開始する。電流値とその向きを確認し、電流値が 10 mA 未満であれば、レンジを **20 mA** に切り替える。数秒待つて電流値がおおよそ安定したら、時間と電流値を記録する。通電中の両電極の様子も観察しなさい。

(8) 30 s 間隔で電流値を記録し、3 分間通電したらケーブルを全て外し、マルチメーターのダイヤルを OFF にする。なお、通電時間が 3 分に満たなくても、30 C 以上の電気量が流れた時点で停止してよい。

(9) 銅板の亜鉛が析出していない箇所をピンセットでつまんで、電極ホルダーから取り外す。銅板を精製水で静かにすすぐ（洗液は廃液入れに捨てる）。水で濡れたままで構わないので（強くこすると亜鉛膜がはがれるおそれがある）、銅板を秤量皿に載せて運び、指示された場所でアセトンで静かにすすぐ。排気フード内で 1 分間乾かしたら、電子天秤で銅板の質量を 1 万分の 1 グラムの桁まで秤量し記録する。

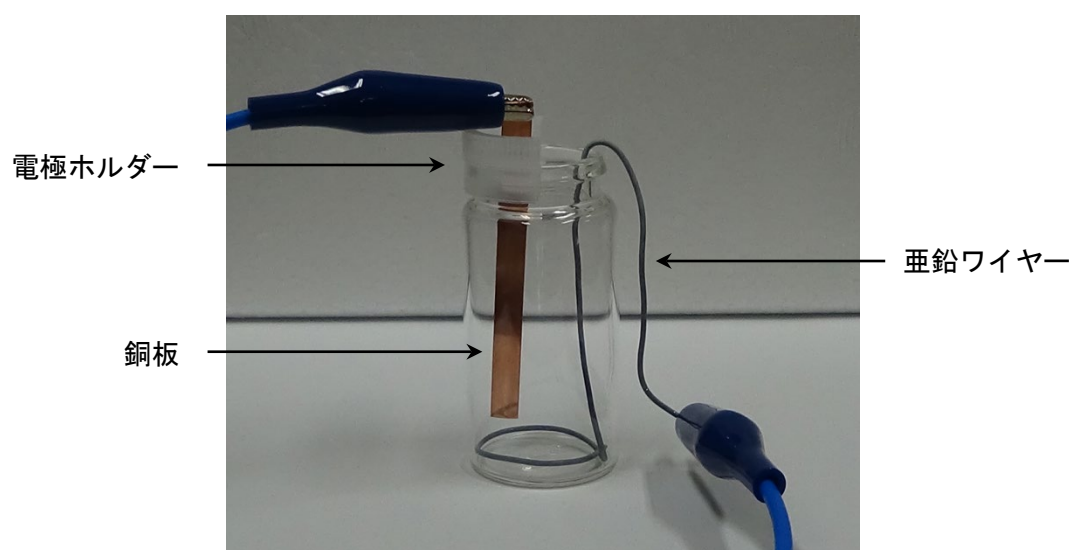


図 1 3 . 電解セルの構成

問 1 7 実験 5 の電気分解で流れた総電気量を計算しなさい。また、電気分解中に電解セル内で観察されたこと、および銅電極の質量の増加量を報告しなさい。

問 1 8 銅電極の質量増加がすべて亜鉛の析出によるものとして、 Zn^{2+} イオンの還元に使われた電気量を求めなさい。なお、亜鉛のモル質量は実験 4 で求めたものを使いなさい。

問 1 9 (11)式で表される、亜鉛の析出における電子の利用効率を計算しなさい。利用効率が 1 にならなかった理由として考えられることを説明しなさい。

$$\text{電子の利用効率} = \frac{(\text{Zn}^{2+} \text{の還元に使われた電子数})}{(\text{電極を通った全電子数})} \quad (11)$$

実験と設問は以上です。お疲れ様でした。

実験終了後の後片付け

片付けは、実験用保護メガネと手袋を装着して行うこと。廃液の処理にはコストもかかり、環境に対する負荷にもなるので、最小限になるように留意する。洗浄に使う水はできるだけ少量で行う。少量の水で複数回すすいだ方が、効率的に洗浄できる。洗浄の際に出る廃液は、指示のない限り一旦 500 mL ポリビーカーに入れ、ある程度貯まったら廃液タンクに移す。

デジタルマルチメーター

入っていたパッケージに収納し、みの虫クリップ付きデジタルマルチメーターケーブル（赤と黒）とともに持ち帰る。青いケーブルは持ち帰らずにバットに入れること。

ホールピペットとビュレット

ホールピペットを折らないように気をつけて、ピペットポンプを外す。ホールピペットとビュレットは、洗浄せずにビュレットスタンドに固定しておく。

残った試薬

容器の栓をしっかりと閉めてバットに入れておく。

塩橋チューブの入っていたフィルムケース

塩橋チューブ（中の溶液を捨てたもの）、亜鉛ワイヤー、銅箔シート、銅板を入れてから、バットに入れる。

その他バットに入れる器具

油性サインペン、定規、ピンセット、ピペットポンプ、みの虫クリップ付きケーブル（青）、電池ボックス、乾電池、キッチンタイマー

配布したゴミ袋に廃棄するもの（ゴミ袋は実験台上に残す）

サンプル管びんのふた、ポリスポイト、使用済みのキムタオル（未使用は捨てない）、その他紙類、電解セルについていた電極ホルダー、チャック付きポリ袋、樹脂製秤量皿、ディスポ手袋（片付けが終わってから）

水洗いする器具

50 mL ビーカーとサンプル管びん（14 mL, 20 mL）は、中の溶液を廃液用 500 mL ポリビーカーに捨て、洗びんの精製水ですすぐ。きれいなキムタオルを実験台の上に広げ、その上に器具を伏せて置く。サンプル管びんのふたは配布したゴミ袋に捨てる（上記）。100 mL ポリビーカーとポリろうと（2 種）も精製水ですすいで、キムタオルの上にのせる。最後に、500 mL ポリビーカーに貯めた廃液を廃液タンクに捨て、精製水ですすいで、キムタオルの上に置く。

最終の確認

実験台上には、ビュレットスタンド、バット、ゴミ袋、洗浄した器具、未使用のキムタオルを残す。手袋はゴミ袋に入れるが、白衣と実験用保護メガネは実験室を出るまで着用したままにすること。問題冊子、デジタルマルチメーター、電卓は持ち帰る。

実験上の注意事項

1. 実験室内では、「実験用保護めがね」と「白衣」，「手袋」を常時着用すること。
2. 手袋の大きさが合わない場合は、監督者に申し出て交換する。また、汗で再度はめにくいなど手袋が使用できなくなった場合も、監督者に申し出て交換する。これらは減点対象にはならない。
3. 実験は各自で行うこと。他の人の実験操作を参考にしてはならない。
4. 実験は【実験 1】～【実験 5】までであり、この順序で取り組むこと。
5. 説明にあるような操作がどうしてもうまくいかない場合は、監督者を呼ぶこと。器具に不具合があるときは直ちに交換に応じ、減点対象にはしない。
6. 開始の合図の後、まず器具リストと試薬リストを参照し、各自の実験台に必要なものが揃っているかを確認すること。不足している場合は、監督者に申し出て補充を受ける。
7. 試薬と器具を確認後、問題文や実験操作の全体をよく読み、実験や設問の内容を確認し、時間配分をよく考えて取り組むこと。
8. 原則として、用意された試薬や器具などは与えられた量の中で実験すること。もし不足した場合には、監督者に申し出て補充することができるが、減点の対象となることがあるので、注意すること。ただし、精製水と手袋の追加は減点の対象にならない。
9. 実験中に発生する廃液はすべて 500 mL ポリビーカーに入れ、ある程度貯まったら、監督者の指示のもと廃液タンクに移す。
10. 器具を破損した場合は、直ちに監督者に知らせること。液体をこぼしてしまった場合は監督者に知らせ、キムタオルで拭き取ること。

解答上の注意事項

論述で解答する設問については、以下に注意すること。

1. 必要であれば図等を用いてもよいが、全体が指定のスペース内に収まるようすること。
2. 正確かつ簡潔に解答すること。必要な内容が的確に述べられていれば、記述量が少ないことを理由にする減点は行わない。
3. 観察された事実あるいは既に知られている事実と、論理的に考えられることや推定とを明確に区別すること（とくに推定についてはその論理や根拠が明確に伝わるように記述する）。