

2014年度版 化学工学実験 テキスト

工業無機化学実験



福岡大学工学部
化学システム工学科

工業無機化学実験室

目 次

<u>工業無機化学実験実施要領</u>	1
実験担当	1
実験日時	1
実験日程	1
実験場所	1
実験時に持参するもの	1
出欠調査について	1
班編成表	2
<u>実験上の諸注意</u>	2
安全面での心がけ	3
災害と処置	3
実験データの記録	4
実験の後始末	4
測定値(計算値)の取り扱い	4
その他の注意点	4
<u>実験報告書(レポート)の書き方</u>	5
書式と記載内容について	5
提出期限について	6
レポートに関する質問など	6
 <u>□ 金属化学</u>	
実験 1 鉄の腐食と防食	8
実験 2 銅の電解析出	10
 <u>□ 機器分析</u>	
吸光光度法	12
原子吸光分析法	13
実験 3 リン酸イオンの定量	14
実験 4 カルシウムの定量	17
 <u>□ 無機製造化学</u>	
実験 5 ガラスの作製	19
 補足説明	22
付表	25

工業無機化学実験実施要領

実験担当

化学システム工学科 工業無機化学実験室(加藤・小柳)
(大学院生のティーチングアシスタントが実験を補助する)

実験日時

火曜日および金曜日の 4 限・5 限(14:40～17:50)

実験日程

回 数		1	2	3	4	5
組 別 日 程	A	5/13(火)	5/16(金)	5/20(火)	5/23(金)	5/27(火)
	B	6/03(火)	6/06(金)	6/10(火)	6/13(金)	6/17(火)
	C	6/24(火)	6/27(金)	7/01(火)	7/04(金)	7/08(火)
	D	4/18(金)	4/22(火)	4/25(金)	4/29(火)	5/02(金)
テーマ	1 班	1	2	3	4	5
	2 班	2	3	4	5	1
	3 班	3	4	5	1	2
	4 班	4	5	1	2	3
	5 班	5	1	2	3	4

実験説明会(641教室)

4/15(火) → D組, 5/09(金) → A組, 5/30(金) → B組, 6/20(金) → C組
6/07(土)、7/15(火)、および7/18(金)は予備日とする。

実験場所

6 号館 1 階612 化学工学共通実験室(A)
(実験台は実験テーマごとに指定されている)

実験時に持参するもの

白衣, 実験テキスト, 実験ノート, 筆記具, 計算機,

出欠調査について

出欠調査は実験開始直後と実験終了時の 2 回行う。遅刻は速やかに担当者に報告すること。「2 回目の出欠調査時に不在の者」および「実験時間中の不在が著しい者」は「欠席扱い」とする。

病気や事故、不慮の事態等でやむを得ず欠席した場合は必ず加藤に報告し、指示を受けること。報告がない場合は無断欠席として扱う。

班編成表

組	班	氏 名	
		a	b
A	1		
	2		
	3		
	4		
	5		
B	1		
	2		
	3		
	4		
	5		
C	1		
	2		
	3		
	4		
	5		
D	1		
	2		
	3		
	4		
	5		

【注意】本編成表での“班分け”は工業無機化学実験だけに適用される。工業物理化学実験および有機合成化学実験においては、各実験担当者の指示に従うこと。

実験上の諸注意

予めこのテキストをよく読んで、実験の目的と内容を正しく理解しておくこと。操作手順全体をよく把握し、スムーズに実験が進められるようにしておくこと。これらのことは、安全確保の面でも極めて重要。

実験時間中は白衣を正しく着用すること。白衣を着用しない者は実験への参加を認めない。白衣を忘れた場合は貸与するので申し出ること。

履物は動作に支障のない靴とする。薬品の飛散や、重量物、ガラス器具の落下など、様々な危険から足を守るために重要。サンダル類は不可。

機器類の使用は担当者の指示に従うこと。

試薬類、機器具の管理は班全員で行う。実験台上は常に整理整頓しておく。機器具の破損や消耗、事故発生時には、直ちに担当者に報告すること。

実験時間中の喫煙は禁止する。

1. 安全面での心がけ

- (1) 常に事故災害予防を心がけ、決して無理な実験操作をしないこと。破損したガラス器具で手などを切る場合が多い。ホールピペットやメスピペットは折れやすいので、安全ピペッターの取り付け時などは特に注意すること。
- (2) 酸・アルカリ溶液を扱うとき、ルツボを強熱するとき、ピペットで試薬溶液を吸引するときなどには特に注意を払うこと。備え付けの保護具(保護メガネ、保護手袋、安全ピペッター)を使用すること。
- (3) 劇物に指定された試薬類(実験5：酸化鉛()および塩化銅())は「毒劇物使用簿」に使用量を個別に記録する必要がある。担当者の問い合わせに答えられるように、使用量を正確に記録しておくこと。
- (4) 実験中は必要以上にその場を離れないこと。
- (5) 機械的に手順を追うだけでなく、操作の意味をよく考えながら実験を行うこと。

2. 災害と処置

複数の人間が活動する実験室では、各人が細心の注意を払って互いに安全を確保せねばならない。しかし、様々な状況下ではどんなに対策を講じても100%安全ということはなく、普段からの心構えや知識の習得、訓練などが必要である。以下に主な事故の応急措置を示すので、これらの事項を頭に入れておくこと。

(1) 火傷

バーナーなどを用いて実験を行うときは火傷をする危険がある。火傷をした場合は、すぐに冷水や氷水などで患部を冷やすことが大切。痛みがなくなるまで15～20分くらい十分に冷やし、その後、医師の処置を受ける。

(2) ガラスなどによる切り傷

傷口を水道水で洗い、刺さっているガラス片などを洗い流す。清潔な布で止血して医師の処置を受ける。

(3) 薬品の身体への付着

皮膚に付着した場合・・・ただちに大量の流水で洗い落とす。濃硫酸など水によって発熱するものは、はじめに乾いた布、紙、ティッシュペーパーなどで可能な限り早くその大部分をふきとってから、大量の水で一挙に洗い流す。酸やアルカリは、皮膚のひだや毛髪の間に残ることが多いので、酸なら弱アルカリの水溶液、アルカリなら2～3%の酢酸やレモン汁で中和する(中和熱で火傷する場合があるので、水洗いせずにいきなり中和してはならない)。

目に入った場合・・・すぐに大量の流水で20分くらい洗眼し続ける。特にアルカリは眼球を腐食するので、よく水洗いしてすぐに医者にかかる。洗眼には噴出式の洗眼装置がよいが、それがいない場合は清潔な水をオーバーフローさせた洗面器に顔を反復して入れ、最初は眼を閉じたままで、次に眼を水中で開閉して洗眼する。中和剤は適用しない。洗眼を終わったら厚目のガーゼ湿布をあてて眼帯などで固定し、なるべく早く眼科医の処置を受ける。

口に入った場合・・・大量の水で吐き出すことが基本だが、薬品や状況によって対応が異なる。速やかに医師などの専門家の処置を受ける。

3. 実験データの記録

- (1) 実験ノートを必ず用意する。紙片などに書くようなことは絶対にしないこと(データ紛失や混乱の原因となる)。
- (2) 実験の経過や測定データなどは、その都度正確に、ありのままを実験ノートに記録する。後からまとめて記録するようなことはしない。また、実験ノートは他人が見ても理解できるようにしておく。

4. 実験の後始末

- (1) 後片づけになると、気の緩みから機器具を破損したり、怪我をしたりすることが多い。最後まで十分に注意して作業を行うこと。
- (2) 廃液は備え付けの「廃液用ポリタンク」に捨てること。流しに捨てたりしない。不明な点は担当者に問い合わせること。
- (3) 共同実験者(班)全員による実験内容(測定データ、計算値など)の再チェックを行い、実験報告書(レポート)の作成に備える。

5. 測定値(計算値)の取り扱い

実験によって得られる測定値は、測定方法や測定器具によりその精度に限度があるため、測定値として意味のある桁数、つまり有効数字には十分注意せねばならない。常に有効数字を意識し、無意味な数字を並べないように注意すること。ここで行う実験のいくつかは「定量分析」、すなわち、目的とする物質の量を定めることであり、扱う数値の量的な面が問題となる。本実験では、ほとんどの科学の分野で採用されているSI単位系に属する諸単位を用いている。SI単位概念、相互関係、換算などに慣れ、正しい使用に努めること。

なお、22～23頁には、SI単位と有効数字の取り扱いについての簡単な解説が記してあるので、必要に応じて参照すること。

6. その他の注意点

単に“水”と記述したものは全て“イオン交換水(純水)”を指す。水道水ではない。また、○○溶液と記述し、特に溶媒を示さないものは全て“水溶液”である。洗瓶内の“イオン交換水”が不足したら、実験台(実験1,3,4)上のポリタンクから補充すること。

実験科目では、毎回きちんと実験を実施して、しっかりとしたレポートの提出が求められる。欠席や未提出レポートがあると単位を修得できないことがある。無遅刻、無欠席、全提出が原則。やむを得ない理由で欠席した場合は、必ず加藤に報告して指示を受けること。

実験報告書(レポート)の書き方

レポートを作成、提出して実験が完了したといえる。自分が行った実験の詳細な結果や、それについての考察を他人に正確に伝えるために、読み手の立場になって書くよう心がける。読み手がレポートを読んだときに、その内容を理解できないようでは記述や説明が不十分と判断され、場合によっては実験の実施そのものに疑念を抱かれることもある。レポートは誰が読んでも十分に理解できるように各自で工夫し、理路整然と記述すること。

1. 書式と記載内容について

レポート用紙はA4サイズとする他は特に指定しない。必要な記載項目は以下の通り。また、7頁に書式の例を示す。枚数に上限はないので、必要に応じて用紙を追加すること。レポートは手書き(鉛筆可)でもよいが、将来のためのスキルアップという面を考慮すれば、パソコンでの記述にチャレンジすることを勧める。

- (1) 実験題目
- (2) 提出者の組・班および学籍番号と氏名
- (3) 共同実験者氏名
- (4) 実験年月日および提出年月日
- (5) 実験方法・・・実際に行った操作の要点をまとめ、“過去形(～した)”で判りやすく書く。テキストの記述とは必ずしも一致しない(以下の記述例を参照)。

実験1-1の例)

【実験方法】水150cm³に寒天粉末2g、塩化ナトリウム1g、赤血塩とフェノールフタレイン溶液をそれぞれ0.25cm³ずつ加え、よくかき混ぜながら加熱して寒天を完全に溶かした。次に、“普通の鉄釘”を入れたシャーレ(A)と“亜鉛で半分被覆した鉄釘”を入れたシャーレ(B)に、釘が完全に浸るまで寒天溶液を注ぎ、釘の表面に生じた色の変化を観察した。釘は鉄の露出部分を紙ヤスリでよく磨いたものを使用した。

(または、次のような記述の仕方でもよい)

【実験方法】以下の手順(1)～(3)に従って実験を行った。

- (1) 水150cm³に寒天粉末2g、塩化ナトリウム1g、赤血塩とフェノールフタレイン溶液をそれぞれ0.25cm³ずつ加え、よくかき混ぜながら加熱して寒天を完全に溶かした。
- (2) シャーレ(A)に表面を紙ヤスリでよく磨いた“普通の鉄釘”を入れた。また、シャーレ(B)には、鉄の露出部分を紙ヤスリでよく磨いた“亜鉛で半分被覆した鉄釘”を入れた。
- (3) シャーレ(A)と(B)に釘が完全に浸るまで寒天溶液を注ぎ、釘の表面に生じた色の変化を観察した。

- (6) 実験結果・・・測定値を全て記載し、計算が必要な場合にはその過程も記述する。実験結果は見やすい表や図を使って説明するなど、表現を工夫すること。
- (7) 報告および考察・・・実験テキストの【報告】の各項目に対応する内容を記述する。得られた結果や現象の意味などについて、化学的な根拠に基づいた自分の考えを示すこと。実験が上手くいかなかった場合や、予想とは異なる結果が出た場合は、その原因を説明する(実験操作を誤っていなかったか、気づいた点はなかったか?)。
- (8) 課題・・・実験テキストの【課題】の各項目に対応する内容を記述する。
- (9) 参考文献・・・参考にした文献があれば明示する。

以下の事例に該当するようなレポートでは、たとえ実験自体を一生懸命に努力して行っていたとしても、それは読み手に伝わらない。むしろ、実験への取り組みに対して疑念を抱かせるだけで、高い評価を得ることはできない。

- ☑ 参考書や他人の記述を丸写ししただけなど、自主性、独自性に乏しい。
- ☑ 字やグラフが乱雑で読みにくい。誤字、脱字が多い。全体的に雑である。
- ☑ 必要項目に対する説明がない、または不足している。数値の単位が併記されていない、または何の数値なのか判らない。考察が単なる感想文になっている。
- ☑ 計算過程などの記述がなく、結果や答えだけが記載されている。あるいは、計算過程や考え方にミスがあるにもかかわらず、答えだけは合っている。

2. 提出期限について

レポートは、全ての実験テーマについて期限までに必ず提出することを求める。ただし、欠席当日のテーマについては「提出資格はない」ものとする。やむを得ない理由で提出が遅れる場合は、必ず加藤に報告して指示を受けること。なお、記載内容に不備が多いレポートは書き直しを求める。

提出〆切日時：火曜日実験分・・・翌週の火曜日17時まで
金曜日実験分・・・翌週の金曜日17時まで
祝祭日などで〆切日が休日となる場合は別途指示する。

提出方法：〆切日に6号館2階625号室(機能材料実験室)前の廊下にレポートボックスを設置するので、これに投函する。〆切日以前に提出する場合には、加藤または小柳に直接手渡すこと。

3. レポートに関する質問など

工業無機化学実験とそのレポートに関する質問や相談は、加藤[621C室]または小柳[625室]で対応します。判らない点などがあれば、そのまま放置せずに、質問に来てください。問題点の解決に向けて、自ら行動を起こすことが大切です。

工業無機化学実験報告書

実験題目 _____

提出者 A - 1 a 班
 TK 氏 名 _____

共同実験者 _____

実 験 日 2014 年 月 日
提 出 日 2014 年 月 日

【実験方法】

どのような実験操作を行ったのか、各自で工夫して要点を判りやすくまとめること。過去形(～した)で記述すること。

【実験結果】

測定値は全て記載すること。
単位は必ず併記すること。
計算過程(省略不可!)は判りやすく記述すること。
有効数字の取り扱いに注意すること(23～24頁参照)。

【報告および考察】

- (1)
- (2)
- ...

【課 題】

- (1)
- (2)
- ...

【参考文献】

...

~~~~~提出者氏名を書き忘れないこと。~~~~~

# 金属化学

## 実験1 鉄の腐食と防食

今日の豊かな生活を支えているのは「金属の文明」であり、その中心となっているのは鉄である。世の中は依然として「鉄器時代」といえる。鉄(鋼)は強くて安価であるという何ものにも代えがたい利点のため、その用途は石油・ガス備蓄タンク、パイプライン、船舶、化学プラント、建築資材など、多種多様である。しかし、その反面、鉄は“錆”から逃れられない宿命を背負っている。これらの鉄構造物を錆びさせることは経済的な損失ばかりではなく、場合によっては大きな事故の原因ともなる。「鉄器時代」が続く限り、鉄を厳しい環境条件から守ってやること、つまり防食は利用者に課せられた使命といえる。

ここでは、鉄の腐食は電気化学的な酸化還元反応であることを学び、鉄(金属)の防食技術の原理を理解する。

### 1-1 錆びる鉄釘・錆びない鉄釘

**【目的】** 鉄釘を用いて、実際に鉄が錆びていく様子を観察する。鉄が錆びる主反応は鉄の酸化(電子の放出)であるが、対になる還元反応(電子の受取)も同時に起こっていることを確認し、腐食の進行と防食の原理について考える。

**【準備】** 実験台上の試料、試薬、機器具を用いて準備する。

**【操作】** 操作手順は次の通り(メスピペットの使い方は22頁を参照)。

- (1) 300cm<sup>3</sup>のビーカーに塩化ナトリウム1g、寒天粉末2g、水150cm<sup>3</sup>を入れ、さらに、メスピペットで赤血塩(フェリシアン化カリウム溶液： $\text{Fe}^{2+}$ イオンの検出試薬)とフェノールフタレイン溶液を0.25cm<sup>3</sup>ずつ加える。よくかき混ぜながら、沸騰するくらい加熱して寒天を完全に溶かす(寒天が焦げないように注意)。
- (2) 図1-1に示すように、2個のシャーレ(A)と(B)にそれぞれ“普通の鉄釘”と“亜鉛で半分被覆した鉄釘(スクリュー釘)”を入れる。“普通の鉄釘”は2本とも釘全体を紙ヤスリでよく磨いておく。また、“亜鉛で半分被覆した鉄釘(スクリュー釘)”は鉄の露出部分のみを紙ヤスリで磨くこと。



(A) 普通の鉄釘 (B) 亜鉛で半分被覆(斜線部)した鉄釘

図1-1 シャーレ中の鉄釘

- (3) (1)で準備した寒天溶液を釘が完全に浸るまで(2)のシャーレ中に注ぎ込み、静置する(寒天を突いたりしないこと)。寒天が徐々に固まっていくにつれて、鉄釘の表面がどのように変化していくかを注意深く観察し記録する。

## 1-2 電子の航跡による酸化還元反応の実証

【目的】 固化した寒天に刺した2本の鉄釘を電極として電気分解反応を行い、実験1-1の内容が電子の授受による酸化還元反応であることを理解する。

【準備】 実験台上の試薬、機器具を用いて準備する。

【操作】 操作手順は次の通り。

- (1) 300cm<sup>3</sup>のビーカー2個に、それぞれ塩化ナトリウム2g、寒天粉末4g、水300cm<sup>3</sup>を入れ、さらに、メスピペットで赤血塩とフェノールフタレイン溶液を0.5cm<sup>3</sup>ずつ加える。よくかき混ぜながら、沸騰するくらい加熱して寒天を溶かす。次に、溶液を氷水で冷やして寒天を固める。
- (2) 直流電源、固化した寒天、よく磨いた鉄釘2本(長さ約15cm)を用いて電解槽を組み立てる(図1-2参照)。
- (3) 鉄釘間に約6Vの直流電圧を印加し、5分程度電気分解を行う。陰陽両極に生じた変化を記録する。

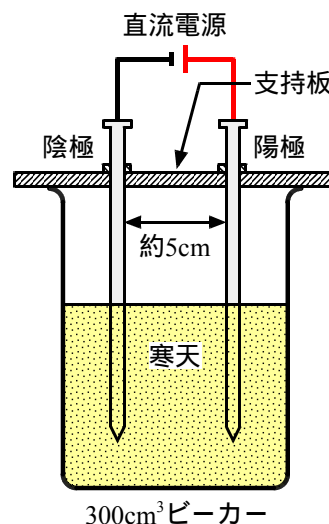


図1-2 電解槽概略図

- (4) (2)と同様に陰極に鉄釘を、陽極には炭素板を用いて電解槽を組み立てる。両極間に約6Vの直流電圧を印加し、5分程度電気分解を行って生じた変化を記録する。

【報告】 次の各項目に対して行いなさい。

- (1) 実験1-1について：シャーレ(A)と(B)で生じた電気化学的反応の相違について説明しなさい。また、(A)の2本の鉄釘の変化に差が生じた場合は、その原因を説明しなさい。
- (2) 実験1-2について：電解槽中の陰陽両極で生じた電気化学的反応について説明しなさい。また、陽極が鉄釘の場合と炭素板の場合で生じる反応の相違を説明しなさい。

【課題】 次の問に答えなさい。

実験1-1と1-2の結果から、鉄の防食法について判ったことを説明しなさい。

## 実験2 銅の電解析出

電解質溶液に2つの電極を入れて外部から十分な電圧を印加すると、各電極でそれぞれ酸化反応(電子の放出)と還元反応(電子の受取)が生じ、電流が流れる。この現象を電気分解あるいは電解とよぶ。

ここでは、2枚の銅電極を用いて硫酸銅水溶液の電解反応を行い、電気分解の基礎と金属のイオン化傾向について理解を深める。

【目的】 電気分解に伴う銅極板の重量変化から銅の溶出量と析出量を求め、ファラデーの電気分解の法則に基づいた考察を行う。電解の基礎と応用を学ぶ。

【要点】 電解の際の電気量と生成する物質の量との関係は、1833年にファラデー(Michael Faraday, 1791～1867, 英)により発見された。これが電気分解において最も重要な法則となる“ファラデーの法則”である。

### ファラデーの電気分解の法則

電解質溶液の電気分解では、陽極または陰極に析出する物質量は通過した電気量(電流と時間との積)に比例する。また、1g当量の物質が析出するのに要する電気量は物質の種類によらず常に一定(1F)である。

$$m = (Q \times M) / (|Z| \times F) = (I \times t \times M) / (|Z| \times F)$$

【注意】 実際の電解反応では電流効率が100%ではない。つまり、

$$m > m' = (Q' \times M) / (|Z| \times F) = (I' \times t \times M) / (|Z| \times F)$$

$m$  : 理論析出量[g],  $m'$  : 実際の析出量[g],  $Q$  : 理論電気量[C],  $Q'$  : 実際の電気量[C],  $I$  : 理論電流値[A],  $I'$  : 実際の電流値[A],  $t$  : 時間[s],  $M$  : モル質量[g mol<sup>-1</sup>],  $Z$  : 原子価,  $F$  : ファラデー定数(9.6485 × 10<sup>4</sup> C mol<sup>-1</sup>)  
( 電流効率を100%と仮定すれば  $Q = Q' = I \times t$  が成り立つ )

【準備】 実験台上の試料、試薬、機器具を用いて準備する。

【操作】 図2-1に電解装置の概略図を示す。300cm<sup>3</sup>のビーカーに硫酸銅水溶液300cm<sup>3</sup>を入れて電解槽とする。極板として用いる2枚の純銅板の重量を正確に秤量する(銅板は電解終了後も陰極、陽極の区別がつくようにしておく)。秤量後の銅板を支持棒に吊り下げ、電解槽にセットする。銅板と直流電源とを結線後、直ちに電源をONにする。電流計の針が0.5Aを指していることを確認し、そのまま1時間の電解を行う。電解中は電流値の変動に注意し、異常が生じた場合はすぐに担当者に連絡すること。また、両極板の様子を観察し記録しておく。

電解終了後は電流を通じたまま銅板を電解槽から引き上げ、銅板が液面から離れた直後に電源を切る。洗瓶で水をかけながら、銅板の表面をよく洗浄する。軽く水気を切った銅板を時計皿にのせ、約80℃に設定した定温乾燥器内で十分に乾

乾燥させる。銅板を取り出して室温まで放冷させたら、重量を正確に秤量する。電解前後における銅板の重量変化を陰極、陽極のそれぞれについて求める。

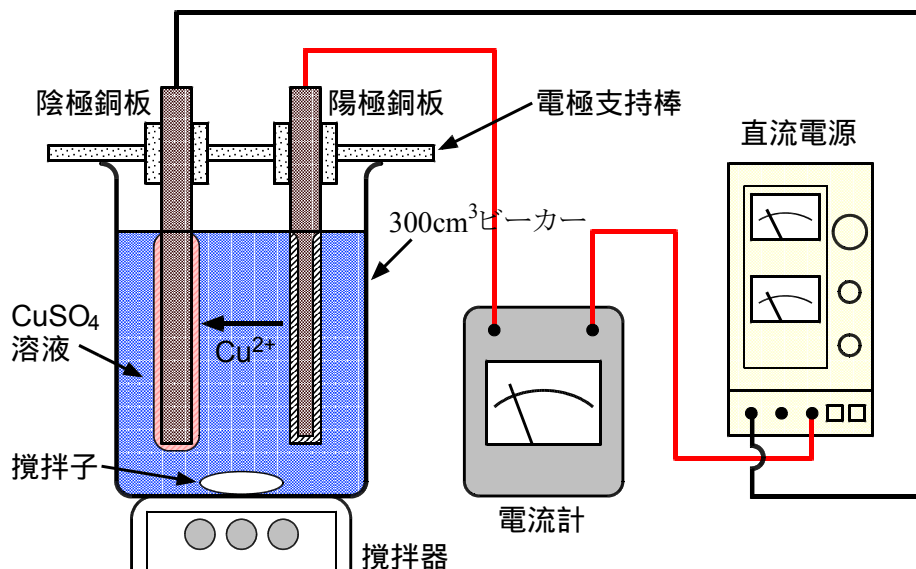


図2-1 電解装置概略図

本実験で使用する極板は2枚とも純銅である。電解終了後の硫酸銅水溶液は廃棄しないこと(当実験室側で処理する)。

【報告】 次の各項目について行いなさい(計算過程は明記のこと)。

- (1) 陰陽両極の重量変化を示し、銅の実験析出量 $m$ を求めなさい。さらに、ファラデーの法則から銅の理論析出量 $m$ を求めなさい。
- (2) 電流効率 $C_{\text{eff}} [\%]$ は $Q/Q' \times 100$ で表される。実際の電解に要した電気量 $Q'$  ( $I \times t = 0.5\text{A} \times 3600\text{s}$ )と、実験析出量 $m$ を得るのに必要な理論電気量 $Q$ を求め、 $C_{\text{eff}} [\%]$ の値を算出なさい。
- (3) (1)および(2)の結果をもとに、陰極銅板と陽極銅板に生じた電気化学的反応と両極板の重量増減の収支について説明しなさい。また、陽極に白金電極を用いたとすれば、どのような反応が起こると考えられますか。

【課題】 次の問に答えなさい。

銅製錬(銅鉱石から金属銅を取り出すこと)の最終工程で得た板状の粗銅(純度約98%)を陽極とし、陰極には純銅板を用いて硫酸銅溶液中で電気分解すれば、高純度の銅(純度99.99%以上)が得られる。この工程を“銅の電解精製”とよぶ。“銅の電解精製”の要点は、粗銅からは銅以外の不純物金属、例えば鉄や亜鉛などもイオン化して溶出するが、陰極では銅の析出のみが起こり、粗銅に含まれていた不純物が分離される点である。下線部の理由を説明しなさい。

# 機 器 分 析

化学的な分析操作の主要な部分を、固有の機能を持つ装置によって行う分析法を“機器分析”と称する。いろいろな物理的ないし物理化学的原理に基づいた機器分析法が知られているが、これらに共通するのは、試料に関する特性的な量(濃度、光度、温度など)を電気的な量に変換して検出する点である。機器分析法は原理によって分類すると、次のように大別することができる。

- (1) 電磁波分析 → 電磁波と物質の相互作用に伴う物理的信号を分析に利用。
- (2) 電気分析 → 物質の電気化学的性質から得られる情報を分析に利用。
- (3) 分離分析 → 混合物中の各成分を分離しながら定性、定量分析を行う。
- (4) その他 → 上記の分類に属さないもの。

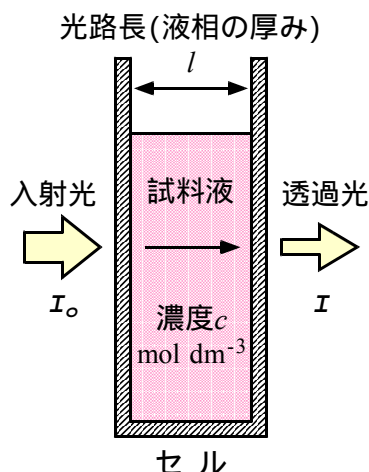
エレクトロニクスの急速な発展に伴い、今日の機器による定性、定量分析技術の進化には驚くべきものがある。機器分析全盛時代となった現在では、各種の分析装置に接する機会も多いであろう。ここでは、上記の分類中でも、最も広く利用されている電磁波分析の一種である吸光光度法について基本的な実験を行う。

## 吸 光 光 度 法

吸光光度法は、ある波長の光が試料溶液によって吸収される割合、即ち、吸光度を測定することによって試料中の目的成分の定性、定量分析などを行う方法である。これを行う機器を吸光光度計とよび、一般の吸光光度計は測定波長領域が200～1000nm程度である。分析操作は全般的に簡単で迅速性もあり、ppmオーダー(～0.0001%)の微量成分についても精度よく分析できる。

吸光光度法の基本原理は“ランベルト・ベールの法則(光吸収の法則)”にある。詳細については他の成書に譲り、ここではその概要を記すにとどめる。右図のように、光強度 $I_0$ の単色光が光路長 $l$ のセルに入射する場合を考える。セル内に均一で濁りのない濃度 $c$ の試料溶液が入れてあるとき、入射光は溶液層を通過することでその一部が吸収され、光強度 $I$ の透過光となる。このとき、次式が成り立つ。

$$A = -\log \frac{I}{I_0} = \epsilon l c$$



これをランベルト・ベールの法則という。ここで、 $\epsilon$ はモル吸光係数とよばれる溶質に特有な定数で、光の波長、溶媒、温度などに依存する。 $A$ は吸光度(Absorbance)とよぶ。また、 $I/I_0$ を透過度(Transmittance)といい、 $T$ で表す。ランベルト・ベールの法則は $\epsilon$ および $l$ が一定の場合、全濃度範囲で成立する。

## 原子吸光分析法

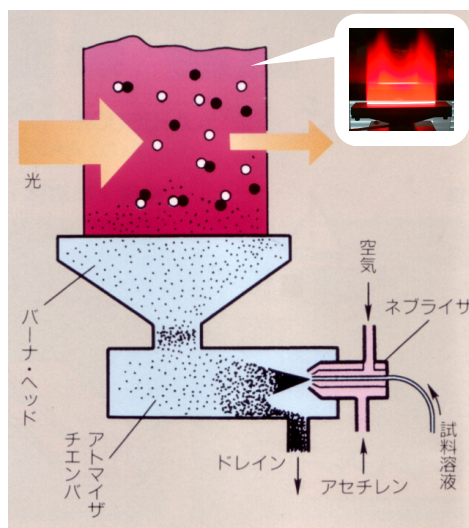
原子吸光分析法は、前頁で述べた吸光光度法と同様の分光分析法の一種であり、ランベルト・ベールの法則が定量の基礎になっている。原理的には吸光光度法と類似する点が多く、得られた吸光度が濃度に比例することを利用している。1955年に化学分析法として提唱され、吸光光度法と比べると選択性がよく、高感度であるため、下表のように環境分析、工業分析、臨床分析など多くの分野で日常分析法として定着し、JIS(日本工業規格)法にも広く採用されている。

| 環 境  | 金属・半導体・セラミックス | 石油・化学・高分子 | 医学・生物学・薬学 |
|------|---------------|-----------|-----------|
| 海 水  | 金 属           | 石 油       | 血 液       |
| 河川水  | 半導体           | オイル       | 生 物       |
| 排 水  | 鉱 物           | 触 媒       | 植 物       |
| 汚 泥  | ガラス           | 化成品       | 薬 物       |
| 浮遊粉塵 | セラミックス        | 食 品       |           |

【原 理】 原子吸光分析法と吸光光度法では、測定対象の化学的形態が異なる。吸光光度法では溶液中の化学種の光吸収を計測するが、原子吸光は目的元素を高温で原子化し、その原子蒸気が特有の波長の光を吸収する性質を利用している。

全ての原子は低いエネルギーをもった状態にあるものと、高いエネルギーをもった状態にあるものとがある。低いエネルギーをもった状態を基底状態とよび、高いエネルギーをもった状態を励起状態とよぶ。基底状態の原子は外部から照射された光を吸収して励起状態となり、原子の数が多いほど光の吸収は多くなる。つまり、光の吸収は原子濃度に比例することになる。さらに、基底状態と励起状態のエネルギーの差は元素によって定まっているので、吸収される光の波長はその元素に固有のものとなる。これらの現象を利用して、試料溶液中のイオンまたは分子を高温場で原子化し、特定波長の光に対する吸光度を測定すれば、目的元素の定量が可能となる。

実際の分析では、試料溶液をネブライザで吸い上げ、バーナヘッド上に形成されたAir-C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>フレイム中に噴霧して加熱し、原子化を行う。生じた原子蒸気層にホロカソードランプ(中空陰極ランプ)から目的元素に固有の波長の光を照射すると、光は原子に吸収される(右図参照)。このとき、吸光度は試料溶液に含まれる元素濃度に比例するから、これを調べることで目的元素の含有量を決定できる。



### 実験3 リン酸イオンの定量

肥料の三要素の一つであるリン酸塩は、いろいろな形のリン酸イオンとなって水中に溶存する。湖沼や海域に多量のリン酸塩が流入するとプランクトンの大増殖を招き、赤潮やアオコとよばれる現象を引き起こすことはよく知られている。また、リン酸塩は肥料としての用途の他に、食品添加物としての利用も多い。

ここでは、モリブデン青吸光光度法を用いて、清涼飲料水(コーラ)に含まれるリン酸イオンの定量分析を行う。

【目的】 リン酸イオンの定量分析を通じて、吸光光度法の基礎を学習する。

【要点】 リン酸イオン( $\text{PO}_4^{3-}$ )とモリブデン酸アンモニウム( $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ )が反応してできるヘテロポリリン化合物( $\text{H}_3[\text{P}(\text{Mo}_3\text{O}_{10})_4]$ )を塩化スズ( $\text{SnCl}_2$ ) ( )で還元すると、溶液がリン酸イオン量に応じた青色を呈する(モリブデン青が生成する)。この呈色溶液の吸光度を測定することでリン酸イオンの定量を行う。

【準備】 実験台上の試料、試薬、機器具を用いて準備する。

【操作】 リン酸イオン定量用の検量線を作成する(操作 )。次に、得られた検量線を基にしてコーラに含まれるリン酸イオンの量を求める(操作 )。メスピペットおよびホールピペットの使い方は22頁を参照。

#### ・検量線の作成

下記の操作に従い、検量線用のリン酸イオン標準液を4種類調製する。

『分 取』 50 $\text{cm}^3$ のメスフラスコを4個用意する。その各々に、表3-1に従って0.01 $\text{mg cm}^{-3}$ リン酸イオン標準原液をビュレットを用いて正確に分取し、さらに、メートルグラスで20 $\text{cm}^3$ の水を加える。各フラスコの $\text{PO}_4^{3-}$ 含有量[ $\text{mg}$ ]を計算しておくこと(下表の空欄に記入)。

表3-1 リン酸イオン標準原液の分取量

| フラスコ No.                             |     |     |     |      |
|--------------------------------------|-----|-----|-----|------|
| 分取量 [ $\text{cm}^3$ ]                | 0.5 | 2.0 | 5.0 | 10.0 |
| $\text{PO}_4^{3-}$ 量 [ $\text{mg}$ ] |     |     |     |      |

『発 色』  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ 溶液5 $\text{cm}^3$ をホールピペットで正確に加えて振り混ぜる。次に、メスピペットで $\text{SnCl}_2$ 溶液を0.25 $\text{cm}^3$ 加え、標線まで水を加えて振り混ぜた後、約15分間放置する。溶液が青色を呈する<sup>1</sup>。試薬を入れる順番を必ず守ること。

『吸光度測定』 水を“対照液”として、波長720nmにおける呈色液 ~ の吸光度を測定する。吸光光度計の操作については担当者の指示に従うこと。

『**検量線作成**』 得られた吸光度をグラフ用紙にプロットし、検量線を作成する。異常なプロット点が生じた場合には、吸光度を再度測定して試みる。それでも状況が改善しないときは、標準液を作り直す必要がある。図3-1には検量線の例を示す。検量線は最小二乗法により決定してもよい。

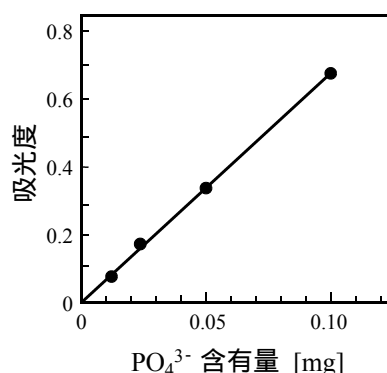


図3-1 検量線の例

### ・リン酸イオンの定量

下記の操作に従い、コーラの原液を希釈した試料液を2個調製する。これらに発色処理を施した後に吸光分析を行う。各々の吸光度からリン酸イオン含有量[mg]を求め、コーラのリン酸イオン濃度[ $\text{mg dm}^{-3}$ ]を計算する。

『**一次希釈**』 100 $\text{cm}^3$ のビーカーにコーラの原液を約40 $\text{cm}^3$ 入れ、時計皿で蓋をして沸騰するまで加熱し、炭酸ガスを追い出す。次に、水浴を用いて液温を必ず室温程度まで下げ、100 $\text{cm}^3$ のメスフラスコに脱気したコーラ原液10 $\text{cm}^3$ をホールピペットで正確に分取する。標線まで水を加えてよく振り混ぜ、一次希釈液とする。ホールピペットやメスフラスコは精密に校正された体積計であるため、高温の液体と接触させると狂いを生じるので注意。

『**二次希釈**』 50 $\text{cm}^3$ のメスフラスコを2個用意し、その各々に一次希釈液1 $\text{cm}^3$ をメスピペットで正確に分取する。さらに、メートルグラスで20 $\text{cm}^3$ の水を加える。一次希釈液の分取に使ったメスピペットを発色試薬の分取に使用しないこと。

『**発色**』  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ 溶液5 $\text{cm}^3$ をホールピペットで正確に加えて振り混ぜる。次に、メスピペットで $\text{SnCl}_2$ 溶液を0.25 $\text{cm}^3$ 加え、標線まで水を加えて振り混ぜた後、約15分間放置する。溶液(二次希釈液)が青色を呈する<sup>2</sup>。試薬を入れる順番を必ず守ること。

『**吸光度測定**』 水を“対照液”として、波長720nmにおける呈色液の吸光度を測定する。

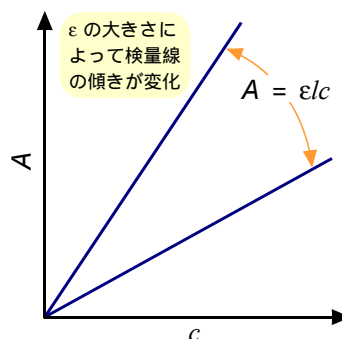
『**計算**』 呈色液の吸光度に相当するリン酸イオンの量[mg]を検量線から求める。得られた値は二次希釈液中に存在するリン酸イオンの全量に相当するから、この値を用いてコーラ原液のリン酸イオン濃度を計算する。最終的な分析値は2個の試料液から得た値の平均値とする。

【報告】 次の項目について行いなさい(計算過程は明記のこと)。

検量線とコーラのリン酸イオン濃度 $[\text{mg dm}^{-3}]$ を示しなさい。検量線は軸目盛りや両軸の項目名をきちんと表記し、グラフとしての体裁を整えたものを添付すること。なお、ここで用いる濃度の単位 $[\text{mg dm}^{-3}]$ は $[\text{ppm}]$ とよばれる場合も多い。ppmとは濃度、存在比を表す単位の一つで100万分の1 ( $= 10^{-6}$ )を意味し、*part per million* の略である。

【課題】 次の各問に答えなさい。

- (1) 通常、呈色した溶液の種々の濃度と特定の波長における吸光度との関係は図3-1のように吸光度を縦軸に、濃度を横軸にとれば、原点を通る直線となる。しかし、検量線が原点を通らない場合や、ある濃度以上で直線からずれて曲がってしまう場合がある。検量線にずれが生じる原因には、どのようなことが考えられますか(機器分析の書籍などを参考にしなさい)。
- (2) モル吸光係数 $\varepsilon$ が大きくなれば、定量感度(濃度 $c$ の変化に対する吸光度 $A$ の感度)はどのように変化しますか。右図を参考にして、理由と共に説明しなさい。



- 1 標準液はフラスコ 、 、 の順で青色が濃くなる。 の発色は肉眼ではほとんど確認できないが、 の青みはかなり強い。発色操作完了後、しばらく放置しても発色しなかったり、フラスコ や の青色が明らかに薄い場合は、操作の誤りや試薬の汚染が考えられる。速やかに担当者に報告して指示を受けること。
- 2 コーラの二次希釈液は標準液 と同程度に発色する。発色操作完了後、しばらく放置しても発色しなかったり、明らかに青みが薄い場合は、操作の誤りや試薬の汚染が考えられる。速やかに担当者に報告して指示を受けること。

☞分析失敗の事例：

- (1) ピュレットの使い方を誤ったため、リン酸イオン標準原液の分取が不正確だった。
- (2) 予め $20\text{cm}^3$ の水を加えずに、いきなり $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ 溶液を入れた。
- (3)  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ 溶液と $\text{SnCl}_2$ 溶液を入れる順番を守らなかった。
- (4) メスピペットの使い方を誤り、 $\text{SnCl}_2$ 溶液の添加量が不足していた。
- (5) メスピペットの使い方を誤り、コーラの一次希釈液の分取量が不足していた。
- (6) ピペットの管理を怠り、 $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ 溶液や $\text{SnCl}_2$ 溶液を汚染した。

## 実験4 カルシウムの定量

カルシウムは酸化カルシウム、炭酸カルシウム、硫酸カルシウムなどとして工業的に広い用途がある。例えば、乾燥剤や金属の製錬、塗料、プラスチック、シーラント、建材などに用いられ、近年では健康食品などの分野での需要も多い。

ここでは、原子吸光分光光度計(SHIMADZU AA-7000F)を用いて、チョークに含まれるカルシウムの定量と、水道水のカルシウム濃度を分析する。

【目的】 カルシウムの定量分析を通じて、原子吸光分析法の基礎を学習する。

【準備】 実験台上の試料、試薬、機器具を用いて準備する。

【操作】 カルシウム定量用の標準液を調製する(操作)。これと並行して、チョーク粉末からカルシウムを溶出し、試料液を調製する。標準液と試料液を原子吸光分光光度計に導入し、試料中のカルシウムの量を求める(操作)。操作手順は次の通り(ホールピペットの使い方は22頁を参照)。

### ・標準溶液の調製

下記の操作に従い、検量線用のカルシウム標準液を3種類調製する。

『分 取』 50cm<sup>3</sup>のメスフラスコを3個用意する。その各々に表4-1に従い、100ppm(=100mg dm<sup>-3</sup>)のカルシウム標準原液をホールピペットを用いて正確に分取する。各フラスコのCa濃度[ppm]を計算しておくこと(下表の空欄に記入)。

表4-1 カルシウム標準原液の分取量

| フラスコ No.               |     |      |      |
|------------------------|-----|------|------|
| 分取量 [cm <sup>3</sup> ] | 5.0 | 10.0 | 25.0 |
| Ca濃度 [ppm]             |     |      |      |

『希 釈』 フラスコ ~ に0.1mol dm<sup>-3</sup>硝酸溶液を標線まで加え、よく振り混ぜる。

### ・カルシウムの定量

下記の操作に従い、チョーク粉末を酸に溶解した後、濾液に含まれるカルシウムを定量する。さらに水道水に含まれるカルシウムを定量してみる。

『試料溶解』 白、黄、青色のチョークをそれぞれ乳鉢を用いて粉碎する。プラスチック製の200cm<sup>3</sup>ビーカーを3個用意し、その各々にチョーク粉末を一色ずつ0.15~0.20gの範囲(採取量は少なめがよい)で量り採り、正確な量を記録する。各ビーカーにホールピペットで採取した100cm<sup>3</sup>の0.5mol dm<sup>-3</sup>塩酸溶液と攪拌子を入れ、時計皿で蓋をし、スターラーで約10分間かき混ぜる。次に、溶液を濾過して濾液を回収する。

『分 取』 250cm<sup>3</sup>のメスフラスコを3個用意する。その各々に の濾液をホールピペットで5cm<sup>3</sup>ずつ分取し、標線まで水を加えてよく振り混ぜる。得られた試料液の一部をサンプル瓶に移し、操作 で調製した標準溶液と共に原子吸光分光光度計(625室)の前に持参する(担当者が引率する)。

『検量線作成』 原子吸光分光光度計前面の「PURGE」ボタンと「IGNITE」ボタンを点火するまで押し続け、バーナーヘッド上にフレイムを形成させる。正常に点火できたら、フレイム中に“ 対照液 ” の水を噴霧し、ゼロ点補正とブランク値の測定を行う。次に、操作 で調製した標準溶液をカルシウム濃度が低いものから順に装置に導入し、その吸光度を測定する。測定終了後、操作画面の検量線表示欄をみて、検量線が正しく作成できたか確認する。検量線が直線から著しく逸脱するなど、不具合がみられたら再測定してみる。状況が改善しない場合は、標準液を作り直す必要がある。詳細は担当者の指示に従うこと。

『試料液分析』 装置に試料液を導入し、吸光度を測定する。水道水は蛇口から採取した水をそのまま装置に導入する。吸光度はコンピュータによって自動的に濃度値[ppm]に換算され、操作画面に表示される。測定は各試料液につき2回ずつ行い、定量計算にはその平均値を用いること。全ての測定が終了したら「EXTINGUISH」ボタンを押してフレイムを消し、データを印刷する。

『計 算』 白、黄、青色のチョークの各々について、試料液のカルシウム濃度[ppm]から、 の濾液に含まれるカルシウムの総量[g]を求める。

【報 告】 次の各項目について行いなさい(計算過程は明記のこと)。

- (1) チョークがCaCO<sub>3</sub>だけでできていると仮定した場合、カルシウムの含有率(wt.%)はいくらになりますか。
- (2) 白、黄、青色のそれぞれのチョークについて、カルシウムの含有率(wt.%)を求め、(1)の値と比較しなさい。また、水道水のカルシウム濃度を示しなさい。

【課 題】 次の各問に答えなさい。

- (1) 水には硬度という指標がある。水の硬度について説明しなさい。
- (2) 原子吸光分析法の利点と特徴について説明しなさい(機器分析の書籍などを参考にしなさい)。

# 無機製造化学

## 実験5 ガラスの作製

代表的な無機化学工業にガラス工業がある。ガラスとは酸化ケイ素( $\text{SiO}_2$ )を主成分とする網状高分子である(図5-1参照)。ほとんどの元素をその構造中に取り込むことができるために種類が多く、700種以上ものガラスが知られている。日常生活においても窓ガラスから光ファイバーまで、多くのガラス製品が使用されている。この実験を機に、ガラスを“化学の目”で見つめ、ガラスに対する見識を深めてほしい。

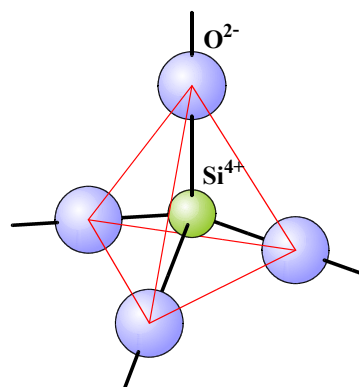


図5-1 ガラスの網目形成体

【目的】 溶融温度が低く、実験的に簡単に合成できる鉛ガラスの作製を体験する。ガラスには様々な種類と用途があることを知り、実用ガラスの組成と性質との関係を学習する。

【準備】 実験台上の試薬、器具を用いて準備する。

【操作】 本実験では青と緑の2種類の鉛ガラスを合成する。21頁のデータシートを活用しなさい。

『原料混合』 ホウ酸ナトリウム( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )4g、石英砂( $\text{SiO}_2$ )1.3g、酸化鉛( )( $\text{PbO}$ )6.7g、および着色剤の各々をトレーに量り採り、乳鉢の中に入れてよく摺り混ぜ、できるだけ均一に混合する。青色のガラスを作るには、着色剤として塩化コバルト( $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )0.01 ~ 0.02gを、緑色のガラスを作るには塩化銅( )( $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )0.05 ~ 0.20gを加える。各試薬の正確な採取量を必ず記録しておくこと。

『秤量』 (1) 空の磁製ルツボの重さを秤量する。  
(2) 混合した試薬を(1)の磁製ルツボに入れる。(磁製ルツボ + 混合試薬)の重さを秤量し、混合試薬の採取量を求める。

『加熱溶融』 図5-2のように使用器具をセットする。  
(1) バーナーを用いて、10分以上ルツボを強熱する。このとき、マッフルの上部からは高温の燃焼ガスが排出されるため、不用意にのぞき込むと非常に危険である。試薬が溶融したことを確かめるには、ルツボ鉗でマッフルの蓋を取って見ればよい。  
(2) ルツボ内の試薬が均一に溶融したら、ルツボ鉗でルツボ

を取り出し、溶融物をステンレス板上に素早く流し出す(図5-3)。高温につき火傷に注意すること。

『徐冷』 溶融物を冷却すればガラスのできあがりである。急冷によるガラスの割れを防止するために、加熱で熱くなっているマッフルの蓋を溶融物に被せ徐冷する。約20分放置して温度が十分に下がったら蓋を外し、ガラスを回収する。

『秤量』 回収したガラスと磁製ルツボの重さを秤量する。できたガラスの総量は、(回収したガラス量 + ルツボ内壁に付着したガラス量)となる。得られたガラスの総量と混合試薬採取量から、ガラスの実験収率(wt.%)を求める。

『観察』 ガラスの色、手触りなど全般的な様子を観察して記録する。

【報告】 次の項目について行いなさい(計算過程は明記のこと)。

原料試薬中の結晶水以外が全てガラス化したと仮定して、ガラスの理論収率(wt.%)を求めなさい。収率の実験値と理論値とを比較しなさい。

【課題】 次の各問に答えなさい。

- (1) 本実験で合成したガラスを構成する酸化物を例にならって示しなさい。着色剤( $\text{CuCl}_2$ と $\text{CoCl}_2$ )は考慮しなくてよい(記述例： $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ )。
- (2) 日常生活で一般に使用されているガラスの例をあげて、その主要な構成酸化物と特徴を示し、鉛ガラスと比較しながら説明しなさい。

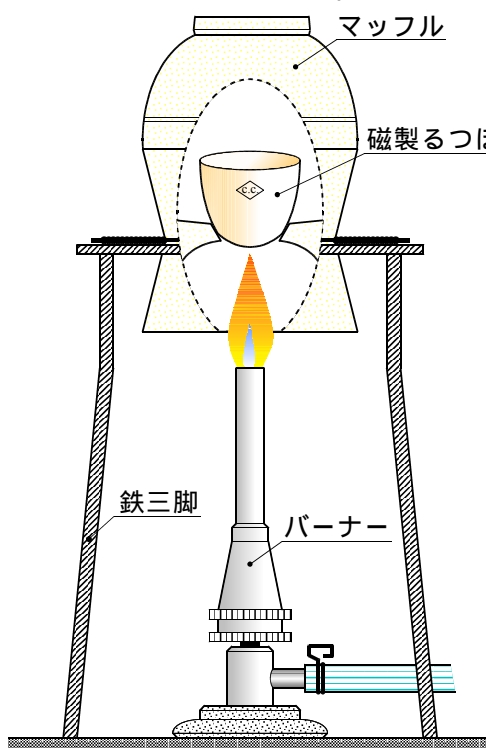


図5-2 ガラス作製器具

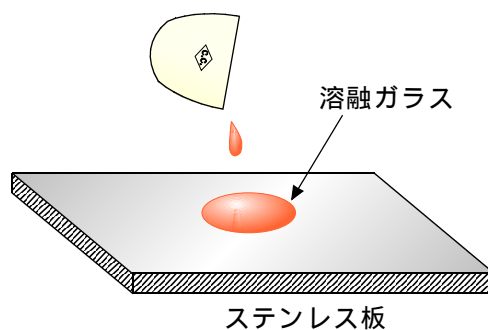


図5-3 溶融ガラスの流し出し

## データシート

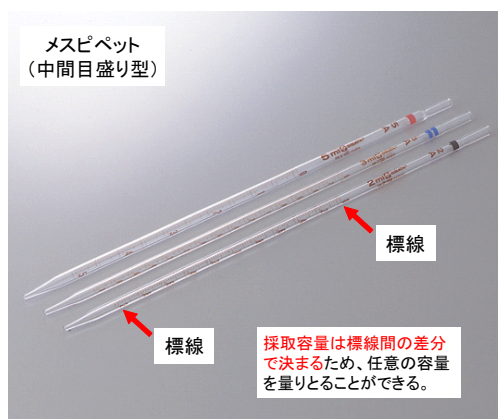
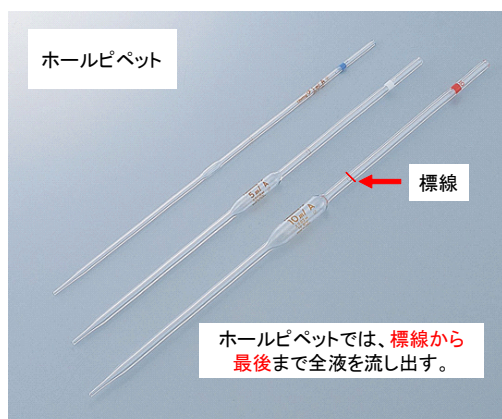
| 測定項目                 | 青色鉛ガラス | 緑色鉛ガラス |
|----------------------|--------|--------|
| ① ホウ酸ナトリウムの採取量       | g      | g      |
| ② 石英砂の採取量            | g      | g      |
| ③ 酸化鉛の採取量            | g      | g      |
| ④ 塩化コバルトの採取量         | g      | —      |
| ⑤ 塩化銅の採取量            | —      | g      |
| ⑥ 試薬の総量(①～⑤の合計)      | g      | g      |
| ⑦ 空のルツボの重さ(実験前)      | g      | g      |
| ⑧ 混合試薬を入れたルツボの重さ     | g      | g      |
| ⑨ ルツボに入った混合試薬の量(⑧－⑦) | g      | g      |
| ⑩ ガラスを入れたルツボの重さ      | g      | g      |
| ⑪ 生成したガラスの総量(⑩－⑦)    | g      | g      |
| ガラスの実験収率(⑪÷⑨×100)    | wt. %  | wt. %  |

上記の内容は必ずレポートに記載すること。記述形式は各自で工夫してよい。

## 補 足 説 明

【ホールピペットとメスピペット】 両者とも一定体積の液体を採取するための器具である。ホールピペットでは、標線まで満たした液体を適切に流し出したときに標示容量を正しく量りとることができる。一方、メスピペットは内径の小さなガラス管に目盛りがついてあり、先端目盛り型と中間目盛り型の2種がある。本実験で用いるメスピペットは全て中間目盛り型である。中間目盛り型のメスピペットには先端から少し上の部分に最大容量を示した線があり、ピペット上部のゼロ目盛りまで液を採った後、必要な量だけ目盛りに合わせて液を流出させる。流出した液の体積を量るので、目盛りを越えて流出させると正確に計量できない。液を出しながら量を調整をしなければならないので注意を要する。

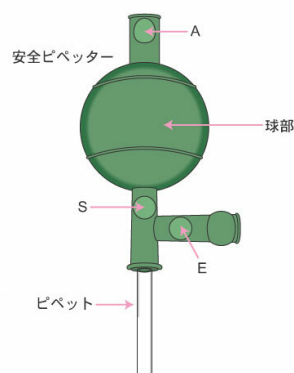
これらのピペットはいずれも出用量器(“きちんと入れて、きちんと出す”ことを前提とした測容器)であり、内壁の濡れも含めて目盛り付けがなされている。つまり、液を移した後に息を吹き込んだり、中を洗ったりしてピペット内壁に付着した残液を完全に回収してはいけな。液を採取する場合は、安全のため、どちらの器具でも安全ピペッターを使用すること。



【安全ピペッターの使い方】 ピペットに安全ピペッターを装着する際は、ピペットが折れてケガをすることがないように、差し込む部分に近いところを持って安全ピペッターに軽く差し込む(深く差し込み過ぎると、弁Sが破損して使用不能になる)。

- (1) 弁Aを押しながらゴム球部を凹ませ、中の空気を出す。ピペットの先を液体に深く差し込み、弁Sを軽く押して標線の1~2cm上まで液体をゆっくり吸い上げる。

- (2) ピペットの先端を液面から上げてから、弁Eを押して中の液体をゆっくり流し出し、液体の湾部の接線を標線に一致させる。ピペットの先端を容器の内壁に接触させ、付着した液滴を除く。



- (3) ピペットを垂直に保ったまま、弁Eを押して使用容器に液体を流し出す。ホールピペットでは、ほとんどの液体が出た後、弁がすべて閉じた状態でピペットのふくらみ部を手のひらで包み、中の気体を膨張させて先端部に残った液体を流し出す。あるいは、E部横の口を指でふさぎ、Eを押しながら横のふくらみを凹ませて、残った液体を押し出す。

【SI単位系】 化学の分野ではSI単位系(国際単位系ともいう)を使うことが推奨されている。この単位系を使えば、総ての物理量は下表に示す7つのSI基本単位、または基本単位を組み合わせたSI組立単位(SI誘導単位ともいう)で表すことができる。SI単位系では、質量の基本単位はkg、温度の基本単位はKである。

SI基本単位

| 物理量 | 単位(名称)    |
|-----|-----------|
| 長さ  | m(メートル)   |
| 質量  | kg(キログラム) |
| 時間  | s(秒)      |
| 電流  | A(アンペア)   |
| 温度  | K(ケルビン)   |
| 物質量 | mol(モル)   |
| 光度  | cd(カンデラ)  |

【有効数字】 測定値は測定機器の精度に支配され、ある限られた精度しかもない。測定値の精度の高低を表す実質的に意味をもつ数字を有効数字という。

例) 質量が  $15.4107\cdots$  g の物体を最小表示が 0.1 g の天秤で測定した場合 → 測定値 = 15.4 g ("15.4" が有効数字)

これは測定値が  $15.4 \pm 0.05$  g の範囲にあることを示す。従って、15.4 g と 15.40 g は精度において全く異なる。一般に数字末尾にある"0"は有効な数字であり「"0"以外の他の数字ではない」ことを表している。

### 【測定値の精度と計算の精度】

#### ・数値の精度の表し方

「有効数字何桁」と表す場合

例) 15.4 g → 有効数字 3 桁  
15.411 g → 有効数字 5 桁

単位を変えた場合は注意する。単位が変わっても有効数字の桁数は変化しない。例えば、15.4 g を 0.0154 kg と書き換えても有効数字は 3 桁のままだが、これを 15400 mg と書き換えることはできない。 $1.54 \times 10^4$  mg または  $15.4 \times 10^3$  mg と書くべき。

### 「小数点以下何桁まで有効」と表す場合

例) 15.4 g → 小数点以下 1 桁まで有効 (有効数字は 3 桁)  
15.411 g → 小数点以下 3 桁まで有効 (有効数字は 5 桁)

単位が変わると、何桁目までが有効なのかも変わる。例えば、15.4 g を 0.0154 kg と書き換えると小数点以下 4 桁目まで有効となる (ただし有効数字は 3 桁のまま)。

### ・ 答の精度

精度が限られた数値を使って計算すれば、当然、答も限られた精度しかもたない。答の精度は計算に使った数値のなかで最も精度が低いものに支配される。

原則 **加減法の計算**では、答の小数点以下の桁数が、その計算に使われた数値のうちで**小数点以下の桁数が最小のもの**と一致する。

例)  $x = 171.1 \text{ g} + 25.0529 \text{ g} + 0.0540 \text{ g}$  においては、 $x = 196.2 \text{ g}$ となる。  
 $x = 196.2069 \text{ g}$ と書くのは誤り。

原則 **乗除法の計算**では、答の有効数字の桁数が、計算に使われた数値のうちで**有効数字の桁数が最小のもの**に一致する。

例)  $x = 101.54 \text{ cm} \times 32.4 \text{ cm}$  においては、 $x = 3.29 \times 10^3 \text{ cm}^2$ となる。  
 $y = 101.44 \text{ g} \div 32.4 \text{ cm}^3$  においては、 $y = 3.13 \text{ g cm}^{-3}$ となる。

2 乗、3 乗などの計算や平方根、立方根などを求める場合の有効数字も、この原則に準じる。

原則 **計算に使う数値の桁数**は、**答の桁数より 1 桁多く** (加減法の場合は小数点以下の桁数を 1 桁多く、乗除法の場合は有効数字の全桁数を 1 桁多く)とすることが望ましい。

原則 **計算の途中でいったん答をだすとき**は、**最終の答の桁数より 1 桁余分**なところまで求める。

原則 **数値の丸め方** (数値を必要な桁数まで処理することを丸めするという)は**四捨五入**による。ただし、末尾の数字が $\cdots 5$ 、 $\cdots 50$ 、などの数字を丸めるには 5 の 1 桁前の数字が奇数ならば切り上げ、偶数なら切り捨てる。

例) 2.345 を有効数字 3 桁に丸めると 2.34、2.355 を有効数字 3 桁に丸めると 2.36  
104.51 を有効数字 3 桁に丸めると 104、101.50 を有効数字 3 桁に丸めると 102

## 付 表

| 4桁の原子量表( $^{12}\text{C}$ の相対原子質量 = 12) |      |       |
|----------------------------------------|------|-------|
| 元 素 名                                  | 元素記号 | 原 子 量 |
| 亜鉛 ( <i>zinc</i> )                     | Zn   | 65.39 |
| 硫黄 ( <i>sulfur</i> )                   | S    | 32.07 |
| 塩素 ( <i>chlorine</i> )                 | Cl   | 35.45 |
| カリウム ( <i>potassium</i> )              | K    | 39.10 |
| カルシウム ( <i>calcium</i> )               | Ca   | 40.08 |
| ケイ素 ( <i>silicon</i> )                 | Si   | 28.09 |
| コバルト ( <i>cobalt</i> )                 | Co   | 58.93 |
| 酸素 ( <i>oxygen</i> )                   | O    | 16.00 |
| 水素 ( <i>hydrogen</i> )                 | H    | 1.008 |
| 炭素 ( <i>carbon</i> )                   | C    | 12.01 |
| 窒素 ( <i>nitrogen</i> )                 | N    | 14.01 |
| 鉄 ( <i>iron</i> )                      | Fe   | 55.85 |
| 銅 ( <i>copper</i> )                    | Cu   | 63.55 |
| ナトリウム ( <i>sodium</i> )                | Na   | 22.99 |
| 鉛 ( <i>lead</i> )                      | Pb   | 207.2 |
| ホウ素 ( <i>boron</i> )                   | B    | 10.81 |
| リン ( <i>phosphorus</i> )               | P    | 30.97 |

信頼度は有効数字の4桁目で $\pm 1$ 以内。日本化学会原子量委員会(1984)による。実験と関連のある元素のみを記した。

TK

氏 名