実験課題 P9. 重金属イオンの性質と同定(オンライン実験)

重金属やその化合物は、医療や健康、材料、エネルギー、近代産業などの分野の研究において、常に注目の的である。ほとんどの重金属元素や重金属化合物は有毒であるため、私たちの生活において重金属イオンを同定することは重要な問題である。

重金属元素の外殻のd軌道やf軌道は通常、不対電子をもっており、その不対電子は可視光によって励起されることがある。そのため、ほとんどの重金属イオンには色がついている。重金属イオンの化学反応では、溶液に目視で判断可能な変化が見られる。この性質を利用し、化学反応による変化を観察することで、重金属イオンを同定することができる。このオンライン実験では、生徒の健康にも環境にも悪影響を与えることなく、各反応で何が起きているかを生徒がはっきりと理解することができ、異なる重金属イオンの化学的性質や同定の仕方について生徒が習得することができる。

Experiment procedure

実験の手順

1. https://pri16.xnfz.cmet.ustc.edu.cn/ にログオンする

ユーザー名(username): test001, パスワード(password): 123456

(注:Android の携帯電話を使用している者は、ログオンページの QR コードを読み込み、アプリケーションをダウンロードすることで、携帯電話で実験を行うことができる)



Virtual Experiment on Properties and Identification of Heavy Metal Ions Based on the Principles of Green Chemistry

重金属离子的性质与鉴定绿色化综合虚拟实验



2. メインページの手順 A(Procedur A)の「既知の試薬の一覧(Matrix of Known Reagents)」をクリックし、重金属イオンの性質や陰イオンと混合したときに起こる反応について学ぶ(訳注: 当該ページには重金属イオンと陰イオンが羅列された行列があり、それぞれを混合したときの様子を記録した動画が閲覧可能である)。各イオンの反応を記録する必要がある場合は、メインページの「観察事項の表のテンプレート(observation table template)」をクリックし、既知の試薬について観察したことをまとめるための表をダウンロードする。



3. 手順 B の「試験を開始する(Start Quiz)」をクリックすると、5×10の未知の試料のランダムな組み合わせが表示される。未知の試料は A から O の名前がついている。ボタンをクリックすると、未知の試料どうしの反応を観察することができる。 A から O のボタンをクリックすると、未知試料の混合前の溶液の画像が表示される。

Set Number: 5109 Х A В D E С F F+A F+B F+C F + D F+E G G+A G+B G+C G + D G+E H H+A H+B H+C H + D H+E 1 I + A I + B I+C I + D I+E J J+A J+B J+C J+D J+E K K + A K+B K+C K + D K+E L L+B L+D L+A L+C L+E M M + A M + B M + C M + D M + E N . N + A N + B N + C N + D N+E 0 O + A O + B 0 + C O + D 0 + E

MATRIX OF UNKNOWN REAGENTS

Countdown: 1h-59m-6s



- 4. 「同定する(Identify)」をクリックし、解答欄に同定した結果を数字で入力する。回答をオンラインで提出(Submit)すると、点数がすぐに確認できる。
- 5. メインページの手順 D にある「選択肢問題(Multiple- Choice Questions)」に回答する。次ページ以降の記載内容は、web サイトの内容を翻訳したものである。

Properties and Identification of Heavy Metal Ions

重金属イオンの性質と同定

Purpose of the Experiment 実験の目的

Background 実験の背景

Experimental Procedure 実験手順

A. Observation of Reactions Between Known Solutions 既知試薬溶液間の反応の観察

Matrix of Known Reagents 既知の試薬一覧

Observation Table Template 観察事項の表のテンプレート

B. Identification of a Set of Unknowns 未知試薬の組み合わせの同定

Start Quiz 試験を開始する

- C. Lab Report Form 実験報告書
- D. Multiple-Choice Questions 選択肢問題

Demonstration 操作説明の動画

Supplementary Materials 補助教材

Copyright 著作権

実験の目的

- 1. 重金属イオンと一般的な陰イオンの反応を観察する。
- 2. 重金属イオンの化学的性質について習得する。
- 3. 観察したことを記録し、化学反応式を正しく書く技術を養う。
- 4. 化学的な論理的思考力を鍛える。

実験の背景

科学研究者は、常に結果が未知である実験を行っているが、知識や経験、細かなことまで 見逃さない注意力をもちいて新たな発見へとつながる結論を導いている。一連の実験の目 的は、科学者がどのように物理量データを収集・整理し、論理的な結論までたどり着くの かについて、理解を助けることである。

この実験は、注意深く観察し、自分の知識を使っていくつかの未知のイオンを同定する方法を学ぶことができるように設計されている。最初に、一度に既知の溶液 2 つを混ぜ合わせ、結果を表にまとめる。その溶液の中のいくつかが「未知試料」としてランダムに割り当てられ、それらの同定を行う。データを表に整理する作業を通して、各試薬の反応性をまとめ、「既知試料」同士の反応性と「未知試料」同士の反応性を比較することができるだろう。

金属を重金属として分類するための標準的な定義は存在しない。ほとんどの重金属は大きな原子番号、原子量をもっており、密度は4.5gcm⁻³よりも大きい。重金属の性質は多様性に富むため、重金属やその化合物は常に材料科学や物理学、化学などの分野における重要な研究対象となってきた。しかし、多くの重金属元素とその化合物は有毒である。かつて

は重金属化合物に関する実験はごく小スケールで行われて、反応の結果はしばしば観測することが困難であったが、そのような配慮を施してもなお、生徒の健康や環境への潜在的な有害性があった。

ほとんどの重金属イオンには色がついており、重金属イオンの化学反応では、溶液にはっきりとした変化が見られる。この性質を利用し、化学反応による変化を観察することで、重金属イオンの化学的性質を可視化することができる。このオンライン実験の動画を見ることにより、生徒は生徒の健康にも環境にも悪影響を与えることなく、各反応における変化を明快に理解することができる。各生徒は自分ひとりでこの実験を行うこと。このオンライン実験は、生徒が異なる重金属イオンの様々な性質を学び記憶して、将来の研究や仕事における確固たる基礎を築く一助となる。

実験手順

A. 既知試薬溶液間の反応の観察

- 1. 表の端にある既知化合物の名前には、それぞれ静置した溶液の写真のリンクがある。
- 2. のアイコンをクリックすると、その行のイオンの溶液にその列の溶液が加えられる動画が表示される。各反応では、0.2 M の溶液が概ね同体積混合される。(水銀イオンの溶液は、他の溶液と比べて濃度が低い。)
- 3. あらかじめ用意した表に、観察した事項を記録すること。

	Ammoni a アンモニ ア NH ₃	Hydroxid e anion 水酸化物 イオン OH	Carbonat e anion 炭酸イオ ン CO ₃ ²⁻	Sulfate anion 硫酸イオ ン SO ₄ ²⁻	Sulfide anion 硫化物イ オン S ²⁻	Chloride anion 塩化物イ オン Cl	Bromide anion 臭化物イ オン Br	lodide anion ヨウ化物 イオン	
Chromium(III) cation クロム(III) イオン Cr³+	†	†	†	†	†	<u>†</u>	†	†	Chromium(III) cation クロム(III) イオン Cr³*
Manganese(II) cation マンガン(II) イオン Mn ²⁺	†	†	†	†	†	†	†	†	Manganese(II) cation マンガン(II) イオン Mn ²⁺
Iron(II) cation 鉄(II)イオン Fe ²⁺	†	†	†	†	†	ţ.	†	†	Iron(II) cation 鉄(II)イオン Fe ²⁺
Iron(II) cation 鉄(III)イオン Fe ³⁺	†	†	†	†	†	<u>†</u>	†	†	Iron(II) cation 鉄(III)イオン Fe ³⁺
Cobalt(III) cati on コバルト(II) イオン Co ²⁺	†	†	†	†	†	<u>†</u>	†	†	Cobalt(III) cati on コバルト(II) イオン Co ²⁺
Nickel(II) cati on ニッケル(II) イオン Ni ²⁺	†	†	†	†	ţ	ţ	†	†	Nickel(II) cati on ニッケル(II) イオン Ni ²⁺
Copper(II) cat ion 銅(II)イオン Cu ²⁺	†	†	†	†	<u>†</u>	<u>†</u>	†	†	Copper(II) cati on 銅(II)イオン Cu ²⁺
Zinc cation 亜鉛イオン Zn ²⁺	†	†	†	†	†	ţ	†	†	Zinc cation 亜鉛イオン Zn ²⁺
Strontium cat	†	†	†	†	ţ	ţ.	†	ţ	Strontium cati

ストロンチウ ム イオン Sr ²⁺									ストロンチウ ム イオン Sr ²⁺
Silver cation 銀イオン Ag ⁺	†	†	†	†	†	†	<u>†</u>	†	Silver cation 銀イオン Ag ⁺
Cadmium cati on カドミウム イオン Cd ²⁺	†	†	†	†	†	†	<u>†</u>	†	Cadmium cati on カドミウム イオン Cd ²⁺
Mercury(I) cat ion 水銀(I)イオン Hg ₂ ²⁺	†	†	†	†	†	†	<u>†</u>	†	Mercury(I) cat ion 水銀(I)イオン Hg ₂ ²⁺
Mercury(II) ca tion 水銀(II)イオン Hg ²⁺	†	†	†	†	†	†	ţ	†	Mercury(II) ca tion 水銀(II)イオン Hg ²⁺
Lead(II) catio n 鉛(II)イオン Pb ²⁺	†	†	†	†	ţ	†	<u></u>	ţ.	Lead(II) catio n 鉛(II)イオン Pb ²⁺
	Ammonia アンモニ ア NH ₃	Hydroxid e anion 水酸化物 イオン OH	Carbonat e anion 炭酸イオ ン CO ₃ ²⁻	Sulfate anion 硫酸イオ ン SO ₄ ²⁻	Sulfide anion 硫化物イ オン S ²⁻	Chloride anion 塩化物イ オン Cl-	Bromide anion 臭化物イ オン Br	lodide anion ヨウ化物 イオン	

B. 未知試料の同定

1. A4 の紙全体に観察事項の表(表 1)を印刷、または手書きで書き写す。各観察事項を記録するために十分なスペースを確保しておくこと。

2. 記録としては、色の変化、泡の発生、沈殿の生成などを記し、明確かつ簡潔に行う。 色の変化と沈殿生成を区別すること。(すなわち、溶液が着色したのか不透明になったの かを区別すること。)

表1 既知の試薬に関する観察事項の表

		NH ₃	OH ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	S ²⁻	Cl ⁻	Br⁻	I-	
Ion	Color									
イオン	色									
Cr ³⁺										Cr³+
Mn ²⁺										Mn ²⁺
Fe ²⁺										Fe ²⁺
Fe ³⁺										Fe ³⁺
Co ²⁺										Co ²⁺
Ni ²⁺										Ni ²⁺
Cu ²⁺										Cu ²⁺
Zn ²⁺										Zn²+
Sr ²⁺										Sr ²⁺
Ag ⁺										$Ag^{\scriptscriptstyle{+}}$
Cd ²⁺										Cd ²⁺
Hg ₂ ²⁺										Hg ₂ ²⁺
Hg ²⁺										Hg ²⁺
Pb ²⁺										Pb ²⁺
		NH ₃	OH⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	S ²⁻	CI ⁻	Br ⁻	I_	

表 2 未知の試料に関する観察事項の表

		Α	В	С	D	E	
Ion イオン	Color 色						
F							F
G							G
Н							Н
I							I
J							J
K							K
L							L
М							М
N							N
0							0
		Α	В	С	D	E	

C. 実験報告書

- 1. 未知試料の組み合わせの番号を実験ノートにすぐに記す。この番号を記していないと、試験監督は答案を採点することができない。
- 2. 表の端の行または列の文字をクリックすると、混合前の溶液の画像を見ることができる。表の内部のボタンをクリックすると、未知試料同士を混合させたときの反応を観察することができる。例えば、「F+A」のボタンを押すと、未知試料 Aがピペットを通じて試験管内の未知試料 F に加えられる様子が動画で再生される。

- 3. 「未知の試料に関する観察事項の表」を用意し、表に観察したことを記録する。
- 4. かならず 2 時間以内に答案を提出すること。2 時間以内に提出しなければ、試験の点数は 0 点となる。試験は 2 回しか受けることができない。(訳注:本準備問題におけるアカウントでは何回も試験を受けることが可能である。)

D. 選択肢問題

1.	次の陽イオンが S ²⁻	と反応した時、	他の陽イ	オンとは異れ	なる様式の	反応が起こ	るのはど
,							
n	か?						

- \square A) Fe³⁺
- \square B) Fe²⁺
- \square C) Zn^{2+}
- □ D) Ni²⁺

2. 次の陽イオンが I⁻と反応した時、他の陽イオンとは異なる様式の反応が起こるのはどれか?

- \square A) Pb²⁺
- \square B) Ag⁺
- \square C) Cu²⁺
- \square D) Hg²⁺

 $3. Zn^{2+}$ または Ag^+ の溶液に $NH_3 \cdot H_2O$ を加えると、速やかに沈殿が生成するのが観察される。そこに、さらにアンモニアを加えると、沈殿は徐々に溶解する。このような変化が起こる理由は、化学平衡が______シフトするためである。

- □ A) 酸塩基平衡から沈殿生成平衡に
- □ B) 沈殿生成平衡から錯形成平衡に

- □ C) 沈殿生成平衡から酸塩基平衡に
- □ D) 錯形成平衡から沈殿生成平衡に

4. ある溶液に、 Mg^{2+} と少量の Mn^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} が溶解している。 Mg^{2+} の存在を確認したい場合、ほかの 3 個の陽イオンに干渉されることなく Mg^{2+} の存在を確認することができる陰イオンはどれか?

- □ A) Br⁻
- □ B) I-
- □ C) SO₄²-
- \square D) S^{2-}
- 5. 工業的に用いられている硫酸銅(II)には、 Fe^{2+} や Fe^{3+} が不純物として含まれていることがある。このような硫酸銅(II)の純度を高めるためには、次のどの試薬を用いることができるか?
 - ☐ A) NaOH
 - □ B) NH₃
 - □ C) SO₄²-
 - □ D) Cl⁻

著作権

- 1. このオンライン実験は中国科学技術大学の無機化学実験コースのグループが設計したものであり、著作権は中国科学技術大学が保有している。
- 2. ご協力いただいた UW-Madison (ウィスコンシン大学マディソン校) 化学科の
 John W. Moore 教授と Chad C. Wilkinson 博士、Rachel L. Bain 博士に感謝の意を表する。
- 3. 題材となったの実験系は、J. Scott、D. Shaw、S. Mellon、C. Somers、S.
 Nurrenbern、J. March の 6 氏によって確立された。動画の一部は、J. Maynard、L.

Plank、K. W. Lam、A. Hellernbrand の 4 氏によって演出・撮影が行われた。著作権 © 2014 ウィスコンシン大学マディソン校化学科

• 4. 補助教材は以下より:

「ハウスクロフト無機化学」, アラン・シャープ, キャサリン・ハウスクロフト, アメリカ合衆国:ピアソン, 2012 年 3 月 31 日, (ISBN 978-0273742753)