

## 演示実験・生徒実験 いろいろな金属の反応性を調べよう

### 1 実験のねらい・留意点

- 前時までの実験結果と考察内容を踏襲した演示実験を行い、金属の反応性（還元力）の違いとイオン化傾向の概念を学習・定着させる。
- 生徒実験でイオン化傾向を調べる金属は、この後に学習する単元「電池」で扱われている金属を中心に選んでいる。（リチウムも扱いたいが、本実験方法では危険が伴うので除いた。）
- マイクロスケールに近い実験方法による生徒実験を通して、天然金属資源の有効利用や環境問題の観点から廃液の処理について生徒に考えさせたい。

### ■実験プリント例

#### 【演示実験】

##### [目的]

ある金属を別の金属イオンの水溶液に浸すことにより、2つの金属の反応性（水溶液中での「陽イオンへのなりやすさ」）を比較できることを確認する。

#### 【生徒実験】

##### [目的]

- (1)身の回りの金属（亜鉛、カルシウム、銀、鉄、銅、鉛）と水素について、陽イオンへのなりやすさ（反応性）の違いを調べ、その序列を決定する。
- (2)使用する試薬の量や種類が必要最小限になるように、実験計画をしっかりと立てて実験を行う。

### 2 展開例と指導上の留意点（工夫）

	学習内容	学習活動（★言語活動）	指導上の留意点（★言語活動を支援）
1 時 間 目	○演示実験  ○演示実験の結果のまとめ ○イオン化傾向	○次の組み合わせで見られる反応（見られない反応）を観察する。 ・ $A g^{+}aq + C a$ ・ $H^{+}aq + C u$ ・ $H^{+}aq + A g$ ・ $C a^{2+}aq + C u$ ・ $C u^{2+}aq + C a$  ★金属の組み合わせを変えてもイオン化の起こりやすさの序列は変わらないことまでを導きだし、文章で表現する。 ○イオン化傾向の概念を理解する。	*前時の実験の補充と次時の実験計画のための演示 ○塩酸に溶けない金属があることに気付かせる。 ○カルシウムと硫酸銅(II)水溶液との反応を通して、還元力が大きい金属は、水と反応することに気付かせる。 (必要なら、カルシウムと水の反応も見せる。) ○イオン化傾向とイオン化エネルギーの違いにも言及する。

	○実験計画の検討	☆反応を確かめる金属と水溶液の最小限の組み合わせ（10通り以内）と確かめる組み合わせの順番を班ごとに話し合いながら検討する。	★前時の生徒実験と本時の演示実験で決定したイオン化傾向の最大・最小の金属と比較することから始めることを助言する。
	▼下記の生徒実験を省略する場合は、「イオン化列」をまとめ、次の単元へ。		
2 時 間 目	○生徒実験	○金属と金属イオン水溶液の反応より、Ca、Zn、Fe、Pb、H、Cu、Agのイオン化傾向を序列づけする。 ・各班の実験計画に従って金属と水溶液の反応を確認する。 ・前時までの演示実験・生徒実験結果と本時の結果の情報を統合し、序列づけする。	○デイスポ反応板を用い、最小限の組み合わせで確認実験を行う意義を考えさせながら、実験を進めさせる。
	○結果の確認・考察	☆各班が得た情報を全体に発表する。 また、各班で不足している情報を適宜質疑応答により収集する。 ☆マイクロスケールの実験の意義について考え、文章にまとめる。	★班ごとに結果を発表させ、序列づけできなかったものを他の班の結果から補完させる。
	○イオン化列	○実験結果をもとにイオン化列の表をまとめる。	○酸化力をもつ酸との反応や、高温の反応については、無機化合物の単元で詳しく扱う。

### 3 準備（留意点）

- 生徒実験で使用する各水溶液は、あらかじめ点眼瓶に入れておく。（硝酸銀水溶液のみ褐色のスポイト瓶に入れておく。）水溶液のセットを班の数だけ用意する。
- 一般に硝酸塩の水溶液と鉄は反応しにくいので、酢酸鉛(II)水溶液を用いる。
- 演示実験は、CCDカメラ（またはデジタルカメラ）とプロジェクターを用いて提示するとよい。

#### ■実験プリント例

##### 【演示実験】

##### [準備]

##### (1) 試薬類

- 金属：カルシウム片、銅片
- 水溶液：0.1mol/L硝酸銀水溶液、0.1mol/L硫酸銅(II)水溶液、2mol/L塩酸

##### (2) 器具類

- 試験管（×3）、ピンセット

## 【生徒実験】

### [準備]

#### (1) 試薬類

○ 金属：亜鉛片（×6）、スチールウール（鉄）、鉛片（×6）

○ 水溶液：1mol/L塩酸、0.1mol/L硝酸カルシウム水溶液、0.1mol/L酢酸鉛(Ⅱ)水溶液、  
0.1mol/L硫酸亜鉛水溶液、0.1mol/L硫酸銅(Ⅱ)水溶液、0.1mol/L硝酸銀水溶液

#### (2) 器具類

ディスポ反応板（10穴）、ピンセット、ルーペ、点眼瓶（×5）、スポイト瓶（褐色）、  
色鉛筆、サンドペーパー

## 4 実験方法（留意点）

- 前時の生徒実験の結果・考察をもとに予想を立てさせてから演示する。
- 演示実験において、硫酸銅(Ⅱ)水溶液にカルシウム片を入れたとき〔方法〕(B)－(2)、銅の析出とともに発生する水素を捕集して、水素の検出実験を行ってもよい。
- 演示実験は、CCDカメラ（またはデジタルカメラ）とプロジェクターを用いて提示するとよい。
- 生徒実験において、鉛片（板）を光沢がでるまで磨かないと鉛を塩酸に入れたときの変化が分かりにくい。（ルーペを通して見ると、表面が少し白色に変化していることが確認できる。）

### ■実験プリント例

#### 【演示実験】

##### [方法]

(A) 生徒実験で行わなかった組み合わせでの反応の確認

(1) 試験管A 1に硝酸銀水溶液を入れ、さらにカルシウム片を入れる。

(2) 試験管A 2に塩酸を入れ、さらに銅片を入れる。

(3) 試験管A 1の溶液（上澄み液）を捨て、塩酸を加える。

(B) カルシウムと銅の組み合わせに関する追実験

(1) 試験管B 1に硝酸カルシウム水溶液を入れ、さらに銅片を入れる。

(2) 試験管B 2に硫酸銅(Ⅱ)水溶液を入れ、さらにカルシウム片を入れる。

## 【生徒実験】

### [実験計画]

亜鉛、カルシウム、銀、鉄、銅、鉛及び水素のイオン化傾向の序列を決定するために、用意されている金属（3種）と水溶液（6種）の組み合わせの中で、確かめなければならない最小限の組み合わせと調べる順番を考えよう！（最大10通りの組み合わせで結論が導けるように計画すること。）

\*これまでの実験結果でイオン化傾向の大小関係が分かっている金属を考慮しよう。

\*フローチャートで表現しておくのもよい。[方法]

1番目に調べる組み合わせ：

☆ 実験計画に従って、ディスポ反応板に金属をのせ、点眼瓶に入っている水溶液を滴下して変化のようすを観察する。

## 5 結果・考察等のまとめ（留意点）

- 演示実験において、カルシウムと硫酸銅(Ⅱ)水溶液との反応で銅の析出とともに見られる水素の発生の現象に注目させ、カルシウム等のイオン化傾向の大きな金属と水との反応に触れる。
- 生徒の実態に応じて、変化が見られない金属と水溶液の組み合わせに対して、可逆反応における正反応と逆反応の反応速度を用いた考え方を紹介し、金属の反応性の違いを説明するとよい。
- 生徒実験において、スチールウールと酢酸鉛(Ⅱ)水溶液の変化はほとんど観察されないので(わずかに鉄の表面を鉛が覆う)、鉄と鉛のイオン化傾向の大小関係については何らかの説明や演示を加える必要がある。

〈演示例1〉精製水と酢酸鉛(Ⅱ)水溶液に、それぞれスチールウールを入れて1日放置する。精製水中のスチールウールは多少酸化し水溶液が黄色に変化するが、酢酸鉛(Ⅱ)水溶液中のスチールウールは鉛に覆われているために水溶液の色が変化しない。

〈演示例2〉スチールウールと炭素棒を電極として酢酸鉛(Ⅱ)水溶液に浸して電極間の電流の向きを調べる。炭素電極からスチールウール電極に電流が流れる。ただし、時間の経過とともに電流値は小さくなる。炭素棒及びスチールウールが鉛で覆われるためと考えられる。(この演示は、[考察](1)をまとめる際に行うのも効果的である。)

\*鉛が水溶液中で安定であることや、鉛が不溶性の塩を生成しやすいことを印象づけることで「鉛蓄電池」の理解を促すものと考え、あえて鉛を生徒実験の中で扱うことにした。

■実験プリント例（ゴシック体は、生徒の記入例）

【演示実験】

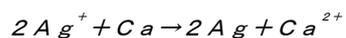
[結果] \*それぞれの結果を文章で表現しよう！

(変化が見られたものは、前回のようにイオン反応式で表してみよう。)

(A)

(1) 硝酸銀水溶液 ( $\text{Ag}^+\text{aq}$ ) + カルシウム片 ( $\text{Ca}$ )

(気体を発生しながら) カルシウム片が溶け、灰色の物質 (おそらく銀) が大量に析出した。



(2) 塩酸 ( $\text{H}^+\text{aq}$ ) + 銅片 ( $\text{Cu}$ )

変化が見られなかった。

(3) 塩酸 ( $\text{H}^+\text{aq}$ ) + \_\_\_\_\_ ( )

変化が見られなかった。

(B)

(1) 硝酸カルシウム水溶液 ( $\text{Ca}^{2+}\text{aq}$ ) + 銅片 ( $\text{Cu}$ )

変化が見られなかった。

(2) 硫酸銅(II)水溶液 ( $\text{Cu}^{2+}\text{aq}$ ) + カルシウム片 ( $\text{Ca}$ )

気体を発生しながら徐々にカルシウム片が溶け、赤色の物質 (おそらく銅) が析出した。

(発生した気体を上方置換で捕集して点火すると爆発した。)

[考察]

- (1) 前回の実験結果と今回の演示実験結果(A)-(1)と(B)-(2)から、カルシウムの陽イオンへのなりやすさを、銀、水素、銅と比較して説明しよう。

カルシウムは、銀イオン、水素イオン、銅(II)イオンいずれのイオンへも電子を与えてカルシウムイオンに変化したので、最も陽イオンになりやすい。

- (2) 考察(1)を踏まえ、演示実験結果(B)-(1)から言えることを説明しよう。

イオン化傾向が大きい金属の陽イオンの水溶液にイオン化傾向が小さい金属を浸しても、変化が見られない。

- (3) 考察(2)を踏まえ、前回の実験結果と演示実験結果(A)-(2)から、銅の陽イオンへのなりやすさを、カルシウム、銀、水素と比較して説明しよう。

銅は銀よりも陽イオンになりやすいが、カルシウムと水素よりも陽イオンになりにくい。

- (4) 考察(2)を踏まえ、前回の実験結果と演示実験結果(A)-(2)から、水素の陽イオンへのなりやすさを、カルシウム、銀、銅と比較して説明しよう。

水素は銅と銀よりも陽イオンになりやすいが、カルシウムよりも陽イオンになりにくい。

- (5) 以上のことから、カルシウム、銀、水素、銅の陽イオンへのなりやすさを序列づけるとともに、改めて、特定の組み合わせでその序列が変わらないことを確認しよう。

カルシウム、水素、銅、銀の順に陽イオンになりやすい。そして、どの組み合わせの反応においても序列は変わらなかった。

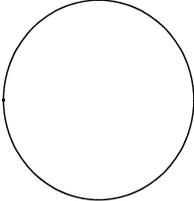
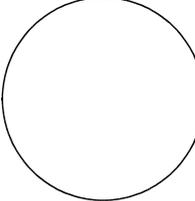
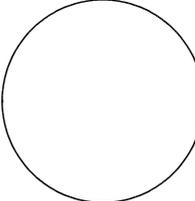
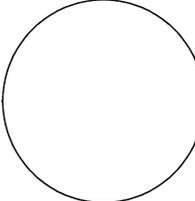
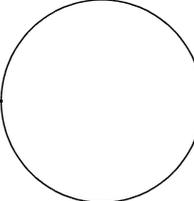
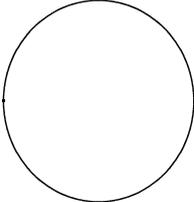
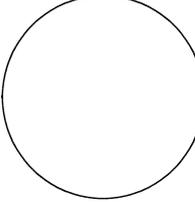
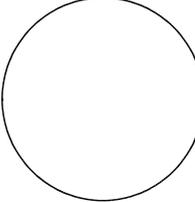
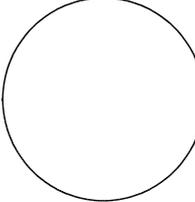
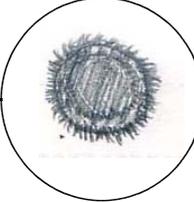
- (6) 硫酸銅(II)の水溶液にカルシウム片を入れたときに、銅とともに生成した気体は何だろうか。また、その気体の物質は、何が変化して生じたのかを考えてみよう。

発生した気体は水素である。硫酸銅(II)には水素が含まれていないので、水がカルシウムと反応して水素が発生したと考えられる。

【生徒実験】

[結果]

(1) 変化の様子をスケッチするとともに、気付いたことを書き込もう。そして、イオン化傾向の大小関係を結論づけよう。

<p>① <u>        </u> + <u>        </u> aq</p>  <p style="text-align: center;">結↓論 &gt;</p>	<p>② <u>        </u> + <u>        </u> aq</p>  <p style="text-align: center;">結↓論 &gt;</p>	<p>③ <u>        </u> + <u>        </u> aq</p>  <p style="text-align: center;">結↓論 &gt;</p>	<p>④ <u>        </u> + <u>        </u> aq</p>  <p style="text-align: center;">結↓論 &gt;</p>	<p>⑤ <u>        </u> + <u>        </u> aq</p>  <p style="text-align: center;">結↓論 &gt;</p>
<p>⑥ <u>        </u> + <u>        </u> aq</p>  <p style="text-align: center;">結↓論 &gt;</p>	<p>⑦ <u>        </u> + <u>        </u> aq</p>  <p style="text-align: center;">結↓論 &gt;</p>	<p>⑧ <u>        </u> + <u>        </u> aq</p>  <p style="text-align: center;">結↓論 &gt;</p>	<p>⑨ <u>        </u> + <u>        </u> aq</p>  <p style="text-align: center;">結↓論 &gt;</p>	<p>⑩ <math>Zn + Pb^{2+} aq</math></p>  <p style="text-align: center;">亜鉛の表面に黒い結晶が析出した。</p> <p style="text-align: center;">結↓論 <math>Zn &gt; Pb</math></p>

(2) 6種類の金属と水素のイオン化傾向の大小関係のうち、断定できたものをまとめよう。

(3) 大小関係が断定できなかった組み合わせ（不足していた情報）があれば書いておこう。

(4) 他の班の結果から、不足していた情報を補おう。

\_\_\_\_ 班の結果より、イオン化傾向は \_\_\_\_\_ > \_\_\_\_\_ の関係があることが分かった。  
また、

(5) 6種類の金属と水素を、イオン化傾向の大きい順に並べよう。

>	>	>	>	>	>
---	---	---	---	---	---

[考察]

(1) 簡単な道具を用いることにより、イオン化傾向が大きい金属からイオン化傾向が小さい金属へ電子が移動する過程を確認する方法はないだろうか。

(電子が移動することによって生じる物理的な日常現象を思い出そう。)

--

→ 次回授業でやってみます！

(2) 今回の実験方法（ディスポ反応板を使い、10通り以内の組み合わせという制約を設けたこと）のメリットを考え、文章でまとめよう。

- |  |
|--|
| <p>○使用する金属イオンの水溶液と金属片が少量ですんだので、経済的だと思う。</p> <p>○廃液の量を減らせたので、環境にやさしい実験になった。</p> <p>○反応しない金属を回収でき、再利用できる。</p> <p>○組み合わせを事前に考えることで、実験の目的がはっきりとした。(頭の体操にもなった。)</p> |
|--|

## 6 授業での留意点、生徒の感想等

(1) 実施して気付いた留意点

【生徒実験】

前回の生徒実験のまとめで、廃液の扱いや公害病の話をしてスモールスケールで行う実験をする意義を伝えてから実験に臨ませた。

実験計画として実験材料を考えさせること自体が初めての試みだったためか、生徒は自分たちで「金属と水溶液の組み合わせ」を選ぶことに最初は戸惑いがあったようだ。そこで、まずは個人で組み合わせを10通り選ばせた後、班に分かれてから決めさせたところ、従来になく積極的に話し合っていた。

試験管よりもディスポ反応板の方が観察がしやすそうで、いつもよりも丁寧に観察しスケッチしている生徒が多く見られた。また、必要のない組み合わせばかりを選んでしまう班があったので、そのような班には追加の実験させた。



ディスポ反応板上での  
反応の様子

(2) 生徒の感想

・あまり変化のないものもあったけれど、亜鉛は色々な試薬と反応したので、イオン化傾向が大き

いことがわかった。面白かった。

- ・同じ金属と水溶液同士は変化がなかったので、違うもの同士で実験すべきだった。
- ・イオン化傾向に沿って金属は反応することがわかった。「同じ物質が入っていないから」という理由で選んだけれど、それは間違いなんだと知ることができてよかった。
- ・ひとつひとつの細かい変化がよく見られました。イオン化傾向が実感できたと思います。他の組み合わせも知りたいです。
- ・塩酸を入れるとしゅわしゅわするという予想はついていたけれど、それ以外のものは意外なものが反応したりしなかったりで驚いた。
- ・変化があるときとないときの差が大きかった。特に亜鉛と酢酸鉛の変化がすごかった。

## 7 参 考

### ○ 生徒実験で鉄を入れた理由

「実験のねらい」で述べたとおり、生徒実験では、実用電池で利用されている金属を中心に選んでおり、その中で鉄は異質かもしれない。しかし、鉄は世界最古（紀元前3世紀）の電池と推測されている「バグダッド電池」（或いは「トラッパエ電池」とも呼ばれている）の電極に用いられている。銅の筒に何らかの電解液（酢や葡萄酒など）を入れ、鉄の棒を浸し、電流を生じさせたのではないかと考えられている。この電池を直列にいくつも接続し、金や銀のメッキに利用されていたという説もある。実験のまとめの際には、話題として触れるのもよい。

### ○ 生徒実験でリチウムを使わないもう一つの理由

「実験のねらい」の中で、危険性を理由にリチウムを扱わないと述べているが、もう一つの理由がある。それは、本単元で、リチウムとナトリウム・カリウムとのイオン化エネルギーの大小関係によるイオンへのなりやすさの関係と、イオン化傾向の大小関係の違いによる混乱を与えたくなかったからである。イオン化エネルギーは、金属蒸気（気体）が電子を放出して金属イオン蒸気に変化するときに必要なエネルギーであり、イオン化傾向は、金属の結晶（固体）が水溶液中で電子を放出して金属イオン水溶液に変化するときに必要なエネルギーの大小関係である。リチウムのイオン化エネルギーはナトリウムよりも大きくイオンになりにくい、ナトリウムよりもかなり水和しやすい（イオン化エネルギーと昇華熱の差も打ち消すくらいに水和エネルギーが大きい）ので、結果的にはリチウムの方がナトリウムよりもイオン化傾向が大きく、イオンの水溶液にはなりやすい。

無論、イオン化エネルギーとイオン化傾向の違いについては、生徒の実態に応じて最後には理解させなければならない。

### ○ ディスポ反応板を用いたマイクロスケール化学実験について

10枚で500円程度で市販されているが、反応板やウエルセルの代わりに「うずらの卵ケース」を利用した実験方法が富山県総合教育センターのホームページで紹介されている。環境教育の観点から、他にも適切な器具や方法が多く存在する。

また、スモールスケール化学実験の実践においては、荻野和子氏（東北大学医療短期大学部名誉教授）らが多くの報告をしており、その中には電池や電気分解の実験などの紹介もある。

### ○ 補足実験「2種類の金属間の電子の授受に伴うエネルギー変化」

#### (1) ねらい

スチールウールと硫酸銅(Ⅱ)水溶液の反応の際に発生する熱による系の温度上昇を確認する。次時に電池について学習する計画になっており、その際に酸化還元反応の前後の化学エネルギーの差が電気エネルギー等に変換されることをスムーズに理解させたいためである。

(2) 準備

- ①試薬類 スチールウール (0.5g程度)、0.5mol/L硫酸銅(Ⅱ)水溶液 (4mL程度)
- ②器具類 試験管、棒温度計、スタンド

(3) 方法

- ①硫酸銅(Ⅱ)水溶液の温度を測定する。
- ②温度計を洗った後、棒温度計の液球部をスチールウールで包み込み、温度を測定する。
- ③②の状態温度計とスチールウールを試験管の底まで押し込む。  
(写真)
- ④硫酸銅(Ⅱ)水溶液を③の試験管に注ぎ、温度変化を観測する。



実験装置

(4) 結果

- \*スチールウールがみるみる赤変するとともに、30秒ほどで10℃前後温度が上昇する。
- \*15分程度で、水溶液の色はほぼ無色になる。

(5) 考察 (発問例)

- ①温度変化から、反応前の鉄と銅(Ⅱ)イオンがもっていた化学エネルギーと反応後の鉄イオンと銅がもっている化学エネルギーではどちらが大きいのか。
- ②この反応で、鉄から銅へ電子が移動するとともにエネルギーを放出しているか、それとも吸収しているか。
- ③この酸化還元反応の際の化学エネルギーの変化を有効に活用することはできないか。

(6) 補足

この反応の際、少し時間が経過すると盛んに気体の発生が始まる。気体を調べると、主に水素が発生していることが分かる。おそらく鉄と水の反応によって発生したと考えられる。反応後の水溶液が褐色にならなかったのは、発生した水素の還元力により鉄(Ⅱ)イオンまでしか酸化されなかったからではないか。本来高温の水(水蒸気)としか反応しないとされているが、鉄と銅(Ⅱ)イオンとの反応で発生した反応熱によるのか、析出した銅や反応中間体が触媒として作用したためか、原因は判明できなかった。鉄板を用いて同様の実験を行うと、銅(Ⅱ)イオンとの反応もおだやかであり、気体の発生はわずかであった。興味・関心を抱いた生徒とともに、この反応のメカニズムを追究するのも面白いのではないか。

## 8 参考文献等

- 梅尾義之「新しい電池の科学」(講談社・ブルーバックス)
- 富山県総合教育センターホームページ・デジタル理科室  
「化学実験のスマールスケール化」<http://rika.el.tym.ed.jp/cms/>
- 荻野和子 化学と教育, 49, 348(2001)他
- 卜部吉庸 化学Ⅰ・Ⅱの新研究(三省堂)