# 高校化学 L01 第 61 講 金属のイオン化傾向とダニエル電池への入口

**この講でできるようになること**

- 金属のイオン化傾向を、電子を失って陽イオンになりやすい傾向として説明できる。
- イオン化傾向を用いて、金属と金属イオンの置換反応が起こるか判断できる。
- 金属と酸・水との反応を、金属の種類と反応条件を確認して判断できる。
- ダニエル電池で Zn の酸化と $Cu^{2+}$の還元が別の電極で起こり、電子が外部導線を Zn 側から Cu 側へ流れることを説明できる。

## 亜鉛を $Cu^{2+}$水溶液に入れると何が起こるか

### 表面に現れる銅は $Cu^{2+}$から生じる

室温で Zn 片を $CuSO_4$水溶液に入れた場合を考える。
反応初期には $Cu^{2+}$を含む青色の水溶液と灰銀色の Zn 片が見られる。反応が進むと、Zn 片の浸漬部に赤褐色〜暗褐色の Cu が付着し、水溶液の青色が薄くなる。
この変化は、Zn そのものが Cu へ変化したのではない。Zn は $Zn^{2+}$となり、$Cu^{2+}$が電子を受け取って Cu になる。

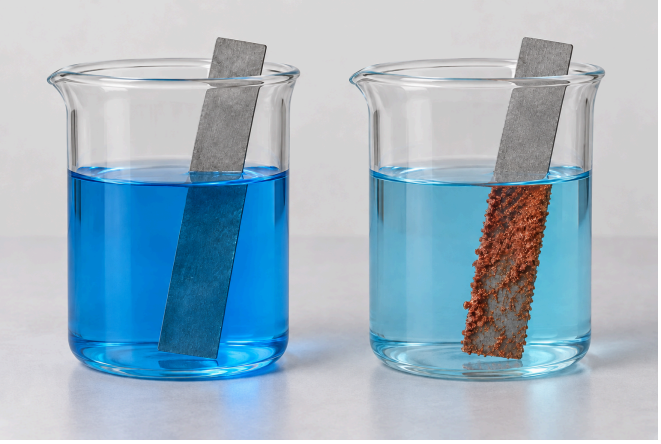


**図 1**　亜鉛と硫酸銅(II)水溶液の反応のイメージ。左：反応初期、右：反応が進んだ状態。

### 電子の授受で反応を見る

Zn の変化は$\mathrm{Zn} \rightarrow \mathrm{Zn}^{2+} + 2e^-$であり、Zn は電子を失って酸化される。
$Cu^{2+}$の変化は$\mathrm{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \mathrm{Cu}$であり、$Cu^{2+}$は電子を受け取って還元される。
2 つを合わせると、全体のイオン反応式は次のようになる。

$$\mathrm{Zn} + \mathrm{Cu}^{2+} \rightarrow \mathrm{Zn}^{2+} + \mathrm{Cu}$$

Zn が Cu より陽イオンになりやすいため、この向きの反応が起こる。

## 金属のイオン化傾向

**イオン化傾向**

水溶液中で、金属が電子を失って陽イオンになろうとする傾向を**イオン化傾向**という。
イオン化傾向が大きい金属ほど、電子を失って酸化されやすい。

©ミライコーチング

### 代表的な金属の順序

高校化学で用いる代表的な順序は次のとおりである。

| イオン化傾向 | 元素 |
|---|---|
| 大きい | K、Ca、Na |
| | Mg、Al |
| | Zn、Fe、Ni、Sn、Pb |
| 基準 | H |
| | Cu、Hg、Ag |
| 小さい | Pt、Au |

H は金属ではないが、金属と酸の反応を考えるための比較基準として並べる。
代表的な並びをまとめると、K > Ca > Na > Mg > Al > Zn > Fe > Ni > Sn > Pb > (H) > Cu > Hg > Ag > Pt > Au となる。

### イオン化傾向と反応速度は同じ意味ではない

イオン化傾向は、金属が電子を失って陽イオンになる傾向を表す。
実際の反応の速さは、温度や金属表面の状態などにも左右されるため、イオン化傾向の大小そのものを反応速度と同一視しない。

## 金属と金属イオンの置換反応

### より陽イオンになりやすい金属が電子を与える

金属 A を、別の金属 B のイオン $B^{n+}$を含む水溶液に入れる場合を考える。
A の方が B よりイオン化傾向が大きければ、A が電子を失って陽イオンになり、$B^{n+}$が電子を受け取って金属 B になる反応が起こりやすい。
Zn は Cu よりイオン化傾向が大きいため、$Zn + Cu^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Cu$という反応が起こる。
一方、Cu を $Zn^{2+}$を含む水溶液に入れても、Cu は Zn よりイオン化傾向が小さいため、$Cu + Zn^{2+} \rightarrow Cu^{2+} + Zn$という置換反応は通常起こらない。

## 金属と酸の反応

### H との位置を比べる

希塩酸や希硫酸のような非酸化性の酸との典型的な反応では、H よりイオン化傾向の大きい金属は $H^{+}$へ電子を与え、水素 $H_2$を生じる。
たとえば Zn では、次の反応が起こる。

$$Zn + 2H^{+} \rightarrow Zn^{2+} + H_2$$

Fe も H より上にあるため、希塩酸などと反応して $H_2$を生じる。
一方、Cu は H より下にあるので、希塩酸とは通常反応して $H_2$を発生しない。

# 金属と水の反応では条件も確認する

### イオン化傾向が大きければすべて常温水と反応するわけではない

金属と水の反応は、イオン化傾向だけでなく温度などの条件も確認する。

| 金属の例 | 水との典型的な反応条件 |
|---|---|
| Na、Ca | 常温の水と反応する |
| Mg | 熱水と反応する |
| Zn、Fe | 高温の水蒸気と反応する |

したがって、「イオン化傾向が H より大きい金属はすべて常温の水と反応する」と考えることはできない。
また、Na のように水との反応が非常に起こりやすい金属について、$Cu^{2+}$水溶液との反応を単純な金属置換だけで考えることはできない。

### 反応例は資料として扱う

本講の金属と水・酸・金属イオンの反応は、反応条件とイオン化傾向の関係を読み取るための資料として扱う。反応性の高い金属や薬品を用いる実験では、適切な設備と安全管理が必要である。

# 同じ Zn と $Cu^{2+}$の反応を離れた場所で起こす

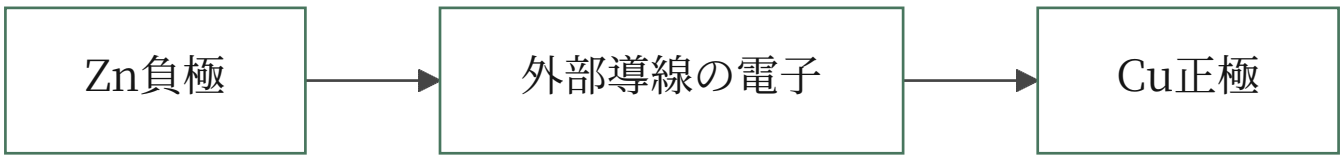
### 電子の移動を外部導線へ取り出す

Zn と $Cu^{2+}$を直接接触させる反応では、Zn が失った電子を $Cu^{2+}$が受け取る。
この酸化と還元を別々の場所で起こし、電子が外部導線を通って移動するようにしたものが電池の基本的な考え方である。
ダニエル電池では、Zn 電極を $ZnSO_4$水溶液に、Cu 電極を $CuSO_4$水溶液に入れる。
2 つの水溶液はイオンが移動できる仕切りなどでつなぎ、Zn 電極と Cu 電極は外部導線でつなぐ。

| 電極 | 起こる変化 | 反応 |
|---|---|---|
| Zn 負極 | Zn が電子を失う酸化 | $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$ |
| Cu 正極 | $Cu^{2+}$が電子を受け取る還元 | $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$ |

### 電子の流れの模式図

外部導線では、Zn 負極で生じた電子が Cu 正極へ移動する。




### Zn 側で酸化、Cu 側で還元が起こる

Zn 電極では、Zn が $Zn^{2+}$となって電子を放出するため酸化が起こる。
Cu 電極側では、Cu 金属が電子を放出するのではなく、$CuSO_4$水溶液中の $Cu^{2+}$が外部導線から電子を受け取って Cu として析出する。
電子は外部導線を **Zn 負極から Cu 正極へ**流れる。
両電極で起こる変化を合わせると、全体として$Zn + Cu^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Cu$となり、Zn 片を $Cu^{2+}$水溶液へ直接入れた場合と同じ酸化還元反応を表す。

# 例題

**例題 1**

金属のイオン化傾向は Zn > Cu とする。Zn 片と $Cu^{2+}$を含む水溶液、および Cu 片と $Zn^{2+}$を含む水溶液について考える。

1. Zn 片を $Cu^{2+}$水溶液に入れたとき、置換反応が起こるか。起こる場合はイオン反応式を書き、理由を説明せよ。
2. Cu 片を $Zn^{2+}$水溶液に入れたとき、$Cu + Zn^{2+} \rightarrow Cu^{2+} + Zn$の向きの置換反応が通常起こるか。理由を説明せよ。

**解答・解説**

**1.**
置換反応は**起こる**。
Zn は Cu よりイオン化傾向が大きく、Zn の方が電子を失って陽イオンになりやすい。
Zn は$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$と酸化され、$Cu^{2+}$は$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$と還元される。
したがって、全体のイオン反応式は次のとおりである。

$$Zn + Cu^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Cu$$

**2.**
この向きの置換反応は**通常起こらない**。
Cu は Zn よりイオン化傾向が小さいので、Cu が電子を失って $Cu^{2+}$となり、$Zn^{2+}$へ電子を与えて Zn を生成する向きには進みにくい。
したがって、$Zn/Cu^{2+}$の場合と逆向きに単純な置換が起こるとは考えない。

**例題 2**

代表的なイオン化傾向を Na > Mg > Zn > Fe > (H) > Cu とする。酸については希塩酸のような非酸化性の酸を考える。また、水との典型的な反応条件として、Na は常温の水、Mg は熱水と反応するものとする。

1. Zn と Cu をそれぞれ希塩酸に入れた場合、$H_2$を生じるのはどちらか。理由も答えよ。
2. Na と Mg について、常温の水と熱水に対する典型的な反応の違いを答え、「イオン化傾向が大きい金属はすべて常温水と反応する」という説明が正しいか判断せよ。

**解答・解説**

**1.**
$H_2$を生じるのは **Zn** である。
Zn は H よりイオン化傾向が大きいため、電子を失って $Zn^{2+}$となり、$H^+$が電子を受け取って $H_2$になる。
一方、Cu は H よりイオン化傾向が小さいため、希塩酸から通常 $H_2$を発生しない。
**2.**
Na は**常温の水と反応する**代表的な金属である。
Mg は常温水とは反応しにくく、**熱水では反応する**代表例として扱う。
したがって、「イオン化傾向が大きい金属はすべて常温水と反応する」という説明は正しくない。
金属と水の反応では、金属の種類と温度条件を合わせて確認する必要がある。

**例題 3**

ダニエル電池では、Zn 電極を $ZnSO_4$水溶液に、Cu 電極を $CuSO_4$水溶液に入れる。2 つの水溶液はイオンが移動できる仕切りでつながれ、電極間は外部導線でつながれている。

1. Zn 負極と Cu 正極で起こる半反応式をそれぞれ書き、酸化・還元のどちらか答えよ。
2. 外部導線を流れる電子の向きを答え、Zn 側が負極、Cu 側が正極となる理由を電子の授受から説明せよ。

**解答・解説**

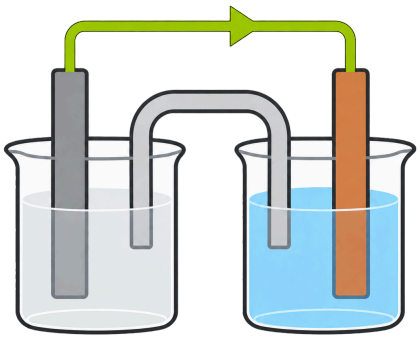


**図 3**　電子は外部導線を Zn 負極から Cu 正極へ流れる。

**1.**
Zn 負極では、$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$の反応が起こる。
Zn は電子を失っているので、Zn 負極では**酸化**が起こる。
Cu 正極では、$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$の反応が起こる。
$Cu^{2+}$は電子を受け取っているので、Cu 正極では**還元**が起こる。
**2.**
外部導線を流れる電子の向きは、**Zn 負極から Cu 正極へ**である。
Zn 側では Zn が電子を放出するため、外部回路へ電子を送り出す側となる。
Cu 側では $Cu^{2+}$がその電子を受け取って Cu として析出する。
したがって、電子を外部導線へ供給する Zn 側が負極、電子を受け取る反応が起こる Cu 側が正極となる。

## 演習問題

**演習 1**

金属のイオン化傾向を Mg > Zn > Cu とする。Zn 片を $Cu^{2+}$水溶液に入れる場合と、Cu 片を $Mg^{2+}$水溶液に入れる場合を考える。

1. Zn 片と $Cu^{2+}$の間で置換反応が起こるか。起こる場合はイオン反応式を書き、理由を説明せよ。
2. Cu 片と $Mg^{2+}$の間で$Cu + Mg^{2+} \rightarrow Cu^{2+} + Mg$の向きの反応が通常起こるか。イオン化傾向から説明せよ。

**演習 2**

金属 A、B、C について、次の観察が得られたものとする。
- A を $B^{2+}$水溶液に入れると B が析出した。
- B を $C^{2+}$水溶液に入れると C が析出した。
- いずれも単純な金属と金属イオンの置換反応として扱える条件である。

1. A、B、C のイオン化傾向を大きい順に並べよ。
2. C を $A^{2+}$水溶液に入れたとき、$C + A^{2+} \rightarrow C^{2+} + A$の向きの置換反応が起こると予想できるか。理由も答えよ。

**演習 3**

代表的なイオン化傾向を Zn > Fe > (H) > Cu とする。酸は希塩酸のような非酸化性の酸を考える。

1. Fe と Cu のうち、希塩酸と反応して $H_2$を生じる金属を答え、理由を説明せよ。
2.「Cu はどの酸とも反応しない」と結論してよいか。ここでの判断条件に注目して説明せよ。

**演習 4**

金属と水の典型的な反応条件として、Na は常温の水と反応し、Mg は熱水と反応し、Zn は高温の水蒸気と反応するものとする。

1. Na、Mg、Zn のうち、常温の水と反応するとこの条件から判断できる金属を答えよ。
2. Mg と Zn について、反応に必要な水の条件の違いを答え、「イオン化傾向の順序だけ見れば温度条件は不要である」という説明を訂正せよ。

**演習 5**

ダニエル電池では、Zn 電極を $ZnSO_4$水溶液に、Cu 電極を $CuSO_4$水溶液に入れ、両溶液をイオンが移動できる仕切りでつなぎ、電極間を外部導線でつなぐ。

1. Zn 電極と Cu 電極で起こる半反応式を書き、それぞれ酸化・還元のどちらか答えよ。
2. 外部導線を流れる電子の向きと、電池全体のイオン反応式を答えよ。

**演習 6**

ダニエル電池について、ある生徒が「電池では両方の電極の金属が電子を出して水溶液中へ溶け、Zn 電極と Cu 電極の両方で金属イオンが増える」と説明した。この説明を、Zn 側と Cu 側で起こる電子の授受に注目して訂正せよ。

©ミライコーチング

# 演習問題の解答・解説

## 解答 1

### 1.

置換反応は**起こる**。
Zn は Cu よりイオン化傾向が大きいので、Zn が電子を失って $Zn^{2+}$となり、$Cu^{2+}$が電子を受け取って Cu になる。
全体のイオン反応式は次のとおりである。

$$Zn + Cu^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Cu$$

### 2.

この向きの置換反応は**通常起こらない**。
Cu は Mg よりイオン化傾向が小さいため、Cu が電子を失って $Cu^{2+}$となり、$Mg^{2+}$を Mg へ還元する向きには進みにくい。
したがって、与えられた条件では Cu によって $Mg^{2+}$から Mg が析出するとは判断しない。

## 解答 2

### 1.

A を $B^{2+}$水溶液に入れて B が析出したことから、A は B より電子を失って陽イオンになりやすい。
したがって、A のイオン化傾向は B より大きい。
同様に、B を $C^{2+}$水溶液に入れて C が析出したので、B のイオン化傾向は C より大きい。
よって、イオン化傾向は **A** > **B** > **C** である。

### 2.

この向きの置換反応は**起こらないと予想できる**。
C は A よりイオン化傾向が小さいため、C が電子を失って $C^{2+}$となり、$A^{2+}$を A へ還元する向きには進みにくいからである。

## 解答 3

### 1.

$H_2$を生じるのは **Fe** である。
Fe は H よりイオン化傾向が大きいため、Fe が電子を失い、酸中の $H^+$が電子を受け取って $H_2$になる。
Cu は H よりイオン化傾向が小さいため、希塩酸から通常 $H_2$を発生しない。

### 2.

「Cu はどの酸とも反応しない」と一般化することはできない。
ここで用いた H との位置関係による判断は、**希塩酸や希硫酸のような非酸化性の酸**との典型的な反応についてのものである。
したがって、この結果からすべての酸との反応性まで決めることはできない。

## 解答 4

### 1.

与えられた条件で常温の水と反応すると判断できるのは **Na** である。
Mg は熱水、Zn は高温の水蒸気との反応が典型例として指定されている。

### 2.

Mg は**熱水**と反応し、Zn は**高温の水蒸気**と反応する典型例である。
したがって、金属と水の反応はイオン化傾向の順序だけではなく、温度や水の状態などの条件も合わせて判断する必要がある。
イオン化傾向が大きい側にあることだけから、すべての金属が常温水と同じように反応すると考えることはできない。

## 解答 5

### 1.

Zn 電極では、$\mathrm{Zn} \rightarrow \mathrm{Zn}^{2+} + 2e^-$が起こり、Zn は電子を失うので**酸化**である。
Cu 電極では、$\mathrm{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \mathrm{Cu}$が起こり、$\mathrm{Cu}^{2+}$が電子を受け取るので**還元**である。

### 2.

外部導線を流れる電子の向きは、**Zn 電極から Cu 電極へ**である。
2 つの半反応式を加えると電子 2 個が消え、電池全体のイオン反応式は次のようになる。

$$\mathrm{Zn} + \mathrm{Cu}^{2+} \rightarrow \mathrm{Zn}^{2+} + \mathrm{Cu}$$

## 解答 6

その説明は正しくない。
Zn 電極では、Zn が$\mathrm{Zn} \rightarrow \mathrm{Zn}^{2+} + 2e^-$と変化し、電子を放出して $\mathrm{Zn}^{2+}$となる。そのため Zn 側では金属 Zn が酸化される。
一方、Cu 電極では Cu 金属が電子を出して $\mathrm{Cu}^{2+}$になるのではない。
$\mathrm{CuSO_4}$水溶液中の $\mathrm{Cu}^{2+}$が、外部導線を Zn 側から流れてきた電子を受け取り、$\mathrm{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \mathrm{Cu}$によって金属 Cu として析出する。
したがって、ダニエル電池では Zn 側で酸化、Cu 側で還元が起こり、両方の電極で金属が溶けて金属イオンが増えるわけではない。