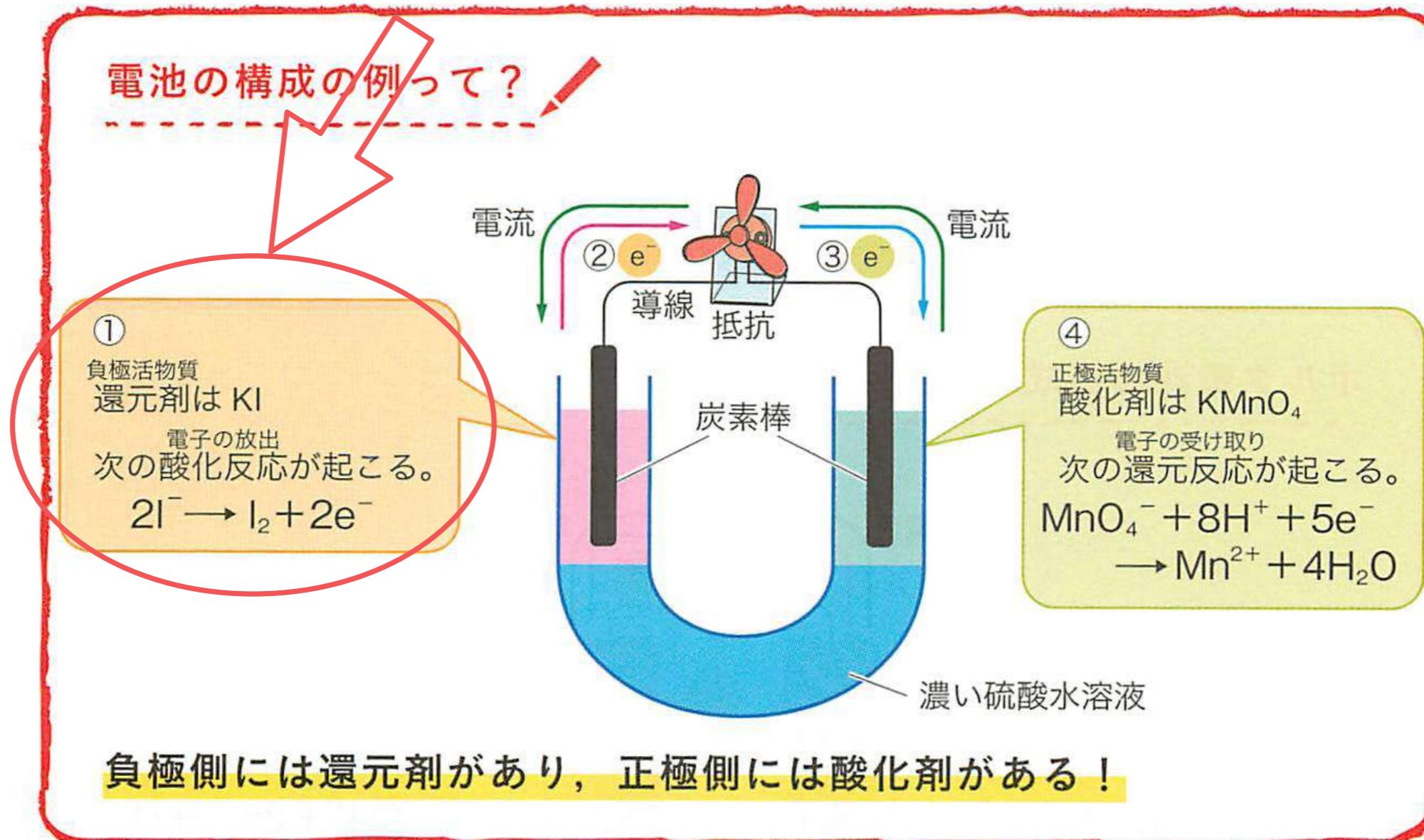


# 5-1 燃料電池

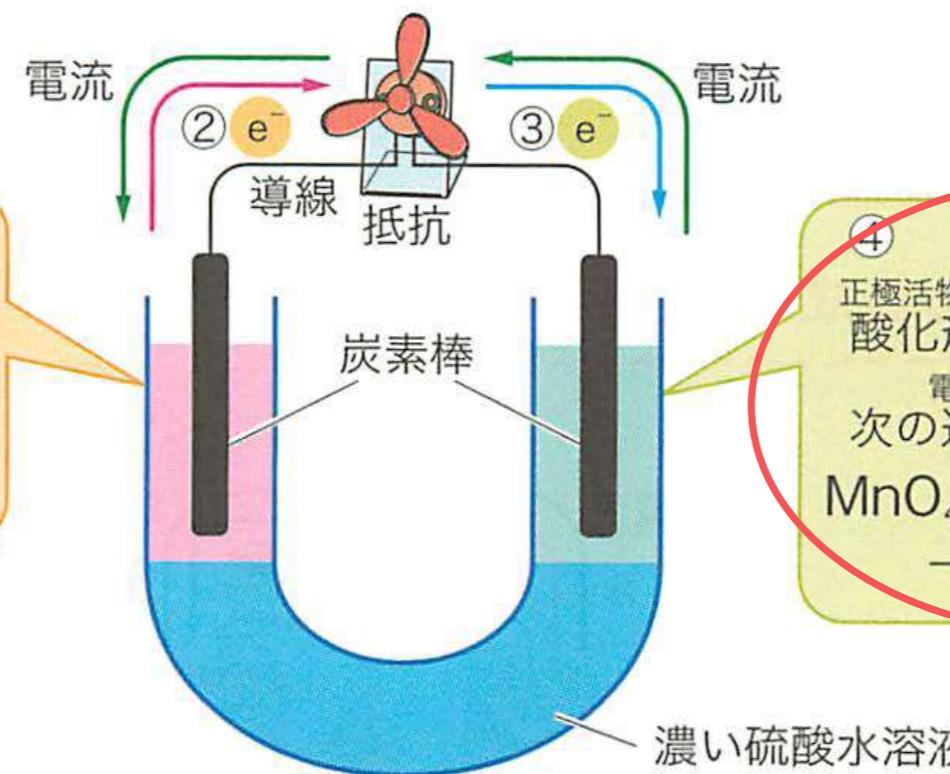
# 還元剤



電池の構成の例って？

酸化剤

- ① 負極活物質  
還元剤は KI  
電子の放出  
次の酸化反応が起こる。  
 $2I^- \rightarrow I_2 + 2e^-$

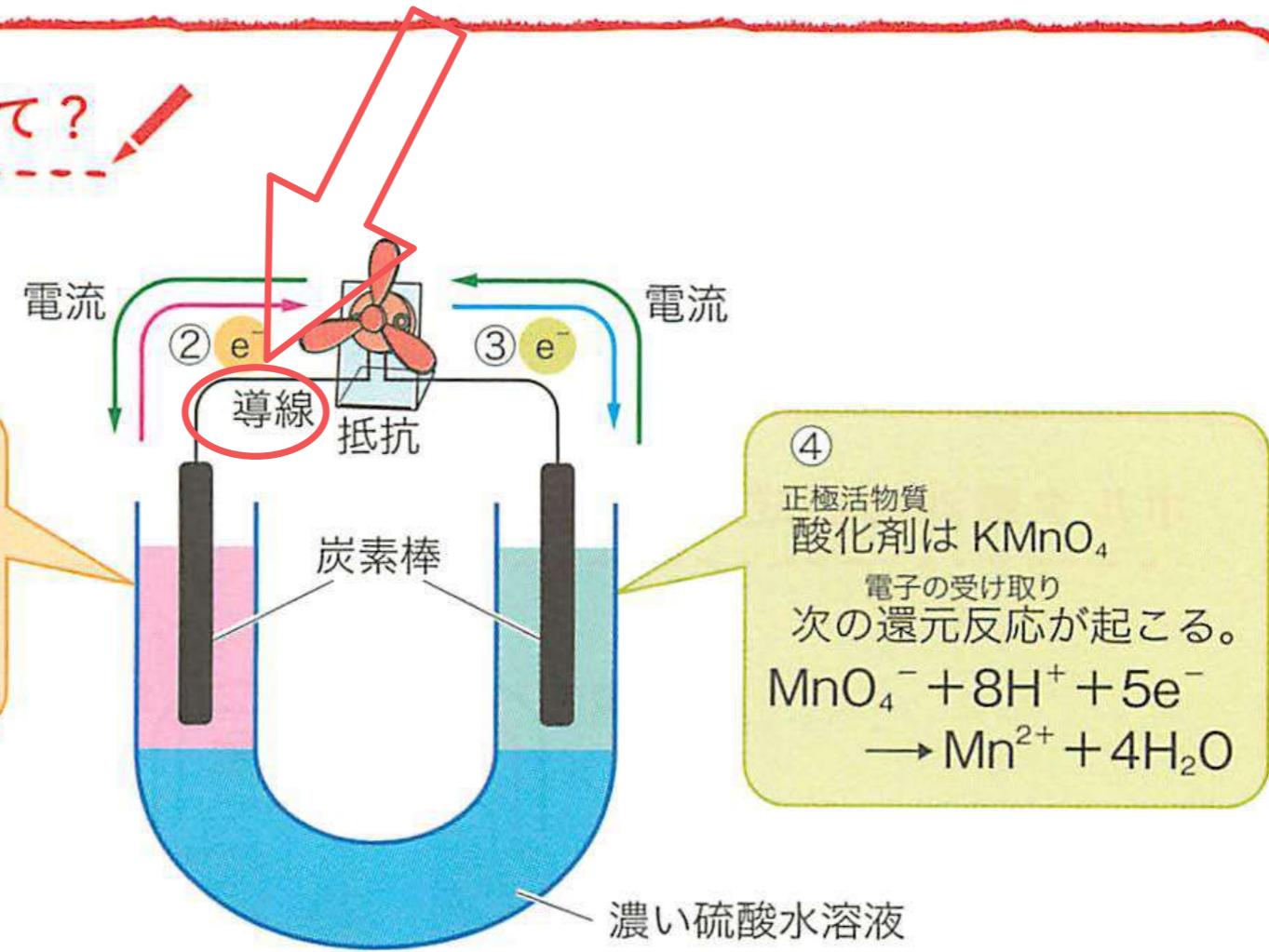


- ④ 正極活物質  
酸化剤は  $KMnO_4$   
電子の受け取り  
次の還元反応が起こる。  
 $MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$

負極側には還元剤があり、正極側には酸化剤がある！

## 導線

電池の構成の例って？



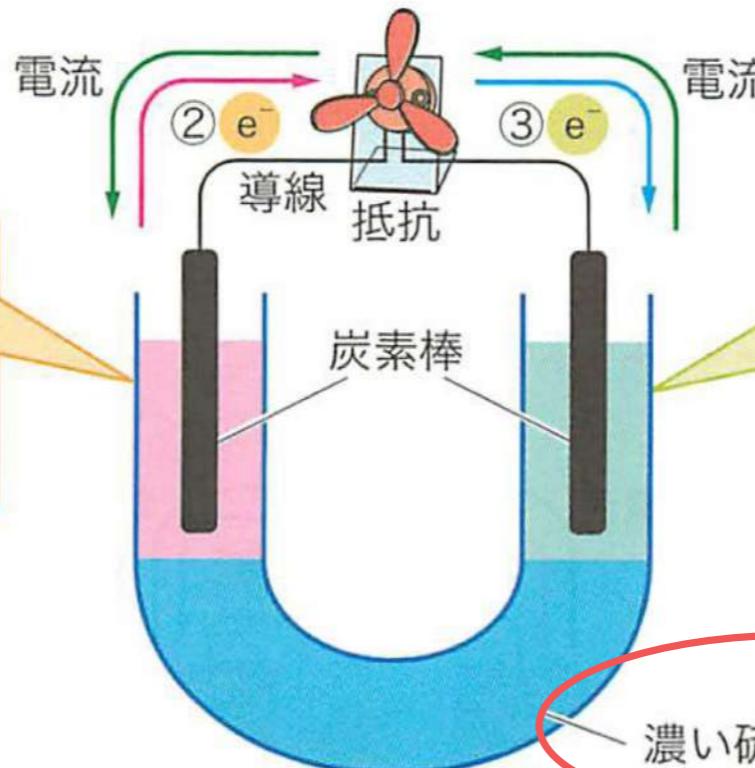
①  
負極活物質  
還元剤は KI  
電子の放出  
次の酸化反応が起こる。  
 $2I^- \rightarrow I_2 + 2e^-$

④  
正極活物質  
酸化剤は KMnO<sub>4</sub>  
電子の受け取り  
次の還元反応が起こる。  
 $MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$

負極側には還元剤があり、正極側には酸化剤がある！

## 電池の構成の例って？

①  
負極活物質  
還元剤は KI  
電子の放出  
次の酸化反応が起こる。  
 $2I^- \rightarrow I_2 + 2e^-$



④  
正極活物質  
酸化剤は KMnO<sub>4</sub>  
電子の受け取り  
次の還元反応が起こる。  
 $MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$

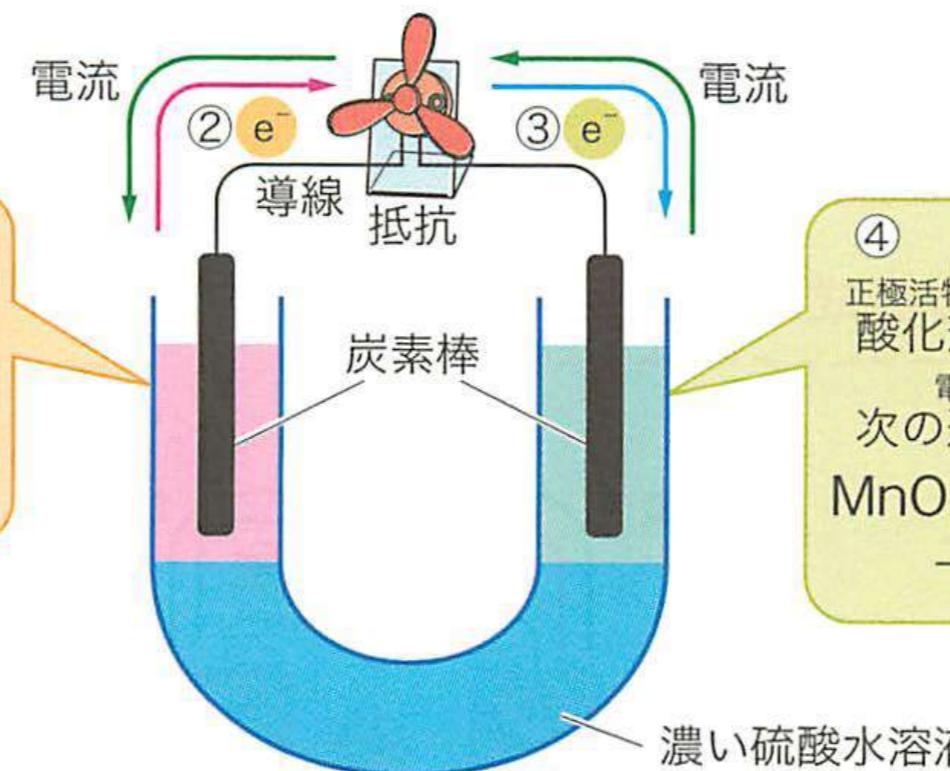
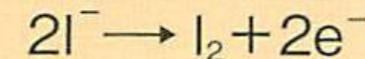
負極側には還元剤があり、正極側には酸化剤がある！

電解液

## 電池の構成の例って？

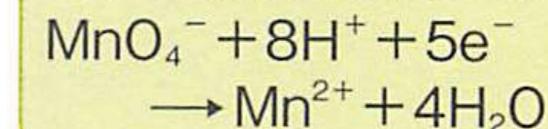
①  
負極活物質  
還元剤は KI

電子の放出  
次の酸化反応が起こる。



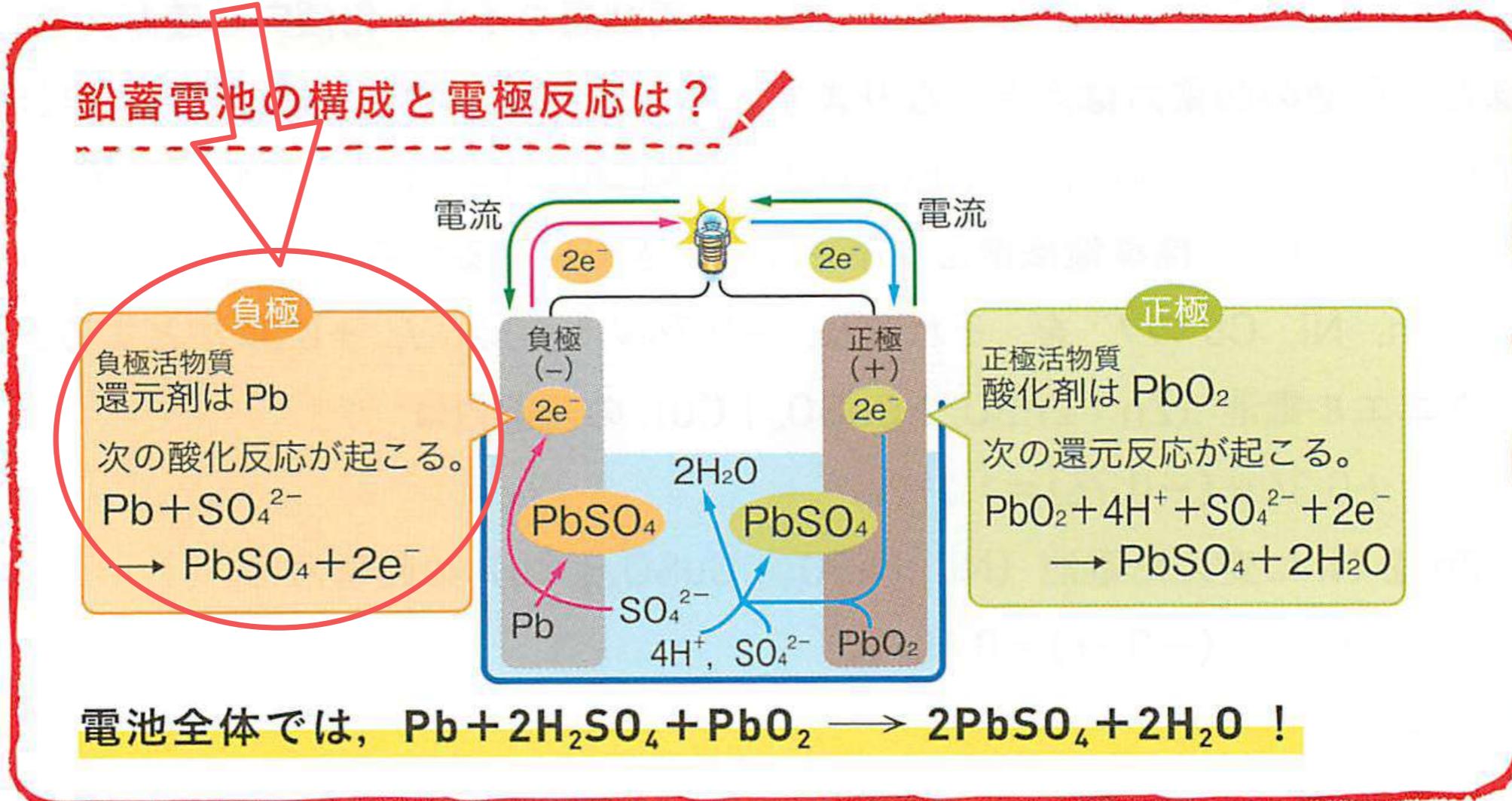
④  
正極活物質  
酸化剤は  $\text{KMnO}_4$

電子の受け取り  
次の還元反応が起こる。



負極側には還元剤があり、正極側には酸化剤がある！

# 還元剤



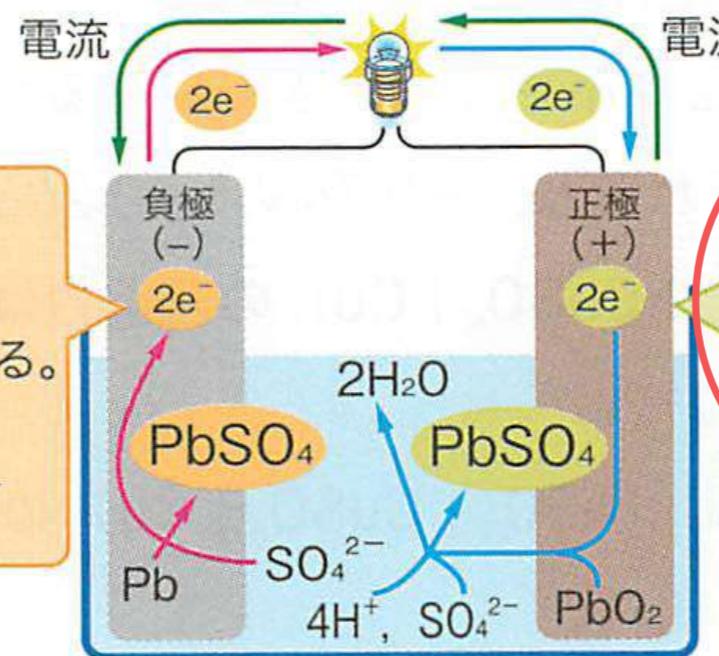
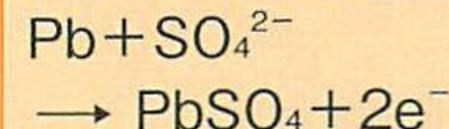
## 酸化剤

鉛蓄電池の構成と電極反応は？

### 負極

負極活物質  
還元剤は Pb

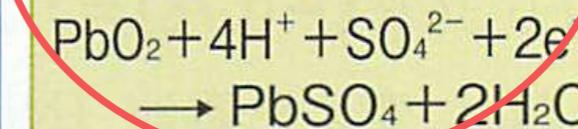
次の酸化反応が起こる。



### 正極

正極活物質  
酸化剤は  $\text{PbO}_2$

次の還元反応が起こる。



電池全体では、 $\text{Pb} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{PbO}_2 \rightarrow 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$  !

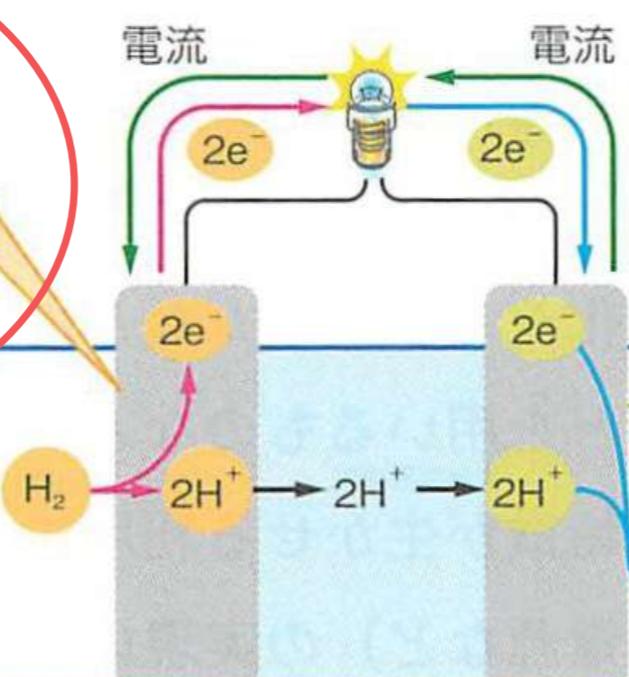
## 還元剤

リン酸型燃料電池の構成と電極反応は？

負極  
負極活物質  
還元剤は  $H_2$   
次の酸化反応が起こる。  
 $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

過剰の  $H_2$ ,  $H_2$   
過剰の  $H_2$

電流



正極  
正極活物質  
酸化剤は  $O_2$   
次の還元反応が起こる。  
 $\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$

$\frac{1}{2}O_2$ , 過剰の  $O_2$   
 $H_2O$ , 過剰の  $O_2$

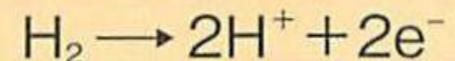
電池全体では,  $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$  !

## 酸化剤

リン酸型燃料電池の構成と電極反応は？

### 負極

負極活物質  
還元剤は  $H_2$   
次の酸化反応が起こる。



過剰の  $H_2$ ,  $H_2$  →

過剰の  $H_2$  ←

電流

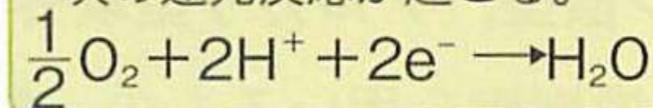
$2e^-$

電流

$2e^-$

### 正極

正極活物質  
酸化剤は  $O_2$   
次の還元反応が起こる。



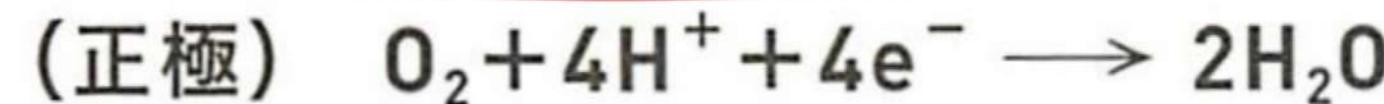
$\frac{1}{2}O_2$ , 過剰の  $O_2$  →

$H_2O$ , 過剰の  $O_2$  ←

電池全体では,  $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$  !

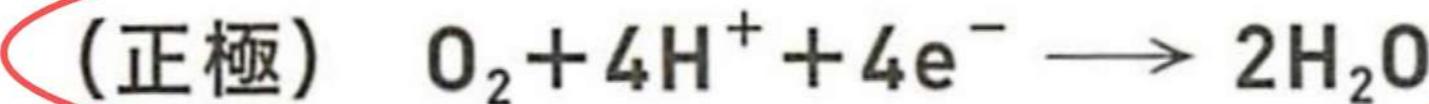
## 還元剤としての電子を含む式

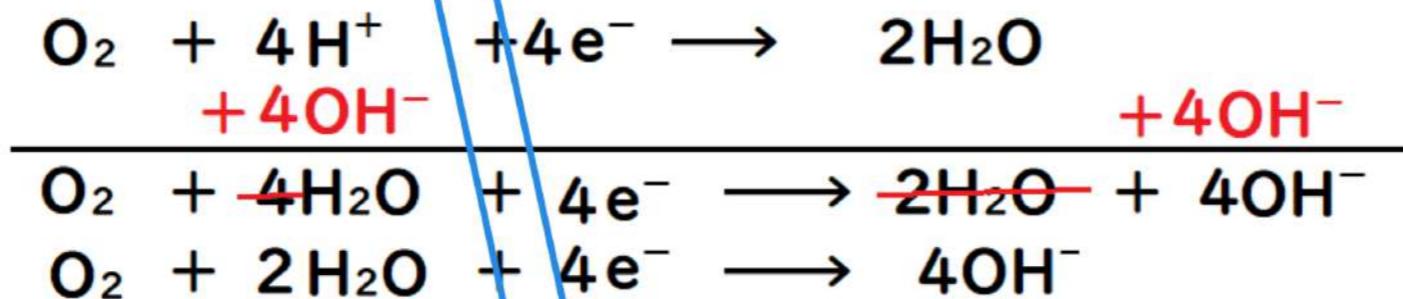
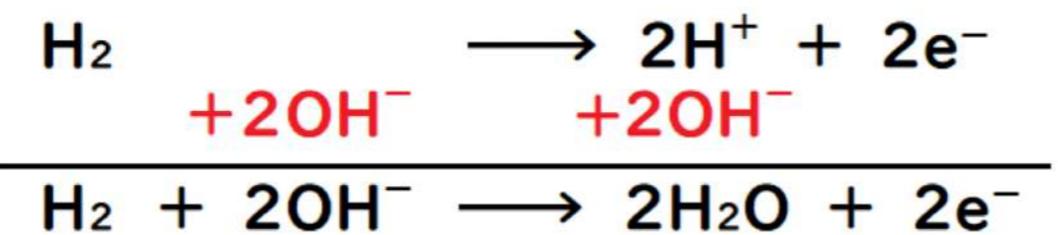
リン酸型燃料電池の電池式と各電極での反応は？



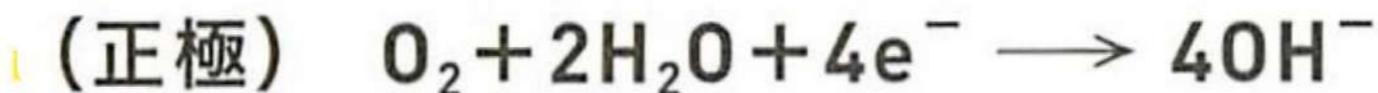
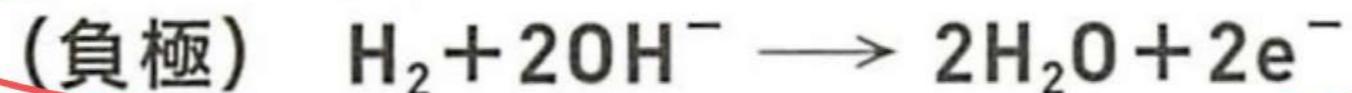
## 酸化剤としての電子を含む式

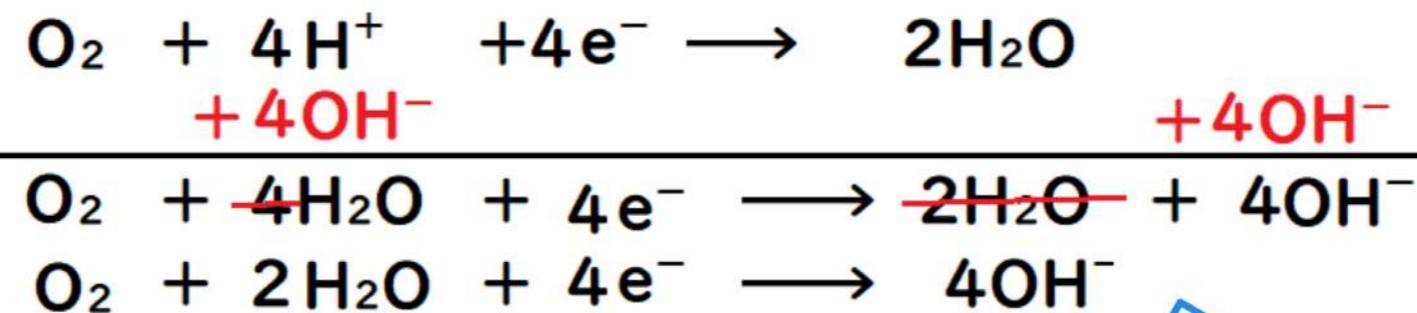
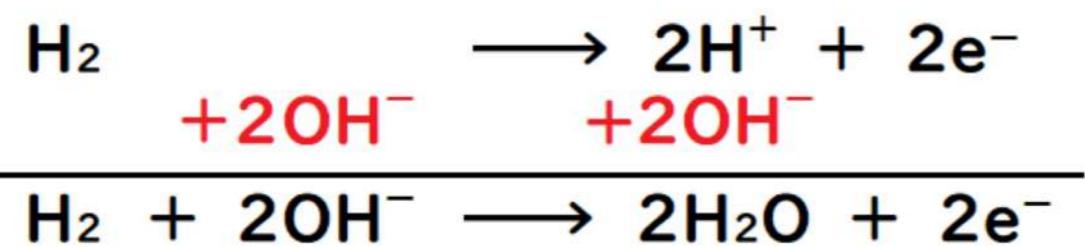
リン酸型燃料電池の電池式と各電極での反応は？



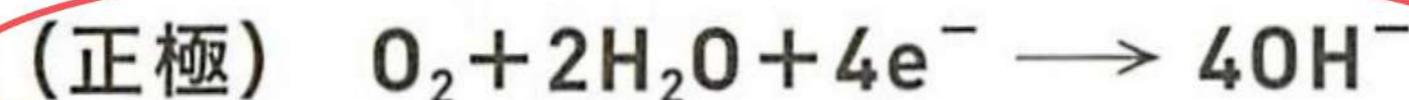
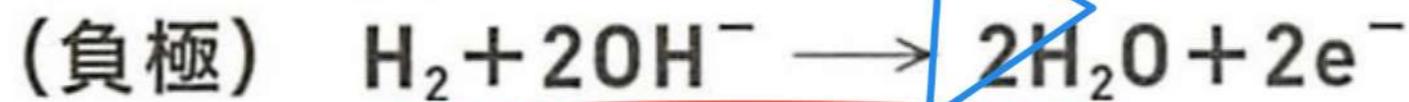


アルカリ型燃料電池の電池式と各電極での反応は？

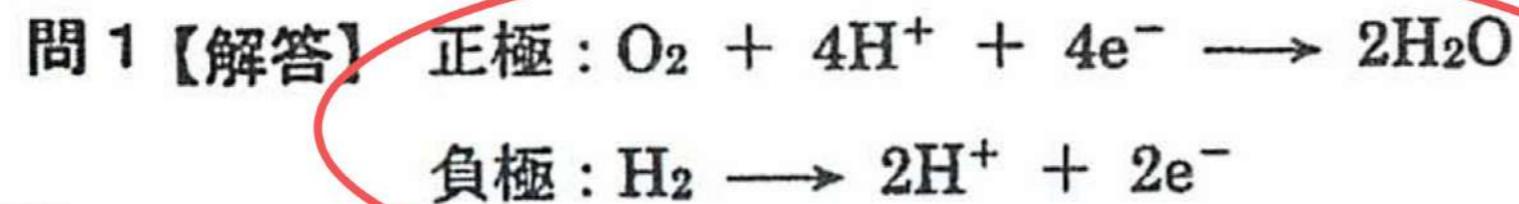




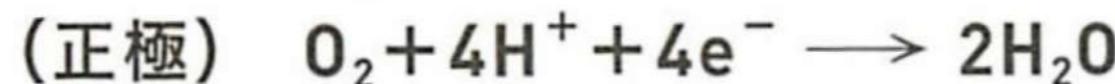
アルカリ型燃料電池の電池式と各電極での反応は？



## 5 – 1 燃料電池



リン酸型燃料電池の電池式と各電極での反応は？



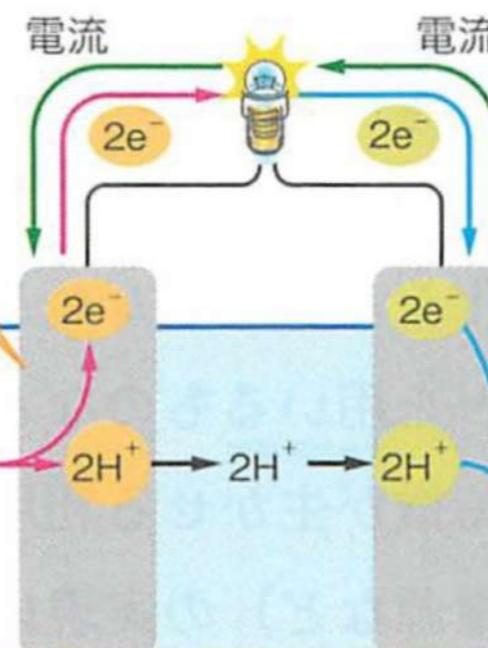
## 問2【解答】 A…還元

B…酸化

リン酸型燃料電池の構成と電極反応は？

負極  
負極活物質  
還元剤は  $H_2$   
次の酸化反応が起こる。  
 $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

過剰の  $H_2$ ,  $H_2$  →  
過剰の  $H_2$  ←



正極  
正極活物質  
酸化剤は  $O_2$   
次の還元反応が起こる。  
 $\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$

$\frac{1}{2}O_2$ , 過剰の  $O_2$  ←  
O ←  
 $H_2O$ , 剰の  $O_2$  ←

電池全体では、  $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$  !

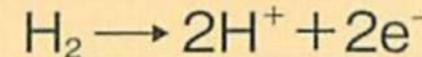
## 問2【解答】 A…還元

B…酸化

リン酸型燃料電池の構成と電極反応は？

負極

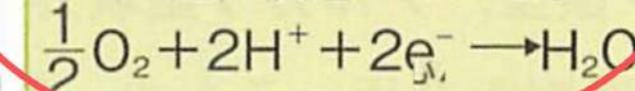
負極活物質  
還元剤は  $H_2$   
次の酸化反応が起こる。



電流

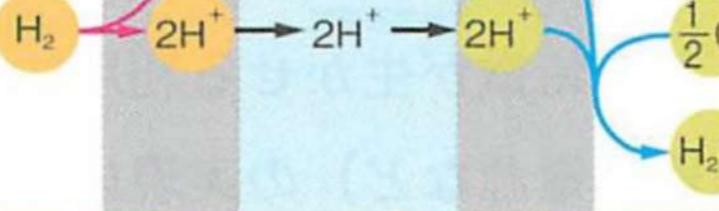
正極

正極活物質  
酸化剤は  $O_2$   
次の還元反応が起こる。



過剰の  $H_2$ ,  $H_2$

過剰の  $H_2$



$\frac{1}{2}O_2$ , 過剰の  $O_2$

O

$H_2O$ , 過剰の  $O_2$

電池全体では,  $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$  !

問3【解説】

流れた電気量は、

$$9.65 \times 10^4 \times 2.0 = 1.93 \times 10^5 \text{ (C)}$$

問3【解答】  $1.9 \times 10^5 \text{ C}$

1.0mol の  $\text{H}_2$  が消費されると、2.0mol の電子が生じる。



水素ー酸素燃料電池は、環境に優しい。

反応生成物は水だけで、有害な排出物が少ない

二酸化炭素の排出がないなど

エネルギー効率がよい。

化学エネルギーを、直接、電気エネルギーへと変換する

#### 問4【解説】

—水素の燃焼による発熱量(熱エネルギー)――

—燃料電池から供給された電気エネルギー――

—エネルギー変換効率は、――

問4【解答】 61%

水素－酸素燃料電池は、環境に優しい。

反応生成物は水だけで、有害な排出物が少ない

二酸化炭素の排出がないなど

エネルギー効率がよい。

化学エネルギーを、直接、電気エネルギーへと変換する

#### 問4【解説】

――水素の燃焼による発熱量(熱エネルギー)――

――燃料電池から供給された電気エネルギー――

――エネルギー変換効率は、――

問4【解答】 61%

水素ー酸素燃料電池は、環境に優しい。

反応生成物は水だけで、有害な排出物が少ない  
二酸化炭素の排出がないなど

エネルギー効率がよい。

化学エネルギーを、直接、電気エネルギーへと変換する

#### 問4【解説】

水素の燃焼による発熱量(熱エネルギー)――

燃料電池から供給された電気エネルギー――

エネルギー変換効率は、――

問4【解答】 61%

エネルギー効率がよい。

化学エネルギーを、直接、電気エネルギーへと変換する

#### 問4【解説】

水素の燃焼による発熱量(熱エネルギー)――

**286×10<sup>3</sup> J (水素1molあたり)**

燃料電池から供給された電気エネルギー――

エネルギー変換効率は、――

問4【解答】 61%

流れた電気量は、

$$9.65 \times 10^4 \times 2.0 = 1.93 \times 10^5 \approx 1.9 \times 10^5 \text{ (C)}$$

#### 問4【解説】

水素の燃焼による発熱量(熱エネルギー)

$$286 \times 10^3 \text{ J} \text{ (水素1molあたり)}$$

燃料電池から供給された電気エネルギー

$$J=V \cdot C \text{ より、 } 0.90 \times 1.93 \times 10^5 \text{ J} \text{ (水素1molあたり)}$$

エネルギー変換効率は、

問4【解答】 61%

エネルギー効率がよい。

化学エネルギーを、直接、電気エネルギーへと変換する

#### 問4【解説】

水素の燃焼による発熱量(熱エネルギー)

$$286 \times 10^3 \text{ J} \text{ (水素1molあたり)}$$

燃料電池から供給された電気エネルギー

$$J=V \cdot C \text{ より、 } 0.90 \times 1.93 \times 10^5 \text{ J} \text{ (水素1molあたり)}$$

エネルギー変換効率は、

$$\frac{0.90 \times 1.93 \times 10^5}{286 \times 10^3} \times 100 = 60.7\% \quad \text{問4【解答】 61\%}$$

### 燃料電池の詳細

【燃料電池とは?】 水素 - 酸素燃料電池の全体反応は,  $2\text{H}_2$



で, 水素の燃焼反応と同じです。すなわち, 同電池では, 水素の燃焼熱が電気エネルギーに変換されます。燃料電池とは, このように, 外部から, 水素などの燃料を負極に, 空気中の酸素などを正極に供給して, 燃料の燃焼反応のエネルギーを, 直接, 電気エネルギーとして取り出す装置のことです。

還元剤

燃料極

酸化剤

空気極

酸化還元反応の化学エネルギー

す。燃料の供給源は多様です。

燃料としてメタノール  $\text{CH}_3\text{OH}$  を使う燃料電池も開発されています。こ

メタノール

れには,  $\text{CH}_3\text{OH}$  を  $\text{H}_2$  に改質してから負極に供給するタイプと, DMFC  
direct methanol fuel cell  
(直接メタノール型燃料電池) といって,  $\text{CH}_3\text{OH}$  を直接負極に供給する (負極

の反応:  $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{還元剤}} \text{CO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$ ) タイプがあります。

### 問5【解説】

—  $\text{CH}_3\text{OH}$  が  $\text{CO}_2$  に変化する際の半電池反応式 は? —

問5【解答】  $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$  —

### 燃料電池の詳細

【燃料電池とは?】 水素 - 酸素燃料電池の全体反応は、 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$  で、水素の燃焼反応と同じです。すなわち、同電池では、水素の燃焼熱が電気エネルギーに変換されます。燃料電池とは、このように、外部から、水素などの燃料を負極に、還元剤 空気中の酸素などを正極に供給して、燃料極 酸化剤 空気極 燃料の燃焼反応のエネルギーを、直接、電気エネルギーとして取り出す装置のことです。燃料の供給源は多様です。

燃料としてメタノール  $\text{CH}_3\text{OH}$  を使う燃料電池も開発されています。こ

れには、 $\text{CH}_3\text{OH}$  を  $\text{H}_2$  に改質してから負極に供給するタイプと、DMFC  
direct methanol fuel cell (直接メタノール型燃料電池) といって、 $\text{CH}_3\text{OH}$  を直接負極に供給する (負極)

の反応： $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{還元剤}} \text{CO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$  タイプがあります。

### 問5【解説】

—  $\text{CH}_3\text{OH}$  が  $\text{CO}_2$  に変化する際の半電池反応式 は？ —

問5【解答】  $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$  —

### 燃料電池の詳細

【燃料電池とは?】 水素 - 酸素燃料電池の全体反応は、 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$  で、水素の燃焼反応と同じです。すなわち、同電池では、水素の燃焼熱が電気エネルギーに変換されます。燃料電池とは、このように、外部から、水素などの燃料を負極に、還元剤 空気中の酸素などを正極に供給して、酸化剤 燃料の燃焼反応のエネルギーを、直接、酸化還元反応の化学エネルギー 電気エネルギーとして取り出す装置のことです。燃料の供給源は多様です。

燃料としてメタノール  $\text{CH}_3\text{OH}$  を使う燃料電池も開発されています。こ

れには、 $\text{CH}_3\text{OH}$  を  $\text{H}_2$  に改質してから負極に供給するタイプと、DMFC  
(直接メタノール型燃料電池) といって、 $\text{CH}_3\text{OH}$  を直接負極に供給する (負極

の反応： $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{還元剤}} \text{CO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$  ) タイプがあります。

### 問5【解説】

$\text{CH}_3\text{OH}$  が  $\text{CO}_2$  に変化する際の半電池反応式は？

問5【解答】  $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$

問5【解説】

CH<sub>3</sub>OH が CO<sub>2</sub> に変化する際の半電池反応式 は？

問5【解答】 CH<sub>3</sub>OH + H<sub>2</sub>O → CO<sub>2</sub> + 6H<sup>+</sup> + 6e<sup>-</sup>

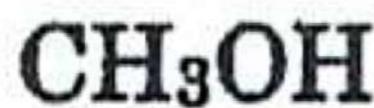


?

問5【解説】

CH<sub>3</sub>OH が CO<sub>2</sub>に変化する際の半電池反応式 は？

問5【解答】 CH<sub>3</sub>OH + H<sub>2</sub>O → CO<sub>2</sub> + 6H<sup>+</sup> + 6e<sup>-</sup>

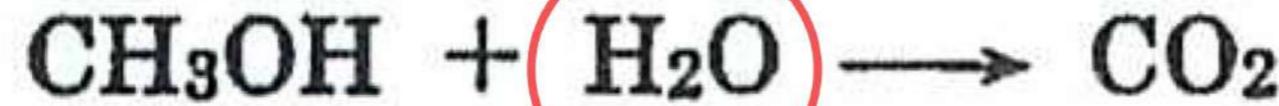


『燃料』 電池

問5【解説】

CH<sub>3</sub>OH が CO<sub>2</sub> に変化する際の半電池反応式 は？

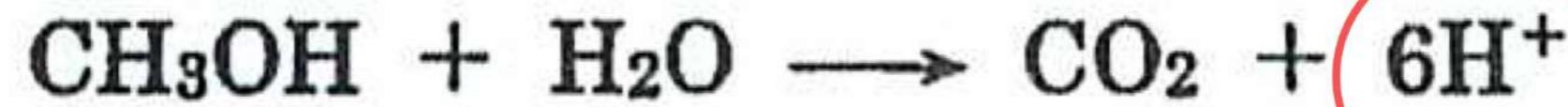
問5【解答】 CH<sub>3</sub>OH + H<sub>2</sub>O → CO<sub>2</sub> + 6H<sup>+</sup> + 6e<sup>-</sup>



問5【解説】

CH<sub>3</sub>OH が CO<sub>2</sub> に変化する際の半電池反応式 は？

問5【解答】 CH<sub>3</sub>OH + H<sub>2</sub>O → CO<sub>2</sub> + 6H<sup>+</sup> + 6e<sup>-</sup>



問5【解説】

CH<sub>3</sub>OH が CO<sub>2</sub> に変化する際の半電池反応式 は？

問5【解答】 CH<sub>3</sub>OH + H<sub>2</sub>O → CO<sub>2</sub> + 6H<sup>+</sup> + 6e<sup>-</sup>



問5【解説】

~~CH<sub>3</sub>OHがCO<sub>2</sub>に変化する際の半電池反応式は？~~



~~問5【解答】CH<sub>3</sub>OH + H<sub>2</sub>O → CO<sub>2</sub> + 6H<sup>+</sup> + 6e<sup>-</sup>~~



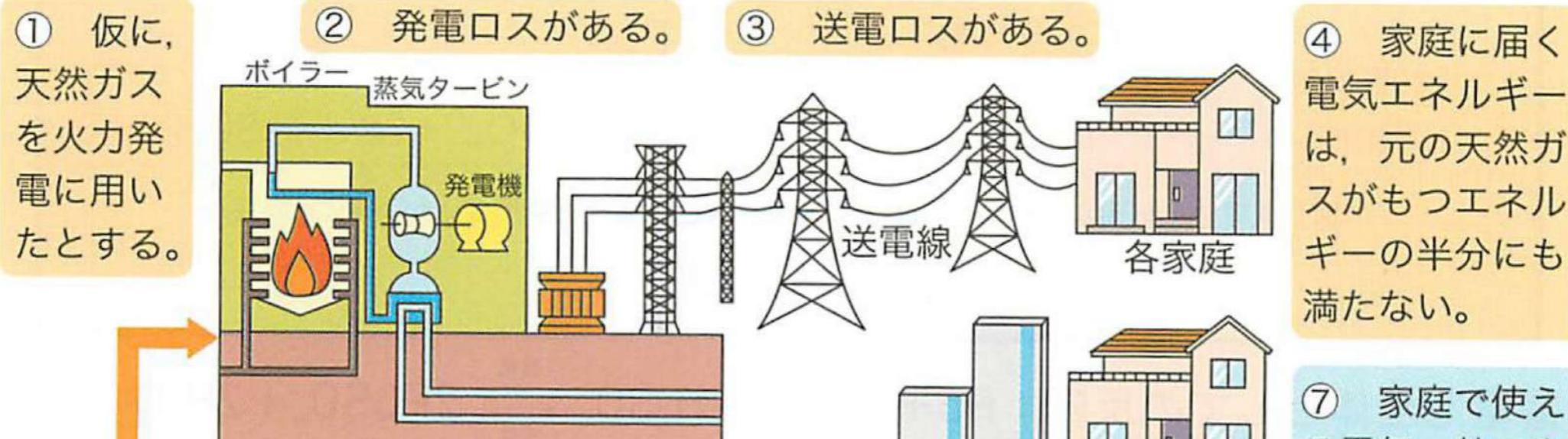
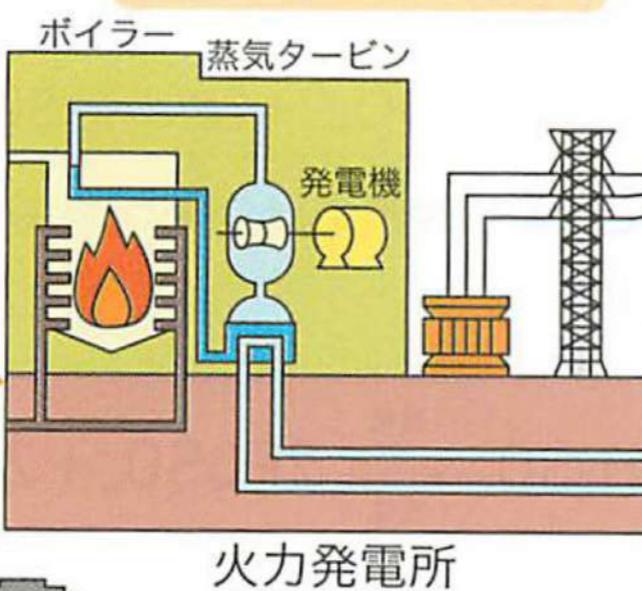
家庭用燃料電池では、一般に、燃料として天然ガスが使われます。ただ

し、天然ガスは  $H_2$  に変換されてから、負極に供給されます。

① 仮に、  
天然ガス  
を火力発  
電に用い  
たとする。



② 発電口スがある。



③ 送電口スがある。



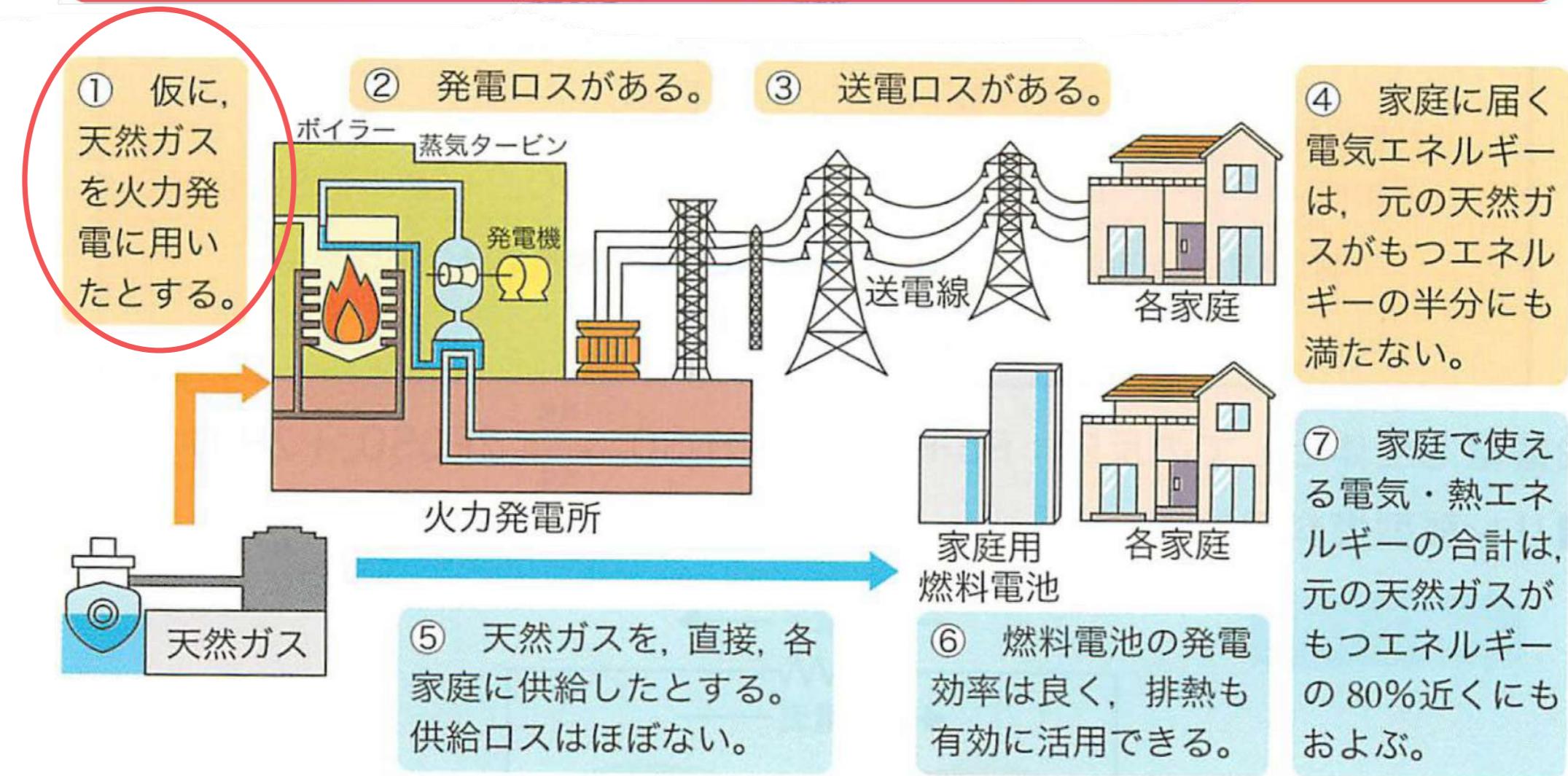
④ 家庭に届く  
電気エネルギー  
は、元の天然ガ  
スがもつエネル  
ギーの半分にも  
満たない。

⑤ 天然ガスを、直接、各  
家庭に供給したとする。  
供給口スはほぼない。

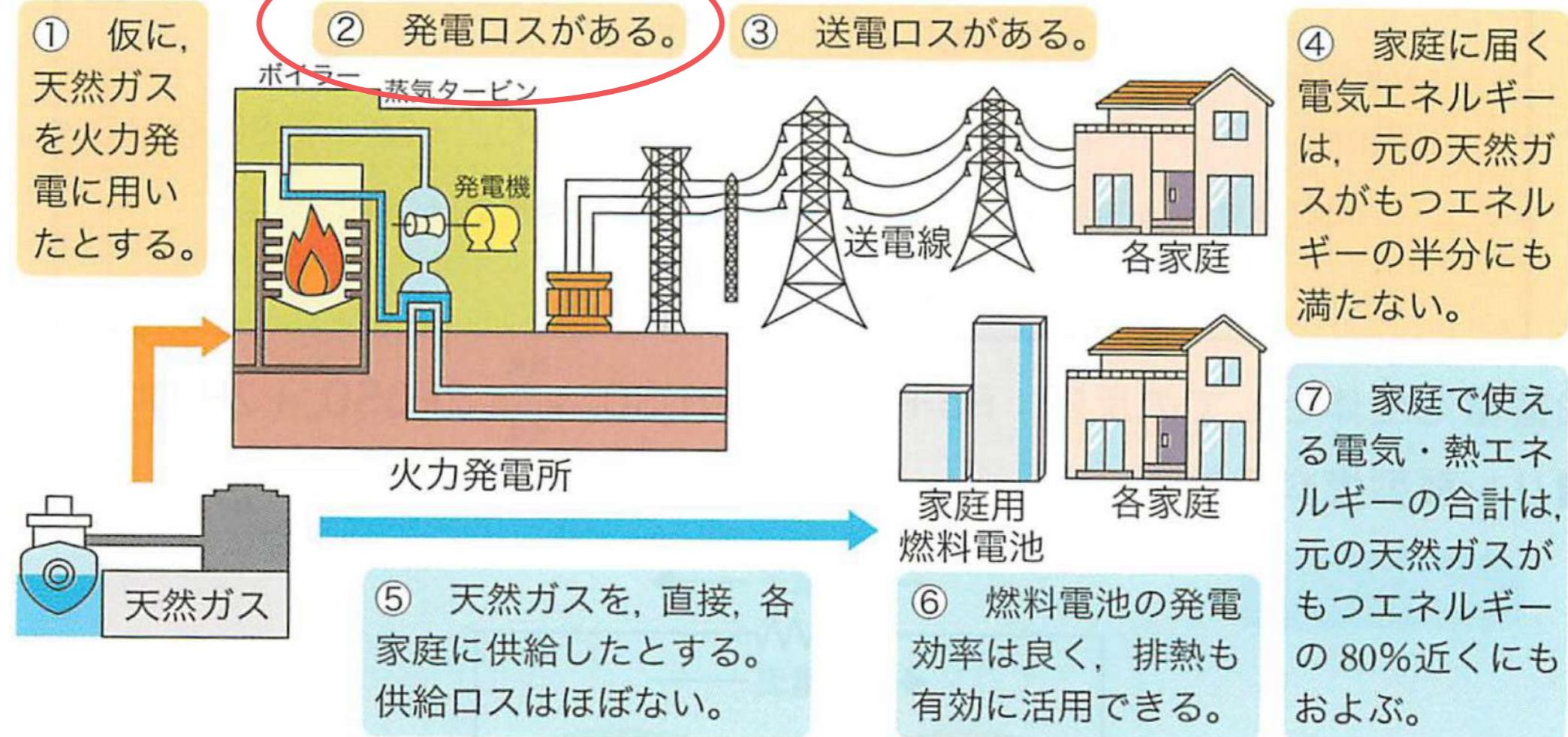
⑥ 燃料電池の発電  
効率は良く、排熱も  
有效地に活用できる。

⑦ 家庭で使え  
る電気・熱エネ  
ルギーの合計は、  
元の天然ガスが  
もつエネルギー  
の 80% 近くにも  
およぶ。

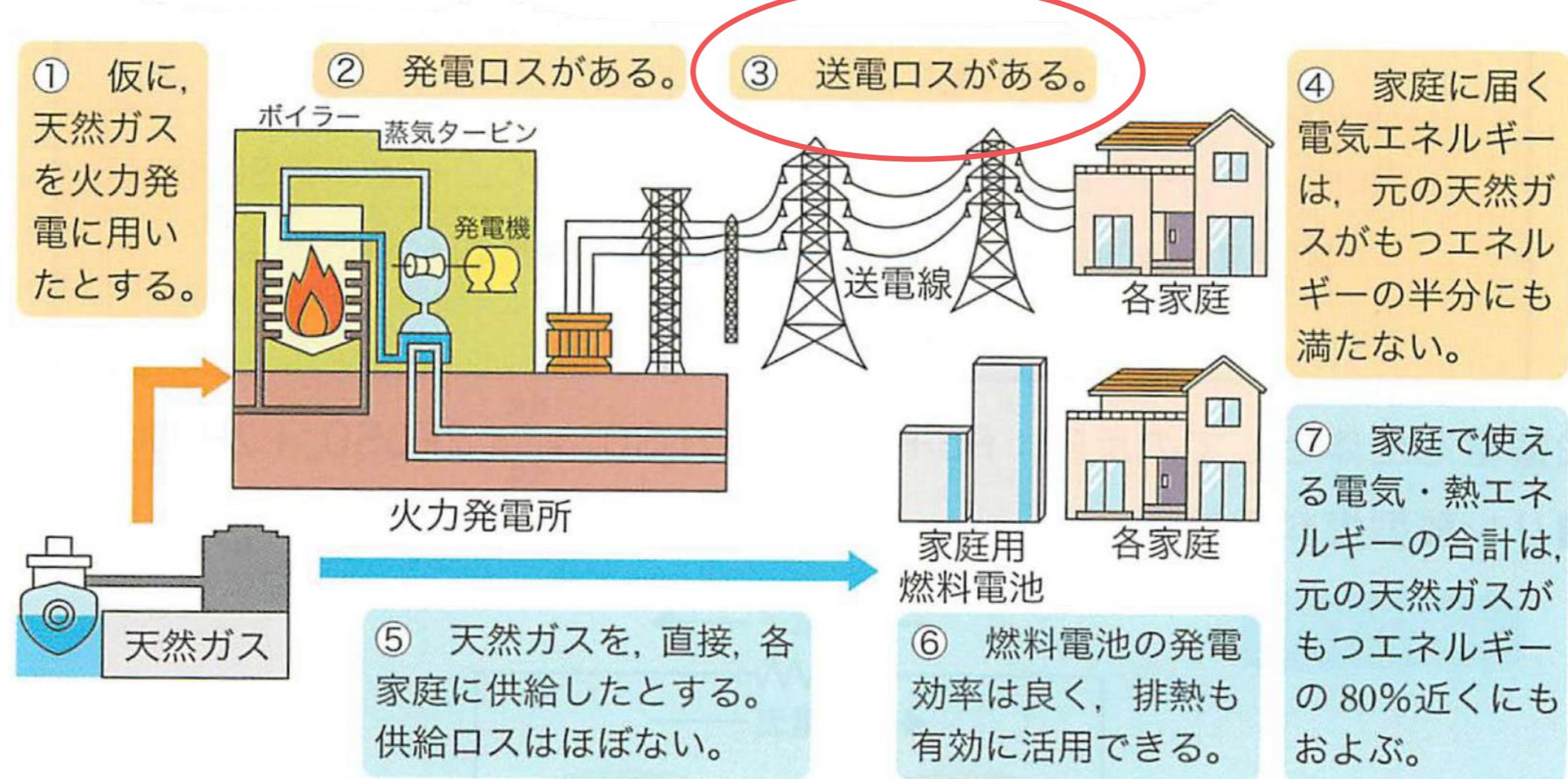
家庭用燃料電池では、一般に、燃料として天然ガスが使われます。ただし、天然ガスはH<sub>2</sub>に変換されてから、負極に供給されます。



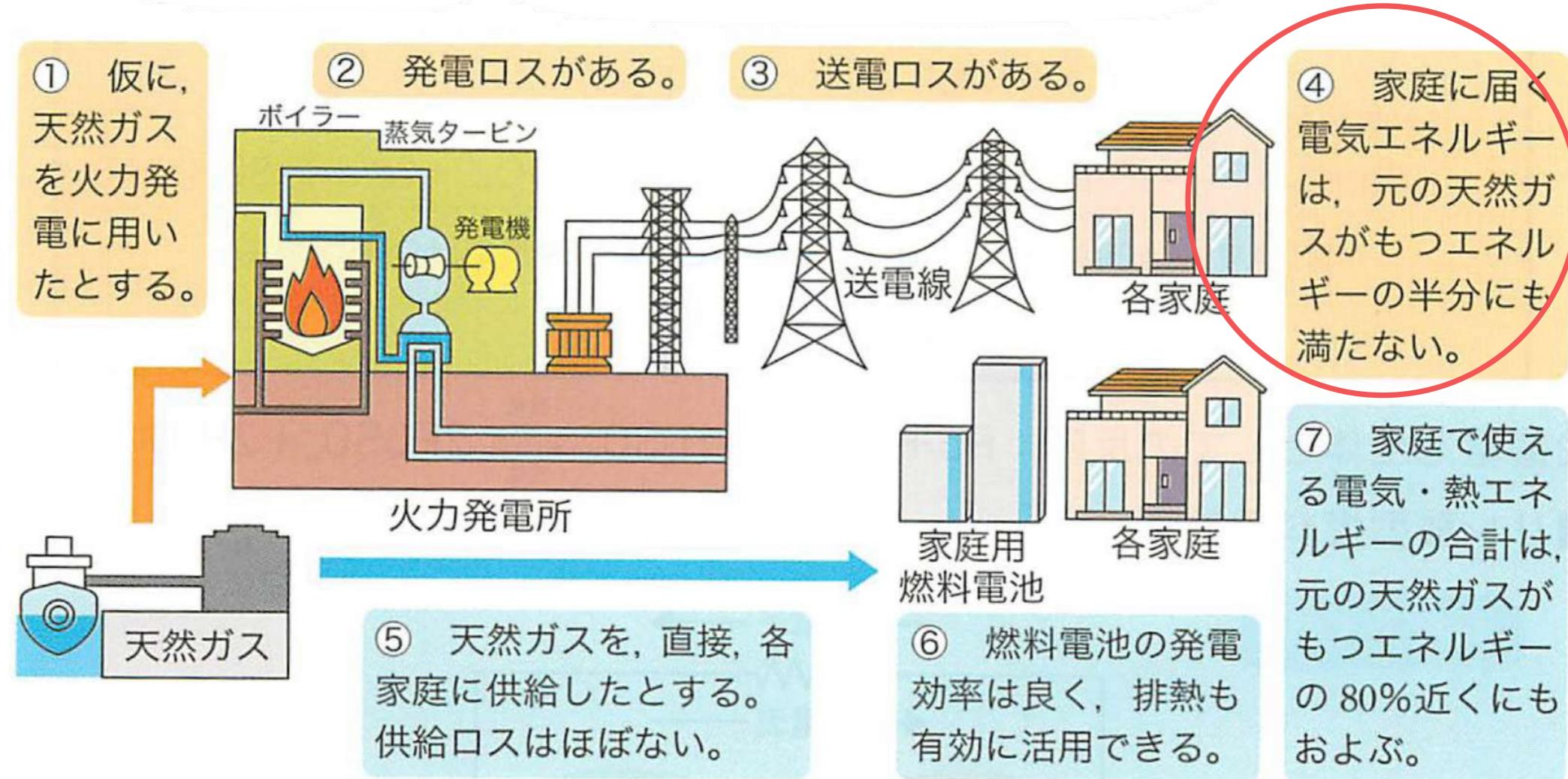
家庭用燃料電池では、一般に、燃料として天然ガスが使われます。ただし、天然ガスはH<sub>2</sub>に変換されてから、負極に供給されます。



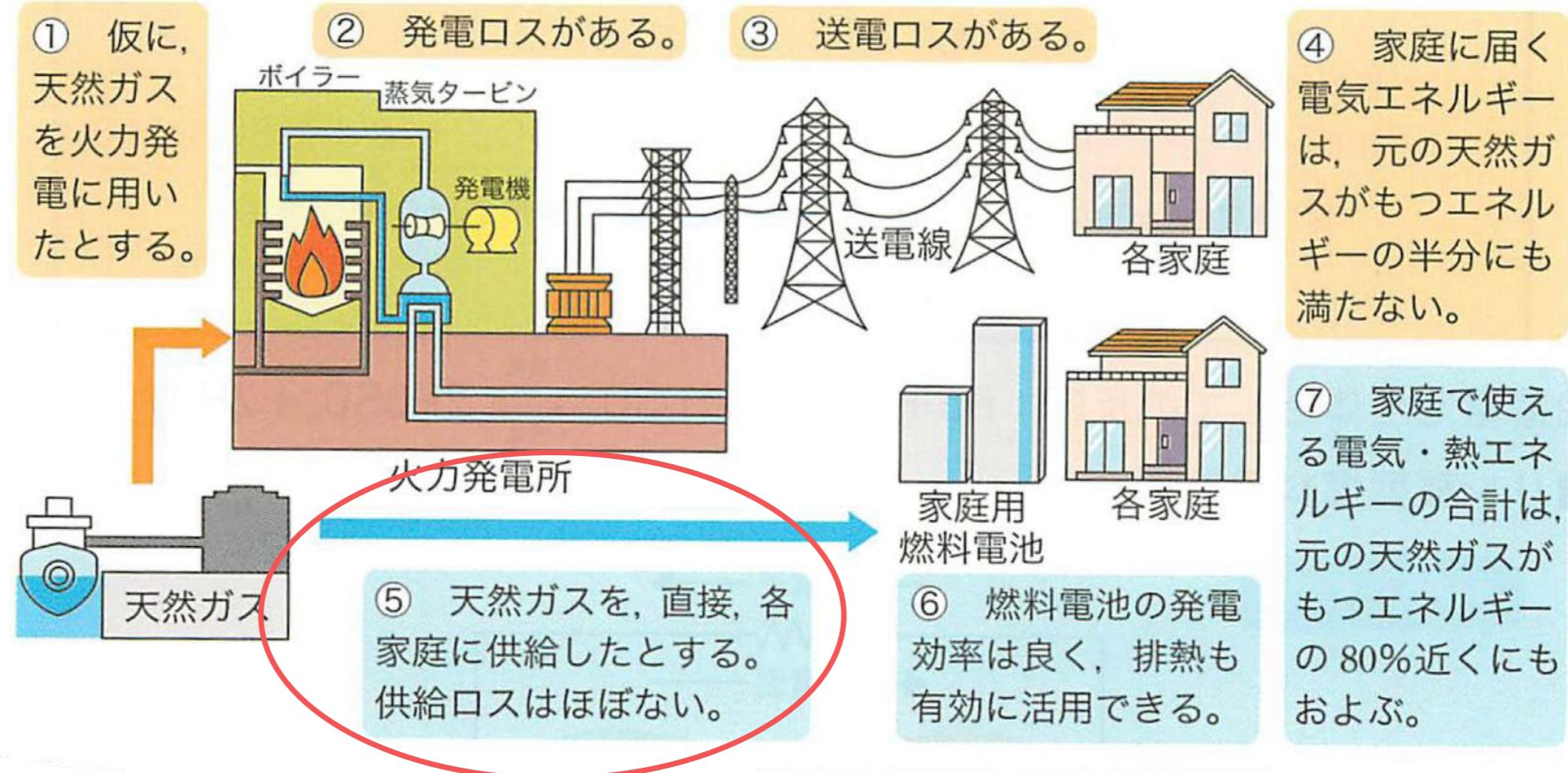
家庭用燃料電池では、一般に、燃料として天然ガスが使われます。ただし、天然ガスはH<sub>2</sub>に変換されてから、負極に供給されます。



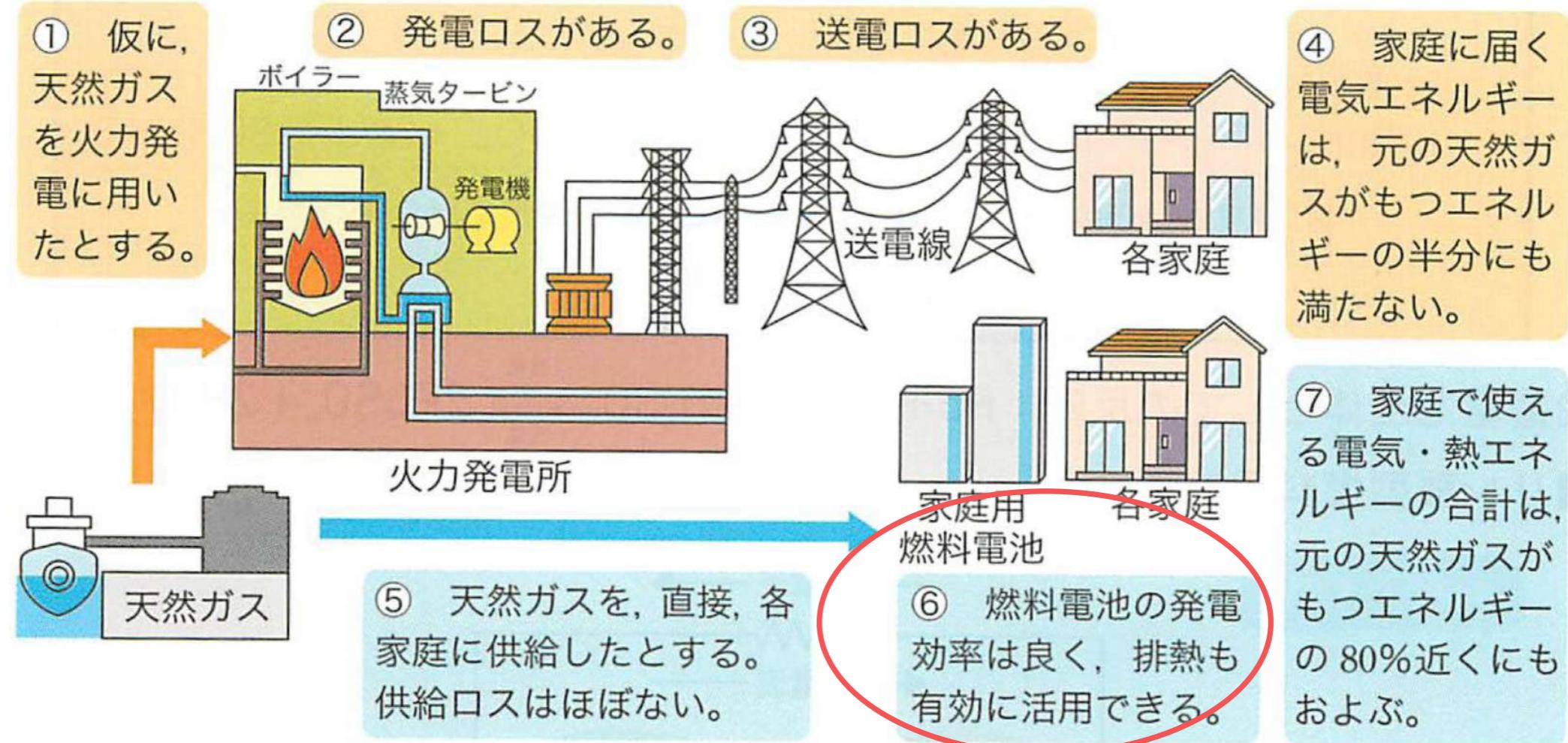
家庭用燃料電池では、一般に、燃料として天然ガスが使われます。ただし、天然ガスはH<sub>2</sub>に変換されてから、負極に供給されます。



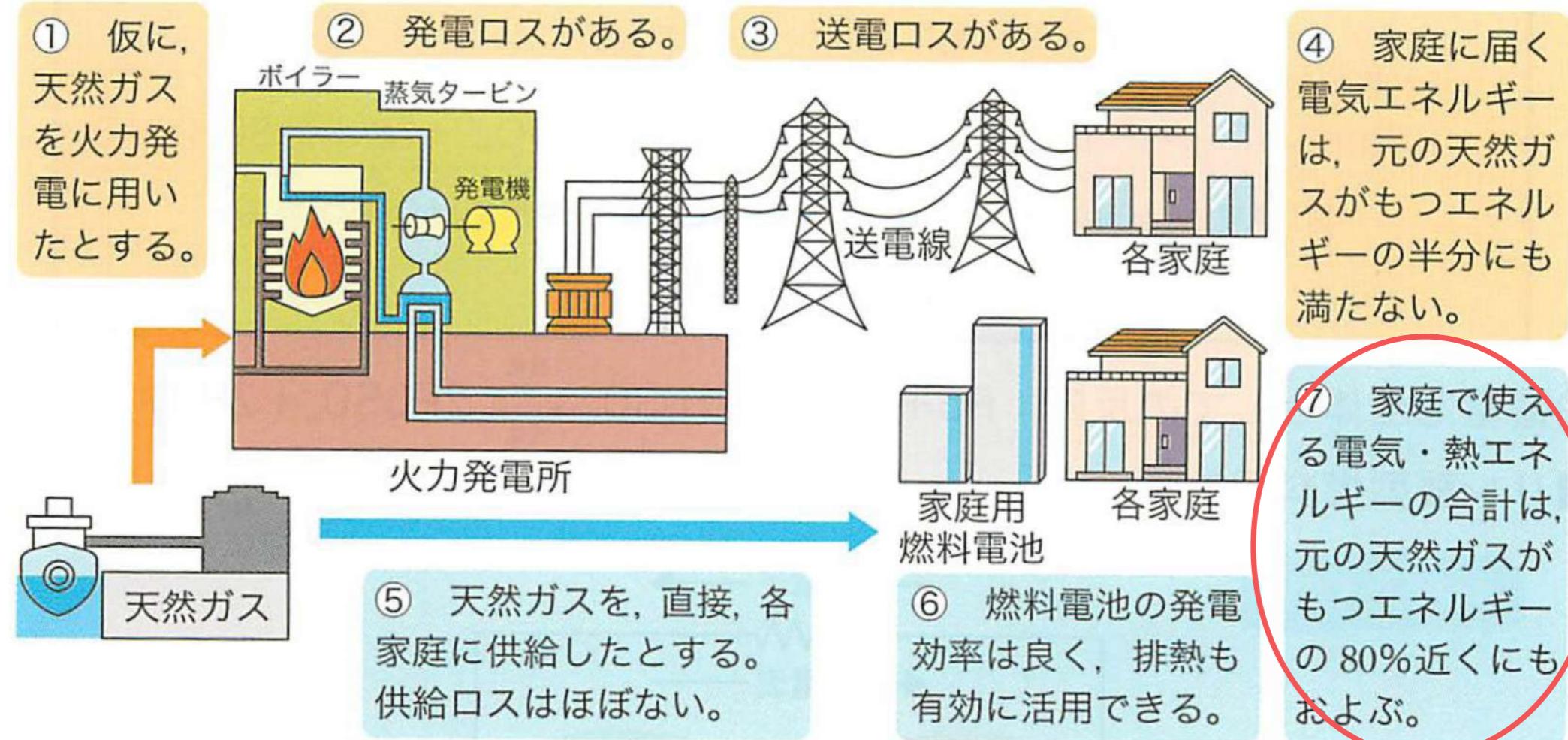
家庭用燃料電池では、一般に、燃料として天然ガスが使われます。ただし、天然ガスはH<sub>2</sub>に変換されてから、負極に供給されます。



家庭用燃料電池では、一般に、燃料として天然ガスが使われます。ただし、天然ガスはH<sub>2</sub>に変換されてから、負極に供給されます。

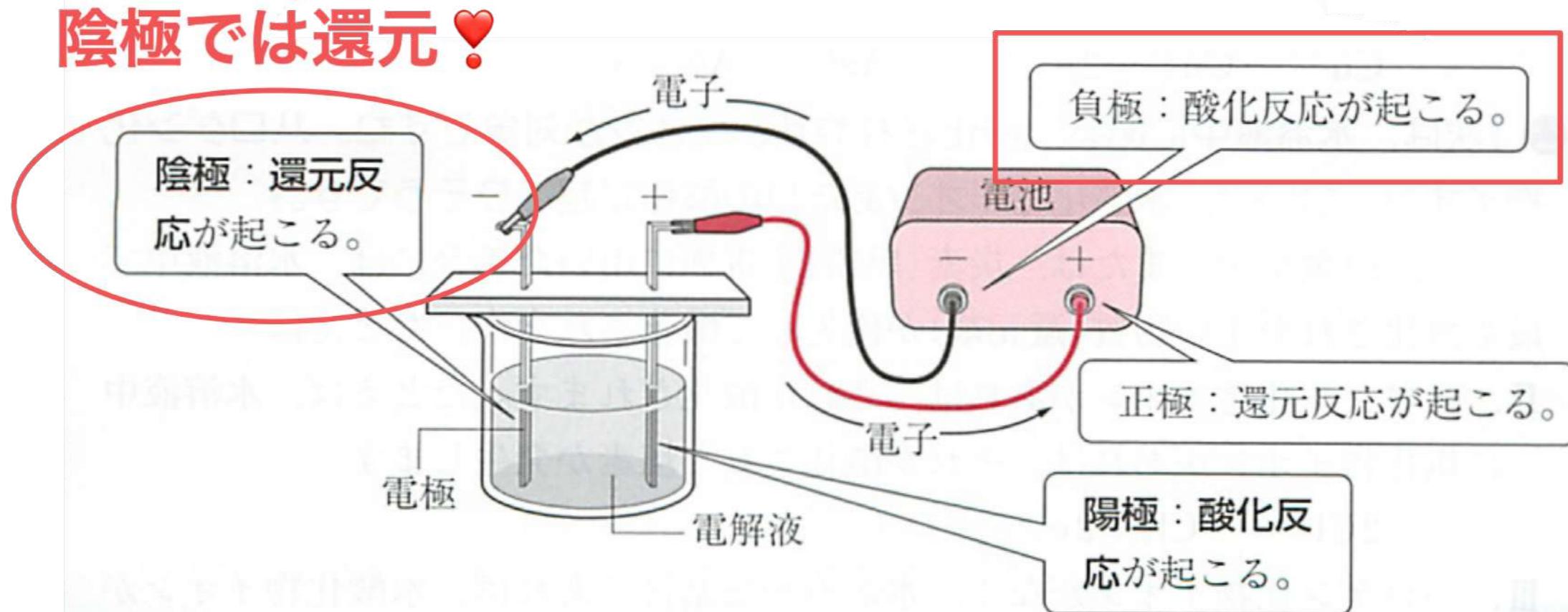


家庭用燃料電池では、一般に、燃料として天然ガスが使われます。ただし、天然ガスはH<sub>2</sub>に変換されてから、負極に供給されます。



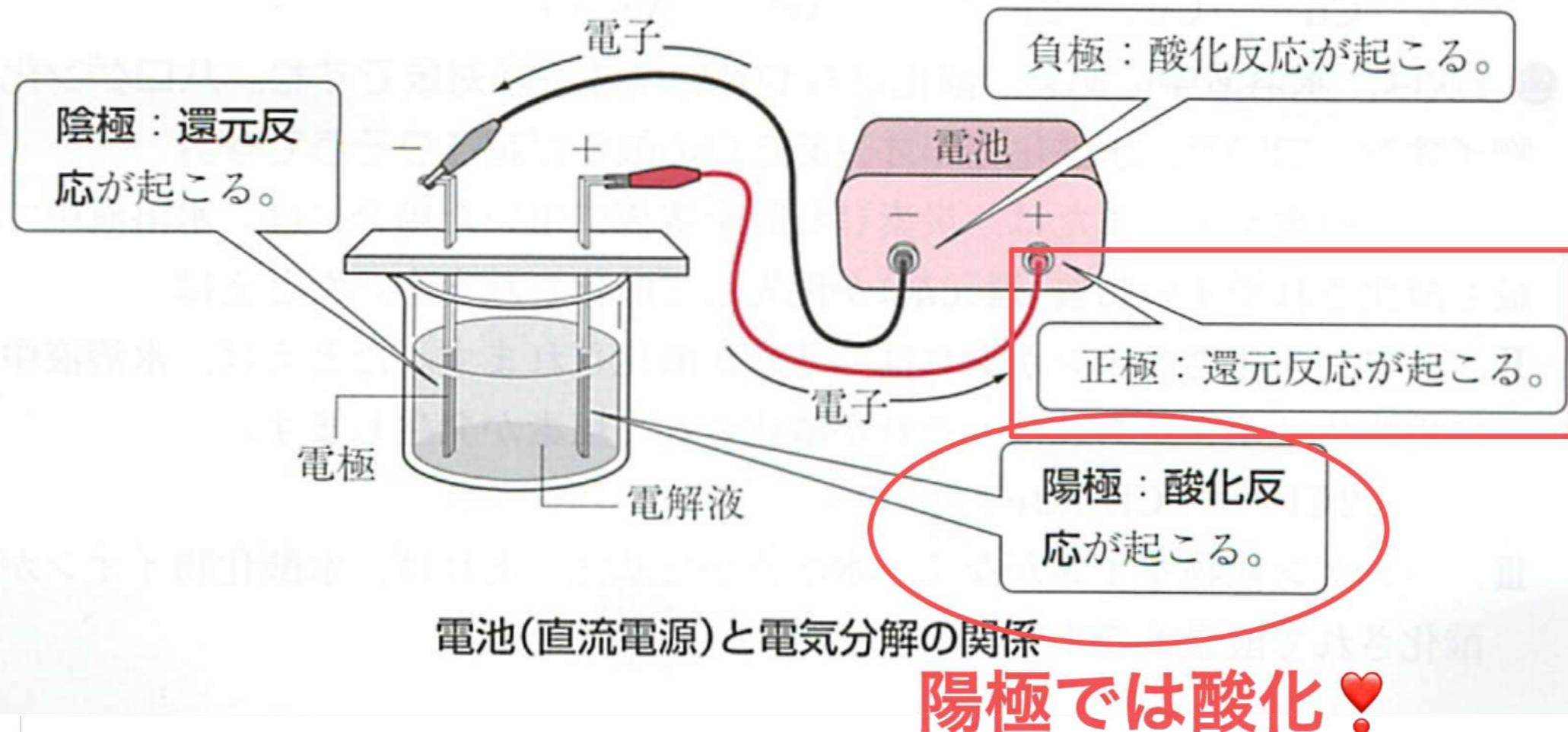
## 5-2 酸化還元、電気分解

陰極では還元！

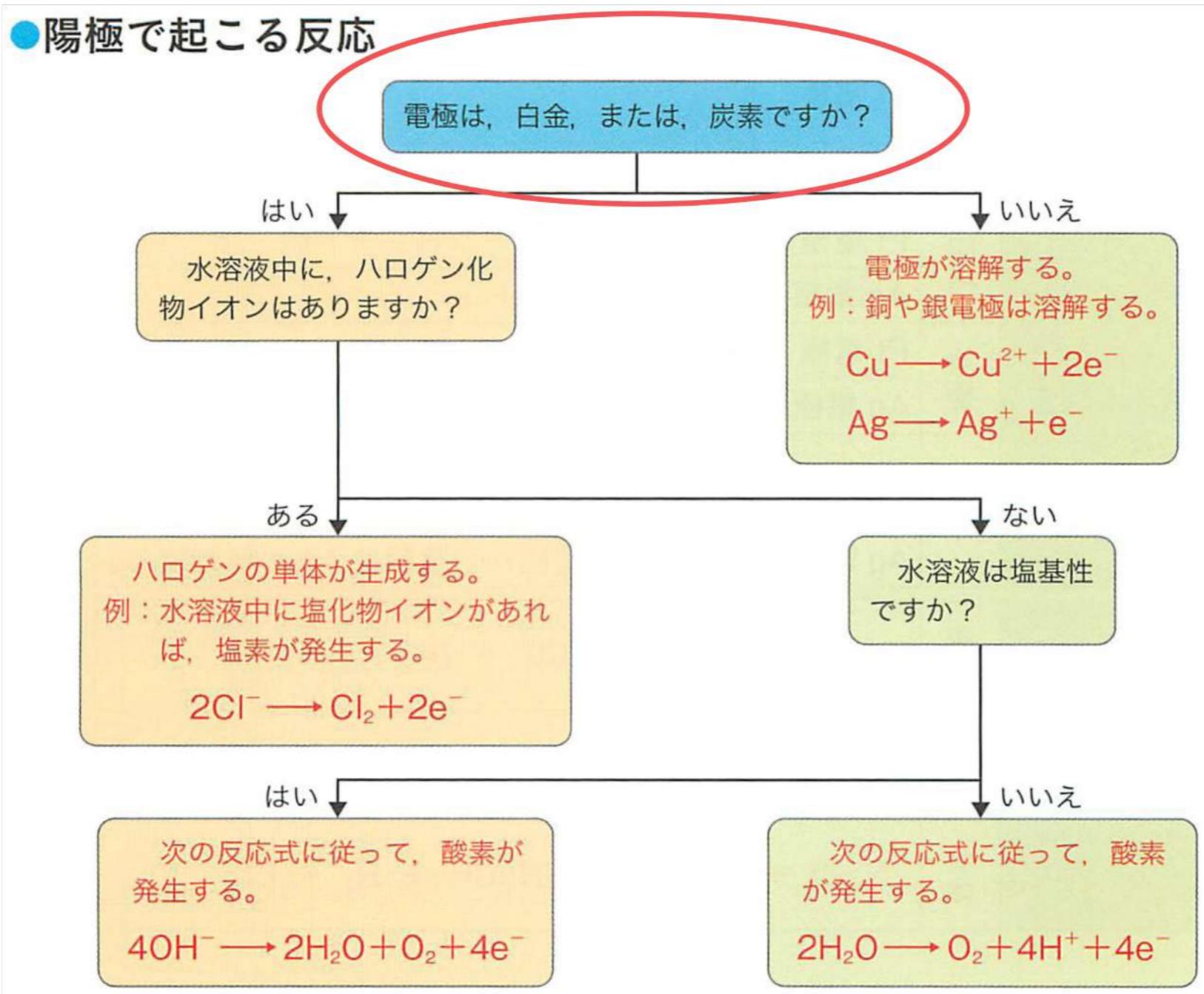


電池(直流電源)と電気分解の関係

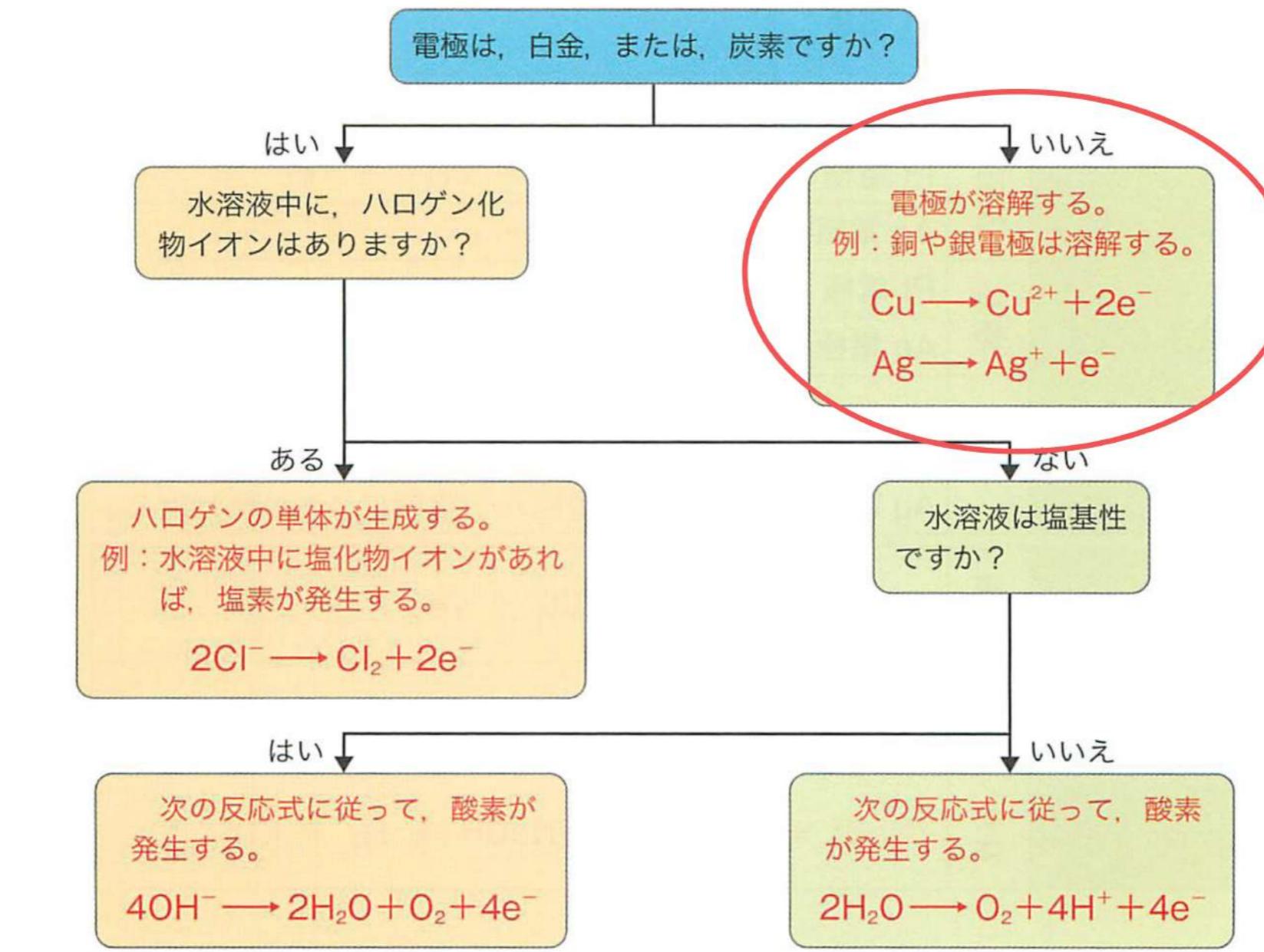
## 5-2 酸化還元、電気分解



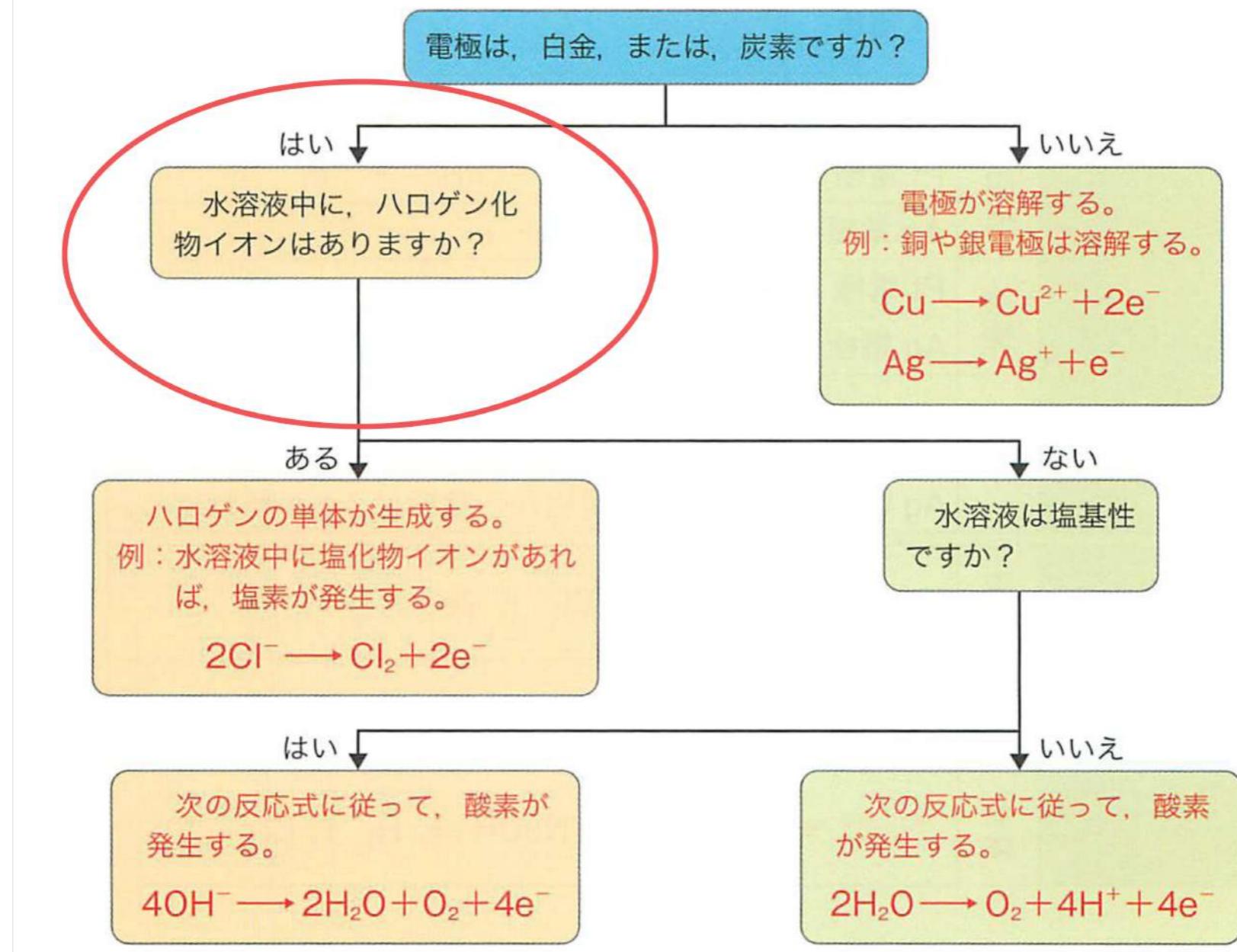
## ●陽極で起こる反応



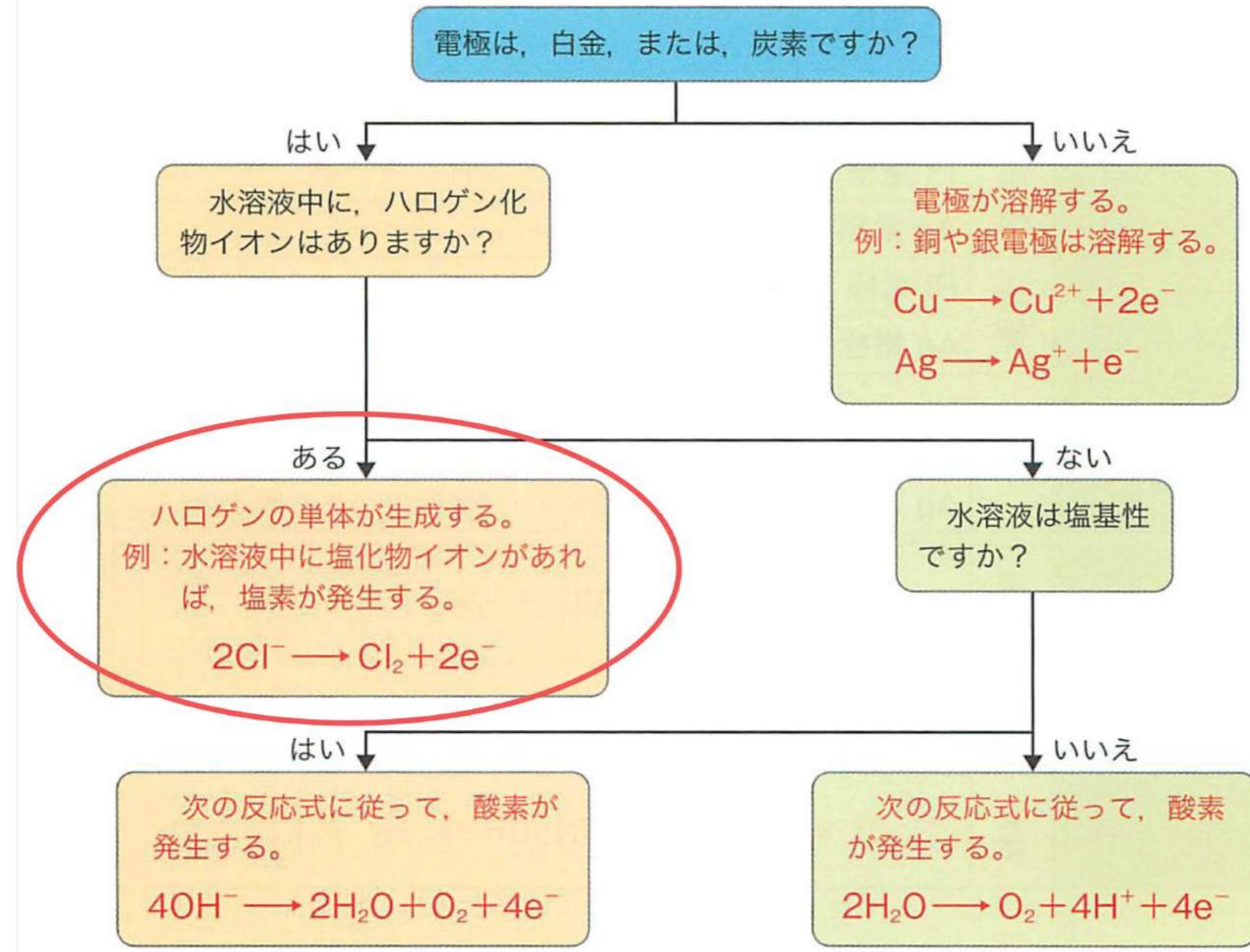
## ●陽極で起こる反応



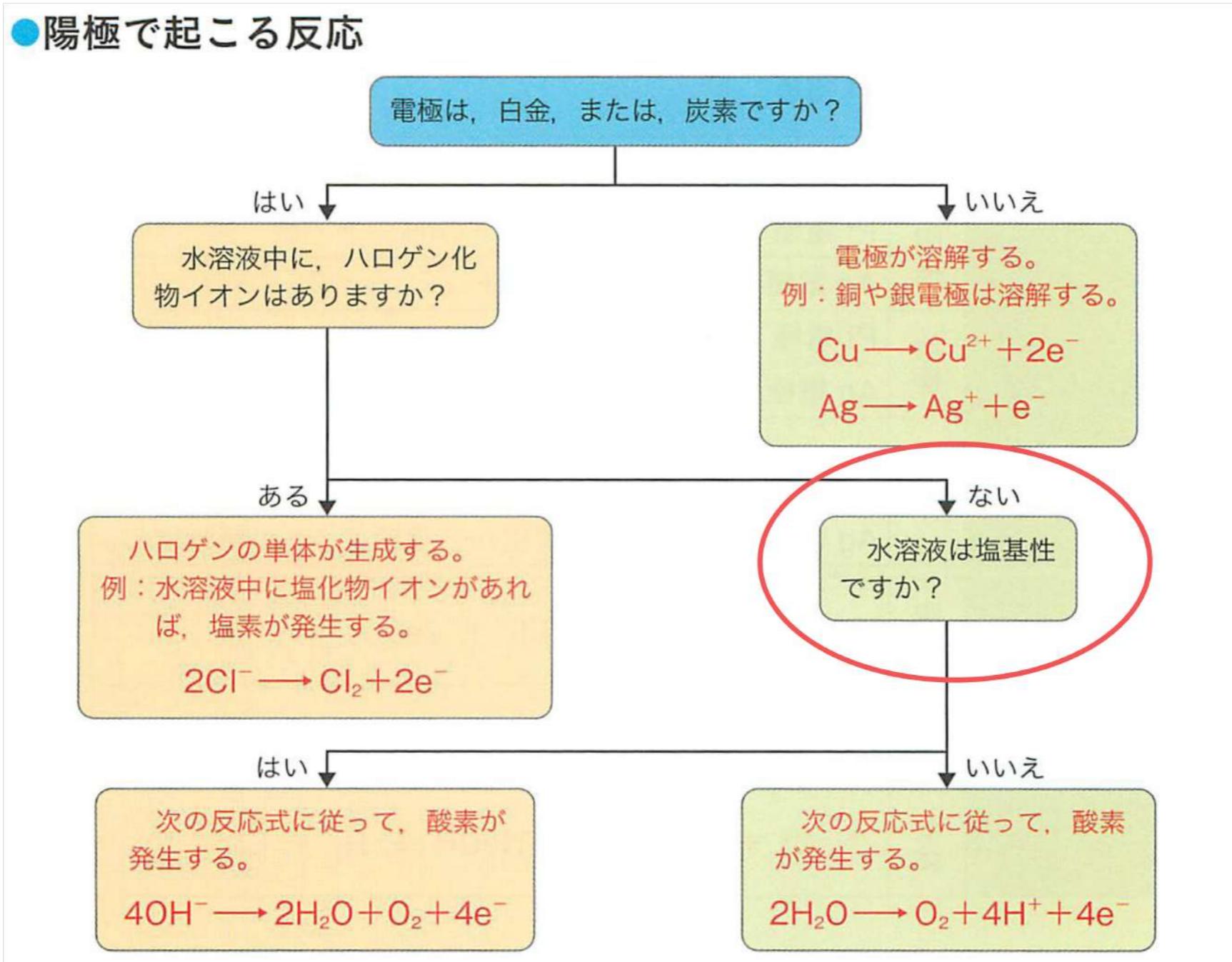
## ●陽極で起こる反応



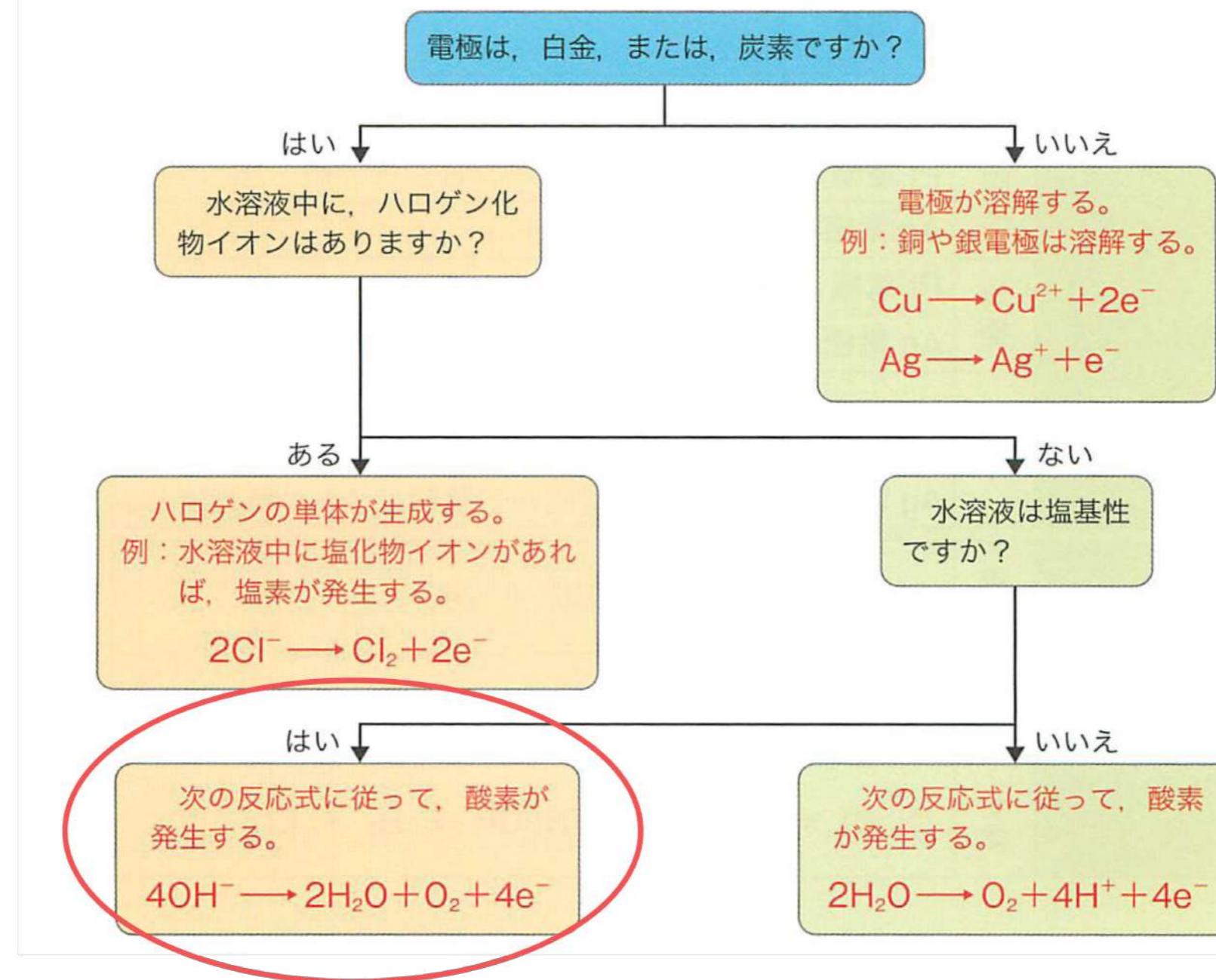
## ●陽極で起こる反応



## ●陽極で起こる反応



## ●陽極で起こる反応



## ●陽極で起こる反応

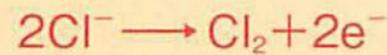
電極は、白金、または、炭素ですか？

はい

水溶液中に、ハロゲン化物イオンはありますか？

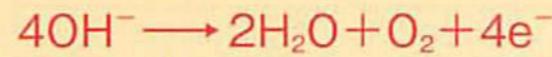
ある

ハロゲンの単体が生成する。  
例：水溶液中に塩化物イオンがあれば、塩素が発生する。



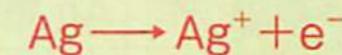
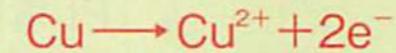
はい

次の反応式に従って、酸素が発生する。



いいえ

電極が溶解する。  
例：銅や銀電極は溶解する。

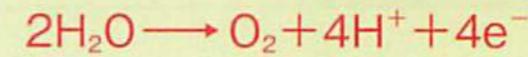


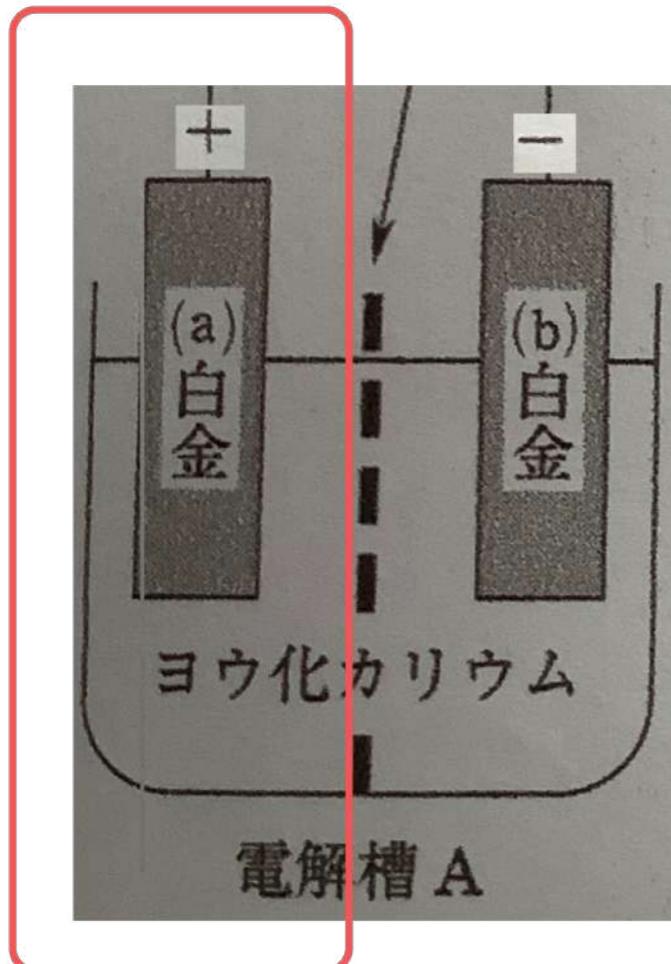
ない

水溶液は塩基性ですか？

いいえ

次の反応式に従って、酸素が発生する。





### ●陽極で起こる反応

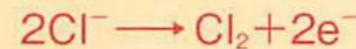
電極は、白金、または、炭素ですか？

はい

水溶液中に、ハロゲン化物イオンはありますか？

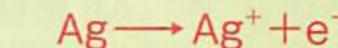
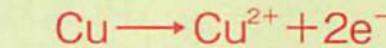
ある

ハロゲンの単体が生成する。  
例：水溶液中に塩化物イオンがあれば、塩素が発生する。



いいえ

電極が溶解する。  
例：銅や銀電極は溶解する。

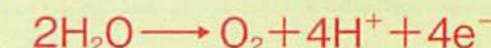


ない

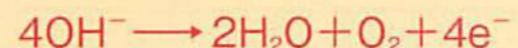
水溶液は塩基性ですか？

いいえ

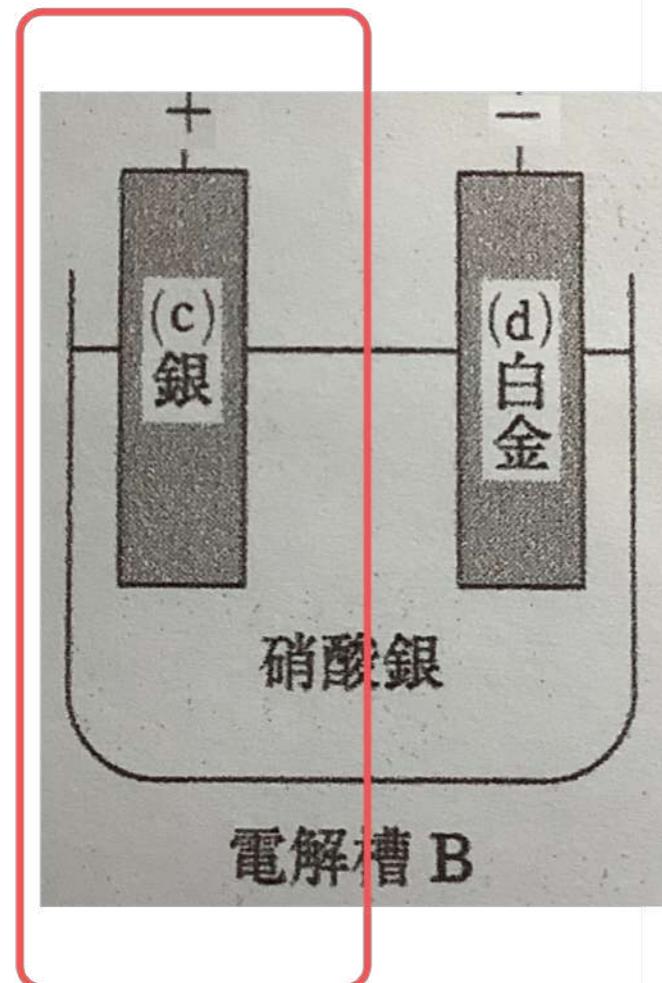
次の反応式に従って、酸素が発生する。



発生する。



## ●陽極で起こる反応



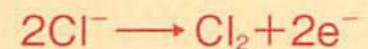
電極は、白金、または、炭素ですか？

はい

水溶液中に、ハロゲン化物イオンはありますか？

ある

ハロゲンの単体が生成する  
例：水溶液中に塩化物イオンがあれば、塩素が発生する。



ですか？

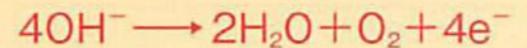
いいえ

電極が溶解する。  
例：銅や銀電極は溶解する。



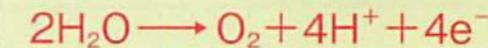
はい

次の反応式に従って、酸素が発生する。

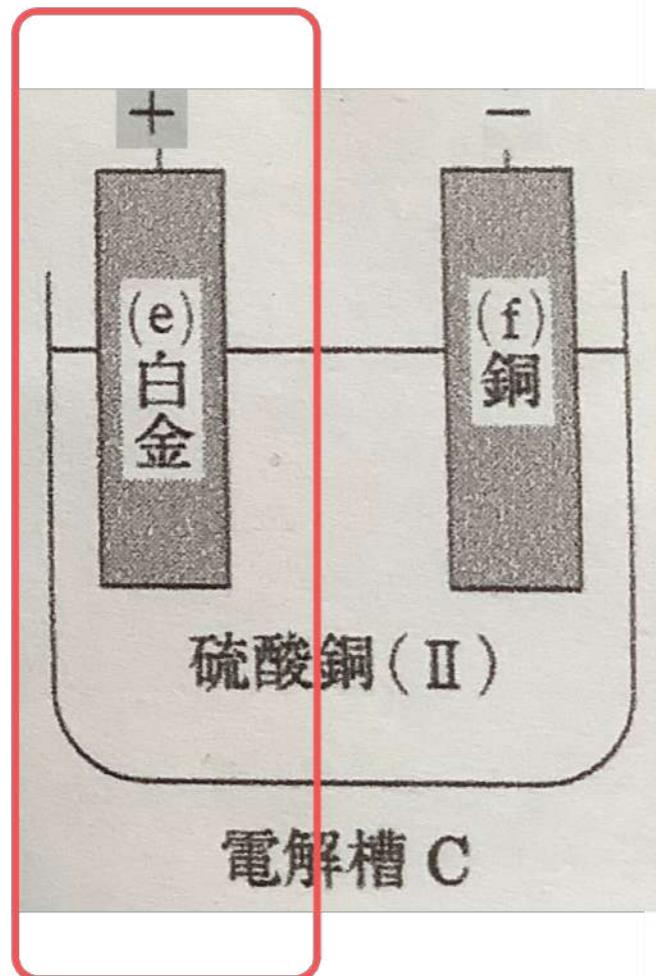


いいえ

次の反応式に従って、酸素が発生する。



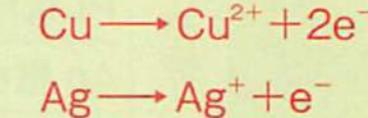
●陽極で起こる反応



電極は、白金、または、炭素ですか？

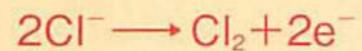
水溶液中に、ハロゲン化物イオンはありますか？

電極が溶解する。  
例：銅や銀電極は溶解する。



ある

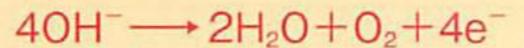
ハロゲンの単体が生成する。  
例：水溶液中に塩化物イオンがあれば、塩素が発生する。



水溶液は塩基性ですか？

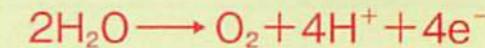
はい

次の反応式に従って、酸素が発生する。



いいえ

次の反応式に従って、酸素が発生する。

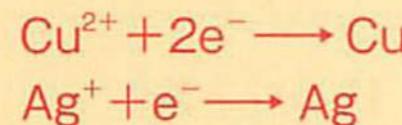


## ●陰極で起こる反応

水溶液中に、 $\text{Ag}^+$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ など、イオン化傾向が小さい金属のイオンはありますか？

ある

イオン化傾向が小さい金属の単体が析出する。  
例：水溶液中に銅(II)イオンや銀イオンがあれば、銅や銀が析出する。

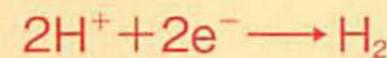


ない

水溶液は酸性ですか？

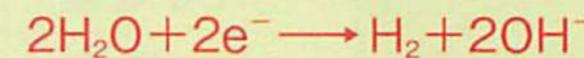
はい

次の反応式に従って、水素が発生する。



いいえ

次の反応式に従って、水素が発生する。

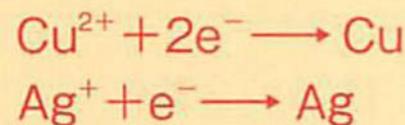


## ●陰極で起こる反応

水溶液中に、 $\text{Ag}^+$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ など、イオン化傾向が小さい金属のイオンはありますか？

ある

イオン化傾向が小さい金属の単体が析出する。  
例：水溶液中に銅(II)イオンや銀イオンがあれば、銅や銀が析出する。

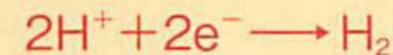


ない

水溶液は酸性ですか？

はい

次の反応式に従って、水素  
が発生する。



いいえ

次の反応式に従って、水素  
が発生する。

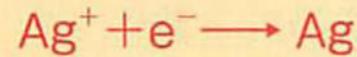
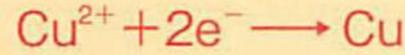


## ●陰極で起こる反応

水溶液中に、 $\text{Ag}^+$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ など、イオン化傾向が小さい金属のイオンはありますか？

ある

イオン化傾向が小さい金属の単体が析出する。  
例：水溶液中に銅(II)イオンや銀イオンがあれば、銅や銀が析出する。

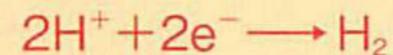


ない

水溶液は酸性ですか？

はい

次の反応式に従って、水素  
が発生する。



いいえ

次の反応式に従って、水素  
が発生する。

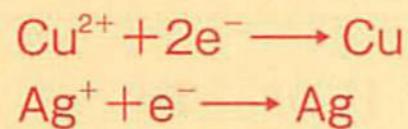


## ●陰極で起こる反応

水溶液中に、 $\text{Ag}^+$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ など、イオン化傾向が小さい金属のイオンはありますか？

ある

イオン化傾向が小さい金属の単体が析出する。  
例：水溶液中に銅(II)イオンや銀イオンがあれば、銅や銀が析出する。

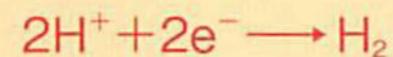


ない

水溶液は酸性ですか？

いいえ

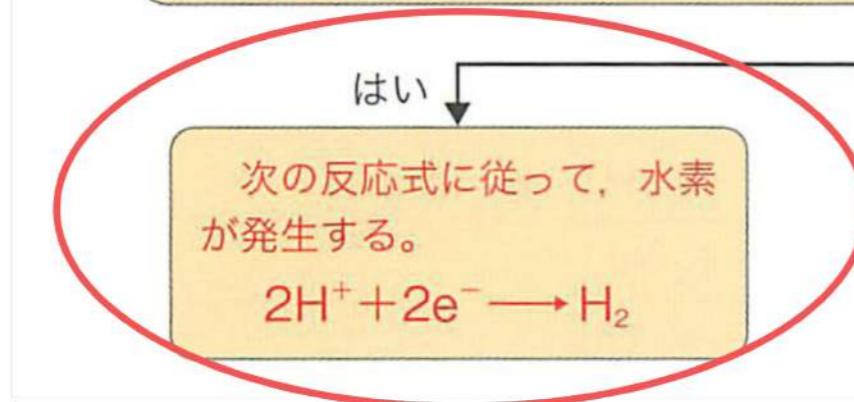
次の反応式に従って、水素が発生する。



次の反応式に従って、水素が発生する。



はい

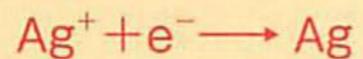
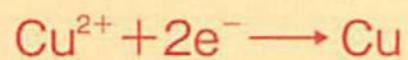


## ●陰極で起こる反応

水溶液中に、 $\text{Ag}^+$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ など、イオン化傾向が小さい金属のイオンはありますか？

ある

イオン化傾向が小さい金属の単体が析出する。  
例：水溶液中に銅(II)イオンや銀イオンがあれば、銅や銀が析出する。

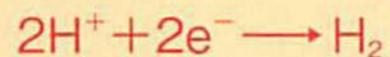


ない

水溶液は酸性ですか？

はい

次の反応式に従って、水素が発生する。

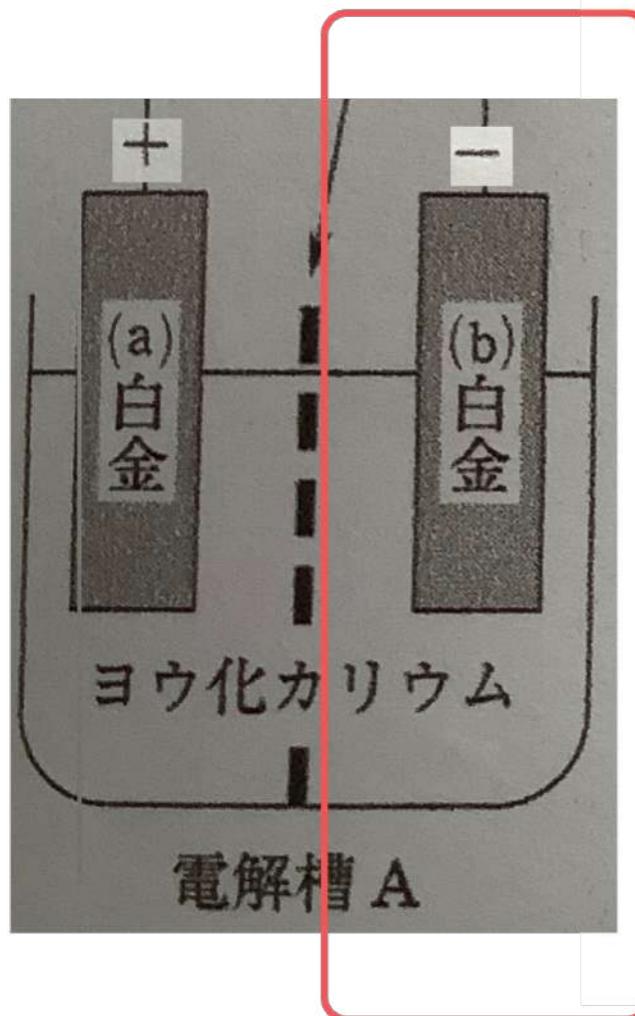


いいえ

次の反応式に従って、水素が発生する。



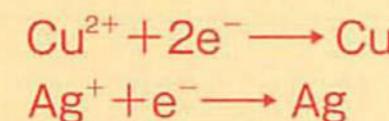
## ●陰極で起こる反応



水溶液中に、 $\text{Ag}^+$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ など、イオン化傾向が小さい金属のイオンはありますか？

ある

イオン化傾向が小さい金属の単体が析出する。  
例：水溶液中に銅(II)イオンや銀イオンがあれば、銅や銀が析出する。

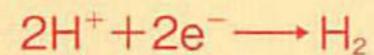


ない

水溶液は酸性ですか？

はい

次の反応式に従って、水素  
が発生する。

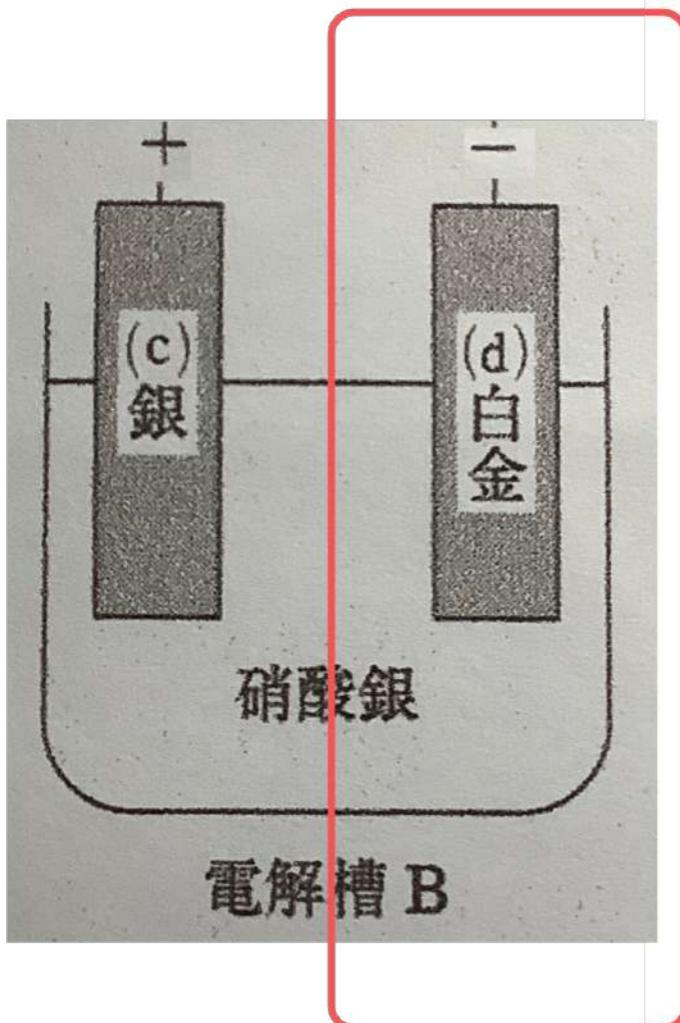


いいえ

次の反応式に従って、水素  
が発生する。



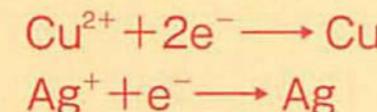
## ●陰極で起こる反応



水溶液中に、 $\text{Ag}^+$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ など、イオン化傾向が小さい金属のイオンはありますか？

ある

イオン化傾向が小さい金属の単体が析出する。  
例：水溶液中に銅(II)イオンや銀イオンがあれば、銅や銀が析出する。



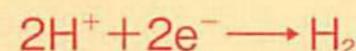
ない

水溶液は酸性ですか？

いいえ



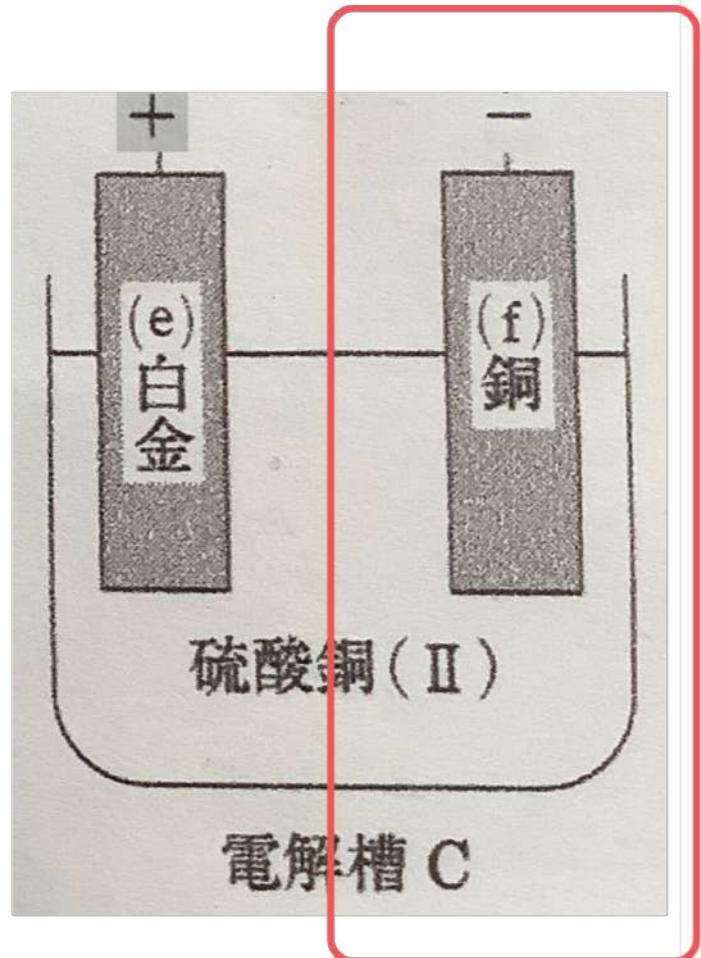
が発生する。



次の反応式に従って、水素が発生する。



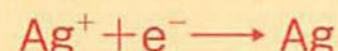
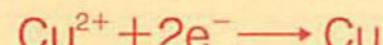
## ●陰極で起こる反応



水溶液中に、 $\text{Ag}^+$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ など、イオン化傾向が小さい金属のイオンはありますか？

ある

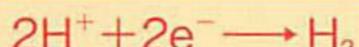
イオン化傾向が小さい金属の単体が析出する。  
例：水溶液中に銅(Ⅱ)イオンや銀イオンがあれば、銅や銀が析出する。



ない

水溶液は酸性ですか？

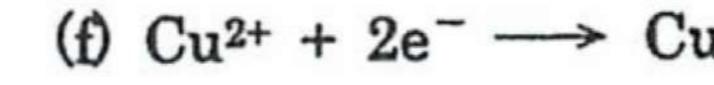
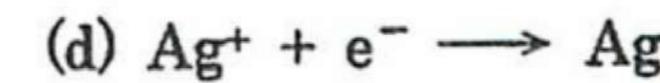
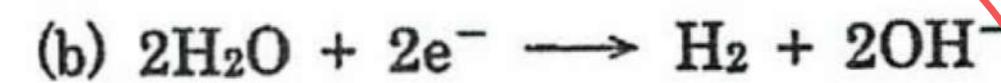
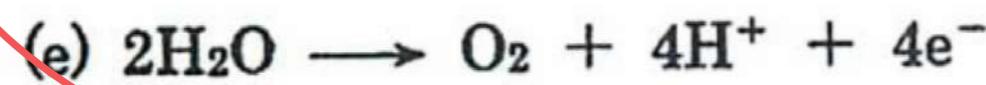
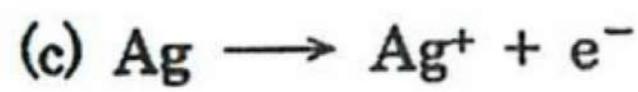
いいえ



式に従って、水素が発生する。



問1【解答】





問2【解説】

— 流れた電子の物質量は、—

$$\frac{0.500 \times 1930}{9.65 \times 10^4} = 0.0100 \text{ (mol)}$$

— Aの陰極側で生成する物質とその濃度は？—

電解層 A の陰極側 で生じる反応： $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

— その  $n\text{H}$  は？—

問2【解答】 13.0



問2【解説】

流れた電子の物質量は、――

$$\frac{0.500 \times 1930}{9.65 \times 10^4} = 0.0100 \text{ (mol)}$$

―― A の陰極側で生成する物質とその濃度は？――

電解層 A の陰極側 で生じる反応：  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

OH<sup>-</sup>が0.0100 mol生成する。

$$[\text{OH}^-] = \frac{0.0100 \text{ mol}}{\frac{100}{1000} \text{ L}} = 0.100 \text{ (mol/L)}$$

―― その n H は？――



問2【解説】

流れた電子の物質量は、――

$$\frac{0.500 \times 1930}{9.65 \times 10^4} = 0.0100 \text{ (mol)}$$

Aの陰極側で生成する物質とその濃度は？――

電解層 A の陰極側 で生じる反応 :  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

$\text{OH}^-$  が 0.0100 mol 生成する。

$$[\text{OH}^-] = \frac{0.0100 \text{ mol}}{100 \text{ L}} = 0.100 \text{ (mol/L)}$$

その pH は？――

$$[\text{H}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{0.100} = 1.0 \times 10^{-13} \text{ (mol/L)}$$

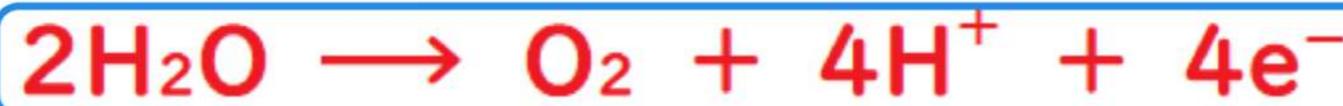
よって、 $\text{pH}=13.0$

問2【解答】 13.0

(b)



(e)



問3【解説】

ー 気体が発生するのは、

(b) と (e)

ー 同じ物質量の電子が流れたとき、発生する気体の物質量が多いのは、

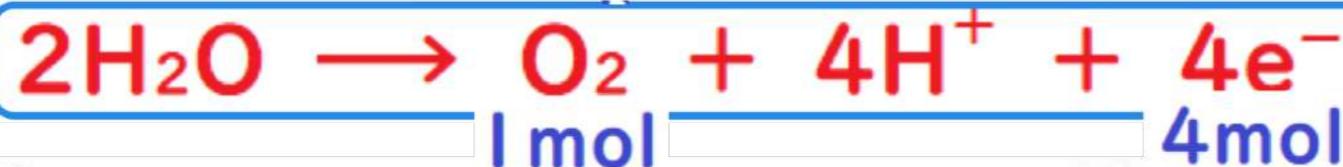
ー (b)で発生した水素の体積は、

問3【解答】 (b), 0.12L

(b)



(e)



問3【解説】

ー 気体が発生するのは、

(b) と (e)

ー 同じ物質量の電子が流れたとき、発生する気体の物質量が多いのは、

(b)

ー (b)で発生した水素の体積は、

問3【解答】 (b), 0.12L

(b)



$$0.0100 \text{ mol}$$

$$0.0100 \times \frac{1}{2} \text{ mol}$$

問3【解説】

ー 気体が発生するのは、

(b) と (e)

ー 同じ物質量の電子が流れたとき、発生する気体の物質量が多いのは、

(b)

(b)で発生した水素の体積は、

$$1.0 \times 10^5 \times V = 0.0100 \times \frac{1}{2} \times 8.3 \times 10^3 \times 300$$

$$\therefore V = 0.124 (\text{L})$$

問3【解答】 (b), 0.12L

(d)



(f)



#### 問4【解説】

電極の質量が増加するのは、

(d) と (f)

(d)で析出する銀の質量は、

(f)で析出する銅の質量は、

すなわち、

最も質量が増えた電極は(d) その質量は、 $1.08 \approx 1.1\text{g}$

問4【解答】 (d), 1.1g

(d)



(f)



#### 問4【解説】

電極の質量が増加するのは、

(d) と (f)

(d)で析出する銀の質量は、

$$108 \times 0.0100 = 1.08 \text{ (g)}$$

(f)で析出する銅の質量は、

すなわち、

最も質量が増えた電極は(d)

その質量は、 $1.08 \approx 1.1 \text{ g}$

問4【解答】 (d), 1.1g

(d)



(f)



#### 問4【解説】

—— 電極の質量が増加するのは, \_\_\_\_\_  
(d) と (f)

—— (d)で析出する銀の質量は, \_\_\_\_\_  
 $108 \times 0.0100 = 1.08 \text{ (g)}$

—— (f)で析出する銅の質量は, \_\_\_\_\_  
 $63.5 \times (0.100 \times \frac{1}{2}) = 0.3175 \text{ (g)}$

—— すなわち、\_\_\_\_\_  
最も質量が増えた電極は(d) その質量は,  $1.08 \approx 1.1 \text{ g}$   
—— 問4【解答】 (d), 1.1g ——

(d)



(f)



#### 問4【解説】

電極の質量が増加するのは、

(d) と (f)

(d)で析出する銀の質量は、

$$108 \times 0.0100 = 1.08 \text{ (g)}$$

(f)で析出する銅の質量は、

$$63.5 \times (0.100 \times \frac{1}{2}) = 0.3175 \text{ (g)}$$

すなわち、

最も質量が増えた電極は(d)

その質量は、 $1.08 \approx 1.1 \text{ g}$

問4【解答】(d), 1.1g

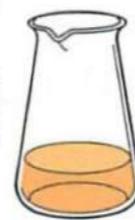
## ● ヨウ素滴定

iodometric titration

ヨウ素滴定には、例えば、次の枠内に示すように、**量が未知の還元剤を定量**するために、濃度が既知のヨウ素  $I_2$  溶液 ( $I_2-KI$  溶液)、および、チオ硫酸ナトリウム  $Na_2S_2O_3$  水溶液を用いる滴定があります。

### 還元剤の定量

- ①濃度が既知の  $I_2$  溶液を一定体積だけ量り取り、一定量の  $I_2$  を準備する。



- ②定量したい還元剤を加え、反応させる。



量が未知の  
還元剤

- ③デンプンを指示薬として、残存している  $I_2$  を  $Na_2S_2O_3$  標準溶液で滴定する。



すると、 $I_2$  の一部が残存する。

さらに、ヨウ素滴定には、次の枠内に示すように、**量が未知の酸化剤を定量**するために、酸化剤とヨウ化カリウム KI の反応によって遊離した  $I_2$  を、濃度が既知の  $Na_2S_2O_3$  水溶液で滴定する例もあります。

### 酸化剤の定量

- ①十分量の KI を含む水溶液を準備する。



- ②定量したい酸化剤を加え、反応させる。



量が未知の  
酸化剤

- ③デンプンを指示薬に用い、生成した  $I_2$  を  $Na_2S_2O_3$  標準溶液で滴定する。



すると、 $I_2$  が生成する。

## ● ヨウ素滴定

iodometric titration

ヨウ素滴定には、例えば、次の枠内に示すように、**量が未知の還元剤を定量する**ために、濃度が既知のヨウ素  $I_2$  溶液 ( $I_2-KI$  溶液)、および、チオ硫酸ナトリウム  $Na_2S_2O_3$  水溶液を用いる滴定があります。

### 還元剤の定量

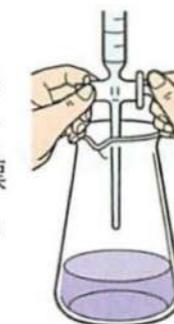
- ①濃度が既知の  $I_2$  溶液を一定体積だけ量り取り、一定量の  $I_2$  を準備する。



- ②定量したい還元剤を加え、反応させる。



- 量が未知の  
還元剤
- すると、 $I_2$  の一部が残存する。
- ③デンプンを指示薬として、残存している  $I_2$  を  $Na_2S_2O_3$  標準溶液で滴定する。



さらに、ヨウ素滴定には、次の枠内に示すように、**量が未知の酸化剤を定量する**ために、酸化剤とヨウ化カリウム  $KI$  の反応によって遊離した  $I_2$  を、濃度が既知の  $Na_2S_2O_3$  水溶液で滴定する例もあります。

### 酸化剤の定量

- ①十分量の  $KI$  を含む水溶液を準備する。



- ②定量したい酸化剤を加え、反応させる。



- 量が未知の  
酸化剤
- すると、 $I_2$  が生成する。
- ③デンプンを指示薬に用い、生成した  $I_2$  を  $Na_2S_2O_3$  標準溶液で滴定する。



問5【解説】酸化剤：

還元剤：

(上式)×2+(下式)より、

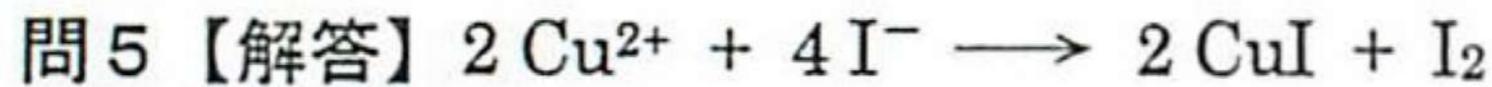
問5【解答】 $2 \text{Cu}^{2+} + 4 \text{I}^- \longrightarrow 2 \text{CuI} + \text{I}_2$

問 5 【解説】酸化剤 :

還元剤 :



(上式)×2+(下式)より,



問5【解説】酸化剤：



還元剤：



(上式)×2+(下式)より、

問5【解答】 $2\text{Cu}^{2+} + 4\text{I}^- \rightarrow 2\text{CuI} + \text{I}_2$

問5【解説】酸化剤：



還元剤：



(上式)×2+(下式)より、



問5【解答】 $2\text{Cu}^{2+} + 4\text{I}^- \rightarrow 2\text{CuI} + \text{I}_2$

### 問6【解説】

電気分解後の  $\text{Cu}^{2+}$  を  $x$  [mol/L] とすると、

式(1)の反応によって生成する  $\text{I}_2$  の物質量は、

式(2)の反応 ( $\text{I}_2$  と  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  は、1:2の物質量比で反応) より、

電気分解による極板(f)へのCuの析出量( $\text{Cu}^{2+}$  の減少量)は、

電気分解前の水溶液中の  $\text{Cu}^{2+}$  の濃度は、

問6【解答】0.13 mol/L



問6【解説】

電気分解後の  $\text{Cu}^{2+}$  を  $x$  [mol/L] とすると、

式(1)の反応によって生成する  $\text{I}_2$  の物質量は、

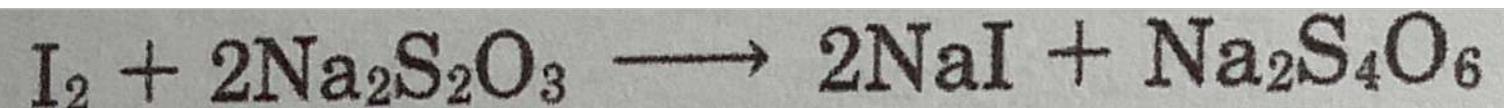
$$x \times \frac{10.0}{1000} \times \frac{1}{2} \text{ (mol)}$$

式(2)の反応 ( $\text{I}_2$  と  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  は、1:2の物質量比で反応) より、

電気分解による極板(f)へのCuの析出量( $\text{Cu}^{2+}$  の減少量)は、

電気分解前の水溶液中の  $\text{Cu}^{2+}$  の濃度は、

問6【解答】0.13 mol/L



問6【解説】

電気分解後の  $Cu^{2+}$  を  $x$  [mol/L] とすると、

式(1)の反応によって生成する  $I_2$  の物質量は、\_\_\_\_\_

$$x \times \frac{10.0}{1000} \times \frac{1}{2} \text{ (mol)}$$

式(2)の反応 ( $I_2$  と  $Na_2S_2O_3$  は、1:2の物質量比で反応) より、\_\_\_\_\_

$$I_2 : Na_2S_2O_3 = 1 : 2 = x \times \frac{10.0}{1000} \times \frac{1}{2} : 0.100 \times \frac{10.0}{1000}$$
$$\therefore x = 0.100 \text{ (mol/L)}$$

電気分解による極板(+)への  $Cu$  の析出量 ( $Cu^{2+}$  の減少量) は、\_\_\_\_\_

電気分解前の水溶液中の  $Cu^{2+}$  の濃度は、\_\_\_\_\_

問6【解答】0.13 mol/L



0.0100 mol

### 問6【解説】

電気分解後の  $\text{Cu}^{2+}$  を  $x$  [mol/L] とすると、

式(1)の反応によって生成する  $\text{I}_2$  の物質量は、

$$x \times \frac{10.0}{1000} \times \frac{1}{2} \text{ (mol)}$$

式(2)の反応 ( $\text{I}_2$  と  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  は、1:2の物質量比で反応) より、

$$\begin{aligned}\text{I}_2:\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 1:2 &= x \times \frac{10.0}{1000} \times \frac{1}{2} : 0.100 \times \frac{10.0}{1000} \\ \therefore x &= 0.100 \text{ (mol/L)}\end{aligned}$$

電気分解による極板(F)へのCuの析出量( $\text{Cu}^{2+}$  の減少量)は、

$$0.0100 \times \frac{1}{2} \text{ (mol)}$$

スペース

電気分解前の水溶液中の  $\text{Cu}^{2+}$  の濃度は、

問6【解答】0.13 mol/L

### 問6【解説】

電気分解後の  $\text{Cu}^{2+}$  を  $x$  [mol/L] とすると、

式(1)の反応によって生成する  $\text{I}_2$  の物質量は、

$$x \times \frac{10.0}{1000} \times \frac{1}{2} \text{ (mol)}$$

式(2)の反応 ( $\text{I}_2$  と  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  は、1:2の物質量比で反応) より、

$$\begin{aligned}\text{I}_2:\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 1:2 &= x \times \frac{10.0}{1000} \times \frac{1}{2} : 0.100 \times \frac{10.0}{1000} \\ \therefore x &= 0.100 \text{ (mol/L)}\end{aligned}$$

電気分解による極板(f)へのCuの析出量( $\text{Cu}^{2+}$ の減少量)は、

$$0.0100 \times \frac{1}{2} \text{ (mol)} \xrightarrow{\text{濃度換算}} \frac{0.0100 \times \frac{1}{2}}{\frac{200}{1000}} = 0.025 \text{ (mol/L)}$$

電気分解前の水溶液中の  $\text{Cu}^{2+}$  の濃度は、

問6【解答】0.13 mol/L

### 問6【解説】

電気分解後の  $\text{Cu}^{2+}$  を  $x$  [mol/L] とすると、

式(1)の反応によって生成する  $\text{I}_2$  の物質量は、

$$x \times \frac{10.0}{1000} \times \frac{1}{2} \text{ (mol)}$$

式(2)の反応 ( $\text{I}_2$  と  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  は、1:2の物質量比で反応) より、

$$\begin{aligned}\text{I}_2:\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 1:2 &= x \times \frac{10.0}{1000} \times \frac{1}{2} : 0.100 \times \frac{10.0}{1000} \\ \therefore x &= 0.100 \text{ (mol/L)}\end{aligned}$$

電気分解による極板(f)へのCuの析出量( $\text{Cu}^{2+}$ の減少量)は、

$$0.0100 \times \frac{1}{2} \text{ (mol)} \xrightarrow{\text{濃度換算}} \frac{0.0100 \times \frac{1}{2}}{\frac{200}{1000}} = 0.025 \text{ (mol/L)}$$

電気分解前の水溶液中の  $\text{Cu}^{2+}$  の濃度は、

元々の濃度 = 残った濃度 + 減少した濃度

問6【解答】0.13 mol/L

### 問6【解説】

電気分解後の  $\text{Cu}^{2+}$  を  $x$  [mol/L] とすると、

式(1)の反応によって生成する  $\text{I}_2$  の物質量は、

$$x \times \frac{10.0}{1000} \times \frac{1}{2} \text{ (mol)}$$

式(2)の反応 ( $\text{I}_2$  と  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  は、1:2の物質量比で反応) より、

$$\text{I}_2:\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3=1:2 = x \times \frac{10.0}{1000} \times \frac{1}{2} : 0.100 \times \frac{10.0}{1000}$$

$$\therefore x = 0.100 \text{ (mol/L)}$$

電気分解による極板(f)へのCuの析出量( $\text{Cu}^{2+}$ の減少量)は、

$$0.0100 \times \frac{1}{2} \text{ (mol)} \xrightarrow{\text{濃度換算}} \frac{0.0100 \times \frac{1}{2}}{\frac{200}{1000}} = 0.025 \text{ (mol/L)}$$

電気分解前の水溶液中の  $\text{Cu}^{2+}$  の濃度は、

~~元々の濃度 = 残った濃度 + 減少した濃度~~

$$0.100 + 0.025 = 0.125 \text{ (mol/L)}$$

問6【解答】0.13 mol/L

日々の努力を  
忘れないでね。



ニッケル・カドミウム電池（アルカリ蓄電池）の概略 【活物質】 負極活物

還元剤

質としてカドミウム Cd を、正極活物質としてオキシ水酸化ニッケル（Ⅲ） NiO  
（OH）を用いた実用電池（二次電池）です。

【電解質溶液】 電解質溶液には、一般に、水酸化カリウム KOH 水溶液が用いられます。

【放電反応と特徴】 放電時には、次の反応が起こります。



生成する水酸化物（ $\text{Cd(OH)}_2$ ,  $\text{Ni(OH)}_2$ ）は、いずれも水に難溶で、各極板の表面に付着します。よって、充電（放電の逆反応）は容易に進行します。また、全体反応の上では、電解質は反応に関与せず、その量は変化しません。よって、電圧は比較的安定しています。

【将来性】 カドミウムの環境に対する有害性などの問題があり、ほぼ同じ起電力をもつニッケル・水素電池への移行が進み、生産量は減少しました。

### ニッケル・水素電池の概略

【活物質】 正極活物質には、ニッケル・カドミウム電池と同じく、 $\text{NiO(OH)}$  を用いますが、<sup>酸化剤</sup> 負極活物質には、ニッケル・カドミウム電池とは異なり、有害な Cd ではなく、<sup>オキシ水酸化ニッケル (III)</sup> 水素吸蔵合金に吸蔵された水素  $\text{H}_2$  を用いる実用電池（二次電池）です。

### リチウム電池の概略

【活物質】 負極活物質として、イオン化傾向が最大で  
あるリチウム Li を用いた実用電池（一次電池）です。

【電解質溶液】 Li は水と反応して水素 H<sub>2</sub> を発生するので、電解質溶液用の溶媒には、水の代わりに、有機溶媒が用いられます。有機溶媒を用いることは、安全管理（引火の危険など）の面では欠点と言えますが、有機溶媒（有機溶媒を用いた電解質溶液）の方が水（水溶液）よりも凍りにくいので、低温に強いという電池としての長所をもたらします。

【Li の性質と電池の特徴】 Li の単体は、イオン化傾向が最大であり、最も軽い金属の単体です。よって、リチウム電池は、起電力が高い（3.0 V 程度）、軽量な電池であるといった長所をもっています。

生徒 『僕の携帯のバッテリーもリチウムイオン電池です』

先生 『そうだね。軽くて起電力が高いから、携帯電話やカメラにはぴったりだね』

## リチウムイオン電池の概略

【活物質】 リチウム電池の長所（高い起電力、軽量、耐寒性など）を受け継ぎながら、負極活物質に Li の単体を用いないことで、より安全性を高めた電池がリチウムイオン電池です。リチウムイオン電池は、負極材料として、その層間にリチウムを吸蔵する黒鉛（ $\text{LiC}_6$  という化学式で表す）を用いた**実用電池（二次電池）**です。正極材料には、コバルト酸リチウム  $\text{LiCoO}_2$ などを用います。

【電解質溶液】 Li と同じく、 $\text{LiC}_6$  も水と反応するので、電解質溶液には、有機溶媒にリチウム Li 塩を溶かした溶液が用いられます。

【起電力】 正極材料の種類によって異なりますが、3.3～4.2 V 程度です。

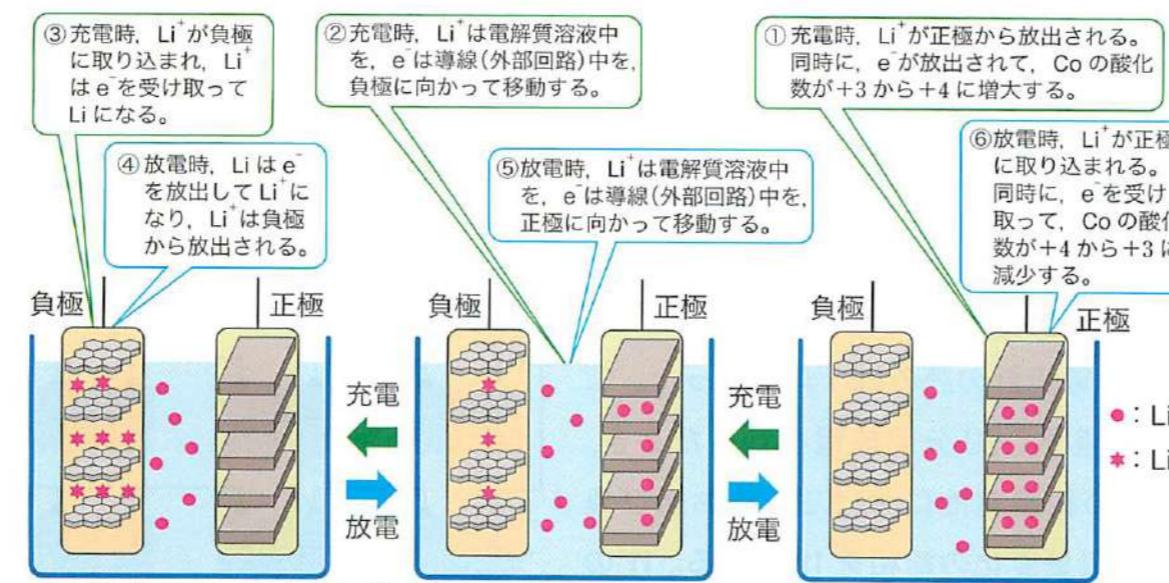
【放電時の電極反応】 負極では、



という反応が起こり、 $\text{Li}^+$  と  $e^-$  が放出されます。 $\text{Li}^+$  は電解質溶液中を、 $e^-$  は導線（外部回路）中を正極に向かって移動します。正極では、



という反応が起こり、Co の酸化数が、+4 から +3 に変化します。



注：模式図であり、極板の構造も●や\*の移動も、実際とは異なり、極端に示されています。

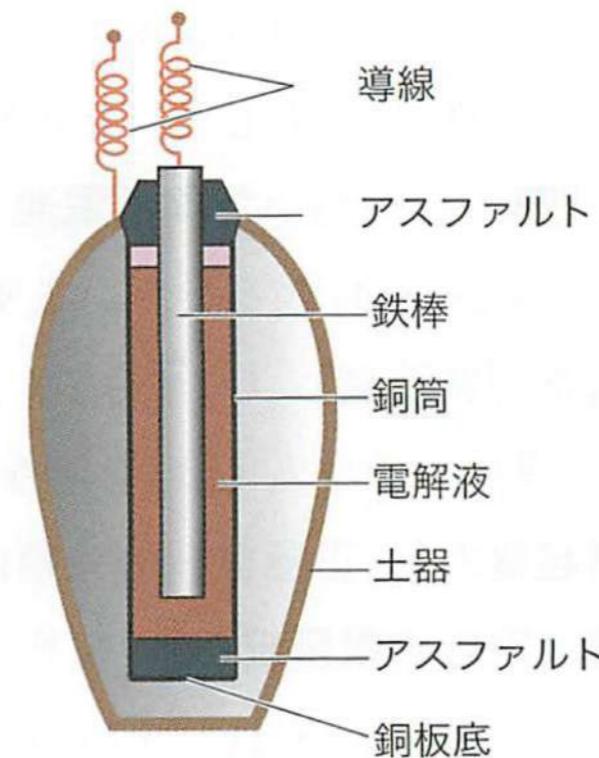
次の文章を読み、以下の問い合わせに答えよ。

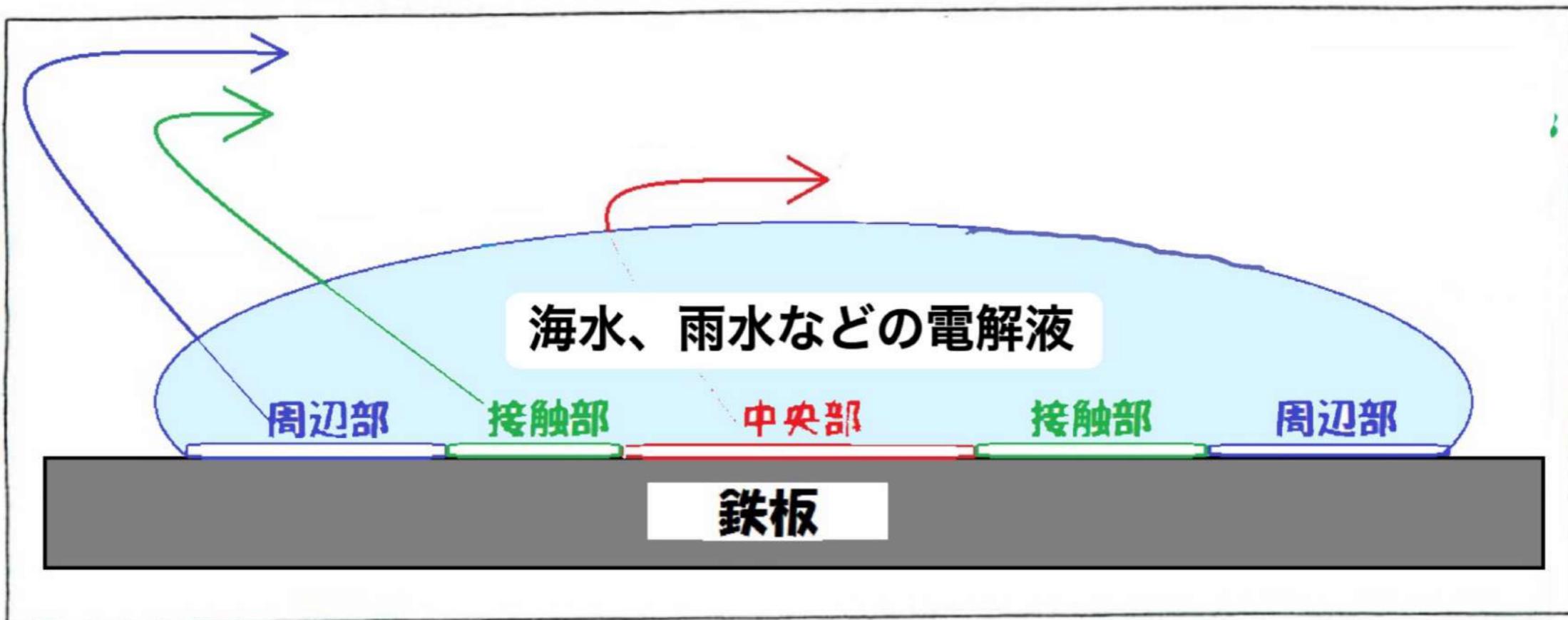
図は、1932年にバグダッドの東北（ホーヤットラップア）で発掘された、バグダッド電池と呼ばれているもので、約2000年前の電池ともいわれている。銅製の筒と鉄製の棒で構成されており、中の電解液はすでに乾固していて不明であった。しかし、この銅製の筒の中に酢(酸)を注ぐと、銅筒と鉄棒の間に電圧が生じたという。そして現在では、古代のアラビア人が、この電池を用いて、腕輪や指輪などに金や銀などをめっきしていたらしいことも知られている。さて、この電池をよく磨いた銅筒と鉄棒を用いて復元し、銅筒のなかに、電解液として酢の代わりに、 $1.0\text{ mol/L}$  の希硫酸を入れた。

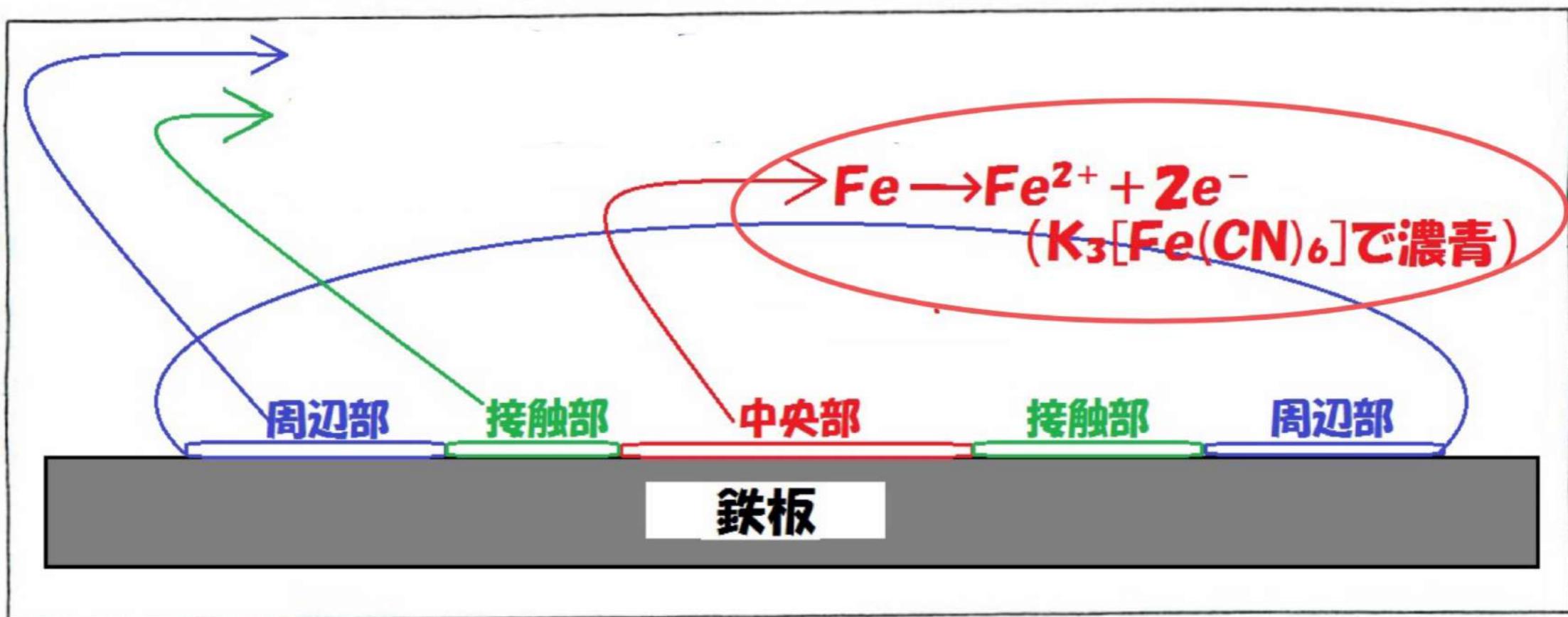
問 電池の負極となるのは、鉄電極、銅電極のどちらか。

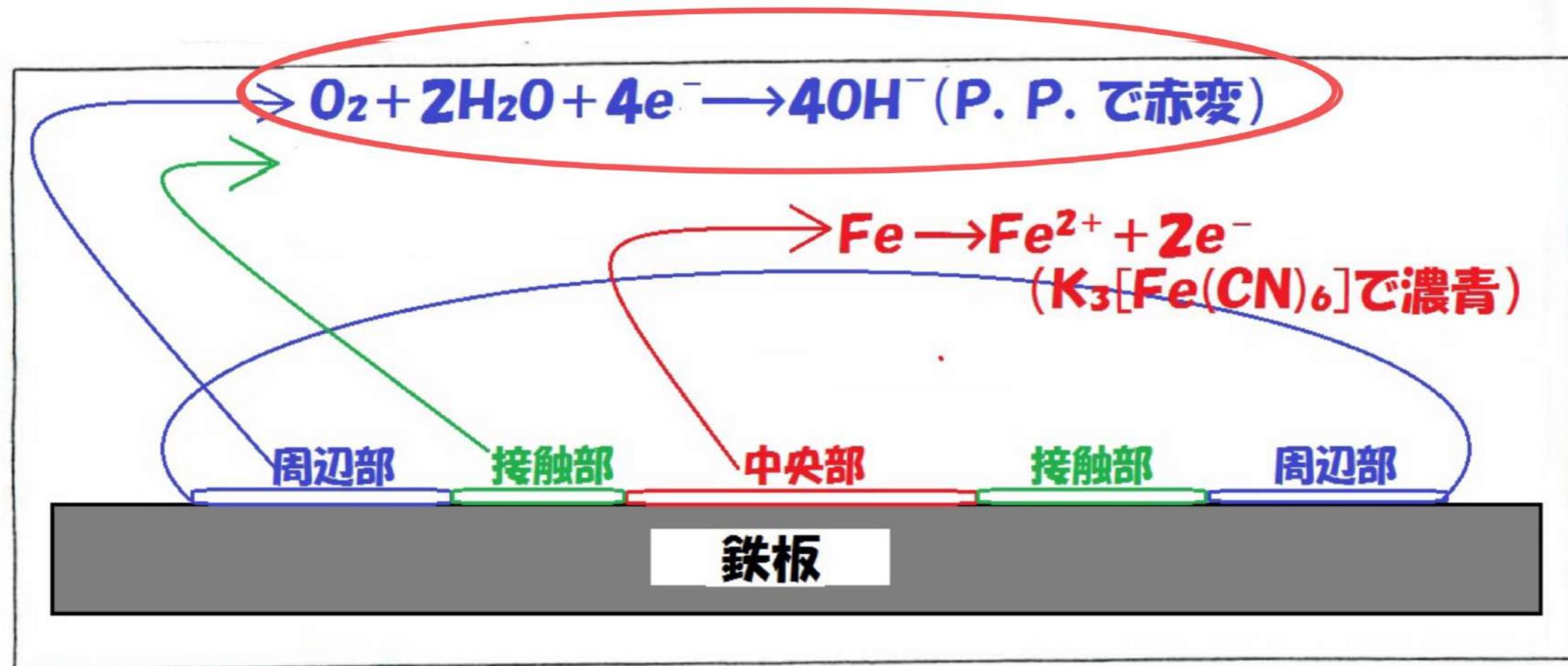
#### 解答・解説

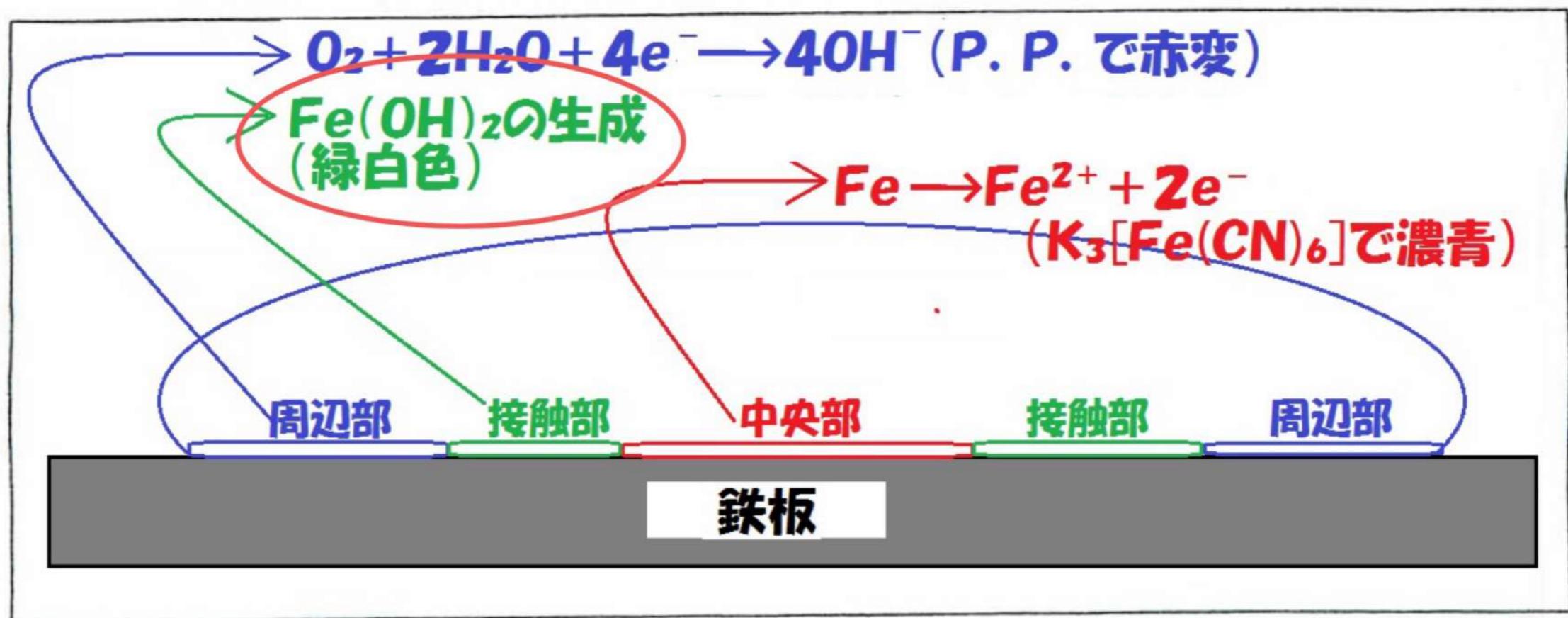
バグダッド電池の構成は、ボルタ電池と同じである。よって、負極となるのは、イオン化傾向の大きい方の金属を用いた鉄電極 答 である。

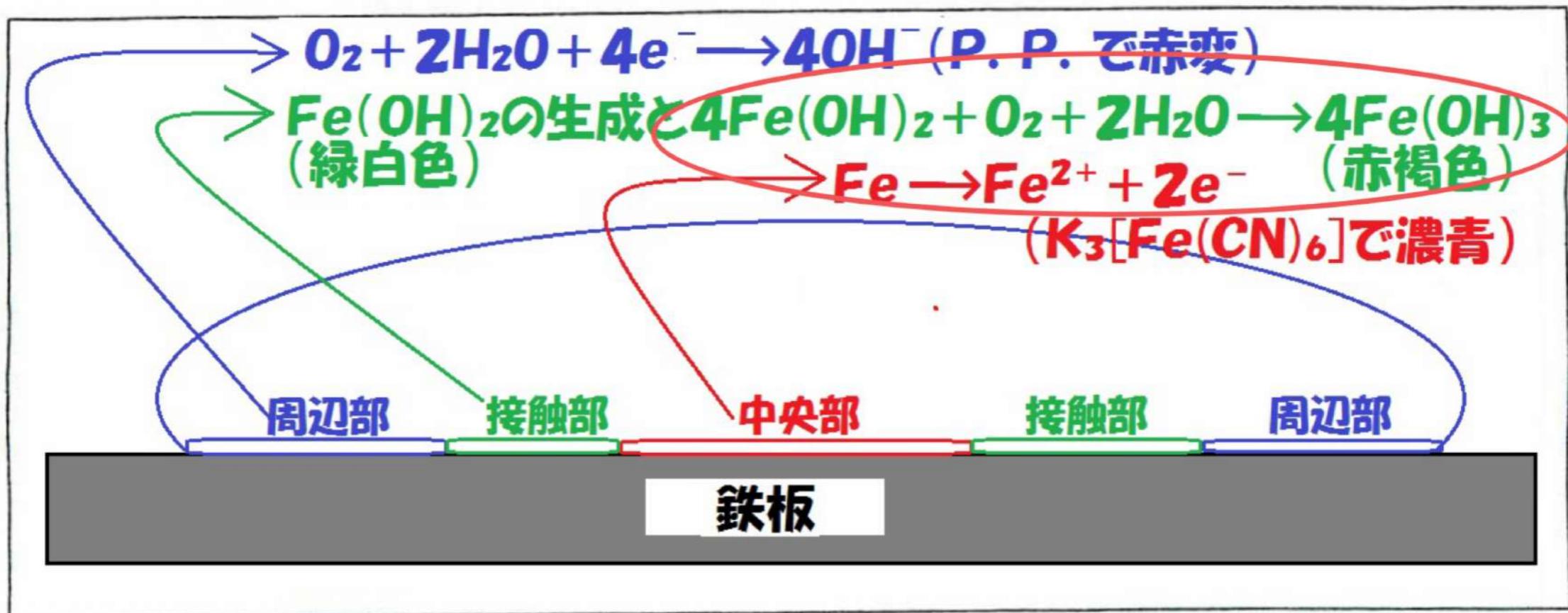


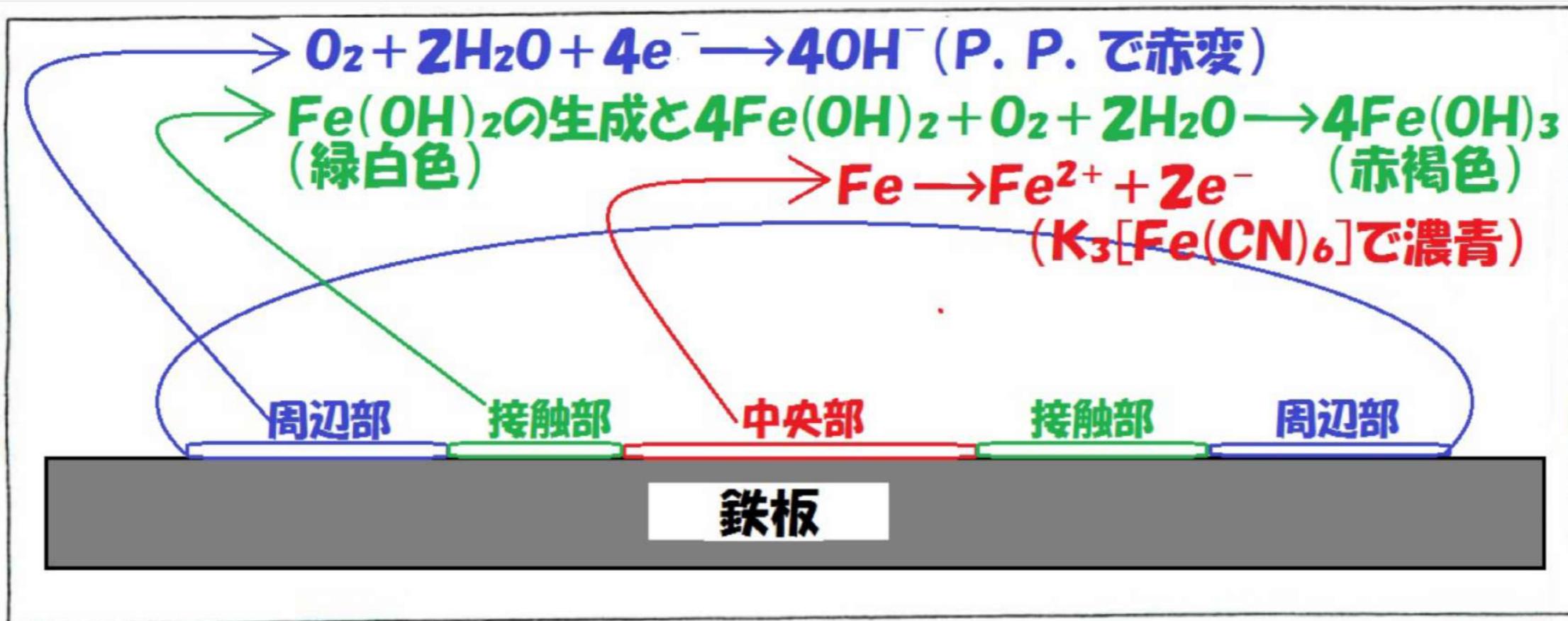








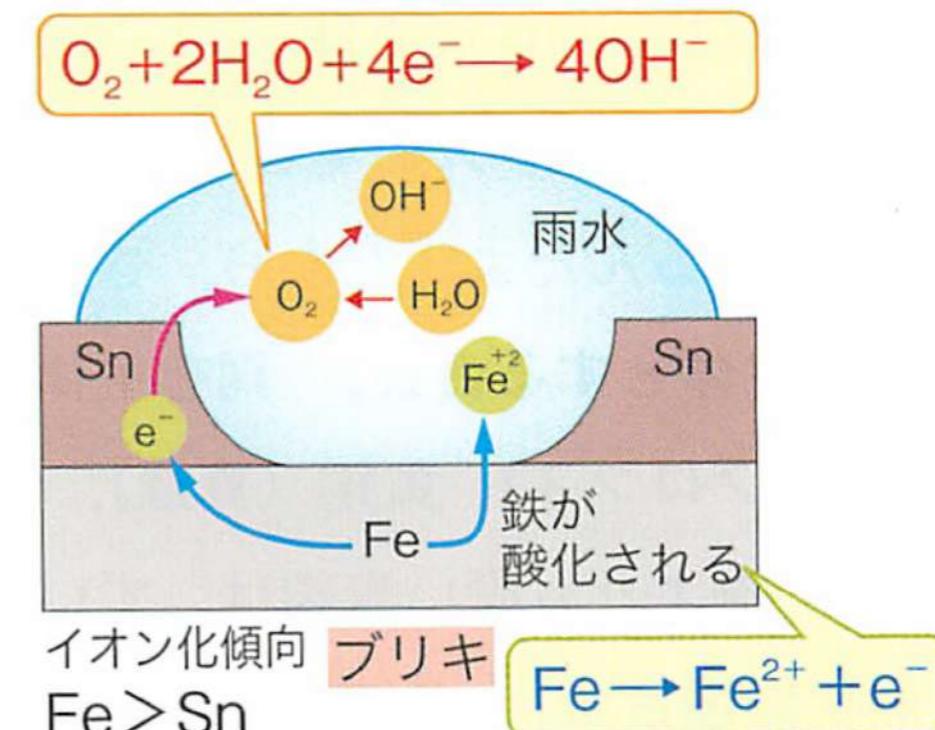




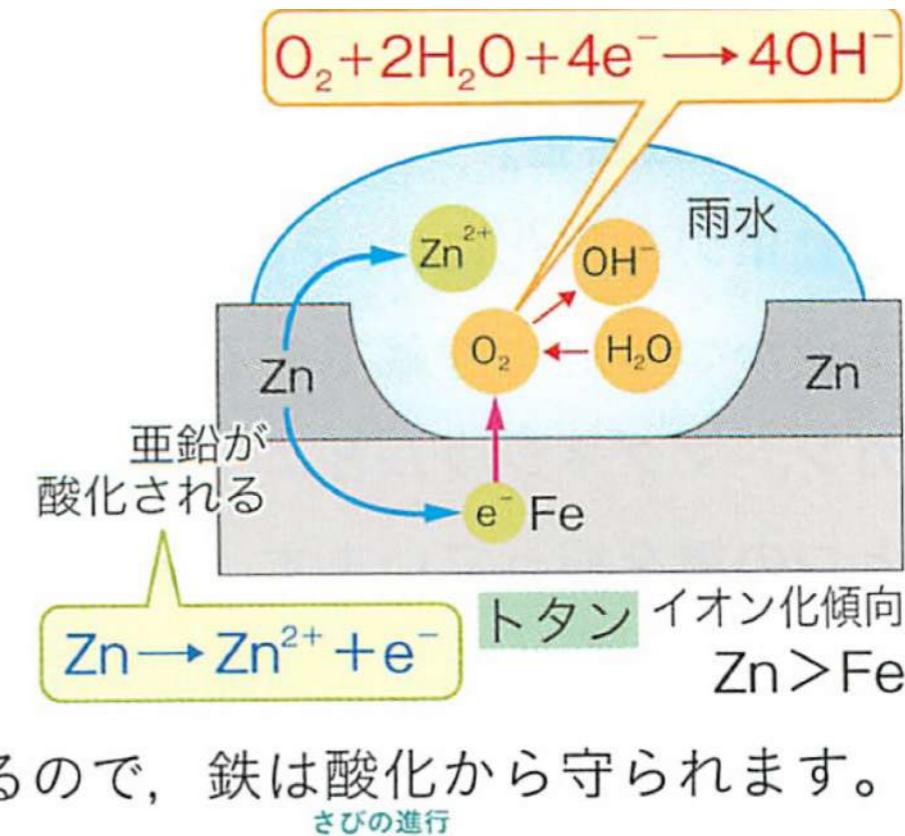
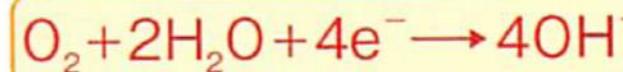
## 局部電池の形成

**【ブリキ】** ブリキとは、鋼板（鉄板）の表面をスズでめっきしたものです。スズは鉄よりイオン化傾向が小さく、表面に酸化被膜が形成されると同被膜が内部を保護するので、ブリキは鋼板よりさびにくく材料です。ただし、表面に傷がついて鉄が露出し、雨水などが付着した場合には、鉄を負極活物質とする局部電池が形成され、むしろ、鉄は酸化されやすくなります。

さびが進行しやすく



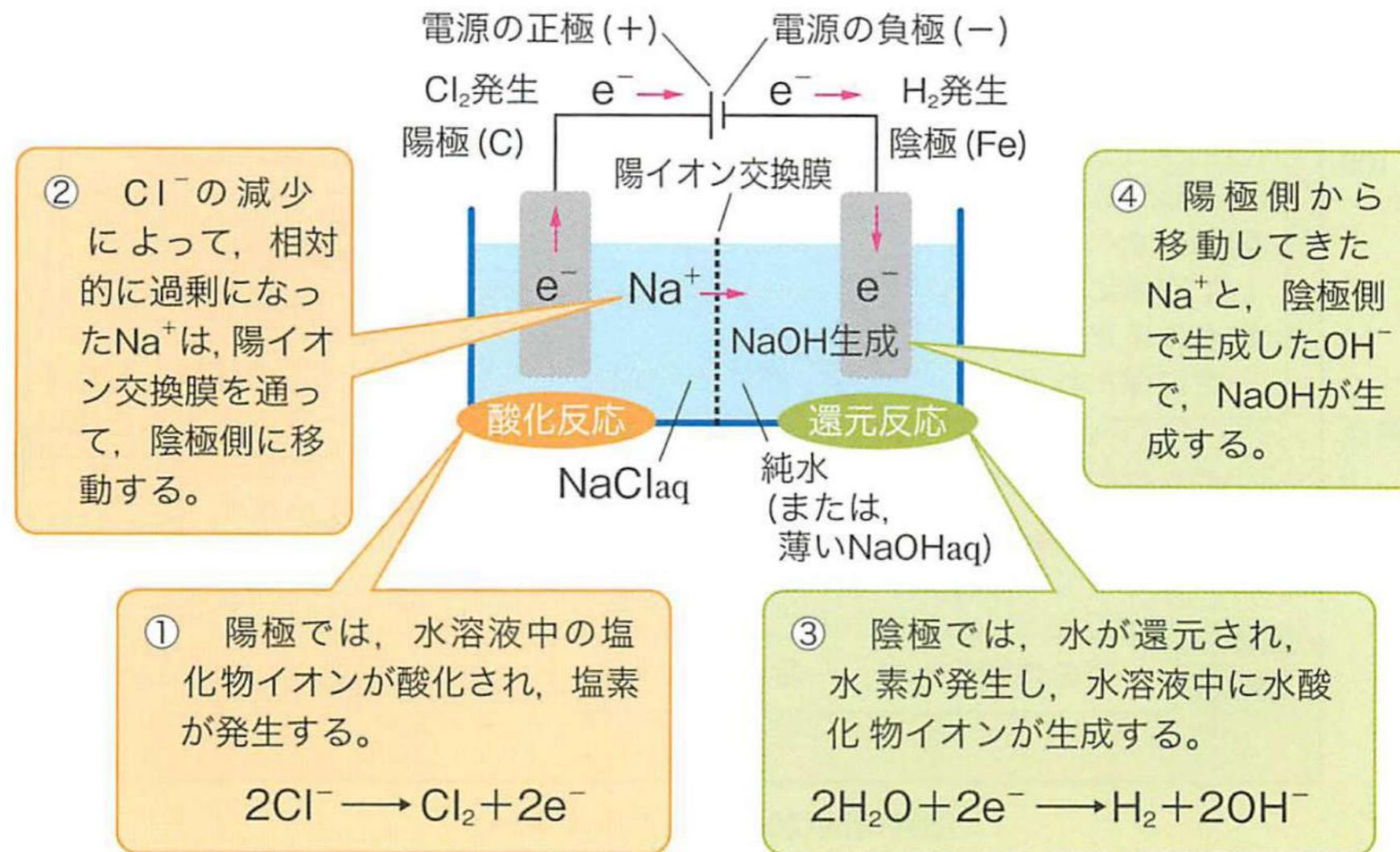
**【トタン】** トタンとは、鋼板（鉄板）の表面を亜鉛でめっきしたものです。亜鉛は鉄よりイオン化傾向が大きいものの、表面に酸化被膜が形成されると同被膜が内部を保護するので、トタンは鋼板よりさびにくい材料です。たとえ表面に傷がついて鉄が露出し、雨水などが付着した場合にも、亜鉛を負極活物質とする局部電池が形成されるので、鉄は酸化から守られます。



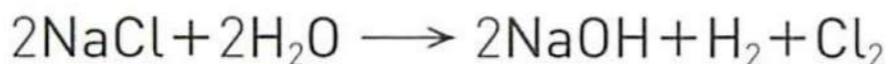
**【クロムめっき】** 鉄をクロムイオンを含む水溶液に浸して、鉄を陰極として電気分解すると、鉄の表面がクロムめっきされます。クロムめっきは、水道の蛇口の部分などに使われています。

## ●イオン交換膜法

水酸化ナトリウムや塩素の工業的製法

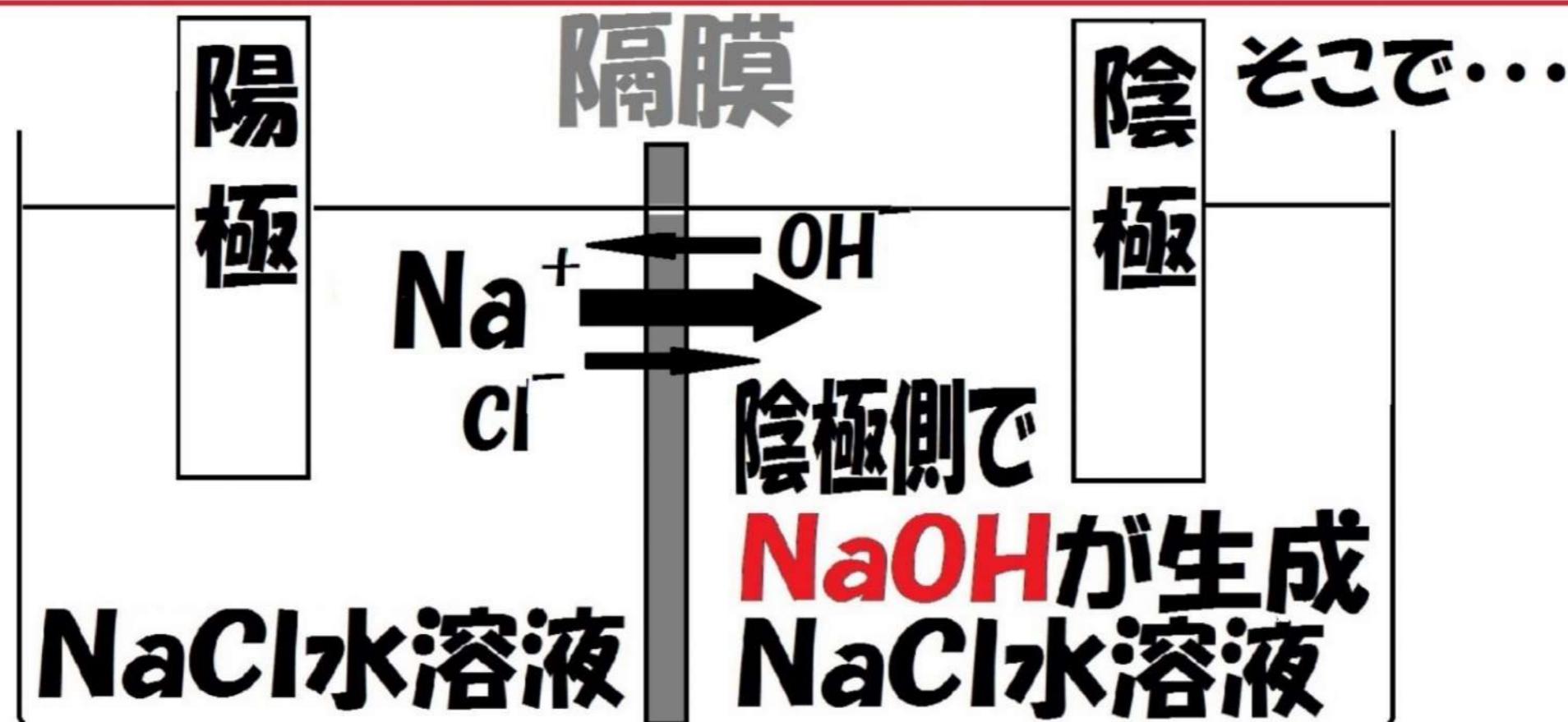


イオン交換膜法全体では、次の反応が起こる。



## これがかつての隔膜法！

この隔膜法には大きな欠点が！ $\text{NaCl}$ 水溶液中で $\text{NaOH}$ が生成するので、純度の高い $\text{NaOH}$ が得られない。でも、隔膜じゃ、両水溶液を分けなれないしね。



# これがイオン交換膜法！

両極側の水溶液は混じらず、NaOH水溶液の中で生成するので、純度が高いNaOHが得られる。

- ① 隔膜に陽イオン交換膜を用い、



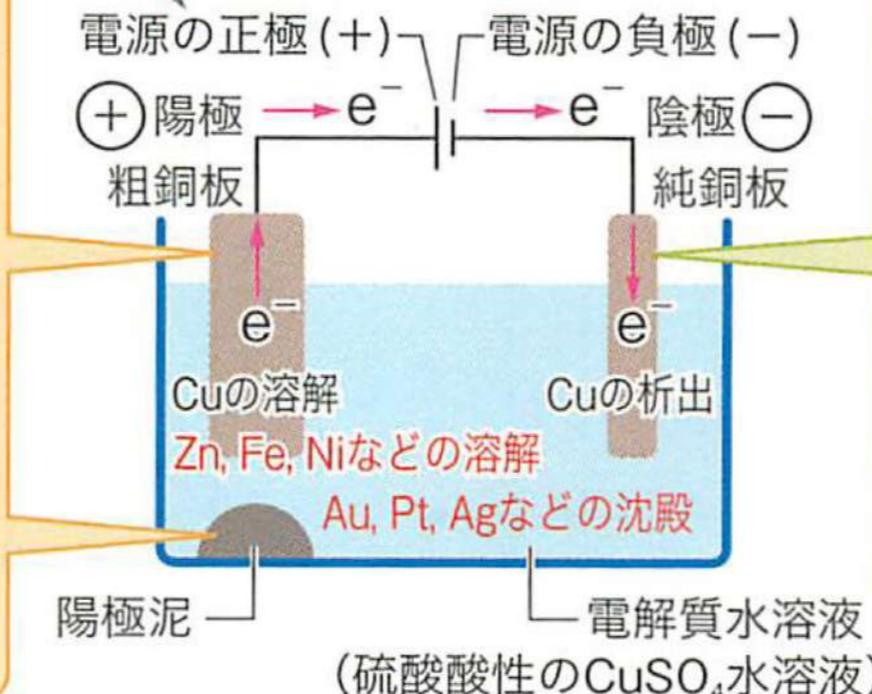
- ② 陰極側をNaOH水溶液にすると、

## ●銅の電解製錬

### 銅の精錬法

陽極では酸化反応が起こる。その結果、銅が酸化され、溶解する。不純物として含まれる亜鉛や鉄、ニッケル（銅よりもイオン化傾向が大きい金属）なども酸化され、溶解する。不純物として含まれる金や白金、銀（銅よりもイオン化傾向が小さい金属）などは、酸化されることではなく、そのまま沈殿する（陽極泥）。

ここでかけられている電圧は、0.3V程度と低い。



陰極では還元反応が起こる。その結果、銅(II)イオンが還元されて、銅が生成する。亜鉛イオンや鉄(II)イオン、ニッケル(II)イオンは還元されず、亜鉛や鉄、ニッケルは析出しない。