# 高校化学 L01 第 116 講 燃料電池

**この講でできるようになること**

- 水素を用いる燃料電池の基本的な仕組みを説明できる。
- 酸性モデルとアルカリ性モデルの半反応式から全反応式を作れる。
- 電子とイオンの移動経路、通常の電池との違いを説明できる。

## 燃料電池の基本

燃料電池は、燃料と酸化剤を外部から供給し、それらの化学反応によるエネルギーを電気として取り出す装置である。 代表的な水素燃料電池では、水素$H_2$と酸素$O_2$が反応して水$H_2O$を生じる。

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

この化学反応のエネルギーの一部を、酸化還元反応による電子の移動として外部回路へ取り出す。また、変換の過程では熱も生じるため、化学エネルギーが 100% 電気エネルギーになるわけではない。 通常の一次電池では、内部にある活物質を消費することで発電する。一方、燃料電池では燃料や酸化剤を外部から供給し、適切な運転条件や生成物の排出が維持される間は発電を継続できる。ただし、燃料電池も無限に使用できるわけではなく、燃料供給、装置条件、部材の状態などによって性能は変化する。 また、二次電池の充電は放電時とは逆向きの反応を外部電源で進める操作であるのに対し、燃料電池の燃料補給は反応物を外部から供給する操作であり、同じものではない。

## 燃料電池の電子とイオンの移動

水素燃料電池では、負極で水素が酸化され、正極で酸素が還元される。 電子は負極から外部回路を通り、正極へ移動する。

$$\text{負極} \rightarrow \text{負荷} \rightarrow \text{正極}$$

一方、電解質内部ではイオンが電荷を運ぶ。電子が電解質や膜を直接横断するわけではない。 燃料電池では、使用する電解質の条件によって反応式の書き方が変化する。代表的な考え方として、酸性モデルとアルカリ性モデルを比較する。

## 酸性モデルの反応

酸性モデルでは、水素側で水素が酸化され、水素イオン$H^+$が生じる。 負極では、

$$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$$

が進む。 正極では、酸素が水素イオンと電子を受け取り、水を生成する。

$$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$$

この場合、$H^+$は負極側から正極側へ移動する。 2 つの半反応式を合わせると、$H^+$と電子が消去され、

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$$

となる。

©ミライコーチング

## アルカリ性モデルの反応

アルカリ性モデルでは、水酸化物イオン$OH^-$が電荷移動を担う。 負極では、

$$H_2 + 2OH^- \rightarrow 2H_2O + 2e^-$$

が進む。 正極では、

$$\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$$

が進む。 この場合、$OH^-$は正極側から負極側へ移動する。 酸性モデルとアルカリ性モデルでは移動するイオンや水が関わる場所は異なるが、全体の反応は同じである。

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$$

整数係数で表すと、

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

となる。 半反応式を加えるときは、電子数をそろえて消去することで、両電極で起こる酸化還元を全体の化学反応として表せる。酸性モデルでは$H^+$、アルカリ性モデルでは$OH^-$がそれぞれ等量生成・消費され、アルカリ性モデルでは反応式中の水も差し引いて正味の生成量を表す。

©ミライコーチング

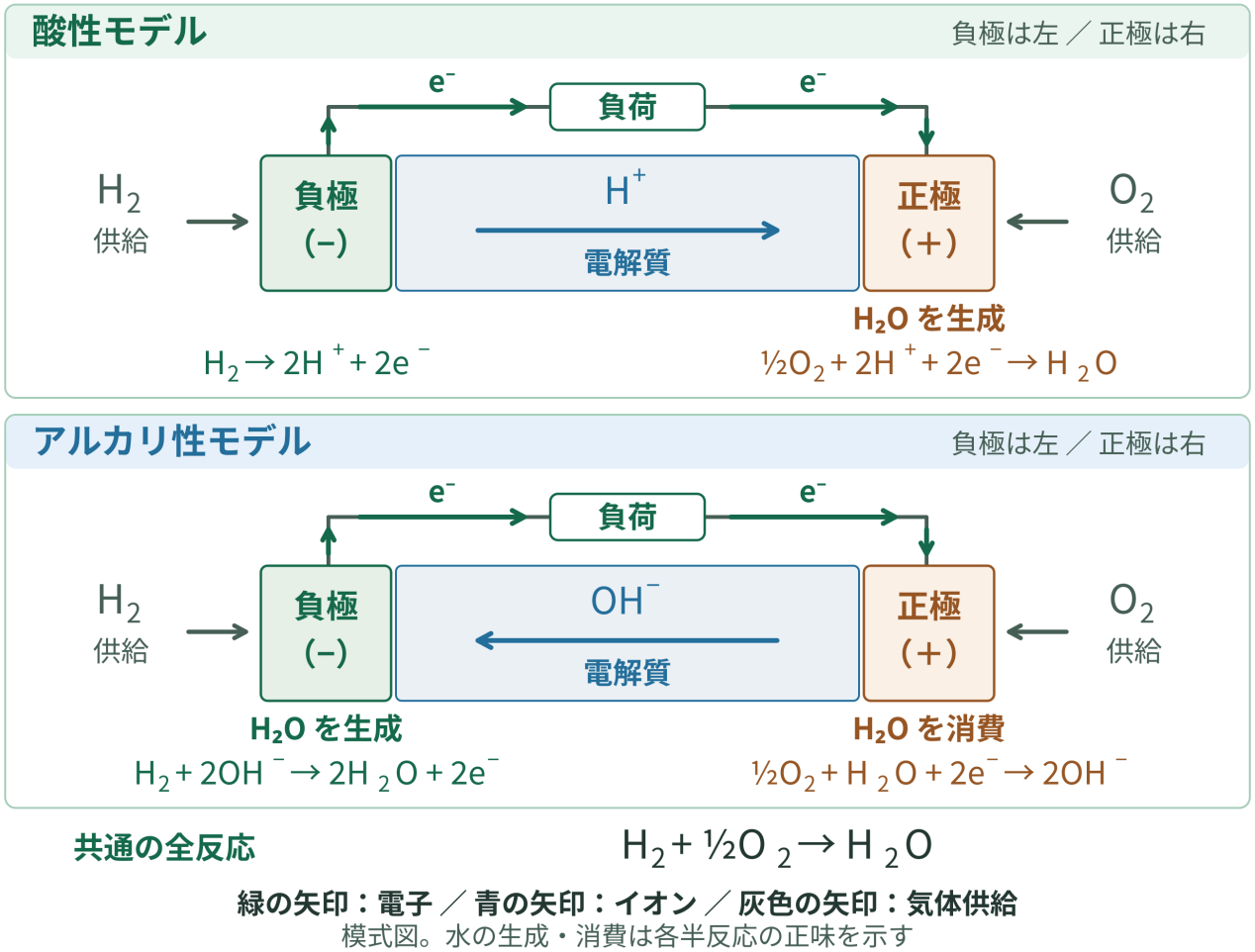


**図 1**　酸性モデルとアルカリ性モデルで異なるイオン移動と電極反応を比較する。

## 酸性モデルとアルカリ性モデルの比較

| 項目 | 酸性モデル | アルカリ性モデル |
|---|---|---|
| 負極で移動に関わるイオン | $H^+$を生成 | $OH^-$を消費 |
| 正極で関わる反応 | $H_2O$を生成 | $OH^-$を生成 |
| イオンの移動方向 | 負極側から正極側 | 正極側から負極側 |
| 全反応 | $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$ | $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$ |

実際の燃料電池では、電解質や膜などの構造は種類によって異なる。本講では、反応の方向と電荷を運ぶ粒子の役割を理解するための原理モデルとして扱う。

## 燃料電池と通常の電池の違い

代表的な内部活物質型の一次電池や二次電池では、電池内部にある反応物の量に加え、負荷や使用条件によって使用可能な時間が決まる。 燃料電池では、燃料と酸化剤を外部から供給することで、反応物を継続的に補える点が特徴である。 ただし、燃料電池も化学反応を利用する装置であり、反応物の供給、生成物の処理、装置の状態などが発電に影響する。

©ミライコーチング

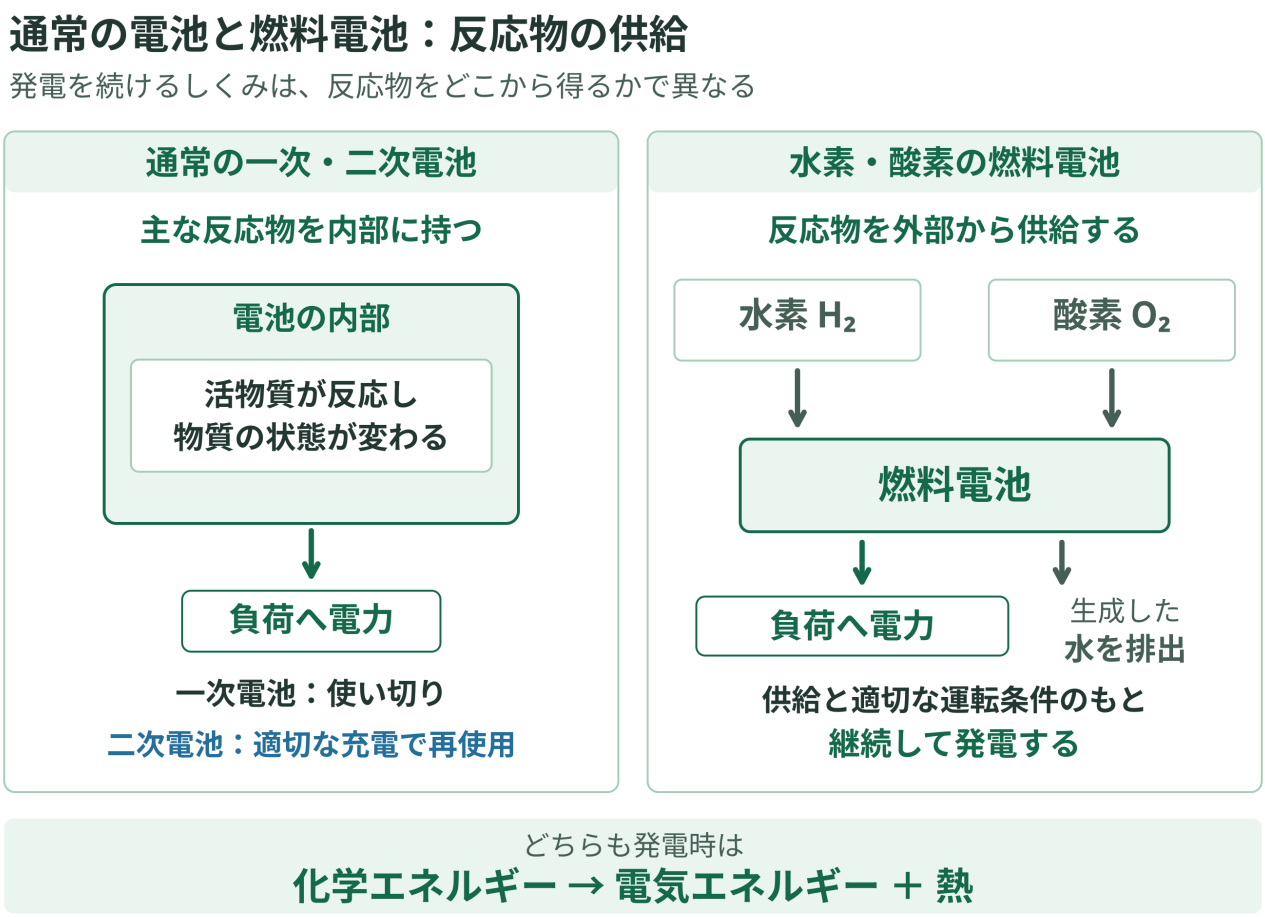


**図 2**　通常電池と燃料電池では、発電時のエネルギー変換は共通で、反応物の供給方法や再使用の方法が異なる。

燃料電池では、外部から供給された水素と酸素の反応によって電気を取り出す。電子は外部回路を移動し、電解質内部ではイオンが電荷移動を担うという役割分担を理解することが重要である。

# 例題

**例題 1**

酸性モデルの水素燃料電池について考える。負極では水素が酸化され、正極では酸素が還元される。電解質中では$H^+$が電荷移動を担う。

半反応式は次の通りである。 負極：

$$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$$

正極：

$$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$$

1. 負極と正極で起こる反応を酸化・還元に分類し、電子がどこへ移動するか説明せよ。
2. 2 つの半反応式を加えて全反応式を作り、電子や$H^+$が消去される理由を説明せよ。

**解答・解説**

**1.**
負極では、

$$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$$

が進む。 電子が生成物側にあるため、水素$H_2$は電子を失っており、酸化反応である。 正極では、

$$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$$

が進む。 電子が反応物側にあるため、酸素が電子を受け取り、還元反応が起こる。 負極で生じた電子は電解質中を移動するのではなく、外部回路を通って正極へ移動する。電解質中では$H^+$が電荷移動を担う。

**2.**
半反応式を加えると、負極で生成した電子と正極で消費される電子が消去される。また、正極反応で消費される$H^+$と負極反応で生成する$H^+$も打ち消し合う。

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$$

となる。

電子が消えるのは、電子が反応全体で消費されるのではなく、外部回路を通った電子の受け渡しとして酸化反応と還元反応をつないでいるためである。全体としては水素と酸素の化学反応が表される。

©ミライコーチング

**例題 2**

アルカリ性モデルの水素燃料電池について考える。負極では水素が酸化され、正極では酸素が還元される。電解質中では$OH^-$が電荷移動を担う。

半反応式は次の通りである。 負極：

$$H_2 + 2OH^- \rightarrow 2H_2O + 2e^-$$

正極：

$$\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$$

1. 負極と正極で起こる酸化・還元を説明し、$OH^-$がどちら向きに移動するか答えよ。
2. 半反応式を加えて正味の全反応式を求め、水の生成について酸性モデルとの違いを説明せよ。

**解答・解説**

**1.**
負極では、

$$H_2 + 2OH^- \rightarrow 2H_2O + 2e^-$$

が進む。 電子が生成されるため、水素は酸化されている。 正極では、

$$\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$$

が進む。 電子を受け取っているため、酸素が還元されている。 アルカリ性モデルでは、正極で$OH^-$が生成し、負極で$OH^-$が消費される。そのため、$OH^-$は正極側から負極側へ移動する。

**2.**
2 つの半反応式を加えると、電子と$OH^-$が消去される。さらに、反応式中の水を整理すると、正味の全反応式として$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$が得られる。

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$$

となる。 アルカリ性モデルでは、反応途中で$OH^-$が関与するため、水が生成・消費される電極は酸性モデルと異なる。

酸性モデルでは正極で水が生成するが、アルカリ性モデルでは正極で水が消費され、負極で水が生成する。しかし、全体としては水素と酸素から水が生じる反応であり、正味の全反応式は同じである。

©ミライコーチング

**例題 3**

水素燃料電池と通常の内部活物質を利用する電池を比較する。

通常の内部活物質型の一次電池や二次電池では、電池内部にある反応物を利用して発電する。燃料電池では、外部から水素と酸素を供給し、水を生成する反応を利用して発電する。

1. 燃料電池と通常の一次・二次電池で、反応物の供給方法と発電時のエネルギー変換の共通点・違いを説明せよ。
2.「燃料電池への燃料供給は二次電池の充電と同じ操作である」という説明を訂正し、適切な運転条件について説明せよ。

**解答・解説**

**1.**
通常の内部活物質型の一次電池や二次電池では、電池内部の反応物が利用可能な間、化学エネルギーを電気エネルギーへ変換して発電する。

二次電池では、適合した外部電源によって放電時とは逆向きの反応を進め、再使用できる状態に近づける。 一方、燃料電池では、水素や酸素を外部から供給し、その化学反応によるエネルギーを電気として取り出す。燃料電池の発電では、

$$\text{化学エネルギー} \rightarrow \text{電気エネルギー}$$

の変換が起こるが、熱も生じるため 100% が電気へ変換されるわけではない。

**2.**
燃料電池への燃料供給は、二次電池の充電とは異なる。

二次電池の充電では、外部電源によって放電時とは逆向きの化学反応を進め、内部の状態を放電前に近づける。

一方、燃料電池では外部から反応物である水素や酸素を供給し、燃料供給、酸化剤供給、生成物の処理など適切な運転条件を維持することで反応を継続させる。

## 演習問題

**演習 1**

酸性モデルの水素燃料電池について考える。電解質中では$H^+$が電荷移動を担う。

負極：

$$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$$

正極：

$$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$$

1. 負極と正極で起こる反応を酸化・還元に分類し、電子がどのように移動するか説明せよ。
2. 2 つの半反応式を加えて全反応式を示し、電子と$H^+$が消去される理由を説明せよ。

**演習 2**

アルカリ性モデルの水素燃料電池について考える。電解質中では$OH^-$が電荷移動を担う。

負極：

$$H_2 + 2OH^- \rightarrow 2H_2O + 2e^-$$

正極：

$$\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$$

1. 負極と正極で起こる反応を酸化・還元に分類し、$OH^-$の移動方向を説明せよ。
2. 2 つの半反応式から正味の全反応式を求め、水が生成・消費される場所を説明せよ。

**演習 3**

酸性モデルとアルカリ性モデルの水素燃料電池を比較する。

酸性モデルでは$H^+$、アルカリ性モデルでは$OH^-$が電荷移動を担うものとする。

1. 両方のモデルで外部回路を流れる電子の方向が同じになる理由を説明せよ。
2.「酸性モデルとアルカリ性モデルでは、どちらも正極で水が生成する」という説明を訂正し、それぞれの水の生成・消費の違いを説明せよ。

**演習 4**

通常の内部活物質を利用する電池と、水素燃料電池を比較する。

通常の二次電池は適合した外部電源で充電し、燃料電池は外部から水素と酸素を供給するものとする。

1. 内部活物質を利用する電池と燃料電池で、発電を継続する条件の違いを説明せよ。
2.「燃料電池への燃料供給は二次電池の充電と同じ操作である」という説明を訂正し、それぞれのエネルギー変換を説明せよ。

**演習 5**

水素燃料電池について考える。

「水素と酸素の化学エネルギーは 100% 電気エネルギーに変換され、燃料を供給し続ければ無限に発電できる」という説明を訂正せよ。

©ミライコーチング

# 演習問題の解答・解説

## 解答 1

**1.**
酸性モデルでは、負極で、

$$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$$

が進む。 電子が生成物側にあるため、水素は電子を失って酸化される。 正極では、

$$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$$

が進む。 電子が反応物側にあるため、酸素が電子を受け取り還元される。 負極で発生した電子は外部回路を通って正極へ移動する。電解質中を電子が直接移動するのではなく、電解質中では$H^+$が電荷移動を担う。

**2.**
半反応式を加えると、負極で生成した電子と正極で消費される電子が消去される。また、負極で生成する$H^+$と正極で消費される等量の$H^+$が相殺される。

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$$

となる。

この全反応式は、水素と酸素が反応して水を生じる全体の化学変化を表している。

## 解答 2

**1.**
アルカリ性モデルでは、負極で、

$$H_2 + 2OH^- \rightarrow 2H_2O + 2e^-$$

が進む。 電子が生成するため、水素は酸化される。 正極では、

$$\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$$

が進む。 電子を受け取るため、酸素は還元される。 $OH^-$は正極で生成し、負極で消費されるため、電解質中では正極側から負極側へ移動する。

**2.**
2 つの半反応式を加えると、電子と$OH^-$が消去される。さらに、反応式中の水を整理すると、正味の全反応式として$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$が得られる。

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$$

となる。

アルカリ性モデルでは、負極で水が生成し、正極で水が消費される。酸性モデルでは正極で水が生成するため、水が関わる電極は電解質の種類によって異なる。

©ミライコーチング

## 解答 3

**1.**
酸性モデルでもアルカリ性モデルでも、負極では水素が電子を放出する酸化反応が起こる。

そのため、外部回路では負極から正極へ電子が移動する。 酸性モデルでは$H^+$、アルカリ性モデルでは$OH^-$が電解質中の電荷移動を担うが、外部回路を流れる電子の向きは変化しない。

**2.**
「酸性モデルとアルカリ性モデルでは、どちらも正極で水が生成する」という説明は誤りである。

酸性モデルでは、

$$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$$

により正極で水が生成する。 一方、アルカリ性モデルでは、

$$\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$$

により正極で水が消費され、負極で水が生成する。 ただし、どちらも全体では、

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$$

という同じ反応を表す。

## 解答 4

**1.**
通常の内部活物質型の一次電池や二次電池では、電池内部にある反応物を利用して発電する。二次電池では適合した外部電源による充電で再使用できる状態に近づけることができる。

一方、燃料電池では、水素や酸素などの反応物を外部から供給し、供給、酸化剤供給、生成物の処理などが適切に維持される間、発電を継続できる。

**2.**
「燃料電池への燃料供給は二次電池の充電と同じ操作である」という説明は誤りである。

二次電池の充電では、外部電源によって放電時とは逆向きの反応を進め、電池内部に化学エネルギーを蓄える。 一方、燃料電池では外部から水素や酸素を供給し、それらの反応による化学エネルギーを電気へ変換する。 燃料電池の発電では、

$$\text{化学エネルギー} \rightarrow \text{電気エネルギー}$$

の変換が起こる。

©ミライコーチング

## 解答 5

**1.**
「水素と酸素の化学エネルギーは 100% 電気エネルギーに変換され、燃料を供給し続ければ無限に発電できる」という説明は誤りである。

燃料電池では、水素と酸素の反応による化学エネルギーを電気エネルギーとして取り出すが、エネルギーの一部は熱としても放出される。 また、燃料や酸化剤を供給し続けても、装置の状態や運転条件によって性能は変化するため、無限寿命で発電できるわけではない。

燃料電池は、反応物を外部から供給できることで発電を継続しやすい仕組みを持つが、100% 変換や無制限の発電を意味しない。

©ミライコーチング