高校化学 L01 第 57 講 酸性条件での半反応式

この講でできるようになること

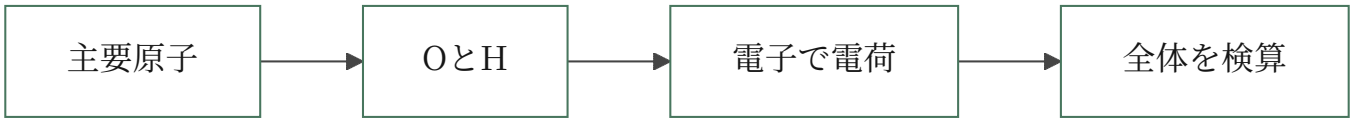
- 酸性条件で、H_2O・H^+・e^-を用いて半反応式を完成できる。
- O と H を含む半反応式について、原子数を順序よくそろえられる。
- 電子 e^-を用いて、左右の総電荷を一致させられる。
- 完成した半反応式について、全元素の原子数と総電荷を検算できる。

酸性条件では H_2O と H^+も使う

電子だけでは原子数を合わせられない

前講では、電子 e^-を加えて左右の電荷をそろえる方法を学んだ。
しかし、酸素や水素を含むイオンでは、電子だけを加えても原子数の不一致は直せない。
たとえば、酸性条件で MnO_4^-が Mn^{2+}になる変化を考える。
Mn 原子は左右 1 個ずつだが、左辺には O 原子が 4 個あり、右辺には O 原子がない。
そこで酸性条件では、**H_2O で O 原子を、H^+で H 原子をそろえ、最後に e^-で電荷をそろえる**。

酸性条件で半反応式をつくる手順



原子数を先に、電荷を最後にそろえる

酸性条件では、次の順で考える。
1. O と H 以外の主要な元素の原子数をそろえる。
2. O が不足している側に H_2O を加えて、O 原子数をそろえる。
3. H が不足している側に H^+を加えて、H 原子数をそろえる。
4. 左右の総電荷を比べ、総電荷がより正の側に e^-を加えて電荷を一致させる。
5. 最後に、すべての元素の原子数と総電荷を検算する。

H_2O には O と H の両方が含まれるため、先に H_2O で O を合わせ、そのあと H^+で H を合わせると整理しやすい。
電子 e^-は負の電荷をもつので、総電荷がより正の側へ加えると、その側の総電荷を小さくできる。

©ミライコーチング

MnO_4^-がMn^{2+}になる半反応式

段階的に原子数と電荷をそろえる

酸性条件で、MnO_4^-がMn^{2+}になる変化を考える。
まず Mn 原子は左右 1 個ずつなので、そのままでよい。
左辺には O 原子が 4 個あるため、原子数調整中の式として右辺に $4H_2O$ を加える。
$MnO_4^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$
右辺には H 原子が 8 個生じたので、左辺に $8H^+$を加える。
電荷調整前の式は$MnO_4^- + 8H^+ \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$である。
この段階では、左辺の総電荷は$-1 + 8 = +7$、右辺は$+2$である。
左辺へ電子 5 個を加えると、左辺の総電荷は$+7 + 5 \times (-1) = +2$となり、右辺と一致する。
したがって、完成した半反応式は次のとおりである。

$$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$$

確認する量	左辺	右辺
Mn 原子	1	1
O 原子	4	4
H 原子	8	8
総電荷	$-1 + 8 - 5 = +2$	$+2$

酸化数の変化とも一致する

MnO_4^-中の Mn の酸化数は$+7$、Mn^{2+}中では$+2$である。
Mn は$+7$から$+2$へ 5 減少しているので、電子 5 個を受け取る還元である。
完成した半反応式で e^-が左辺に 5 個あることと一致する。

H_2O を加えなくてもよい場合がある

H_2O_2が O_2になる変化

酸性条件で、H_2O_2が O_2になると指定された変化を考える。
O 原子は最初から左右 2 個ずつなので、O をそろえるための H_2O は必要ない。
左辺の H 原子 2 個をそろえるために右辺へ $2H^+$を置くと、電荷調整前は左辺 0、右辺$+2$である。
右辺へ電子 2 個を加えると、総電荷が 0 で一致する。

$$H_2O_2 \rightarrow O_2 + 2H^+ + 2e^-$$

H_2O_2中の O の酸化数は-1、O_2中では 0 なので、この変化は酸化である。
酸性条件だからといって、H_2O や H^+を毎回同じ側へ機械的に加えるわけではない。

H_2O_2が H_2O になる場合

同じ H_2O_2でも指定された生成物で式が変わる

酸性条件で H_2O_2が H_2O になると指定された場合は、O 原子 2 個に合わせて右辺を $2H_2O$ とする。
右辺の H 原子は 4 個、左辺の H_2O_2には 2 個あるので、左辺に $2H^+$を加える。
その後、左辺に電子 2 個を加えて電荷をそろえる。

$$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O$$

H_2O_2中の O は-1から H_2O 中の-2へ減少しているので、この変化は還元である。

例題

例題 1

酸性条件で、MnO_4^-がMn^{2+}になる変化を考える。

1. H_2O、H^+、e^-を用いて半反応式を完成し、酸化・還元のどちらか答えよ。
2. 完成した半反応式について、Mn・O・H の原子数と左右の総電荷を確認し、e^-を 5 個左辺へ置く理由を説明せよ。

解答・解説

1.
Mn は左右 1 個ずつなので、まず O を合わせるため右辺に $4H_2O$ を置く。
次に H を合わせるため左辺に $8H^+$を置く。
電荷調整前では、左辺の総電荷は$-1+8=+7$、右辺は$+2$なので、左辺に $5e^-$を加える。
完成した半反応式は次のとおりである。

$$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$$

電子を受け取っているので、この変化は**還元**である。

2.
原子数は Mn が 1 個と 1 個、O が 4 個と 4 個、H が 8 個と 8 個で一致する。
左辺の総電荷は$-1+8+5\times(-1)=+2$、右辺の総電荷も$+2$である。
電子を加える前は左辺$+7$、右辺$+2$なので、左辺に負電荷をもつ e^-を 5 個加えることで$+2$にそろう。
したがって、e^-の係数は **5** である。

例題 2

酸性条件で、$Cr_2O_7^{2-}$がCr^{3+}になる変化を考える。

1. H_2O、H^+、e^-を用いて半反応式を完成せよ。
2. 電子の係数が 6 になる理由を、Cr1 原子あたりの酸化数変化と Cr 原子数から説明し、左右の総電荷も確認せよ。

解答・解説

1.
$Cr_2O_7^{2-}$には Cr が 2 個あるので、右辺を $2Cr^{3+}$とする。
O 原子 7 個を合わせるため右辺に $7H_2O$ を置き、H 原子 14 個を合わせるため左辺に $14H^+$を置く。
電荷をそろえるため左辺に $6e^-$を加える。
完成した半反応式は次のとおりである。

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

2.
$Cr_2O_7^{2-}$中の Cr の酸化数は$+6$、Cr^{3+}では$+3$である。
Cr1 原子あたりでは$+6 \rightarrow +3$となり、電子 3 個を受け取る。
Cr は 2 原子あるため、式全体では$3\times2=6$個の電子を受け取る。
左辺の総電荷は$-2+14-6=+6$、右辺は$2\times(+3)=+6$で一致する。
したがって、電子の係数は **6** であり、この変化は還元である。

©ミライコーチング

例題 3

酸性条件で H_2O_2について、次の 2 つの異なる変化を考える。H_2O_2中の O の酸化数は-1とする。

1. H_2O_2が O_2になる変化の半反応式を書き、酸化・還元のどちらか答えよ。
2. H_2O_2が H_2O になる変化の半反応式を書き、酸化・還元のどちらか答えよ。

解答・解説

1.
O 原子は H_2O_2と O_2でともに 2 個なので、H_2O を加える必要はない。
H 原子をそろえるため右辺に $2H^+$を置き、電荷をそろえるため右辺に $2e^-$を置く。
半反応式は次のとおりである。

$$H_2O_2 \rightarrow O_2 + 2H^+ + 2e^-$$

H は左右 2 個、O も左右 2 個であり、総電荷は左右とも 0 である。
O の酸化数は-1から 0 へ増加し、電子を失っているため、この変化は**酸化**である。

2.
O 原子 2 個を合わせるため、右辺を $2H_2O$ とする。
右辺の H 原子は 4 個なので、左辺に $2H^+$を加える。さらに電荷をそろえるため左辺に $2e^-$を加える。
半反応式は次のとおりである。

$$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O$$

H は左右 4 個、O は左右 2 個であり、総電荷は左右とも 0 である。
O の酸化数は-1から-2へ減少し、電子を受け取っているため、この変化は**還元**である。

演習問題

演習 1

酸性条件で MnO_4^-が Mn^{2+}になる変化について、原子数をそろえた電荷調整前の式が次のように与えられている。

$$MnO_4^- + 8H^+ \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$$

1. 電子を加える前の左辺と右辺の総電荷をそれぞれ求めよ。
2. e^-を加えて半反応式を完成し、この変化が酸化・還元のどちらか答えよ。

演習 2

酸性条件で NO_3^-が NO になる変化を考える。生成物は NO であるとする。

1. H_2O、H^+、e^-を用いて半反応式を完成せよ。
2. N・O・H の原子数と総電荷を左右で確認し、受け取る電子の数と N の酸化数変化を答えよ。

演習 3

酸性条件で SO_2が SO_4^{2-}になる変化を考える。生成物は SO_4^{2-}であるとする。

1. H_2O、H^+、e^-を用いて半反応式を完成せよ。
2. S の酸化数変化と電子数から、この変化が酸化・還元のどちらか答え、左右の総電荷も確認せよ。

演習 4

酸性条件で $Cr_2O_7^{2-}$が Cr^{3+}になる変化について、次の式は誤っている。

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 3e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

1. この式で Cr・O・H の原子数が左右で一致しているか確認し、左右の総電荷をそれぞれ求めよ。
2. 誤りを訂正して正しい半反応式を書き、Cr1 原子あたりの酸化数変化と Cr 原子数から電子数の理由を説明せよ。

演習 5

酸性条件で H_2O_2が O_2になる変化について、次の式は誤っている。

$$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow O_2$$

H_2O_2中の O の酸化数は-1、O_2中の O は 0 とする。

1. この式の H 原子数と左右の総電荷を比較し、正しい半反応式か判断せよ。
2. 指定された H_2O_2から O_2への変化を正しく表す半反応式を書き、酸化・還元のどちらか理由とともに答えよ。

演習問題の解答・解説

解答 1

1.

左辺の総電荷は、MnO_4^-の-1と $8H^+$の$+8$を合わせて$-1+8=+7$である。
右辺では Mn^{2+}が$+2$、H_2O は電荷 0 なので、総電荷は$+2$である。
したがって、電子を加える前の総電荷は**左辺$+7$、右辺$+2$**である。

2.

左辺の総電荷$+7$を右辺の$+2$に合わせるため、左辺に $5e^-$を加える。
完成した半反応式は次のとおりである。

$$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$$

電子を 5 個受け取る変化なので、これは**還元**である。

解答 2

1.

NO_3^-から NO への変化では、N 原子はすでに左右 1 個ずつである。
左辺の O は 3 個、右辺の NO には 1 個あるので、不足する右辺に $2H_2O$ を加える。
右辺の H 原子 4 個に合わせて左辺に $4H^+$を加え、最後に電荷をそろえるため左辺に $3e^-$を加える。
完成した半反応式は次のとおりである。

$$NO_3^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow NO + 2H_2O$$

2.

N 原子は左右 1 個、O 原子は左右 3 個、H 原子は左右 4 個で一致する。
左辺の総電荷は$-1 + 4 - 3 = 0$、右辺も 0 である。
NO_3^-中の N の酸化数は+5、NO 中では+2なので、$+5 \rightarrow +2$と 3 減少する。
したがって、N は**電子 3 個を受け取って還元**されている。

解答 3

1.

SO_2から SO_4^{2-}への変化では S 原子は左右 1 個ずつである。
右辺の O 原子 4 個に対して左辺は 2 個なので、左辺に $2H_2O$ を加える。
左辺に生じた H 原子 4 個をそろえるため、右辺に $4H^+$を加える。
右辺の総電荷は$-2 + 4 = +2$なので、右辺に $2e^-$を加えて 0 にする。
完成した半反応式は次のとおりである。

$$SO_2 + 2H_2O \rightarrow SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^-$$

2.

SO_2中の S の酸化数は+4、SO_4^{2-}中では+6である。
S は$+4 \rightarrow +6$と増加し、電子 2 個を失っているため、この変化は**酸化**である。
左辺の総電荷は 0、右辺は$-2 + 4 - 2 = 0$であり、電荷も一致する。

解答 4

1.

誤式でも、Cr 原子は左右 2 個、O 原子は左右 7 個、H 原子は左右 14 個で一致している。
左辺の総電荷は$-2 + 14 + 3 \times (-1) = +9$である。
右辺の総電荷は$2 \times (+3) = +6$である。
したがって、原子数は一致しているが、**左辺+9、右辺+6で電荷が一致していない**。

2.

正しい半反応式は次のとおりである。

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

$Cr_2O_7^{2-}$中の Cr は+6、Cr^{3+}では+3であり、Cr1 原子あたり電子 3 個を受け取る。
Cr 原子は 2 個あるため、式全体では$3 \times 2 = 6$個の電子が必要である。
左辺の総電荷は$-2 + 14 - 6 = +6$となり、右辺の+6と一致する。

解答 5

1.

誤式では、左辺の H 原子は H_2O_2の 2 個と $2H^+$の 2 個を合わせて 4 個あるが、右辺には H 原子がない。
したがって、H 原子数が一致していない。
一方、左辺の総電荷は$+2+2\times(-1)=0$、右辺も 0 なので、電荷だけは一致している。
よって、**電荷が一致していても原子数が一致していないため、この式は正しくない**。

2.

H_2O_2から O_2への指定された変化では、O 原子は最初から左右 2 個ずつである。
H_2O_2中の H 原子 2 個をそろえるため右辺に $2H^+$を置き、電荷をそろえるため右辺に $2e^-$を置く。
正しい半反応式は次のとおりである。

$$H_2O_2 \rightarrow O_2 + 2H^+ + 2e^-$$

H 原子は左右 2 個、O 原子も左右 2 個、総電荷も左右 0 で一致する。
H_2O_2中の O の酸化数は-1から O_2中の 0 へ増加し、電子を失っているため、この変化は**酸化**である。