

酸化・還元と酸化数

化学基礎監修・講師

貝谷 康治

酸化還元反応は、酸素のやりとり、水素のやりとりだけでなく、電子 e^- のやりとりでも説明できます。電子 e^- を失うと「酸化された」、電子 e^- を得ると「還元された」と表します。しかし、電子 e^- のやりとりがわかりにくい変化もあります。その際は、酸化数の変化から酸化還元反応を考えます。酸化数の決め方には規則があります。反応の前後で、酸化数が増加した原子・イオンがあれば、その物質は「酸化された」と表します。逆に、酸化数が減少した原子・イオンがあれば、その物質は「還元された」となります。酸化数を使えば、酸化還元反応を簡単に判別できるようになります。

電子のやりとり

電子は、英語でelectronと書きます。また、その電荷は「1-」です。したがって、電子は「 e^- 」と表します。

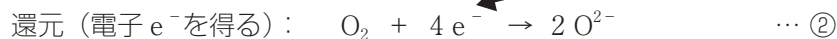
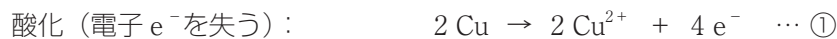
銅Cuが酸素 O_2 と反応して酸化銅(II)CuOに変化するので、銅Cuは**酸化された**といえます(図1)。酸化銅(II)CuOは、銅(II)イオン Cu^{2+} と酸化物イオン O^{2-} がイオン結合したものです。つまり、銅Cuが銅(II)イオン Cu^{2+} に変化するので、銅Cuは電子 e^- を失っています。銅Cuは、酸素を受け取っているともいえるので、

「**電子 e^- を失う**」ことが「**酸化された**」ことになります。一方、酸素は電子 e^- を受け取って酸化物イオン O^{2-} になります。

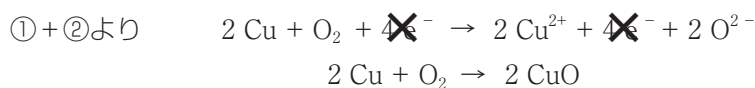
実は、**酸素のうけとり**では、酸素 O_2 の変化については、定義できませんでした。また、**酸化・還元は同時に起こるので**、酸素 O_2 が

「**電子を得る**」ことを酸素 O_2 が「**還元された**」と定義します。

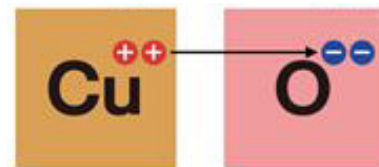
こうすることで、酸素のやりとりや、水素のやりとりだけでなく、**電子 e^- のやりとり**でも酸化還元を説明できるようになります。**電子 e^- を含むイオン反応式**で表すと次のようになります。



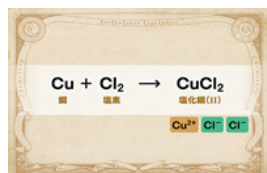
反応式の「 \rightarrow 」の右側に電子 e^- があるときは、**電子を失う**ことを表し、反応式の「 \rightarrow 」の左側に電子 e^- があるときは、**電子を得る**ことを表しています。**酸化還元反応は同時に起こるので**①式+②式とし、反応物どうし生成物どうしをたし合わせて、反応前後で変化しない電子 $4 e^-$ を消去してまとめると、酸化還元の化学反応式が完成します(図1)。



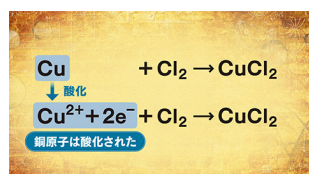
【図1】



さて、銅 Cu と塩素 Cl₂ が反応して塩化銅 (II) CuCl₂ を生成する変化について考えてみましょう (図 2)。この変化は、酸素 O も水素 H も関与しないので、酸素のやりとり、水素のやりとりでは説明できません。塩化銅 (II) CuCl₂ は、銅 (II) イオン Cu²⁺ と塩化物イオン Cl⁻ でできたイオンからなる物質です。



【図 2】



【図 3】



【図 4】

したがって、この反応式も電子 e⁻ のやりとりがあり酸化還元反応として説明できます (図 3、図 4)。

酸化数の決め方

電子のやりとりは、どんな化学反応でも明確というわけではありません。例えば $C + O_2 \rightarrow CO_2$ のように、分子がかかわる酸化還元反応では電子のやりとりがはっきりしません。そのときは、酸化数を考えると分かりやすくなります。酸化数は、物質中の原子やイオンの酸化の程度を数値で表したものです。酸化数の決め方には規則があります。酸化数は、着目した原子 1 個分の数値とし、必ず整数で表し、0 以外は必ず +、- の符号をつけます。

(1) 単体中の原子の酸化数は 0 とする。

例えば、水素 H₂ の水素原子 H の酸化数は 0。銅原子 Cu の酸化数は 0 となります。

(2) 単原子イオンの酸化数は、そのイオンの電荷に等しい。

例えば、銅 (II) イオン Cu²⁺ の酸化数はそのイオンの電荷に等しいので、+ 2 となります。塩化物イオン Cl⁻ でしたら、- 1 です。

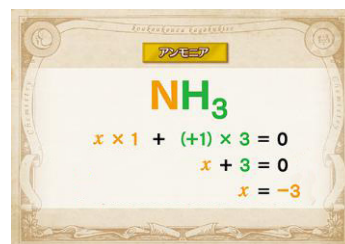
(3) 化合物中の水素原子の酸化数を + 1、酸素原子の酸化数を - 2 とする。

例えば、水 H₂O の場合ですが、水素原子 H の酸化数は + 1、酸素原子 O の酸化数は - 2、となります。ただし、過酸化水素 H₂O₂ の酸素 O の酸化数は、- 1 になります。

(4) 化合物中の原子の酸化数の総和は 0 とする。

(5) 多原子イオン中の原子の酸化数の総和は、そのイオンの電荷に等しい。

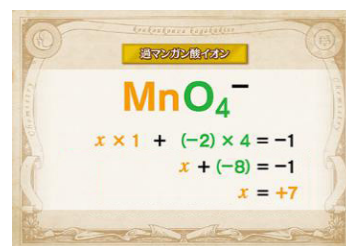
酸化数が分からない場合、上の規則を使って計算から求めることができます。化合物のアンモニア NH₃ の窒素 N の酸化数を求める方法で確認します (図 5)。この場合、(3) 「化合物中の水素原子の酸化数は + 1」と (4) 「化合物 NH₃ の原子の酸化数の総和は 0」の規則を使います。アンモニア NH₃ には水素原子 H が 3 つあるので、酸化数の総和を計算するとき $[x \times 1 + (+ 1) \times 3 = 0]$ と表記します。



【図 5】

つぎに、多原子イオンの過マンガン酸イオン MnO_4^- のマンガン Mn の酸化数の求める方法を確認します (図6)。

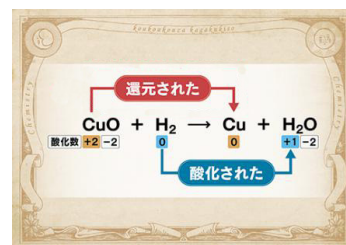
この場合、(3)「化合物中の酸素原子の酸化数は -2 」と(5)「多原子イオン MnO_4^- のイオンの電荷が -1 」なので、酸化数の総和は -1 」を使います。過マンガン酸イオン MnO_4^- には酸素原子 O が 4 つあるので、酸化数の総和を計算するとき「 $x \times 1 + (-2) \times 4 = -1$ 」と表記します。



【図6】

酸化数の変化と酸化・還元

酸化数の変化と酸化・還元について考えてみましょう。図7の酸化還元反応の場合、水素 H_2 が水 H_2O になる変化を**酸素のやりとり**で考えると、水素 H_2 は酸素と結合しているので、水素 H_2 は酸化されたと表しました。このとき、水素の酸化数は 0 から $+1$ に増えています。したがって、「酸化数の増加」は「酸化された」と表せます。また、酸化銅(II) CuO が銅 Cu になる変化は、酸化銅(II) CuO が還元された変化です。このとき銅 Cu の酸化数が $+2$ から 0 に減るので、「酸化数の減少」は「還元された」と表します。



【図7】

酸化・還元を酸化数の増加・減少で考えるのは、電子のやりとりがはっきりしない分子からなる物質どうしの反応です。例えば $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ の酸化数の増加・減少を調べるとどうでしょうか。

「炭素 C : $0 \rightarrow (+4)$ 」より、酸化数は増加しており「炭素 C は酸化された」となります。当然、炭素 C は酸素と結合しているので、酸素のやりとりで考えても酸化されています。

また「酸素 O : $0 \rightarrow (-2)$ 」なので、酸化数は減少しているので、酸素 O_2 は還元されたとなります。

今回のまとめ

- 酸化・還元は、酸素のやりとり、水素のやりとりだけでなく、電子 e^- のやりとりでも説明できる。
- 電子 e^- を失うと「酸化された」といい、電子 e^- を得ると「還元された」と表す。
- 酸化数の決め方には規則がある。
- 酸化数は、0 以外は必ず $+$ 、 $-$ の符号をつける。
- 反応前後で、酸化数が増加した原子を含む物質は「酸化された」といい、酸化数が減少した物質を含む物質は「還元された」という。