高校化学 L01 第 124 講 酸素・オゾン・過酸化水素

この講でできるようになること

- 酸素、オゾン、過酸化水素の組成や構造の違いを説明できる。
- 過酸化水素が酸化剤にも還元剤にもなる理由を酸化数から判断できる。
- 酸素を含む物質の反応を、電子の移動と条件から整理できる。

酸素を含む物質の違い

同じ酸素原子を含む物質でも、組成や結合の違いによって性質は異なる。酸素O_2とオゾンO_3は、同じ元素だけからなる単体であり、酸素の同素体である。一方、過酸化水素H_2O_2は水素と酸素からなる化合物である。

物質	組成	状態・色	代表的な性質
酸素O_2	酸素の単体	無色の気体	助燃性を持つ
オゾンO_3	酸素の同素体	淡青色の気体	強い酸化作用を持つ
過酸化水素H_2O_2	水素と酸素の化合物	通常は無色の水溶液として扱う	酸化剤・還元剤として働く

酸素O_2は常温常圧で無色の気体であり、燃焼を助ける性質を持つ。しかし、酸素自身が燃える可燃性物質ではない。

オゾンO_3は酸素より強い酸化作用を持ち、特有の刺激臭がある。有害性があるため、直接においを確認するものではない。

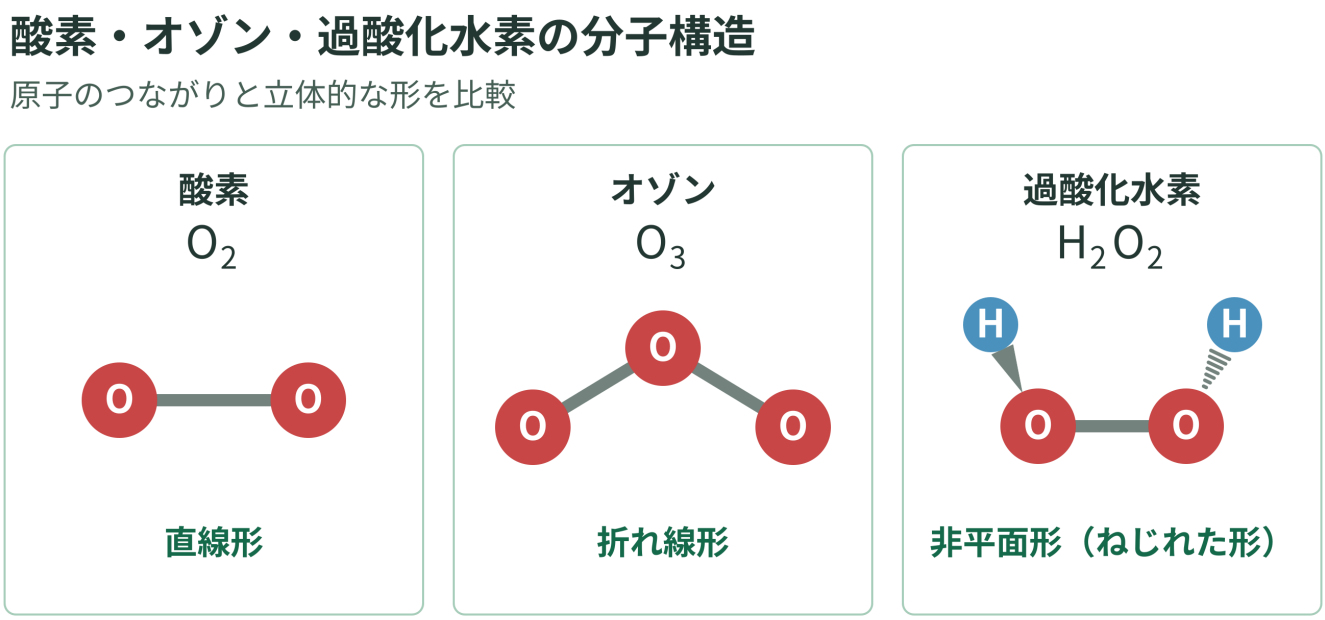


図 1　O2、O3、H2O2 の組成と結合関係、立体的な見方を比較する。

酸素とオゾン

オゾンは酸素から生成できる。

$$3O_2 \rightarrow 2O_3$$

この反応は酸素にエネルギーを与える条件で進み、代表例として無声放電がある。 オゾンは分解して酸素へ戻る。

$$2O_3 \rightarrow 3O_2$$

酸素O_2とオゾンO_3では、どちらも酸素原子だけからできているが、分子構造が異なるため性質も異なる。O_3の 2 つの結合は同等であり、単純な単結合と二重結合を固定した構造として扱わない。

過酸化水素の性質

過酸化水素H_2O_2は、水素と酸素からなる化合物であり、水溶液として扱われることが多い。 過酸化水素は分解して酸素を発生する。

$$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$$

この反応では、二酸化マンガンMnO_2などが触媒として働く場合がある。触媒は反応を速めるが、反応式の反応物や生成物には含めない。 酸素O_2の代表的な製法として、実験室的には過酸化水素水の分解、工業的には液体空気の分留が扱われる。

過酸化水素H_2O_2の工業的製法にはアントラキノン法があるが、本講では名称と原理の理解にとどめる。

過酸化水素の酸化還元

酸化還元では、酸素の酸化数を見ることで役割を判断できる。 酸素の酸化数は、

- O_2、O_3：0
- H_2O_2：−1
- H_2O：−2

である。 過酸化水素中の酸素は−1 であり、−2 へ変化することも、0 へ変化することもできる。分解反応$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$では、O−1 の一部が水の−2 へ変化し、別の一部がO_2の 0 へ変化する。

そのため、過酸化水素は反応相手によって酸化剤にも還元剤にもなる。 酸性条件で過酸化水素が還元される場合、

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

となる。 このときH_2O_2は電子を受け取って還元され、相手を酸化する酸化剤として働く。 一方、過酸化水素が酸化される場合、

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

となる。 このときH_2O_2は電子を放出して酸化され、相手を還元する還元剤として働く。

©ミライコーチング

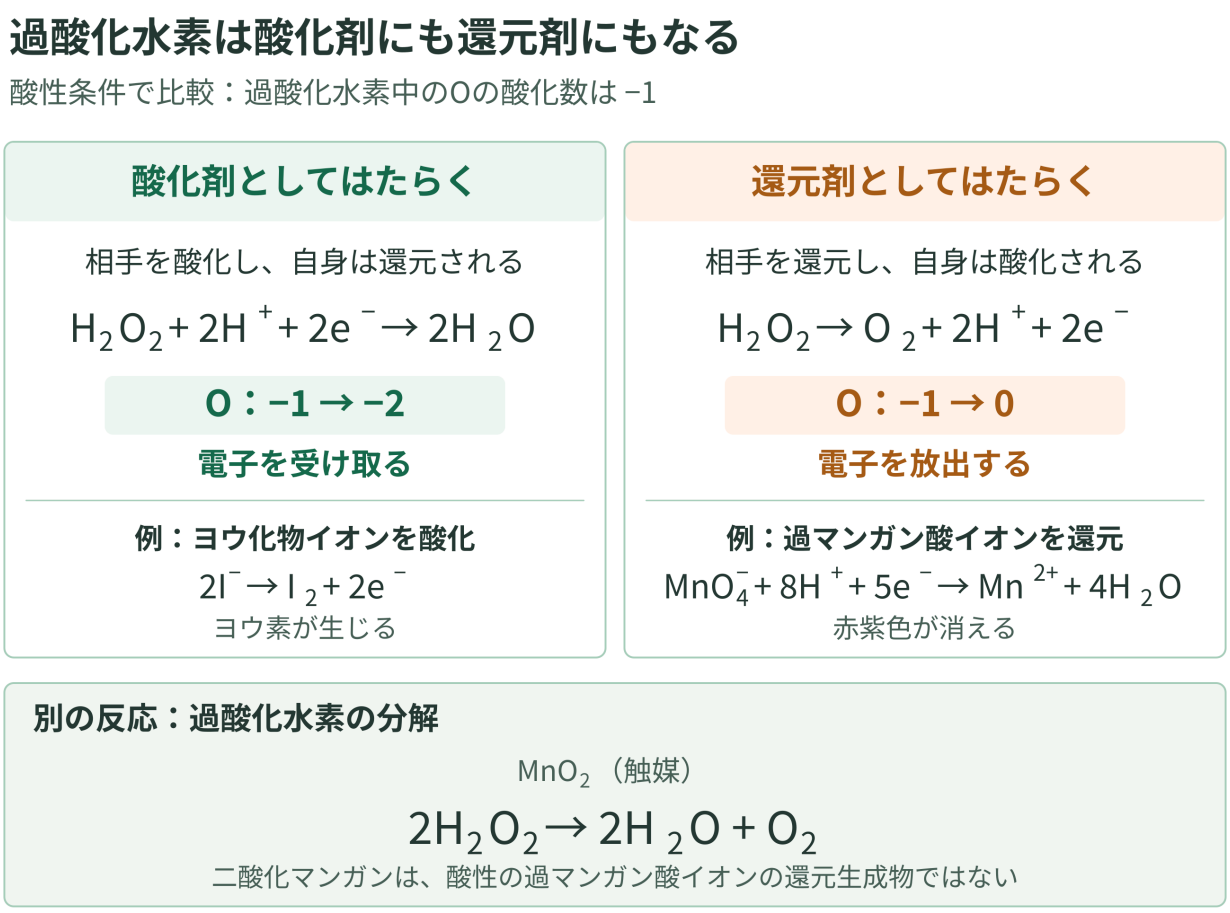


図 2　H2O2 中の酸素が還元・酸化される場合と、代表的な反応を比較する。

過酸化水素の代表反応

酸性条件でヨウ化物イオンI^-と反応すると、

$$H_2O_2 + 2I^- + 2H^+ \rightarrow I_2 + 2H_2O$$

となる。 この場合、H_2O_2は還元されるため酸化剤として働く。 また、酸性条件で過マンガン酸イオンMnO_4^-と反応すると、過酸化水素は還元剤として働く。

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

を組み合わせると、

$$2MnO_4^- + 5H_2O_2 + 6H^+ \rightarrow 2Mn^{2+} + 5O_2 + 8H_2O$$

となる。 硫酸酸性などの条件では、紫色のMnO_4^-が減少することで反応の進行を確認できる。ただし、MnO_2触媒による過酸化水素分解と、MnO_4^-による酸化反応は別の反応である。

酸素・オゾン・過酸化水素の利用と安全

オゾンや過酸化水素は酸化作用を利用して、漂白や殺菌などに用いられる。中性付近の KI 水溶液では、

$$O_3 + 2I^- + H_2O \rightarrow O_2 + I_2 + 2OH^-$$

の反応が起こる。この反応で生じたI_2はデンプンで確認できるが、同様の反応は他の酸化剤でも起こるため、O_3専用の識別反応ではない。

ただし、酸化性物質やオゾンには有害性があり、高濃度の過酸化水素の取り扱いも注意が必要である。本講では性質と反応の理解を扱い、混合、加熱、濃縮、装置操作などの実施手順は扱わない。酸素を含む物質では、単に酸素原子を含むかではなく、構造と酸化数の変化から性質を判断することが重要である。

例題

例題 1

酸素を含む物質について考える。

1. O_2、O_3、H_2O_2について、単体・化合物の分類と、O_2とO_3の関係を説明せよ。
2. 酸素O_2の助燃性と、過酸化水素H_2O_2の分解で生じる酸素について、それぞれの性質の関係を説明せよ。

解答・解説

1.
O_2とO_3は酸素元素だけからできているため、どちらも単体である。

また、同じ元素からなる異なる単体であるため、O_2とO_3は酸素の同素体である。 一方、H_2O_2は水素と酸素からなるため化合物である。 組成が似ていても、原子の数や結合の違いによって物質の性質は変化する。

2.
O_2は燃焼を助ける助燃性を持つが、酸素自身が燃える可燃性物質ではない。

過酸化水素の分解では、

$$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$$

により酸素が発生する。 この酸素はO_2分子であり、酸素の性質として助燃性を示す。

ただし、H_2O_2とO_2は同じ物質ではなく、過酸化水素は酸素を含む化合物、酸素は単体である。

©ミライコーチング

例題 2

酸性条件で、過酸化水素H_2O_2とヨウ化物イオンI^-が反応する。

反応条件として、酸性水溶液中で、生成物としてI_2とH_2Oが生じるものとする。

1. この反応の係数付き全イオン反応式を示し、原子数と電荷が保存されていることを確認せよ。
2. この反応でH_2O_2が酸化剤・還元剤のどちらとして働くかを判定し、酸化数変化から理由を説明せよ。

解答・解説

1.
反応式は、

$$H_2O_2 + 2I^- + 2H^+ \rightarrow I_2 + 2H_2O$$

である。 左辺では、H はH_2O_2から 2 個、$2H^+$から 2 個で合計 4 個、O は 2 個、I は 2 個存在する。 右辺では、$2H_2O$に H が 4 個、O が 2 個、I_2に I が 2 個存在するため、原子数は保存される。

電荷は左辺で$2I^-$の-2 と$2H^+$の$+2$ が打ち消し合い 0、右辺も 0 であり、電荷も保存される。

2.
H_2O_2中の酸素の酸化数は-1 である。

この反応では、

$$O : -1 \rightarrow -2$$

となり、酸素は還元される。 H_2O_2が電子を受け取るため、相手のI^-を酸化してI_2に変化させる。

したがって、H_2O_2は酸化剤として働く。

例題 3

硫酸酸性条件で、過マンガン酸イオンMnO_4^-と過酸化水素H_2O_2が反応する。

条件として、

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

およびH_2O_2からO_2が生成する反応が起こるものとする。

1. 全イオン反応式を示し、係数が決まる理由を電子数から説明せよ。
2. この反応でH_2O_2が酸化剤・還元剤のどちらとして働くかを判定し、例題 2 との違いとともに理由を説明せよ。

解答・解説

1.
MnO_4^-は電子を受け取る。

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

一方、H_2O_2は電子を放出する。

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

電子数をそろえると、

物質	電子の変化	必要な係数
MnO_4^-	1 個あたり $5e^-$受容	2
H_2O_2	1 個あたり $2e^-$放出	5

最小公倍数は $10e^-$なので、MnO_4^-側を 2 倍、H_2O_2側を 5 倍する。

$$2MnO_4^- + 5H_2O_2 + 6H^+ \rightarrow 2Mn^{2+} + 5O_2 + 8H_2O$$

となる。

2.
この反応では、H_2O_2中の酸素は、

$-1 \rightarrow 0$ となり酸化される。 そのため、H_2O_2は電子を放出する物質であり、相手のMnO_4^-を還元する還元剤として働く。 例題 2 では、H_2O_2中の酸素が-2 へ変化して電子を受け取ったため酸化剤であった。

H_2O_2は反応相手によって酸化剤にも還元剤にもなる。

演習問題

演習 1

酸素を含む物質O_2、O_3、H_2O_2について考える。

1. O_2、O_3、H_2O_2を単体・化合物に分類し、O_2とO_3の関係を説明せよ。
2.「酸素O_2は燃料として燃える物質である」という説明を訂正し、O_2の性質を説明せよ。

演習 2

過酸化水素H_2O_2の分解とオゾンO_3の生成について考える。

1. 二酸化マンガンMnO_2を触媒として用いる過酸化水素の分解反応式を書き、触媒の役割を説明せよ。
2. 酸素O_2からオゾンO_3を生成する無声放電条件の反応式と、オゾンが酸素へ戻る反応式を書き、両者の関係を説明せよ。

演習 3

酸性条件で、ヨウ化物イオンI^-と過酸化水素H_2O_2が反応する。生成物はヨウ素I_2と水H_2Oとする。

1. この反応の化学反応式を係数をそろえて示せ。
2. この反応でH_2O_2が酸化剤・還元剤のどちらとして働くかを判定し、酸化数の変化から理由を説明せよ。

演習 4

硫酸酸性条件で、過マンガン酸イオンMnO_4^-と過酸化水素H_2O_2が反応する。生成物はMn^{2+}、O_2、H_2Oとする。

1. 半反応式を利用して全イオン反応式を示せ。
2. この反応でH_2O_2が酸化剤・還元剤のどちらとして働くかを判定し、理由と二酸化マンガンMnO_2触媒による過酸化水素分解との違いを説明せよ。

演習 5

次の説明について考える。

「酸性条件ではH_2O_2は必ず酸化剤として働き、どちらの反応でもO_2を発生する。」

1. この説明を、演習 3 と演習 4 の反応における生成物と電子移動を根拠に訂正せよ。

演習問題の解答・解説

解答 1

1.
O_2とO_3は酸素元素だけからできているため、どちらも単体である。

また、同じ元素からなる異なる単体なので、O_2とO_3は酸素の同素体である。 一方、H_2O_2は水素と酸素からなる化合物である。 同じ酸素原子を含んでいても、原子数や結合の違いによって物質の性質は変化する。

2.
「酸素O_2は燃料として燃える物質である」という説明は誤りである。

O_2は可燃性ではなく、他の物質の燃焼を助ける助燃性を持つ。 例えば水素の燃焼では、

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

のように、酸素は反応物として相手の燃焼を支える。

解答 2

1.
過酸化水素の分解反応は、

$$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$$

である。 MnO_2は触媒として働き、反応を速めるが、反応物や生成物には含まれない。 そのため、反応式の左辺にはMnO_2を書かない。

2.
酸素からオゾンを生成する反応は、

$$3O_2 \rightarrow 2O_3$$

であり、無声放電などのエネルギーを与える条件で進む。 一方、オゾンは分解して、

$$2O_3 \rightarrow 3O_2$$

となる。

O_2とO_3は同じ元素だけからなる同素体であり、分子構造の違いによって性質が異なる。

©ミライコーチング

解答 3

1.
酸性条件でヨウ化物イオンと過酸化水素が反応すると、

$$H_2O_2 + 2I^- + 2H^+ \rightarrow I_2 + 2H_2O$$

となる。 原子数を確認すると、H は 4 個、O は 2 個、I は 2 個で左右が一致する。 電荷は左辺で$2I^-$の-2と$2H^+$の$+2$が打ち消し合い、右辺は 0 であるため保存される。

2.
H_2O_2中の酸素の酸化数は-1である。

この反応では、

$$O : -1 \rightarrow -2$$

となり、酸素は還元される。

H_2O_2は電子を受け取るため、相手のI^-を酸化する酸化剤として働く。

解答 4

1.
硫酸酸性条件では、過マンガン酸イオンは還元される。

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

過酸化水素は酸化される。

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

電子数をそろえると、過マンガン酸イオン側を 2 倍、過酸化水素側を 5 倍する。

$$2MnO_4^- + 5H_2O_2 + 6H^+ \rightarrow 2Mn^{2+} + 5O_2 + 8H_2O$$

原子数と電荷が保存されている。

2.
H_2O_2中の酸素は、

$-1 \rightarrow 0$ となり酸化される。 そのため電子を放出し、MnO_4^-を還元する還元剤として働く。 一方、MnO_2触媒による反応は、

$$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$$

という分解反応である。この反応もH_2O_2中の酸素の一部が還元され、別の一部が酸化される酸化還元反応である。一方、MnO_4^-との反応ではMn^{2+}を生成するようにMnO_4^-が還元される点が異なる。

解答 5

1.
「酸性条件ではH_2O_2は必ず酸化剤として働く」という説明は誤りである。

H_2O_2の役割は、反応相手による酸化数変化で決まる。

反応	主な生成物	H_2O_2の役割
酸性I^-との反応	I_2、H_2O	酸化剤
酸性MnO_4^-との反応	Mn^{2+}、O_2	還元剤

酸性I^-との反応ではH_2O_2中の酸素が−2 へ変化して電子を受け取るため酸化剤になる。 一方、酸性MnO_4^-との反応では酸素が 0 へ変化して電子を放出するため還元剤になる。

また、H_2O_2が常にO_2を発生するわけではなく、反応相手と条件によって生成物は変化する。