

化学の力で環境をきれいにするー触媒による環境浄化ー

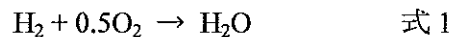
講師：大学院地球環境科学研究所 准教授 神谷 裕一

1. 化学は悪者？

環境ホルモンやダイオキシンなど、化学が悪者であるかのような報道が多くなされてきました。しかし、本当に“化学=悪”なのでしょうか？私たちの身の回りは、プラスチック、合成繊維、合成ゴム、塗料、薬、農薬、肥料など、化学合成された製品で溢れています。化学はこれら化学製品を作り出すことを通じて、私たちの生活を豊かにしてきました。また物を作り出すだけでなく、空気や水をきれいにするのも化学は大活躍しています。これら化学製品の製造や化学による環境浄化には、化学反応を促進させる物質“触媒”が欠かせません。本講義では、“触媒とは”からはじめて、触媒による環境浄化技術と触媒を使った余分なゴミを出さないクリーンな化学合成技術を概説します。

2. 触媒とは

水素と酸素から水ができる反応は、式1のように表される。



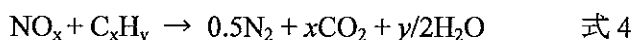
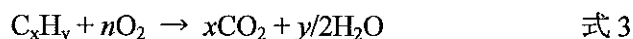
可燃性ガスの水素と支燃性ガスの酸素との反応なので、容器にこれらのガスを入れたとたんに爆発が起きそうな（化学反応が進むということ）気がしますが、実際には反応はほとんど進行しません。しかし、ここに銅の粉末を加えると反応が爆発的に進行するようになります。この銅の粉末こそが触媒です。この例のように触媒とは、化学反応を行う場に存在して化学反応を促進するが、それ自身は反応の前後でほとんど変化しない物質のことで、また触媒は、可能性のあるいくつかの化学反応の中で、特定の反応だけを選択的に促進する機能も持っています。

触媒は化学反応を促進するので、触媒が存在しない場合と比べて反応が完結するまでの時間を短くすることができます。これを利用すれば、反応温度を低くすることができます。低温で反応を行うことによって、エネルギー消費量を大幅に抑制でき省エネに繋がります。また、触媒は目的とする化学反応のみを促進するので、例えば化学合成であれば、原料を無駄なく効率的に利用できます。これらは、地球環境にとって非常に望ましいことです。

3. 空気を浄化する触媒技術（自動車の排気ガスをクリーンにする）

自動車はガソリンや軽油をエンジンで燃焼させて動いているが、エンジンから排出

されるガスには、人体や環境に有害な一酸化炭素(CO)、未燃焼燃料(C_xH_y)、窒素酸化物(NO_x)が含まれています。しかし、実際に自動車のテールから排出されているガスには、これらの有害成分はほとんど含まれていません。自動車に搭載されている浄化装置によって、これら有害成分を無害化しているからです。浄化装置の中では、式2-4の化学反応が同時に起きており、CO、C_xH_y、NO_xが同時に除去されています。これらの反応を促進するために、触媒が用いられています。



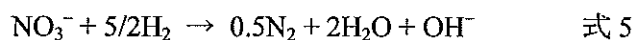
粗製ガソリンや粗製軽油には硫黄化合物が含まれており、このままエンジンで燃焼すると酸性雨の原因物質である硫黄酸化物(SO_x)が発生します。しかし、石油精製所において粗製ガソリンや粗製軽油から硫黄化合物を化学反応を使って除去しているため、市販のガソリンや軽油中には硫黄化合物はほとんど含まれていません(10 ppm以下、サルファーフリーと呼ばれている)。この化学反応にも、触媒が利用されています。

4. 水を浄化する触媒技術(硝酸イオンで汚染された地下水の浄化)

硝酸イオン(NO₃⁻)による地下水の汚染が、問題になっています。北海道も例外ではありません。日本国内の井戸の約6%が、環境基準値を超える硝酸イオンによって汚染されています。主な原因は、過剰な施肥と家畜糞尿の不適切な処理です。硝酸イオンで汚染された水を多量に摂取すると、メトヘモグロビン血症を発症し、死に至ることもあります。

硝酸イオンで汚染された水を浄化する方法には、生物学的な方法と物理化学的な方法があります。生物学的な方法では、微生物の働きを利用して硝酸イオンを無害な窒素へと変換します。国内で実用化された例もありますが、微生物の管理が難しいこと、また小規模装置に不向きなことから、広く普及するには至っていません。

最近、物理化学的な方法の一つである触媒を使った硝酸イオンの無害化が注目されています。触媒法のメリットは、原理的に反応速度を速くできるため装置を小型にできる、運転管理が容易、比較的低コストなどです。触媒法では、アンモニアの生成を極限まで抑え、式5の反応のみを選択的に促進する高性能触媒の開発が鍵であり、活発な研究開発が展開されています。



5. 触媒を使った余分な廃棄物を出さないクリーンな化学合成

化学製品に関する廃棄物は、大きく2種類に分類されます。一つは、使用後の化学製品そのものが廃棄物となるケースであり、これは一般の消費者にも分かりやすいため、例えばレジ袋の使用量削減などの運動に繋がっています。もう一つは、化学製品を製造する過程で発生する廃棄物で、我々の目に触れることはありませんが、製造メーカーでは大きな問題となっています。例えば、6-ナイロンの原料であるカプロラクタムを1kg製造する過程では、約5kgもの廃棄物（硫酸アンモニウム）が発生しています。

化学品製造過程で無機酸（硫酸やリン酸など）やルイス酸（塩化アルミニウムなど）が広く、しかも多量に使われていることが、廃棄物が発生する主な原因です。これらの酸は液体であるために、その回収と再利用が難しく、通常は中和処理され最終的に廃棄されます。固体の中には、その表面が酸としての性質を示す物質（固体酸と呼ばれる）があります。この固体酸を触媒として上手く使うことができれば、余分な廃棄物を出さないクリーンな化学合成を実現できます。

化学品製造過程で廃棄物が発生するもう一つの原因は、金属水素化物、重金属酸化物を反応試薬とする化学量論的な反応が頻用されていることにあります。これらの無機反応物質は、反応に実際に使われる原子（水素、酸素）を僅かしか含んでいないため、用いた試薬の大部分は廃棄物になってしまいます。また、これらは重金属を含むため、その処理は難しく費用もかかります。これらの化学プロセスを、触媒を使った化学反応へと転換できれば、化学合成のゼロエミッション化が実現できます。

最近、このような余分な廃棄物を出さない化学合成に関する研究開発が活発に行われており、カプロラクタムの製造、プロピレンオキシドの製造、ポリエチレンカーボネート製造などにおいて、化学製品を製造する際の環境に与える負荷を低減することに成功しています。