



In Laboratory Now

## 研究室訪問 2

# プラズマが環境を良くする

関口研究室～化学工学専攻



関口 秀俊 助教授



## プラズマとは何？

文明の発達により人の生活は便利になる一方だ。しかし文明の発達は環境に、時には人体に悪影響を与える。工場からの有害物質の排出、水質汚染、ゴミ問題などがそうだ。そのため、環境問題への関心は高まり、政府や自治体も環境問題に取り組み始めている。

そこで問題となっているのはコストと効率のことである。毎日使う技術は低成本であり、高効率でなければ広く普及していかない。よい技術であるとしてもコストや効率の面で割に合わないものならば、実際に使われはしないだろう。

関口研究室では、低成本、高効率の技術を実現するため、プラズマを利用する方法を研究している。それでは、まず始めに、プラズマとは何なのだろうか。

わたしたちに身近なものを例にあげると、冬の乾燥した時期に出る静電気、明るく光る蛍光灯、そして稲妻や極地の上空で神秘的な光を放つオーロラなどがそうだ。プラズマの辞書的な意味は

近年、プラズマを応用したハイテク技術が急速な進歩をし、世界的な注目を集めている。プラズマには多様な性質があるためだ。電気溶接ではその1万度もの高熱が利用されているし、集積回路でも微細加工をする際にプラズマが用いられている。プラズマは21世紀の重要な技術分野の1つになると予想されており、様々な分野での応用が考えられている。

関口研究室ではプラズマを環境分野に応用し、環境問題を解決する技術の低成本、高効率化に貢献しようとしている。

「正と負の荷電粒子群を含み、かつ、全体として電気的にほぼ中性の粒子の集団」ということだ。そして、それは気体が電離した状態なのだ。具体的にいうと、正と負の電荷を帯びた荷電粒子が飛び回っている状態である。

気体が電離した状態というが、それはプラズマが「第四の状態」といわれる所以である。氷を加熱すると水となり、さらに加熱すると水蒸気になる。このことで知られるように、通常では、固体にエネルギーを与えると液体になり、気体となる。さらにここで、加熱や放電によりエネルギーを与えると、気体は電離し、プラズマになる。

このようなプラズマが、どうして工学の分野で使われるのだろうか。それは、物質はプラズマの状態になると化学的にも、物理的にも、他の状態に見られない性質を示すからである。そのプラズマの性質を利用して、これまで実現できなかった現象を起こすこともできる。いくつかの例とともに説明していきたい。



## 害あるものを手軽に分解

現在、さまざまな分野で洗浄剤として広く使われている物質がある。トリクロロエチレンやベンゼンなどに代表される揮発性の有機化合物がそれだ。これらは有機溶剤と呼ばれ、強い洗浄力をもち、水に溶けないものを溶かすことができる。

ところが、これらの有機溶剤の中には人体に有害なものがある。先のトリクロロエチレンやベンゼンなどは発ガン性があり、これらによる大気や地下水の汚染が問題となっている。また、広い分野で使われているため多大な量が放出されており、その処理を考慮しなくてはならない。

従来からある有機溶剤の処理法としては、活性炭による吸着方式、空気と加熱して燃やしてしまう燃焼方式などがある。しかし、有機溶剤は大気中ではきわめて低濃度で拡散しているので、扱う気体の量が膨大になる。それゆえに、従来の方法で処理をするには、消費エネルギーとコストなどの面から見て問題があるのだ。そこで、関口研究室では、プラズマの無声放電による処理法について研究している。

プラズマの無声放電とは、銅板電極の片方、または両方にガラスなどの誘電体をつけ、交流電圧をかけて気体をプラズマ化することをいう。気体はアルゴン、酸素、窒素、アンモニアなどを使う。

ここで、気体がプラズマになる過程を説明しよう。普通の状態では気体は電離していないので放電しにくい。そこで高電圧をかけ、電子にエネルギーを与える原子から電子を放出させる。放出された電子は周りの原子に当たり、その原子にエネルギーを与え、電離させる。この反応が次々に起きることで電離していく、プラズマ化する。電離によってできた電子は交流電圧によって加速され、さらにエネルギーを蓄える（図1）。

誘電体をつけないと、雷のようなスパークが起きる。誘電体をつけると電流はあまり流れないが、無数の細かい放電ができる。こちらの無声放電の方が、スパークさせるよりも流れる電流が少ないということで消費エネルギーとコストを削減

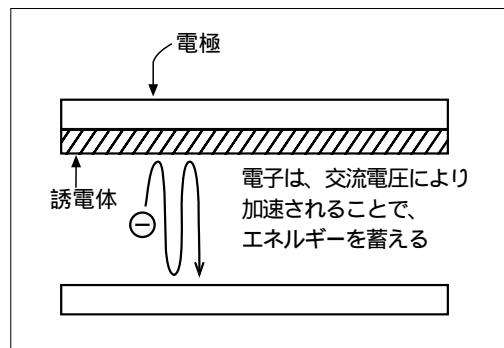


図1 無声放電の仕組み

できる。

こうして生成したプラズマ中に有機溶剤を含む気体を流す。そうすると、プラズマ中にある高速電子が有機溶剤の原子に当たり、その原子にエネルギーが加わりそれにより結合が切れる。そして様々な反応が進行し、有機溶剤が分解していく。関口研究室では、この過程を詳しく調べ、検証中である。また、分解させる効率を上げるために、無声放電の時に触媒を利用する方法も研究している。使う触媒は自動車の廃ガス処理などにも使われている、アルミナの上に白金をつけた酸化物である。

関口研究室で実験しているベンゼンを有機溶剤の例として挙げよう。プラズマのない状態で触媒上にベンゼンを流すとしてもベンゼンは分解はない。プラズマ中にただベンゼンを流すだけだと5割ほどが分解する。そして、プラズマ中に触媒をおくと、9割近くを分解することができるようになる。

このような現象が起こる理由としては、プラズマによって触媒自体が何らかの変化を起こしたという考え方や、プラズマがベンゼンに作用した際、ベンゼンとは違うものができる、それが触媒と適合したという考え方などがある。それに関して、関口研究室では、詳しいプロセスを解明し、さらに効率を上げようと研究している。



## カニやエビが環境に貢献

ここ何年かで急激に研究が進み、性能に期待を持たれている物質に「キチン・キトサン」がある。カニやエビなどの甲殻類の殻に多く含まれる食物繊維でセルロースによく似た分子構造をしている(図2)。しかし、他の食物繊維にはない効果を持つことから注目され始めた。その効果は、例えば免疫力を強化し、二日酔いの解消に役立つとか、抗菌作用で細菌の繁殖を押さえるなどと様々である。

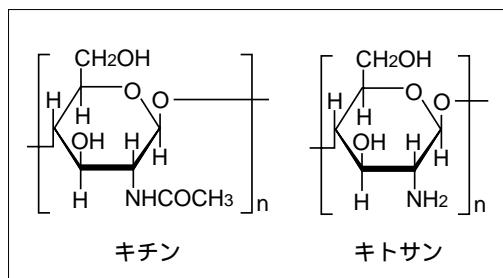


図2 キチン・キトサンの構造式

関口研究室ではその様々な効果のうち、重金属を吸着するという効果に着目している。そして、キチン・キトサンにプラズマ処理することにより、重金属で汚染された水の浄化を効率よく行う方法を研究している。

重金属が吸着される理由はいくつか考えられる。分子の構造のすき間に金属イオンが入るからであるという考え方もあるし、また、イオン交換樹脂のように交換性の官能基を持つことで、それが重金属イオンと入れ替わるからであるという考え方などもある。

このように有用な性質を持つキチン・キトサンだが、そのまま吸着させたのでは実用化するにあ

たり効率がよくない。そこで、関口研究室ではキチン・キトサンにプラズマ処理することにより、その効率を上げようとしている。このように、プラズマで処理し、何らかの性質の向上をはかる技術をプラズマによる表面改質といふ。

どうしてプラズマ処理をすると性質が変わるものだろうか。それは、プラズマ中に素材をおくとイオンなどが表面にぶつかり、無数の凹凸ができたり、分子の構造が変わったりするからなのだ。その結果により、他の物質との密着性が向上したり、表面の性質が変化したりする。

プラズマによる表面改質は、現在いくつかの分野で実際に使われている。例えば、車の塗装では、車のバンパーと塗料との密着性を上げ、塗装をしやすくするため、また製鉄では、鋼材を強くするためにプラズマが一部利用されている。この技術をキチン・キトサンにも応用しようとしているのである。

キチン・キトサンによる重金属の吸着の技術がうまくいくと他にもよいことがある。例えば、東南アジアでは重金属による水質汚染が問題になっている地域がある。さらに、そこでは日本向けにカニやエビの缶詰を出荷していて、廃棄物のカニやエビの殻などが大量に残り、それもまた問題になっている。ここで、その廃棄物の殻をキチン・キトサンの原料として重金属の吸着のために有効利用できるのならば、カニやエビの殻はただのゴミではなくなり有用な材料となる。

廃棄物であったカニやエビの殻の成分を利用して水質浄化ができる技術が現実のものになるのならば、水質汚染と廃棄物の二つの問題を同時に解決できるであろう。



## プラスチックもプラズマで

最後に、プラズマを利用した廃プラスチック処理についてみてみよう。ゴミ問題においてプラスチックの処理は深刻な問題である。燃やして処理をする場合は、高温になり、含まれている塩素から塩酸ができるので、焼却炉を傷めるなどの可能

性が指摘されている。埋め立てて処理するにしても限界が見えてきている。そこでプラスチックのリサイクルが注目されている。

プラスチックをリサイクルする方法はすでにいくつかある。まず、マテリアルリサイクルという

ものがある。金属やガラスのリサイクル方法と同じように、集めたプラスチックを原料と材料、また、製品として再利用するものだ。その利用法としては、衣料や文房具、そして固形燃料と用途は多様である。ただ、様々なプラスチックが同時に回収されるため、その分別において手間と費用がかかる。それだけでなく材料が不均一なことにより製品の質の低下が起こるなどの問題がある。マテリアルリサイクルが難しい場合には、サーマルリサイクルという方法もある。燃やすことで熱エネルギーとして回収するやり方である。だが、先ほど書いたように、プラスチックを燃やす場合にはいくつかの問題を伴う。

そこで関口研究室では、水蒸気プラズマを用いてプラスチックを分解する方法を研究している。水は危険性もなく豊富に存在する安定な物質である。しかし、プラズマ化することで非常に強い酸化力や還元力をもつようになる。それは、高エネルギーの電子によって結合を切られた水素原子や酸素原子、OHラジカルなどの活性の高い中性の原子や分子がプラズマ中に存在しているからだ（図3）。

プラスチックは基本的に炭素と水素でできているので、水による酸化、還元によって、二酸化炭素と水素にすることができる。だが、普通のような反応は進まないので、水をプラズマ状態にし、活性の高い状態にして反応性を上げるという方法を考えている。

また、その過程でできた水素にも使い道がある。例えば燃料電池だ。水を電気分解すると水素と酸素が発生する、この逆の反応によって電気を取り出すのが燃料電池だ。この方法では電気以外に出てくるのが水だけのため、無公害であり、クリーンなエネルギーとして注目されている。水素と酸素を化合させて電気をつくるので、水素の発生が必要ということである。今は水素を取り出すためにエタノールなどを利用している。関口研究室での方法も、そういう既存の水素発生法などと比較する必要がある。プラズマをつくるのにも電気が必要なので、もちろんその電気使用量に見合うようにしなければならない。それでも、リサイクルの過程に水素を発生させることができるとすれば、ゴミを処理しながら電気もつくれるという魅力的なプロセスができる。

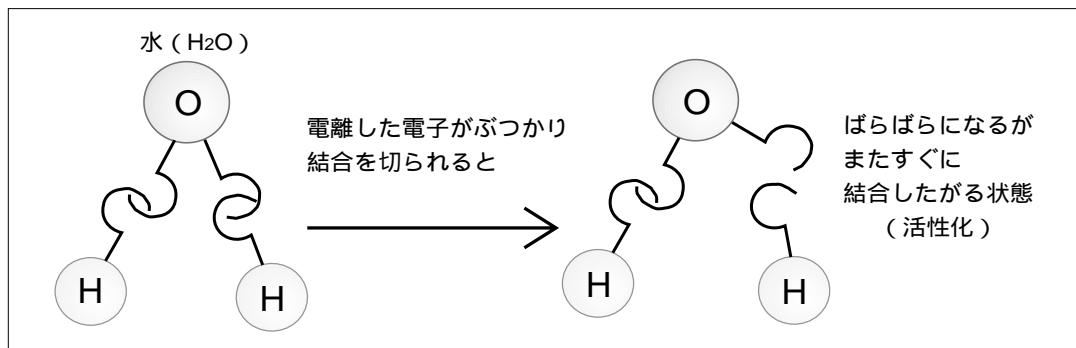


図3 ラジカルな状態

ギリシャ語でプラズマは、母体や基盤、すなわち「基本的なもの」という意味がある。基本的なものという通り、実は宇宙空間の99%はプラズマである。太陽や他の恒星などもプラズマなのである。工学の分野でもプラズマは、基本的といえるほどに重要になっているのかもしれない。

有機溶剤や重金属、そしてプラスチックというものは、毎日排出されるものである。それゆえに、

コストや効率の問題は重要である。関口研究室における研究は、その問題に貢献するものであり、その成果は有用なものになるだろう。

そのような興味深い話を忙しい中にもかかわらず、丁寧に教えて下さった関口先生には心から感謝しております。

(上山 陽弘)