

汚染物質の除去・修復

田中 俊逸

1. はじめに

私達は様々な環境に囲まれて生活しています。大地に住み、空気を吸って呼吸し、水を飲み、水を用いて作物を育てています。この環境のどこか一つでも汚染されると私たちの健康に害を与える恐れがあります。清浄な環境の中で暮らすことによって私たちの健康は維持されているのです。しかし、残念ながら私達をとりまく環境はしばしば汚染されたり、破壊されたりしています。その汚染は私たちの日常生活からもたらされることもあれば、工場などの生産活動によることもあります。時には自然災害や事故によって汚染が起こることもあります。例えば、福島原子力発電所は、大きな地震とそれに伴う津波によって、原子炉を冷却する手段を失い、結果として多量の放射性物質を環境に放出し、土壌や水圏の汚染が起こりました。清浄な環境を保つためには、汚染物質を環境に排出しないようにすることが最も大切なことですが、残念ながら完全に排出を抑えることは困難な状況です。とすれば、汚染された環境から汚染物を取り除き元の状態に戻すことが必要となり、そのための技術が環境修復技術と呼ばれています。環境修復技術には様々なものがありますが、その中でも吸着剤を用いる方法は、空気や水中の汚染物質を取り除く方法として広く用いられています。本講義では、汚染された環境から汚染物質を除去するために、主に吸着剤を用いる方法を取り上げ、実際の汚染場所でどのように用いられているのかについて解説します。また、講演者が最近取り組んでいる「安価で容易に回収できる吸着剤」の開発に関する研究について紹介します。

2. 吸着材

汚染物質に限らず、様々なものを吸着するものが吸着材です。私たちの身の回りでも多くの種類の吸着材が用いられています。冷蔵庫のにおいを除去するためには多くの場合、活性炭が用いられています。吸着材は図1のようにたくさんの吸着サイトを有しています。この吸着サイトに汚染物質などが吸着します。すべての吸着サイトが汚染物質で埋まってしまうとそれ以上の吸着はできなくなります。これ以上吸着ができなくなる吸着量のことを飽和吸着量と言います。活性炭は1gでテニスコートに相当する表面積を持ち吸着サイトもたくさんあるので、多くの物質を多量

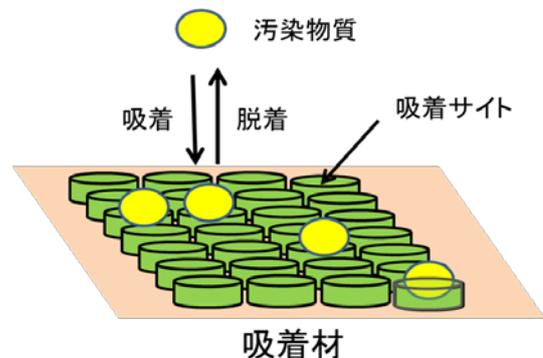


図1 吸着材の模式図

に吸着することができることから昔から広く使われているのです。活性炭の原料は木や竹、ヤシ殻などを高温で炭化して活性化したものです。備長炭なども部屋の除臭のために用いられます。吸着材の研究では主に、吸着量の大きな吸着材を新たに作製したり自然界の中から探索することを行います。また、ある特定のものを吸着できるように、選択性を向上する研究も行われています。また、安価であることも実際の環境での使用を考えると重要な事項です。市販の活性炭は 1kg おおよそ千円ぐらいの値段ですが、環境の汚染物質の除去には多量の吸着材が必要であり、決して安くはありません。そこで、私達は浄水場や製紙工場からのスラッジや、間伐材チップを燃やして熱と電気を得るシステム（岩手県の奥州市で導入しているシステム）から残渣として出る炭素素材の吸着能力を調べたところ、市販の活性炭に匹敵する吸着量を持つことが分かりました。その他に、枯葉や昆布なども適当な処理をすることで高い吸着量を示しました。これらの素材は、ほとんど無料で手に入るものなので、安価な吸着材として、多量に吸着材が必要となるところで使うことができます。

3. 吸着材の回収

吸着材を用いて水中の汚染物質を除去しようとするとき、吸着材の使用法には図 2 に示す様に二つの方法があります。一つはカラムに充填して、汚染水をこのカラムを通して行うものと、直接吸着材を汚染されたサイトに投入する方法です。前者の方法では吸着材はカラムの中に保持されているので、回収作業は必要ありません。しかし、この方法のためには水をカラムに送るためのパイプやポンプが必要になります。事故の有った福島原子力発電所の原子炉の冷却水からの放射性物質の除去はカラム法で実施されています。吸着材としては放射性のセシウムなどのイオンを除去するために陽イオン交換樹脂が用いられています。直接投入する方法では、吸着材が汚染物質を吸着した後吸着材を回収する必要があります。回収されなかったら吸着材を投入する意味がないことになります。しかし、水圏の汚染サイトから吸着材を回収することは簡単なことではありません。そこで私たちは以下のように、磁石を用いて回収する方法と比重差を利用して（吸着材を水面に浮上させる）、回収の容易な吸着材の開発を行っています。

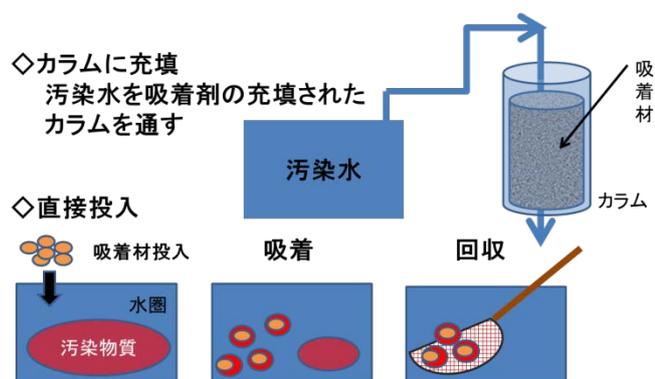


図 2 吸着材の使用法

4. 磁性分離に基づく吸着材の回収

マグネタイト(砂鉄)は、磁石に引き寄せられます。しかし、マグネタイトには吸着能力がほとんどありません。そこで、マグネタイトの表面を図3のように吸着能のある物質で修飾することによって吸着能を付加すると磁石で回収することのできる吸着材を作製することができます。

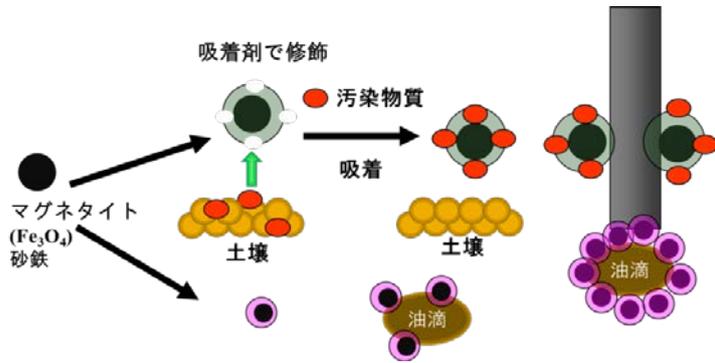


図3 マグネタイトの修飾

また、マグネタイトの表面を疎水化すると、油滴などに吸着し周りを取り囲むようになり、この状態で磁石を近づけると、油滴ごと磁石に引き寄せられるようになり、結果として、油を磁石で捕捉することができるようになります。

・プルシアンブルー修飾マグネタイトを用いるセシウムの回収

また、マグネタイト表面を、プルシアンブルーという無機系色素の微細結晶で修飾すると、放射性セシウムを磁石で回収することができます(図4)。プルシアンブルーにはその格子内にセシウムを取り込む性質があり、セシウムイオンが含まれる水中にプルシアンブルー修飾マグネタイトを添加して攪拌した後、磁石によって、マグネタイトを集めることでセシウムイオンをほぼ100%取り除くことができました。

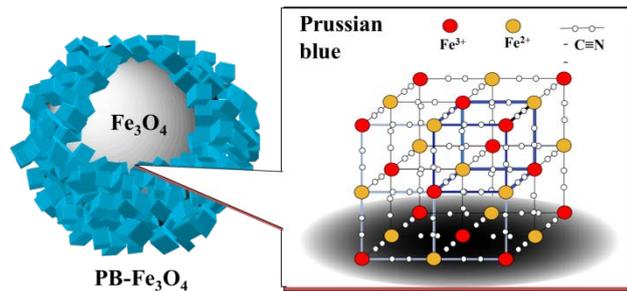


図4 プルシアン修飾マグネタイト

・ピリジニウム修飾

マグネタイトを用いる六価クロムの回収

キトサンにピリジニウムを修飾したものをマグネタイトに付加することによって、六価クロムを磁石で回収することもできるようになります。

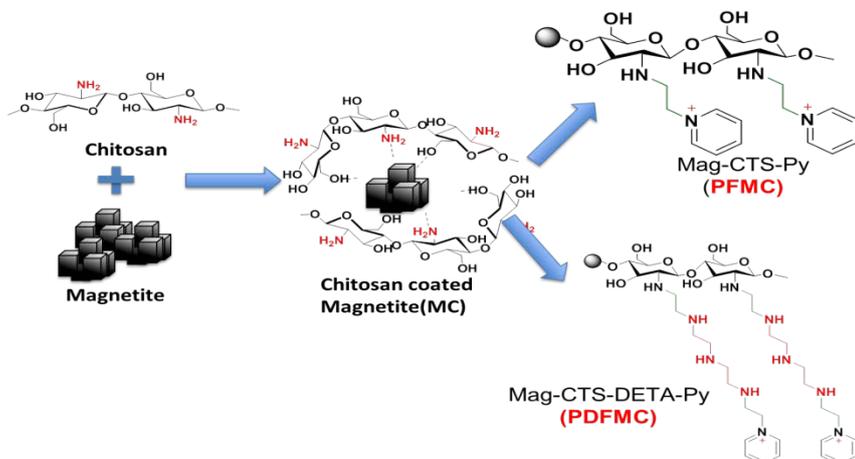


図5 ピリジニウム修飾マグネタイト

図 6 の写真の一番左のビンは六価クロム溶液です。これに修飾マグネタイトを加えて振り混ぜると中央のビンのようになります。ここに磁石を近づけると右のビンのようになり、修飾マグネタイトが磁石に引き寄せられるとともに、溶液の色も透明になっています。これは六価クロムが修飾マグネタイトに吸着し、マグネタイトとともに磁石のところに回収されたからです。



図 6 六価クロムの除去

5. 汚染物質を吸着後、水面に浮上する吸着剤

もし吸着剤が水中の汚染物質を吸着した後で水面に浮上してくると、水面上で吸着剤を回遊できることになり、回収が非常に容易になります。このような吸着剤をアルギン酸ゲルビーズに浮きと重りを付け、重りが水中で溶解することによって軽くなって浮上するようなシステムによって達成した。

さらに、浮上と沈降を繰り返す吸着剤の開発を行い、自走式掃除機のように吸着剤自らが水中を浮いたり沈んだりすることによって水中の汚染物質を回収できる吸着剤の開発の可能性を示すことができました。

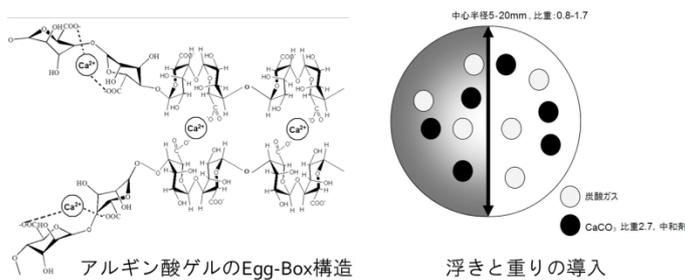


図 7 アルギン酸ゲルビーズ

6. 終わりに

私たちの周りにはまだまだ汚染されたサイトが数多くあり、今後もまた新たに水や土壌の汚染が起こりうると思われます。汚染の状況はサイトごとに異なり、汚染物質の種類も多様です。それらに対応すべく修復法もより多様で、簡便で安価なものの開発を続けていく必要があると思ひます。