

# イオン交換樹脂を用いた液体処理技術

—ムロマック® ミニカラム・ガラスカラムの紹介—

出水 丈志

## 1 はじめに

イオン交換樹脂は、水溶液中に溶存するイオン状の物質を、自身の持つイオンと交換することができる、粒子状の合成有機化合物である。

この特性を利用して、工業用水中に溶存している食塩などのイオン状の物質を除去することで、純水を製造することができる。この他にも、ボイラー用水の製造や火力・原子力発電プラントの水処理、半導体産業用の超純水の製造、食品や医薬品の分離・精製、貴金属の回収や有害金属の除去、各種排水の処理など様々な分野で使用されている物質である。

本稿では、イオン交換樹脂に関して、分離の原理を簡単に紹介すると共に、イオン交換樹脂の評価に必要な製品（ムロマック®ミニカラム、ガラスカラム）について紹介する。

## 2 イオン交換樹脂による分離の原理

### 2.1 イオン交換樹脂によるイオン交換反応

イオン交換樹脂は、水中に存在するイオンを吸着する能力を有する物質である。電解質が水に溶解すると陽イオンと陰イオンに解離するが、陽イオンか陰イオンのどちらかを高分子に化学的に固定したのがイオン交換樹脂である。高分子に結合したイオンの部分を固定イオンと呼ぶと、固定イオンと反対の電荷のイオンと電氣的に中和して存在し、このイオンは他のイオンと交換することができる。これがイオン交換現象である（図1）。

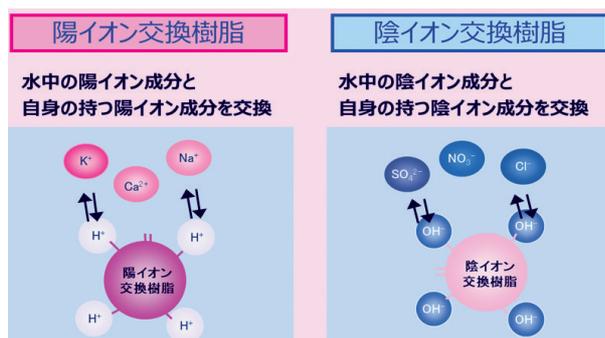


図1 イオン交換反応の概念図

一般的に広く使用されているイオン交換樹脂は、スチレンとジビニルベンゼンのコポリマーにイオン交換が可能な交換基を導入したものである。

具体的には、マイナスに帯電しているスルホン酸基を固定イオンとして有する陽イオン交換樹脂（カチオン交換樹脂）にはプラスに帯電する  $H^+$  イオンが存在しており、水中に存在する  $Na^+$  イオンとイオン交換反応を行うことができる。図2に強酸性カチオン交換樹脂の構造と交換反応例を示す。

一方、プラスに帯電しているトリメチルアミノ基を有する陰イオン交換樹脂（アニオン交換樹脂）にはマイナスに帯電している  $OH^-$  イオンが存在しており、水中に存在している  $Cl^-$  イオンとイオン交換反応を行うことができる。図3に強塩基性アニオン交換樹脂の構造と交換反応例を示す。

これらの反応がイオン交換樹脂によるイオン交換反応の化学的原理である。この反応により、水を精製して容

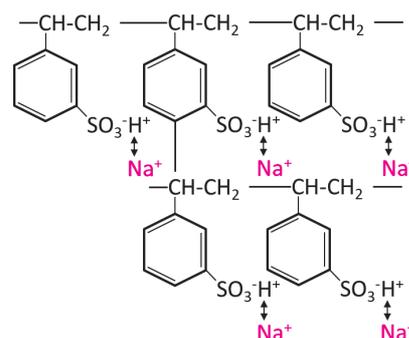


図2 カチオン交換樹脂の構造とイオン交換反応

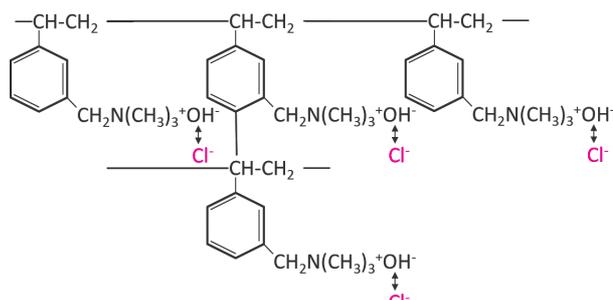


図3 アニオン交換樹脂の構造とイオン交換反応

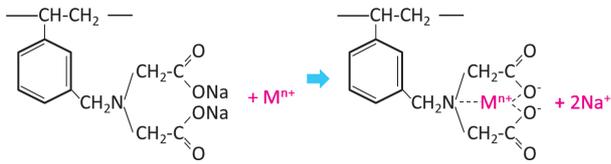


図4 キレート樹脂の構造と交換反応

易に純水を製造することができるため、工業界や研究機関など純水を使用する設備では、イオン交換樹脂が必須の技術となっている。

加えて、イオン交換樹脂の種類としてキレート樹脂がある。配位子に窒素、酸素、硫黄、リンの様な電子供与元素が複数含まれていると金属イオンを強く結合して錯体を形成する。この特性を利用し、金属イオンと錯形成をすることが可能な官能基をイオン交換樹脂として導入したものであり、特定の金属イオンに対して特異な選択性を有していることから、有用金属の回収や有害金属の除去などの特殊用途に用いられる。図4に代表的なキレート樹脂であるイミノ二酢酸型キレート樹脂の構造とイオン交換反応例を示す。

これらカチオン交換樹脂、アニオン交換樹脂、キレート樹脂には様々な種類があり、その特徴も異なるものであるため、用途により使い分けを行っている。

### 2.2 イオン交換設備の概要

図2から図4に示すように、イオン交換樹脂によるイオン交換反応は可逆反応であるため、液体処理を行う場合には被処理液にイオン交換樹脂を投入する「バッチ処理」ではなく、容器にイオン交換樹脂を充填して被処理液を通液する「カラム処理」を行う場合がほとんどである。

図5に純水製造装置の構成例を示す。カチオン樹脂とアニオン樹脂を個別の樹脂塔で処理するケースと、一つの塔（混床塔）で処理を行う場合などがあり、樹脂塔の構成は用途により様々である。また樹脂塔の規模は、数リットルから数万リットルまで、用途により様々である。

一般的な純水製造装置では標準的なイオン交換樹脂が使用されているが、原水水質や要求される純度は装置により様々である。そのため、装置の導入に際しては、事

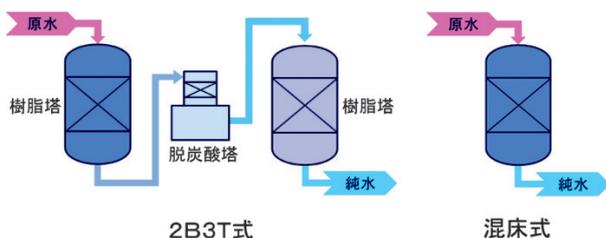


図5 純水製造装置の設備構成例

前に処理試験を行い最適なイオン交換樹脂を選定する必要がある。特に、原水水質が一般的な工業用水と異なる場合や、厳しい処理水質を必要とする場合、原水中の有害物質が特徴的な場合などには、事前に小規模な設備で処理試験を実施した上で、最適なイオン交換樹脂を選定する必要がある。

## 3 イオン交換樹脂の選定試験

### 3.1 カラム通水試験

2章にて述べたように、イオン交換樹脂で液体処理を行う場合、カラム通液法が一般的に行われている。種々の文献では、図6に示すような試験例が掲載されているが、具体的な使用例、特にイオン交換樹脂を充填して通液するカラムに関して詳細な記載はほとんどなく、試験者が自ら工夫・製作して実施していることが多い。

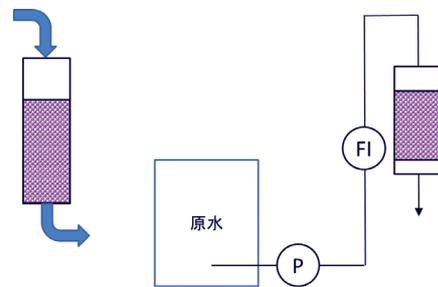


図6 イオン交換樹脂の通液試験例  
P：ポンプ FI：流量計

### 3.2 ムロマック®ミニカラム、ガラスカラム

当社は水処理技術を取り扱うスペシャリストとして、イオン交換樹脂などを用いて浄水処理から廃水処理までお客様のニーズに合ったシステムをご提案し、最高のパフォーマンスをご提供する会社である。

その経験を踏まえ、イオン交換樹脂を用いた通液試験に最適な、「ムロマック®ミニカラム、ガラスカラム」を販売している。特にムロマック®ミニカラムは、少量のイオン交換樹脂を用い、少量の原液で通液試験が可能となるよう、工夫がなされている。

ムロマック®ミニカラムは、カラムと液溜槽がポリプロピレンにより一体成形されていて、丈夫で耐薬品性に優れているものである。小さなカラムながら濾層が効率良く液体試料中の物質を吸着できるように設計されており、リークやテーリングの少ない精度の高いクロマトグラフィーが可能である。目皿は約30μmの多孔質の焼成ポリエチレンを使用しているため、通液によるイオン交換樹脂のリークがほとんど無い。加えて、カラムの下部から目皿を細い針金等で突き上げると簡単に取り出すことが可能で、洗浄して再使用することができる。

カラムサイズは、表1に示すS/M/Lの3種類を準備しており、通液に必要なキャップやシリンジなどが付属

表1 ムロマック®ミニカラムの種類

種類	内径 (mm)	長さ (mm)	容量 (mL)	液溜槽容量 (mL)
S	5.0~5.5	50	1.0	8.0
M	6.5~8.5	58	2.5	10.0
L	10.0~11.0	118	10.0	5.0



写真1 ムロマック®ミニカラムの使用例(1)

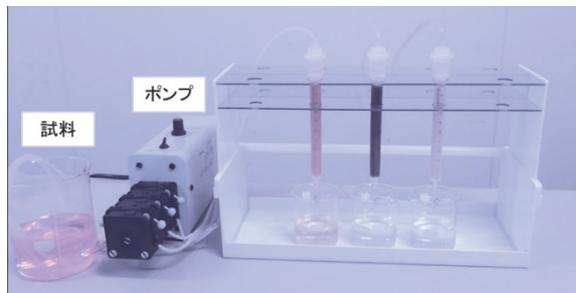


写真2 ムロマック®ミニカラムの使用例(2)

しており、専用のカラムスタンドも準備している。

ムロマック®ミニカラムの使用例を写真1に示す。カラムスタンドにムロマック®ミニカラムをセットし、イオン交換樹脂をカラムに充填し、シリンジを用いて通液試験を行うことができる。シリンジを用いた通液試験では、重力落下による通液や加圧通水が可能である。

また、写真2に示すように被処理液を、チューブポンプを用いて通液することも可能である。写真2のように複数のサンプルを同時に通液することや、長時間の通液を行い、フラクションを採取することで寿命評価を行うことも可能である。

次に、ムロマック®ガラスカラムはガラス製で耐薬品性に優れ、鮮明にイオン交換反応を可視化することが可能である。ムロマック®ミニカラムを用いたイオン交換

表2 ムロマック®ガラスカラムの種類

種類	横幅 (mm)	長さ (mm)	容量 (mL)	枝管の有無
S	80	280	30	あり
M	85	325	100	あり
ロング	50	430	40	なし

注記：S/Mの横幅は枝管を含む。



写真3 枝管付きムロマック®ガラスカラムS



写真4 ムロマック®ガラスカラム使用例

樹脂の初期検討後、多量の処理液を必要とする通液試験において、樹脂量を多くして使用することでより正確なデータを取ることが可能である。枝管付きタイプ(S, M)はムロマック®分液ロートを使用することで液枯れすることなく通液試験を行うことができる。また、ライフ試験など樹脂層高を上げて試験を行う場合は、細長タイプのロングガラスカラムを使用することで正確なデータを取得できる。ムロマック®ガラスカラムの種類を表2に示す。また、枝管付きガラスカラムを写真3に、分液ロートを用いた使用例を写真4に示す。

### 3.3 ムロマック®ミニカラムの使用例

ムロマック®ミニカラムを用いた評価試験結果の一例を以下に紹介する。

試験目的は、某工場の排水中に含まれるNiを回収す

表 3 通液試験結果

樹脂種類	Ni 濃度 (mg/L)
A	3.47
B	3.40
C	0.09
D	2.35

るために通液試験を行い、最適なイオン交換樹脂を選定するものである。

まず、最適なイオン交換樹脂を選定するため、4種類のイオン交換樹脂を用いて短時間の通液試験を行った。試験条件は以下の通りである。

- ① 原液 Ni 濃度：3.7 mg/L
- ② 処理目標 Ni 濃度：1 mg/L 以下
- ③ 使用カラム：ムロマック® ミニカラム L
- ④ 使用イオン交換樹脂：A～D の 4 種類
- ⑤ 樹脂量：10 mL
- ⑥ 通水空間速度 (SV)：5
- ⑦ 通水時間：2 hrs
- ⑧ 樹脂量に対する通液倍量：10 (BV)

通液試験結果を表 3 に示す。表 3 から樹脂 C が最適であると評価した。

上記試験結果を踏まえ、破過試験を行った。試験条件は以下の通りである。

- ① 原液 Ni 濃度：3.7 mg/L
- ② 処理目標 Ni 濃度：1 mg/L 以下
- ③ 使用カラム：ムロマック® ミニカラム L
- ④ 使用イオン交換樹脂：樹脂 C
- ⑤ 樹脂量：10 mL
- ⑥ 通水空間速度 (SV)：5
- ⑦ 通水時間：8 hrs
- ⑧ 樹脂量に対する通液倍量：40 (BV)

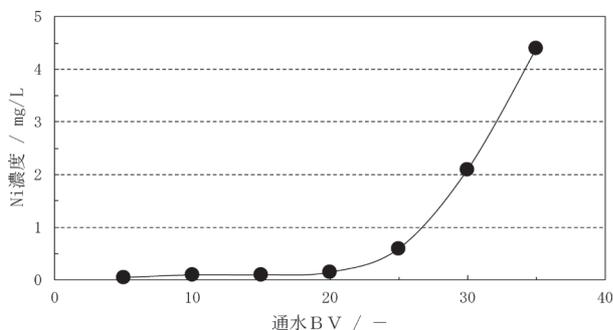


図 7 ムロマック® ミニカラムによる通液試験結果例

通液試験結果を図 7 に示す。処理目標である 1 mg/L に対して 25 BV の通液が可能であると評価された。

これら一連の 2 種類の試験で使用した総原液量は 1000 mL 程度であり、少量の原液で詳細な評価が可能である。更に精密な評価を実施する場合、ムロマック® ガラスカラムなど大量のイオン交換樹脂を装荷可能な設備を使用することで評価が可能である。

更に、分析用途のクロマト分離に用いる場合には、ムロマック® ミニカラム S を用いると、イオン交換樹脂量 1 mL で数 mL の液量での通水も可能であり、ごく少量サンプルでの通液試験も可能である。勿論、極微量濃度の液体を大量に通液し、濃縮処理することも可能である。

このような特性から、様々な研究分野で活用されている。文献等に掲載されているムロマック® ミニカラム/ガラスカラムの使用例は以下の通りであり、クロマト分離など、分析用途に広く用いられていることが分かる。

- ① 環境分野：海水、雨水など環境試料の分析用途
- ② 鉱業分野：岩石、鉱物、石英などの組成分析
- ③ 農業分野：植物などの分析
- ④ 生化学分野：タンパク質、生体などの精製研究
- ⑤ 原子力分野：高レベル放射性廃棄物の処理法研究、核分裂生成物/同位体元素の分離定量

## 4 ま と め

イオン交換樹脂は純水の製造から排水処理など、様々な分野で使用されており、使用する上では最適なものを選定する必要がある。

本稿では、その評価に使用するために最適な機材として、「ムロマック® ミニカラム、ガラスカラム」を紹介した。様々な用途での使用が期待される。

尚、当社 YouTube チャンネルでは、動画でムロマック® ミニカラムの使用方法を紹介している。イオン交換樹脂の紹介を行っている HP 「イオン交換樹脂総合情報センター」と併せ、ご参照いただければ幸いです。



出水 丈志 (Takeshi Izumi)

室町ケミカル株式会社化学品事業部化学品 1 部 (〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台 3-4)。《現在の研究テーマ》イオン交換樹脂の拡販、用途開発。《趣味》音楽鑑賞。

E-mail: tizumi@muro-chem.co.jp

室町ケミカル株式会社ホームページ URL :

<https://www.muro-chem.co.jp/>

イオン交換樹脂総合情報センター URL :

<https://ionexchange-info.com/>

室町ケミカル YouTube チャンネル URL :

<https://www.youtube.com/channel/UCaHMPAvjqpQm51fa90hfPg/videos>

## 原 稿 募 集

「技術紹介」の原稿を募集しています

対象：以下のような分析機器、分析手法に関する紹介・解説記事

- 1) 分析機器の特徴や性能および機器開発に関わる技術,
- 2) 分析手法の特徴および手法開発に関わる技術,
- 3) 分析機器および分析手法の応用例,
- 4) 分析に必要な試薬や水および雰囲気などに関する情報・解説,
- 5) 前処理や試料の取扱い等に関する情報・解説・注意事項,
- 6) その他、分析機器の性能を十分に引き出すために有用な情報など

報など

新規性：本記事の内容に関しては、新規性は一切問いません。新規の装置や技術である必要はなく、既存の装置や技術に関わるもので構いません。また、社会的要求が高いテーマや関連技術については、データや知見の追加などにより繰り返し紹介していただいても構いません。

お問い合わせ先：

日本分析化学会『ぶんせき』編集委員会

[E-mail : bunsetki@jsac.or.jp]