

# 帯磁性イオン交換樹脂による THMFP 除去技術に関する一考察

日本上下水道設計(株) 佐藤 有一  
天野 幹大

## 1 はじめに

トリハロメタンは塩素による消毒処理過程において生ずる副生成物であり、天然に存在するフミン質等の有機物が塩素消毒剤と反応することで生成される。

このトリハロメタン生成能（以下“THMFP”）の対策技術として、凝集沈澱・急速ろ過、粉末活性炭処理、オゾン・活性炭処理、ナノろ過膜が挙げられるが、近年新たな対応策として、帯磁性イオン交換樹脂による処理（以下“樹脂処理”）が注目されている。

本稿では、原水中の THMFP が大きな課題である F 浄水場に樹脂処理の実験プラントを導入し、その効果を検証した。また、この検証結果に加え、他水源への適用事例も併せて紹介し、THMFP 除去技術の体系化に関する考察を行った。

## 2 水源水質の現状と課題

表 1 に、F 浄水場における平成 22 年度水質データを示す。

F 浄水場は、主な水源がダム水であることから有機物濃度が高く、原水の色度も高い。これに加え、台風をはじめとした大量降雨時には、ダム集水域の落葉等の有機物が流入するため、原水色度が更に増加する傾向にある。また、F 浄水場およびその給水区域は離島に位置しており、海からの送風塩の影響を受け、塩化物イオン・臭化物イオンの濃度が高い。

以上の状況から、F 浄水場の原水は高 THMFP であり、更には臭素系の THMFP が比較的高いという特徴を有する。現在、F 浄水場においては、この対策の一環として活性炭処理を導入している。

表 1 F 浄水場における原水および浄水水質

F 浄水場 (H22.4/1~H23.3/31)		濁度	色度	TOC (mg/L)	THMFP (mg/L)	総トリハロメタン (mg/L)	PAC 注入率 (mg/L)
原水	最大	27.1	99.0	12.9	0.284	—	389
	最小	4.3	18.0	5.0	0.140	—	166
	平均	10.5	41.9	6.9	<u>0.185</u>	—	225
浄水処理後	最大	0.6	7.0	2.8	—	0.067	—
	最小	0	0	1.1	—	0.030	—
	平均	0	1.5	1.9	—	<u>0.045</u>	—

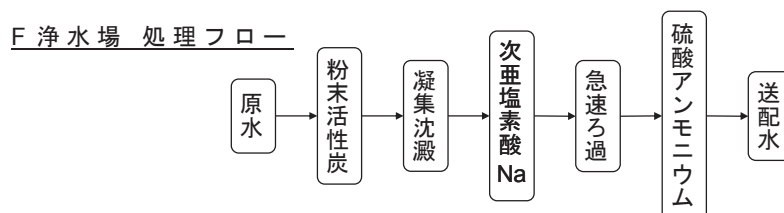


表 1 で示した水質項目の内、最も優先して取り組むべき課題は有機物の除去である。この有機物の存在により凝集剤注入量が増大し、更には既存フローで処理されなかった有機物が後段の塩素処理でトリハロメタンになると考えられる。現状のトリハロメタン濃度は、浄水処理直後においては水質基準を満足しているが、給水末端では基準値に近い値が検出されることもあり、対策が急務とされている。

### 3 想定される対策案

2 で示した現状課題を解決するべく、新たな対策案の検討を行った。原水水質に応じた適切な処理法の決定にあたっては、(財)水道技術研究センターの「浄水技術ガイドライン 2010」を参考とした。

#### F 浄水場の原水レベルおよび目標水質

##### <TOC>

原水 : 最大 16mg/L 程度  
目標 : 1.5mg/L 以下

##### <トリハロメタン>

原水 (生成能) : 最大 0.3mg/L  
目標 (生成量) : 0.025mg/L 以下

ガイドラインによれば、TOC・トリハロメタンの原水水質レベルおよび浄水水質目標レベルを考慮すると、F 浄水場ではオゾン+粒状炭処理が必要となる。

しかしながら本原水においては、THMFP が著しく高いこと、またオゾン処理では海水由来の臭素酸が問題となることから、対策案としては不適とした。また、ナノろ過も対策案の一つと考えられるが、設備コスト、維持管理コストが課題となるため、検討から除外した。

本稿では、上記の処理技術に代わる新たな対策技術として、樹脂処理に着目した。樹脂処理による有機物除去は、国外では欧米を中心に多数の実績を有し、また「浄水技術ガイドライン 2010」においても、イオン交換による溶解性有機物除去の単位プロセスとして記載のある処理技術である。この樹脂処理を適用することで、オゾン処理で懸念された問題を回避しつつ、且つコスト面でナノろ過よりも有利となるような有機物除去の達成が期待される。

## 4 帯磁性イオン交換樹脂による処理効果の検証

### 4.1 実験方法

#### (1) THMFP の評価指標および処理目標の設定

THMFP の日常水質測定では、その簡便さおよび相関性の高さから、UV260 を評価指標とした。事前に UV260 測定値と THMFP 測定値との相関を求め、実験プラント運用の際には UV260 を測定し、試料の THMFP を見積もった。

また、本実験における THMFP の処理目標は、F 浄水場の浄水処理目標と同じ THMFP ≤ 0.05 mg/L とした。実験では、UV260-THMFP 間の相関を求めた後、THMFP=0.05 mg/L に対応する UV260 を算出し、処理水質の基準とした。

(2) 実験プラント概要

実験フローを図 1 に示す。本実験では、樹脂処理の導入位置を既設凝集沈澱池の前段および後段（処理①、処理②）に設定し、2通りのフローの比較を行った。水質測定は、5種の水試料（原水・凝集沈澱後・急速ろ過後・処理①後・処理②後）を採水し、UV260 の測定を行った。（測定期間：平成 22 年 7 月 12 日～平成 23 年 3 月 31 日）

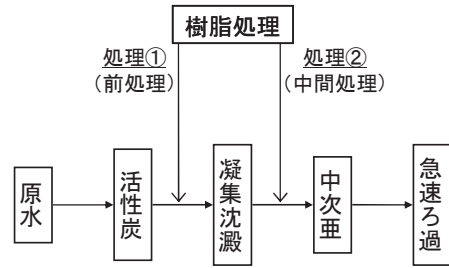


図 1 実験フロー

(3) 実験プラント運転条件

樹脂処理における重要な運転条件として、通水倍数（Bed Volume：以下 BV）がある。BV 値は樹脂の処理性に大きな影響を与え、BV 値が大きくなりすぎると樹脂のイオン吸着能が飽和するため、定期的に樹脂再生を行う必要がある。

本実験では BV=0 の条件から通水を開始し、処理①・処理②の BV 値が事前に定めた適正 BV 値に達した以降は、それぞれ適正 BV 値が維持されるよう樹脂の再生を行った。

4.2 実験結果

(1) THMFP の評価指標および処理目標

図 2 に F 浄水場における THMFP-UV260 の相関を示す。両パラメータの相関をとった結果、THMFP と UV260 との間で良好な相関関係が確認された。

また、この相関関係に基づき、UV260 測定における処理目標を 0.120 abs 以下と設定した。

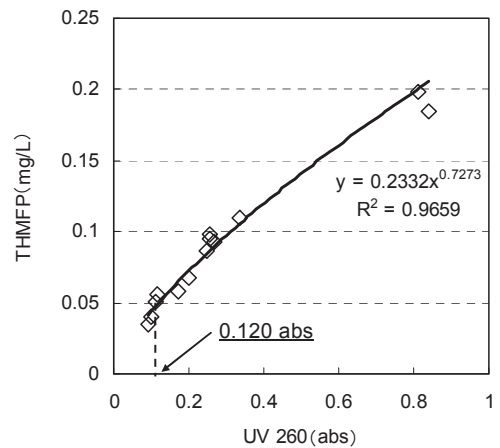


図 2 THMFP と UV260 の相関

(2) UV260 の連続測定状況

UV260 の測定結果を図 3 に示す。図中には、気象庁 HP にて公開されている降雨量観測データも併記した。

原水 UV260 は降雨によって変動するが、既設の処理フローである凝集沈澱および砂ろ過によって安定的に除去された。この結果から、既設フローが THMFP 対策（有機物除去）として有効であることが推測されるが、降雨量が多い日は砂ろ過後の処理水においても目標 UV260 値を上回る結果となった。

原水の直後に導入する処理①では、平均 55～65%程度の有機物除去率を示した。しかしながら、降雨によって原水の UV260が増加すると、処理①の除去率は悪化する傾向を示した。これは特に原水 UV260が 1.5 abs 程度まで増加した日において顕著であり、その際処理①の除去率は 20～30%程度にまで低下した。

凝集沈澱後に導入する処理②では、安定して約 40%の UV260 除去率を示した。また、処理②による処理水は砂ろ過処理水よりも低い UV260 値を示し、適正な BV 条件下では、F 浄水場の UV260 処理目標を達成することが可能であった。

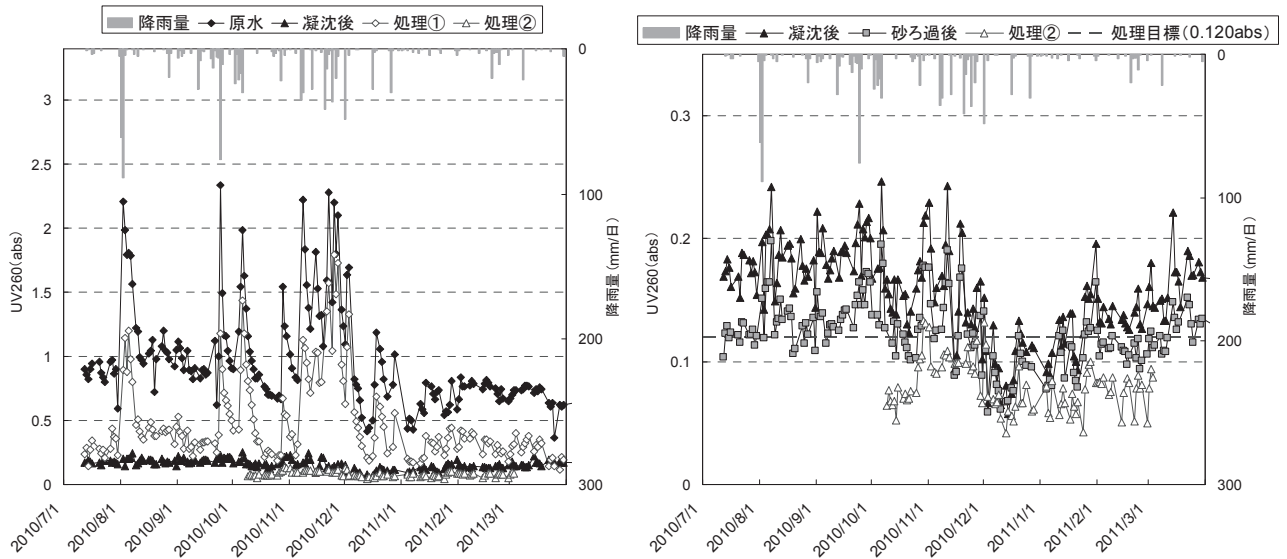


図 3 各処理工程における UV 測定結果（左：測定結果全体概要、右：縦軸拡大）  
 （処理① H22.7/12 以降 BV4,000 で固定、処理② H22.12/12 以降 BV25,000 で固定）

## 5 他水源への検討事例

### 5.1 原水種に対する適用性

図 4 に種々の原水に対する樹脂処理の UV 除去率を示す。本実験は、必要量の水試料を採取し、バッチテストを行った。UV260 除去率は、原水の種類によって除去性に違いは確認されず、本樹脂の適用において、原水種には特に制約が無いことが示された。

また一方で、全ての原水種に共通し、UV260 除去率が BV 値に大きく影響される傾向が確認された。BV 値の増加に従い UV260 除去率は低下するが、BV=4000～5000 以降となると、除去率は徐々に安定する傾向を示した。

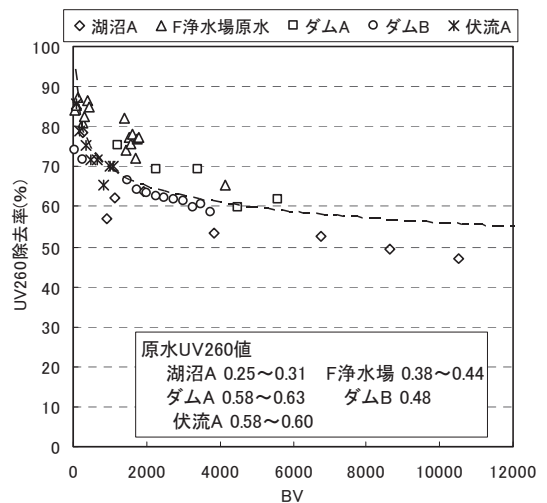


図 4 樹脂処理の BV 依存性

### 5.2 除去率の pH 依存性および温度依存性

湖沼 A における UV260 除去率の pH 依存性および温度依存性を図 5 に示す。

図 5 に示すとおり、pH においては約 7.5–9.0、水温においては約 6°C–35°C の範囲で樹脂処理は安定した除去率を示した。pH については低 pH 側での除去率の確認が今後必要であるが、総じて、一般的な pH 範囲および温度範囲において、本樹脂は安定した除去率達成が期待される。

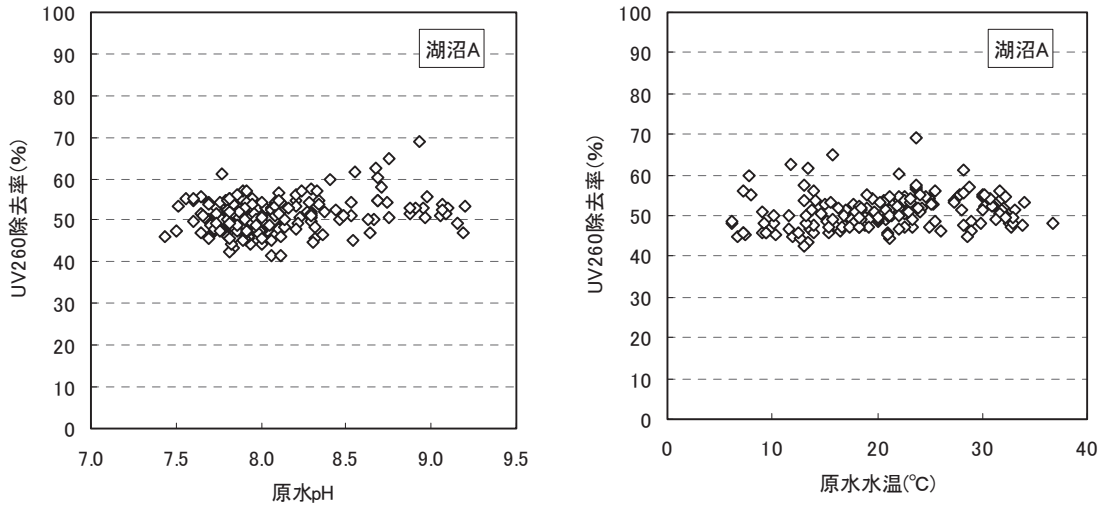


図 5 樹脂処理の pH 依存性（左）および温度依存性（右）

### 5.3 共存物質の競合について

樹脂処理は陰イオン交換を行うことで有機物を除去するが、水中に無機陰イオンが大量に存在する場合、樹脂の吸着サイトが占有され、有機物除去が阻まれる可能性が考えられる。

図 6 に、樹脂処理前後の無機陰イオンの測定結果を示す。実験の結果、処理前後の無機陰イオン濃度にほぼ変化は見られなかった。

これは、流入水中の有機物が優先的に樹脂に吸着され、無機陰イオンは吸着せずに流出したことを示している。この結果から本樹脂は、共存無機陰イオンによる阻害の影響が、非常に少ない樹脂であると考えられる。

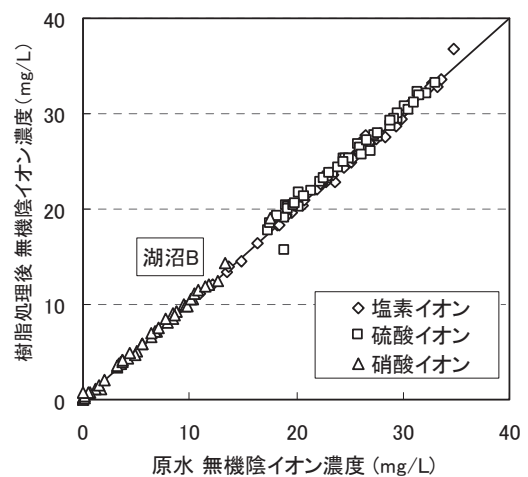


図 6 樹脂処理前後の無機陰イオン濃度

### 5.4 活性炭との併用について

図7に、F浄水場の原水に樹脂処理を適用した試料の凝集実験結果を示す。試料は2種用意し、一方には樹脂処理に加え、更に粉末炭処理（注入率 20 mg/L）を行った。

実験の結果、全ての PAC 注入条件において、粉末炭を併用した試料の方が良好な有機物除去を達成した。これは当該原水において、活性炭によってのみ除去される有機物が存在することを示唆するもので、併用の有効性が示される結果となった。

活性炭と樹脂処理は、有機物除去を図る点で同等であるが、有機物の物理化学的特性（分子量、水溶性等）に応じて、その除去性に比較優位が生じる。よってこの特徴を活かし、活性炭では低分子の臭気物除去を行い、樹脂処理では高分子のフミン質を除去する等の、両処理の併用・棲み分けが可能であると考えられる。

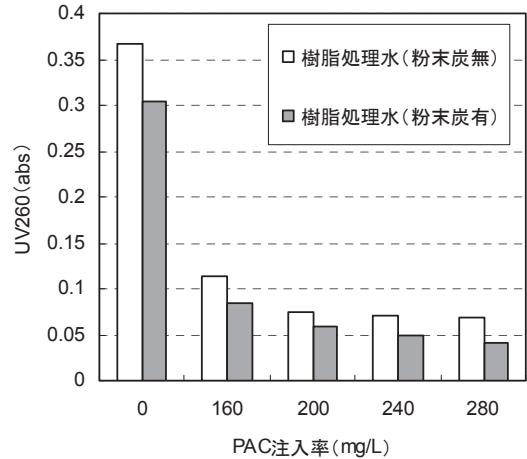


図7 粉末炭の有無による樹脂処理水の有機物除去性

## 6 樹脂処理適用の際の留意点

### 6.1 樹脂処理の適用範囲について

本実験で使用した樹脂の特徴を表2に示す。本樹脂の処理特性は水源種、水温、pH、濁度、共存無機陰イオンに大きく影響はされることは無いが、BV値とUV260除去率との間には負の相関が認められる。

樹脂処理を運用する際の適正BVについては、樹脂への流入水質によって異なる可能性があるため、事前に予備実験を実施した上で設定することが望ましい。

更に樹脂処理は活性炭との併用も可能であり、互いの除去特性と競合・阻害することなく、より有効な有機物除去の達成が見込まれる。

表2 樹脂の特徴

項目	特徴
水源種	特に制限無し
通水倍率(BV)	除去率と負の相関
水温	温度依存性無
pH	中性～アルカリ性で除去率安定
共存無機陰イオン	競合無
活性炭との併用	可能(競合無)

## 6.2 樹脂処理の導入位置について

樹脂処理の導入位置による比較を表3に示す。樹脂処理は導入位置によって主に処理性、経済性、運転管理性の3点において違いが生じる。

処理性は原水の有機物濃度が低ければ、処理①および②はほぼ同等の処理性を示すが、有機物濃度が高まると処理①では処理性が悪化する。

経済性については、イニシャルコストの点では処理①が有利となるが、樹脂再生頻度に関しては処理②が有利となり、トータルコストとしては導入位置によって大きく差は生じない。

運転管理性は、樹脂再生の点で処理①が不利となるが、一方で処理①は処理水量を調整しやすいメリットを有する。樹脂処理は、基本的に上向流での一定流量運転であり、水量調整は主に処理水の返送によって行うが、処理①の処理水は無薬注の状態であるため、返送する水質に関しての懸念が少ない。

本実験では、凝集沈澱前後の2つの導入位置で樹脂処理の検討を行ったが、有機物の処理性に関しては、凝集沈澱後に導入する処理②が有利となる結果を得た。但し処理①についても運転管理の面で有利な点を有しており、樹脂処理の導入を検討する際には、原水水質・場内設備等の条件を総合的に勘案し、適切な導入位置を決定する必要がある。

表3 導入位置による比較

		処理①	処理②
処理性		△降雨により原水の有機物濃度が上昇すると除去率が悪化	○前段の凝集沈澱により、流入する有機物濃度が安定
経済性	設備費	○薬品注入設備の小規模化が可能 処理②より設備数減	△処理①の設備の他、中間ポンプ・ポンプ井、後PAC設備、ろ過地の複層化が処理①に追加が必要
	樹脂再生廃液	×285L/日(F浄水場)	○45.6L/日(F浄水場)
運転管理性		○処理水を着水井等に返送する形で処理水量の調整が容易 △樹脂の再生頻度が高く、再生液補充・廃液運搬が多い	○樹脂の再生頻度が処理①に比べ少ない

## 7 おわりに

本稿では、F浄水場および他水源の適用事例を紹介し、樹脂処理によるTHMFP除去の適用性を検討した。検討の結果、樹脂処理は幅広い水質に適用が可能であり、導入位置によってメリット・デメリットが異なることが示された。

この樹脂処理は、有機汚濁が進んだ原水を持ちつつも、オゾン処理が困難な水道事業者（中小事業規模・臭素の存在等）にとって、有効なTHMFP対策の一つになると考えられる。

## 8 参考文献

(財)水道技術研究センター：浄水技術ガイドライン 2010