

II - 536

粉末活性炭併用UF膜ろ過浄水処理における有機物除去性

岐阜大学 学生員 林本隆行 石垣機工（株） 松原秀吉
岐阜大学 正 員 湯浅 晶, 東海明宏

1. はじめに

従来の標準的な浄水システムである急速ろ過法（凝集・フロック形成・沈殿・砂ろ過）に替わる固液分離プロセスとして、設備面積の縮小化・自動化・薬品注入不要などの利点を持つ膜ろ過プロセスが浄水処理に導入され始めている。膜ろ過による除去対象は膜の分離孔径以上の懸濁物であり、原水中に存在するトリハロメタン生成前駆物質であるフミン酸・農薬・異臭味などの溶解性有機物質を除去するためには他の高度処理プロセスと組み合わせることが必要となる。活性炭吸着処理は、様々な溶解性有機物の除去に有効であり、活性炭吸着プロセスと膜ろ過プロセスの組み合わせによる処理プロセスが有望視されている。

本研究では琵琶湖水を原水として内圧クロスフロー型中空糸UF膜ろ過パイロットプラントにおいて、粉末活性炭注入を併用したUF膜ろ過プロセスにおける有機物の除去性について検討した。

2. 研究方法

使用した膜モジュールは、中空糸UF膜（内圧クロスフロー型、セルロース系、膜の孔径10nm、排除限界分子量100,000Dalton、膜面積7.2m²、中空糸内径0.93mm、外径1.67mm）である。

プレフィルター（目開き125μm）を通して原水タンクに貯留された原水が、原水供給ポンプ（REP）により一定流量Q₀で原水循環ループに圧送され、UF膜モジュールに流入して中空糸の内側から外側へとろ過される。ろ過工程時間45分毎にろ過を停止し、逆洗ポンプ（BWP）を用いて貯留した透過水による逆流洗浄を行った。逆洗時には、洗浄効果を高めるために、洗浄用の透過水に次亜塩素酸ナトリウム（5g-Cl₂/m³）を注入した。

粉末活性炭注入を併用したUF膜ろ過プロセスの運転は次のように行った。定流量ポンプを用いて、粉末活性炭貯留懸濁液を原水循環ループ流入直前地点または原水タンクに連続注入した。原水タンクに粉末活性炭を注入した場合には原水タンク（有効容積0.080m³）と原水循環ループ（有効容積0.016m³）が吸着の場となる。使用した粉末活性炭はケンピロン社のTL9003である。

3. 粉末活性炭吸着とUF膜ろ過プロセスによる有機物の除去特性

(1) バックグラウンド有機物の除去性

粉末活性炭吸着プロセスとUF膜ろ過プロセスの組み合わせによるバックグラウンド有機物の除去性を検討するために、粉末活性炭の連続注入実験（膜ろ過流量0.35～0.37m³/h、クロスフロー流速0.90m/s、ろ過工程時間45分、逆洗工程時間45秒）を行った。粉末活性炭の注入点は原水循環ループ入口直前と原水タンクの2カ所で行い、膜ろ過水の水質に及ぼす活性炭注入量（10～50mg/L）と接触時間の影響を検討した。バックグラウンド有機物の指標として紫外吸光度E260を測定した。

流出濃度安定時（ろ過工程開始後10分以降）のE260流出率と活性炭注入濃度の関係を図1に示す。

実験を行った日によって原水のE260の値は若干異なるが（0.021～0.026）、活性炭を注入しない単独UF膜ろ過プロセスによる紫外吸光度E260の除去率は約37%であった。粉末活性炭吸着を組み合わせたUF膜ろ過プロセスでは図1に示すように単独UF膜ろ過で除去されないバックグラウンド有機物の紫外吸光度E260に対する除去率は活性炭注入量が増加するにつれて徐々に増加し、活性炭注入量50mg/Lでは除去率は70%程度まで増加した。また、原水循環ループ入口直前よりも原水タンクに粉末活性炭を注入した場合の方がE260の除去率はわずかに高く、粉末活性炭と水との接触時間（原水循環ループ入口直前に注入した場合の平均接触時間は2.7分、原水タンクに注入した場合は原水タンク内と循環ループ内で合計16.4分）が溶存有機物の吸着除去効率が多少影響していることが示されている。

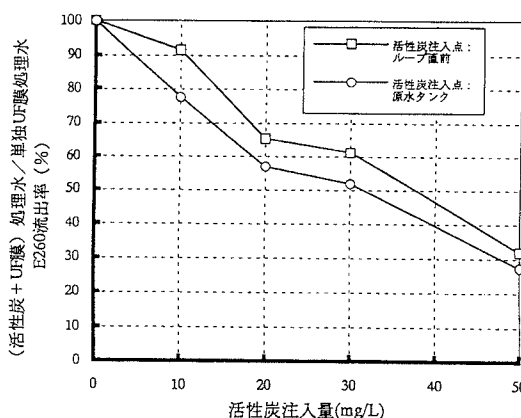


図1 紫外吸光度E260の除去性

(2) 農薬の除去性

粉末活性炭吸着プロセスとUF膜ろ過プロセスの組み合わせによる農薬の除去性を検討するために、シマジン（CAT）を原水に添加した実験（膜ろ過流量0.455m³/h、クロスフロー流速0.90m/s、ろ過工程時間45分、逆洗工程時間55秒）を行った。1mg/LのCAT水溶液（アセトン含量0.2%-v/v）を定量ポンプにより原水に注入し、粉末活性炭を原水タンクに連続注入した。CATの添加濃度は6μg/L（水道水の水質基準の2倍）であり、粉末活性炭注入量は1～5mg/Lである。

農薬添加実験結果を表1と図2に示す。粉末活性炭5mg/L程度の注入により、CATの約70%が除去され、水道水水質基準（3μg/L）以下となっている。粉末活性炭5mg/L程度の注入では、単独UF膜ろ過で除去されないバックグラウンド有機物（紫外外部吸光度E260）の10%程度しか除去されないのと比べると、数ppbレベルのCATは活性炭に吸着除去されやすいことが明らかである。

表1 粉末活性炭+UF膜ろ過プロセスによるシマジン（CAT）の除去性

	E260 (1/cm)	CAT (μg/L) [除去率]
原水（CAT添加前、0.45μmろ過）	0.0174	
原水（CAT添加後、0.45μmろ過）	0.0216	5.9
単独UF膜ろ過水	0.0210	6.1 [0%]
粉末活性炭（1mg/L）+UF膜ろ過水	0.0174	4.6 [22%]
粉末活性炭（2mg/L）+UF膜ろ過水	0.0160	3.5 [41%]
粉末活性炭（5mg/L）+UF膜ろ過水	0.0136	1.6 [73%]

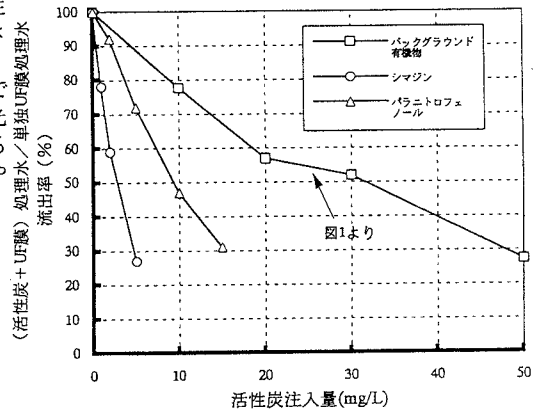


図2 CATとPNPの除去性

(3) フェノール化合物の除去性

粉末活性炭吸着プロセスとUF膜ろ過プロセスの組み合わせによるフェノール化合物の除去性を検討するために、パラニトロフェノール（PNP）を原水に添加した実験（膜ろ過流量0.680m³/h、クロスフロー流速0.90m/s、ろ過工程時間45分、逆洗工程時間60秒）を行った。2mmol/LのPNP水溶液を定量ポンプにより原水に連続注入し粉末活性炭を原水タンクに連続注入した。PNPの添加濃度は0.01mmol/L（1.39mg/L）であり、粉末活性炭注入量は2～15mg/Lである。PNP（pKa=7.1）はpH10以上ではほぼ完全に解離して波長400nm付近で極大吸収を示し、また原水自体の吸収は無視し得るほど小さいので、採水試料をpH10以上に調整してから波長400nmにおける吸光度E400を測定することによりPNPの定量を行った。

実験結果を表2と図2に示す。添加したPNP（DOCとして0.7mg/L）は原水の中のバックグラウンド有機物（DOCとして1.6mg/L）の43%（炭素換算）程度の量に相当する。粉末活性炭15mg/L程度の注入により、PNPの約70%が除去されているのに対して、単独UF膜ろ過で除去されないバックグラウンド有機物（DOCとして1.2mg/L）の除去率は35%程度である。また、図1で示されたように、粉末活性炭15mg/L程度の注入では、単独UF膜ろ過で除去されないバックグラウンドの紫外外部吸光度E260に対する除去率も35%程度であった。このことから、フェノール化合物は原水中のバックグラウンド有機物よりも吸着性が高いことが明らかである。原水中の濃度が低くなるほど同じ除去率を得るのに要する活性炭添加量は低下するので、フェノール化合物の濃度が10ppb程度の場合には、水道水質基準（5μg/L）以下にするのに必要な活性炭注入濃度は格段に少なくて済むと考えられる。

4. おわりに

粉末活性炭吸着処理を併用したUF膜ろ過プロセスにおける微量有機物の除去に必要な活性炭注入量は、原水中のバックグラウンド有機物の濃度や微量有機物自体の濃度が高くなるにつれて増加するものの、トリハロメタン生成前駆物質などのバックグラウンド有機物の除去を目的とするような粉末活性炭注入量では、CATやフェノール化合物のような微量有機物はより高い効率で除去されると考えられる。

表2 粉末活性炭+UF膜ろ過プロセスによるパラニトロフェノール（PNP）の除去性

	DOC (mg/L)	E260 (1/cm)	E400 (1/cm)	PNP (mg/L) [除去率]	PNP以外の DOC (mg/L) [除去率]
原水（PNP添加前、0.45μmろ過）	1.6	0.016	0.001		1.6
原水（PNP添加後、0.45μmろ過）	2.3	0.043	0.173	1.34	1.6
単独UF膜ろ過水	1.9	0.041	0.171	1.33 [0%]	1.21 [0%]
粉末活性炭（2mg/L）+UF膜ろ過水	1.8	0.038	0.158	1.23 [8%]	1.16 [4%]
粉末活性炭（5mg/L）+UF膜ろ過水	1.5	0.031	0.125	0.97 [28%]	0.99 [18%]
粉末活性炭（10mg/L）+UF膜ろ過水	1.2	0.021	0.081	0.63 [53%]	0.87 [28%]
粉末活性炭（15mg/L）+UF膜ろ過水	1.0	0.015	0.054	0.42 [69%]	0.78 [35%]

(a) 試料水をpH10に調整した後の測定値

(b) PNP(mg/L)=7.78×E400

(c) 計算値；DOC(mg/L)=PNP(mg/L)×72/139