



Title	ナノろ過法の膜選定についての一考察
Author(s)	太田, 直輝; 貫名, 崇雄; 島袋, 公男 他
Description	第5回衛生工学シンポジウム (平成9年11月6日 (木) -7日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 4 水処理 1 . 4-7
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 5, 161-165
Issue Date	1997-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7725
Type	departmental bulletin paper
File Information	5-4-7_p161-165.pdf



4-7

ナノろ過法の膜選定についての一考察

太田直輝、貫名崇雄、島袋公男、品田 司 (㈱西原環境衛生研究所)

1. はじめに

現在、MF膜またはUF膜を用いた浄水処理施設は、除菌・除濁を主な目的とする小規模水道を中心に積極的な導入が進められている。また、平成6年度より3ヶ年にわたって実施された「高度処理MAC21」においては、NF膜ろ過により、従来法やMF膜/UF膜単独では十分に除去することができないトリハロメタン前駆物質、微量化学物質、異臭味、ウイルス等を高度に除去できることが示され、次世紀の水処理法として膜ろ過技術が注目を浴びている。今後の課題としては、原水性状に見合う経済的なNF膜を選定し、できるだけ操作圧力が低く、水回収率を高く運転できる膜処理システムを構築することが重要である。

本稿では、長期連続実験に供したNaCl阻止率の異なる2種類のNF膜について除去性能を比較し、水回収率(濃縮倍率)が除去性能に及ぼす影響を考察した。

なお、本稿の一部は、高度処理MAC21の実験で得られた結果を用いた。

2. 実験概要

2-1 処理フロー

各装置の処理フローを図2-1-1、図2-1-2に示す。

2-2 各装置の仕様・運転方法

各装置の仕様・運転方法を表2-2-1に示す。

原水(河川水)を、200 μ mのプレフィルタにより夾雑物を除去した後、UF膜ろ過を行った。運転は定流量ろ過とし、膜ろ過水量が所定の値になるようにポンプの回転数を自動制御することにより行った。逆流洗浄はUF膜ろ過水を用いて約30分毎に30秒間行い、逆洗水にはモジュール内の殺菌のため塩素を4mg/L程度となるように添加した。

UF膜ろ過水をNF膜ろ過した。NF膜ろ過装置は循環式とし、運転はUF膜ろ過装置と同様に定流量ろ過により行った。実験には2種類のNF膜を使用し、前半はNaCl阻止率の比較的低い膜を、後半はやや高い阻止率の膜を使用した。

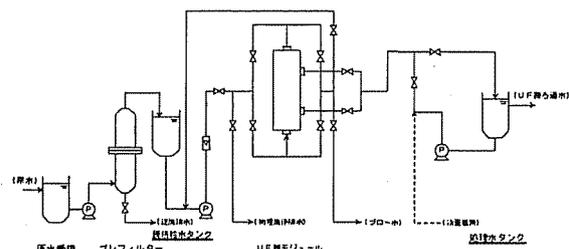


図2-1-1 UF膜ろ過装置フロー

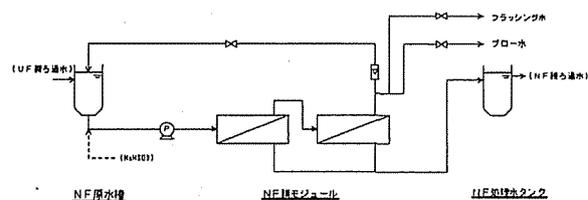


図2-1-2 NF膜ろ過装置フロー

3. 実験結果及び考察

3-1 NFの運転特性

NF膜ろ過の流束の推移を図3-1-1に、圧力および水温の推移を図3-1-2に、回収率の推移を図3-1-3に示す。¹⁾ 実験開始時に膜ろ過流束を約0.7m³/日に設定したが、水温の低下とともに補正流束が低下し、さらに操作圧力が1MPaを越えたため設定実流束を段階的に下げ、約150日目以降から実流束を0.35m³/日に設定した。その

表2-2-1 仕様・運転等

	UF膜	NF膜(1)/(2)
材質	酢酸セルロース	架橋結晶シリカ系複合膜
分画分子量	150,000 Dalton	約200~300 Dalton
NaCl阻止率	—	56%(1)/64%(2)
形状寸法	中空糸型 (外径1.3mm, 内径0.8mm)	スパイラル型 (長さ1,016mm)
モジュール寸法	長さ1,066mm × φ310mm	長さ1,116mm × φ116mm
設置モジュール数	1本	2本直列
総膜表面積	50m ²	14m ² =7m ² ×2本
運転方法	内圧式クロスフロー、定流量制御	クロスフロー、定流量制御
水回収率	92%	50~85%
物理洗浄方法	逆圧洗浄、1回/30分程度	過剰水を1回/1日、5分/回
物理洗浄圧力	100~200kPa	—
物理洗浄水量	30L/分	—

後、水回収率を段階的に高くしたにも関わらず、薬品洗浄を行うことなく250日間以上安定した運転ができた。

運転日数が400日を越えた時点でやや塩阻止率の高いNF膜(2)に交換した。運転開始当初はNF膜(1)と同じく実流束0.35m/日で運転を行ったが、新膜での運転日数75日目から0.5m/日に設定し、実験終了までの約250日間にわたり水回収率85%で薬品洗浄を行わずに運転を継続した。NF膜(1)の設定実流束0.35m/日の場合には、水温の上昇に伴い補正流束(操作圧力の低下)の上昇がみられた。²⁾ NF膜(2)の設定実流束0.5m/日の場合には、補正流束が0.15m/日・100kPaで約170日間安定した運転を行うことができた。しかしながら、NF膜(1)と同様に水温の低下と共に補正流束が低下し、実験終了時(新膜からの運転日数315日間)には新膜の48%程度にまで低下した。

3-2 NF膜の除去性能

①有機物に対する除去性

有機物の例として過マンガン酸カリウム消費量について、NF膜ろ過水中の濃度を図3-2-1に、膜ろ過システムとしての除去率を図3-2-2に示す。¹⁾ 膜ろ過水中の濃度は水回収率が70%以下の時にはほぼ2mg/L以下であり、膜ろ過システムとしての除去率は80%~90%を維持していた。しかしながら、NF膜(1)を用いた実験の終了直前では、水回収率を80%以上と高く設定したことにより膜1次側濃度が高くなり、膜ろ過水中の濃度が5mg/Lを越える越えることがあった。この時の膜ろ過システムとしての除去率は40%程度にまで低下していた。一方、NF膜(1)よりもNaCl阻止率の高いNF膜(2)における実験では、水回収率を80%~90%と高い値に設定しても膜ろ過水中の濃度はほぼ安定しており、常に2mg/L以下であった。

②消毒副生成物生成能に対する除去性

トリハロメタン生成能について、NF膜ろ過水中の濃度および膜ろ過システムとしての除去率を図3-2-2に示す。¹⁾ 膜ろ過水中の濃度は、水回収率が70%以下の時にはほぼ25μg/L以下であり、膜ろ過システムとしての除去率は70%~90%であった。NF膜(1)では、有機物除去の場合と同様に水回収率を高くすることにより膜ろ過水水質が悪化し40μg/Lを越えることがあった。NF膜(2)については有機物除去と同様の傾向を示し、高い水回収率で運転しても膜ろ過水水質に大きな変動はみられなかった。

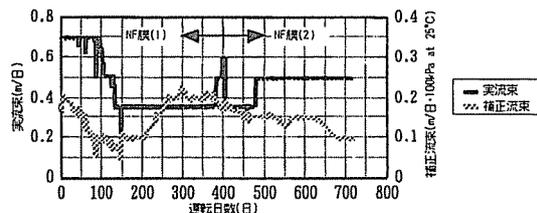


図3-1-1 流束の推移

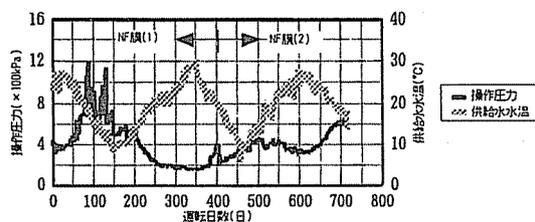


図3-1-2 圧力、水温の推移

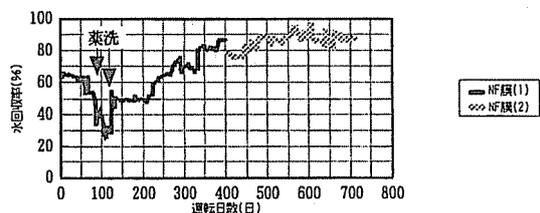


図3-1-3 水回収率の推移

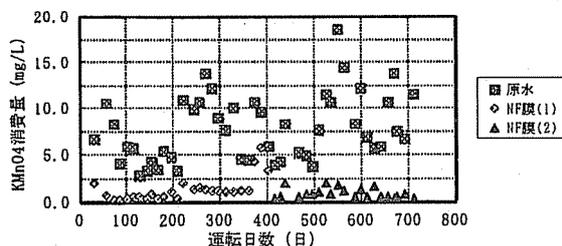
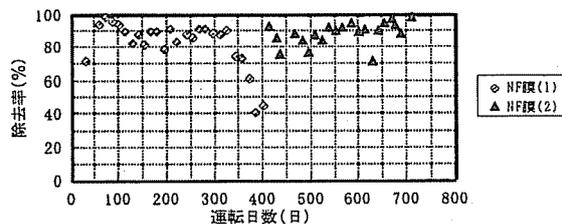


図3-2-1 KMnO₄消費量の推移



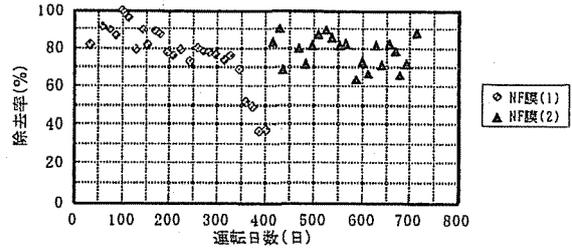
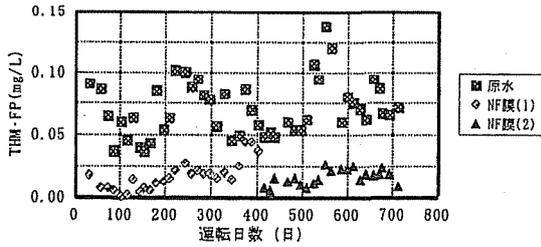


図3-2-2 トリハロメタン生成能の推移

③無機物に対する除去性

無機物の例として硬度について、NF膜ろ過水中の濃度および膜ろ過システムとしての除去率を図3-2-3に示す。¹⁾ NF膜(1)、NF膜(2)とも新膜時に除去率が高く、運転の経過にしたがって除去率が低下する傾向を示した。新膜時の除去率はNF膜(1)の方が高い値であった。新膜時に除去率が高いのは、カルシウムが膜面に付着し見かけの除去率が高くなるためであり、運転の経過にしたがって除去率が低下する傾向を示すのは、膜への付着量が徐々に減少するため、あるいは高い水回収率で運転したためであると推測される。NF膜(1)とNF膜(2)の間に有意な差は認められず、膜ろ過水中の濃度はおおむね50~90mg/Lであり、除去率はほぼ20~40%であった。

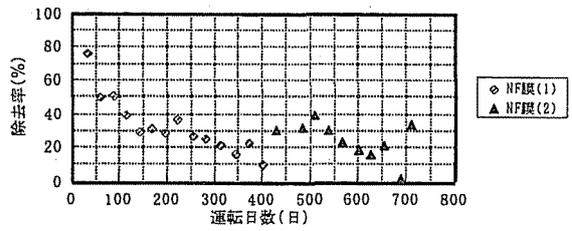
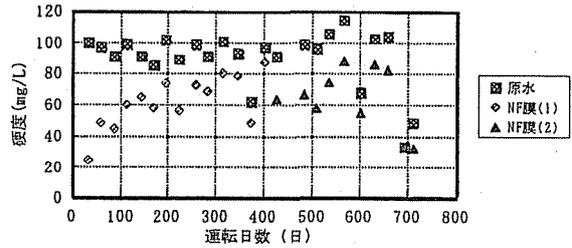


図3-2-3 硬度の推移

3-3 水回収率が除去率に及ぼす影響

水回収率が除去率に及ぼす影響を過マンガン酸カルシウム消費量について図3-3-1に、トリハロメタン生成能について図3-3-2に、硬度について図3-3-3に示す。NF膜(1)では水回収率を高くすることにより有機物除去率や消毒副生成物生成能除去率が低下した。しかしながら、NF膜(2)ではその影響はほとんど認められず、無機物である硬度成分も同様の傾向を示すことがわかった。この2種のNF膜の挙動の差異を明らかにするために、以下の考察を行った。

- ・ 圧力依存性、温度依存性

NF膜(1)およびNF膜(2)のNaCl阻止率に対する圧力依存性を図3-3-4に、温度依存性を図3-3-5に示す。2種類のNF膜とも操作圧力の上昇にしたがってNaCl阻止率が高くなり、水温の上昇とともに阻止率は低下する。NF膜(1)では、運転日数200日目~330日目において、操作圧力200~400kPa、膜供給水水温15~25℃であった。水温

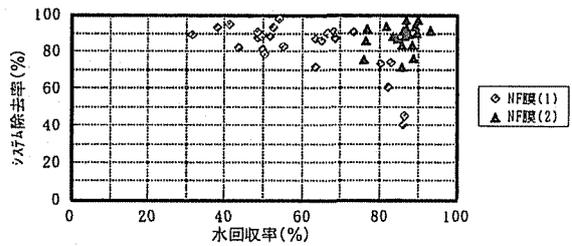


図3-3-1 KMnO₄消費量除去率

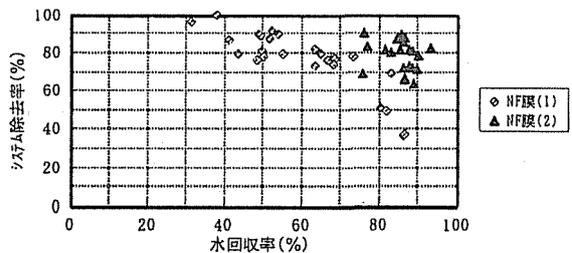


図3-3-2 THM・FP除去率

が高くなるにつれて操作圧力が低下する夏期においては有機物除去率、消毒副生成物生成能除

去率とも低下する傾向にあったが、明らかな低下は認められず、それぞれ90%程度、80%程度で安定していた。NF膜(1)において水回収率を高く設定した330日目～400日目にかけては、操作圧力、膜供給水水温ともほぼ同じ値であったが除去率は大きく低下した。NF膜(2)では、操作圧力200～700kPa、膜供給水水温6～25℃で推移し、NaCl阻止率が変動していたことが予想されるが、有機物除去率や消毒副生成物生成能除去率に大きな変動は認められなかった。これらの結果から、水回収率すなわち溶質の濃縮倍率が除去率に大きく影響すると考えられる。

・濃度依存性

NF膜(1)およびNF膜(2)のNaCl阻止率に対する濃度依存性を図3-3-6に示す。NF膜(1)、NF膜(2)とも塩濃度の上昇に従ってその阻止率は低下し、高濃度域における阻止率はNF膜(1)の方が低いことがわかる。ただし、これはNaCl阻止率に対しての値であり、複雑な複合系である実際の河川水での溶質に対する濃度依存性の挙動は全く異なるものと考えられる。また、溶質の種類によってその濃度依存性に違いがあることが指摘されている。³⁾

図3-3-7に2種類のNF膜における1次側濃度に対するトリハロメタン生成能の膜阻止率を示す。NF膜(1)は1次側濃度の増加にしたがって明らかに阻止率が減少した。1次側濃度が0.107mg/Lから0.147mg/Lに増加すると、膜阻止率は89.7%から81.6%まで8.1ポイント低下した。それに対し、NF膜(2)では1次側濃度が0.077mg/Lから0.192mg/Lに増加しても阻止率の低下は認められなかった。また、KMnO₄消費量の阻止率に対する濃度依存性もほぼ同じ傾向を示すとが推測される。

4. まとめ

本実験に用いた2種類のNF膜において、NF膜(1)では水回収率を80%以上にするとKMnO₄消費量やトリハロメタン生成能に対するシステム除去率は低下した。NF膜(2)では実験期間のほとんどを80～90%の水回収率で運転したがシステム除去率の低下はみられなかった。膜阻止率に対するトリハロメタン生成能の濃度依存性は、NF膜(1)が1次側濃度の増加にしたがって阻止率が低下するが、NF膜(2)では濃度の増加による阻止率の低下はみられなかった。また、NaCl阻止率とトリハロメタン生成能阻止率の濃度依存性が異なり、同一の膜においても溶質の種類により濃度依存性が異なることが確認された。このことは高度処理MAC21合同短期実験においても報告されている。³⁾ KMnO₄消費量阻

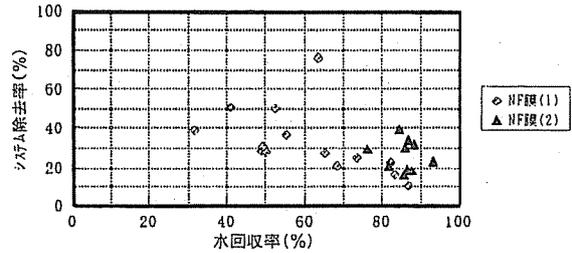


図3-3-3 硬度除去率

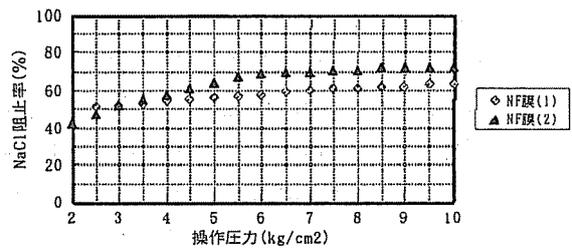


図3-3-4 圧力依存性

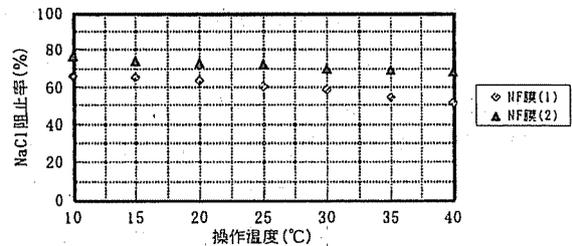


図3-3-5 温度依存性

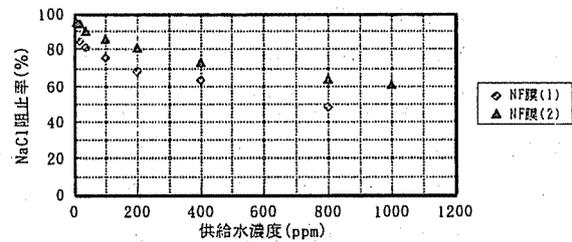


図3-3-6 濃度依存性

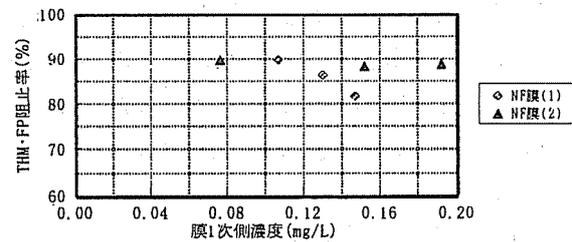


図3-3-7 THM・FP阻止率

止率の濃度依存性はトリハロメタン生成能阻止率と同様の傾向であることが予想される。

一般に、高い水回収率で運転することが経済性からも望まれるが、水回収率を高くすると濃縮倍率が高くなり、膜供給水濃度つまり膜1次側濃度が高くなる。膜ろ過システムにおける除去率とはNF膜ろ過原水(UF膜ろ過水)水質とNF膜ろ過水水質から求めた値であり、水回収率を高くすることによる膜阻止率の減少が僅少であっても、1次側濃度が高くなるため膜ろ過システムとしての除去率が大きく低下することになる。また、1次側濃度の増加は操作圧力の上昇、膜面での濃度分極によるファウリングの進行、などの原因となる。

NF膜の選定にあたっては、

- ・飲料水としてバライスのとれた水質が得られること
=Ca, Mgなどを過剰に除去しないこと
- ・経済性に優れること
=高い水回収率で長期間安定した処理機能が得られること
=操作圧力はできるだけ低いこと(消費電力量の削減)

について十分に検討する必要がある。

5. 最後に

本実験は濃縮水を循環することによって回収率を高くした運転を行った。実プラントにおいては膜モジュールを多段に組み合わせることにより回収率を上げるのが通常であり、今回の高い水回収率での実験は最後段のエレメントに相当すると考えられる。多段一過方式のNF膜ろ過では、前段のエレメントほど濃縮倍率は小さく、ろ過水質は後段より良好となる。したがって、最後段のエレメントの除去率低下が膜ろ過システム全体に及ぼす影響は小さくなる。ただし、段数が少なく高回収率で運転する場合、あるいは浄水規模が小さいため本実験と同じように循環方式を採用する場合には、実際の原水を用いて目的とする水回収率である程度の長期運転を行い、安定した運転ができる水回収率の上限の見極めや、膜ろ過水の水質が満足されることを確認しなければならない。

参考文献

- 1)品田ら：「ろ過法による高度浄水処理について」
第4回衛生工学ソポジウム論文集, pp161~166 1996.
- 2)品田ら：「NF膜処理性能に及ぼす水温の影響」
第47回全国水道研究発表会講演集, pp. 248~249 1996.
- 3)高度処理MAC21 第2回ケルプ°会議 資料集, pp. 21~pp. 30 1996