



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	下水二次処理水の再利用システムの検討
Author(s)	大西, 真人; 大熊, 那夫紀; 奥野, 裕
Description	第3回衛生工学シンポジウム (平成7年11月9日 (木) -10日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 1 水処理、廃棄物処理 . 1-11
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 3, 54-59
Issue Date	1995-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7882
Type	departmental bulletin paper
File Information	3-1-11_p54-59.pdf



1-11

下水二次処理水の再利用システムの検討

大西 真人, 大熊 那夫紀, 奥野 裕 (日立プラント建設)

1. 緒言

近年, 都市生活におけるアメニティをより向上させる要望が高まり, 住民の憩いの場となるせせらぎや親水公園等の設置が進められている。しかし, 新たな親水用水源の確保は困難であるため, その対応策として, 安定した水質と水量を確保できる下水処理水が新規水源として注目されている。これまで, 下水処理水の再利用用途の多くは水洗トイレ洗浄水であり, そのため人体との接触や誤飲の可能性は極めて低く, また視覚, 嗅覚といった感覚的な快適性に対する要求度も低かった。一方, 親水用水の場合, 人体との直接的な接触が前提であり, 誤飲の可能性もかなり高く, 衛生学的な安全性の確保が必要となる。また, 人体との距離も近いため, 視覚及び嗅覚に関する要求度も高く, 更に高品位な処理水質が要求されている。

そこで, 下水二次処理水から親水用水を製造する方法として逆浸透 (RO) 法に着目し, 使用する低圧RO膜の仕様やその前処理への限外ろ過 (UF) 膜の適用を検討した結果について報告する。

2. 実験方法

(1) 実験装置

実験装置の処理フローシートを図1に示す。実験装置は, UF膜設備とRO膜設備で構成され, 処理能力は各々12 m³/d, 10 m³/dである。原水となる下水二次処理水は目開き0.2 mmのオートストレーナを通過した後, UF膜装置に供給される。ここでは原水中の濁質成分をマイクロフロック化して膜で除去できるように, 凝集剤 (PAC) を所定量注入した。UF膜により濁質成分を除去した処理水はRO膜装置に導かれ, ここで溶解性有機物やイオン類を除去し, 最終処理水を得る。

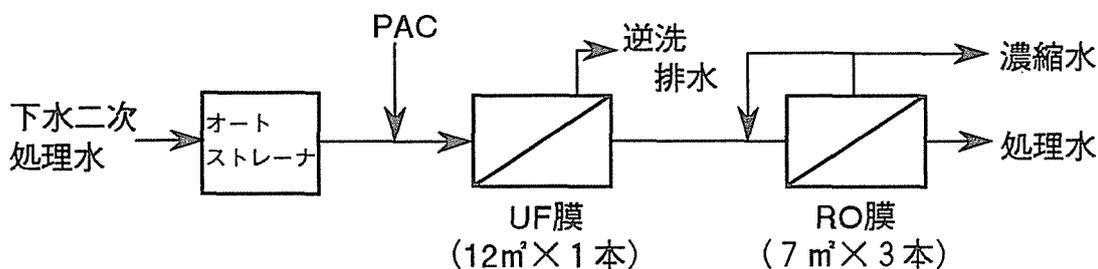


図1 実験装置フローシート

(2) 実験方法

実験に供した膜の仕様を表1に示す。RO膜は市販品から、塩排除率が90%以上で親水用水用として適用可能なものを机上検討にて5種類選定した。各膜装置の運転方式を表2に示す。UF膜装置については、処理水質、水回収率、薬品洗浄間隔等について検討した。UF膜の薬品洗浄実施時期の目安は有効圧力が0.1 MPaを超えた時点とした。

RO膜の選定は下水二次処理水をUF膜でろ過した処理水を原水とした場合での基本特性を調査し、その処理水質からそれぞれのRO膜の特性を評価した。

目標水質は建設省提案値を参考に、表3に示すとおり、更に強化するとともに他項目についても追加した。

表1 供試膜仕様

膜種類		項目	膜材質	膜仕様	モジュール形式
U F			ホリアクリロニル系	分画分子量 200万	外圧中空糸
R O	A		架橋ホリアミド系	公称塩排除率 97%	スパイラル
	B		架橋アミド系	〃 99.4%	スパイラル
	C		ホリビニルアルコール系	〃 92%	スパイラル
	D		ホリアミド系	〃 97%	スパイラル
	E		芳香族ホリアミド系	〃 94%	外圧中空糸

表2 各膜装置の運転方法

膜装置	U F	R O
前処理方法	マイクロフロック PAC注入率：10mg/ℓ	—
ろ過方式	デットエンド	クロスフロー 膜面流速：0.16m/s
設定 flux	1.0 m ³ /m ² ・d	—
設定入口圧力	—	1.0 MPa
洗浄方式	エアスクラビング洗浄 水逆洗	被処理液の循環洗浄

表3 目標水質

	目標値
濁度	1度以下
色度	1度以下
BOD	3mg/ℓ以下
COD	3mg/ℓ以下
Cl ⁻	200mg/ℓ以下
NH ₄ -N	3mg/ℓ以下
T-P	0.01mg/ℓ以下
大腸菌群	不検出

3. RO膜の前処理としてのUF膜法の評価

微細粒子を含め濁質成分の完全除去が期待できるUF膜について、RO膜の前処理としての適応性を検討した。実験結果を表4にまとめる。処理水質は、濁質成分に起因する水質項目の除去率は高いが、溶解性物質が原因である色度の除去率は低かった。また、RO膜への供給水の水質評価項目の一つであるFI値はUF膜を透過することで2.2となり、RO膜への微粒子負荷を低減できた。その他、水回収率は95.0%、薬品洗浄間隔は2か月であった。

今回使用したUF膜の膜素材は親水性であるために汚れが膜面に付着しにくく、水逆洗やエアスクラビング洗浄により剥離除去しやすい。また、耐塩素性を有するため、前段での塩素消毒が可能であり、UF膜装置内でのスライムによるポンプや配管の閉塞の問題も解消でき、メンテナンス性を向上できる。

表4 UF膜の性能

項目		結果	
処理水質	除去率 (%)	濁度	100
		色度	30
		BOD	94
		大腸菌群	100
	FI値 (-)	2.2	
水回収率 (%)		95.0	
薬品洗浄間隔		2ヶ月	

* 表中の除去率は運転期間中の平均値である。

4. 逆浸透膜の選定

RO膜は、膜への供給水濃度や運転時の有効圧力、水温、pH等の影響によりfluxや除去率が変化し、この度合いは原水性状や膜材質、公称塩排除率の違いにより異なる。そこで、検討に先がけ5種類のRO膜の塩排除率に関する基本特性を調べた。更に膜モジュール内で高濃縮によるスケール析出が起こらない水回収率で実液運転を行い、fluxと窒素、リン等の水質除去率について比較した。結果を表5にまとめる。fluxは最も高いC膜と最も低いD、E膜の間で約2倍の差があった。除去性能については、リンや色度の除去率はすべてのRO膜で100%となったが、アンモニア性窒素(NH₄-N)や塩素イオン(Cl⁻)等の除去率は膜による差が見られた。これは、実験に供した5種類のRO膜の公称塩排除率の差(カタログ値で92~99.4%)によるもので、特にNH₄-NやCl⁻のように1価の荷電を持つイオンの排除においてその傾向は顕著となった。

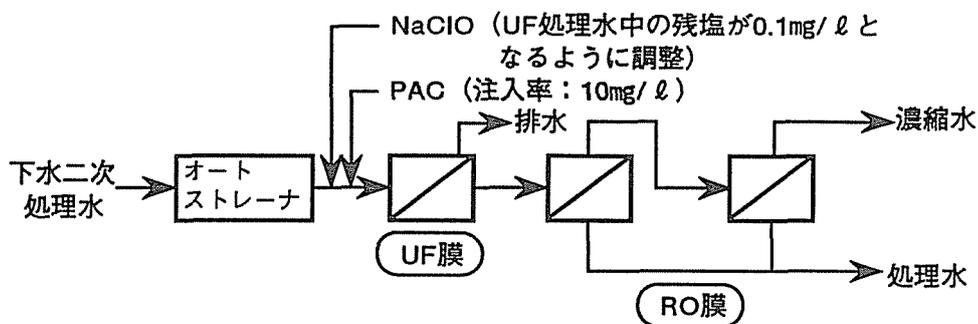
表5 RO膜の性能比較

項目		膜	A	B	C	D	E
flux (m ³ /m ² ・d) (有効圧力:1.0MPa)			0.40	0.35	0.65	0.30	0.30
除去率 (%)	色度		100	100	100	100	100
	NH ₄ -N		68	98	67	56	50
	T-P		100	100	100	100	100
	Cl ⁻		65	98	41	74	90

以上の結果から、実験に供した5種類のRO膜はC膜に代表される高flux膜とB膜に代表される高排除率膜に大きく二分できる。これらのRO膜を親水用水製造用として適用するには、表3に掲げた水質目標を最低限満足し、かつ膜のエレメント数を低減するためできるだけ高いfluxを有する膜を選定することが必要となる。原水中のCl⁻濃度が低く、水質が良好な場合は若干塩排除率は低下するがfluxが最も高いC膜を適用することで水質目標を満足することができる。しかし、原水中のCl⁻濃度が高い時はC膜の処理水では目標水質を満足できないため、適度なfluxが確保でき、かつ高排除率が得られるB膜を使用する必要がある。

5. 親水用膜処理システムの提案

これまでに得た結果を基に、図2に示す親水用膜処理システムを提案した。RO膜の前処理にはUF膜を用い、UF膜装置には原水殺菌用のNaClO注入設備とPAC注入設備を設けた。また、RO膜装置については、原水となる下水2次処理水が降雨など気象条件の影響により変動することが予想されるので、原水濃度の変動に対応できるシステムを構築することが必要となる。そこで、高flux膜と高排除率膜の特性を活かし、かつ原水水質が変動しても安定した処理水質が確保できるように、種類の異なるRO膜を2段直列に配置するシステム構成を考案した。これは、一段目のRO膜に除去性能は若干劣るがfluxは高く設定できる高fluxRO膜（A膜）を設置し、その濃縮水を二段目のRO膜である高排除率RO膜（B膜）で更に膜分離するよう構成している。各RO膜を透過した処理水は混合して最終処理水とするため、システム全体の水回収率を高くすることができる。



項目 \ 膜装置	U F	R O	
		1 段目	2 段目
膜仕様	分画分子量 200万	公称塩排除率 97%	公称塩排除率 99.4%
膜材質	ポリアクリロ ニトリル	架橋ポリアミド	架橋アラミド

図2 親水用膜処理システムフロー

このシステムにおいて、目標水質項目の一つである Cl^- の処理目標 ($Cl^- < 200 \text{ mg/l}$) を満足するための原水中の Cl^- 濃度と2段直列に配列したA膜、B膜の処理水量比の関係は図3に示すようになる。原水濃度が低い時にはA膜のみで処理目標を十分満足するが、原水 Cl^- 濃度が約 570 mg/l を超えるとA膜のみでの運転では目標を満足できず、塩排除率の高いB膜との組合せ運転が必要となることから分かる。これらの運転は、各RO膜の持つ基本特性（濃度特性、圧力特性等）を基に各段のRO膜の供給水圧力を制御することで可能となり、その結果、原水水質が変動しても安定した処理水質、処理水量を得ることができる。

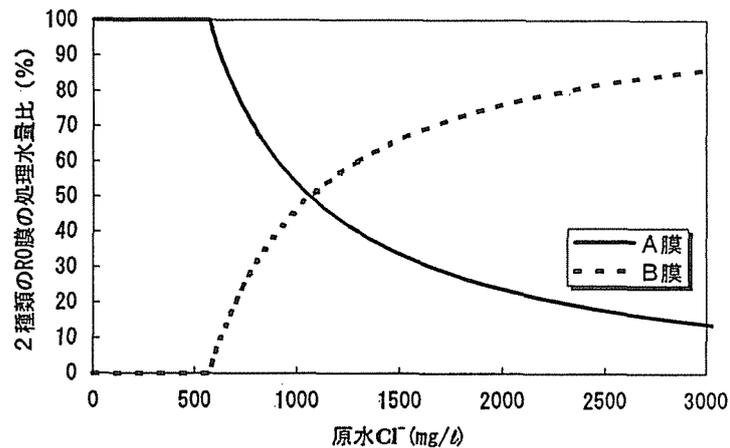


図3 原水 Cl^- と2段RO膜の処理水量の関係
(処理水 $Cl^- < 200 \text{ mg/l}$ を得るための条件)

6. 連続運転による性能確認

親水用膜処理システムとして提案したUF膜+2段RO膜システムの有効性を確認するため、一部実験装置を改造して、約3か月間の連続運転を実施した。この時の各膜装置のfluxの経日変化を図4に示す。fluxはUF膜で約 $1.0 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ 、1段目のRO膜で約 $0.3 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ 、2段目のRO膜で約 $0.2 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ と安定して処理水を確保することができた。また、この時のシステム全体での水回収率は約60%であった。有効圧力は時間経過とともに徐々に上昇し、UF膜装置について最低2か月に1回程度の薬品洗浄が必要であった。RO膜装置の有効圧力は、1段目で 0.6 MPa から 1.0 MPa まで、2段目で 0.8 MPa から 1.2 MPa ま

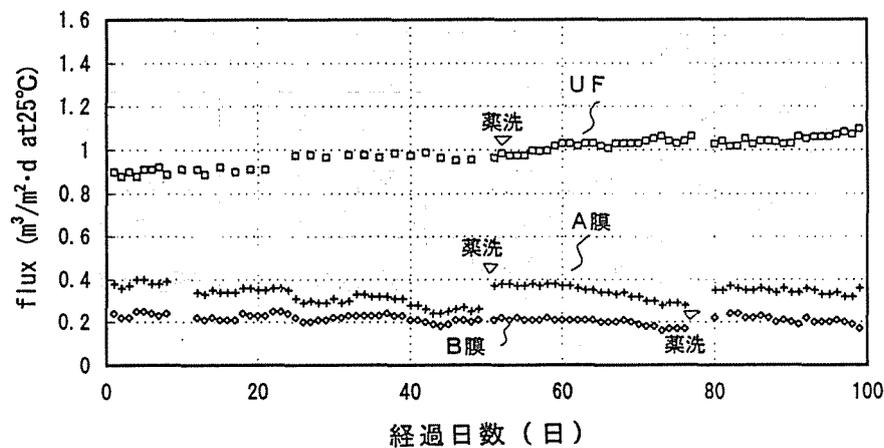


図4 fluxの経日変化

で上昇した。これは、定期的にRO膜ろ過面側を被処理液で循環洗浄することでRO膜の急激な汚染は抑制できているが、連続運転により徐々に洗浄しきれない汚染物が膜面に蓄積し、ろ過抵抗が上昇したためと考える。しかし、膜面汚染の進行による処理水質の悪化は特に認められず、処理システムの性能としては満足できる。RO膜装置の薬品洗浄は、連続運転期間中にそれぞれ1回ずつ実施したが、薬品洗浄間隔の検討については更にデータを蓄積することが必要と考える。処理水質は表6に示す通り、原水の水質変動に対しても安定した処理水質が得られ、目標水質を十分満足した。処理水中には濁度、色度はほとんど無く、また大腸菌は完全に除去できているので、人体に接触しても問題の無い安全で衛生的な水質と判断する。窒素、リンについても高い除去率を得ているので、せせらぎ設備に流水しても藻類の発生を抑えることができる。藻類を生産する潜在能力を示すAGP試験結果でも、原水が116 mg/ℓであるのに対し、処理水で1.44 mg/ℓと極めて低く、ほとんど藻類の増殖能は無いことが分かった。

以上の結果から、今回提案したUF膜+2段RO膜システムは高品位でかつ安定した処理水量を確保できる親水用膜処理システムであることが確認できた。

7. ま と め

下水二次処理水を親水用水に適用することを目的に、限外ろ過法と逆浸透法を用いた膜処理システムを検討し、下記の結論を得た。

- (1) RO膜の前処理として、UF膜は適用可能である。
- (2) 親水用膜処理システムとして、UF膜+2段RO膜(1段目に高flux膜、2段目に高排除率膜を配列する)システムを提案した。
- (3) 提案システムで約3か月の連続運転を行い、高品位でかつ安定した処理水量を確保できる親水用膜処理システムであることを確認した。

表6 水質測定結果

採水箇所 測定項目	原 水	処 理 水	目 標 値
濁 度 (度)	2.3~5.8 (3.0)	<0.1 (<0.1)	<1
色 度 (度)	30~40 (30.8)	<1 (<1)	<1
BOD (mg/ℓ)	10~30 (17.8)	<3 (1.0)	<3
COD (mg/ℓ)	10~25 (13.0)	<3 (1.6)	<3
Cl ⁻ (mg/ℓ)	540~1,100 (770)	50~170 (100)	<200
NH ₄ -N (mg/ℓ)	3.5~20 (12.7)	<3 (1.8)	<10
T-P (mg/ℓ)	0.2~1.65 (0.78)	<0.01 (<0.01)	<0.01
大腸菌群 (個/ml)	450~4,000 (1121)	不検出	不検出
AGP値 (mg/ℓ)	116	1.44	—

* 上段は各測定項目の検出範囲、下段の()内は平均値を示す。(AGP値は除く。)

8. 参 考 文 献

- 1) 建設省：下水処理水の修景・親水利用水質検討マニュアル(案) 平成2年3月