



Title	膜および促進酸化による下水の高度処理の検討
Author(s)	穴田, 健一; 奥田, 正彦; 煙崎, 正之 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) . 6 水処理 2 . 6-1
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 5, 229-234
Issue Date	1997-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7738
Type	departmental bulletin paper
File Information	5-6-1_p229-234.pdf



6-1 膜および促進酸化による下水の高度処理の検討

(株) タクマ ○宍田健一、奥田正彦、煙崎正之、神尾恵一

1. はじめに

近年、エネルギーとともに水資源も有限であることが強調され、コジェネも含めて水の再利用の重要性が認識されつつある。とくに、下水処理水量は年間 83 億 m^3 を越えており、都市域において安定した水資源として親水用水・修景用水・中水道・雑用水などの多くの分野への適用が考えられている。しかし、現状の二次処理水では下水処理水はそのまま再利用することに問題があり、下水道の再利用のためには、砂ろ過処理、オゾン処理、活性炭処理、凝集処理などの高度処理が必要となる。これは従来の二次処理に加え、安全性の観点から殺菌処理が必要となり、また外観や使用目的から脱色・臭気物質の除去等の処理が必要となるためである。

このような状況をふまえ、演者らは下水処理水の再利用を目的とした高度処理法に関する検討を行った。具体的には、砂ろ過、膜処理、およびオゾンと過酸化水素により非常に酸化力の強い HO ラジカルを発生させて汚濁物質を酸化分解する促進酸化に関して高度処理水の再利用水としての適応性を検討するため、流域下水道の A 処理場内にパイロットプラントを設置し、処理性能に関して検討を行った。その結果を以下に報告する。

2. 実験装置および実験方法

実験装置のフローシートを Fig.-1 に、各装置の仕様および実験条件を Table-1 に示す。

今回の実験においては、移床式砂ろ過器は促進酸化処理および膜処理の前処理として用いるフ

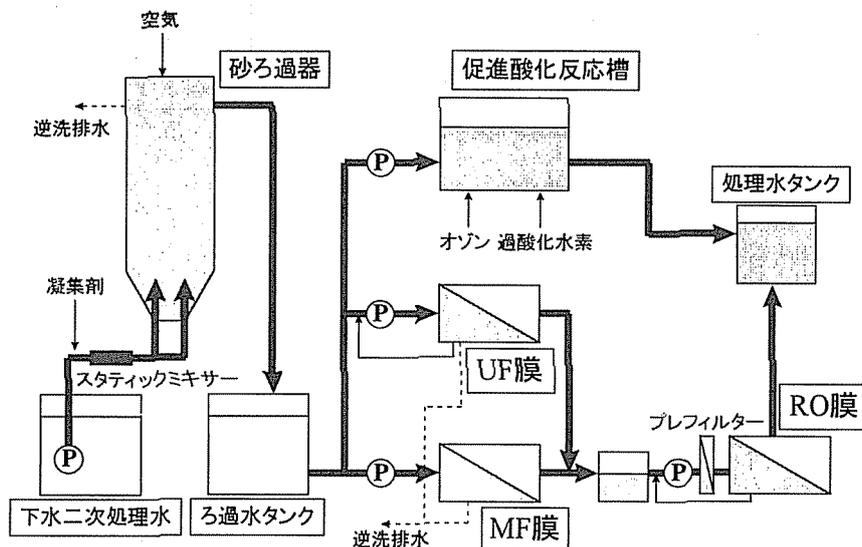


Fig.-1 実験装置フローシート

ローとした。これは、促進酸化処理では SS が混入することにより効率が大幅に低下すること、および膜処理に関しては洗浄頻度が大きくなることを防止することを意図したものである。

まず下水二次処理水を水中ポンプで揚水し、凝集剤注入設備を備えた移床式上向流砂ろ過器に供給する。砂ろ過器において処理された水は、ろ過処理水タンクから促進酸化装置、MF膜装置および UF膜装置の3系列にそれぞれ供給

され、さらに MF および UF 処理水を RO 膜装置に供給する処理システムになっている。

砂ろ過器はろ過速度 200m/日とし、凝集剤を添加する場合には PAC を 3 mg/l 添加した。促進酸化処理装置は、オゾン注入率及び過酸化水素添加量を変化させて処理水質に与える影響を検討することを目的とし、オゾンと過酸化水素をそれぞれ 4 段で分割注入が可能な装置とした。MF

膜装置は孔径 $0.2\mu\text{m}$ 、 $1\text{m}^2 \times 4$ 本の中空糸膜で構成され、全量ろ過方式で FLUX を一定として空気による逆洗浄を一定時間ごとに行い、圧力が $1\text{kg}/\text{cm}^2$ を越えた場合に薬液洗浄を行った。UF 膜装置は、分画分子量 13,000、 $7.6\text{m}^2 \times 1$ 本の中空糸膜で構成され、クロスフロー方式で $2\text{kg}/\text{cm}^2$ の逆洗浄とエアバブリング、さらに次亜塩素酸ソーダによる洗浄を一定時間ごとに行い、洗浄後も FLUX が回復しない場合に薬液洗浄を行った。RO 膜装置については $1.0\mu\text{m}$ のプレフィルタを設置し、塩排除率 93%、 $6.7\text{m}^2 \times 1$ 本のルーズスパイラル膜で構成され、クロスフロー方式で逆洗を 30 分ごとに行い、圧力上昇の場合に薬液洗浄を行った。

Table-1 各装置の仕様と実験条件

	砂ろ過器	促進酸化	MF 膜	UF 膜	RO 膜
計画水量	$200\text{m}^3/\text{d}$	$20\text{m}^3/\text{d}$	$7\text{m}^3/\text{d}$	$7\text{m}^3/\text{d}$	$4\text{m}^3/\text{d}$
実験水量	$200\text{m}^3/\text{d}$	$20\text{m}^3/\text{d}$	$4.8\sim 10\text{m}^3/\text{d}$	$4.6\sim 14\text{m}^3/\text{d}$	$3.4\text{m}^3/\text{d}$
形式	移床式上向流	直列 4 段	外圧中空糸膜	外圧中空糸膜	スパイラル膜
その他仕様	円筒型 ろ過面積 1.0m^2 砂約 $1\text{mm}\phi$ 連続逆洗	反応槽容積 0.6m^3 気液向流接触	膜素材：PP 孔径： $0.2\mu\text{m}$ 膜面積： 4m^2 膜本数：4 全量ろ過方式	膜素材：PAN 分画分子量 13,000 膜面積： 7.6m^2 膜本数：1 クロスフロー ろ過方式	膜素材：PVA 塩排除率：93% 膜面積： 6.7m^2 膜本数：1 クロスフロー ろ過方式
実験条件	ろ過回収率 90%	オゾン注入率 $5\sim 100\text{mg}/\text{l}$ 過酸化水素 添加量 $0\sim 25\text{mg}/\text{l}$	FLUX $1.2\sim 2.5$ 回収率：90% 逆洗間隔 20 分	FLUX $0.6\sim 1.8$ 回収率：90% 逆洗間隔 20 分	FLUX：0.5 回収率：50% 逆洗間隔 30 分

3. 実験結果および考察

1) 砂ろ過処理

砂ろ過処理前後の SS 濃度のトレンド変化を Fig.-2 に示す。すなわち、ろ過器入口の SS 濃度が変動しても、ろ過器出口の SS 濃度は安定して処理され、最大でも $5\text{mg}/\text{l}$ 以下になっていることが確認された。

また、砂ろ過処理の前後の BOD、 COD_{Mn} 、および TOC の測定値の平均を Table-2 に示す。すなわち、BOD は砂ろ過により 55% 程度低減しているが COD_{Mn} 、TOC は砂ろ過前後で 20% 以下し

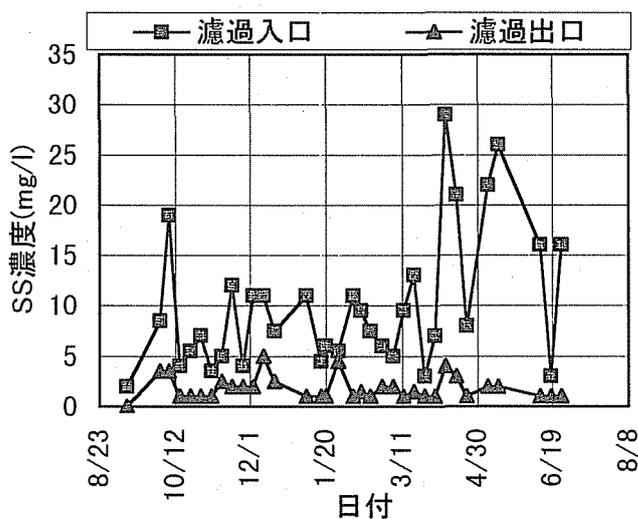


Fig.-2 砂ろ過処理前後の SS 濃度のトレンド変化

か除去されていない。このことから、本実験においては下水二次処理水中の BOD は SS 由来分が大きいこと、もしくは砂ろ過器内で BOD の低減が行われていることが推測される。

2) 促進酸化処理

オゾン注入率を変化させた場合の COD_{Mn} 除去率と過酸化水素添加量の関係を Fig.-3 に示す。すなわち、過酸化水素を添加することによって、COD_{Mn} 除去率は向上すること、および過酸化水素添

Table-2 砂ろ過処理前後の水質分析値 (平均値)

	単位 mg/l		
	砂ろ過処理前	砂ろ過処理後	除去率(%)
BOD	9.6	4.3	55.2
COD _{Mn}	11.2	9.1	18.8
TOC	6.9	6.1	11.6

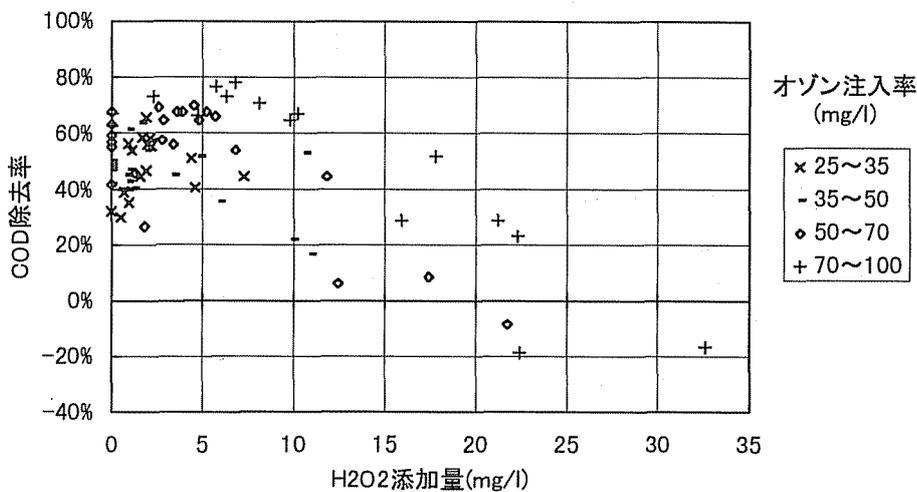


Fig.-3 促進酸化処理時の COD_{Mn} の除去率

加量には最適値が存在し、過酸化水素を過剰に添加した場合には COD_{Mn} が逆に増加する場合もあることが認められた。例えばオゾン注入率 25~35mg/l の場合、過酸化水素無添加では COD_{Mn} 除去率が 30%程度であったものが、過酸化水素添加量 2mg/l の場合には 60%程度まで向上している。しかし、過酸化水素添加量を大きくすれば、COD_{Mn} 除去率は低下し、過酸化水素添加量 10mg/l の場合には 20%程度になっている。この原因としては、過酸化水素が被処理水中に過剰に存在すると、HO ラジカルのスカベンジャーとして作用するのみでなく、処理水中に過酸化水素が残留し、残留した過酸化水素が COD として測定されたことによるためであると考えられる。

過酸化水素添加量の最適値は、オゾン注入率が大きくなるにしたがって大きくなることが認められ、オゾン注入率 25~30mg/l の場合でも過酸化水素添加量を最適にすればオゾン注入率 70mg/l で過酸化水素無添加の場合と同等の処理が可能であることが明らかとなった。

3) MF 膜・UF 膜処理

MF 膜および UF 膜処理について、BOD、COD_{Mn}、および TOC の入口濃度、すなわち砂ろ過処理水濃度と膜処理水濃度の関係を Fig.-4 に示す。MF 膜、UF 膜とも COD_{Mn} と TOC に関しては砂ろ過処理水の濃度に関わらず一定の割合で除去されている傾向が認められ、また MF 膜と UF 膜の除去率に大きな差は認められなかった。しかし、BOD については入口濃度が変化し

ても MF 膜、UF 膜とも常時 3mg/l 以下に処理されており、安定した処理が行われていることが認められた。これより、本実験を行った下水処理水に関しては、砂ろ過処理後の BOD 成分としては、砂ろ過器で除去できなかった固形物質が主成分であり、COD_{Mn} および TOC 成分については、溶解性成分が主であることが推測される。

さらに、膜処理に対する目詰まりの指標として用いられる低濁度測定法としての FI 値では、平均値で砂ろ過処理水が 17、MF 膜処理水が 7、UF 膜処理水が 9 となっており、RO 膜処理の前処理として、MF 膜および UF 膜による処理は有効であることが示唆された。

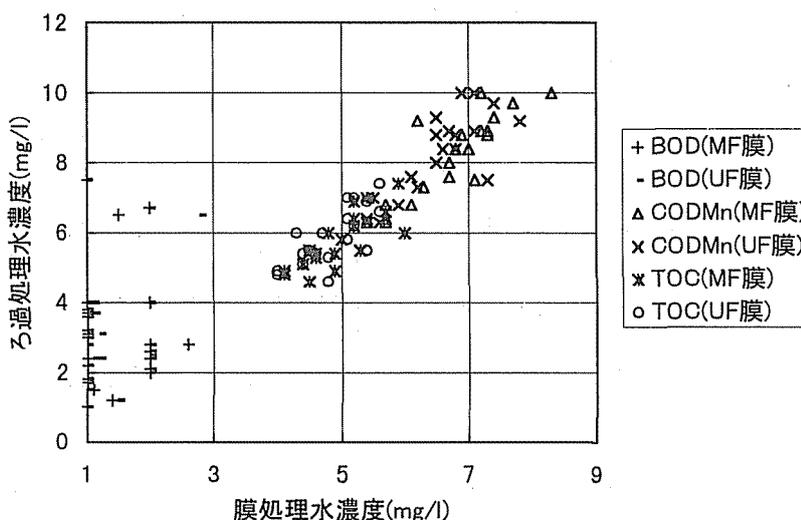


Fig.-4 膜処理前後の水質

4) RO 膜処理

RO 膜原水 (MF 膜および UF 膜処理水) と RO 膜処理水のトレンド変化を Fig.-5 に示す。すなわち、原水濃度の変動に関わらず、ほぼ安定した処理が行われていることが認められた。

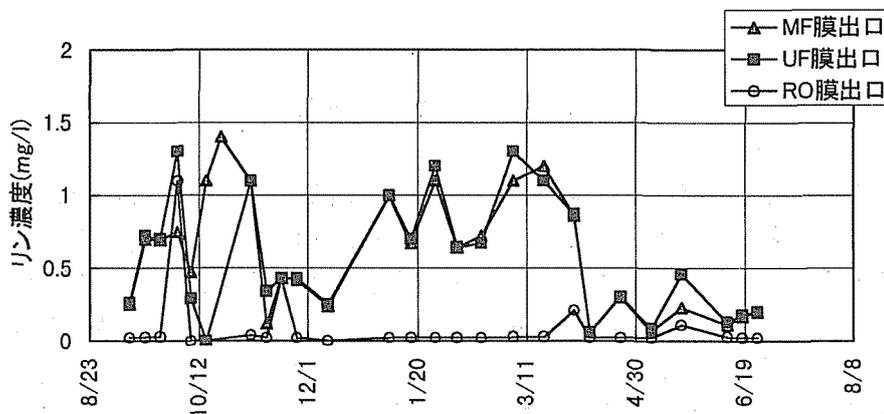


Fig.-5 リン濃度のトレンド変化

5) 各処理水質の比較

各処理における処理水質の一覧を Table-3 に示す。なお、参考までに再利用水の水質指針および基準を Table-3 に併せて示す。また、本データ採取時の促進酸化装置はオゾン注入率 30mg/l、過酸化水素添加量 1mg/l の条件で運転を行っていた。

砂ろ過器では、主に SS と BOD が除去され、亜硝酸態窒素の硝酸態窒素への酸化も行われている。MF 膜、UF 膜装置では、濁度、BOD、一般細菌・大腸菌が十分に除去され、COD_{Mn}、TOC が若干減少しているが、MF 膜と UF 膜の間に差異はほとんど見られなかった。RO 膜装置では

Table-3 処理水質分析結果

		原水	砂ろ過水	MF膜処理水	UF膜処理水	RO膜処理水	促進酸化処理水	修景用水	親水用水	水道基準
pH	—	7.4	7	7.2	7.3	7.2	7.3	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6
濁度	度	3	2	<1	<1	<1	<1	<10	<5	<2
色度	度	22	22	22	22	<2	3	<40	<10	<5
FI値	—	6.5	6.5	3.8	5.8	2.1	6.2			
SS	mg/l	3.5	<1	—	—	—	<1			
TDS	mg/l	270	270	280	260	170	270			<500
BOD ₅	mg/l	8.1	3	<1	<1	<1	1.7	<10		
COD _{Mn}	mg/l	9.7	8	6.1	6.3	1.4	3.7			
KMnO ₄ 消費量	mg/l	27	22	16	16	3.1	9.3			<10
TOC	mg/l	6.3	5	3.9	3.9	0.5	2.8			
MBAS	mg/l	0.06	0.05	0.04	0.04	<0.01	<0.01			<0.2
硬度	mg/l	74	73	73	73	37	74			<300
NH ₄ -N	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05			
NO ₂ -N	mg/l	0.39	0.07	0.02	0.03	<0.01	<0.01			
NO ₃ -N	mg/l	8.6	11	11	10	8.8	8.8			<10
T-N	mg/l	11	11	11	11	8.8	8.8			<10
T-P	mg/l	1	1.2	0.49	0.5	0.06	0.46			
Cl	mg/l	46	46	45	45	35	44			<200
総鉄	mg/l	0.18	0.067	0.04	0.19	0.024	0.095			<0.3
総マンガン	mg/l	0.061	0.04	0.024	0.024	0.006	0.025			<0.05
Ca	mg/l	24	23	23	23	12	24			
Na	mg/l	42	41	40	41	27	40			<200
Si	mg/l	10	10	10	11	8	10			
SO ₄	mg/l	19	21	24	24	2.9	24			
Al	mg/l	0.06	0.06	0.01	0.01	<0.01	0.13			
一般細菌数	個/ml	4.9×10	3.8×10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.			<100
大腸菌群数	個/ml	N.D.	4.2×10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	<10	<0.5	N.D.
THMFP	μg/l	—	20	20	10	<10	20			(<100)
TOXFP	μg/l	—	190	320	270	96	220			

修景用水、親水用水:「下水処理水の修景・親水利用マニュアル(案)」
(平成元年 建設省)

水道基準:昭和58年8月 厚生省

色度、TDS、COD_{Mn}、TOC、MBAS、P、無機物が低減され、THMFP、TOXFP も他の膜処理に比べて大きく改善されているが、窒素除去率は低く、20%であった。促進酸化処理装置に関しては、色度、BOD、COD_{Mn}、TOC、MBAS、および一般細菌・大腸菌の除去効果は顕著であったが、当然ながら無機物の除去は行われていないという結果が得られた。

再利用水の基準と比較した場合、砂ろ過処理水は殺菌を行うことにより修景用水の基準を満足する水質が得られることが明らかとなった。また、MF 処理水、UF 処理水に関しては、そのまま修景用水としての基準を満足する水質が得られることが認められた。促進酸化処理水に関しては、修景用水はもちろん、親水用水の基準も満足する処理水が得られることが認められた。なお Table- 3 のデータでは水道水質基準をも満たしていることになっているが、促進酸化装置では窒素分はほぼ硝酸に酸化されてそのまま水中に残留するため、原水中の窒素分が十分に低減されていることが必要となる。RO 膜処理水については、促進酸化よりもさらに良好な水質が得られ、修景用水・親水用水基準を満たし、水道水質基準と同等の処理水を得ることが可能であることが明らかとなった。

4. まとめ

演者らは下水処理水の再利用を目的とし、砂ろ過、膜処理、および促進酸化（オゾン／過酸化水素法）に関して高度処理水の再利用水としての適応性を検討するため、実験を行った。結果をまとめると、以下ようになる。

- ①ろ過器入口の SS 濃度が変動してもろ過器出口の SS 濃度は安定して処理され、また同時に BOD の低減効果が認められた。
- ②促進酸化法では過酸化水素を添加することによって COD_{Mn} 除去率は向上するが、過酸化水素添加量には最適値が存在することが認められた。また、色度、BOD、COD_{Mn}、TOC、MBAS、および一般細菌・大腸菌の除去効果は顕著であったが、無機物の除去は行われていないという結果が得られた。
- ③MF 膜および UF 膜処理では、COD_{Mn}、TOC に比べて BOD は安定的に除去され、濁度、一般細菌・大腸菌、および FI 値も低減効果があったが、MF 膜と UF 膜の除去率に大きな差は認められなかった。
- ④本実験で用いた RO 膜の処理水では色度、TDS、COD_{Mn}、TOC、MBAS、P、無機物が低減され、THMFP、TOXFP も他の膜処理に比べて大きく改善されているが、窒素除去率は低く、20%であった。
- ⑤再利用水としては、砂ろ過処理水は殺菌を行うことにより修景用水に、また MF 膜処理水・UF 膜処理水はそのまま修景用水に、促進酸化処理水および RO 膜処理水は修景用水・親水用水に適用できる可能性があることが明らかとなった。

最後に、本実験を実施するにあたり、ご協力いただいた関係者各位に深く感謝いたします。