

B-3

再利用を目的とした膜分離活性汚泥法の水質調査

日立プラント建設㈱ ○武村清和 能登一彦 大西真人
日本下水道事業団 村上孝雄 太田秀司

1. はじめに

平成12年度末現在、下水処理場での処理水量は、年間約130億 m^3 にものぼり、その多くは公共用水域に放流されているが、202箇所の下水処理場において年間約1.4億 m^3 が再利用されている。その利用用途は、トイレ洗浄用水や工業用水にとどまらず、修景用水、親水用水、ヒートアイランド対策など急速に拡大しており、循環型社会の形成と共に、下水処理水はますます市民の身近な場所で活用されるものと考えられる。

しかし、下水処理水の再利用を推進していくためには、「コスト」や「安全性」など課題も多く残されている。特に「安全性」については、下水処理水中に「水系の感染症」を引き起こす原虫類やウイルスの残存が報告されていることから^{1) 2)}、早急に対策が必要である。

我々は、下水処理水再利用に対するリスク低減が図れる技術として、浮遊物質(SS)が無く高度で清澄な処理水が得られる膜分離活性汚泥処理システムに着目し、再利用の観点から膜処理水の調査及び評価を行った。

2. 実験方法

(1) 調査対象

本調査は、A処理場(標準活性汚泥法)の処理水とA処理場に設置した膜分離活性汚泥法実証試験装置の膜処理水を対象とした。

(2) 膜分離活性汚泥法実証試験装置フロー

膜分離活性汚泥法実証試験装置フローを図1に示す。本フローは窒素除去を対象とした活性汚泥循環変法に膜を適用したものである。原水はA処理場の流入下水を1mmの細目スクリーンにより前処理したものを供給した。使用した平膜はポリオレフィン製の精密ろ過膜で、膜の公称孔径は $0.4\mu\text{m}$ である。膜モジュールは硝化槽内に設置し、モジュール下部から膜洗浄及び生物処理に必要な酸素供給を兼ねて散気を行った。表1に運転条件を示す。

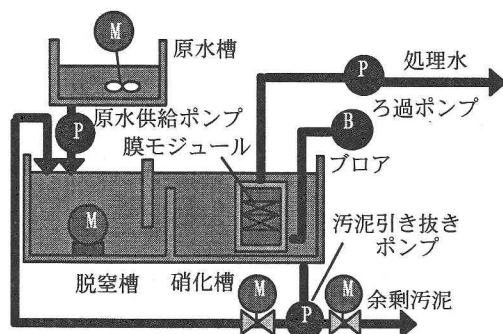


図1 実験装置フロー

表1 実証実験装置の運転条件

処理規模 [$\text{m}^3/\text{日}$]	25
滞留時間 [時間] (硝化:脱窒=1:1)	6
MLSS [g/L]	8~10
日平均Flux [$\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$]	0.63
ろ過方式	ポンプ吸引
間欠運転 [ろ過(分)-停止(分)]	18-2

(3) 水質調査項目

下水処理水の再利用にあたっては、親水利用や修景利用のように水質のガイドラインが設定されているものもある。「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年建設省)に示されている水質ガイドラインを表2に示す。本調査では表2に示した従来規制項目だけでなく、表3に示すように主に貝

類が媒介し日本の食中毒の原因で上位をしめるノロウイルス（SRSV）についても調査を実施した。ノロウイルスは、主として人の腸管に感染して増殖し、糞便とともに体外に排泄されるため、水環境中では感染者の糞便が流入する下水中に多く存在する可能性がある。ただし、病原性ウイルスは取り扱いが困難なため、膜処理性能を評価する際の代替指標として、人体に対し危険性がなく測定も容易である大腸菌ファージの適用可能性も併せて検討した。

表2 再利用に関する水質ガイドライン

	修景用水	親水用水
BOD〔mg/L〕	<10	<3
pH〔-〕	5.8~8.6	5.8~8.6
濁度〔度〕	<10	<5
臭気〔-〕	不快でないこと	
色度〔度〕	<40	<10
大腸菌群数〔個/100mL〕	<1000	<50

表3 水質調査項目

一般項目	BOD・T-N・T-P・pH 濁度・臭気・色度
従来の衛生学的項目	大腸菌群数 糞便性大腸菌群数
ウイルス	ノロウイルス(SRSV) F特異性大腸菌ファージ

3. 結果及び考察

(1) 一般項目

一般項目の水質結果を表4に示す。膜分離活性汚泥法は季節によらず、標準活性汚泥法と比較し同等以上の高い処理性能が確認できた。ただし、膜分離活性汚泥法の処理水を直接再利用することを前提に検討すると、修景利用用途では問題ないものの、親水利用用途では色度の基準を達成できていない。残存する色度成分は、下水に含まれるし尿由来のステルコピリンやウロピリン、フミン酸や微生物代謝物質に起因するものであり、生物処理及び公称孔径 $0.4\mu\text{m}$ の膜では完全に除去することは困難である。したがって、都市下水の膜分離活性汚泥法による下水処理水では、この程度の色度は残存すると考える方が良い。

このため、親水利用用途に膜分離活性汚泥法の処理水を直接利用する場合は、オゾンや活性炭等による色度除去工程が必要となる。ただし、この場合も膜分離活性汚泥法の処理水は浮遊物質（SS）がなく高度で清澄な処理水が得られることから色度除去工程における処理妨害物質が少なく、標準活性汚泥法の処理水と比較し効率よく色度除去が行うことが可能と考える。

表4 一般項目に関する水質結果

	標準活性汚泥法塩混後処理水		膜分離活性汚泥法処理水	
	9月25日	2月27日	9月25日	2月27日
BOD〔mg/L〕	1.5	15.6	0.5	<0.5
T-N〔mg/L〕	12	18	7.2	8.1
T-P〔mg/L〕	0.6	0.6	1.4	1
SS〔mg/L〕	<5	11	<0.4	<0.4
pH〔-〕	7.1	6.9	7.1	7.1
濁度〔度〕	3	6	<1	<1
臭気〔-〕	芳香性臭気	芳香性臭気	無臭	土臭力ビ臭
色度〔度〕	24	48	14	20

(2) 大腸菌群数及び糞便性大腸菌群数

大腸菌群数及び糞便性大腸菌群数の調査結果を表5に示す。膜分離活性汚泥法の処理水からは、大腸菌群数は検出されなかった。これは大腸菌の大きさが数 μm であるのに対し膜の孔径が $0.4\mu\text{m}$ と十分小さく、篩い分け効果により完全に除去されたためと考える。

表5 大腸菌群数及び糞便性大腸菌群数調査結果

分析項目	初沈流入水	標準法処理水	膜法処理水
大腸菌群数〔MPN/100ml〕	1.30E+07	2.20E+02	不検出
	2.30E+07	3.50E+03	不検出
糞便性大腸菌群数〔MPN/100ml〕	1.30E+07	1.70E+02	不検出
	4.50E+06	1.70E+03	不検出

上段：9月25日/下段：2月27日

(3) ノロウイルス (SRSV)

平成 11 年度に地方の衛生研究所が中心となり、全国規模で下水と河川水を対象としたノロウイルス汚染の実態調査を行ったところ、地域差や季節変動はあるものの、いずれの調査地域においても

表 6 ノロウイルスの調査結果

分析項目	初沈流入水	硝化槽 活性汚泥	膜法 処理水
ノロウイルス 〔Copies/L〕	7.2E+04	1.0E+03	不検出
	6.0E+03	2.6E+04	

上段：上澄水/下段：SS付着

ノロウイルスが検出され、²⁾さらに、2002～2003 年に内野らが堺市で行った調査によると下水流入水中からノロウイルスが最高 2.9×10^5 Copies/L 検出された。³⁾ また、2 月に我々が本実験施設で実施した調査（表 6）でも、流入下水中からはノロウイルスを上澄水中及び SS 付着合わせて 7.8×10^4 Copies/L 検出しており、水環境中におけるウイルスの制御を行うためには下水処理場の果たす役割は大きいと考えられる。そこで、膜分離活性汚泥法におけるノロウイルスの除去性能を調査したところ、膜処理水からはノロウイルスは検出されず、4 オーダー以上の除去が確認できた。しかし、今回使用した膜の孔径は $0.4 \mu\text{m}$ であり、数十 nm のウイルスを膜の篩い分け効果で除去することはできない。そこで、その除去機構を明らかにするために活性汚泥中のウイルス存在場所を調査した。その結果、96%以上のウイルスが汚泥フロックに取り込まれており、ウイルスは汚泥に吸着することで汚泥とともに膜の篩い分け効果で除去されたものと推測できた。さらに、膜面に形成されるゲル層がウイルス除去に寄与しているという報告もあり、上澄水中に浮遊するウイルスの除去も期待できる。

(4) 大腸菌ファージ

病原性ウイルスの膜による除去性能を評価する際の代替指標として大腸菌ファージの適用を検討した。宿主菌は E. coli K12F⁺とした。大腸菌ファージの調査結果を表 7 表 8 に示す。膜処理水からは大腸菌ファージは検出されず、硝化槽汚泥中では 99%以上が汚泥フロックに取り込まれていることから、ノロウイルスと同様の除去機構を示しているものと考えられる。したがって、ノロウイルスに関する膜ろ過性能を評価する際は、代替指標として大腸菌ファージの利用が可能であると思われる。さらに、標準法処理水と比較したところ、膜分離活性汚泥法は標準法より高いウイルス除去性能を示すことが示唆された。今後は、大腸菌ファージを用いウイルス除去性能の安定性を確認するとともに、ウイルスの感染リスク評価と合わせて、膜分離活性汚泥処理システムの優位性を明らかにしていきたい。

表 7 大腸菌ファージの調査結果

分析項目	初沈流入水	硝化槽 活性汚泥	膜法 処理水
大腸菌ファージ 〔PFU/100ml〕	2.0E+04	5.3E+01	不検出
	1.8E+03	7.6E+03	

上段：上澄水/下段：SS付着

表 8 大腸菌ファージの調査結果 2

分析項目	初沈流入水	標準法 処理水	膜法 処理水
大腸菌ファージ 〔PFU/100ml〕	3.60E+05	1.90E+02	不検出
	1.10E+04	6.80E+01	

上段：9月25日/下段：2月27日

4. まとめ

- (1) 膜分離活性汚泥法の処理水は良好な水質であり、修景利用や親水利用等、再利用への活用が可能である。
- (2) 病原性ウイルスに対しても高い除去性能を示すことから、下水処理水再利用時における感染リスクの大幅低減が期待できる。
- (3) 下水処理水放流先へのウイルス放出が低減でき、水環境中におけるウイルスの制御が期待できる。

5. 参考文献

- (1) 西畑雅司：健全な水循環と良好な水環境に向けて、下水道協会誌, 40 (483), 9-13, (2003)
- (2) 矢野一好：ウイルス性感染症とその対策, 環境技術, 32 (6), 445-451, (2003)
- (3) 内野清子ら：リアルタイム PCR 法を用いた NV の検査について, 衛生微生物技術協議会第 24 回研究会講演抄録集, 63 (2003)

謝辞

汚泥に付着した大腸菌ファージ及びウイルスの測定に関し東北大学大学院工学研究科大村教授に多大なご指導を頂きました。御礼申し上げます。