



Title	オゾンと分離膜を組み合わせた下水再生水製造システム
Author(s)	曾根, 啓一; 上野, 孝司; 小笠原, 尚夫 他
Description	第9回衛生工学シンポジウム (平成13年11月1日 (木) -2日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 4 水処理 1 . P4-7
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 9, 220-224
Issue Date	2001-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7174
Type	departmental bulletin paper
File Information	9-4-7_p220-224.pdf



4-7

オゾンと分離膜を組み合わせた下水再生水製造システム

曾根啓一、上野孝司(東京都下水道局)、小笠原尚夫、杉本和明(財団法人造水促進センター)
○鬼塚卓也、竹田静雄、伊本洋平(水道機工株式会社)

1. はじめに

都市における生活用水は年々増加する傾向にある。一方、水資源賦存率は昭和 40 年頃からの少雨傾向の影響を受けて低下しており、数年毎に繰り返される渇水時にはさらに低下している。そうした中、下水処理水を資源と捉えた再生水の有効利用への関心が高まっている。再生水利用は修景用水、親水用水、水洗トイレ用水、街路樹散水用水など多岐にわたり、潤いのある快適な都市形成への貢献が期待されている。近年、その再生水に対して、色、臭い、にごりのないより高い水質が求められ、さらに、人が直接触れる機会も増えることが予測されることから、腸管出血性大腸菌 O-157 などの病原性細菌やクリプトスポリジウムなどの病原性微生物に対する安全性に十分配慮することが求められている。

筆者らは、安価で高品質な再生水を製造するシステムの開発を目的に、オゾン耐性を有するフッ素系の MF 膜とオゾン処理を効果的に組み合わせたシステムについて検討してきた。本論文では実証実験結果およびそれに基づくコスト試算について報告する。

2. 本システムの処理フロー

本システムの処理フローを図 1 に示す。二次処理水に後段の生物膜ろ過流入水に残留オゾンが残らない程度のオゾンを注入したのち、生物膜ろ過で処理する。生物膜ろ過では、二次処理水中のアンモニア性窒素の低減、有機物酸化を行う。その後、さらにオゾンを注入し、溶存オゾン存在下で膜ろ過を行い、再生水が得られる。

オゾンは殺菌作用のほか強い酸化力による脱色、脱臭効果を有している。また、後段の分離膜の表面に溶存オゾンを残留させることにより膜の目詰まりの原因として考えられる微生物や有機物を酸化・分解して、目詰まりを抑制することが期待できる。そのため、分離膜にはオゾン耐性を有するポリフッ化ビニリデン(PVDF)製の孔径 $0.1\mu\text{m}$ の外圧中空糸 MF 膜を用いている。

3. 実験

3.1 概要

実験は、東京都下水道局芝浦処理場に実験装置を設置し、塩素滅菌前の二次処理水を原水として行った。

処理水量は $30\text{m}^3/\text{日}$ とし、生物膜ろ過の運転条件は、ろ過速度 $80\text{m}/\text{日}$ 、気液比 2 とした。膜ろ過の運転条件は、フラックス $5\text{m}/\text{日}$ とし、物理洗浄は逆洗・スクラビング同時洗浄を 15 分毎に 30 秒行った。オゾン注入は膜ろ過水の溶存オゾン濃度をモニターし、所定の濃度を維持するように注入率の自動制御を行った。

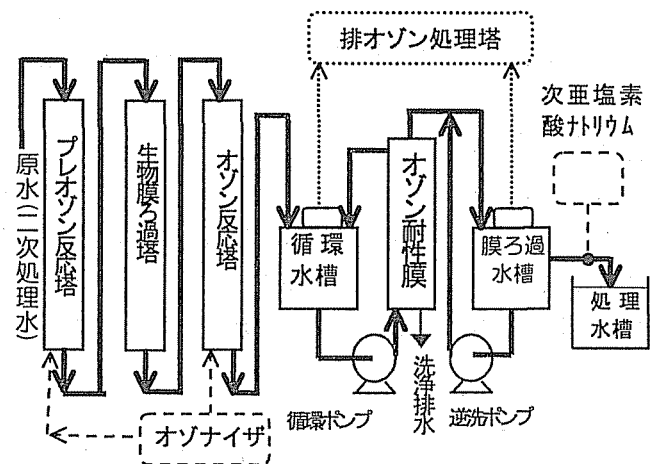


図1 処理フロー

3.2 検討内容

- ① 溶存オゾンが膜のファウリング抑制に及ぼす効果と溶存オゾン存在下での高フラックス膜ろ過運転
- ② 再生水としての処理水質
- ③ 長期運転後の膜の薬品洗浄・ろ過回復性
- ④ 残存した溶存オゾンの分解
- ⑤ 他方式とのコスト比較

4. 結果

4.1 溶存オゾンが膜間差圧に及ぼす影響

膜ろ過水の溶存オゾン濃度を変化させた結果を図2に示す。オゾンを注入しない場合、数時間で膜間差圧の急激な上昇が認められる。しかし、オゾン注入を開始し、溶存オゾン濃度を1.0mg/Lに維持すると、膜間差圧は、ほぼ実験開始時まで回復する。

つづいて、溶存オゾン濃度を0.1mg/Lに下げて運転した結果、膜間差圧は、再び上昇した。しかし、再び溶存オゾン濃度を1.0mg/Lに高めると、膜間差

圧は再び回復した。一方、溶存オゾン濃度0.1mg/Lに下げて膜間差圧を高くした後、溶存オゾン濃度を0.5mg/Lに上昇させた場合、膜間差圧が回復する傾向は見られるが、実験開始時の値までは回復せず、その後徐々に上昇する傾向が見られた。

以上の結果、膜ろ過を安定して運転し続けるには、膜ろ過水の溶存オゾン濃度を1.0mg/L程度に、制御する必要があることがわかった。

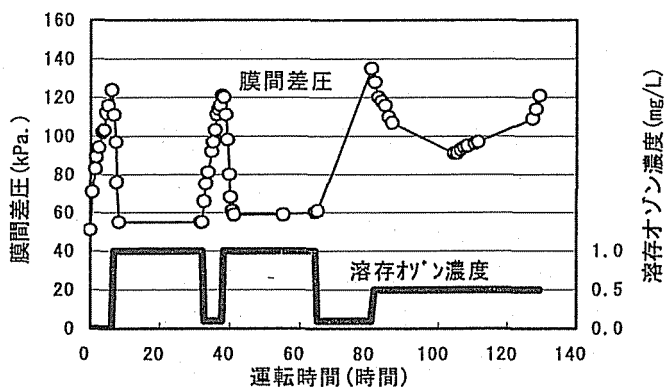


図2 溶存オゾン濃度の影響

4.2 高フラックス連続膜ろ過運転

上記の結果に基づき、膜ろ過水の溶存オゾン濃度を1.0mg/Lに設定し、フラックス5m³/日で連続運転を行ったときの膜間差圧と水温の経時変化を図3に示す。

約5ヶ月間経過した3,800時間後の膜間差圧は、約120kPa.まで上昇したが、この間薬品洗浄は行わなかった。通常、薬品洗浄の目安となる膜間差圧は200kPaとしていることから、薬品洗浄間隔としては半年に1回程度であることが推定された。

このことから、膜面に溶存オゾンを1mg/L程度残留させることにより従来の2～3倍以上の高いフラックス(5m³/日)で、長期間安定して運転できることが確認できた。

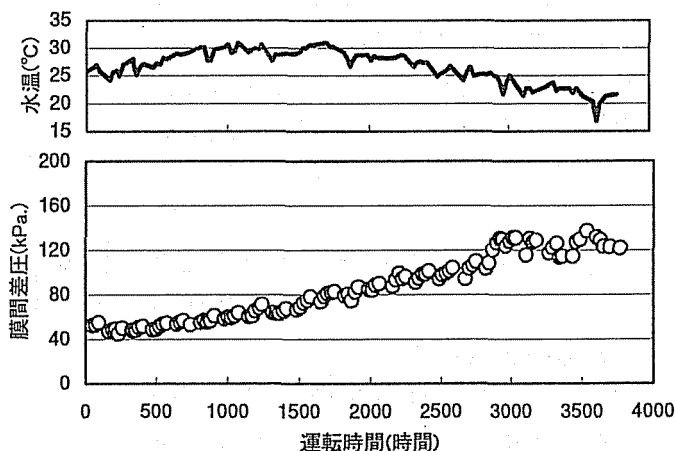


図3 膜間差圧(25°C換算)と水温の経時変化

3.3 再生水としての水質

運転期間における原水と処理水の平均水質を表1に示す。本法の場合、BOD、COD等が低減され、色度が1度まで低下し、大腸菌群は検出されていないなど、良好な水質を得ている。次に処理工程別のBOD(注:ATU 添加)、COD及び色度の水質変化の一例を図4に示す。平均オゾン注入率は20mg/Lであった。オゾン処理段階ではBODが2.4mg/L、CODが6.6mg/L、色度が4度であり、MF膜ろ過水ではBODが2.3mg/L、CODが6.4mg/L、色度は1度まで低減されている。

オゾン処理後の膜ろ過工程で色度がさらに減少したことから、原水をあらかじめ孔径0.01μmのフィルタでろ過して懸濁成分を取り除いたサンプルを対象に、バッチ実験によりオゾンによる色度成分の性状の変化を調べた。所定の注入率でオゾンを注入した後に孔径0.1、0.2μmのメンブレンフィルタ(PTFE)でそれぞれろ過したフィルタろ液について、溶存オゾン濃度と色度の測定結果を図5に示す。合わせて、ろ過せずにそのまま測定した結果も示す。0.2μmフィルタろ液の色度は、オゾン注入率に関係なく、ろ過なしのサンプルと同様の挙動を示した。これに対し、0.1μmフィルタろ液の色度は、溶存オゾン濃度が観測されるにしたがって、さらに低減される傾向を示し、最終的に1度以下まで減少している。

このことから、粒径0.01μm以下の色度成分の一部が、オゾン注入により0.1~0.2μmの大きさの粒子に成長したものと推測される。

内分泌攪乱化学物質の工程別処理結果の一例を図6に示す。原水中に含まれる17β-エストラジオールやビスフェノールAはオゾン処理により大きく減少した。その他、ノニルフェノールを含め、膜処理水では測定下限値まで処理されている。

表1 原水と処理水の平均水質

水質項目	原水	膜ろ過水	親水用水利用基準
BOD (mg/L)	15	2.1	3以下
COD (mg/L)	11	5.7	—
NH ₄ -N (mg/L)	10.8	2.6	—
NO ₂ -N (mg/L)	1.7	0	—
大腸菌群 (CFU/100mL)	2.0×10 ⁶	0	50以下
色度 (度)	31	1	10以下
臭気	下水臭	無臭	不快でないこと

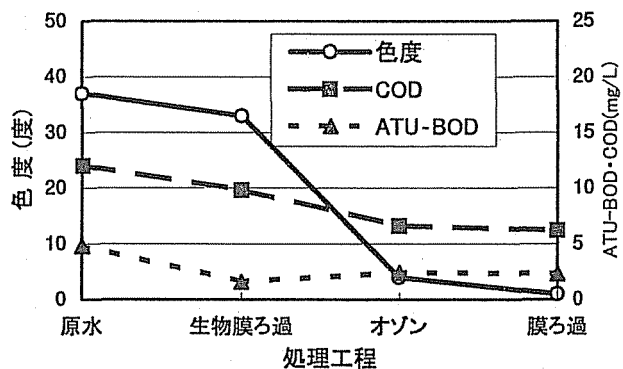


図4 処理工程別水質変化の一例

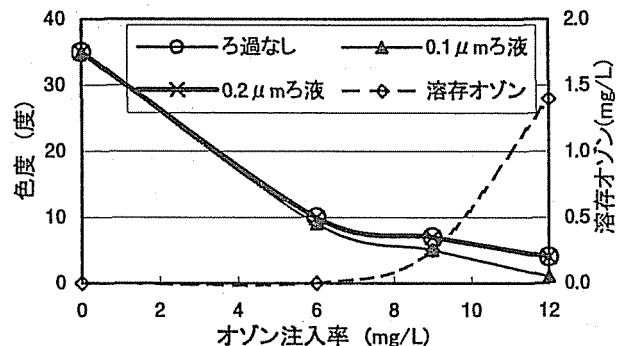


図5 原水ろ液の色度処理効果

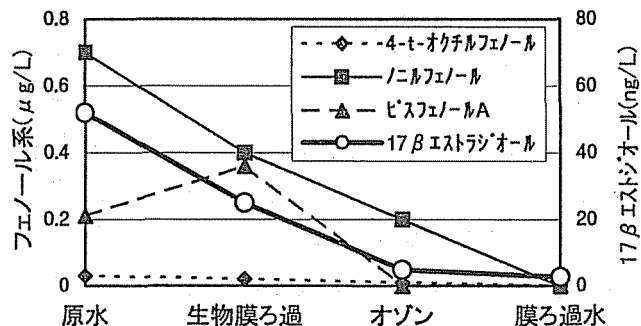


図6 内分泌攪乱物質の工程別変化

3.4 膜の薬品洗浄

連続通水実験で5ヶ月間使用した膜について薬品洗浄効果を検討した。始めに、有効塩素100mg/Lの次亜塩素酸ナトリウム（次亜）と0.04%-水酸化ナトリウム（苛性）の混合液で洗浄後、0.2%-シュウ酸を用いる2段で洗浄を行った。洗浄時間は、それぞれ循環30分+浸漬30分とした。洗浄効果を図7に示す。通水実験で使用した膜の膜ろ過流束は、未使用膜に比べて40%まで低下していた。それに対して、始めの(次亜+苛性の混合液により60%まで回復し、さらにシュウ酸を使用することにより100%まで回復した。

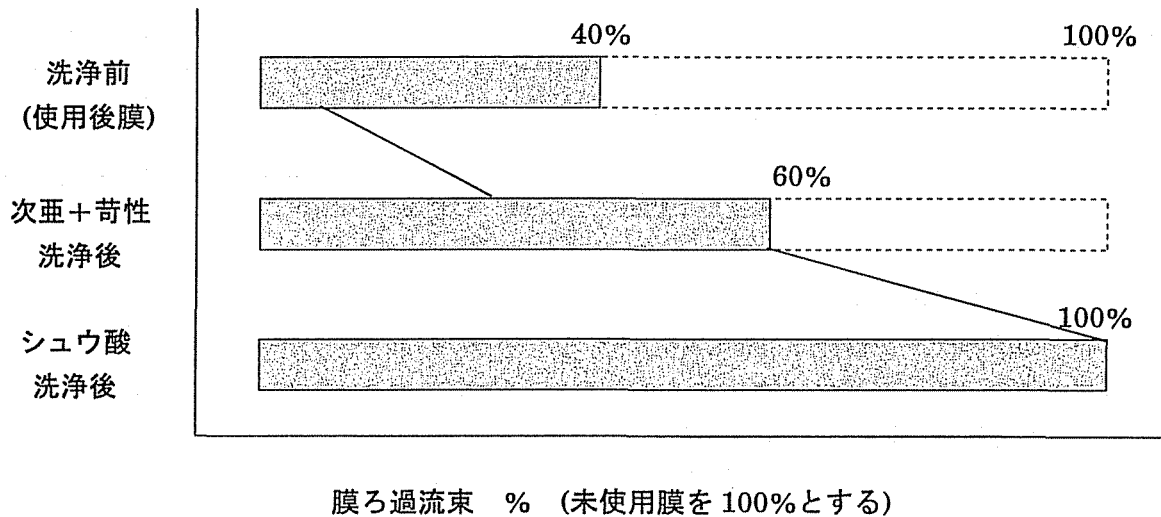


図7 薬品洗浄後の回復率

3.5 溶存オゾンの分解

本システムは、膜面で溶存オゾンを持続させる必要があるため、処理水中に1mg/L程度の溶存オゾンが残留する。系外へ放流するには、オゾン臭を発生することから0.1mg/L以下に低減することを検討した。オゾンは、酸化剤により促進酸化される現象を利用して、溶存オゾンをややかに分解するのに必要な次亜塩素酸ナトリウム注入率と滞留時間の関係を調査した結果を図8に示す。次亜塩素酸ナトリウム注入率3mg/L、滞留時間10分の条件で溶存オゾン濃度は0.1mg/L以下となった。なお、この条件で処理した再生水を室内で2ヶ月以上放置しても腐敗することなく、容器への着色等も認められず、無色透明・無臭の状態を維持していた。

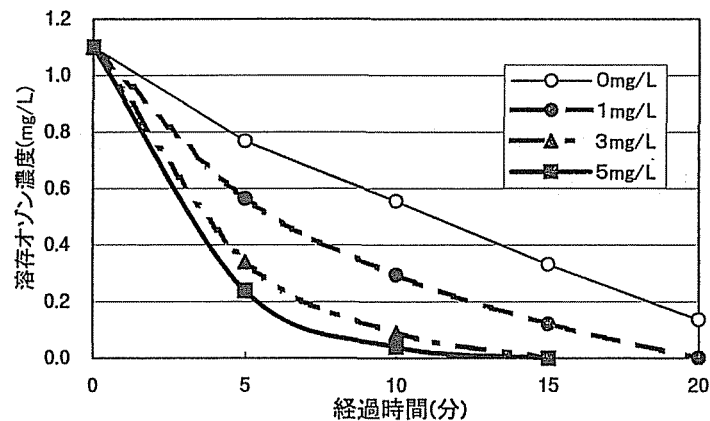


図8 次亜注入率と溶存オゾン濃度の関係

4. 運転コスト

処理水量 3,000m³/日規模でのコスト試算結果を表2に示す。本システムは生物膜ろ過設備、オゾン設備及びオゾン耐性膜ろ過設備を含む。償却費は耐用年数20年、利率2.5%(定率)、残存価格を建設費の10%とした。比較として、既存のMF膜とRO膜を組み合わせた高度処理システム及び砂ろ過とオゾン処理を組み合わせたシステムのコストを併述した。それぞれの処理水水質のレベルは異なるが、本システムは(砂ろ過+オゾン)にほぼ近いコストで、高品位で衛

学的にも安全性の高い再生水を得ることができる。また、(MF+RO)の1/2以下のコストとなった。

表2 コスト試算例(円/m³) 処理水量：3,000m³/日

項目	本システム	砂ろ過+オゾン	MF+RO
償却費	26.4	21.6	58
維持管理費 (内訳)電力費、膜洗浄・交換費、点検補修費、人件費	26.2	18.9	70
合計	52.6	40.5	128

5. まとめ

- ① 溶存オゾンが膜のファウリングを抑制する効果があることがわかった。
- ② ろ過水の溶存オゾン濃度1.0mg/Lで制御することで、膜間差圧の上昇を抑制できた。
- ③ 従来の膜ろ過システムに比較して、2倍以上の高フラックス5m/日の運転が可能になり、5ヶ月以上の連続運転ができた。
- ④ オゾンは、脱色効果と併せて、溶解性の色度成分の凝集に効果のあることが確認でき、孔径0.1μmの膜ろ過を行うことにより色度処理効果が向上することがわかった。
- ⑤ 膜の薬品洗浄は、酸とアルカリにより初期ろ過性能まで完全に回復できた。
- ⑥ 処理水中の残留オゾンは、次亜注入3mg/L、滞留時間10分により、0.1mg/L以下に処理できた。
- ⑦ 処理水は、2ヵ月以上放置しても、無色・無臭の状態を維持し、容器を変色することもなく、高品質な再生水であった。
- ⑧ 本システムの処理水コストは、イニシャル及びランニングを合わせたトータルコストで52.6円/m³であった。

6. おわりに

本研究にあたり、オゾン耐性膜による水処理システム開発委員会(委員長:大垣眞一郎 東京大学大学院教授)の指導を賜ったことに深謝する。また実験に際し、旭化成(株)、住友精密工業(株)の多大な協力を得たことに感謝する。

7. 参考文献

- 1) 日本の水資源、平成12年版水資源白書、国土庁長官官房水資源部編、
- 2) 第38回下水道研究発表会講演集、平成13年度、P586-588