

淀川原水を用いたオゾン・セラミック膜ろ過技術の研究（Ⅳ）

Study of ozone-ceramic membrane filtration technology using Yodogawa river raw water (Ⅳ)

○村田 直樹*、青木 伸浩*

*：メタウォーター株式会社 事業戦略本部 R&D センター 環境技術開発部

論文要旨

本研究では、水質変動が大きく、かつ高度に利活用された淀川原水への膜ろ過処理の適用性について明らかにすることを目的に、オゾン・凝集処理を膜ろ過前段に配置したセラミック膜ろ過実証実験を実施した。その結果、膜ろ過流束 $6\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ を超える高い膜ろ過流束で 3 年以上に渡って膜ろ過処理が可能であることがわかった。

In this study, we carried out ceramic membrane filtration experiment with ozonation / coagulation pre-treatment on purpose of elucidating the applicability of membrane filtration treatment with ceramic membrane to the Yodogawa river water which quality is fluctuating largely and is intensively used. As a result, it was found that a high membrane filtration flux of over $6\text{ m}^3 / (\text{m}^2\cdot\text{d})$ is capable for over 3 years.

キーワード：河川水、浄化処理、膜

1. はじめに

水源水質の悪化に伴う異臭味やトリハロメタン前駆物質等の消毒副生成物除去対策を目的として、凝集沈殿池や急速ろ過池といった現行浄水処理施設に、オゾン、活性炭吸着等の高度処理施設が導入されている¹⁾。現行施設は更新時期を迎えながら、給水量の減少、将来を見据えた浄水技術の選択等、様々な問題を抱えている。第三の浄水処理技術として膜ろ過処理が挙げられるが、代替技術として導入されるには、イニシャル、ランニングコスト低減が必須である。具体的には、膜ろ過ユニット数および動力費の削減、すなわち、高流束かつ、低い膜差圧での運転が可能なシステムの構築が必要であると考えられる。そこで、大阪市水道局とメタウォーター(株)は、現有高度処理施設の有効活用を念頭に、現行処理施設の更新が可能な膜ろ過処理の適用性について明らかにするため 2015 年度から共同研究を開始した。大阪市の水源である淀川は、台風やゲリラ豪雨による濁度等の水質変動が大きく、かつ、高度に利活用された表流水であり、膜ろ過技術の研究や導入実績が少ないのが現状である。これまで演者らは、第 26、27、28 回の年次研究講演会で報告した「淀川原水を用いたオゾン・セラミック膜ろ過技術の研究（Ⅰ～Ⅲ）」など、セラミック膜を用いた膜ろ過処理が淀川へ適用可能であることを明らかにしてきた²⁻⁶⁾。

本報告では、前・後段にオゾン処理を適用し、膜ろ過流束 $6\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ を超える高い流束で 3 年以上実施した高度浄水膜ろ過システムの実証実験結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 使用原水

原水は淀川を水源としている大阪市水道局柴島浄水場着水井から取水し、硫酸により pH 7.0 に

調整されたものを連続的に供した。

2.2 実験方法

実験フローを Fig.1 に示す。実験は、既往の研究結果から現有のオゾン処理施設を膜の前・後段処理として活用できるように配置した。処理工程は、淀川原水に硫酸ばんどを注入して凝集し、凝集水（マイクロブロック）全量をオゾン接触後、全量膜ろ

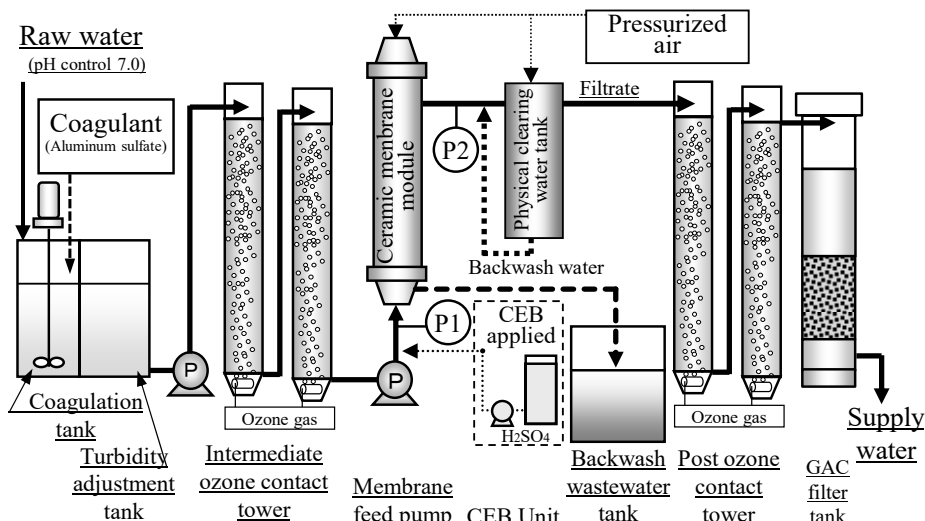


Fig.1 Experiment system

過し、後オゾン・活性炭吸着処理を行った。実験に使用したセラミック膜の仕様を Table 1 に示した。表に示すように、純水透過性能が高いため、低動力での膜ろ過処理が可能である。また、膜ろ過セル径が 2.5 mm と大きいことや強力な逆流洗浄とブローにより、圧密化された濁質成分や藻類等を効率良く剥離、モジュール外に排出して膜ろ過セル内の流路閉塞を抑制できる。

連続実証実験条件を Table 2 に示した。凝集剤注入率は濁度比例制御で行い、原水濁度 100 度から上限 75mg/L とした。また、中オゾン注入率は現行処理を参考にした。物理洗浄は、膜ろ過水による逆圧逆流洗浄とエアブローを実施した。物理洗浄間隔は 4 hr を基本とし、物理洗浄後の膜差圧から+50kPa を上限とした差圧起動による物理洗浄も実施した。また、2019 年 6 月より高濁時におけるオゾン接触塔や膜モジュールへの流入濁度安定化を目的に、濁度調整槽（滞留時間 7 min 程度）を適用した。CEB の適用は、月 1 回程度実施した。

CEB 工程は、物理洗浄によってモジュール内の濁質等を排出した後、洗浄液（硫酸 0.05 mol/L）を膜モジュール原水側に注入し、15min 程度接触させた。その後、逆圧逆流洗浄によって洗浄液をモジュール外に排出した⁷⁾。また、後オゾン処理のオゾン注入は、後オゾン処理水中の溶存オゾン濃度が 0.12 mg/L になるように制御した。

実証実験では、原水水温、原水濁度、膜ろ過圧力、オゾン注入率、溶存オゾン濃度等を連続的に記録し、運転期間における膜ろ過差圧の推移を確認するとともに、原水および GAC 処理水の水質分析を行った。

3. 結果と考察

3.1 中オゾン注入率と中オゾン接触槽出口の溶存オゾン

Fig.2 に中オゾン注入率および溶存オゾン濃度の推移を示した。

Table 1 Membrane specifications

Membrane type	Ceramic MF
Nominal pore size	0.1 μm
Diameter / Length	$\phi 180 \text{ mm} / 1000 \text{ mm}$
Channels per membrane	2000 channels
Channel diameter	2.5 mm
Membrane area	15 m^2
Pure water flux	$40 \leq \text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 100 kPa at 25°C

Table 2 Experiment conditions

Intermediate ozone	
ozone dosage	0.8 - 1.1 mg/L
contact time	$\leq 5.0 \text{ min}$
Post ozone	
ozone dosage	0 - 0.3 mg/L
contact time	10 min
Kind of coagulant	
	Aluminum sulfate $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}8\%$
coagulant dosage	26 - 75 mg/L
Flux	
	6.3, 7.0 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
Physical cleaning	
time intervals	4.0 hr
pressure	Combined backwash:<500 kPa and Air blow:<200 kPa

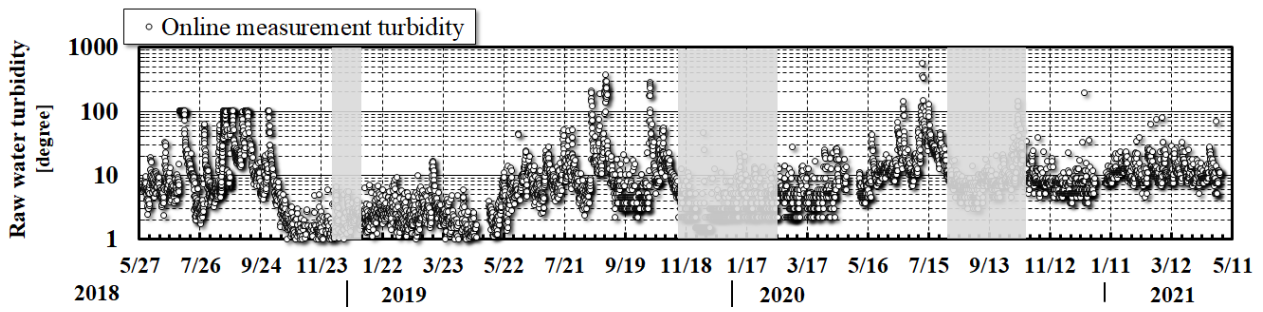


Fig.2 Changes in raw water turbidity (Online measurement)

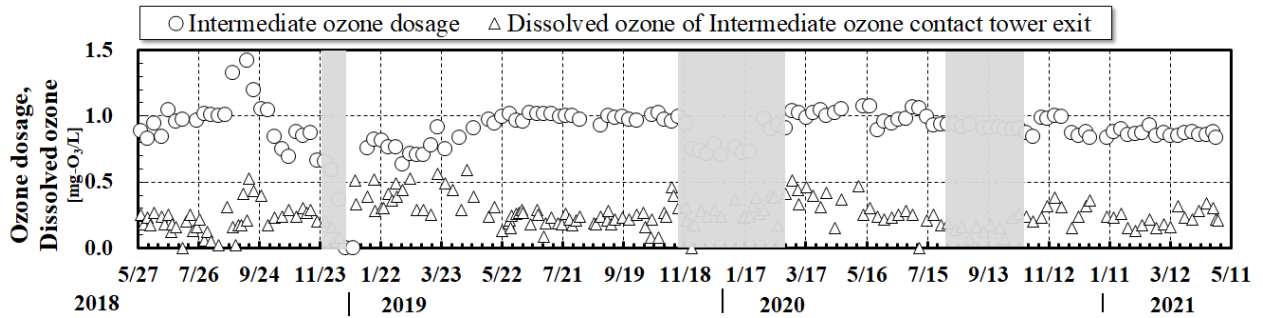


Fig.3 Changes in ozone dosage and dissolved ozone

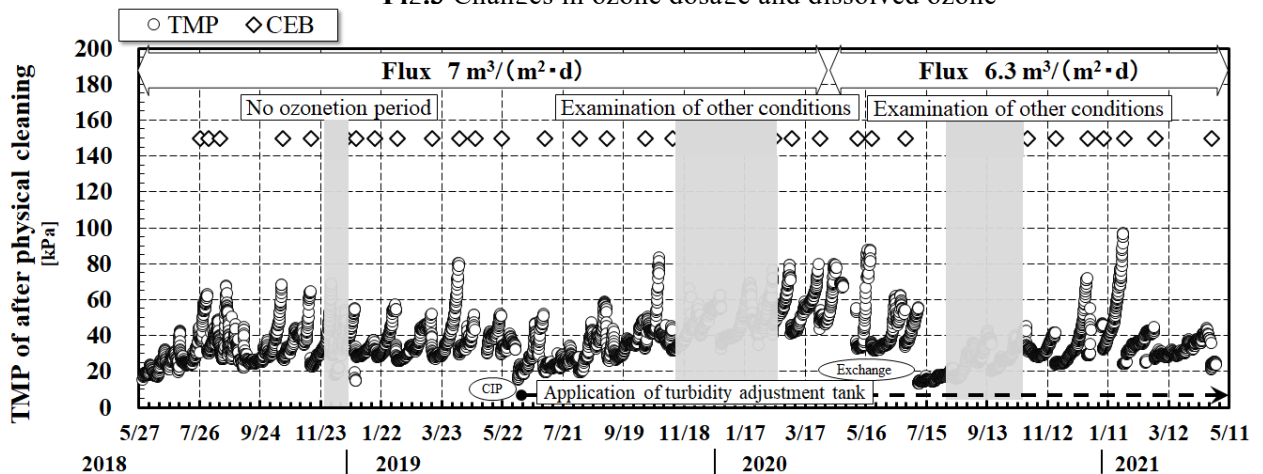


Fig.4 Changes in transmembrane pressure

図中の○は中オゾン注入率を、図中の△は中オゾン接触槽出口の溶存オゾン濃度を示している。中オゾン注入率は2018年8月最大1.5 mg/Lになったが、濁度調整槽を適用した2019年6月から、1.1 mg/Lとして運転を行うことができた。さらに2020年5月、膜ろ過流束の変更に合わせ、中オゾン注入率も低下させた。この結果、2021年1月-5月は中オゾン注入率0.8 mg/L程度で運転を行うことができた。

これら結果から、オゾン発生機容量を小さくできるのでイニシャルコストを低減できるとともに、オゾン発生量の低減によりランニングコストも削減できる可能性が示唆された。

3.2 凝集・オゾン・膜ろ過運転状況

原水濁度（オンライン計測）、物理洗浄後の実膜差圧（水温補正無）等の推移を Fig.3、Fig.4 に示した。Fig.4 中の○は実膜差圧、CIPは薬品洗浄、◇はCEB適用を示している。2019年5月末に実施した薬品洗浄の膜透過性能回復性は、初期透過性能に比べ、薬洗前（使用後）27%、硫酸洗浄後70%、次亜洗浄後100%であった。膜差圧については、CEBを月1回定期的に実施した2018年10月以降、膜ろ過流束 $7\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ と高い流束にもかかわらず、膜差圧30-70kPaの低い膜差圧で推移し、長期間の膜ろ過運転が可能であることを確認した。

この結果から、低い膜ろ過動力による電力費低減と前項で示したオゾン注入率低減により、浄水処

理における総合的なコスト削減が可能であると示唆された。

3.3 高濁度時の運転状況

Fig.5、Fig.6、Fig.7に2020年7月8日に発生した高濁時の濁度、オゾン注入率、溶存オゾン、膜差圧の推移を示す。原水濁度は最大600度を超えたが、濁度調整槽出口の濁度は200度程度に抑えられた。中オゾン接触塔ではこの200度程度の凝集水を処理しており、注入率1.1mg/Lにおける接触塔出口の溶存オゾンは、ほぼ検出されなかった。しかし、濁度調整槽出口の濁度が200度以下になると溶存オゾンが検出された。

この期間中の最短物理洗浄間隔（逆洗後膜差圧+50 kPa増加時）は3.8hrであり、目標の4hrと同等であった。これらの結果から、高濁が発生しても高流束時の運転性を十分確保できることがわかった。

なお、実証期間中のGAC処理水質は、現行処理と同等であった。

4. まとめ

本研究では、淀川原水を用い、前・後段にオゾン処理を配置した高度浄水膜ろ過システムを適用し、3年以上に渡って連続実験検証を行った。その結果、運転条件を最適化にすることで、オゾン注入率の低減や高流束運転化での低い膜差圧を維持できることがわかった。今後は、詳細コスト比較を実施し、総合的な導入評価を行っていく。

謝辞

本研究は、大阪市水道局とメタウォーターとの共同研究で得られた成果の一部である。本研究にご協力いただいた大阪市水道局工務部柴島浄水場（技術調査）の皆さまをはじめとする職員の方々に深く感謝する。

参考文献

- 1) 厚生労働省：水道事業における高度浄水処理の導入実態及び導入検討に等に関する技術資料（2009）
- 2) 村田直樹，米川 均，青木伸浩，伊藤和徳：前オゾン処理を適用した凝集セラミック膜ろ過処理，第57回全国水道研究発表会講演集，pp. 214-215，(2006)．
- 3) 村田直樹，山口太秀，青木伸浩，柏原利行，田川克弘：淀川原水への浄水セラミック膜ろ過技術の適用について，平成28年度全国会議（水道研究発表会）講演集，pp. 374-375（2016）
- 4) 村田直樹，山口太秀，本山信行，李 富生：凝集およびオゾン処理が高度に利活用された水道原水中のバイオポリマーへ与える影響，土木学会論文集G（環境），73巻7号 pp. III_323-III_328，(2017)
- 5) 村田直樹，山口太秀，青木伸浩，柏原利行，田川克弘：淀川原水への浄水セラミック膜ろ過技術の適用（II），平成29年度全国会議（水道研究発表会）講演集，pp. 244-245（2017）
- 6) 村田直樹，山口太秀，青木伸浩，李 富生：淀川原水へのセラミック膜ろ過技術の適応研究（II），環境システム計測制御学会誌 22(2/3)，pp. 20-26，(2017)
- 7) 村田直樹，青木伸浩，本山信行，李 富生：微粉末活性炭と化学的強化逆洗を組み合わせた膜ろ過処理における異臭味物質とトリハロメタン前駆物質の除去性能の向上，土木学会論文集G（環境），70巻7号 pp. III_81-III_94，(2014)

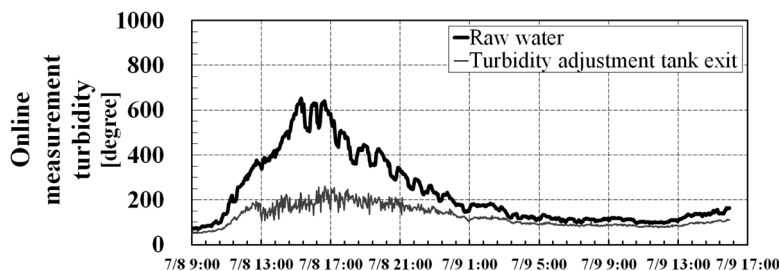


Fig.5 Changes in raw water turbidity (Online measurement)

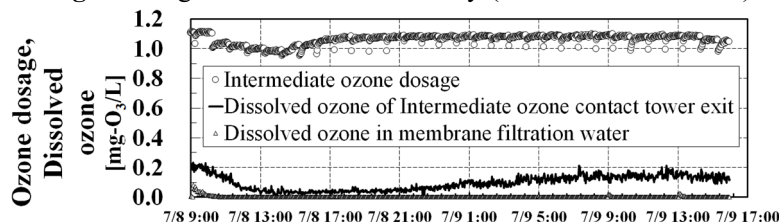


Fig.6 Changes in ozone dosage and dissolved ozone

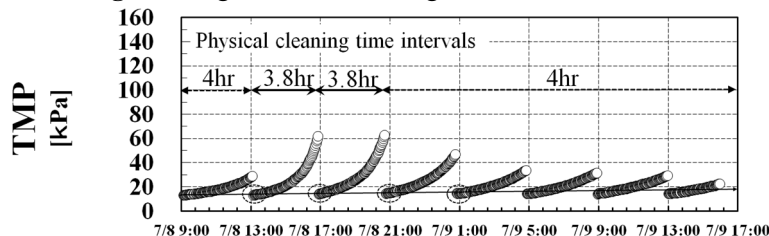


Fig.7 Changes in transmembrane pressure