

高度に利活用された淀川河川水への浄水膜ろ過技術の適用について

Application of Water Purification Membrane Filtration Technology to the Highly Utilized Yodo River System

○村田 直樹*、青木 伸浩**、山口 太秀*

*：メタウォーター株式会社 事業戦略本部 R&D センター 水道技術開発部

**：メタウォーター株式会社 事業戦略本部 R&D センター

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河川水への凝集・オゾン前処理の膜ろ過技術の適用性について実施した。その結果、処理水量の変動、薬品注入設備の故障や停電等の異常時を想定した調査において、セラミック膜ろ過システムは運転性、処理水質への影響は問題とならなかった。また、高い膜ろ過流速での膜ろ過処理を実験検証し、淀川河川水に対して十分に適用できることを確認した。

キーワード：河川水、浄化処理、膜

1. はじめに

大都市圏の水道事業者では、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、凝集沈澱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。そこで、大阪市水道局とメタウォーター(株)は、現行処理施設の更新が可能な膜ろ過技術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。膜ろ過が代替技術として導入されるには、浄水コストの低減が必須であるとともに、外水氾濫や水質事故等による浄水処理の緊急停止、給水計画変更による他の浄水場へのバックアップ造水など、水需要に柔軟に対応できることも重要である。これまで演者らは、第 26～28、30 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～IV)」をはじめ²⁾、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³⁻⁵⁾。

本報告では、処理水量変更や設備故障といった異常時を想定した運転性と長期実証実験結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 実験場所/使用原水

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 pH7.0 に調整されたものを原水とし、連続的に供した。

2.2 実験フロー条件

実験フローを **Fig.1** に示す。現行オゾン処理施設を有効活用できるように膜処理の前・後段に配置

した。実験は、淀川原水に硫酸ばんどを注入して凝集混和し、マイクロフロックを形成した凝集水をオゾン接触後、全量膜ろ過し、後オゾン・活性炭吸着処理を行った。なお、後段の活性炭吸着処理（GAC）は、大阪市水道局の実験施設を活用した。Table 1 に示すように、セラミック膜は純水透過性能が高いため、低い膜ろ過差圧で膜ろ過を行うことができる。また、強力な逆流により膜エレメント内部に圧密化された濁質成分や藻類等を効率良く剥離したのち、圧縮空気を膜エレメント上部より導入し、下部排出（エアブロー）する。これら一連の物理洗浄により、膜ろ過セル内の流路閉塞を抑制し安定した膜ろ過運転を継続できる⁶⁾。

長期実証実験条件を Table 2 に示した。凝集剤注入率は濁度比例で制御した。また、中オゾン注入率は現行処理を参考にし、物理洗浄間隔は 4 hr を基本とした。CEB（化学的強化逆洗）は月 1 回程度実施し、物理洗浄により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へ注入し、10-20 分間接触させた⁷⁾。後オゾン注入は、処理水溶存オゾン濃度が 0.12 mg/L になるように制御した。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 分）を適用した。また、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 処理水の水质分析を行った。

3. 結果と考察
 3.1 異常時（処理量変更や設備故障）における膜ろ過性
 3.1.1 処理水量変更調査（2017 年 1 月 12 日実施）

外水氾濫や水質事故等による浄水処理の緊急停止、給水計画変更による他の浄水場へのバックアップ造水や、他浄水場からの受水など、水需要に柔軟に対応した処理水量の確保が必要である。一方、現行急速ろ過の運用では、処理水量の変更幅に上限があり、スロースタート、スロースタートの実施等、処理水量変更時は、特に留意が必要となってくる。そこで、膜ろ過では運転条件変更による膜ろ過差圧と処理水濁度への影響を調査した。調査は、膜ろ過流束 $5\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ で 20 分間運転させ

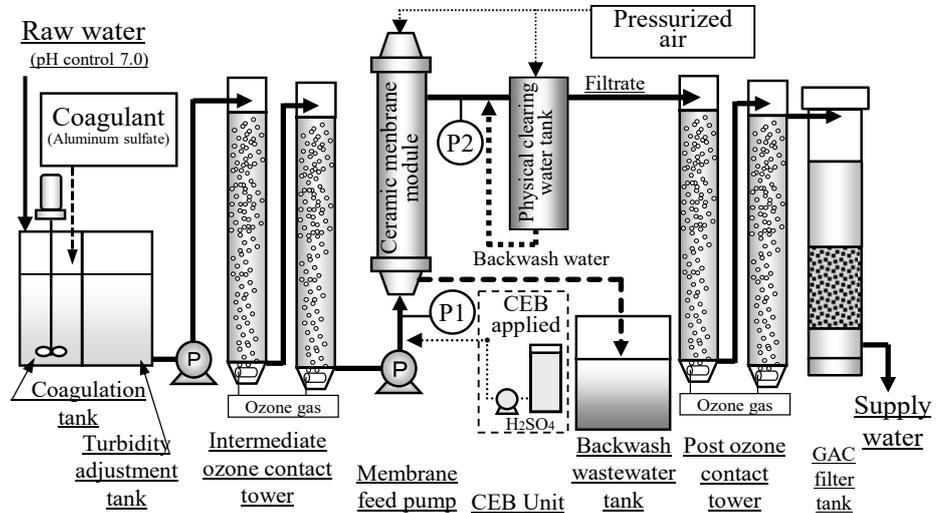


Fig.1 Experiment system

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	$\geq 35\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 100 kPa at 25°C

Table 2 Experiment conditions

Intermediate ozone	
ozone dosage	0.3 - 1.1 mg/L
contact time	10, 5.0 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	$1.0 \leftrightarrow 5.0, 6.3, 7.0\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$
Physical cleaning	
time intervals	4.0 hr
pressure	Combined backwash: <450 kPa and Air blow: <200 kPa

3. 結果と考察

3.1 異常時（処理量変更や設備故障）における膜ろ過性

3.1.1 処理水量変更調査（2017 年 1 月 12 日実施）

外水氾濫や水質事故等による浄水処理の緊急停止、給水計画変更による他の浄水場へのバックアップ造水や、他浄水場からの受水など、水需要に柔軟に対応した処理水量の確保が必要である。一方、現行急速ろ過の運用では、処理水量の変更幅に上限があり、スロースタート、スロースタートの実施等、処理水量変更時は、特に留意が必要となってくる。そこで、膜ろ過では運転条件変更による膜ろ過差圧と処理水濁度への影響を調査した。調査は、膜ろ過流束 $5\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ で 20 分間運転させ

た後、 $1\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ まで低下させて5分間膜ろ過運転を行った。その後、再び膜ろ過流束を $5\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ に戻し膜ろ過を継続させた。その結果、膜ろ過差圧は膜ろ過流束の低下に伴い、 25.7kPa から 5.1kPa に低下し、元の流束での再運転後は 25.7kPa に戻り、水量変動に伴う膜ろ過差圧の悪化は認められなかった。また、その後連続運転で膜ろ過を継続しても、特に異常は認められず、安定した膜ろ過性を確認した⁸⁾。

3.1.2 設備故障（停電・凝集剤）影響調査（2016年10月20日実施）

膜ろ過設備の運用性確認のため、設備故障を想定した調査を行った。停電調査は、膜ろ過流束 $5\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ で1時間膜ろ過を継続した後、連続実験に関わる全て機器類を瞬時に停止し、10分間放置した。その後復電させ、全ての機器を同時に稼働し、膜ろ過流束 $5\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ にて運転を再開した。また、薬品注入設備等の故障を想定し、凝集剤（硫酸バンド）の未注入および過注入について検証した。未注入調査は、膜ろ過開始から60分間経過後、膜ろ過を継続したまま凝集剤注入を停止し、その後2時間膜ろ過を継続し、物理洗浄を実施した。また、過注入調査は膜ろ過を継続したまま凝集剤注入率を 200mg/L とし、凝集剤注入増加から2時間後に物理洗浄を実施した。なお、調査項目は、オンラインにより膜ろ過差圧を計測するとともに、実験中の膜ろ過水中の濁度を測定した。

その結果、停電調査（10分間）では、復電後の膜ろ過開始の処理水質および膜ろ過差圧に異常はなかった。薬品注入設備故障時想定実験の凝集剤未注入では、膜ろ過バッチ間の膜ろ過差圧上昇は 9.4kPa/hr で通常時 1.6kPa/hr の6倍近く上昇した。一方、凝集剤注入率 200mg/L の過注入条件では、凝集 pH の低下が認められたが運転状況に問題はなかった。なお、いずれの実験後も物理洗浄により膜ろ過差圧は回復し、通常運転を開始することができた。また、膜ろ過水濁度は **Table 3** に示すように処理水質は問題とならなかった⁸⁾。

Table 3 設備故障影響調査時の処理水質

	膜ろ過水濁度（度）
通常時	0.003
停電時	0.007
凝集剤未注入時	0.005
凝集剤過注入時	0.008

3.2 長期実証実験結果（実験期間：2018年5月～2021年4月）

中オゾン注入率と膜モジュール流入溶存オゾン濃度を **Fig.3** に示す。膜ろ過差圧の回復に必要な最大オゾン注入率は2018年 1.5mg/L であった。その後、CEB頻度の適正化により、2021年 0.9mg/L まで低減、現行の中オゾン注入率と同程度となり、既設オゾンナイザー容量のまま本膜ろ過技術の適用が可能であることが示唆された。長期膜ろ過実証実験における膜ろ過差圧の挙動を次項 **Fig.4** に示す。シンボル○は実膜ろ過差圧、◇はCEBを実施した日を示している。2018年5月から2020年3月末までの2年間を膜ろ過流束 $7\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ で運転した。この2年間の運転によりトータルシステムを確立できたと判断し、実施設での運用を念頭に $6.3\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ での実証実験を2020年3月から継続した。その結果、通常の膜ろ過処理に比べて高い膜ろ過流束でありながら、3年間にわたって膜ろ過差圧の変動は $15\text{-}80\text{kPa}$ で推移し、安定した膜ろ過運転を行うことができた。また、実証期間中、 80kPa を超えた期間があるが、いずれもCEBによって膜ろ過差圧を 30kPa 程度まで回復できることを確認した。

これら長期実証実験結果から、オゾン注入率の低減と低い膜ろ過動力費により、膜ろ過処理における浄水コスト削減が可能であると示唆された。

4. まとめ

本研究では、淀川河川水を用いた凝集・オゾン前処理の膜ろ過技術適用性について、異常時を想定した調査と長期実証実験を行った。その結果、運転性や水質に問題無く、CEB適用などの運転条件の最適化によって、膜ろ過処理における浄水コスト削減が可能であることがわかった。

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ききたい。

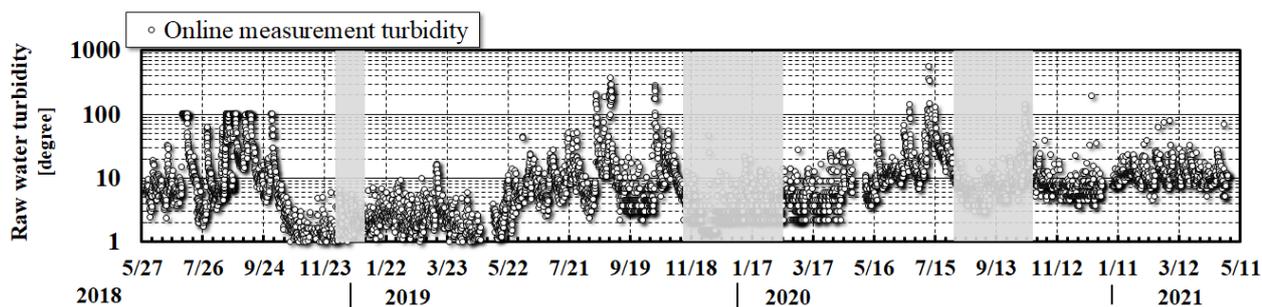


Fig.2 Changes in raw water turbidity (Online measurement)

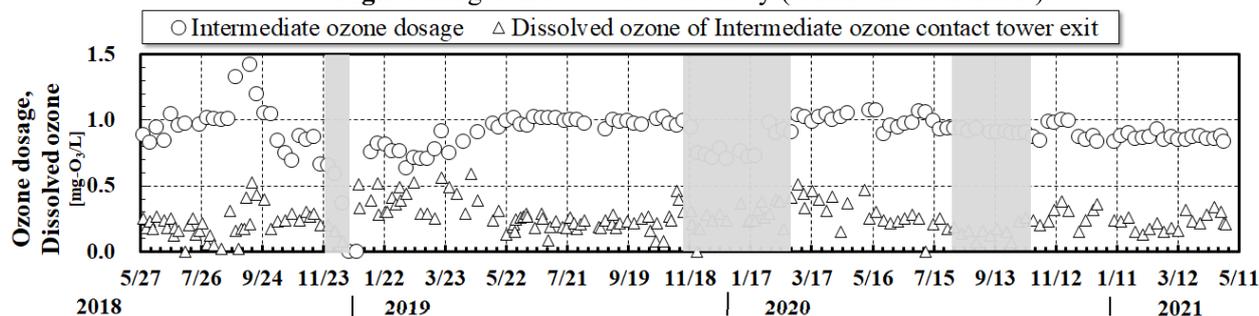


Fig.3 Changes in ozone dosage and dissolved ozone

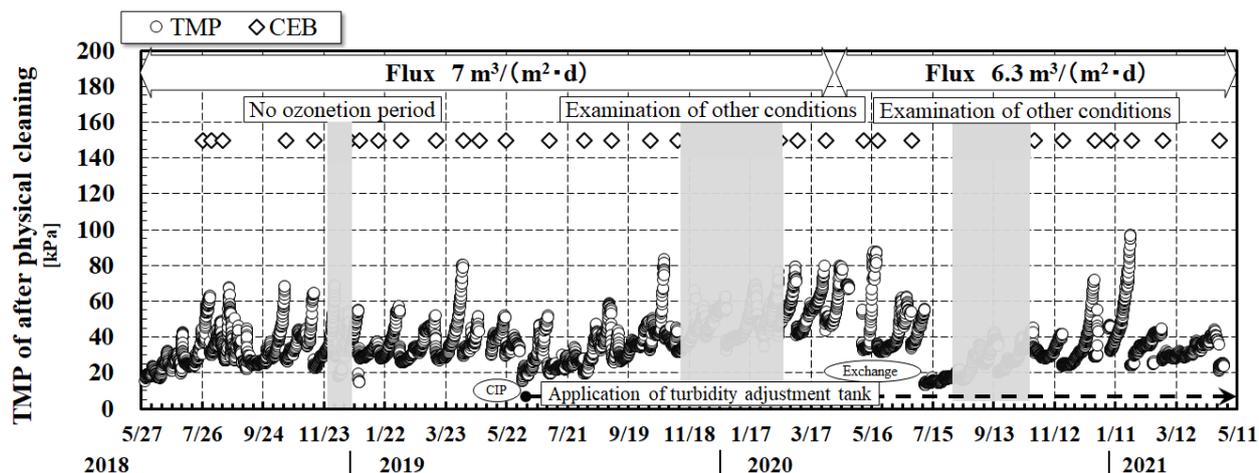


Fig.4 Changes in transmembrane pressure

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, 青木伸浩: 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), 第30回日本オゾン協会年次研究講演会 講演集, pp.65-68 (2021)
- 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, 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)
- 6) 米川均: 浄水処理用モノリス型セラミック膜システムのろ過特性に関する研究, 学位論文 北海道大学 (2005)
- 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)
- 8) 中村菜美子, 船橋康史, 田川克弘, 村田直樹, 山本崇史: 淀川を原水とする膜ろ過技術適用性に関する共同研究, 水道協会雑誌, 第90巻3号, pp.11-27 (2021)