

〈研究発表〉

淀川へのセラミック膜ろ過技術の適応研究 (IV)

村田直樹¹⁾, 青木伸浩²⁾, 本山信行³⁾

¹⁾メタウォーター(株) 事業戦略本部 R&D センター 環境技術開発部 膜技術開発グループ
(〒451-0045 名古屋市西区名駅二丁目27番8号 名古屋プライムセントラルタワー
E-mail: murata-naoki@metawater.co.jp)

²⁾メタウォーター(株) 事業戦略本部 R&D センター 環境技術開発部
(〒101-0041 東京都千代田区神田須田町1-25 E-mail: aoki-nobuhiro@metawater.co.jp)

³⁾メタウォーター(株) 事業戦略本部 R&D センター
(〒101-0041 東京都千代田区神田須田町1-25 E-mail: motoyama-nobuyuki@metawater.co.jp)

概要

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験を実施した。

その結果、膜ろ過流束 $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ を超える高い膜ろ過流束で二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。

キーワード：有機物、オゾン、膜、ファウリング、バイオポリマー

原稿受付 2019.7.11

EICA: 24(2・3) 88-91

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、オゾン、活性炭吸着等の高度浄水処理の導入が進められ効果を上げている¹⁾。しかし、現行処理施設は老朽化による更新時期が迎えており、給水量の減少に伴う収入減、保有高度浄水施設の有効活用、将来を見据えた処理技術の選択(現行処理の踏襲もしくは新技術導入)等の様々な問題を抱えているのが現状である。その処理技術の一つとして膜ろ過処理が挙げられるが、安心・安全な浄水処理施設として導入され、かつ、長期間安定して運用するためには、膜ろ過ユニット数および動力費の削減、いわゆるイニシャルおよびランニングコストの低減が重要な課題である。

そのような中、大阪市水道局とメタウォーター(株)は、現有高度処理施設(オゾン接触池・GAC吸着池)の有効活用を念頭に、現行処理施設(凝集沈殿池・急速ろ過池)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ことを目的として2015年度から共同研究を進めている。大阪市水道局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るため、膜ろ過技術の研究や導入実績が少ないのが現状である。これまで筆者らは、昨年度の本研究発表会で報告した「淀川原水へのセラミック膜ろ過技術の適応研究(Ⅲ)」³⁾をはじめ、ポリ塩化アルミニウムを用いたオゾン+凝

集処理による膜ろ過実験検証⁴⁻⁶⁾、硫酸アルミニウム(以下、硫酸ばんどとする)を用いた凝集+オゾン処理による膜前処理適用性検証⁷⁻⁸⁾を報告し、小型および大型セラミック膜を用いた実験検証によって、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。

本報では、前・後段にオゾン処理を配置した大型セラミック膜ろ過装置を用い、コスト低減が可能な高流束かつ低膜差圧膜ろ過処理システムの構築を目指して、二年以上にわたって実施した実証実験結果について報告する。

2. 実験方法および装置

2.1 供試原水

淀川を水源としている大阪市水道局柴島浄水場の着水井でpH 7.0に調整された原水を本実験に使用した。

2.2 セラミック膜

実験にはFig. 1に示す膜構造を持つセラミック膜を用いた。セラミック膜はセラミック粒子を焼結させた多孔質体で、中間層の上に分離層を焼結させた膜厚方向の構造が異なる非対称膜である⁹⁾。膜表面(原水側)に分離層を有し、それ以外はほとんど分離に寄与しない多孔質の支持層にすることで通水抵抗を下げている⁹⁾。セラミック膜の仕様をTable 1に示す。表に示すように、純水透過性能が高いため、低動力での膜

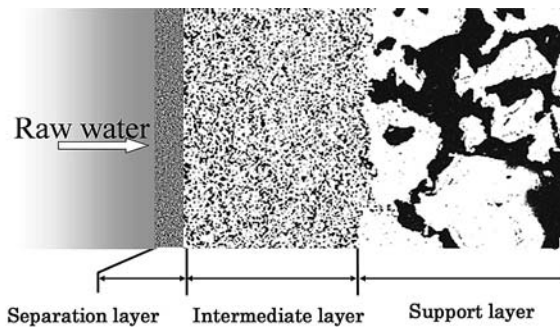


Fig. 1 Cross-sectional structure of ceramic membrane

Table 1 Membrane specifications

Membrane type	Ceramic MF
Nominal pore size	0.1 μm
Diameter/Length	φ180 mm/1000 mm
Channels per membrane	2000 channels
Channel diameter	2.5 mm
Membrane area	15 m ²
Pure water flux	40 ≤ m ³ / (m ² · d), 100 kPa at 25 °C

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工程により、圧密化された濁質成分や藻類などを効率良く剥離、膜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することができる。

2.3 実験フローおよび条件

実験は、既往の研究結果³⁾から現行処理の中オゾン施設を膜の前段処理として活用できるよう配置した Fig. 2 に示す実験フローで実施した。図に示すように実証実験装置は、凝集槽、オゾン接触槽、セラミック膜モジュール、物理洗浄水槽等から構成されている。

連続実証実験は、硫酸ばんどを用いて淀川原水を凝集処理し（沈殿処理工程なし）、凝集水全量の中オゾ

ン接触塔でオゾン処理し、形成したマイクロフロックを膜モジュールへ供給して全量膜ろ過処理を行った。オゾン注入は、膜ろ過水中の残存オゾンが、後オゾン接触槽へ流入することで、後オゾン注入率の削減を期待した中オゾン処理での一括注入と、現行処理と同様な中・後オゾン注入の二段注入を行った。中オゾン注入率は、(1) 一括注入 0.6-2.0 mg/L, (2) 二段注入 0.4-1.3 mg/L とした。また、後オゾン注入率は、(1) 溶存オゾン濃度制御無し, (2) 溶存オゾン濃度 0.12 mg/L 制御有り（注入率 0-0.4 mg/L）とした。オゾン注入率の評価は、中オゾンおよび後オゾン注入率を合算した総オゾン注入率とした。

物理洗浄は所定の間隔で行い、膜ろ過水による逆圧逆流洗浄とエアブローを実施して、長期的な膜ろ過差圧の推移を評価した。なお、実証実験条件は Table 2 に示す条件で行い、凝集剤および中オゾン注入率は、現行処理（柴島浄水場）の注入率を参考に調整した。なお、化学的強化逆洗¹⁰⁾ (Chemically Enhanced Backwashing, 以下 CEB) の適用頻度は、2018 年 9 月

Table 2 Experiment conditions

Intermediate ozone dosage	(1) Bulk dose trial ; 0.6-2.0 mg/L (2) Division dose trial ; 0.4-1.3 mg/L
Intermediate ozone contact time	≤ 5.0 min
Post ozone dosage	(1) No control ; 0 mg/L (2) Control ; 0-0.4 mg/L
Post ozone contact time	10 min
Kind of coagulant	Aluminum sulfate Al ₂ O ₃ -8 %
Coagulant dosage	26-50 mg/L
Flux	6.0, 6.3, 7.0 m ³ / (m ² · d)
Physical cleaning time intervals	4.0 Hr
Physical cleaning pressure	Combined backwash : < 500 kPa and Air blow : < 200 kPa

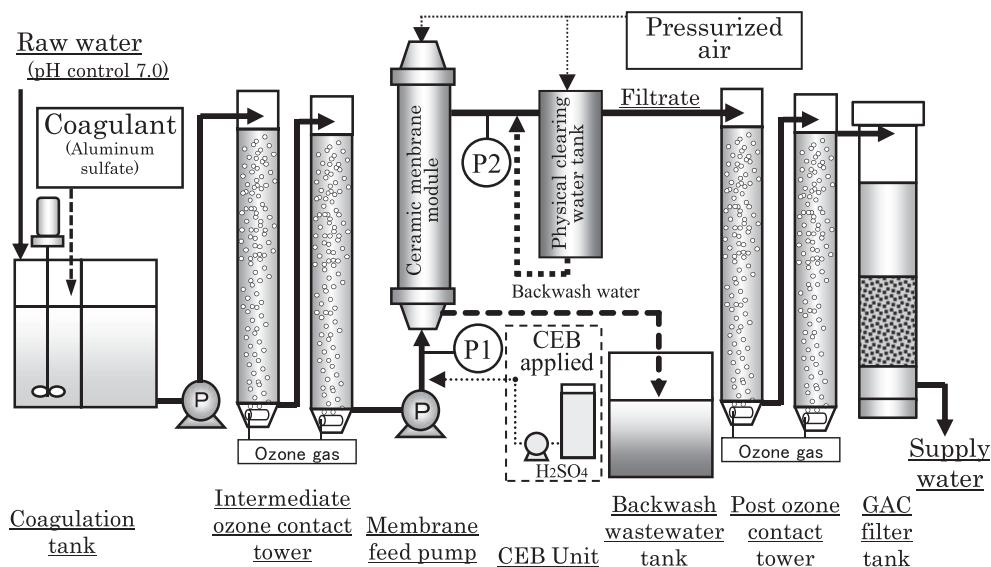


Fig. 2 Experiment system

までは膜差圧 80 kPa 程度に達した時点, 2018 年 10 月以降は月 1 回を目安に実施した。CEB 工程は, 希硫酸を pH 2 以下に調整し, 膜モジュール内の原水側 (一次側) 膜表面に接触させ 10 min 浸漬, 物理洗浄により硫酸をモジュール外に排出した¹¹⁾。

3. 結果と考察

2016 年 9 月より膜ろ過流束 $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ で開始し, 2017 年 6 月より $6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ に, 2018 年 3 月末より $7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ に増束, 実証実験を継続している。Fig. 3-5 に 2017 年 6 月からの実証実験結果を示した。

3.1 CEB と膜ろ過差圧

2017 年 6 月からの原水濁度 (オンライン計測) を Fig. 3, 物理洗浄後膜差圧 (25°C 水温補正) の推移を Fig. 4 に示した。Fig. 4 中の CIP ①-③は薬品洗浄, ①-⑧, ⑩-⑫, ⑯-⑳は CEB 適用, ⑨は中オゾン注入率の短期的な強化による膜差圧回復効果を示している。特に, CEB を月 1 回定期的に実施した 2018 年 10 月以降は, $7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ にもかかわらず, 中オゾン注入率 1.0 mg/L 以下において, 低い膜差圧で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,

CEB 適用することで低い膜差圧を維持しつつ, オゾン注入率も低減できるため, 総合的なコスト削減が可能であると示唆された。なお, 薬品洗浄における膜透過性能の回復は, 3 回とも概ね薬洗前 (使用後) 27%, 硫酸洗浄後 70%, 次亜洗浄後 100% であった。

3.2 中・後オゾン注入率と溶存オゾン

Fig. 5 にオゾン注入率および溶存オゾン濃度の推移を示した。中オゾン処理でのオゾン一括注入実験のため, 中オゾン注入率 1.5 mg/L を超える運転を 2017 年 9 月まで実施したが, 後オゾン処理水では検出されなかった。一方, 2017 年 10 月から 2018 年 3 月まで, 中オゾン注入率 1.0 mg/L 以下で, 後オゾン処理水中に溶存オゾンが検出され, 2018 年 4 月以降は再び検出されなくなった。これは, 水温による溶存オゾンの残留性の違いと薬品洗浄効果 (CIP ③) によるものと考えている。二段注入実験は 2018 年 7 月から開始し, 中オゾン注入率は 2017 年 7 月期に比べ $2/3$ 程度低下させた 1.0 mg/L で行った。後オゾン処理のオゾン注入制御は, 後オゾン処理水中の溶存オゾン濃度が 0.12 mg/L になるように行った。

図中の◇は溶存オゾン濃度制御に必要な後オゾン注入率を表している。2018 年 9 月まで膜ろ過水の溶存オゾン濃度が低いためか, 後オゾン注入率は

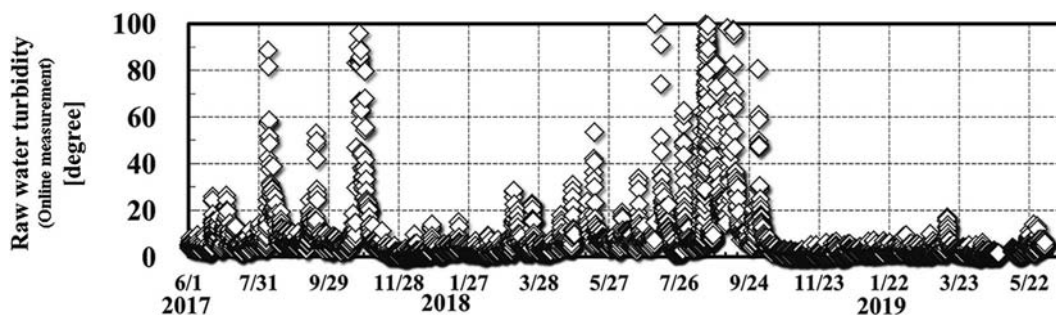


Fig. 3 Changes in raw water turbidity (Online measurement)

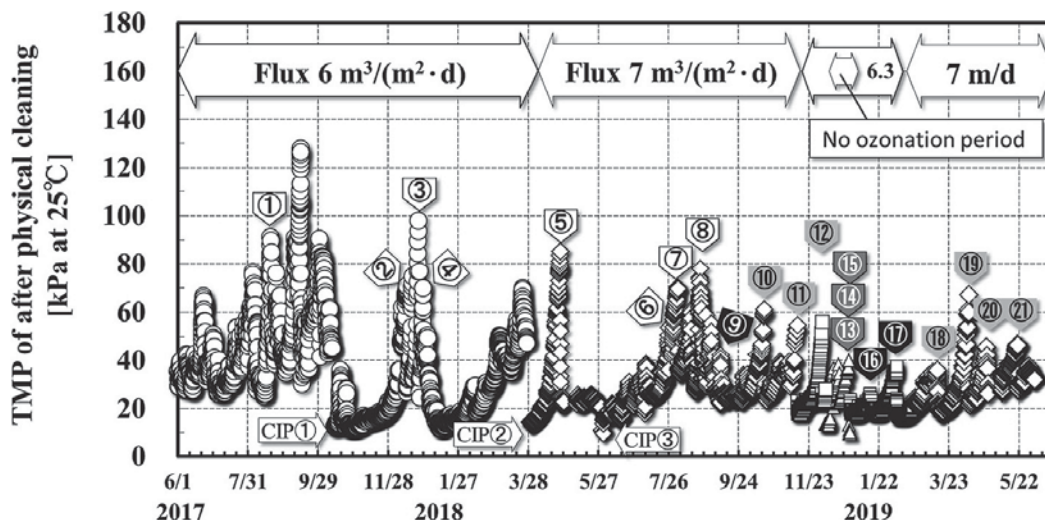


Fig. 4 Changes in transmembrane pressure

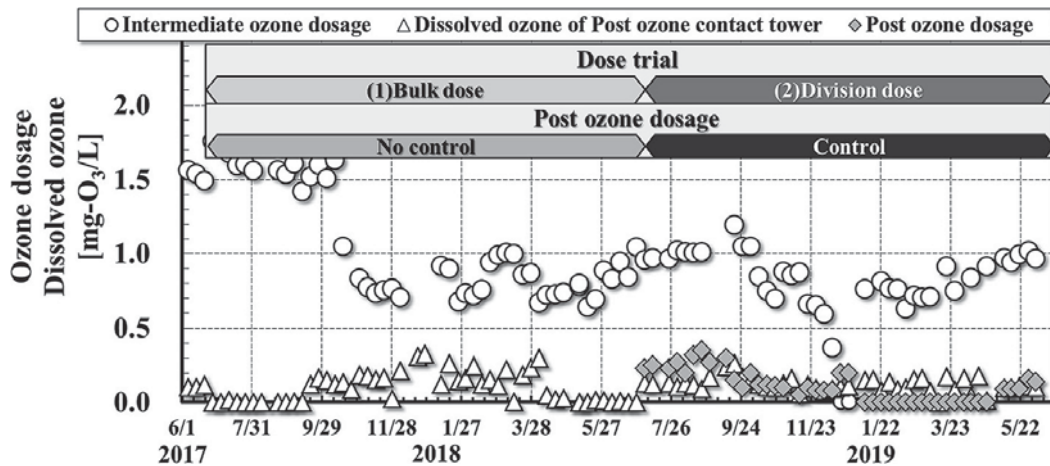


Fig. 5 Changes in ozone dosage and dissolved ozone

0.3-0.4 mg/L 程度必要であったが、2018年10月から後オゾン処理水中の溶存オゾン濃度の増加に伴い、後オゾン注入率は低下した。

これらの結果を処理水中の溶存オゾンが検出されにくい夏期と比較すると、総オゾン注入率は、一括注入で 1.6 mg/L、二段注入で 1.35 (中 1.0+後 0.35) mg/L 程度となり、二段注入の方が総オゾン使用量を削減できることがわかった。

4. おわりに

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、二年以上に渡って連続実験検証を行った。その結果、CEBを適用することで、高流束で低い膜差圧を維持し、オゾン注入率も低減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。

今後は、水質異常時における安定化手法の確立と実証実験を進めるとともに、現行の高度処理(後オゾン・粒状活性炭処理)を活用した実験検証を行い、トータルシステムとしての適用可能性の評価等を進めていく。また、維持管理性も含めたより総合的なコスト評価を行い、最適な導入技術として向上させていきたいと考えている。

謝辞

本研究は、大阪市水道局とメタウォーター(株)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) 木村克輝，羽根康史，渡部義公：河川水UF膜ろ過における不可逆的膜ファウリングに及ぼす前凝集沈殿の影響，土木学会第58回年次学術講演会講演集，pp.249-250，(2003)
- 3) 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(Ⅲ)，環境システム計測制御学会誌23(2/3)，pp.25-29，(2018)
- 4) 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)
- 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)
- 6) 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)
- 7) 村田直樹，山口太秀，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，日本オゾン協会第26回年次研究講演会講演集，pp.73-76，(2017)
- 8) 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)
- 9) 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，p.12，(2005)
- 10) 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)