

## 〈研究発表〉

## 淀川へのセラミック膜ろ過技術の適応研究(Ⅲ)

村田直樹<sup>1)</sup>, 本山信行<sup>2)</sup>, 青木伸浩<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>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 上水技術開発グループ  
 (〒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)

<sup>2)</sup>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)

<sup>3)</sup>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)

## 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証実験を実施した。その結果、膜ろ過流束  $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  以上の高い膜ろ過流束で足かけ二年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 2018.7.10

EICA: 23(2・3) 25-29

## 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<sup>1)</sup>。一方、現行施設(凝集沈殿池や急速ろ過池)は老朽化を迎えており、施設更新の検討では、今後の給水量の減少量を見据え、導入した高度浄水処理施設の活用と更新処理施設との適合性を踏まえる必要がある。現行処理の代替更新の一つとして  $100,000 \text{ m}^3/\text{d}$  を超える大規模浄水場に導入されている膜ろ過技術が挙げられるが、長期間安定的な浄水施設として運用を行うためには、不可逆的膜ファウリング<sup>2)</sup>を抑制する技術の構築が重要な課題である。

そこで、大阪市水道局とメタウォーター株式会社は、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開始した。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(Ⅱ)」<sup>3)</sup>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証実験<sup>4-6)</sup>、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<sup>7-8)</sup>を報告し、小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、実際の浄水場に納入されている大型セラミック膜を用い、膜ろ過流束  $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  以上の高い膜ろ過流束で足かけ二年に渡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

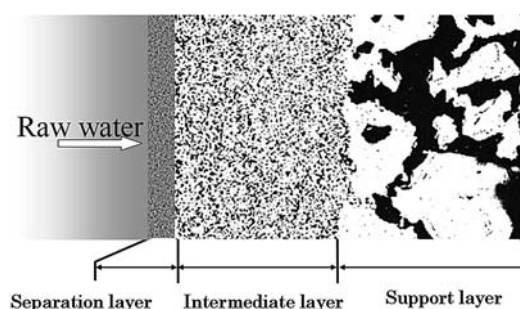


Fig. 1 セラミック膜の構造

Table 1 セラミック膜の仕様

形状・膜種	モノリス型・MF膜
公称孔径	0.1 $\mu\text{m}$
膜面積	15 $\text{m}^2$ /モジュール
外形・長さ	$\phi 180 \times 1000 \text{ mmL}$
純水透過性能	$45 \leq \text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ , 100 kPa at 25°C

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<sup>9)</sup>。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けている<sup>9)</sup>。また、支持層と分離層の間に中間層を設けて三層とする膜構造である理由は、粗い支持層の上に直接分離層を積層すると分離層厚さを均等にすることが難しくなることや積層時に分離層が被覆されない欠陥が生じることを避けるためである<sup>10)</sup>。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、低動力での膜ろ過処理が可能である。

あわせて、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<sup>3)</sup>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に配置した 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。

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）、凝集水全量を中オゾン接触塔でオゾン処理し、形成したマイクロフロクを膜モジュールへ供給して全量膜ろ過処理を行った。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

Table 2 実証実験条件

使用凝集剤	硫酸ばんど (8%)
凝集注入率	25-50 mg/L
中オゾン注入率	0.3-2.0 mg/L
オゾン接触時間	$\leq 5.0 \text{ min}$
膜ろ過流束	5.0, 6.0, 7.0 $\text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$
物理洗浄間隔	3.0, 4.0 Hr
物理洗浄圧力	逆圧洗浄: 500 kPa エアブロー: 200 kPa

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。また、膜ろ過状況に応じて化学的強化逆洗（Chemically Enhanced Backwashing, 以下 CEB とする）を適時実施した。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<sup>11)</sup>。

### 2.4 水質分析方法

原水および膜ろ過水の水質分析は上水試験方法に準じて行った。水源水質の植物プランクトン数は、滋賀県琵琶湖環境科学センター瀬田川プランクトン調査結果（HP 上に公開）<sup>12)</sup> を活用した。また、膜ファウリングと関連性が指摘されている原水中のバイオポリマー、フミン酸類の測定は、DOC-LABOR 社製の LC-OCD を使用した<sup>13-14)</sup>。

## 3. 結果と考察

### 3.1 長期膜ろ過実験結果

#### (1) CEB および中オゾンによる膜差圧回復効果

2016 年 9 月から 2018 年 6 月までの足かけ 2 年にわたるセラミック膜ろ過実験結果を Fig. 3 に示した。

「物理洗浄後の膜差圧」欄の①～⑨は CEB を実施した時期を示す。これらの中で、②はコンプレッサー異常による逆洗不良、③はオゾン発生器トラブルによ

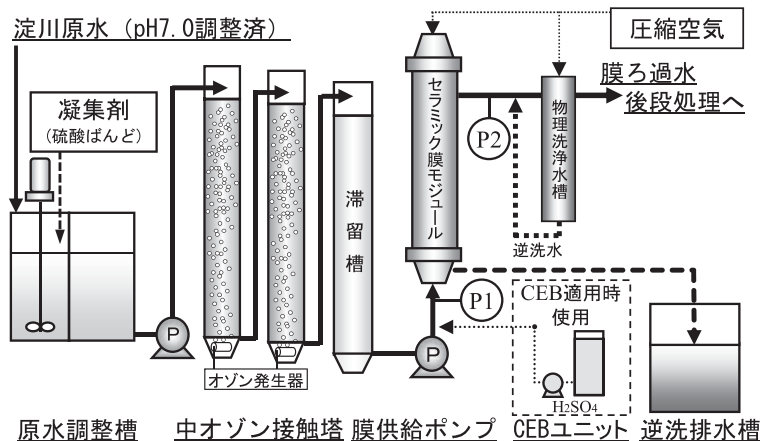


Fig. 2 実験フロー

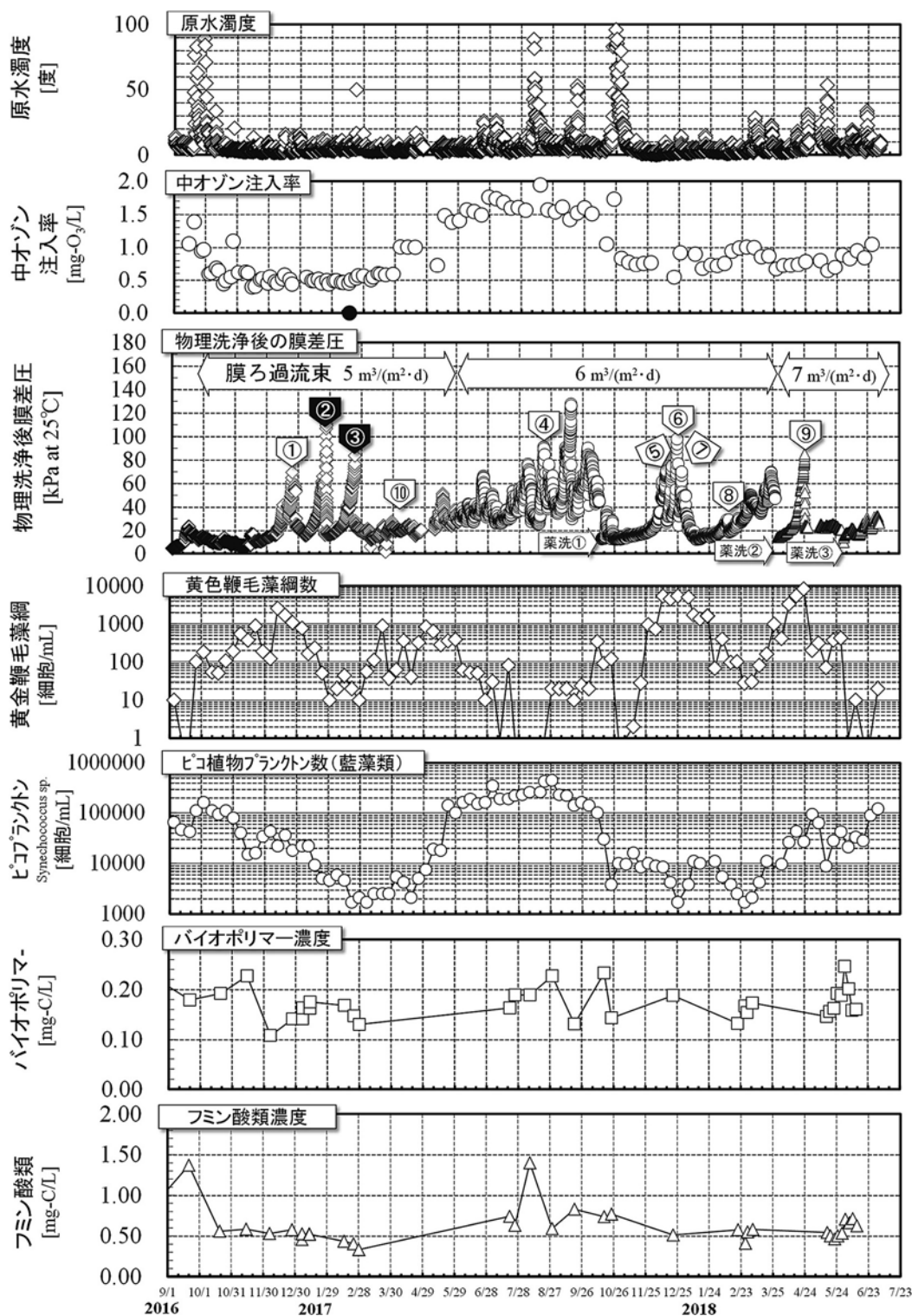


Fig. 3 セラミック膜ろ過実証実験結果

る中オゾン接触不良による急激な膜差圧上昇に伴った CEB 適用である。いずれの CEB 適用において膜差圧は、20~40 kPa 程度回復し、その後も膜ろ過継続に伴う物理洗浄で膜差圧は更に回復した。これは、CEB (硫酸) によって原水および凝集剤由来のファウリング原因物質が除去できたことや、CEB 洗浄によって、溶存オゾンがより効果的に膜面に接触できたため、洗浄効果が向上したと考えられる。また、図中⑩に示す 2017 年 2 月末から 4 月末の期間は、中オゾ

ン注入率の増加による膜差圧の回復と安定を示し、中オゾン注入率を適正に調整することによって、CEB および薬品洗浄を適用しなくとも安定した膜ろ過運転を継続できることを確認した。

2017 年 6 月から膜ろ過流束を  $6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  へ増加した。2017 年 10 月の薬品洗浄を実施するまでの間、原水濁度の上昇に伴い膜差圧も一時的に上昇する傾向が認められた。一方、上昇した膜差圧は、所定の物理洗浄間隔によって徐々に回復する傾向も示した。これ

は中オゾンによる膜面への洗浄効果と考えられる。図中⑤-⑧の膜差圧の低下は、 $6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ におけるCEB適用による膜差圧の回復を示している。

2018年3月末にさらに膜ろ過流束を増加し、 $7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ とした。図中⑨のCEB適用以降は安定した膜ろ過処理を継続している。

### (2) 植物プランクトンが膜差圧へ与える影響

②, ③以外の膜差圧上昇原因を明らかにするため、水源および原水の調査を行った。その結果、黄色鞭毛藻綱が急激に発生した時期と、膜差圧が上昇した時期が重なっており、黄色鞭毛藻綱数が1,000細胞/mLを超える時期が膜差圧に影響を与えていることが示唆された。また、ピコプランクトンは夏季増加し、100,000細胞/mLを超える時期が5ヶ月程度継続したが、膜差圧上昇への与える影響は黄色鞭毛藻綱よりも小さいと示唆された。

### (3) バイオポリマー・フミン酸類が膜差圧に与える影響

バイオポリマー濃度は0.1-0.25 mg/Lの範囲で推移したが、本実験検証の中では、植物プランクトンによる影響の方が大きいと示唆された。

### (4) 中オゾン注入率が膜差圧に与える影響

2017年10月以降、薬品洗浄①によって運転膜差圧は低くなり、中オゾン注入率0.5-1.0 mg- $\text{O}_3$ /Lの範囲において安定した膜ろ過処理が可能であることを確認した。これにより、運転膜差圧を低く維持することでオゾン注入率や動力費が低減でき、総合的なコスト(イニシャル, ランニング)の削減が可能と考えられる。

## 3.2 薬品洗浄結果

薬品洗浄を実施する膜差圧100-150 kPaに達していないが、回復性確認のため、2017年10月(薬洗①)、2018年3月(薬洗②)、2018年5月(薬洗③)に薬品洗浄を実施した。Table 3に薬品洗浄結果を示す。表に示すように完全に回復している。

## 4. おわりに

本研究では、大型セラミック膜を用いて淀川原水を足かけ二年に渡って実施した連続膜ろ過実験検証を行った。その結果、装置トラブルや藻類増加などの異常時において、化学的強化逆洗(CEB)と中オゾン

処理によって、高流束運転時でも安定したセラミック膜ろ過処理の適用が可能であることを明らかにすることができた。一方、藻類発生時、膜ろ過処理ではCEB以外特別な対応は行っていないが、現行処理では凝集剤の強化やろ過時間の短縮等が確認されている。そのため、膜ろ過技術の適用にあたっては、水源水質の変化や気候変動を見据え、現行処理との運転性等、更なる比較検証が必要であると考えられる。

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式会社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(Ⅱ)。環境システム計測制御学会誌 22(2/3), pp. 20-26, (2017)
- 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

Table 3 薬品洗浄結果

	膜透過性能 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 100 kPa, at 25°C			
	実験開始時 (2016年9月)	使用后 (薬洗前)	硫酸洗浄後 0.1 mol/L, 15Hr	次亜塩素酸 ナトリウム洗浄後 3000 mg/L, 15Hr
薬洗① (2017年10月実施)	48.4	13.3	34.7	48.5
薬洗② (2018年3月実施)		12.5	46.0	48.5
薬洗③ (2018年5月実施)		34.3	45.0	48.1

- 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. pp.12, (2005)
- 10) 技報堂出版: 浄水膜(第2版). pp.65
- 11) 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)
- 12) 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター ホームページ: <http://www.pref.shiga.lg.jp/d/biwako-kankyo/lberi/index.html>
- 13) 田中健, 木村克輝, 渡部義公: 膜ファウリングの発生と水道原水中バイオポリマー濃度の相関. 第48回日本水環境学会年会講演集. p.89, (2014)
- 14) 安藤菜子, 木村克輝: 水道原水中のバイオポリマー・ナノ粒子の凝集除去性. 第49回日本水環境学会年会講演集. p.380, (2015)