# 本山浄水場膜ろ過設備における膜交換サイクルの延長 - 簡易薬品洗浄方法の見直し-

Extension of the membrane replacement cycle of the membrane filtration equipment of the Motoyama water purification plant - Improvement of the chemical cleaning method -



中嶋友希子\* Yukiko Nakajima



田中裕大\* Yasuhiro Tanaka



晃彦\* Akihiko Sumi 技術士(上下水道部門)



三浦雅彦\* Masahiko Miura 農学博士



長谷川進\* Susumu Hasegawa Hideto Matsuyama 工学博士·技術士(上下水道部門)



工学博士

神戸市本山浄水場では、MF (Microfiltration) 膜ろ過設備を導入している。当初、オフサイト 洗浄+簡易薬品洗浄での運転を計画していたが、簡易薬品洗浄のみでの長期運転を目指すことと した。各種分析手法を用いたファウリング物質の特定や実モジュールの分解・膜評価、温度・薬 品濃度・時間等の洗浄条件がファウリング改善に及ぼす効果の検証を通じて、最適洗浄条件を確 立し、実機での運転に反映した。クエン酸洗浄と次亜塩素酸ナトリウム洗浄を組み合わせた改良 法により膜ろ過抵抗を低減し、膜交換サイクルを長期化することができ、膜ろ過抵抗シミュレー ション手法についても知見を得ることができた。

MF (microfiltration) membrane filtration equipment was installed in the Motoyama water purification plant in Kobe City. Initially, both offsite cleaning and simple chemical cleaning were planned, but the decision was made to reduce costs by performing simple chemical cleaning only. The fouling substances were identified using various analytical techniques as well as via decomposition of actual modules and membrane evaluation, and the effects of cleaning conditions such as temperature, chemical concentration, and time on chemical cleaning were examined. Subsequently, optimum cleaning conditions were established and reflected in the operation of the machines. The membrane filtration resistance was reduced by an improved method combining citric acid cleaning and sodium hypochlorite cleaning. The membrane replacement cycle was extended, and the membrane filtration resistance simulation technique was also obtained.

## Key Words:

净 水 Water purification ろ Microfiltration 膜ファウリング Membrane fouling 簡易薬品洗浄 Simple chemical cleaning 膜交換サイクル Membrane replacement cycle

## 【セールスポイント】

- ・クエン酸洗浄と次亜塩素酸ナトリウム洗浄を組み合わせた簡易薬品洗浄により.膜ファウリン グを軽減し、膜交換サイクルの長期化が可能。
- ・槽外洗浄設備を設置しにくい小規模設備において、オフサイト洗浄不要化が可能。

<sup>\*\*</sup>神戸大学先端膜工学研究センター

## まえがき

浄水施設への導入が進む膜ろ過法<sup>1)</sup> は、従来の 急速ろ過法と比べて省スペースであり、安定した処 理水質が得られるという長所を有する。浄水分野に おける膜ろ過では、MF 膜をはじめとする多孔膜を 用いるのが一般的である。

膜ろ過設備の運転における最大の課題は、運転に伴い発生する膜ファウリング(目詰まり)である<sup>2)</sup>。膜ファウリングへの対策としては、前処理や運転条件の最適化、洗浄方法の工夫などが挙げられる。洗浄方法については、一般的に、逆圧洗浄(以下、逆洗)やエアバブリングに代表される物理洗浄を定期的に実施し、物理洗浄で解消することができない膜ファウリングについては薬品洗浄で対応する。

本検討の対象とした本山浄水場は、2010年3月よ り供用を開始した。当設備は、処理量2 000 m³/d の 比較的小規模の設備であることから、膜モジュール の薬品洗浄はオフサイトとし、安定運転のためオン サイトの簡易薬品洗浄を適切に行う計画であった が、オフサイト洗浄の経費が高かったことから、経 費削減のため、オンサイト簡易薬品洗浄を主体とす ることに変更した。しかし、運転開始から3年目に 膜ろ過抵抗が急上昇したため、EEM (三次元励起 蛍光スペクトル)や LC-OCD(有機炭素検出型サイ ズ排除クロマトグラフ)によるファウリング物質の 特定や実モジュールの分解・評価3), 前処理として の生物接触ろ過の効果、単糸試験による薬品洗浄条 件の最適化等の検討を行い、本場に適した洗浄条件 を確立し. 膜ろ過抵抗上昇シミュレーション手法の 知見を得た4)。

## 1. 検証方法

### 1.1 対象設備

本検討で対象とした本山浄水場の処理フローを図 1に示す。住吉川表流水を水源とし、取水された原 水は、調整池を経由して生物接触ろ過(BCF®: Bio Contact Filter)、MF 膜ろ過が行われる。BCF は、臭 気やアンモニア性窒素の除去を目的として、前処理 として設置されている。

### 1.2 膜ろ過設備の運転条件

膜ろ過設備は 2 系列からなり、1 系は2016年夏季、2 系は2014年夏季に膜交換を行い、以降運転を継続している\*)。膜ろ過設備で使用している MF 膜は、外圧式中空糸膜(旭化成ケミカルズ製、材質:PVDF、公称孔径: $0.1~\mu$ m)である。主な運転条件は、ろ過流束1.9~m/d、洗浄は物理洗浄と簡易薬品洗浄を行っている。物理洗浄は、 $1~\Box/30$ 分の頻度で逆洗(5~mg/L 次亜塩素酸ナトリウム(以下、次亜)含む)+エアバブリングとなっている。

簡易薬品洗浄の方法を表1に示す。従来法は、2週間に1回のクエン酸洗浄である。次亜は有機ファウリングに効果があるのに対し、クエン酸は無機フ

頻度	1回/2週間
浸漬時間	13時間
薬品種	①クエン酸(0.3%)
	②次亜(500 mg/L)
従来法	①のみ サイクル: ①, ①, ①, ①, ①, ①.···
改良法	①と②を併用 サイクル:①,①,②,①,①,②…

表 1 簡易薬品洗浄方法

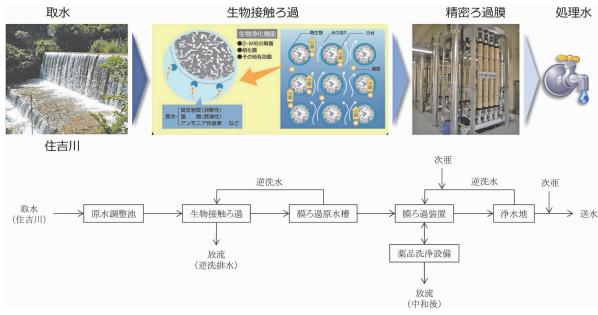


図1 本山浄水場の処理フロー

ァウリングに効果がある。本設備の物理洗浄では, 配管の殺菌を目的として洗浄水に次亜を注入してお り結果的に膜も次亜で洗浄されるため、有機ファウ リングの抑制が期待できる。このことから、簡易薬 品洗浄(従来法)では、無機ファウリング抑制を主 目的としてクエン酸洗浄を実施することとした。し かし、運転開始から3年目に膜ろ過抵抗が急上昇し たため、膜表面に付着するファウリング物質を分析 したところ、有機ファウリングの進行が明らかとな り、次亜洗浄を組み込む洗浄に変更した(改良法)。 各系列の洗浄履歴を表2に示す。

## 1.3 膜ファウリング進行の検証方法

膜ファウリングの指標としては膜間差圧が代表的 であるが、これは水温によって変化する。そこで、 水温の影響を排除し膜ファウリングの度合いをより 明確に表すため、下記式(1)にて算出される膜ろ 過抵抗を指標として用いた。

$$R = \Delta P / (\mu \cdot J) \qquad \cdots (1)$$

ここで、R: 膜ろ過抵抗  $[m^{-1}]$ 、 $\Delta P$ : 膜間差圧 [Pa].  $\mu$ : 粘度 [Pa·s], J: ろ過流速 [m/s] である。

### 1.4 膜ろ過抵抗のシミュレーション手法

膜ろ過抵抗シミュレーション手法の概念図を図2 に示す。各運転年ごとに、簡易薬品洗浄後の膜ろ過 抵抗 R<sub>base</sub> を線形近似で、日当たりの膜ろ過抵抗上 昇速度 r を指数近似で整理した。各運転年ごとの膜 ろ過抵抗 R の計算値は、下記式(2)にて求めた。

$$R = R_{\text{base}} + dr \qquad \cdots (2)$$

ここで,  $R_{\text{base}}$ : 簡易薬品洗浄後の膜ろ過抵抗  $[\mathbf{m}^{-1}]$ , d:薬品洗浄までの運転日数 [dav]. r: 膜ろ過上昇 速度  $[m^{-1}/day]$  であり、d=13である。

さらに,季節変動による膜ろ過抵抗の変化を表現 するために、各月ごとの関係式の係数は、膜ろ渦抵 抗がもっとも大きくなる2月と小さくなる8月にお ける係数を算出の上、線形で補完した値を用いた。

## 2. 検証結果および考察

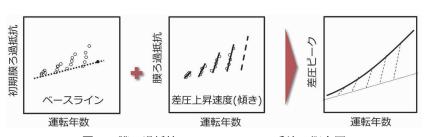
## 2.1 簡易薬品洗浄の改良法による効果

2系の運転状況を図3に示す。図中の着色部は. クエン酸洗浄と次亜洗浄を組み合わせた改良法を実 施している期間を示している。

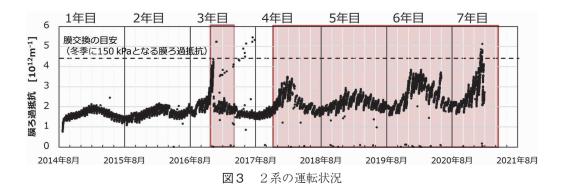
クエン酸洗浄のみ(従来法)で運転したところ, 3年目の2016年12月に膜ろ過抵抗が急上昇し、前述 の通り有機ファウリングを原因と特定し、洗浄方法 を改良法に変更した。これにより、膜ろ過抵抗は改 善した。4年目の膜ろ過抵抗は、冬季から改良法を 実施したことにより、急上昇することはなかった。 5年目の膜ろ過抵抗は、冬季の水温が例年より高い

系列 西暦 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2021 1系 2系 -->従来法 → 改良法

表2 各系列の簡易薬品洗浄履歴 (前回膜交換後以降)



膜ろ過抵抗シミュレーション手法の概念図



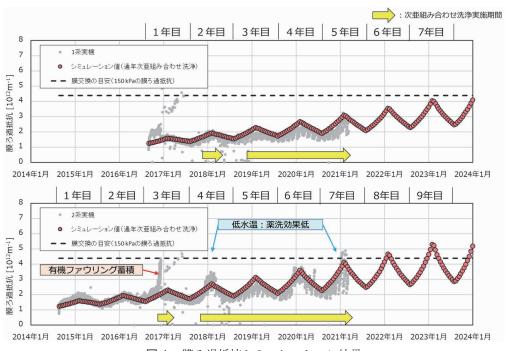


図4 膜ろ過抵抗シミュレーション結果

こともあり、4年目よりもさらに低く推移した。6年目の膜ろ過抵抗は、冬季は5年目より上昇しているが、膜交換の目安より低く推移した。7年目には、突発的な膜ろ過抵抗の上昇により、一時的に膜交換の目安を超えることがあった。これは、ファウリングが進んでいることに加え、冬季の水温が例年より低くなり(最低水温:例年4 $^{\circ}$ 程度に対して7年目 $^{\circ}$ 2 $^{\circ}$ 0,洗浄効果が低下したためと推察する $^{\circ}$ 0。洗浄間隔を一時的に短縮することで、ろ過流速を落とさずに運転を継続できた。

#### 2.2 膜ろ過抵抗上昇シミュレーション

1系および2系のシミュレーション結果を**図4**に示す。

1系/2系ともに、クエン酸洗浄と次亜洗浄を組み合わせた改良法により、十分に有機物を洗浄することで、膜交換サイクルが7年となることが示唆された。

1系では、これまでに膜ろ過抵抗が急上昇することなく運転を継続している。2系より1年早く改良法を実施しており、その効果によるものと推察する。膜ろ過抵抗上昇シミュレーションともよく一致した。

2系では、冬季において、急な大雨による無機物流入や低水温により洗浄効果が低下した際、一時的に膜ろ過抵抗がシミュレーション値を上回る現象がみられた。この突発時を除き、2系においても、膜ろ過抵抗上昇シミュレーションとよく一致した。

## むすび

有機/無機の複合的なファウリングが起こっている本山浄水場膜ろ過設備において、各種分析手法を用いたファウリング物質の特定や実モジュールの分解・膜評価、温度・薬品濃度・時間等の洗浄条件がファウリング改善に及ぼす効果の検証を通じて最適洗浄条件を確立し、実機での運転に反映した。

簡易薬品洗浄のみでの運用において、クエン酸洗浄と次亜洗浄を組み合わせた改良法により、膜ろ過抵抗を低減し、膜交換サイクルを長期化することができた。また、膜ろ過抵抗シミュレーション手法についても知見を得ることが出来た。引き続き、膜ろ過抵抗の推移を確認し、シミュレーション結果と照合していきたい。

最後に、本検証は、神戸市水道局、神戸大学との 共同研究として実施した。関係各位に深く感謝の意 を表します。

#### [参考文献]

- 1) 水道技術研究センター, http://www.jwrc-net.or.jp/jigyou/gijyutsu-shien.html
- 2) 中尾真一:日本海水学会誌, 62 (2008), p234-237
- 3) S. Hasegawa ほか: Water Supply, 19 (8) (2019), p2330-2337
- 4) 隅晃彦ほか: 令和3年度全国会議(水道研究発表会) 講演集, p278-279
- 5) 長谷川進ほか: 令和元年度全国会議(水道研究発表会) 講演集, p306-307
- \*) 2系は2021年春季まで運転継続後に膜を交換。