

膜ろ過とオゾン消毒の併用による 処理水再利用設備の導入

横浜市 ○中村 賢介

1. はじめに

横浜市環境創造局では中部水再生センターから都心臨海部へ下水再生水を供給する「都心臨海部下水再生水供給事業」を推進している。本事業は下水道事業者として、下水再生水を熱利用、トイレ洗浄用水、ヒートアイランド対策に寄与する修景用水（せせらぎ）などに有効利用することで、循環型社会の構築に貢献することを目指している。（図-1のとおり）

中部水再生センターでは 2020 年に供用開始予定の横浜市新市庁舎への再生水供給を目的として、処理水再利用設備の建設を行っている。再生水供給における処理方式としては従来、オゾン消毒設備が多く用いられているが、今回横浜市として初めて膜ろ過を用いた処理方式による処理水再利用設備を導入することから、導入に至る経緯や設備の概要、費用検討について報告する。

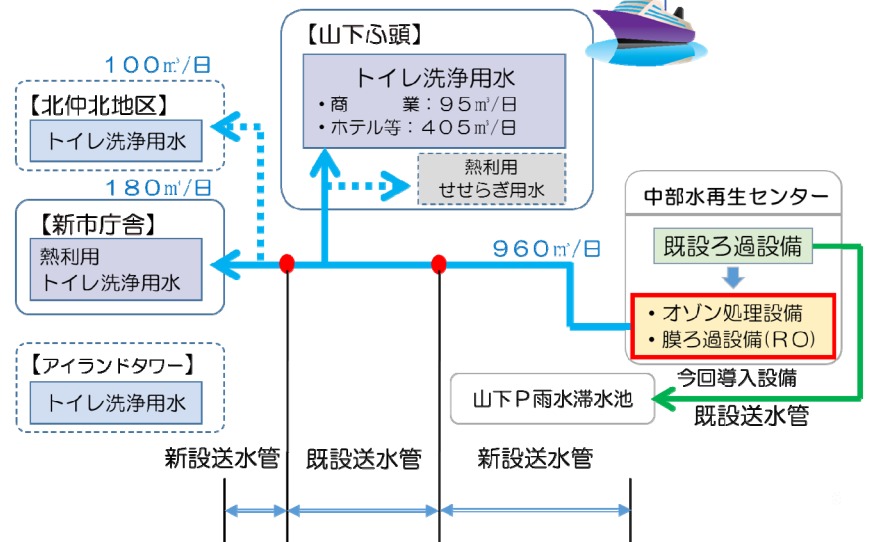


図-1 再生水供給イメージ

2. 導入の経緯

現在、港北、都筑、神奈川の3箇所の水再生センターにおいてオゾン消毒設備を用いて場外施設へ再生水の供給を行っている。今回、新市庁舎へ供給する再生水の原水は中部水再生センターの砂ろ過水を利用するが、この原水には塩化物イオンが多く含まれており、概ね 100~2800mg/L 程度の範囲で変動している。塩化物イオンは給水金具や衛生器具等を腐食させる可能性があることから、新市庁舎整備基準における再生水の水質基準では、塩化物イオン濃度は 600mg/L 以下と定められているが、従来方式のオゾン消毒設備では塩化物イオンを除去することはできない。塩化物イオンを除去し基準値を満足するためには膜ろ過設備による処理方式の導入が必要となった。（図-2及び図-3のとおり）

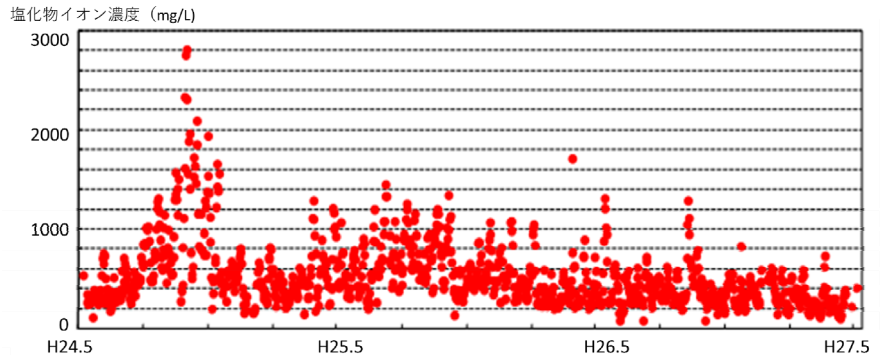


図-2 中部水再生センター処理水における塩化物イオン濃度の実績値

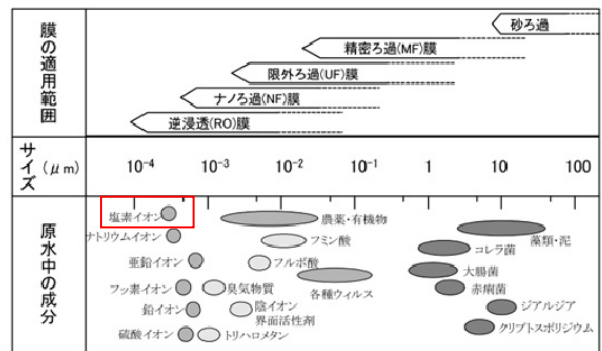


図-3 膜の種類と分離対象物質

3. 設備構成の検討

(1) 膜の選定

膜ろ過に使用される膜の種類としては通過粒径の大きさに応じて、精密ろ過（MF）膜、限外ろ過（UF）膜、ナノろ過（NF）膜、逆浸透（RO）膜などがある。今回、除去対象は塩化物イオンであり、原水中に含まれる溶解性物質の中でも最も小さい物質であることから、膜の中でも最も通過粒径の小さい逆浸透（RO）膜を導入する。

(2) 概略フロー

膜ろ過処理により、水質基準を満たす再生水の製造が可能となるが、膜ろ過設備は消費電力や薬品費、膜交換費用などによりオゾン消毒設備と比較して維持管理費が割高となる。

一方で原水である中部水再生センターの砂ろ過水の塩化物イオン濃度は図-2に見られるように常に変動しており、基準値を下回る時間帯においては膜ろ過処理が不要であるため、常時膜ろ過処理を行うのはコスト面でデメリットとなる。基準値を下回る時間帯はオゾン消毒処理を行い、基準値を超過する時間帯のみ膜ろ過処理を行うことでトータルコストの縮減が図られると想定した。

このことから設備構成として従来方式であるオゾン消毒方式と今回導入する膜ろ過方式の並列方式を立案した。フローを図-4に示す。

原水である砂ろ過水の塩化物イオン濃度をモニタリングし、基準値以下である場合はオゾン消毒処理、基準値を超過する場合は膜ろ過処理を行うことで膜ろ過設備の運転時間を抑制し、トータルコストの縮減を図った。

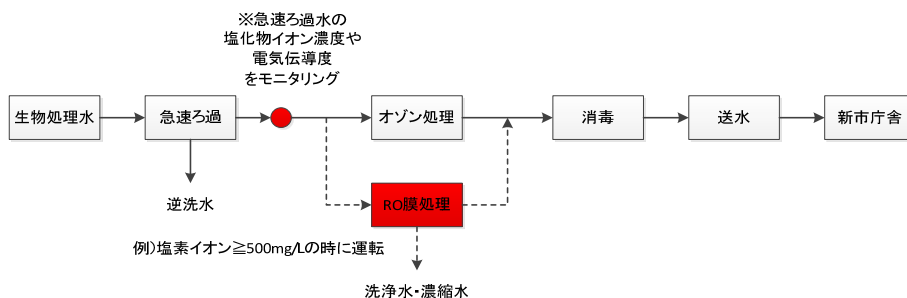


図-4 設備概略フロー

(3) 想定される運転時間割合の検討

オゾン消毒設備と膜ろ過設備の並列方式による導入効果を検証するため、中部水再生センター砂ろ過水に含まれる塩化物イオン濃度の実績値を基に、再生水の塩化物イオン濃度目標値を 500mg/L 以下として運転組み合わせごとに想定される運転時間割合を算出した。（表-1）

表-1 運転時間割合

運転の組合せ	O ₃ +O ₃	O ₃ +RO	RO+RO
砂ろ過水のCl ⁻ (mg/L)	<500	500~980	980<
運転時間割合	50%	38%	12%

原水の塩化物イオン濃度が 500mg/L の場合はオゾン消毒設備のみで処理を行い、501~980mg/L の場合はオゾン消毒設備と膜ろ過設備の併用、980mg/L を超過する場合は膜ろ過設備のみで処理を行うことで、再生水の塩化物イオン濃度としては目標値を満足することが可能となる。

表-2 複数系列と単数系列の比較

(4) 設備の系列数の検討
再生水の送水能力としては需要量を考慮して40m³/hr と設定しており、オゾン消毒設備及び膜ろ過設備それぞれ複数系列（20 m³/hr×2 系列）にした場合と単系列（40m³/hr×1 系列）にした場合について、比較検討を行った。表-2に比較結果を示す。

費用面においては単系列の方が建設費、維持管理費ともに安価となるが、機器の故障時や定期点検、修繕

ケース	20m ³ /h×2系列	40m ³ /h×1系列
費用	△ 系列数の増加により、設備工事費、維持管理費とも、単系列と比較して高くなる。	○ 2系列の場合と比較して機器点数が少なく、設備工事費、維持管理費とも抑制できる。
機器故障・修理時	○ 送水停止の確率：12%	△ 送水停止の確率：50%
機器配置	○ 1ユニットのサイズが小さいため、配置の自由度が高い。	△ 1ユニットのサイズが大きいため、狭小スペースに配置した場合に動線や膜交換作業スペース等の確保が困難。
総合評価	○	△

等により設備を停止した場合の送水停止のリスクとしては単系列の方が高くなる。また、限られた設置スペースに対して、単系列では機器1ユニットあたりのサイズが大きくなるため機器配置の自由度が低く、維持管理動線や膜モジュールの交換作業等に必要なスペースの確保が困難となる。

以上より再生水の安定供給性と維持管理スペース確保の観点から、複数系列とした。

4. 費用検討

前述の運転時間、系列数の検討を踏まえ、今回採用したオゾン消毒設備と膜ろ過設備の並列方式によるコスト削減効果を検証するため、ケース1（オゾン消毒設備 20 m³/hr×2 系列、膜ろ過設備 20 m³/hr×2 系列の場合）とケース2（膜ろ過設備 20 m³/hr×2 系列の場合）でコスト比較を行った。図-5 に比較結果を示す。

機械・電気設備の建設費についてはケース1の場合13億5千万円に対して、ケース2では8億3千万円でありケース2の方が安価であるが、前述の運転割合から算出した定期修繕費、消費電力費、消費薬品費等の維持管理費に関してはケース1では20年間で7億1千万円であるのに対し、ケース2では14億8千万円となりケース2の方が割高となる。これは膜ろ過設備の維持管理には定期的な膜モジュールの交換が必要であるほか、膜を透過させるための高圧ポンプの消費電力費、膜表面の付着物質の除去を目的とした定期洗浄に必要な薬品費などの影響があるためである。

比較検討の結果、トータルコストとしては約2億4千万円の縮減が見込まれることから、オゾン消毒設備と膜ろ過設備の併用方式を採用した。

5. 今後の予定

本設備については現在、機械・電気設備ともに機器の設計、製作を行っており今後現場据付工事を行っていく。平成31年9月には新市庁舎への送水を含めた総合試運転を実施する予定である。設計段階では過去の塩化物イオン濃度の実績値を基に運転割合を想定しコスト試算を行ったが、今後本格的に運用していく中でオゾン消毒設備と膜ろ過設備の切替頻度や塩化物イオン濃度設定値に関して検証を行い、より最適な運用方法を確立するとともに、さらなるコスト削減を図っていく。

また、再生水の供給先についても新市庁舎にとどまらず、他の有効利用先への供給も見据えて今後さらに拡大していく予定である。

参考文献：建築物における衛生的環境の確保に関する法律（建築物衛生法）

下水処理水の再利用水質基準等マニュアル（平成17年4月、国土交通省都市・地域整備局下水道部、国土交通省国土技術政策総合研究所）

水質別 給水金具仕様の選定ガイド（2017年7月、TOTO株式会社）

下水道膜処理技術導入のためのガイドライン【第2版】（平成23年3月、下水道膜処理技術会議）

問合わせ先：横浜市環境創造局 下水道施設部 下水道設備課

横浜市中区港町1-1 TEL:045-671-2852 E-mail:ks-setsubi@city.yokohama.jp

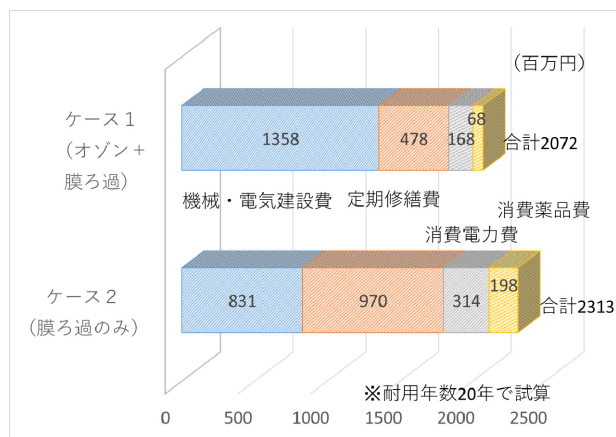


図-5 トータルコスト比較