

# 再生水製造におけるオゾン設備の最適制御に関する調査

## Survey on optimal control of ozone equipment in reclaimed water production

○鮎貝秀太郎 原品竜馬

\*：東京都下水道サービス株式会社

### 論文要旨

当再生水施設では、オゾン設備を使用し下水処理水から再生水を製造している。課題の1つは2系列あるオゾン設備が全体の消費電力の35%を占めていること。もう1つは必要なオゾン濃度を確保するため2系列目を追加運転すると、これが運転・停止を繰り返し安定しにくいことだった。オゾン設備の2系列目の運転開始方法と、オゾン注入制御を見直すことで、消費電力が5%削減でき、安定した運転が可能になった。

At this reclaimed water facility, reclaimed water is produced from sewage treated water using ozone equipment. One of the issues is that ozone equipment accounts for 35% of the total power consumption. The other was that when the second was additionally operated to secure the required ozone concentration, it was difficult to stabilize by repeating operation and stop. By reviewing the operation start method of the second of ozone equipment and ozone injection control, power consumption can be reduced by 5% and stable operation has become possible.

キーワード：再生水、オゾン設備、省エネルギー

### 1. はじめに

当再生水施設(生産能力 11,200m<sup>3</sup>/日)は東京都港区にある下水処理場の芝浦水再生センター内にあり、センターで処理した下水処理水をさらにきれいにし、主にトイレ用水として、品川・大崎・汐留・永田町・霞が関地区等のビルへ供給している。当社は東京都下水道局よりこの維持管理を受託している。

芝浦水再生センターは昭和6年(1931年)に運転開始され、合流式(汚水と雨水が混ざる)で、処理能力は830,000m<sup>3</sup>/日、対象区域は千代田・中央・港・新宿・渋谷区の大部分(図1)とその周辺の一部で処理面積は6,440haある。

都心が処理対象のため、計画処理人口の昼間は350万人、同夜間は88万人であり商業施設も多いため、昼と夜、平日と休日で水質や水量が大きく変わる。また降雨時には雨水が流入し、同センターへの下水量は急激に多くなり水質は薄くなる。処理する下水の量や水質が大きく変わるため安定した処理が難しく、再生水を製造するための原水である下水処理水の品質は不安定である。



図1 芝浦水再生センター配置図

## 2. 再生水設備について

再生水施設には本系（4,300m<sup>3</sup>/日）と東系（7,000m<sup>3</sup>/日）があるが、今回は東系のオゾン設備について説明する。東系再生水製造工程は図2のとおりである。

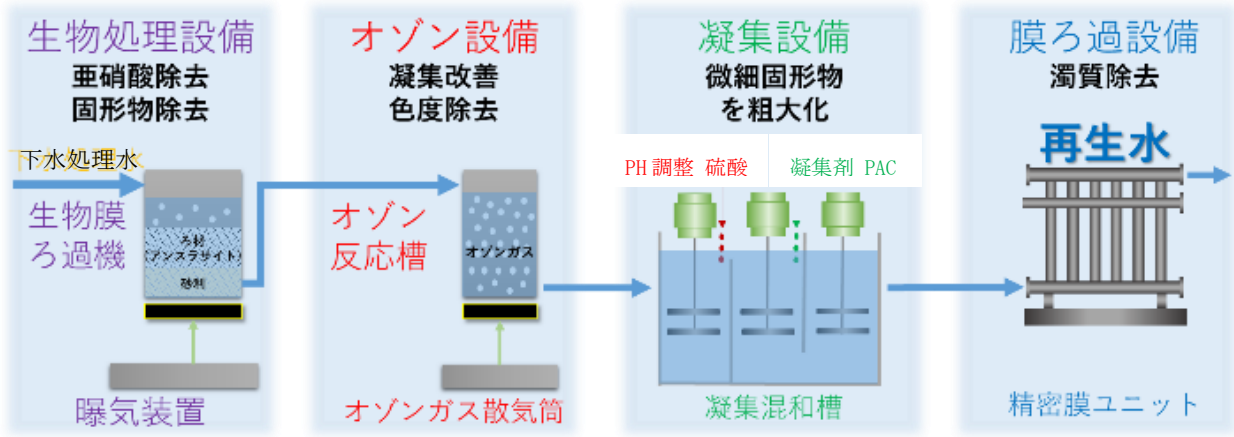


図2 東系再生水製造工程

生物処理設備は、ろ材にアンスラサイトを使用し、ここに棲む硝化細菌や微生物の働きにより、下水処理水に含まれる有機分の一部や亜硝酸性窒素やアンモニア性窒素を処理することで、後段のオゾン注入量を低減させている。

オゾン設備はオゾンの強力な酸化作用により色度や臭気を除去し、有機物や無機物を酸化分解している。また細菌類を大きく低減させている。

凝集設備は、凝集剤（ポリ塩化アルミニウム）を注入することで、微細な固形分を粗大化させ、後段の膜ろ過設備の膜の目詰まりを防止している。

膜ろ過設備は、セラミック製の膜で水をろ過し、細菌や汚濁物質を除去し、色度・臭気がほとんど無い高品質な水質を製造している。

製造した再生水へ次亜塩素酸ソーダを注入し、残留塩素濃度を確保しながらお客様へ配水している。

## 3. オゾン設備について

### 3.1 オゾン設備の構成

オゾン設備は図3のような構成である。

#### ①原料空気コンプレッサー（2系列）

必要な空気の量を②へ供給する。

#### ②酸素供給機（2系列）

空気をろ過し、酸素を濃縮して③へ供給する。

#### ③オゾン発生機（2系列）

高電圧により放電させることで酸素からオゾンを製造し④へ供給している。

#### ④オゾン反応槽

オゾンをオゾン反応槽内で生物処理水と接触させて、必要な溶存オゾン濃度を確保している。

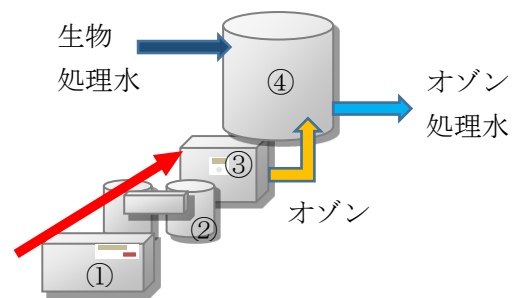


図3 オゾン設備フロー

### 3.2 オゾン設備の制御について

オゾン設備の制御方法は4種類あるが、ここでは2種類について説明する。

溶存オゾン濃度制御は、オゾン処理水の溶存オゾン濃度を自動測定し、これをオゾン発生機へフィードバックして制御している。

ドバックして、必要な溶存オゾン濃度の目標値に対してオゾン発生機から比例的にオゾン注入量を増減させる。不安定な水質に自動で追従する仕組みとなっているため、通常、この制御を使用している。

この他にオゾン注入量制御がある。これはオゾン量を任意の値で注入し続ける制御となっており、測定結果をフィードバックしないため水質の変化には追従しない制御である。

### 3. 3 オゾン発生機の省エネルギー化

放電させてオゾンを製造するオゾン発生機は、電力を多く使用するため効率的な運転のためには、なるべく運転時間を減らすことが必要である。

溶存オゾン濃度制御では1台分の最大オゾン発生量に近づくと、自動で2台目が追加運転するが、実際は1台でも足りる状況で追加運転されていた。これはオゾン発生機1台のオゾン発生量に余裕を持たせ、2台目が追加運転していたためである。今回、オゾン発生機1台でオゾン量が確保できるときは、手動で追加運転を停止し、1台運転の範囲を広げた(図4)。逆に1台ではオゾン量が足りない時には、手動で追加運転を行い、2台運転時間を減らし省エネルギー効果が得られた。

この運転方法は手動で運転・停止操作を行うため、オペレーターとタイミングを調整し、これを固定・可変制御運転とした。これで再生水製造における消費電力全体の5%程度の省エネルギー効果が得られた。

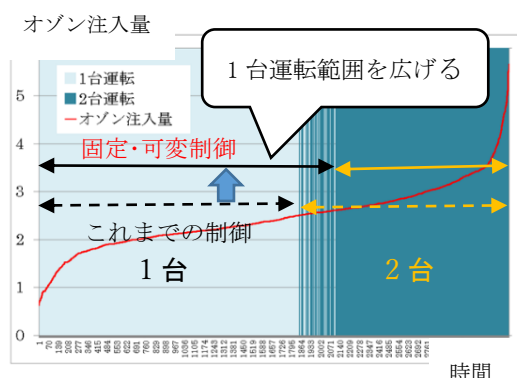


図4 固定・可変制御イメージ

### 3. 4 溶存オゾン濃度が不安定である課題

オペレーターの手動操作によりオゾン発生機の1台運転範囲を広げることで省エネ効果を得られたが、オゾン発生機2台とも溶存オゾン濃度制御ではそれぞれが自動でオゾン注入量を調整するため、片方はオゾン注入量を減らし、もう片方は増やすため、溶存オゾン濃度が不安定になり、オゾン過注入と不足が交互に繰り返し、追加運転したオゾン発生機が運転・停止を繰り返す現象が発生した(図5)。

また他に溶存オゾン濃度が安定しにくい原因として、オゾン反応槽には常に連続して前段の生物処理水が流入し、オゾン注入量を多くしても反応している間に次の凝集設備に流れ、溶存オゾン濃度が上昇しにくい(図6)。そのため、オゾン注入量を多くさせても、それ以上に水質の悪い水がオゾン反応槽内に流入すると、さらにオゾン発生機の出力を上げ続ける。逆にオゾンガスが過注入になった際に、オゾン量を下げると新たな水に入れ替った途端に溶存オゾン濃度が著しく低下することがある。

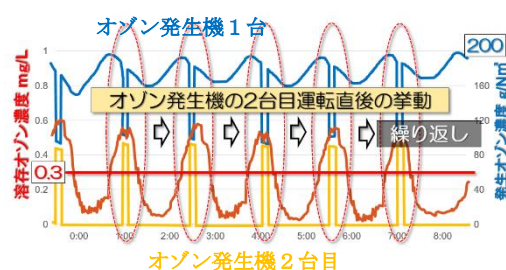


図5 2台目運転直後の運転・停止状況

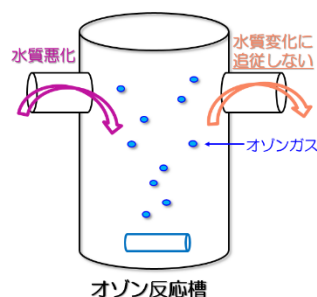


図6 オゾン反応槽内処理水流れ

### 3. 5 溶存オゾン濃度の不安定化解消

オゾン発生機の制御方法のうち、オゾン注入量制御は溶存オゾン濃度によるフィードバック制御をしないため、これまでは使用する機会は少なかった。

今回オゾン発生機の1台追加運転開始時の不安定化を解消する方法として、2つの制御を組み合わせること（以下、切替制御）で課題を解決した。通常使用の溶存オゾン濃度制御では、設備構造や水質悪化が始まると連続して悪化し続けるため、溶存オゾン濃度の安定には数時間が必要となった（図7）。

切替制御は、水質悪化時やオゾン発生機を追加運転する際に、オゾン注入量制御に切り替え一定のオゾンガスを注入することで、早く必要オゾン量を注入し、溶存オゾン濃度を安定させることが出来た（図8）。

この運転方法は、水質悪化時に溶存オゾン濃度の目標値の半分まで低下した際に、直近の溶存オゾン濃度が保っていたオゾン注入量を参考値とし、この値に比べ原水水質悪化が進行していることを考慮して、参考値の1.3倍の値とすることで必要オゾン量が賄えた。溶存オゾン濃度が安定した後に、溶存オゾン濃度制御に切替えることで、溶存オゾン濃度が30分程度で安定することが可能になった。

#### 4. 結論

固定・可変制御によりオゾン発生機の1台運転時間を延長することにより省エネルギー効果があった。これは再生水製造における消費電力全体の5%程度の削減効果となった。

切替制御における溶存オゾン濃度の安定化により適正なオゾン注入量をすばやくコントロールすることができ、水質悪化時やオゾン発生機の1台追加運転時の溶存オゾン濃度が安定するまでに要した時間が30分程度に抑えることが出来るようになった。結果、後段の膜ろ過設備の膜間差圧の上昇が抑制され、薬品洗浄等の作業頻度も少なくなった。

現在の制御方法の運転頻度は、図9のように「固定・可変制御」44%、「切替制御」21%、「溶存オゾン濃度制御」35%となった。当社で新たに調整した2つの制御方法の運転割合が広いことがわかる。この2つの制御方法により原水水質の変化が大きい環境下でも、最適な運転をすることが出来るようになり、従来の運転に比べ省エネルギー化され、水質変化に柔軟に対応できるため安定した再生水製造が確保できた。

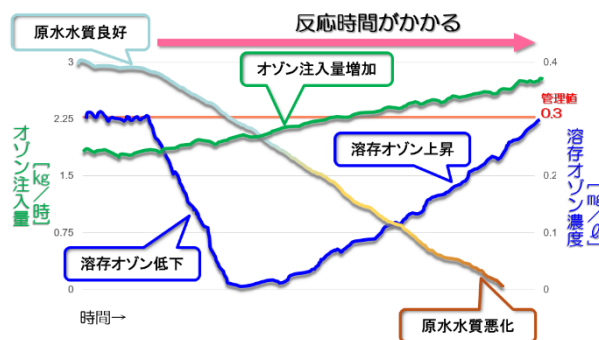


図7 溶存オゾン濃度制御イメージ

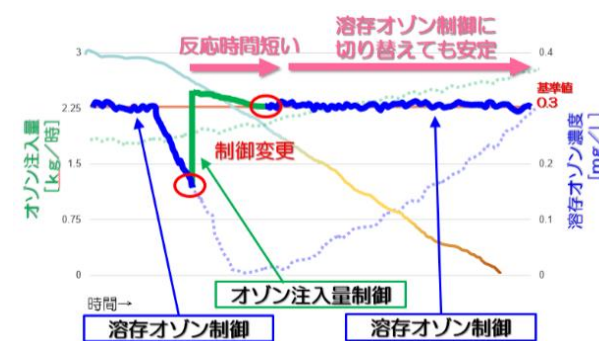


図8 切替制御イメージ

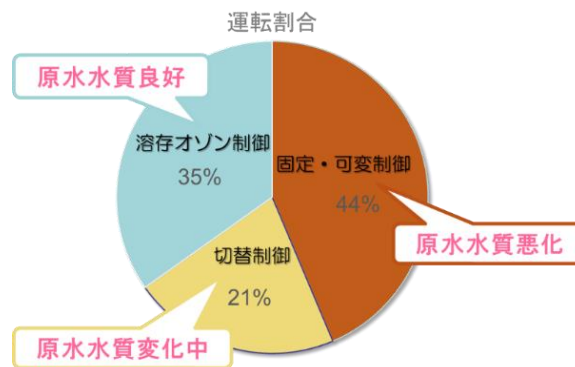


図9 オゾン発生機の制御方法割合