

# サイドストリームオゾン注入方式における 省エネルギー化方法の開発

2026年3月31日

京都大学大学院地球環境学堂 川口康平

## 1. はじめに

淀川は日本の中でも下水放流水の混入率が高い[1]。淀川流域で行われている下水処理方法は微生物による処理が主体であり、微生物が代謝しない物質の除去率は高くない。実際に淀川河川水中で、クロタミトン代表例として、医薬品類が検出されている。

微生物による処理が苦手とする物質を除去できる方法としてはオゾン処理が有力である。オゾン処理ではガス状のオゾンを処理対象水に溶解させる必要があり、大きく散気管方式とサイドストリーム方式がある。サイドストリーム方式は近年、普及し始めている処理方法であり、北米の浄水処理ではサイドストリーム方式の新規採用件数の方が多くなっている[2]。

サイドストリーム方式は散気管方式に比べて、高濃度のオゾンを吹き込む場合はエネルギー的に不利になりがちであり、浄水処理よりも高濃度のオゾンを吹き込むことになる下水処理には向きにくい処理方法であるというのが、一般的な理解であろう。しかし、サイドストリーム方式はメンテナンス性が散気管方式に比べて優れており、より汚染されやすくメンテナンスが必要になりがちな下水処理に向いている面も存在する。

以上により、本研究では下水オゾン処理におけるサイドストリームオゾン注入方式の効率性を検討することにした。

## 2. 方法

### 2.1 化学・生物分析方法

見かけの色度の除去率は未ろ過のオゾン処理前後のサンプルを光路長 1 cm のセルで波長 390 nm の吸光度を測定することで算出した。

大腸菌の除去率はオゾン処理前後のサンプルを XM-G 寒天培地を用いたメンブレンフィルター法で測定した。

### 2.2 サンプリング

散気管方式のオゾン処理を採用している琵琶湖淀川流域のとある下水処理場のオゾン処理槽前後の水を計 6 回サンプリングした。

### 2.3 オゾン処理実験

図1のようなサイドストリームオゾン注入方式を実施できる反応装置を組んだ。処理条件は表1のように設定した。加えて、オゾンガスが完全に溶解し、均一反応したときの処理効果を調べるために、回分式で微量の高濃度オゾン水を添加する実験も行った。

サイドストリームオゾン処理と回分処理でのオゾン注入率は、サンプリングを行った際の実規模のオゾン注入率と同一の2.5 mg/L に設定した。ただし、2回目以降のサイドストリーム式での実験では、半分の注入率の1.25 mg/L での処理も行った。

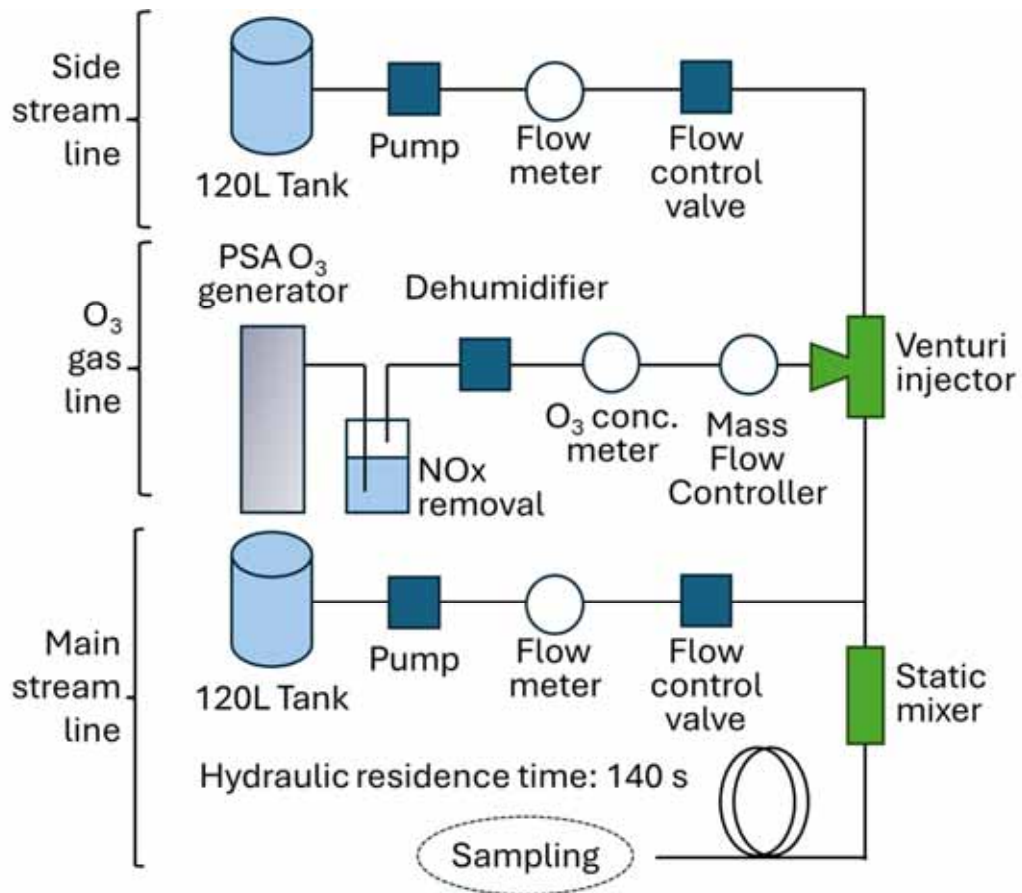


図1. サイドストリームオゾン注入処理装置の概略図

表1. サイドストリームオゾン注入処理の運転条件

項目	設定値
サイドストリーム流量	0.50 L/min
メインストリーム流量	4.5 L/min
オゾンガス流量	0.10 L/min
オゾンガス濃度	125 mg/L
オゾン注入率	2.5 mg/L

## 2.4 サイドストリームの検討

ベンチュリーインジェクターでオゾンガスを液中に導入してから、メインストリームと混合するまでに、大量のオゾンが消費された場合は処理効率が落ちることになる。そこで、サイドストリームに水道水への適用することや、サイドストリームの水温と pH の影響を検討した。

図 2 に実験の概略図を示す。この実験ではメインストリームにオゾンと瞬間的に反応するヨウ化カリウム溶液を用い、オゾンによって酸化されたヨウ化物イオンの量をヨウ素滴定によって定量し、混合点のオゾン濃度を求めた。

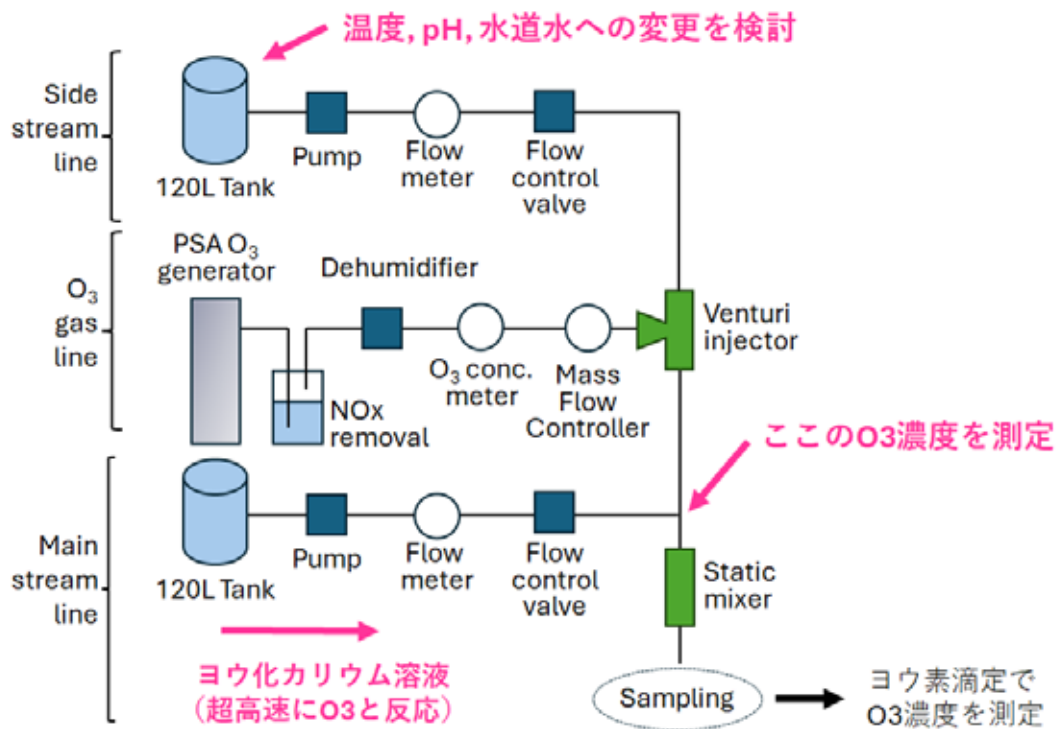


図 2. サイドストリームの検討方法の概略図

### 3. 結果と考察

処理方式別の大腸菌の除去率の比較を図3に示す。サイドストリーム式の除去率は常に実散気管方式よりも高かった。注入率を半分にしても5回中3回は実散気管方式よりも除去率が高かった。回分式の除去率は常に他の処理方法よりも大幅に高かった。これはオゾンガスの溶解率と反応の均一性を向上させれば、大幅な処理効率の向上が見込めることを意味しており、今後の研究・運転の重要な方向性を示している。

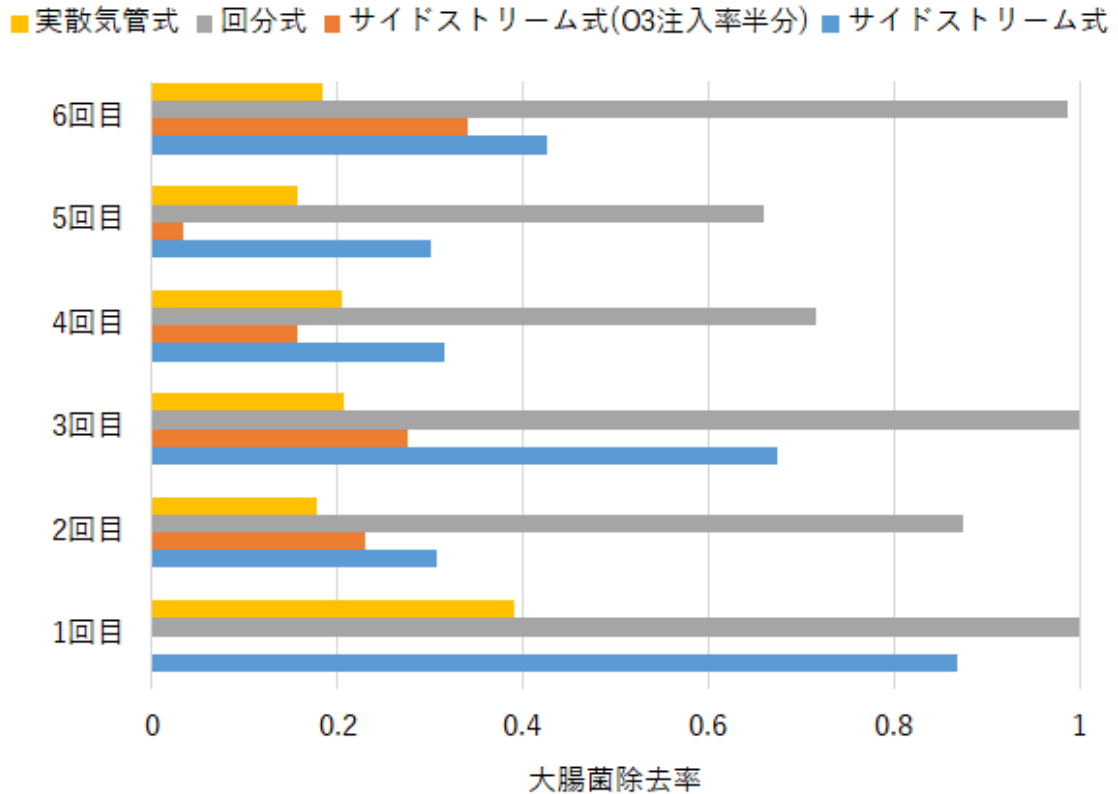


図3. 処理方式別の大腸菌の除去率の比較

処理方式別の見かけの除去率の比較を図4に示す。大腸菌と同様にサイドストリーム式の除去率は常に実散気管方式よりも高かった。注入率を半分にしても全5回で実散気管方式よりも除去率が高かった。大腸菌と同様に回分式の除去率は常に他の処理方法よりも大幅に高かった。

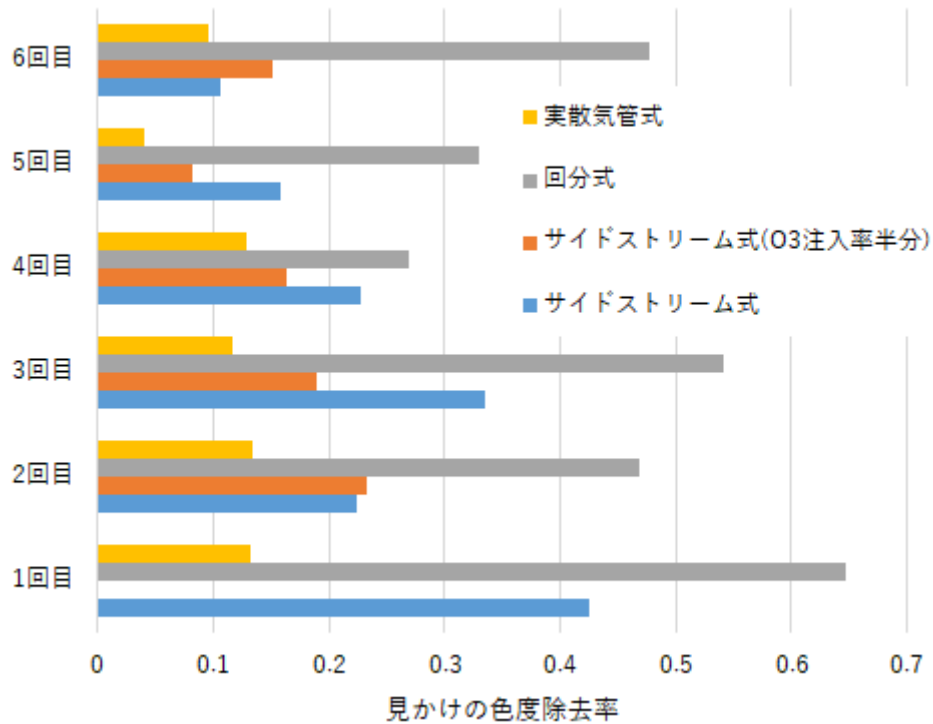


図4. 処理方式別の見かけの色度の除去率の比較

サイドストリーム溶液の比較を図5に示す。この試験ではオゾン注入率は2.2mg/Lに設定したが、水道水5の条件では合流点までにほとんどオゾン消費がなかった。最も大きなオゾン消費が観察されたのはpHによらず下水二次処理水を25の条件でサイドストリームに用いたときであるが、オゾン濃度の消失は13%であった。サイドストリームに水道水を用いると、11%の処理水量が増加し、必要オゾンやポンプ電力も11%増加するため、水道水の使用はエネルギー的観点からはメリットがないと判断された。

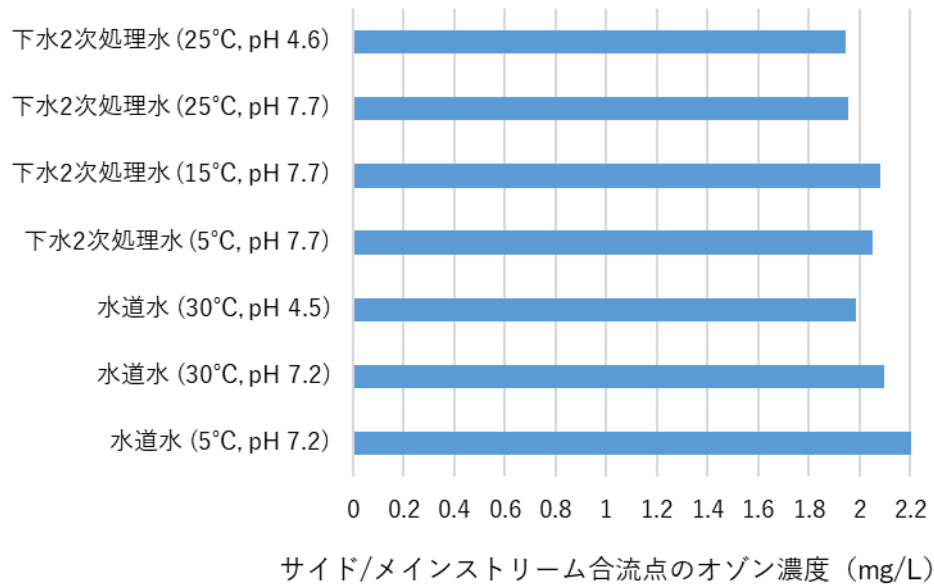


図5. サイドストリーム溶液の比較

#### 結論

- サイドストリームオゾン注入方式は、現在運転されている散気管方式よりも、大腸菌と見かけの色度の処理効率が高かった。メンテナンス性もよいことも踏まえて、サイドストリームオゾン注入方式は、有力な注入方式であることを示した。
- 理想的な回分式の結果とは、サイドストリーム方式でも実散気管式でも処理効率に明確な差があり、オゾン処理効率を向上できる余地が大きいことを示した。
- サイドストリームオゾン注入方式において、サイドストリームには素直に処理対象水を使用するのがエネルギー効率の観点では合理的であることを示した。

#### 謝辞

本研究の実施においては、琵琶湖・淀川水質保全機構の助成を受けた。また、採水においては琵琶湖・淀川流域の下水処理場 A の方々の協力を得た。ここに謝意を表す。

#### 参考文献

- [1] <https://www.kkr.mlit.go.jp/yodogawa/know/summary/problem/problem-konyu.html>
- [2] [https://mazzei.net/wp-content/uploads/2022/01/2021-12\\_SSI-Shows-its-Advantages-in-Ozone-Systems\\_Ozone-News-Vol-49-No-6.pdf](https://mazzei.net/wp-content/uploads/2022/01/2021-12_SSI-Shows-its-Advantages-in-Ozone-Systems_Ozone-News-Vol-49-No-6.pdf)