

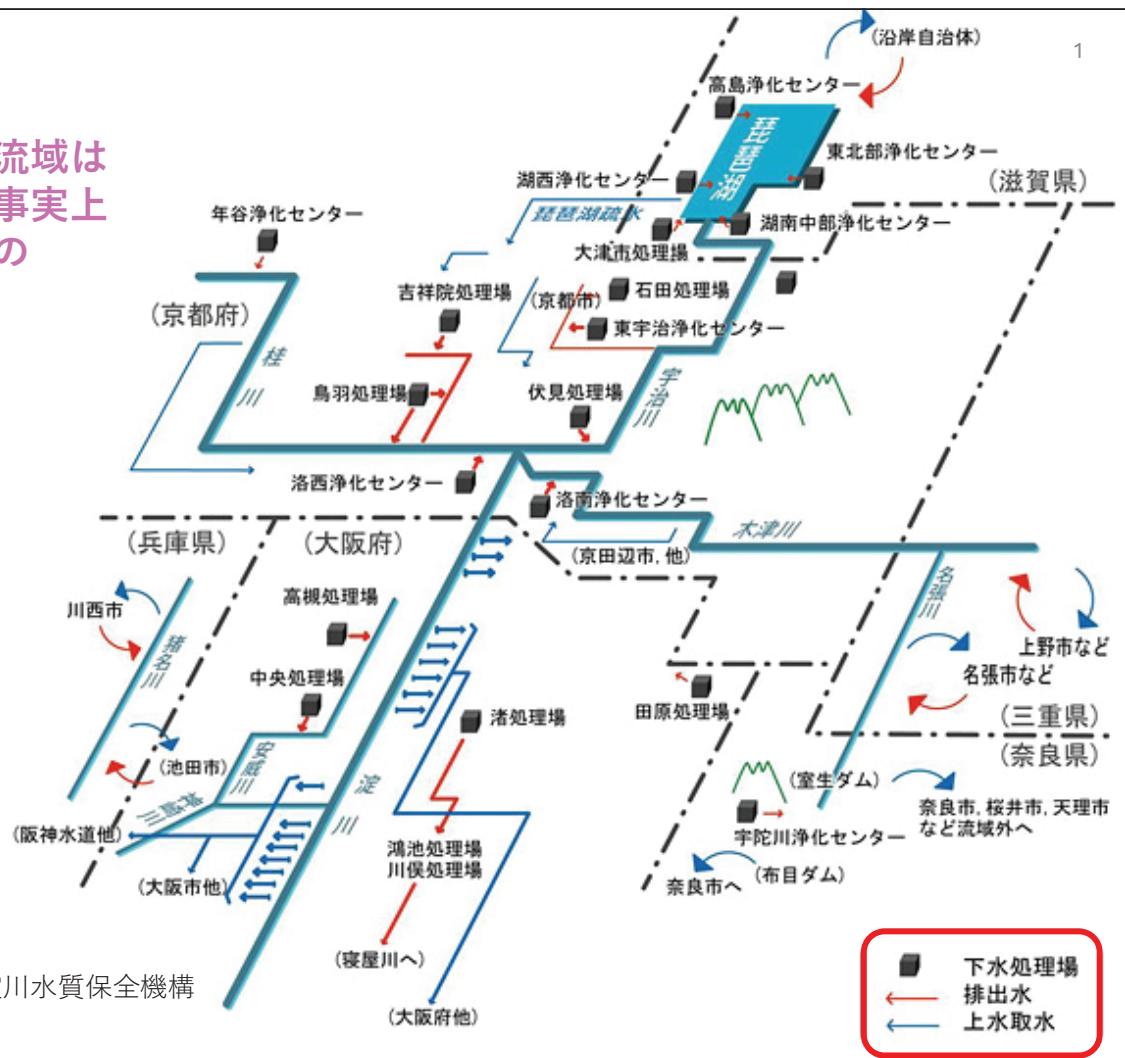
サイドストリームオゾン注入方式における 省エネルギー化方法の開発

川口康平

京都大学大学院地球環境学堂 特定助教

研究背景

琵琶湖・淀川流域は
国内最大級の事実上
の下水処理水の
再利用地域



研究背景

従来の下水処理法は「固形物除去」+「微生物代謝可能物の除去」
→ 除去できない物質も多い 例) クロタミトン (かゆみ止め)

- 除去を強化する場合はオゾン処理が最有力
 - × オゾン処理は高い
 - オゾン処理は高度処理方法の中でかなり安い

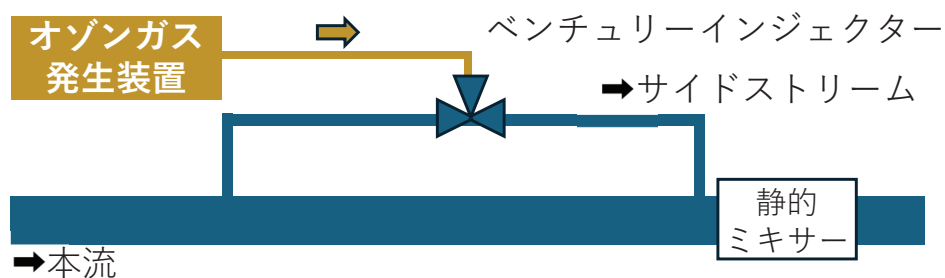
オゾン処理	14 ~ 30 円/m ³	https://micropoll.ch/wp-content/uploads/2025/03/Energy-and-cost-key-figures-MP-treatment.pdf
粉末活性炭処理	18 ~ 32 円/m ³	
逆浸透膜処理	75 円/m ³	https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-01/documents/potablereusecompendium_1.pdf

実際に海外では下水オゾン処理の導入が進んでいる国も多い
スイス、中国など

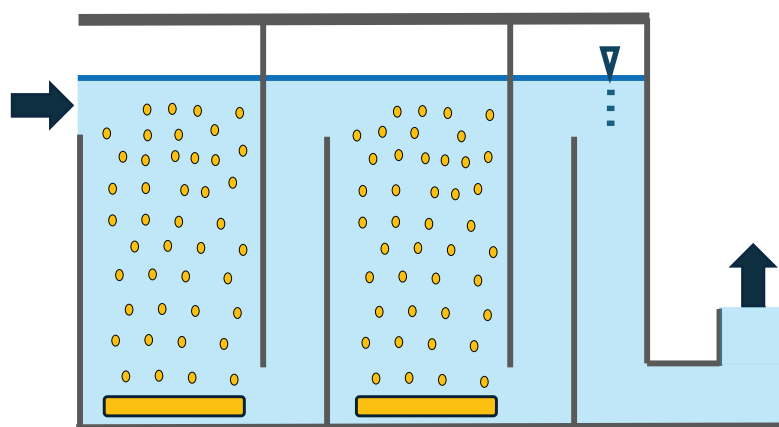
2

研究背景

オゾンの注入方式として、近年のオゾン発生器の効率上昇を受けて、**サイドストリーム注入方式**が注目されている。



従来法
(散気管式)

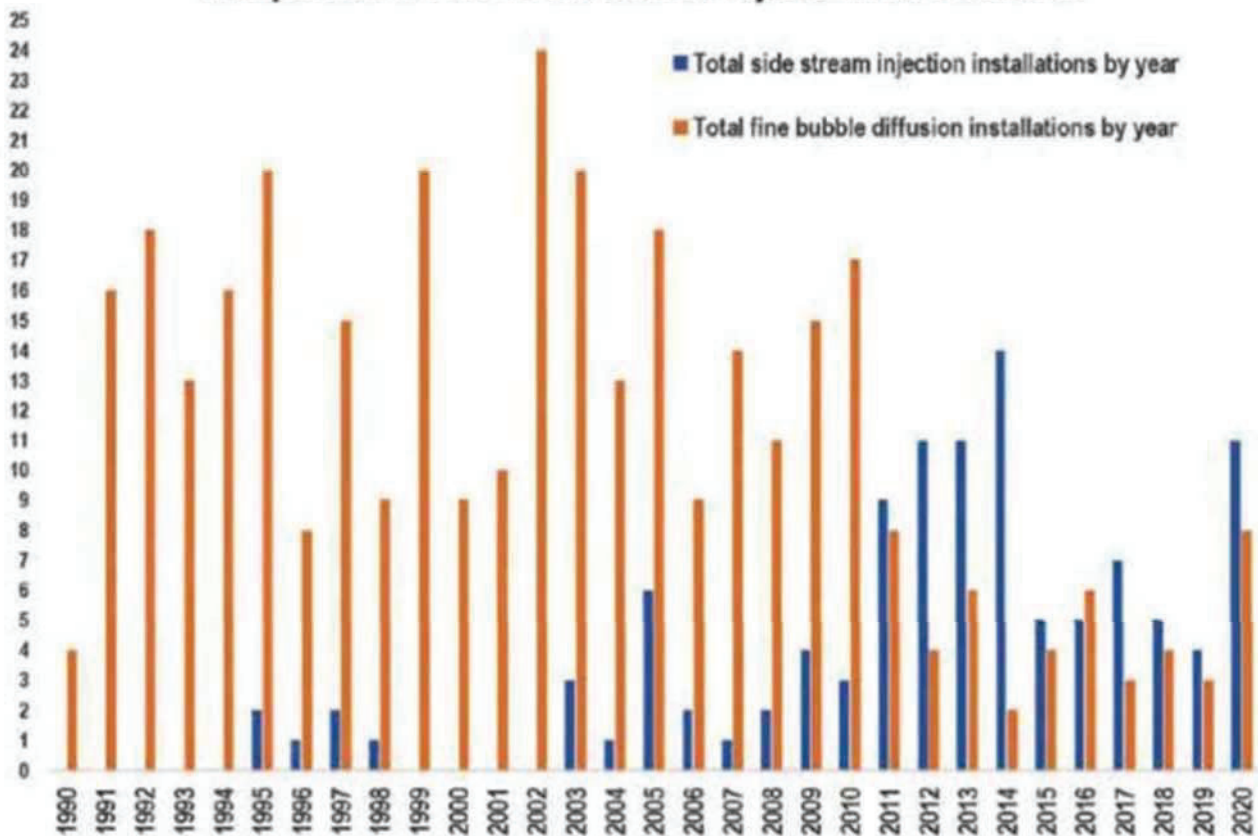


3

研究背景

上水だが北米では最近はサイドストリーム式の方が採用が多い

Comparison of FBD vs SSI Ozone Projects in North America



出典：Sidestream Injection Shows Its Advantages in Ozone Systems

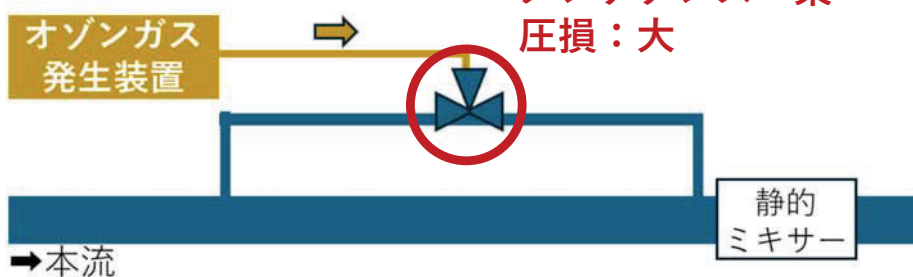
4

研究背景

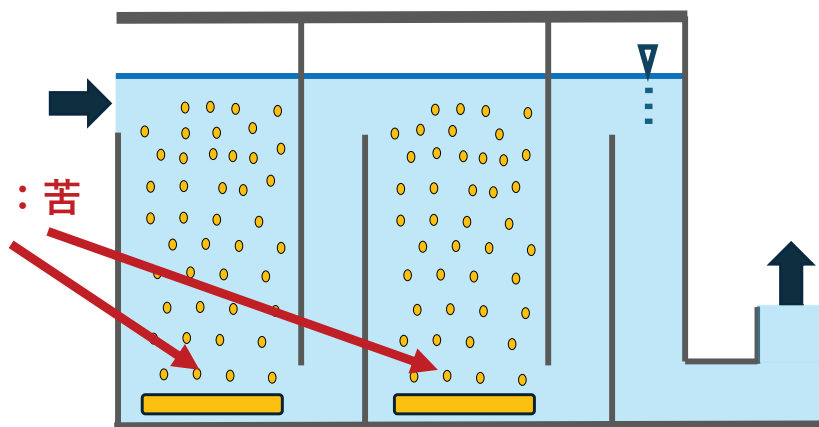
オゾン注入率 \propto サイドストリーム流量 \propto 圧損

下水オゾン処理は高いオゾン注入率を要し、この点では不利

メンテナンス：楽
圧損：大



メンテナンス：苦
圧損：小



5

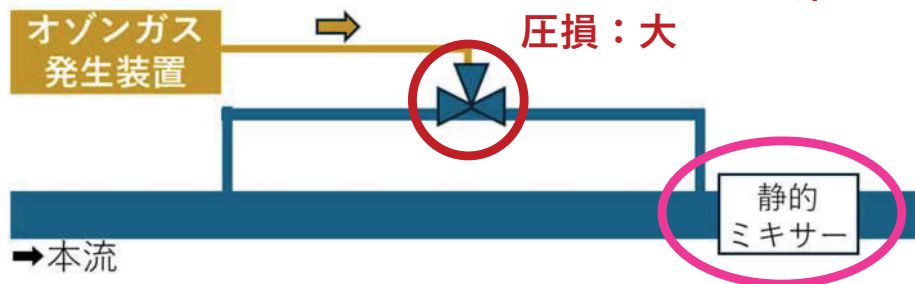
研究背景

オゾン注入率 \propto サイドストリーム流量 \propto 圧損

下水オゾン処理は高いオゾン注入率を要し、この点では不利

メンテナンス：楽

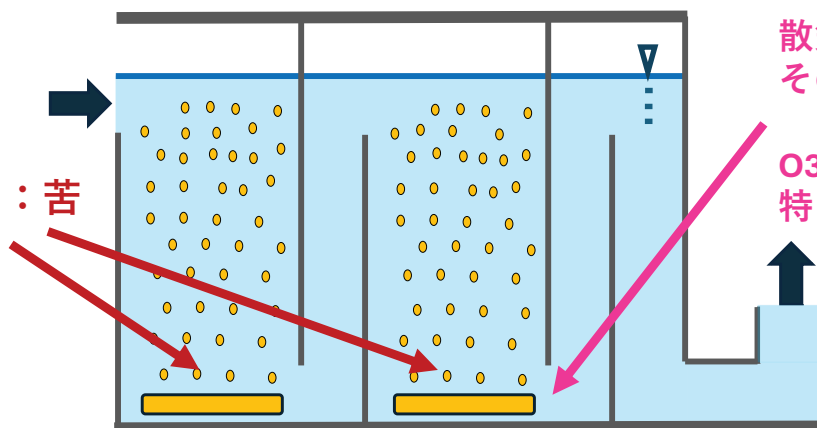
圧損：大



均一反応にしやすい

下水オゾンでは有利では？

メンテナンス：苦
圧損：小



散気管直上：O3濃度高
その周辺：O3濃度低

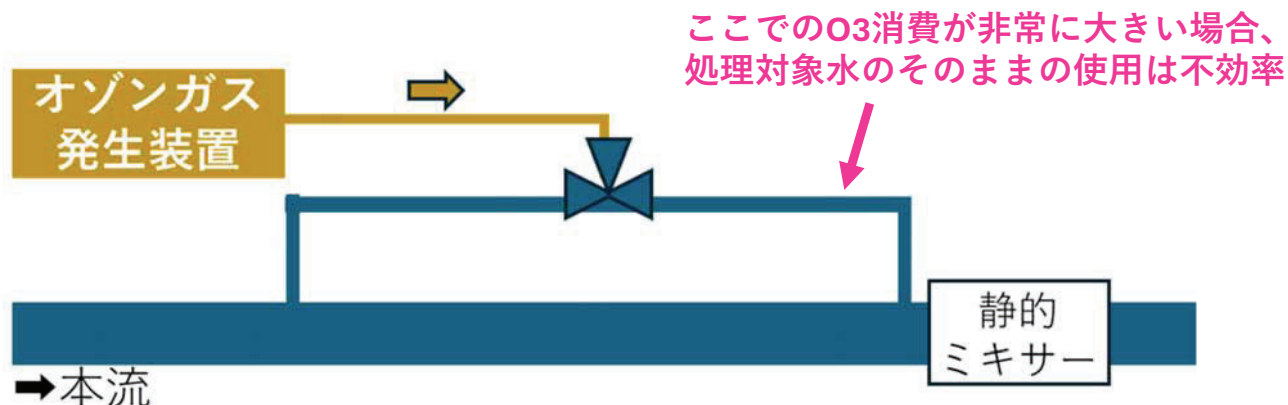
O3消費が速い下水では
特に不均一？

6

研究目的

①下水オゾン処理で散気管方式とサイドストリームオゾン注入方式のどちらがよいかを比較する。

②サイドストリームに処理対象水をそのまま使用するのが最善なのか検討
pH調整や水道水の利用と比較する。



7

研究方法（最適注入方式の検討）

ラボでサイドストリーム注入方式を実施

VS

実下水処理場（散気式）の実績値

VS

攪拌サンプルにオゾン水添加（理論値）

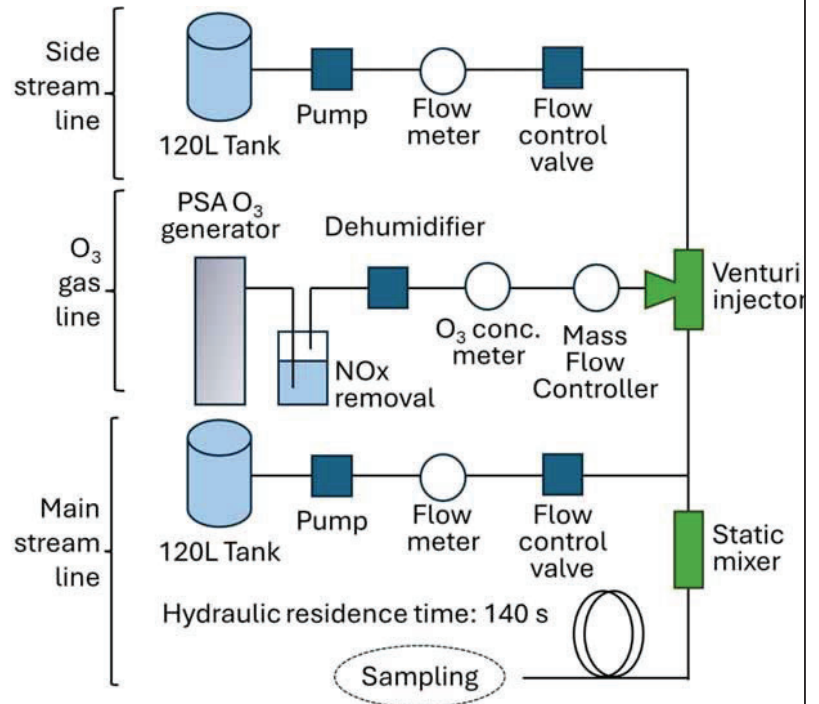
条件：同O3注入率、同サンプル
比較項目：大腸菌、見かけの色度
サンプリング回数：計6回

サイドストリーム処理条件

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

※サイド流量/全流量=0.1は一般的な設定*

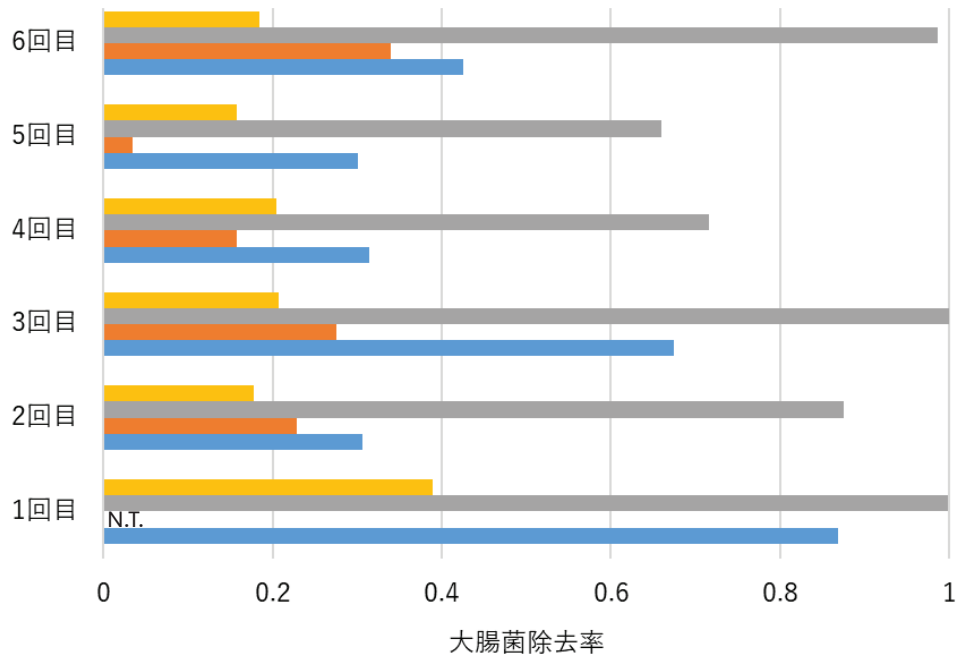
*Sidestream Injection Shows Its Advantages in Ozone Systems



8

研究結果（大腸菌除去率）

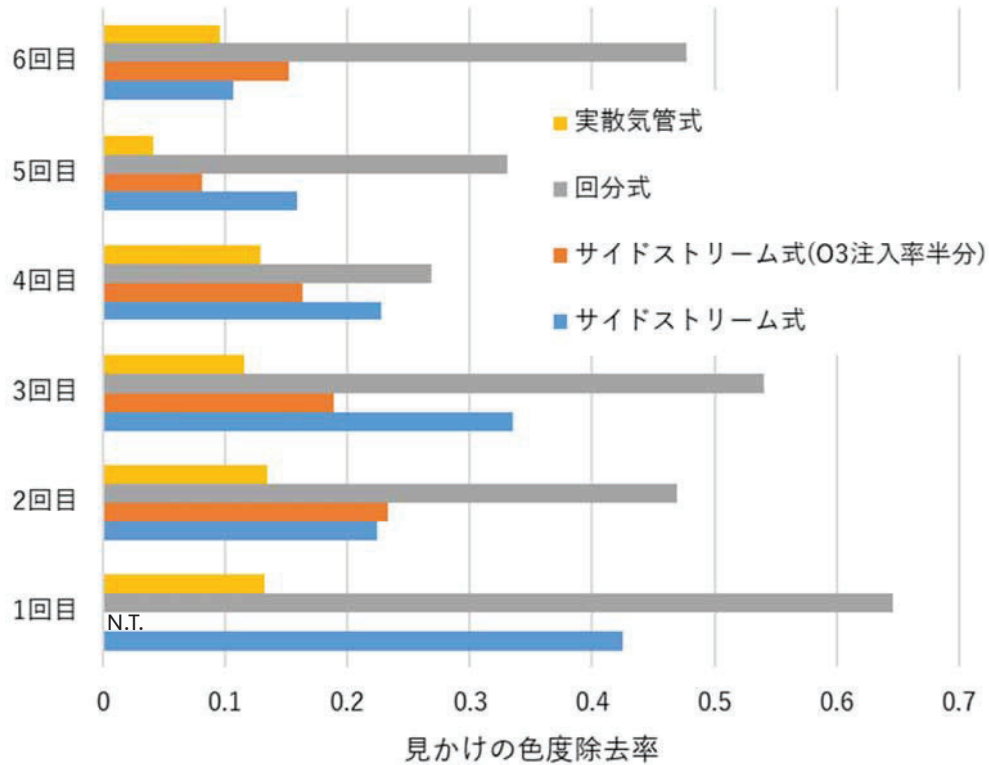
■ 実散気管式 ■ 回分式 ■ サイドストリーム式(O3注入率半分) ■ サイドストリーム式



- ✓ サイドストリーム式は常に実散気管式よりも除去率が高い
- ✓ サイドストリーム式(O3注入率半分)は実散気管式よりも除去率が高い傾向
- ✓ サイドストリーム式には回分式とは明確な差がある

9

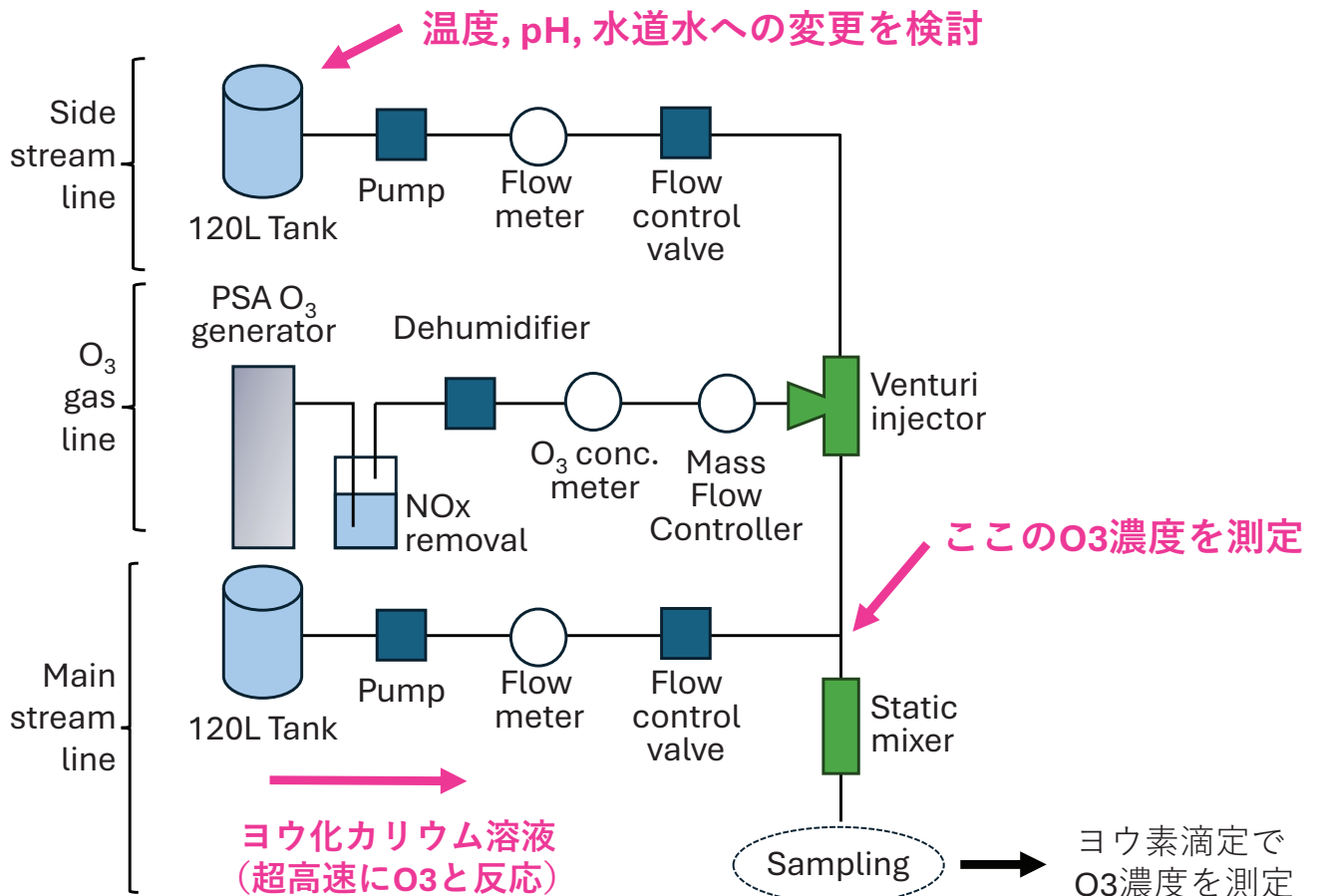
研究結果（見かけの色度除去率）



- ✓ サイドストリーム式(O3注入率半分)で常に実散気管式よりも除去率が高い
- ✓ サイドストリーム式には回分式とは明確な差がある

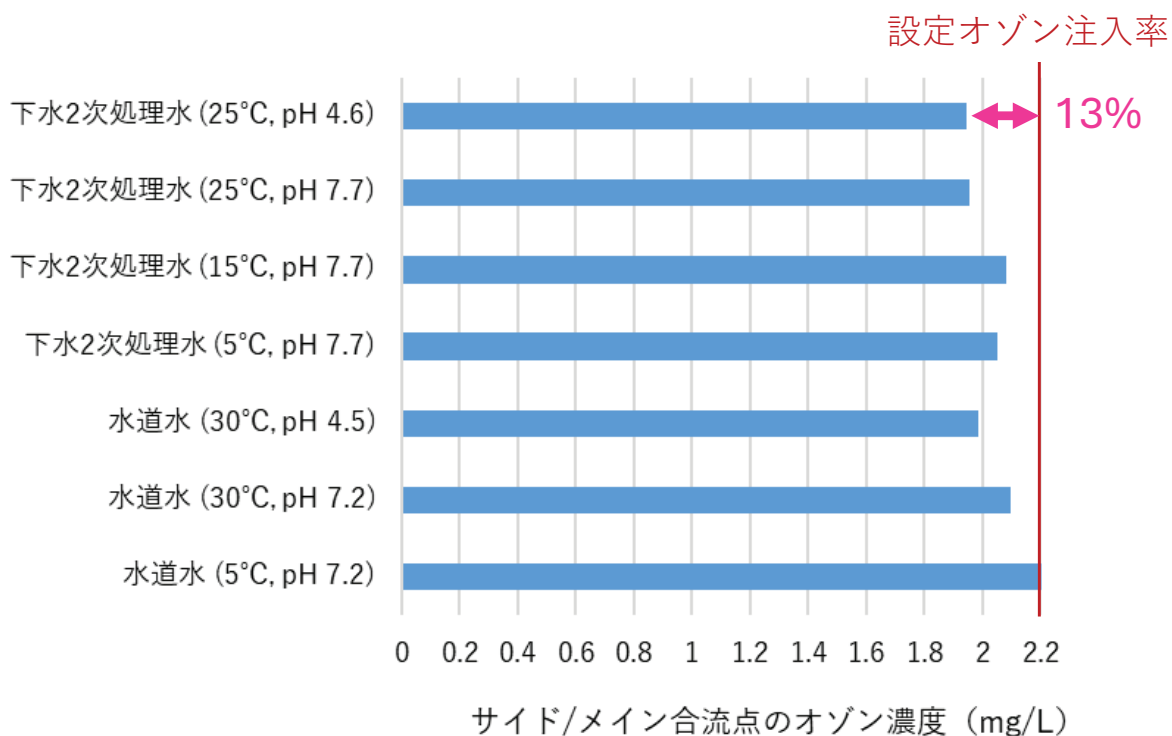
10

研究方法（最適サイドストリーム溶液の検討）



11

研究結果（最適サイドストリーム溶液の検討）



水温が高い時にはメインストリーム前に13%程度のオゾン消費
ただし、水道水を用いたときには処理水量が1.1倍になる

→サイドストリームには処理水を素直に用いた方がよい

12

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公益財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構の金銭的支援を受けました。また、国内の下水処理場Aの皆様には採水の協力をいただきました。ここに感謝します。

ご清聴、ありがとうございました

13