

実下水を処理する散水ろ床リアクターの処理性能と亜酸化窒素排出量の調査

長岡技術科学大学大学院 （非） ○長尾 春翼 （学）瀬下 景
（正）山口 隆司（正）渡利 高大（正）幡本 将史

1. はじめに

下水処理における生物学的窒素除去には、微生物による硝化および脱窒が用いられているが、その過程において温室効果ガスである亜酸化窒素（ N_2O ）が副生成物として発生することが知られている。 N_2O は、100年換算での地球温暖化係数が CO_2 の273倍ある温室効果ガスであり、下水処理プロセスからの排出量を把握するとともに、その発生を抑制することが重要である¹⁾。

我々の研究グループでは以前から下向流懸垂型スポンジ（Down-flow Hanging Sponge : DHS）の研究を行っている。DHSリアクターは、エアレーションを必要としないため、省エネルギーでの運転が可能であり、維持管理が容易で低コストな生物学的排水処理システムである²⁾。DHSリアクターでは、有機物除去に加えて硝化や脱窒も進行するため、処理性能とともに N_2O 排出量を評価する必要がある。

そこで、本研究では、実下水を処理するDHSリアクターを対象に、処理水質および排気中の N_2O 排出量を測定し、処理性能と N_2O 排出量の経日変化ならびに運転条件との関係性を評価した。さらに、標準活性汚泥法における N_2O 排出量と比較し、DHSリアクターの N_2O 排出特性を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

2.1 リアクター概要

実験装置は長岡中央浄化センターにG3型DHSリアクター（G3.3）と新型DHSリアクター（GX）を設置した（図-1）。G3.3は、直径500mm、高さ4.6m、スポンジ体積295L、GXは、短辺500mm、長辺540mm、高さ4.5m、スポンジ体積404Lのものを使用した。G3.3のスポンジ担体はポリウレタン製で、直径33mm、高さ33mmのものをプラスチックネットリングにはめ込んで使用した。リアクターは3つのセグメントに分かれており、各セグメントに1mずつランダムに充填した。GXのスポンジ担体はポリウレタン製で、縦500mm、横500mm、高さ30mmのものをプラスチックサポート材にはめ込み、3m積み重

ねて使用した。水理学的滞留時間（HRT）は、スポンジ担体の容積を基に計算した。スポンジ担体には汚泥を植種せずに運転を開始した。リアクターには、スクリーン通過後の実下水を供給した。また、両リアクターの処理水流出部からエアポンプでガスを吸引し、ポンプの吐出口にてガスサンプルを採取した。リアクターの運転条件は表-1に示す。本研究では、継続運転中のリアクターを対象とし、2026年4月以降の運転データを用いて評価した。

2.2 分析項目

流入水および処理水のpH、ORP、DO、tCOD（全CODcr）、亜酸化窒素濃度を測定した。tCODの測定には水質測定キット及び吸光光度計（DR3900, HACH社）を用いた。亜酸化窒素濃度の測定には電子捕獲検出器を備えたガスクロマトグラフ（GC-ECD, GC2014, （株）島津製作所）を用いた。

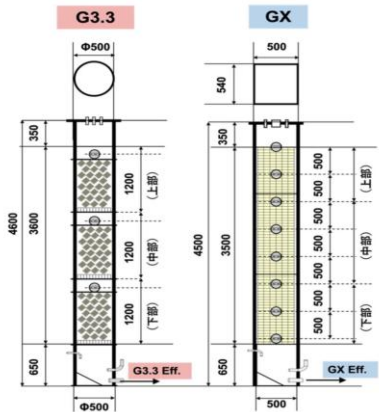


図-1 実験装置の概要図

表-1 運転条件

運転条件		Phase1	Phase2
供給水量 (L/min)	G3.3	1.14	2.28
	GX	1.44	2.88
HRT (hours)	G3.3	4.7	2.35
	GX	4.3	2.15

表-2 測定項目

測定項目		Phase1	Phase2
DO (mg/L)	G3.3	4.61	4.53
	GX	3.64	4.39
PH	G3.3	6.77	6.95
	GX	6.76	6.94
ORP (mv)	G3.3	50.0	67.4
	GX	59.4	130

3. 結果と考察

図-2 に Phase1 および Phase2 における tCOD の経日変化を示す。平均除去率は、Phase1 では G3.3 が 78%, GX が 76%, Phase2 ではそれぞれ 77%, 83% であり、Passe が変化しても同程度であった。

図-3 に、流入水および各 DHS 処理水の全窒素(TN)濃度の経日変化を示す。両 DHS の処理水の TN 濃度は、いずれの測定日も流入水を下回った。DHS では、スポンジ表面の好気域で硝化が進み、生成した硝酸性窒素などが内部の無酸素域で脱窒されることで、窒素が除去されたと考える。

図-4 に N_2O 排出量の経日変化を示す。処理水量当たりの平均 N_2O 排出量は、Phase1 では G3.3 が 3.6 g- N_2O /h, GX が 3.3 g- N_2O /h, Phase2 ではそれぞれ 3.0 g- N_2O /h, 2.6 g- N_2O /h であった。全測定で GX が G3.3 を下回った。GX の N_2O 排出量が G3.3 を下回った要因として、酸素供給状態の違いが考えられる。Phase1 の処理水 DO は、G3.3 が 4.6 mg/L, GX が 3.6 mg/L であった。この違いから、両リアクターでは酸素供給と消費の収支が異なり、担体内の硝化・脱窒および N_2O の生成に影響したと推測される。

本研究の DHS における時間当たりの N_2O 排出量は、GX では最小値が 1.95 g- N_2O /h, 最大値が 4.39 g- N_2O /h であり、G3.3 では最小値が 1.59 g- N_2O /h, 最大値が 4.30 g- N_2O /h であった。既往研究で整理された活性汚泥法の排出量は、最小値が 2.6 g- N_2O /h, 最大値が 17700 g- N_2O /h であり、処理流量当たりは、それぞれ 0.62 g- N_2O /m³, 8.50 g- N_2O /m³となる。また、硝化脱窒法における全調査期間の平均排出量は 52 g- N_2O /h であり、処理水量当たりは約 0.28 g- N_2O /m³となる。DHS では、スポンジ表面の好気域で硝化が進む一方、内部では酸素が消費され、脱窒に適した無酸素域が形成される。この構造は窒素除去に有利であるが、脱窒過程では中間生成物として N_2O も生成される。今回の N_2O 排出についても、担体内部の脱窒過程で生成した N_2O が、窒素ガスへ還元される前に担体外へ移動したことが要因として考えられる。

4. まとめ

本研究では、実下水を処理する G3.3 および GX の処理性能と N_2O 排出特性を評価した。供給水量を増加させ、HRT を短縮した条件でも、両リアクターは

有機物除去性能を維持した。処理水量当たりの N_2O 排出量は、GX が G3.3 を下回り、両リアクターとも供給水量の増加後に低下した。ただし、この低下には供給水量の増加による影響も含まれるため、生成抑制とは区別して評価する必要がある。

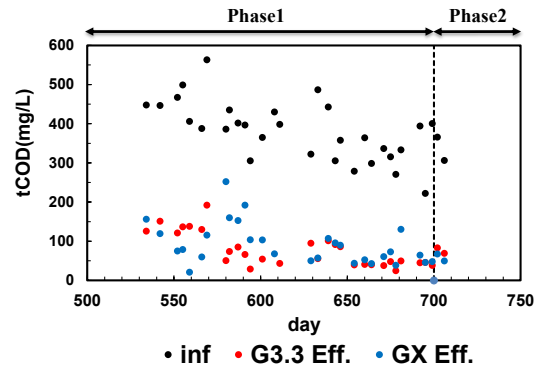


図-2 tCOD の経日変化

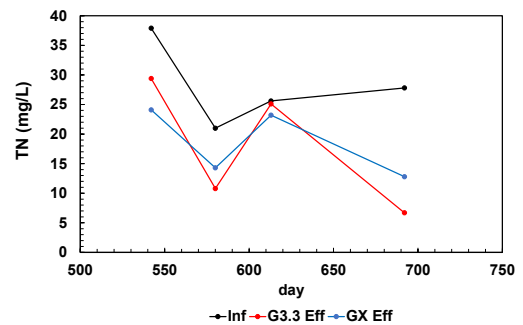


図-3 TN の経日変化

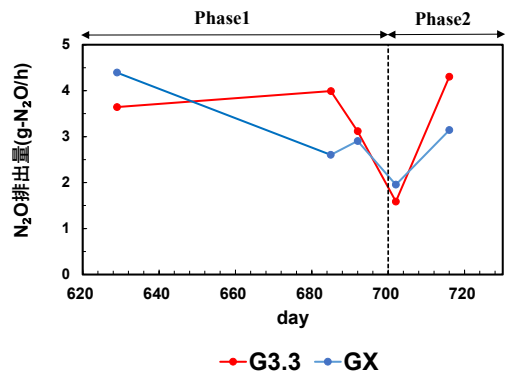


図-4 N_2O の排出量の経日変化

参考文献

- 1) Forster, Piers, et al. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press (2021): 923–1054.
- 2) Tyagi, Vinay Kumar, et al. *Reviews in Environmental Science and Bio Technology* 20.2 (2021): 389–418.
- 3) Gruber, Wenzel, et al. *Water Research X* 15 (2022)
- 4) Daelman, Matthijs R. J., et al. *Water Science and Technology* 67.10 (2013): 2350–2355.