

高負荷条件における DHS リアクターの排水処理性能および微生物群集構造

長岡技術科学大学・院工 学生会員 ○福井 功志朗
正会員 幡本 将史
正会員 渡利 高大
正会員 山口 隆司

1. はじめに

Down-flow Hanging Sponge (DHS) リアクターは必要面積が小さく、曝気に伴う電力を必要としないため省エネルギー型排水処理システムとして研究が進められている。DHS リアクターは主に都市下水処理へ適用されており、実規模での適用例も報告されている¹⁾。一方で、産業排水をはじめとする高濃度有機性排水への適用例は乏しい。また、少ない面積で多量の産業排水を処理するには、短い水理学的滞留時間 (HRT)、すなわち高負荷での運転制御が必要となる。本研究では DHS リアクターの高濃度有機性排水への適用検討を目的に高負荷条件で DHS リアクターの連続運転を行った。そして、その処理性能を有機物、窒素の除去率および除去速度から評価し、加えて保持汚泥の微生物群集構造解析を行った。

2. 実験方法

2. 1 リアクター概要および運転条件

リアクターはプラスチック支持体で覆われたポリウレタン製スポンジ担体 (直径33 mm, 高さ33 mm) を数珠つなぎに18個 (Phase 1), 9個 (Phase 2) および13個 (Phase 3) 連結したものを使用した。構築したDHSリアクターの概略図を図1に示す。植種汚泥には長岡中央浄化センターの活性汚泥を用いた。リアクターは2系列 (R1, R2) 構築し、気温約30℃に保たれた恒温室に設置した。流入水は嫌気性処理後の化学工場排水を用い、リアクターの一方 (R2) には流入水量と等量の処理水を循環させた。Phase 1 ではHRTを14.4 h, 5.8 h, 2.9 hとし、段階的に負荷を上昇させた。Phase 2ではHRTを1.4 hとし、全運転期間中で最も高い有機物負荷条件での運転を行った。Phase 3では、スポンジ担体をリアクター下部に追加することでHRTを2.1 hとした。運転条件を表1に示す。

2. 2 水質分析項目

分析項目は、pH, ORP, DO, 全 BOD (tBOD), 全 COD (tCOD), TN, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ とした。pH, ORP,

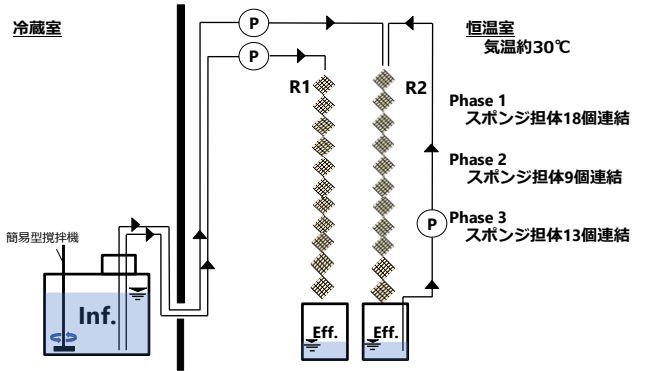


図1 リアクター概略図

表1 運転条件

	Phase 1			Phase 2	Phase 3
運転日数	DAY0-41	DAY42-51	DAY52-70	DAY71-203	DAY204-315
リアクター容積 (L)	0.5	0.5	0.5	0.25	0.37
スポンジ個数 (個)	18	18	18	9	13
流量 (L/day)	0.84	2.09	4.18	4.18	4.18
HRT (hours)	14.4	5.8	2.9	1.44	2.13
OLR-BOD (kg/(m ³ ·day))	0.38±0.06	1.1±0.09	2.3	6.35±1.6	2.54±0.73

*±は標準偏差

DO はサンプリング直後に測定した。tBOD は下水試験方法に準じ測定した。tCOD, TN は HACH 社製の水質測定キットおよび吸光光度計を用いて測定した。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ はオートアナライザー (QuAAtro 39, BLTEC) を用いて測定した。溶解性成分の分析は、孔径 0.22 μm のナイロンシリンジフィルターでろ過した試料を用いた。

2. 3 微生物群集構造解析

微生物群集構造解析は、運転 195 日目 (Phase 2) および運転 277 日目 (Phase 3) に採取した汚泥について実施した。運転 195 日目はリアクターの上から 4 および 7 番目の担体から汚泥を採取し、運転 277 日目は 1, 4, 7 および 12 番目の担体から汚泥を採取した。また、汚泥は担体の外側に付着した汚泥 (OUT) と担体内の汚泥 (IN) を分けて採取した。解析は、16S rRNA 遺伝子を対象とした 515F-806R のプライマーペアを使用し、塩基配列を iSeq 100 によって取得した後、QIIME 2²⁾を用いて行った。

キーワード DHS リアクター, 産業排水, 有機物除去, 硝化, 脱窒, アナモックス反応
連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1
長岡技術科学大学 水圏土壌環境研究室 TEL: 0258-47-9612

3. 実験結果および考察

3. 1 水質分析結果

Phase 1 において, tBOD, tCOD 除去率は 80%以上となり, 良好な有機物除去性能を示した. Phase 2 では除去率は 40%程度となり, 負荷の上昇に伴いその除去率が低下した. Phase 3 では除去率が 60%程度に向上した. 有機物除去速度は phase 2 で R1: 2.8 kg-BOD/(m³・d), R2: 3.3 kg-BOD/(m³・d) となり, Phase 3 では R1: 1.4 kg-BOD/(m³・d), R2: 1.3 kg-BOD/(m³・d) となった. このことから, 本温度条件における DHS リアクターでの有機物除去速度は最大で 3 kg-BOD/(m³・d) 程度であることがわかった. TN 除去率は, Phase 1 で 29-68%程度, Phase2 では 40%程度, Phase 3 では 50%程度となり, 負荷の増大に伴う除去率の大幅な低下は確認できなかった. TN の除去速度は, Phase 1 (DAY52-70) で R1: 1.02 kg-TN/(m³・d), R2: 1.00 kg-TN/(m³・d) となり, phase 2 では R1: 1.08 kg-TN/(m³・d), R2: 1.15 kg-TN/(m³・d) であった. 負荷が増大しても速度の変化が見られなかったため, 1.1 kg-TN/(m³・d) 程度が本 DHS リアクターの窒素除去速度の上限であると考えられた. NH₄⁺-N 除去率は DAY41 以前では 90%以上を示したものの, 負荷の増加とともに低下し Phase 2 では 40%程度, Phase 3 では 50%程度となった. 流出水中の NO₂-N 濃度は DAY42-70 で 50 mg-N/L 程度となったが, 以降その濃度は低下し, Phase 2 では 5 mg-N/L 程度にまで低下した. Phase 3 では, NO₂-N 濃度が上昇し, 最大で 27 mg-N/L となった. NO₃-N 濃度は DAY 42 以降ほとんど検出されなかった. これらの結果より, 高負荷での運転を行うと硝酸の生成(完全硝化)は制限されるが, TN および NH₄⁺-N が減少していることから, 脱窒反応は進行することが分かった. これには亜硝酸型硝化脱窒もしくはアナモックス反応が関与していると考えられる. また, R1 と R2 の各除去速度の差は少なく, 処理水の循環が処理性能に与える影響は少ないと考えられた.

3. 2 微生物群集構造解析結果

R1 の科レベルの微生物群集構造解析結果を図 2 (運転 195 日目, Phase 2) および図 3 (運転 277 日目, Phase 3) に示す. 処理水を循環させた R2 との大きな菌叢の乖離は見られなかった. Phase 2 では Comamonadaceae および Rhodocyclaceae が優占した. また, スポンジ内部には Methanosaetaceae のようなメタン生成古細菌や Syntrophobacterceae などの偏性嫌気性細菌が存在していることが分かった. Phase 3 でも同様に Comamonadaceae

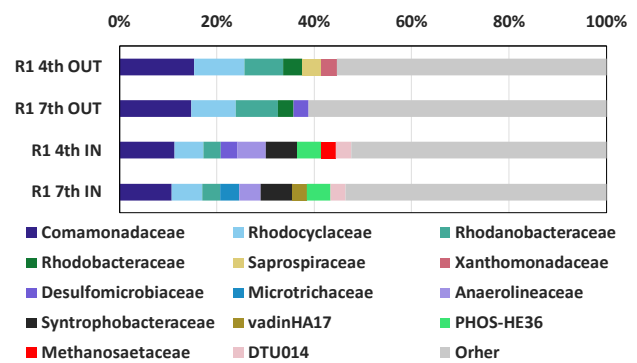


図 2 運転 195 日目の微生物群集構造解析結果 (検出割合が 3%以上の種を表示)

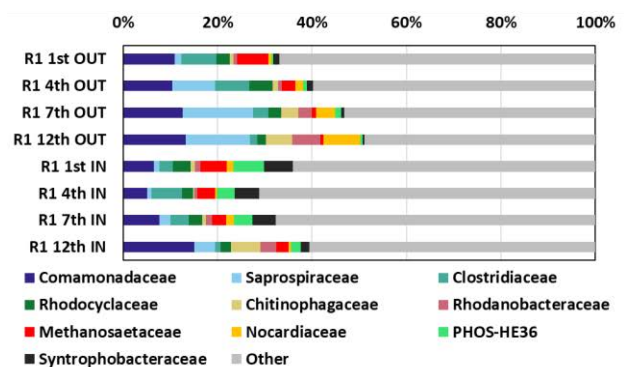


図 3 運転 277 日目の微生物群集構造解析結果 (上位 10 種を表示)

が全てのサンプルで優占した. また, アナモックス反応を担う細菌が属する Planctomycetota が Phase 2 で 0.23-1.21%, Phase 3 で 0.14-1.49%の検出割合で検出された.

4. まとめ

Phase 1 では流量を段階的に上昇させた. その結果, 有機物除去率は 80-90%程度となった一方で, TN および NH₄⁺-N の除去率は 80%程度から 40%程度まで低下した. Phase 2 では最も高い負荷での運転となり, 有機物除去率が 40%程度に減少した. しかし, TN, NH₄⁺-N 除去率は 40%程度となった. Phase 3 では有機物除去率は 60%程度, TN および NH₄⁺-N 除去率は 50%程度に向上した. 有機物除去速度および窒素除去速度は Phase 2 で最大となりそれぞれ 3 kg-BOD/(m³・d) 程度および 1.1 kg-TN/(m³・d) 程度であった. また, 処理水循環が処理性能に与える影響は少ないと考えられた. 保持汚泥は Comamonadaceae が全てのサンプルで優占した. また, アナモックス細菌が属する Planctomycetota が検出されたことから, アナモックス反応も本 DHS の脱窒に関与していることが考えられた.

参考文献

- 1) Okubo, T., *et al.*, *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 45(4) 701-709, (2022).
- 2) E. Bolyen, *et al.*, *Nature Biotechnology*, 37, 852-857 (2019)