

高速下水処理法としての DHS システムのタイでの適用

長岡技大・院 ○(学) 近 雄仁, (正) 渡利 高大, (正) 幡本 将史, (正) 山口 隆司
コンケン大学 Pairaya Choeisai, 株式会社 DHS テクノロジー 原田 秀樹
株式会社 NJS コンサルタンツ 桐島 佳宏, 三機工業株式会社 松枝 孝

1. はじめに

タイ王国のコンケン市をはじめとした東南アジア諸国の地方都市では、好気性酸化池が広く下水処理に用いられている。しかしながら、現地の好気性酸化池では、表面曝気による電力消費や広大な敷地面積による土地利用の圧迫、不適切な運転管理による低い処理性能などの問題を有している。これらの問題を解決する方法の一つとして Down-flow Hanging Sponge (DHS) リアクターによる高速下水処理が検討されている。DHS リアクターはスポンジを微生物保持担体として利用した散水ろ床法の一つである。DHS リアクターの特徴は、下水がスポンジ担体を流下する際に空気中から酸素を取り込むため曝気が不要、高濃度に汚泥保持が可能、スポンジ担体中の微生物による自己消化や原生動物などによる捕食効果によって余剰汚泥の発生が非常に少ない点などが挙げられる¹⁾。DHS リアクターは、UASB リアクターの後段処理としてこれまでに様々な国と地域での下水処理手法として実証され、高い処理性能を示している¹⁾。本研究では、各家庭にセプティックタンクが整備されており、下水濃度が低いタイ王国のコンケン市に沈殿槽と DHS リアクターを複合させたシステムを設置し、高速下水処理法として処理性能評価を行った。

2. 実験方法

DHS システムは、タイ王国・コンケン市の既設中継ポンプ場内に設置した(図1)。システムは DHS リアクターの前段に直径 2.0 m × 高さ約 2.0 m の沈殿槽 (SED) を設置したものとした。DHS リアクターは、1.0 m × 2.0 m × 高さ 5.0 m の箱状の反応槽 (4 槽構造) に G3 型スポンジ (Φ33 mm × 33 mm) を 3.6 m³ 充填した (充填率 50 %)。表1に本実験における DHS リアクターの運転条件を示す。本実験では、無植種、HRT=4 h の条件でスタートアップを行い、その後 HRT を 2 h, 1 h, 0.75 h, 0.5 h, 0.4 h と短縮した。HRT はスポンジ容量より算出した。水質分析は、流入下水 (Inf.), 沈殿槽処理水 (SED eff.), DHS 処理水 (DHS eff.) とし、pH, DO, ORP, EC, SS, VSS, T-COD, S-COD, T-BOD, S-BOD,

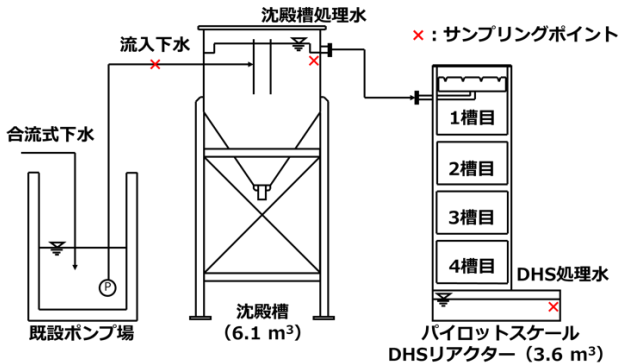


図1 パイロットスケール DHS リアクターの概略図

表1 DHS リアクターの運転条件

Phase	期間	HRT (h)		消費電力 (kWh・m ⁻³)
		設定	平均	
Phase 1	1 - 14	4	3.7±0.9	1.09 ± 0.05
Phase 2	15 - 27	2	2.2±0.1	0.61 ± 0.05
Phase 3	28 - 81	1	1.2±0.4	0.33 ± 0.10
Phase 4	82 - 105	0.75	0.8±0.1	0.27 ± 0.07
Phase 5	106-245	0.5	0.5±0.1	0.35 ± 0.02
Phase 6	246-422	0.4	0.4±0.1	0.30 ± 0.04

TN, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, TP の分析を行った。運転開始 18 日目, 299 日目に DHS リタクター各槽のスポンジ保持汚泥について、アンモニア酸化細菌 (AOB) と亜硝酸酸化細菌 (NOB) である *Nitrospira spp.* を対象とした 16S rRNA 遺伝子の定量を行った。Q-PCR 増幅に用いたプライマーは CTO 189fA/B/C, RT1r (AOB) と NSR1113f, NSR1264r (*Nitrospira spp.*) を用いた。

3. 実験結果及び考察

表1に DHS リアクターの運転条件を示す。本 DHS システムの水中ポンプ及びエアポンプの合計消費電力は Phase 6 において 0.30±0.04 kWh・m⁻³ であり、活性汚泥法 (約 0.45kWh・m⁻³) と比較し、2/3 程度の消費電力量であった。表2に各 Phase における水質分析結果を示す。Phase 4 から DHS 処理水の T-BOD, SS, TN, NH₄⁺-N 濃度の上昇, NO₃⁻-N 濃度の減少が確認された。これらの原因としては、HRT の短縮による短絡流の増加や微生物の分

解能力を超える基質の供給，スポンジ保持汚泥の剥離による硝化菌の流出などが考えられる．Phase 6における DHS 処理水質は，タイの下水道放流基準（BOD < 20 mg・L⁻¹，SS < 30 mg・L⁻¹，TN < 20 mg・L⁻¹，pH: 5.5～9.0）を達成し，DHS リアクターのみで処理可能であった．図 2 に容積負荷と各水質分析項目の除去率の関係を示す．T-BOD は，容積負荷の増加に伴い，徐々に除去率が低下したが，2.3 kg-BOD・(m³-sponge・day)⁻¹でも除去率 61.7 %を維持した．容積負荷が 0.6 kg-BOD・(m³-sponge・day)⁻¹付近から SS, TN, NH₄⁺-N の除去率が低下し，特に TN, NH₄⁺-N の除去率が影響を受けた．コンケン市において，TN の除去率が 50 %程度であれば，流入 TN 濃度が高い状態（約 30 mg・L⁻¹）でもタイの下水道放流基準の達成が可能であるため，本研究においては，1.0 kg-BOD・(m³-sponge・day)⁻¹程度が最適であると考えられる．

図 3 に各保持汚泥の AOB, NOB を対象とした 16S rRNA 遺伝子の定量結果を示す．定量の結果，リアクター下部に AOB, NOB が多く存在しており，既報の報告と同様であった²⁾．加えて，運転開始 299 日目の 1 槽目，2 槽目，3 槽目では，AOB は検出限界以下のコピー数であった．このことより，AOB の分布は処理速度の上昇に伴い後段に変移すると示唆された．

4. 結論

本システムは HRT=0.4 h (1.3±0.6 kg-BOD・(m³-sponge・day)⁻¹) の運転条件でタイの下水処理場放流水の水質基準を達成した．T-BOD の除去率は容積負荷の増加に伴い，徐々に低下した．SS, TN, NH₄⁺-N の除去率は，容積負荷 0.6 kg-BOD・(m³-sponge・day)⁻¹付近から低下した．安定してタイの下水処理場放流水の水質基準を達成するには 1 kg-BOD・(m³-sponge・day)⁻¹ (約 HRT=0.5 h) 程度の運転条件が最適である．各 DHS 保持汚泥の AOB, NOB を対象とした 16S rRNA 遺伝子の定量の結果，AOB, NOB の分布は HRT の短縮と共にリアクター後段に変移した．

参考文献

1) Hatamoto et al. (2018) Applied Microbiology and Biotechnology, 102 (24) 10345-10352.
2) Kubota et al. (2014) Bioresource Technology, 151 144-150.

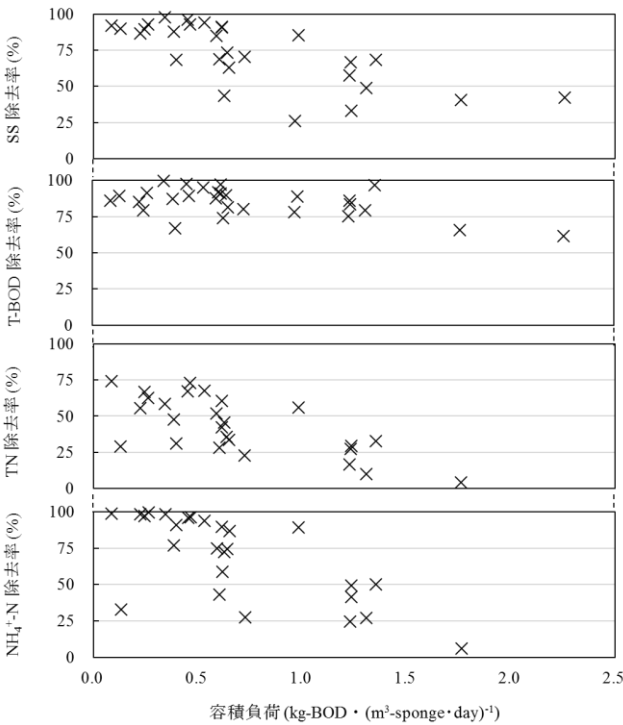


図2 容積負荷と各水質分析項目の除去率の関係

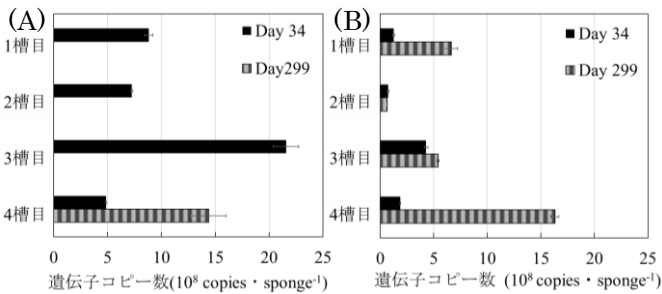


図 3 (A) AOB の定量結果， (B) NOB の定量結果

表 2 各 Phase における沈澱槽処理水 (SED eff.)，DHS 処理水 (DHS eff.) の水質

Phase	pH		SS		T-BOD		TN		NH ₄ ⁺ -N		NO ₃ ⁻ -N	
	(-)		(mg・L ⁻¹)		(mg・L ⁻¹)		(mg・L ⁻¹)		(mg・L ⁻¹)		(mg・L ⁻¹)	
	SED.eff	DHS.eff	SED.eff	DHS.eff	SED.eff	DHS.eff	SED.eff	DHS.eff	SED.eff	DHS.eff	SED.eff	DHS.eff
Phase1	7.4±0.3	7.4±0.3	14.1±5.4	0.9±0.2	17.6±4.4	2.1±0.2	27.5±5.9	14.3±11.6	11.6±2.0	4.4±6.1	N.D	2.5±3.1
Phase2	7.3±0.2	7.1±0.2	15.7±1.5	1.5±0.5	22.2±0.3	3.9±0.8	30.1±0.9	11.7±2.7	13.3±0.0	0.3±0.1	N.D	8.9±1.0
Phase3	7.4±0.1	7.2±0.1	14.7±2.3	0.7±0.2	20.1±4.3	1.1±0.9	29.1±4.4	9.8±0.8	14.2±2.2	0.5±0.4	N.D	8.6±0.1
Phase4	7.2±0.1	7.1±0.1	16.2±4.8	1.7±0.5	17.5±3.6	1.5±0.8	28.5±2.7	14.0±2.1	13.7±1.2	3.3±1.5	N.D	6.8±1.9
Phase5	7.2±0.1	7.3±0.1	16.0±2.1	5.9±2.0	19.8±6.0	3.4±1.7	21.1±6.7	14.8±7.1	9.8±3.3	5.2±3.9	N.D	3.4±1.8
Phase6	7.2±0.1	7.1±0.2	15.9±4.3	8.9±0.5	21.9±8.2	5.7±4.6	21.0±8.8	17.9±9.7	9.1±3.6	7.1±4.6	0.1±0.2	2.0±1.8