

パイロットスケール Downflow hanging sponge (DHS) システムを用いたタイ実下水処理

長岡技術科学大学大学院 ○近 雄仁, 渡利高大, 幡本将史, 山口隆司

東北大学 原田秀樹 コンケン大学 Pairaya Kucivilize Choiesai

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, 田中信宏

1. はじめに

タイ王国のコンケン市をはじめとした地方都市では好気性酸化池が広く用いられている。しかしながら、現地の好気性酸化池では、曝気のための電力消費や藻類の発生、余剰汚泥の引き抜きなど、適切な運転管理がなされておらずその処理水質は良好ではない。近年、地方都市においても土地価格の高騰などによりコンパクトで運転管理が容易な下水処理システムが求められている。Down-flow Hanging Sponge (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 リアクターの特徴としては、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、高濃度で汚泥保持が可能、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、これまで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、合流式(遮集式)下水道を採用しているため流入下水濃度が低いタイ王国・コンケン市にパイロットスケール DHS リアクターを設置し、高速下水処理プロセスとしての処理性能評価を行った。

2. 実験方法

パイロットスケール DHS リアクターは、タイ王国・コンケン市の既設中継ポンプ場の敷地内に設置した(図1)。DHS リアクターの前段に最初沈殿槽(直径 2.0 m×高さ約 2.0 m)を設置した。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 段構造)に G3 型スポンジ(Φ33 mm×33 mm)を 3.6 m³ 充填した。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、植種を行わずに DHS リアクターのスタートアップを行った。水質分析は、流入下水、最初沈殿槽処理水、DHS 処理水とし、pH, DO, ORP, EC, SS, VSS, T-COD, S-COD, T-BOD, S-BOD, T-N, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, T-P の分析を行った。COD の測定方法は、重クロム酸カリウム法とした。運転開始 18 日目, 34 日目, 63 日目に DHS 反応槽の各段 のスポンジ保持汚泥

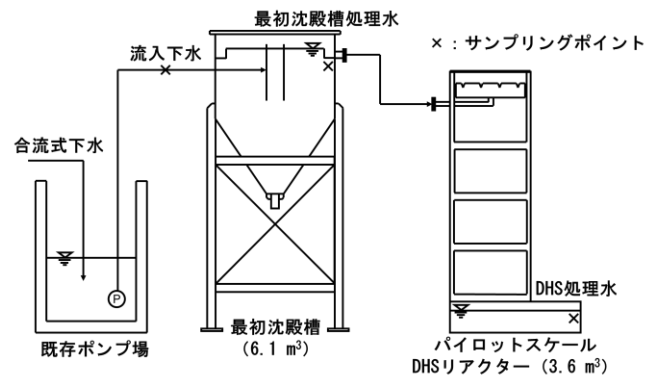


図1 パイロットスケール DHS リアクターの概略図

表1 DHS リアクターの運転条件

Phase	Day	流量 (m ³ · day ⁻¹)	HRT (h)
Phase 1	1 - 14	25.7± 8.6	3.7±0.9
Phase 2	15 - 27	39.4± 1.6	2.2±0.1
Phase 3	28 - 81	76.1±12.2	1.2±0.4
Phase 4	82 -105	111.9±13.2	0.8±0.1
Phase 5	106-245	166.1±17.5	0.5±0.1

について 16S rRNA 遺伝子に基づいた微生物群集構造解析とアンモニア酸化細菌 (AOB) と亜硝酸酸化細菌 (NOB) である *Nitrospira spp.* を対象としたデジタル PCR を行った。

3. 実験結果及び考察

表2に各運転 Phase における水質分析結果を示す。運転開始 6 日目の DHS 処理水の T-BOD は、2.2 mg·L⁻¹ で運転開始後すぐに高い有機物除去性能を示した。運転開始 13 日目における DHS 処理水の NH₄-N 濃度と NO₃⁻-N 濃度はそれぞれ 0.1 mg·L⁻¹ と 4.7 mg·L⁻¹ で硝化反応を確認した。Phase 1 における DHS 処理水質は、BOD: 2.1 ± 0.2 mg·L⁻¹, SS: 0.9 ± 0.2 mg·L⁻¹, T-N: 14.3 ± 11.6 mg·L⁻¹, T-P: 1.2 ± 0.1 mg·L⁻¹, pH: 6.5 ~ 7.7 でタイの下水道放流基準 (BOD < 20 mg·L⁻¹, SS < 30 mg·L⁻¹, T-N < 20 mg·L⁻¹, T-P < 2 mg·L⁻¹, pH: 5.5 ~ 9.0) を達成した。そのため運転開始から 2 週間程度でスタートアップは完了した。Phase 2 では、T-BOD が 3.9 ± 0.8 mg·L⁻¹ と上昇したが概ね Phase 1 と同じ水質を得られた。Phase 3 では、システム全体の T-BOD 除去率が 94.8 ± 4.1 % であ

り、HRT を短縮したにも関わらず Phase 1 (87.7±1.8%) と Phase 2 (83.8±3.4%) と比較して最も高い値となった。S-COD 及び S-BOD 除去率も、Phase 1 と Phase 2 と比べ上昇しており、リアクターの運転日数の経過によって微生物がスポンジ担体に定着し、浮遊物の捕捉だけでなく、溶解性の有機物も分解していた。NH₄⁺-N は HRT 短縮当初よりほぼ完全に硝化されている状況が続き、脱窒に関しても HRT を 2h で運転した際と同程度に進行した。Phase 4 では、システム全体の SS, VSS, T-BOD の除去率は 90%以上を維持したが、T-N と NH₄⁺-N の除去率はそれぞれ 49.9±7.6%, 74.5±12.9% であり、低下した。Phase 5 では、NO₃⁻-N を除くすべての分析項目で除去率が低下した。T-BOD, S-BOD の除去率は 80%程度を維持しており、有機物除去に関しては除去性能が維持されていた。しかし、T-N と NH₄⁺-N の除去率は、29.1±18.4%, 51.0±24.8% であり、最も低い値となった。原因としては、流量の増加により担体表面付近を短絡して流れる流量が増加し、生物分解の機能が低下したためであると考えられる。Phase 5 において DHS リアクターは OLR (有機物負荷) = 0.9±0.3 kgBOD/m³-sponge/day の条件でタイの下水道放流基準を達成した。

スポンジ保持汚泥の微生物解析の結果、AOB である *Nitrosomonas* は、運転開始 18 日目において 0.1%~1.8% 検出されており、植種を行っていない DHS リアクターにおいても数週間の運転によって硝化細菌の生育が確認できた。そのため、通常生育が遅い硝化細菌の生育にスポンジ担体を用いた DHS リアクターは優れており、良好な活性汚泥等の植種汚泥が困難な状況であっても、適用が可能であることを示した。また、デジタル PCR による AOB の遺伝子量を定量した結果、リアクター下部に多く存在しており、既報の報告と同様であった²⁾。加えて、処理速度の上昇とともに AOB の分布はリアク

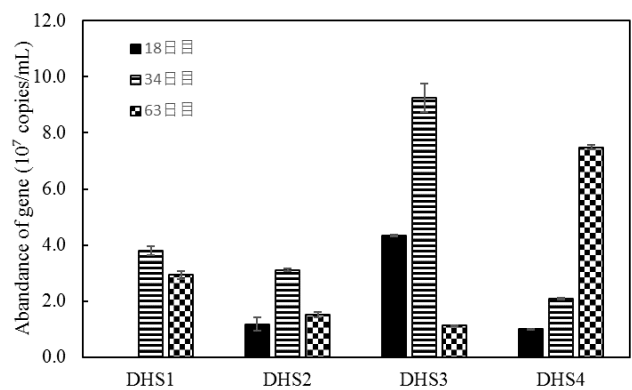


図2 各段のスポンジ担体における AOB の分布

ター下部へ変移しており、リアクターの運転条件と一致していた。NOB である *Nitrospira* は、リアクター下部において多く検出された。以上の結果から、植種を行っていない DHS リアクターにおいても運転開始直後に、硝化反応に関わる微生物がスポンジ担体に定着し、安定した処理性能に寄与していた。

4. 結論

本実験では、DHS リアクターは植種を行っていない条件でも、2 週間程度でスタートアップが完了した。HRT 0.5 h の運転条件でタイの下水道放流基準を達成した。OLR の増加に伴い、AOB の分布は後段へと変移した。

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.

謝辞

本研究は、国土交通省・下水道技術海外実証事業 WOW TO JAPAN プロジェクトの助成を受けて行いました。

表2 各運転 Phase における流入下水 (Inf), 最初沈澱槽処理水 (PS Eff.), DHS 処理水 (DHS Eff.) の水質

Parameter (mg·L ⁻¹)	Phase 1 (HRT=4 h)			Phase 2 (HRT=2 h)			Phase 3 (HRT=1 h)			Phase 4 (HRT=0.75 h)			Phase 5 (HRT=0.5 h)		
	Inf.	PS Eff.	DHS Eff.	Inf.	PS Eff.	DHS Eff.	Inf.	PS Eff.	DHS Eff.	Inf.	PS Eff.	DHS Eff.	Inf.	PS Eff.	DHS Eff.
SS	18.0±6.9	14.1±5.4	0.9±0.2	26.1±13.7	15.7±1.5	1.5±0.5	15.2±1.7	14.7±2.3	0.7±0.2	18.7±3.3	16.2±4.8	1.7±0.5	20.1±3.2	16.0±2.1	5.9±2.0
S-COD	28.5±8.9	39.7±24.1	116.6±2.5	43.1±2.2	44.5±6.5	21.7±6.9	41.2±5.6	41.0±6.3	15.9±1.9	47.3±7.8	45.3±6.6	20.8±3.9	39.7±10.2	240.0±10.9	19.3±6.5
T-BOD	17.5±3.9	17.6±4.4	2.1±0.2	24.2±0.0	22.2±0.3	3.9±0.8	20.4±5.3	20.1±4.3	1.1±0.9	18.3±5.4	17.5±3.6	1.5±0.8	20.5±6.5	19.8±6.0	3.4±1.7
S-BOD	11.3±2.7	12.3±6.2	1.6±0.3	16.1±0.2	14.8±4.4	1.5±0.5	9.7±4.3	10.5±5.1	0.7±0.6	10.2±3.5	11.3±2.3	1.0±0.3	8.8±3.6	9.6±5.3	1.9±1.2
T-N	27.3±6.4	27.5±5.9	14.3±11.6	30.2±0.9	30.1±0.9	11.7±2.7	28.9±4.4	29.1±4.4	9.8±0.8	28.1±3.1	28.5±2.7	14.0±2.1	20.8±7.0	21.1±6.7	14.8±7.1
NH ₄ ⁺ -N	11.5±2.2	11.6±2.0	4.4±6.1	13.1±0.0	13.3±0.0	0.3±0.1	14.1±2.1	14.2±2.2	0.5±0.4	13.5±1.2	13.7±1.2	3.3±1.5	9.4±3.6	9.8±3.3	5.2±3.9
NO ₃ ⁻ -N	N.D	N.D	2.5±3.1	0.1±0.0	N.D	8.9±1.0	N.D	N.D	8.6±0.1	N.D	N.D	6.8±1.9	0.1±0.2	N.D	3.4±1.8

N.D=Not detected