

都市下水を対象とした初沈-DHS-終沈システムにおける硝化性能及びSS除去性能評価

水圏土壌環境研究室 M2 12328581 十河圭輔

1. はじめに

現在、日本において下水処理に活性汚泥法が広く採用されている。筆者らは初沈とスポンジ懸垂型リアクター (Down-flow Hanging Sponge: DHS) 法と終沈を組み合わせた無曝気型の省エネルギー下水処理システムを開発した。本研究ではパイロットスケールの装置を長岡中央浄化センターに設置し、既往の知見が少ない冬期 (気温 $10^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$, DHS 流入水温 $11\pm 1^{\circ}\text{C}$), における有機物除去及び硝化性能を評価した。冬期においては水温低下に伴い、硝化性能が悪化する。そこで、流入量を段階的に低減させることで硝化性能が向上するか、夏期と硝化性能を比較して検討した。DHS 処理水には数十 mg/L レベルの (活性汚泥の曝気槽流出 $\text{SS}=1,500\text{ mg/L}$ と比較して低レベルの) SS を有する。そこで、終沈設置の目的として長岡市の放流水質基準 ($\text{SS}\leq 30\text{ mg/L}$) を超過せず、活性汚泥法の放流水質レベル $\text{SS}=10\text{ mg/L}$ 程度を目標値とした。また、16S rRNA 遺伝子解析により、終沈汚泥の構成と DHS の流下長毎のスポンジ担体保持汚泥を比較した。

2. 実験装置及び実験方法

図 1 に実験装置の概要図を示す。表 1 に各 Phase, 各 RUN における運転条件を示す。分流式下水は下水タンクに流入させ、初沈を経て DHS (リアクター総容積 857 L, スポンジ総容積 454 L, スポンジ充填率 53%, 高さ 4.7 m) に入る。DHS 内では好気条件下にて有機物分解及び硝化反応が起こる。その後、DHS 処理水は終沈にて SS 除去が行われた後、系外へ放流される。本実験の期間は 2014 年 4 月 3 日-2016 年 1 月 21 日とした。Phase 2 (外気温 $10\pm 1^{\circ}\text{C}$) では流下長における硝化性能評価を行った。流量は Phase 毎に段階的に変更した。水質分析は、流入下水、初沈処理水、DHS 処理水、終沈処理水を供した。測定項目は外気温、水温、BOD, SS, $\text{NH}_4\text{-N}$ である。RUN4 (運転 629-659 日目) では、終沈の流下長におけるサンプリングを実施し、SS についてのプロファイルを行った。菌叢についてのプロファイルも実施し、DNA 解析に用いたサンプルは、終沈汚泥, BOX1, BOX3, BOX5, BOX7, BOX9 から採取した。採取した汚泥は洗浄し、DNA 抽出まで -20°C で保存した。DNA 抽出は、FastDNA Spin Kit for Soil (MP Biomedicals) を用いて行った。抽出 DNA を鋳型とし、原核生物の 16S rRNA を標的とした Univ515F-Univ806R のプライマーセットで PCR を行った。PCR 増幅産物は精製後、次世代シーケンサー Miseq (illumine 社) を用いて解析した。得られた 16S rRNA 配列情報は QIIME ソフトウェアを用いて解析し、系統分類は Greengenes データベースを用いて分類した。

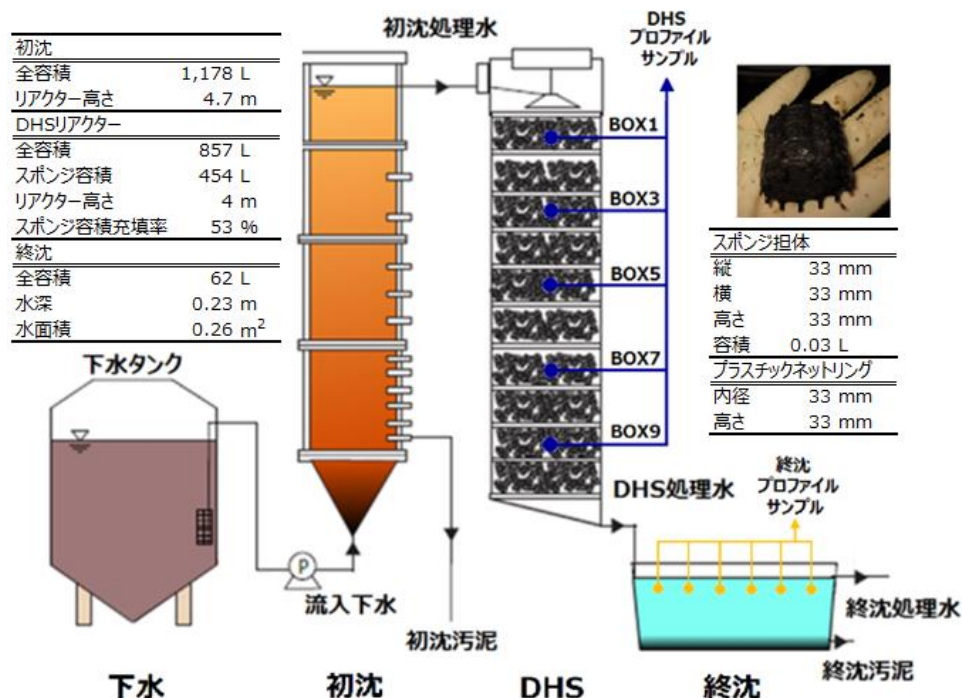


図 1 実験装置の概略図

表 1 各 Phase, 各 RUN における運転条件

DHS				
	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
運転期間 (day)	2014/4/3-2014/12/15 (運転1-257日目)	2014/12/16-2015/1/23 (運転258-296日目)	2015/1/24-2015/9/29 (運転297-545日目)	2015/9/30-2016/1/21 (運転546-659日目)
HRT (hour)	3.1	3.0-7.6	3.6	5.9
流量 (m^3/day)	3.49	1.44-3.49	3.01	1.84
終沈				
	RUN 1	RUN 2	RUN 3	RUN 4
運転期間 (day)	2014/4/3-2014/8/28 (運転1-148日目)	2014/8/29-2014/12/18 (運転149-260日目)	2014/12/19-2015/9/29 (運転261-545日目)	2015/12/22-2016/1/21 (運転629-659日目)
HRT (hour)	0.27	3.2	0.8-1.9	0.8
水面積負荷 (m/day)	13.4	4.25	3.8-7.9	7.0

3. 実験結果

図2に初沈-DHS-終沈システムにおけるSSの経日変化を示す。SS濃度は流入下水 121 ± 66 mg/L, 初沈処理水 66 ± 37 mg/L, DHS処理水 20 ± 12 mg/L, 終沈処理水 13 ± 9 mg/Lであった。RUN1の終沈処理水は 21 ± 20 mg/Lであった。DHS下部の沈殿槽ではSSの最大値 69 mg/Lを記録し、長岡市の放流水質基準 30 mg/Lを達成出来なかった。しかし、開発した終沈を導入以降のRUN2-4での終沈処理水はSS最大値 19 mg/L (平均 7 ± 4 mg/L)であり、全ての観測点で長岡市の放流水質基準 30 mg/Lを満たした。

図3にDHS流下長に対する $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の除去率を示す。硝化性能についてはPhase 2.1-2.4 (HRT=3.0-7.6 hour)の中で最もPhase 2.2 (HRT=5.1 hour)が高かった。図3ではPhase 1 (流入水温 25.5°C)とPhase 2.2 (流入水温 11.4°C)を比較した。Phase 1及びPhase 2.2におけるBOD容積負荷はそれぞれ $0.56, 0.34$ kg-BOD/ m^3 -sponge/dayであった。Phase 1はPhase 2.2と比較して流下長が短い 0.6 mから $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 除去が始まっていた。水温の低下に伴い硝化する前段の有機物分解が遅れたため、このような現象が起こったと考えられる。

■ 流入下水 ◆ 初沈処理水 ▲ DHS処理水 ◆ 終沈処理水 — 放流水質基準

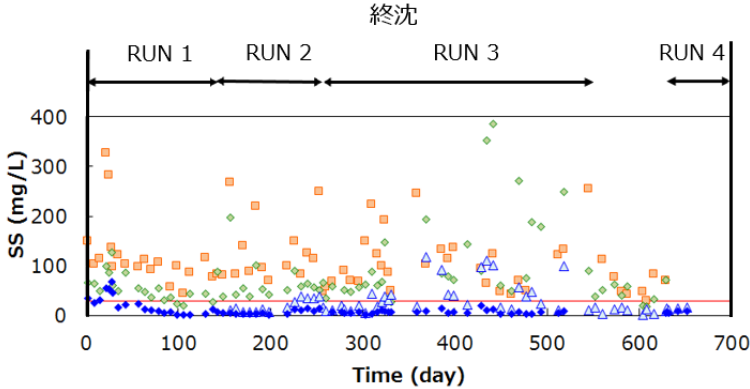


図2 SSの経日変化

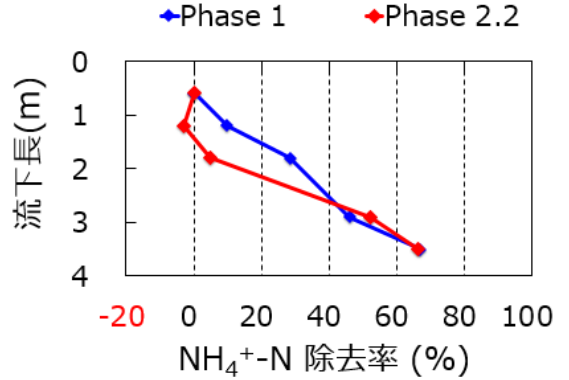


図3 DHS流下長に対する $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 除去率

図4にRUN4で用いた終沈を対象としてHRT(min.)におけるSSについてのプロファイルを示す。SSについてのプロファイルはRUN4(運転629-659日目)に行った。DHS処理水SS濃度は 15 mg/Lであった。HRTにして 2.5 min.で 24% のDHS処理水SSが除去され、HRTにして 50 min.で 40% のDHS処理水SSを除去出来た。

図5に16S rRNAを対象としたDHSと終沈汚泥を対象とした菌叢解析プロファイルを実施した結果を示す。終沈汚泥中の微生物の内、 95% はBOX7で検出され、BOX1の 69% と比べて高かった。よって終沈汚泥は主にDHSのBOX7由来の微生物によって構成されていると示唆された。

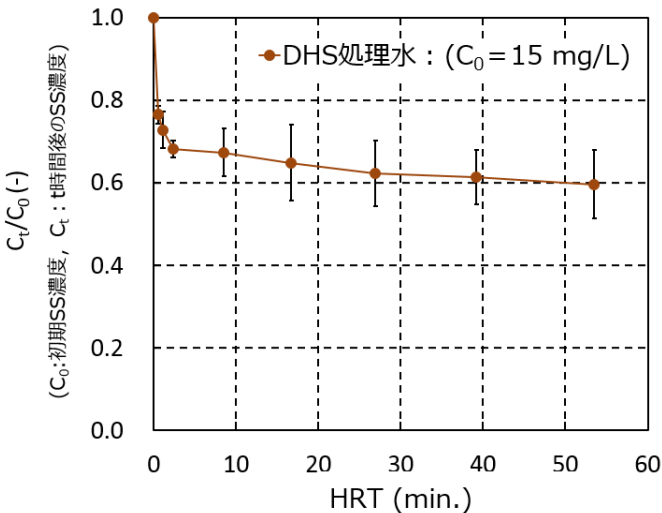


図4 RUN4における終沈のプロファイル結果

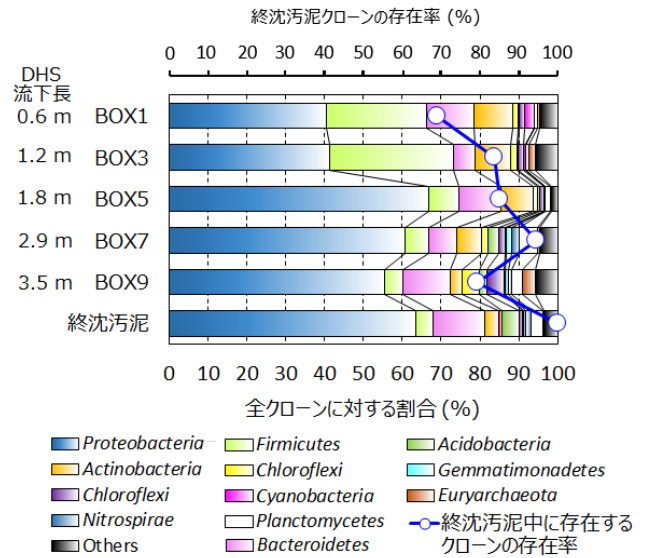


図5 16S rRNAを対象とした微生物群集構造解析結果

4. まとめ

- 1) RUN2-4における初沈-DHS-終沈を用いた下水処理システムは、終沈処理水の最大SS濃度 19 mg/L (平均 7 ± 4 mg/L)であり、長岡市の放流水質基準 30 mg/Lを満たした。
- 2) 流入負荷低減により、Phase 1 (流入水温 25.5°C)とPhase 2.2 (流入水温 11.4°C)を比較すると流入した $\text{NH}_4^+\text{-N}$ は、Phase 1では流下長 0.6 mから硝化されていたが、Phase 2.2では 1.8 mから硝化されていた。Phase 2.2が最も硝化性能が良く、至適HRTは 5.1 - 7.6 hourであった。
- 3) 終沈に対してSSについてのプロファイルを実施した結果、HRT 2.5 min.で 24% のDHS処理水SS濃度を除去し、HRT 50 min.でDHS処理水SS濃度の 40% を除去出来た。
- 4) DHSに対して菌叢解析プロファイルを実施した結果、BOX7で終沈汚泥のクローンが 95% と高頻度で検出された。