

UASB-DHS-A₂SBR システムによる無曝気・無加温型の都市下水高度処理技術の開発

長岡技術科学大学 (学) ○大槻洗太 (正) 幡本将史 (正) 山口隆司, 木更津高専 (正) 上村繁樹 (正) 大久保努
東北大学 (正) 高橋優信 (正) 久保田健吾 (正) 原田秀樹, 香川高専 (正) 多川正
鹿兒島高専 (正) 山内正仁 (正) 山田真義, 高知高専 (正) 山崎慎一

1. 目的

上昇流嫌気性汚泥床 (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket: UASB) と下降流スポンジ懸垂 (Down-flow Hanging Sponge: DHS) を組み合わせたシステム (以後, UASB-DHS システムと呼ぶ) は, 標準活性汚泥法と比較してランニングコストや汚泥生成量の少ない廃水処理技術として下水処理へ適用が進められてきた。しかしながら, UASB-DHS システムは高い有機物除去性能を持つ一方で, 処理水中には硝酸態窒素やリンが残留する。そのため, 都市下水の高度処理システムを確立するには, UASB-DHS システムの後段に栄養塩除去のためのシステムを組み込むことが必要である。また, 都市下水のような膨大な処理を行う場合は, 低コストでの処理が可能な生物学的手法が有効であると考えられる。

近年では, 窒素・リンの同時除去法として, 脱窒性リン蓄積細菌 (Denitrifying Phosphorus Accumulating Organisms: DPAOs) を利用したシステムが注目され, 研究が進められている。DPAOs を利用したシステムは, 脱窒性細菌とリン蓄積細菌を用いる既存の方法と比べ, 余剰汚泥発生量や必要有機物量が少量であり, 低コストである。また, UASB-DHS システムの後段に適用した場合, 硝化槽が不要であるため, 曝気コストを抑え, さらには処理時間の短縮化も可能である。一方で, DPAOs を利用するためには, 嫌気/無酸素のサイクルが必要となる。そこで我々は, 栄養塩処理を目的に DPAOs を利用した嫌気/無酸素回分式リアクター (Anaerobic/Anoxic Sequencing Batch Reactor: A₂SBR) を UASB-DHS システムの後段に組み込んだ廃水処理法の開発を行っている。

本研究では, UASB-DHS-A₂SBR システムによる連続処理実験を行い, システム全体の処理性能および窒素・リン除去性能, 汚泥発生量について評価した。

2. 実験方法

図-1 は UASB-DHS-A₂SBR システムの概要図を示す。実験に用いた UASB (高さ 4.7 m, 全容積 1178 L) および DHS (高さ 4.0 m, スポンジ総容積 454 L), A₂SBR (高さ 86 cm 全容積 200 L) は都市下水処理場に設置し, 無曝気・無加温条件 (9~28℃) で連続運転を行った。供給下水はスクリーン通過後の実下水を用いた。植種汚泥

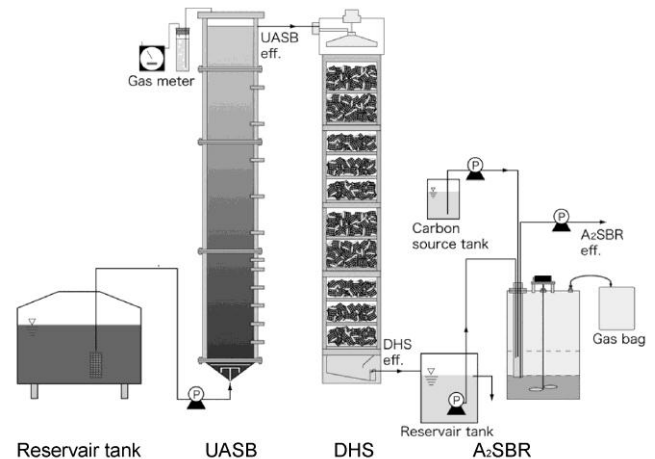


図-1 UASB-DHS-A₂SBRシステムの概要図

として, UASB は中温下水消化汚泥を約 500 L, A₂SBR は活性汚泥を約 50 L 用いた。DHS は植種を行わなかった。水理学的滞留時間は UASB で 8 h, DHS で 3.2 h とした。A₂SBR は 1 サイクル 6 h とした。A₂SBR は 1 サイクル開始時に有機物の添加と攪拌を行い, 開始から 90 分間を嫌気条件とした。嫌気条件終了後は UASB-DHS 処理水 50 L を槽内に供給し, 無酸素条件下で 270 分間運転した。その後, 無酸素条件下で沈降分離を 60 分間行った後に槽内の上澄み 50 L を A₂SBR 処理水として排出した。A₂SBR 槽内における汚泥濃度は, 汚泥の引抜きを継続的に行うことで 2000 mg・L⁻¹程度に調節し, pH は, 添加有機物の pH を調整することで 7.4±0.3 に制御した。添加有機物は酢酸ナトリウム水溶液を用いた。また, 有機物の添加量は IWA 活性汚泥モデル No.2d からリン除去に必要な最小量を算出し, 添加 COD/流入 P (g/g) で 25 になるよう調節した。なお, A₂SBR は運転 700 日目に汚泥入れ替えを行い, 再スタートを行ったため, A₂SBR のデータはその後の値を用いた。

3. 実験結果および考察

3. 1 COD_{Cr} および SS 処理性能

図-2 は UASB-DHS-A₂SBR システムの処理性能として COD_{Cr}, SS 濃度の経日変化を示す (UASB-DHS 運転 0~956 日間, A₂SBR 運転 700~956 日間)。運転期間における COD_{Cr} 濃度は, 流入下水 324 ±104 mg・L⁻¹, UASB 処理水 178±75 mg・L⁻¹ (除去率 45±22 %), DHS 処理水 51±46 mg・L⁻¹ (除去率 84±14 %), A₂SBR 処理水 45±43

キーワード 都市下水, UASB-DHS, A₂SBR, DPAOs, 無曝気, 無加温

連絡先 〒940-2138 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 環境・建設系

水圏土壌環境制御工学研究室 TEL 0258-47-1611 (内線 6646) E-mail:s103311@yahoo.co.jp

$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (除去率 $88\pm11\%$) を示した. SS 濃度は流入下水 $94\pm54\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, UASB 処理水 SS 濃度は $38\pm27\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (除去率 $55\pm38\%$), DHS 処理水 $20\pm23\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (除去率 $75\pm31\%$), A_2SBR 処理水 $16\pm30\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (除去率 $83\pm30\%$) を示した.

3. 2 窒素およびリン除去性能

図-3 は A_2SBR への流入水および流出水の硝酸態窒素濃度と全リン濃度の経日変化 (運転 700-1000 日間) を示す. なお, A_2SBR は運転開始から 88 日間は, 汚泥馴養期間とした. 88 日目以降の硝酸態窒素濃度は, 流入水 $18\pm6\text{ mg}\cdot\text{N}\cdot\text{L}^{-1}$, 流出水 $4\pm3\text{ mg}\cdot\text{N}\cdot\text{L}^{-1}$ を示した. 流入硝酸態窒素は $9\sim30\text{ mg}\cdot\text{N}\cdot\text{L}^{-1}$ の範囲で変動した. 硝酸態窒素の平均除去率は $78\pm13\%$ であった. 流入水の全リン濃度は $4.0\pm0.6\text{ mg}\cdot\text{P}\cdot\text{L}^{-1}$ であり, UASB-DHS システムの処理水には $4\text{ mg}\cdot\text{P}\cdot\text{L}^{-1}$ 程度のリンが残留していた. また, 流出水の $0.7\pm0.3\text{ mg}\cdot\text{P}\cdot\text{L}^{-1}$ であり, A_2SBR によるリン除去率は $83\pm13\%$ であった. 本システムは, 窒素とリンの同時除去が可能であった. また, A_2SBR 槽内の汚泥中のリン含有率は, 949 日目に $0.10\text{ g}\cdot\text{P}\cdot\text{g}\cdot\text{MLSS}^{-1}$ に達した. この値は, 既存の生物学的リン除去システムのリン含有率 $0.03\sim0.04\text{ g}\cdot\text{P}\cdot\text{g}\cdot\text{MLSS}^{-1}$ と比べ, 高いことから資源としての利用が期待できる.

3. 3 余剰汚泥削減効果

表-1 は, 夏季と冬季における各リアクター単位時間・単位立米あたりの汚泥発生量 (VSS 基準) を示す. 夏季における系外への汚泥排出量は, 投入汚泥量 100 % ($180.8\text{ g}\cdot\text{VSS}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{day}^{-1}$) に対して, 21.3 % ($38.6\text{ g}\cdot\text{VSS}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{day}^{-1}$) であった. システム全体の保持汚泥の増減量を考慮したときの汚泥発生量は 5.0 % となった. 一方, 冬季における系外への汚泥排出量は, 投入汚泥量 100 % ($219.1\text{ g}\cdot\text{VSS}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{day}^{-1}$) に対して, 15.7 % ($34.4\text{ g}\cdot\text{VSS}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{day}^{-1}$) であった. システム全体の保持汚泥の増減量を考慮したときの汚泥発生量は 37.2 % となった. UASB-DHS- A_2SBR システムの汚泥削減率は, 夏季 95.0 %, 冬季 62.8 % となり, 汚泥の大幅な削減が可能であった. また, 除去 COD に対する VSS 転換率 (汚泥転換率) は, UASB で $0.016\text{ gVSS}\cdot\text{gCOD}_{\text{removed}}^{-1}$, DHS で $0.218\text{ gVSS}\cdot\text{gCOD}_{\text{removed}}^{-1}$, A_2SBR で $0.029\text{ gVSS}\cdot\text{gCOD}_{\text{removed}}^{-1}$ であった.

4. まとめ

- 1) UASB-DHS- A_2SBR システムによる都市下水の連続処理実験を行った結果, 最終処理水の COD_{Cr} および SS 濃度は放流基準レベル以下の処理水質を獲得した.
- 2) A_2SBR は槽内 pH を 7.4 ± 0.3 に制御し, DPAOs の基質親和性が高い酢酸を C/P 比 25 (g/g) で添加したところ, 硝酸態窒素除去率 78 %, 全リン除去率 83 % を達成した.
- 3) 本システムは, 冬季においても 60 % 以上の汚泥排出量の削減が可能であった.

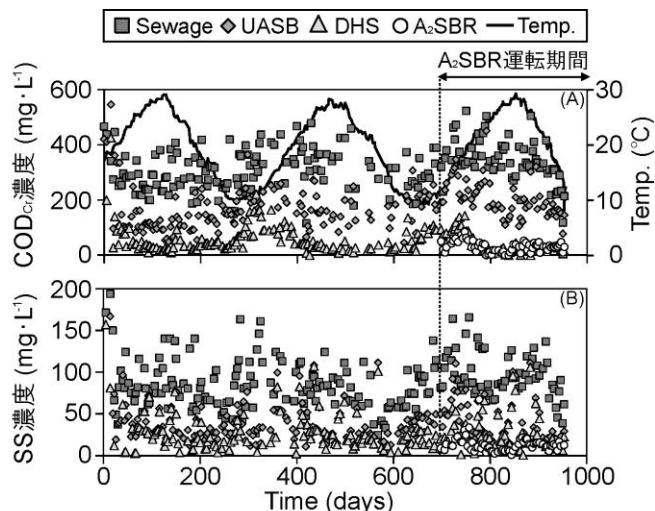


図-2 COD_{Cr} , SS濃度の経日変化
(A) COD_{Cr} 濃度, (B)SS濃度

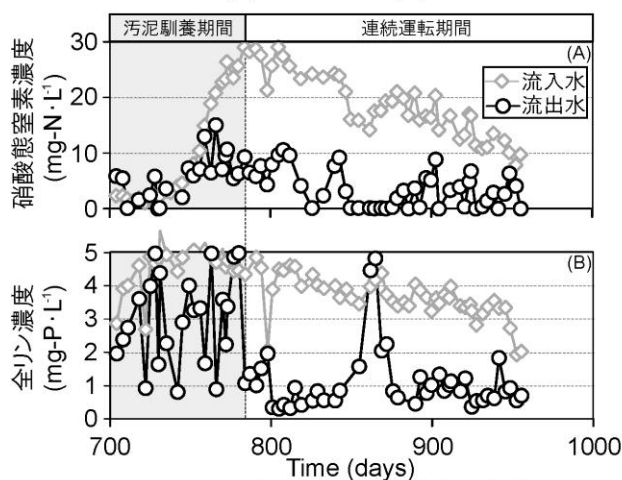


図-3 A_2SBR への流入水および流出水の硝酸態窒素, 全リン濃度の経日変化.
(A)硝酸態窒素濃度, (B)全リン濃度

表-1 汚泥発生量 (夏季, 冬季)

	夏季		冬季	
	期間: 762~911		期間: 700~761, 912~956	
流入下水水温	24.3°C 最高 27.1°C, 最低 20.2°C		16.3°C 最高 20.5°C, 最低 11.3°C	
	$\text{g}\cdot\text{VSS}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{day}^{-1}$	%	$\text{g}\cdot\text{VSS}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{day}^{-1}$	%
投入汚泥量 (流入下水)	180.8	100.0	219.1	100.0
汚泥増減量	-29.6	-16.4	47.0	21.4
内訳	UASB	-4.0	-2.2	16.2
	DHS	-25.6	-14.1	32.1
	A_2SBR	0.0	0.0	-1.3
系外への排出 (実汚泥排出量)	38.6	21.3	34.4	15.7
内訳	UASB (引抜き汚泥)	5.0	2.8	1.5
	DHS (沈殿槽汚泥)	1.6	0.9	0.9
	A_2SBR (引抜き汚泥)	32.0	17.7	32.0
汚泥発生量 (汚泥増減含む)	9.0	5.0	81.4	37.2

謝辞

本研究実施にあたり, 長岡中央浄化センターから研究の場の提供を頂きました. また, 本研究の一部は, JST-JICA 地球規模課題対応国際科学技術協力事業「エネルギー最小消費型の下水処理技術の開発」から一部助成を受けて遂行しました. ここに記して深謝致します.

参考文献

- 1) 小野ら, 土木学会第 66 回年次学術講演会 (2011) 99-100
- 2) Barnard et al., Water SA 10 1984 121-126.