

DHS-USB 方式による埋立地浸出水からの窒素除去システムの開発

東北大学大学院 学生会員 ○大浦一恵, 渡辺悠介
 東北大学大学院 正会員 大久保努, 久保田健吾, 李玉友, 原田秀樹
 ジョージア工科大学 タンドカールマダン

1. はじめに

近年、焼却残渣埋立比率の増加に伴い、浸出水中の無機塩類が高濃度となり、その結果、生物処理では塩化物イオンによる硝化阻害等の問題が生じている。また、既存の生物処理技術においては、エアレーション等の多大なエネルギーや長い処理時間が必要とされ、維持管理も困難になっている。そこで我々は、スポンジを微生物の増殖担体とした好気性処理方法である Downflow Hanging Sponge (DHS) に注目した。DHS はエアレーションが不要の省エネルギーな技術であり、スポンジの内部に高濃度の汚泥を長い SRT で保持することで優れたアンモニア酸化能を示すことがわかっている。また、保持された汚泥は自己分解されるため余剰汚泥が殆ど発生せず、維持管理も容易である。浸出水から窒素を除去するには、硝化によって生成した硝酸・亜硝酸性窒素を脱窒により窒素ガス化する必要がある。本研究では、DHS と同様に維持管理が容易、余剰汚泥の発生が少ないといった特長を持つ Upflow Sludge Blanket (USB) を、脱窒を目的に DHS の後段に組み合わせ、低コストで維持管理の容易な生物処理システムの開発を目的とした。

2. 実験方法

供給水には焼却残渣主体の埋立処分場から出る実浸出水（場内の浸出水処理施設でアルカリ凝集沈殿処理後に採水）を用いた。この浸出水の組成を表-1 に示す。また実験装置の概要を図-1 に示す。4枚のスポンジシートから構成される DHS の総スポンジ容積は 7.3 L, USB の有効液容積は 2.0 L であり、クロマトチャンバー内に設置することで温度を 30°C に制御した。植種には、DHS は浸出水処理施設の接触酸化槽から採取した汚泥を、USB は A₂O 法における返送汚泥をそれぞれ用いた。実験は表-2 に示すように大きく 3 段階に分けて負荷を増加させながら行った。実験途中より、硝化反応のためのアルカリ度として炭酸水素ナトリウム、脱窒のための炭素源としてメタノールを添加した。

分析には、浸出水（炭酸水素ナトリウム添加後）、DHS 処理水（メタノール添加前）、USB 処理水を供した。分析項目は、pH、アルカリ度、COD_{Cr}、TKN、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、ガス生成量、ガス組成とした。

表-1 浸出水の組成

pH	8.59 (0.40)	NH ₄ (mg N/l)	158 (29)
BOD ₅ (mg/l)	190 (80)	SS (mg/l)	235 (132)
COD _{Cr} (mg/l)	508 (240)	Cl ⁻ (mg/l)	22200 (2100)
TKN (mg N/l)	170 (34)	Alkalinity (mg CaCO ₃ /l)	438 (101)

()内は標準偏差。

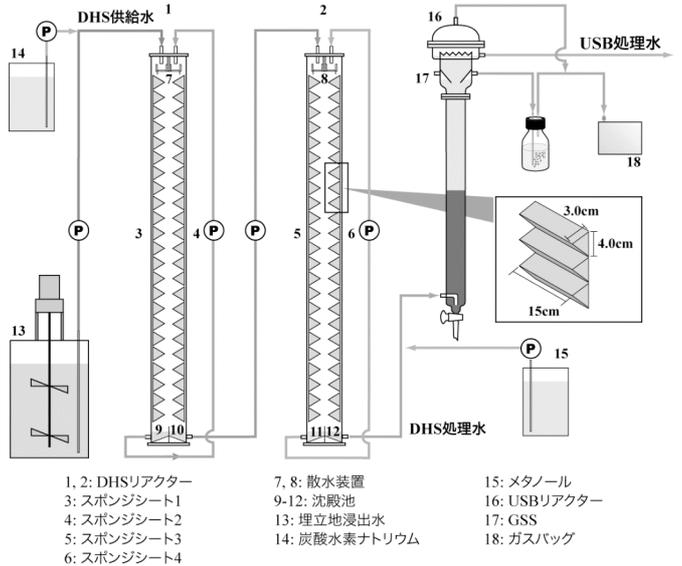


図-1 実験装置概要

3. 結果および考察

3.1 窒素除去

図-2 (A) に各処理水の NH₄-N 濃度, (B) に DHS, USB 処理水の NO₂-N 濃度, NO₃-N 濃度, (C) に NH₄-N 除去率 ((浸出水の NH₄-N 濃度-DHS 処理水の NH₄-N 濃度) / (浸出水の NH₄-N 濃度) × 100) と脱窒率 ((DHS 処理水の NO_x-N 濃度-USB 処理水の NO_x-N 濃度) / (DHS 処理水の NO_x-N 濃度) × 100) の経日変化を示す。運転開始時は浸出水中のアルカリ度を消費し硝化反応が進行すると考えたが、NH₄-N 除去率は低かった。そこで浸出水中のアルカリ度のみでは不足と考え、Phase 1 (b) よりアルカリ度の添加を開始したところ、安定した NH₄-N 除去が確認された。

DHS で安定した NH₄-N 除去が確認できたため、Phase 1 (c) より USB 供給水へのメタノールの添加を開始した。

表-2 運転条件

	Phase 1				Phase 2	Phase 3	
	(a)	(b)	(c)	(d)		(a)	(b)
期間 (day)	0-24	25-54	55-139	140-179	180-229	230-374	375-399
HRT (h)	DHS	24	24	24	12	12	6.0
	USB	6.5	6.5	5.5	3.3	2.2-3.0	3.0
供給アンモニア濃度 (mg-N/l)	159 (31)				152 (22)	330 (42)	155 (9)
アンモニア負荷速度 (kg-N/m ³ /d)	0.16 (0.03)				0.30 (0.04)	0.66 (0.08)	0.62 (0.03)
炭酸水素ナトリウム添加 (mg/l)	-	1300	1300	1300	1300	2600	1300
メタノール添加 (mL/l)	-	-	0.43	0.23	0.31	0.62	0.31
備考		NaHCO ₃ 添加開始	CH ₃ OH添加開始	USB再植種	途中でUSBのHRT短縮	NH ₄ Cl添加	DHSのスポンジ容積半分

()内は標準偏差

キーワード：埋立地浸出水、窒素除去、DHS、USB、省エネルギー型

連絡先：〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 環境保全工学研究室
 TEL : 022-795-3584

しかし平均脱窒率は45%しか示さなかった。これは運転開始時に下水消化汚泥で植種してから硝化反応が安定するまでの期間が長かったため、脱窒細菌の活性が下がっていたことが原因であると考えられる。そこでより多くの脱窒細菌が存在すると思われる A₂O 法の返送汚泥を用い、USB の再植種を行った (Phase 1 (d))。再植種後は USB でも安定して脱窒が進行し、Phase 2 においては処理水の平均全窒素濃度が 16 (標準偏差±23) mg/L と、本システムにより浸出水中の窒素の 90%を除去することができた。このとき DHS では NH₄-N 除去率 91%、除去速度 0.27 kg N/m³/d を示した。

しかし、Phase 3 でアンモニア負荷速度を 0.66 kg N/m³/d に増加させたところ、DHS のアンモニア除去率は平均 58%に低下した。この原因として、供給水の NH₄-N 濃度を増加させたことにより、遊離アンモニアによる硝化阻害を受けた可能性が考えられた。また、トレーサー試験の結果、DHS では理論 HRT と実 HRT に平均で 69%もの差があり、供給水がスポンジ全体に行き渡っておらず、スポンジ容積を有効に利用できていないことがわかった。

3.2 DHS 流下距離方向の窒素態挙動

各スポンジシートの処理水を採水・分析することで、浸出水がスポンジシートを流下する過程でどのような挙動を示すかを明らかにするためにプロファイル測定を実施した。図-3 (A) に、Phase 2 (運転 228 日目)、(B) に Phase 3 (a) (運転 326 日目) の DHS 流下方向における窒素態、遊離アンモニア、pH のプロファイルを示す。Phase 2 (図-3 (A)) の結果より、シート 3 (流下距離 276 cm) までは NH₄-N の酸化がほぼ NO₂-N で止まり、続くシート 4 (流下距離 368 cm) で NO₃-N に酸化されている様子が確認された。Anthonisen ら¹⁾は、遊離アンモニア濃度が 0.1-1.0 mg NH₃/l で亜硝酸酸化細菌である *Nitrobacter* への阻害が起き始め、さらに遊離アンモニア濃度が 10-150 mg NH₃/l に上昇するとアンモニア酸化細菌である *Nitrosomonas* への阻害が進行すると報告している。Phase 2 においても、シート 3 までの遊離アンモニア濃度が 0.81-26 mg NH₃/l の範囲にあるため、亜硝酸酸化細菌への阻害が顕著に現れたと考えられる。一方、シート 4 では NH₄-N が酸化され pH が低下し、遊離アンモニア濃度が 0.3 mgNH₃/l まで減少したため、亜硝酸酸化細菌への阻害が減少し硝化が進行したと推察される。

供給水の NH₄-N 濃度を上昇させた Phase 3 (a) (図-3 (B)) では、遊離アンモニア濃度がシート 1 (流下距離 92 cm) 流下で増加する結果が得られた。これはアンモニア負荷速度を上げたこと及び pH 上昇の影響から遊離アンモニア濃度も上昇し、前述した遊離アンモニアの阻害がアンモニア酸化細菌に影響したと考えられる。流下距離 184 cm 以降では遊離アンモニア濃度が減少に転じたことから、アンモニア負荷速度を上げた際は流下距離を長くすることにより硝化反応が進行すると思われる。

4. 結論

本研究は埋立地浸出水からの窒素除去を目的とし、アンモニア負荷速度 0.30 kg N/m³/d (Phase 2) において、DHS では人為的なエアレーションを行わなかったにも関わらずアンモニア除去速度 0.27 kg N/m³/d を達成した。DHS+USB システム全体でも浸出水中の窒素の 90%を除去することができ、本システムの省エネルギーな浸出水処理技術としての適用性が示唆された。

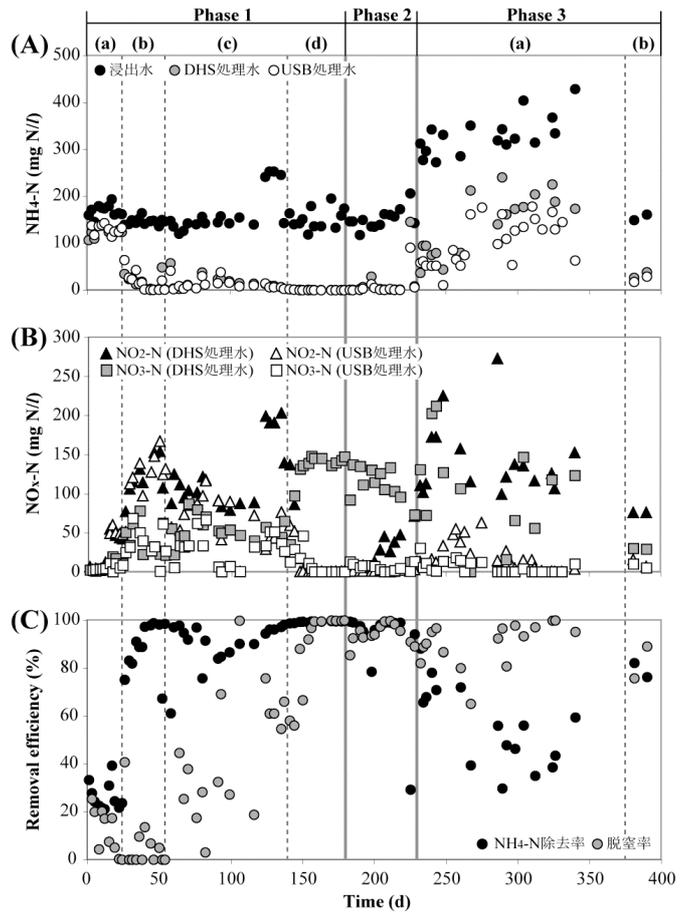


図-2 経日変化: (A) 各処理水の NH₄-N; (B) DHS, USB 処理水の NO₂-N, NO₃-N; (C) NH₄-N 除去率, 脱窒率

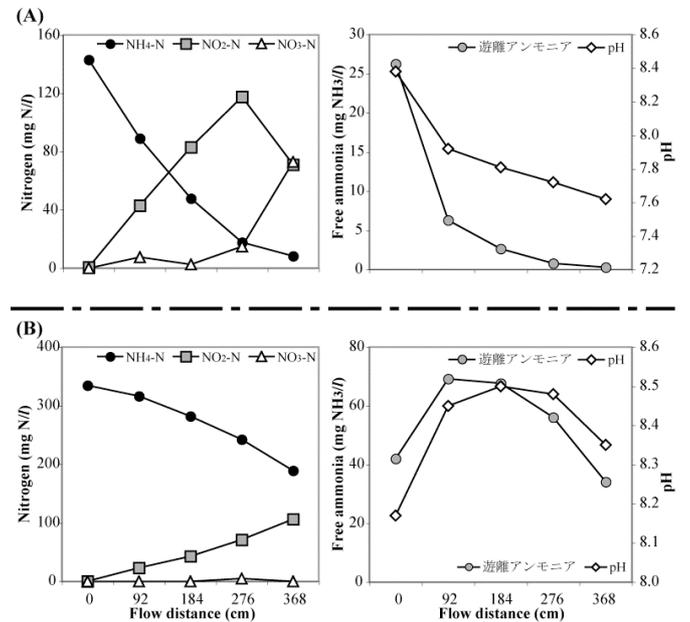


図-3 流下距離における窒素態, 遊離アンモニア, pH のプロファイル: (A) Phase 2 (228 日目); (B) Phase 3 (a) (326 日目)

参考文献

1) Anthonisen, A.C., et al.: Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid, *J. Wat. Pollut. Control Fed*, Vol.48, No.5, pp.835-852, 1976.