

海洋水族館を対象とした循環システムにおける生物学的窒素除去技術の開発

水圏土壌環境制御研究室 学籍番号 08328487 氏名 小野 心也

指導教員 山口 隆司

1. はじめに

現在、水族館において利用されている循環システムは、魚類など水生生物由来の窒素成分の除去が十分に行われなかった問題が残っている。槽内に蓄積する窒素成分のうちアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素は低濃度で水生生物に有害となる。また、硝酸態窒素は亜硝酸態窒素へ還元するおそれがあり、窒素成分除去は必須である。海洋水族館では、窒素成分除去手段として新鮮な海水による飼育水の希釈が行われているが、周囲に海域が存在しない場合や大規模な施設においては海水の移送費や熱交換など水質管理に多くのコストがかかる。そのため、希釈水量の低減が可能な窒素成分除去技術が求められる。

そこで本研究では、循環システムにおいて、DHS槽による硝化槽とUASB槽による脱窒槽を組み合わせた無希釈型の生物学的窒素除去プロセスの開発を目的とした。

本研究は、生物学的処理は廃水の組成や濃度に影響を受ける場合があるため、人工海水を飼育水として用い、知見の少ない塩分条件下においても使用可能な処理プロセスの開発を目指し、硝化槽および脱窒槽の処理性能の評価を行った。

2. 実験方法

2.1 実験装置

図1に実験装置図、表1に運転条件を示す。実験装置は、魚飼育を想定した水槽 200 L、UASB 槽 10 L および DHS 槽 34 L(スポンジ容積 18 L)で構成した。DHS 槽へは、水槽内の全水量 200 L が 1 時間で入れ替わるように 1 日あたり飼育水を 4800 L 流入させ、処理水を再度水槽内に返送した。UASB 槽へも水槽内の飼育水を流入し、UASB 槽処理水は、DO 回復・SS のトラップのため、DHS 槽へ流入させた。水槽内には、十分に硝化を行えている条件で脱窒性能を評価するため、エアレーションポンプを設置し、曝気を行った。しかし、DHS のみで硝化に十分な酸素を供給できる可能性が考えられたため、70 日目からエアレーションポンプを取り外し、運転を行った。85 日目からは DHS のみでの硝化性能が確認できたため、再びエアレーシ

ョンポンプを設置した。

UASB 槽の植種汚泥には塩濃度 3.0 % の人工海水で馴養した脱窒汚泥、メタン発酵汚泥、グラニユール汚泥を混合したものを用いた。DHS 槽の植種汚泥には活性汚泥を用いた。UASB 槽の HRT は、5.0 h (処理水量 48 L/日) から開始し、段階的に短縮させた。DHS 槽の HRT は、0.09 h とした。また、水槽内の温度条件は 25 °C とした。

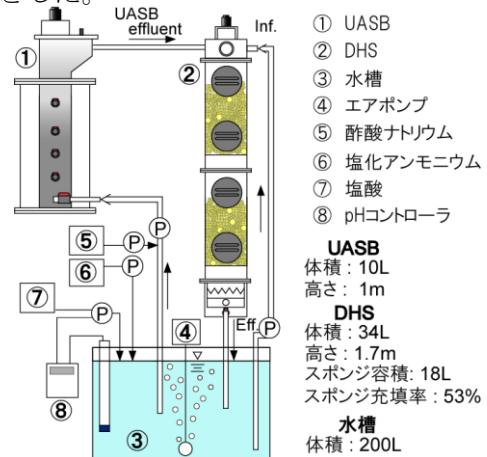


図1 実験装置

表1 運転条件

RUN	1	2	3	4	5
日数(日)	1-33	34-69	70-80	81-84	85-113
HRT (処理水量)	0.09 h (4800 L/日)				
	5.0 h (48 L/日)		2.5 h (96 L/日)		1.2 h (200 L/日)
エアレーション	有り		無し		有り

2.2 基質組成

人工飼育水は人工海水を用い、塩濃度 3.0% となるように調整した。また、水槽内には魚体 3 kg/m³ から発生するアンモニア態窒素を想定し、塩化アンモニウムを 1.24 mg-N/L/day となるように添加した。水槽内の pH は、8.0 となるように塩酸を用いて調整を行った。UASB 槽の脱窒に必要な電子供与体には酢酸ナトリウム(g C/g N = 3.0)を用いた。

2.3 菌叢解析

試験開始 60 日目に UASB 槽内から汚泥を採取し、菌叢解析を行った。75 クローンに対して greengenes の BLAST 解析によりリアクター内細菌群の優占種を特定した。

3. 実験結果

3.1 DHS の硝化性能

図2に窒素濃度の経日変化を示す。水槽内における

アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素の平均濃度はそれぞれ $0.1 (\pm 0.31) \text{ mg-N/L}$, $0.02 (\pm 0.02) \text{ mg-N/L}$ であり水槽内へのアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素の顕著な蓄積は確認されなかった。

エアレーションポンプを設置していた RUN 1, 2, 5 の DO の平均値が $7.38 (\pm 0.18) \text{ mg/L}$ に対し、エアレーションポンプを取り外した RUN 3~4 の DO の平均値は $7.35 (\pm 0.15) \text{ mg/L}$ となり大きな差は見られなかった。また、RUN 3~4 の硝化反応に関しては、70 日目に水槽内のアンモニア態窒素濃度が 2.1 mg-N/L となったが、それ以降は $0.1 \sim 0.2 \text{ mg-N/L}$ となった。アンモニア態窒素濃度が上昇した理由としては、UASB 槽処理水からアンモニア態窒素 4.4 mg-N/L が検出されことから、UASB 槽内でアンモニア態窒素が生成したことや水温の低下により硝化が起こりにくくなったことが考えられる。RUN 3~4 での水槽内の亜硝酸態窒素濃度は、 $0.00 \sim 0.02 \text{ mg-N/L}$ となり亜硝酸態窒素の蓄積は確認されなかった。

これらの結果から、DHS 槽ではエアレーションポンプによる曝気と同等の DO の供給が可能であり、高い硝化能力を確認できた。

3.2 UASB の脱窒性能

脱窒性能は、UASB 槽により硝酸態窒素が各 HRT での処理水量で除去された場合の理論収束濃度を求め、理論収束濃度まで収束するかで評価を行った。

図 2 に窒素濃度の経日変化を示す。HRT 5 h では、硝酸態窒素濃度が 5.4 mg/L 程度まで収束する。実験開始から 33 日目に硝酸態窒素濃度は 4.4 mg-N/L となり理論収束濃度以下まで低下した。

HRT 2.5 h では、硝酸態窒素濃度が 2.7 mg-N/L 程度まで収束する。80 日目に硝酸態窒素濃度は 1.8 mg-N/L となり理論収束濃度以下まで低下した。

HRT 5 h , 2.5 h において有機物量は、 $\text{g C/g N}=3$ となるように一定にしていたため、硝酸態窒素濃度の減少に伴い調整した。しかし、HRT 1.2 h では処理水量の増加に伴い水槽内の DO が多く供給される。そのため、有機物が酸素によって消費されることによる UASB 槽の ORP 低下が懸念された。そのため、実験開始 94 日目から有機物の酸素消費分を考慮し、有機物添加量が $\text{g C/g N}=5$ となるようにした。

HRT 1.2 h では硝酸態窒素濃度が 1.3 mg-N/L 程度まで収束する。しかし、103 日目に硝酸態窒素の蓄積

が見られなくなった(検出限界 0.1 mg-N/L)。その後、109 日目に再び硝酸態窒素の蓄積が見られ始めた。これは連続実験終了後の運転中に有機物供給ポンプから液漏れが発生していたため、硝酸態窒素の蓄積が生じ始めた期間に有機物が不足したためであると考えられる。

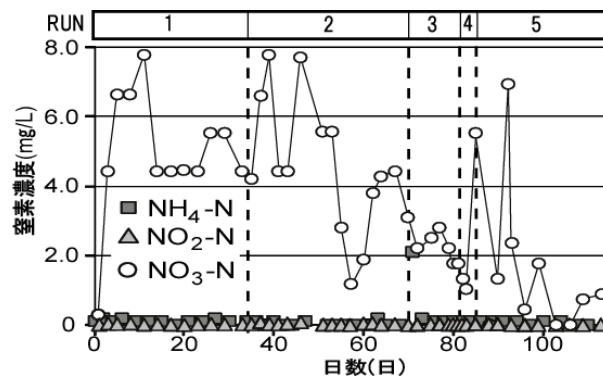


図 2 窒素濃度の経過日変化

3.3 菌叢解析結果

表 2 に UASB 槽の菌叢解析結果を示す。UASB 槽において *Proteobacteria* 門に属する細菌が全体の 96% を占め、その中でも *Bataproteobacteria* 綱に属する *Thauera* 属が 30% を占めていたことが分かった。*Thauera* 属は好塩性細菌ではないが、酢酸資化性脱窒細菌として知られ、脱窒菌が塩分環境に順応できたことや、UASB が汚泥を高濃度に保持することが可能なため良好な性能が得られたのだと考えられる。

表 2 菌叢解析結果

門	%
<i>Proteobacteria</i>	96
<i>Alphaproteobacteria</i>	17
<i>Betaproteobacteria</i>	30
<i>Gammaproteobacteria</i>	40
<i>Deltaproteobacteria</i>	9
<i>Denitromonas</i>	4

4. まとめ

- (1) 水槽内におけるアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素の平均濃度はそれぞれ $0.1 (\pm 0.31) \text{ mg-N/L}$, $0.02 (\pm 0.02) \text{ mg-N/L}$ であり、DHS 槽を硝化槽として用いることができた。
- (2) UASB 槽において HRT 1.2 h まで短縮することができた。また、UASB 槽内には酢酸資化性脱窒細菌として知られている *Thauera* 属が全体の 70% を占めていた。
- (3) DHS による硝化槽と UASB による脱窒槽により、塩濃度 3.0% の条件下において窒素成分の除去が可能であった。このことから、本処理プロセスが海洋水族館を対象とした無希釈型の循環システムとして用いることが可能であると示された。