

DHS リアクターによる無曝気・省エネルギー方式の高負荷硝化プロセスの開発

東北大学工学部 学生会員 ○渡辺 悠介

東北大学大学院工学研究科 小地沢 俊宏

東北大学大学院工学研究科 正会員 Tandukar Madan, 李 玉友, 原田 秀樹

1. はじめに

閉鎖性水域の富栄養化は日本のみならず世界中で問題となっており、排水から窒素を安定して除去することが求められている。しかし、循環法を始めとする生物学的硝化・脱窒法では、曝気、メタノールの供給などによる多大なエネルギーコストを必要とすることから、より経済的で効率的な窒素除去法の開発が待たれている。一方、DHS は Down-flow Hanging Sponge の略であり、スポンジ担体を生物保持担体として用いる好気性生物処理技術である。スポンジ担体は空气中に曝されているため曝気の必要がなく、余剰汚泥もほとんど発生しないため、ランニングコストを低減できる。そのため、途上国に適用可能であり、UASB 法のポストトリートメント技術として開発され、良好な有機物、懸濁質の除去だけでなく、優れたアンモニア酸化能も示した。さらに、スポンジ表面から 10mm 程内部には無酸素部分があり、一つのプロセスで硝化・脱窒の両方の反応が進む可能性も秘めている。本研究では、DHS リアクターの窒素除去法としての適用を目指し、高アンモニア濃度の人工排水を用いて、その硝化能力を把握することを目的とした。

2. 実験方法

(1) 実験方法

DHS リアクターの概要を図-1 に示す。リアクターは内径 0.25m、塔長 0.50m の 4 つのカラムから成る。供給水には人工排水（表-1）を用い、上部に設置された散水装置により均一にスポンジ担体に滴下する。担体

表-1 人工排水 (250mg NH₄-N/L)

Compound	Concentration(g/L)
<i>Synthetic wastewater</i>	
NH ₄ Cl	0.956
NaHCO ₃	2.970
<i>Phosphate buffer</i>	
KH ₂ PO ₄	0.068
Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	8.766
<i>Medium component</i>	
Na ₂ SO ₄	0.213
CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.037
MgCl ₂ ·6H ₂ O	0.052
<i>Nutrient solution</i>	1(ml/L)

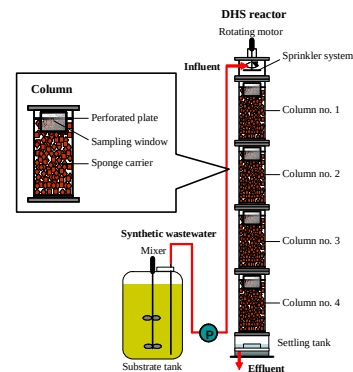


図-1 DHS リアクター

は円柱状ポリウレタンスポンジ（直径 30mm、高さ 30mm）をポリプロピレン製のネットリングに埋め込み、ランダムに充填する。全カラム容積 100L に対して全スポンジ容積 30L となるようにし、充填率を 30% とした。それぞれのカラムの上部にはサンプリング用の窓を設けた。人為的なエアレーションは一切行わず、温度は常温である。植種は S 浄化センターの A₂O 法における返送汚泥に一晩スポンジを浸けておくことで行い、スタートアップを行った。しかし、硝化が進まなかったため、表-2 に示した運転条件のように、人工排水の供給を一旦ストップし、再度植種を行なった後、アンモニア負荷は一定のまま HRT、アンモニア濃度をそれぞれ半分にして供給を再開した。

(2) 分析方法

アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素はイオンクロマトグラフ（DIONEX, DX-120）を用いて測定した。COD_{cr} は Standard Method, pH, アルカリ度は下水試験方法に準拠し測定した。DO, ORP はそれぞれ DO メーター（DKK・TOA, DO-24P）、ORP メーター（DKK・TOA, RM-20P）を用いて測定した。また、スポンジ担体を蒸留水に浸しながら汚泥を搾り出し、その SS, VSS を下水試験方法に準拠し測定した。

表-2 運転条件

	Days	HRT (h)	Flow rate (L/d)	NH ₄ -N (mg-N/L)	Ammonia loading (kg-N/m ³ d)
Phase 1	29	48	15	500	0.25
Phase 2	14	24	30	250	0.25

3. 実験結果および考察

(1) 窒素の経日変化

図-2 に連続運転実験による窒素の経日変化を示す。Phase 1 では硝酸・亜硝酸がほとんど蓄積せず、硝化は進まなかった。Phase 1 において硝化が進まなかったのは、植種が十分に行われなかったことが原因と考えられる。そこで、リアクター上部から汚泥を投入、循環させることで再度植種を行った。人工排水の供給を再開した Phase 2 では硝酸・亜硝酸の蓄積が見られ、僅かではあるがアンモニアも除去されている。最大でアンモニア性窒素の 44%が硝酸性窒素に、16%が亜硝酸性窒素に変換された。図-3 に pH とアルカリ度の変化を示す。硝化反応では HCO_3^- を消費するため pH が低くなる傾向があるが、Phase 2 において流出水の pH は 7 前後と流入水に比べ低くなっており、アルカリ度も下がっている。これは、硝化反応が進み、 HCO_3^- が消費されていることを示唆している。再度植種を行ってから 14 日間しか経過していないが、硝酸・亜硝酸性窒素の濃度を見ると上昇傾向にあり、今後さらに硝化が進んでいくことが期待される。

(2) 基軸方向の挙動

図-4 に各カラムの汚泥保持量の変化と Phase 2 における窒素の基軸方向のプロファイルを示す。再植種後は SS, VSS とともにいずれのカラムでも増加しており、スポンジ容積当たりの汚泥保持量は最大でカラム 1 の 6.7g/L であった。また、滴下するにつれてカラム 3 まで硝酸化が進んでいることがわかる。図-5 に DO, pH の基軸方向のプロファイルを示す。カラム 1 からカラム 2 へ流入する時点で、DO, pH とともに大きく下がっているのがわかる。これは他のカラムに比べ、カラム 1 で好気性細菌である硝化細菌が酸素、 HCO_3^- を消費し、硝化が進んでいることを示唆している。

4. まとめ

植種が十分に行われなかったため、Phase 1 では硝化が進まなかった。再度植種を行った結果、Phase 2 では硝化が進むようになり、まだスタートアップ段階であるが、最大でアンモニア性窒素の 44%が硝酸性窒素に、16%が亜硝酸性窒素に変換された。今後も連続運転実験を継続し、どの程度の硝化能力を示すのかを検討する。また、基軸方向のプロファイルの結果から、リアクター下部に比べて上部で硝化反応が進んでいることがわかった。

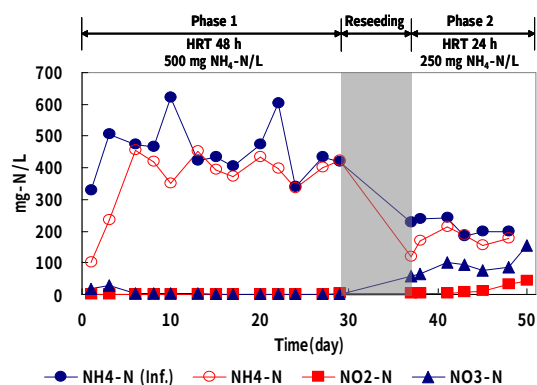


図-2 窒素の経日変化

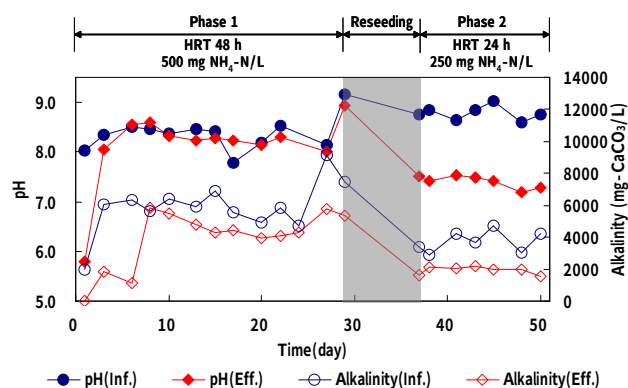


図-3 pH, アルカリ度の経日変化

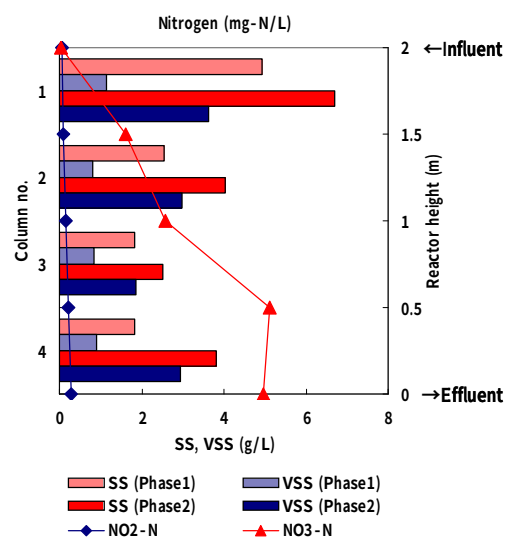


図-4 汚泥保持量, 窒素のプロファイル

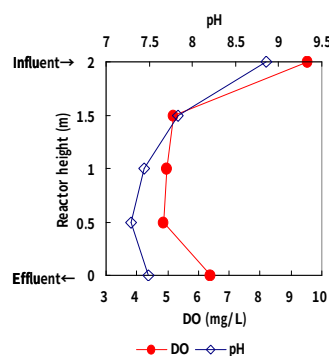


図-5 DO, pH のプロファイル