

# DHS リアクターを用いた高濃度窒素含有廃水の部分硝化

環境システム工学専攻 段下 剛志 (14502291)

## 1. 研究の背景と目的

近年、窒素含有廃水の生物処理に、嫌気性アンモニア酸化反応を活用した処理が実用化されつつある。嫌気性アンモニア酸化を活用するためには、前処理として部分硝化が必要である。実用化に至っている部分硝化プロセスは曝気を伴い、かつ嫌気性アンモニア酸化よりも処理に長い時間を要する（反応槽容積が大きくなる）といった点から、部分硝化プロセスに関しては、改善の余地が残されている。そこで、本研究では、この部分硝化に DHS (Down-flow Hanging Sponge) リアクターを適用した。DHS リアクターは廃水が流下する過程で DO を獲得できるため曝気が不要である。また、汚泥を高濃度に保持できるため、処理時間の短縮が期待できる。ただし、DHS リアクターは押し出し流れであるため、硝化の進行に伴う pH の低下が顕著に発生する。そこで、pH 低下への対策として、DHS リアクターに対しては前例が少ない廃水のステップ流入を適用し、ステップ流入が処理に与える効果を評価した。

## 2. 実験方法

図-1 に DHS リアクターの概要を示す。リアクターのろ床は、104 個の三角柱スポンジ（断面積  $5 \text{ cm}^2$ 、幅  $3 \text{ cm}$ ）を 4 枚の PVC シートに分けて貼り付けた。全高は  $4.4 \text{ m}$ 、スポンジ容積は  $1.56 \text{ L}$  となった。

供給廃水は、生ゴミをメタン発酵処理した後の脱水ろ液とし、全窒素が  $500 \text{ mg-N/L}$  程度となるように水道水で 2 倍希釈して用いた。廃水の供給方法は通常のワンポイント流入（～133 日目：phase 1）、2 段ステップ流入（134～324 日目：phase 2）および 4 段ステップ流入（325 日目以降：phase 3）とし廃水の供給量はスタートアップ期間（～41 日目）を除き  $4.7 \text{ L/day}$  とした。ステップ流入では、各ユニットの上部に同量ずつ分散供給した（図-3 参照）。植種には下水処理場から採取した活性汚泥を用い、植種量は  $1.8 \text{ g-VSS/L-sponge}$  となった。実験期間中、処理温度は  $25^\circ\text{C}$  程度に維持した。

516 日目に連続処理運転を終了し、保持汚泥の脱窒活性を測定した。液相水温は  $25^\circ\text{C}$ 、pH は  $7.3\sim 7.5$  とし、投入基質はグルコース（液相内濃度  $1000 \text{ mg-COD/L}$ ）および硝酸カリウム（液相内濃度  $200 \text{ mg-N/L}$ ）とした。

## 3. 実験結果と考察

### (1) 連続処理実験

実験期間中、供給廃水の全窒素は  $538\pm 61$

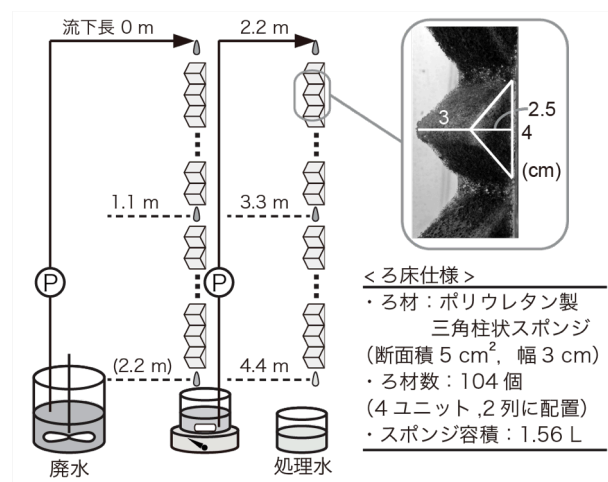


図-1 DHS リアクターの概要

mg-N/L、約 80%はアンモニア態窒素であった。また、亜硝酸態窒素と硝酸態窒素は、ほぼ検出されなかった。窒素負荷を計算すると  $1.7 \pm 0.2 \text{ kg-N/m}^3\text{-sponge/day}$  であった。図-2 に廃水と処理水の窒素態濃度の経日変化を示す。phase 1 および phase 2 における処理水は、それぞれの期間で約 30 日間にわたって亜硝酸態窒素の蓄積が見られたが、時間経過に伴い亜硝酸態窒素にかわって硝酸態窒素が蓄積した。一方で phase 3 では廃水の供給方法を変更した直後から運転終了時までの約 200 日間にわたって、継続的に亜硝酸態窒素が蓄積した。特に、430 日目以降、処理水の亜硝酸態窒素は  $60 \sim 200 \text{ mg-N/L}$  であったが、生成した亜硝酸・硝酸態窒素のうち、亜硝酸態窒素が占める割合は  $90 \pm 3\%$  で安定していた。これより、4 段ステップ流入の適用が部分硝化に最も効果的な運転方法であった。

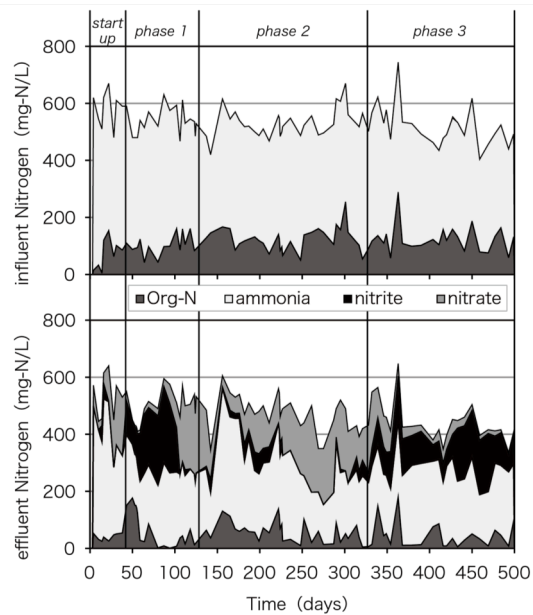


図-2 廃水と処理水の窒素態濃度の経日変化

図-3 に 118 日目 (phase 1)、252 日目 (phase 2) および 450 日目 (phase 3) における流下方向の水質比較を示す。118 日目において、流下長 3.3~4.4 m にかけて pH が 6.0 程度まで低下し、亜硝酸態酸化のみが進行していた。252 日目においても、流下長 2.2 m ではステップ流入によって pH が 8.0 程度まで上昇していることが確認できたが、流下長 3.3~4.4 m にかけては pH が 6.0 程度まで低下していた。一方で、450 日目では流下水の pH が 7.5 以上で推移しており、リアクター全体でアンモニア酸化のみが起こっていた。ここでの流下水中の遊離アンモニアを計算したところ、 $6 \sim 90 \text{ mg-N/L}$  で推移しており亜硝酸酸化細菌の阻害濃度と報告されている  $1 \text{ mg-N/L}$  を一度も下回ること

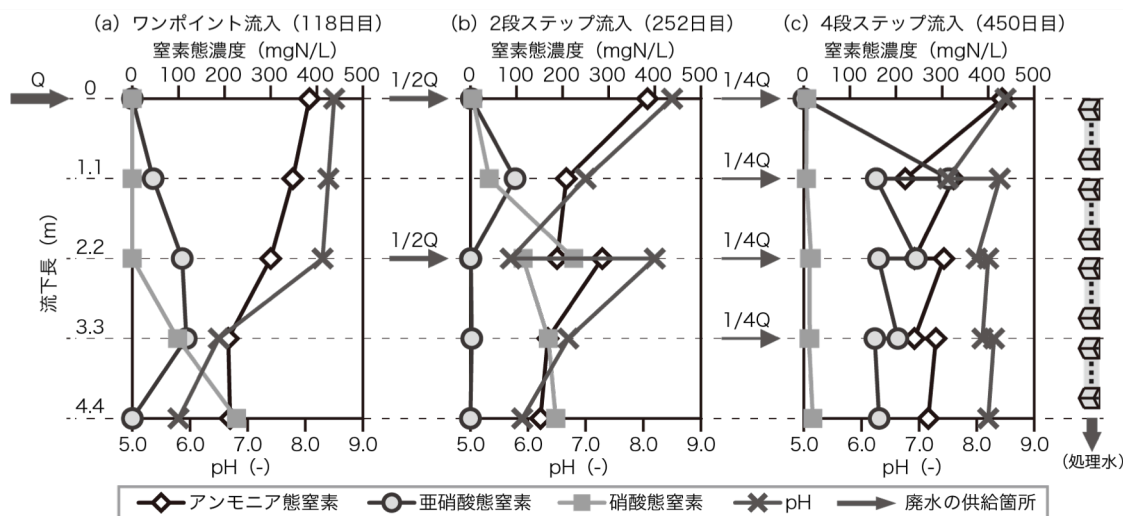


図-3 廃水の供給方法の違いによる水質比較

がなかった。これより、pH の低下を抑制することが亜硝酸蓄積に寄与していることが明らかとなった。また、スポンジのくびれ部（深さ 1～2 mm）で DO を測定したところ、0.5 mg/L 前後であり、既存の部分硝化プロセスと同水準であった。さらに、保持汚泥の 16S rRNA 遺伝子に基づく微生物群集を調査したところ、phase 3 ではアンモニア細菌である *Nitrosomonas* 属がリアクター全体で phase 1、phase 2 より優占していることが確認できた。

## (2) 運転終了時における保持汚泥濃度測定と保持汚泥の脱窒活性試験

図-4 に運転終了時（515 日目）における保持汚泥濃度の脱窒活性を示す。保持汚泥濃度は、流下長 1.1～2.2 m にかけて最も低く、流下するにつれて保持汚泥濃度が上昇した。ステップ流入を適用することで、流下するにつれて運転負荷が高くなることに伴って汚泥濃度も変化したと考えられた。

脱窒活性は流下長 1.1～2.2 m および 2.2～3.3 m の保持汚泥において 50 mg-N/g-VSS/day となり、0～1.1 m における保持汚泥の約 2 倍となった。連続処理実験では廃水中の有機物が少なかったためか、ステップ流入を適用しても、ワンポイント流入時と比較して明確な脱窒率の向上は確認できなかった（phase 1 : 7.7±5.7%、phase 2 : 12±10%、phase 3 : 15±6.3%）。しかし、十分な有機物が供給された活性試験では、連続処理実験において廃水とアンモニア酸化が行われた流下水の混合があった 1.1～4.4 m の保持汚泥の脱窒活性が、混合がなかった 0～1.1 m の保持汚泥よりも高い値であったことから、ステップ流入によって脱窒を促進できることを示した。

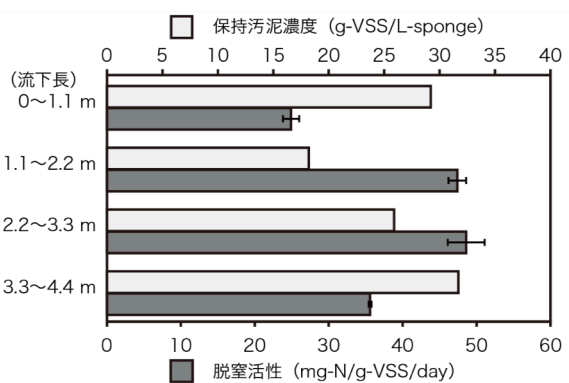


図-4 運転終了時における保持汚泥濃度と保持汚泥の脱窒活性

## 4. まとめ

部分硝化の達成を目的に、DHS リアクターに対して、廃水の 4 段階ステップ流入を適用して運転したところ、約 200 日間にわたって継続的に亜硝酸態窒素の蓄積が確認できた。処理水中に蓄積した亜硝酸態窒素は 30～200 mg-N/L であったが、運転日数の経過に伴って、酸化されたアンモニア態窒素のうち、亜硝酸態窒素が占める割合は約 90% で安定した。この理由として①流下水の pH 低下を防ぎ、遊離アンモニア濃度を亜硝酸酸化細菌の阻害濃度と報告されている 1 mg-N/L 以上に維持できたこと、②ろ材表面から深さ 1～2 mm 位置において DO が 0.5 mg/L 程度となっており、リアクター全体で DO を低い状態に維持できたことが考えられた。

本 DHS リアクターのスポンジ容積を基準とした窒素負荷は 1.7 kg-N/m<sup>3</sup>-sponge/day、スポンジ充填率を 50% と仮定した場合のリアクター全容積基準の窒素負荷は 0.85 kg-N/m<sup>3</sup>/day となり、実用化に至っている既存の部分硝化型リアクターよりも高負荷（高速）処理を実現できる可能性を示した。