

研 究 主 論 文 抄 録

論文題目 固定床型亜硝酸化/anammox プロセスの実行可能性に関する研究
(Feasibility Studies on Fixed-bed Type Nitritation/Anammox Process)

熊本大学大学院自然科学研究科 複合新領域科学専攻 複合新領域科学講座
(主任指導 古川憲治教授)

論文提出者 高木 啓太
(by TAKAKI KEITA)

主論文要旨

《本文》

湖沼や内湾などの閉鎖性水域における富栄養化の拡大は、都市部に限らず広域的な問題として深刻化している。人為的な要素が大きいこの問題の解決のため、富栄養化の原因物質である窒素・りんに係る早期の水質改善が急務とされている。さらに、地球温暖化防止の観点から、低炭素社会への移行が徹底されることとなり、今後はより省エネルギーの高度処理技術の開発が求められている。

近年、新しい生物学的窒素除去プロセスとして、嫌気性アンモニア酸化 (anammox) 反応を利用した技術が注目されている。anammox は、1995 年にオランダのデルフト工科大学の研究グループより最初に報告された生物学的窒素変換プロセスであり、アンモニアと亜硝酸が反応して窒素ガスを生成する。anammox 反応を排水からの窒素除去に適用する場合、排水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ の約半量を $\text{NO}_2\text{-N}$ に変換する部分亜硝酸化処理工程が必要であり、この工程と anammox 工程を組み合わせることで、効率的に $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_2\text{-N}$ を窒素ガスに変換し除去できる。anammox プロセスは、従来の硝化脱窒法に比べ、空気供給や薬品添加に係るランニングコストを低減することができ、また、設備面積を縮減できることから、低コスト・省エネルギーの窒素除去技術になると期待される。

本論文は、anammox 反応を利用した省エネルギー型窒素除去プロセスを構築することを目的として、そのための基礎実験および実行可能性に関する研究成果をまとめたものである。

第 2 章では、anammox 細菌の代謝反応をより効率的に利用するための生理特性を把握するため、anammox リアクタの運転のための最適条件を検討した。本実験では、温度 30-35°C、pH 8.0 の時に最も高い anammox 活性が得られ、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度 150 mg-N/L が anammox 細菌に直接影響を与える阻害濃度であることが推測された。anammox リアクタの立ち上げ効率は、初期の投入菌体濃度に依存し、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度の阻害性を回避できる方法 (処理水循環、内部攪拌等) が有効な立ち上げ手段であることが確認された。運転開始から処理状況をみ

ながら段階的に流入負荷を高め、最終的に窒素容積負荷 (NLR) 5.2 kg-N/m³/d に対して 4.0 kg-N/m³/d 程度の窒素除去速度 (NRR) が得られた。

第 3 章では、亜硝酸化処理の最適条件の検討や制御運転方法を検討した。本実験では、温度、pH を制御することで、亜硝酸化細菌 (NOB) の活性はほぼ抑制できることを確認した。抑制条件としては、温度は 30°C 以上、pH は 7.5 以上であった。DO 濃度については、NOB 抑制のためのパラメータとしてよりも、亜硝酸化率の制御を行なう上では、重要な要素であることが示唆された。亜硝酸化処理の運転方法としては、部分亜硝酸化方式、完全亜硝酸化方式ともに、一定の処理性能は得られたが、長期的な運転においては、流入負荷の変動や空気供給等の制御性を考慮すると、完全亜硝酸化方式の方が安定性に優れていることが示唆された。

第 4 章では、anammox 反応を利用した窒素除去プロセスの実行可能性を評価するため、実排水 (消化汚泥脱水ろ液) を用いたベンチスケールの実証実験を行ない、亜硝酸化工程、anammox 工程の長期安定性および窒素除去特性を検証した。亜硝酸化工程では、担体表面の汚泥の堆積を防止するため、流入 SS 濃度を前処理工程の凝集沈殿等で制御することで長期的 (ここでは約 6 ヶ月間) に安定した運転が得られた。また、亜硝酸化槽の処理性能に応じて、バイパスさせる水量比を適宜調整することで、調整槽 (anammox 槽流入水) の (NO₂-N/NH₄-N) 比を 0.94-1.19 の範囲で調整することができた。anammox 工程では、anammox 槽の運転開始直後から明確な窒素除去が見られ、運転開始から 80 日後には最大 NRR 2.3 kg-N/m³/d を達成した。本実験にて得られた anammox 汚泥では、合成排水による集積培養系から検出されるものより多種の細菌が検出され、実排水に含まれる様々な成分により多様な微生物群集構造が形成されたことが推察された。亜硝酸化工程、anammox 工程を通した anammox プロセスとしては、80%程度の NRE を維持でき、負荷変動運転においても、顕著な性能低下が見られることもなく、ほぼ同等の処理性能が得られた。

第 5 章では、anammox プロセスの適用に対する経済性評価を行なうため、実施設における窒素除去に anammox プロセス、および従来プロセス (担体添加ステップ流入式硝化脱窒法) を導入した場合のケーススタディを実施した。anammox プロセスを導入することで、従来プロセスに対して、プラントスケール (水槽容量)、ユーティリティ費 (電力費、薬品費、汚泥処分費) はそれぞれ 46%、56%の削減効果が得られる試算となった。

第 6 章では、単槽型 anammox プロセスの評価を行なった。長期間にわたる連続通水実験では、安定して SNAP 反応は進行し、NLR 0.8 kg-N/m³/d に対して、最大 0.68 kg-N/m³/d の NRR を達成した。この時の NRE は 85%であった。

以上、本研究では、anammox 細菌および亜硝酸化細菌の生理特性について重要な知見を得ることができ、これらの研究成果に基づいた実排水試験においても有用なデータが得られることから、anammox プロセスの実行可能性が実証できたと考えられる。