

アナモックスプロセスの下水処理への適用検討

鹿島建設(株) 正会員 ○多田羅昌浩 柴田晴佳 東條瑠美

1. はじめに

廃水からの窒素除去技術は、従来硝化脱窒法が適用されてきた。しかし、ばっ気による多くのエネルギー消費、メタノールなどの有機物の添加、温暖化ガスである N_2O の発生などの課題を抱えている。また、近年の低炭素化社会形成推進、温暖化ガス発生抑制などの社会情勢も加わり、地球環境への負荷が低く、省エネルギーな処理技術への転換が求められている。新しい窒素除去技術であるアナモックスプロセスは、微生物反応によって廃水中の NH_4-N の一部を NO_2-N に酸化し、残りの NH_4-N を NO_2-N で酸化することで、有機物なしで N_2 に変換・除去する。そのため、硝化脱窒法に比べ、ばっ気によるエネルギー消費が4割程度削減可能で、有機物の添加が不要、 N_2O を発生しない窒素除去技術として注目されている。近年、技術開発が活発に進められており、国内でも工場廃水、下水汚泥処理での消化液の返流水処理などに適用が始まっている。

しかし、アナモックスプロセスは、 NH_4-N 濃度が高く ($200mg/L$ 以上)、水温が高い ($25^{\circ}C$ 以上) 条件に適しているため、 NH_4-N 濃度が低く、冬期に水温が下がる下水処理への適用報告はない。そこで、本研究では、下水処理へのアナモックスプロセスの適用可能性を検討するため、 NH_4-N 濃度を $100mg/L$ に調整した人工下水を使用し、日本の下水温度の季節変動などを模擬した条件で窒素除去特性の検討を行った。

2. 実験材料、実験装置

供試廃水は、 NH_4-N 、T-BOD 濃度が共に $100mg/L$ となるように、無機培地²⁾にスキムミルクを $0.3g/L$ の割合で添加した人工下水を使用した。アナモックス槽に投入する種汚泥には、無機培地で培養したアナモックス汚泥²⁾を使用した。実験に使用した実験装置の概略図を図-1に示す。各槽はひも状担体を充填した固定床とし、有効容積は $0.3L$ 、pH は 7.5 以上となるように制御した。アナモックス反応で復成する NO_3-N の脱窒を行うため、処理水の一部を BOD 酸化槽に返送した。

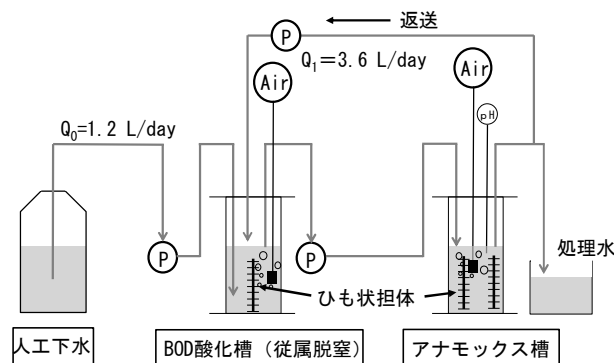


図-1 実験装置の概略フロー

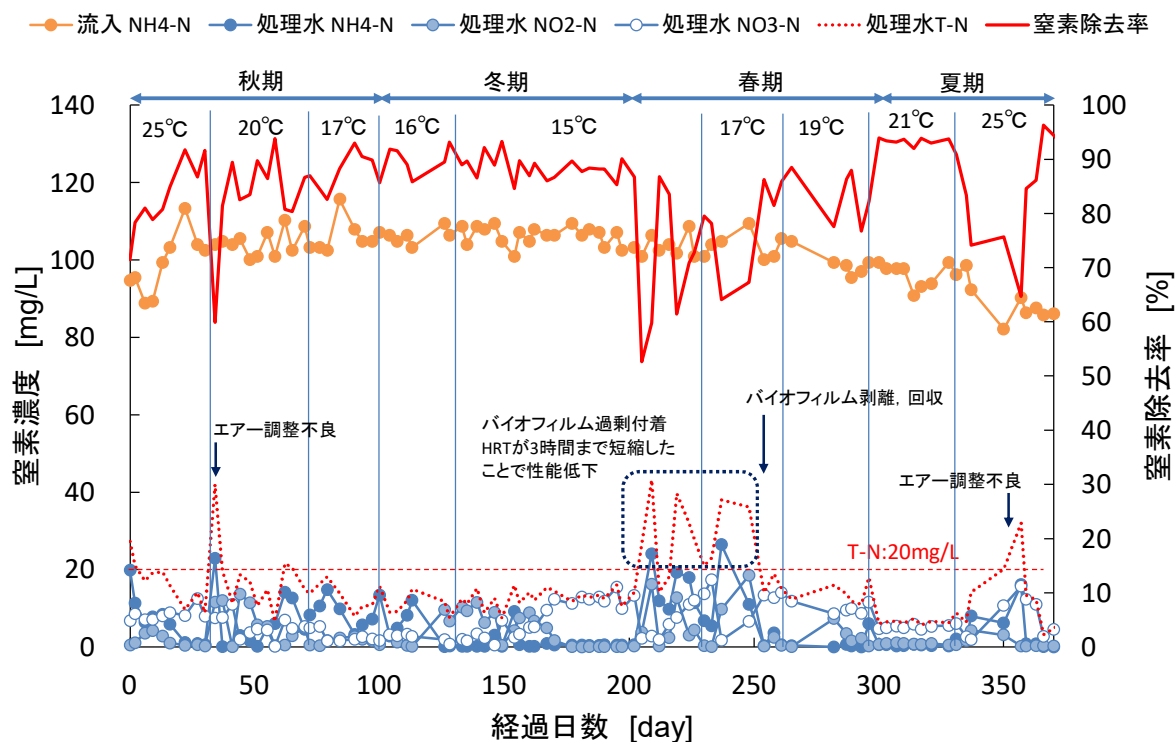
温度は、下水温度の季節変動（夏期 $25^{\circ}C$ 、冬期 $15^{\circ}C$ を目安）を模擬するように変動させ、窒素除去特性に関するデータを取得した。目標処理水質は、下水の放流基準である T-N 濃度： $20mg/L$ 未満とし、365日間継続して実施した。

3. 実験結果および考察

年間温度変動時における各窒素濃度の経日変化を図-2示す。 $25^{\circ}C$ でリアクタに種汚泥をシード後、約1か月馴養し、秋期の実験を開始した。秋期の $25^{\circ}C$ から $20^{\circ}C$ に温度を変更した際、エア量調整不良のため、処理水の T-N 濃度が一時 $20mg/L$ を超過したが、それ以外は200日目まで、 $20mg/L$ 未満を維持した。今回の実験では、 $15^{\circ}C$ での窒素除去性能は、 $25^{\circ}C$ と同等であった。一方、本実験と同じアナモックス汚泥を使用した事前のバイアル実験では、水温 $15^{\circ}C$ の条件では、 $25^{\circ}C$ に比べ窒素除去活性が $1/20$ に低下することを確認していた。本実験では、徐々に温度を低下させたことによるアナモックス菌の馴化が、活性維持に寄与したと考えられる。また、Gilbertらは、アナモックス菌は、浮遊状態よりもバイオフィームで存在するほうが、さらにバイオフィームが厚くなるほど低温耐性が高くなると報告している³⁾。本実験では、固定床にバイオフィームとしてアナモックス菌が厚く付着しているため、低温耐性が高くなったと推察する。

キーワード アナモックス、窒素除去、下水、廃水処理

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111



図ー2 年間温度変動時における窒素除去実験結果

200日目から250日目にかけて、窒素除去率が50%まで低下した。エア供給量の調整で窒素除去率の回復が見られなかったため、リアクタ内の汚泥状況の確認を行ったところ、バイオフィームが固定床に過剰に付着し、有効容積（液量）が当初の0.3Lから0.15Lまで半減（HRTが6時間から3時間に短縮）していることが判明した。そのため、バイオフィームを剥離したところ、窒素除去性能は速やかに回復した。このことから、固定床への過剰なバイオフィームの付着は、HRTの短縮を招き、窒素除去性能が低下することが明らかとなった。なお、本実験装置のリアクタは小規模で、固定床の長さが10cmであるため、水流による揺動はほとんどない。一方、実機では2m以上の長さですだれ状に吊るされているため、水流で揺れて担体同士が接触し、擦れ合うことで過剰にバイオフィームが付着しないことを確認している。そのため、本実験で見られたような固定床へのバイオフィームの過剰付着は、実機では生じないと考えられる。

以上のことから、固定床を用いたアナモックスプロセスで、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の生成を抑え、低温でも窒素除去性能を維持可能であることを確認した。これは、バイオフィームを固定床に厚く形成させることで低温耐性を確保できることに加え、 $\text{NH}_4\text{-N}$ を $\text{NO}_2\text{-N}$ に酸化するアンモニア酸化細菌と、アナモックス菌が近接して存在することで、 $\text{NO}_2\text{-N}$ が $\text{NO}_3\text{-N}$ に酸化される前にアナモックス菌が利用するためであると推察する。なお、実験期間を通し、処理水のT-BOD濃度は10mg/L未満であった。

4. まとめ

下水は、窒素濃度が低いこと、冬期に水温が低下することから、アナモックス処理の適用が難しいとされてきた。しかし、本実験では、年間の温度変動を通し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度100mg/Lの人工下水が処理可能であることが確認できた。今後、実下水で同様の実験を実施し、下水への適用性の確認を行う予定である。

参考文献

- 1) 橋本敏一；新たな生物反応を用いた水処理技術の下水処理への適用，環境浄化技術，Vol.19，No.2，1-5，2020。
- 2) 多田羅昌浩ほか；嫌気性アンモニア酸化反応を利用した廃水処理技術に関する基礎的検討，鹿島技術研究所年報，Vol.61，149-154，2013。
- 3) Gilbert Eva M. et al., Comparing different reactor configurations for partial nitrification/anammox at low temperatures, Water Res., Vol.81, 92-100, 2015.