

バイオガス排液を処理する重層型人工湿地の窒素除去性能改善のための運転方法の検討

日本大学 学生会員 ○畠山 涼麻
マンパワーグループ（株） 佐々木百合
日本大学 中村 和徳
日本大学 正会員 中野 和典

1. 研究背景

調査対象とした人工湿地は、水産廃棄物を原料とするバイオガス排液を処理対象としている。我が国の人工湿地で処理されている排水のほとんどが畜舎排水であるが¹⁾、それらと比較してバイオガス排液は全窒素に占めるアンモニア態窒素($\text{NH}_4^+\text{-N}$)の割合が極めて高いことが特徴である²⁾。窒素除去は $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の硝酸・亜硝酸態窒素($\text{NO}_3^-\text{-N}$ ・ $\text{NO}_2^-\text{-N}$)への変換で始まる。これは酸素を必要とする好気的な反応(硝化)であり、汚濁成分が捕捉される濾床では有機物分解と高濃度な $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の硝化を促進するための効率的な酸素供給を必要とする。この点を考慮して本人工湿地では、濾材として高い酸素移動速度が期待できるリサイクルガラス造粒砂を用いている。また、人工湿地の長所は維持管理が容易かつエネルギーを要しないことであるが、一方で大きな面積を要する点が短所である。これに対し本人工湿地は地下に4層の構造を持つ重層型人工湿地であり、省面積化を実現した。本研究ではバイオガス排液を処理する重層型人工湿地の最適な運転方法を確認することを目指し、3つの運転方法を比較した。

2. 調査対象及び方法

2.1 人工湿地の概要

調査対象とした人工湿地は、宮城県塩釜市で2014年5月から稼動を開始し、水産加工廃棄物を原料とするメタン発酵槽より排出されるバイオガス排液を処理している。現場で確保可能な面積が、バイオガス排液の水質から予測された人工湿地の必要面積のおよそ1/4であったことから、図-1に示すような地下に4層の構造を持つ重層型人工湿地を設計し、図-2に示すような3段階の多段処理で浄化を行うこととした。人工湿地の濾材として、汚濁物質の捕捉と微生物による好気的分解を目的とした1段目と有機物のさらなる低減と硝化反応の促進を目的とした2段目の人工湿地ではリサイクルガラス造粒砂を使用し、最終段となる3段目では $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の保持に優れたゼオライトを使用して高濃度の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ に対応できるようにした。それぞれの人工湿地の表層には、リンの保持に優れたケイ酸カルシウムを敷設した。

2.2 運転方法

本研究で検討した運転方法の概要を図-3に示す。運転方法Ⅰとして、バイオガス排液を1段目から2段目、3段目人工湿地へと順次送水し、最終処理水を集水柵4に貯留した。これに対し、運転方法Ⅱでは、1段目から3段目までの人工湿地を一巡した集水柵4の処理水を集水柵1に返送し、1段目から3段目までの人工湿地に再度一巡させて集水柵4に貯留した処理水を最終処理水とした。一方、運転方法Ⅲでは、1段目から3段目までの人工湿地を一巡した集水柵4の処理水を集水柵1に返送し、集水柵1に24時間貯留して最終処理水とした。

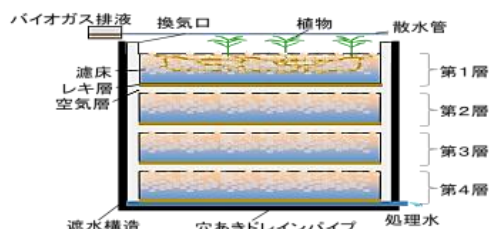


図-1 重層型人工湿地の断面図

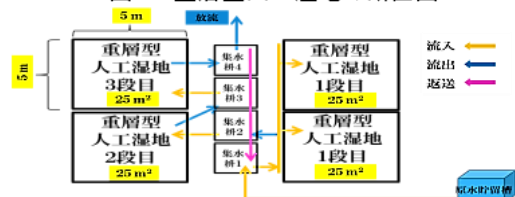


図-2 重層型人工湿地による処理フローの概要

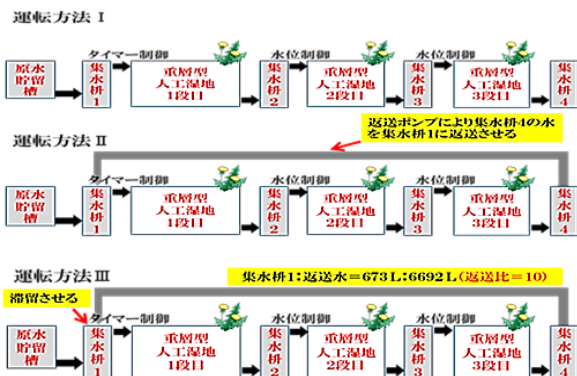


図-3 検討した各運転方法の概要

キーワード 重層型人工湿地, バイオガス排液, 排水処理, 窒素除去, 運転方法

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地 日本大学 工学部 環境生態工学研究室

3. 結果及び考察

図-4に運転方法Ⅰにおける水質の推移を示す。原水の COD_{Cr} の98%が1段目人工湿地を通過することで除去されていたのに対し、総リン(TP)は2段目人工湿地の通過で82%が除去されていた。一方、総窒素(TN)は3段目人工湿地を経た最終除去率でも46%に留まり、 COD_{Cr} や TP よりも明らかに除去率が低かった。そこで TN の内訳の変化(図-5)を確認したところ、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ は2段目人工湿地の通過で99%が除去されている一方で、 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 及び $\text{NO}_2^+\text{-N}$ の溶出が起きていることが明らかとなった。このことから運転方法Ⅰでは脱窒が不十分となることが示唆された。

運転方法Ⅰでは、1段目人工湿地でほとんどの有機物が除去されていたことから、有機物不足により脱窒が制限されていたことが考えられる。そこで脱窒を促進させる試みとして、集水槽4の $\text{NO}_3^+\text{-N}$ を含む処理水を集水槽1に返送し、再度1段目人工湿地に循環させる運転方法Ⅱを実施した。その結果を図-6に示す。 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 及び $\text{NO}_2^+\text{-N}$ は一巡目には検出されなかったが二巡目に検出され、一巡目に人工湿地に捕捉された $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の硝化により生成した一部の $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 及び $\text{NO}_2^+\text{-N}$ の溶出が二巡目に観察された。最終処理水の TN 除去率は87%に達したが $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 濃度として154 mg-N/Lが残存しており、更なる脱窒の促進の必要性が示された。

そこで、バイオガス排液原水由来の汚泥が沈殿し、脱窒に必要な嫌気条件と利用可能な有機物の両方が満たされると考えられる集水槽1に集水槽4の処理水を返送し、 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ を含む処理水を集水槽1に24時間貯留させる運転方法Ⅲを実施した。集水槽4の処理水返送後の集水槽1における窒素成分の経時変化を図-7に示す。24時間後の集水槽1における TN 除去率は表層水では16%であったが、底層水では47%であったことから、表層では十分な嫌気的環境が形成されず脱窒がほとんど進行しなかったのに対し、沈殿していた汚泥が有機物源となった底層では脱窒が促進されたことが示された。この結果より、集水槽1の水深を深く維持して嫌気的環境を形成することにより沈殿した汚泥を活用した脱窒が促進され、さらに窒素除去性能を高めることが可能であると考えられた。

4. まとめ

バイオガス排液を処理する重層型人工湿地の運転方法について検討した結果、 COD_{Cr} 、TP 及び $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の除去には処理水の返送等の操作は不必要であったが、TN の除去には処理水の返送・循環と集水槽1での貯留が必要であることが明らかとなった。今後、処理水の返送比や貯留条件を至適化することで TN の除去性能の改善が可能であることが示唆された。

謝辞

本研究は文部科学省東北マリンサイエンス拠点形成事業の一環として実施し、(株)渡會、東北大学多田千佳博士、滝沢憲次博士のご協力をいただいた。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) Nakano, K. et al. (2011): Japanese J. Wat. Treat. Biol., Vol.47, No.3, pp.103-110.
- 2) 柚山義人ら (2007) : 農土論集, Vol.75, No.1, pp.119-129.

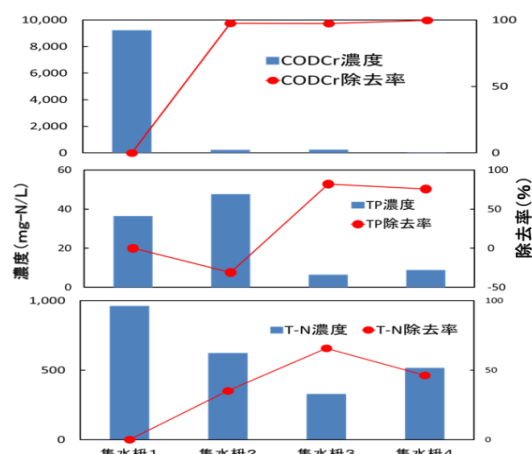


図-4 運転方法Ⅰにおける水質の推移

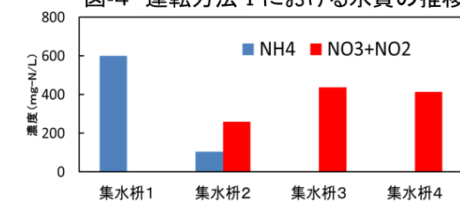


図-5 運転方法Ⅰにおける窒素成分の消長

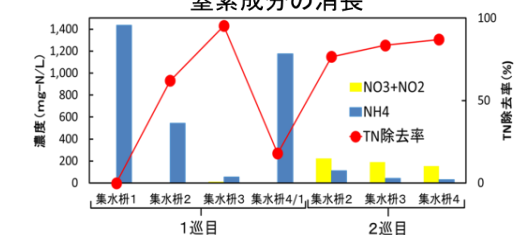


図-6 運転方法Ⅱにおける窒素成分の消長

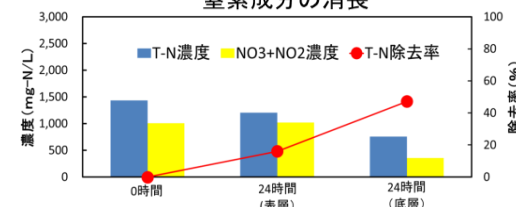


図-7 運転方法Ⅲの集水槽1における窒素成分の経時変化