

養豚廃水活性汚泥処理における窒素除去への
溶存酸素濃度の影響

養豚廃水活性汚泥処理における窒素除去への溶存酸素濃度の影響

茨城県畜産センター
生産技術研究室 浅岡丈楽

1. はじめに

養豚廃水には高濃度の窒素が含まれており、処理水を放流する際は水質汚濁防止法におけるアンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物(硝酸性窒素等；アンモニア態窒素 × 0.4 + 亜硝酸態窒素 + 硝酸態窒素)の排水基準を満たす必要がある。この排水基準について、畜産農業では2019年7月から暫定基準値が600mg/Lから500mg/Lに引き下げられており、今後も暫定基準は一般排水基準100mg/Lに向けてさらに厳しくなることが予想される(図1)。そのため、一般排水基準にも対応できる簡易で低コストな窒素除去技術の早急な開発が求められている。

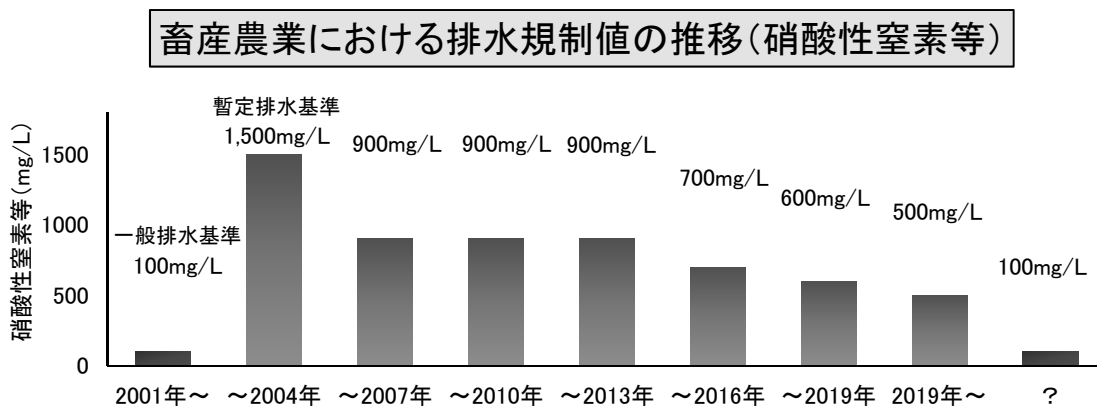


図1 水質汚濁防止法による畜産農業にかかる排水規制値の推移

畜産廃水の処理方法には、一日に処理する廃水の全量を一括で処理槽に投入する回分式活性汚泥法(以下回分式)と、養豚廃水を連続的に処理施設に投入し続ける連続式活性汚泥法(以下連続式)が存在するが、回分式は曝気を止める際、無酸素状態になるため、嫌気反応である脱窒反応が起きやすくなる。そのため、回分式は窒素除去が連続式と比較して起こりやすい処理方法であると考えられている¹⁾。また、連続式でも、一定間隔で曝気のオンオフを行う、間欠曝気を行っている処理施設は、回分式と同様の理由から窒素除去が起こりやすいとされている。以上のことから、24時間連続曝気を行っている連続式活性汚泥処理施設の窒素除去が最も困難であり、対策が必要であると言える。

これについて、連続曝気を行っている連続式において、曝気槽の溶存酸素濃度を低溶存酸素条件に制御することにより、窒素を効率的に除去できることが、ラボスケールの装置および、活性汚泥モデルを用いた解析により示されている²⁾。対して、多くの畜産農家では、曝気槽の溶存酸素濃度管理がなされておらず、ランニングコストの大半を占める曝気用ブローを過剰に運転し、不必要に処理費用をかけている。加えて、従来から溶存酸素濃度の測定には隔膜式の溶存酸素濃度計が用いられてきたが、これは、定期的な隔膜、内部液の交換、校正が必要であり長期的な測定には適していなかった。しかし、近年開発された蛍光式溶存酸素濃度計は、これらのメンテナン

スが不要な簡便なものであり、畜産農家に導入した場合も、長期的で安定的な溶存酸素濃度の測定を行うことが可能であると考えられる。これら、曝気槽の溶存酸素濃度管理の技術を実際の畜産現場で再現することができれば、連続式活性汚泥法で不必要な曝気費用を抑えつつ、窒素除去能の改善を行うことが可能になると予想される。

よって今回、当該反応による窒素除去性能向上の再現性をスケールアップした実験装置において確認するため、低溶存酸素条件と通常溶存酸素濃度条件の曝気槽を並列で2槽運転し、その窒素除去能について比較を行った。

2. 方法

本県畜産センター養豚研究所に80Lの連続式活性汚泥処理実験装置を2台設置し、固液分離後の養豚廃水を水理的滞留時間2.7日、BOD容積負荷 $0.5\text{kg}/\text{m}^3/\text{day}$ で処理した(図2)。この時、曝気は24時間連続曝気を行った。実験装置曝気槽内の溶存酸素濃度は、フロアに曝気量制御システムを組み込むことで、低溶存酸素濃度条件の試験区を $0.05\text{--}0.2\text{mg}/\text{L}$ 、通常溶存酸素濃度条件の対照区を $2\text{--}2.5\text{mg}/\text{L}$ に自動制御した。この時、溶存酸素計は蛍光式のものを使用した。流入水、曝気槽内汚水、処理水について、毎週サンプリングを行い、pH、溶存酸素濃度、BOD、無機態窒素(アンモニア、亜硝酸、硝酸)、全窒素等を測定した。水温は20度以上になるよう加温をし、2年間(2016年10月16日~2018年10月11日)運転を行った。使用したデータは、運転条件の安定した2.5か月以降のデータを用いた。

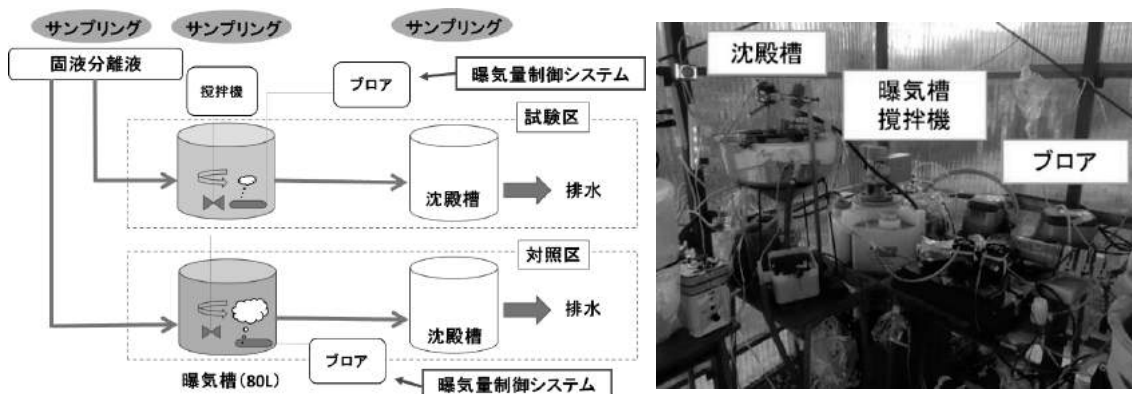


図2 左:実験装置概要図, 右:実験装置の写真

3. 結果

サンプリング時の曝気槽の平均溶存酸素濃度は、流入水の負荷変動により設定値と異なる場合が生じたため、試験区、対照区において、それぞれ、 0.82 ± 1.5 , 2.99 ± 1.7 mg/L を示した。しかし試験区の溶存酸素濃度は対照区と比較して有意に低い値であったため、十分に低溶存酸素状態であったといえた(図 3)。

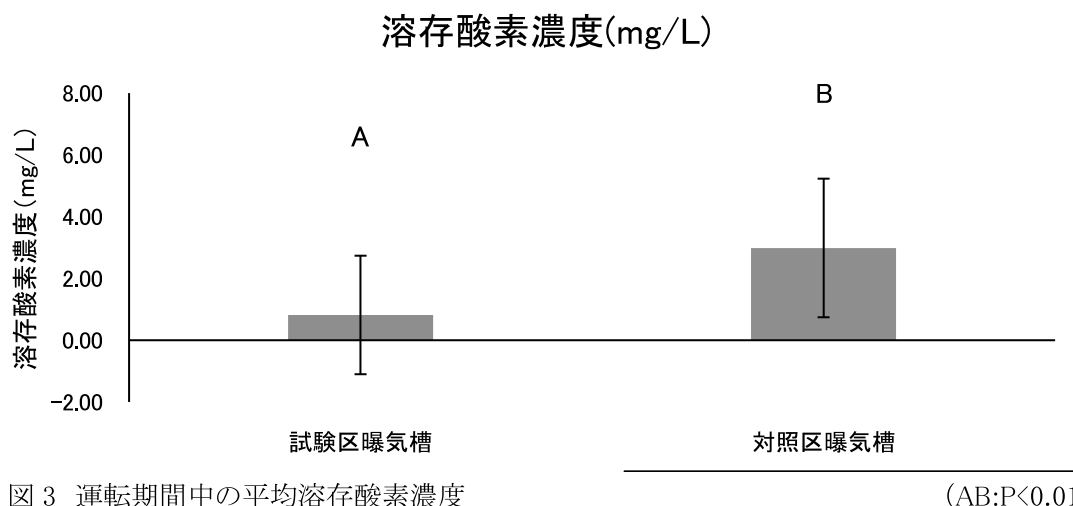


図 3 運転期間中の平均溶存酸素濃度

pH は流入水において 8.1 ± 0.3 , 試験区, 対照区の処理水中において, それぞれ 7.4 ± 0.8 , 7.0 ± 0.9 であった。BOD 濃度は流入水において $1,594 \pm 2,244$ mg/L であったが, 試験区, 対照区の処理水中においては 156 ± 232 , 91 ± 132 mg/L と低下しており, 試験区が対照区と比較して有意に高い値を示した。SS 濃度は試験区, 対照区の処理水において, それぞれ 112 ± 262 , 50 ± 62 mg/L を示し, 試験区が有意に高い値を示した。これについては, 試験区の沈殿槽において, スカムの発生による汚泥流入等の運転トラブルが発生したことが原因であったと考えられた。また前述の BOD 濃度についても, SS 濃度の上昇があったため, 試験区においてより高い値が示されたと考えられた。TOC 濃度は試験区, 対照区の処理水において, それぞれ 140 ± 159 , 101 ± 96 mg/L を示し, 有意差は見られなかった。

全窒素濃度は流入水において 665 ± 430 mg/L であったものが, 試験区, 対照区の処理水においてそれぞれ, 273 ± 140 , 355 ± 142 mg/L まで低下した。全窒素除去率は試験区, 対照区でそれぞれ $49 \pm 25\%$, $36 \pm 23\%$ であり, 試験区が有意に高い値を示した(図 4)。

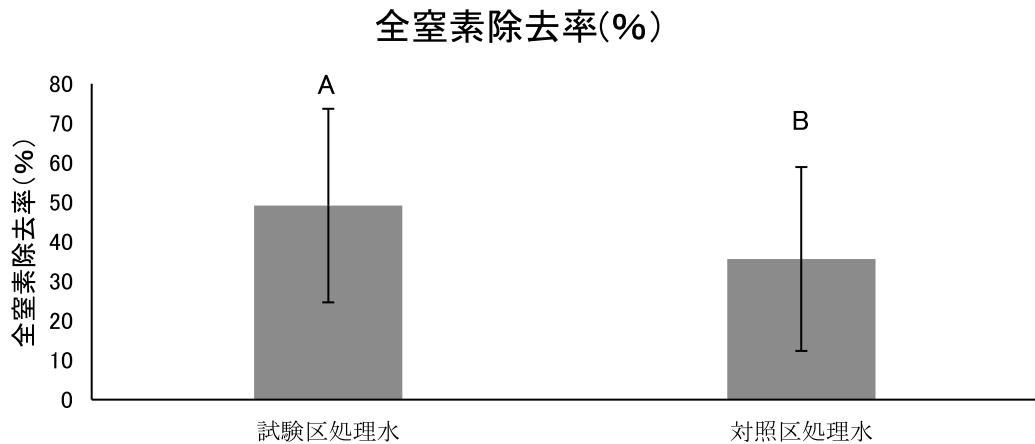


図4 運転期間中の平均全窒素除去率

(AB:P<0.01)

無機態窒素濃度は流入水において $503 \pm 233 \text{mg/L}$ であったものが、試験区、対照区の処理水においてそれぞれ、 $247 \pm 123 \text{mg/L}$, $324 \pm 118 \text{mg/L}$ まで低下し、無機態窒素除去率はそれぞれ $43 \pm 28\%$, $24 \pm 31\%$ であった。処理水中の無機態窒素組成は、試験区において、アンモニア 66%, 亜硝酸 18%, 硝酸 15% であったが、対照区についてはアンモニア 50%, 亜硝酸 7%, 硝酸 43% であり、試験区の処理水は対照区と比較して、亜硝酸が多く、硝酸が少ない状態で排出された。最後に、硝酸性窒素等濃度は試験区、対照区の処理水においてそれぞれ、 148 ± 65 , $226 \pm 68 \text{mg/L}$ を示していた。

今回試験を行った養豚研究所の流入廃水の BOD/N 比は 2.0 であり、窒素除去に適しているとされる BOD/N 比 3 よりも低い値であったが、曝気槽の溶存酸素濃度を低く保つことにより、窒素除去能が改善されることが示された。また、試験区の処理水には、亜硝酸が多く含まれていたことから、活性汚泥処理の後段において、窒素除去の高度処理を行う場合、アンモニアと亜硝酸のカップリングにより窒素ガスを生成する、アナモックス反応の利用に適していると考えられた(図5)。

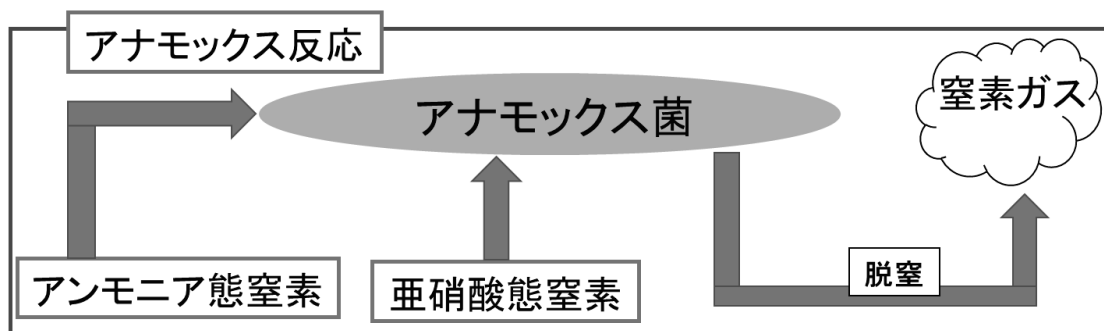


図5 アナモックス反応機序

4. 結論

80L の連続式活性汚泥処理装置においても、曝気槽を低溶存酸素濃度にするだけで窒素除去率を改善できることが確認でき、ラボスケール装置および活性汚泥モデルを用いた解析結果の再現性を確認することができた。

5. 今後の予定

今年度からは、本県養豚研究所で実際に稼働している廃水処理施設(曝気槽容積:50,000L)を用いて、上記試験で生じた反応の再現性を確認するため、溶存酸素条件の異なる実験装置 2 系統を運転し、窒素除去能を比較する。

現在は溶存酸素濃度を制御していない状態での廃水処理施設の運転状況を記録中であり、現段階でも、第一曝気槽の溶存酸素濃度が低い際に、高い全窒素除去能を記録している。今後は溶存酸素濃度を制御することでさらなる窒素除去率の向上を目指すとともに、高負荷の流入水に対応するために、汚泥保持システムの検討を行っていく。

謝辞

本研究はイノベーション創出強化研究推進事業(農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業, 28008A, 28008AB)により実施した。

引用文献

- [1] 羽賀清典, 月間 PIG JOURNAL 2017, 第 20 卷, 第 12 号通巻 237 号
- [2] Waki et al., Bioresource Technology 2018, (250), 574-582

本資料より転載・複製する場合は国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構の許可を得てください。

畜産研究部門 令1-4資料

令和元年度家畜ふん尿処理利用研究会資料

編集・発行 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産研究部門
企画管理部企画連携室

Tel.029-838-8292、 Fax.029-838-8606

〒305-0901 茨城県つくば市池の台2

発行日 令和元年10月31日

印刷所 朝日印刷株式会社 つくば支社