

窒素除去を考慮した活性汚泥処理へのモデル解析利用の可能性について

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
畜産草地研究所 和木美代子

1. はじめに

現在日本に 3 万件の登録事業所のある畜産排水処理施設は、水質汚濁防止法による窒素規制の強化により一層の適切な処理が求められている。筆者らの調査では、様々な形態の養豚廃水処理施設（9 件）において、原水、一次処理水、活性汚泥処理水中、全窒素濃度は各々平均 2500mg/L、1300mg/L、430mg/L であった[1]。今後水質汚濁防止法硝酸性窒素類の強化により一律排水基準（100 mg/L、ただし、アンモニア×0.4+硝酸+亜硝酸）を満たす必要が生じた場合には、窒素の高度処理施設の付加が必要となる施設もあると考えられる。その一方で、活性汚泥処理の過程で約 7 割の窒素が除去されていることは注目に値する。多くの農家の活性汚泥処理施設は窒素規制前に導入されたものであり、窒素に関して必ずしも運転条件が最適化されておらず、当該施設の運転条件の最適化により、活性汚泥処理のみで、窒素規制の強化に対応できる農家も存在すると考えられる。また、仮に窒素規制をクリアできない場合でも、活性汚泥処理の段階による最大限の窒素除去は、その後の高度処理の負荷を低下させることが可能となるはずである。

しかし、畜産農家では、汚水性状や処理施設が多種多様であることが、運転条件の最適化を一層困難にしている。そこで、本講演では畜産廃水の活性汚泥処理プロセスについて、IWA（国際水協会）の提唱する Activated Sludge Model（ASM）[2]を畜産廃水の活性汚泥処理に適用することで、様々な条件での浄化性を予測し、最適処理条件を提案できる可能性について紹介する。

2. モデル計算による畜舎廃水浄化性能推定

モデル計算による予測値の有効性を確認するために、畜舎廃水を用いた汚水

処理装置を運転し、実験により得られた数値とモデル計算によって得られた値を比較した。検討対象として、本研究では畜産現場において広く使われている連続攪拌槽型汚水処理装置(CSTR)を用いた。窒素代謝に影響を与える環境要因として、BOD/N 比、溶存酸素濃度、温度、pH、遊離アンモニア濃度、遊離亜硝酸濃度の存在が言われているが、本研究では、現場で人為的に条件変更が容易である溶存酸素濃度および、人為的制御が難しく、影響が大きいと予想される温度条件を変えて実験を行った。

汚水処理装置は溶存酸素条件として2条件(高溶存酸素条件:平均 2mg/L, 低溶存酸素条件: <0.1 mg/L) および、温度条件として3条件(10, 20, 30 °C)を設定し、汚水処理装置を運転した。運転条件は、一般的な汚水処理で指標となる、BOD 容積負荷を目安として 0.5 kg/m³/day として運転を行った。また流入汚水は、(間欠曝気など装置を適切に制御した場合)窒素除去が十分に行われる目安とされる BOD/N 比 3.0 に近い、2.9 となるように調整した。

ASM2 に基づき Magrí ら[3]によって作成されたモデルを回分方式から CSTR 方式に改変した後、使用した。なお、CSTR の沈殿槽については、生物学的変化は起こらず、物理的な作用による汚泥の分離のみが起こるとして扱った。モデルは、硝化・脱窒に関しては亜硝酸が中間体となる二段階式を用いており、温度の微生物反応への影響、および、硝化反応への遊離アンモニア、遊離亜硝酸による阻害効果を含む。計算は Scilab ソフトウェアを用いて行い、計算結果が実験結果に近づくよう、計算に用いる定数を選択した。

BOD は汚水処理においてまず除去が必要となる項目である。実験の結果、BOD については、流入水中に平均 2000mg/L 含まれていたものが、いずれの条件でも、処理後の濃度は十分に低下していた。処理後の BOD 濃度の平均値は高 DO 条件および低 DO 条件についてそれぞれ 60 mg/L, 70 mg/L であった。本試験で用いたような一般的な汚水処理条件では、例え低溶存酸素条件や低温条件でも、BOD の除去には支障が無いことが示された。さらに、これらの現象を、モデルを用いた計算の結果、BOD 濃度の平均値は高 DO 条件および低 DO 条件についてそれぞれ 65 mg/L、61 mg/L であり、モデル計算は実験結果を良好に再現するこ

とができた。

窒素については、処理後の濃度は溶存酸素濃度の条件によって大きく異なっていた。流入水中に平均 500mg/L 含まれていた無機態窒素に対して、高溶存酸素条件での除去率は、-2% (10°C), -7% (20°C), 12% (30°C) (マイナス値は汚泥の加水分解による無機態窒素濃度の上昇を示す) であり、顕著な窒素除去が起こらず、アンモニアが残存しながら硝酸が蓄積し、pH が極端に低下した。これは農家現場においては「過曝気」と呼ばれる、処理性能が悪化した状況を表している。

低溶存酸素条件では、処理によって無機態窒素が 61% (10°C), 88% (20°C), 86% (30°C), 除去されており、処理後の窒素は大半がアンモニア態となっていた。また pH の極端な低下は見られなかった。これは、良好に処理が行われている農家において頻繁に見られる状況であり、低溶存酸素条件下で硝化と脱窒が同時におこるためと考えられている。

モデルを用いた計算の結果、高溶存酸素条件では無機態窒素の窒素除去は -7% (10°C), -11% (20°C), -15% (30°C)、低溶存酸素条件では、無機態窒素の窒素除去は 74% (10°C), 92% (20°C), 99% (30°C) となり、モデル計算により実験結果を概ね再現することができた。また、他の重要な水質項目である、COD, SS, TN についても概ね良好に再現することができた。

3. おわりに

数値モデルを用いることで、畜舎廃水の CSTR による異なる DO および温度条件下での窒素除去を再現できることが示された。今後は構築したモデルを用いて様々な条件での処理水の性状を推定する予定である。例えば汚水の C/N 比、曝気槽の溶存酸素濃度、最低水温などについて検討し、最終処理水が基準値を満たせる限界条件について明らかにする。それにより、施設の運転条件の最適化、性能改善へのシナリオの提案が可能になると考える。

謝辞

本研究のモデル解析部分は、IRSTEA（フランス環境農業技術総合研究所）の Albert Magrí 博士および Fabrice Béline 博士の協力により行われた。ここに記して深謝する。

引用文献

1. Waki, M., et al., Nitrogen concentrations of activated sludge process effluent of swine wastewater. Journal of Japan Society on Water Environment 2010. **33**(4): p. 33-39 (in Japanese).
2. Henze, M., et al., Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3. 2000: IWA publishing.
3. Magrí, A. and X. Flotats, Modelling of biological nitrogen removal from the liquid fraction of pig slurry in a sequencing batch reactor. Biosystems Engineering, 2008. **101**(2): p. 239-259.

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。

畜産草地研究所 平 27-3 資料

平成 27 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 畜産草地研究所
企画管理部業務推進室

Tel.029-838-8290、 Fax.029-838-8606

〒305-0901 茨城県つくば市池の台 2

発行日 平成 27 年 11 月 5 日

印刷所 松枝印刷株式会社