

活性汚泥モデルを用いた養豚廃水の
活性汚泥処理水質推定

活性汚泥モデルを用いた養豚廃水の活性汚泥処理水質推定

農研機構 畜産研究部門 和木美代子

1. はじめに

養豚廃水の処理は、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。活性汚泥処理施設が普及しているものの、必ずしも窒素除去を考慮した運転がなされていないことから、多くの場合窒素除去が不十分である。さらに、実際の養豚廃水処理は流入水の水質・運転条件が様々であり、実験のみでは全体像を捉えることが困難である。そこで、養豚廃水の活性汚泥処理プロセスについて、Activated Sludge Model (ASM) を適用することで、様々な条件での浄化性能を予測することを試みた。

窒素除去に影響を及ぼすと予想される曝気槽中の溶存酸素濃度および温度の条件を変化させてラボスケールの活性汚泥処理リアクターの運転を行った後に、得られたデータについて ASM に基づいて作成した数値モデルを用いて評価した[1, 2]。

2. 研究方法

ラボスケールリアクター運転

畜舎廃水および窒素試薬を用いて、生物化学的酸素要求量 (BOD) 2000 mg/L、化学的酸素要求量 (COD) 6800 mg/L、全窒素 (TN) 700mg/L、全無機態窒素 (TIN) 500mg/L、BOD/全窒素 (TN) 比 2.9 となる汚水を調整した。有効容積 0.9L の曝気槽および、0.15 L の沈殿槽を用いて連続活性汚泥処理を水力学的滞留時間 (HRT) 3.8 day、BOD 容積負荷 0.52g/L/day の条件で運転した。処理装置は 2 台作成し、曝気槽の溶存酸素濃度 (DO) を平均 2 mg/L (通常曝気・Reactor 1)、および DO < 0.1 mg/L (低曝気・Reactor 2) になるように曝気量を変化させた。汚泥返送率は 97% であり、沈殿槽の汚泥引き抜きを調節することで曝気槽内の曝気槽内浮遊物質 (MLSS) を平均 8000 mg/L に保った。恒温槽を用いて、温度を 20°C (0-46day)、10°C (47-76day)、30°C (77-108 day) に変化させた。なお、沈殿槽は物理的な汚泥の分離のみが起こると仮定した。

モデル設定

ASM2 に基づき Magrí ら [3] によって作成された数値モデルを回分式条件から連続流入条件に改変した後、使用した。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、変数としての pH、および、硝化反応への遊離アンモニア (NH₃)、遊離亜硝酸 (HNO₂) の阻害効果を含む。係数は既往研究 [3] によりキャリブレーションした数値を用いた。

モデルを用いたシミュレーション

設定したモデルを用いてシミュレーションを行った。畜舎廃水として、BOD 3000 mg/L、COD 9000 mg/L、TN 750、1000、1500 mg/L、NH₄⁺-N 525、700、1050 mg/L、(それぞれ BOD/TN 比 4、3、2)となる汚水を想定した。60 m³ の曝気槽を用いて連続式活性汚泥処理を水力学的滞留時間 6 day、汚泥返送率 100%、BOD 容積負荷 0.5 kg/m³/day、20 °C の条件で運転すると仮定した。計算においては曝気槽内の MLSS が 5000 mg/L となるように返送汚泥の汚泥濃縮比を調節し、連続曝気の場合、溶存酸素濃度が 0.01-8.0 mg/L の間で設定値となるよう総括酸素移動容量係数 (K_La) を調節した。間欠曝気の場合、曝気時 (1hr)は K_La を 180-400 1/day の任意の値と仮定し、曝気停止時(1hr)は K_La を 10.1/day とし、処理水中濃度が安定するまで (<CV1%) 計算を繰り返した。

3. 結果及び考察

ラボスケールリアクター運転

約 100 日間の運転の結果、通常曝気、低曝気共に、いずれの温度でも BOD は良好に除去され、その除去率は各温度での安定化後の平均値として、それぞれ 95-99%、93-99% であった (図 1)。一方、窒素除去においては、通常曝気条件では窒素除去はほとんど起こらず、流入水の約 7 割が硝酸に酸化され、残りはアンモニア態として残存した (図 2)。pH の平均値は 5.6 であり、現場でしばしば観察される、“過曝気”状態になっていたと考えられる。一方、低曝気条件では流入水の 6-9 割の窒素が除去され、処理水中の窒素は多くがアンモニア態であった。pH の平均値は、7.6 であった。これは、低 DO 条件下で硝化反応と脱窒反応が同時に起こったためと考えられた。なお、このような現象は 1980 年代から報告がなされている[4]。

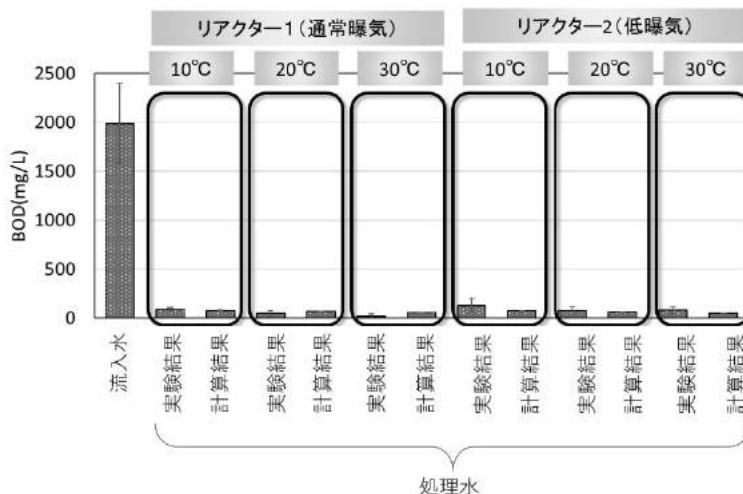


図 1 ラボスケールリアクターへの流入水と処理水中の BOD 濃度 (実験結果) 処理水については各温度条件で安定化後の平均値。また、ASM をもちいたシミュレーションで示さ

れた処理水中の BOD 濃度（計算結果）。

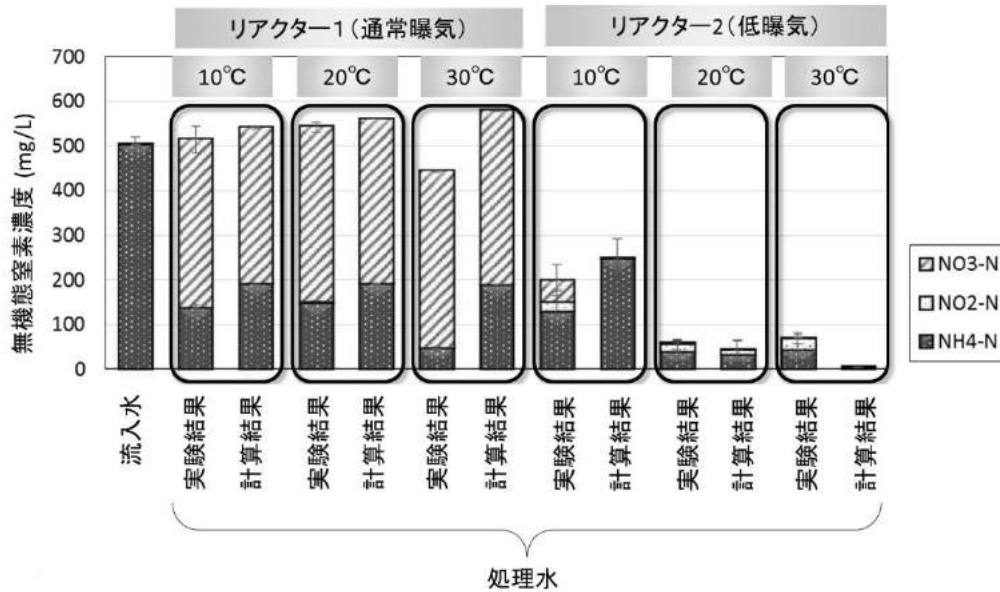


図2 ラボスケールリアクターへの流入水と処理水中の各無機態窒素濃度（実験結果）処理水については各温度条件で安定化後の平均値。また、ASM を用いたシミュレーションで示された処理水中の無機態窒素濃度（計算結果）。[1]より作図。

モデル設定とモデルを用いたシミュレーション

モデル解析は実験で得られた窒素濃度の変化を概ね再現することができた（図1、2）。シミュレーション計算の結果、連続曝気、間欠曝気ともに、 K_{La} の設定値により変化する曝気槽中 DO 濃度の違いにより、その処理水中の窒素濃度は大きく異なった。連続曝気においては、DO 濃度が 0.04-0.1、0.04-0.08、0.04-0.05 mg/L（それぞれ BOD/TN 比 4、3、2）の時、処理水中の TN 濃度が 100mg/L 以下となった（BOD/TN=3 の例、図3）。この時、曝気槽中でアンモニアの亜硝酸までの酸化と亜硝酸からの窒素ガスへの還元反応が同時に起こったと考えられた（図4）。

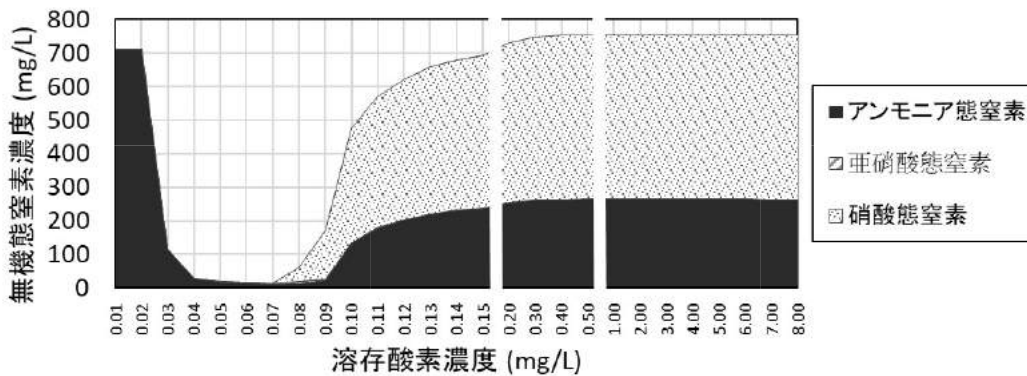


図3 BOD/TN=3 の時の各溶存酸素濃度における処理水中窒素濃度。[1]より作図。

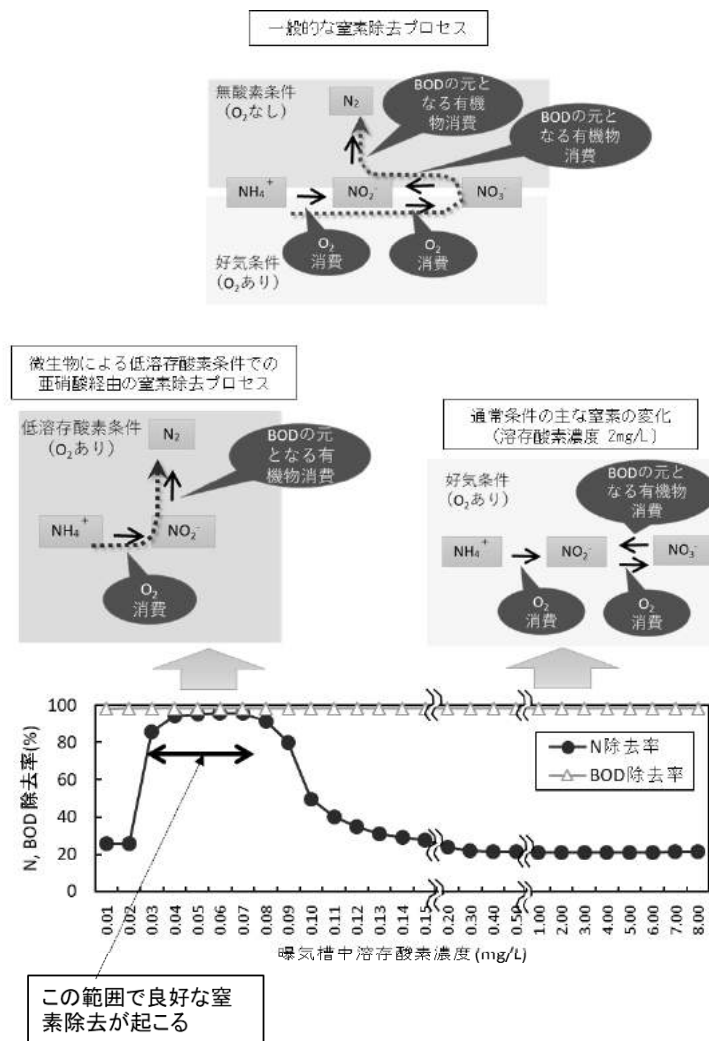


図4. BOD/TN=3の時の各溶存酸素濃度における、BODおよび全窒素の除去率と窒素除去メカニズム。[1]より作図。

間欠曝気においては、曝気終了時のDO濃度が1.7-5.8、0.69-1.2、0.19mg/L(それぞれBOD/TN比4、3、2)の時、処理水中のTN濃度が100mg/L以下となった。当該条件を満たすために、BOD/TN比が3および2の場合は、硝化の過程で、硝酸までの酸化が起こらず、アンモニアの亜硝酸までの酸化と亜硝酸からの窒素ガスへの還元反応が起こる必要があった。一方、BOD/TN比が4の場合は、硝酸までの酸化が起こった後の還元反応でも処理水中のTN濃度を100mg/L以下にすることが可能であった。また、BOD/TN比が3の場合は、これ以外の間欠曝気条件においても処理水中TN濃度が120-150mg/L程度と比較的低い値であったが、BOD/TN比が2の場合は200-500mg/Lと非常に高かった。いずれの曝気条件においても、処理水中のBODは53mg/L以下のように非常に低いものであった。連続曝気において溶存酸素濃度を低く保つ、もしくは、適切な溶存酸素濃度での間欠曝気により、BOD/TN比が2-4の污水から、窒素およびBOD除去を十分に行うこと

が可能であると示された。しかし、BOD/TN 比が2の場合は、その制御が非常に厳密になることから、アナモックス反応等の高度処理を検討することが現実的であると考えられた。

4. まとめ

ラボスケールの実験及び、活性汚泥処理モデル解析を用いて、養豚廃水からの活性汚泥処理後の水質を推定した。BOD はいずれの条件においても良好に除去されたが、窒素濃度は曝気槽中の溶存酸素濃度の条件によって処理性能が大きく異なった。今後は、曝気槽中の溶存酸素濃度を管理することで、窒素除去能を改善することを目指す。

謝辞

謝辞 本研究の一部はイノベーション創出強化研究推進事業(課題番号 28008A)の助成を受けて実施した。

参考文献

1. Waki, M., et al., *Treatment of swine wastewater in continuous activated sludge systems under different dissolved oxygen conditions: Reactor operation and evaluation using modelling*. Bioresource technology, 2018. **250**: p. 574-582.
2. Waki, M., et al. *Nitrogen Removal from Swine Wastewater in Activated Sludge Systems Using an ASM for Continuous and Intermittent Aeration*. in *IWA Tokyo 2018*.
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.
4. Smith, M. and M. Evans, *The effects of low dissolved oxygen tension during the aerobic treatment of piggery slurry in completely mixed reactors**. Journal of Applied Bacteriology, 1982. **53**(1): p. 117-126.

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