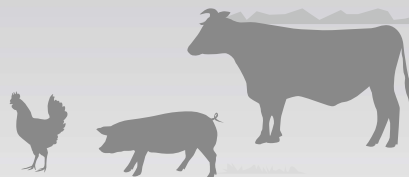


# 畜産経営における 汚水処理対策について



(一財) 畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所 田中 康男

## はじめに

汚水浄化は、多くの養豚農場で欠かすことのできない作業である。浄化施設の設計・管理のレベルは年々向上しており、令和4年には施設設計・維持管理の指針も大幅に改訂された<sup>1)</sup>。重要な水質項目である「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」(以下、「硝酸性窒素等」という)の濃度も改善傾向にある。

しかし、「硝酸性窒素等」の暫定基準値引き下げが続く中で、今後も処理水質の向上に取

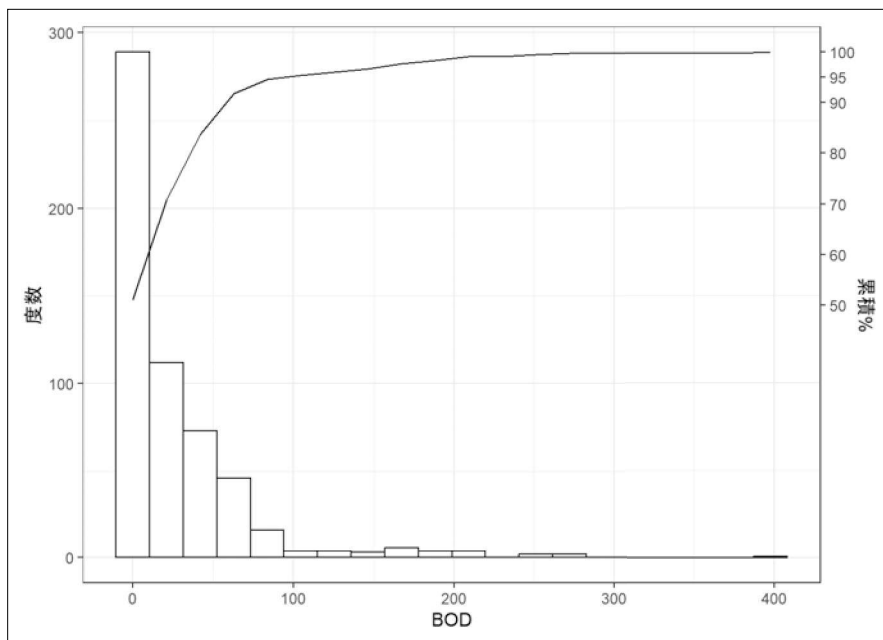
り組む必要がある。また、電気料金の値上げの中で、浄化施設の節電も重要性を増している。水質向上と節電の両立をいかに実現するかが今問われている。

本稿では、まず最近の状況について整理を行い、その結果を踏まえた対応策を検討する。

## 処理水質の現状

まず、汚水浄化の基本的な水質項目である生物化学的酸素要求量(BOD)について、畜産環境技術研究所の670件の収集データで累積度数分布を作成した(図1)。96.8%は水質汚

(図1) 処理水BOD濃度の累積度数分布(畜産環境技術研究所の保有データより作成)



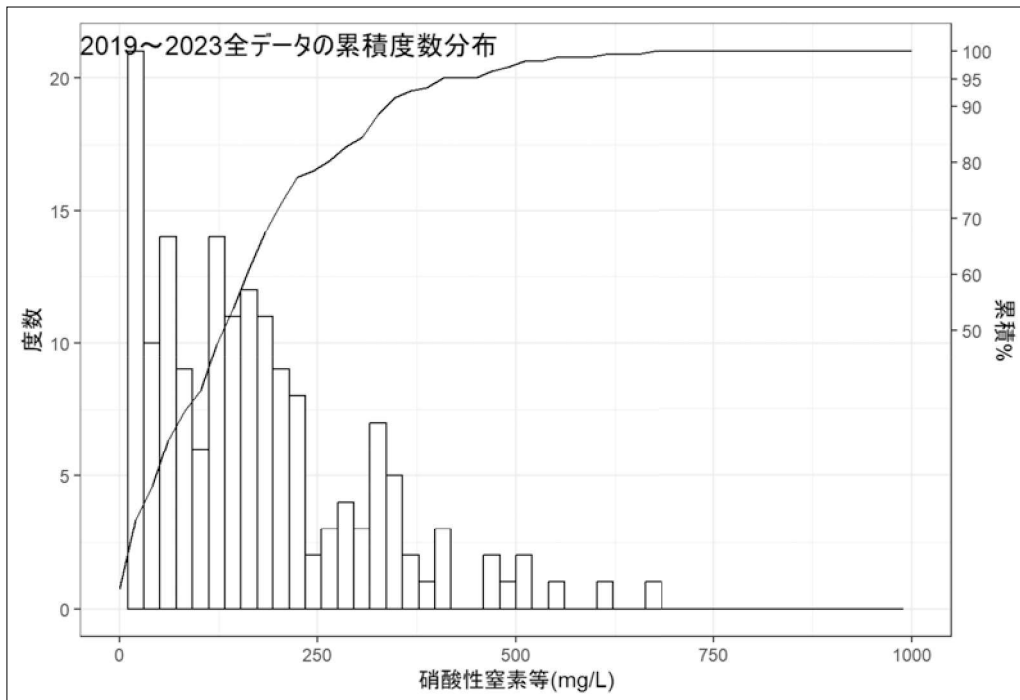
濁防止法の基準値の値160mg/Lを、また95.5%は日間平均値120mg/Lをクリアしており、十分な処理がなされていることがわかる。

次に、「硝酸性窒素等」の現状を環境省の資料<sup>2)</sup>でみると、一般基準値(100mg/L)以下の農場は平成28年7月～令和元年6月で68.1%であったものが、令和元年7月～令和4年6月には80.4%に増加している。よって、全体的に「硝酸性窒素等」に対する対応が進んだ

と判断される。一方、中央畜産会の調査<sup>3)</sup>によると、調査データの95%が現状の豚の暫定基準値の400mg/Lをクリアしたものの、一般基準値100mg/Lまでクリアしているデータはおよそ50%にとどまっていた(図2)。同報告書には、調査を行った21農場のそれぞれについての「硝酸性窒素等」濃度の変動状況も示されている(図3)。これを見ると、変動範囲の最低値はほとんどの農家で100mg/Lをクリ

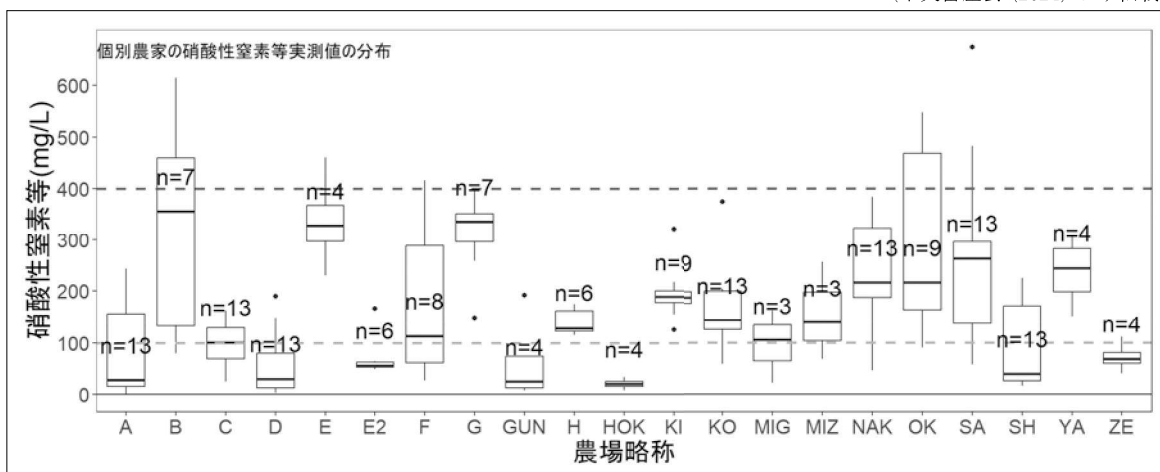
(図2) 処理水中硝酸性窒素等濃度の累積度数分布

(中央畜産会(2024)より転載)



(図3) 処理水中「硝酸性窒素等」濃度の調査農場ごとの分布

(中央畜産会(2024)より転載)



\* 上側破線は暫定基準値(豚)、下側破線は一般基準値を示す。nは各農家のデータ数を示す。

アしているものの、最大値が100mg/Lをクリアする農家はわずか10%であった。したがって、一般基準値の100mg/Lを常時クリアできる農家はまだ少ないことが推察される。

さらに、中央畜産会<sup>4)</sup>によれば、6農場での調査の結果、曝気槽水温が低下するほど「硝酸性窒素等」濃度が上昇する共通の傾向が見られた(図4)。このため、低温期の処理性能向上が基準値を通年でクリアするために重要と考えられる。

## 「硝酸性窒素等」の改善策

### (1) 自主測定の実施

まず自農場の「硝酸性窒素等」の実態を知ることが手始めとなる。水質汚濁防止法では水質の自主測定義務が定められており、少なくとも年に1回水質が最も悪化する時期に測定することが定められている。最悪時期が特

定できない場合、水質の悪化しやすい冬季に行うのが適切であろう。自主測定は法的には年に1回でもよいが、施設管理面からは少なくとも月に1回程度定期的に行うことが望まれる。これにより、浄化施設の変調に早めに気づくことができる。

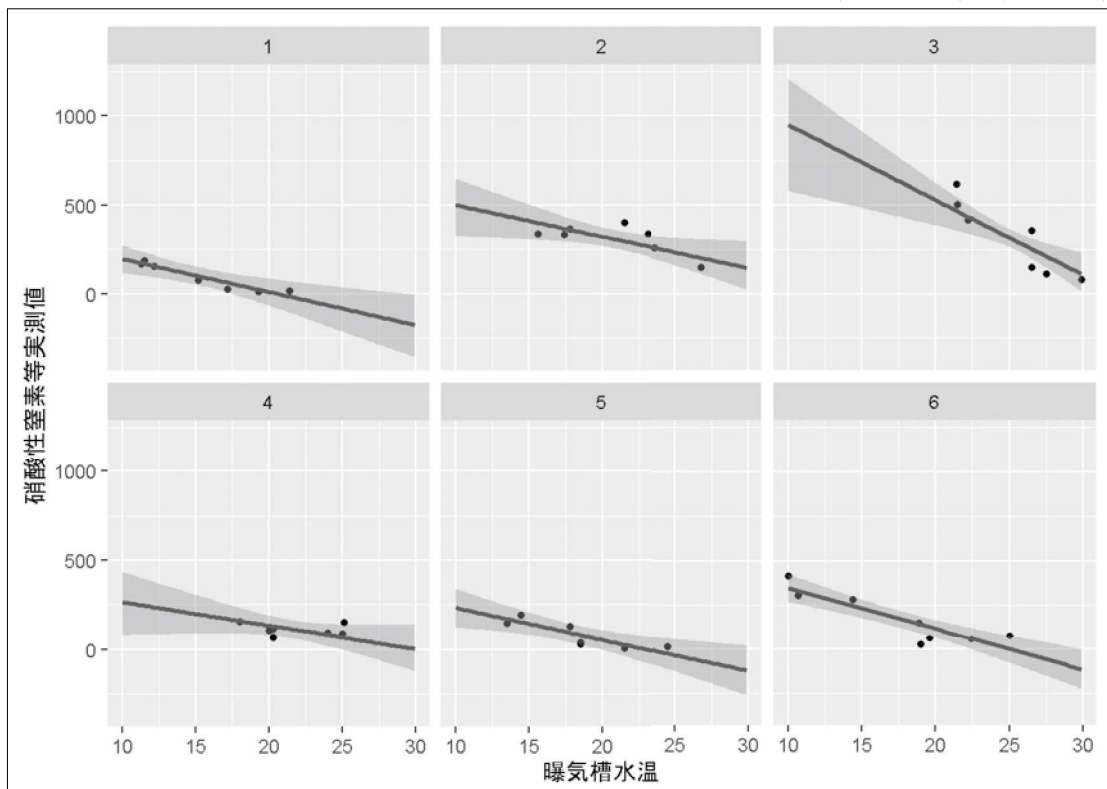
正確な測定は分析会社に依頼する必要があるが、日常管理の参考におおよその値を知りたい場合には、通販で購入可能なポケット型計器で測定したpHとEC(電気伝導率、mS/cm)の値をスマホアプリに入力して推定する手法もある(図5)。アプリでは、推定値が高めの場合に改善指針も表示される。このアプリは無料公開されており、図5に示したQRコードで利用できる。

### (2) pHを目安にした管理

「硝酸性窒素等」は、アンモニア性窒素( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) $\times 0.4$ +亜硝酸性窒素( $\text{NO}_2\text{-N}$ )+硝酸性窒素( $\text{NO}_3\text{-N}$ )の計算式で算出すること

(図4) 調査農場ごとの曝気槽水温と硝酸性窒素等濃度の関係

(中央畜産会(2023)より転載)



(グレー領域は95%信頼区間を示す)

(図5) pH、ECの測定値から硝酸性窒素等濃度を推定する手法



が定められている。よって、「硝酸性窒素等」濃度を下げるには3種類の窒素化合物を同時に低下させる必要がある。ここが対策の難しさの背景にある。

各農場で対策の方向性を考える場合、pHが重要な手がかりになる。田中<sup>5)</sup>によると、pHが8以上ではアンモニア性窒素(NH<sub>4</sub>-N)が残留傾向になり、特に8.5を超えると急激に高濃度化し、アンモニアを硝酸に酸化する硝化反応の促進が不可欠となる。硝化促進のための第1選択肢は曝気量を増やすことである。

なお、pH8.5を超える事例は、全国の調査データ670件のうち7%程度であった。

一方、pH7以下では、pHが低下するほど硝酸性窒素(NO<sub>3</sub>-N)濃度が高まり、pH6未満で特に高まり過曝気状態となる。田中<sup>5)</sup>によると、pH7未満は約45%、pH6未満は約28%に達した。よって、およそ3割は強度の過曝気状態と推測され、曝気量の抑制が対策となり、これによって水質向上と同時に節電にもつながる可能性がある。

曝気量調整法にはいくつかの選択肢がある。第1は、曝気装置にタイマーを付加し間欠曝気にする。第2は、インバータによる周波数の調整で曝気風量を調整する。第3は、送気管の途中に枝管を設けて枝管に取り付けたバルブで空気を適当量リークさせる方法である。ただし、リーク方式で曝気量を下げても節電にはならないことから、タイマー方式かインバータ方式を採用すべきである。

### (3) 曝気量自動制御システムの導入

適正曝気量は時々刻々変化するので、管理者がタイマーやインバータを不定期に調整する程度では安定した適正曝気は困難である。この問題の克服には、自動制御の導入が有効である。

自動制御の手法として、仮にpH値を制御指標に利用すると、硝化菌の菌数が低下した際に過剰な曝気が継続してしまう懸念がある。これに対して、溶存酸素(DO)および酸化還元電位(ORP)は曝気量に直接反応するので制御指標に利用しやすい。鈴木<sup>6)</sup>によると、曝気量の管理にDOとORPのどちらも有効であるが、季節によって変更が必要としている。畜産環境技術研究所の行った調査では、DOが検出限界未満の状況下でもORPは曝気量を反映して変化し、適切なORP値であれば正常な浄化が進行した。したがって、DOよりもORPを

用いた方がより高精度の制御が可能と推定される。制御目標のORP値を決定するには、後述のAI解析の活用が選択肢になる。

#### (4) AIの活用

AIは多くの分野で活用されているが、浄化施設の管理にも生かせる可能性がある。上述のスマホアプリでも、pHとECの値から「硝酸性窒素等」濃度を推定するため、ランダムフォレスト法というAIアルゴリズムを利用している。

さらに、浄化施設に水温、pH、EC、ORP測定用のセンサーを設置し、その収集データをAI機能搭載プログラムで解析し適正運転条件を決定するシステムも開発され<sup>7)</sup>、現在2農場で実稼働が始まっている。システムは遠隔からの運用も可能なので、複数の施設を保有している場合などは運転管理作業の効率化につながる可能性もある。

従来の経験と勘に加えてAIの解析力も活用することで、水質向上と節電の実現が期待される。

#### (5) 低温および高温期対応

低温対策としては、保温と加温が重要になる。具体的には以下があげられる。

- ・可能なら曝気槽を地下または半地下式にする。
- ・モーター廃熱が曝気液に伝わりやすい曝気装置を採用する。
- ・水中エアレータと表面曝気装置を併用している施設では、低温期には表面曝気装置を停止させ水面からの放熱を抑制する。
- ・可能なら曝気槽に蓋を設ける。

夏の水温上昇で水質が悪化する事例も各地で散見される。夏季に水温が40℃前後まで上昇すると硝化菌がダメージを受けて硝化が停止する場合があるので、蓋をする場合夏季の放熱のために一部または全部を取り外し可能

にしておくことも重要である。何らかの遮光対策も今後必要になると思われる。

#### (6) 適正活性汚泥濃度の維持

中央畜産会の調査<sup>3)・4)</sup>では、余剰汚泥の引抜きが不十分で活性汚泥が高濃度化して酸欠を招き、硝化が進まずにアンモニア性窒素(NH<sub>4</sub>-N)が高濃度に残留する事態に陥っている農場が散見されている。このような状態では、「硝酸性窒素等」の低減ができないばかりか、曝気電力の浪費を引き起こす。余剰汚泥の引抜きと確実な脱水処理は污水浄化の基本であり、これが不徹底ではどのような手を打っても効果は望めない。

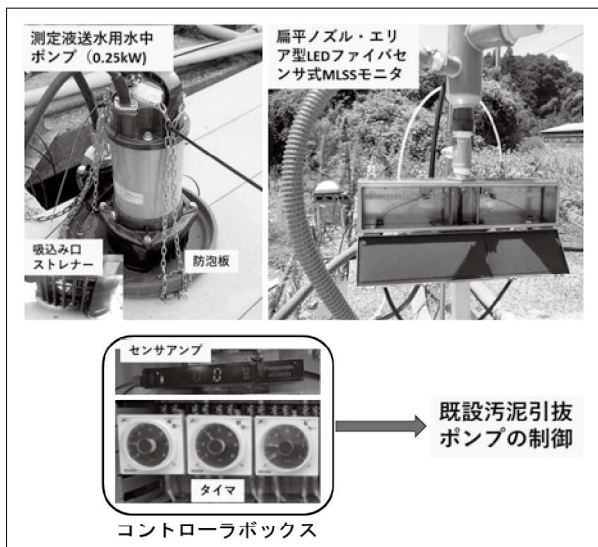
活性汚泥(正確には活性汚泥浮遊物質:MLSS)濃度の最適値は農場ごとに異なるが、一般的に低温期には温暖期より高めに維持することが低温期の水質維持のため重要である。東北地方のある農場で、MLSS濃度を温暖期は5000mg/L、低温期は8000mg/Lを目標値として管理している例もある<sup>4)</sup>。

余剰汚泥の引抜きはタイマー制御の水中ポンプによる場合が多いが、MLSS濃度を頻繁に測定してタイマーを調整しないと安定した濃度の維持はできない。自動的に汚泥濃度維持が行える簡易な制御システムが畜産環境技術研究所によって実用化されている(図6)。このシステムでは、ノズルから流下させた曝気液の吸光度をLEDファイバセンサーによって非接触でモニタし、一定吸光度以上になると汚泥引抜き用水中ポンプを作動させる<sup>8)</sup>。ノズルから流下する水流の断面が矩形なので透過光の屈折が起こらずに安定した吸光度測定ができること<sup>9)</sup>、およびエリア型センサーを採用しているので厳密な光軸調整が不要なこと等が特長である。

#### (7) 薬剤を使用した窒素除去

脱窒工程(NO<sub>3</sub>-Nを窒素ガスにして除去す

(図6) 活性汚泥濃度自動制御システム



る工程)でメタノールを添加して脱窒を促進する技術がある。工場废水处理では確立された技術として利用されている。畜産での適用例は少ないが、技術の特性を踏まえた上での活用の余地はある。ただし、添加量の調整には注意を払う必要がある。メタノールの代わりとしてイソプロパノールも選択肢となる。

膜分離処理水の硝酸性窒素( $\text{NO}_3\text{-N}$ )濃度低減技術として、固形硫黄細粒と炭酸マグネシウム粉末の混合資材<sup>10)</sup>による硫黄脱窒法が実用化されている。浄化施設で適切な処理を行っても基準値に達しない場合の、硝酸性窒素( $\text{NO}_3\text{-N}$ )簡易低減技術としての利用が適切と思われる。

## おわりに

既述のように、過曝気傾向の浄化施設で曝気量を適正化すると、水質改善と節電の一石二鳥になる。汚水浄化に一定の経費がかかることは避けがたいが、工夫次第で節約の可能な場合もあることを強調したい。水質規制強化という逆風を、節約の追い風に転じてみてはどうだろうか。

## 謝辞

今回紹介した内容の一部は、中央畜産会の実施した硝酸性窒素等排水実態調査の成果である。また、日本中央競馬会畜産振興事業の助成による事業成果も参考にしたことを記し、謝意を表します。

### <参考文献>

- 1) 一般財団法人畜産環境整備機構 (2022) 家畜污水处理施設設計・維持管理マニュアル。
- 2) 環境省 (2022) 畜産分野の暫定排水基準の見直しに係わる検討結果。 [https://www.env.go.jp/council/49wat-doj/y4913-\[32\]b/900437631.pdf](https://www.env.go.jp/council/49wat-doj/y4913-[32]b/900437631.pdf)
- 3) 公益法人中央畜産会 (2024) 令和5年度畜産経営における排水実態状況調査分析結果。
- 4) 公益法人中央畜産会 (2023) 令和4年度畜産経営における排水実態状況調査分析結果。
- 5) 田中康男 (2024) 養豚汚水浄化施設の管理指標としての処理水pH値。日本養豚学会誌、印刷中。
- 6) 鈴木睦美 (2015) ORPセンサーを利用した当該排水処理施設におけるばっ気槽の管理方法。群馬畜試研報、第22号：49-54。
- 7) 田中康男 (2023) 畜産污水处理用活性汚泥法曝気槽における酸化還元電位および溶存酸素濃度適正值の時系列解析・機械学習による把握の試み。AI・データサイエンス論文集 4巻3号, 158-162。
- 8) 田中康男 (2021) 養豚污水处理施設におけるエリア型ファイバセンサ搭載MLSSモニタを用いた曝気槽活性汚泥物質濃度の自動制御。日本畜産環境学会 19/20 (1) : 42-49。
- 9) 田中康男・中野貞雄 (2024) 扁平ノズル型モニタリング装置を用いた養豚污水处理施設における活性汚泥物質濃度の自動測定。日本畜産環境学会 会誌No.23 (1) : 19-23
- 10) 田中康男・長谷川輝明・笠原和久 (2021) 脱窒用硫黄資材。特許第6935653号

(たなか やすお・(一財)畜産環境整備機構  
畜産環境技術研究所 研究参与)