

# 養豚排水における硝酸性窒素等の低減に適した曝気槽運転方法の検討

添田若菜、小堀優海<sup>1)</sup>、齋藤憲夫、福島正人、池田純子、高柳晃治<sup>2)</sup>、田崎稔<sup>1)</sup>、岩渕守男<sup>3)</sup>

1) 現 河内農業振興事務所、2) 現 那須農業振興事務所、3) 現 農業大学校

## 要 約

硝酸性窒素等の低減技術の確立に向け、当センターのオキシデーショondiッチタイプ回分式養豚排水処理施設を用いて、間欠曝気技術を取り入れた運転を実施したところ、処理水の硝酸性窒素等の低減と同時に、処理水の水質悪化を確認した。そこで、硝酸性窒素等の低減をはかりながらも安定した曝気槽運転をするための指標を探ったところ、曝気工程終了時の曝気槽の pH が 6.5～7.5 かつ ORP が 100 mV 以上のとき、安定した曝気槽運転を実施できることが明らかになった。

さらに、作業の省力化に向け、市販のデータロガーを用いた遠隔モニタリングシステムを構築した。

## 目 的

水質汚濁防止法における硝酸性窒素等（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）の規制は、畜産排水では暫定排水基準として 400 mg/L 以下（2022 年 7 月～）と定められているが、いずれは一般排水基準値である 100 mg/L まで引き下げられる可能性が高い。

養豚の回分式活性汚泥法では、曝気工程中に曝気を停止する時間を設ける、間欠曝気を導入することによって硝酸性窒素等の低減ができるという報告がある（一般社団法人畜産環境整備機構<sup>1)</sup>、須藤ら<sup>2)</sup>）。しかし、間欠曝気を実施する際の曝気量の設定が適切でなければ水質の悪化を招いてしまう（金ら<sup>3)</sup>）。そこで、間欠曝気を取り入れて安定した運転管理を行うための曝気量調節方法について検討を行った。

15 分停止区：45 分曝気、15 分停止（1 サイクル 60 分）を繰り返す

30 分停止区：90 分曝気、30 分停止（1 サイクル 120 分）を繰り返す

### ・ 調査期間

15 分停止区：令和 2（2020）年 1 月 21 日～1 月 24 日

30 分停止区：令和 2（2020）年 2 月 18 日～2 月 21 日

### ・ 調査項目

原 水：pH、BOD(mg/L)、SS(mg/L)、硝酸性窒素等(mg/L)

曝気水：pH、ORP(mV)、MLSS(mg/L)

処理水：pH、BOD(mg/L)、SS(mg/L)、硝酸性窒素等(mg/L)、透視度(cm)

## 試験 I 曝気停止時間の変更

### 材料及び方法

#### (1) 試験実施施設

栃木県畜産酪農研究センター（以下、「センター」という）のオキシデーショondiッチタイプ回分式養豚排水処理施設において試験を実施した。

#### (2) 試験方法

- ・ 通常の曝気工程中に、曝気停止時間の長さを変更した短停止区と長停止区を設け、硝酸性窒素等除去率を調査した。両区の設定は以下のとおりとした（図 1）。

## 結果及び考察

処理水の pH、BOD、硝酸性窒素等及びその除去率に、曝気停止時間の違いによる大きな差はなく、両区で 80% 前後の硝酸性窒素等除去率が得られた（表 1）。しかし、15 分停止区の SS は一般排水基準値である 200 mg/L を超過するとともに透視度の悪化がみられ、通常の汚水処理に影響を及ぼす可能性があると考えられた。また、30 分停止区では、曝気槽内の pH の低下が抑えられるとともに、曝気停止中に ORP の確実な低下がみられたことから、間欠曝気の実施目的である脱窒ができていたことが明らかになった（図 2、3）。

試験区	処理工程 (数字は時間)																								
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
15分区	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	沈殿・排水 ・投入行程
30分区	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

図1 各試験区の曝気停止時間 (黒色時に曝気停止)

表1 養豚排水処理施設における投入原水・処理水の分析結果

試験区	サンプル 採取日	pH		SS(mg/L)		BOD(mg/L)		硝酸性窒素等 (mg/L)		硝酸性窒素等 除去率(%) <sup>1)</sup>
		原水	処理水	原水	処理水	原水	処理水	原水	処理水	
15分区	1日目	7.6	7.1	4558	194	2090	17	216	66.9	
	2日目	7.6	7.0	4600	382	3810	12	203	42.9	80.1
	3日目	7.5	7.0	4717	539	3540	35	205	41.4	79.6
	4日目	7.5	7.0	4283	211	2250	15	177	43.5	78.8
30分区	1日目	7.7	6.9	6975	48	7510	9	249	42.2	
	2日目	7.7	6.9	12400	230	2300	23	227	43.3	82.6
	3日目	7.6	6.9	5853	76	2630	12	227	43.3	81.0
	4日目	7.5	6.8	4027	61	2200	13	215	46.6	79.4
平均	15分区	7.5	7.0	4540	332	2923	20	200	49.0	79.5
	30分区	7.6	6.9	7314	104	3660	14	229	44.0	81.0

1) 投入原料と比較した処理水の硝酸性窒素等の減少率

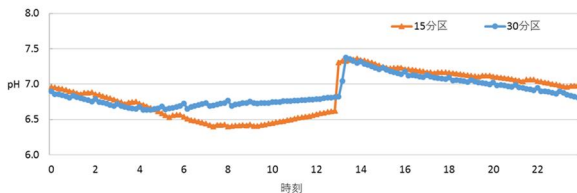


図2 曝気槽内 pH の変動 (4日間の平均)

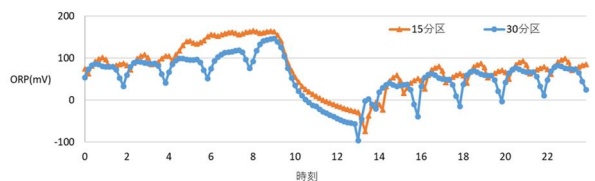


図3 曝気槽内 ORP の変動 (4日間の平均)

## 試験Ⅱ 曝気量調節指標の検討

### 材料及び方法

#### (1) 試験実施施設

栃木県畜産酪農研究センター (以下、「センター」という) のオキシデーショondiッチタイプ 回分式養豚排水処理施設において試験を実施した。

#### (2) 試験方法

##### ①曝気終了時の曝気槽内 pH 及び ORP 調査

- 曝気槽内に pH 計と ORP 計を設置し、曝気終了時における pH と ORP を調査した。

##### ・調査期間

令和2 (2020) 年7月21日～令和3 (2021) 年2月17日、令和3 (2021) 年4月7日～12月22

日

##### ・調査項目

原水：pH、BOD(mg/L)、SS(mg/L)、硝酸性窒素等(mg/L)

曝気水：pH、ORP(mV)、MLSS(mg/L)

処理水：pH、BOD(mg/L)、SS(mg/L)、硝酸性窒素等(mg/L)、透視度

##### ②遠隔モニタリングシステムの開発

- 養豚排水処理施設と管理者詰所 (建物) までの間に市販のデータロガー (中継機) を設置し、①の pH 及び ORP データの建物内での取得を試みた。

##### ・調査期間

令和4 (2022) 年6月23日～令和5 (2023) 年3月16日

- 使用した機器：子機 (データロガーRTR502B 及び RTR505B)、親機及び中継機 (データロガーRTR500BC)、PC

## 結果及び考察

### ①曝気終了時の曝気槽内 pH 及び ORP 調査

(a) 曝気終了時の pH と処理水の BOD、SS、透視度及び硝酸性窒素等の関係性について

曝気終了時の pH が 6.5 以下のとき処理水の BOD 及び SS は低く、透視度も良好だったが、硝酸性窒素等濃度が高かったことから、有機態窒素がさらに分解され、硝化が進み、硝酸性窒素等が増加している可能性があることが考えられた (表2)。

曝気終了時の pH が 7.5 以上のとき、処理水の硝酸性窒素等濃度は低く、BOD 及び SS が高い傾向があることから、有機物が分解されずに残り、汚水の処理が滞っていると考えられた (表2)。

曝気終了時の pH が 6.5～7.5 のとき、硝酸性窒素等は 100mV 以下に収まっており、透視度も良好だった (図4, 5)。

(b) 曝気終了時の ORP と処理水の BOD、SS 及び硝酸性窒素等の関係性について

曝気終了時の ORP が 100 mV 以上のとき、処理水の BOD 及び SS は低かったが、硝酸性窒素

等が高い場合が見られた（表3）。このとき曝気槽内のpHが6.5以下であったことから、曝気槽内のpHが6.5以下かつORPが100 mV以上の場合に硝酸性窒素等が増加傾向にあることが考えられた（表3，図6）。

(c) 曝気量調節指標の基準

曝気終了時のpHが6.5以下かつORPが100 mV以上の場合、処理水の硝酸性窒素等濃度は高かった。曝気終了時のpHが7.5以上の場合、処理水のBOD及びSSが増加傾向にあり、汚水の処理が滞っていると考えられた。

これらのことから、硝酸性窒素等が増加しているpH6.5以下かつORP100 mV以上の場合には曝気量を減らし、汚水の処理が滞っているpH7.5以上の場合には曝気量を増やすといった対応をしたところ、硝酸性窒素等は低減し、処理水質も良好となった。曝気量調節の指標として曝気終了時の曝気槽内pHとORPを用いる際の基準を図7に示した。

②遠隔モニタリングシステムの開発

養豚排水処理施設と建物までの間に市販のデータロガーの中継機を設置することで、pH及びORPのデータを遠隔で取得することができた。遠隔モニタリングシステムに使用した機器の配置図を図8に示した。遠隔モニタリングに必要な機器代は約160,000円、設置に要した時間は約6時間だった。

この安価なシステムを活用すれば、離れた排水処理施設に足を運ぶことなくpHやORPデータのモニタリングが可能となることから、曝気槽運転管理にかかる時間を削減することができると考えられる。また、取得したデータの波形から、汚水の投入や処理の状況を推察することができるため、停電等の非常時に離れた施設の状況把握に用いることもできると考えられる。

表2 曝気終了時の曝気槽内pHと処理水の水質の関係性（平均値）

pH	BOD(mg/L)	SS(mg/L)	硝酸性窒素等(mg/L)	透視度
～6.5	13	8	96	26
6.5～7.5	9	9	64	27
7.5～	35	97	22	11

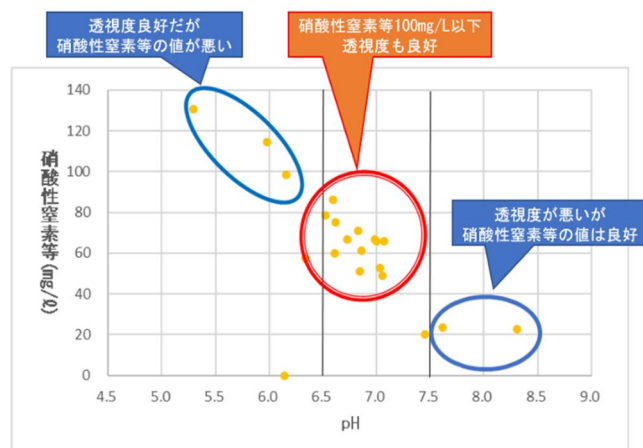


図4 曝気終了時の曝気槽内pHと処理水の硝酸性窒素等の関係性

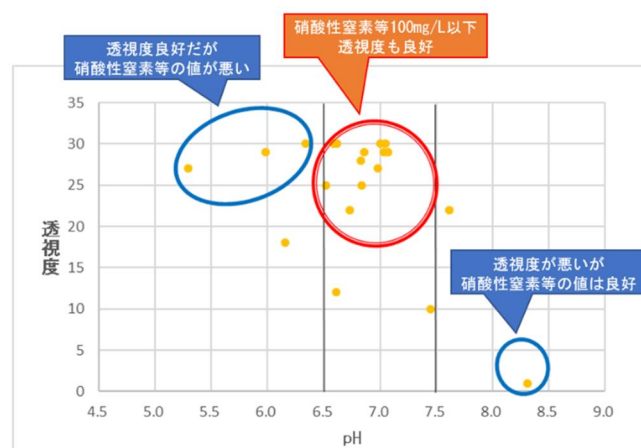


図5 曝気終了時の曝気槽内pHと処理水の透視度との関係性

表3 曝気終了時の曝気槽内ORPと処理水の水質の関係性（平均値）

ORP(mV)	BOD(mg/L)	SS(mg/L)	硝酸性窒素等(mg/L)		透視度
			pH6.5以下	pH6.5～7.5	
～100	68	250	—	—	1
100～	11	19	96	64	25

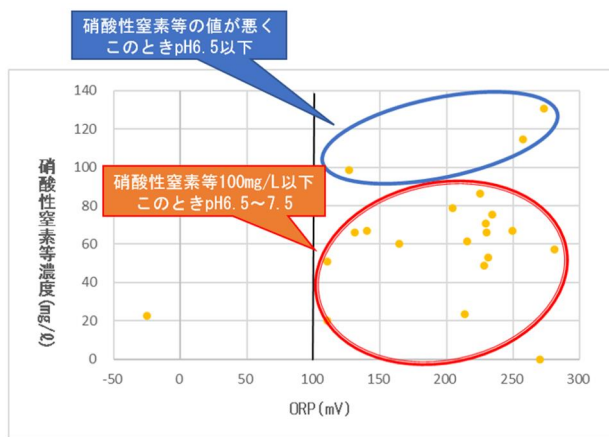


図6 曝気終了時の曝気槽内 ORP と処理水の硝酸性窒素等の関係性

**【具体的な曝気量調整基準】**

- ・ pH6.5以下かつORP100mV以上 → 曝気量を減らす
- ・ pH7.5以上 → 曝気量を増やす

図7 曝気量調節の指標

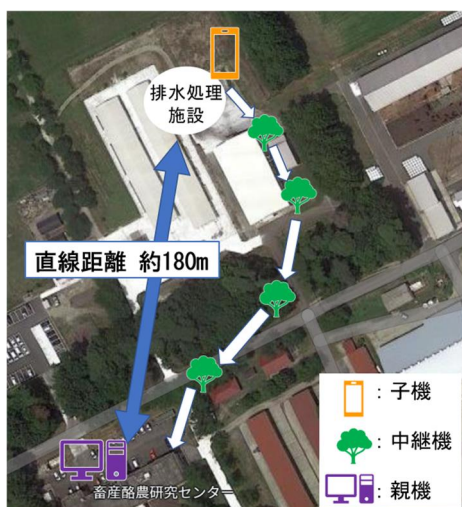


図8 遠隔モニタリングシステム配置図

**試験 I、II のまとめ**

養豚排水処理施設における硝酸性窒素等の低減対策として、間欠曝気技術は有効であることを確認した。

また、曝気時間のサイクルとしては、曝気工程中に 90 分曝気、30 分停止（1 サイクル 120 分）を繰り返す方法が、45 分曝気、15 分停止（1 サイクル 60 分）という短いサイクルよりも硝酸性窒素等の低減及び処理水の SS 除去に適していることを確認した。また、間欠曝気を実施することで硝酸性窒素等の低減が可能だが、曝気間隔や曝気量の調整を誤ると処理水の SS の濃度が高くなり、通常の処理に悪影響を及ぼす可能性があることも確認した。そこで、間欠曝気を取り入れ、硝酸性窒素等を低減しながらも、処理水質を悪化させないための曝気槽管理指標を探ったところ、pH と ORP が指標になることが考えられた。

具体的には、「曝気槽内の pH が低く、ORP が高いと、有機物が分解されているため SS の濃度は低い、有機態窒素がさらに分解され硝酸性窒素等の濃度は高くなる。反対に pH が高いと、窒素が有機態のままになっているため硝酸性窒素等の濃度は低い、酸素が不足し有機物が分解されないことで SS の濃度が高くなる。」といった活性汚泥法の性質を活用し、試験を実施したところ、曝気終了時の曝気槽内 pH を 6.5～7.5 の範囲に調整することで、硝酸性窒素等の低減及び SS の除去がバランス良く進行させることができた。一般的に微生物は pH 7 前後の環境を好むといわれ、間欠曝気実施の有無に関わらず pH が高すぎたり低すぎたりすると、汚泥が沈殿しなかったり曝気槽から発泡が起きたりする等のトラブルが発生する（中村<sup>4)</sup>）。また、急激に水温が低下した際も pH 同様のトラブルに繋がるため冬期の水温管理が重要である（中村<sup>4)</sup>）。

回分式活性汚泥法では、曝気槽内に pH 計や ORP 計を常設し、記録を行い、曝気槽の状態を確認することで危険察知やトラブルシューティングができる（中村<sup>4)</sup>）。本試験で実施した遠隔モニタリングシステムは室内でも記録データを確認できるため、加えて曝気槽管理作業の省力化に繋がると考えられた。

本報告はオキシデーションディッチタイプの回分式養豚排水処理施設で実施したものである。なお、本試験の成果については、曝気槽の運転管理マニュアル「硝酸性窒素等の低減に向けた曝気槽の運転管理」としてもまとめ、県ホームページに掲載している。

**参考文献**

- 1) 一般社団法人畜産環境整備機構. 2018. 畜産汚水の処理技術マニュアルー処理の基本から高度処理までー. 57-58.
- 2) 須藤立、大林康信、井上雅美、矢萩久嗣. 2015. 畜舎排水処理施設における汚水中の硝酸性窒素等除去の検討. 茨城畜セ研報第 47 号.
- 3) 金主鉉、酒村哲郎、千葉信男、西村修、須藤隆一. 1999. 回分式間欠曝気活性汚泥法による豚舎排水の有機物・窒素除去に関するパイロットプラント実験. 水環境学会誌第 22 巻第 12 号. 990-996.

- 4) 中村作二郎. 2003. 養豚場の廃水処理—浄化槽の設計・日常管理とトラブルシューティング. 初版. 有限会社ベネット. 東京.