

BOD(生物化学的酸素要求量)監視システムを用いた ばっ気制御による豚舎排水中窒素除去の実証

二宮恵介 横山浩* 山下恭広* 片桐慶人

I 要 約

水質汚濁防止法における硝酸性窒素等の規制強化に対応する豚舎排水からの窒素除去技術の確立のため、BOD 監視システムを用いたばっ気制御による窒素除去効果について当センターの沖縄型回分式酸化溝において実証試験を行ったところ、その結果は以下のとおりであった。

1. ばっ気制御後に pH は上昇する傾向にあり、硝酸性窒素および全窒素は低下する傾向にあった。
2. ばっ気制御後に硝酸性窒素等は、一般排水基準 100mg/l を一度も超過しなかった。

II 緒 言

水質汚濁防止法健康項目の一つ「アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物および硝酸化合物」(硝酸性窒素等)の畜産農業に対する暫定排水基準は、2019年7月に500mg/lに強化され、さらに将来的には一般排水基準100mg/lに統合される見込みであり、規制強化への対応が喫緊の課題となっている。

横山ら¹⁾は発電細菌を利用して生物化学的酸素要求量(BOD)を6時間で測定できる「BOD監視システム」を開発した。BOD監視システムを用いることで、ばっ気槽上澄み(処理水)のBODに基づいた効率的なばっ気制御が可能となるため、不要なばっ気を抑制し、電気代を抑えることができる¹⁾。さらに、ばっ気槽が嫌気状態になることで脱窒反応が効率よく進行する²⁾ことから、窒素除去効果も期待される。現在、BOD監視システムは茨城県、山形県、千葉県、熊本県、宮崎県および沖縄県の豚舎排水の汚水処理施設に設置され、窒素除去の実証試験を行っている。

そこで本報では、当センターの沖縄型回分式酸化溝(酸化溝)に設置したBOD監視システムのばっ気制御による窒素除去効果の知見が得られたので報告する。

III 材料および方法

当センターの酸化溝の設計条件は伊禮らの報告³⁾のとおりであり、処理対象汚水量1.5 m³、ばっ気槽容積58.5 m³およびBOD容積負荷0.2kg/m³であった。BOD監視システムの概略図を図1に示した。本体(制御部)と培養器からなる構造で、培養器内に処理水が流入し、BODおよびpH等の測定を行うことができる。BOD監視システムにAからFの6つのばっ気パターン条件(図2)を設定後、1日1回処理水を自動で採水・測定し、BODおよびpHの値に応じてばっ気制御を行った。試験期間は2019年6月から12月とした。ばっ気制御は2019年8月1日から開始し、6月から7月をばっ気制御前(1日21時間ばっ気)、8月から12月をばっ気制御後として、1週間に1回程度原水および処理水を採水し、水質を調査した。調査項目はBOD、浮遊物質(SS)、pH、アンモニア性窒素(NH₄-N)、亜硝酸性窒素(NO₂-N)、硝酸性窒素(NO₃-N)、硝酸性窒素等、全窒素(T-N)およびBOD/N比とした。BODは圧力センサ式BOD自動測定器(BODTrak II, HACH)、pHはガラス電極法⁴⁾、NH₄-N、NO₂-NおよびNO₃-Nは流れ分析法⁴⁾(一般財団法人沖縄県環境科学センターに分析依頼)、T-Nは紫外吸光光度法⁴⁾で行い、硝酸性窒素等は[NH₄-N] × 0.4 + [NO₂-N] + [NO₃-N]の式により算出した。SSは原水を遠心分離法⁴⁾、処理水を吸光光度計(DR2010, HACH)により測定した。BOD/N比はBODをT-Nで除し算出した。



図 1 BOD 監視システムの概略図

BOD (mg/l)	pH	ばっ気パターン	タイムスケジュール																							
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
>100	all range	A	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線
50-100	all range	B	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線
<50	> 8.5	C	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線
<50	7.5-8.5	D	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線
<50	6.5-7.5	E	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線
<50	< 6.5	F	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線	斜線

図 2 ばっ気パターン条件

- 注 1) 斜線部: ばっ気, 白抜き: ばっ気停止
- 2) ばっ気制御前のばっ気パターンは A と同様である。

IV 結果および考察

原水および処理水の水質を表 2 に示した。ばっ気制御後に処理水の pH は上昇する傾向にあり, NO₃-N および T-N は低下する傾向にあった。標準活性汚泥法では, ばっ気処理による硝酸イオン濃度の著しい増大に起因して pH が低下する²⁾。このことから, ばっ気制御後の pH の上昇は, NO₃-N の低下によるものと考えられた。窒素除去を十分に行うには原水の BOD/N 比が約 3 以上必要といわれている^{5~6)}。当センターの原水の BOD/N 比は 8.6 ± 1.7 であり, 窒素除去において有利な条件であったと考えられる。

表 2 原水および処理水の水質

	原水 (n=29)		処理水			
			ばっ気制御前 (n=9)		ばっ気制御後 (n=20)	
pH	6.7	± 0.3	6.9	± 0.3	7.8	± 0.2
BOD (mg/l)	3326	± 1583	10.4	± 1.9	13.7	± 9.5
SS (mg/l)	2237	± 1934	31.1	± 26.2	32.5	± 20.7
NH ₄ -N (mg/l)	—	—	0.2	± 0.1	7.0	± 15.7
NO ₂ -N (mg/l)	—	—	0.01	± 0.01	0.48	± 1.93
NO ₃ -N (mg/l)	—	—	111.7	± 15.4	30.8	± 24.4
T-N (mg/l)	387.0	± 175.0	112.3	± 16.9	46.4	± 23.2
BOD/N比	8.6	± 1.7	—	—	—	—

注) 平均値 ± 標準偏差

処理水中硝酸性窒素等の推移を図 3 に示した。ばっ気制御後の硝酸性窒素等は, ばっ気制御開始直後に急激に低下し, その後も 11 月後半まで低い値で推移した。ばっ気制御開始直後の急激な硝酸性窒素等

の低下は、ばっ気装置の故障により8月3日から8月5日までの約3日間ばっ気が停止したため、ばっ気槽内が嫌気状態になり脱窒が促進されたことが要因であると考えられる。しかしながら、ばっ気装置の復旧後も一般排水基準 100 mg/l を一度も超過することがなかったことから、BOD 監視システムを用いたばっ気制御は、窒素除去に有効であると考えられた。いっぽう、12月に硝酸性窒素等の上昇がみられたことから、冬季の水質および通年の水質調査を行い、継続してBOD監視システムの性能を検討する必要があると考えられる。なお、BOD監視システムは2020年に山形東亜DKK(株)より市販化される予定である。



図3 処理水中硝酸性窒素等の推移

注1) 矢印:ばっ気制御開始日(2019年8月1日)

2) 点線:一般排水基準 100 mg/l

謝 辞

本研究は農研機構生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業(うち経営体強化プロジェクト)」の支援を受けて実施した。

V 引用文献

- 1) 横山浩・山下恭広・水口人史・伊藤和紀・松井敏也・佐藤義則・長谷川輝明・鶴田勉・大川夏貴・林田雄大・鈴木直人・二宮恵介・森弘・五十嵐宏行・梁翹楚・池本良子(2018)排水処理に役立つBOD(生物化学的酸素要求量)監視システム, 普及成果情報, https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/4th_laboratory/nilgs/2018/18_022.html
- 2) 竹内誠(2004), 尿污水处理における窒素, リンの除去技術, 農文協編, 社団法人農山漁村文化協会, 391-392
- 3) 伊禮判・宇地原務・山城倫子・仲宗根實(2000)畜産公害対策試験(6)酸化溝型回分式活性汚泥法による高濃度豚舎汚水の低コスト処理試験, 沖縄畜試研報, 37, 78-83
- 4) 公益社団法人日本下水道協会(2012)下水試験方法上巻-2012年版-, 190-327, 公益社団法人日本下水道協会
- 5) Osada, T., Haga, K., Harada, Y. (1991) Removal of nitrogen and phosphorus from swine wastewater by activated sludge units with the intermittent aeration process, *Water Res*, 25(11), 1377-1388
- 6) 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, 22(12), 990-996