

2 2 環境と調和のとれた畜産排水処理技術の導入と農家指導方法の検討

中小家畜試験場 ○三浦泰忠 奥村敏広

1 はじめに

県内に普及している畜産排水処理の施設は設置から約10年が経過し、施設機器の更新や硝酸性窒素等の規制対応、規模拡大に向けて再設計等の課題がある。しかし、処理施設が自家施工であることや人間用合併浄化槽を利用しているため、課題解決に向けた運転保守方法や改造方法が明確ではない。そこで、酪農家のパーラー排水処理施設で多項目水質計を利用した連続測定により、施設の現状把握と改善点を「見える化」し、施設の改善のための改修と運転方法の検討を行った。

2 材料及び方法

(1) 実証試験農場の概要

日野郡の酪農家（ミルクパーラーの排水処理施設、設計は経産牛75頭、排水量7m³/日）で平成17年10月から浄化運転を開始した。施設は中古FRPサイロを活用した連続式活性汚泥法（写真1）で既存尿貯留槽15m³を原水貯留槽とし、曝気槽3槽（有効容積各約7m³）、沈殿槽1槽（有効容積約7m³）、関連機器はトロンメル型固液分離機（平成26年導入）、ルーツブローア2台（送風能力0.65m³/分、0.3m³/分）である。



写真1 実証試験農家の汚水処理施設

(2) 調査方法

① 試験期間

平成26年11月に現状調査を行い、同年12月に24時間タイマーを投入ポンプに設置した。また、平成27年4月から調査と改修を行ない、平成27年6月4日から平成28年1月6日まで処理水の水質分析を2週間間隔で行った。

② 多項目水質計

多項目水質計（東亜DKK、WQC-24標準センサーモジュール）を最終曝気槽の水深約1mに設置し、溶存酸素（DO、ガルバニ式隔膜電極法）及び酸化還元電位（ORP、白金電極法）、水温等を測定した。取り付けは第3曝気槽の蓋通気口（写真2）から吊り下げて、15分間隔で5日間測定した。



写真2 多項目水質計と曝気槽

③水質分析

化学的酸素要求量（COD）は100℃における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量（COD_{Mn}）、生物化学的酸素要求量（BOD）はBODセンサー（アクタック、BODシステム6）により測定した。アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素（硝酸性窒素等）はRQflex及びバイオンクロマトグラフ（島津、IC-A3・IC-C4）を用いて測定した。

3 結果

（1）改善前の取り組み

①現状調査（平成26年11月28日～12月2日）

多項目水質計により現状を調査した結果、DO濃度は1日に1回から2回大幅に低下し（図1）、ORPも低下した（図2）。農場主からの聞き取りによると、搾乳作業終了後に投入ポンプを手動で作動させるとのことから、投入ポンプの動作中に第3曝気槽内のDO濃度及びORPが低下するものと考えられた。処理水の水質はCOD_{Mn}濃度（11/27及び12/3の午前10時採材）が131～133mg/Lと高いことから（表1）、処理施設への投入量が過剰となって水質の悪化が生じ、投入時以外は処理の余力があることが考えられた。

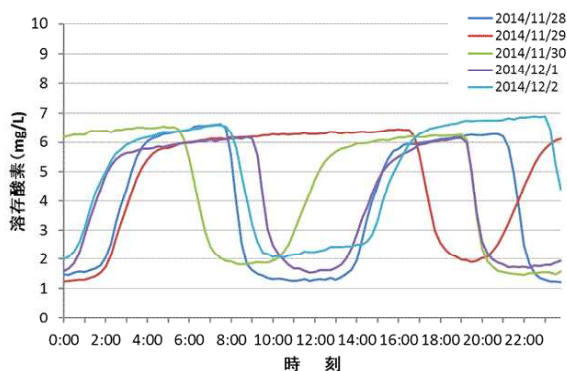


図1 改善前の日別溶存酸素推移

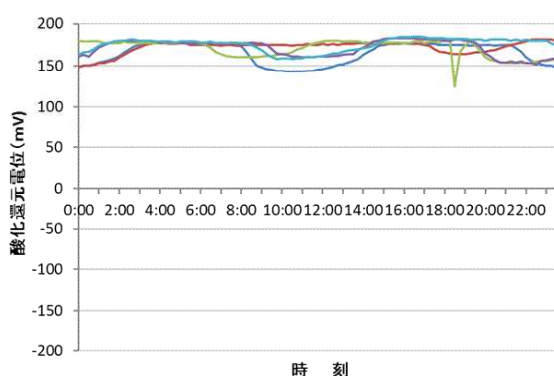


図2 改善前の日別酸化還元電位

表1 改善前の水質分析結果

採材月日	COD _{Mn} (mg/L)	硝酸性窒素等 [※] (mg/L)
H26.11.27	133	140
H26.12.3	131	98
基準値(日間平均)	120	(一般基準100)
最大(許容限)	160	暫定700

備考: [※]RQflexによる簡易測定

②投入ポンプへの24時間タイマー設置（平成26年12月9日）後の現状調査

原水を分割して自動で投入するために、投入ポンプ及び固液分離機の分電盤内に24時間タイマー（写真3）を追加設置した。現状調査と同様に多項目水質計により、平成26年12月20日から12月24日の5日間調査した。DO濃度は上昇し（図3）、投入による変動は解消されたが、ORPが低下して（図4）、処理水の水質が安定せず

(表2)、24時間タイマー単体での自動化では調整が困難であった。

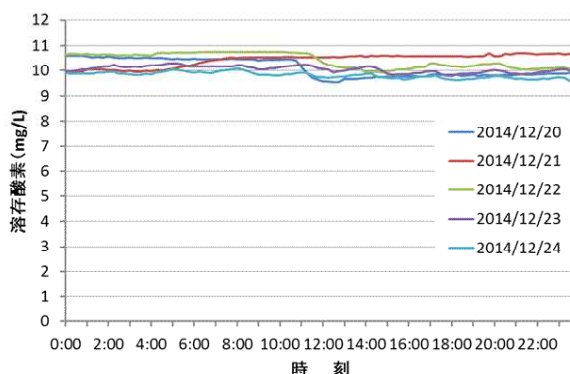


図3 タイマー設置後の日別溶存酸素推移

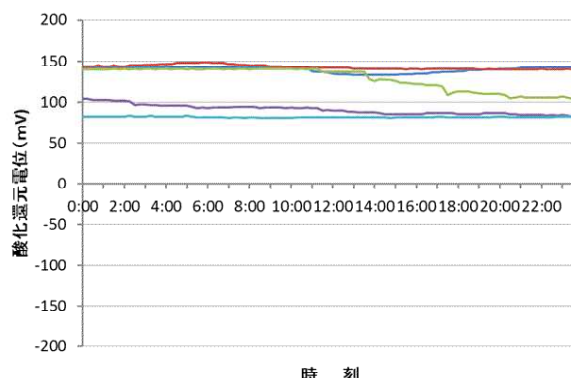


図4 タイマー設置後の日別酸化還元電位

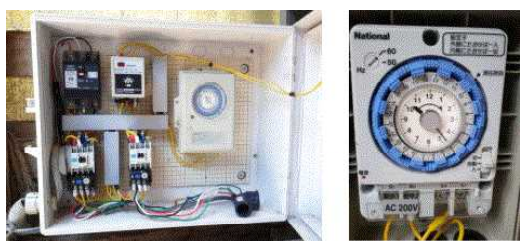


写真3 24時間タイマーの設置

表2 タイマー設置後の水質分析結果

採材月日	CODMn (mg/L)	BOD (mg/L)	硝酸性窒素等 [※] (mg/L)
H26.12.18	210	—	121
H27.2.17	—	75	130
基準値(日間平均)	120	120	(一般基準100)
最大(許容限)	160	160	暫定700

備考: [※]RQflexによる簡易測定

(2) 改善点

①処理施設の能力を最大限活用・自動化(平成27年4月15日)

24時間タイマーにより投入ポンプや固液分離機の動作・停止の自動化に加え、汚水処理施設専用の流量調整槽を設置した(写真4)。流量は原水貯留槽が空になる時間がないように、次の搾乳までに投入を終える1時間当たり約120~300L(約2~5L/分)となるように調整した。

設置及び配管の作業時間は3時間/人で、中古の流量調整槽を使用したため、材料費は21,000円(100L水槽1.3万円と配管部品)であった。



写真4 流量調整槽の設置

②曝気槽でBOD分解と窒素の硝化を効率向上(平成27年6月3日)

BODの分解とアンモニア性窒素の硝化を促進するため、第1曝気槽にメンブレン式散気管(協和エンジニアリング、S-500L)4本をステンレス製配管部品でH型に配置して0.3m³/分の送風ブロアに接続した(写真5、6、図5)。第2曝気槽の散気管が劣化していたため、第1曝気槽で使用していたディスクディフューザーを移設した。また、2台の送風ブロアにそれぞれインバータを取り付け、送風量を調整できるようにした。

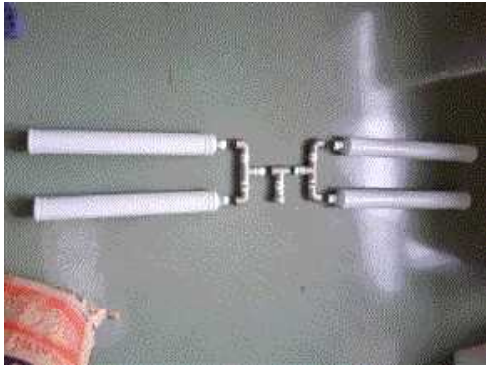


写真5 メンブレン散気管の配置



写真6 散気管取り替え作業

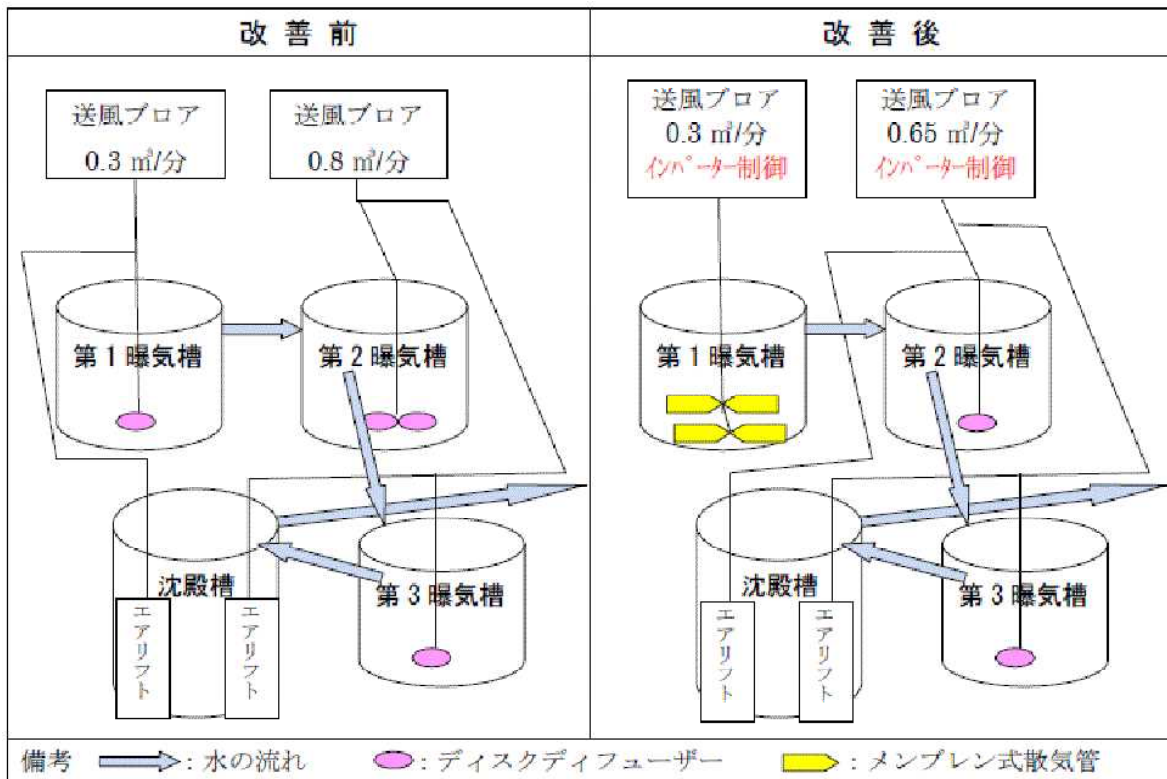


図5 送風ブロアの配管図（改善前後の比較）

設置及び配管の作業時間は2時間/2人で、メンブレン散気管及びステンレス製配管接続部品、送料を含めた費用は62,000円であった。送風ブロアのインバータ設置は0.3 m³/分のブロアには中古のインバータを使用し、0.65 m³/分のブロアには新規でインバータ及び収納ボックスを電気工事し、材料及び工事費用は50,000円であった。

インバータの設定は多項目水質計と水質分析を元に表3のとおり調整し、6月4日以降についてはメンブレン式散気管を接続した送風ブロア(0.3 m³/分)は周波数30 Hz、0.65 m³/分の送風ブロアは55 Hzで運転することとした。

表3 送風ブロアのインバータ設定値

設定日時	送風ブロア周波数(Hz)	
	0.3立米/分	0.65立米/分
5月18日16:00	40	50
5月22日12:00	60	55
6月3日11:00	50	↓
6月4日11:00	30	↓

③沈殿槽での脱窒効率を高める（平成27年5月21日）

沈殿槽にスカムが浮上し、数日で厚さ50cm以上のスカム（写真7）が水面を覆うため、放流水にスカムが混じり水質に悪影響を及ぼしていた。また、スカム除去のためのすくい出し作業や沈殿槽の攪拌は毎日人力で行っていたため、労力軽減を目的としてス



写真7 沈殿槽水面のスカム蓄積



写真8 スカムスキマーの配管とフロート部

カムスキマー（写真8）を設置した。スカムスキマーはフロート部から表面に浮上したスカムを引き込み、エアリフトポンプにより第1曝気槽へ返送するように設置した（写真9）。なお、エアリフトポンプを0.65m³/分の送風ブロアへつなぎ替えた。

設置及び配管の作業時間は1時間/人で、スカムスキマー（関西化工、フローティングスカムスキーマSS3型50A）及び配管接続部品を含めた費用は25,000円であった。



写真9 スカムスキマー設置後の沈殿槽

（3）改善による効果

①多項目水質計による改善効果確認

現状調査と同様に、多項目水質計でDO濃度及びORPを測定した。改善前と比較してDO濃度は4～6mg/Lに低下したものの（図6）、ORPは平均173mVと高位で安定し、1日を通じてORPの低下及び変動は解消された（図7）。

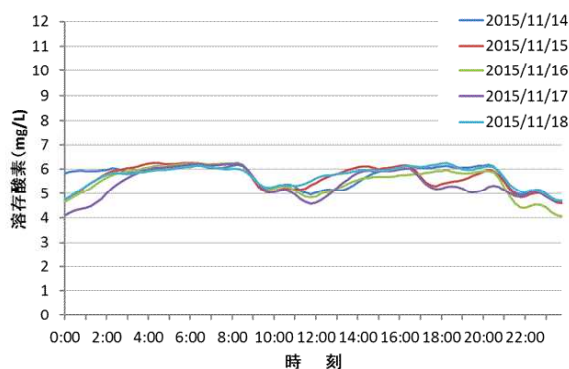


図6 改善後の日別溶存酸素推移

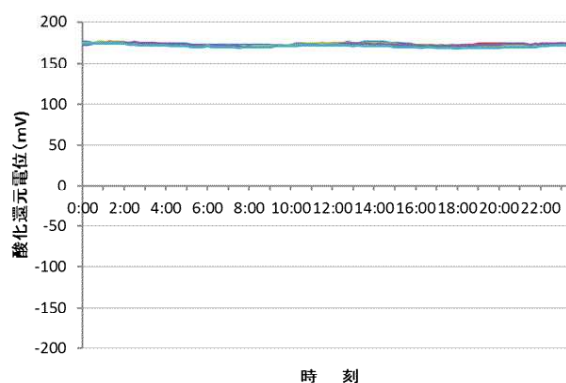


図7 改善後の日別酸化還元電位

②処理対象水（原水）

改善前の取り組みから実証試験期間中に処理対象水として固液分離機（ステンレス 2 mmメッシュ）通過後の原水の水質を 5 回測定した（表 4）。7 月 14 日の暑熱対策のため搾乳牛への牛体シャワーで希釈された原水を除くと、BOD 濃度は 416～560 mg/L（平均 485 mg/L）であった。硝酸性窒素等はイオンクロマトグラフでの測定開始後の 8 月 11 日以降について測定した結果、アンモニア性窒素濃度は 43.3～57.9 mg/L（平均 48.5 mg/L）であり、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素は検出されなかった。

表4 原水(固液分離後)の水質分析結果

採材月日	BOD (mg/L)	アンモニア性窒素 (mg/L)	備考
H27.2.3	567	ND	
H27.7.14	237	ND	搾乳牛への牛体シャワーによる希釈
H27.8.11	437	43.3	
H27.8.19	416	57.9	
H27.12.16	519	44.3	

備考:NDはイオンクロマトグラフ未測定。

③放流水の水質

流量調整槽の設置後の 4 月 21 日（6 日目）及び 4 月 24 日（9 日目）の CODMn 濃度はそれぞれ 129 mg/L、150 mg/L と日間平均基準を上回ったが、4 月 27 日（12 日目）以降から 111 mg/L と日間平均基準以下になり、5 月 7 日（22 日目）89 mg/L、5 月 14 日（29 日目）35 mg/L と低下した（図 8）。スクラムスキマーの設置（5 月 21 日）及びメンブレン式散気管の設置（6 月 3 日）以降は河川への排出基準である BOD 濃度を測定し、5～7 月の平均 BOD 濃度は 37.5 mg/L、8～10 月の平均 BOD 濃度は 23.1 mg/L となった。ただし、10 月 29 日に停電により処理施設の送風ブロアが約 1 日停止していたために、翌日の 10 月 30 日に一時的に BOD 濃度が 87 mg/L となったが、この数値を除外した 8～10 月の平均 BOD 濃度は 13.9 mg/L と良好な結果となった。また、直近の 11 月～翌年 1 月 6 日までの平均 BOD 濃度は 9.2 mg/L（最大 14.8 mg/L、最小 3.2 mg/L）

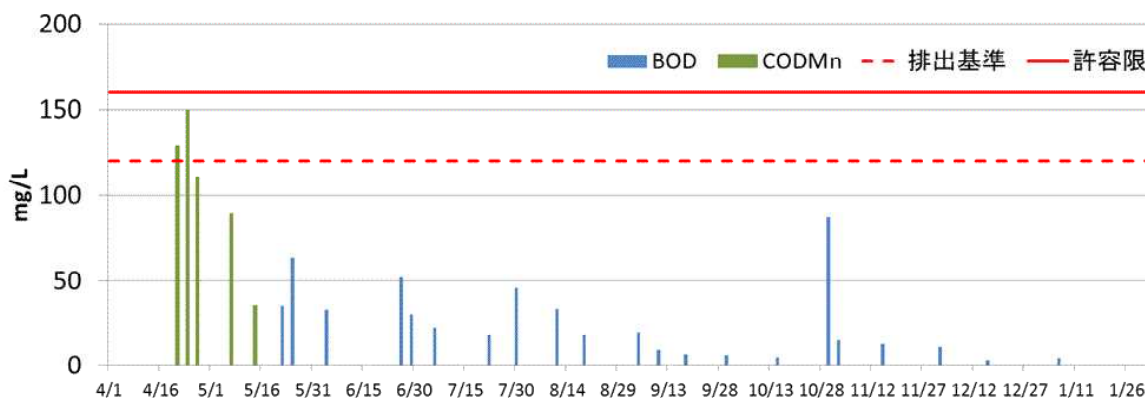


図 8 CODMn 及び BOD の推移

と安定した。処理水のpHについても調査期間中は平均7.41（最大7.96、最小6.76）で安定して推移した（図9）。

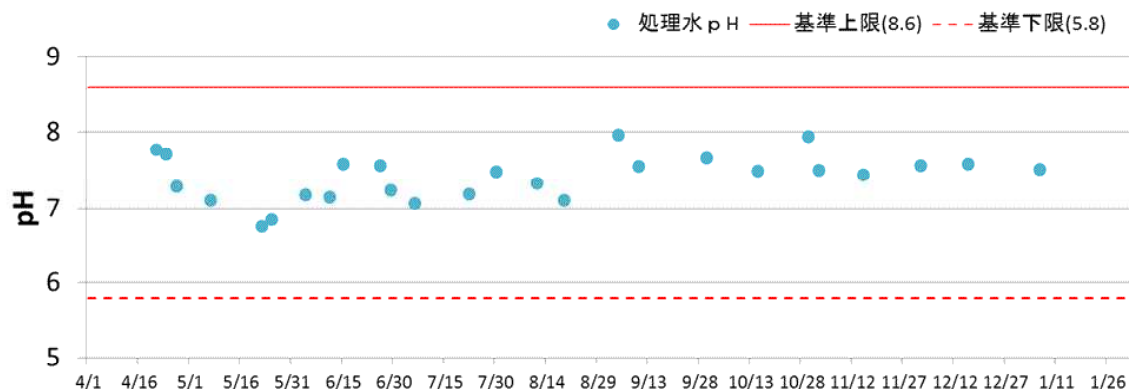


図9 処理水 pH の推移

調査期間中は硝酸性窒素等の濃度は暫定基準値（700 mg/L）を上回ることにはなかった。しかし、改善前は一般排出基準値（100 mg/L）を超える日があったが、イオンクロマトグラフによる測定に変更した7月30日以降は平均濃度は58 mg/L（最大90 mg/L、最小27 mg/L）で推移した（図10）。硝酸性窒素等のうち硝酸性窒素の割合（NO₃-N割合）は停電翌日の10月30日を除き100%～97%（平均99%）で推移し、硝化は良好に推移した。期間別では、8～10月の硝酸性窒素濃度は平均濃度53 mg/Lに比べて直近の11月～翌年1月6日までの平均濃度が67.0 mg/Lと高く推移する傾向であった。

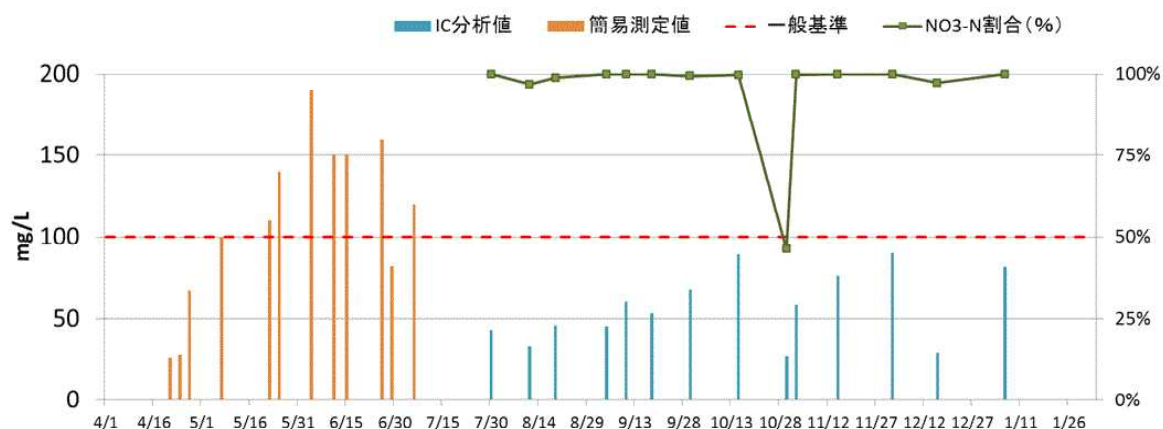


図10 硝酸性窒素等の推移

4 考察

多項目水質計を利用した連続測定により、施設の現状把握と改善点を「見える化」し、低コストで小規模な改修や運転方法の検討など水質向上に向けた管理方法の検討や改善の提案と効果の確認としても活用することができた。これまで、汚水処理施設設置後の運転状況調査では、処理水や投入原水の水質分析と組み合わせた現場でできる簡易な測定（SV30やpH、透視度の測定）、曝気槽の溶存酸素濃度の1回限りの測定が困難

な夜間や早朝、数日にわたる測定を15分間隔で連続してモニタリングすることが可能となった。

今回の実証試験農場での事例では「見える化」により、農場の実情に合わせた①処理施設の能力を最大限活用・自動化する技術②曝気槽でBOD分解と窒素の硝化を効率良く行う技術③沈殿槽での脱窒効率を高める技術を組み合わせ、低コストで水質基準を満たす運転方法を自動化することができた。

BODを消費（分解）する物質には①好気性微生物により分解される有機物質②アンモニア酸化細菌、亜硝酸酸化細菌によって硝化されるアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素③亜硝酸イオン、硫化物等の還元性無機物等があるが、多項目水質計による連続測定と水質分析の測定結果により、曝気槽への送風量の適正化の確認ができる。以上のことから、有機物の浄化については冬期間でも放流水BOD濃度は10mg/L前後と安定した運転が可能となり、アンモニア性窒素の硝化も良好であり、送風量の効果判定は多項目水質計による測定結果と水質分析による測定結果の両方で確認ができる。一方、窒素の除去は一部を除き亜硝酸性窒素や硝酸性窒素を窒素ガスあるいは亜酸化窒素へ還元する嫌気性の脱窒細菌である。この脱窒細菌群は溶存酸素が乏しくなると、酸素の代わりに硝酸性窒素や亜硝酸性窒素中の結合酸素を利用して脱窒反応を生ずるが、この反応には有機物が必要とされている。今回の調査では硝酸性窒素がBOD不足により脱窒反応が抑制されたものか、冬期間となり水温が15度以下に低下（図11）したことによるものかは不明であるが、今後も継続して調査を行いながら、さらなる窒素除去方法の検討と効率の良い脱窒反応の検討、硝酸性窒素等の迅速測定について検討したい。

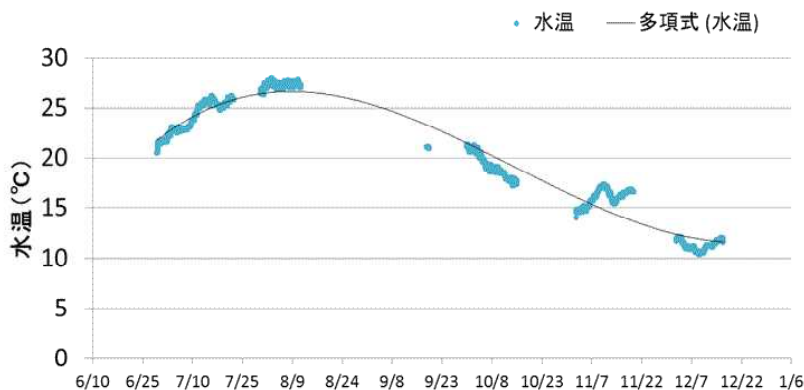


図 1 1 第 3 曝気槽の水温推移

5 参考図書

- 1) 「家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術」財団法人畜産環境整備機構（2004年）
- 2) 「畜舎汚水浄化処理施設窒素対応管理マニュアル」財団法人畜産環境整備機構（2013年）
- 3) 「下水試験方法 上巻 -2012年版-」公益社団法人日本下水道協会（2012年）
- 4) 「下水試験方法 下巻 -2012年版-」公益社団法人日本下水道協会（2012年）
- 5) 「下水道施設計画・設計指針と解説 後編-2009年版-」社団法人日本下水道協会（2009年）
- 6) 「排水・汚水処理技術集成」株式会社エヌ・ティー・エス（2007年）
- 7) 澤田寿和：パーラー排水処理の現状と低コストモデル施設の設置, 平成18年度畜産技術業績発表会集録（2007年）