

BOD監視システムの 運転マニュアル

経営体（養豚環境）コンソーシアム

代表 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

2023年11月

はじめに

BOD(生物化学的酸素要求量)は水の汚れの指標で、排水処理や河川の水質監視において重要な測定項目である。畜舎から出る排水の BOD 濃度は日々変動するため、排水処理施設では BOD 値に応じて施設の曝気を調節することが望ましい。しかし、従来法では 5 日間もの測定時間が必要なため、BOD 値に対応した運転制御は困難である。そこで、開発したのが、発電細菌を利用した BOD 測定装置である。発電細菌とは有機物を分解する際に電極に電子を渡す能力を持つ細菌群であり、土壌や家畜ふん、海底など様々な環境に存在している。発電細菌は BOD の値が高い程、多くの電流を発生する。発電細菌を利用した BOD 測定装置を用いれば、BOD を 6 時間で推定可能である。この装置を利用し、既設の排水処理施設に設置可能な BOD 監視システムを開発した。本システムにより、BOD モニタリングすることで、排水処理施設の水質監視や省エネ、窒素除去などの高度化に応用できる。

本マニュアルを作成するに当たり、水質汚濁防止法で定められる窒素(硝酸性窒素等)の排水基準の規制強化に対応しつつ、技術導入コストを加えても排水処理のランニングコストを 2 割以上削減できる排水処理システムを開発するため、平成 29 年度から令和元年度の期間で生研支援センター「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)」において「BOD バイオセンサーを利用した豚舎排水の窒素除去システムの開発」が国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構(農研機構)を中核研究機関とする経営体(養豚環境)コンソーシアムにより進められた。本プロジェクトでは、農研機構と山形東亜 DKK 株式会社により、BOD 監視システムの試作機を作製し、この性能評価を行うために、株式会社リセルバー、山形県農業総合研究センター養豚試験場、千葉県畜産総合研究センター、熊本県農業研究センター畜産研究所、宮崎県畜産試験場、沖縄県畜産研究センター、丸山株式会社の協力の下、全国各地の養豚農家の排水処理施設で実証試験を行い、改良を重ねながら市販化レベルの装置を開発し、運転マニュアルをとりまとめた。

この運転マニュアルを通じ、BOD 監視システムの理解が深まることで、多くの養豚経営の現場で利用され、周辺水環境の保全にも貢献できれば幸いである。

免責事項

- 経営体（養豚環境）コンソーシアムは、利用者が本手順書に記載された技術を利用したこと、あるいは技術を利用できないことによる結果について、一切責任を負いません。
- 本手順書に記載された BOD 監視システムデータは、数カ所のみの実証結果に基づいて作成されています。その為、実施する地域や気候条件等より変動することにご留意ください。
- 本手順書に記載の技術の利用より、この通りの効果が得られることを保証したものではありません。

もくじ

1. システムの概要	1
2. 適用条件及び注意事項	3
3. 運転方法	5
4. 適用事例	14
5. IoT 機能	23
6. メンテナンス	26
7. トラブルシューティング	30

1. システムの概要

従来法の有機物を酸化分解する好気性細菌を利用したBOD測定には5日間を要するが、発電細菌を利用したBOD監視システムはわずか6時間でBOD値を◎(<50mg/L)、○(50~100mg/L)、×(>100mg/L)の3段階で判定可能である。

BOD監視システムは、培養器に電位制御装置(ポテンショスタット)を設置し、3本の電極(作用電極、参照電極、対極)が接続された構造である(図1-1)。BOD監視システム装置内の培養器の容量は30Lであり、水温が低い場合はヒーターで加温し30°Cに維持させて使用する。畜舎排水を処理している曝気槽内には家畜ふん由来の発電細菌が含まれている。作用電極では、不溶性懸濁物と共に様々な細菌が電極の表面に付着してバイオフィームが形成され、電流が自然に発生する。従来法で測定したBOD値と上記のBOD監視システムで得られた電流値には高い相関があり、排水処理施設の処理水槽や曝気槽などを測定対象としBODをモニタリングすることができる。この技術を用いたBOD監視システムの概要を図1-2に示す。本システムは、サンプリングから測定、データ送信までを全自動で行うことができる。また、外部出力を備えており、BODとpHの値に基づいて排水処理施設の曝気槽のブロワーをOn/Off制御し、無駄な曝気の削減(省エネ)や間欠曝気時間の最適化による窒素除去の促進など、排水処理施設の浄化性能向上が期待できる。さらに、スマホやパソコンからデータを閲覧できるアラート機能付IoTを備えているため、現場に行くことなく、排水処理施設の曝気槽の水温やpH、処理水槽のBODなどを把握することが可能である(図1-3)。

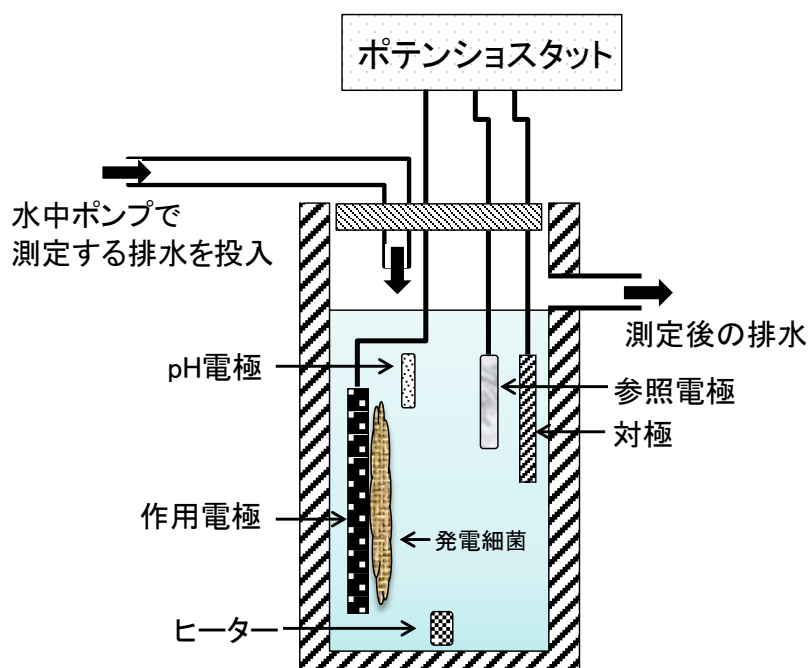


図1-1 BOD監視システムの培養器内概要図

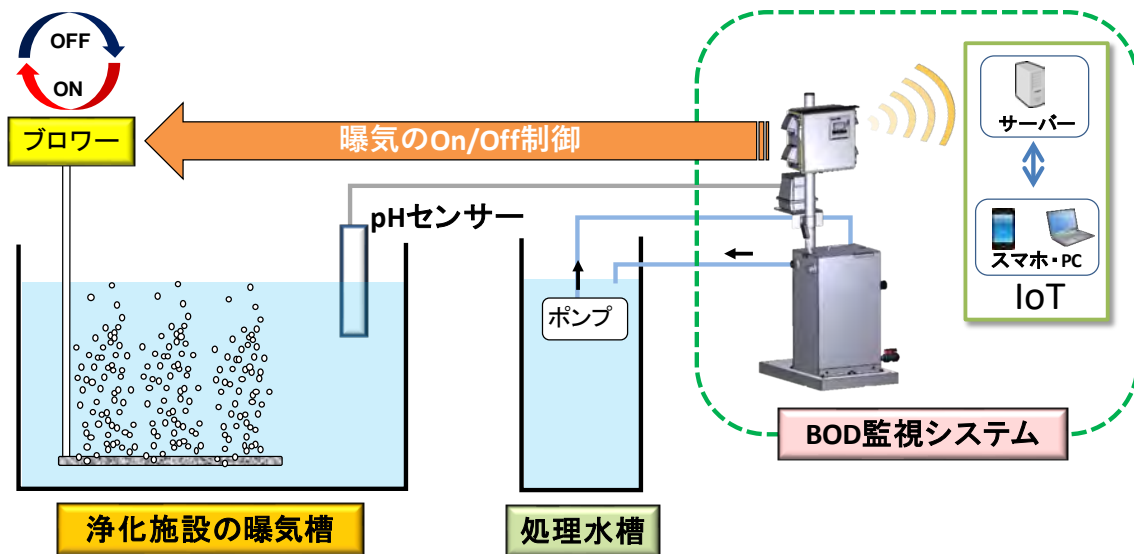


図 1-2 BOD監視システムの概要図



図 1-3 スマホからのBOD監視システム及び排水処理施設データの閲覧 (IoT システム)

2. 適用条件及び注意事項

〔適用条件〕

BOD 監視システムの使用は、以下の条件を満たす場合に限る。事前に装置の設置会社に適用条件を満たしているか問い合わせること。

- ❑ 設置場所は、全国の養豚排水処理施設のみとし、その他の排水処理施設は適用の対象外とする。
- ❑ 排水処理手法は、標準活性汚泥法、嫌気好気活性汚泥法、嫌気無酸素好気活性汚泥法、曝気式ラグーン法（複合ラグーン法）、オキシデーションディッチ法、循環式硝化脱窒法などの活性汚泥処理法である。また、これらの処理法の中には連続式と回分式の両手法が存在し、曝気装置には、ブロワー、スパロータ、水平エアレータを使用している。
- ❑ BOD 容積負荷 $0.3 \text{ kg/m}^3/\text{day}$ 以下で排水処理を行っている施設である。
- ❑ 原水の BOD/N（全窒素）比が 3 以上である。
- ❑ 排水処理施設は適正に設計および運転管理されていること。具体的には、①曝気量の不足または過剰による活性汚泥の沈降性低下や消失、②pH 異常（pH 9 以上または pH 5.5 以下）、または③極低水温や低すぎる BOD 負荷による微生物機能の低下、④処理水槽でのバルキング⁵⁾が発生などの異常が見られないこと。
- ❑ 畜舎などの消毒作業で使用する薬剤により、活性汚泥の沈降分離異常や浄化不良が起きていないこと。硬水は電極に無機塩の蓄積を引き起こす可能性があるため適用できない場合がある。
- ❑ MLSS（活性汚泥浮遊物質）は、 $4000 \sim 8000 \text{ mg/L}$ であること。
- ❑ BOD 監視システムの培養器の水温が 30°C を超えないこと。

〔注意事項〕

- ❑ BOD 監視システムは公定法に代わるものではない。水質汚濁防止法に定められている年 1 回以上の測定義務では公定法による測定が必要である。
- ❑ 対象排水の BOD の測定範囲は 30～250 mg/L である。BOD 監視システムは曝気時間を制御するために開発された。曝気制御では BOD の値を高、中、低の 3 段階を区別できれば十分である。従って、BOD 監視システムは 30～250 mg/L の範囲において、BOD を 3 段階判別（閾値は任意に設定可）するが、高精度な測定には不向きである。
- ❑ BOD 監視システムは設置後すぐに使用できるわけではなく、通常は 1 か月程度の馴養期間が必要である。処理水の BOD が 30 mg/L 未満の場合は、更に長い馴養期間が必要になる場合がある。
- ❑ BOD 監視システムへ供給される排水の BOD 濃度が常に 30mg/L を下回る場合は、電流生産維持の観点から、BOD 監視システムの培養器に少量の高 BOD の排水（原水など）の供給が必要である。
- ❑ BOD 監視システムは曝気槽や処理水槽よりも高い場所に設置する必要がある。
- ❑ 既設の曝気制御に BOD 監視システムを導入する際、タイマーによる曝気制御を行っている施設では接続工事費用は 5 万円程度であるが、コンピュータ制御等を行っている施設で外部からの入力信号に空きがない場合は高額になることがあるので注意が必要である。

3. 運転方法

1) BOD監視システム本体の設置

下の図のような BOD 監視システム本体を 3m 四方の場所が確保でき、AC100V の電力供給が可能な場所に設置する。設置場所は排水処理施設内とし、排水供給場所近くの水平かつ盤石な場所とする。日差しにより培養器内の水温が 35°C 以上になる場合は、遮熱対策を施す必要がある。そのため、できる限り直射日光を受けない日陰に設置することが望ましい。もし、遮熱対策を行っても培養器内の水温が 35°C 以上になる場合は、正確な測定を保證できないため、設置は不可とする。また、BOD 監視システムは曝気槽や処理水槽の水面よりも高い場所に設置する必要がある。

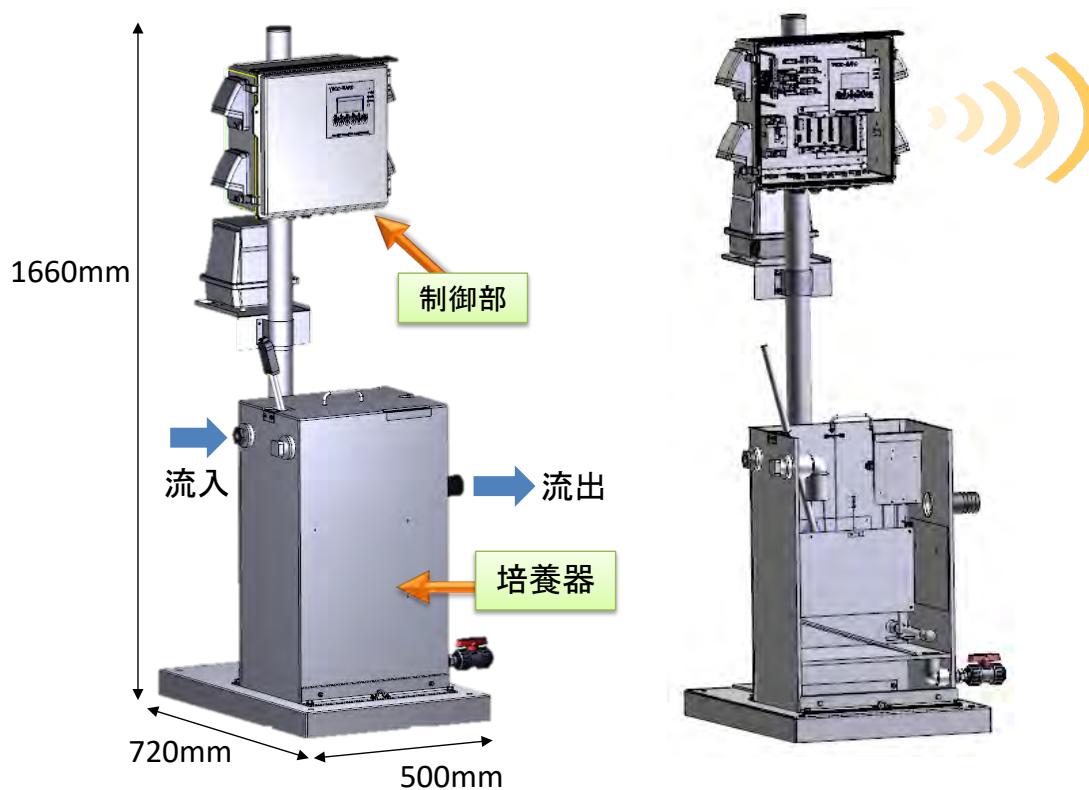


図 3-1 BOD 監視システム本体の概要図

BOD 監視システムの制御部と培養器内は下の図のような構造となっている。

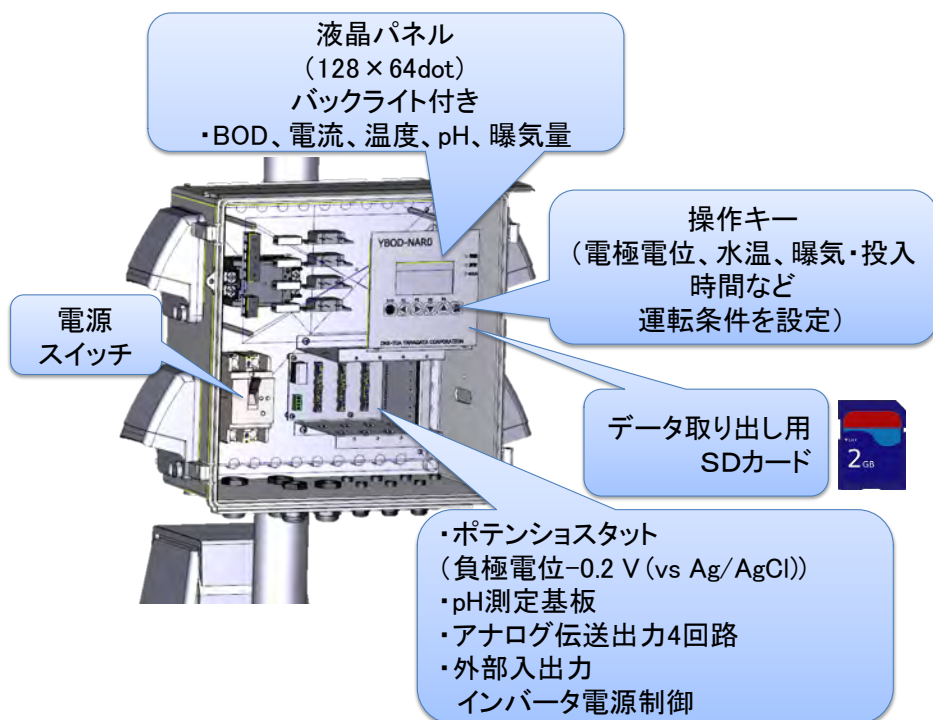


図 3-2 BOD 監視システム制御部の概要図

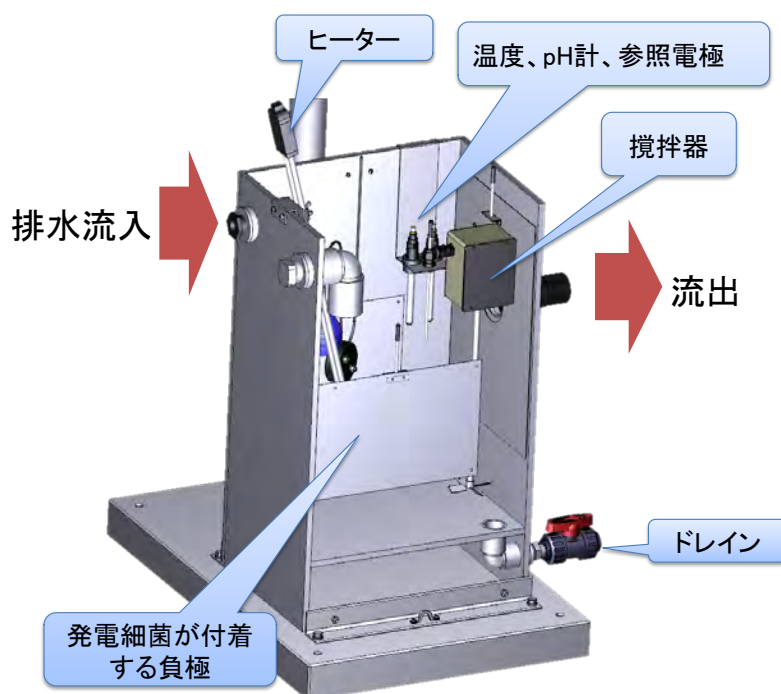


図 3-3 BOD 監視システム培養器の概要図

2) BOD監視システムの排水供給場所及びポンプの設置

〔第1水中ポンプ（BODモニタリング用）の設置について〕

BOD監視システムへの投入排水は、処理水槽の上澄みとする。沈降した活性汚泥やスカム等のSS（浮遊物質）が混入しないように水中ポンプを設置する必要がある。水中ポンプは、RYOBI（RMG-3000、単相100V、0.15kW、口径15mm、最大吐出量110L/min）等の100V用水中ポンプを使用する。水中ポンプは、BOD監視システムで設定した時刻に作動することになる。

〔第2水中ポンプ（原水供給用）の設置について〕

BOD監視システムへ供給される排水のBOD濃度が常に30mg/Lを下回る場合は、電流生産維持の観点から、BOD監視システムに定期的に原水を供給する必要がある。この場合は、2つ目の水中ポンプを使用することになる。水中ポンプは、(株)荏原製作所(50DN5.4S、単相100V、0.4kW、口径40mm、最大吐出量240L/min)等の100V用水中ポンプを使用する。但し、培養器側の口径は15mmのため、上記ポンプを利用する際は口径を変換する部材が追加が必要である。水中ポンプは、BOD監視システムで設定した時刻に作動することになる。設置場所は、曝気槽の原水を投入している直下付近、または原水流量調整槽の水位と曝気槽がほぼ同じ場合は原水流量調整槽に設置してもよい。また、第2水中ポンプのホース内の詰まり等を防ぐために、第1水中ポンプが作動する前の10分前から直前まで第2水中ポンプが駆動するように設定する。一方、第2ポンプのメイン作動時刻は、第1水中ポンプ駆動時刻から7時間経過以降とし、曝気槽に設置する場合は、曝気停止中にポンプが作動するように注意が必要である。

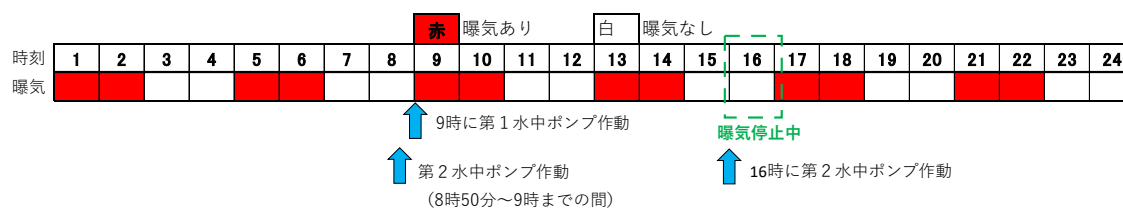


図 3-4 第2水中ポンプ作動時刻の一例（第1水中ポンプ9時作動設定時）

〔培養器からの流出用ホースの設置について〕

BOD監視システムの培養器の流出用ホースは曝気槽もしくは原水槽上部に繋げる。処理水槽への接続は絶対に行わないように注意する。これは、BOD監視システムへの原水供給によりBOD濃度の高い排水が処理水槽へ混入するのを防ぐためである。

また、流出用ホースはなるべく短くなるように設置する。下の写真はその一例である。

ホースが長くなると、汚泥による閉塞やホース内の水溜まりによる冬季の凍結が発生する恐れがあるためである。



図 3-5 BOD監視システムの外観

〔その他〕

常に水面付近の排水を BOD 監視システムへ供給できるように水中ポンプに浮きを取付けることを推奨する。下の写真はその一例である。



図 3-6 第1水中ポンプと浮きの外観

3) BOD監視システムのpH計設置

BOD監視システムのpH計は、曝気槽に設置する（下の写真）。設置位置は、曝気槽の流れ方向に対して槽全体の間中付近に設置するのが望ましい。



図 3-7 BOD監視システムのpH計の外観

4) 培養器内の各部材の配置について

BOD監視システムの培養器内は下の写真のような構造となっている。処理水や原水の排水流入口及び流出口、水位確認用レベルセンサー、培養器内を加温するためのヒーター、局所加温を防ぐための攪拌機、沈殿物の蓄積を防ぐための散気管、底泥を引き抜くためのドレイン、各種電極等が装備されている。

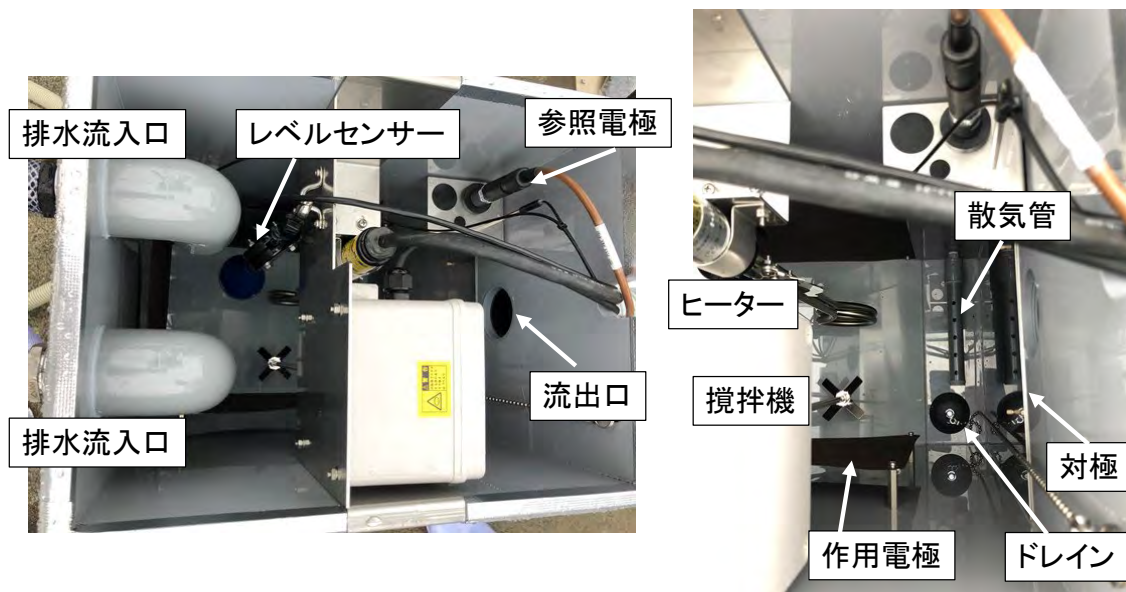


図 3-8 BOD監視システムの培養器内の外観

5) BOD監視システムの馴養

BOD 監視システムは使用開始後すぐに使えるわけではなく、発電細菌の馴養が必要である。まずはBOD 監視システムの培養器内に原水 15 Lと活性汚泥 15 Lを投入し、静置させ、ポテンショスタットの電位制御を $-0.2V$ vs. Ag/AgClに設定し、馴養を開始する。その際、馴養タイマー設定を行う。設定期間は、2週間とする。この設定によりBOD 監視システムの電流値の上昇(下図)が落ち着く2週間後にBOD 監視システムの排水自動投入が開始される。この状態で、さらに2週間程度馴養を継続する。但し、馴養タイマー期間中は、施設側の曝気制御で運転されるが、排水自動投入が開始されると、BOD 監視システム側で曝気制御が行われるようになるため、排水自動投入開始後の2週間は曝気制御を「手動」に切り替えて、施設側の曝気制御パターンに近い制御になるように曝気パターン(後述)を設定する。本格的にBOD 監視システムが使用可能になるのに1か月以上を要する。



図 3-9 BOD監視システムの電流値の経日変化

6) 各種パラメータの設定

BOD 監視システムの制御部内にある電源を ON にする(下の写真)。



図 3-10 BOD監視システム制御部内部の外観

BOD 監視システムの制御部の液晶画面から各種パラメータを入力する（下の写真）。



図 3-11 BOD監視システム制御部の外観

〔第 1 水中ポンプ〕

1 日に 1 回作動するように設定する。処理水槽にポンプを設置した場合は、作動時刻は基本的に何時でも問題ない。一方、曝気槽にポンプを設置した場合は、作動時刻は曝気開始 30 分前の時刻に設定することが望ましい。これは、なるべく活性汚泥が沈降した状態の上澄みを供給するためである。どちらも駆動時間は 10 分間にする。

〔第 2 水中ポンプ〕（使用する場合に限る）

1 日に 1 回作動するように設定する。第 1 水中ポンプの作動時刻から 7 時間以上経過した時刻を第 2 水中ポンプの作動時刻にする。駆動時間は自動設定とする。また、曝気槽に設置する場合は、曝気停止中にポンプが作動するように注意が必要である。

〔エアーポンプ〕

第 1 水中ポンプと第 2 水中ポンプの作動時刻及び駆動時間に合わせて設定を行い、水中ポンプと連動するようにする。

〔攪拌機〕

回転数は 200～300rpm とし、動作時間は 30 秒とする。

〔曝気パターン〕

導入前の排水処理施設の曝気時間を基に、BOD 監視システムによる曝気制御のパターンを決定し設定する。なお、曝気サイクルの ON/OFF は 1 時間単位で自由に設定することができる。以下のグラフは曝気制御パターンの一例である。

BOD (mg/L)	pH	曝気 パターン	曝気サイクル (h)		【時刻】																							
			ON	OFF	赤	曝気 あり	白	曝気 なし																				
> 100	all range	A	23	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
100~50	> 8.3	B	22	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
100~50	< 8.3	C	4	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
< 50	> 8.3	C	4	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
< 50	6.2~8.3	D	2	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
< 50	< 6.2	E	2	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

図 3-12 BOD 監視システム曝気制御パターンの一例

具体的には、BOD 監視システムへの排水投入から 10 分後の pH（排水処理施設の曝気槽または処理水槽）と 6 時間後の電流値から算出された BOD の数値に基づいて、排水処理施設の曝気制御が行われる。

基本的には、BOD 濃度が高くなった場合は 1 日の曝気時間が長くなるように設定する。また、pH が低くなり酸性の状態になれば、多くの場合、硝酸性窒素が蓄積していると考えられることから、1 日の曝気時間を短くし、窒素除去が促進される状態で運転が行われるように設定する。

6) BOD 監視システムの状態確認

〔第 2 水中ポンプを使用しない場合〕

以下のグラフは、BOD が 50mg/L（赤い矢印）と 10mg/L（青い矢印）の排水が培養器に投入された時の電流値の経時変化である。BOD が高い時は電流値が上昇し、BOD が低い時は電流値が低下することがわかる。

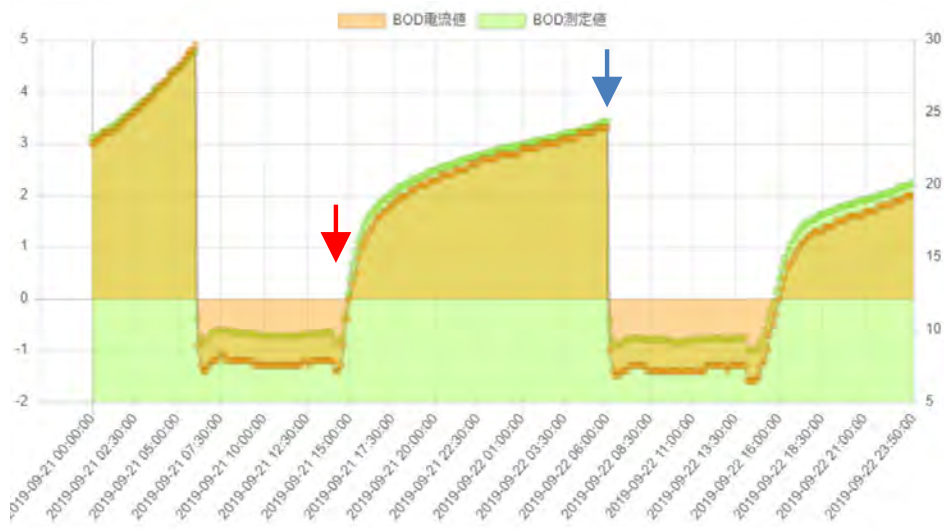


図 3-13 電流値と B O D 測定値の経日変化

〔第 2 水中ポンプを使用した場合〕

以下のグラフは、青い矢印は第 1 水中ポンプ、赤い矢印は第 2 水中ポンプが作動した時刻である。第 2 水中ポンプが作動し、BOD 監視システムの培養器に原水が投入され、BOD 濃度が高くなることにより、電流値が一時的に上昇する。また、第 1 水中ポンプの作動により、培養器に BOD 測定を行うための排水が投入されることにより、電流値が急激に低下し、6 時間後の電流値に基づいた BOD が検出されることになる。このように、定期的に電流値が上昇するように第 2 水中ポンプの作動時刻を設定する。

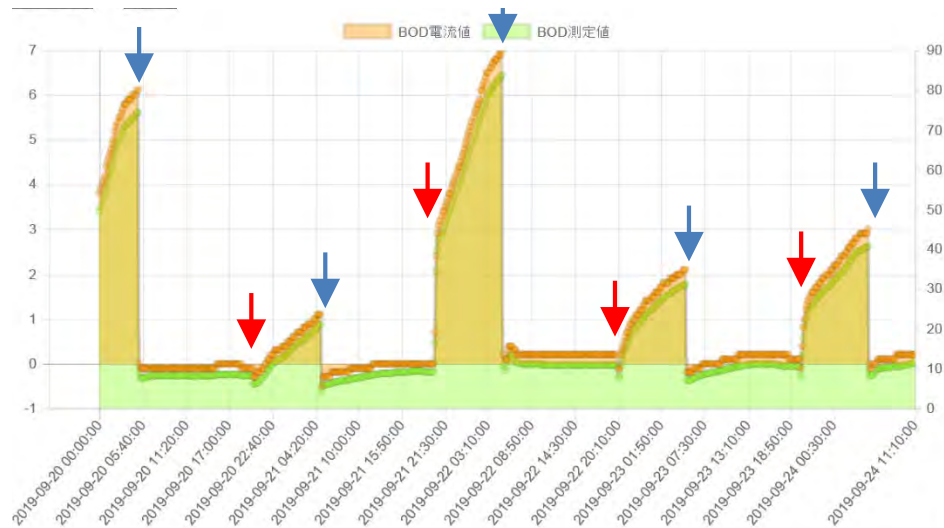


図 3-14 電流値と B O D 測定値の経日変化

4. 適用事例

【事例 1：連続式活性汚泥法】

所在地：九州地方

肥育豚飼養頭数：5000 頭規模

排水処理施設有効容積：640m³

排水処理施設の BOD 容積負荷：0.505kg/m³/day

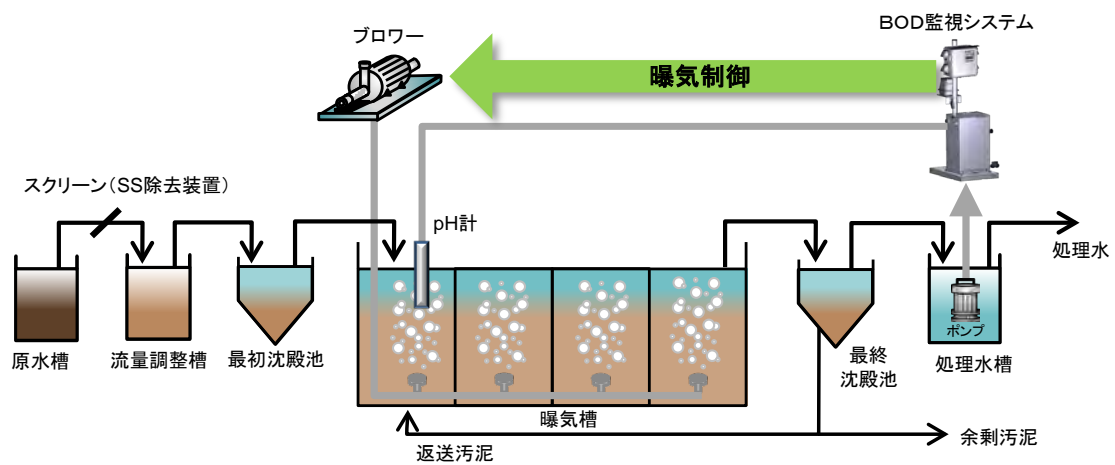


図 4-1 処理フローの概要

曝気パターン	BOD (mg/L)	pH
A	all range	> 8.0
B	> 50	7.6-8.0
C	< 50	7.6-8.0
D	< 50	7.3-7.6
E	all range	7.0-7.3
F	all range	< 7.0

時刻 曝気パターン	赤 曝気あり												白 曝気なし											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤
B	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤
C	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤
D	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤
E	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤
F	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤
G (故障時)	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤

図 4-2 連続式活性汚泥法に適用した BOD 及び pH 条件と曝気パターン



図 4-3 排水処理施設とBOD監視システム設置外観

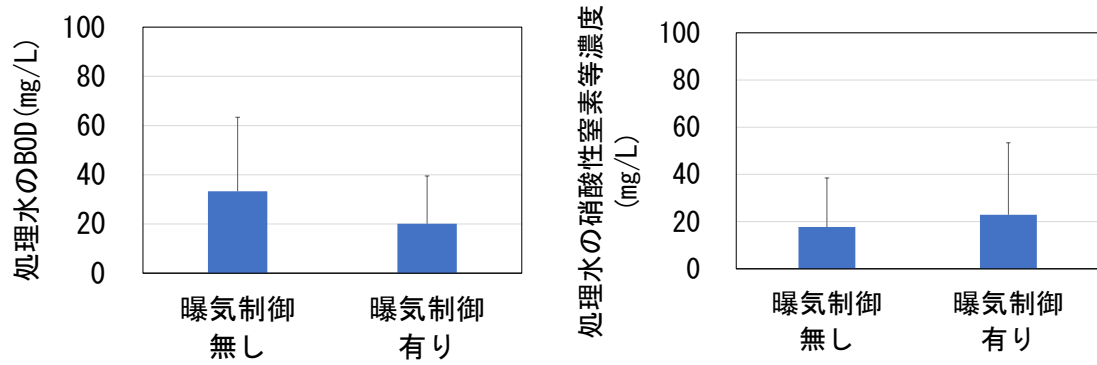


図 4-4 BOD監視システムの曝気制御有無による処理水の水質の変化

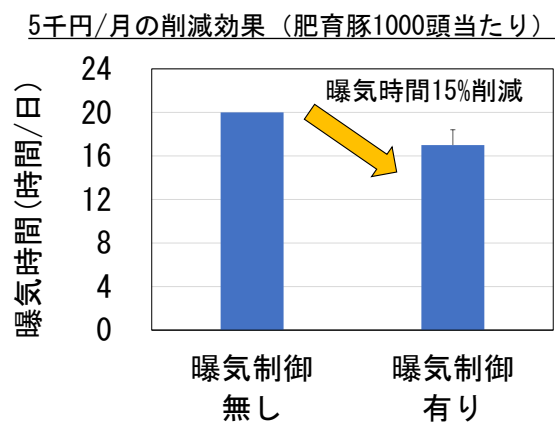


図 4-5 BOD監視システムの曝気制御有無による曝気時間削減効果

BOD 監視システムの第 1 水中ポンプは処理水槽に設置した。また、処理水の BOD が常に 30mg/L を下回ると予想し、第 2 水中ポンプも設置した。第 1 水中ポンプの作動時刻は、夏季の昼間は水温が高くなり過ぎて発電細菌に悪影響が及ぶ可能性があったことから 5 時とし、第 2 水中ポンプは 20 時とした。

排水処理施設の曝気槽への原水投入は随時投入される方式であり、畜舎清掃等の関係から昼間に多くの原水が曝気槽に投入される施設であった。曝気制御パターン(図 4-2)では、BOD 監視システム導入前の排水処理施設の曝気条件(10 時間曝気、2 時間無曝気のサイクル)を基にし、BOD 濃度が高いと予想される昼間に曝気停止時間が多くなるように設定し、窒素除去が促進されるようにした。

BOD 監視システムによる曝気制御を行った結果、排水中の窒素は一般排水基準 100mg/L を下回る処理が可能であった(図 4-4)。また、BOD も高くなることなく、平均で 20mg/L 以下であった。BOD 監視システムにより、毎月の電気代が肥育豚 1000 頭当たり 5 千円削減(電力量料金単価 16 円/kWh による試算)可能であった(図 4-5)。

【事例 2：曝気式ラグーン法（複合ラグーン法）】

所在地：九州地方

肥育豚飼養頭数：5200 頭規模

排水処理施設有効容積：2336m³

排水処理施設の BOD 容積負荷：0.234kg/m³/day

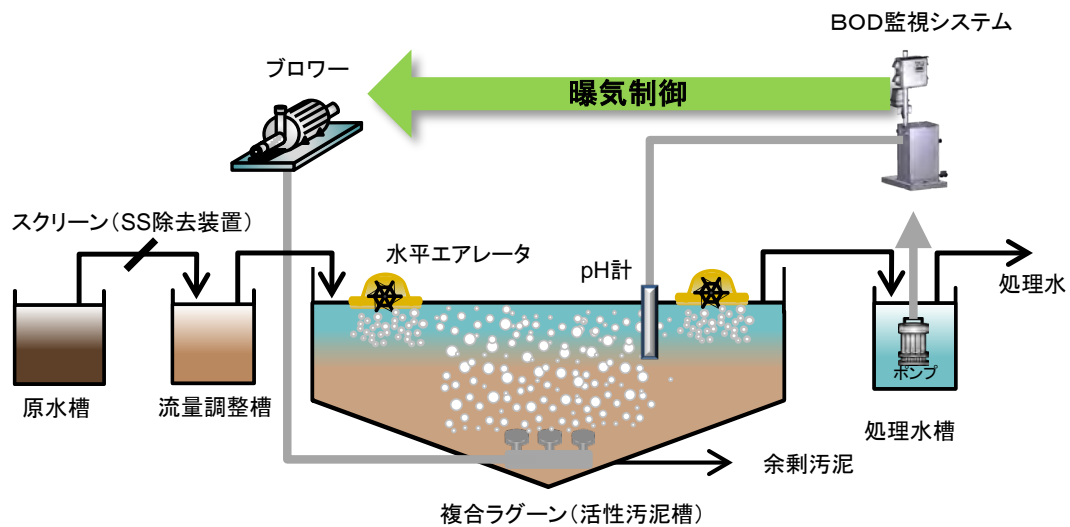


図 4-6 処理フローの概要

曝気パターン	BOD (mg/L)	pH
A	all range	> 7.9
B	> 50	7.5-7.9
C	> 50	7.1-7.5
D	< 50	7.1-7.9
E	all range	5.3-7.1
F	all range	< 5.3

時刻 曝気パターン	時刻																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤
B	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤
C	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤
D	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤
E	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤
F	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤
G (故障時)	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤

図 4-7 複合ラグーン法に適用した BOD 及び pH 条件と曝気パターン



図 4-8 排水処理施設とBOD監視システム設置外観

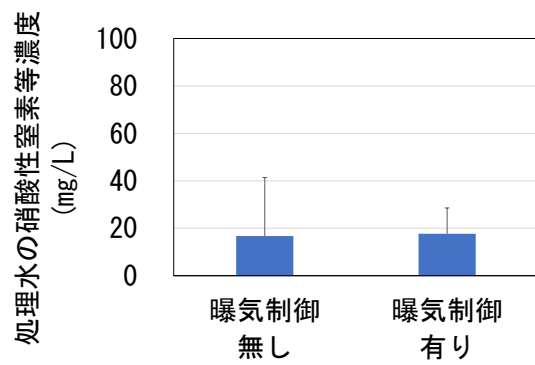
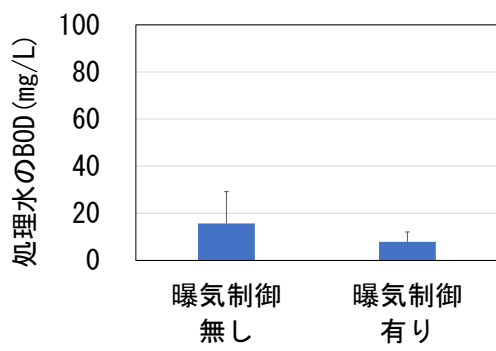


図 4-9 BOD監視システムの曝気制御有無による処理水の水質の変化

15千円/月の削減効果（肥育豚1000頭当たり）

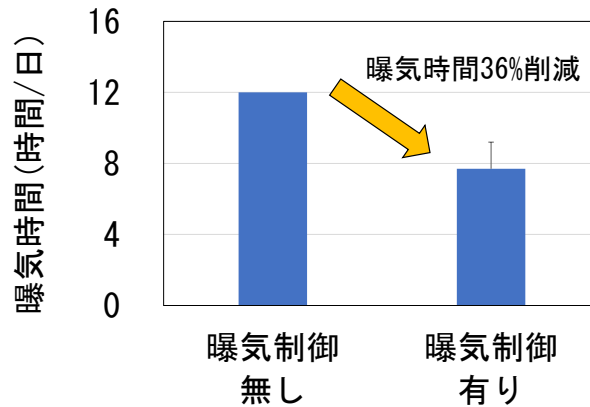


図 4-10 BOD監視システムの曝気制御有無による曝気時間削減効果

排水処理施設の曝気槽は、BOD 監視システム導入前の曝気は 22～10 時までであり、1 日 12 時間曝気の施設であった。回分方式のため、曝気槽の原水投入は 22 時～24 時 (0 時) の 2 時間、処理水排出は 20～22 時の 2 時間であった。

BOD 監視システムの第 1 水中ポンプは処理水槽に設置した。また、処理水の BOD が常に 30mg/L を下回ると予想し、第 2 水中ポンプも設置した。第 1 水中ポンプの作動時刻は、曝気槽の上澄み BOD 濃度が 1 日の中で最も低くなる処理水排出時刻に合わせ、20 時とし、第 2 水中ポンプは 8 時とした。

曝気制御パターン (図 4-7) では、排水処理施設の曝気槽への原水投入直後に BOD 濃度が 1 日の中で最も高くなることから、0 時から 5 時にかけて曝気停止時間が多くなるように設定し、窒素除去が促進されるようにした。

運転を行った結果、排水中の窒素は一般排水基準 100mg/L を下回る処理が可能であった。また、BOD も高くなることなく、平均で 10mg/L を下回っていた (図 4-9)。BOD 監視システムにより、毎月の電気代が肥育豚 1000 頭当たり 15 千円削減 (電力量料金単価 12 円/kWh による試算) 可能であった (図 4-10)。

【事例 3：回分式オキシデーショントッチ法】

所在地：九州地方

肥育豚飼養頭数：250 頭規模

排水処理施設有効容積：60m³

排水処理施設の BOD 容積負荷：0.087kg/m³/day

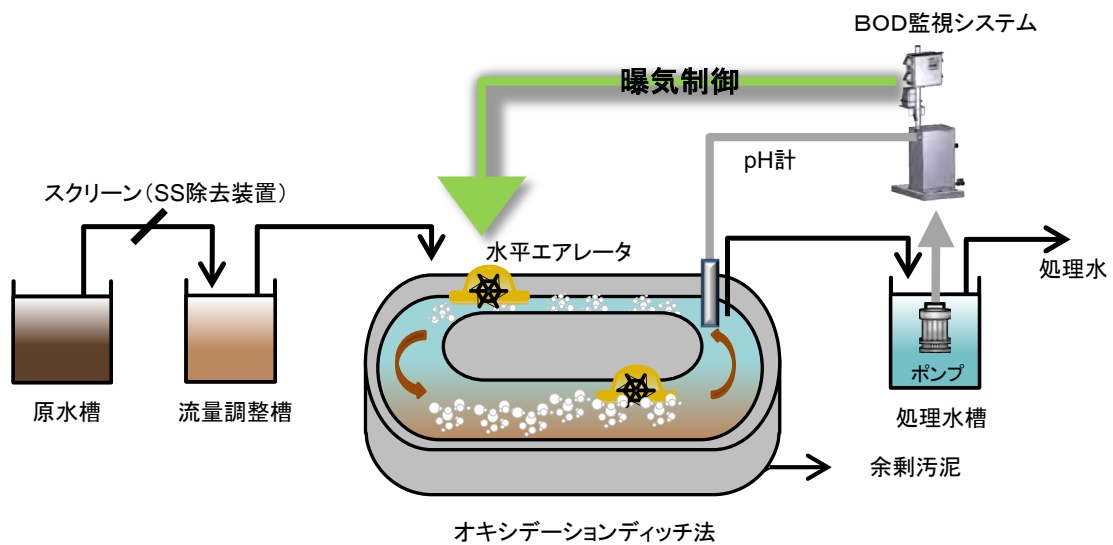


図 4-11 処理フローの概要

曝気パターン	BOD (mg/L)	pH
A	> 100	all range
B	50-100	all range
C	< 50	> 8.5
D	< 50	7.5-8.5
E	< 50	6.5- 7.5
F	< 50	< 6.5

時刻 曝気パターン	時刻																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤
B	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤
C	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤
D	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤
E	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤
F	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤
G (故障時)	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤

図 4-12 回分式オキシデーショントッチ法に適用した BOD 及び pH 条件と曝気パターン



図 4-13 排水処理施設とBOD監視システム設置外観

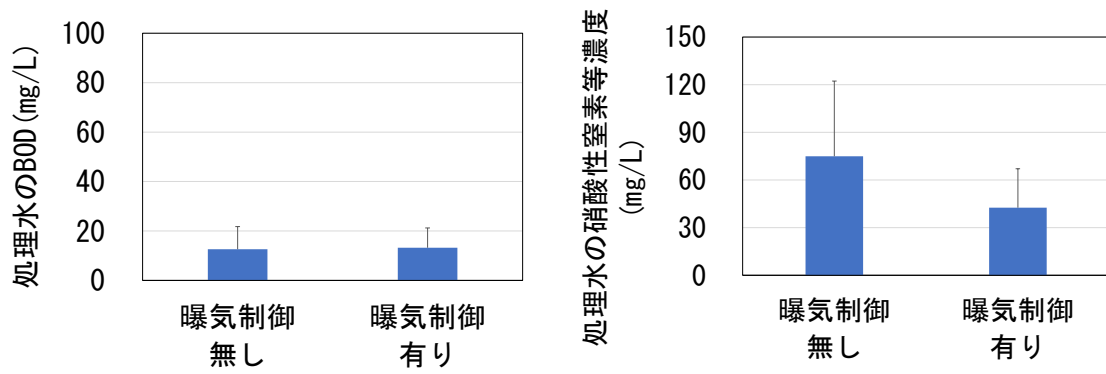


図 4-14 BOD監視システムの曝気制御有無による処理水の水質の変化

8千円/月の削減効果（肥育豚1000頭当たり）

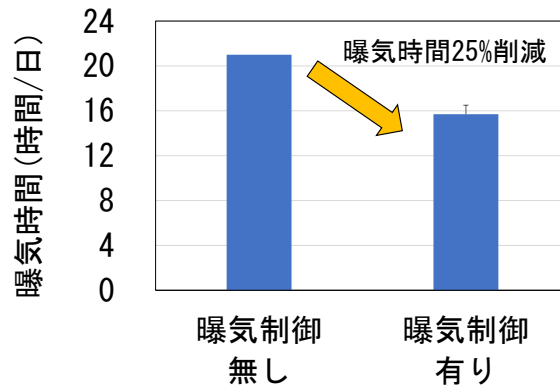


図 4-15 BOD監視システムの曝気制御有無による曝気時間削減効果

排水処理施設の曝気槽は、BOD 監視システム導入前の曝気は 1 日 21 時間、曝気停止 3 時間であった。オキシデーショondiッチ法であるが回分方式のため、曝気槽の原水投入は 14 時から 15 分間、処理水排出は 11～13 時の 2 時間であった。

BOD 監視システムの第 1 水中ポンプは処理水槽に設置した。また、処理水の BOD が常に 30mg/L を下回ると予想し、第 2 水中ポンプも設置した。第 1 水中ポンプの作動時刻は、曝気槽の上澄み BOD 濃度が 1 日の中で最も低くなる処理水排出時刻付近に合わせ、13 時 40 分とし、第 2 水中ポンプは 1 時 40 分とした。

曝気制御パターン（図 4-12）では、排水処理施設曝気槽の処理水排出時刻と BOD 監視システムの第 1 水中ポンプ作動時刻を考慮し、11 時～14 時までは曝気停止時間とした。また、排水処理施設の曝気槽への原水投入直後に BOD 濃度が 1 日の中で最も高くなることから、15 時から 24 時にかけて曝気停止時間が多くなるように設定し、窒素除去が促進されるようにした。

運転を行った結果、排水中の窒素は徐々に低下し、一般排水基準 100mg/L を下回る処理が可能であった。また、BOD も高くなることなく、平均で 20mg/L を下回っていた（図 4-14）。BOD 監視システムにより、毎月の電気代は肥育豚 1000 頭当たり 8 千円削減（電力量料金単価 16 円/kWh による試算）可能であった（図 4-15）。

5. IoT 機能

BOD 監視システムは、IoT 機能を備えている。この機能により、頻繁に排水処理施設に出向いて状況を確認する必要がなくなり、労力の削減が図れる。また、排水処理施設に異常があれば、アラート機能により異常状態をいち早く把握することができる。

BOD 監視システムのデータは web サーバーに格納され、スマートフォンや PC で BOD や pH、水温などを簡単に把握できる。グラフ表示と CSV フォーマットでデータのダウンロードも可能である。BOD や pH が設定値を超えた場合や装置に異常があるとメールを送信するアラート機能を備えている。

IoT 機能で確認することができるデータは、以下のとおりである。

【パソコンからのデータ確認手順】

1. WEB サイトでタイトル画面「BOD 監視システム WEB」が表示される。
2. ログイン ID とパスワードを入力する。
3. 以下の測定項目及び条件の情報が表示される。



図 5-1 WEB サイトのホーム画面

- ・排水処理施設の処理水槽の BOD（BOD 値と BOD 評価（◎、○、×）
- ・排水処理施設の曝気槽の pH（pH 値と pH 評価（高い、正常、低い）
- ・排水処理施設の曝気槽の水温
- ・排水処理施設の省エネ状態（評価「－（通常）、○（節電）、◎（高節電）」）
- ・排水処理施設の運転条件（曝気制御パターン）

4. メニューバーの各項目の情報を得ることができる。

- ・処理槽簡易表示：上記の画面
- ・処理槽グラフ
- ・詳細データ
- ・処理施設一覧
- ・処理槽簡易一覧
- ・アラーム一覧
- ・パラメータ確認

5. 処理槽グラフを選択した場合は以下のようなグラフが表示される。

- ・グラフ 1：排水処理施設の BOD と pH
- ・グラフ 2：排水処理施設の水温と気温
- ・グラフ 3：BOD 監視システムの培養器内電流値と pH
- ・グラフ 4：BOD 監視システムの培養器内水温とヒーター出力
- ・グラフ 5：排水処理施設の曝気槽又は処理水槽の pH と水温

以下は各グラフの一例である（図 5-2）。



図 5-2 WEB サイト内の処理槽グラフの一例

6. メンテナンス

予期せぬトラブルを防ぐために、BOD 監視システムは、以下の事項について定期的な点検や洗浄等を行う必要がある。

〔メンテナンスのチェックシート〕

- 1) IoT 機能を用いた運転状況の確認について（週に 1 回確認）
 - 第 1 水中ポンプ駆動後に BOD の電流がゼロ近くまで下がっているか。
 - 第 2 水中ポンプ駆動後に BOD の電流が上がっているか。
 - BOD 監視システムの水温が 30℃付近で維持されているか。
 - 曝気槽 pH が 5.8～8.6 の範囲で推移しているか。

- 2) BOD 監視システムの動作確認及び電極の手入れ等について（2 か月に 1 回確認）
 - BOD 監視システムの電源 LED が緑ランプになっているか。
 - 培養器内の水位が満水になっているか。
 - 第 1 及び第 2 水中ポンプを作動させ、詰まり等異常がないか確認。
 - エアーポンプを作動させ、詰まり等異常がないか確認。
 - 攪拌機を作動させ、回転の異常や異音がしないか確認。
 - 培養器内の底泥を取り除くため、ドレインバルブを開放して引き抜く。
 - ブラシを用いて、作用電極背面の懸濁物を取り除く。
 - ※できる限り作用電極には触れないようにする。
 - ※発電細菌が死滅しないように作用電極は常に水に浸かっている状態で作業する。
 - pH と参照電極を取り外して洗浄する。
 - pH 電極の校正を行う。

- 3) 電極等の交換目安について
 - pH 電極及び参照電極は年に 1 回、交換を行う。
 - カウンター電極は 3 年に 1 回、交換を行う。
 - 水中ポンプは、負荷に大きく依存するが 1～3 年で交換を行う。

1) IoT 機能を用いた運転状況の確認について

以下の①～④について、週に 1 回確認し、問題あれば対処する。対処方法は「7. トラブルシューティング」を参照する。

- ① 第 1 水中ポンプ駆動後に BOD の電流がゼロ近くまで下がっているか(-0.5～0.5mA) 確認する。赤い矢印が第 1 水中ポンプの作動直後の部分である。

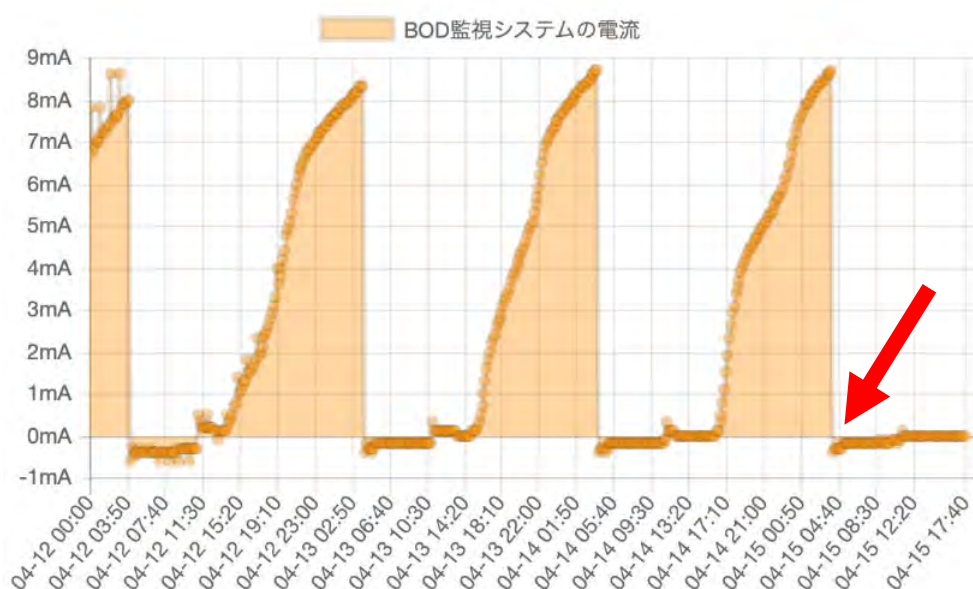


図 6-1 第 1 水中ポンプ駆動時の BOD 電流値の変動の事例

- ② 第 2 水中ポンプ駆動後に BOD の電流が上がっているか確認する。赤い矢印が第 2 水中ポンプの作動直後の部分である。

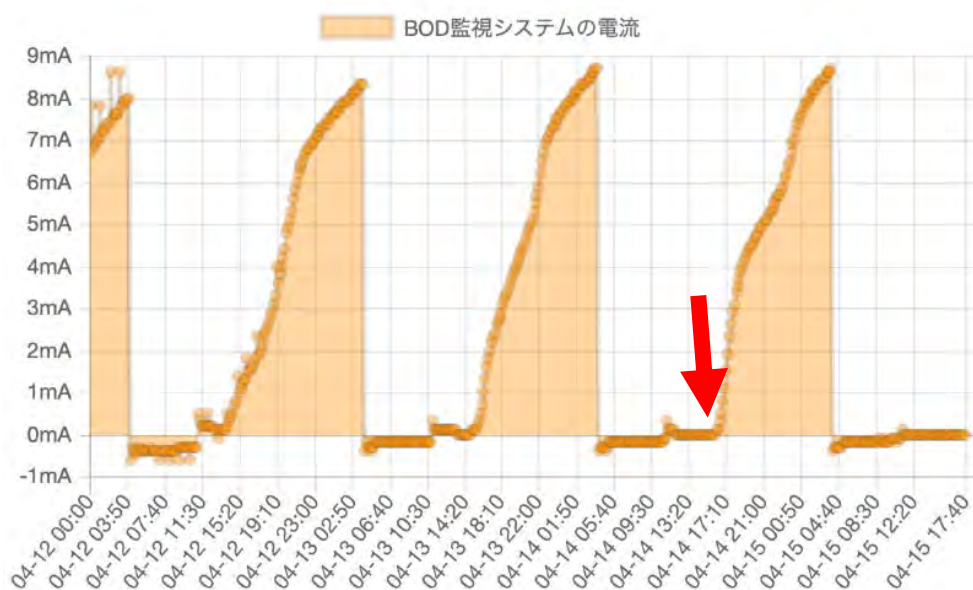


図 6-2 第 2 水中ポンプ駆動時の BOD 電流値の変動の事例

- ③ BOD 監視システムの水温が 30°C 付近で維持されているか確認する。

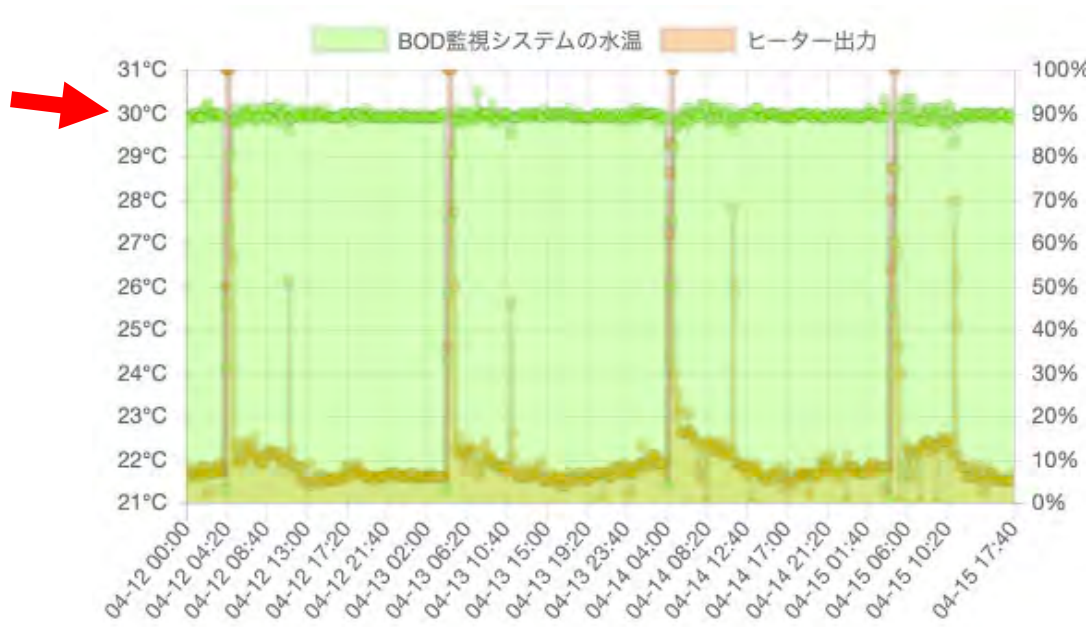


図 6-3 水温の経日変化

- ④ 曝気槽 pH が 5.0~8.5 の範囲で推移しているか確認する。

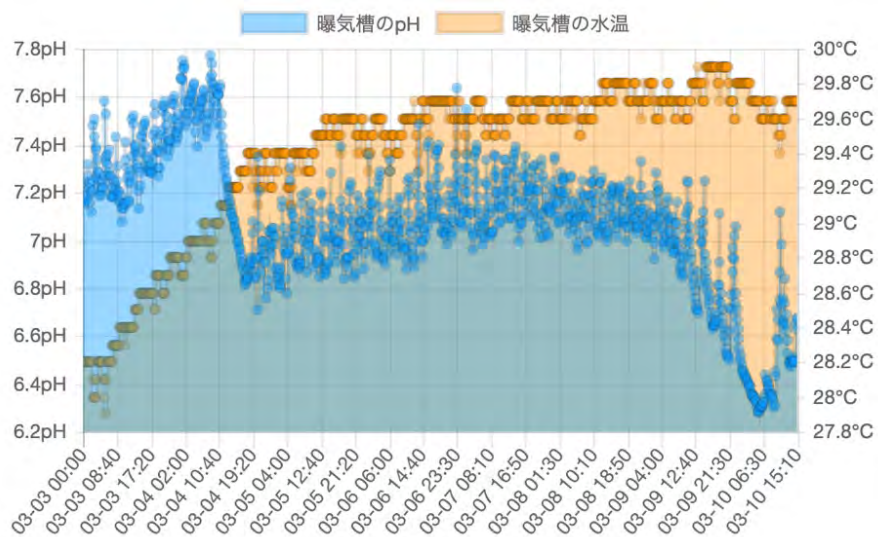


図 6-4 pH の経日変化

2) 電極の洗浄について

2～3 か月に 1 回、pH と参照電極の洗浄を行う。また、同様に、培養槽内に汚泥やヒーターからの析出物が徐々に蓄積するので、2～3 か月に 1 回、ドレインを使って引き抜く。この時、作用電極の背面も軽くブラシを通して懸濁物を取り除く（できる限り作用電極には触れないようにする）。また、発電細菌が死滅しないように作用電極が常に水に浸かっている状態で作業する。pH 電極は洗浄に併せて校正も行う。

作用電極自体の洗浄は定期的には行わない。電流生産のカーブが鈍い場合や排水投入時に電流値がゼロにならない場合、以下のグラフのような BOD の値が低いにも関わらず高い電流が発生している場合のみ、作用電極を軟らかいブラシで優しく洗浄する。

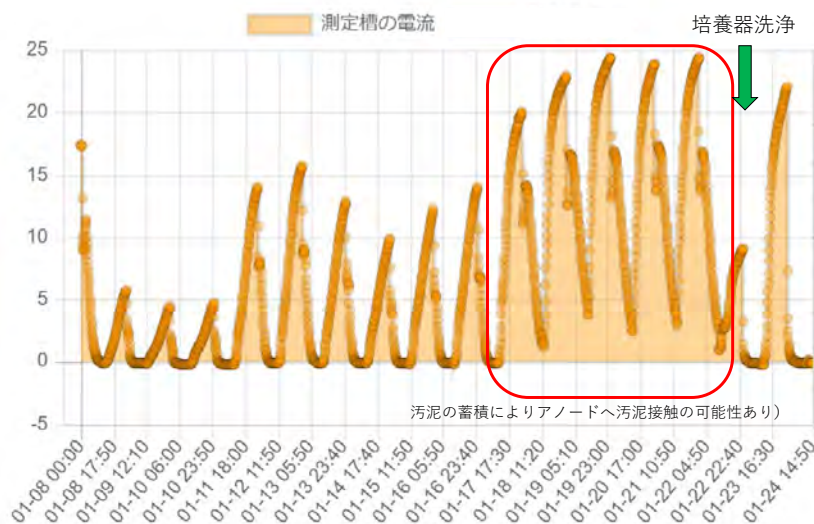


図 6-5 電流値の経日変化

3) 電極等の交換目安について

pH 電極、参照電極と対極（カウンター電極）は運転に伴い徐々に劣化するため、定期的な交換が必要である。pH 電極及び参照電極は年に 1 回、カウンター電極は 3 年に 1 回程度を目安とし交換を行う。水中ポンプも消耗品であり定期的な交換が必要である。その頻度は負荷に大きく依存するが通常、1～3 年に 1 回程度交換することが望ましい。

7. トラブルシューティング

【ヒーターの加温が正常に行われていない場合】

BOD 監視システムでは培養器が 30°Cに維持されるように制御されているが、何らかの不具合が生じた場合は以下のようなグラフの動きになる。

【培養器の水温が 30°Cより低下する日が続いた場合】



図 7-1 ヒーター出力の経日変化

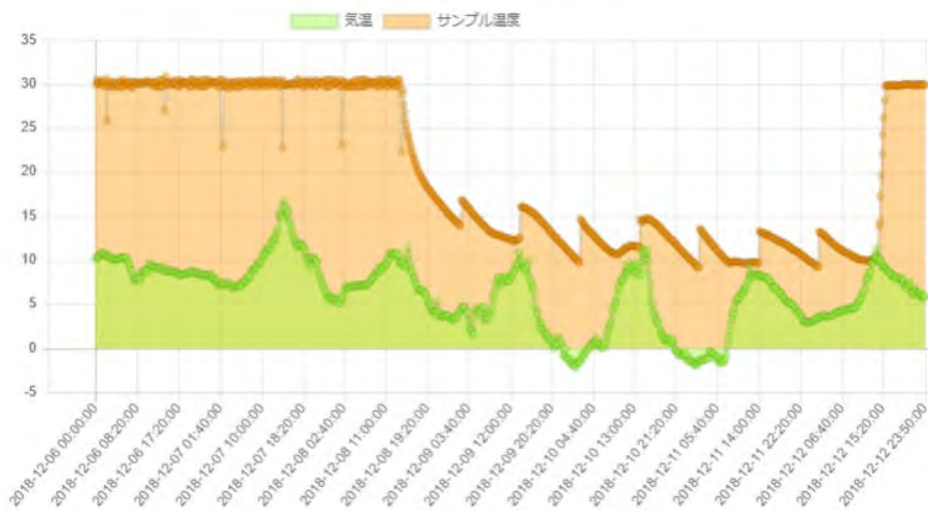


図 7-2 気温と培養器内水温の経日変化

ヒーター出力 (赤) が 100% になっているにもかかわらず、培養器の水温 (サンプル温度: オレンジ) が低下し、30°C に維持できていない。水温が 30°C より低い日が継続した場合はヒーターの故障が考えられる。

★**対処方法**：ヒーターの交換またはヒューズの交換が必要となる。

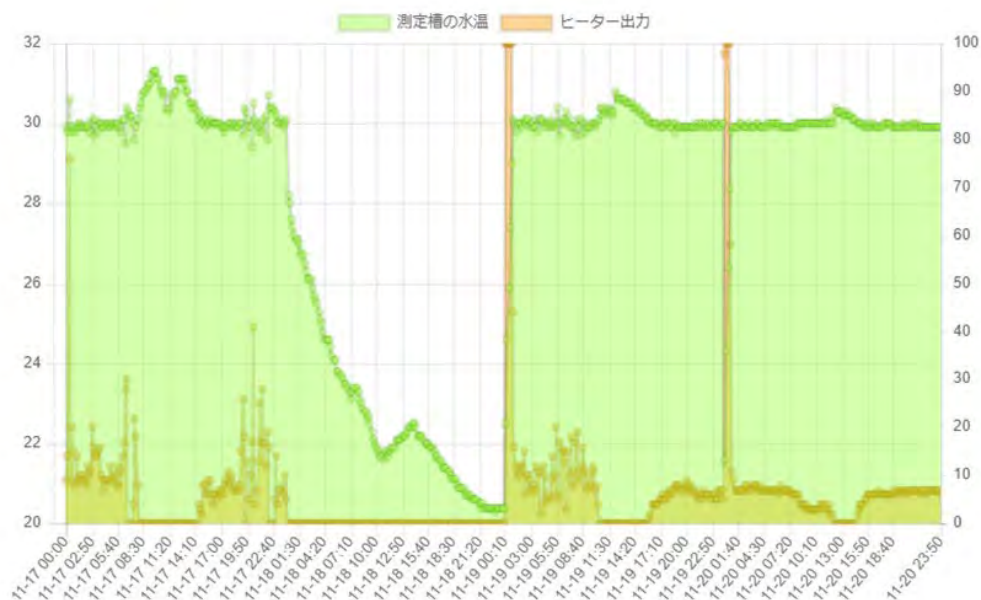


図 7-3 培養器内水温とヒーター出力の経日変化

上記のケースでは、培養器の水温 (サンプル温度: 緑) が低下し、30°C に維持できていない。通常であれば、水温低下時はヒーター出力 (オレンジ) が 100% になるが、0% になっている。このケースでは、レベルセンサー (フロート) が反応し、ヒーターが作動停止状態になったと考えられる。

★**対処方法**：レベルセンサー (フロート) が培養器内で他の部材と接触し、不自然な状態になっていないか確認する。

[培養器の水温が 30℃より上昇する日が続いた場合]

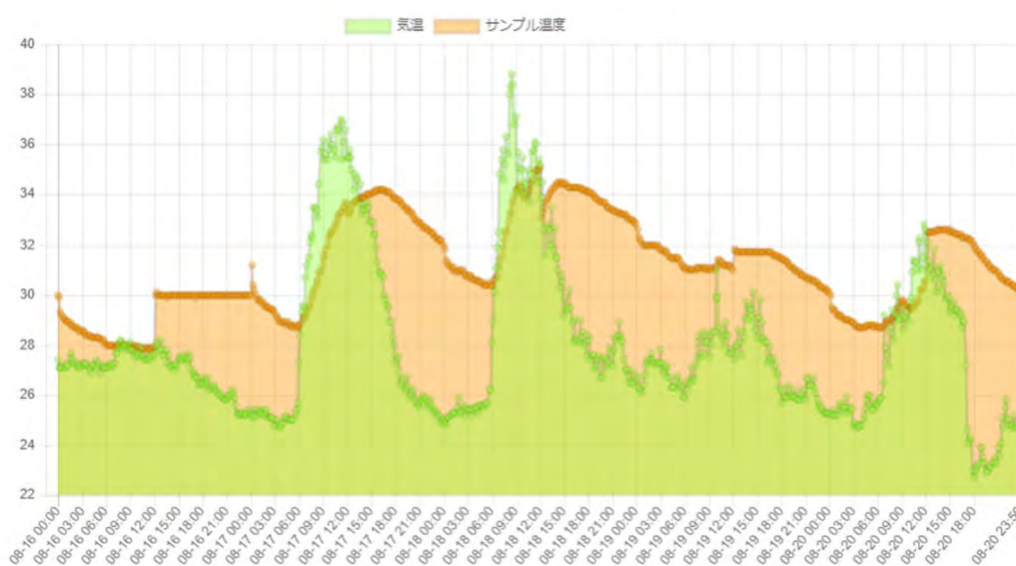


図 7-4 気温と培養器内水温の経日変化

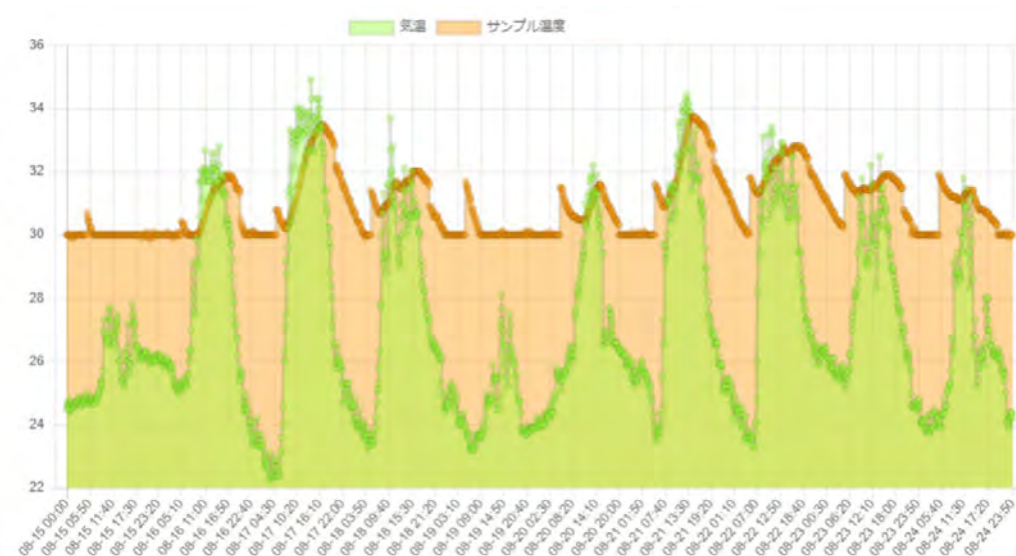


図 7-5 気温と培養器内水温の経日変化

気温（緑）が 30℃を上回り、培養器の水温（サンプル温度：オレンジ）も追うように上昇し、30℃に維持できていない。水温 35℃以上が続いた場合、発電細菌が死滅し、BOD 監視システムが機能しなくなる可能性がある。

★対処方法：水温 35℃以上が続いた場合は、BOD 監視システムの遮熱対策が必要である。培養器が太陽光によって加温され、水温上昇（35℃以上）となる場合は、日陰、または日向でも風通しが良い場所に移設する。または、以下の写真のような遮熱対策を施す必要がある。



図 7-6 遮熱対策の外観

〔培養器の水温が 30℃より上昇する日が一時的に生じた場合〕

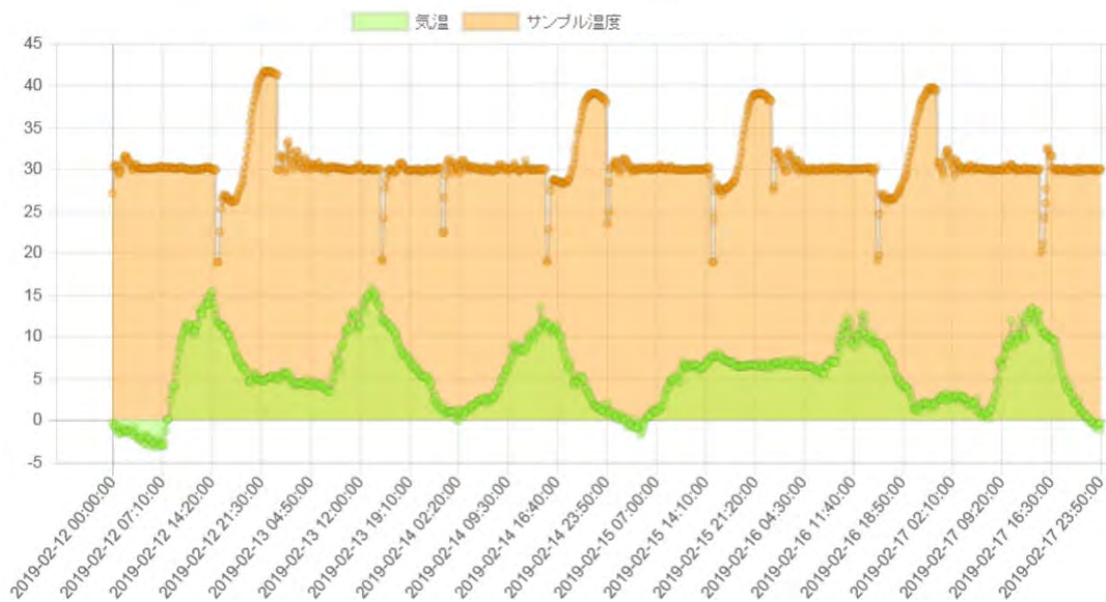


図 7-7 気温と培養器内水温の経日変化

気温（緑）が 15℃以下にもかかわらず、培養器の水温（サンプル温度：オレンジ）が 30℃以上に上昇し、水温を 30℃に維持できていない。前述したケースと同様に水温 35℃以上が

続いた場合、発電細菌が死滅し、BOD 監視システムが機能しなくなる可能性がある。原因の 1 つは、何らかの理由で培養器内に活性汚泥等の粘性を持った物質が蓄積し、培養器の水温計の反応が遅延することでヒーターが長時間加温し続け、水温が想定以上に上昇してしまうことである。通常はこの現象を防ぐために培養器に攪拌機を設けている。

★対処方法：攪拌機の回転数や攪拌時間を上げることで調整する。

【電位制御が正常に行われていない場合】

電位制御が正常でない場合は以下のようなグラフの動きになる。



図 7-8 電流値、BOD測定値、気温、培養器内水温、pHの経日変化

★対処方法：BOD監視システムの液晶画面が保守モードから測定モードに切り替わっているか確認する。電位制御で-0.2Vになっているか再確認する。

【電流値が2週間以上 0mA 以下で推移していた場合】

BOD 監視システムでは、培養器内の発電細菌の働きを維持する必要がある。電流値が2週間以上 0mA 以下で推移した場合、発電細菌が死滅した可能性があることから、再馴養が必要である。もし、第2水中ポンプを設置していないようであれば、原水投入用の第2水中ポンプを設置することを推奨する。

【第2水中ポンプ（原水用）が作動しているにもかかわらず電流値がプラスにならない場合】

正常な状態であれば、第2水中ポンプ（原水用）が作動した場合、定期的に電流値が上昇するため、以下のようなグラフになる。

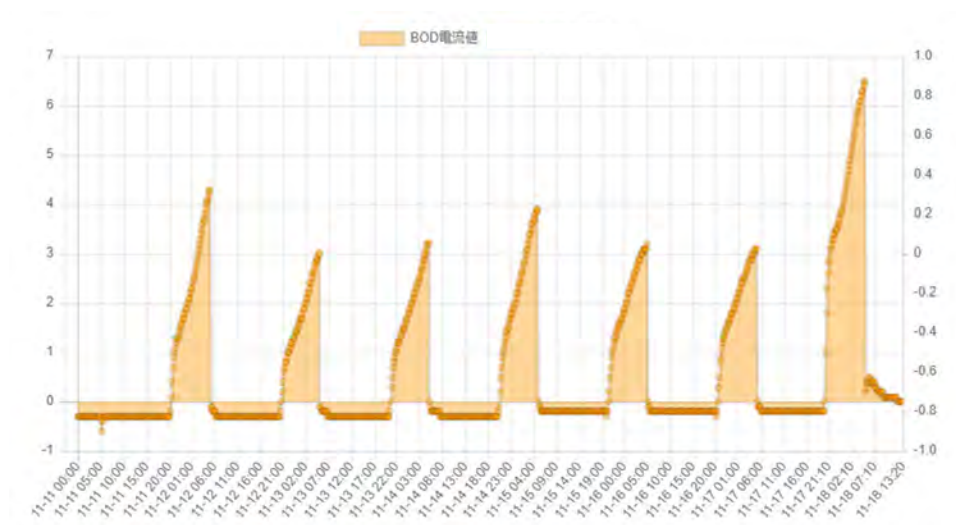


図 7-9 電流値の経日変化

しかし、何らかの理由で、発電細菌の働きが停止した場合は、第2水中ポンプ（原水用）が作動しているにもかかわらず電流値がプラスにならないことがある。以下はその一例のグラフである。赤い矢印は第2水中ポンプが作動し、培養器内に原水が投入されたことにより、一時的に水温が低下している。なお、赤い矢印以外の水温低下箇所は、第1水中ポンプが作動した箇所である。

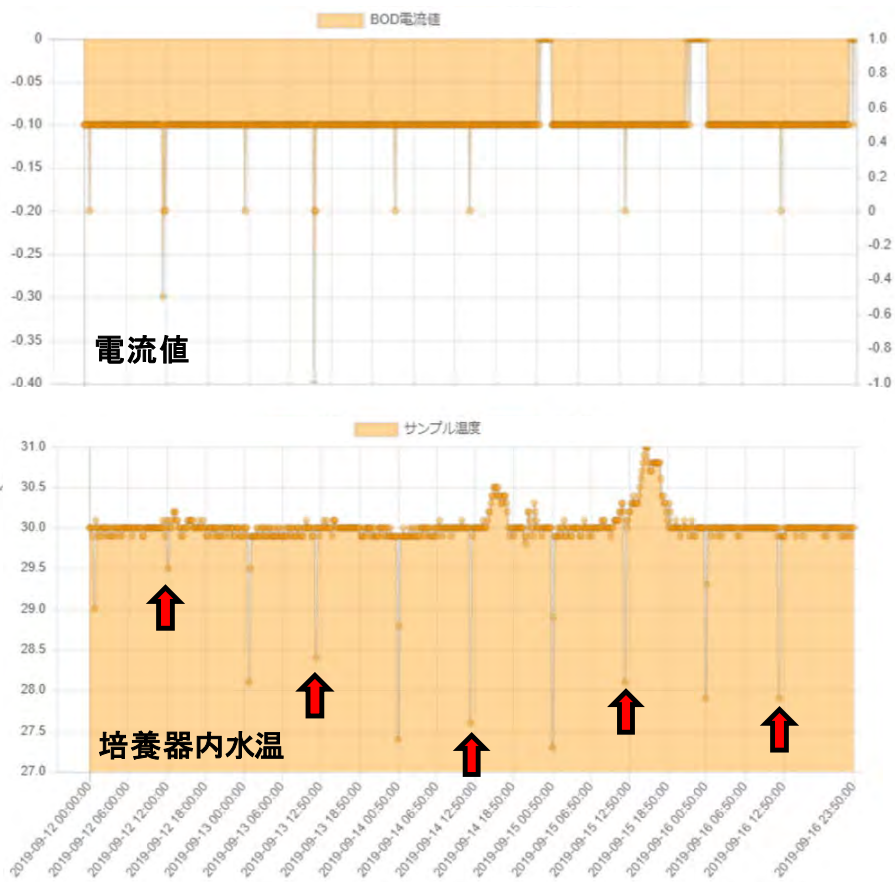


図 7-10 電流値と培養器内水温の経日変化

★対処方法:第 1 水中ポンプの動作時間を 10~20 秒に設定し、2 週間程度の再馴養を行う。
再馴養中は以下のようなグラフとなる。

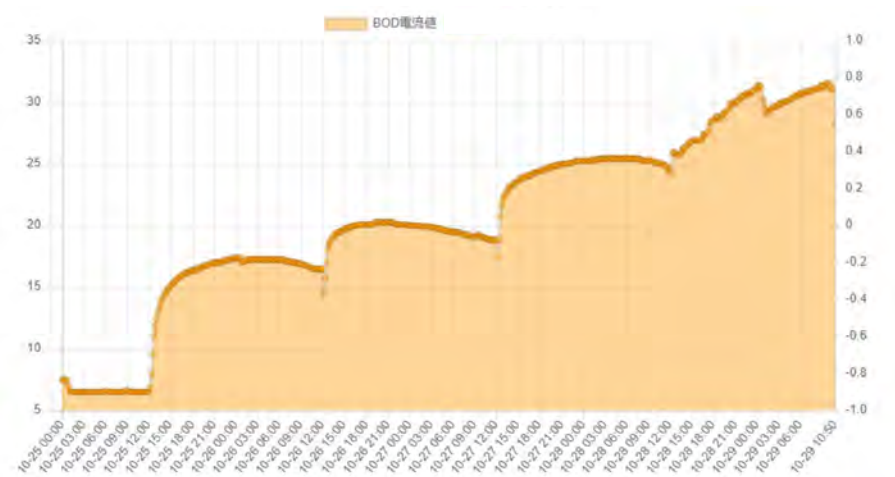


図 7-11 電流値の経日変化

【第1水中ポンプや第2水中ポンプが正常に作動しているにも関わらず、電流値が常に0mAの場合】

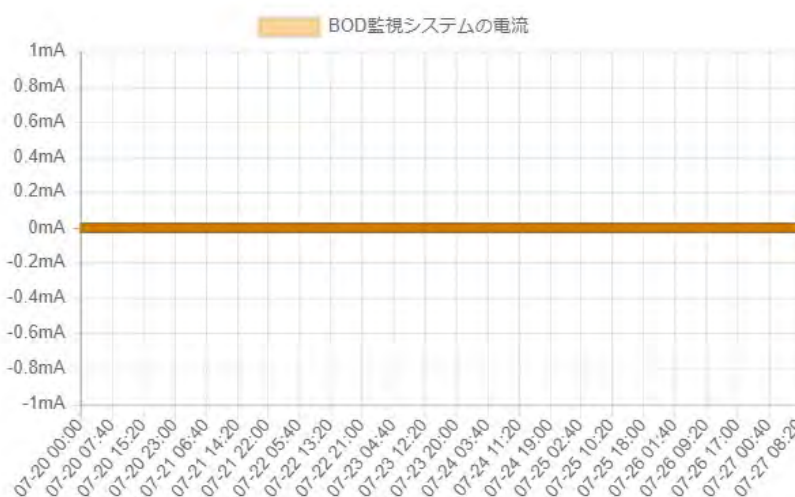


図 7-12 電流値の経日変化

★**対処方法**：作用電極の表面全体に固着物が付着し、電流生産を妨げていると考えられるため、ブラシで作用電極表面の固着物を取り除く。

【曝気パターンが「A」（デフォルト）のまま変わらない場合】

数日経過しても曝気パターンは「A」（デフォルト）となっている場合は、曝気条件が正常に入力されていない可能性があるため、再度、曝気条件の入力が正しく行われているか確認する。

【pH電極の数値が不安定な場合】

pH測定値が数秒間で0.2以上上下する場合は、電極コネクタの接触不良が考えられる。

★**対処方法**：電極コネクタ部の絶縁が低下している可能性がある。一度電極コネクタを外し、ドライヤー等で乾燥させてから、再度電極コネクタを取付けて使用する。

参考情報（用語解説）

1) 発電細菌

酸素がない環境で有機物を分解する際に電流を発生する性質を持つ細菌（*Geobacter* 属細菌など）で、土壌や海底、家畜ふん、活性汚泥、堆肥など様々な自然環境に生息している。

2) 窒素除去

排水処理施設から排出される処理水には、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略称であり、アンモニア性窒素濃度×0.4 + 硝酸性窒素濃度 + 亜硝酸性窒素濃度から算出する）の規制が設けられており、窒素除去を行う必要がある。畜産業においては、2021年時点で暫定排水基準が適用されており、500mg/Lとなっている。

3) 活性汚泥法、曝気槽、処理水槽

汚水を入れた水槽に空気を吹き込む（曝気）ことにより、微生物が汚水中の有機物を分解するとともに増殖し、沈降性を有する泥のような集合体を形成する。これを活性汚泥と呼び、一般的な排水処理施設では、活性汚泥法が用いられている。この方法では、最初沈殿槽（原水槽）、反応槽（曝気槽）、最終沈殿槽（処理水槽）の順に汚水が処理される。最初沈殿槽では、物理的な重力沈降等により固液分離処理が行われる。反応槽では、活性汚泥による微生物反応処理が行われる。最終沈殿槽では、活性汚泥を沈降させ、上澄み液が処理水となる。

4) ブロアー、スパロータ

ブロアーは水槽に空気を吹き込むための曝気装置である。スパロータは曝気装置の種類の一つであり、スクリー形となっているのが特徴である。

5) バルキング

活性汚泥が良好であれば通常は速やかに沈降するが、活性汚泥中に糸状性細菌が増殖する等により沈降が不良な状態になることがある。この状態をバルキングと呼ぶ。活性汚泥が処理水に混ざって流出してしまうため、早急な対処が求められる。主な原因としては、過剰な曝気による活性汚泥内フロッグの分散、曝気不足による嫌気性菌の優占化、低水温や BOD 過負荷による活性汚泥の粘性化、pH 異常（pH8 以上や pH5.5 以下）による微生物機能の低下、アンモニウムイオン、硝酸イオン、亜硝酸イオンが同じ割合で蓄積している条件下による活性汚泥の機能低下などによりバルキングが生じることが知られている。また、畜舎などの消毒作業で使用する薬剤により、活性汚泥の沈降分離異常や浄化不良を引き起こす可能性があるため、注意が必要である。

6) スカム

活性汚泥等にガスが溜まり水面に浮上することで形成されるものであり、水槽の水面に浮遊している軟らかい固体物質のことである。

7) 揚程

ポンプの圧力により水などの液体をくみ上げることができる高さのことである。

8) 馴養

微生物の性能が十分に発揮される状態になるまで慣らす期間のことである。

9) ドレイン

装置に溜まったものを排出させる排水口のこと、本技術の装置下部に設けられている。

本マニュアルの一部は平成 29 年度から開始された生研支援センター「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）」における「BOD バイオセンサーを利用した豚舎排水の窒素除去システムの開発」で得られた成果である。複製、転載などの利用に当たっては事前に経営体（養豚環境）コンソーシアム事務局（農研機構畜産研究部門）の許可を得てください。

BOD監視システムの運転マニュアル

2023 年（令和 5 年）11 月 10 日 第二版発行（WEB 版）

編集・発行 経営体（養豚環境）コンソーシアム

（代表）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

発行責任者 所長 三森 眞琴

〒305-0901 茨城県つくば市池の台 2

問い合わせ先：koho-nilgs@naro.affrc.go.jp