



日本中央競馬会
特別振興資金助成事業

簡易水質測定と AI アプリによる 養豚汚水浄化施設 管理マニュアル



令和 6 年 3 月



一般財団法人畜産環境整備機構

目次

I. 水温、pH、EC の測定とスマホ用 AI アプリによる管理法	1
II. 水温、pH、EC の連続測定と PC 用 AI アプリによる管理法	5
III. 水温、pH、EC、ORP の連続測定と PC 用 AI アプリによる管理法	7
IV. 活性汚泥濃度の自動制御法	10
V. 用語解説	11

はじめに

従来の養豚污水处理は、できるだけ大量の空気を吹き込んで易分解性有機物を徹底的に除去するのがコツでした。しかし、「硝酸性窒素等」（用語解説参照）の規制が始まってからは、窒素除去も重要になっています。窒素除去を促進するには、曝気量の調整が不可欠です。そして、曝気量を調整するには、処理水の硝酸性窒素等を把握することが必要になります。硝酸性窒素等の測定は分析会社へ依頼しなければなりません。結果が出るまでに日数を要するので、運転調整にフィードバックしにくいのが難点でした。

この問題克服のため、硝酸性窒素等の大まかな濃度を現場で簡単に推定する方法を考案し、この推定値によって通気量を調整する管理法を創出しました。曝気過剰は現場でよく起きる状況ですが、創出した管理法で曝気量を適正にすると水質向上と電気代節約の一石二鳥の効果が得られるケースもあると考えられます。



【マニュアル利用に関するご注意】

- 本冊子の管理法が効果を発揮するためには、浄化施設全体の適正な設計と、曝気装置や脱水機等の主要機器類の正常稼働とが前提になります。
- 運転条件を急激に変更すると想定外の結果をもたらす場合があります。状況を観察しながら徐々に調整し、もし状況が悪化したら一旦元の状態に戻してください。
- メンテナンス会社等による調整管理が行われている場合はその調整を優先してください。
- 本冊子の内容およびアプリケーションの詳細についてご不明の点があれば研究所にお尋ねください。研究所ホームページに「問い合わせページ」がありますのでご利用ください。
- アプリケーションの利用はご自由ですが、結果の責任は負いかねますのでご了承ください。

I. 水温、pH、EC の測定とスマホ用 AI アプリによる管理法



図 1. スマホアプリを使った管理の概要



図 2. 水温、pH、EC 用ポケット計測器の事例
(これ一台で水温、pH、EC が測定できます。価格は約 3 万円です)

以下に作業の流れを具体的に解説します。

① 曝気液の水温測定

曝気槽から曝気液を柄杓等で採水し、すぐにポケット測定器の先端を液中に挿入し、温度を測定してください。もちろん、水温が測定できるものならどんな温度計でも結構です。

② 処理水 pH と EC の測定

処理水を柄杓などで採水し、pH と EC（電気伝導率）を測定します。測定は数分でできます。EC は mS/cm（ミリジーメンズ・パー・センチメータ）の単位で測定してください。

③ 注意事項

- 水温、pH は、採水後短時間で変化しますので採水直後に測定してください。
- pH センサは週に一回程度、EC センサは月に一回程度標準液で校正してください。
- 処理水に消毒剤や凝集剤を添加している場合は、添加前の処理水で測定してください。

④ アプリによる硝酸性窒素等の推定

アプリは図 3 の QR コードを読み込むと利用できます。PC で利用する場合はグーグル等のインターネットブラウザで下記の URL を入力すると、スマホと同様に利用可能です。どちらの場合も、アプリのダウンロード操作は不要です。

<https://ytanaka.shinyapps.io/shousan1/>

最初に測定値入力画面が表示されるので、pH、EC、曝気槽水温の測定値を入力してください。デフォルトの数字は消してしまって大丈夫です。



図3. アプリのQRコードおよび測定値入力画面

入力が終わると硝酸性窒素等の推定値を示す棒グラフが表示されます(図4)。棒グラフの上端が硝酸性窒素等の濃度です。青色の部分は亜硝酸性窒素と硝酸性窒素の合計濃度を、赤色の部分はアンモニア性窒素濃度×0.4の値を示します。

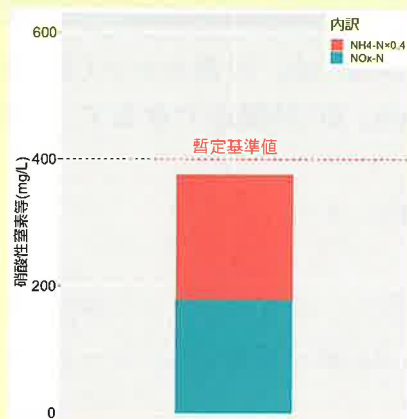


図4. 推定値表示グラフ

硝酸性窒素等推定値が300mg/L以上または暫定基準値の400 mg/Lを超えている場合には、アプリに表示される処方箋に従って応急対応するとともに、正確な測定を分析会社等に依頼してください。

⑤ アプリの処方箋に基づく管理

処方箋のいくつかの事例を示します。図5のコメントなら当面安心ですが、定期的な測定を続けてください。

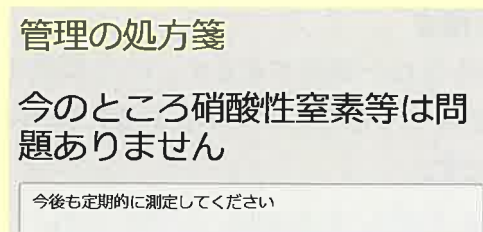


図5. 問題の無い場合の処方箋

管理の処方箋

暫定基準値を超えている可能性
があります。

速やかな対応が必要です。下記を参考に対応してください。

硝酸/亜硝酸が残留しています。脱窒促進が必要です。曝気量を若干減らすと効果が出る場合もあります。間欠曝気の場合には、曝気停止時間を少しづつ長くして様子を見てください。

pHが低いので過曝気かもしれません。曝気量を減らす検討をしてください。

管理の処方箋

暫定基準値を超えている可能性
があります。

速やかな対応が必要です。下記を参考に対応してください。

アンモニアが残留しています。

硝化促進が必要です。曝気時間を長くする、曝気量を増やすなどが有効です。

図6. 問題の有る場合の処方箋（左：過曝気、右：硝化不足）

図6の左の処方箋は、過曝気により硝酸イオンが蓄積しpHが酸性化している場合です。硝酸イオンを減らすには、曝気量または曝気時間を徐々に減らし、pHがおおよそ6.5～8.5の範囲になるようにします。この調整では、水質改善だけでなく曝気電力も節約できて、一石二鳥です。

右側の処方箋は、pHが約8.8～10のアルカリ性の場合で、アンモニウムイオンの残留が推定されます。この状態は酸素不足で起こります。正常な曝気槽の色は赤みがかかった褐色ですが、酸素不足の場合には黒ずんだ灰色になります（図7）。



正常時：赤褐色



酸素不足時：灰黒色

図7. 曝気槽液面の色で様子がわかります

酸素不足の原因は主に四つ考えられます。一つめは、曝気槽に流入する有機物量が処理能力を超えている場合で、過負荷と呼ばれます。二つ目は、ブロウのタイマ制御を行っている場合に曝気時間が短すぎるケースです。三つめは、通気配管の破損や散気部の目詰まり等による曝気量不足。四つ目は、活性汚泥濃度が高すぎるケースです。原因を明らかにするため、まず曝気関係機器類の故障・破損等がないか点検してください。もし破損があったら補修し、破損等がない場合、曝気時間を長くしてください。その後pHを繰り返し測定し、pHがおおよそ6.5～8.5になれば適正です。



図8. 酸欠の原因となる曝気関係機器の不調

状況が改善されない場合は、活性汚泥濃度の測定を分析会社に依頼してください。活性汚泥濃度は、膜分離を備えた施設では8000～12000 mg/L程度、それ以外は5000～8000 mg/L程度が正常範囲です。汚泥濃度が高すぎる状況を放置すると水質は悪化し、その上電力が浪費されてしまいます。そのような場合は汚泥の引き抜き量を徐々に増やしながら、pHを繰り返し測定し、pHがおおよそ6.5～8.5になればほぼ正常と判断できます。

それでも改善できない場合は、過負荷の可能性があるので、飼養頭数が施設設置時の想定数より多くなっていないか確認します。もし、飼養頭数が多くなっている場合は処理能力を高めるための改造が必要です。



図9. 活性汚泥濃度が高すぎると酸素不足で窒素除去はストップ

II. 水温、pH、EC の連続測定と PC 用 AI アプリによる管理法

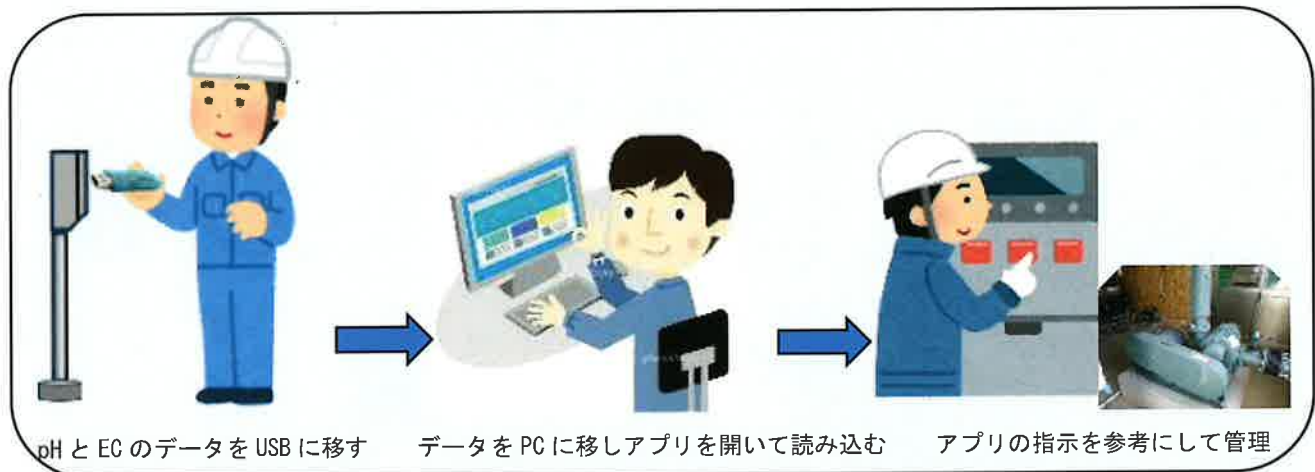


図 10. 水温、pH、EC の連続測定データによる管理の概要

作業の流れは上に示した通りです。以下順番にご説明します。

① 水温、pH、EC の記録

処理水（放流槽）の水温、pH、EC を記録し、CSV ファイル形式でデータを取り出せる計器を設置します。pH センサと EC センサは取説に従って定期的に校正して下さい。



図 11. データ記録機能付き設置型水温・pH・EC 測定器の事例

② AI アプリの利用

記録データを USB メモリでパソコンに移し、専用アプリにデータを読み込ませます。このアプリは下記 URL にアクセスすれば利用可能です。データの読み込み方法の詳細は畜産環境技術研究所にお尋ねください。

<https://ytanaka.shinyapps.io/shousan3/>

アプリを開き、最初の画面でデータファイルを選択して読み込みます。読み込みが終了すると左サイドのメニュー項目を選択することで各種グラフが表示されます。決定木作成メニューを選択すると、硝酸性窒素等低下に適した目標 pH が、AI 解析の一種である機械学習法で推定され画面に表示されます（図 12）。この図から、y がマイナスでかつ n が大きい場合の水温、pH の条件を読み

取ることによって運転調整の参考にします。ただし、図 12 の事例は、データ採取期間がまだ不十分で、運転指針を読み取るには無理があります。

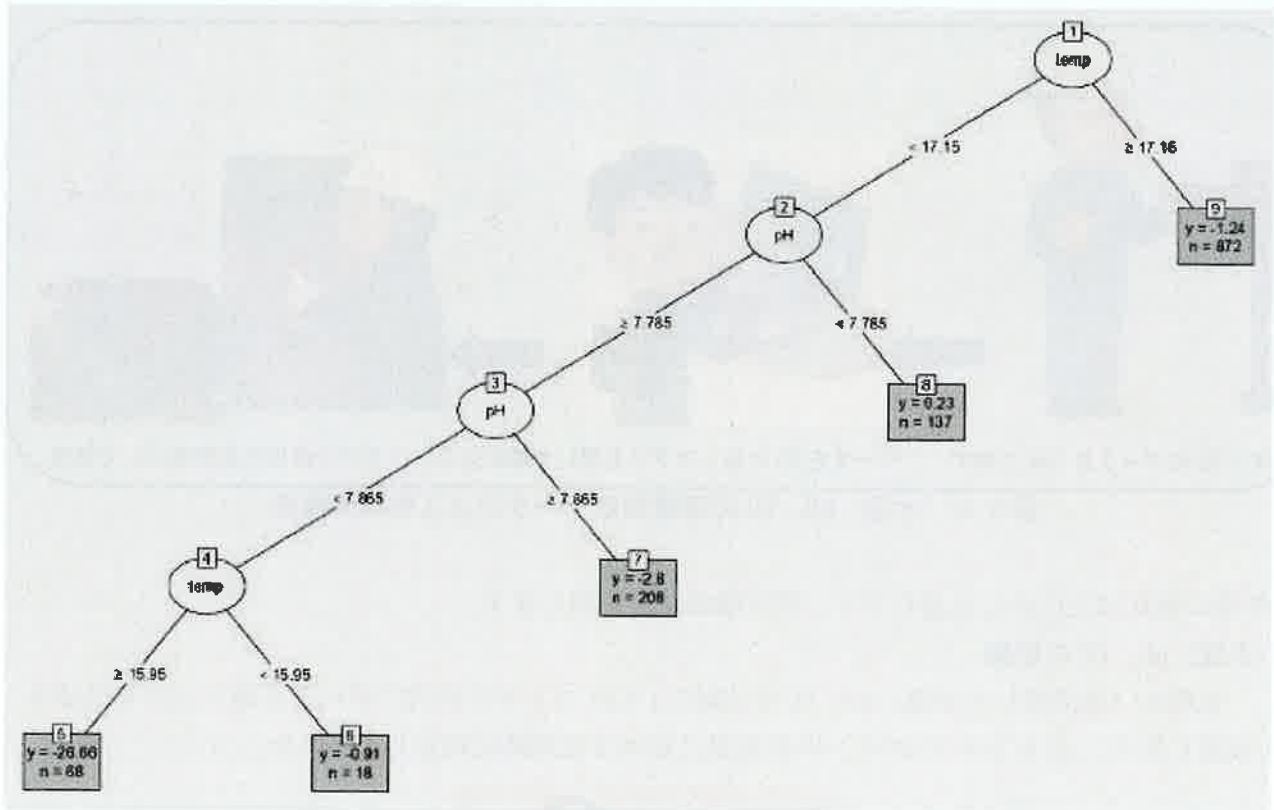


図 1 2. 決定木による適正 pH 表示例

(y は 1 日当たりの硝酸性窒素等の変化率、n は各状況のデータ数)

③ 施設の調整

アプリで読み取った適正 pH と、現状の pH とを比較します。この結果、現状 pH が適正 pH より低い場合は曝気量抑制、現状 pH が適正 pH より大きい場合は曝気量上昇の措置をとります。ただし、一気に変化させると想定外の状況になるリスクがあるので、調整は様子を見ながら少しずつ慎重に行ってください。

なお、曝気量抑制の調整を行う場合には、水質改善と節電の一石二鳥の効果を得られる場合もあります。ただし、さらに的確な管理を行うには、次項に紹介する曝気槽 ORP 値の測定も含む管理法を利用した方が確実です。

④ 注意事項

- ・ PC アプリによる適正值の推定は、データが数か月分以上蓄積してからでないとな当な値が得られません。データの増加や季節の変化に応じて適正值は変化するので、少なくとも月に一回はアプリによる解析を更新することをお勧めします。
- ・ 一気に大幅な運転変更を行うことは禁物です。徐々に変更しながら、硝酸性窒素等推定値をこまめに確認しながら調整してください。

Ⅲ. 水温、pH、EC、ORP の連続測定と PC 用 AI アプリによる管理法

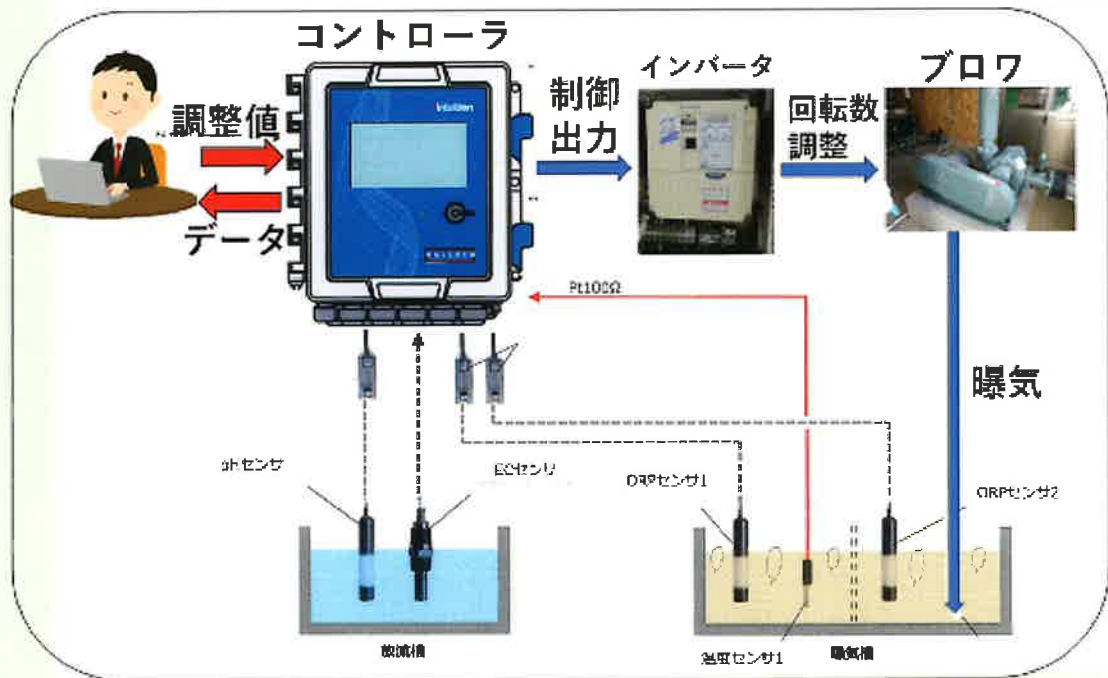


図 1 3. 水温、pH、EC、ORP の連続測定データによる管理の概要

管理システムの概要は上に示した通りです。以下順番を追って具体的に解説します。

① 処理水の水温、pH、EC、および曝気槽 ORP のデータ記録

処理水の pH、EC、および曝気槽の水温、ORP（酸化還元電位）を記録できる機器を設置し、一定時間間隔でデータを記録します。この目的で利用できる機器は種々市販されています。下記写真の機器（コントローラ）はコンパクトでありながら、各種センサを接続し記録データを USB で取り出すことができます。また、遠隔からパソコンでデータの取得や運転条件の変更も可能なので、同一経営内で遠隔に複数の処理施設を保有している場合でも、各施設に機器を設置すれば一人の管理担当で監視、データ解析、運転調整が可能になり効率的な管理が可能になります。pH センサと EC センサは取説に従って定期的に校正して下さい。ORP センサは取説に従って定期的にチェックして下さい。



図 1 4. データ記録機能付き水温、pH、EC、ORP 測定器の事例

② AI アプリの利用

記録データを USB メモリまたはクラウド経由でパソコンに移し、アプリにデータを読み込ませます。なお、ORP センサが 1 本の場合と 2 本の場合でそれぞれ異なるアプリを選択してください。これらのアプリは下記 URL にアクセスすれば利用可能です。ただし、コントローラの機種によってアプリの微調整が必要な場合がありますので詳細は研究所にお尋ねください。

ORP センサ 1 本用アプリ : <https://ytanaka.shinyapps.io/shousan4/>

ORP センサ 2 本用アプリ : <https://ytanaka.shinyapps.io/shousan2/>

アプリを開き、最初の画面でデータファイルを選択して読み込みます。読み込み終了後に画面左側のメニュー項目を選択すると各種グラフが表示されます。決定木作成メニューを選択すると水温、pH、ORP を説明変数とし、硝酸性窒素等変化率を目的変数とする決定木が表示されます (図 15)。

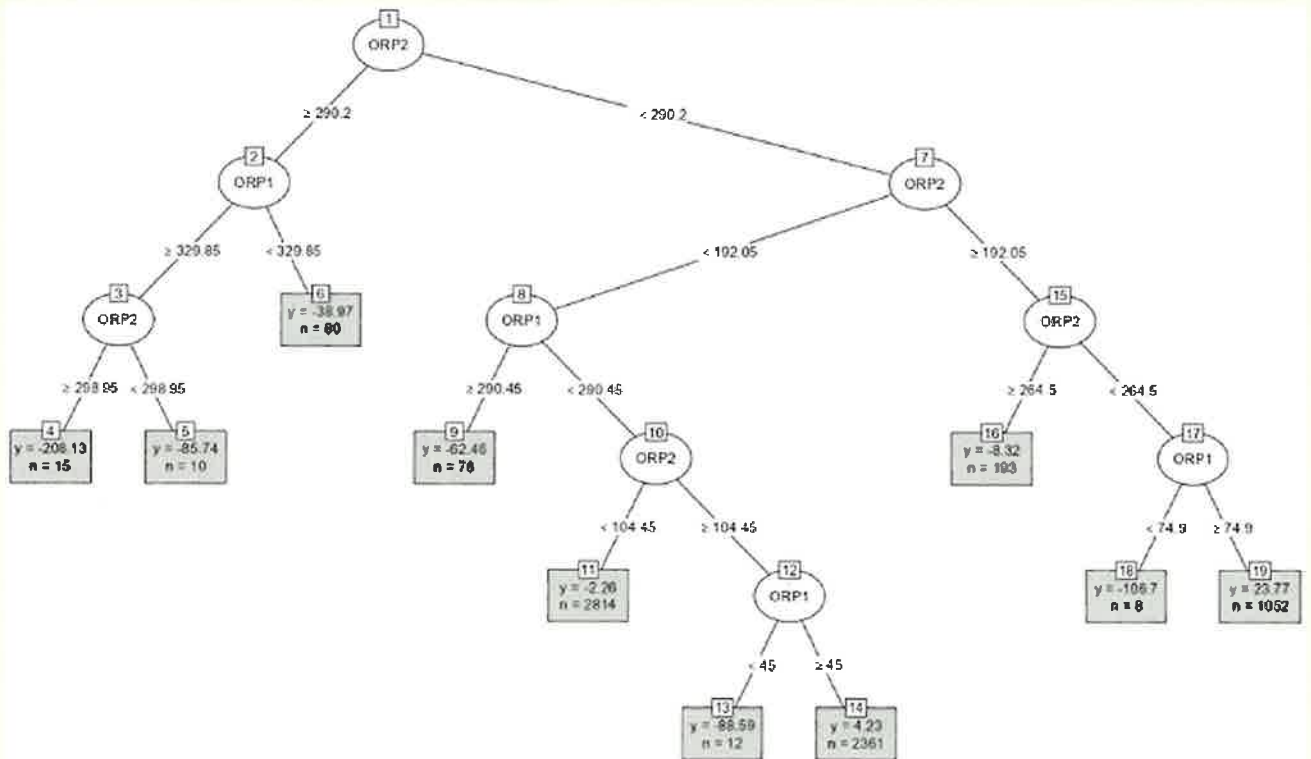


図 15. 決定木による適正 ORP 表示例

(y は 1 日当たりの硝酸性窒素等の変化率、 n は各状況のデータ数)

③ 施設の調整

上記決定木から適正 ORP を読み取り、コントローラに入力し、ブロウ運転の自動制御を行うことが可能です。ただし、適正 ORP は時期によって変化しますので定期的に新たに蓄積したデータを加えて解析を実施し、コントローラの再調整を行ってください。図 15 の場合、番号 11 のボックスは、 y がマイナスでかつ n 数が大きいことから最適と推定されます。ボックス 11 につながっている枝に記された条件および変動範囲から推定すると、ORP1 (前段曝気槽の酸化還元電位) の適正

値は+37～+290 mV、ORP2（後段曝気槽の酸化還元電位）の適正值は-37.1～+104 mV となります。ただし、これらの値は一般性を示すものではなく、あくまでの当該処理施設の現状を解析してAIが判定したものです。今後データがさらに蓄積されることで適正值の判断も変化する可能性があります。

④ 注意事項

- ・PCアプリによる適正值の推定は、データが数か月分以上蓄積してからでないと妥当な値が得られません。データの増加や季節の変化に応じて適正值は変化するので、少なくとも月に一回はアプリによる解析を更新することをお勧めします。
- ・一気に大幅な運転変更を行うことは禁物です。徐々に変更しながら、硝酸性窒素等推定値をこまめに確認しながら調整してください。
- ・定期的に硝酸性窒素濃度の正確な値を依頼分析で確認することをお勧めします。

IV. 活性汚泥濃度（MLSS）の自動制御法

AI アプリによる管理が効果を発揮するためには、曝気槽の活性汚泥濃度が正常範囲であることが重要です。正常範囲から外れた高濃度あるいは低濃度では、どのような調整をしても水質を良好にすることは困難です。通常の場合、活性汚泥濃度を定期的に確認し、必要に応じて余剰汚泥引抜量を調整することで濃度を維持します。

しかし、これらの操作を的確に行うのは容易ではありません。このため、活性汚泥濃度が大きく変動している農場もよく見られます。

この問題を改善するため、研究所では自動制御システムを開発しました。このシステムはMLSSモニタと呼ぶLEDセンサ方式の計器で汚泥濃度を把握し、測定値の大小に応じて引抜用ポンプを自動制御します。

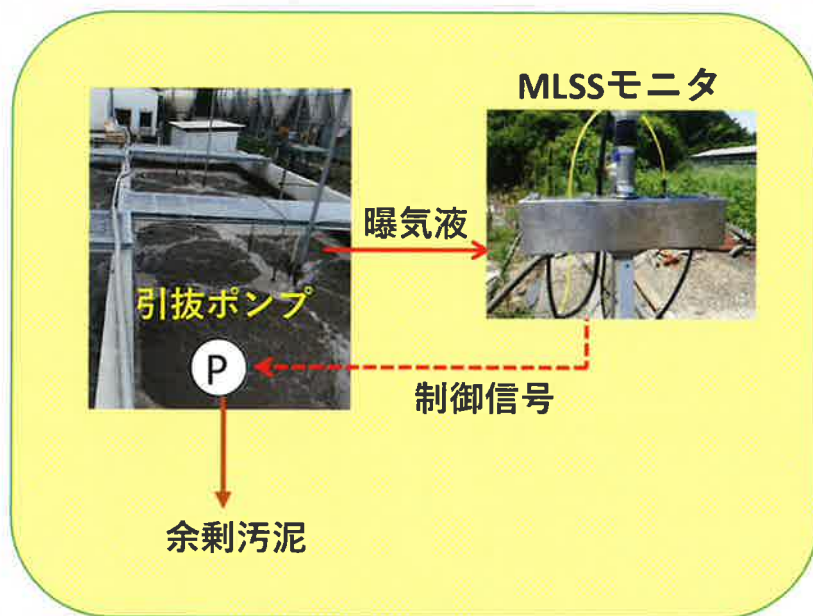


図 16. 活性汚泥濃度の自動制御システムの構成



図 17. MLSS モニタ内部

V. 用語解説

1. 硝酸性窒素等とは？

硝酸性窒素等は水質汚濁防止法の規制項目である「アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物、硝酸化合物」の略称です。アンモニア性窒素×0.4+亜硝酸性窒素+硝酸性窒素の式で算出します。硝酸性窒素等の基準値は今のところ暫定基準値で養豚では400mg/Lですが、3年ごとに見直しが行われ、段階的に厳しくなっています。



図 18. 排水中の窒素成分の種類と硝酸性窒素等暫定基準値の推移

2. AI とは？

AI とは、コンピューターに大量のデータを学習させて、推論や問題解決などさまざまな作業を行わせる技術です。本マニュアルのアプリでは、AI 技術の一つである機械学習法の中から、pH と EC からの硝酸性窒素等推定にランダムフォレスト法を、また硝酸性窒素等が低下する条件の推定に決定木法を利用しています。決定木法は、膨大なデータから特定の状況が発生するルールを容易に読み取ることを可能にします。

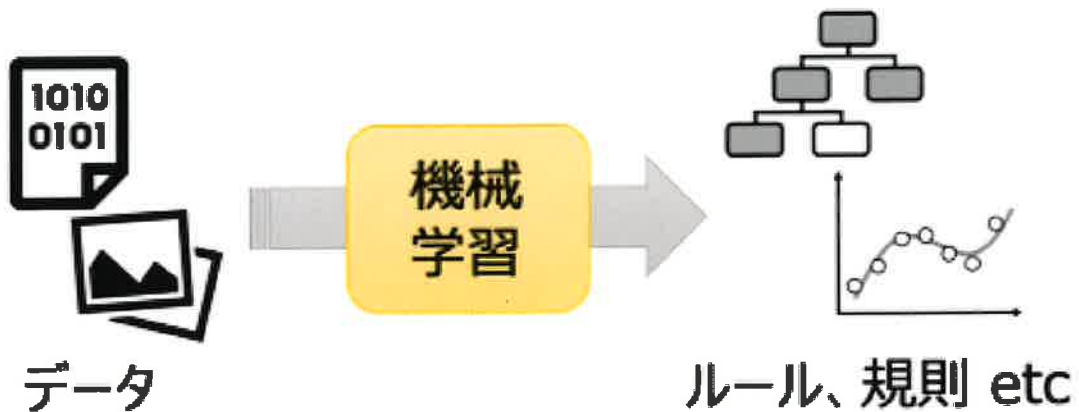


図 19. AI 技術の一種である機械学習法の原理

おわりに

本冊子は、日本中央競馬会の特別振興資金助成事業により実施した「畜産汚水浄化施設のAI支援型リモート管理技術開発・普及事業」の成果をとりまとめたものです。日本中央競馬会に深く感謝の意を表します。

本冊子作成のための現場調査にあたっては、多くの農家の皆様のご協力を得ました。深く感謝いたします。

本事業を実施するにあたっては下記推進委員の方々のご指導・ご助言を賜りました。ここにお名前を記し感謝の意を表します。

氏名	所属
川村 英輔	神奈川県畜産技術センター 企画研究課
相良 倫成	全国農業協同組合連合会（JA全農） 畜産生産部 推進・商品開発課
新村 嘉久	一般社団法人 日本養豚協会
舘野 浩一	全国農業協同組合連合会（JA全農） 飼料畜産中央研究所養豚研究室
田中 章浩	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄農業研究センター 暖地畜産研究領域肉用牛生産グループ
仁木 圭三 (座長)	公益財団法人 日本環境整備教育センター
宮竹 史仁	国立大学法人 北海道国立大学機構 帯広畜産大学環境農学研究部門 農業環境工学分野
山本 孝徳	一般社団法人 日本養豚協会

(敬称略、50音順、ご所属は委員当時)

発行：一般財団法人 畜産環境整備機構

〒105-0001 東京都港区虎ノ門 5-12-1 (ワイコービル 3 階)

編集および連絡先：畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所

〒961-8061 福島県西白河郡西郷村大字小田倉字小田倉原 1

TEL 0248-25-7777/ FAX 0248-25-7540

ホームページ：<https://www.chikusan-kankyo.jp>

