

# 畜産汚水処理施設の運転管理遠隔監視システムの開発

宮本和典・影山智明<sup>1, 2</sup>・堀尾靖史<sup>3</sup>・富谷信一

(<sup>1</sup>合同会社TURIP テクノロジズ, <sup>2</sup>鳥取大学工学部, <sup>3</sup>株式会社アクシス)

## Development of operation management remote monitoring system for livestock wastewater treatment facility

Kazunori MIYAMOTO, Tomoaki KAGEYAMA<sup>1, 2</sup>, Yasushi HORIO<sup>3</sup>, Shinichi TOMITANI

(<sup>1</sup>GK TURIP technologies, <sup>2</sup>Tottori University Faculty of Engineering, <sup>3</sup>Axis CORPORATION)

### 要 約

豚舎廃水において、市販品の水質測定用センサー及び通信モジュール等を使用することにより、低コストで水質遠隔監視を行うシステムを制作することを試みた。原水槽（原水）の水質規制項目である「アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物」（以下「硝酸性窒素等」と略す）についてはpH及びECの値を基に高い精度で推定が可能であることが分かった。同様に最終処理槽（処理水）の硝酸性窒素等についてもpH及びECで推定が可能であった。BOD濃度については、原水では、EC値と高い相関があり、高い精度で推定できることが分かった。処理水では、pH及びECでは推定することが難しいために新たな水質推定手法として改良した濁度計を用いたところ、透過率とBOD濃度とは相関が認められたことから推定ができる可能性が示唆されたが、今後はサンプル数を増やし、推定精度を向上させる必要がある。

一方、リアルタイムで水質を監視、閲覧することに関しては、市販のWEBサービスを利用し、原水及び処理水の推定硝酸性窒素等、推定BOD濃度、水温等が閲覧可能となった。

このシステムは、設置後2年が経過するが、定期的なメンテナンスを加えることで故障等の不具合もなく水質測定データの取得に支障をきたすことはなかった。

### 緒 言

畜舎廃水処理は「活性汚泥法」による浄化処理が主流であるが、この方法はBOD（生物化学的酸素要求量）を指標とする有機物の浄化能力は高いものの、窒素については安定した浄化処理が難しい。しかしながら水質汚濁防止法に定められている「硝酸性窒素等」は、現在、暫定基準として牛房施設で300mg/L、豚房施設400mg/L、馬房施設100mg/Lに設定されているが、今後、一般排水基準値の100mg/Lがすべての畜産廃水に適用される可能性があるため、畜産廃水の窒素低減は重要な課題となっている。効果的に窒素低減させるためには曝気槽のBOD濃度に応じた曝気時間の制御が重要であるため、うまく制御されているかを常に把握できるシステムが必要である。そこで、畜産汚水処理施設の浄化能力向上と管理労力軽減を目的にリアルタイムで水質確認できる低コストな遠隔監視システムの開

発を行い、遠隔監視用試作機の改良・設置、遠隔監視用閲覧ソフトの開発及び原水槽と最終処理槽の水質推定について検討した。

### 材料と方法

#### 1. 水質遠隔監視システム試作機を用いた測定データの取得

市販の水質測定用センサーと通信モジュール及び液晶モニターで構成される試作機をインターネット回線（無線）に接続し、測定データをサーバーに蓄積させてWEBブラウザでパソコン又はスマートフォンから測定値を閲覧できるよう設定した。試作機は、鳥取県中小家畜試験場汚水処理施設に設置し、通信モジュール及び液晶モニターからなる測定・通信装置に汚水処理施設の原水槽及び最終処理槽に設置した水質測定用センサーを接続して水質測定データを取得した（写真1）。また、水質測定

項目は、原水槽では水温、pH、酸化還元電位（ORP）、EC（電気伝導率）とし、最終処理槽では、水温、pH、ORP、EC、色度とした。



写真1. 試作機と水質データの表示画面

## 2. 原水槽（原水）の水質推定

### 1) 硝酸性窒素等の推定

曝気槽流入前の原水は水質の日変動が大きいことから1日に3～5回の頻度でサンプリングして硝酸性窒素等の実測値を測定した。監視システムでの測定項目のうち、pH値及びEC値と硝酸性窒素等の実測値は重回帰分析により硝酸性窒素等の回帰式を導き出した。なお、硝酸性窒素等の分析は、イオンクロマトグラフ法にて行った。

### 2) BOD濃度の推定

BOD濃度の測定は、BODセンサーによる5日間培養法で行った。サンプリングの頻度は、BOD濃度の分析に数日要し、また、1度に測定できるサンプリング個数に制限があることから、1か月に2回程度（サンプル数12回）とした。BOD濃度の回帰式は、監視システムでの測定項目のうち、原水槽のEC値を測定し、BOD濃度の実測値との相関分析により推定値の算出を試みた。

## 3. 最終処理水槽の水質推定

### 1) 硝酸性窒素等の推定

1日1回の頻度で処理水をサンプリングして硝酸性窒素等の実測値を測定し、原水槽の硝酸性窒素等の推定と同じ方法で硝酸性窒素等回帰式を導き出した。

### 2) BOD濃度の推定

処理水は、原水と同じようにECによるBOD濃度の推定を試みたが相関が低く推定が困難であったため、新たな水質推定手法として市販の濁度計（写真2）を防水加工し、最終処理水槽に設置し、処理水のBOD濃度の推定を試みた。濁度計の透過

率とBOD濃度の実測値について相関分析により推定値の算出を試みた。

なお、BOD濃度の測定は、原水槽のBOD濃度の推定時と同じ方法で行った。



写真2. 濁度計

## 4. 遠隔監視用閲覧ソフトの開発

遠隔監視用ソフトの開発については、パソコン画面とスマートフォン画面の両方で監視できるように、画面のレイアウトや図表の表示方法、表示する項目等について検討、改良を行い、画面レイアウト、図表及び表示項目を変更し、リアルタイムで水質状況が閲覧可能となるように検討を行った。

## 結果

### 1. 水質遠隔監視システム試作機を用いた測定データの取得

処理水の測定は令和3年4月から令和4年2月にかけて、原水の測定は令和4年2月から3月に実施した。その結果を表1に示す。処理水における測定期間を通しての平均値は水温22.2℃、pH値7.12、ORP-263.0mV、EC873μS、色度はRed値38.8、Blue値28.4、Green値18.6であった。なお、色度比は、R・B・Gの色度値合計に対する各色度値の割合を示したもので、R値の割合が最も高くなった。

一方、原水の平均値は水温9.1℃、pH値8.68、ORP-412.8mV、EC3,285μSであった。処理水に浸漬させたORPセンサーは2か月程度経過すると表面に汚泥などのいわゆるバイオフィームの付着が見られるようになったため、定期的に水洗浄を実施した。水温及びpHの測定値についてはバイオフィーム付着による影響は見られなかった。

表1. 測定データの平均値(±標準偏差)

	水温 (°C)	pH	ORP (mV)	EC (μS)	色度(値)			色度(比)		
					R値	B値	G値	R比	G比	B比
原水	9.1 (±0.8)	8.68 (±0.3)	-412.8 (±138.3)	3,285 (±1,436)	-	-	-	-	-	-
処理水	22.2 (±4.6)	7.12 (±0.4)	-263.0 (±207.8)	873 (±265)	38.8 (±53.5)	28.4 (±41.7)	18.6 (±27.3)	45.2% (±9.4)	33.1% (±2.5)	21.7% (±7.5)

原水の測定は、冬期に実施したため、処理水の水温よりもかなり低い状態となった。またECの標準偏差は処理水と比較して大きい結果となった。

## 2. 原水槽（原水）の水質推定

### 1) 硝酸性窒素等の推定

イオンクロマトグラフ法による硝酸性窒素等実測値 (mg/L) と pH 値及び EC 値 (ms/cm) の重回帰分析<sup>1)2)</sup>を行ったところ、サンプル数 155、決定係数 0.9634 の下記回帰式が得られた。

$$\text{硝酸性窒素等} = -197.158 + (21.64294 * \text{pH}) + (0.045292) * \text{EC}$$

この式に基づく推定値と実測値の関係は図1のように0~400mg/Lの範囲内で高い相関が見られた。

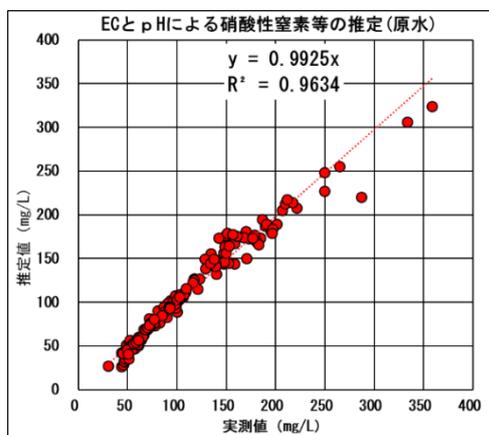


図1. 硝酸性窒素等の推定（原水）

### 2) BOD濃度の推定

BODセンサーによる5日間培養法によるBOD濃度 (mg/L) と EC 値 (ms/cm) の相関分析を行ったところ、サンプル数 52、決定係数 0.8963 の下記回帰式が得られた。

$$\text{BOD濃度} = -874.9573838 + (0.685698432 * \text{EC})$$

この式によると推定値と実測値の関係は図2のように0~3,500g/Lの範囲内で高い相関が見られた。

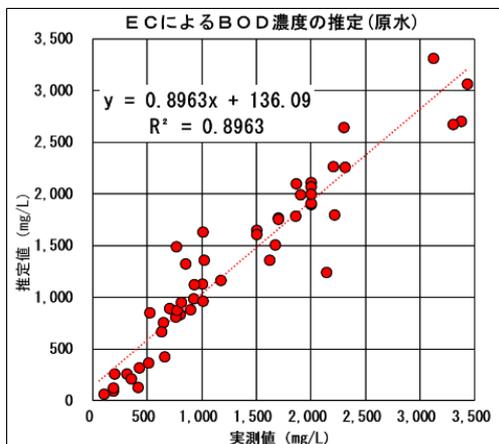


図2. BOD濃度の推定（原水）

## 3. 処理水槽の水質推定

### 1) 硝酸性窒素等の推定

イオンクロマトグラフ法による硝酸性窒素等実測値 (mg/L) と pH 値及び EC 値 (ms/cm) の重回帰分析を行ったところ、サンプル数 172、決定係数 0.9326 の下記回帰式が得られた。

$$\text{硝酸性窒素等} = -46.43656 - (15.0369 * \text{pH}) + (0.105185 * \text{EC})$$

この式によると推定値と実測値の関係は図3のように0~100mg/Lの範囲内で高い相関が見られた。

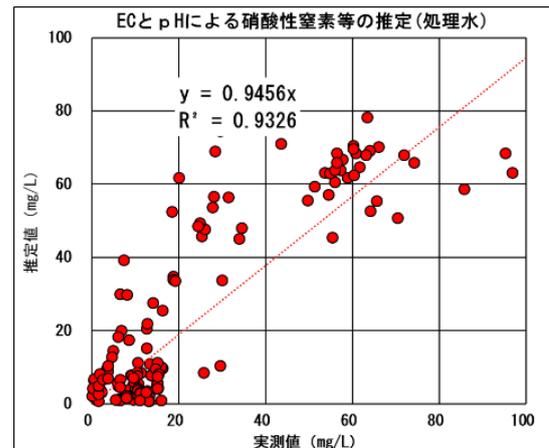


図3. 硝酸性窒素等の推定（処理水）

### 2) BOD濃度の推定

原水槽と同じようにECとの相関分析を行い、推定を試みたが、決定係数 0.0384 と低い相関（図4）

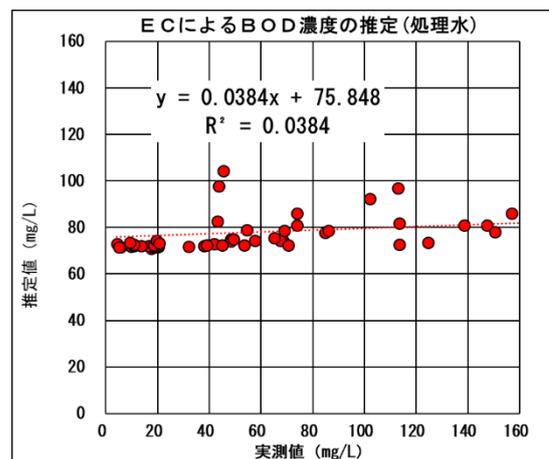


図4. ECによるBOD濃度の推定（処理水）

で、推定が難しいことより、新たな推定手法として濁度計を用いた方法を実施した。BODセンサーによる5日間培養法によるBOD濃度 (mg/L) と濁度計による透過率の相関分析を行ったところ、サンプル数 24、決定係数 0.9824 の下記回帰式が得られた。

$$\text{BOD濃度} = 243.1398 - (1.86441 \times \text{透過率})$$

この式によると推定値と実測値の関係は図5のように0～200の範囲内で高い相関が見られた。

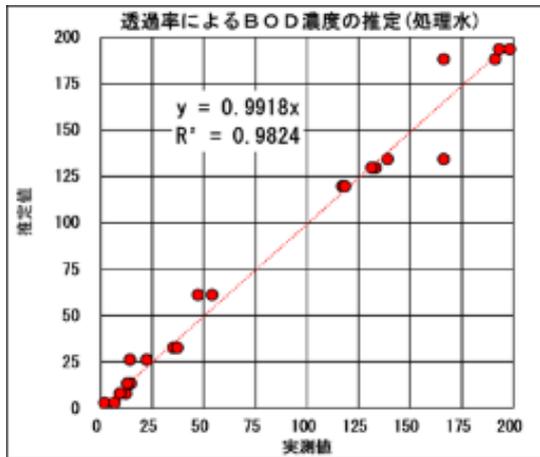


図5. 濁度計によるBOD濃度の推定(処理水)

## 2. 遠隔監視用閲覧ソフトの開発

遠隔監視用閲覧ソフトについては、表示時間、表示項目、表示のレイアウト、文字の大きさ、色等について詳細に検討を行い、市販のWEBサービスのクイックサイトを利用してパソコン、スマートフォンから閲覧ができるようにした。表示項目として、当日の水温、硝酸性窒素等、pH、ORP、透過率、BOD濃度を選定し、リアルタイムで実測値及び推定値が閲覧可能となった(写真3、4、5)。

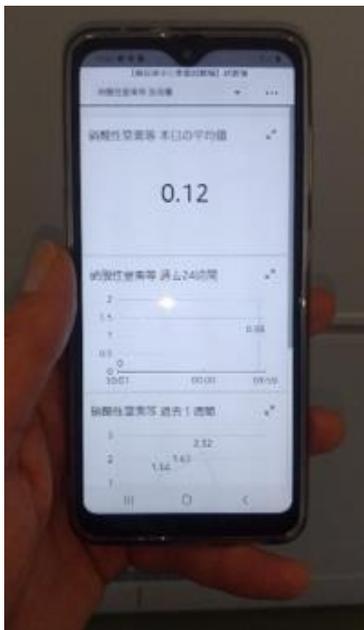


写真3. 表示画面(全体)



写真4. 表示画面(拡大)

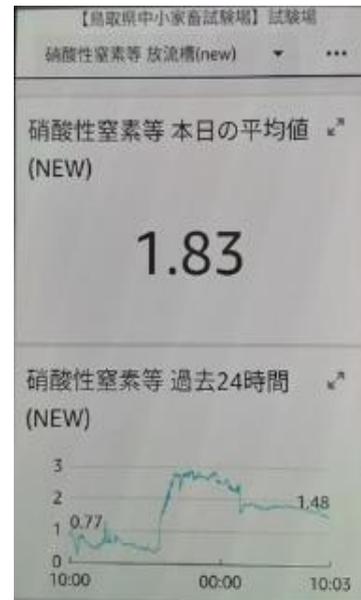


写真5. 表示画面(拡大)

## 考 察

### 1. 水質遠隔監視システム試作機を用いた測定データの取得

測定項目のうち、水温、色度については水質測定センサーをある程度放置しても、正確な測定が可能であると思われた。

一方、ORPについては污水处理施設の原水槽及び最終処理槽に設置した水質測定センサーを水洗浄後に測定値が急上昇する傾向が見られたことからバイオフィームがORP測定に影響することが

考えられるため、水質測定センサーの定期的な清掃が必要と考える。このシステムは、設置後2年が経過するが、定期的なメンテナンスを加えることで故障等の不具合もなく水質測定データの取得に支障をきたすことはなかった。

## 2. 原水槽（原水）の水質推定

曝気槽流入前の原水は、処理水の水質に大きく影響するため、原水の水質をモニタリングすることによって曝気時間の調整や処理水悪化などの危険予測に役立つことが期待できる。

今回得られた原水の硝酸性窒素等濃度とpH値及びEC値との重回帰分析では、決定係数が0.9634であることからpHとECは硝酸性窒素等濃度推定の代替指標としてリアルタイムで遠隔監視に活用できるのではないかと考えられた。また、原水のBOD濃度についてもECが上昇するに従い高くなる傾向が見られ、決定係数は0.9564であった。これは曝気槽流入前であるため生物学的処理の影響を受けておらず、BODを指標とする汚濁物質濃度は窒素濃度と関連しているためではないかと推察される。

今回の結果から、pH、ECの測定により原水の硝酸性窒素等濃度の推定が、また、ECにより原水のBOD濃度の推定が可能であることが示唆された。これにより窒素除去に対応した適切な曝気調整や処理水質悪化の危険予測と迅速対応への活用が可能ではないかと考えられた。なお、原水槽は、汚水の汚れ度が大きいいため、センサーに関してはpH及びECともに週1回の清掃が、校正については、pHが2週間に1度、ECが1か月に1度必要であり、これを怠ると正しく測定されなくなる可能性がある。

## 3. 処理水槽の水質推定

pH及びECと硝酸性窒素等濃度との関係について検証したところ、決定係数は0.9565となり、両者には高い相関が認められた。このことから、硝酸性窒素等については、pH及びECを基に高い精度で推定可能であることが示唆され、pH及びECは、硝酸性窒素等濃度推定の代替指標としてリアルタイムで遠隔監視に活用できるのではないかと考えられた。

ただし、センサーに関しては原水槽と同様に定期的な清掃と校正が必要である。

BOD濃度については、原水では、EC値と高い相関があり、高い精度で推定できることが分かったが、処理水では、pH及びECでは推定することが難しいために新たな水質推定手法として防水加工した濁度

計を用いたところ、透過率とBOD濃度とは相関が認められたことから推定ができる可能性が示唆されたが、今後はサンプル数を増やし、推定精度を向上させる必要がある。

## 4. 遠隔監視用閲覧ソフトの開発

市販のWEBサービスを利用して、表示項目として、当日の水温、硝酸性窒素等、pH、ORP、透過率、BOD濃度を原水及び処理水ごとに表示できるようにしたが、農家が実際に使用する際には、水質汚濁防止法に関連する硝酸性窒素等とBOD濃度に絞って表示したほうが危機管理意識向上につながるから良いのではないかとされる。また、現在は、表示のみだが、硝酸性窒素等では放流基準値の100mg/Lを超えた場合にまた、BOD濃度では120mg/Lを超えた場合に、警告メッセージが表示されたり、警告音が出るような仕組みも必要ではないかと考えている。今後は、原水のBOD濃度に応じて希釈水の注入や処理水の硝酸性窒素等やBOD濃度を目安に曝気槽の曝気のオン、オフをコントロールできるような遠隔操作<sup>3)</sup>の技術も加えて、より実用的なシステムへの改良を検討している。

## 参考文献

- 1) 田中康男: 畜産汚水処理用活性汚泥法曝気槽における酸化還元電位および溶存酸素濃度適正值の時系列解析・機械学習による把握の試み, AI・データサイエンス論文集, 4巻3号, 2023
- 2) 田中康男: pH・ECによる養豚汚水処理施設処理水の硝酸性窒素等濃度推定手法の精度向上, 日豚会誌 60(3)、123-128, 2023
- 3) 栃木県畜産酪農研究センター: 硝酸性窒素等の低減に向けた曝気槽の運転管理, R5年3月