

# 肥培かんがい施設の新設調整槽内における 硫化水素の発生状況とその推定

釧路開発建設部 根室農業事務所 第1工事課 ○堀崎 我久音  
渡邊 充  
山本 康仁

我が国を代表する大規模酪農地帯である別海町及び根室市では、国営環境保全型かんがい排水事業により肥培かんがい施設等を整備し、家畜ふん尿の適正な利活用とともに地域環境の負荷軽減を図っている。

本調査では、調整槽内における硫化水素の発生状況を分析した。また、コンクリートの防食設計を行う際に判断基準となる数値である「調整槽内の年平均硫化水素濃度」について、換算式の精度を高めるための検討を行った。

キーワード：環境保全型かんがい排水事業、肥培かんがい、硫化水素、防食対策

## 1. はじめに

調査対象の別海町及び根室市は、我が国を代表する大規模酪農地帯であるが、近年、乳用牛の多頭化に対応した粗飼料の生産量が確保されていないことに加え、増大する家畜ふん尿処理に多大な労力を要している。そのため、国営環境保全型かんがい排水事業により、家畜ふん尿の有効かつ適正な利用によって粗飼料の増収と地域の環境負荷軽減を図ることを目的として肥培かんがい施設を整備している。本事業は、別海町において、平成11年度～平成19年度に別海地区、平成17年度～平成27年度に別海南部地区、平成19年度～令和2年度に別海西部地区を実施し、平成24年度からは別海北部地区が着工している。また、根室市においては、平成25年度から根室地区が着工している。

肥培かんがい施設の構成要素の一つである調整槽は、流入口から送られてくるスラリーを発酵調整して腐熟させることを目的とする施設であるが、硫化水素の発生に伴う腐食環境にさらされており、コンクリートの劣化が懸念されるため、防食対策が必要である。肥培かんがい施設の防食設計については、塗布型ライニング工法を採用しているが、本工法は「年平均硫化水素濃度」に応じて塗布する規格が異なることから、整備前に、この濃度を推定する必要がある。

これまでは、別海西部地区の調整槽の槽内の年平均硫化水素濃度と、牛舎内にて採集した生ふん尿を室内試験で培養して発生させた硫化水素濃度を測定し、その比率から換算式を作成し、各牛舎内で採集した生ふん尿の培養試験結果を基に、調整槽内の平均硫化水素濃度を推定してきた。

しかしながら、当時の別海西部地区の調整槽は、①換気塔が未設置、②槽形状が四角形であり、現在、別海北部地区や根室地区で主流となっている換気塔設置、槽形状が八角形の構造と異なる。構造の変化に伴い、換算式に補正を加えているものの、その後検証した例は少ない。

そこで、近年に施工した施設における硫化水素の発生状況を、現地モニタリング及び室内培養試験の結果から分析するとともに、得られたデータを用いてこれまでの換算式について妥当性の検証を行い、換算式を更新した。

## 2. 肥培かんがい施設の概要

現在整備されている肥培かんがい施設の一般的な概要を図-1に示す。

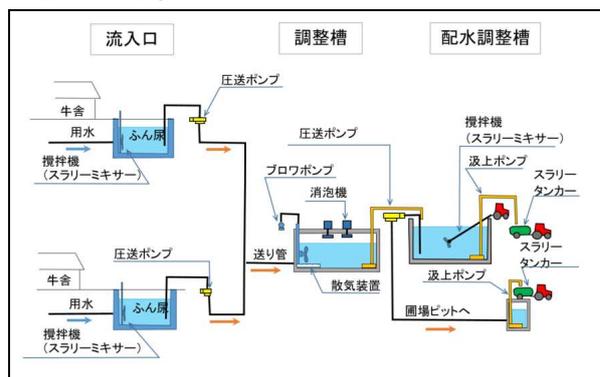


図-1 肥培かんがい施設概要

牛舎から排出されたふん尿は、流入口で3倍程度に希釈（ふん尿：水=1：2、スラリー化）され、調整槽へ圧送ポンプにより搬送される。搬送されたスラリーは、ブロウポンプによって曝気・攪拌し、均質に調整された後、

圧送ポンプで配水調整槽へ送られ、ここに貯留されたスラリーは、スラリータンカーでは場に散布される。

### 3. 硫化水素発生メカニズム

「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル(以下、防食マニュアル)」<sup>1)</sup>によると、硫化水素発生メカニズムは下記の通りである。

- ① 嫌気性状態の汚泥中での硫酸塩還元細菌による硫酸塩からの硫化物(H<sub>2</sub>S等)の生成(生物学的作用)
- ② 液相から気相への硫化水素の放散(物理学的作用)

調整槽において、スラリー中には硫黄が多量に含まれており、曝気時以外は液相が嫌気性であること、また、攪拌・曝気時に液相の硫化水素が気相へ放散されることから、硫化水素が発生すると考えられる。

### 4. 年平均硫化水素濃度の換算式と防食設計

#### (1)防食設計

調整槽内では硫化水素に対する防食設計が必要となる。防食マニュアルでは、「腐食環境分類」と「点検・修繕・改築の難易性」の双方に基づき、対策工法を選定している。このうち、腐食環境分類では、年平均硫化水素濃度によってI類からIV類に分類され、この分類によって、対策工法の規格が変わる。

防食マニュアルによると、施設の腐食環境は、表-1(左)に示す通りに分類する。これに点検・補修・改築の難易の判断基準を加え、表-1(右)に従い防食対策の工法規格を選定することになる。

表-1 腐食環境分類と防食対策工法選定(防食マニュアル抜粋)

| 分類   | 腐食環境             | 項目     | 工法規格* |    |    |
|------|------------------|--------|-------|----|----|
| I類   | 年平均硫化水素濃度50ppm以上 | 腐食環境分類 | I類    | D種 | -  |
| II類  | " 10ppm以上50ppm未満 |        | II類   | C種 | D種 |
| III類 | " 10ppm未満        |        | III類  | B種 | C種 |
| IV類  | 硫酸による腐食はほとんど生じない |        | IV類   | A種 | A種 |
|      |                  | 点検等の難易 | 容易    | 困難 |    |

\*: 地区の実績より塗布型ライニング工法を採用

肥培かんがい施設の新設調整槽についても、この選定方法に順じ、対策工法規格(塗布型ライニング工法)を選定している。

また、点検等の難易についての判断は、①調整槽を一時的に休止できること、②仮施設が不要であること、③調整槽開口部での点検が可能であることから、「容易」を採用している。

以上より、例えば、年平均硫化水素濃度が30ppmの施設の場合、工法規格がC種と設定される。

#### (2)換算式による年平均硫化水素濃度の推定

これまで用いてきた年平均硫化水素濃度の換算式は、

平成25年度に測定された別海西部地区の1施設の調整槽内年平均硫化水素濃度と同施設において平成27年度に分析された室内培養試験結果より作成されている。

本施設の年平均硫化水素濃度は31ppm、室内培養試験は1,300ppmであり、これを除した値(0.024)が換算係数である。ただし、本施設は①換気塔が未設置、②曝気時間が設計指針10時間/日に対し3時間/日という条件であったため、換気塔の硫化水素低減比(1/2)と曝気時間の増加比(10/3)を係数に乗じて換算係数を補正(0.040)している。なお、換気塔の硫化水素低減比は、過年度実施した同一施設における換気塔設置前後の値から算出したものである。

年平均硫化水素濃度

$$= \text{室内培養試験結果} \times 31/1300 \times (1/2) \times (10/3)$$

$$= \text{室内培養試験結果} \times 0.040$$

### 5. 調査概要

本調査では、別海北部地区と根室地区の各1施設(X、Y)の合計2施設において下記に示す硫化水素濃度測定及び室内培養試験を実施した。

#### (1)現地モニタリング調査(調整槽内硫化水素濃度測定)

調整槽内硫化水素の濃度は、調整槽開口部にガステック社製の電位電解式硫化水素測定器GHS-8ATを設置し、既設調整槽内のガスをポンプ吸引して測定した(図-2)。

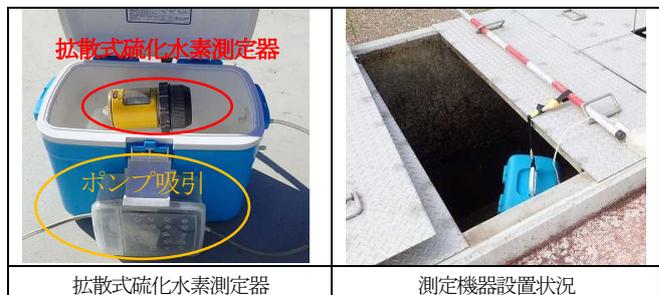


図-2 槽内硫化水素測定状況

データの記録は、2秒に1回測定される瞬時値を収集し、それらの値を10分間隔で平均化した。

測定時期は9月とし、24時間連続で計測した。その後、過年度業務で実施した結果から得られた下式を用いて測定結果を年平均硫化水素濃度に変換した。

$$y=0.63x$$

x: 9月の日平均濃度、y: 年平均濃度

調査時には肥培かんがい施設の諸設定条件である曝気時間、曝気回数及びスラリー温度を確認した。

## (2)室内培養試験の方法

各施設の牛舎や一次ピットにおける生ふん尿及び調整槽スラリーを採集し、下記の通り室内培養試験を行った。

- ① 前処理として牛舎より採取した生ふん尿を肥培かんがい計画に示される3倍に希釈し、200mL容量のポリビンに100mLずつ充填して密閉する。調整槽スラリーは希釈を行わず、そのまま試験に供した。
- ② ポリビンに封入したふん尿等を30℃の温度条件下に静置し、それぞれ15時間培養する(図-3 左)。
- ③ 15時間培養した後、ポリビンを1分間振とうする。
- ④ 液面が落ち着くまで静置する。
- ⑤ ポリビン中の液面でない上部の空間(ヘッドスペース)に拡散した硫化水素を、検知管式気体測定器(株式会社ガステック:GV-100型)及び検知管(株式会社ガステック:硫化水素)によって速やかに硫化水素濃度を測定する(図-3 右)。

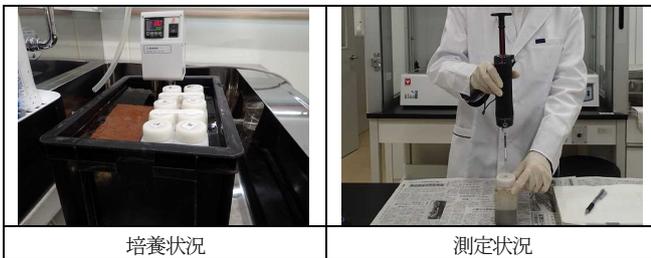


図-3 室内培養試験における硫化水素測定状況

本測定方法は、水産加工排水の硫化水素量を把握した福代ら(1998)<sup>2)</sup>の測定手順(ヘッドスペース法)を参考にした。なお、本施設では、スラリー腐熟指標を液温30℃としているため、培養温度を30℃とした。

また、本培養試験は、生ふん尿の採集を施設整備前に、調整槽スラリーの採集を整備後の上述した(1)現地モニタリング調査と同時期に実施した。

## 6. 結果と考察

### (1)現地モニタリング調査(調整槽内硫化水素濃度測定)

調整槽内硫化水素濃度を表-2に、曝気回数などの施設諸設定条件を表-3に示す。なお、表-2では、日平均硫化水素濃度の実測値を元に、過去の業務成果の結果から、日平均の値を年平均に換算した。

また、各施設の硫化水素の発生状況の推移を図-4と図-5に示す。

図-4と図-5に示す通り、ブロウポンプ及び流入口ポンプ稼働時に硫化水素が発生し、停止後速やかに低下する傾向がみられた。ただし、曝気時の硫化水素濃度は一定ではなく、例えばX施設では100ppmを超える場合や50ppmを下回る場合など不規則である。

日最大槽内硫化水素濃度は、59~126ppmで施設毎で異なるが、日平均は6~7ppmと作業許容値である10ppm未満であった。また、過去の業務成果を参考に、今回実測した日平均硫化水素濃度の値を年平均槽内硫化水素濃度に変換した。年平均硫化水素濃度の値は3.8~4.4ppmと推定された。

曝気時間は、いずれの施設も4時間/日、曝気回数は6~7回/日であり、1回当たりの曝気時間が15~45分であった。図-4や図-5に示す通り、曝気・攪拌時等に硫化水素が発生していることから、曝気回数や曝気時間といったスラリーの流動に関わる因子が硫化水素発生量に影響を及ぼしていると判断できる。

なお、スラリーの液温は2施設とも30℃以上の値であったため、発酵が進んでおり、スラリーが腐熟している状態だと考えられた。

表-2 槽内硫化水素濃度

| 地区   | 施設 | 調査日     | 槽内硫化水素濃度(ppm) |     |     |
|------|----|---------|---------------|-----|-----|
|      |    |         | 日最大           | 日平均 | 年平均 |
| 別海北部 | X  | 9/15-16 | 126           | 7   | 4.4 |
| 根室   | Y  | 9/16-17 | 59            | 6   | 3.8 |

表-3 硫化水素発生量に関わる諸条件

| 地区   | 施設 | 曝気時間(時間/日) | 曝気回数(回/日) | 調整槽スラリー液温(℃) |
|------|----|------------|-----------|--------------|
| 別海北部 | X  | 4          | 6         | 34.3         |
| 根室   | Y  | 4          | 7         | 30.5         |

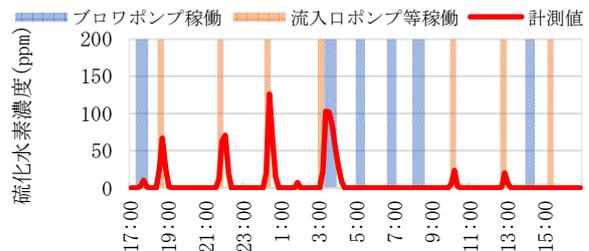


図-4 X施設における槽内硫化水素濃度の発生状況

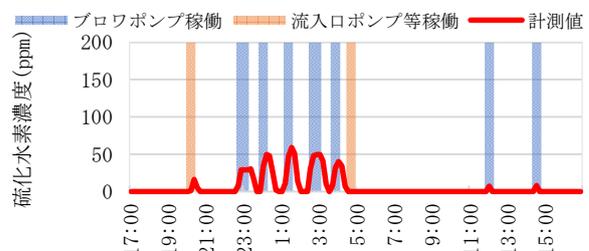


図-5 Y施設における槽内硫化水素濃度の発生状況

### (2)室内培養試験

室内培養試験結果を表-4に示す。生ふん尿(3倍希釈)の硫化水素濃度は180~400ppm、調整槽スラリーが

270～300ppmであった。

表-4 室内培養試験による硫化水素濃度

| 地区   | 施設 | 室内培養試験 硫化水素濃度 (ppm) |         |
|------|----|---------------------|---------|
|      |    | 生ふん尿 (3倍希釈)         | 調整槽スラリー |
| 別海北部 | X  | 400                 | 270     |
| 根室   | Y  | 180                 | 300     |

硫化水素濃度は、畜種(牛、豚など)によって大きく異なることが知られているが<sup>3)</sup>、同じ乳牛であっても、フリーストールやつなぎといった飼養形態、ロボット搾乳やパーラー搾乳といった搾乳形態、与える飼料の種類や配合割合などの組み合わせの違いがふん尿の性状の違いとなつて、硫化水素濃度の発生量に差をもたらしているものと推測される。

### (3) 調整槽内の年平均硫化水素発生濃度の推定

上記までの調査結果について、比較検討を行い、調整槽内の硫化水素濃度の換算式の精度を確認し、塗布型ライニング工法の選択の妥当性について確認した(表-5)。なお、実測値の曝気時間は4時間曝気であるのに対し、換算式は10時間を想定しているため、実測値に過年度同様、曝気時間の増加比(10/4)を用いて補正した。

実測による年平均硫化水素濃度(10時間曝気)はX施設およびY施設でそれぞれ11.0ppmおよび9.5ppm、生ふん尿の室内培養試験結果を既往の換算式に当てはめて算出した年平均硫化水素濃度はそれぞれ16.0ppmおよび7.2ppmであった。

年硫化水素濃度から設定される塗布型ライニング工法は、既往の換算式ではX施設でC種、Y施設でB種であったのに対し、実測値でも同様にX施設でC種、Y施設でB種となり、いずれも一致する結果となった。

表-5 実測と換算式による年平均硫化水素濃度

| 地区   | 施設 | 実測による年平均硫化水素濃度 (ppm) |        | 換算式による年平均硫化水素濃度 (ppm) |
|------|----|----------------------|--------|-----------------------|
|      |    | 4時間曝気                | 10時間曝気 | 既往式                   |
| 別海北部 | X  | 4.4                  | 11.0   | 16.0                  |
| 根室   | Y  | 3.8                  | 9.5    | 7.2                   |

これらのことから、過年度に作成した換算式に基づくライニング工法の選択は妥当であったと考えられる。

しかしながら、曝気時間について、これまで10時間曝気を前提として換算しているが、今回調査した2施設については4時間曝気でもスラリーの発酵が進んだ状態であった。曝気時間を10時間と想定して、硫化水素の発生を換算する考え方は、運用実態を考えると、やや安全側に寄ってライニング工法を判断している可能性がある。

続いて、本年度の調査結果の2施設の平均値(槽内年平均硫化水素濃度=4.1ppm、室内培養試験硫化水素濃度

=290ppm)より、換算式の更新を行った。なお、ここでも過年度同様、曝気時間の増加比(10/4)を用いている。

年平均硫化水素濃度

$$= \text{室内培養試験結果} \times 4.1/290 \times (10/4)$$

$$= \text{室内培養試験結果} \times 0.035$$

過去の換算式は、換気塔による硫化水素濃度の低減効果を1/2と仮定して作成されたものであるため、今回のように換気塔設置施設での測定結果を反映させた換算式は、過年度のもの比べてより実態に即していると思われる。

## 7. まとめ

今回の調査で、別海北部地区及び根室地区における肥培かんがい施設の調整槽内硫化水素の発生状況を分析した。また、過年度作成した調整槽内年平均硫化水素濃度の換算式の妥当性を確認し、今回の調査結果より換算式を更新した。

今回調査対象とした2施設に関しては、適切な防食対策が実施されていると考えられ、開口部を見る限りでは腐食・劣化は確認されなかった。また、今回調査した施設では、曝気時間が目安より短くてもスラリーの発酵が進んでいたことが分かったため、今後も適切な曝気時間について再度検証し、硫化水素濃度の換算式に反映しつつ、ライニング工種をより適切に判断していきたい。

なお、調整槽内の現地モニタリング調査の結果、X施設において硫化水素濃度が最大126ppmであった。硫化水素濃度は、10ppm以下が厚生労働省の定める槽内作業許容値であり、20ppmを超えると呼吸障害や肺水腫といった症例を引き起こし、350ppmで生命の危険が生じるとされる。加えて、硫化水素は独特な臭気を発するが、100ppm以上の高濃度になると、嗅覚神経は麻痺して逆に硫化水素の不快感を感じなくなり、危険からの警戒が薄れるとされる<sup>4)</sup>。毎春、施設管理者に対して、当事務所の職員が直接パンフレットを渡して説明する等の危険周知活動を行っているが、ブロワポン稼働時には、例え臭いがなくても調整槽のフタを開けてのぞき込まない等の事項を具体的に資料に盛り込み、施設管理者への防災意識をより高めていきたい。

### 参考文献

- 1) 日本下水道事業団(2017) : 下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル
- 2) 福代悦男ら(2000) : 水産加工排水における硫化水素の抑制条件について
- 3) 一般社団法人 畜産環境整備機構(2020) : 畜産悪臭対策マニュアル
- 4) 中央労働災害防止協会(2001) : 酸素欠乏危険作業主任者テキスト