

ふん尿スラリー調整時における硫化水素の抑制に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：令4～令6

担当チーム：資源保全チーム

研究担当者：中山博敬、酒井美樹、横濱充宏
佐藤善文、松田俊之

【要旨】

国営環境保全型かんがい排水事業で整備する肥培灌漑施設では、ふん尿スラリーを調整槽で毎日数時間曝気する。曝気に伴い硫化水素ガスがふん尿スラリー中から気中に拡散して調整槽内部のコンクリートを劣化させる。そこで本研究では、ふん尿スラリー調整時の硫化水素発生を抑制する運転制御技術を提示する。検討の結果、調整槽液温を30以上に維持できる7時間曝気を行うと、硫化水素ガス濃度平均値は目標値の50ppmを概ね下回った。また、曝気時間を短くすることで調整槽気相の硫化水素ガス濃度平均値を一時的に下げることができるが、その効果は持続しないことが明らかとなった。したがって、肥培灌漑施設の運転管理目安である調整槽液温30以上を指標に曝気時間を設定することが、硫化水素ガス抑制の観点からも重要である。

キーワード：肥培灌漑施設、曝気、硫化水素ガス、調整槽液温

1. はじめに

北海道の冷涼な気候は酪農業に適しており、特に北海道東部では酪農経営体の規模拡大が進行している。この地域では、乳牛が排泄するふん尿を圃場に還元して自給飼料栽培時の肥料に利用しており、家畜ふん尿の有効活用と地域の環境保全を目的とした国営環境保全型かんがい排水事業が実施されている。この事業で整備される肥培灌漑施設（図-1）では、流入口で乳牛のふん尿スラリーを灌漑用水で希釈した後、調整槽で空気を送り込み（以下、曝気と表記）好気性発酵を促す。ふん尿スラリーを曝気処理することで、有機物が分解して流動性が向上し、臭気は低下する¹⁾。曝気は、搾乳施設などが稼働していない夜間に毎日数時間実施するが、それ以外の時間帯は嫌気状態となる。ふん尿スラリーが嫌気状態になると硫化水素が発生し、曝気に伴いふん尿スラリー中から気中に拡散して調整槽内部のコンクリート面の結露に溶け込む。溶け込んだ硫化水素は、硫酸化細菌によって硫酸になり、コンクリートを劣化させる²⁾。曝気時間を長くすればふん尿スラリーの嫌気状態の時間を短くできるが、早朝、夜間に搾乳を行うため、現況以上の長時間曝気は難しい。逆に、曝気時間を短くすることで気中に拡散する硫化水素ガス濃度を抑制できる可能性があるが、それらを検討した事例はない。

そこで本研究では、肥培灌漑施設で連続測定した硫化水素ガス濃度のデータを用いて、曝気時間と調整槽気相の硫化水素ガス濃度の関係を検討し、硫化水素発

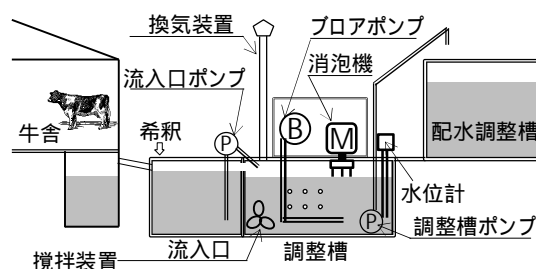


図-1 肥培灌漑施設の概要

生を抑制する運転制御技術を提示する。

2. 方法

2.1 調査施設の概要

調査対象施設は、2016年度末に稼働を開始した北海道東部に位置する肥培灌漑施設である。流入口槽内の底面積は8.4m²、調整槽の形状は八角形で槽内の底面積は115.4m²、底面から槽内天端までの高さは4mである。調整槽内へ空気を送るフロアポンプは1台設置されている。調整槽内には、ふん尿スラリーを攪拌するための調整槽攪拌機、ふん尿スラリー内に空気を拡散するための散気管、調整槽から配水調整槽へふん尿スラリーを移送するための調整槽ポンプがそれぞれ1台設置されている。この施設では、2024年7月2日に水位センサーが故障し、調整槽内の調整液がすべてくみ出されるトラブルが発生した。水位センサーの修理後、7月12日から曝気を開始したが、調整槽内が安定するまでを1ヶ月と考え、8月11日までのデータは検討が

ら除外した。除外する期間を1ヶ月とした理由は、過年度に調査したふん尿投入量 13.0m³/日から求めた滞留日数が約1ヶ月のためである。

2.2 硫化水素ガス濃度および液温の測定

硫化水素ガス濃度の測定には拡散式硫化水素測定器（GHS-8AT、(株)ガステック）を用いた（以下、H₂S 測定器と表記）。H₂S 測定器は調整槽内に吊り下げ、2秒毎の瞬時値の1分平均値を記録した。H₂S 測定器は約30日毎に回収し、校正済のH₂S 測定器を再設置した。

液温は、流入口および調整槽それぞれにおいて、ステンレス保護管付き Pt100 センサーで測定した。測定値は、地上部に設置した小型防水データロガー（TR-55i-Pt、ティアンドデイ）に記録した。また、施設近傍で外気温を測定した。測定間隔は5分である。なお、2022年12月の外気温および2024年5~6月の流入口液温は測定器の故障により欠測となった。

2.3 曝気時間の設定

表-1 に曝気時間の変更履歴を示す。曝気時には肥培灌漑施設の電力消費量が最も多くなるため、搾乳施設などが稼働していない深夜に曝気を行う。調整槽水位計が故障する前の2024年6月14日までと水位計修理後の7月12日から8月21日は7時間の連続曝気を行い、8月21日から10月17日までは3.5時間の連続曝気に変更し、10月17日以降は7時間の連続曝気に戻

表-1 曝気時間の変更履歴

期間	曝気時間日合計 (h/d)	曝気時間帯
2021/1/27 ~ 2024/6/14	7.0	21:00 ~ 4:00
6/14 ~ 7/2	3.5	22:30 ~ 2:00
7/12 ~ 8/21	7.0	21:00 ~ 4:00
8/21 ~ 10/17	3.5	22:30 ~ 2:00
10/17 ~	7.0	21:00 ~ 4:00

した。なお、6月14日から曝気時間を3.5時間の連続曝気に変更していたが、7月2日に水位センサーの故障により調整槽内の調整液がすべてくみ出されたため、この期間は検討から除外する。

3. 結果

3.1 外気温および液温

図-2 に2022年4月以降の調整槽液温、流入口液温および外気温の推移を示す。この施設では2021年1月27日から7時間連続曝気を継続している。2024年6月14日までの調整槽液温の推移を見ると、2024年3~4月に30以下となったものの、それまでは冬期も30以上を維持している。水位センサーの修理を終えた後に7時間連続曝気を行った7月12日から8月21日は、調整槽液温が40近くまで上昇している。その後、3.5時間連続曝気を行った8月21日からは調整槽液温が低下し続け、9月17日には30を下回ったが、7時間連続曝気に変更した10月17日以降は上昇に転じた。

3.2 硫化水素ガス濃度の推移

3.2.1 調整槽内硫化水素ガス濃度の日変化

調整槽気相の硫化水素ガス濃度は、施設の稼働状況によって大きく変動する。そこで、図-3 に7時間連続曝気期間中の硫化水素濃度の日変化を示す(2024年11月2日12:00~11月3日11:59)。曝気は、搾乳施設などが稼働していない深夜の21時~4時に実施しており、曝気開始直前の硫化水素濃度は0ppmであったが、曝気開始直後に急上昇した。曝気継続中は硫化水素濃度が徐々に低下し、曝気終了とともに0ppmまで低下した。12時30分、15時30分、18時30分、5時30

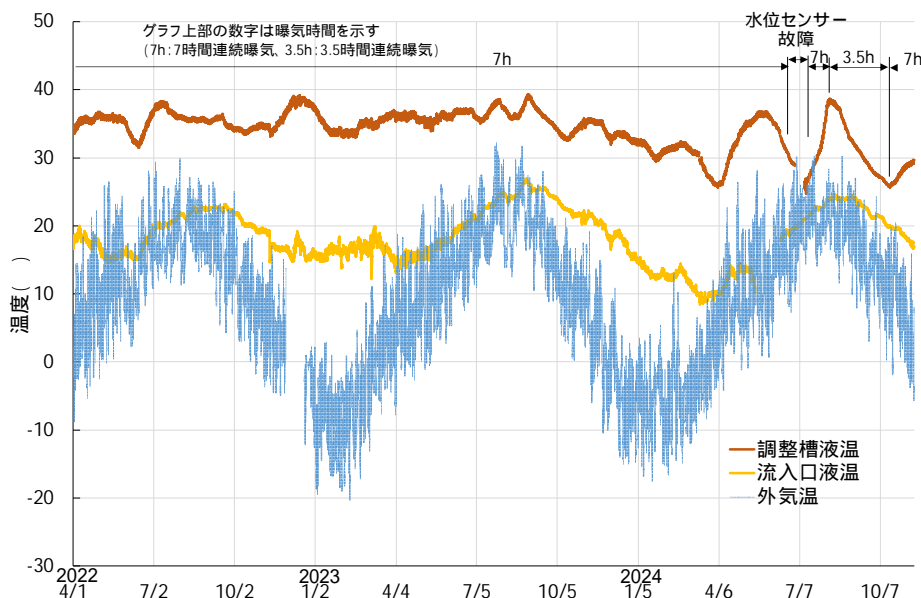


図-2 液温および外気温の推移

分、9時30分に短時間、硫化水素濃度が上昇しているが、これは、調整槽に隣接する流入口の攪拌ポンプ稼働し、流入口で発生した硫化水素が調整槽に移流したためである。その他の時間帯は概ね0ppmを示した。

3.2.2 H₂S 測定器交換毎の硫化水素ガス濃度平均値

前述のように、調整槽気相の硫化水素ガス濃度は大きく変化するため、以後、一定期間毎の硫化水素ガス濃度平均値を用いてデータを整理する。表-2にH₂S測定器交換毎の硫化水素ガス濃度平均値を示す。測定期間が2024年8月21日～10月17日は曝気時間が3.5時間であり、その他の期間は7時間である。曝気時間が7時間の場合、2022年10月18日～11月19日の硫化水素ガス濃度平均値が70.6ppmと最も高い値を示したが、その他の測定期間では平均値が30～50ppm程度であった。曝気時間が3.5時間の場合、曝気時間を7時間から3.5時間に切り替えた直後の2024年8月21日～9月4日の平均値が25.4ppmと低い値を示したが、9月4日～10月6日の平均値は31.9ppm、10月7日～10月17日の平均値は46.0ppmと徐々に上昇した。

3.2.3 曝気時間中の硫化水素ガス濃度平均値

3.2.1で述べたように、調整槽気相の硫化水素ガス濃度は、主に曝気実施時に上昇する。そこで、曝気時間を3.5時間に変更した期間と、その前後の7時間曝気時における曝気中の硫化水素ガス濃度平均値を図-4に示す。2024年8月12日～8月21日の7時間曝気中硫化水素ガス濃度平均値は100～150ppmであった。曝気時間を3.5時間に変更した8月22日以降は、始めは7時間曝気中と同程度の平均値を示したが徐々に上昇し、3.5時間曝気終了時の10月17日には平均値が約270ppmになった。その後、7時間曝気に変更したところ平均値は低下し続け、100ppm前後で推移した。

4. 考察

肥培灌漑施設における曝気の目的は、好気性細菌の活動によってふん尿スラリーの腐熟を促進することである。微生物(中温菌)の活動に適した温度は30～37と言われており³⁾、肥培灌漑施設の運転では調整槽液温を30以上にすることを目安としている⁴⁾。調査対象施設では7時間の連続曝気を行うことで調整槽液温を30以上に維持できている。なお、2024年4月に一時的に30以下に液温が低下しているが、この原因は流入口液温の低下によるものであり、流入口液温の上昇に伴って調整槽液温は上昇に転じている。また、曝気時間を3.5時間に変更した場合には調整槽液温が徐

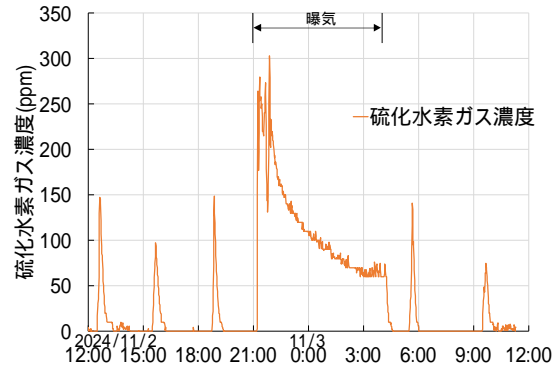


図-3 調整槽気相の硫化水素ガス濃度の日変化

表-2 硫化水素ガス濃度平均値(H₂S 測定器交換毎)

測定期間	硫化水素ガス濃度平均値 (ppm)	測定期間	硫化水素ガス濃度平均値 (ppm)
2022/4/26～5/24	28.9	9/6～10/8	44.3
6/15～7/17	40.0	10/11～12/9	46.9
7/29～8/30	34.2	12/13～2024/1/14	47.9
9/14～10/11	51.4	2024/1/17～2/18	49.8
10/18～11/19	70.6	2/21～3/14	52.8
11/29～12/20	41.9	3/14～4/12	53.0
12/27～2023/1/28	41.7	4/12～5/14	49.2
2023/2/28～3/23	47.1	5/16～6/13	35.1
3/23～4/24	45.8	8/12～8/21	41.4
4/25～5/26	49.8	8/21～9/4()	25.4
5/26～6/27	43.6	9/4～10/6()	31.9
6/29～7/31	38.5	10/7～10/17()	46.0
8/1～9/2	45.6	10/17～11/8	50.4

() : 3.5時間連続曝気

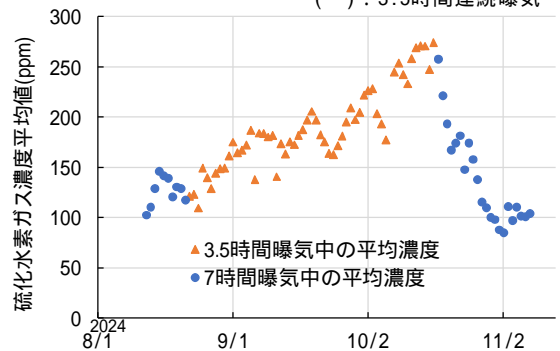


図-4 曝気中の硫化水素ガス濃度平均値

々に低下し、約1ヶ月後には30以下となった。これは、曝気時間を短くしたことで、好気性発酵の発熱量が不足したためであり、3.5時間曝気を継続すると、調整槽液温を30以上に維持することはできない。

硫化水素ガス濃度の時間変化は、曝気開始直後に急上昇し、曝気中に徐々に濃度が低下していく。これは、曝気していない嫌気状態の時間帯に調整液中で生じた硫化水素が、曝気によって気中に拡散するため、曝気直後の硫化水素ガス濃度が急上昇すると考えられる。また、曝気によって調整液中の硫化水素は減少するため、気中の硫化水素ガス濃度も低下すると考えられ

る。

H₂S 測定器交換毎の硫化水素ガス濃度平均値をみると、曝気時間を 3.5 時間に変更する直前の 2024 年 8 月 12 日～8 月 21 日の平均値 41.4ppm に対し、3.5 時間に変更直後の 8 月 21 日～9 月 4 日の平均値は 25.4ppm に低下している。すなわち、曝気時間を短くすると気中への硫化水素拡散時間が短くなるため、測定期間の平均ガス濃度が低下すると考えられる。しかしながら、3.5 時間の曝気を継続したところ、9 月 4 日～10 月 6 日の平均値が 31.9ppm、10 月 7 日～10 月 17 日の平均値が 46.0ppm と、徐々に上昇する結果となった。そこで、曝気中の硫化水素ガス濃度平均値を算出したところ、3.5 時間曝気に変更した 8 月 21 日以降の数日間は 100～150ppm であったがその後徐々に上昇し、58 日後の 10 月 17 日には約 270ppm に達した。その要因は、曝気時間を短くすることで、調整液から気中に押し出される硫化水素の総量が少なくなり、また、調整液の嫌気状態の時間が長くなることで硫化水素発生量が増え、この両者の影響で調整液中の硫化水素の蓄積量が増加して徐々にガス濃度平均値が上昇したと考えられる。7 時間曝気に変更した 10 月 18 日以降の曝気中の硫化水素ガス濃度平均値は急速に低下した後、3.5 時間曝気開始前の 7 時間曝気時と同様の 100ppm 前後で推移した。今回の現地試験では調整槽液温が約 26℃まで低下したため曝気時間を 7 時間に戻したが、3.5 時間曝気を継続した場合には、曝気中の硫化水素ガス濃度平均値がさらに上昇することも考えられる。その場合、一定期間の硫化水素ガス濃度平均値は 50ppm 以上となる可能性がある。

以上のことから、安定した運転を維持している肥培灌漑施設においては、曝気時間を短くすることで調整槽気相内の硫化水素ガス濃度平均値を一時的に下げることができるが、その効果は持続しないことが明らかとなった。また、短い曝気時間を長期間継続すると液温が低下し続けた状態が続くため、微生物の活性への影響が懸念される。

硫化水素ガスによるコンクリート腐食は下水道施設で課題となっており、肥培灌漑施設では下水道の防食技術マニュアル²⁾を参考にコンクリート部材の防食被覆が施されている。下水道の防食技術マニュアルでは、年間平均硫化水素ガス濃度別に防食被覆の基準を示しており、年間平均硫化水素ガス濃度が 50ppm 以上の環境を最も劣悪な環境に分類している。調査対象施設では、表-2 に示したとおり曝気時間が 7 時間の硫化水素ガス濃度平均値は概ね 50ppm を下回っている。した

がって、肥培灌漑施設の運転管理目安である調整槽液温 30℃以上を指標に曝気時間を設定(調査対象施設の場合 7 時間)することが、硫化水素ガス抑制の観点からも重要と考えられる。

5. まとめ

国営環境保全型かんがい排水事業で整備する肥培灌漑施設では、ふん尿スラリーを調整槽で毎日数時間曝気する。曝気に伴い硫化水素ガスがふん尿スラリー中から気中に拡散して調整槽内部のコンクリートを劣化させる。曝気時間を変えることで、気中に拡散する硫化水素ガス濃度を抑制できる可能性があるが、それらを検討した事例はない。そこで本研究では、肥培灌漑施設で連続測定した硫化水素ガス濃度のデータを用いて、曝気時間と調整槽気相の硫化水素ガス濃度の関係を検討した。その結果、曝気時間を短くすることで調整槽気相の硫化水素ガス濃度平均値を一時的に下げることができるが、その効果は持続しないことが明らかとなった。また、調査対象施設では、調整槽液温を 30℃以上に維持できる 7 時間曝気時の硫化水素ガス濃度平均値は、下水道の防食技術マニュアルで最も劣悪な腐食環境に分類される 50ppm を概ね下回った。したがって、肥培灌漑施設の運転管理目安である調整槽液温 30℃以上を指標に曝気時間を設定することが、硫化水素ガス抑制の観点からも重要である。

参考文献

- 1) Juzo MATSUDA, Akinori TAKEKAWA and Jun-ichi HIMOTO : Aeration and Slurrigation of Slurry Separated from Daily Cattle Manure, Journal of the Society of Agricultural Structures, Japan, Vol.25, No.4, pp.209-214, 1995.
- 2) 地方共同法人日本下水道事業団：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、2017.
- 3) 押田敏雄、柿市徳英、羽賀清典：新編畜産環境保全論、養賢堂、p.57、2012.
- 4) 村上功、西脇康善：環境保全型かんがい排水事業における肥培施設整備後の効果検証 - 第九報 -、第 59 回(2015 年度)北海道開発技術研究発表会、技 79、2016.

STUDY ON SUPPRESSION OF HYDROGEN SULFIDE DURING AERATION OF MANURE SLURRY

Research Period: FY2022-2024

Research Team: Rural Resources Conservation Research Team,
Cold-Region Agricultural Development Research
Group

Author: NAKAYAMA Hiroyuki

SAKAI Miki

YOKOHAMA Mitsuhiro

SATO Yoshinobu

MATSUDA Toshiyuki

Abstract: At a slurry irrigation facility that was constructed under the National Environmental Conservation Irrigation and Drainage Project, manure slurry is aerated in an equalization tank to decompose organic matter, improve flowability, and reduce odor. The aeration is performed for several hours each day, but during the rest of the day, the slurry becomes anaerobic and hydrogen sulfide is generated, which diffuses from the slurry into the air with aeration, causing the concrete inside the equalization tank to deteriorate. It may be possible to suppress the diffusion of the hydrogen sulfide gas into the air by shortening the aeration period, but no studies have investigated this. In this study, we examine the relationship between the aeration period and the hydrogen sulfide gas concentration in the vapor phase of an equalization tank using a data set on hydrogen sulfide concentration that was continuously measured at a slurry irrigation facility.

It was found that shortening the aeration period can temporarily lower the average hydrogen sulfide gas concentration in the equalization tank during the vapor phase, but that the effect is not sustained. At the facility under the current study, the average hydrogen sulfide gas concentration during seven-hour aeration, when the equalization tank liquid temperature could be maintained at 30°C or higher, was generally below 50 ppm, which a manual on corrosion control technologies for sewerage systems classifies as the most corrosive environment. Therefore, from the viewpoint of hydrogen sulfide gas suppression, it is important to set the aeration period based on an equalization tank liquid temperature of 30°C or higher, which is a guideline for the operation and management of slurry irrigation facilities.

Keywords: Slurry Irrigation Facilities, Aeration, Hydrogen Sulfide Gas Concentration, Temperature in the Equalization Tank