

大規模酪農地帯における効率的なふん尿スラリー調整技術の開発

一泡の溢流を防止しながらスラリーを腐熟させる運転方法について

国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 資源保全チーム ○中山 博敬
国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 資源保全チーム 酒井 美樹
国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 道東支所 大山 武士

肥培灌漑施設では乳牛のふん尿スラリーを曝気して腐熟させる。筆者らは、夜間の連続曝気による調整液の臭気低減効果を明らかにするため、現地で稼働中の肥培灌漑施設を用いた実証試験を2020年8月から行った。その結果、定期的に採取した調整液のpHは、曝気前のふん尿スラリーのpHよりも高い値を示した。また、調整液の臭気指数は、冬期を除き曝気前のふん尿スラリーよりも小さい値を示した。配水調整槽調整液の臭気指数は、2021年夏期には18~22を示し、悪臭防止法で規制を設ける場合の目安である臭気指数20程度まで低下した。さらに、2021年夏期には調整槽内の泡が少なくなる状況が認められた。

キーワード：肥培灌漑、消泡機、曝気時間

1. はじめに

北海道東部の酪農地帯では、家畜ふん尿の有効活用と地域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施設の一つに肥培灌漑施設(図-1)がある。この施設では、乳牛のふん尿スラリーを灌漑用水で希釈して空気を送り込むこと(以下、曝気と表記)でふん尿スラリーの腐熟が促進され、ふん尿スラリーの流動性向上や臭気低減が図られる。その後、配水調整槽に貯留された調整液(曝気処理されたふん尿スラリー)は肥料として圃場へ散布される。

筆者らは、曝気による臭気低減効果について、室内実験装置を用いた試験を行ってきた。その結果、間欠曝気よりも連続曝気の臭気低減効果が大きいことが明らかとなった¹⁾。そこで筆者らは、夜間の連続曝気による調整液の臭気低減効果について、現地で稼働中の肥培灌漑施設を用いた実証試験を行った。本稿では、ふん尿スラリーおよび調整液の臭気指数の変化を整理し、泡溢流を

防止しながらふん尿スラリーを腐熟させる運転方法について報告する。

2. 方法

(1) 調査対象施設の概要

調査対象施設は、北海道別海町において2018年度末に稼働を開始した肥培灌漑施設である(写真-1)。流入槽内の底面積は10.2m²である。調整槽の形状は、八角形で槽内の底面積は135.6m²、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ブローポンプは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。調整槽上部には、これらの機器を調整槽へ出し入れする開口部が2カ所ある。点検時以外は、開口部は金属製の蓋で覆われている。

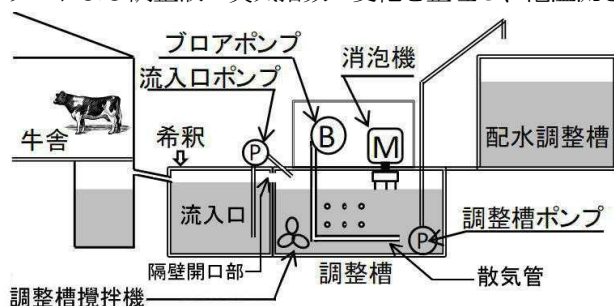


図-1 肥培灌漑施設



写真-1 調査対象施設の外観

各機器の稼働時間は電源タイマーで制御されている。ただし、調整槽ポンプの起動には、水位計コントローラーの信号発信と調整槽ポンプの電源タイマーON両方の条件が必要である。なお、水位計コントローラーの信号は、調整槽内の水位が3.1m以上になると発信され、水位が3.0m以下になると停止する。

(2) 液温測定

液温は、流入口および調整槽それぞれにおいて、底面から上方へ2mの位置で測定した。写真-2に温度センサーの設置状況を示す。肥培灌漑施設ではセンサーやケーブルの劣化が著しいため、園芸用支柱にステンレス保護管付きPt100センサーを取り付け、定期的にセンサーを交換することとした。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。液温および気温測定間隔は5分である。

(3) ふん尿スラリー性状モニタリング

2020年8月から約1ヶ月毎に、流入口および調整槽のふん尿スラリーおよび調整液を採取してpHを測定した。また、2021年春期、夏期には配水調整槽の調整液を採取した。採取した液は、1Lポリビンに保存して冷蔵状態で寒地土木研究所に輸送し、採取翌日に全固形物(TS)濃度および臭気を測定した。

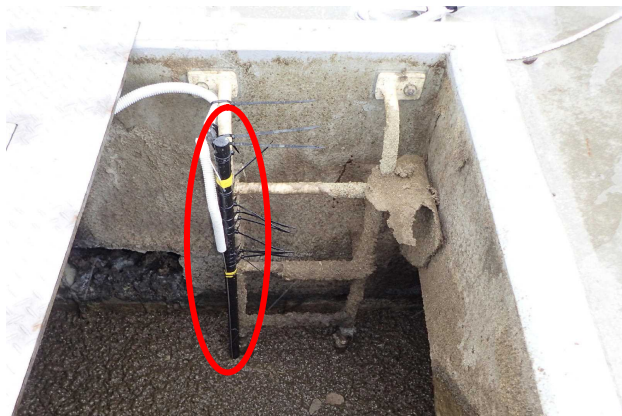


写真-2 温度センサーの設置状況 (赤丸部分)

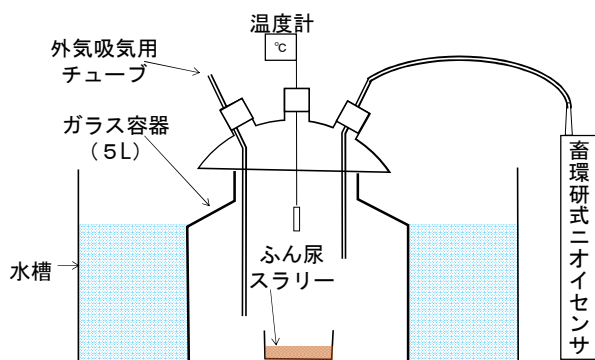


図-2 臭気測定装置の概要

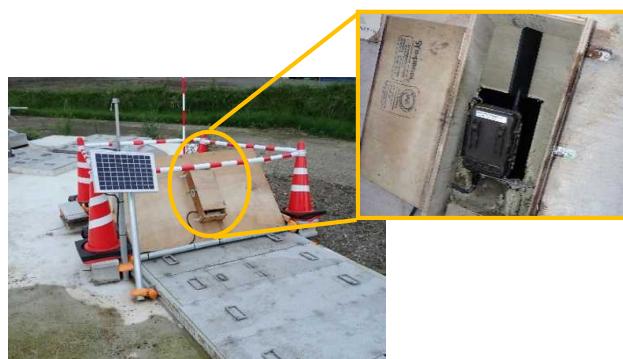


写真-3 インターバルカメラ設置状況

臭気の測定には、図-2に示す約20℃の水槽内に静置した装置を用いた。畜環研式ニオイセンサは、(財)畜産環境整備機構畜産環境技術研究所が市販のニオイセンサを用いて畜産臭の臭気指数を表示できるようにした測定器である²⁾。臭気の測定手順は、以下の通りである。ポリビン入りのふん尿スラリーおよび調整液を約20℃の恒温槽内に2時間以上静置する。その後、臭気測定直前にスラリー50gをプラスチック容器に入れてガラス容器内に静置し、速やかにガラス容器の蓋を閉め、5分後の臭気指数を記録する。

(4) 調整槽内の泡発生状況のモニタリング

調整槽内の泡発生状況のモニタリングは、インターバルカメラ（HCLT4G、(株)ハイク）で行った。このカメラは赤外線フラッシュによる暗部での撮影ができる。そこで写真-3のように調整槽開口部の蓋を一部撤去して木製の覆いを被せ、インターバルカメラを斜め下方に向けて取り付け、消泡機周辺の調整槽内部を撮影した。

(5) 曝気時間の設定

曝気時間は、2020年12月18日までは22時30分から5時30分の7時間、12月19日以降は21時30分から5時30分の8時間に設定した。なお、曝気時間中に調整槽ポンプまたは流入口ポンプが稼働した場合には、電力消費のピーク上昇を防ぐため、ブローポンプが一時的に停止する場合がある。

3. 結果および考察

(1) 外気温および液温

図-3に外気温および流入口、調整槽の液温の推移を示す。7時間の連続曝気を行った2020年8月では調整槽液温が40℃を超え、好気発酵による発熱で液温が高くなっていた。その後、外気温の低下に伴い流入口および調整槽の液温も低下したが、流入口の液温よりも調整槽の液温が15℃程度高く推移した。2020年12月19日に曝気時間を変更した後も調整槽の液温が流入口の液温よりも高く推移したが、2021年8月の調整槽の液温は32℃が最高で、流入口の液温との差は約6℃と小さくな

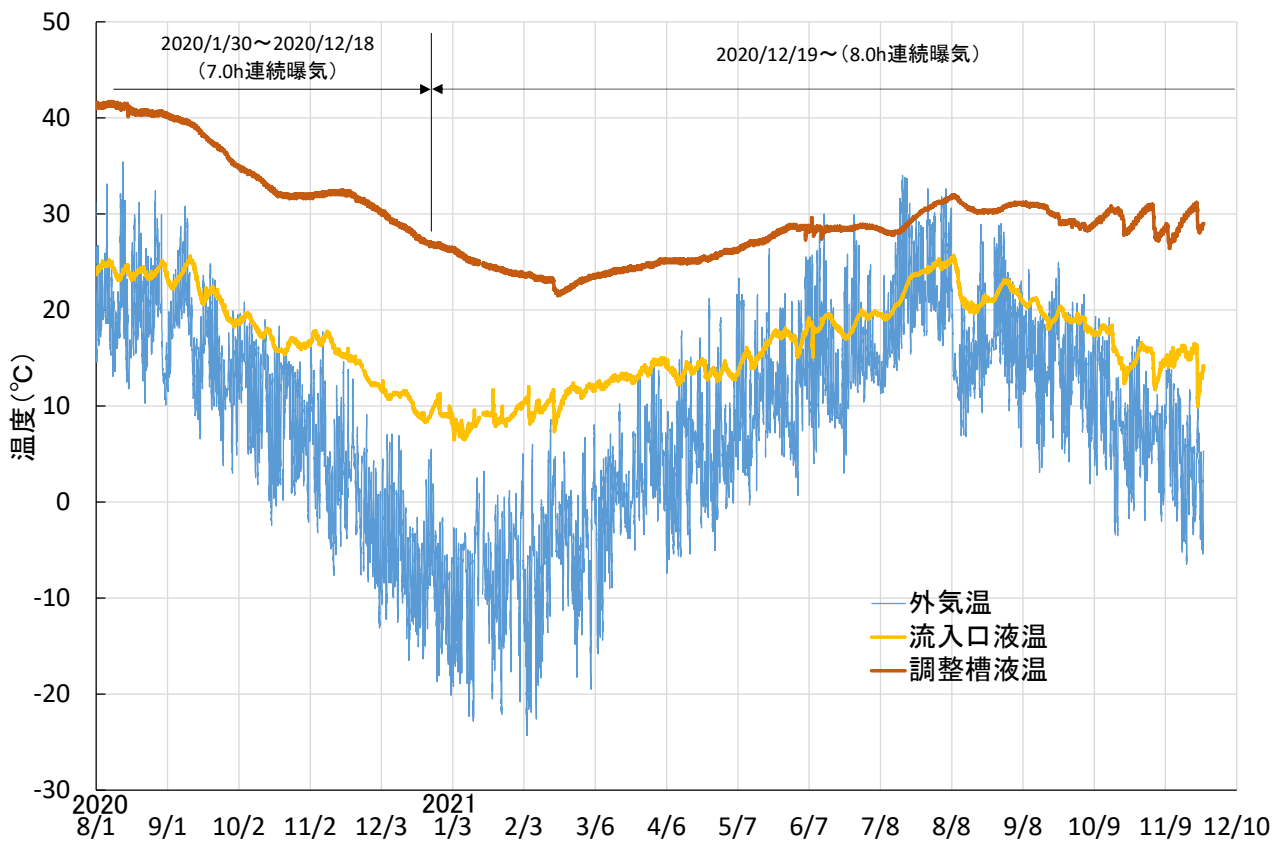


図-3 温度の推移

った。この要因としては、後述するように、2021年夏期には2020年夏期と比較して調整液の腐熟が進んでおり、好気発酵による発熱が小さくなったためと考えられる。

(2) ふん尿スラリーおよび調整液のpHの推移

図-4に流入口ふん尿スラリー、調整槽調整液および配水調整槽調整液のpHの推移を示す。流入口ふん尿スラリーのpHは、2020年10月および2021年1月から5月を除き、6.8~7.2で推移した。調整槽調整液は調査期間を通して7.6~7.8で推移した。好気発酵では、ふん尿スラリーの腐熟の過程で生成される NH_3 によってpHが上昇すると考えられること³⁾から、調整槽での曝気によって腐熟が進んでいることが確認された。2020年10月および2021年1月から5月の流入口ふん尿スラリーは、他の期間と比較してpHが高い値を示した。流入口は、牛舎から排出さ

れる1日分のふん尿スラリーを想定した容量で設計されており、日々の牛舎管理の影響が顕著に反映される。牛舎では殺菌消毒のために消石灰を散布することがあり、pHが高い値を示したふん尿スラリーには消石灰が混入していた可能性がある。配水調整槽のpHは、7.2~7.5を示した。

(3) ふん尿スラリーおよび調整液のTS濃度の推移

図-5に流入口ふん尿スラリー、調整槽調整液および配水調整槽調整液の現物(Fresh Matter)当たりTS濃度の推移を示す。流入口ふん尿スラリーのTS濃度は、2021年2月17日を除き、7.3~8.3%FMで推移した。2021年2月17日のTS濃度は6.2%FMと大きく低下しているが、これは2月15~16日に30.5mmの降雨を観測しており、融雪水が流入口に流れ込んだためである。調整槽調整液のTS濃度は、

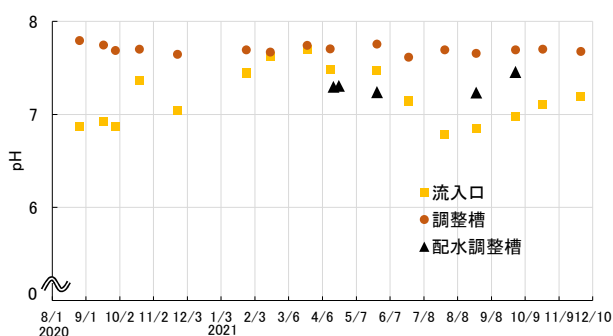


図-4 ふん尿スラリーおよび調整液のpH

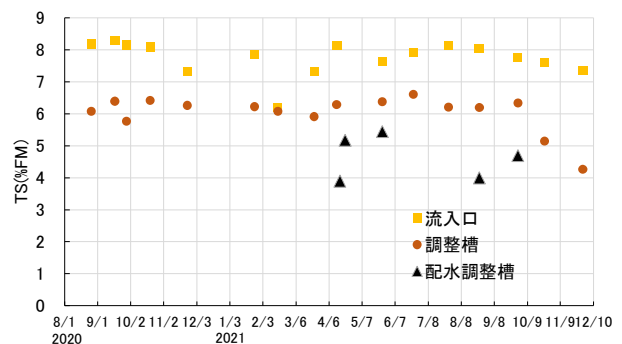


図-5 ふん尿スラリーおよび調整液の全固形物濃度

2021年10月25日、11月30日を除き、5.8～6.4%FMで推移した。調整槽調整液のTS濃度が流入口ふん尿スラリーよりも低下していることから、曝気によって有機物が分解したものと推察される。なお、牛舎増設工事に伴って2021年10月以降の雨水が調査対象施設へ流入したことが、調査対象施設利用酪農家への聞き取りで判明した。そのため、2021年10月および11月の調整槽調整液のTS濃度が低下したと考えられる。2021年12月には新牛舎の屋根が完成したため、雨水流入は解消されると思われる。

配水調整槽調整液のTS濃度は3.9～5.4%FMで、調整槽調整液よりも低かった。配水調整槽には蓋がないため、雨水の混入による影響と考えられる。

(4) ふん尿スラリーおよび調整液の臭気指数の推移

図-6に流入口ふん尿スラリー、調整槽調整液および配水調整槽調整液の臭気指数の推移を示す。なお、測定に用いた畜環研式ニオイセンサの測定上限値は臭気指数40であり、40を超えると“over”と表示される。2020年の流入口ふん尿スラリーの臭気指数は37～40を、調整槽調整液の臭気指数は29～30を示しており、曝気により臭気が低減している。2021年1～4月は流入口ふん尿スラリーと調整槽調整液の臭気指数に大差はなく29～34で推移した。これは、流入口ふん尿スラリーの臭気指数が低下したためであり、冬期の気温低下に伴いふん尿スラリーの液温も低下したことが影響したと考えられる。2021年5～8月の流入口ふん尿スラリーの臭気指数は38から30まで低下を続け、調整槽調整液の臭気指数も28から19まで低下した。流入口ふん尿スラリーの臭気低下要因は判然としないが、調整槽調整液の臭気指数は流入口ふん尿スラリーよりも10程度低い値で推移しており、曝気による臭気低減効果が認められる。その後、2021年9月に流入口ふん尿スラリーの臭気指数が36まで上昇すると、調整槽調整液の臭気指数も上昇した。配水調整槽調整液の臭気指数は、2021年春期が25～29で、調整槽調整液より低い値を示した。2021年夏期の臭気指数は18～22で、2021年春期より低い値を示した。これは、2021年春期から夏期の調整槽調整液の臭気指数が低下したことの影響と考

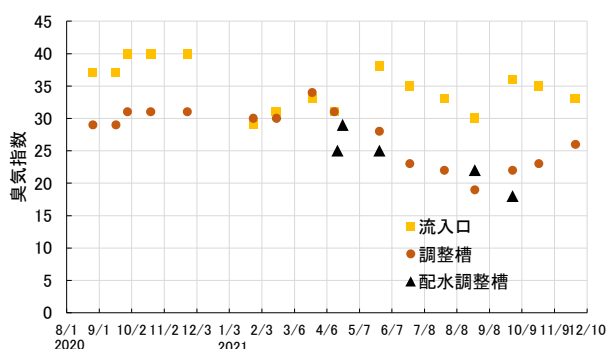


図-6 ふん尿スラリーおよび調整液の臭気指数

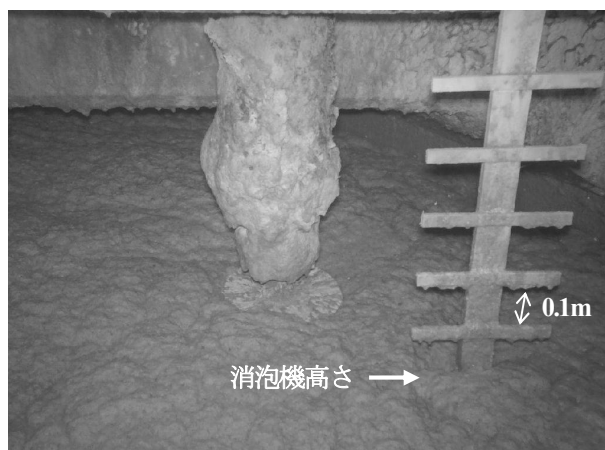


写真4 調整槽内の泡（2020年8月1日 11時57分）



写真5 調整槽内の泡（2021年8月1日 14時14分）

えられる。

悪臭防止法では臭気指数20が規制を設ける場合の目安となっている⁴⁾。ここで、臭気指数20以下を腐熟の目安と仮定すると、2021年夏期の配水調整槽調整液は概ね腐熟していると判断できる。一方、2021年春期の配水調整槽調整液は臭気指数が25以上であり、やや腐熟が不足していると考えられるが、圃場へ散布された後の調整液は速やかに土中へ浸透するため、圃場散布後の周辺環境での臭気は速やかに低下する可能性が高い。

(5) 調整槽内の泡の様子

写真4,5は、2020年8月1日と2021年8月1日の調整槽内の泡の状況である。写真中央の円盤が消泡機であり、その右側は、この調査のために設置した0.1m刻みの木製目盛である。2020年8月1日の泡上面の高さは消泡機とほぼ同じ位置まで上昇しているが、2021年8月1日の泡上面の高さは消泡機よりも10cm以上低い位置にある。両日とも、写真撮影時間の調整槽の水位は2.99mで同じであることから、液面上部の泡の厚さが2020年と比べて2021年のほうが小さい。前述の臭気指数の結果では2021年には調整槽調整液の臭気指数が20程度まで低下しており、調整液を十分に腐熟させることで泡を抑制できる可能性がある。

(6) 泡溢流を防ぎながらスラリーを腐熟させる運転方法

調査対象施設では、稼働開始後最初の夏に泡が溢流した。その後の調査により、曝気時間帯以外で消泡機停止中に泡が溢流していることが明らかとなった⁵⁾。消泡機が稼働する間隔を短くする泡溢流対策の実施以降、泡は溢流していない。このように、施設稼働開始時などの新鮮なふん尿スラリー曝気時には泡が多く発生するため、消泡機の稼働時間を調整して、開口部からの泡溢流を防止しながら曝気を続ける必要がある。その後、曝気を継続することで、前述のように腐熟が進むにつれて泡は少なくなり、泡溢流のリスクは低下すると考えられる。

4. おわりに

今後、調査対象施設の消費電力量のデータを整理し、肥培灌漑施設の効率的な運転方法を提案していきたい。

謝辞：調査対象施設の酪農経営者には、調査機材の設置を快諾いただきました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 中山博敬、中谷壮範、田中稔：間欠曝気と連続曝気が乳牛ふん尿スラリーの臭気へ及ぼす影響、2021 年度(第 70 回)農業農村工学会大会講演会講演要旨集、CD-ROM、2021
- 2) 山本朱美、古谷修、小堤恭平、小川雄比古、吉栄康城：畜産臭気における臭気指数と市販ニオイセンサ指示値との関係、日本畜産学会報、79(2)、pp. 235-238、2008
- 3) 樋元淳一、岩淵和則、松田従三：液状家畜ふん尿の好気性発酵による堆肥化 I．実験装置の試作、北海道大学農学部邦文紀要、15(3)、p. 261、1987
- 4) 環境省環境管理局：臭気指数規制ガイドライン、pp. 5-22、2001
- 5) 中山博敬、田中稔、中谷壮範、横川仁伸、大山武士：肥培灌漑施設調整槽内部での泡の上昇要因、寒地土木研究所月報、No. 813、pp. 25-29、2021