

原 著

カウシェード用パイプラインミルクカーを備えた牛舎から生じる

搾乳関連排水の低コスト管理手法の検討

猫本健司¹・大倉達也¹・尾崎佑磨¹・河合紗織²

¹酪農学園大学 農食環境学群, 北海道江別市, 069-8501

²青森県産業技術センター 畜産研究所, 青森県上北郡野辺地町, 039-3156

要 約 本研究では、カウシェード用パイプラインミルクカーを備えた既設のつなぎ飼い牛舎から排出される搾乳関連排水を対象とし、高価な浄化処理施設を用いない、低コスト管理に向けた対応方法を検討した。対象酪農場2軒（A, B）は、ミルクパイプの平均傾斜が適切な角度（ 0.5° ）以上であるにも関わらず、含まれる生乳が標準的な濃度（0.3%）より著しく高いため、搾乳関連排水に関して問題を抱えていた。現地調査や水質分析を実施し、簡易な浄化施設（例えば越流式沈殿槽）を用いても排水基準を満たすことは困難であるため、原水の汚濁度合を下げる（同排水に混じる生乳を少なくする）対応を実施した。一つは、尿ための貯留可能日数に余裕があるA酪農場の場合であり、搾乳関連排水の汚濁度合を高める原因である「前すすぎ排水」（搾乳終了後の循環洗浄で最初に排出される白濁した排水）を搾乳関連排水に混ぜずに、電動バルブなどを用いて尿ために導き、尿液とともに圃場還元する対応を検討した。尿ための貯留日数に余裕がないB酪農場の場合には、酪農家にとって日々の手間と時間を要するが、搾乳が終了しても、5~10分程度は真空ポンプ等の運転を続けることによる、エア回収によりミルクパイプ内の残乳回収を実施し、残乳が搾乳関連排水に混ざらないようにした。結果として、搾乳関連排水の汚濁度合はいずれの酪農場においても低下し、排水路はきれいになった。したがって、高価な浄化処理施設を導入しなくても、本研究で提案した搾乳関連排水の汚濁度合を低減させる対応は、同排水を適切に管理する一手法になることが明らかになった。

キーワード: 搾乳関連排水、前すすぎ排水、残乳、尿ため、酪農場

受領日: 06.09.2023. 受理日: 13.11.2023.

日本畜産環境学会会誌 No.23(1) pp9-18. 2024

緒 言

酪農現場における、日々の搾乳作業の都度生じる搾乳関連排水には、ミルクパイプやバルククーラーなどの搾乳機器の洗浄で生じる白濁した排水が基本であり、これに加え乳房炎などで出荷せず廃棄する生乳や、ミルクパーラ

一方式では搾乳時に牛が排泄するふん尿が混じる場合もある[8]。搾乳関連排水については、その性状や汚濁度合、排水量などが報告され[7, 12, 13, 16]、これを適切に管理する技術や浄化処理方法などがいくつか提案されている[6, 9, 14, 15, 17]。ふん尿が混じり汚濁度合が高

パイプライン搾乳に関連する排水の低コスト管理

い排水となるミルクングパーラーを備えた比較的大規模な酪農経営における搾乳関連排水の管理技術は、適切に圃場還元されるか、もしくは膜分離活性汚泥法など高度な浄化処理が用いられ、ほぼ確立されたと考えられる。

しかし、膜分離活性汚泥法を実施するには、建設コストが一般的に数千万円かかるため[18]、中小規模の酪農経営では普及が進んでいない。北海道における酪農場の7割弱が、カウシェード用パイプラインミルクカーを備えたつなぎ飼い牛舎[2]において、数十頭を搾乳する中小規模の酪農経営である。このような経営に対して、筆者らは高価な浄化施設を導入する以外の処理法として、汚濁物質を排水に混ぜないことにより、処理負荷の低減と処理コストの抑制を提案してきた[4, 5]。

カウシェード用パイプライン牛舎から排出される搾乳関連排水には、基本的にふん尿は混入しないため、同排水の汚濁度合に影響するのは主に生乳である。同排水は生乳が0.3%程度混入する白濁した性状で、排水量は 870 ± 97 [L/日]と報告され[10]、搾乳機器やミルクパイプに生乳が多く残されたまま洗浄したり、廃棄乳が混じると汚濁度合は著しく高まる[4]。同程度の排水量は水質汚濁防止法における排水基準の対象外となるため、中山間地域の酪農経営では未処理のまま放出される場合もあるが、白

濁した性状で臭気もともなうことから、都市近郊などでは適切に処理をした後に放流することが求められる場合がある。

本研究では、筆者らが実際に相談を受けた中小規模の酪農経営の事例を対象に、調査や分析を行った上で、浄化処理施設を導入することなく、搾乳関連排水に汚濁物質を混ぜない対応方法を提案・実施し、実際に排水の汚濁度合が下がり、低コスト管理の実証結果を報告する。

材料および方法

1. 検討対象酪農場の概要

北海道十勝地方の2酪農場（AとB）を検討対象とした。両酪農場ともカウシェード用パイプラインミルクカーを備えたつなぎ飼い牛舎で、搾乳牛頭数と調査年度はA酪農場ではそれぞれ68頭、2012年であり、B酪農場はそれぞれ72頭、2020年であった。

両酪農場における搾乳関連排水の排水路の状況を図1に示した。両酪農場とも同排水は沈殿槽を経て排水路に流出し、白濁が生じていた。A酪農場の排水路は主要道路に面して人目につきやすく、夏は害虫が発生し臭いも生じるため、経営者は排水問題の対策に悩まされていた。B酪農場では排水路の約500m先に住宅街があるため、経営者はA酪農場と同様に排水問題の対策の必要性に迫られていた。



A酪農場



B酪農場

図1 搾乳関連排水の排水路の状況

パイプライン搾乳に関連する排水の低コスト管理

2. ミルクパイプの傾斜角度

本検討の基本条件となる搾乳した生乳を自然流下させるミルクパイプの傾斜角度はおよそ0.5°以上が推奨されている[1, 3]。この角度を満たしていない事例では、ミルクパイプ内に生乳が滞留し、ミルクパイプの循環洗浄排水の汚濁度合を高める要因になる[4]。そこで、対象牛舎においてミルクパイプの高さや長さを数カ所で測定し、それらからミルクパイプの平均傾斜角度を算出した。傾斜角度が適正（概ね0.5°以上）範囲でない場合は、ミルクパイプの調整や修繕が必要となるが、適正であれば次に掲げる調査項目について順次検討した。

3. 搾乳関連排水の低コスト管理に向けた調査実施チャート

本研究で検討したカウシェード用パイプラインミルクカーを備えた牛舎における搾乳関連排水の低コスト管理に向けた対応方法の実施チャートを図2に示した。なお、本研究では、搾乳関連排水への廃棄乳の混入がないことを前提とした。

(1) 排水路の水質調査

対象酪農場における搾乳関連排水の排水路の任意地点（敷地境界線付近など）において搾乳関連排水を採取し水質分析を実施した。分析項目と分析方法[11]は、水素イオン濃度(pH)、JIS K 0102 12、生物化学的酸素要求量(BOD)、JIS K 0102 17、化学的酸素要求量(COD)、JIS K 0102 21、全窒素(T-N)、JIS K 0102 45ならびに全リン(T-P)、JIS K 0102 46とした。搾乳関連排水が排水基準を上回っていて、白濁などが見られる場合は、次項に示す前すすぎ排水等の調査を実施した。

(2) 前すすぎ排水等の調査

ミルクパイプの循環洗浄は一般的に殺菌、(搾乳)、前すすぎ(ぬるま湯)、アルカリ(酸)、後すすぎの順に行われ、ミルクパイプ内に残る生乳(以下、残乳)のほとんどは搾乳後1回目の循環洗浄水(前すすぎ排水)に含まれる(図3)。よって、搾乳後のミルクパイプ内の残乳が多いほど、搾乳関連排水の汚濁度合は高まる。そこで、搾乳関連排水中の残乳割合を算出す

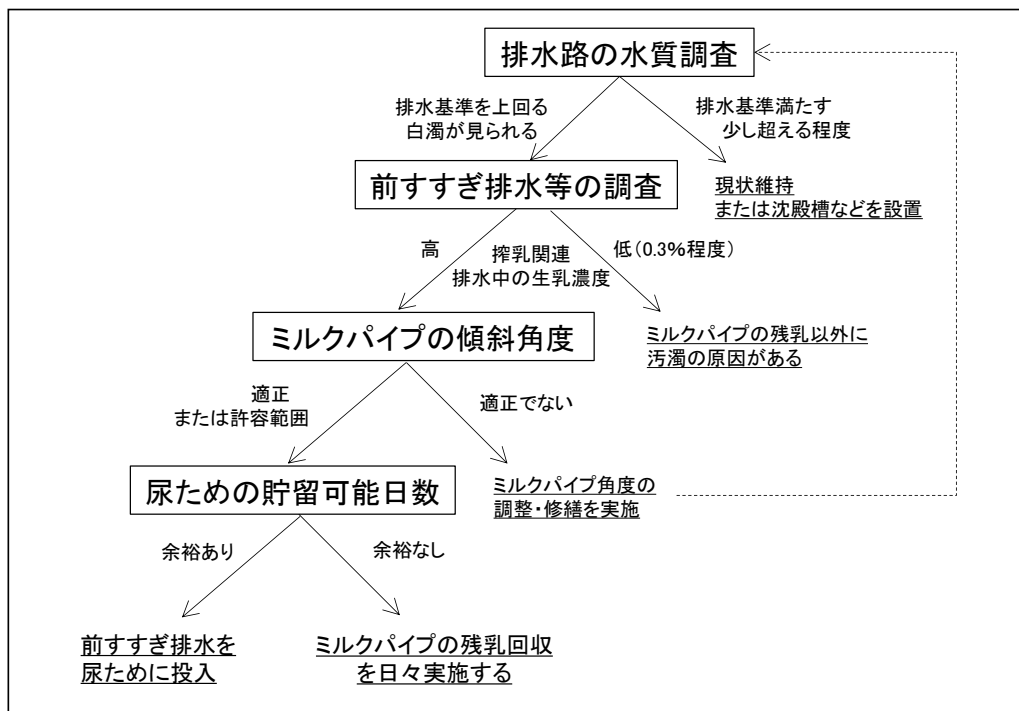


図2 パイプラインミルクカーを備えた牛舎における搾乳関連排水の低コスト処理に向けた対応方法の実施チャート

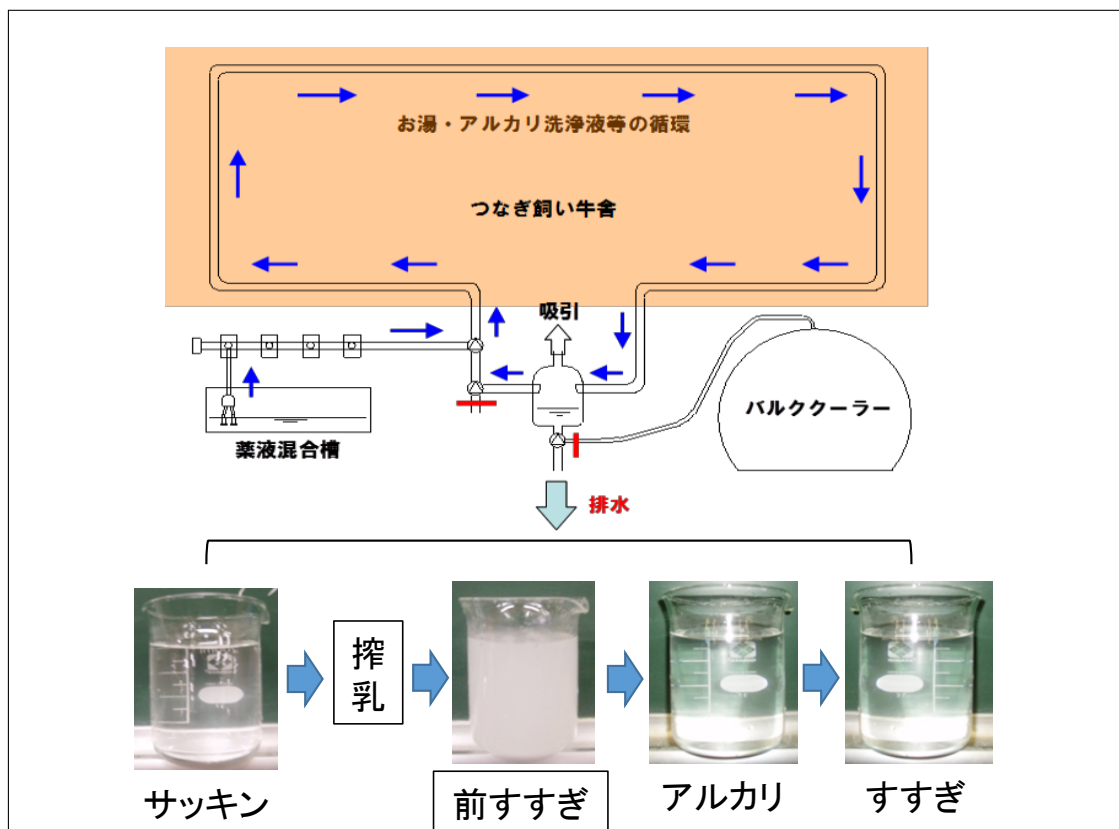


図3 搾乳パイプラインの循環洗浄水の概要

るために、まず、洗浄槽（ミルクパイプの循環洗浄において、洗浄プログラムごとに用いる水を一定量溜める水槽）の容量の測定ならびに洗浄プログラムの種類と回数の聞き取りを実施し、これらからミルクパイプの循環洗浄水量を算出した。次に、前すすぎ排水ならびにバルククーラーの生乳（バルク乳）を採取し、T-N の分析を実施した（T-N 以外の分析項目でも可）。これらの値を用いて、ミルクパイプの循環洗浄排水に含まれる残乳の濃度を求めた。

搾乳関連排水に含まれる生乳濃度は、11 軒の分析結果から $0.29 \sim 0.30 \pm 0.13\%$ と報告されている[9]。この数値を大きく上回る場合に、簡易な浄化施設（例えば越流式沈殿槽[9]）では排水基準を満たすことは困難である。このようなケースでは、浄化施設を設けるのではなく、原水の汚濁度合、すなわち、同排水に混じる残乳をできるだけ少なくする対応を検討する必要

がある。

生乳濃度が 0.3%程度と比較的低い場合に、搾乳関連排水の汚濁度合が高くなる原因は、ミルクパイプの残乳以外に混入しないはずの廃棄乳が排水に混ざっている可能性がある。

(3) 尿ための貯留可能日数

カウシェード用パイプライン牛舎には一般的に尿ための地下に設置されており、バークリーナーの末端付近に設置される目皿によりふんと尿が分離され、尿液は尿ために落下・貯留される。ミルクパイプの循環洗浄排水の汚濁度合を高めるのは搾乳終了後の循環洗浄で最初に排出される前すすぎ排水であるため、これを搾乳関連排水に混ぜずに、尿ために導いて尿液とともに圃場還元すれば、同排水の汚濁度合は著しく低減し、そのまま排水しても問題ない状況になる[5]。しかし、尿ための容量が不足して営農に支障を来す場合もある。このことから、

パイプライン搾乳に関連する排水の低コスト管理

尿ための容量を実測するとともに、1日あたりの尿流量ならびに前すすぎ排水量を求め、尿ための貯留可能日数を算出した上で、生産者と対応の実施方針を協議した。尿ための貯留可能日数が少ないB酪農場では、次項に示すミルクパイプの残乳回収処理を検討した。

(4) ミルクパイプの残乳回収処理

一般的に酪農生産者は日々の搾乳作業の中で、最後に搾乳していた乳牛からミルクカーが離脱し、搾乳作業が終了すると、真空ポンプ等を直ちに停止し、循環洗浄作業を開始する傾向がある。それに対し、搾乳が終了しても、10分程度そのまま真空ポンプ等の運転を続け、エア一回収状態にすると、ミルクパイプ内の残乳が一定量回収され、搾乳関連排水のBOD負荷量が低減することが報告されている[4]。

対象酪農場にて、搾乳終了後に次の作業に移るのを一定時間(5~10分程度)待ってもらい、その間にエア一回収によるミルクライン内の残乳回収を実施し(図4)、回収できた生乳の量を計測した。

結果

1. ミルクパイプの傾斜角度

対象酪農場で測定したミルクパイプの平均

傾斜角度は、A酪農場では 0.48° 、B酪農場では 0.45° となり、推奨角度の 0.5° 以上[1, 3]よりやや低いが、概ね適正な範囲であると判断できた。

2. 排水路の水質調査

対象酪農場における搾乳関連排水の排水路の敷地境界線付近における水質分析結果を表1に示した。BODやCOD、T-Pなどの各項目は排水基準を上回っており、目視でも白濁が認められ汚濁度合は比較的高かった。この結果を受け、上記方法で示した調査実施チャート(図2)にしたがって対応を検討した。

3. 前すすぎ排水等の調査結果

対象酪農場における前すすぎ排水ならびにバルク乳のT-Nを表2に示した。また、洗浄槽容量や循環洗浄回数に基づくミルクパイプの循環洗浄水量、同洗浄水中の生乳濃度を表2に示した。同洗浄水中の生乳濃度はA酪農場では1.8%、B酪農場では1.2%となった。これらの値は、過去の報告(0.3%程度)[9]より著しく高かった。このことから、両酪農場では越流式沈殿槽[9]のような簡易な浄化施設を設けても排水基準を満たすのは困難であると推定された。このため、浄化施設を設けるのではなく、



図4 ミルクパイプの残乳回収状況

パイプライン搾乳に関連する排水の低コスト管理

表1 排水路の水質分析結果

分析項目	単位	A酪農場	B酪農場	排水基準(日最大)
水素イオン濃度 (pH)		5.9	7.0	5.8~8.6
生物化学的酸素要求量 (BOD)	mg/L	570	620	160
化学的酸素要求量 (COD)	mg/L	180	300	160
浮遊物質 (SS)	mg/L	70	360	200
全窒素 (T-N)	mg/L	40	43	100
全リン (T-P)	mg/L	27	34	16

表2 前すすぎ排水等の調査結果

分析項目	単位	A酪農場		B酪農場	
		前すすぎ	バルク乳	前すすぎ	バルク乳
全窒素 (T-N)	mg/L	370	5,100	160	3,400
洗浄槽容量	L	170		130	
循環洗浄回数	回/日	8		8	
ミルクパイプ洗浄水量	L/日	1,360		1,040	
ミルクパイプ洗浄水中の生乳濃度	%	1.8		1.2	

表3 尿ための貯留可能日数の調査結果

分析項目	単位	A酪農場	B酪農場
尿ための容量	m ³ /日	181	150
1日あたり尿液量	m ³ /日	0.90	1.08
前すすぎ排水量	m ³ /日	0.34	0.26
尿ための貯留可能日数			
尿液のみ	日	182	138
尿液+前すすぎ排水	日	161	112

搾乳関連排水に混じる残乳をできるだけ少なくして原水の汚濁度合を下げ対応を検討することとした。

4. 尿ための貯留可能日数

対象酪農場で実施した尿ための容量ならびに尿液量の調査結果を表3に示した。これらから算定した尿ための貯留可能日数は、尿液のみ（すなわち現状）ではA酪農場は182日であり、B酪農場は138日であった。これに前すすぎ排水を混ぜた場合は、A酪農場は161日、B酪農場は112日となった。

5. 前すすぎ排水分離処理の検討と施工

北海道ではふん尿貯留施設の容量が一般的な補助事業にて6ヶ月分以上で設計されるが、A酪農場では前すすぎ排水を尿ために投入しても、161日分の貯留可能日数であると算定されたことから、営農上の支障はないと判断し、前すすぎ排水の分離処理を採用することとした。排水系統に電動バルブ（施工費は約8万円）を設置し（図5）、洗浄プログラムのスイッチと連動して動作するタイマー制御により、汚濁度合の高

パイプライン搾乳に関連する排水の低コスト管理



図5 前すぎ排水の分離処理の施工状況



図6 搾乳関連排水の排水路の状況 (A酪農場)

い前すぎ排水のみが尿ために投入され、透明な排水（アルカリ、酸リンス、サッキン）は沈殿槽で中和された後に排水路へ流出させた。設置前後におけるA酪農場の排水路の状況を図6に示した。施工前の白濁していた状況に比べて、施工後は透明になっている。

一方、B酪農場では尿液のみ（現状）でも138日分の貯留容量しかないため、冬期間に前すぎ排水を尿ために投入するのは困難であると判断した。夏期のみ同排水の分離処理を実施することとし、排水系統に手動のバルブを酪農家自身で設置した（図5）。冬期間については、ミルクパイプの残乳回収による排水の汚濁度合の改善を検討することとした。

6. ミルクラインの残乳回収処理

B酪農場にて、搾乳終了後に次の作業に移るのを5分間待ってもらい、その間にエア一回収によるミルクパイプ内の残乳回収を実施した。回収できた生乳の量は7L以上であった。エア一回収しない場合と、エア一回収をした場合それぞれにおける、前すぎ排水を採取、分析した結果を表4に示した。ミルクパイプ排水中の生乳濃度は1.2%から0.26%に低下し、適正と思われる値（0.3%程度）[9]となり、汚濁度合は著しく改善することがわかった。

本結果を受けて、日々の手間は増えるが、経営主は朝晩の搾乳作業後に5分間のエア一回収を実施し、回収した生乳は哺乳等に利用するこ

パイプライン搾乳に関連する排水の低コスト管理

表4 エアー回収の有無と前すすぎ排水の性状 (B酪農場)

分析項目	単位	前すすぎ (処理なし)	前すすぎ (エアー回収)
水素イオン濃度 (pH)		7.0	4.1
生物化学的酸素要求量 (BOD)	mg/L	3,700	710
化学的酸素要求量 (COD)	mg/L	2,200	400
浮遊物質 (SS)	mg/L	580	30
全窒素 (T-N)	mg/L	160	36
全リン (T-P)	mg/L	110	37
ミルクパイプ洗浄水中の生乳濃度	%	1.2	0.26

む経営者もあれば、地域環境の違いにより必ずしも本研究の提案がマッチしないケースもあると考えられ、様々な意向や環境を反映してコンサルテーションを行うことが必要である。本報告が搾乳関連排水の低コスト管理を望む生産者の一助になることを望んでいる。

後書き
本論文は社団法人中央

ととした。

考察

北海道の酪農業の約7割を占める搾乳システムのつなぎ飼い牛舎(カウシェード用パイプラインミルク)では、日々白濁した搾乳関連排水が排出される。本研究で検討対象とした酪農場のように、排水路の白濁が目立ったり、市街地に比較的近い場合など、排水の処理対策が求められる事例が少なからず生じている。つなぎ飼いは一般的に中小規模であることから、高価な浄化施設を導入することができない中、本研究では過去の様々な報告と新たな視点や汚濁物質を分離する技術を組み合わせ、低コスト処理に向けた対応方法の実施チャートを提案した。これにより、事例によっては数万円程度の投資により、日々の作業は増える場合もあるが、前すすぎ排水の分離処理や残乳のエアー回収といった簡易な処理により、高額な浄化処理施設を導入しなくても、搾乳関連排水の汚濁度を低減し、適切に管理できることが明らかになった。

一方、日々の手間を嫌い多少投資がかかっても適切に処理できる浄化処理施設の導入を望

畜産会「新・畜産環境保全指導マニュアル」(2011):86に記載された内容の基礎となるデータや知見を報告にまとめたものである。

文献

- [1] Bates D. W. (1985) Dairy Housing and Equipment Handbook. 5.5. Midwest Plan Service, Iowa State University, Ames, Iowa.
- [2] 北海道農政部畜産振興課. (2023) 新搾乳システムの普及状況について (令和5年1月17日訂正)
[http://www.pref.hokkaido.lg.jp/fs/8/4/2/5/4/1/1/_/新作乳システムの普及について\(訂正版\).pdf](http://www.pref.hokkaido.lg.jp/fs/8/4/2/5/4/1/1/_/新作乳システムの普及について(訂正版).pdf).
- [3] 北海道乳質改善協議会. 2010. 搾乳システム設置ガイドライン ミルカー管理技術者講習会テキスト. 11, 北海道乳質改善協議会, 北海道.
- [4] 河合紗織, 猫本健司, 干場信司, 森田茂 (2015) 搾乳システムからの残乳回収改善による搾乳関連排水の処理負荷低減, 日本畜産学会報: 86(4):497-504.
- [5] 河合紗織, 猫本健司, 干場信司, 森田茂

パイプライン搾乳に関連する排水の低コスト管理

- (2017) プラットフォーム洗浄排水と前すすぎ排水の分離による搾乳関連排水の処理負荷低減、日本畜産環境学会誌：16(1):33-41.
- [6] 小梨茂, 川村輝雄, 高橋達典, 杉若輝夫, 谷藤隆志 (2000) FRP製ミニサイロを利用したミルクパラー排水用低コスト浄化施設. 岩手県農業研究センター研究報告. 1:31-38.
- [7] 猫本健司、干場信司、森田茂、高橋励起、河合紗織、石川志保、内田奉三 (2012) 北海道H町の酪農場における搾乳関連排水処理の実態解明—低コストな排水処理対策に向けて—、農業施設：42:188-192
- [8] 猫本健司、河合紗織、干場信司 (2013) 搾乳関連排水の低コスト管理に向けた原水汚濁度合の低減技術、「強化される畜舎汚水排水基準への技術対応と畜舎汚水処理関連新技術の研究動向」、平成25年度家畜ふん尿処理利用研究会：73-38
- [9] 猫本健司、河合紗織、干場信司、内田泰三、森田茂 (2016) 搾乳関連排水の低コスト管理に関する検討 - 越流式沈殿槽による汚濁負荷流出の低減 - 、日本畜産環境学会誌：16(1):42-49.
- [10] 猫本健司 (2020) 搾乳関連排水の低コスト処理技術の開発、畜舎汚水処理関連技術開発の研究動向、令和元年度家畜ふん尿処理利用研究会：68-74.
- [11] 日本規格協会 (2013) 工場排水試験方法JIS K 0102、日本工業標準調査会 審議：1-335
- [12] 日本草地畜産種子協会 (2008) 平成19年度畜産環境整備技術調査報告書：1-131、社団法人日本草地畜産種子協会、東京
- [13] 農林水産省生産局 (2007) 草地開発整備事業計画設計基準：400、社団法人日本草地畜産種子協会、東京
- [14] 農林水産省(2009) 搾乳関連排水処理施設の事例集、1-75、農林水産省生産局畜産部畜産振興課草地整備推進室、東京
- [15] 大越安吾 (2010) 分別処理方式によるミルクパラー排水の低コスト浄化技術、新しい研究成果、北海道地域2009年度：81-86
- [16] 杉若輝夫, 高橋達典, 谷藤隆志, 川村輝雄, 小梨茂 (1999) ミルクパラー汚水の性状およびその処理. 畜産の研究, 53 :7 803-809
- [17] 田中康男, 山下恭広, 荻野暁史(2011) 球状パーライトを微生物担体として用いた省管理型処理装置による酪農雑排水処理、日本畜産学会報82、405-411
- [18] 十勝管内農協畜産技術員研究会「雑排水(汚水) 処理対策」専門チーム(2006) 雑排水(汚水) 処理対策検討会報告. 8. 十勝管内農協畜産技術員研究会, 北海道

Original Paper

Investigation of low-cost methods for managing dairy effluent generated from a cowshed equipped with a pipeline milker

Kenji Nekomoto¹, Tatsuya Ohkura¹, Yuuma Ozaki¹ and Saori Kawai²

¹College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University,
Bunkyodai, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501

²Aomori Prefectural Industrial Technology Research Center, Livestock Research Institute,
Noheji, Aomori, 039-3156

This study proposes two low-cost methods for managing dairy effluent generated from a cowshed equipped with a pipeline milker, avoiding the need to use expensive equipment for purification processing. The two dairy farms investigated in this study (A and B) showed a raw milk concentration in the dairy effluent that was markedly higher than the standard concentration of 0.3%, even though the average slope of the milk pipes was appropriate ($\geq 0.5^\circ$). Site surveys and water quality analysis indicated that simple purification equipment such as a settling tank with overflow would be insufficient to meet the effluent standards. Thus, countermeasures were needed to reduce the raw milk concentration. In cases such as Farm A, where there is sufficient time before the manure storage equipment needs to be emptied, the proposed countermeasure involved draining the “pre-washing water” (the first white cloudy effluent produced by circulation cleaning after milking is completed, and a cause of increased turbidity of dairy effluent) into the manure storage equipment, using electrically operated valves for recycled use in the fields. This prevented it from being mixed with the dairy effluent. In cases such as Farm B, where there is not sufficient time before the manure storage equipment needs to be emptied, the proposed countermeasure involved collecting residual milk in the milk pipe by continuously running pumps for 5–10 min after milking in order to prevent it from mixing with the dairy effluent. However, this approach required greater time and effort from dairy farmers. When these proposed countermeasures were implemented, the turbidity of dairy effluent decreased at both dairy farms and the drainage channels became cleaner. The proposed methods were shown to reduce the turbidity of the dairy effluent without the need to introduce expensive purification processing methods, and thus can be a low-cost option for managing dairy effluent.

Key words: dairy effluent, pre-washing water, residual milk, manure storage, dairy farm

Corresponding: Kenji NEKOMOTO nekomoto@rakuno.ac.jp

Receipt of Ms: 06.09.2023. Accepted: 13.11.2023.

Journal of Animal Production Environment Science No.23(1) pp9–18. 2024