

原 著

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 -

猫本健司¹, 河合紗織², 干場信司, 内田泰三³, 森田茂¹

¹酪農学園大学農食環境学群 北海道江別市 069-8501

²酪農学園大学大学院酪農学研究科 北海道江別市 069-8501

現: 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

³九州産業大学工学部, 福岡県福岡市, 813-8503

要 約 搾乳関連排水を対象とした既往の浄化施設は、コストの高さから中小規模の酪農場には普及が進んでいない。普及が容易で低コストな管理技術として、北海道のH町の酪農場約150戸で導入された越流式沈殿槽における、浄化性能や使用条件ならびに流出抑制効果を検討した。38戸における排水量や沈殿槽の滞留日数、廃棄乳混入の有無などを調査するとともに、沈殿槽内の表層水を採取して成分分析を行った。廃棄乳が混入しているなどの理由から排水中の生乳混入の割合が0.5%以上の事例では排水基準を満たすことができなかった。一方、廃棄乳を一切混ぜない場合では、約8割の事例ですべての排水基準がクリアできていた。残り約2割で排水基準を上回った原因は、ミルクライン内の残乳の回収が不十分であるためと推察された。越流式沈殿槽を用いて低コストに搾乳関連排水を管理するには、滞留日数5日以上とし、ふん尿や廃棄乳は混入させず、さらにミルクライン内の残乳を十分に回収して用いることが使用条件であると判断された。越流式沈殿槽によるT-Nの除去率は16-63%（滞留日数4日以上の場合）、T-Pの除去率は8-37%（同）であり、決して高い数値ではない。しかし、多少性能が劣っていたとしても、低コストで普及させやすい管理施設を多くの戸数に導入することで、地域全体で流出する汚濁負荷は抑制される。

キーワード: 搾乳排水、沈殿槽、浄化、廃棄乳、酪農場

受領日: 29.08.2016. 受理日: 02.10.2016.

日本畜産環境学会誌 No16 (1) pp42-49. 2017

緒 言

搾乳関連排水とは、酪農場において搾乳毎に発生する排水の総称である。ミルクカー・ミルクライン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に加え、乳頭清拭布の洗濯排水などが混ざる状態が一般的であるが、乳房炎などで出荷せず廃棄する生乳（以下、廃棄乳）や、ミルクングパーラー方式の搾乳施設

では牛が搾乳時に排せつするふん尿が混ざる場合もある[7]。単に搾乳関連排水といっても、現場によってその構成や量、汚濁度合は多様である。中山間など農村部の地域においては、搾乳関連排水を処理不十分で放流している事例が散見され[4]、沿岸部では近隣の漁業への影響も指摘されている[1]。1戸あたりの同排水量は多くないため、水質汚濁防止法における排

搾乳関連排水の低コスト管理

水基準（以下では一律排水基準とする）の規制対象外であるのだが、酪農が多い地域では流出負荷量も高まる。地域によっては上乘せ排水基準や総量規制基準が適用される場合もあり、酪農業の持続的な発展や地域環境や資源の保全、他産業との共存のためにも、同排水を適切に利用または処理することが必要である。

既往の浄化処理の方法として、現在主流となっている膜分離活性汚泥法は一般的に数千万円の建設コストがかかり、中小規模の酪農場での導入は進んでいない。低コスト化に関する研究もなされており、たとえば廃材やヒューム管を活用した活性汚泥法による浄化槽 [3, 8] が提案され、百～数百万円程度で施工されている。しかし、全ての酪農場が導入するには及ばない。

地域全体としての搾乳関連排水の処理を考えると、広く普及できる管理システムの構築が急務であり、地域全体で汚濁物質の流出を抑制するという包括的な視点が重要である。そのためには、地域のほぼ全戸に施設を普及させる必要がある。同排水による汚濁物質の流出を、地域全体で防ぐという視点からとらえられた研究はこれまでになく、多くの酪農場で利用できる方法として、コストが伴う浄化性能の向上よりも、原水の汚濁度合を高めずに低コストな管理施設を用いることも検討する必要があると考えられた。

その中であって、ふん尿が混ざらない、比較的汚濁度合の低い搾乳関連排水であれば、複数の

越流式沈殿槽を経ることで排水基準をおおむね満たす事例が報告された[4]。そこで本研究では、3槽からなる越流式沈殿槽を設計し、H町農協と協同で町内の酪農場150戸に段階的に施工し、浄化性能や使用条件ならびに流出抑制効果を検討した。

材料および方法

1. 越流式沈殿槽の概要

H町で導入した越流式沈殿槽は、直径1.2m、水深1.4m、容量1.6m³/槽のRC製円形柵を用いた3槽構造とした。凍結防止のため排水経路の土中に埋設し、各槽を塩ビ管で連結した(図1)。1槽目に入った原料は、槽内で希釈されながら順次、次の槽に押し出される。平均的なつなぎ飼い牛舎での日排水量は、1槽の容量のおよそ半分であるため、排出直後の原水が直ちに流出することなく、一定期間滞留・沈殿処理することができる。滞留日数は、3槽合わせて1週間程度を見込んだ。柵は地域で安価に入手できる既製品を利用し、設置費用は50万円/戸以下であった。2006年～2010年にかけて、飼養形態や規模を問わず町内の約150戸の酪農場に順次設置した。

2. 沈殿槽内容物の調査

3槽越流式沈殿槽を設置した酪農場のうち、38戸において1～3槽目の各槽の表層水を採取し成分分析を行った。また、使用開始から1～2年経過した酪農場19戸において、各槽の沈殿物

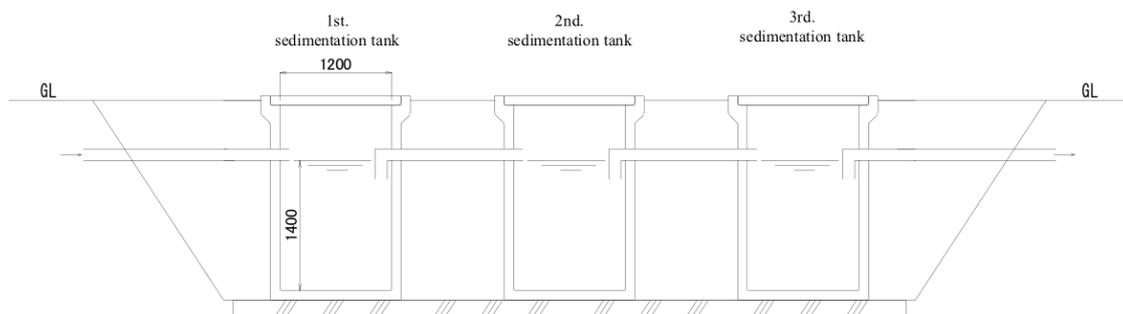


Fig.1 The structure of the overflow-type sedimentation tanks installed at dairy farms in H town.

搾乳関連排水の低コスト管理

の堆積量の計測、沈殿物および3槽目の上清の成分分析を行った。沈殿物の分析項目（分析方法[5]）は全窒素 {Total Nitrogen (以下T-N)} (JIS K 0102 45)と全リン {Total Phosphorus (以下T-P)} (JIS K 0102 46)、水質についてはpH (JIS K 0102 12)、BOD(JIS K 0102 17)、COD (JIS K 0102 21)、SS (下水試験方法)、T-N(JIS K 0102 45)ならびにT-P(JIS K 0102 46)とした。データの収集期間は2006年10月~2009年11月である。

3. 搾乳関連排水総量の測定

調査を行った酪農場すべてにおいて、洗浄槽（ミルクライン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；洗剤を混合する役目もある）の容量の測定と洗浄プログラムの種類と回数、ならびにバルククーラー容量、集乳間隔の聞き取りを行い、以下に示す計算式(1)、(2)、(3)にて搾乳関連排水の総量を算出した。なお、バルククーラーの大きさにより異なる洗浄水量については、文献値を参照した [7]。

$$\begin{aligned} & \text{ミルクライン洗浄排水量(A)} \\ & = [\text{洗浄槽容量 (L)} \times \text{洗浄プログラム回数}] \\ & \times 2 (\text{朝} \cdot \text{夜}) \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{バルククーラーの洗浄排水量(B)} \\ & = 1 \text{ 回のバルククーラー洗浄排水量(L)} \\ & \times 0.5 (\text{隔日集荷の場合}) \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{搾乳関連排水量 (L/日)} \\ & = \text{ミルクライン洗浄排水量(A)} \\ & + \text{バルククーラー洗浄排水量} \\ & \text{(B)} \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

4. 搾乳関連排水中の残乳割合の算出

廃棄乳は混入させず、排水に混入するのはミルクラインに残っている生乳（以下、残乳）のみである11事例（A~K酪農場）において、ミルクライン洗浄排水の前すぎ排水ならびに生乳を採取し、T-NとT-Pの分析を行った。これらの値を用いて、以下の式により搾乳関連排水に含まれる残乳の濃度 (C_{wm}) を求めた。

$$\begin{aligned} C_{wm(N)} & = C_{wn}/C_m \quad \text{または} \quad C_{wm(P)} = \\ C_{wp}/C_{mp} \quad \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

- ここで、 C_{wm} = 搾乳関連排水中の生乳濃度 (%)
- C_{wn} = 搾乳関連排水中のT-N濃度 (mg/L)
- C_{wp} = 搾乳関連排水中のT-P濃度 (mg/L)
- C_m = 生乳中のT-N濃度 (mg/L)
- C_{mp} = 生乳中のT-P濃度 (mg/L)

結果と考察

1. 搾乳関連排水中の残乳割合

排水に廃棄乳を混ぜない搾乳関連排水に含まれる生乳（残乳）の濃度は、T-NとT-Pの分析結果から0.29~0.30±0.13% (n=11)と算定され、最大値は0.48%であった (表1)。そこで本研究では、安全を見込んで「0.5%未満」を搾乳関連排水中に廃棄乳が混入していないと判断できる生乳濃度の目安とした。

Table 1. The residual milk contamination into the washing water from milklines.

		Farm A	Farm B	Farm C	Farm D	Farm E	Farm F	Farm G	Farm H	Farm I	Farm J	Farm K	ave.	std.
C_{wn}	[mg/L]	21	4.9	28	15	24	14	16	16	20	28	3.4		
C_{wp}	[mg/L]	12	3.1	14	9.4	12	8.5	10	7.3	11	15	1.1		
$C_{wm(N)}$	[%]	0.36	0.08	0.48	0.26	0.42	0.25	0.27	0.27	0.35	0.48	0.06	0.30	0.13
$C_{wm(P)}$	[%]	0.38	0.09	0.43	0.29	0.37	0.26	0.31	0.22	0.34	0.46	0.03	0.29	0.13

搾乳関連排水の低コスト管理

2. 3槽越流式沈殿槽による排水の水質調査結果

38戸の酪農場にて採取した3槽越流式沈殿槽の上清の水質の分析結果を、排水への廃棄乳の混入度合別に3つに分類し、表2に示した。

(1) 廃棄乳は混ぜない (生乳濃度0.5%未満)

(1)の分類は、廃棄乳を排水に混ぜず別途処理 (尿だめなどへ貯留) しており、排水に混入するのはパイプラインやバルククーラーの残乳のみである (生乳濃度は0.5%未

満)。一律排水基準を適用した場合、第1槽内で既にBOD以外の項目は基準値を満たしており、第3槽のBODの平均値は排水基準を下回ったが、基準値を満たせない事例が約2割あり、残りの8割はすべての排水基準がクリアできていた。残り約2割で排水基準を上回った原因は、搾乳後のミルクライン内の残乳の回収が不十分であると推察される[2]。

(2) 少量の廃棄乳が混入 (生乳濃度0.5-2%)

(2)の分類は、パイプラインやバルククーラーの残乳の他に、1日数L程度の廃棄乳を排

Table 2. The quality of the wastewater from milking centers at each sedimentation tank.

		(1) waste milk was not discharged	(2) small amount of waste milk was discharged	(3) large amount of waste milk was discharged	effluent standard
		milk contamination <0.5% (n=22)	milk contamination 0.5-2% (n=10)	milk contamination >2% (n=6)	
1st. sedimentation tank	pH	6.7 ± 1.1	5.7 ± 0.6	5.3 ± 0.6	5.8-8.6
	BOD [mg/L]	210 ± 200	450 ± 240	3,200 ± 2,900	<160
	COD [mg/L]	110 ± 57	270 ± 170	800 ± 310	<160
	SS [mg/L]	49 ± 100	110 ± 82	1,500 ± 1,900	<200
	T-N [mg/L]	11 ± 7.8	60 ± 73	230 ± 200	<120
	T-P [mg/L]	6.1 ± 3.1	28 ± 23	75 ± 43	<16
2nd. sedimentation tank	pH	6.3 ± 0.5	5.6 ± 0.5	5.4 ± 0.6	5.8-8.6
	BOD [mg/L]	160 ± 98	520 ± 230	1,800 ± 1,800	<160
	COD [mg/L]	91 ± 41	210 ± 140	730 ± 390	<160
	SS [mg/L]	46 ± 97	69 ± 67	230 ± 180	<200
	T-N [mg/L]	9.4 ± 6.1	55 ± 57	160 ± 110	<120
	T-P [mg/L]	6.1 ± 2.9	48 ± 66	73 ± 45	<16
3rd. sedimentation tank	pH	6.3 ± 0.4	5.7 ± 0.4	5.4 ± 0.5	5.8-8.6
	BOD [mg/L]	140 ± 82	520 ± 180	2,000 ± 1,900	<160
	COD [mg/L]	66 ± 29	180 ± 110	600 ± 390	<160
	SS [mg/L]	37 ± 77	71 ± 74	120 ± 54	<200
	T-N [mg/L]	9.2 ± 5.4	38 ± 18	200 ± 150	<120
	T-P [mg/L]	6.1 ± 3.3	23 ± 10	79 ± 44	<16

■ not meet the effluent standards

搾乳関連排水の低コスト管理

水に混ぜて流している場合である。一律排水基準を適用した場合、SSとT-N以外の値が第1槽から第3槽に至るまで基準値を満たせていなかった。3槽目においても、BODは排水基準の数倍で推移するなど、廃棄乳の混入により排水の汚濁度合は著しく高くなっていることが判明した。

(3) 大量の廃棄乳が混入（生乳濃度2%以上）

(3)の分類は、パイプラインやバルククーラーの残乳のほか、1日15L以上の廃棄乳を排水に混ぜて流している場合である。このような事例は少数であったが、ほぼすべての項目で著しく排水基準を上回っていた。このような現場では、沈殿槽の上層に数cmのスカムが生じており、豆腐状の塊が槽全体に存在するため、汲み出しなどの沈殿槽の維持管理が困難となる。

以上の結果から、越流式沈殿槽で搾乳関連排水を管理するためには、まず排水中に廃棄乳を混入させないことが重要であると判断された。以前H町で実施したアンケートでは、搾乳関連排水に廃棄乳を混入させるかという問いに対して、190戸中117戸が混入させていると回答していた[4]。この結果を受け、農協は3槽越流式沈殿槽を設置した酪農場に対し、廃棄乳を排水に混入させないように指導している。

3. 越流式沈殿槽の使用条件の検討

H町にて設置した越流式沈殿槽は、 $1.6\text{m}^3 \times 3$ 槽という画一的な条件の下、運用を行っている。しかし、現場によって排水量などはさまざまであり、調査が進むにつれ農家によって効果に差が生じていた。例えば、19戸の酪農場における各槽の沈殿物の堆積高は、第1～3槽の順にそれぞれ 54 ± 41 , 30 ± 38 , 24 ± 33 [cm]とバラツキがあり、堆積物に含まれるT-Nは第1～3槽の順にそれぞれ $0.15 \pm$

0.084 , 0.14 ± 0.15 , 0.10 ± 0.11 [g/100g-fresh]、T-Pは同様に 0.096 ± 0.094 , 0.082 ± 0.11 , 0.063 ± 0.094 [g/100g-fresh]となり、沈殿物の成分にも事例によって大きなバラツキが認められた。そこで、浄化の指標としてのT-NとT-P除去率、ならびに水質（3槽目の上清）を、排水量との関係に着目して解析し使用条件を検討した。

(1) 滞留日数とT-N・T-P除去率との関係

19戸の酪農場における、滞留日数と除去率の関係を図2～3に示した。滞留日数4日以上

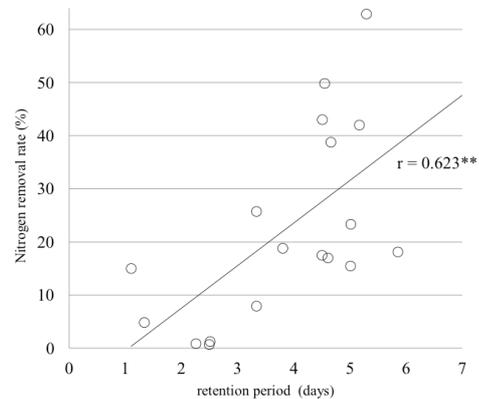


Fig.2 Nitrogen removal rates from the effluent after treatment in the sedimentation tank at each dairy farm.

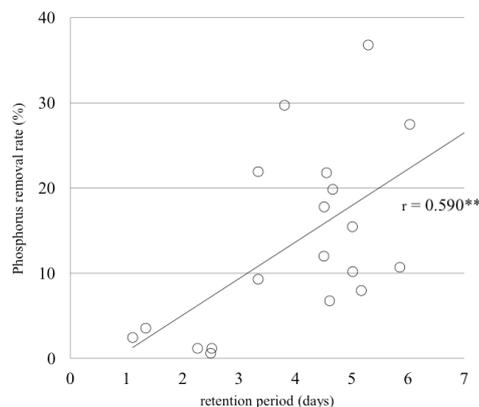


Fig.3 Phosphorus removal rates from the effluent after treatment in the sedimentation tanks at each dairy farm.

搾乳関連排水の低コスト管理

(日排水量1,200L以下)の事例における、T-N除去率の平均は33% (最少16%~最大63%)であり、T-P除去率の平均は17% (最少8%~最大37%)であった。一般的に、排水量が多いと滞留日数が短くなり、沈殿に要する時間も少なくなる。T-N、T-Pどちらにおいても、滞留日数が1~2日と極端に短い場合においては、除去率は数%~20%未満と低く、沈殿物の堆積量も少ない傾向があった。

(2) 滞留日数と水質基準を全て満たす酪農場の割合

排水に廃棄乳を混入させない35戸を対象とし、一律排水基準を適用した場合における、滞留日数と基準値を全て満たす酪農場の割合について図4に示した。滞留日数4~7日(日排水量600~1,200L)の場合に、3槽目の水質が排水基準の全ての検査項目で基準を満たしている酪農場の割合は70~80%と比較的高かった。これよりも排水量が少ない、または多いと、排水基準をクリアしている事例数は少ない傾向であった。排水量が少ない

場合は原水の濃度が濃くなること、多い場合は沈殿に要する時間が短くなることが要因として考えられる。

(3) 越流式沈殿槽の使用条件

以上の検討から、1.6m³×3槽の越流式沈殿槽において、除去率・水質の両方が良い状態で運用するには、滞留日数を4~5日程度で使用する事が望ましいと判断された。越流式沈殿槽を設計する際には、現場の排水量に応じて沈殿槽の容量を設計し、その上で、ふん尿・廃棄乳を混入させない、残乳の回収を十分行う、といった日常の管理により浄化処理の負荷を高めないように運用することが必要である。

また、槽内の沈殿物の堆積状況を見ると、廃棄乳を混入させずに運用している事例で、つなぎ飼いの場合、第1槽では11戸の平均で57cmの汚泥が堆積していることから、年1回程度バキュームなどで汲み出し、畑へ施用する必要があると判断された。2015年には、農協により全戸の汲み出し清掃が実施された。

このような地域組織による支えが、低コストな管理施設の普及や適切な運用の継続に必要である。

総括と課題

搾乳関連排水処理に関しては、農家自身が納得した上で運用できる手法を選択することが重要である。したがって、酪農家の経営や意向によっては、高価であっても労力がかからない施設を選択する方が良い場合もある。その中であって、H町のような中小規模の酪農場が多く存在する地域では、地域全体での汚濁物質の流出を抑制するという包括的な視点が必要であり、そのためには地域のほぼ全戸に管理施設を普及させる必要がある。した

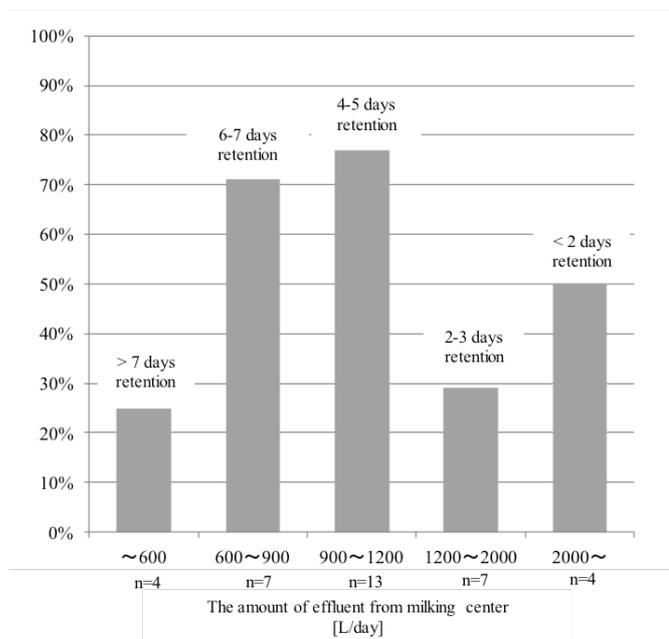


Fig.4 The rate of the treated effluents which meet the effluent standard.

搾乳関連排水の低コスト管理

がって、浄化性能を追求した高価な施設よりも、まずは汚濁物質を分離させ排水に混入させない低コストな管理施設を構築するのも一手法であると示唆される。本研究で提案した越流式沈殿槽におけるT-Nの除去率は約3割（滞留日数4日以上の場合）で、浄化性能は高くはないのだが、低価格で購入しやすい施設を多くの戸数に導入したことで、地域単位での汚濁物質の流出を抑制できた結果の一助になったと考えられる。

なお、沈殿槽で分離できる物質は主に不溶性である。水溶性の成分は沈殿せずに通過してしまうので、水溶性の物質を分離させる方策が今後の課題として残される。

謝 辞

本研究は、浜中町農業協同組合の役職員ならびに組合員様のご協力により遂行することができました。謹んでお礼申し上げます。

文 献

- [1] 石川清 (2004) 「協同精神」の下に一次産業が協力できる体制構築を！—畜産環境問題に漁業関係者からのメッセージ— 酪農ジャーナル. 11:26-28.
- [2] 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

- [3] 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ングパー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.
- [4] 猫本健司, 干場信司, 高橋励起, 内田泰三, 河合紗織, 石川志保, 森田茂 (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
- [5] 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
- [6] 大越安吾 (2010) 分別処理方式によるミルクングパー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
- [7] 社団法人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.
- [8] 杉若輝夫, 高橋達典, 谷藤隆志, 川村輝雄, 小梨茂 (1999) ミルクングパーラー汚水の性状およびその処理. 畜産の研究、53:7 803-809

Original Paper

Low-cost treatment of wastewater from milking centers: Pollutant load reduction using overflow-type sedimentation tanks

Kenji Nekomoto¹, Saori Kawai², Shinji Hoshihara, Taizo Uchida³ and Shigeru Morita¹

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

² Graduate School of Science, Rakuno Gakuen University, Bunkyo-dai, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501

<Present office> Aomori Prefectural Industrial Technology Research Center, Livestock Research Institute, Noheji, Aomori, 039-3156

³ Faculty of Engineering, Kyushu Sangyo University, Fukuoka, 813-8503

Wastewater treatment systems for handling milking center effluent have not been established at small- and medium-scale dairy farms, due to high cost of conventional treatment systems such as activated sludge. In this study, we examined purification efficiency, essential conditions, and pollutant load removal performance of low-cost overflow-type sedimentation tanks installed at about 150 dairy farms in H Town, Hokkaido. At 38 dairy farms using this system, effluent volume from milking centers, waste milk contamination, and retention period of the sedimentation tank were determined, and the clear top layer of wastewater in each of the three tanks per system were sampled and the chemical components were analyzed.

Analysis revealed that the treated water did not meet effluent standards when the drain water contained >0.5% milk, which was the case when waste milk was discharged into the drain water. At 80% of farms examined, the effluent was purified sufficiently, whereas at the remaining 20%, the effluent did not meet standards because of insufficient removal of residual milk in the milk lines. The observed nitrogen and phosphorus removal from the effluent after treatment in the sedimentation tanks (16-63% with 4-5 days retention and 8-37% with 3-7 days retention, respectively), might not be sufficiently high. However, establishing such low-cost wastewater management systems could still reduce total pollutant load in the region.

Key words : milking center effluent, settling tank, purification, waste milk, dairy farm

Corresponding: Kenji NEKOMOTO nekomoto@rakuno.ac.jp

Receipt of Ms:29.08.2016. Accepted: 02.10.2016.

Journal of Animal Production Environment Science No16 (1) pp42-49. 2017