

## 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

河合紗織<sup>1,a</sup>, 猫本健司<sup>2</sup>, 干場信司<sup>2</sup>, 森田 茂<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 酪農学園大学大学院酪農学研究科, 江別市 069-8501

<sup>2</sup> 酪農学園大学農食環境学群, 江別市 069-8501

(2015. 7. 19 受付, 2015. 9. 18 受理)

**要約** 酪農場において, 搾乳施設で生じる洗浄排水(搾乳関連排水)が日々排出されている. 膜分離活性汚泥法など既往の浄化方法は, 現在の設計基準では中小経営にとって高価であり普及は見込めない. そこで本論文では, 同排水の汚濁度合を下げ浄化施設の設計規模を縮小する一手法として, 搾乳機器内に残る生乳(残乳)の同排水への混入を少なくする技術を検討した. 現地事例調査では, 搾乳パイプラインの傾斜角度が大きいくほど排水に混じる残乳は少ない傾向であり, 小規模試験装置によるエア回収試験では, 配管傾斜角度よりもエア回収時間の長さが残乳量に影響を及ぼすことが示唆された. この結果を受けて, 現地事例においてエア回収時間を5分から10分に延長したところ, 同排水のBOD負荷量は平均で51%低下した. 本検討によって, 浄化処理施設の設計規模の縮小が可能となり, 建設コストの低減が同排水の浄化システム普及に寄与すると考えられた.

日本畜産学会報 86 (4), 497-504, 2015

**キーワード**: 搾乳関連排水, 残乳, 浄化, ミルクライン, 酪農場

酪農場において, 搾乳施設で生じる洗浄排水(以下, 搾乳関連排水)が日々排出されている. 多くの事例は水質汚濁防止法の規制の対象となる排水量に満たないため, 未処理または処理不十分の状態であらゆる場合もある(猫本ら2012). また, 搾乳関連排水を起因とする近隣の漁業への影響も指摘されている(石川2004). 酪農は環境・衛生に配慮した産業である必要があり, 同排水を未処理のまま放流すると重大な事態を招く可能性があるとの指摘もある(日本草地畜産種子協会2008). したがって, 同排水を適切に処理・利用することが必要である.

搾乳関連排水を構成しているものは, 主に①ミルクラインの洗浄排水, ②バルククーラーの洗浄排水, ③出荷せずに廃棄する生乳, ④プラットフォームの洗浄排水(パーラー搾乳の場合)である. 排水量は, 搾乳牛50~100頭規模のパーラーの場合1日あたり1~3m<sup>3</sup>である(農林水産省生産局2007; 日本草地畜産種子協会2008). ③と④については, 具体的な処理方法はほとんど検討されていないが, 貯留して畑へ施用する方法も選択できる. しかし, ①と②は肥料効果が低く発生量も多いため, 一般的に貯留することは困難であり, 浄化処理が試みられている.

既往の浄化処理の方法としては, 活性汚泥法をベースにした各種処理方法や膜分離活性汚泥法などが主に利用されている(農林水産省2009; 大越2010; 田中ら2011).

排水量が5m<sup>3</sup>/日規模の酪農場において膜分離活性汚泥処理方式を用いる場合, 建設コスト16~27百万円, ランニングコスト700~1500千円/年の費用がかかるとされる(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). 大規模な経営ではこのような高価な施設を利用して浄化・放流している場合もあるが, 中小規模の酪農場では容易に導入できない金額のため, 普及は見込めない. そこで本論文では, 浄化コストを下げる一手法として, 搾乳関連排水の汚濁度合を下げる技術を検討することとした. 一般的に浄化施設はBOD容積負荷から規模が算定されるため(中野ら1986), 原水のBOD負荷量を下げることが, 処理施設のコスト低減につながるからである.

搾乳関連排水のBODは, 糞尿が混入する場合はおよそ1,000mg/L, 混入しない場合でも500mg/L程度と比較的高い(猫本ら2012). 糞尿が混ざらなければBOD濃度は半減するが, さらに原水の汚濁度合を下げることであればより低コストな処理が可能になる. そこで筆者らは, ミルクラインの洗浄排水に含まれる搾乳機器内の生乳(本論文では残乳と呼ぶ)に着目し, 排水への混入量を低減させる技術を検討した.

残乳の混入を少なくするために, 生乳をミルクラインから回収する手段としては, ①傾斜回収と②エア回収がある

現所属: <sup>a</sup>青森県産業技術センター畜産研究所, 青森県野辺地町 039-3156

連絡者: 猫本健司 (fax: 011-388-4859, e-mail: nekomoto@rakuno.ac.jp)

(中央畜産会 2010). ①傾斜回収とは、パイプライン傾斜によって自然流下させる方法である。パイプライン傾斜の角度はおよそ  $0.5^\circ$  以上が推奨されているが (Bates 1985 ; 北海道乳質改善協議会 2010), 事例によって角度は様々であり、回収の度合に影響していると思われる。エア回収とは、エアでライン内の残乳を押し出す回収であるが、システムによって自動化されて一定時間行われている事例もあれば手動で行う場合もあり、回収効果には事例によって差が生じていると考えられる。したがって、傾斜回収やエア回収を効率良く行うことができれば、排水への残乳の混入量が少なくなり、BOD 負荷量の低減ならびに浄化施設コストの削減につながる可能性が高い。しかし、このような視点からの具体的な検討はほとんど行われていないため、本論文では、現地事例調査と小規模試験装置による回収試験で得られたデータをもとに、現地事例において現行よりも排水の汚濁度合を下げる試みを行った。

材料および方法

1. 現地事例におけるミルクラインの現状調査と排水分析

1) 調査対象

北海道内のつなぎ飼い牛舎・パイプラインミルクで搾乳を行う酪農場 7 戸 (釧路地方 6 戸, 十勝地方 1 戸), ならびに、フリーストール牛舎に併設されたミルクパーラーで搾乳を行う酪農場 10 戸 (釧路地方 8 戸, 十勝地方 2 戸) の計 17 カ所を調査対象とした。

2) ミルクラインの長さ (L) と平均傾斜角度 ( $\theta$ )

つなぎ飼い牛舎内およびミルクパーラーにおけるパイプライン配管の模式図を図 1 に示した。配管長 (L m) は、各酪農場ごとに  $L_1$ ,  $L_2$  および  $L_3$  に相当するパイプラインの長さを計測し、以下の計算式にて求めた (1)。

$$L = 2L_1 + 2L_2 + 2L_3 \quad \dots\dots\dots(1)$$

また、牛舎内およびパーラー内の数カ所においてミルクラインの長さから高さから配管傾斜を測定し、それらを平均して、平均傾斜角度とした。以下に計算式を示す (2)。

$$\theta = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \theta_n \quad \tan \theta_n = \frac{h_n}{l_n} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$\theta$  = ミルクラインの平均傾斜角度 ( $^\circ$ )

$l$  = ミルクラインの長さ (m)

$h$  = ミルクラインの高さ (m)

3) 残乳の傾斜回収時間 (Tcf)

各酪農場にて、ミルクタップ (ミルクラインのミルク取り付け部位) をレシーバーに近い側から  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $\dots\dots$ ,  $t_n$  とし、各ミルクタップで最後に搾乳されたウシの乳頭からミルクが離脱した時刻と、すべての搾乳を終えてパイプラインからの生乳の回収を終了した時刻から、傾斜回収時間の平均を求めた (図 2/left)。以下に式を示す (3)。

$$Tcf = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n Tcf_n \quad Tcf_n = t_0 - t_n \quad \dots\dots\dots(3)$$

Tcf = 傾斜回収時間 (min)

$t_n$  = 各ミルクタップで最後に搾乳されたウシの乳頭からミルクが離脱した時刻 (mm:ss")

$t_0$  = すべての搾乳を終えてパイプラインからの生乳の回収を終了した時刻 (mm:ss")

ただし、 $Tcf_n > Tcf_x$ ,  $x = 1, 2, \dots, n-1$  すなわち、レシーバーに近い側のミルクを先に離脱した場合の傾斜回収時間は、レシーバーから離れているミルクと同じ時間;  $Tcf_n = Tcf_x$  とする。

4) 残乳のエア回収時間 (Tca)

調査対象とした 17 戸の酪農場のうち、図 2/right に示すエア回収を行っていたのは 7 戸 (つなぎ飼い・パイプラインミルク 5 戸, ミルクパーラー 2 戸) であった。これらの事例において、日々行われているエア回収の時間

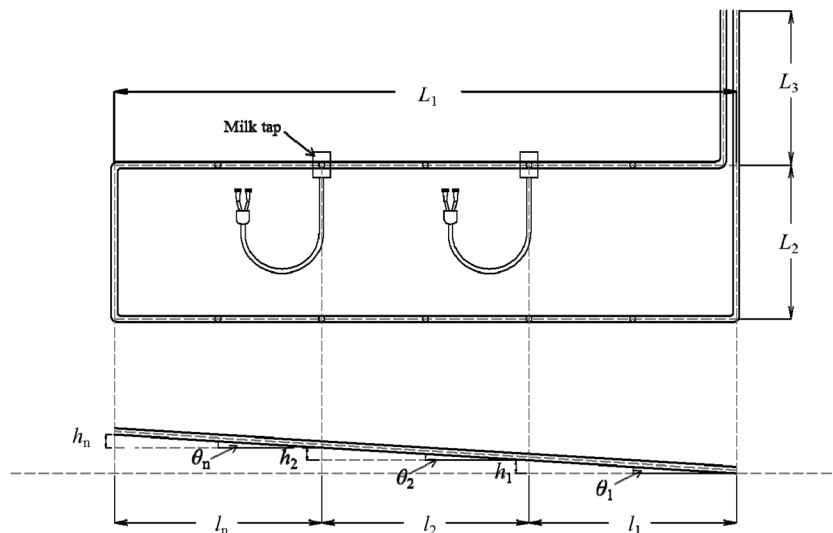


Figure 1 Gradient and length of milk line at the milk house.

(ミルクライン内へエアの吸入が開始されてから止めるまで)を計測した。

5) 前すすぎ排水の化学分析

搾乳後にミルクライン内に残る生乳(残乳)が多いほど、搾乳関連排水の汚濁度合は高まる。パイプラインの循環洗浄は、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る。本論文では、ライン内に残っている生乳のほとんどは、搾乳後1回目の循環洗浄の排水(本論文では前すすぎ排水と呼ぶ)に混入するものと仮定し、前すすぎ排水を採取し成分分析を行った。分析項目(分析方法)は、BOD(JIS K 0102 17)、COD(JIS K 0102 21)、T-N(JIS K 0102 45)ならびにT-P(JIS K 0102 46)とした。また、分析項目のうち、T-Pの量を用いて、パイプラインに残っている残乳の量を推定した。以下に式を示す(4)。

$$M = \frac{C_{DWD} \cdot W_{DWD}}{C_{MP}} \quad \dots\dots\dots(4)$$

- M = 前すすぎ排水に含まれる生乳の量(L)
- C<sub>DWD</sub> = 前すすぎ排水中のT-P濃度(mg/L)
- W<sub>DWD</sub> = 前すすぎ排水量(L)
- C<sub>MP</sub> = 生乳中のT-P濃度(mg/L)

2. 小規模試験装置によるエア回収試験

現地事例において、エア回収が行われていたのは7戸と少なく、回収時間は数十秒から10分以上とばらつきが大きかった。このことから、現地事例のデータからエア回収の効果を適切に検証することが不可能であった。

そこで、小規模な試験装置を制作して様々な条件による検討を行った。装置の概要を図3に示す。

つなぎ飼い牛舎のパイプラインミルクラーの一部分を実物大で再現することを想定し、傾斜角度の調整ができる口径40A、3mのパイプラインを用いた。生乳の流れを目視確認するためにパイプラインの部材にはPVC(透明塩ビ)を使用した。実際の牛舎では主にSUS304が使われている。このため、同内径の両部材を用いた予備試験を実施し、本実験装置によるエア回収では部材の違いによる生乳の回収率に有意な差が生じないことをあらかじめ確認した。

本試験装置の運転条件を設定するために、40Aのパイプラインミルクラーを有する現地事例数戸において、エア回収時におけるパイプライン内のエア流量および内圧と、エア回収前におけるライン内の残乳量を計測した。エア流量はパイプラインへのエア吸入口における流速を熱式風速計

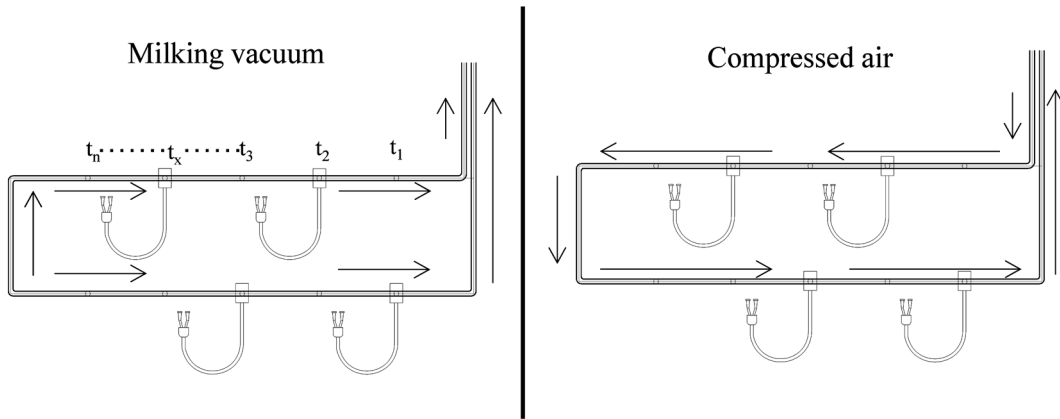


Figure 2 The milk flows in milk line at a milk house.

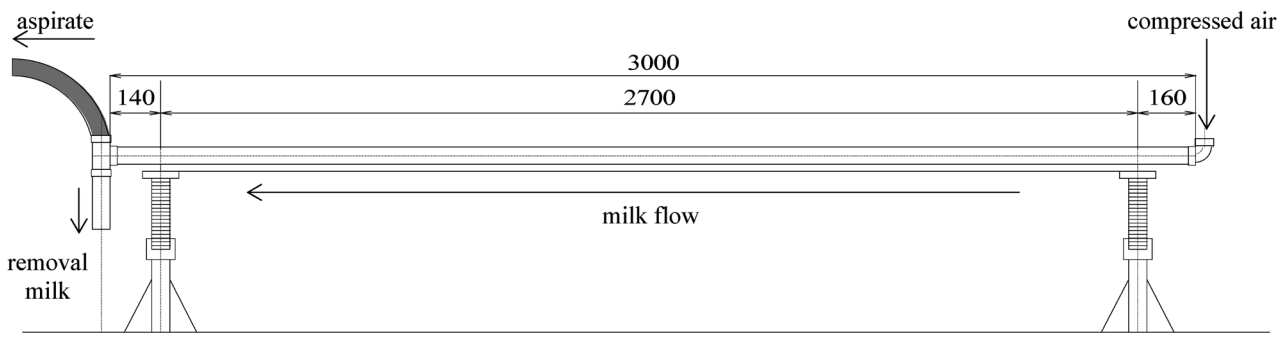


Figure 3 The experimental equipment for simulating the removal of residual milk from milk line by compressed air.

(アネモマスター風速計 6061 ; KANOMAX 製, 大阪府) で測定して求めた。内圧については現地のミルクラインに常設されているブルドン管圧力計を目視確認した。エア回収前のライン内残乳量については、事例において日々実施されるエア回収工程を省略し、ライン内に生乳が残っている状態のまま循環洗浄を実施し、その際に発生する前すすぎ排水の分析結果から、前述した計算式 (4) により求めた。

現地事例におけるエア回収時のエア流量と内圧はそれぞれ、 $2.1 \pm 0.3 \text{ m}^3/\text{分}$  ( $n = 4$ )、 $-15 \pm 2.1 \text{ kPa}$  ( $n = 3$ ) であった。これらのデータにしたがい、本試験装置のパイプラインの片側に流量調整が可能なファンとブローアを接続して、試験時におけるライン内流量は  $2.0 \text{ m}^3/\text{分}$ 、内圧は  $-15 \text{ kPa}$  に調整した。事例におけるエア回収前のパイプライン 1 m あたりの残乳量は、 $8.4 \pm 4.5 \text{ mL/m}$  ( $n = 6$ ) とばらつきが大きかったが、本試験装置では現地の平均に近い値を採用し、 $8.3 \text{ mL/m}$  (3 m のパイプライン全体に  $25 \text{ mL}$  の生乳を注入) の生乳を試験に用いた。傾斜角度は  $-1$ 、 $-0.75$ 、 $-0.5$ 、 $0$ 、 $0.5$ 、 $0.75$ 、および  $1.0^\circ$  の 7 段階とし、エア回収開始から 20、30、40、50、および 60 秒における残乳回収量をそれぞれ 3 反復計測した。

### 3. 現地事例におけるエア回収試験

結果の中で記述するように、現地事例調査と室内小規模試験で得られたデータを検討した結果、エア回収時間を長めにすることが、搾乳関連排水へ混入する残乳量を効率よく低減できる可能性が示唆された。これを受けて、エア回収を 5 分程度行う 3 酪農場を選び、5 分および 10 分間の 2 パターンでエア回収を行った際の前すすぎ排水を採取し、搾乳関連排水の汚濁度合の低減効果を検証した。

## 結果および考察

### 1. 現地事例におけるミルクラインの現状調査と排水分析

現地事例におけるミルクラインの現況ならびに残乳回収時間を表 1 に示す。パーラー搾乳方式は、つなぎ飼いのパイプライン搾乳方式よりも配管が短く傾斜角度 ( $\theta$ ) が

大きい傾向であった。つなぎ飼いにおけるパイプラインの平均傾斜角度は  $0.34 \pm 0.14^\circ$  ( $n = 7$ ) であり、推奨されている  $0.5^\circ$  以上 (Bates 1985 ; 北海道乳質改善協議会 2010) の事例数は 7 戸中 1 戸のみであった。

残乳の傾斜回収時間 ( $T_{cf}$ ) については、事例によってかなりのばらつきがあった。エア回収を行っていた事例数は、つなぎ飼い・パイプライン搾乳方式では 7 戸中 5 戸で、回収時間 ( $T_{ca}$ ) は約 5 分であった。パーラー搾乳方式の場合は、衛生上の理由から近年は行われなくなった、パイプライン内にスポンジを吸入させる残乳回収方法がもともと普及していなかったため、エア回収のシステム自体がインストールされていない事例が多く、エア回収を行っていたのは 10 戸中 2 戸であり、回収時間 ( $T_{ca}$ ) は 30 秒と 2 分であった。

搾乳関連排水の総排水量および前すすぎ排水の排水量と分析結果を表 2 に示した。パイプラインの配管径が比較的大きいパーラー搾乳方式では、ラインの循環洗浄に使用される水量も多いため、パーラー搾乳方式における総排水量は、つなぎ飼い・パイプライン搾乳方式の約 1.7 倍であった。一方、前すすぎ排水の性状には、両方式間に大きな差は見られなかったことから、つなぎ飼い・パイプライン搾乳方式よりもパーラー搾乳方式における、ミルクライン内の総残乳量が多いことが示唆された。

### 2. パイプラインの傾斜角度ならびに残乳回収時間とミルクライン内残乳量との関係

前すすぎ排水の分析結果から、生乳回収後におけるミルクライン内の残乳量を算出し、パイプラインの平均傾斜角度との関係を図 4 に示した。同残乳量は、パイプラインの傾斜角度が大きいほど、有意に少ない傾向であった。このことから、配管傾斜角度が大きいほど、残乳の回収効果が高まることが示唆された。

次に、生乳回収後におけるミルクライン内残乳量と傾斜回収時間との関係を図 5 に示した。傾斜回収時間と残乳量の間、強い相関関係は認められなかったことから、パイプラインの傾斜角度が小さい事例では、時間をかけても

**Table 1** General situation of milk line and the time for capturing residual milk at dairy farms

	Pipeline Milking/ Tie stall barn	Milking parlor/ Free stall barn
The length of milk lines ( $L$ m)	$78 \pm 13$ ( $n = 7$ )	$30 \pm 14$ ( $n = 10$ )
The gradient of milk lines ( $\theta^\circ$ )	$0.34 \pm 0.14$ ( $n = 7$ )	$0.67 \pm 0.19$ ( $n = 10$ )
$T_{cf}$ (min)	$14 \pm 11$ ( $n = 7$ )	$12 \pm 5.2$ ( $n = 10$ )
$T_{ca}$ (min)	$5.8 \pm 3.7$ ( $n = 5$ )	$0.50 \sim 2.0$ ( $n = 2$ )

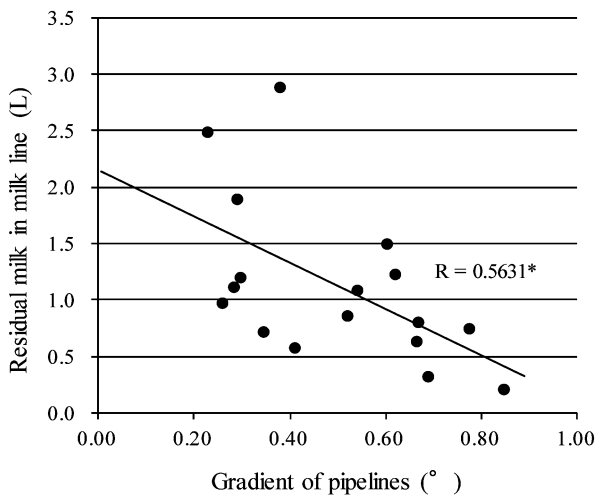
$T_{cf}$  : The time for capturing residual milk by letting it flow down the pipeline naturally

$T_{ca}$  : The time for capturing residual milk from pipeline using compressed air



**Table 2** The volume and chemical analysis of wastewater at milk house

	Pipeline Milking/ Tie stall barn	Milking Parlor/ Free stall barn
Total volume of wastewater from milk house	870±97 L/day (n = 7)	1,500±830 L/day (n = 10)
Volume of wastewater for the first rinse after milking	140±21 L/day (n = 7)	210±60 L/day (n = 10)
Results of chemical analysis		
BOD (mg/L)	1,700±720	2,100±1,500
COD (mg/L)	940±220	920±520
T-N (mg/L)	91±31	100±75
T-P (mg/L)	49±12	60±42



**Figure 4** The relationship between the residual milk in milk line and the gradient of pipeline.

残乳は回収されにくいと考えられた。

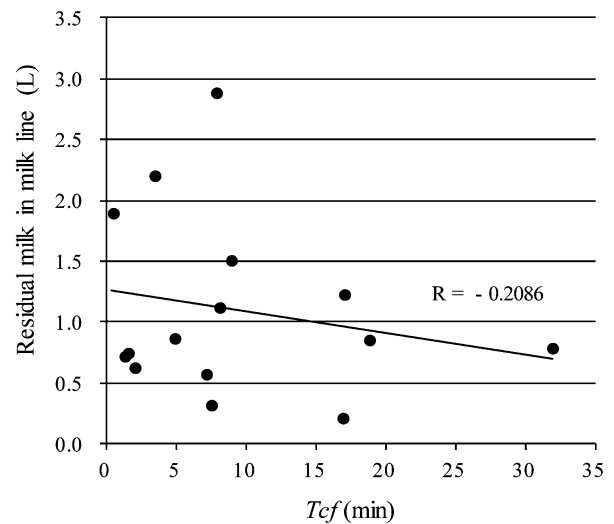
また、エア回収時間と残乳量との関係については、前述したようにエア回収を行っている事例数が少なく、現地調査から適切に検討することが不可能であるため、室内小規模試験装置を用いて検証を行うことにした。

**3. 小規模試験装置によるエア回収試験**

3m (40A) のパイプラインを用いて実施した室内小規模試験装置によるエア回収試験結果を、仮想の事例規模(搾乳牛 60 頭、図 1 におけるパイプライン長  $L = 78\text{m}$ ;  $L1 = 36\text{m}$ ,  $L2 = 1.8\text{m}$ ,  $L3 = 1.2\text{m}$  と想定) に換算して、図 6 に示した。

生乳回収率は、傾斜角度がマイナス(下り)であるほど高く、プラス(上り)勾配に応じて低くなる傾向が得られたが、図 2/right に示すように現地事例におけるエア回収は一方にエアが流れるループ状態のため、生乳回収率は上りと下りの平均値になると想定できる。

小規模試験において、各角度の上りと下りを平均した生乳回収率は、4 分の場合には配管傾斜  $0^\circ$ ,  $+0.5^\circ$ ,  $+0.75^\circ$ ,



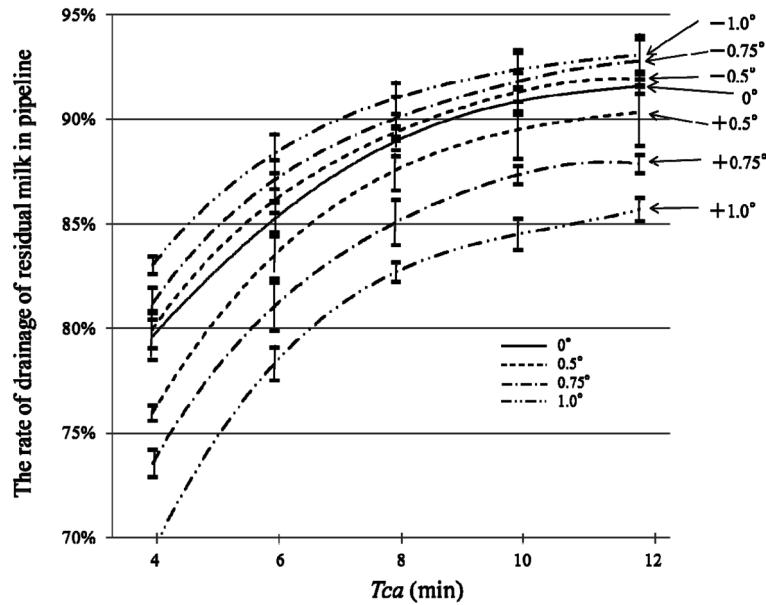
**Figure 5** The relationship between the residual milk in milk line and the time for capturing residual milk by flow down the pipeline naturally ( $T_{cf}$ ).

$+1.0^\circ$  の順にそれぞれ 78.5, 77.4, 76.7, および 75.7% であった。また、10 分の場合には同様にそれぞれ 90.9, 90.4, 89.6, および 88.4% であり(図 6)、角度の違いによる著しい差はみられなかった。しかし、エア回収が 4 分から 10 分になると、いずれの角度においても 12~13% 回収率が高まった。このことから、エア回収では、配管傾斜角度 ( $0^\circ \sim 1^\circ$ ) が、生乳回収率に与える影響は比較的低いが、回収時間の長さは回収率に影響を及ぼすものと判断される。

**4. 残乳回収が搾乳関連排水の汚濁度合に与える影響**

以上の結果から、搾乳後の残乳回収が排水の汚濁度合に与える影響に関して、次のことが示唆される。

- ①傾斜回収では、回収時間を長くするよりもパイプラインの傾斜角度を大きくする方が有効である。
- ②エア回収では、傾斜角度による影響は少なく、回収時間を長くすることが有効である。



**Figure 6** The relationship between the rate of drainage milk and the time for capturing residual milk by forcing out using compressed air (*Tca*) in a laboratory-scale simulation.

**Table 3** The reduction rates of BOD loads by capturing residual milk from pipeline using compressed air at dairy farms with pipeline milking system

	Farm A		Farm B		Farm C	
Total volume of wastewater from milk house (L/day)	960		960		830	
<i>Tca</i>	5 min.	10 min.	5 min.	10 min.	5 min.	10 min.
Chemical analysis of the wastewater for first rinse after milking						
BOD (mg/L)	2,800	810	2,500	1,300	2,900	1,700
COD (mg/L)	1,300	350	1,400	660	2,300	1,100
BOD load (kg/day)	2,700	780	2,400	1,200	2,400	1,400
Reduction rate (%)	71		48		41	

*Tca* : The time for capturing residual milk from pipeline using compressed air

事例におけるつなぎ飼い・パイプライン搾乳方式では、以前はスポンジによる残乳回収を行っていた名残から、エア回収を行う割合は高かったが、パイプライン傾斜の推奨値 (0.5°以上) を満たす事例は少なかった。一方、パーラー搾乳方式では、パイプラインの傾斜角度は比較的大きいが、エア回収を行う事例は少なかった。また、小規模室内試験の結果から、エア回収に10分程度の時間をかけることにより残乳の回収率は90%程度が期待できると示唆された。このことから、事例において、搾乳関連排水の汚濁度合を低減する技術として有力なのは、配管の傾斜を大きくすること、エア回収の時間を長くすることであると推察され、より低コストで短期間に実現できるのは、エア回収時間の延長であると考えられる。

### 5. 事例におけるエア回収試験

前項までの結果を受けて、搾乳後のパイプライン内の残乳をエア回収している、つなぎ飼い・パイプライン搾乳の事例を3戸選び、エア回収時間を5分と10分でそれぞれ1回づつ実施し、エア回収の延長が排水の汚濁度合に与える影響を検証した (表3)。

エア回収時間を5分~10分に延長した際における搾乳関連排水のBOD負荷量は、延長前に比べて41~71% (平均51%) 減少していた。このことから、エア回収を行っていない、または、エア回収が比較的短い事例において、エア回収時間を延長することが、搾乳関連排水の処理コストの低下に寄与すると示唆された。

## 6. 総括と課題

本論文では、搾乳関連排水を低コストに処理する技術として、原水の汚濁度合を下げる技術を検討した。排水の汚濁の元となるミルクライン内の残乳を少なくするには、配管傾斜が小さい事例では、角度を大きくすること、エア回収を行っていない、または回収時間が短い事例では、エア回収時間を長くすることが有効であると示唆された。しかしながら、現地において傾斜角度を変えることは、高価な投資を伴う上に、配管長が比較的長いつなぎ飼い・パイプライン方式では、傾斜角度が大きくなると、レシーバーから離れるほどパイプラインのレベルが高まり、ミルクカー接続作業に困難が生じることも考えられる。一方で、エア回収時間の延長は容易に導入できる技術であると考えられた。営農上の理由から、調査戸数と回数は限られていたが、現地事例でエア回収時間を5分から10分にしたところ、エア回収の延長により搾乳関連排水のBOD負荷量が平均で51%低下した。これによって、浄化処理施設の設計規模の縮小が可能となり、建設コストの低減が見込まれる。コストの低下に伴って、多くの酪農場で低コスト処理施設の利用や、既存の浄化システムが導入しやすくなる可能性が高まり、環境・衛生に配慮した酪農経営につながる事が予想される。

なお、近年普及しているフリーストール・ミルクングパーラー搾乳方式の酪農場から発生する糞尿混じりの排水（ブラットフォームの洗浄排水）については、本論文では浄化処理の検討の対象としていないが、同排水の管理について、今後報告する予定である。

## 文 献

- Bates DW. 1985. *Dairy Housing and Equipment Handbook*. 5.5. Midwest Plan Service, Iowa State University, Ames, Iowa.
- 中央畜産会. 2010. 畜産環境保全支援指導マニュアル. p. 71. 財団法人中央畜産会, 東京.
- 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. p. 11. 北海道乳質改善協議会, 北海道.
- 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.
- 中野蕙二, 雨宮淳三, 佐藤儀平, 小川益男. 1986. 獣医公衆衛生学概論. p. 278. 文永堂, 東京.
- 猫本健司, 干場信司, 森田 茂, 高橋励起, 河合紗織, 石川志保, 内田泰三. 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.
- 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.
- 農林水産省. 2009. 搾乳関連排水処理施設の事例集. pp. 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.
- 農林水産省生産局. 2007. 草地開発整備事業計画設計基準. p. 400. 社団法人日本草地畜産種子協会, 東京.
- 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, pp. 81-86.
- 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.
- 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. p. 8. 十勝管内農協畜産技術員研究会, 北海道.

## Study on removal efficiency of residual milk from milk line for wastewater purification at milk house

Saori KAWAI<sup>1</sup>, Kenji NEKOMOTO<sup>2</sup>, Shinji HOSHIBA<sup>2</sup> and Sigeru MORITA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Bunkyodai, Ebetsu 069-8501, Japan

<sup>2</sup> College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University,  
Bunkyodai, Ebetsu 069-8501, Japan

**Corresponding : Kenji NEKOMOTO (fax : +81 (0) 11-388-4859, e-mail : nekomoto@rakuno.ac.jp)**

Milking centers at dairy farms generate wastewater through the washing of milking units, milk line and bulk cooler. High-performance treatment systems for water purification, such as activated sludge systems, have been used at some large-scale dairy farms but are generally not feasible at almost all dairy farms because of the high costs of construction and maintenance. The aim of this study is reducing the contamination of raw wastewater from milking centers by methods for efficient draining of residual milk in milk lines. Residual milk in the milk lines was drained into the pail after milking by letting it flow down the pipeline naturally or by forcing out the line using compressed air. Removing or reducing residual milk from milk lines as much as possible will be beneficial for low-cost treatment systems for milking center wastewater. Investigation of 7 tie-stall dairy barns (TS) with a pipeline milking system and 10 free-stall dairy barns (FS) with a milking parlor revealed the following. At the TS, the average gradient of the milk lines was  $0.34 \pm 0.14^\circ$ , and the average time for capturing residual milk was  $14 \pm 11$  min. At the FS, the average gradient of the milk lines was  $0.67 \pm 0.19^\circ$ , and the average time for capturing residual milk was  $12 \pm 5.2$  min. Contamination of milking center wastewater with milk was lower for milking pipelines with a high gradient. On the basis of these results, milking pipeline gradient has more effect on the amount of captured residual milk than the capturing time when capturing residual milk after allowing it to flow naturally down the pipeline. In addition, a laboratory experiment revealed that capturing time has more effect on the amount of captured residual milk than pipeline gradient when removing residual milk with compressed air. Therefore, a high gradient and a long drainage time with compressed air will provide the most effective low-cost treatment system for removing or reducing contaminants in milking center wastewater. On average, 51% of BOD in milking center effluent was reduced when extending the drainage time of residual milk with compressed air to 10 min at 3 dairy farms where 5 min of drainage using compressed air was normally conducted. At dairy farms, therefore, extending the drainage time for residual milk with compressed air might be a feasible means to improve the removal efficiency of residual milk while reducing the contaminants of milking center effluent.

*Nihon Chikusan Gakkaiho 86 (4), 497-504, 2015*

**Key words** : dairy farm, milking center effluent, milk line, residual milk, wastewater purification.