

総説

ミルカーから乳房炎を診る —基礎編—

榎谷雅文

北海道デーリイマネージメントサービス有限会社

〒085-1211 北海道阿寒郡鶴居村下雪裡5-9

Tel. 0154-64-2306 fax. 0154-64-2977

enoki@seagreen.ocn.ne.jp

【要約】

牛乳房炎は最も甚大な損害を酪農家に及ぼす疾病である。乳房炎発生要因の中でミルカーに関する報告は数多いが、日本での報告は少ない。そこで酪農関係者が、機械搾乳の仕組み、ミルカーの考え方、乳房への細菌感染の仕組みを習得することを目的として本研究を行った。模擬搾乳実験として、模擬搾乳装置、透明なライナーとシェルを用いて流量（水）を5段階に変化させながらクローの搾乳状況をビデオ撮影した。さらに、ライナースリップを人工的に発生させ、ドロップレツク現象を再現しビデオ撮影した。ミルカー搾乳は手搾りとは異なり、牛乳を搾るのではなく真空で吸い出していることを映像化した。ミルカーは乳房の位置とミルクラインの位置関係により、Low, middle, high Lineの3種類に区分けされ、それぞれシステムの設定圧は異なった。何れのミルカーであっても搾乳中のクロー内真空圧を基準として、システム設定圧を調整すべきであった。ライナースリップの有無によりライナー内での水の逆流現象には2種類あることが明らかになった。ライナースリップが発生しない通常の搾乳でも逆流現象は生じており、特に泌乳量の少ない場合には乳頭管までの逆流が多く発生することが明らかになった。この種の逆流現象は現在の機械では防止できないが、同時に発生する乳房への細菌感染機会を防ぐには、ミルカー装着前の乳頭清浄度とオキシトシンを利用した搾乳が、乳房への細菌感染防御に重要であると考えられた。

キーワード：模擬搾乳装置、機械搾乳、乳房炎、逆流現象、システム設定圧

【はじめに】

牛乳房炎は乳牛疾患の中で最も甚大な損害を酪農家に及ぼす疾病である。乳房炎の直接的原因は細菌感染であるが、その発生要因は数多くあり、乳房炎の発生は一向に減ることなく、依然として酪農家を苦しめている第一の病気である。乳房炎の発生要因は多岐にわたり、乳房炎を予防するには酪農場の全ての分野において乳房炎の発生リスクを検討し、低減策を講じな

ればいけない。

乳房炎発生要因の分析の中で、搾乳作業に関する多くの報告 [2, 4-8, 10] や、ミルカーに関する報告 [1, 3, 6, 9, 11-16] は数多く存在する。日本国内のミルカーに関する問題点については、2006年に榎谷が獣医学術学会北海道地区大会で公表している。その中でミルカーの問題点は、設置当初からある問題点とその後のメンテナンス不良問題が混在しており、ミルカー点検を実施したシステムで正常と判断された台数は、136台中わずか8台（6%）であることを述べている。このように日本におけるミルカー

受理：2015年9月3日

の問題点は重大であると推察される。

本論文では、特別に検査測定機器を用いなくともミルカーの問題点を診断し得る知識を習得することを目的とし、ミルカーの基本を学ぶ。

【材料と方法】

1. 模擬搾乳実験装置

模擬搾乳実験は、酪農家で使用しているミルククローと、特別な透明ライナーゴム、透明シェルを用いて搾乳試験を行った。乳牛の代わりに模擬搾乳装置は、流量計の付いたバケツと先端に4本の模擬乳頭の付いた分流装置から構成される装置で、流量を調整することで模擬搾乳量を自由に変化させることができる装置（Jenny Lynn Flow Simulator、Rocky Ridge Dairy Consulting, WI, USA）である。搾乳と同じようにライナー4本に模擬搾乳装置をセットし、テープで固定しライナーズリップを防止した。測定流量は1.9kg/分、3.8kg/分、5.7kg/分、7.6kg/分、8.7kg/分とし、模擬搾乳開始後30秒間を流量調整の導入時間として、開始30秒後から2分30秒後までの2分間、クロー内の平均真空圧（クロー内圧）と最高真空圧と最低真空圧を真空圧測定機器（トライスキャン、サージ社、USA）にて測定した。

2. 模擬搾乳実験

模擬搾乳装置を用い、ライナーゴムの動きと搾乳との関係をビデオ撮影した。さらに、人工的にライナーズリップを起こさせ、ドロップレツツ現象を再現してビデオ撮影した。また、色々な種類のミルカーで模擬搾乳実験を行い、low line, Middle Line, High line の設定圧を比

較検討した。

【ミルカーの基礎知識】

1. ミルカーの基本構造 図-1, 2

ミルカーは図-1のような構成要素から成り立っている。つなぎ牛舎でもミルクングパーラー搾乳であっても基本構成要素は同じであり、これに色々な装置（ミルクメーター、自動離脱装置、ゲートの開閉装置など）などが取り付けられるほか、洗浄関連装置や冷却装置が付随する。

2. 機械搾乳の仕組み 図-3

手搾りでは乳頭を手で掴み、人差し指から順に握ることにより、乳頭（乳頭管）にたまった牛乳を搾り出す。模擬的な説明では、「じゃんけん」の“グー”で搾り、“パー”で休む形になる。1回で搾り出せる牛乳の量は、乳頭（乳頭管）にたまった牛乳の量である。一方機械搾乳のミルカーでは、“パー”で搾り、“グー”で休む形になる。正確な表現では、「搾る」ではなく、真空を使って牛乳を乳頭管から「吸い出す」形になる。

図-3は搾乳中のシェル、ライナーゴム及び乳頭の縦断面を示す。黒い部分がライナーゴムで、その外側にシェルと呼ばれるステンレスの円筒形の金属部分があり、中にライナーゴムが入って2重構造を作っている。右側（休止期）①のシェルとライナーゴムで囲まれた部分は、パルセーターから空気が入り大気（真空度0）の状態となる。それによりクローから供給された真空と大気圧によりライナーゴムはつぶされ、乳頭への真空を遮断する。左側（搾乳期）

ミルカーの基本構造 図-1

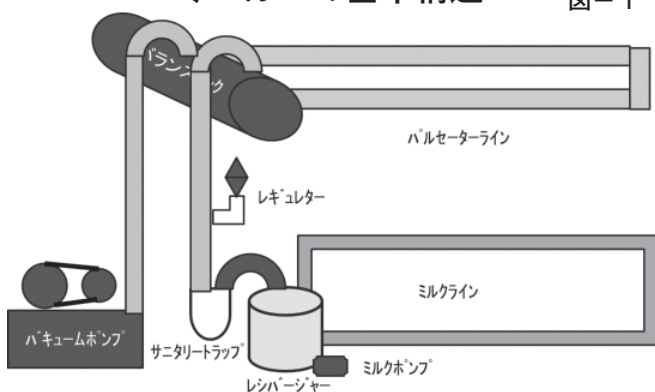
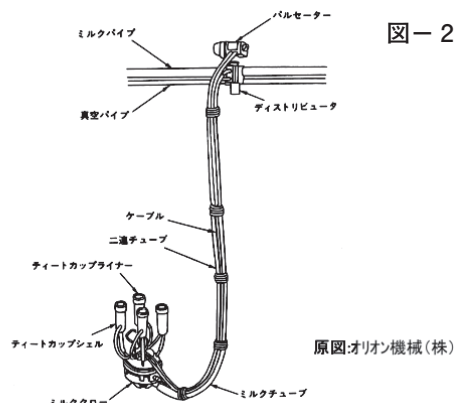


図-2

搾乳ユニットの基本構造



ライナーゴムの動きと機械搾乳

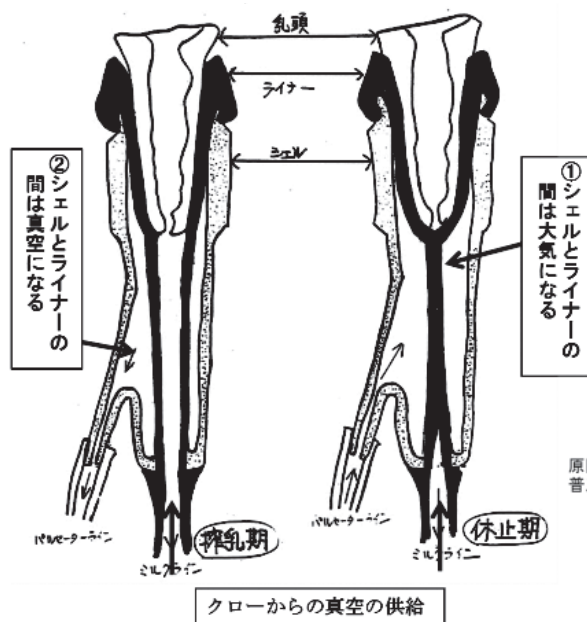


図-3

原因：南根室農業改良
普及センター資料

②ではパルセーターから真空が供給されて、この部分の空気を吸出しクロー内と同じ真空度にする。ライナーゴムの外側と内側が同じ真空度になるために、ライナーゴムの弾力でライナーが開き、クローから供給された真空で乳頭から牛乳を吸い出す。ライナーゴムの弾力で開く事が重要である。

図-3では乳頭を包むようにライナーゴムはつぶれているが、実際は乳頭までもつぶしており、真空で吸われた乳頭をライナーゴムはつぶし、真空を遮断すると共に乳頭の鬱血を解除する。これがマッサージ期（休止期）で、搾乳中のクロー内圧がこの力を供給し、ライナーゴムを潰す圧力を含めて35から42kpa [15] 欲しいとされている。

このようにして基本的なライナーの拍動原理を考えると、ライナーゴムは搾乳性に大きくかかわっており、劣化するまで使うというものではない。ライナーゴムの弾力がなくなると、1回の拍動による搾乳量（吸出し量）が減り、搾乳時間が延び、乳頭口を傷める原因となる。搾乳時間が延びることは、機械的な乳頭口損傷の危険性を高くする。その為にライナーゴムは定期的に使用回数で交換する事が勧められる。最長は洗浄回数180回（2回搾乳3ヶ月）といわれている。

計算例：

搾乳使用ユニット数 x 1500回（指定使用回数）
／（搾乳頭数 X 2回（搾乳回数）） = 日数
以上のライナーゴムの拍動と搾乳原理から乳房炎を防ぐために考えるべきことは、

- ◆パルセーターの異常は、乳頭口の損傷につながり、乳牛が搾乳中に痛がる。もしくは搾乳時間が長くなったり、搾乳ができなくなったりする。
- ◆パルセーターの空気取り入れ口は、定期的に掃除が必要である
- ◆脈動チューブが破れると、搾乳が長くなり、乳頭口を傷める。
- ◆ライナーゴムの劣化は搾乳時間を長くし、乳頭口を傷める。
- ◆泌乳量が多くなりクロー内圧が低下すると乳頭マッサージが不完全になる可能性がある。
- ◆ライナーゴムの堅さ（潰れ圧：ライナーコラプス）は、乳頭マッサージに影響を及ぼす。

3. ミルカーの種類

ミルカーは搾乳中の乳房の位置とミルクラインが設置されている位置関係で、おおよそ3種類に区分けされる。乳房の位置よりもミルクラインの設置位置がかなり高く、乳牛の頭の上に設置されているものを high line（一般的なつ

なぎ牛舎のミルカー) という。ミルクラインの位置が乳牛の頭より少し低下している場合には、middle line といい、ミルキングパーラーなどで設置されていることがある。ミルクラインの位置が乳房よりも低い位置にあるものを low line といい、一般的なミルキングパーラーがこれにあたる。しかし、ミルキングパーラーと呼ばれていても low line ではないものもあるので注意を要する。この3種類の区分けは、ミルカーの設定圧や搾乳能力を考える際に大変重要であり、設定圧の間違いが乳房炎を起こしている場合もある。このシステムの区別ができて、はじめて設定真空圧が正常か否かを判定できるようになる。

4. ミルカーの設定圧 図-4

現在の日本には、真空圧の単位として3種類が使われている。kpa (国際単位: キロパスカル)、cmHG、インチ HG の3種類の単位の真空圧ゲージが使われている。それぞれの換算値は、

1インチHG = 2.54cmHG 1kpa = 0.75cmHG
kpa×0.3 = インチHG である。

ミルカーの設定圧を考える上で、先のミルカー3種類の区別が重要になる。区別毎に設定真空圧は異なる。真空圧ゲージが付いている場所で考えるのではなく、搾乳中のクロー内圧を如何にしてコントロールするかで決定する。搾乳中のクロー内圧は、Low Line System であろうが High Line System であろうが関係なく、乳牛が快適に搾乳されなくてはならない圧である。

設定真空圧の違いを理解しやすいように、流量と真空圧の関係を模擬搾乳実験結果よりグラフ化 (図-4) してみた。横軸は1分間にクローに流しているお湯の流量を示し、縦軸はその時のクロー内圧を示している。

一般的ハイライン (紺色ライン) では、牛乳がでると共にクロー内圧は低下し、40kpa 以下のクロー内圧で乳頭から牛乳を吸いだす。これは牛乳をクローからミルクラインまで吸い上げる為のリフトロスで、設定圧より急激なクロー内圧の低下が見られる。このために一般的ハイラインの設定圧は50kpa 程度とするが、実際

に搾乳中に乳頭にかかる真空圧は40kpa 以下程度となる。牛乳が出なくなるとクロー内圧は元の設定圧に戻ろうとするので、設定圧の50kpa 近くが乳頭口にかかる。このために搾乳最後の時間帯の過搾乳が問題とされる。黄色のラインはハイラインに自動離脱装置を取り付けた場合である。ミルクチューブの長さが長くなり、更に真空圧の低下を招いている。

一方ローライン (桃色ライン) のパーラーでは牛乳をミルクラインまで吸い上げる必要がないため、流量が多くなってもクロー内圧の低下が少ないので、設定圧はハイラインよりは低くする。流量が多くてもハイラインより高い真空圧で牛乳を吸い出すので、搾乳性が良くなる。一方搾乳終了近くの牛乳が出なる時間帯でも、ハイラインよりは低い設定圧にもどるので、搾乳終了近くの過搾乳も少なくなる。このように理論的に考えれば、ハイラインよりローラインの方が乳頭にやさしく搾乳性がよいシステムといえる。

水色ラインの特殊な真空2系統ミルカー (オリオン機械社製) は、ハイラインであるにも関わらずリフトロスが少なく、流量がある程度まではクロー内圧を一定に保つことができている。

5. クロー内圧の役割

搾乳中のクロー内圧が高すぎると、牛乳を吸い出すときに乳頭口に損傷を与える。一方低すぎるとライナー1拍動での牛乳を吸い出す量が少なくなり、ひいては搾乳時間が延びて乳頭口を痛める。また、乳頭マッサージが不良となり、乳頭から真空を解除できなかつたり、乳頭の鬱血を解除できなかつたりで、乳頭口を痛める。乳頭の先が紫色になるのは、乳頭マッサージが十分にできていない証拠である。ひどい場合には乳頭口より出血を見ることもある。このようにクロー内圧は低くても高くても乳頭口に損傷をきたし、乳房炎の問題 (体細胞数の上昇) が生じることになる。

NMC (アメリカ乳房炎協議会) [15] では乳頭のマッサージ圧は実験的にも、経験的にもピーク泌乳時で乳頭先端圧は10.5 ~ 12.5 インチHG (35 ~ 42kpa) であると述べている。このマッサージ圧は高品質の牛乳を速く完全に搾

一般的な設定圧

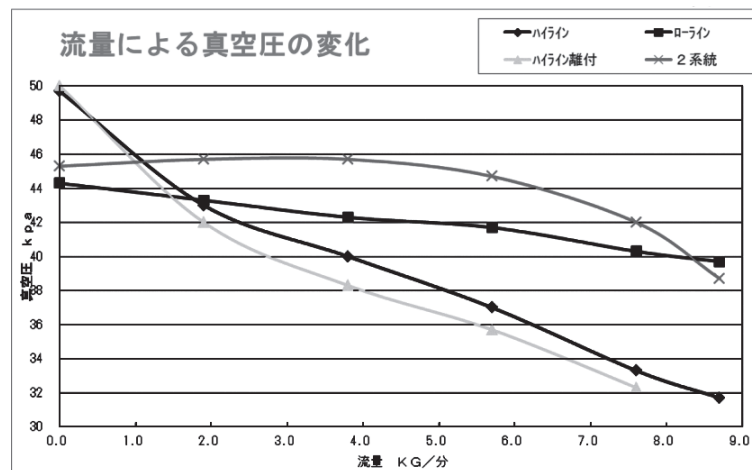
Low Line System:44kpa 程度 Middle Line System:46kpa 程度 High Line System:50kpa 程度

オリオンスーパーライン真空2系統システムの設定圧は、以下のように調整する。

ミルクライン圧 60kpa (45.0cmHG) これは調整しない
 パルセーターライン圧 42kpa (31.5cmHG) 農場で微調整可能

ミルカーの種類による設定圧の違い

図-4



りきり、かつ最小の損傷を乳頭に与える真空圧としている。

6. ミルクラインの役割

ミルクラインには2の役割がある。ひとつは牛乳を流してレシーバーまで運ぶこと、もう一つはミルクライン中の牛乳が流れている上の空間は搾乳するための真空の供給源として働き、ロングミルクチューブを通じてクローへ搾乳のための真空を供給することである。従って、ミルクラインには一定のたわみのない傾斜(1%)がレシーバーまで必要であり、決して真空で吸い込んではいけない。ミルクラインにたわみや、逆勾配、潰れた部分などがある場合は、たわみの部分で牛乳が貯まりミルクラインが狭窄されて、その部分から先には十分な真空の供給ができない。したがってミルクラインの傾斜不良は乳房炎のリスクを高めており、特にコーナーや壁を挟んだ前後が逆勾配となっている事例が多い。ミルクラインの牛乳が流れている上の空間が牛乳で一杯になると、ユニットが脱落したり、ライナースリップを引き起こしたりし易くなる。レシーバーにミルクライン中の牛乳が塊で流れ込んだ痕があるのは、

乳房炎のリスクを高めている証拠である。ミルクラインに空気を多く入れる搾乳(装着時の空気の流入など)をすると、この現象が発生しやすくなる。

7. ミルクチューブの役割

ミルクチューブも同じように2の役割があり、牛乳を流すこと、搾乳のための真空をクローに供給することである。牛乳を流す力は重力ではなく真空である。クローのブリードホールからの空気の流入(10L/分程度)が、ミルクチューブ中の牛乳を塊にしてミルクラインまで押し上げる形になる。ミルクチューブ中の牛乳の塊は、クローへの真空の供給を妨げるので(リフトロスの原因)、チューブが長い、口径が細い、潰れている、折れている、狭窄部分があるなどはクローへの真空が遮断される時間が長くなり、クロー内圧の低下を招き、結果乳房炎のリスクが高まる。

細菌感染の仕組み 図-5

1) Reverse Pressure Impact Type I

(ドロップレッツ現象)

乳房炎にとって大きな問題となる牛乳の逆流

現象（ドロップレット現象）を検討する。何らかの理由でライナーズリップが発生すると、急撃に吸い込まれた空気はクローへ流れ込み、空気が流れ込んだクロー内圧は急撃に低下する。空気を吸い込んだライナーと対側のライナーは拍動を繰り返しているため、ライナーゴムが潰れてから開いた瞬間に乳頭下の部分に陰圧が生ずる。この陰圧すなわち真空度は、空気が流れ込んだクロー内圧より真空度が高くなっているため、空気の流れはクロー側より乳頭側に向かって流れる。これがドロップレット現象である。このときに、乳頭口や乳頭壁の汚れを牛乳の逆流で洗い流して、その汚れを乳頭口から入れることになる。搾乳終了近くでのライナーズリップは乳房炎を引き起こすと共に、過搾乳の時間帯でもある。これらの一連の現象を Reverse Pressure Impact Type I とした。これらの現象は数秒/1000秒の世界の現象である。このほかにも、細菌が直接乳頭口から侵入する場合がある。分娩直後の乳房炎や、初妊牛の乳房炎、環境性乳房炎などが、これらと考えられる。

2) Reverse Pressure Impact Type II [17]

Reverse Pressure Impact Type II の模擬搾乳実験結果をまとめたものを、図-5に示す。先にドロップレット現象で説明した乳頭下の部分への逆流現象は、ライナーズリップがなくとも発生している。ライナーズリップが発生した場合には流量に関係なく重度となるが、通常の搾乳時には流量が多い方の発生頻度が高くな

る。これは、流量が多くなると瞬間的にショートミルクチューブに牛乳が詰まり、ライナーゴムの開きでできた陰圧に向かって流れるからである。一方乳頭下の部分だけではなく乳頭管内までの逆流を観察した場合、ライナーズリップが起きている場合には重度となるが、その頻度は流量が少ないときにより多く発生している。これは、搾乳の仕組みで述べたように、乳頭マッサージ期のライナーゴムは、乳頭までもつぶしたのちに瞬間的にライナーは開く。この開くときに乳頭までも一緒に広がり、乳頭管内に陰圧を生じてしまう。これが細菌の侵入を容易にする。泌乳量が多いときは、乳房より牛乳がオキシトシン効果により乳頭管に降りてきて、細菌の侵入を防いでいる。この実験より得られたことは、乳頭管への細菌の侵入は乳量が少ない時期に発生しやすいことである。泌乳末期や、搾乳終了近くのライナーズリップの防止、泌乳生理を良く理解した搾乳作業が乳房炎予防には極めて重要である。

[まとめ]

搾乳の仕組みを理解することは、そのメンテナンスの重要性を理解することであり、メンテナンス不良が乳房炎に直結することを理解することでもある。

模擬搾乳実験から判ることは、ライナー内の逆流現象は現在のシステムでは完全に防ぎきれないことである。それ故乳頭表面、乳頭口はユニット装着前に衛生学的に清浄度が高くなければいけない。そしてオキシトシンを十分に利用

Mastitis Risk of Reverse Presser Impact

図-5

Reverse flow	flow rate	normal milking	milking with liner slip
in liner (under teat end)	high	++	++
	middle	+	++
	low	+	++
in teat duct	high	-	±
	middle	-	+
	low	±	++

畜産草地研究所: 本田 善文、長谷川 三喜、市来 秀之

した搾乳作業である。ミルカーによる細菌感染の仕組みが理解できれば、搾乳のどの作業を重要管理点にしなければいけないかが明白になる。

【引用文献】

- [1] Ambord, S. and Bruckmaier, R. M. 2010. Milk flow-dependent vacuum loss in high-line milking systems: effects on milking characteristics and teat tissue condition. *J. Dairy Sci.* 93: 3588-3594.
- [2] Barkema, H. W., Schukken, T. H., Lam, T. J., Beiboer, M. L., Benedictus, G. and Brand, A. 1999. Management practices associated with the incidence rate of clinical mastitis. *J. Dairy Sci.* 82: 1643-1654.
- [3] Baxter, J. D., Rogers, G. W., Spencer, S. B. and Eberhart, R. J. 1992. The effect of milking machine liner slip on new intramammary infections. *J. Dairy Sci.* 75, 1015-1018.
- [4] Galton, D. M., Adkinson, A. R. W., Thomas, C. V. and Smith, T. W. 1982. Effects of premilking udder preparation on environmental bacterial contamination of Milk. *J. Dairy Sci.* 65: 1540-1543.
- [5] Galton, D. M., Petersson, L. G., Merrill, W. G., Bandler, D. K. and Shuster, D. E. 1984. Effects of premilking udder preparation on bacterial population, sediment and iodine residue in milk. *J. Dairy Sci.* 67: 2580-2589.
- [6] Galton, D. M., Petersson, L. G. and Merrill, W. G. 1986. Effects of premilking udder preparation practices on bacterial counts in milk and on teats. *J. Dairy Sci.* 69: 260-266.
- [7] Galton, D. M., Peterson, L. G. and Merrill, W. G. 1988. Evaluation of udder preparations on intramammary infections. *J. Dairy Sci.* 71: 1417-1421.
- [8] Magnusson, M., Christiansson, A., Svensson, B. and Kolstrup, C. 2006. Effect of different premilking manual teat-cleaning methods on bacterial spores in milk. *J. Dairy Sci.* 89: 3866-3875.
- [9] Mahle, D. M., Galton, D. M. and Adkinson, R. W. 1982. Effects of Vacuum and Pulsation Ratio on Udder Health. *J. Dairy Sci.* 65:252-1257.
- [10] Pankey, J. W. 1989. Premilking udder hygiene. *J. Dairy Sci.* 72 :1308-1312.
- [11] Rasmussen, M. D. and Madsen, N. P. 2000. Effects of Milcline Vacuum, Pulsator Airline Vacuum, and Cluster Weight on Milk Yield, Teat Condition, and Udder Health. *J. Dairy Sci.* 83: 77-84.
- [12] Reid, D. A. 2002. Improving Milking Efficiency. *Adv. Dairy Tec.* 12: 59-65.
- [13] Reinemann, D. J., Muthukumarappan, K. and Mein, G. A. 1996. Equipment specification and methods for dynamic testing. National Mastitis Council Annual Meeting Proceedings.
- [14] Reinemann, D. J., Mein, G. A. and Ruegg, P. L. 2001. Evaluating Milking Machine Performance
- [15] VII International Congress on Bovine Medicine.
- [16] Reinemann, D. J. 2005. Procedures for evaluating vacuum levels and air flow in milking systems 2005 Update. National Mastitis Council Annual Meeting.
- [17] Reinemann, D. J., Schuring, N., Bade, R. D. 2007. Methods for Measuring and Interpreting Milking Vacuum. Sixth International ASABE Dairy Housing Conference.
- [18] 石田三佳、本田善文、長谷川三喜. 2006. ライナー内における乳の逆流防止技術, 畜産草地研究成果情報 5: 67-68.

The Basic Study of Milking System for reducing Mastitis Risk

Masafumi Enokidani

Hokkaido Dairy Management Services, 5-9 Shimo-Setsumi, Tsurui, Hokkaido, 085-1211, Japan.
Phone: +81-154-64-2306; Facsimile: +81-154-64-2977; Email: enoki@seagreen.ocn.ne.jp

[Abstract]

The aim of this study is to show that how to occur mastitis, how to milk by machine and hands, how to manage milking machine for reducing mastitis risk. The video movies of milking and artificial droplet situation with using flow simulator, clear liner and clear shell devices had taken on many dairy farms. The 3 type of milking system (low line, middle line, high line) have each operating vacuum. The claw vacuum in low line milking system decrease slightly with flow rate grow, but the claw vacuum of high line go down rapidly with flow rate grow. The lift loss vacuum that lift up milk from milk claw to milk line at high position make vacuum going down. It is necessary to adjust operating vacuum depending on claw vacuum in milking time on each milking system. The reverse presser impact (RPI) had occurred with liner slip greater than with no liner slip in liner. But RPI had occurred in liner with no liner slip. At specially, the RPI had occurred more low flow rate than high flow rate in teat canal with no liner slip. The chance of RPI is low milk production time (end of milking time, end of milking period) , not high milk production time. For reducing risk of bacterial infection to mammary gland, it is important management that teat skins and teat ends have cleaned perfectly before milking and milking with using oxytocin release.

Key words: Flow simulator, Machine Milking, Mastitis, Reverse Pressure Impact, System Operating Vacuum