

模擬搾乳装置を用いた搾乳システムの
搾乳能力評価に関する研究

Study on the evaluation of milking system performance
using a flow-simulated milking device

2021年11月

榎谷 雅文

論文要旨

牛の乳房炎は乳牛の疾患の中で最も甚大な経済的被害を酪農家に及ぼす疾病である。乳房炎の発生要因は多岐にわたるため、酪農場の全ての生産工程における乳房炎発生リスクを検討し、それぞれの生産工程でのリスク低減策を講じる必要がある。

搾乳システムは他の乳房炎発生要因とは異なり、乳房炎原因菌の侵入経路の乳頭に唯一直接接触して使用されている機械でもある。よってその機械の不備は他の乳房炎発生要因よりも直接的に影響し、その影響は全ての搾乳牛に及ぶこととなる。

本研究は、搾乳システム点検に模擬搾乳装置を用いた搾乳能力診断という新しい概念を導入し、新たな診断法を追加・応用した。第1章では、1日2回搾乳、3回搾乳、24時間自動搾乳のロボット搾乳牛の各搾乳量データの解析から、搾乳システムが備えるべき搾乳能力を推測した。搾乳量データの解析により、乳牛の泌乳能力のピーク乳量は8.0kg/分以上、搾乳時間は6から7分で終了していることが示唆され、これらの数値は搾乳システムが備えるべき具体的搾乳能力の指標であることを明らかにした。第2章では日本の酪農家(190戸)における搾乳システムの目視検査と静止時検査結果から、搾乳能力に影響する問題点を設置当初問題と維持管理問題に大別して解析した。設置当初問題は設置後1年以内の点検でも生じており、搾乳能力を評価するためには搾乳システム設置直後の点検が必須であることを明らかにした。維持管理問題では搾乳システムの定期点検頻度は1回/年の実施頻度ではなく、搾乳時間を考慮した搾乳システム稼働時間を基準とした方法に変更すべきと結論づけた。第3章では搾乳システムの搾乳能力に影響する要因解析を、模擬搾乳装置を用いて試みた。既知の搾乳システム点検手法では明らかにできない搾乳ユニット部分の問題点は、ミルクチューブの長さや口径とリフト形成、ミルクメーターや離脱装置による圧力損失であることが明らかとした。第4章では、模擬搾乳装置を用いて、流量別に搾乳システムの搾乳能力に影響する要因変化を解析した。流量が増加するにつれて搾乳能力に影響する要因は変化することが示唆され、

高乳量を再現した最高流量 8.7kg/分ではトップフロー型クロー（クロー内の牛乳を吸い上げるタイプ）と真空圧遮断装置の違いが搾乳能力に影響することを明らかにした。第5章では、搾乳システムの形式別、導入会社別の搾乳システムの搾乳能力の違いを明らかにして、その要因を推測した。搾乳システムの形式別では、ロータリーパーラー形式が最も搾乳性能が高く、導入会社別では大きな相違は認められなかった。これらの違いの要因は搾乳システムの施工自由度の差により、設置仕様が異なることによるものと推測された。第6章では、酪農現場で通常の搾乳システム点検に加えて模擬搾乳装置を用いた搾乳能力試験を追加実施した。模擬搾乳装置を用いることにより、通常の搾乳システム点検では検出できない搾乳能力差を可視化し比較することができ、酪農家の搾乳システムに対する理解が容易になった。搾乳能力試験結果に基づき改良を加えたところ、牛群の個体乳量増加と体細胞数の減少が認められた。新たな模擬搾乳装置を用いた搾乳能力試験では、流量に応じた搾乳能力診断が可能となり、乳量の向上と体細胞数の改善に効果があることが明らかとなった。

本研究により、搾乳システムを原因とする乳房炎を予防するには、設置当初の搾乳システム点検に加えて、模擬搾乳装置を用いた搾乳能力試験を実施すると共に、搾乳システムの稼働時間を基準とした搾乳システムの定期的点検と維持管理が重要であると考えられた。更に搾乳システムの搾乳能力は乳牛の泌乳能力を制約せず、常に高泌乳牛の泌乳能力以上であることが常に求められる。新たな模擬搾乳装置を用いた搾乳システムの搾乳能力診断は、乳牛の遺伝的泌乳能力を十分に発揮させつつ、乳房炎リスクを減らすことを可能とする搾乳システム診断法であることが明らかとなった。

Summary

Bovine mastitis is the most economically important dairy cow disease. Given that mastitis can be caused by a variety of factors, numerous potential causes need to be considered and mitigation measures need to be implemented. In particular, milking systems come into direct contact with the teat canal and many of the factors that affect the incidence and infection of mastitis in milking cows are directly related to these systems. Indeed, the presence of mastitis-causing pathogens combined with the poor performance of milking systems are considered to be the most important factors affecting the incidence of mastitis. This study introduces a novel method for assessing milking machine performance using a flow-simulated milking device.

In Chapter 1, the optimal milking machine performance was inferred based on the analysis of milking data collected on three dairy farms; one employed a robotic milking system and milked the cows about 2-4 times/day, and the other two farms milked their cows twice and three times a day. Analysis of milking data revealed that the maximum milking cow performance, i.e., peak milk yield, exceeded 8.0 kg/min and milking time was completed in 6-7 min. These findings appear to be suitable for use as benchmarks for milking system performance.

In Chapter 2, the problems associated with milking system performance were analyzed based on observations and dry tests conducted at 190 dairy farms in Japan. In particular, this chapter focused on initial installation problems and maintenance problems. Initial installation problems occurred within one year of installation, and it was found that inspections at the time of milking system installation were not carried out. To address maintenance issues, periodic inspections of the milking system should be undertaken using methods that consider the milking system operating time, not just inspections conducted on an annual basis.

In Chapter 3, an analysis of factors affecting milking system performance was performed using a flow-simulated milking device. It was revealed that problems with vacuum loss due to milk tube length, tube diameter, tube lift, milk-meter and vacuum-cutting device could not be clarified using conventional milking system evaluation test methods.

In Chapter 4, changes in the factors affecting milking system performance were analyzed using a flow-simulated milking device. The findings showed that these factors changed as the flow rate increased. At a maximum flow rate of 8.7 kg/min that simulates high milk yield, differences in claw types and vacuum-cutting devices affected milking system performance.

In Chapter 5, differences in the performance of different milking system configurations and different system manufacturers were clarified or inferred. Of the different milking system configurations examined, rotary parlors had the highest milking performance, and no significant difference was observed in the equipment produced by different system manufacturers. It was speculated that the differences observed in milking performance could be attributed to differences among installation specifications and the degree of freedom permitted for the different milking devices and locations at the time of installation.

In Chapter 6, in addition to the milking system evaluation tests conducted at a commercial dairy farm, milking performance tests using a flow-simulated milking device were also conducted. By using a flow-simulated milking device, it was possible to visualize and compare differences in milking system performance that could not be detected by standard milking system evaluation tests. In addition, using the flow-simulated test format made it easier for dairy farmers to understand the dynamics of milking system performance. When milking system improvements were implemented based on the results of the flow simulation tests, the milk yield increased and somatic cell counts were reduced in the herd. The new milking system performance tests using the flow-simulated milking device showed the potential for assessing milking performance based on flow rate, reducing the risk

of mastitis attributed to abnormal claw vacuums and improving dairy farm economics at the same time.

When assessing milking system performance, it is advantageous to measure the efficacy of milking systems using a high flow rate in order to reduce mastitis risk due to improper claw vacuums. To reduce the risk of mastitis in the future, it is important to ensure that the performance of the milking system exceeds the maximum milking cow performance. It also became possible to compare the current milking system performance and the modelled milking system performance before implementing any improvements using visualizations. Milking system performance tests (i.e., flow simulation tests) are a novel and important method for comprehensively assessing genetic milking cow performance.

To prevent mastitis associated with milking systems, flow simulator tests need to be incorporated into milking system evaluation tests at the time of initial installation as well as during regular inspections. It is important to ensure that the frequency of periodic milking system evaluation tests, which are based on the uptime of the milking system, are the same as the timing estimated by the flow simulation tests.

It was demonstrated that the assessment of milking system performance using a flow-simulated milking device is a novel and potentially powerful milking-system diagnostic method that facilitates cow's genetic milking performance and reduces the risk of mastitis.

目 次

緒言	1
第1章 搾乳システムと乳牛の泌乳能力との関連性の解析	
1. 小緒	5
2. 材料と方法	6
3. 結果	7
4. 考察	9
5. 小括	13
第2章 日本の酪農家における搾乳システム問題点の解析	
1. 小緒	15
2. 材料と方法	16
3. 結果	18
4. 考察	20
5. 小括	24
第3章 模擬搾乳装置を用いたクロー内圧に影響する搾乳システムの要因解析	
1. 小緒	26
2. 材料と方法	27
3. 結果	30
4. 考察	33
5. 小括	38
第4章 模擬搾乳装置を用いたクロー内圧を指標とした搾乳システムの性能評価	
1. 小緒	40
2. 材料と方法	41

3. 結果	42
4. 考察	44
5. 小括	50

第5章 搾乳形式と搾乳システム導入会社別によるミルクングパーラーの搾乳能力評価

1. 小緒	51
2. 材料と方法	51
3. 結果	53
4. 考察	55
5. 小括	58

第6章 模擬搾乳装置を用いた搾乳システムの搾乳性能診断法の一応用事例

1. 小緒	60
2. 材料と方法	60
3. 結果	62
4. 考察	66
5. 小括	69

総括	71
----	----

謝辞	75
----	----

引用文献	76
------	----

図表	82
----	----

This is the peer reviewed version of the following article: Enokidani M, Kuruhara K., Kawai K. 2016. Analysis of factors affecting milking claw vacuum levels using a simulated milking device. *Animal Science Journal*, 87, 848-854.; Enokidani M, Kawai K, Shinozuka Y, Watanabe A. 2017. Milking performance evaluation and factors affecting milking claw vacuum levels with flow simulator. *Animal Science Journal*, 88, 1134-1140.; Enokidani M, Kawai K, Shinozuka Y. 2020. Analysis of results from 21 years of milking system inspections in Japanese dairy farms. *Animal Science Journal*, 91(1): e13315.; Enokidani M, Kawai K, Shinozuka Y. 2020. A Case Study of Improving Milking Cow Performance and Milking System Performance with Using a Flow Simulator. *Animal Science Journal*. 91(1): e13389.; which has been published in final form at Link to final article using the DOI: 10.1111/asj.12489, DOI: 10.1111/asj.12741, DOI: 10.1111/asj.13315, DOI: 10.1111/asj.13389. This article may be used for non-commercial purposes in accordance with Wiley Terms and Conditions for Use of Self-Archived Versions. This article may not be enhanced, enriched or otherwise transformed into a derivative work, without express permission from Wiley or by statutory rights under applicable legislation. Copyright notices must not be removed, obscured or modified. The article must be linked to Wiley's version of record on Wiley Online Library and any embedding, framing or otherwise making available the article or pages thereof by third parties from platforms, services and websites other than Wiley Online Library must be prohibited.

緒言

牛の乳房炎は乳牛の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。乳房炎の発生要因は多岐にわり、乳房炎を予防するには酪農場の畜舎施設、牛舎管理、搾乳作業、搾乳機器（搾乳システム）、カウコンフォート、飼養管理法、飼料の品質管理、育成牛管理など、酪農場の全ての生産工程にわたり乳房炎発生リスクを検討し、それぞれの分野でのリスク低減策を講じる必要性がある。乳房炎発生要因の中で、搾乳作業に関する報告[2, 3, 7, 8, 13-15, 22, 28, 33]や、搾乳システムに関する報告[1, 4-6, 9-12, 23, 25, 26, 29-32, 34-36]は数多く報告されている。

Baxter ら[4]はライナーリップについて、Mahle ら[23]は設定真空圧とパルセーション比率について、Natzke ら[26]は搾乳システムの搾乳時間について述べ、いずれも搾乳システムの不備は乳房炎発生率を高めると報告している。また、著者ら[7, 8]は搾乳作業の手順や搾乳直前の乳頭壁の衛生状況が乳房炎に関係することを示し、ライナー装着前の乳頭壁清浄度が重要であるとして、清浄度判定の基準値や検査法を示している。

搾乳システムは、一般的な酪農場では1日朝夕2回の搾乳で年間合計730回も使用され、酪農場で最も使用頻度が高く、使用時間の長い機械である。しかも他の乳房炎発生要因とは異なり、乳房炎原因菌侵入経路の乳頭に唯一直接接触しながら使用される機械でもある。よって、その機械の不備は他の乳房炎発生要因よりも直接的に乳房炎発生に重大な影響を与え、その影響は全ての搾乳牛に及ぶ。

北海道に於いて搾乳システム点検は毎年実施されているが、その点検結果をまとめた報告はない。また搾乳システム点検後の評価や点検時に指摘された問題点の改善が実際に行われたかは不明である。日本での搾乳システム点検結果に関するこれまでの報告は、不完全な状態の搾乳システムで搾乳を行っている酪農家では乳汁中白血球数陽性頭数が多いという吉田らの 1975 年の報告 [36]のみである。

日本での搾乳システム点検に関する詳細な報告は、著者による日本産業動物獣医学会北海道地区大会(2006 年)の口頭発表であり、搾乳システム点検で問題なしと判定されたものはわずか 5.9%(8/136 台)であったと報告している。

このように正常に稼働しているかどうかは疑わしい搾乳システムで搾乳をしている状況では、搾乳システムが乳房炎発生要因の根幹をなしている可能性がある。

一方、別の視点から搾乳システムをみると、乳牛の泌乳能力は飼養管理の改善や遺伝的改良により年々伸びているにもかかわらず、搾乳システムの搾乳能力は導入当初が最高であり、その後は経年劣化と共に搾乳能力は低下してくるものと考えられる。従って、年々伸びる乳牛の泌乳能力と搾乳システムの搾乳能力は乖離する傾向にあると考える。よって現在実施されている搾乳システム点検では、搾乳システムの搾乳能力診断という視点が欠けていることが大きな課題であるといえる。

全米乳房炎協議会(National Mastitis Council: NMC) [31, 32]では、搾乳システム点検を 4 段階で示している。第 1 段階は目視

点検 (Observation test) で、搾乳システム稼働時と停止時に五感で評価する点検方法である。例えば、ゴム類の劣化や配管仕様、搾乳時の異常音などを調査する点検である。第 2 段階は静止時点検 (Dry test) と呼ばれる点検で、搾乳システムを稼働させるが実際には搾乳していない時の点検である。主に配管中の空気の流れを調査する点検である。第 3 段階は動態時点検 (Wet test/Dynamic test) で、搾乳システムで実際に搾乳をしている時の点検である。第 4 段階は特別な点検で、模擬搾乳装置を用いた模擬搾乳試験である。搾乳システム設置直後の設定真空圧の決定等を実施される試験である [30]。

本研究は、NMC の第 4 段階の点検である模擬搾乳装置を用いた模擬搾乳試験を我が国の搾乳システムの搾乳能力診断に応用した初めての研究である。本研究では模擬搾乳装置を使用し、乳量 (水量) を段階的に変化させた時の搾乳システムの応答状況を調査することにより搾乳能力を評価し、搾乳能力を低下させている原因を究明するとともに、搾乳形式別の搾乳能力診断、模擬搾乳試験を応用した改善事例について調査した。

第 1 章では、搾乳システムが備えるべき搾乳能力基準値を設定するために、1 日 2 回搾乳と 3 回搾乳、24 時間自動で搾乳する (2 から 4 回/日) ロボット搾乳酪農家の個体別搾乳データを用いて乳牛の泌乳能力を解析し、搾乳システムが備えるべき搾乳能力の基準値を作成した。

第 2 章では、21 年間延べ 190 戸に亘る搾乳システム静止時点検結果をハイラインシステムとローラインシステムに区分し、それぞれを初回点検群と定期点検群の 4 区分に分類した。そして設置時年代、点検実施時年代、設置後経過年数による時系列解析を

行い、搾乳システムに関する問題点の特徴と年代変化を明らかにした。

第3章では、ミルク配管からミルククローまでの搾乳ユニット部分の各種付属装置、チューブ類仕様や装置設置位置がクロー内圧に与える影響を、模擬搾乳装置を用いて解析した。

第4章では、酪農現場で模擬搾乳装置を利用して、クロー内圧を指標とした搾乳システムの搾乳能力診断を実施し、NMCのクロー内圧推奨値と比較することにより搾乳能力評価を行い、問題点を解析した。

第5章では、搾乳システムの搾乳能力評価を搾乳システム導入会社別、搾乳形式別に比較し、その問題点を調査した。

第6章では、実際の酪農現場で模擬搾乳装置を用いた搾乳システムの搾乳能力診断を実施した。その診断結果に基づき搾乳システムを改良することで、搾乳システムの搾乳能力診断が当該酪農家の乳量と乳質改善に貢献することを示した。

第1章 搾乳システムと乳牛の泌乳能力との関連性の解析

1. 小緒

北海道における搾乳システムの導入時期は、1960年代のバケットミルカーシステム、次いで1970年代よりのハイラインシステムが始まりである[24]。その後フリーストール牛舎とミルキングパーラーの普及が始まり、同システム導入酪農家戸数は2000年963戸(9.7%)から、2018年は1,519戸(27.0%)まで増加している[18]。また北海道の牛群検定成績での年間個体乳量は、2011年の9,001kgから2019年には9,734kgと増加し、牛群平均乳量11,000kg以上搾乳している酪農家は536戸(13.6%)となっている[20]。このように近年酪農家の規模拡大と個体乳量の増加は急速に進み、放し飼い飼養のミルキングパーラー搾乳の大規模酪農家へと急速に移行しつつある。一方北海道農業共済組合連合会の家畜共済事業統計表における泌乳器病傷割合は、約36%と一定しており減る兆しは見えていない。

このように乳牛の泌乳能力は年々伸びているが、それを搾乳する搾乳システムの搾乳能力は導入当時のままか、もしくは経年劣化により低下していると推測される。

乳牛の持つ泌乳能力は搾乳システムで搾乳されて初めて実乳量として記録され、乳牛の泌乳能力として認められる。搾乳能力の低い搾乳システムで搾乳された場合には、乳牛が本来持つ遺伝的泌乳能力を制限する可能性がある。従って搾乳システムの搾乳能力は乳牛の泌乳能力と同等以上であるべきである。

本研究は現在の乳牛が持つ泌乳能力を示す指標、搾乳量(Kg)、

平均搾乳量（kg/分）、搾乳時間（分）、ピーク乳量（kg/分）を調査し、搾乳システムが備えるべき搾乳能力条件を明らかにすることを目的として行った。

2. 材料と方法

調査酪農家の概要：表-1 に調査酪農家 4 戸の搾乳概要と調査項目などを示した。本州地区の酪農家 A と B、北海道地区の酪農家 C と D で搾乳形式の違いにより酪農家を選定した。

酪農家 A：フリーバーン牛舎にて TMR 飼養で 1 日 2 回搾乳、搾乳頭数 450 頭から 650 頭で規模拡大途中の酪農家である。搾乳牛全頭の朝搾乳と夕搾乳データの平均値をそれぞれ 1 レコードとして、246 日間の朝夕搾乳データをミルクキングパーラー内パーソナルコンピューター（PC）より収集解析した。

酪農家 B：フリーバーン牛舎にて TMR 飼養で 1 日 2 回搾乳、ある 1 日の搾乳頭数 249 頭の個別別の朝と夕搾乳データをミルクキングパーラー内 PC より収集解析した。

酪農家 C：フリーストール牛舎にて TMR 飼養で 1 日 3 回搾乳、ある 1 日の搾乳頭数 431 頭の個別別の朝昼夕搾乳の 3 回のデータをミルクキングパーラー内 PC より収集解析した。ピーク乳量調査は手計測（ストップウォッチで搾乳時間を計測し、ミルクメーター表示から搾乳後 1-2 分間乳量を算出）にて、朝昼夕搾乳それぞれ 43 頭、49 頭、48 頭実施した。

酪農家 D：フリーストール牛舎にて TMR 飼養でロボット搾乳、ある 1 日分の搾乳頭数 63 頭 132 分房の搾乳毎の分房乳量データを 1 レコードとして、ミルクキングパーラー内 PC より収集解析した。分房毎の搾乳時間データは収集不能であった。

調査項目：泌乳能力データは搾乳 1 回分の搾乳量、搾乳 1 回分の搾乳時間（ミルクカーが乳頭に付いている時間）、ピーク乳量（または搾乳開始後 1 から 2 分間乳量：1 分間毎の最大乳量）、平均搾乳量（搾乳量/搾乳時間（分））とした。搾乳毎の上記 4 項目の相互関係と平均値の比較を行った。更に酪農家 B と C では、搾乳データの階層分布を作成して搾乳毎の頭数割合を比較し、最大値を推定した。

統計処理：2 群間検定では t 検定、3 群以上の検定では Kruskal-Wallis 検定後に Fisher の PLSD 法により post hoc 検定を実施した。ピアソンの相関係数は表計算ソフトエクセル 2019 の関数を用いて計算した。

3. 結果

酪農家 A の朝搾乳（5:00 開始）と夕搾乳（16:00 開始）のバルク乳データ 246 日間の搾乳量、平均搾乳量、ピーク乳量、搾乳時間の比較を表-2 に示した。搾乳データは全ての項目で朝搾乳が有意（ $P < 0.01$ ）に高値であった。

酪農家 A の朝夕搾乳毎のバルク乳データの平均搾乳量、搾乳時間、ピーク乳量の相関分布を図-1 に示した。各項目間で朝夕搾乳共に有意な相関係数はみられなかった。

酪農家 B の朝搾乳（5:00 開始）、夕搾乳（16:00 開始）毎の個別データ 249 頭の搾乳量階層、搾乳時間階層、平均搾乳量階層、ピーク乳量階層の頭数分布を図-2 に、搾乳データの平均値と標準偏差の比較を表-3 に示した。

酪農家 B の搾乳量と搾乳時間の頭数分布では、朝搾乳は高い階層分布に多く、平均搾乳量とピーク乳量では朝夕搾乳共に同じ階層に分布が多かった。ピーク乳量の平均値 + 2 倍標準偏差は、朝

搾乳は 8.15kg、夕搾乳は 8.15kg で、全体の 3.2% の乳牛がピーク乳量 8.0kg/分を超えていた。搾乳時間の平均値 + 標準偏差は、朝搾乳では 454 秒 (約 7 分半)、夕搾乳では 382 秒 (約 6 分半) であった。搾乳時間 6 分以内 / 回の頭数割合は朝搾乳 71.1% (177/249)、夕搾乳 81.5% (202/248) であった。

酪農家 B の朝夕搾乳の搾乳データ比較では、搾乳量と搾乳時間は朝搾乳が有意に ($P < 0.01$) 高値だったが、平均搾乳量とピーク乳量では有意な差はみられなかった。

酪農家 B の平均搾乳量とピーク乳量、搾乳時間の相関関係を図-3 に示した。平均搾乳量とピーク乳量の R^2 値は、朝夕搾乳それぞれ、 $R^2 = 0.8488$ 、 $R^2 = 0.8028$ で共に強い正の相関係数が得られ、平均搾乳量の高い牛はピーク乳量が高いことが明らかとなった。ピーク乳量と搾乳時間の関係では、朝夕搾乳それぞれ $R^2 = 0.2418$ 、 $R^2 = 0.202$ となり有意な相関係数は得られなかった。

酪農家 C の 3 回搾乳の朝搾乳 (4:00 開始, 431 頭)、昼搾乳 (12:00 開始, 414 頭)、夕搾乳 (18:00 開始, 368 頭) の個体別の搾乳量階層と搾乳時間階層の頭数分布を図-4 に、搾乳データの平均値と標準偏差の比較を表-4 に示した。搾乳量階層と搾乳時間階層では、朝昼夕搾乳の順により高い階層に多く分布していた。搾乳データ 4 項目では、それぞれ朝搾乳が有意に ($P < 0.01$) 高値を示した。搾乳時間の平均値 + 標準偏差は、朝昼夕搾乳それぞれ 402 秒 (約 6 分半)、347 秒 (約 6 分)、279 秒 (約 4 分半) であった。

3 回搾乳時の平均搾乳量、ピーク乳量、搾乳時間の相関関係を図-5 に示した。平均搾乳量とピーク乳量の r^2 値は、朝昼夕搾乳それぞれ $R^2 = 0.8298$ 、 $R^2 = 0.6142$ 、 $R^2 = 0.7202$ となり、共に強い正の相関係数が得られた。2 回搾乳と同じく 3 回搾乳でも平均搾乳量の高い牛はピーク乳量が高かった。ピーク乳量と搾乳時間の R^2 値は、朝昼夕搾乳それぞれ $R^2 = 0.1508$ 、 $R^2 = 0.0976$ 、 $R^2 = 0.1585$ と

なり、朝昼夕搾乳共に有意な相関係数は得られなかった。

酪農家 D のロボット搾乳時の分房別平均搾乳量と分房別ピーク乳量の相関を図-6 に、分房毎の各項目の比較を表-5 に示した。平均搾乳量と分房ピーク乳量の R^2 値は、左前分房は $R^2=0.9239$ 、右前分房は $R^2=0.9474$ 、左後分房は $R^2=0.9109$ 、右後分房は $R^2=0.926$ となり、4 分房共に強い相関係数が得られた。分房別搾乳量は両後分房搾乳量が両前分房搾乳量よりも有意に ($P<0.01$) 多かった。平均搾乳量と平均ピーク乳量も後分房が有意に ($P<0.05$) 多かった。分房ピーク乳量の平均値 + 2 倍標準偏差は、左前分房は 2.4kg、右前分房は 2.4kg、左後分房は 2.6kg、右後分房は 2.4kg となり、分房ピーク乳量は 2.4kg/分以上が最も高い分房ピーク乳量であった。分房ピーク乳量 2.0kg/分を超える分房数は、左前分房では 11.5%、右前分房では 9.8%、左後分房では 21.4%、右後分房では 13.6%となり、分房全体では 14.1% (74/526) を占め、両後分房が多かった。ロボット搾乳の分房毎の搾乳時間に関してはデータが得られておらず、ロボット搾乳装置内滞在時間が記録されていた。

4. 考察

一般的に搾乳量は、1 日の搾乳量 (kg/頭/日) や個体の平均搾乳量 (kg/頭/回) で示されるが、本研究では平均搾乳量ではなく 1 回搾乳時のピーク乳量を主眼に置いて研究を行った。多回搾乳により 1 回当たりの搾乳量が低下することで、搾乳システムに対する負荷は減少するものと考えられる。2 回と 3 回搾乳時、ロボット搾乳の自発的搾乳時の情報を比較することで、搾乳システムに対する条件の違いを明確化できると考え、色々な搾乳形式の酪農家を選択した。しかしながらロボット搾乳の搾乳回数は 46/63 頭は 2 回搾乳であった。

酪農家 3 戸の搾乳量データを分析したところ、いずれの搾乳形式でも朝の時間帯が最も搾乳量が多かった。この原因は、夕から朝の搾乳間隔が長くなること、昼間の人の作業などが牛の休息時間に悪影響を与えることが大きな原因と推測された。乳牛は休息時間中、蹄への負担を軽減して反芻を行い代謝活動が高まるので、休息時間と乳生産には正の相関性がみられるとの報告がある [16]。

2 回搾乳時では、朝の搾乳量が多く搾乳間隔も長くなっているが、平均搾乳量とピーク乳量には朝夕搾乳時で有意な差は見られていないことから、朝搾乳時は搾乳量が多くて搾乳時間が長く、平均搾乳量 (kg/分) は夕搾乳時と同じ程度になったものと考えられる。

3 回搾乳では、搾乳量階層と搾乳時間階層の頭数分布は、各搾乳時で最大頭数階層が異なっている。これは搾乳間隔が搾乳量階層や搾乳時間に強く影響したものと考えられた。しかし、平均搾乳量とピーク乳量には強い正の相関がみられており、オキシトシン分泌による射乳効果 [33] は 2 回搾乳でも 3 回搾乳でも同じと考えられた。

ロボット搾乳では、搾乳量は両後分房が両前分房よりも有意に ($P < 0.05$) 多かったが、その原因は定かではなく、分房間乳量差に関しては更なる研究が必要と考えられた。

ロボット搾乳でも 4 分房共に平均搾乳量とピーク乳量には強い正の相関が見られており、2 回搾乳や 3 回搾乳と同じくオキシトシン分泌による射乳効果 [33] は同じものと考えられた。ピーク乳量分布では、4 分房共に 2.0kg/分を超える分房が存在し、これらの牛は酪農家 D 調査分房の 14.1% (74/526) を占めている。ピーク乳量の平均値 + 2 倍標準偏差は、4 分房共に 2.4kg/分/回で、分房ピーク乳量 2.4kg/分は統計学的に最高水準のピーク乳量と

いえる。

1回の搾乳時間に関して、2回搾乳では搾乳時間6分以内/回の頭数割合は、朝搾乳71.1%、夕搾乳81.5%であり、3回搾乳では朝搾乳72.2%、昼搾乳87.9%、夕搾乳95.4%となった。2回搾乳の搾乳時間統計データより、平均搾乳時間+標準偏差は朝搾乳454秒、夕搾乳382秒となり、6から7分程度であった。

1980年のSagiら[33]の乳頭刺激の有無によるオキシトシンと搾乳量に関する報告では、乳頭刺激がある場合にはライナーが乳頭に付着している正味搾乳時間は5分以内、乳頭刺激がない場合には6分以内との調査結果を報告している。本研究の調査結果では、調査頭数の70%は6分以内の搾乳時間であり、1980年と比較して現在は搾乳量が大きく増えているにもかかわらず搾乳時間はほぼ同じ程度であるといえる。これは、搾乳量の多い牛は搾乳時間が延びて乳量が多くなるのではなく、ピーク乳量が高くなることにより搾乳量が増加するという本研究結果と一致するものと考えられる。しかし、搾乳に時間を要する牛が存在することも酪農現場ではよくみられることであり、この点に関しては更なる研究が必要である。本研究では、統計学的に全体の70%を占める平均値+標準偏差で示される搾乳時間は6から7分程度であり、例外牛の存在を考慮すれば、これが搾乳時間の一つの基準となるものと考えられた。

ピーク乳量分布では、朝夕搾乳時共に8.0kg/分を超える個体が存在し、これらの牛は酪農家B調査牛の3.2%を占めている。統計学的に平均値+2倍の標準偏差は、全体の上位2.5%の境を示しており、この境界値以上を最大ピーク乳量とした。ピーク乳量データの平均値+2倍の標準偏差は、朝搾乳では8.15kg、夕搾乳では8.15kgとなり、統計学的に最高水準のピーク乳量は8.0kg/分といえる。これらのことより、高泌乳牛とはピーク乳量

がより高くなることを意味し、搾乳時間が長くなることで搾乳量が多くなるわけではないと考えられる。

本研究の結果から、2回搾乳時とロボット搾乳時の最大ピーク乳量はほぼ同じの4分房合計で8kg/分程度であり、搾乳形態は搾乳前準備が良ければピーク乳量には大きく影響せず、1回当たりの搾乳量に変化してもピーク乳量は大きく左右されないものと考えられた。

ピーク乳量と平均搾乳量との関係では、2回搾乳時、3回搾乳時、ロボット搾乳時のいずれも強い正の相関関係がみられ、平均搾乳量の高い乳牛はピーク乳量が高いことが明らかとなった。しかし、ピーク乳量と搾乳時間の間では明確な負の相関関係はみられず、搾乳時間の長い個体が存在することを示していた。板垣ら[19]は、乳頭の形状を分類し、形状は遺伝的要素と搾乳の影響により変化し、乳頭管が細い牛が存在すると報告している。これらの遺伝的に乳頭管が細い牛が搾乳時間を長くしている可能性はあるが、細い乳頭管が搾乳履歴によりどのように変化するかは不明である。

このように乳牛の泌乳能力を、従来と同じ搾乳量や平均搾乳量で評価した場合、ピーク乳量という概念が含まれておらず、搾乳システムの搾乳能力基準を設定するのは困難である。従来からの乳牛の泌乳能力評価方法とピーク乳量を対比することで、その違いを明確にすることができた。一回搾乳時のピーク乳量は、搾乳システムに対する最大の負荷量であり、搾乳システムの搾乳能力基準作成に適する項目であると考えられた。

乳房炎の予防には、効果的なオキシトシンの利用と乳頭口の健康が鍵となる。搾乳作業はオキシトシンによる射乳作用と搾乳システムによる牛乳の吸引作用の合同作業で、射乳作用が不十分である場合にはピーク乳量も搾乳量も減少する[33]。乳頭口を健全

に保つためには、適正な搾乳中のクロー内圧が重要であることを Meinら [25]や Reinemann[31]らが提唱している。搾乳中にクロー内圧が高すぎると、乳頭口に直接損傷を与える。逆に低すぎると牛乳を吸い出す1回量が少なくなり、搾乳時間が延びる要因となり乳頭口を損傷し、更に搾乳中の乳頭マッサージが不十分となる。乳牛は搾乳中に乳頭の痛みを感じると、ミルカーを蹴り落としたり、オキシトシンの拮抗ホルモンのアドレナリンを分泌したりする悪循環に陥り、人も牛も落ち着いた搾乳作業はできなくなる。

本研究により、高泌乳牛はピーク乳量が高くなり搾乳時間はそれほど延びないことが明らかとなった。より高いピーク乳量に搾乳システムが対応できるか否かは、高泌乳牛を安心安全に搾乳できるかの鍵となる。

また本研究により、平均搾乳量とピーク乳量には2回搾乳、3回搾乳、ロボット搾乳の搾乳形式にかかわらず強い正の相関が見られた。高泌乳牛はピーク乳量が高くなり、決して搾乳時間が長くなることで搾乳量が増えるわけではなかった。2回搾乳の最も高いピーク乳量は8.0kg/分以上であり、ロボット搾乳では最も高い分房ピーク乳量は2.4kg/分以上であった。搾乳時間は、2回搾乳で6から7分程度が目安となり、3回搾乳では更に短くなった。したがって、ピーク乳量では8.0kg/分以上、2回搾乳で6から7分程度の搾乳時間が現在の搾乳システムにおける高泌乳牛の泌乳能力であると推測された。

5. 小括

本研究は乳牛の泌乳能力データから搾乳システムが備えるべき搾乳性能基準を推定することを目的とした。搾乳形態の異なる4戸の酪農家：（2回搾乳2戸、3回搾乳1戸、ロボット搾乳1戸）の搾乳毎の搾乳量、平均搾乳量、ピーク乳量、搾乳時間を調

査解析した。

各酪農家共に搾乳量とピーク乳量との間で強い正の相関が見られ、平均搾乳量が高い牛はピーク乳量が高かった。2回搾乳とロボット搾乳のピーク乳量の平均値+2倍標準偏差は、それぞれ8.0kg/分、2.4kg/分/分房であった。2回搾乳時の搾乳時間の平均値+標準偏差は7分以内であった。

搾乳形態に関わらず平均搾乳量とピーク乳量には強い正の相関がみられ、搾乳量は搾乳時間ではなくピーク乳量に相関し、搾乳時間が長くなることで搾乳量が増えるわけではなかった。

ピーク乳量は8.0kg/分以上、搾乳時間は2回搾乳で6から7分程度が現状の搾乳システムにおける高泌乳牛の泌乳能力であると推測され、これらの数値は搾乳システムが備えるべき搾乳能力であると考えられた。

第2章 日本の酪農家における搾乳システム問題点の解析

1. 小緒

搾乳システム点検方法については、Reinemannら [31, 32] によって具体的手順が示されている。北海道に於いては、搾乳システム点検は1回/年の頻度で酪農関連組織と搾乳システム会社を中心となって春先に実施されている。しかし、搾乳システム点検は実施されてはいるものの、その結果や効果を検証した報告はない。北海道家畜共済事業統計において、搾乳システム点検の効果が期待できる泌乳器疾患の病傷全体に占める割合は、2014年から2018年の間、73万件中27万件（約37%）を占めており、最も被害率の大きな疾病であり続けている [17]。このようにただ搾乳システム点検を1回/年実施するだけでは、その乳房炎予防効果は上がらないものと思われる。

現在の搾乳システム点検では、搾乳頭数の増加による長時間搾乳や個体乳量増加を考慮した点検指標は示されていない。搾乳頭数の増加によって1搾乳ユニット当たりの搾乳頭数や使用時間、泌乳量増加に伴う搾乳システムへの負荷も増加してくる。これらの点を考慮した新しい搾乳システム点検指標が必要と考える。

本研究は、過去21年間の搾乳システム点検結果を経時的に分析することにより、ミルクラインの設置位置が乳房の位置よりも高いハイラインシステムと、逆に乳房の位置よりも低いローラインシステムの問題点の相違や、現在及び将来の飼養形式、搾乳形態に対応した搾乳システム点検頻度について検討することを目的として行った。

2. 材料と方法

搾乳システム点検実施酪農家の概要：1995年から2015年までに、日本国内（31道県）において190戸の酪農家（延べ358台）の搾乳システム点検を実施した。搾乳システム点検実施酪農家の搾乳頭数分布戸数は、ハイラインシステムでは100頭以上飼養する酪農家は6戸、ローラインシステムでは50頭から1400頭までの広範囲に及んだ。

搾乳システム点検法：NMCにて推奨されている点検手法[31, 32]に準拠して、目視点検(Observation)と静止時点検(Dry test)を実施し、その基準値に基づき合否を点検項目毎に判定した。目視点検項目は、真空配管、ミルク配管、搾乳ユニット類を中心として実施した[11]。静止時点検項目は、パルセーター波形の測定(バケット搾乳システム含む)、システムバキュームの測定(各部位での真空圧の測定)、ユニット落下テスト(1ユニットから空気を入れての真空圧低下測定)、リカバリーテスト(空気を瞬間的大量に入れて止め、元の真空圧に回復する時間測定)、エフェクティブリザーブ量の測定(2kpa低下させる吸引空気の容量測定)、マニュアルリザーブ量の測定(レギュレーターを外して、2kpa低下させる吸引空気の容量測定)、バキュームポンプ能力の測定を行った。真空消費量の測定は、パルセーターとミルククロー、離脱装置(真空圧遮断装置)などの付属部品を対象に実施した。また測定結果より、レギュレーター閉止テスト、エア漏れ量及び配管ロスを計算した。

搾乳システム点検の点検区分：搾乳システムをハイラインシステムとローラインシステムに分け、今回初めて実施した搾乳システム点検結果を初回点検群とし、また1年に1から2回の定期的に

NMCにて推奨されている搾乳システム点検を実施した結果を定期点検群として分類した。

年代別区分：初回点検群の搾乳システム点検の点検実施年区分(1995-1999年, 2000-2004年, 2005-2009年, 2010-2015年)、点検時の設置後経過年数区分(1年未満, 1-5年, 6-10年, 11-27年)で、搾乳システム点検結果を解析した。

搾乳システム点検結果の分類：搾乳システム点検結果で明らかになった搾乳システム1台毎のすべての問題点を搾乳システム設置当初より存在する問題点(設置当初問題)と、維持管理の不備に起因する問題点(維持管理問題)に分類した。

設置当初問題は、経年変化に起因する問題ではないと考えられるものとし、真空配管項目(配管口径が細い、曲がりが多い、直角の曲がりなど)、ミルク配管項目(傾斜が少ない、口径が細いなど)、バキュームポンプ項目(機種選定:ポンプ能力が低い)、レギュレーター項目(設置場所が不適)、パルセーター項目(設置状況が不適)、搾乳ユニット項目(ミルクメーターや真空圧遮断装置の設置場所不適など)、その他の項目(バケット搾乳システム用真空配管など)の合計7項目に分類した。

維持管理問題は、経年変化に起因する問題と考えられるものとし、真空配管項目(エア漏れ、配管の詰まりなど)、ミルク配管エア漏れ項目(配管からのエア漏れ、逆勾配、たわみ)、バキュームポンプ項目(能力低下)、レギュレーター項目(掃除不良、機能低下)、パルセーター項目(異常波形)、搾乳ユニット項目(チューブ類の劣化など)、その他の項目(バケット搾乳システムの不調など)の合計7項目に分類した。

統計処理法：設置後経過年数区分はトレンドの χ^2 検定[21]、点検実施年区分はフィッシャーの正確確率検定を用いた。

3. 結果

搾乳システム点検実施酪農家戸数と点検台数：ハイラインシステムとローラインシステムの点検区分別の酪農家戸数と点検台数を表-6に示した。ハイラインシステムの初回点検群、定期点検群の酪農家戸数と点検台数は、それぞれ54戸58台、12戸95台、合計66戸153台であった。ローラインシステムは、初回点検106戸112台、定期的点検18戸93台、合計124戸205台であった。初回点検群の酪農家戸数と点検台数は、同じ酪農家で新たな搾乳システムを導入した場合が含まれるので、酪農家戸数と点検台数は一致していない。

点検区分別問題点：ハイラインシステムとローラインシステムの点検区分別の設置当初問題と維持管理問題の件数分布とその割合を表-7に示した。

ハイラインシステムでの設置当初問題と維持管理問題の件数は、初回点検群ではそれぞれ100件、67件、定期点検群では5件、132件であった。

ローラインシステムでの設置当初問題と維持管理問題の件数は、初回点検群ではそれぞれ211件、167件、定期点検群では15件、167件であった。

初回点検群での設置当初問題件数は、ローラインシステムと比較してハイラインシステムはミルク配管項目が有意に($P<0.01$)多く、搾乳ユニット項目は有意に($P<0.01$)少なかった。維持管理問題件数は、ローラインシステムと比較してハイラインシステムは搾乳ユニット項目が有意に($P<0.01$)少なく、その他の項目は有

意に ($P<0.05$) 多かった。

定期点検群では、ハイラインシステムとローラインシステム共に設置当初問題件数は非常に少なく、各項目共に有意な差はみられなかった。維持管理問題件数では、ローラインシステムと比較してハイラインシステムはミルク配管のエア漏れ項目とその他の項目が有意に ($P<0.01$) 多く、バキュームポンプ能力項目 ($P<0.05$)、レギュレーター項目 ($P<0.01$)、搾乳ユニット項目 ($P<0.01$) は有意に少なかった。

点検実施年代別区分による設置当初問題と維持管理問題

初回点検群の点検年代区分による問題件数分布とその割合を表-8に示した。

ハイラインシステムにおいて、点検実施年代区分別の設置当初問題ではミルク配管項目が2005年以降に点検したものに有意に多かった ($P<0.05$)。維持管理問題ではレギュレーター項目 ($P<0.01$)、搾乳ユニット項目 ($P<0.01$)、その他の項目 ($P<0.05$) が2005年以降に点検したものに有意に多かった。

ローラインシステムにおいて、点検実施年代区分別の設置当初問題では、レギュレーター項目 ($P<0.01$) で2005年以降に点検したものが有意に多かった。維持管理問題ではレギュレーター項目 ($P<0.05$)、パルセーター項目 ($P<0.01$)、搾乳ユニット項目 ($P<0.01$) が、2005年以降に点検したものに有意に多かった。

初回点検群の設置後経過年数区分による問題件数分布とその割合を表-9に示した。

ハイラインシステムにおいて、設置後経過年数区分別の設置当初問題としてミルク配管項目 ($P<0.01$)、バキュームポンプ能力項目 ($P<0.01$)、レギュレーター項目 ($P<0.01$) が設置後6年以上経過しているものに有意に多かった。維持管理問題ではレギュレーター項

目 ($P<0.01$) が 11 年以上経過しているものに、パルセーター項目 ($P<0.05$) が 6 年以上経過しているものに有意に多かった。

ローラインシステムにおいて、設置後経過年数区分別の設置当初問題としてバキュームポンプ能力項目 ($P<0.05$) が 1 年以内のものに有意に多かった。維持管理問題としてミルク配管エア漏れ項目 ($P<0.05$)、レギュレーター項目 ($P<0.01$)、パルセーター項目 ($P<0.01$)、搾乳ユニット項目 ($P<0.01$) が 6 年以上経過しているものに有意に多かった。

4. 考察

北海道における搾乳システムの導入は、1970年代よりのハイラインシステムが始まりである。その後フリーストール牛舎とミルクキングパーラー導入酪農家戸数は、2000年の963戸(9.7%)から、2018年は1,519戸(27.0%)まで増加している(北海道の酪農畜産をめぐる情勢2020年；北海道農政部生産振興局畜産振興課)。ハイラインシステムとローラインシステムの各点検項目の問題件数を比較した場合、初回点検群の設置当初問題ではハイラインシステムのミルク配管項目が有意に多かった。つなぎ牛舎によるミルク配管の傾斜不良や配管口径の問題であった。一方ローラインシステムでは搾乳ユニット項目が有意に多く、ミルクキングパーラーでの搾乳ユニット使用台数の多さとその構造の複雑さが設置当初問題に、稼働時間が維持管理問題に影響したものと思われた。よって設置当初問題の相違は、搾乳システムの構造に由来するものと考えられた。定期点検群のハイラインシステムとローラインシステムの設置当初問題間には有意な差はみられず、定期点検に

伴って設置当初問題点を積極的に改善した結果である。一方維持管理問題でのハイラインシステムとローラインシステムの相違は、使用ユニット台数の違い、搾乳ユニットの搾乳毎の脱着、搾乳時間の長さが影響したものと思われた。ハイラインシステムでは搾乳牛2頭毎にユニットの脱着を繰り返すので、接続部よりのエア漏れが生じやすい。ローラインシステムでは使用台数が多く搾乳頭数も多いので、ユニットの損傷が発生しやすい。また長時間搾乳によるレギュレターの埃付着やバキュームポンプの能力低下が生じ易い。

点検実施年代区分別の問題点の推移をみると、ハイラインシステムの設置当初問題として近年増加傾向にあったのはミルク配管に関する項目で、ローラインシステムではレギュレター項目であった。ハイラインシステムでは多頭化の進展にともない長いつなぎ牛舎新設に伴うミルク配管の傾斜不足問題が増加したためと推測された。ローラインシステムではレギュレターの設置位置不備の問題点が増加したためと考えられた。また、維持管理問題ではハイラインシステムのレギュレター項目、搾乳ユニット項目の問題が増加傾向にあった。いずれも稼働時間に影響される項目であり、個体乳量の増加や多頭化にともなうユニット一台あたりの搾乳頭数の増加による長時間稼働が原因と考えられた。ローラインシステムの場合も同様であったが、パルセーター項目も増加傾向にあった。パルセーターは、搾乳中のローラインシステムでは搾乳の有無にかかわらず搾乳時間中常に稼働をしている状態である。一方ハイラインシステム搾乳では実際の搾乳時のみ稼働し、搾乳ユニット移動中は停止している。ローラインシステムのパルセーターは使用台数が多いこと、ハイラインシステムと同じ

搾乳頭数であっても稼働時間が長くなることが原因であると推測された。

搾乳システムの設置後経過年数区分別の問題点の推移では、ハイラインシステムの設置当初問題は、設置後6年以上経過している搾乳システムに問題点が多くなっていた。これは設置当初の古い規格品を現在の規格で点検したためと考えられる。一方、ローラインシステムの設置当初問題では、設置直後の1年以内の新しい搾乳システムにも設置当初問題は多くみられ、バキュームポンプの選択は新しいものに問題が多い傾向にあった。これは、ミルクパーラーが普及し始めた2005年以降[18]に新設された施設稼働前の搾乳システム点検が十分に実施されなかったためと考えられた。もし稼働前の搾乳システム点検が実施されていれば、バキュームポンプ能力の不適切や配管仕様不備が明確になり、規格設計時の参考になったと考えられる。ローラインシステムのミルクパーラーはその構造が複雑であるため、稼働前の搾乳システム点検を必ず実施すべきであると考えられた。

維持管理問題は、ハイラインシステムとローラインシステムともにレギュレーター、パルセーター項目が設置後経過年数とともに増加した。また、ローラインシステムでは搾乳ユニット項目も増加傾向にあった。レギュレーターやパルセーターは長時間稼働により部品が消耗し劣化し易い項目であり、稼働時間を考慮した定期的な維持管理が重要である。

設置当初問題は、搾乳システム設置当初からの構造的問題点であり、酪農家は搾乳システム設置稼働初めから不具合のある搾乳システムで毎日搾乳をしていることになる。問題の多かった項目は、搾乳システムの搾乳能力に大きく影響する項目である。一方定期点検群では、設置当初問題は非常に少なく、改良を一度正し

く行えば問題点は解決していた。初回点検群と定期的点検群を比較すると、定期的点検を実施している酪農家は搾乳システムに対する意識が高く、搾乳システムの問題解決に取り組む姿勢の違いが設置当初問題件数に現れたものと思われた。

維持管理問題では、定期的な搾乳システム点検を実施している意識の高い定期点検群でも多くの問題が生じており、現在行われている搾乳システムの維持管理手法では不十分であると考えられる。問題となった項目は、ハイラインシステムとローラインシステム共に稼働時間に影響される項目で、部品が消耗して不具合の頻度が高くなったと考えられた。現在北海道で実施されている1回/年の搾乳システム点検頻度では、現実に維持管理問題は解決されておらず、稼働時間を基準とした定期点検と維持管理が必要であると考えられた。指摘された項目は、吉田ら[36]の1975年の古い報告と一致し、使用年数が長いほど問題点が多くみられ、畜主は搾乳システムに関して無関心であった。このように酪農家に如何にして搾乳システムに関心を持たせるかが重要であり、酪農家と共に問題解決する姿勢が関係者には必要であると思われた。

乳房炎の感染リスクに関して、Meinら[25]は、搾乳システムよりは他の乳房炎発生因子が大きいと述べているが、それは搾乳システムの設定と維持管理が正しく行われていることが前提条件であるとしている。Mahleら[23]と、Rasmussenら[29]は、設定真空圧やパルセーターの適正なる設定数値を示して、これを逸脱すると乳房炎問題が生ずる危険性が高いとしている。

本研究によりハイラインシステム、ローラインシステムを問わず日本の搾乳システムには未だに多くの問題が存在し、乳房炎発

生リスクが高い状況であると推測された。問題点は時代と共に変化し、ハイラインシステムとローラインシステムで異なることも明らかとなった。定期点検を行っているにも関わらず維持管理問題件数が減少していないことから、現在行われている点検頻度(1回/年)は搾乳システムを適切に維持管理するには不十分であると考えられる。近年、酪農家の規模拡大にともなう搾乳頭数の増加や個体乳量の増加により、搾乳システムにかかる負荷は増加している。よって定期点検の頻度は搾乳システム稼働時間により決定すべきであると考ええる。また、設置後1年以内に行った初回点検でも多くの問題点があり、現状では搾乳システム設置後の搾乳システム点検が不十分であるとも考えられる。

搾乳システムが原因とする乳房炎問題を解決するためには、ハイラインシステムとローラインシステムの構造的特性を踏まえた上で、搾乳システム新規設置時の十分な稼働前点検の実施と定期点検頻度の見直しである。このように対応することが、不適切な搾乳システムに由来する乳房炎防除のために必要である。

5. 小括

乳房炎発生要因の中で搾乳システムは唯一乳牛に直接接触れる機械であり、使用頻度が高く長時間稼働する機械である。過去21年間に酪農家190戸のハイラインシステム153台とローラインシステム205台の搾乳システム点検結果から、両者の相違を明らかにし、搾乳システム点検頻度を検討することを目的とした。

搾乳システム点検結果をハイラインシステムとローラインシステムに分け、問題点を設置当初からの問題点と維持管理不良に関する問題点に分類した。更に点検実施年代と設置後経過年数により4区に分類した。ハイラインシステム、ローラインシステム問わず設置当初問題と維持管理問題は多く存在し、その

内容は点検実施年代と設置後経過年数により変化した。設置当初問題はハイラインシステムでは古いものに多く、ローラインシステムでは新しいものでも多かった。維持管理問題では共に6年以上を経るものに問題が多く発生していた。設置当初の搾乳システム点検の必要性はもちろんのこと、定期点検の頻度は搾乳頭数の増加を考慮した稼働時間を基準とした頻度に変更すべきであると考えられた。

第 3 章 模擬搾乳装置を用いた搾乳中クロー内圧に影響する搾乳システムの要因解析

1. 小緒

搾乳システム点検には目視点検、搾乳していないときに搾乳システムを稼働させて点検する静止時点検 (dry test)、搾乳中に点検する動態時点検 (wet test/Dynamic Test)がある。しかし、いずれの点検も合格することは必要条件ではあるが、十分条件とは言い難い。目視点検は、目で見て点検をするので、問題点を指摘するにはそれなりの知識と経験を必要とする。静止時点検は配管中の空気の流れを診断しているのみで、搾乳中の牛乳の流れを含んでおらず、ミルクラインからミルククローまでの搾乳ユニット部分の搾乳性評価ができない。動態時点検は搾乳中の牛乳の流れを評価するが、乳牛は搾乳システムにより搾乳された量が乳量となり、その乳量は日々変動するために点検毎に同じ乳量 (搾乳システムに対する同じ負荷)ではない。したがって、ある時点では動態時点検に合格しても、高乳量時の合格を保証するものではないといえる。模擬搾乳試験は常に同じ負荷を与えたり、負荷を任意に変化させたりすることができる試験である。流体が牛乳と水との違いはあるものの、流量(負荷)を任意に変えながら、搾乳を模したクロー内圧を指標として搾乳ユニット部分の搾乳性能を評価することが可能である。

本研究は、通常の搾乳システム点検では評価できない搾乳ユニットを構成する部品、相互の位置関係などがクロー内圧変動に与える影響を、模擬搾乳装置を用いて明らかにした。

2. 材料と方法

模擬搾乳装置：模擬搾乳試験で用いる模擬搾乳装置（Jenny Lynn Flow Simulator、Rocky Ridge Dairy Consulting、WI、USA）[30]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、流量を任意に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である(図-7)。搾乳と同じようにライナー4本に模擬乳頭をセットし、テープで固定することによりライナースリップを防止した。ミルククローは通常の搾乳時の高さに調整し、流量計の付いたバケツと模擬乳頭を繋ぐチューブが水平になる様にそれぞれの高さの調整を行った。測定流量は、Reid[30]の設定圧調整試験に基づき1.9kg/分、3.8kg/分、5.7kg/分、7.6kg/分、8.7kg/分の5段階(ガロン単位)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、搾乳開始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)、最高真空圧、最低真空圧を真空圧測定機械(Triscan, Surge: Babson Bros. Co., Naperville, IL, USA)にて測定した。クロー内圧の測定は、測定機械付属の14Gの針をショートミルクチューブに刺し、逆流防止のトラップを利用して測定した。流体物は実際の生乳温度に近くなるように微温水とし、ミルクメーターが付随している場合にはミルクメーターを作動させるために30℃程度の微温塩水(生理食塩程度)とした。ハイラインとローラインシステムの分析要因と試験設定流量は表-10の通り行った。

配管システムによる設定真空圧の違い：本試験は搾乳システム仕様が異なる 5 戸の酪農家で試験毎に行った。搾乳システムは、ハイラインシステム(チューブ口径 16mm)、離脱装置付ハイラインシステム(チューブ口径 16mm)、ローラインシステム(チューブ口径 16mm、自動離脱装置有、ミルクメーターなし)、ローラインシステム(チューブ口径 22mm、自動離脱装置有、ミルクメーターなし)、オリオン真空 2 系統システム(チューブ口径 16mm)の 5 種類の異なるシステムを利用し、模擬搾乳装置を用いて 5 段階の流量でクロー内圧を 2 分間測定した。

以下の試験は点検項目毎に、異なる酪農家の搾乳システムを用いて試験を実施した。ハイラインシステム、ローラインシステム別の搾乳ユニット分析項目と試験流量を表-10 に示す。

ミルクチューブの長さ：ハイラインシステムにて、ロングミルクチューブ(口径 16mm)の長さを 248cm、288cm、317cm(自動離脱装置付)、328cm に交換して、模擬搾乳装置を用いて 5 段階の流量でクロー内圧を 2 分間測定した。

ローラインシステムにて、ロングミルクチューブ(口径 16mm)の長さを 200cm、250cm、300cm に交換して、模擬搾乳装置を用いて 5 段階の流量でクロー内圧を 2 分間測定した。

ミルクチューブの絞り口径：ハイラインシステムにてロングミルクチューブ(口径 16mm)の長さは 288cm、途中に口径 14mm の長さ 10cm 程度の単管および乳房炎検知器(Ambic, UK)をはさみ込

み、模擬搾乳装置を用いて 5 段階の流量でクロー内圧を 2 分間測定した。ローラインシステムにて、ロングミルクチューブ長を 200cm に固定し、口径 14mm、16mm、18mm、22mm の 4 種類を用い、模擬搾乳装置を用いて 5 段階の流量でクロー内圧を 2 分間測定した。

水平と垂直配管仕様の差：ローラインシステムのミルクキングパーラーにて、ロングミルクチューブ（口径 16mm）の長さを 200cm とし、搾乳ストール上のクローからミルクラインへと上から下に流した垂直配管仕様（通常搾乳仕様：高低差マイナス 87cm）の場合と、同じ長さ口径でクローからミルクラインまでを水平位置にした水平配管仕様（搾乳ピット床に装置を設置して高低差をなくしたもの）の場合について、模擬搾乳装置を用いて 5 段階の流量でクロー内圧を 2 分間測定した。

リフトの高さによる差：ローラインシステムにて、長さ 300cm（口径 16mm）のロングミルクチューブを用い、ロングミルクチューブを 0cm、20cm、40cm、60cm、80cm の高さの山を形成するように持ち上げてリフト（牛乳が重力に逆らって上る状態）を作り、模擬搾乳装置を用いて 5 段階の流量でクロー内圧を 2 分間測定した。

クローの型とミルクサンプラーの設置：ローラインシステムにて、ミルククローをトップフロー型とボトムフロー型、ミルクメータ

一のサンプラー装着有無で4区分し、模擬搾乳装置を用いて5段階の流量でクロー内圧を2分間測定した。

エフェクティブリザーブ量の影響：試験ユニット1台、繋ぎ牛舎で配管に設置したエアフロメーターより空気を入れてエフェクティブリザーブ量を減少させて、各流量でクロー内圧を比較した。エフェクティブリザーブ量は、66.0 Cubic Feet/min(CFM; 1CFM=28.3L/分)、46.0CFM、16.5CFMに設定した。

パルセーター設定の影響：パルセーターの拍動回数と比率を調整して、模擬搾乳試験を実施した。拍動数を50, 55, 60, 65, 70回(比率条件：前側55:45、後側60:40)、拍動比率を60:40、70:30(拍動条件55回)に設定して、クロー内圧を各流量で比較した。また、交互搾乳方式と一挙動搾乳方式(条件；拍動数55回、拍動比率60:40)でクロー内圧を各流量で比較した。

3.結果

配管システムによる違い：ハイラインシステムのクロー内圧は(口径16mm)、流量が増えるに従って設定圧(50kPa)より急激に減少し、8.7kg/分流量では31.7kPaまで低下した。自動離脱装置が付いた場合にはさらに低下した。ローラインシステムのクロー内圧は(口径16mm)、流量が増えるに従って徐々に低下し、8.7kg/分の流量では39.7kPaとなったが、ハイラインシステムより大幅に低下の割合が少なかった。ローラインシステムの口径22mmでは流量が多くなってもクロー内圧の低下はほとんど見られなかつ

た。真空 2 系統システムのクロー内圧は、5.7kg/分の流量までは設定圧に近い 44.7kPa を維持し、その後急激に低下した(図-8)。

ミルクチューブの長さ：ハイラインシステムのクロー内圧は、ミルクチューブの長さが長くなり、流量が多くなるに従って低下し、自動離脱装置が付いた場合(317cm)は、最も長い 328cm よりも各流量下で低下した。ローラインシステムのクロー内圧は、ミルクチューブの長さが長くなり、流量が多くなるに従って順次低下し、最大流量 8.7kg/分でのクロー内圧は、それぞれ 35.7kPa(200cm)、33.7kPa(250cm)、32.3kPa(300cm)となった(図-9)。

ミルクチューブの絞り口径：ハイラインシステムの絞り口径別のクロー内圧は、口径が細くなるに従って低下の割合が大きくなり、乳房炎検知機を装着した場合に最も低下した。最大流量 8.7kg/分でのクロー内圧はそれぞれ 31.7kPa(口径 16mm)、30.3kPa(口径 12mm)、測定不能(乳房炎検知器)となった。ローラインシステムのロングミルクチューブの口径別のクロー内圧は、口径が細くなるに従い、また流量が多くなるに連れて低下した。最大流量 8.7kg/分でのクロー内圧はそれぞれ 30.7kPa(口径 14mm)、36.0kPa(口径 16mm)、39.7kPa(口径 18mm)、43.0kPa(口径 22mm)となった。口径 22mm では、各流量共にクロー内圧の低下はほとんど見られなかった(図-10)。

水平と垂直配管仕様の差：ローラインシステムの水平と垂直配管仕様によるクロー内圧は、垂直配管仕様が低下の割合が少なかった。最大流量 8.7kg/分でのクロー内圧は 36.0kPa(16mm 垂直仕様)、34.0kPa(16mm 水平仕様)となった (図-11)。

リフトの高さによる差：ローラインシステムのリフトの高さによるクロー内圧は、流量が多くなるに連れて、リフトの高さに比例して低下した。最大流量 8.7kg/分でのクロー内圧は、それぞれ 36.0kPa(リフト高 0cm)、35.3kPa(リフト高 20cm)、35.0kPa(リフト高 40cm)、34.0kPa(リフト高 60cm)、33.0kPa(リフト高 80cm)となった (図-12)。

クローの型とミルクサンプラーの設置：ローラインシステムのクロー型別のクロー内圧は、サンプラーの有無にかかわらず、ボトムフロー型クローがトップフロー型に比較して各流量で高かった。サンプラーの有無別では、クローの型にかかわらず、サンプラーを設置した場合にはより大きくクロー内圧が低下した (図-13)。

エフェクティブリザーブ量の影響：ハイラインシステムにおいてエフェクティブリザーブ量が減少するとクロー内圧は低下する傾向が見られた(図-14)。

パルセーター設定：拍動回数、拍動比率がクロー内圧に与える影響は見られなかった(表-11)。拍動方式においては、平均クロー内圧に大きな変化は見られなかった。クロー内圧の変動幅は、交

互方式は流量に関係なく一定しているのに対して、交互方式は流量が大きくなると、変動幅が大きくなった(表-12)。

4. 考察

ハイラインシステムでは一般的に搾乳システムの設定真空圧は 50.0kPa となっている。一方、ローラインシステムでは一般に設定真空圧は 42.0-46.0kPa 程度となっている。Reinemann ら [31]は、搾乳性と乳頭口の健康のために、搾乳中のクロー内圧はピーク乳量時に 35.0~42.0kPa 程度となるのが適当としている。したがって搾乳システムが異なっても、搾乳中に乳頭にかかる真空圧は同じ程度でなければいけない。これを実現するためのハイラインシステムとローラインシステムの設定圧の違いを比較検討してみた。

ハイラインシステムではわずかな流量であっても、クロー内圧は設定圧より急激に低下し始め、流量が増えるに従って大きく低下している。ハイラインシステムでは、流量が 6.0kg/分を上回るとクロー内圧は 35.0kPa を下回るようになる。これ以上の流量では、ライナーゴムによる乳頭マッサージが不十分となり、乳頭口を傷める恐れが生ずる NMC の推奨範囲以下(図-9)のクロー内圧になる。実際の搾乳では、オキシトシンによる射乳作用と搾乳システムでの吸引により 1 分間当たりの搾乳量が決まる [33]。ライナーは真空中で乳頭に吸着しているので、クロー内圧が低くなればライナースリップが生じやすくなり、時にはライナーが乳頭より脱落してしまう。したがって、流量が 7.6kg/分で 33.3kPa のクロ

一内圧はライナーリップが頻発しやすい状態であり、この流量はハイラインシステムでは乳房炎の危険性が高まると判断しなければならない。逆に流量が少ない場合にはクロー内圧は42.0kPa以上となり、高真空圧で乳頭口を傷める恐れが生ずるNMCの推奨範囲以上(図-9)のクロー内圧になる。これが実際の搾乳では、搾乳終了近くの時間帯の過搾乳と言われる部分である。ハイラインシステムに自動離脱装置を取り付けた場合には、更にクロー内圧の低下が顕著となる。

一方、ローラインシステムでは、流量が多くなってもハイラインシステムと比較してクロー内圧の低下は少なく、最大流量8.7kg/分であってもクロー内圧を39.7kPaに保持している。流量の少ない範囲ではハイラインシステムよりクロー内圧は低くなり乳頭に優しく、流量の多い範囲ではハイラインシステムより高い真空圧でより多くの乳汁を吸い出すことが可能(搾乳性能の向上)となり、乳頭マッサージ圧も確保できている。したがって、ローラインシステムの設定圧はハイラインシステムよりも低く設定しなければならない。高く設定した場合には、常に高い真空圧が乳頭にかかるために、乳頭口を傷め乳房炎につながる危険性が増加する。図-9の例のようなクロー内圧曲線が得られた場合には、その設定圧を42.0kPa程度まで低くする必要がある。ローラインシステムでミルクチューブ口径を22mmにした場合には、クロー内圧の低下はいずれの流量であっても見られず、設定圧とほぼ同じようなクロー内圧を示した。この場合も設定真空圧の再設定が必要となる。ミルクチューブの口径が太いため、搾乳のた

めの真空領域と牛乳が流れる領域がチューブ内に共存でき、その結果真空圧の安定度が良くなったものと考えられる。ハイラインシステムで口径の太いミルクチューブ(18mm以上)を使用した場合には、牛乳がチューブ内を塊として上昇できずに搾乳が困難となる。

真空2系統システムでは、ハイラインシステムにもかかわらず、ローラインシステムに似た曲線を描いた。これはミルクチューブ内の牛乳を吸い上げる真空圧(エネルギー)が60.0kPaと一般的なハイラインシステム(50.0kPa)より高いからである。高いミルクチューブ真空圧は、クロー内部で減圧する仕組みになっている。

これらの搾乳システムの違いにより設定真空圧が異なることを知ることは、酪農家が適正な搾乳システム設定圧を知り、搾乳時に設定真空圧を確認することにつながる重要な事項である。酪農現場では、ハイラインシステム、ミドルラインシステム、ローラインシステムが存在し、さらにミルクキングパーラーであってもハイラインシステムであるスイングパーラー、ミドルラインシステムの計量ジャー付ミルクキングパーラーなど各種のタイプが存在する。これらの理論を知り、酪農場の搾乳システムに合った設定真空圧を理解することが重要である。

クロー内圧はミルクラインから分岐したミルクチューブを通じて供給されている。また、ミルクチューブは吸引された牛乳をミルクラインまで運搬する役目もある。搾乳された牛乳は、ブリードホールからの空気の流入(10L程度/分)によりミルクチューブ内で塊となり、塊前後のミルクライン側の真空圧と空気の入っ

たクロー側の真空圧との差によりミルクラインへと流れる。ブリードホールからの空気の流入量が多過ぎると、牛乳の塊は壊れて流れが悪くなる。このようにミルクチューブは、1本のチューブ内で2つの役割を実現させなければいけない。この2通りの役割を十分に発揮できなければ搾乳性が悪くなり、クロー内圧は変動して乳房炎の発生リスクが高まる。

ローラインシステムとハイラインシステム共に、ミルクチューブの長さが長くなるほどクロー内圧は低下した。これはミルクチューブが長ければ長いほど、その中を牛乳が塊で流れる時間が長くなり、その間ミルククローへの搾乳をするための真空が途絶え、クロー内圧が低下するものと考えられる。

また、ミルクチューブ内に口径の細かい絞りを入れることにより、クロー内圧の低下を招いた。この部分でチューブ内を塊となった牛乳の流れが悪くなり、搾乳をするための真空は牛乳が絞り部分の流れ終わるまで瞬間的に途絶え、クロー内圧が低下するものと考えられる。

ローラインシステムでは、ミルクチューブの口径が細くなるほどクロー内圧は低下した。ローラインシステムは基本的にハイラインシステムのように牛乳を吸い上げる必要性はなく、牛乳は重力とブリードホールからの空気の流れによりミルクチューブ内を流れる。チューブ口径が太ければ、チューブ内を搾乳のための真空と牛乳が流れる分離された空間が生まれ易く、その結果クロー内圧が安定するものと考えられた。

ミルクチューブが同じ長さと同径であっても、垂直配管仕様がクロール内圧の低下が少なかったのは、重力を牛乳の流れに利用できるからであると考えられた。

ミルクチューブが同じ長さ、同じ口径であっても、リフトの形成によりクロール内圧は異なった。リフトにより牛乳は重力に逆らいミルクチューブ内を上らねばならない。リフトが高ければ高いほど、ミルクチューブ内は牛乳の塊で塞がれる時間が長くなり、搾乳のための真空供給が途絶えるためと考えられた。

ミルククロールの型別で、トップフロー型のクロール内圧が低くなったのは、わずかなクロール内の配管であっても、そこにリフトを形成する吸い上げる型の配管があるからと考えられた。ミルクサンプラーの有無による違いは、牛乳を均一に少量ずつ採取するために狭いところを流れる構造があり、この狭窄がクロール内圧の低下を招く原因と考えられた。

搾乳システムのエフェクティブリザーブ量の影響は、その量が低下するとクロール内圧も低下した。エフェクティブリザーブ量に影響を与えるレギュレーターの設定場所と能力、バキュームポンプ能力、配管仕様がクロール内圧に影響することが明らかになった。これは、静止時点検結果が搾乳中のクロール内圧に影響することを示している。

パルセーター設定の影響では、拍動数と回数共にクロール内圧に影響を及ぼさなかったが、4本同時に搾乳して同時に休止する一挙動方式はクロール内圧の変動幅を大きくした。

模擬搾乳装置を使用して、一般的な搾乳システム点検では検出できない要因を解析したところ、ミルクチューブの長さとお径、真空圧遮断装置による絞りのお径の有無、リフトの形成、クローのタイプなどいわゆる搾乳ユニット部分の仕様がクロー内圧に大きく影響していることが明らかとなった。これらの組み合わせにより、搾乳システムの搾乳能力が大きく異なっている可能性があることから、模擬搾乳装置を用いて搾乳能力診断を実施して、それぞれのシステムに合った設定真空圧を把握することが重要と考えられる。乳房炎予防の観点からは、模擬搾乳装置を用いたミルクングパーラーの搾乳能力試験や設定真空圧の決定、ユニット部分の設置法、真空圧遮断装置の狭小お径による圧力損失など、搾乳システム設置時点での診断や改良が可能である。

本研究は、模擬搾乳装置を使用して搾乳中のミルククロー内圧に影響する要因を解析した我が国では初めての研究であり、搾乳システム全体に関する搾乳能力試験の可能性を明らかにした研究でもある。搾乳システムの搾乳能力試験を行うことにより、搾乳システムの改良が大幅に前進し、乳房炎の発生リスクが低下する可能性を示唆した。

5. 小括

乳房炎は乳房内への微生物感染によって引き起こされるが、その発生要因は多岐にわたる。発生要因の一つである搾乳システム点検方法の詳細は報告されているが、搾乳ユニット部分の評価法には触れられていない。そこで模擬搾乳装置を利用して、流量を

5段階に変えてクロー内圧を測定し、クロー内圧に影響する各種要因を解析した。解析要因は、搾乳システム別設定真空圧、ミルクチューブの長さ、口径、絞り口径、配管の仕様、リフト形成、クローの型とミルクサンプラーの有無、エフェクティブリザーブ量、パルセーターの設定とした。その結果、これらの項目はいずれもクロー内圧に大きく影響することが明らかとなった。

第4章 模擬搾乳装置を用いたクロー内圧を指標とした搾乳システムの性能評価

1.小緒

搾乳システム点検[31]には、目視点検、静止時点検、動態時点検の3段階があり、それぞれの点検法に問題点があることは第3章ですでに述べた。従来から行われてきた搾乳システムの点検法では、現状の乳量レベルでの点検結果の良否は判定することができるが、高負荷（高乳量）時における搾乳システムの状態を調べることはできない。搾乳システム点検では最も経済性の高い高泌乳牛に対応できるかどうかの診断が重要であり、平均的負荷ではなく最高乳量の高負荷時での搾乳性能診断が求められる。

乳房炎の予防には、乳頭口の健康が重要であり、そのために必要な搾乳中のクロー内圧と変動幅（最高真空圧と最低真空圧の差）は、Reinemannら[31,32]によって提唱されている。搾乳中のクロー内圧は、高すぎても低すぎても乳頭口を痛める要因となる[5,6,26]。したがって、搾乳中のクロー内圧はどのような乳量でも、適切なクロー内圧と変動幅を維持することが求められる。低乳量時から高乳量時におけるクロー内圧とその変動幅を適正に保つことは、泌乳生理に応じた搾乳と乳頭の健康保持のために重要であり、特に高泌乳牛の乳房炎予防のためには必要である。

本研究は、模擬搾乳装置によって低負荷（低乳量）から高負荷（高乳量）を再現したモデルを用い、クロー内圧と変動幅を測定することによって搾乳システムの搾乳性能を評価するとともに、これらクロー内圧と変動幅に影響する要因を明らかにすること

を目的とした。

2.材料と方法

調査酪農家：2000年11月から2015年3月までの期間中、酪農家73戸のミルクパーラーについて、模擬搾乳装置を用いて模擬搾乳試験（図-7）を実施した。酪農家の搾乳システムの大きさは、4頭ダブルから60ポイントのロータリーパーラーまで様々あり、種類別ではヘリングボーン式39戸、平行式24戸、ロータリー式8戸、タンデム式2戸であった。

模擬搾乳装置：模擬搾乳試験で用いる模擬搾乳装置（図-7）と試験方法は、第3章にて記した方法と同じものを用いた。

搾乳ユニットの分析項目：著者ら[9]が指摘したクロー内圧に影響する要因、すなわちミルクチューブの長さ、ミルクチューブの口径、ミルクチューブのリフト形成、ミルクメーターの設置有無、ミルクメーターの圧力損失の有無、真空圧遮断装置の圧力損失、ミルクメーターからの排出配管の仕様（排出配管仕様）、クローのタイプの8項目にて解析した。

搾乳ユニットの各装置の圧力損失評価法：搾乳ユニットに付随するミルクメーターや真空圧遮断装置などの各装置や部品の圧力損失は、通常の搾乳状態での測定結果と当該装置を順次取り外し実施した模擬搾乳試験結果を比較して判定した。ミルクチューブ

の長さ、ミルクチューブの口径、クロータイプの項目は試験用チューブとクローを用いて測定した。ミルクチューブのリフト形成解消は、模擬搾乳装置を高く持ち上げてリフト高を解消し、その有無で判定した。以上の条件で、クロー内圧を各装置の有無の試験結果をグラフ化して比較し、最高流量 8.7kg/分で 2.0kPa 以上の差が生じた場合を圧力損失があると判定した。変動幅では 7.0kPa を超える場合を変動が大きいと判定した [5, 6, 25, 32]。

搾乳能力の合否判定基準：高泌乳牛に相当する高流量範囲の流量 5.7kg/分、7.6kg/分、8.7kg/分の 3 段階の各流量で、平均クロー内圧が 35.0kPa 以上で、かつクロー内圧変動幅が 7.0kPa 以下を合格として [31, 32]、流量毎に合格群と不合格群の 2 群に分けて 8 項目を比較検討した。

統計処理：平均クロー内圧と変動幅の二つの測定値において、それぞれ搾乳能力合格群と不合格群の 2 群に分け、流量毎に搾乳ユニット部分の 8 項目の圧力損失の有無別で、Fisher 直接確率検定を用いて統計処理を行なった。さらに Fisher 直接確率検定で $P < 0.3$ となった項目に関しては、ロジスティック回帰分析を行った。

3.結果

ミルクパーラー搾乳能力の合否結果：平均クロー内圧 35.0kPa 以上を合格群として、それ下回る場合を不合格群として

分けたところ、流量 5.7kg/分では 55 戸 (75.3%)、流量 7.6kg/分では 36 戸 (49.3%)、流量 8.7kg/分では 29 戸 (39.7%)と、流量が増えるに従い合格する台数は減少した(表-13)。

変動幅 7.0kPa 以下を合格群として、それ超える場合を不合格群として分けたところ、流量 5.7 分/kg では 31 戸 (42.5%)、流量 7.6kg/分では 28 戸 (38.4%)、流量 8.7kg/分では 30 戸 (41.1%)となり、基準値を合格する割合は流量に関係なく同等の割合であった。平均クロー内圧と変動幅共に合格したのは、5.7kg/分で 26 戸 (35.6%)、7.6kg/分で 19 戸 (26.0%)、8.7kg/分で 16 戸 (21.9%)であった(表-13)。

各分析項目の合否：模擬搾乳試験結果より、各分析項目で圧力損失があると判定された戸数は、ミルクチューブの長さは 16 戸 (21.9%)、ミルクチューブの口径は 5 戸 (6.9%)、ミルクチューブのリフトは 26 戸 (35.6%)、ミルクメーター本体の圧力損失は 18 戸 (34.6%)、ミルクメーターの排出配管仕様は 36 戸 (69.2%)、真空遮断装置は 33 戸 (45.2%)であった。ミルクメーターの設置無しは 21 戸 (28.8%)、トップフロータイプのクロー使用は 26 戸 (35.6%)であった(表-14)。

Fisher 直接確率検定の結果：搾乳能力の合否両群間での平均クロー内圧測定結果において、流量 5.7kg/分で有意に差があった分析項目は、ミルクメーターの圧力損失 ($P<0.01$)、排出配管仕様 ($P<0.05$)であった。流量 7.6kg/分では、真空圧遮断装置の圧力損

失 ($P<0.05$)、クローのタイプ ($P<0.01$) であった。流量 8.7kg/分では、ミルクメーターの圧力損失 ($P<0.01$)、真空圧遮断装置の圧力損失 ($P<0.01$)、クローのタイプ ($P<0.01$) であった。変動幅において有意に差がみられたのは、流量 7.6kg/分以上時のクローのタイプ ($P<0.05$) のみであった (表-15)。

ロジスティック回帰分析の結果:Fisher 直接確率検定で $P<0.3$ となった項目について、さらにロジスティック回帰分析を行った。平均クロー内圧では、クローのタイプは流量 7.6kg/分 ($P<0.05$)、流量 8.7kg/分 ($P<0.05$)、ミルクチューブの長さは流量 5.7kg/分 ($P<0.05$)、真空圧遮断装置は流量 8.7kg/分 ($P<0.01$) が有意に他の項目と異なった。その他のミルクチューブの口径、ミルクメーターの圧力損失、排出配管仕様には有意な差は見られなかった (表-16)。変動幅では、クローのタイプのみが流量 7.6kg/分 ($P<0.05$) で他の項目と有意に異なった (表-17)。

4. 考察

模擬搾乳装置を用いた模擬搾乳試験は、一定の流量負荷時におけるクロー内圧を測定することによって搾乳システムの搾乳能力を評価することができるのに対し、実際の搾乳ではクロー内圧の低下にともなって単位時間当たりの搾乳量が変動する。搾乳時のクロー内圧は、測定牛の測定時乳量や産次数、分娩後日数、疾病状況、搾乳者の搾乳技術などに影響され、搾乳システムの持つ真の搾乳能力を評価することは困難である。模擬搾乳装置を用い

た模擬搾乳試験では、これらの影響を排除した条件下でのクロー内圧の測定が可能である。したがって、模擬搾乳試験によってクロー内圧を測定することの意義は、模擬的に高泌乳牛を想定した流量を設定した時に、クロー内圧がどのように変化するかを測定することで搾乳システムの搾乳能力を診断することであり、実際の搾乳時にクロー内圧を測定する意義とは異なる。

今回の試験では、平均クロー内圧と変動幅の基準値は、Reinemann ら [31, 32] の提唱するローラインの推奨値（ピーク乳量時 35.0kPa～42.0kPa、変動幅 7kPa 以下）を用いた。また、模擬搾乳試験時の流量は、Reid [30] や Reinemann ら [31] が搾乳システムの設定真空圧を調整する際に推奨している 5.7kg/分および高泌乳時を想定した 7.6kg/分、及び 8.7kg/分の 3 段階で試験を行った。

試験した酪農家 73 戸のうち、搾乳システムの最高流量時 8.7kg/分での搾乳能力が前述の基準を満たしていたのは、平均クロー内圧 29 戸（39.7%）、変動幅 30 戸（41.1%）であり、両方共に合格していたのはわずか 16 戸（21.9%）であった。平均クロー内圧の結果では流量が増えるに従って合格する戸数割合が減少した。これは、流量が多くなるにつれて平均クロー内圧を維持するのが困難になったためと考えられた。一方、変動幅は流量に関係なく似た割合であった。クロー内圧が低下した場合、その上限値も下限値も同様に低下するため、結果として変動幅は大きく変化しなかったと考えられた。今回行った模擬搾乳試験による搾乳能力診断では 78.1% が搾乳能力不足と診断され、調査対象の搾乳シス

テムの搾乳能力は、遺伝的改良や飼養管理の改善などで年々伸びる泌乳能力に対して不十分であると判断された。

クロー内圧に影響するユニット部分の項目は、ミルクチューブの長さ、チューブの口径と絞り、チューブの配線仕様、チューブのリフト、クローのタイプとミルクサンプラーの使用時と報告されている[9]。チューブの口径と絞りについては今回点検を行ったシステムではすべて問題はなく、ミルクサンプラーは全て使用していなかった。本試験で圧力損失が多く発生した項目は、チューブの長さ、リフトの高さ、真空圧遮断装置、トップフロークロー、ミルクメーター本体、ミルクメーターからミルク配管への配線仕様であり、これらの結果は著者らの報告[9]と一致するものである。

流量別に平均クロー内圧に影響する項目を統計解析したところ、ミルクメーター、真空圧遮断装置、クローのタイプが基準値の合否両群間で有意に異なった。これらの項目は、いずれもクロー内への真空供給に影響を与えている項目である。ミルクチューブ内を流れる牛乳が各装置の狭窄部分で詰まり、クローへの真空供給力が瞬間的に途絶え、クロー内圧の低下を招いたと考えられた。さらに流量が増えた場合には瞬間的閉塞の頻度と時間が多くなり、狭窄部分の影響が大きくなったと推測される。クロータイプを除くミルクメーターと真空圧遮断装置は、ミルクングパーラーには必須の装置であることから、現状の搾乳システムの問題点としては、ミルクメーターの設置方法やそれに付随する部品の性能(製造年代の問題など)があると考えられた。ミルクメーターに

は、真空圧遮断装置が付随しているものと、付随しないものがある。付随している場合には、真空を利用して装置を稼働させる機種が多く、ダイヤフラム弁の狭い可動部を牛乳が流れる構造になっている。この部分がミルクメーター本体の主たる圧力損失を招いていると考えられた。またクローのタイプは、ボトムフロータイプとトップフロータイプがあり、トップフロータイプは、クロー内に小さいながら牛乳の流れにリフトを形成する部分(牛乳を吸い上げる構造)があることで、圧力損失を招いているものと考えられた。

クロー内圧変動幅は、牛乳が流れるチューブが牛乳で瞬間的に塞がれたり解除されたりを繰り返すことによるクローへの真空供給量の変動で生じる。常に牛乳でミルクチューブなどが塞がれた状態になると、クロー内圧そのものが低下して上下変動の差は小さくなる。従って、最大流量時が変動幅の最大値とは限らず、また、変動幅が小さければ良いわけではなく、平均クロー内圧と共に基準を満たさなければならない。今回クロー内圧変動幅において有意な差がみられた要因はクロータイプのみであった。これはミルクチューブと同じように牛乳の吸引と真空供給に問題が生じたためと考えられた。すなわち、トップフロータイプでは牛乳を上方に吸引するためにクロー内リフト部分において牛乳による閉塞が常時起きるのに対し、ボトムフロータイプではブリードホールからの空気の流れを利用するため、牛乳による閉塞が起きなくても流れるという構造的な理由が変動幅に影響していると考えられた。

クロー内圧変動幅に対する各要因の影響の大きさを流量別にロジスティック回帰分析したところ、流量 5.7kg/分ではミルクチューブの長さの変動幅に有意に影響を与えていた。流量が増えた 7.6kg/分の場合はクローのタイプが、さらに流量が増えた 8.7kg/分ではクローのタイプと真空圧遮断装置が変動幅に有意に影響を与えていた。これは、高流量下における狭窄部分による流量制限により、ミルクチューブの長さによる制限よりも真空圧遮断装置の流量制限が大きくなることを示していた。また、トップフロータイプのクローでは、7.6kg/分、8.7kg/分でクロー内圧変動幅に有意に影響を与えており、クロー内の僅かなリフト形成配管は流量が大きくなると明瞭に牛乳の流れの制限要因となるものと考えられた。

本研究により、流量の増加に伴いクロー内圧に影響する主要因が変わっていくことが明らかとなった。これは流量とその流れを制約する部分の相互関係の重要性を示している。乳牛によって乳量はさまざまであるが、搾乳システム点検では全ての項目について最高流量で両基準値に合格するまで、模擬的条件下で模擬搾乳試験を実施する必要があると考えられた。各装置の模擬的条件下の差による流量別の圧力損失が明らかになり、模擬的条件下の差が搾乳ユニット改良案を示唆することになる。

規模拡大時の新しい搾乳システム導入直後は、人も乳牛も新しい飼養環境、飼養管理に慣れておらず、規模拡大時の牛群乳量は初産牛が多いことも重なり、相対的に低乳量から始まる。その低乳量時には問題がなくとも、乳牛の産次数が増える事による泌乳

能力の上昇に伴って、搾乳システムに由来すると考えられる乳房炎などの問題が生じることがある。このようなケースにおいて、従来行われている搾乳システムの目視点検、静止時点検、動態時点検で問題がない場合でも、乳頭の健康を守るためのクロー内圧と変動幅の推奨値を満たしていない可能性もあることから、積極的に模擬搾乳試験を実施して搾乳能力診断をすべきと考えられた。

今回の模擬搾乳装置を使用した搾乳システムの性能診断では約 80%の搾乳システムに問題があると診断され、その主原因はミルクメーターの設置、それに付随する真空遮断装置の仕様およびクローのタイプであった。何れもミルキングパーラー導入時の問題であり、このことに注意を払った導入計画・施工が必要であると考えられた。また、遺伝的改良や飼養管理の改善による乳牛の泌乳能力向上によって乳房炎問題が顕在化する可能性があることから、高泌乳時の乳房炎リスクを減らすためには、設置時だけでなく定期的な搾乳システムの搾乳性能診断が重要であると考えられた。

本研究は、模擬搾乳装置を使用して低負荷から高負荷における搾乳システムの搾乳性能および性能に影響するリスク因子を評価した報告である。今回行った模擬搾乳試験および指摘したリスク因子管理によって、高泌乳牛に対応した搾乳システムの搾乳性能向上が可能となり、不適切なクロー内圧に起因する乳房炎の低減に貢献するものと考えられた。

5. 小括

乳牛の泌乳能力に応じた搾乳システムの搾乳能力は、特に高泌乳牛の乳房炎リスク低減に対して重要である。そこで搾乳システムの搾乳能力診断を目的として、模擬搾乳装置を用いて酪農家73戸の搾乳システムの搾乳能力診断を実施し、搾乳能力に影響する要因解析を試みた。3段階(5.7kg, 7.6kg, 8.7kg/分)の流量における平均クロー内圧とその変動幅を測定したところ、最高流量時の平均クロー内圧35kPa以上と変動幅7kPa以下の両基準値を満たしていたのはわずか16戸(21.9%)であり、搾乳能力に問題があることが明らかになった。不合格の搾乳システムでは、高泌乳牛には対応ができずに乳房炎のリスクを高める結果となる。

平均クロー内圧に影響する要因はクロータイプとミルクメーター、真空圧遮断装置であり、変動幅に影響する要因はクロータイプであった。

第5章 搾乳形式と搾乳システム導入会社別によるミルクングパーラーの搾乳能力評価

1. 小緒

前章で述べたように搾乳システム点検と模擬搾乳試験を実施したところ、国内の調査したほとんどの酪農家では搾乳システムの搾乳能力が低いことが明らかとなった。しかし、それが搾乳システム導入会社の違いによるものか、ミルクングパーラー形式によるものかは不明である。

本研究では、模擬搾乳装置を用いて搾乳システムの搾乳能力を可視化し、搾乳システムの導入会社別、形式別の違いを明らかにすることを目的として行った。

2. 材料と方法

模擬搾乳試験調査区分：2001～2013年において、日本全国の75台の搾乳システムにおいて模擬搾乳試験装置を用いて模擬搾乳試験を行った。

ミルクングパーラーの形式別では、ヘリングボーン形式36台、平行形式25台、ロータリー形式9台、タンデム形式5台であった。各搾乳システムの大きさは、4頭ダブルから60ポイントのロータリー形式まで様々であった。

搾乳システム導入会社別では、A～G社の主要7社の計75台を点検した。

模擬搾乳試験：第3章で記した模擬搾乳試験装置と同じ試験方法を用いた。

搾乳システムの搾乳能力診断法：

1) 搾乳システム点検

NMC の手順に従って、目視点検、静止時点検を実施した。

2) 模擬搾乳試験

現状の搾乳システムで、5段階の流量で模擬搾乳装置を用いて平均クロー内圧の測定を行った。また各装置(ミルクメーター、真空圧遮断装置など)の圧力損失を明らかにするために、模擬搾乳試験を各装置の有無別の状態で行い、平均クロー内圧を比較した。最高流量 8.7kg/分で 2.0kpa 以上の差が生じた場合を圧力損失があると判定した。

3) NMC 推奨値と模擬搾乳試験時のクロー内圧比較

5段階の流量で模擬搾乳装置を用いて測定された平均クロー内圧を、NMC 推奨平均クロー内圧(42.0~35.0kPa)と比較した。また、搾乳システム設定真空圧と最高流量 8.7kg/分時の平均クロー内圧とのクロー内圧差(システム設定真空圧-8.7kg/分時の平均クロー内圧)を計算した。クロー内圧差を NMC 推奨値の範囲 7.0kpa(42.0-35.0=7.0kPa)未満、14.0kpa 未満、14.0kPa 以上に区分して、搾乳システム導入会社とミルクキングパーラー形式別により、その区分件数比率を比較した。

4) 各装置の圧力損失の割合

各装置の圧力損失の割合を、著者らの報告[9]に従い区分して調査した。

統計処理

搾乳システム導入会社と模擬搾乳試験の平均クロー内圧の区分件数比率は χ^2 検定を実施した。また、各装置の圧力損失の割合は、Fisher の正確検定後に Bonferroni 法による多重比較を実施した。

3. 結果

ミルキングパーラーの形式別の比較

ミルキングパーラーの形式別の模擬搾乳試験の各流量での平均クロー内圧を図-15 に示した。パラレル形式 25 台、ヘリングボーン形式 36 台、タンデム形式 5 台においては、流量が多くなるに従い平均クロー内圧が低下し、5.7kg/分を超えると NMC の推奨平均クロー内圧を下回る搾乳システムが多く見られた。しかし、ロータリー形式では流量に関わらず、ほぼ NMC 推奨平均クロー内圧範囲に収まっていた。

ミルキングパーラー形式別の平均クロー内圧の差の件数比率を図-16 に示した。ミルキングパーラー形式別の平均クロー内圧差 7.0kPa 未満、14.0kPa 未満、14.0kPa 以上の件数と比率は、それぞれパラレル形式（8 台 32%、11 台 44%、6 台 24%）、ヘリングボーン形式（5 台 14%、19 台 53%、12 台 33%）、ロータリー形式（5 台 56%、4 台 44%、0 台 0%）、タンデム形式（1 台 20%、3 台 60%、1 台 20%）であった。ロータリー形式の 7.0kPa 未満の区分件数比率は、ヘリングボーン形式に対して有意に ($P < 0.05$) 多かった。

このように模擬搾乳試験別の比較では、ロータリー形式は、流量に関わらず平均クロー内圧はほぼ NMC の推奨平均クロー内圧内に収まっていた。また平均クロー内圧差の比較でも、ロータリー形式は他の搾乳システムと比較して NMC の推奨範囲により多く収まっていた。

搾乳システム導入会社別の比較

ロータリー形式を除く搾乳システム導入会社別の模擬搾乳試験での平均クロー内圧を図-17 に示した。A~D、F 社では流量が多くなるに従い平均クロー内圧は低下し、5.7kg/分を超えると

35.0kPa を下回る搾乳システムが多く見られた。E 社及び G 社では流量によらずほぼ NMC 推奨範囲内に治まった。

搾乳システム導入会社別の平均クロー内圧差の件数比率を図-18 に示した。搾乳システム導入会社別の平均クロー内圧差区分 7.0kPa 未満、14.0kPa 未満、14.0kPa 以上の件数と比率は、それぞれ A 社（5 台 29%、7 台 41%、5 台 29%）、B 社（3 台 30%、4 台 40%、3 台 30%）、C 社（0 台 0%、3 台 50%、3 台 50%）、D 社（0 台 0%、5 台 71%、2 台 29%）、E 社（2 台 40%、3 台 60%、0 台 0%）、F 社（0 台 0%、2 台 40%、3 台 60%）、G 社（1 台 33%、2 台 67%、0 台 0%）であった。各搾乳システム導入会社間で有意な差は見られなかった。

ミルクングパーラーの形式別の各装置による圧力損失の比較

ミルクングパーラー形式別に装備されている装置毎の圧力損失の割合を表-18 に示した。ヘリングボーン形式では、真空圧遮断装置 (50.0%)、ミルクメーターの配線 (50.0%)、クローの形式 (55.6%) に圧力損失が多くみられた。パラレル形式では、真空圧遮断装置 (40.0%)、ミルクメーターの配線 (52.0%) に圧力損失が多くみられた。ロータリー形式では、ミルクチューブのリフト (55.6%)、ミルクメーターの配線 (44.4%) に圧力損失が多くみられ、エフェクティブリザーブ量の不足 (44.4%) も多くみられた。タンデム形式では、真空圧遮断装置 (80.0%)、ミルクチューブの長さ (40.0%)、ミルクチューブのリフト (40.0%) に圧力損失が多くみられ、エフェクティブリザーブ量の不足 (80.0%) も多かった。真空圧遮断装置において、ヘリングボーン形式とロータリー形式、パラレル形式、ロータリー形式とタンデム形式に有意差 ($P < 0.05$) があり、エフェクティブリザーブ量不足においてヘリングボーン形

式とタンデム形式 ($P<0.05$)、平行形式とタンデム形式間 ($P<0.01$)に有意差がみられた。

4. 考察

平均クロー内圧に影響する搾乳システム側の要因は、設定真空圧、ミルクチューブの口径、ミルクチューブの長さ、ミルクチューブの絞り口径、ミルクチューブの口径、チューブの配線の仕方、チューブのリフト、真空圧遮断装置、クローの型とサンプラーの有無と著者ら[9,10]は報告している。

これらの各要因の中で、現場施工による影響が大きい項目は、ミルクチューブの長さと口径、チューブの配線の仕方、チューブのリフト、クローの型であるとしている[9]。これらの項目の差異の集合により、各酪農家の平均クロー内圧曲線の差となって現れていると考えられた。

模擬搾乳試験別では、平行形式、ヘリングボーン形式、タンデム形式共に、5.7kg/分を超えると平均クロー内圧が NMC 推奨範囲を下回る搾乳システムが増えている。しかし、ロータリー形式では流量が多くなっても NMC の推奨平均クロー内圧範囲を下回る台数は少なく、ロータリー形式の搾乳能力は高流量時でも高いことが明らかとなった。ロータリー形式は、そのサイズにかかわらず予め工場でパッケージとして製造され、決められたパーツを組み立てするのみであり、搾乳システム導入時の上記項目等の施工自由度が小さく、かつ施工によるばらつきも少ないため、設計時の搾乳能力を發揮できたものと考えられた。

一方で、他のミルクキングパーラー形式では、導入時に上記項目の施工の仕方が現場に任せられており、施工具合のばらつきが大きい。また、比較的導入時期が新しい形式であるロータリー形式以外のミルクキングパーラー形式は、導入時期から点検時まで時間

を経ており、同じミルクキングパーラーの形式でも異なる付属装置が装備されている場合がある。これにより、同じ搾乳システム導入会社でも搾乳システム毎に搾乳能力が大きく異なったものと考えられた。真空圧遮断装置においては、比較的導入時期が新しいロータリー形式では圧力損失が認められていないが、ミルクキングパーラー導入年代が古いヘリングボーン形式、タンデム形式では有意に多くの圧力損失が認められていた。ミルクキングパーラー導入年代と経過年代に関する問題点について、著者ら[11]は設置後1年未満でも設置当初からみられる問題点は多く、真空配管、バキュームポンプの選択、レギュレーター、パルセーター、搾乳ユニット部分に問題点が多く見られ、ミルクキングパーラー維持管理では、5年を経ると問題点が多くなると報告している。

搾乳システム導入会社別では、A, B, C, D, F社では5.7kg/分を超えると、NMC推奨範囲を下回る平均クロー内圧の搾乳システム数が多く、搾乳システム導入会社により大きな違いは見られてはいない。E, G社では平均クロー内圧がNMCの推奨範囲にほぼ収まっているが、点検台数が少ないため統計的な比較はできない。

各ミルクキングパーラーの平均クロー内圧低下原因を、最高流量8.7kg/分で2.0kpa以上の差が生じた場合を圧力損失があるとした基準の下に判定したところ、真空圧遮断装置、ミルクメーターの配線、クローの形式、エフェクティブリザーブ量の不足に問題があることが明らかとなった。真空圧遮断装置では、牛乳が流れる部分の口径が細いものが多く、この部分で牛乳の流れが制約されるとともに、流れを制約された牛乳がミルクチューブを塞ぎ搾乳するための真空供給を制限する。その結果、搾乳するための真空供給が制限されるために平均クロー内圧が低下する。これは、真空圧とダイヤフラムを用いた形式の真空圧遮断装置に多く見られた。ミルクメーターの配線では、搾乳量測定のためにミルク

メーター内に貯めた牛乳を瞬時に流すので、排出側チューブの口径はより太く短くなくてはならない。しかし、この口径が細かったり、チューブの配線が設置の具合により潰れていたりするものが多くみられ、排出された牛乳でミルクチューブ内が栓をされて、真空圧が瞬間的に遮断されることにより平均クロー内圧が低下する。クローの形式ではトップフロー形式は圧力損失があることが報告されている[9]。エフェクティブリザーブ量の不足は搾乳システムの設計時の問題であり、静止時点検での問題点も日本の酪農家では多いと著者ら[10, 11]は報告している。

これらの各装置すべてに圧力損失が全くない状態が理想であるが、搾乳ユニット全体として NMC が推奨する平均クロー内圧範囲内に、最高流量時であっても収まるようにしなくてはならない。ロータリー形式でもミルクチューブのリフトによる圧力損失がある割合は多かったが、搾乳システム全体としては NMC の推奨範囲内に収まる台数が多くみられていた。クローの形式では、トップフロー形式は圧力損失が生じていることは明白であるが[9]、クローの位置調整をとりやすい利点もあり、搾乳ユニット全体として評価を下すべきであると考ええる。

このように、同じ搾乳システム導入会社であっても搾乳中の平均クロー内圧に影響する要因が施工具合や経年劣化状況、装置の選択により異なり、結果として各搾乳システムの搾乳能力が大きく異なる結果になったと考えられた。一方比較的導入年代が新しいロータリー形式では、搾乳ポイント数により型が決まっており、現場での施工自由度が小さいことが高搾乳能力につながったものと考えられた。

搾乳システムを導入する場合には、完成後の引き渡し前に模擬搾乳試験を実施し、搾乳システムの搾乳能力を確認することが必要と思われる。また既存の搾乳システムにおいても模擬搾乳試験

を実施して現状の搾乳システムの搾乳能力を把握することや、搾乳システム改良に対する具体的な方法を可視化して、必要に応じて搾乳システムの搾乳能力を改善していくことが重要であると思われた。

5. 小括

乳牛の泌乳能力を決める重要な要因の一つに搾乳システムの搾乳能力がある。乳牛の泌乳能力は年々向上するのに対して、搾乳システムの搾乳能力は経年劣化していく。これらの差が乳房炎の原因となったり、乳牛の泌乳能力の損失につながったりする。搾乳システムの搾乳能力は乳牛の泌乳能力より常に高くあるべきである。日本国内の酪農家 75 戸において、搾乳システム導入会社別及びミルクキングパーラー型式別による搾乳能力を評価した。模擬搾乳装置を搾乳システムの 1 ユニットに装着して点検を行い、流量 5 段階（1.9kg, 3.8kg, 5.7kg, 7.6kg, 8.7kg/分）での平均クロー内圧を測定し、NMC の推奨クロー内圧（35-42kPa）と比較した。クロー内圧は、主たる 4 型の搾乳形式と 7 社の搾乳システム導入会社別に比較した。その結果クロー内圧は搾乳システムにより様々であり、多くの搾乳システムが流量 5.7kg/分を超えると、クロー内圧が NMC の推奨下限値（35.0kPa）を下回ることが多かった。ロータリー型は他の形式と比較してクロー内圧は高く、変動閾値が有意に小さかった（ $P < 0.05$ ）。同じ搾乳システム導入会社であってもクロー内圧は様々であった。

クロー内圧に影響する因子は多く見られるが、真空圧遮断装置、真空有効用量の過小、パルセーターの一挙動拍動が原因として見られた。ヘリングボーン形式や平行形式では同じ導入会社であっても、異なる付属装置が取り付けられていたり、異なる位置に設置されていたりした。一方ロータリー形式の場合、円形のた

めに現場での施工自由度が少ないことがクロー内圧の安定化に繋がっているものと考えられた。

搾乳システムの搾乳能力は、同じ搾乳システム導入会社でも様々であり経年劣化する。クロー内圧は搾乳性能に影響するので、搾乳システムの新設時や定期点検時には模擬搾乳試験を行い、搾乳システムの搾乳能力を把握すべきである。

第 6 章 模擬搾乳装置を用いた搾乳システムの搾乳性能診断法 の一応用事例

1. 小 緒

酪農場で実施されている搾乳システム点検では、配管からのエア漏れ、バキュームポンプの能力低下、レギュレターの性能低下、パルセーターの異常、ゴム類の劣化などの問題点が多く見られる。これらの問題点は、これまでの章でも確認してきたように主に経年劣化による問題であり、搾乳システムの機能不全を招き、乳房炎の発生リスクを高めることになる。吉田ら[36]は、機能不全搾乳システムは乳質、乳量、搾乳効率に悪影響を与えており、搾乳システム点検とその改善は生乳生産に好効果があると報告している。

本研究では、模擬搾乳装置[30]を用いて搾乳システムの搾乳能力を分析・診断するという新たな診断手法を用い、これまでの搾乳システム点検では評価し得ない要因を可視化し、搾乳能力診断の効果を明らかにする目的で行った。

2. 材料と方法

供試酪農家の概要：2006年10月、供試酪農家はフリーバーン牛舎にて114頭の経産牛を飼養し、8ユニットのスイングパーラー（ハイラインシステム）で搾乳を行っていた。搾乳システム点検に加えて模擬搾乳装置を用いた搾乳システムの搾乳能力診断を実施した。その結果に基づき2007年5月に8頭ダブルのローラインシステムに改良工事を行ない、終了後に再診断を実施した。

搾乳システム改良直前月の乳牛の成績概要は、牛群検定時の平均乳量 25.3kg/頭/日、Adjust Collect Milk (ACM 乳量:乳脂肪率 3.5%、搾乳日数 150 日、初産牛率 35%に補正した乳量)は 32.2kg/頭/日、検定時個体平均リニアスコアは 3.8 であった。搾乳頭数は 92 頭、搾乳日数は 184 日、初産牛率は 31%であった。

搾乳システム点検：NMC にて推奨されている点検手法 [31, 32] に準拠して、目視点検、静止時点検、動態時点検を実施した。搾乳時の動態時点検は、搾乳中の 1 搾乳ユニットのクロー内の平均真空圧 (平均クロー内圧)、最高真空圧、最低真空圧を、真空圧測定機器付属 (Triscan, Surge: Babson Bros. Co., Naperville, IL, USA) の 14G の針をショートミルクチューブに刺入し、逆流防止のトラップを利用して搾乳中連続して測定した。

搾乳能力診断法：第 3 章で記した模擬搾乳装置 (図-7) を用いて、同じ試験方法で実施した。

搾乳能力診断時の測定条件は、現状の搾乳システム状況下に加えて、ミルクメーターと真空圧遮断装置をそれぞれ取り除いた場合、ローラインシステムを模したバケット搾乳システムを使用した場合を追加した。各条件下での平均クロー内圧と最高最低真空圧の差 (変動幅) を比較した。

模擬搾乳装置を用いた搾乳能力診断を搾乳システム改良後にも同様に実施し、改良前後間で各流量と平均クロー内圧、変動幅を比較検討した。更に NMC の搾乳中クロー内圧推奨範囲値と、改良前後の平均クロー内圧の比較を行った。

搾乳システム改良前後の評価項目：改良前 1 年間と改良後 1 年間の両期間で、バルク乳検査 1 年間 36 旬報のバルク乳中体細胞数

の平均リニアスコアと、毎月の牛群検定データより平均搾乳量、平均 ACM 乳量及び初産牛と経産牛の月毎の個体平均リニアスコアを両期間で比較検討した。

統計処理法：改良前 1 年間と改良後 1 年間の各評価項目をウイルコクソンの符号付順位検定 (Sign Test) を用いて比較した。また、産次別リニアスコアに関しては、マンホイットニーの *U* 検定を用いた。

3. 結果

搾乳システム改良前後の目視点検、静止時点検、動態点検の各点検結果に基づく主な相違点を表-19 に示した。

目視点検の改良前後の結果：改良前の搾乳システムは 1999 年 12 月に導入された 8 頭シングルのスイング式ミルクキングパーラーであった。搾乳様式はミルクキングパーラー方式であるが、ハイラインシステム仕様の搾乳システムであった。3 インチミルク配管は天井部分の高い位置に 1 本のみ設置されており、レシーバージャーから出るミルク配管の片側は 2 インチで配管され、天井部分で 3 インチミルク配管に接続されてループを形成していた。循環洗浄水は 2 インチ配管から 3 インチ配管方向に流れる仕様で、エアインジェクターは設置されていなかった。真空圧遮断装置とミルクメーターは 3 インチミルク配管の隣に設置されていた。牛床からミルク配管インレットまでの高さはプラス 183cm あり、全ミルクチューブ長は 376cm (口径 16mm) であった。レギュレーターはバランスタンク上に設置されていた。

改良後は、8 頭ダブルの 3 インチループミルク配管のローラインシステムに変更し、エアインジェクターを取り付けた。真空圧

遮断装置とミルクメーターは兼用できる機種に更新を行なった。同機種は牛床レベルよりも 34cm 低い場所の搾乳ピット内側に設置した。ミルクチューブは搾乳ピット床近くに設置したミルクラインから出てミルクメーターに接続し、さらにミルククローへと配線した。その結果、ミルクチューブの長さは改良前の 376cm から改良後は 215cm（口径 16mm：170cm、口径 25mm：45cm）へと短くすることができた。牛床よりミルクラインインレットまでの高低差は、改良前+183cm が改良後には-97cm と牛床よりも低い位置になった。レギュレーターは、サニタリートラップから立ち上がる配管上に、配管を追加して設置した。

静止時点検の改良前後の結果：改良前の静止時点検結果では、ハイラインシステムに対する設定真空圧（測定値 48.0kPa）としてはやや低く、エフェクティブリザーブ量は必要計算量 72.0CFM(Cubic Feet/minute)に対して 45.7CFM しかなく、真空圧の回復（リカバリーテスト）に 4 秒間を要していた。バキュームポンプの排気能力は 50.0kPa：1768L/分程度しかなく、工場出荷基準値（50kPa：2700L/分）と比較して排気能力の低下が見られた。真空圧遮断装置への供給真空圧には変動が見られ、同装置のダイヤフラムには劣化が見られた。パルセーター波形はエア漏れにより異常波形を示していた。

改良後の静止時点検結果では、設定真空圧はローライン仕様の 44.0kPa に設定した。バキュームポンプ能力の改善（50.0kPa：2476L/分）とレギュレーター設置位置変更により、エフェクティブリザーブ量は改良前 45.7CFM から改良後 87.0CFM に大幅に増加した。レギュレーターの設置場所をサニタリートラップの上部配管に設置することで、リカバリーテスト時の真空圧の回復時間は 1 秒程度と早くなった。改良後は、ユニット使用台数を増加するた

めにパルセーターも含めて全て新しい搾乳ユニットに更新を行い、パルセーター波形が正常であることを確認した。

動態時点検の改良前後の結果：改良前の動態時点検では、平均クロー内圧はハイラインシステムの特徴的な波形[9]を示した。クロー内圧は搾乳開始後、牛乳が出ると同時に急激に低下し、ピーク射乳時には 36.0kPa 以下になる場合も見られ、搾乳終了近くでは設定圧近くに上昇した。ほぼ全ての測定牛でライナースリップの波形が出現した。正味搾乳時間と乳量から算出した平均搾乳量は 2.0 から 4.0kg/分程度であった。一方バケット搾乳システムを用いた動態検査では、ミルキングパーラー搾乳と比較して変動幅の小さい安定した高いクロー内圧を示した。

改良直後の動態時点検では、平均クロー内圧はローラインシステムの特徴的な波形[9]となり、変動幅が小さく、搾乳終了近くでも高くなることはなくなった。ライナースリップ波形出現頻度も大幅に減少した。正味搾乳時間と乳量から算出した平均搾乳量は増加し、3.0kg/分から 4.0kg/分台へと増加した。

搾乳能力診断の改良前後の結果：改良前模擬搾乳装置を用いた搾乳能力診断結果を図-19 に示した。改良前クロー内圧曲線は、設定真空圧 48kPa から流量が増えるに従って急激に低下し、ハイラインシステム特有の流量曲線[9]を描いた。また、8.7kg/分の最高流量時では測定不能であった。改良前クロー内圧曲線とミルクメーター除去曲線のクロー内圧差は、ミルクメーター自身による圧力損失を示している。流量が多くなるに従い平均クロー内圧差は大きくなった。7.6kg/分の流量では、改良前クロー内圧曲線とミルクメーター除去曲線は、それぞれ 30.3kPa と 33.3kPa となった。この差が 7.6kg/分流量でのミルクメーター自身の圧力損失

となる。同じく、ミルクメーター除去曲線と真空圧遮断装置除去曲線の平均クロー内圧差が真空圧遮断装置による圧力損失となる。7.6kg/分の流量では、ミルクメーター除去曲線と真空圧遮断装置除去曲線は、それぞれ 33.3kPa と 36.0kPa となった。真空圧遮断装置除去曲線とバケット搾乳システム曲線との平均クロー内圧差が、ハイラインシステムとローラインシステムの差とミルクチューブの長さの差の合計による圧力損失である。7.6kg/分の流量では、それぞれ 36.0kPa と 45.0kPa となった。現状の改良前搾乳システムの平均クロー内圧は、バケット搾乳システム搾乳と比較して、その差は 7.6kg/分の流量では 14.7kPa であり、大きな圧力損失が改良前の搾乳システムにあることが判明した。

改良前の平均クロー内圧グラフに NMC が推奨する平均クロー内圧の範囲を重ねると、流量 1.9kg～5.0kg 程度の間だけが推奨範囲内に収まり、流量が多い部分と少ない部分では推奨範囲領域外となった。

改良後の搾乳能力診断結果を図-20 に示した。改良前グラフと比較を容易にするために、改良前の平均クロー内圧グラフ基準値(設定真空圧)を改良後と同じ 44.0kPa になる様に補正を行いグラフ化した。補正後の改良前平均クロー内圧は流量が増えるに従って急激に低下し、7.6kg/分の流量では 26.3kPa に補正された。一方改良後の平均クロー内圧グラフは、流量が増えるに従って平均クロー内圧は低下するものの、改良前より低下割合は少なくなった。7.6kg/分の流量での平均クロー内圧は、改良前補正值 26.3kPa が改良後には 34.3kPa となり、8.0kPa 高くなった。しかし、バケット搾乳システムの平均クロー内圧と比較すると、改良後も平均クロー内圧は低下して、7.6kg/分の流量では 6.7kPa 低くなった。

改良後のグラフに NMC が推奨する平均クロー内圧の範囲を重

ね合わせると、改良後はどの流量であってもほぼ推奨範囲内に収まるようになった。

改良前後の平均クロー内圧の変動幅の差を図-21に示した。改良前の変動幅は10.0kPa以内であったが、改良後も10.0kPa以内であり、NMCのローライン推奨範囲7.0kPa以内を僅かに超えていた。

搾乳システム改良前後の乳量乳質の結果：改良前後1年間の牛群検定成績の比較を図-22に示した。牛群検定時の1年間の平均搾乳量は、改良前(24.2kg/頭/日)より改良後(32.4kg/頭/日)が有意に($P<0.01$)増加し、平均ACM乳量も改良前(28.4kg/頭/日)より改良後(36.4kg/頭/日)が有意に($P<0.01$)増加した。

改良前後1年間のバルク乳体細胞数旬報平均リニアスコアは、改良前(4.5)より改良後(3.8)が有意に($P<0.01$)低下した。

牛群検定時の初産牛と経産牛の1年間の個体別体細胞数平均リニアスコアは、初産牛は改良前(3.3)より改良後(2.4)へと、経産牛は改良前(3.9)より改良後(3.3)へと共に有意に($P<0.01$)低下した。

4. 考察

NMCが推奨する搾乳システム点検[31, 32]には、目視点検、静止時点検、動態時点検がある。本事例において、従来からのNMCが推奨する搾乳システム点検の実施では、搾乳システム点検結果に基づいた改良は行えたが、ハイラインシステムとローラインシステムの搾乳能力の違いや、ミルクメーターなどの各種装置の圧力損失は診断できなかった。従って改良時投資額の少ないハイラインシステムのままでの改良となり、搾乳システムの搾乳能力の大幅な向上には繋がらなかったと考える。

本研究では、NMCの点検法に加え模擬搾乳装置を用いた搾乳能力診断を実施して、改良前の搾乳システムの搾乳能力を評価及び可視化した。その結果を基に酪農家に対してはローラインシステムとハイラインシステムの基本的相違点、クロー内圧に影響を与える要因[9, 10]、各種装置の圧力損失など、搾乳システムの基本的な要因と泌乳量の関係について協議し、その後搾乳システムの搾乳能力改善に取り組んだ。

模擬搾乳装置を用いた搾乳能力診断法は、乳牛という生体では不可能な試験を可能とし、搾乳システムの搾乳能力を可視化して判定できる手法である。低乳量から高乳量時までの模擬搾乳が可能であり、搾乳システムに対する負荷を自由に調整できる試験である。更にミルクメーターや真空圧遮断装置などの各装置の圧力損失評価も繰り返し同じ条件下で模擬搾乳を実施することで判断可能となる。本研究では、ミルクメーターと真空圧遮断装置の圧力損失が大きいことが改良前に診断されており、改良後には性能が判定している装置の導入が可能であった。更に現状搾乳システムでもローラインシステム仕様となるバケットシステムとの比較により、現状のハイラインシステムと改良後のローラインシステムの搾乳能力の相違を明確にし、改良後の搾乳システムの搾乳能力を推定した。また同じ大きさの他の搾乳システムの搾乳能力との比較により、改良後の搾乳能力の明確なる予測も可能となった。その結果搾乳システムの搾乳能力評価に対する酪農家の理解を容易にすると共に、酪農家の投資判断の一助になった。搾乳システム点検を実施しても、現状で搾乳が可能であると考えて問題点をそのままにしている酪農家は多い[36]。本研究で用いた搾

乳能力診断法では、搾乳能力低下状況の可視化や他酪農場との性能比較ができ、問題点の改善意欲の向上に繋がったと考えられた。しかしながら改良後のシステムでもバケットシステムと比較すると圧力損失があることが判り、改良の余地があることを酪農家に明示できた。

搾乳システムと乳房炎の関連についての報告は数多く見られるが、搾乳システムの搾乳能力に関する報告は見当たらない。乳牛が遺伝的に持っている泌乳能力は、搾乳システムがその量を搾乳できて初めて実乳量となる。20kg泌乳牛と40kg泌乳牛では搾乳時間は2倍とはならず、ピーク乳量が増えなければならない。このピーク乳量が高くなることを可能とするか否かは、搾乳システムの搾乳能力による。

搾乳システム改良前の NMC 推奨領域を逸脱する領域の搾乳時間帯は、乳頭損傷や乳頭浮腫を生ずる搾乳時間帯であり[9]、乳房炎の発生リスクを高める搾乳時間帯となる。この両時間帯が長ければ長いほど乳房炎のリスクは高くなる。また、搾乳システムの搾乳能力が低ければ搾乳時間が長くなり、これも乳房炎のリスクを高める[9]。

クロー内圧変動幅では、改良前後共に NMC 推奨値(7.0kPa 以内)を超えていたが、この基準域に合格させるには、ミルクチューブの太さを変更するなど更なる改良が必要である。

搾乳システムの改良後の牛群平均乳量は、年間平均搾乳量と ACM 乳量共に大きく伸び、年間平均リニアスコアの改善も見られた。搾乳システムの搾乳能力改善効果により、制約していた乳牛の持つ能力を引き出すことができた可能性が高いと考えられる。

改良後のバルク乳中平均リニアスコア、初産牛、経産牛の平均

リニアスコアも有意に改善されており、搾乳システムの搾乳能力向上により低下したものと考えられた。過去に乳房炎履歴を持つ経産牛も、搾乳システム改良後に搾乳開始された初産牛もリニアスコアの改善が見られたことから、乳房炎履歴に関係なく搾乳システムの改良効果が現れたものと考えられる。

模擬搾乳装置を用いた搾乳能力診断を NMC が推奨する搾乳システム点検に加え実施したところ、搾乳システムの違いや各種装置の性能評価が明確に可視化された。これにより酪農家の搾乳システムの違いや搾乳能力評価に対する理解が容易になり、搾乳システムの改良に繋がった。

通常の搾乳システム点検に加えて、模擬搾乳装置を用いた搾乳能力診断法を併用することは、搾乳システムの搾乳能力を明確に診断して可視化することができ、改良案も提言できる有用な搾乳システム点検法である。搾乳システム導入直後では搾乳能力保証として利用されるべきである。

5. 小括

乳牛の持つ泌乳能力は飼養管理法の改善や遺伝的能力向上により年々伸びているが、搾乳システムの搾乳性能は経年劣化により低下するのみで、乳牛が持つ遺伝的泌乳能力と搾乳システムの搾乳性能は年毎に乖離する可能性が高い。この両者の性能の乖離が乳房炎発症リスクを高くしていると考えられる。

8頭シングルスイング式ミルクングパーラー搾乳システムに対して、従来の搾乳システム点検法に加えて模擬搾乳装置にて搾乳性能診断を実施したところ、搾乳性能が低いことが判明した。搾乳システムの搾乳性能診断により、従来の点検法では得られないローラインシステムとハイラインシステムの搾乳システムの相違や各種付属装置の搾乳性能を診断して可視化し、搾乳システム

の改良案の提言も可能となった。その結果酪農家の搾乳システムに対する理解が容易となり 8 頭ダブルローラインシステムへの改良に繋がった。改良後は牛群平均搾乳量、バルク乳リニアスコア、検定時の個体別リニアスコアは改良前後 1 年間の比較で、それぞれ有意 ($P < 0.01$) に向上した。この結果は搾乳システムの搾乳能力が乳牛の泌乳能力を制約してはいけないことを意味する。

以上の結果から従来の搾乳システム点検に加えて、模擬搾乳装置を用いた搾乳性能診断法を併用することは、現状の搾乳システムの問題発見、改良案の提言、搾乳システム導入直後の性能保証としても利用できる、有用な搾乳システムの搾乳能力診断法であることが明らかとなった。更に、従来の搾乳システム点検法に模擬搾乳装置による搾乳性能診断法を併用することは、乳牛の持つ遺伝的泌乳能力を十分に発揮させると共に、体細胞数の低下すなわち乳房炎の予防に効果があることが明らかになった。

総括

搾乳システム点検は、北海道では 2000 年代より毎年実施されてきているが、その結果と効果をまとめた報告は少ない。現状の搾乳システム点検は配管中の気流を診断しているのみであり、生乳の流れによる影響、特に搾乳ユニット部分の搾乳性評価はできていない。また搾乳システム点検を実施しても、その結果説明が不足して、その後の酪農家の対応が不十分となることが多い。

搾乳システムの搾乳能力を診断する上で適正なる基準値が必要となる。本研究の第 1 章では、搾乳システムには現状の乳牛の泌乳能力を上回る搾乳能力が必要となることから、現在の搾乳システム条件下における乳牛の泌乳能力を解析した。その結果、乳牛の乳量は搾乳時間ではなく、ピーク乳量の多少が搾乳量を左右していることが明らかになった。ピーク乳量は 8kg/分以上で、搾乳時間は 6 分から 7 分以内が搾乳システムの備えるべき基準値であると推測された。

第 2 章では、1995 年から 2015 年までに NMC が推奨する搾乳システム点検手法に従い、ハイラインシステムで 153 台、ローラインシステムで 205 台の点検結果をハイラインシステムとローラインシステムに区分し、点検目的により初回点検群と定期点検群に区分けした。更に点検にて判明した問題点を設置当初問題と維持管理問題に分類した。そして初回点検群の点検実施年を 2 区分の時系列(設置年代区分、設置後経過年数区分)で分析を行った。設置当初の問題点は、定期点検実施群においては比較的少なく、経過年数の古い搾乳システムでは多かった。ローラインシステムでは設置 1 年以内の設置当初問題はハイラインシステムに比較して多く発生していた。維持管理問題はハイラインシステム、ローラインシステムを問わず、時系列 2 区分に関わらず多く発生し、

日本の搾乳システムには多くの問題点があることが明らかになった。ローラインシステムの設置1年以内の設置当初問題は、設置当初からの問題点であり、搾乳システム設置直後から不備があったことになる。

第3章では、模擬搾乳装置を利用して搾乳ユニット部分の各種付属装置の搾乳性能への影響を解析したところ、搾乳ユニット部分は搾乳中のクロー内圧に大きく影響することを明らかにした。各種装置の相互位置や牛乳が流れる口径、チューブの長さなどが影響しており、各種装置の設置時での問題点が明らかになった。

第4章では、搾乳システムの搾乳能力診断を目的として、模擬搾乳装置を利用して酪農家73戸の搾乳能力診断を実施し、搾乳能力に影響する要因解析を実施した。3段階の流量における平均クロー内圧とその変動幅を測定したところ、最高流量時(8.7kg分)にNMCが提唱する平均クロー内圧(35.0~42.0kPa)とその変動幅(7.0kPa以下)の両基準値を満たしていたのはわずか16戸(21.9%)であり、日本の搾乳システムの搾乳能力は低いことが明らかになった。搾乳能力を低下させている原因は、第3章で明らかになったユニット部分の各種装置であった。

第5章では、ミルクングパーラーの搾乳能力に影響する要因が、ミルクングパーラーの形式によるものか、搾乳システム導入会社によるものかを明らかにした。その結果、ミルクングパーラーの形式ではロータリー形式の搾乳能力が高く、その他の形式では搾乳能力はまちまちであり、導入会社による差異は見られなかった。この原因は現場での施工自由度によるものであり、ロータリーパーラーは現場施工自由度が小さいことにより、設計通りの搾乳能力を保持したものと推測された。

第6章では、模擬搾乳装置を用いた搾乳システムの搾乳能力診断の応用事例として、8頭シングルスイングミルクングパーラー

の搾乳システムに対して、従来の搾乳システム点検に加えて模擬搾乳装置を用いた搾乳能力診断を実施し、その診断結果に基づき搾乳システムを改良した。改良後の再診断では NMC 推奨クロー内圧範囲と変動幅に近づいた。その結果、改良前後 1 年間の比較で、バルク乳リニアスコア、検定時の初産牛と経産牛リニアスコアも有意に低下した。牛群検定時の 1 頭あたりの平均乳量 (kg/頭/日) も、平均 ACM 乳量も有意に増加した。これにより、模擬搾乳装置を用いた搾乳能力診断を追加した搾乳システム点検は、乳牛の泌乳能力向上に有用であることが明らかになった。

本研究の結果、日本における搾乳システムには多くの問題点があることが明らかとなった。NMC の推奨する通常の搾乳システム点検による問題指摘だけでは、過去の点検結果の効果から推測するに、根本的な問題解決はできないと考えられる。搾乳システムが原因とする乳房炎を予防するには、設置当初の搾乳システム点検に加えて、模擬搾乳装置を用いた搾乳能力診断を必ず実施すると共に、搾乳システムの稼働時間を基準とした搾乳システムの定期的点検と維持管理が重要である。更に搾乳システムに関する知識の普及に努めることも同じく重要であると考えられた。

本研究は、搾乳システム点検に模擬搾乳装置を用いた搾乳システムの搾乳能力診断という新しい概念を導入し、搾乳システム点検法に新たな診断法を追加・応用した初めての報告である。搾乳システムの搾乳能力診断は、流量に応じた搾乳能力診断が可能であり、不適切なクロー内圧に起因する乳房炎リスクを減らす可能性を示した。模擬搾乳装置を用いた搾乳能力診断法は、その結果を可視化して比較することで、酪農家の搾乳システムに関する理解を容易にし、改善意欲を向上させることが可能であり、従来の搾乳システム点検法とは、この点において大きく異なる。したがって、模擬搾乳装置を用いた搾乳能力診断法を搾乳システム設置

時や改良前後に必ず実施することで、酪農家に大いに貢献するものと考えられた。

謝辞

本研究は酪農コンサルタント獣医師として 27 年間にわたり酪農現場に携わり、搾乳システムに関する種々の試験を実施してきた結果を学術的にまとめたものである。

酪農家が使用している搾乳システムは様々であるが、それが正常に機能しているか否かは点検をしなければ判断できない。酪農現場の声として、搾乳システム導入会社に搾乳システム点検を依頼したが問題はないとの結果を得ていても、何かしら疑問を抱いて乳房炎に苦しんでいる酪農家も多かった。その酪農家の疑問に答えるべく、明確な証拠を持って酪農家や搾乳システム導入会社に対応する必要性があった。そのためには搾乳システムの基本的なことから点検・分析する必要性があり、好機を見つけては酪農現場で基本試験を実施してきた。また、経験上搾乳システムに問題があると認識はできても、それを証明する方法が見つからなかった。模擬搾乳装置と出会い、種々の搾乳状況を再現しながら模擬搾乳試験を行うことで疑問点に対する解答が明確になり、酪農家の期待に応えることが可能となった。それが搾乳システムの搾乳能力診断となり、様々な条件下での比較検討が可能となった。

本研究で示している基本試験や搾乳能力診断に快く同意し、試験の場の提供を賜った酪農家の皆様に感謝すると共に、お手伝いを頂いた関係者の皆様にも深く感謝する。

長年に亘る搾乳システムに関する試験結果をまとめ、若手獣医師らに情報を引き継ぐことが最大の目的である。学位論文として世に残る報告ができたことに感謝すると共に、ご指導を賜った麻布大学獣医学部衛生学第一研究室 河合一洋教授、篠塚康典准教授、産業動物内科学研究室 恩田賢教授、動物行動管理学的研究室 植竹勝治教授に感謝する。最後に寛容な気持ちで獣医師らしからぬ仕事を見守ってくれた妻と家族に感謝する。

引用文献

1. Ambord S, Bruckmaier RM. 2010. Milk flow-dependent vacuum loss in high-line milking systems: effects on milking characteristics and teat tissue condition. *Journal of Dairy Science*, 93, 3588-3594.
2. Barkema HW, Schukken TH, Lam TJ, Beiboer ML, Beneditus G, Brand A. 1998. Management practices associated with low, medium, and high somatic cell counts in bulk milk. *Journal of Dairy Science* 81, 1917-1927.
3. Barkema HW, Schukken TH, Lam TJ, Beiboer ML, Beneditus G. 1999. Brand A. Management practices associated with the incidence rate of clinical mastitis. *Journal of Dairy Science* 82, 1643-1654.
4. Baxter JD, Rogers GW, Spencer SB, Eberhart RJ. 1992. The effect of milking machine liner slip on new intramammary infections. *Journal of Dairy Science*, 75, 1015-1018.
5. Besier J, Bruckmaier RM. 2016. Vacuum levels and milk-flow-dependent vacuum drops affect machine milking performance and teat condition in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 99, 3096–3102.

6. Besier J, Lind O, Bruckmaier RM. 2016. Dynamics of teat-end vacuum during machine milking: types, causes and impacts on teat condition and udder health – a literature review. *Journal of Applied Animal Research*, 44,263-272.
7. 榎谷雅文, 木田克弥, 宮本明夫. 2013. 酪農家の搾乳作業重要管理点の検討とバルク乳質の関係. 日本獣医師会雑誌, 66, 310-316.
8. 榎谷雅文, 木田克弥, 宮本明夫. 2013. ATP 拭き取り検査による搾乳前乳頭壁清浄度の評価, 日本獣医師会雑誌, 66, 847-851.
9. Enokidani M, Kuruhara K, Kawai K. 2016. Analysis of factors affecting milking claw vacuum levels using a simulated milking device. *Animal Science Journal*, 87, 848-854.
10. Enokidani M, Kawai K, Shinozuka Y, Watanabe A. 2017. Milking performance evaluation and factors affecting milking claw vacuum levels with flow simulator. *Animal Science Journal*, 88, 1134-1140.
11. Enokidani M, Kawai K, Shinozuka Y. 2019. Analysis of results from 21years of milking system inspections in Japanese dairy farms. *Animal Science Journal*, 91(1): e13315.

12. Enokidani M, Kawai K, Shinozuka Y. 2020. A Case Study of Improving Milking Cow Performance and Milking System Performance with Using a Flow Simulator, *Animal Science Journal*, 91(1): e13389.
13. Galton DM, Adkinson ARW, Thomas CV, Smith TW. 1982. Effects of premilking udder preparation on environmental bacterial contamination of Milk. *Journal of Dairy Science*, 65, 1540-1543.
14. Galton DM, Petersson LG, Merrill, WG. 1986. Effects of premilking udder preparation practices on bacterial counts in milk and on teats. *Journal of Dairy Science*, 69, 260-266.
15. Galton DM, Peterson LG, Merrill WG. 1988. Evaluation of udder preparations on intramammary infections. *Journal of Dairy Science*, 71, 1417-1421.
16. Grant Rick. 2020. Economic Benefits of Improved Cow Comfort, [http://www.dairychallenge.org/pdfs/2015, National resources Novus April 2015.pdf](http://www.dairychallenge.org/pdfs/2015_National_resources_Novus_April_2015.pdf) 05/06/2020.
17. 北海道農業共済組合連合会家畜共済事業統計表.
平成 26 年から平成 30 年. 組合別共済目的種別、病別、病傷事故件数調(乳牛の雌など).
https://www.hknosai.or.jp/cgi-bin/index.pl?page=contents&view_category_lang=1&view_category=2268

18. 北海道農政部生産振興局畜産振興課 新搾乳システムの普及状況について（2017年9月）/北海道の酪農・畜産をめぐる情勢(2020年7月)
http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/tss/00chikusan/R111_hokkaido_rakuchiku_meguru01.pdf
19. 板垣昌志，阿部省吾，阿部栄，酒井淳一，鈴木勝士. 1999. 乳牛の潜在性乳房炎と乳頭口異常の関連，日獣会誌，52，561～564
20. 家畜改良事業団：乳用牛群能力検定成績のまとめ（2020年度）
<http://liaj.lin.gr.jp/japanese/newmilkset.html>
21. Kanda Y. 2013. Investigation of the freely available easy-to-use software “EZR” for medical statistics. *Bone marrow transplantation* 48, 452-8.
22. Magnusson M, Christiansson A, Svensson B, Kolstrup C. 2006. Effect of different premilking manual teat-cleaning methods on bacterial spores in milk. *Journal of Dairy Science*, 89, 3866-3875.
23. Mahle DM, Galton DM. Adkinson RW. 1982. Effects of Vacuum and Pulsation Ratio on Udder Health. *Journal of Dairy Science*, 65, 1252-1257.
24. 松田従三.1985.北海道における家畜管理技術の発展，
P47-P50 https://hlgs.jp/archive/ralm_22-03.pdf

25. Mein GA, Reinemann DJ. 2014. Machine Milking Volume One. 4-7 and 83-109, Amazon UK. ISBN: 1517603110, ISBN-13:9781517603113.
26. Natzke RP, Oltenacu PA, Schmidt GH. 1978. Change in Udder Health with Overmilking. *Journal of Dairy Science*, 61:233-238.
27. Neave FK, Dodd FH, Kingwill RG, Westgarth DR. 1969. Control of mastitis in the dairy herd by hygiene and management. *Journal of Dairy Science* 52, 696-707.
28. Rasmussen MD, Galton DM, Petersson LG. 1991. Effects of premilking teat preparation on spores of anaerobes bacteria, and iodine residues in milk. *Journal of Dairy Science*, 74, 2472-2478.
29. Rasmussen MD, Madsen NP. 2000. Effects of Milkline Vacuum, Pulsator Airline Vacuum, and Cluster Weight on Milk Yield, Teat Condition, and Udder Health. *Journal of Dairy Science* **83**, 77-84.
30. Reid DA. 2002, Improving Milking Efficiency. *Advances in Dairy Technology*, 12, 59-65.
31. Reinemann DJ, Mein GA, Ruegg PL. 2001. Evaluating Milking Machine Performance. *VII International Congress on Bovine Medicine*.

32. Reinemann DJ, Mein GA, Rasmussen MD, Ruegg PL. 2005. Evaluating Milking Performance. ISSN025-5118, *Bulletin of the international Dairy Federation*.
33. Sagi R, Gorewit R.C, Merrill W.G, Wilson D.B. 1980. Premilking Stimulation Effects on Milking Performance and Oxytocin and Prolactin Release in Cows, *Journal of Dairy Science*, 63, 800-806
34. Sterrett AE, Wood CL, McQuerry KJ, Bewley JM. 2013. Changes in teat-end hyperkeratosis after installation of an individual quarter pulsation milking system. *Journal of Dairy Science* 96, 4041-4046.
35. Wisconsin Department of Agriculture Trade and Consumer Protection. 2012. Milking Equipment Installer Manual 2012 Revision.
36. 吉田譲, 加藤満年, 杉本誉文, 財津建也, 加藤元信, 岡本邦三, 石塚喜四郎, 長野弘一郎, 玉置満. 1975. ミルカー機能改善とその効果. 日本獣医師会雑誌, 28, 635-638.

図表

表-1. 調査酪農家の概要と調査項目

酪農家名	飼養形態	搾乳頭数	搾乳時間	調査期間	情報の種類	情報内容 調査項目
A	フリーバーン牛舎	パーラー搾乳 450-650頭	5:00 16:00	246日	バルク乳情報(PC) 搾乳毎データ	搾乳毎の全個体の平均値 搾乳量 搾乳時間 ピーク乳量
B	フリーバーン牛舎	パーラー搾乳 249頭	5:00 16:00	1日	パーラー情報(PC) 個体毎データ	搾乳時の個体別情報 搾乳量 搾乳時間 ピーク乳量
C	フリーストール牛舎	パーラー431頭 個体別約50頭	4:00 12:00 18:00	1日	パーラー情報(PC) 個体情報(手計測)	搾乳時の個体別情報 搾乳量 搾乳時間 ピーク乳量
D	フリーストール牛舎	ロボット63頭 132分房	不定期	1日	搾乳情報(PC) 分房毎データ	搾乳毎の分房別情報 搾乳量 ピーク乳量

調査酪農家4戸の飼養形態、搾乳頭数、搾乳時間、調査期間、情報源、調査項目を示す。

PC:コンピュータ

表-2. 朝夕搾乳時の搾乳量、平均搾乳量、1-2分間乳量、搾乳時間の比較(酪農家A)

搾乳区分	搾乳量(kg/回)	平均搾乳量(kg/分)	ピーク乳量 (1-2分間乳量)(kg)	搾乳時間(秒)
朝搾乳(n=246)	17.3±0.72	2.9±0.35	4.2±0.16	366±35.3
夕搾乳(n=246)	14.5±0.67	2.5±0.30	4.0±0.19	357±34.2
<i>P</i> 値	<i>P</i> <0.01	<i>P</i> <0.01	<i>P</i> <0.01	<i>P</i> <0.01

平均値±SDを示す 2017年3月-11月調査フリーバーン牛舎 パーラー搾乳 搾乳頭数朝450-650頭 規模拡大中 搾乳時間 朝5:00 夕16:00

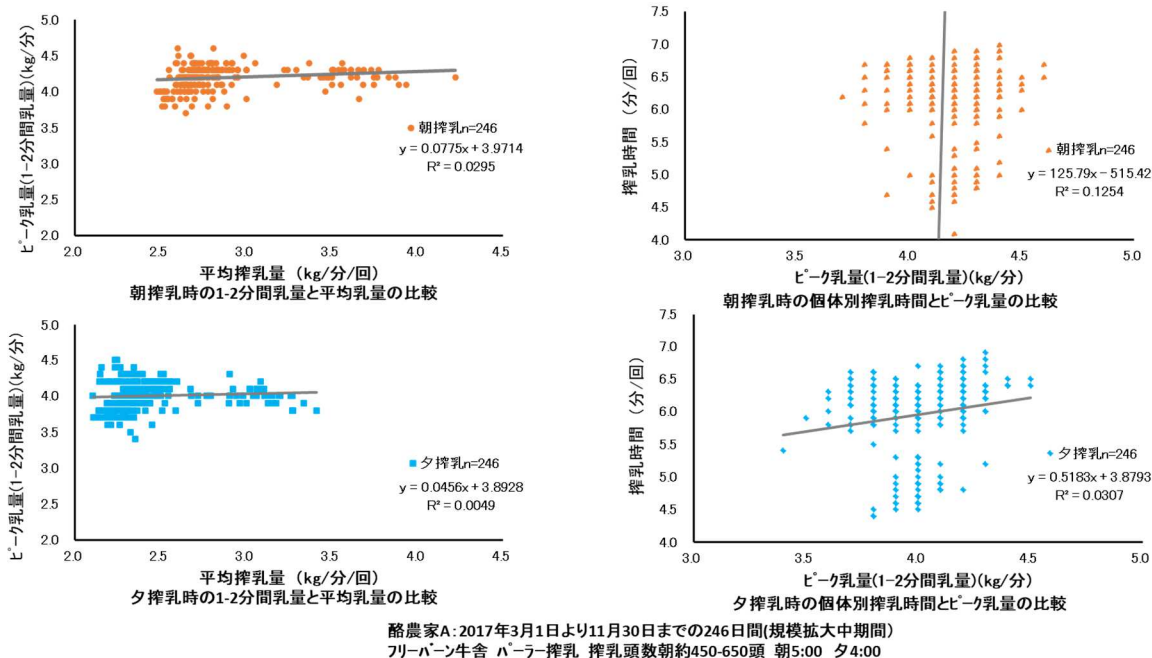


図-1. 246日間朝夕搾乳全頭の平均搾乳量、ピーク乳量(1-2分間乳量)、搾乳時間の相関関係(酪農家A)

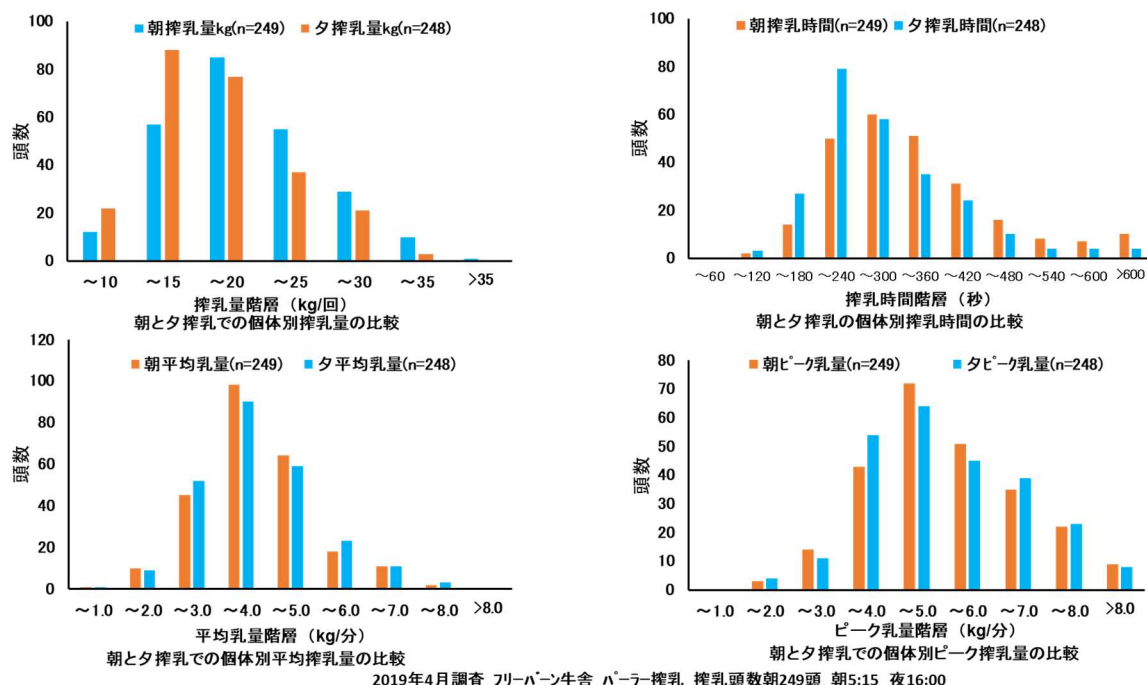
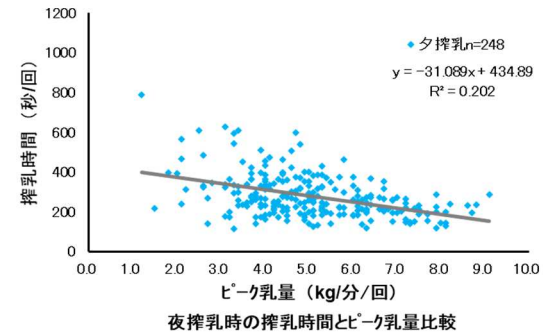
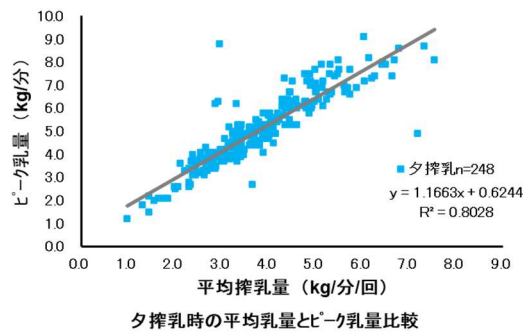
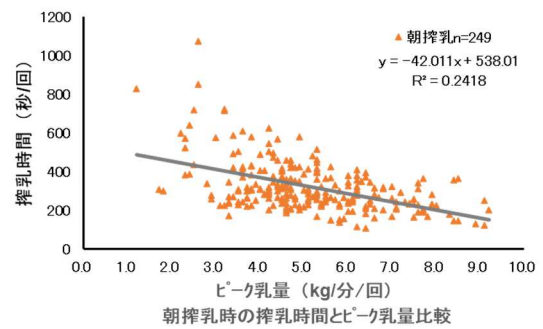
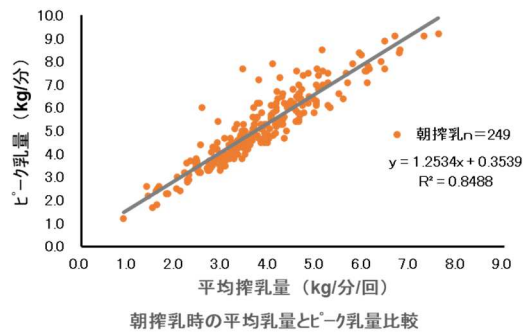


図-2. 朝夕搾乳時の乳量、搾乳時間、平均乳量、ピーク乳量の階層分布(酪農家B)

表-3. 朝夕搾乳時の搾乳量、平均乳量、ピーク乳量、搾乳時間の比較 (酪農家 B)

搾乳区分	搾乳量(kg/回)	平均搾乳量(kg/分)	ピーク乳量(kg)	搾乳時間(秒)
朝搾乳(n=249)	19.1±5.82	3.8±1.13	5.1±1.53	323.5±131.1
夕搾乳(n=248)	16.6±5.46	3.8±1.18	5.1±1.52	276.8±105.8
P 値	P<0.01	P=0.757	P=0.87	P<0.01

平均値±SDを示す 2019年4月調査フリーハーン牛舎 ハーラー搾乳 搾乳頭数朝249頭 搾乳時間 朝5:15 夕16:00



2019年4月調査フリーハーン牛舎 ハーラー搾乳 搾乳頭数朝249頭 搾乳時間 朝5:15 夜16:00

図-3. 朝夕搾乳時の平均搾乳量、ピーク乳量、搾乳時間の相関関係 (酪農家 B)

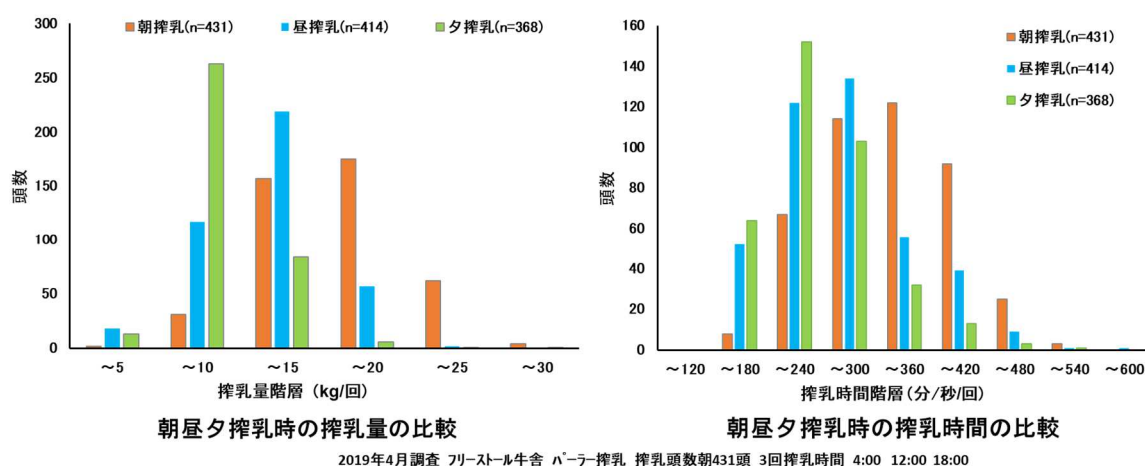


図-4. 3回搾乳時の朝昼夕搾乳時の乳量と搾乳時間の階層分布 (酪農家C)

表-4. 朝昼夕搾乳時の搾乳量、平均搾乳量、ピーク乳量、搾乳時間の比較 (酪農家C)

搾乳区分	搾乳量(kg/回)	平均搾乳量(kg/分)	ピーク乳量(kg)	搾乳時間(秒)
朝搾乳(n=42)	16.5±4.43 ^a	3.1±0.69 ^e	3.9±1.04 ^h	328±74.5 ^k
昼搾乳(n=48)	12.9±2.81 ^b	2.8±0.58 ^f	3.6±0.83 ⁱ	284±63.3 ^l
夕搾乳(n=47)	8.8±3.03 ^c	2.2±0.72 ^g	2.9±0.97 ^j	229±80.8 ^m
P 値	abc : P<0.01	ef : P<0.05 eg, fg: P<0.01	ij, hj : P<0.01	klm : P<0.01

平均値±SDを示す

2019年4月調査 フリーストール牛舎 ハーラー搾乳 搾乳頭数朝431頭 3回搾乳時間 4:00 12:00 18:00

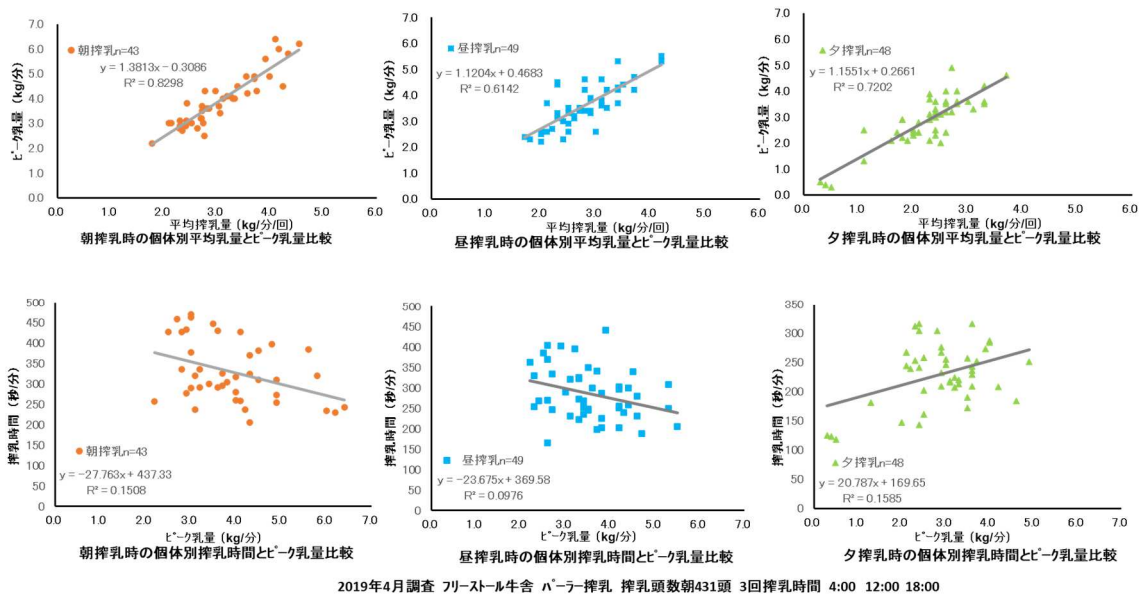


図-5. 3回搾乳時の朝昼夕搾乳時の平均搾乳量、ピーク乳量、搾乳時間の相関関係(酪農家C)

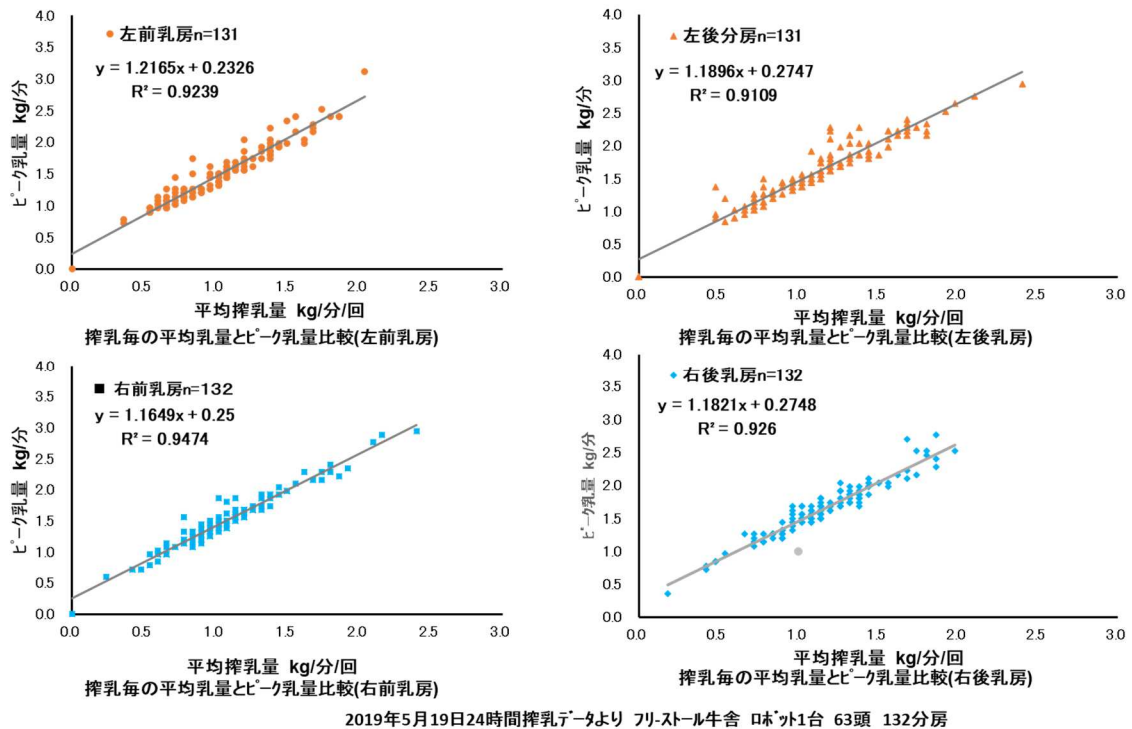


図-6. ロボット搾乳時の分房毎の平均搾乳量とピーク乳量の相関関係(酪農家D)

表-5. ロボット搾乳時の分房毎の平均搾乳量とピーク乳量の比較(酪農家D)

分房	搾乳量(kg/回)	平均搾乳量(kg/分)	平均ピーク乳量(kg)	ピーク乳量>2.0kgの割合(%)
左前分房(n=131)	3.4±1.38 ^a	1.02±0.35 ^a	1.48±0.44 ^a	11.5(15/131)
右前分房(n=132)	3.5±1.43 ^b	1.07±0.36	1.50±0.44 ^b	9.8(13/132)
左後分房(n=131)	4.9±2.07 ^c	1.11±0.40	1.59±0.50 ^c	21.4(28/131)
右後分房(n=132)	5.1±1.89 ^d	1.14±0.32 ^d	1.62±0.39 ^d	13.6(18/132)
P 値	bd, ad, bc, ac : P<0.01	ad : P<0.05	bd, ad, ac : P<0.05	

平均値±SDを示す

2019年5月19日24時間搾乳データより フリースール牛舎 ロボット1台 63頭 132分房

表-6. 搾乳機器点検戸数と点検台数

搾乳形式	点検戸数と台数	点検の種類		
		初回点検	定期点検	合計
ハイラインシステム	戸数	54	12	66
	台数	58	95	153
ローラインシステム	戸数	106	18	124
	台数	112	93	205

表-7. 搾乳システムの点検結果（実施件数と問題割合％）

点検の種類	初回点検			定期的点検		
	ハイライン (n=58)	ローライン (n=112)	P 値*	ハイライン (n=95)	ローライン (n=93)	P 値*
導入当初からの問題点(%)						
真空配管関連	24 (41.4)	47 (42.0)	1.000	4 (4.2)	2 (2.2)	0.683
ミルク配管関連	24 (41.4)	12 (10.7)	P<0.01	0	0	1.000
バキュームポンプの選択	14 (24.1)	19 (17.0)	0.308	0	2 (2.2)	0.243
調圧器関連	27 (46.6)	48 (42.9)	0.745	0	1 (1.1)	0.495
パルセーター関連	5 (8.6)	24 (21.4)	0.051	1 (1.1)	5 (5.4)	0.116
搾乳ユニット関連	5 (8.6)	51 (45.5)	P<0.01	0	4 (4.3)	0.058
その他	1 (1.7)	10 (8.8)	0.100	0	1 (1.1)	0.495
合計	100	211		5	15	
維持管理不良に関する問題点(%)						
真空配管関連	0	0	1.000	0	0	1.000
ミルク配管関連	17 (29.3)	28 (25.0)	0.585	44 (46.3)	9 (9.7)	P<0.01
バキュームポンプの能力	5 (8.6)	6 (5.4)	0.513	4 (4.2)	14 (15.1)	P<0.05
調圧器関連	13 (22.4)	31 (27.7)	0.580	20 (21.1)	42 (45.2)	P<0.01
パルセーター関連	19 (32.8)	35 (31.3)	0.863	36 (37.9)	34 (36.6)	0.881
搾乳ユニット関連	10 (17.2)	67 (59.8)	P<0.01	20 (21.1)	68 (73.1)	P<0.01
その他	3 (5.2)	0	P<0.05	8 (8.4)	0	P<0.01
合計	67	167		132	167	

その他:バケツシステムなど

*: Chi-squared test

表-8. 点検実施年別による初回点検時の問題点の分布
（実施件数と問題割合％）

設置年	ハイラインシステム				P 値**	ローラインシステム				P 値**
	1995-1999 (n=31)	2000-2004 (n=11)	2005-2009 (n=9)	2010-2015 (n=7)		1995-1999 (n=18)	2000-2004 (n=43)	2005-2009 (n=36)	2010-2015 (n=15)	
導入当初からの問題点(%)										
真空配管関連	14 (45.2)	3 (27.3)	4 (44.4)	3 (42.9)	0.864	9 (50.0)	18 (41.9)	16 (44.4)	4 (26.7)	0.281
ミルク配管関連	8 (25.8)	7 (63.6)	4 (44.4)	5 (71.4)	<0.05	1 (5.6)	6 (14.0)	4 (11.1)	1 (6.7)	0.962
バキュームポンプの選択	7 (22.6)	2 (18.2)	2 (22.2)	3 (42.9)	0.402	1 (5.6)	5 (11.6)	11 (30.6)	2 (13.3)	0.106
調圧器関連	12 (38.7)	6 (54.5)	6 (66.7)	3 (42.9)	0.361	9 (50.0)	8 (18.6)	16 (44.4)	15 (100.0)	<0.01
パルセーター関連	2 (6.5)	0	1 (11.1)	2 (28.6)	0.108	2 (11.1)	9 (20.9)	10 (27.8)	3 (20.0)	0.349
搾乳ユニット関連	2 (6.5)	0	2 (22.2)	1 (14.3)	0.241	9 (50.0)	23 (53.5)	13 (36.1)	6 (40.0)	0.192
その他	0	0	1 (11.1)	0	0.285	4 (22.2)	0	4 (11.1)	2 (13.3)	0.917
合計	45	18	20	17		35	69	74	33	
維持管理不良に関する問題点(%)										
真空配管関連	0	0	0	0	NT	0	0	0	0	NT
ミルク配管関連	8 (25.8)	3 (27.3)	2 (22.2)	4 (57.1)	0.243	6 (33.3)	6 (14.0)	11 (30.6)	5 (33.3)	0.474
バキュームポンプの能力	4 (12.9)	1 (9.1)	0	0	0.149	1 (5.6)	4 (9.3)	0	1 (6.7)	0.470
調圧器関連	1 (3.2)	2 (18.2)	4 (44.4)	6 (85.7)	<0.01	1 (5.6)	10 (23.3)	15 (41.7)	5 (33.3)	<0.05
パルセーター関連	11 (35.5)	4 (36.4)	3 (33.3)	1 (14.3)	0.379	5 (27.8)	7 (16.3)	13 (36.1)	10 (66.7)	<0.01
搾乳ユニット関連	1 (3.2)	2 (18.2)	3 (33.3)	4 (57.1)	<0.01	8 (44.4)	22 (51.2)	24 (66.7)	13 (86.7)	<0.01
その他	0	0	2 (22.2)	1 (14.3)	<0.05	0	0	0	0	NT
合計	25	12	14	16		21	49	63	34	

その他:バケツシステムなど

** : Fisher's exact test. NT, not tested.

表-9. 搾乳システム導入からの経過年数による問題点の分布
(実施件数と問題割合%)

設置後の経過年数	ハイラインシステム				P 値*	ローラインシステム				P 値*
	<1 (n=11)	1-5 (n=13)	6-10 (n=7)	11-27 (n=12)		<1 (n=20)	1-5 (n=34)	6-10 (n=30)	11-27 (n=20)	
導入当初からの問題点(%)										
真空配管関連	2 (18.2)	7 (53.8)	3 (42.9)	5 (41.7)	0.401	8 (40.0)	16 (47.1)	13 (43.3)	6 (30.0)	0.469
ミルク配管関連	0	4 (30.8)	3 (42.9)	10 (83.3)	<0.01	0	3 (8.8)	4 (13.3)	2 (10.0)	0.204
バキュームポンプの選択	0	1 (7.7)	4 (57.1)	6 (50.0)	<0.01	7 (35.0)	6 (17.6)	4 (13.3)	2 (10.0)	<0.05
調圧器関連	3 (27.3)	6 (46.2)	4 (57.1)	11 (91.7)	<0.01	7 (35.0)	12 (35.3)	17 (56.7)	11 (55.0)	0.066
バルセーター関連	2 (18.2)	1 (7.7)	0	2 (16.7)	0.893	6 (30.0)	3 (8.8)	10 (33.3)	2 (10.0)	0.612
搾乳ユニット関連	1 (9.1)	1 (7.7)	0	2 (16.7)	0.602	9 (45.0)	18 (52.9)	9 (30.0)	12 (60.0)	0.857
その他	0	1 (7.7)	0	0	0.682	3 (15.0)	3 (8.8)	3 (10.0)	1 (5.0)	0.355
合計	8	21	14	36		40	61	63	36	
維持管理不良に関する問題点(%)										
真空配管関連	0	0	0	0	NT	0	0	0	0	NT
ミルク配管関連	6 (54.5)	2 (15.4)	1 (14.3)	5 (41.7)	0.668	2 (10.0)	7 (20.6)	12 (40.0)	6 (30.0)	<0.05
バキュームポンプの能力	0	0	1 (14.3)	0	0.637	0	1 (2.9)	4 (13.3)	1 (5.0)	0.194
調圧器関連	1 (9.1)	1 (7.7)	1 (14.3)	8 (66.7)	<0.01	0	9 (26.5)	7 (23.3)	11 (55.0)	<0.01
バルセーター関連	0	3 (23.1)	3 (42.9)	5 (41.7)	<0.05	0	10 (29.4)	14 (46.7)	10 (50.0)	<0.01
搾乳ユニット関連	4 (36.4)	0	1 (14.3)	3 (25.0)	0.806	3 (15.0)	23 (67.6)	19 (63.3)	18 (90.0)	<0.01
その他	0	1 (7.7)	1 (14.3)	1 (8.3)	0.403	0	0	0	0	NT
合計	11	7	8	22		5	50	56	46	

その他:バケツシステムなど

*: Chi-squared test for trend in proportions.

年代不明:ハイライン 15台,ローライン 8台

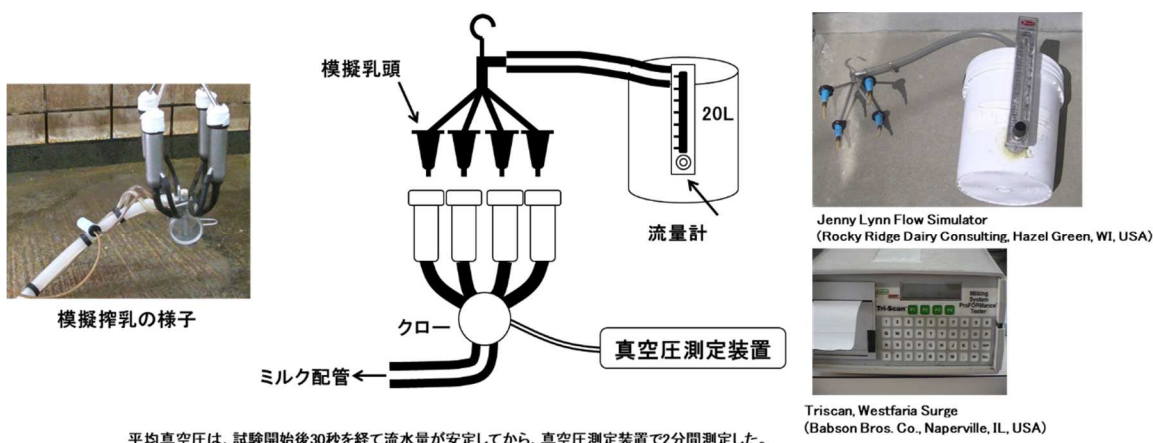


図-7. 流水試験装置と真空圧測定装置

表-10. 分析要因と試験設定流量

要因	ハイラインシステム	ローラインシステム	試験設定流量(kg/分)	
			1.9	3.8
#1 設定真空圧 (ハイライン/ローライン/離脱装置付)	✓	✓	5.7	7.6
#2 ミルクチューブの長さ	✓	✓	8.7	
#3 ミルクチューブと絞り部分の口径	✓	✓		
#4 チューブの配線の仕方(垂直/水平)	✓	✓		
#5 ミルクチューブのリフト高さ	-	✓		
#6 クローのタイプとサンプラー	-	✓		
#7 真空の有効用量(エフェクト・リザーブ量)	✓	-		
#8 パルセーターの回数と比率の設定	-	✓		

本研究は日本の多くの酪農家の色々な搾乳システムを使用して、別々に行われた。

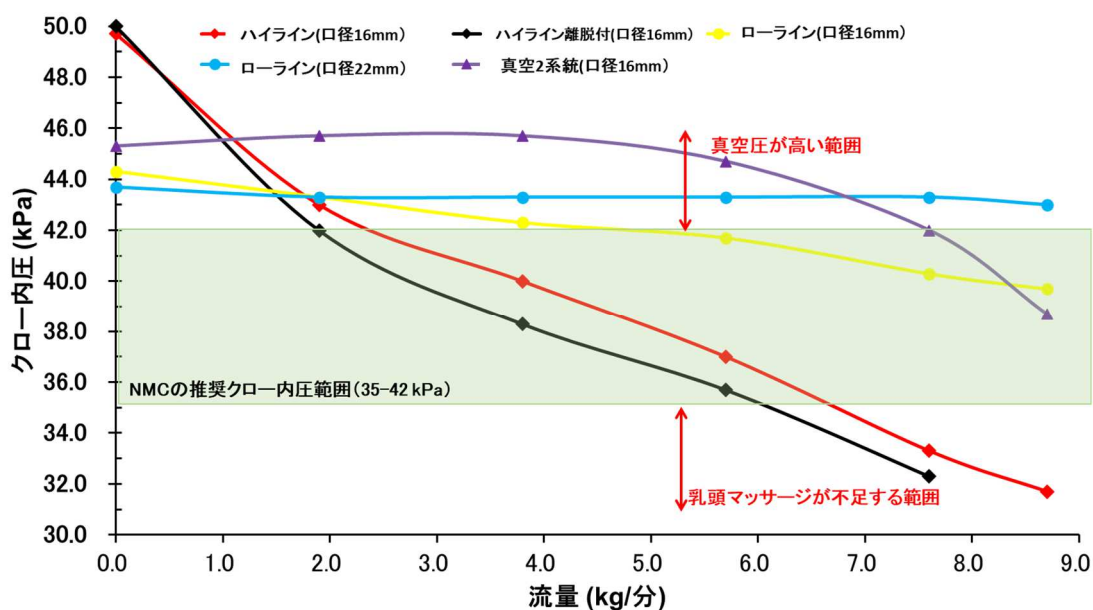


図-8. 各種搾乳システムの設定真空圧モデル

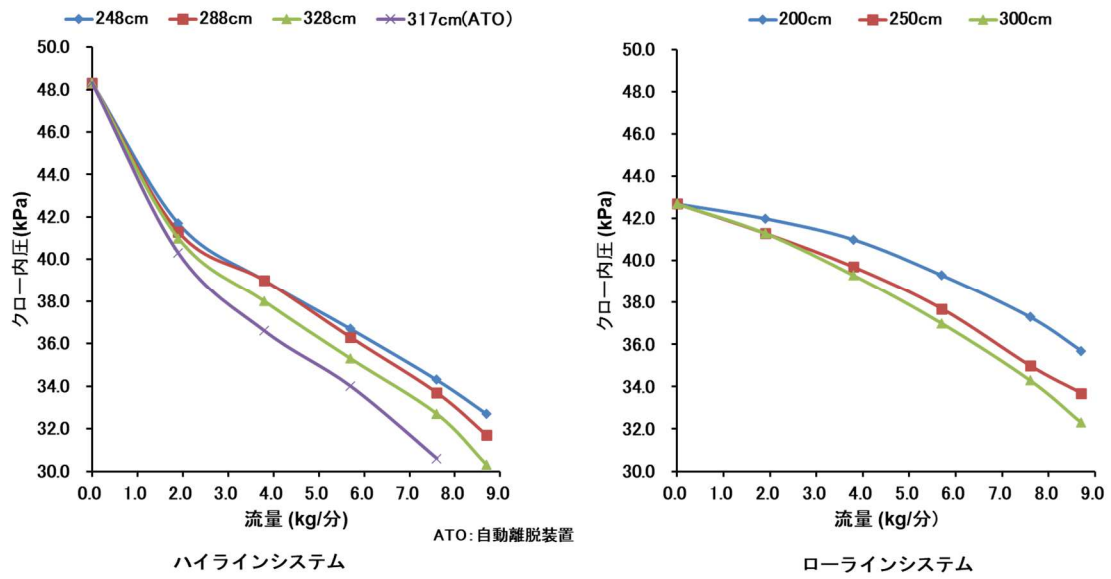


図-9. ミルクチューブの長さによるクロー内圧の違い

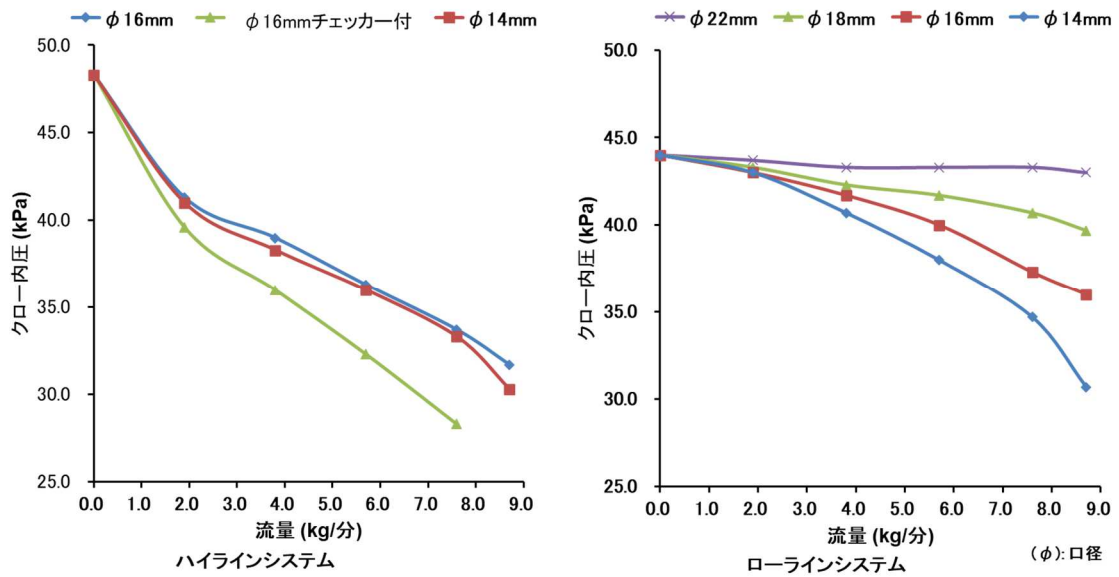


図-10. 口径と絞り口径によるクロー内圧の違い

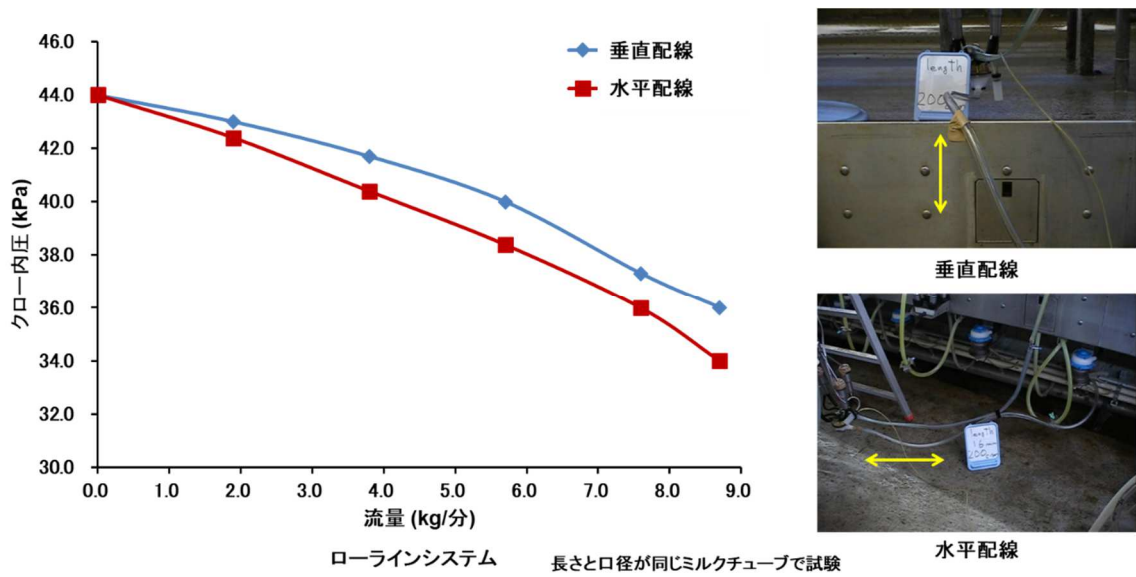


図-11. チューブの配線の仕方によるクロー内圧の違い

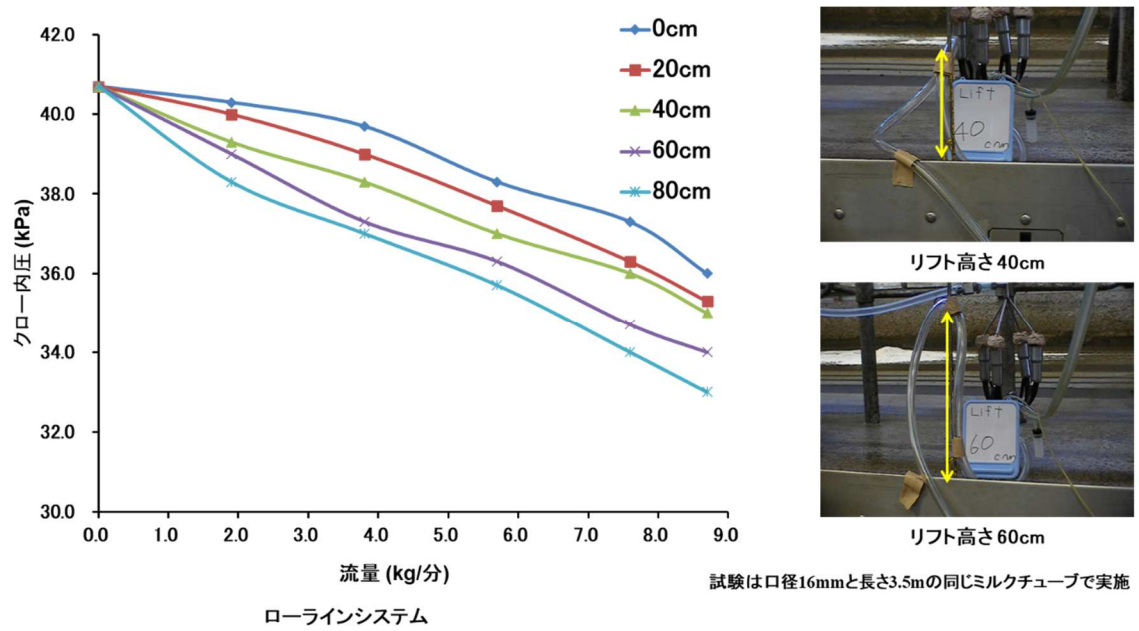


図-12. クロー内圧へのミルクチューブリフトの影響

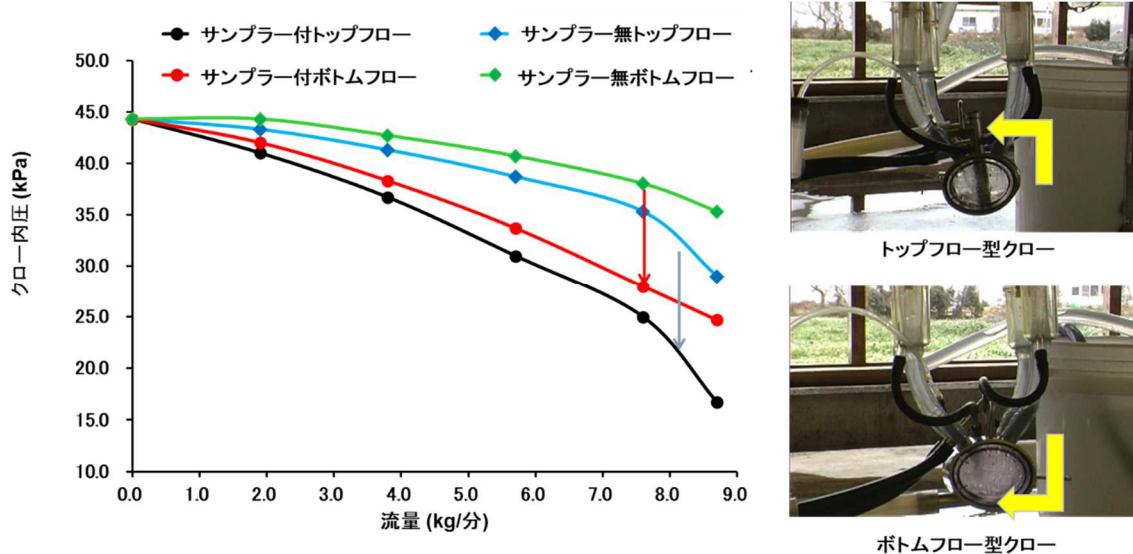


図-13. クロータイプとミルクサンプラーの有無によるクロー内圧への影響

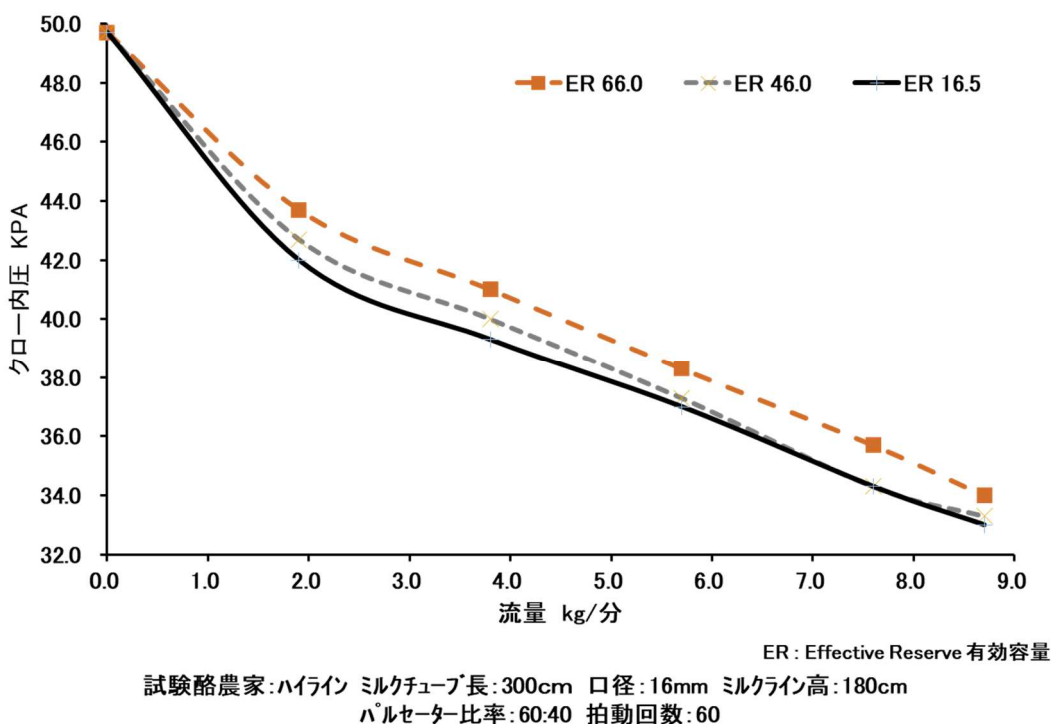


図-14. 真空の有効容量変化によるクロー内圧の変化

表-11. クロー内圧に対するパルセーター拍動回数と比の影響
(拍動比率前側 55:45 後側 60:40)

拍動回数	流量 (kg/分)					
	0	1.9	3.8	5.7	7.6	8.7
50	41.3	40.7	38.3	36.0	33.3	31.3
55	41.3	40.3	38.3	36.0	33.0	31.3
60	41.3	40.3	38.3	36.0	33.0	31.0
65	41.3	40.3	38.3	35.7	33.0	31.3
70	41.3	40.3	38.3	35.7	33.0	31.0

単位: kPa

クロー内圧に対するパルセーター拍動比率の影響
(拍動回数55回)

拍動比率	流量 kg/分					
	0	1.9	3.8	5.7	7.6	8.7
60:40	42.7	42.0	41.7	41.7	41.3	41.3
70:30	42.7	42.0	41.7	41.7	41.3	41.3

単位: kPa

表-12. クロー内圧に対するパルセーター拍動方式の影響
(拍動回数 55 回 拍動比率前後 60:40)

拳動方式	流量 (kg/分)					
	0	1.9	3.8	5.7	7.6	8.7
交互方式	42.3	40.7	39.7	38.3	36.7	35.7
一挙動方式	42.3	41.3	39.9	38.9	37.6	36.6

単位: kPa

拳動方式	クロー内圧変動幅(kPa)				
交互方式	4.0	4.4	4.4	4.0	4.4
一挙動方式	6.3	8.0	9.3	10.3	10.6

単位: kPa

表-13. 模擬搾乳装置を用いた流水試験の結果 (n=73)

流量 (kg/分)	クロー内圧が合格した台数と割合 (%)		両方合格した台数と割合 (%)
	平均真空圧 $\geq 35.0\text{kPa}$	変動幅 $\leq 7.0\text{kPa}$	
5.7	55(75.3)	31(42.5)	26(35.6)
7.6	36(49.3)	28(38.4)	19(26.0)
8.7	26(39.7)	30(41.1)	16(21.9)

表-14. 模擬搾乳装置を用いた場合の真空圧低下の要因 (n=73)

要因	流量8.7kg時に2kPa以上低下した台数と割合%
ミルクチューブの長さ	16 (21.9)
ミルクチューブの口径	5 (6.9)
ミルクチューブのリフト形成	26 (35.6)
真空圧遮断装置	33 (45.2)
トップフロー型クロー	26 (35.6)
ミルクメーター本体 [†]	18 (34.6)
ミルクメーター排出チューブ	36 (69.2)

† 設置52例

表-15. 真空圧低下リスク分析時の搾乳条件における P 値[†]

クロー内圧の基準値 ($\geq 35.0\text{kPa}$)									
流量	要因								
(kg/分)	ミルクチューブの長さ	ミルクチューブ口径	ミルクチューブのリフト	真空圧遮断装置	トップフロー型クロー	ミルクメーターなし	ミルクメーター本体	ミルクメーター配線	
5.7	0.06	0.09	0.41	0.17	0.17	1.0	<0.01	0.03	
7.6	0.16	0.36	0.47	0.02	<0.01	1.0	0.06	0.25	
8.7	0.08	0.15	0.62	<0.01	<0.01	0.6	<0.01	0.15	

クロー内圧の変動幅 ($\leq 7.0\text{kPa}$)									
流量	要因								
(kg/分)	ミルクチューブの長さ	ミルクチューブ口径	ミルクチューブのリフト	真空圧遮断装置	トップフロー型クロー	ミルクメーターなし	ミルクメーター本体	ミルクメーター配線	
5.7	0.4	0.07	0.46	0.35	0.34	0.61	0.18	0.16	
7.6	0.57	0.64	0.14	0.81	0.02	0.79	0.16	0.23	
8.7	0.78	0.64	0.62	1.0	0.08	0.29	0.27	0.48	

†Fisher's Exact test

表-16. 各流量時の平均クロー内圧変動要因のロジスティック回帰分析結果 ($\geq 35.0\text{kPa}$)

要因	流量(kg/分)	オッズ比	95% 信頼区間		P値
			低	高	
ミルクチューブの長さ	5.7	4.67	1.140	19.10	0.03*
	7.6	2.76	0.775	9.83	0.12
	8.7	4.42	0.907	21.60	0.07
ミルクチューブの口径	5.7	4.45	0.477	41.40	0.19
	7.6	-	-	-	-
	8.7	<0.01	0.000	Inf	0.99
真空圧遮断装置	5.7	1.83	0.469	7.11	0.39
	7.6	2.36	0.775	7.17	0.13
	8.7	6.46	1.660	25.20	0.01*
トップフロー型クロー	5.7	1.37	0.364	5.18	0.64
	7.6	3.41	1.120	10.40	0.03*
	8.7	5.28	1.130	24.70	0.03*
ミルクメーター本体	5.7	2.54	0.581	11.10	0.22
	7.6	1.70	0.409	7.11	0.46
	8.7	2.74	0.390	19.20	0.31
ミルクメーターの配線	5.7	2.57	0.606	10.90	0.20
	7.6	1.21	0.385	3.81	0.74
	8.7	0.98	0.263	3.67	0.98

* $P < 0.05$

表-17. 各流量時のクロー内圧変動幅要因のロジスティック回帰
分析結果 (≥ 7.0 kPa)

要因	流量(kg/分)	オッズ比	95% 信頼区間		P値
			低	高	
ミルクチューブの長さ	5.7	<0.01	0	Inf	0.99
	7.6	NT	NT	NT	NT
	8.7	NT	NT	NT	NT
トップフロー型クロー	5.7	NT	NT	NT	NT
	7.6	0.24	0.072	0.787	0.02*
	8.7	0.39	0.134	1.14	0.09
ミルクメーターなし	5.7	NT	NT	NT	NT
	7.6	NT	NT	NT	NT
	8.7	0.55	1.181	1.67	0.29
ミルクメーター本体	5.7	0.56	0.151	2.1	0.39
	7.6	0.42	0.094	1.85	0.25
	8.7	0.64	0.185	2.24	0.49
ミルクメーターの配線	5.7	0.66	0.225	1.94	0.45
	7.6	0.99	0.306	3.23	0.99
	8.7	NT	NT	NT	NT

* $P < 0.05$

NT: Not Tested

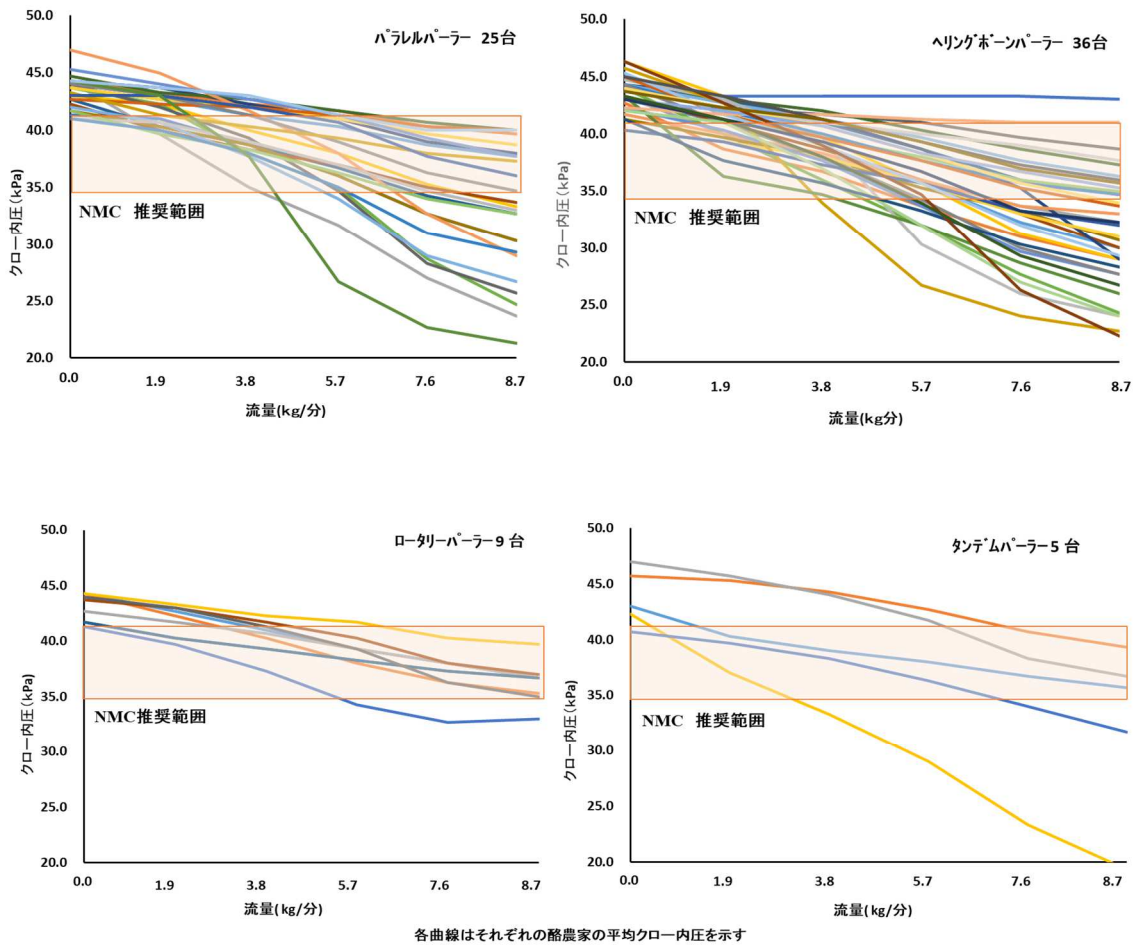
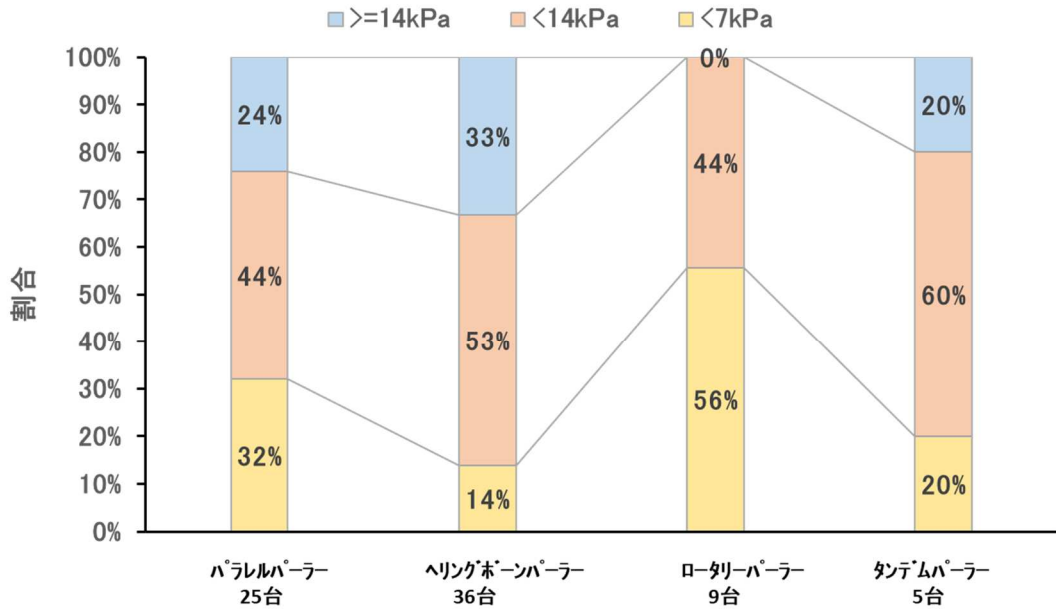


図-15. 模擬搾乳装置を用いた搾乳性能診断時の各酪農家の平均クロー内圧曲線

図-16. ミルキングパーラー別のクロー内圧変動幅の分布



<7kPa, <14kPa, >=14kPa := 設定真空圧 - 8.7kg流量時のクロー内圧 χ^2 検定: リングボーン VS ローター $P < 0.05$
 NMC 推奨範囲 <7kPa=42-35kPa(ローライン)

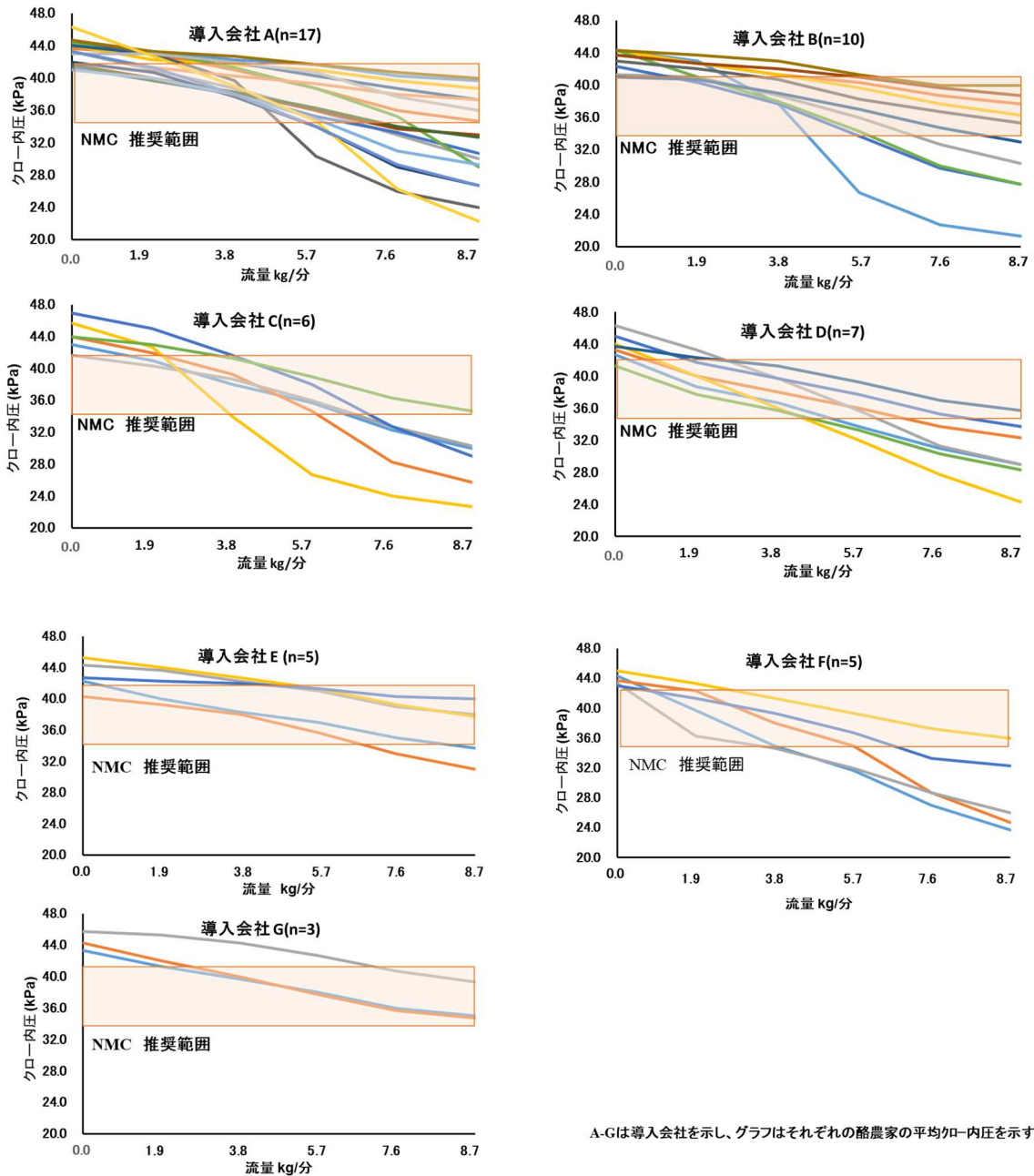
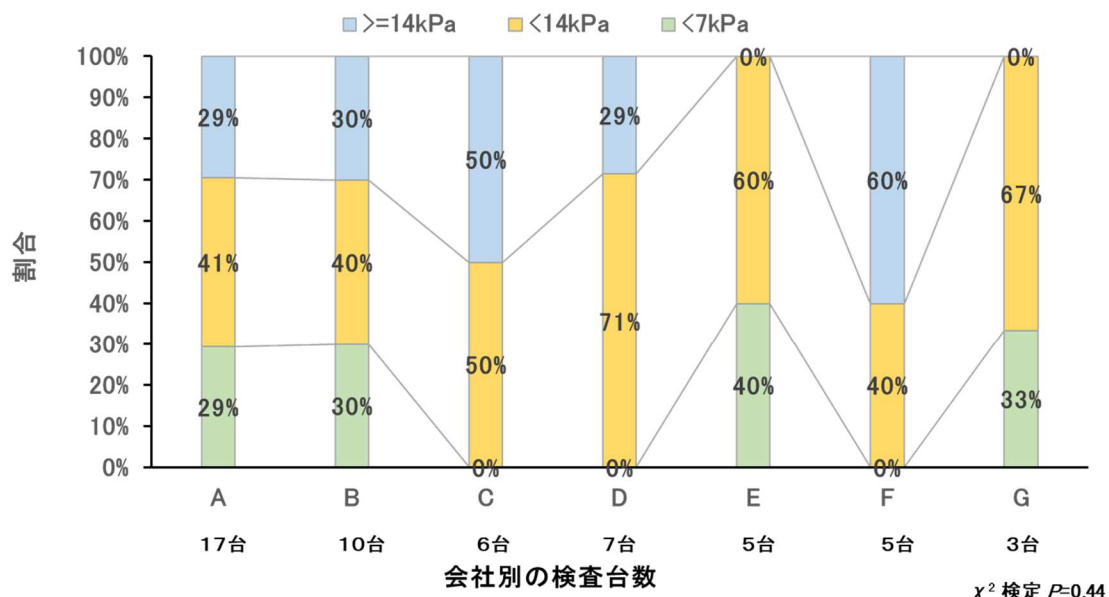


図-17. 模擬搾乳装置を用いた搾乳性能診断時の導入会社別の平均クロー内圧曲線(ロータリーパーラーを除く)



A から G : 導入会社と検査台数を示す
 <math>< 7\text{kPa}</math>, <math>< 14\text{kPa}</math>, $\ge 14\text{kPa}$: =設定真空圧 - 流量8.7kg時のクロー内圧
 NMC 推奨範囲 <math>< 7\text{kPa}=42\text{--}35\text{kPa}</math> (ローライン)

図-18. 導入会社別のクロー内圧変動幅の比較

表-18. 要因別ミルクングパーラーの形式別圧力損失の割合

圧力損失の要因 \ パーラー形式	ヘリクボ [®] パーラー		パ [®] ラレルパーラー		ロータリーパーラー		タンDEMパーラー		合計		P 値*
	件数	割合(%)	件数	割合(%)	件数	割合(%)	件数	割合(%)	件数	割合(%)	
ミルクチューブの長さ	9	25.0	5	20.0	1	11.1	2	40.0	17	22.7	0.657
ミルクチューブの口径	5	13.9	0	0.0	0	0.0	0	0.0	5	6.7	0.160
ミルクチューブのリフト	11	30.6	7	28.0	5	55.6	2	40.0	25	33.3	0.479
ミルクメーターの接続	10	27.8	7	28.0	1	11.1	1	20.0	19	25.3	0.816
真空圧遮断装置	18	50.0 ^a	10	40.0	0	0.0 ^b	4	80.0 ^a	32	42.7	<0.01
ミルクメーターの配線	18	50.0	13	52.0	4	44.4	1	20.0	36	48.0	0.654
クローの形式(トップフロー型)	20	55.6	6	24.0	2	22.2	0	0.0	28	37.3	0.013
エフェクト/リザーブ量の不足	4	11.1 ^a	1	4.0 ^c	4	44.4	4	80.0 ^{bd}	13	17.3	<0.01
一挙動バルブ	0	0.0	1	4.0	0	0.0	2	40.0	3	4.0	<0.01
合計数 / 合計台数	95	36	50	25	17	9	16	5	178	75	

*Fisher 検定と Bonferroni 検定 ab: $P<0.05$ cd: $P<0.01$

表-19. 新旧搾乳システムの主な相違点

ミルク点検の種類	項目	古いミルクシステム	新しいミルクシステム
目視点検	搾乳システム	8シングルシングルハーラー(ハイライン)	8頭ダブル(ローライン)
	ミルク配管	3インチシングル配管	3インチループ配管
	調圧器の位置	バランスタンク上	サニタリートラップの上側
	ミルクチューブの長さとお径	Φ16mm 376cm	Φ16mm:170cm Φ25mm:45cm
	ミルク配管の位置(ストールからの高さ)	+183cm	-97cm
静止時点検	設定真空圧	48kPa	44kPa
	有効用量(エフェクティブリザーブ量)	45.7CFM	87.0CFM
	ハルセーター波形	異常波形(低真空圧)	正常波形
	ハキュームポンプの能力	50kPa 1768L/分(能力低下)	50kPa 2476L/分
動態点検	クロー内圧曲線の形	ハイラインと同じ波形	ローラインの波形
	ライナースリップの頻度	多い	少ない
	1分あたりの搾乳量	2-4kg/分	3-4kg/分

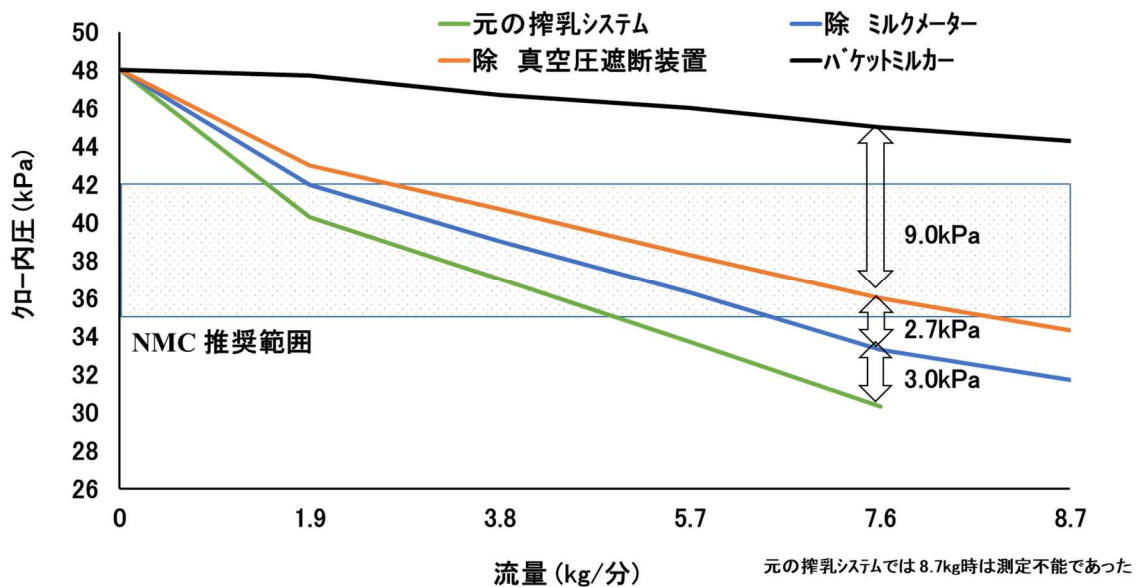


図-19. 旧(改良前)搾乳システムの評価

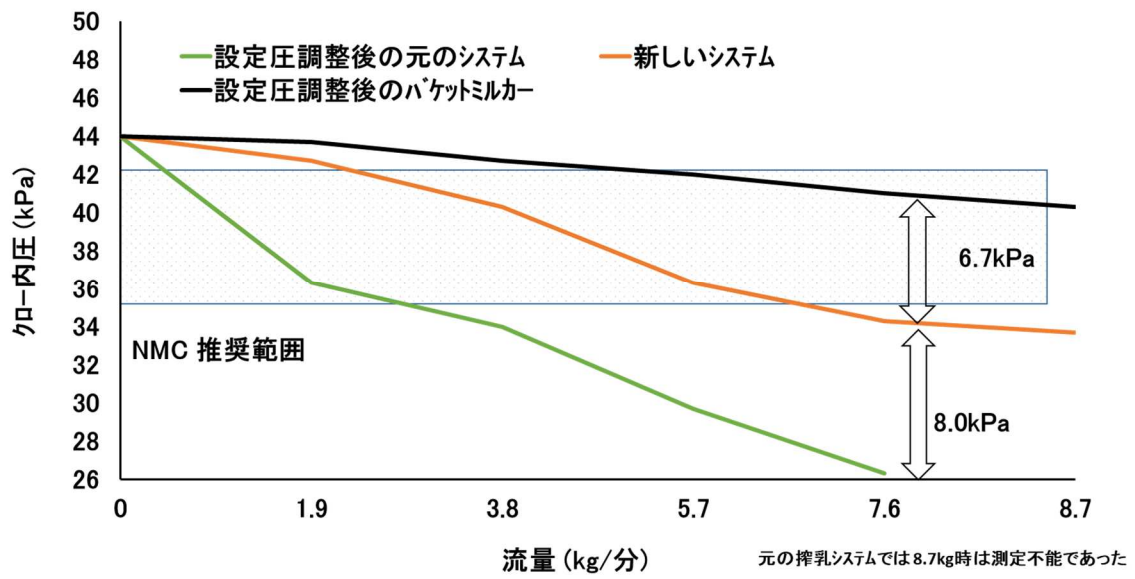


図-20. 新旧搾乳システムの搾乳能力の比較

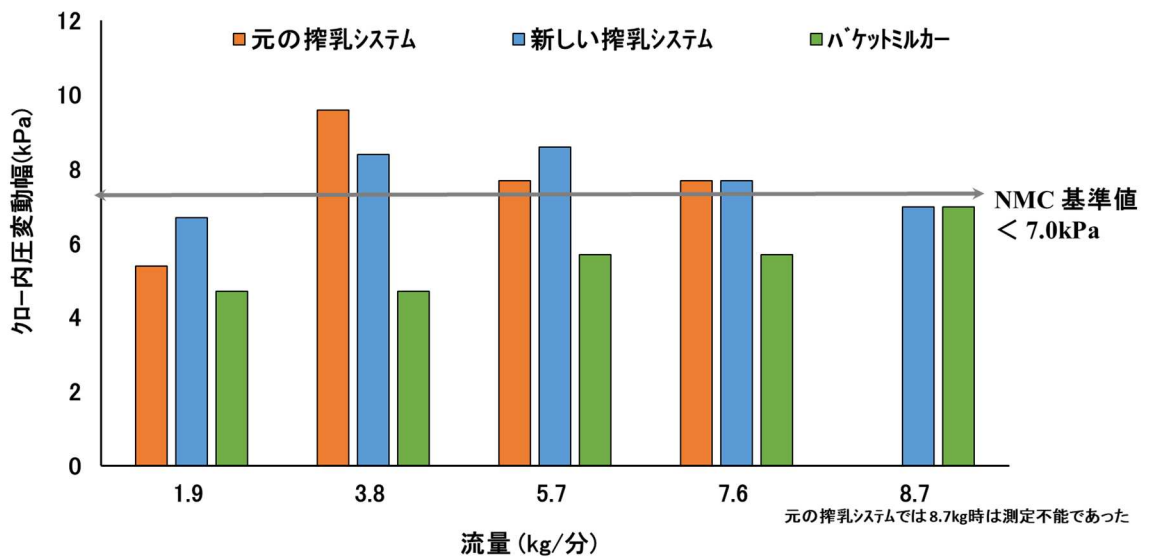


図-21. 新旧搾乳システムでのクロール内圧変動幅の比較

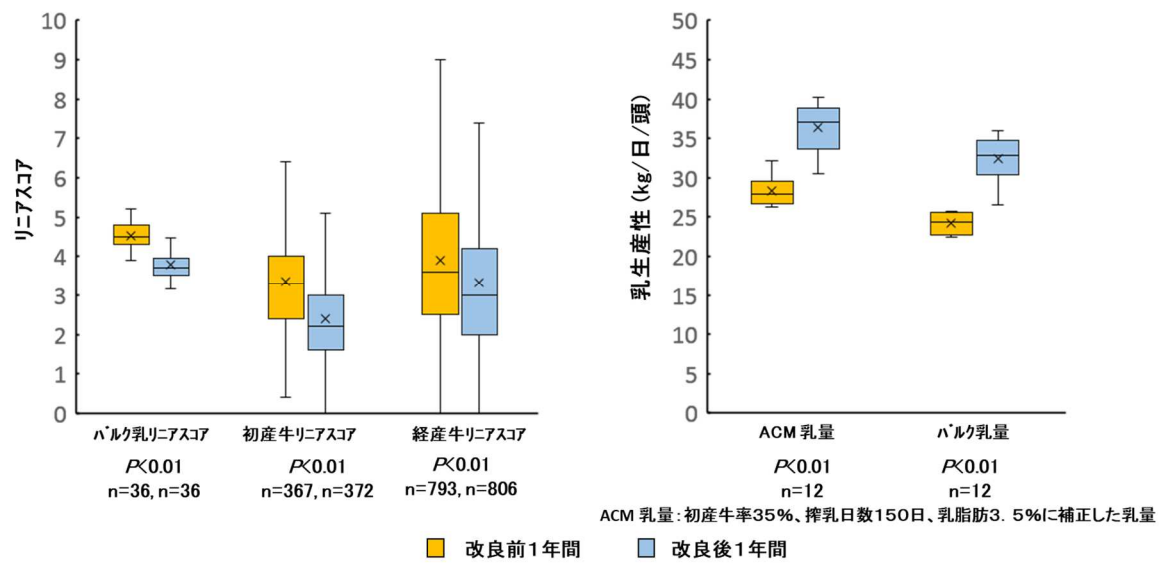


図-22. 改良前後1年間のリニアスコアと乳生産性の比較