

氏名(本籍)	榎谷雅文(北海道)
学位の種類	博士(獣医学)
学位記番号	乙第440号
学位授与年月日	令和3年11月22日
学位授与の要件	学位規則第3条第3項該当
学位論文題名	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
論文審査委員	(主査)河合一洋 (副査)植竹勝治 恩田賢

論文内容の要旨

乳牛の泌乳能力は、毎日搾乳システム(ミルカー)で搾乳されて、その後乳量として記録される。しかし、搾乳システムの搾乳能力が乳牛の持つ泌乳能力よりも低ければ、乳牛の持つ遺伝的泌乳能力は十分に発揮できないばかりか、乳房炎発生のリスクが高まる。例えば手搾りでは現在の乳牛が持つ一般的な泌乳能力の日量30kgを搾乳することは困難である。これは手搾りという搾乳システムの搾乳能力が低いことを意味する。一方、乳牛の泌乳能力は、遺伝的改良や飼養管理法の改善により毎年伸びているが、搾乳システムの搾乳能力は設置当初が一番高く、その後は経年劣化と共に低下する。このため、乳牛の泌乳能力と搾乳システムの搾乳能力は年々乖離し、搾乳システムが原因となる乳房炎の発生リスクを助長していると考えられる。

搾乳システムは一般的な酪農場では1日朝夜2回の搾乳回数で年間730回も使用され、酪農場で最も使用頻度が高い機器であり、乳房炎原因菌の侵入経路である乳頭に唯一直接接触して使用される機器である。したがって搾乳システムの不備は他の乳房炎発生要因よりも直接的に乳牛に影響を与え、その影響は全ての搾乳牛に及ぶ。

全米乳房炎協議会(National Mastitis Council: NMC)では、搾乳システム点検法として4つの点検を推奨している。1つ目は目視点検(Observation test)で、搾乳システム稼働時と停止時に五感で評価する保守点検である。2つ目は静止時点検(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機能検査である。3つ目は動態時点検(Wet test/Dynamic test)で、搾乳システムで実際に搾乳をしている時の機能検査である。4つ目は特別な点検で、模擬搾乳装置を用いた搾乳システム設置直後の設定真空圧の決定時に実施される試験である。本研究は、この4つ目の模擬搾乳装置を搾乳システムの搾乳能力診断に応用し、乳牛の遺伝的泌乳能力を発揮させる観点

から搾乳システムの搾乳能力を評価する搾乳システム点検法を開発することを試みた。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、搾乳システムの搾乳能力を可視化して評価し、搾乳能力を低下させている原因を究明することで搾乳システムの搾乳能力向上に繋げることができる点検法を確立することを目的とした。

第1章 乳牛の搾乳能力の解析

本章は、現在の乳牛が持つ泌乳能力を調査し、搾乳システムが備えるべき搾乳能力の基準を明らかにすることを目的として行った。

搾乳形態の異なる4戸の酪農家の搾乳情報を調査した。2回搾乳酪農家で搾乳毎のバルク乳生産データを246日間、2回搾乳酪農家のある1日の個体データ249頭分、3回搾乳酪農家のある1日の個体データ137頭分、ロボット搾乳酪農家のある1日の搾乳毎の62頭延べ132分房を調査した。調査項目は、搾乳量、搾乳時間（ライナーが付いている時間）、ピーク乳量（またはライナー装着後1-2分間乳量）、平均搾乳量（搾乳量/搾乳時間）とした。

搾乳形態に関わらず朝搾乳時の乳量が最も高かった。2回搾乳及び3回搾乳でもピーク乳量と平均乳量の間で強い正の相関（ $r^2 > 0.8$ ）が見られた。ピーク乳量の最高値は8.0kg/分以上で、3.2%の頭数割合であった。2回搾乳、3回搾乳共に搾乳量と搾乳時間に相関関係は見られなかった。2回搾乳時の搾乳時間の平均値+2倍標準偏差は6分から7分であった。ロボット搾乳では、搾乳量は両前分房より両後分房が有意（ $P < 0.05$ ）に多く、4分房共に平均分房乳量とピーク分房乳量に強い正の相関（ $r^2 > 0.9$ ）が見られた。ピーク分房乳量の平均値+2倍標準偏差は2.4kg/分であった。

平均乳量とピーク乳量には搾乳形態に関わらず強い正の相関が見られたことから、総乳量は搾乳時間ではなく、ピーク乳量に相関することが明らかになった。従って、高泌乳を達成するためには、ピーク乳量8kg/分以上で6分から7分/頭以内で搾乳可能な能力を備える搾乳システムが必要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

過去21年間、日本全国のハイラインシステムでは66戸、153台とローラインシステムでは124戸、205台の搾乳システム点検結果より、両者間の相違を明らかにして搾乳システム点検法を再検討する情報を得ることを目的として行った。

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、更に点検結果の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け、4区分で比較した。次に検査年代と設置後経過年数別でも同様に区分して比較検討した。ハイラインシステムとローラインシステムを問わず、設置当初問題と維持管理問題は多く存在し、その内容は検査年代と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搾乳システムの稼働時間を基準とした方法に変更すべきと考えられた。

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

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には触れていない。そこで模擬搾乳装置を利用して、流量試験を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、パルセーター設定とした。その結果、ミルクチューブの長さや口径とリフトの形成、ミルクメーターや離脱装置による圧力の損失が大きくクロー内圧低下に影響を与えていることが明らかとなった。一般的な搾乳システム点検でこれらの解析要因は評価できないことから、現在の搾乳システムの点検法に模擬搾乳装置を利用した診断法を追加し、クロー内圧に影響する搾乳システムの要因解析を行うべきであると考えられた。

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

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、模擬搾乳装置を利用して酪農家73戸のローライン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（5.7, 7.6, 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（全米乳房炎協議会推奨値）を満たしていたのはわずか16戸（21.9%）であり、ローライン搾乳システムの搾乳能力に問題があることが明らかになった。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。模擬搾乳装置を利用した搾乳システムの搾乳能力診断は、高泌乳牛に対応できるか否かの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ことができる可能性を示した。

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

乳牛の泌乳能力を決める重要な要因の一つに搾乳機器の搾乳能力がある。乳牛の遺伝的泌乳能力は年々向上するのに対して、搾乳機器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。日本国内の酪農家75戸において、搾乳機器導入会社別及びミルク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機器の1ユニットに装着して検査を行い、流量5段階（1.9, 3.8, 5.7, 7.6, 8.7kg/分）での平均クロー内圧を測定し、全米乳房炎協議会の推奨クロー内圧（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 社の搾乳機器導入会社別に比較した。その結果クロー内圧は搾乳形式により様々であり、多くのミルクパーラーが流量 5.7kg/分を超えると、クロー内圧が全米乳房炎協議会の推奨値下限値 (35.0kpa) を下回る台数が多いことが分かった。ロータリー型は他の形式と比較してクロー内圧は高く維持でき、変動幅が有意 ($P<0.05$) に小さかった。同じ搾乳機器導入会社、同じ搾乳形式であってもクロー内圧は様々であった。

クロー内圧低下に影響する因子としては、ミルクチューブの長さ、ミルクメーター本体、ミルクメーターの配線、真空圧遮断装置、クローの形式などがミルクパーラーの搾乳能力低下の原因と診断された。ヘリーボーン形式や平行形式では同じ導入会社であっても、異なる装置が取り付けられていたり、異なる場所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。

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

乳牛の泌乳量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の発症リスクを高めていると考えられる。

8 頭シングルシング式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性能の相違や各種搾乳装置の搾乳性能を診断して可視化し、ミルクパーラー改良案の提言を行った。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。改良前後 1 年間の比較で、牛群平均乳量が有意 ($P<0.01$) に上昇し、バルク乳リニアスコア、検定時の個体別リニアスコアは、それぞれ有意 ($P<0.01$) に低下した。

総括

本研究は、全米乳房炎協議会の推奨する一般的に実施されている搾乳システム点検 (目視検査、静止時検査、動態検査) に、搾乳システムの搾乳能力診断という新たな概念を導入し、その有用性を評価した。従来の搾乳システム点検法に加え、模擬搾乳装置を利用して 5 段階の流水試験を実施し、流量を段階的に増やすことで高泌乳牛を模し、その時に反応するクロー内圧を測定して搾乳システムの搾乳能力を評価することで、今まで明確にならなかった搾乳能力低下の原因を明らかにし、搾乳機器の部品や設置の仕方の良否を評価可能とした。また、搾乳能力改善事例では、条件設定を変更しながら何度も同じ流水試験を繰り返すことにより、改良後の機器の設置方法や他の酪農場との搾乳能力比較が可視化可能となり、酪農家の搾乳システムの搾乳能力に対する理解を容易にした。更に本研究により、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が、全米乳房炎協議会の推奨する通常の搾乳システム点検による問題点の指摘だけでは、搾乳システムが原因となる乳房炎発生

リスクについての根本的な解決は困難であることが示唆され、解決のためには搾乳能力診断を考慮した点検法の応用が必要であることが明らかとなった。

以上のことから、模擬搾乳装置を用いた新たな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、乳房炎リスクを低減する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。今後、本研究で開発した搾乳能力診断を考慮した搾乳システム点検法が普及されていくことを期待する。

論文審査の結果の要旨

1. 論文内容

牛乳房炎は、乳牛の疾病の中で約 3 割を占める多発疾病であり、最も酪農家に損害を与えている疾病として知られている。牛乳房炎の発生要因は多岐にわたるといわれているが、その要因の大きな一つに搾乳システム機能の失宜がある。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求められるが、基本的なこの条件を満たしていないシステムが散見されるのが現状である。本研究はこのことに着目し、従来の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、新たな搾乳システム診断法を確立した。

論文は 6 章から構成されている。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、これらの数値が搾乳システムの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。従来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が原因であることを明らかにした。

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試験を追加実施した。搾乳能力差を可視化比較し、酪農家に説明を行った上で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。

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ことが示された。本研究は、模擬搾乳装置を用いた新たな搾乳システムの搾乳能力診断が、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を証明したものであり、獣医学に大きく貢献する有用な知見を示したといえる。

2. 論文審査

1) テーマの立て方

申請者は、長年にわたる従来の搾乳システム点検法によるデータの集積と現場の状況を比較解析し、従来法では搾乳システムが引き起こす乳房炎のリスク低減における根本的な解決には至らないことを明らかにし、模擬搾乳装置を用いた搾乳能力試験という新たな手法を開発することによりその成果を検証しようとしたものであり、明確なテーマと調査項目が順序立てて分かりやすく整理されて示されている。

2) 研究の背景

牛乳房炎の要因は多岐にわたるといわれているが、その要因の大きな一つに搾乳システム機能の失宜がある。搾乳システムの機能の担保は、乳房炎の発生リスクを考えるにあたり最も重要であり、機能失宜があると他の要因をいくら改善しても乳房炎発生は低減しない。申請者は長年の搾乳システムの点検データから、現在の搾乳システムの状況が、乳牛の搾乳能力を必ずしも保証していないことに着目し、従来の搾乳システム点検法では解決しえない搾乳能力の評価を、模擬搾乳装置を用いた搾乳能力試験という新たな手法を開発することにより、その課題を解決しようと試みた。先行研究を整理し、自らが明らかにしようとする研究目的に関連付けて活用している。

3) 研究の方法

牛の遺伝的な泌乳能力はどれくらいかという研究から始まり、日本における搾乳システムの状況の調査、搾乳システムが搾乳能力に与える影響、乳流量が搾乳システム能力に与える影響、搾乳システム

形式別の搾乳能力の違いとその要因解析、最後に従来法に搾乳システム能力試験を加えた手法で搾乳システムの改善を行い、乳量の増加と乳房炎の指標となる乳体細胞数の減少を証明した。このように実際の農家のデータを使用し、科学的な順序を踏みながら論文が構成されており、目的とテーマにふさわしい研究方法を用いて明確な分析の視点を示している。

4) 研究の結果

第1章では、乳牛の泌乳能力のピーク乳量は8.0kg/分以上で搾乳時間は6から7分で終了していることを明らかにした。第2章では、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、搾乳システムの定期点検頻度は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ことを明らかにした。第3章では、従来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が原因であることを明らかにした。第4章では、乳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を明らかにし、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と真空圧遮断装置の違いが搾乳能力に影響を与えることを明らかにした。第5章では、搾乳システム形式別の比較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であることを明らかにした。第6章では、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試験を追加実施し、搾乳能力差を可視化比較して、酪農家に説明を行った上で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。いずれも十分なデータをまとめて解析している。

5) 考察と結論

本研究により、搾乳システムを原因とする乳房炎の予防を根本的に解決するためには、従来の搾乳システム点検法に加え、搾乳システムの搾乳能力を評価する点検を実施すべきであり、その搾乳能力評価は、模擬搾乳装置を用いた新しい点検手法にて評価可能であることを結論付けた。研究結果から得られたことを踏まえ、科学的、論理的に説明できている。

6) 参考論文

適切な参考論文が必要な数だけ引用されている。

3. 審査結果

本論文の内容と発表会での質疑応答に対する適切な回答、そしてその後の提出論文に係る試験の結果を考慮すると、博士としての専門知識を十分に有することが認められ、本研究は、獣医学上意義ある業績として高く評価できることから、博士（獣医学）の学位を授与するに相応しいと判定した。