

みどりの食料システム戦略実現技術開発・実証事業のうち
農林水産研究の推進（委託プロジェクト研究）

現場ニーズ対応型研究

繋ぎ牛舎でも利用できる高度な搾乳システムの開発

令和５年度 最終年度報告書

課題番号 (e-Radシステム課題 ID)	19190892
研究実施期間	令和元年度～令和５年度（５年間）
代表機関	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産研究部門
研究開発責任者	佐々木 修
研究開発責任者 連絡先	TEL : 029-838-8654
	FAX : 029-838-8606
	E-mail : sasa1@affrc.go.jp
共同研究機関	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農業機械研究部門
	オリオン機械株式会社
	坂本牧場
普及・実用化 支援組織	

<別紙様式3>最終年度報告書

I-1. 年次計画

研究課題	研究年度					担当研究機関・研究室		研究担当者
	元	2	3	4	5	機関	研究室	
研究開発責任者						農研機構畜産研究部門	乳牛精密管理研究領域	◎池田哲也 (~2021.3.31) ◎佐々木修 (2021.4.1~)
1 搾乳ユニット自動搬送装置の機能強化と搾乳システムの高度化	○	○	○	○	○	農研機構農業機械研究部門	機械化連携推進部 無人化農作業研究領域	○天羽弘一 (~2022.3.31) ○志藤博克 (2022.4.1~2023.3.31) ○川出哲生 (2023.4.1~)
1-1 分房別の乳流検出技術の開発	○	○	○			オリオン機械 農研機構畜産研究部門	酪農事業本部酪農技術部開発G 乳牛精密管理研究領域	△町田一幸 小穴一宏 (2020.4.1~) 瀧澤裕実 原 瑛一 大澤海遊 中島啓介 (2020.4.1~) 池田義隆 (~2020.4.1) 鈴木知之 神谷裕子 及川康平 (2020.9.1~) 小林大樹 (2023.10.1~)
1-2 分房別の拍動停止技術の開発	○	○	○	○		オリオン機械	酪農事業本部酪農技術部開発G	△町田一幸 小穴一宏 (2020.4.1~) 瀧澤裕実 原 瑛一 大澤海遊 中島啓介 (2020.4.1~) 杉谷 元 (2022.4.1~) 池田義隆 (~2020.4.1)

					農研機構畜産研究 部門	乳牛精密管理研 究領域	鈴木知之 神谷裕子 及川康平 (2020.9.1~) 小林大樹 (2023.10.1~)
1-3 分房別搾乳終 了を可能とするユニッ ト保持アームの開発	○	○	○	○	農研機構農業機械 研究部門 オリオン機械	機械化連携推進 部	△志藤博克 (~2023.3.31)
						無人化農作業研 究領域	△川出哲生 西川 純
						酪農事業本部 酪農技術部開発 G	町田一幸 小穴一宏 (2020.4.1~) 瀧澤裕実 原 瑛一 大澤海遊 中島啓介 (2020.4.1~) 杉谷 元 (2022.4.1~) 池田義隆 (~2020.4.1)
					農研機構畜産研究 部門	乳牛精密管理研 究領域	鈴木知之 神谷裕子 及川康平 (2020.9.1~) 小林大樹 (2023.10.1~)
1-4 搾乳ユニット 自動搬送装置と連動し た牛個体の状態センシ ングと飼養管理ソフト ウェアとの連携技術の 開発	○	○	○	○	農研機構畜産研究 部門 農研機構農業機械 研究部門 オリオン機械	高度飼養技術研 究領域	△石田三佳 西島也寸彦 (2022.10.1~)
						無人化農作業研 究領域	川出哲生 西川 純
						機械化連携推進 部	志藤博克 (~2023.3.31)
						酪農事業本部 酪農技術部開発 G	町田一幸 小穴一宏 (2020.4.1~) 瀧澤裕実 原 瑛一 大澤海遊 中島啓介 (2020.4.1~)

								杉谷 元 (2022.4.1~) 池田義隆 (~2020.4.1)
2 機能強化された搾乳ユニット自動搬送装置の現地実証とその効果の検証	○	○	○	○	○	農研機構畜産研究部門	乳牛精密管理研究領域	○鈴木知之
2-1 乳生産量および乳質への影響評価		○	○	○	○	農研機構畜産研究部門 坂本牧場	乳牛精密管理研究領域	△鈴木知之 神谷裕子 及川康平 (2020.9.1~) 小林大樹 (2023.10.1~) 坂本覚治
2-2 作業時間と労働負荷の低減効果検証	○	○	○	○	○	農研機構畜産研究部門 農研機構農業機械研究部門 坂本牧場 オリオン機械	乳牛精密管理研究領域 高度飼養技術研究領域 無人化農作業研究領域 酪農事業本部 酪農技術部開発G	△鈴木知之 神谷裕子 及川康平 (2020.9.1~) 小林大樹 (2023.10.1~) 石田三佳 西島也寸彦 (2022.10.1~) 川出哲生 坂本覚治 町田一幸 小穴一宏 (2020.4.1~) 瀧澤裕実 原 瑛一 大澤海遊 中島啓介 (2020.4.1~) 杉谷 元 (2022.4.1~) 池田義隆 (~2020.4.1)

I-2. 研究目的

近年、国産乳製品の需要が高まるなか、1頭あたりの生乳生産量は増加しているが、農家戸数の減少や乳房炎などの疾病の影響により、総生産量は漸減から維持傾向で推移している。酪農家が減少する原因は様々あり、高齢化や後継者不足の影響が最も大きい。搾乳牛の飼養形態には、採食や起居が自由にできる牛舎と搾乳室（ミルクングパーラー）とで構成される形態と、牛を常時繋留し、牛はその場で採食、起居し、搾乳作業も行われる形態（繋ぎ飼い牛舎）に大きく二分できる。酪農家の約8割が採用している繋ぎ飼いの場合、重い搾乳ユニットを人が各牛の傍らまで運搬し、更に搾乳器具を着脱する度に屈んで作業を行う必要があり、高齢な農家にとって大きな負担となっている。一方、ミルクングパーラーでの搾乳作業は、繋ぎ飼い搾乳に比べ楽に搾乳器具の取り付け作業ができるが、大規模経営を中心に導入が進んでいる搾乳ロボットと同様、牛が自由に行動できることを前提としているため、両者とも繋ぎ飼い牛舎にはなじまず、これを導入するためには牛舎の大幅な改築か新設が必要である。また、搾乳ロボットは、軽労化が図られるだけでなく、牛の乳房を形成する4つの分房毎に乳流速等を監視しながら乳汁を無駄なく搾乳するとともに、乳質の異常等をリアルタイムに検知する機能を持つなど、高度な個体管理が可能となるため、生産性の向上にも寄与している。農研機構ではこれまで、搾乳ユニットを自動で乳牛の近傍まで搬送する装置（搾乳ユニット自動搬送装置）をオリオン機械と共同開発し、繋ぎ飼い牛舎における搾乳作業の軽労化を図ってきたが、繋ぎ飼い形態の酪農家から、より省力的で精密な栄養管理が可能な高度な搾乳システムの開発が求められている。

このため、本研究では、搾乳ユニット自動搬送装置の高度化による省力搾乳システムを開発することにより、繋ぎ牛舎飼養の酪農家における労働コストを10%削減すること、また搾乳量の5%増を目的として、以下の課題を実施する。

まず、小課題1では、搾乳時に分房別にリアルタイムで乳流量を検知することで、分房別に搾乳終了を判断して搾乳を終了させる機能と、搾乳中および搾乳終了して負圧がかかなくなった状態でもティートカップが落下しないよう保持し、全分房の搾乳終了時に一斉にティートカップが離脱する機構を付与した搾乳ユニット自動搬送装置を開発する。これにより、乳頭への負担を軽減しつつ分房毎の最適な搾乳を可能とするとともに、作業者の搾乳状況確認時間を削減する。また、乳汁や牛個体からの生体情報取得機能を搾乳システムの強化として追加し、自動給餌装置等と連動させ、個体情報を活用した飼養管理システムを構築する。これらにより繋ぎ飼い牛舎における労働コストを年間10%削減するとともに1頭あたりの搾乳量の5%増を達成する。

本研究の成果である高度搾乳システムを令和8年度までに製品化する。本技術の導入により、搾乳牛50頭の小規模経営体当たり年間250万円の収益増となり、全国の飼養頭数40～60頭規模の繋ぎ牛舎の10%に普及することで年間約4.1億円の国内酪農経営の収益向上となる。普及を促す方策として現行の搾乳ユニット自動搬送装置ユーザーだけでなく、廉価版搬送機ユニットキャリアのユーザーも導入可能なモデルも追加する。

I-3. 研究方法

(1) 搾乳ユニット自動搬送装置の機能強化と搾乳システムの高度化

搾乳ユニット自動搬送装置の搾乳システムの高度化のために、搾乳中の乳流量を分房別に検出する技術を開発する。まず、センサ位置およびセンサの傾きの条件を変えながら流量の検知性能と精度を評価し、形状を決定する。次に、分房別に搾乳を終了させるため、乳流量

が一定レベルより低下した分房からティートカップの搾乳を終了させる技術を開発する。搾乳中や分房別に搾乳が終了した後にティートカップの落下を防ぎ、搾乳ユニットを適切な高さに保持することにより、搾乳作業者の労働負担を軽減できるユニット保持アームを開発する。分房別搾乳の終了を可能とするユニット保持アームの開発では、分房別搾乳終了技術における電気伝導度数値の安定するセンサ部を金型化し、分房別搾乳終了後のティートカップを一定時間保持させる機能を装備させ、決定した保持アーム機構を実地確認試験の結果を元にアームの収納位置や左右の横幅を抑えられるよう形状や構成を検討するとともに、軽量化して搬送時走行性を向上させる。

搾乳ユニット内や自動搬送装置に設置したセンサと飼養管理ソフトウェアを連携し、センシングによる牛の状態データと牛個体情報をソフトウェアに供与することにより、高度な管理を実施できる技術を開発する。

(2) 機能強化された搾乳ユニット自動搬送装置の現地実証とその効果の検証

通常の搾乳を行う酪農家において取得可能なデータを用い、繋ぎ搾乳高度化システムの導入が乳生産および搾乳作業時間に及ぼす影響として、搾乳時のティートカップ分房別離脱が乳頭衛生に及ぼす影響、生体情報の自動取得と自動給餌機の連動が乳生産成績に及ぼす影響、繋ぎ搾乳高度化システム導入が搾乳作業時間に及ぼす影響を検証する。

実証牧場において、高度化システムによって取得できる可能性のある呼吸数、心拍数などの生体情報を取得し、その他の、ボディーコンディションスコア、体重、蹄冠スコア、飛節スコア、皮膚スコア、フケスコア、乳生産成績、牛舎内温湿度などの情報をあわせて専門家判断によって個体毎に飼料給与メニューを見直すバーンミーティングを2年間毎月実施し、高度化システム導入が乳生産成績に及ぼす影響を推定する。

I-4. 研究結果

(1) 搾乳ユニット自動搬送装置の機能強化と搾乳システムの高度化

分房別搾乳終了機能の開発のため、ティートカップ離脱時の乳流量の閾値を決定し、分房別乳流検出機能のセンサ部の金型を決定した。製作したセンサ部の性能については、現地試験で検証した。加えて、ティートカップ装着時と離脱後の真空制御機能と離脱後のティートカップ保持機能を追加した。また、牛体懸垂部の牛体フックを改善することで、搾乳時のユニット保持アームの安定と分房別搾乳終了後のティートカップの保持機能の維持を可能とした。アームの収納位置等を検討し、自動搬送時の走行性を向上させた。また、バイタルセンサを搭載した運搬車を対象牛の後方で20秒程度停止させることで、呼吸数と心拍数の計測をすることができた。これらの機能を搾乳ユニット自動搬送装置に付与することで高度化を達成した。

(2) 機能強化された搾乳ユニット自動搬送装置の現地実証とその効果の検証

分房別離脱装置を導入した農家の調査から、導入後日数の経過により乳頭端スコアが改善し、乳頭端コンディションが改善されることを確認した。実証牧場において既存の搾乳ユニット自動搬送装置で1分程度過搾乳が起こることを明らかにした。これらから、分房別搾乳終了機能の付与で過搾乳を防止することで、乳頭の状態が良くなると想定された。

バイタルセンサの情報から個体への暑熱の影響と牛のエネルギー消費量を推定する方法を開発し、飼養管理の改善に応用することを検討した。バーンミーティングで、個体ごとの状態を確認し、給与飼料の構成やサプリメント給与を調製することで、経産牛の泌乳中後期において日乳量が約8%向上した。搾乳器へのロープ掛け等の作業が不要となる、自動離脱が

利用できると仮定した場合、1頭当たりの搾乳時間が8%短縮すると推定された。開発機を2台導入し、24頭の搾乳を行うと仮定すると、搾乳時間は12%短縮されると試算された。このことからおよそ目標を達成した。

I-5. 今後の課題

先端保持部および制御部の軽量化と耐久性の改良は今後も継続する。重量目標である全体70kg以下については、さらに5kgの軽量化が必要である。ユニット先端部が定位置になるまでに複数回の操作が必要なため、操作性の向上も必要である。市場性に見合った価格帯になるように、量産時のコストを抑える検討を進める。

社会実装の戦略は、高度化搾乳システムの展開を下記で検討する。

1. 研究で得られた構造の量産化
2. 研究成果を流用した類似製品への展開の検討
 - ①手動式ユニット搬送装置（2ユニットタイプ）
 - ②手動式ユニットキャリー（1ユニットタイプ：両側対応可能構造）
 - ③簡易型パーラー（アブレストパーラー：ユニット部制御部固定構造）

社会実装に向け令和8年度を目処に量産化（特注販売含む）を目指す。そのため、オリオン機械株式会社が、量産機的设计仕様の決定と試作の実証をするとともに、市場に有望な販売プラン等を検討する。

実行課題番号	1—(1)～(3)	実行課題 研究期間	令和元～5年度
小課題名	1 搾乳ユニット自動搬送装置の機能強化と搾乳システムの高度化		
実行課題名	(3) 分房別搾乳終了を可能とするユニット保持アームの開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構農業機械研究部門・無人化農作業研究領域・川出哲生		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構農業機械研究部門・無人化農作業研究領域・川出哲生		

Ⅱ. 小課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

搾乳ユニットについて分房別乳流検出機能のセンサ内蔵形状は量産仕様とし、金型化する。分房別搾乳終了後のティートカップ保持機能について量産機を見据えた構造で決定する。ユニット保持アームについて牛舎内走行に支障ない形状、構成を決定し軽量化を考慮して量産化に近づける。さらに搾乳作業における付加機能の追加を検討し具体化する。

2) 研究方法

- ① 乳流検出技術の開発では、センサ位置およびセンサの傾きの条件を変えながら流量の検知性能と精度を評価し、最終形状を決定する。
- ② 分房別搾乳終了技術の開発では、1) 分房別搾乳終了後のティートカップ保持機能の構造の決定、2) 専用の制御装置基板における乳流検出の精度の検証を実施する。
- ③ 分房別搾乳終了を可能とするユニット保持アームの開発では、1) 分房別搾乳終了技術のための電気伝導度が安定するセンサ部の形状の決定と金型化、2) 分房別搾乳終了後にティートカップを一定時間保持させる機能の形状の検討、3) 保持アーム機構のアームの収納位置ならびに横幅を抑えられる形状と構成の検討を行うとともに、実地試験により性能について確認する。加えて、装置自体の軽量化を行い、搬送時の走行性を向上させる。

3) 研究結果

乳流の電気伝導度のセンサの傾きを変動させても影響なく乳流量を2段階（0ml/min、200ml/min以下）に識別できた。さらにセンサに内蔵可能なゴム部品（センサ用カバー）の形状を決定し金型化した（図1）。金型で製作したセンサ部の性能を、農研機構の供試牛（牛番5205：乳量12.8kg/搾乳時間：4分24秒）で確認した。この試験で、左後、左前、右前、右後の順で搾乳が終了した。A/D値データ（図2）から最初に離脱した左後乳房では、約2分の過搾乳を防止した。今回の結果より、開発した分房別搾乳機能を付与することで、乳房ごとの乳流量の変化に合わせて乳量の検知ができ、適切なタイミングで搾乳を終了することができる。

ユニット保持アーム機構に、左右同時搾乳時に揺れ等を伝達しないようにフレームベースに緩衝機構を設けた（図3）。この緩衝機構を設置することで、ユニット保持アームを

水平に保つことを可能とし、搾乳中の牛の急激な動きによる振動を反対側のアームに伝達することを軽減する。また、走行時の左右の横幅寸法を抑える効果もあり、走行性の向上が認められた。アーム機構に昇降機構を追加し、体高差（最大200mm）や配管高低差（最大400mm）に対応した。

耐久性向上と軽量化のために、全体の板金部品を角パイプに変更した。総重量は、75kgであるが、基本の搾乳性および走行性については確保できた。

4) 成果活用における留意点

1頭当たりの乳量の5%向上と労働コスト10%削減できる仕様を決定し、現場への導入効果を明確にする必要がある。

5) 今後の課題

先端保持部の構造、制御部の軽量化と耐久性の向上のため、試作機の改良を継続する。ユニット先端部が定位置になるまで複数回の操作が必要となり、操作性の向上を検討する必要がある。目標の重量を70kg以下としたが、現在、75kg（+7%）であり、改善を継続する。あわせて、市場性に見合った価格帯となるように量産時のコストを抑える方策を検討する。

本事業の成果の出口戦略は、成果である試作機および特許を基本として、下記の展開を検討する。

1. 研究で得られた構造の量産化
2. 研究成果を流用した類似製品への展開の検討
 - ①手動式ユニット搬送装置（2ユニットタイプ）
 - ②手動式ユニットキャリー（1ユニットタイプ：両側対応可能構造）
 - ③簡易型パーラー（アブレストパーラー：ユニット部制御部固定構造）

社会実装に向け令和8年度を目処に量産化（特注販売含む）を目指す。そのため、オリオン機械株式会社が、量産機的设计仕様の決定と試作の実証をするとともに、市場に有望な販売プラン等を検討する。

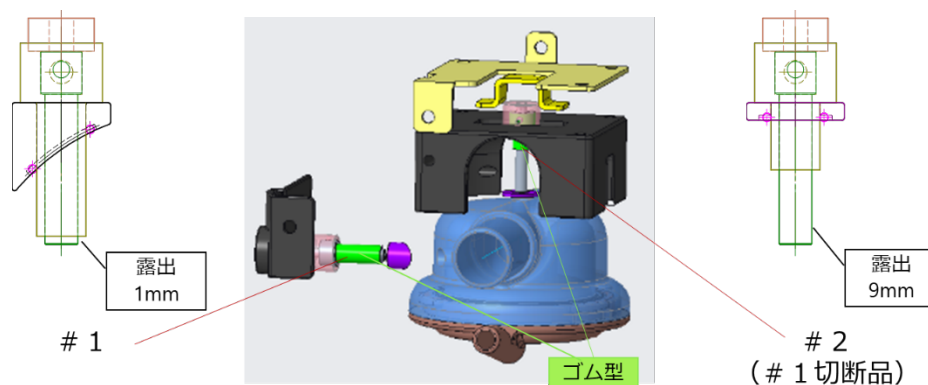


図1 ゴム型成型部品詳細図

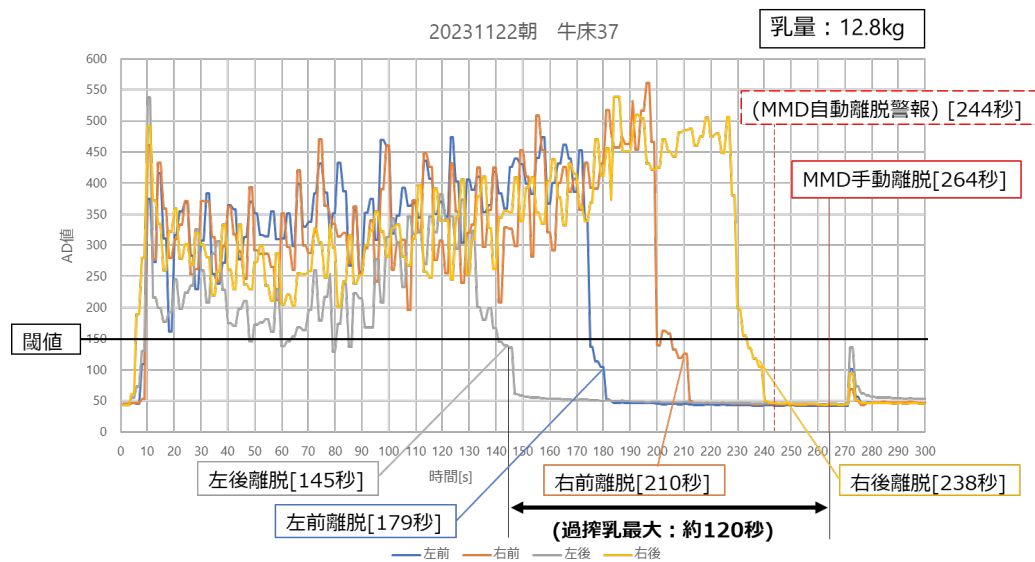


図2 実地試験（牛番5205） A/D値データ

MMD：Milk Meter Detacher 乳量計付き離脱装置

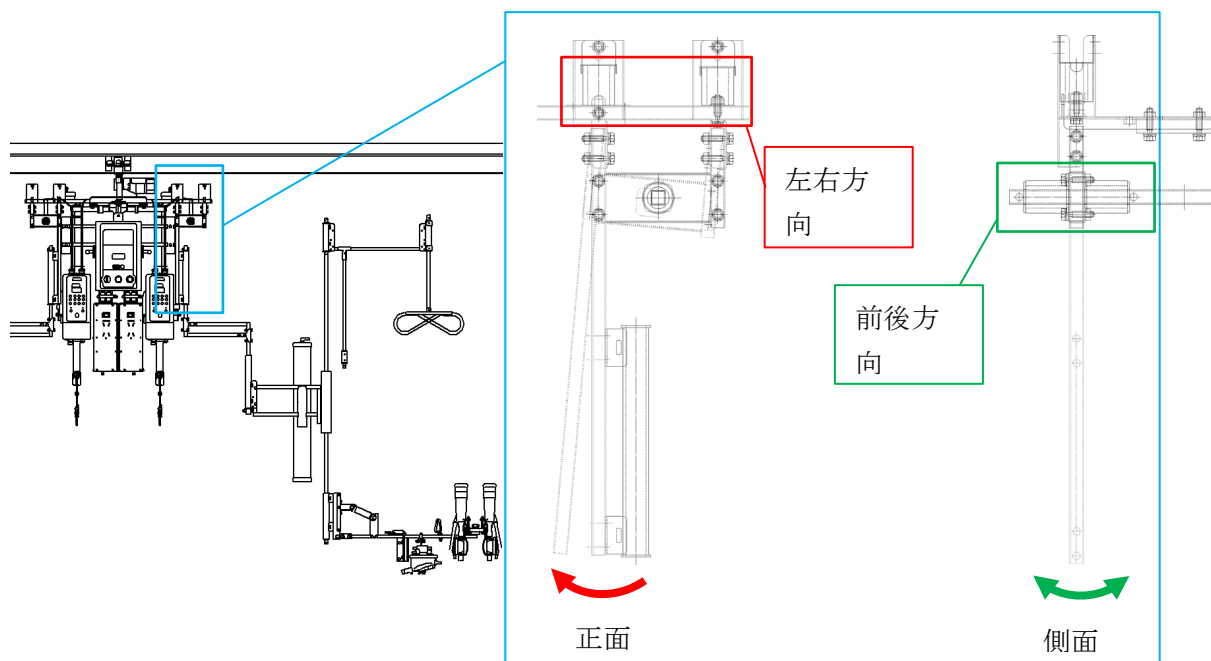


図3 フレームベース緩衝機構

実行課題番号	1—(4)	実行課題 研究期間	令和元年～5年度
小課題名	1 搾乳ユニット自動搬送装置の機能強化と搾乳システムの高度化		
実行課題名	(4) 搾乳ユニット自動搬送装置と連動した牛個体の状態センシングと飼養管理ソフトウェアとの連携技術の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構農業機械研究部門・無人化農作業研究領域・川出哲生		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構畜産研究部門・高度飼養技術研究領域・石田三佳		

Ⅱ. 実施課題の研究目的等

1) 研究目的

搾乳ユニット自動搬送装置の機能強化と搾乳システムの高度化のため、乳汁や牛個体からの生体情報取得機能を搾乳ユニット自動搬送装置もしくは自動給餌装置等に付加し、生体情報を活用した飼養管理システムの構築を目的とする。

2) 研究方法

牛個体の呼吸数と心拍数の非接触バイタルセンサとしてAD-SL100 (SILレーダーシステム、Hexagram社製、2.4GHz帯、極超短波、センサ単体で約30万円、以下、供試バイタルセンサ1と呼ぶ) およびIWR6843LEVM (テキサスインスツルメンツ社製、60GHz帯、ミリ波、センサ単体で約3万円、以下、供試バイタルセンサ2と呼ぶ) の2つを利用して生体情報の計測を行った。畜舎環境計測装置にはU-CHF-IR02 (赤外放射計、クリマテック社取扱品 (上下計測のため2台) を選定した。各センサはPCもしくはデータロガーと接続し計測した。計測センサは、a) 搾乳ユニットに搭載、b) 運搬車に搭載、c) 畜舎内に設置のいずれかの使用を想定した。同時に、センサから得られた情報を飼養管理ソフトウェアと連携させる方法について検討した。センサの測定性能の検討は、農研機構畜産研究部門および実証農場 (坂本牧場) において実施した。

3) 研究結果

(1) バイタルセンサによる呼吸数・心拍数の推定

供試バイタルセンサ1は、牛の乳房にアンテナを向けて電波を照射し、反射波との差を計測することで呼吸数および心拍数を算出する仕様である。供試バイタルセンサ2は、基本仕様は供試バイタルセンサ1と同じであり、供試バイタルセンサ1よりも使用周波数が高いため電波照射対象が広範囲となる特長をもち、牛の後方より牛体に向けて電波を照射することで計測が可能である (図1)。両センサともに記録用PCが必要である。

農研機構畜産研究門 (つくば) の搾乳パーラーで、搾乳中に供試バイタルセンサ1で電波を乳頭付近に照射して計測したところ、55回/分前後の拍動が得られた。目視での呼吸数が30回/分前後であったことから、センサの計測値は搾乳装置の拍動回数 (55回/分前後) を計測していると考えられた。電波照射位置を乳頭付近から乳房上部にしたところ、呼吸

数に近い値が計測された。同畜産研究部門（那須）で供試バイタルセンサ1を試作搾乳ユニットに取り付けて計測したところ、同様に55回/分前後の拍動が得られた（図2）。搾乳中に安定的に乳房上部を照射することが難しいことに加えて、搾乳装置に指向性のあるセンサを設置すること、搾乳装置の搾乳ユニットの洗浄時にセンサおよびケーブル類を取り外す必要があることから、供試バイタルセンサ1の利用が現実的ではないと考えられた。

実証農場において、供試バイタルセンサ2を運搬車に搭載し間欠走行（速度0.3m/sで走行し、牛後方にて20秒間停止）により拍動の計測を行った（図3）。供試バイタルセンサ2は10秒間の拍動の平均値を出力するため、計測対象牛が横臥している場合やストールに不在の場合には、極端に低い値や計測無し（N/A）になる。そのため、間欠走行で計測することで横臥や不在等が明確になり、データ処理として削除することを可能とした。

（2）畜舎内における暑熱環境計測

農研機構畜産研究部門（つくば）において、畜舎環境計測装置の性能を検証した。夏期の畜舎内での赤外放射値（W/m²）の日内変動は図4の通りであり、日中は上向きの方が高く計測され、夜間は同程度になる。通常、夏期の屋外における赤外放射値（空間温度25℃、地温40℃、天空の温度0℃）は、上向き545 W/m²、下向き316 W/m²である。6月の舎内での赤外放射値の最大値は、上向き460 W/m²、下向き440 W/m²であったが、8月の上向きの最大値は、2020年（雰囲気温度33℃）で510 W/m²、2021年（雰囲気温度32℃）で490 W/m²であった。下向きは、どちらの年も480 W/m²であった。一方、夜間については、2020年は460 W/m²（雰囲気温度25℃以上）で、2021年は440～450 W/m²であった。このことから、2020年は、舎内に熱がこもっていることが推察された。赤外放射計で舎内を計測することは、畜舎の暑熱環境を間接的に把握でき搾乳システムの機能強化の一つとして考えられたが、畜舎内暑熱対策システムとの連携、どのような畜舎レイアウトによっても観測可能なセンサの設置方法等、いくつかの追加の課題を解決する必要があると認められた。

（1）の結果から、搾乳システムの機能強化には、現時点では、実用化の面から供試バイタルセンサ2を運搬車に搭載することとし、畜舎環境計測装置については今後の課題とした。バイタルセンサで計測されたデータは、飼養管理ソフトウェアで利用可能な形式で出力し、ネットワーク等を介して飼養管理ソフトウェアが稼働するPCに受け渡しすることを想定している。

4）成果活用における留意点

現状ではセンサデータの共有は閉じたネットワーク内で行う想定であるため、外部ネットワークを使用する場合は、セキュリティに留意する必要がある。供試バイタルセンサの仕様の変更には留意する必要がある。飼養管理ソフトウェアに受け渡すデータの利用については、市販化に向けて詳細な検討を行う。

5）今後の課題

バイタルセンサの高性能化や、センサ単独での稼働（PCレス）、ワイヤレス化、クラウド等の外部ネットワークの利用などが想定され、将来を見据えた設計の変更が必要である。また、飼養管理ソフトウェア上のバイタルセンサ等の外部データの処理については、今後、検討を実施する。

学会発表

- 1) 西島也寸彦、石田三佳、藤田睦、鈴木知之、神谷裕子、及川康平、実証農場における環境および牛生体情報計測事例（2023）農業環境工学関連学会 2023 年合同大会要旨集。

- 2) 石田三佳、中久保亮、西島也寸彦、胃内温度センサとサーモカメラによる乳牛の体温推定 (2023) 農業環境工学関連学会 2023 年合同大会要旨集.

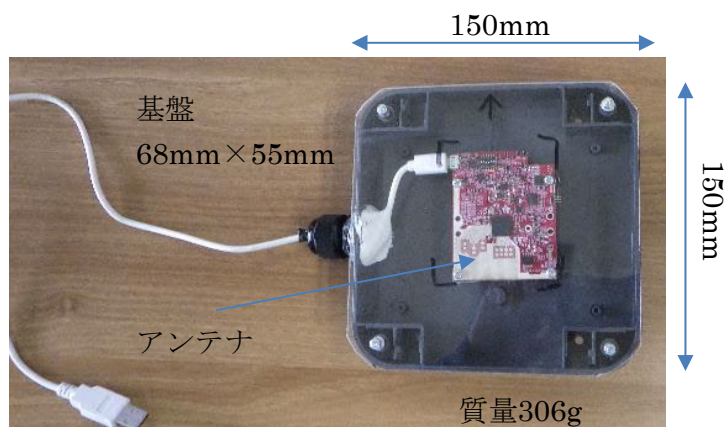


図 1. 供試バイタルセンサ 2 の概要 (IWR6843LEVM)

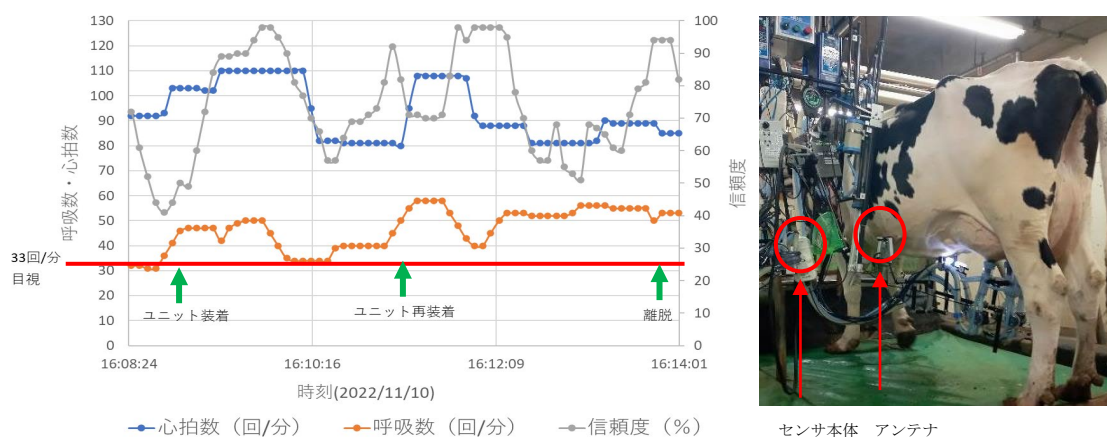


図 2. 試作搾乳ユニットに供試バイタルセンサ 1 (AD-SL100) を取り付けてのデータ取得 (2022/11/10 夕搾乳 (畜産研究部門))

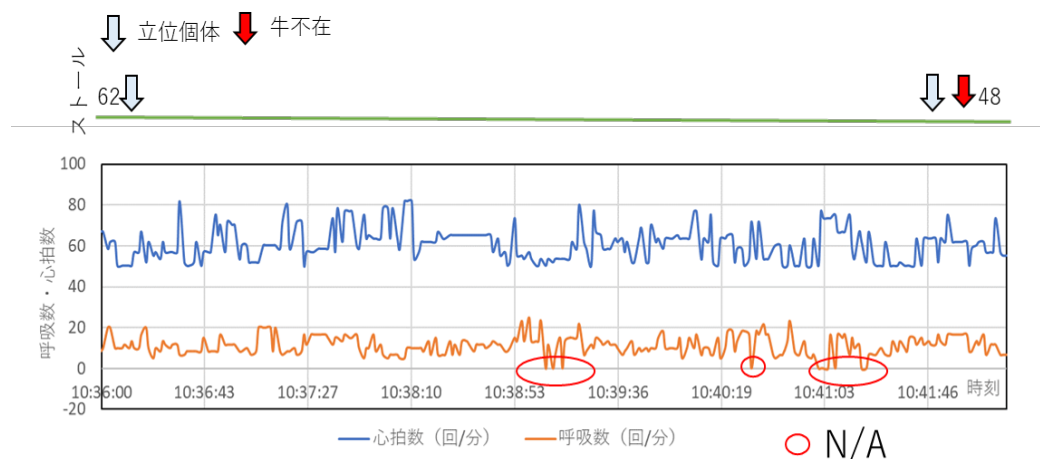


図 3. 供試バイタルセンサ 2 を搭載した運搬車を間欠走行 (推定速度0.3m/s、対象牛の後方に

て20秒間停止)した時の計測結果(2023/11/22)

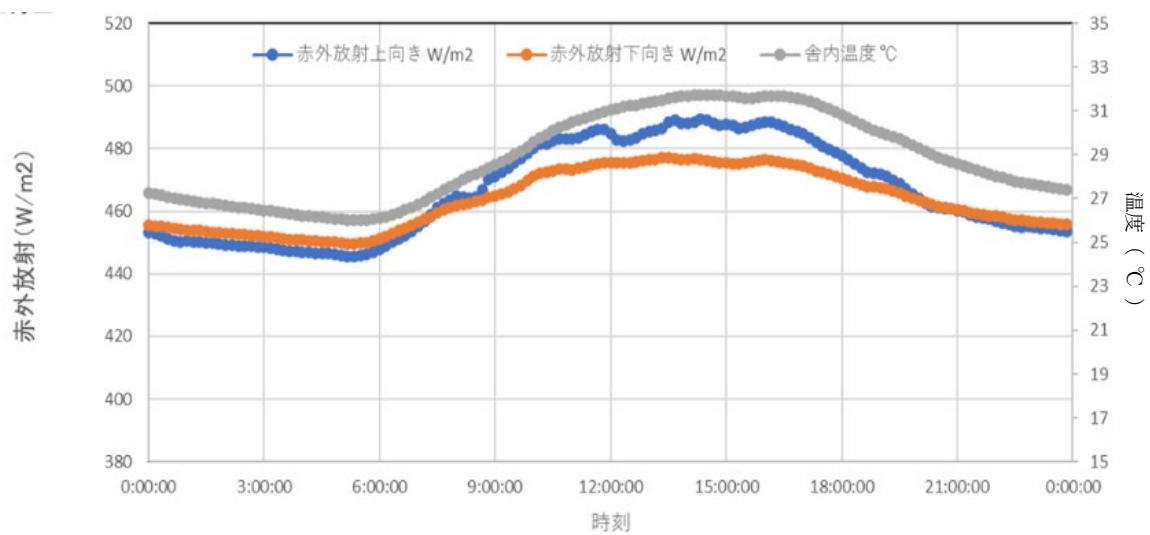


図4. 2021年畜舎内赤外放射値および温度の推移(8月上旬の平均値、農研機構畜産研究部門)

小課題番号	2	小課題 研究期間	令和元年～5年度
小課題名	2 機能強化された搾乳ユニット自動搬送装置の現地実証とその効果の検証		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構畜産研究部門・乳牛精密管理研究領域・鈴木知之名		

II. 小課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

小課題1で開発される高度化された搾乳ユニット自動搬送装置および自動搬送装置と連動した牛個体状態センシングと連携した飼養管理ソフトウェアの実証試験を実施し、実際の酪農現場における長期間の運用が乳生産成績等に及ぼす影響を明らかにする。

2) 研究方法

通常の繋ぎ搾乳を行う酪農家において取得可能なデータを用い、繋ぎ搾乳高度化システム導入が乳生産および搾乳作業時間に及ぼす影響を明らかにするため、以下の項目を検証した。

1. 搾乳時のティートカップ分房別離脱が乳頭衛生に及ぼす影響
2. 生体情報の自動取得と自動給餌機の連動が乳生産成績に及ぼす影響
3. 繋ぎ搾乳高度化システム導入が搾乳作業時間に及ぼす影響

3) 研究結果

1. 搾乳時のティートカップ分房別離脱が乳頭衛生に及ぼす影響

繋ぎ牛舎向け搾乳ロボット導入農家での調査結果をとりまとめ、分房別離脱が乳頭の健全性および乳生産成績に及ぼす影響を評価した。調査農家（ロボット導入前搾乳牛85頭、牛床数92、平均乳量33.6kg/日、乳脂率4.10%、乳タンパク質率3.50%、SNF9.01%）は、2019年9月にカナダMilkoMax社製繋ぎ牛舎向け搾乳ロボットROBOMAXを導入した。調査者は導入前から導入後約5ヵ月までの乳生産成績、乳頭コンディションを調査した。調査農家では、導入前のパイプライン搾乳および導入後のロボット搾乳ともに1日2回搾乳を実施しており、搾乳間隔も等しい。搾乳ロボットは分房別にティートカップが離脱するのに対して、パイプライン搾乳は一斉離脱であることから、本プロジェクトの目的の一つである分房別ティートカップ離脱の効果の検証の対象となった。ロボット搾乳開始前から開始後複数回の乳頭端スコア評価（1良いー4要改善）結果を持つ50頭の乳牛の測定結果を用い、乳頭端スコアを従属変数、分娩後日数、産次、ロボット搾乳開始後日数、乳頭位置（右前、左前、右後ろ、左後ろ）を独立変数、乳牛個体を変量とする線形混合効果モデルを作成したところ、表1のようなモデルが得られた。

モデルではロボット搾乳開始後日数で有意な負の係数が得られ、ロボット搾乳日数経過にともない乳頭端スコア値が低下、すなわち乳頭コンディションが改善されることが示された。

2. 生体情報の自動取得と自動給餌機の連動が乳生産成績に及ぼす影響

搾乳高度化システム導入が乳生産成績に及ぼす影響を予測するため、高度化システムに

よって取得できる可能性のある生体情報を取りまとめ、専門家の参加する実証牧場のバーンミーティングにおいて、それら生体情報の測定値を基に個体毎の飼料給与メニューを見直すことが、乳量等に与える影響を調査した。バーンミーティングは、2年間毎月実施した。測定項目はボディーコンディションスコア、呼吸数（目視による測定）、心拍数（心拍計）、直腸温、体重（胸囲測定値からの推定値）、蹄冠スコア（1良好－5要改善）、飛節スコア（1良好－5要改善）、皮膚スコア（0柔軟－3硬化）、フケスコア（0フケ無し－5フケ多い）、乳生産成績、牛舎内温湿度であった。

バーンミーティング実施前2年間、およびバーンミーティング実施中の2年間の牛群検定成績から、個体番号、産次、分娩後日数、乳期、日乳量の情報を得た。このデータを用いて日乳量について要因解析を行った。その結果、経産牛の泌乳中後期グループ（牛群の4割を占める）では、バーンミーティングを実施することで日乳量は有意に高くなり、バーンミーティングの実施なしと比較して約8%高くなった。

現在のところ、小課題1ではセンサにより呼吸数および心拍数の情報を取得することが想定されているが、呼吸数や心拍数を含むデータを用い多変量解析を行うことにより、乳生産に関連する項目の推定式を得た。搾乳高度化システムで想定されるセンサからの生体情報や環境情報の取得により乳牛個体毎の生理・栄養状態を把握できる可能性があり、このような情報とバーンミーティングでの専門家の判断を照らし合わせることで、個体別の飼料給与メニュー自動調整に繋げることができると考えられる。これによりバーンミーティングと同様の効果を間接的に得ることができれば日乳量の増加が期待される。

3. 繋ぎ搾乳高度化システム導入が搾乳作業時間に及ぼす影響

小課題1で開発される搾乳高度化システム導入前のデータとして、通常のパイプライン搾乳を行う繋ぎ搾乳農家において、搾乳作業量の調査を行い、前搾り、乳頭清拭、ディッピング、搾乳器装着等の作業種別の作業時間を調査した。このデータを用いて、搾乳高度化システムによって作業の一部が省力化された際の搾乳作業時間を試算した。

その結果、搾乳時間は1頭当たり、手動離脱で搾乳器へのローブ掛けを行っている酪農家では500秒と試算された。搾乳高度化システムの導入により、ローブ掛けが無くなり、自動離脱が利用できるとした場合、1頭当たりの搾乳に要する時間は8%短縮することが試算された。搾乳高度化システムの搾乳ユニット自動搬送装置2台を使用し、24頭の搾乳を行うと仮定すると、搾乳時間は12%短縮されると試算された。

4) 成果活用における留意点

開発される搾乳高度化システムにより、乳頭衛生が改善すること、泌乳中後期の経産牛で乳生産量が増加すること、酪農家によっては搾乳作業時間が短縮することが試算されたが、搾乳高度化システムを想定した評価であることに留意する必要がある。

5) 今後の課題

長期運用が可能な搾乳高度化システムが実証可能となった際には、今回想定した効果の実機での評価が必要である。

学会発表・論文発表

Tomoyuki Suzuki, Takashi Saito, Yuki Osawa, Koji Kemmei, Yu Uchiyama, Daisuke Kawauchi, Mitsuyoshi Ishida (2022) Effect of transition to an automated milking system for a tie-stall barn on milk production and cow condition. Animal Science Journal, 93, e13686.

鈴木知之，小穴一宏，町田一幸，神谷裕子，及川康平，石田三佳（2021）搾乳ロボットにおけるティートカップ離脱条件と乳生産成績および乳頭端コンディションとの関係．第129回日本畜産学会大会講演要旨．

鈴木知之，川出哲生，齊藤達夫，吉澤悠志，渡辺恵一，石田三佳，西島也寸彦，及川康平，西川純，神谷裕子（2023）泌乳牛における生体情報と乳生産成績および栄養生理状態の関係．日本畜産学会第131会大会講演要旨

表 1 乳頭端スコアの線形混合モデル解析結果

変数	係数	SE	<i>p</i> 値
分娩後日数, 日	-0.0005	0.00045	0.240
産次	0.08	0.092	0.367
ロボット搾乳開始後日数, 日	-0.0033	0.00078	<0.001
乳頭位置			
右前	0.22	0.078	0.005
左前	0.16	0.078	0.038
右後	-0.04	0.079	0.639
左後	Reference	-	-
切片	2.05	0.202	<0.001
RMSE	0.0318	-	-

Ⅲ 研究成果一覧【公表可】

個別課題番号 19190892
課題名 繋ぎ牛舎でも利用できる高度な搾乳システムの開発

成果等の集計数

課題 番号	学術論文		学会等発表(口頭 またはポスター)		出版 図書	国内特許権等		国際特許権等		PCT	報道件 数	普及しうる 成果	発表会 の主催 (シンポ ジウム・ セミナー	アウト リーチ活 動
	和文	欧文	国内	国際		出願	取得	出願	取得					
19190892	0	1	4	0	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0

(1)学術論文
区分:①原著論文、②その他論文

整理番 号	区分	タイトル	著者	機関名	掲載誌	掲載論文のDOI	発行 年	発行 月	巻 (号)	掲載 ページ
1	①	Effect of transition to an automated milking system for a tie-stall barn on milk production and cow condition	T. Suzukiら	農研機構、根室農業改良普及センター、バイオマスソリューションズ、ピュアライン、JA道東あさひ	Animal Science Journal	https://doi.org/10.1111/asj.13686	2022	12		e13686

(2)学会等発表(口頭またはポスター)

整理番 号	タイトル	発表者名	機関名	学会等名	発行 年	発行月
1	搾乳ロボットにおけるティートカップ離脱条件と乳生産成績および乳頭端スコアとの関係	鈴木知之, 小穴一宏, 町田一幸, 神谷裕子, 及川康平, 石田三佳	農研機構、オリオン機械	日本畜産学会第 129回大会	2021	9
2	泌乳牛における生体情報と乳生産成績および栄養生理状態の関係	鈴木知之, 川出哲生, 齊藤達夫, 吉澤悠志, 渡辺恵一, 石田三佳, 西島也寸彦, 及川康平, 西川純, 神谷裕子	農研機構、全酪連、酪農とちぎ	日本畜産学会第131会大会	2023	9

3	実証農場における環境および牛生体情報計測事	西島也寸彦(農研機構畜産研究部門)、石田三佳(農研機構畜産研究部門)、藤田睦(農研機構農村工学研究部門)、鈴木知之(農研機構畜産研究部門)、神谷裕子(農研機構畜産研究部門)、及川康平(農研機構畜産研究部門)	農研機構畜産部門	農業環境工学関連学会2023年合同大会	2023	9
4	胃内温度センサとサーモカメラによる乳牛の体温推定	石田三佳(農研機構畜産研究部門)、中久保亮(農研機構畜産研究部門)、西島也寸彦(農研機構畜産研究部門)	農研機構畜産部門	農業環境工学関連学会2023年合同大会	2023	9

(3) 出版図書

区分: ①出版著書、②雑誌(学術論文に記載したものを除く、重複記載をしない。)、③年報、④広報誌、⑤その他

整理番号	区分	著書名(タイトル)	著者名	機関名	出版社	発行年	発行月
1	②	機械化農業(主要機種最近の開発改良動向)	西島也寸彦	農研機構畜産研究部門	新農林社	2024	6
1	②	畜産コンサルタント(搾乳ユニット自動搬送装置の活用で労働力軽減(キャリロボ))	町田一幸	オリオン機械	中央畜産会	2023	12

(4) 国内特許権等

区分: ①育成者権、②特許権、③実用新案権、④意匠権、⑤回路配置利用権

整理番号	区分	特許権等の名称	発明者	権利者(出願人等)	機関名	出願番号	出願年月日	取得年月日
1	②	搾乳システム	原瑛一、町田一幸、石田三佳、鈴木知之、神谷裕子、及川康平	オリオン機械株式会社 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構		2023-075699	2023/5/1	
2	②	搾乳システム	原瑛一、杉谷元、町田一幸、石田三佳、鈴木知之、神谷裕子、及川康平	オリオン機械株式会社 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構		2023-075700	同上	
3	②	搾乳システムのティートカップセッティング装置	中島啓介、町田一幸、石田三佳、鈴木知之、神谷裕子、及川康平	オリオン機械株式会社 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構		2023-075701	同上	
4	②	搾乳システムのティートカップセッティング装置	中島啓介、町田一幸、石田三佳、鈴木知之、神谷裕子、及川康平	オリオン機械株式会社 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構		2023-075702	同上	
5	②	搾乳システム(整理番号1の国内優先権出願)	原瑛一、町田一幸、石田三佳、鈴木知之、神谷裕子、及川康平	オリオン機械株式会社 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構		2024-027909	2024/2/27	
6	②	搾乳システムのティートカップセッティング装置(整理番号3の国内優先権出願)	中島啓介、町田一幸、石田三佳、鈴木知之、神谷裕子、及川康平	オリオン機械株式会社 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構		2024-027910	同上	
7	②	繫留牛の管理方法及び管理システム	石田三佳、西島也寸彦、鈴木知之、神谷裕子、及川康平、原瑛一、中島啓介、町田一幸	オリオン機械株式会社 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構		2024-064497	2024/4/12	

(5) 国際特許権等

区分: ①育成者権、②特許権、③実用新案権、④意匠権、⑤回路配置利用権

整理番号	区分	特許権等の名称	発明者	権利者(出願人等)	機関名	出願番号	出願年月日	取得年月日	出願国
1		該当無し							

(6)報道等

区分:①プレスリリース、②新聞記事、③テレビ放映、④その他

整理番号	区分	記事等の名称	機関名	掲載紙・放送社名等	掲載年月日	備考
1		該当無し				

(7)普及に移しうる成果

区分:①普及に移されたもの・製品化して普及できるもの、②普及のめどがたったもの、製品化して普及のめどがたったもの、③主要成果として外部評価を受けたもの(複数選択可)。

整理番号	区分	成果の名称	機関名	普及(製品化)年月		主な利用場面	普及状況
1		該当無し					

(8)発表会の主催(シンポジウム・セミナー等)の状況

整理番号	発表会の名称	機関名	開催場所	年月日	参加者数	備 考
1	該当無し					

(9)アウトリーチ活動の状況

区分:①一般市民向けのシンポジウム・講演会及び公開講座・サイエンスカフェ等、②展示会及びフェアへの出展・大学及び研究所等の一般公開への参画、③その他(子供向け出前授業、民間企業への訪問による情報提供等)

整理番号	区分	アウトリーチ活動	機関名	開催場所	年月日	参加者数	主な参加者	備 考
1		該当無し						