

# 大型動物の助産支援を目的とした免荷型アシストスーツの開発

三木 英資・横田 雅司<sup>1)</sup>\*

岡山理科大学大学院理工学研究科修士課程システム科学専攻

1)岡山理科大学情報理工学部情報理工学科

(2024年10月31日受付、2024年12月4日受理)

## 1. 緒言

我が国は超高齢社会を迎えており、今後も高齢者の増加、人口の減少が促進され、2070年には高齢者の割合は38.7%、総人口9,000万人を下回ると予想される。産業分野において、労働者の高齢化および若年層の減少による労働力不足が深刻な問題になっている。同様に酪農業でも高齢化が進んでおり、図1に酪農家の年代別の割合を示しており、60歳以上の割合は50.4%となっている。酪農産業を担う者の割合の半数にあたる数を高齢者が占めている<sup>1)</sup>。

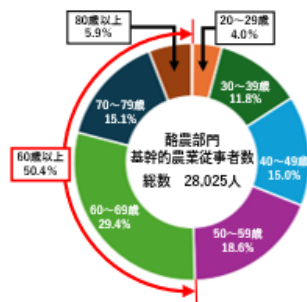


図1 酪農部門の年代別基幹的農業従事者数

酪農家だけでなく酪農牛にも課題がある。現在の乳牛はホルスタイン種という種類が約99%を占めており、この種類は品種改良により、質の良い牛乳を多く出せるようになった。しかし、そのデメリットとして難産の確率が上昇し、自然分娩ができなくなりつつある。そのため、酪農家、獣医師の出産の立ち合いや分娩介助の回数も増加している。

酪農作業は、牛舎の掃除や搾乳、運搬など中腰姿勢での仕事、立ち仕事や力仕事が多く、身体への負担が大きい。酪農作業において牛の助産は特に身体負担の大きい作業だ。助産は母牛の膣から体重40kgの子牛を引っ張り出すことを長時間かけて行う作業であり、酪農家の身体に負担を強いることが想像できる。子牛を引くための助産支援器具はあるが、人力に頼る器具や機械式の器具が主流である。また、逆子や前足が曲がった状態の子牛もいるため、酪農家や助産師が母牛

の膣に手をいれ、産道を広げたり、子牛の位置を調整しながら出産を行う。子牛と母牛の安全を確保しながら作業を行うため、心身ともに負担が大きい。

現在、上記で述べたような助産支援器具が開発されているが、電動式のものではなく、機械式もしくは人力に頼るような器具が主流である。現在の助産器具の例として、カーフセイバーと助産チェーンが挙げられる。カーフセイバーは図2に示すように、さすまたにジャッキがついた器具であり、さすまた部分を牛の臀部に押し付け、子牛の前足に掛けた紐をラチェット機構によりレバーを上下させることで引くことができる。助産チェーンは図3のようにチェーンにハンドルのついた器具である。カーフセイバーと同様に子牛の前足にチェーンをかけ、ハンドルを引くことで助産を行う。



図2 カーフセイバー



図3 助産チェーン

近年、多くの業界においてアシストスーツが注目されている。農林水産省はスマート農業の一環として社会実装に向けて取り組みを進めており、活用も進んでいる。それに伴い多くの研究機関でアシストスーツの開発、研究もされている<sup>2)~8)</sup>。提案される装置の多くは装着型であり、着脱や装置重量による身体負担など、いくつかの課題が見つかっている。

本研究では、酪農作業の1つである牛の助産作業に着目し、助産による身体負担を軽減する助産器具付き免荷型アシストスーツを開発し、助産を想定した検証実験を通して本アシストスーツの有用性とウィンチの性能を定量的に評価する。

## 2. 装置の概要

### 2-1 開発した装置の概要

本研究で開発したアシストスーツを図4に示す。このアシストスーツは酪農家、助産師たちが行なう酪農牛の分娩介助を行う際に、身体補助をする機器である。本スーツは両足の外側に支援を行なうための足があり、左右の足は腰部のパーツにより一体となっている。腰部のパーツにはウィンチシステムがついており、腰部左右にウィンチと補助用のカーブセイバー、腰部後方にウィンチ駆動用の回路とバッテリーが装着されている。特徴として腰の左右に助産器具としてウィンチが取り付けられていることとスーツ重量を免荷していることが挙げられる。ウィンチは助産中に40kgの子牛を母牛の膣内から引き出す役割を担い、酪農家、助産師の役割を肩代わりすることで装着者の身体負担を軽減する目的として取り付けられている。また、助産は5~6時間の長時間の作業であり、その身体負担軽減を目的としたアシストスーツは装着者に対して装置重量が負担とならないように免荷型を採用している。この二つを踏まえて、設計、製作を行なった。

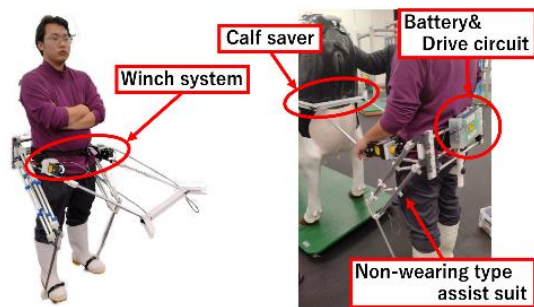


図4 助産器具付き免荷型アシストスーツ

アシストスーツのみの外観を図5に示す。本スーツは高さ約1050[mm]、幅約580[mm]、装置重量約4.5[kg]である。図6に示す岡山理科大学の横田が開発したパッシブ型アシスト装置を参考に設計、製作をしている<sup>9)~10)</sup>。体との拘束位置は2カ所で、下端部は靴側部にて揺動可能な状態で、上端部では腰部パーツに取り付けたベルトと股下からのベルトをまくことで固定できる。アシストスーツの脚は腰部パーツとの接続部はスイングドアのようにしており、足回りの自由度を確保している。体の腰部から大腿部にかけての足の外側にある平行リンクの上部リンクと下部リンクが引きば

ねで繋がっており、装着者がしゃがむことでばねが伸張し支援力が発生する。アシストスーツの膝関節の角度が90度の時、およそ100[N]の上向きの支援力が働く。支援位置は臀部にある。

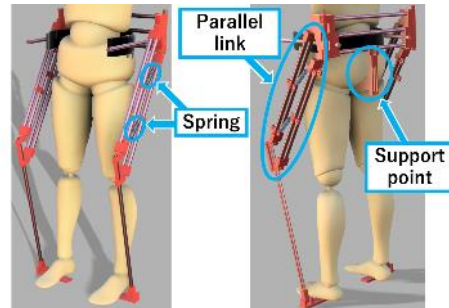


図5 免荷型アシストスーツ

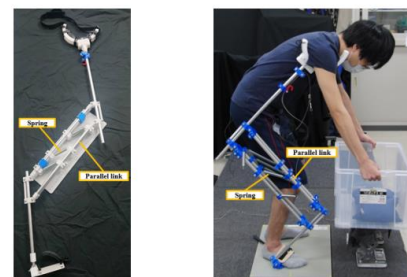


図6 パッシブ型アシスト装置

### 2-2 ウィンチシステム

助産補助のため、開発したウィンチを図7に示す。本装置の全長は約180[mm]、重量はおよそ1[kg]である。ウィンチはモータに遊星歯車機構と傘歯車に取り付けている。モータに取り付けたパーツはポリアセタール樹脂を加工して製作している。傘歯車とプーリは連動しており、プーリでワイヤーを巻き取ることで子牛を引き出す役割を肩代わりできる。ウィンチは市販のもの購入も考えたが、次のことを考慮し、製作した。

一つ目がウィンチの小型化である。市販の電動ウィンチは小さいもので全長約300[mm]、重量約5[kg]であり、腰の左右に着けるには大きく、さらに定格電流も適切なものがない。今回製作したウィンチは市販のものと比較し、長さ2/3以下、重量1/5となる。

二つ目が必要な牽引力の確保である。今回必要とされる牽引力は子牛の体重40[kg]に安全率1.5を掛けた値60[kg]で、最大出力時に600[N]の牽引力ができるように設計、製作した。牽引力向上のために遊星歯車機構、回転軸の向きを変更するために傘歯車を採用している。

三つ目は助産における安全の確保である。牛の出産において、子牛は母牛の膣内で詰まる、ねじれている場合もあり、スムーズに出ないこともある。このような状況において、ウィンチには急激な力が加わっても

安全な助産を行うためにバックドライブ性が必要となる。初めはウォームギアを使い、牽引力を向上しようと考えた。しかし、バックドライブを可能にするために遊星歯車機構、傘歯車を用いるウィンチを製作した。

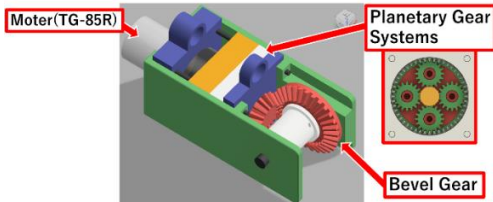


図7 ウィンチ

2-3 ウィンチの回路と制御

開発したウィンチシステムのシステム図を図8に示す。システムは制御のためのマイコンとしてESP32、駆動用モータドライバ、フィードバック用の電流センサ、回路とウィンチ駆動用のバッテリーからなる。今回は助産用のウィンチとして開発しており、単純な巻き取り動作だけでなく安全を考慮した制御を行うために電流センサを取り付けている。

助産作業中、出力部であるウィンチに負荷がかかることで電流量が増加、平常時の電流量と比較、変化量をもとに出力の調整を行う

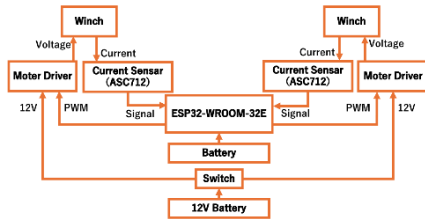


図8 ウィンチシステムのシステム図

3. 検証実験

3-1 検証実験の方法

開発したアシストスーツの支援効果を検証するために検証実験を行った。本アシストスーツは助産における動作を対象にしており、今回は屈伸運動と中腰姿勢の維持の2種類の運動を助産における動作として考えた。検証実験ではこの2種類の動作においてアシストスーツの装着時、未装着時の2種類の状態で測定し、評価を行うことでアシストスーツの支援効果を検証する。

2種類の動作における評価の基準のため筋負担を計測するために筋電センサを使用する。筋電センサは大腿直筋(Rectus Femoris)に取り付け、積分筋電値(Integral electromyogram ,IEMG)を測定する。取り付け位置は図9に示す。被験者は1名の男性(20代男性 健康者 身長:172 cm 体重:68 kg)である。

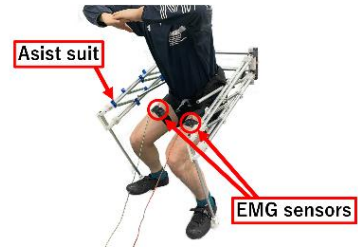


図9 筋電センサの取り付け位置

3-2 屈伸運動における実験結果

被験者には屈伸運動としてしゃがみ動作を3秒かけて行い、膝の角度を約90度にした状態で3秒間維持、立ち上がり動作を3秒かけて行う。全9秒の動作を一連の動作として1セットとする。動作の流れを図10に示す。検証実験はアシストスーツ未装着時、装着時を各3セットずつ行い、合計6セット分計測した。装着時と未装着時のある1回の積分筋電値 IEMG のグラフを図11(a)(b)に示す。グラフを比較するとアシストスーツを用いることで両足の大腿直筋の積分筋電値の筋負担を軽減されていることがわかる。また、軽減のされ具合には差があり、しゃがみ始めより、膝の角度を90度にした姿勢を維持している状態のほうがより軽減されている。この原因は今回開発したアシストスーツの支援力がしゃがむほどにばねが伸長し、働く力が大きくなる。そのためしゃがみ始めでは十分な伸びがなく、支援力が発生しにくいからと考える。装着時の実験においてしゃがみ始め筋電が上昇していることはアシストスーツの腰部と脚部をつなぐ関節が揺動するようになっているためにアシストが働きにくいからと考えられる。

各計測時における未装着時と装着時の積分筋電値と割合を表1に示す。アシストスーツの未装着時において計測した積分筋電値の平均値を100%として正規化している。また、表1をもとに筋活動率をまとめたグラフを図12に示す。グラフより、両足の未装着時と比較し、装着時の筋負担が軽減されていることがわかる。

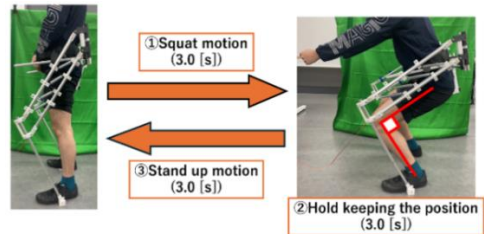
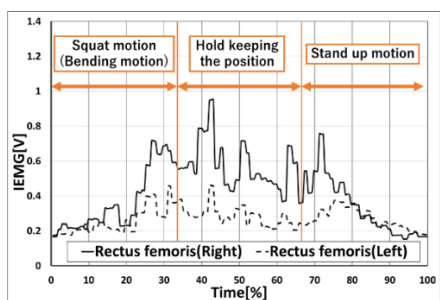
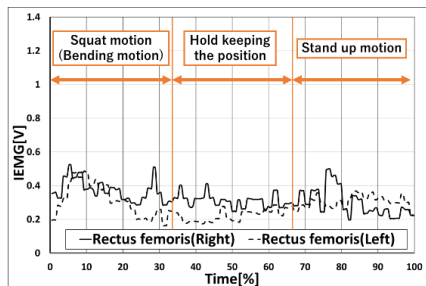


図10 屈伸運動における検証動作





(a) 未装着時



(b) 装着時

図 11 屈伸運動における積分筋電値

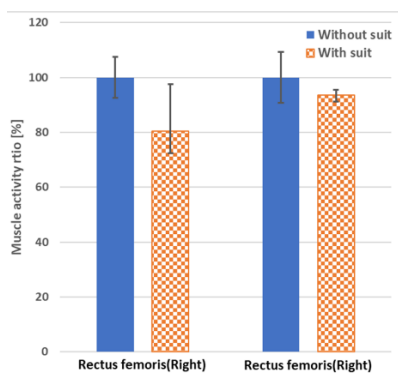


図 12 屈伸運動における筋活動率

表 1 各計測時における未装着時と装着時の積分筋電値と割合

		R.F(R)		R.F(L)	
		without	with	without	with
1 回目	IEMG[V]	0.474	0.323	0.321	0.268
	ratio[%]	100.0	68.2	100.0	83.6
2 回目	IEMG[V]	0.428	0.327	0.291	0.280
	ratio[%]	100.0	76.4	100.0	96.2
3 回目	IEMG[V]	0.422	0.416	0.270	0.277
	ratio[%]	100.0	98.6	100.0	102.6

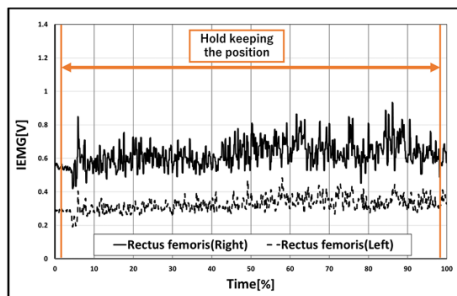
### 3-3 中腰姿勢の維持における実験結果

被験者には膝の角度を 90 度にした状態を約 1 分間 (60.0 [s]) 維持することを 1 セットとする。動作の流れを図 13 に示す。検証実験は屈伸運動と同様にアシストスーツ未装着時、装着時を各 3 セットずつ行い、合計 6 セット分計測した。装着時と未装着時のある 1 回の積分筋電値 IEMG のグラフを図 14(a)(b) に示す。グラフを比較するとアシストスーツを用いることで、両足の筋負担を軽減できていることがわかる。また、アシストスーツ装着時のある一定の区間において積分筋電値 IEMG が大きく計測されている。これはアシストスーツより身体に働く力が下から上に働く支援力以外にもあり、身体バランスが崩れ、正そうとして大腿直筋が働き、筋負担が上昇していると考えられる。

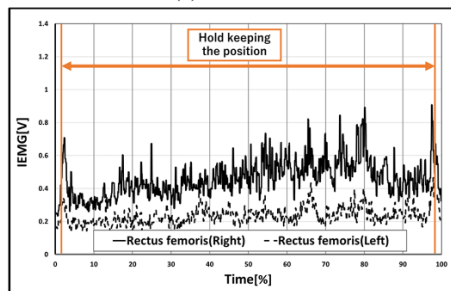
各計測時における未装着時と装着時の積分筋電値と割合を表 2 に示す。アシストスーツの未装着時において計測した積分筋電値の平均値を 100% として正規化している。また、表 2 をもとに筋活動率をまとめたグラフを図 15 に示す。グラフより、両足の未装着時と比較し、装着時の筋負担が軽減されていることがわかる。



図 13 中腰姿勢の維持における検証動作



(a) 未装着時



(b) 装着時

図 14 中腰姿勢の維持における積分筋電値

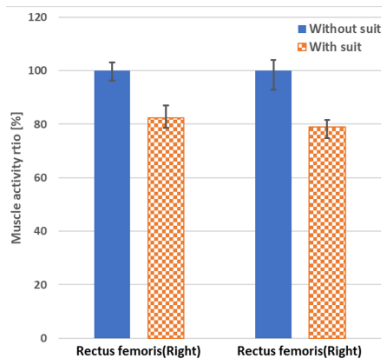


図 15 中腰姿勢の維持における筋活動率

表 2 各計測時における未装着時と装着時の積分筋電値と割合

		R.F(R)		R.F(L)	
		without	with	without	with
1 回目	IEMG[V]	0.609	0.517	0.309	0.250
	ratio[%]	100.0	84.9	100.0	80.9
2 回目	IEMG[V]	0.624	0.462	0.325	0.235
	ratio[%]	100.0	74.0	100.0	72.2
3 回目	IEMG[V]	0.582	0.513	0.300	0.252
	ratio[%]	100.0	88.1	100.0	83.9

4. 結論

本論文では酪農牛の出産に着目し、酪農家や助産師が助産補助を行う際に装着することで、負担を軽減する助産器具付き免荷型アシストスーツの設計、製作及び検証を行った。本文の内容は以下に要約される。

第 2 章では酪農牛の助産支援を目的とした、助産器具としてのウィンチを取り付けた免荷型アシストスーツを提案した。アシストスーツのおよびウィンチシステムの構造及び特徴について述べた。

第 3 章では提案、開発した免荷型アシストスーツの検証実験を行った。助産における動作として屈伸運動と中腰姿勢の維持の 2 種類を想定し、アシストスーツの未装着時、装着時においての大腿直筋の積分筋電値を計測、比較した。検証実験により、両足の筋負担が軽減されていることが定量的に確認され、開発したアシストスーツの有用性を示した。

本論文では提案する助産器具付き免荷型アシストスーツの開発を行い、実験を通して有用性を検証した。本アシストスーツを未装着時より、装着時には容易に助産が行えることが期待される。

参考文献

- 1) 農林水産省, “農林業センサス報告書,” 2020.
- 2) S. Mamiya, T. Takahashi, and N. Uchiyama, “Design of Wearable Power-Assist Device for Lower Back Support,” *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 30, No. 1, pp. 33-42 (2018)
- 3) N. Saito, D. Furukawa, T. Satoh, N. Saga, “Development of Semi-Crouching Assistive Device Using Pneumatic Artificial Muscle,” *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 32, No. 5, pp. 885-893 (2020)
- 4) 佐藤 帆紡, 川畑 共良, 田中文英, 山海 嘉之, “ロボットスーツ HAL による移乗介助動作の支援,” *日本機械学会論文集(C編)*, 76 巻, 762 号, pp. 227-235 (2010)
- 5) 村松慶紀, 所晃史, 小林宏, “マッスルスーツの開発と評価(表面筋電図を用いた補助動作の評価),” *日本機械学会論文集*, Vol. 83, No. 847, DOI:10.1299/transjsme.16-00078 (2017)
- 6) 新家寿健, 西澤宇一, 池田知純, 垣本映, 遠山茂樹, “農業用パワーアシストスーツの機構評価,” *農業食料工学会誌*, 79 巻, 6 号 pp. 485-493 (2017)
- 7) Y. Imamura, T. Tanaka, Y. Suzuki, K. Takizawa, and M. Yamanaka, “Analysis of Trunk Stabilization Effect by Passive Power-Assist Device,” *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 26, No. 6, pp. 791-798, 2014.
- 8) M. Kashima, H. Arakawa, S. Kinura, R. Nishihama, K. Yokoyama, I. Kikutani, and T. Nakamura, “Development of Assist Suit for Squat Lifting Support Considering Gait and Quantitative Evaluation by Three-Dimensional Motion Analysis,” *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 32, No. 1, pp. 209-219, 2020.
- 9) 横田雅司, “免荷型空気式パワーアシスト装置の開発と人間支援システムへの応用,” Ph.D. dissertation, (2022)
- 10) M. Yokota, M. Takaiwa “Support effect and simulation evaluation of lifting motion using non-wearing type power assist device,” *J. Robot. Mechatron*, Vol. 35, No. 3, pp. 684-693, (Jun. 2023)

## Development of non-wearing type assist suit for midwifery support for large animals.

Hidetoshi MIKI and Masasi YOKOTA<sup>1)\*</sup>

*Graduate School of Science and Engineering,*

*1) Department of Information Science and Engineering, Faculty of Information Science and Engineering,*

*Okayama University of Science,*

*1-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama 700-0005, Japan*

(Received October 31, 2024; accepted December 4, 2024)

One of the serious problems in Japan is the aging of the industry and the decline in the number of young people. The dairy industry is facing the same problem. Another problem for dairy cows is the increase in dystocia, or difficult births, and dairymen are assisting with calving. Among all dairy farming operations, cow midwifery is a long and demanding task of safely pulling a baby cow out of the manger. In this study, we focused on cow midwifery and developed and integrated a winch, which is a motorized midwifery device, and a non-wearing type assist suit, which provides physical assistance for a long time, in order to reduce the burden. In addition, verification experiments were conducted on the assistive suit in movements that simulate midwifery. As a result of the verification experiment, it was confirmed that the subject's muscle load was reduced when wearing the suit.

**Keywords:** Dairy farm; Power assist; Non-wearing type; Midwifery device.