

公益財団法人 伊藤記念財団
大型研究プロジェクト事業

**と畜・解体処理（特に牛の背割り）の
自動化・効率化に関する研究開発**

平成 30 年度～令和 4 年度
(2018 年度～2022 年度)
研究成果報告書

目 次

公益財団法人 伊藤記念財団 大型研究プロジェクト事業

「と畜・解体処理（特に牛の背割り）の自動化・効率化に関する研究開発」

研究開発の概要	4
1. 研究開発の目的	4
2. 研究機関および研究内容	4
3. 研究開発の経緯	5
4. 研究開発の結果	7
5. 研究プロジェクトメンバー	7

PART 1

牛の背割り自動化のための熟練作業による背割り作業のデータ化	8
1. 目的	8
2. 2018年度実績	8
2.1 食肉センターでの現地調査	
2.1.1 越谷食肉センター	
2.1.2 サンキョーミート株式会社	
2.2 牛背割り動作の共通点・相違点の抽出	
2.2.1 牛背割り動作の共通点	
2.2.2 牛背割り動作の相違点	
2.3 牛背割り動作のデータ化方法の検討	
2.3.1 バンドソーの動きのデータ化	
2.3.2 力を加えているポイントの把握	
2.3.3 熟練作業者の着眼点の解明	
3. 2019年度実績	10
3.1 表皮からの背骨位置特定の可能性の検証	
3.2 装着型視線追尾装置を用いた視覚的注意点の特定	
3.3 今後の展望	
4. 2020年度実績	13
4.1 装着型視線追尾装置を用いた視覚的注意点の特定	
4.2 装着型視線追尾装置の変更	
4.3 今後の計画	
5. 2021年度実績	14
5.1 装着型視線追跡装置を用いた背割り作業時の注視点を記録した 映像の取得 (①)	

5.2	複数アングルで撮影した背割り作業映像を一画面で同時再生できるような作業研修用の映像教材の開発 (②)	
5.3	まとめと課題	
6.	2022年度実績	16
6.1	音声解説付きの作業動画の撮影	
6.2	撮影動画の編集	
6.3	まとめ、残る課題	

PART 2

牛の背割り自動化のためのAIや画像処理等のソフトウェア開発	17
【研究概要】	17
【研究の背景と目的】	18
【研究内容】	18
I 2018年度（1年目）の研究	18
1. 目的	
2. 検討内容	
2.1 牛枝肉背骨のセンシング方法の検討	
2.1.1 静的センシング	
2.1.2 動的センシング	
2.2 AIを活用した画像解析手法の検討	
2.2.1 既存技術	
2.2.2 教師あり学習による背骨検出	
II 2019年度（2年目）の研究	21
1. 目的	
2. 研究内容	
2.1 カラー・深度画像取得アプリケーション	
2.1.1 カラー・深度画像取得アプリケーションの開発	
2.1.2 カラー・深度画像取得アプリケーションによる牛枝肉の撮影	
2.2 尾椎検出アルゴリズムの検討	
2.3 背骨検出アルゴリズムの検討	
2.4 実験用撮影装置の作成	
III 2020年度（3年目）の研究	29
1. 目的	
2. 研究内容	
2.1 装置側との通信機能	
2.2 尾椎および股を検出するアルゴリズムの開発	
2.3 首の中心を検出するアルゴリズムの開発	
2.4 背骨を検出するアルゴリズムの検討	
2.5 画像合成機能	

IV 2021年度（4年目）の研究	34
1. 目的	
2. 研究内容	
2.1 深度カメラ（ZED 2 Stereo Camera）による開発検討	
2.2 アルゴリズムの開発	
2.3 YOLOv3学習データの変更対応	
2.4 超解像が物体検出へ及ぼす影響調査	
V 2022年度（5年目）の研究	37
1. 目的	
2. 研究内容	
2.1 アルゴリズムの検証	
2.2 ZED 2 Stereo Camera機能調査	
2.2.1 深度処理エラーの可視化	
2.2.2 深度の高解像度化	
2.3 尾椎画像の超解像	
【PART2の総括】	40
【学会発表】	40
【参考文献】	41

PART 3

牛の背割り自動化装置のプロトタイプ製作	42
研究概要	42
1. 研究の背景と目的	42
2. 研究概要と内容、実証試験の結果と考察	42
・研究開発1年度（2018年度）※現状調査	42
・研究開発2年度（2019年度）※プロト機製作	43
・研究開発3年度 1回目（2020年6月）※第1回実証試験	44
・研究開発3年度 2回目（2020年12月）※第2回実証試験	46
・研究開発4年度 1回目（2021年11月）※第3回実証試験	51
・研究開発4年度 2回目（2022年3月）※第4回実証試験	55
・研究開発5年度 1回目（2022年9月）※第5回実証試験	61
・研究開発5年度 2回目（2023年1月）※第6回実証試験	66
3. PART3の総括	75

公益財団法人 伊藤記念財団 大型研究プロジェクト事業

「と畜・解体処理（特に牛の背割り）の自動化・効率化に関する研究開発」

研究開発の概要

食肉生産技術研究組合 参与 安養寺 康

1. 研究開発の目的

食肉処理施設は従業者の高齢化に加え、と畜・解体作業はナイフを使う危険な作業であり、騒音や湿気等の労働環境が厳しく作業が厳しいこともあり、従業員の確保が困難となってきた。作業員が高齢化する中で、食肉業界の将来的な安定と発展のために、と畜・解体作業等の自動化システムの研究開発が緊急の課題となっている。

特に牛の背割り作業については、と畜・解体作業の中でも熟練した技術を要するとされ、体力的にも厳しく、特に作業員の確保が困難となっている。豚についてはすでに国内でも自動背割り機が導入され稼働実績もあるが、豚の出荷時体重の斉一性に比較して、牛についてはと体も大きく出荷時の個体差もあり、国内で自動背割り機の導入例はない。

こうした背景をもとに牛背割り作業の自動化を図るため、基礎技術として熟練作業員の作業効率のデジタル化や、と体の背骨の位置や形状を立体的に把握できるセンシング技術、背割り機の自動操作を行うための画像処理技術を研究し、牛背割り自動化装置の実用化を目指した。

2. 研究機関および研究内容

本研究開発の具体的な研究分担は以下の通りである。

1) 新潟食料農業大学

背割り自動化のための熟練作業員による背割り作業のデータ化、運動解析、表皮からの背骨位置特定、装着型視線追尾装置を用いた背割り作業の視覚的注意点の特定等を担当。

2) 鹿児島工業高等専門学校

牛背割り自動化装置のための深度画像アプリケーションの開発、画像解析による尾椎位置検出、カラー画像からAIを用いた背骨位置検出等を担当。

3) マトヤ技研工業株式会社

本事業の牛背割り自動化装置の試作機製作を担当し、試作機の設計、製作、実証試験に基づく改良、調整を担当。

4) 食肉生産技術研究組合

研究開発に係る各研究機関の成果の総括、企画調整等を担当。

3. 研究開発の経緯

本事業は平成30年度（2018年度）から3か年の事業として実施、平成30年8月に第1回プロジェクト委員会を開催した。

プロジェクト開始当初は、牛の背割り作業熟練者による作業動作のデータ化、牛のと体のX線・CCDカメラによる立体画像の製作、立体画像の画像処理、背割りノコとそのコントロール装置のプロトタイプ製作を計画した。また、初年度は越谷食肉センター（埼玉県越谷市）とサンキョーミート株式会社（鹿児島県志布志市）の協力により、背割り作業のデータ化のための現地調査として、作業動作の撮影と分析を、新潟食料農業大学の阿部委員を中心に実施した。

翌令和元年度（2019年度）のプロジェクト委員会において、自動背割り機の背割り位置のセンシング方法について、X線による静的センシングとCCDカメラを用いた動的センシングによる検出方法の適否の検討が行われた。X線による背割り位置のセンシングについては、CCDカメラを用いた画像解析によるセンシングと比較して、背骨の位置形状確認と切断時のバンドソーのアルゴリズム作成の正確性はあるが、X線照射装置のための設置スペース確保、安全装置の設置等、装置の導入には新たな設備設置のためライン全体の改修が必要で、それに伴う経費の増大が指摘され、センシング方法の決定には現地調査に基づく検討が必要とされた。

このため、令和元年6月にサンキョーミート株式会社、7月に越谷食肉センターにおいて背割り作業の調査を行い、背割りの位置について背側からの画像分析で確認することが可能との意見が出された。同年8月、IHミートパッカー十和田ミートセンターにおいて、背骨の位置確認の調査をCCDカメラを用いて行った。これらの調査に基づく検討の結果、CCDカメラと人工知能を用いることで、背割りの自動化に必要な背骨のセンシングは可能との結論に至り、マトヤ技研工業株式会社が作成する自動背割り実証試験機のセンシング方法については、CCDカメラと人工知能による画像分析とした。

人工知能に背骨位置を認識させるためには、機械学習用教材として数百枚の牛の背骨の映像が必要となるため、新潟食料農業大学による必要な背骨位置の映像と、鹿児島工業専門学校による人工知能への背骨位置の画像認識の研究開発を依頼し、試作機についてはマトヤ技研工業株式会社が担当した。

令和2年6月、センシング装置を搭載していない状態で、マトヤ技研工業株式会社が作成した自動背割り実証試験機を稼働させ、IHミートパッカー十和田ミートセンターにおいて、目視による背骨位置の確認状況で第1回自動背割り実証試験を行った。この段階では、自動背割り機の切断時のバンドソーの昇降速度制御、背割り時の枝肉の固定方法、枝肉の個体差による問題等が確認された。

令和2年11月27日～12月1日には第2回自動背割り実証試験を実施、自動背割り実証試験機に新潟食料農業大学と鹿児島工業高等専門学校が開発したセンシング装置を搭載し、IHミートパッカー十和田ミートセンターで作動テストを行った。施設内においては、マトヤ技研工業株式会社での状況と異なり、と畜解体作業時の環境では湿度が高く、照度が不十分なこともあり、CCDカメラが当初想

定したよりも精度が不足し、計画したとおりの自動背割りが達成できなかった。また、背割り時に吊り下げた枝肉に前後の揺れが発生するため、人力による固定の必要が生じた。これらの点を考慮して、と畜解体施設内での状況に適合するようセンシング装置、自動背割り実証試験機のさらなる改良を目指した。

令和3年度は、当該事業の最終年度として自動背割り実証試験機の完成に向けて取り組んだが、新型コロナウイルス感染拡大の影響で、プロジェクト委員会は対面での開催を避け、WEBでの開催を余儀なくされたが、メール等によりコンソーシアム間の連絡をとり研究開発を進めた。

こうした状況下で令和3年11月17日～19日に、IHミートパッカー十和田ミートセンターにおいて、第3回自動背割り実証試験を実施した。この試験において、CCDカメラとAIによる背骨位置の把握と映像によるセンシング技術は、これまでの結果でおおむね良好な感触を得られ、脊椎の中心をほぼ特定できているものとされた。しかし、と畜の品種、性別、月齢等の差により、体格・月齢の似た交雑種の肥育4頭は自動背割りに大きな問題は生じなかったが、高齢の経産牛8頭のうち6頭については、背骨の歪みや枝肉の重心バランスが変化したりして、自動背割り機による背割りを途中で中断することとなった。この結果を受け、試験機の製造を担当したマトヤ技研工業とIHミートパッカー十和田ミートセンターで対応を検討した。試験機は正常な枝肉であれば自動背割りが可能であるが、高齢の経産牛等の背骨の状態に差異があるものについては自動背割りが難しいことから、さらに例数を重ねて試験が必要との意見が出た。

令和4年2月10日に開催されたプロジェクト委員会で、令和3年度の事業研究成果報告の試験報告が行われた際に、本研究の今後の取り組みについて議論がなされ、本年度が事業の最終年度であるが期間を延長して機械の完成を目指すべきとされ、自動背割り機の完成を目指して本研究事業は令和4年度（2022年度）まで延長された。

続く第4回自動背割り実証試験を令和4年3月7日～11日に実施、カメラの設置位置等の検証、バンドソーに力覚センサーとカメラを設置する等で、切断動作中のと体の揺れ、ねじれを抑制する検証を実施、翌年度の実証試験に向けてデータを収集した。

令和4年7月19日にプロジェクト委員会を開催、自動背割り機の完成に向けて尾椎検出の精度向上、カメラ位置変更等を行い、と体の固定方法の検討により確実な切断動作を目指すこと、作業者に対する教材として熟練作業者の技術を教育用VRシステムに活用することが承認された。

こうした作業を続け、令和4年9月27日～30日にIHミートパッカー十和田ミートセンターにおいて、第5回自動背割り実証試験を実施した。切断中のバンドソーの修正、と体の揺れ対策、3Dスキャンカメラの設置位置変更、バンドソーに力覚センサーとカメラを設置する等の変更を試みたが、切断中の調整やと体の揺れ対策は完全に解決するものではなかった。

令和5年1月17日～27日に最終の自動背割り実証試験を実施し、これまでの試験結果からバンドソーの尾椎中心の切断位置の精度向上、と体の前後の機械的な

揺れ防止対策、バンドソーの動作軌跡の調整、バンドソー下降スピードの変更を試みた。実証試験は天候等の事情により、当初想定した実施頭数よりもわずかな頭数となった。試験結果については、これらの仕様変更による対応でも、と体の揺れ・ねじれの発生を完全に抑制することはできなかったが、AIによる楕円検出によりほぼ尾椎の中心を検出し、背割りのバンドソーをと体に適切に入れることのできるものとなった。

4. 研究開発の結果

自動背割り機試作機の製作にあたり、背割り作業の自動化の最初の課題としてまず尾椎の検出がある。これは切断開始位置を特定するため重要な技術となるが、深度カメラ（ZED2）の開発によりリアルタイムで尾椎の深度測定が可能となった。また、超解像を尾椎検出に適用し、AIで検出した尾椎領域に尾椎の正確な中心を複数のアルゴリズムにより高精度に検出することができた。これにより背割り作業の自動化のための最初の課題をクリアした。

自動背割り機の本体については、全高350cm、全幅170cm、奥行400cm以上の大きさとなることから、IHミートパッカー十和田ミートセンターの協力のもと、実証試験の際にと畜ラインに設置して、繰り返し改良試験を実施した。先に記述したAIによる尾椎の検出技術を用い、バンドソーをほぼ正確に尾椎の中心にあてることができる装置となった。個体の斉一性の高い肥育牛等に対しては、自動背割りを完全に行えるケースもあるが、経産牛、老齢牛等の個体によりゆがみがある場合や、背割り動作中に発生すると体の揺れによりねじれが生じる等、バンドソーの切断位置がと体の中心から逸れて、切断作業を中止するケースも多発した。試作した機械は、条件さえ整えば自動背割りが可能であったが、背割りができないケースも数多くあった。

自動背割りを中断した原因である切断中のと体の揺れ・ねじれの発生を機械的に低減し、試作機からこれらの点を適切に補正できれば、今後、自動背割り機が食肉処理施設において実用化できるものとする。

5. 研究プロジェクトメンバー

任期：平成30年4月1日～令和5年3月31日

<プロジェクト委員>

中井 裕	新潟食料農業大学 副学長 教授
阿部 憲一	新潟食料農業大学 講師
原 崇	鹿児島工業高等専門学校 情報工学科准教授
益留 福一	マトヤ技研工業株式会社 代表取締役
中村 勝博	マトヤ技研工業株式会社 取締役 技術部長
安養寺 康	食肉生産技術研究組合 参与
三枝 正彦	公益財団法人伊藤記念財団 専門委員

PART1

牛の背割り自動化のための熟練作業による背割り作業のデータ化

阿部 憲一（新潟食料農業大学）

中井 裕（新潟食料農業大学）

1. 目的

本事業は、と畜・解体処理（特に牛の背割り）の自動化・効率化に関する研究開発事業である。本研究機関は牛の背割り作業の熟練作業者の作業動作のデータ化を担当した。

2. 2018年度実績

本研究機関は牛の背割り作業の熟練作業者の作業動作のデータ化を担当するため、2か所の食肉センターにおいて熟練作業者の牛の背割り作業動作の現地調査を実施した。作業動作の動画と熟練作業者からのヒアリングから、牛背割り動作の共通点・相違点を抽出した。その結果を踏まえて、牛背割り動作のデータ化方法について検討した。

2.1 食肉センターでの現地調査

越谷食肉センター（2018年9月28日実施）とサンキョーミート株式会社（2018年11月13日実施）にて、牛背割り作業動作の現地調査および熟練作業者のヒアリングを行った。

2.1.1 越谷食肉センター

越谷食肉センターでは11頭分の背割り作業の動画を撮影した。そのうち近接撮影した9頭については、背割り作業速度の比較に用いた（後述）。越谷食肉センターには背割り技術者は2名おり、そのうちの1人から作業中の留意点などをヒアリングした。牛の枝肉取引では背割りを失敗してしまうと安値で買い叩かれるので、とにかく真っすぐに切り分けることが重要とのこと。また、背割りミスの発生件数は年間で1～数頭程度であると説明を受けた。

2.1.2 サンキョーミート株式会社

サンキョーミート株式会社では7頭分の背割り作業の動画を撮影した。そのうち近接撮影した3頭については、背割り作業速度の比較に用いた（後述）。サンキョーミート株式会社には背割り技術者は3名おり、そのうちの1人から作業中の留意点などをヒアリングした。この3名の背割り技術者は、いずれも初心者で入社した後に背割り技術を習得したとのこと。また、背割り作業については技術者間で常に情報共有をしているため、技術の差異はほとんどないと説明を受けた。

2.2 牛背割り動作の共通点・相違点の抽出

越谷食肉センターとサンキョーミート株式会社にて実施した、牛背割り作業動作の現地調査および熟練作業者のヒアリングをもとに、牛背割り動作の共通点・相違点について下記にまとめる。

2.2.1 牛背割り動作の共通点

越谷食肉センターとサンキョーミート株式会社の現地調査から牛背割り動作について共通した作業工程を下記に示す。

【牛の背割り工程】

- ① 第一尾椎と第二尾椎の間の軟骨部分にナイフを入れて尻尾を外す。
- ② 【切り始め】 第一尾椎の中心（図1 丸囲み部）と寛骨の中心（図1 四角囲み部）にバンドソーの刃を合わせ、5椎ある仙椎まで切り進める。
- ③ 【切り途中】 脊椎の中心（図2 矢印部）と棘突起の中心（図2 丸囲み部）の2点を目視で捉えて、腰椎から胸椎と切り進める（図2 四角囲み部は椎骨の一部を示す）。
- ④ 【切り終わり】 バンドソーの持ち手側を下げて頸椎（図3 四角囲み部）および首の腱（図3 丸囲み部）を切り分ける。

使用している背割り鋸バンドソーはJARVIS製のバスター4である。バンドソーの刃の厚みは2mm、幅は12mmである。このバンドソーはコイルバランスーによって吊られており、釣り合っている位置よりも上部では持ち上げる力が、下部では押しつける力が必要となる。

2.2.2 牛背割り動作の相違点

越谷食肉センターとサンキョーミート株式会社の牛背割り作業について、最も顕著な相違点は牛1頭あたりの背割りにかかる時間であった。越谷食肉センターでは平均値で47秒（中央値で48秒、データ数：9）であった一方、サンキョーミート株式会社では平均値で22秒（中央値で24秒、データ数：3）と2倍速いという結果が示された。しかしながら、測定データ数が少なく、牛の種類やサイズ（和牛・ホルスタイン・F1等）の情報もないので、現段階においてこの作業速度の差についてこれ以上考察することは避けるべきと考える。

このほかに、バンドソーの刃の交換頻度についても違いがあった。どちらも熟



図1 牛背割り作業切り始めの写真



図2 牛背割り作業切り途中の写真



図3 牛背割り作業切り終わりの写真

練作業へのヒアリングから得られた情報であるが、越谷食肉センターではバンドソーの刃は和牛だけを扱うのであれば400頭くらいはもつとのことだが、サンキョーミート株式会社では100頭を目途にほぼ毎日バンドソーの刃を交換している。背割り作業の自動化を考えるにあたって、作業速度の最大化とともに、刃の交換などバンドソーのメンテナンス頻度についても考慮する必要があることが示唆された。

2.3 牛背割り動作のデータ化方法の検討

2.3.1 バンドソーの動きのデータ化

背割り作業の自動化にあたっては、バンドソーの動きを把握することが必要不可欠である。横方向からバンドソーの動きを動画撮影することで切り進める軌跡を数値化し、バンドソーの移動距離や移動速度を算出できると考えた。バンドソーの先端と持手側が映るアングルで定点撮影した動画は、運動解析ソフトを用いればバンドソーの移動距離を数値化することが可能である。

2.3.2 力を加えているポイントの把握

バンドソーに掛ける力量について把握することも、背割り作業の自動化にとって必要不可欠である。バンドソーにかかる負荷についてはモーターのトルク値を測定することで直接的に明らかにできるが、一方、熟練作業者がバンドソーを操作する際にどのタイミングで力を掛けているかは、作業自身になんらかのセンサ（例えば、ワイヤレス筋電位センサなど）を取り付けて計測する必要がある。

2.3.3 熟練作業者の着眼点の解明

背割りを行いながら次に背割りを行う箇所のみを撮像して画像解析を行う「動的センシング」という方法を背割り作業の自動化に採用する場合、画像解析の処理速度がボトルネックとなる可能性が高い。画像解析の処理速度は、解析が必要な画像面積が大きくなるほど遅くなる傾向があるので、必要最小限の画像面積を決定する必要がある。そのためには、まず視線追尾装置を用いて、背割り作業中の熟練作業者の着目点を明らかにする必要がある。

3. 2019年度実績

本研究機関は牛の背割り作業の熟練作業者の作業動作のデータ化を担当するため、十和田食肉センターにおいて、①表皮からの背骨位置特定の可能性の検証、および、②装着型視線追尾装置を用いた視覚的注意点を特定する試みを実施した。

3.1 表皮からの背骨位置特定の可能性の検証

牛の背割り工程は、第一尾椎と第二尾椎の間の軟骨部分にナイフを入れて尻尾を外した後、①第一尾椎の中心と寛骨の中心にバンドソーの刃を合わせ、5椎ある仙椎まで切り進める。②脊髓の中心と棘突起の中心の2点を目視で捉えて、腰椎から胸椎と切り進める、③バンドソーの持ち手側を下げて頸椎および首の腱を切り分ける、という流れで進む。この一連の工程の間、常に背骨（仙骨、腰椎、胸椎、頸椎をまとめてこう呼ぶ）の中心を外さずにバンドソーを切り進めていかなければならない。

背割り作業を自動化するにあたっては、背骨の中心を外さずにバンドソーを切

り進めることが求められており、背骨の中心位置をどのようにして正確に捉えるかが大きな課題であった。今回は、背骨（正確には棘突起だが便宜上、背骨と表現する）の位置は表皮側からの触診や目視で特定できるはず、という背割り熟練作業者の提案を実証するために、下記のような流れで作業を実施した。

- ① 熟練作業者が目視で背骨の位置を定めて墨付けを行う。
- ② 次に触診で背骨の位置を確認する（①とずれていた場合は修正する）。
- ③ ①、②の担当者とは別の熟練作業者がいつもと同じように背割りを行う。

熟練作業者による目視および触診での背骨の位置を決定した（図4左側）。目視での墨付けした背骨の位置と触診で確認した背骨の位置に差異はなかった。目視で背骨位置を特定する際の着目点は、左右両側の盛り上がった筋肉により、背骨に沿って生じる“谷”である（ただし、肥育していない廃乳牛などの場合は背骨が一番出っ張っているとのこと）。深度を計測可能なカメラを用いることで、撮影した映像から非接触で背骨の位置を特定できる可能性が示唆された。また、墨付けされた背骨の推定位置は、カメラモニターのグリッド線とも重なっていたことから、通常の牛の背骨はほぼ一直線であると捉えることができる（図4右側）。これは、自動で背割りを行う際に、背骨の中心を捉えているかを動的にモニタリング（例えば、画像識別を用いた動作制御など）しなければならないというこれまでの前提条件としていた仮定を覆し、切り始めと切り終わりを結ぶ数点のポイントを決めて、それに沿って直線的に切り進むだけでよいという、制御的にもかなり簡便なシステムになる可能性を示すものであると考える。



図4 表皮から目視での背骨位置の決定と墨付け

図5に背骨推定位置を墨付けしたものを実際に背割りした際の画像を示した。

墨付けされたポイントを意識することなく、通常と同様に背割り作業を行った。墨付け位置とバンドソーの刃が通った位置はほぼ完全に一致していたことがわかる。このことから、上述した深度計測カメラを用いた背骨位置を特定する

技術と、切り始めと切り終わりを結ぶ数地点を結ぶようにバンドソーを動かす制御技術を確認できれば、背割り作業の自動化が達成できる可能性が示唆された。



図5 墨付けした背骨推定位置と実際に背割りした位置との比較

3.2 装着型視線追尾装置を用いた視覚的注意点の特定

背割り作業の自動化に、背割りをを行いながら次に背割りをを行う箇所のみを撮像して画像解析を行う「動的センシング」という方法を採用する場合、画像解析の処理速度がボトルネックとなる可能性が高い。画像解析の処理速度は、解析が必要な画像面積が大きくなるほど遅くなる傾向があるので、必要最小限の画像面積を決定する必要がある。このような問題意識を起点として、視線追尾システム View Tracker II（カトウ光研株式会社）を用いた熟練作業者の視覚的注視点の特定を試みた。被験者となる熟練作業者にはスキーゴーグル様のウェアラブルデバイスを装着してもらい、装置と解析用PCの間は有線ケーブルでつながった状態で背割り作業を実施してもらった。図6には注視点（図中央の赤色十字マーク）が表示された解析動画の一時点を示した。視線追尾システムが被験者の両目の瞳孔を正確に認識できている状態であれば、その時点での注視点の特定が可能であることが判明した。しかしながら、背割り前に毎回実施するバンドソーの熱水消毒時に湧き上がる蒸気で視線追尾装置の鏡様部品が曇ってしまうことや、被験者のまつ毛が瞳孔の位置と重なってしまうことで、正確な注視点の特定ができない場面にも遭遇した。これらの問題を解決できれば、瞳孔トレースの精度向上につながり、動的センシングの際に必要な画像範囲を決定できると考えている。

3.3 今後の展望

本研究プロジェクトは鹿児島工業高等専門学校とマトヤ技研工業株式会社による自動背割り機プロトタイプを製作するフェーズに移っており、作業動作のデータ化の必要性は低下しているが、本研究開発事業の「と畜・解体処理（特に牛の背割り）の自動化・効率化」というミッションに「効率化」というキーワードも

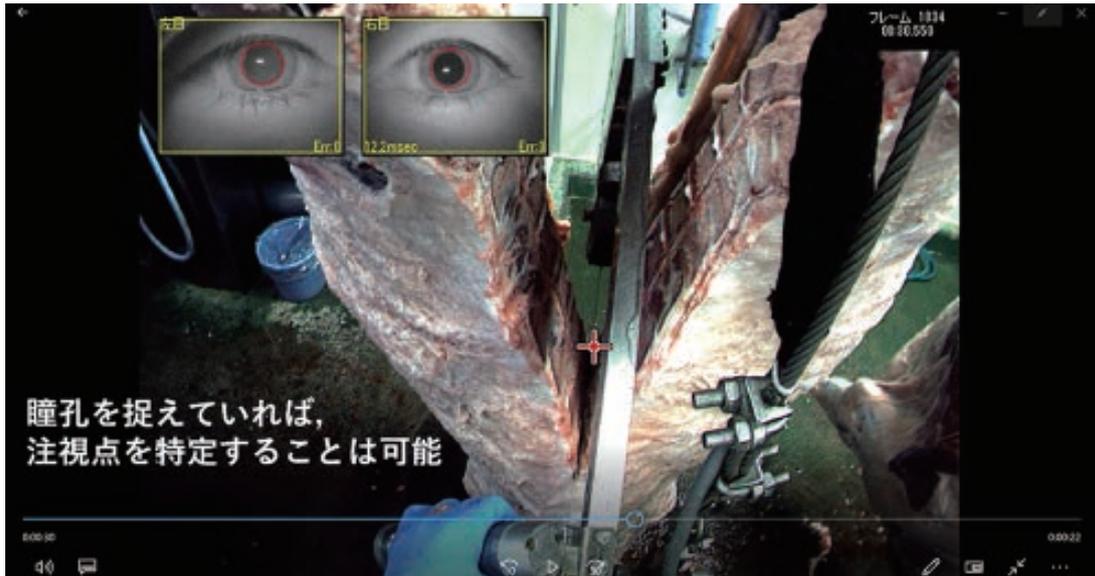


図6 注視点を特定した動画データの一例

含まれていることから、作業動作のデータ化が貢献できる側面はまだあると考える。日本国内のほかの産業に引けを取らず、慢性的かつ深刻な労働力不足という問題を抱えている現状において、新米作業者の技能向上のスピードを上げることは作業の「効率化」に直結すると考えられる。これまでに蓄積した背割り作業動画の作製技術や、前述の作業者の注視点を特定する技術を用いれば、熟練作業者のいわば匠の技を「見える化」した研修用教材を作製することも可能である。

4. 2020年度実績

背割り作業動作の動画および作業者の注視点動画を撮影し、解析に用いるためのデータ数の充実をはかる予定であった。しかしながら、新型コロナウイルス感染症対策として「県外への移動制限」がかけられ、現地（十和田食肉センター）で新たなデータを取得することが困難であった。

一方、マトヤ技研工業株式会社様と鹿児島工業高等専門学校様では、自動背割り機のプロトタイプ作成および実証試験まで達成し、こちらで当初計画していた「バンドソーの動作解析」等、実際の背割り動作解析に関わる研究計画の優先度は低くなったといえる。そこで、本年度は「装着型視線追尾装置を用いた視覚的注意点の特定」に注力することとした。

4.1 装着型視線追尾装置を用いた視覚的注意点の特定

前年度までに、視線追尾システムView Tracker II（カトウ光研株式会社）を用いた熟練作業者の視覚的注視点の特定を試みた。被験者となる熟練作業者にはスキーゴーグル様のウェアラブルデバイスを装着してもらい、装置と解析用PCの間は有線ケーブルでつながった状態で背割り作業を実施してもらった。注視点が表示された解析動画の一時点に関して、視線追尾システムが被験者の両目の瞳孔を正確に認識できている状態であれば、その時点での注視点の特定が可能であることが判明した。しかしながら、背割り前に毎回実施するバンドソーの熱

水消毒時に湧き上がる蒸気で視線追尾装置の鏡様部品が曇ってしまうことや、被験者のまつ毛が瞳孔の位置と重なってしまうことで、正確な注視点の特定ができない場面にも遭遇した。加えて、スキーゴーグル様の装置形状のため、通常のようにヘルメットを装着することが困難であったこと、顔面全体への締め付け感がかかるなど、作業者が平常時と同様の感覚で背割り作業を遂行できていない可能性も考えられた。

4.2 装着型視線追尾装置の変更

本プロジェクト初年度に視線追尾システムViewTracker2購入した後まもなく、後継機であるViewTracker3がカトウ光研株式会社からリリースされた。ViewTracker3は旧型のスキーゴーグル様形状からスポーツサングラス様形状に変わっており、自然な着用感が実現されている。令和2年度にこのViewTracker3を購入して、今現在は背割り作業時の視線追跡ができるように装置の最適化に取り組んでいる。

4.3 今後の計画

本年度より我々は本研究開発事業の「と畜・解体処理（特に牛の背割り）の自動化・効率化」というミッションの「効率化」に軸足を置いて、背割り作業者の注視点の特定から、『熟練作業者の匠の技を「見える化」した研修用教材を作製する』ことに取り組んだ。

研修用教材では、注視点特定の映像に合わせて、横アングルおよび対面アングルでの背割り動作を同時撮影したものを一つの画面に表示させ、複数のアングルから背割り作業を把握できる映像教材の作成を目指す。さらに、より臨場感が得られるようVRゴーグルで再生できるような動画データの取得（例えば360度カメラでの撮影）にも取り組むこととした。

5. 2021年度実績

2021年度は、①装着型視線追跡装置を用いた背割り作業時の注視点を記録した映像と、②複数アングルで撮影した背割り作業映像とを一画面で同時再生できるような作業研修用の映像教材の開発を試みた。

5.1 装着型視線追跡装置を用いた背割り作業時の注視点を記録した映像の取得 (①)

本プロジェクトにて購入した視線追尾システムViewTracker3（カトウ光研株式会社）を用いて、2021年8月23日～24日に十和田ミートパッカー（以下、十和田MPと表記）にて熟練者に装着してもらい、牛背割り作業時の注意点情報の取得を試みた。

牛背割り時の視線追跡動画を撮影した。バンドソーの熱湯消毒時において、蒸気が上がっているがそれによる映像の曇りなどは確認されず、前年度まで用いていた旧式のViewTracker2で生じた問題は回避することができた。後脚の腱とフックが注視されており、背割り作業場の上部を注視している様子が記録されていた。牛にバンドソーを入れている最中の画像では、尾骨位置と奥側の2点を見定めてバンドソーを入れる、という作業者からのヒアリング内容と一致する事象

を映像で捉えることができた。また、バンドソーの刃先が注視されていることがわかった。映像全編を通すと、ところどころ注視点が大きく外れているシーンもしばしばみられた。この背割り作業時の視線追跡映像を実施担当した作業者と視聴しながら、注視点の正否に関してヒアリングを実施して、得られた映像の信頼性について判断する必要がある。

5.2 複数アングルで撮影した背割り作業映像を一画面で同時再生できるような作業研修用の映像教材の開発 (②)

2021年度に購入した360度カメラ、およびアクションカム（初年度に購入したビデオカメラと連携して複数アングルから同時撮影が可能となる）を用いて、2021年8月23日～24日に十和田MPにて実際の背割り作業中の動画を取得した。動画編集ソフトを用いて動画開始点を合わせる編集を手動にて実施した後に、Emboss Software社に動画合成作業を外注し、VR視聴用の合成動画の平面視聴時のキャプチャ画像を作成した。作成された画像では、右半分には、向正面から撮影した背割り全体像が配置されており、さらに右側に視野を向けると横方向から撮影した背割り全体像が配置されていた。360度空間映像の画質が粗く、想定していたような臨場感（没入感）は表現できていない。これについては、360度カメラの記録画質の設定をもう一段階（最高画質）上げることで改善される見込みはある。

5.3 まとめと課題

2021年度の当初に計画していた、①装着型視線追跡装置を用いた背割り作業時の注視点を記録した映像と、②複数アングルで撮影した背割り作業映像とを一画面で同時再生できるような作業研修用の映像教材の開発に対して、視線追跡映像の取得（①関連）と複数動画のVR映像再生（②関連）まで達成することができた。このノウハウを用いることで、技術的にはVRで視聴する360度空間映像中に、作業者の視線追跡動画も組み込むことは可能である。他方、2022年3月1日に背割り作業映像の追加撮影に十和田MPを訪れた際、作業者の方との意見交換から下記の点について考慮する必要が生じた。

背割り作業映像撮影時に考慮すべきこととして、次のように指摘された。

- 1) 背割り時のバンドソーは目に見えるほど大きくは動かさない。バンドソーを大きく動かす状況に陥らないように、微細な動きの調整を毎瞬実施している。
- 2) 背割り中の作業者目線の映像は有用である。
- 3) 360度映像について、たしかに臨場感はあるが、教育研修映像としての必要度は低い。

上記1)～3)を踏まえて、教育研修用の映像教材として、「作業者目線の映像」に「作業者による背割り状況の実況中継」音声データが含まれるものが必要ではないかとの考えに至った。実況中継の例としては、「今、左側に傾きかけています」「刃の位置を右側に戻している途中です」など、表立った動きに現れない作業動作についてのオンタイム解説である。

一方、現状では必要度が低いと判断されつつある360度空間映像については、実際の現場に踏み入る前に視覚的なイメージを構築できること、また背割り作業

の前後の動きや注意点についても視覚的に把握できるなどの利点はある。

6. 2022年度実績

2022年度は作業者による解説を取り入れた作業研修用の映像教材の開発を試みた。

6.1 音声解説付きの作業動画の撮影

撮影は2022年8月2日に十和田ミートプラントにて実施した。Insta360を作業者のヘルメットに固定装着し、作業中に声を発して動作などを解説してもらいながら撮影に臨んだ。また、本プロジェクト初年度に購入させていただいたGoProを撮影者の手持ちカメラとして用いて、別角度からも撮影を実施した。なお、前年度まで取り組んでいた作業者の視線追跡動画の撮影については、作業者による音声解説で補完できると判断したため実施していない。

6.2 撮影動画の編集

2台のカメラで撮影した動画は、2022年度に購入した動画編集用PCに取り込んで、Adobe Premiere Pro動画編集アプリを用いて編集を試みた。動画の再生タイミングを合わせて、一画面で2つの視野の動画が同時再生されるように調整した。その後、映像内の音声を文字に起こし、それをテロップとして画面中に表示されるように設定した。

6.3 まとめ、残る課題

本プロジェクトで取り組んだ研修用動画教材の作製では、当初は撮影機器や画像編集などの技術的側面にとらわれすぎた感があった。また、言語化できない作業動作や注視点などの暗黙知が見える化すべきとの考えにもとらわれすぎていた。プロジェクトを進める中で、これらは背割り作業の本質に迫るアプローチとはいえ、作業当事者と向き合って意見交換を行うことが最も重要であることに気づかされた。プロジェクト期間内に完成には至らなかったが、今後は編集した解説動画を作業従事者に視聴してもらい、改善点等のフィードバックをもらいながら、現場で活用できるものの完成を目指す予定である。

PART2

牛の背割り自動化のためのAIや画像処理等のソフトウェア開発

原 崇（鹿児島工業高等専門学校）

【研究概要】

本研究では、と畜・解体処理、特に牛の背割りにおいて、自動化と効率化を目的として研究開発を行った。本研究機関はAIや画像処理等のソフトウェア開発を担当した。牛の背割りを自動化するためには、枝肉を切り始めるときにバンドソーを入れる場所である、尾椎の位置を検出する必要がある。そのため本研究機関では、尾椎検出を行うためのAIおよび画像処理アルゴリズムの開発を目的とした。

1年目は、撮像装置をどのように動かして撮影するかについて検討し、静的センシングと動的センシングの手法を提案した。また、AIで背骨の検出が可能かどうか検討した。

2年目では、撮影対象との距離、すなわち深度を測定できる撮像装置であるIntel RealSenseの利用技術として、画像を撮影するためのアプリケーションと、撮影したデータをカラー画像や深度画像に出力する取得アプリケーションの開発を行った。そのアプリケーションを用いて、サンキョーミート株式会社内工場において、実際の牛枝肉の撮影を行った。また、尾椎の位置を検出するアルゴリズムの開発のために牛枝肉模型を作成し、アルゴリズムの開発と検証を行った。

3年目では、尾椎および股を検出するアルゴリズムの開発、首の中心を検出するアルゴリズムの開発を行った。背骨を検出するアルゴリズムについても検討したが、結果として背骨の検出は不可能という見解となった。また、撮像装置を3台用いるという方針から、3台で取得した画像を合成する機能を実装した。

4年目には、新たな撮像装置としてZED 2 Stereo Cameraの性能を調査した。また、尾椎検出アルゴリズムを、さらに尾椎の中心を検出するために改良した。また、設置場所の面積等の影響で、撮像装置と牛枝肉との距離が離れてしまう場合、撮影できる尾椎画像が小さくなることの対策として、低解像度画像から高解像度画像を得ることができる、超解像という技術の導入のために、超解像と物体検出の調査を行った。

5年目には、アルゴリズムの評価を行った。また、ZED 2 Stereo Cameraの性能調査を行った。そして、超解像は実際の牛枝肉での物体検出に効果があるのか検証を行った。

以上により、本研究の目的であった、牛の背割りのための尾椎検出を行うAIおよび画像処理アルゴリズムを開発することができた。ただし、尾椎の状況はさまざまであり、開発したアルゴリズムでは正確に尾椎検出できないパターンもあるため、照明で尾椎を照らす等の対策が考えられる。また、Intel RealSense、ZED 2 Stereo Cameraや超解像といった装置、技術についての知見が得られた。

【研究の背景と目的】

と畜・解体処理（特に牛の背割り）の自動化・効率化に関する研究開発のなかで、本研究機関では、AIや画像処理等のソフトウェア開発について担当する。牛の背割りを行うときには、切断装置であるバンドソーを尾椎の中心に当てて切り始める。したがって、牛の背割りを自動化するためには、尾椎を検出し、その中心座標を取得することが必要である。そこで本研究は、AIと画像処理を用いて、牛枝肉の画像から尾椎を検出し、さらに尾椎の中心座標を取得するアルゴリズムの構築を目的とする。また、牛の背割り作業の自動化のためには牛枝肉との距離が重要であるため、距離すなわち深度を測定できる深度カメラを利用する技術を得ることも目的とする。

【研究内容】

I 2018年度（1年目）の研究

1. 目的

2018年度においては、牛枝肉背骨のセンシング方法の検討と、AIを活用した画像解析手法の検討を目的とした。

2. 検討内容

2.1 牛枝肉背骨のセンシング方法の検討

牛枝肉背骨のセンシング方法として、2つの方法について検討した。まず、あらかじめ牛枝肉背骨をラインカメラ等で撮像しておき、画像解析を行った後、背割り作業を行う方法を静的センシングとする。次に、背割り作業を行いながら、直後のタイミングで背割りすべき箇所をリアルタイムで撮像して画像解析を行う方法を動的センシングとする。なお、今回は画像解析の立場からこれら2つの方法を検討したが、実用化を考慮して、装置側からの観点で最適なセンシング方法を検討する必要があると考えた。

また、解析の対象とする画像は、牛枝肉を背中側からX線カメラにて撮影して得られる背骨の画像を想定していた。

2.1.1 静的センシング

静的センシングとは、ラインカメラ等であらかじめ撮像した牛枝肉背骨の全体の画像に対して画像解析を行う方法である。概念図をFig. 1に示す。

最初に、撮像工程として牛枝肉を撮像し、背骨画像を得る。次に画像解析工程として、コンピュータによる画像解析を行い、背骨の位置と、背骨の中心座標と、中心座標のベクトルを得る。ここで中心座標のベクトルとは、背骨の中心座標がどの向きに曲がっているかを示す指標であり、背割り器具の角度を決定するときに利用されることを想定した情報である。

静的センシングでは、あらかじめ牛枝肉全体を撮像する必要があるため、ラインカメラ等で全体の撮像を行うか、または複数回数にわたって撮像を行い、複数枚得られた画像を結合して豚枝肉の全体画像とする必要がある。また、画像解析の後工程として背割りをを行うため、撮像工程と背割り工程での位置決めを等しくしなければならないという課題がある。一方、撮像工程と画像解析工程と、背割

り工程を独立させることができるという利点がある。

2.1.2 動的センシング

動的センシングとは、背割りを行いながら、次に背割りを行う箇所のみ撮像して画像解析を行う方法である。概念図をFig. 2 に示す。

静的センシングの場合、撮像工程と背割り工程とで位置決めを正しく行わないと、画像と実際の牛枝肉とで座標のずれが発生する可能性がある。また、背割りをしていく過程で、背骨の位置が移動する可能性が懸念される。そのような静的センシングにおける懸念事項を解消するために、動的センシングの方法を検討した。Fig. 2 に示すように、撮像装置は背割り器具の下部に設置し、次のタイミングで背割りするであろう位置を撮像する。画像解析はリアルタイムで行い、次のタイミングでの背骨の位置と、背骨の中心座標と、中心座標のベクトルを算出する。

動的センシングは、静的センシングにおける懸念事項は解消できるが、背割り器具と撮像装置を近い位置に取り付けるために汚れや湿気、衛生面の対処を行う必要がある。また、リアルタイムで画像解析を行うために、より高速な画像処理性能が求められる。

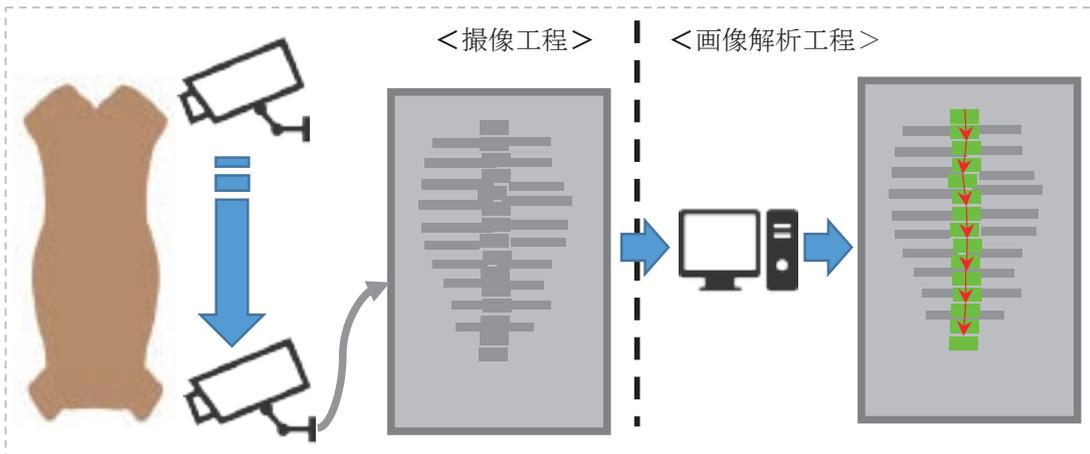


Fig.1 静的センシング

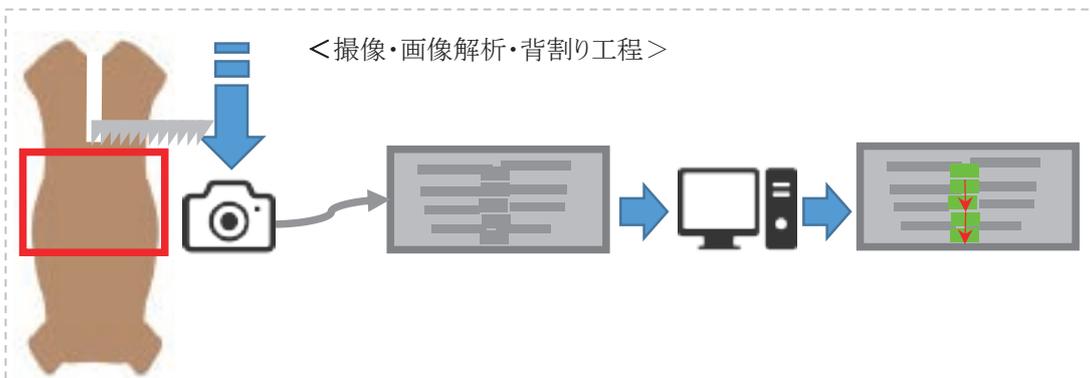


Fig.2 動的センシング

2.2 AIを活用した画像解析手法の検討

2.2.1 既存技術

現在、AIを活用した音声識別や画像認識の精度は各段に向上していると言われている。マイクロソフトより、AIの認識技術は人間レベルを超えると発表されている¹⁾。画像認識の例では、ヒアリとヒアリではないアリの識別するために、数百から数千枚の画像を学習させることで、99%以上の成功率でヒアリと判断できることが報告されている²⁾。本事業においては、個体差や撮影条件によって差異がある牛枝肉背骨の画像において、AIを活用することで精度の高い背骨の検出ができるものと考えた。

2.2.2 教師あり学習による背骨検出

本事業においては、教師あり学習を行うことで、背骨の検出が可能になると考えた。教師画像の作成をFig. 3に、教師画像を用いた背骨検出についてFig. 4に示す。

Fig. 3における教師画像の水増し（Data Augmentation）とは、作成した教師画像に対して拡大、縮小、回転、反転、ノイズの挿入等を行い、学習する教師画像を増やす方法である。これによって、識別する未知の画像がやや回転している等、想定と差異がある場合でも検出率を向上させることが可能となる。

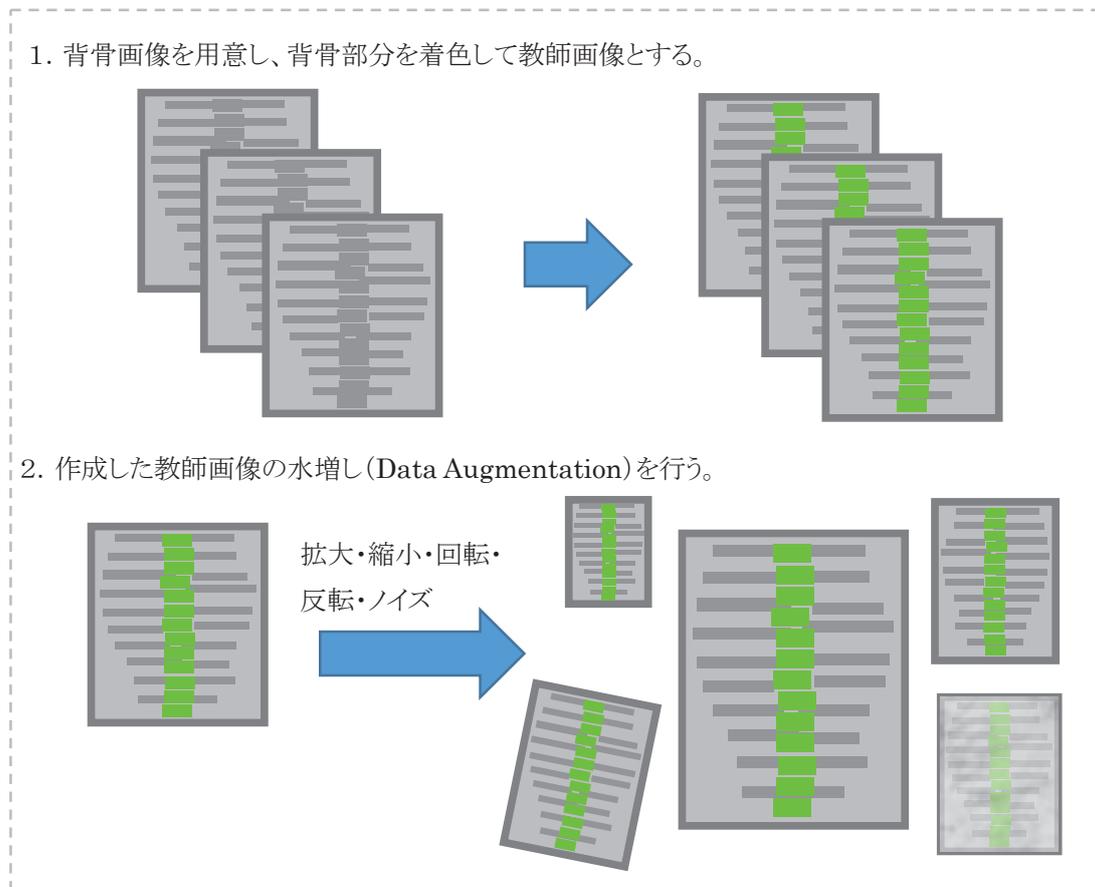


Fig.3 背骨検出用教師画像の作成

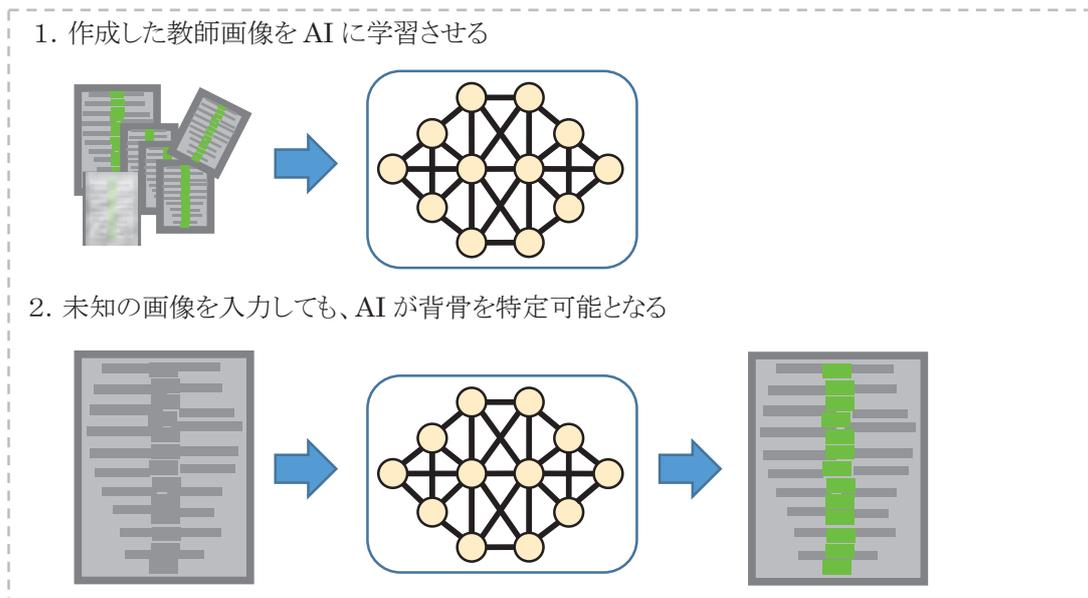


Fig.4 教師画像を用いた背骨検出

Ⅱ 2019年度（2年目）の研究

1. 目的

2019年度においては、牛枝肉を撮影するためのカラー画像・深度画像取得アプリケーションの開発、尾椎検出アルゴリズムの検討および背骨検出アルゴリズムの検討を目的とした。

2. 研究内容

2.1 カラー・深度画像取得アプリケーション

2.1.1 カラー・深度画像取得アプリケーションの開発

牛枝肉をセンシングする装置は、Intel RealSense Depth Camera D435（以下、RealSense）³⁾を採用することとした。RealSenseはボールペン程の大きさの筐体に、色データを取得できるRGBセンサと、深度データを取得できる赤外線センサを搭載している。Fig. 5 にRealSenseの外観を示す。



Fig.5 Intel RealSense Depth Camera D435

RealSenseは、色データと深度データを同時に取得できるが、通常のカメラと違いシャッターは搭載されていないので、パソコンでプログラムを動作させて撮影を行う必要がある。今回は、工場内で牛枝肉画像を多数撮影する目的のため、動画像として撮影できる「撮影アプリケーション」を開発した。これにより、牛枝肉の移動に合わせてパソコンを操作する必要がなく、プログラムを動作させたままでの撮影が可能となり、解体作業の邪魔にならないようにした。

撮影したデータは「.bag」という拡張子のファイルとして保存される。「.bag」ファイルには、RGBカメラによる色データと、赤外線カメラによる画像データ、また、赤外線カメラで取得したデータによって算出できる深度データが含まれる。これらはRealSenseに搭載されたセンサによって取得できるデータそのものなので、「生データ」と呼ぶこととする。生データはバイナリデータなので、そのままの状態では0と1が並んだものでしかないので、人間に理解しやすいように、画像ファイルに変換する必要がある。そこで、生データを画像ファイルに変換する「取得アプリケーション」を開発した。取得アプリケーションは生データを読み込んで、カラー画像と、深度画像と、赤外線画像に変換することができる。

この2つのアプリケーションによって、RealSenseを用いた撮影と、撮影して得られた生データから、画像ファイルを取得することを実現できる。撮影アプリケーションと取得アプリケーションの概要について、Fig. 6に示す。

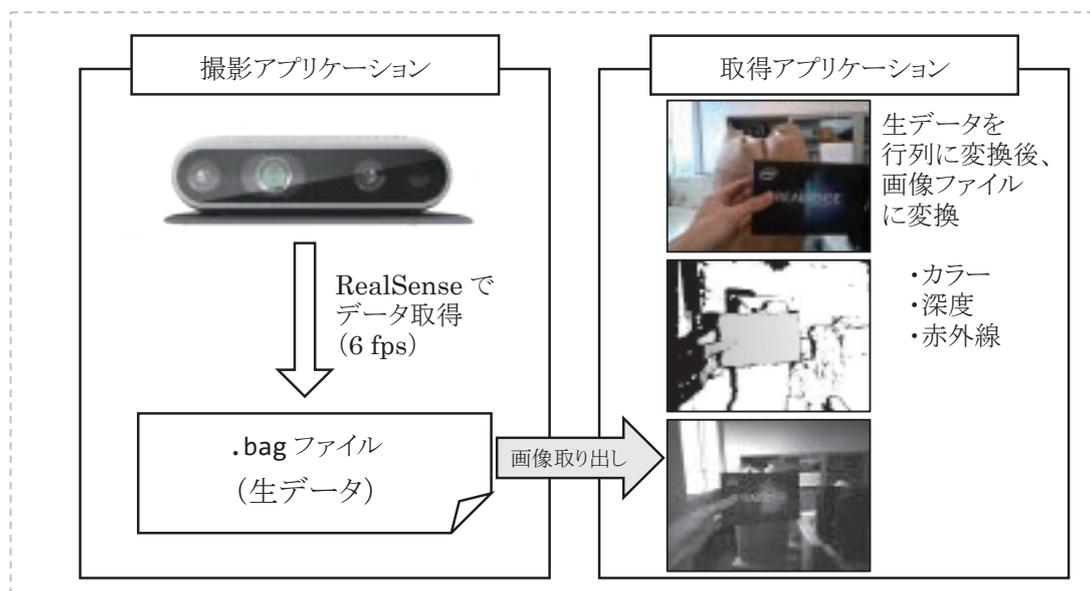


Fig.6 撮影アプリケーションと取得アプリケーション

また、撮影アプリケーションは複数台のRealSenseでの同時撮影が可能となるように開発した。これは、1台のRealSenseでは牛枝肉全体を撮影することができないためである。ただし、RealSenseは前述した通り、パソコンでプログラムを実行しなければ撮影することができない。RealSense 1台ずつ、それぞれ別のパソコンで制御をすると、機材準備が煩雑になることに加えて、撮影タイミングの同期が困難である。RealSenseのSDKにおいて複数台での撮影をサポートして

いたため、それを導入した。

ただし、これまでに複数台のRealSenseを1台のパソコンに接続したときには、動作の遅延や、動作しないといった不具合が発生していたので、転送速度が高速なUSB3.0 (Gen2) を使用する等の配慮を行った。今回は以下スペックのパソコンにRealSenseを4台まで接続したが、問題なく撮影することが可能であった。

Intel NUC L10 Bean Canyon

CPU : Intel Core i7-8559U、4x 2.70GHz

SSD : 512GB M.2 PCIe

メモリ : 16GB DDR4-2400

グラフィックス出力機能 : Intel Iris Plusグラフィック655 (IGP) (CPU内蔵)

OS : Windows 10 Home

2.1.2 カラー・深度画像取得アプリケーションによる牛枝肉の撮影

今回開発した、カラー・深度画像取得アプリケーションを用いて、実際の牛枝肉の撮影を行った。

- ・日時 : 2020年3月30日 (8 : 30~12 : 00)
- ・場所 : サンキョーミート株式会社 (鹿児島県志布志市)

撮影は、アルミフレームに取り付けた4台のRealSenseで同時に撮影した。深度カメラと牛枝肉との距離は約110cmとし、上から以下のような役割で撮影した。

- ・1台目 : 尾椎 → 約20度傾けて上方向から撮影。Fig. 7 およびFig. 8 の緑色枠部分
 - ・2台目 : 尾椎
 - ・3台目 : 全体
 - ・4台目 : 首付近
- } Fig. 7 およびFig. 8 の桃色枠部分

撮影自体は、10 : 37ぐらいから11 : 57ぐらいまでの1時間20分程行った。取得できたデータは約247GByteであった。途中で撮影を止めたときもあったため正確ではないが、1台のRealSenseあたり、1分間に約800MByteのデータを取得していることになった。



Fig.7 アルミフレーム全体

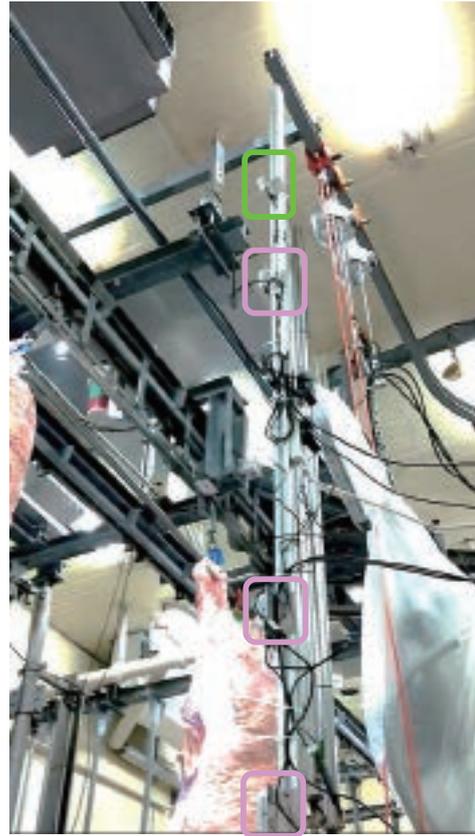
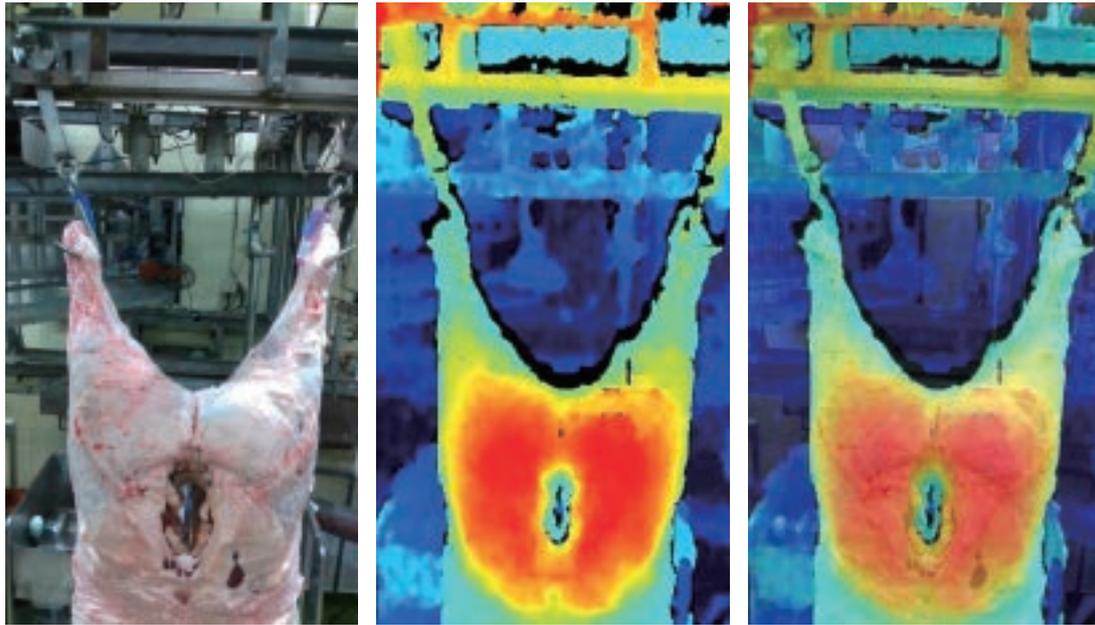


Fig.8 アルミフレーム上部

生データから取得した画像を、Fig. 9とFig.10に示す。(a) カラー画像、(b) 深度画像、(c) それらを合成した画像である。深度画像については、近いと赤く、遠いと青く色付けされる。

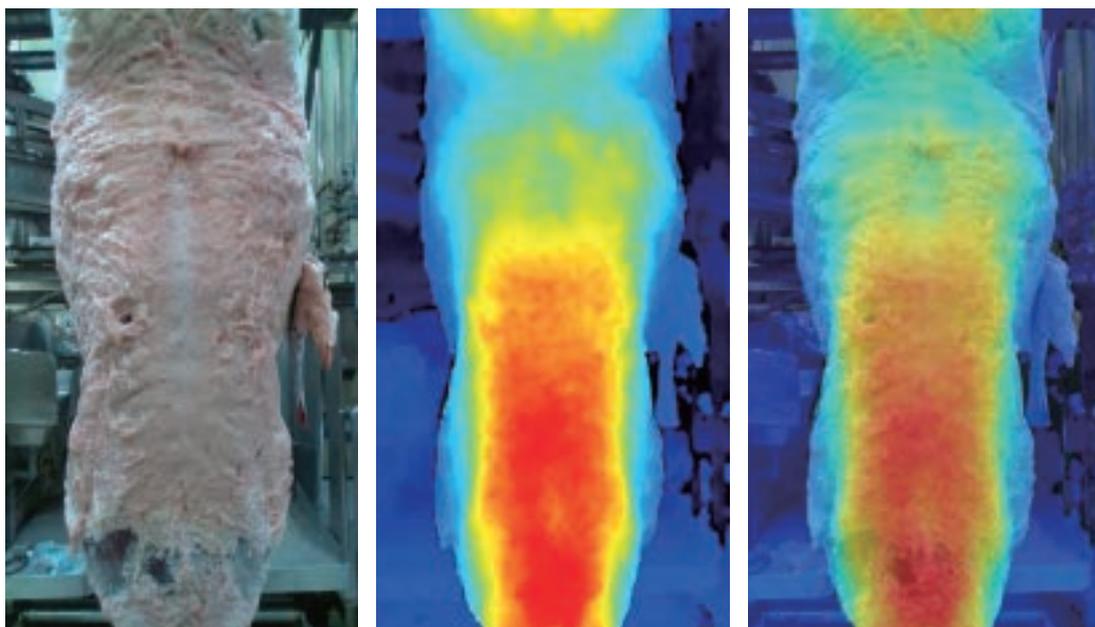


(a) カラー画像

(b) 深度画像

(c) 合成画像

Fig.9 尾椎（最も上部に設置したRealSenseの画像）



(a) カラー画像

(b) 深度画像

(c) 合成画像

Fig.10 全体（上から3番目に設置したRealSenseの画像）

2.2 尾椎検出アルゴリズムの検討

尾椎位置を検出するアルゴリズムの検討を行った。検討を行っている時点では、カラー・深度画像アプリケーションによる牛枝肉の撮影を行っていなかったため、Fig.11に示す牛枝肉模型を作成して、模擬的な撮影を行った。

最初に、尾椎付近の穴部分の検出を、カラー画像を使用したテンプレートマッチングにて試みた。テンプレートマッチングとは、Fig.12に示すようなテンプレ



(a) 模型全体

(b) 尾椎箇所

Fig.11 牛枝肉模型



Fig.12 テンプレート

レート画像と比較して、一致する箇所を探索する方法である。その結果、テンプレートマッチングを使用することにより、カラー画像で穴部分の検出が可能であることが確認できた。しかし、枝肉そのものの形状の個体差や、尾椎箇所の切り方によって穴の形状は異なるため、汎用的に使用するにはテンプレートマッチングでは不十分であると考えた。

そこで、RealSenseにて取得できる深度画像を用いる方法も検討した。Fig.13に深度画像を利用した尾椎検出アルゴリズムを示す。まず、RealSenseによって取得した深度画像（グレー画像）を、二値化して白黒画像に変換する。それによって、尾が切り取られてできた穴部分が黒く表示される。次に、画像の中央付近にある、一定の大きさの黒いエリアを探索する。それによって発見された部分が尾椎の見える穴部分であると判定できる。このように、深度画像を利用することで、穴部分の形状が異なっても深度から明確に判定できるので、深度画像は有効な手段であると考えた。

また、現段階では、発見した穴部分の下辺の midpoint を尾骨の切断面の中心とした。深度画像を利用することによって、形状に個体差があっても穴部分を発見することができるが、穴部分の下辺の midpoint が常に尾骨の切断面の中心とは限らない。したがって、尾骨の切断面の中心をより正確に検出するためには、他の手法を検討する必要があると考えられる。

尾椎検出アルゴリズムは、牛枝肉模型を用いて検討したが、Fig. 9 (b) に示す実際の牛枝肉の深度画像を確認すると、穴部分はやはり深度画像にてはっきりと判別することができるが、尾骨の切断面は判別することができなかった。一方、Fig. 9 (a) に示すカラー画像では尾骨の切断面を判別することができる。したがって、ひとつの案として、穴部分の検出を深度画像で行い、尾骨の切断面の存在する箇所を絞り込んだ上で、カラー画像による尾骨の切断面の検出を行うことで、高い精度での尾椎検出が可能なのではと考えた。

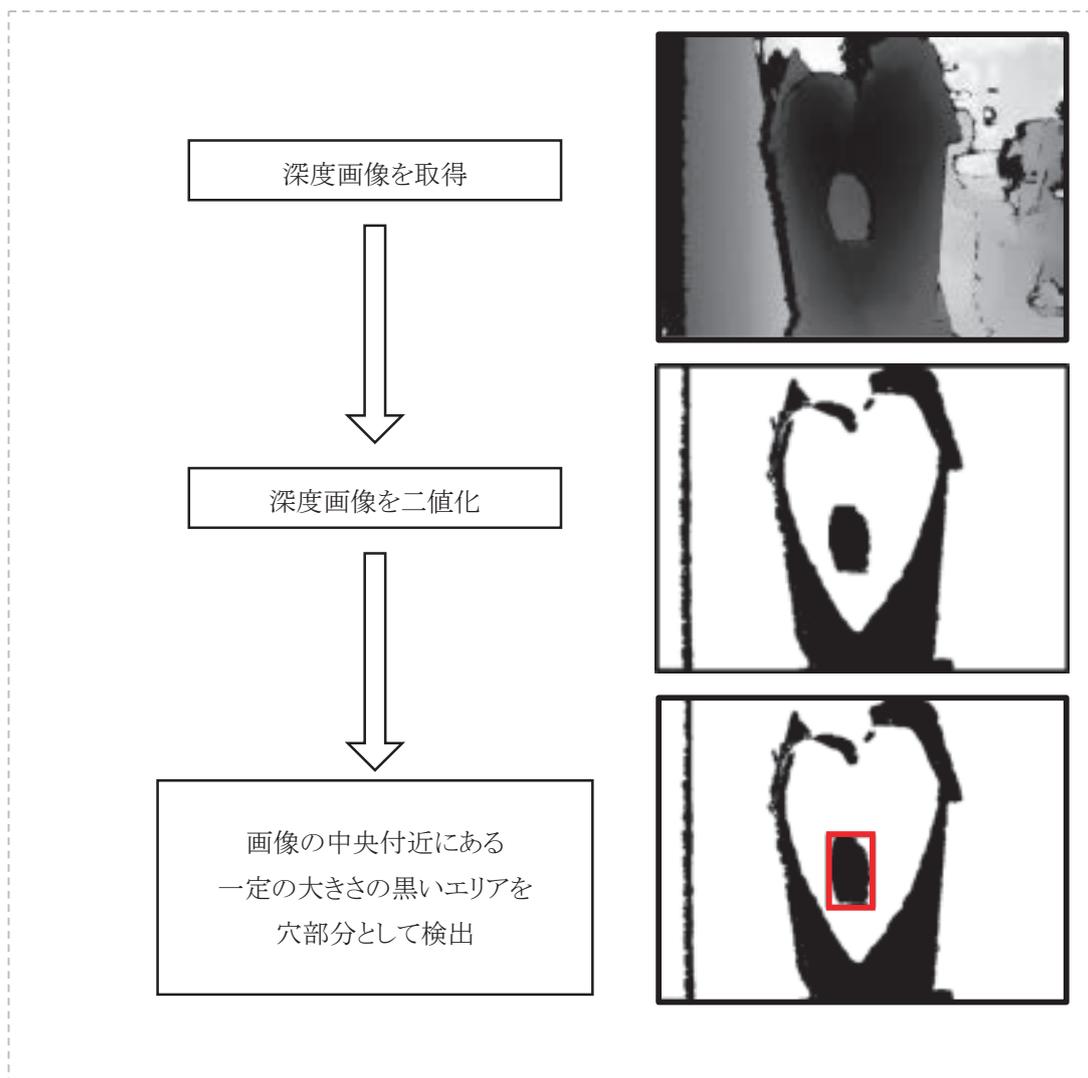


Fig.13 深度画像を利用した尾椎検出アルゴリズム

2.3 背骨検出アルゴリズムの検討

背骨位置を検出するアルゴリズムは、当初AIを利用したアルゴリズムを検討していた。しかし、教師画像とするカラー画像が少ないことから、検討が困難となった。

画像については、2.1.2にて示した通り1時間20分程、牛枝肉を撮影できたので、その動画から取得できるカラー画像と深度画像を利用することを予定している。撮影は動画で行っているため、AIの教師画像として使用できる画像の枚数は把握できていないが、検討するために十分な枚数の画像は取得できる見込みである。

AIを利用した背骨検出アルゴリズムの検討は、2019年度に撮影できた画像を用いて、今後検討していく予定となった。

2019年度としては、Vott⁴⁾を用いてアノテーション（教師データの作成）を行い、YOLO⁵⁾を用いて検出を行う方針を検討していた。

2.4 実験用撮影装置の作成

牛枝肉は体長が長いので、RealSense 1台のみでは全体を撮像できない。また、尾椎部分は上から斜めにRealSenseを設置したほうが、より鮮明に尾椎を撮影できると考えた。そのため、RealSenseを複数台設置して撮影する、Fig.14およびFig.15に示す実験用撮影装置を作成した。実際の牛枝肉での撮影が困難なときは、本装置を用いて撮影を行うこととした。



Fig.14 実験用撮影装置の外観

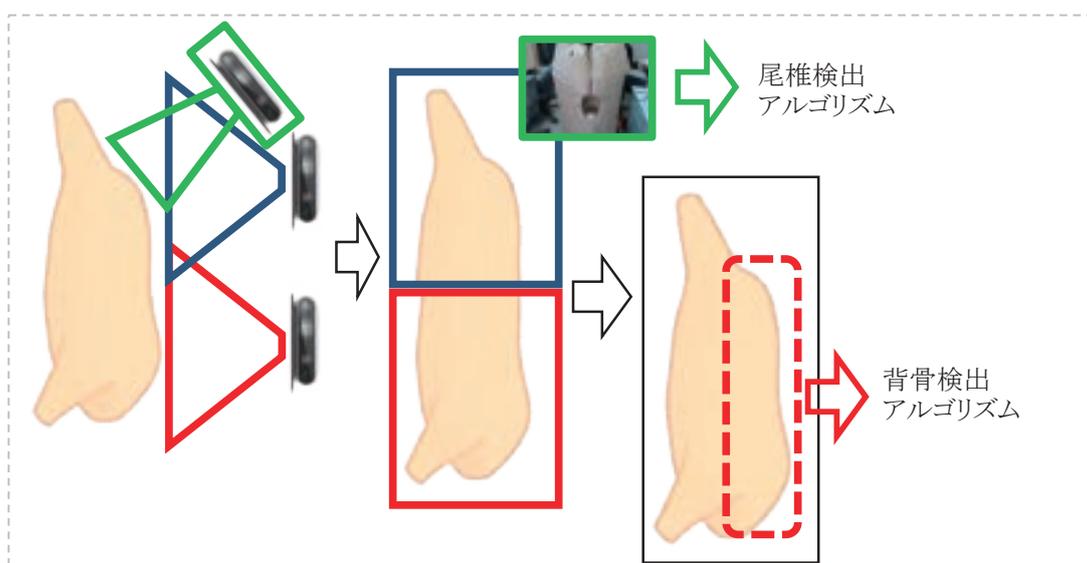


Fig.15 RealSense複数台による撮影

Ⅲ 2020年度（3年目）の研究

1. 目的

2020年度は、牛枝肉の尾椎および股を検出するアルゴリズムと、首の中心を検出するアルゴリズムの開発を目的とした。

2. 研究内容

2.1 装置側との通信機能

装置側（マトヤ技研工業担当）と画像処理側（本校担当）は、以下のような情報を送受信する。

- ① 装置側からの起動／検出開始の要求（装置→画像処理）
- ② 画像処理にて検出した各部位の座標等の情報を装置側に通知（画像処理→装置）

これら情報の送受信は、HTTP通信にて実装した。プログラミングはマトヤ技研工業で実装することとなった。

2.2 尾椎および股を検出するアルゴリズムの開発

尾椎と股はAIにて検出する機能を実装した。具体的な技術としては、YOLOv3⁶⁾を使用した。

YOLOv3とは、RCNN（領域-畳み込みニューラルネットワーク）を使用しており、入力された画像について、物体の位置と種類を検出するAIアルゴリズムである。標準の学習モデルでは、80種類の物体の検出が可能である。また、入力を静止画像ではなく、動画像としても高速に検出できる特徴がある。

今回は2020年3月30日に、サンキョーミート株式会社において撮影させて頂いた画像を学習させて、YOLOv3にて尾椎と股の検出を行った。Fig.16は実際に撮影した動画像に、今回開発したAIアルゴリズムを適用させて、検出を行った図である。尾椎部分に青枠（spine）、股部分に赤枠（crotch）と示されており、検出が実現できていることがわかる。



Fig.16 尾椎および股の検出

AIの学習画像は200枚用意した。これはオリジナルの画像に加えて、ぼかし等画像の水増しをしたものも含む。なお、学習には6時間程の時間を要するが、高性能なCPUとグラフィックボードを使用すると1時間程に短縮できた。

検出の精度について、サンキョーミート株式会社にて撮影した牛枝肉であれば、尾椎と股は、ほぼ100%検出できた。例えば、Fig.17のように尾椎が少し欠けて円状になっていなくても、尾椎として検出することができた。

また、動画像で高速に物体検出が行えるというYOLOv3の特徴を活かして、尾椎と股の検出は、撮影中の動画像に対してリアルタイムで検出を行っている。牛枝肉を表示した直後に検出できないという場合もあるが、リアルタイムの検出を行っているため、枝肉が移動している間に検出することができた。さらに、移動平均を取っている



Fig.17 やや欠けた尾椎と検出結果

ため、撮影途中に尾椎を見失った場合でも、直前の10数フレームの尾椎の位置を記憶しているため、おおよその尾椎の位置を推測することも可能としている。このように、動画像に対するリアルタイムの検出と、移動平均を利用することで、尾椎と股はほぼ100%検出できた。

検出を行う際のフレームレートは1 fpsとしている（1秒間に1フレーム）。これは、装置側から検出の要求を受け取った際に、検出結果としてテキストファイルや画像ファイルを生成することも考慮している。実際の検出処理は約0.7秒で完了する程の速度である。

2.3 首の中心を検出するアルゴリズムの開発

牛枝肉が斜めに傾いていないか判断できるようにするために、首の中心を検出する機能を追加した。首部分の検出には深度画像を利用した。深度画像を利用すると、Fig.18(b)のように、背景が青色になり、明らかに枝肉を特定することができた。

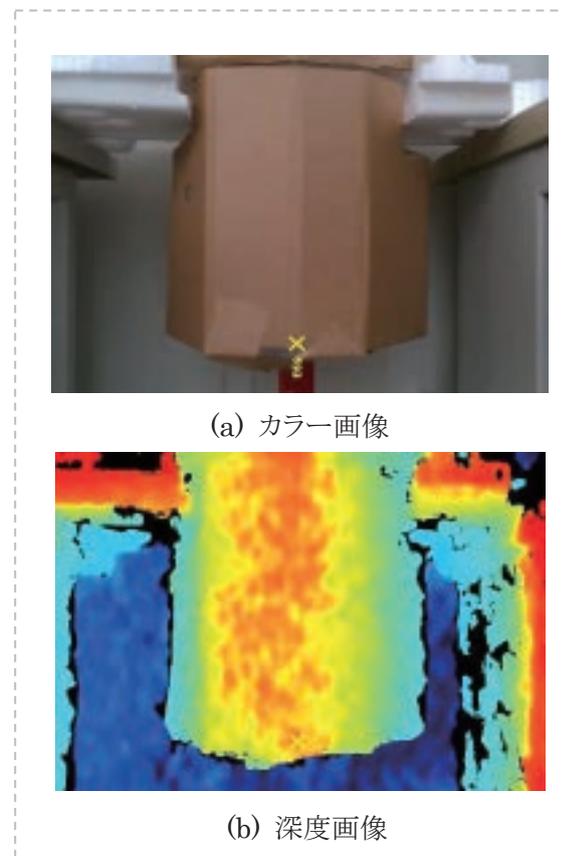
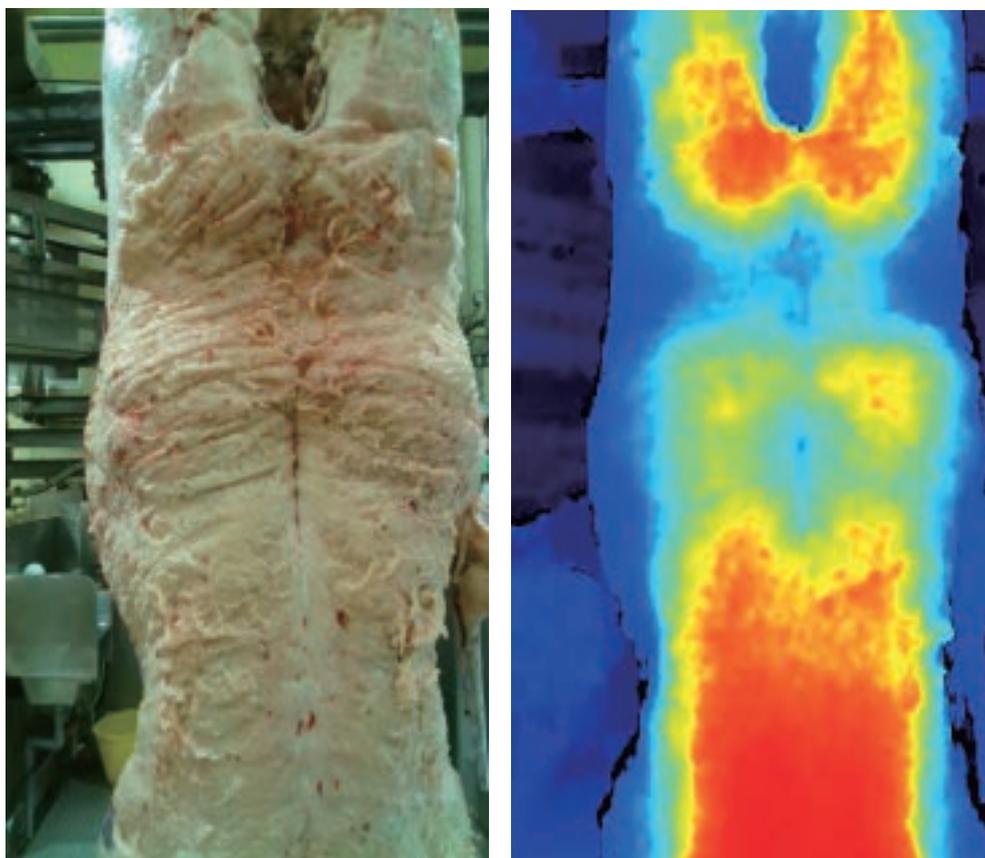


Fig.18 枝肉模型の首部分の中心を検出した画像

2.4 背骨を検出するアルゴリズムの検討

サンキョーミート株式会社での撮影はIntel RealSense D435で行ったため、カラー画像と同時に深度画像の撮影を実施できた。カラー画像だけでなく深度画像、つまり枝肉表面の凹凸を利用して、背骨を特定できないかと考えていた。個体によってはFig. 19 (b) に示すように、凹み（画像中央の青いくぼみ）がわかりやすいものもあったが、ほとんどの個体は、深度画像からは背骨を特定できる特徴は見られなかった。

この時点では「尾椎から垂直に切る」という方針から、尾椎の特定と、システム全体のプログラミング実装を優先したため、背骨の検出については作業を中断した。



(a) カラー画像

(b) 深度画像

Fig.19 RealSenseで撮影した牛枝肉画像

2.5 画像合成機能

牛枝肉の大きさから、撮像するRealSenseは複数台必要である。そこで、複数台で撮影した画像を合成して、ひとつの画像とする画像合成機能を実装した。

画像を合成する基準点を測定するために、まずキャリブレーション機能を実装した。赤白の測量棒と、基準点となる青い印を3台のRealSenseで撮影して、その位置関係を測定できるようにした。本校での実験環境と、実験に使用した牛枝肉模型をFig.20に示す。



(a) 実験環境

(b) 牛枝肉模型

Fig.20 実験環境と使用した牛枝肉模型

キャリブレーション機能にて測定した情報をもとに、画像合成を行ったものを Fig.21に示す。Fig.21(a)は測量棒そのものを合成したものであるが、わずかなズレはあるものの、測量棒の画像合成は成功していることがわかる。

しかし、測量棒の前に牛枝肉模型を置いたところ、Fig.21 (b) のように牛枝肉模型は正常に画像合成が行えなかった。これは、測量棒より近い位置に牛枝肉模型があるためと考えられる。

また、キャリブレーション機能では、画像の画素と空間座標との比率（1 pixelが何mmなのか）の測定も行っている。例えば、測量棒とRealSenseとの距離が1 mの場合、1 pixelは約1 mmとなり、距離が2 mの場合は、1 pixelは約2.2mmとなった。つまり、測量棒とRealSenseとの距離が離れるほど、1 pixel当たりの実際の距離が大きくなる（=位置特定の精度は低くなる）。



(a) 合成した測量棒

(b) 合成した牛枝肉模型

Fig.21 画像合成の例

IV 2021年度（4年目）の研究

1. 目的

2021年度においては、ZED 2 Stereo Cameraによる開発の検討、牛枝肉の尾椎検出精度を向上させるためのアルゴリズムの開発や、超解像が物体検出へ及ぼす影響の調査を目的とした。

2. 研究内容

2.1 深度カメラ（ZED 2 Stereo Camera）による開発検討

これまででは、深度カメラとしてFig.22(a)に示すIntel RealSenseを使用してきた。しかし、RealSenseには空気中の水蒸気量が多いと、深度が正確に測定できないという懸念点があったため、2021年度はFig.22(b)に示すZED 2 Stereo Cameraを試用した。ZED 2 Stereo Cameraは、解像度が4416×1242pixel、最大深度が20m、視野角が120度という性能を持ち、ニューラルネットワークによる深度センシングを実現している。

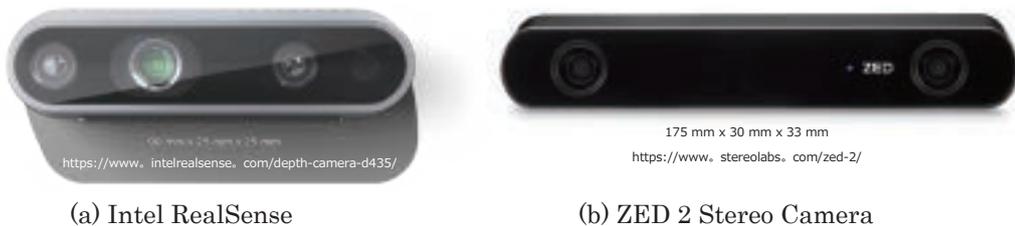


Fig.22 使用デバイス

ZED 2 Stereo Cameraに付属するSDKを利用して、Fig.23に示す深度画像の生成と、深度（距離）の測定に成功した。ただし、サンプルプログラム等開発のための情報が不足しており、開発が難航した。その後、深度はマトヤ技研工業が独自に測定するという方針となったため、ZED 2 Stereo Cameraの試用は作業を中断することとなった。

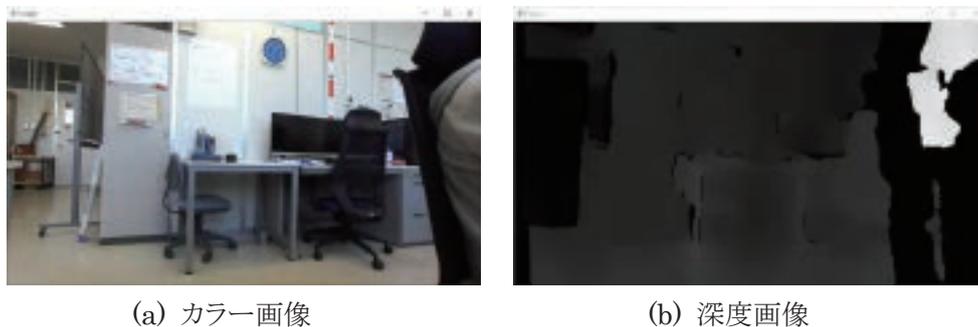
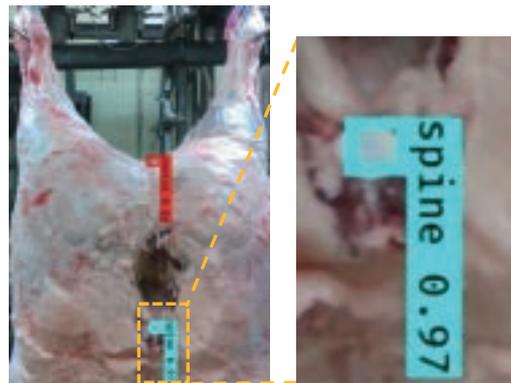


Fig.23 ZED 2 Stereo Cameraによる画像

2.2 アルゴリズムの開発

これまでAI (YOLOv3) を用いて、牛枝肉の尾椎位置は特定することができていた。しかし、尾椎の位置は特定できるが、尾椎の正確な中心を捉えられるとは限らなかった。Fig.24(b)に示すように、YOLOv3で特定した領域は、尾椎のおおよその位置は示しているが、領域内に尾椎の全体は含まれていない。したがって、尾椎の正確な中心はわからない状態であった。尾椎の正確な中心に背割り機の刃を当てる必要があるため、2021年度は尾椎の中心を検出するためにアルゴリズムの開発を行った。



(a) 牛枝肉全体の検出結果 (b) 尾椎箇所拡大図

Fig.24 YOLOv3による検出

2.3 YOLOv3学習データの変更対応

これまで、牛枝肉を真横から撮影していたため、YOLOv3に学習させる画像データも、真横からの撮影データのみであった。しかし、2021年度から牛枝肉を斜め上方から撮影することとなった。これまでの学習データにて尾椎の検出を試みたところ、尾椎を検出することはできなかった。そのため、新たに斜め上方から撮影した画像を、YOLOv3に学習させる必要が出てきた。斜め上方から撮影した画像データをマトヤ技研工業から提供して頂き、約100枚の牛枝肉画像をYOLOv3に学習させた。その結果、斜め上方からの撮影でも問題なく尾椎を検出できるようになった。Fig.25がYOLOv3に学習させた画像データの例である。



(a) 真横から撮影 (b) 斜め上方から撮影

Fig.25 YOLOv3に学習させた画像データの例

2.4 超解像が物体検出へ及ぼす影響調査

枝肉加工工場によっては、背割りのための撮影装置を牛枝肉の近くに設置できない場合がある。この場合、枝肉の画像は小さく写り、尾椎の検出ができない可能性がある。被写体が小さい場合の一般的な対応として画像の拡大が考えられるが、拡大することで解像度が低くなり、不鮮明となるために検出ができない、となる可能性がある。

そこで、超解像技術の応用が考えられる。超解像とは、ニューラルネットワークを利用して、低解像度画像の解像度を向上させる技術である⁷⁾。Fig.26は通常の拡大と、超解像した場合で、物体検出の結果に変化があるのか実験したものである。



Fig.26 超解像による物体検出結果

Fig.26(a)は元画像であり、何人かの人を検出されている。Fig.26(b)は元画像を縮小したものであり、人は検出されなくなっている。さらに、Fig.26(c)はその縮小画像を拡大したものであるが、解像度の低い粗い画像となっており、画像の大きさとしては元画像と同じでありながら、人は検出されていない。この拡大画像に超解像を適用して、解像度を向上したものがFig.26(d)である。ここでは1人が検出できている。したがって、超解像は物体検出に影響を与えることができることがわかった。つまり、もし工場環境のために撮影装置を牛枝肉の近くに設置できない場合があっても、超解像により解像度を向上させることで、物体検出ができる可能性があるといえる。

なお、超解像における学習は、例えば画像サイズ 80×80 、学習回数1000回の場合、グラフィックボードなしのコンピュータの場合は2日間程の学習時間を要したが、グラフィックボード搭載のコンピュータでは大幅な学習時間の削減ができた。具体的には、NVIDIA Geforce RTX2060では60分、NVIDIA Geforce RTX3070では50分の学習時間となった。

V 2022年度（5年目）の研究

1. 目的

2021年度までの結果から、尾椎の中心を検出するアルゴリズムはほぼ完成している。2022年度では、アルゴリズムの検証を行うことを目的とした。また、ZED 2 Stereo Cameraの機能調査、超解像を尾椎画像に適用することも目的とした。

2. 研究内容

2.1 アルゴリズムの検証

開発した尾椎検出アルゴリズムの検証を行った。結果、YOLOv3、すなわちAIによる検出よりも、画像処理を追加したほうが、検出精度が優れている場合があることがわかった。しかし、尾椎の画像にはさまざまなパターンがあり、うまくいかないパターンもあった。

対策として、ソフトウェアではなくハードウェアでの対策が考えられる。検出結果が悪くなるのは、尾椎内に影や血液などがあるため、尾椎内の色が一律でないことが原因のひとつである。そこで、尾椎に対して照明を照射して、尾椎内の色を一律とすることで、検出精度が向上すると考えられる。

2.2 ZED 2 Stereo Camera機能調査

新たな撮像装置ZED 2 Stereo Camera（以下ZED2）の可能性を探るために、ZED2の制御方法について調査し⁸⁾、プログラムの作成と機能評価、拡張の検討を行った。2022年度にZED2で実現した機能は以下である。

- ・深度画像の撮影（静止画をPNGファイルとして保存）
- ・深度動画の撮影（動画をmp4ファイルとして保存）
- ・深度データ保存（csvファイルとして保存）
- ・深度処理エラーの可視化
- ・深度の高解像度化

ここでは特に、深度処理エラーの可視化と深度の高解像度化について述べる。

2.2.1 深度処理エラーの可視化

ZED2では以下の深度処理エラーがある。初期動作のままでは、エラー箇所は画像にしたときに黒くなり、エラーの判断ができない。そこで、各エラーについて特定の色に変換することで、何の処理エラーが発生しているのか判断できるようにした。

- ・nan：深度を算出するときにエラーが発生し、深度値が不明。赤色で示す。
物と物の境界線など、物陰になる箇所はこのエラーが発生しやすい。
- ・inf：遠すぎるため、深度を算出できないと判断された箇所。緑色で示す。
- ・-inf：近すぎるため、深度を算出できないと判断された箇所。青色で示す。

2.2.2 深度の高解像度化

ZED2ではセンシングで得られた32bit浮動小数点の値を、256段階のモノクロ画像として表示するときに、8bitに解像度を落としている。解像度の落とし方は式(1)で表される。

$$d = \frac{(D - D_{min})}{range} \dots (1)$$

D := 深度値 [m]

D_{max} := 深度値の最大値 [m]

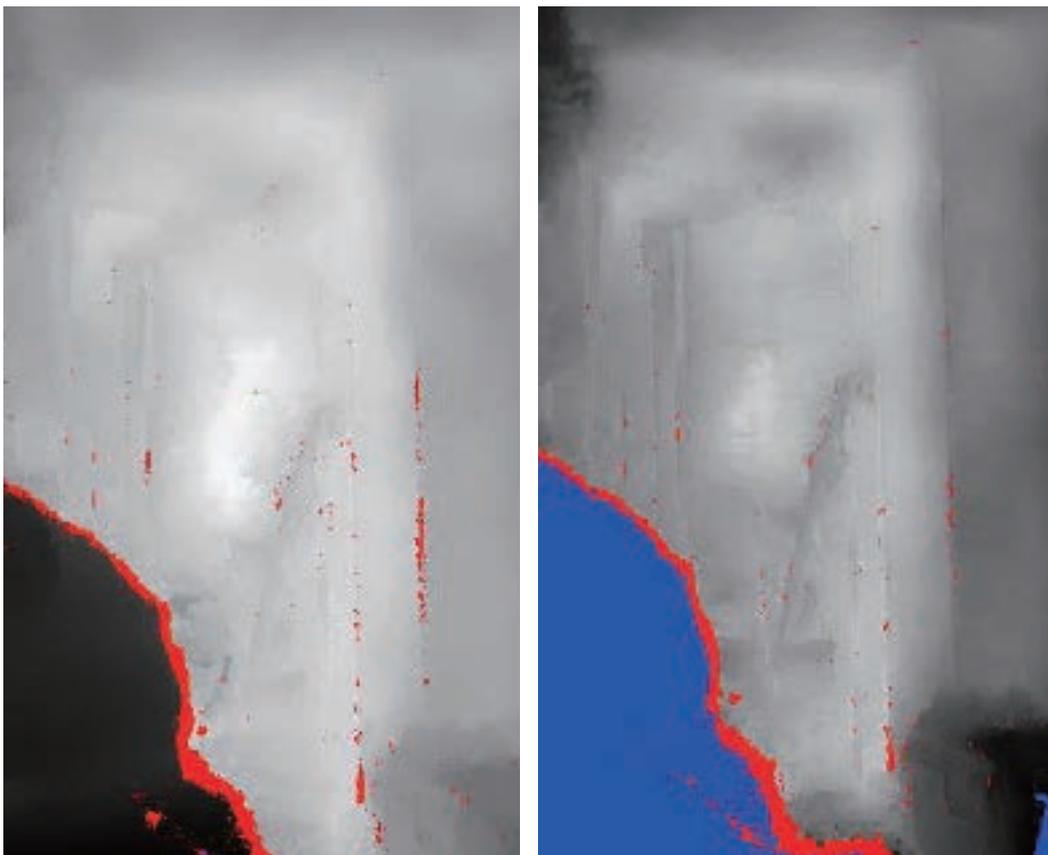
D_{min} := 深度値の最小値 [m]

$range$:= $D_{max} - D_{min}$ [m]

深度画像は、ここで求められるを d 用いて、式(2)で決定される。なお、 d は 0 から 1 の値を取る実数なので、 $color$ は 0 から 255 の値を取る整数となる。すなわち、深度画像は 0 (黒) から 255 (白) までの 256 段階グレー画像となる。

$$color = d \times 255 \dots (2)$$

Fig. 27(a) は初期設定のまま、 $D_{min} = 1.0m$ 、 $D_{max} = 3.5m$ としたときの深度画像である。一方、Fig. 27(b) は、 $D_{min} = 2.0m$ 、 $D_{max} = 3.5m$ として、 $range$ を小さくすることで深度の解像度を細かくしている。そのため、Fig. 27(b) では画面中央にカサがあり、柱に立てかけていることが確認できる。



(a) 深度の高解像度化なし

$D_{min} = 1.0m$ 、 $D_{max} = 3.5m$

(b) 深度の高解像度化あり

$D_{min} = 2.0m$ 、 $D_{max} = 3.5m$

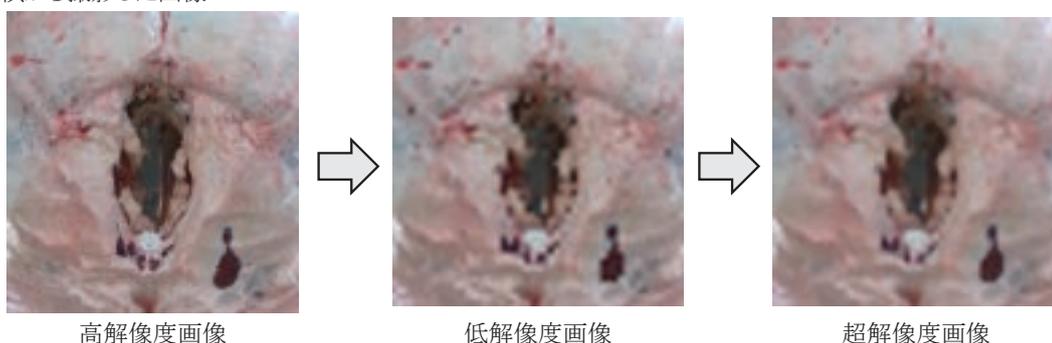
Fig. 27 深度の高解像度化

このように、深度処理エラーを明確にし、深度を高解像度化することで、より鮮明な深度画像を得られる可能性があることがわかった。Fig. 9 (b)の深度画像では、尾椎の形が見えないので、深度画像は尾椎検出には適さないと判断したが、この深度の高解像度化を使用することで、尾椎の形が見える深度画像が得られる可能性がある。深度の高解像度化によって、これまでに発生していた問題を解決できる可能性がある。

2.3 尾椎画像の超解像

2021年度では、超解像を人物画像に適用して検証したが、2022年度では実際に尾椎画像に対して超解像の適用を試みた。超解像の結果をFig.28に示す。

<横から撮影した画像>



<斜め上から撮影した画像>

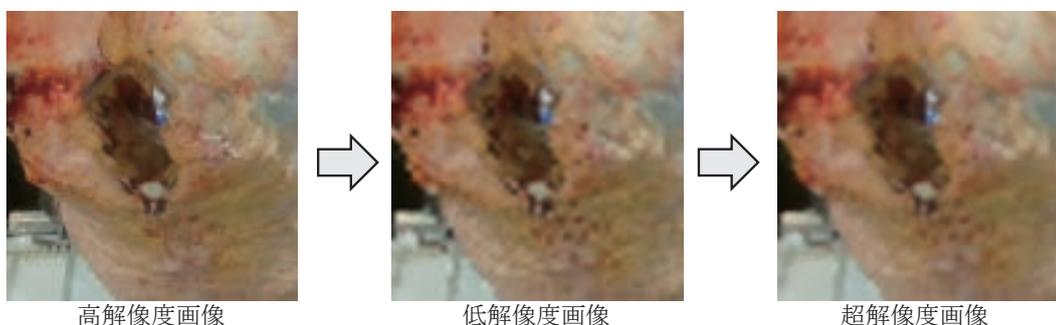


Fig.28 超解像画像

牛枝肉を横からと斜め上から撮影して得られた高解像度画像に対して、画像を縮小することで低解像度画像を作成する。低解像度画像の時点で、ブロックノイズが発生するなど画像が鮮明でなくなっていることがわかる。この低解像度画像に対して、超解像度を適用して得られるのが超解像度画像である。低解像度画像に比べると、ブロックノイズが少なく、なめらかな画像を得られている。しかし、高解像度画像と比較すると鮮明さに欠ける。

この超解像を適用するために、それぞれの尾椎画像について、学習する元となる画像データを100枚用意し、データ水増しによって、合計10000枚の画像を超解像の学習に用いた。学習に要する時間は約23時間であった。

超解像による物体検出への影響を調査することを計画していたが、Fig.28の画

像に対してYOLOv3での尾椎検出を試みたが、結果としては高解像度画像であっても、YOLOv3による尾椎の検出ができなかった。これは超解像できる画像サイズが小さく、Fig.28の画像がすべて400×400pixelであったため、牛枝肉の限られた部分しか映っておらず、尾椎の検出ができなかったと考えられる。したがって、超解像による物体検出への影響を調査するためには、超解像できる画像サイズを広くするなどの対応が必要と考えられる。今回は物体検出への影響は検証できなかったが、尾椎画像に対して超解像を適用できるところまでは確認できた。ただし、超解像画像の鮮明さも足りないように見えるため、超解像技術にはまだ検討の余地があると考えられる。

【PART 2の総括】

本研究では、と畜・解体処理、特に牛の背割りにおいて、自動化と効率化を目的として研究開発を行った。本研究機関はAIや画像処理等のソフトウェア開発を担当したが、YOLOv3による尾椎の検出が可能となり、尾椎の中心座標を得ることができた。ただし、尾椎の画像にはさまざまなパターンがあることから、どのような個体でも正確に尾椎の中心座標を得るためには、ハードウェアも含めた対策が必要であると考えられる。

また、プログラミング言語Pythonを用いて、YOLOv3を利用した物体検出のソフトウェア開発技術を得ることができた。また、関連技術としてIntel RealSenseやZED 2 Stereo Cameraといった深度画像を得られる装置の技術を得ることができた。さらに、超解像という新しい技術については、まだ研究段階であるが、本研究のような物体検出に適用できる可能性があるという知見が得られた。

【学会発表】

1. 深度センサを利用した位置検出のための画像処理とその活用

村元 翔太（発表者）・東 誠太・市川 知春・福添 孝明・岸田 一也・古川 翔大・原 崇・武田 和太・芝 浩二郎（鹿児島工業高等専門学校）

2019年度 情報文化学会 九州支部大会、鹿児島医療技術専門学校、OP-C5、2020年2月11日

2. 牛の自動背割り機のためのRealSenseを用いた画像処理および深層学習を用いた物体検出

村元 翔太*・市川 知春*・東 誠太*・原 崇*（発表者）・芝 浩二郎*・中村 勝博**（*鹿児島工業高等専門学校、**マトヤ技研工業株式会社）

2020年度 情報文化学会 九州支部大会、オンライン開催、OP-A3、2021年2月11日

3. 牛の自動背割り機のためのAIによる物体検出

原 崇*（発表者）・芝 浩二郎*・阿部 憲一**・中井 裕**・中村 勝博***（*鹿児島工業高等専門学校、**新潟食糧農業大学、***マトヤ技研工業株式会社）

【参考文献】

- 1) Microsoft researchers achieve speech recognition milestone, <https://blogs.microsoft.com/ai/microsoft-researchers-achieve-speech-recognition-milestone/>
- 2) 港湾の水際対策！ 人工知能でヒアリを防げ！、<https://blogs.technet.microsoft.com/jpai/2017/09/14/protection-from-fire-ant-using-ai/>
- 3) インテル® RealSense™ テクノロジー、<https://www.intel.co.jp/content/www/jp/ja/architecture-and-technology/realsense-overview.html>
- 4) Vott, <https://github.com/Microsoft/VoTT>
- 5) You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection, Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi; Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, pp.779-788
- 6) YOLOv3: An Incremental Improvement, Redmon, J.; Farhadi, IEEE Trans. Pattern Anal. 2018, 15, 1125-1131
- 7) Image Super-Resolution Using Deep Convolutional Networks, Chao Dong · Chen Change Loy · Kaiming He · Xiaoou Tang, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (Volume: 38, Issue: 2, 01 February 2016)
- 8) Stereolabs Docs: API Reference, Tutorials, and Integration: <https://www.stereolabs.com/docs/>

PART3

牛の背割り自動化装置のプロトタイプ製作

益留 福一（マトヤ技研工業株式会社）

中村 勝博（マトヤ技研工業株式会社）

研究概要

1. 研究の背景と目的

牛の背割り作業は、製品の品質・価格に関わる重要な工程であり、熟練者により行われている。これまで自動化の必要が唱えられてきたが、日本国内で運用された実例がない。今後、熟練者の高齢化や国内の少子化に伴い熟練作業者の維持が危ぶまれている。

この問題を解決し、と畜産業の背割り作業の高度技能維持に寄与するため、公益財団法人伊藤記念財団のプロジェクト事業として、2018年から2022年まで5年間、牛の自動背割り機の研究開発を行った。

2. 研究概要と内容、実証試験の結果と考察

・研究開発1年度（2018年度）※現状調査

〈概要〉

解体室と畜場と解体方法の調査・視察（米国および国内）を実施し、その結果をもとにプロト機の製作のための仕様・検討を行った。

〈内容〉

解体作業の効率化、衛生的観点の考え方の調査

- 1) 国内工場の視察（サンキョーミート株式会社 有明ミート工場）
- 2) 自動背割り機の開発計画の検討会
- 3) 機械化された海外食肉工場の食肉処理装置の視察

〈結果・考察〉

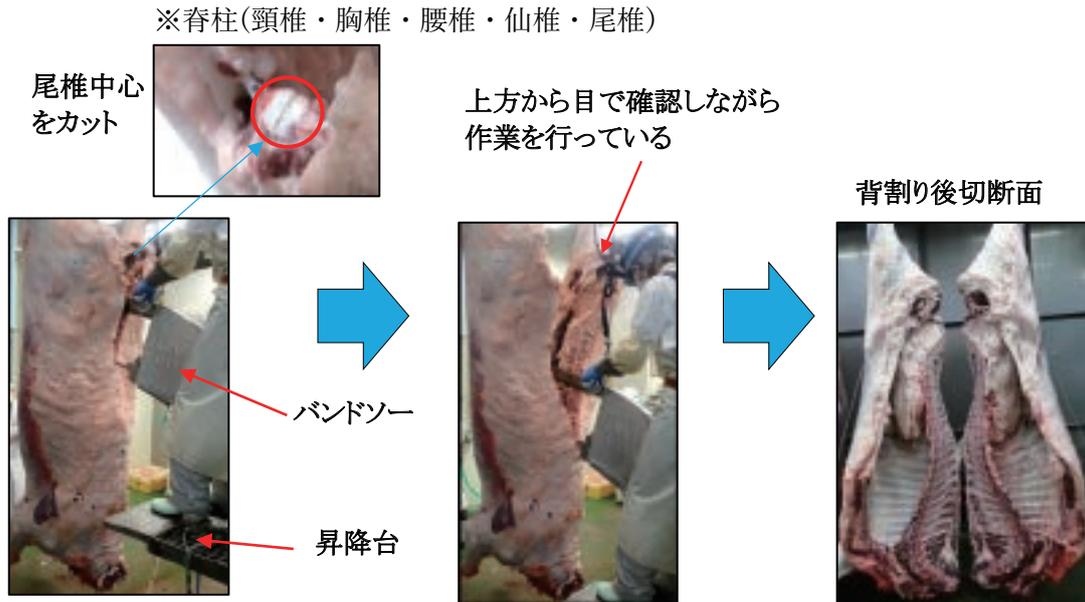
米国では肉牛の価格が安価なため、牛の背割りも大量生産自動機で行うように見られたが、視察ではいまだ人によるバンドソーでの手作業であった。

背割り機はバンドソー。斜めにガイドがあり、このガイドレールに案内されて斜めにリフターが上下している。リフターに作業者が乗り、熱湯消毒は鋸全部を槽に一瞬浸けるだけであった。3台のリフターが並んでいたが2台で背割りを行っていた。

しかし、ほとんどを1人で背割り作業を行っているようだった。

国内工場の状況は、作業者は下記写真図のように昇降台にてバンドソーを持ち、尾椎中心から昇降台を下降させながら背割りを行う。作業者は、常にバンドソーを上方から目で確認しながら、脊柱中心から鋸刃がずれないようにバンドソーを操作している。

背割りの仕上がりが商品価値に大きく影響することから、熟練作業者にしかで



きない非常に繊細な作業となっている（国内での牛の自動背割り機は存在しない）。
背割りの良し悪しにより価格が左右されるからである。

このことにより背割り作業には、高精度な位置決めが行えるサーボモータ使用する。

背割り位置特定方法は、X線カメラとCCDカメラ（DEPTHカメラ）等の併用で、位置座標を画像処理の仕様とした。

・研究開発2年度（2019年度）※プロト機製作

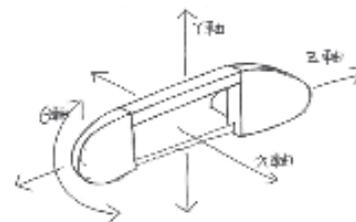
〈概要〉

実証試験に向けて現場確認、プロト機の構想、設計、部品製作を行った。

〈内容〉

1) 機械設計

研究開発1年度にて、解体作業の調査で人力にて背割りを行う動作および実証環境のスペースを考慮し、バンドソーを動かすための軸をX軸（横）・Y軸（高さ）・Z軸（前後）・ θ 軸（バンドソーの上下振り）の4軸に絞り込んだ（II-1参照）。



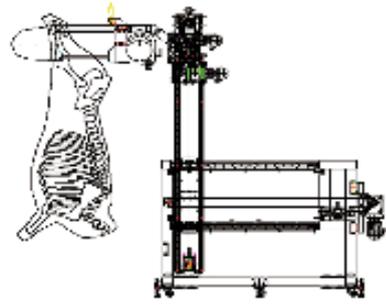
II-1

フレームの構成として多関節方式（アームロボット方式）と門型直交軸方式（ガントリー方式）を検討した。多関節方式は必要最小限のフレームで構成されるため小型であるメリットがあるが、食肉工場内の雰囲気（高湿度、水の飛散）や日々の洗浄に耐えられること、実証試験のたびに搬入設置が可能であることを考慮すると導入が難しい（II-2参照）。



II-2

一方で、門型直行軸方式は制御に複雑な計算を必要としないため耐水性のある部材を用いて独自で製作が可能であり、各軸が独立して動作するため、アクチュエータの変更、ストロークの変更や仕様の追加に対応できることから、今回のプロトタイプは門型直交軸方式で設計を行った（Ⅱ-3参照）。



Ⅱ-3

2) 制御設計

選定したアクチュエータを動作させるための必要電力の算出と制御部品の選定、各アクチュエータとバンドソーを連動し、かつ外部要因等による非常時の安全性を考慮したシーケンスの作成を行った。

各要素は今後の改良に備え、ある程度の拡張性を持たせ制御系の設計を行った。

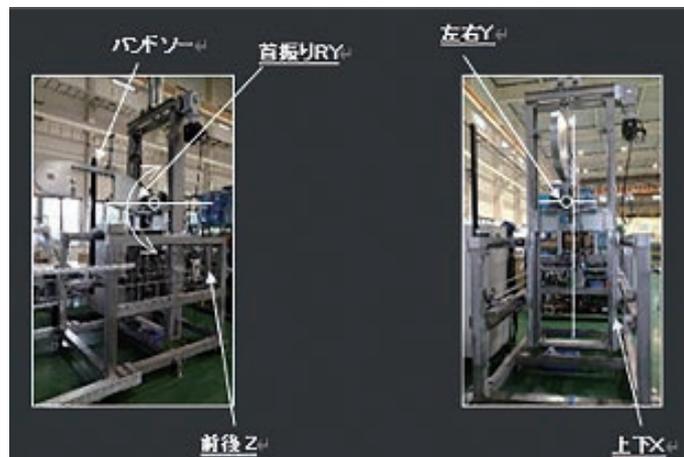
・研究開発3年度 1回目（2020年6月）※第1回実証試験

〈概要〉

研究開発2年度に製作した部品の組立、調整を行い、と畜場での実証試験を行った。

実証試験についてトラブルが発生した場合、生産ラインを中断することになるため解体処理数や肉の品質に大きな影響を与える可能性がある。

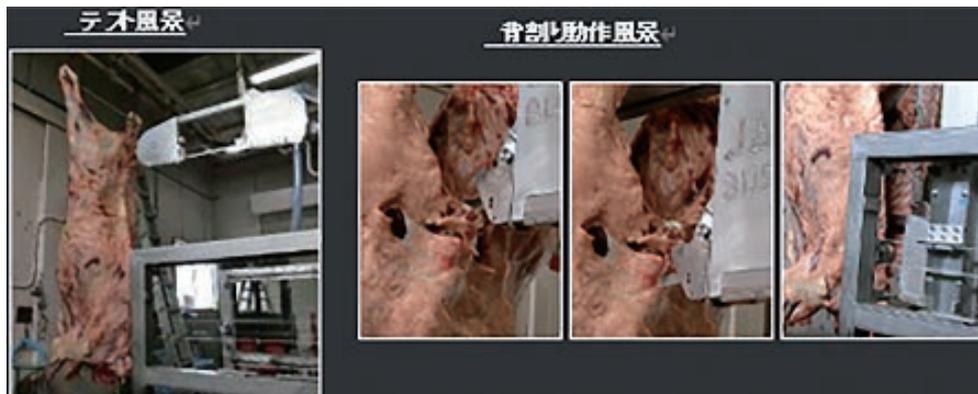
そこで今回実証試験は、病畜棟にて行った。



〈内容〉

製作したプロト機のバンドソーでハンドリングを行い、牛の背割りを行える機能を有するか確認することにある。そのため、機械の各軸の動作について自動制御ではなく作業者がリモコンを操作して行った。

病畜棟での作業は、開脚棒を使用して背割りを行うためバンドソーとの干渉があり、事前に恥骨はカットしてからの実証試験を行った。



〈結果〉

2頭の実証試験の結果（Ⅲ-1-1 参照）。

	結果
1頭目	最後まで背割りできた。
2頭目	背割り途中、脊柱中心からバンドソーが逸れたが、病気牛のため最後まで背割りした。

Ⅲ-1-1

- ・ 1頭目（ホルスタイン経産牛 5歳 寝たきり）

テスト方法：バンドソーを尾椎位置中心に鋸刃を合わせ、昇降速度は2000mmを80秒で下降しながら背割りを行った（高所作業台、手動操作用のリモコンで動作、バンドソーの回転速度は1500rpm、AC200V、50Hz）。バンドソーを回転させながら下降し、背割りを行う途中枝肉が前後に揺れていたが、最後まで背割り作業ができた。

経産牛は骨が硬く、バンドソー鋸刃が逃げて切り難いとのこと。



- ・ 2頭目（ホルスタイン経産牛 7歳 健常）

写真より、背割り前の枝肉が尾骨辺りから曲がっているように見える。

背割りを開始する。入り込みは問題なく背割りできたが途中、腰椎付近から逸れ始め、最後の頸椎部分で外れた。

背割り中に鋸刃を前後に動かしたことで、枝肉が前後に振れてしまったことが原因と考えられる。



〈考察〉

研究開発1年度の目的である、製作したプロト機が牛の背割りを行える機能を有することが確認できた。

課題として、背割り動作中のバンドソーに対して脊柱の中心が逸れることへの対策が必要であることが判明した。

- ・ 研究開発3年度2回目（2020年11月27日～12月1日）※第2回実証試験

〈概要〉

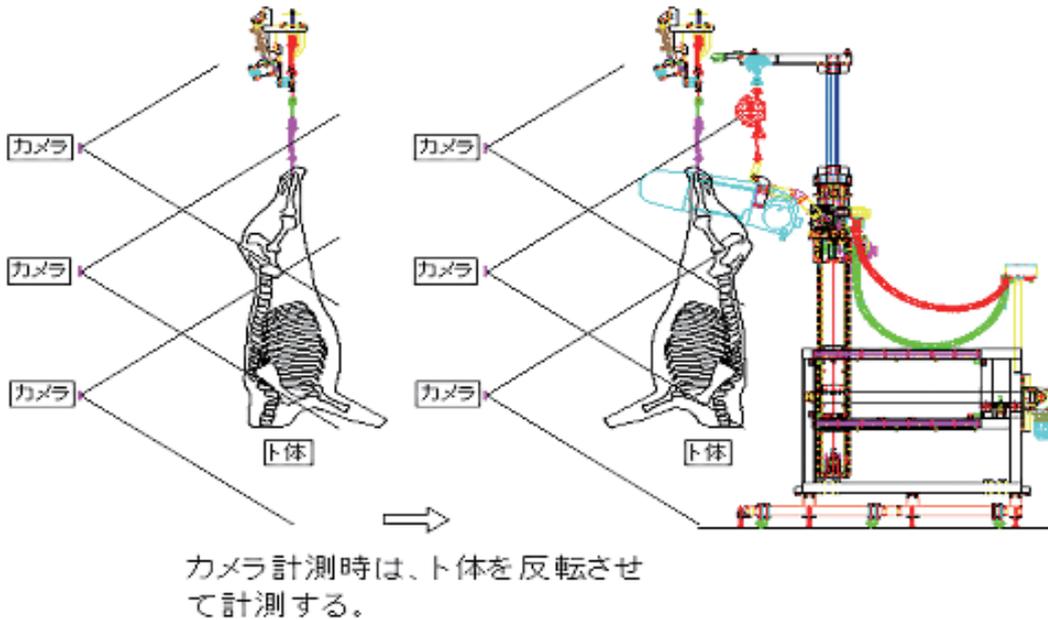
同年度1回目の実証試験結果で、動力や機械構成の強度が十分であることが確認されたため、本ライン（解体室）での実証試験を行った。

本ラインは病畜棟と異なり、と体を吊るレールの高さが高いため、1回目と同じ機械の構成ではバンドソーが最適な高さに届かない。対策として機械下部に入れるフレームを製作して本ラインに対応したが、上下の移動範囲が不足構造上の問題でと体の恥骨をバンドソーにて切断ができず、今回の実証試験では事前に恥骨を切断したと体にて実証試験を行った。

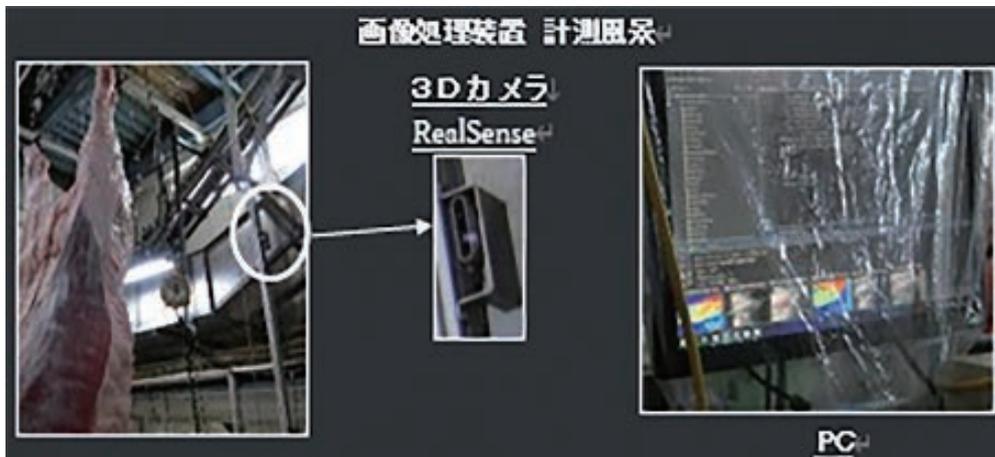


〈内容〉

と体の位置データの計測カメラは、と体を中心に装置の対称側に設置して計測。背割り作業は、と体を反転させて行った（Ⅲ-2-1 参照）。



(Ⅲ-2-1)



バンドソーのハンドリングを自動で行うためには、毎回と体の左右中心位置である尾椎の中心位置のデータと尾椎から頸椎までの背中中の曲線データが必要である。

理由として、尾椎は生体の構造の中心となる部分で生体の中心に位置するものであり、と体の位置を正確に把握することでと体の股に対して適切な奥行きにバンドソーを入れ込み、適切な軌跡で動かすためである。

しかし、飼育環境、年齢、外的要因により極端に脊柱の左右位置が湾曲している牛も存在するが今回の実証試験では対象外とする。

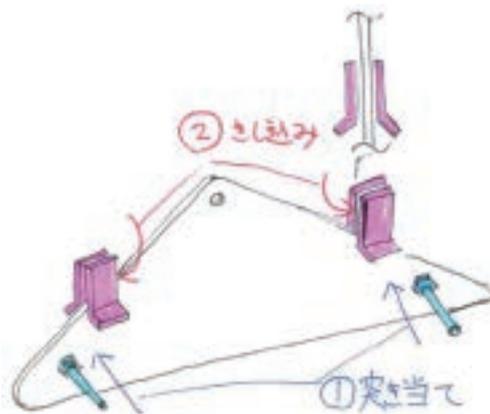
新規設備として、と体に対して揺れを防止する機構を搬送レール上に配置。

と体はスプレッダーと呼ばれる吊り具を介して搬送レールに吊られている（Ⅲ-2-2参照）。



（Ⅲ-2-2） スプレッダー

スプレッダーは搬送レールの傾きや曲がり半径などを大きく取れるため、限られた空間内で搬送レールを設置することが可能となる便利な吊り具であるが、1点吊りの最上部から最下部（と体の足部）の間にジョイントが4カ所あるため、と体の揺れが発生しやすい構造である。対策としてエアシリンダーを用いてスプレッダー側面にピンを当て、上面傾斜部に凹状のホルダを差し込み、揺れの抑制を行った（Ⅲ-2-3参照）。



（Ⅲ-2-3） スプレッダーの固定方法

〈結果〉

3頭の自動背割りの実証試験の結果（Ⅲ-2-4参照）。

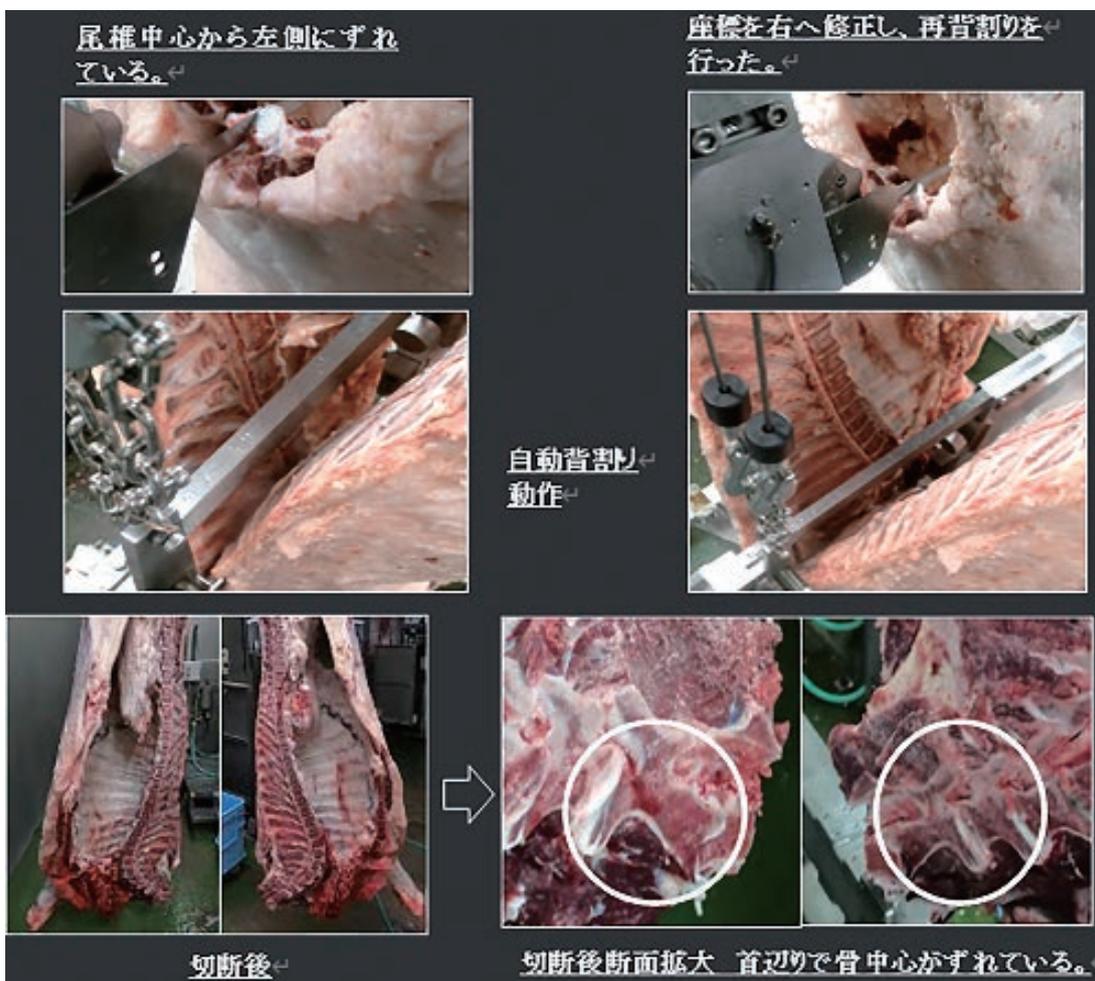
	結果
1頭目	脊柱から逸れて深く入込み途中で中断する。
2頭目	人による補助状態で最後まで自動背割りできた。
3頭目	人による補助状態で最後まで自動背割りできた。

Ⅲ-2-4

・ 1 頭目



・ 2 頭目

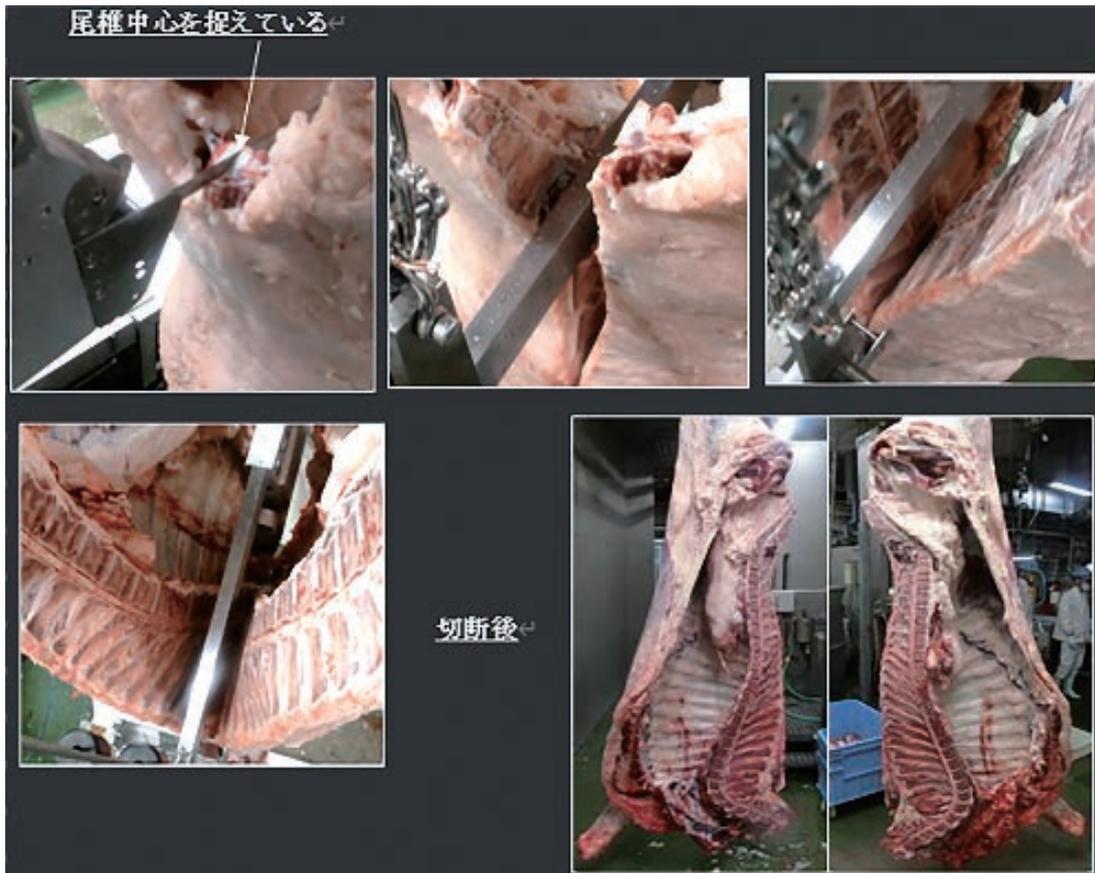


バンドソーをと体に近づけて、PCにより取得データでバンドソーの座標と尾椎位置の確認をした。

作業者が尾椎の中心を捉えていると判断し、装置を止めずそのまま背割りを続行。

背割り面の品質結果も良好だった。

・ 3 頭目



〈考察〉

自動での背割り開始時にバンドソーがと体の奥行き方向に対して入り込みすぎ、と体とバンドソーが干渉した要因は、と体は生体時と異なり一部の部位がトリミングされているため股付近に穴が存在する。その穴がバンドソーの軌跡データに悪影響を及ぼした可能性があり、改善する必要がある。

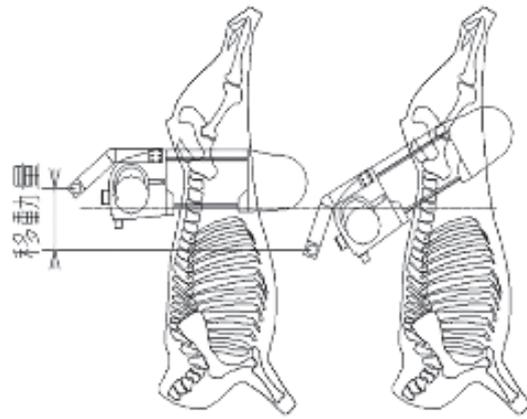
と体の揺れ対策については、スプレッターの側面にピンを当てたが、ピンの反対側へのスプレッターの動きを抑制するものが存在しないため、回転方向の揺れに対し抑制が完全ではなかった。

上面傾斜部に対しホルダを差し込むことは成功したが、上面が斜面のためスプレッターとホルダに滑りが生じ、抑制が不完全であった。

バンドソーの左右位置決めについては、尾椎（直径30mm～40mmの楕円形状）の上部にバンドソーの刃を合わせることができたが、尾椎中心と差が生じた。プログラム上の空間と現実空間および現実空間内での機械の座標の乖離が生じている可能性があり、装置設置も含め精度の確認と向上が必要である。自動背割りの途中でバンドソーの角度を上方に動かしたが、同時にバンドソーの刃の位置も上方に移動してしまう。振り上げによる上方への移動量がバンドソー下降の移動量と同等もしくは上回った結果、自動背割り動作中にバンドソーの刃がと体に接触しない状態が発生した。

今回は、と体や機械に大きな負荷は発生しなかったが、仮にバンドソーの角度

を振り下げる場合、振り下げによる下方への移動量とバンドソーの下降の移動量が合わさり、と体、機械に大きな負荷が発生する可能性がある。対策としてバンドソーを把持しているアームの回転中心をバンドソーの刃の部分に近い位置に変更することで、バンドソーの角度を変更した場合の移動量を抑制できる（Ⅲ-2-5 参照）。

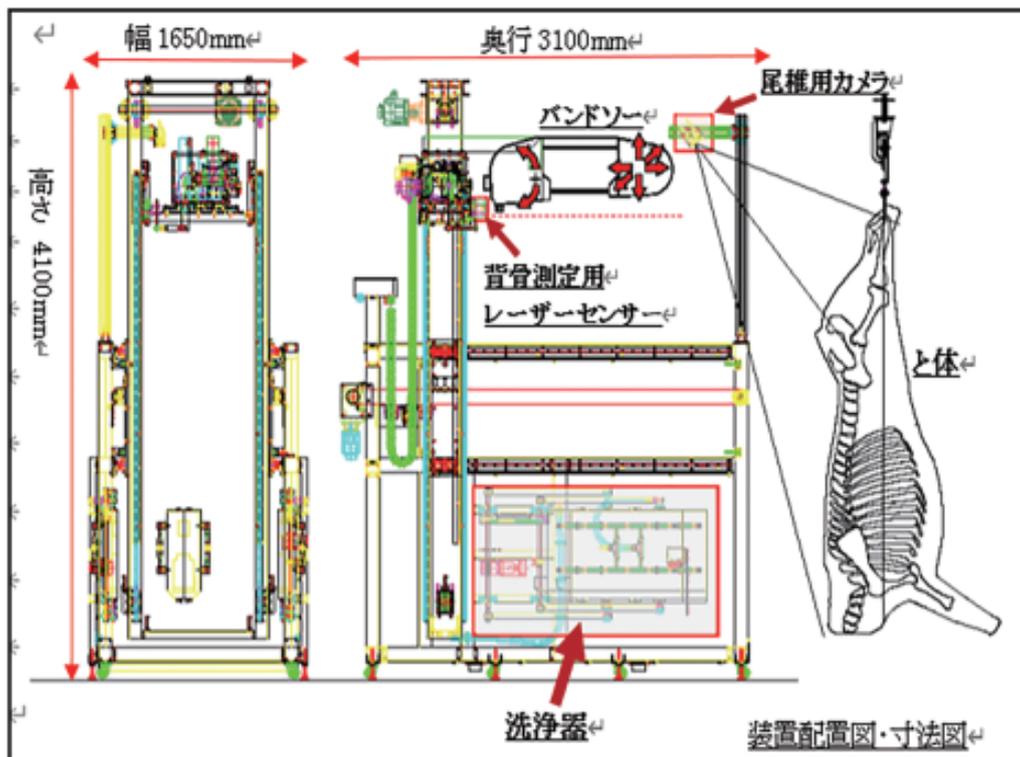


(Ⅲ-2-5) バンドソー角度振り動作の移動状態

・ 研究開発 4 年度 1 回目 (2021年11月) ※第 3 回実証試験

〈概要〉

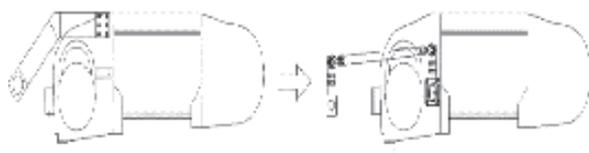
研究開発 3 年度における 2 回の実証試験の結果と考察を踏まえて、本ラインに合わせプロト機の再設計、再製作、実証試験を行った (Ⅳ-1-1 参照)。



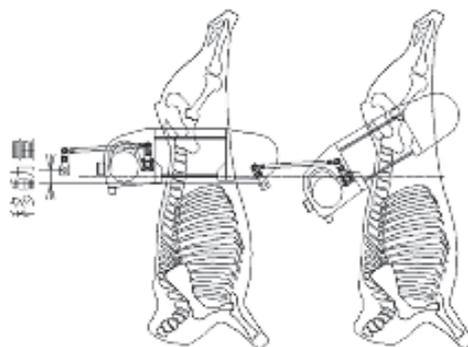
(Ⅳ-1-1) 装置外観図

〈内容〉

バンドソーの昇降ストロークの拡大、バンドソーの首振り回転中心をバンドソー刃部分に接近するためフレームの延長、バンドソーの把持、首振り機構の構造変更およびそれらに付随してフレームの剛性強化等の各種設計変更を行った（IV-1-2、IV-1-3参照）。



(IV-1-2) バンドソー回転中心の変更



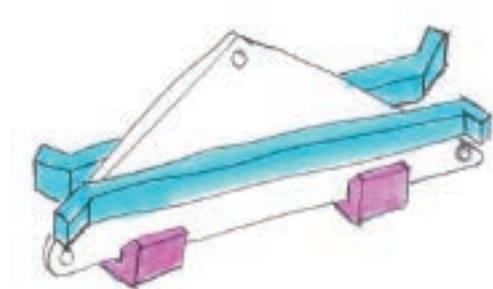
(IV-1-3) バンドソー回転中心の変更後の移動量

背割り工程において毎回の背割り後バンドソーの熱湯消毒が必要のため、自動で熱湯消毒をするユニットの追加設計・製作をしてプロト機へ取り付けた（IV-1-4参照）。



(IV-1-4) バンドソー熱湯消毒

スプレッターの揺れ対策については、2本のガイドを用いスプレッターを所定位置へ移動させ、コの字の部品をスプレッターの底面に当てる機構に変更を行った（IV-1-5参照）。



(IV-1-5) スプレッター揺れ抑制方法の変更

〈結果〉

13頭（うち5頭経産牛）の背割りの実証試験の結果（IV-1-6参照）。

結果	実証試験頭数
最後まで自動背割りできた。	5頭
人がと体を押さえた状態で最後まで自動背割りできた。	1頭
自動背割り開始時後にと体とバンドソーと干渉した。中断する。	1頭（経産牛）
背割り途中で中断する。	6頭（4頭が経産牛）

IV-1-6

・11月17日（1日目）

尾椎位置中心については、バンドソーで恥骨を切断すると位置ズレが発生するため、バンドソーにポインターをつけて位置の修正を行い、その後背割りを行った。

背割りを途中で中断してリモート操作にて修正を行い、再び脊柱形状に沿った背割りができるようになった。



尾椎中心位置のズレをポインターで調整後、最後まで背割りができるようになった。



・11月18日（2日目）

1頭目・2頭目、昨日と異なり、背割り中にバンドソーが脊椎中心から逸れる。

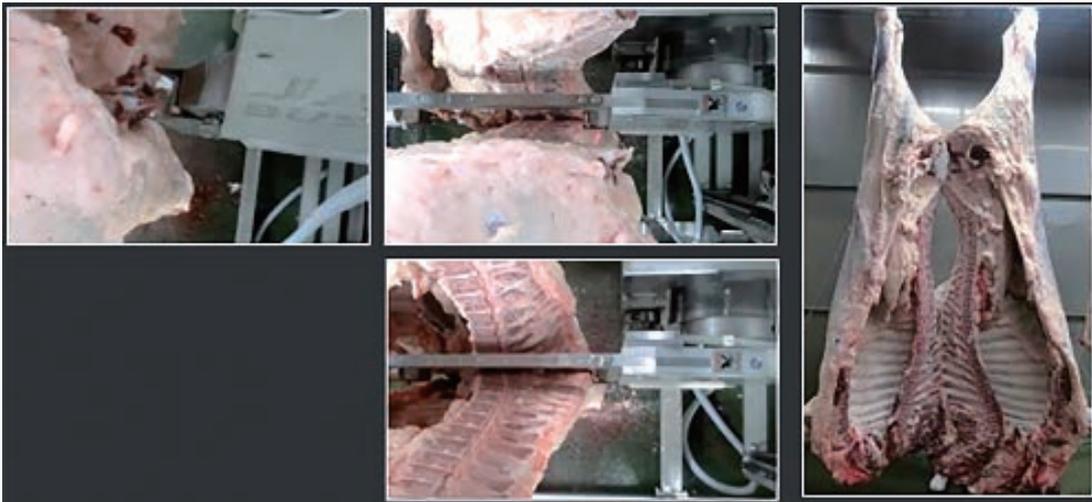


刃を水平にした状態で最後まで背割りが行えた（ただし、頸椎付近では逸れている）。

バンドソーを斜めに立てたためとは断定できないが、背割りのできた一要因ではある。

昨日と異なることはないか確認を実施した。装置側には異常は確認できなかった。

刃自体が脊柱中心から逸れる現象ではないかとも考えられる。



〈考察〉

今回の実証試験では全13頭中6頭について最後まで自動背割りを行うことができ、各構造、方式の変更の一部もしくはすべて有効であったことが確認できた。しかし途中で中断したものもあるため、最後まで背割り時と中断時に何が異なっていたかを判断し、改善していくことが必要である。

今回の結果での干渉は、バンドソーと尾椎が干渉した。対象の牛は経産牛である。

通常の牛（仮称、非経産牛）は骨の周辺も含み、全体的に肉や脂が多く丸みを帯びた形状となっている。一方、経産牛は老齢の牛のため肉や脂が少なく骨が浮き出て、尾椎周辺は尖り形状となっている。また、背割りを開始すると通常の牛（仮称、非経産牛）は尾椎部分からと体が裂けるようにして離れていくが、経産牛は痩せているので脚部が細長く開きが生じない。これら2つの要因によりバン

ドソーと尾椎の位置が干渉する結果となった。人がバンドソーを把持して背割りを行う際にも同様の現象が発生しており、人がバンドソーを尾椎に押し当て、強制的に尾椎部分を押し開くことにより背割りを継続している。

この問題については工場の近代化に伴い、吊り部に開脚装置と呼ばれる脚・股部を広げる機構が追加されることにより自動的に改善されるため、今後大きな課題として取り扱わないこととする。

最後まで自動背割りを行えた牛に関しては、6頭中4頭が自動背割り中にと体に揺れが生じなかった。また、中断した6頭中4頭が経産牛である。経産牛は老齢のため、肉が少なく脚が細長くなっている。脊柱に湾曲が生じている個体が多い。統計を出せる実証試験の量ではないが、背割り中に揺れを発生させないことが最後まで背割りを行うことができる1つの要因である。脊柱の湾曲が自動背割りを中断させる要因として、脊柱が曲がっていると体は本研究の対象外ではあるがその可能性がある。

バンドソーの左右位置決めについては尾椎（直径30mm～40mmの楕円形状）の上部にバンドソーの刃を合わせることができたが、最大で中心と10mm程度の差が生じており、要因としてプログラム上の空間と現実空間および現実空間内の機械の座標に乖離が生じている可能性があり、精度の確認と向上の必要がある。

また、実証試験時は尾椎にバンドソーの刃が切り込む際に人が確認および修正を行うため、左右位置の差は実証試験結果に影響を及ぼしていない。

・研究開発4年度2回目（2022年3月）※第4回実証試験

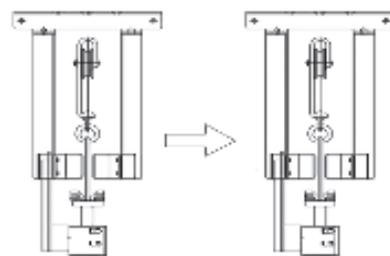
〈概要〉

研究開発4年度1回目における実証試験結果での課題のと体の揺れを抑制するために、スプレッダーの揺れ抑制部の構造変更をして実証試験を行った。

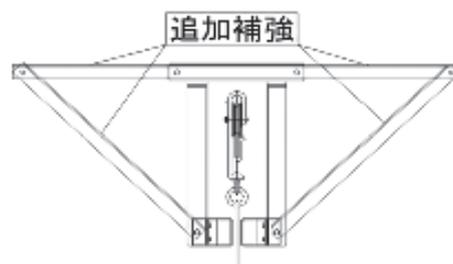
〈内容〉

スプレッダーの底面に当てるコの字のブラケットについて、安全のためスプレッダーの個体差に対応するためある程度隙間を設けていたが、スプレッダーの詳細形状の把握を行い、スプレッダーに対し隙間の少ないコの字のブラケットを製作した（IV-2-1参照）。

牛は800kg～900kgと重量が大きいいため、スプレッダーの揺れ抑制部が振動もしくは変形している可能性を考慮し、機構部に補強のリブを追加して剛性の向上を試みた（IV-2-2参照）。

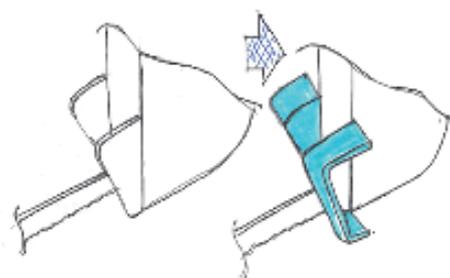


（IV-2-1） ブラケットのコの字幅の変更



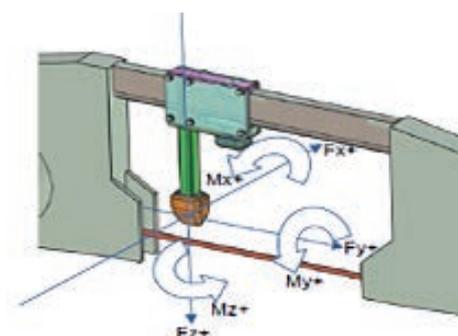
（IV-2-2） スプレッダーの揺れ抑制向上

と体自体に対する試みとして、既存のバンドソーの刃の引き込み部にあるガイド板を幅広に改造にして、と体とバンドソーの接触面積を増やし、と体の揺れや傾きの抑制を試みた（IV-2-3参照）。



(IV-2-3) 刃の引込部根本幅広化

と体に対してバンドソーが逸れる対策として、バンドソーがと体より受ける負荷を計測し、バンドソーの動きにフィードバックすることで自動背割りを最後までできないかと考えた。



(IV-2-4)

バンドソーがと体より受ける負荷

具体的にはバンドソー中心部に力センサーを取り付け、自動背割り中にと体とセンサーが左右方向から接触する力を計測し、今後そのデータをもとにリアルタイムでバンドソーの左右位置を調整する（IV-2-4参照）。

〈結果〉

12頭（うち5頭経産牛）の背割りの実証試験の結果（IV-2-5参照）。

結果	実証試験頭数
最後まで自動背割りできた。	1頭
人がと体を押さえた状態で最後まで自動背割りできた。	2頭（経産牛）
背割り途中で中断する。	9頭（内頭3頭が経産牛）

IV-2-5

・3月7日（1日目）

内蔵出し完了の牛2頭に対して画像処理調整実施したが、3D画像にノイズ発生（IV-2-6）。

と体の背中にレーザーラインを照射、尾椎から頸椎までの曲がりを見たが問題はなかった。

(IV-2-6) バンドソーがと体より受ける負荷

背骨に、レーザーラインを照射し垂直性を確認。



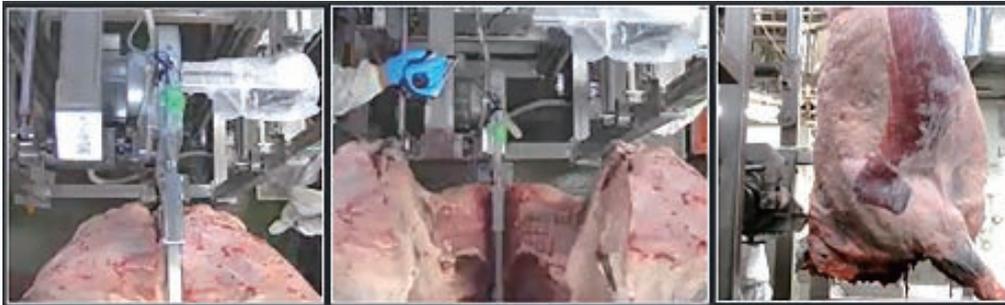
3D画像処理データで、囲丸箇所でノイズが発。（社内調整では出現せず）。



・ 3月8日（2日目）

画像処理側でデータ計測を行い、装置側で空運転を行うがデータ通りに動作しないことが発生。画像処理データの修正をして正常に運転できるようになる。

脊柱ラインはよかったが、最後の頸椎付近で左右のバランスが悪くなり中断。



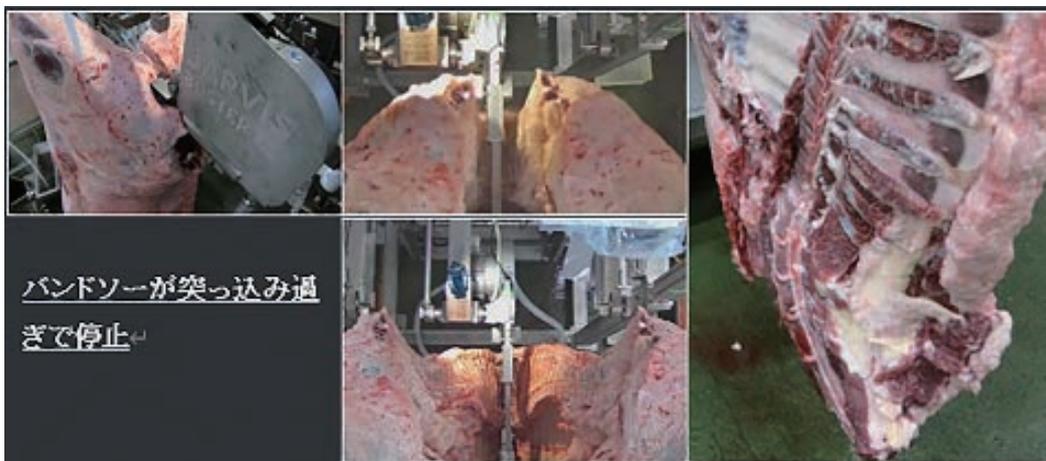
背中ラインは頸椎に向かって曲がっているが、そのまま背割り作業を行う。

背割り中、刃物ガイドがと体に入り過ぎたため修正。その後続行するが、尾椎から下降したところで脊柱中心から逸れる。



・ 3月9日（3日目）

バンドソーの位置が前進し過ぎてと体と干渉、修正を行い続行するが腰椎部で脊柱の中心から逸れる。移動範囲の限界を超えたため中断。



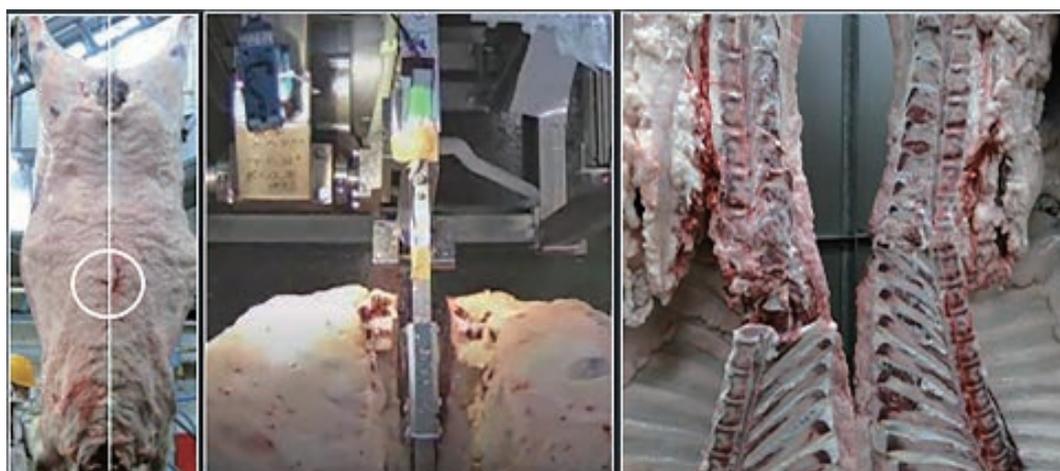
背中のラインが真っすぐに出ているが、前記と同じく腰椎付近で脊柱中心より逸れて移動範囲の限界を超えたため中断。



背中のラインが真っすぐに良い感じで最後まで背割りができたが、頸椎付近から少し逸れる。



牛自体の脊柱がくの字になっているため背中のラインが悪く、背割りをを行うが脊柱から外れる。中断。



・ 3月10日（4日目）

背中ラインは問題なし。尾椎から腰椎の付近で脊柱中心より逸れる。
横方向へ2mm程度のずれ。



・ 3月11日（5日目 経産牛）

トリミング中に片側の足の筋が切れてバランスが悪いため、レーザーを照射してラインに合わせるように片側の筋をカットして背割り検証するが、途中で背割りラインから逸れたため中断。



と体の吊りバランスが悪く、結果はこれも同じく途中で脊柱中心より逸れる。



同じく背割りするが途中で脊柱中心より逸れる。



これも同様で腰椎付近で逸れるが途中、作業者が手を添えて修正しながら背割りを行う。最後まで背割りを行う。



〈考察〉

と体の揺れについてスプレッダーの揺れ抑制を試みたが、今回の試みではと体の揺れの多くを抑制することができなかった。

要因として、スプレッダーの揺れの抑制については一定の効果が得られたと考えられるが、スプレッダーの最上吊り部からと体の首部までの距離が約4mと長く、スプレッダーの各接続部および牛の関節を考慮すると多重振り子構造のため、スプレッダーの位置で数mm揺れを抑制しても、と体は10cm以上揺れてしまう。

また、バンドソーの刃の引き込み部の根元の幅広化については上記多重振り子構造による揺れの影響が大きく、効果が正確に判別できなかった。

コの字のブラケットを用いて揺れ範囲の制限とスプレッダーの左右傾きの制限を行ったが、コの字のブラケットでは完全に揺れ範囲をゼロにできず、スプレッダーの左右傾きを制限することで、スプレッダーの自動調心機能が阻害され、と体にねじれ力を発生させる可能性があることがわかった。

バンドソーに力センサーを設置したが、センサーがと体と干渉して自動背割りが中断する場合、センサーが常にと体に接触しないため力が不明確な場合、センサーの読み取り値の変動が激しく、確認したかった力の傾向のデータが取得できなかった。

また、自動背割り中にリモコンを用いてバンドソーを左右に移動したが、バンドソーの刃先部分はと体に隙間なく挟まれた状態のためバンドソーを左右に移動させると、と体も追従して移動してしまった。

結果として、単純な左右移動では背割りの左右方向の軌跡を補正できなかった。

バンドソーの上下、前後方向の軌跡について単純にと体の3Dデータを用いて軌跡位置を生成すると、バンドソーが尾椎付近に干渉して自動背割りを中断することが何度か発生した。

対策として生成した軌跡の前後方向をと体から離す方向に修正した結果、バンドソーと尾椎付近の干渉は回避できたが、と体の揺れが大きくなる現象が発生した。そのため上下前後方向の軌跡については3Dデータをもとに一部の区間オフセットを行うなどの補正が必要となることが考えられる。

自動背割り開始時は揺れが少ないが、途中より揺れが増大していく傾向がみられた。

要因としてバンドソーの首振りリンク機構について寸法上の制約により、駆動軸と従動軸、および制御値に若干の差分があった。この差分により、と体の振れを増長させていた可能性があるのではないかと考えた。

自動背割りの中断の要因は、バンドソーがと体の脊柱中心から逸れることにある。これまで要因の1つとして、と体の揺れに着目してきたが、ほかにと体にねじれが発生していることも要因ではないかと対策を検討する。

また、前項結果の表に記載は行っていないが、と体の3Dデータ計測時に一部ノイズが発生し、軌跡データの生成が困難な事例が何件か発生した。

これは3Dカメラの位置・角度により発生頻度が高い部分があり、これらの問題を回避できる位置・角度に修正を行う。

バンドソーの左右位置決めについては、前回と同じく最大で10mm程度の差が生じており、引き続き精度の確認と向上を行う。

実証試験時は尾椎にバンドソーの刃が切り込む際に人が確認および修正を行うため、左右位置の差は実証試験結果に影響を及ぼしていない。

・研究開発5年度1回目（2022年9月）※第5回実証試験

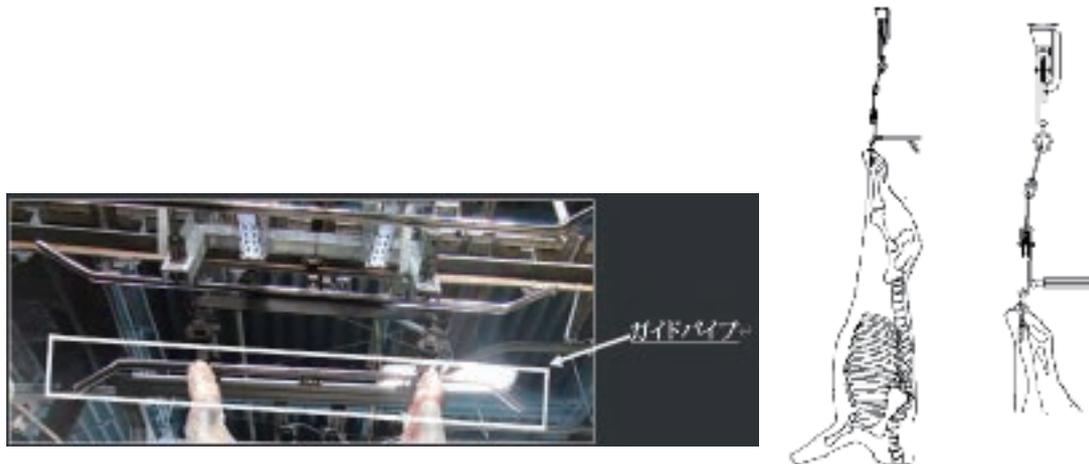
〈概要〉

研究開発4年度2回目の実証試験結果をもとに、と体の揺れ抑制について機械要素の変更、バンドソーの軌跡の動作変更を行い実証を行った。

〈内容〉

と体とスプレッダーの間に存在するトロリーを押す位置にガイドパイプを配置する。

スプレッダーおよびと体は吊りあう位置に戻ろうとするため常にガイドパイプに押し付けられることになり、揺れが抑制できると考えた（V-1-1 参照）。



(V-1-1) ガイドパイプの配置

しかし、機械はと体の反力を受けるので装置の位置ズレ防止のアンカー止めの施工。

スプレッダー底面へ当てる機構については、スプレッダーの自動調心機能を保持および確認するため取り外した。

と体の振れに対してモーターとバンドソーの動作角度に不一致があったため、バンドソーの首振りリンク構造の再検討、再製作を行った。

また、バンドソーの刃引き込み部根本についても、揺れの抑制と別に尾椎への干渉（引っ掛かり）を防止するため、よりなめらかな形状に設計変更、製作を行った（V-1-2 参照）。



(V-1-2) 刃の引き込みの根元

と体のねじれについては、と体のバランスや背割り位置の中心からの逸れ等を検討し、バンドソーの刃を水平の角度で背割り動作を行うことでねじれを防止できないか考えた。

第4回の実証試験で発生したノイズの影響を除去するために3Dカメラの設置位置、角度を変更して対策を行った。

〈結果〉

11頭（うち5頭経産牛）の自動背割りの実証試験の結果（V-1-3参照）。

結果	実証試験頭数
最後まで自動背割りできた。	0
人がと体を押さえた状態で最後まで自動背割りできた。	3頭（経産牛）
背割り途中で中断する。	6頭（内頭3頭はと体と別要因）
機械、外的要因により中断する。	2頭

V-1-3

画像計測後、背割り動作を開始するがバンドソーが尾椎中心より位置がずれる。



リモコンで左右位置の調整を行い続行するが途中からと体が揺れ始め、脊柱中心より逸れる。



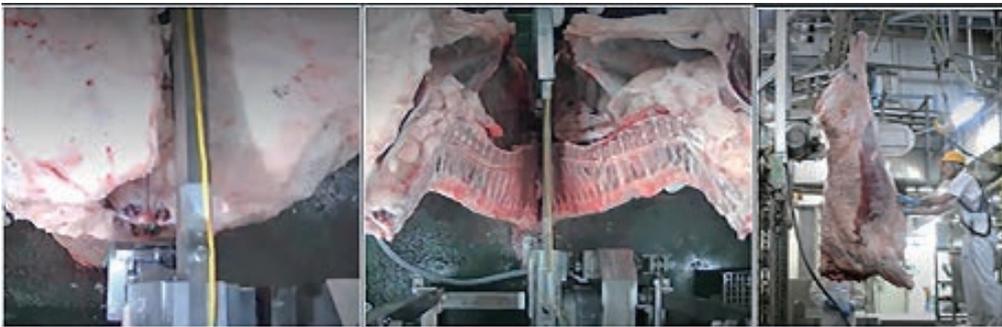
同様に尾椎中心の背割り位置が違うため位置修正を行い続行するが途中からと体が揺れ始め、脊柱中心より逸れる。



撮像を行い背割り動作を開始するが尾椎中心の位置がずれる。リモコン操作にて尾椎位置を修正、続行するが途中で脊柱中心より逸れる。



同じく尾椎中心の位置ずれ発生。調整後続行するが背割り途中で脊柱中心より逸れる。



尾椎切断後 背割り位置がずれる。左右位置を修正後、続行。
手添えで前足を押さえることで最後まで背割りをを行う。



(経産牛) 尾椎位置のズレなし。揺れ防止のため手添えで最後まで背割りをを行う。



動作確認のため一時停止、その後手添えで最後まで背割りを行う。



画像処理撮像後、続行。背割り直前にと体を動かしてしまい中断。



途中で骨の曲がりがあり、脊柱中心より逸れて中断。



テスト的に、尾椎ではなく骨の中心に目印をつけて、その部分を狙い背割りを行う。

骨が曲がっているので中心は外れたが、手添えで最後まで背割りを行った。



〈考察〉

と体の揺れについて、ガイドパイプによりスプレッダーに常に押し付け力を加えてスプレッダーの位置を固定し、バンドソーの角度を精密に制御することには成功したが、と体の揺れは抑制できなかった。要因としては、過去の実証試験と同じくスプレッダーの最上吊り部からと体頭部までが約4mと長く、かつ多重振り子構造になっているため、また、今回バンドソーの角度を水平にして自動背割りを行ったため、刃による引き込み方向、すなわち前後方向の力が多くと体に影響したことが考えられる。対策としてバンドソーの刃引き込み部根本をと体に常に接触させることでと体の揺れを抑制できないか、現実的にはバンドソーをと体に押し当てつつ自動背割りを行うことでと体の揺れを抑制できないかと考える。

人が行う背割り動作を観察すると、股から頸椎まで背割り動作を行うが各所でバンドソーを下降させる速度が異なることがわかった、自動背割りについても股位置から頸椎頭位置までを数区間に分け、区間ごとにバンドソーの下降速度を変更することで揺れの抑制に効果があるのではないかと考える

ノイズについてはカメラの位置、角度を修正することで解決した。

バンドソーの左右位置決めについて差が生じたが、実証試験期間中に装置、カメラの位置精度の確認および修正を行うことで改善した。これまでの実証試験において鹿児島県で部品の製作、機械の組立調整を行った後、装置を分解して発送、青森県で組立調整を行っていた。次回の実証試験時に分解、組立時の精度保持についても対策を行う。

また、実証試験時は尾椎にバンドソーの刃が切り込む際に人が確認および修正を行うため、左右位置の差は実証試験結果に影響を及ぼしていない。

と体の個体差について、これまでの実証試験で取り扱いのなかった脚が過度に短い牛が試験対象として存在し、バンドソーの一部が股と接触した。対策として機械下部にフレームを追加する必要がある。

・研究開発5年度2回目（2023年1月）※第6回実証試験

〈概要〉

これまでの5回の実証試験での結果をもとに、と体の揺れの抑制とねじれの抑制による完全背割りの実証実験を行った。

6回目実証実験の前に、実証試験装置の設置工場内で弊社工場内と同じ装置の動作軸の精度を出すため、一部の部品について「分解&再組立」の際に同じ組立精度になる構造の部品加工を行った。

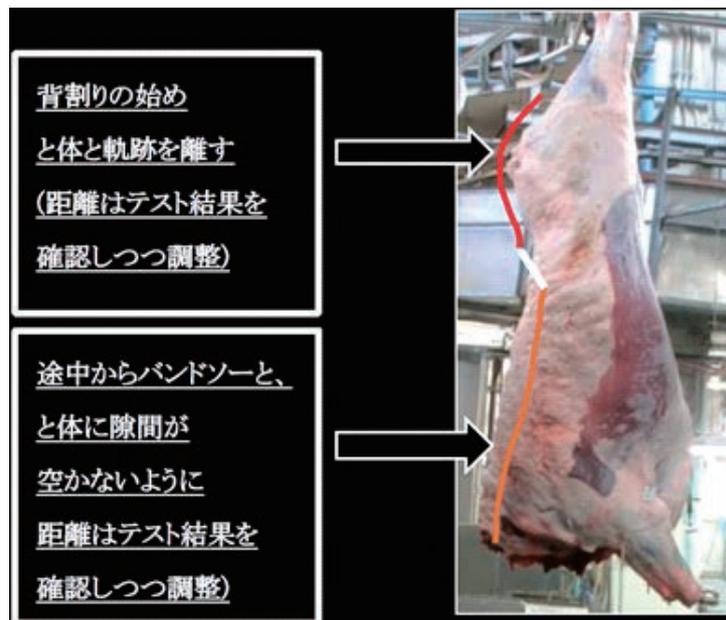
レーザー光を当て各軸の精度調整を行った。



〈内容〉

・バンドソー軌跡の調整

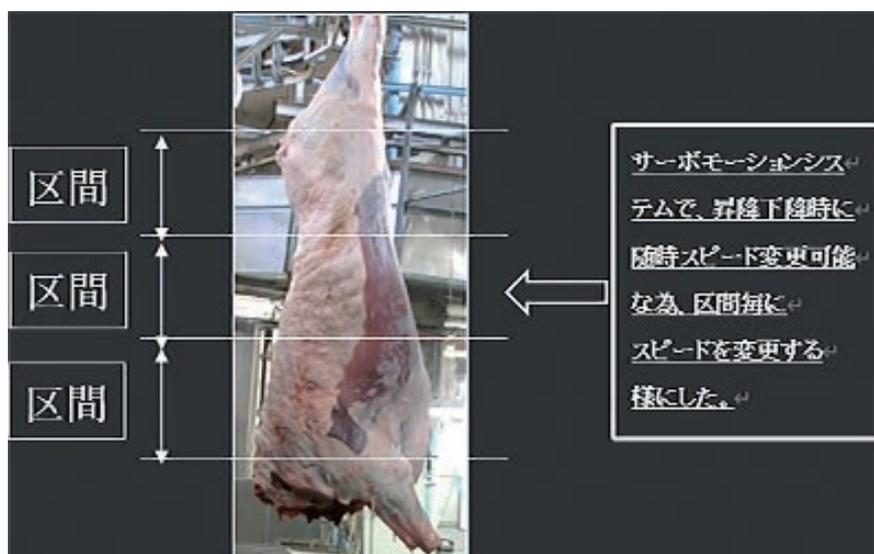
5回目テストでのバンドソーの軌跡の問題で、背割りの始めはと体とバンドソーの軌跡を離し、途中からと体とバンドソーに隙間が発生しないようにバンドソーの軌跡をオフセットすることで、バンドソーがと体を押して、と体を大きく揺らすことなく背割りが行えるプログラムを修正した。



・バンドソー下降速度

これまでのテストでは、バンドソーの下降速度は調整できたが、1回の背割り動作中の速度は一定だった。人が行う背割りを参考に、と体の背割り工程を何か所かの区間に分け、区間ごとにバンドソーの下降速度を変更することで揺れの抑制や切断部の発熱の抑制を行えるものと考えてプログラムを修正した。

前回の変更結果を確認後、下降速度について可変のテストを行うことにした。



と体の前足をチェーンレバーにて引っ張ることで、揺れとねじれを抑制できないか確認を行った。



と体のねじれについて、自動背割り開始時にと体がねじれているのか自動背割り中にと体がねじれているのか、もしくはその両方があり、それぞれどの程度の割合なのかを確認するため、自動背割り前のと体の状態についても注意して着目、記録を行った。

機械の精度（各駆動軸、カメラの位置、分解組立時の復旧）の確認も行った。

〈結果〉

18頭の自動背割りの実証試験の結果（V-2-1 参照）。

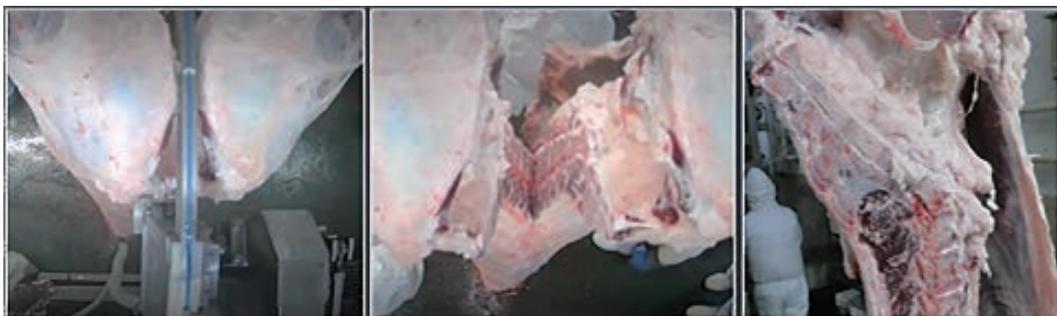
結果	実証試験頭数
背割り途中で一度動作を止め、バンドソーの左右位置修正を行い最後まで背割りできた。	3頭
背割り途中で中断する。	15頭

(V-2-1)

・ 1月17日（1日目）

構内の湯気がすごく、しばらく湯気がなくなるまで待機。5分程度。

尾椎の中心に刃物が行かず、補正をして続行するが少しずつ逸れる。



同じく尾椎位置のずれ。補正後続行。最後まであと少しのところ（首部）で下降速度が速すぎるためか刃物に噛み込み、回転負荷で停止。中断。



下降速度を変更して背割りを行う。尾椎位置を修正して続行するが途中で脊柱中心より逸れる。



尾椎位置の補正後、続行。こちらもあと少しのところで噛み込み中断。まだ少し下降速度が速い。



・ 1月18日（2日目）

尾椎とバンドソーとの芯ずれ3mm補正をして続行するが途中で脊柱中心より逸れる（背骨が歪んでいる牛のため左右のバランスが原因かは再現ができない）。



尾椎とバンドソーとの芯ずれ2mm補正をして続行。
 下降背割り途中バンドソー回転負荷で停止。首付近は骨がかなり硬いとのこと。

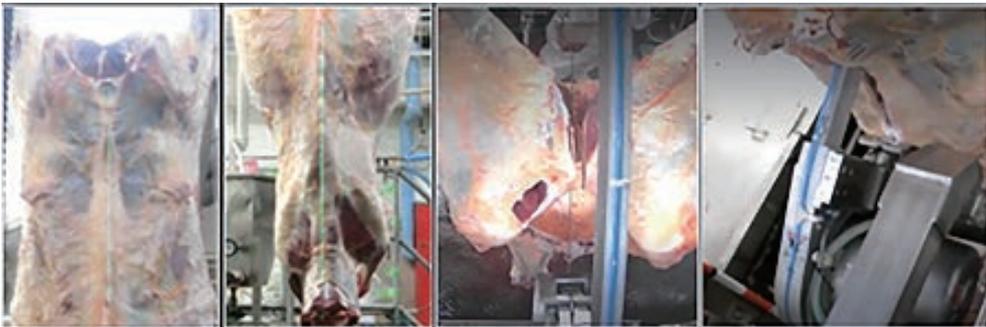


前足をチェーンにて振れ対策の検証。尾椎位置補正後、続行する。
 途中まではよいが矯正してあるせいかバランスが悪くなり中断。



前足をチェーンで引っ張り、振れ対策

・ 1月20日（4日目）
 （経産牛）補正なし。尾椎下100mmの位置で逸れる。



（経産牛）位置補正あり。続行するが途中で脊柱中心より逸れる。



(経産牛) バンドソーの食い込みがあり、位置補正を行い続行するが途中、脊柱中心より逸れる。



(経産牛) 途中、骨折れ箇所があり中断。



骨折れがあり 停止

・ 1月23日 (7日目)

撮像を繰り返し位置精度の確認を行った。4回とも中心左右精度5mm以内。

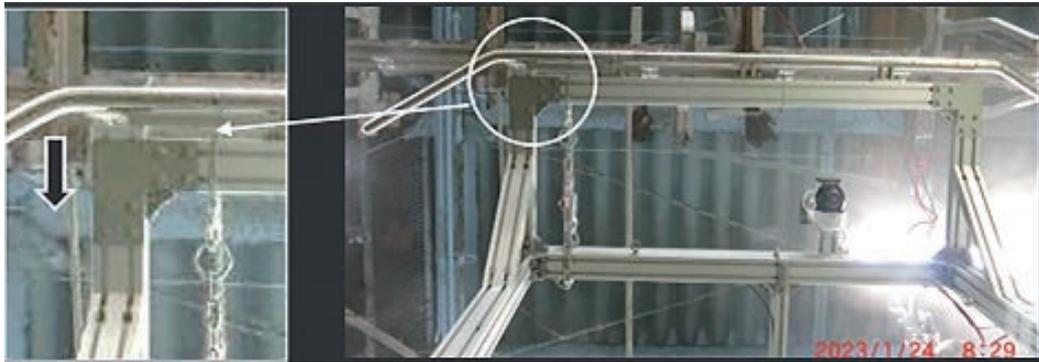


撮像尾椎繰り返し精度確認

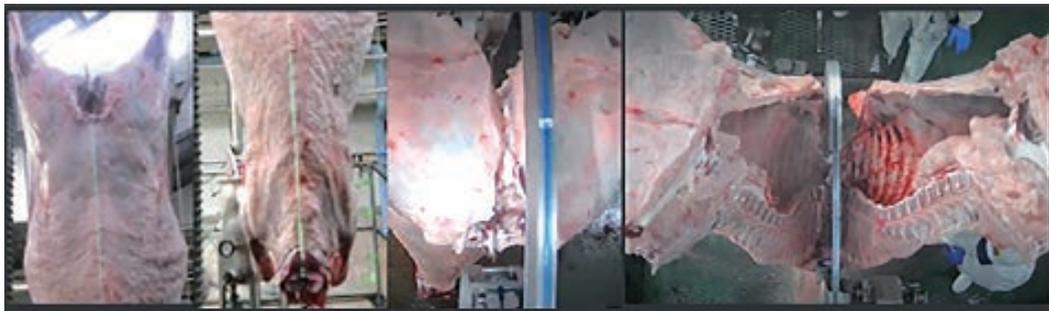
背割り途中、右方向へ逸れる。



と体が同じ方向にねじれている傾向にある。と体のねじれを解消するため、ガイドパイプの片側（上流側）を約17mm装置側へ下げて検証を行った。



尾椎中心にバンドソー位置が合ったが背割り途中、横に逸れる。左に2、3mm修正して再開するが、頸椎付近で振れが大きくなり中断。



尾椎の位置は5mm程度ズレ。ねじれは右より。背割り途中少し逸れるがまた中心に戻りかける。最後まで背割りが行えた。振れも少ない。



ねじれは左ぎみ。途中よりと体の左右のバランスが崩れて中断。



・ 1月25日（9日目）

構内の気温が低く湿度が高く霧状態。（外気温）-10度。

反射光が空間中の霧に反応して3Dデータが撮れず検証が行えずテスト中止。



・ 1月27日（11日目）

（経産牛）撮像時5mmのズレ。修正後、続行するが途中で前進可動領域をオーバーのため中断。



（経産牛）撮像時は脊柱中心であったが逸れていく。修正を行い続行するが途中で逸れる。

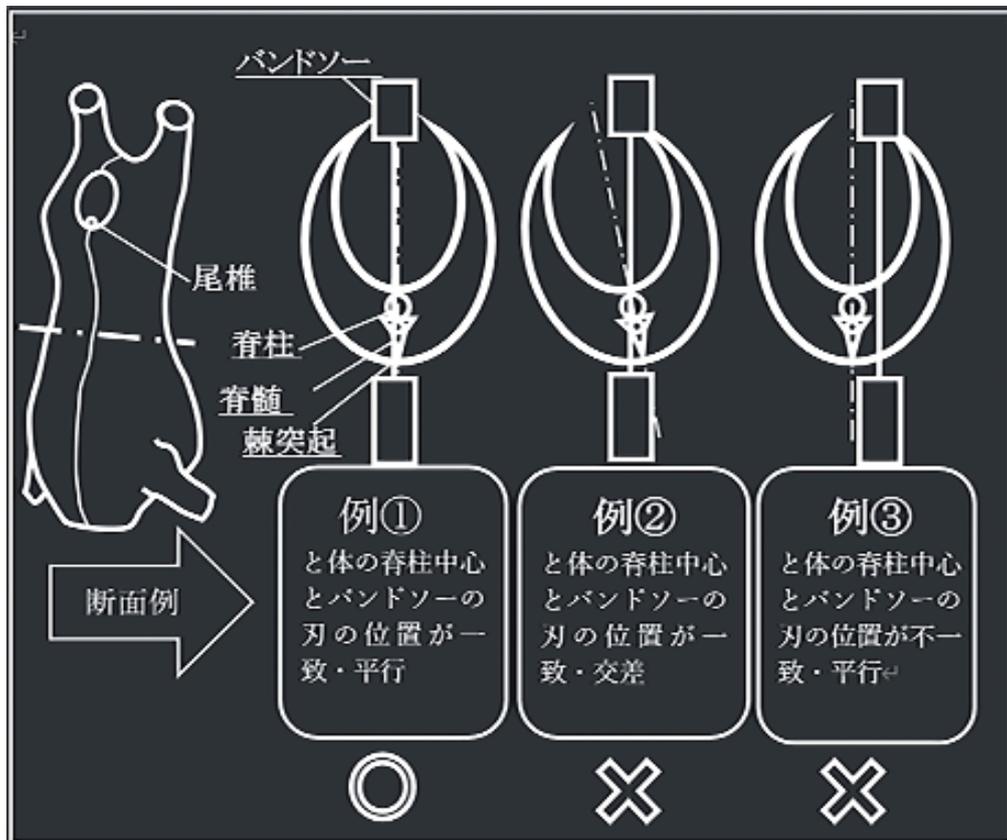


〈考察〉

バンドソーの軌跡については、と体に対しバンドソーを押し当てることでと体の揺れ抑制について大きな効果が得られた。しかし、と体が揺れていない状態においてもと体中心に対してバンドソーが逸れたため中断が発生した。要因として、左右位置の逸れのみではなく、と体のねじれによる中断もしばしば発生した。

具体的には、と体の背中側からの視認ではと体中心の背割りをを行っているが、腹側から確認すると中心に対して逸れが発生している、またはその逆の場合である。スプレッターに対し押し当てているガイドパイプが悪影響を及ぼしている可能性を考慮してガイドパイプの位置を調整した結果、と体の向き（角度）を変更することができたがと体の向き（角度）はと体の個体ごとに異なる傾向が見られた。

1つのと体をと畜工程上の異なる位置、皮剥ぎ工程、内臓出し工程、人による背割り工程、自動背割り場所の4カ所で確認したが、と体の下部先端である前足部が同様の傾向でねじれていることがわかった。



と体のねじれ・逸れ

自動背割り中にバンドソーの中心（刃）がと体の中心より逸れ始めた時点で一度動作を中断してバンドソーを少し上へ戻し、左右位置を修正後そのまま自動背割りを再開。これにより最後まで背割りが行えた場合が3件あったが、多くは再開後中断となった。

一度バンドソーの切込みがと体中心より逸れた場合、なにかしらの外的な力が発生しない限り修正が難しいと考えられる。

バンドソーの左右位置決めについて、過去の実証試験と比較して改善がみられたが、最大で8mm程度の差が生じた。差が2mmの場合と8mmの場合を比較すると、と体の中心位置と3Dカメラの中心位置の差分が少ない場合、と体中心とバンドソーの左右位置の差が少なく、と体の中心位置と3Dカメラの中心位置との差分が大きい場合、と体中心とバンドソーの左右位置の差が大きい傾向にあることがわかった。

実証試験期間中、非常に低温環境で装置周辺に霧が発生して試験ができなかった問題は、と畜場の近代化に伴い自動的に改善されると想定されるが、改善策も考慮しておくことが必要である。

と体の揺れについて、チェーンレバーを用いてと体の前足を引っ張ったが、揺れの抑制を十分に行うことができなかった。今回の揺れ抑制方法では、と体の前足と胴体部の間には関節があるため前足に引張力をかける程度では胴体部を強固に固定することは困難である。

3. PART3の総括

計6回にわたり自動背割り機の研究開発および実証試験を行った結果、最後まで自動背割りを行えた場合もあったが、多くは背割り位置が中心から外れて中断する結果となった。中断要因はバンドソーの刃の切込み位置がと体の中心から逸れることにある。

実証試験において実施した対策として、

- 1) 自動背割り前の、と体の状態をバンドソーに対して正しい位置に合わせる。
具体的には、と体の左右中心のラインとバンドソーの刃のラインを合わせる。
- 2) 自動背割り中にバンドソーの刃の引き込み部の根本のガイド板をと体に押し当てることで揺れを抑制することを行ったが、最後まで自動背割りを行えた事例は少なかった。
- 3) 自動背割り中に行う対策としてバンドソーがと体から受ける力を計測し、バンドソーの動きにフィードバックすることは困難であった。
- 4) 背骨が真っすぐであると体を対象として自動背割りを行う想定であったが、対象が生体である以上背骨の屈曲やと体のねじれは避けられず、その影響が自動背割り開始時に微小であっても自動背割り中に影響は大きくなり最終的に中断することとなった。

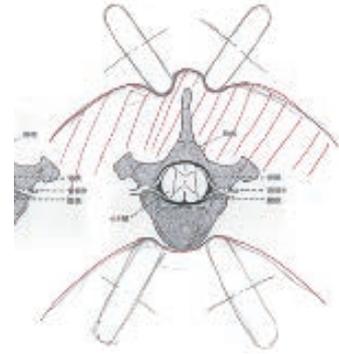
現状の方針を進めると、体の屈曲や体のねじれについて3Dデータの取得を行い、バンドソーの制御軸を増やすことにより背骨の中心に3次元的に沿ってバンドソーを動かすことで最後まで自動背割りを行える可能性はあるが、コストや3Dデータの処理時間を考慮すると、と畜処理用の機械として現実的ではない。

品質の良い自動背割りを行うには、と体の外部より背骨・脊柱を矯正し、矯正された背骨・脊柱に対してバンドソーが垂直になる機構が必要と考えられる。

〈提案〉

・自動背割り中のと体に対する逸れへの対策

牛の背骨の断面は右図のようになっており、この断面形状が連なることで背骨が構成されている。と体という大きな対象物を左右対称に矯正することは困難だが、機械的にと体の腹側および背中側にガイドローラーユニットを設けて各設定した位置で背中側、腹側からと体の背骨中心へ挟み込むことでバンドソーの刃の中心になり、最後まで逸れることなく背割りを行える可能性がある（VI-1 参照）。



(VI-1)

大型プロジェクトメンバー

(任期：平成30年4月1日～令和5年3月31日)

<大型プロジェクト委員>

中井 裕	新潟食料農業大学 副学長 教授
阿部 憲一	新潟食料農業大学 講師
原 崇	鹿児島工業高等専門学校 情報工学科准教授
益留 福一	マトヤ技研工業株式会社 代表取締役
中村 勝博	マトヤ技研工業株式会社 取締役 技術部長
安養寺 康	食肉生産技術研究組合 参与
三枝 正彦	公益財団法人伊藤記念財団 専門委員

公益財団法人 伊藤記念財団

〒153-0064 東京都目黒区下目黒一丁目8番1号アルコタワー12階

TEL 03-5747-9721 FAX 03-5747-9722