

令和4年度
農業機械研究部門研究報告会

令和5年3月2日

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

令和４年度 農研機構 農業機械研究部門研究報告会
開 催 要 領

1. 日 時 令和５年３月２日（木） 13:30～17:15
2. 場 所 レイボックホール（さいたま市民会館おおみや）「小ホール」
（さいたま市大宮区大門町 2-118 大宮門街 7 階）
3. 開催方法 対面方式（後日録画配信）
4. 次 第
 - 1) 開 会 13:30
 - 2) 挨拶・情勢報告
 - （１）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 所長 天羽弘一 13:30
 - （２）農林水産省農産局 13:40
 - （３）農林水産省農林水産技術会議事務局 14:10
 - （休 憩） 14:40～14:55
 - 3) 研究報告会（個別研究課題報告 25 分／課題） 14:55～17:15
 - ①遠隔監視型ロボットトラクタ
知能化農機研究領域国際標準・土地利用型作業グループ 研究員 趙 元在
 - ②ロボットトラクタのほ場間移動システム
無人化農作業研究領域革新的作業機構開発グループ グループ長 西脇健太郎
 - （休 憩） 15:45～16:00
 - ③イアコーン収穫用スナッパヘッド
無人化農作業研究領域革新的作業機構開発グループ 主任研究員 川出哲生
 - ④トラクタ作業機周辺における人検出システム開発に向けた基盤的研究
システム安全工学研究領域協調安全システムグループ 研究員 梅野 寛
 - ⑤乗用トラクタのほ場進入路走行時における安全性向上に関する研究
システム安全工学研究領域協調安全システムグループ グループ長 菊池 豊
 - 4) 閉 会 17:15

目 次

1. 遠隔監視型ロボットトラクタ	1
2. ロボットトラクタのほ場間移動システム	13
3. イアコーン収穫スナッパヘッドの現地適応化	23
4. トラクタ作業機周辺における人検出システム開発に向けた基盤的研究	37
5. 乗用トラクタのほ場進入路走行時における安全性向上に関する研究	49

遠隔監視型ロボットトラクタ

知能化農機研究領域国際標準・土地利用型作業グループ 趙 元在

はじめに

ほ場内の農作業を無人で行うロボット農機が市販化されており、すでに全国各地で運用されている。現在市販化されているロボット農機は、ロボット農機の周囲の安全確認のために常時監視を行う必要があり、作業者はロボット農機の動作を目視で監視可能な範囲内にいる必要がある。作業者が遠隔で監視可能になれば、作業者の労働負担の低減や運用範囲の拡大による作業能率の大幅な向上が期待できる。そこで、農研機構では遠隔で周囲の監視・安全確認や操作（停止、再開始）が可能では場内作業に加えてほ場間移動も無人で行う遠隔監視型ロボットトラクタ（開発機）を開発した。

1. 開発機の概要

開発機は、AIにより人や障害物を検知し作業者が持っているスマホ等へ通知し、作業者はロボットトラクタから送られてくる映像を確認し安全が確保されたら作業を再開するシステムとなっている。開発機は、ロボットトラクタと遠隔監視システムで構成されている。

1) ロボットトラクタ

本機は、市販ロボットトラクタ（クボタ SL60A、60 馬力）をベースとし、ロボットの制御及び周囲の安全確認のために各種センサ類（RTK-GNSS、IMU、3D-LiDAR、RGB カメラ及び熱画像カメラ）、遠隔監視端末とのデータ送受信のための LTE 通信装置を装備している。さらに、ほ場内の農作業及びほ場間移動を遠隔で運用・監視するために、自己位置推定、経路計画、経路追従、地図作成、周囲の安全確認及び遠隔操作の機能を提供する統合制御システムを搭載している。

2) 遠隔監視システム

本システムは、アンドロイド OS を搭載したスマートフォンやタブレット等の携帯端末上で運用可能である。作業者は、ロボットの作業状態、動作状態、周囲安全確認及び危険範囲内の障害物の検知結果の確認、ロボットの遠隔操作（停止、再開始）が可能である。

2. 開発機の性能

千葉県横芝光町の農事組合法人において、建物内の作業者による遠隔監視及び操作によりロボットのほ場内耕うん作業（2 筆）及びほ場間移動試験を行った。その結果、通信が途切れることなくロボットの監視及び操作が可能であり、無人では場内作業及びほ場間移動が可能であった。

おわりに

スマホ等により遠隔で周囲の監視・安全確認や操作が可能では場内作業に加えてほ場間移動も無人で行う遠隔監視型ロボットトラクタを開発した。今後は、実用場面を想定した実証試験を通して、制度設計に向け成果を提示するとともに早期の社会実装を目指す。なお、本研究課題は、株式会社クボタ及び国立研究開発法人産業技術総合研究所と共同で実施した。

遠隔監視型ロボットトラクタ

農研機構 農業機械研究部門
知能化農機研究領域
趙 元在

背景と目的



背景

現在市販化されているロボット農機は、ロボット農機の周囲の安全確認のために常時監視を行う必要があり、作業者はロボット農機の動作を目視で監視可能な範囲内にいる必要がある。作業者が遠隔で監視可能になれば、作業者の労働負担の低減や運用範囲の拡大による作業能率の大幅な向上が期待できる。

目的

農研機構では遠隔で周囲の監視・安全確認や操作（停止、再開始）が可能では場内作業に加えてほ場間移動も無人で行う遠隔監視型ロボットトラクタ（開発機）を開発する。

開発機は、ロボットトラクタと遠隔監視システムで構成されている。

1. ロボットトラクタ

1) 市販ロボットトラクタ（クボタSL60A、60馬力）をベースとし、ロボットの制御及び周囲の安全確認のために各種センサ類（RTK-GNSS、IMU、3D-LiDAR、RGBカメラ及び熱画像カメラ）、遠隔監視端末とのデータ送受信のためのLTE通信装置を装備する。

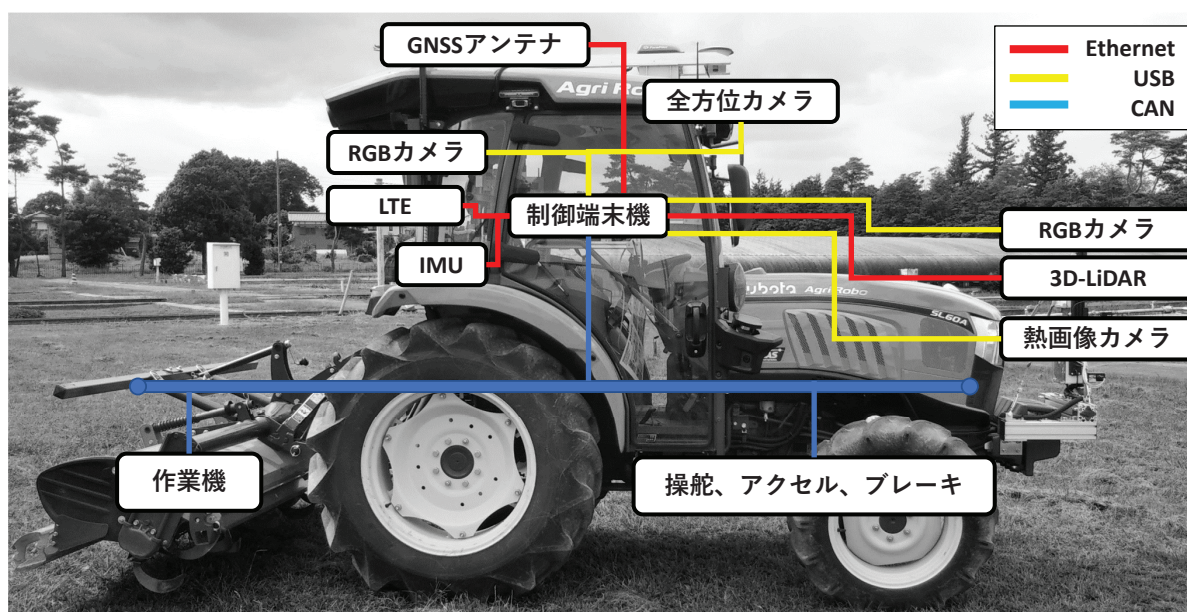
2) ほ場内の農作業及びほ場間移動を遠隔で運用・監視するために、自己位置推定、経路計画、経路追従、地図作成、周囲の安全確認及び遠隔操作の機能を提供する統合制御システムを搭載する。

2. 遠隔監視システム

作業者は、遠隔監視システムを用いてロボットの作業状態、動作状態、周囲安全確認及び危険範囲内の障害物の検知結果の確認、ロボットの遠隔操作（停止、再開始）が可能である。遠隔監視システムはアンドロイドOSを搭載した携帯端末の画面サイズに合わせて自動的にGUIを構成する。

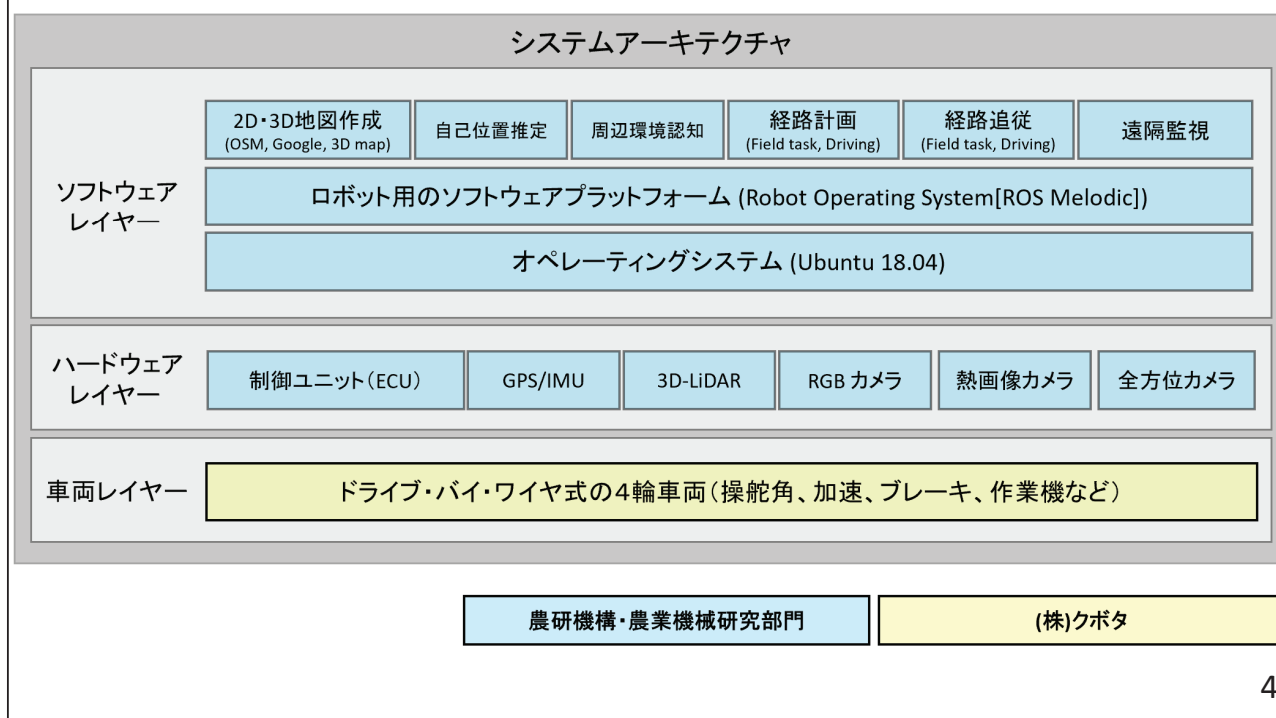
2

ハードウェア構成：SL60A、60馬力（株式会社クボタ）ベース

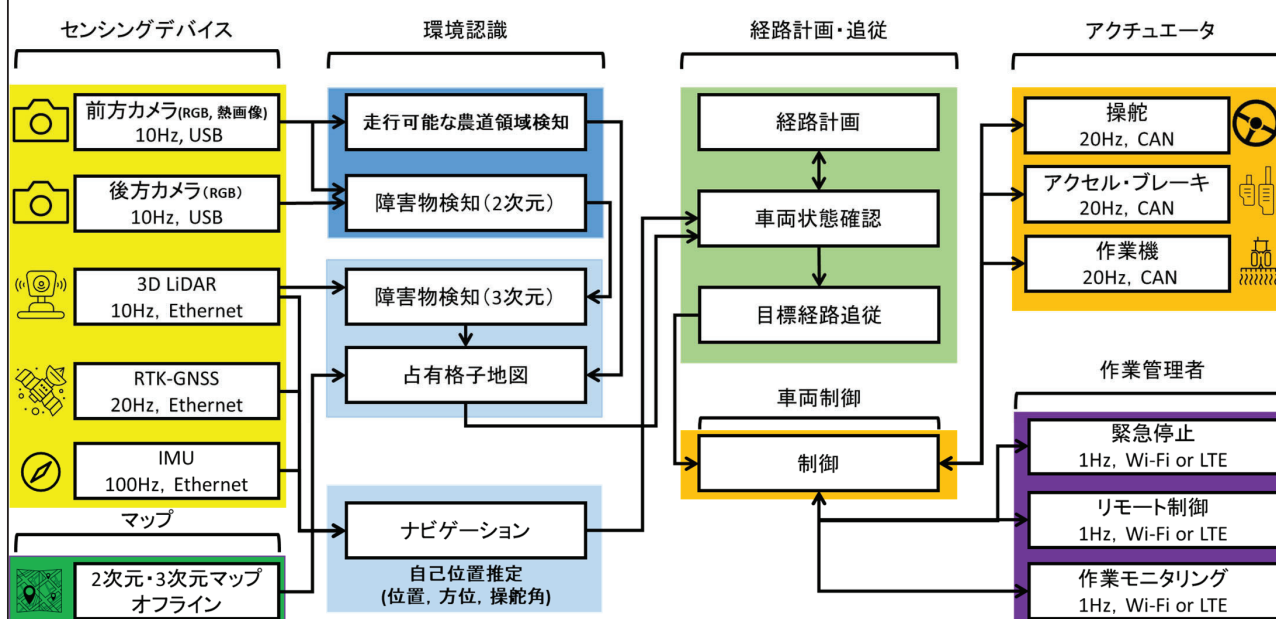


3

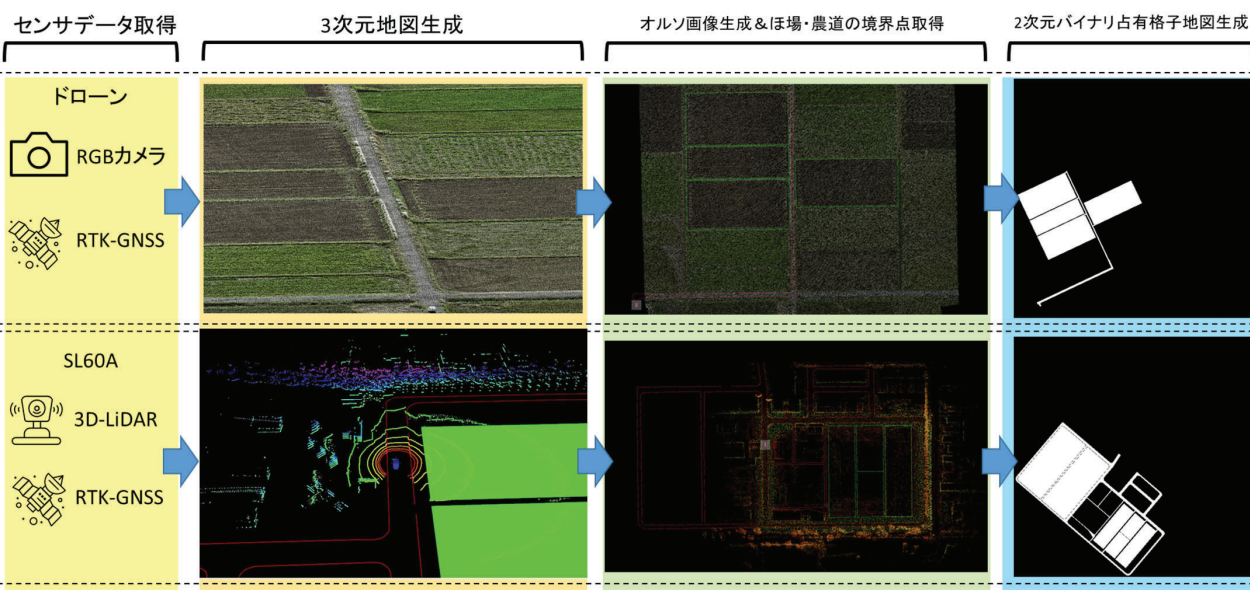
ロボットトラクタの統合制御システム



ロボットトラクタの統合制御システム



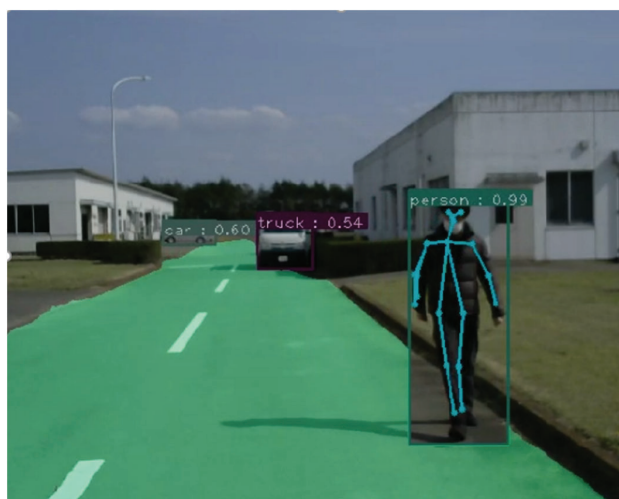
ロボットトラクタの統合制御システム（地図作成）



6

ロボットトラクタの統合制御システム（周囲の安全確認）

	深層学習のモデル	データセット
障害物の検知	YOLOv4	約100,000枚
走行可能な農道領域検知	Enet + MobileNet(Depthwise conv)	約51,000枚（全国64箇所）



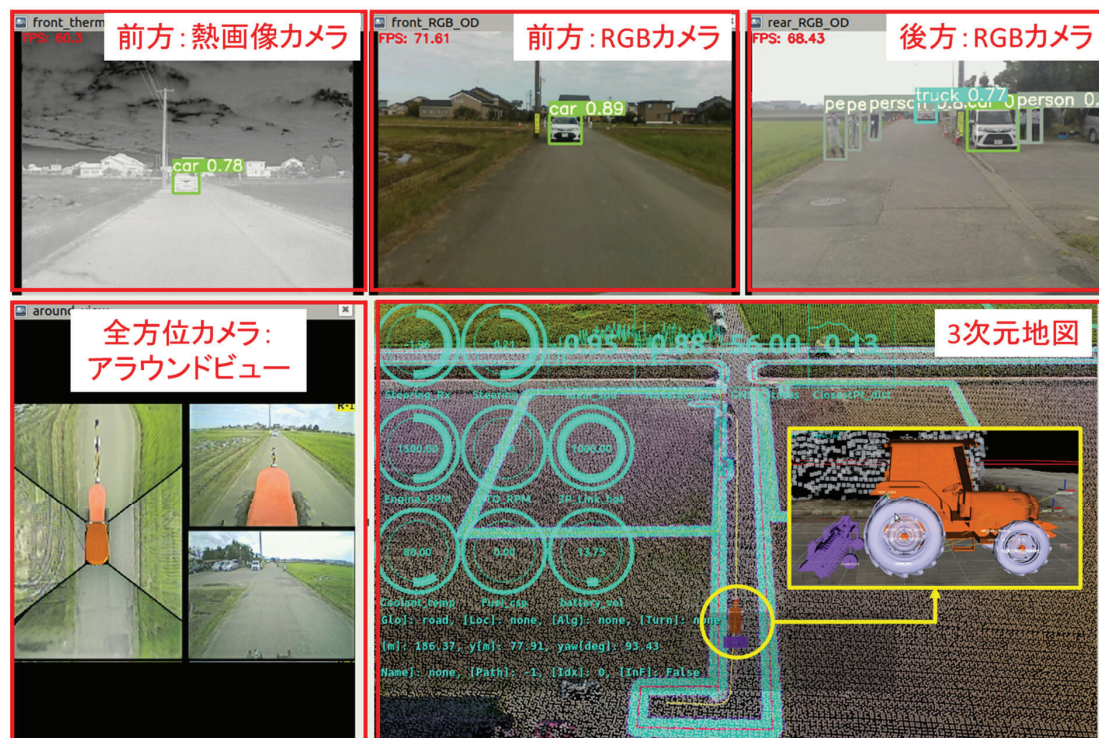
RGB単眼カメラ（前方）



赤外線カメラ（前方）

7

ロボットトラクタの統合制御システム（GUI）



8

作業者の遠隔監視システム（スマートフォン上のGUI）



9

作業者の遠隔監視システム（タブレット上のGUI）



10

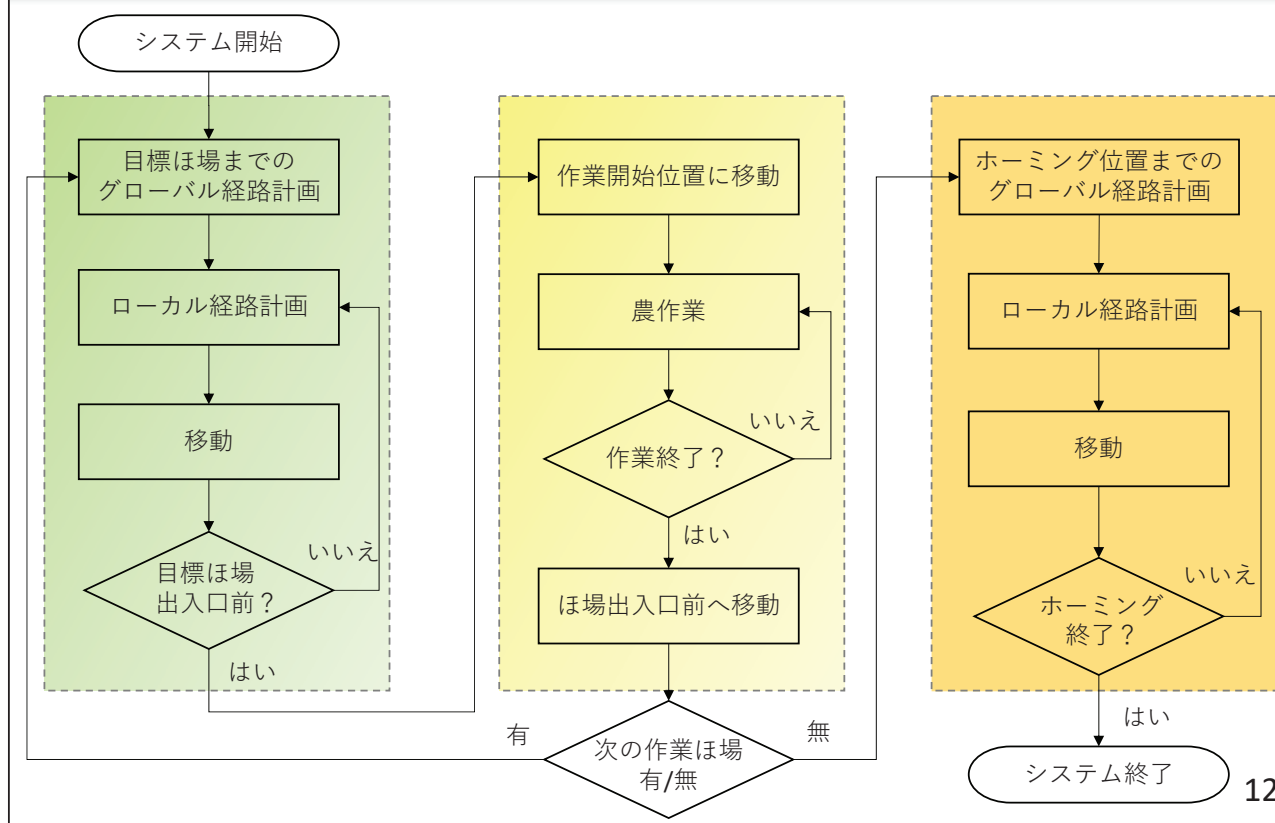
開発機の運用条件

運行設計領域（ODD：Operational Design Domain）¹⁾

1. 道路条件：「法定外公共物占用許可」を得た占有道路であること
2. 地理条件： 道路及び作業ほ場を含む地理的境界線（ジオフェンス）を設定し、地理的境界線内には外部からの物体（車、人など）が進入できない状態であること
3. 環境条件： 強い雨や降雪による悪天候、視界が著しく悪い濃霧又は日差しの強い日の逆光等によりロボットの制御システムが周辺の障害物や走路を認識できない状況でないこと
4. 車両起動条件： 高精度地図及びロボットに装着したセンサ（GNSS、IMU、カメラ、3D-LiDARなど）による情報が正しく入手できていること
5. 遠隔監視条件： 作業者は遠隔監視システムとロボットが安定的に無線通信（LTE、Wi-Fiなど）によるデータ送受信が可能な場所で遠隔監視・操作を行うこと

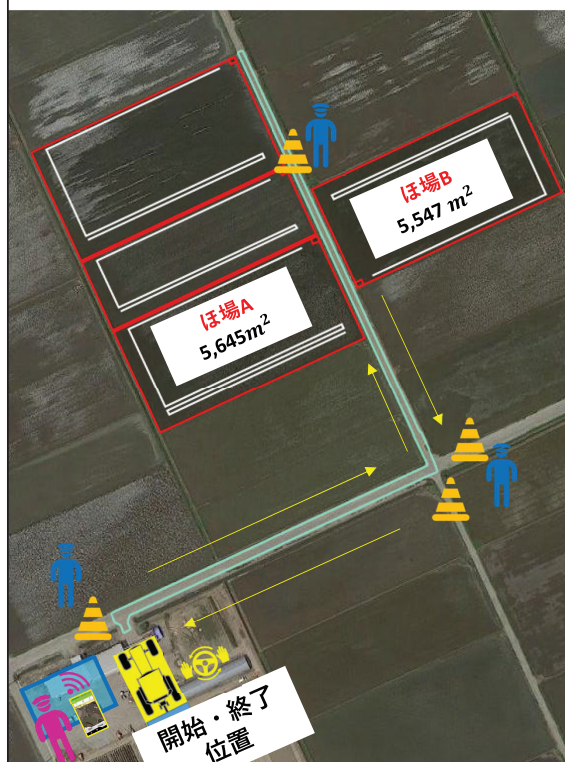
¹⁾ 自動運転車の安全技術ガイドライン、国土交通省自動車局、<https://www.mlit.go.jp/common/001259347.pdf>

11



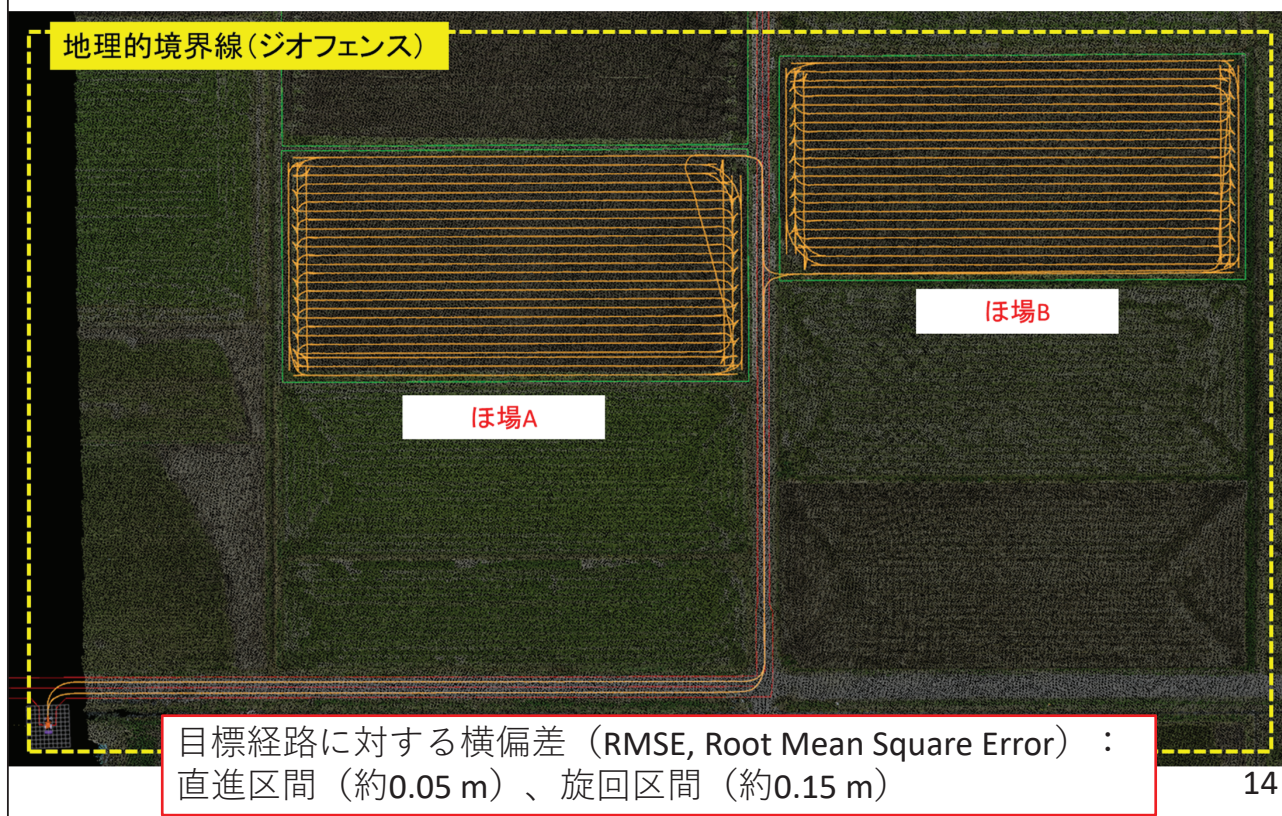
12

試験計画



- ① 日程：2021年2月、2022年11月
- ② 場所：千葉県農事組合法人
- ③ ロボットの移動経路：
開始→
農道走行→ほ場作業（ほ場A）→
農道走行→ほ場作業（ほ場B）→
農道走行→終了
- ④ 走行速度：
農道（約1.0 m/s）、
ほ場内作業（約0.9 m/s）、
ほ場内旋回（約0.7 m/s）
- ⑤ ほ場内作業：耕うん
ロータリ幅：2.0 m、
耕うん深さ：0.1 m

13



遠隔監視システムを用いた遠隔監視及び操作の結果

実施年度	遠隔監視端末	作業者の 反応率 (%)	遠隔操作の 成功率 (%)
2021	スマートフォン	21/21 (100 %)	21/21 (100 %)
2022	タブレット	21/21 (100 %)	21/21 (100 %)

※作業者は、トラクタが直接見えない室内で、遠隔監視端末の前に座って待機した。

※反応率は、遠隔監視システム上にトラクタの停止情報（テキスト、音）が表示した場合に、作業者が適切に対応した割合を示す。

マシンビジョン（前：RGB、熱画像、後：RGB）による障害物検知及び緊急停止の結果

実施年度	障害物	姿勢	画像内の検出率（％）	検出後の緊急停止率（％）
2021	マネキン（小）	立位	13/13 (100 %)	13/13 (100 %)
2022	マネキン（小、大）	立位	14/14 (100 %)	14/14 (100 %)
2022	マネキン（小、大）	横臥	3/5 (60 %)	3/3 (100 %)

※障害物としてマネキンをランダムに配置した後に、トラクタを運行してシステムの反応を確認した。

※マネキン（小）は身長110 cm（男女5歳平均）、マネキン（大）は身長160 cm（男13歳平均、女15-59歳平均）である。



遠隔監視型ロボットトラクタを開発

1. ほ場内作業、ほ場間移動、周囲の安全確認が可能
2. 作業者は遠隔監視システムを用いて遠隔で監視・操作が可能

今後の予定

実用場面を想定した実証試験を通して、
早期の社会実装及び制度設計に向けた成果の提示を目指す。

謝 辞

本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP「スマートバイオ産業・農業基盤技術」（管理法人：生研支援センター）によって実施されました。

ロボットトラクタのほ場間移動システム

無人化農作業研究領域 西脇 健太郎

はじめに

ほ場内作業のロボット技術は一定のレベルに達しており、ほ場内やほ場周囲から監視しながら運用するロボットトラクタ（以下、ロボトラ）が国内メーカから販売されている。しかしながら、ほ場間移動についてはオペレータが搭乗して行う必要があり、ほ場の小さな中山間地域では頻繁なほ場移動が必要であることから省力・省人効果に限界がある。ロボトラの省力・省人効果をより高めるために、無人自動走行によるほ場間移動技術の開発が必要とされている。

1. ほ場間移動の課題

ほ場間移動ではロボトラが監視者から離れて走行することが想定されるため、遠隔操作・監視技術の開発が必要である。また、現在のロボトラは GNSS による高精度位置情報を基に制御が行われているものが多いが、ほ場間をつなぐ道路は林の横や橋の下など GNSS に適さない環境が含まれるため、GNSS を補完する別の位置情報把握技術が必要である。さらに、経路上に予期せぬ障害物が存在する可能性があることから、ロボトラの周囲環境を適切に把握する技術が必要である。

2. 開発したほ場間移動システム

開発は、内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第2期の中で、井関農機、ゼンリンデータコム、農研機構が協力して行った。ベースとなるロボトラは、位置や速度・エンジン回転数・動作モードなどのトラクタ情報を遠隔操作・監視システムに送信するとともに、与えられた走行開始・停止などの各種コマンド・走行経路に従って走行する。遠隔操作・監視部は、ロボトラの位置を地図上に表示するとともに、搭載されたカメラを使ったロボット周辺画像の表示、オペレータの操作に伴う移動経路の探索とロボトラへの転送、移動開始・停止コマンドの送付を行う。GNSS を補完する位置情報把握部では、GNSS 受信状況の悪い場所にあらかじめ位置のわかっている複数のランドマークを設置し、カメラとレーザー距離計を使用してランドマークとトラクタとの相対的な位置関係を把握することによりロボトラの位置と向きを算出する。周囲環境把握部では、ステレオカメラにより前方の障害物を検出し、必要に応じてロボトラを停止させる。あらかじめ与えられた経路情報を使うことで、交差点を右左折した先の障害物を見つけることができる。

おわりに

ロボトラによる省力・省人効果を高めるために、ほ場間移動システムを開発した。現地試験地域（北海道富良野市）で試験を行い、所期した動作が行われることを確認した。同時に、安全に関する数々の課題も明らかになった。開発技術の早期実用化を目指し、開発技術の高度化を進めていく必要がある。

ロボットトラクタの ほ場間移動システム

農研機構 農業機械研究部門
西脇 健太郎

NARO

ロボットトラクタのほ場間移動システム

現状

ほ場内作業のロボット技術は一定のレベルに到達

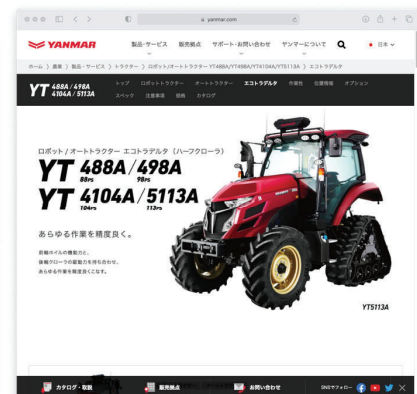
ほ場内やほ場周囲から監視しながら運用するロボトラが
国内メーカーから販売されている



井関農機ホームページより



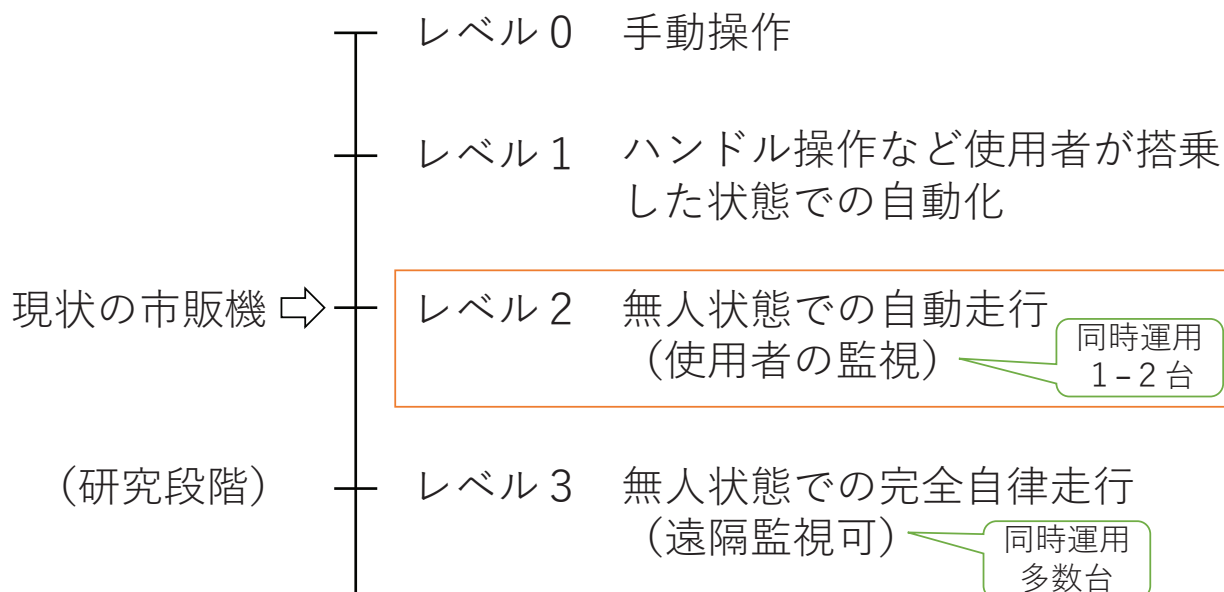
クボタホームページより



ヤンマーホームページより

農業機械の安全性確保の自動化レベル

(農林水産省、スマート農業の実現に向けた研究会資料より)

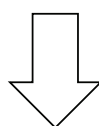


2

問題と目標

現在想定されている自動走行は、ほ場内に限られ、
ほ場間移動についてはオペレータが搭乗して行う想定

ほ場の小さな中山間地域では頻繁なほ場移動が必要であるこ
とから省力・省人効果に限界がある



中山間地域でのほ場間移動技術を開発

3

問題と目標 中山間地域での遠隔監視ロボトラ運用のイメージ



4

課題

ほ場間移動ではロボトラが監視者から離れて走行することが想定されるため、遠隔操作・監視技術の開発が必要

現在のロボトラはGNSSによる高精度位置情報を基に制御が行われているものが多いが、ほ場間を繋ぐ道路は林の横や橋の下などGNSSに適さない環境が含まれるため、GNSSを補完する別の位置情報把握技術が必要

経路上に予期せぬ障害物が存在する可能性があることから、ロボトラ周囲の環境把握技術が必要

5

は場間移動技術の開発



周辺環境把握部



GNSSを補完する
位置情報把握部

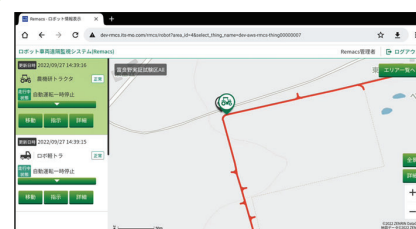
速度・ブレーキ指示

位置情報



ロボトラベース機

遠隔監視・操作部

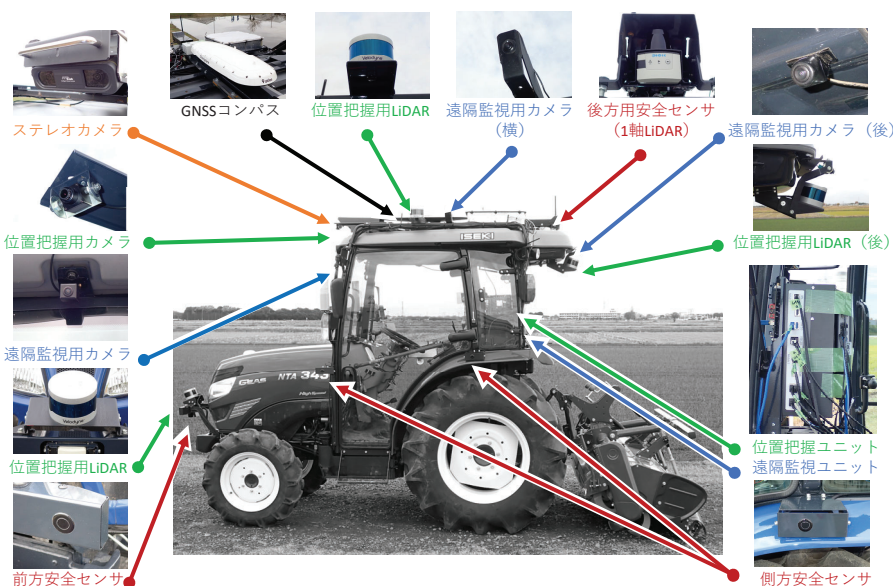


位置情報
トラクタ制御情報
経路
周辺画像
開始・停止コマンド

内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第2期の中で、井関農機、ゼンリンデータコム、農研機構が協力して開発

6

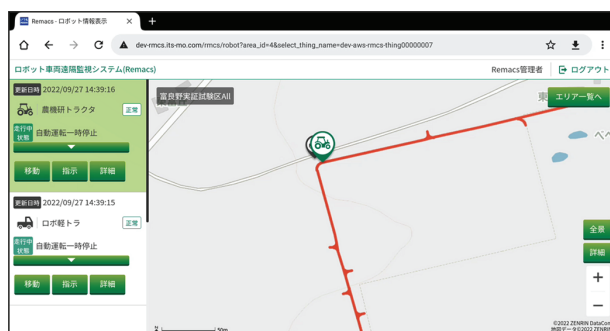
ロボトラベース機



ロボトラベース車両はGNSSを使いながら与えられた経路を走行する
想定走行速度は15km/h

7

遠隔監視・操作部



- ・ 複数ロボット農機の動作状況モニタリング
- ・ 指定ロボット搭載カメラからの周辺映像確認
- ・ 指定した場所への移動用経路探索
- ・ ロボットへの経路、マップデータの転送
- ・ ロボットへの移動開始、停止制御

8

GNSSを補完する位置情報把握部



LiDAR



カメラ



予め正確な位置が
明らかとなっている
ランドマーク



NMEA
形式の
データ

カメラやLiDAR（レーザ距離計）を用いて、
中山間地などGNSS不安定条件下でも走行位置を把握する

ロボトラへ出力される位置情報は
GNSSで一般的なNMEA0183フォーマットとしているため、
既存のロボトラへ容易に接続可能

9

周辺環境把握部

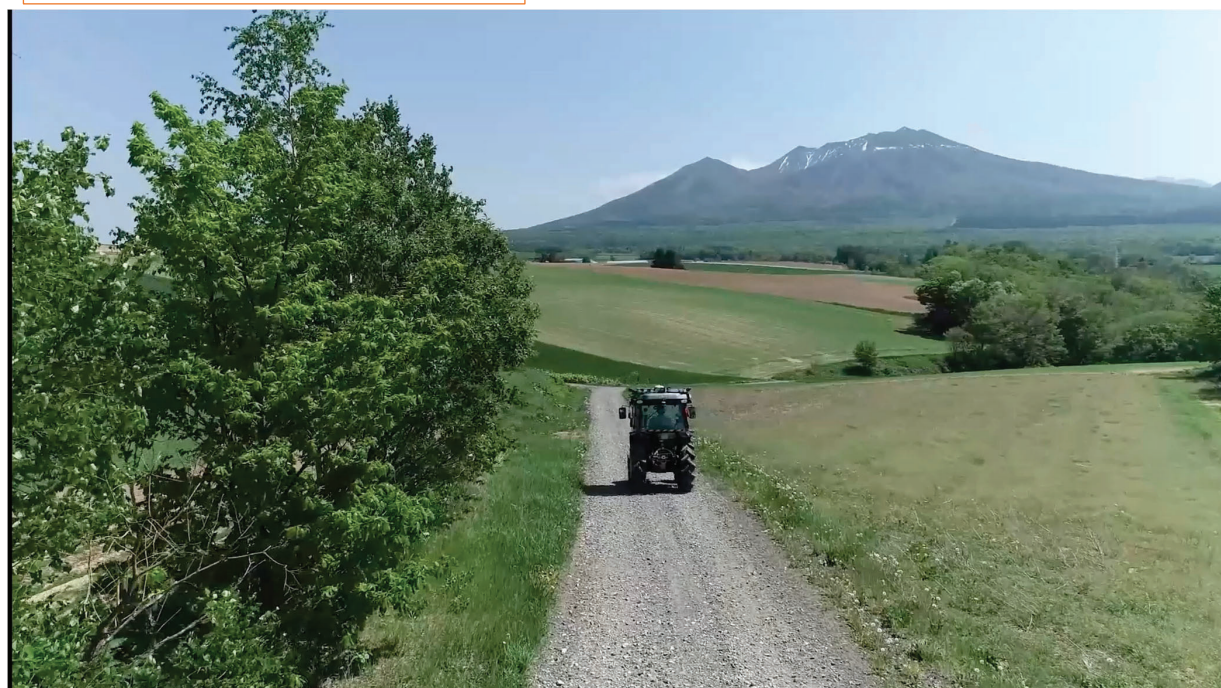


ステレオカメラによる障害物の検出

右左折を含め、経路上の障害物を検出した場合、自動的に減速し、障害物の手前で停止する
道路と同じ色の作業服を着ていた場合にも反応

10

現地試験地域でのテスト



11

12

13

残された課題

通信の安定性：中山間地域のような人口密度の低いエリアは電話回線が細く、遠隔監視・操作システムとトラクタ間の通信がうまくいかない場合がある。

走行の安定性：時速15km/h（約4m/s）はかなり早い速度。石に乗り上げるなどして進行方向が急激に変化した場合、経路からのズレをフィードバックするだけでは手遅れになるケースが想定される。

運用性の向上：現システムは経路上に障害物があった場合は停止する。道路幅に余裕がある場合は経路を動的に変更して迂回できることが望ましい。

安全性の向上：現システムは外から飛び込んでくるような障害物には対応できていない。周辺環境認識部分の強化が必要である。

14

まとめ

ロボトラによる省力・省人効果を高めるために、ほ場間移動システムを開発した。

現地試験地域(北海道富良野市)で試験を行い、所期した動作が行われることを確認した。同時に、運用・安全に関する数々の課題も明らかになった。

開発技術の早期実用化を目指し、開発技術の高度化を進めていく必要がある。

謝 辞

本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP「スマートバイオ産業・農業基盤技術」（管理法人：生研支援センター）によって実施されました。

15

イアコーン収穫スナッパヘッドの現地適応化

無人化農作業研究領域 川出哲生

機械化連携推進部 志藤博克

はじめに

畜産酪農では濃厚飼料が重要であるが、新興国との穀物争奪、ウクライナ情勢、円安などにより穀物価格が高止まりしており、飼料費の改善が急務である。飼料用トウモロコシの子実や雌穂（イアコーン）を濃厚飼料として利用する技術が北海道を中心に普及し始めているが、都府県の規模でイアコーン生産に適する機械体系は無く、飼料作ほ場は粗飼料生産で手一杯である。一方、野菜農家では連作障害回避のため、ソルゴーなどを緑肥として利用する事例があり、飼料用トウモロコシの茎葉は緑肥に、雌穂は濃厚飼料に利用することで、新たな耕畜連携による国産濃厚飼料生産が期待できる。

そこで、都府県でのイアコーン収穫調製体系を構築するため、主に都府県で普及する汎用型飼料収穫機に装着可能で、小型で軽量のイアコーン収穫スナッパヘッドを開発した。生産現場で幅広く利用されるため、倒伏条件下でも頭部損失 20%以下で収穫できるように改良し、現地適応性を確認した。

1. イアコーン収穫スナッパヘッドの概要

開発機は2条刈りで、茎葉を下方に引き込む2本1組のかき込みローラ、茎葉と雌穂を分離する雌穂セパレータ、引き込まれた茎葉を切断する株元カッター、分離された雌穂を汎用型飼料収穫機の収穫部へ搬送する搬送チェーンと搬送オーガで構成した。倒伏した茎葉の引き込み途中でのちぎれを低減するため、また、茎葉の把持性能を向上するための改良を実施した。

2. 精度試験

頭部損失（収穫できなかった雌穂の割合）は、条刈り区（立毛状態で条方向に）で2.6%（目標値3%以下）、横刈り区（立毛状態で条方向と直角方向に）で5.2%（目標値10%以下）、倒伏区（高さ約40cmで進行方向45°方向に人為的に完全倒伏させた状態で）で17.8%（目標値20%以下）であった。完熟期で茎が枯れて倒伏した状態では、茎がちぎれて収穫が困難になることが観察された。

3. 能率試験

ほ場作業量（1時間当たりの作業面積、目標値：0.3ha ほ場で0.3ha/h以上）は、試験地A(0.46ha)で0.36ha/h、試験地B(0.12ha)で0.32ha/h、試験地C(0.46ha)で0.39ha/hであった。

4. 現地実証

野菜・耕種農家、コントラクタ、酪農家の連携実証を各地で行った。イアコーンサイレージは良好な品質で、家畜の嗜好性も良好であった。茎葉緑肥により、土壌の透水性、硬度が改善、有機物の増加（乾物1t/10aで牛ふん堆肥600kg/10aに相当）が見られ、後作のキャベツが10%増収した事例もあった。来年度のスナッパヘッド導入、取組継続が決まる地域もあった。

おわりに

イアコーン収穫スナッパヘッドは令和5年度に市販化予定である。イアコーン生産は畜産酪農と野菜農家との新たな耕畜連携のキーであり、開発機の地域農業基盤強化への貢献を期待する。

イアコーン収穫スナッパヘッド の現地適応化

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
機械化連携推進部 志藤博克

NARO

研究開発の概要



ここに装着する
スナッパヘッドを開発
(目標価格250万円以下)

「汎用型飼料収穫機」
飼料イネや飼料用トウモロコシを
収穫・細断・ロール成形



飼料用トウモロコシの雌穂(イアコーン)を
収穫するアタッチメントを開発。対倒伏性
向上。サイレージ品質、緑肥効果確認。



収穫部

- 新型コロナによる流通の停滞とコスト増、新興国との穀物争奪、燃料費の上昇、ウクライナ情勢、円安により、濃厚飼料価格が高騰

➡ トウモロコシのシカゴ相場は2012年の米国干ばつ以来の高値
バイオエタノール(2007年)以前の価格の約4倍

- 上記の要因が解消したとしても、中国の飼料用穀物の輸入量増大による争奪で、価格高は構造的な問題に



今度こそ、本腰を入れて濃厚飼料の自給促進を図る必要

2

濃厚飼料の自給に向けて

	飼料用米	子実用トウモロコシ
メリット	食用米と同じ様に作ることができる	生産コストが低く、手間が少ない
デメリット	生産コストが高く、手間がかかる	湿害に弱く、湿田での作付けには向かない、栽培～収穫機械体系を揃える必要がある

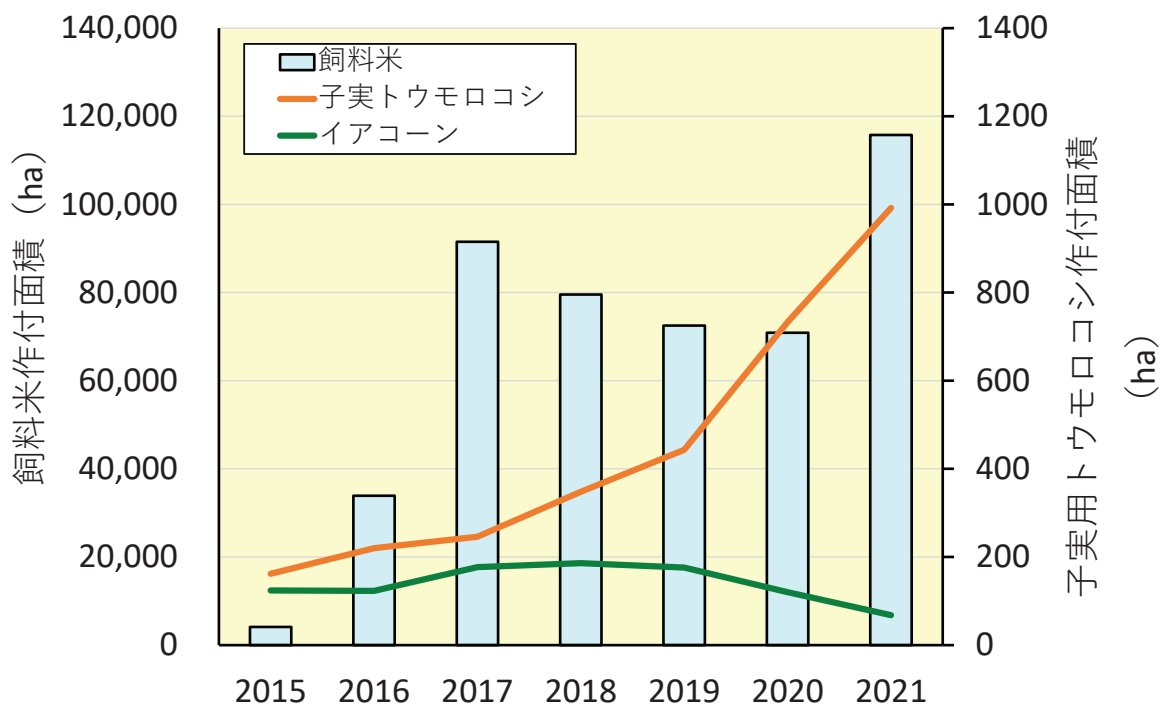


種類	イアコーン	子実トウモロコシ
部位	雌穂(子実+包皮+芯) 	子実 
TDN含量 (DM%)	75-85	90-94

TDN：可消化養分総量、家畜によって消化吸収される養分量

3

国産濃厚飼料作付面積



4

都府県での子実用トウモロコシ

	子実トウモロコシ		イアコーン
栄養	圧ペントウモロコシと同等の栄養価 (TDN: 94%)	>	栄養価が子実トウモロコシよりも低め (TDN: 83%)
対象	鶏、豚、乳牛、肉用牛に給与可	>	鶏には不適、豚はリキッドフィーディングで利用可
収穫期	完熟期に収穫、関東以西ではカビの発生、台風による被害、つる性雑草の繁茂等のリスクが高まる	<	黄熟期に収穫、完熟期よりも早く収穫でき、破碎処理が不要、カビ、台風、雑草のリスク低減
収穫	普通型コンバインで収穫、耕種農家が取り組みやすい	>	都府県向けの機械体系が無い
調製	火力乾燥する場合、乾燥コスト、米への混入が懸念 サイレージ調製する場合、破碎処理後にフレコンバッグに詰めてラップする等、手間・人がかかる	—	都府県向けの機械体系が無い 汎用型飼料収穫機によるイアコーン収穫調製体系を構築すれば

- ・ 従来の作業体系でサイレージ調製が可能で、手間・コストがかからない
- ・ 汎用型飼料収穫機を所有するコントラクタならば、最小の投資でイアコーンに対応可能

5

イアコーンの収穫体系

- 自走式フォレージハーベスタにスナツパヘッドを装着して収穫
- 海外機は大型・高価で車輪式
 - ・都府県の小区画ほ場・地耐力の悪いほ場では導入困難
 - ・スナツパヘッドだけでも1200万円
- 国産はこれまで対応できる機械がなかった
 - 「汎用型飼料収穫機」
飼料イネや飼料用トウモロコシを
収穫・細断・ロール成形



本課題の目的 1

・小型軽量のスナツパヘッドを開発すれば、適用可能

ここに装着する
スナツパヘッドを開発
(目標価格250万円以下)

6

開発機の諸元



移動時全長: 6850mm
(本機含む、先端折りたたんだ状態)

作業時全長: 7400mm
(本機含む)

開発機の主要諸元	
条数	2
全長(mm)	2050(作業時) 1520(移動時)
全幅(mm)	1460
全高(mm)	850
質量(kg)	425

7

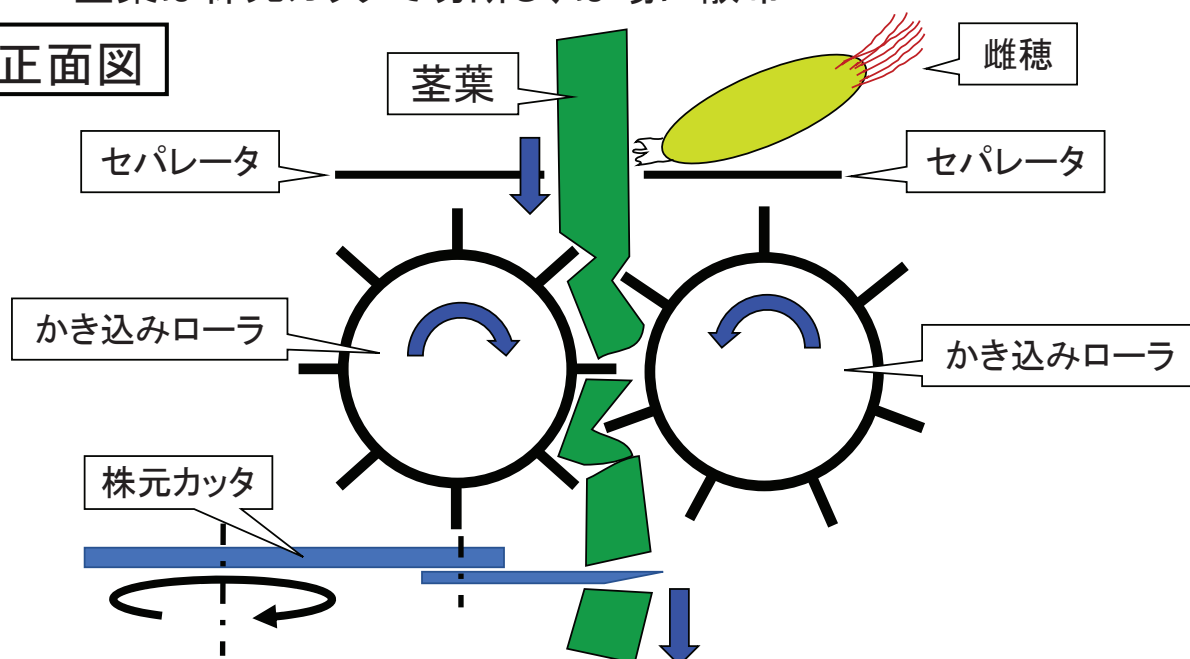


8

スナッパヘッドの仕組み

- 一対のかき込みローラで茎葉を下方に引き込み、セパレータで雌穂をこそぎ取り、雌穂のみを収穫
- 茎葉は株元カッタで切断し、ほ場に散布

正面図



9

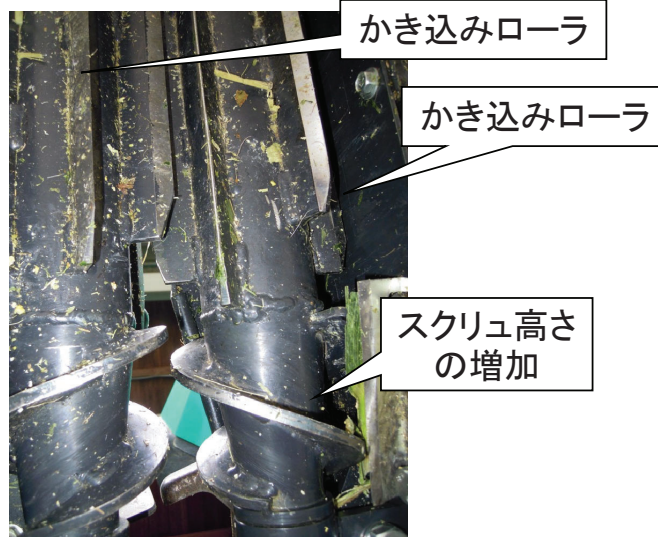
最終試作機の仕様

- 茎葉のかき込みローラへの搬送能力の向上化

➡ かき込みローラ先端部の形状を変更し、茎葉の押し倒しを回避



最終試作機



かき込みローラ

かき込みローラ

スクリュ高さの増加

進行方向 ↓ 下から見た様子

10

精度試験

方法: 10mの測定区間の頭部損失を測定

頭部損失(%) = 収穫できなかった雌穂の質量 / 測定区間内の雌穂収量 × 100

試験区	条刈り区 立毛状態で条方向に収穫				横刈り区 立毛状態で条方向と 直角方向に収穫				倒伏区 高さ40cmで進行方向45° に人為的に完全倒伏で 条方向に収穫
作業速度 (m/s)	0.5	0.7	1	全	0.5	0.7	1	全	0.3
頭部損失 (%)	2.7	2.5	2.4	2.6	4.6	6.7	4.5	5.2	17.8
目標値(%)	3以下				10以下				20以下

条刈り ➡

↑ 横刈り(枕地(旋回場所)
が足りない時に行う作業)



11

倒伏状態の課題

茎がちぎれて収穫が困難になる場合あり

- ・完熟期で茎がもろい
- ・虫害による茎の破損



これなら引き込めるが・・・



これは途中で切れてしまう



目標を達成するも作物条件によって影響を受ける

12

台風による倒伏状態での作業



穂先が上がっていれば迎え刈りで作業可能



13

目標値: 0.3haほ場でほ場作業量0.3ha/h以上

試験地	面積 (ha)	長短辺比	ほ場作業量 (ha/h)	有効作業効率 (%)
A	0.46	1.51	0.36	66
B	0.12	2.85	0.32	49
C	0.46	2.78	0.39	53

ほ場作業量: 一時間当たりの作業面積

有効作業効率: 巡回等のほ場内のロス時間を含めた作業能率とロス時間を含めない理論的作業能率の比、数字が大きい＝巡回等のロスが小さい、数字が小さい＝巡回等のロスが大きい

14

都府県でのイアコーン生産地は？

飼料畑が少ない都府県では、どこでイアコーンを作るのか？

➡ 飼料畑でイアコーンを収穫すると、茎葉がもったいない



一方、露地野菜農家は土作りのため夏季に緑肥作物を栽培



露地野菜農家に飼料用トウモロコシを緑肥として作ってもらう

- ➡
- ・露地野菜農家が茎葉を緑肥に利用
 - ・酪農畜産側が雌穂(イアコーン)を濃厚飼料に利用



耕畜双方にメリット

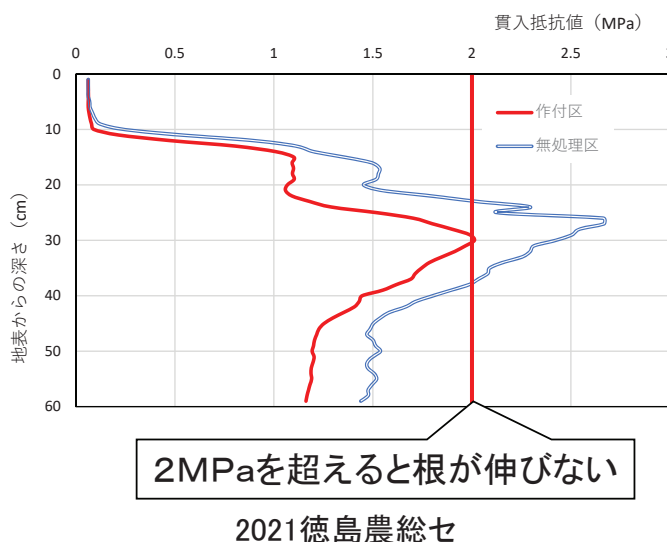
本課題の目的 2

- トウモロコシ茎葉緑肥の効果の解明
- サイレージ品質分析、酪農家での給与実証

15

トウモロコシ茎葉緑肥の効果

- 根域の深層への拡大、透水性の向上
- 土壌硬度が低減
- 有機物の増加(乾物収量1t/10aで牛ふんたい肥600kg/10aに相当)
- 後作(キャベツ)の増収効果も



作付け区

無処理区

2021岡山農総セ

16

茎葉緑肥の効果をもとめたパンフレット

飼料用トウモロコシによる新たな耕畜連携で
地域農業の基盤強化へ

飼料用トウモロコシの雄穂(実、芯、外皮の部分、アイコンといいます〔図6〕)は家畜にとって栄養豊富な飼料となります。新開発の収穫機〔図7〕でコントラクタがアイコンを収穫すると同時に、茎葉をすき込みやすい形にして畑に散布してくれます。酪農畜産では、輸入飼料が高騰しており、国産飼料のニーズが高まっていますが、飼料だけでは賄いきれません。そこで、野菜畑に飼料用トウモロコシを作付けることで増産が可能となり、野菜と酪農畜産の連携による地域農業の共存共栄が図れます〔図8〕。

農研機構 農業機械研究部門

〒331-8537 埼玉県さいたま市北區日原町1-40-2
Tel 048-654-7000(代表) URL www.naro.go.jp/laboratory/fem/index.html

露地野菜農家の
「皆さん」

飼料用トウモロコシを作って
土壌改良をしましょう!

土壌が
柔らかくなる

土中有機物が
豊富になる

水はけが
良くなる

17

- 発酵品質は良好(調製2か月後)

pH: 3.64~3.86 (≤ 4.2 : 良、4.3~4.5: 中、 $4.5 \leq$: 不良)

V-Score: 89.1~99.2 ($80 \leq$: 良、60~80: 可、 ≤ 60 : 不良)

2021徳島農総セ

- ただし、栄養価が高いため、開封後の変敗が速い

開封後、40.7時間で表面温度が40℃に到達

➡ 好気性の酵母や糸状菌の活性化による

↓
対策が必要 { 2日以内に使い切る
酸の表面散布など

2021徳島農総セ

18

現地での連携と給与実証

栃木

継続の期待・大

耕種農家(生産法人)

- ・水稲40ha、麦・キャベツ等8ha
- ・イアコーン約1.66ha

コントラクタ

- ・デントコーン87ha、飼料イネ116haを受託
- ・TMRセンターを経営、年間製造量9250t

給与実証先の酪農家

- ・成牛60頭、繋ぎ飼い、自動給餌機導入、TMR自家配合



19

岡山(笠岡干拓地)

来年度取組継続予定

野菜農家(生産法人)

- ・キャベツ・レタス・タマネギ等のべ70ha
- ・イアコーン約4ha (大区画ほ場)

2021年度、後作キャベツが無処理区
に対して収量10%アップ



コントラクタ

- ・汎用型飼料収穫機所有、デントコーン28ha、
飼料イネ40ha、牧草30haを受託



給与実証先の酪農家

- ・成牛120頭、フリーストール、TMR自家配合
冬季に1か月間給与、嗜好性良好



20

成果の活用面／残された問題とその対応

- 2023年度に株式会社タカキタから市販化決定
- 研究成果の発表
 - ・ 日本草地学会誌に2報掲載
 - ・ 茎葉緑肥の効果をまとめたパンフレットを作成、関係機関に配布
- イアコーンの生産利用の普及を図るには、露地野菜農家、コントラクタ、酪農家との連携調整が必要

予算区分: 農業機械技術クラスター

研究期間: 2020～2022年度(令和2～4年度)

担 当: 無人化農作業研究領域・革新的作業機開発グループ、
機械化連携推進部・機械化連携推進室

協力分担: (株)タカキタ、アグリアシストシステム(株)、(株)那須の農、
新潟畜研、岡山畜研、徳島県総セ

実 演 地: 宮城県、千葉県、福岡県、熊本県

トラクタ作業機周辺における人検出システム開発に向けた基盤的研究

システム安全工学研究領域 梅野覚、小林慶彦、菊池豊

紺屋秀之、田中正浩、松本将大、向霄涵

はじめに

農業機械に関するひかれ、挟まれ、巻き込まれ事故は全体の約4割を占めており、対策が急務である。この一因として、操作・選別等のために作業者が稼働中の作業機へ接近することが必要な場合があり、危険源である作業機と作業者の完全な隔離が困難であることが挙げられる。この問題を解決するため、農業機械や作業機に接近する人の位置、速度等を検出し、それらから求められる事故リスクに応じた作業者への通知技術、作業機の動力の断続及び駆動速度を制御する技術の開発を目標としている。本研究では、上述の技術開発の前段階として、乗用型トラクタ（以下、トラクタ）での作業を想定し、センサを活用して作業機に接近する作業者を検出する方法を明らかにする。

1. 人検出システムの概要

人検出システムはトラクタ後部に存在する作業者と距離を検出する必要があるため、トラクタ後部に2台の広角カメラと3DLiDARを搭載している。作業者はカメラ画像と検出器を用いて検出し、距離はカメラ画像上の作業者位置と3DLiDARで検出した3次元点群を基に算出する方式とした。

2. カメラ画像から作業者を検出する検出器の学習及び検証

カメラ画像に映る作業者を検出する検出器を用意するため、農機研ほ場aにて被験者1名の学習用の静止画群を取得した。農作業の代表的な姿勢である立位、中腰、しゃがみ姿勢（以下、3姿勢）を検出する必要があるため、トラクタ後部の一定区間で作業者が前後左右に向いた時の3姿勢を静止画群として取得し、その静止画群を用いて既存の検出器に転移学習を行った。その後、転移学習を行った検出器の汎用性を確認するため、農機研ほ場bにて被験者6名で同様の静止画群を取得し、検証を行った結果、既存の検出器と比較して検出精度が安定して高くなった。そのため、3姿勢を転移学習することにより検出器の検出精度が高くなることが示唆された。

3. カメラ画像及び3次元点群から検出した作業者の距離の検証

カメラ画像と3次元点群による作業者と機体の距離を取得するため、チェッカボードによる補正を行い、2.の検出器と補正パラメータを用いた作業者と3DLiDARの水平距離を取得するプログラムを構築した。2.の検証用静止画群を取得した際に同時に取得した3次元点群を基に距離精度を検証した結果、安定して高い精度となり、十分な精度での距離検出が可能であると考えられた。

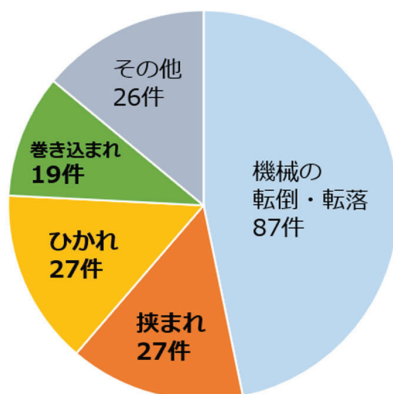
おわりに

本研究は限定された条件での学習・検証かつオフラインでの検証にとどまっている。他に想定される場面での検証や人検出から装置が作動するまでの時間の検証等が必要である。

トラクタ作業機周辺における 人検出システム開発に向けた基盤的研究

農研機構 農業機械研究部門
梅野寛、小林慶彦、菊池豊、紺屋秀之、
田中正浩、松本将大、向霄涵

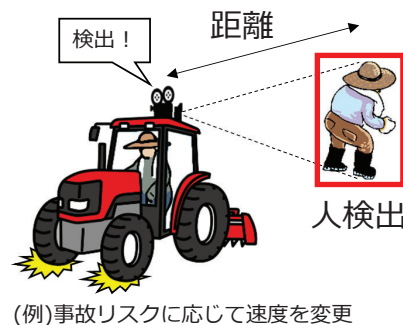
背景・目標



参考文献：農林水産省、2022、令和2年に発生した
農作業死亡事故の概要



- 農業機械との接触（ひかれ、挟まれ、巻き込まれ）
事故が多い
→ 作業者と作業機との完全な隔離が困難

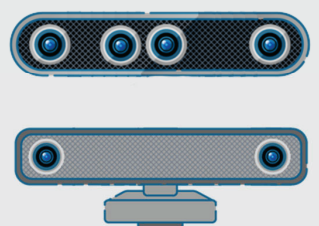
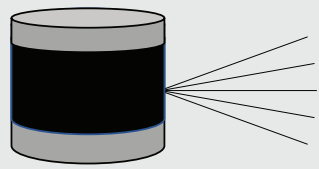


最終目標

農業機械がセンサにより作業者の情報
（人検出、距離等）を取得し、
それらの情報に基づいて
事故リスクを判断し、安全行動
（危険度通知、機械制御等）を行う
システムを開発する

課題目標

作業機周辺への人の接近を精度80%以上
で検出する装置を開発する

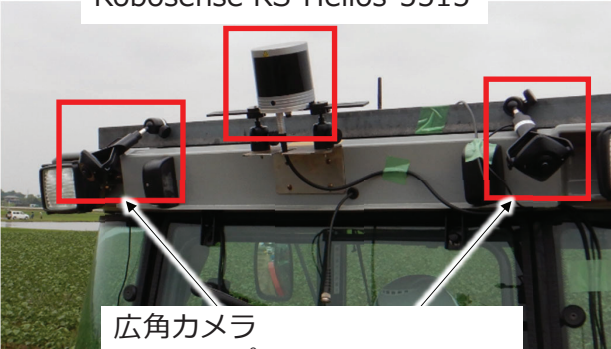
カメラ	ステレオカメラ	3DLiDAR
		
➤ 映像を取得可能 ➤ 単体での距離測定は困難 ➤ 映像から人を検出するには検出器が必要	➤ 映像を取得可能 ➤ 三角測量の原理により距離が測定可能 ➤ 単体での距離測定が可能だが精度は3DLiDARに劣る ➤ 映像から人を検出するには検出器が必要	➤ 3次元距離点群を取得可能 ➤ 遠方でも距離精度が高い ➤ 3次元距離点群のみでの人の検出は特徴量が少ないため、難しい

本研究では、検出器を用いたカメラ映像による人検出、
カメラ映像と3DLiDARの3次元点群を用いた距離検出を実施

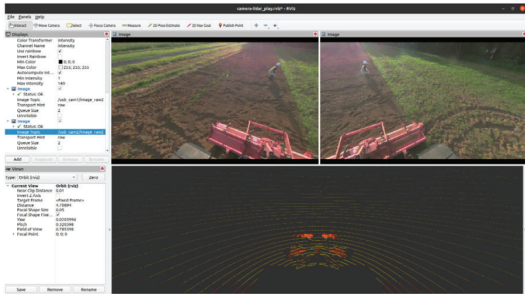
2

人検出 & 距離検出システムの構築

3DLiDAR
Robosense RS-Helios-5515



広角カメラ
サンワサプライ 400-CAM084



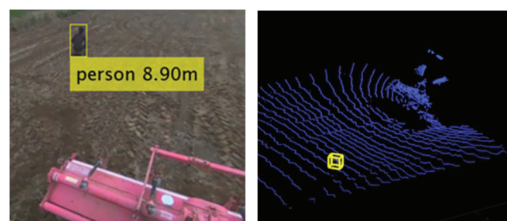
ubuntu®
ROS.org

動画と3次元点群を取得

乗用型トラクタ周囲の人検出
(カメラと転移学習による検出器を使用)



カメラと3DLiDARの適合による距離検出



オフライン上で人 & 距離検出

- ・ 人検出精度
 - ・ 距離精度
- を検証

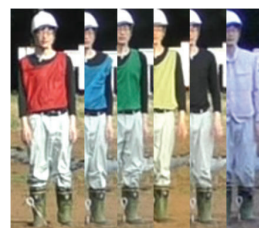
3

学習用 & 検証用静止画群の取得方法

■ 学習用静止画群（農機研ほ場a、被験者1名、服6色）



赤 青 緑 黄 黒 白



■ 検証用静止画群（農機研ほ場b、被験者6名）



A B C D E F



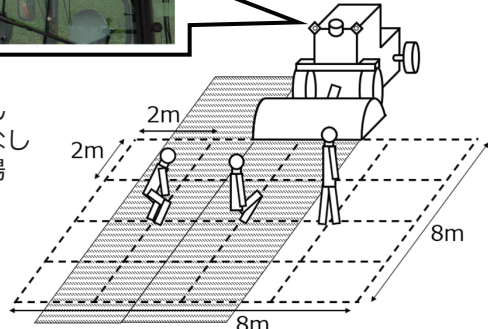
4

学習用静止画群の取得



ロータリ周辺で
左右のカメラによる
動画取得

平たん
作物なし
畑ほ場



被験者
男性1名
(171cm)



立位

服：6色
赤、青、緑
黄、黒、白

中腰

しゃがみ

動画から各格子点での静止画群を抽出
服の色：赤青緑黄黒白で分割（各348枚）

ex. 服の色が赤



ex. 服の色が黒



5

■ 人に対して長方形座標付記 (Annotation)

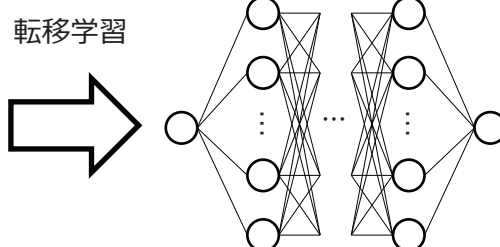


■ 色相、彩度、明度、拡大、左右反転のランダム変換 (Fzlr jsyfxts)



- 各服の学習用静止画群で6個のCOCO検出器に対し転移学習(以下、3姿勢検出器)
- 学習回数は100エポック(348枚を1セットとして反復100回学習)
- 転移学習にはMATLAB (MathWorks)を使用

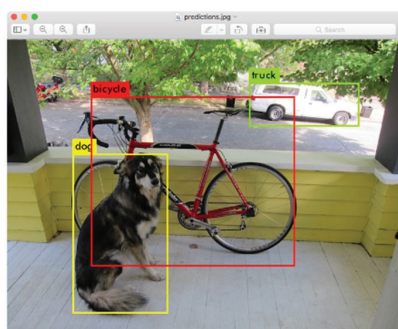
Common Objects in Contextにて
深層学習済みの物体検出器
YOLOv3(Darknet53) (COCO検出器)



6

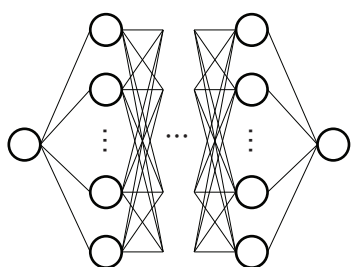
COCO検出器について

物体検出方法



YOLOv3

(<https://pjreddie.com/darknet/yolo/>より引用)



ネットワーク構造

Type	Filters	Size	Output
Convolutional	32	3 × 3	256 × 256
Convolutional	64	3 × 3 / 2	128 × 128
Convolutional	32	1 × 1	
Convolutional	64	3 × 3	
Residual			128 × 128
Convolutional	128	3 × 3 / 2	64 × 64
Convolutional	64	1 × 1	
Convolutional	128	3 × 3	
Residual			64 × 64
Convolutional	256	3 × 3 / 2	32 × 32
Convolutional	128	1 × 1	
Convolutional	256	3 × 3	
Residual			32 × 32
Convolutional	512	3 × 3 / 2	16 × 16
Convolutional	256	1 × 1	
Convolutional	512	3 × 3	
Residual			16 × 16
Convolutional	1024	3 × 3 / 2	8 × 8
Convolutional	512	1 × 1	
Convolutional	1024	3 × 3	
Residual			8 × 8
Avgpool			Global
Connected			1000
Softmax			

Darknet-53

(<https://arxiv.org/abs/1804.02767>より引用)

データセット



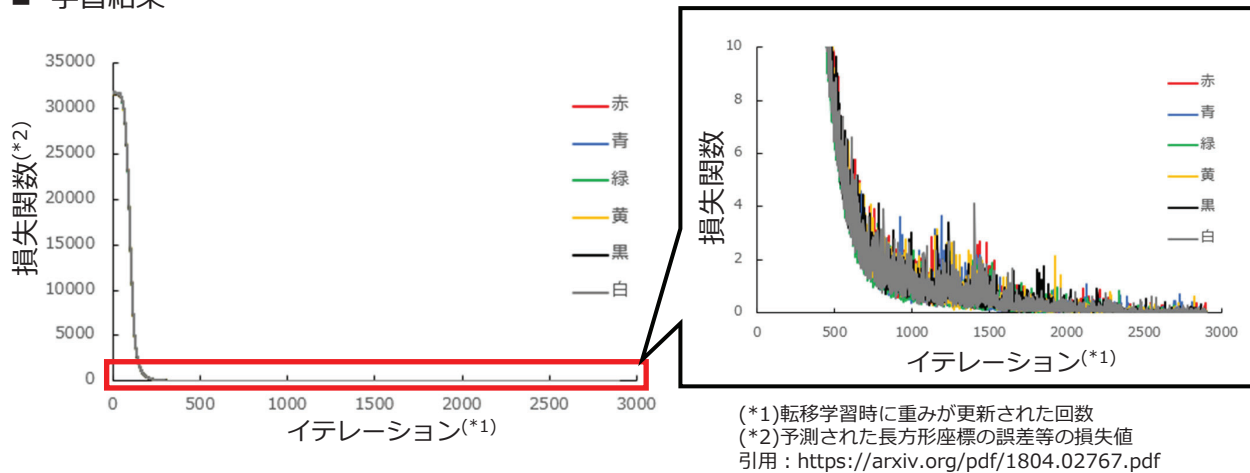
Common Objects in Context
(オープンデータセット)
約25万人の画像を含む

(<https://cocodataset.org/#explore>より引用)

転移学習用の検出器及び検証用の検出器として使用

7

■ 学習結果



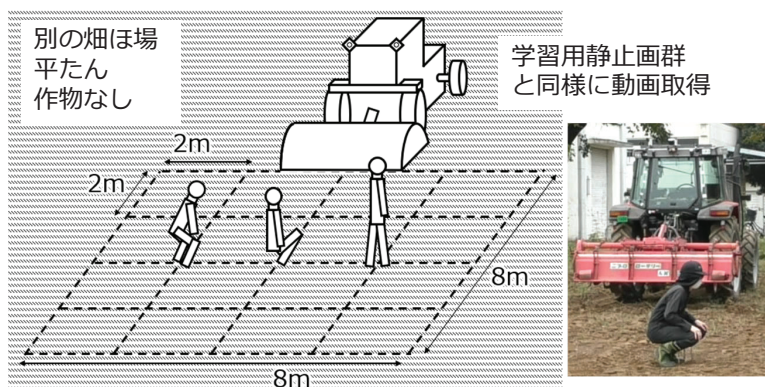
■ 最終学習結果

	検出器(赤)	検出器(青)	検出器(緑)	検出器(黄)	検出器(黒)	検出器(白)
損失関数	0.041	0.056	0.020	0.056	0.026	0.024

損失関数が十分に小さな値となったため、全ての検出器で十分な学習が行えたと判断

8

検証用静止画群



動画から各格子点での静止画群を抽出
被験者：ABCDEFで分割（各348枚）
姿勢：立位、中腰、しゃがみで分割（各696枚）

ex. 被験者A



ex. しゃがみ姿勢



被験者6名 身長: 166~182cm

被験者	服	被り物
A	上下：黒	黒帽子
B	上下：青	無
C	上下：灰	麦わら帽子
D	上下：赤	橙帽子
E	上：青 下：薄緑	橙ヘルメット
F	上下：薄緑	無

9

検出器の検証方法

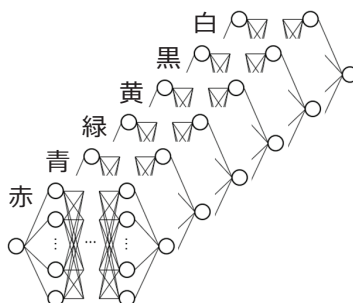
- 人に対して長方形座標付記（Annotation）
例：被験者A



7個の
検出器
検証



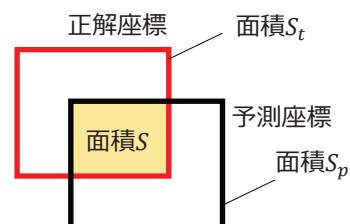
学習用静止画群で転移学習した
6個の3姿勢検出器



- 検出精度評価方法

		検出器	
		検出	不検出
真	存在	真陽性	偽陰性
	存在しない	偽陽性	真陰性

安全性を考慮すると、
真陽性の数が多い検出器
が人検出器として望ましい



再現率を採用 $\frac{\text{検出器が検出した人数}}{\text{検証時の画像に存在した全人数}} = \frac{\text{真陽性}}{\text{真陽性} + \text{偽陰性}}$
IOUが0.3以上で検出器が検出したと判断

$$IOU = \frac{S}{S_t + S_p - S}$$

10

検出の様子（対象：被験者C）

- 3姿勢検出器（赤）



- COCO検出器



11

検出評価結果

■ 各被験者での検証

再現率(%)		検証静止画群 (被験者)					
		A	B	C	D	E	F
3 姿勢 検出 器	赤 ^a	99.7	99.1	97.4	99.7	100.0	100.0
	青 ^a	99.4	98.6	98.3	98.0	100.0	99.4
	緑 ^a	100.0	98.9	97.7	98.9	100.0	100.0
	黄 ^a	100.0	99.1	99.4	98.9	100.0	99.7
	黒 ^a	98.3	98.9	98.9	98.9	99.4	99.4
	白 ^a	97.1	99.4	98.9	99.4	100.0	100.0
COCO検出器 ^b		63.2	59.5	42.5	53.4	87.4	69.0

注) 異なる小文字間では有意差5%あり(Steel-Dwss法)

- 3姿勢検出器間では有意差なし
- 3姿勢検出器とCOCO検出器では5%で有意差あり



- 服の色での転移学習による精度の差はない
- 3姿勢検出器はCOCO検出器よりも精度が高い

■ 各姿勢での検証

再現率(%)	検証用静止画群 (姿勢)		
	立位	中腰	しゃがみ
3姿勢検出器	99.4	100.0	98.1
COCO検出器	79.6	68.8	39.1

注) 3姿勢検出器は、6個の検出器の平均値

- 3姿勢検出器はCOCO検出器と比較して3姿勢ともに精度が高い (特にしゃがみ姿勢)



- Common Objects in Context内に俯瞰した3姿勢静止画群が少ないためCOCO検出器の検出精度が落ちた可能性あり
- 3姿勢の転移学習によりCOCO検出器よりも3姿勢の精度が高い検出器が生成可能

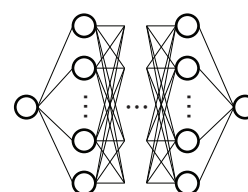
12

カメラと3DLiDARの融合による距離検出

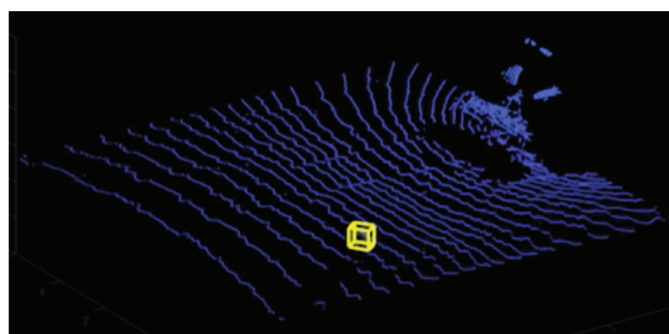
チェッカーボードによるカメラと3DLiDARの適合



検出器使用



人検出手法との組み合わせによる距離の検出、距離精度の検証



13



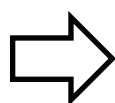
チェッカーボード
正方形1辺：105mm
1,155mm×840mm



- 各カメラの歪み補正
- 各カメラと3DLiDARとの適合補正

14

- 各カメラの歪み補正（例：右カメラ） Zhang(2000)の方法、MATLAB(MathWorks)使用



パラメータ取得

- 焦点距離
- 主点
- 半径方向歪み

- 各カメラと3DLiDARの適合補正（例：右カメラと3DLiDAR） Zhou et al(2018)の方法、MATLAB(MathWorks)使用

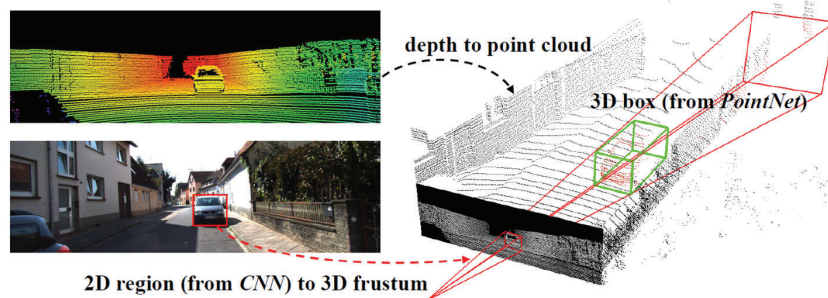


パラメータ取得

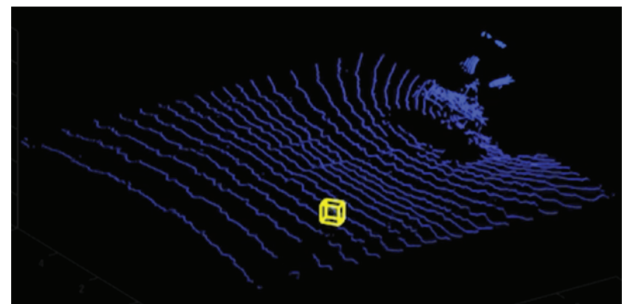
- 3次元点群の回転行列

15

- 人と3DLiDARとの水平距離取得方法 Qi et al (2018)の方法、MATLAB(MathWorks)を使用



Qi et al(2018), <https://doi.org/10.1109/CVPR.2018.00102> より引用

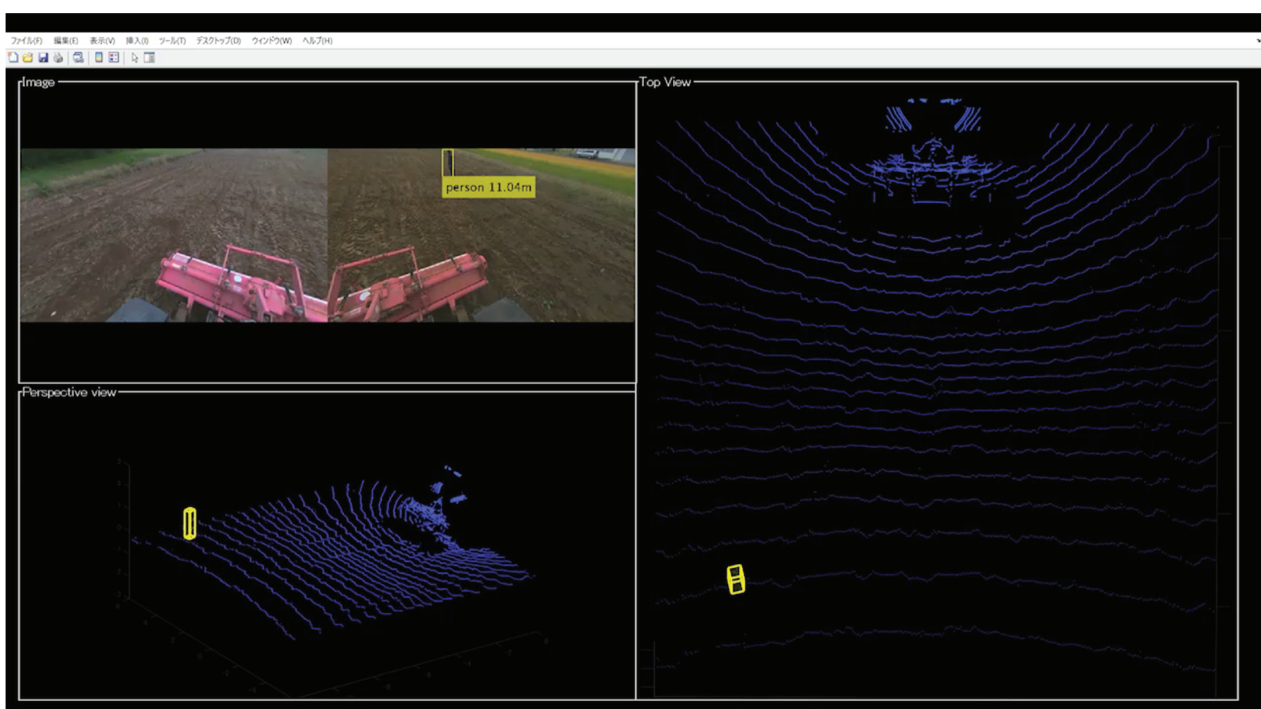


- ・ 静止画内の人に相当する 3次元点群の取得
- ・ その点群を囲う直方体の中央位置を取得
- ・ 中央位置から3DLiDARまでの水平距離測定

検証用静止画群と同時に取得した3次元点群、6個の検出器を用いて距離精度検証

16

距離検出の様子（対象：被験者A）



17

■ 距離精度評価方法

二乗平均平方根誤差率

$$\text{距離精度(\%)} = 100 \left(1 - \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(\frac{\hat{L}_k - L_k}{L_k} \right)^2} \right)$$

n : 検出数、 $\hat{L}$: 距離予測値、 L : 距離真値

■ 結果

距離精度(%)		検証用静止画群と3次元点群					
		A	B	C	D	E	F
3姿勢検出器	赤	96.3	96.8	96.0	95.8	96.6	96.5
	青	96.2	96.6	95.9	95.9	96.4	96.3
	緑	96.2	96.5	96.1	95.8	96.3	96.0
	黄	96.1	96.6	95.8	95.5	96.2	96.2
	黒	96.3	96.7	95.7	94.5	96.7	96.3
	白	94.3	95.2	95.8	95.5	96.1	94.7
平均		95.9	96.4	95.9	95.5	96.4	96.0
標準偏差		0.769	0.621	0.128	0.513	0.237	0.671

- ・ 3姿勢検出器間では有意差なし (Steel-Dwass法)
- ・ 距離精度は約96%となり**安定して高い精度となった。**

18

まとめ

■ 本研究のまとめ

- ・ ロータリ装着のトラクタ(62.5kW)の後部に接近する人を検出するためのシステムを構築した。
- ・ 農作業環境にてトラクタ後部に接近する人を学習及び検証するための静止画群取得方法を考案した。
- ・ 転移学習により生成した検出器の検証を行った。
その結果、立位、中腰、しゃがみ姿勢を転移学習することにより検出精度が安定して高くなった。
- ・ 広角カメラと3DLiDARによる人と機体との距離を取得するためのプログラムを構築した。
構築したプログラムによる距離検証の結果、距離精度は安定して高い結果となった。

■ 残された問題

- ・ 本研究は平たんな作物なしの畑ほ場のみの転移学習、検証であったため、他に想定される場面での検討が必要である。
- ・ 本研究はオフラインでの検証にとどまっている。本研究を活用して安全装置を開発する場合、人検出から装置が作動するまでの時間を考慮する必要がある。

19

乗用トラクタのほ場進入路走行時における安全性向上に関する研究

システム安全工学研究領域 菊池豊、小林慶彦、梅野覚、田中正浩、
紺屋秀之、松本将大、向零涵、富田宗樹

はじめに

乗用トラクタ（以下、トラクタ）による死亡事故の約6割の原因は転落・転倒である。トラクタの転落・転倒事故は、ほ場進入路で多く、とりわけ進入時より退出時が多いと言われている。ほ場進入路の走行時に法尻付近でスリップして登坂が困難になったり、前輪浮上などヒヤリハット体験も報告されている。そこで、本研究では、トラクタのほ場進入路走行時における安全性を向上させるために、トラクタ、作業機、ほ場進入路等の状況を調査するとともに、走行性を改善する手法を検討した。

方法

- 1) ほ場進入路の傾斜角度と幅、トラクタと作業機のサイズ等を調査した。
- 2) ほ場進入路を簡易に改良する手法を検討し、補強部材を試作した。補強部材を湛水田（土質：関東ローム）のほ場進入路（傾斜角度：11.8° [農水省ほ場整備基準 $\leq 12^\circ$]）に設置し、ロータリを装着したトラクタ（44.1 kW[60 PS]、合計質量 2370 kg）で、1年間の走行回数を想定して10往復（20回）走行し、軌深さを測定し、補強有無で比較した。

結果

- 1) ほ場進入路について、傾斜角度が整備基準（12°）を超える割合は、平地 8 %、中山間地 34～43 %であった。幅が整備基準（4 m 以上）未満の割合は、平地 93 %、中山間地 73～94 %であった。さらに、2 m 未満の場所も平地 24 %、中山間地 2～24 %であった。トラクタ（機関出力 9.6～382.9 kW[13～521 PS]）は、全幅 0.9～3.0 m で、ロータリは全幅 1.3～3.7 m、代かき機は、全幅 1.7～6.7 m であった。農道やほ場進入路の幅員等と使用トラクタのサイズを考慮して整備する必要があった。
- 2) トラクタ車輪が最も沈下するほ場進入路の法尻付近を補強することで、沈下を抑制し、駆動力を得られるようにすることが有効と考えられた。試作した補強部材は、等辺山形鋼をはしご形に組み合わせて製作した。サイズは長さ 700×幅 500×高さ 51 mm である。ほ場進入路の法尻位置の深さ 200 mm かつ、それ以外の部分も土中になるよう補強部材を傾斜した状態で、トラクタ輪距の間隔で2個配置し、埋設するものである。走行試験の結果、いずれの走行回数においても「補強有」の軌深さは「補強無」より有意に小さかった。さらに、補強部材を法尻位置の深さ 200 mm に埋設しているので、法尻近くまで標準的な深さでロータリ耕うんしても、補強部材と耕うん爪とは接触しない。路面を刈払機で草刈りしても刈刃の破損、キックバックのリスクは従来と同等であると考えられた。

本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP「スマートバイオ産業・農業基盤技術」（管理法人：農研機構生研支援センター）によって実施されました。

参考文献

- 1) 農林水産省構造改善局(1998)：土地改良事業計画設計基準 設計「農道」基準書技術書、pp777

乗用トラクタの ほ場進入路走行時における 安全性向上に関する研究

農研機構 農業機械研究部門
システム安全工学研究領域
協調安全システムグループ

菊池豊、小林慶彦、梅野覚、田中正浩、
紺屋秀之、松本将大、向霄涵、富田宗樹

はじめに



乗用トラクタ(以下、トラクタ)による死亡事故の約5割の原因は転落・転倒である。トラクタの転落・転倒事故は、ほ場、道路、ほ場進入路が多い。ほ場進入路では進入時より退出時が多いと言われている。ほ場進入路走行時に法尻付近でスリップして登坂困難になったり、前輪浮上などヒヤリハット体験も報告されている。

そこで、本研究では、トラクタのほ場進入路走行時における安全性を向上させるために、トラクタ、作業機、ほ場進入路等の状況を調査するとともに、走行性を改善する手法を検討した。

参考 事故分析（95件）

トラクタ転落時の転落元・先別件数

	転落元				計
	ほ場	路上	進入路	その他	
ほ場	10	24	12	1	47
路上	5	2			7
転水路・溝	7	8			15
落川・河川敷	1	6	1		8
先その他	3	2		1	6
不明	5	7			12
計	31	49	13	2	95

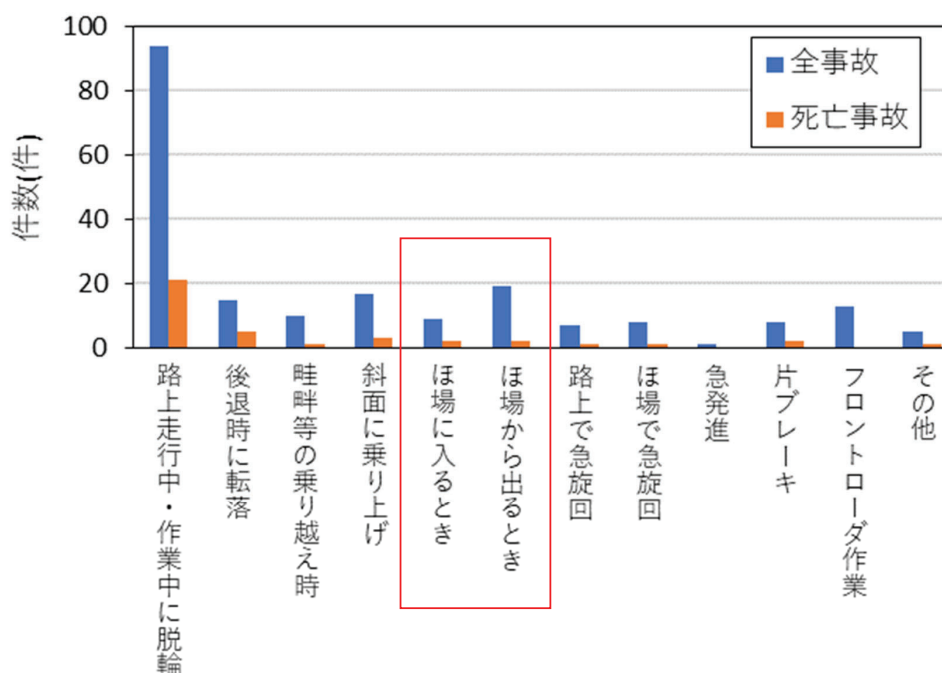
出典：生研センター(2014)：

農業機械等による事故の詳細調査・分析手法の研究

2

参考 事故分析（206件）

トラクタ転落・転倒事故の状況別件数



参考：生研センター(2006)：

農業機械の事故実態に関する農業者調査結果

3

参考 農道、進入路等の基準

要素	基準					
	機種	有効幅員	隅切り	勾配	曲率半径	障害物
農道	乗トラ 25～35PS 35～85PS 85PS≤	2.5m≤ 3m≤ 4m≤	幅員≤3mで 隅切り2m≤	畑 ≤8-10°	畑≥6m	
	田植機	全幅+1m≤				機体 +0.5m無
	コンバイン	全幅+1m≤				機体 0.5m無
進入路	乗トラ	田4m		≤12°		
	田植機	全幅+1m≤		≤12°		
	コンバイン	走行部全幅 +1m≤		≤12°		
ほ場	乗トラ 田 畑	等高線≤6,10°、登降坂≤10°				

参考:農水省(2013):特定高性能農業機械の導入に関する計画の策定及びその取扱いについて 4

結果 ほ場進入路調査(419カ所)

ほ場整備基準(傾斜、幅)を満たさないほ場
進入路が中山間地で特に多い。



平地



高低差大



不整形ほ場、
斜め進入

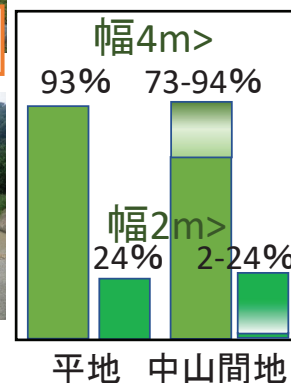
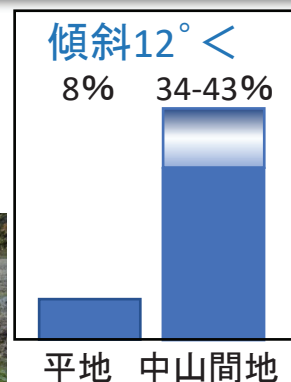


路肩不明瞭、
坂とカーブ



鋭角交差点、
見通し悪い

中山間地



ほ場作業での走行難易判定基準

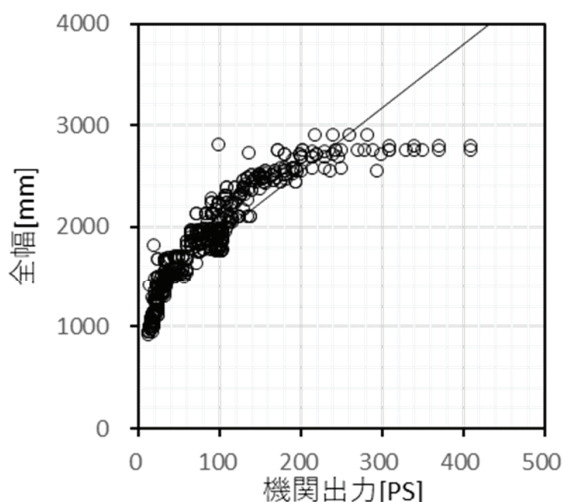
進行低下率%	走行部沈下量mm	走行・牽引の難易
0～10	0～20	容易
10～20	20～50	やや難
20～30	50～100	難
30～40	100～200	極めて難
40以上	200以上	不能

出典：農機研(1966):
農業機械の走行可能性

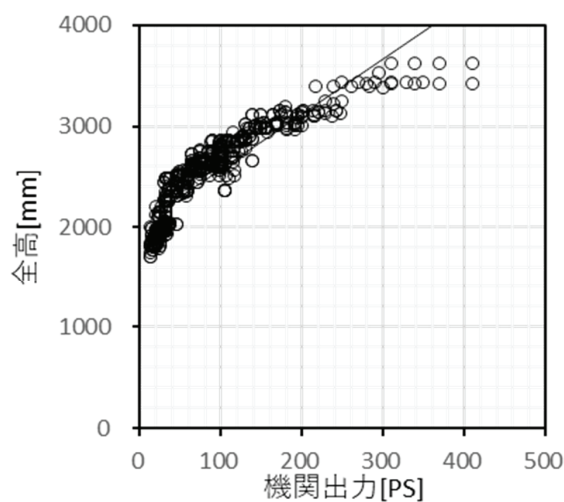
6

結果 トラクタの傾向 912型式

トラクタ(機関出力9.6～382.9 kW[13～521 PS])は、全幅0.9～3.0 m、全高1.7～3.6 mであった。トラクタ単体の全幅は農道の有効幅員の基準値内にある。作業機幅、走行精度も考慮して、道幅、障害物の配置などを検討する必要がある。



出力(PS)と全幅

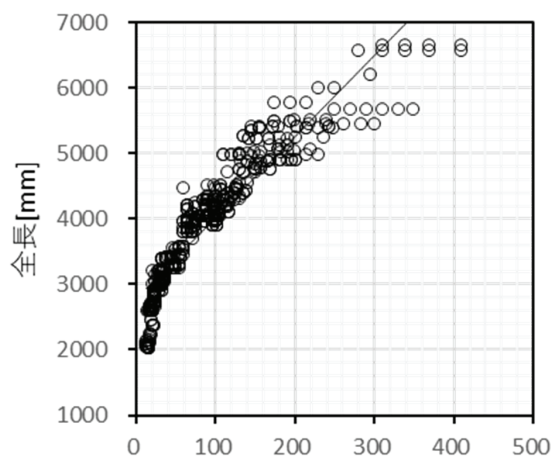


出力(PS)と全高

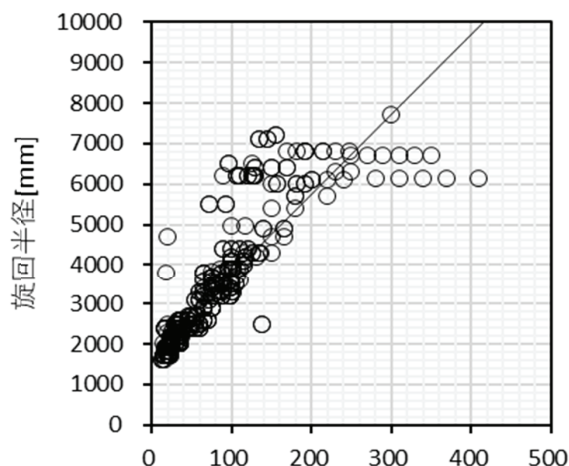
7

結果 トラクタの傾向 912型式

トラクタは、全長2.0～6.7 m、旋回半径1.6～8.2 mであった。トラクタと作業機の全長、旋回半径、走行精度も考慮して、障害物の配置、旋回スペースなどを検討する必要がある。



機関出力[PS]
出力(PS)と全長

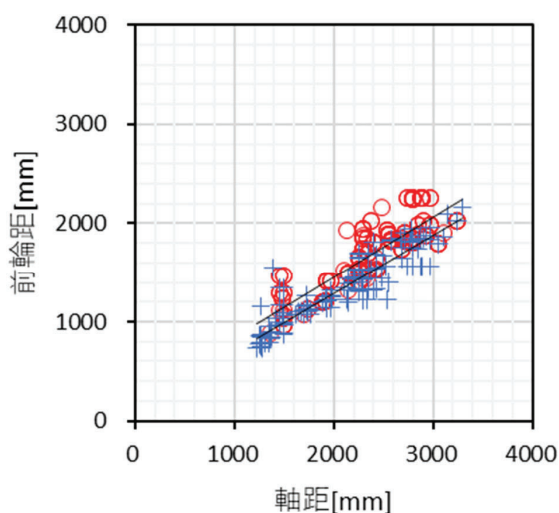


機関出力[PS]
出力(PS)と旋回半径

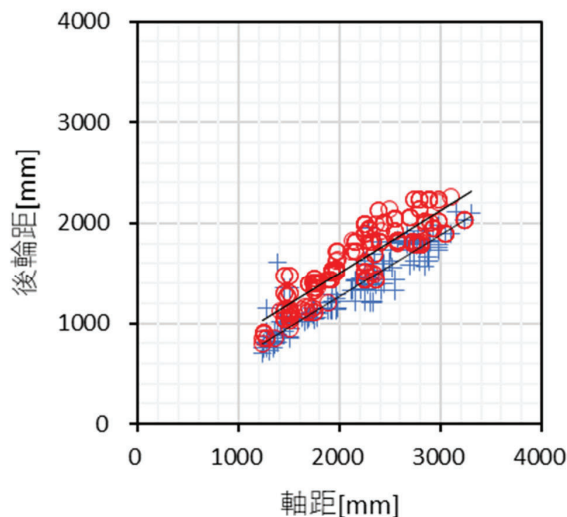
8

結果 トラクタの傾向 912型式

トラクタの軸距1.2～3.3 m、前輪距0.7～2.3 m、後輪距0.7～2.4 mで、車輪幅は前輪0.2～0.6 m、後輪0.2～0.7 m、車輪外径は前輪0.7～1.6 m、後輪0.8～2.1 mであった。トラクタの軸距、輪距、前輪幅、走行精度も考慮して旋回スペースなどを検討する必要がある。



軸距と前輪距



軸距と後輪距

9

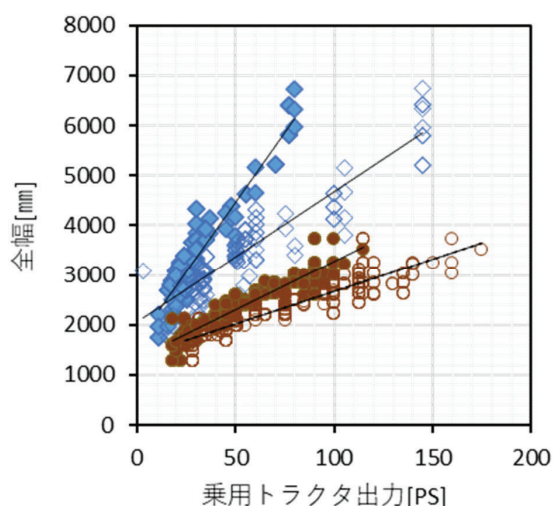
結果 作業機の傾向

ロータリ350型式
代かき機260型式

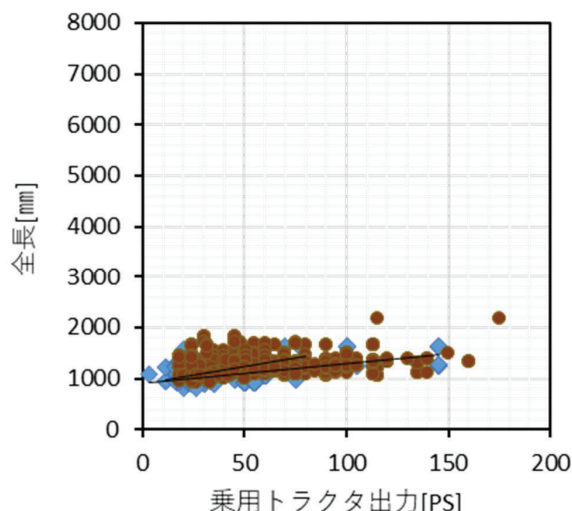


ロータリは、トラクタ出力13～129 kW[18～175 PS]、全長0.9～2.2 m、全幅1.3～3.7 m、作業幅1.2～3.5 m。

代かき機は、トラクタ出力8～107 kW[11～145 PS]、全長0.8～1.6 m、全幅1.7～6.7 m、全幅(格納時)1.2～4.2 m、作業幅1.6～6.5 m。



トラクタ出力と作業機全幅



トラクタ出力と全長

10

結果・考察 予備調査(模擬走行)



水田状態において、法尻付近で、後輪沈下・スリップ、作業機と地面干渉、機体側方傾斜、前輪浮上など観測。

考察

走行困難や機械転倒等リスク

- ・軟弱な土壌、分担荷重の後偏りで車輪スリップや沈下量増加
- ・後輪沈下による作業機と地面干渉
- ・法尻での水田と進入路との段差
- ・摩擦低下、車輪駆動力不足
- ・摩擦不均一で左右車輪駆動力差

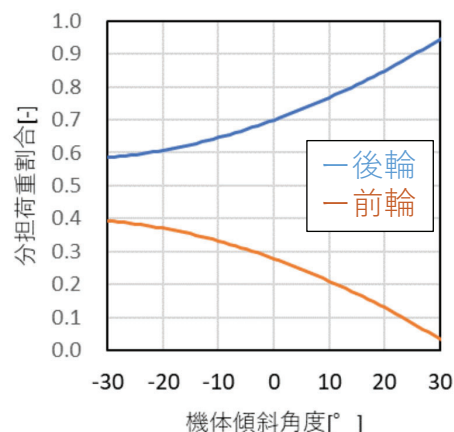


対策案

- ・進入路傾斜12°以下
- ・法尻付近補強
- ・4駆、デフロック使用

11

諸元	測定値
機関出力[kW {PS}]	44.1 {60}
質量 [kg]	2366
軸距 [mm]	1917
重心位置 ²⁾ [mm]	534
重心高さ [mm]	813
分担荷重比率 [-]	0.28 : 0.72
転倒角 ³⁾ [°]	37, 36
車輪径 前 [mm]	851
車輪径 後 [mm]	1232
ロータリ幅 [mm]	1900

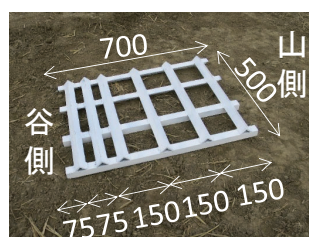


- 1) 作業機(ロータリ)付きの諸元。
- 2) 重心～後車軸水平距離。作業機最上げ状態。
- 3) 静的横転倒角の計算値。値は左側、右側。

12

ほ場進入路補強

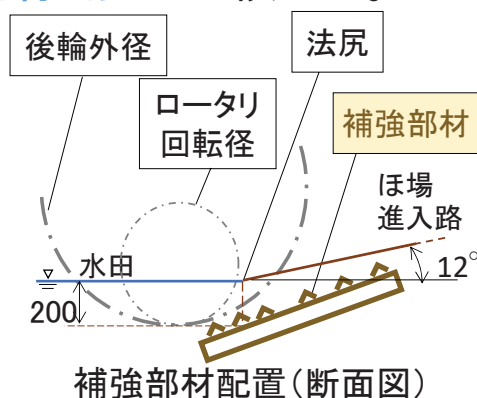
ほ場進入路を簡易に改良する手法を検討し、補強部材を試作した。補強部材を湛水田(土質:関東ローム)のほ場進入路(傾斜角度:11.8° [整備基準 $\leq 12^\circ$])に設置し、ロータリを装着したトラクタ(44.1kW[60PS]、合計質量2370kg)で、1年間の走行回数を想定して10往復(20回)走行し軌深さを補強有・無で比較した。



補強部材



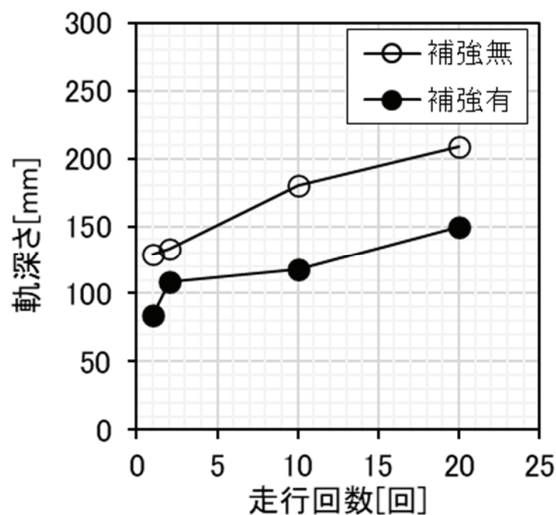
検証試験風景



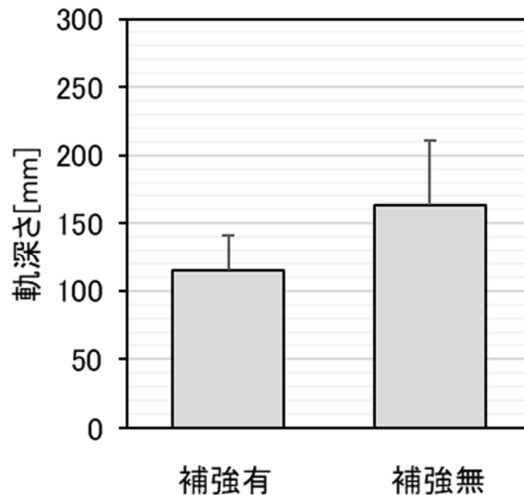
補強部材配置(断面図)

13

いずれの走行回数においても法尻位置での軌(わだち)深さは「補強有」が、「補強無」より浅く、有意な差が認められた。



走行回数と軌深さ



補強有無と軌深さ

14

考察

補強部材を法尻位置の深さ200 mmに埋設している
ので、法尻近くまで標準的な深さでロータリ耕うんし
ても、補強部材と耕うん爪とは接触しない。路面を刈
払機で草刈りしても刈刃の破損、キックバックのリス
クは従来と同等であると考えられた。

ほ場進入路の簡易な現場改善方法として、農家自
身による現場改善手法として活用が可能である。土
質が関東ロームのほ場での試験結果であり、他の土
質では確認が必要である。

15

トラクタの転落・転倒事故やヒヤリハット体験が多い、トラクタのほ場進入路走行時における安全性向上させるために、トラクタ、作業機、ほ場進入路等の状況を調査するとともに、走行性を改善する手法を検討した。

本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP「スマートバイオ産業・農業基盤技術」(管理法人:生研支援センター)によって実施されました。

機材貸与、ほ場整備など皆様のご協力に感謝申し上げます。

本報告の取扱いについて

本報告の全部又は一部を無断で転載・複製（コピー）することを禁じます。
転載・複製に当たっては、下記までお問い合わせください。

問い合わせ先：

農業機械研究部門 研究推進部 研究推進室（広報チーム）

TEL. 048-654-7030

FAX. 048-654-7130

または

iam-koho@ml.affrc.go.jp

令和4年度 農業機械研究部門研究報告会

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

〒331-8537 埼玉県さいたま市北区日進町 1-40-2
Tel. 048-654-7000（代表）

印刷・発刊 令和5年3月2日

