

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：18001

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2022

課題番号：20K22579

研究課題名（和文）人工知能を活用した農用車両の事故リスクアラートシステムの開発

研究課題名（英文）Development of an Accident Risk Alert System for Agricultural Vehicles Using Artificial Intelligence

研究代表者

青柳 悠也（Aoyagi, Yuya）

琉球大学・農学部・助教

研究者番号：20882195

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、農用車両のオペレータが、多様な条件下において事故防止のための適切な走行条件の選択を支援するA.I.の構築を目指し、人工知能により自律車両による障害物検知および障害物回避が可能な自律走行アルゴリズムを開発した。人工知能を活用し、特定の事例については効果的な対策となるアルゴリズムが開発可能であったが、あらゆる場面に対応可能な万能型の人工知能モデル構築には、更なるリスク評価の蓄積が必要である。今後も様々な事例について様々な条件の組合せの検証を行い、汎用性の高いA.I.モデル構築を継続していく。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、A.I.の構築に必要な様々なリスクデータを事故要因分析的なリスク評価と挙動シミュレーションを用いたリスク評価に基づいて明らかにできた点に学術的意義がある。これらは、従来の農業機械および自動化された農業機械における農用車両転倒事故を低減する技術の提示を通して、人命尊重および労働環境の改善と健全な農業発展に寄与する。また、本手法を応用することで、国内のみならず、世界の様々な環境条件下で利用される農用車両の転倒事故解消に貢献し、世界の安全で快適な農業の実現に資する。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed an autonomous driving algorithm that enables obstacle detection and obstacle avoidance by autonomous vehicles using artificial intelligence, aiming to construct an A.I. that assists operators of agricultural vehicles in selecting appropriate driving conditions to prevent accidents under various conditions. Although we were able to develop an effective countermeasure algorithm for a specific case by using artificial intelligence, further accumulation of risk assessment is needed to construct a universal artificial intelligence model that can be applied to all situations. The academic significance of the results of this research is that the various risk data necessary for the construction of the A.I. were clarified based on risk assessment using accident factor analysis and behavior simulation.

研究分野：農業機械学

キーワード：農作業安全 農用車両 トラクタ リスク評価 転倒防止 人工知能

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近年、農作業中の死亡事故は深刻な問題となっている。農業の労働者人口 10 万人あたりの死亡者数は約 16.7 人であり、農林水産業を除く全産業平均の約 1.4 人、建設業の約 6.5 人と比べて著しく高い。農作業死亡事故の多くは、トラクタなどの転倒・転落によるもので、農用車両の転倒事故防止策を講ずることが重要である。

既往の研究では、挙動モデルを用いた農用車両の挙動解析や（上出,1976 ; Li, et al. 2015）、農道等の不整路面の評価（近江谷, 1986 ; ISO8608, 1995）が行われてきたが、機械や環境の各条件について個別に検討しており、大幅な事故の減少には至っていない。

この問題解決のため、これまで申請者は、実際の事故を対象として機械、環境、人の条件について複合的な解析を行ってきた。具体的には、事故現場での挙動解析（機械+環境）や事故要因分析（機械+環境+人）に基づいて、実際の事故現場地形における農用車両事故の危険性を定量化し、効果的な事故防止案を提示してきた（業績 1,4,5,10,13,16）。申請者の研究結果から、事故に至る機械条件（機体サイズ、作業機等）と環境条件（傾斜、段差等）の組み合わせは様々であることがわかった。また、実際の事故では、焦りや注意欠如も伴って、オペレータによる適切な事故防止操作や設定が困難であることが考えられた。

そこで、人工知能（以下 A.I.）による各条件の組み合わせにおける事故リスク評価ができれば、様々な条件下でオペレータの危険認知補助や自動危険回避が可能になると考えた。

したがって、本研究テーマの解決すべき課題は、作業時および圃場への移動時も含めた全稼働時における A.I.を用いた事故リスク評価システムを開発することである。本研究課題での取り組みは、効果的かつ即効性の高い事故対策を提示可能になると期待される。

2. 研究の目的

本研究では、事故に係る機械・環境・人の情報から、総合的に事故のリスクを判断し、オペレータへ危険を知らせる A.I.の構築を最終的な目的とする。本研究は大きく分けて、a) A.I.モデルの構築、b) 学習用データの構築、c) A.I.の精度評価、d) 事故リスクアラートシステム構築（総括）、の 4 項目の達成により、最終的な目的の達成を目指す。本研究では、圃場間の移動を含む、農作業という様々な作業環境下における事故を対象として、A.I.による事故リスク評価を行う点に特色を有する。また、A.I.によるリスク評価システムは、事故リスクアラートや自動運転アシストといった形で、従来機への適用とロボット農機の完全自動化への応用が見込まれる事故低減の即効性が高い安全技術である。これらのことから、本研究課題での取り組みは、農用車両の走行安全性の向上および転倒事故防止に資すると考えられ、今後の安全な農業機械作業の基盤となる。

農水省は 2022 年までに農作業死亡事故件数の半減を目標に掲げており、国内の研究機関で事故時を想定したトラクタの転倒角測定や転倒防止制御システムの開発研究などがみられ、国外においても米国でのトラクタの転倒安定性のモニタリングや、欧州でのロプスの安全設計研究など、国内外で多くの農業の危険性解消の取り組みがみられる。また、A.I.を用いた農機研究としてロボット農機における作業自動化の研究がみられる。しかしながら、農作業事故を対象とした A.I.によるリスク評価の研究はあまりみられない。

本研究は、従来の農業機械および自動化された農業機械における農用車両転倒事故を低減する技術の提示を通して、人命尊重および労働環境の改善と健全な農業発展に寄与する。また、本研究成果は、国内のみならず、世界の様々な環境条件下で使用される農用車両の転倒事故解消に貢献し、世界の安全で快適な農業の実現に資する。

3. 研究の方法

本研究では、農用車両のオペレータが、多様な条件下において事故防止のための適切な走行条件の選択を支援する A. I. の構築を目指した。a) A. I. モデルの構築では、農用車両の転倒事故リスク評価に適した A. I. モデル構築のため、ハイパーパラメータ（活性化関数・層数・最適化手法等）およびモデル型（回帰・分類等）について検討し、本 A. I. モデルの設計を行う。b) 学習用データの構築では、過去の事故事例や、事故調査結果から機械・環境・人に関する事故リスクを定量化し、事故による被害と結びつけたデータセットを作成する。また、走行シミュレーションにより機体の姿勢角や走行速度等の指標を用いた事故リスクを、事故現場状況や機械状態等の各要因の組み合わせごとに明らかにする。これらの結果から、学習用データを構築する。c) A. I. の精度評価では、上記 a), b) を用いて、ハイパーパラメータの調整しながら深層学習を行う。また、検証用データ（実際に模した学習用データと異なるデータ）を作成し、検証用データを入力した場合の A. I. の応答をみて、A. I. による事故リスク評価の精度を確認する。d) 事故リスクアラートシステムの構築（総括）では、本研究成果について総括し、事故発生の特徴抽出による本システムの実現場への適用可能性について明らかにする。適用可能性の実証には、PC やスマートデバイス等におけるアウトプットをみて、実用化に向けた技術提案を行う。

4. 研究成果

本研究では、A. I. の精度検証を行いながら、リスク評価に適したモデルを用いることとした。既往の研究で明らかにしたトラクタ事故(図1)と新たにコンバイン事故の発生要因を整理して、事故発生のリスクを定量化し、比較・分析することで危険度の高い事故要因と事故事例のリスクが明らかになった(図2, 3, 表1, 2)。乗用トラクタおよびコンバイン事故の危険要因(危険度が上位の事故要因)と該当事例の事故発生原因より、乗用トラクタ事故の危険要因はいずれも転倒・転落事故に多く含まれている。乗用トラクタ事故では、転倒・転落によって機体の下敷きになり、圧迫や外傷性ショックなどに至るケースが多い。乗用トラクタ事故の危険要因のうち機械的要因は、安全キャブ・フレームの非装着などの「安全性や操作性の低い機械」であった。旧型式では安全キャブ・フレーム非装着機もあることから、転倒・転落が重大事故に繋がると考えられる。一方、コンバイン事故の危険要因は、転倒・転落事故および回転部等への巻き込まれ事故に多く含まれていることがわかる。コンバイン事故では、乗用トラクタと同様に転倒・転落によって機体の下敷きになり圧迫や外傷性ショックなどに至るケース、コンバイン特有なものとしては回転部への巻き込まれによる手指の切断や裂傷に至るケースが多い。コンバイン事故の危険要因のうち機械的要因は、左側と後方の死角があるなどの「運転席からの死角が多い構造」、緊急停止ボタンの非装備などの「安全性や操作性の低い機械」であった。コンバインは、機体の大きさや運転席の配置により死角が生じる特徴があることから、転倒・転落による重大事故に繋がると考えられる。さらに、コンバインは、フィードチェーンやこぎ胴といった防護されていない作用部が多いという特徴と旧型式では緊急停止ボタンの非装備機もあることから、回転部等への巻き込まれによる重大事故に繋がると考えられる。以上より、各機械には利用目的に沿った特徴および仕様・装備があるため、それらに応じた対策を必要とすることを示した。さらに、機械的要因以外の危険要因を表1, 2から比較すると、「場所の傾斜, 段差, 凹凸」が乗用トラクタおよびコンバインいずれにも含まれているため、農作業時に利用される道路等の環境を改善できれば効果的なリスク低減に資すると考えられる。これらの結果か

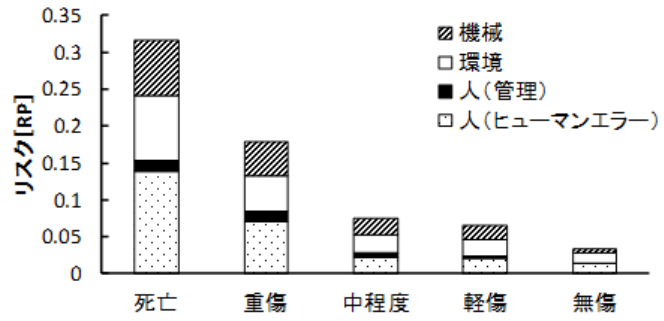


図1 トラクタの事故リスク

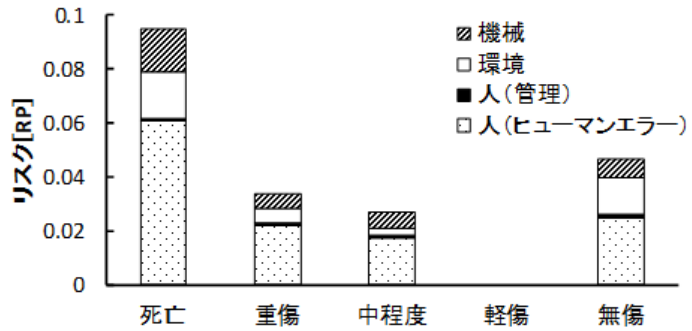


図2 コンバインの事故リスク

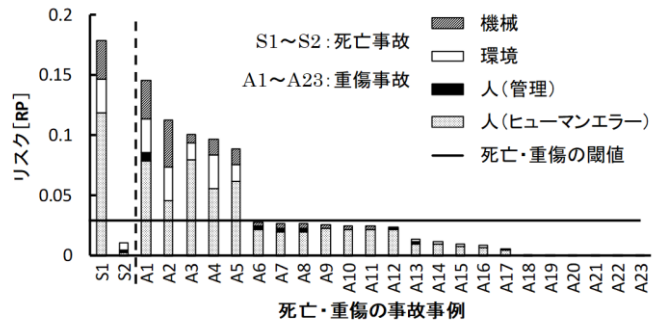


図3 重大事故におけるコンバイン事故リスク

表1 トラクタの危険要因

事故発生原因	危険要因	安全性や操作性の低い機械	場所の傾斜, 段差, 凹凸	場所の狭さ (縁, 物への距離)
機械の転落・転倒		13	21	11
道路上での自動車との衝突		2	0	0
挟まれ		3	2	2
ひかれ		1	3	1
機械からの転落		3	2	0
その他		7	0	1

表2 コンバインの危険要因

事故発生原因	危険要因	運転席からの死角が多い構造	場所の傾斜, 段差, 凹凸	安全性や操作性の低い機械	場所の軟弱さ, 滑りやすさ
機械の転落・転倒		7	11	1	3
ひかれ		1	0	0	0
回転部等への巻き込まれ		0	0	5	2
機械からの転落		0	0	1	2
その他		0	1	1	1

ら、学習データにおける要因の選定と、教師データ（事例のリスク値）の作成が可能となった。事故詳細要因のうち危険度が高く数値化可能であるものは「安全性や操作性の低い機械」、「場所の傾斜・段差・凹凸」、「天候の悪条件」、「気温・湿度の悪条件」、「明るさが不十分」、「高齢」、「焦り」などが挙げられた。また、走行シミュレーションにより機体の姿勢角や走行速度等の指標を用いた事故リスクを明らかにするため、トラクタおよびコンバイン、田植機の挙動モデルの改良および立案を行った。トラクタモデルでは事故の危険性が高い 15° を超える急傾斜地において、転倒リスクをより正確に評価できることが示された（図4, 5）。コンバインモデルでは、旋回時に発生する遠心力を考慮した挙動を評価できることが示された（図6, 7）。田植機モデルでは、旋回時の転倒挙動を握可能なモデルを立案し、その機械的な特性が旋回時の不安定性の原因になっていることが示唆された。これらのモデルを用いて、傾斜角、路面粗さ、機体重心位置、走行速度などを変更した100万通り以上の走行シミュレーションを実施し（図8），機体の挙動に基づくリスク評価のための学習データを作成した。特に、 $P(f_0)$ が大きくなるとピッチング角は増加することがわかり、登坂時では重心位置20~36%において、降坂時では重心位置56~80%において、ピッチング角増加量が多いので、傾斜不整地では凹凸によるピッチング角増加の危険性が高く、重心位置を後軸から軸距の37~55%の位置にするとピッチング角増加の抑制に有効であることが示された。また、人工知能により自律車両による障害物検知および障害物回避が可能な自律走行アルゴリズムを開発した。シミュレータを用いて検証を行ったところ（図9, 10），本アルゴリズムにより、障害物のある設定ルートを安全に走行できることが示唆された。加えて、農用自律移動車両における挙動シミュレータを開発し、異なるセンシングデバイスでの数値実験を行ったところ、センシングデバイスの精度によって事故リスクが増加することが示された（図11）。異なるGNSSを搭載した2種類の車両の走行軌跡からRTK-GNSSを用いた車両は、木の列の間を衝突することなく走行することができ、SA-GNSSを用いた車両は、6列目を走行した後に経路から大きく逸脱し、経路に戻ることができないことがわかった。センサ信号にはランダム性を与えており、10回の試行で、RTK-GNSS

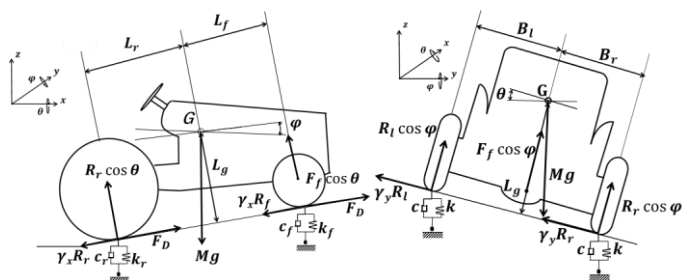


図4 駆動力を考慮したトラクタモデル

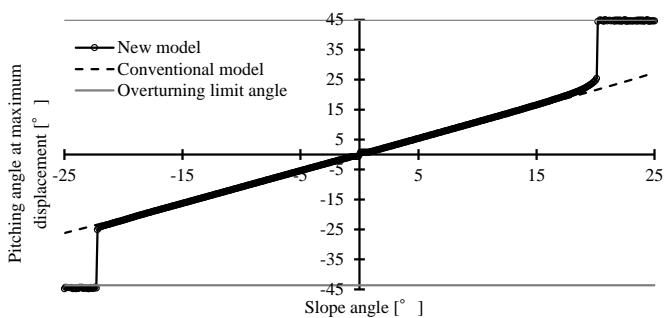


図5 剛性傾斜路面を走行した際の最大ピッチング変位における従来モデルとの比較

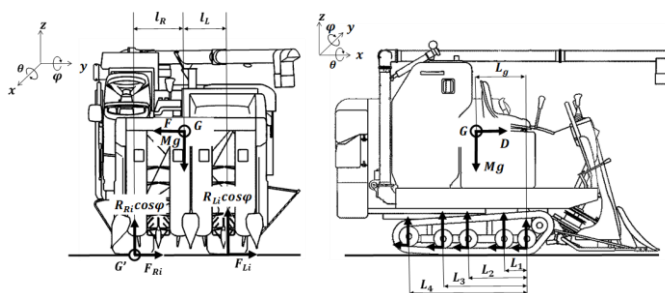


図6 自脱コンバインの旋回モデル

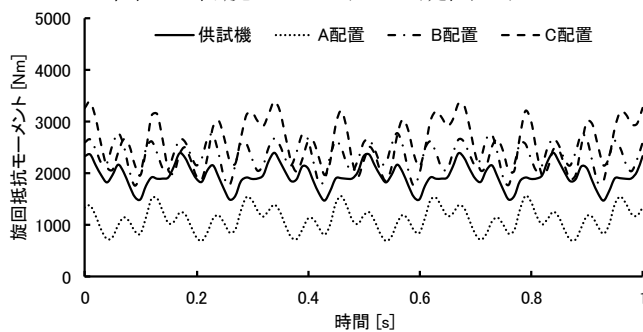


図7 旋回抵抗モーメントの変化

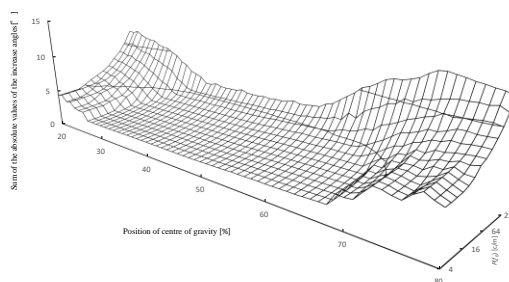


図8 路面粗さ（環境要因）と重心位置（機械要因）の組み合わせにおける危険度

を用いた車両はすべての列を移動することができたが、SA-GNSS を用いた車両は一度もすべての列に沿って移動することができず、過剰な測位誤差による制御の大幅な増大によりGNSS 車が転倒するケースもみられた。各試行におけるRTK-GNSS 搭載車とSA-GNSS 搭載車の平均走行距離は、それぞれ 524.6m (標準偏差: 0.61m) と 141.0m (標準偏差: 91.7m) であり、各ルートにおける平均速度は、RTK-GNSS 搭載車では 0.28m/s、1m 走行あたりの平均停止時間は 0.43s であり、SA-GNSS 搭載車では 0.15m/s と 0.78s であった。この結果は、障害物回避制御が RTK-GNSS 搭載車に比べ SA-GNSS 搭載車で頻繁に作動することにより説明可能であり、安全走行のためのアルゴリズムが正常に動作していることを示している。これらのことから人工知能により自律車両による障害物検知および障害物回避が可能な自律走行アルゴリズムの有効性が示された。

これらの成果から、人工知能を活用し、特定の事例については効果的な対策となるアルゴリズムが開発可能であったが、あらゆる場面に対応可能な万能型の人工知能モデル構築には、更なるリスク評価の蓄積が必要であることが分かった。

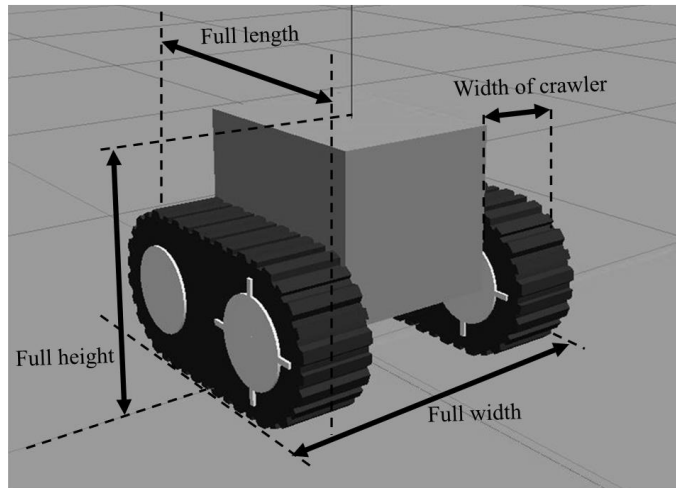


図 9 自律走行車両モデル

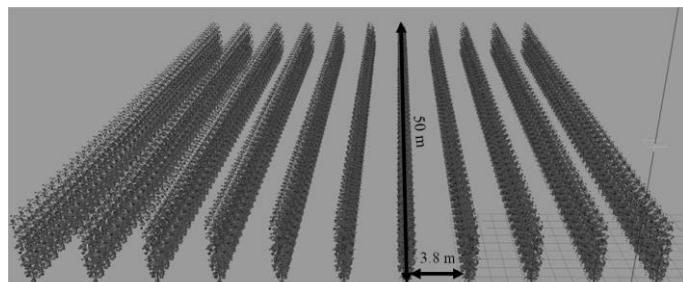


図 10 自律走行環境モデル

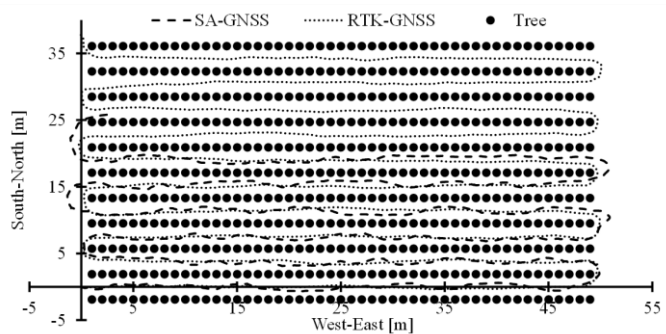


図 11 自律走行軌跡

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 AOYAGI Yuya, MATSUI Masami	4. 巻 15
2. 論文標題 Theoretical Verification of Driving Force Control System for the Suppression of the Dynamic Pitching Angle of Tractors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Engineering in Agriculture, Environment and Food	6. 最初と最後の頁 13~23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.37221/eaef.15.1_13	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 松井正実, 青柳悠也, 福島崇志	4. 巻 82
2. 論文標題 自脱コンバインの転輪配置による旋回性への影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 農業食料学会誌	6. 最初と最後の頁 267-276
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 松井正実, 青柳悠也, 棚橋拓也, 武田純一, 福島崇志	4. 巻 82
2. 論文標題 コンバインの事故要因分析に基づくリスク低減効果と機械特性による危険要因の違いに関する考察	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 農業食料学会誌	6. 最初と最後の頁 370-379
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hiraoka Ren, Aoyagi Yuya, Kobayashi Kazuki	4. 巻 54
2. 論文標題 Automatic travelling of agricultural support robot for a fruit farm -Verification of effectiveness of RTK-GNSS and developed simulator for specification design	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Agricultural Engineering	6. 最初と最後の頁 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4081/jae.2023.1355	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 青柳悠也
2. 発表標題 路面粗さによるピッチング角増加へのトラクタ重心位置の影響
3. 学会等名 関東農業食料工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青柳悠也
2. 発表標題 4輪農用車両の旋回横転倒に関する考察 田植機の旋回モデルとトラクタとの挙動比較
3. 学会等名 農業食料工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青柳悠也
2. 発表標題 田植機の脱輪横転倒に関する考察
3. 学会等名 農業食料工学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ren Hiraoka, Kazuki Kobayashi, Yuya Aoyagi
2. 発表標題 Simulation of Vibration Caused by an Automatic Transporter on Harvested Products
3. 学会等名 2022 Joint 12th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 23rd International Symposium on Advanced Intelligent Systems
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 青柳悠也, 小林一樹, 平岡 廉
2. 発表標題 RTK-GNSSと深層学習を用いた収穫用ロボットの自動走行 新わい化果樹農園内におけるRTK-GNSSの有効性
3. 学会等名 日本知能情報ファジィ学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------