

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：54601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05858

研究課題名（和文）収穫・管理支援用運搬台車の開発

研究課題名（英文）Development of transporting vehicle for supporting of harvest and management

研究代表者

飯田 賢一（IIDA, KENICHI）

奈良工業高等専門学校・電子制御工学科・教授

研究者番号：70290773

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、施設園芸における省力・軽労化とストレス解消、および熟練者技術の継承を実現する収穫・管理支援用運搬台車の開発を試みた。

開発した運搬台車は、市販の収穫台車を電動化し、運搬と収穫作業を同時に行えるハンズフリー機能、台車の進行方向を常に一定にする走行補正制御に加えて、多様な農作業に対応するために自律運搬や自動農薬散布機能を装備した。さらに、新規就農者が熟練就農者と同様な農作物収穫が可能となるビジョンシステムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題で開発した運搬台車は、市販の収穫台車をベースとしていることから園芸施設への導入が容易であり、運搬と収穫作業を同時に行えるハンズフリー機能、就農者のストレスを軽減可能な走行補正制御、自律運搬や自動農薬散布機能を装備されていることから、さまざまな農作業支援につながる事が期待できる。

さらに、構築したビジョンシステムにて農業初心者やアルバイトの方々が熟練就農者と同様な農作物収穫が可能となることで農作業不足を軽減できる事が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this project, an attempt was made to develop a transport trolley for harvesting and management support that realizes labor-saving and light labor in horticulture, relieves stress, and passes on the skills of skilled workers.

The developed transport trolley is a motorized version of a conventional harvesting trolley, and in addition to a hands-free function that enables simultaneous transport and harvesting, and travel correction control that keeps the trolley's direction of travel constant, it is equipped with autonomous transport and pesticide spraying functions to cope with a variety of agricultural tasks. Furthermore, a vision system was constructed to enable new farmers to harvest crops in the same way as experienced farmers.

研究分野：制御工学

キーワード：農作業支援 運搬台車 電動化 ハンズフリー 自律移動 熟度判別

## 1. 研究開始当初の背景

現在の日本の農業は、農業就業者の高齢化が問題となっており、2000年から2016年までに、農業就業人口のうち65歳以上の割合は52.9%から65.2%に増加している。我が国の農業現場では就農者の高齢化が急速に進んでいることから、農工連携による農作業の省力化や軽労化が求められているとともに、新規就農者への栽培・収穫スキルの継承や農業経営の効率化が喫緊の課題となっている。

ここで、園芸農家における収穫作業や運搬作業に着目すると、必要な車輛の自律移動化を行うことで省力化や軽労化を図っている研究は多数存在する。提案されている手法として、車輛がレール上を自律移動し作物を運搬する手法や、車輛が農場の地面に埋め込まれた鉄線を磁気センサーでトレースし、自動で着果処理を行う手法などに代表されるガイド式が主流である。しかしながら、これらのガイドによる誘導方式は、決まった経路しか移動できず柔軟性が乏しいことや、レールなどは就農者の移動の妨げとなり、就農者が躓いて転倒する可能性もあることが欠点となる。また、レールや鉄線などのガイドの設置には、従来の設備を変更する必要があることで、導入コストが高価になりやすい。さらに、これらの研究の多くは、就農者の作業を代行するものであり、55歳以上の農業従事者のうち72.2%が、働けるうちはいつまでも働きたいと希望していることには矛盾を生じる。また、園芸農家では、地域ごとに大きく異なる気象環境に合わせて様々な作物が産地毎に栽培されており、産地・作物毎に多種多様な農業知識・技術・ノウハウが蓄積されており、農業高校や農業大学校等における人材育成や、農業法人や海外等での実践的な研修等を支援するシステムがある。しかしながら、農業の知識・技術・ノウハウは、経験や勘に基づく暗黙知として熟練就農者の頭の中にあり、容易に学べるようにはなっていない。近年のそれらをITやAI技術を用いた人材育成システムがあるがそれらはいまだ開発段階である。これらの課題により、従来の農作業と大幅な変更することなく、熟練就農者・農作業機を活かし、施設園芸をより長く継続支援することが重要であると考えた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、背景にある課題を解決する一つとして、園芸農家における長期的なサポート可能な運搬台車を開発することである。一般的な園芸施設では、右図に示すような手押し型収穫用台車が広く利用されているが、これらの台車では、収穫作業と台車操作は同時に行えないため、作業効率を妨げている。また、腰部・腹部を利用して台車を押すことで、同時に収穫作業を行えるが、台車の大きさは固定であり、就農者の体格によって無理な体勢を強いられている(身体的負担)。さらに、園芸施設の路面の影響により台車が就農者の意図しない方向へ移動してしまうことがストレスとなっている。本申請課題では、この身体的負担を軽減(軽労化)、ストレスを解消すること(心労軽減)を図れる。また、運搬台車に熟練就農者の収穫スキルを非熟練就農者へ伝えることができる機能を追加することで熟練就農者の代行を誰もが行えることが独自性・創造性として挙げられる。したがって、これらを実装した収穫支援用運搬台車は、園芸農業現場に広く普及されることが期待できる。



## 3. 研究の方法

研究の目的を達成するために、収穫支援用運搬台車の設計・製作を第1フェーズ、収穫スキル提示システムの開発を第2フェーズとし、これらの統合を第3フェーズとし、本研究を遂行した。第1フェーズは、運搬台車の設計・製作であり、この運搬台車に最低限の要求仕様として、一般に用いられる手押し型収穫用台車を電動化し、運搬と収穫作業を同時に行えること、台車の進行方向は常に一定であるための制御を行うこととした。第2フェーズでは、農作物をカメラで撮影し、その画像を機械学習によって熟度レベルで定量化することで収穫対象か対象でないかを判断するビジョンシステムを構成することとした。

## 4. 研究成果

本研究の成果として、開発した収穫支援用運搬台車における機構・機能は以下のとおりである。

- (1) 市販の収穫用台車の電動化およびリモート操作
- (2) 作業者追従によるハンズフリー化
- (3) 走行補正制御
- (4) 自動運搬および自動農薬散布
- (5) 自動充電機能

上記、(4)、(5)は農業従事者との意見交換により当初の計画から追加し多様な農作業に対応

を図った。

図1に開発した収穫支援用運搬台車の外観を示す。本台車は制御ユニット、測域センサ（Laser Range Finder: 以下、LRF）、非接触充電ユニットによって構成され、駆動系要素として変速機を装備した。この変速機では、積載量や積載物にあわせて3段階で走行速度や走行トルクが調整可能としている。本台車は多様な農作業に対応するため、リモート操作、人物追従、自律移動、入庫動作を動作モードとして設けた。本台車のマニュアル操作は、リモート操作モードと、作業者を追従する人物追従モードにて行われる。自律移動モードは、事前に作成した農業施設内の障害物等を記した環境マップに基づき、指定地点への経路を生成して移動する。入庫動作モードは図2に示す充電ステーションへ入庫するための、最終的な位置合わせを行うモードである。さらに、不整地における操作性を向上する走行補正制御を搭載している。これは、LRFを用いて、本台車の進行方向を自動補正することで、農作業者は運搬台車の操作の煩わしさから解放され、心労軽減が実現される。なお、本台車の制御ユニットには、ロボット用ミドルウェアのROS (Robot Operating System) を用いている。



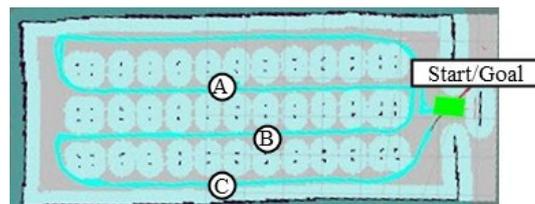
(a) 収穫・運搬時

(b) 農薬散布時

図2 非接触充電

図1 収穫支援用運搬台車の外観

本台車の有用性を確認するための評価実験の一つとして、無人化を想定した実験を図3に示す充電ステーションをスタート地点として各栽培ベンチ間を經由して充電ステーションに戻る経路にて、農業施設を模したテストフィールドにて行った。ここで、走行経路にはA~C地点をチェックポイントに設定しており、チェックポイントでは一旦停止し農薬散布を想定した水の散布を行う作業を行うこととしている。なお、周回回数は3周、変速は2ndとし、本台車の制御は、自律移動モード、入庫動作モードおよび走行補正制御を組み合わせで行われている。図3(a)に示す走行軌跡より、すべての周回において、直線部分の走行軌跡から姿勢の安定性が確かめられた。1周目の自律移動の様子を示した図3(b)においても、台車が中継点にて停止して散水ができていることが確かめられ、図3(c)に示すとおり、散布終了後に入庫動作によって充電ステーションへ正常に入庫できていることがわかる。同様の結果を他の周回中においても確かめている。その他のモードにおいても良好な実験結果が確かめられたことから、さまざまな農作業支援につながることを期待できると考えられる。



(a) 走行軌跡



(b) C地点



(c) 充電ステーションへの入庫

図3 評価実験の結果

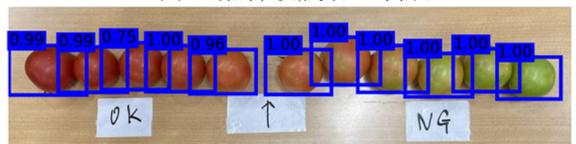
次に、本研究の目的の一つである収穫スキルの提示は以下のようにビジョンシステムを構築した。ここで、先行研究では農作物を2段階の熟度に分類している報告があるが、この方法ではどの程度熟した農作物を収穫するかはあらかじめ開発者側が決定する必要がある。しかしながら、熟練就農者は出荷日数や気温等を考慮して選定を行っているため、本研究では農作物を定量化し、収穫対象をその数値を用いることで選定を行えるビジョンシステムを構築している。これにより、熟練就農者は収穫対象を容易に変更可能となる。本システムでは、農作物の検出には、機械学習モデルであるSSDやDETRを採用し、定量化には、ランク学習のペアワイズ手法を用い

たモデルである RankNet を採用している。

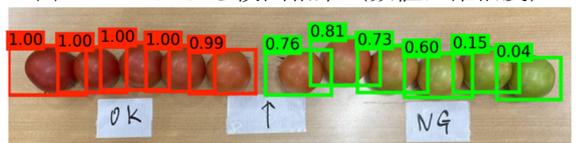
本ビジョンシステムの有用性を確かめるために、評価実験の一例を図4に示す。この例では、農作物をトマトとし、図4(a)は熟練就農者が選定した収穫対象である。図4(b)では DETR にて検出されたトマトを示しており、すべてのトマトが検出されていることがわかる。さらに、RankNet にてそれぞれのトマトの熟度が数値で示されていることから、提示された数値が0.9以上であれば、熟練就農者の選定と同様のトマトであるといえる。なお、農作物がイチゴの場合や、実環境においてもその有用性を確かめている。



(a) 熟練就農者の判別



(b) DETR による検出結果 (数値は確信度)



(c) RankNet による熟度判定結果 (数値は熟度)

図4 ビジョンシステムによる実験結果

以上の結果により、カメラからビジョンシステムを介して、検出された農作物の熟度が数値で提示されるため、農作物の収穫対象を熟練就農者が数値で指定することで、新規就農者がその数字にあわせて収穫作業を行えることが確かめられた。先の収穫支援運搬台車にビジョンシステムを搭載することで、新規就農者はモニター上で指示された農作物を収穫することで熟練就農者と同等の収穫作業が可能となる。これを繰り返すことにより、新規就農者の収穫スキルの学習も可能となる。

これらの研究成果は、日本農作業学会、農業食料工学会、計測自動制御学会の学術講演会にて講演発表を行い、農業有識者などとの意見交換により開発した収穫・管理支援用運搬台車のブラッシュアップを行った。今後の展望として、農業システム系のイベントへの参加、国際会議での講演や学会等への論文投稿を予定しており、より広く研究成果を発信していくことが挙げられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Fukumi Junji, Matsuura Fuminori, Fukuda Koji, Yoshida Susumu, Iida Kenichi	4. 巻 30
2. 論文標題 Analysis of Basic Characteristics of Chemical Spraying Using UAV Airflow	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Agricultural Information Research	6. 最初と最後の頁 73～85
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3173/air.30.73	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 -

1. 著者名 柳澤 佑太、松浦 亮太、大谷 真弘、芦原 佑樹、岩田 大志、土井 滋貴、中村 篤人、福岡 寛、須田 敦、安藤 正明、笹岡 元信、飯田 賢一	4. 巻 9
2. 論文標題 Development of the Transportation Vehicle with a Moving Workbench for Orchard on Sloping Land	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 産業応用工学会論文誌	6. 最初と最後の頁 107～117
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.12792/jjiaae.9.2.107	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4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 藤本和哉，飯田賢一，須田 敦
2. 発表標題 施設栽培における多目的電動台車の開発
3. 学会等名 農業環境工学関連学会2023年合同大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤本和哉，飯田賢一，中村篤人，大谷真弘
2. 発表標題 マルチオペレーションに対応する農作業支援台車の開発
3. 学会等名 第24回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会（SI2023）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤本和哉, 飯田賢一
2. 発表標題 収穫台車の多機能化による農作業支援
3. 学会等名 日本農作業学会2024年度春季大会 (第59回講演会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 藤本和哉, 飯田賢一, 中村篤人
2. 発表標題 農作業支援におけるマルチオペレーション台車の開発
3. 学会等名 日本農作業学会2023年度春季大会 (第58回講演会)
4. 発表年 2023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