

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：55201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K08035

研究課題名(和文) 高齢作業者の能力を活用するかんきつ類収穫支援ロボットの開発

研究課題名(英文) Development of a citrus harvesting assist robot utilizing labor force of the elderly

研究代表者

藤岡 美博 (Fujioka, Yoshihiro)

松江工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号：80321470

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：瀬戸内海島しょ部にある果樹園での使用を目指した収穫支援ロボットの開発を行った。安価な3Dプリンタ素材(ABS樹脂)を用いたリフレクタを製作し、そのリフレクタ表面に導電性のアルミ箔を張り付け、XBeeによる電波強度測定実験を行った。その結果製作したリフレクタによって、送信器と受信機との角度・距離の変化でRSSI値が変化することを確認し、製作したリフレクタによる位置推定の可能性が示された。また、ロボットが運搬する果実のモノレールへの移し替えは、果実の入ったコンテナごと移し替える方法に変更し、水平な環境で15kgのおもりの入ったコンテナをモノレール荷台に移し替えることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今回製作した収穫支援ロボットでは、安価な素材で製作した導電性アルミ箔を張り付けたリフレクタを有するXBeeによって作業員(送信器)の位置推定の可能性が示されたことがあげられる。これによって小型で安価な位置推定システムが実現できる可能性がある。また、果実のモノレールへの移し替えを、コンテナごと行う機構を開発した。この機構により水平な場所という制限はあるが15kg程度のコンテナをモノレールへ移し替えることが可能となった。この機構をより発展させることでかんきつ類の収穫作業時に非常に負担の大きいコンテナの荷台への積み込み作業を減少させ、高齢作業員への負担軽減に貢献できる。

研究成果の概要(英文)：We have developed a harvesting assist robot for use in an orchard in the Seto Inland Sea. We made a reflector using an inexpensive 3D printer material (ABS resin), attached a conductive aluminum foil to the reflector surface, and conducted a radio wave intensity measurement experiment by XBee. As a result, it was confirmed that the RSSI value changes with the change of the angle and distance between the transmitter and the receiver by the manufactured reflector, and the possibility of position estimation by the manufactured reflector was shown. In addition, the fruit carried by the robot was transferred to the monorail by changing the method of transferring the container containing the fruit, and succeeded in transferring a container containing a 15 kg weight to the monorail carrier in a horizontal environment.

研究分野：農業用ロボット

キーワード：農業用ロボット かんきつ類 収穫支援 XBee

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 我が国の農業従事者の高齢化および後継者不足は深刻であり、この問題は瀬戸内海島しょ部にあるかんきつ類の果樹園でも同様である。こうした農業分野での人手不足を解消するため、さまざまな農業用ロボットの開発が行われている<sup>①, ②</sup>。

しかし多くの場合、開発されているロボットはビニールハウス等のある程度規格化され人が作業するのに適した環境整備がされている。一方、瀬戸内海島しょ部の果樹園は、かんきつ類が日当たりがよく水はけのよい場所を好むため、傾斜地にあり整地などもほとんどされていない。こうした果樹園で作業者は、10 kg 程度の果実で満たされたカゴをもって足場の悪い果樹園内を移動し、運んだ果実をモノレール（果実を山麓へ運搬する）に移し替える作業を行っている。

(2) (1)で述べたような環境が整備されたビニールハウスなどであれば、全自動化も研究されているが、上述した果樹園は、規格化されず果樹園ごとに環境が大きく異なる。また傾斜地に作られているため、作業のための十分な通路等の確保も難しい。そのため、収穫作業の全自動化は非常に困難であるため、作業者の持つ収穫に適した果実の認識および繊細な果実の摘み取り能力を活用しつつ、肉体的負荷の大きな果実の運搬やモノレールへの移し替えに限定した機能をもった小型ロボットの開発が必要であると考えられる。

### 2. 研究の目的

規格化されず整地等の環境整備が行われていないかんきつ類の果樹園で、作業者がそれぞれの果樹で収穫した果実を運搬し、モノレールに移し替えるという危険かつ重労働の作業をロボットが代替することでかんきつ類の収穫作業を支援する。この結果、高齢作業者の身体的負担を軽減でき、作業者の就農期間を延ばすとともに、新たな人材の参入を容易とすることを目的とする。また、果樹園での作業者の多くは高齢であり、新たな資格取得等は難しく、ロボットの価格もロボット導入の課題に挙げられるため、新たな資格取得等が不要で、かつできる限り安価とすることも目的の一つである。

### 3. 研究の方法

最終的には、果樹とモノレールの間を自律移動できるロボットの開発を目標とする。しかし、本研究では果樹園内を果実を積載した状態で安定して移動し、運搬した果実をモノレールに移し替える機能を有するロボットの開発を目指す。

また、ロボットが自律移動するために、移動する作業者の位置（方向と距離）をロボットが推定する機能の実現を目指す。

(1) 従来の研究よりおおまかなロボットの仕様は判明しているため、その使用を満たすロボットの設計・製作を行う。製作したロボットを協力果樹園での実地試験を行って、性能を評価し機構の改善を行う。

(2) 作業者の位置を推定するために、特別な資格が不要で比較的安価な、Zigbee 規格の XBee を用いた位置推定システムの開発を目指す。送受信に XBee を使用するが、方向を推定するために、受信機側の XBee にパラボラ形状のリフレクタを設置して、送信器との相対角度によって受信電波強度(RSSI 値)を変化させることで、送信器（作業者に所持してもらうと仮定）の方向を推定するとともに、RSSI 値から距離の推定も行う。

### 4. 研究成果

(1) 研究期間中に車輪型ロボットおよびクローラ型ロボットを1台ずつ試作して、走行実験や運搬実験を行った。また、2台目のロボットには移し替え機構を試作して果樹園での動作実験を行った。性能評価を行った。

ただし、ロボットは、移動中は果樹等に衝突しない。モノレールの荷台へ果実を移し替える。ロボット自体の運搬は、モノレール等に積んで作業場近くに運搬したのち作業者が持ち運ぶことを前提とした。以上の条件を考慮し、協力農家の方からの聞き取りから表 1 の仕様を決定した。

表 1 ロボット仕様

全幅	全高	質量
600 mm 以内	移動時 600 mm 以内	20 kg 以下
	移替え時 1000mm 以上	

試作した車輪型ロボットの概要を表 2 に写真を図 1 に示す。表 2 のようにおおむね使用は満たせたが、質量が 22.5 kg と仕様を超えるものとなり、より軽量化を目指す必要があった。ロボットは、直径 225 mm の台車用のタイヤを用いて、左右後輪に DC モータ(TG-21R-BM-150-HA,12V, ツカサ電工)を取り付け、前輪はタイロッドを設けて後輪の駆動を制御することで自然に旋回する機構としたが、抵抗が大きく十分な旋回性能を得ることができなかった。

果樹園での走行試験は、有効なデータを取得することはできなかったが、松江高専構内で行った実験では、ほぼ水平で舗装されていない状況で、30 m の距離を 1 min 15 s 程度(約 0.4 m/s)

で移動した。これは、人に追従して移動するには遅いが、自律移動が可能となれば、作業者がカゴを満たすのに約 10 min 程度必要であり、モノレールと果樹の最大距離が 30 m 程度であることを考えると十分な速度であると考えられる。ただし、果樹園で想定される斜面での走行については、斜度 30 deg の斜面ではロボットが転倒する場合もあり十分な登坂性能は得られなかった。

表 2 車輪型ロボット諸元

全 長	全 幅	全 高	質 量
735 mm	550 mm	移動時 570 mm	22.5 kg
		移替え時 1040 mm	

次に、これまでのロボットでは、15 kg 程度の果実を高さ 600 mm～1000 mm 程度に持ち上げることはできなかった。しかし、試作したロボットでは、直動型の電動アクチュエータ(L11TGF12V200-T1 ECO-WORTHY)を用いることで、15kg の分銅を乗せてロボットの全高を 570 mm ～ 1040 mm まで持ち上げることに成功した。ロボットの全高の変化の様子を図 2 に示す。

このロボットでは、15kg の分銅を約 46.5 s で持ち上げることに成功している(分銅なしの場合、持ち上げに 41.7 s)。また、果樹園で行った持ち上げ試験の様子を図 3 に示す。ただし、パンタグラフ機構には、がたつき等がみられたため、より精度の高い機構の設計製作を次年度に行うこととした。



図 1 車輪型ロボット



図 2 車輪型ロボットのカゴ持上げの様子



図 3 車輪型ロボットの持上げ実験

(2) 前年度に製作した車輪型のロボットでは、十分な登坂性能が出せない可能性があったため、クローラ型のロボットを新たに製作するとともに、課題のあったカゴを持ち上げる機構を改良した。また、これまで実現できていなかった運搬した果実をモノレールに移し替える機構の試作と性能評価も行った。製作したロボット全体の写真を図 4 に示し、ロボットの諸元を表 3 に示す。

このロボットの駆動部はクローラ型として、駆動用に DC モータ(TG-21R-BM-150-HA, ツカサ電工)を使用して、ロボット前方に設置し、スプロケット(TP C12057NT SPR, 椿本チェーン)を回転させる。履帯(TTP635, 椿本チェーン)の表面は 3D プリンタ(X-Smart, QIDI)によって製作したグローサを両面テープで貼り付けた。グローサ(ABS 樹脂製)の三面図を図 5 に示す。このロボットは、果樹園内の走行試験で、ほぼ平坦な場所(平均斜度 1.02 deg)で、15 kg のおもりを載せた状態で、平均速度 0.25 m/s で走行し、平均斜度 11.8 deg の 3 m の斜面を 14 s で登坂した(平均速度 0.215 m/s)。

次にカゴを運搬するための機構に関しては、2 段のパンタグラフ機構を、昨年度のロボットを参考に直動型電動アクチュエータ AM-L11TGF12V100-T1 (ストローク 100 mm, ECO-WORTHY)により持ち上げる。ここで、アクチュエータの配置等を検討して、15 kg のおもりを 490 mm(535 mm ～ 1025 mm)を約 29 s で持ち上げることを確認した。

移し替え機構については、果実の移し替え作業を、「果実のみをロボットからモノレールに移す」という方法から「果実の入ったコンテナごとモノレールに移す」へ変更した。そこで、ロー

ラーコンベアを参考に、ロボットに積まれたコンテナごと押し出してモノレールに移し替える構造とした。製作した移し替え機構を図 6 に示す。この機構は、アルミ板で製作された観音扉がベルトを介して、機構後部にある押し出し板とつながっている。押し出し板が後方にありカゴを積んだ状態では、ベルトにより扉があかないようになっている。この押し出し板はコの字状となっており、両側面に DC モータ (TG-30S-KU-75-KA, ツカサ電工) が取り付けられている。この DC モータ主軸には、ピニオンがあり、このピニオンをラック (DR2, モジュール 2, 小原歯車) 上を回転させて押し出し板を前方に押し出す。この際、押し出し板側面には、スライドレール (RSRR40, ミスミ) に取り付けられたスライドが固定され、滑らかに駆動するようになっている。この機構を用いた結果、果樹園ではほぼ水平な環境であれば 15 kg のおもりの入ったコンテナをモノレールの荷台に約 12 s で移し替えることを確認した (図 7)。ただし、果樹園内では、モノレールを斜度 26 deg 程度の場所に止めて作業することもあり、こうした斜度が大きい場合、コンテナをまっすぐ押し出すことができず、途中で止まって移し替えできない場合もあったため、こうした環境に適応するための改良が必要である。

また最後、このロボットは移し替え機構等を取り付けたことにより質量が増加したため、より一層の軽量化を図る必要がある。

表 3 クローラ型ロボット諸元

全 長	全 幅	全 高	質 量
750 mm	545 mm	移動時 535 mm	28.6 kg
		移替え時 1025 mm	



図 4 クローラ型ロボット

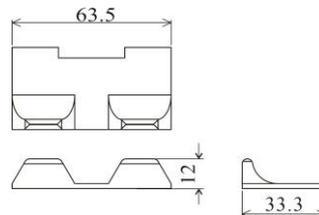


図 5 グローサ



図 6 移し替え機構



図 7 移し替え実験の様子

(3) リフレクタ付き XBee による作業位置推定システムの可能性について検証した。今回の試作としてまず厚さ 40 mm のアルミニウム材をワイヤ放電加工機によってパラボラ形状に加工したリフレクタを製作して、XBee (ワイヤアンテナ型) を取り付けてリフレクタと送信器の相対角度と距離による RSSI 値の変化について検証した。この際、リフレクタが送信器に対して正対した状態を 0 deg とし、反時計回りに -45 deg から時計まわり 45 deg まで 9 deg 間隔で測

定を行った。リフレクタの駆動にはステッピングモータ(PKP225D15A2, オリエンタルモータ)を用いて高精度の位置決めを行った。

このリフレクタを用いて、松江高専・構内で実験を行ったが、製作したリフレクタの焦点距離を 30mm としたため、干渉により、リフレクタ正面に送信器がある場合逆に RSSI 値が小さくなる結果となった。ただし、角度によって XBee の電波強度を変化させることが確認できたため、果樹園で現地実験を行った。この実験の様子を図 8 に示す。ただし、実験環境の整備が不十分であったため有効なデータをとることができなかった。

アルミ材で作成したリフレクタは質量も大きくまたコストも高くなる傾向であったため、3D プリンタを用いて ABS 樹脂製の焦点距離 60 mm のパラボラ形状のリフレクタを作成した。このリフレクタ表面に導電性アルミ箔テープ(AL-50BT, 3M)を張り付けた。製作したリフレクタを図 9 に示す。

このリフレクタに XBee を取り付けて松江高専構内で行った RSSI 測定実験の結果を図 10 に示す。この結果では、各距離で相対角度が 10 deg の際に RSSI 値が最大となっており、やや偏差は認められるが、製作したリフレクタによる RSSI の変化が得られたため、その効果が期待できる。ただし、XBee の RSSI 値測定機能は、-20 ~-100 dB の間の整数値を出力するため、この程度の変化では方向の推定制度が不十分である可能性がある。

したがって、よりリフレクタを検討し、相対角度に対して感度を高くしながら、確実に電波を受信できる形状とする必要があると考える。

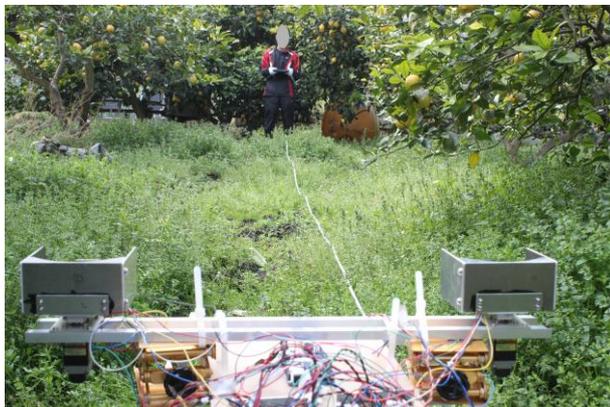


図 8 果樹園内での RSSI 測定実験

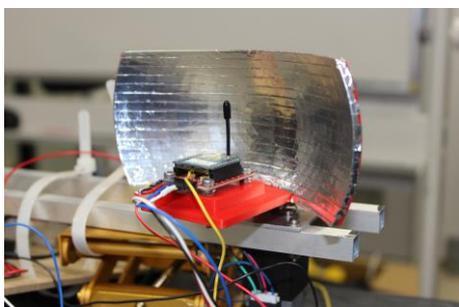


図 9 ABS 樹脂製リフレクタ

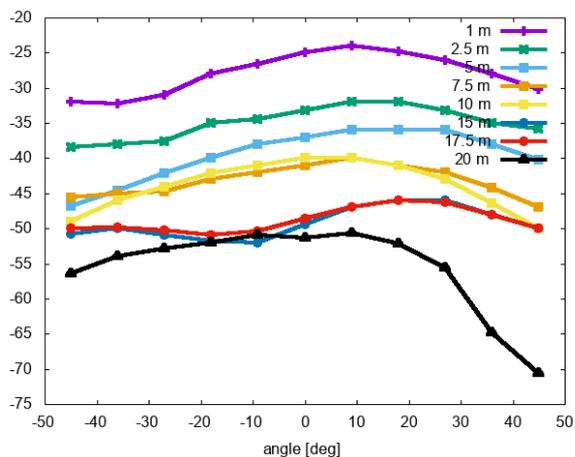


図 10 RSSI 測定実験結果

<引用文献>

- ① Subrata, I.D.M. 他, 三次元視覚センサを用いたミニトマト収穫ロボット(第 2 報)”, 農業機械学会誌, Vol. 60 No. 1, pp.59-68,1998.
- ②増田, 二瓶, 鄭, トマト収穫・剪定支援ロボットシステムの開発 -オペレータによる対象物修正及びデータベース機能の実装-, 第 20 回システムインテグレーション部門講演会 (SI2019) pp. 2355-2399, 2019

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 藤岡美博, 齊藤陽平, 入部正継
2. 発表標題 柑橘類収穫支援ロボットの開発 リフレクタ付きXBee による作業者位置検出に関する検討
3. 学会等名 日本機械学会 ロボティクスメカトロニクス講演会 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤岡美博, 齊藤陽平, 入部正継
2. 発表標題 かんきつ類収穫支援ロボットの開発 -リフレクタ付XBee2個を用いた位置推定-
3. 学会等名 第19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SI2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石原一輝, 藤岡美博
2. 発表標題 柑橘類収穫補助ロボットの駆動機構改良について
3. 学会等名 日本機械学会中国四国学生会第49 回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤岡美博, 齊藤陽平, 入部正継
2. 発表標題 柑橘類収穫支援ロボットの開発 リフレクタ付きXBee による作業者位置検出に関する検討
3. 学会等名 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤岡美博, 齊藤陽平, 本間寛己, 入部正継
2. 発表標題 かんきつ類収穫支援ロボットの開発 -リフレクタつきXBeeによる位置推定システムの改善-
3. 学会等名 第20回システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤岡美博, 齊藤陽平, 本間寛己, 入部正継
2. 発表標題 かんきつ類収穫支援ロボットの開発 直動アクチュエータによる運搬機構の性能評価
3. 学会等名 日本機械学会 ロボティクスメカトロニクス講演会 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤岡美博, 齊藤陽平, 本間寛己, 入部正継
2. 発表標題 かんきつ類収穫支援ロボットの開発-移し替え機構の検証-
3. 学会等名 日本機械学会 ロボティクスメカトロニクス講演会 2020
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
---------------------------	-----------------------	----