

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 14 日現在

機関番号：55201

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22580300

研究課題名（和文） 島しょ部の地域特性を考慮したかんきつ類収穫補助ロボットの開発

研究課題名（英文） Development of an Assist Robot for Harvesting in Citrus Orchards of Setonaikai islands

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

研究成果の概要（和文）：瀬戸内海島しょ部でのかんきつ類栽培において収穫作業を支援するロボットについて検討した。収穫作業を全自動化するのではなく、自律的に収穫した果実を果樹からモノレール（山麓まで果実を運搬）に乗せられたコンテナへと移し作業の下に帰るロボットの開発を目指す。このロボットが満たすべき仕様を明らかにし、その仕様を満たすロボットの機構について開発し、瀬戸内海地方の果樹園で走行試験を行った。

その結果、機構については傾斜が 22° 程度の果樹園内を約 10 kg の果実を安定して運搬できることを確認した。

また、果樹園を自律移動するために必要な作業者の位置推定システムを実現するため ZigBee 規格の XBee を送受信機として用い、作業者までの大まかな方向と距離を推定することで位置を推定するシステムの試作と検証を行った。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is the development of an assist robot which supports to harvest citrus fruits in the Setonaikai islands.

The robot does not harvest fruits full automatically, but supports the parts of the harvesting.

Concretely, the robot carries the fruits automatically between citrus trees and a monorail. This monorail carries the fruits to the foot of a mountain.

In order to find out the specifications of the robot, the field survey were carried out.

A result of the field survey determined the specifications of the robot.

Two robots were produced experimentally and the second robot's performance was verified. As a result, the efficiency of the robot mechanism is confirmed.

Moreover, the robot moves automatically in the citrus orchard. Therefore, in order to detect the position of a worker, the system which has XBee Pro which conform to ZigBee standard was developed and the efficiency of the system was verified.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：農業情報工学

科研費の分科・細目：農業工学・農業情報工学

キーワード：かんきつ類， 農作業支援ロボット， 農業工学， XBee

1. 研究開始当初の背景

瀬戸内海地方の島しょ部では山岳地の急斜面でかんきつ類を栽培している。一方、当該地方でかんきつ類の栽培に携わっている作業者の高齢化および後継者不足が問題となっており、作業負担の軽減は新たな従事者の参加を促すことが期待でき地域活性化の観点からも重要である。

作業者の負担軽減のためには、作業の全自動化が望ましい。しかし、収穫作業のみを考えると、○ 収穫に適した果実の判断、○ 果実の繊細な摘み取り、○ 重量物の運搬といったさまざまな機能が必要となる。このため、ロボットは高機能ではあるが、大型化し高価なシステムとなることが予想される。

そこで、本研究では特に、収穫作業を支援するロボットの開発を目指す。ロボットの機能を限定するため、人間の果実を選別する認識能力、果実を繊細に摘み取るハンドリング能力は生かし、果樹からモノレール(果実を果樹園からふもとまで運搬する)まで収穫した果実を運搬する収穫作業支援ロボットを開発することを目指した。

2. 研究の目的

瀬戸内海島しょ部にあるかんきつ類の果樹園での収穫作業の肉体的負担を軽減することが本研究の目的である。その際、開発するロボットを実際に導入しやすくするため、ロボットの低価格化を目指す。

この目的を実現するために、全自動化は避け収穫作業において肉体的負担の大きい収穫した果実の運搬作業のみを支援するロボットを開発する。

3. 研究の方法

(1) 現地調査を行い、収穫作業を支援するロボットの仕様を決定し、仕様にしたがってロボットの設計製作を行う。現地調査した果樹園の様子を図1に示す。

現地視察を行った結果を以下に述べる。

- ① 果樹園は水はけのよい土地であり、人間が歩ける程度には整地されているが、凹凸や石、果樹の根などの障害物がある。
- ② だんだん畑状の果樹園では、各段には傾斜があり、最大 40° 程度である。
- ③ 各段の幅はおよそ 2 m で、各段のほぼ中央に果樹が植えられている。
- ④ 山麓まで運搬するモノレールと最も離れた果樹までの距離は最大で 30 m 程度である。

以上の視察結果をもとにロボットの仕様



図1 果樹園の様子

を決定し、ロボットの機構を検討し、設計・製作を行う。

(2) 製作したロボットを瀬戸内海地方の果樹園農家に協力してもらい性能試験を行う。性能試験の結果をもとにロボットの機構を評価し、改善を行う。

(3) ロボットは果樹とモノレールの間を自律移動する。そのために、ロボットは作業者の大まかな位置を検出する必要がある。そこで、Zigbee規格の通信モジュールXBeeを用いて位置検出システムを開発する。

4. 研究成果

(1) ロボットの仕様

3. で述べた環境で作業を行うロボットの仕様を以下に示す。

- ① 果樹の根などが出た凹凸のある土壌を安定して走行する。
- ② 15 kg 程度の果実で満たされたカゴ(円筒形、直径 370 mm、高さ 300 mm)を、果実を落下させることなく安定して運搬する。
- ③ 作業者のいる果樹からモノレールまで自律移動する。
- ④ カゴに満たされた果実をモノレールに積まれた直方体形状のコンテナ(開口部の高さ 700 mm)に移す。
- ⑤ ロボットの全幅、全高は移動時、600 mm 以内とする。
- ⑥ ロボットの質量は、みかんを運ぶコンテナの質量が 30 kg 程度であることから、30 kg 以下とする。
- ⑦ ロボットは 30 m の距離で作業者のおおよその位置を推定する。

(2) ロボットの機体概要

ロボットは、研究期間中、2機を設計・試作したが、1機目の問題点などを改善した2機目のロボットについて述べる。ロボットの設計図を図2、3に写真を図4に示す。

ロボットの主材料は、加工のしやすさ、軽量化などを考え、一辺12mmのアルミニウム製角パイプを使用した。

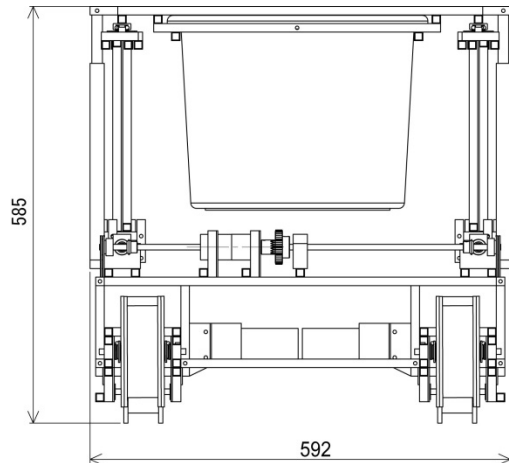


図2 ロボット(正面図)

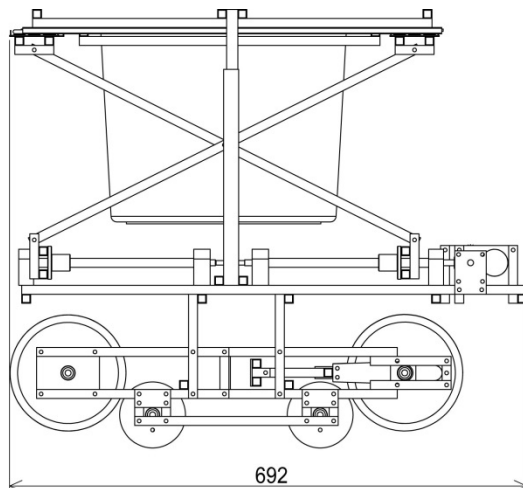


図3 ロボット(側面図)

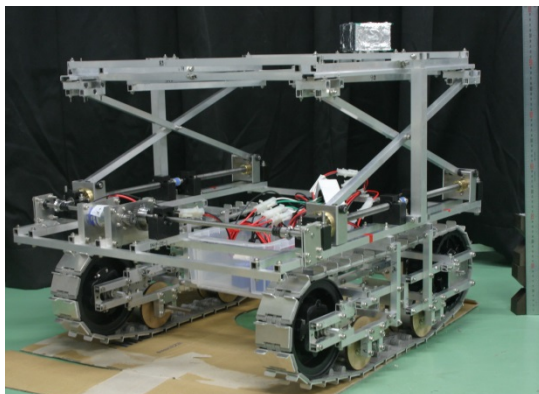


図4 ロボット(写真)

(3) ロボット構成機構

① 運搬機構について

ロボットの運搬機構について説明する。ロボットは移動中、果樹の枝などとの衝突を減らすため、全高を600mm以内とした。しかし、モノレールに積まれたコンテナ開口部の高さは700mm程度あるため、カゴを上下させる機構が必要となる。

また、傾斜のある地面を移動する際、果実を落とさないためには、カゴ開口部を水平に保つことが重要となる。

そこで、開口部を水平に保つためにジンバル機構を採用し、上下させる機構としてパンタグラフ機構を採用した。製作した運搬機構の移動時、伸長時の写真を図5、6に示す。

パンタグラフ機構で動作させるため、モータの駆動力は、歯車機構によって2本ある台形ねじに伝達する。台形ねじをモータによって回転させることにより、台形ねじのスライド機構が直線移動してカゴを持ち上げる。機構の概略を図7に示す。

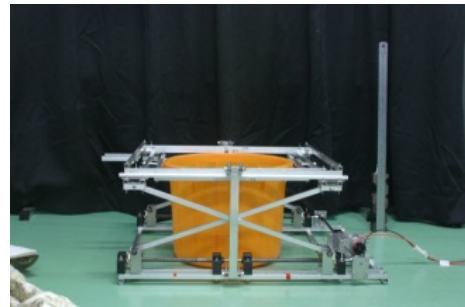


図5 運搬機構(移動時)



図6 運搬機構(伸長時)

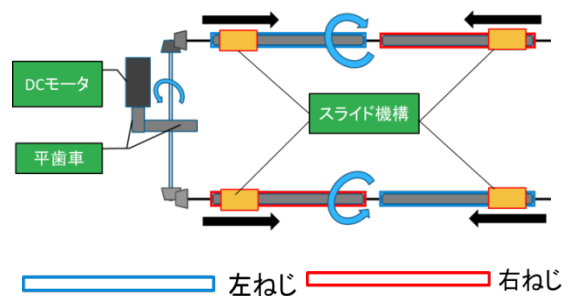


図7 パンタグラフ機構概要

② 使用モータについて

制御のしやすさなどを考え、ロボットのクローラの駆動やカゴの上下機構には DC モータを使用した。また、位置検出用アンテナにはステッピングモータを使用した。使用した DC モータを表 1 に示す。

表 1 使用したモータ

クローラ駆動用モータ	TG-21Q-BM 減速比 1/180, 供給電圧 24 V (ツカサ電工)
カゴ上下機構用モータ	TG-85E-SU 減速比 1/114, 供給電圧 24 V (ツカサ電工)
アンテナ駆動用モータ(ステッピングモータ)	KH39GM2-851, 供給電圧 4.6V (日本電産サーボ)

③ 移動機構について

ロボットは、凹凸のある果樹園内を移動するため、移動機構としてクローラ機構を採用した。

クローラの履帯には、脱輪のしにくさなどを考え、プラトップチェーン(TTP635, 幅 635mm, 椿本チェーン) を用いた。

果樹園を安定して移動するため、履帯表面にはグローサを取り付けた。グローサは、厚さ 2mm のアルミ板を折り曲げて製作し、プラトップとは、両面テープによって張り付けた。グローサを張り付けた履帯を図 7 に示す。

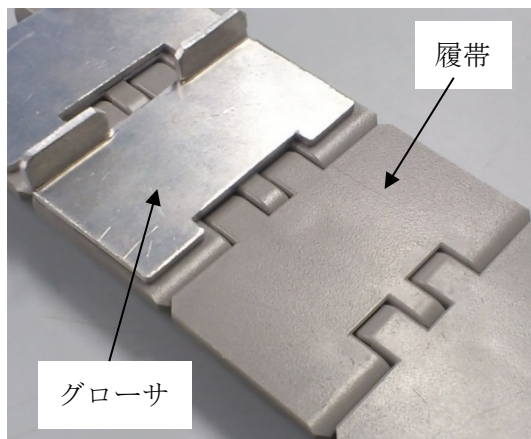


図 7 クローラ部の履帯およびグローサ

(4) 作業員位置検出について

ロボットは果樹付近の作業員とモノレールの間を自律移動できることが望ましい。そこで、ロボットがモノレール付近から作業員の位置を大まかに検出するシステムが必要であると考えた。

ただし、ロボットの使用者は一般的な農家である。そのため、電波関連の資格などが必要なく、また安価で実現できるシステムとす

るため、比較的安価で消費電力が少ない ZigBee 規格の通信モジュール XBee Pro を送受信機として使用した。XBee の大きさや受信感度などを検討し、Wire アンテナ型 XBee を採用した。XBee の規格を表 2 に示す。

表 2 XBee Pro 仕様表

室内/アーバンレンジ	最大 90m
屋外/見通しレンジ	最大 3.2km
送信出力	10mW(+10dBm)
受信感度	-102dBm
周波数帯域	2.4GHz
電源電圧	2.7~3.6V DC

ただし、XBee には、指向性がないため、このまま使用しただけでは、作業員の位置を検出することはできない。

そこで、何種類かのリフレクタを試作し、XBee の電波強度を測定する機能を使用することで、発信機(作業員)の方向と位置を推定するシステムを製作した。システムの概要を図 8 に、試作したリフレクタを図 9 に示す。

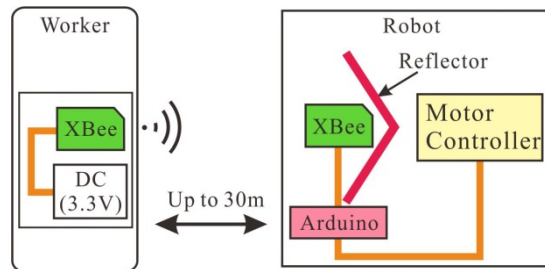


図 8 作業員位置検出システム

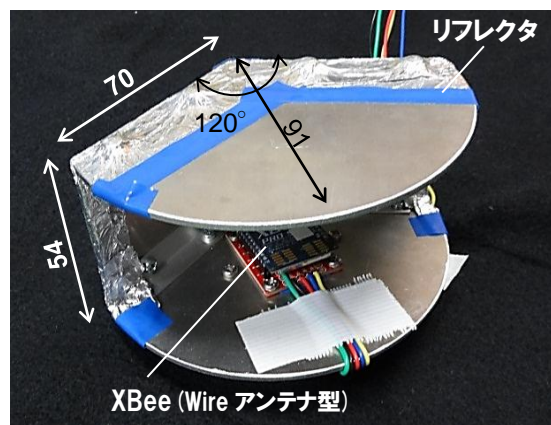


図 9 試作したリフレクタ

人の位置検出では、リフレクタをモータで回転させ、XBee の標準機能である RSSI(電波強度: Received Signal Strength Indication) 値((1)式参照)を測定し、もっとも RSSI 値が

大きな方向を作業者のいる方向とする。そのときの RSSI 値から作業者までの大まかな距離を推定する(図 8)。

$$RSSI = 10 \log_{10} \frac{\text{受信電力[mW]}}{1[\text{mW}]} [\text{dBm}] \quad (1)$$

また, XBee のデータを Arduino Uno を介して PC に取り込み, csv 形式で保存するプログラムを Processing を用いて作成した。

(5) 各機能の性能評価

① 運搬機構性能評価

運搬機構について性能評価を行った。評価方法は、約 15 kg のおもりがある場合とない場合でカゴの上下に移動させた際の安定性と移動時間を確認した。実験結果を表 3 に示す。また、実際に 9 kg のレモンを入れて上下移動を行ったが時間に大きな違いはなく、またどの場合も 20° 程度の傾斜で安定して持ち上げることができた。

表 3 上下移動時間

	負荷なし	負荷有り
上昇	1 分 32 秒	1 分 35 秒
下降	1 分 22 秒	1 分 28 秒

② 移動機構性能評価

移動機構の性能評価を松江高専構内と広島県呉市内の果樹園で行った。果樹園での事件の様子を図 10 に示す。



図 10 実験風景(果樹園, 斜面登坂)

構内での実験は、ほぼ平坦な舗装されていない場所で 20 m の移動に要する時間と、傾斜が 29.3° の斜面 2 m の移動時間を測定した。測定結果を表 4 に示す。ただし、どちらも負荷のない場合の結果である。

次に実際の果樹園での走行試験の結果を表 5 に示す。負荷には、実際の果樹園のレモンをカゴに入れて試験を行った。

また、傾斜が 30° 以上の環境では、ロボットが転倒することもあった。そのため、すべての環境で十分に安定しているとは言い難い。ただし、果樹園でも傾斜が 30° 以上の場

所はそれほど多くなく、作業者がカゴを持って移動する場合もおおむね傾斜が 20° より緩い場所であるため、今回試作したロボットの構造でほぼ実用化できると判断した。

表 4 構内での走行試験結果

平地		
移動距離	20 m	
移動時間	1 分 9 秒	
傾斜地		
移動距離	2 m	
平均斜度	29.30°	
移動時間	上り	15.9 秒
	下り	14.2 秒

表 5 果樹園での走行試験

平地			
移動距離	10 m		
平均斜度	2.14°		
負荷	9 kg		
移動時間	39.8 秒		
傾斜地			
平均斜度	17.52°		
負荷	9 kg		
移動時間	負荷なし	上り	15.9 秒
		下り	14.2 秒
	負荷あり	上り	19.7 秒
		下り	14.7 秒

③ 作業者位置検出システムの性能評価

試作したアンテナを用いた位置検出システムの実験結果について述べる。測定された RSSI 値とリフレクタの方向から、作業者側の XBee と受信機側の XBee の距離を推定する。

実験における送信機と受信機の相対位置を図 11 に示す。

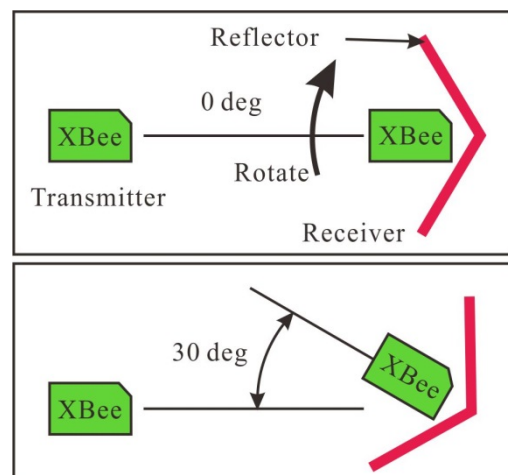


図 11 作業者とロボットの角度

位置検出実験では、XBee とリフレクタを 30° 間隔で、0° ~330° まで回転させ、各角

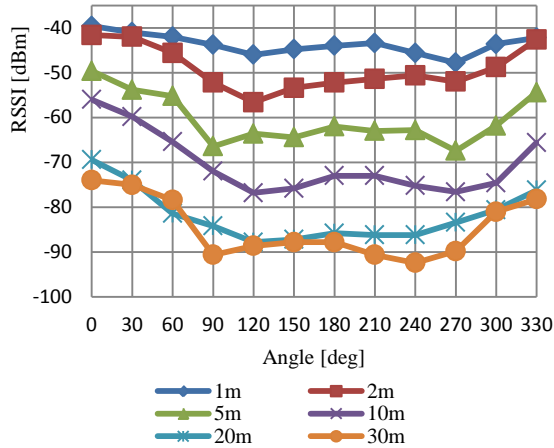


図 12 各距離での RSSI 測定値

度で 5 回ずつ RSSI 値を測定し、その平均値をその角度での RSSI 値とした。測定結果を図 12 に示す。

この結果から、1～30 m すべての距離で、リフレクタの角度が 0° のとき 90～180° の角度のときよりも RSSI 値が大きくなっていることがわかる。したがって、30 m までならば作業員（発信機）の方向推定が可能である。

また、距離が長くなれば RSSI 値が小さくなっていることから、正確な結果はこのデータからはわからないが、大まかな作業員までの距離は RSSI 値から推定できる。

したがって、XBee を用いた作業員位置推定システムの実現可能性を示すことができたと考える。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔学会発表〕（計 3 件）

- ① 藤岡美博, 齊藤陽平, 入部正継, かんきつ 類収穫支援ロボットの開発—移動・運搬機構の試作—, 第 12 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, 2011 年 12 月, 京都大学, 講演論文集 pp. 2104-2105.
- ② 藤岡美博, 齊藤陽平, 入部正継, かんきつ 類収穫支援ロボットの開発—移動機構の性能評価—, 第 13 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, 2012 年 12 月, 福岡国際会議場, 講演論文集 pp. 2531-2532.
- ③ 藤岡美博, 齊藤陽平, 石原遼一, 入部正継, かんきつ 類収穫支援ロボットの開発～ XBee による作業員位置検出システムの検証～, 第 57 回システム制御情報学会研究発表講演会, 2013 年 5 月, 兵庫県民会館, (DVD)

6. 研究組織

(1) 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