

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24年5月1日現在

機関番号：15301
研究種目：基盤研究（C）
研究期間：2009～2011
課題番号：21580316
研究課題名（和文） 移動型選果ロボットシステムによる農産物のトレーサビリティの構築
研究課題名（英文） Mobile Grading Robot to Accumulate Traceability of Agricultural Products
研究代表者
門田 充司（MONTA MITSUJI）
岡山大学・大学院環境学研究科・教授
研究者番号：80239714

研究成果の概要（和文）：農産物の生育環境から品質に至るまでの一貫したトレーサビリティを構築するために、収穫と同時に品質評価を行うロボットシステムを開発した。ロボットの操縦と果実収穫は人間が行い、果実の品質評価をロボットに搭載されたマシンビジョンで行う。各株に装着されたICタグの番号から果実収穫が行われた株の特定を行い、品質評価結果と共に保存される。これにより、生産者にとっての情報となる圃場内の果実品質や収穫量に関するマップが生成される。

研究成果の概要（英文）：A mobile eggplant grading robot was developed in order to accumulate traceability of agricultural products. An operator drove the robot along a crop row and harvested fruits. The fruits harvested by manual were evaluated the quality by a machine vision system on the robot. At the same time the fruit quality was evaluated, the plant of which the fruit has been harvested was identified from the number of IC tags that were attached to each plant. Field maps on yield and fruit quality were created by the robot system.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2009年度 | 1,200,000 | 360,000 | 1,560,000 |
| 2010年度 | 600,000 | 180,000 | 780,000 |
| 2011年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 総計 | 2,700,000 | 810,000 | 3,510,000 |

研究分野：農業工学

科研費の分科・細目：農業情報工学

キーワード：ロボット，精密農業，トレーサビリティ，品質評価，マッピング

1. 研究開始当初の背景

近年、農産物をめぐっては、残留農薬や産地偽称など様々な事件や事故が発生しており、そのトレーサビリティが注目されている。トレーサビリティを構築するための技術として、GPSやGIS、各種センサを利用した自律走行車両によって精密な圃場マップ（土壌状態や管理作業の状況）を作成する技術は実用化のレベルに達している。米国では、作業機のオペレータを支援しながら、圃場の情報を収集するシステムがすでに市販されている。また、GPSを搭載し、圃場内の水分や様々な成分をリアルタイムで計測する土壌センサも日本の企業で既に開発されている。ポストハーベストに関しては、農産物の外観のみならず内部品質も正確に評価できる選果施設が日本各地で稼働している。つまり、農産物の生育から選果に至るまでの、生育環境や品質を把握できる個々の技術はほぼ確立されているといえる。しかし、農産物のトレーサビリティ構築において、重要な問題がまだ解決されていない。それは、収穫作業の前後で個々の農産物と生育環境の対応付けが途切れてしまうことである。現在、収穫された農産物は農家レベルで選果場に持ち込まれることがほとんどである。つまり、いくら精密な圃場マップや品質情報が得られたとしても、果実が圃場のどの場所で収穫されたかが分からなければ、生育環境と品質との一連の関係を結び付けることは不可能であり、トレーサビリティを完結させることはできない。

2. 研究の目的

本研究では、収穫と同時にマシンビジョンによって選果（品質評価）を行うロボットを試作し、果実を収穫した株（収穫場所）と品質とのリンク、および得られた情報の構築を行い、農産物のトレーサビリティを完結させ

るシステムの検討を行った。

3. 研究装置

本ロボットシステムでは、人間がロボットを操縦しながら果実を収穫し、ロボットがその場で品質評価する作業体系を想定している。ロボットは作物列の間に設置されたレールの上をバッテリーカーでけん引される。収穫と同時に品質評価を行うことにより、果実の品質や収穫量に関するデータと生育環境に関するデータ（投入資材や温度、湿度など）をリンクさせることが可能となり、一貫した農産物のトレーサビリティを構築できる。また、果実の品質評価と選別はロボットが自動で行うため、専門知識のない者でも作業が行える。

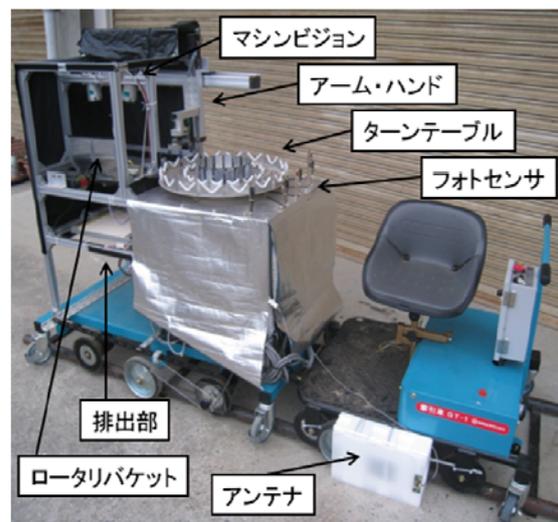


図1 移動型選果ロボット

ロボットの主な構成要素を図1に示す。本ロボットは、収穫した果実を置くターンテーブル、果実を搬送するハンドとアーム、2方向から果実の画像を入力するマシンビジョン、果実を反転させるロータリバケット、果実を分類する排出部とそれを格納するコンテナ、株に装着されたICタグとの通信を行うリーダー・ライタとアンテナ、およびバッテリー式の移動機構で構成されている。

4. 実験の方法

(1) ロボットシステムの動作確認

ターンテーブルに供給された果実が、アーム、ロータリバケットを介して最終的に排出部でコンテナに振り分けられるまでのロボットの動作確認を行うため、ビニルハウスで実験を行った。人間がロボットを作物列に沿って移動させながら、果実を収穫し、ロボットに供給する動作を繰り返した。

(2) 画像処理

画像処理においては、カメラから取り込んだ画像を二値化して処理対象の領域を定義し、膨張、収縮などの前処理によってノイズを除去した後に、各パラメータを算出した。本研究では果実の大きさや形状に関わる6種類のパラメータを算出した。各パラメータを算出する場合の基準となる果実中心線の求め方を図2に示す。

まず、果実の重心を求め、そこから最も遠い果柄側と果頂側の点（端点1a, 1b）を決定する。次に端点1aと1bを結ぶ直線の垂直二等分線を引き、果実部分を通過する線分の中点を基準点とする。そして、端点1a, 1bおよび基準点を通る円弧を描き、その中心（円弧中心）を求める。基準点に対して果柄側を6等分、果頂側を12等分する直線を円弧中心から引き、果実部分を通過する線分（果実幅）の中点を連結し、中心線の長さとして定義した。この時、果柄側で果実幅が急激に増減する部分があれば、へたと見なした。へたの部分の中点は、前後の果実幅の中心を結んだ直線との交点とし、中心線の長さを補正した。

以上のように、円弧中心から放射状に引かれた直線から得られる果実幅 W_i 、中心線の長さ S などを基準として、他のパラメータを算出した。本実験で用いたパラメータを表1にまとめる。

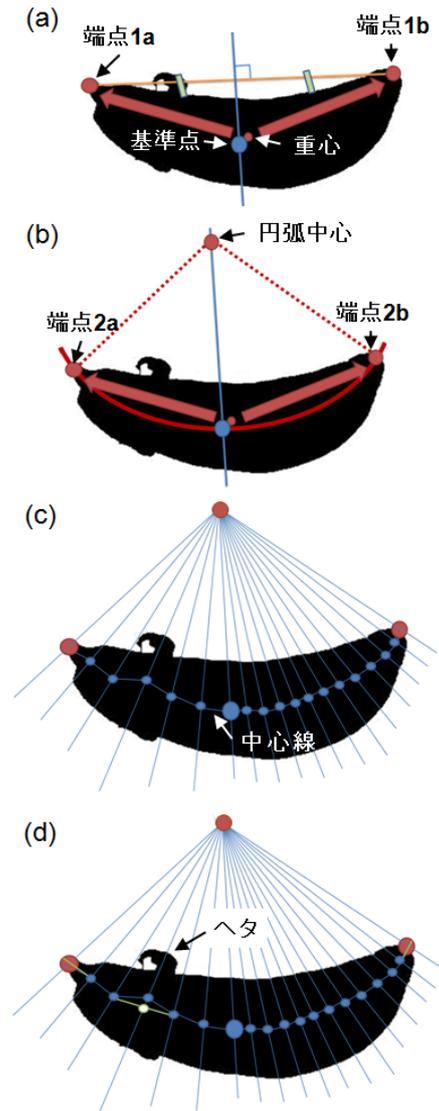


図2 パラメータの算出

表1 果実のパラメータ

| パラメータ | 概要 |
|------------------|---|
| 中心線の長さ： S | 各部分の果実幅の中点を連結した長さ |
| 最大果実幅： W_{max} | 果実幅の最大値 |
| 曲り率： C | 端点間の直線距離 L と中心線の長さ S の比： $C = L/S$ 曲りの少ない果実ほど1に近い値になる |
| 円形率： R | 最大果実幅 W_{max} と中心線の長さ S の比： $R = W_{max}/S$ 細長い果実ほど小さな値になる |
| 先細り率： T | 果実幅の減少率 $(W_{i+1} - W_i) / S$ の最も大きい部分と果頂側の端点2bとの距離から算出 果頂部が尖った果実ほど大きな値になる |
| 投影面積： A | 果実画像の面積 |

(3)ビニルハウス内実験

岡山大学農学部内のビニルハウス内で栽培した千両ナスを用いてロボットシステム全体の実験を行った。24株を市販の鉢植えポットに土壌を入れて、3列（列間約1.8 m）×8株（株間約60 cm）で配置し、作物列の間にレールを設置した。株ごとにICタグを取り付け、あらかじめ株番号を登録した。

図3に実験のフローチャートを示す。まず、作物列の端から作業者がレール上のロボットを操縦し、株の前で停止して果実収穫を行う。収穫された果実がロボットのターンテーブルに置かれるとフォトセンサが反応し、新たな収穫が行われたことを感知する。同時にアンテナを介してリーダ・ライタが株のICタグの番号を読み取り、果実収穫が行われた株を特定する。ロボットは作物列の間を移動しているが、座席に取り付けられたエンコーダによって作業者の向きを検知し、左右どちらの株に対して作業が行われているかを判断する。収穫された株が所定の位置まで回転するとアームの先端に装着されたハンドが果実を把持し、マシンビジョン直下のロータリバケットに搬送する。アームがカメラの視野から外れると同時に1度目の画像入力が行われ、それが完了するとカバーが閉じて果実を180°反転する。次に反対側のカバーが開き、2度目の画像入力が行われる。2枚の画像に対して画像処理が行われ、各パラメータが算出される。2枚の画像の平均値がその果実のパラメータとして評価が行われる。得られた評価結果を基に排出部の傾斜方向が決定され、ロータリバケットの下側のカバーが開き、果実は2通りのカテゴリ（規格内・外などのコンテナ）のいずれかに分類される。算出されたパラメータは収穫された株番号と共にコンピュータのデータベースに保存される。収穫対象の株がなくなれば、次の株へ移動し、

同様の作業を繰り返し行う。

以上の方法で得られたデータを近畿中国四国農業研究センターによって開発された精密畑作栽培管理用ソフト（PFUManager）を用いてマップ化した。

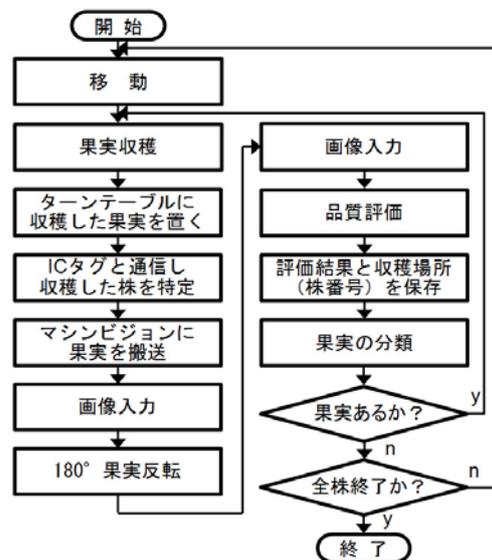


図3 実験のフローチャート

5. 研究成果

(1)ロボットシステムの動作確認

動作確認の実験には500本の果実を用いた。長さは190~230 mm、最も太い部分の直径は36~48 mm、質量は60~144 gであり、様々な大きさ、形状のものであった。500本のうち495本（99%）は問題なくターンテーブルからアームで搬送され、ロータリバケットで反転された後、排出部を介してコンテナに収納された。極端に曲がった果実および果実中央部が膨らんだ果実2本に対しては、ハンドが把持できず果実を落下させた。また、3本の果実はロボットの振動が原因でコンテナに収納されなかった。以上より、果実を把持するフィンガの材質や形状、ロータリバケットから排出部への果実の受け渡しの機構を改善すれば、果実を搬送する場合の成功率はさらに向上すると考えられる。

果実がターンテーブルに置かれてからコ

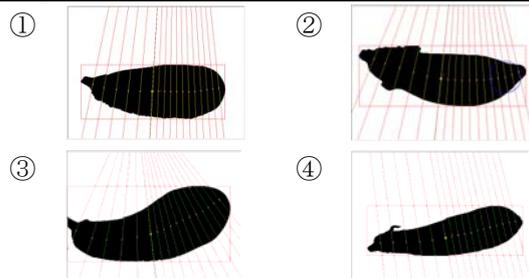
ンテナに収容されるまでの所要時間は 53 秒であり、果実は 19 秒間隔で処理された。ターンテーブルやアームの動作速度を大きくすることで、処理時間を短縮できるので、作業者の作業速度に適した処理速度に調整することは可能である。

(2)画像処理

画像処理の実験においては 67 本の果実に対してパラメータの算出を行った。表 2 に代表的な結果の例を示す。中心線の長さは、果実自体の長さが大きく、さらに曲がっている果実③が 4 果実中最も大きい数値となり、続いて②の果実となった。曲り率に関しては、果実①が 0.99 と最も 1 に近い数値を示し、最も曲りの少ない果実と判断された。一方、果実④は果実①に比べ円弧中心が遠い位置にあり、最も曲りが少ないように思えるが、果実の中心線が S 字に曲がっているため曲り率が果実①よりも小さな値となった。円形率に関しては、丸みをおびた果実①が高い数値を示し、細長い果実④が小さな値となった。先細り率は、果実③のみが 0 以上の数値となり、先細りのある果実と判断された。以上のように、画像から得られる関わるパラメータを用いることで、果実の形状や大きさを定量的に表現および比較することができた。

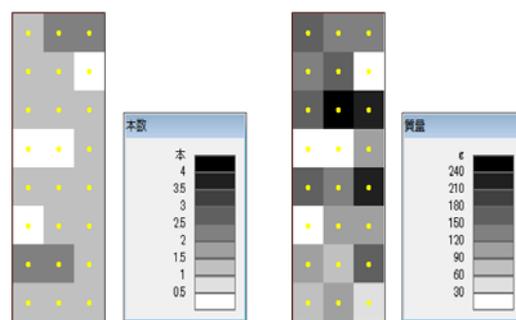
表 2 果実のパラメータの例

| | S | W_{\max} | C | R | T | A |
|---|-----|------------|------|------|------|--------|
| ① | 527 | 193 | 0.99 | 0.37 | 0 | 76363 |
| ② | 603 | 183 | 0.97 | 0.30 | 0.43 | 83055 |
| ③ | 640 | 229 | 0.91 | 0.36 | 0 | 104035 |
| ④ | 549 | 147 | 0.94 | 0.27 | 0 | 61136 |



(3)ビニルハウス内実験

ビニルハウス内で行った実験結果を基に精密畑作栽培管理用ソフト (PFUManager) で作成したマップを図 4 に示す。両マップはある日に収穫された果実の収穫本数とその総質量を示したものであり、各メッシュがそれぞれの株を表す。白いメッシュは、その日に果実が収穫されなかったことを意味している。この結果から、同じビニルハウス内であっても、収穫量にばらつきが生じていることが分かる。図ではある一日の例を示したが、期間における累積値や果実長さや形状などのパラメータの比較も可能である。また、それぞれの株における収穫果実のデータの閲覧も可能である。施肥量や灌水量などをあらかじめ入力しておけば、各種の投入資材に関するマップも作成することができる。このように、果実の収穫位置と品質、収穫量を対応付けることによって、生育環境から品質に至る一貫したトレーサビリティの構築が可能となり、生産者にとって有益なデータを得ることができる。



(1) 収穫数

(2) 果実質量

図 4 圃場マップ

現段階では、IC タグに記憶された株番号をロボットが読み取ることだけに用いているが、病虫害の発生や薬剤散布などの履歴も保存しておけば、他の作業と情報を共有することができる。たとえば薬剤散布を行った日付

を IC タグに保存しておけば、収穫時に、「○月△日まで収穫不可」などのメッセージを表示することも可能となり、作業者のミスを軽減できる。

通信に関しては全ての IC タグに対して良好に行われ、複数の株を同時に検出することもなく、収穫果実と株との対応付けを行うことができた。

5. おわりに

危険、過酷、単調な作業から人間を解放することが 20 世紀の農業ロボットに課せられた主な役割であった。21 世紀の農業ロボットにとっては、農産物の生産履歴をいかに連続的に収集、蓄積、分析するかが大きな役割となった。

そこで本研究では、一貫した農産物のトレーサビリティを構築するために、収穫と同時に品質評価を行う移動型ロボットを試作し、その性能評価を行った。その結果、ロボットの各構成要素は良好に作動し、収穫したその場で果実を任意のカテゴリに分類することも可能であった。また、IC タグを利用した株の特定も問題なく行われた。その結果、果実の品質や収量に関わる情報とその収穫場所を正しくリンクすることができた。

今回は IC タグにあらかじめ書き込まれた株番号を読みとる実験を主に行った。本ロボットシステムに汎用性を付加するために、管理作業における情報の共有を想定した模擬実験を行った。その結果、IC タグを介した情報の共有は良好に行われ、本ロボットシステムを管理作業に応用することの可能性が確認された。

6. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ①山本親史, 門田充司, 難波和彦, 後藤丹十郎, ナスを対象とした移動型選果ロボットーICタグを用いた株の識別ー, 農業機械学

- 会関西支部報, 査読無, 109巻, 2011, 28-31
- ②山本親史, 門田充司, 難波和彦, 後藤丹十郎, ナスを対象とした移動型選果ロボットの開発ーICタグを用いた株の識別実験ー, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集 (DVD), 査読無, 2010 [学会発表] (計 5 件)

- ①門田充司, 難波和彦, 村上成美, ナスを対象とした移動型選果ロボットーICタグを用いた農作業の管理ー, 農業機械学会関西支部第 127 回例会, 2012 年 3 月 5 日, 京都市
- ②門田充司, 難波和彦, 農産物のトレーサビリティを構築する品質評価ロボット, 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 SI2011, 2011 年 12 月 25 日, 京都市
- ③山本親史, 門田充司, 難波和彦, 後藤丹十郎, ナスを対象とした移動型選果ロボットーICタグを用いた株情報の管理ー, 農業機械学会関西支部第 125 回例会, 2011 年 3 月 2 日, 堺市
- ④山本親史, 門田充司, 難波和彦, 後藤丹十郎, ナスを対象とした移動型選果ロボットーICタグを用いた株の識別ー, 農業機械学会関西支部第 124 回例会, 2010 年 8 月 31 日, 岡山市
- ⑤山本親史, 門田充司, 難波和彦, 後藤丹十郎, ナスを対象とした移動型選果ロボットの開発ーICタグを用いた株の識別実験ー, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010, 2010 年 6 月 15 日, 旭川市

7. 研究組織

(1)研究代表者

門田 充司 (MONTA MITSUJI)
岡山大学・大学院環境学研究科・教授
研究者番号: 80239714

(2)研究分担者

難波 和彦 (NANBA KAZUHIKO)
岡山大学・大学院環境学研究科・准教授
研究者番号: 90263623