

内側収穫ロボットを用いたイチゴ果実への接近収穫方法の 検討

誌名	農業機械學會誌
ISSN	02852543
著者名	林, 茂彦 山本, 聡史 齋藤, 貞文 山下, 智輝 田中, 基雅 坂本, 直樹 柏原, 直哉 菅野, 重樹
発行元	農業機械學會
巻/号	74巻4号
掲載ページ	p. 325-333
発行年月	2012年7月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



内側収穫ロボットを用いたイチゴ果実への接近収穫方法の検討*

林 茂彦^{*1†}・山本聡史^{*1}・齋藤貞文^{*1}・山下智輝^{*2}・田中基雅^{*2}・
坂本直樹^{*2}・柏原直哉^{*2}・菅野重樹^{*3}・

要 旨

イチゴの吊り下げ式高設栽培において、果実の外側と内側視点の違いによる重なり状況を調査した結果、内側視点では収穫対象果実のおよそ9割が最前に位置し、果実全体を認識できた。次に、果実の内側から接近可能な収穫ロボットを用いて収穫性能試験を行った。内側収穫ロボットは、吊り下げ式高設栽培ベッドの真下を走行し、1台のマニピュレータで左右両側の果実を採果することを特徴とする。果実の検出成功率および採果成功率は'紅ほっぺ'で68.7%および50.6%、'あまおとめ'で75.0%および63.0%であった。外側視点に比べ内側視点の方が果実の視認性に優れ、このことが採果成功率の向上に寄与したと推察された。

[キーワード] イチゴ収穫ロボット, 移動プラットフォーム, 果実重なり, 内側視点, 吊り下げ式高設栽培

Study on an Inside-approach Harvesting Robot for Picking Strawberries*

Shigehiko HAYASHI^{*1†}, Satoshi YAMAMOTO^{*1}, Sadafumi SAITO^{*1}, Tomoki YAMASHITA^{*2},
Tomomasa TANAKA^{*2}, Naoki SAKAMOTO^{*2}, Naoya KASHIHARA^{*2}, Shigeki SUGANO^{*3}

Abstract

This study investigated the potential for autonomous harvesting of strawberries cultivated in a hanging-type elevated substrate.

Investigation of degree of overlap between inside and outside revealed that approximately 90% of mature fruits are located at the front and can be detected by an inside inspection. Harvesting tests were conducted using an inside-approach harvesting robot that can travel beneath a hanging bench and pick fruits on both sides using a single manipulator. The success rates for detecting and for picking were 68.7% and 50.6% for var. Benihoppe, and 75.0% and 63.0% for var. Amaotome. Our investigation of degree of overlap and harvesting tests demonstrated that the improved visibility of mature fruits from inside led to significantly enhanced picking performance.

[Keywords] strawberry-harvesting robot, travelling platform, fruit overlap, inside view, hanging-type elevated substrate culture

I 緒 言

我が国の総人口に占める65歳以上の高齢者の割合は23.1% (2010年)で、欧米諸国に比べ高い水準を示してい

る(総務省統計局, 2011)。今後総人口は減少を続け、2050年頃には1億人を下回ると推定されている。総人口の減少に伴い高齢者の割合は上昇を続けることが予想され、市場の縮小、労働力不足の深刻化、産業構造の脆

* 2011年9月第70回農業機械学会年次大会(弘前大学)にて一部講演

*1 会員, 生物系特定産業技術研究支援センター(〒331-8537 さいたま市北区日進町1-40-2 TEL 048-654-7000)
Bio-oriented Technology Research Advancement Institution, Nisshin, Kita, Saitama, Saitama, 331-8537 Japan

*2 株式会社前川製作所(〒302-0118 茨城県守谷市立沢2000 TEL 0297-48-1361)
Mayekawa MGF Co., Ltd, Tatsusawa, Moriya, Ibaraki, 302-0118 Japan

*3 早稲田大学(〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 TEL 03-5286-3264)
Waseda University, Okubo, Shinjyuku, Tokyo, 169-8555 Japan

† Corresponding author: shigey@affrc.go.jp

弱化が懸念されている。農業分野においても農業就業人口は平成 22 年度の 260 万人まで減少し、その平均年齢は 66.1 歳となっている（農林水産省統計部, 2011）。

このような状況のなか、経営規模の拡大に対応した作業の効率化や自動化、省力化技術を構築する上で、ロボット技術への期待は大きいものの、野菜生産についてみると、作物や圃場、栽培様式の多様性および複雑性がロボット導入の妨げになってきた。イチゴ収穫へのロボット技術の応用として、佐藤ら（1996）は土耕栽培用の収穫ロボットを開発し、ロボット導入の可能性を示した。その後、吸引式ハンド（近藤ら, 2000）、フック式ハンド（有馬ら, 2004）、ハサミ式ハンド（崔ら, 2007）が提案された。高設栽培技術の普及が始まると、極座標型ロボットを用いて高設栽培への導入の可能性が検討された（有馬ら, 2001）。そしてシステム性能の向上を目指して、直交座標型ロボット（有馬ら, 2003; 尾崎ら, 2006）や円筒座標型ロボット（林, 2005）を用いた収穫ロボットシステムが提案された。さらに、吸着管と果柄把持切断フィンガからなる採果ハンドを用いて吸着機構が収穫性能に及ぼす影響（Hayashi et al., 2010a）や、収穫ロボットの周年利用のための技術課題も報告されている（重松ら, 2009）。またロボットの動作空間を確保するため果実の下側から接近するロボット機構が試作された（山本ら, 2009）。これら高設栽培用収穫ロボットの開発研究から、果実の内側視点が有効であること、果柄を切断することにより果実損傷が少ないこと、夜間稼働など画像入力にあった環境を構築することなどの知見が得られている。

そこで、本研究では果実内側からの接近を前提に、外側と内側視点における果実の重なりの違いを調査する。果実内側から接近する場合には、対象果実とマシンビジョンとの距離が近くなることから、ロボット機構を小型化することが重要な技術要素となる。そのため、小型マニピュレータを設計・試作し、その先端に採果ハンドを 2 組設置することで栽培ベッドの左右両側の果実へ接近できることを特徴とするロボット機構を提案するとともに、果実の重なりと収穫性能の関係を明らかにする。

II 材料および方法

1. 吊り下げ式高設栽培ベッド

高設栽培は作業者が立位の状態で作業しやすい位置にイチゴ株を設置して栽培する技術で、作業姿勢の改善により軽作業化、省力化が実現でき（伏原, 2004）、これまで様々な方式の栽培システムが普及している（高市, 2003）。栽培ベッドの架台パイプの一部を土中に埋設する埋め込み式が一般的であるが、ヨーロッパでは栽培ベッド架台をハウス構造物から吊り下げ的方式が普及しており、我が国でも導入が見られる。この吊り下げ式高設栽培ベッドは、強度の高い温室が導入条件となるが、栽培ベッドの下に広い空間が生まれる。この空間にロボット機構を配置することにより、果実の内側からの認

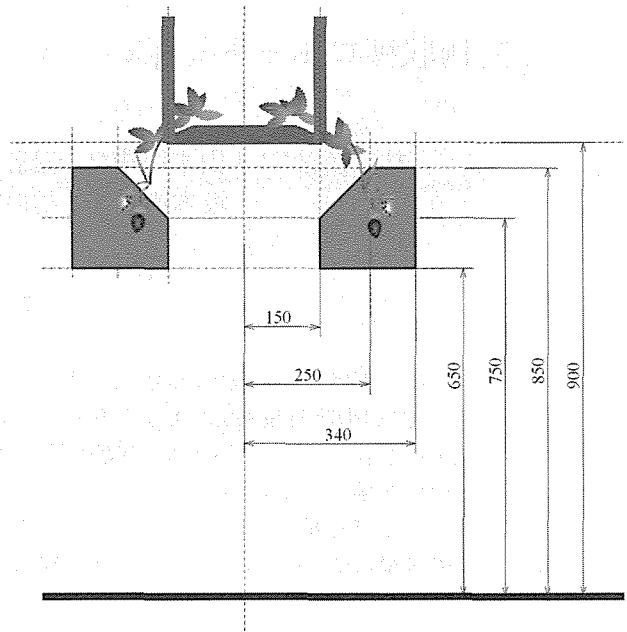


図 1 吊り下げ式高設栽培の構造：塗りつぶし部分は想定着果領域を示す

Fig. 1 Schematic diagram of hanging-type substrate culture for strawberries; a net pattern shows an estimated region for fruit clusters

識および接近が可能となると考えられる。

吊り下げ式高設栽培ベッドの構造を図 1 に示す。架台はハウスの梁部材から吊り下げられ、高さはおよそ 1 m である。果実は栽培ベッド両側に垂れ下がり、網掛けで示す領域（以下、想定着果領域）に着果する。栽培方法はバック栽培システムと呼ばれ、架台にポリエチレン製バッグ（内寸：75×35 cm、主成分比：杉皮 6、ココピート 2、ピートモス 1、バーミキュライト 1）を並べ、バッグ 1 袋に 8 株を植え付けてドリッパにより養液供給する方式である（松崎, 2004）。

2. 果実重なるの調査

イチゴは複数果から果房を形成する。最初に頂果が肥大し、その両側に順次 2 番果が 2 果、3 番果が 4 果、そして 4 番果が 8 果着果する（Hancock, 1999）。したがって、赤熟果実の周辺には、それより遅い花序の果実が、着色過程または未熟の状態で存在する。赤熟果実に対してロボット収穫を試みる際、果房の状態が性能に大きく影響する。有馬ら（2001）は収穫における果実の内側視点の優位性を報告しているものの、外側と内側視点の差に関して定量的に論じている例は少ない。

そこで、本研究で対象とする吊り下げ式高設栽培における果実の重なりを調査した。着色度 80% 以上の収穫適期果実に対して、外側と内側の両方からデジタルカメラで撮影した。撮影画像を基に、目視で果実の重なり状態を以下に示す A～E の 5 段階に分類した（重松ら, 2009）。

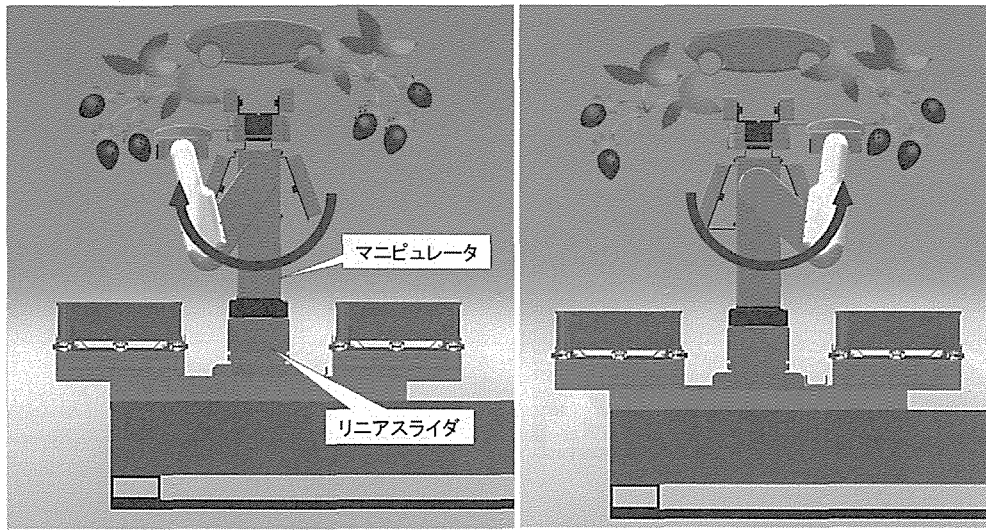


図 2 内側収穫ロボットによる接近収穫方法

Fig. 2 Schematic diagram of inside-approach method by the strawberry-harvesting robot

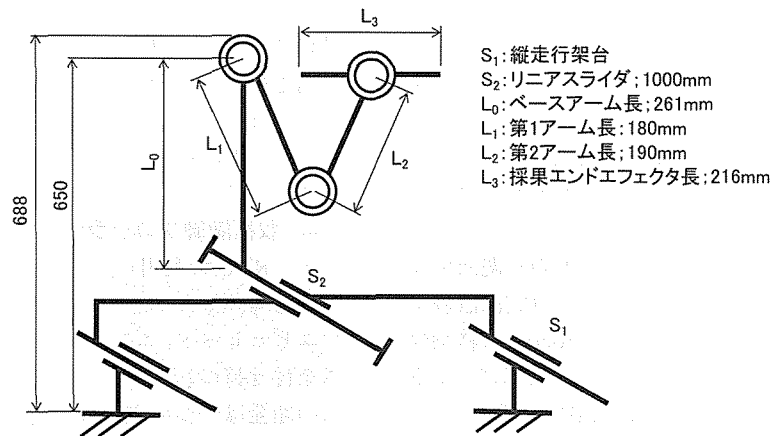


図 3 内側収穫ロボットの機構

Fig. 3 Structure of inside-approach harvesting robot

- A : 対象果実が独立して着果し果実全体が見える
- B : 対象果実の後ろに緑白色の未熟果があり対象果実全体が見える
- C : 対象果実の後ろに赤色果があり対象果実全体が見える
- D : 対象果実の前に緑白色の未熟果があり対象果実の50%以上が見える
- E : 対象果実の前に緑白色の未熟果があり対象果実の50%未満が見える

なお、調査は松山市のイチゴ農家の果実(品種:紅ほっぺ)を対象に、2005年2月と5月の2回行った。2月の調査数は227果、5月は217果とした。

3. 内側収穫ロボットの構成

(1) 小型化の検討

吊り下げ式高設栽培では栽培ベッドの左右両側に果実が垂れるように植え付けを行う。したがって、栽培ベッ

ドの内側から果実を検出し接近するためには、ロボット機構の小型化が求められる。また、両側の果実を収穫するためには、収穫ロボットを左右に旋回させる必要があるが、旋回機構を組み込むと構造が複雑となり、旋回時間がかかって作業能率が低下した(中尾ら, 2009)。そこで、図2に示すようにマニピュレータ先端に2組のエンドエフェクタを配置し、1台のマニピュレータで両側の果実に接近できるロボット機構を考案した。2組のエンドエフェクタの組み込みに合わせて、マシンビジョンも右側用および左側用として2組搭載した。

(2) ロボット機構

内側収穫ロボットの機構を図3に、吊り下げ式高設栽培における動作状況を図4に示す。収穫ロボットは移動プラットフォームとロボット本体に大別される。移動プラットフォームは縦走行架台および横走行架台からなるX-Yテーブルの構造で(林ら, 2010b)、縦走行架台の大

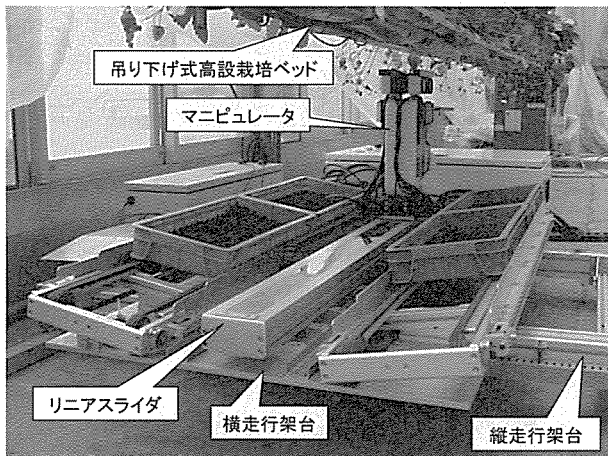


図4 吊り下げ式高設栽培における内側収穫ロボットの動作状況

Fig. 4 General view of inside-approach harvesting robot

きは 2670×1200 mm, 横走行架台は 600×1200 mm である。横走行架台にロボット本体を搭載することができ、縦走行架台の両側に取り付けた 120 W モータ 2 台により通路方向にレール幅 2520 mm の 2 本のレール上を走行し、横走行架台の 120 W モータにより通路と直角方向、つまり畝移り方向に動作する。収穫実験では通路方向の移動速度を 210 mm/s, 畝移り方向の移動速度を 140 mm/s に設定した。

ロボット本体は、リニアスライダと 3 軸の多関節マニピュレータから構成される (図 2)。吊り下げ式高設栽培ベッドの下を移動するため、地上高を 688 mm (移動プラットフォームを含む) に抑えた (図 3)。収穫ロボットの中心軸から想定着果領域までの最小距離は 150 mm であることから、ステレオビジョンカメラとして、歪曲収差の低い広角レンズ (日東光学, SY110M, 焦点距離: 1.67 mm) と USB カラーカメラ (Point Grey Research, FMVU-13S2C-CS, 解像度: 1280×960 画素) を選定し、レンズ先端が中心軸から 63 mm になるようにベースアーム L_0 の上端に左右 2 組設置した。したがってカメラから想定果実領域までの最小距離は 87 mm となった。次に、エンドエフェクタ L_3 から下方 55 mm の位置に左右対向するようにハンドアイカメラ (Point Grey Research, FMVU-13S2C-CS, 解像度: 1280×960 画素) を組み込んだ。また L_0 と L_3 とのリニアスライダ移動方向のオフセット量は 261 mm となることから、採果制御においてステレオカメラで果実の 3 次元位置を計算した後、リニアスライダをオフセットさせ、エンドエフェクタを正対させる必要がある。さらに、リニアスライダの両側には果実収容トレイ ($L535 \times W255 \times H80$ mm) を各々 2 箱積載した。

採果用のエンドエフェクタは図 5 に示すように左右対称の構造で、大きさは 216×97 mm である。中央に配置した DC モータ (定格出力: 11 W, 減速比: 1/29) の駆

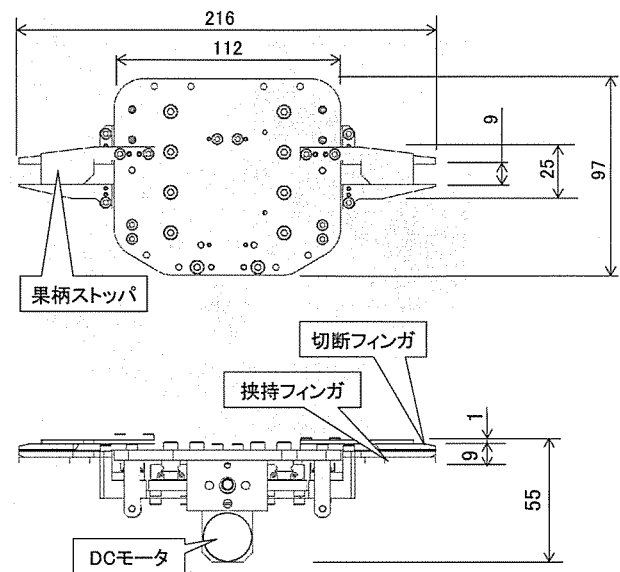


図5 イチゴ採果用エンドエフェクタ (単位: mm)

Fig. 5 Schematic diagram of end-effector for picking (unit: mm)

動により両端のフィンガが同時に作動する。フィンガの開閉速度は最大 50 mm/s で、上段の切断フィンガ (開き幅: 9 mm, 刃厚: 上刃および下刃とも 3 mm) で果柄を切断し、下段の挟持フィンガ (刃厚: 3 mm) で果柄を把持する。

4. 収穫制御プログラム

(1) RTC の利用

収穫ロボットは、マシンビジョン、リニアスライダ、マニピュレータ、エンドエフェクタ、移動プラットフォームを併せ持つ複雑なシステムであり、統合制御プログラムの開発は一つの重要な技術要素である。しかし、プログラム開発においては、生産現場での検証やチューニングが頻繁に求められることから、統合制御プログラムをその都度書き換えることは非効率である。そこで、産業技術総合研究所が開発する RT ミドルウェア OpenRTM-aist (産業技術総合研究所, 2011) を適用し、各構成要素のプログラムをコンポーネント化した。本研究では、マニピュレータ制御、リニアスライダ制御、画像処理ソフトウェア制御など 9 種類のコンポーネントを作成した (山下ら, 2012)。複数の RTC (ロボットコンポーネント) の開発によりプログラムのメンテナンスが容易になり、開発した RTC を別のプログラムで利用することも可能となり融通性の向上が期待できる。

(2) 収穫基本動作

本ロボットを用いた収穫基本動作のフローチャートを図 6 に示す。移動プラットフォームが栽培ベッド端点にある状態から収穫動作を開始し、左右 2 組のステレオビジョンカメラで赤色果実を検出する。収穫適期果実があれば、それぞれの三次元位置を計測し、左右の区別なくリニアスライダの移動距離の短い順に採果を行う。計算した三次元位置情報を基に、ハンドアイカメラが対象果

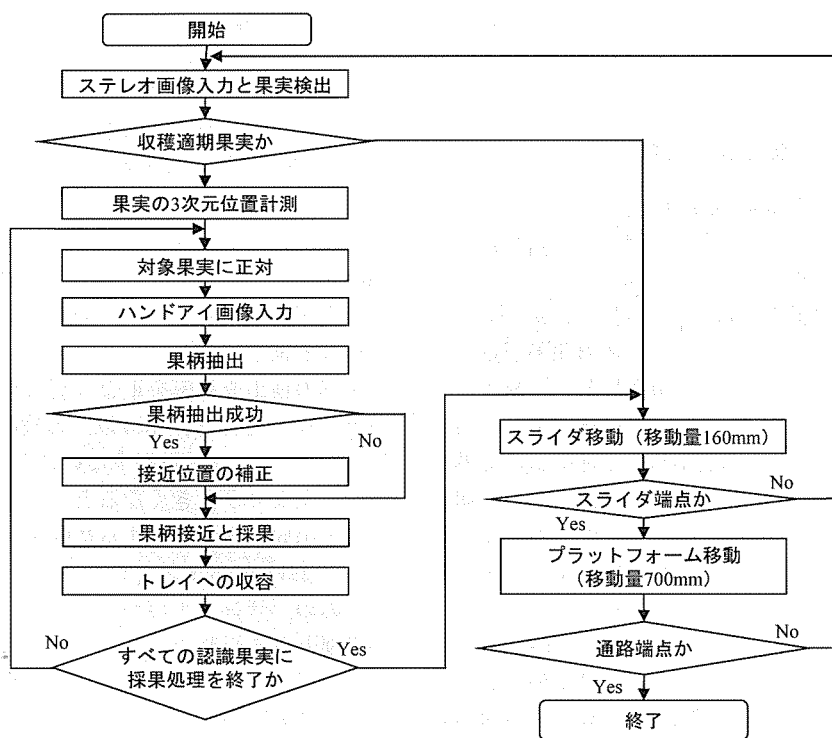


図 6 収穫基本動作のフローチャート
Fig. 6 Flowchart of harvesting procedure

実の手前 60 mm になるように正対する。ハンドアイカメラで対象果実を撮影し、後述する果柄切断位置の決定アルゴリズムより切断位置と補正量を計算する。エンドエフェクタを前進させ、フィンガを閉じることで果柄を切断すると同時に下刃で果柄を把持したのち、トレイに収容する。リニアスライダを 160 mm ずつ移動させ、同様の採果動作を 4 回行う。リニアスライダ内の作業領域内の処理が終わると移動プラットフォームを 700 mm 前進させ、果実探索と採果を繰り返す。移動プラットフォームが栽培ベッドの終点に到達すると収穫動作を終了する。

(3) イチゴ果実の認識

イチゴ果実の認識のための画像処理ソフトの開発では、開発解析ツールが充実していて開発工程の短縮化が図れる点と、三次元画像処理機能など処理コマンドが充実している点から画像処理ソフト HALCON を利用した。画像処理アルゴリズムは既往の研究 (例えば, 崔ら, 2007; 山本ら, 2010) を基にした。まず, 左右画像を取り込み, 色彩情報を基に 2 値化したのち, 形態特徴値から楕円の対象物 (イチゴ果実) を抽出する。抽出した対象物の着色度 (赤色領域の占める割合) を計算することで収穫適否を判断する。そして, 収穫適期であれば左右画像の対応付けを行って三次元位置を計算する。

(4) 果柄切断位置の決定

果柄切断位置の決定アルゴリズムは, まず撮影したハンドアイ画像 (1280×960 画素) のうち, 中央上端の 640

×480 画素を切り抜く (図 7)。そして果柄の探索領域を限定するため, 検出した果実領域の幅 W および上辺の中点 p を基に, 対象果実の上部に五角形の注目領域 ROI を設定する。ROI を五角形とすることで反り返ったヘタの誤検出の低減を図った。この ROI 内の色彩情報を基に 2 値化し, 細線化処理を行って緑色の果柄を抽出する。抽出した果柄部分のうち点 p から 20 mm 上方の位置 q' を求め, 切断位置とする。ここで, ハンドが補正なしで前進したとき切断フィンガに挿入される位置 q と, 画像処理により求めた切断位置 q' との偏位がゼロになるようにハンドを接近させる必要がある。そのため両者の偏位からハンド制御の補正量を算出し, マニピュレータ制御コンポーネントに受け渡す。

5. 収穫試験

収穫試験に供試した品種は 'あまおとめ' と '紅ほっぺ' で, 2010 年 9 月 22 日に生研センターに設置した吊り下げ式高設栽培ベッド 2 列に供試品種をそれぞれ定植した。栽培ベッド 6.0 m のうち 4.2 m を試験区 (22 株) に設定した。

収穫試験は 2011 年 4 月 22 日～6 月 15 日まで計 6 回行った。まず, 収穫試験前に内側視点における収穫適期果実 (着色度 80% 以上) の重なりを調査し記録した。そして, 内側収穫ロボットを図 6 に示した収穫基本動作に従って自動運転を行い, 収穫適期果実に対する検出成否と採果成否, 未熟果実に対する採果数, 収穫した果実の果柄長を調査するとともに, 処理時間を測定した。なお,

試験は日没後に実施し、画像入力の際の果実周辺照度は、ステレオビジョンカメラ撮影時でおよそ350Lx、ハンドアイカメラ撮影時でおよそ80Lxであった。

III 結果および考察

1. 視点の違いによる果実の重なり

吊り下げ式高設栽培における果実の重なり方の調査結果を図8に示す。外側と内側視点を比較すると、2月および5月の調査とも内側視点では、重なりDが少なく重なりBが多かった。これは、未熟果と収穫適期果が重なる場合、外側に未熟果、内側に収穫適期果という配置になっていることを示している。また、収穫適期果が最前となるA、BおよびCの割合の合計は、2月において外側40.1%、内側90.3%で、5月において外側57.1%、内側87.6%となった。内側からみると収穫適期果実のおよそ9割が最前に位置し、果実全体を認識できることがわかった。

次に、収穫時期を比較すると、内側視点では時期による構成割合に大きな違いは認められなかった。一方、外側視点では5月になると単独の重なりAの割合が増加する傾向が見られた。これは収穫後期になると次の果房の出蕾が少なくなるためと推察された。このように、収穫対象果実を中心とした果実の重なりは、収穫時期に影響されるほか、品種、果実肥大や着色、果序、摘果の強弱により変化することから、これらの影響の解明には更なるデータの蓄積が必要と考えられた。

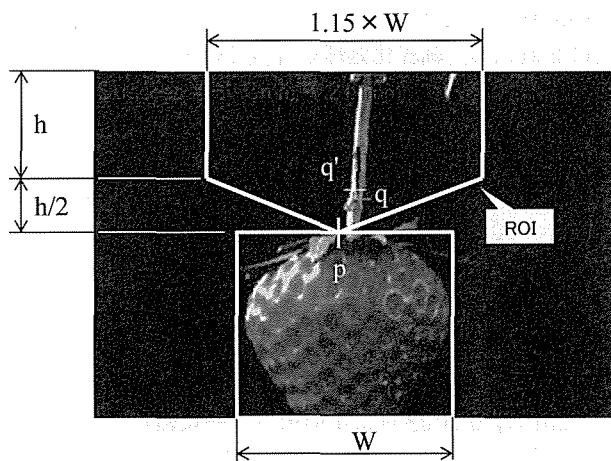


図7 果柄切断位置の決定方法

Fig.7 Algorithm for detecting cut point of peduncle

2. 収穫試験

(1) 果実検出性能

収穫試験の結果を表1に示す。果実の検出成功率 Rv (対象果実数に対する検出成功果数の割合) は、'紅ほっぺ'で68.7%、'あまおとめ'で75.0%となり、'紅ほっぺ'に比べ'あまおとめ'で良好な結果を示した。Hayashi et al. (2010a) は、'あまおとめ'が緑白色部と赤色部の境界が鮮明でマシビジョンによる熟度判定が比較的容易であることを報告しており、この着色特性が本試験結果の要因の一つと推察された。

果実の検出成功率を重なり別に解析すると、'紅ほっぺ'の重なりEを除き、55%以上の検出成功率を示した(図9)。また、サンプル数が少ないことから明瞭ではないが、果実の重なりが大きくなると、つまり重なりD、Eになると検出成功率が低下する傾向を示した。ただし、重なりEにおける'あまおとめ'の検出成功率は80.0%を示したものの、サンプル数が5果であることから更なる検討が必要と考えられた。

(2) 採果性能

果柄切断成功率 Rs (検出果実数に対する果柄切断成功果数の割合) は、'紅ほっぺ'で73.7%、'あまおとめ'で84.1%と、'あまおとめ'で高い結果が得られた。 Rv と Rs の積である採果成功率 Rp (対象果実数に対する採果成功果数の割合) は、'紅ほっぺ'で50.6%、'あまおとめ'で

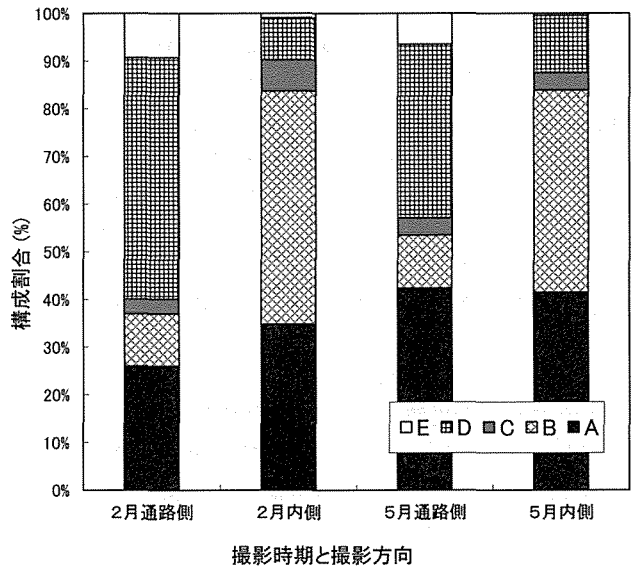


図8 視点の違いによる果実の重なり

Fig.8 Fruit overlap from different view points

表1 収穫試験結果

Table 1 Results of harvesting performance test

品種	総試験長 (m)	処理時間 (min)	収穫対象果数	ステレオビジョン検出果数	採果成功果数	検出成功率 (%)	切断成功率 (%)	採果成功率 (%)
紅ほっぺ	25.2	37.39	83	57	42	68.7	73.7	50.6
あまおとめ	23.3	37.73	92	69	58	75.0	84.1	63.0

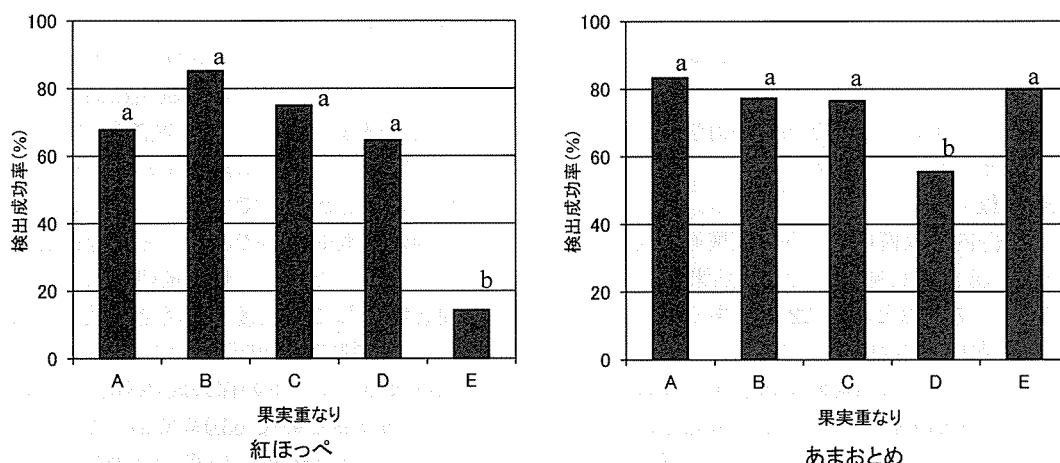


図 9 果実重なり別の果実検出成功率
注) バー右上の異なる文字間で 5% の有意差あり

Fig. 9 Success rate for fruit detection by fruit overlap;
Different letters at the right top of bars show significant difference at 5 % level.

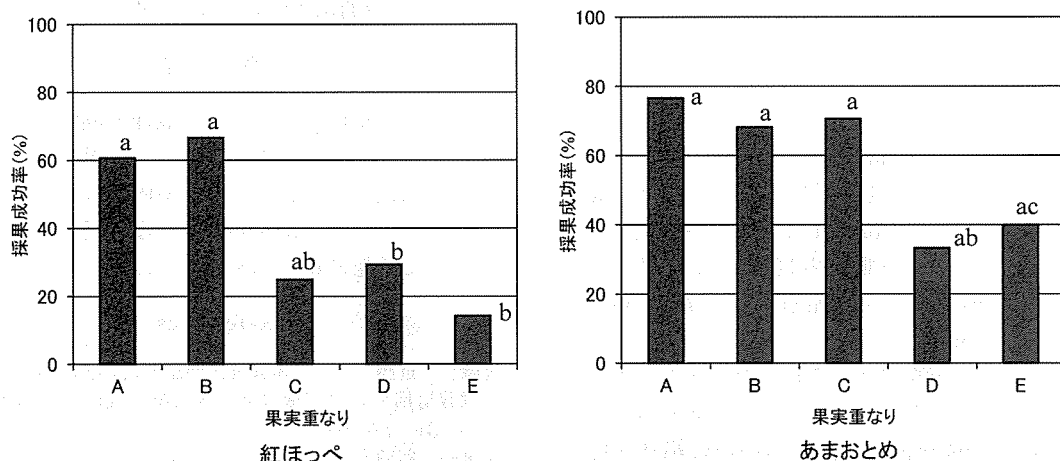


図 10 果実重なり別の採果成功率
注) バー右上の異なる文字間で 5% の有意差あり

Fig. 10 Success rate for fruit picking by fruit overlap;
Different letters at the right top of bars show significant difference at 5 % level.

63.0%であった。採果成功率を重なり別に解析した結果を図 10 に示す。'あまおとめ'は重なり D で最も低く 33.3%であったものの、重なり A, B, C ではそれぞれ 76.7%, 68.2%, 70.6%であった。一方、'紅ほっぺ'は重なり E で最も低く 14.3%で、重なり A, B, C ではそれぞれ 60.7%, 66.7%, 25.0%であった。'あまおとめ'に比べ'紅ほっぺ'で採果成功率 R_p が低くなったのは、果実検出率の差が原因の一つであるが、果柄切断成功率も低いことを考慮すると、着果節間（果柄の最終の節から果実までの部位）の違いが考えられる。つまり'紅ほっぺ'は、着果節間が'あまおとめ'に比べ短く、果実同士が隣接する傾向にあり、ハンドアイカメラで対象果柄以外の果柄を検出したり、切断フィンガを接近させる際に切断フィンガ

先端が隣接の果柄に衝突して対象果実の果柄が切断フィンガ内に挿入されなかったと考えられる。

採果成功率は、着果状態の他、栽培管理や品種の影響を大きく受ける。また、ロボットのシステム構成や接近方向も決定要因のひとつである。前項の視点の違いによる果実の重なり調査において、外側視点に比べ内側視点は果実視認性に優れることが導かれた。このことが採果成功率に寄与した可能性が示唆された。

(3) 果柄長

採果に成功した収穫適期果実の果柄長は、'紅ほっぺ'で 19.6 ± 5.6 mm, 'あまおとめ'で 22.6 ± 8.5 mm であった。開発した果柄切断位置の決定アルゴリズムは 20 mm 上方位置を計算することから、概ね良好な結果といえる。

一方、ばらつきが生じた原因として、ステレオカメラによる奥行き距離に誤差が生じること、果柄が傾いていた場合に切断長は長くなること、本アルゴリズムでは果柄と果実の結合部位を果実大きさなどから幾何学的に推定していることが考えられた。

(4) 未熟果の収穫

本試験において、内側収穫ロボットが収穫適期前の未熟果を誤収穫する場合が散見された。未熟果の収穫は‘紅ほっぺ’で34果、‘あまおとめ’で22果であった。この原因として、主に果実認識画像処理アルゴリズムにより着色度を誤判定したこと、果柄切断位置決定アルゴリズムにより対象以外の果柄を抽出したこと、未熟果が対象果実に隣接しているため同時に採果したことが考えられる。つまり、ソフトウェアや機械構造、作物条件などの要因が相互作用し、未熟果の収穫が発生しており、システム全体の性能を評価する本試験の中では、個別の要因の究明には至らなかった。生産現場では着色度が50%を超えれば出荷は可能という聞き取り事例もあるが、基本的にこのような未熟果の収穫は減収に繋がることから、熟度判定機能の改善は今後の課題である。

(5) 収穫処理時間

収穫処理時間は、表1の示すように‘紅ほっぺ’で37.39 min、‘あまおとめ’で37.73 minであった。したがって、単位長さあたりの収穫処理時間は‘紅ほっぺ’で1.48 min/m、‘あまおとめ’で1.62 min/mとなり、品種により差はなかったものの、通路側から接近するロボット (Hayashi et al., 2010a) に比べ作業能率としては低い結果であった。これは、採果に失敗した場合でもトレイへの整置動作を行ったことが原因と考えられた。また、果実1果の処理時間は14.5sであり、そのうち果実の搬送と整置の動作時間が8.9sを占めた。処理動作の高速化のためには、整置動作の際にリニアスライダの動作距離を短くすること、採果動作後に把持のチェックを行うことなどが求められ、具体的な方策として、前者に対しては最短整置位置決定アルゴリズムの導入、後者に対してはハンドアイカメラを利用した把持確認画像処理モジュールの導入が考えられる。

IV 摘要

イチゴの吊り下げ式高設栽培環境下における果実の自動収穫を目的として、果実の外側と内側視点の違いによる重なり状況を調査した。また、果実の内側からの接近を特徴とする内側収穫ロボットを用いて収穫性能試験を行い、以下の知見が得られた。

- 1) 外側と内側視点による果実の重なりを比較すると、内側視点の方が2月および5月の調査とも重なりDが少なく重なりBが多かった。また、収穫適期果が最前となるA、BおよびCの割合の合計は、2月において外側40.1%、内側90.3%で、5月において外側57.1%、内側87.6%となり、内側からみると

収穫適期果実のおよそ9割が最前に位置し、果実全体を認識できることがわかった。

- 2) 内側収穫ロボットの性能試験において、果実の検出成功率は、‘紅ほっぺ’で68.7%、‘あまおとめ’で75.0%であった。これは、‘あまおとめ’の緑色部と赤色部の境界が鮮明でマシンビジョンによる両者の識別が比較的容易であることに起因していると推察された。ただし、収穫適期前の未熟果を収穫適期と判断して誤収穫する場合が散見されたことから、熟度判定機能の改善は今後の課題である。
- 3) 内側収穫ロボットの採果成功率は、‘紅ほっぺ’で50.6%、‘あまおとめ’で63.0%であった。果実全体が認識できる重なりA、B、Cの状態における採果成功率は、‘紅ほっぺ’ではそれぞれ60.7%、66.7%、25.0%で、‘あまおとめ’ではそれぞれ76.7%、68.2%、70.6%であった。内側からの視点は外側視点に比べ対象果実の視認性に優れ、このことが採果成功率の向上に寄与したと推察された。また、果実1果の収穫処理時間は14.5sであった。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、前川製作所熊沢四郎氏には貴重なご助言、ご指導を頂いた。また、早稲田大学大学院生高嶺秀人氏、中尾真梨子氏、堀内大介氏、菅原英剛氏にはロボットの製作において多大なご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

References

- 有馬誠一, 近藤 直, 八木洋介, 門田充司, 吉田裕一, 2001. 高設栽培用イチゴ収穫ロボット (第1報). 植物工場学会誌, 13 (3), 159-166.
- 有馬誠一, 門田充司, 難波和彦, 吉田裕一, 近藤 直, 2003. 高設栽培用イチゴ収穫ロボット (第2報). 植物工場学会誌, 15 (3), 162-168.
- 有馬誠一, 湯木正一, 山下 淳, 加藤岳史, 2004. イチゴ栽培におけるマルチオペレーションロボット. ロボティクス・メカトロニクス講演会2004講演論文集, 名古屋市, 2P2-L2-14.
- 崔 永杰, 永田雅輝, 郭 峰, 日吉健二, 木下 統, 御手洗正文, 2007. マシンビジョンによる内成り栽培用イチゴ収穫ロボットの研究 (第2報). 農業機械学会誌, 69 (2), 60-68.
- 伏原 肇, 2004. イチゴの高設栽培. 農文協, 東京, 10-11.
- Hancock, J., 1999. Anatomy and morphology, Strawberries. CABI Publishing, NY, USA, pp 90-94.
- 林 茂彦, 2005. イチゴ収穫ロボット. 農林水産技術研究ジャーナル, 28 (11), 21-25.
- Hayashi, S., Shigematsu, K., Yamamoto, S., Kobayashi, K., Kohno, Y., Kamata, J., Kurita, M., 2010a. Evaluation of a strawberry-harvesting robot in a field test. Biosystems Engineering, 105, 160-171.
- 林 茂彦, 山本聡史, 齋藤貞文, 落合良治, 長崎裕司, 河野 靖, 2010b. イチゴの吊り下げ式栽培ベッドに対応した移動プラットフォームの開発. 第69回農業機械学会年次大会講演要旨, 松山, 460-461.
- 近藤 直, 久枝和昇, 羽藤堅治, 山下 淳, 門田充司, 2000. 内成り栽培用イチゴ収穫ロボットの研究 (第1報). 植物工場

- 学会誌, 12 (1), 23-29.
- 松崎朝浩, 2004. バッグ栽培システム (香川方式), 野菜園芸大百科 (第2版) イチゴ, 農文協, 東京, 560-564.
- 中尾真梨子, 高嶺秀人, 菅野重樹, 山下智輝, 熊沢四郎, 柏原直哉, 小林研, 齋藤貞文, 2009. 高設栽培いちご収穫ロボットのための架台内外両側アプローチ収穫法, 第10回システムインテグレーション部門講演会, 東京, 1873-1874.
- 農林水産省統計部, 2011. <http://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/data/08.html>. Accessed Oct. 21, 2011.
- 尾崎功一, 2006. イチゴ摘みロボットの研究開発と実用化, 今月の農業, 50 (10), 40-45.
- 産業技術総合研究所, 2011. <http://www.openrtm.org>. Accessed Oct. 21, 2011.
- 佐藤経明, 竹永 博, 芋生憲司, 1996. イチゴ収穫ロボットの開発, 第55回農業機械学会年次大会講演要旨, 243-244.
- 重松健太, 林 茂彦, 山本聡史, 小林 研, 河野 靖, 鎌田順三, 栗田充隆, 2009. イチゴ促成栽培における収穫ロボットの周年利用に関する研究. 農業機械学会誌, 71 (6), 106-114.
- 総務省統計局, 2011. <http://www.stat.go.jp/data/topics/topi481.htm>. Accessed Oct. 21, 2011.
- 高市益行, 2003. 栽培ベンチ, 施設園芸バンドブック (五訂). 日本施設園芸協会, 東京, 244-251.
- 山本聡史, 林 茂彦, 吉田啓孝, 小林 研, 2009. 下側接近を特徴とする定置型イチゴ収穫ロボットの開発 (第1報). 農業機械学会誌, 71 (6), 71-78.
- 山本聡史, 林 茂彦, 吉田啓孝, 小林 研, 2010. 下側接近を特徴とする定置型イチゴ収穫ロボットの開発 (第2報). 農業機械学会誌, 72 (2), 133-142.
- 山下智輝, 田中基雅, 山本聡史, 林 茂彦, 齋藤貞文, 菅野重樹, 2012. いちご収穫ロボット「M型3号機」用RTコンポーネントの開発. 計測自動制御学会論文集, 48 (1), 51-59.
(受付: 2011年10月25日・受理: 2012年5月9日・質問期限: 2012年9月30日)