

高設栽培に対応した イチゴ収穫ロボット

林 茂彦・山本聡史・齋藤貞文

イチゴは収穫期間が長く、冬から春先まで店頭に並ぶ。その分栽培には多くの手間がかかり、面積10aあたりおよそ2,000時間の労働時間を要している。イチゴ栽培の省力化を目指して、吊下げ式高設栽培ベッドの通路側から接近する収穫ロボットを開発した。収穫ロボットは、円筒座標型マニピュレータ、エンドエフェクタ、マシンビジョンおよびトレイ収容ユニットから構成される。画像処理により果実位置とその着色度を推定し、収穫適期の果実のみを選択的に収穫する。果皮を傷めないよう果柄のみを把持し切断して、トレイに収容する。移動走行プラットフォームに搭載でき、自動で畝移りすることが可能である。

キーワード：農業ロボット、イチゴ、高設栽培、収穫、画像処理、マニピュレータ

1. はじめに

我が国のイチゴ栽培は促成栽培という作型が一般的で、これは9月にビニールハウスの中にイチゴ苗を定植し、冬期には暖房を施して栽培する方法である。収穫期は12月から翌年の5月ぐらいまで続く。この間農家は毎日のように収穫、パック詰め、出荷作業に追われる。平成21年度産の統計データに依れば、イチゴの作付面積は6,360ha、生産量は184,700t、産出額は1,570億円である。トマトの1,987億円、温州ミカンの1,292億円に匹敵する市場を有している。高値出荷の望める作物であるが、10aあたりの作業時間はおおよそ2,000時間といわれ、他の果菜類（トマトやキュウリ、ナスなど果実がなる野菜）に比べても手間のかかる作物である。元来、果菜類は栄養生長と生殖生長が同時に推移するため一斉収穫ができず、一定の大きさや熟度になったもののみを収穫する。そのため栽培期間つまり収穫期間が長くなる傾向があり、加えてイチゴの場合その柔らかさから慎重な取り扱いとパック詰めが求められている。農業生産現場で利用できることを第一の目標に掲げ、マシンビジョン、マニピュレータ、エンドエフェクタなどから構成されるイチゴ収穫ロボットの開発に取り組んできた。本技術開発はシブヤ精機株式会社と共同で行ったものである。ここでは、収穫ロボットの基本機構と性能について紹介する。

2. イチゴ収穫ロボットの開発構想

(1) 要素技術

イチゴなどの果菜類をロボットで収穫するための要素技術は、①センシング技術、②マニピュレーション・ソフトハンドリング技術、③走行技術である。果菜類は果実が順次実っていくため、選択的に収穫することが基本となる。そのためには収穫するかしないかを判断するセンシング技術が最も重要である。キュウリやナスなどは長さが判定基準になるが、イチゴの場合には色み具合を判定する必要がある。これまでの研究でも画像処理技術が広く用いられてきた。ソフトハンドリングに関しては、対象作物にあった採果ハンドの設計・開発が求められる。イチゴは果皮が柔らかいため、取り扱いが難しい作物である。そして、ハウス内を移動して収穫を行うための走行技術も必須となる。ハウスで稼働するイチゴ収穫ロボットの構想図を図-1に示す。

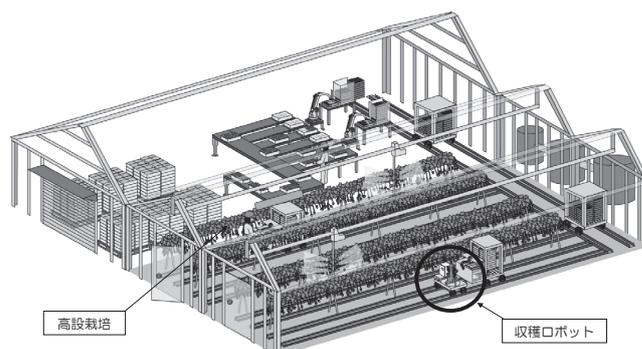


図-1 イチゴ収穫ロボットの開発構想

(2) 想定する作業体系

これまで研究開発された果菜類の収穫ロボットの技術的課題として、収穫適期の果実を100%収穫することは困難、収穫速度が遅い、果実を傷める、不整地での安定走行が困難、導入コストが高い、などが指摘されてきた。これらの課題に対処するとともに、イチゴの生産現場で稼働するロボットを開発するため、以下のような開発コンセプトを設定した。果実を100%収穫することは難しいため、ロボットは収穫容易な果実のみを確実に収穫する。収穫速度が遅いため、ロボットは夜間ゆっくり稼働する。果実が傷まないように果柄を切断する採果方式を採用する。高設栽培通路内を自律走行する技術の組み込みは難しいため、レール等の軌道を利用する。つまり、収穫ロボットは作業者が寝ている夜間に収穫容易な果実のみをゆっくり確実に収穫し、朝になってロボットが収穫できなかった果実を、作業者が収穫するという協働作業体系を想定した。

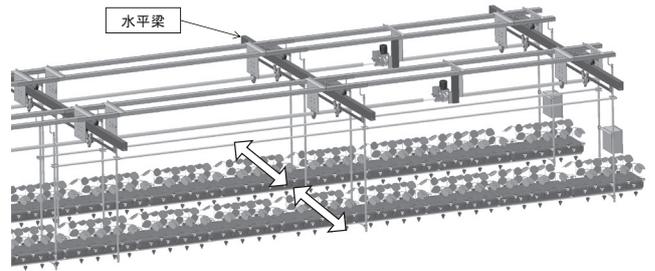


図-3 吊り下げ式高設栽培ベッド

3. ロボット実証ハウスと吊り下げ式高設栽培ベッド

収穫ロボットの開発改良および実証試験は、6 × 48 m の鉄骨ハウスで行った (図-2)。間口近くに収穫ロボットが横移動するための枕地スペースを広く取っている。このハウスには3 m 毎に水平梁があり、この梁から高設栽培ベッドが吊り下がっている (図-3)。栽培方式は「らくちんシステム」に準じている。栽培ベッドの数は6列で、3列は水平梁に固定されて



図-4 栽培ベッドの左右可動

いるが、残りの3列は水平梁に沿って左右に移動する構造である。収穫ロボットが進入する際には自動で栽培ベッドが動き、ロボットの通過に十分な通路幅 (90 ~ 95 cm 程度) を確保する (図-4)。作業者の操

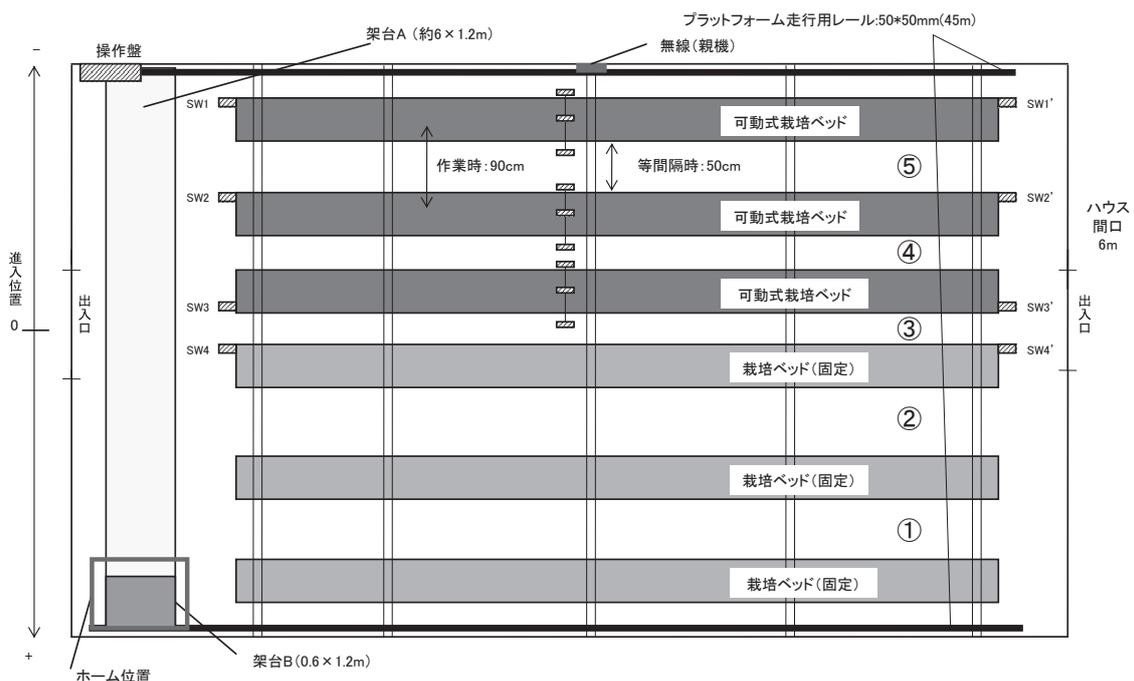


図-2 ロボット実証ハウス

作スイッチも栽培ベッド両端に設置されており、作業者が定植や防除、収穫、栽培管理を行うときは、マニュアル操作で栽培ベッドを左右に移動させることもできる。

収穫ロボットが通路に進入するときは、後述する移動プラットフォームからの信号により、駆動モータが正転または逆転する。駆動モータに連結されている回転軸が回転し、ラック・ピニオン機構により回転軸および軸受けが左右に移動する。この移動により軸受けに固定された梁走行機構、および下垂する高設栽培ベッドも一体として同時に左右に移動する。イチゴの生育に伴い着果位置が変化しても、通路幅を調整することで収穫ロボットと果実の距離をほぼ一定に保てるという特徴がある。また、左右可動により栽植本数の増加が可能で、単位面積あたりの増収も期待できる。

4. 収穫ロボットの開発

(1) 基本機構

イチゴを摘み取る場合、作業者は通路を移動しながら色づいた果実を見つけ、果実を包み込むようにして摘み取る。葉の陰に隠れている場合でも、葉を少しよけて果実を探す。この動作をそのままロボットで実現することは非常に困難である。そこで、収穫ロボットは果実を水平方向から見て、着色度の判別を行い直線的に果実に接近する動作を実行する。果実に接近する際には、視覚認識を行わず目標果実の位置に高速で移動し採果する設計である。

収穫ロボットは、円筒座標型マニピュレータ、エンドエフェクタ、マシンビジョンおよびトレイ収容ユニットから構成される。マニピュレータは3自由で、回転、上下および前後に動作する（図—5）。エンドエフェクタはマニピュレータの先端に取り付けられ、果柄を把持切断するフィンガ、および果実把持を検知



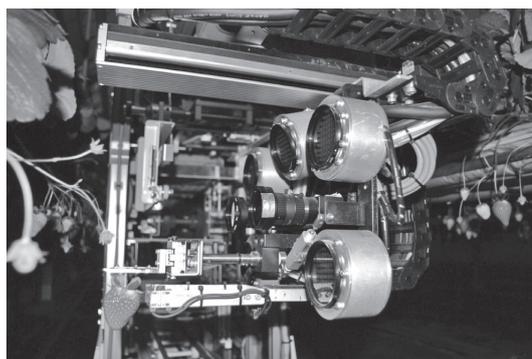
図—5 イチゴ収穫ロボット

する光電センサからなる。光電センサは採果した後に前後にスライドして果実の把持をチェックする。マシンビジョンはLED 5灯とCCDカメラ3台（ステレオカメラ2台、中央カメラ1台）から構成される。両側のカメラ2台によりステレオビジョン処理が行われ果実の3次元位置の測定と着色度の判定を行う。中央カメラにより果柄を検出して、その傾きを推定する。

収穫ロボットは、走行部の前進動作で通路右側の果実を順次収穫し、通路終端で機体を180°旋回させ、後進動作で通路左側の果実を収穫する。ロボットは走行部が停止した状態で採果動作を行う。その動作の流れを以下に説明する。まず2台のステレオカメラにより果実の3次元位置を計測するとともに、それぞれの果実の着色度を推定する。対象となる果実が収穫適期（着色度80%以上）であれば、エンドエフェクタを対象果実に正対させ、中央カメラの画像から果柄の検出を行う（図—6）。対象果実の上部に関心領域を設定したのち、その領域内の果柄を検出し傾斜角度を計算する。そして、エンドエフェクタは、その傾斜角度に応じて3段階の角度に回転したのち、フィンガ先端の隙間に果柄が入るように接近する（図—7）。フィンガで果柄を切断し、果実を把持していることを確認し



図—6 ロボットの操作画面（果柄の検出）



図—7 採果動作

てトレイに収容する。現在の停止位置において、すべての認識果実に対してこの一連の採果動作を繰り返す。これらの処理が終わると、収穫ロボットは200 mm 前進し、次の果実の採果動作に移る。

(2) 移動プラットフォームの開発と収穫動作

収穫ロボットの走行部となるのが、移動プラットフォームである。長さ5.7 m × 幅1.2 mの大きさで、独立して可動する架台Aと架台Bから構成される。架台B (0.6 m × 1.2 m) には開発した収穫ロボットを搭載することができる(図-8)。架台Aの両端の駆動輪によりレール上を走行して通路方向に動き、架台Bはそれと直角方向、つまり畝移り方向に動く。両者の動きを組み合わせることで収穫ロボットをハウス全体に移動させることができる。

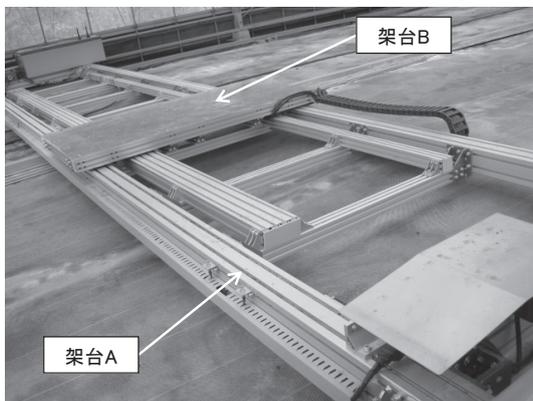


図-8 移動プラットフォーム

収穫ロボットを載せた架台Bは、図-2に示すホーム位置を起点に動作を開始し、枕地走行を行い指定された通路を通路終端まで往復した後、ホーム位置に戻る。その後、次に指定された通路に進出し、往復した後にホーム位置に戻るといった動作を繰り返す。収穫果実の詰まったトレイと空のトレイの交換は、横移動の位置で行う。また、収穫ロボットとの通信はデジタル信号により行う。

5. 収穫性能

ロボット実証ハウスにおいて、品種‘紅ほっぺ’と‘あまおとめ’を用いて収穫ロボットの性能試験を実施した。その結果、着色度の判定には品種による着色過程の違いが大きく影響することがわかった。具体的には赤色部と緑白色部の境界が鮮明な品種‘あまおとめ’で良好な判定結果となった。また、収穫成功率は、

収穫時期および果序が進むにつれて上昇する傾向が見られ、果房の入れ替わる前に高くなり、入れ替わる時期に低下する傾向を示した。採果処理時間は8.8 s/果で、収穫成功率は60～66%であった。ただし、着色度の判定ミスにより収穫適期前の果実を採果する場合もあった。

収穫ロボットの実証試験と改良を繰り返し、最終機において一定の収穫性能を検証できたことから、実用化の見通しが得られた。

6. おわりに

イチゴ収穫ロボットの連続の開発により、果実の自動収穫、ハウス全体の移動、さらには生産現場の実稼働が実証された。今後ソフトウェアの調整により精度の向上は期待できるものの、収穫成功率100%を達成することは難しい。また低コスト化という課題にも挑戦していかなければならない。

イチゴは周年需要のある作物で、促成栽培できない夏期はアメリカからの輸入に頼っている。輸入量は3,300 tである。夏の長日期でも花が咲き実がなる「四季なり品種」を用いて、国内でイチゴを生産しようとする研究が進んでいる。一方植物工場でイチゴを周年で生産する試みも見られる。このような技術とイチゴ収穫ロボットの組み合わせが実現すれば、ロボットの稼働時間も拡大し、利用効率の飛躍的な向上が期待できる。

JICMA

【筆者紹介】



林 茂彦 (はやし しげひこ)
(独)農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
特別研究チーム (ロボット)
主任研究員



山本 聡史 (やまもと まさし)
(独)農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
特別研究チーム (ロボット)
主任研究員



齋藤 貞文 (さいとう さだふみ)
(独)農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
特別研究チーム (ロボット)
特物研究員