農産物ハイテク生産システムにおけるいちご収穫ロボットの開発

Development of harvesting robot for strawberry in intelligent plant factory

○学 山田 大輔 (愛媛大) 正 有馬 誠一 (愛媛大)
准 山下 淳 (愛媛大) 准 松岡 実 (井関農機株)
准 土居 義典 (井関農機株)

Daisuke YAMADA, Ehime University
Seiichi ARIMA, Ehime University, sarima@agr.ehime-u.ac.jp
Jun YAMASHITA, Ehime University
Minoru MATSUOKA, ISEKI&CO., LTD.
Yoshinori DOI, ISEKI&CO., LTD.

To save the labor, a robot was developed for harvesting strawberry grown on table top culture at low cost which can work fleetly and accurately. First of all, the exposure level of fruits was investigated. From the result, the exposure level of fruits was higher than that of the passage side when seeing from the planting bed side. Then, a new harvesting robot was examined about the mechanism approached from the planting bed side. In addition, this harvesting robot consisted of three compact color sensors and an ultrasonic range sensor without CCD camera. From the recognition experiment of the harvest target fruits, the fruits of the harvest proper time were able to be judged according to the number of color sensors which detected red tinge. The result of this experiment indicated the possibility of the harvesting robot without visual sensor.

Key Words: Harvesting Robot, Compact Color Sensor, Red Tinge Level, Cultivation on Table Top Culture, Ultrasonic Range Sensor

1. はじめに

近年、いちご栽培には、従来からの露地栽培に代わり植物工場を利用した高設栽培が導入され、その普及が進んでいる。それにより作業姿勢は改善され、労働負荷は減少した。しかし、総労働時間の改善には至っておらず、特に収穫作業は総労働時間の約1/4を占めており、収穫期間も6ヶ月と長い。機械化による省力化、軽労化が強く望まれている。いちごの収穫作業を自動化するためには、熟度が異なり点在した果実の中から収穫適期のものだけを見つける高度なセンシング技術と、果実を傷つけずに収穫するハンドリング技術の導入が必要である。さらに、実用化のためには、高度な技術だけでなく栽培環境を十分に考慮し、低コストでしかも確実に作業できるシステムを構築することが重要である。そこで本研究では、簡易かつ安価なシステムで、センシングスピードが早く、高温多湿の環境にも強い小型カラーセンサ及び超音波距離センサを用いた高設栽培用いちご収穫ロボットの開発を行い、視覚センサを用いない収穫ロボットの可能性を検討した。

2. 実験装置及び方法

まず、栽培ベッド側からと通路側からの果実の露出度について調査した。その結果、栽培ベッド側から果実を見た場合、通路側よりも果実の露出程度が92%と大きくなることが分かった。そこで、果実の露出度の大きい栽培ベッド側から収穫アプローチする機構について検討した。しかし、栽培ベッドと果実との間には80mm程度の隙間しかなく、CCDカメラによる果実のセンシングは困難であることから、小型カラーセンサを用いた果実のセンシング方法について検討することとした。使用した小型カラーセンサ(Keyence社製)は、R・G・Bの比によって基準色をティー

チングする構成であり、ティーチングした色の一致度が0~999で表示される。実験装置は、上下方向に3つのセンサを並べて配置し、果実の上部、中部、下部の赤味を測定した。測定は果実の大きさに関わらず上端を基準とした。さらに、一方向からの果実面積に対する赤色部の割合を赤味レベルとして画像解析により測定し、赤味の割合別に7段階に分類することにした。本研究では、収穫基準として、赤味レベルが75%以上85%未満のものを収穫可能果実、85%を超えるものを収穫適期果実とした。

3. 結果及び考察

図1にカラーセンサの実測値の合計と赤味レベルとの相関を示す。カラーセンサの実測値と赤味レベルとの間にはある程度相関があるものの、ばらつきが大きすぎるために収穫適期及び可能であるかどうかを判断するのは困難である。赤色を検出したセンサの数を判断基準とすることが適当であると考えた。

Fig. 1 Correlation between actual measurement of compact color sensor and red tinge level

赤色の検出基準として 700 をしきい値とし、赤色を検出したセンサの数と赤味レベルとの関係について調査した。その結果、赤色検出のセンサ数 3 個では 100% が収穫適期及び可能果実で、2 個では 48% であった (図 2 a, b)。1 個と 0 個の場合ではほぼ収穫不可能果実であった。そこで、赤色を検出したセンサの数が 2 個の場合から、高い精度で収穫適期及び可能果実だけを検出する方法を検討した。赤色検出センサ数 2 個の場合に「上部のセンサのしきい値が 300 以上」という条件を加えたところ、収穫適期及び可能果実の割合は 91% に向上した (図 2 c)。しかし、収穫適期及び可能果実でありながら、上部が薄いピンク色を示す果実は、赤色検出センサ数 3 個及び条件付き 2 個の場合では検出できない場合もあった。そのため、この条件で検出できた果実は、全収穫適期及び可能果実 131 個中 80 個で、検出率は 61% にとどまった。センサの個数と間隔及びしきい値などを再検討する必要もあるが、熟度の進行に伴い、収穫不可能果実から収穫可能果実へ、収穫可能果実から収穫適期果実へとステップアップしていくことや、近年、完熟いちごの需要が大きくなっていることを考慮すると、収穫適期果実を対象としたシステムの構築を目標とすることが適当であると考えられる。そこで、収穫適期果実のみを対象とした場合を検討したところ、全収穫適期果実 80 個中 72 個を検出し、90% という高い検出率が得られた。以上のことから、カメラを用いない小型カラーセンサによる収穫ロボットの可能性が示唆できた。

Fig. 2 Distribution of red tinge level

4. 収穫ロボットの試作

実証実験のために、小型カラーセンサを用いた高設栽培用いちご収穫ロボットの基本設計を行った (図 3)。果柄の把持・切断を行う収穫ハンドの直下に上下方向に並べた 3 つのカラーセンサを、さらにその下方に超音波距離センサを配置させ、直動関節により X、Y、Z 方向に直動させる構成とした。収穫手順は以下の通りである。①収穫ハンド及びカラーセンサを果実と栽培ベッドの隙間に移動させる。②カラーセンサ (下) が果実の下端から上方約 1 cm に位置するように制御しながら水平移動 (栽培ベッド長手方向) させる。③収穫適期果実を検出すればセンサの直上に配置された収穫ハンドを果実上方へ移動させ、果柄の把持・切断を行う。図 4 の本収穫ロボットは現在組立て中であり、近日収穫実験を行う予定である。

Fig. 3 Conception picture of harvesting robot for strawberry grown on table top culture

Fig. 4 Harvesting robot for strawberry grown on table top culture