

内成り栽培用イチゴ収穫ロボット(第2報) —2号機の試作と収穫基礎実験—

近藤 直・門田充司¹・久枝和昇²

石井工業(株)技術開発部 791-8034 松山市富久町 422

¹岡山大学農学部 700-8530 岡山市津島中 1-1-1

²(有)世羅菜園 722-1625 広島県世羅郡世羅町重永 608-25

Harvesting Robot for Strawberry Grown on Annual Hill Top (Part 2) Manufacture of the Second Prototype Robot and Fundamental Harvesting Experiment

Naoshi KONDO, Mitsuji MONTA¹ and Kazunori HISAEDA²

Department of Technology Development, Ishii Industry Co., Ltd., 422, Tomihisa, Matsuyama 791-8034, Japan

¹Faculty of Agriculture, Okayama University, 1-1-1, Tsushima-Naka, Okayama 700-8530, Japan

²Sera-Farm Co., Ltd., 608-25, Shigenaga, Sera, Hiroshima 722-1625, Japan

Abstract

The second prototype robot for harvesting strawberries grown on annual hill top was made for trial based on experimental results of the first prototype robot. Its manipulator was a cartesian coordinate type with three degrees of freedom and a sucking type end-effector was attached to the manipulator. Harvesting action of the robot was as follows: The end-effector moved downward until the sucking head reached ground. It was possible to stop end-effector movement without measuring the depth to ground by an external sensor because a limit switch was attached to sucking head of the end-effector. The end-effector could suck a target fruit into the sucking head. When two pairs of photo-interrupters detected the fruit in the sucking head, the manipulator moved upward and internal cylinder rotated to cut peduncle. Even if the peduncle was not cut by the rotation, an open-close section was closed and detached the fruit from the peduncle. As the visual sensor, a color CCD camera was used. Three dimensional positions of target fruits were calculated from a two dimensional image acquired by the camera and from the depth when the end-effector reached ground. The depth was stored and accumulated in computer memory and the averaged value was used as z coordinate of the next target fruit.

From the experimental results, it was observed that every mature fruit could be harvested in about 7 seconds. Although the success rate was 100%, some adjacent immature fruits were sucked with the target fruits. It was considered that control of volume flow rate of the vacuum device and immature fruit position detection were necessary from engineering view point and that control of peduncle length was desired from horticultural view point in order to reduce the sucked immature fruits.

Keywords : strawberry, harvesting, robot, manipulator, end-effector

緒 言

前報¹⁾では内成り栽培されるイチゴの収穫作業を自動化するため、3自由度直角座標形マニピュレータ、吸引式エンドエフェクタ、カラーTVカメラ、ガントリタイプの移動機構から成るロボット1号機を試作し、基本性能試験ならびに収穫基礎実験を行った。その結果より、特にエンドエフェクタに関して、マルチを吸引することなく果実を収穫可能で、距離検出誤差の補正に有効であること、果実との接触を最小限に押さえられること等の知見を得た。しかし問題点として、開閉部に取り付けたマルチ押さえが目的果実の近隣の果実に損傷を与えることがあること、果柄が内層筒の中心に位置しているときに果柄を切断できないことがあること、目的果実が他の果実と接触しているときに果皮の摩擦によって吸引できないことがあること、超音波センサの距離

計測では、莖葉が果実の近くにあるときに大きな誤差を生むことがあげられた。

本研究では、その実験結果に基づき、エンドエフェクタのみならず、ロボットの構成要素をそれぞれ見直し、改良を加えた2号機を試作した。同時に、2号機を用いた収穫基礎実験を行ったので、ここに報告する。

実験装置

試作2号機も1号機と同様に、マニピュレータ、エンドエフェクタ、視覚センサ、および移動機構から構成される。以下にその構成要素について順に述べる。

1. マニピュレータ

収穫速度を向上させるため、前報で用いたマニピュレータに代えて、2自由度直角座標形マニピュレータ(三菱電機(株):MOVEMASTER RS-M2)に鉛直方向(Z方向)の直動関節を加えた3自由度直角座標形マニピュレータを使用した。その基本機構は前報と同じであるため、ここでは省略する。2自由度マニピュレータはストローク400mm(X方向)、300mm(Y方向)、X、Y軸の最大合成速度700mm/s、繰り返し精度 ± 0.05 mm、最大可搬重量49Nの性能を持つ。鉛直方向(Z軸)の直動関節はDCモータ(日本サーボ(株):DEM44BM6HPB)の回転運動を、減速機で1/36に減速した後、ピニオン(ピッチ円直径28mm)とラックで直動運動に変化することによって、ストローク200mm、移動速度146.8mm/sを得た。そのDCモータに装着されたエンコーダによって回転変位を検出し、Z軸方向の位置決め精度を0.3mm

とした。

2自由度マニピュレータは、シリアルインターフェース、ドライバを通じて制御したが、Z軸用DCモータおよびその他の周辺装置は後に述べるように、パラレルインターフェースを介して制御した。なお、マニピュレータはY軸が畝の方向と一致するように配置した。

2. エンドエフェクタ

1号機の実験結果より、問題点として①開閉部に取り付けたマルチ押さえが目的果実の近隣の果実に損傷を与えることがあること、②果柄が内層筒の中心に位置しているときに果柄を切断できないことがあること、③目的果実が他の果実と接触しているときに果皮の摩擦によって吸引できないことがあること、④超音波センサの距離

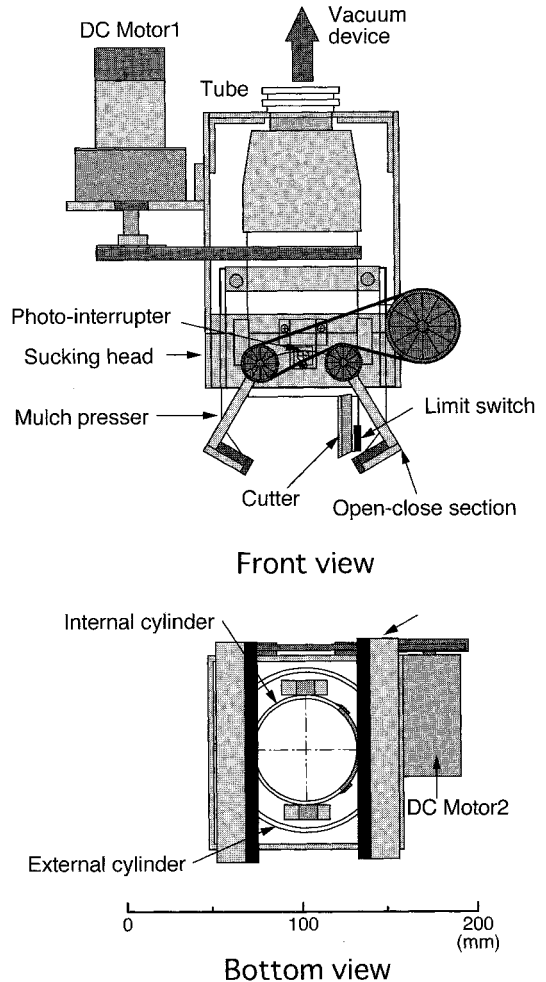


図1 収穫用エンドエフェクタ

Fig.1 Harvesting end-effector.

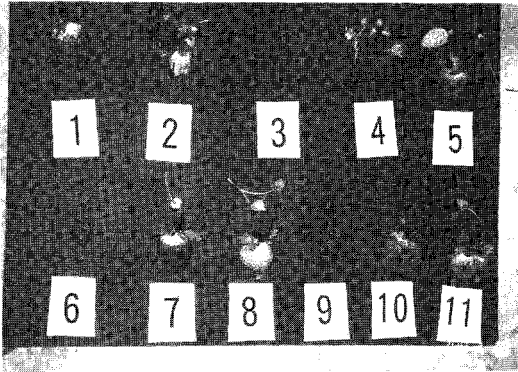


図8 収穫された果実

Fig. 8 Harvested strawberry fruits.

表1 収穫果実のデータ
Table 1 Data of harvested strawberry fruits

Data of harvested fruits	Min	Max	Ave
Fruit length (mm)	20.0	50.0	36.2
Fruit width (mm)	20.0	55.0	30.7
Fruit mass (g)	4.0	40.5	17.9
Left peduncle length (mm)	5.0	45.0	20.4
Peduncle diameter (mm)	0.8	3.5	1.8

は平均20mm程度の果柄が残った。収穫後、トレイ内で他の果実を傷つけないために、この果柄の長さはなるべく短い方が望ましい。なお、果柄の径は約1.8mmであった。収穫された12個の果実はいずれも内層筒の回転で切断され、開閉部でもぎ取られたものはなかった。

本実験結果より、1号機の問題点はいずれも解決されたものの、2号機の新たな問題として、内層筒先端につけた扇形突起の接地位置によっては近隣の未熟な果実、果柄を押さえる危険性があることがあげられた。これについても、視覚センサで未熟な果実および果柄を検出し、適切な接地位置を判断する必要があると考えられた。また、エンドエフェクタが目的果実を吸引し、開閉部を閉じるときに畝上の果実に接触することが見られた。これも扇形突起をつけたために生じた問題点で、これを解決するためには、突起の長さを短くすること、あるいは果実をもぎ取るための別な機構を設けることが必要と考えられた。

リミットスイッチによる距離計測は、1号機の超音波センサによる計測より正確で、良好な結果を得た。また、視覚センサの成熟果の識別および位置検出アルゴリズムも有効で、短時間に正確な果実の位置検出が可能であった。計算された果実のZ座標の平均値は749mmで、実際の座標との隔たりは最大で15mmあったが、問題な

く収穫可能であった。

今後は、上述した問題点を解決するため、エンドエフェクタの機構の改良、吸引装置の吸引力制御、視覚センサの未熟果および果柄の検出アルゴリズムの開発、さらには移動機構の制御が工学的課題としてあげられる。同時に園芸学的課題として、機械収穫に適合するよう、ジベレリン処理等による果柄の長さの制御も望まれる。

摘 要

内成り栽培されたイチゴをロボット収穫することを目的とし、1号機の問題点を解決するため、2号機を試作し、収穫実験を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 1号機に見られた4つの問題点は解決され、対象とした成熟果12個はすべて損傷なく収穫可能であった。
- 2) 本実験で用いた視覚センサのアルゴリズムは、成熟果を識別し、位置検出するために有効で、目的果実の近隣にある果実を誤って収穫した場合にも対処可能であること、実際に計測したZ座標の平均値を用いることで、正確に果実の三次元位置が計測可能であること、収穫時に位置が移動した果実にも対処可能であること等の利点があった。
- 3) 本エンドエフェクタの問題点として、未熟果を成熟果と同時に吸い込むことがあること、エンドエフェクタの接地位置を判断する必要があること、開閉部が他の果実に接触することがあることがあげられた。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、岡山大学助教授の吉田裕一先生に材料の提供ならびに評価をして頂いた。ここに記して、厚くお礼を申し上げる次第である。

引用文献

- 1) 近藤 直, 久枝和昇, 羽藤堅治, 山下 淳, 門田 充司: 内成り栽培用イチゴ収穫ロボットの研究(第1報)—1号機の試作と収穫基礎実験—, 植物工場学会誌, 12(1): 23-29(2000)
- 2) Kondo, N., Nishitsuji, Y., Ling, P. P. and Ting, K. C.: Visual feedback guided robotic cherry tomato harvesting, Transactions of the ASAE, 39(6): 2331-2338(1996)