

トマト低段密植栽培に対応した着果処理ロボットの開発(1)

画像処理による開花部位の認識と噴霧機構の開発

誌名	農業機械學會誌
ISSN	02852543
著者名	黒崎,秀仁 大森,弘美 高市,益行 岩崎,泰永
発行元	農業機械學會
巻/号	74巻6号
巻号補足	
掲載ページ	p. 490-497
発行年月	2012年11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



トマト低段密植栽培に対応した着果処理ロボットの開発 (第1報)*

——画像処理による開花部位の認識と噴霧機構の開発——

黒崎秀仁^{*1†}・大森弘美^{*1}・高市益行^{*2}・岩崎泰永^{*2}

要 旨

トマト花房にホルモン剤をスポット散布する着果処理ロボットを開発することを目的に、着果処理実験機を試作し、基礎実験を行った。実験機は3軸のマニピュレータとカメラ、LED照明、噴霧装置、制御用コンピュータで構成し、夜間に動作する設計とした。開花数の判定実験では、花房がカメラ側に露出している条件で検出した花卉の面積に閾値を設け、処理適期の3花開花期の判定成功率は93%であった。着果処理実験では、花房がカメラ側に露出している条件では手作業と同等の着果率であったが、主茎の背後の花房では着果率は低下した。

[キーワード] 開花認識, 画像処理, ロボット, 着果処理, トマト, 低段密植栽培

Development of a Robot for Spraying a Fruit-set Reagent in a Tomato Cultivation System with Low Node-order Pinching and High Density Planting (Part 1)*

——Recognition of Flowers by Image Processing and the Development of a Reagent-spraying Unit——

Hidetoshi KUROSAKI^{*1†}, Hiromi OHMORI^{*1}, Masuyuki TAKAICHI^{*2}, Yasunaga IWASAKI^{*2}

Abstract

The objective of this research is to develop a fruit-set-reagent spraying robot. The experimental robot comprises a manipulator with three degrees of freedom, a machine vision system, an LED light, a spray unit, and a control unit. The robot can operate at night. The number of flowers was estimated with the petal size. Plants with three or more flowers are at the optimal stage for fruit set, and were detected successfully 93% of the time when flower clusters were directed toward the camera. The fruit-set rate did not differ between manual spraying and robot spraying under these conditions. When flower clusters were hidden by the main stem, the fruit set rate was lower for the robot sprayer.

[Keywords] flower recognition, image processing, robotics, fruit set, tomato, low-node-order pinching and high density planting

I 緒 言

果菜類の栽培における労働時間の削減は重要な課題である。施設で生産される大玉トマト栽培における年間所要労働時間は10a当たり平均950時間程度で、その約30%を収穫作業が占めており(農林水産省統計情報部, 2009), 収穫作業の自動化が研究されてきた。ロボット

によるトマト収穫については、林と坂上ら(1997)、藤浦ら(2010)、太田ら(2010)など多数の事例が報告されている。これらの研究では、未熟果の混ざった果房から、赤熟果を選び出して収穫する手間が作業効率を低下させていた。果房をまるごと収穫する房どりを行うことができれば、複数の果実を一度に収穫できるため、収穫効率を高められる(大森ら, 2010)。房どりを行うには果房内

* 2010年9月第69回農業機械学会年次大会(松山)にて講演

* 2011年9月第70回農業機械学会年次大会(弘前)にて講演

*1 会員, 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 野菜茶業研究所(〒470-2351 愛知県知多郡武豊町南中根40-1 TEL 0569-72-1564) JSAM Member, Institute of Vegetable and Tea Science National Agriculture and Food Research Organization, Taketoyo, Chita, Aichi 470-2351, Japan

*2 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 野菜茶業研究所(〒470-2351 愛知県知多郡武豊町南中根40-1 TEL 0569-72-1564) Institute of Vegetable and Tea Science National Agriculture and Food Research Organization, Taketoyo, Chita, Aichi 470-2351, Japan

† Corresponding author: kurosaki@affrc.go.jp

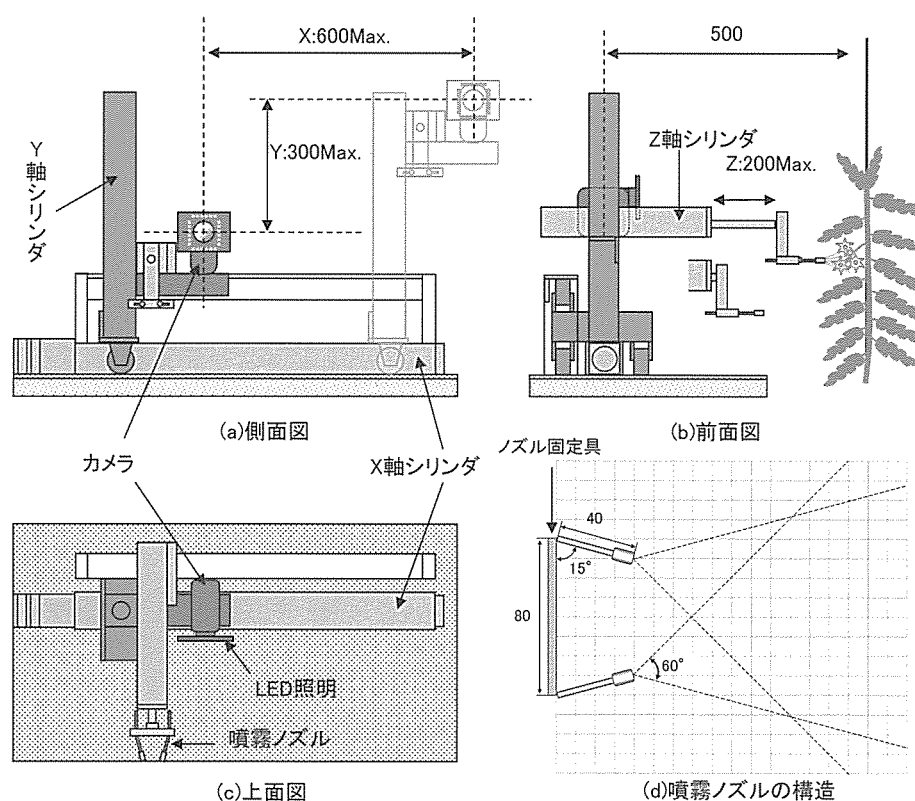


図1 実験機および噴霧ノズルの構造

Fig. 1 Structure of the experimental robot and the spray nozzle

にある果実の着色程度を描える必要があり、そのためには着果の段階で斉一性を確保することが重要と考えられる。トマトにおいては、マルハナバチが着果に広く利用されているが、マルハナバチはランダムに訪花し、訪花された花から順に着果が行われるため制御が難しい。一方、4-CPAを主成分とするホルモン剤が高い着果効果を持つことが知られている(福島ら, 1953)。ホルモン剤は、複数の花が開花中の花房にスポット噴霧すれば斉一な着果が行えるため、房どりに適している。しかし、ホルモン剤は生長点に付着すると生理障害を引き起こすことがあり、また、同一花房に対する複数回の散布も禁止されているため、これまでホルモン剤の散布は手作業によって行われてきた。今後、普及が予想される大規模な栽培施設では、株数が数万本に達し、手作業でホルモン剤による着果処理を行えば多くの労働時間が費やされと考えられる(岡田ら, 2011)。着果処理を自動化することができれば労働時間の削減を図れるとともに房どりによる省力化が行える。

着果ホルモン剤を花のみにスポット散布するには開花部位の認識技術が必要である。花卉は他の部位と明確に色相が異なるため、その発見に画像処理技術を応用できる(Kohan et al., 2011)。また、近年、夜間に人工光源を使用することで高精度な画像処理が行えるロボットが開発されている(Peter et al., 2009)。また、近年普及しつつあるトマトの低段密植栽培(大石, 2006; 渡辺, 2007)

は草姿が単純なため、作業の機械化が有望視されている。そこで、本研究では低段密植栽培に対応した着果処理ロボットの開発を目的とした。本報では、着果処理実験機を試作し、花房の開花認識および着果処理の基礎実験を行った。

II 着果処理実験機の概要

1. 装置の構成

(1) 可動部およびカメラ

着果処理ロボットの試作機は3自由度の直交座標型マニピュレータ、カメラ、LED照明、噴霧ノズル、電動ポンプ、制御用コンピュータ(以下、制御用PCとする)で構成した(図1)。水平シリンダ(SCLL6-020-600, Dyadic Systems製)の移動方向をX軸、垂直シリンダ(SCLG5-010-300, Dyadic Systems製)の移動方向をY軸、ノズル伸縮シリンダの移動方向をZ軸(SCN5-010-200, Dyadic Systems製)とした。Z軸はカメラを原点とした。各軸の可動範囲はX軸方向が600mm、Y軸方向が300mm、Z軸方向が200mmとした。

各電動シリンダはRS-232Cインターフェースで制御用PCに接続し、1mm単位で制御した。カメラはCMOSカメラ(HV10, Canon製)で設定は有効画素数720×480ピクセルのDVモードとし、ホワイトバランスは日光モード(色温度5400Kに対応)、フォーカスはカメラから距離500mmの位置に固定、ズームは最大広

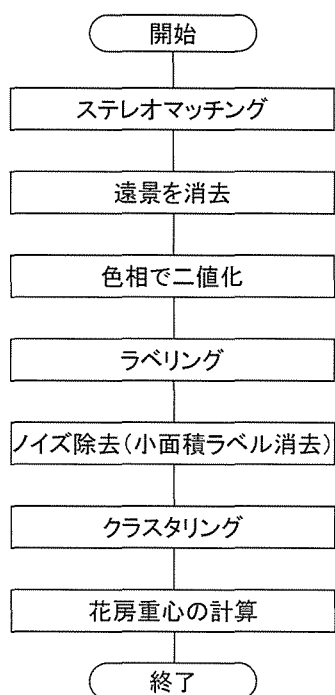


図2 画像処理アルゴリズムのフローチャート
Fig. 2 Flowchart of the image processing algorithm

角に固定とし、自動絞り機能を使用した。このカメラのピクセルは長方形で視野角は水平 33.3° 、垂直 25.0° である。カメラのレンズ部分には LED を矩形に配列した照明を装着した。この LED (BSR00W-CN03-DS, PowerFlux 製) は、色温度 5400K の選別品を 24 個使用し、照射角は 120° とし、LED 毎に 3.2V, 30mA を供給した。カメラから 500mm 離れた位置の照度は 200lx であった。カメラは IEEE1394 インターフェースで制御用 PC に接続した。制御用 PC (AeroMini, eX.computer 製) は CPU に Core2 Duo E4600 2.4GHz を使用し、メモリは 1GB とした。

(2) 噴霧部

Z 軸シリンダの先端には二股の噴霧用ノズルを装着した。二股のノズルはそれぞれが 60° の噴霧角を持ち、噴霧が交差するように 15° 屈曲して取り付けられた (図 1 (d))。噴霧時には通路側から Z 軸シリンダを伸長してノズルを目標花房に接近させ、噴霧を行った。ホルモン剤は薬液タンクから直列に接続された出力 1.2W の電動ポンプ 2 台によって送出し、噴霧量は電動ポンプの動作時間によって制御した。電動ポンプの制御にはステラグリーン社の CPU ボード USE とモータードライバ IC TA7267BP で構成した回路を使用し、制御用 PC とはイーサネットを介して接続した。

2. 画像処理ソフトウェア

画像処理ソフトウェアは Windows XP 上で Borland C++ Builder6 を用いて開発した。さらに、カメラの制御には Microsoft の DirectShow (DirectX9 SDK に付属の

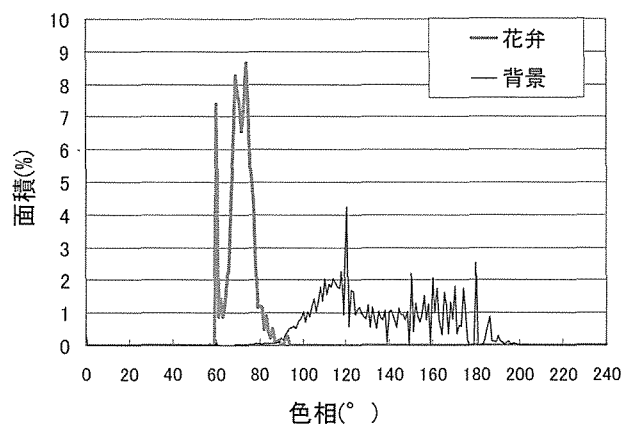


図3 花卉と背景(葉茎)の色相分布

Fig. 3 Hue distribution for the flower petals and the background (leaves and stems)

もの) ライブラリを使用し、カメラから供給される動画を任意のタイミングでキャプチャし 24bit カラーのビットマップ画像を得る仕様とした。画像処理のフローチャートを図 2 に示す。この処理手順は以下のとおりである。

まず、視差 10mm で撮影した 2 枚の画像をステレオマッチングし、ピクセル毎の距離を推定する。マッチング手法は横方向の 1 ライン単位で処理を行い、連続した色差の少ない領域を切り出し、逐次照合する方法をとった。カメラからの距離 700mm 以上と判定されたピクセルは消去した。次に花卉のみを抽出するために色相に閾値を設けて二値化を行ない、さらに、ラベリングを行い、面積が一定以下のラベルをノイズとして除去した。次に複数の花房が写り込んでいることを想定して、50mm 以内に接近した花卉同士をクラスタリングし花房と見なした。次にクラスタの花弁全てを含むピクセルの X, Y, Z 座標の重心を計算し、花房の位置とした。一対の画像の照合時間は 100ms から 500ms であった。

予備実験としては場で夜間に LED 照明を照射して撮影した画像から花卉の領域と背景(葉茎)の領域を手作業で分離し、各画素に対して色相の特性を調査した。この結果、トマトの花弁の色相は $60\sim 80^\circ$ の間に分布したが、背景の色相は 90° 以上の領域に分布しており、二値化用の閾値を得ることができた (図 3)。

3. 噴霧用ソフトウェア

噴霧用ソフトウェアは前述した画像処理ソフトウェアに次に示す機能を追加して作成した。そのフローチャートを図 4 に示す。一回の動作で処理するのは最大 3 株とした。まず、シリンダを移動して X 軸および Y 軸シリンダの可動範囲全体をカメラで走査する。この時、X 軸シリンダの可動範囲を 3 分割して、それぞれの領域で花卉の色相を持つ画素が存在する撮影位置を画素数順に記録する。次に記録した撮影位置のうち、検出した画素数が最大となる点から順にカメラで撮影を行い、ステレオ

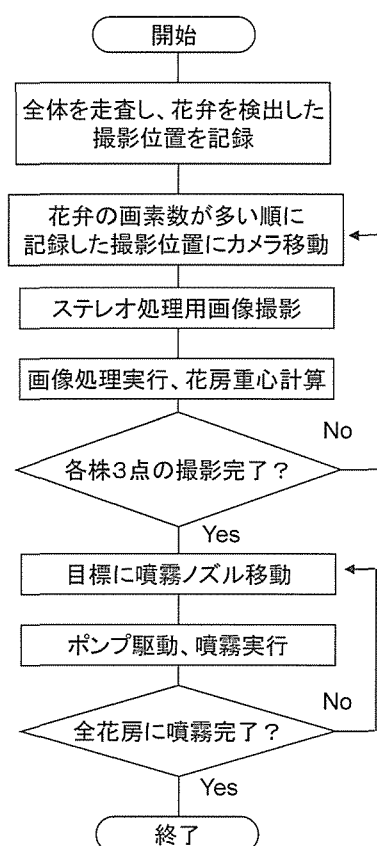


図4 噴霧手順のフローチャート

Fig. 4 Flowchart for the spray procedure

処理用の画像を1株あたり3点から（合計6回）撮影する。次に画像処理を行い、花房の重心の座標を計算する。複数回のステレオ処理で得られた花房の座標は平均した。最後に、検出した花房全てに対してノズルの位置を合わせてZ軸シリンダを伸長し、電動ポンプを動作させて薬液を噴霧する。Z軸シリンダの伸長距離は、ステレオ画像処理によって得られた花房までの距離を基に花房の重心が噴霧可能な範囲に入るように制御した。

III 実験方法

1. 供試したトマト株とホルモン剤

トマト品種“桃太郎ヨーク”をロックウール粒状綿を充填したポットで低段密植栽培した。株間は24cmとした。花の中央から伸びた花弁の先端までの長さの平均は22mmであった。花房全体の大きさは3花開花時で50mmの範囲内に分布していた。花房の方向は主茎を軸としてカメラ側を0°、時計回りの方向を正、逆回りを負とし、茎の背後を180°とした。着果ホルモン剤は4CPA液剤（トマトーン、日産化学工業製）を100倍に希釈して使用した。

2. 暗室での撮影方法

1花房あたり1～5花が開花中の株を各20株ずつほ場からポットごと暗室に移動して供試した。トマト株はカ

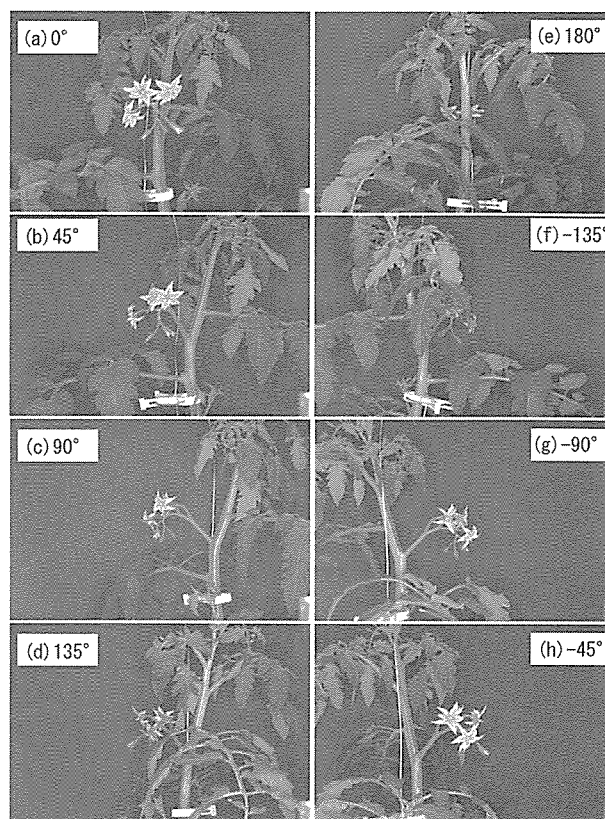


図5 ロボットのカメラで撮影した花房の例

Fig. 5 Examples of flower clusters imaged by the robot's vision system

メラから500mmの距離に垂直に垂らした誘引線に主茎を誘引用クリップで固定した。この時、花弁の重心がカメラの視野の中央になる位置を基準位置と設定した。基準位置を中心に、X方向に±50mm、Y方向に±50mmの格子点上の合計9箇所の位置にカメラを移動させ、LED照明を照射して花房の撮影を行った。1つのカメラでステレオ画像処理用の画像を得るため、各撮影位置を中心に±5mmずつX方向にカメラをずらして10mmの視差を生成し、2枚の画像を撮影した。撮影完了後、レーザー距離計（LS-511, MAX社製）でカメラから花房の中心付近の花までの距離を測定し、Z座標の実測値とした。全ての株は主茎を軸として45°単位で花房の方向を回転させながら、8方向からの撮影を行った（図5）。得られた画像は画像処理を行い、ステレオ法による距離の算出、遠景の除去と二値化を行い、花弁のみを抽出して面積と重心の座標を計算して記録した。

3. 薬液付着量の測定

薬液付着量の測定は、あらかじめ花房を切断して質量を計量した後、接木用クリップで元の株に固定した状態で噴霧を行い、再度花房の質量を計量して、質量差から付着量を推定する方法で行った。実験には3～4花開花した株を使用した。花房には4花分の花および蕾を残し、それ以外は切除した。



図 6 温室内の実験機

Fig. 6 The experimental robot in a greenhouse

予備実験として手作業でハンドスプレーを用いてホルモン剤を噴霧した時の付着量を測定した結果、噴霧量 4 ml 未満では噴霧量と付着量には正の相関があったが、噴霧量 4 ml 以上では付着量は 0.5 ml で飽和した。この結果をもとに、以降の実験機の噴霧量は 1 花房あたり 4 ml とし、花房の方向ごとの薬液付着量の測定を行った。供試株の主茎をカメラから距離 500 mm の位置に垂直に垂らした誘引線に固定し、花房の方向は 0° 、 45° 、 90° 、 135° 、 180° とし、各方向 5 株ずつ噴霧を行い、付着量を測定した。

4. 温室内での着果処理実験

温室内に実験機処理区、手作業区、無処理区を設け、各 7 株ずつ供試した。実験機処理区では花房の方向を 0° 、 90° 、 -90° 、 180° の 4 方向に人為的に振り分けて固定した。実験は 1 段目の花房のみを使用し、3 花開花した段階で着果処理を行った。温室内での実験機の様子を図 6 に示す。手作業による処理は昼間に、実験機による処理は日没後に行った。いずれの実験区も開花数の判定は目視とした。実験機の移動は手動で行った。着果率の調査は着果処理から 2 週間後に行い、直径 30 mm 以上に肥大した果実を計数した。

5. 花房方向の測定

100 株を供試し、低段密植栽培での花房の方向のばらつきを調査した。3 花開花時の花房の方向を 1 段目から 3 段目まで目視で判定して記録した。この結果を基に、1 段目の花房を全てカメラ側に向けた時の 2 段目以降の花房の方向を推定した。

IV 結 果

1. 画像処理による位置決め精度

カメラ側に 3 花以上開花した花房が露出した画像から合計 500 回分の画像処理結果をサンプリングして評価を行った。このうち、Z 座標の誤差の分布を図 7 に示す。Z 座標で 95% の信頼水準が得られる範囲は 1 花房に対

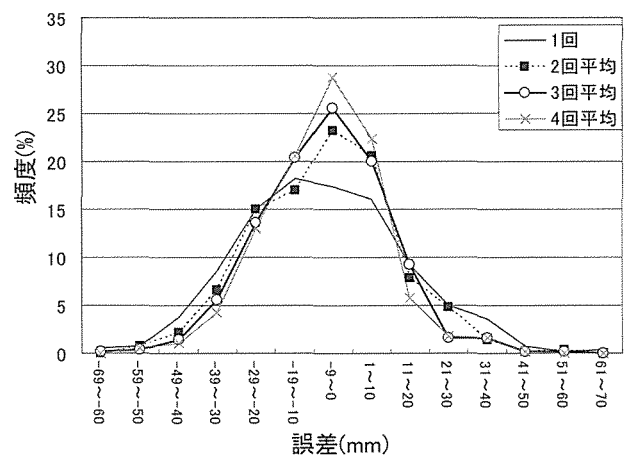


図 7 測定点の数と Z 座標の誤差の関係

Fig. 7 Relationship between the accuracy of the z-coordinate and the number of measurements

して 1 つの撮影点からステレオ画像処理を行った場合 ± 45 mm, 2 点の平均では ± 40 mm, 3 点の平均では ± 35 mm, 4 点の平均でも ± 35 mm であった。4 点以上では精度の向上が見られないため、精度と計測時間を両立させるには 1 花房あたり撮影箇所の異なる 3 点から得た座標を平均するのが妥当と考えられた。X 座標、Y 座標では 3 点平均で 95% の信頼水準が得られるのは ± 15 mm の範囲であった。

2. 開花数と花弁の面積の関係

1 花から 5 花までの開花数と画像処理によって検出された花弁の面積の関係を花房の方向 $0^\circ \sim 180^\circ$ の範囲で図 8 に示す。花房の方向が $-45^\circ \sim -135^\circ$ では、 $45^\circ \sim 135^\circ$ の範囲と傾向がほぼ同じであったため、図は省略した。図中で面積が 0 を示すのは花房を検出できない割合を示す。検出された面積の傾向は 0° 、 $\pm 45^\circ$ では同じ傾向で、花房の方向が $\pm 90^\circ$ 、 $\pm 135^\circ$ 、 180° と主茎の背後に移動するに当たって面積が減少した。花房の方向 0° から $\pm 135^\circ$ までの範囲では 1 花の花房を検出できないことがあったが、2 花以上の花房を検出できないことは僅かであった。花房の方向 180° では 1 花の花房を 40% 程度、2 花でも 25% を検出できなかった。また、花房の方向が $\pm 135^\circ$ 、 180° では、花数ごとの面積の分布に重複する領域が多く、面積に閾値を設けて花数を判定するのは困難であった。

3. 薬液付着量の測定

実験機により 4 ml の薬液を噴霧したときの付着量の測定結果を図 9 に示す。花房の方向と付着量の関係は、 $0^\circ \sim 90^\circ$ までは 0.4~0.5 ml で、手作業の噴霧と同等であった。花房の方向が 135° を超えると付着量の平均値は徐々に減少し、ばらつきが大きくなった。

4. 温室内での着果処理実験

温室内での着果処理実験によって得られた平均着果率を図 10 に示す。平均着果率は花房の方向がカメラ側の

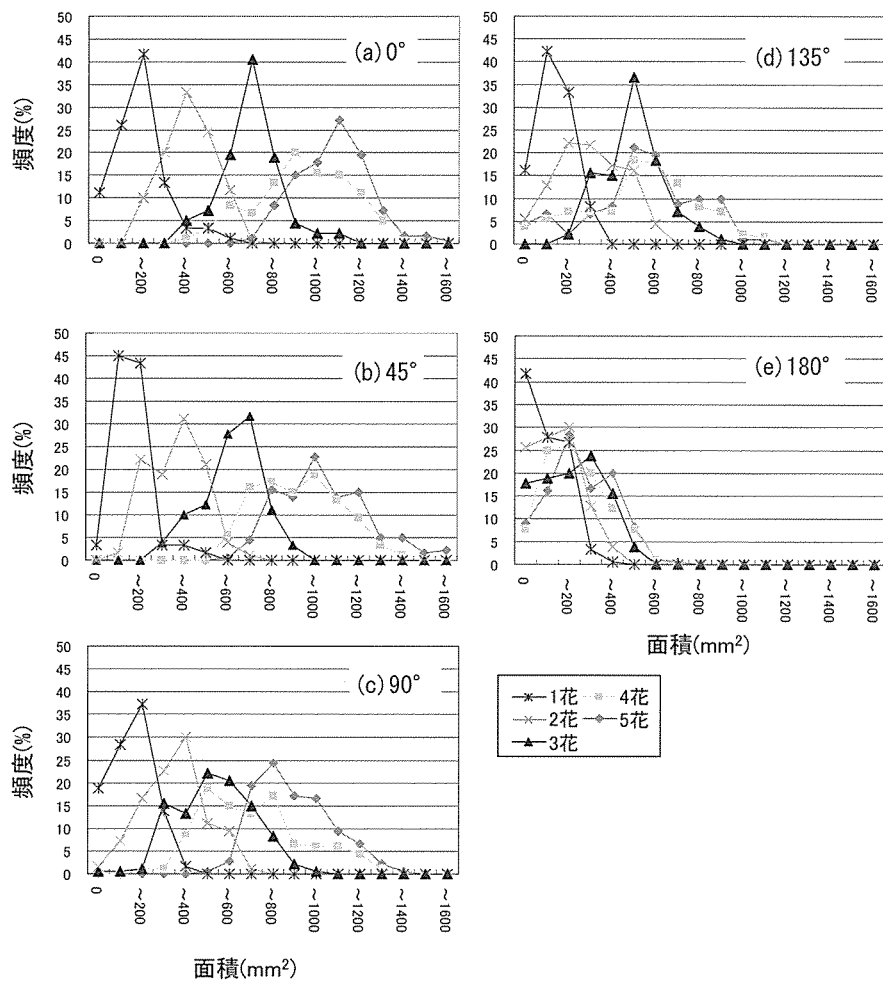


図 8 花房の向きと花数と花卉面積の関係

Fig. 8 Relationship between the flower cluster's orientation, the measured number of flowers, and the detected petal area

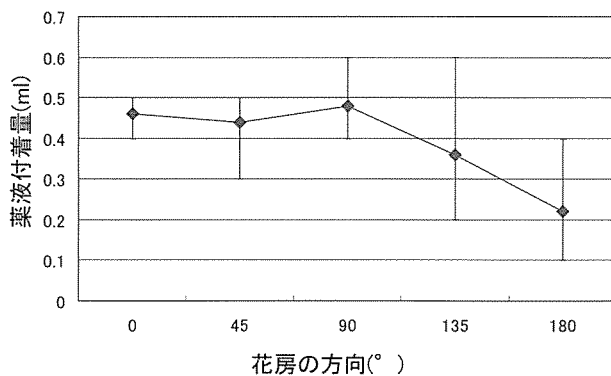
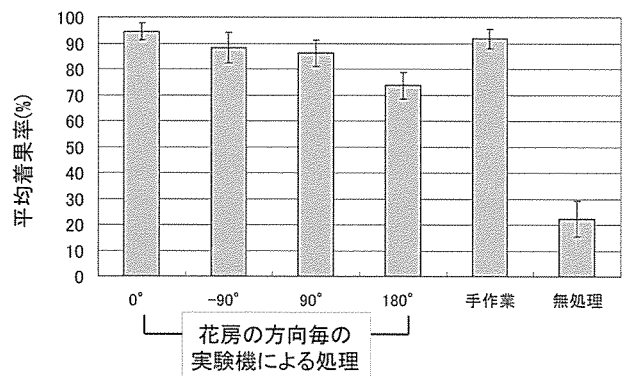


図 9 花房の方向と花房への薬液付着量の関係

Fig. 9 Relationship between a flower cluster's orientation and the volume of reagent adhering to the flower

0°で94%で、手作業の91%と同等であった。次いで-90°で88%, 90°で86%を示した。花房が主茎の背後となる180°では74%と低下した。なお、無処理区は22%であった。噴霧時に花房に付着しなかった薬液は拡散して花房の下位葉に付着したが、これらに生理障害は確認で

図 10 実験機および手作業による噴霧後の着果率（エラーバーは標準誤差 $n=7$ ）Fig. 10 The fruit-set rate for flowers sprayed by the robot and after manual spraying (Vertical bars indicate standard error $n=7$)

きなかった。

5. 花房方向のばらつき

1段目の方向を基準として、2段目以降の花房方向の

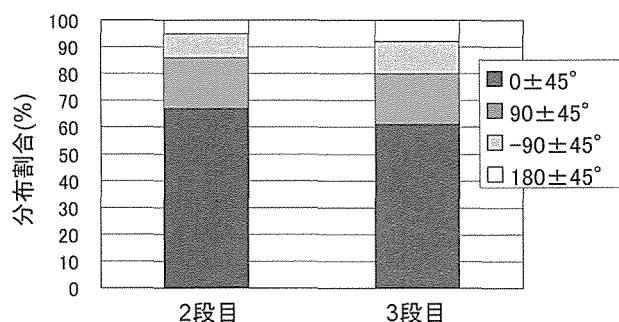


図 11 1 段花房を全てカメラ側に向けた場合の 2 段目と 3 段目花房の方向のばらつき

Fig. 11 Proportions of the second and third flower clusters in different orientation classes with respect to the first flower cluster, which was positioned directly across from the camera

ばらつきを図 11 に示す。1 段目花房の方向から $\pm 45^\circ$ 以内に出蕾する割合は 2 段目で 67%, 3 段目では 61% であった。

V 総合考察

株ごとの花房の高さや実験機からの距離にはばらつきがあり、噴霧位置は花房の位置に応じて制御する必要がある。また、温室内でトマト株を撮影すると遠方の花が写り込んでノイズとなるため、これを除去する必要がある。このため、ステレオ画像処理によって目標の距離を検出する方法を検討した。ステレオ画像処理の精度については、花房の大きさを 50mm, Z 軸方向の座標の誤差を ± 35 mm とすると、花房の最大分布範囲は半径 120mm となるが、花房の重心を噴霧ノズル固定具から 120mm の距離に合わせれば分布範囲の大部分をノズルの噴霧範囲内に制御できる。また、開花前の未熟な蕾にホルモン剤を散布しても着果しないため、一般的には 3 花程度の開花期が処理に最適とされている。そこで、開花数を判定する方法が必要である。花数と検出した花卉の面積との関係について調査した結果、花卉の面積は、花数に対して正の相関があり、特に花房の方向がカメラ側に露出した $\pm 45^\circ$ 以内であれば傾向は同じであった。実際の運用では 3 花未満と 3 花以上の判定精度を最大化する閾値が得られれば十分と考えられ、さらに花房の方向を $\pm 45^\circ$ 以内に限定すれば条件を単純化できる。そこで、画像を 1~2 花の花房と 3~4 花の花房に分類して同数抽出し、閾値を計算した結果、閾値は 450mm^2 であった。この閾値で試算すると 3 花未満の花房、3 花以上の花房に対する判定成功率はいずれも 93% であった。さらに、トマトの花は開花から数日経っても着果できるため、判定が曖昧な場合は待機して、開花が進んでから処理することもできる。

噴霧実験、着果処理実験のいずれの結果も花房が主茎の背後にある時に処理精度が低下した。これは、噴霧の

一部が葉茎に遮られることや、花房の距離が離れることで薬液が届きにくくなっているのが原因と考えられるが、誘引時に人為的に株を回転して花房をカメラ側に露出させることで問題は解決できる。花房の方向を $\pm 45^\circ$ 以内に統一すれば前述した方法で花数の判定が可能となり、精度向上につながると考えられる。

花房の方向は 1 段目と同一の方向に 2 段目以降も多く出蕾する傾向があるものの、段が進むごとに徐々にばらつきが増加した。これは生育ストレスによる段飛びや誘引による主茎のねじれが蓄積していくためと思われる。したがって、多段栽培では仮に 1 段目の花房の方向を描いても、2 段目以降では徐々に処理精度が低下していくことになる。この問題を解決するためには、栽培様式を単純化し、1 段果房のみの収穫で栽培を終了する方法が考えられる。この栽培様式は、低段密植栽培の中でも特に一段栽培と呼ばれ、既に商業的に利用されているため(赤松, 2005)、有効な解決策になると思われる。

VI 摘要

トマトの着果処理ロボットの開発を目的として実験機を試作し、開花認識および着果処理の基礎実験を行った。

- 1) ステレオ画像処理の位置決め精度は 1 花房に対し 3 点の測定結果を平均したとき、Z 座標では 95% の信頼水準で ± 35 mm 以内となった。X 座標、Y 座標では同じ条件で ± 15 mm 以内であった。
- 2) 検出できた花卉の面積と開花数には正の相関があり、特に花房の方向がカメラに対して $\pm 45^\circ$ 以内の範囲では面積に閾値を設けることで着果処理適期である 3 花以上の開花期を判定でき、判定成功率は 93% であった。
- 3) カメラ側に露出している花房では手作業による噴霧と同等の薬液付着量が得られ、花房が主茎の背後に回るにしたがって付着量が低下した。
- 4) 温室内で着果処理を行った時の平均着果率は花房の方向がカメラ側の 0° で 94% で、手作業の 91% と同等であった。 90° では 86%, -90° で 88%, 180° では 74% であった。

References

- 赤松富仁, 2005. だれでも簡単に高糖度トマトの一段栽培. 現代農業, 84 (4), 168-173.
- 藤浦建史, 和田光生, 西浦芳史, 池田英男, Lin Tingxi, 馬場康裕, 土肥誠, 2010. 移動型栽培施設のミニトマト収穫ロボット (第 2 報). 農業機械学会誌, 72 (2), 152-159.
- 福島与平, 益井正雄, 佐藤哲男, 堀内一夫, 1953. トマトに及ぼすホルモン散布の効果. 農業および園芸, 28 (5), 651-652.
- 林 茂彦, 坂上 修, 1997. ロボットによるトマト収穫システムの基本動作. 野菜・茶業試験場研究報告, 12, 133-142.
- Kohan, A., Borghae, A., M., Yazdi, M., Minaei, S., Sheykhdavudi, M., J., 2011. Robotic harvesting of Rosa Damascena using stereoscopic machine vision. World Applied Sciences Journal. 12 (2), 231-237.

- 農林水産省統計情報部, 2009. 農業経営統計調査報告 平成 19 年度 品目別経営統計. 農林水産省, 東京, 176-179.
- 大石直記, 2006. 収量と品質の大幅な改善を可能とするトマト低段密植栽培. 施設と園芸, 134, 18-23.
- 岡田英博, 多田誠人, 坂井義明, 2011. 太陽光利用型植物工場における自動化の必要性について. 植物環境工学, 23 (2), 44-51.
- 大森弘美, 黒崎秀仁, 高市益行, 鈴木克己, 2010. トマト低段密植栽培における自動収穫システムの開発（第3報）. 第69回農業機械学会年次大会講演要旨, 松山, 454-455.
- 太田智彦, 山下貴史, 林 茂彦, 米田隆志, 2010. 鏡面反射利用の視覚システムを持つトマト収穫ロボットの開発（第2報）. 農業機械学会誌, 72 (6), 595-603.
- Peter R., Kondo, N., Ninomiya, K., Kamata, J., Kurita, M., Shiigi, T., Hayashi, S., Yoshida, H., Kohn, Y., 2009. Machine Vision Algorithm for Robots to Harvest Strawberries in Tabletop Culture Greenhouses. Engineering in Agriculture, Environment and Food, 2 (1), 24-30.
- 渡辺慎一, 2007. 保水シート耕方式の一段密植栽培による高糖度トマトの周年生産. 農業および園芸, 82 (3), 359-364.
- （受付：2012年2月9日・受理：2012年9月3日・質問期限：2013年1月31日）