

トマト授粉ロボット開発のための実現可能性調査*

長谷川 辰雄**、紺野 亮**

施設トマト栽培における授粉作業ロボットの開発を目指して、トマト花卉を自動認識し、花卉までの距離測定を行う方法について調査した。トマト花卉の自動認識は、色の特徴を捉えるためカラーカメラを用いた画像処理で行い、距離計測は、2つのカラーカメラで距離を計測するカラーステレオカメラと、1台のカラーカメラで近赤外線光の発光と受光までの時間を計測して距離を測るカラーTOFカメラの2種類を用いて行った。

キーワード：トマト花卉、距離計測

Feasibility study for tomato pollination robot

HASEGAWA Tatsuo and KONNO Ryo

Key words : Tomato petals, Distance measurement

1 緒 言

施設トマト栽培での受粉処理の自動化を想定した作業ロボットの開発を目標に、栽培環境下での花卉の認識と位置情報の取得方法について検討した。

トマトの収穫ロボットに関する研究¹⁻⁵⁾の多くは、トマトの認識にモノクロステレオカメラや3Dカメラ、赤外線カメラなどが用いられている。しかし、モノクロステレオカメラでは色認識と距離測定を同時に行うことが出来ない。そこで本研究では、色認識と距離測定を同時に行うことができるカラーステレオカメラとカラーTOF (Time Of Flight) カメラの2種類をセンサとして選定し、性能を評価した。

カラーステレオカメラは、2台のカラーカメラを使用して、三角測量の原理で距離を推定するものである。これには左右画像の対応点の特定を画像処理で行う必要がある。この対応点が決めれば、物体領域 (面積) の距離を取得することが出来る。カラーTOFカメラは、近赤外線光の照射とその受光カメラを用い、照射から反射までの時間を計測することで距離を測るものである。

この2種類のセンサを使用して、トマト花卉の自動認識精度と距離精度を検証した。

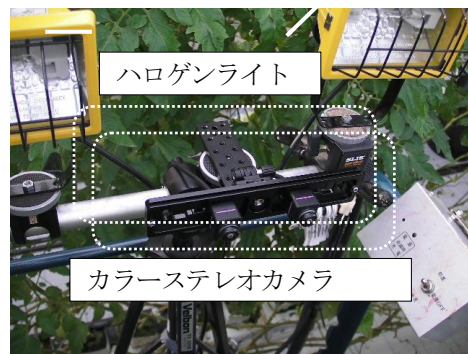
2 実験方法

2-1 花卉認識センサの選定

トマトの花卉を認識させるセンサとして、ステレオ計測が可能なカラーステレオシステム(アイエスエス(株))と、カラーTOFカメラ(パナソニックフォトライティング(株))の2台を選定した。なお、カラーTOFカメラの画像センサ(CCD)は、可視光波長と近赤外線波長をRGBフォーマットで取得できる特長がある。

実験では、図1に示す通り、カラーステレオカメラと

カラーTOFカメラを三脚に固定し、それをレール走行式作業台車に設置して計測を行った。この作業台を移動させながらトマト花卉が開いている場所に停止し、花卉の画像撮影とその距離計測を行った。夜間での作業を想定し、ハロゲンライト2台を三脚に固定している。実験は岩手県農業研究センターのトマト栽培圃場で実施した。



(a) カラーステレオカメラ



(b) カラーTOFカメラ

図1 センサの取り付け方法

* 平成30年度授粉作業ロボット開発のための実現可能性調査業務 岩手県農業研究センター委託業務

** 電子情報システム部

2-2 トマト花卉認識のための HSV 範囲設定

カラー画像からトマト花卉の黄色を抽出するには、色空間 (RGB、HSV、Lab、YUV 等) を選択する必要がある。一般的にカメラから得られる画像は RGB で構成されているが、人の色彩感覚で特定色 (黄色) を抽出するには、直観的で特定しやすい HSV 表色系が適している。HSV 表色系は、色の違いを表す色相 (Hue)、色の鮮やかさを表す彩度 (Saturation)、色の明るさを表す明度 (Value) の 3 つの値で表される。本実験では HSV 表色系でトマト花卉の黄色の抽出を行った。

トマト花卉の色抽出には、画像処理ツールの Matlab を使用した。カラーステレオカメラ及びカラーTOF カメラで撮影したトマト花卉画像について、カメラ画像の RGB を HSV に変換し、目視で花卉のみが抽出できるように、HSV 値の最大値・最小値の範囲指定を手作業で設定した。

トマト花卉抽出に使用した画像枚数を、表 1 に示す。また、カラーステレオカメラとカラーTOF カメラのそれぞれについて、Matlab ツールにより HSV 範囲の平均値を求めた。これを図 3 に示す。

表 1 トマト花卉色の HSV 平均値算出に使用した画像枚数

装置名	画像枚数 (日中)	画像枚数 (夜間)
カラーステレオカメラ	20 枚	7 枚
カラーTOFカメラ	16 枚	7 枚

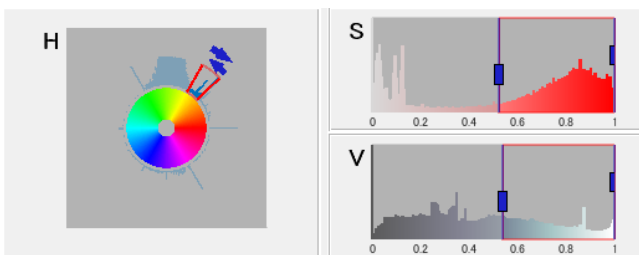


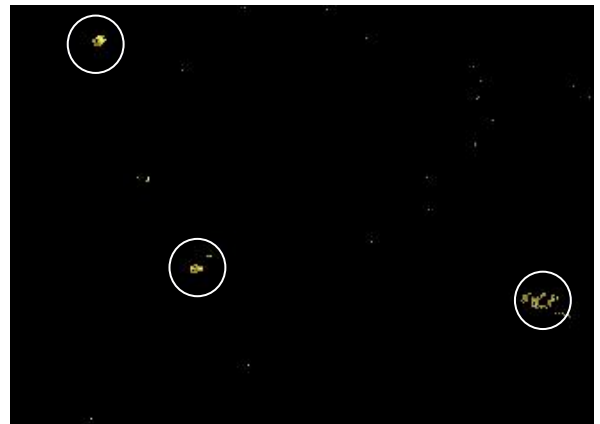
図 2 HSV の最小値・最大値の範囲設定画面

2-3 トマト花卉認識実験

トマト花卉の認識実験は、図 4(a) に示すトマト花卉の原画像に HSV 範囲指定処理を行った、同図 (b) の抽出画像について、図 5 に示すように 10 画素以上連結した集合体を花卉と定義して、実施した。また、10 画素未満の集合体はノイズと定義し、測定対象外とした。



(a) トマト原画像 (3 か所に花卉)



(b) HSV 範囲指定による花卉抽出

図 3 HSV による色抽出

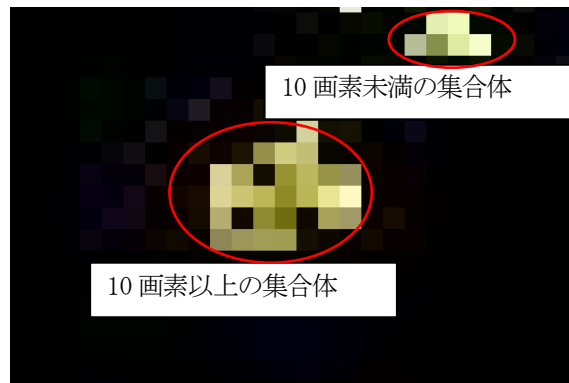


図 4 10 画素以上の集合体を花卉と定義

2-4 トマト花卉の距離測定

2-4-1 カラーステレオカメラによる距離測定

カラーステレオカメラによる距離測定は、図 6 に示すモニタ画面に表示されたトマト花卉をマウスクリックすると、その指定位置までの距離が画面に表示される。それを 3 回測定した平均値を実験値として記録した。



図5 カラーステレオカメラによる距離測定



(1) カラー画像

2-4-2 カラーTOFカメラによる距離測定

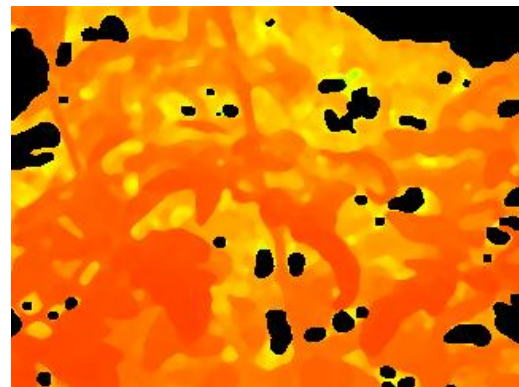
カラーTOFカメラによる距離測定では、測定したい距離の間隔や制限値などのパラメータを指定する必要がある。今回の実験での各種パラメータの設定を、表2に示す。図7は、カラーTOFカメラが出力する画像を示している。(1)カラー画像、(2)近赤外線画像、(3)距離画像の3種類が出力される。

表2 カラーTOFカメラのパラメータ

最小撮影距離(mm)	300
最大撮影距離(mm)	2000
距離制限(mm)	2000
オフセット値(mm)	0



(2) 近赤外線画像



(3) 距離画像

図6 カラーTOFカメラが出力する画像

3 実験結果

3-1 トマト花卉認識実験結果

表3は、トマト花卉の認識結果である。カラーステレオカメラの花卉認識率は、昼間85%、夜間100%であり、カラーTOFカメラの花卉認識率は、昼間44%、夜間0%であった。実験結果からカラーステレオカメラの認識率が高いことが分かった。ただし、誤認識数(昼間)はカラーステレオカメラで2.5個/画像、カラーTOFカメラで0.5個/画像となり、カラーTOFカメラの誤認識数が少なかった。誤認識とは、葉などを誤って花卉と認識したことを意味する。両装置とも評価したデータ数が少ない(16~20画像)ため、認識率の確からしさは低いと考えらえる。カラーTOFカメラの夜間認識ではハロゲン照明が強く、花と葉が同一色化したため、花の色が識別出来なかった。

表3 トマト花卉の認識結果

装置名 画素数	昼間		夜間	
	花卉 認識率 (%)	誤認識数 (個)	花卉 認識率 (%)	誤認識数 (個)
カラーステレオ カメラ97万画素	85	2.5	100	4.4
TOFカメラ 34万画素	44	0.5	0	—

3-2 トマト花卉の距離測定結果

カラーステレオカメラ及びカラーTOFカメラを使用した距離測定の結果を、表4に示す。表4の距離計測誤差とは、検出評価機の実出力値と巻き尺による測定値の差の平均値である。オフセット調整後とは、計測値から検出評価機の誤差平均値を差し引いて、距離計測の基準点を一定の値にシフト調整したものである。この結果、オフセット調整後のカラーステレオカメラの距離誤差は、昼間3.4cm、夜間3.1cm、カラーTOFカメラの距離誤差は、昼間1.4cm、夜間1.2cmとなった。両カメラとも昼と夜の差は無かったが、カラーTOFカメラの距離精度の方が良いことが分かった。

表4 検出評価機からトマト花卉までの距離測定結果

装置名	昼間		夜間	
	距離計測誤差 (cm)	オフセット調整後 (cm)	距離計測誤差 (cm)	オフセット調整後 (cm)
カラーステレオカメラ	4.4	3.4	4.3	3.1
カラーTOFカメラ	9.4	1.4	9.4	1.2

4 考 察

授粉ロボットが稼働する施設の作業空間の狭さを考慮し、センサはレール走行式作業車に搭載できる小型の装置を選定して、花卉認識と距離測定の検証実験を行った。カラーステレオカメラとカラーTOFカメラの両方とも、レール走行式作業車に設置して実験したことから、レール走行式の作業ロボットに搭載可能である。

今回は基礎的な評価であったため、実験データ数が16~20画像と少ないことから、実用的な性能を評価するにはさらにデータ数を増やして評価する必要がある。

また、カラーTOFカメラの花弁認識率が低かった原因は、解像度の不足の他に、自動露光や照明器具の影響があったと考えられる。このため、カラーTOFカメラの適切なパラメータ調整と、適切な照明器具の選択により認識率は向上すると思われる。

今回は夜間照明に照度の高いハロゲン照明を使用した。調光が可能なLED照明を使用すると、照度と露光時間の調整が可能になり、認識率の向上も期待できる。

5 結 言

カラーステレオカメラとカラーTOFカメラの2種類による花卉認識と距離測定の可能性を検証した。花卉認識では、解像度が97万画素のカラーステレオカメラで認識率85%の結果が得られた。一般的に、色認識では解像度

の高いカメラの認識性能が向上する。一方、解像度が34万画素のカラーTOFカメラの画像は、照度が低くなると画質が悪くなり、認識率が低下した。距離測定では、カラーTOFカメラの誤差とバラツキが小さく、安定した計測値を得ることが出来た。一方、カラーステレオカメラではバラツキが生じた。

トマト花卉の1輪の直径は約3cmである。2~3輪が1グループの集まりで咲くと考えると、1グループの大きさは5cm以上になる。そのため、花卉認識センサの選定については、距離誤差が3.4cmであることを許容すると、花卉の昼夜間の認識率の高いカラーステレオカメラが有効である。

文 献

- 1) 長谷川 英大, 内藤 健太, 須崎 健一, ”画像処理によるトマト果実の熟度判定”, 電気関係学会九州支部連合大会講演論文集, 2011.
- 2) 矢口裕明, 長谷川貴巨, 長濱虎太郎, 稲葉雅幸, ”収穫装置と視覚認識に着目したトマト自動収穫ロボットの構成法”, 日本ロボット学会誌, Vol. 36 No. 10, pp. 693-702, 2018.
- 3) 松本巧, 中村 効智, 友田 佳維, ”トマト収穫ロボットのエンドエフェクター及び画像処理システムの検証”, JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Fukushima, Japan, May 10-13, 2017.
- 4) 太田 智彦, 林 茂彦, 久保田 興太郎, 安食 恵治, 米田 隆志, 大塚 庄一郎, ”鏡面反射を利用したトマト果実の検出システム”, 農業機械学会誌, 67 巻, 6 号, p. 95-104, 2005.
- 5) 上垣 俊平, 荒木 秀和, 戸島 亮, 新崎 誠, 上田 大介, 山崎 龍次, ”環境認識にAIを用いたトマト収穫ロボット”, パナソニック技報, 64(1), 54-59, 2018.