

## トマト収穫ロボットの開発

—第一報：ロボットの筐体及びトマト認識のための画像処理システムの開発—

### Development of Tomato Harvesting Robot

-The 1st Report: Development of Housing of Robot and Image Processing System for Tomato Recognition-

○西 俊樹 (北九州高専)	学 藤原 雛子 (北九州高専)
永山 拓門 (北九州高専)	西 智弘 (北九州高専)
正 浜松 弘 (北九州高専)	松尾 貴之 (北九州高専)

Toshiki NISHI, National Institute of Technology, Kitakyusyu College, Shii, Kokura-minami-ku, Kitakyusyu

Hinako FUJIWARA, National Institute of Technology, Kitakyusyu College

Takuto NAGAYAMA, National Institute of Technology, Kitakyusyu College

Tomohiro NISHI, National Institute of Technology, Kitakyusyu College

Hiroshi HAMAMATSU, National Institute of Technology, Kitakyusyu College

Takayuki MATSUO, National Institute of Technology, Kitakyusyu College

This paper presents study of about a robot which is able to harvest tomatoes. To harvest the farm products such as tomatoes is performed by farmers now. So many farmers have problem that much cost and time are spent. Therefore, to solve this problem, we develop the robot that performs tomato harvesting by visual recognition in this study. And the purpose of image processing, to recognize a flesh tomato by using HSV conversion and search the optimal value of hue, saturation, value experimentally. In addition, our laboratory will take part in a tomato harvesting robot competition held in Kyushu Institute of Technology in December 2015.

**Key words** : Robot, Harvesting tomatoes, Image processing

## 1. 緒言

農作物収穫時の作業効率の向上を目的として、ロボットの開発が企業や研究機関で進められている。北九州学術研究都市では、農作物収穫ロボットの開発促進の一環として、トマト収穫ロボットを対象としたトマトロボット競技会<sup>[1]</sup>が開催されている。競技会では、実際のトマト農園である響灘菜園株式会社の農園での収穫を想定し、レール上での動作及び自律動作を行う台車部、トマト収穫を行うアーム、新鮮なトマトを判別して収穫するための視覚部を搭載したロボットをトマト収穫ロボットとして位置づけている。そこで、本研究では競技会で定められた条件を満足する台車部およびアームを搭載し、HSV変換により新鮮なトマトを識別、距離検出を行う機能を搭載したロボットを提案する。本報では、平成26年12月に北九州学術研究都市にて開催されたトマトロボット競技会に出場するトマト収穫ロボットの製作において、ロボットの筐体およびトマトの赤色を認識する画像処理技術の開発を目的とする。

## 2. トマト収穫ロボットの開発

### 2.1 台車部

本研究では、トマト農園で使用されているレール上での走行と平地での走行の双方を実現させるために、レール走行と平地走行を行うことができる溝付車輪と平地走行を補助する補助輪の計6輪を搭載した台車を設計し、製作した。図1に設計図、図2に正面図、図3に側面図を示す。

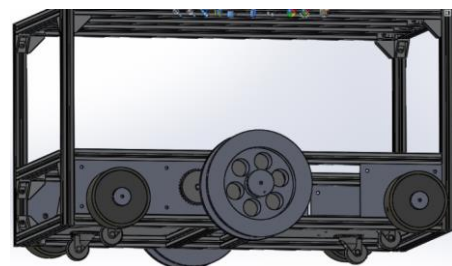


Fig.1 Truck design



Fig.2 Front view

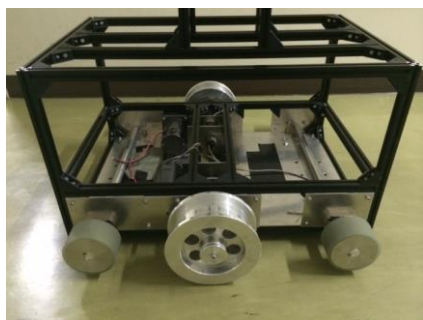


Fig.3 Side view

図3において、溝付車輪は中央部、補助輪は溝付車輪の左右両端に搭載されている。計6輪のうち、中央の溝付車輪のみモータが接続されており、補助輪は平地走行時において台車を支持している。アームは上中央部の2本のフレームからなる土台の上に設置し、最後部にはカメラを設置する。また、競技会のルール上、収穫したトマトを収納するボックスをロボットの内部に搭載しなければならないため、台車の下部にボックスを積載するスペースを設けている。

## 2.2 アーム部

本研究では、安定した動作を得るために、アームの前後左右の動作および昇降の動作をボールねじ機構により実現した。また、手先部分では、はさみを模したスライダリンク機構を用いたハンドを製作した。図4に設計図、図5に正面図、図6にハンド部を示す。

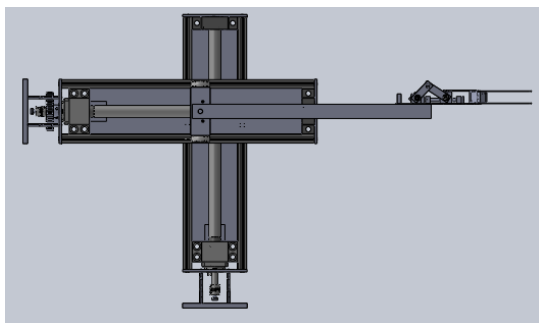


Fig.4 Arm design

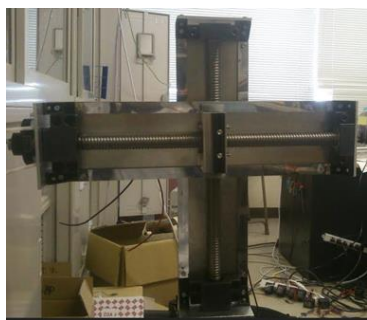


Fig.5 Front view

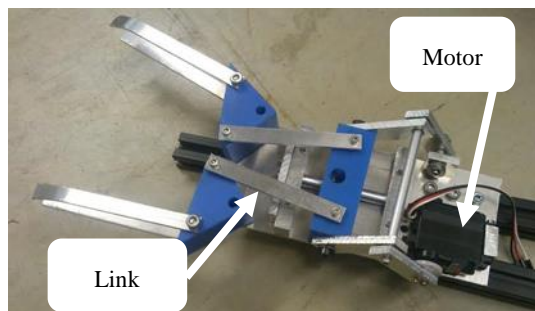


Fig.6 Hand part

図6において、ハンド部ではモータが駆動することでリンクが回転し、リンクを動作させることによってハンドの開閉を行う。

## 2.3 制御回路

本研究では、製作したロボットの車輪およびアームを駆動させるための制御回路を設計し、製作した。図7に設計図、図8に回路の基板を示す。

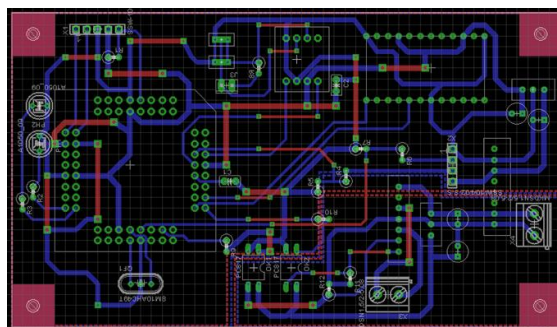


Fig.7 Board design

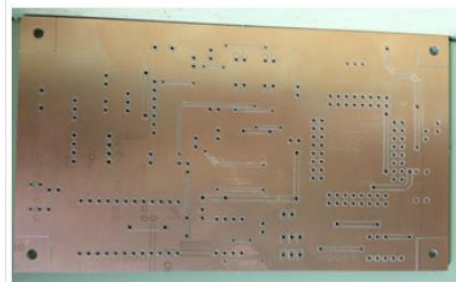
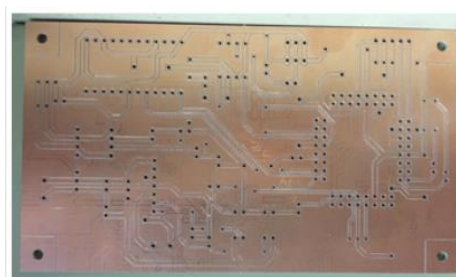


Fig.8 Printed circuit board

図7において、回路の設計はCADSOFT社製のプリント基板用CADソフト eagle7.1.0を使用した。回路の設計において、モータ駆動用の電流によって発生するノイズでマイコンが故障するのを防止するためにアイソレーションと呼ばれる絶縁手法を用いて設計している。アイソレーションとは発光ダイオードとトランジスタが内蔵されたフォトカプラと呼ばれる部品を用いることで、マイコン部とモータドライバ部のGNDを絶縁し、モータ駆動電流によるノイズを遮断する手法である。図8において、上図は表面、下図は裏面である。基板加工ではミツ株式会社製のプリント基板加工機 Auto Labを使用した。回路はアームのモータ駆動用、台車の車輪駆動用の計4枚搭載している。各回路間はCAN通信によって通信が行われ、PCに直接接続された回路にシリアル通信によって与えられた駆動指令をCANによって他の回路へ指令を送信し、各モータを駆動させる。

### 3. 画像処理技術の開発

競技会において、競技中にロボットを移動させると同時に常にリアルタイムで収穫すべき新鮮なトマトを認識し、ロボットとの距離を迅速に計算するという一連の動作が要求される。本章では新鮮なトマトを認識するためのHSV変換を用いた赤色検出手法とリアルタイムで距離計算を行う距離検出について述べる。

#### 3.1 開発環境

本研究では画像処理用カメラとしてマイクロソフト社製 Xbox 360 Kinect センサを使用した。図9に Xbox 360 Kinect センサを示す。

本研究では、画像のキャプチャと赤色検出に RGB カメラ、重心検出と距離検出に Depth センサを使用した。画像処理プログラムの開発環境は Visual Studio2010Professional、開発言語は C++を使用した。



Fig.9 Xbox 360 kinect sensor



Fig.10 Captured image



Fig.11 Detected image of red object

#### 3.2 赤色検出

Kinect センサを用いてトマトを検出するための手続きとして、はじめにカメラで任意の場所をキャプチャし、検出した画像に対し、赤色物体の検出を行った。図10にキャプチャ画像、図11に赤色物体検出画像を示す。

赤色検出の際には画像内の色の表色系を通常の RGB 系から HSV 系に変換し、色相、彩度、明度を指定することによって検出を行う関数を作成して処理を行った。ここで、HSV の H は色相(Hue)、S は彩度(Saturation)、V は明度(Value)を表す。変換の際の関係式を式(1)、式(2)、式(3)に示す。

$$H = \begin{cases} \text{undefined,} & \text{if MIN} = \text{MAX} \\ 60 \times \frac{G-R}{\text{MAX}-\text{MIN}} + 60, & \text{if MIN} = B \\ 60 \times \frac{B-G}{\text{MAX}-\text{MIN}} + 180, & \text{if MIN} = R \\ 60 \times \frac{R-B}{\text{MAX}-\text{MIN}} + 300, & \text{if MIN} = G \end{cases} \quad (1)$$

$$V = \text{MAX} \quad (2)$$

$$S = \frac{\text{MAX} - \text{MIN}}{\text{MAX}} \quad (3)$$

色相 H は 0 度～180 度、彩度 S は 0～255、明度 V は 0～255 の範囲で表される。上式中の MAX は RGB 系を数値化した時の最大値、MIN は最小値を表す。今回抽出する色は赤色 (R=255, G=0, B=0) であるため、式中の MAX が 255、MIN が 0 となり、式(1)より赤の色相は 0 度となる。また、算出した色相が正確であることを検証するために、日中および日没、白色灯が点灯している時と消灯している時の2つの実験条件を変化させ、図10の赤色物体とトマトを対象に最も鮮やかな赤色を検出するための色相、彩度、明度を求める実験を行った。その結果、最も鮮やかな赤色を検出するための条件は、色相が 0 度～10 度および 170 度～180 度、彩度が 100～255、明度が 0～255 であることが分かった。これらのことから、処理を行う際は色相を 0 度～10 度、170 度～180 度の範囲で指定し、彩度を 100～255、明度を 0～255 の範囲で指定し、処理を行った。なお、彩度の最小値を 100 に設定したのは、彩度の最小値を低く設定すると照明の影響によりノイズが生じるためである。

#### 3.3 重心・距離検出

赤色検出に続き、トマト収穫時にロボットアームをトマトの位置へ正確に近づけるために、Kinect センサを用いてトマトの重心検出とトマト-Kinect 間の距離検出を行った。図12にキャプチャ画像、図13に重心検出画像、図14に距離検出結果を示す。



Fig.12 Tomato captured image

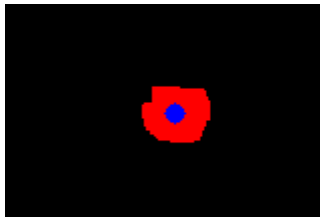


Fig.13 Detected image of centroid

distance = 917

Fig.14 Result of distance detection

重心座標( $G_x, G_y$ )は画像ウインドウの左上を原点とし、トマトの各画素の x 座標の値の合計を $S_x$ , y 座標の合計を $S_y$ , トマトの画素数を  $n$  とすると, 式(4), 式(5)により求められる.

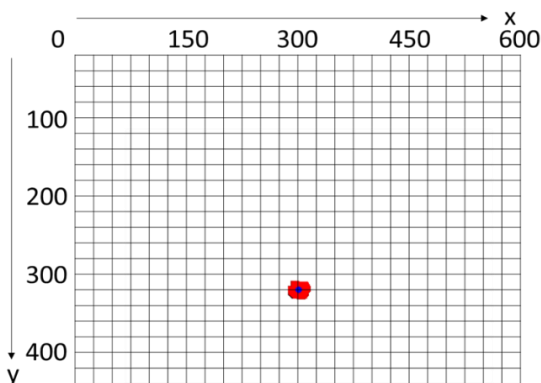
$$G_x = \frac{S_x}{n} \quad (4)$$

$$G_y = \frac{S_y}{n} \quad (5)$$

重心検出の際は, HSV 変換によって赤色検出した画像に対してノイズ除去処理を行い, トマトの赤色画素に対して式(4), 式(5)を用いて重心座標を算出する処理を行った. 図 15, 図 16 に重心算出の手続きを示す.

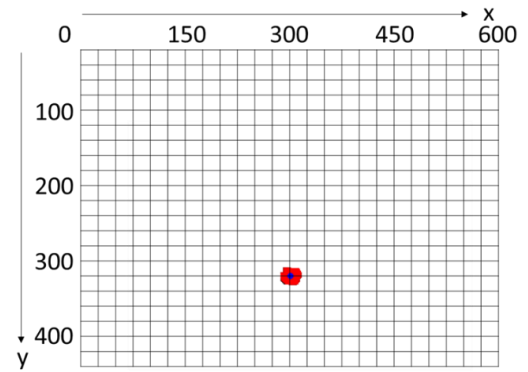
また, 距離検出の際には測定する点の座標(画像ウインドウ内の xy 座標)を指定し, 指定した点と Kinect センサ間の depth(深度)を depth センサによって測定する処理を行った. なお, 図 14 で得られた距離の単位は mm となっている.

Kinect センサの depth 測定は, 様々なパターンのレーザー光を対象物に照射し, 反射した光のパターンによって距離を測定するパターン照射方式を用いている.



今回の場合,  $S_x = 61379775, n = 201960$   $G_x = \frac{61379775}{201960} = 303$

Fig.15 Procedure of centroid detection(x-coordinate)



今回の場合,  $S_y = 65072175, n = 201960$   $G_y = \frac{65072175}{201960} = 322$

Fig.16 Procedure of centroid detection(y-coordinate)

#### 4. 結言

本研究では, トマトロボット競技会に出場するトマト収穫ロボットの製作において, ロボットの筐体及びトマトの赤色を認識する画像処理技術の開発を行った.

- (1) レール走行と平地走行を実現するために, レール走行および平地走行兼用の溝付車輪と平地走行を補助する補助輪の計 6 輪を搭載した台車を製作した.
- (2) スライダクランク機構によってリンクを回転させ, ハンドの開閉を行うハンド部を搭載したアームを製作した.
- (3) マイコンへのノイズの伝ばを防止するため, アイソレーションを用いた制御回路を製作した.
- (4) 新鮮なトマトの検出を行うために, HSV 変換の際に指定すべき最適な色相, 彩度, 明度の数値を実験的に求めた.
- (5) ロボットアームをトマトの位置まで正確に移動させるために, 重心算出式に基づいた重心検出と距離検出を行う機能を実装した.

#### 文 献

- [1] 九州工業大学社会ロボット具現化センター「トマトロボット競技会」  
<http://www.lsse.kyutech.ac.jp/~socio robo/tomato-robot>