2 種類の環境で移動可能な トマト収穫ロボットの移動機構の開発

Development of movement mechanism of tomato harvesting robot for two kinds of environments

○学　中尾　航介　（北九州高専）　学　三木　遥加　（北九州高専）
学　中村　劾智　（北九州高専）　正　浜松　弘　（北九州高専）
准　松尾　貴之　（北九州高専）

Kosuke NAKAO，National Institute Of Technology，Kitakyushu College,
Haruka MIKI，National Institute Of Technology，Kitakyushu College,
Gaichi NAKAMURA，National Institute Of Technology，Kitakyushu College,
Hiroshi HAMAMATSU，National Institute Of Technology，Kitakyushu College,
Takayuki MATSUO，National Institute Of Technology，Kitakyushu College,

This paper presents study of the 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 developed the robot that performs tomato harvesting. We made the robot which can harvest the tomato on the rails last year. So we will make it possible to run in rough terrain.We designed the base part of the robot by considering the inclination of the vehicle body when the robot go up the stair and impact which the robot will receive when the robot go down the stair. In addition, our laboratory took part in a tomato harvesting robot competition held in Kyushu Institute of Technology in December 2016.

Keywords : Robot, Harvesting tomatoes

1. 緒論

1.1 研究背景

現在の日本では，農業従事者の減少や高齢化，また後継者不足が問題となっている．その問題の解決と農作物収穫時の作業効率の向上を目的として，農作業用ロボット（アグリロボット）の開発が企業や研究機関で進められている[1]. 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[2]が開催されている．競技会では，響灘菜園株式会社（北九州市若松区）のトマト農園での収穫を想定し，レール上での動作および自律動作を行う台車部，トマト収穫を行うアーム部，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．開発したトマトロボットを通して，自然とロボットが共生する社会の確立を競技会のコンセプトとして掲げている．

1.2 研究目的

本研究では，トマトを収穫するためのロボットを開発する．また，開発したロボットでトマトロボット競技会に参加する．トマトロボット競技会では，トマト収穫ロボットの走行コースとしてポリ塩化ビニル製の管で構成されたレールコースと，トマト収穫地点まで一切の障害のないフリースタイルコースが存在する．本研究では，このレールコースとフリースタイルコースの双方において走行可能となるよう，モータ駆動の 2 輪の溝付車輪と，4 輪の補助輪を搭載している．また，今年度よりフリースタイルコースに，1[cm]の段差があるステージが導入された．そのため本研究では，リンク機構，サスペンションなどを用いて不整地走破能力を持つトマト収穫ロボットの移動機構を製作する．

1.3 トマトロボット競技会

トマトロボット競技会は，2014 年 12 月から北九州学術研究都市にて開催されている，響灘菜園（株），九州工業大学社会ロボット具現化センター，北九州工業高等専門学校共催の大会である．競技の趣旨として「新鮮なトマトの収穫」を位置づけており，Fig1 に示すフィールド内において，トマトを収穫し，新鮮なトマトの個数で競う．制限時間は 10 分となっており，ロボットの基本仕様は幅 800[mm]，長さ 800[mm]，推奨仕様は最大質量 50[kg]，モータ電力 80[W]となっている．

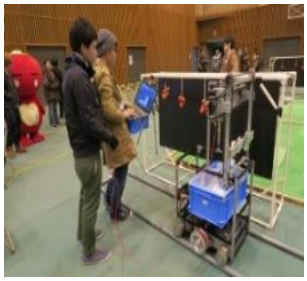


Fig.1　Field of Tomato Robot Competition[2]

フィールドは Fig.1 に示すようにレール上を走行し収穫を行うレールスタイルと，収穫地点まで一切の障害のないフリースタイルが存在する．また，ロボットの競技部門として PC からの遠隔操作によってロボットを操縦する遠隔操縦部門と，スイッチの ON/OFF 以外の人間の操縦を必要としない自律部門の 2 つの部門が存在する．本研究では，響灘菜園（株）のトマト農園での実用化を想定し，フィールド上を走行するロボットの開発を行う．また，操縦はロボットに積載した PC をリモートコントロールによって操作し，モータの駆動は回路と PC 間のシリアル通信によるコマンド操作によって駆動させる．

2. 移動機構の開発

2.1 開発環境

開発環境として，設計には Dassault Systèmes SolidWorks Corporation の 3 次元 CAD 設計ソフト SolidWorks を使用した．また，次に記す機構の DC モータにはツカサ電工株式会社製の TG-78A-JM-50-HA を 2 個使用した．TG-78A-JM-50-HA の定格トルクは 3920[N·m]である．このモータは，制御運転も容易な 12 スロット構成で，大負荷に耐え，初段ギアは騒音対策のヘリカルギアを採用した JM ギアとの組み合わせが可能である． Fig.2 に使用した DC モータを示す．

Fig.2　DC motor

また，移動機構を製作する上で，精度が求められるリンクや車輪につながる軸などは旋盤とフライス盤を使用した．旋盤は，被削物を回転させ，バイトを移動させて被削物に当てることで円柱状の材料を製作する．一方，フライス盤は，固定した被削物を 3 方向に移動させて回転するバイトに被削物を当てることで製作する．使用した旋盤とフライス盤をそれぞれ Fig.3，Fig.4 に示す．

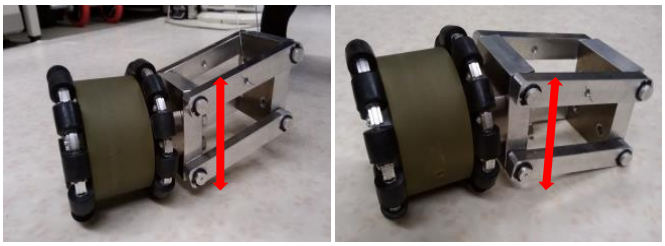
Fig.3　Lathe

Fig.4　Milling machine

2.2 平行リンク機構

本研究では，段差を乗り越える機構を製作する点から，車輪を上下運動させる平行リンク機構を設計し，製作した．平行リンク機構とは，四節回転連鎖において向かい合うリンクの長さをそれぞれ等しくし，そのうち 1 つを固定すれば，これに向かい合うリンク上の 2 点は常に平行に移動する機構である．

本研究で使用している移動機構部は重く，1 つの平行リンクでは支えきれない可能性がある．そこで、1 つの車輪に対して，2 つの平行リンクを取り付けた．これにより，平行リンクの強度が増し，車輪に続く軸が安定した．実際に製作した平行リンクを Fig.5 に示す．平面上，レール上走行時は Fig.5(a)のようなリンクの形を保つが，段差を乗り越えた時は Fig.5(b)のようなリンクの形になる．



(a)　　(b)

Fig.5　Parallel link mechanism

2.3 サスペンション

本研究では，段差を降りる際の衝撃が大きい点から，サスペンションを使用した機構を設計し，製作した．モデル化したものを Fig.6 に示す．サスペンションとは，不整地走行時にすべての車輪を適正な圧力で接地させ衝撃を吸収して振動を抑制する機能がある．ダンパは SP クローラーショック CR-01 用 3314 を 12 個使用し，Fig.7 に示す．また，凹凸の大きな不整地で良好な接地力配分を実現するには，大きなサスペンションストロークがあるのがよいため，ばね定数の小さいスプリングを，自然長よりもかなり縮めた状態で使用するのがよい．そこで，ばね選定は，移動機構部の重さ m を 40.8[kg]，自然長からの縮み x を 10[mm]として計算を行った．1 つの場合のばね定数を k_1[N/mm], 12 個全てのばね定数を k_{12}[N/mm]として，k_1 を求める．ばねによる運動方程式は以下のようになる．

$$F = kx \tag{1}$$

$$mg = kx \tag{2}$$

$$k = \frac{mg}{x} \tag{3}$$

$$k_{12} = \frac{40.8\times9.8}{10} = 39.984[N/mm] \tag{4}$$

ダンパは 12 個つけるため，

$$k_1 = \frac{k_{12}}{12} = \frac{399.84}{12} = 3.332[N/mm] \tag{5}$$

よって，ばね定数 k は 3.332[N/mm]に近いものを使用する．さらに，本研究で使用するダンパはばねを中に挿入するタイプであるため，外径 10[mm]以内，自然長 35[mm]以上のばねを選定した．結果，唱和発篠製作所の圧縮コイルばねを使用

し，外径 8[mm]，自然長 40[mm]，ばね定数 3.802[N/mm]のばねを選定した．Fig.8 に実際に使用した圧縮コイルばねを示す．

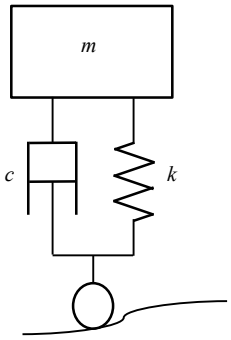


Fig.6　Free-body diagrams

Fig.7　Damper

Fig.8　Compression coil spring

2.4 ユニバーサルジョイント

駆動輪において，タイヤの軸とモータの軸の高さが異なることから，ユニバーサルジョイントを使用する．ユニバーサルジョイントとは，自在継手とも呼ばれ，回転する 2 軸の交わる角度をある範囲内で自由に変えられる軸継手である．本来，Fig.9 のように 1 つの車輪に対してシングルタイプのユニバーサルジョイントを 2 つ使用し，ユニバーサルジョイント間に長い軸を入れることで許容角度 α を小さくして，滑らかな回転を実現する．しかし，長い軸を取り付けるスペースはないため，１つのユニバーサルジョイントで実現できる misumi の UNCW20 を使用した．UNCW20 は SCM415 でできたダブルタイプのユニバーサルジョイントであり，許容角度 α は 30[deg]である．Fig.10 に実際に使用したユニバーサルジョイントを示す．

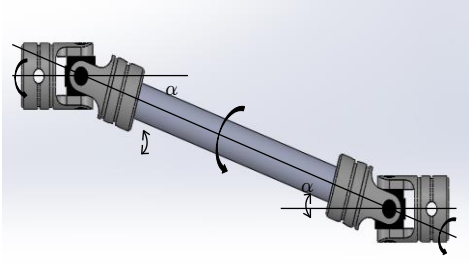


Fig.9　Operating principle of universal joint

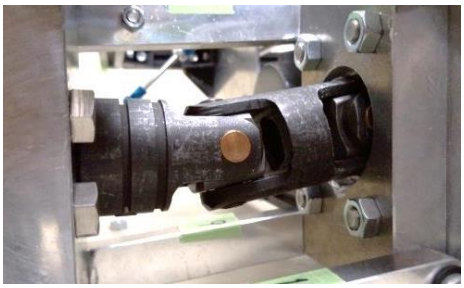


Fig.10　Universal joint

2.5 移動機構の構成

製作した車輪の配置は Fig.11 のようになっている．タイヤは，全部で 6 つとし，中央 2 つを駆動輪，前後 4 つを受動輪とする．

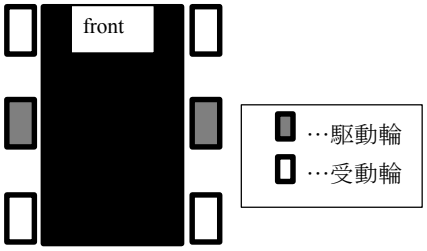


Fig.11　Wheel configuration

2.6 駆動輪

駆動輪において，平面での接地面積が小さいことから，O リングを使用する．O リングとは，断面が円形の環状パッキンで，溝にはめて適度に圧縮し，流体が漏れるのを防ぐものである．しかし，本研究では，平面に接地する部分に溝を彫り，O リングをはめた．また，動作した際に，トルクがかかり O リングが外れるため，シリコンで固定した．実際には Fig.12 のようになり，O リングは，武蔵オイルシール工業の P150 シリコンゴム製を使用した．

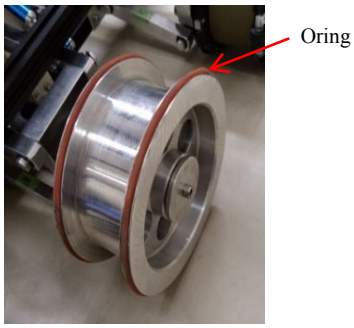


Fig.12　Oring

2.7 受動輪

受動輪において，スムーズな旋回を行うためにオムニホイールを使用する．オムニホイールとは，車輪の円周方向に，樽型のローラーが複数ついており，前後左右を自由に移動できる車輪である．本来、オムニホイールは車体の前後に左右駆動輪を配置し，左右に前後駆動輪を配置することで左右前後の動きを可能とする車輪である．

しかし、本研究では以上の用途ではなく，旋回のために使用した．旋回する際に駆動輪の回転方向を左右で逆にすることで，オムニホイールの樽型のローラーが円周方向に回転し，ロボットが旋回できるような仕組みとなっている．さらに，受動輪もレール上の走行を可能にするため，オムニホイール間にスペーサーを入れた．オムニホイールを使用して製作した車輪を Fig.13 に示す．

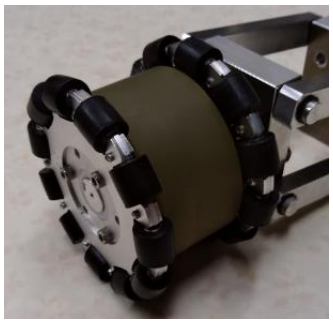


Fig.13　Wheels using omni-wheel

2.8 製作した移動機構

Fig.14 に製作した駆動輪，Fig.15 に受動輪を示す．また，完成したロボットを Fig.16 に示す．

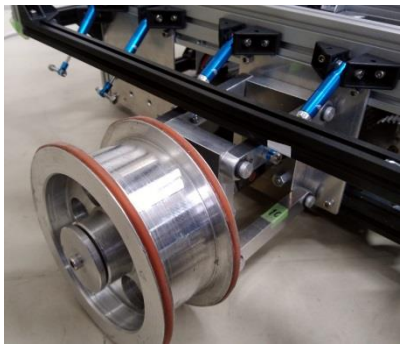


Fig.14　Drive wheel

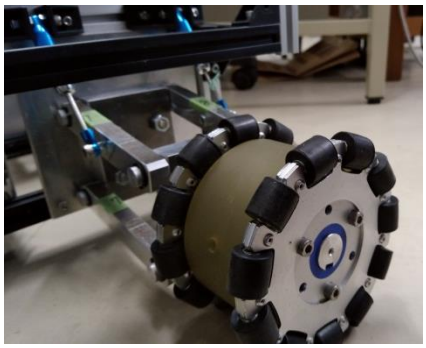


Fig.15　Passive wheel

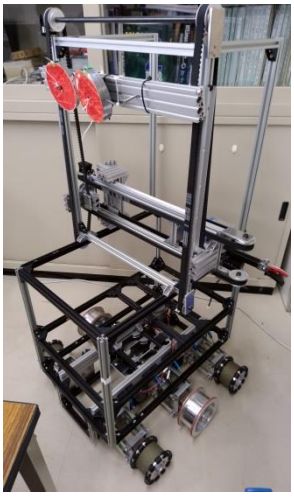


Fig.16　Overall view

3. 結論

トマト収穫ロボットを開発し，得られた結論を以下に示す．

(1) 段差を乗り越える点から，平行リンク機構を用いた車輪を設計し，製作した．

(2) 段差を降りた際に衝撃が大きい点から，サスペンションによって移動機構部に伝わる衝撃を吸収する機構を設計し，製作した．

文献

[1] 太田智彦，園芸生産のための対象物形態に応じた管理・収穫作業ロボット化技術の研究開発，三重大学大学院生物資源学研究科博士論文，2012，pp. 1.

[2] 国立大学法人　九州工業大学社会ロボット具現化センター，「第 2 回トマトロボット競技会」，http://www. lsse. kyutech. ac. jp/~sociorobo/tomato-robot（2015 年 9 月 7 日アクセス）

[3] 今井弘之，竹口知男，能勢和夫，やさしく学べる制御工学，森北博巳(2000)

[4] 米田完，大隅久，坪内孝司，ここが知りたいロボット創造設計，野間佐和子(2005)

[5] 米田完，大隅久，坪内孝司，はじめてのロボット創造設計，鈴木哲(2013)