

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K07674

研究課題名(和文) 果樹園用知能化除草ロボットの開発

研究課題名(英文) Development on the autonomous mowing robot for orchard

研究代表者

武田 純一 (Takeda, Jun-ichi)

岩手大学・農学部・教授

研究者番号：80133908

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、比較的安価な測距装置であるレーザスキャナを用いて、果樹園の樹木列を検出しながら樹列間を直進走行・除草し、枕地部分で適宜旋回した後、樹列端より再侵入して樹列間の往復刈取りができる除草ロボットの開発を行った。また、AI技術を応用し、車載したカメラの映像から樹木列を検出出来るシステムを構築した。実車実験を行った結果、直進走行部における目標軌道とのRMS値は25mmで、実作業に何ら問題ないレベルであった。また、構築したAI技術による樹木検出システムは、比較的良好に樹木列を検出することが可能であった。

研究成果の概要(英文)：The objective of this research was to develop a mowing robot which works in the orchard tree rows. A two-dimensional laser scanner was set in front of the mowing machine to detect tree rows. The machine was controlled to travel back and forth between tree rows and turn in the head land. And also a tree row detecting system by applying AI technology which was used images of camera was developed.

As a result of the experiments, the RMS value at the time of traveling straight forward in the tree rows was about 25 mm, and the accuracy was not affected to the actual work. And also the developed tree row detecting system by AI technology was comparatively good.

研究分野：農業環境工学

キーワード：果樹園 除草 ロボット 自律走行

### 1. 研究開始当初の背景

東北地方ではリンゴやモモ、ナシをはじめとして全国的にも有数の果樹生産地帯となっているが、リンゴ作では10a当たりの労働投下量は、水稲作の約10倍以上となっており、農業就業人口の高齢化も進んでいる中、農家からは可能なところから作業の自動化を行ってほしい旨の要望が出されている。

これまでの果樹園内作業の自動化については、防除作業で市販機が販売されているが、土中への電線の敷設や地上部へのガイドパイプの敷設が必要等の理由で、あまり普及が進んでいない現状にある。また、近年のGNSSの普及等により、トラクタ・田植機・コンバインなどでロボット化の研究が進んでいるが、果樹園では樹木の枝葉によるマルチパスの影響で、GNSSの精度が落ちる可能性があり、樹列間が比較的狭い我が国の果樹園では特に自律走行車両の位置推定には利用できない可能性もある。

本研究では、果樹園内の除草作業を行うロボットを開発することにより、現場での果樹園作業の機械化・軽労化へ寄与しようとするものである。

### 2. 研究の目的

本研究では、果樹園作業で利用する農業機械のロボット化の一環として、これまでに行ってきた比較的斉一な環境条件下での自律走行システムに関する基礎研究を元に発展させ、果樹園の下草刈りの自動化を目指し、比較的小型でかつ知能化システムを搭載した除草ロボットの開発を行うことを目的とする。

本研究では、以下の4つのサブテーマを設定して、知能化したロバストな果樹園用除草ロボットの基礎開発を行った。

- (1) レーザスキャナ (以下LSと称す) による樹木列の検出と圃場内での除草ロボットの走行
- (2) 走行経路の最適化と圃場端での旋回・樹列間の移動の自動化
- (3) AI技術を利用した樹木列の検出方法の開発
- (4) 障害物等の検出と回避策の構築

### 3. 研究の方法

#### (1) ベース車両の改造と供試圃場

走行試験には4輪乗用型モータ (I社製: ARMS30) に各種装置を取り付けたものを使用した。測距装置としてLSを車両前方に水平に設置した。車両の前後進用HSTレバーにはストロークモータを設置し、本モータにオートスイッチを装着し、シリンダのストローク長を検知する事により車両の前後進速度を制御出来るようにした。操舵装置として、ハンドル基部にDCサーボモータを設置し、チェーンとスプロケットにより操舵輪を制御できるようにした。また、左側前輪にポテンシオメータを設置し、リアルタイムで実際の

操舵角を検出できるようにした。

各装置は全て車載した制御用PCに接続し、各センサの情報を基にして、車両の制御を行うことができるようにした。図1と図2に供試機の概観を示した。図3には除草ロボットの走行時の試験圃場を示した。試験圃場はアスファルト路面とし、疑似樹木として外径114mmのPVCパイプを樹間×列間=4m×4mとし、4列設置した。

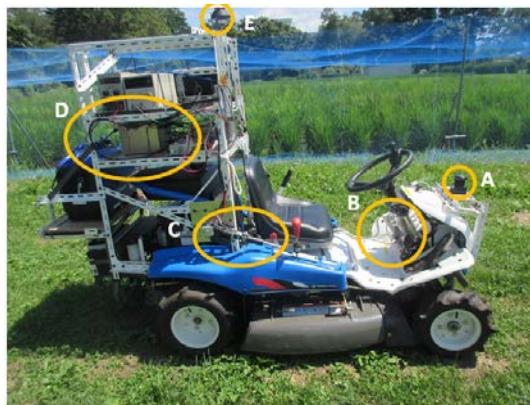


図1 供試機 (側面)



図2 供試機 (前面)



図3 模擬果樹園圃場

ただし、A:LS, B:DCモータ, C:ストロークモータ, D:制御用PC, E:トータルステーション用プリズム, F:疑似樹木(PVCパイプ)である。

#### (2) 樹列の検出と車両の制御方法

樹列の検出は、供試機前方に設置した LS の出力により判定し、車両と樹木との相対的な自己位置、目標軌道と前方注視点 P との偏差  $\varepsilon$ 、および姿勢角を算出した (図 4)。

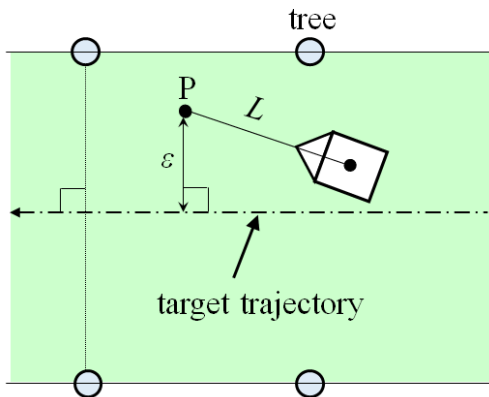


図 4 樹列間での目標軌道と前方注視点までの横偏差

### (3) 枕地での旋回方法

樹列端の枕地での旋回方法は、旋回中心となる樹木を判定し、旋回半径を予め設定しておき、前方注視点 P と旋回半径との偏差  $\varepsilon$  を算出した (図 5)。

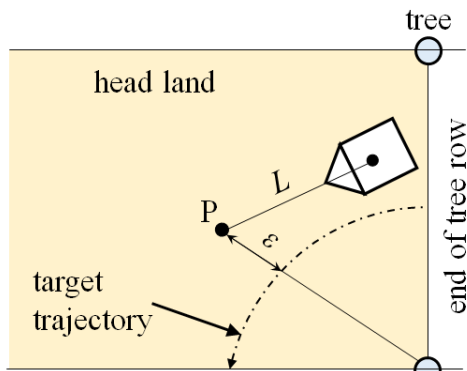


図 5 枕地での目標軌道と前方注視点までの横偏差

### (4) 目標操舵角と樹列間の往復回数

目標軌道に追従するため、操舵輪の目標操舵角  $\alpha$  を求める制御則は、式 (a) に示す通りとした。

$$\alpha = k \cdot \varepsilon \quad (a)$$

ここで、 $k$  は任意の常数で、予めシミュレーションして最適値を決定した。

また、車両幅、モアの刃の回転半径を考慮しながら樹列間での往復作業をしなければならないので、樹列間内での車両の走行回数を、式 (b) により定めた (図 6)。

$$n = \frac{l_t + l_m - l_c - d}{l_c} \quad (b)$$

ここで、 $n$ : 樹列間での走行回数、 $l_t$ : 樹列間距離、 $l_m$ : 車両幅、 $l_c$ : モアの刈刃直径、 $d$ : 樹幹直径である。

車両の模擬的な動きは、図 6 に示すように、樹列間では  $n$  回の往復走行を行い、枕地部分では図 7 に示すように、次の走行目標線に追従しやすくするため一端逆方向に後退した後、樹列端に進入することとした。

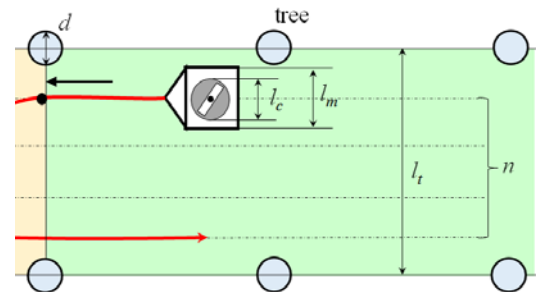


図 6 樹列間での直進走行

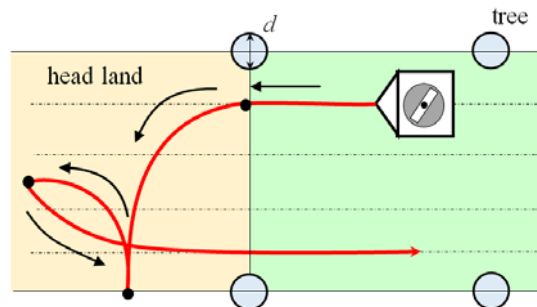


図 7 枕地での旋回方法

### (5) AI 技術による樹列の検出方法

近年の AI 技術の進展には著しいものがあり、本研究では供試車両に搭載したカメラによる画像を基にして、樹木列を判断する方法の開発を試み、LS による樹列検出法の補完となり得るかを検討した。

検出システムには、畳み込みニューラルネットワークを利用した高速物体検出手法である YOLO v2 を用いた。検出対象は、岩手県で生産が盛んなリンゴ樹木とし、樹齢や繁茂の状態に依らない検出システムの構築を目指した。樹列検出システムを作成するために、検出する対象の画像の収集・ラベル付けを行い、これらのデータを用いて、樹列検出モデルを学習させる手順をとった。

#### ① 学習データの作成

物体検出モデルを作成する際には、大量の画像サンプルと画像に対応する物体の座標データ (アノテーションデータ) が必要となる。検出の対象となるリンゴ樹木の画像は、本学部附属寒冷フィールドサイエンス教育研究センター滝沢農場にて撮影した。また、より一般的なリンゴ樹木を検出するために、樹齢や繁茂の状態を問わず、様々なサイズのリンゴ樹木を撮影した。これらの画像からオープンソースソフトウェアである Yolo\_mark を用いてアノテーションデータを作成した。作成したデータ数は、638 枚、2015 領域であ

り、この内ランダムに選択した 509 枚、1619 領域を学習データとした。

## ②樹列検出モデルの作成

樹列検出モデルの作成は、リアルタイム物体検出アルゴリズムである YOLO を用いて行なった。また、作成には YOLO を使用できる深層学習フレームワークである Darknet を用いた。検出モデルを作成する際、撮影した画像は、そのままでは非常に大きく、一般的な環境では計算時間が現実的ではないため、 $1440 \times 1080$  ピクセルで撮影された画像を、 $416 \times 416$  と  $832 \times 832$  の 2 つのサイズにリサイズした。この処理により性能にどの程度の差が生じるのかを検討し、学習回数によって検出モデルの性能がどのように変化するのかも考察した。

## ③作成した検出モデルの性能評価

作成した検出モデルの性能を評価するために、学習データと同じ圃場で撮影されたテストデータと、盛岡市内の果樹園で撮影したデータの、2 つのデータセットを用意した。評価方法は、プログラムによって機械的に評価を行うものと目視による評価の 2 つを行った。機械的な評価は、迅速に行えるので、作成したモデルの性能を大まかに把握するために用い、その中で高い性能を示したモデルについて、目視による評価を行った。本研究では、機械的な評価が良好だった、学習回数が 1000 回行ったモデルを対象に目視による評価を行った。目視による評価の結果について、ここでは主に適合率について述べる。適合率とは、モデルが樹木と判断した領域数を人間とモデルが共に樹木と判断した領域数で割った値を指す。つまり検出モデルの正解率である。

## 4. 研究成果

### (1)LS を用いた模擬果樹園圃場での走行実験

図 8 に実験結果の一例を示す。走行位置データは、トータルステーションの不具合で 1 往復分しか取れなかったが、実際の走行については式 (2) で計算された  $n$  回の走行を行うことができた。また、樹列間の直進部分の RMS 値は 25mm 程度で、実圃場での走行としては

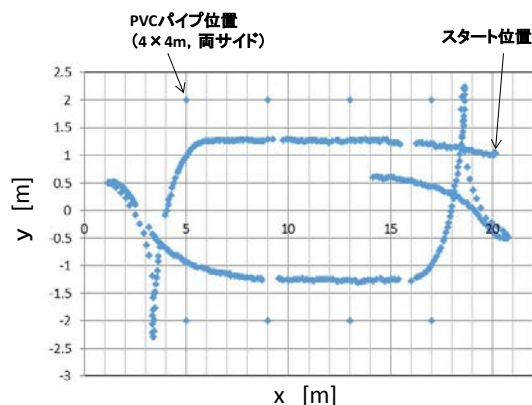


図 8 LS を用いた模擬果樹園圃場での自律走行実験結果の一例

問題のないレベルであった。今後の課題としては、走行速度と操舵角係数  $k$  の関係の最適化、枕地での走行パターンの最適化、各種実圃場での走行実験による適応性の評価などが挙げられる。圃場内の樹木のマッピングについても、今後の課題とした。

なお、障害物の検出については、別車両を用いた試験を行い、樹列を一定の速度で横切る物体や走行路面に静止した物体について LS でセンシングし、樹列情報との比較を行い、異なる場合は車両を停止するようプログラミングした結果、良好な結果を得た。

### (2)AI 技術による樹列の検出結果

作成した検出モデルによって画像を処理した結果の一例を図 9 に、評価の結果については図 10 に示す。テストデータを用いた評価は、機械的な手法では、高い性能を示したが、解像度による大きな性能の相違は見られなかった。目視による評価では、適合率は高解像度のモデルの方が高かったが、これは高解像度にしたことでより遠方の木を検出できるようになった結果である。本研究で検出範囲とした 8m 以内の樹木については、検出精度の変化は見られなかった。

他の果樹園のデータを用いた評価では、低解像度のモデルが高い性能を示した。天候や果樹の仕立て方、樹木同士の間隔など様々な要因が学習データと異なる環境であったが、適合率は 0.82 と高いスコアを示した。この結果より、作成した検出モデルが、天候や圃場環境によらない汎用的なリンゴ樹木の検出が可能なモデルであることが示された。一方、高解像度のモデルでは、機械的な評価では性能が安定せず、学習回数とともに性能が下がっていく傾向が見られた。目視においても、適合率は低解像度のモデルと大きな差はないものの、樹木を見逃す数や誤検出数が大幅に増加した。この原因は、学習データの量や多様性が十分ではなく、増加した豊富な情報量を活かせず、特徴の抽出が不十分であったのではないかとと思われる。

本研究にて作成した樹木検出システムは、十分な検出性能を持つと共に、環境の変化にも強いロバスト性のあるシステムであることが示された。よって今後は、この検出モデルを実際に車両に組み込み、自律走行を行う上でどのような課題があるかを調査する必要がある。

また、今回対象としたのはリンゴ樹木であったが、学習データを変更することで様々な樹木や物体の検出モデルの作成が可能である。よってリンゴだけではなく、様々な果樹への応用が可能である。

安全面においても、別途汎化プログラムにより圃場内で人がカメラの視野内に入るような場合は、人と認識出来ることを確認したので、今回開発した樹木検出モデルに、人や各種障害物について学習させて汎化性を持たせることが出来れば、人が飛び出してきた

場合に人を検出し、安全に停止するシステムなども構築が可能になると思われる。



図9 開発したシステムによる樹木検出例

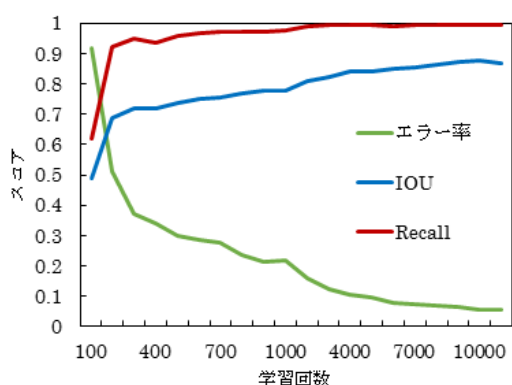


図10 学習効果の評価結果

以上、3年にわたって果樹園内用知能化除草ロボットの開発を行ってきたが、今後開発したシステムの小型化を図り、実圃場にて走行・刈取り実験を行い、現場への適応性について検討を行いながら、現場に導入できるよう継続実験していく予定である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 4件)

- ① Keisuke Toyama, Kenta Hatiya, Shoji Koide, Takahiro Orikasa, Hiroshi Shono, Jun-ichi Takeda, Development on the autonomous mowing robot for orchard, Proceedings of the 9th International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering (ISMAB), 28-30 May 2018, Jeju, Korea
- ② 塚野正洋, 武田純一, 小出章二, 庄野浩資, 折笠貴寛, AI技術を利用した果樹園の樹列検出, 第76回農業食料工学会年次大会講演要旨集, 3. (2017.09.07-08)
- ③ 外山敬介, 小出章二, 庄野浩資, 折笠貴寛,

武田純一, 果樹園用除草ロボットの開発—樹列間の往復走行について—, 農業食料工学会東北支部平成29年度支部大会講演要旨, 27-28. (2017.08.21-22)

- ④ 宮 和佳子, 武田純一, 小出章二, 庄野浩資, 折笠貴寛, 果樹園用自律走行除草ロボットの開発, 農業食料工学会東北支部平成28年度支部大会講演要旨, 28-29. (2016.08.25-26)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

武田 純一 (TAKEDA JUN-ICHI)

岩手大学・農学部・教授

研究者番号：80133908