

# レーザーセンサを用いた機械学習による障害物検知技術の開発

堤 大祐, 三田村智行, 今岡 広一, 林 峻輔, 浦池 隆文

## Development of Obstacle Detection Technology by Machine Learning with a Laser Sensor

Daisuke TSUTSUMI, Tomoyuki MITAMURA, Koichi IMAOKA,  
Shunsuke HAYASHI, Takafumi URAIKE

### 抄 録

本道の農業生産現場などでは人手不足が深刻化しており、人手作業を代行する除草機械や搬送機器などの作業車両の導入が求められている。一方、作業車両においては、走行時に障害物の有無など周囲の環境を認識する必要がある。本研究ではレーザーセンサを用いて作業車両の走行経路上の障害物(人)の検知を機械学習を利用してリアルタイムで処理した。実際に試験用の作業車両(移動体プラットフォーム)を用いて走行試験を実施し障害物(人)を検知して回避動作をさせることを確認した。また、積雪寒冷地である北海道では降雪の影響を考慮する必要があるため、降雪への対応についても報告する。

キーワード：ロボット, 機械学習, 障害物検知, 降雪

### Abstract

The shortage of labors is increasing in agricultural production domain in Hokkaido. Machinery for saving labors such as a weeder or a carrier equipment is required. It is required to recognize the surrounding environment in the operation. In this study, we used a laser sensor to detect obstacles on the operational route of a working vehicle in real time using machine learning. In an actual test, the working vehicle detected an obstacle and performed an avoidance operation. In addition, it is necessary to consider the influence of snow in Hokkaido. We discuss the influence and a method to reduce.

KEY-WORDS : robot, machine learning, object detection, snow

## 1. はじめに

本道の農業生産現場などでは人手不足が深刻化しており、除草や搬送など人手作業を代行する作業車両(フィールドロボット)の導入が求められている。このようなフィールドロボットの走行には障害物の有無など周囲の環境を認識する必要があり、カメラやレーザーセンサなどを使った環境認識技術の開発が行われている<sup>1-3)</sup>。

フィールドロボットの環境認識に使われているレーザーセンサは、レーザーレンジファインダや測域センサとも呼ばれ、レーザー光を回転させながら走査し、その反射光を受光するまでの時間から距離を求める。これによって、センサ周囲の物体までの距離情報を得ることができる。レーザー光の走査角度は様々

で、180度から360度全周を計測できるモデルもある。さらに、レーザーを上下に走査することで3次元データを得るモデルもある。

レーザーセンサを使ってロボット周囲の障害物を含んだ周囲の地図を作成して経路の生成などを行っている<sup>4)</sup>ほか、自動追尾の手段としても活用されている<sup>5)</sup>。

本研究では、レーザーセンサを用いて周囲の距離情報を取得し、動きのある障害物(人)の検知技術を開発したので報告する。

また、積雪寒冷地である北海道では、フィールドロボットを屋外で動作させるために降雪の影響を考慮する必要がある。本研究では降雪時において試験を実施し、降雪がセンサのデー

事業名：経常研究

課題名：フィールドロボット走行制御のための環境認識技術の研究

タに与える影響を調べ、解決案を示したのであわせて報告する。

## 2. 移動体プラットフォームとレーザセンサ

障害物(人)の検知はレーザセンサを用いて周囲の距離情報を取得して行った。レーザセンサは図1に示す移動体プラットフォーム上に設置した。今回、使用したレーザセンサは北陽電機製で図2に示す走査角度270度、距離10mの範囲にある対象物までの距離を測定できる。また、角度の分解能は0.25度で、1回の走査にかかる時間は25msである。レーザセンサの外観を図3に示す。レーザセンサのデータは図4に示す障害物検知ECU (Electronics Control Unit)で処理した。なお、レーザセンサは床面から約70cmの高さに設置した。

移動体プラットフォームは4輪駆動で走行可能な車両で前進及び後進、前輪と後輪を独立に操舵可能な車両である。走行制御はCAN(Controller Area Network)による通信技術を用いて行った。CANは差動電圧方式による2線式のシリアル通信でノイズに強く、車載系によく使われるシリアル通信規格であり、作業ロボットの制御システムやトラクタの自動運転など通信制御システムへの適用がなされている<sup>6-8)</sup>。

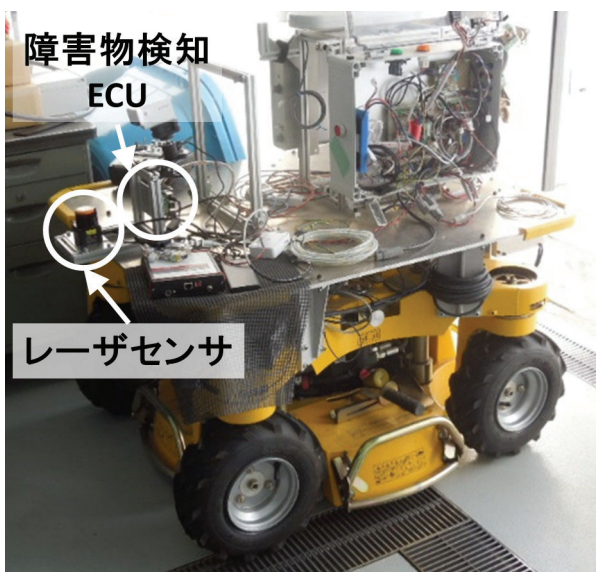


図1 移動体プラットフォーム

図5の試験環境で取得したデータを図6に示す。このレーザセンサは270度の範囲で走査することから、移動体プラットフォームの正面を走査の中心0度として、右側135度、左側に-135度として表示した。図5の正面が角度0度である。また、図6のデータを直交座標系に変換した結果を図7に示す。図7の原点がセンサの位置となる。

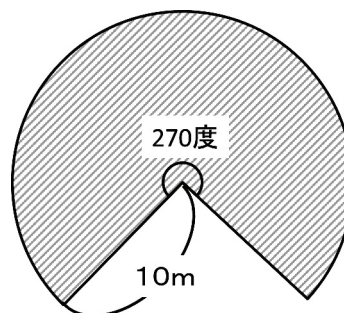


図2 走査範囲



図3 使用したレーザセンサ

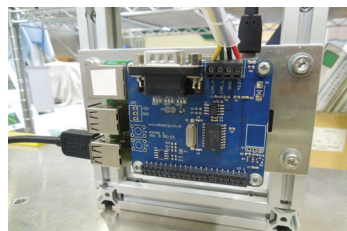


図4 障害物検知 ECU



図5 試験環境

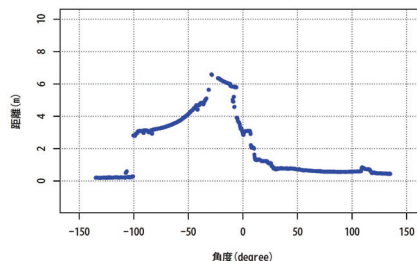


図6 取得したデータの例

図7において、縦軸の6 m付近は図5における奥の扉の反射である。また、図7の横軸の-3 m付近は左側の壁の反射である。このように、レーザセンサは周囲の状況を角度と距離の情報として取得できる。

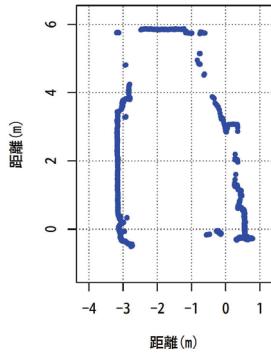


図7 取得したデータの例(直交座標表示)

障害物(人)がある場合におけるセンサ前方の様子を図8に示す。このような場合、図9に示すように角度-10度付近に障害物による反射が生じる。これを直交座標系に変換した図を図10に示す。前方約2mに障害物があることがわかる。移動体プラットフォームにこのレーザセンサを搭載することにより、経路上に現れる障害物を検知できる。

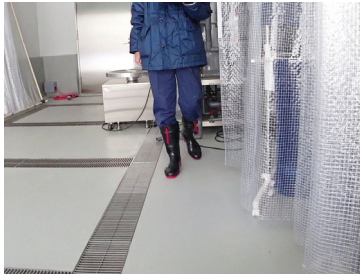


図8 障害物(人)がいる環境の例

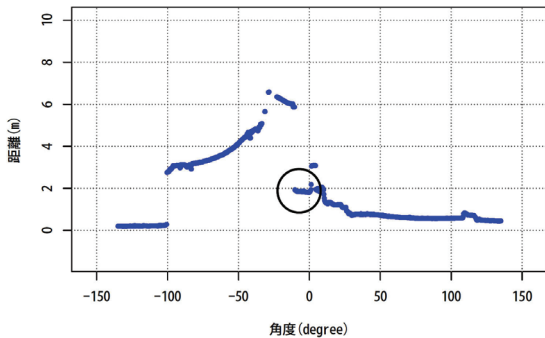


図9 障害物(人)がいる環境での取得データ例  
○で囲った部分が障害物

### 3. ランダムフォレストによる障害物検知

障害物検知処理に機械学習の一手法であるランダムフォレストを用いた。ランダムフォレストは学習データをランダムサンプリングし、多数の決定木を作成し、作成した決定木の結果を統合することで推定結果を出力する。少ない学習データでもよい推定結果を得られる特徴がある。

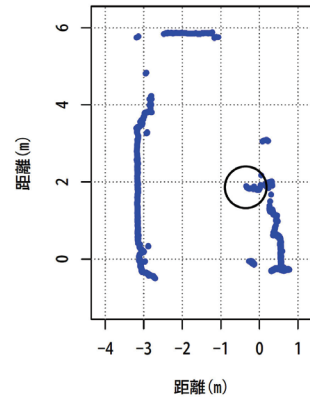


図10 障害物(人)がいる環境での取得データ例  
○で囲った部分が障害物

レーザセンサより取得した図6のようなデータにおいて、隣接するデータの差が一定距離以下の場合を同一のクラスタとした。クラスタリングした結果を図11に示す。図11はクラスタごとにマーカを変えて表示したものである。このように点を複数の集合として扱い、クラスタの特徴量を計算した。次に、その特徴量から機械学習を用いて障害物であるか否かを判定した。

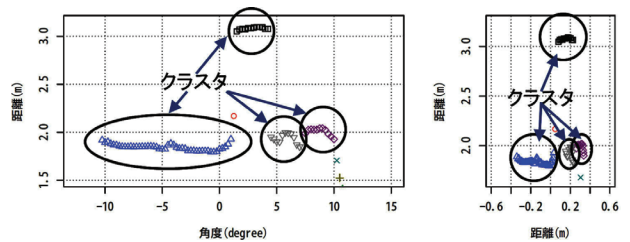


図11 クラスタリングの例

レーザセンサを移動体プラットフォームに搭載し検知処理しながら制御に反映させるには、一定の時間内に検知処理を終える必要がある。加えて、移動体プラットフォームに搭載可能なECUで処理を行うため、デスクトップPCのような高い処理性能を求めない処理手法が求められる。そのため、処理速度を考慮したパラメータを設定した。

学習に使用したパラメータは各クラスタの点の数や距離の平均値など単純な演算で求められる特徴量を使用した。このような単純な演算で求められる特徴量を使用することで、学習モデルに入力するための特徴量の計算コストを抑えられ、移動体プラットフォームに搭載し、リアルタイムで処理可能となる。

屋内及び屋外において取得したクラスタのサンプル約540個を用いて学習モデルを作成し、約90個のクラスタで学習モデルを評価した。結果を表1に示す。

表1 学習モデルの評価

	推定結果		正答率
	障害物(人)	障害物(人)以外	
障害物(人)	61	1	98%
障害物(人)以外	8	23	74%

推定結果で障害物(人)が障害物(人)以外と推定されたクラスタが1件あった。このクラスタは距離が約2.58mであった。学習に用いたクラスタは0.5mから2.5mであり、距離2.58mは範囲外であったため、誤って判定されたものと考えられる。そのため、距離データを増やして学習させると精度を向上させることができる。

一方、障害物(人)以外であるにもかかわらず、障害物(人)と推定された結果の例を図12に示す。図12の円で囲った部分を障害物(人)と推定した。特徴量を追加するなどして、精度の向上を図る必要がある。

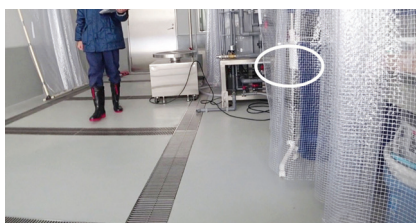


図12 誤検出の例

#### 4. 移動体プラットフォームによる走行試験

作成した学習モデルを図1の移動体プラットフォームに搭載し、屋外での走行試験で障害物検知試験を行った。

移動体プラットフォームは図13に示す構成で走行制御を行った。障害物検知ECUはレーザセンサのデータをEthernet経由で取得した。取得したデータをクラスタリングし、作成した学習モデルを使って障害物検知処理を行った。処理結果はCANを使って送信した。移動体プラットフォーム制御ECUはCANから検知処理結果を取得し、モータ制御ECUに走行指示を与えた。

また、障害物検知ECUと動作確認用PCをレーザセンサとは別のEthernetを使って接続し、動作確認用PCを用いて、レーザセンサのデータと障害物検知処理の状態を監視した。

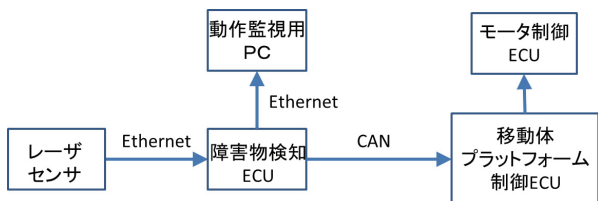


図13 移動体プラットフォームの走行制御のシステム構成図

屋外での実験結果を示す。図14(a)では障害物(人)の検出、(b)は回避行動の開始、(c)は回避中の様子である。このときの動作監視用PCの表示を図15に示す。図15(a)ではセンサによって周辺の物体までの距離情報が取得できており、取得したデータをクラスタリングした結果を示している。これらのクラスタの特徴量を学習モデルに与えた結果、図15(b)に示すとおり障害物(人)のみを検出した。

移動体プラットフォームは時速約4kmで走行した。実験時の障害物検知処理に要した時間は約370msであった。この時間に移動体プラットフォームは約40cm進む。今回、除草や搬送など人手作業を代行する作業車両は移動体プラットフォームと同程度の車速を想定している。このため、この処理時間はリアルタイムに走行を制御できたことを示す。



(a) 障害物(人)の検出

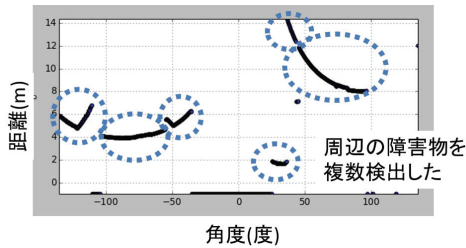


(b) 回避行動の開始

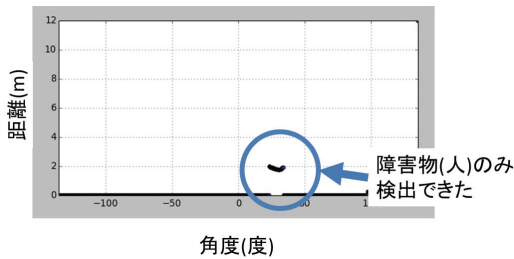


(c) 回避中

図14 屋外での走行試験



(a) センサの情報



(b) 障害物(人)検知処理結果

図15 監視用PCによる障害物検知処理の様子

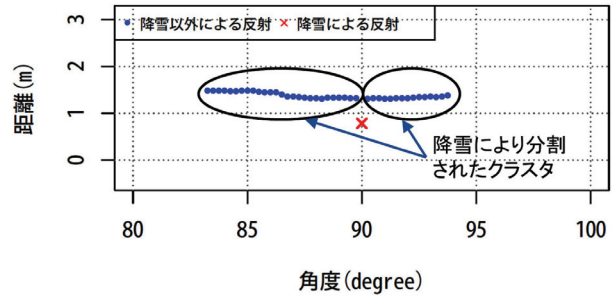


図17 降雪の影響

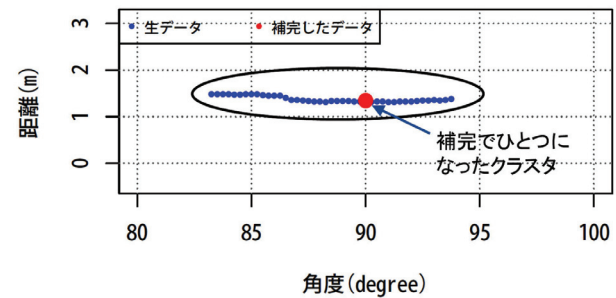


図18 降雪の影響を補完

## 5. 降雪の影響

北海道において、屋外で作業する作業車両は冬期間における降雪の影響を考慮することが必要である。今回使用したレーザセンサは測定距離10mで、角度分解能は0.25度である。よって、距離1mでは走査上の距離分解能は約4.36mm、距離10mでは43.6mmとなる。そのため、近距離の降雪にレーザが反射する可能性が高い。降雪による反射の例を図16に示す。

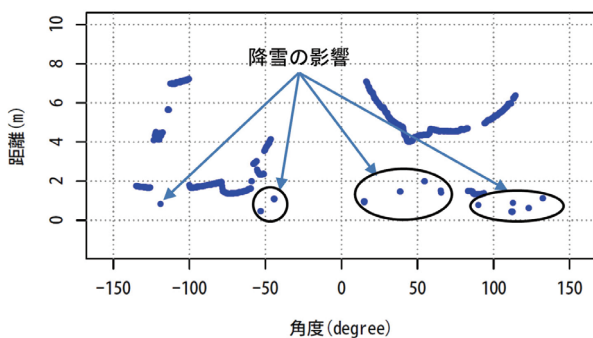


図16 降雪の影響

障害物検知処理はデータをクラスタに分割し個々のクラスタに対して検知処理を行っている。降雪によって、クラスタが分割されると正しく検知処理ができなくなる。図17は障害物(人)として認識されるべきクラスタが降雪によって、2つのクラスタに分割された例である。分割された各クラスタは障害物(人)と認識できなかった。この場合、降雪の反射(図17の×)を直前の走査データで補完することにより、図18のように単一のクラスタとして扱うことが可能となり、正しく障害物(人)として認識できた。

## 6. まとめ

移動体プラットフォームにレーザセンサを搭載し、走行経路上の障害物(人)をリアルタイムで検知し、回避動作をさせる走行制御を実現した。

障害物(人)の検知には機械学習のひとつであるランダムフォレストを適用した。距離0.5m~2.5mの範囲内にある障害物を学習させた結果、障害物(人)を正しく検知した比率が約98%となった。

車載可能な組み込み型のECUで障害物検出処理をリアルタイムに行うため、演算量の少ないパラメータを選択し、ランダムフォレストの演算処理の高速化を図ることで、約370msで処理を行うことが可能となった。

さらに、冬期間における降雪によって生じるノイズを除去する手法を開発し、その効果を確認した。

機械学習の評価試験で障害物(人)以外であるにもかかわらず、障害物(人)と推定されたことから、学習させる特徴量を増やして検出精度の向上を図る予定である。扱う特徴量が増えると処理時間がかかり、リアルタイム性に影響することが考えられることから、障害物検知ECUにおけるソフトウェア構成の見直しなどをあわせて進める予定である。

## 参考文献

- 1) 西田健他, 自動運転のためのLIDARの仕様の検証, 第32回フェジシステムシンポジウム講演論文集, WD2-2, 2016

- 2) 鈴木慎一他, 醸造用ぶどう園向け除草作業支援ロボットの開発, 北海道立総合研究機構工業試験場報告, No.313, pp.1-11, (2014)
- 3) 友納正裕, 移動ロボットの環境認識, システム/制御/情報, 第60巻, 第12号, pp.509-514, (2016)
- 4) 菊池一徳他, 自動追尾のための環境認識, 計測自動制御学会東北支部第307回研究集会, (2017)
- 5) 三浦 純, 移動ロボットの環境認識と行動生成, 日本ロボット学会誌, Vol.26, No4, pp.332-325, (2008)
- 6) 堤 大祐他, 作業車両のための通信制御システムの開発, 北海道立総合研究機構工業試験場報告, No.317, pp.49-54, (2018)
- 7) 堤 大祐他, サイレーズ調製作業の省力化のための自動運転トラクタ用通信制御システムの開発, ネットワークシステム研究会NS2019-193, (2020)
- 8) 堤 大祐他, 国際規格を活用した農業機械の通信制御システムの開発, 北海道立総合研究機構工業試験場報告, No.312, pp.11-16, (2013)