

### 3D-LIDARのPoint Cloud情報を用いたVirtual 2D-LIDAR Moduleの開発

HAYAI, Miyu / 早井, 美結

---

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学研究科編

(巻 / Volume)

63

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

6

(発行年 / Year)

2022-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00025399>

# 3D-LIDAR の Point Cloud 情報を用いた Virtual 2D-LIDAR Module の開発

Development of Virtual 2D-LIDAR Module  
by using 3D-LIDAR Point Cloud

早井美結

Miyu HAYAI

指導教員 小林一行 教授

法政大学大学院理工学研究科システム理工学専攻修士課程

**Abstract:** Nowadays, 3D-LIDAR is one of the key essential devices to understand the profile of the surrounding environment for safe navigation of autonomous mobile robots. The 3D-LIDAR can capture a 360-degree surrounding profile at once as Point Clouds. However, when a 3D-LIDAR is attached to the mobile robot, many 3D-LIDARs have a blind spot especially near surrounding the mobile robot area. Therefore, most developed mobile robots use both 3D-LIDAR and 2D-LIDAR to reduce the blind spot area and prevent collisions with bumps and/or dynamic moving obstacles.

In this paper, we describe a new Virtual 2D-LIDAR Module by using 3D-LIDAR Point Cloud data without actually implementing 2D-LIDAR. Once, the mobile robot capture near the surrounding profile by using 3D-LIDAR, 2D-LIDAR data can be generated which can set a virtual place on the mobile robot. Once the mobile robot acquires the surrounding environment profile using 3D-LIDAR, 2D-LIDAR can be set up virtually at any location on the mobile robot and the data can be acquired. The effectiveness of the developed Virtual 2D-LIDAR Module has been implemented as a ROS module and has been confirmed in actual preliminary experiments.

**Key Words :** 3D-LIDAR 2D-LIDAR Odometry

## 1. はじめに

### (1) 研究背景と目的

自律移動ロボットにおいてセンサは外界の情報を得るために基本となる。現在どのようなセンサが自律走行に用いられているのかを知るために、Table 1 につくばチャレンジ 2019[1]において出場チームが自律走行をするために主に用いるセンサ(自己位置推定や障害物の検出)を調べた結果を載せる[2]。この際、使用しているセンサが分かるチームのみを集計している。

Table 1 List of sensors used in Tsukuba Challenge

Based Sensor							
2D-LIDAR	●	●	●	●			
3D-LIDAR		●			●		●
Camera			●			●	●
GPS				●			
SUM	9	16	3	2	9	1	3

Table.1 より 2D-LIDAR と 3D-LIDAR を組み合わせて走行しているチームが一番多い. 2D-LIDAR と 3D-LIDAR を使用しているチームは Fig.1 のように設置しており用途は①3D-LIDAR と 2D-LIDAR のデータの融合②用途別の 2 種類がある.

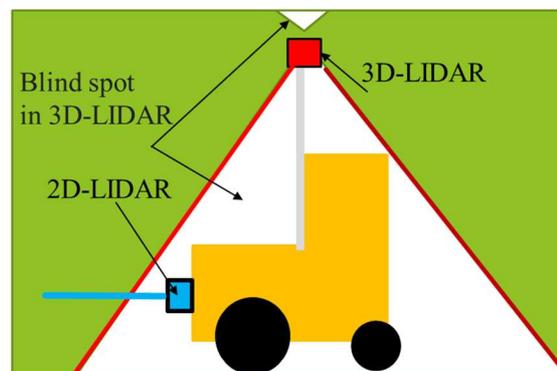


Fig.1 Sensor installation location

①3D-LIDAR は 100m 先の情報まで広く取得ができる利点がある。しかし、Fig.1 に示すように 3D-LIDAR には垂直方向に視野角があるため、白色の部分が検知できない。そのため Fig.1 に示すように 2D-LIDAR で水色の線の部分を検出することで死角の一部分を補っている。

②3D-LIDAR の広範囲を取得できる特徴を活かして自己位置推定に用いている。加えて 2D-LIDAR の自律移動ロボットの周辺を検知できる特徴を活かして障害物の検出に用いている。

しかし、この手法だと 1)設置位置 2)死角 3)ハード設計の 3 点の問題点が発生する。

1)実際の 2D-LIDAR を地面に近い位置に設置することはタイヤの形状的に設置できないことがあり、困難である。2D-LIDAR を低い位置に設置することが出来ないと、段差などの高さの低い障害物を検出できない恐れがある。

2)2D-LIDAR は Fig.1 のように 3D-LIDAR の死角を部分的に補うことはできるが全体を補うことはできない。そのためすべての障害物を認識できない可能性がある。

3)複数のセンサを用いると費用がかかることや、ハード設計や CPU の負担を要する問題が発生する。

上記の問題を解決するために、本論文では 3D-LIDAR から得られる Point Cloud のデータと自律移動ロボットの移動距離や回転角度の情報が得られるオドメトリを用いて Virtual 2D-LIDAR Module を開発する。

## (2) Virtual 2D-LIDAR Module

Virtual 2D-LIDAR Module とは Fig.2 のように 3D-LIDAR から得られるセンサ情報である Point Cloud と、タイヤの自律移動ロボットの移動距離や回転角度の情報が得られるオドメトリのデータから 2D-LIDAR の仮想モジュールを開発したものである。

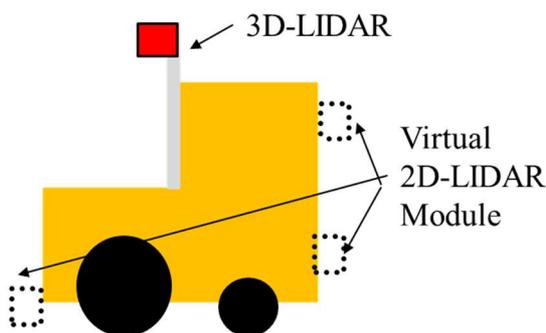


Fig.2 Virtual 2D-LIDAR Module

Virtual 2D-LIDAR Module は仮想であるためハードへの考慮が必要ない。よって限りなく低い場所で設定することも可能である。また 3D-LIDAR は地面を含む広い範囲でデータを取得できるため、Fig.2 のようにハードの状態を考慮することなく、Virtual 2D-LIDAR Module を複数設置することが可能である。

## 2. Virtual 2D-LIDAR Module における仮定と問題の記述

本研究において、以下の 2 つの仮定を設ける。

A1 : オドメトリの値に大きな誤差はないものとする

A2 : 走行開始時に 3D-LIDAR の死角に障害物はないものとする

A1 は、3D-LIDAR の Point Cloud データから Virtual 2D-LIDAR Module を開発する際にオドメトリを用いるために設けた。A2 は 3D-LIDAR には視野角があるため近くの障害物が見えないため設けた。

この仮定より、Virtual 2D-LIDAR Module を実装するために、以下を問題として定義する。

P1 : Virtual 2D-LIDAR Module の実装

P1 は、どのようにして 3D-LIDAR を用いて Virtual 2D-LIDAR Module を開発するかについて定義した。

## 3. 提案するアルゴリズムの概要

Fig.3 に提案する Virtual 2D-LIDAR Module の概要を示す。

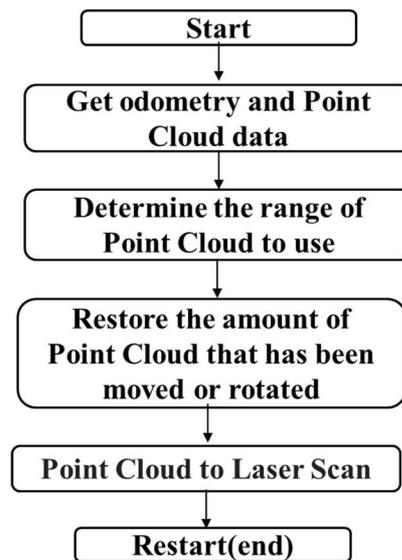


Fig.3 Flow of Virtual 2D-LIDAR Module

3D-LIDAR から得られる Point Cloud の情報は 3D-LIDAR が設置されている場所を原点(0, 0, 0)として座標を取得している。そのため、自律移動ロボットが走行した際に同じ場所でも Fig.4 のように異なった座標で表示されてしまう。(ここで  $n$  はフレーム、 $r_n$  は自律移動ロボットの移動距離、 $\theta_n$  は自律移動ロボットの回転角、 ${}^0P_{L1}$  は Point Cloud とする。)

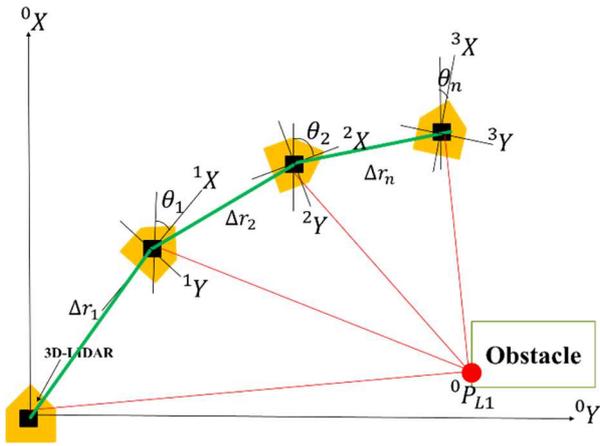


Fig.4 Relationship between Odometry and Point Cloud

そのためロボットのオドメトリから得られる移動距離や回転角度から座標を求める。これによって自律移動ロボットが移動した場合でも、同位置の Point Cloud 情報を全く異なる座標として扱うことを防ぐ。

Point Cloud とオドメトリにおける対応関係の式は(1)のようになる。 ${}^0P_{L1}({}^0x_{L1}, {}^0y_{L1}, {}^0z_{L1})$ は0フレーム(絶対座標系)における 3D-LIDAR で検出した障害物の座標である。 $\Delta x_{oi}, \Delta y_{oi}$ は移動ロボットの移動距離, ${}^nP_{L1}({}^nx_{L1}, {}^ny_{L1}, {}^nz_{L1})$ はnフレーム(相対座標系)における 3D-LIDAR で検出した障害物の座標である。

$$\begin{bmatrix} {}^0P_{L1} \\ 1 \end{bmatrix} = \prod_{i=1}^n \begin{bmatrix} \expm \left( \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \times (-\Delta\theta_i) \right) & \begin{bmatrix} \Delta x_{oi} \\ \Delta y_{oi} \end{bmatrix} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} {}^nP_{L1} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

### (1) データの取得

はじめに 3D-LIDAR から得られる Point Cloud とオドメトリの情報を取得する。

この際にオドメトリと Point Cloud の情報を同時に得る必要があるが Fig.5 に示すように Point Cloud とオドメトリの情報が確実に同時に来るとは限らない問題点がある。

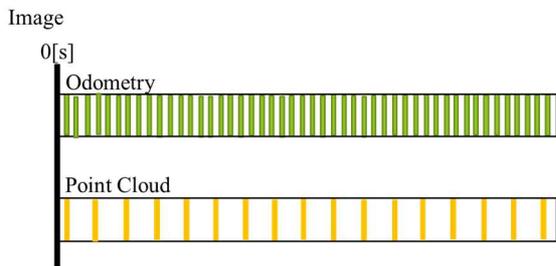


Fig.5 Frequency of Point Cloud and Odometry

そのため、Fig.6 のようにオドメトリと Point Cloud 誤差  $t[s]$  以内で出力される場合(赤色部分)のみ、Odometry と Point Cloud の情報を入手する。

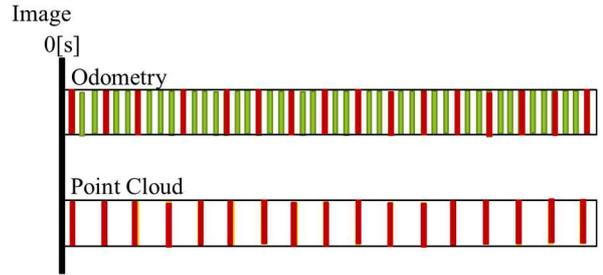
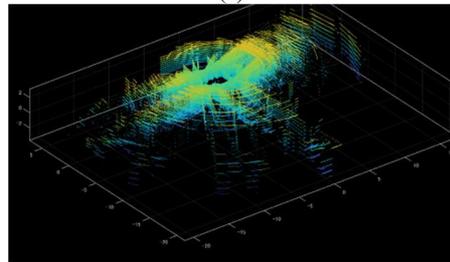


Fig.6 Get Point Cloud and Odometry data

Fig.7(a)に提案手法を説明する環境の写真を示す。自律移動ロボットは Fig.7(a)の赤い矢印の方向にまっすぐ走行する。また Fig.7(b)に取得した Point Cloud の生データを示す。



(a)



(b)

Fig.7(a) Description environment (b) Point Cloud data in 3D-LIDAR

### (2) Virtual 2D-LIDAR Module の関心領域の抽出

ロボットの速度に考慮しながら使用する経過時間の範囲を決める。これはオドメトリの値は積分をしながら算出するため、長距離を利用した Virtual 2D-LIDAR Module はオドメトリ誤差が大きくなっていく恐れがあるからである。さらに 3D-LIDAR は 100m 先のデータまで取得できるため取得したデータをそのまま扱うと処理に時間を要してしまう。そのためあらかじめ使用する範囲のみを選択する。データを選択したものを Fig.8 に示す。

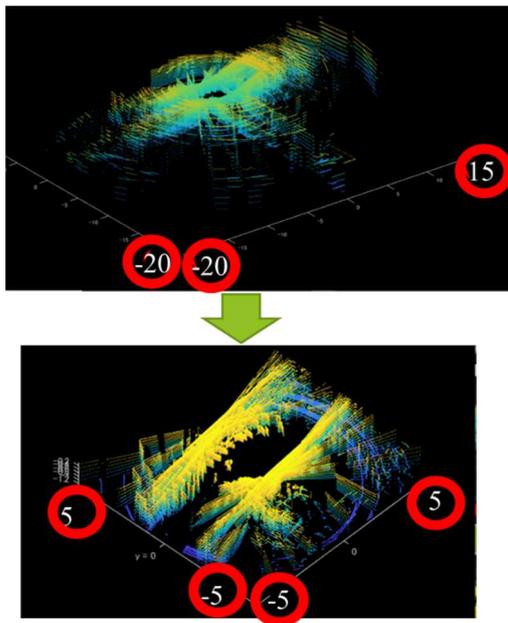


Fig.8 Extraction of Region of Interest

### (3) Point Cloud 座標の一致

自律移動ロボット(3D-LIDAR)が移動した場合でも同位置の Point Cloud 情報を全く異なる座標として扱うことを防ぐ必要がある。そのため Fig.9 のようにオドメトリから得られる移動距離と回転角度を用いて Point Cloud 情報の原点を揃える。計算式は(1)と同様である。

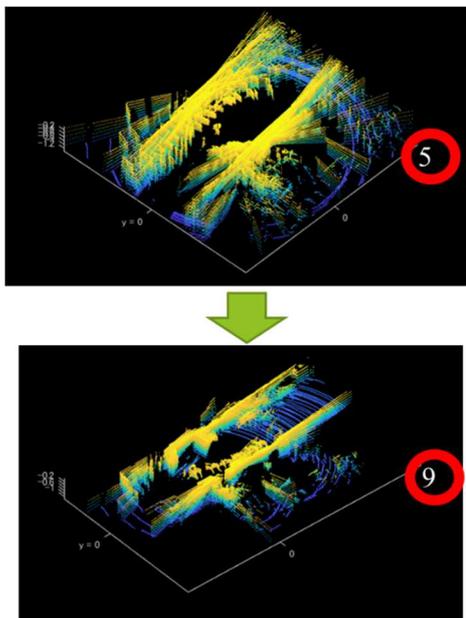


Fig.9 Convert to global coordinates

### (4) 2次元座標の変換

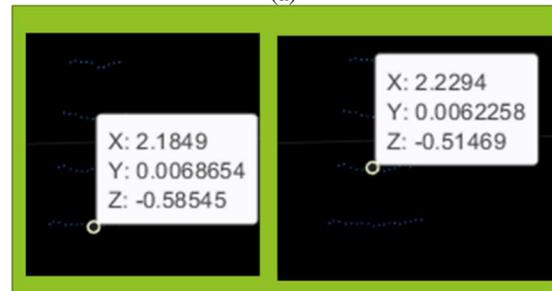
Virtual 2D-LIDAR Module を設置する位置の高さを決め 3次元を 2次元に変換をする。この際にデータの補完を考える必要がある。

3D-LIDAR から得られる情報は円形で出力される。例えば Fig.10(a)のような障害物を 3D-LIDAR で検出すると

Fig.10(b)のようになる。そのため、Fig.10 環境において高さ-0.53m で Virtual 2D-LIDAR Module を作成すると障害物が検出されていないことになる。



(a)



(b)

Fig.10 (a)Obstacle Image (b)Point Cloud Data

これを解決するために Fig.11 のように Virtual 2D-LIDAR Module を設置する高さから上下いずれかに閾値  $\Delta d[m]$ 以内に Point Cloud 情報があれば設置する高さにも Point Cloud 情報があるものとして考える。

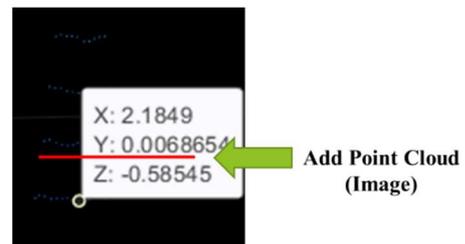
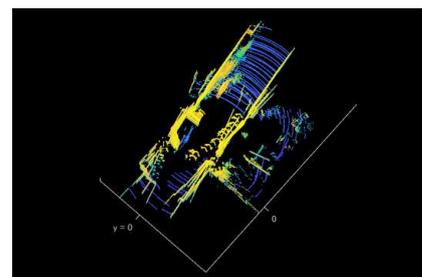
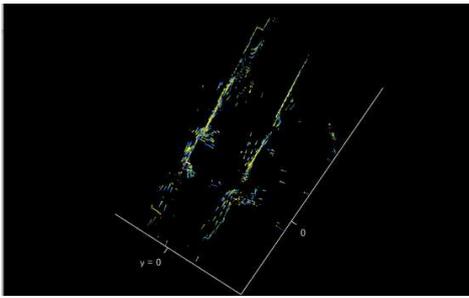


Fig.11 Complementary data

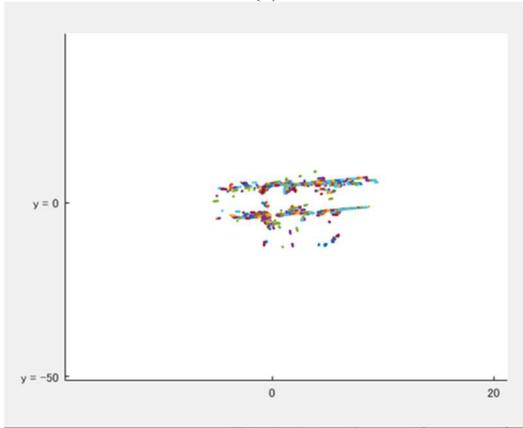
Fig.12 のように 3次元の情報を 2次元に変換する。Fig.12(a)は各点群の原点を合わせたもの、Fig.12 (b)は(a)のデータから Virtual 2D-LIDAR Module で使用する範囲を設定したもの、Fig.12 (c)は(b)のデータを 2次元座標に変換したものである。



(a)



(b)



(c)

Fig.12 (a) Convert to global coordinates(b) Virtual 2D-LIDAR Module height setting(c)Point Cloud to Laser Scan

複数 Virtual 2D-LIDAR Module を設置する場合でも、設置する数だけ上記の手順を行なえば実装が出来る。

#### 4. 検証

##### (1) 使用する機体

Fig.13 に使用する機体を示す。



Fig.13 Mobile robot and sensors used in experiment

地面から約 1.2m の位置に 3D-LIDAR を設置している。

##### (2) 検証環境

Fig.14 に検証環境を示す。

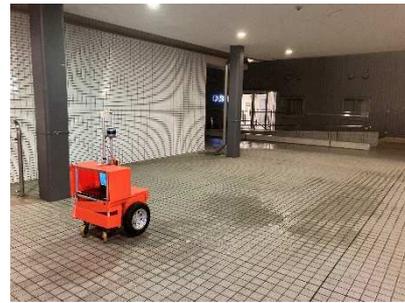


Fig.14 Experiment environment

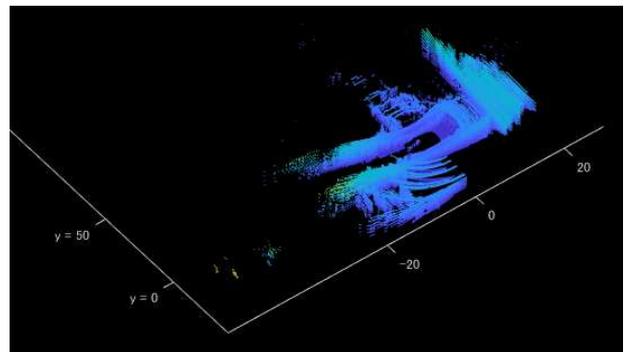
自律移動ロボットを Fig.15 のように角で曲がるように走行させ、障害物の検出を行なう。



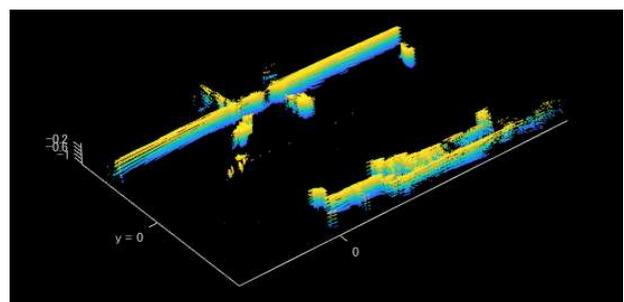
Fig.15 Route planning

##### (3) 検証結果

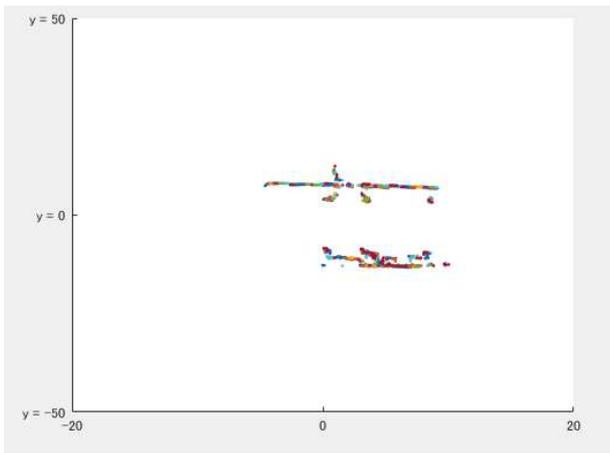
Fig.16 に Fig.15 の①地点での実験結果を、Fig.17 に Fig.15 の②地点での実験結果を示す。また、各 Fig の(a), (b), (c)には(a)3D-LIDAR が得た生データ(b)Point Cloud データの原点を統一したもの(c) Virtual 2D-LIDAR Module を作成したものを示す。



(a)

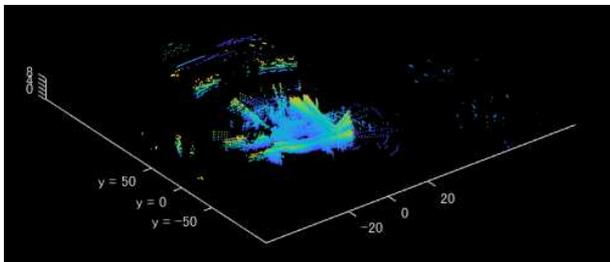


(b)

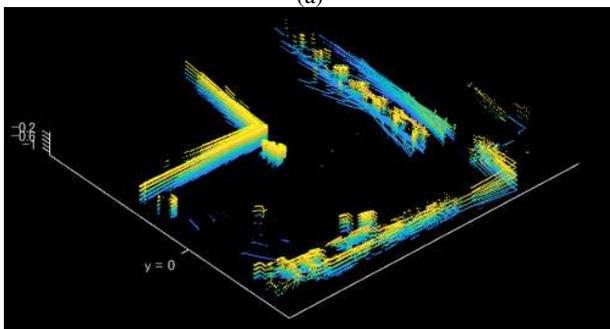


(c)

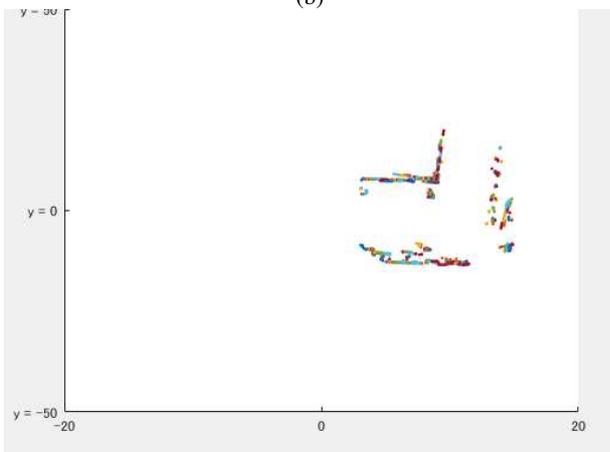
Fig.16 Experiment result (a)Point Cloud data in 3D-LIDAR  
(b)Convert to global coordinates (c) Virtual 2D-LIDAR Module



(a)



(b)



(c)

Fig.17 Experiment result (a)Point Cloud data in 3D-LIDAR  
(b)Convert to global coordinates (c) Virtual 2D-LIDAR Module

また比較として Fig.18 に Fig.15 の①付近での 2D-LIDAR のセンサ情報を表示する。

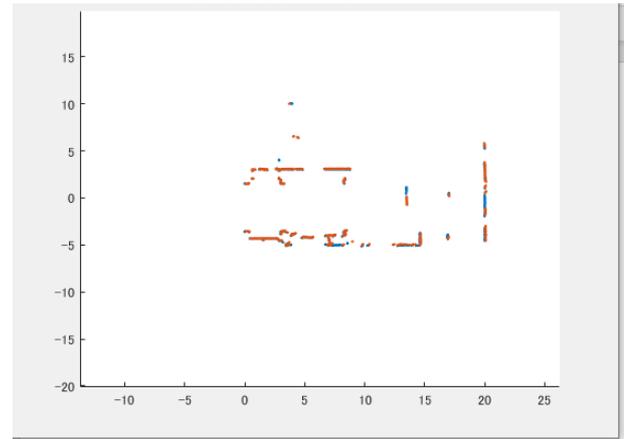


Fig.18 Laser Scan by 2D-LIDAR

Fig.16(b), Fig.16(c), Fig.17(b), Fig.17(c)に示すようにすべての地点で原点を合わせ、Virtual 2D-LIDAR Module を作成することができた。しかし Fig.18 の 2D-LIDAR と比べると Virtual 2D-LIDAR Module は精度が低いことが分かる。

## 5. おわりに

本研究では 3D-LIDAR の Point Cloud データを用いて、静止障害物しかない場合にて、Virtual 2D-LIDAR Module 実装におおむね成功した。しかし、実際の 2D-LIDAR と比べると精度が低いことがわかる。

今後の展望として①リアルタイムでの実装②精度の向上が挙げられる。

①本研究では、bag を用いて実験したため、リアルタイムでも扱えるようにする必要がある。

②Virtual 2D-LIDAR Module 実装には成功したが、完全に綺麗な状態でデータが出力されているわけではない。原因としてのデータ出力の時間差を考慮していないことが挙げられる。そのため、3D-LIDAR データ出力の時間差も考慮する必要がある。

さらに、芝生など走行できない地面との区別や、動的障害物と静止障害物の区別、加えてロボットの現在地座標をオドメトリではなく、GPS を用いて測定することでより実用性は上がるのではないかと考えている。

## 参考文献

[1]つくばチャレンジ 2019

<https://tsukubachallenge.jp/2019/about/overview>  
2021/6/27 アクセス

[2]『TSUKUBA CHALLENGE2019 参加レポート集』  
p1~p190, 2019