

シニアカーの自動運転に向けた歩道
を対象とした高精度三次元地図の構
築に関する研究

廣瀬 敏也

芝浦工業大学

工学部 機械機能工学科

研究背景

シニアカー



高齢者の移動に用いられる



自動運転技術に期待される効果

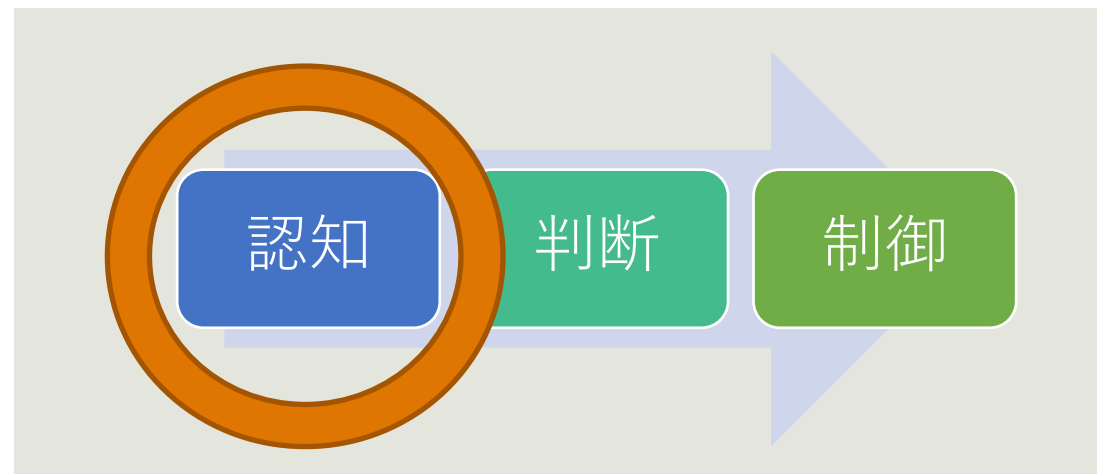
- センサによる外界認識と適切な車体制御により、高齢者の移動を支援
- 周囲の交通状況の認識不足による事故を減らす

高齢者に**安全な**交通手段を提供、**利便性**向上

シニアカーの自動運転技術開発

研究目的

□ 自動運転技術



自車両がどこにあるのかが重要

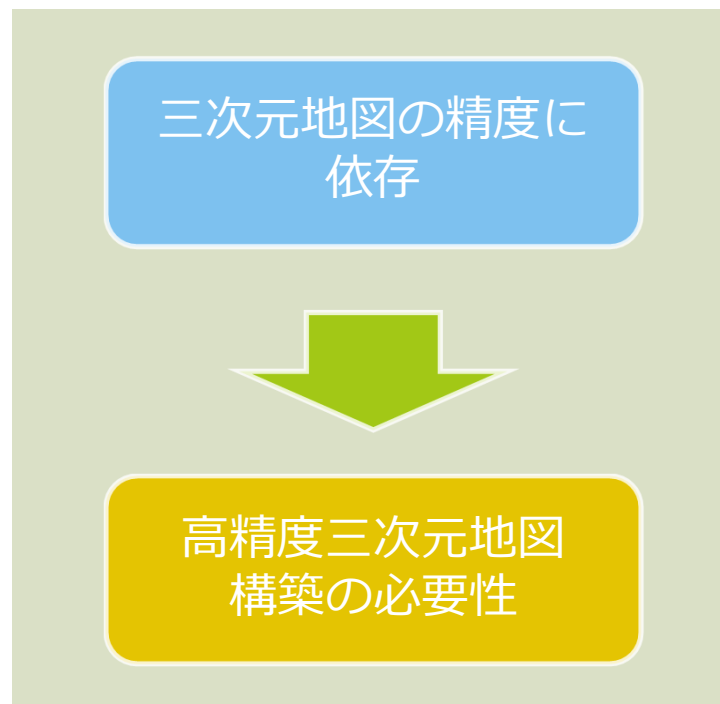


現在位置取得には「自己位置推定」が必要

研究目的

□ 自己位置推定

構築した三次元地図データをもとに現在位置を推定する技術



研究目的

□ 歩道における高精度三次元地図の構築

自動運転の実現に必要なもの

- 自己位置推定技術
- 経路計画・判断
- 車体制御



シニアカーは歩道を走行するため

歩道における高精度三次元地図が必要

研究目的

□ 研究目的

シニアカーの自動運転に向けた歩道を対象とした高精度三次元地図の構築に関する研究

研究目的

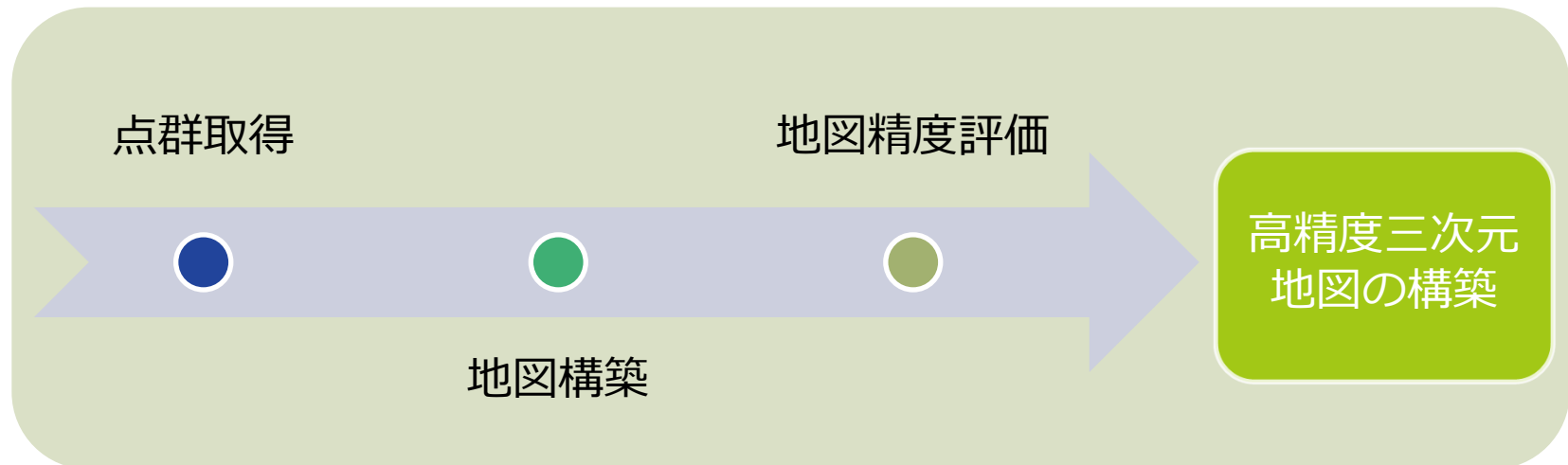
- ・ 歩道を対象とした高精度三次元地図
－ 位置精度の検証 －
- ・ 歩道の段差が位置精度に及ぼす影響
- ・ シミュレーションによる検討*

* : BOR_6.シニアカー自動運転にて発表

歩道を対象とした高精度三次元地図

実験方法

- 三次元地図の構築
 - 点群データの測定
 - 三次元地図の構築
 - 自己位置推定による評価



実験方法

□ 点群データの測定

□ 実験機器

- ・ シニアカー
- ・ フロントカメラ, 全方位カメラ
- ・ Velodyne LiDAR VLP-16
- ・ ロータリーエンコーダ OMRON E6B2-CWZ3E

Resolution : 2000 P/R



LiDAR sensor attached to the senior car



Velodyne LiDAR VLP-16

センサータイプ	16個のレーザー + 検出器(送受信センサー)
測定範囲・測定視野	水平360°全方位 垂直 30°(+15°～ -15°)
測定距離	約100 m (1 m ～ 100 m)
測定スピード	5～20 Hz
測定ポイント数	約300,000 ポイント/秒
測定精度	±3 cm
距離測定方式	LiDAR TOF方式
レーザークラス	Class 1 Eye Safe
レーザー波長	903 nm
動作電圧	9 - 32 V DC

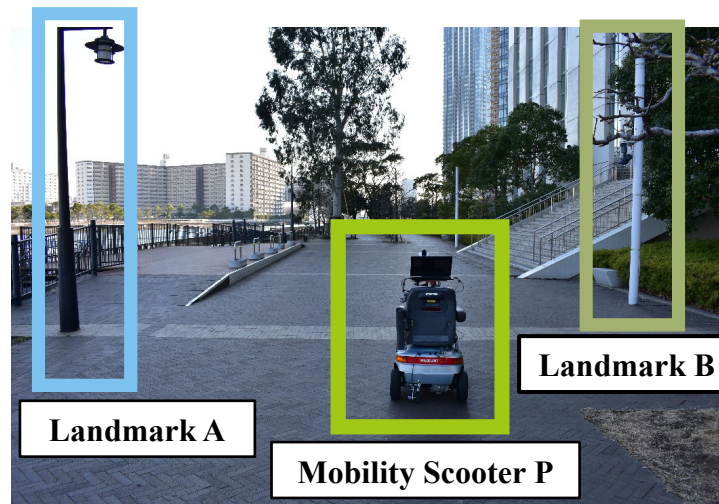
実験方法

□ 点群データの測定

□ 測定方法

➤ 豊洲地域の歩道にて実施

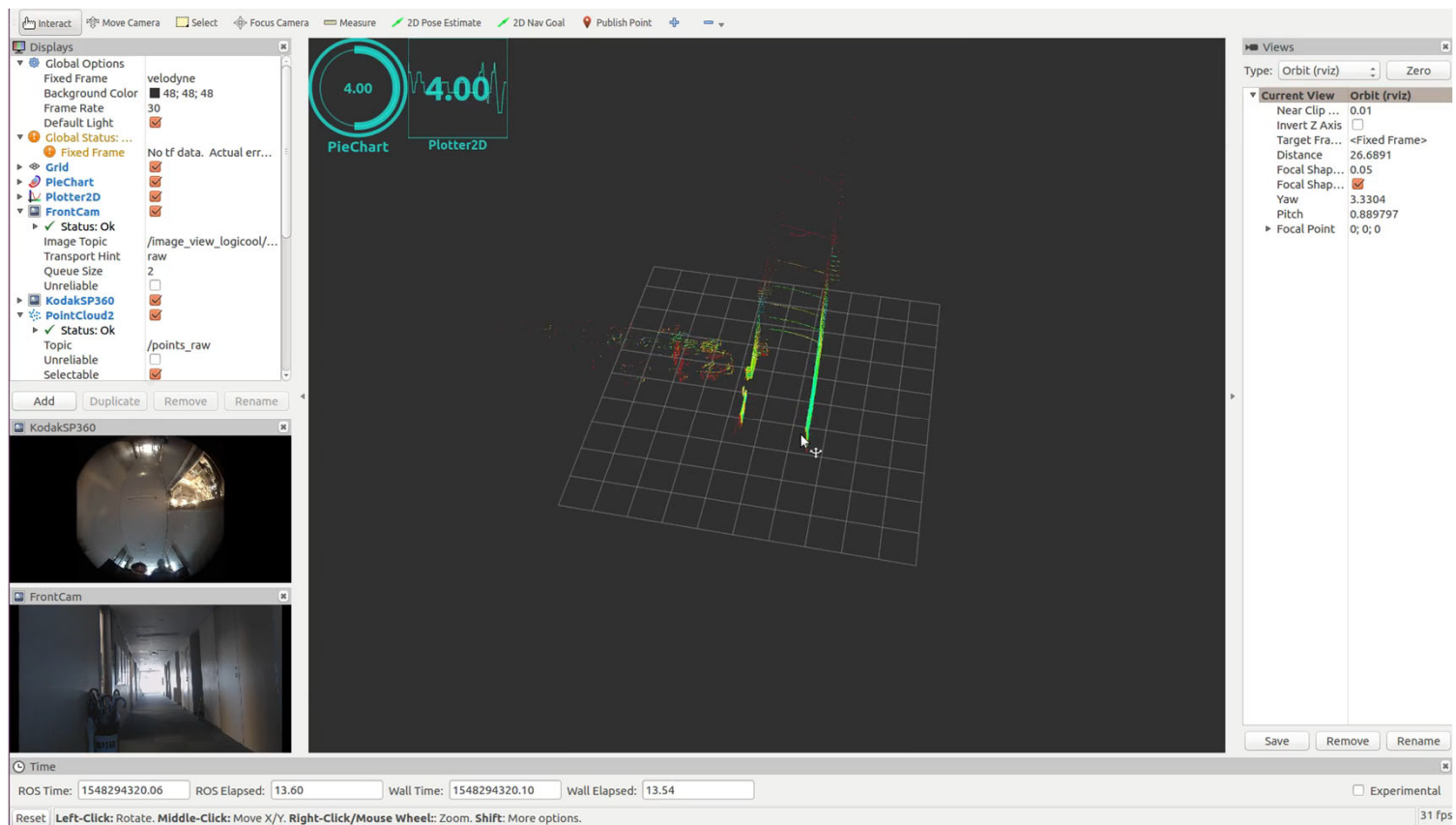
- 二つのランドマークを歩道から選び、ランドマークから前後20mの地図出力用の点群を取得
- 自己位置推定用に各ランドマークから5mほど離れた位置で1分間静止した点群を取得



実験方法

□ 点群データの測定

□ 歩道における高精度三次元地図構築



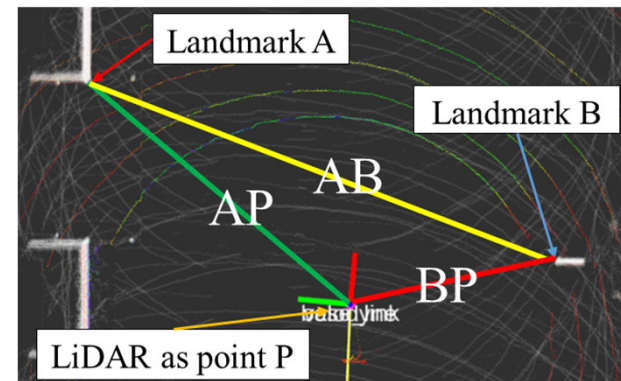
実験方法

点群データの測定

測定方法

地図評価基準用にランドマークと
車両の距離をレーザー距離計にて計測

- ランドマークAB間
- ランドマークAと車両
- ランドマークBと車両



Measuring the distance by using LKT-F05
between vehicle and landmark



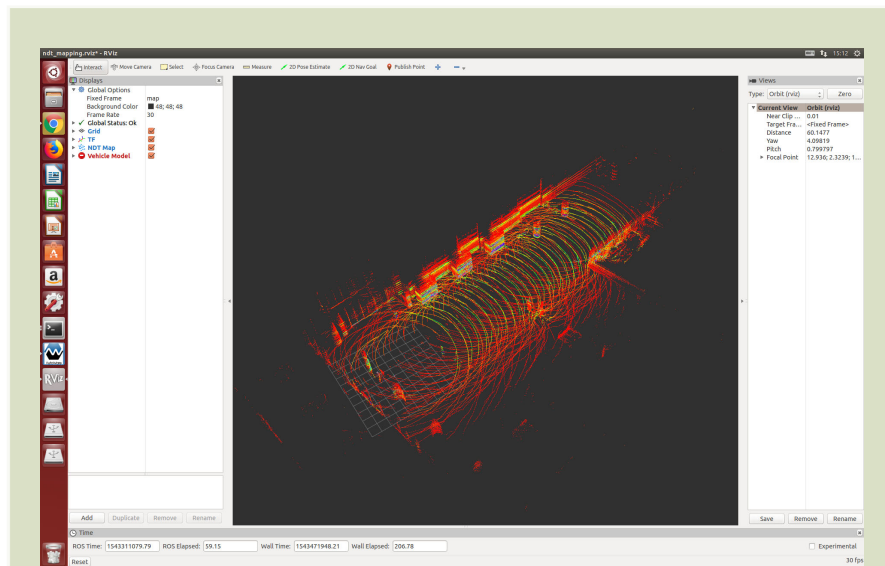
Location relationship among landmarks and senior car

実験方法 —三次元地図の構築—

ROSを用いて
点群データを読み込

Autowareを用いて
地図を生成

PCDとして出力



Constructing dynamic map by Autoware

PCD : Point Cloud Data
点群を集めたデータ

ROS : Robot Operating System
ロボット開発プラットフォーム

Autoware :
自動運転開発用アプリケーション

Autoware

ROS

OpenCV
(PCL incl.)

Qt

Ubuntu

Structure of the system

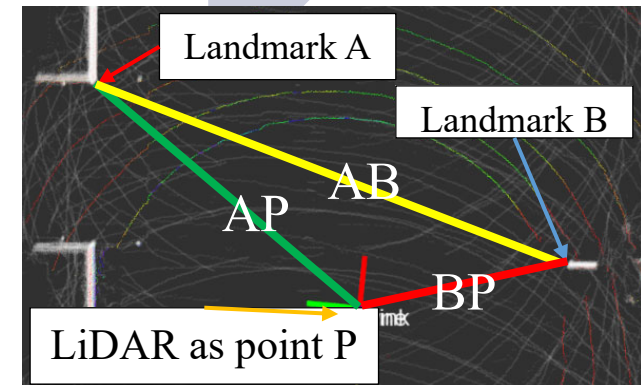
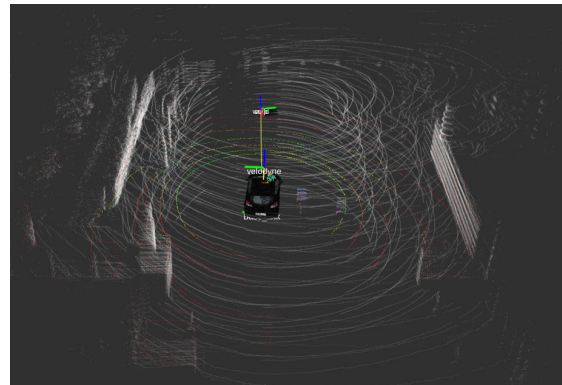
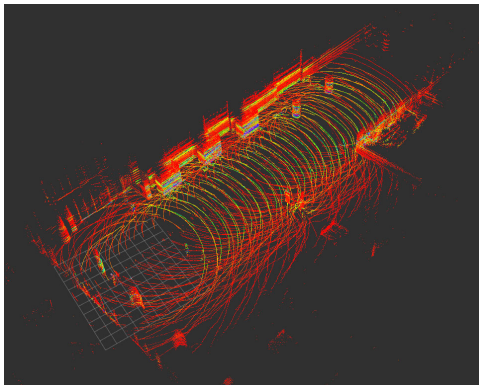
実験方法

□ 自己位置推定による評価

地図とスキャンデータを
読込

NDTを用いて
自己位置推定

実際の位置と
システムを比較



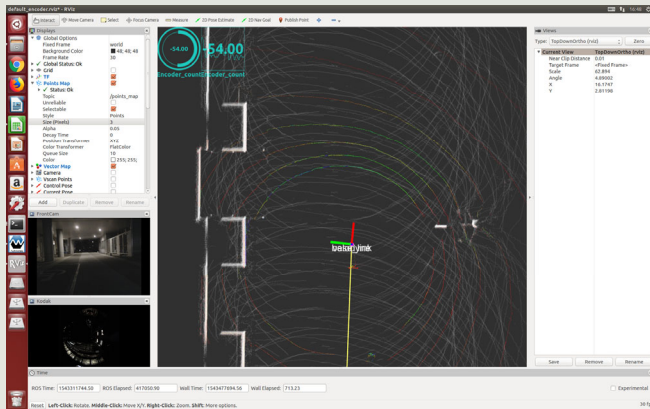
NDT : Normal Distributions Transform
点群のマッチング手法の1つ

実験方法

□ システムの推定位置と実測値との比較

システムの推定位置

□ ROSから各座標値を算出



Calculating coordinates by Autoware

三辺の長さを
比較



レーザー距離計によ
る実測値

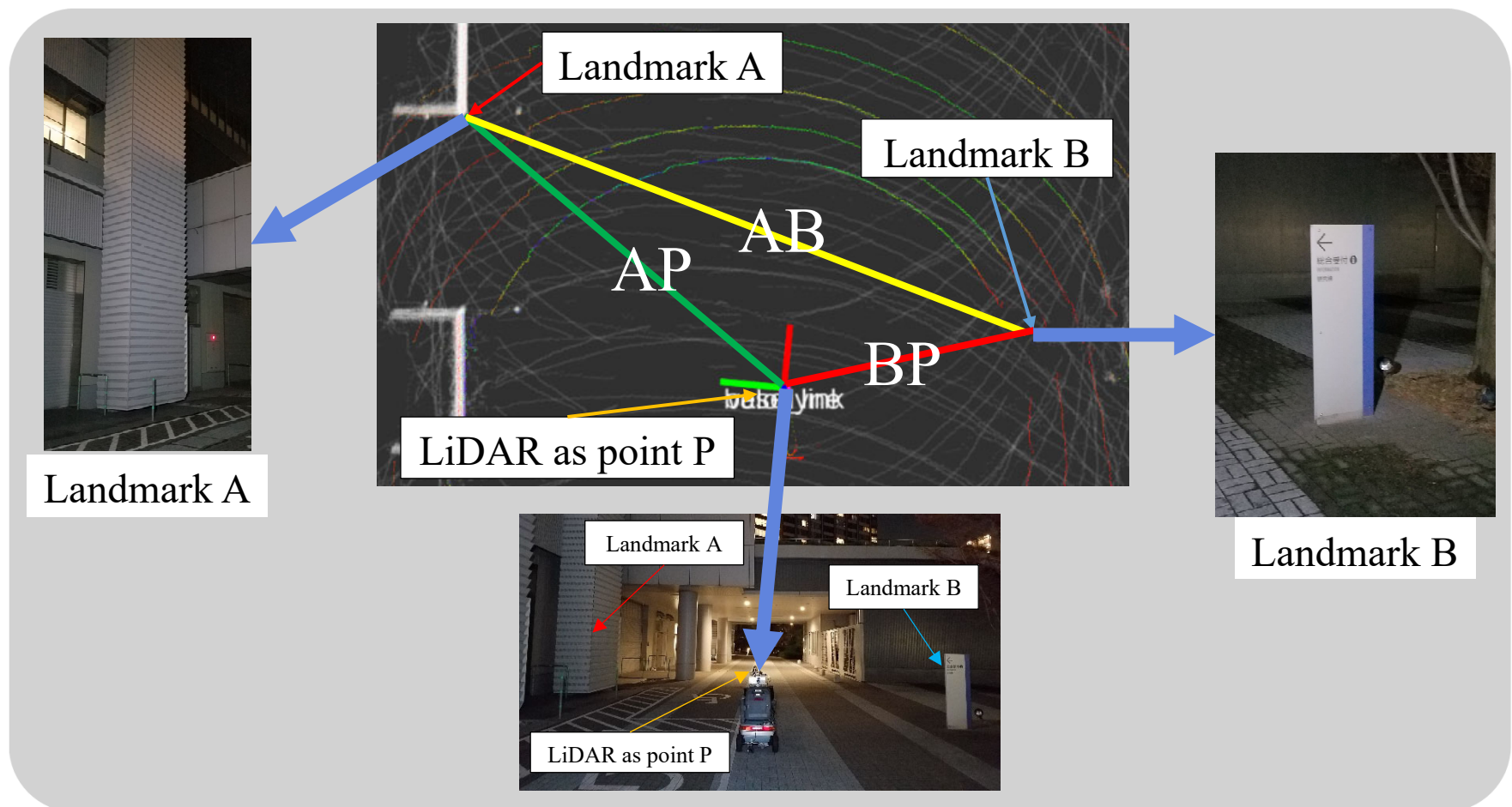
□ 各ランドマーク間と自 車両からの距離を測定



Measuring the distance between
senior car and landmark

実験方法

- システムの推定位置と実測値との比較



実験結果

三地点I, J, Kの結果

Table 1 Distance at area I

	AP	BP	AB
Laser [m]	6.645	4.031	9.596
Rviz [m]	6.622	4.060	9.648
Error [m]	-0.02331	0.02926	0.05228

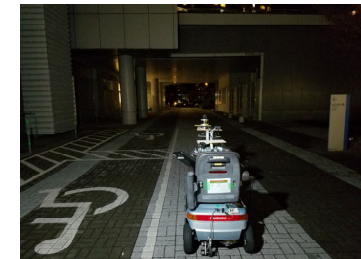


Table 2 Distance at area J

	AP	BP	AB
Laser [m]	9.765	5.756	14.715
Rviz [m]	9.718	5.772	14.669
Error [m]	-0.04711	0.01594	-0.04610

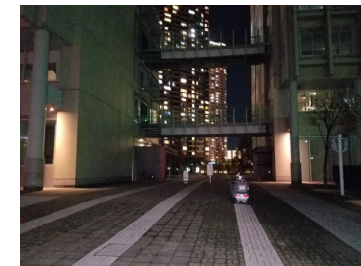
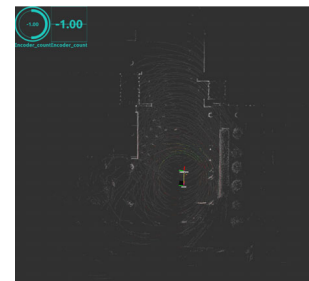
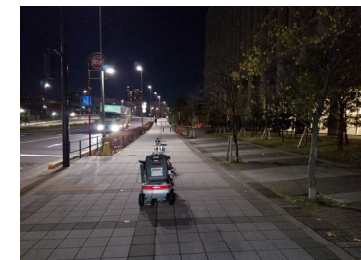
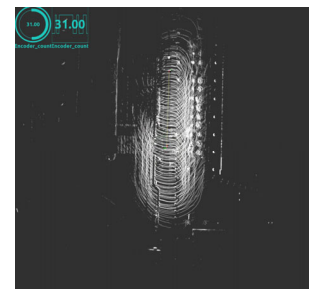


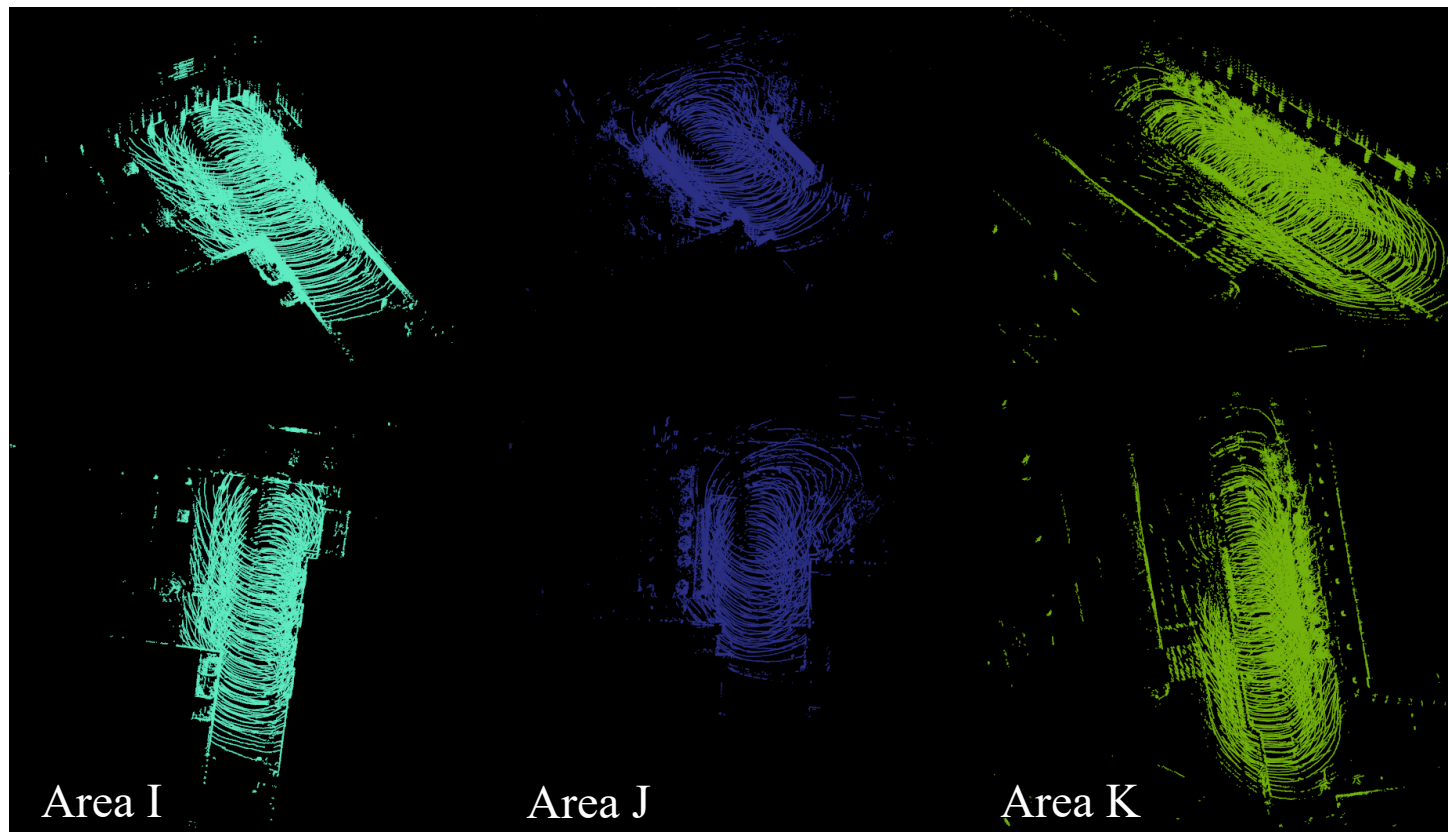
Table 3 Distance at area K

	AP	BP	AB
Laser [m]	4.939	3.281	7.842
Rviz [m]	4.992	3.174	7.784
Error [m]	0.05298	-0.1071	-0.05781



実験結果

- 三地点I,J,Kの結果
 - 歩道での高精度三次元地図の構築は成功
 - 地点Kを除いて最大誤差約5cm



歩道の段差が位置精度に及ぼす影響

実験内容

□ 点群データの測定

- LiDAR

(点群データ取得)

- フロントカメラ, 全方位カメラ

(周囲環境の記録)

- 加速度角速度センサ

(段差での揺れを定量的に評価するため)

LiDAR



加速度センサ



使用したシニアカー

実験内容

□ 点群データの測定

- ・ 段差の高さ

0cm, 1cm, 2cm, 3cmの4条件

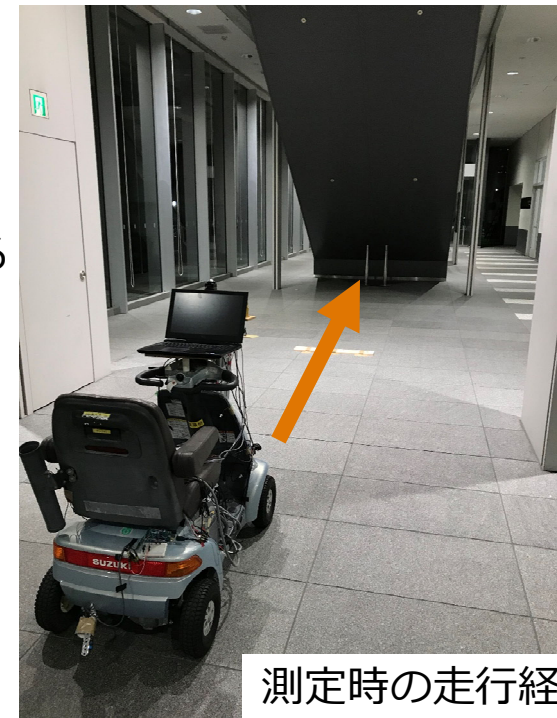
国土交通省「道路移動等円滑化基準」において
歩道の段差は2cmを標準とすること,
また自動走行実験の経路での最大の段差2.8cmによる

- ・ 測定経路

ほぼ平坦な屋内に段差を1つ設置,
段差前後の直線約10mを走行
各条件5回ずつ測定



段差の設置状況



測定時の走行経路

実験内容

□ 自己位置推定による評価

・ランドマークの設定

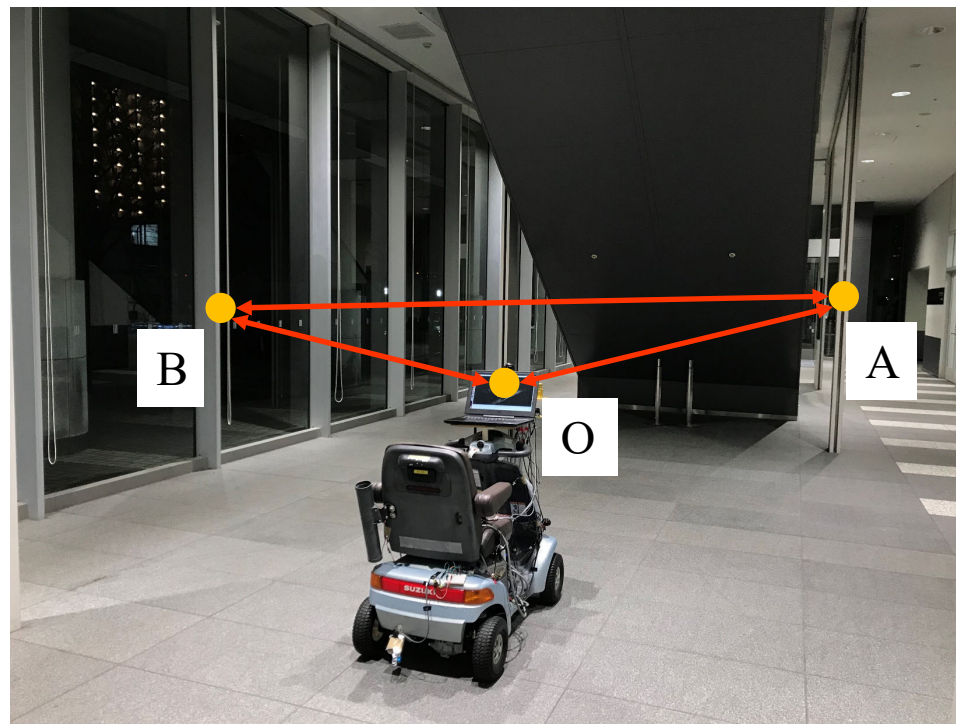
歩道では電柱などが
ランドマークになる

経路周辺の固定物から

2点A, Bを選択

シニアカーの位置Oとの

距離OA, OB, ABで評価

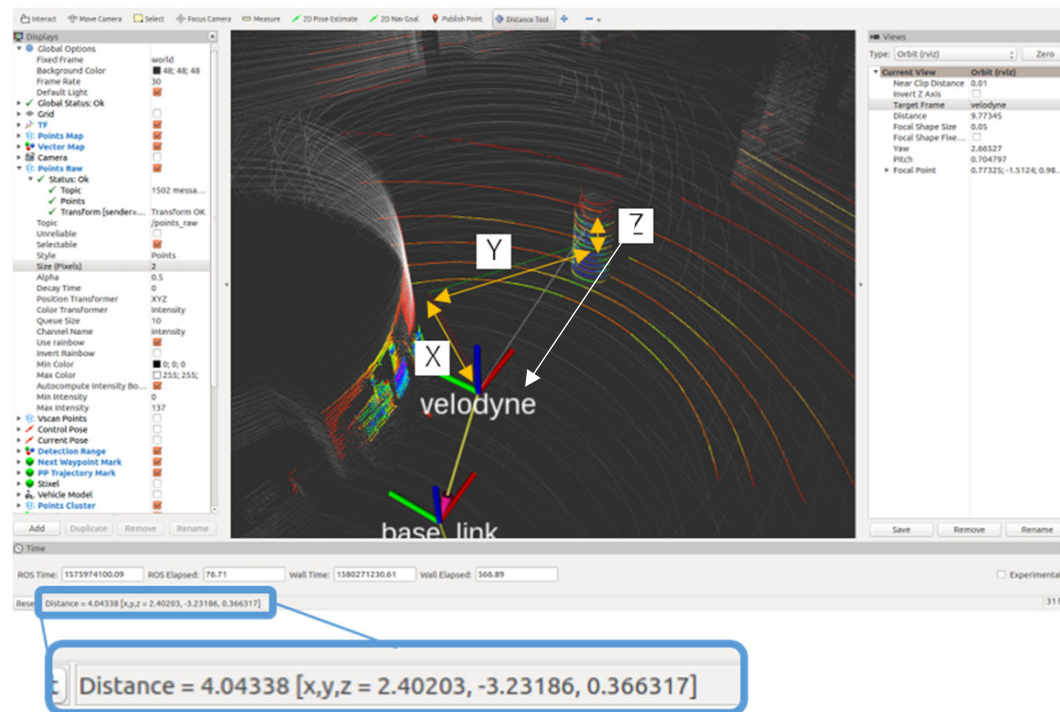


ランドマークとシニアカーの位置関係

実験内容

□ 自己位置推定による評価

- 自己位置推定による距離算出



ROS視覚化ツール
Rvizで距離測定

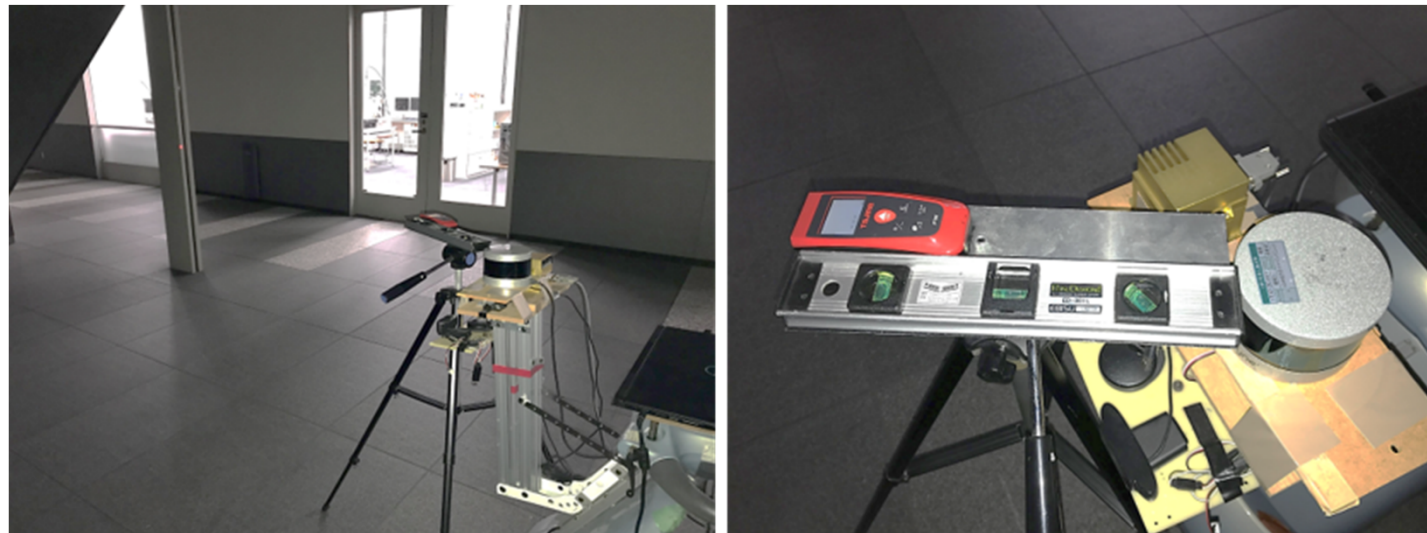
X, Yの数値から
各水平距離を算出

実験内容

□ 自己位置推定による評価

- ・ レーザ距離計による基準値測定

アルミ板先端に距離計を設置，測定値に板の0.3mを加えて基準値とした



実験内容

□ 自己位置推定による評価

自己位置推定による算出距離

比較

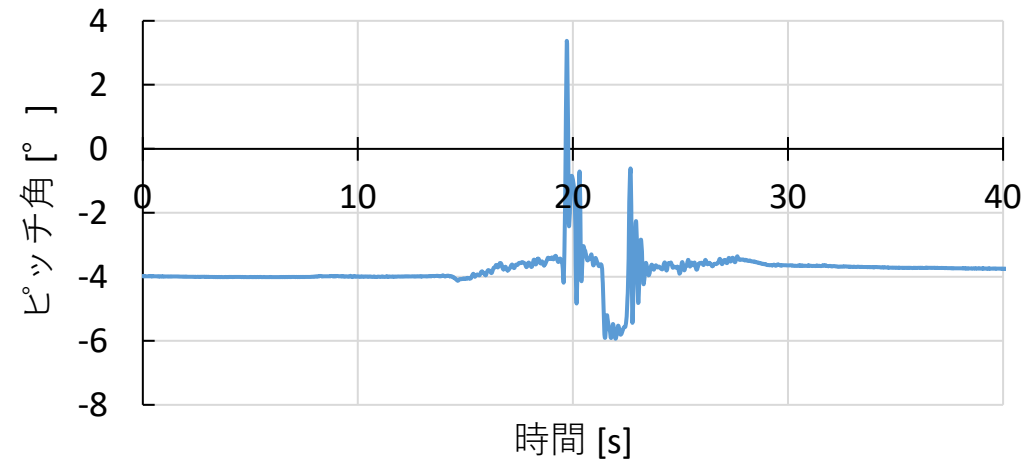
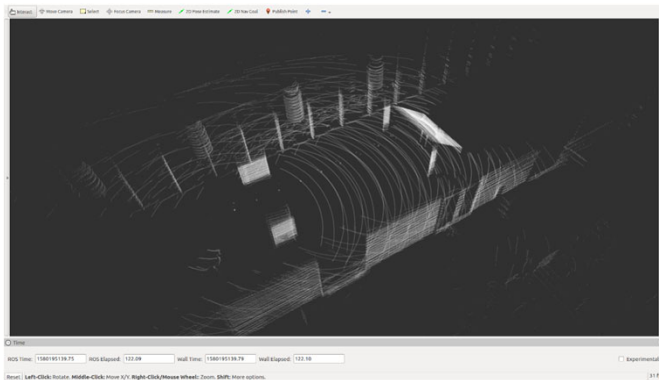
レーザ距離計の測定距離（基準値）

実験結果

□ 点群データの測定と3次元地図構築

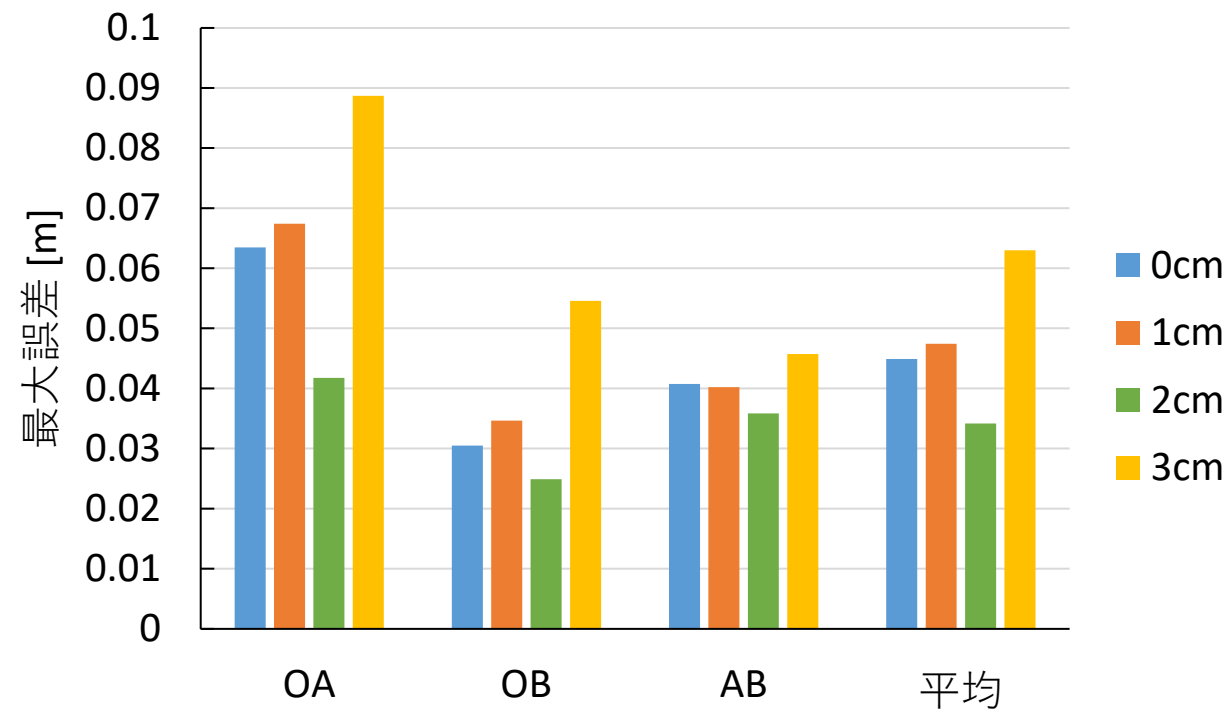
段差4条件について各5回, 計20回分の

3次元地図および加速度データの取得に成功



実験結果

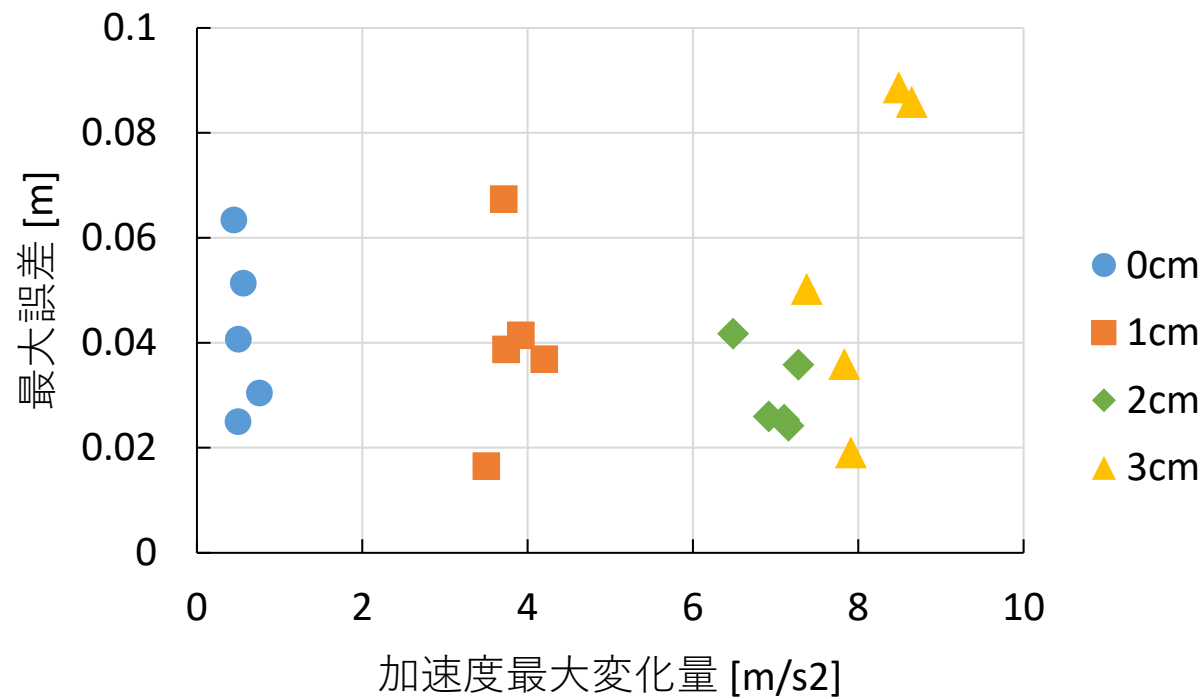
□ 自己位置推定による精度評価



区間別の各条件5回中の最大誤差

実験結果

□ 加速度・角速度と地図精度



Z軸（鉛直）方向加速度の初期値からの最大変化量と最大誤差

シミュレーションによる検討

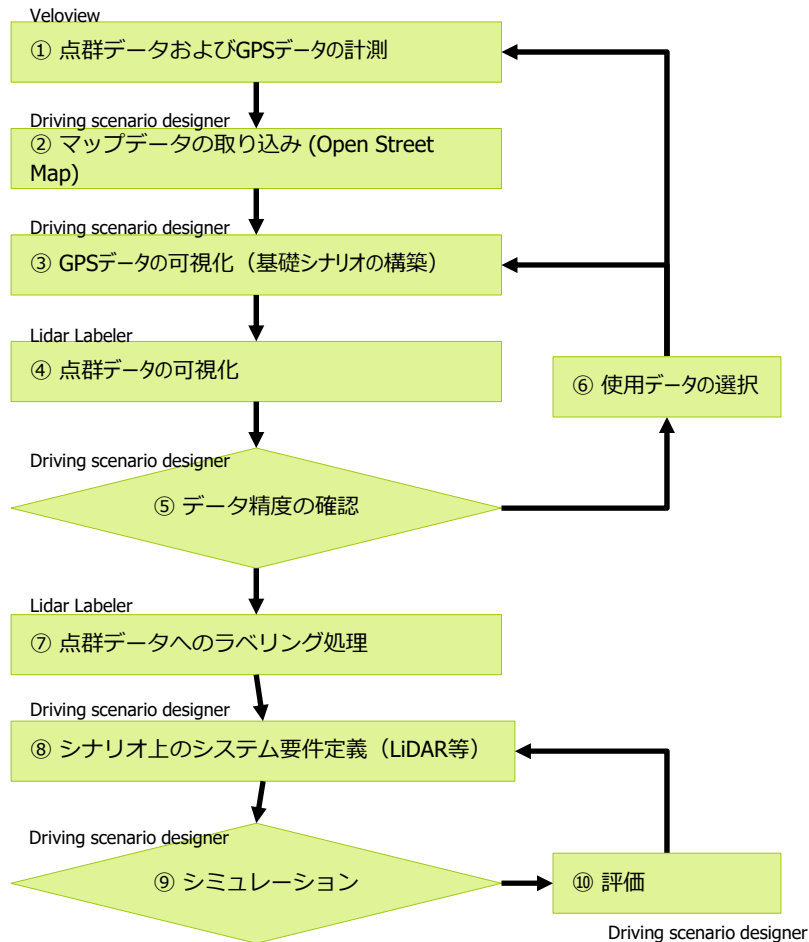
個別研究報告 & ポスター (16:00~17:00)

BOR_6.シニアカー自動運転にて発表

Matlabを活用したシミュレーション

BOR_6.シニアカー自動運転にて発表

シニアカーの歩道における自動運転シナリオ構築のためのフロー



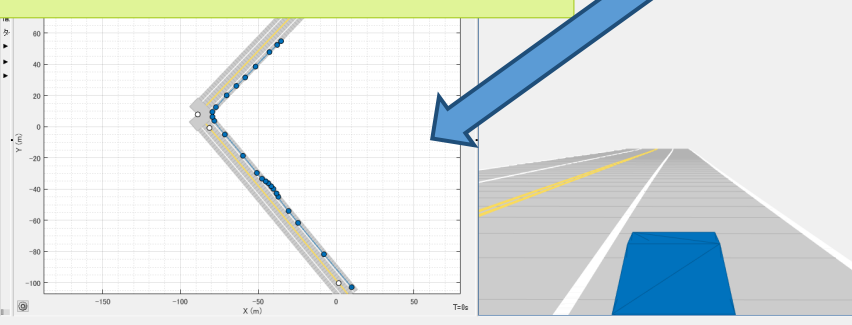
① 点群データおよびGPSデータの計測



② マップデータの取り込み (Open Street Map)



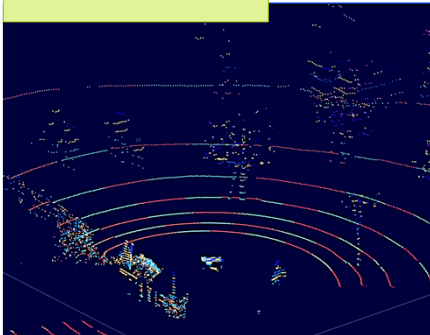
③ GPSデータの可視化 (基礎シナリオの構築)



Matlabを活用したシミュレーション

BOR_6.シニアカー自動運転にて発表

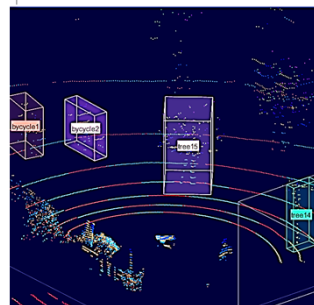
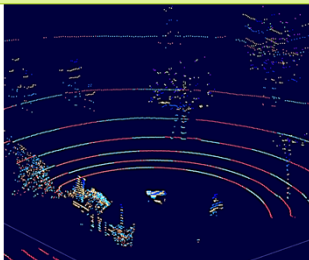
④ 点群データの可視化



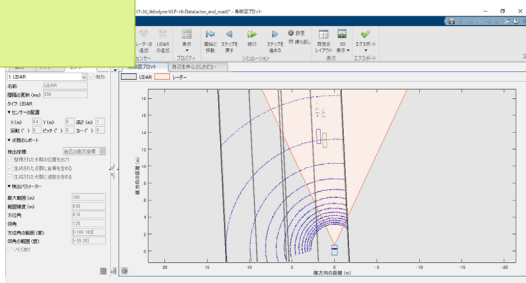
- ⑤ データ精度の確認
- ⑥ 使用データの選択

点群データとGPSデータを可視化
→ シナリオ構築で再現する実験データの精査が可能に

⑦ 点群データへのラベリング処理



- ⑧ シナリオ上のシステム要件定義
- ⑨ シミュレーション
- ⑩ 評価

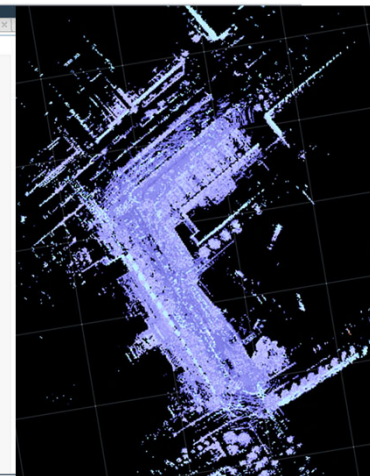


自動運転実験のための3Dマップの構築

シニアカーの自動運転実験（合同実験）を実施

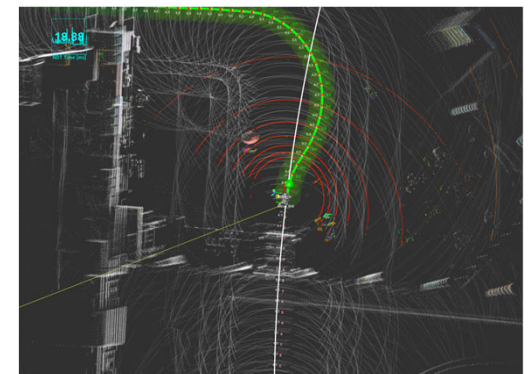
- 走行時にスキャンするリアルタイムのLiDARデータと照合するための3Dマップ構築
- 例年：Autawareで構築 → 今年度：Matlabでの構築方法を検討（シミュレーションへの転用方法検討のため）

```
Map Generation
100 rng(0);
101 numFrames = height(lidarPointClouds);
102 accumForm = figure;
103 pointCloudMap = pointCloud(zeros(0, 0, 0));
104
105 % Specify limits for the player
106 xLimits = [-200 200]; % meters
107 yLimits = [-200 200];
108 zLimits = [-10 0.5];
109
110 % Create a pplayer to visualize map
111 mapPlayer = pplayer(xLimits, yLimits, zLimits);
112 title('Map Generation');
113 mapPlayer.Axes.view = [0, 90];
114
115 % Loop over the entire data to generate map
116 for n = 1 : numFrames; numFrames - numFrames;
117
118 % Get the nth point cloud
119 ptCloud = lidarPointClouds.PointCloud(n);
120
121 % Segment ground and remove ego vehicle
122 ptProcessed = helperProcessPointCloud(ptCloud);
123
124 % Downsample the point cloud for speed of operation
125 ptDownsampled = ptDownsample(ptProcessed, 'gridSearch', gridSize);
126
127 % Extract the features from point cloud
128 [feature, ptValidIdx] = extractPointCloudFeatures(ptDownsampled, ...
129 'numNeighbors', numNeighbors);
130 ptValidIdx = select(ptDownsampled, ptValidIdx);
131
132 if n == 1
133     moving = ptValidIdx;
134     movingFeature = ptFeature;
135     pointCloudMap = ptValidIdx;
136 else
137     fixed = moving;
138     fixedFeature = movingFeature;
139     moving = ptValidIdx;
140     movingFeature = ptFeature;
141
142 % Match the features to find correspondences
143 indexPairs = pointCloudFeatures(movingFeature, fixedFeature, moving, ...
144 'feature', 'method', 'nearestNeighbor', threshold, ...
145 'numNeighbors', numNeighbors);
146 matchedFixedIdx = select(fixed, indexPairs(:, 2));
147 matchedMovingIdx = select(moving, indexPairs(:, 1));
```



マップ構築が可能であることは確認できた
GPSデータ等と組み合わせることで、構築した
マップ上に経路反映も可能
→ シナリオへの転用用途もあると考える

一方、精度の向上に難航、シニアカー制御に
Autawareを使用しているため、互換性にも懸念
→ 自動運転実験での使用は断念



**Thank you very much for
your kind attention**