

移動ロボットを用いた広域・高解像度な凹凸地図の構築

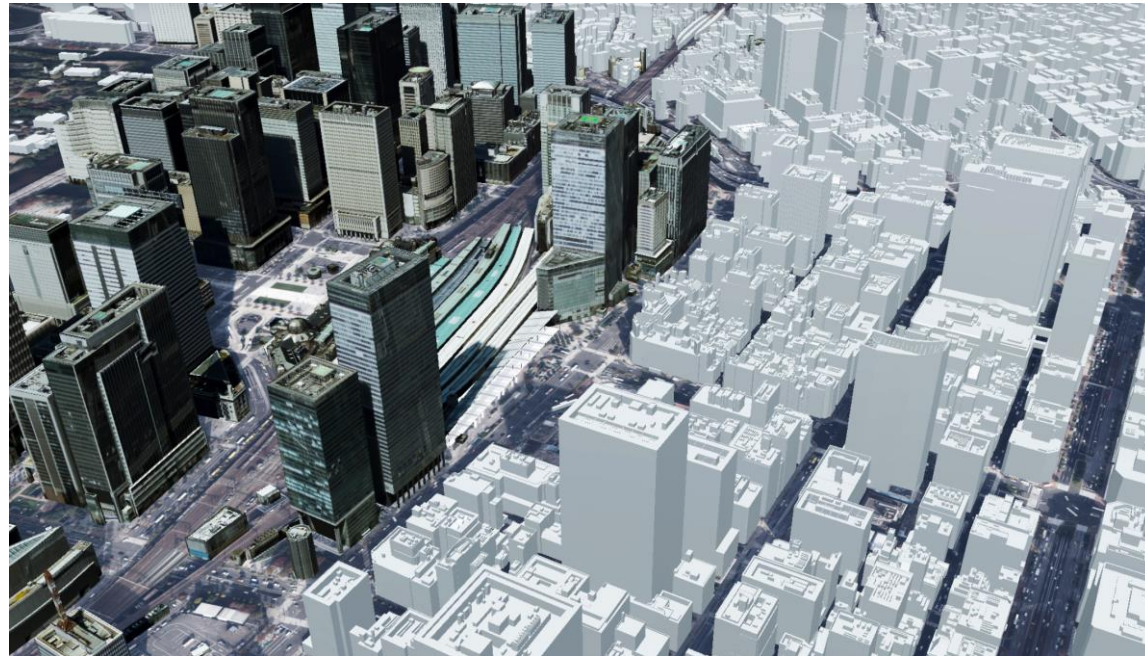
中西研究会 2021年度春学期学期最終発表会. 2021/7/29. 奥谷哲郎

目次

1. 背景
2. 関連研究
3. 目的
4. システム構成
5. 実験 I
6. 実験 II
7. 実験 III
8. 議論

1. 背景

- デジタルツインの広がり
 - 建物や道路の構造をスキャンする
 - Project Plateau



<https://www.mlit.go.jp/plateau/>

空間の幾何的形状のLOD

Macro

Micro

LOD 1 (m)

LOD 2 (cm-mm)

LOD 3 (μm)



Large Object



Small Object

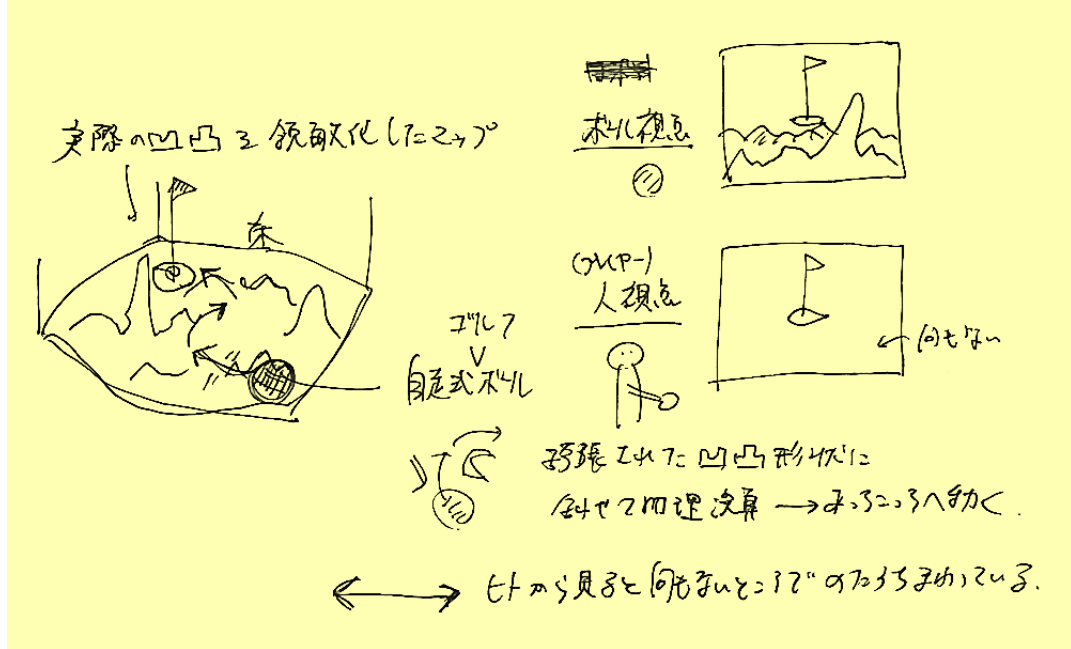


Body

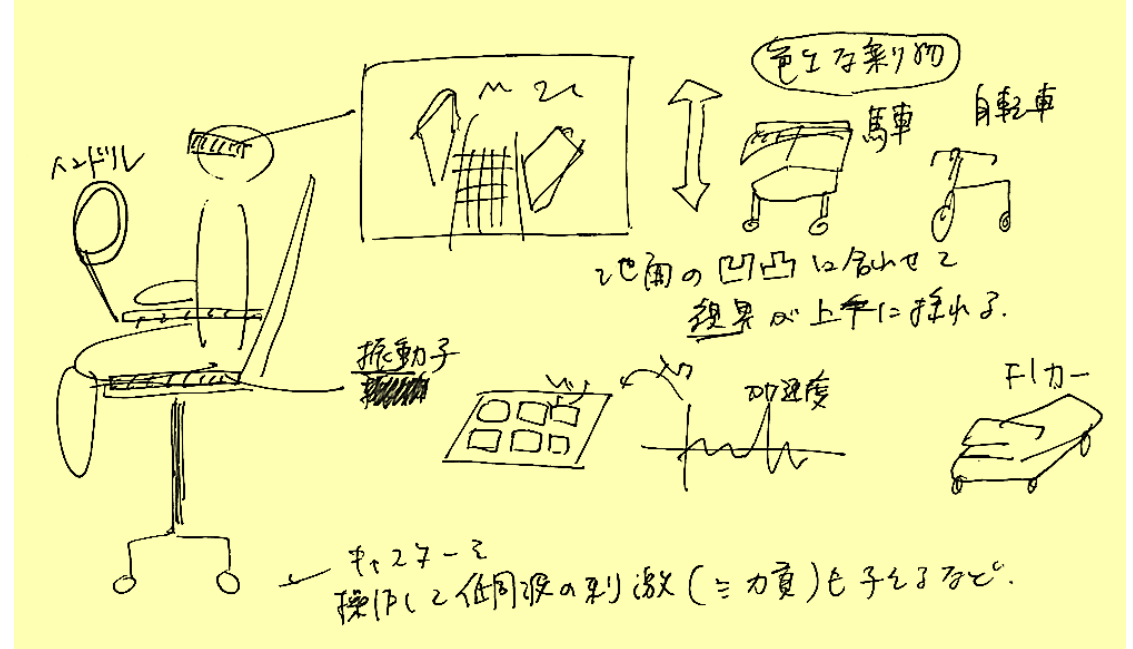


凹凸地図の応用

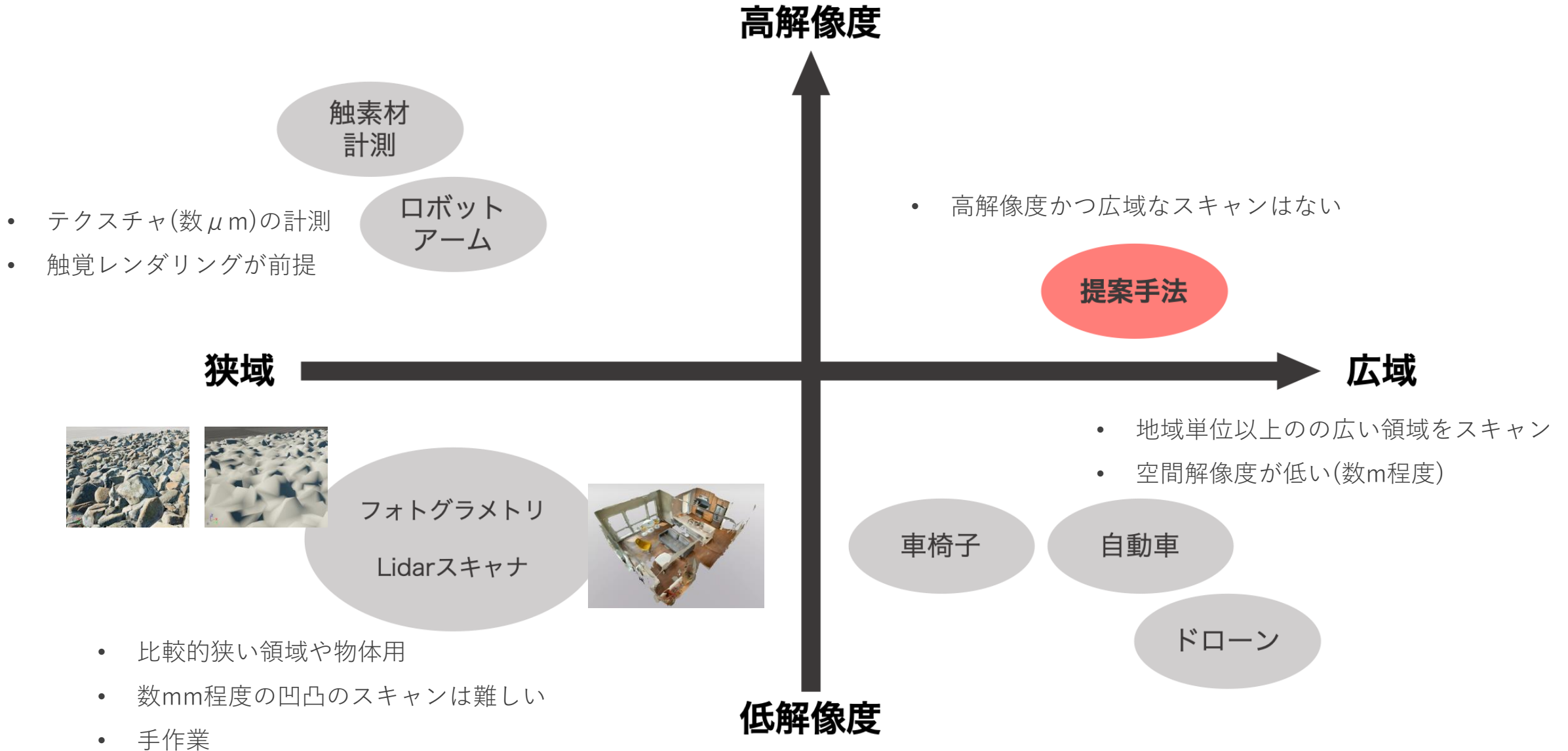
ARパターゴルフ



触覚刺激付きのドライブシミュレーター



2. 関連研究



3. 目的

移動ロボットを用いて、広い面積の地面の凹凸を、数mm程度の高解像度でスキャンするシステムを開発する。

その実現可能性を検証するために、

① どのような方法を用いることで1つまたは複数の凹凸を検出できるか

② どれくらいの精度で凹凸を計測することができるか

を明らかにする。

4. システム構成

ハードウェア

凹凸の計測原理

計測アルゴリズム

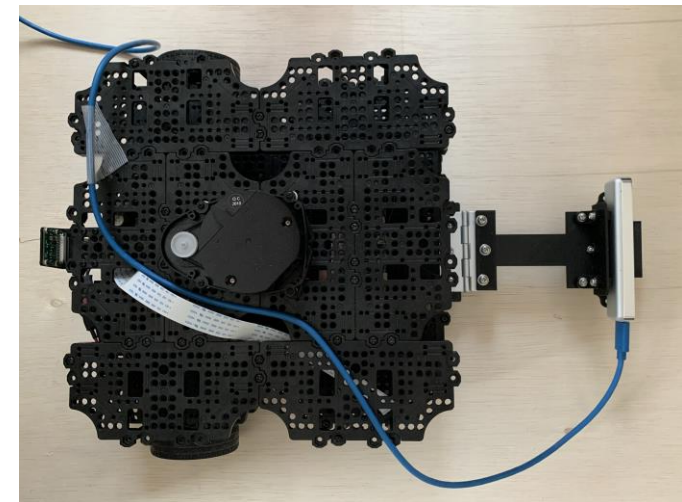
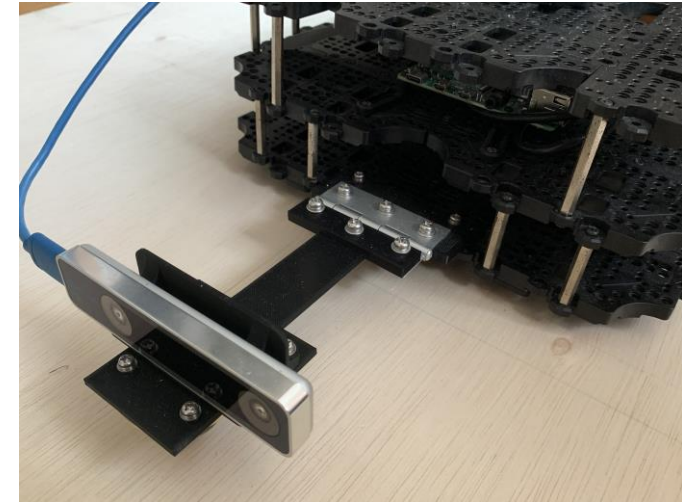
ハードウェア

① 移動モジュール→移動能力

- Turtlebot3 waffle pi
- ボールキャスター付きのセンサーモジュールを引っ張る

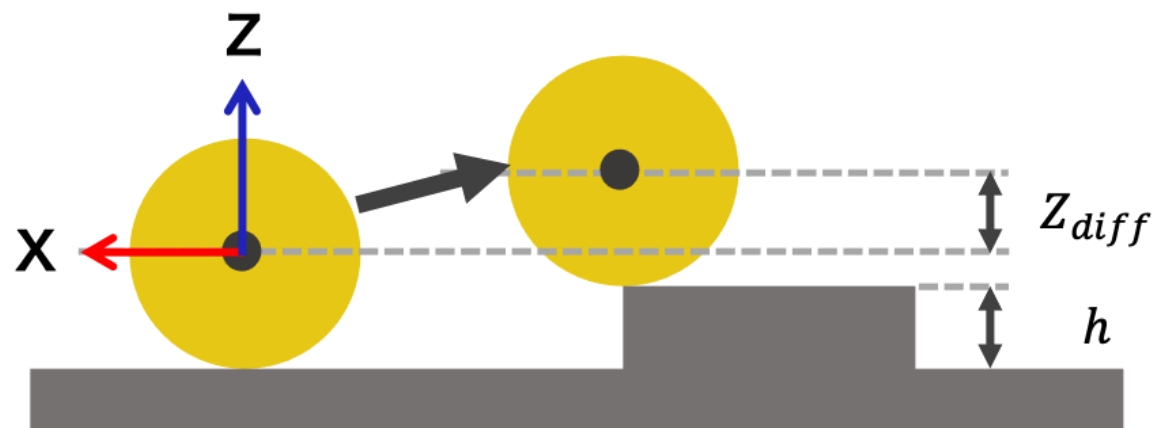
② センサーモジュール→センシング能力

- Intel RealSense Tracking Camera T265
- ピッチ角の1自由度を持ったリンク
- x, y軸(水平)の動きはtb3に追従し, z軸(上下)は追従しない



凹凸の計測原理

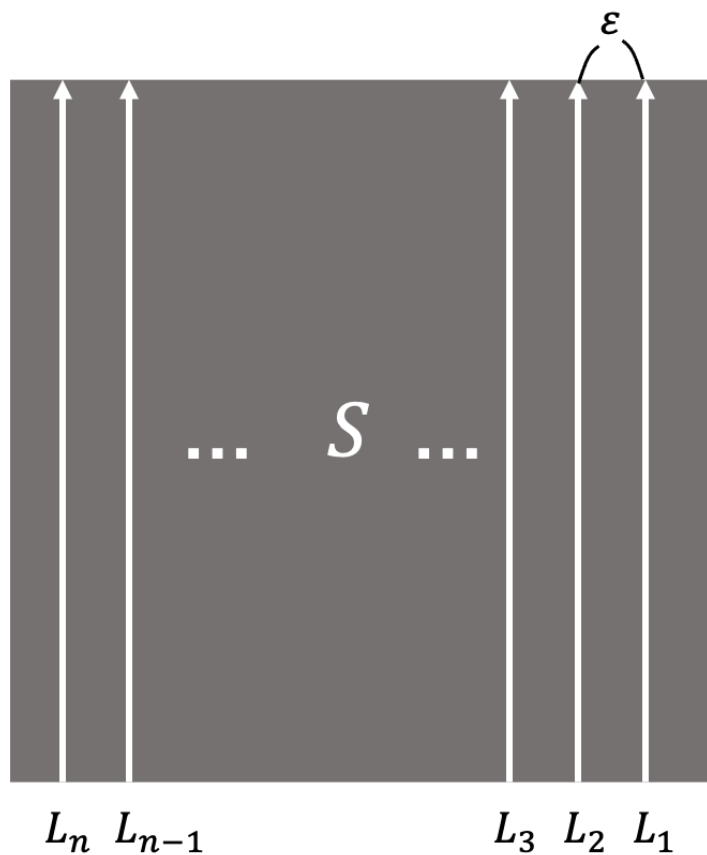
- センサーモジュールが段差を昇降したときの変位 = 段差の高さ
- Visual-Inertial-Odometry (VIO)
 - Visual OdometryとIMU Odometryを相補的に活用する
 - 更新周期と安定性を両立



	IMU Odometry	Visual Odometry
更新周期	○	×
安定性	×	○

計測アルゴリズム

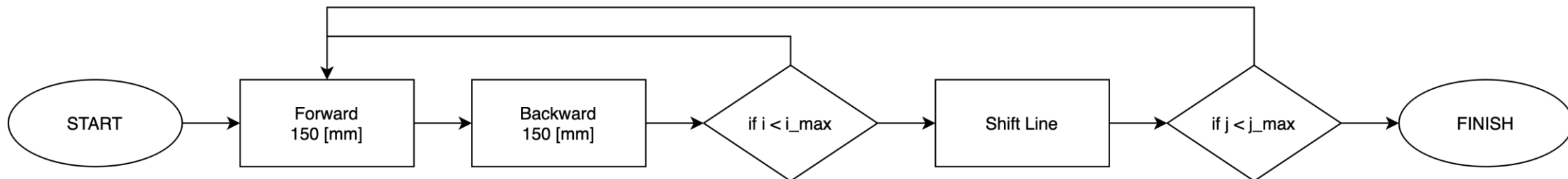
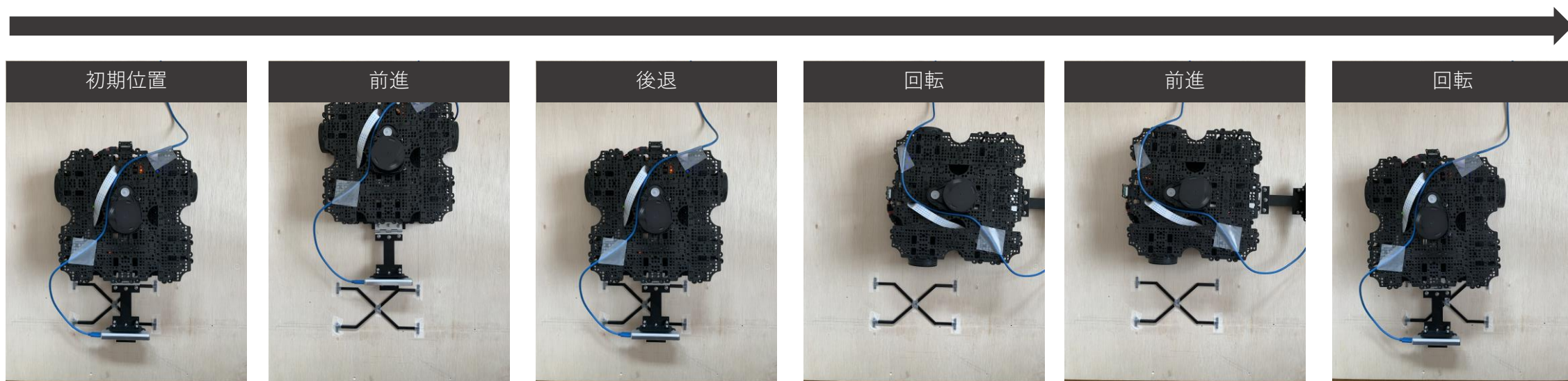
- 積分の要領で、平面をライン幅 ε で一方向から輪切りにする
- 前後に移動→隣のラインにずれることを繰り返して、移動方向の断面をスキャンする



$$S \approx \sum_{i=1}^n L_i$$

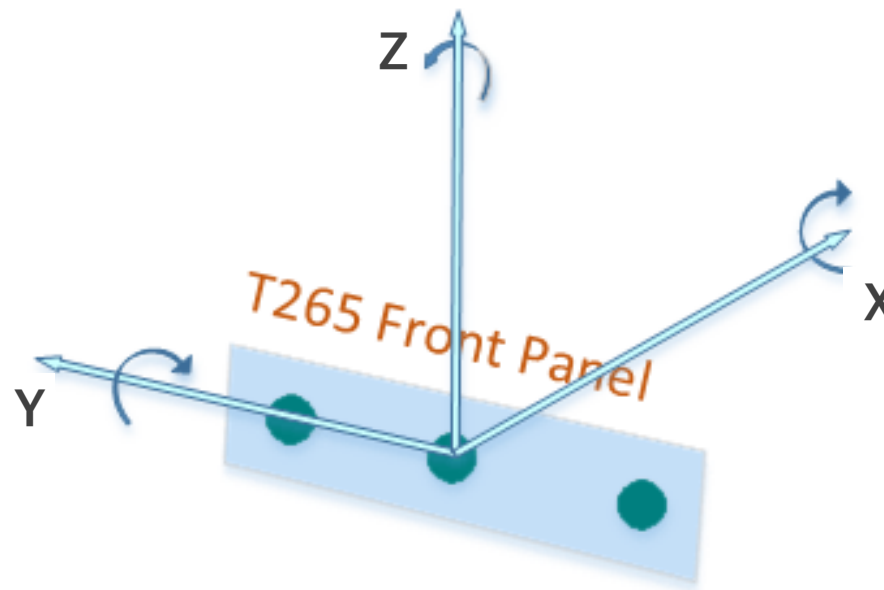
計測アルゴリズム (計測動作)

- 前後移動→0.05m/s・回転→30deg/s
 - 距離と速度から時間を決定して、その間だけ走行させる



計測アルゴリズム (センシング)

- ROS2 foxyを使用
- TFで変換されたT265のZ軸の初期位置からの相対座標を取得
- サンプリング周波数200Hz



5. 実験 I

① どのような方法を用いることで1つまたは複数の凹凸を検出できるか

Purpose

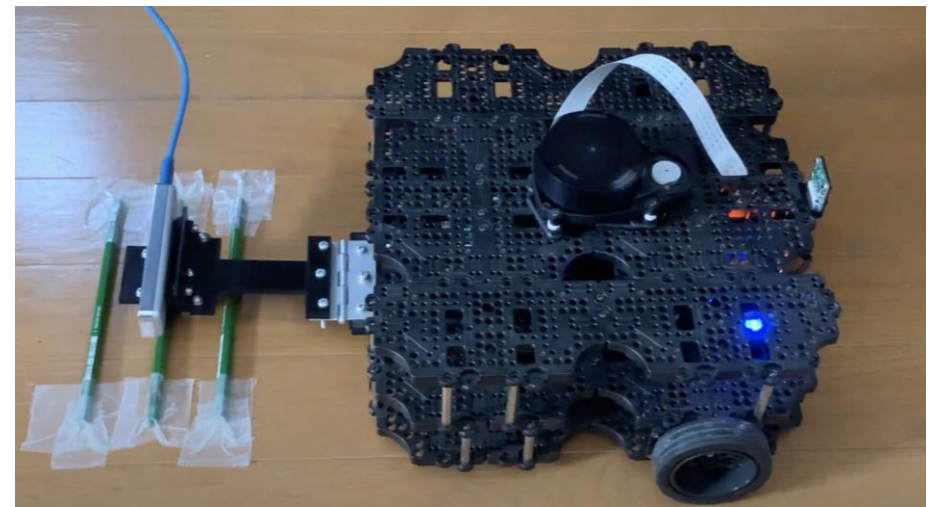
- 前後に移動したときに1つ以上の段差を検出することができるか

Material

- フローリングの床に固定した7.5*7.5[mm]の四角柱(鉛筆)を1本 or 3本
- 3本の場合は40mm間隔で配置

Procedure

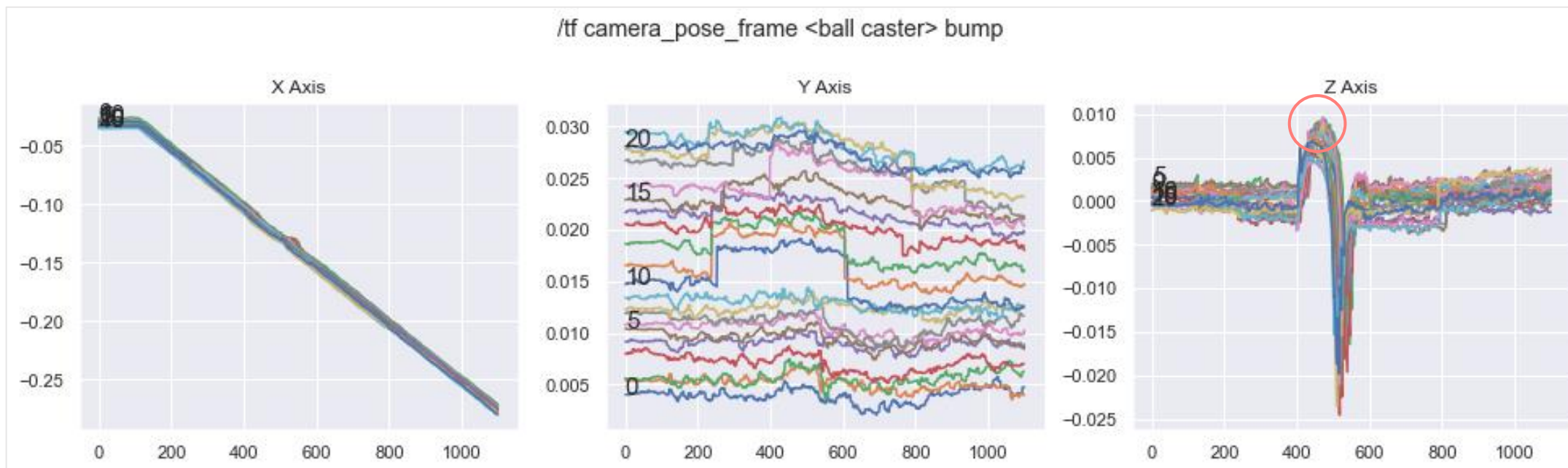
- TB3を障害物を乗り越えながら0.3[m]前進させて、その間の変位を計測する



5. 実験 I

Result

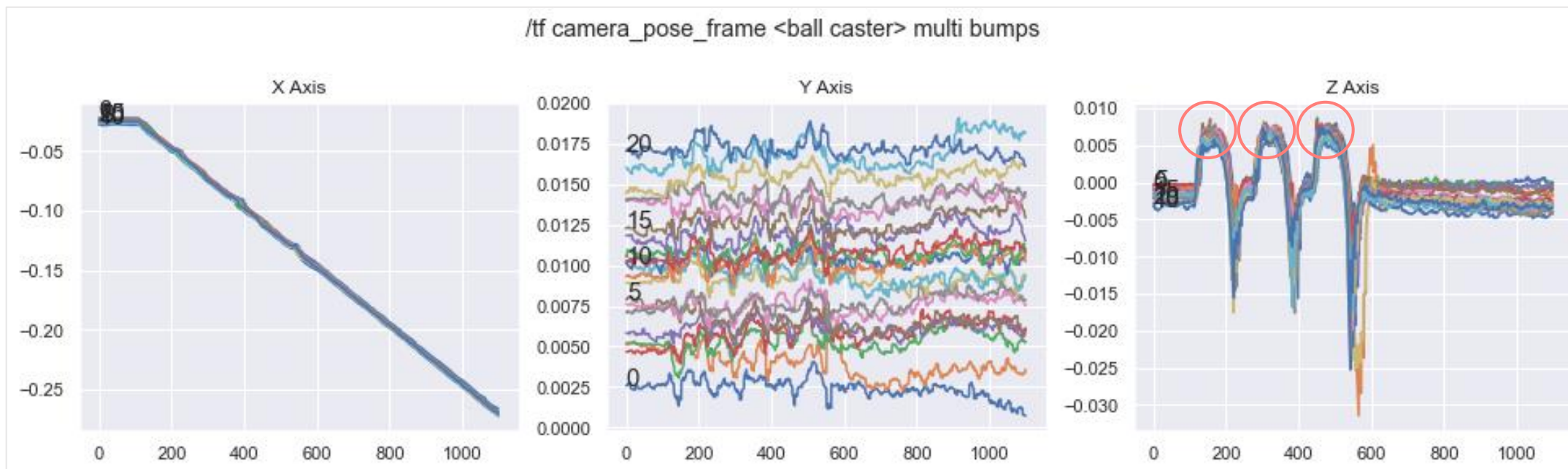
- 障害物が1つの場合



5. 実験 I

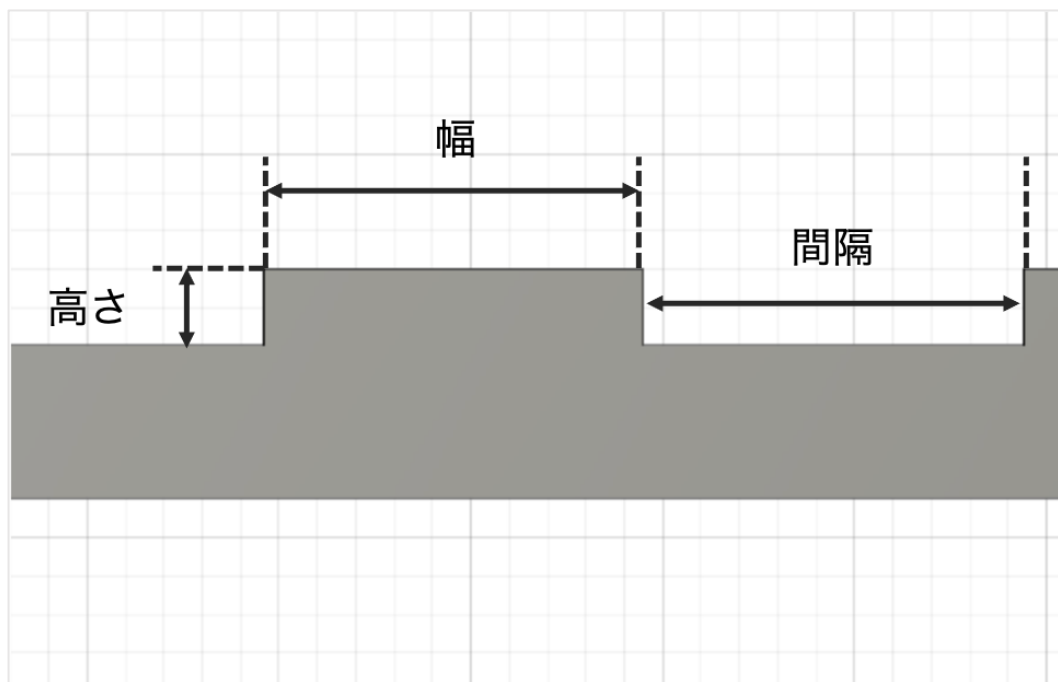
Result

- 障害物が複数の場合



凹凸を構成するパラメータ

② どれくらいの精度で凹凸を計測することができるか



	最小	最大
高さ	?	tb3の車高 or 車輪の半径から算出
間隔	段差の高さと車輪の半径から概算	無限
縦幅	サンプリング周波数から概算	無限
横幅	?	無限
形状	?	

6. 実験 II

Purpose

- 計測できる最小の段差の高さとその分解能を調べる

Material

- 木の床(厚さ12mm)の上に, 木の四角柱(幅5mm)を固定
- 段差の高さ = {2, 3, 5, 6} [mm]

Procedure

- TB3を0.05[m/s]で0.15[m]前進させて, その間の変位を計測

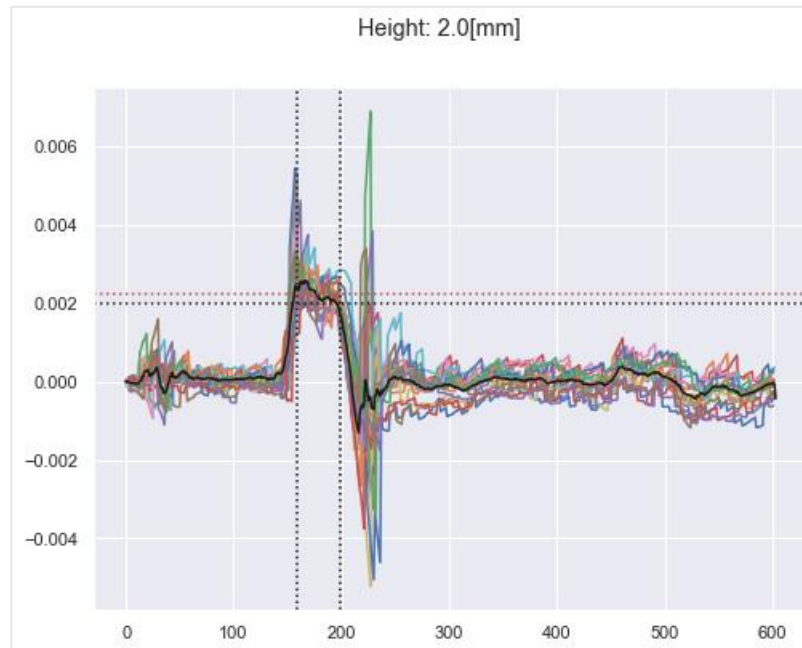
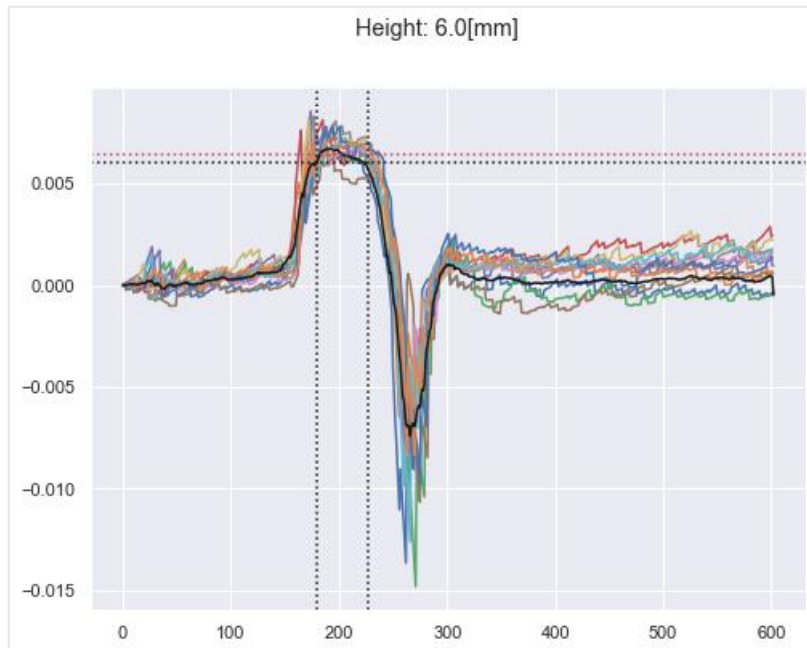
従属変数	段差の高さ
被従属変数	高さの推定値・MSE



6. 実験 II

Result

- 実際の高さと推定値の誤差はいずれの条件でも1mm以下→1mm単位の解像度で高さを計測できる
- 高さが小さくなるほど誤差は大きくなる
- 1mmやそれ以下の場合は不明



高さ	推定値	MSE
6mm	0.0063	0.0021
5mm	0.00525	0.0015
3mm	0.00347	0.0032
2mm	0.00223	0.0962

7. 実験 III

Purpose

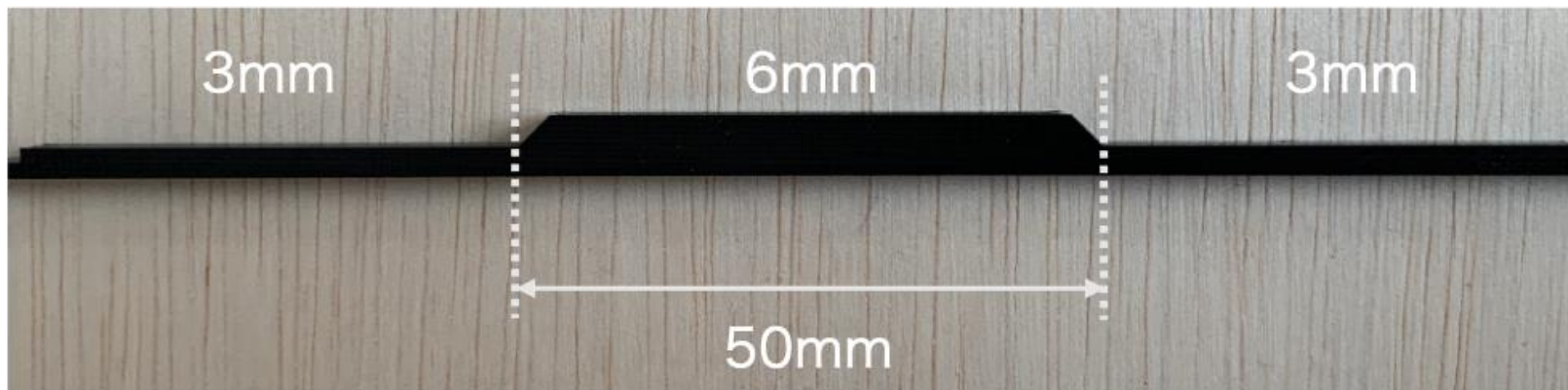
- ライン移動を行なったときにどれくらいの精度で凹凸をスキャンできるか

Material

- 途中で高さが変わる段差(幅5mm)を3Dプリントして床に固定

Procedure

- 15cm前後移動→5cm横に移動を3回繰り返す



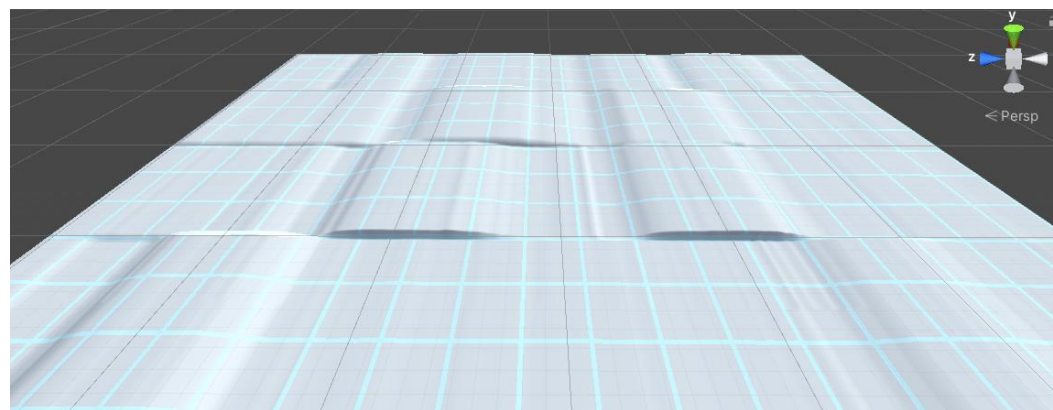
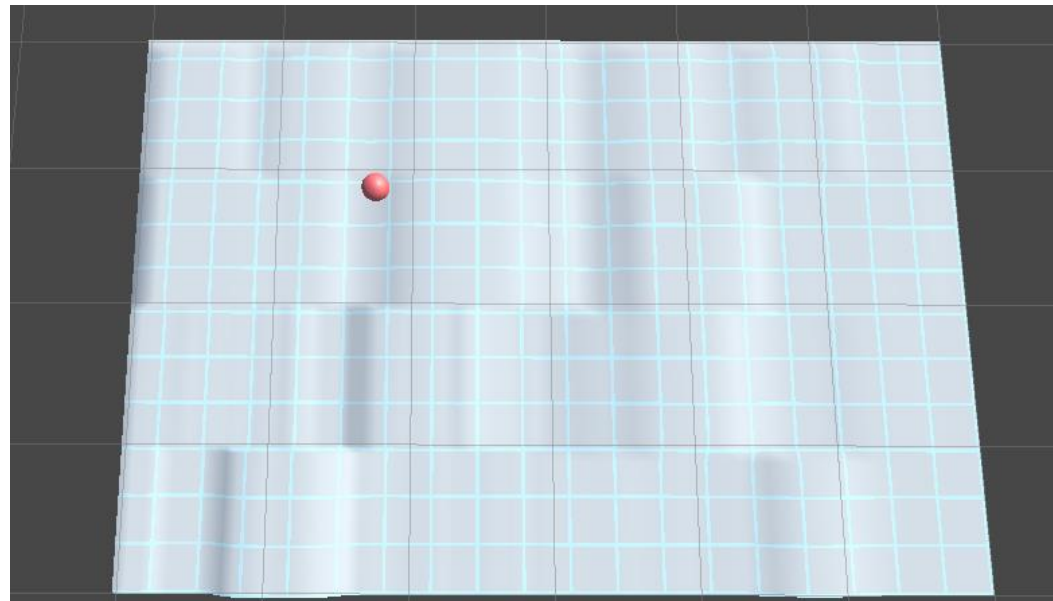
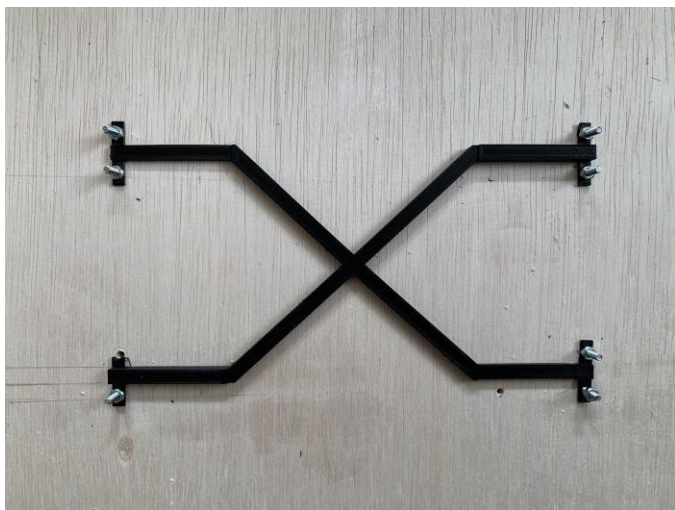
7. 実験 III

Result

- 中心と端で明らかにピークの大きさの差が見られた = ラインによる高さの違いを計測できている
- 継続的な空間的・時間的オフセットが顕著
 - 実際の高さとの乖離が徐々に大きくなっている
 - ピークのタイミングが後ろにずれていっている



描画と物理シミュレーション



スキャンに要する時間の概算

- 幅 x , 奥行き y の矩形を, 直進速度 v_{linear} , 回転速度 $v_{angular}$, ライン幅 ε でスキャンするのにかかる時間は,

$$t_{xy} = \frac{x}{\varepsilon} \left(\frac{2xy\varepsilon}{v_{linear}} + \frac{180}{v_{angular}} \right)$$

- $n = 10, \varepsilon = 0.05, v_{linear} = 0.05, v_{angular} = 30$ のとき, 10m四方の領域をスキャンするには**11時間**かかる
 - 速度を2倍にすると5時間

8. 議論

- 高さの精度が1mm程度なので，ライン幅もそれと同程度が望ましい
 - 走査用のXYステージを取り付ける (プリンターのヘッド)
- オフセットの大きさが変動しやすい (ex. 床の傾き，走行面の粗さ)
 - Lidarを使った自己位置推定
 - 段差にひっかかって軌道がずれても問題ないように
- 移動速度による影響
- 立ち上がりの時間的遅れゆえに段差の形状を正しくスキャンできない可能性

移動ロボットを用いた広域・高解像度な凹凸地図の構築

どんなもの？

移動ロボットとVIOを用いて、高さ1mm、横幅50mmの解像度で、10m四方の領域を一晩で自動スキャンすることで、空間の凹凸地図を構築するシステム

先行研究と比べて何がすごい？

数mm程度の比較的高い解像度で、数m規模の広い空間の凹凸形状をスキャンできる

技術や手法のキモはどこ？

自律移動可能なロボットとVIOを用いる

どうやって有効だと検証した？

凹凸を構成するパラメータを分解し、それぞれについて実際の値と実験によって得られた値の乖離を示す定量的な指標を計算した

議論はある??

ライン幅を小さく刻む手法、オフセットの解消方法、移動速度による影響。