

Gazebo を用いた施工シミュレータの開発

～簡易地形モデルを用いた地形変形プラグインの実装～

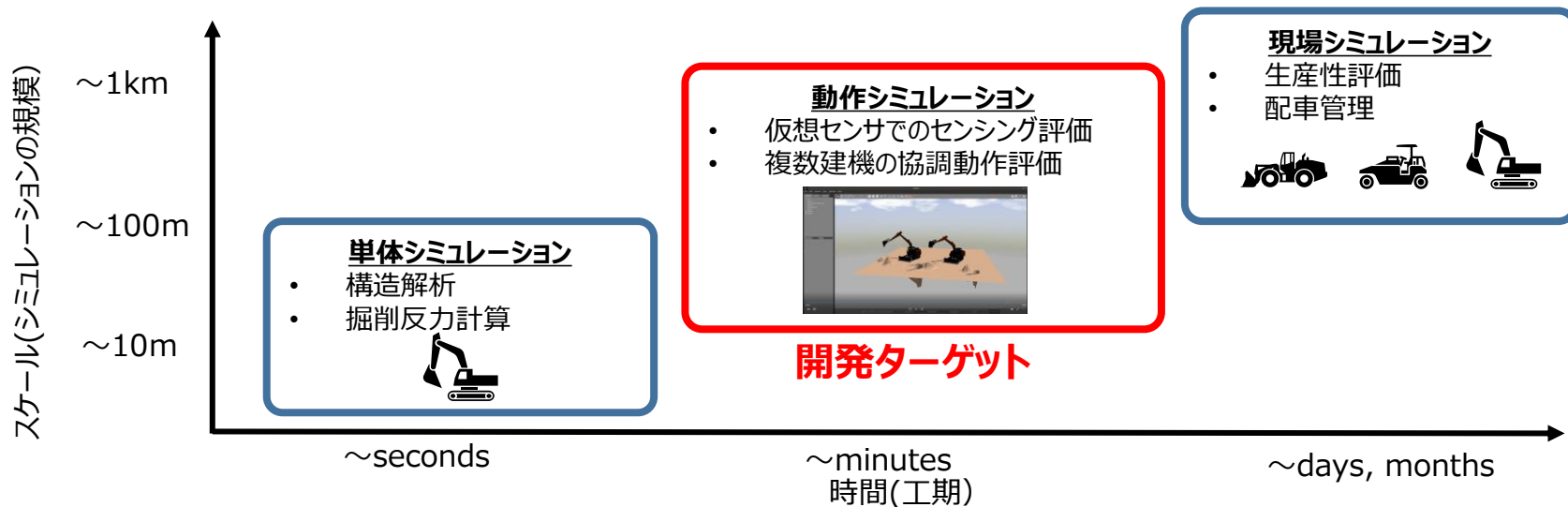
株式会社 日立製作所 研究開発グループ
西澤 匡士

1. 目的
2. シミュレータ開発方針
3. シミュレータ開発
 - 簡易施工ロジック
 - システム構成
4. デモ動画ご紹介
5. 課題
6. まとめ

ROSの産業応用：建設機械の自動化機能の開発環境

課題：自動化機能開発に適したシミュレーション環境の整備

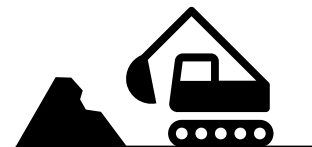
- 土砂のシミュレーション
- 様々な施工現場での周囲認識
- 複数の建設機械による協調動作



地形変化・協調作業・実時間処理が可能なシミュレータ

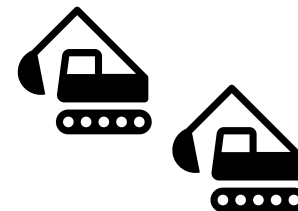
□ 建設機械の動きに連動して地面が変形すること

目標：掘削・放土・整地が可能なシミュレータ



□ 複数の建設機械で施工ができること

目標：2台以上の建設機械が動作可能



□ 可能な限り実時間処理できること

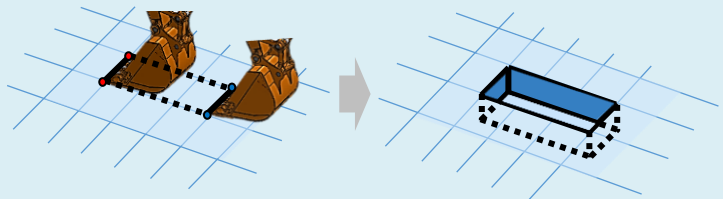
目標：1秒に1回以上の地形更新が出来る



簡易施工ロジックとGazeboプラグイン化で施工シミュレータを実現

簡易施工ロジックの考案

- 地面をグリッドマップでモデル化
- 土量の収支のみ考慮
- 地面と機械の干渉を計算して地形を更新

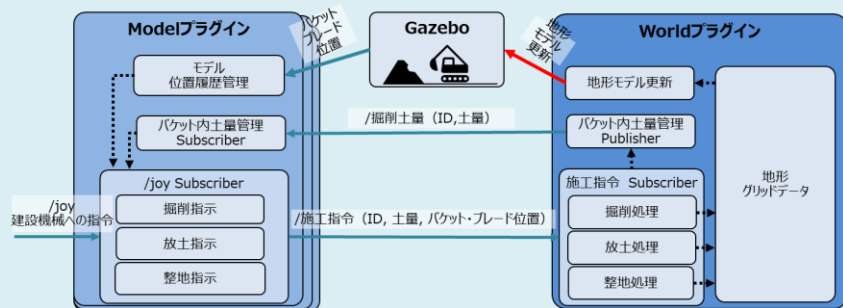


※使用ライブラリ

Grid Map Library : https://github.com/ANYbotics/grid_map

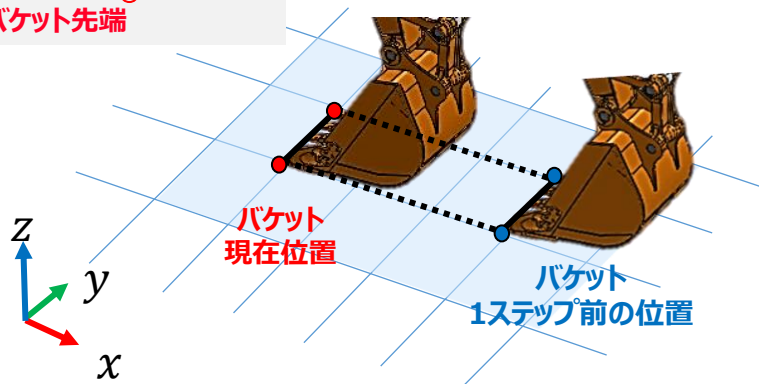
Gazeboプラグイン化

- Model/Worldに対応したプラグイン
- Model側：施工指令管理/土量管理/軌跡管理
- World側：地形データの管理/地形モデルの更新

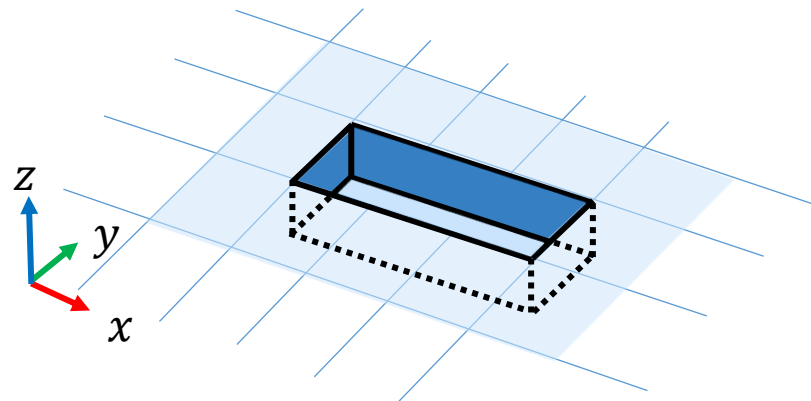


ショベルバケットの先端軌跡と地面の高さを比較

*ショベルを対象に検討



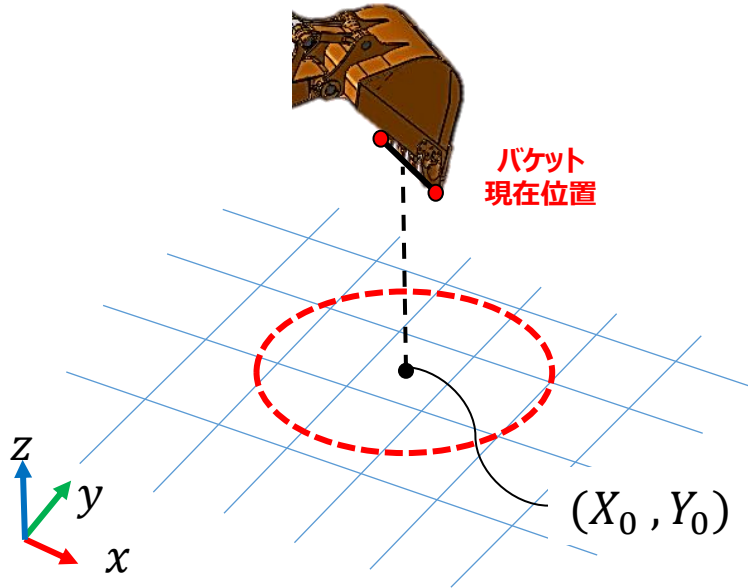
バケット軌跡から矩形領域を作成



地形グリッドとバケット高さを比較

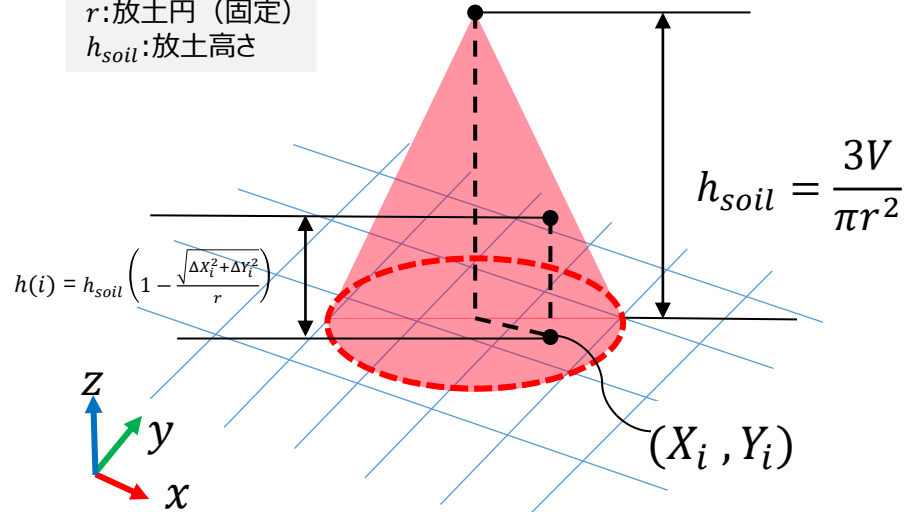
バケット高さ < 地形グリッドの値 → バケットの高さに値を更新

放土形状を円錐と仮定し地面グリッドに高さ値を付与



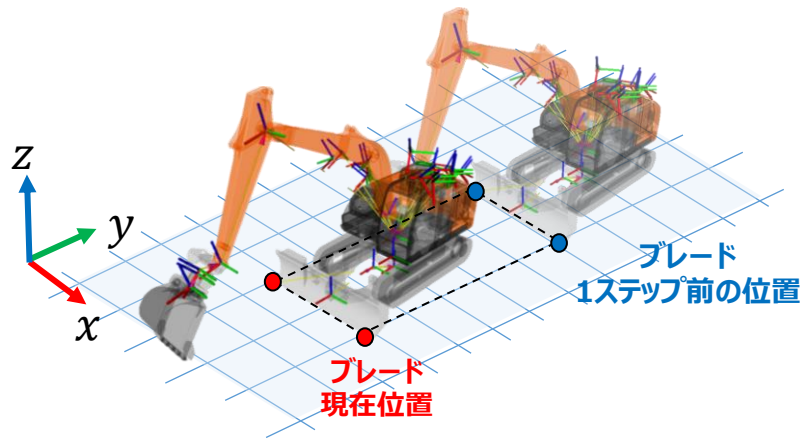
バケット位置を中心とした円形領域を取得

V : バケット内の土量
 r : 放土円 (固定)
 h_{soil} : 放土高さ

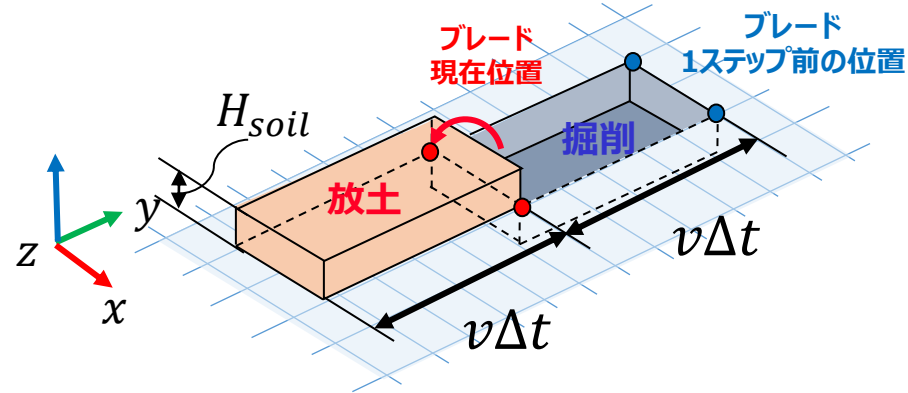


円錐形状を仮定して
円形領域内のグリッド高さを更新

掘削ロジック + 放土ロジックにより整地動作をモデル化



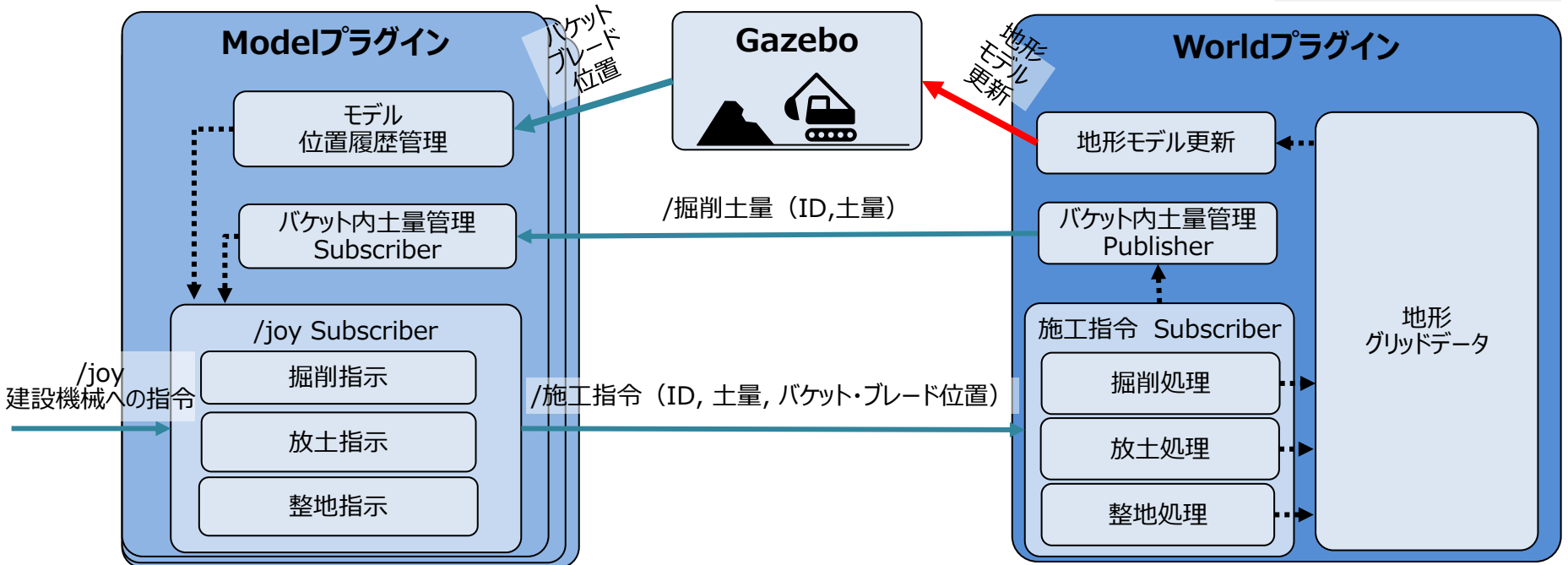
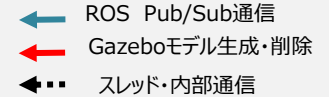
ブレード軌跡から矩形領域を作成



矩形内のグリッドをブレード高さで更新（掘削）
+ 機械前方のグリッドに高さを加算する（放土）

Model-Worldプラグイン間通信で複数機械の施工を実現

- Modelプラグイン：建設機械モデルに毎に用意
- Worldプラグイン：シミュレータ全体で1つ用意



Gazebo APIの制約

- ① 生成済みのSDFモデルのメッシュへのアクセスができない
- ② モデルの生成・削除が非同期

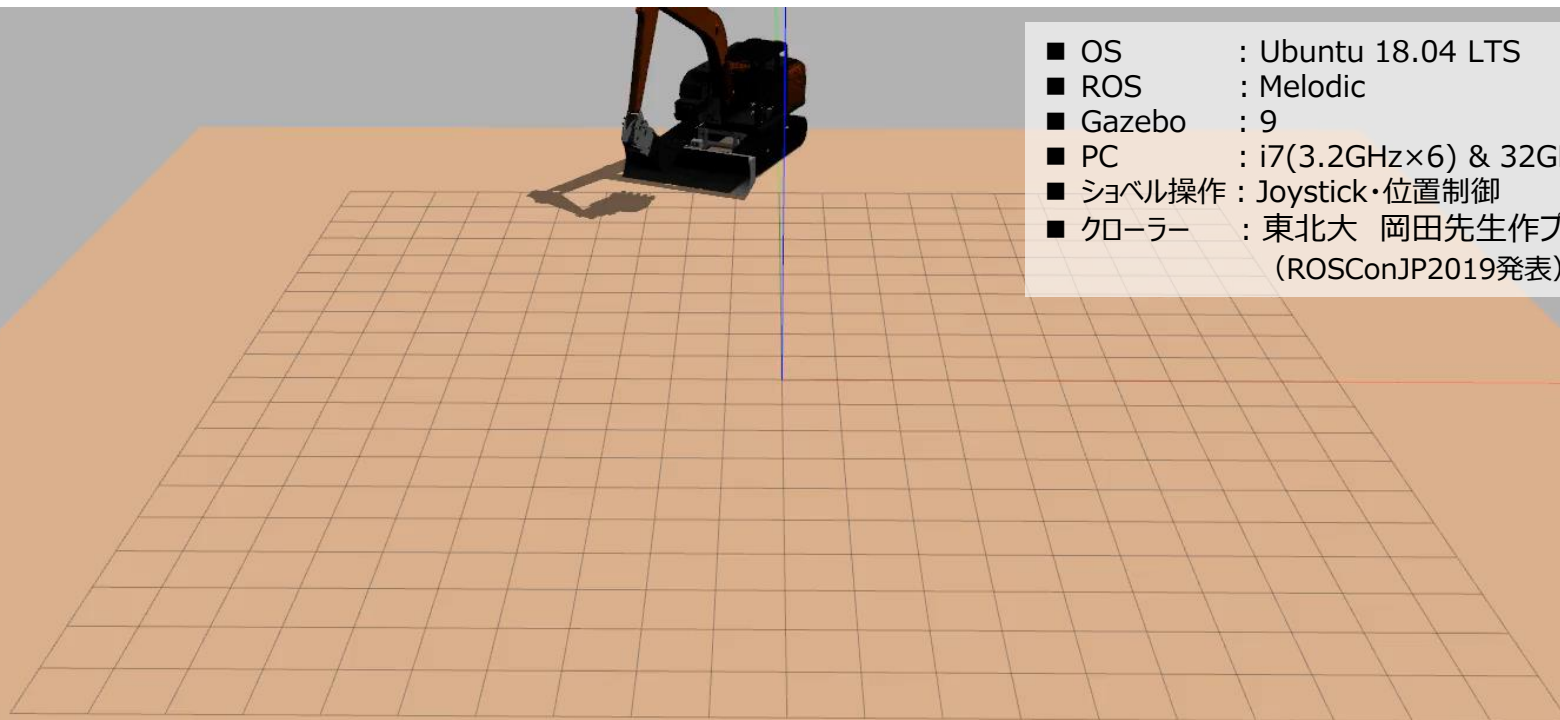


実装上の対策

- ① 地面を更新するときは新規で地面モデルを生成
 - ② 新しい地面を生成してから古い地面を削除（建設機械の落下防止）
- + a 数ステップに一度、地面モデルの生成を行うことで処理を分散



ショベルの動作に合わせた掘削・放土・整地動作を実現



- OS : Ubuntu 18.04 LTS
- ROS : Melodic
- Gazebo : 9
- PC : i7(3.2GHz×6) & 32GB RAM
- ショベル操作 : Joystick・位置制御
- クローラー : 東北大 岡田先生作プラグイン (ROSConJP2019発表)

複数のショベルによる掘削・放土動作を実現

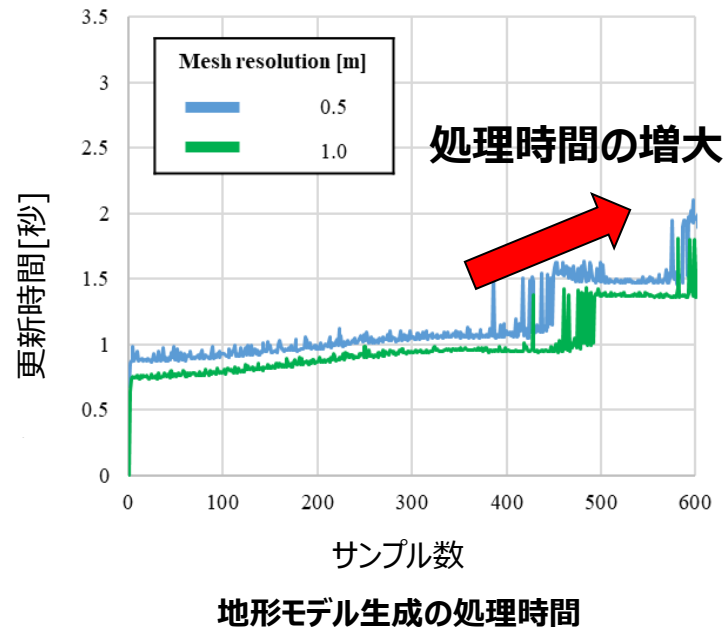
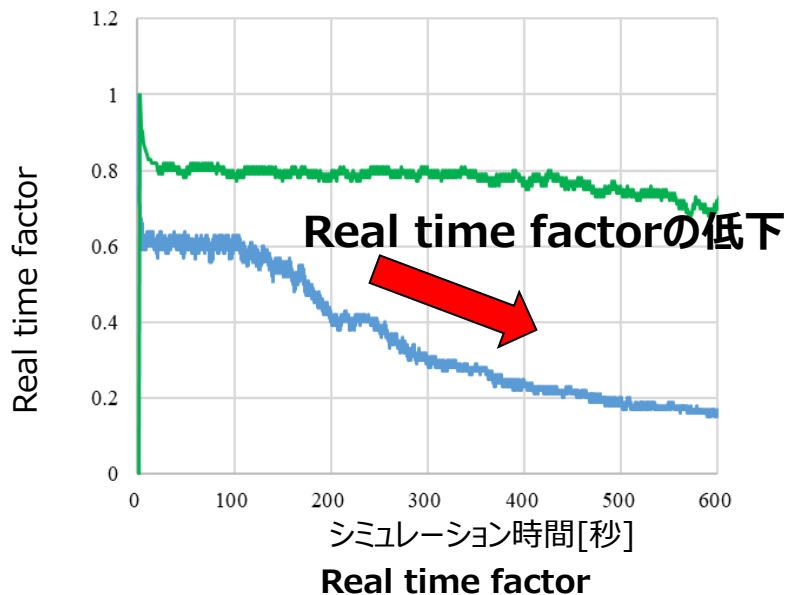
- OS : Ubuntu 18.04 LTS
- ROS : Melodic
- Gazebo : 9
- PC : i7(3.2GHz×6) & 32GB RAM
- ショベル操作 : Joystick・位置制御
- クローラー : 東北大 岡田先生作プラグイン
(ROSConJP2019発表)



地形モデルの更新にかかる処理時間に課題

Real time factorが1を割ってしまい、徐々に動作が遅くなっていく結果に・・・

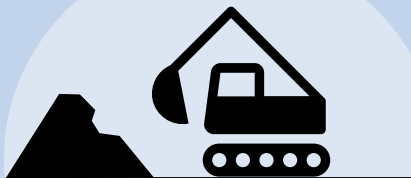
推定要因：メッシュファイルI/O、モデルの生成、SDFモデルのキャッシュの増加・・・



シミュレータの用途に応じて追加機能のカスタマイズが必要

出来ること

- 地面と機械の土の干渉のシミュレーション



- 仮想センサを用いた掘削後の地面の測定



出来ないこと

- 機械同士の土砂の受け渡し



- 長時間/多数機械のシミュレーション

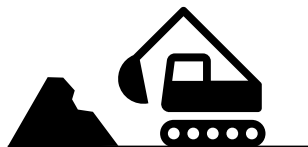


地形変化・協調作業・実時間処理が可能なシミュレータ

□ 建設機械の動きに連動して地面が変形すること

目標：掘削・盛土・整地が可能なシミュレータ

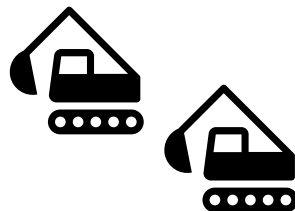
結果：簡易施工ロジックにより達成



□ 複数の建設機械で施工ができること

目標：2台以上の建設機械が動作可能

結果：2台での地形プラグイン動作を確認




□ 可能な限り実時間処理できること

目標：1秒に1回以上の地形更新が出来る

結果：1秒に1回以上の地形更新可能（5分程度）



ご清聴ありがとうございました！

The image shows a 3D simulation environment with a light blue sky and a flat, light brown ground plane. Two Hitachi excavators are positioned on the ground. The excavator on the left has its bucket raised, while the one on the right has its bucket lowered. The ground is marked with several irregular, low-poly shapes representing terrain features. A white text box is overlaid on the bottom right of the scene.

Gazebo を用いた施工シミュレータの開発

～簡易地形モデルを用いた地形変形プラグインの実装～

株式会社 日立製作所 研究開発グループ
西澤 匡士
tadashi.nishizawa.rh @ hitachi.com