

不整地における地図生成と 自律移動の研究

会津大学 コンピュータ理工学部

山田 竜平

研究の背景

災害地域や事故現場、宇宙環境といった人間が直接行くのに危険や困難を伴う「**極限環境**」で作業や探査を行えるロボット技術の研究・開発を進めている。



災害現場



事故現場



宇宙環境（月惑星）

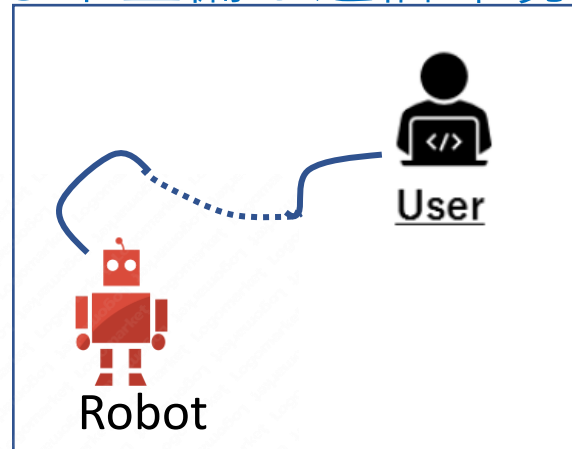
極限環境における問題点

○走行困難、危険を伴う不整地



活火山領域

○不整備な通信環境



○認識できる特徴点の少なさ



月表面

○滞在困難な環境 (極高低温、真空、高压、放射能等)



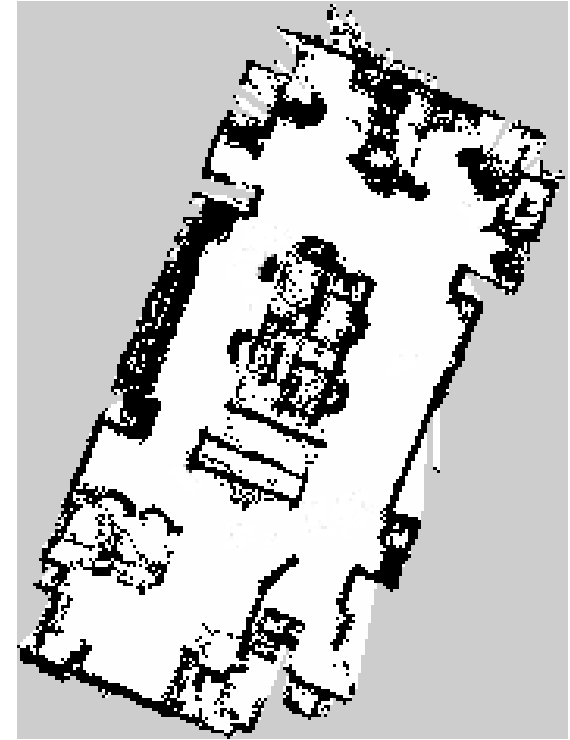
福島第一原発建屋内

極限環境はロボットの活動に対しても困難な環境であり、適用環境を想定した技術研究が必要！

地図生成と自律移動



配膳・配送ロボット



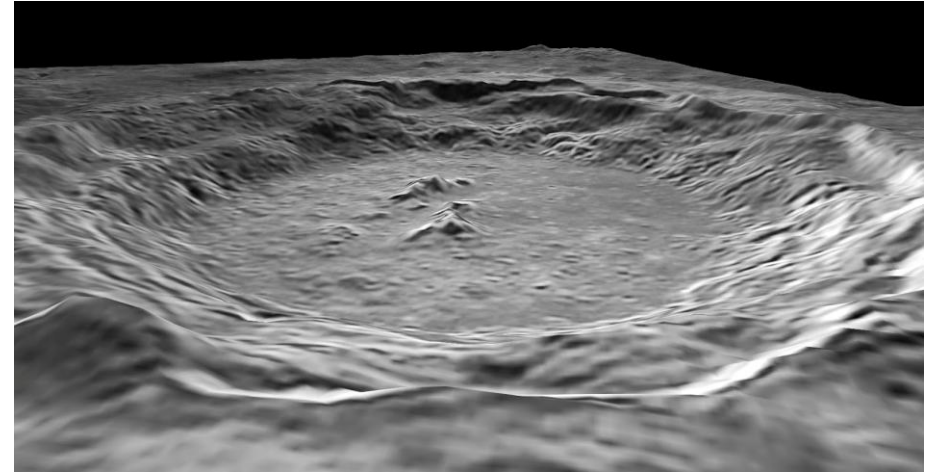
ナビゲーション用
2次元地図

商用の自律移動ロボット（配膳・配送ロボ等）は事前に生成したナビゲーション用の地図を使用して、位置推定と経路計画を行い、自律移動を行う。

ターゲット環境



災害地域



月惑星表面



福島第一原発
建屋内部

極限環境では、凹凸路面やがれき面、砂地などの不整地面が予測され、**不整地での地図生成、自律移動技術の確立**が極限環境でのロボットオペレーションに重要

ターゲット環境を想定したロボット研究



災害地域



月惑星表面



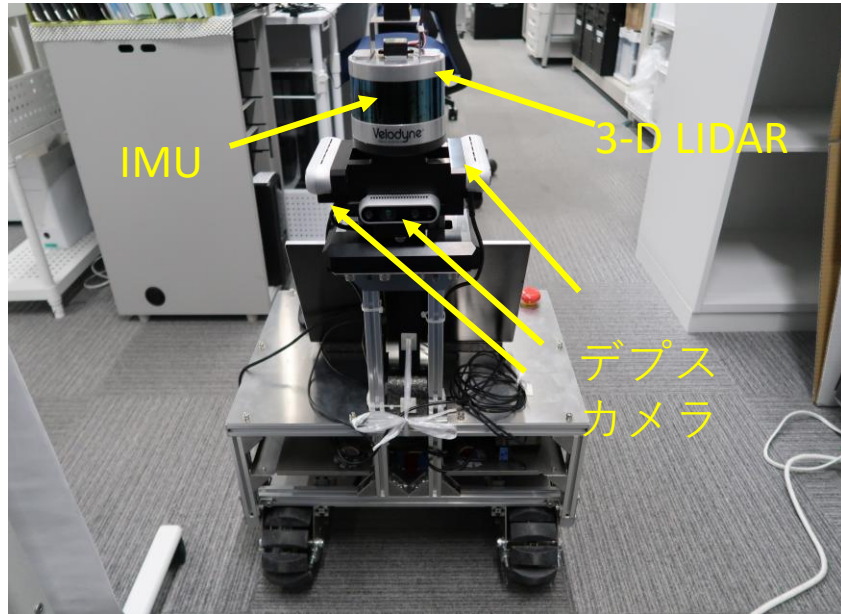
福島第一原発
建屋内部

想定される環境での課題抽出と技術検証・改修・確立が必要

➡ 福島ロボットテストフィールド(RTF)の模擬環境試験設備を使用した**地図生成・自律移動の研究・実験**について紹介

研究用ロボット

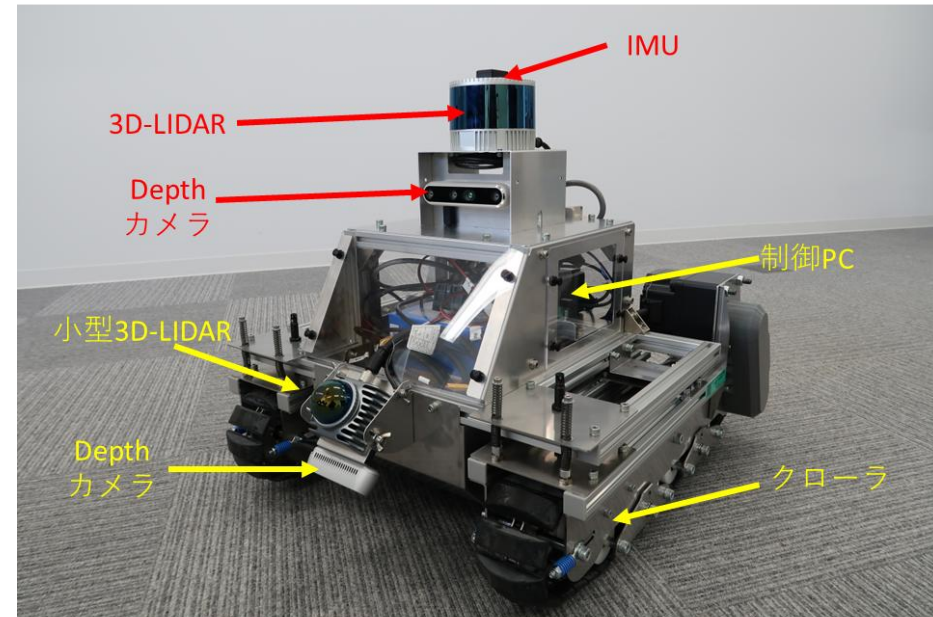
不整地での走行とデータ取得用に小型の「クローラロボット」に制御PCとセンサーを搭載して使用



台車3号機 (REX)

(搭載機器)

- 3D-LIDAR
- IMU
- デプスカメラ × 3
- 制御PC (Ubuntu20.04LTS)
(ROS Noetic)



台車4号機 (REX2)

(搭載機器)

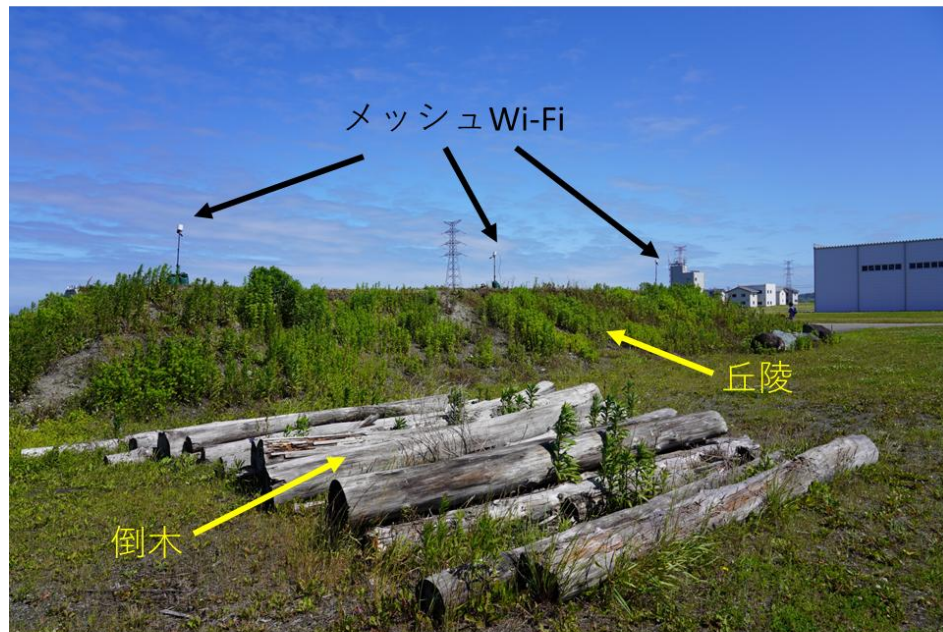
- 3D-LIDAR × 2
- IMU
- 可視光カメラ × 2
- 制御PC (Ubuntu22.04LTS)
(ROS2 Humble)

屋外不整地での地図生成と自律移動

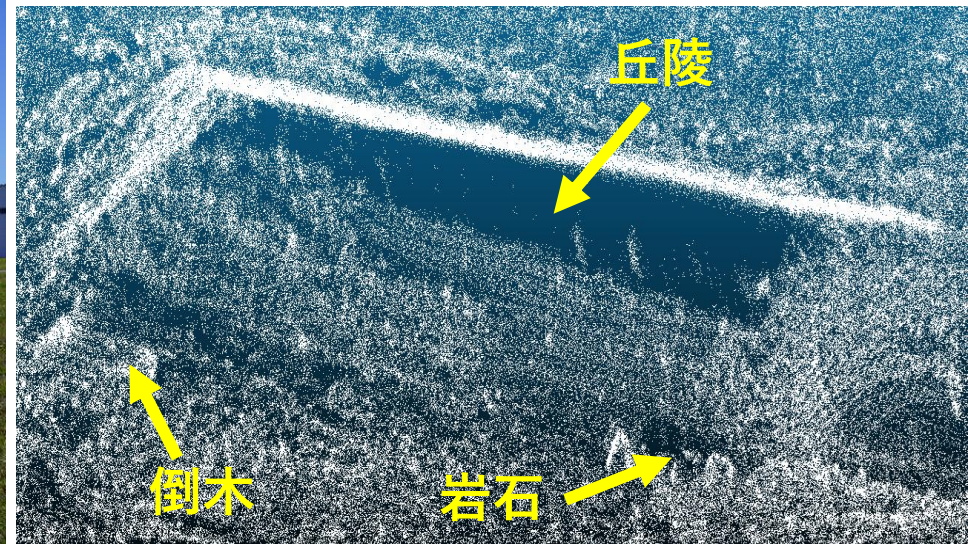
福島RTFの「**土砂倒木エリア**」において、地図生成と遠隔自律移動の実験を実施。

LIDARデータをベースに生成した地図を使って自律移動を実行

インターネットでロボットの制御PCとオペレータのコントロールPCをサーバーを経由して接続し、遠隔からの制御による自律移動を可能にした。



RTF土砂倒木エリア



RTF土砂倒木エリアの
3次元点群地図

屋外不整地での遠隔自律移動実験

オペレーター

RTFプレハブ

20~30m

ロボット

土砂倒木エリア

土砂倒木エリアでの遠隔自律移動実験(2025年5月) (×10倍速)



Waypointsに沿った自律移動は実行可能。ただし、室内と比較して自己位置推定が不安定であったり、野生の草花による誤障害物認識が生じる。

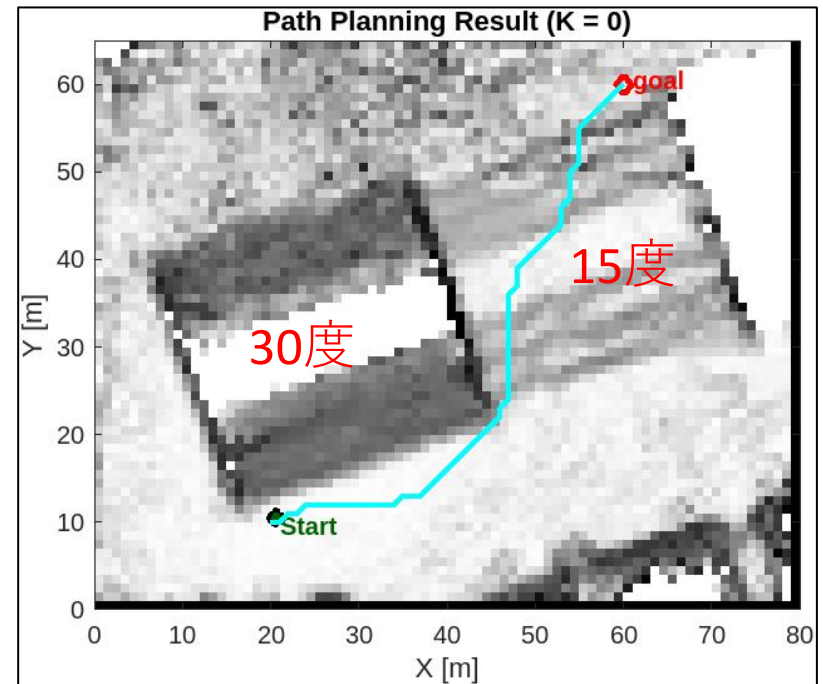
傾斜地における経路計画

土砂崩落現場のような傾斜地におけるロボットの自律移動の手法についても研究中。

福島RTFの土砂傾斜エリアでの実験検証



RTF土砂傾斜エリア



2.5次元地図上での経路計画

地面の傾斜角度をコスト値とした地図を生成して、移動距離と安全性を考慮した最適な経路計画法を研究

月面模擬クレータ

福島RTFに月面模擬クレータを造成(2024年10月にオープン)

- クレータ直径約22m
- クレータ斜面に15度と30度の傾斜面を造成
- クレータ面に月レゴリスと力学的特性が類似した砂を敷設
(ロボットの月面での走行状態を模擬)

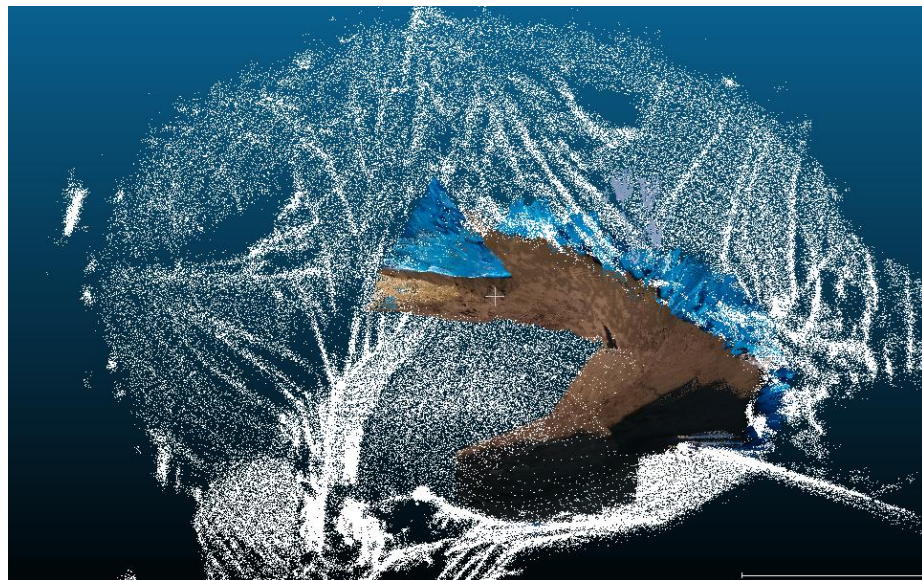


福島RTF月面模擬クレータ

月面模擬クレータでの実験



月面模擬クレータ走行試験
(2024年10月)



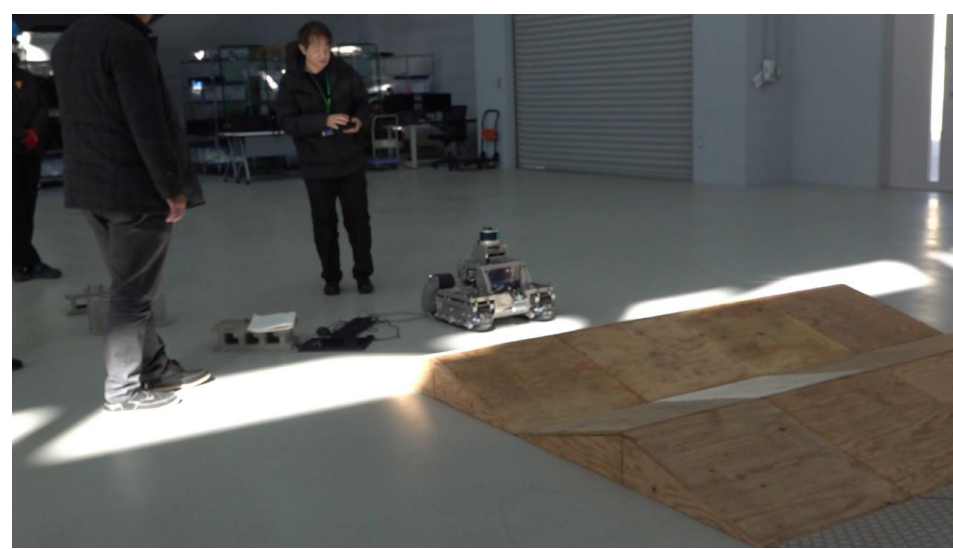
月面模擬クレータLIDAR+カメラ点群
データフュージョン地図

○月模擬砂上での（市販）クローラでのスムーズな走行は困難
最適な走行形態（足回り）の研究に使用可能

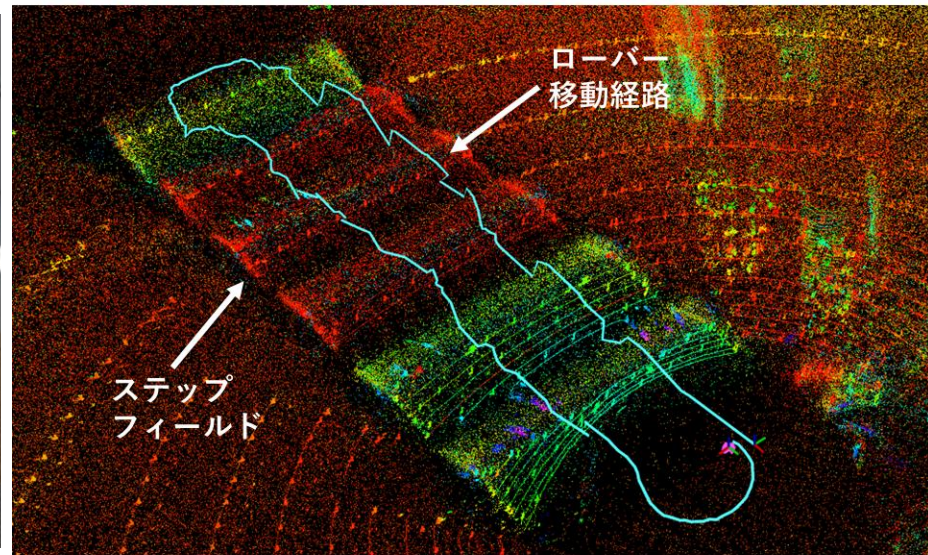
○周辺環境認識、解像度の向上のため3D-LIDARの点群とデプス
カメラの深度データによる点群を合成するデータフュージョン
地図を生成できるようにした（ソフトウェア開発）

原発建屋内3次元構造モデルの構築研究

人が近づけない事故建屋内においてロボットと搭載センサーを使用して詳細な3次元構造モデルを構築する手法についても研究



福島RTF屋内試験場ロボット走行
+地図生成実験(2025年2月)



ステップフィールド面
3次元点群地図

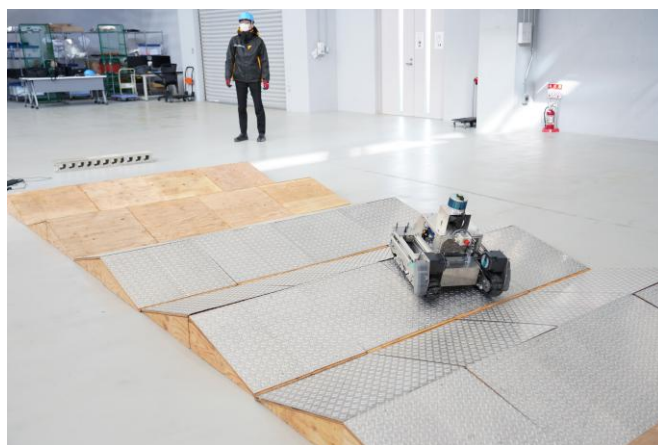
○建屋内の瓦礫面を想定しての走行中に取得した観測データより地図生成を実行

➡ 既存のアルゴリズムで十分に構造復元可能

○詳細な構造復元のためカメラ画像・点群、画像の分類結果を合成した3次元構造モデルの構築を目指す。

まとめ

本ロボット事業含めて、関連ロボットプロジェクトを合わせて
極限環境に適用可能なロボットの地図生成及び自律移動技術の
研究開発を推進中



福島RTFでの想定環境実験・研究を通して課題抽出と解決を行い、
実用化を目指す。