

フィールドロボティクスの現状と展望 (インフラメンテナンスへの活用に向けて)

東京大学 大学院 工学系研究科
i-Constructionシステム学寄付講座
特任教授 永谷圭司



自己紹介

- 1968年 誕生
- 1988年 筑波大学入学
- 1991年 知能ロボット研究室に所属
- 1997年 博士（工学）取得
- 1997年 Carnegie Mellon Univ.（ポスドク）
- 1999年 岡山大学 講師
- 2005年 東北大学 大学院 工学研究科 准教授
- 2015年 未来科学技術共同研究センター 准教授
- 2017年 東京大学 客員大講座 准教授（併任）
- 2019年 東京大学 i-Conシステム学寄付講座 特任教授



(フィールド) ロボット技術

- **移動機構 (Locomotion)**
- **位置推定 (Localization)**
- **環境認識 (Sensing)**
- **動作計画 (Planning)**

注) 今回, メンテナンス機器は含めない. メンテナンス対象まで機器を運搬するキャリアとしてのロボット技術を考える. 対象は, 道路, 橋梁, トンネルなど. 技術紹介なので, 多少逸脱したものを含む.



ロボット技術 : 移動 (車輪 / クローラ)



Shrimp : EPFL, 2008 (Link-mechanisms)



ロボット技術：移動（車輪／クローラ）



Quince, Tohoku Univ/Chiba Institute of Tech, 2009



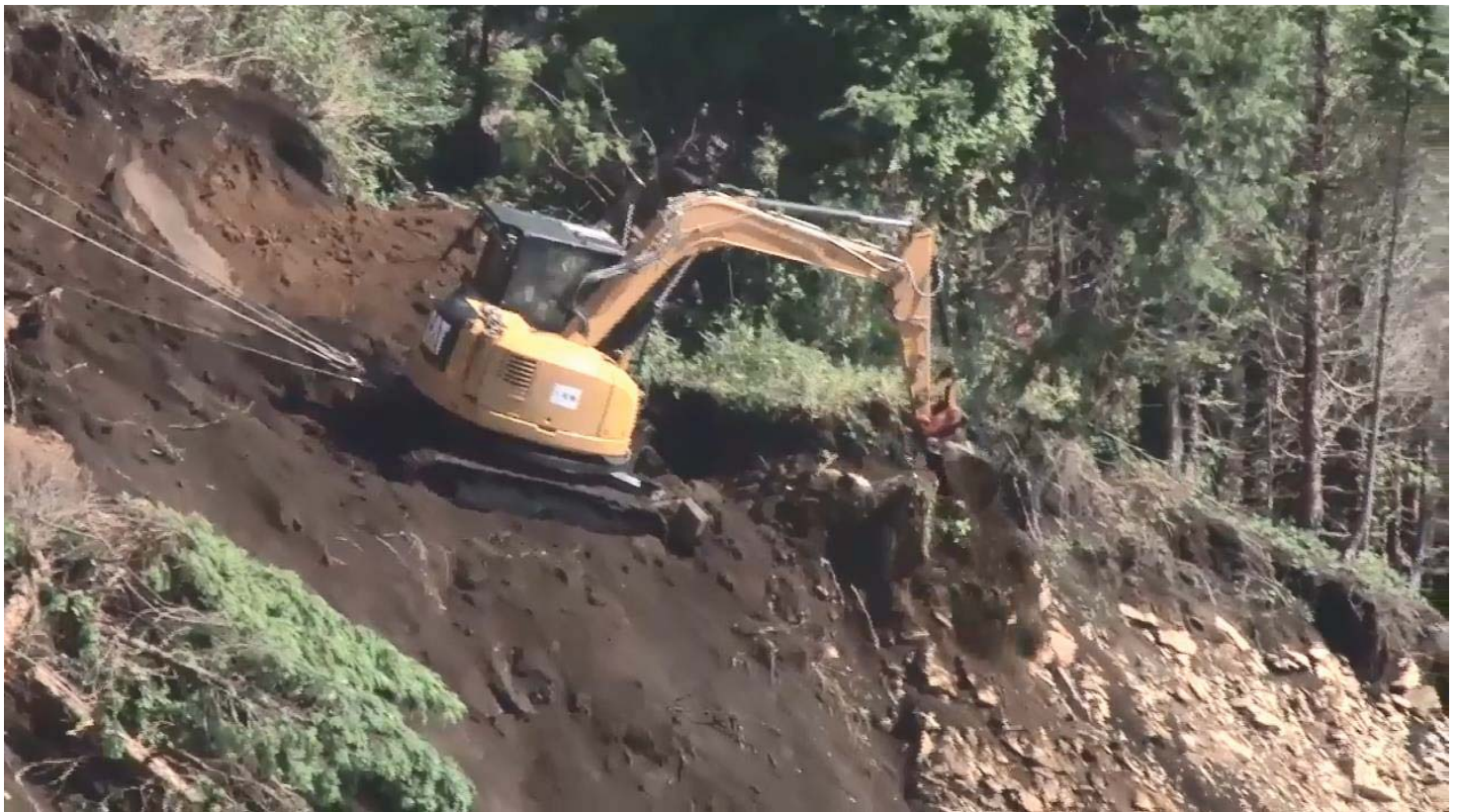
フィールドロボティクスの現状と展望

2020/1/30

(5)



ロボット技術：移動（車輪／クローラ）



熊谷組, 阿蘇斜面崩壊現場, 2017



フィールドロボティクスの現状と展望

2020/1/30

(6)



ロボット技術：移動（飛行タイプ）



東北大学：球殻ドローン（2015～） ルーチェサーチ：高密度測量

フィールドロボティクスの現状と展望

2020/1/30

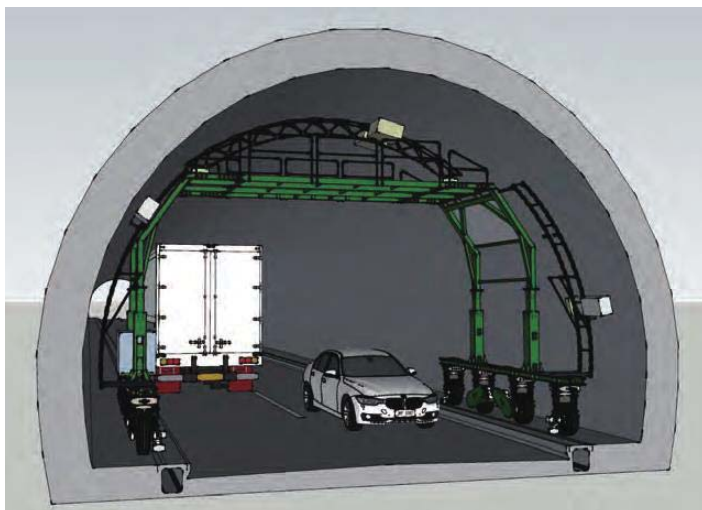
(7)



ロボット技術：移動（特殊タイプ）

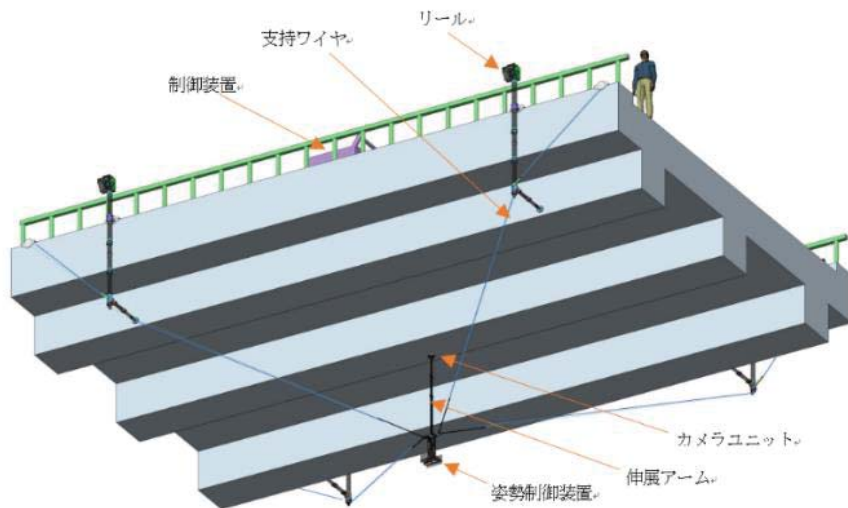


平沢トンネルでの実証実験



東急建設
トンネル全断面点検・診断システム
SIPインフラ（～2018年度）

ロボット技術：移動（特殊タイプ）



ハイボット：ワイヤとロッドを用いた橋梁点検システム
SIPインフラ（～2018年度）



ロボット技術：移動（特殊タイプ）



ロボット技術：移動（脚タイプ）



Spot: Boston dynamics, 2019



ロボット技術：移動（脚タイプ）



Atlas: Boston dynamics, 2019

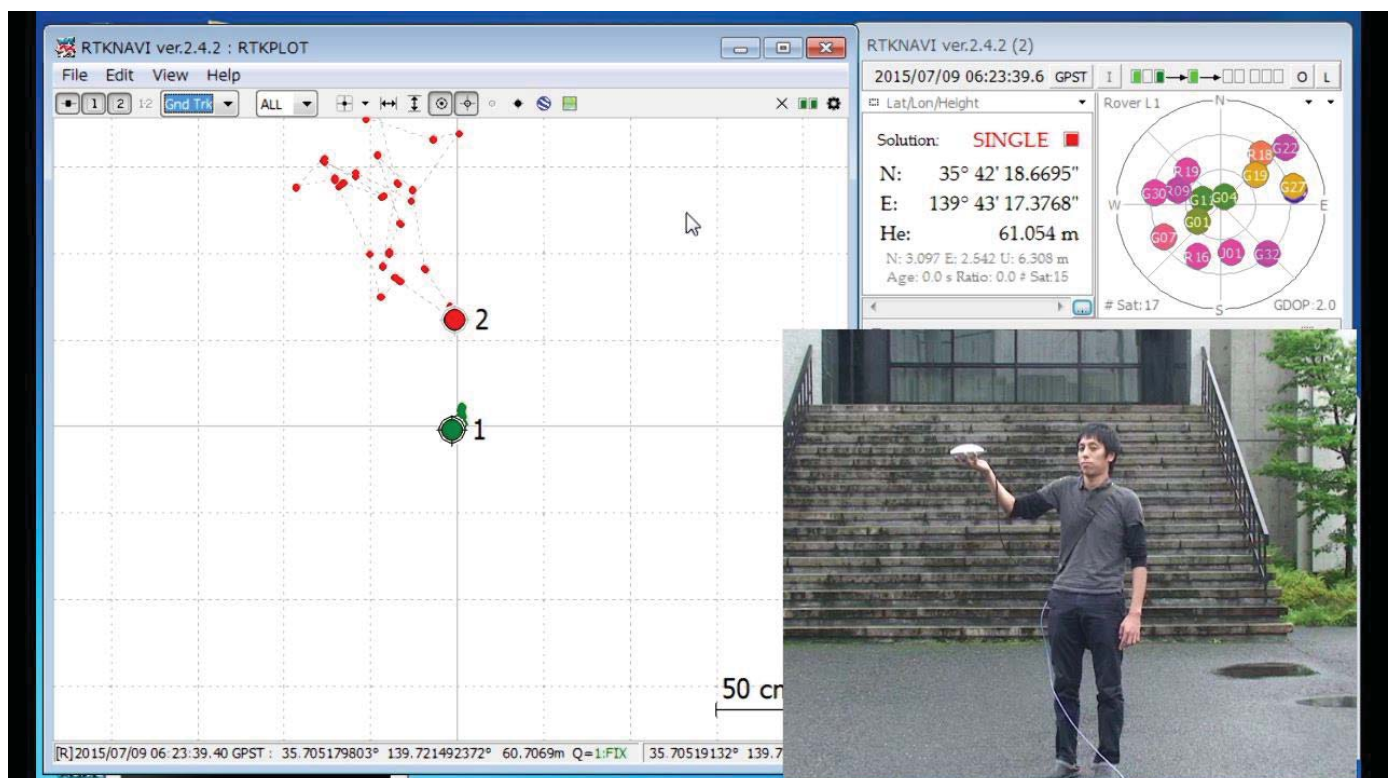


(フィールド) ロボット技術

- 移動機構 (Locomotion)
- **位置推定 (Localization)**
- 環境認識 (Sensing)
- 動作計画 (Planning)



ロボット技術：位置推定 (GNSS)



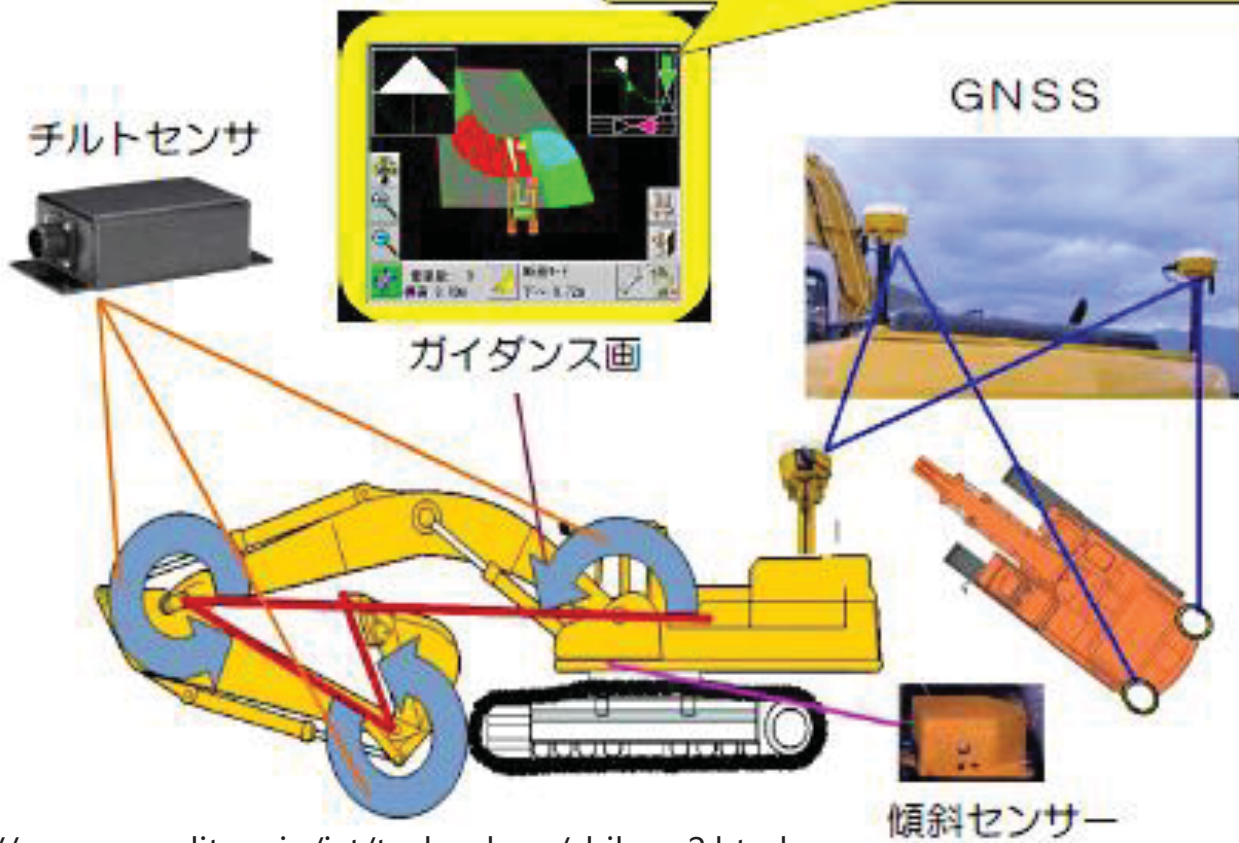
Carrier Phase Differential GPS (RTK測位)



ロボット技術：位置推定（GNSS）

マシンガイダンス

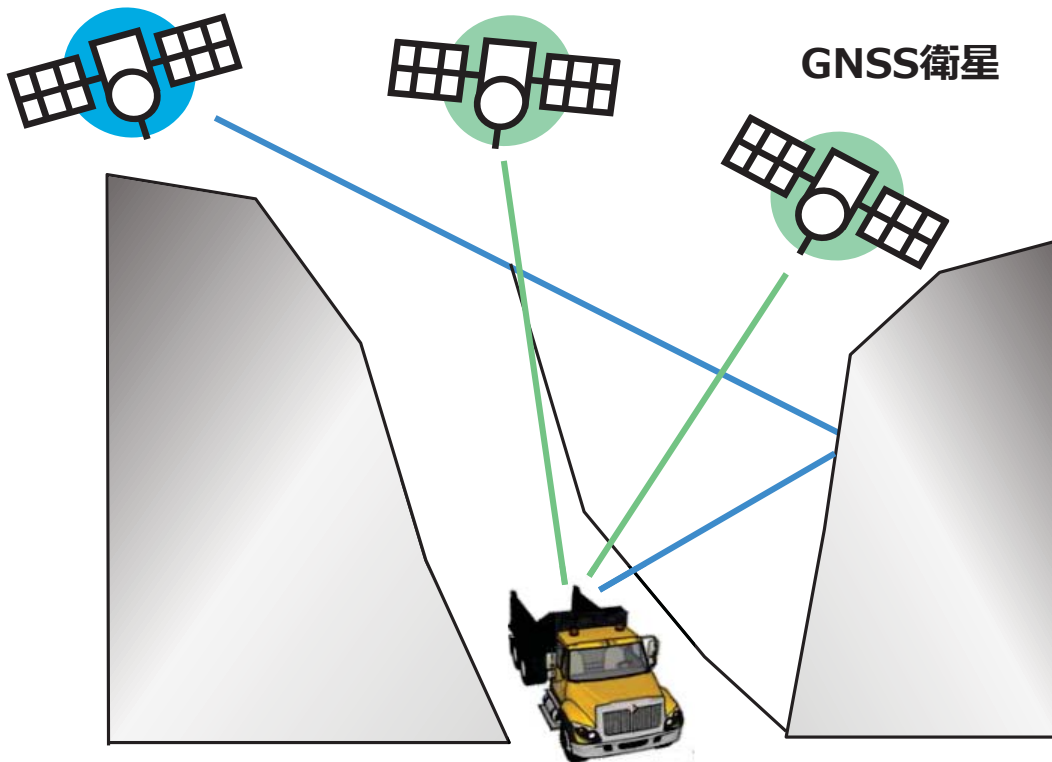
ガイダンス画面で掘削位置を指示



http://www.qsr.mlit.go.jp/ict/technology/shiken_2.html

GNSSによる位置推定の問題

GNSS衛星(マルチパス)



GNSSの信頼性の向上



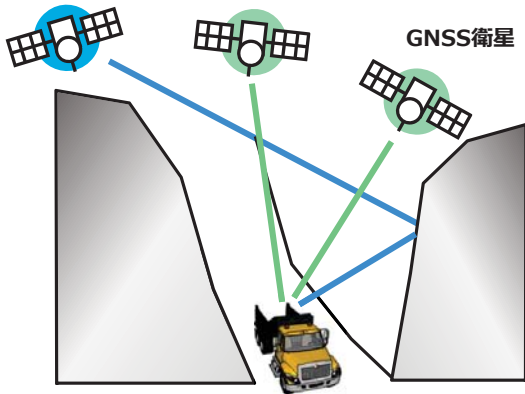
衛星の電波の遮蔽・反射により測位誤差が増大（マルチパス）



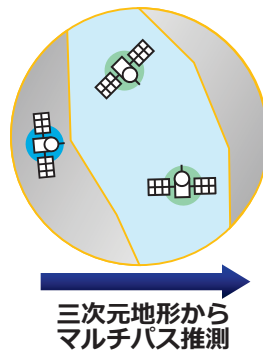
三次元地形情報を利用することでマルチパスの影響を推測し、位置推定精度を向上させる

提案手法概要

GNSS衛星(マルチパス)

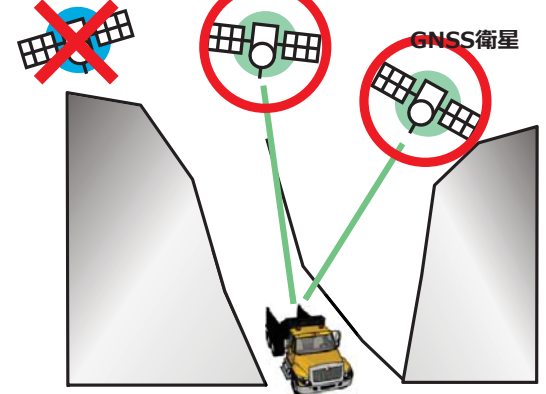


GNSS衛星



三次元地形からマルチパス推測

GNSS衛星(マルチパス)



GNSS衛星



事前を取得した地形情報から**可視衛星**のみを用いた測位
(千葉工業大学 主任研究員 鈴木太郎)

0.01 0.00 -1.00 0.00 Shift : D

速度[km/h] 目標速度 sam/track 経路追従速度

0.01 0.00 0.00

角速度[°/s] 目標角速度 sam/steer

-18.32

旋回角

-1.15 -2.04 99.09

Roll Pitch Yaw

21.72

CPU使用率

0.00 0.00 -1.00 0.00 Shift : D

速度[km/h] 目標速度 sam/track 経路追従速度

-0.02 0.00 0.00

角速度[°/s] 目標角速度 sam/steer

-18.32



旋回角

-0.86 -1.98 99.96

Roll Pitch Yaw

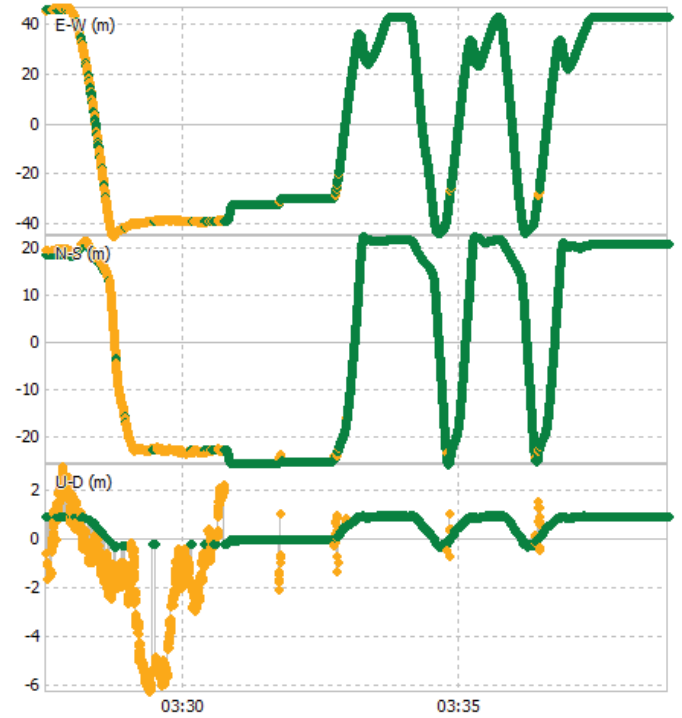
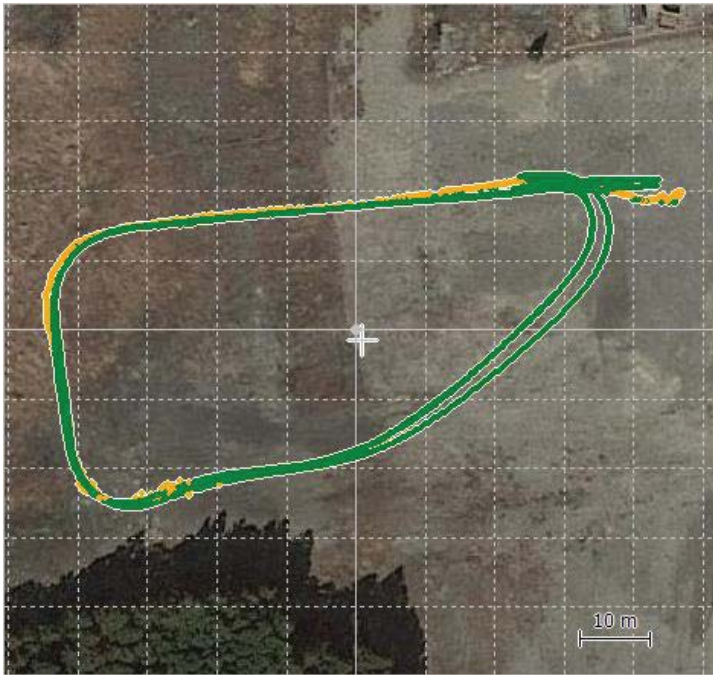
19.48

CPU使用率

通常の一周期波RTK-GNSSによる測位結果(衛星仰角マスク15°)

● Fix解 ● Float解



Fix率 : 75.4%

フィールドロボティクスの現状と展望

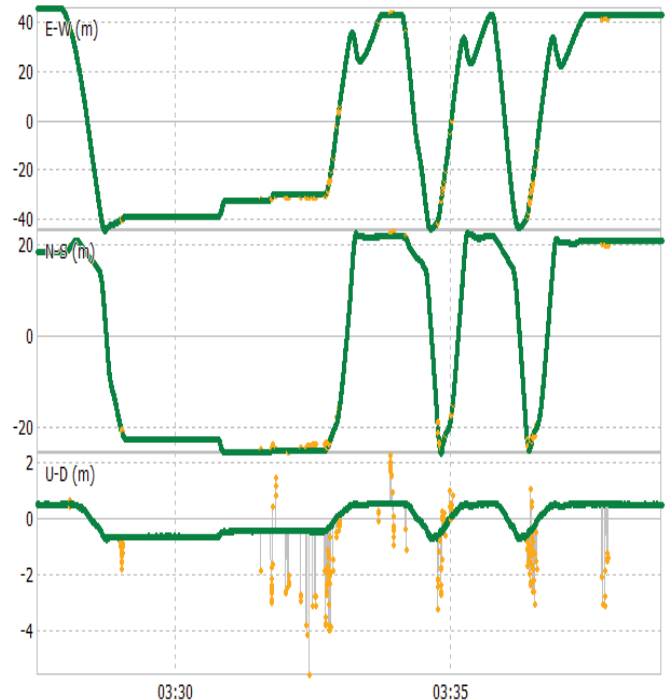
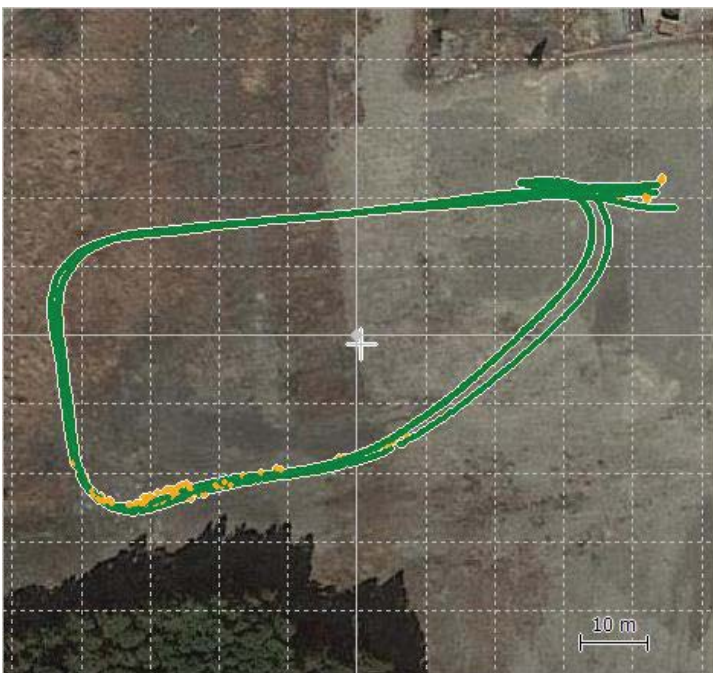
2020/1/30

(19)



通常の一周期波RTK-GNSSによる測位結果(衛星仰角マスク30°)

● Fix解 ● Float解



Fix率 : 94.1%

フィールドロボティクスの現状と展望

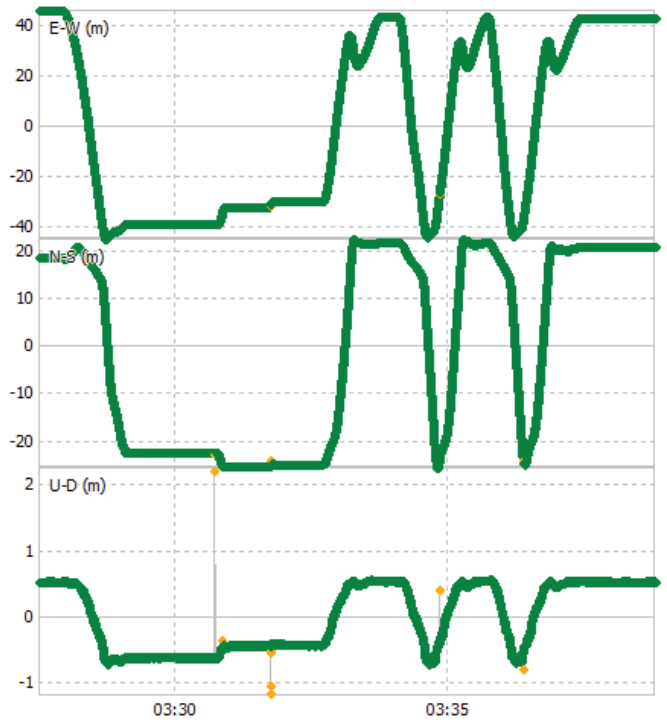
2020/1/30

(20)



提案手法による測位結果

● Fix解 ● Float解



Fix率 : 99.9%

フィールドロボティクスの現状と展望

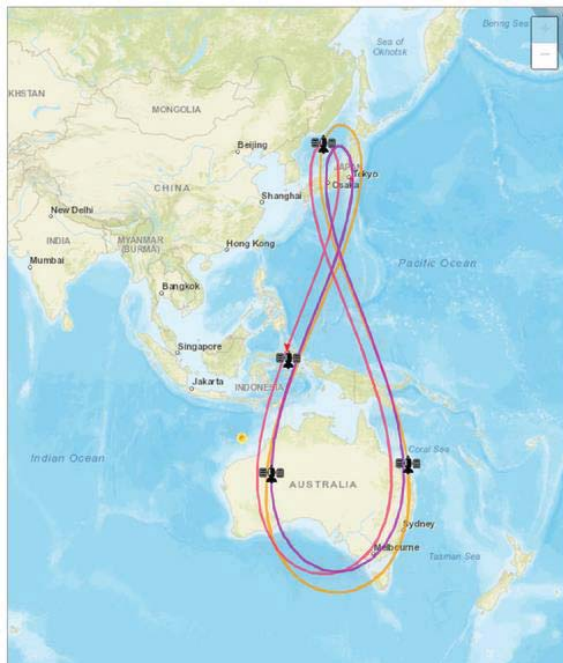
2020/1/30

(21)



準天頂衛星への期待

QZSS : みちびき



信号名称	初号機	2~4号機		配信サービス	中心周波数
	ブロックIQ	ブロックIIQ	ブロックIIG		
	準天頂軌道	準天頂軌道	静止軌道		
	1機	2機	1機		
L1C/A	◎	◎	◎	衛星測位サービス	1575.42MHz
L1C	◎	◎	◎	衛星測位サービス	
L1S	◎	◎	◎	サブメータ級測位補強サービス 災害・危機管理通報サービス	
L1Sb	-	-	◎ 2020年頃から配信予定	SBAS配信サービス	
L2C	◎	◎	◎	衛星測位サービス	1227.60MHz
L5	◎	◎	◎	衛星測位サービス	1176.45MHz
L5S	-	◎	◎	測位技術実証サービス	
L6	◎	◎	◎	センチメータ級測位補強サービス	1278.75MHz
Sバンド	-	-	◎	衛星安全確認サービス	2GHz帯

GNSSでは解決できない問題



フィールドロボティクスの現状と展望

2020/1/30

(23)



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

ロボット技術：位置推定（SLAM技術）

SLAM : Simultaneous Localization and Mapping
→ 位置推定とマップ構築を同時に行う技術



フィールドロボティクスの現状と展望

2020/1/30

(24)



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

ロボット技術：位置推定（SLAM技術）

Autonomous Aerial Navigation
in Confined Indoor Environments

Shaojie Shen, Nathan Michael, Vijay Kumar



フィールドロボティクスの現状と展望

2020/1/30

(25)



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

ロボット技術：地図構築



フィールドロボティクスの現状と展望

2020/1/30

(26)

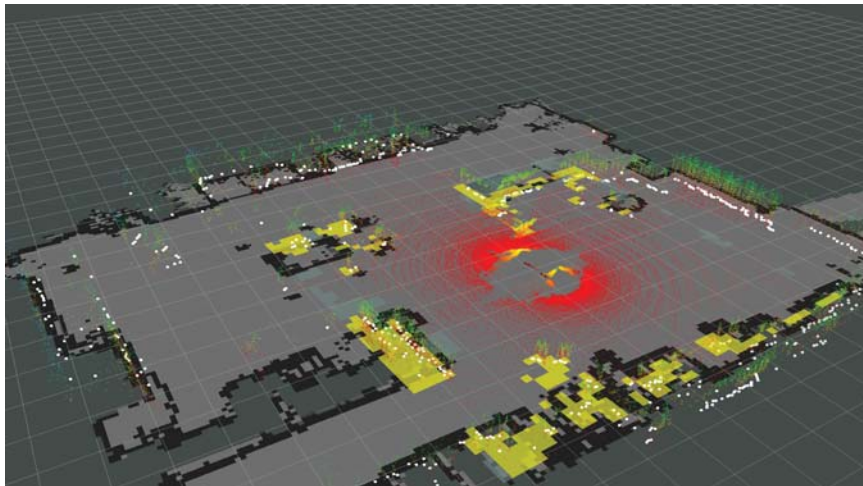


東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

ロボット技術：位置推定（SLAM技術）

SLAM : Simultaneous Localization and Mapping
→ 位置推定とマップ構築を同時に行う技術

形状が分かっている環境に対し, LiDAR等のセンサ
情報を用いて位置推定する方法 → Scan matching



(フィールド) ロボット技術

- 移動機構 (Locomotion)
- 位置推定 (Localization)
- **環境認識 (Sensing)**
- 動作計画 (Planning)



ロボット技術：環境認識（SfM）

SfM : Structure from Motion

複数の写真から特徴点を抽出し三次元復元する技術

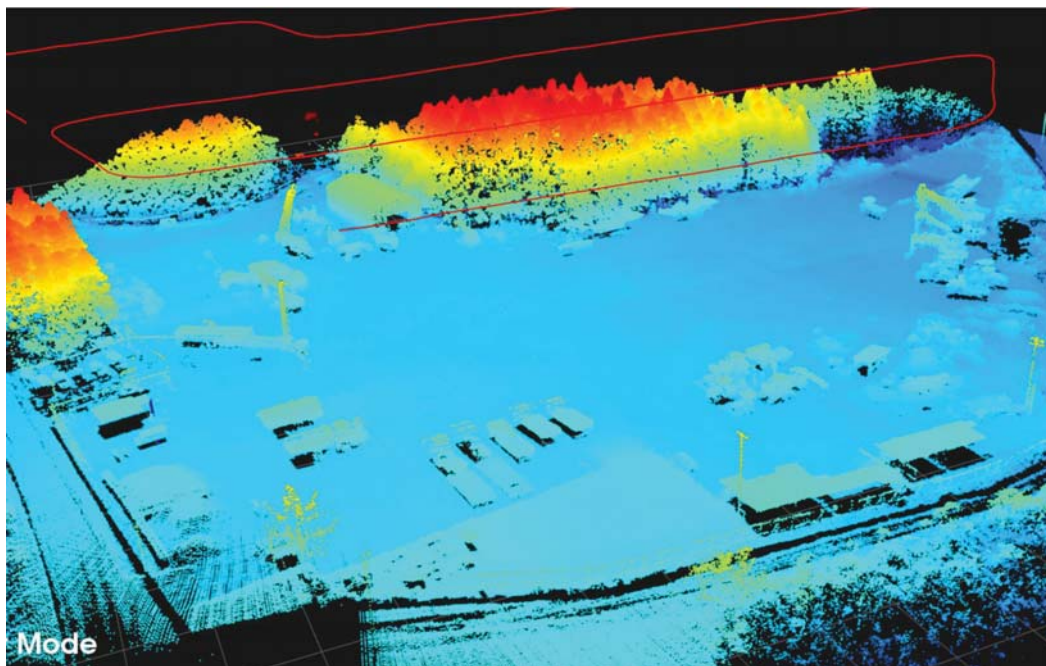


雲仙普賢岳 2015年



ロボット技術：環境認識（LiDAR）

**LiDAR : Light Detection and Ranging /
Laser Imaging Detection and Ranging**



ロボット技術：環境認識（LiDAR）



Velodyne Lidar: Alpha Prime (360°×40°, 128本のLaser)

フィールドロボティクスの現状と展望

2020/1/30

(31)



ロボット技術：環境認識（RGB-Dカメラ）

RGB-D : Red, Green, Blue + Depth



ミニショベルのアームの内側に取り付けられたReal Senseで取得した
土壌掘削時の様子。右側のヒートマップが距離を表している。



フィールドロボティクスの現状と展望

2020/1/30

(32)



(フィールド) ロボット技術

- 移動機構 (Locomotion)
- 位置推定 (Localization)
- 環境認識 (Sensing)
- **動作計画 (Planning)**

いろいろ話題があるのですが、個々の技術について説明してもあまり面白くないので、今日は割愛することにします。



フィールドロボット技術活用の個人的展望

シンポジウムの題目：

インフラメンテナンス — **完全無人化**に向けて —



自動施工：クワッドアクセル



鹿島建設（2015）



フィールドロボティクスの現状と展望

2020/1/30

(35)



自動化レベルについて（土木研）

Level	油圧ショベル自動化：内容	自動運転	自動運転：内容
0	自動化なし	自動化なし	運転自動化なし
1	「移動」「掘削」「旋回」「放土」動作の 個別自動化 . 場所や動作は人が指示.	運転支援	運転支援 （縦方向または横方向の車両運動制御を持続的に実行.）
2	「移動」「掘削」「旋回」「放土」 一連動作の自動化 . 場所や動作は人が指示.	部分運転 自動化	運転支援（縦方向／横方向の車両運動制御を持続的に実行.） 対象物の検知は人間.
3	「移動」「掘削」「旋回」「放土」一連動作の自動化. 場所や動作も 機械（システム） が判断し実行.	条件付 運転自動化	運転支援：縦方向／横方向の車両運動制御を持続的に実行. 基本的にシステムが対応. 緊急時には人間が操作.
4	トラブルシューティング も機械が判断し実行	運転自動化	全てシステムが対応.
5	・・・	限定解除	場所の 限定解除.

参照：橋本他，建設ロボットシンポ，2019





フィールドロボティクスの現状と展望

2020/1/30

(36)



自動化レベルについて（土木研）

Level	油圧ショベル自動化：内容	自動運転	自動運転：内容
0	自動化なし	自動化なし	運転自動化なし
1	「移動」「掘削」「旋回」「放土」動作の 個別自動化 . 場所や動作は人が指示.	運転支援	 マシンコントロール
2	「移動」「掘削」「旋回」「放土」 一連動作の自動化 . 場所や動作は人が指示.	部分運転自動化	
3	「移動」「掘削」「旋回」「放土」一連動作の自動化. 場所や動作も 機械（システム）が判断し実行 .	条件付運転自動化	 完全自動土工
4	トラブルシューティング も機械が判断し実行	運転自動化	
5	・・・	限定解除	場所の 限定解除 .



参照：橋本他，建設ロボットシンポ，2019

フィールドロボティクスの現状と展望

2020/1/30

(37)



まとめ：フィールドロボット技術活用の展望

- 完全無人化は必要か？
- 橋梁点検の自動化のために現状で足りない技術
 - 移動機構（Locomotion） 全然足りてない
 - 位置推定（Localization） まだ十分でない
 - 環境認識（Sensing） カメラの解像度は十分
またはいずれ人を凌駕
 - 動作計画（Planning） それほど大変でない
- 現場での適用経験／フィードバックが重要



フィールドロボティクスの現状と展望

2020/1/30

(38)



まとめ：フィールドロボット技術活用の展望

- 完全無人化は必要か？
- 土工関連の自動化のために現状で足りない技術
 - 移動機構（Locomotion） 土工については十分
 - 位置推定（Localization） GNSSだけでは不十分
 - 環境認識（Sensing） 作業を行う際の環境認識は十分でない
 - 動作計画（Planning） 非常に大変
- 現場での適用経験／フィードバックが重要



keiji@ieee.org