

# ロボット遠隔自律移動 デモ報告

会津大学 復興支援センター

山田 竜平

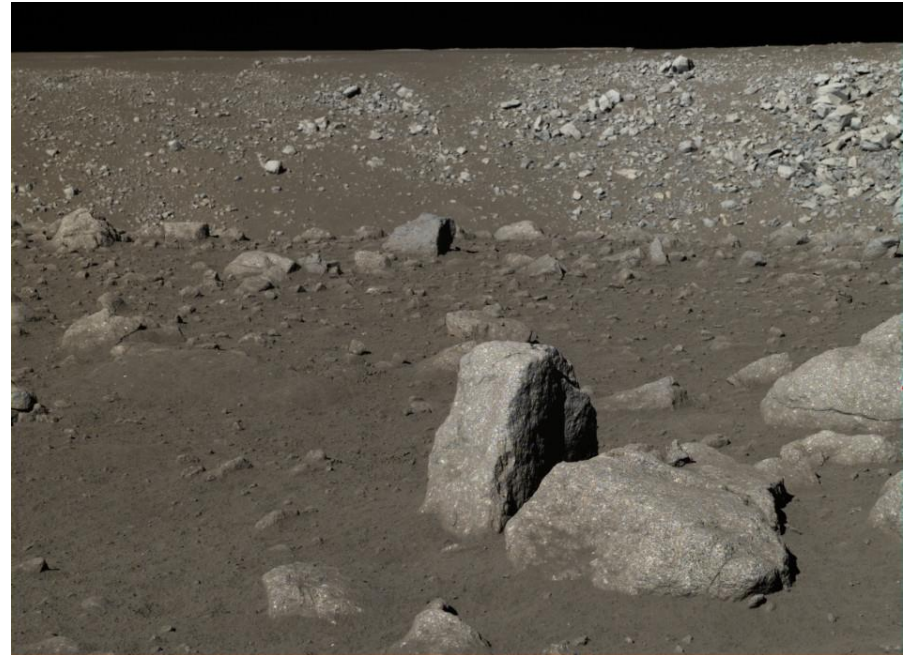
# 遠隔自律移動の要求

災害地域や月惑星表面のような極限環境下で人が作業を行うのは困難であり危険

➡ ロボットの遠隔操作による作業が必要



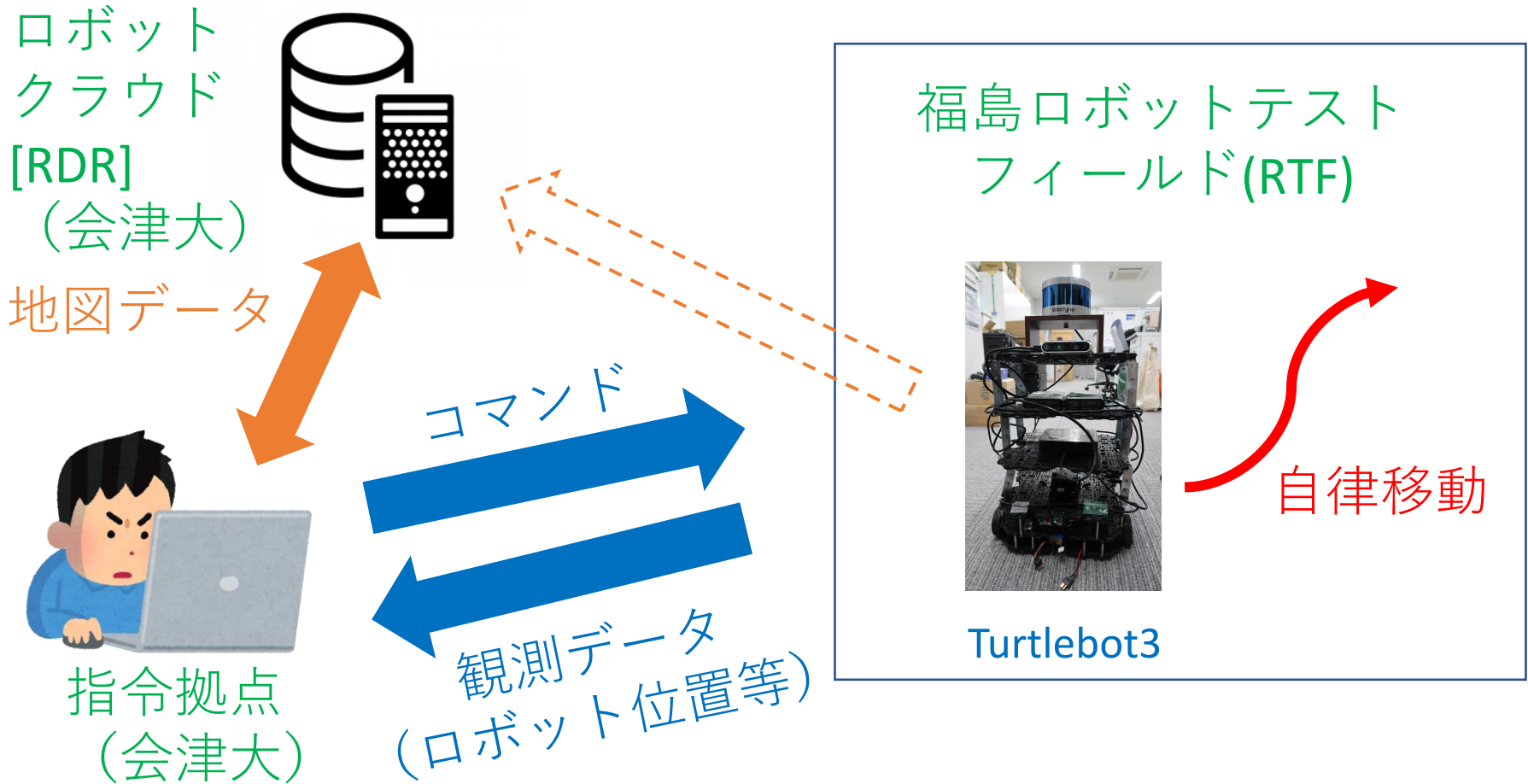
地震後の陥没地形



月表面地形

特に極限環境下では、通信環境が良好でない事や遅延が予測されるので、頻繁な通信を必要としないロボットの自律的な移動、作業が重要

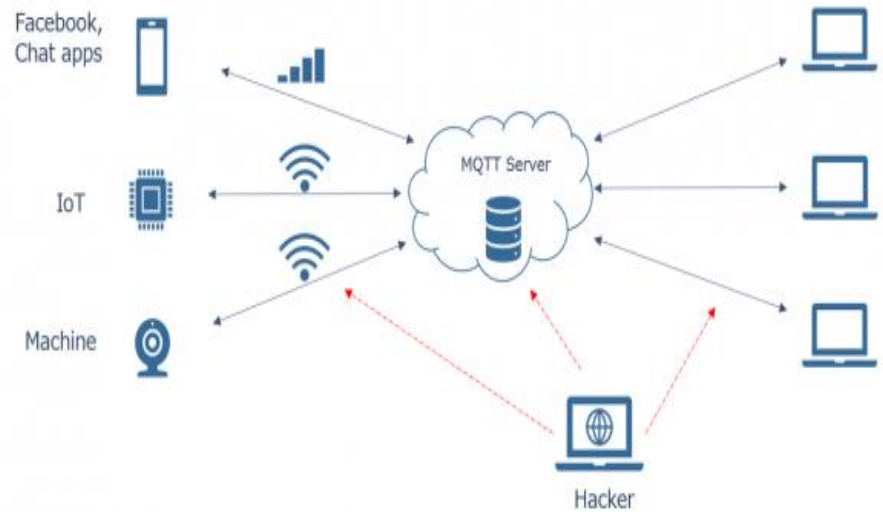
# 遠隔自律移動の研究



会津大と福島ロボットテストフィールド（南相馬）をインターネットでつないで、遠隔自律移動を実現するシステムを研究開発した。

ROSとMQTT、ロボットクラウド(RDR)から構成されるシステムを研究開発

# ROS



## ○ ROS (Robot Operation System)

ロボットオペレーションのための代表的なミドルウェア。  
マニピュレーションやマッピング、自律移動のための  
様々なパッケージを提供

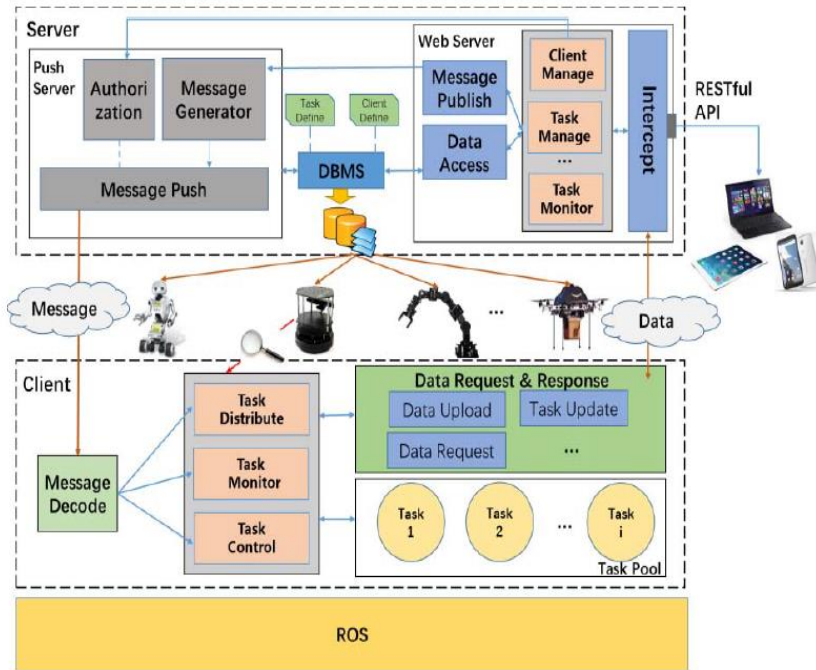
## ○ MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

代表的なIoTプロトコルであり、AWSやMicrosoft Azure等で使用  
軽量なメッセージングと安全性を担保

➡ ROSとMQTTを接続する事で、コンパクトでセキュアかつ  
安定した制御・通信フレームワークを提供

# Previous Works (1)

ROS及びMQTTを利用したロボット遠隔制御システムはこれまでも研究されてきている。



[Yan et al., 2017]

## [HiBot]

ROSベースの遠隔タスクマネージャのフレームワーク  
ロボットへのタスクはMQTTで割り当てられる。

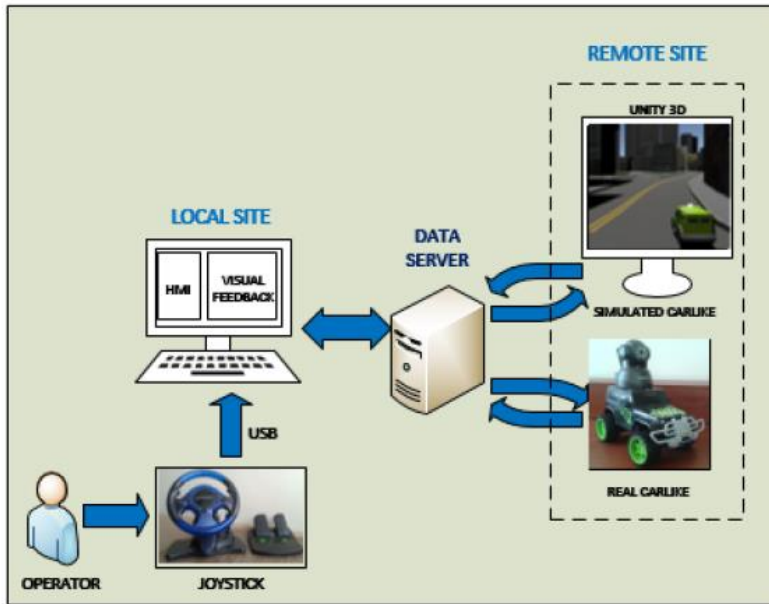


[Uddin and Gianni, 2018]

ROSベースのロボットを遠隔操作するフレームワークを提示  
IoTプロトコルや評価に関する詳細な記述はない。



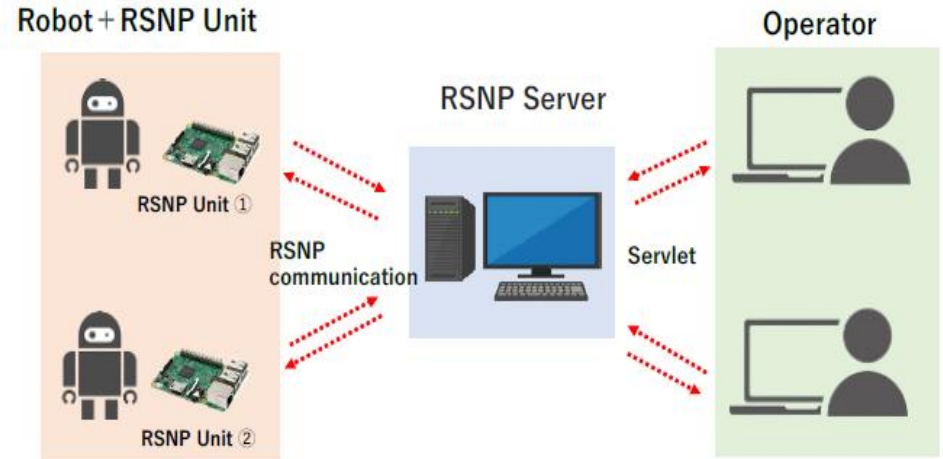
## Previous Works (2)



[Panchi et al., 2018]

MQTTを使用したロボットの遠隔操縦フレームワーク  
ロボットはROSではなく、LAN内での操作のみ。

ROSによるロボット制御とMQTTによる通信、ロボットクラウドとの接続で遠隔地の自律移動を実現するフレームワーク自体は存在しない。



[Kato et al., 2021]

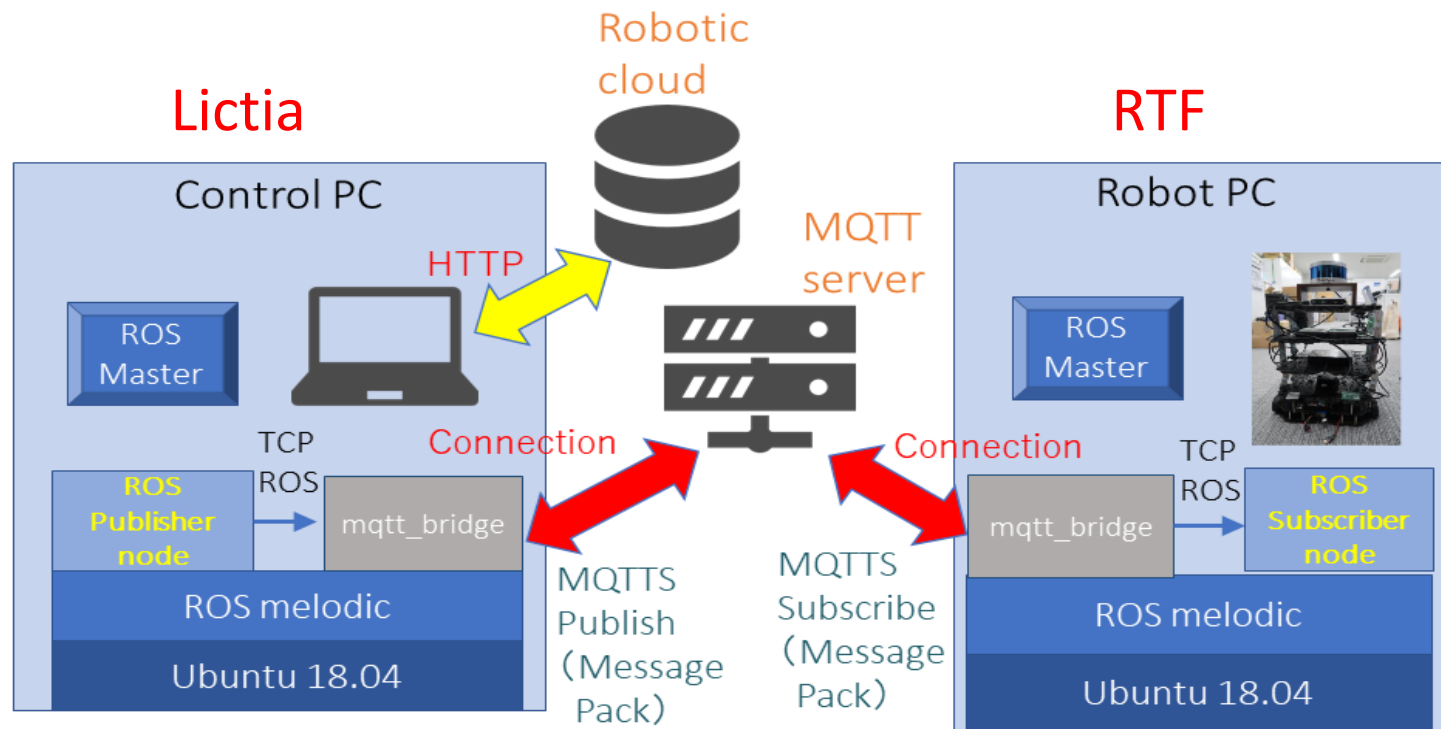
複数ロボットの遠隔操作を行うRSNPを使用したフレームワーク。MQTTと比較して、一般に処理が重い。

# 本研究のシステム

ロボット自律移動：ROS (Navigation Stack)

データ通信(NAT越え) :Mqtt\_bridge (ROS⇔MQTT)  
Mqtt\_server

地図提供: Robotic Cloud (RDR)

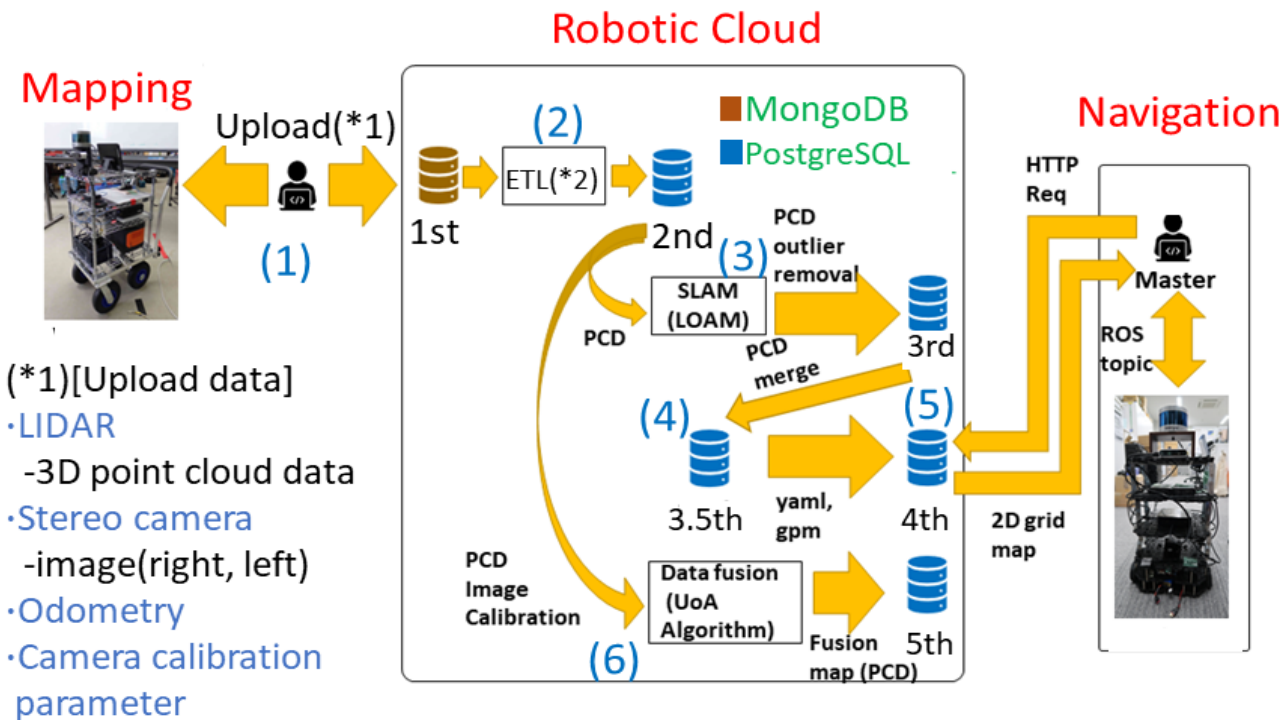


ROS-MQTT-bridge system

# ロボットクラウド

## 地図生成用RDR(Robot Data Repository)

入力センサーデータ(LIDAR+カメラ)から3次元地図とナビゲーション用の2次元グリッドマップを生成



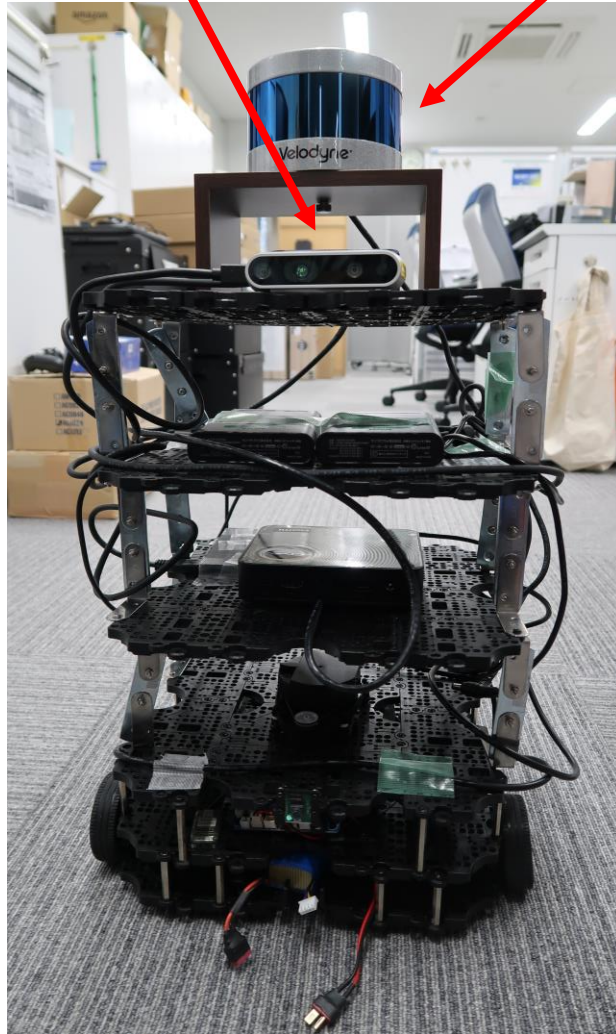
(\*2)ETL means Extract Transform Load  
ETL by System Admin (Manually)

今回の自律移動では、RDRの4次DBに格納された2次元グリッドマップをHTTPでロボットにダウンロードしてナビゲーションに使用する。



# 自律移動に使用するロボット

Intel Realsense      Velodyne VLP-16

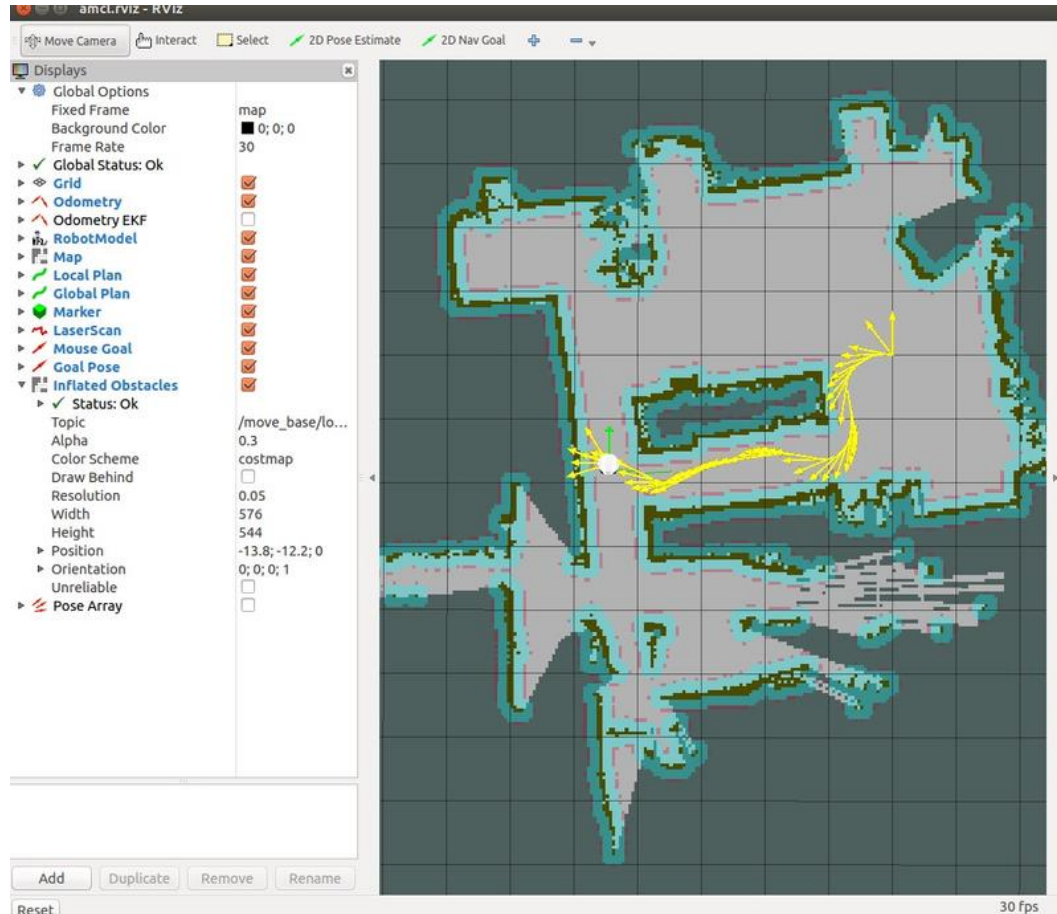


## ○自律移動試験用ロボット

- Turtlebot3-waffle-piをベース
- 3次元LIDAR(Velodyne-VLP16)を地図生成とナビゲーションに使用可
- 2次元グリッドマップ上でWaypointsを指定しての自律移動可

# 自律移動システム

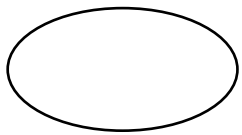
[ROS]の自律移動のフレームワークである[Navigation Stack]を使用。



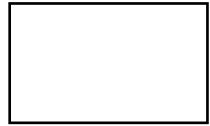
- ロボット制御  
[Movebase]
- 自己位置推定  
[AMCL]
- 経路計画  
[Dynamic Window Approach (DWA)]

LIDARスキャンデータによる障害物検出と自己位置推定。  
コストマップを使用しての経路計画

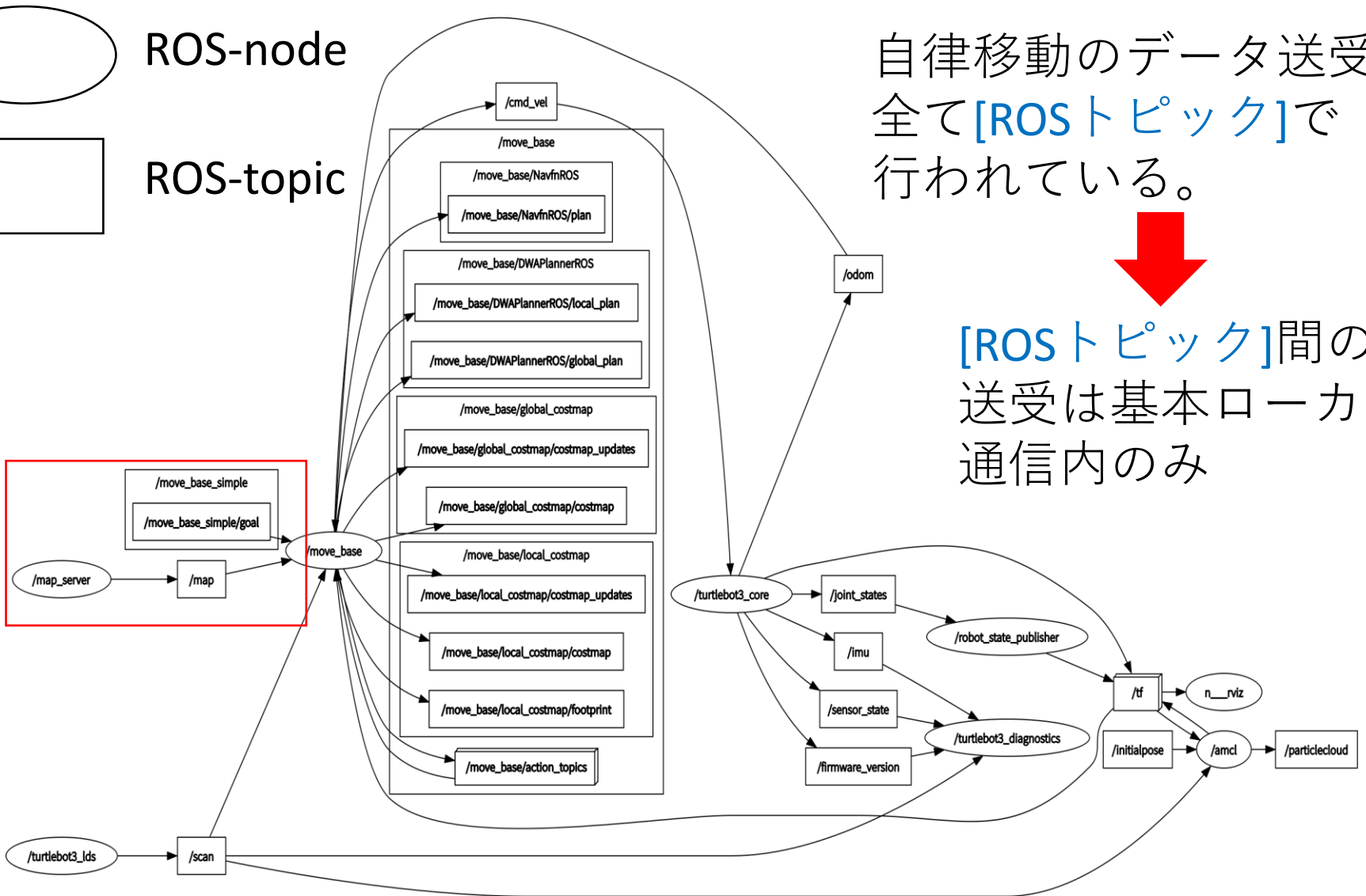
# 自律移動時のROSデータ接続



ROS-node



ROS-topic



遠隔操作のため、ROSトピックをMQTTに変換して、インターネット越え(NAT越え)を行う。

# NAT越えを行うROSトピック

[/cmd\_vel]・・・ロボットの速度

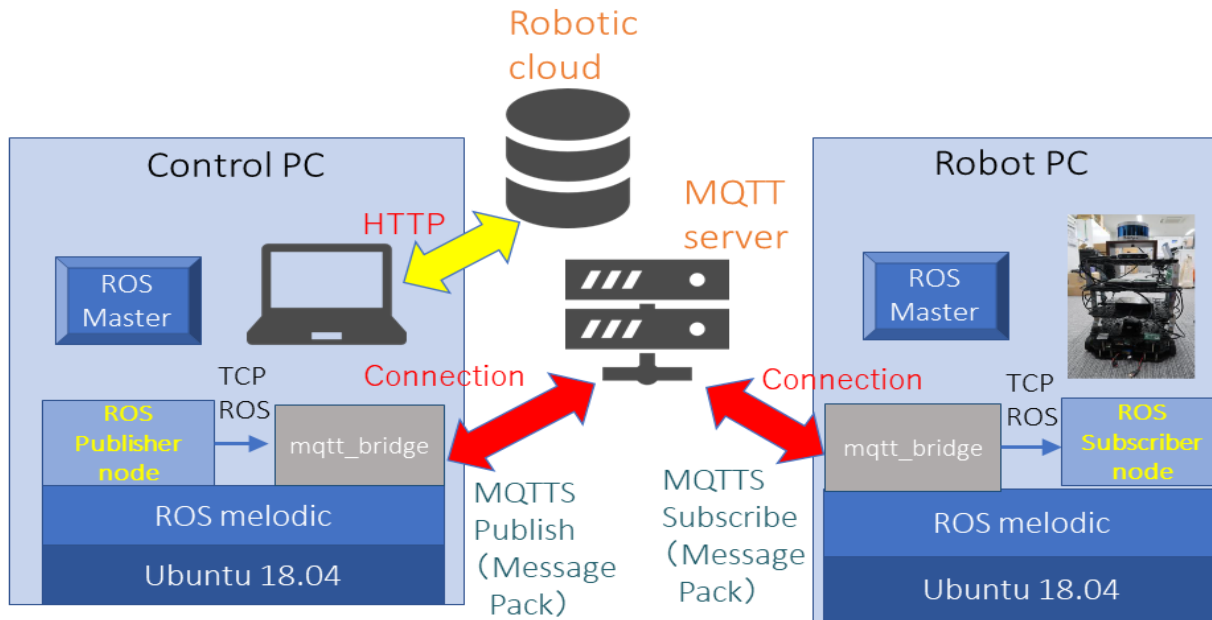
[/odom]・・・ロボットの現在位置

[/tf]・・・ロボットの座標変換情報

[/scan]・・・LIDARのレーザスキャンデータ

[/image]・・・カメラ画像

各トピックをMQTT-bridgeでROS-MQTT間のデータ変換を行い、MQTTサーバを介してインターネット越えを行っている。





# 3/10のデモ



○会津若松からコマンドを送り、約100km離れた南相馬のロボットの自律移動を行った。

# デモの場所

マスターPC・・・会津大学Lictia 1F

ロボット・・・福島ロボットテストフィールド(RTF)  
研究棟2Fロビー

## Lictia-1F (会津若松)

通信環境

ローカルWifi  
(Lictia-Robot)



## RTF2Fロビー (南相馬)

通信環境

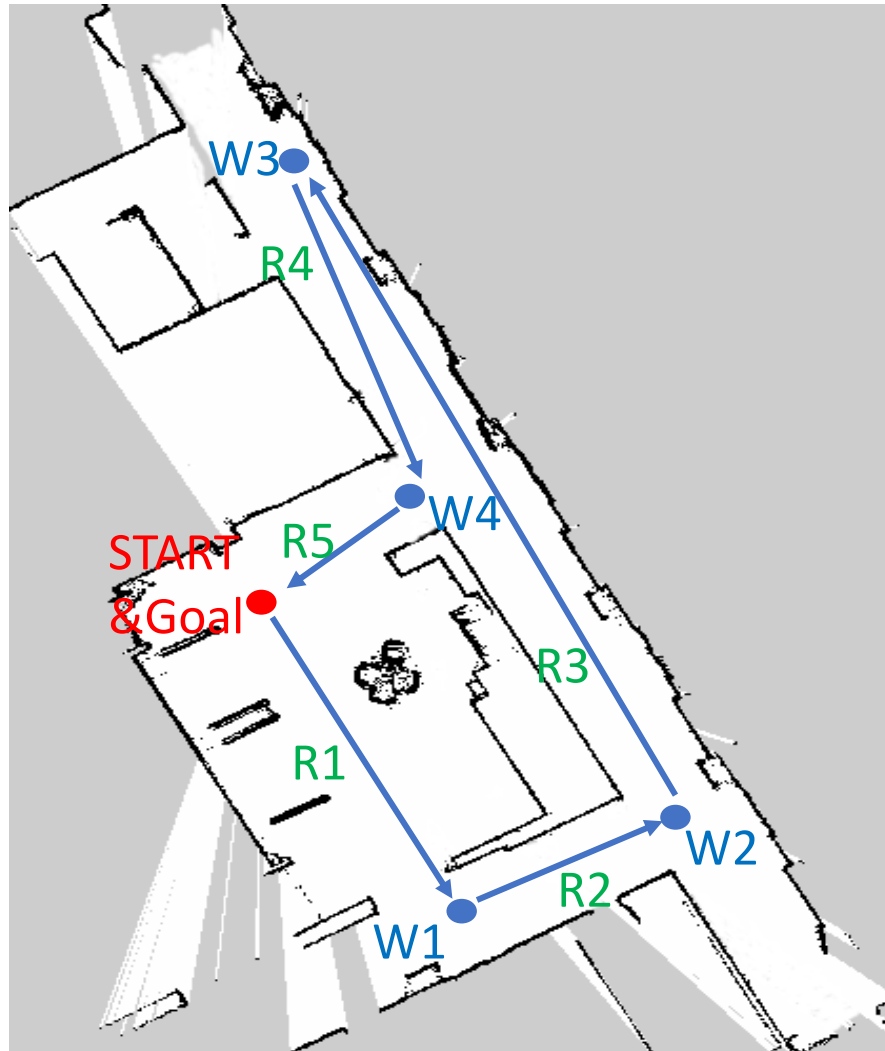
ローカルWifi  
(会津大オフィスDECO)





# ロボットの移動経路

福島RTF (2Fラウンジ+通路)



Minami-soma

- Start&Goal  
2Fロビー内
- Waypoint1  
DENSO前
- Waypoint2  
TETRA前
- Waypoint3  
会津大オフィス前
- Waypoint4  
ロビー入口

# 遠隔自律移動の様子

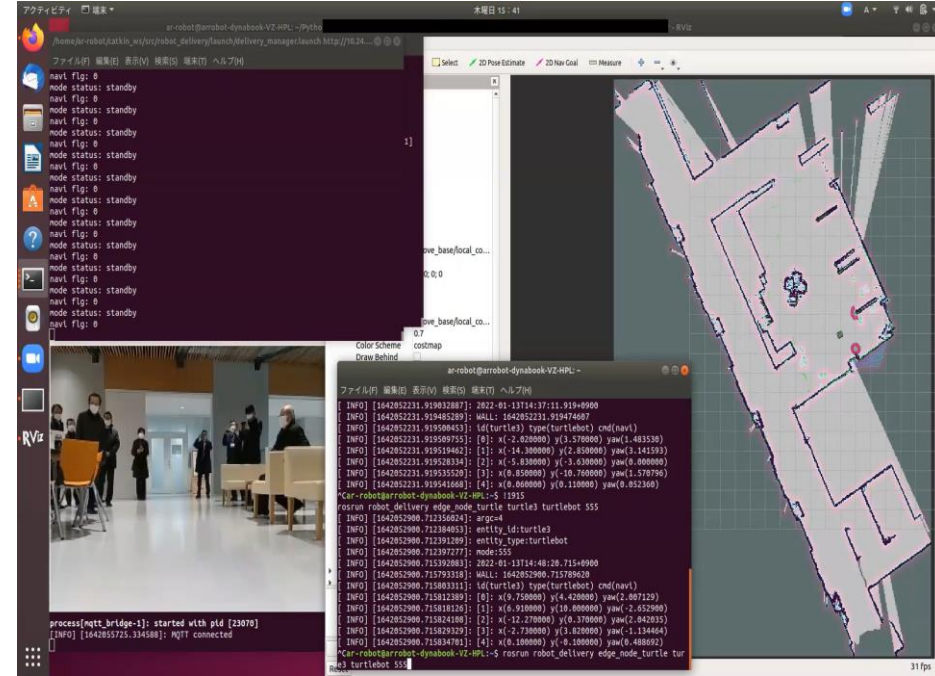
## 南相馬と会津若松でのデモの様子

### RTF (Minami-soma)



南相馬-ロボット

### Lictia (Aizu-Wakamatsu)

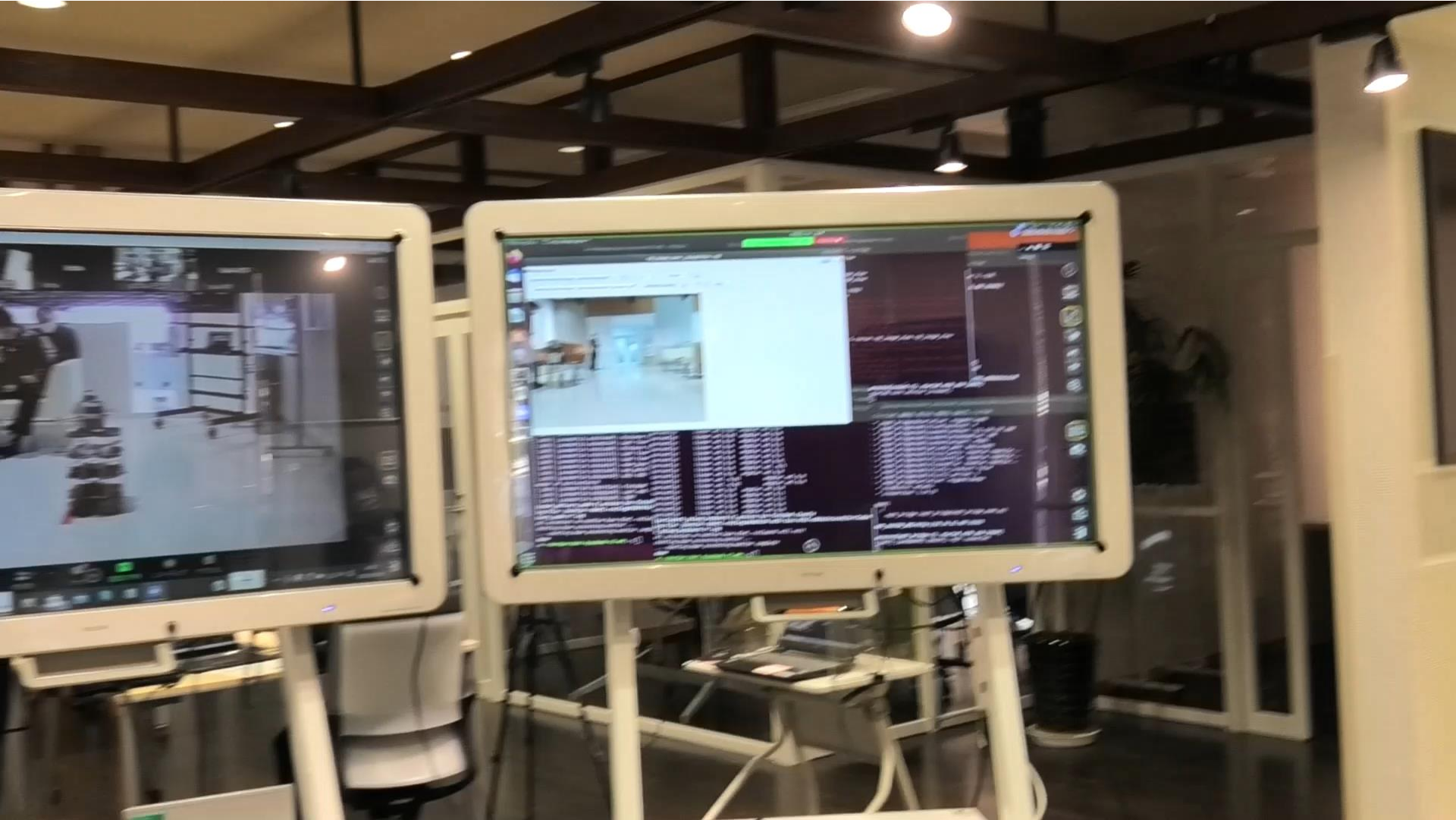


会津若松-マスターPC

# 3/10 デモの様子 (南相馬)



# 3/10 デモの様子 (会津若松)





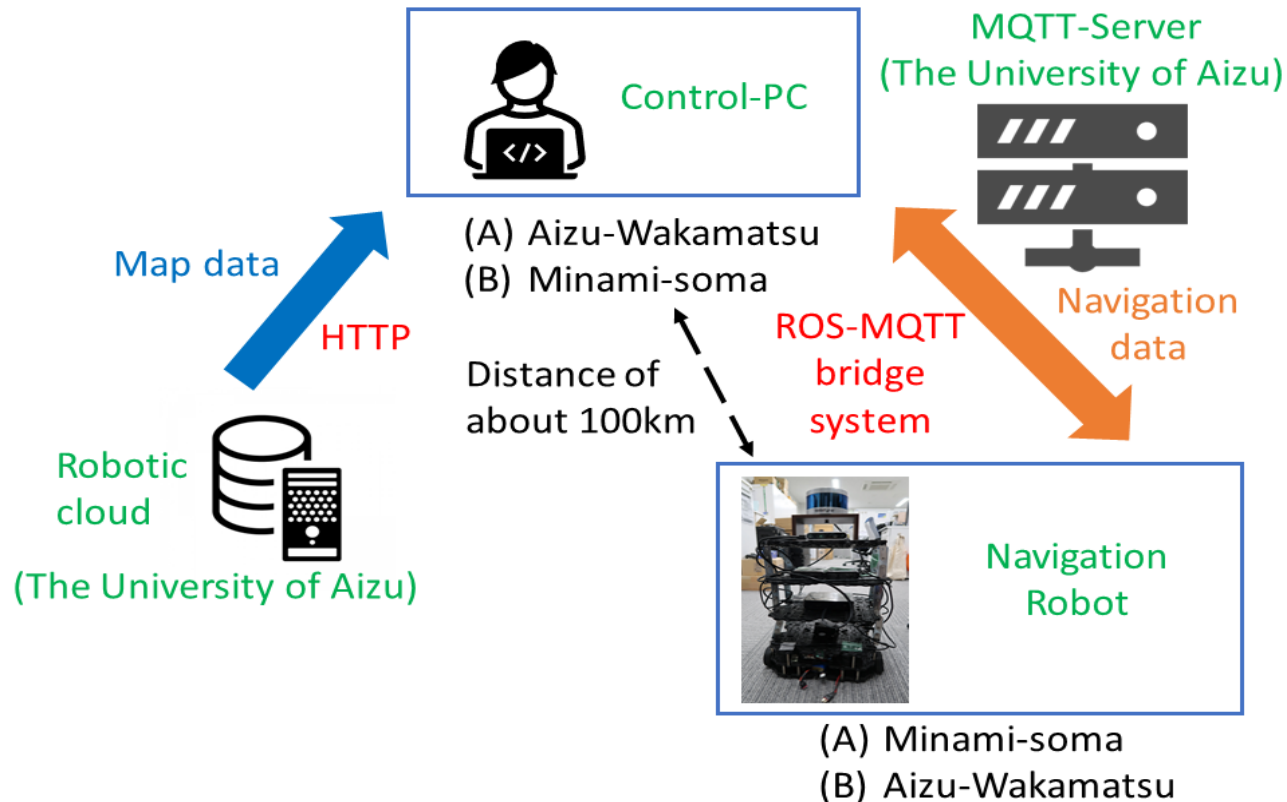
# 遠隔自律移動の評価実験

Case(A) : 会津若松(Control-PC)- 南相馬(Robot)

Case(B) : 南相馬(Control-PC)-会津若松(Robot)

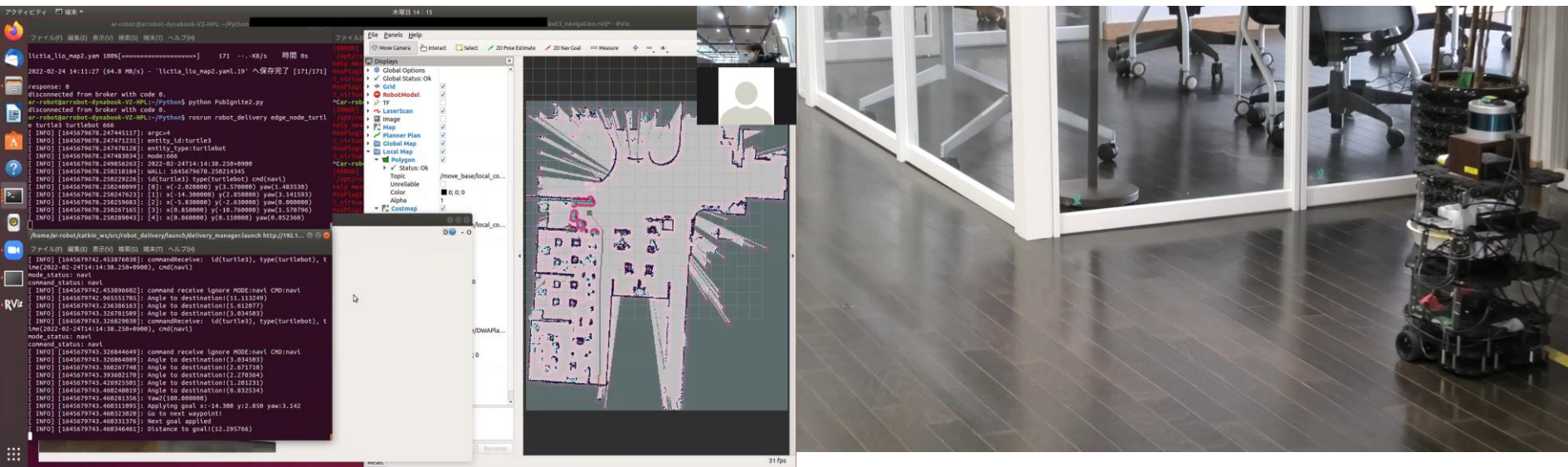
[評価項目] ①Round Trip Time (RTT)  
②Travel Time (Waypoint間移動時間)  
ローカル通信と遠隔通信の双方で①、②を評価

(b)



# 会津若松での遠隔自律移動実験

2022/2/24に南相馬(Control-PC)、会津若松(Robot)の状況で遠隔自律移動のデモ



南相馬-マスターPC

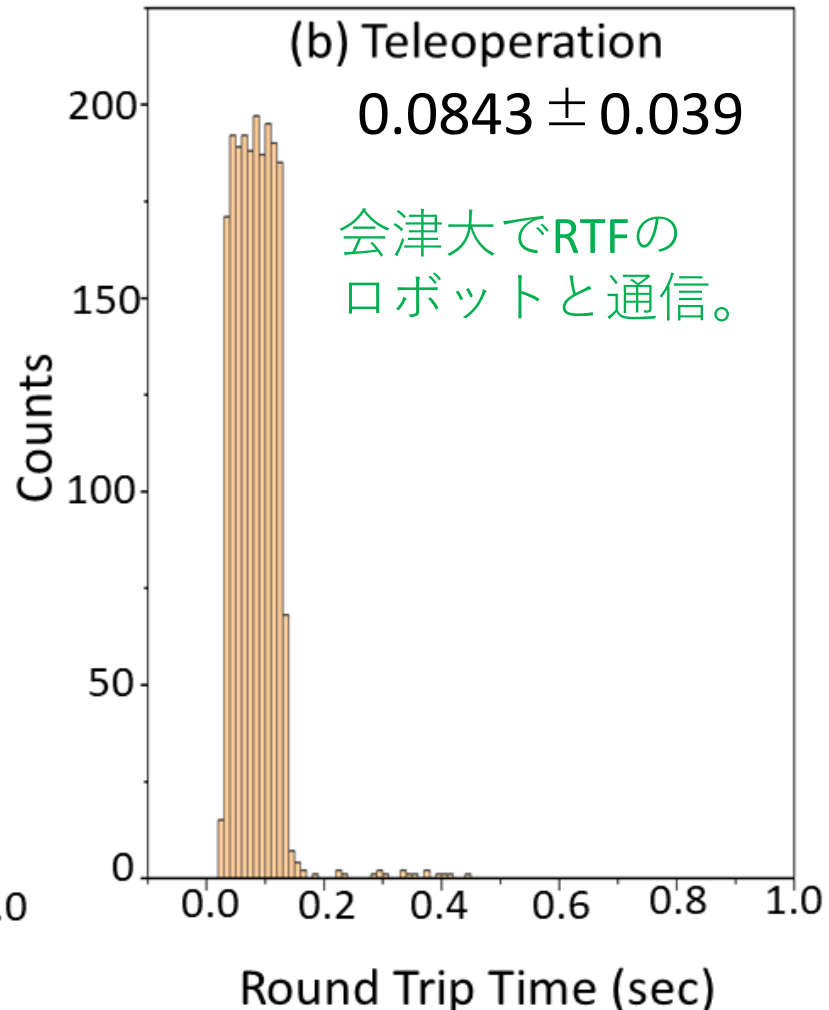
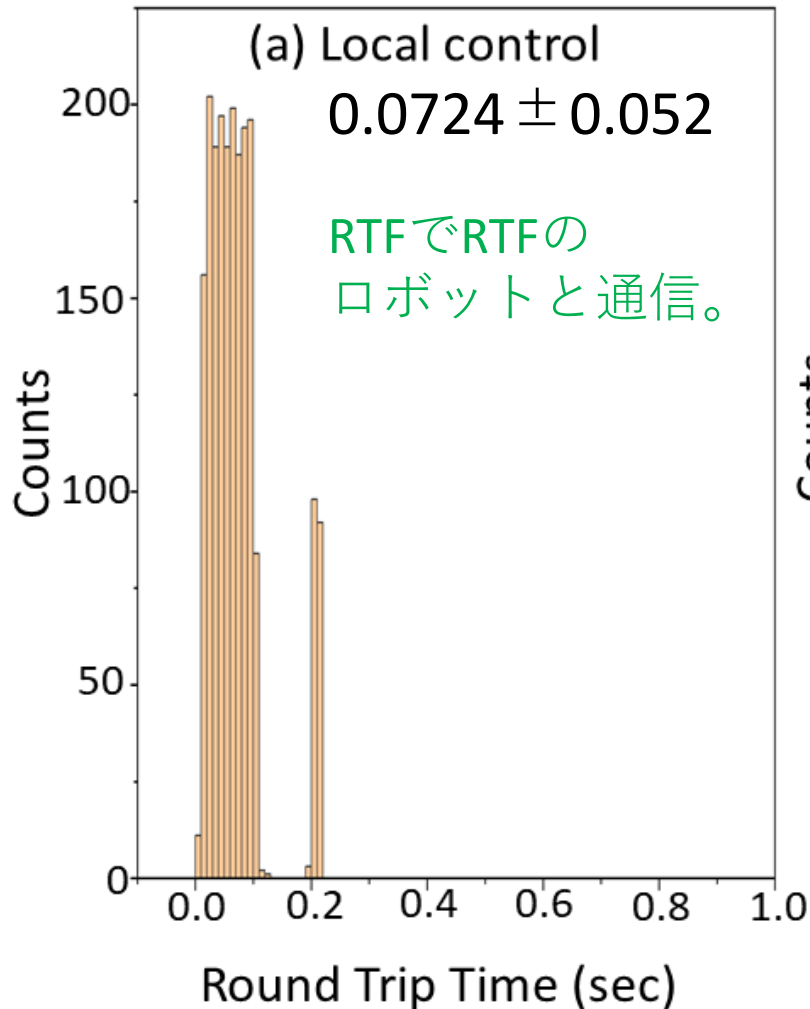
会津若松-ロボットPC



# RTT評価(Case-A)

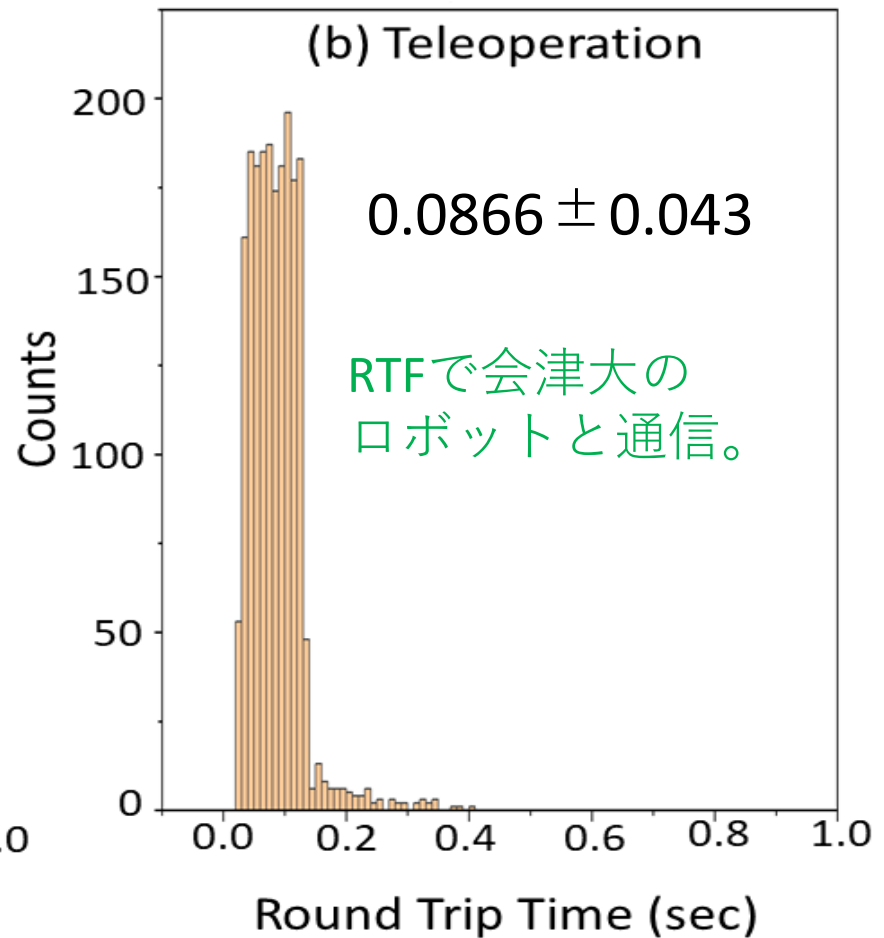
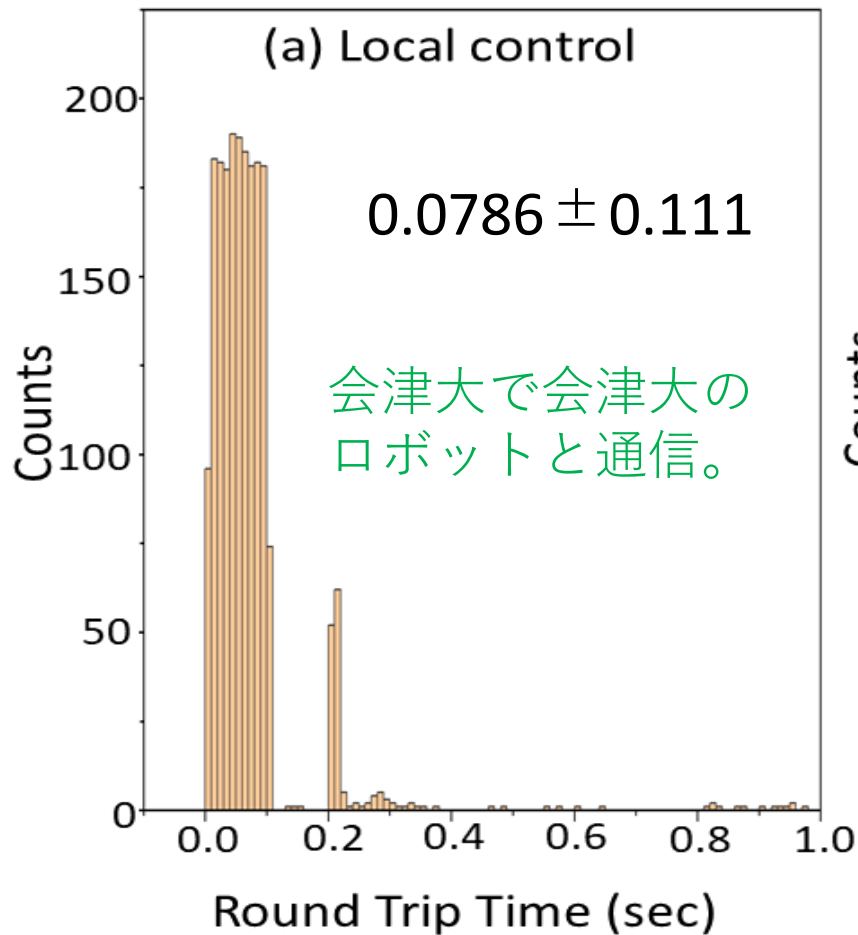
8byteのデータをマスターPC-ロボット間で往復させた際の往復時間を2000回測定

使用ローカルNetwork： RTFオフィスLocal-WiFi (Deco)



# RTT評価(Case-B)

使用ローカルNetwork：Lictia-Local-WiFi (Lictia-Robot)

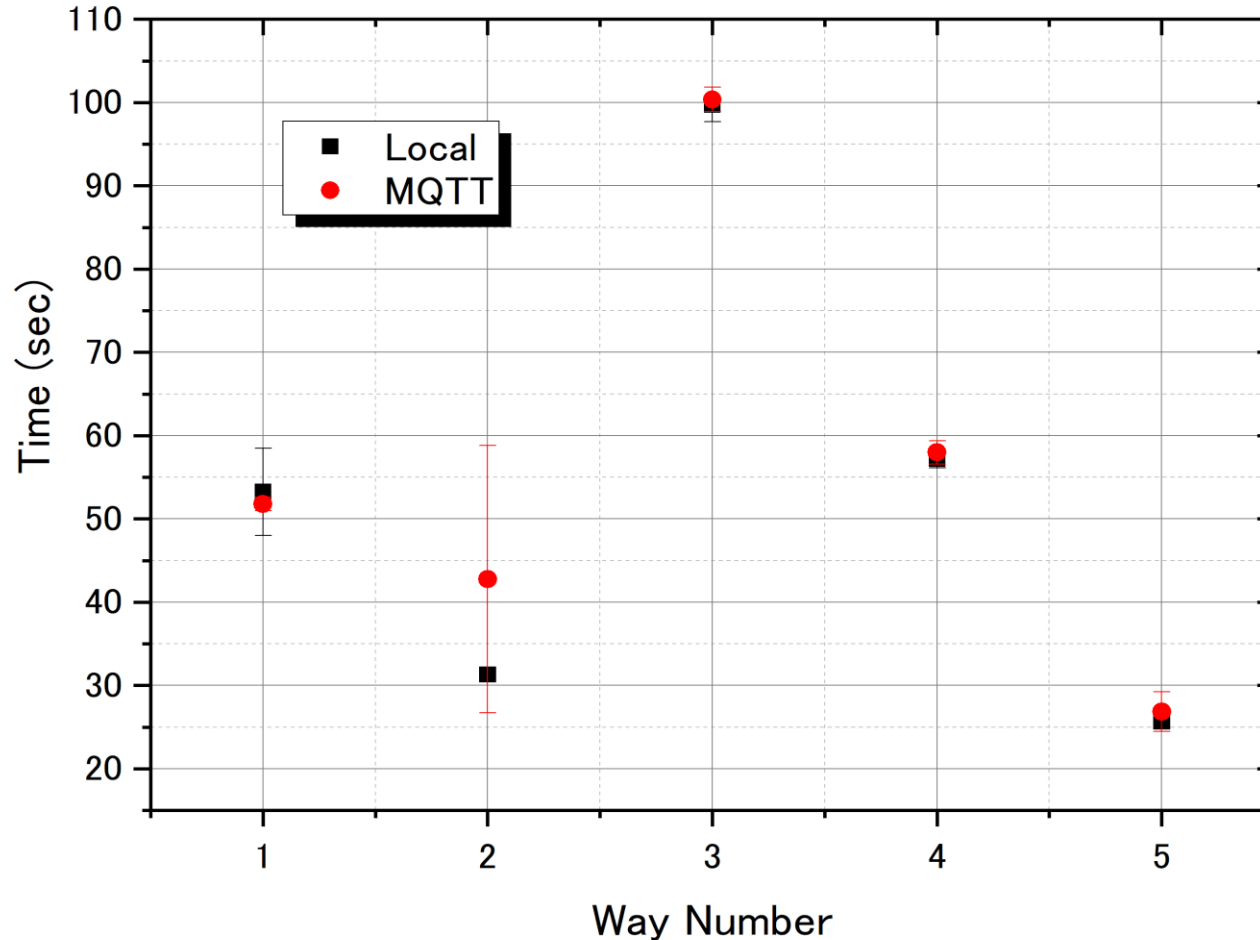


Case(B)のLocal-Controlの大きい分散はおそらく複数のWifiが起動している混信に起因か (Local ControlはTeleoperationよりも周辺のネットワーク環境に影響を受けやすい。)

# Travel Time 評価 (Case-A)

各ルートの5回測定の結果と標準偏差  
(RTFのロボットを動かした結果)

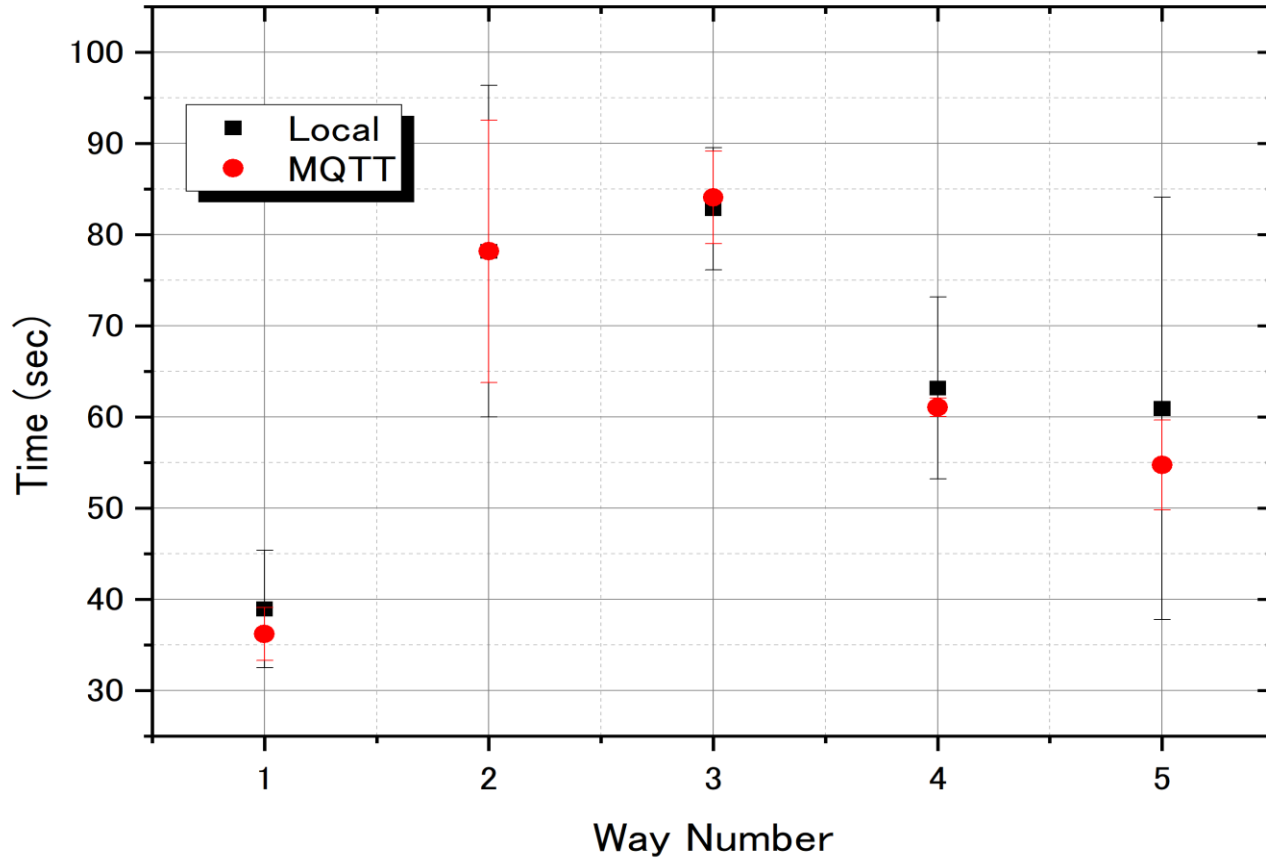
RTF-UoA Robot Operation



# Travel Time 評価 (Case-B)


各ルートの5回測定の結果と標準偏差  
(会津大Lictiaのロボットを動かした結果)

Lictia Robot Operation



Lictiaの測定結果の大きな分散は通信環境と経路の狭さ、障害物の多さなどに起因すると推定される。

# 分かった事

- 開発したROS-MQTT-bridgeシステムは遠隔通信による自律移動制御に十分適用でき、ローカル通信と同等の通信性能、制御性能を有する。また、比較される性能はロボットの設置場所に依らない。
  - 開発したRDRで生成される地図は遠隔地のロボットにダウンロードされ、遠隔自律移動に適用で可能である事を確認できた。
  - 遠隔自律移動の性能は周辺の通信環境により影響を受ける。(特に平日昼間は影響を受けやすかった。)  
また、画像の送信レートも現状は遅い。
-  5G通信に切り替える事で改善を見込める?  
自律移動のパラメータチューニングの確認も必要

# Near Future

福島RTFの不整地エリアにいるロボットを会津大のオフィスから制御して、自律的な移動、作業を実施する。

(2022年度末～2023年度内目標)

- 不整地用のローバの準備+システム換装
- 不整地の地形を反映させた自律移動システム研究



福島RTF不整地エリア



会津大学

デモに協力してくださった皆様、見に来てくださった皆様、  
ありがとうございました！！