

# 令和6年度林業デジタル・イノベーション総合対策のうち 戦略的技術開発・実証事業

## フォワーダ集材作業の労働課題を解決する 自律走行マルチオペレーション技術の開発

### 開発内容の紹介



2025年2月5日



パナソニック  
アドバンステクノロジー株式会社  
Panasonic Advanced Technology Development  
Co.,Ltd.



国立研究開発法人 森林研究・整備機構  
森林総合研究所  
Forestry and Forest Products Research Institute

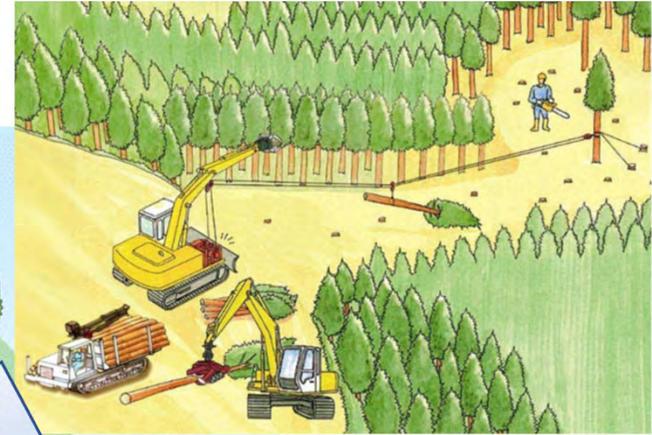
国立大学法人  
TAT 東京農工大学  
Tokyo University of Agriculture and Technology



# 0\_1. 日本の作業システム

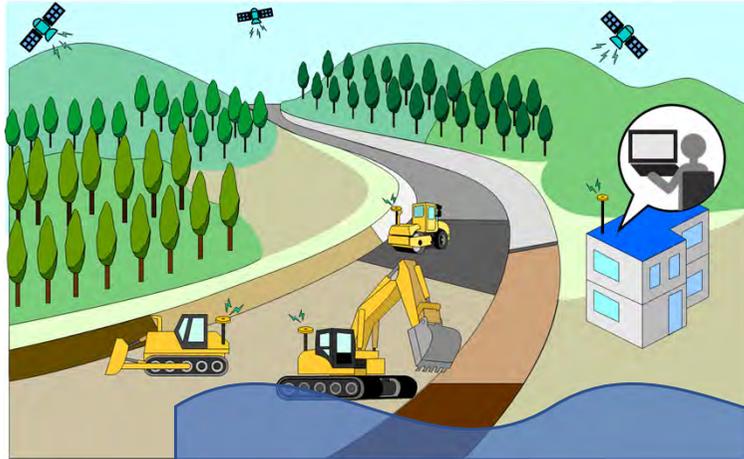
## 路網と高性能林業機械等を組み合わせ

- フォワーダ（集材車両）が不可欠  
→ 高性能林業機械の3割
- 距離が長くなると生産性が低下  
→ ボトルネック
- 労働災害の発生  
→ 年1件程度の死亡事故  
（転落が大部分）  
→ 多数のヒヤリハット  
（走行時が大部分）



集材作業の自動化  
・遠隔操作化が必要

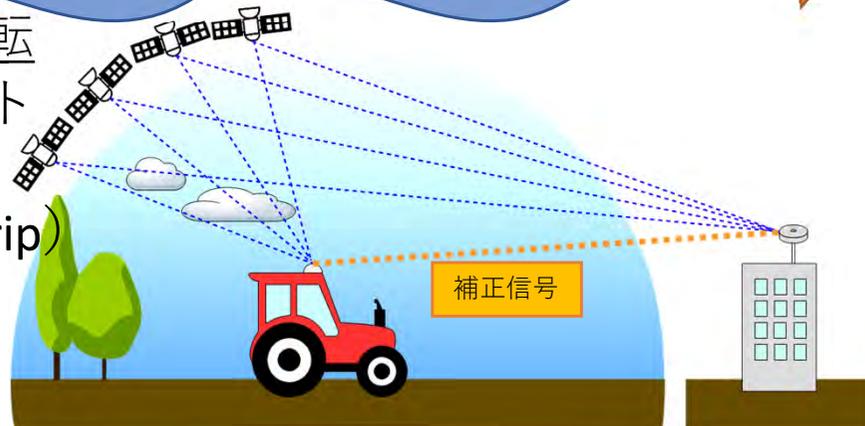
## 0\_2. 自動化・遠隔操作化への技術



土木の自動運転  
建設機械で繰り返し行っている  
単純作業を無人かつ自動で行う。

通信状況とGNSSの受信感度  
が良いことが前提  
構造物を検知

農業の自動運転  
インターネット  
を使った  
RTK-GNSS (Ntrip)



森林  
では？

- 構造物が少ない
  - 立木、奥深い地形
  - 携帯電波が届かない
- ↓
- 検知が難しい
  - RTK-GNSS (Ntrip) ができない

通信手段の確保  
自然物の検知

森林に適した無線通信  
SLAMの利用

# 0\_3. SLAMとは？

## (Simultaneous Localization And Mapping)

→いま自分がいる位置の推定と周囲の環境の構造把握を同時に行う技術

### ■フォワード自動走行

①有人走行

②ルート生成

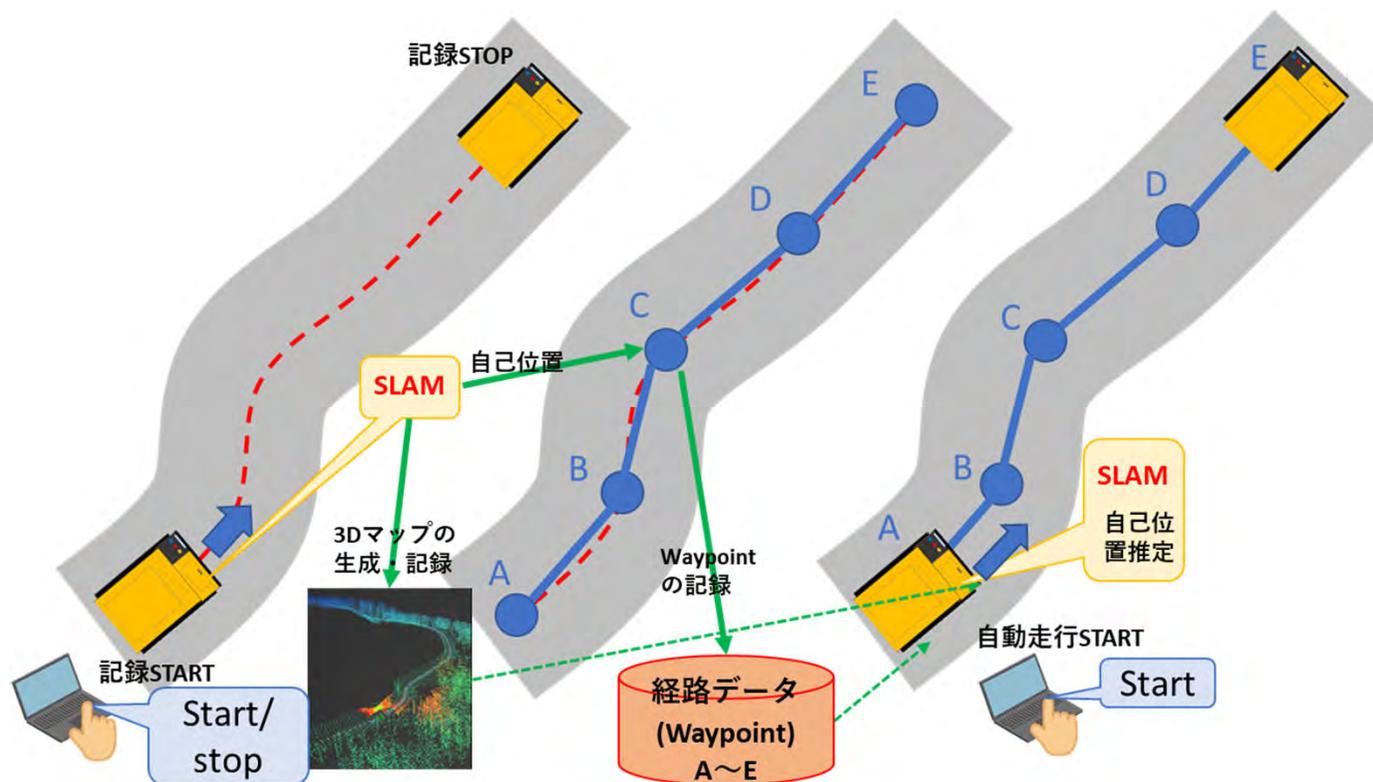
③自動走行

①有人走行：人間が操作して走行し、LiDARによる3Dマップ生成 & 自己位置推定

\* 同時にアクセルワークも

②自動走行ルート：①で記録された自己位置情報に基づいてポイントとルートを生成

③自動走行：リアルタイムで自己位置を推定しながら、②で生成したルートに追従



## 0\_4. 昨年度までの開発概要

### ①実作業現場での安定した自動走行

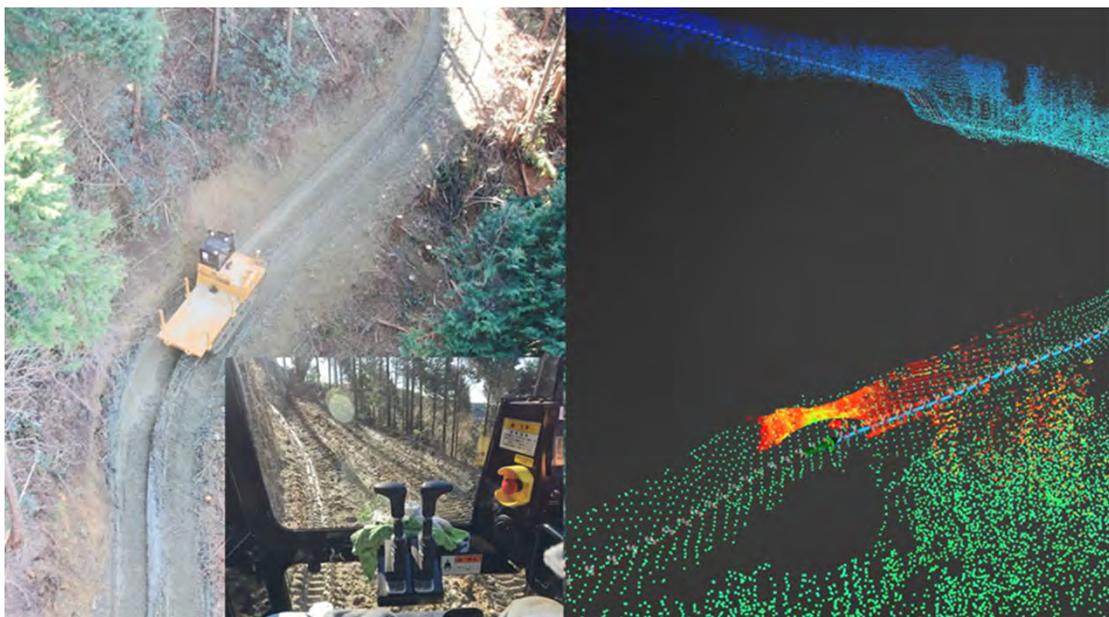
自動運転システムと車両制御システムを開発し、更に左右クローラ速度を車両制御にフィードバックすることにより、自動運転時の安定した走行を実現。全長約1600mの作業道（最大傾斜25°、ヘアピンカーブ有り、周回路）を丸太を積載した状態で、左右両回りの自動運転に成功。

### ②安定かつ低遅延のWi-Fiの開発

Wi-Fi通信機器を森林内に設置することにより、走行経路上で通信環境の確保が可能なことを確認。（タブレットでの操作・映像転送）

### ③障害物・路面形状の認識アルゴリズムの開発

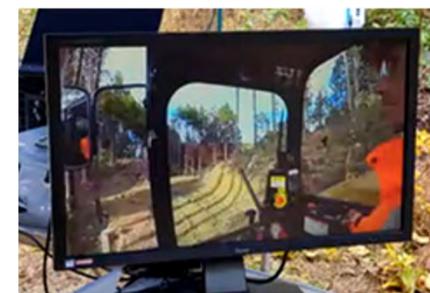
3D-LiDARセンサーで取得した情報と車両の移動量推定と組み合わせて点群情報を積算し、リアルタイムに分析することで、障害物や路面の形状を認識するアルゴリズムを開発



LiDAR-SLAMを用いた森林内での自動運転



タブレットでの  
車両位置確認・操作



尾根越えの映像転送 5

# 1. 令和6年度の開発概要

## ①【林内通信インフラ】林内全域通信網の実装・実証

**目的：**フォワーダ自動走行システムの遠隔監視・自動運転操作の実現

**取り組み内容：**

- ・広域Wi-Fi通信網の実装
- ・マルチオペレーションシステムへの統合と実証

## ②【予防安全】センシング技術による予防安全機能の実装・実証

**目的：**衝突や転落の危険からの予防と安全の確保

**取り組み内容：**

- ・LiDARを用いた周辺センシングによる障害物認識
- ・運転手への警告発出機能と自動走行時の停止機能の開発

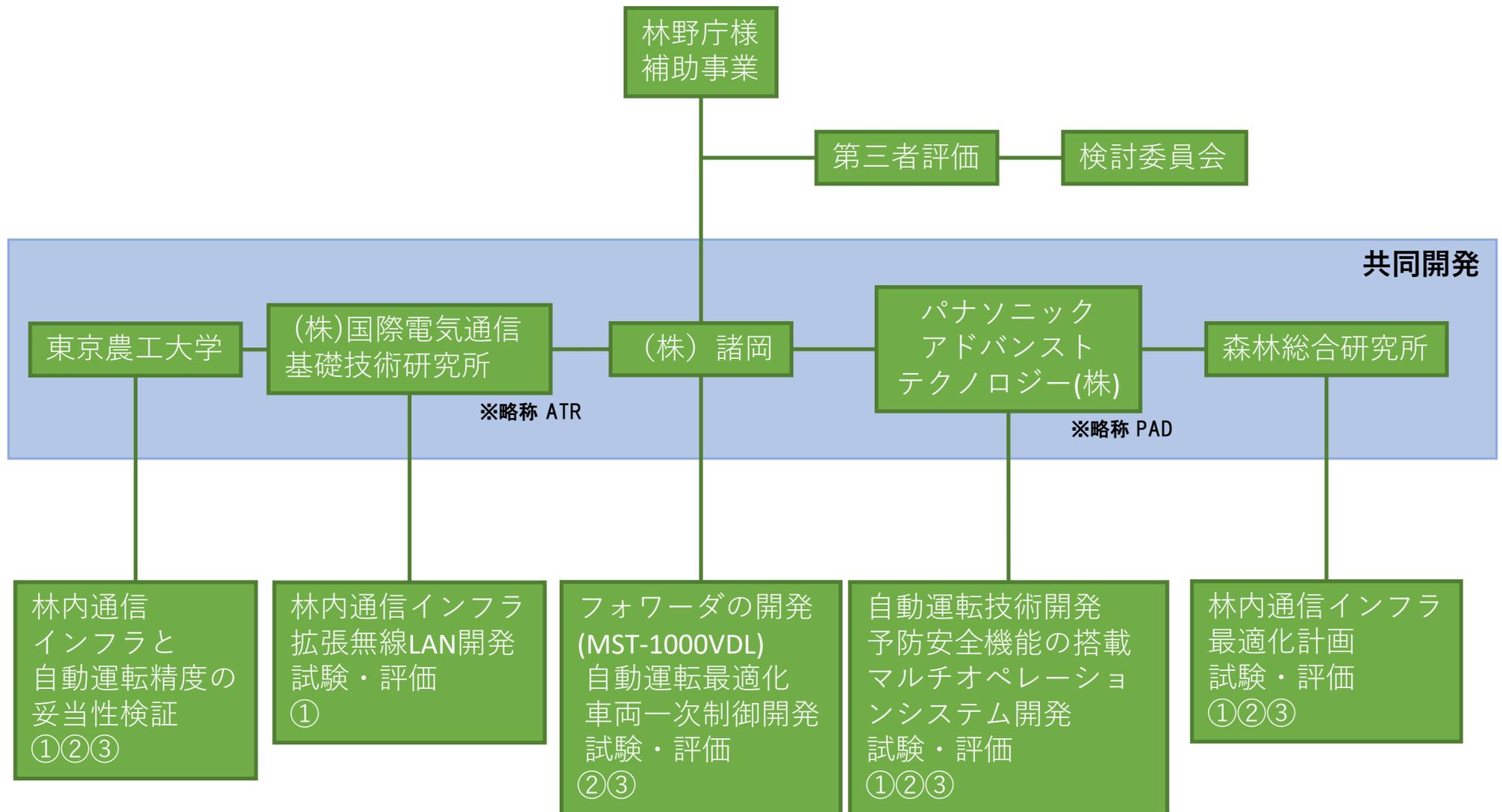
## ③【複数台運行管理】マルチオペレーションシステムの確立

**目的：**複数台の自動走行フォワーダ運行による集材作業の効率化

**取り組み内容：**

- ・マルチオペレーションシステムの開発
- ・複数台管理インターフェースの構築
- ・林内通信網を活用した統合管理システムの実装

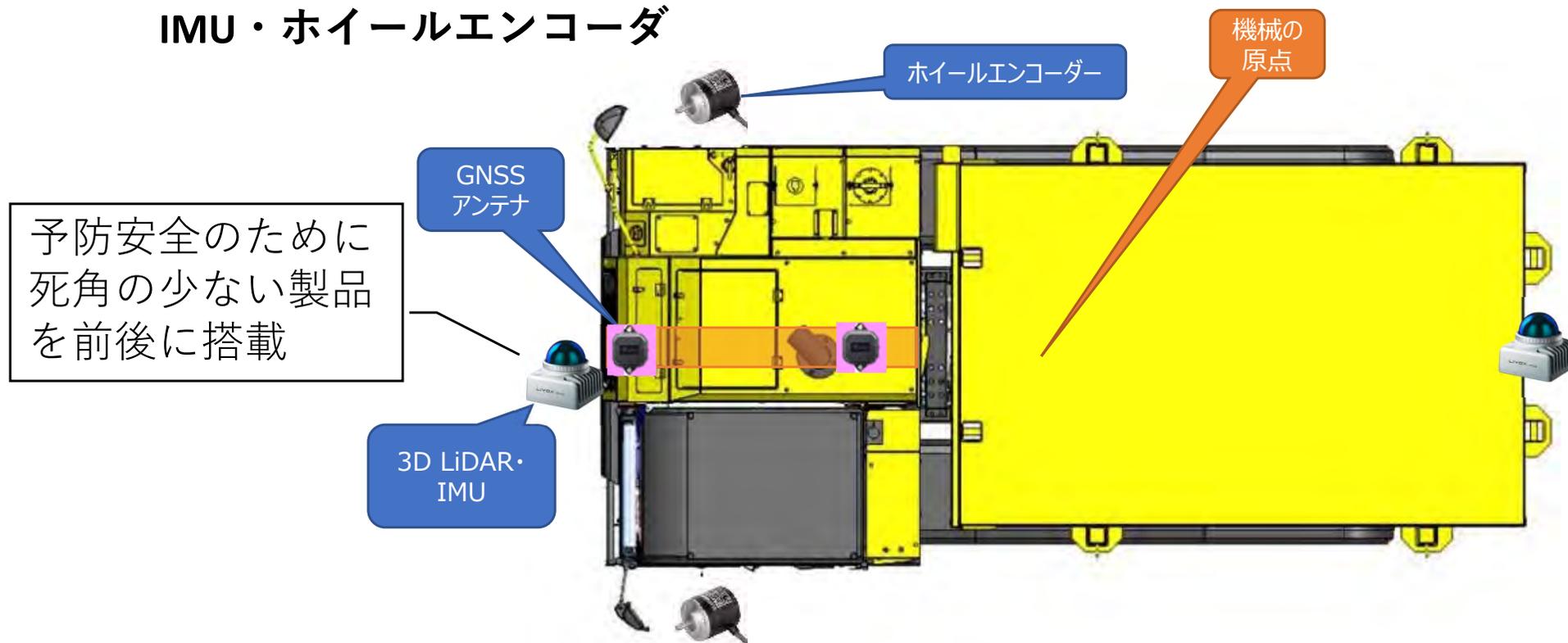
## 2. 実施体制と役割



## 3\_1. 自動運転 システム構成

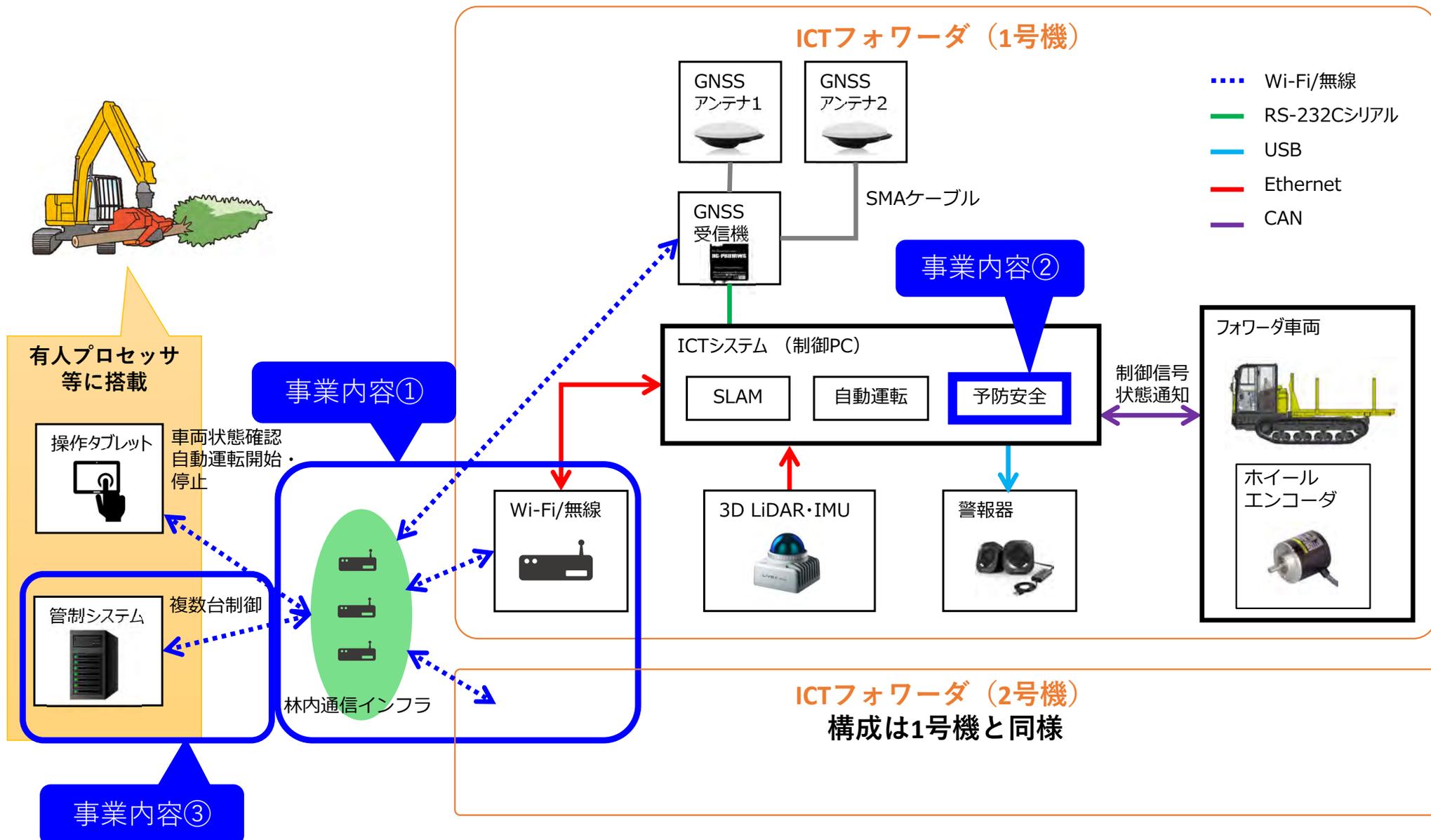
### 1)フォワード MST-1000VDL センサ取付け概要 (実施済)

- ・ベース車両
  - 製品名：MST-1000VDL
  - 特徴：電子制御、無線操縦有
- ・自動運転最適化改造
  - ICTシステムとの通信インターフェース追加(CAN)
  - センサの設置
    - GNSS・3D LiDAR・
    - IMU・ホイールエンコーダ

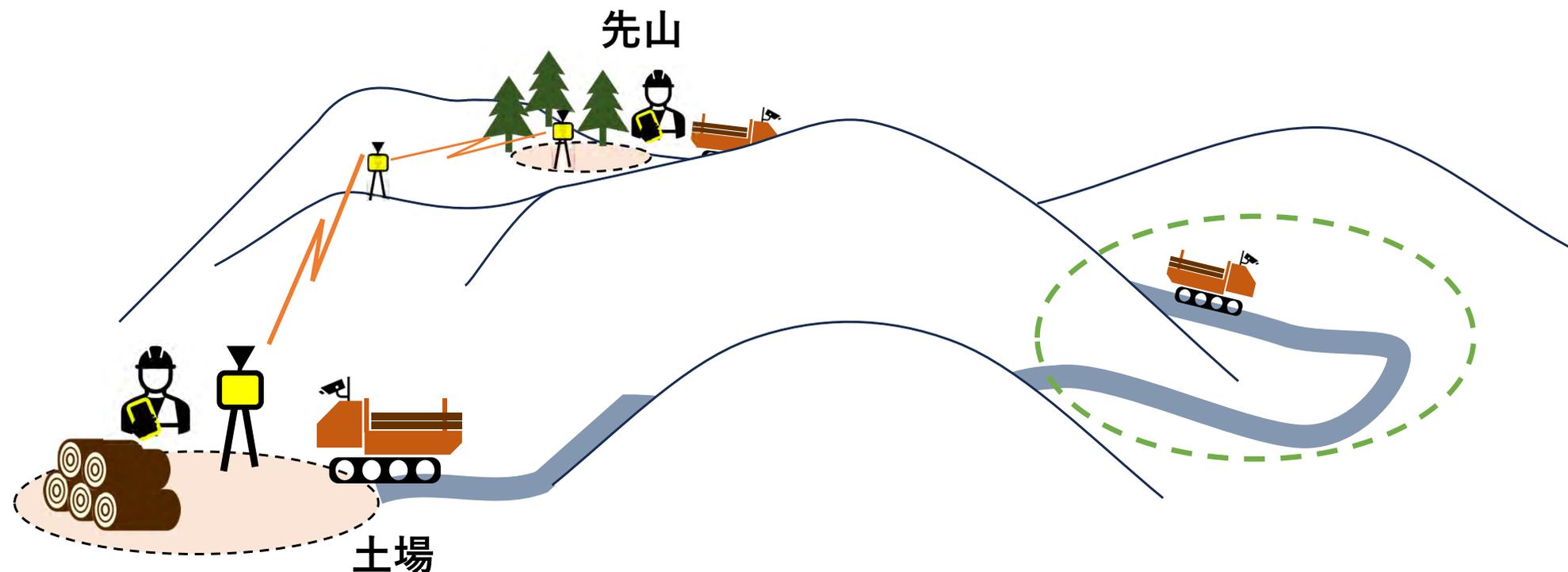


# 3\_2. 自動運転 システム構成

## 2) システム構成



## 4\_1. 林内通信インフラの設計方針



- 作業エリア（先山・土場）を高速通信でカバーすることは必須
- フォワーダの移動経路も高速通信でカバーしたい  
↔ 全域カバーは非効率

➡ 最低限の通信が可能で“良く飛ぶ”広域無線通信の併用で全域をカバー

## 4\_2. 林内通信インフラ向けの無線システム

### ● 高速無線通信

- 速度(100Mbps程度)と使いやすさのバランスからWi-Fiを採用
- MD-Net (ATR技術) で安定性の課題を解決
- 中継、指向性、高出力版など環境に応じたオプション



- 映像を使った高度な監視
- 低遅延の操作コマンド

### ● 広域無線通信

- Private LoRa (920MHz帯) を採用
- 専用の通信プロトコルを開発
- 通信速度は~64kbps
- 電波の回り込みが良く見通し外でも広く到達

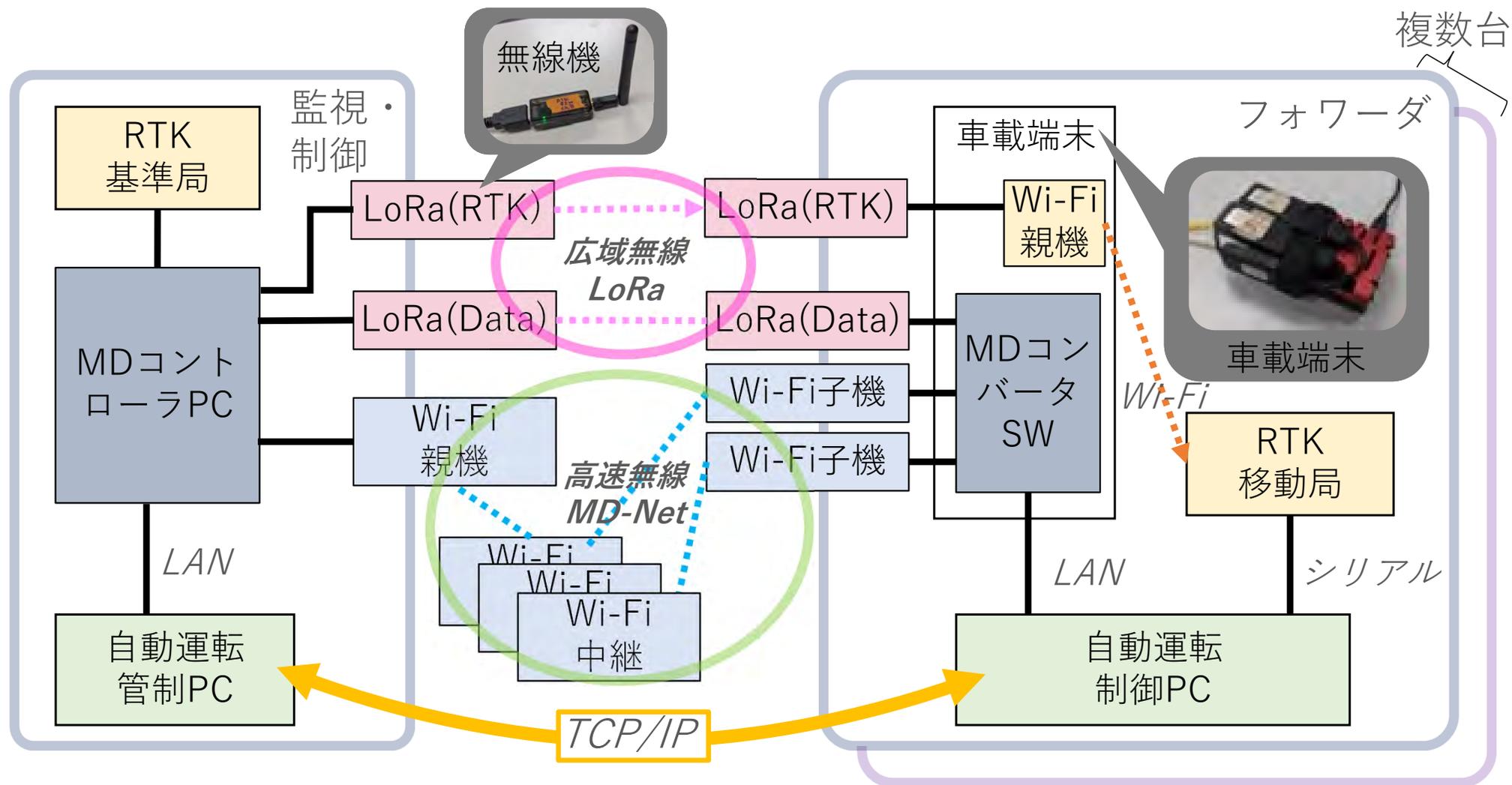


- 車両状態の把握
- 停止などの一部必須操作
- RTK-GNSS  
RTK-over-LoRa



**汎用性を損なわずにいかにネットワークの二重持ちを実現するか？が課題**

## 4\_3. 林内通信インフラのシステム構成



通信の複雑さは「MDコントローラ」「MDコンバータ」が隠蔽  
自動運転システム同士は一般のTCP/IPで接続できる

## 4\_4. 林内通信インフラの実証試験

- 森林総研内試験場にフォワーダ2台の試験系を組み、基礎検証を実施



管制側  
無線機

RTK  
基準局



無線  
中継機



### 基礎検証項目

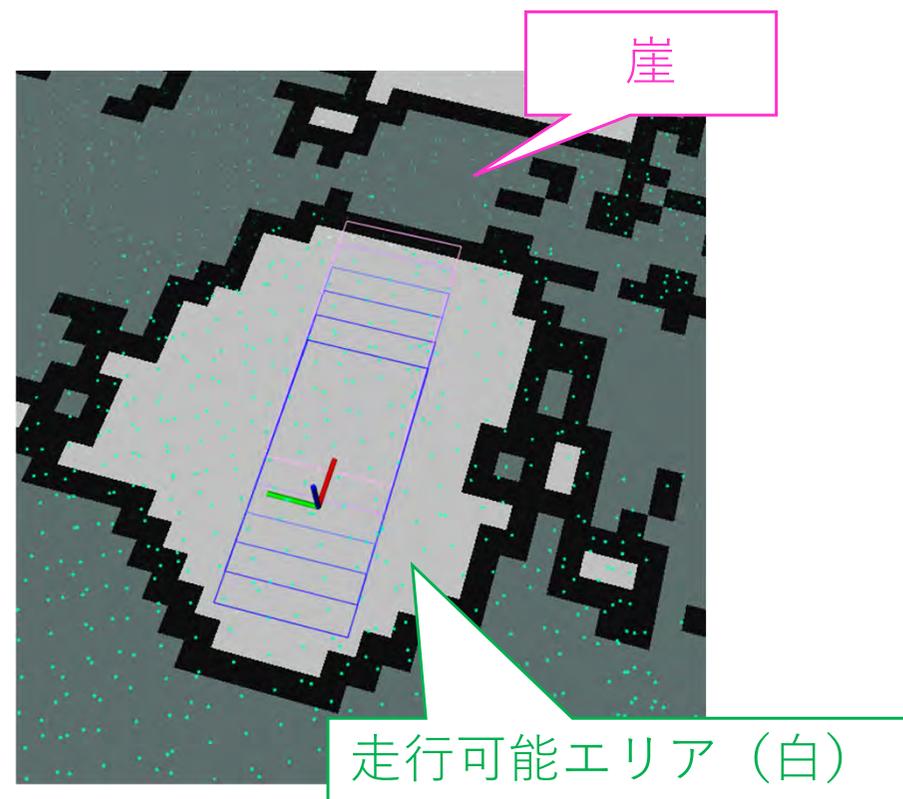
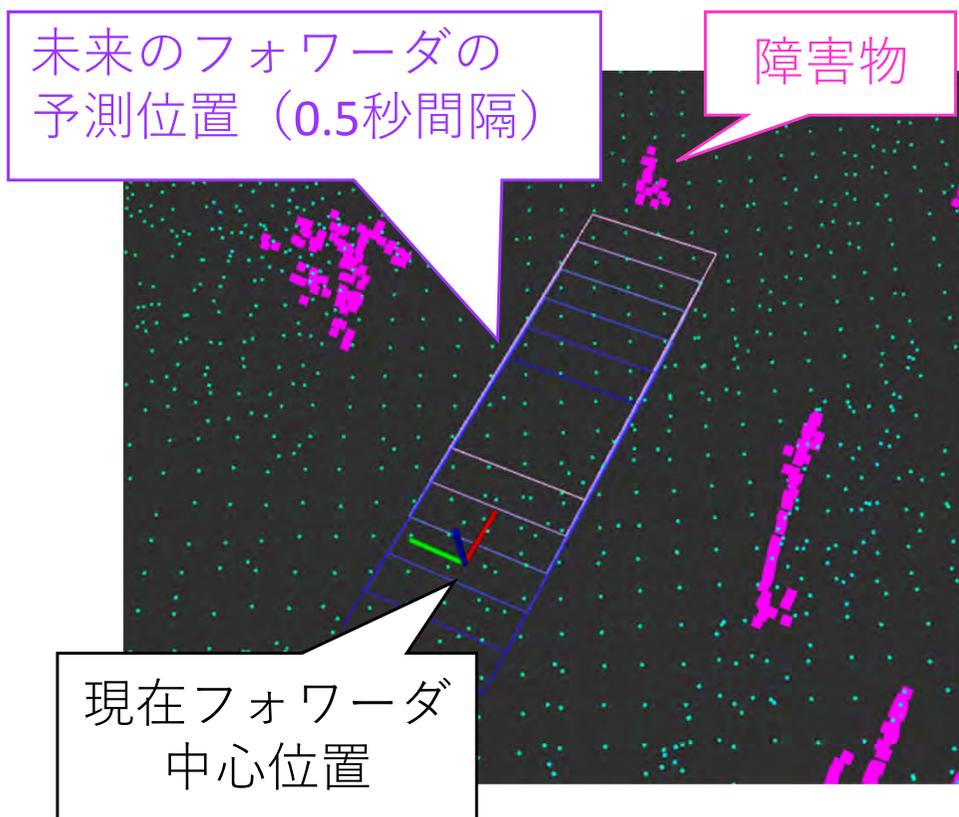
- RTK-over-LoRa
- フォワーダ2台の同時管制
- フォワーダ間の教示データ共有

- 実運用を想定した現地試験を2月に実施予定
  - 2台のフォワーダからの同時映像伝送の確認
  - Wi-Fiエリア外におけるLoRaによる車両状態の確認

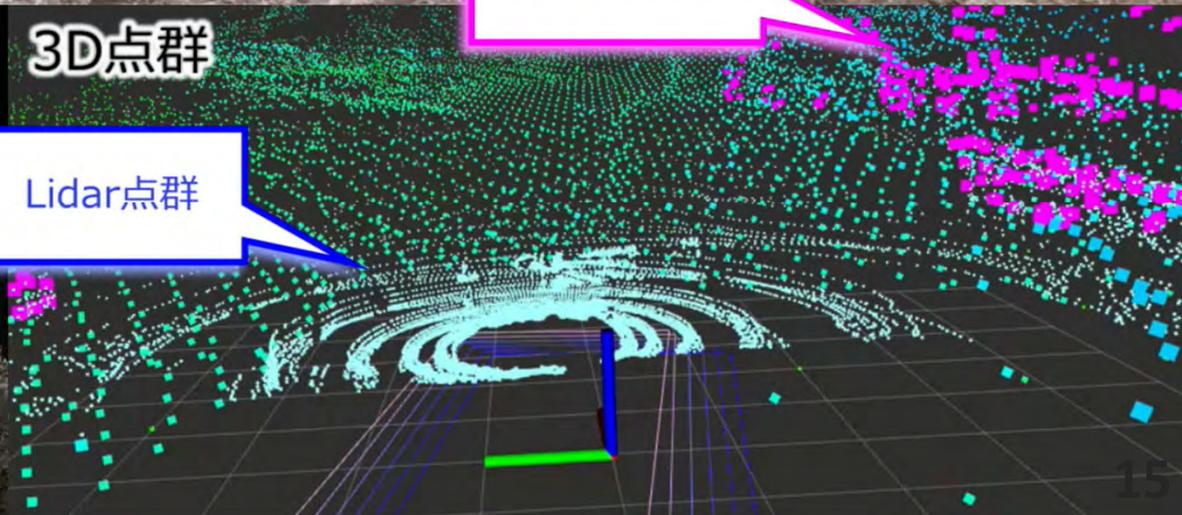
## 5\_1. 予防安全機能の実装・実証

～昨年度：障害物・路面形状認識に基づく走行可能エリアの検出機能の開発  
今年度：運転手への警告と車両の減速・停止機能の実装・実証

運転手の現在車両操作及び、自動走行時の経路追従の情報から未来の車両の移動軌跡を予測し、走行可能エリアを逸脱する場合に警報及び、**車両の減速・停止**を行う



## 5\_2. 障害物検出に基づく車両の減速・停止機能



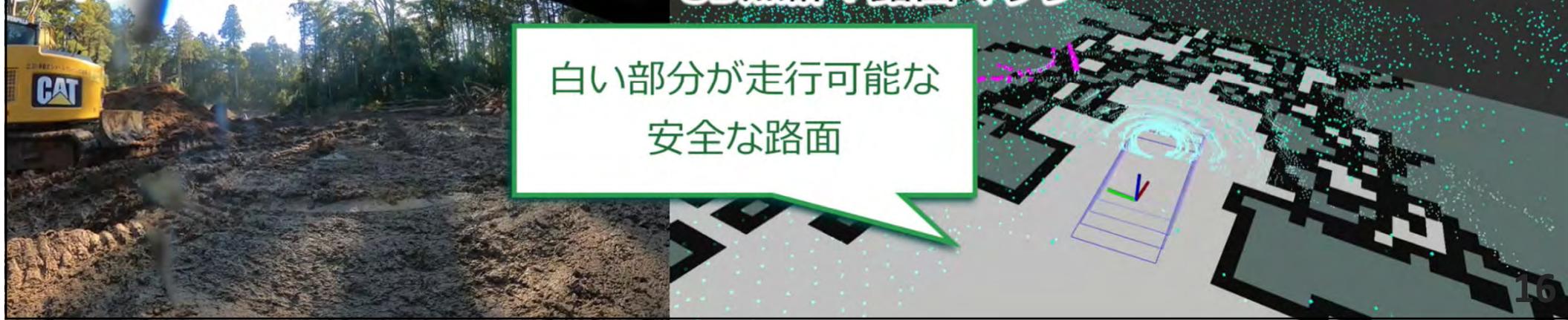
## 5\_3. 路面形状認識に基づく車両の減速・停止機能



フォワード搭載カメラ

3D点群+路面マップ

白い部分が走行可能な  
安全な路面

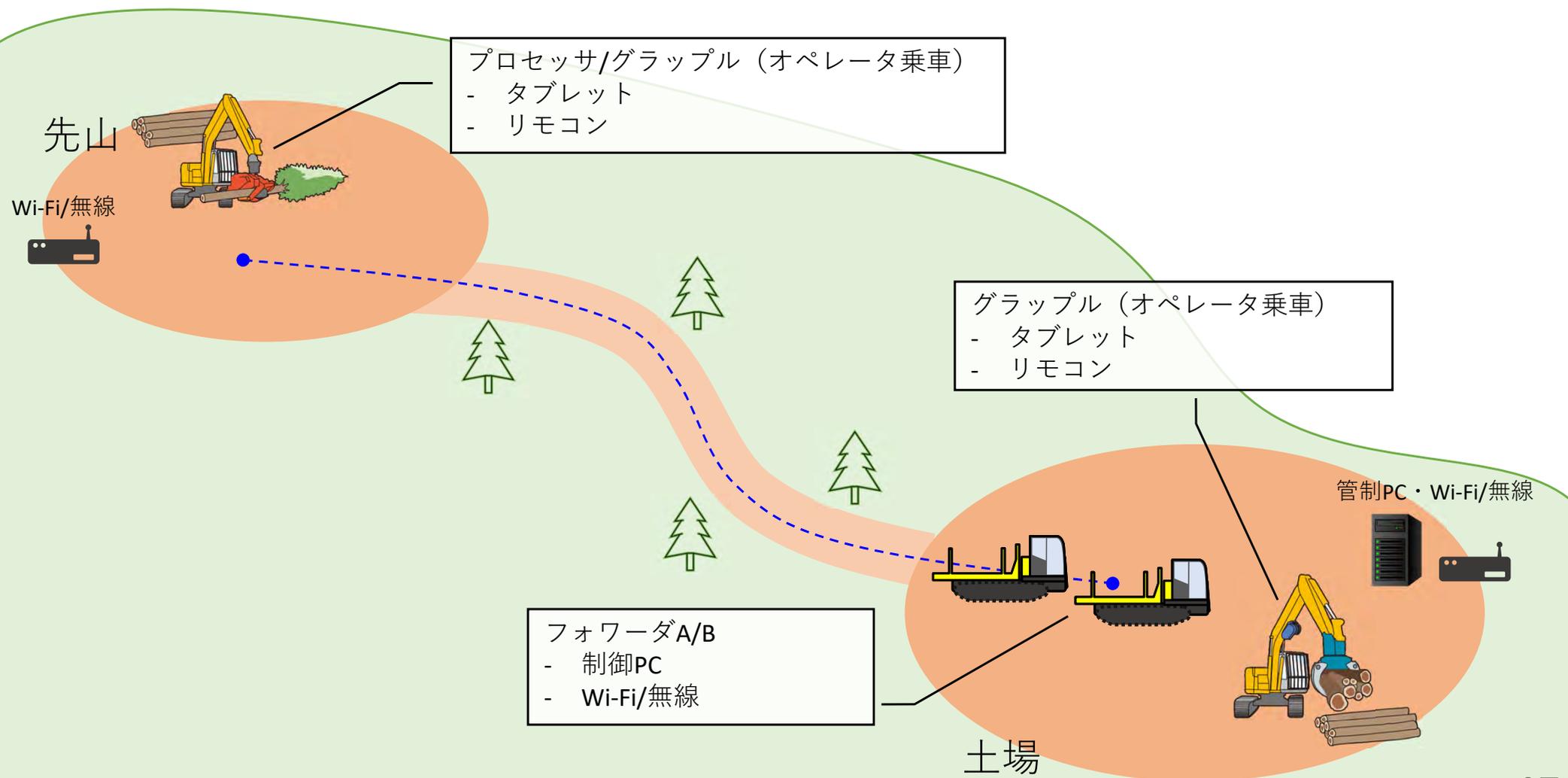


## 6\_1. マルチオペレーションシステム

～昨年度：フォワーダ1台での自動走行（森林作業道）

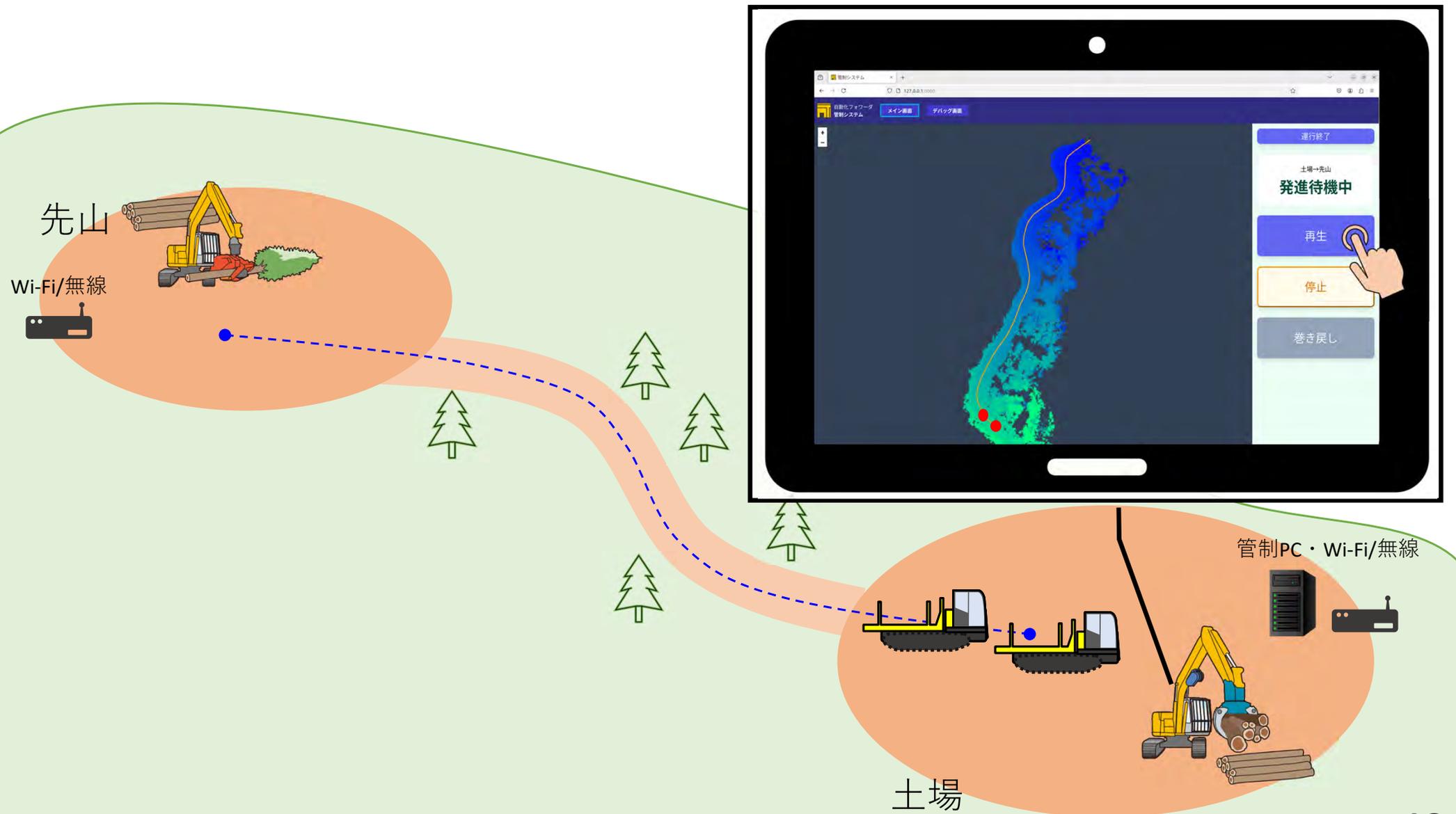
今年度：管制システムを構築し、フォワーダ複数台での自動走行

システム構成



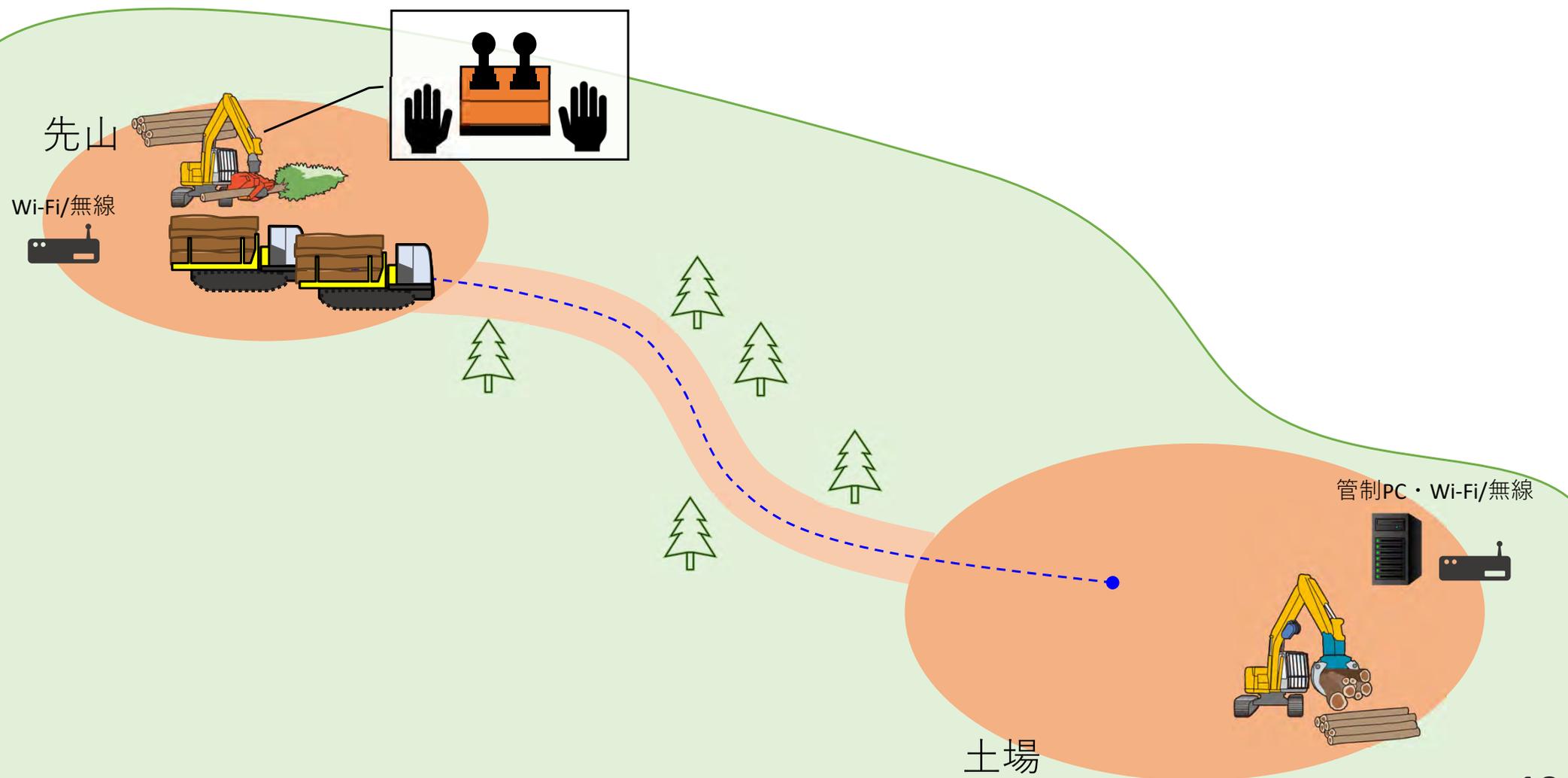
## 6\_2. マルチオペレーションシステム 想定ユースケース

土場でグラップルに乗ったオペレータがタブレットを操作  
2台のフォワーダが先山まで自動走行



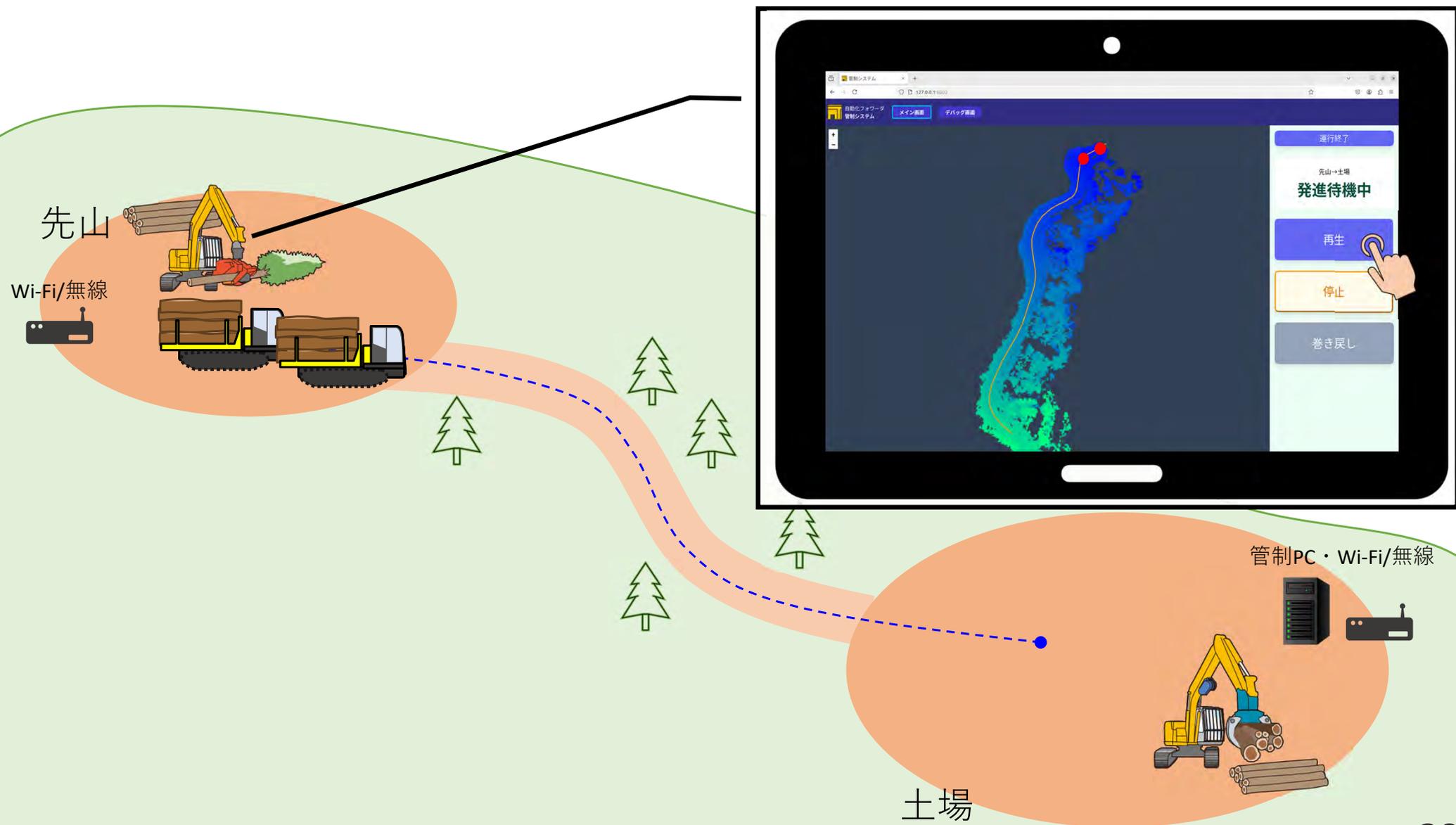
## 6\_2. マルチオペレーションシステム 想定ユースケース

先山でプロセッサに乗ったオペレータがリモコンでフォワーダを移動して木を積載後、自動走行開始位置に移動



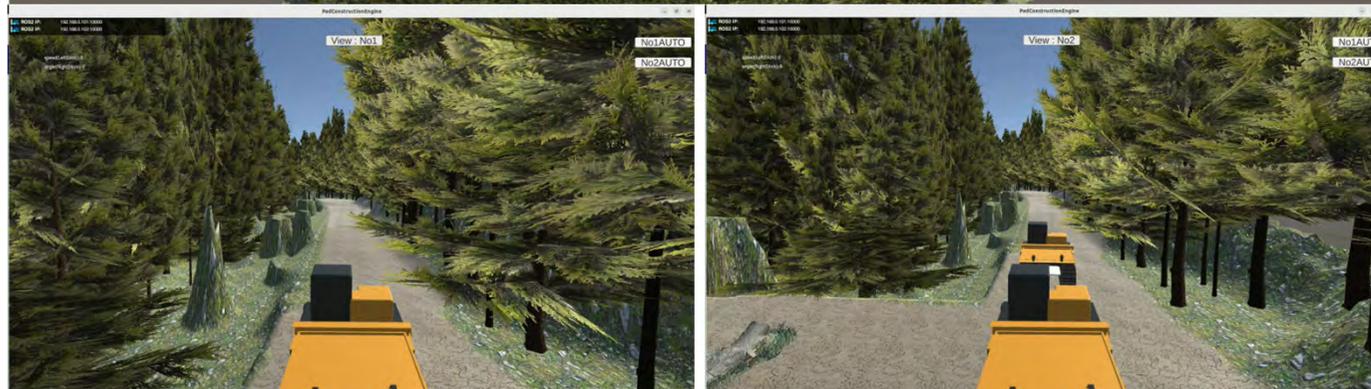
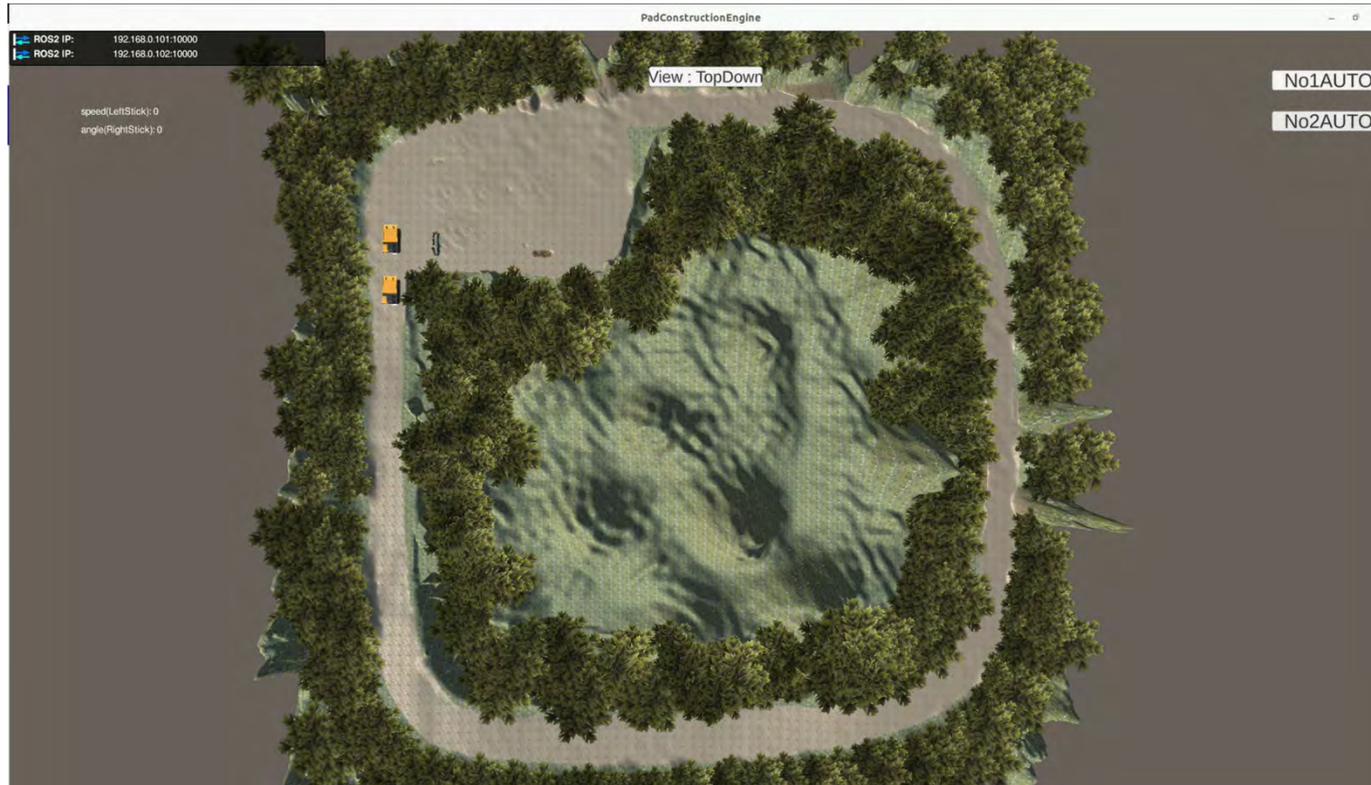
## 6\_2. マルチオペレーションシステム 想定ユースケース

土場でプロセッサに乗ったオペレータがタブレットを操作  
2台のフォワーダが土場まで自動走行



## 6\_3. 机上検証環境構築

ゲームエンジンを使用したシミュレーション環境の構築と管制システムの動作確認



教示はリモコン操作で  
フォワーダを制御し、地  
図を作成

ROS2 IP: 192.168.0.101:10000  
S2 IP: 192.168.0.102:10000

# 6\_4. シミュレーション環境でのシステム検証

speed(LeftStick): 0  
angle(RightStick): 0

自動化フォワード  
制御システム  
メイン画面 デバッグ画面

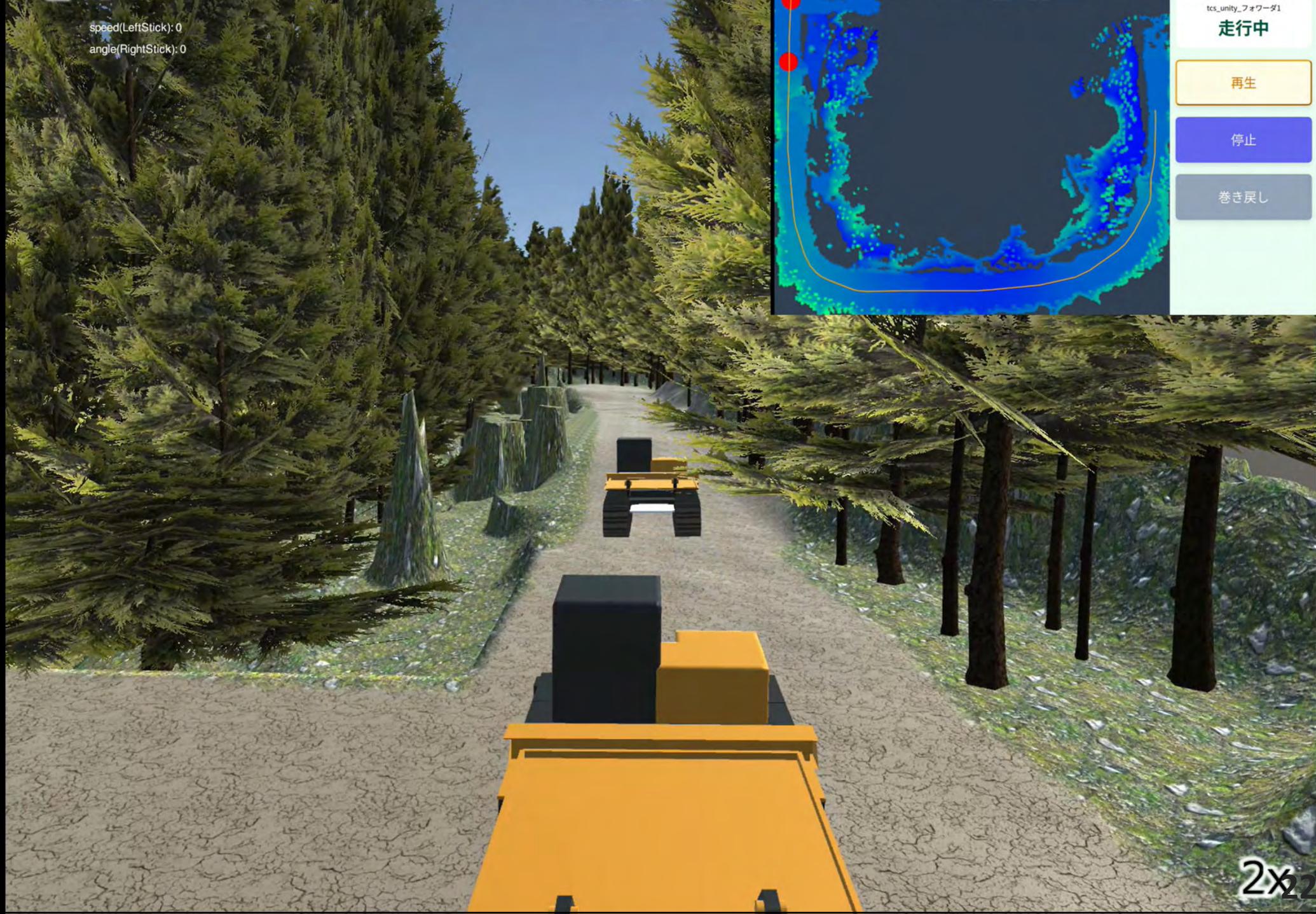
実行終了

tcs\_uniity\_フォワード1  
走行中

再生

停止

巻き戻し



## 6\_5. 実機試験 (平地)

