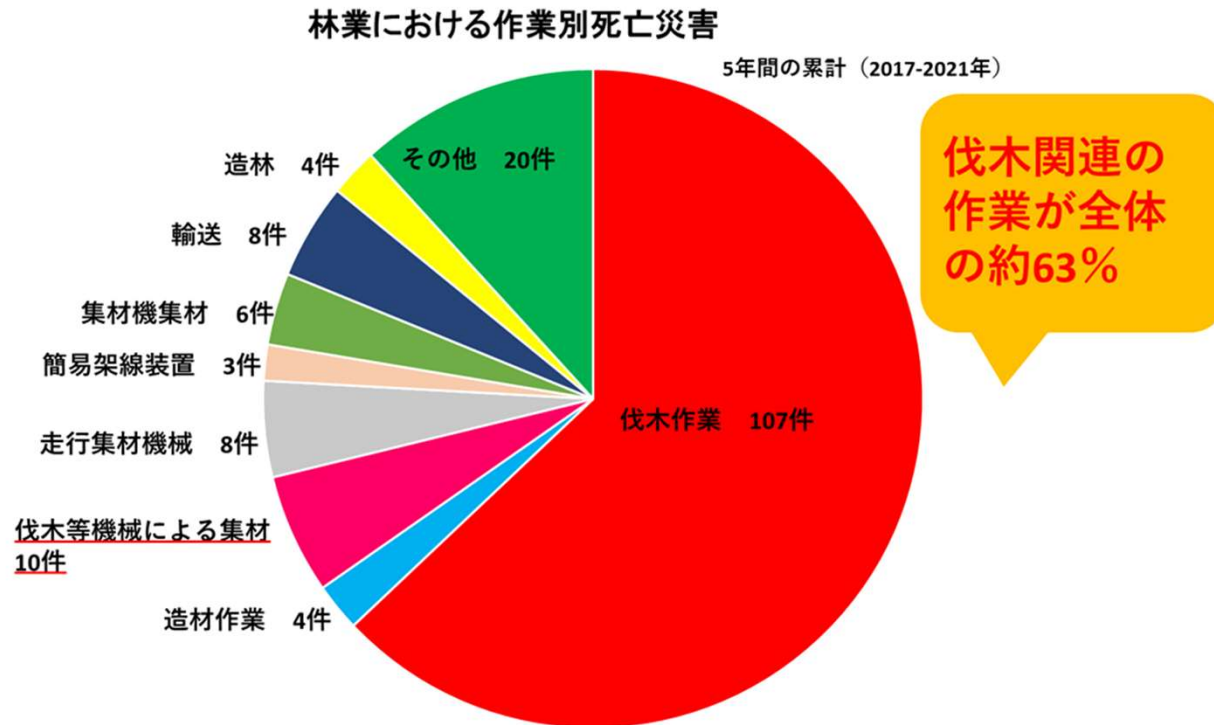


# 山間地で林業機械等の遠隔操作や自動運転を 可能にする支援システムの実証等

山陽商事、MIKATAプロフェッショナルズ、  
加藤製作所、リプロ、テクノマセマティカル

# スタートの動機 : 林業の安全性と身体負担軽減を実現したい



## 林業関係者全員の夢

事故や怪我を減らすには機械化や自動化の実現が必須

⇒しかしそこには「山間地の通信」という課題が立ちはだかっていた  
そこで今回異業種の企業で連携してこの難問に取り組んだ

# 今年度の実証目標項目

## ◆低遅延マルチホップ通信

- ・通信チップシステムの設計と実装
- ・マルチホップ遠隔通信
- ・樹木などの障害物や迂曲道での通信

## ◆高圧縮ストリーム映像送信

- ・マルチホップ経由での映像送信
- ・LTEやWifi等による高精細映像送信
- ・通信衛星と接続した映像送信

## ◆マルチカメラ遠隔監視

- ・複数アングルからの林業機械作業監視
- ・林業機械等からのカメラ映像伝送

## ◆RTK等位置極め技術

- ・データ受信と品質評価(安定性・精度・計算時間等)
- ・位置データの画面表示・記録
- ・移動体実機での検証

## ◆超遠隔通信&モニタリング

- ・衛星通信と通信杭の連動
- ・インターネットとの接続
- ・LPWAとの連携

### 先進的林業機械緊急実証・普及事業の取組概要

山陽商事(株)、(株)加藤製作所、  
(一社)MIKATAプロフェッショナルズ、  
(株)リプロ、(株)テクノマセマティカル

山間地で林業機械等の遠隔操作や自動運転を可能にする支援システムの実証等  
可搬性の通信機能付き作業杭を利用した通信ネットワークを構築し、携帯電話通信圏外の山間地でも  
林業機械等の遠隔操作や自動運転を可能にする通信ネットワークを活用した技術実証等を行い、林業  
作業の生産性及び安全性の向上を図る。

支援システム実証全体図



#### ①通信機能付き作業杭を利用した通信ネットワーク構築



#### ②通信技術等を活用した映像伝送実証



#### ③通信杭と衛星を活用した高精度位置測定実証



#### 【実証・機械改良等の計画概要】

- ・通信杭(通信デバイスとバッテリーを内蔵した可搬性の作業杭)を、一定の間隔(200~300m)で地面に挿し、無線通信でリレー式に繋げることにより、携帯電話通信圏外の山間地における通信ネットワークを構築。(①)
- ・将来的に林業機械の自動化・遠隔操作化が実現した場合を想定して、作業機械に備えた高精細カメラや作業現場周辺に設置した無線カメラの映像をデータ圧縮技術や通信杭を活用した無線通信等を利用して伝送し、遠隔地から山間地での機械作業の状況等を遅延なく映像モニタリングする実証を行う。(②)
- ・RTK技術を応用し、通信杭と測位衛星を連動させて林業機械の高精度な自己位置を測位する実証を行う。(③)

# 経緯：過去の林業遠隔操縦技術の開発過程である気づきが・・・

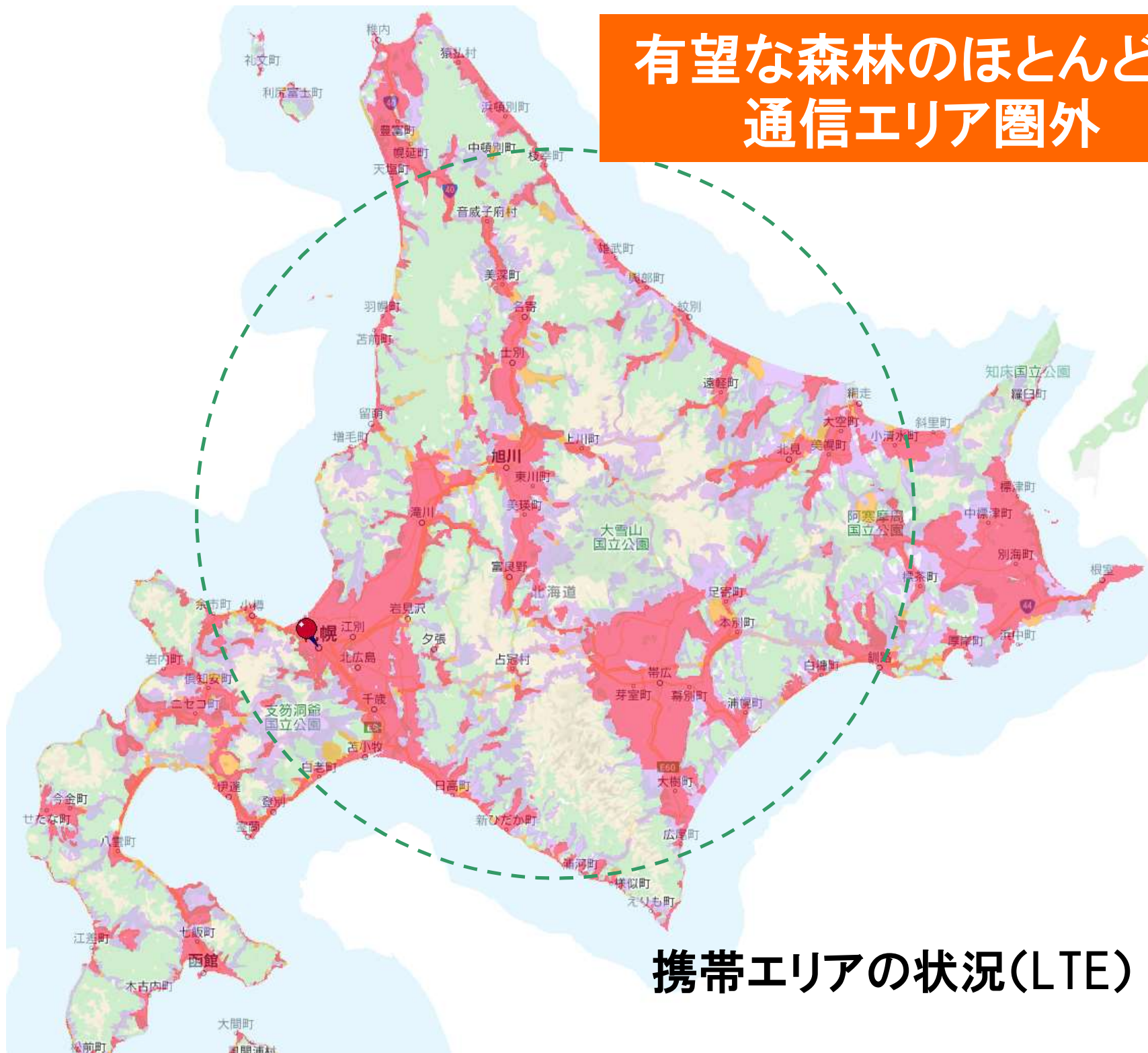
## 2020年 グラップル遠隔操縦



## 2021年 ハーベスタ遠隔操縦に成功



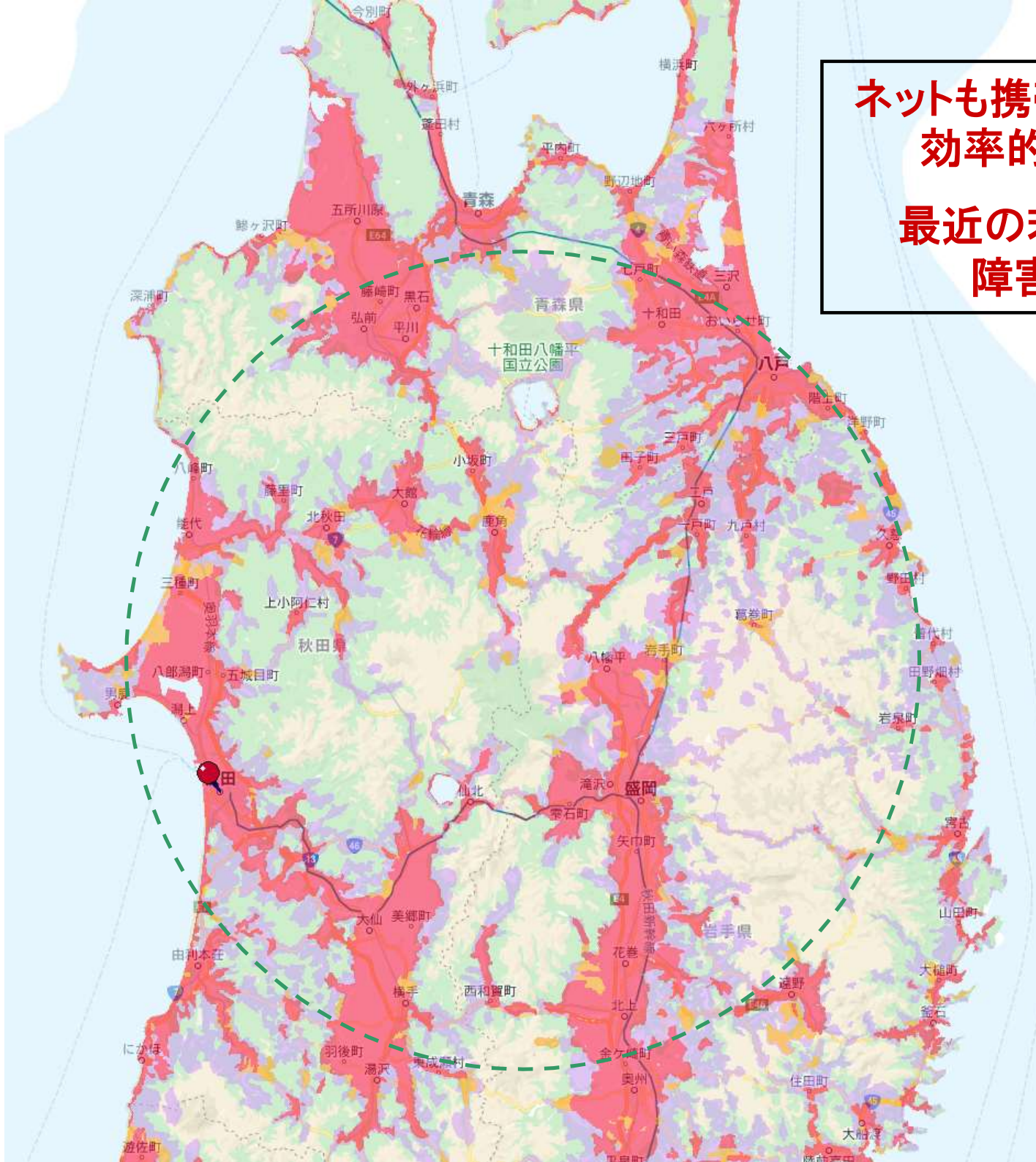
有望な森林のほとんどが  
通信エリア圏外

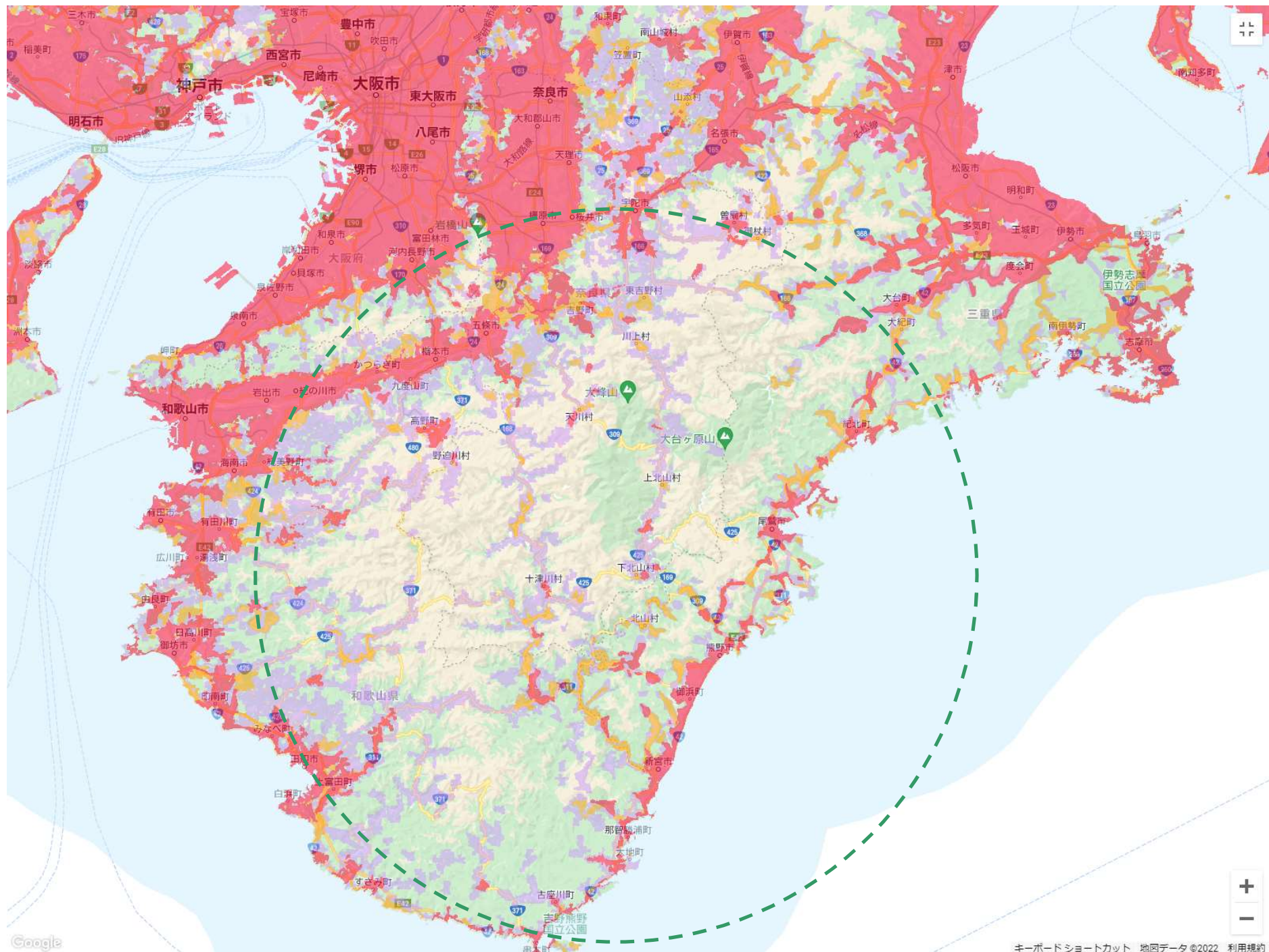


携帯エリアの状況(LTE)

**ネットも携帯も使えない環境で  
効率的な仕事は難しい**

**最近の若い人の就業にも  
障害となっている**





**通信問題の解決なくして林業の完全自動化は困難**

## **既存の技術では解決が困難であった**

- **有線敷設や基地局は高コストで設営も大掛かり**
- **GPSでは誤差が大きすぎ、急峻な山間での自動走行は危険**
- **完全固定局は常時移動する林業に向かない**

**⇒ 新たな切り口で課題を解消し、自動化に道筋をつける必要**



# 情報通信杭とは

通信デバイスやセンサーなどを組み込んだ杭を  
地面に刺すだけで現場の異常を常時監視し  
観測データを送信

LTE Wifi LPWA 等

## 連動一体化

映像カメラ



大容量  
バッテリー

太陽パネル

水位検知  
センサー



## 内蔵

通信デバイス



センサー  
/チップ



加速度、角度、微  
振動、温度、気  
体、GPSなど  
各種種選択可

標準  
バッテリー

標準ソフトを用い、インターネット  
経由で手持ちのモニターやモバ  
イル端末で直ちに監視が可能に



設置マークをクリックすると各地点の観測情報が表示

ID:1009 ○○私有林現場9

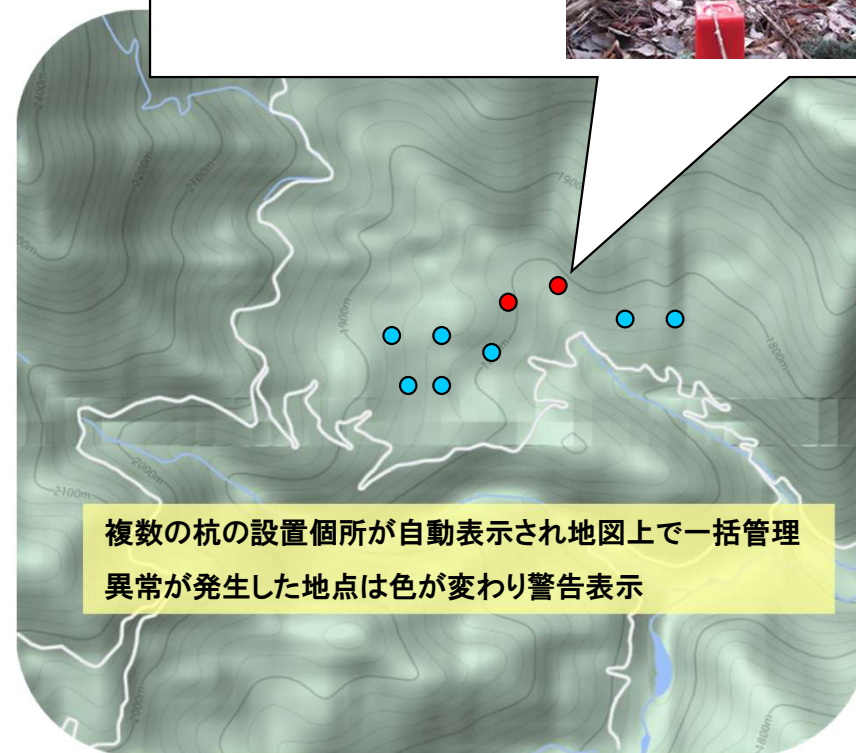
**異常値  
観測** 最大変位 3.6cm  
2021:04/21

現在の杭の状態

現場の写真

変位ログ

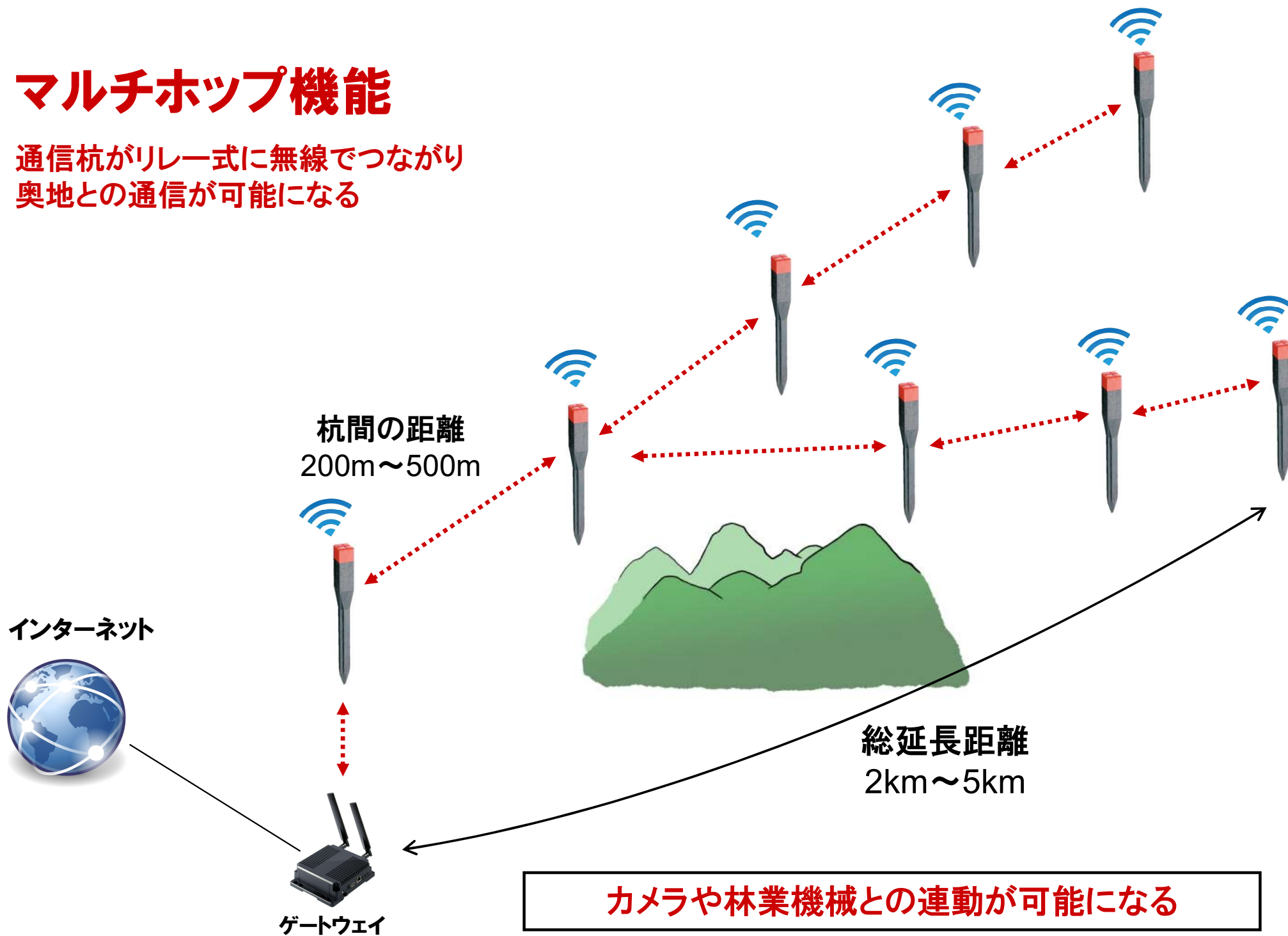
時刻	変位 (cm/s)
N000E	max. 3.15
N090E	max. 3.82
UP	max. 2.27



複数の杭の設置個所が自動表示され地図上で一括管理  
異常が発生した地点は色が変わり警告表示

# マルチホップ機能

通信杭がリレー式に無線でつながり  
奥地との通信が可能になる



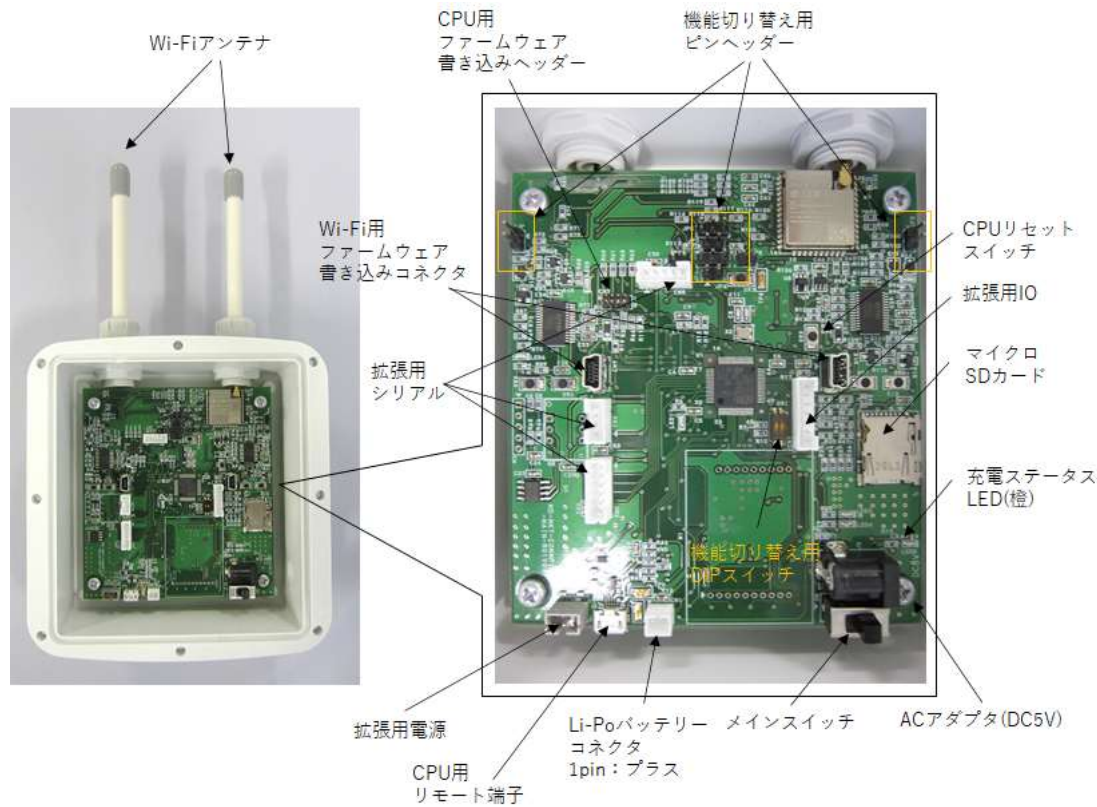
# 林業自動化支援システムの実証



## **3つのボトルネックが解消**

- ①山奥の現場でも簡易に高速・安定通信環境が整う**
- ②鮮明なライブ映像で遠隔監視できる配信技術**
- ③杭を活用し高精度測位を実現(RTK)**

# 通信杭ハードウェアのイメージ

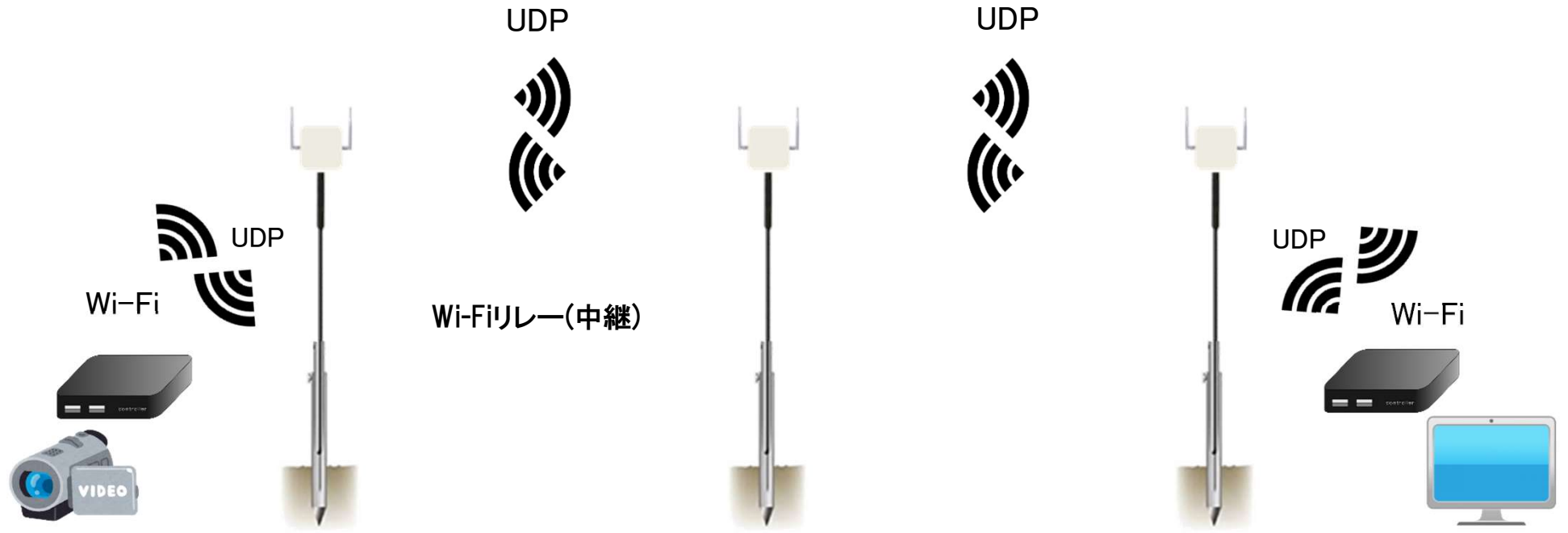


## 基本スペック

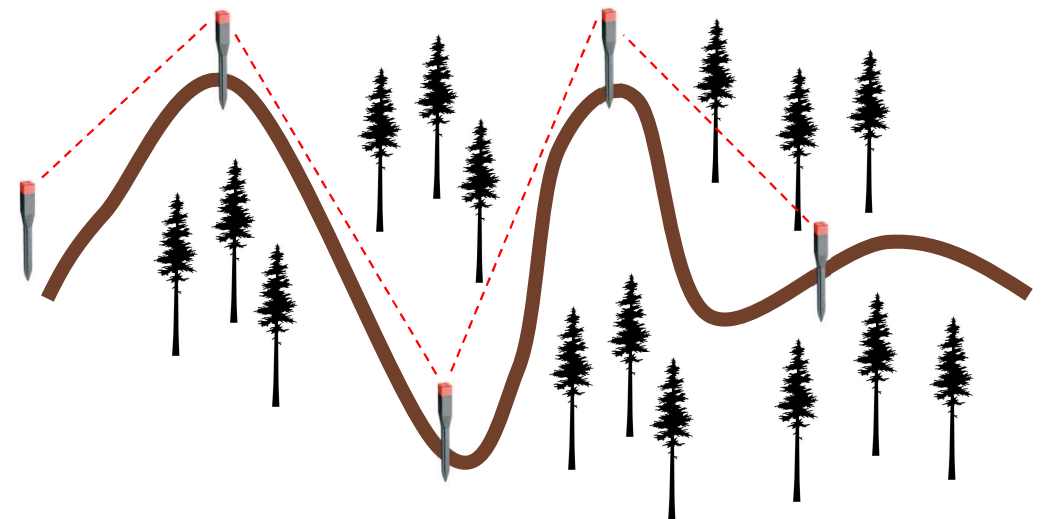
- ①Wi-Fi：2.4G帯
- ②電源：Li-Poバッテリー(外部充電対応) 平均消費電流120mA 専用ACアダプター
- ③連続使用時間：1800mAh Lo-Poバッテリー使用時約8時間
- ④使用温度 -10°C~+50°C(ただし結露なき事)
- ⑤筐体：タカチ社製WGV15-16-6W  
W:145/D:155/H:55 (アンテナ含まず)  
※設置高1.7m以上を想定

# 低遅延マルチホップ及び映像伝送イメージ

Wifiをつなぎ通信伝送。最大2kmの伝送を想定。  
高圧縮データ技術を用いて映像も伝送する。



通常は立木の影響で山間地の遠隔通信は困難だが、杭を順につなげることで障害物をクリアして伝送する



# 通信杭スループットならびに遅延測定結果 (実験環境)

## スループット(近接設置時)

- ・Type.91.9kByte/sec (max 93.4 min 74.8)

## 遅延(近接設置時)

- ・下り 10msec～25.9msec
- ・上り 40msec～170msec

## 距離とスループット(次頁参照の事)

- ・近隣 同オフィス内 80kByte/sec～90kByte/sec
- ・対向装置が目視可能で20m～150m前後 30kByte/sec～50kByte/sec
- ・対向装置との間に樹木等遮蔽で20m～150m前後 5kByte/sec～20kByte/sec
- ・対向装置との間に樹木や2F建て住宅等多数遮蔽で100m～280m前後 1～10kByte/sec

## 最長到達距離

- ・約287m

# 通信距離とスループット評価結果





# 長距離ホップ試験

4本の杭を用い  
3ホップ500Mに成功



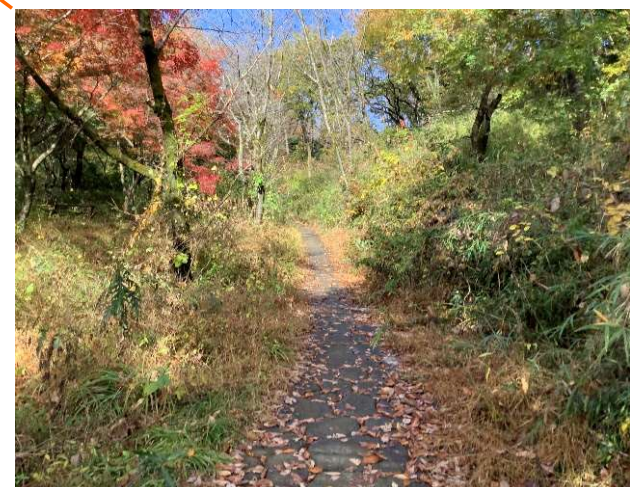
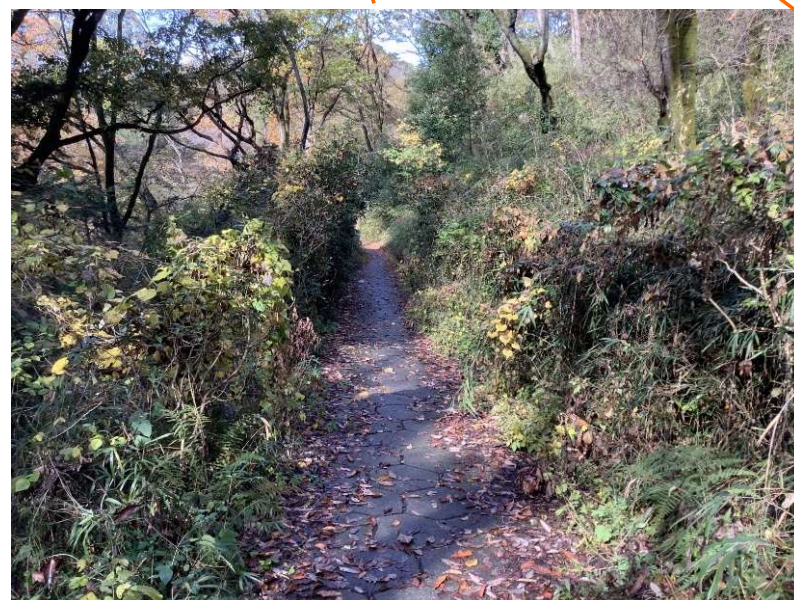
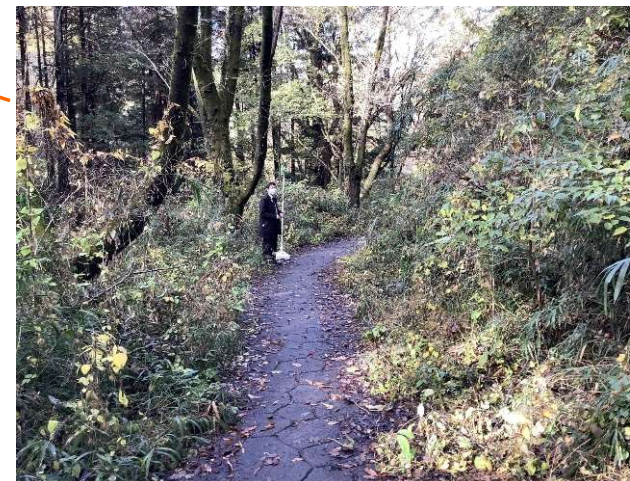
距離を測定  
地図をクリックして経路に追加します

総面積: 12,438.28 平方メートル (133,884.52 平方フィート)

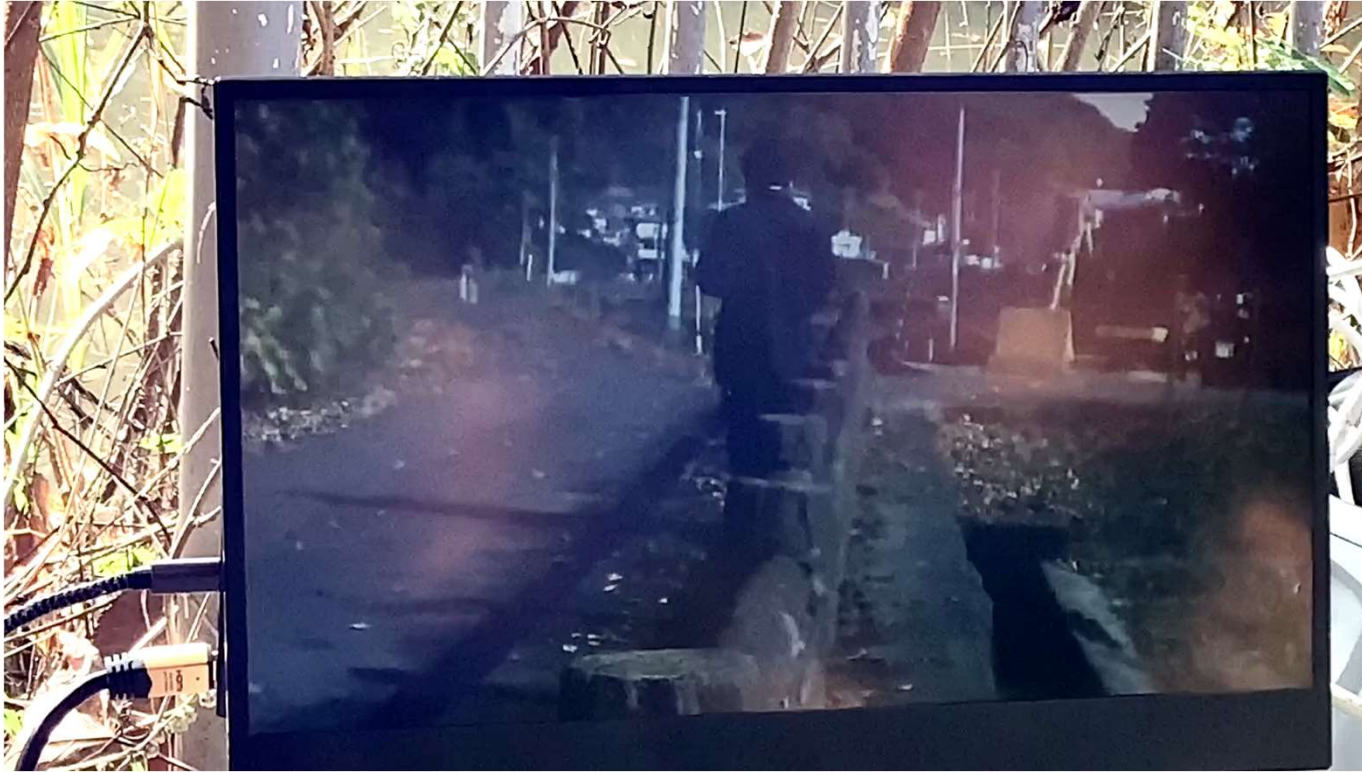
合計距離: 511.28 m (1,677.44 フィート)

最大映像通信  
可能距離

# 林間紆曲道・障害環境における通信試験 2022年11月



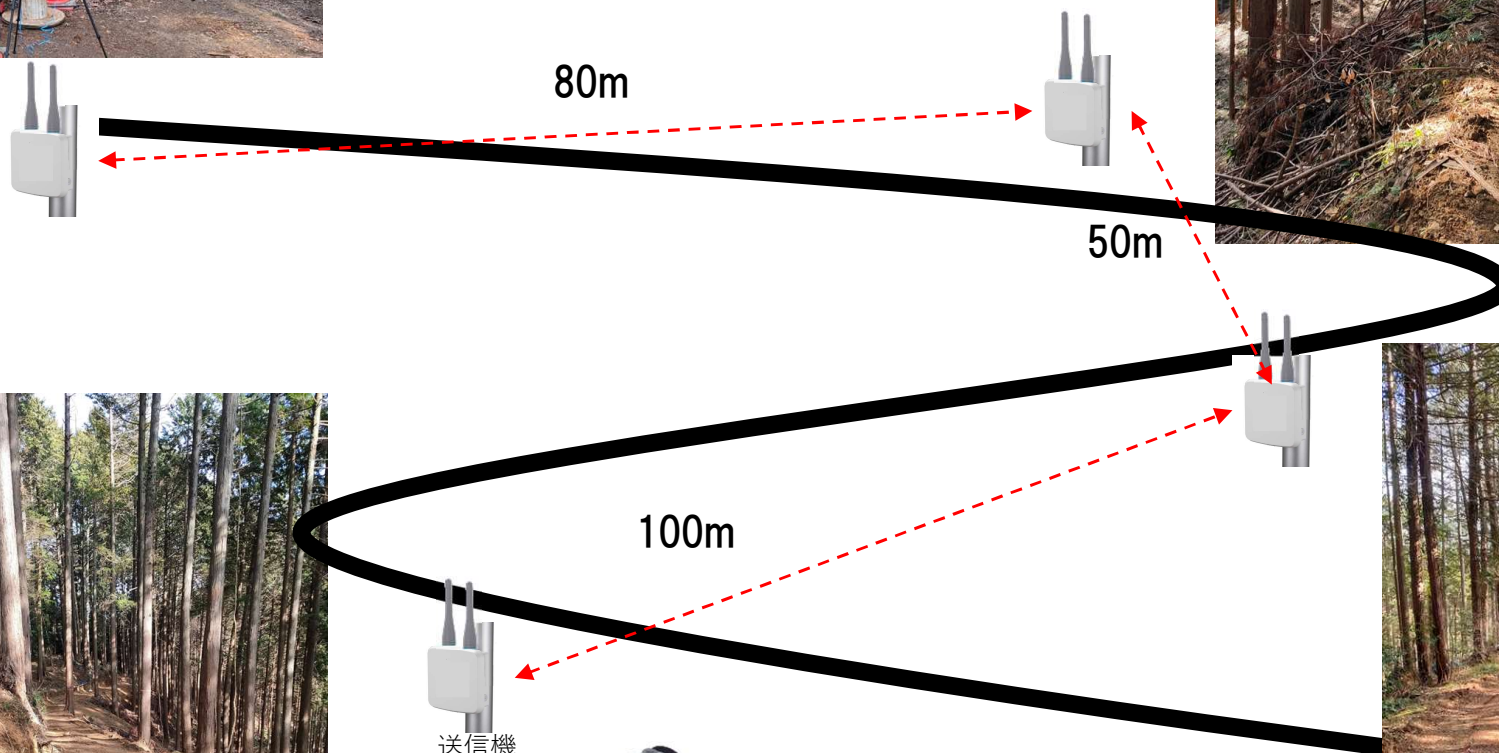
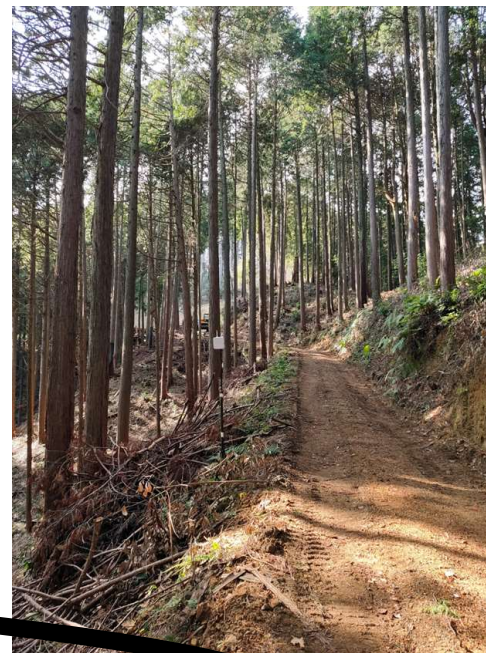
# Wifiマルチホップにより樹海を通り抜けた低遅延映像通信に成功



ユーチューブ映像も  
違和感なくスムーズに  
送信が可能



# 林間現場に持ち込んで実証 [2023年1月 於:東京都日ノ出町の森林]



# 林間現場での実際の様子

固定及び移動しながらの映像伝送に成功



林間におけるホップ帯域約350~600Kbps

実際の林間での3ホップの遅延  
約0.28~0.38sec



実物

送信映像

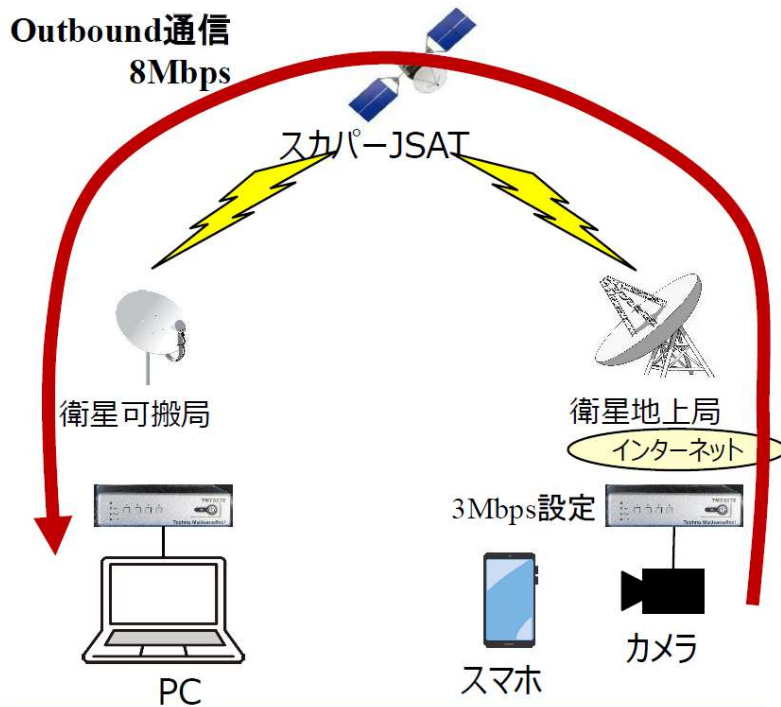
# 通信杭スループットならびに遅延測定結果 (実験環境と現場環境の結果対比)

	実験環境での結果	現場環境(日ノ出町)	備考
スループット	30kByte/sec～50kByte/sec	44kByte/sec(350kBit/sec)	条件 ・目視可能で20m～150m前後 ・映像伝送最適化
遅延	・下り 10msec～25.9msec/1ホップ ・上り 40msec～170msec/1ホップ	100msec程度/1ホップ	条件 ・遅延は通信距離に非依存

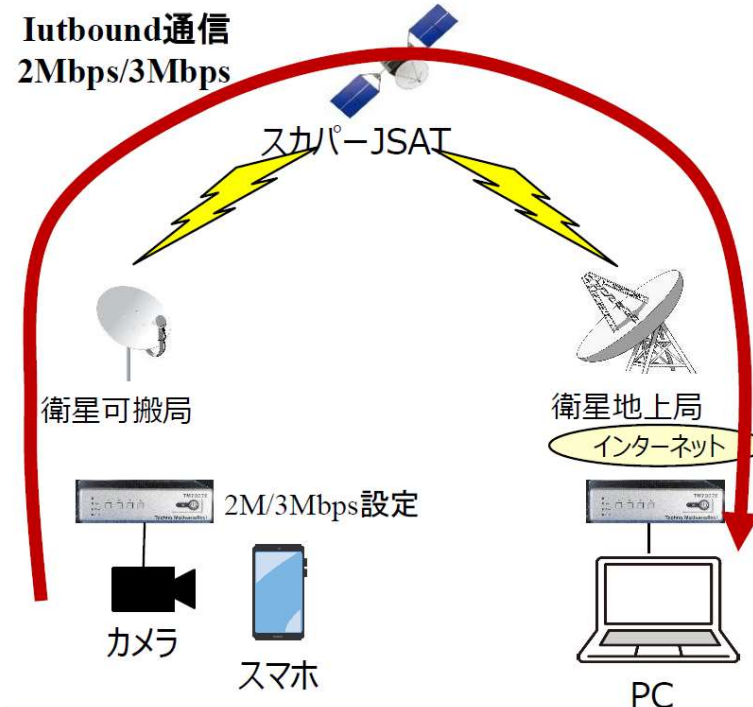
# 衛星通信の検証 2022年11月

## スカパーJSATとの連動映像伝送実験に成功

静止衛星由来の遅延時間は約0.3秒(推定値) ⇒将来的には低軌道衛星で大きく短縮



OutBound 8Mbps(エンコーダ3Mbps)	
(1)Flatten Latency	平均: 0.538秒
(2)Flatten Quality	平均: 0.71秒
(3)Flatten OFF	平均: 0.494秒



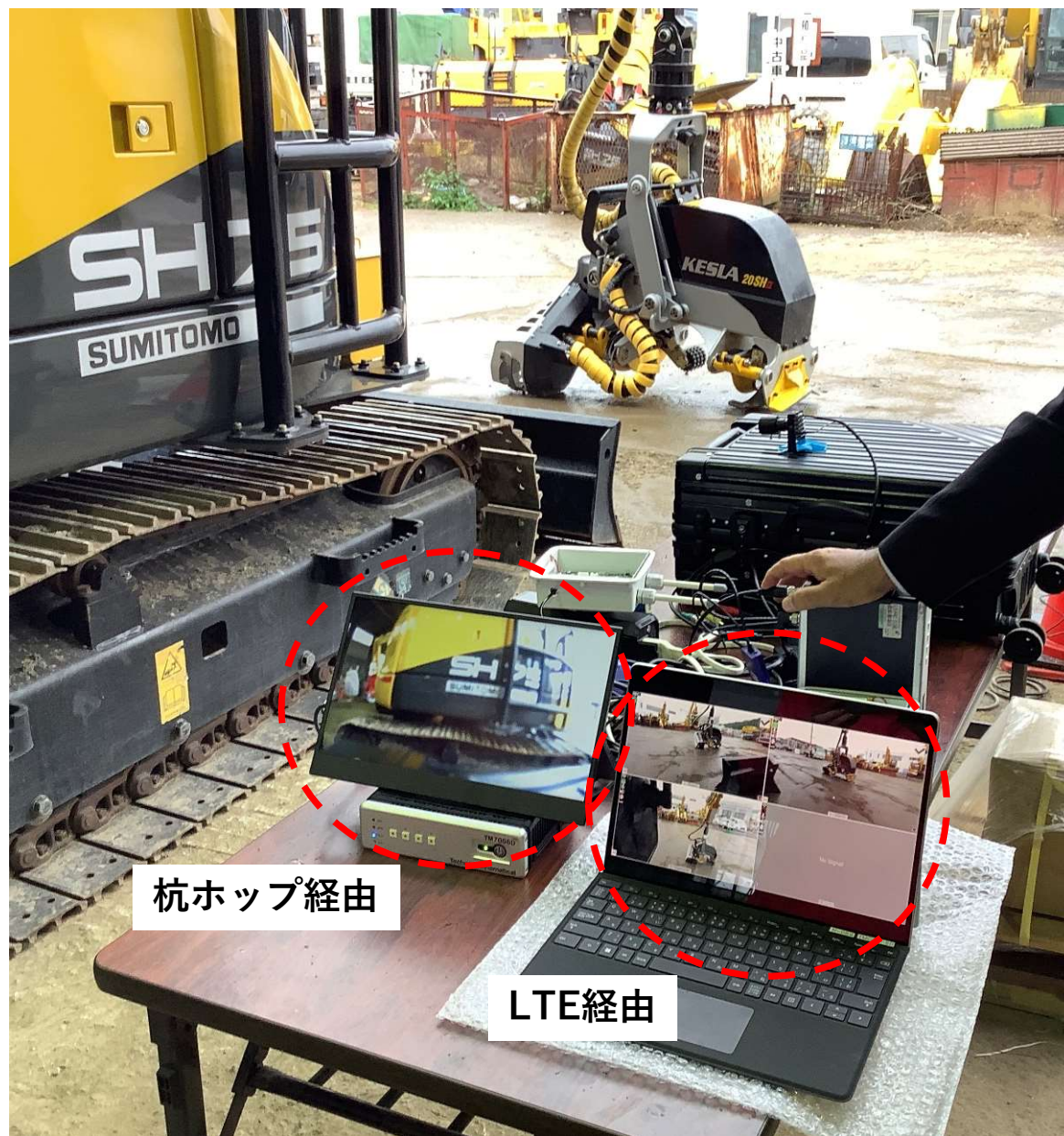
Inbound 2Mbps (エンコーダ2Mbps)		Inbound 3Mbps (エンコーダ3Mbps)	
(1)Flatten Latency	平均:0.503秒	(1)Flatten Latency	平均:0.65秒
(2)Flatten Quality	平均:0.727秒	(2)Flatten Quality	平均:1.285秒



遅延時間測定風景・方法



# マルチカメラ・モニタリングの実証

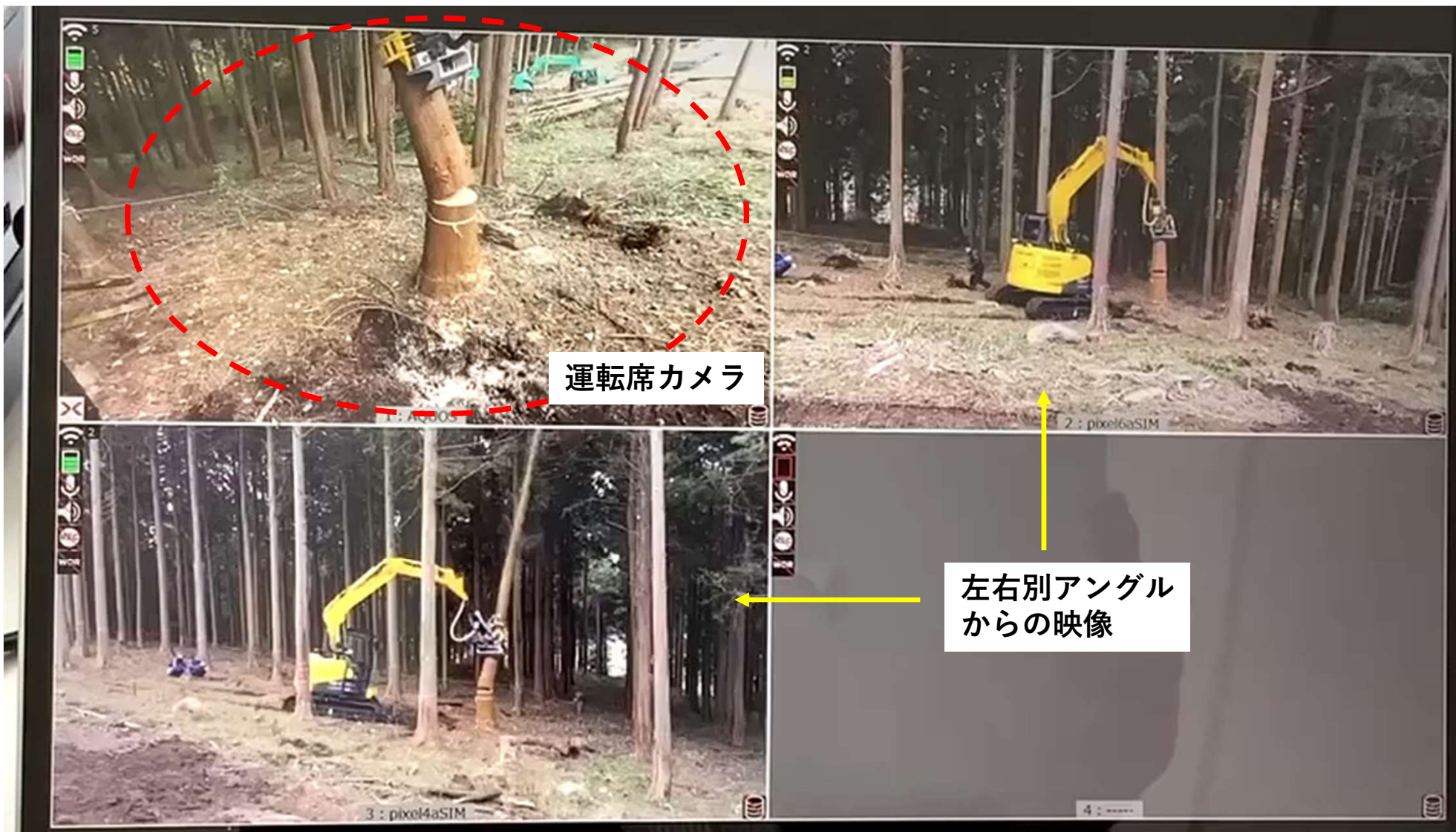


杭ホップ経由

LTE経由



# マルチカメラモニタリングによるデモ操作

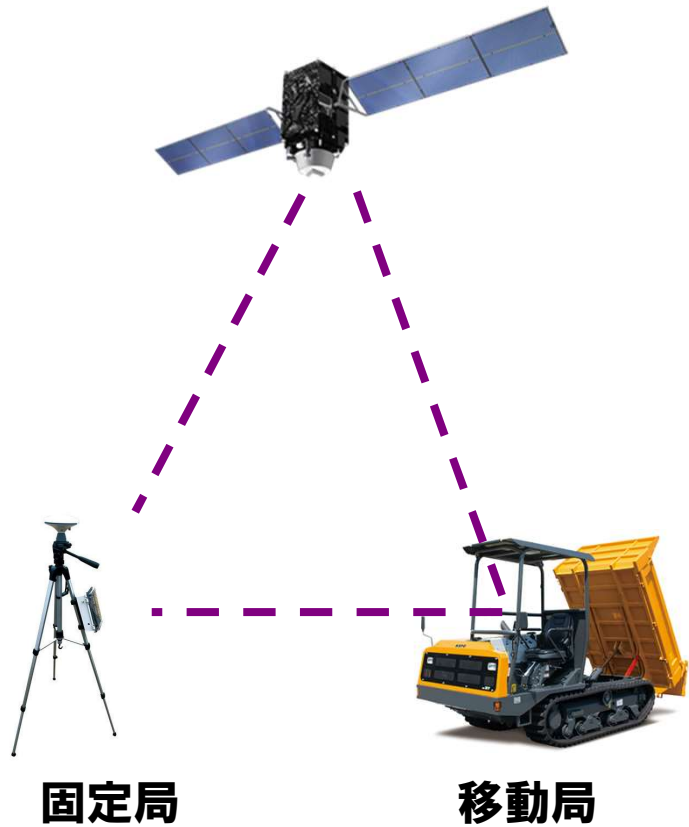


# 林間現場での実際の様子 マルチカメラ・モニタリング



# 高精度測位RTK技術の適用実証

GNSSの誤差を補正し、誘導の精緻化を図る技術が通信杭で適用可能か実証



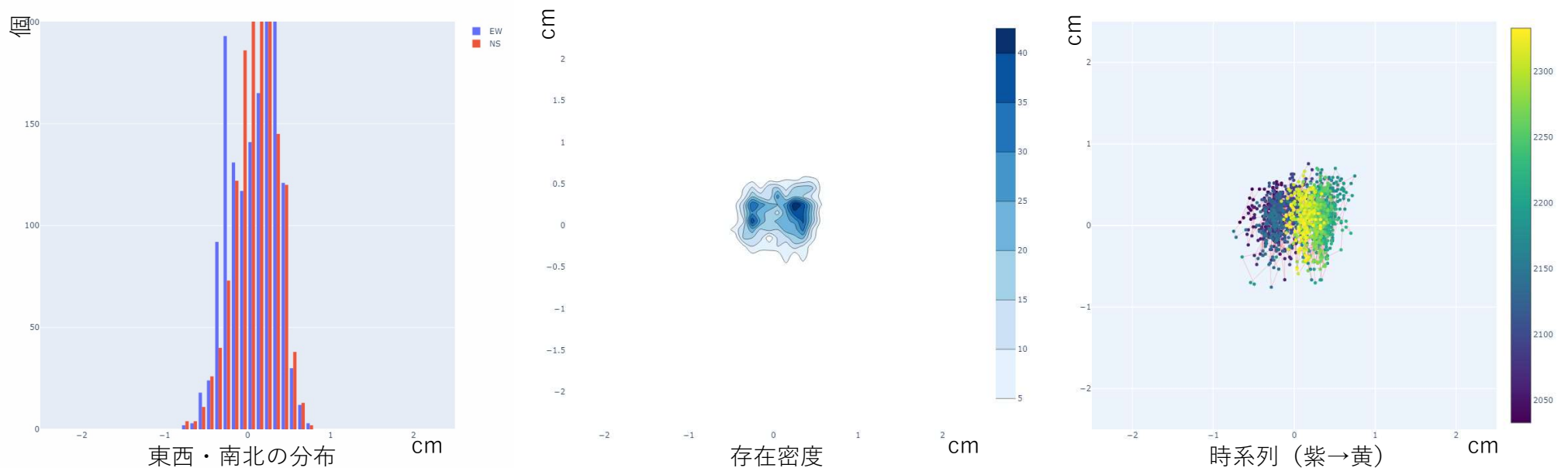
# RTK検証機器構成

- ・ 移動局の相対位置情報が正確に配信されることを検証で確認する。



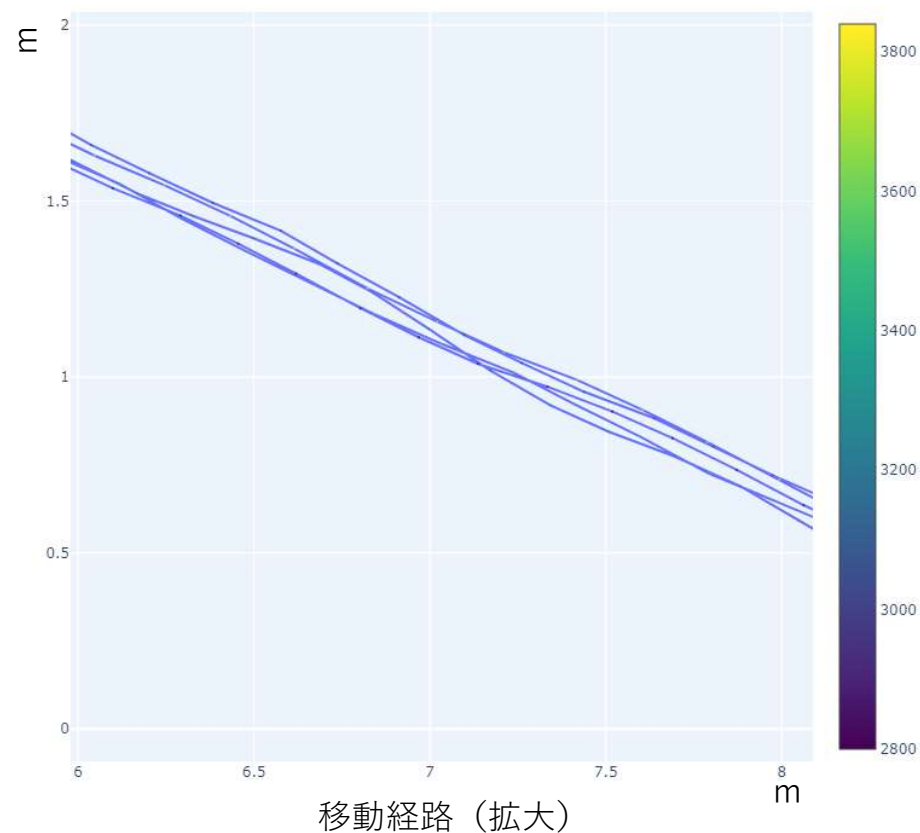
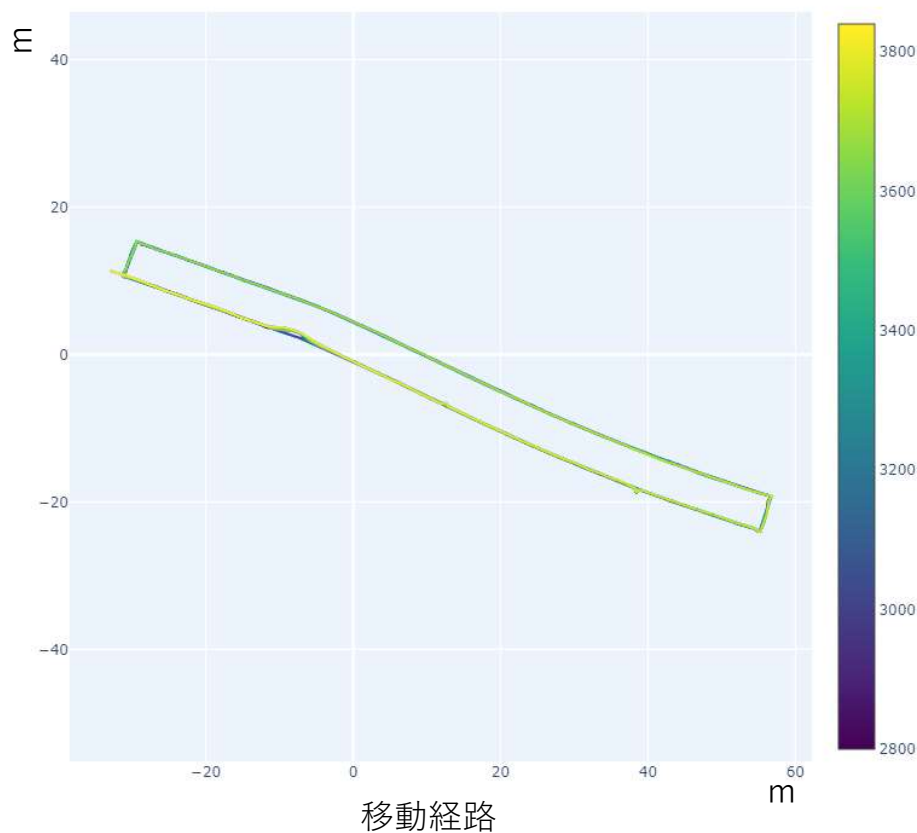
# 平場での5分間静止計測 結果サンプル(#13)

- 計測期間: 300秒
- 分散: EW:0.08 / NS:0.06
- 標準偏差: EW:0.28 cm / NS:0.24 cm
  - EW:-0.75 cm ~ 0.75 cm
  - NS:-0.76 cm ~ 0.76 cm



# 平場での経路確認サンプル

- 地上1.5m・GPSアンテナを手で保持し、縁石沿いに80mの道路を5回周回した。
- 5回周回した経路は概ね10cm程度の幅に収まっており、手振れの範囲内に収まっていると考えられる。



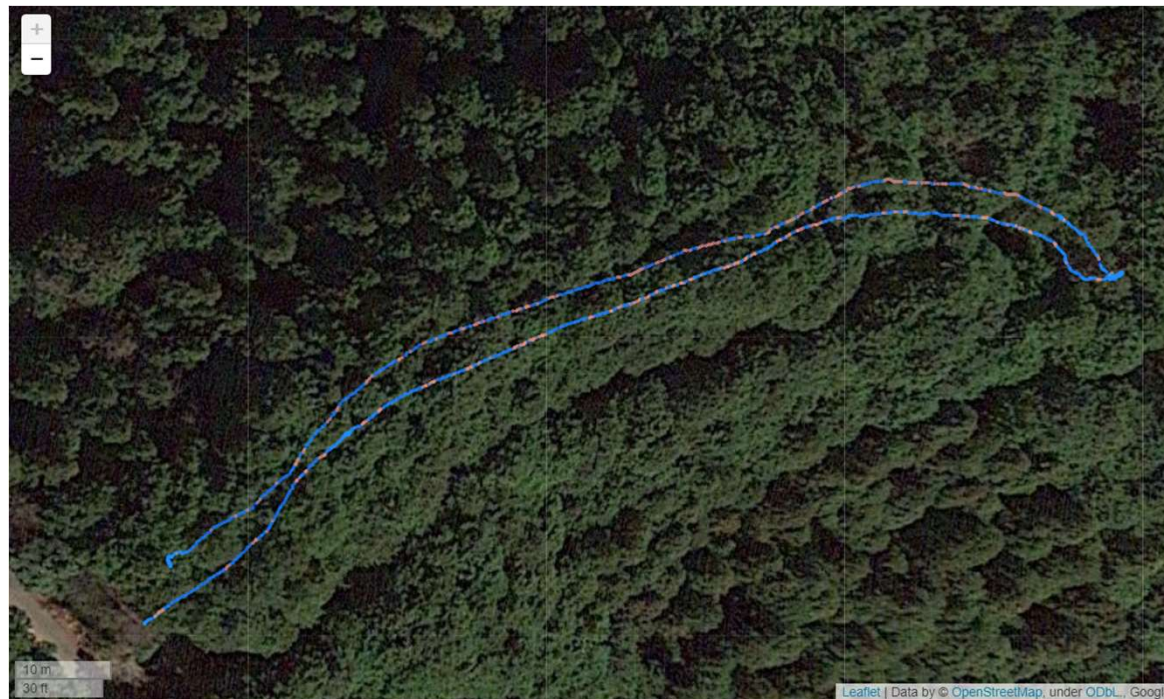
## 試験環境での実験サマリー 河川敷等

- 静止点から求めた相対位置精度
  - 標準偏差平均(最大・最小を除く、13回の試行の標準偏差の平均値)
    - 東西: 0.37 cm
    - 南北: 0.43 cm
  - 想定した精度3cmを上回っている。
- Float/Fix速度
  - 5回のアプリケーション再起動にて平均値を取得
    - FLOAT解取得: 0.5 秒
    - FIX解取得: 28.5 秒
  - 想定した、30秒/60秒よりも早い。

# 山間での実走試験 [2023年12月 日の出町現場]

## 往復の軌跡

小型フォワーダで実際の作業道を往復して記録



- 1/18 13:42:01 ~ 13:47:51 の時系列情報
- 青:東西 / 赤:南北 / 紫:速度 (約100ms周期)

## 走行記録の解析





## 山間での試験結果サマリー

- ・平場と比較すると、山中での走行時に往路と復路で2m程度の差を確認
- ・往路と復路で、前進・後退による操作を行っており、完全に同一経路ではなかったと考えられるが、平場と比較し、地平付近の衛星を捕捉できず精度が下がったと思われる。  
⇒RTKの計算結果が誤差2～3cmのFIX解とならず、1m前後のFLOAT解となっている。

### 今後の測位精度改善の方向性

#### ①精度改善

測位位置を高くし、測位状態を改善する

#### ②適用環境の基準設定と衛星の補足状況の事前確認

高精度のFIX解が得られる林道の環境基準を整え、事前に点検

#### ③補正の実施

衛星を捕捉できない環境ではIMU(ジャイロ)・Bluetooth(電波強度測位)などと組み合わせ、補正を実施する。

# 広報・普及活動

## 次世代森林産業展 出展・講演

2022年9月14日-16日 東京ビッグサイト

## FORESTRISE 2022



## 2022森林・林業・環境機械展示実演会 出展・デモ

2022年11月13日-14日 大分県別府市



## 森林・木材みらい価値共創 研究会セミナー 講演

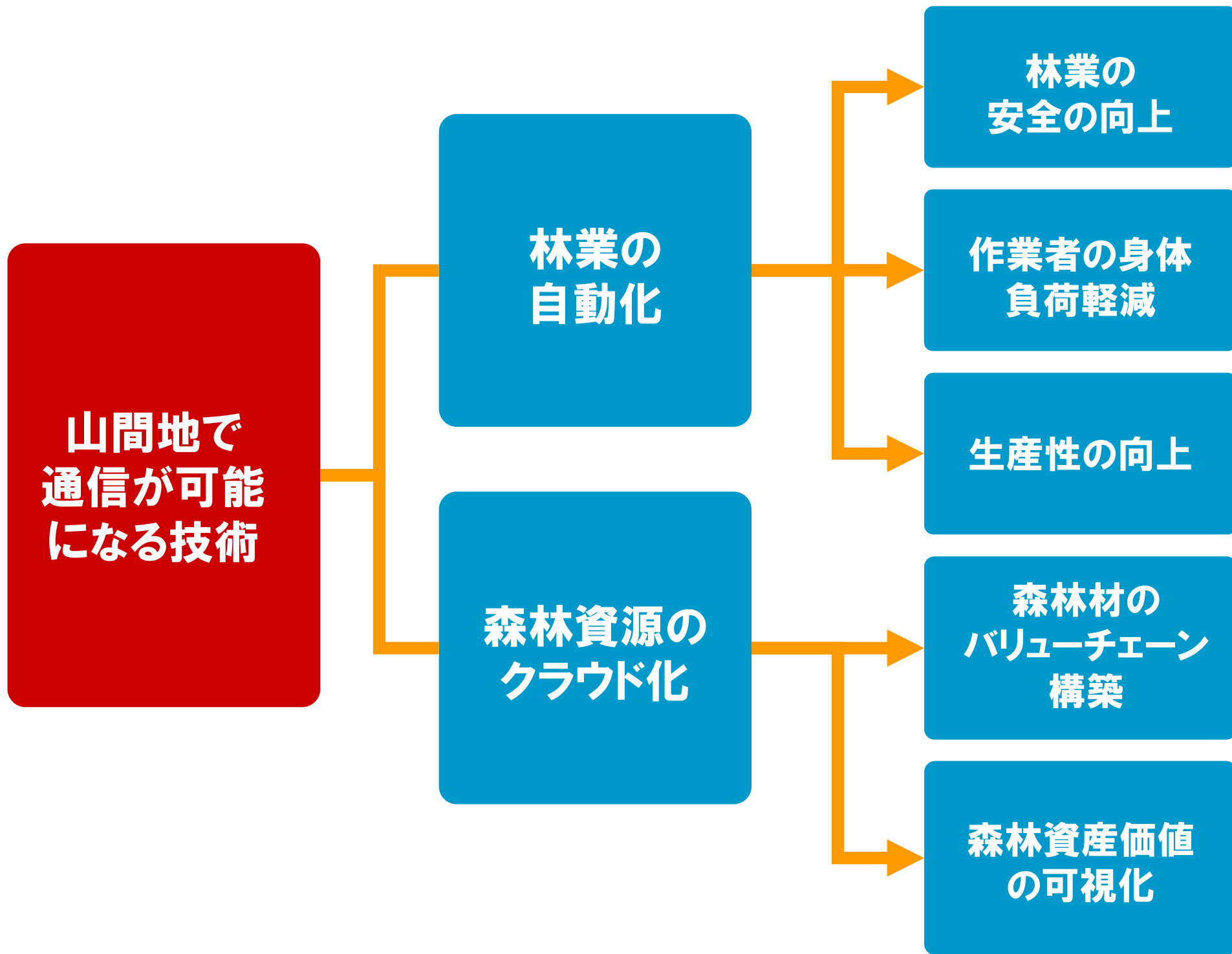
2022年11月/12月  
コトクリエ(奈良市)



# 林業の生産性と安全性が大幅に向上



- 3D映像で現場のリアルタイム遠隔監視
- 山間でのインターネット利用
- 現場と本社の長距離コミュニケーション
- 林業機械の遠隔操縦
- 機械やドローンの無人走行 などが可能に



# スマート林業を核にしたDXソリューションのロードマップ



# 今後の予定について

今年度

技術改良・内部試験

現場実証等

各種インターフェイス追加  
スループット改善

後年度開発・改良計画

来年度以降

通信杭システム市販化改良

通信速度向上の技術改良

通信杭とLPWAの連動

現場VR技術との連動

低軌道衛星との連動

通信杭と林業機械メーカーの連携開発(遠隔操縦／自動走行)