

令和4年度  
林業機械の自動化・遠隔操作化に向けた開発・実証事業  
成果報告

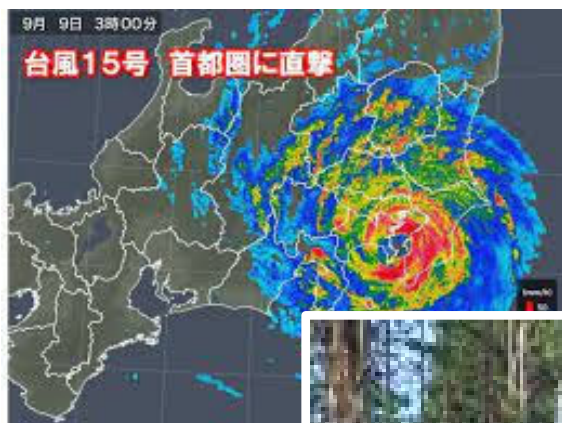
# 通信型下刈機械の遠隔自動運転・運行監視 システムの開発・実証

令和6年2月9日

株式会社NTTドコモ  
株式会社筑水キャニコム  
阿蘇森林組合

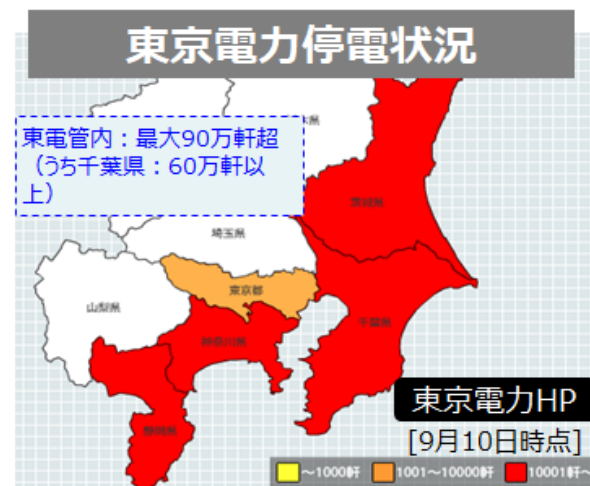
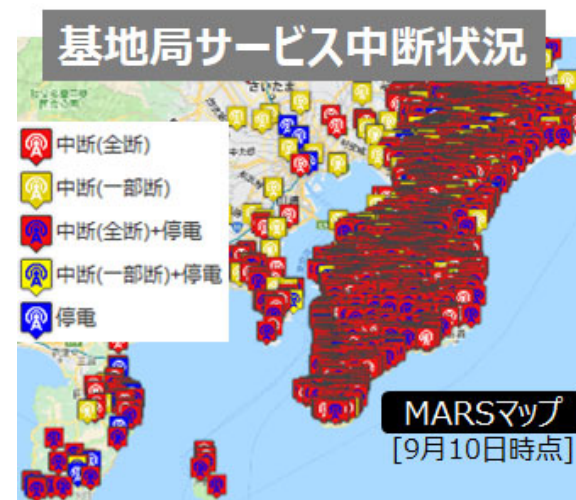
ドコモが実証事業に取り組むきっかけは、放置林による風倒木被害でした。

再造林が進んでいない事が災害原因の一つであると言う事が分かり、通信・IoT分野から林業の活性化に向けた取組みを進める事と致しました。



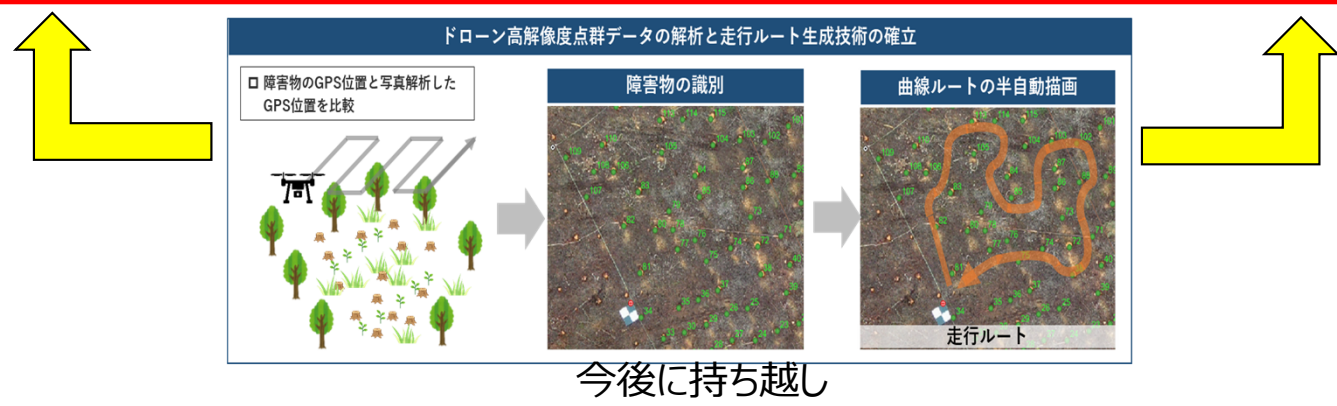
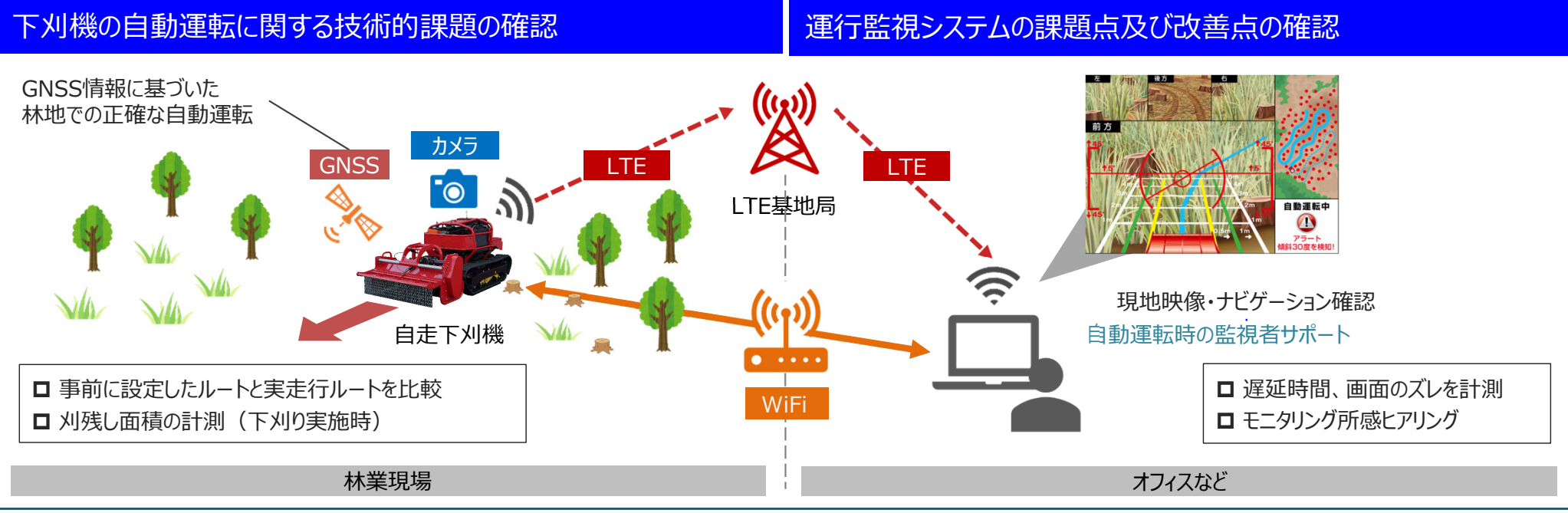
## 2019年9月台風15号

千葉県の総基地局数：約2,500局  
中最大1,200局のサービス中断を記録[9月10日時点]



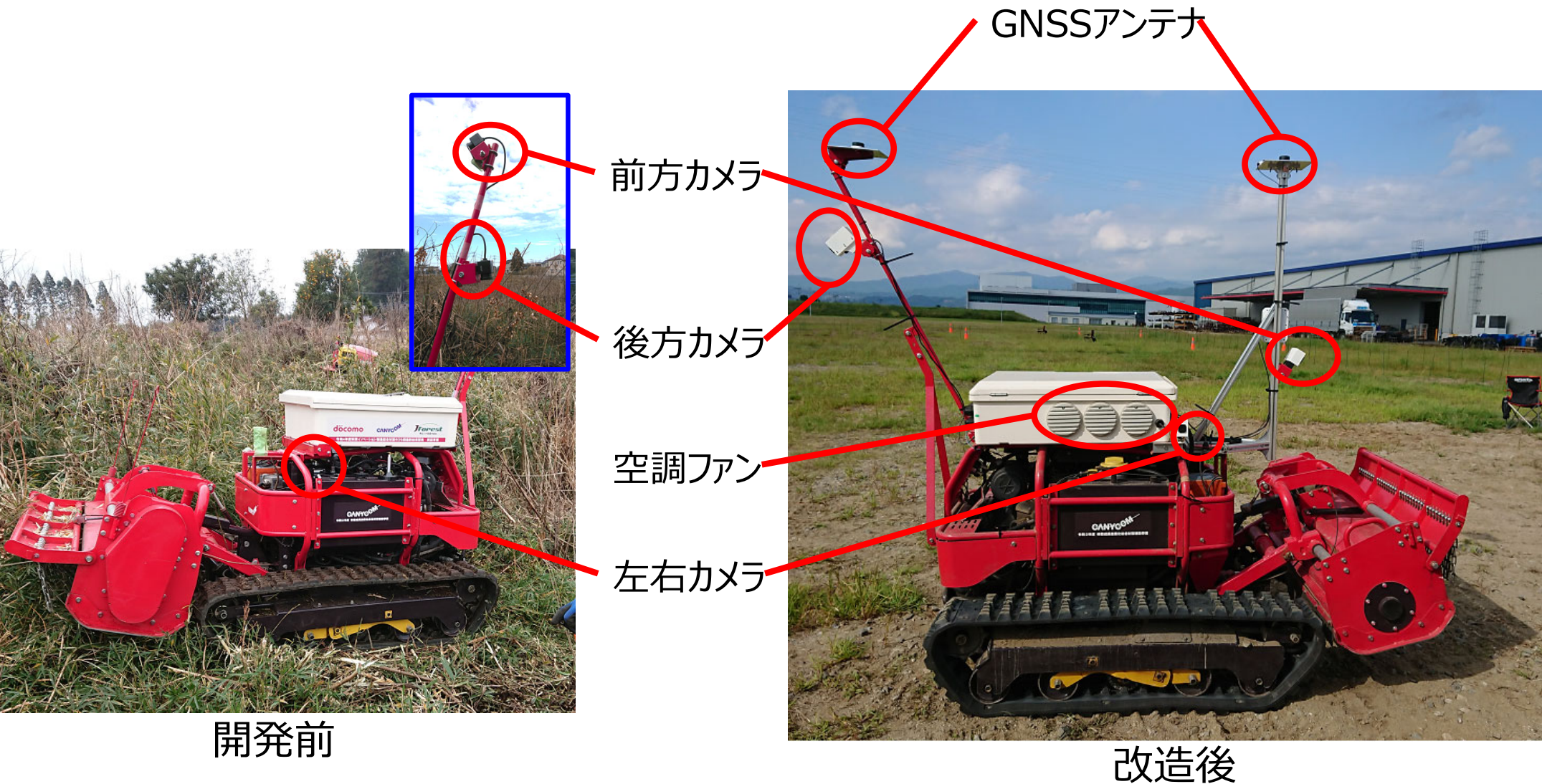
- ①昨年度開発した下刈草刈機に新たに自動運転機能を搭載し、下刈りの実証実験を行う。
- ②ARナビゲーション機能を搭載した運行監視システムにより、作業員は遠隔監視を行う。
- ③空撮画像の映像解析による走行ルートの自動生成は、今後実施予定。

## 今期実証範囲



# 車両の改造の実施

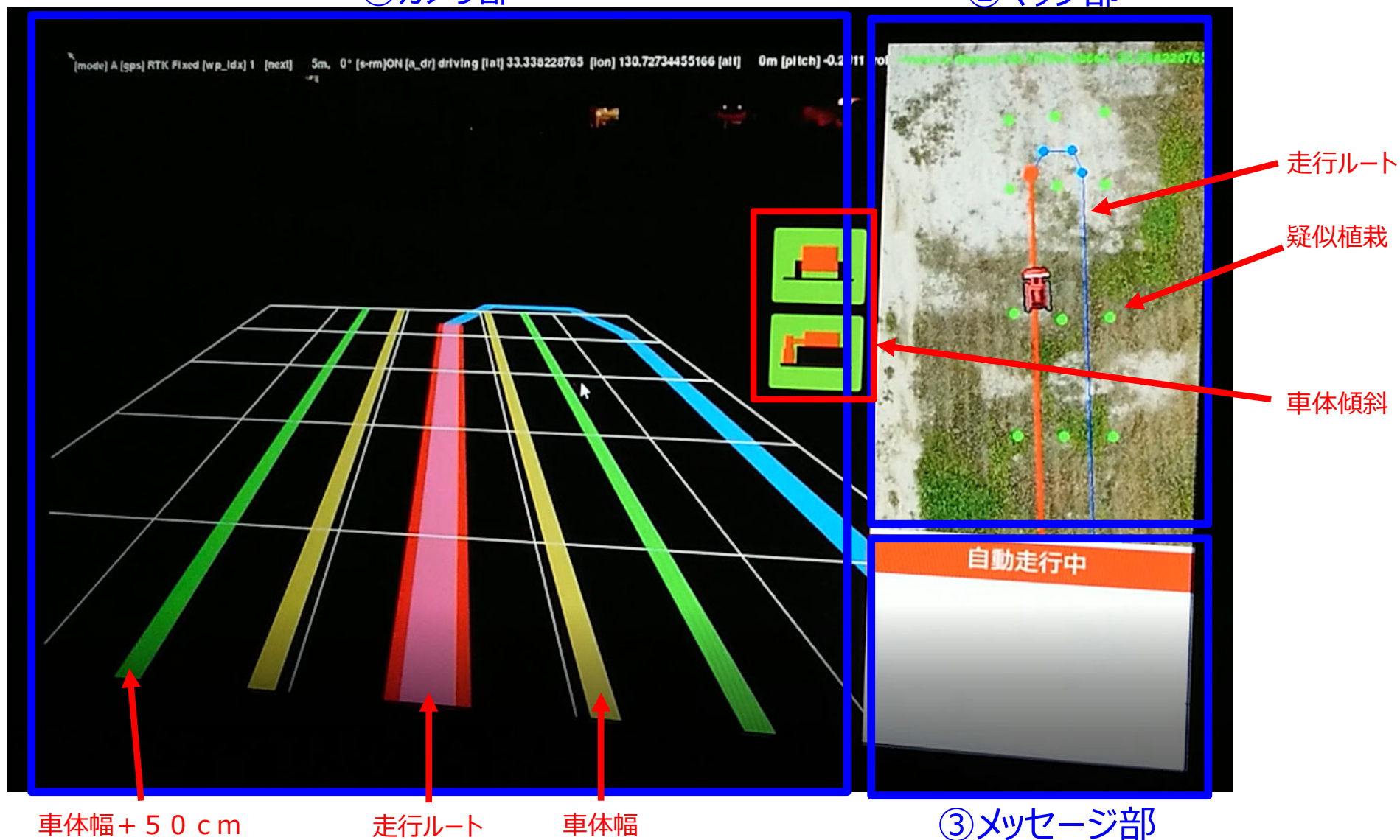
昨年度実証で開発した通信型遠隔操縦下刈機械にGNSSアンテナを新たに追加。  
自動走行モジュールの追加。カメラ位置の変更と、夏場の熱処理対策として、空調ファン追加も実施。



走行ルートの遠隔監視ができるようにルートナビゲーションを有したシステムを開発。  
運行監視システムは、「①カメラ部」、「②マップ部」、「③メッセージ部」の3要素で構成されている。

## ①カメラ部

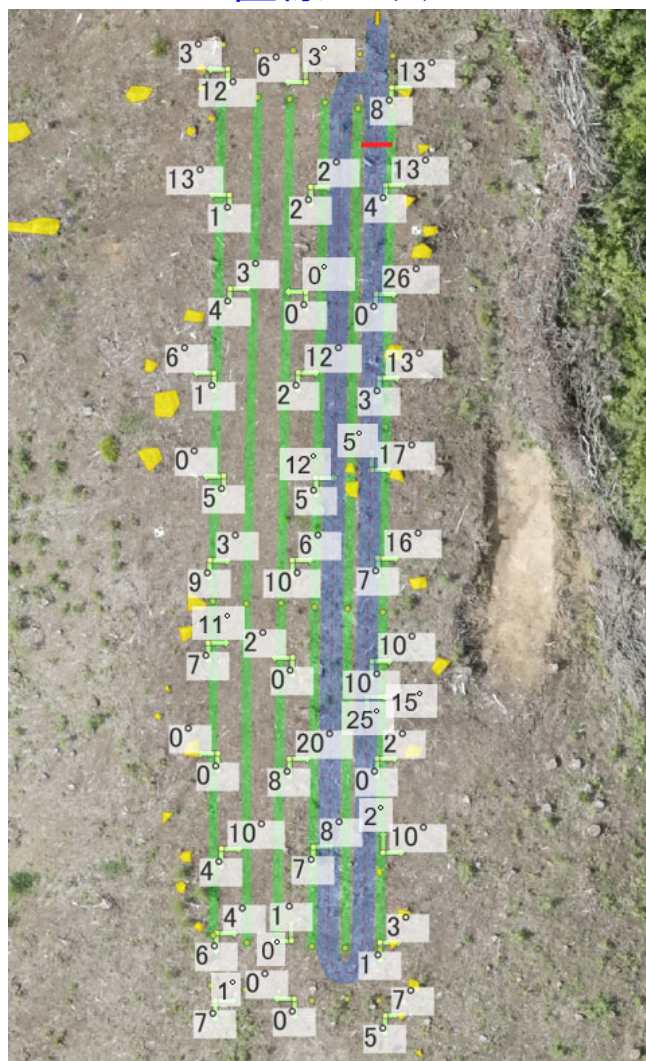
## ②マップ部



阿蘇森林組合の皆伐地（熊本県山都町）にて、直線コースとつづら折りコースを設営、自動走行テストを実施。

通信方式（WiFi、LTE、StarLink）、位置測位（CLAS、NW-RTK）を各構成を組合せて、性能評価を実施した。

直線コース



つづら折りコース



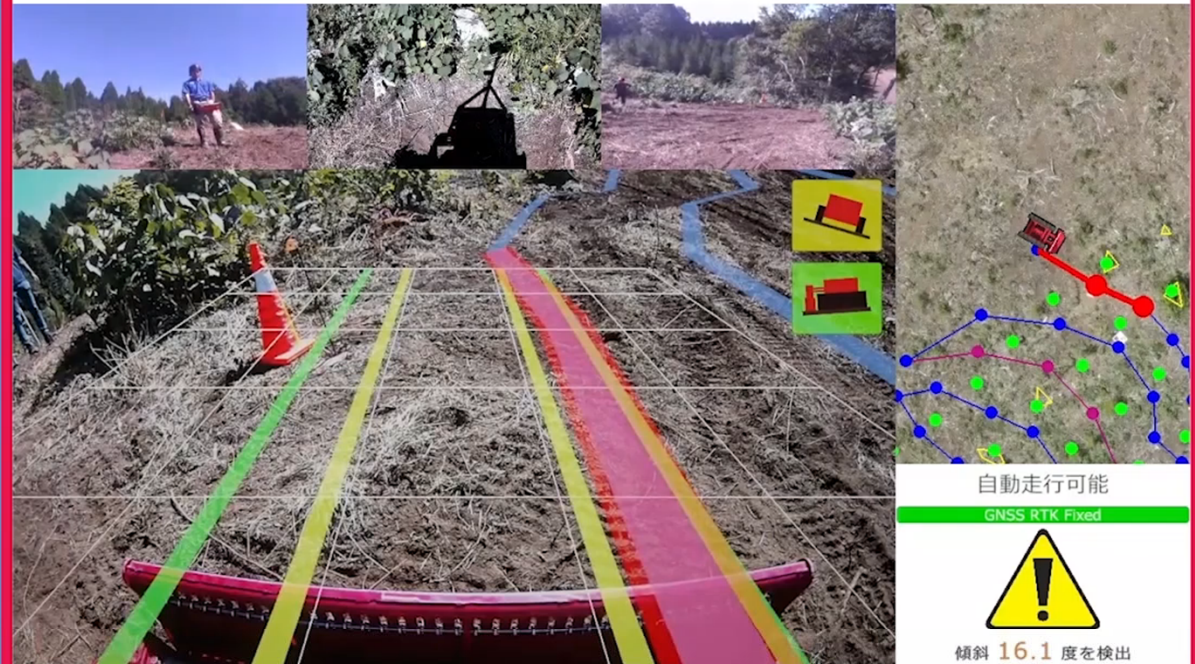
青線・赤線：走行ルート  
数字は斜度

黄色 伐根等の障害物

## 車体走行映像



## 運行監視システム画面



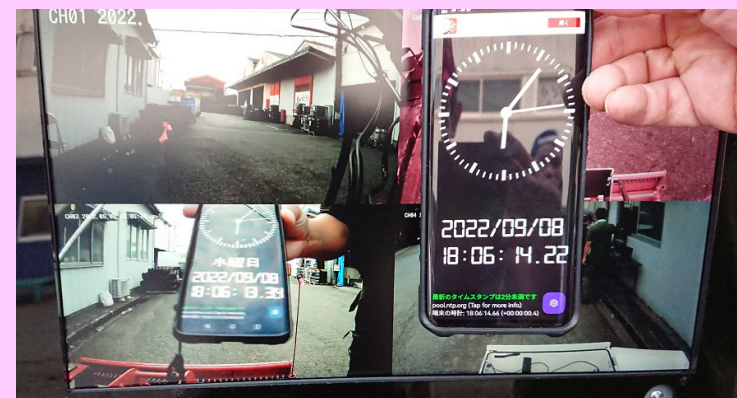
通信速度は、LTEで下り53.7Mbps/上り10.7Mbps、低軌道衛星通信(Starlink)では下り97.3Mbps/上り15.4Mbpsの速度が出ており、林地での低軌道衛星通信の有用性がわかった。

## 遅延測定結果

実施エリア	システム構成	画像遅延時間	通信速度(下り)	通信速度(上り)
キャニコム工場 (うきは市)	Wifiダイレクト	0.25秒		
	LTE	0.64秒	68.4 Mbps	14.5 Mbps
	Starlink	0.50秒	58.3 Mbps	12.0 Mbps
実証現場 (熊本県山都町)	Wifiダイレクト	0.35秒		
	LTE	0.51秒	53.7 Mbps	10.7Mbps
	Starlink	0.61秒	97.3 Mbps	15.4 Mbps

## 遅延測定方法

現時刻とモニタで表示されている時刻との差分で遅延時間を測定。  
通信速度はスマートフォンアプリのスピードテストで測定



モニタ内の時刻

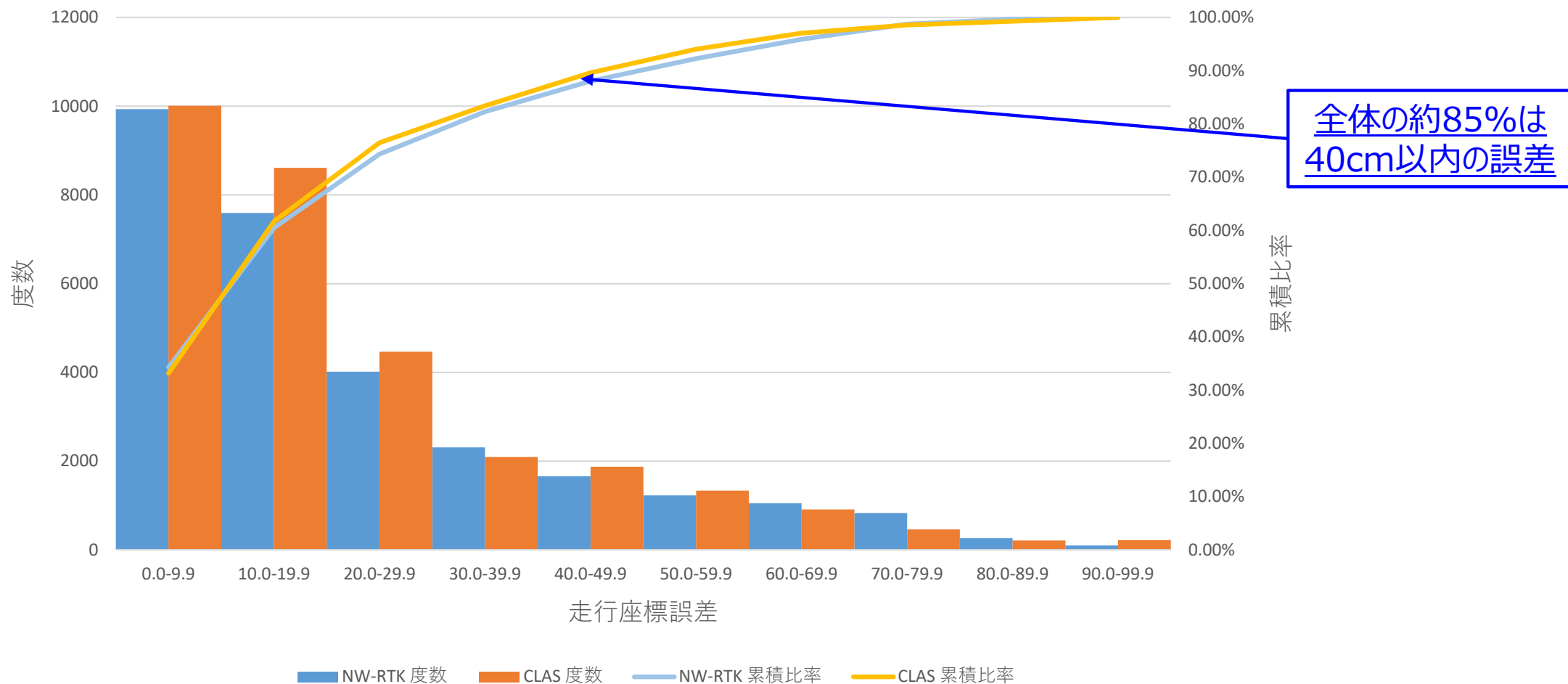
現時刻



実証現場（熊本県山都町）において、計画ルートと走行結果の差異を調べた。

全体の約85%は、40cm以内に収まっている。CLASとNW-RTKの性能比較において、ほぼ遜色は無いが、CLASの方が若干誤差が少ない結果となった。

### データ分布



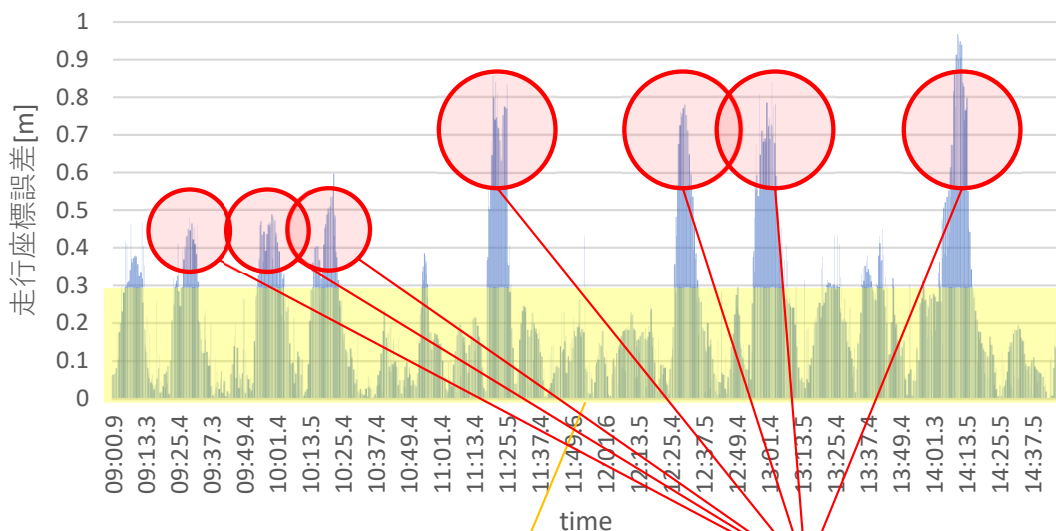
全体の約85%は  
40cm以内の誤差

# 位置測位の誤差が出る場所について

通常時は、自動走行の座標誤差が30cm以内に収まる一方で、転回時に大きくオーバーハングして計画ルートとの座標誤差が大きくなる結果となった。

自動走行座標誤差 一例【構成：Wifi x NW-RTK】

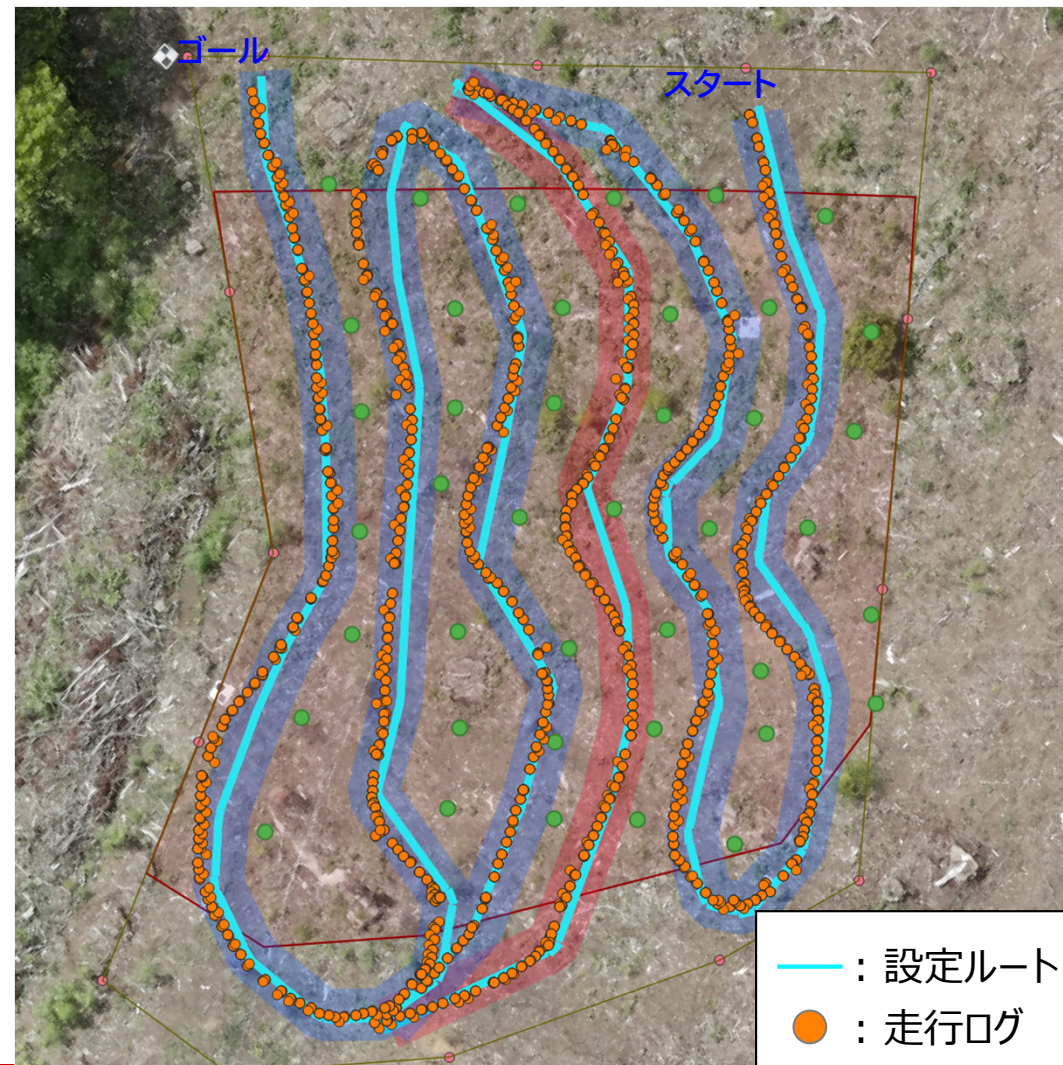
設定ルートと走行ルートの差分\_17



急傾斜の下りでズレが生じる。

旋回を行わない場合には30cm以内に留まっている

自動走行ログ 一例 (Wifi x NW-RTK)



- : 設定ルート
- : 走行ログ

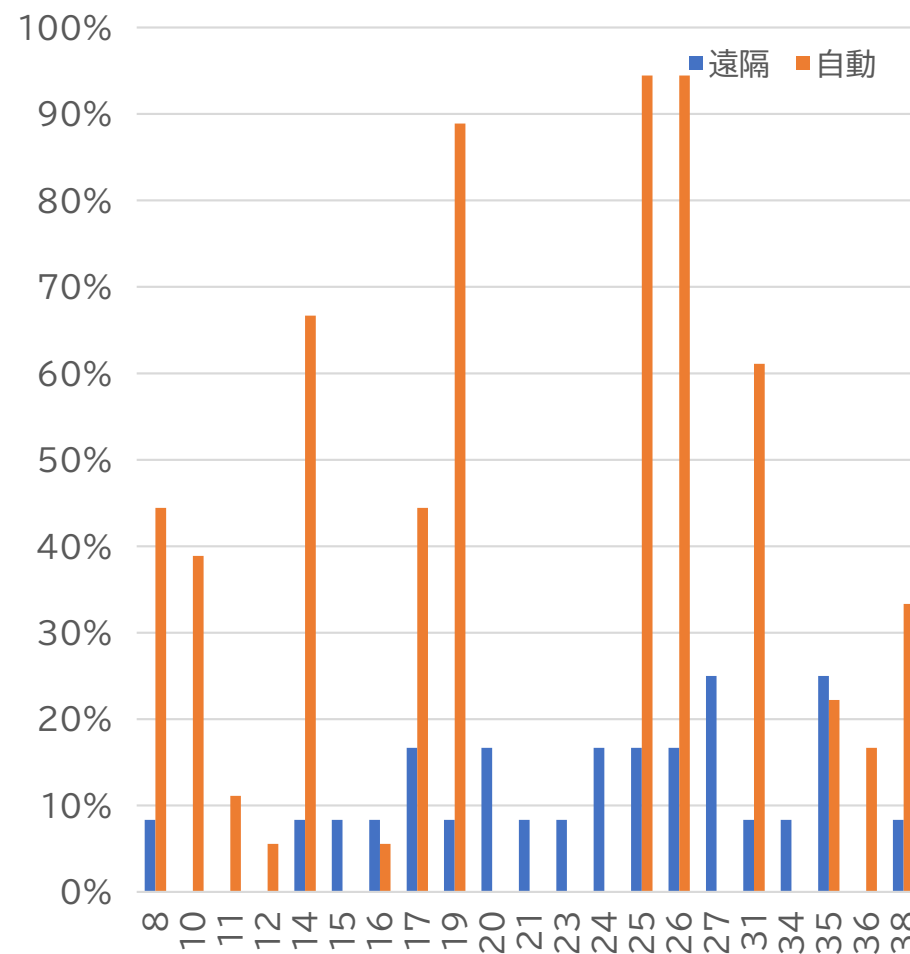
# 植栽への接触について

走行試験時に、ルートチューニングは実施せず。※初期設定情報のみで実施  
 障害物回避等の為、疑似植栽ギリギリに走行ルートを設定している19番、25番、26番は、高頻度で疑似植栽を倒す結果となった。



植栽ルートを疑似植栽ギリギリに設定

接触のあった疑似植栽(平均)



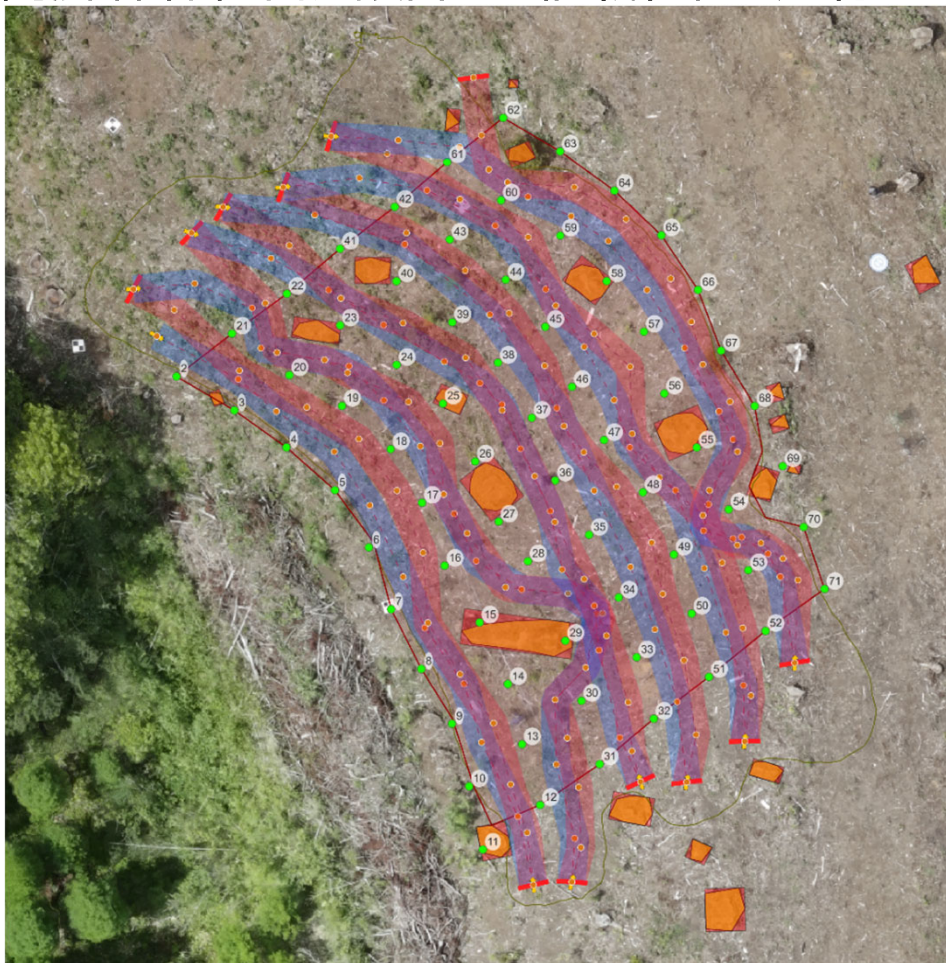
# 第一回実証実験まとめ

現場での走行試験の結果を総括すると以下の通り。  
結論、自動走行時の疑似植栽への接触に対する対応が必要であるとの結果になった。

		自動運転	遠隔操縦	ラジコン	コメント
直線	作業速度	△ 遠隔操縦とほぼ同等	△ 自動運転とほぼ同等	○ 遠隔・自動走行より 1分以上速い	コース設計がシンプルであるほど、 自動運転や遠隔で代用可能
	動作正確性	○ 全走行が9秒以内の 誤差に留まる	○ ラジコントラブル以外にお いて誤差ほぼ無し	— サンプル数が少ない為、 評価対象外	
	障害物回避力	○ 全走行平均の疑似植 栽接触率：0.14%	○ 全走行平均の疑似植 栽接触率：0.1%	○ 全走行平均の疑似植 栽接触率：0%	
つづら 折り	作業速度	○ ラジコンと同タイム。	△ 死角・傾斜への対応と操 作遅延の影響が大きい	○ 遠隔より 2分以上速い	映像遅延なし、画面上の位置情 報と車両位置のラグを減らすこと で改善可能 <b>自動運転時に疑似植栽に当た らない仕掛けが必要</b>
	動作正確性	○ 全走行が9秒以内の 誤差に留まる	△ 走行タイムにバラツキがあ る	— サンプル数が少ない為、 評価対象外	
	障害物回避力	× 全走行平均の疑似植 栽接触率：15.36%	× 全走行平均の疑似植 栽接触率：5.27%	○ 全走行平均の疑似植 栽接触率：0%	

- つづら折りコースにおいて、阿蘇森林組合で実際に行われている植栽方法（等高線に沿って植栽する）で疑似植栽を設置。より下刈り現場の環境に近い形で、走行試験を実施する。
- 走行ログから、面積当たりのカバー率と作業時間を計測。
- 第一回実証において課題となった疑似植栽接触について、苗木衝突回避機能を追加開発して、動作検証を行う。

阿蘇森林組合が設計した植栽位置と走行ルート



植栽間隔 2.5 m  
※ 1 h a : 1,500 本

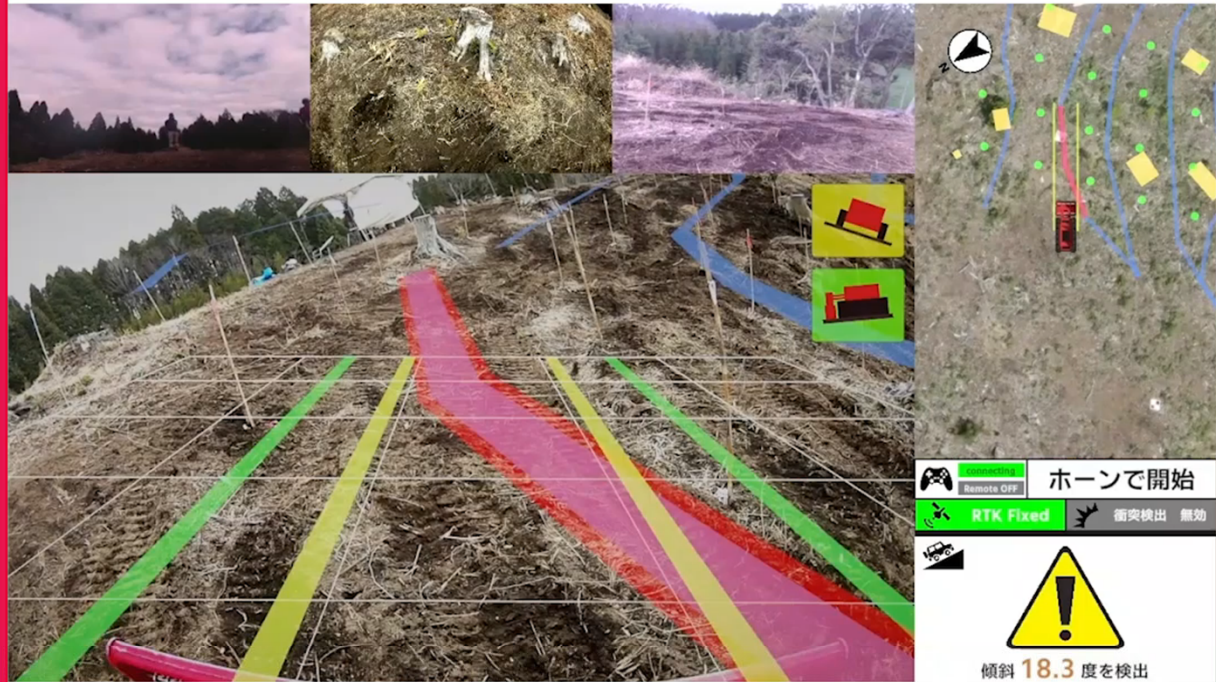
凡例

- 青線：前進
- 赤線：後進
- 緑点：疑似植栽
- 赤点：走行ポイント
- オレンジ：障害物
- 赤細線：作業エリア

## 車体走行映像



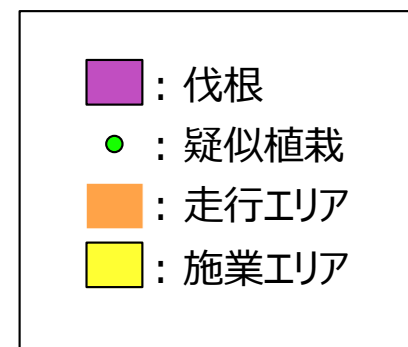
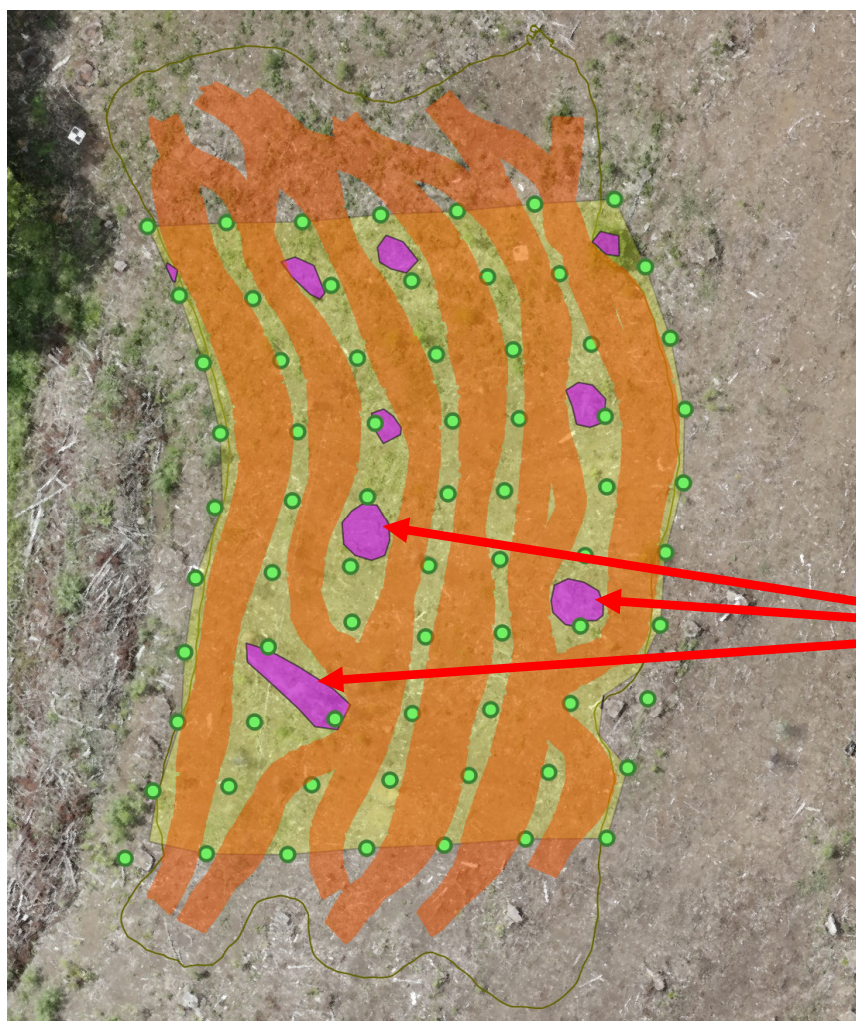
## 運行監視システム画面



# 作業エリアを走行ログから計算

自動走行は3回実施。一回毎に走行ルートの評価を行い、疑似植栽に接触した場所については、走行ルートのチューニングを実施。

作業エリアの全体面積と走行したルート面積から、作業カバー率を計算して、作業効率化の検証を行った。



広葉落葉樹（ケヤキ）の伐根

3回目の走行データ履歴

# 走行実証結果について

疑似植栽ギリギリの走行ラインを設定した結果、傾斜による車体のズレにより、疑似植栽への接触回数は多かったが、ルートチューニングを実施した結果、3回目の走行試験では疑似植栽への接触は0本となった。

※ただし、植栽を避けた為、3回目の作業カバー率は低下した

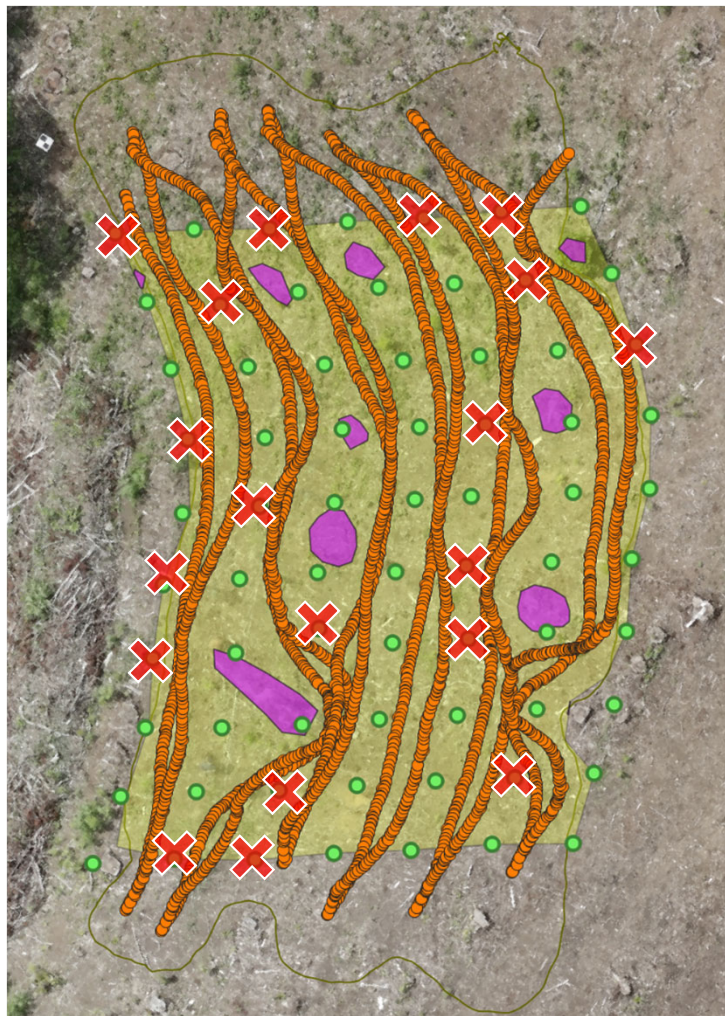
		1回目	2回目	3回目
前提	①作業面積	328.306m <sup>2</sup>		
	②伐根数	9個 (13.955m <sup>2</sup> )		
	③疑似植栽本数	70本		
実施結果	④作業時間	13分33秒	13分38秒	13分59秒
	⑤下刈り面積	213.819m <sup>2</sup>	215.9772m <sup>2</sup>	206.760m <sup>2</sup>
	⑥刈り残し面積	114.487m <sup>2</sup>	112.534m <sup>2</sup>	121.546m <sup>2</sup>
	⑦植栽接触本数	19本/70本	8本/70本	0本/70本
	⑧衝突回避アラート表示回数	93回	92回	91回
数値評価	⑨作業カバー率 ※⑤/①	65.13%	65.79%	62.98%
	⑩1分当たりの作業面積 ※⑤/④	15.78m <sup>2</sup> /分	15.84m <sup>2</sup> /分	14.79m <sup>2</sup> /分



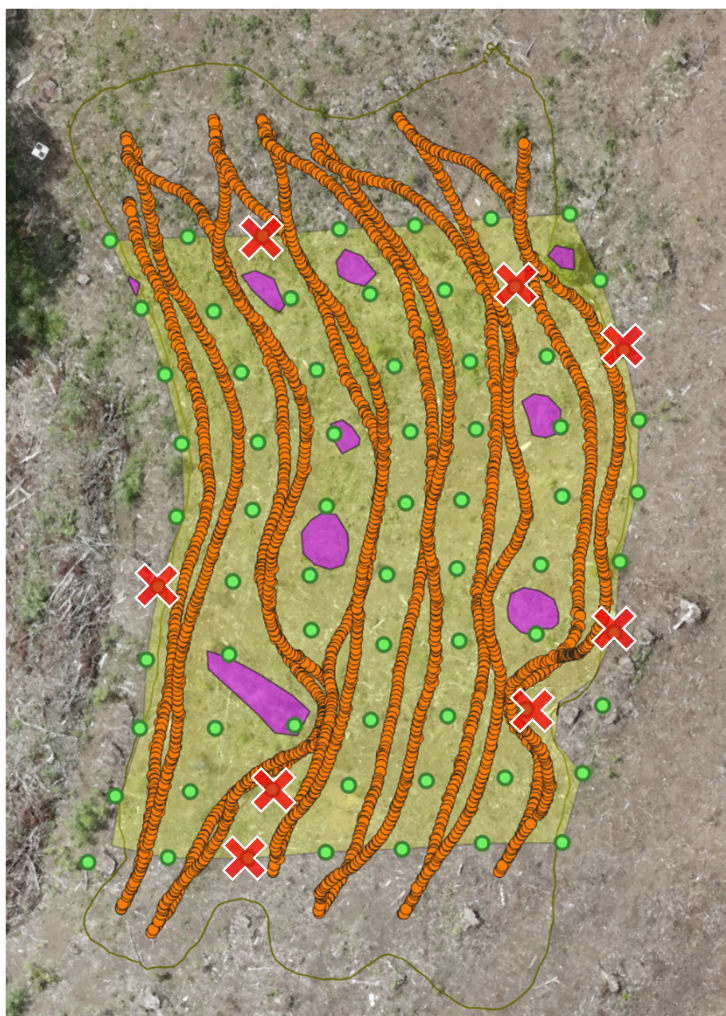
# 【参考】植栽接触回数について

谷筋、または伐根により迂回が必要な場所において、疑似植栽との接触が多かった。

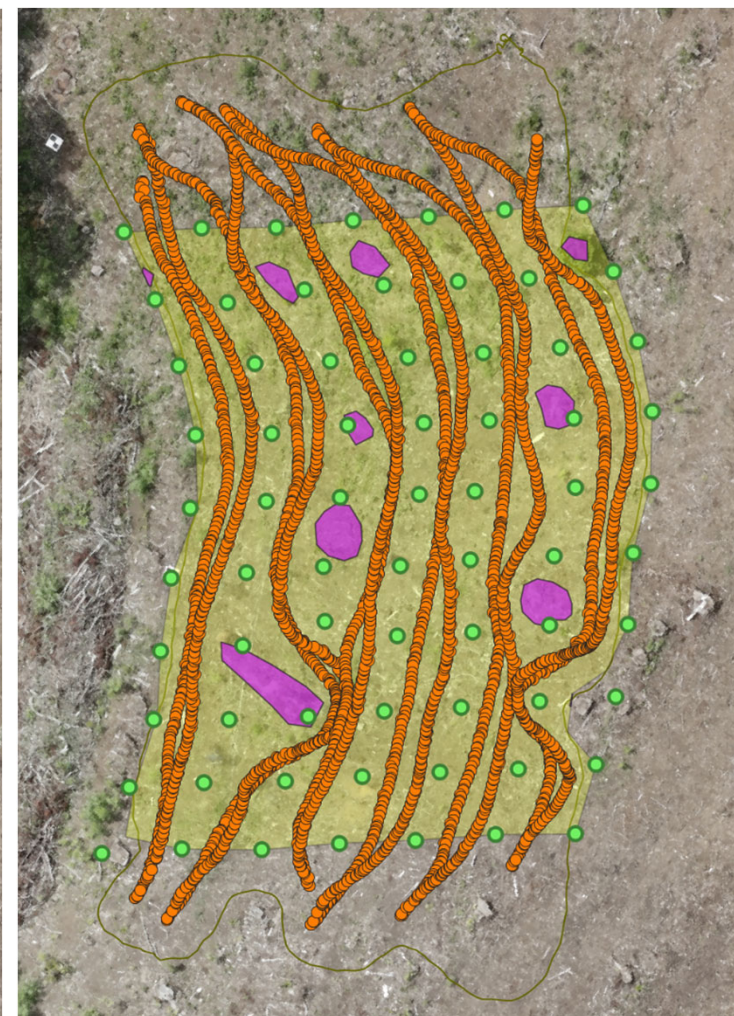
走行1回目



走行2回目



走行3回目



- 紫色 : 伐根
- 黄色 : 作業エリア
- オレンジ : 走行ログ
- 緑 : 疑似植栽
- 赤X : 接触

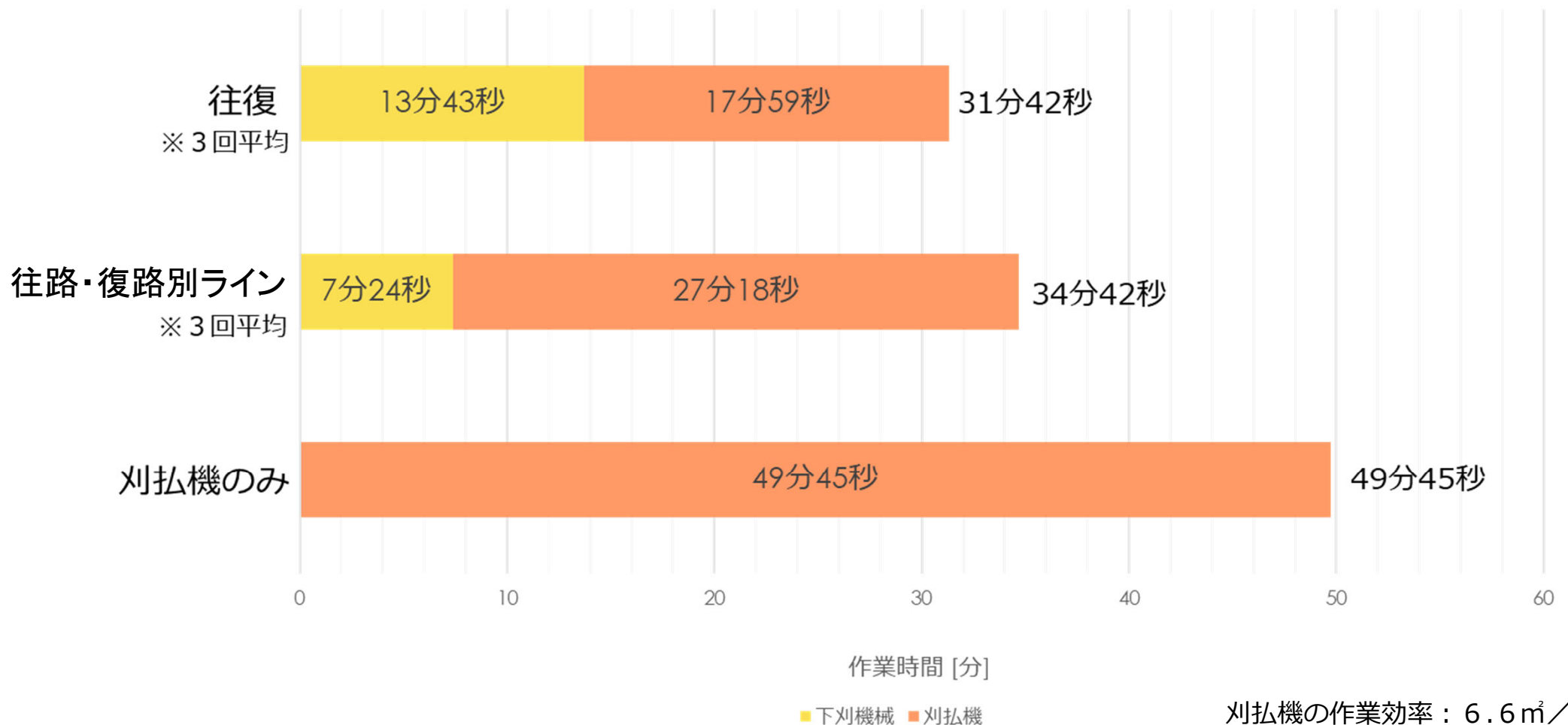
# 走行データによる施業効率のシミュレーション

走行結果に基づき、刈払機のみで実施した場合との作業時間のシミュレーションを実施した。

【※刈払機の作業能率は、昨年度と同様に6.6m<sup>2</sup>/分とした。】

自動走行の刈り残し部分は、刈払機で仕上処理を行う前提とした結果、全面刈払機を使用する場合に比べて、作業時間を2/3に短縮することができる結果となった。

自動走行と刈払機のみで実施した場合の施業効率比較シミュレーション



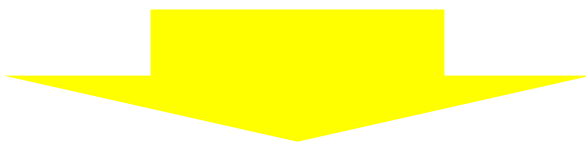
## 今期実証の成果

### 1. 第一回実証実験

- ①位置情報（ネットワークRTK、C L A S）に基づく自動走行・遠隔操縦が可能。
- ②通信サービス（Wi-Fi、LTE、スターリンク）による自動走行・遠隔操縦が可能。
- ③傾斜20度程度の現場であれば、自動走行が可能。
- ④遠隔監視システムにより、目視外から刈り機械の制御を行う事が出来る。
- ⑤システムのルートナビ機能により、視認できない疑似植栽も避けて走行する事が出来る。

### 2. 第二回実証実験

- ①森林組合で検討した低密度植栽（1500本植）においても自動走行を行う事が出来た。
- ②シミュレーションの結果、刈り機による手刈りよりも作業効率の向上が期待できる。



コンソーシアムメンバーの3社（ドコモ、キャニコム、阿蘇森林組合）にて、会議を実施。特に林業現場に一番近い阿蘇森林組合から、実用化に向けた課題点を提示してもらい、今後の方針に関して議論を行った。

## 1. 走行性能の向上

### 【課題点】

**今回の実証試験では緩やかで起伏のない傾斜地での走行テストであったが、実際の現場ではそのような場所は少ない。**複雑な地形に加え、予想できない障害物等もあることから、小さな機体でスムーズな運行が出来るような機体及び足回りが必要となる。

### 【協議内容】

自動運転機能の新規開発を主目的としたため、比較的難易度の低い現場で、刈刃を動かさずに走行のみを実証した。

今後は、様々な林業現場においてフィールド実証実験を行い、走行性能の向上を図るとともに、下刈に作業も含めてよる自動運転を行う予定。

## 2. 植栽密度と伐根の管理

### 【課題点】

今回の実験では、**1, 500本/ha**、正方形植えて**2.5m**間隔にて疑似疑似植栽を設置した。植栽密度を低密度にすることはこれが限界と思われる。

**2.5m**間隔で十分であるが、問題は、**伐根をどのように管理するのか**である。主伐時の伐根の密度は、それ以前の間伐率や時期、伐根の腐朽状況により様々であり予測できない。**必要最小限の伐根数を“山もつとモット”で処理することが良いと考える**が、費用対効果を考慮して今後検証を行う必要がある。

### 【協議内容】

今回開発している下刈機械だけでの下刈り作業の自動化は難しく、地拵え時に「山もつとモット」等の多目的造林機械による整地は必要である。

ただし、すべての伐根を処理すると作業時間及び労力が膨大になる事から、最適な伐根処理と植栽計画の策定手法をフィールド実証にて検証し、下刈り機械の自動運転を可能としたい。

## 3. 疑似植栽や伐根等の位置情報取得方法

### 【課題点】

今回の事業では、**疑似植栽や伐根等の位置情報取得が前提となる**。これを林業事業体が簡単に素早く出来なければ実際に植栽する林業従事者に金銭的な負担がかかり、普及は困難である。

事前に位置情報を取得してそれに合わせて**植栽位置を探索して植える**方法と、**植栽時点で位置情報を取得**しデータを保存する方法の2種類があると考えられる。どちらが実用的であるかを検証する必要がある。また、危険箇所等の位置情報取得も必要。

### 【協議内容】

今回の自動走行開発は、疑似植栽や伐根等の位置情報取得が前提の実証であった。

事前にGIS上で植栽位置情報を決めてから、取得してそれに合わせて植栽位置を探索して植える方法と、当初ドローン画像の解析により位置情報取得する事を考えていたが、植付一年目の疑似植栽に関しては、空撮画像からのAI画像解析は難しいと思われる。AI学習データが蓄積できれば、将来可能性になるかもしれないが、現時点では植栽位置を個々に取得する必要がある。今後、穴掘り作業時のデータ取得やドローン空撮とも組み合わせて、簡単に位置情報を取得する方法を検討していきたい。

## 4. セットアップから稼働まで（遠隔操作）

### 【課題点】

事前の疑似植栽の位置情報取得から下刈機械の運搬・起動、**パソコン画面の起動、機械運行操作まで、一連のソフトが必要**であるが、現在森林管理のため使用しているGISとの情報共有や遠隔操作のためのデータ連携ができると将来的に便利であり、活用範囲も広がる。

ARナビゲーションについて、現状は画面を見ながらの作業となるが、夏場の光環境や現場の繁茂状況により疑似植栽の識別は非常に難しい。**疑似植栽の仮想可視化（ナビ画面で疑似植栽の位置を示す）**も検討すべきである。また、疑似植栽への接近は、接触とともに根系を痛める（機械重量による圧迫）ことになるので注意が必要。

### 【協議内容】

林業従事者が起動から運行までの一連の作業を簡易に行えるソフトウェアは必要不可欠であり、ユーザが設定できる機能なども早急に開発する予定である。

AR障害物表示については、疑似植栽の誤伐削減に対して効果は大きいと考えられるが、カメラの性能だけでなくリアルタイム性なども合わせて検討する必要がある、現時点においては開発のハードルは高い。

## 4. セットアップから稼働まで（自動運転）

### 【課題点】

走行ルートを決めることは、現地を把握した者がいることが必要であり、また、その走行ルートを簡単にデータ化する**走行ルート生成ソフト**は必須である。

横転や燃料切れ等のトラブルが発生した場合、現場対応や再稼働しなければならず、現地での運行とトラブル発生時の**対処方法マニュアル**が必要である。

### 【協議内容】

林業従事者が自らルート設定を行える運行管理ソフトウェアの開発を進めたい。

また、フィールド試験を進めつつ、様々なトラブル事例を蓄積して、マニュアル化を図り、安全運行に向けた基準を策定していきたい。



# 検討委員会での最終報告の実施

本実証結果を1月25日の第4回検討委員会にて報告。委員メンバ、オブザーバーを含めて、実証成果に関する議論を行う。



コンソーシアムメンバ以外の参加者

	所属先（氏名は削除）
委員メンバ	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
	国立大学法人 東京大学 大学院農学生命科学研究科
	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 森林研究本部
オブザーバー	林野庁
	一般社団法人 林業機械化協会

# 報告に関する委員等からの意見及びまとめ

- ・疑似植栽や伐根の位置把握、植栽密度、植栽方法、下刈方法、伐採時の木の品質まで考慮して、トータルで考えて機械化する必要がある。
- ・自動走行のルート設定に関して、一からすべてを林業従事者が設定する事は難しいと思われる。農業分野での自動走行に関してもルート設定は難儀している。傾斜や伐根位置から、苗木に接触しないルートを自動生成する技術を開発していく必要がある。
- ・疑似植栽の仮想可視化をARナビ画面に反映することができれば、人間の目視による下草と疑似植栽の判別よりも遠隔操作の方が正確に判断でき、疑似植栽の誤伐が飛躍的に少なくなると考えられる。
- ・一度セット（位置情報と走行ルート）したら、数年間はその情報で下刈りを行えば良く、その後の間伐作業や50年後の主伐作業まで、一連のサイクルでも使用可能な情報となり、データに基づく機械化森林作業が実現できる。その第1歩がこの下刈機だと思います。
- ・すべての課題を一度にやる事は難しいと思う。各課題に優先順位をつけて行きながら、下刈り自動化が現場普及していくようにしていくべき。

## 今後の進め方について

様々な林地現場にて、下刈りの自動化の検証を行い、自動運転に最適な施業に関して探求していく。

あなたと  
世界を  
変えていく。

ご清聴ありがとうございました

NTT  
docomo