

令和5年度

林業イノベーション推進

I C T 生産管理システム等実証業務

報 告 書

令和6年4月

富山県

富山県林業イノベーション推進協議会

目 次

序章	はじめに	1
1	実証事業の目的と概要	1
第1章	スマート林業技術等の実用化の検証及び技術検証	8
第1節	3Dwalkerを使用した地上レーザによる森林内計測の実証	8
1	目的	8
2	実証方法と実証地	8
3	実証結果と検証	14
4	現場への実装方法	27
第2節	林業フィールド通信網の実証 [低軌道衛星]	29
1	目的	29
2	実証地と実証方法	29
3	実証結果と検証	36
4	現場への実装方法	44
第3節	林業フィールド通信網の実証 [GEO-WAVE]	46
1	目的	46
2	実証地と実証方法	46
3	実証結果と検証	53
4	現場への実装方法	54
第4節	林業フィールド通信網の実証 [ヤマシスト]	56
1	目的	56
2	実証地と実証方法	56
3	実証結果と検証	61
4	現場への実装方法	69
第5節	カラーマーキング機能等付ハーベスタの実証	72
1	目的・内容	72
2	実証の方法、準備	72
3	実証結果と検証	75
4	現場への実装方法	82
第6節	丸太検知アプリの実証	85
1	目的	85
2	実証地、実証方法等	85
3	実証結果と検証	87
4	現場への実装方法等	91

第7節	オーガ付苗運搬機の実証.....	93
1	目的・内容	93
2	実証地と実証方法.....	94
3	実証成果の取りまとめ.....	96
4	課題等の整理.....	98
第8節	タワーヤードを使用した架線系集材の実証.....	99
1	目的.....	99
2	実証地と実証方法.....	99
3	実証結果.....	103
4	今後の検討課題	103
第9節	ドローンを活用した森林資源調査.....	105
1	業務概要.....	105
2	作業内容.....	106
3	各手法による成果データの比較.....	123
4	まとめ.....	127
5	成果品一覧	129
第2章	現場への実装について.....	130
1	実証事業で明らかになった効果等	130
2	現場での実装方法と課題等.....	134
	令和5年度 ICT生産管理システム等実証事業の結果【概要版】	138
第3章	富山県林業イノベーション推進協議会の運営	141
1	協議会等の開催概要	141

序章 はじめに

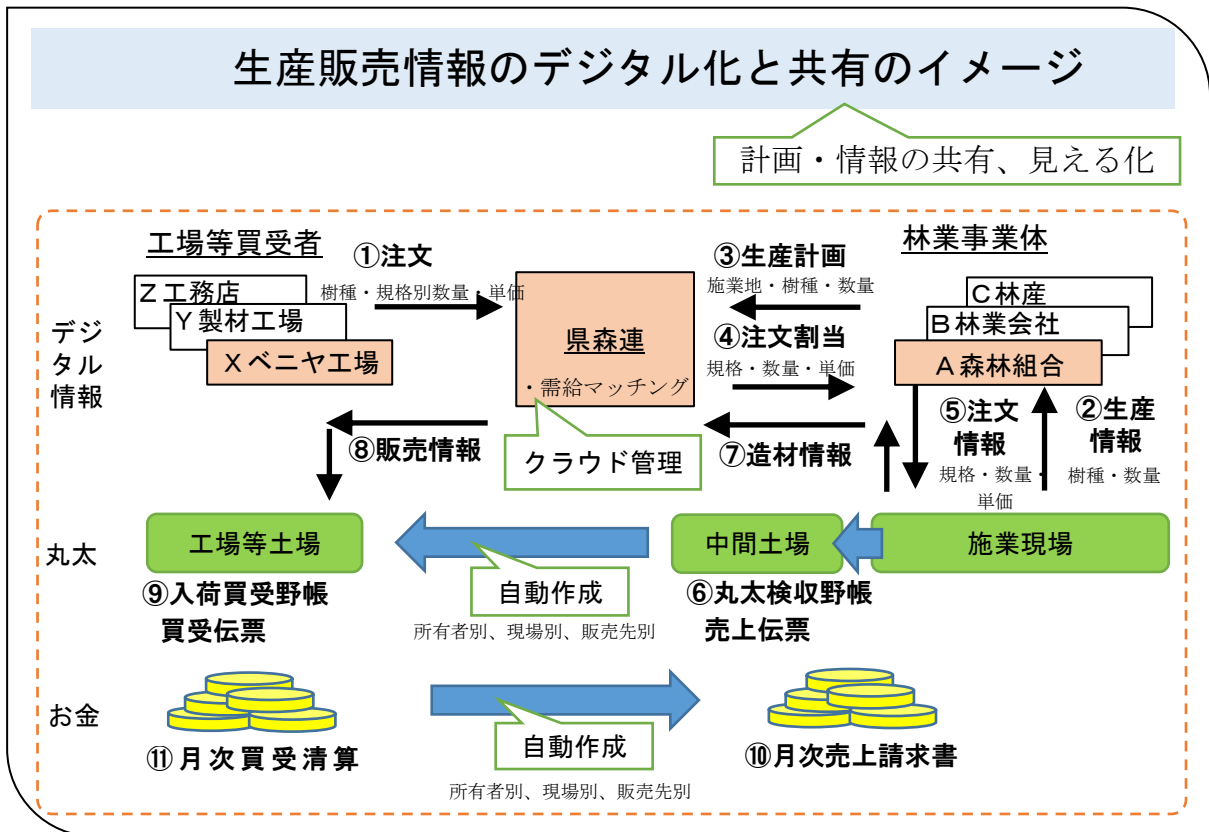
1 実証事業の目的と概要

(1) 実証事業の目的

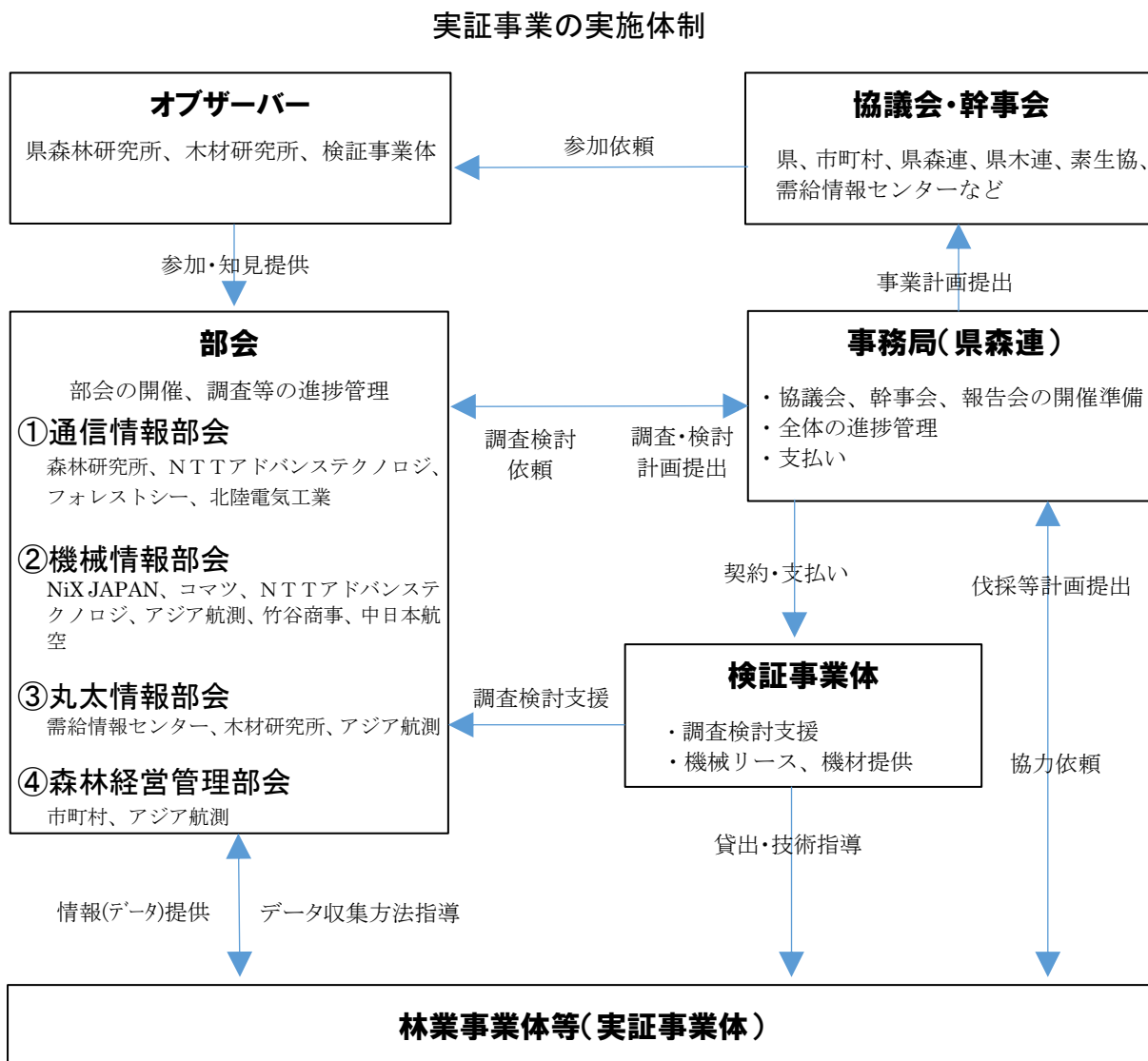
県内の人工林は本格的な主伐期を迎えており、今後、こうした森林から木材を生産するためには、林業の担い手の確保、作業の効率性と安全性の向上、県産材の流通の円滑化等の諸課題に対応する必要がある。これらの課題の解決のためには、地理空間情報の高度な活用や近年目覚ましい発展を遂げているICT等の先端技術を積極的に活用した林業イノベーションに取り組むことが不可欠である。

こうしたことを踏まえ、森林・林業・木材産業等の関係者からなる「富山県林業イノベーション推進協議会」において、スマート林業機器等を段階的に実証し、県内の林業事業者等へのスマート林業の普及を進める。

また、この取り組みを通じ、市町村が行う森林経営管理などによる森林整備を支援する。



(2) 実証事業の実施体制



(3) 実証内容

① 地上レーザの実証

地上レーザを用いた森林資源調査の効率化・精密化の実証

内 容	実証項目
「バックパック型レーザスキャナ (BLS 式)」を活用し、三次元点群データを取得し、そのデータの精度について検証	①現地踏査 ②地上レーザによる計測 ③三次元点群情報作成 ④点群データの解析 ⑤造材データの作成

② 林業フィールド通信網の実証

携帯電話圏外の林業フィールドにおける通信網の確立技術・適用機器の実証

内 容	実施項目
携帯電話圏外の林業フィールドにおける通信網を確立するため、実現可能な通信機器の検討・実証	①自営通信網機器の適用検討と実証 [R4] ②衛星携帯電話網の実証 [R4] ③低軌道衛星によるインターネット接続の適用条件の検討と実証 [R5] ④LPWA 通信による緊急時等の連絡体制の検討と実証 [R5]

③ カラーマーキング機能等付ハーベスタの実証

仕分け作業の効率化と機械内データの適時送信技術の活用方法の実証

内 容	実施項目
カラーマーキング機能等付ハーベスタによる造材の仕分け作業の効率化、造材データの適時送信技術の活用について検証	①伐採した丸太情報、位置情報、仕分け（カラーマーキング）情報の収集 ②マーキングによる仕分け作業等の作業時間の計測、仕分け精度の検証 ③適時送信される造材データの活用方法の検討

④ 丸太検知アプリの実証

丸太検知アプリによる検尺作業の省力化の実証

内 容	実施項目
スマートフォンの画像検知システムによる素材生産現場での検尺作業の効率化・省力化を検証	①丸太検知アプリによる検尺時間の計測、精度の検証 ②納材時の計測データの活用に向けた関係者との合意形成

⑤ オーガ付き苗運搬機の実証

植栽作業の効率化の実証

内 容	実施項目
オーガを備えた電動苗運搬機による植栽作業の効率化や労働負荷軽減効果を検証	①人力とオーガ付き苗運搬機による植栽作業の作業時間、労働負荷の計測

⑥ タワーヤーダを使用した架線系集材の実証

急傾斜地等での木材生産の実証

内 容	実施項目
路網開設が困難な急傾斜地等でのタワーヤーダを活用した木材生産を検証	①タワーヤーダを活用した木材生産の作業時間、生産性の計測

⑦ ドローンを活用した森林資源調査

森林資源調査の効率化の実証

内 容	実施項目
ドローンで撮影した画像やレーザースキャンしたデータを活用した森林資源調査を検証	①ドローンにより、立木の位置や樹幹等の計測 ②画像とレーザースキャンデータの解析 ③直径、材積の算定、広葉樹の樹種判定

(4) 実証事業の概要



(5) 実証事業の実施箇所

1) 令和4年度

①地上レーザ、②林業フィールド通信網、③カラーマーキング機能等付きハーベスタ

	所在地	標高	施業内容・面積	実証事業体
1	黒部市下立地内	150m～200m	主伐 2.1ha	新川森林組合
2	南砺市利賀村上百瀬地内	1,000m～1,150m	主伐 6.1ha	㈱島田木材

④丸太検知アプリ

NO	所在地	標高	施業内容・面積	実証事業体
1	高岡市福岡町上向田地内 (富山県西部森林組合 [中間土場])	30m	—	富山県西部森林組合

⑤オーガ付き苗運搬機

NO	所在地	標高	施業内容・面積	実証事業体
1	魚津市東城地内	550m～560m	再造林 0.23ha	新川森林組合

2) 令和5年度

①地上レーザ

NO	所在地	標高	施業内容・面積	実証事業体
1	魚津市三ヶ地内	280m～300m	主伐(予定) 6ha	㈱竹谷商事
2	氷見市万尾地内	40m～50m	主伐 4ha	富山県西部森林組合

②林業フィールド通信網

NO	所在地	標高	施業内容・面積	実証事業体
1	富山市八尾町獵師ヶ原地内	370m～380m	間伐 6.8ha	婦負森林組合

③カラーマーキング機能等付きハーベスタ

NO	所在地	標高	施業内容・面積	実証事業体
1	南砺市利賀村上百瀬地内	1,000m～1,150m	主伐 6.1ha	㈱島田木材
2	氷見市万尾地内	40m～50m	主伐 4ha	富山県西部森林組合
3	小矢部市了輪地内	30m	主伐 3.8ha	富山県西部森林組合

④丸太検知アプリ

NO	所在地	標高	施業内容・面積	実証事業体
1	高岡市福岡町上向田地内 (富山県西部森林組合 [中間土場])	30m	—	富山県西部森林組合

⑤オーガ付き苗運搬機

NO	所在地	標高	施業内容・面積	実証事業体
1	南砺市上田地内	445m～451m	再造林 0.07ha	富山県西部森林組合
2	富山市婦中町大瀬谷地内	131m～145m	再造林 0.12ha	婦負森林組合

⑥タワーヤード

NO	所在地	標高	施業内容・面積	実証事業体
1	富山市原地内 (県営林)	550m～600m	主伐 0.16ha	飛騨市森林組合

⑦ドローン

NO	所在地	標高	施業内容・面積	実証事業体
1	小矢部市 地内	80m～90m	主伐 5.0ha	中日本航空(株)

第1章 スマート林業技術等の実用化の検証及び技術検証

第1節 3Dwalker を使用した地上レーザによる森林内計測の実証

(関竹谷商事)

1 目的

森林の測量、調査業務を効率化、省力化するとともに、森林資源を数値化することにより、林業マーケットの成長に繋げる。

2 実証方法と実証地

(1) 概要

本業務では、3Dwalker を使用して森林資源の計測を行い、計測データの解析を行い、素材生産量等を把握する。作業フローを以下に示す。



【具体的な作業手順】

① 3Dwalkerによる計測

背負式の3Dレーザスキャナ(Paracosm社のPX-80)を用い、森林内を歩いて計測。データ容量の観点から1回の計測を10分程度とし、また歩行ピッチを10～15mにて計測を実施した。

② 点群情報の作成

計測後にスキャナの内部にて後処理解析を行い点群データが生成される。計測データごとにスキャナ内のアプリケーションにより自動処理が行われる。所要時間は計測時間の約4倍となる。

③ Digital Forestでの解析

②にて生成された点群データごとにDigital Forestにて単木抽出処理を実施。抽出された単木には5cm刻みでリングデータが生成され、直径、樹高、矢高、材積のデータが数値化される。

④ 造材データの作成

Digital Forestの造材シミュレーション機能より、単木毎の最適な造材データを作成。直、小曲、大曲と事前に矢高の範囲を設定することで自動的に処理される。

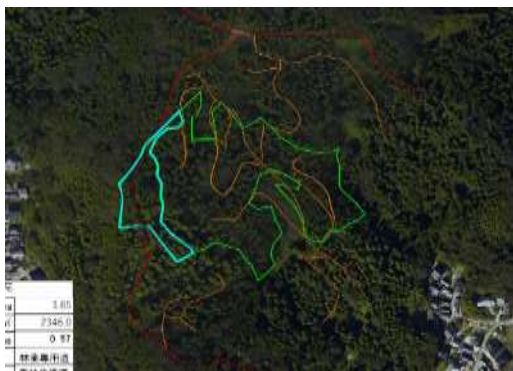
⑤ 毎木調査票の作成

④で生成されたExcelのリストを用い、所定のフォーマットにデータを加工。

(2) 実証地

県内2カ所約10ha

① 氷見市万尾 (約4ha)



② 魚津市三ヶ (約6ha)



(3) 実証方法

1) 日程

① 氷見市万尾（約4ha）

実施日 2023年8月7日(月)から8月9日(水)

- ・8月7日(月) 8月7日(月) 午後から現場下見として現地踏査とドローンによる現場上空からの測量
- ・8月8日(火) 8時から15時 3Dwalkerによる地上レーザ測量
- ・8月9日(水) 8時から12時 3Dwalkerによる地上レーザ測量

② 魚津市三ヶ（約6ha）

実施日 2023年8月10日(木)、9月11日(月)から9月13日(水)

- ・8月10日(木) 現場下見として現地踏査とドローンによる上空からの測量
- ・9月11日(月) 8時から15時 3Dwalkerによる地上レーザ測量
- ・9月12日(火) 8時から15時 3Dwalkerによる地上レーザ測量
- ・9月13日(水) 8時から12時 3Dwalkerによる地上レーザ測量

2) 計測

① 下見

- ・現場の下見を行い、林内の境界や歩行コースを実際に歩行して確認することを目的とする。
- ・歩行時には、GNSS タブレットを携帯し、タブレット端末内にあらかじめ準備した現地の境界が示された地図を取り込んでおく。
- ・歩行コースの軌跡を端末の地図上に残す。これにより、測量時に測定エリアの境界内をスムーズに歩行することができるとともに、測量の精度を上げるための歩行コースを意識することができる。
- ・下見時に記録した歩行軌跡をもとに実際の測量を行い、測量時も歩行した軌跡を残す。



(下見の様子)



留意点は以下のとおり。

- ・測定エリアの把握。
- ・取得するデータ量を考慮すると、1回の計測が10分程度になるエリアを歩行することが望ましく、下見完了後は測量エリア内を10分程度で計測できるエリア分けを行う。また漏れなくデータを取得するために、3Dwalkerの半径10m程度の間隔を空けた歩行ルートを作成するためのイメージを持つ。
- ・地図だけでは分からない現場環境や境界の確認、作業道の位置の確認と実際の測量時の歩行目安となる歩行軌跡を確認。

② 計測

- ・3Dwalker 機材の電源を入れて、計測できる状態であることを確認する。
- ・歩行コースは約10分で収まるようにナビゲーターと3Dwalkerを背負う計測者で歩行ルートを確認し合い、ナビゲーターが下見時に確認した歩行軌跡をもとに歩行する。ナビゲーターの後方を計測者が追うように歩行する。

【作業員の構成】

測量人員は2名で実施（①氷見と②魚津ともに同じ人員で計測）

- ・3Dwalkerを背負う者 1名
- ・GNSSタブレットで測量境界内をナビゲートして歩行する者 1名

※ドローン使用時はドローン操縦人員を1名追加

氷見地区は、地形が複雑で、地上レーザ計測にとっては非常に困難であったが、魚津地区は地形が平坦かつ整備が行き届いており、歩行を妨げるストレスが少なく計測することができた。これは、結果にも現れており、計測環境の優劣が左右されることも改めて確認できた。

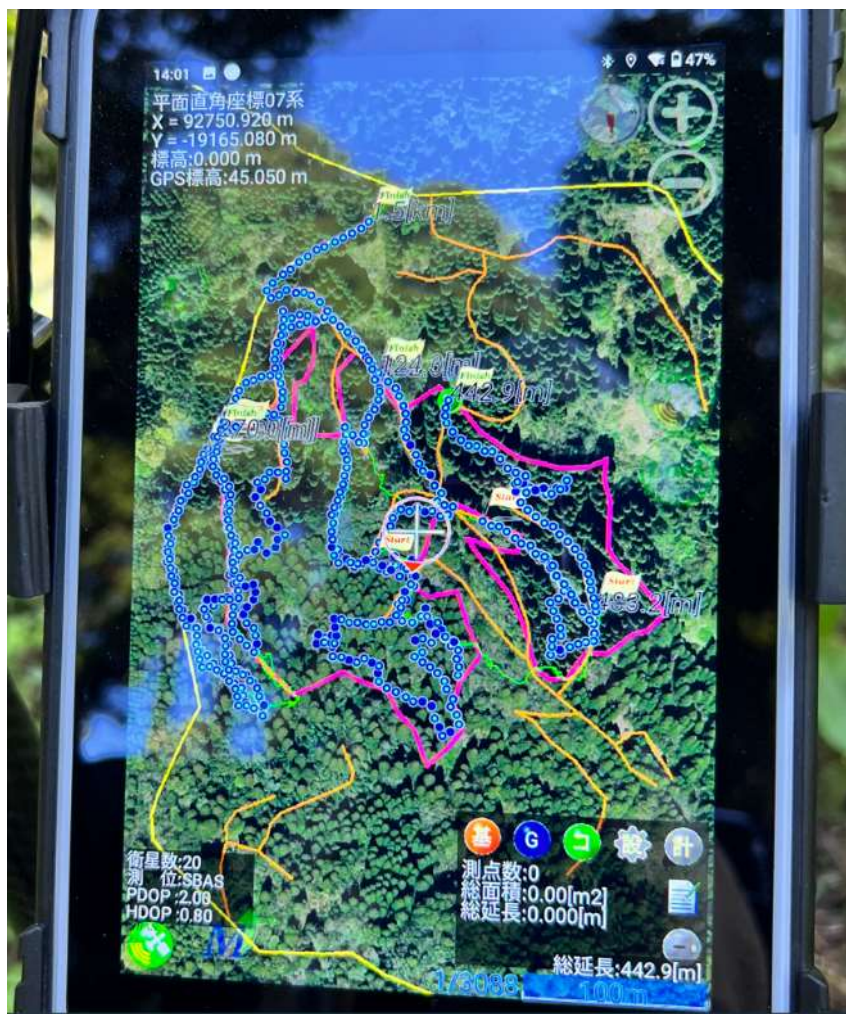
補足：氷見地区を計測した8月上旬は40℃を超える記録的猛暑となった時期であり、機材を背負って歩く作業は想像を絶するものであった。



(レーザー部分)



歩行計測風景



歩行軌跡は青丸で示されている

③ 使用機材

- ・ 高性能 GNSS タブレット P8H 一式
- ・ 背負式レーザースキャナー 3Dwalker

3 実証結果と検証

(1) 実証結果

1) 点群データ

① 氷見市万尾（約4ha）



② 魚津市三ヶ (約6ha)



2) 立木の抽出

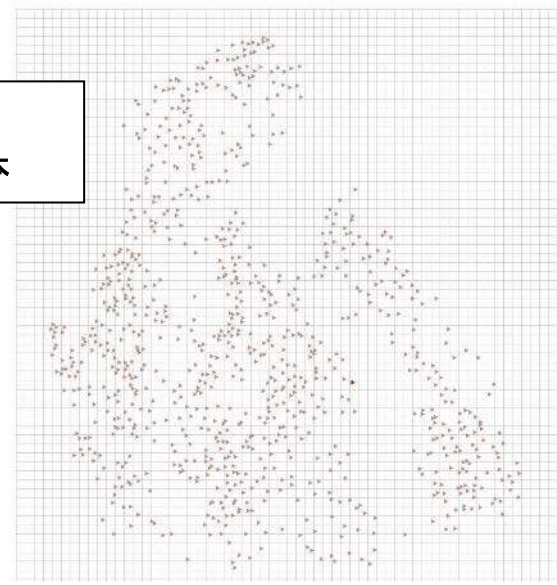
【単木の座標、直径、樹高、材積、矢高などのデータと立木位置図】

富士県氷島市 解析結果表示【地ノ森893】

DBF 材料: 木高 色: 赤 測量設定: 2013/9/19 座標変換

No	X	Y	直径	樹高	材積	矢高	傾斜	方位	外	内
1652	674	427	70.0	23.0	3.77	0.07	0	186	0	0
1653	674	427	58.0	33.8	2.15	0.04	0	208	0	0
1657	674	427	82.6	22.2	6.91	0.08	0	106	0	0
1658	674	427	40.6	24.8	1.34	0.06	0	234	0	0
1659	674	427	50.8	13.0	2.37	0.04	0	246	0	0
1659	674	427	82.8	27.5	2.75	0.02	0	74	0	0
1662	674	427	65.4	27.4	5.03	0.06	0	286	0	0
1663	674	427	64.0	33.2	5.23	0.06	0	340	0	0
1664	674	427	56.7	19.0	3.38	0.04	0	176	0	0
1667	674	427	40.2	27.4	3.21	0.08	4	125	0	0
1668	674	427	45.8	13.6	1.23	0.04	0	212	0	0
1672	674	427	61.8	23.8	3.15	0.06	0	112	0	0
1673	674	427	47.0	19.6	1.25	0.02	0	104	0	0
1674	674	427	45.0	23.6	1.71	0.02	0	90	0	0
1678	674	427	65.6	34.5	4.23	0.06	0	367	0	0
1677	674	427	56.0	29.1	3.29	0.08	0	297	0	0
1678	674	427	44.3	17.0	1.38	0.08	0	206	0	0
1679	674	427	61.8	33.9	4.93	0.08	0	387	0	0
1682	674	427	66.8	33.0	11.99	0.08	0	81	0	0
1684	674	427	62.0	13.2	2.49	0.06	0	226	0	0
1689	674	427	39.3	37.0	2.57	0.02	0	124	0	0
1689	674	427	62.8	29.6	4.56	0.04	0	367	0	0
1703	674	427	66.0	23.5	4.11	0.00	0	256	0	0
1704	674	427	47.2	23.8	1.42	0.00	0	106	0	0
1708	674	427	56.6	30.6	3.59	0.04	0	276	0	0
1712	674	427	53.6	22.5	1.92	0.08	0	156	0	0
1713	674	427	63.3	25.9	2.35	0.02	0	172	0	0
1721	674	427	71.1	23.6	4.52	0.02	0	201	0	0
1722	674	427	54.0	22.0	2.39	0.04	0	112	0	0
1723	674	427	69.5	24.6	6.53	0.04	0	177	0	0
1724	674	427	67.8	22.4	4.47	0.10	0	240	0	0
1725	674	427	61.0	32.7	3.37	0.07	0	236	0	0
1728	674	427	54.0	31.0	3.16	0.06	0	267	0	0
1727	674	427	71.1	22.7	4.97	0.04	0	274	0	0
1728	674	427	66.8	19.2	4.35	0.02	0	144	0	0
1728	674	427	66.2	23.6	2.50	0.10	0	276	0	0
1732	674	427	46.4	21.6	2.33	0.00	0	166	0	0
1737	674	427	50.8	22.7	2.03	0.04	0	185	0	0
1738	674	427	50.0	28.5	3.78	0.00	0	127	0	0
1739	674	427	60.6	37.5	4.25	0.08	0	287	0	0
1742	674	427	58.6	23.4	2.12	0.02	0	182	0	0
1747	674	427	62.6	22.9	2.12	0.00	0	116	0	0

氷見 解析結果
立木抽出 893 本

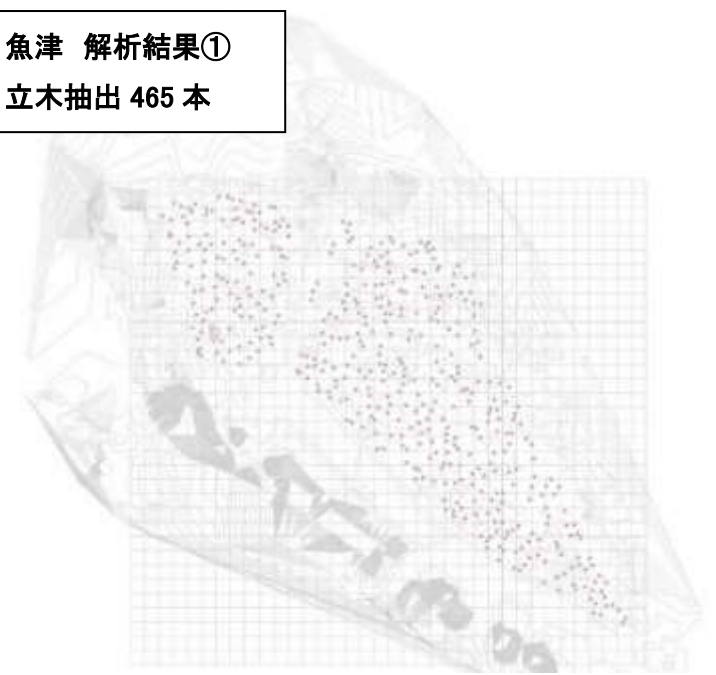


富士県魚津市 解析結果表示【地ノ森465】

DBF 材料: 木高 色: 赤 測量設定: 2013/9/19 座標変換

No	X	Y	直径	樹高	材積	矢高	傾斜	方位	外	内
1	704	406	44.8	22.7	1.59	0.00	0	227	0	0
2	704	406	36.8	22.2	2.23	0.00	0	225	0	0
3	704	406	49.0	17.1	1.82	0.00	0	208	0	0
4	704	406	36.4	25.4	1.37	0.00	0	249	0	0
5	704	406	54.2	22.2	1.49	0.00	0	193	0	0
6	704	406	46.2	21.6	1.78	0.00	0	222	0	0
7	704	406	38.2	23.1	1.88	0.00	0	204	0	0
8	704	406	33.0	22.0	1.27	0.00	0	227	0	0
9	704	406	34.6	22.2	0.98	0.00	0	224	0	0
10	704	406	39.2	22.2	0.89	0.00	0	187	0	0
11	704	406	28.4	17.7	2.04	0.00	0	196	0	0
12	704	406	42.0	22.1	1.11	0.00	0	229	0	0
13	704	406	45.4	22.2	1.71	0.00	0	237	0	0
14	704	406	44.0	22.0	1.70	0.00	0	229	0	0
15	704	406	45.0	22.2	1.78	0.00	0	227	0	0
16	704	406	28.2	15.4	2.08	0.00	0	181	0	0
17	704	406	45.0	22.0	1.42	0.00	0	222	0	0
18	704	406	34.4	22.2	0.98	0.00	0	188	0	0
19	704	406	44.8	22.6	1.53	0.00	0	221	0	0
20	704	406	44.8	24.3	1.82	0.00	0	260	0	0
21	704	406	36.2	14.6	1.00	0.00	0	173	0	0
22	704	406	44.2	24.1	1.32	0.00	0	200	0	0
23	704	406	49.4	22.2	2.12	0.00	0	229	0	0
24	704	406	42.2	17.7	1.89	0.00	0	183	0	0
25	704	406	30.0	22.0	1.17	0.00	0	206	0	0
26	704	406	42.0	22.2	0.88	0.00	0	200	0	0
27	704	406	38.0	22.2	1.10	0.00	0	200	0	0
28	704	406	34.6	22.2	0.94	0.00	0	225	0	0
29	704	406	42.0	22.2	1.42	0.00	0	215	0	0
30	704	406	47.4	22.2	1.88	0.00	0	187	0	0
31	704	406	42.2	22.9	1.46	0.00	0	234	0	0
32	704	406	35.0	14.7	0.92	0.00	0	223	0	0
33	704	406	37.8	24.4	1.19	0.00	0	226	0	0
34	704	406	39.0	23.0	1.14	0.00	0	271	0	0
35	704	406	27.0	18.0	0.84	0.00	0	158	0	0
36	704	406	42.0	21.3	1.21	0.00	0	220	0	0
37	704	406	39.2	14.7	0.89	0.00	0	200	0	0
38	704	406	28.0	20.0	0.83	0.00	0	187	0	0
39	704	406	36.4	22.9	1.09	0.00	0	222	0	0
40	704	406	42.6	22.2	1.52	0.00	0	227	0	0
41	704	406	33.4	19.6	1.17	0.00	0	173	0	0
42	704	406	38.0	22.1	0.91	0.00	0	242	0	0
43	704	406	38.0	22.1	0.87	0.00	0	221	0	0

魚津 解析結果①
立木抽出 465 本



富山県糸魚川市三ツ井PX-808L(Grip) 解析結果表示【観本数132】

DBH+材種・実高 色+形 樹形指定 3DWalker 座標変換

No.	X	Y	直径	樹高	材種	実高	レベル	ラック	ク
103	724.406	406.80.0	25.1	2.78	0.02	6	323	0	
101	724.406	406.42.9	27.5	2.00	0.02	6	330	0	
102	724.406	406.51.0	27.3	2.03	0.02	6	298	0	
107	724.406	406.57.0	26.0	1.40	0.05	6	177	0	
104	724.406	406.44.8	24.7	1.01	0.04	6	303	0	
105	724.406	406.40.8	16.3	1.25	0.05	6	242	0	
106	724.406	406.45.2	25.7	2.31	0.05	6	311	0	
107	724.406	406.47.8	23.2	1.04	0.04	6	304	0	
108	724.406	406.40.0	26.7	2.06	0.02	6	314	0	
109	724.406	406.50.4	27.8	2.08	0.03	6	181	0	
113	724.406	406.40.8	20.7	1.02	0.02	6	244	0	
111	724.406	406.45.2	22.2	2.11	0.03	6	324	0	
112	724.406	406.54.8	25.4	2.29	0.01	6	300	0	
117	724.406	406.30.0	23.7	1.35	0.02	6	270	0	
114	724.406	406.36.4	22.7	1.35	0.06	6	243	0	
115	724.406	406.47.6	24.4	2.13	0.05	6	259	0	
116	724.406	406.39.4	24.2	0.91	0.03	6	147	0	
117	724.406	406.42.0	25.1	1.94	0.07	6	246	0	
118	724.406	406.45.8	24.4	2.14	0.02	6	190	0	
119	724.406	406.36.4	20.0	0.98	0.03	6	245	0	
120	724.406	406.32.8	16.0	1.00	0.04	6	255	0	
121	724.406	406.47.8	24.2	1.48	0.04	6	269	0	
122	724.406	406.32.4	21.2	1.21	0.11	6	288	0	
123	724.406	406.38.4	21.4	1.34	0.08	6	180	0	
124	724.406	406.47.0	20.0	1.07	0.03	6	275	0	
125	724.406	406.41.6	22.3	1.68	0.03	6	266	0	
126	724.406	406.47.0	23.2	2.23	0.02	6	191	0	
127	724.406	406.28.8	22.2	1.30	0.05	6	200	0	
128	724.406	406.38.8	22.0	1.42	0.03	6	204	0	
129	724.406	406.53.6	26.3	2.17	0.03	6	193	0	
130	724.406	406.47.0	19.0	1.43	0.02	6	190	0	
131	724.406	406.38.4	23.2	1.57	0.03	6	301	0	
132	724.406	406.45.4	20.3	2.06	0.02	6	306	0	
133	724.406	406.42.0	16.0	1.62	0.01	6	243	0	
134	724.406	406.44.2	25.7	1.91	0.05	6	195	0	
135	724.406	406.50.8	25.5	2.55	0.03	6	304	0	
136	724.406	406.37.8	22.0	1.49	0.05	6	193	0	
137	724.406	406.42.4	23.7	1.95	0.03	6	250	0	
138	724.406	406.54.4	24.0	2.55	0.04	6	160	0	
139	724.406	406.36.2	22.5	1.12	0.03	6	270	0	
140	724.406	406.44.8	25.1	1.85	0.03	6	270	0	

魚津 解析結果②
立木抽出 323 本

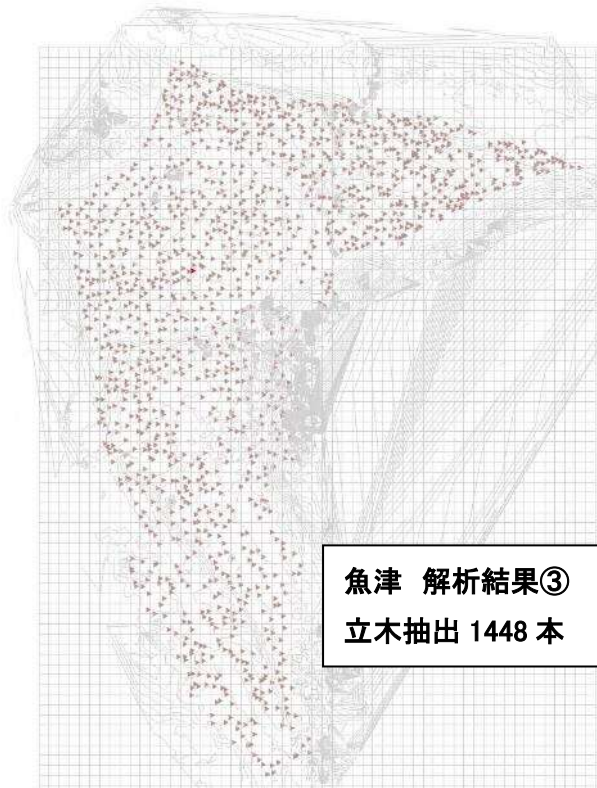


富山県糸魚川市三ツ井PX-808L(Grip) 解析結果表示【観本数1448】

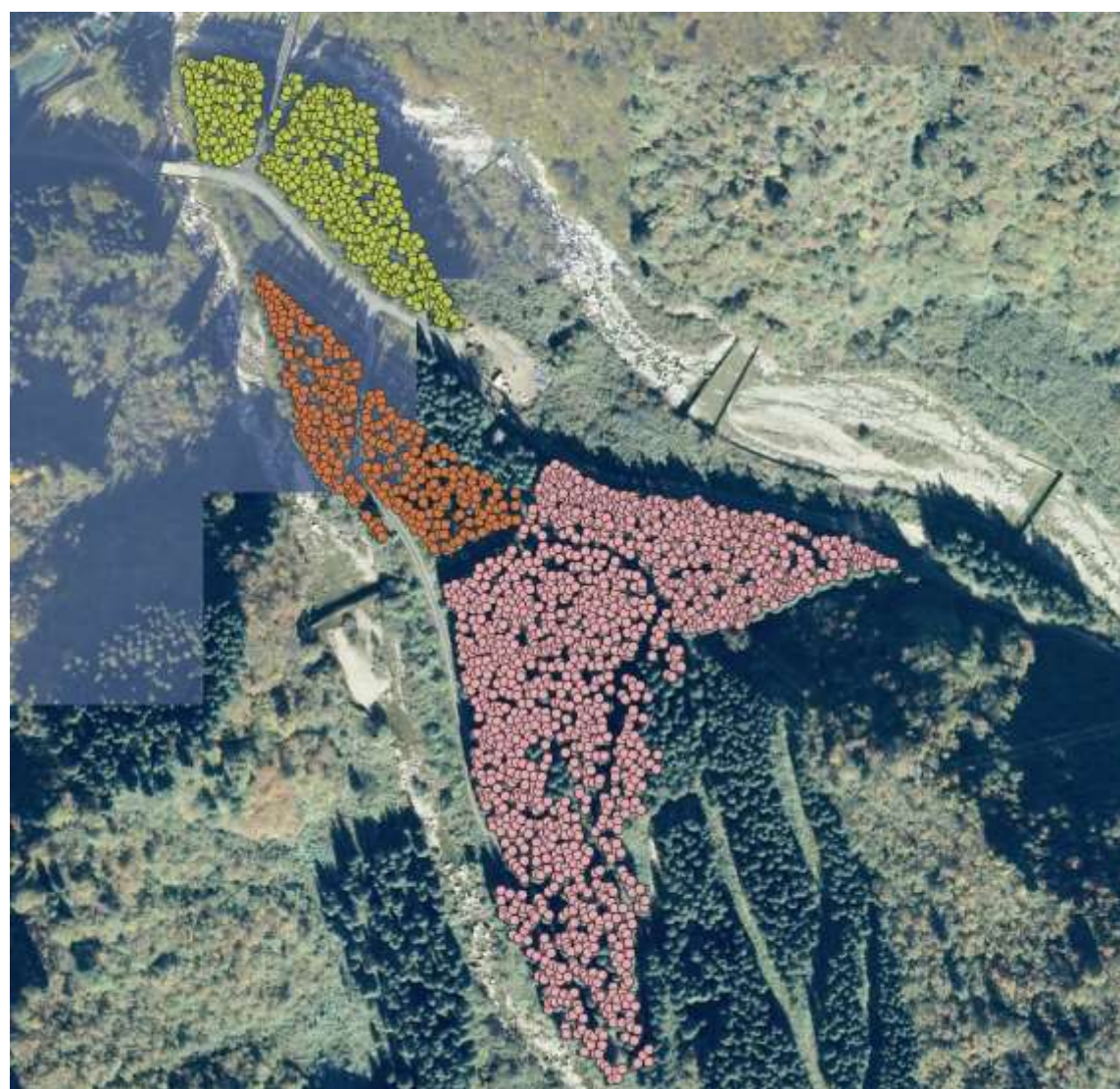
DBH+材種・実高 色+形 樹形指定 3DWalker 座標変換

No.	X	Y	直径	樹高	材種	実高	レベル	ラック	ク
473	724.756	4067.42	32.4	21.1	0.95	0.02	6	309	0
474	724.756	4067.53	47.0	19.1	1.16	0.06	6	106	0
475	724.756	4067.23	56.0	24.5	2.58	0.06	6	207	0
476	724.756	4067.43	47.6	20.8	1.90	0.03	6	217	0
477	724.756	4067.50	35.2	20.9	0.86	0.05	6	203	0
478	724.756	4067.44	44.2	25.3	1.89	0.03	6	304	0
479	724.756	4067.43	26.8	18.5	0.60	0.04	6	273	0
480	724.756	4067.50	39.4	13.8	1.12	0.04	6	257	0
481	724.756	4067.46	37.4	20.1	1.00	0.04	6	292	0
482	724.756	4067.43	28.2	23.3	0.79	0.04	6	288	0
483	724.756	4067.25	34.7	25.9	2.77	0.06	6	220	0
484	724.756	4067.50	39.2	21.8	1.08	0.04	6	220	0
485	724.757	4067.52	39.6	16.7	0.79	0.04	6	147	0
486	724.757	4067.40	32.2	30.5	3.91	0.04	6	309	0
487	724.757	4067.46	37.2	18.5	1.06	0.04	6	275	0
488	724.757	4067.22	36.6	24.5	1.04	0.03	6	164	0
489	724.757	4067.41	20.2	20.3	0.81	0.01	6	233	0
490	724.757	4067.38	43.8	25.7	1.49	0.05	6	250	0
491	724.757	4067.24	40.0	29.1	1.39	0.03	6	221	0
492	724.757	4067.30	37.4	24.5	1.18	0.01	6	266	0
493	724.757	4067.50	39.8	20.3	1.12	0.03	6	232	0
494	724.757	4067.40	46.4	26.4	1.30	0.03	6	225	0
495	724.757	4067.23	40.8	24.4	1.02	0.05	6	172	0
496	724.757	4067.23	37.5	23.4	0.93	0.03	6	164	0
497	724.757	4067.45	37.6	21.0	1.17	0.04	6	310	0
498	724.758	4067.52	30.1	18.8	0.55	0.05	6	116	0
499	724.758	4067.52	34.0	18.0	0.70	0.06	6	145	0
500	724.758	4067.37	44.0	24.0	1.24	0.02	6	231	0
501	724.758	4067.32	36.8	24.2	0.77	0.03	6	206	0
502	724.758	4067.50	35.6	22.3	0.64	0.03	6	230	0
503	724.758	4067.52	36.3	10.1	0.82	0.04	6	151	0
504	724.758	4067.30	36.7	24.5	0.82	0.03	6	106	0
505	724.758	4067.23	36.6	25.1	1.15	0.02	6	203	0
506	724.758	4067.50	37.8	23.1	1.11	0.03	6	209	0
507	724.758	4067.22	45.0	26.3	1.96	0.03	6	220	0
508	724.758	4067.45	49.0	25.5	2.15	0.01	6	248	0
509	724.758	4067.23	41.6	24.1	1.04	0.03	6	207	0
510	724.758	4067.43	39.8	20.3	1.57	0.04	6	298	0
511	724.758	4067.31	29.6	22.3	0.67	0.04	6	234	0
512	724.758	4067.50	32.0	20.4	0.82	0.02	6	208	0
513	724.758	4067.45	42.8	20.1	1.05	0.03	6	276	0
514	724.758	4067.48	39.0	21.5	1.07	0.01	6	241	0
515	724.758	4067.38	45.2	25.1	1.84	0.05	6	232	0

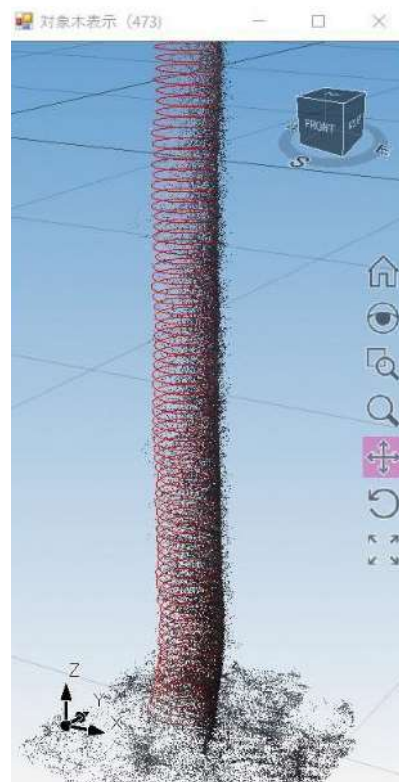
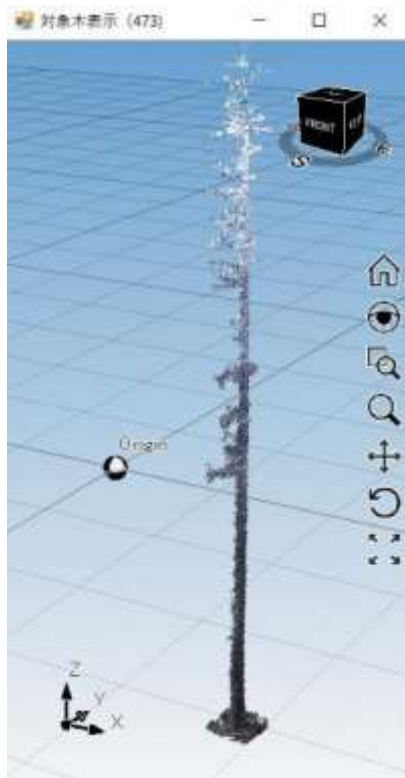
魚津 解析結果③
立木抽出 1448 本



【単木の位置情報】



【単木の解析】



【造材データ】

単木の解析結果より、採材する材長、径級、曲がりの程度（矢高）、材積を算出

1	木番号	玉番	材長	径級	曲がり	材積
2	1	1	3	42	小曲	0.529
3	1	2	4	36	小曲	0.518
4	1	3	3	26	小曲	0.203
5	1	4	4	18	直	0.13
6	2	1	3	32	小曲	0.307
7	2	2	4	30	小曲	0.36
8	2	3	3	18	小曲	0.097
9	2	4	4	14	直	0.078
10	3	1	3	42	小曲	0.529
11	3	2	3	40	直	0.48
12	3	3	3	32	小曲	0.307
13	3	4	4	30	直	0.36
14	4	1	3	36	小曲	0.389
15	4	2	4	32	直	0.41

3) 解析

① 解析結果の概要

面積、立木本数、材積の概要

場 所	面 積	本 数	素材材積 (m ³)
①氷見市万尾	約 4ha	893 本	2,798.694
②魚津市三ヶ	約 6ha	2,236 本	3,043.051

等級別本数、素材材積

場 所	等級	本 数	素材材積 (m ³)
氷見市万尾	A材	1,223	760.42
	B材	1,390	938.583
	C材	1,144	1,099.601
	計	3,757	2,798.604
魚津市三ヶ	A材	3,392	924.976
	B材	4,263	1,406.894
	C材	1,680	711.181
	計	9,335	3,043.051

《等級と曲がりの定義》

- ・ A材 矢高 0 cm～2 cm未満を「直」として評価したもの。
- ・ B材 矢高 2 cm～4 cm未満を「小曲」として評価したもの。
- ・ C材 矢高 4 cm～100 cm未満を「大曲」として評価したもの。

解析結果、氷見市万尾の平均材積は 3.13 m³/本と魚津市三ヶ (1.36 m³/本) と比べかなり大きくなった。氷見市万尾は成長が良いボカスギであることが要因の一つと考えられるが、それだけでは平均材積が 3 m³/本を超えるとは考えにくいいため、計測、解析結果について考察した結果、以下の点が想定される。

【考察①】 下草や蔓等による影響

解析データの中には、胸高直径が大きいにもかかわらず、樹高が小さい径の立木と比較しても高くないデータがある。氷見市万尾の現場状況として、立木の下部に下草などが生い茂り、また下部に以下の画像のように、蔓が比較的多かった。この結果、蔓や下草を立木の一部としてリングの点群データが生成され、これにより実際の径級より大きなデータが作成された可能性が考えられる。

【考察②】 リング生成時のフィッティング

計測時には、往路や復路の歩行により、立木の両サイドからレーザを照射させ、後の解析により、多方向からのレーザ照射点群データから同一立木をマッチングさせ、点群形状からリング形成を行う過程がある。このために歩行時に林内をジグザク歩行する間隔を 10m程度に保ち、なるべく立木のあらゆる方向からレーザを照射することに留意している。

ただし、このレーザ照射による点群が、樹木の一部の弧の点群しか取れていなかった場合や、蔓や下草で立木の弧となる点群が形成できなかった場合などでは、一部の弧の点群から一つの円になるように自動でリングを生成することとなる。

この一部の弧の点群から生成されたリング形状が、実際の立木よりも大きな材積となるリング作成となったことが考えられる。



② 解析結果と毎木調査の比較

魚津市三ヶの一部区域(3ha)では、従来からの人力による毎木調査も実施しており、今回の解析と比較した結果が以下のとおりである。

単位：本、m³

等級	区分	毎木調査	地上レーザ	計測差	
		①	②	数値③=②-①	比率④=②/①
A材	本数	9	343	334	3811%
	立木材積	14.683	512.691	498.008	3492%
	素材材積	13.222	439.651	426.429	3325%
B材	本数	242	325	83	134%
	立木材積	354.726	493.562	138.836	139%
	素材材積	314.474	406.007	91.533	129%
C材	本数	529	120	-409	23%
	立木材積	658.822	172.17	-486.652	26%
	素材材積	564.868	136.182	-428.686	24%
合計	本数	780	788	8	101%
	立木材積	1,028.231	1,178.423	150	115%
	素材材積	892.564	981.840	89	110%
	立木価格 (評価額)	2,195,800	2,685,800	490,000	122%

※材積、立木価格は、造材データを基に県立木評価システムにより算出。

この結果、総数では、本数はほぼ一致したが、材積は1～2割程度の差が生じた。等級毎の本数、材積は大きな差が生じ、特に地上レーザのA材の抽出本数が多かった。要因としては、地上レーザでは矢高のみを基に等級を判定しているのに対し、人力では、これに加え、腐れ、折れ等の形質を考慮して判定としているため、本数が絞られたと想定される。

なお、材積については、従来的人力による調査は、樹高、採材長は目測で行われていることから、適正な精度を把握するためには、実際の出材量との比較を行う等の検証が必要となる。

また、立木価格(評価額)の差は2割程度であったが、立木価格は材積、等級に大きく影響を受けることから、適正な精度を把握するためには、材積同様、実際の販売額等との比較を行う等の検証が必要となる。

なお、当区域で過去に航空レーザ計測を行った結果は、『立木本数 542 本』『立木材積 752.131 m³』で、上表と比較し、立木本数が約3割、立木材積が3～4割少なくなっている。これは、航空レーザ計測では、計測木が上空から樹幹が確認できる上層木に限定され、下層木が計測されていないためと考えられる。

【参考：径級・等級別本数、材積】

① 氷見市万尾

【3m材】

材長	3		単位：本、m ³					
	全体		A材		B材		C材	
	本数	材積	本数	材積	本数	材積	本数	材積
7	1	0.015	1	0.015	0	0	0	0
8	4	0.076	1	0.019	0	0	3	0.057
9	4	0.096	0	0	3	0.072	1	0.024
10	6	0.18	0	0	4	0.12	2	0.06
11	5	0.18	1	0.036	3	0.108	1	0.036
12	5	0.215	1	0.043	2	0.086	2	0.086
13	7	0.357	1	0.051	2	0.102	4	0.204
14	14	0.826	6	0.354	7	0.413	1	0.059
16	12	0.924	8	0.616	2	0.154	2	0.154
18	20	1.94	5	0.485	12	1.164	3	0.291
20	28	3.36	9	1.08	12	1.44	7	0.84
22	24	3.48	4	0.58	15	2.175	5	0.725
24	37	6.401	12	2.076	17	2.941	8	1.384
26	50	10.15	12	2.436	29	5.887	9	1.827
28	48	11.28	13	3.055	26	6.11	9	2.115
30	60	16.2	18	4.86	28	7.56	14	3.78
32	51	15.657	13	3.991	33	10.131	5	1.535
34	72	24.984	22	7.634	40	13.88	10	3.47
36	66	25.674	24	9.336	28	10.892	14	5.446
38	83	35.939	21	9.093	37	16.021	25	10.825
40	92	44.16	31	14.88	46	22.08	15	7.2
42	122	64.538	32	16.928	66	34.914	24	12.696
44	120	69.72	23	13.363	63	36.603	34	19.754
46	123	78.105	27	17.145	67	42.545	29	18.415
48	97	67.027	24	16.584	52	35.932	21	14.511
50	148	111	26	19.5	74	55.5	48	36
52	98	79.478	12	9.732	48	38.928	38	30.818
54	91	79.625	8	7	47	41.125	36	31.5
56	80	75.28	11	10.351	29	27.289	40	37.64
58	64	64.576	6	6.054	22	22.198	36	36.324
60	55	59.4	3	3.24	23	24.84	29	31.32
62	54	62.262	7	8.071	15	17.295	32	36.896
64	33	40.557	0	0	8	9.832	25	30.725
66	22	28.754	2	2.614	8	10.456	12	15.684
68	30	41.61	1	1.387	7	9.709	22	30.514
70	15	22.05	3	4.41	1	1.47	11	16.17
72	18	27.99	0	0	4	6.22	14	21.77
74	4	6.572	0	0	1	1.643	3	4.929
76	4	6.932	1	1.733	2	3.466	1	1.733
78	13	23.725	2	3.65	3	5.475	8	14.6
80	4	7.68	2	3.84	1	1.92	1	1.92
82	4	8.068	0	0	0	0	4	8.068
84	6	12.702	2	4.234	1	2.117	3	6.351
86	2	4.438	0	0	0	0	2	4.438
88	1	2.323	0	0	1	2.323	0	0
92	2	5.078	0	0	0	0	2	5.078
94	2	5.302	0	0	0	0	2	5.302
96	1	2.765	0	0	1	2.765	0	0
98	1	2.881	0	0	0	0	1	2.881

【4 m材】

材長	4		単位：本、m ³					
	全体		A材		B材		C材	
	本数	材積	本数	材積	本数	材積	本数	材積
4	1	0.006	1	0.006	0	0	0	0
5	3	0.03	3	0.03	0	0	0	0
6	3	0.042	1	0.014	0	0	2	0.028
7	6	0.12	4	0.08	2	0.04	0	0
8	21	0.546	12	0.312	8	0.208	1	0.026
9	22	0.704	16	0.512	2	0.064	4	0.128
10	20	0.8	11	0.44	6	0.24	3	0.12
11	9	0.432	6	0.288	2	0.096	1	0.048
12	16	0.928	11	0.638	1	0.058	4	0.232
13	8	0.544	7	0.476	1	0.068	0	0
14	31	2.418	17	1.326	13	1.014	1	0.078
16	22	2.244	17	1.734	4	0.408	1	0.102
18	38	4.94	27	3.51	7	0.91	4	0.52
20	29	4.64	21	3.36	4	0.64	4	0.64
22	34	6.596	28	5.432	4	0.776	2	0.388
24	43	9.89	33	7.59	8	1.84	2	0.46
26	38	10.26	26	7.02	10	2.7	2	0.54
28	58	18.212	33	10.362	12	3.768	13	4.082
30	53	19.08	37	13.32	11	3.96	5	1.8
32	44	18.04	27	11.07	10	4.1	7	2.87
34	50	23.1	22	10.164	20	9.24	8	3.696
36	52	26.936	26	13.468	16	8.288	10	5.18
38	45	26.01	19	10.982	14	8.092	12	6.936
40	79	50.56	42	26.88	27	17.28	10	6.4
42	111	78.366	52	36.712	36	25.416	23	16.238
44	138	106.812	55	42.57	47	36.378	36	27.864
46	119	100.674	51	43.146	39	32.994	29	24.534
48	104	95.888	41	37.802	30	27.66	33	30.426
50	130	130	42	42	34	34	54	54
52	84	90.888	27	29.214	30	32.46	27	29.214
54	74	86.284	13	15.158	23	26.818	38	44.308
56	55	68.97	9	11.286	19	23.826	27	33.858
58	50	67.3	6	8.076	17	22.882	27	36.342
60	47	67.68	20	28.8	7	10.08	20	28.8
62	59	90.742	19	29.222	14	21.532	26	39.988
64	29	47.502	7	11.466	3	4.914	19	31.122
66	29	50.518	7	12.194	4	6.968	18	31.356
68	21	38.85	8	14.8	1	1.85	12	22.2
70	20	39.2	4	7.84	6	11.76	10	19.6
72	13	26.962	5	10.37	3	6.222	5	10.37
74	9	19.71	3	6.57	1	2.19	5	10.95
76	4	9.24	0	0	1	2.31	3	6.93
78	7	17.038	1	2.434	1	2.434	5	12.17
80	8	20.48	4	10.24	0	0	4	10.24
82	2	5.38	2	5.38	0	0	0	0
84	4	11.288	1	2.822	0	0	3	8.466
86	2	5.916	1	2.958	1	2.958	0	0
88	3	9.294	1	3.098	0	0	2	6.196
90	1	3.24	0	0	1	3.24	0	0
92	5	16.93	2	6.772	0	0	3	10.158
98	1	3.842	0	0	0	0	1	3.842

② 魚津市三ヶ
【3 m材】

材長	3		単位：本、m ³					
	全体		A材		B材		C材	
	本数	材積	本数	材積	本数	材積	本数	材積
3	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	0.015	1	0.015	0	0	0	0
8	5	0.095	1	0.019	0	0	4	0.076
9	8	0.192	1	0.024	7	0.168	0	0
10	20	0.6	3	0.09	12	0.36	5	0.15
11	31	1.116	6	0.216	18	0.648	7	0.252
12	33	1.419	7	0.301	17	0.731	9	0.387
13	42	2.142	8	0.408	25	1.275	9	0.459
14	151	8.909	33	1.947	96	5.664	22	1.298
16	141	10.857	32	2.464	85	6.545	24	1.848
18	162	15.714	33	3.201	105	10.185	24	2.328
20	207	24.84	51	6.12	130	15.6	26	3.12
22	231	33.495	44	6.38	159	23.055	28	4.06
24	294	50.862	82	14.186	166	28.718	46	7.958
26	348	70.644	97	19.691	206	41.818	45	9.135
28	350	82.25	114	26.79	189	44.415	47	11.045
30	399	107.73	133	35.91	217	58.59	49	13.23
32	369	113.283	107	32.849	195	59.865	67	20.569
34	375	130.125	109	37.823	206	71.482	60	20.82
36	367	142.763	120	46.68	189	73.521	58	22.562
38	282	122.106	71	30.743	149	64.517	62	26.846
40	243	116.64	72	34.56	123	59.04	48	23.04
42	201	106.329	55	29.095	101	53.429	45	23.805
44	144	83.664	35	20.335	71	41.251	38	22.078
46	117	74.295	26	16.51	59	37.465	32	20.32
48	89	61.499	17	11.747	49	33.859	23	15.893
50	56	42	15	11.25	25	18.75	16	12
52	37	30.007	8	6.488	16	12.976	13	10.543
54	18	15.75	4	3.5	7	6.125	7	6.125
56	19	17.879	2	1.882	6	5.646	11	10.351
58	3	3.027	0	0	1	1.009	2	2.018
60	2	2.16	0	0	1	1.08	1	1.08
62	5	5.765	0	0	2	2.306	3	3.459
64	3	3.687	0	0	0	0	3	3.687
68	2	2.774	0	0	1	1.387	1	1.387
70	0	0	0	0	0	0	0	0

【4 m材】

材長	4		単位：本、m ³					
	全体		A材		B材		C材	
径級 (cm)	本数	材積	本数	材積	本数	材積	本数	材積
3	1	0.004	1	0.004	0	0	0	0
5	7	0.07	5	0.05	1	0.01	1	0.01
6	12	0.168	5	0.07	6	0.084	1	0.014
7	45	0.9	26	0.52	13	0.26	6	0.12
8	129	3.354	89	2.314	31	0.806	9	0.234
9	144	4.608	97	3.104	37	1.184	10	0.32
10	109	4.36	66	2.64	37	1.48	6	0.24
11	122	5.856	79	3.792	32	1.536	11	0.528
12	110	6.38	83	4.814	21	1.218	6	0.348
13	89	6.052	59	4.012	20	1.36	10	0.68
14	200	15.6	133	10.374	56	4.368	11	0.858
16	170	17.34	116	11.832	40	4.08	14	1.428
18	204	26.52	140	18.2	54	7.02	10	1.3
20	242	38.72	164	26.24	62	9.92	16	2.56
22	209	40.546	144	27.936	53	10.282	12	2.328
24	257	59.11	138	31.74	84	19.32	35	8.05
26	239	64.53	103	27.81	100	27	36	9.72
28	276	86.664	94	29.516	125	39.25	57	17.898
30	252	90.72	94	33.84	102	36.72	56	20.16
32	282	115.62	85	34.85	114	46.74	83	34.03
34	274	126.588	86	39.732	127	58.674	61	28.182
36	263	136.234	70	36.26	114	59.052	79	40.922
38	208	120.224	39	22.542	86	49.708	83	47.974
40	188	120.32	51	32.64	83	53.12	54	34.56
42	166	117.196	37	26.122	81	57.186	48	33.888
44	124	95.976	30	23.22	53	41.022	41	31.734
46	92	77.832	27	22.842	36	30.456	29	24.534
48	55	50.71	14	12.908	24	22.128	17	15.674
50	34	34	8	8	15	15	11	11
52	33	35.706	11	11.902	11	11.902	11	11.902
54	22	25.652	6	6.996	8	9.328	8	9.328
56	8	10.032	2	2.508	2	2.508	4	5.016
58	7	9.422	1	1.346	2	2.692	4	5.384
60	2	2.88	0	0	0	0	2	2.88
62	2	3.076	2	3.076	0	0	0	0
64	1	1.638	0	0	0	0	1	1.638
68	1	1.85	0	0	0	0	1	1.85
70	1	1.96	0	0	0	0	1	1.96

4 現場への実装方法

現時点では、現場への実装にあたり、以下の課題がある。

(1) コスト

① 機材等導入経費

- ・レーザスキャナー(3DWalker)400万円程度
- ・森林解析ソフト(DigitalForest)150万円程度

② 計測経費

ha当たりの計測、解析に要する人工を従来の人力による場合と比較すると以下のとおりとなる。

[ha当たりの計測、解析に要する人工]

- ・計測：0.5～1日
- ・解析：0.5～1日
- ・下見：0.5～1日

(2) 3次元データの専門知識の習得やデータ容量

計測データは、上記、森林解析ソフト(DigitalForest)にてデータ処理できるが、計測のプラン策定、GNSS測量、GISの操作、立木調査、レーザ計測など総合的な知識が必要となる。導入時の研修(1～2日)、その後の計測を最低でも5ha程度行い、解析までの経験を積み、個人差はあるが、一定のレベルに達するものとする。

また、今回計測したデータの容量は以下となり、データ処理は高スペックなワークステーションで行う必要がある。

- ・点群データ容量 氷見地区：32GB 魚津地区：41GB
- ・森林解析データ 氷見地区：16GB 魚津地区：14GB

※今回計測データ解析使用スペック

- ・プロセッサ 12th Gen Intel(R) Core(TM) i7-1255U 1.70 GHz
- ・メモリ 32.0 GB
- ・グラフィックス インテル® Iris® Xe グラフィックス

(3) 精度の検証

材積(等級別含む)、等級、立木価格の精度については、実際の出材量や販売額等との比較を行い、実装できるかについて、さらに検証する必要がある。

(4) その他

計測条件として、下草や灌木で計測すべき立木が隠れていないことが求められるため、下刈作業などの事前準備が必須となる。

現状では、特殊性の高い森林計測、例えばブランド森林、寺社仏閣用大径木の管理など、コストに見合う高付加価値な調査には利用性を見出すことができる。

旧来の毎木調査も労力を費やす作業であるが、数 ha に及ぶ森林を 7 kg 程度の機材を背負って歩くレーザ計測についても同様のことが考えられる。

ただ、胸高直径や樹高だけではなく、点群データを確認することで直感的に現況を把握できることや、造材のシミュレーションにより単木の解析を詳細に行い、森林資源を数値化、精緻化することは、今後の森林施業の効率化や森林価値の拡大に繋がるものと思われる。

また、機材やソフトウェアの初期コストや3次元データの容量が大きいことなどの課題もあるが、数百万円もする機材も年々安価にはなってきている。

今後、簡単にプロット程度をスピーディに計測できるシステムのダウンサイズ化により導入障壁を下げることや、誰でも使いやすいインターフェースにすることなど、開発を進めていく必要があり、弊社でも独自開発を進めており 2024 年を目途にリリースを予定している。

第2節 林業フィールド通信網の実証 [低軌道衛星]

(NTT AT(株))

1 目的

スマート林業実現（ICT生産管理システム等の活用）に向けては、林業フィールドにおける電波途絶地の解消が不可欠であることから、令和4年度に自営通信網機器を活用しその解消を実証した。令和5年度においては林業従事者により使い易くすることを目的とし、以下を実施した。

① 低軌道衛星によるインターネット接続の適用条件検討と実証

令和4年度の実証構成より、導入稼働・コストを大幅に軽減できる可能性のある低軌道衛星を活用し、それによる効率化を実証すること。

② 無指向性無線機を活用した自営通信網機器の検討と実証

令和4年の実証構成より、必要とされる技術的難易度を低減できる無指向性無線機及びそれを活用するために必要な関連機器をパッケージング（以下、林業パッケージ）したものを活用することにより効率化を実証すること。

③ 県内林業事業者への説明会

林業従事者自らが自営通信網機器を設置・利用できるようになること。

2 実証地と実証方法

(1) 実証地

実証試験は富山県魚津市三ヶ付近の林業現場（図2-1）とし、実証試験エリア（図2-2）にて実証試験を実施。

図2-1 試験地の位置

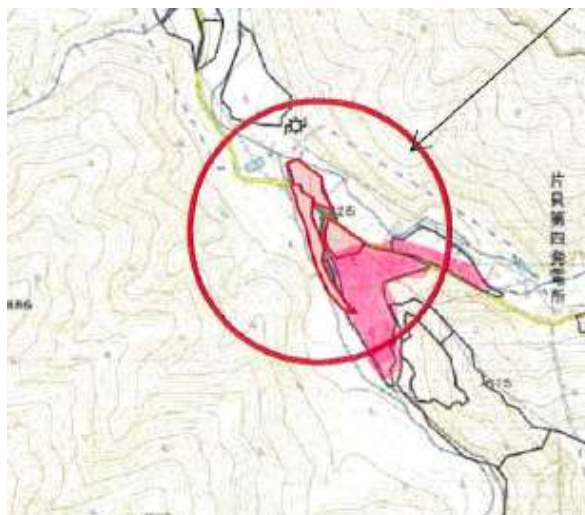


図 2-2 実証エリア



(2) 実証方法

1) 低軌道衛星によるインターネット接続の適用条件検討と実証

ア) 林業フィールド（土場、林道、林内等）にて、低軌道衛星によるインターネット接続の可否を確認。

イ) 低軌道衛星活用に必要な上空見通しによる影響（利用可否）/適用条件の評価。

ウ) 令和4年度実施方式（モバイルルータ）での想定値と、今回実施方式（低軌道衛星）の実績値を比較し効率化（時間・コスト等の削減割合）を試算。

・実証実施日：2023年9月14日、15日

・測定環境：天候・曇り



① 低軌道衛星を用いたインターネット接続確認を以下の方法で実施

ア) 土場、林道、林内に低軌道衛星のアンテナを地上に設置する。

イ) 地上アンテナに電源を投入後、上空の衛星を捕捉し最適な方角が決定させる（自動調整、15分程度）。

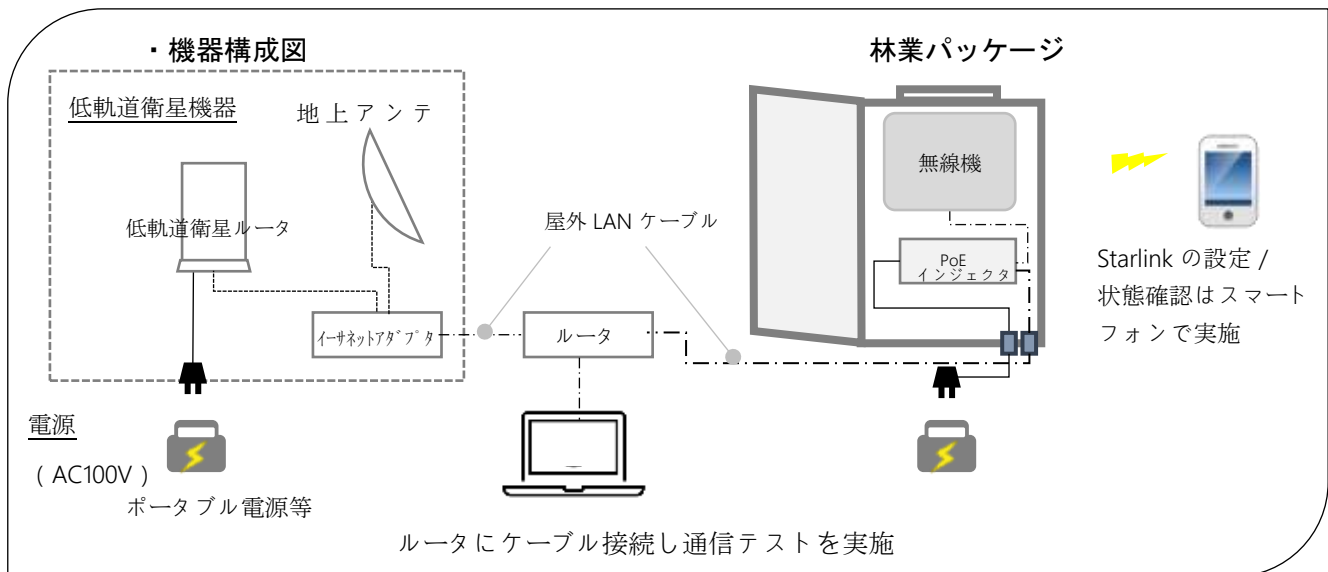
ウ) スマートフォンで低軌道衛星の起動状況を確認する。

エ) ルータに接続したPCから外部サイトへアクセスする。

※外部サイトへアクセス出来ない場合は、地上高2m（仮設架台にて高さを確保することとし林業従事者が可搬可能なサイズ）の位置に設置しウ）、エ）を実施する。

② 通信品質の確認を以下の方法で実施

- ア) ルータに接続したPCから外部のスピードテストサイトへアクセスする。
- イ) 上記サイトでスピードテストを3回実施する（平均値をテスト結果とする）。



2) 無指向性無線機を活用した自営通信網機器の検討と実証

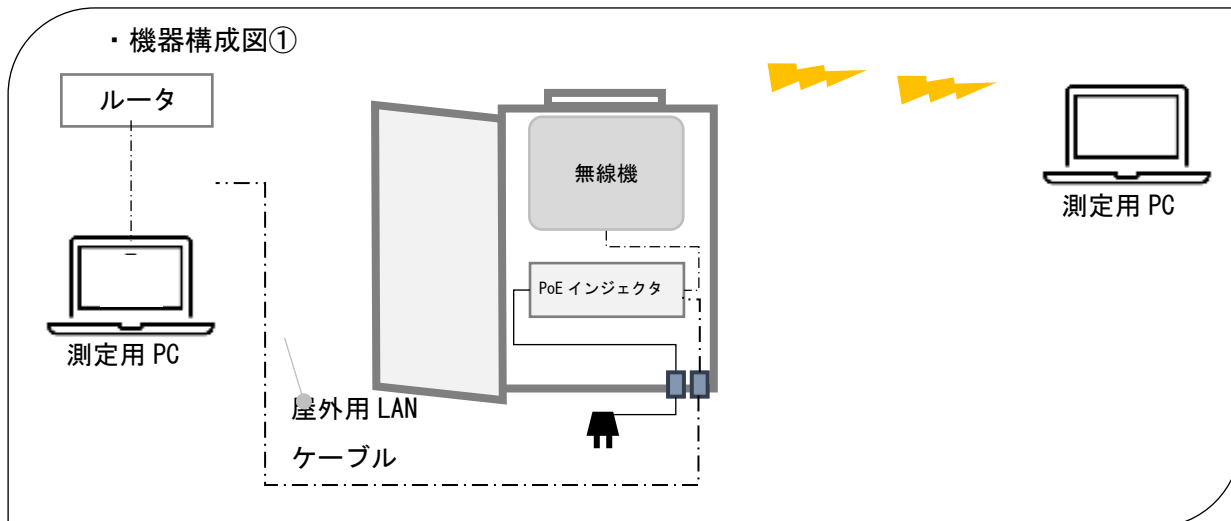
- ア) 無指向性無線機を林内で実証し、通信可能なエリアを確認。
- イ) 令和4年度実施方式（指向性無線機の活用）での想定値と、今回実施方式（無指向性無線機の活用）の実績値を比較し効率化（技術的難易度低減）を試算。
 - ・実証実施日：2023年9月14日
 - ・測定環境：天候・曇り



① 林業パッケージ1台を林内へ設置し、設置場所からの通信可能なエリアを確認

●通信可能なエリア確認方法

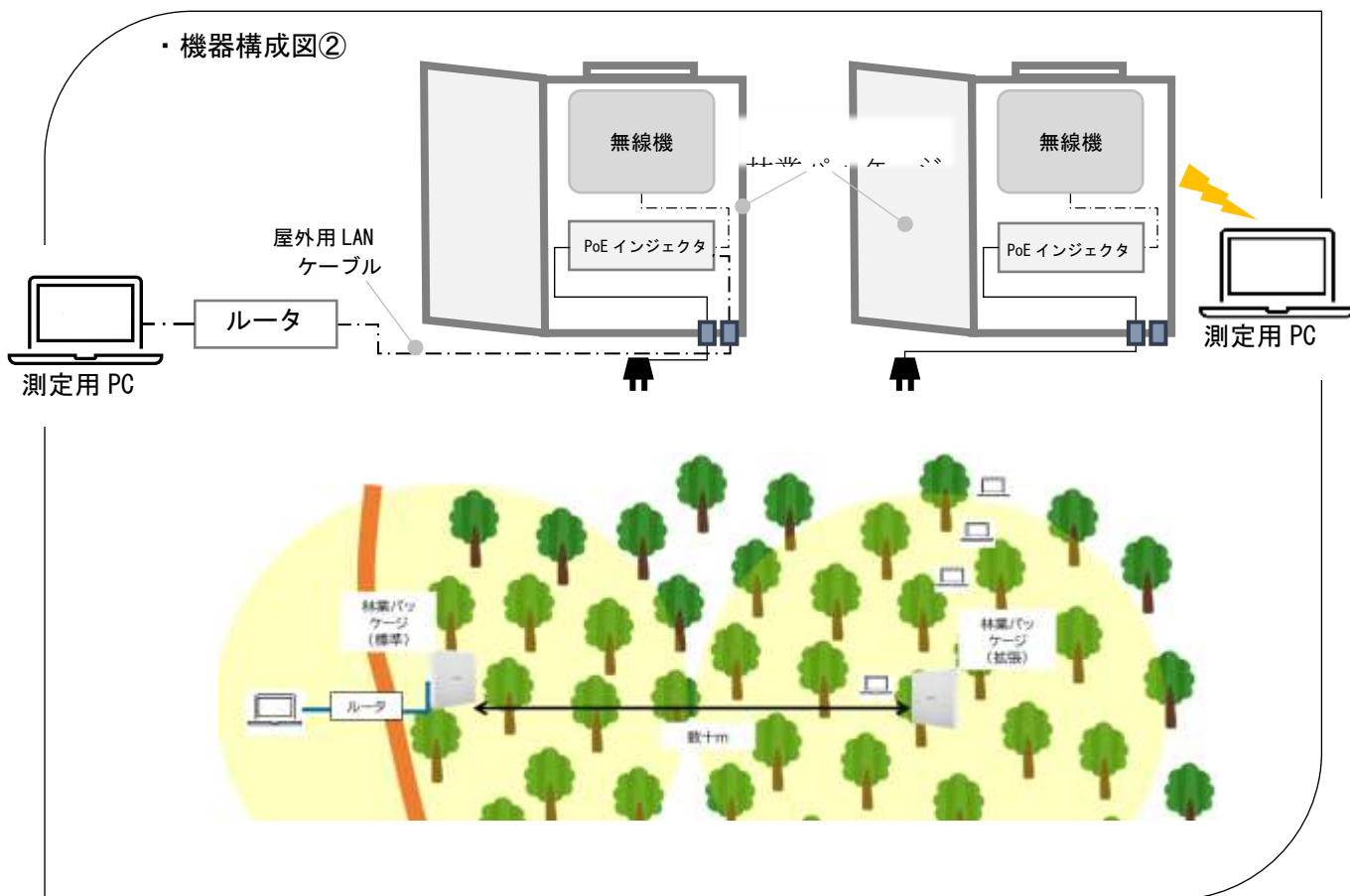
- ア) 林業パッケージを設置する。
- イ) 林業パッケージから離れた場所へ移動し測定用PCを起動する。
- ウ) 受信信号強度を測定用PCで測定し、同地点でスループットを測定する。
- エ) 上記イ)～ウ)を複数回繰り返し実施する。



② 林業パッケージ追加し林内で Wi-Fi エリアを拡張できることを確認

●確認方法

- ア) 2 台の林業パッケージを正対させた状態で設置し、接続を確認する。
- イ) 受信信号強度を測定用 PC で測定し、同地点でスループットを測定する
- ウ) 上記イ) を複数回繰り返し実施する。



3) 県内林業事業者への説明会

実証で確立した機材を用いた利用方法のマニュアルを作成し、そのマニュアルを用い林業従事者への実習を含めた説明会を実施する。

第2回研修会

説明会実施日：2023年10月5日

実施場所：魚津市三ヶ

実施環境：天候・雨

第3回研修会

説明会実施日：2023年11月2日

実施場所：氷見市万尾

実施環境：天候・晴

① 実証と説明会で使用する主な機器

ア) 低軌道衛星 (Starlink)



	Starlink
品名	スタンダードアンテナ
動作温度	-30℃~50℃
防水	IP54
消費電力	50~75W
視野角	100°
サイズ	51cm x 30cm (アンテナ)
重量	4.2kg

留意事項： Starlinkの室内ルータについて

Starlinkの室内ルータは、国内電波法にて屋外利用が禁止されている5.3GHz帯を含む周波数電波を送出しており、屋外でのWi-Fi利用ができません。林業フィールドでは室内ルータの機能を「無効化」し、屋外利用が許可されているWi-Fi機器を内在する林業パッケージの活用が必要です。

■屋外利用が可能な周波数

周波数	2.4GHz帯	5GHz帯		
		5.2GHz帯	5.3GHz帯	5.6GHz帯
屋外利用	○	△※	×	○

※総通局への申請、PCやスマホ等の端末利用(テザリング不可)、車内利用のいずれかの条件下で屋外利用が可能。

イ) 林業パッケージ

林業パッケージ外観



取り付け時



【林業パッケージの特徴】

- ・ 防水加工
- ・ 運搬用の取っ手を上部に配置
- ・ 林業パッケージを直接木に取り付けることが可能
- ・ 設定やケーブル接続等の煩雑な現場作業は不要（コンセントを接続するだけで使用可能）
- ・ 設置の方向等を気にせず誰でも設置可能※1
- ・ 通年通した屋外の環境で利用可能※2

※1 全方位が Wi-Fi エリアで 1 つで最大半径 50m 程度です。

※2 -20～50℃が動作温度です。

ウ) DAP-3666（無線機）



	D-Link
品名	DAP-3666
距離	—
アンテナ	内蔵
放射角度	Omni (無指向性)
防水	IP68
DFS	○ (W56 固定)
WDS (中継機能)	1 ホップのみ
動作温度	-30～60℃
消費電力	10.5W
サイズ	277 (W) × 240 (D) × 50 (H) mm
重量	895g

【DAP-3666 の特徴】

- ・ アンテナ内蔵タイプでコンパクト
- ・ 消費電力が 10.5W であるため、低容量のバッテリー（160Wh）でも半日程度の動作が可能
- ・ 中継回数は 1 ホップのみ、1 ホップで直線 100m、横幅 50m 程度の Wi-Fi エリア化が期待できる

エ) RTX830 (ルータ)



	YAMAHA
品名	RTX830
スループット	2Gbit/s
NAT セッション数	65,534
LAN/WAN	4port/1port
動作温度	0~50℃
消費電力	11W
サイズ	220 (W) × 43.5 (H) × 160 (D) mm
重量	1.1kg

【RTX830 の特徴】

- ・ Starlink の性能評価を念頭に 1Gbit 超のインターフェイスを有する
- ・ 消費電力が 11W であるため、低容量のバッテリー (160Wh) でも半日程度の動作が可能

オ) バッテリー



	FlashFish
品名	E200
容量	151Wh
用途	林業パッケージへの給電



	SUANOKI
品名	4port/1port
容量	400Wh
用途	Starlink への電源

バッテリーの特徴

- ・ 実証機器の電源入力 (AC) に対応
- ・ 実証機器の消費電力と実証時間を鑑みた蓄電容量

3 実証結果と検証

(1) 実証結果




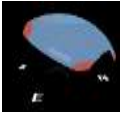
1) 低軌道衛星によるインターネット接続の適用条件検討と実証


① 接続可否及び見通し状況

- ・北側上空の見通しが7割程度確保できるA、B及びEでは低軌道衛星でインターネットに接続できた。
- ・一方で、樹木による遮蔽があったC及びDでは低軌道衛星でインターネットに接続できなかった。



【地上における低軌道衛星アプリ上での見通し状況】

設置場所	A (土場相当)	B (林道入り口)	C (林道内)	D (林内)	E (土場相当)
接続可否	○	○	×	×	○
見通し状況 (目測)	 (9割)	 (7割)	 (6割)	 (3割)	 (9割)

 Starlink アプリより抜粋

② 更なる見通し確保の実証

- ・前述の実証結果より見通し割合が重要であることがわかったことから、Starlink の設置高を地上から 2m に変更し見通し改善を図ることで接続可能なことを確認した。具体的な結果は下表の通り。

【接続結果】

設置場所	A (土場相当)	B (林道入り口)	C (林道内)	D (林内)	E (土場相当)
接続可否	○	○	○	×	○



- ・設置場所 C で地上設置した場合では接続できなかったが、アンテナ高を高くすることで接続可能になった。
- ・通信速度の観点でも、A、B に比較してそんな色ない結果になった。

← 設置高を 2m にした場合の設置状況

③ 通信速度

測定結果は以下の通り

【通信速度確認結果】

設置場所	A (土場相当)	B (林道入り口)	C (林道内)	D (林内)	E (土場相当)
接続可否	○	○	○	×	○
地上	DL: 40.1~86.5	DL: 47.3~85.1	DL: 接続不可	DL: 接続不可	DL: 110~165.2
単位: [Mbps]	UL: 2.48~9.05	UL: 2.13~11.2	UL: 接続不可	UL: 接続不可	UL: 8.18~20.4
地上高 2m	DL: -	DL: -	DL: 53~83.9	DL: 接続不可	DL: -
単位: [Mbps]	UL: -	UL: -	UL: 2.34~9.72	UL: 接続不可	UL: -

④ 検証 (令和4年度との比較)

本実証地は携帯電話の不感地帯であり、携帯電話エリアから直線距離で3.6km 離隔している。この間をR4年度実施方式 (モバイルルータ) と、今回実施方式 (低軌道衛星) の実績値を比較し、時間 (稼働量) コスト (機材量) の削減割合を試算した結果、稼働・機材ともに95%以上効率化可能なことが明らかになった。

【モバイルルータと低軌道衛星を使用した場合の比較】

項目	R4年度実施方式※1 (モバイルルータ)	今回実施方式 (低軌道衛星)
無線器台数	25 台	1 台
設置のための架台数	13 式	0 式
電源台数	13 台	1 台
現地調査稼働時間	24 時間 -60分×2人×12対向	0.5 時間 -航空写真から最適地を検討
無線機キッティング	12 時間 -1台30分×24台	0 時間※2
設営・撤去作業	48 時間 -1時間×2人×12対向×2回	1 時間 -0.5時間×1人×2回

※1 令和4年度報告書に記載の『設置方法毎の台数・稼働試算』方法により試算

※2 Starlink の設定時間はモバイルルータ設定時間とほぼ同等のため省略
林業パッケージは出荷時に設定済みのためキッティング時間は計上しない

稼働試算	95%以上の効率化が可能
機材試算	95%以上の効率化が可能

2) 無指向性無線機を活用した自営通信網機器の検討と実証

① 林業パッケージ

- ・測定結果は以下の通りであり、半径70~80mまでWi-Fi エリア化が可能であることを確認した。



検証結果表

測定場所	受信信号強度※	スループット		林業パッケージ(標準)からの距離	見通し
	RSSI[dBm]	上り[Mbps]	下り[Mbps]		
1	-59	62.5	65.9	20m	あり
2	-62	39.4	47	70m	あり
3	-76	18.1	33.2	100m	あり
4	-78	17.6	26.1	100m	なし
5	-68	32.3	45.9	100m	なし
6	-72	26.1	36	70m	なし
7	-73	14.4	26.3	80m	あり

※アクセス用として5GHz帯を使用。接続可否の判断基準は-75dBmとする。
 スループット性能ではWi-Fi接続を行う端末(PCやスマートフォン)の仕様に伴い変動するためスループットではなく、電波強度の値で判定を実施。
 -75dBmは林業現場であれば、メールやWeb閲覧を行うに問題ない電波強度。



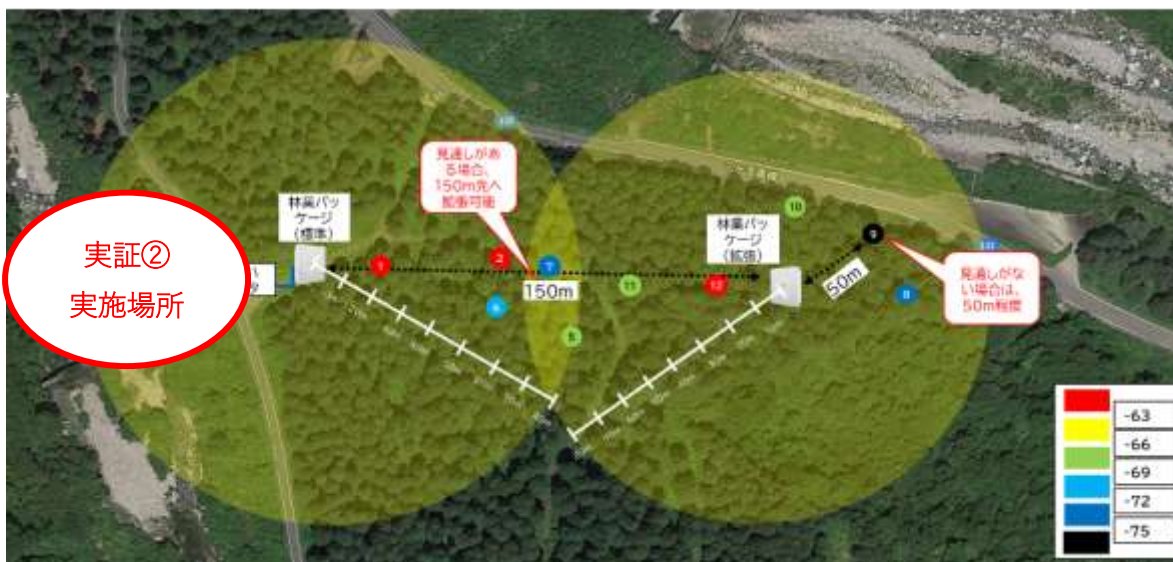
実証実験を行った林内の様子



林業パッケージ（標準）の設置状況

② 林業パッケージ追加した場合（標準）と（拡張）

・前項①の結果（平均値）から中継距離を 150m とし実施した。結果は以下の通り。



検証結果表

測定場所	受信信号強度	スループット		林業パッケージからの距離	見通し
	RSSI[dBm]	上り[Mbps]	下り[Mbps]		
1	-59	62.5	65.9	20m(標準)	あり
2	-62	39.4	47	70m(標準)	あり
3	-76	18.1	33.2	100m(標準)	あり
4	-78	17.6	26.1	100m(標準)	なし
5	-68	32.3	45.9	100m(標準)	なし
6	-72	26.1	36	70m(標準)	なし
7	-73	14.4	26.3	80m(標準)	あり
8	-72	6.79	23.9	50m(拡張)	なし
9	-76	6.24	21.3	50m(拡張)	なし
10	-69	19.5	27.7	50m(拡張)	なし
11	-69	21.4	27.3	50m(拡張)	なし
12	-58	34.3	29.6	30m(拡張)	あり

- ・スループットの結果から、林業パッケージの（標準）と（拡張）間で 150m を中継することができた。
- ・各林業パッケージの距離の結果から、上図にあるように（標準）と（拡張）の構成において直線で 250～310m が Wi-Fi エリア化（上図の円の範囲）できることを確認できた。



受信信号強度測定時（⑦の地点）の作業風景



林業パッケージ（拡張）の設置状況

③ 令和4年度との比較及び効率化検証

- ・R4 年度実施方式（指向性無線機）では、頻繁に変動する林業フィールドにおいて、都度角度調整が必要という課題があった。今回実施方式（無指向性無線機）で実証した結果、無指向性無線機であっても林業フィールドの範囲内（40m 程度を想定）をカバーすることが確認できたことから、技術的難易度を意識することなく、林業事業者自らが簡易に利用できることを確認できた。
- ・効率化を試算した結果、技術的難易度を低減できることを確認した。

【令和4年度実証結果との比較】

	林業フィールドのカバー可否	技術的難易度
令和4年度 (指向性無線機)	○	作業場所が頻繁に変動するため、都度角度調整が必要
令和5年度 (無指向性無線機)	○	方向・角度調整を意識せずに設置可能 ○

3) 実証結果まとめ

① 低軌道衛星によるインターネット接続の適用条件検討と実証

- ・林業フィールド（土場、林道、林内等）にて、低軌道衛星によるインターネット接続が可能であることを確認した。
- ・低軌道衛星活用に必要な上空見通しによる影響（利用可否）を評価し、適用条件を見極めた。北側上空の見通しが7割程度確保できれば、低軌道衛星によるインターネット接続が可能であったことから、林業フィールドの極めて近隣に設置ができることを確認できたが、上空見通しのない林道や林内には設置できなかった。
- ・本実証地にて、R4年度実施方式（モバイルルータ）と、今回実施方式（低軌道衛星）の実績値を比較し効率化を試算した。その結果、機材費・稼働費共に95%効率化できることが分かった。低軌道衛星を用いることで、大幅にコストや設置時間の短縮化が図れるものであった。また、低軌道衛星は電源を投入するだけで自動の角度調整機能が具備されていることから、扱いに関しても極めて技術的難易度が低い機器であることが分かった。

② 無指向性無線機を活用した自営通信網機器の検討と実証

- ・無指向性無線機を林内で実証し、林業フィールドの範囲（林道から40m程度）は十分に通信可能なエリアであることを確認した。この結果、低軌道衛星と連携させることで、今回使用した安価な機器でも通信途絶地の林業現場から森林クラウド等のインターネット接続を必要とするシステムの活用による現場情報や気象情報の収集など様々なICTの活用が実現できると考える。さらに林業パッケージを追加することで上空見通しのない林道や林内でもWi-Fiエリアを拡大させることが確認できた。
- ・R4年度実施方式（指向性無線機の活用）と、今回実施方式（無指向性無線機の活用）を比較し効率化を試算した結果、技術的難易度が低減できることが明らかになった。
- ・今回用いた林業パッケージは、収容盤内に必要機材と配線・設定がパッケージングされており、また持ち手や、設置架台を不要とする樹木に取り付け可能な工夫がされているため、設置時間や技術的難易度が低減されていることを確認した。

[自営通信網機器の利用の流れと効率化]

令和4年度から今年度の実証を通じ、林内フィールド通信網を利用するための全工程（設計・設定・設置・撤去）の効率化を図ることができたと考える。

工程	設計	設定	設置	撤去
効率化を実現する技術	低軌道衛星	林業パッケージ	林業パッケージ	低軌道衛星・ 林業パッケージ

(2) 県内林業事業者への説明会

研修会 2023年10月5日魚津市三ヶ

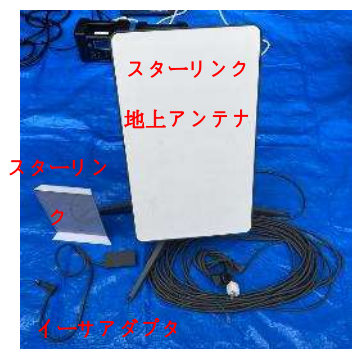


研修会 2023年11月2日氷見市万尾



① 低軌道衛星によるインターネット接続

林業事業者からも研修会においてその設置や利用が容易であることはご理解いただいた。



- ・ 林業フィールド（電波途絶地）において、より簡単に通信環境を整えることができる
※事前調査など必要なく北側見通しがあれば通信できる
- ・ 左のようにシンプルな機器構成であり設置や利用も容易である
- ・ 低軌道衛星（スターリンク）の契約は各事業者が自らおこなう
※サービス契約者のみ利用可能という条件であるため

② 無指向性無線機を活用した自営通信網機器

林業事業者からも低軌道衛星同様、研修会においてその設置や利用が容易であることはご理解いただいた。



- ・ 林業従事者が特別な知識を持たなくても木に取り付け電源に差し込むだけで林内に通信環境が整う
- ・ 左のように立木に取り付けるだけで複雑な機器間の接続もなく設置も容易である

③ 研修会での質問と回答

意見、質問	回答
ルータは防水仕様か。	防水仕様ではない。林業パッケージ同様に、収容盤等に入れて雨天時も濡れないような対策が必要となる。
林業パッケージへの同時接続数はどの程度か。	使用用途や低軌道衛星の回線状況にもより接続可能数は変わるが、5名程度であれば安定して通信可能と考える。
ドローンにWi-Fi機器を載せて動かすときがあるが、林業パッケージにも接続することは可能か。	ドローンに搭載したWi-Fi接続機器がスマホ等と同様にWi-Fiクライアントであれば接続することは可能。 Wi-Fiエリアの使用範囲は、別途確認・検証いただく必要がある。
林業パッケージの重量はどの程度か。	数kg程度である（現場にて確認済み）。
林業パッケージ1台でカバーできる範囲はどれぐらいか。	見通しがあれば半径50mはカバー可能である。 見通しがない場合は短くなる可能性がある。
林業パッケージ2台は接続必須か。	1台で単独使用可能である。 拡張したい時のみ拡張パッケージを使用すれば良い。
インターネットが使えることは確認したが、電話は使えるか。	OAB-Jのような固定電話は使えない。 利用したい場合はNTTコミュニケーションズ社の「SmartPBX」等と契約する必要がある。 ただし、LINE電話のようなインターネット電話であれば利用可能である。
映像伝送は可能か。	可能である。

4 現場への実装方法

(1) 林業フィールド通信網の具体的な活用方法例

- ・ Web サイトや動画サイトを閲覧できる

多くの施業現場が陸の孤島となっている現状において、現場作業者が世情から切り離れていることからの不安解消の一助となり担い手確保の面で有効性があるものと考えられる。

- ・ 施業現場から遠隔地との通話

万が一の事故等による、非常時の連絡が可能となり安全性の確保の一助となることが考えられる。

- ・ 図面や写真、日報等の共有

林班図や境界情報の確認が可能となることや、作業日報の報告に伴う事務所への移動等、林業従事者の労働負担軽減につながる。

- ・ メールやチャット、現場映像の確認

上記同様に労働負担軽減に繋がる側面に加え、熟練者が遠隔で指導するなどの活用の可能性が考えられる。

- ・ 通話料の個人負担なし

携帯電話料金の個人負担が多い実態の中で、Wi-Fi を使うことでインターネット回線を契約する法人等の負担となり個人負担の軽減となる。

- ・ ICT 機器やデータ連携

高性能林業機械や丸太検収アプリのデータをクラウド等へリアルタイムで共有が可能となり、木材市場等の受け入れ検査の負担軽減や、需要と供給のマッチングによる収益構造の改善等に繋がる可能性が想定される。

更には、データをクラウドに蓄積することで造林・伐採の効率的な計画に繋がることも想定される。

(2) 費用例

① スターリンク (2023年11月時点のSpaceX社の価格より)

品名	数量	価格 (税別)	
		初期費用	月額費用
本体 (標準)	1	¥55,000	¥9,900
イーサネットアダプタ	1	¥10,400	-
パイプアダプタ	1	¥10,600	-

※価格はレジデンシャルのモバイルプラン

<https://www.starlink.com/residential> にアクセスし WEB にて申込

②林業パッケージ

品名	数量 (式)	価格	備考
構成品			
林業パッケージ	1	¥283,000	標準設定費含む
ルータ	1	¥66,600	標準設定費含む
LAN ケーブル(屋外用 50m)	1	¥35,000	
三脚	1	¥100,000	
経費	1	¥15,000	送料
合計		¥499,600	-

※パッケージには、外部機器（ルータやパソコン等）に接続するためのLAN ケーブル（5m）1本が付属します。

(3) 課題・留意点

特になし

(4) 今後の見通し

実証された林業フィールド通信網の現場への普及を進めるとともに、他の機器との連携を図っていく。

※出典：国土地理院ウェブサイト <http://maps.gsi.go.jp>

※「地理院地図データ」（国土地理院）（<http://maps.gsi.go.jp>）をもとにNTTアドバンステクノロジ株式会社作成

第3節 林業フィールド通信網の実証 [GEO-WAVE]

(株フォレストシー)

1 目的

【Starlink^{※1}と GEO-WAVE^{※2}を活用した森林内での通信環境構築の実証】

林業の施業現場は携帯圏外の場合もあり、労働災害の危険性も他産業と比較して高いという状況において、現場作業者の緊急時の救助要請手段が不可欠である。今回の実証では Starlink の衛星回線と GEO-WAVE を組み合わせ、森林内での局所的な通信インフラの構築を行う。

※1 SpaceX 社が展開する、低軌道衛星による衛星インターネットアクセスサービス。

※2 陸上移動局無線に区分される フォレストシー独自の IoT 通信規格。920MHz/250mW という高出力規格による長距離通信 や中継機能 等が特徴。

2 実証地と実証方法

(1) 富山市八尾町獺師ヶ原地区 (9/29)

1) 実証地

実証地は図 3-1 の赤枠で、本実証においては図 3-2 の家アイコンの位置を通信基地局とした。なお、実証地は携帯圏外である。



図 3-1 実証フィールドの範囲
(富山市八尾町獺師ヶ原地区)



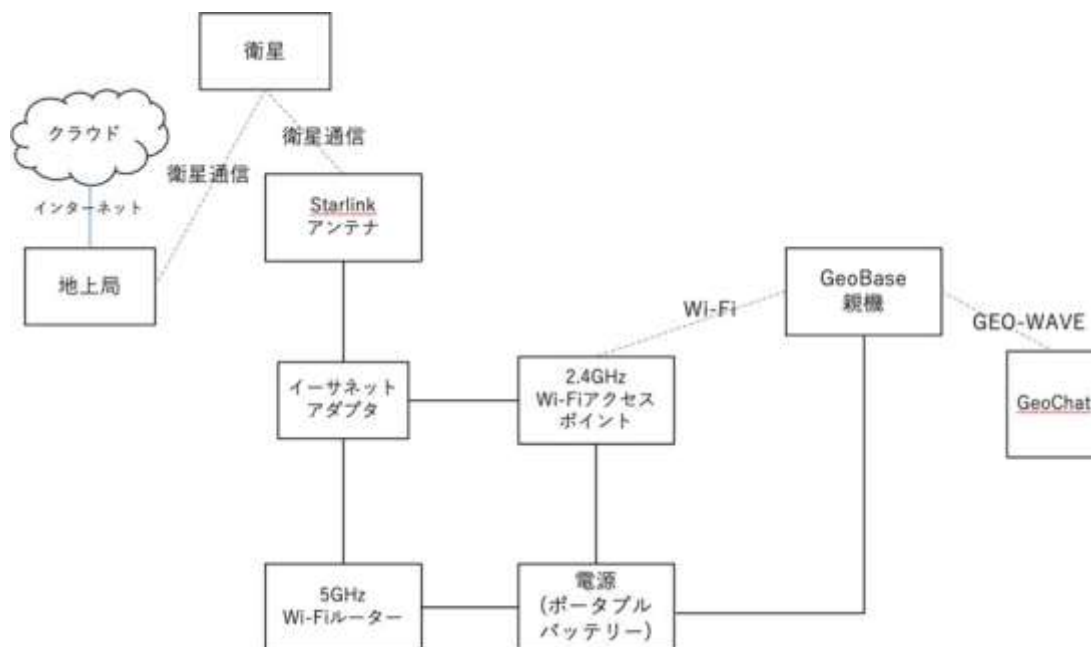
図 3-2 親機の設置位置
(富山市八尾町獺師ヶ原地区)

2) 実証方法の概要

GEO-WAVE による通信インフラの構築を行う場合、通信インフラ構築用機器 GeoBase (親機・中継機) を設置する。従来は AC 電源の供給が可能かつインターネットに接続できる場所に親機を設置し、通信エリアを拡張するための中継機を山中に設置することで広域の通信インフラを構築していたが、今回は Starlink を使った衛星通信によるインターネット接続と、ポータブルバッテリーで電源を確保することで親機を稼働させ、森林内に数 km 範囲の局所的な GEO-WAVE 通信環境を構築する。実証は下記の手順で実施する。

- ① 森林内で Starlink を稼働させるための設置場所の検討
- ② Starlink とGeoBase 親機を設置し、GEO-WAVE 通信インフラの構築
- ③ 実証地において GEO-WAVE による通信及びインターネットへの接続が可能であることの検証

本実証のシステム構成は下図のとおりである。



参考 本実証で使用した機材

①GeoBase 親機	GEO-WAVEで子機端末とのデータの送受信を行い、Wi-Fiアクセスポイントを経由し、インターネット回線（衛星回線）を使ってクラウドと双方向のデータのやりとりを行う。
②Starlink アンテナ	衛星通信により、GeoBaseをクラウドに接続するためのインターネット回線を確保する。
③5GHz Wi-Fi ルーター (Starlink 付属)	Starlinkの純正品では5GHz帯対応の専用Wi-Fiを使用する仕様があるが、屋外での5GHz帯Wi-Fiの利用は、国内では電波法で禁止されているため、今回は専用のWi-Fiルーターのルーター機能及び電源供給機能に限定し使用する。
④2.4GHz Wi-Fi アクセスポイント	Starlink純正オプション品のイーサネットアダプタ経由でStarlinkと接続し、2.4GHz帯でWi-Fiのアクセスポイントを提供する。
⑤ポータブルバッテリー	GeoBase親機、Starlinkアンテナ、2.4GHz Wi-Fiアクセスポイントの電源を供給する。容量135,000mAh/500Whで約8時間稼働想定
⑥三脚ポール	GeoBase親機を高所（地上高5m程度）に設置し、通信性能を高める。
⑦GeoChat	GEO-WAVEによりSOS・チャット・位置情報の送受信が可能な子機端末。スマートフォンとBLE接続し、専用アプリを用いて作成したテキストメッセージなどを送受信する。

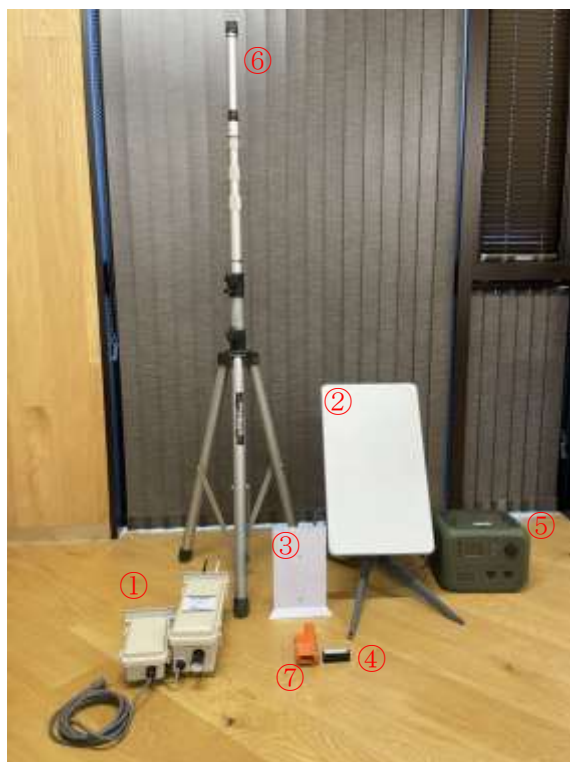


図 3-3 機材の画像

① 森林内で Starlink を稼働させるための設置場所の検討

現地調査の前の机上検討の段階では図 3-4 の場所での設置を考えていたが、上空の見晴らしが足りず衛星が捕捉できなかった。そこで、実証フィールドの範囲内で上空の見晴らしが最も良い図 3-5 の場所に設置したところ、Starlink が稼働した。



図 3-4 木々が生い茂っており、衛星が捕捉できない



図 3-5 上空の見晴らしが取れており、衛星通信が可能

② Starlink と GeoBase 親機の設置、GEO-WAVE 通信インフラ構築

Starlink・GeoBase 親機（以下、基地局）は図 3-6 のように設置する。親機は地上高約 5m の高さにするため、三脚のポールを用いた。配線ケーブルはポータブルバッテリー下の黒のボックスに収納し、ポータブルバッテリーの電源を入れるだけで、Starlink と GeoBase 親機が立ち上がるようになっている。収納時は図 3-7 のようなサイズに収まった。なお、図 3-7 から

図 3-6 の状態まで組み立て、親機が立ち上がるまでの所要時間は、2 名で作業した場合で、約 10～15 分程度であった。

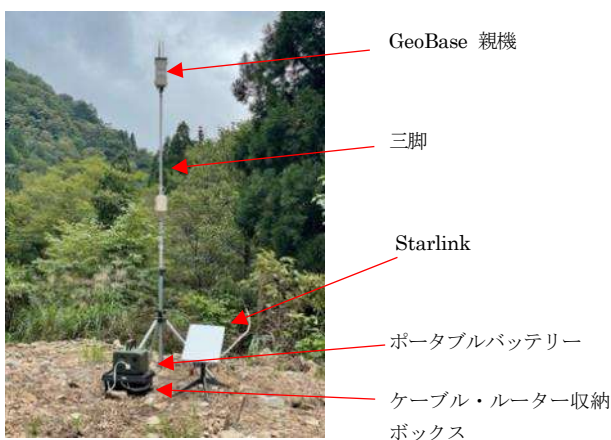


図 3-6 通信基地局の設置写真



図 3-7 機器収納写真

③ 実証地において GEO-WAVE による通信及び Starlink によるインターネットへの接続が可能であることを検証

図 3-8 は実証エリアの範囲（赤枠）、基地局（家のアイコン）、SOS 発信場所（赤ピン）と GEO-WAVE の電波伝搬範囲の机上シミュレーション結果（黄色の網掛け部）を示したものである。実証エリアの林内状況を図 3-9 に示す。図 3-10 は基地局と SOS 発信場所の 2 点間の断面図を示したものである。2 点間の距離は約 650m で高低差は約 30m、見通しは取れていない。

本実証ではチャット、SOS を送受信できる端末「GeoChat」を用いて、実証地の範囲において通信が可能であることを検証した。GeoChat はスマートフォンと BLE 接続することで、専用アプリのチャット画面のテキストメッセージを GEO-WAVE により送受信できる端末である。

SOS 発信場所は、基地局が実証フィールドの端であったため、対極に位置する場所を SOS 発信場所として、2 点間及びその道中においてメッセージの送受信を実施した。図 3-11 はクラウドの管理画面で確認した SOS 発信後のメッセージのやり取りである。これは、ユーザー02 が図 3-8 の SOS 発信場所からメッセージ付きで SOS を発信し、それを読んだ管理者が現場のユーザー03 に救助指示を出し、被災者の状況を確認しながら救助に向かう場面を想定したものである。携帯圏外の実証地においてなされたこのやりとりがクラウドで確認できていることから、GEO-WAVE による子機-親機間のメッセージの通信が行われ、Starlink の衛星通信によるインターネットへの接続ができたことがわかった。

また、GeoChat は定期的に位置情報を GEO-WAVE で発信しており、図 3-12 はユーザー03 が SOS 発信場所まで向かう際の位置情報のトラッキングを表している。

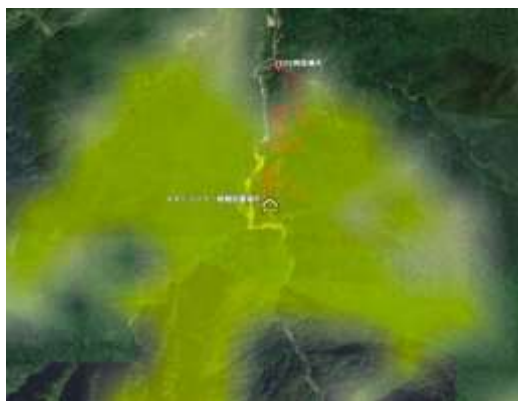


図 3-8 GeoBase 親機の電波伝搬範囲と位置関係



図 3-9 林内の状況



図 3-10 基地局-SOS 発信場所間の断面図
(左端：基地局 右端：SOS 発信場所)

HELPチャット

[HELPチャット一覧へ](#)
 日時：2023-09-29 13:10:50 製造番号：1760000348 ノードアドレス：68E7795C
 名前：ユーザー02 端末名：検証用GeoChat348

ユーザー02 [端末：検証用GeoChat348]

例本に扱われ動きません！動けてください！

2023-09-29 13:10:50

管理者

管理者にSOSが届きました

2023-09-29 13:11:11

富山県管理者

SOS了解。花輪はすぐに現場に向かい状況報告してください。

2023-09-29 13:14:40

ユーザー03 [端末：検証用GeoChat274]

意図はありますか？もうすぐついでで確認してください

2023-09-29 13:24:12

ユーザー02 [端末：検証用GeoChat348]

痛みがひどいですが意図はあります

2023-09-29 13:25:10

図 3-11 クラウド管理画面の SOS 発信時の HELP チャット内容



図 3-12 GeoChat の位置情報トラッキング

(2) 魚津市三ヶ地区 (10/5)

1) 実証地

実証地は図 3-13 の赤色の網掛け部で、本実証においては図 3-14 の家アイコンの位置を通信基地局とした。なお、実証地は携帯圏外である。



図 3-13 実証フィールドの範囲 (魚津市三ヶ地区) 図 3-14 Starlink・親機の設置位置

2) 実証方法

図 3-15 は SOS 発信場所、Starlink・GeoBase 親機の設置場所 (家のアイコン) と GEO-WAVE の電波伝搬範囲の机上シミュレーション結果 (黄色の網掛け部) を示したものである。このような位置関係で Starlink を活用した通信を実施する予定であったが、当日雨天の影響で実施不可との判断により、事前の検証結果を報告する。

事前の検証では、図 3-15 のシミュレーション結果に基づき、親機の設置場所、SOS 発信場所において、それぞれ GeoChat による通信を行い、双方向の通信が可能であることを確認した。また、別事業者より親機設置場所において Starlink によるインターネット接続を確認したとの報告があり、上記の結果をふまえ、富山市八尾町獵師ヶ原地区と同様に Starlink・GeoBase 親機による GEO-WAVE 通信インフラの構築が可能であると考えられる。



図 3-15 実証フィールドの範囲
(魚津市三ヶ地区)



図 3-16 林内の状況

3 実証結果と検証

(1) 効率化・省力化が可能となる要素

本実証事業の結果としては、森林内で Starlink を活用した GEO-WAVE 通信インフラの構築が可能であることがわかった。

GEO-WAVE 通信インフラは、通常は親機・中継機を固定し構築を行う。この場合、親機は商用電源、中継機はソーラーパネル・バッテリーで稼働させるため、移動やメンテナンスの必要がなく通年稼働が可能であり、利用者は GeoChat だけを携帯すれば良いという利点がある。また、整備した通信インフラは GeoChat 以外の用途（エリア内に固定し使用するセンサー情報の遠隔監視など）にも活用可能である。そのため、親機の設置場所に困らない場合、固定の広域エリアをカバーしたい場合、多用途に通信インフラを活用したい場合は常設が有効である。

但し、通信インフラを固定する場合は、導入、設置、移設、メンテナンスにかかるコストが高額になる事、親機設置候補地から施業エリアまでの距離が遠く、そもそも親機が設置できない場合や常設インフラカバーエリア外での施業が発生した場合のフレキシブル対応が困難である事など、デメリットも考えられる。

一方、本事業で行った Starlink・親機の組み合わせであれば、その都度持ち運び、設置、ポータブルバッテリーの充電は発生するものの、常設では成し得なかった局地的なインフラ構築が効率的かつ省力で対応できることが分かった。これにより、用途が GeoChat による労働安全管理に絞られる場合、かつ常設でのインフラ構築が困難な場面においては、低コストで実現可能な大変有効な手段である事が実証された。

(2) 使用する際の留意点

- ・Starlink の設置場所について、アンテナと上空の間には、木々など衛星通信を遮る障害物がなく、上空の見晴らしが取れる場所（北側の上空が7割程度開けた場所）での設置が望ましい。
- ・電波はアンテナ部から無指向で球状に発信されているため、下方向に飛んでいる電波が地面に反射し干渉の原因になる可能性が高い。したがって GeoBase を設置する際にはアンテナ部は地上から 5m 以上離れていることが望ましい。
- ・GeoChat で電波を発する際は、GeoBase のアンテナに合わせて、地面に対して垂直・上向きに持って頭上に掲げると通信性能が高まる。逆に下・横向きや低い位置で持ったり、ポケットなど衣服の中に入れたままの状態では電波を発すると、通信性能が低くなる。
- ・ポータブルバッテリーを使用して Starlink 及び GeoBase を稼働させたところ、Starlink の消費電力が高いことがわかった。Starlink の消費電力が約 50～70W^{*3}で、GeoBase の消費電力が約 1～2.5W のため、仮に 8 時間稼働する場合は最大約 580Wh の容量が必要になる。今回使用したポータブルバッテリーは定格容量 500Wh のため、更に容量の大きい

バッテリーで稼働させる必要がある。

※3 ImpressWatch 記事より引用 (<https://www.watch.impress.co.jp/docs/topic/1490045.html>)

(3) 利用者の感想

- ・機材の運搬や設置、撤収作業自体は問題ない。
- ・Starlink を稼働させるためのバッテリー消費が激しい。
- ・Starlink の設置場所の選定が難しい。
- ・機器・アプリの取り扱いが難しい。
- ・GeoChat をスマホ一体型にしてほしい。
- ・機器を車（重機）に搭載して使用できるといい。

4 現場への実装方法

1～3で説明したように、本実証においてStarlinkを活用した森林内での局所的なGEO-WAVE通信インフラの構築及びエリア内での通信が可能であることがわかった。一方で、実際に現場で利用する上では、以下のような課題に取り組む必要がある。

- ・GeoBase及びStarlinkの消費電力を考慮した最適なバッテリーの選定
- ・防水性、排熱性に配慮したケーブル、ルーター収納ボックスの検討

本実証と同様の機器を導入する場合の機器代金及びランニングコストを参考価格として以下の表に示す。（なお価格については、上記課題に対処する中で変動する可能性がある）

- ・機器代金（税別）

	単価	数量	金額
GeoBase Dual 親機	1,000,000	1	1,000,000円
GeoChat 子機	80,000	5	400,000円
Starlink	50,000	1	50,000円
イーサネットアダプタ	9,455	1	9,455円
2.4GHz アクセスポイント	2,000	1	2,000円
バッテリー	50,000	1	50,000円
三脚	27,500	1	27,500円
ポール	18,000	1	18,000円
その他	10,000	1	10,000円
計			1,566,955円

・1ヶ月あたりのランニングコスト

	単価/月	数量	金額
GeoBase クラウド利用料	7,500	1	7,500 円
GeoChat アプリ利用料	300	5	1,500 円
Starlink 利用料	9,000	1	9,000 円
計			18,000 円

第4節 林業フィールド通信網の実証 [ヤマシスト]

(北陸電気工業(株))

1 目的

林業フィールドの山間部では、スマートフォン (LTE 通信) などの通信機器が圏外になり、現場で事故が発生した場合、迅速な対応が難しくなる。林業フィールドでの LTE 通信範囲の拡大は難しいのが現状となっている。また衛星通信を用いた通信範囲拡大についても、植生の多い場所では通信困難になる場合があり、林業フィールドをカバーする通信は難しいといえる。林業の現場において安全管理を強化するため、ヤマシストを活用して、緊急情報、位置情報、およびメッセージの交換が円滑に行えることを確認する。

2 実証地と実証方法

(1) 実証地

場 所：富山市八尾町獺師ヶ原地内 (婦負森林組合)

実施日：事前実験 2023年9月13日

実証事業現地研修会 2023年9月29日



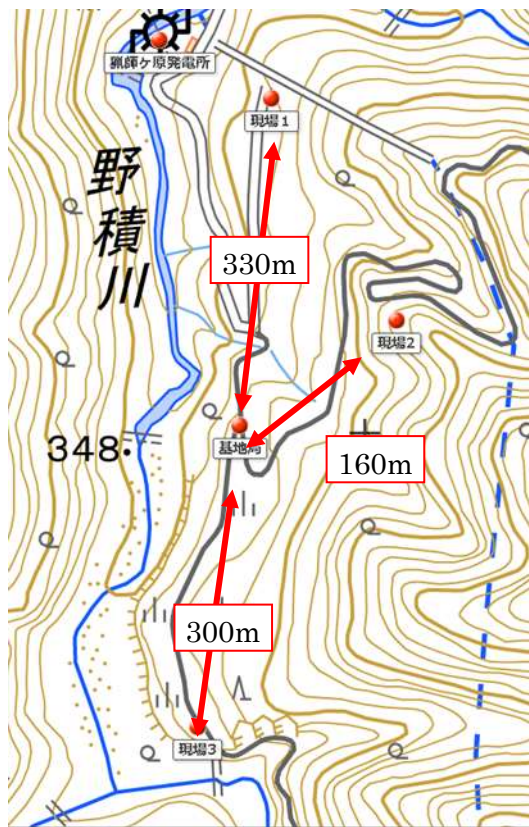
国土院 地理院 「地理院地図 電子国土 WEB」をもとに北陸電気工業(株)が作成

(2) 実証方法

1) 通信範囲の確認

猟師ヶ原地内でLPWA通信の通信可能範囲を確認する。LPWAとはLow Power Wide Areaの略称で、メリットは低消費電力で広域・長距離通信が可能、デメリットとして送信データ量が少ないことが特徴の無線通信である。実証方法としては、基地局と端末間の距離を離して設置し、敷地内で端末を移動させながら通信可能範囲と不可能範囲を確認する。通信が不可能な場所がある場合、中継局を追加設置して通信範囲を拡大する試みを行う。

猟師ヶ原地内に基地局を設置し、基地局から離れた場所3か所を選定し、それぞれの場所で端末から電波を送信し、基地局で受信した際の電波強度を測定した。植生や地形による電波が減衰する事を考慮し、木々の間など送信場所を変えて測定を行った。



障害物（木）が多い場所から電波を送信

② 使用機器

ヤマシスト端末



サイズ	W69mm×H104mm×D26mm
重量	167g
連続稼働時間	72 時間
使用温度範囲	-10～50℃
防水防塵	IP67
通信	920MHz

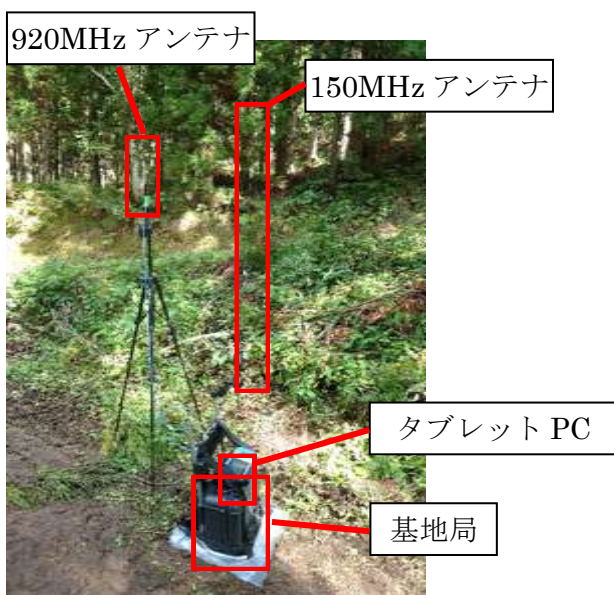
ヤマシスト機能

- ・ 位置情報取得機能 : GNSS を用いて位置情報を取得する機能
- ・ SOS 送信機能 : SOS 情報と位置情報を端末、基地局へ通知する機能
- ・ 位置検索機能 : 端末の位置情報を取得する機能
- ・ メッセージ送信機能 : 端末と簡易メッセージをやりとりする機能
- ・ GNSS ロガー機能 : メモリに位置情報を 3250 件記録する機能

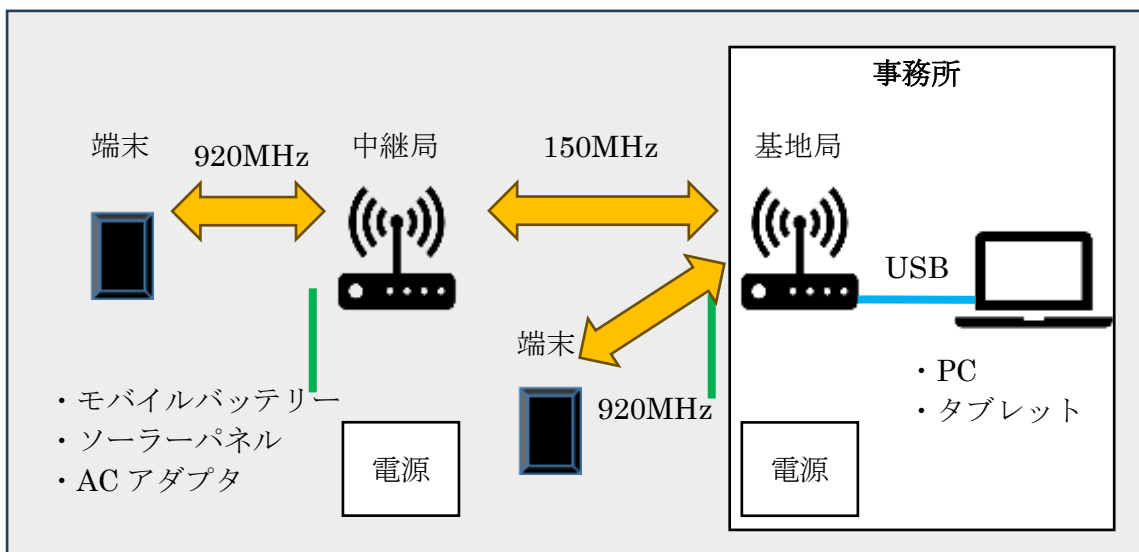
基地局



サイズ	W415mm×H325mm×D182 mm
重量	3500 g
使用温度範囲	0～50℃
電源	モバイルバッテリー、AC アダプ タ、ソーラーパネル
防水防塵	IP67
通信	150MHz 920MHz



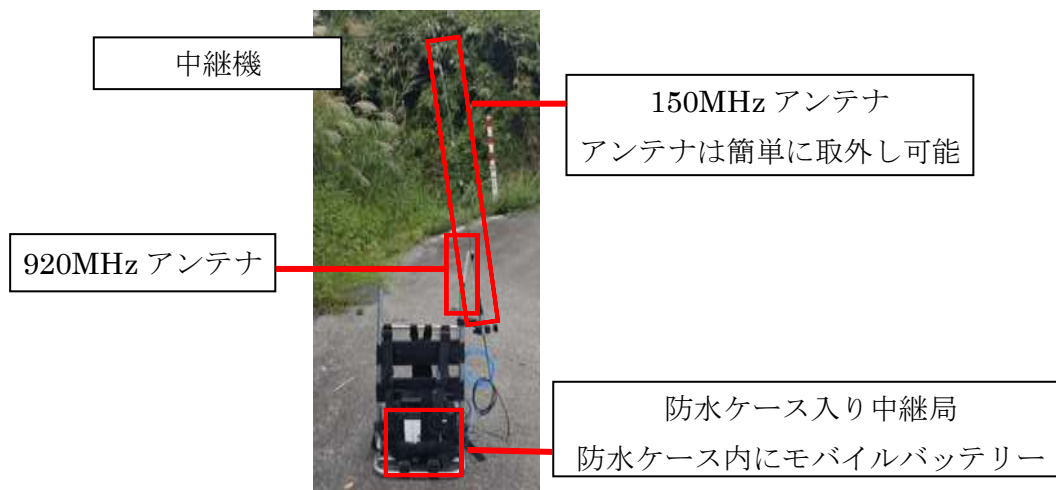
③ システム概要



ヤマシストは無免許で使用できる 920MHz と 150MHz の無線機器を使用したシステムとなっている。基地局と中継局は 920MHz と 150MHz の無線を搭載しており、ヤマシスト端末は 920MHz 無線のみ搭載している。150MHz の通信範囲は 920MHz よりも広域であるが、モジュールが高価であること、またアンテナのサイズが大きくなってしまいうなど、端末に搭載するには向いていないため、端末には 920MHz 無線を採用している。

システム概要の図に示しているように端末-中継局もしくは端末-基地局は 920MHz で通信を行い、中継局-中継局、中継局-基地局は 150MHz で通信を行う。基地局は PC と USB 接続してデータを PC に送信する。PC に専用アプリをインストールする事で、ヤマシスト端末の位置情報の確認やメッセージ交換が可能。

基地局は通常 AC アダプタで運用を想定しているが、今回の検証ではモバイルバッテリーとタブレット PC を使用した。中継局は現場や電源のない場所に設置することを考慮し、ソーラーパネルとモバイルバッテリーに対応している。中継局の設置を簡単に行えるように、中継局本体、モバイルバッテリー、920MHz アンテナ、150MHz アンテナを 1 パッケージとして背負子に組み込み、そのまま持ち運び、置くだけで中継局を設置ができるように工夫している。



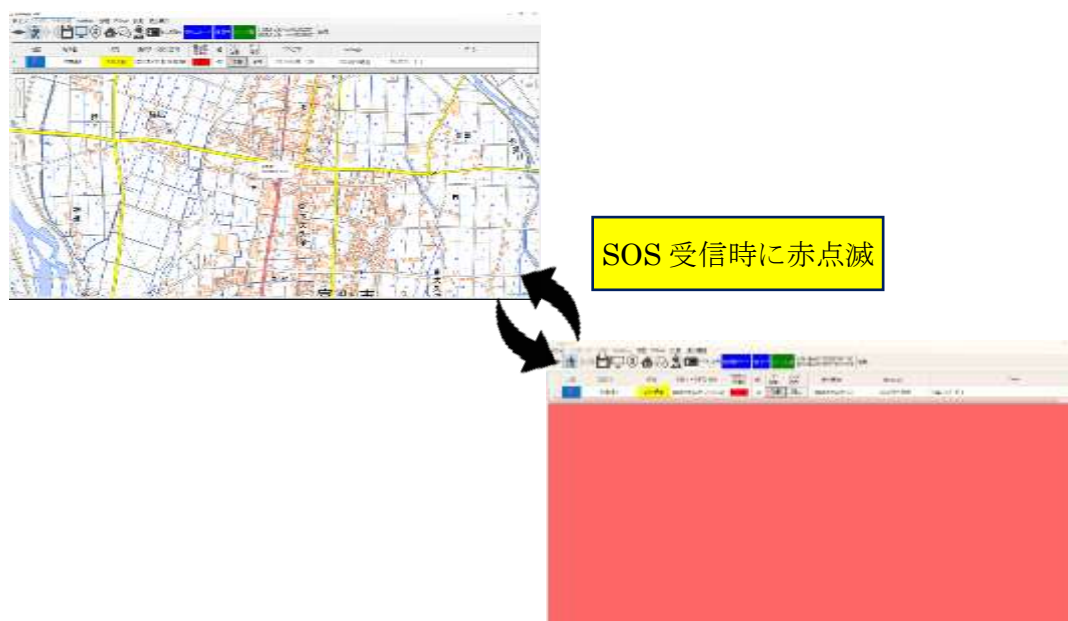
2) 位置情報の表示確認

前項1)の検証で通信が確認できた場合、PCアプリには端末の位置情報と端末のID(名前)が表示される。位置情報はGNSS(GPS)情報を使用しており、植生の多い場所でGNSS情報に大きな誤差が出ないかを確認するため、通信を行った場所とアプリに表示された場所に相違がないかを確認する。

① アプリ画面(デモ画面)



端末からの情報がSOS情報の場合は、アプリ画面が赤点滅し、緊急事態をお知らせする。



3 実証結果と検証

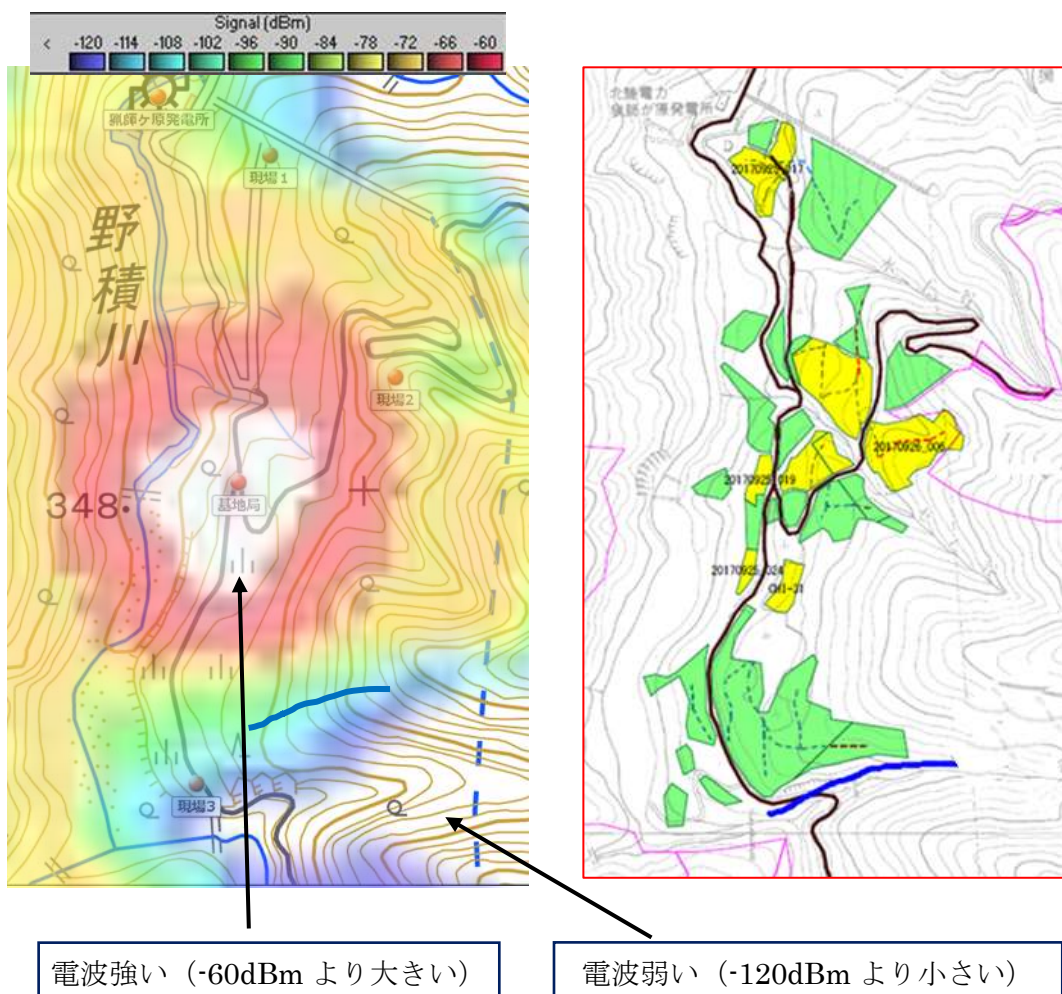
(1) 実証結果と検証

1) 電波シミュレーション

実地実証の前に、電波シミュレーションにより獺師ヶ原地内に基地局を設置した場合の920MHz通信の通信範囲を確認した。この電波シミュレーションは簡易的なものであり、地形の反射などは考慮されていないため、参考程度に確認したものである。電波強度 (dBm) は電波の強さを表す数値であり、数値が大きくなるほど強く電波を受信している。ヤマシストの電波強度値と通信の関係性の表を下記に示す。

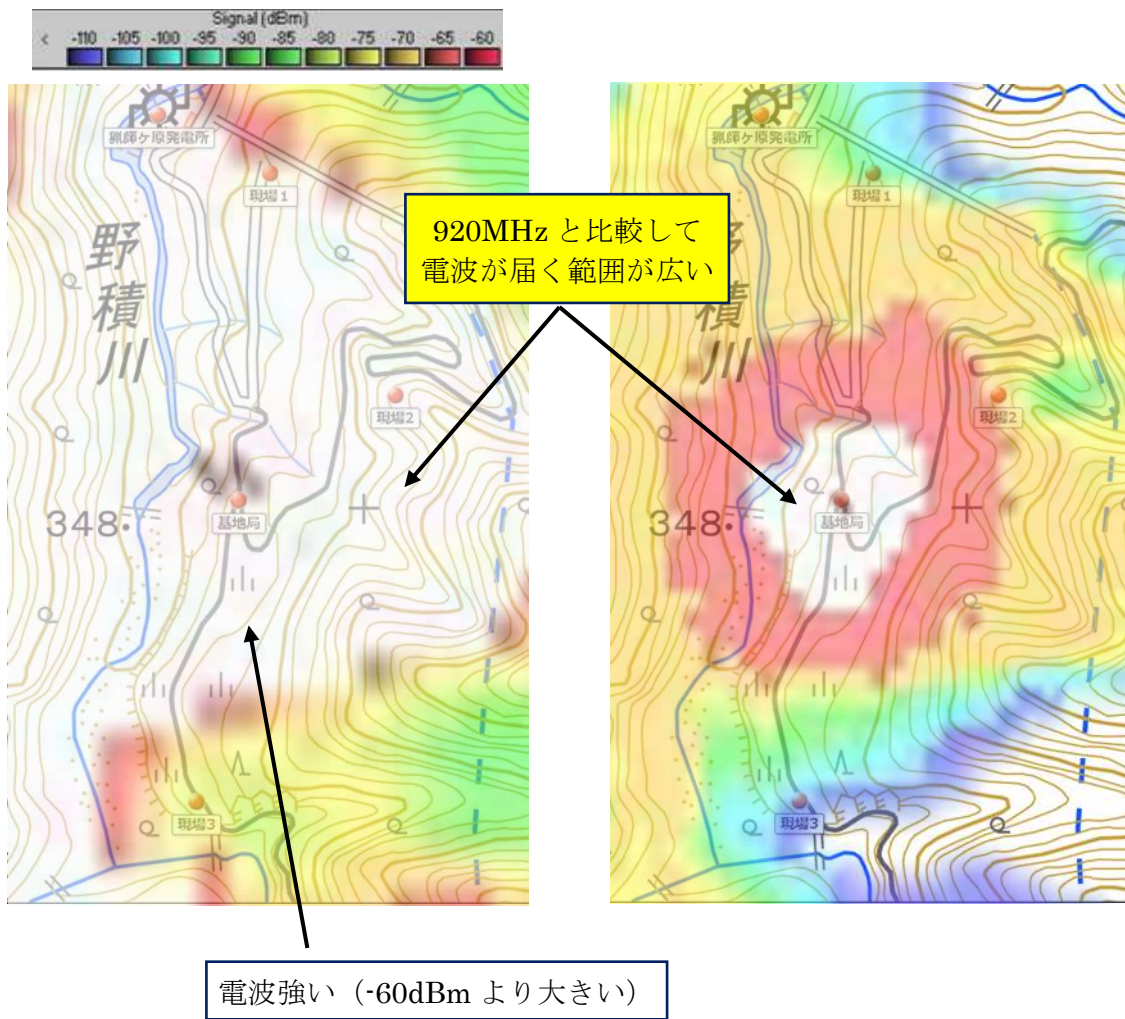
通信	920MHz	150MHz
良好	0dBm ~ -110dBm	0dBm ~ -100dBm
不安定	-110dBm ~ -125dBm	-100dBm ~ -115dBm
通信不可	-125dBm 以下	-115dBm 以下

920MHz 基地局からの電波シミュレーション (-110dBm 以上で良好)



920MHz シミュレーションでは、基地局1台で猟師ヶ原地内のほとんどのエリアをカバーできる結果となった。ただし、「端末3カ所目」のエリアにおいては電波強度が弱く、通信ができない可能性がある。通信ができない場合は中継局を設置する。基地局と中継局は150MHz で通信するため、920MHz よりも遠くまで通信が可能となる。

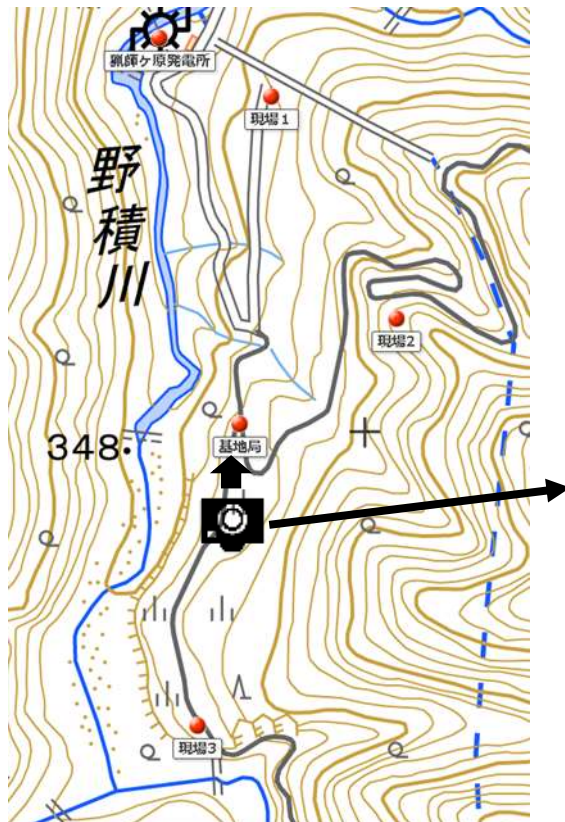
150MHz 基地局からの電波シミュレーション (-100dBm 以上で良好)



上記 150MHz のシミュレーションでは、猟師ヶ原地内において電波が強く、ほとんどの場所でも色が表示されていない結果となった。920MHz の電波が弱い箇所も 150MHz でカバーできる可能性が高い。現地実証の際は、シミュレーション結果を参考にして実際の電波強度 (dBm) を測定する。

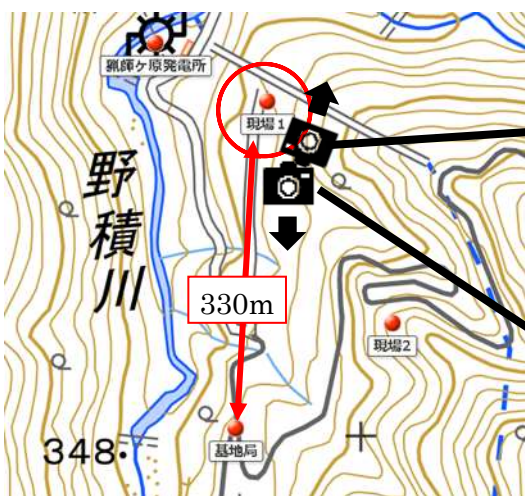
2) 現地検証

猟師ヶ原地内の中心付近の分岐路地点に基地局を設置し、端末については大きく分けて3ヵ所で検討を行う。基地局のアンテナは地上1.5m~2m程度に設置した。基地局の位置から端末の位置は見えない状態となっている。各端末はそれぞれの場所付近を動きながら、植生の影響で通信不良が出ないか確認する。

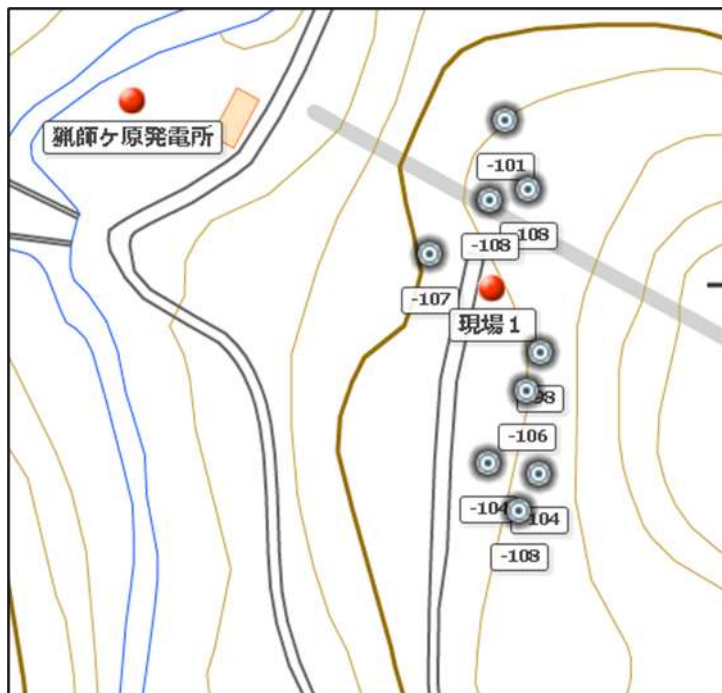


① 現場1

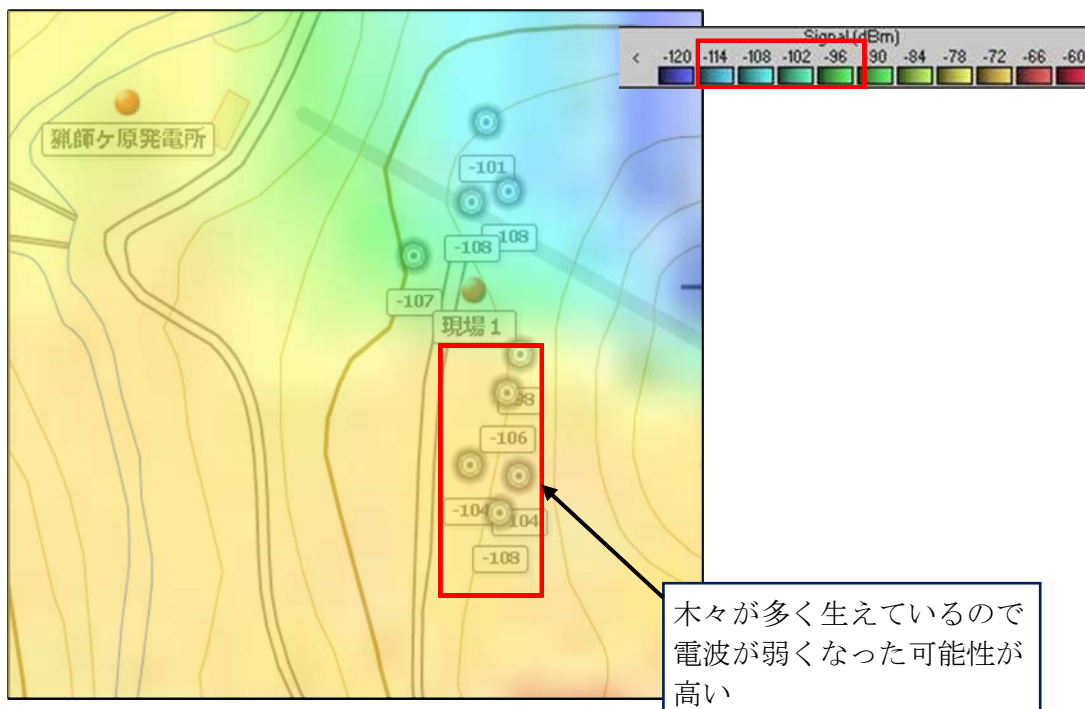
基地局から330mほど離れており、地形的には基地局との高低差が少ない場所。



現場1での920MHzの通信結果は、下図のようになった。図には端末のGNSS情報と電波強度をプロットしている。受信した電波強度としては-108dBm~-101dBmの範囲であり、これは安定した通信が可能な電波強度である。



シミュレーションデータとの比較から、一部はシミュレーションと同様の値となっているが、シミュレーションデータでの電波強度が-80dBm付近（黄色付近）については実測値が-100dBm以下となっている。この差異は、シミュレーションデータで示された黄色付近の場所は植生が多く、電波が減衰した可能性が高いと考えられる。

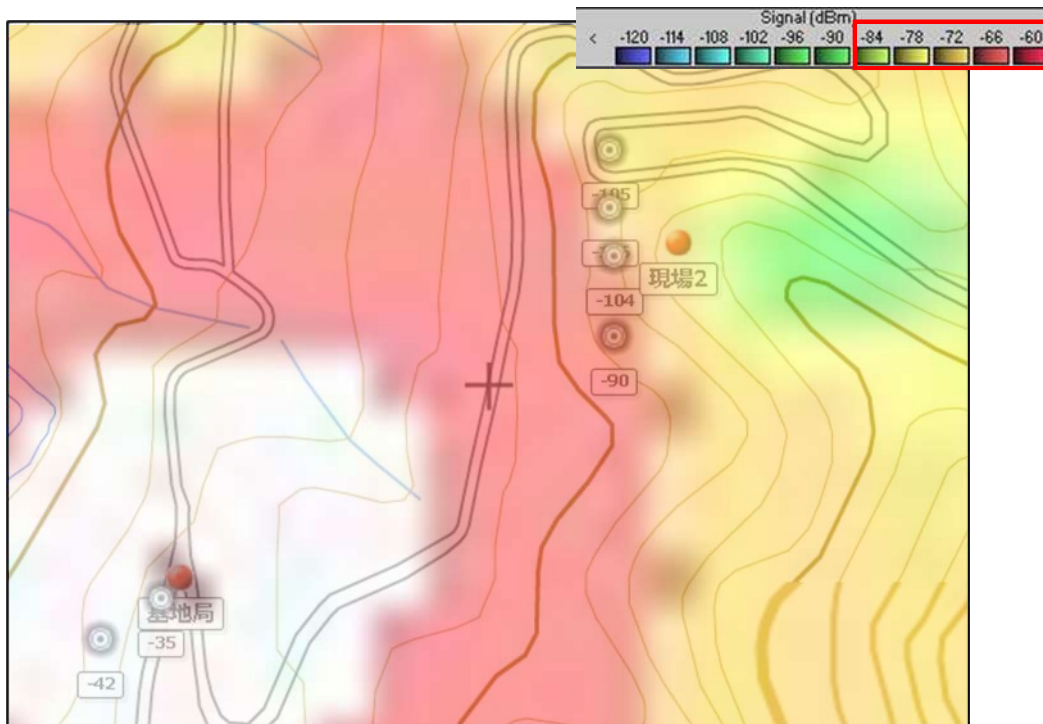


② 現場2

現場2は基地局から約160m離れており、基地局と現場2の間には高低差があり、また、植生が現場1よりも多い状況。



現場2での920MHzの通信結果は、下図のようになった。図には端末のGNSS情報と電波強度をプロットしている。受信した電波強度としては-106dBm~-90dBmの範囲であり、これは安定した通信が可能な電波強度である。直線距離は短いためシミュレーションデータでは電波強度は-90dBm~-60dBmとなっており、実測値との差が大きくなっている。植生の密度が高い場所であり、現場1と同様に植生の影響により減衰している可能性が高い。

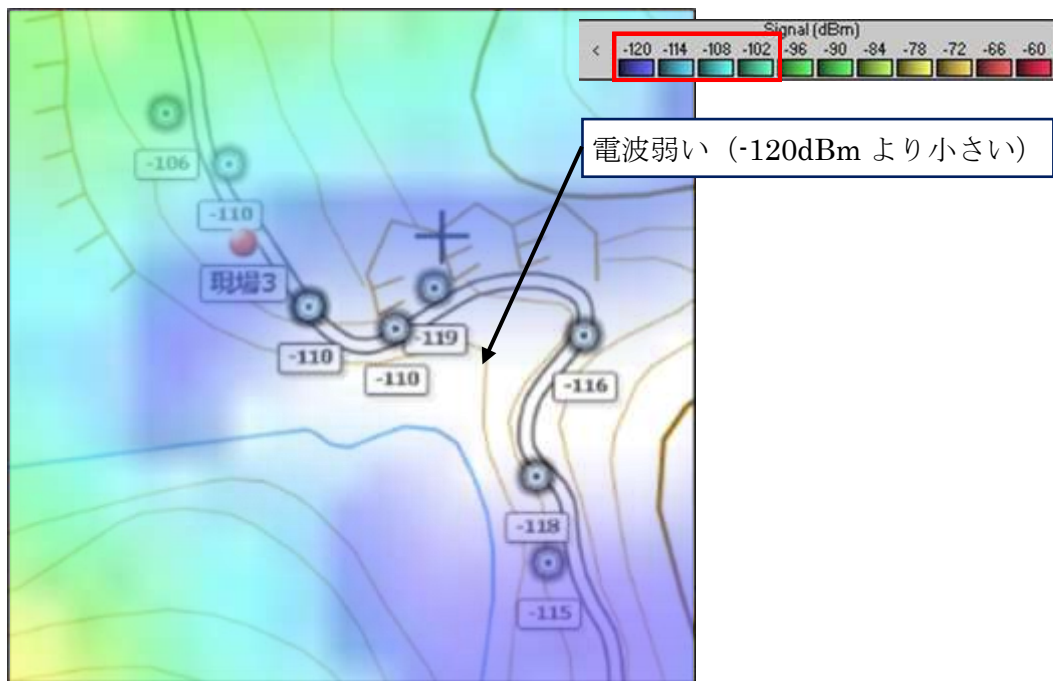


③ 現場3

基地局から300mほど離れており、基地局-現場3の間には高低差がほぼなく、植生も現場1程度である。ただし、地形的な問題から、現場3の奥の曲がったところは基地局から完全に隠れる形になっており、通信に大きな影響が出る可能性がある。



現場3での920MHzの通信結果は、下図のようになった。図には端末のGNSS情報と電波強度をプロットしている。受信した電波強度としては-119dBm~-106dBmの範囲であり、一部は安定通信が難しい電波強度となっている。シミュレーションデータでは電波強度は通信不可~-100dBmとなっている。実測では通信が行えた場所もあり、中継局を使用せずに検証したが、一部は通信できる限界付近の電波強度(-119dBm)で受信しており、地形の影響を大きく受けている可能性がある。

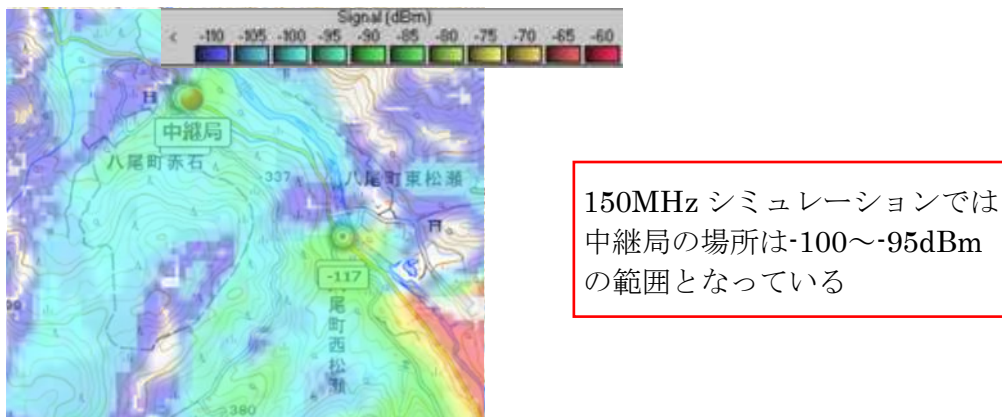


3) 中継局の検証

猟師ヶ原地内の通信検証において、現場1~3では通信不可な場所が確認できなかった。そこで、中継局を使用した検証を行うために、猟師ヶ原地内から離れ、端末が通信できなくなった場所で中継局を設置し、中継の検証を行った。車で移動し、道幅が広がった場所で端末通信を試みたが、1ポイント目ではまだ通信可能であった。さらに移動し、2ポイント目で通信が不可能となった。そこで、2ポイント目に中継局を設置し、端末の電波を中継して基地局まで通信できたことを確認し、中継局設置により通信範囲が広がることを確認できた。



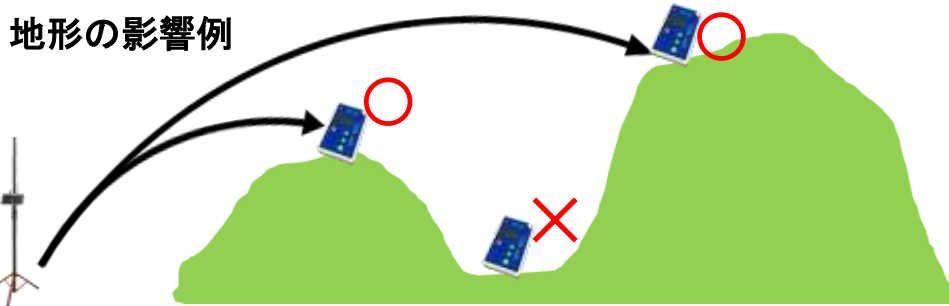
基地局-中継局 150MHz シミュレーション



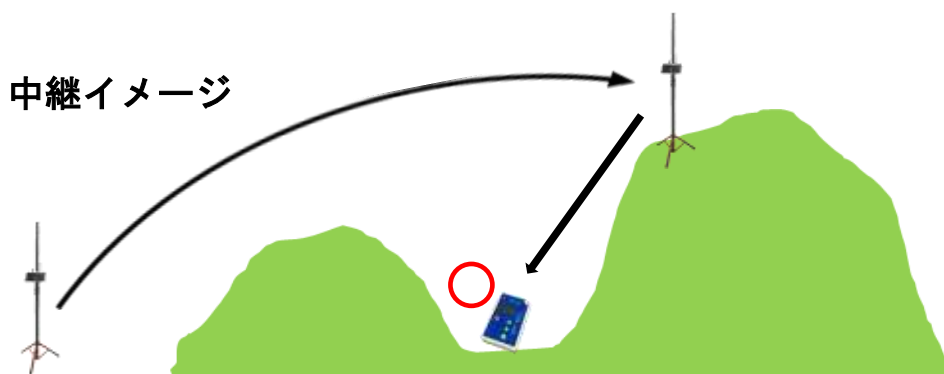
(2) まとめ

ヤマシストの安全対策機能（SOS ボタン、メッセージ交換、位置情報取得）の使用には林業フィールド内で端末が通信可能であることを確認する必要がある。猟師ヶ原地内で植生の影響がある中、ヤマシストの920MHz通信が可能かどうか調査を行った。

基地局から100m以上離れた3カ所で実地検証を行い、問題なく通信できることを確認した。アプリ表示についても実際の位置と変わらない位置に表示されている事を確認した。920MHz通信において、シミュレーションデータと比較しても、植生の影響で電波強度が減衰していることを確認したが、問題ない電波強度で受信が可能であることを確認した。また、電波強度に関しては、シミュレーションデータからも分かる通り、植生の影響よりも地形の影響が大きい結果となった。地面の凹凸により基地局から隠れてしまう場所では極端に電波が弱くなり、受信が不可能にもなることを確認した。



上記のような地形で端末の通信が届かない場所について、中継局を設置して通信範囲を拡大することを検討した。具体的には、端末が通信できない場所まで移動し、中継局を設置することで端末の通信範囲が拡大することを確認した。



研修に参加された方からは、「想像よりも遠くまで通信できる」「同じ富山県内の企業なのでサポートが安心」「端末サイズが大きい」などの意見があった。端末サイズについては改善検討が可能である。

4 現場への実装方法

(1) 想定現場

ヤマシストは林業フィールドでの安全管理のための使用を想定している。林業フィールドではスマートフォンの電波が繋がりにくい状況がよく見られ、事故が発生した場合に連絡が遅れることが想定される。そこでヤマシストを利用することで、緊急時の連絡を迅速に事務所まで届ける事が可能となる。

使用を想定される状況

- ・スマートフォンが圏外の現場
- ・安全管理が不安な現場
- ・現場の作業者の位置情報を事務所で確認したい場合
- ・現場の作業者にメッセージを送りたい場合

想定 of 機器セット

- ・ヤマシスト端末 5 台 (5 人分)
- ・基地局 1 台 (事務所に設置)
- ・中継局+ソーラー電源 1 台 (事務所と現場を繋ぐように設置 固定)
- ・中継局+モバイルバッテリー 1 台 (現場付近に設置)

機器価格 (現行品概算)

品名	単価	数量	金額 (税込み)
基地局	400,000	1	400,000
中継局+ソーラー	480,000	1	480,000
中継局+モバイル	410,000	1	410,000
ヤマシスト端末	50,000	5	250,000
その他	10,000	1	10,000
合計			1,550,000

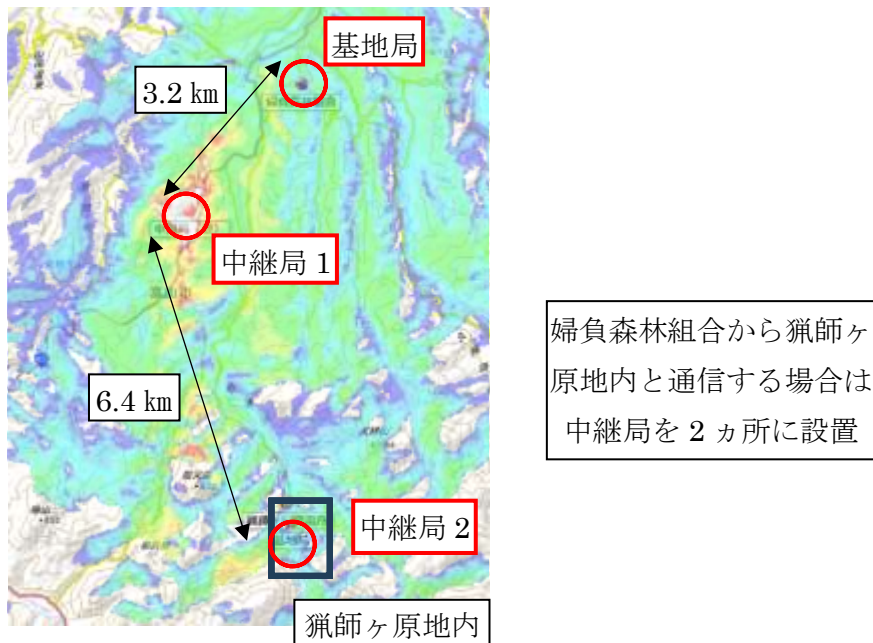
年間利用料 (現行品概算)

品名	単価/年	数量	金額/年 (税込み)
アプリ利用料	180,000	1	180,000
合計			180,000

上記金額は今回実証実験に用いたヤマシストベース (登山者向け) の金額であり、林業向けにカスタマイズする場合、価格は変更となる可能性がある。

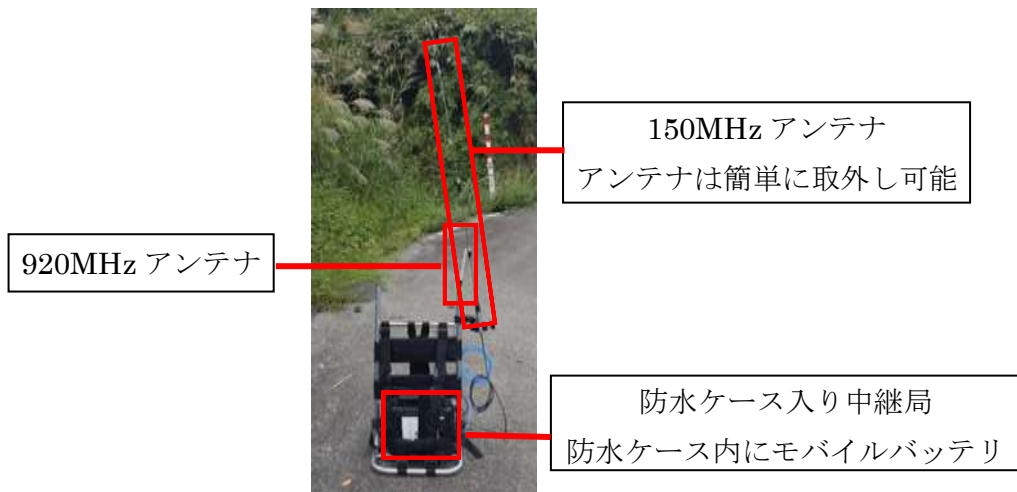
(2) 猟師ヶ原での運用イメージ

猟師ヶ原地内の林業フィールドで運用する場合、事務所である婦負森林組合に基地局を設置し、中継局を複数設置して現場と電波を繋げる。シミュレーションに基づいて設置場所を想定した結果、下図のような配置となる。



中継局は現場に合わせて最適な設置場所を検討する必要がある。具体的な中継局の設置場所については、サポート・検討を行う。電源については、基本的にはソーラー電源を利用し、そのまま放置できるが、冬季においては積雪によりソーラーパネルが破損する可能性があるため、冬季前に回収し、仕事始めのタイミングで再設置する必要がある。

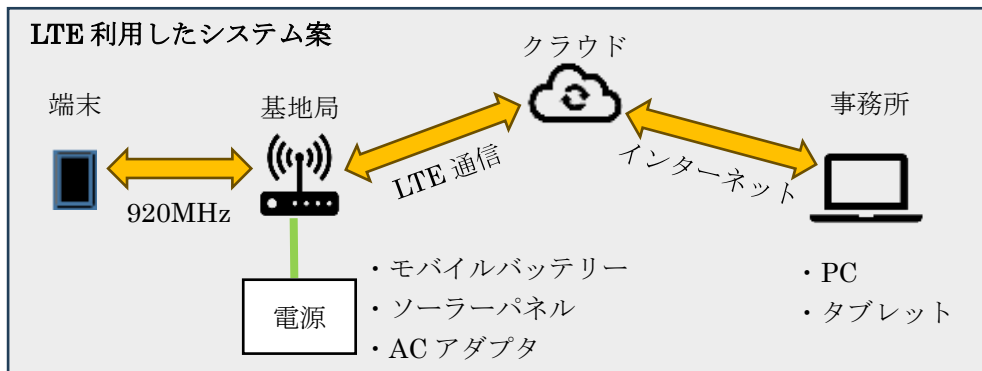
現場の場所が日によって変わる場合は、中継局をモバイルバッテリーで稼働させ、作業現場の近くに設置する運用となる。モバイルバッテリーの充電のため、毎日中継局を持ち帰り充電し、次の日に再設置する運用となる。中継局の設置・回収を簡単に行うために、背負子に中継局本体、モバイルバッテリー、920MHz アンテナ、150MHz アンテナを1パッケージとして組み込み、そのまま持ち運び、置くだけで中継局の設置ができるように工夫している。



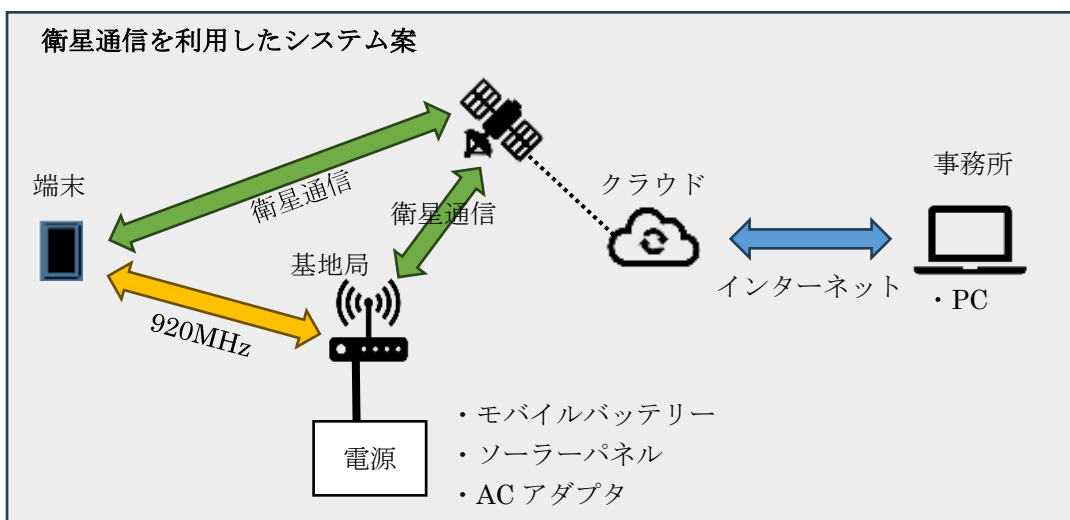
(3) 課題と今後について

ヤマシスト端末は登山者向けに開発したため、現在は遭難者向けの定型文が登録されている。林業での利用に際しては、現場の状況確認などに必要な定型文に改修する必要がある。

(参考) データをクラウドに送信するシステムも開発可能



(参考) 植生の少ない場所では衛星通信を利用したシステムも開発可能



衛星通信は非常に有用だが、衛星と通信する特性上、上空が開けている場所でないと安定した通信を行えない可能性がある。現場の近くに上空が開けている（植生が少ない）場所があるならば、衛星通信を使用したシステムが有用である。

使用する衛星通信の候補は、イリジウム衛星通信、スターリンクが挙げられる。

本研修で林業関係者の声を聴くことで、不要な機能や林業向けの専用機能が明確になり、今後は使い勝手の向上を検討する。

第5節 カラーマーキング機能等付ハーベスタの実証

(コマツ富山株)

1 目的・内容

木材を用途別に仕分けする作業は、現在、山土場や中間土場において、専属のグループ等の高性能林業機械と作業員を配置し行われているが、木材の生産性向上のためには、伐採行程と併せて行うなど、効率化を図る必要がある。

また、需要に応じた木材生産や作業の効率化を検証するためには、生産量を管理することは不可欠である。このため、玉切り時のマーキング機能と生産データの送信機能を有するハーベスタについて、以下の内容について検証を行う。

- 1) 造材・仕分け作業の効率化の実証
- 2) 造材・仕分け作業の精度の検証
- 3) ハーベスタのデータ適時送信技術を活用した生産管理の検証

2 実証の方法、準備

(1) 使用機械

ベースマシン：コマツPC138US-11型ハーベスタC93仕様

付属機能：カラーマーキング機能、ZOUZAIウォッチャー

PC138US-11 ハーベスタ C93 仕様

C93 ハーベスタヘッド



(2) 実証地

実証は、南砺市利賀村上百瀬地内で2023年5月から8月まで、氷見市万尾地内で10月から11月、小矢部市了輪地内で2024年2月に行った。

(3) 実証方法

① 造材・仕分け作業の効率化の実証

氷見市万尾において、当現場の既存の、造材～小運搬～荷下ろし・仕分けの作業システ

ムがカラーマーキング機能等付きハーベスタを使用することで、どの程度、効率化できるかを比較した（次表の二重線の工程）。

また、小矢部市了輪においては、樹皮が剥げている伐採木をハーベスタで送材する際に、木材が滑り採材長に誤差が生じることがあり、中間土場においては採材長の確認が行われているが、この確認作業の効率化について実証した。

具体的には、確認を要する原木に着色を行い、対象木を識別しやすくした。

《氷見市万尾での作業システム》

工程		伐倒 →	木寄せ →	造材 →	積込み →	小運搬 →	荷下ろし・ 積積み →	運搬
使用機械等		チェーンソー	グラップル	ハーベスタ	グラップル	フォワーダ	グラップル	トラック
仕分け作業	マーキングなし【既存】	—	—	<u>仕分け</u>	—	仕分け済み	<u>仕分け</u>	—
	マーキングあり	—	—	<u>マーキング</u>	—	仕分けなし	<u>仕分け</u>	—

② 造材・仕分け作業の精度の検証

検証試験は南砺市上百瀬のスギ人工林皆伐事業地（上百瀬事業地、標高 1093m）において行った。2022年7月に事業地内に0.14haの試験区を設定し、毎木調査と立木位置の計測を行った（図5-1）。試験林分の概要は表-1に示したとおりである。2023年7月に試験地の立木のうち20本を伐倒し（写真5-1）、これらを供試木としてハーベスタ造材工程における仕分け作業の精度検証試験を行った。試験では、オペレータが玉切りの鋸断直前に材の品質等級（A材、B材、C材）に応じてカラーマーキングを行い、伐倒木1本分の造材作業が終了した後に、調査者が材長、末口・元口径、矢高を計測し、その計測値をもとに、表-2の基準に従って品質等級を評価した。採材長は4mを基準とするが、有利採材を心がけ、幹曲がりの大きい部位や梢端部については4m以下で採材することもあった。オペレータがマーキングに使用した色は赤と青の2色であり、A材は赤色、B材は青色とし、C材はマーキング無しとした。なお、試験に参加したオペレータは1名であり、1ヶ月以上にわたり当該ハーベスタおよびマーキング機能を使用し、操作には十分熟達した状態にあった。

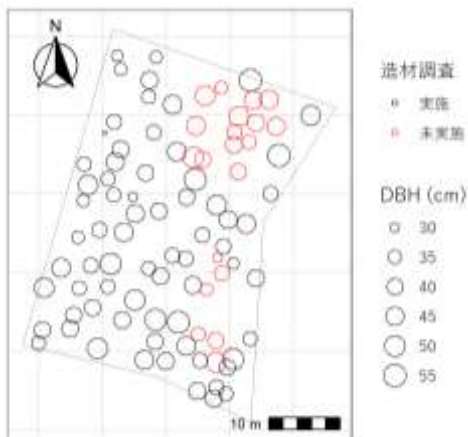


図5-1 試験区と立木の位置



写真5-1 対象林分と供試木の状況

表-5-1 試験区林分の概要

立木本数	平均直径	平均樹高	平均幹材積	林分材積	面積	立木密度	林分材積	収量比数
/plot	cm	m	m ³	m ³ /plot	ha	/ha	m ³ /ha	
90	41.2	23.3	1.39	125	0.14	648	902	0.76

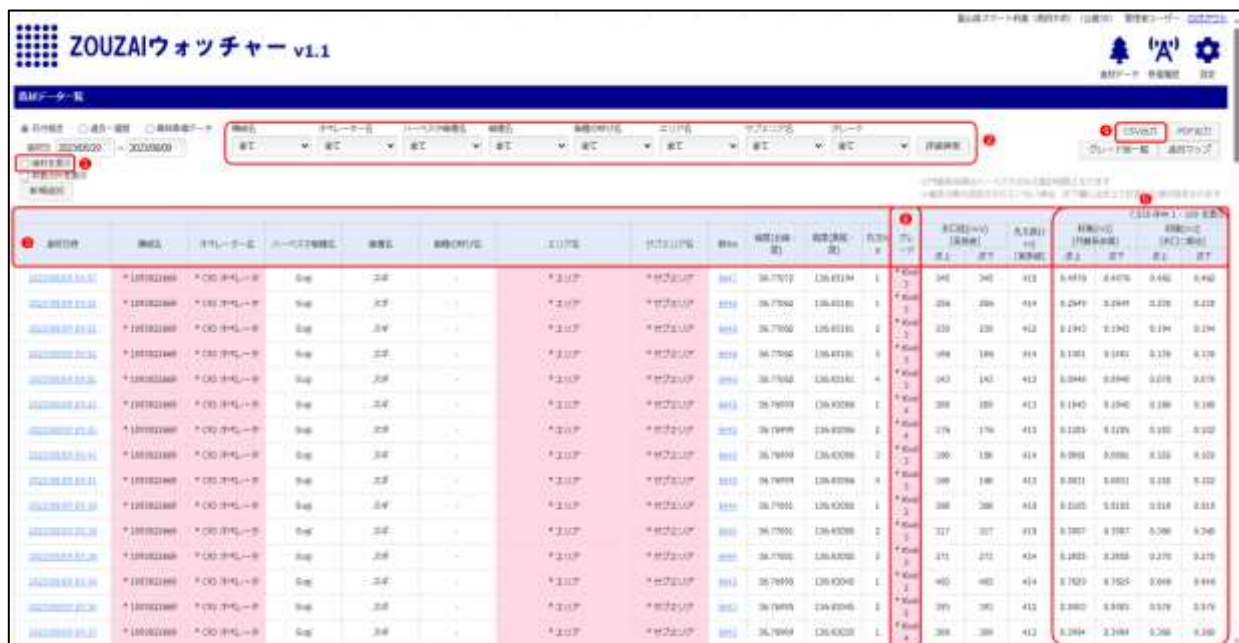
表 5-2 丸太の品質等級区分の基準

品質等級	分類基準				
	矢高率	材長	末口径	節	その他欠点
A材(末口径30cm未満)	0.25 cm / m 以下	4m以上	8cm以上	長径が10cm以下	虫食い、腐れおよび割れがないこと
A材(末口径30cm以上)	0.5 cm / m 以下		30cm以上		
B材	0.25 ~ 1.25 cm / m	2m以上	15cm以上	長径が15cm以下	腐れおよび割れがないこと
C材	—	2m以上	8cm以上	—	—

③ ハーベスタのデータ適時送信技術を活用した生産管理の検証

1本1本の丸太のデータ（末口径・長さ・材積・グレード・造材位置など）に加え、玉切り作業時に丸太の末口に2色3種類（赤・青・赤青）をマーキングしグレードと対応させた造材データをZOUZAIウォッチャーにて日ごとに確認。それら造材データの活用方法について事業者の協力のもと実証する。

【ZOUZAIウォッチャーの各機能その1（造材データ一覧画面）】



- ① 販売できない端材を省いた集計
- ② それぞれの項目毎にソートをかけて集計
- ③ 丸太1本毎に造材時刻、どのハーベスタを使用して造材したか、樹種、エリア名・サブエリア名（運転席にて登録）、造材した幹数、位置情報、幹に対する玉数、グレード、末口径、材長、材積の造材データが記録可能。

- ④ CSV形式でダウンロードし、お持ちの表計算ソフトで自由に解析することが可能。
- ⑤ 実測値はもちろん販売時に使用する材経・材長（JAS）で材積計算を行い、集計して表示します。

【ZOUZAIウォッチャーの各機能その2（地図画面）】

造材データは位置情報を持ち、地図表示機能で造材場所を含めた造材作業を確認し、日々の進捗を把握できる。

3 実証結果と検証

（1）造材・仕分け作業の効率化の実証

① [南砺市上百瀬]

カラーマーキングによる仕分け作業の効率化に関しては、目視で見分けしづらい材長（上百瀬地内：3,400mmと3,100mm）の仕分けに活用することで、作業員から、仕分けを効率的に出来るとの評価であった。

② [氷見市万尾]

従来、等級の仕分けは現場内で造材時に行い、これを基に大まかに区分して積込み、荷下ろし時に、再度、確認しながら出荷先毎に極積み（再仕分け）されていた。

一方、カラーマーキングした場合も、造材時のマーキングと土場でのマーキングに基づく仕分けを行う必要がある。このため、オペレータの感覚としては大きく効率が上がったという実感はなかったが、約5 m³について、造材から極積みまでに要した時間を比較した結果、カラーマーキング機能を利用することで、下表のとおり、約1割の効率化が図られた。作業別の時間では、荷下ろし・極積み作業での効率化の比率が高いため、マーキングにより対象木の選定時間が短縮されたものと推察される。

＜氷見市万尾での仕分け作業の時間 [取扱数量各約5 m³] ＞

単位：秒

作業内容	マーキングなし 【従来】①	マーキングあり ②	マーキングによる 効率化 ③=②/①
造材	11:56	12:17	-2.9%
積込	7:39	7:27	2.6%
小運搬	16:42	14:27	13.5%
荷下ろし・極積み	14:16	10:37	25.6%
計	50:33	44:48	11.4%

③ [小矢部市]

採材長を確認する対象木のマーキングについては、効率化を数値で示すことは出来なかったが、作業員からは、「着色された原木を重点的に確認できた」「規格外の材の出荷を軽減できた」などの意見があり、確認作業の効率化と適正な木材流通に寄与するものと考えられる。

また、マーキング機能の活用方法に関して、所有者毎に原木を分ける必要がある場合など、等級以外の仕分け作業の効率化にも活用できるとの意見もあった。

(2) 造材・仕分け作業の精度の検証

検証試験では伐採木 20 本から計 114 本の丸太 (24.6 m³) が採材された。図 5-2 にオペレータのマーキングによる仕分け (オペレータ仕分け) と調査者による計測仕分け (計測仕分け) の品質等級別の本数分割表を示した。計測仕分けを真値とした場合のオペレータ仕分けの全体精度は 78.1% となり、等級別の平均精度は A 材、B 材および C 材がそれぞれ 54.8%、72.2% および 97.9% となった。オペレータによる仕分け精度は A 材で低く、B 材、C 材の順で高くなる傾向があり、A 材は計測仕分けよりも少なくなり、B 材 C 材が増える傾向があった。丸太材積による比較においてもその傾向ははっきりと認められ (図 5-3)、オペレータ仕分けでは A 材の量が 30% 以上減少し、その分だけ B 材が増加した。このように造材オペレータによる玉切り前の状態での仕分けでは、A 材と B 材の判別が難しく、仕分け精度が低下することが示された。今後、こうした欠点と作業の効率化および省力化による利点とをバランスさせる運用方法を検討する必要がある。

		オペ仕分		
		A	B	C
計測仕分	A	17	14	0
	B	3	26	7
	C	0	1	46

図 5-2 計測仕分けとオペレータ仕分けの比較による本数分割表

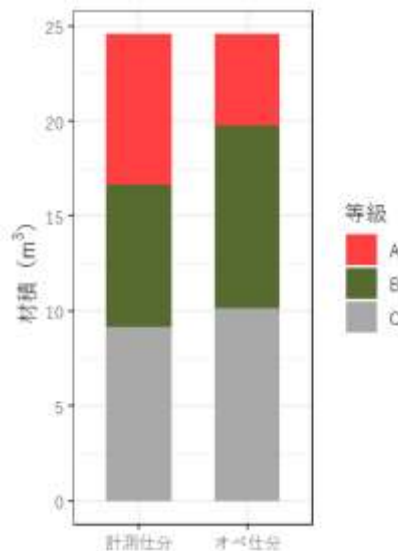
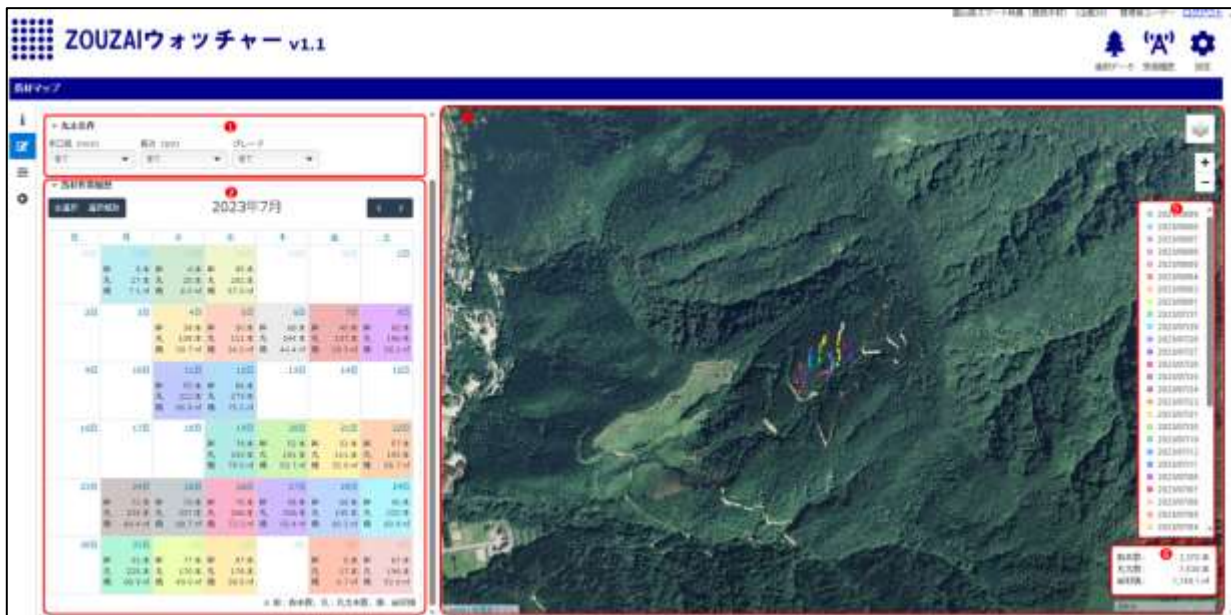


図 5-3 計測仕分けとオペレータ仕分けとの品質等級別丸太材積の比較



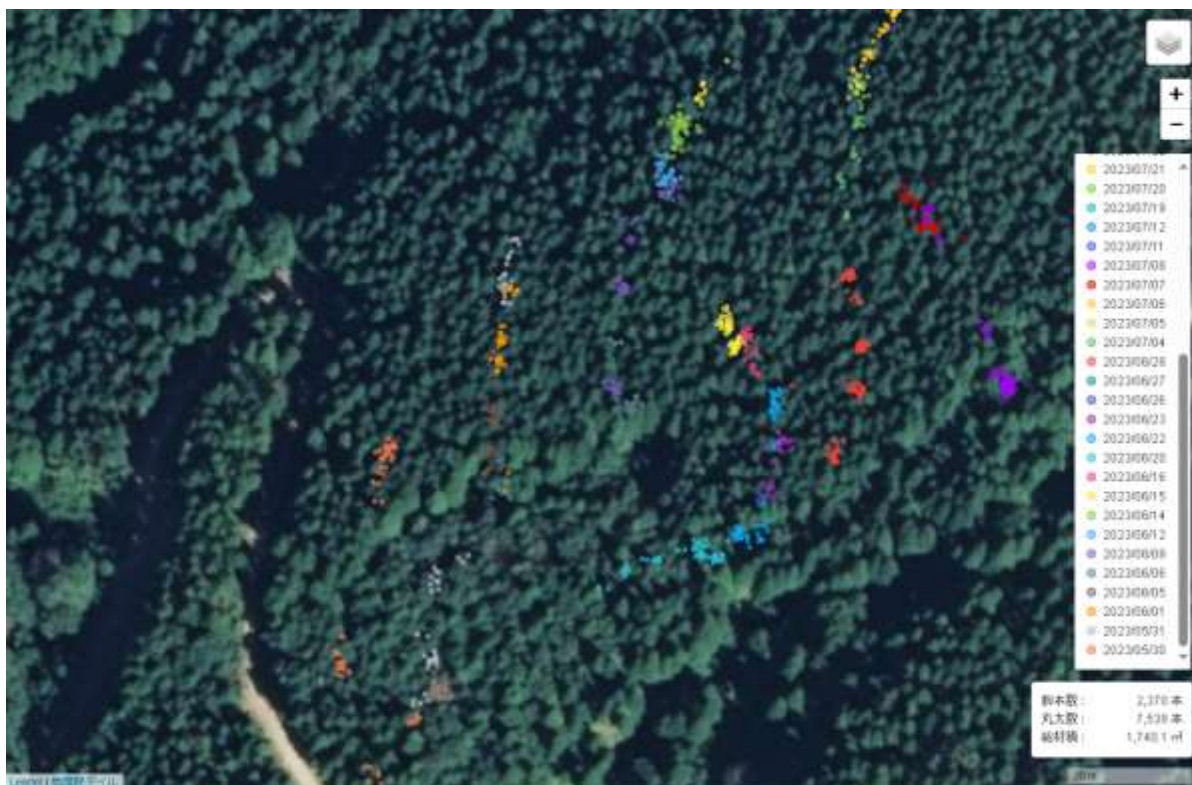
- ① エリア、サブエリア、造材日、オペレータについて地図上に表示・集計させる条件が選べる。また、丸太の末口径、長さ、グレードについても表示・集計させる条件を選ぶことができる。
- ② カレンダーで日毎に集計された造材状況を確認することが可能。
- ③ 図上で造材を開始した位置、玉切りした丸太の概要を確認可能。
- ④ このエリア全体の丸太の集計値を確認可能。

造材作業履歴（カレンダー表示機能）

▼ 造材作業履歴		2023年7月						
全選択 選択解除		日	月	火	水	木	金	土
	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日	
	幹 8本 丸 27本 積 7.1 m³	幹 6本 丸 25本 積 6.0 m³	幹 85本 丸 292本 積 57.0 m³					
2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日		
		幹 38本 丸 138本 積 30.7 m³	幹 30本 丸 111本 積 24.2 m³	幹 66本 丸 244本 積 44.4 m³	幹 40本 丸 137本 積 28.3 m³	幹 62本 丸 196本 積 36.1 m³		
9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日		
		幹 55本 丸 212本 積 55.8 m³	幹 84本 丸 279本 積 75.2 m³					
16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日		
			幹 78本 丸 243本 積 75.0 m³	幹 52本 丸 181本 積 50.7 m³	幹 32本 丸 111本 積 32.0 m³	幹 57本 丸 193本 積 56.7 m³		
23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日		
	幹 73本 丸 234本 積 64.4 m³	幹 70本 丸 237本 積 68.7 m³	幹 75本 丸 246本 積 73.2 m³	幹 98本 丸 306本 積 92.4 m³	幹 69本 丸 195本 積 60.3 m³	幹 90本 丸 232本 積 69.8 m³		
30日	31日	1日	2日	3日	4日	5日		
	幹 91本 丸 325本 積 68.9 m³	幹 77本 丸 170本 積 49.0 m³	幹 87本 丸 178本 積 38.5 m³		幹 5本 [※] 丸 17本 積 4.7 m³	幹 67本 丸 196本 積 52.8 m³		

※ 幹：幹本数、丸：丸太本数、積：総材積

造材位置履歴（空中写真拡大）



【参考 島田木材 5/29～8/9 実績】

仕分け方法（島田木材様 5/29～8/9 設定値）

KVAL1：材長 2, 100mm

KVAL2：材長 4, 100mm A材：赤色インクで着色

KVAL3：材長 4, 100mm B材：青色インクで着色

KVAL4：材長 4, 100mm C材：なし（着色しない）

KVAL5：材長 3, 100mm 赤色及び青色インクで着色

KVAL6：材長 5, 100mm

KVAL7：材長 6, 100mm

※KVALの設定が8種類になるとボタンが分からなくなるとの指摘により、材長 3, 400mmはオートにせず手動にて造材することにした。

- ・立木本数：2,370本
- ・丸太数：7,538本
- ・総材積：1,740.1 m³
- ・稼働日数：46日間
- ・生産性（日当り）：37.8 m³
- ・期間稼働時間：229.6H

○仕分け (KVAL 1~6) ごとの使用期間の生産量 (PDFにて出力可能)

グレード	マーキング	材長(mm)	等級	本数	材積(m ³)
Kval1	—	2,100	—	209	46.493
Kval2	赤色	4,100	A材	312	147.823
Kval3	青色	4,100	B材	3,830	1,047.206
Kval4	—	4,100	C材	2,288	340.832
Kval5	赤色+青色	3,100	—	889	154.729
Kval6	—	5,100	—	6	1.498
Kval7	—	6,100	—	4	1.477
計				7,538	1,740.058

対象期間	期間稼働日数	期間稼働時間
2023/05/29 - 2023/06/28	18日	80.1h
2023/06/29 - 2023/07/28	18日	94.6h
2023/07/29 - 2023/08/09	10日	54.9h

○日毎の生産量等も出力可能

[例：6/14]

- ・生産性 (日当り) : 35.2 m³
- ・稼働時間 : 6 h

グレード	マーキング	材長(mm)	等級	本数	材積(m ³)
Kval1	—	2,100	—	11	1.238
Kval2	赤色	4,100	A材	0	0.000
Kval3	青色	4,100	B材	87	16.010
Kval4	—	4,100	C材	27	2.244
Kval5	赤色+青色	3,100	—	94	14.920
Kval6	—	5,100	—	1	0.314
Kval7	—	6,100	—	2	0.510
計				222	35.236

対象期間	期間稼働日数	期間稼働時間
2023/06/14 - 2023/06/14	1日	6.0h

【参考 富山県西部森林組合 10/12~2/29 実績】

- KVAL1 : 材長 4,100mm C材 : なし (着色しない)
 KVAL2 : 材長 4,100mm A材 : 青色インクで着色
 KVAL3 : 材長 4,100mm B材 : 赤色インクで着色
 KVAL4 : 材長 3,700mm 赤色及び青色インクで着色
 KVAL5 : 材長 5,100mm
 KVAL6 : 材長 3,100mm

○仕分け (KVAL 1~6) ごとの使用期間の生産量 (PDFにて出力可能)

- ・丸太数 : 5,386本
- ・総材積 : 878.1 m³
- ・稼働日数 : 39日間
- ・生産性 (日当り) : 29.3 m³
- ・期間稼働時間 : 123.4h

グレード	マーキング	材長 (mm)	等級	本数	材積 (m ³)
Kval1	—	4,100	C材	2,418	452.698
Kval2	青色	4,100	A材	257	101.768
Kval3	赤色	4,100	B材	329	98.513
Kval4	赤色+青色	3,700	—	1	0.230
Kval5	—	5,100	—	0	0.000
Kval6	—	3,100	—	2,381	224.844
計				5,386	878.053

対象期間	期間稼働日数	期間稼働時間
2023/10/12 - 2023/10/31	8日	30.4h
2023/11/01 - 2023/11/30	10日	31.4h
2023/12/01 - 2023/12/31	2日	0.6h
2024/01/01 - 2024/01/31	10日	31.7h
2024/02/01 - 2024/02/29	9日	29.3h

○日毎の生産量等も出力可能

[例 : 10/23]

- ・生産性 (日当り) : 58.8 m³
- ・稼働時間 : 5.2h

グレード	マーキング	材長 (mm)	等級	本数	材積 (m ³)
Kval1	—	4,100	C材	34	8.620
Kval2	青色	4,100	A材	72	28.970
Kval3	赤色	4,100	B材	85	21.184
Kval4	赤色+青色	3,700	—	0	0.000
Kval5	—	5,100	—	0	0.000
Kval6	—	3,100	—	0	0.000
計				191	58.774

対象期間	期間稼働日数	期間稼働時間
2023/10/23 - 2023/10/23	1日	5.2h

ア) ベースマシン (ハーベスタC93) からZOUZAIウォッチャーへの造材データのアップロード

- ・南砺市利賀村上百瀬地内 : 電波状況が微量であり造材データのアップロードが上手く行われない懸念があったが、概ね良好に通信は行われていた。

- ・氷見市万尾地内；通信環境がよく（スマートフォンでの通話・移動通信システムの通信感度とも良好）、本体→LANDLOG（ZOUZAIウォッチャー）クラウドへの15分毎の造材データ生成→データ送信も正常かつ良好に行われていた。
- イ）アップロードされた造材データを基にZOUZAIウォッチャーの各機能有効性
- ・ZOUZAIウォッチャーの持つ機能は概ね評価を得ることが出来た。
 - ・カラーマーキング機能でグレードを区分しアプリの画面上で造材量を把握することが出来た。
 - ・ZOUZAIウォッチャーの最も適した活用方法は、
 - i. ZOUZAIウォッチャーにおいての日々の進捗確認。
 - ii. 見える化により蓄積されたデータを現場終了後に解析することで次現場に向けた効率化の検証を行い実践する。
- の2点で、理想は「日々進捗管理」であるが、現状においては現場終了毎で「ii.」を繰り返すことが最も作業効率の向上に繋がるという結論を昨年度同様、再認識した。

4 現場への実装方法

（1）マーキング機能

① 具体的な活用方法

実証結果より、マーキング機能を使用することにより、造材・仕分け作業の効率化が確認できた一方で、マーキングの等級区分の精度については、A材とB材の判別が難しく、精度が低下することが示され、他県でも同様の報告がある。

このため、仕分け作業の効率化に向けたマーキング機能の使用については、近似する材長や所有者毎の区分等に活用することが妥当と考える。

② 課題・留意点、今後の見通し

仕分け精度の向上に向け、オペレータの仕分け能力の向上を作業の効率化及び省力化による利点とのバランスを考慮し、検討する必要がある。また、ハーベスタ本体についても曲がり材の自動検知機能の開発など、さらなる改良の検討も必要である。

昨年度から実証してきた本ハーベスタについては、次年度以降、県内の事業者で使用される予定であるため、引き続き、事業者の協力を仰ぎながら、造材、仕分け作業等の効率化に向けた具体的な使用方法の検討を続ける。

（2）ハーベスタ機械内データの適時送信技術

① 具体的な活用方法

位置情報やカラーマーキング機能などの様々な情報を有した造材データをリアルタイム

ムに見ることができ、日ごと・月ごと・現場ごとの生産量の把握や土場などでの在庫管理などに活用できるほか、1現場における作業効率化の検証などへの活用なども出来る。

また検証することによって次現場における更なる効率化につなげるなどの活用が可能となる。

② 課題・留意点、今後の見通し

- ・データのアップロードについて、ZOUZAIウォッチャーは、造材データを概ね15分間の周期でクラウドアップロードするが、終業時等仕事を終えた際にすぐにエンジンを切ってしまうとデータの送信がされず、日ごとのデータをリアルタイムに確認できない場合があった。
- ・造材データの活用は、進捗管理や作業効率の検証等に有効であると考えるが、現時点では林業事業体で十分活用されていない。今後、他県でのデータの活用状況の情報収集を行い、事業体に提供するなどし、活用されるよう取り組む必要がある。
- ・ZOUZAIウォッチャーで得た造材データの活用方法に関しては、ニーズが千差万別なことからアプリの機能に全てを網羅することは不可能で、拡張子「.CSV」形式でDLしEXCELやPower BIのような外部ソフト（アプリ）などを用いた加工が最も活用に適していることが分かった。

【参考情報】

- ・他県での導入状況について

国内においてのPC138US-11ハーベスタC93仕様車の導入実績は、

2022年度 15台（うちカラーマーキング機能付 7台）

2023年度 19台（ 〃 4台）

※2023年度は2024年3月4日現在

【参考：PC138US-11ハーベスタC93仕様車の導入費用等】

- ・導入費用 29,500,000円（税別）※希望小売価格
- ・主な付属品

■ 装備品一覧

ヘッド
C93
ブーム
4600mm
アーム
2500mm（格納ブラケット付）
ブレード
可動量アップ強化ブレード
キャブ・ガード・室内・ライト
大型天窓（サンシェード付）
キャブ左スライド窓
消化器
キャブフロントフルガード（レベルⅡ縦棧開閉式）
キャブヘッドガード（レベルⅠ縦棧開閉式）
ポリカーボネート製前窓
増設前照灯
その他、安心・安全
KomVision人検知衝突警報システム
エンジンルーム枝葉侵入防止カバー
排気尾管カバー
レボフレーム強化アンダーカバー
トラックフレーム強化アンダーカバー
大型強化デッキガード
走行速度アップモーター
強化カメラガード
T/Fブレード配管ガード（ブレード仕様時）
フルレンジスローラーガード
ダブルフランジ下転輸
増量カウンタウエイト
上部旋回体コーナーガード（ロールバー型）
天窓ワイパーキット
大容量燃料タンク（240ℓ）
ZOUZAIウォッチャー

第6節 丸太検知アプリの実証

(富山県森林政策課)

1 目的

土場での生産量の把握は、これまで、メジャー等を用いて1本ずつ人力により計測し、手書きで野帳に記入を行ったのち、事務所で検収結果をパソコンに入力しており、この結果を製材工場やベニヤ工場等への納品量としている。

このような方法での生産量の把握は、計測や入力、データの共有に時間を要するため、画像検知機能を活用したスマートフォンアプリによる計測、入力などの効率化が図れるかを検証する。

2 実証地、実証方法等

(1) 実証地

西部森林組合高岡支所 中間土場

(2) 実証期間

令和5年7月～10月

(3) 使用アプリ

① 木材検収システム【株式会社ジツタ】

- ・丸太の桝積みスマートフォン（Android）で一括撮影し、画像解析により直径を算出。また、人力により計測した内容を音声入力やタップ入力によりスマートフォンに保存することも可能。
- ・スマートフォンに保存された計測データを CSV 形式で出力可能。

② mapry【株式会社マプリィ】

- ・丸太の桝積み小口をスマートフォン（iPhone Pro 又は iPad Pro）の LiDAR を用いて計測し、画像解析により直径を算出。
- ・スマートフォンに保存された計測データを CSV 形式で出力可能。

(4) 実証方法

本年度は、昨年度と異なるアプリを使用するため、計測精度について実証を行った。具体的には、従来のメジャーを用いた計測により把握した本数、材積と比較し、2つのアプリにより計測した結果との誤差を確認した。

なお、アプリでの計測の際には以下の設定を行った。

① 木材検収システム (株)ジツタ

- ・ 樹皮の調整：なし
- ・ 撮影のオーバーラップ：なるべく1枚の画像で撮影し、複数枚撮影する際には、1列以上重なるように撮影。
- ・ 基準線の設定：メジャーで4m計測し、その長さを基準線に設定。



撮影状況



撮影結果と径級の表示

② mapry

- ・ 樹皮の調整：なし



計測状況



計測結果と径級の表示

3 実証結果と検証

(1) 総本数、材積の比較

各アプリによる本数、材積を比較した結果は次表のとおりである。

この結果、総本数の誤差は1%未満で、総材積の誤差は、3～4%程度であった。

なお、昨年度の実証においても誤差は同程度（本数なし、材積3%程度）であり、従来の計測方法と比較した場合、一定程度の誤差が生じるが、概ね同程度の結果が得られると言える。

① 木材検収システム（株ジツタ）

場所・月日	計測方法	総本数	材積
富山県西部森林組合 中間土場 7月28日	手動	259本	54.000m ³
	ジツタ	259本	54.292m ³
	差異(実数)	0本	0.292m ³
	差異率	100.0%	100.5%
富山県西部森林組合 中間土場 8月4日	手動	308本	59.962m ³
	ジツタ	308本	64.590m ³
	差異(実数)	0本	4.628m ³
	差異率	100.0%	107.7%
富山県西部森林組合 中間土場 8月18日	手動	182本	29.512m ³
	ジツタ	182本	30.150m ³
	差異(実数)	0本	0.638m ³
	差異率	100.0%	102.2%
計	手動	749本	143.474m ³
	ジツタ	749本	149.032m ³
	差異(実数)	0本	5.558m ³
	差異率	100.0%	103.9%

② mapry (株)マプリー

場所・月日	計測方法	総本数	材積
富山県西部森林組合 中間土場 7月4日	手動	138本	30.006m ³
	マプリー	139本	27.060m ³
	差異(実数)	1本	-2.946m ³
	差異率	100.7%	90.2%
富山県西部森林組合 中間土場 9月22日	手動	156本	53.994m ³
	マプリー	156本	54.146m ³
	差異(実数)	0本	0.152m ³
	差異率	100.0%	100.3%
富山県西部森林組合 中間土場 10月13日	手動	82本	27.008m ³
	マプリー	82本	26.808m ³
	差異(実数)	0本	-0.200m ³
	差異率	100.0%	99.3%
富山県西部森林組合 中間土場 10月20日	手動	147本	53.982m ³
	マプリー	147本	52.820m ³
	差異(実数)	0本	-1.162m ³
	差異率	100.0%	97.8%
計	手動	523本	164.990m ³
	マプリー	524本	160.834m ³
	差異(実数)	1本	-4.156m ³
	差異率	100.2%	97.5%

(2) 径級別本数の比較

各アプリにより判別した径級別の本数は以下のとおりである。

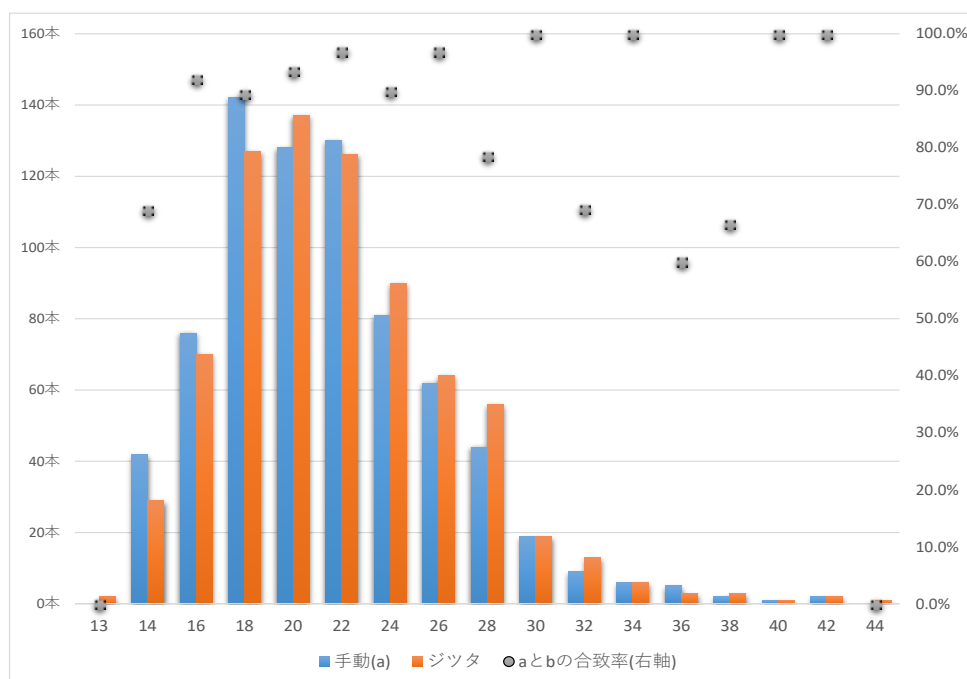
この結果、径級毎の合致率は、木材検収システム(株)ジツタ)では、9割程度、mapryでは、8割程度となった。合致率は昨年度と比較し、若干向上したが、これは、アプリの使用者が昨年度と同じ作業員(1名)で、経験により精度を高めるための撮影方法(基準線の設置、正面での撮影、材面を揃えるなど)を習得されたためと推察される。

① 木材検収システム（株式会社ジッタ）

径級別計測本数

場所 月日	富山県西部森林組合 中間土場						計 本数		計 材積	
	7月28日		8月4日		8月18日					
計測方法 /径級	手動	ジッタ	手動	ジッタ	手動	ジッタ	手動	ジッタ	手動	ジッタ
13						2本	0本	2本	0.000m ³	0.136m ³
14			22本	12本	20本	17本	42本	29本	3.276m ³	2.262m ³
16		3本	36本	31本	40本	36本	76本	70本	7.752m ³	7.140m ³
18	51本	34本	45本	44本	46本	49本	142本	127本	18.460m ³	16.510m ³
20	57本	69本	46本	40本	25本	28本	128本	137本	20.480m ³	21.920m ³
22	60本	56本	49本	53本	21本	17本	130本	126本	25.220m ³	24.444m ³
24	32本	40本	39本	39本	10本	11本	81本	90本	18.630m ³	20.700m ³
26	23本	23本	31本	33本	8本	8本	62本	64本	16.740m ³	17.280m ³
28	16本	14本	23本	34本	5本	8本	44本	56本	13.816m ³	17.584m ³
30	10本	10本	8本	9本	1本		19本	19本	6.840m ³	6.840m ³
32	5本	7本	4本	6本			9本	13本	3.690m ³	5.330m ³
34	4本	3本	1本	3本	1本		6本	6本	2.772m ³	2.772m ³
36	1本		1本	1本	3本	2本	5本	3本	2.590m ³	1.554m ³
38			2本	2本		1本	2本	3本	1.156m ³	1.734m ³
40			1本			1本	1本	1本	0.640m ³	0.640m ³
42					2本	2本	2本	2本	1.412m ³	1.412m ³
44				1本			0本	1本	0.000m ³	0.774m ³
計	259本	259本	308本	308本	182本	182本	749本	749本	143.474m ³	149.032m ³

径級別合致率



※合致率は、計測方法による本数差を、値の大きい本数で除して算出。

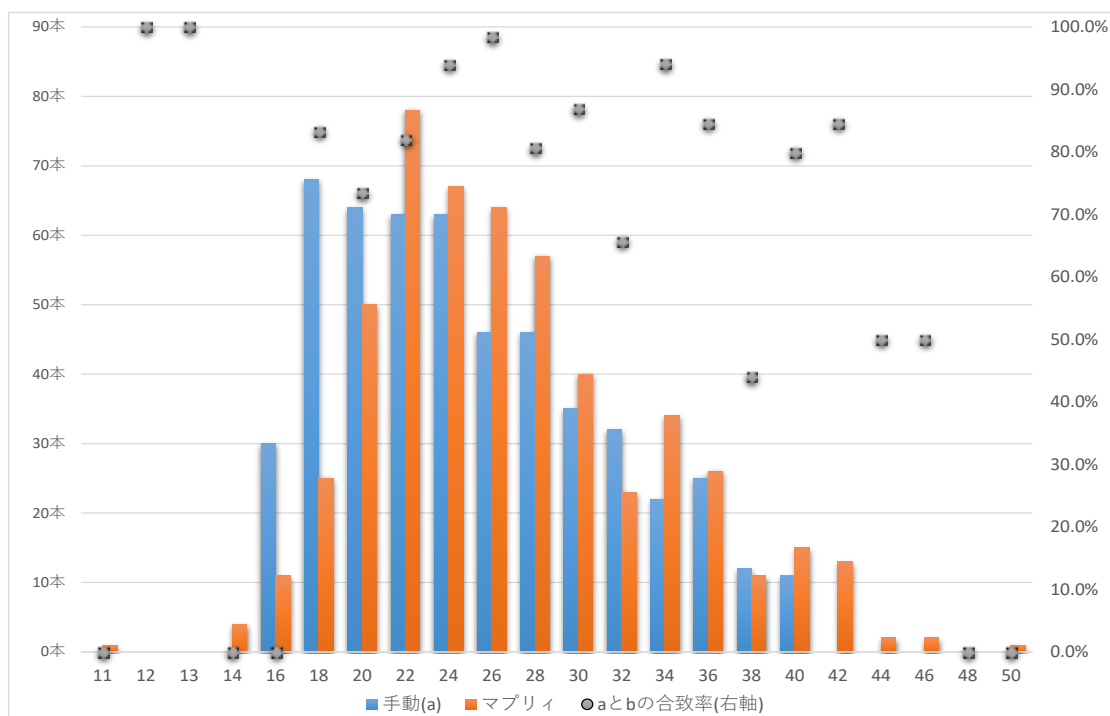
$$(1 - |a-b|) / (a \text{ 又は } b) \times 100 (\%)$$

② mapry (株)マプリイ

径級別計測本数

場所・月日	富山県西部森林組合 中間土場								計			
	7月4日		9月22日		10月13日		10月20日		本数		材積	
計測方法/径級	手動	マプリイ	手動	マプリイ	手動	マプリイ	手動	マプリイ	手動	マプリイ	手動	マプリイ
11		1本							0本	1本	0.000m ³	0.048m ³
12									0本	0本	0.000m ³	0.000m ³
13									0本	0本	0.000m ³	0.000m ³
14		4本							0本	4本	0.000m ³	0.312m ³
16		8本				1本	2本		0本	11本	0.000m ³	1.122m ³
18	20本	13本		4本	2本		8本	8本	30本	25本	3.900m ³	3.250m ³
20	33本	23本	16本	6本	11本	6本	8本	15本	68本	50本	10.880m ³	8.000m ³
22	33本	43本	15本	12本	4本	10本	12本	13本	64本	78本	12.416m ³	15.132m ³
24	18本	24本	13本	18本	11本	11本	21本	14本	63本	67本	14.490m ³	15.410m ³
26	13本	14本	20本	20本	13本	9本	17本	21本	63本	64本	17.010m ³	17.280m ³
28	9本	8本	21本	26本	7本	15本	9本	8本	46本	57本	14.444m ³	17.898m ³
30	6本	1本	17本	14本	8本	9本	15本	16本	46本	40本	16.560m ³	14.400m ³
32	1本		16本	13本	9本	7本	9本	3本	35本	23本	14.350m ³	9.430m ³
34	3本		12本	21本	7本	4本	10本	9本	32本	34本	14.784m ³	15.708m ³
36	1本		9本	12本	2本	4本	10本	10本	22本	26本	11.396m ³	13.468m ³
38			9本	3本	3本		13本	8本	25本	11本	14.450m ³	6.358m ³
40			4本	5本	3本	3本	5本	7本	12本	15本	7.680m ³	9.600m ³
42			3本	2本	1本	2本	7本	9本	11本	13本	7.766m ³	9.178m ³
44	1本		1本		1本	1本	1本	1本	4本	2本	3.096m ³	1.548m ³
46							1本	2本	1本	2本	0.846m ³	1.692m ³
48							1本		1本	0本	0.922m ³	0.000m ³
50								1本	0本	1本	0.000m ³	1.000m ³
計	138本	139本	156本	156本	82本	82本	147本	147本	523本	524本	164.990m ³	160.834m ³

径級別合致率



(3) 計測、データ入力作業の効率化

本年度、実証した木材検収システム（㈱ジツタ）は、昨年度、実証した iFovea Pro（アジア航測㈱）と同様、スマートフォンで撮影した画像を解析し、原木径を算出するもので、操作方法等は変わらない。

このため、計測や計測データのとりまとめに要する時間の効率化については、昨年度、実証した結果より、約6割縮減することが見込まれる。

(4) アプリ使用者からの意見

① 木材検収システム（㈱ジツタ）

- ・土場の背後に桝積みがある場合、撮影後、不用な材を消去する必要があるため手間がかかる。
- ・山土場などの狭い土場では末口を揃えることが困難なため、使用には適さないのでは。

② mapry（㈱マプリィ）

- ・他のアプリとは異なり、基準線を設ける必要がないことが利点。
- ・近接しての撮影となるため、操作に慣れれば精度が向上すると感じたが、小口にあわせ移動する必要があるため、他のアプリと比較し、時間を要する。
- ・正しく検知するため、小口の計測時間をどれ位にするか、検討が必要。

4 現場への実装方法等

(1) 活用方法

丸太検知アプリの活用により、原木の本数、材積を従来のメジャー等を用いた方法と概ね程度の精度で把握可能なため、土場での生産量の管理に活用できる。

[参考] 導入費用

① iFove

- ・年間費用（アプリライセンス料。台数制限なし。1万m³まで） 175,560円

② 木材検収システム（㈱ジツタ）

- ・年間費用（アプリライセンス料。1台） 66,000円
- ・初期設定費（1台） 66,000円

③ mapry（㈱マプリィ）

- ・ライセンス料 無料

(2) 課題、留意点

- ・丸太検知アプリで径級を正確に計測するためには、「末口の材面を揃える」「桎積みされた原木の正面から撮影する」「背後に、計測対象外の原木が写らないようにする。(対象外の原木が撮影された場合、手動で除去作業が必要)」等の環境が必要となるため、対応できる土場は限定される。
- ・暗い時や積雪時などにおいては、使用が困難。

(3) 今後の検討方向

1) 動画等を活用した生産管理

十分なスペースがない山土場など、検知アプリを使用できる環境を整えられない場合でも生産量を管理できるよう、動画等を活用した生産量の管理方法について、検討を進める。

2) 納材量、納材伝票としての活用

これまでの実証により、従来の方法と概ね同程度の計測結果を得ることが出来たため、実際の納材量（出荷量）として活用できるよう、アプリの使用場所の設定や納材先への伝票の送付方法等の検討を進めている。

来年度以降、検討結果を基に納材先等の関係者と調整を行い、アプリを活用できる場面を拡大し、木材流通の効率化、省力化を図る。

第7節 オーガ付苗運搬機の実証

(富山県森林研究所)

1 目的・内容

茨城県森林組合連合会が先進的林業機械緊急実証・普及事業（うち作業アタッチメントを搭載した電動苗木運搬車両による省力造林作業の実証）において開発したオーガ付き電動苗木運搬車導入による植栽作業における生産性の向上および労働負担低減などの効果を検証する。

今年度は令和4年度の結果をふまえ、斜面上での自立を可能にする電動アウトリガーを備えた改良型の機体（写真7-1）を用いて検証を行った。さらに令和4年度の実証において車体に植穴掘り用オーガを取り付けたオーガ付苗木運搬車（写真7-2）を試用したところ、車体に取り付けたオーガの先端と地面との間に十分なクリアランスを確保できず、造林地での走行に支障があることが明らかとなった。そこで、本年度は熊本県森林組合連合会が開発した手持ち式の植え穴掘り用電動オーガ（写真7-3 商品名 植穴名人）と電動苗木運搬車とを組み合わせることで植栽作業を行うこととした。



写真7-1 アウトリガー付き苗木運搬機



写真7-2 オーガ付き苗木運搬車



写真7-3 植え穴掘り用電動オーガ

2 実証地と実証方法

(1) 実証試験地

① 上田試験地

本試験地は南砺市上田地内（北山田事業地）のスギ林更新伐事業地に設けられた（図7-1）。2023年7月に試験地内に0.07haの調査区を設定し、作業の支障となる雑草木を刈り払った。調査区の標高は445～451mであり、平均傾斜は21°であるが、植栽作業は傾斜15°以下の緩傾斜面で行われた（図7-2）。

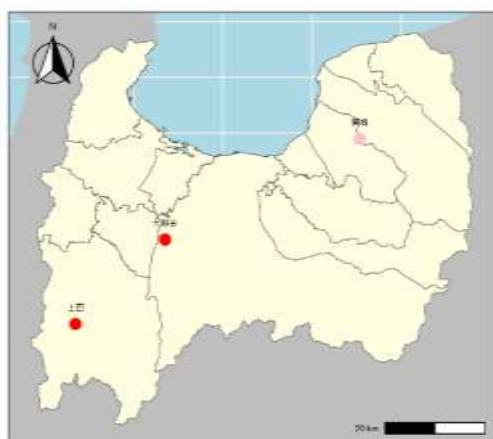


図7-1 試験地位置図（●:R5, ●:R4）



図7-2 上田試験地の調査区の配置

② 大瀬谷試験地

本試験地は富山市婦中町大瀬谷地内のスギ林皆伐跡地（R3伐採実施）に設けられた（図7-1）。2023年11月に試験地内に0.12haの調査区を設定し（図7-3）、作業の支障となる雑草木を刈り払った。調査区の標高は131～145mであり、平均傾斜は24°である（写真7-4）。



図7-3 大瀬谷試験地の調査区の配置



写真7-4 大瀬谷試験地の状況

(2) 調査方法

① 上田試験地

2023年7月13日に電動苗木運搬車を使用した植栽作業の効率と労働負荷に関する調査を行った。調査は1名の作業員A(経験年数2年)が従来のディブルを使用した人力による植栽作業(以降、人力作業)と電動苗木運搬車と手持ち式電動オーガの組み合わせによる植栽作業(以降、運搬車作業)を連続して行った。苗木は根鉢容量が150ccのコンテナ苗であり、人力作業と運搬車作業においてそれぞれ40本ずつ、計80本を植栽した。苗木は作業開始時に植栽箇所内の1カ所に集積しておき、作業開始時にそこから植栽地点まで苗木を運搬し、全てを植栽した後に再び集積地点に戻った。これら一連の作業をビデオカメラで撮影し、作業時間を計測した。なお、植栽間隔は2.5mとし、植栽位置は作業前に予め目印を付けておいた。また、作業員に腕時計式の心拍計を取り付け、作業中の心拍数を記録した。計測した心拍数から以下のKarvonenの式を用いて運動強度を求めた(正保ら2011)。運動強度は表7-1に示した自覚度と呼ばれる主観的な評価と対応関係が示されており、自覚度は肉体的・精神的にその作業がどの程度困難であると感じるかを示す指標となる。

表 7-1 自覚度と運動強度の対応

Karvonen の式

$$\text{運動強度} = \frac{\text{運動時心拍数} - \text{安静時心拍数}}{\text{最大心拍数} - \text{安静時心拍数}} \times 100$$

$$\text{最大心拍数} = 220 - \text{年齢}$$

自覚度	運動強度
	%
もうだめ	100.0
非常にきつい	92.9
かなりきつい	78.6
きつい	64.3
ややきつい	50.0
楽に感じる	35.7
かなり楽に感じる	21.4
非常に楽に感じる	7.1
安静時	0.0

② 大瀬谷試験地

2023年11月27日に上田調査地と同様に電動苗木運搬車使用による植栽作業の効率と労働負荷に関する調査を行った。1名の作業員B(経験年数25年)が人力作業と運搬車作業によりコンテナ苗の植栽を行い、一連の作業が行われている間、ビデオカメラによる撮影と腕時計式脈拍計による脈拍計測が行われた。なお、植栽間隔は2mとし、植栽位置は作業前に予め目印を付けておいた。苗木は根鉢容量が約400ccのMスターコンテナ苗であり、人力作業と運搬車作業においてそれぞれ100本ずつ、計200本を植栽した。本調査地では苗木の集積箇所から植栽地まで130mの距離があり、人力作業では100本の苗木を3回に分けて運搬し、運搬車作業では全ての苗木を1回で運搬した。

3 実証成果の取りまとめ

(1) 作業時間の比較

上田試験地の植栽における要素作業別の1本当たり平均作業時間を比較すると(表7-2)、運搬車作業が47秒/本、人力作業が43秒/本となり、運搬車を用いた方がやや時間を要する結果となった。とくに植栽地点間の移動において運搬車作業は人力作業よりも多くの時間を要した。これは、運搬車を移動および停止する際、アウトリガーの出し入れに要する時間に起因すると考えられる。なお、本調査では苗木集積箇所が植栽地に隣接しているうえに、供試した苗木本数も少なかったことから、一度に多くの苗木を運べるという運搬車の利点が現れにくい試験設計であった点に留意されたい。一方、電動オーガによる植穴掘り作業はディブルを用いた場合よりも時間が短く、電動オーガの導入が作業時間の短縮につながったことが示された。

表 7-2 上田試験地における要素別作業の平均作業時間の比較

要素作業	平均作業時間 (秒)	
	運搬車	人力
移動	15.7	11.9
植穴掘り	8.4	11.7
植付け	12.1	10.8
締固め・確認	10.6	8.0
地表面整理		0.5
合計	46.8	42.8

大瀬谷試験地における苗木運搬と植栽に要する総作業時間について運搬車作業と人力作業とを比較した(図7-4)。100本の苗木を運搬および植栽するために要する時間は、運搬車作業が91分、人力作業が103分となり、苗木運搬車と電動オーガの組み合わせによる作業は従来法よりもやや短い時間で植栽できることが示された。特に、運搬車の使用により苗木運搬に要する時間が40%以上減少し、これが作業方法の違いによる全体の時間差の大部分を占めた。一方、上田調査地では植栽に要する時間は、人力作業より運搬車作業においてより多くの時間を要したが、本調査地ではほぼ同程度となった。これは、本調査地で使用した苗木の根鉢容量が400ccと上田試験地で使用したもの(根鉢容量150cc)よりも大きく、植え穴掘り作業における電動オーガ使用による時間短縮効果がより大きく表れたためと考えられる。

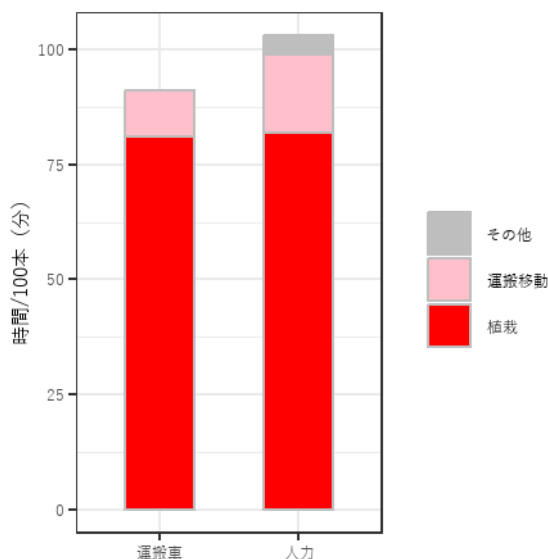


図 7-4 大瀬谷試験地における苗木運搬と植栽に要する作業時間の比較

(2) 心拍数および労働強度の比較

両試験地における作業員の作業中の心拍数の推移を図7-5に示した。いずれの試験地においても運搬車作業における作業員の心拍数は人力作業に比べ概ね低い値で推移した。上田試験地における作業員Aの心拍数の平均値(加重平均)は人力作業が139bpm、運搬車作業が124bpmとなり、運搬車作業の平均心拍数は人力作業よりも10%程度低かった。また、大瀬谷試験地における作業員Bの心拍数の平均値は人力作業が119bpm、運搬車作業が98bpmとなり、運搬車作業の平均心拍数は人力作業よりも17%程度低かった。

心拍数から求めた労働強度の指標である自覚度を図7-6に示した。上田試験地の作業

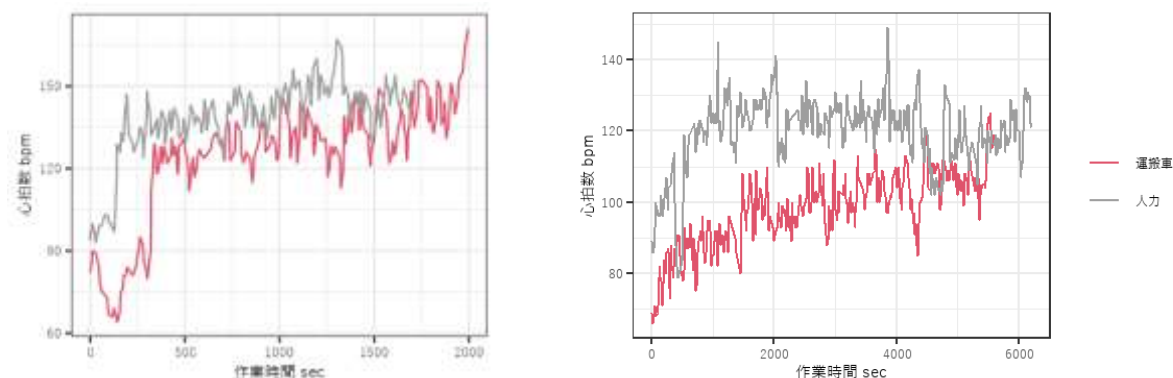


図7-5 運搬車作業と人力作業における作業員の心拍数の比較
(左:上田試験地、右:大瀬谷試験地)

員Aは人力作業において『かなりきつい』と感じる時間割合が32.6%、『きつい』と感じる割合が56.2%、『ややきつい』と感じる割合が2.0%であるのに対し、運搬車作業では『かなりきつい』と感じる割合がわずかに9.8%、『きつい』と感じる割合が48.5%、『ややきつい』と感じる割合が25.4%となった。また、大瀬谷試験地の作業員Bは人力作業において『かなりきつい』と感じる割合が4.2%、『きつい』と感じる割合が63.6%、『ややきつい』と感じる割合が26.1%であるのに対し、運搬車作業では『かなりきつい』と感じることはなく、『きつい』と感じる割合も2.2%にすぎない。さらに『ややきつい』と感じる割合が35.6%となり、『楽に感じる』の割合が実に45.5%となった。いずれ試験地においても運搬車作業は人力作業よりも運動強度が低下したが、特に長い距離(約130m)の苗木運搬が必要となる大瀬谷試験地においてその傾向が顕著であり、大幅な労働負荷の低減が確認された。

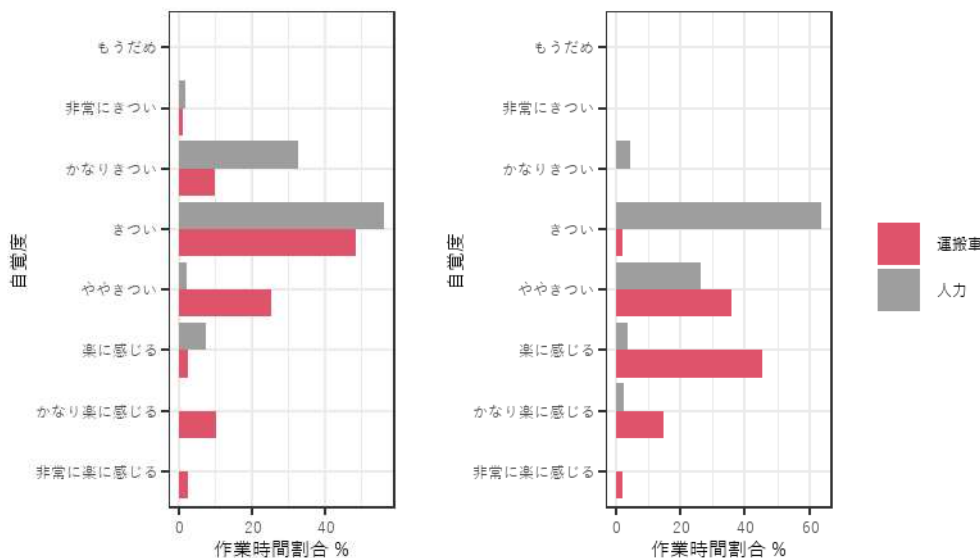


図 7-6 運搬車作業と人力作業における自覚度の比較 (左:上田試験地、右:大瀬谷試験地)

4 課題等の整理

本年度はアウトリガー付き電動苗木運搬車を導入し、植栽作業の効率および労働負荷について検証を行った。苗木運搬車を使用することによって、トラック等により苗木を搬入できる集積場所から植栽地までの運搬回数を3割程度まで減らすことができ、作業時間の短縮と労働負荷の軽減につながる事が改めて確認された。運搬作業を除いた植栽作業だけをみた場合、従来法に比べ作業時間の縮減は認められなかったが、アウトリガーの装着により、手持ち式の電動オーガを使用することが可能となり、植え穴掘り作業における労働負荷の軽減が確認された。

今回の調査地には一部に傾斜 30° を超える斜面も含まれたが、そのような場所であっても苗木を積載した状態で走行することができ、走行中の転倒なども発生しなかった。また、手持ち式電動オーガの掘削能力も十分に高く、作業路のような重機の履帯によって締め固められた土壌であっても問題なく植穴を掘ることができた。さらに、自覚度の比較結果が示すとおり、調査に参加した作業員からは、苗木運搬車と電動オーガを組み合わせた植栽作業は従来法に比べ体力の消耗が明らかに少ないとの意見が聞かれた。以上のことから、現段階においてこの苗木運搬車は実用的な性能を有しており、植栽作業における生産性の向上と労働負担の低減に寄与するものと考えられる。なお、ここで使用した電動苗木運搬車は茨城県森林組合連合会から本年 11 月より正式に発売されることとなり、価格は 550,000 円 (消費税込み) となっている。

第8節 タワーヤーダを使用した架線系集材の実証

(富山県森林政策課)

1 目的

県では森林資源の循環利用に向け、人工林の計画的な主伐を推進している。現在は、緩傾斜地～中傾斜地を中心に、作業道とハーベスタ等による「車輻系作業システム」となっているが、今後、県産材を安定的に供給するためには、奥地や急峻地など、作業道の開設が困難な箇所においても木材生産を行う必要があるため、「架線系作業システム」による集材をモデル的に実施し、その有効性について実証するもの。

2 実証地と実証方法

(1) 実証地概要

富山市原県有林 0.1ha (79年生スギ 約50本)



(2) 実証方法

近県でタワーヤーダを活用した木材生産に積極的に取り組み、経験が豊富な飛騨市森林組合に作業を委託し、実施。

1) 主伐箇所の下見、架線計画の作成

- ・実施日：令和5年7月19日(水)
- ・地形や林道の線形を考慮し、タワーヤーダ設置箇所、架線方向、集材方向等を検討

2) 先行伐採

- ・実施日：令和5年10月23日（月）
- ・チェーンソーにより伐採
- ・作業員2人

3) タワーヤーダ設置

- ・実施日：令和5年10月31日（火）
- ・作業員3人
- ・元柱、先柱、控え索設置、リードロープ張り、主索張り



タワーヤーダ設置状況（航空写真）



タワーヤーダ設置状況（地形図）



先柱の設置

4) 集材・造材

- ・実施日：令和5年11月1日（水）
- ・タワーヤーダによる集材（上げ荷）、ハーベスタによる造材
- ・作業員2人
 - 内訳：玉掛作業者 1人
 - タワーヤーダ、ハーベスタ操作 1人
(集材している間にハーベスタで造材)
- ・元口に玉掛して地曳きで全幹集材
- ・リフトライナーの上げ下げはリモコンで操作
- ・今回は上げ荷のため、荷揚げポイントまで、リフトライナーの自重で降下
- ・オートチョーカーのリモコン操作も可能（電池が高価で、 -10°C 以下だと動かないことが課題）
- ・作業班リーダーは架線集材を始めて1年
- ・主索を張って地曳き集材する場合は、「簡易架線集材装置等の運転業務に係る特別教育」と「機械集材装置の運転業務にかかる特別教育」の修了が必要（なお、宙づりで集材する場合は国家資格（林業架線作業主任者）の取得が必要）



タワーヤーダによる集材



ハーベスタによる造材

5) タワーヤーダの撤去

- ・実施日：令和5年11月2日（木）
- ・作業員3人

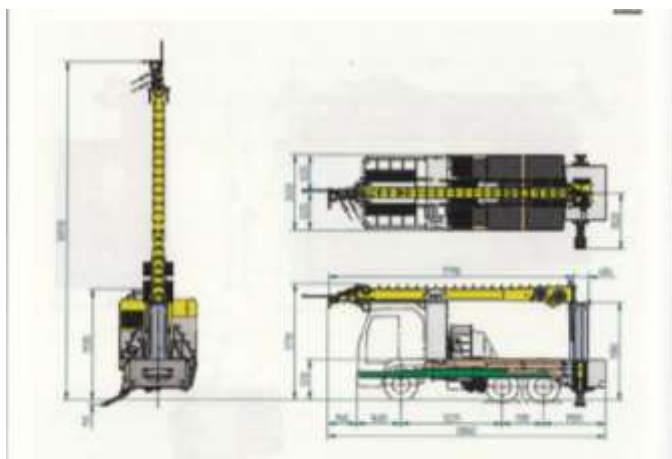
【使用機械】

① タワーヤーダ：コンラート社（オーストリア製）ホイールタイプ

- ・タワー高 約11m
- ・荷揚げ能力 最大4 t
- ・ワイヤー スカイライン D20 mm

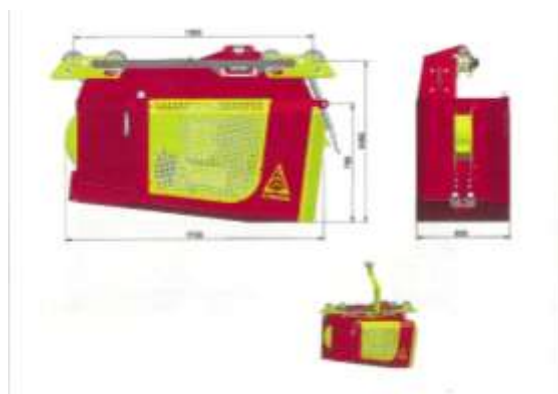
ワイヤーロープは主にヨーロッパで使用されている圧縮ワイヤーを使用。従来のワイヤーに比べ高価であるが、耐久性が高く滑車に跡が残らない等の利点がある。

- ・エンジン 286馬力



② リフトライナー：コンラート社（オーストリア製）高性能搬器

- ・荷揚げ能力 最大4 t
- ・重量 約950kg



3 実証結果

作業員2～3人、作業日数4日（先行伐採、設置・撤去含む）の延べ10人日で約100m³を集材・造材できた。今回は、県内関係者を対象とした現地研修会を合わせて開催したため、実質1日の作業であったが、県内の現況及び全国平均と比べ、生産性が高かった。

労働生産性：100m³÷10人日＝10.0m³/人日

生産経費：10,970円/m³（今回の研修の見積金額より算出）

[参考] 富山県における労働生産性(R4現在)

主伐：6.31m³/人日 間伐：5.10m³/人日

[参考]「令和3年素材生産事例調（林野庁調べ）」より ※伐木、造材、集材の全国平均

	皆伐 (高性能林業機械)	間伐 (高性能林業機械)	間伐 (チェーンソー伐採 +グラップル集材)
労働生産性	8.15 m ³ /人日	4.44 m ³ /人日	3.70 m ³ /人日
生産経費	6,175 円/m ³	9,065 円/m ³	11,031 円/m ³

4 今後の検討課題

(1) 対象地の選定、架線計画の策定

- ・地山縦断については、中央垂下比を検討し、架線が途中で地山に触れないことが重要であるとともに、横取りのため地山横断の凹凸も留意する必要がある。このため、航空レーザ計測結果の活用、ドローン計測等、ICTを活用して、事業地の選定や架線計画の策定、伐採・集材エリアを決定する必要がある。なお、飛騨市森林組合では、通常、事前にドローンレーザにより、対象地の測量を行い、架線計画（先柱の選定含む）を効率的に策定している。
- ・タワーヤーダはアウトリガーの張り出しも不要なため、車道幅員3.0m程度の林道・作業道があれば設置可能であるが、元柱側にもアンカーとなる、ある程度の径の樹木が必要になる。アンカーとなる樹木がない場合、丸太をアンカー替わりとして埋設することで代替が可能となるが、その場合、ある程度の作業時間を要する。

(2) 先行伐採

- ・集材する反対方向に向けて倒す必要（揚げ荷の場合は、梢端部が斜面下方向になるように、下げ荷の場合は、梢端部を斜面上方向に必要がある）があり、浴びせ倒しとなる可能性があるため、安全な伐採を行うための技術習得が必要。

(3) 人材育成

- ・対象地の選定や架線計画の策定、索張り、タワーヤーダの操作等を実践できる人材を育成する必要がある。
- ・また、主索の張替えにより、広範囲の施業を効率的に行うことも可能となるため、こうした技術の取得も必要である。飛騨市森林組合によると、「索の張替えは慣れればそんなに苦じゃない」とのこと。

(4) タワーヤーダの導入、運用方法の検討など

- ・今回の実証では、造材・集材作業を行ったのは、実質1日であったため、タワーヤーダの有効性を判断するためには、実際の施業面積(数ha程度)に即した規模で、実証を行う必要がある。
- ・前述までの課題等への対応に加え、タワーヤーダ(約1億2,000万円)の購入方法や、使用する林業事業体の選定と架線技術者の採用、保管場所の確保、費用対効果を踏まえた稼働計画の策定等を検討する必要がある。
- ・今後、ドローンを活用したリードロープの設置等、更なる低コスト化も検討する必要がある。

第9節 ドローンを活用した森林資源調査

(中日本航空株式会社)

1 業務概要

(1) 業務目的

本業務は、ドローンによる空撮情報を用いて、広葉樹林における樹種や林相の特定ならびに材積推定について、従来法より高精度に把握するための手法について検討する事を目的とした。

(2) 計測地

富山県小矢部市末友地内 約5.0ha (実面積: 5.127ha、図9-1 参照)



図9-1 計測地

(3) 業務フロー

本業務の作業フローを図9-2に示す。

ドローンを用いた計測にあたり、航空法等の関係法令を遵守して実施した。

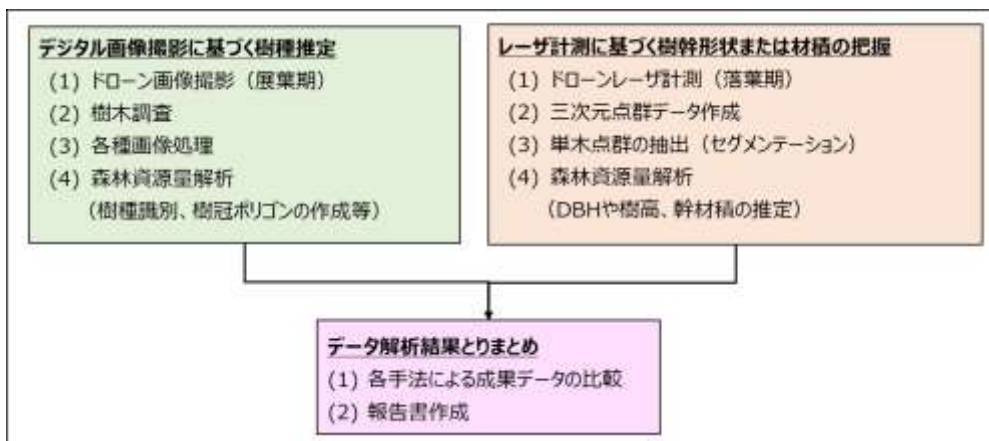


図9-2 作業フロー

(4) 参画会社

中日本航空株式会社（ドローンレーザ計測・解析担当）

DeepForest Technologies 株式会社（ドローン画像撮影・解析担当）

2 作業内容

(1) デジタル画像撮影に基づく樹種推定（展葉期）

1) ドローン画像撮影

デジタル画像撮影に基づく展葉期の樹種推定を行うため、ドローンを用いた画像撮影を実施した。ドローンを用いた理由としては、樹冠の色味やテクスチャ情報が把握可能な高解像度な林冠画像を取得できるためである。

計測作業風景を図 9-3 に、計測諸元を表 9-1 に、撮影した単写真のイメージを図 9-4 に示す。



図 9-3 計測作業風景

表 9-1 展葉期のドローン画像撮影の計測諸元

地区名	小矢部市末友地内
計測年月日	2023/10/2
使用機体名	Matrice350 RTK
ラップ率	オーバーラップ：85% サイドラップ：75%
地上解像度	2.5cm

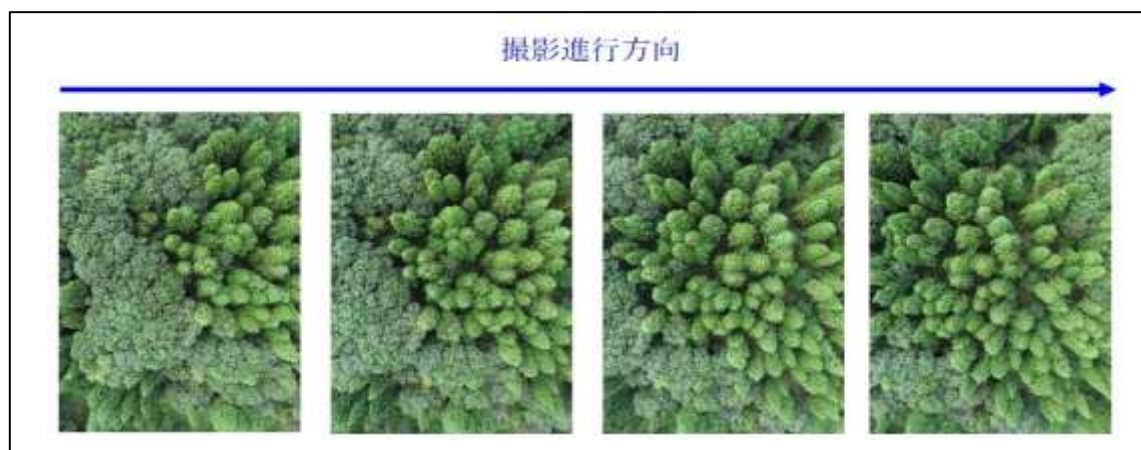


図 9-4 撮影した単写真

2) 樹木調査

ディープラーニング (AI: Artificial Intelligence) による資源量解析に使用する教師データの取得や後述のドローン画像撮影に基づく森林資源解析の検証用データの取得を目的として、対象地内にて現地樹木調査を実施した。作業時の資料を図 9-5 に、調査項目を下段に示す。

調査対象木の位置情報は、撮影取得より作成したオルソ画像と対応付けることで記録した。

【調査項目】

- ①樹種 (現地調査とドローン画像による推定樹種の比較・検証)
- ②樹冠形状 (現地調査とドローン画像による樹冠面積の比較・検証)
- ③胸高直径 (ドローン画像による胸高直径推定式を作成する際の正解データ)



図 9-5 作業資料 (オルソ画像に樹木調査結果を入力)

3) 撮影画像の処理

ドローンにて撮影した画像を組合せて、SfM (Structure from Motion) -MVS (Multi-view Stereo) 処理によりオルソ画像を作成した (図 9-6 左図参照)。

SfM-MVS 処理により作成した 3 次元点群データを用いて、DEM (Digital Elevation Model) を作成した。

またフィルタリング処理を実施したオリジナルデータから DSM (Digital Surface Model: 数値表層モデル)、グラウンドデータから DTM (Digital Terrain Model: 数値地形モデル) を作成した。

加えて DSM から DTM を差分処理することで DCHM (Digital Canopy Height Model: 林冠高モデル) を作成した (図 9-6 右図参照)。

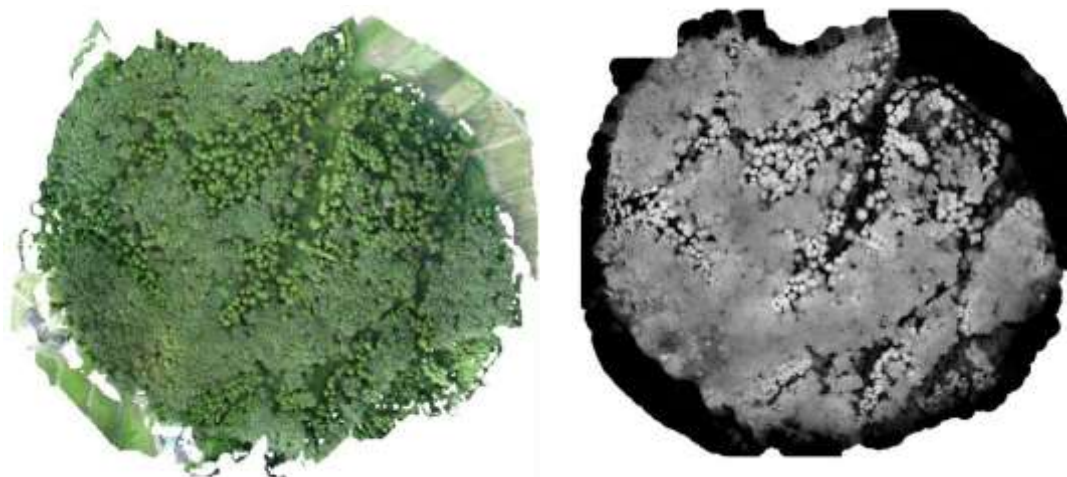


図9-6 作成したオルソ画像（左）とDCHM: Digital Terrain Model（右）

4) 森林資源量解析

森林解析ソフトウェア DF Scanner (DeepForest 社製) を用いて、単木ごとに資源量解析を実施した。本ソフトウェアは、内部に AI を搭載し、オルソ画像・DSM データを用いて、各樹木の検出、樹種識別、樹高・DBH・幹材積推定等を一元的に解析することができる。

① 樹冠ポリゴンの作成

樹冠形状を表現するポリゴンデータについて、オルソ画像及び DCHM を用いた自動処理により作成した (図 9-7 参照)。ポリゴン形状の詳細な修正は手動で実施した。



図9-7 作成した樹冠ポリゴン

② 樹種識別

樹種の識別は、ディープラーニング (AI) による学習・識別技術である「Site tuning」を用いて実施した。教師データには、200本の現地調査データに加え、その他目視判読によるマニュアル入力によって合計290本分を用いた (図9-8参照)。

推定された樹種識別結果は、樹冠ポリゴンの属性情報として付与した (図9-9参照)。

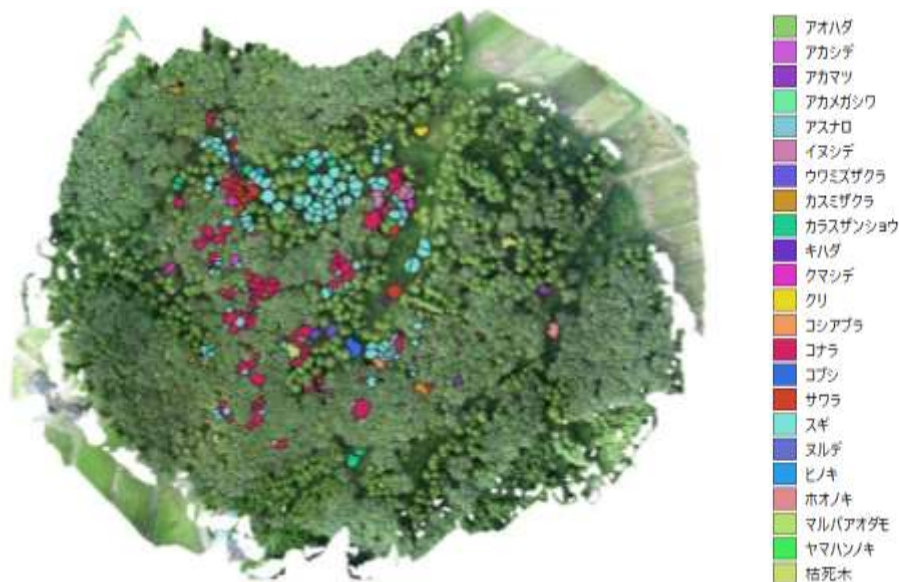


図9-8 学習用教師データ

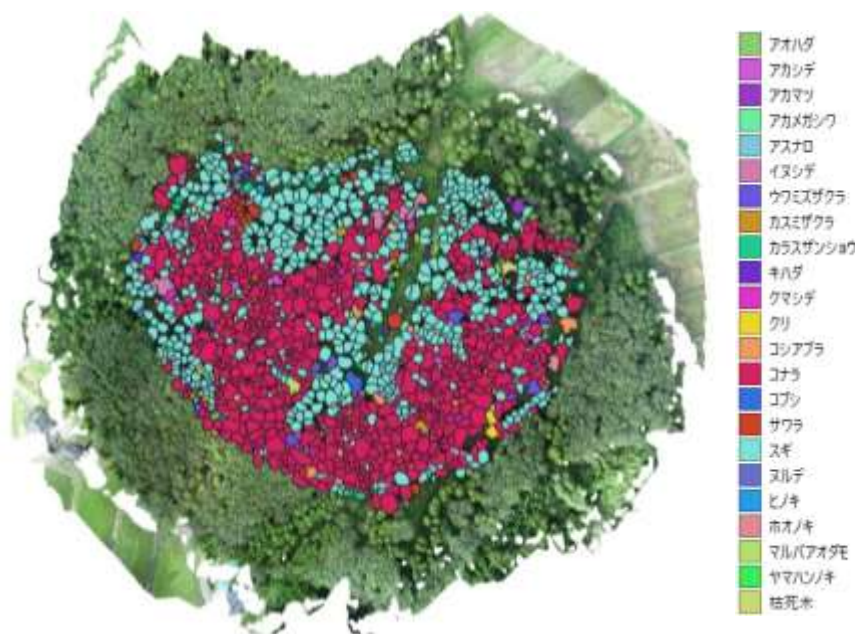


図9-9 ディープラーニング (AI) による樹種識別結果 (樹種マップ)

樹種分布結果は、全対象地の合計面積を100%とすると、コナラ50%、スギ35%、アスナロ3%、カラスザンショウ2%、サワラ1%、イヌシデ1%、コシアブラ1%、その他7%となった。

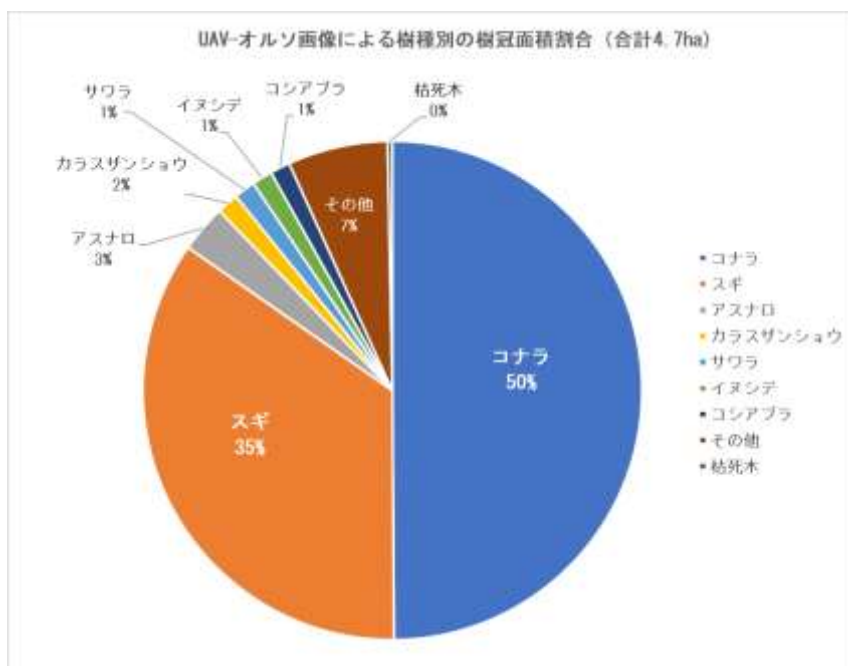


図 9-10 ドローン画像における樹種推定結果 (対象地内の面積割合)

表 9-2 対象地内の各樹種の合計面積 (m²)

樹種 ID	樹種	合計樹冠面積 (m ²)
1	サワラ	657.15
2	スギ	16497.77
3	コナラ	23635.47
4	ヒノキ	54.10
5	アスナロ	1459.08
6	コシアブラ	610.75
7	クリ	372.68
8	カスミザクラ	152.03
9	カラスザンショウ	669.91
10	ホオノキ	279.01
11	枯死木	144.84
12	ヌルデ	68.34
13	ウワミズザクラ	450.84
14	イヌシデ	624.74
15	アオハダ	80.59
16	ヤマハンノキ	35.07
17	アカマツ	336.31
18	マルバアオダモ	81.60
19	クマシデ	410.58
20	コブシ	113.82
21	キハダ	73.54
22	アカメガシワ	410.33
23	アカシデ	153.29

③ 樹高・胸高直径 (DBH) 推定

ドローン画像撮影に基づいて作成した DCHM を用いて、各樹冠ポリゴンの最大値を各樹木の樹高として算出した (図 9-11 参照)。

胸高直径 (DBH : Diameter at Breast Height) は、ドローン画像撮影に基づいて推定された樹種、樹冠面積、樹高から推定した。推定結果は、樹冠ポリゴンの属性情報として付与した (図 9-12 参照)。

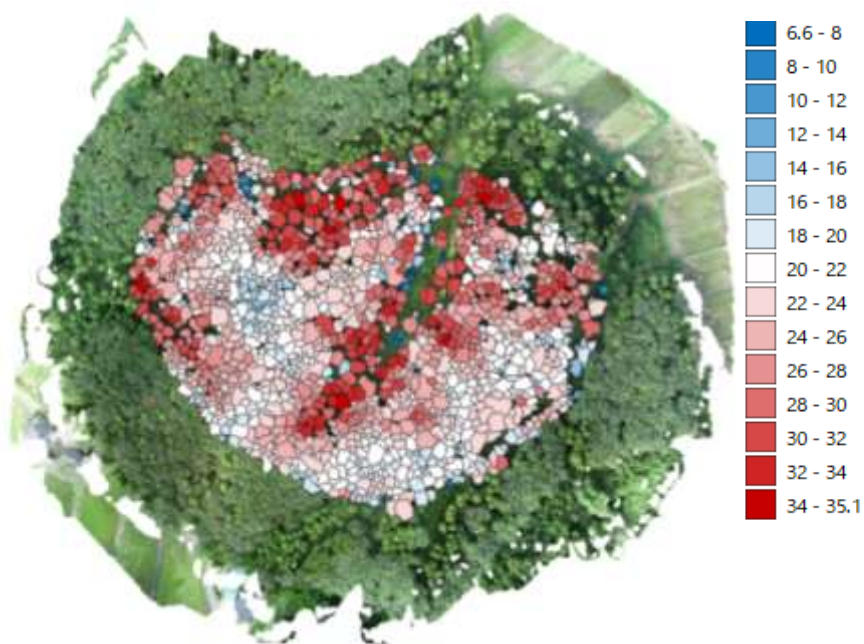


図 9-11 樹高マップ (単位は m、2m 間隔で表示)

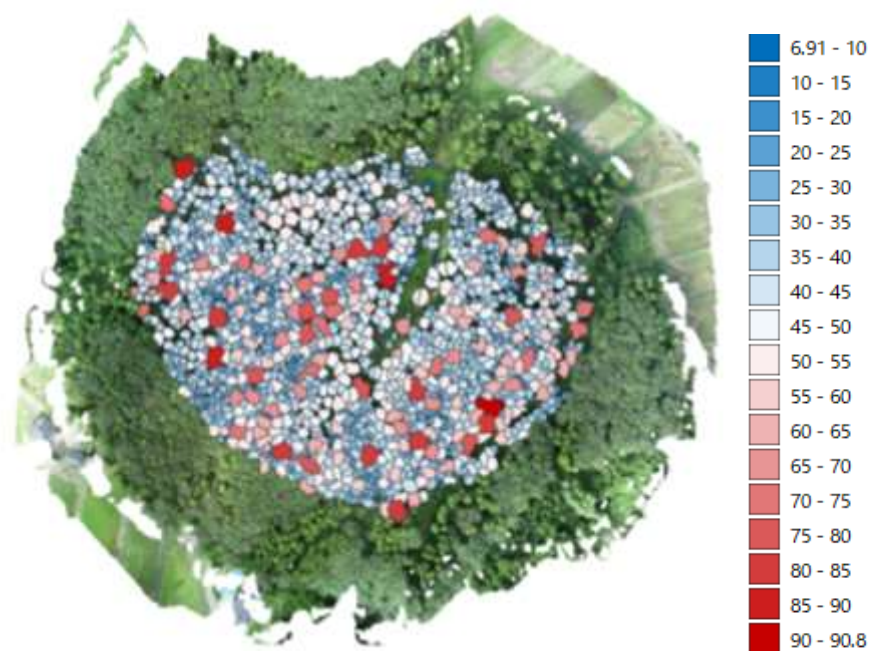


図 9-12 胸高直径 (DBH) マップ (単位は cm、5cm 間隔で表示)

④ 幹材積推定

ドローン画像撮影に基づいて推定された樹種、樹高、胸高直径に基づき、立木幹材積表を用いて材積推定を実施した。推定結果は、樹冠ポリゴンの属性情報として付与した（図9-13参照）。

材積の算出にあたっては、林野庁幹材積表より「名古屋広葉樹」を使用した。

表 9-3 材積算出に用いた幹材積式

樹種区分	幹材積式
名古屋広葉樹	$\log V = a + b * \log D + c * \log H$ （山本式）

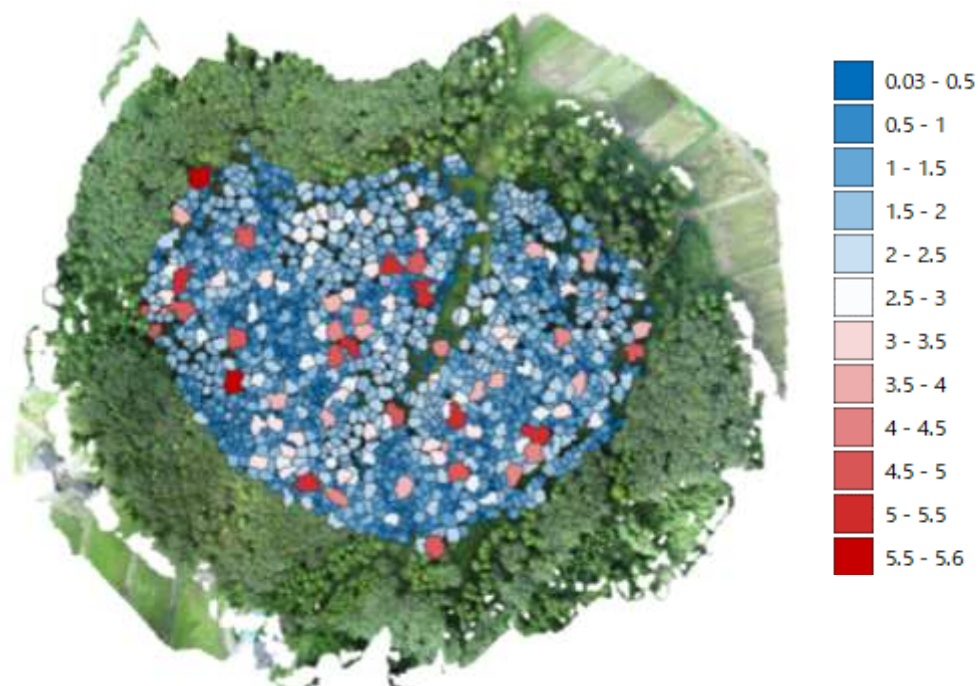


図 9-13 幹材積マップ(単位は m^3 、0.5 m^3 間隔で表示)

(2) レーザ計測に基づく樹幹形状または材積の把握（落葉期）

1) ドローンレーザ計測

落葉広葉樹の樹幹形状が把握可能な高密度点群データを取得するため、ドローンを用いたレーザ計測を実施した。レーザスキャナは VUX-1 UAV-22 (RIEGL 社製) を使用した。レーザスキャナの性能諸元を表 9-4、計測諸元を表 9-5 に示す。

計測データの位置精度の確保するため、調整用基準点、位置精度検証点として対空標識を設置した。対空標識の位置座標は、GNSS によるネットワーク型 RTK 法により求めた。

使用した機体及び対空標識を図 9-14 に、計測時風景を図 9-15、図 9-16 に示す。

表 9-4 機材性能諸元

計測機器名	VUX-1UAV-22
有効測定レート	1.200,000 点/秒
測距精度	10mm
レーザクラス/波長	クラス1 / 1550nm
パルスモード	波形記録方式
リターン最大数	7

表 9-5 レーザ計測諸元

地区名	小矢部市末友地内
計測年月日	2023/12/8
計測機器名	VUX-1UAV-22
フライト数	17
対地高度	120m
対地速度	6.0m/s



図 9-14 : 使用した機体（左）と対空標識（右）



図 9-15 計測時の斜め風景写真

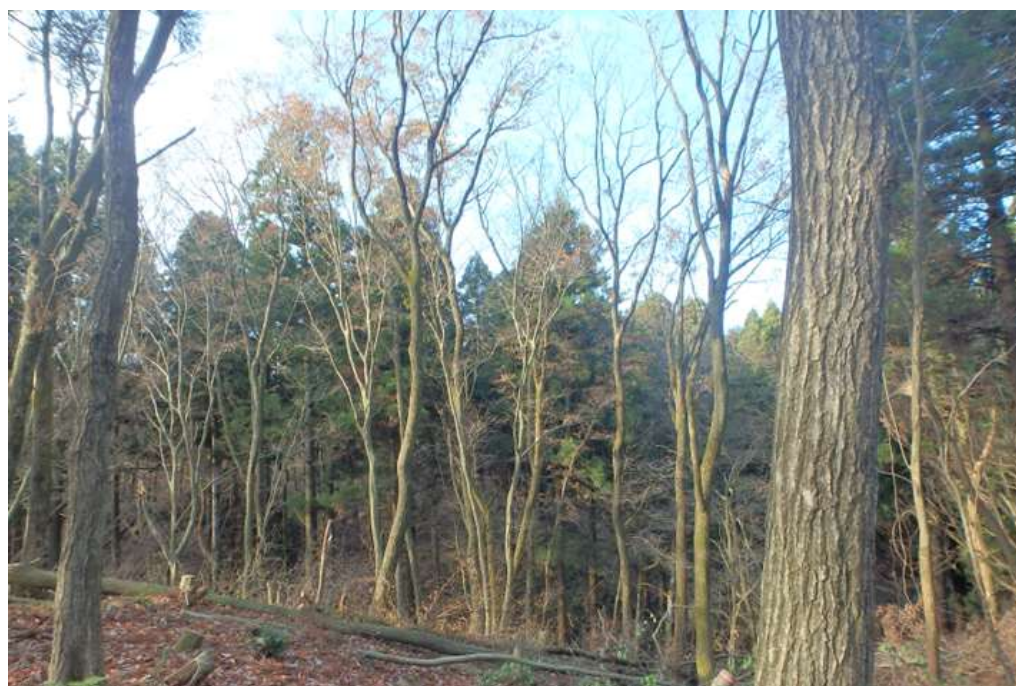


図 9-16 計測時林内状況

また落葉期の林分状況を確認するため、ドローンレーザ計測と同時期にドローンデジタル画像撮影を実施した。なお落葉期のドローン画像は、樹種判別や森林資源量解析には使用していない。

落葉期のドローンデジタル画像撮影の計測諸元を表 9-6 に、撮影結果を図 9-17 に示す。

表 9-6 落葉期の展葉期のドローン画像撮影の計測諸元

地区名	小矢部市末友地内
計測年月日	2023/12/6
使用機体名	Mavic3Enterprise
対地高度	100m
地上解像度	2.0cm



図 9-17 落葉期のドローンデジタル画像撮影結果

2) 3次元点群データ作成

ドローンの位置・姿勢データと、ドローンレーザ計測による測距データとを統合解析し、3次元点群データを作成した。

① オリジナルデータ・グラウンドデータの作成

ドローンレーザ計測結果に基づき作成した3次元点群データを用いて、センサ性能や環境影響によるノイズの除去を行うノイズフィルタリング、地表面とそれ以外の地物を分類するグラウンドフィルタリングを実施した（図9-18参照）。

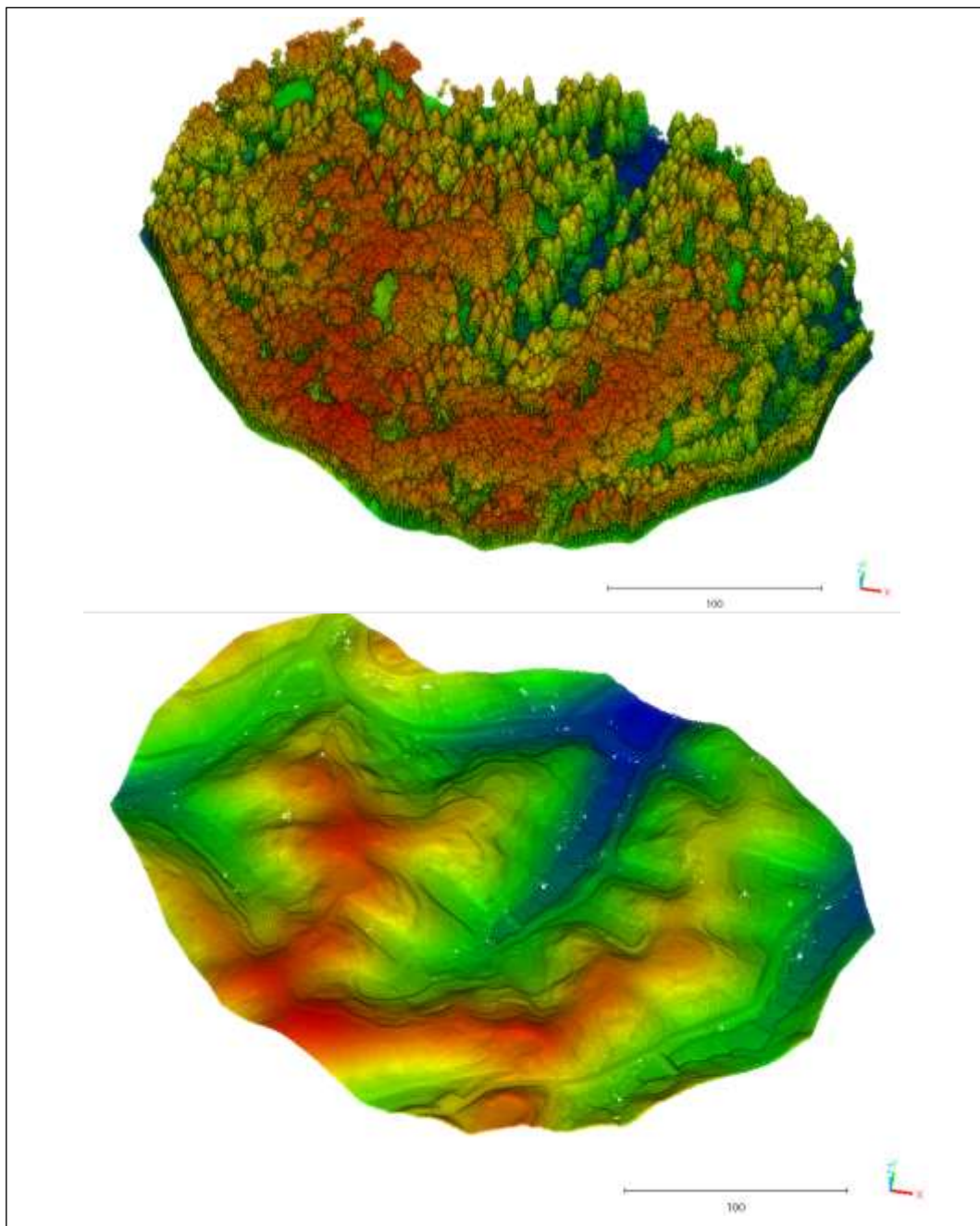


図9-18 オリジナルデータ（上）とグラウンドデータ（下）：標高段彩表示

② 取得点密度の確認

取得点群の密度を確認するため、計測対象範囲全体のオリジナルデータを 1m 四方の格子に区切り、格子内の点群数を集計した。

結果として、樹木が分布する箇所においては約 2500 点/m²の点密度が確保された。点密度が非常に多くなった理由としては、ドローンレーザ計測の計画時には同じ地点で複数回照射するように隣接のコースをラップさせていること、加えて森林域においては1回のレーザ照射で複数のパルスの反射（リターン）があること等が考えられる。

取得点密度の確認結果を図 9-19 に示す。

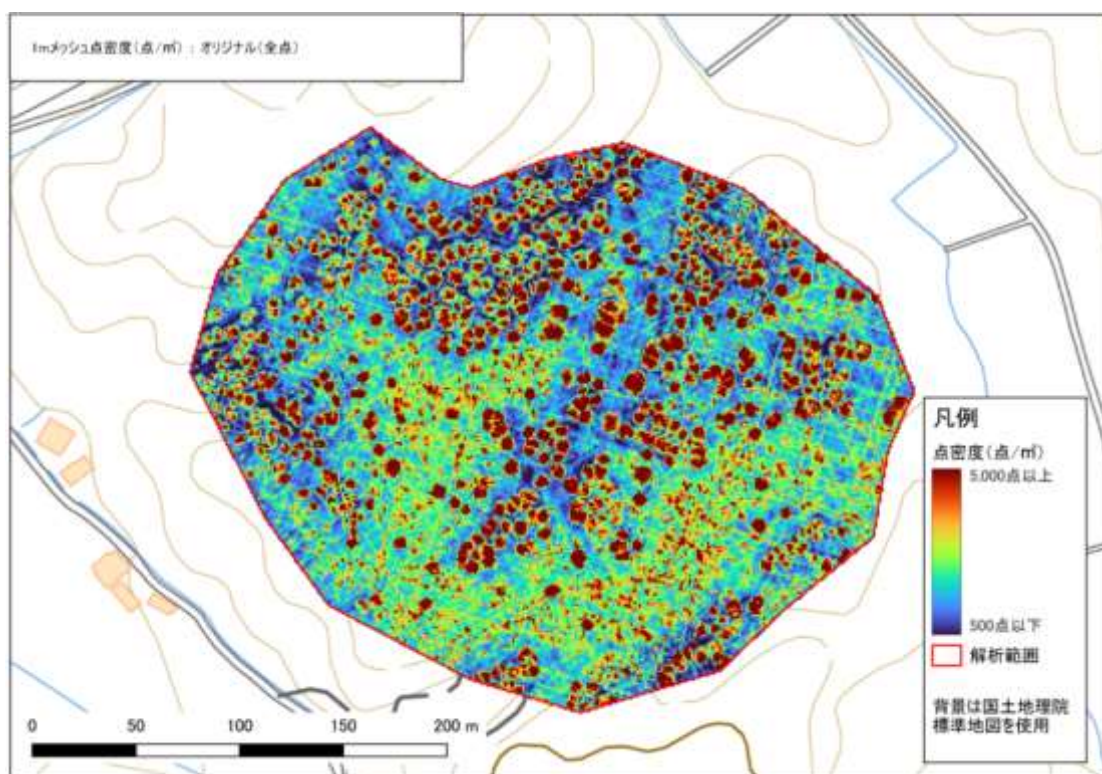


図 9-19 取得点密度の確認

3) 単木点群の抽出（セグメンテーション）

取得した点群データから解析対象となる落葉広葉樹を単木ごとに分類することを目的とし、Cloud Compare を用いてクラスター分析を用いたセグメンテーションを実施した。

ドローンレーザ計測を用いたセグメンテーションは、まず TreeISO ツールを用いて自動分類した後に手動にて修正をおこなった。セグメント化された単木点群を図 9-20、図 9-21 に示す。

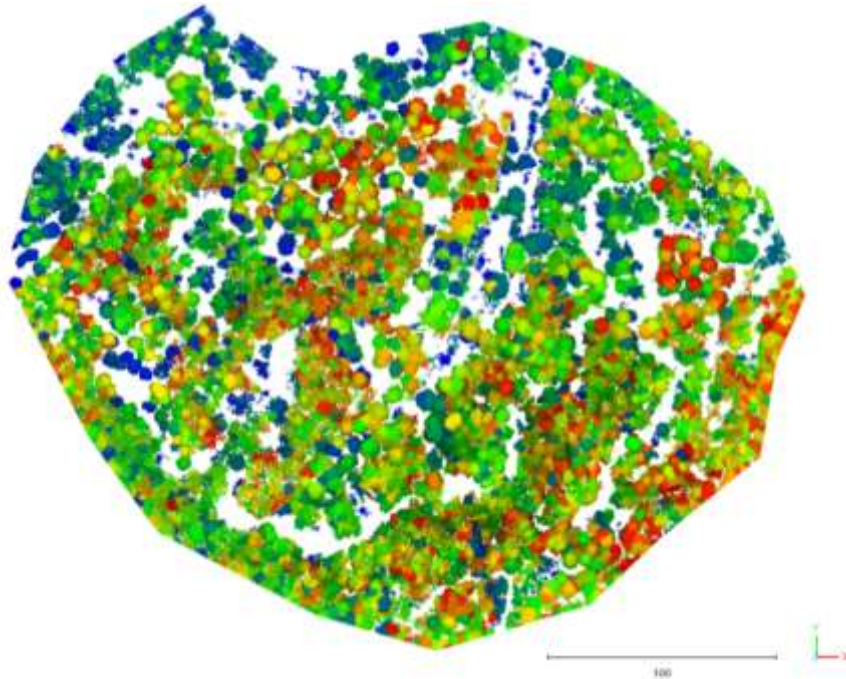


図 9-20 セグメンテーション結果全体

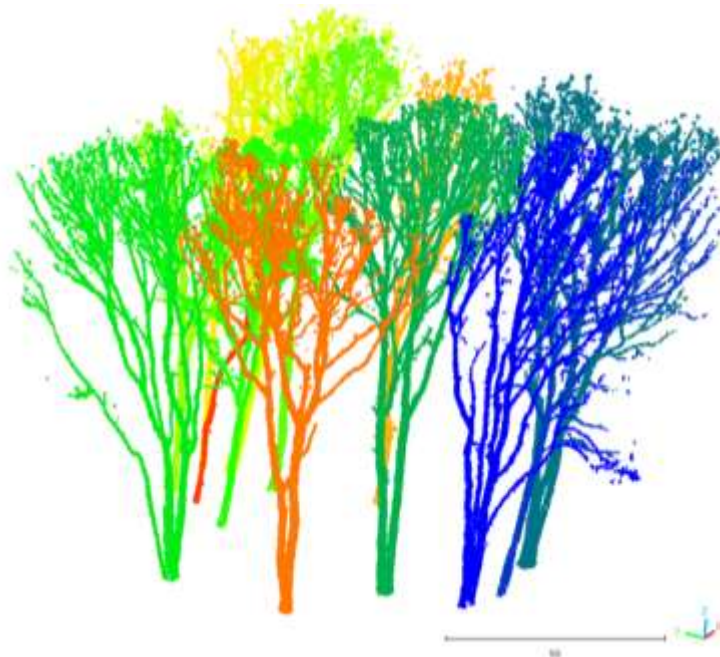


図 9-21 セグメンテーション結果（近景）

4) 森林資源量解析

① 樹高の推定

単木ごとにセグメンテーションされた点群データを用いて樹高を推定した。

樹高は、単木ごとの点群のうち、最高標高値をもつ点（≒樹頂点）を樹頂高さとし、地盤高との差分を取ることで推定した（図9-22参照）。

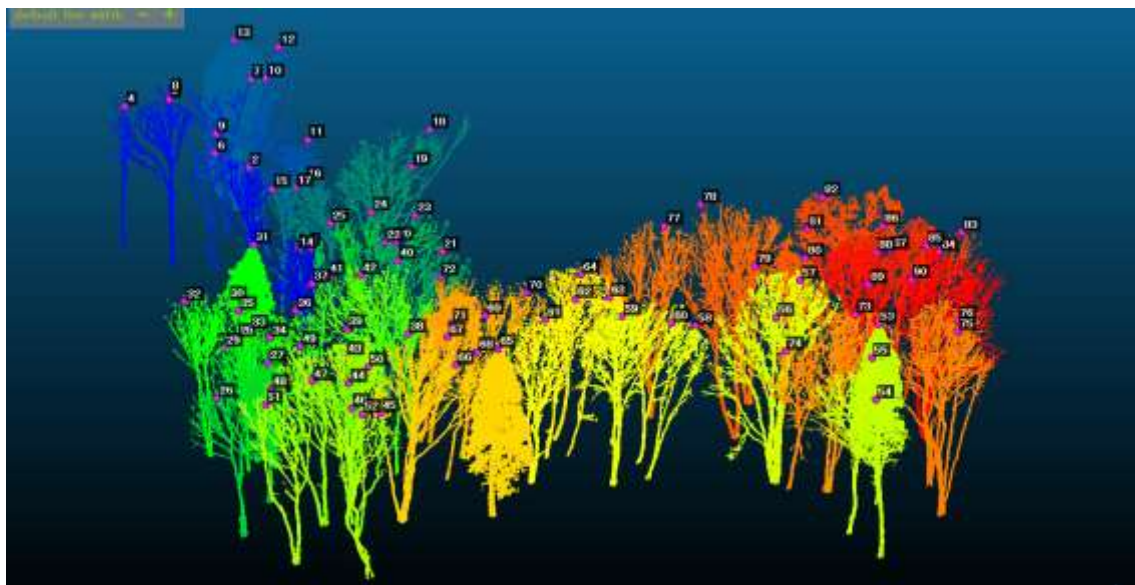


図9-22 樹頂点の推定例（図のピンク色の点）

② 胸高直径（DBH）の推定

単木ごとにセグメンテーションされた点群データを用いて胸高直径（DBH）を推定した。

DBHは、胸高付近の樹幹点群を10cm幅で抽出し、円近似により円の直径と中心位置（立木位置）を測定した。

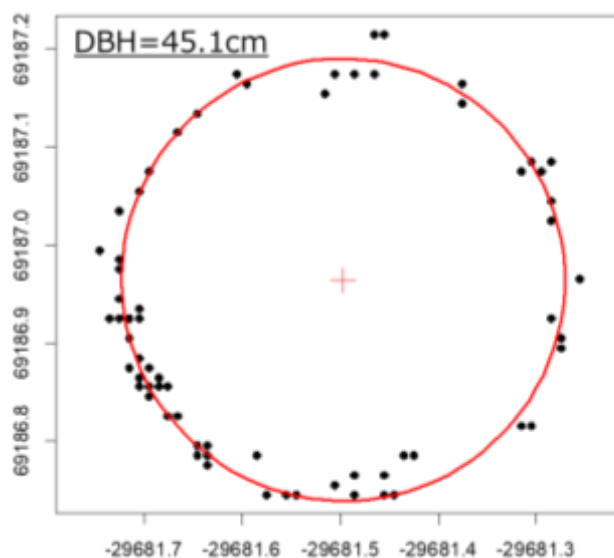


図9-23 胸高直径の推定例

③ ボクセルモデルによる幹材積の推定

点群データに基づく幹材積の推定には、ボクセルモデルを採用した。ボクセルとは、点群データを立方体で区切り、その中心点のみに置き換えることで点の数を減らす処理によって作成されたグリッドデータである（図 9-24 参照）。

ボクセル集計による材積推定を行うにあたり、空洞となっている幹点群の中身をボクセルで充填する処理を実施した。充填したボクセルを単木ごとに生成、集計し、単位ボクセルの体積を乗じることで単木ごとの体積を推定した（図 9-25 参照）。

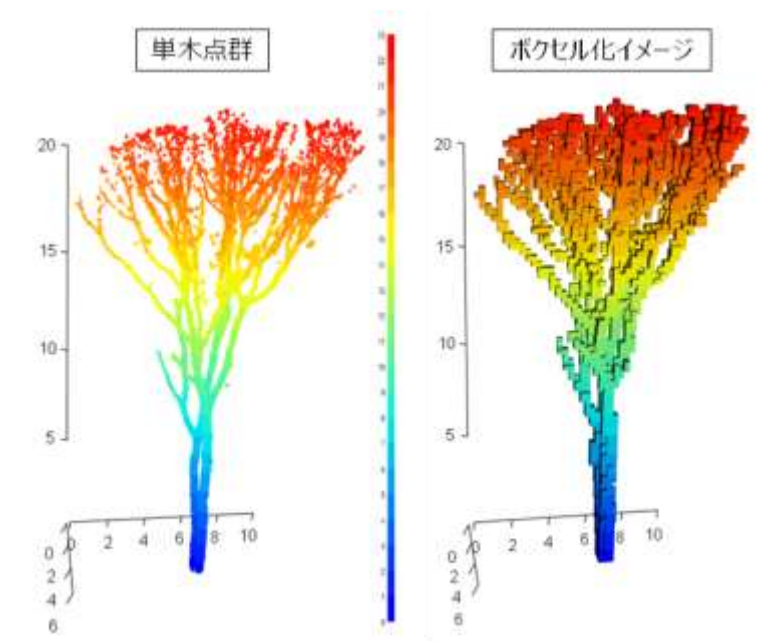


図 9-24 ボクセル化のイメージ

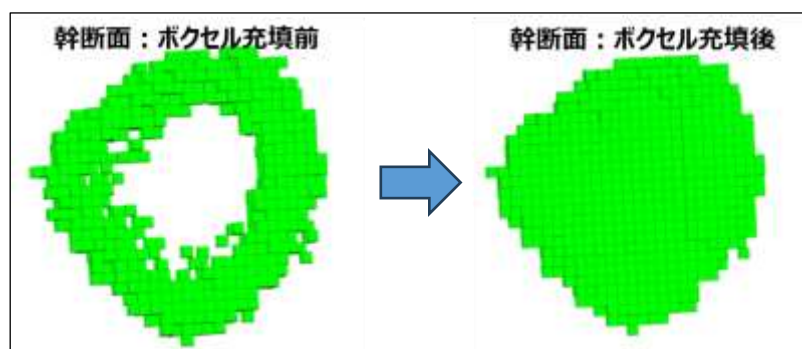


図 9-25 幹点群の空洞部へのボクセル充填イメージ

④ 材積推定結果：幹材積式による推定値との比較

前項③のボクセルによる材積推定結果について、立木幹材積表による材積推定結果と比較した。

立木幹材積表による材積は、ドローンレーザ計測に基づき算出された樹高および胸高直径を用いて推定した。立木幹材積式は、「名古屋広葉樹」のパラメータを採用した（表 9-7 参照）。

表 9-7 採用した樹種区分と幹材積式

樹種区分	幹材積式
名古屋広葉樹	$\log V = a + b * \log D + c * \log H$ (山本式)

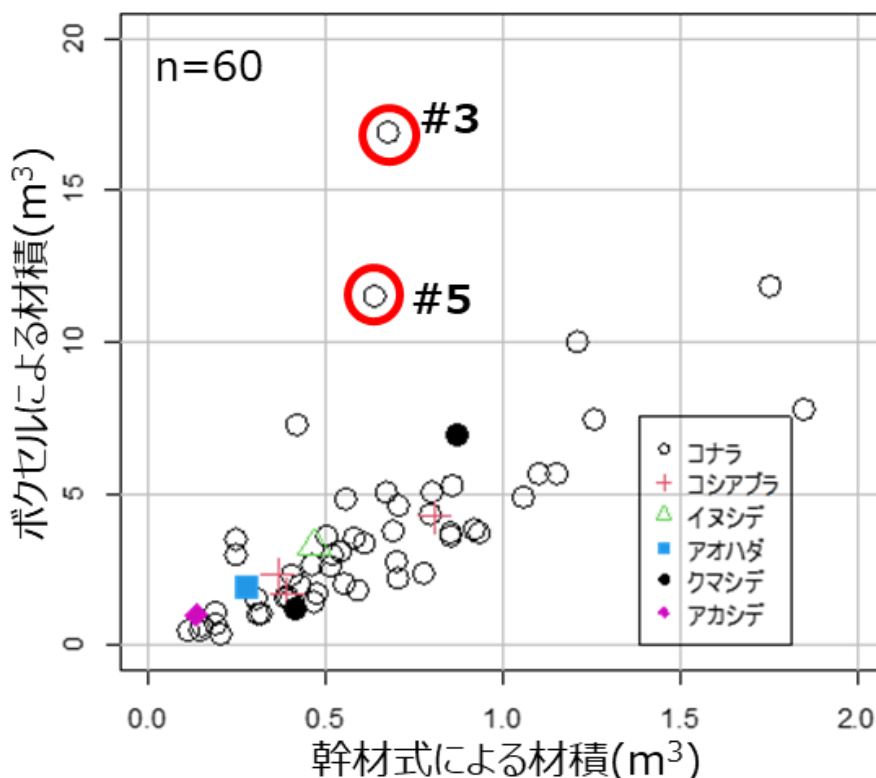


図 9-26 幹材積式による推定材積とボクセル法による推定材積の比較

結果としては、概ね相関があったものの、コナラの一部において大きな差があった（図 9-26 参照）。これは幹材積式に用いる胸高直径や樹高のみでは樹冠の大きさや枝ぶりを加味していないのに対し、ボクセル法では幹に加えて枝に対しても材積を推定しているためと考えられる（図 9-27 参照）。

材積が過大となる要因は、幹材積式では考慮されていない枝条部を、本手法では材積として計算しているためと考えられる。幹材積と枝条部の量には相関が高いと考えられるため、これらの総和のボクセル材積と、幹材積式による材積で高い相関関係があったと推察される。ただし、枝条部の割合は、樹種や生育状況により大きく変動するため、枝条部を樹幹部と分けることや、樹種別に異なるパラメータ設定を行う等、さらなる高精度化に向けた算出方法の検討が必要となる。

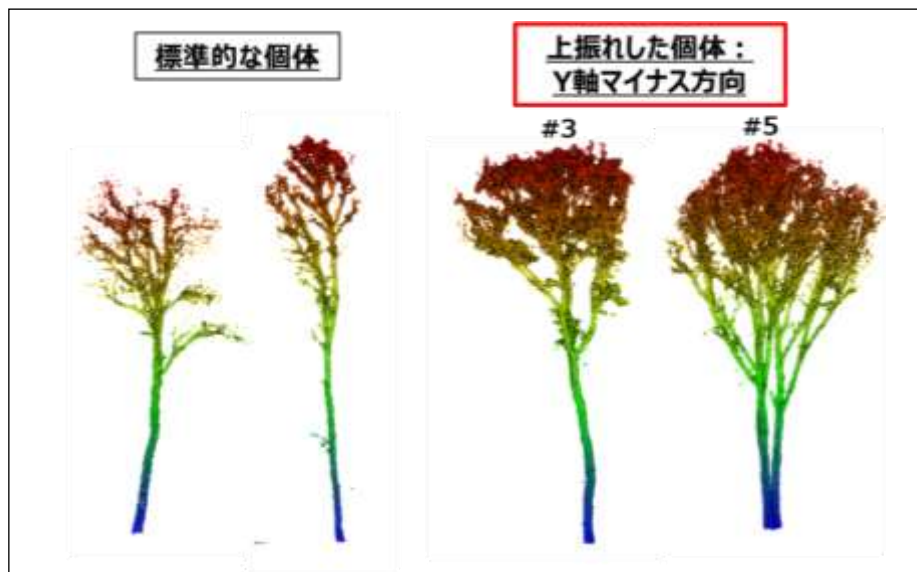


図 9-27 材積差の大きい樹木の例

このような枝ぶりや樹冠の大きさが極端な個体を除去した後に、ボクセル体積を用いた幹材積の推定式を作成した。

$$\text{【幹材積】} = 0.1299 \times \text{【ボクセル材積】} + 0.1905$$

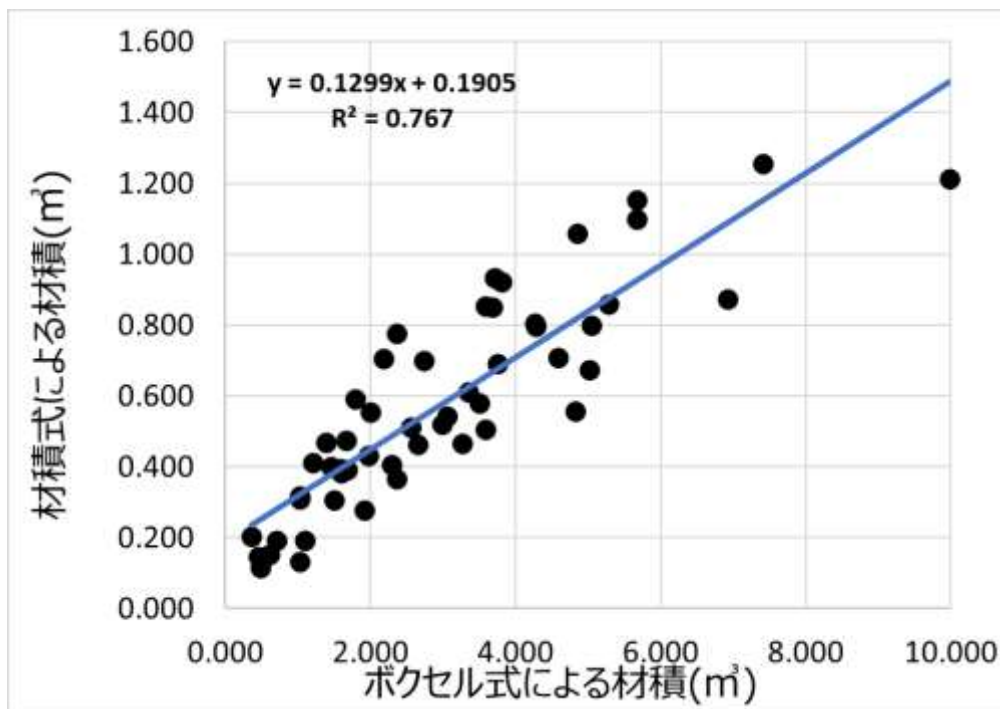


図 9-28 ドローンレーザ計測を用いたボクセル法による幹材積式の算出

3 各手法による成果データの比較

ドローンによるデジタル画像撮影に基づく森林資源量解析成果と、レーザ計測に基づく森林資源量解析成果を比較し、考察を行った。

本項目の精度検証は、対象地の内広葉樹が主に植生している林分の約 0.25ha を対象とした（以下、検証範囲とする）。

展葉期に撮影したドローンデジタル画像に基づく樹冠ポリゴンを図 9-29 の左に、落葉期に計測したドローンレーザ計測に基づくセグメンテーション範囲を図 9-29 の右に示す。

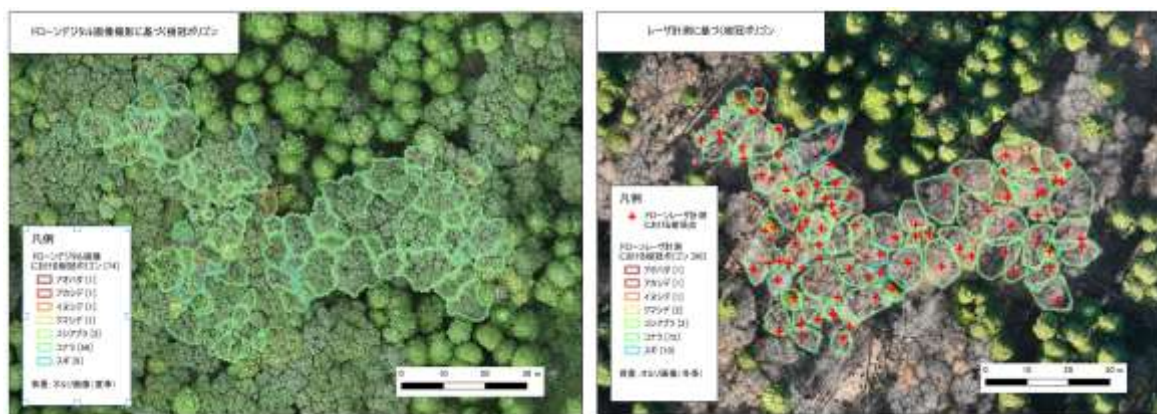


図 9-29 左：ドローンデジタル画像に基づく樹冠ポリゴン（展葉期に撮影）
右：ドローンレーザ計測に基づくセグメンテーション範囲（落葉期に撮影）

(1) 樹木本数および形状の比較

検証範囲内の樹木本数を比較した場合、ドローンデジタル画像に基づく樹冠ポリゴンは 74 本、ドローンレーザ計測に基づくセグメンテーション結果は 90 本となった。これは、ドローンデジタル画像では上空から視認できる樹冠のみ検出できるのに対し、ドローンレーザ計測では落葉期に計測したために上層の樹冠の下に重なる樹木に対しても単木検出ができたためと考えられる（図 9-30 参照）。

このことより、ドローンデジタル画像では 1 つの樹冠ポリゴンであるのに対し、レーザ計測の方では複数の樹頂点となる場所がいくつか確認された（図 9-31 参照）。

一方で、ドローンデジタル画像では複数の樹冠ポリゴンであるのに対し、レーザ計測の方では 1 つのセグメントとなる場所も見受けられた。これはレーザ計測では樹冠が分かれるような株立ち個体でも 1 つの樹木としているのに比べ、ドローンデジタル画像では樹冠が分かれている場合には別の樹木としてカウントされていることが要因と考えられる。

上記の結果より、3-(2)の樹高の比較および 3-(3)の材積の比較の際にはドローンデジタル画像とドローンレーザ計測で樹木が一致していない箇所を比較することが困難であったため、ドローンデジタル画像の樹冠内にレーザ計測の樹頂点が複数存在する樹木、およびドローンレーザ計測で株立ちが確認された樹木に関しては比較検証から除外した。また樹

種がスギとなる樹木に関しても除外した。

結果として、広葉樹の樹高と材積の比較の際は合計 41 本の樹木を対象とした。

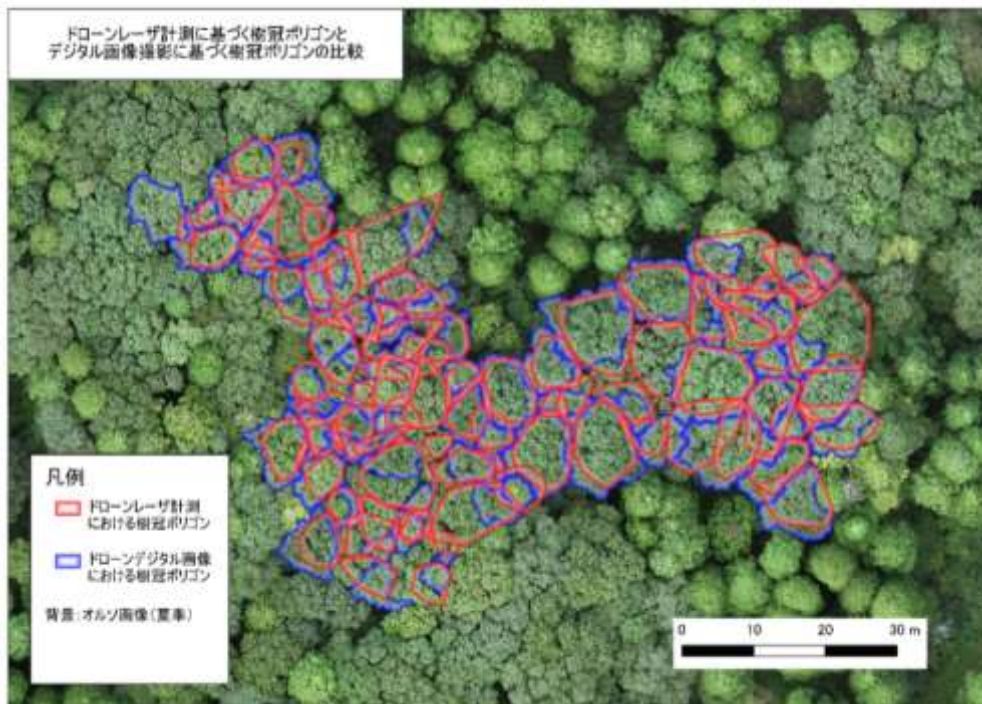


図 9-30 ドローンデジタル画像に基づく樹冠ポリゴン (74 本) と、ドローンレーザ計測に基づくセグメンテーション範囲 (90 本) の比較

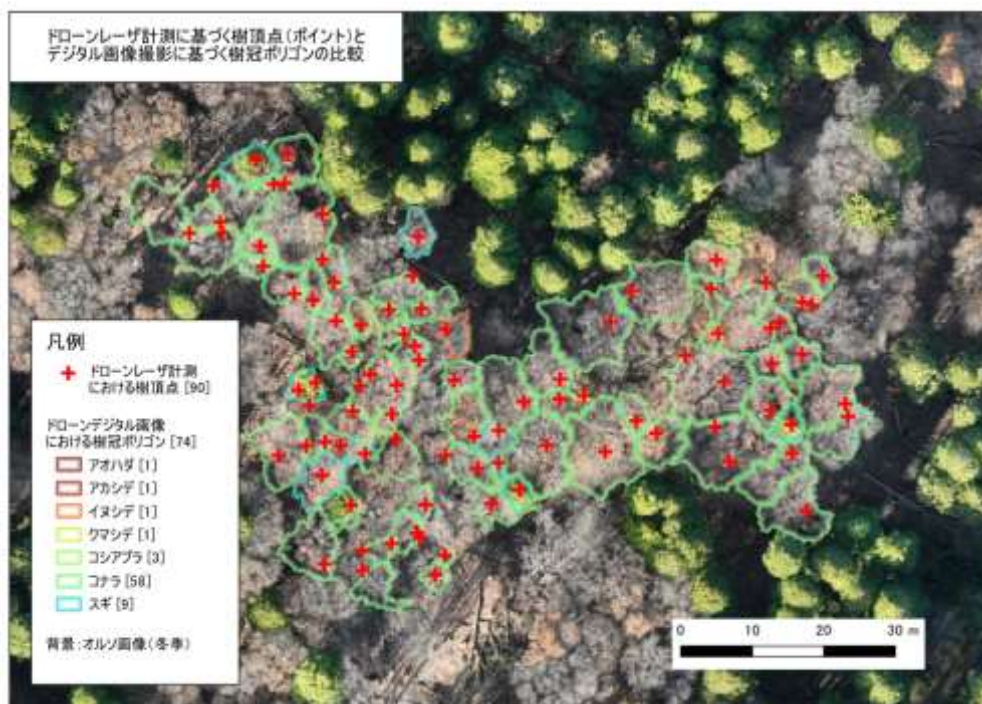


図 9-31 ドローンデジタル画像に基づく樹冠ポリゴン (74 本) と、ドローンレーザ計測に基づく樹頂点 (90 本) の比較

(2) 樹高の比較

ドローンデジタル画像に基づく樹高とドローンレーザ計測に基づく樹高を比較した結果、差の絶対値平均は 0.86m、標準偏差は 2.56m となった。

ドローンデジタル画像に基づく樹高では、樹高が 20m以下の場合にいくつか過大となった(図 9-32 参照)。この原因は不明だが、ドローンデジタル画像は展葉期に撮影されたため葉があるのに対し、ドローンレーザ計測は落葉期に計測されたため過小評価となった可能性が示唆される。

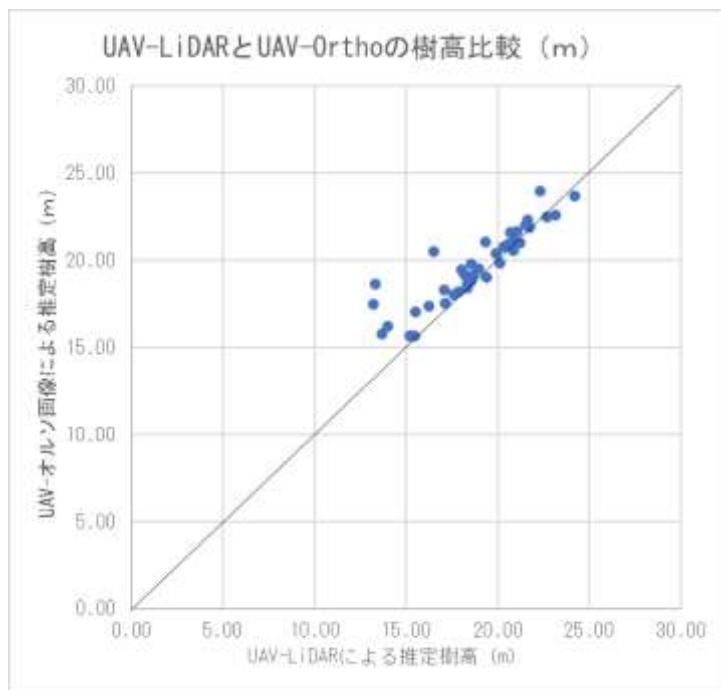


図 9-32 ドローンレーザ計測 (X 軸) とドローン写真撮影 (Y) による推定樹高の比較 (N=41)

(3) 材積の比較

ドローンレーザ計測に基づく樹高と胸高直径とで幹材積式により算出した推定材積と、ドローンデジタル画像に基づく樹高と胸高直径とで幹材積式により算出した推定材積とを比較した結果を図 9-33 に示す。結果として、差の絶対値平均は 0.24m³、標準偏差は 1.22m³ となった。樹高では個体ごとのばらつきが小さかったのに対し、材積ではばらつきが大きくなった。これはデジタル画像とレーザ計測とで胸高直径の推定方法が異なったためと考えられる。

また、ドローンレーザ計測に基づくボクセル法で算出した推定材積と、ドローンデジタル画像に基づく樹高と胸高直径とで幹材積式により算出した推定材積とを比較した結果を図 9-34 に示す。結果として、差の絶対値平均は 2.85m³、標準偏差は 2.91m³ となった。

レーザ計測同士においても幹材積式による推定材積に比べボクセル法による推定材積は大きくなったが(図 9-26 参照)、ドローンデジタル画像による幹材積式とドローンレーザ計測によるボクセル法の材積比較でも同じ傾向が見られた。これは、幹材積式に用いる胸高直径や樹高では樹冠の大きさや枝ぶりを説明変数に入れていないのに比べ、ボクセル法では幹に加えて枝に対しても材積を推定しているため推定材積が大きくなったと考えられる。

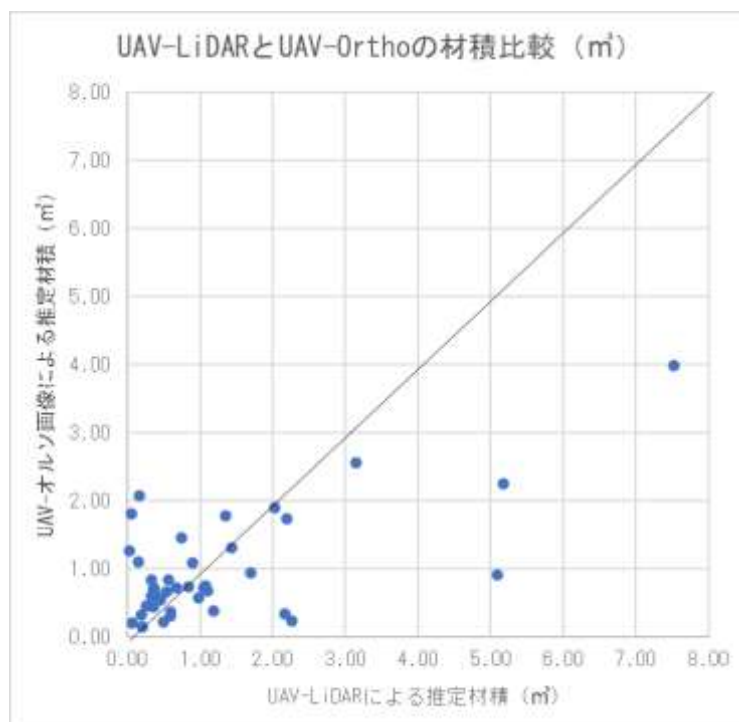


図 9-33 ドローンレーザ計測 (X 軸) とドローン写真撮影 (Y) による推定材積の比較

※どちらも幹材積式を使用、N=41

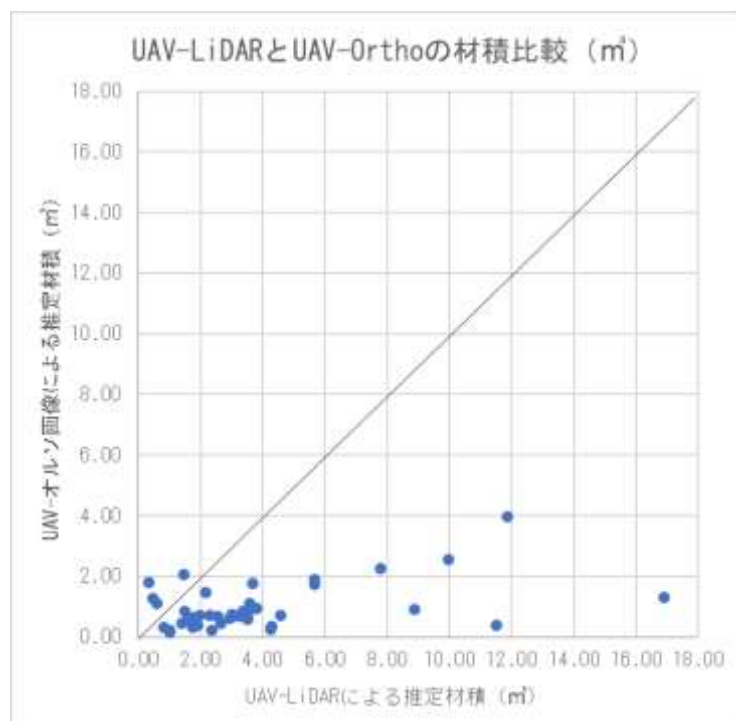


図 9-34 ドローンレーザ計測 (X 軸) とドローン写真撮影 (Y) による推定材積の比較

※ドローンレーザ計測はボクセル法、ドローン写真撮影は幹材積式を使用、N=41

4 まとめ

本業務による検討結果を以下に整理する。

(1) デジタル画像撮影に基づく樹種推定（展葉期）

- ・展葉期にドローンを使用して画像撮影を行い、AI 技術を活用した樹種の推定を行った。
 - 対象地の樹種の多様性が小さかったために精度比較は行えないものの、優占種のコナラ、スギについては概ね取りこぼしなく抽出されていた。
 - ただし、株立ち個体等、複数の樹冠が融合したポリゴンも散見された。

【結論】

- ✓ 展葉期におけるドローン画像を用いた広葉樹の樹種分類は有用であると考えられる。
- ✓ 森林資源解析時に必要となるその他の単木情報をドローン画像のみで作成するには、今後の学習を積み重ねが必要である。

(2) レーザ計測に基づく樹幹形状または材積の把握（落葉期）

- ・落葉期にドローンを使用してレーザ計測を行い、単木情報の把握及びボクセル体積法による材積推定を行った
 - ドローンレーザデータから樹高及び胸高直径を推定した。胸高直径においては円近似を用いて自動処理を行ったが、コナラが萌芽した個体等で誤差が大きくなった。
 - ドローンレーザ計測に基づく樹高と胸高直径を用いて従来の幹材積式で算出した材積と、ドローンレーザ計測から算出したボクセル材積は高い相関が見られ、二次回帰式も高い精度で材積推定ができることが示唆された。
 - ただし、枝振りの差異等により材積の標準式から外れる個体は、今回の推定式から外れた結果となった。

【結論】

- ✓ ドローンレーザ計測においても、落葉期であれば胸高直径や材積の直接計測が可能となることが示唆された。
- ✓ 胸高直径の推定ではコナラの一部で誤差が大きくなった。原因や対処法は別途検討する必要がある。
- ✓ 広葉樹林において、これまでは上空からのレーザ照射のみでは高い精度での林分情報の把握は困難とされてきたが、本手法は高精度化への道筋となる可能性がある。

(3) 今後の課題および展望

1) 精度検証方法の改善

- ・ボクセル体積法による材積の推定では、樹冠の大きさや枝ぶりによって材積が大きくなる一方、既存の幹材積式は幹および樹高のみを用いているため大きな差となる。
- ・精度検証を行う上で実際により近い実材積をどのように出すかは、今後の課題となる。
- ・実材積での検証事例はないが、単木単位での材積算出に用いる胸高直径と樹高に関しては、概ね10%前後の誤差（標本データに基づくRMS誤差での検証結果）であった。計測条件にもよるが、落葉期のデータであれば、同程度の精度であることが見込まれる。ただし展葉期については胸高直径の推定そのものが難しく、同様の結果になることは考えにくい。別途材積の算出方法自体を検討する必要がある。

2) 本手法のさらなる精度改善と検証

- ・樹種の高精度な把握も重要であることが示唆され、事例拡大による判読精度の向上が重要と考えられる
- ・レーザ計測結果について、今回の林分ではコナラが萌芽した個体等で自動的な処理を行う場合に胸高直径の誤差が大きくなった。エラーとなりやすい萌芽した個体の処理方法については、別途検討する必要がある。
- ・本業務における計測事例としては1回のみ結果となるため、今後同様の計測を重ね再現性があるか確認が必要となる

3) 計測コストの削減

- ・本検証（0.5ha）での概算費用は以下のとおりとなる
 - ①展葉期ドローン撮影 100万
 - ②落葉期ドローンレーザ計測 300万
 - ③データ解析 200万以上から、1,200万/haとなる。
- ・ただし計測作業については、効率的な計測を行えば1回の作業量が200m×200m四方(4ha)でも、同程度の費用で可能と思われる。その場合の単価は、300万程度まで下がる計算となる。
- ・計測費については、今後も機材の進歩に伴い航続時間が長い機体が開発されれば、これまでと同時間でより広い面積を計測が可能となるため、費用の低減が進むことが考えられる。
- ・今回の現場計測作業では、展葉期のドローンデジタル画像撮影、落葉期のドローンレーザ計測と、2回の計測を行っており、作業費を抑えるためには計測を1回で可能とする等の手立てが必要となる
- ・より高精度な解析を行うためには、レーザデータを単木に分類する必要がある、それに要する人工は今回の5haだけでも15~20人日程度必要である。

- 例えば材積推定を ha あたり材積の算出に留めた場合、高精度な単木分類の必要性がなくなる見込みとなる
- こうした解析手法および作業方法の工夫や、必要とされる情報の整理により、低コストでの情報作成ができるよう工夫していく必要がある。

5 成果品一覧

本業務の成果品は表 9-8 の通りとし、ポータブル HDD に格納し納品する。

表 9-8 成果品一覧

項目	成果品名称		形式
ドローン撮影画像 成果	画像データ	オルソ画像_展葉期	tif
		DTM	tif
		DSM	tif
		DCHM	tif
	樹種分類成果	樹冠ポリゴンデータ	shp
ドローンレーザ計測 成果	計測作業 記録類	様式第1-22_コース間点検精度管理表	pdf
		様式第1-23_調整点検精度管理表	pdf
		様式第1-24_点密度点検精度管理表	pdf
		様式第1-25_点検測量結果精度管理表	pdf
		様式第1-31-1_最速軌跡解析記録簿 (Tightly Coupled 方式)	pdf
		様式第1-32_グラウンドデータ作成作業精度管理表	pdf
		様式第3-20,21_キャリブレーション記録簿	pdf
		様式第3-22_飛行・計測諸元計画表	pdf
		様式第3-23_調整点・検証点・コース間検証箇所配点図	pdf
		様式第3-24_UAVレーザ計測記録簿	pdf
		様式第3-25_オリジナルデータ均一度検査表	pdf
		様式第3-33_調整点・検証点明細表	pdf
	画像データ	オルソ画像_落葉期	tif
	3次元点群 データ	オリジナルデータ	las
グラウンドデータ		las	
単木点群データ		las	
報告書	業務報告書	PDF	

第2章 現場への実装について

1 実証事業で明らかになった効果等

(1) 地上レーザを活用した森林資源調査

[森林資源調査に係る作業の省力化]

- ・立木販売の際に必要な、樹高、胸高直径、採材長、原木の等級等の森林資源調査において、地上レーザ（BLS 式）を用いることで調査に要する作業人工等の省力化が図られるとともに、森林資源解析ソフトを用いて計測結果を解析することにより、効率的に精緻な森林資源量の把握が可能となる。
 - ・実証結果から、地上レーザを用いた場合、従来の人力による毎木調査式に比べ、以下のような効果が期待できる。
 - ア) 調査と調査結果のとりまとめにかかる人工を、約6割縮減できる。
 - イ) 計測者による差異が発生せず、計測精度の均一化が可能となる。
 - ウ) 立木位置図、帳票 ^(※1) 作成は自動で作成されるため、従来の手入力に対し、時間短縮が可能となる。
 - エ) 材積等の解析結果をGISで容易に確認、検索等することができ、木材の生産計画の立案等に活用することが可能となる。
- (※1) 樹木ごとの、番号、位置情報（XY座標）、樹高、胸高直径、玉ごとの等級を記入した一覧表で、従来は手入力したものをパソコンに入力し、作成しているが、地上レーザを用いた場合、解析により自動で作成される。

(2) 林業フィールドでの通信網の構築

[通信途絶地での通信網の構築]

① 自営通信網機器 [R4]

- ・通信途絶地 ^(※2) の林業現場において、インターネット接続が可能であり、森林クラウド等のインターネット接続を必要とするシステムの活用による現場情報の収集や、気象情報の収集など様々なICTの活用が実現できる。
- ・衛星携帯電話の活用は、非常時の連絡に際し有効な手段になる。
- ・音声通話制御機器 ^(※3) は林業現場に適した通信網に柔軟に追加できる機器であり、これを使用することにより通信途絶地でも作業者同士の内線連絡（作業者の現場内移動負担の軽減につながる）や、林業現場と遠隔地（組合事務所等）間の音声通話によるリアルタイムな緊急連絡体制の確立が実現できる。

(※2) 通信途絶地：林業フィールドにおいて通信機器の電波が届かない（送受信ができない）エリアをいう。森林地帯のみ通信が届かないケース、森林地帯周辺に通信が届かないケース等がある。

(※3) 音声通話制御機器：通信途絶地からスマートフォンによる音声通話（内線通話や遠隔地との外線通話）をつなぐ役割をもつ制御機器。

② 低軌道衛星及び無指向性無線機 [R5]

- ・ 林業現場（北側の上空見通し7割程度の土場、林道、林内等）において、インターネット接続が可能となり、森林クラウド等のインターネット接続を必要とするシステムの活用による現場情報の収集や、気象情報の収集など様々なICTの活用が実現できる。
- ・ 自営通信網機器と比較し、機材費、稼働費ともに95%削減できるとともに、設置時間を大幅に短縮でき、コストを抑えた通信網の構築が可能となる。
- ・ 林業パッケージ（無線機を屋外で使用できるよう梱包したもの）を活用することで、林道等から半径70～80m程度、通信（Wi-Fi）可能となり、さらに、パッケージの増設により、上空見通しが無い林内等にも通信エリアを拡大できる。

③ L PWA通信 [R5]

《GEO-WAVE》

- ・ 林業現場での、従来の基地局を活用した通信網の構築に加え、低軌道衛星と連携した通信網の構築が可能となる。
- ・ 通信（テキストメッセージ送信、位置情報送信、SOS発信）は、低軌道衛星の受信機を設置した基地局から見通しが無い500mを超えるエリアでも可能となる。

《ヤマシスト》

- ・ 林業現場において、基地局を活用した、通信（テキストメッセージ送信、位置情報送信、SOS発信）が可能となる。
- ・ 基地局から見通しが無い300mを超えるエリアでも通信可能となり、さらに、中継機を設置することで、2kmを超えるエリアでも通信可能となる。

（3）カラーマーキング機能付ハーベスタを活用した造材、仕分け作業等

[造材・仕分け作業等の効率化、造材データの適時送信による生産管理]

- ・ カラーマーキング機能を使用した造材～仕分け作業において、マーキング機能を使用しなかった場合に比べ1～2割程度の時間短縮効果が認められた。
- ・ 手造材^(※4)したデータをZOUZAIウォッチャーに手入力できる機能を用いて、蓄積されたデータを現場終了後に解析・見える化することで、現場作業の日々の進捗確認ができるなど、作業効率の向上が期待できる。
- ・ カラーマーキング機能でグレードを区分しアプリの画面上で造材量を把握することができ、作業効率の向上が期待できる。

[造材・仕分け作業の経費削減]

- ・ カラーマーキング機能を使用した造材～仕分け作業に要する単位材積当たりの経費^(※5)は、マーキング機能を使用しない場合に比べ、約30%の縮減効果が期待できる。

(※4) チェーンソーによる造材などを指す。

(※5) 労務費、機械経費、燃料費を含む。マーキング機能の追加によるハーベスタの機械価格の増加分を含む。マーキング無しの場合、土場での仕分け作業経費を見込む。

(4) 丸太検知アプリを活用した原木計測

[原木の検尺作業の省力化]

- ・ 中間土場における平均的なはい積み（1現場当り 180本程度）の原木計測時間は、従来の手検尺・手入力に比べ、丸太検知アプリを用いた場合、約6割縮減することが期待できる。
- ・ アプリで検知したデータは、アプリ内で本数、材積が自動計算されるため、従来のパソコンへの入力作業が省略することができる。なお、全体の本数、材積については、手検尺で計測する場合と概ね同程度の結果が得られる。

(5) オーガ付き苗運搬機を活用した植栽

[植栽作業の生産性の向上と労働負荷軽減]

- ・ 苗運搬機による植栽作業の時間は人力に比べ、約1割縮減できることが期待できる。特に、運搬作業では、約4割削減できることが期待できる。
- ・ 植栽作業の労働負荷は、苗運搬機を利用することにより、作業全体の負荷や負荷の最大値を低減できることが期待でき、作業者の体力消費を軽減したり、安全性を確保したりすることが期待できる。

(6) タワーヤードを活用した木材生産

[路網整備が困難な森林での木材生産]

- ・ タワーヤードを活用した集材により、10 m³/人日程度の木材生産が期待できる。
※今回の実証地は約0.1haと小規模であったため、今後、実際の施業面積に即した規模での実証が必要。

(7) ドローンを活用した森林資源調査

[効率的な森林資源の把握]

- ・ AI等を活用することにより、ドローンで撮影した画像から広葉樹の樹種分類が期待できる。
- ・ ドローンレーザ計測により、上空からのレーザ照査で、広葉樹の高精度な胸高直径や材積の把握が可能となることが示唆された。

実証事業の結果



2 現場での実装方法と課題等

(1) 地上レーザを活用した森林資源調査

1) 現場での実装方法

地上レーザの活用により、従来の毎木調査と比べ、森林資源調査（本数、樹高、胸高直径、材積、評価等）や調査結果のとりまとめを効率的に行うことができる。また、航空レーザ計測の結果と比較し、精度の高い、本数、材積データを取得できることから、立木評価や木材生産計画の策定等に活用できる。

2) 導入等の費用

- ・レーザスキャナー（3DWalker）…400万円程度
- ・森林解析ソフト（DigitalForest）…150万円程度

3) 課題、留意点

① 専門知識の取得等

計測、解析にあたっては、GNSS 測量、GIS の操作、立木調査等の総合的な知識を要する。また、処理するデータ容量が、数十 GB となるため、高スペックなワークステーションが必要となる。

② 精度の検証

材積、等級の精度とこれらが立木価格に及ぼす影響については、実際の出材量や販売額との比較を行うなどにより、検証する必要がある。

③ 下刈作業

下草や灌木で計測対象の立木が隠れないよう、事前に下刈り等が必要となる。

(2) 林業フィールドでの通信網の構築

1) 低軌道衛星及び無指向性無線機

① 現場での実装方法

林業現場（北側の上空見通し7割程度の土場、林道、林内等）において、林道等から半径70～80m程度、通信（Wi-Fi）可能となり、さらに、パッケージの増設により、上空見通しがない林内等にも Wi-Fi エリアを拡大させることができる。これにより、Web サイトの閲覧、遠隔地との通話（インターネット回線利用）、画像や動画による現場情報の共有等に活用できる。

② 導入等の費用

ア) スターリンク（2023年11月時点のSpaceX社の価格より）

- ・初期費用（本体等）…76,000円 [税別]
- ・月額費用（レジデンシャルモバイルプラン）…9,900円 [税別]

イ) 林業パッケージ（無線機、ルーター等）…499,600円

③ 課題、留意点

特になし。

2) LPWA通信

① 現場での実装方法

林業現場において、基地局から 300mを超えるエリアで、通信可能となり、これにより、テキストメッセージの送信、位置情報の送信、SOS 発信等ができることから、緊急時の連絡などに活用できる。

なお、GEO-WAVE は、従来の基地局を活用した通信網の構築に加え、低軌道衛星と連携した通信網の構築も可能。

② 導入等の費用

《GEO-WAVE》

低軌道衛星と連携する場合

- ・初期費用（親機 1 台、子機 5 台、スターリンク等）…1,566,955 円 [税別]
- ・月額費用（GeoBase クラウド料、スターリンク通信費）…18,000 円 [税別]

《ヤマシスト》

- ・初期費用（基地局 1 台、中継局 2 台、端末 5 台等）…1,550,000 円
- ・月額費用（アプリライセンス料）…15,000 円

③ 課題、留意点

スターリンクのルーターは、国内電波法で屋外利用が禁止されている周波数を送出しているため（R5.11月時点）、屋外で利用する場合、屋外利用が許可されている機器を利用するとともに、防水性、排熱性に配慮したケーブル、ルーターの収納ボックスを用意する必要がある。

(3) カラーマーキング機能付ハーベスタを活用した造材、仕分け作業等

1) 現場での実装方法

《マーキング機能》

マーキングの等級区分の精度は、A材とB材の判別精度が低位であるため、近似する材長や所有者毎の区分などに活用することが妥当と考える。

《適時送信技術》

通信環境が整った現場では、生産した原木の本数、材積、等級の情報を適時に送信できるため、日毎の生産量や土場の在庫量等の管理に活用できる。また、稼働日数、時間も把握できるため、作業の効率化に向けた検証などへ活用できる。

2) 導入等の費用

- ・導入費用…29,500,000 円（税別）

3) 課題、留意点、今後の見通し

- ・等級の仕分け精度の向上に向け、オペレータの仕分け能力の向上を作業の効率化及び省

力化による利点とのバランスを考慮し、検討する必要がある。

- ・ハーベスタ本体の曲がり材の自動検知機能の開発など、さらなる改良も必要である。
- ・造材データの活用は、現時点では林業事業体で十分活用されていないため、今後、他県でのデータの活用状況の情報収集を行い、事業体に提供するなどし、活用されるよう取り組む必要がある。

(4) 丸太検知アプリを活用した原木計測

1) 現場での実装方法

原木の本数、材積を手検尺と同程度の精度で把握することが可能なため、中間土場等での生産量の管理に活用できる。

計測結果を用いた、製材工場等との原木取引や電子納品書の導入については、次年度に受入側とアプリのデータを活用した取引の試行等を予定しており、この内容を踏まえ、実装に向けた検討を進める。

2) 導入等の費用

《iFovea》

- ・年間費用（アプリライセンス料。台数制限なし。1万m³まで）…187,000円

《木材検収システム（株ジツタ）》

- ・年間費用（アプリライセンス料。1台）…66,000円

《mapry（株マプリィ）》 無料

3) 課題、留意点

① 計測方法

計測精度を上げるためには、以下の点に留意する。

- ・末口材面を揃え、桎積みされた原木の正面から撮影する。
- ・背後に、計測対象外の原木が写らないようにする。（対象外の原木が撮影された場合、手動で除去作業が必要）
- ・基準線を設ける。

② 使用場所

上記①の計測条件を整えられる中間土場等での使用が適する。

(5) オーガ付き苗運搬機を活用した植栽

1) 現場での実装方法

苗木運搬作業や穴掘り作業の効率化や、作業者の労働負荷軽減に寄与するため、植栽作業に活用できる。

2) 導入費用

- ・初期費用（苗木運搬機購入費）…550,000円

3) 課題、留意点

特になし。

(6) タワーヤードを活用した木材生産

1) 現場での実装方法

地形が急峻等のため、路網開設が困難な森林において木材生産に活用できる。

2) 導入費用

- ・初期費用（タワーヤード購入費）…約1億2,000万円

3) 課題、留意点

- ・実際の施業面積に即した規模での実証を行い、収益性や適用条件等の検証が必要。
- ・対象地の選定や架線計画の策定。
- ・架線計画の策定や索張り、操作等を実践できる人材の育成が必要。 など

(7) ドローンを活用した森林資源調査

1) 現場での実装方法

広域の広葉樹の樹種分布や材積等の把握に活用できる。

2) 導入等の費用

- ・計測、解析経費 …約1,200万円/ha

3) 課題、留意点

- ・実際の出材量との比較を行うなどにより、精度を検証する必要がある。
- ・針葉樹も含め、木材の生産計画策定等に必要とされる森林資源情報や計測精度と計測、解析に要する経費とのバランスを考慮した、手法の検討。 など

令和5年度 ICT生産管理システム等実証事業の結果【概要版】

■実証事業の目的

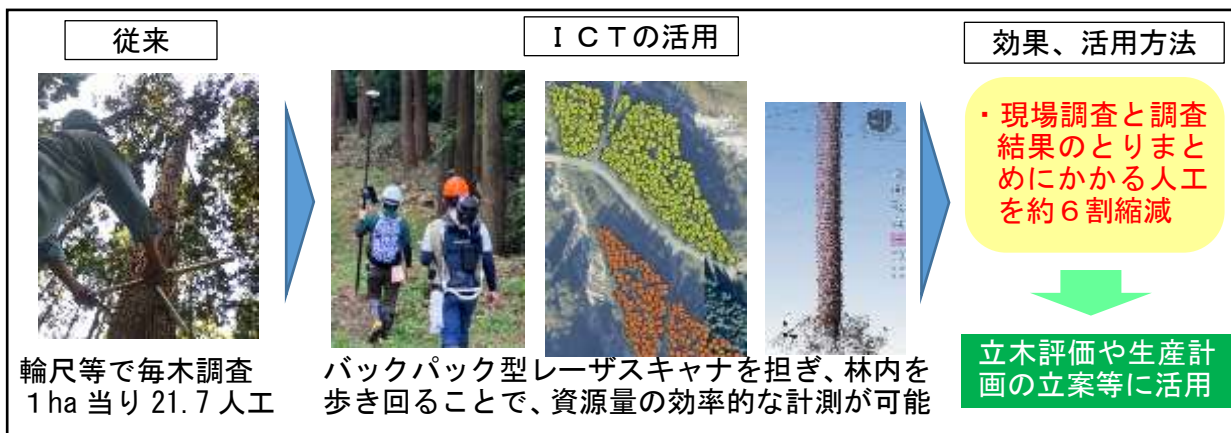
県内の人工林は本格的な主伐期を迎えており、今後、こうした森林から木材を生産するためには、林業の担い手の確保、作業の効率性と安全性の向上、県産材の流通の円滑化等の諸課題に対応する必要があります。これらの課題の解決のためには、地理空間情報の高度な活用や近年目覚ましい発展を遂げているICT等の先端技術を積極的に活用した林業イノベーションに取り組むことが不可欠です。

本事業は、こうしたことを踏まえ、県内の森林・林業・木材産業等の関係者が連携し、ICT等を活用した森林施業や木材生産の効率化・省力化を段階的に実証し、県内へのスマート林業の普及を進めることを目的としています。

また、この取り組みを通じ、市町村が行う森林経営管理などによる森林整備を支援します。

■実証事業により明らかになった効果

① 地上レーザを活用した森林資源調査



② 林業フィールドでの通信網の構築



③ カラーマーキング機能等付きハーベスタを活用した造材、仕分け作業等

従来	ICTの活用	効果、活用方法
		<ul style="list-style-type: none"> ・造材、仕分け作業の生産性が1～2割向上 ・生産量や土場の在庫量等の効率的な把握
<p>造材・仕分け作業の時間と経費（1現場当たり）9.2 m³/人・時、1,072 円/m³</p>	<p>マーキング機能付ハーベスタによる、造材・仕分け作業の時間と経費（1現場当たり）11.1 m³/人・時、953 円/m³</p>	<p>近似する材長等の仕分け、生産量管理に活用</p>



④ 丸太検知アプリを活用した原木計測

従来	ICTの活用	効果、活用方法
		<ul style="list-style-type: none"> ・原木の検尺時間を約6割縮減 ・全体本数、材積の精度は手検尺と同程度
<p>1本ずつ手検尺し、野帳からPCへデータ入力</p>	<p>アプリを活用した撮影で、瞬時に原木を計測し、生産量を計算</p>	<p>中間土場等での生産量管理等に</p>


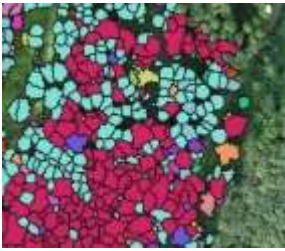
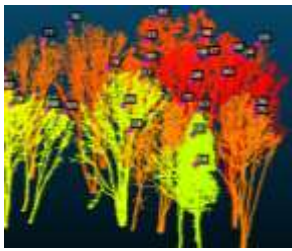
⑤ オーガ付き苗運搬機を活用した植栽

従来	新技術の活用	効果、活用方法
		<ul style="list-style-type: none"> ・植栽作業に要する時間を約1割縮減（運搬作業は約4割縮減） ・作業全体の労働負荷を2割軽減
<p>人力により苗木運搬、穴掘、植栽</p>	<p>電動の苗運搬機と穴掘り機により、植栽作業を効率化、労働負荷を軽減</p>	<p>植栽作業に活用</p>

⑥ タワーヤードを活用した木材生産

従来	新技術の活用	効果、活用方法
		<ul style="list-style-type: none"> ・急傾斜等での木材生産が可能 ・全幹集材による効率的な出材が可能
<p>路網を活用した、伐採、造材、集材等の木材生産</p>	<p>タワーヤード（架線集材）の活用により、急傾斜地等の路網開設が困難な森林での木材生産が可能</p>	<p>実際の施業規模に即した実証を行い、収益性等の検証が必要</p>

⑦ドローンを活用した森林資源調査

従来	新技術の活用		効果、活用方法
			<p data-bbox="1134 324 1386 488">・ 広域の広葉樹の樹種分布や材積等を効率的に把握することが期待</p> <p data-bbox="1134 510 1386 663">精度の検証や経費を考慮した、計測手法の検討が必要</p>
広葉樹の樹種、材積等は現地調査により把握	ドローンやA I等の活用により、樹種、材積を把握		

第3章 富山県林業イノベーション推進協議会の運営

1 協議会等の開催概要

(1) 開催日時と内容

開催日	会議名等	議事内容
令和5年 4月25日	第1回 富山県林業イノベーション推進協議会	1 議題 (1) 事業計画及び収支予算について (2) スマート林業技術等の実証事業について (3) 意見交換
令和5年 5月28日	とやま森の祭典 2023 (出展)	1 内容 (1) 実証事業のパネル展示 (2) 地上レーザ、オーガ付き苗運搬機の操作体験 (3) カラーマーキング機能等付きハーベスタの実演
令和5年 8月28日 ～29日	スマート林業先進地視 察研修	1 視察先・内容 (1) 飛騨市森林組合 タワーヤードによる木材生産 (2) 南ひだ森林組合 生産性向上に向けた取り組み (3) 住友林業(株) 岐阜樹木育苗センター コンテナ苗生産、ドローンによる苗運搬 (4) 岐阜県立森林文化アカデミー 架線集材、スマート林業の取り組み (5) 郡上森林マネジメント協議会 トラック配車システム、日報管理システム 2 参加者 県、市町村、公社、林業事業体など 34名
令和5年 9月29日	第1回 実証事業現地研修会	1 場所 富山市八尾町獵師ヶ原地内 2 内容 (1) GEO-WAVEの活用：(株)フォレストシー (2) ヤマシストの活用：北陸電気工事(株) 3 参加者 県、市町村、公社、林業事業体など 26名

開催日	会議名等	議事内容
令和5年 10月5日	第2回 実証事業現地研修会	1 場所 魚津市三ヶ地内 2 内容 (1) 3Dウォーカーの活用：(株)竹谷商事 (2) スターリンクの活用：NTT AT(株) (3) GEO-WAVEの活用：(株)フォレストシー 3 参加者 県、公社、林業事業体など 26名
令和5年 11月2日	第3回 実証事業現地研修会	1 場所 氷見市万尾地内 2 内容 (1) スターリンクの活用：NTT AT(株) (2) GEO-WAVEの活用：(株)フォレストシー (3) 丸太検知アプリの活用：(株)ジツタ (4) カラーマーキング機能等付きハーベスタ： コマツ富山(株) 3 参加者 県、市町村、林業事業体など 39名
令和5年 10月31日 ～11月2日	第4回 実証事業現地研修会	1 場所 富山市原地内（県営林） 2 内容 (1) タワーヤードによる木材生産：飛騨市森林組合 3 参加者 県、市町村、公社、林業事業体など 44名
令和6年 3月19日	第2回 富山県林業イノベーシ ョン推進協議会	1 議題 (1) 令和4年度収支決算について (2) スマート林業技術等の実証事業の概要について [報告書] (3) 意見交換

(2) メンバー構成

No.	会 員 名	職 名	備 考	
1	富山県	森林政策課長	県	
2	魚津市	農林水産課長	市町村	
3	滑川市	農林課長	市町村	
4	黒部市	農林整備課長	市町村	
5	入善町	建設課長	市町村	
6	朝日町	農林水産課長	市町村	
7	富山市	森林政策課長	市町村	
8	上市町	産業課長	市町村	監事
9	立山町	農林課長	市町村	
10	舟橋村	生活環境課長	市町村	
11	高岡市	農地林務課長	市町村	
12	氷見市	農林畜産課長	市町村	
13	小矢部市	農林課長	市町村	
14	射水市	農林水産課長	市町村	
15	砺波市	農地林務課長	市町村	
16	南砺市	林政課長	市町村	
17	(公社) 富山県農林水産公社	森林部長	林業関係団体	
18	富山県森林組合連合会	代表理事会長	林業関係団体	会長
19	富山県木材組合連合会	副会長専務理事	木材関係団体	副会長
20	富山県素材生産組合	(株)島田木材 会長	民間林業事業体	
21	新川森林組合	業務部長	森林組合	監事
22	立山山麓森林組合	参事	森林組合	
23	婦負森林組合	事業管理課長	森林組合	
24	富山県西部森林組合	企画・指導課長	森林組合	
25	とやま県産材需給情報調整センター	事務局 (県森林組合連合会)	木材加工、流通	
26	NiX JAPAN (株)	空間情報部長	検証事業体	
27	コマツ富山(株)	富山支店長	検証事業体	
28	NTT アドバンステクノロジー(株)	課長	検証事業体	
29	(株)竹谷商事	課長	検証事業体	
30	(株)フォレストシー	課長	検証事業体	
31	北陸電気工業(株)	課長	検証事業体	
32	中日本航空(株)富山支店	支店長	検証事業体	
33	新川農林振興センター	林政・普及班長	県出先	
34	富山農林振興センター	林政・普及班長	県出先	
35	高岡農林振興センター	林政・普及班長	県出先	
36	砺波農林振興センター	林政・普及班長	県出先	
37	県森林研究所	副所長	オブザーバー	
38	県木材研究所	副所長	オブザーバー	
39	鹿児島大学	客員准教授 大野勝正 (アジア航測株式会社 技術部長)	オブザーバー	
40	アジア航測株式会社	北陸支店長	オブザーバー	
41	事務局 (県森連)	事務局長 (副会長・専務)		

(3) 議事録

(※別紙参照)

(4) 開催状況

【協議会】



第1回(R5.4.25)



第2回(R6.3.19)

【先進地視察】令和5年8月28日～29日 岐阜県内



【現地研修会】



第1回(R5.9.29) 富山市八尾町獺師ヶ原地内



第2回(R5.9.29) 魚津市三ヶ地内



第3回(R5.11.2) 氷見市万尾地内



第4回(R5.10.31~11.2) 富山市原地内



この取り組みは、「森林環境譲与税」を活用しています。