

**林業イノベーション推進
ICT生産管理システム等実証業務
報告書**

令和5年3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	実証の目的、概要.....	1
	（1）実証業務の目的.....	1
	（2）実証業務の実施体制.....	2
	（3）実証業務の対象区域.....	3
	（4）実証業務の概要.....	7
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.....	9
1	地上レーザの実証.....	9
	（1）目的・内容.....	9
	（2）実証の方法、準備.....	11
	（3）実証データの収集整理.....	13
	（4）実証データの検証.....	15
	（5）実証成果のとりまとめ.....	20
	（6）課題等の整理.....	22
2	林業フィールド通信網の実証.....	24
	（1）目的・内容.....	24
	（2）実証の方法、準備.....	24
	（3）実証データの収集整理.....	32
	（4）実証成果のとりまとめ.....	38
	（5）課題等の整理.....	41
3	カラーマーキング機能等付ハーベスタの実証.....	42
	（1）目的・内容.....	42
	（2）実証の方法、準備.....	42
	（3）実証データの収集整理.....	46
	（4）実証結果のとりまとめ.....	51
	（5）課題等の整理.....	52
4	丸太検知アプリの実証.....	54
	（1）目的・内容.....	54
	（2）実証の方法、準備.....	54
	（3）実証データの収集整理.....	54
	（4）実証成果のとりまとめ.....	59
	（5）課題等の整理.....	64
	（6）今後について.....	65
5	オーガ付き苗運搬機の実証.....	66

(1) 目的・内容	66
(2) 実証地及び実証方法	66
(3) 実証成果の取りまとめ（結果及び考察）	68
(4) 課題等の整理	71
(5) 今後について	71
第2章 実用化・実装に向けた検討	72
1 各実証実験を結びつけた全体での効果測定	72
(1) 各実証実験で得られた効果の整理	72
(2) 各実証実験で得られた効果を結びつけた全体での効果測定	75
2 県内林業事業者での実用化・実装に向けた課題等の整理	76
3 今後の方向性	78
4 県内林業事業者への普及に向けて	80
(仮称) 富山県のスマート林業の普及に向けて 令和4年度 ICT生産管理システム等実証結果報告【概要版】	82
第3章 協議会の運営支援	84
1 推進協議会、技術担当者会議の検討経過	84
2 富山県林業イノベーション推進協議会の開催概要	87
(1) メンバー構成	87
(2) 議事録	88
3 スマート林業技術担当者会議（部会）の開催概要	89
(1) メンバー構成	89
(2) 議事録	89
4 現地研修会等の開催概要	90

序章 はじめに

1 実証の目的、概要

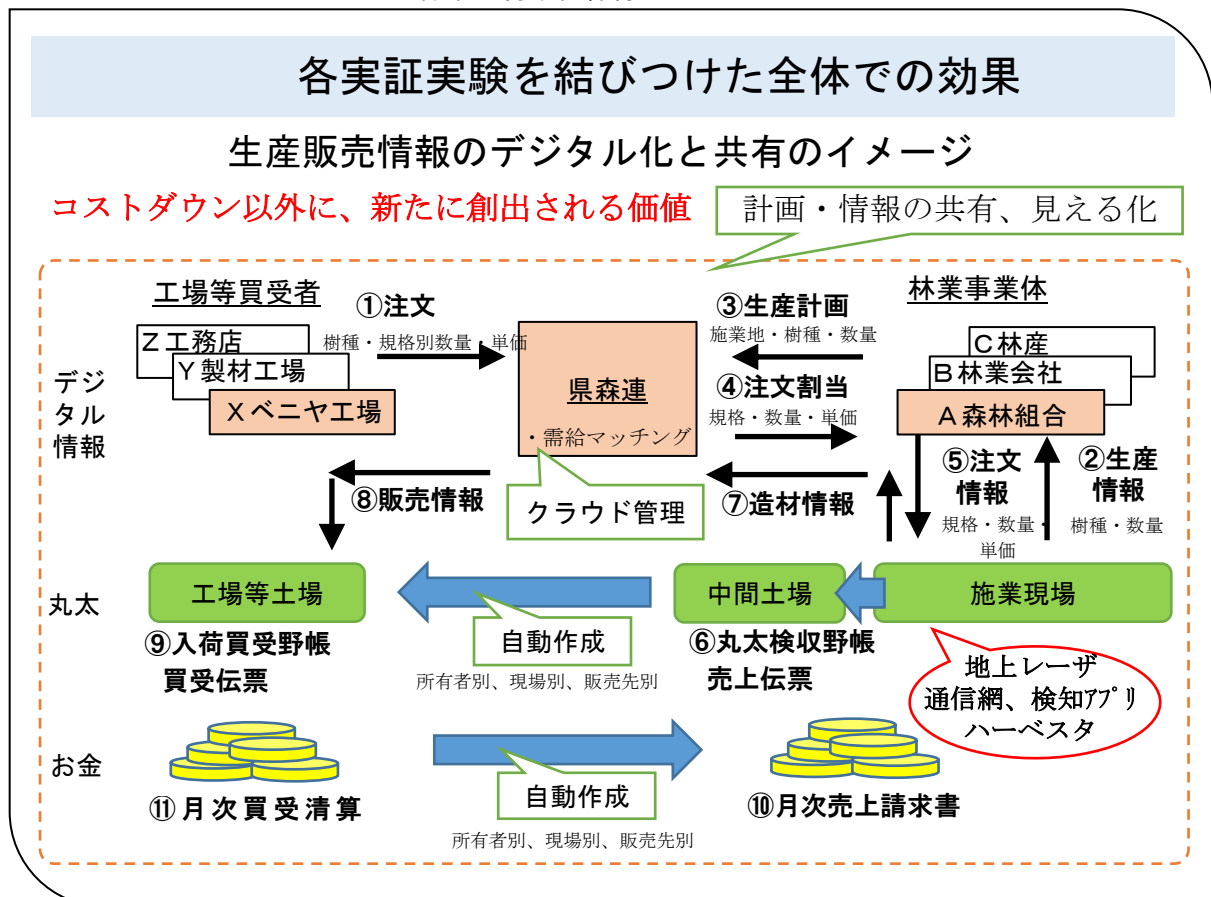
(1) 実証業務の目的

現在、県内市町村において主伐期を迎えた人工林が多く存在し、今後、こうした森林の整備量は確実に増加していくことから、林業事業者の担い手の確保、作業の効率化、安全性の向上、伐採した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を図るためには、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新たな林業に取り組む必要がある。

本業務は、こうした状況を踏まえ、県内の森林・林業・木材産業等の関係者が連携して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と富山県林業成長産業化事業等を活用した実装を促進し、林業及び木材産業の振興並びに山村地域の活性化を図ることを目的とする。

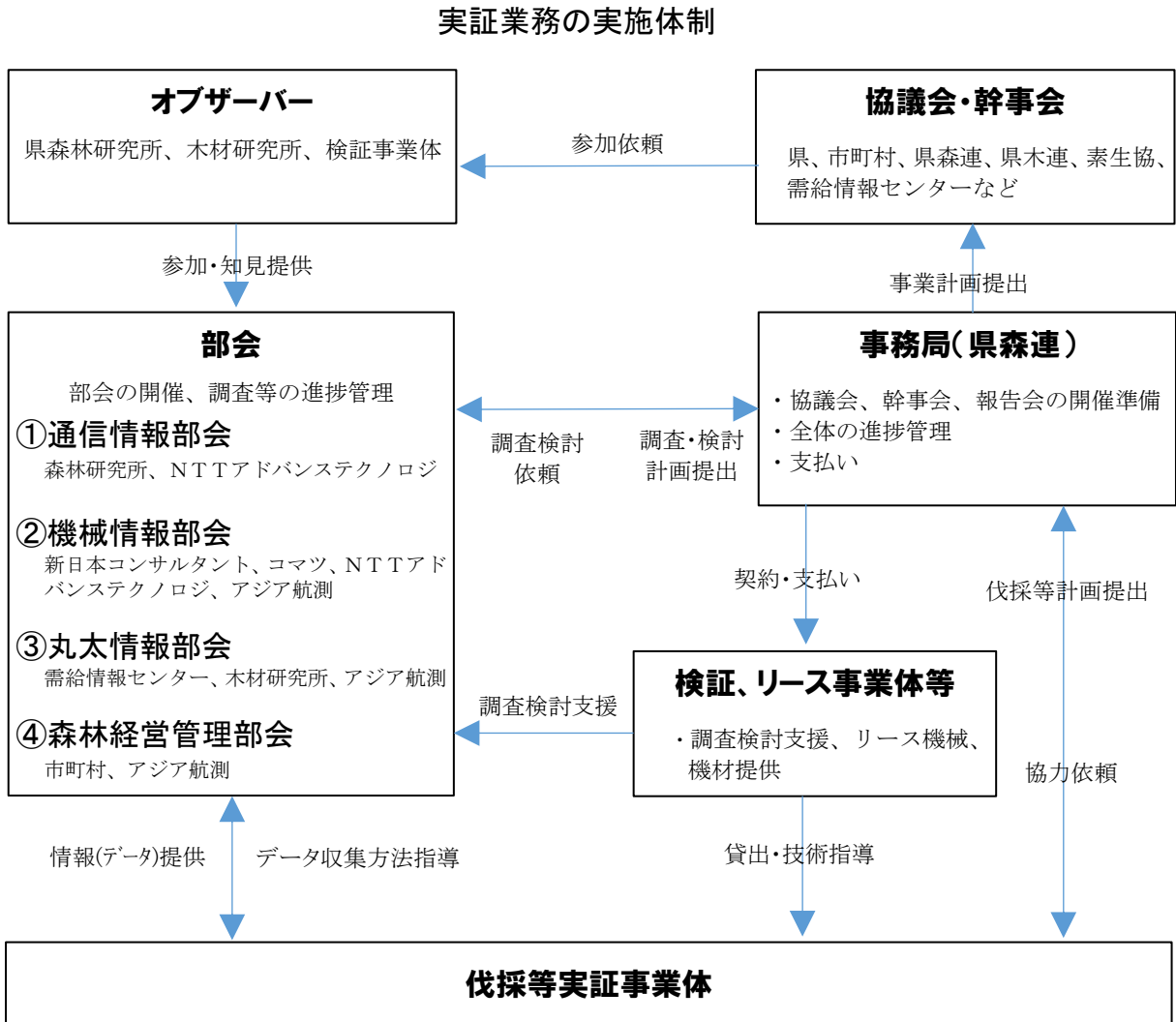
また、このことにより市町村が行う森林の経営管理など森林整備の円滑な実施を支援する。

林業の将来目標像のイメージ



(2) 実証業務の実施体制

実証業務は以下に示す体制で進める。



(3) 実証業務の対象区域

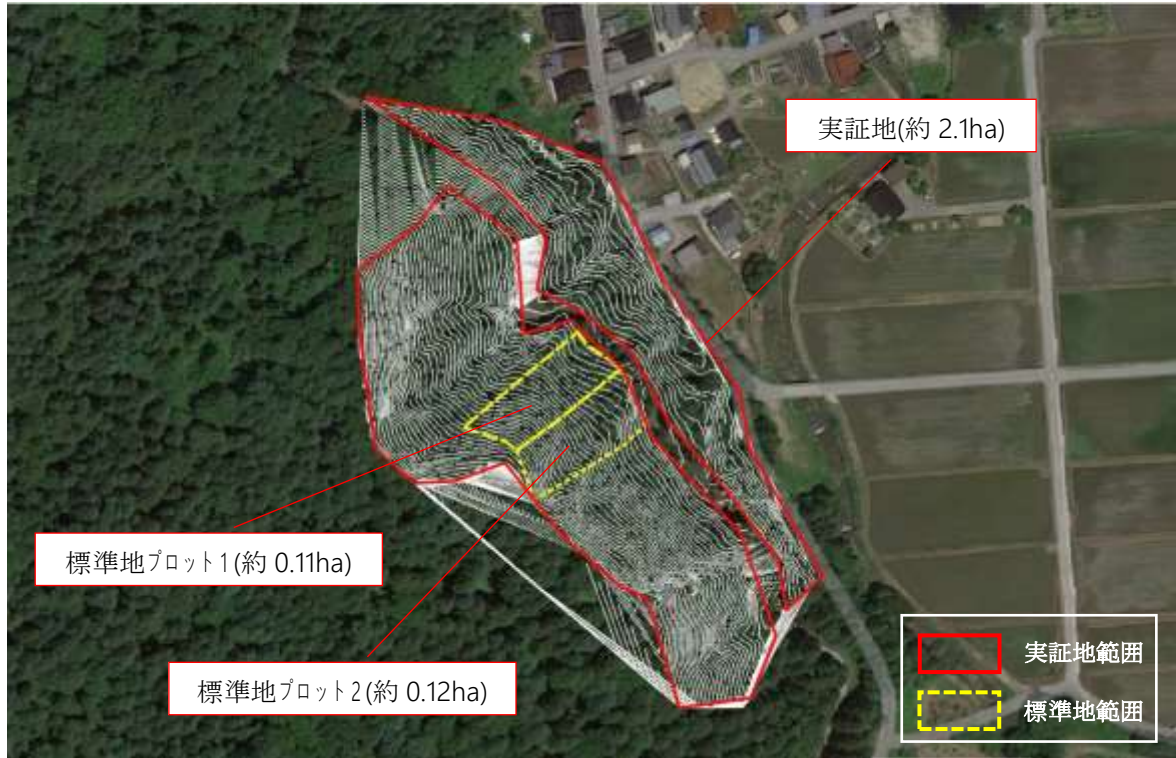
実証業務は2か所（現場1、現場2）を対象に実施する。各現場の概要は以下のとおりである。

① 現場1（黒部市）

- ・所在地 富山県黒部市下立地内
- ・区域面積 主伐 2.1ha
- ・標高 150m～200m
- ・植生 スギ人工林
- ・林道の有無
- ・伐採等実証事業体：新川森林組合



現場1 区域の位置図



現場 1 区域の位置図



林内の状況



林内の状況



林内の状況



標準地の状況

② 現場2（南砺市）

- ・所在地 富山県南砺市利賀村上百瀬地区
- ・区域面積 主伐 6.1ha
- ・標高 1,000m～1,150m
- ・植生 スギ人工林
- ・林道の有無
- ・伐採等実証事業体：(株)島田木材



現場2 区域の位置図



現場 2 区域の位置図（航空写真）



林内の状況



林内の状況



林内の状況



標準地の状況

① 地上レーザの実証

森林資源調査における地上レーザを用いた調査手法の効率化・精密化の実証

目的	実施項目	成果概要
「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、そのデータ精度について検証する。	①現地踏査 ②地上レーザ計測 ③三次元点群データ編集 ④森林解析(樹木抽出精度の検証等)	地上レーザ機器の活用により、従来の毎木調査に比べ、作業時間が大幅に短縮することが確認された。

② 林業フィールド通信網の実証

電波途絶地における林業フィールド通信網の確立技術・適用機器の実証

目的	実施項目	成果概要
林業フィールドにおける電波途絶地の解消に向け、実現可能な通信機器及び通話機器の検討・実証を行い、林業フィールド通信網の確立について検証する。	①自営通信網機器の適用検討と実証 ②衛星携帯電話網の実証 ③音声通話制御機器の適用検討と実証 ④自営通信網機器の設置台数の効率化・設置の容易化の実証	通信途絶地の林業現場からインターネット接続が可能であり、現場情報の収集など様々なICT活用の実現性が確認された。 音声通話による作業者同士の内線連絡や、林業現場と事務所間における連絡網の実現性が確認された。

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、機械内データの適時送信技術の実証

目的	実施項目	成果概要
カラーマーキング機能等付ハーベスタ導入による造材の仕分け作業の効率化、機械内データの適時送信技術の活用について検証する。	①伐採した丸太情報、位置情報、仕分け(カラーマーキング)情報の収集整理の精度検証 ②アプリ画面上での等級別造材量把握の精度検証	カラーマーキング機能の活用により、現場全体における造材仕分け作業の時間短縮が実証された。 ZOUZAIウォッチャーにより作業の進捗が見える化することで、作業効率の向上につながることが確認された。

④ 丸太検知アプリの実証

丸太検収アプリによる検収作業の省力化の実証

目的	実施項目	成果概要
スマートフォンによる画像検知システムを導入し、素材生産現場における作業の効率化・迅速化を検証する。	丸太検知アプリを用いた丸太検知の作業時間や精度について、従来の人力で行う場合との差を検証	丸太検知作業が大幅に時間短縮され、丸太の総本数や材積の把握においても作業の省力化の効果につながることが確認された。

⑤ オーガ付き苗運搬機の実証

造林作業の効率化の実証

目的	実施項目	成果概要
植栽作業において電動苗運搬機導入による生産性の向上や労働負担低減などの効果を検証する。	①人力作業による植栽作業の生産性と労働負担の計測 ②電動苗運搬機による植栽作業の生産性と労働負担の計測	植栽作業において、運搬機による作業は従来の人力作業に比べ作業時間の短縮に寄与することが実証された。

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

1 地上レーザの実証

(1) 目的・内容

【地上レーザを用いた森林資源調査手法の有効性の実証】

2か所の実証フィールド(1. 黒部市下立地区、2. 南砺市利賀村上百瀬地区)において、「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するとともに、そのデータ解析による材積の把握精度について検証する。

実証地の範囲及び標準地の設定位置は下図のとおりである。

① 黒部市下立地区(2.1ha)

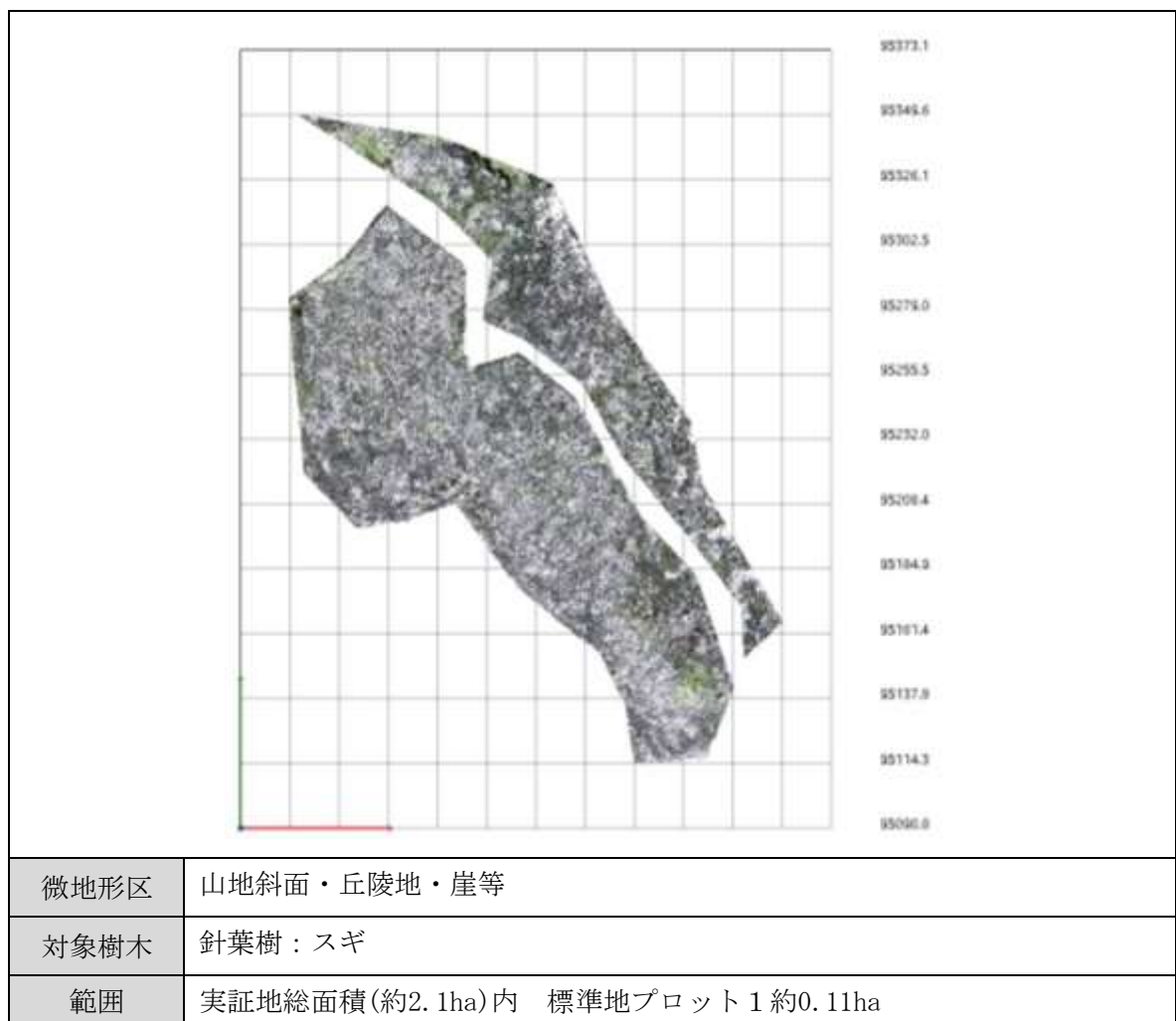


図1-1. 実証フィールドの範囲及び標準地の設定位置(黒部市下立地区)

② 南砺市利賀村上百瀬地区(6.1ha)

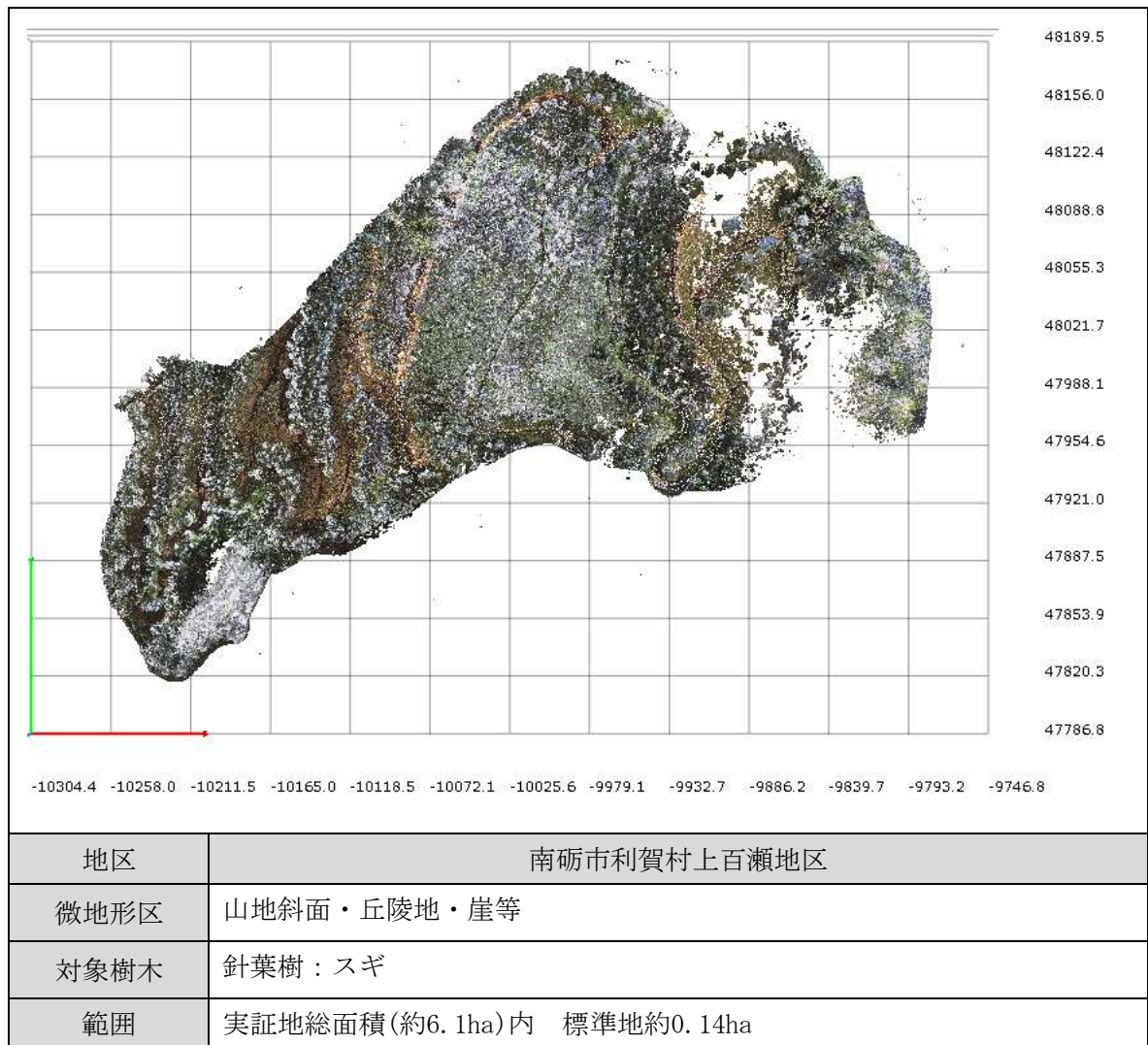


図 1-2. 実証フィールドの範囲及び標準地の設定位置(南砺市利賀村地区)

(2) 実証の方法、準備

1) 全体フロー

BLS 式を活用した森林資源調査の作業フロー図を示す。

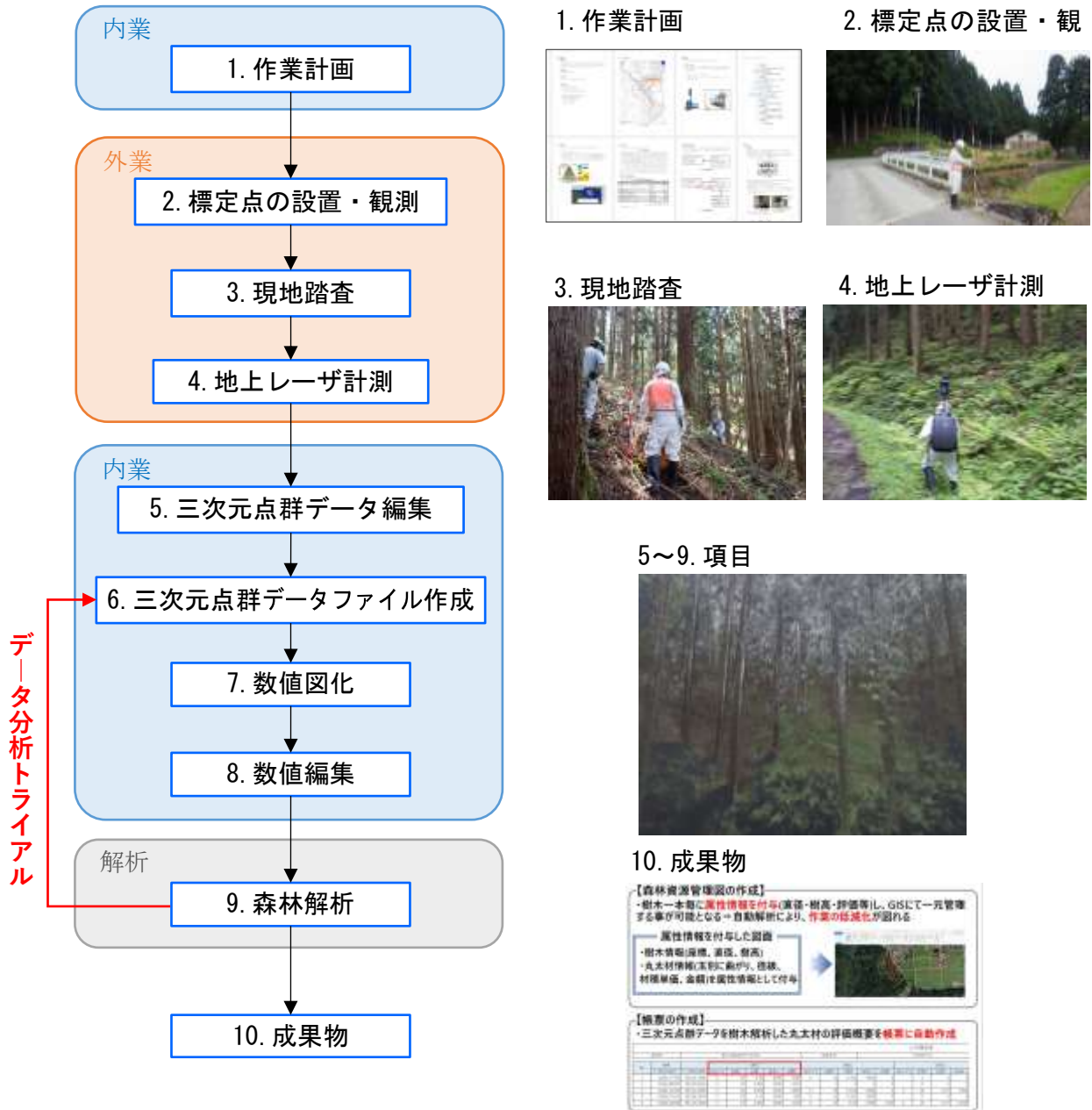


図 2-1. BLS 式の作業フロー

2) 作業計画

① バックパック型レーザスキャナ「BLS 式」測量

従来の人力による毎木調査式に比べ計測/解析時間の短縮が見込めるバックパック型 3Dレーザスキャナ「以下:BLS 式」を選定した。また、樹木の形状データの取得/解析には、TLS・BLS・航空レーザ・UAV(レーザ/写真)等の様々なセンシング技術があるが、丸太形状を抽出する際に必要となるデータ取得には、BLS 式が適正であると判断し選定した。

- ・使用機器：HERON MS-TWIN
- ・解像度設定：ボクセルサイズ 2 cm×2 cm(10 cm当りの点群数 5 点)



図 2-2. 使用機器の概要

- 測定範囲：1m-100m
- 相対精度：～5cm
- 繰返し精度：～2cm
- 初期化時間：30 秒
- スキャニングレート：60 万点/秒
- 視野角：360° ×360°
- レーザークラス：クラス 1
- レーザー波長：903 nm
- バッテリー稼働：2 時間
- 動作周囲温度：-10～+45°C
- 重量：約 7.8 kg(バッテリー、端末含む)

「機器の特性」

「HERON MS-TWIN」は水平方向と鉛直方向に向け 2 台のレーザスキャナを搭載し、歩くだけで 360 度方向の点群データを安定的に取得できる。スキャンと同時にフルHDの動画撮影(1920×1080Pixel/15fps)を行い、さらに高精細画像が必要な箇所では、立ち止まって 5 Kの静止画(5640×2820Pixel)を撮影できる。手元のタブレット端末にはリアルタイムに 3Dデータが表示され、データがしっかり取得できているかを確認しながらの計測を可能とする。取得した 3 種類(レーザスキャナー、IMU、写真)のデータを統合し、自動合成処理を行う。

(3) 実証データの収集整理

レーザ計測で得た点群データは以下のとおりとなった。

1) 黒部市下立地区

現地計測は、令和4年5月15日、16日にて計測を行った。実証地全体（約2.1ha）の計測は、2人工×0.5日で完了した。



図 3-1. 林内の三次元点群データ

2) 南砺市利賀村上百瀬地区

現地計測は、天候不良(台風等)の影響で複数月/日となり、令和4年8月7日、9月6日・7日に行い、実証地全体(約6.1ha)の計測は、2人工×3日で完了した。



図 3-2. 林内の三次元点群データ

(4) 実証データの検証

比較表 4-1 に示すように、実証地 2 地区における抽出率が異なる結果となった。とりわけ黒部市下立地区の取得データ(樹木抽出/形状認識)において、不抽出の樹木が多く確認された。その要因特定ため、標準地について以下に挙げる 3 つの視点から「データ分析トライアル」の検証を行った。

【データ分析トライアルの項目】

- 項目 1 : 樹木抽出が欠落した要因/検証、適正な点群密度の解析/検証
- 項目 2 : 丸太材の評価が行えていない、評価が不完全な樹木の要因/検証
- 項目 3 : 新たな解析プログラムソフトによる点群データの検証

表 4-1. 実証地内標準地の樹木抽出率の比較

調査地区	黒部市下立地区 (プロット1)	南砺市利賀村上百瀬地区
標準地面積 (ha)	約 0.11ha	約 0.14ha
樹木数 (抽出数/総数)	32/47 本	80/90 本
森林解析に用いる 点群密度 (ボクセルサイズm)	0.02m	0.04m
抽出率 (%)	68%	89%

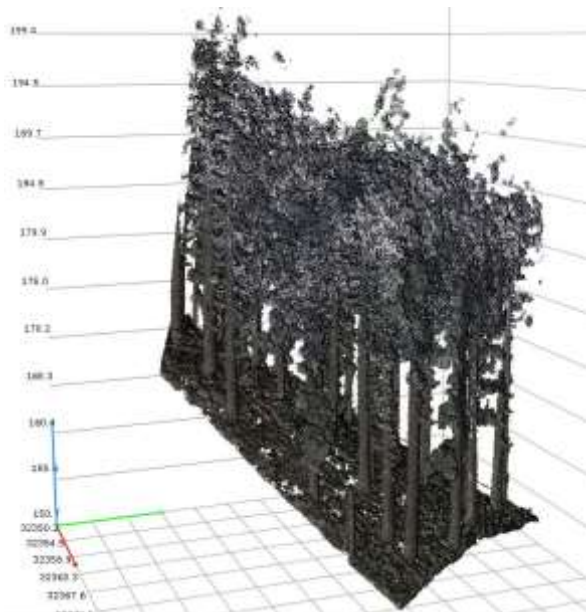


図 4-1. 黒部市下立地区標準地 (プロット1) の三次元点群データ

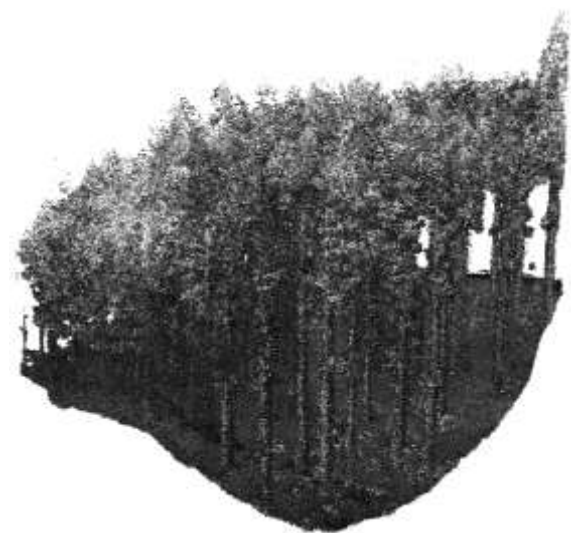


図 4-2. 南砺市利賀村上百瀬地区標準地の三次元点群データ

1) データ分析トライアル1【樹木抽出が欠落した要因の検討】

① 伐採高設定の検討

森林資源解析プログラムソフト (Digital Forest)による樹木抽出にあたり、伐採高を当初 30 cmに設定したが、この場合、図 4-3 に示す通り、傾斜地・下層植生（下層植生が繁茂した状況では、植生がレーザ照射を遮蔽する等）の影響を受けやすいことから、樹木抽出に必要なリングデータの形成が行えなかった可能性を考慮し、伐採高を 1.0mに再設定して試したが、伐採高 30 cmの場合と同様で樹木の抽出が行えない結果(32/47 本)となった。

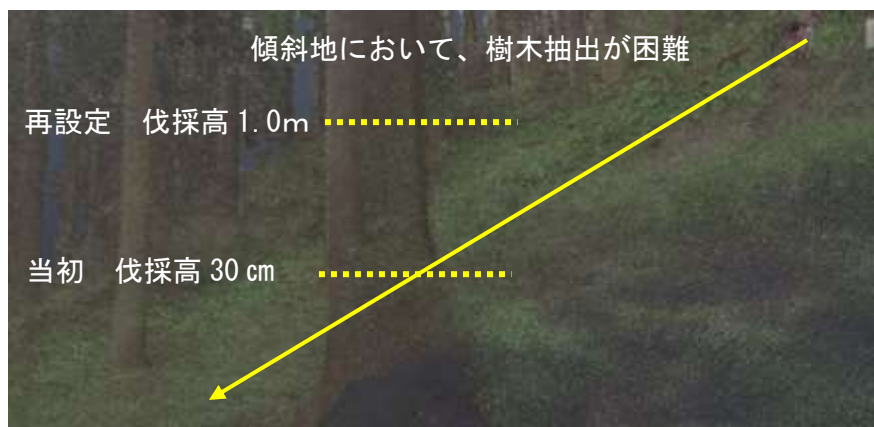


図 4-3. 傾斜地における樹木抽出

② 点群データ密度の検討

樹木の抽出/形状認識は、円柱状（円柱内は空白）の点群データをもとに判定し抽出するが、抽出された樹木の点群データ（図 4-4）に比べ、抽出されなかった樹木の点群データには図 4-5 に見られるように円柱内に多数のノイズと思われるデータが存在していることを確認した。内側にノイズ等が発生している樹木データについては、樹木以外と認識した可能性が要因として推察される。そこで内側のノイズを低減することで樹木認識に必要なデータの取得が可能になるのではないかと考え、点群密度に焦点を当てて事項③で詳細に検討を行うこととした。



図 4-4. 樹木抽出データ (推奨サイズ)



図 4-5. 不抽出樹木データ (0.02m)

※ボクセルサイズ・・・体積の要素であり、3次元空間での正規格子単位の数値(3Dピクセル)を表す。解析プログラムソフトの仕様や製品の大きさ(それによる倍率)で決まる。ボクセルサイズが小さい方が、より細かな形状の取得が可能となる。

③ 適正な点群密度の解析/検証

上記②の要因検討を踏まえ、円柱内のノイズデータを減らす方向で、データ解析上の点群密度(ボクセルサイズ)の適正サイズについて解析/検証を行った。

【検証方法】標準地内において選定した検証範囲(10×10m)に存在する樹木(16本：リングデータ未形成 X/Y データ未取得の樹木)の抽出及び解析を実施した。取得した点群データをフィルタリングする際に、点群密度のボクセルサイズ(通常時 0.02m)を変更することで、点群データの点数/密度が増減する。そのため、樹木抽出/解析にあたり、適正な点群密度(ボクセルサイズ)を把握するため、下記の5パターンの点群密度にて検証を行った。

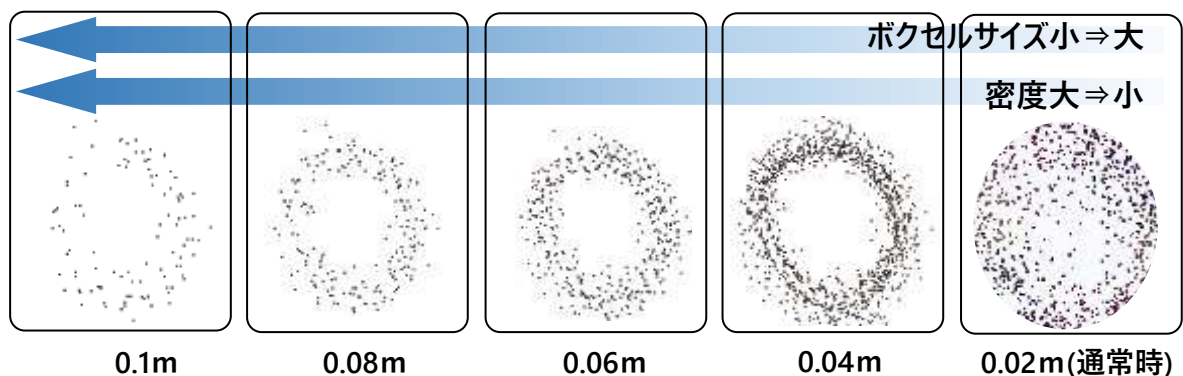


図 4-6. ボクセルサイズ比較図

表 4-2. ボクセルサイズ比較表

サイズ	0.1m	0.08m	0.06m	0.04m	0.02m
抽出数	0/16	0/16	8/16	16/16	0/16
抽出率	0%	0%	50%	100%	0%
ボクセル形状					



図 4-7. 検証地の樹木配置

【考察】

点群データ密度を粗くすれば、円柱内のノイズデータが少なくなるが、一方で点群データが少ないことに起因して、樹木の形状認識が行えないことで樹木の未抽出が発生する関係性が確認された。そこで点群密度を変数に樹木(16本)の抽出率が最大になる密度を割り出した結果、点群密度「0.04m」で樹木抽出率が100%になった。この結果から解析上の適正密度は0.04mと判断した。

2) データ分析トライアル2【丸太材の評価が行えていない樹木の要因の検討】

樹木抽出ができなかった樹木において丸太材の評価が行えていない樹木が標準地内に15/47本存在することが判明した。評価が行えていない樹木の要因特定のため、未評価樹木(毎木調査式No.123)のサムネイル画像にて検証を行った。

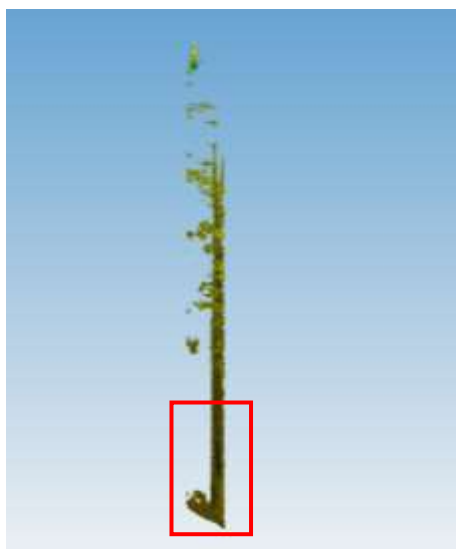


図 4-8. 樹木全体

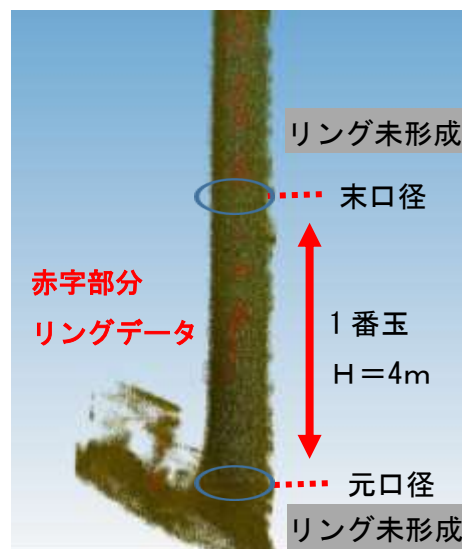


図 4-9. 1 番玉の定尺部

【考察】

樹木の丸太材評価には、曲がりの基準として最大矢高を使用している。しかし、最大矢高を求める上で必要となるのが、元口径と末口径の距離が重要となる。図 4-9(1 番玉に該当)から見受けられるように、元口径(始端部)又は末口径(終端部)のリングデータが形成されていないことにより、最大矢高の算出ができないことが要因となって丸太材の評価/解析が行えなかったと推察される。

また、2 番玉以降における丸太材の評価が不完全な樹木があることを確認した。2 番玉以降のように樹木頂点部に近い採材の場合、レーザ照射・近傍の樹木や枝葉等が遮蔽することで、レーザ照射を行っても樹木まで行き届かなかったことが要因の一つと考えられ、樹木の形状認識に必要な点群データが不足したと推察される。

改善の方向として、歩行ルートの確保において、ルート上の伐採作業を行うこと(ルート選定)等の対応策が考えられ、これにより樹頂点に近い採材の評価が可能になると推察される。

3) データ分析トライアル3【新たな解析プログラムソフトによる点群データの検証】

点群データの解析システムとして当初から採用の Digital Forest は、別のレーザ計測機器(3D Walker)との相性が確認されていたが、本業務では最新のより高性能なレーザ計測機器(HERON MS-TWIN)に替えてデータを収集し、Digital Forest での解析を行ったものである。ここで発生した樹木抽出率の問題について、上記のトライアル1、2で要因の検討を試みたが決定的な特定には至らなかったことを踏まえ、レーザ計測機器とデータ解析ソ

フトとの相性（互換性）が影響しているのではないかと考え、新たな解析プログラムソフト（3DForest）を用いて、樹木抽出を試みたところ、黒部市下立地区標準地の樹木抽出率が 100%となった。新たな解析プログラムソフト使用の有効性ととも、取得した点群データ自体には問題ないことが確認された。引き続き同ソフトによる南砺市利賀村上百瀬地区標準地の樹木抽出について現在検証作業中である。

【新たな解析プログラムソフト(3DForest)の試用による樹木抽出の流れ】

- ・点群データからの樹木の抽出（目標 100%）
⇒検証済み（第 1 現場の標準地内樹木 47 本の抽出率 100%、第 2 現場は検証中）
- ・抽出樹木の位置座標（XYZ）取得

1) 点群データ(オリジナルデータ)の確認

- ・標準地内における樹木の点群密度は、49 万 3992 点である事を確認した。点群密度としては低い密度数である。

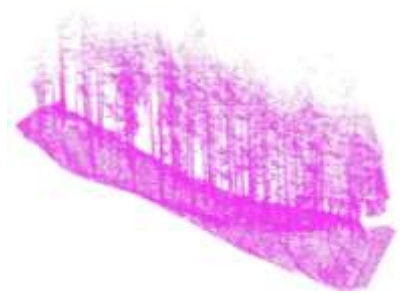


図 4-10. 樹木のオリジナルデータ

2) セグメンテーションの分類

- ・オリジナルデータを、直線領域(幹など)、平面領域(地面など)、それ以外の領域分類を行った。また、樹木 1 本毎の抽出を可能とする為、抽出パラメータを近傍範囲 1m とする。※近傍範囲は幹の直径に依存する。

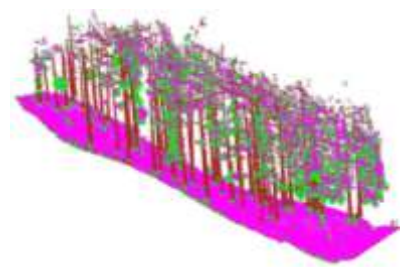


図 4-11. セグメンテーションの分類

3) 直線的な領域のみを抽出

- ・直線的な領域のみを表示し、樹木の幹部分の形状確認を行い、樹木抽出に必要な点群密度であるか確認した。



図 4-12. 直線領域のデータ

4) 連結性によるセグメンテーション抽出

- ・近傍領域にある点群データをグルーピングして、樹木 1 本毎に着色し、樹木の数を算出した。

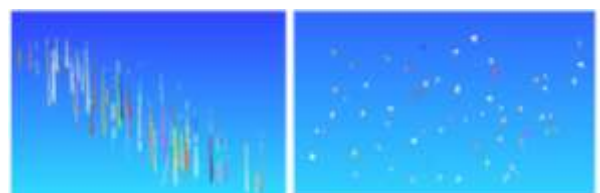


図 4-13. 樹木のグルーピング及び数量算出

(5) 実証成果のとりまとめ

1) BLS 式による省力化

毎木調査式と BLS 式における作業人工を項目ごとに比較/検証した。

- ・ 毎木調査式：用地調査の用地調査等業務費積算基準(歩掛)をもとに算出した。

【参考】従来の毎木調査式を実施した場合の作業人工の想定 参照)

- ・ BLS 式：地上レーザ測量(歩掛)、現地計測による任意人工を採用した。

① 黒部市下立地区

黒部市下立地区 2.1ha 当りの作業人工を確認すると、毎木調査式が 43.4 人工、BLS 式が 16.2 人工(トライアル分析除く)となり、毎木調査式に比べ約 6 割程度の省力化が図られると推測できる。特に、BLS 式の場合、現地調査に要する作業時間の短縮化、作業効率の向上に加え、計測者による評価の差異が発生しない点も有意性のある評価項目と言える。また、立木位置図、帳票作成等においては、自動解析となるため、大幅な時間短縮が可能となることが判明している。一方で、樹木データ解析等の作業時間においては、一定程度の時間を要する結果となった。

また、第 1 現場の実証においては、実証作業の初回であることから、作業の効率化や分析精度の向上等の観点から、樹木抽出等の要因/検証などのデータ検証作業「トライアル分析」を実施している。実証結果を踏まえると、今後の森林資源調査において、BLS 式を用いることで調査に要する省力化、森林資源解析プログラムソフト導入による効率的な森林資源量の把握が可能となることが推察される。

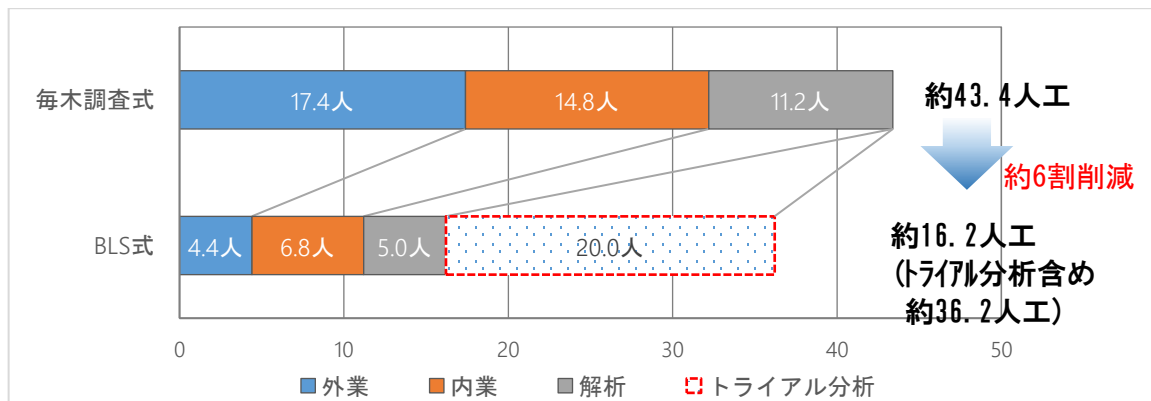


図 5-1. 黒部市下立地区 2.1ha 当りの作業人工比較

※第 1 現場において、実施したトライアル分析より、作業の効率化や分析精度の向上等にかかる一定の知見が得られた。第 2 現場ではこの知見を活かして作業を実施した。

② 南砺市利賀村上百瀬地区

南砺市利賀村上百瀬地区 6.1ha 当りの作業人工を確認すると、毎木調査式が 132.2 人工、BLS 式が 50.2 人工となり、毎木調査式に比べ約 6 割程度の省力化が図られると推測できる。

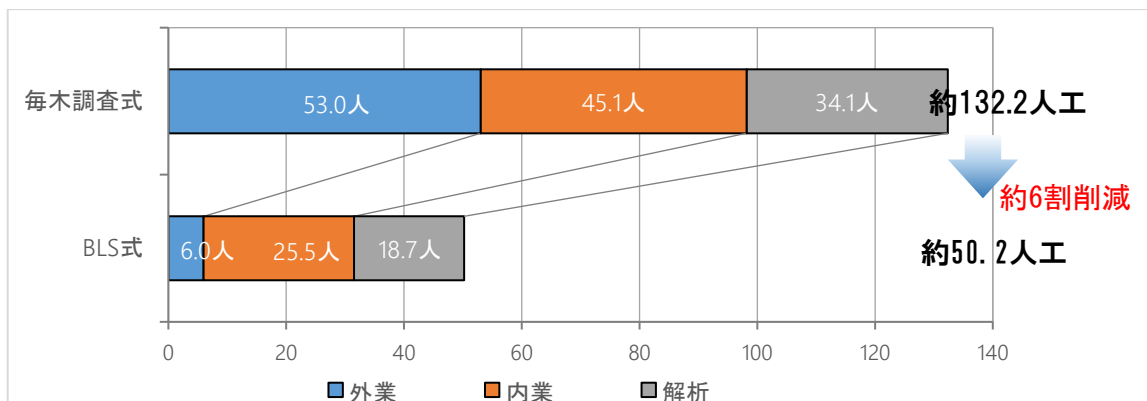


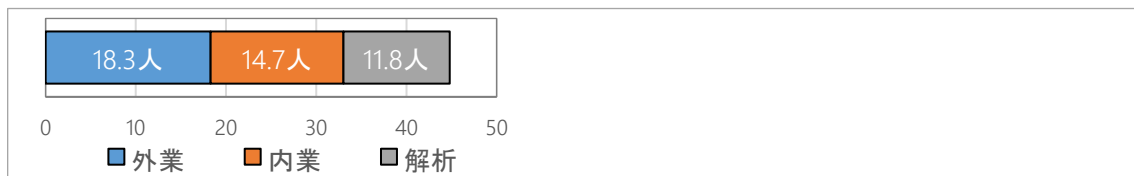
図 5-2. 南砺市利賀村上百瀬地区 6.1ha 当りの作業人工比較

【参考】従来の毎木調査式を実施した場合の作業人工の想定

地上レーザ(BLS式)を活用した森林資源調査の成果(効率性等)を測る基準として、従来の毎木調査式で調査を実施した場合のha当りの作業人工を想定する。

想定に当たっては「用地調査等業務費積算基準(歩掛)」をもとに外業：8.7人/ha、内業：7.0人/ha、解析：5.6人/haを積算し、これを実証対象地区に適用した場合の作業人工を以下のように想定する。

① 黒部市下立地区(2.1ha)



出典：用地調査等業務費積算基準(歩掛)に基づく千㎡当りの積算結果より

図 1-1. 作業人工別の割当図

② 南砺市利賀村上百瀬地区(6.1ha)



出典：用地調査等業務費積算基準(歩掛)に基づく千㎡当りの積算結果より

図 5-3. 作業人工別の割当図

(6) 課題等の整理

黒部市下立地区標準地における樹木抽出率が約 68%と低い結果になったことから、その要因を特定する目的で、対象地の傾斜角・下層植生の影響についての解析／検証や、樹木内側のノイズ低減を図るための点群密度(ボクセルサイズ)の適正值の検討などを行ったが、いずれも特定には至らなかった。

別の要因として、前項(4)の3)で記載したとおり、今回使用したレーザ計測機器(HERON MS-TWIN)と森林資源解析プログラムソフト(Digital Forest)との相性の問題が大きく疑われることとなり、これらの問題解決に向けて以下のような選択肢と課題が考えられる。

① 森林資源解析プログラムソフト(Digital Forest)の使用(改良)について

上記に述べた相性の問題を解消するためには、プログラムソフト自体の改良が必要であり、樹木抽出の精度向上を検証しながらの改良作業には、相当の時間と費用に係ることになる。

② 新たな森林資源解析プログラムソフト(3DForest等)の使用について

現在使用している森林資源解析プログラムソフト(Digital Forest)とは別に、オープンソースで提供されている分析プログラムソフト(Tree lsや3DForestなど)を用いて解析をやり直すことが考えられる。

前項(4)の3)で記載したとおり、3DForestを試用して黒部市下立地区標準地の樹木抽出を行ったところ抽出率が100%であったことから、樹木抽出における有効性が確認されている。

樹木抽出はあくまでも第1ステップであり、その後、下記に挙げるように、第2ステップから第5ステップまでの一連の作業を行うためには、各ステップにおいて、必要なパラメーター等の設定が不可欠であり、都度検証しながら進める必要がある。使いこなすためには相当の時間と費用に係ることになる。

【今後必要な作業ステップ】

【STEP1】 樹木抽出

- ・点群データからの樹木の抽出(目標100%)
⇒検証済み(第1現場の抽出率100%、第2現場は検討中)
- ・抽出樹木の位置座標(XYZ)取得

【STEP2】 樹高算定

- ・点群データから取得できる樹高の算定

【STEP3】 直径算定

- ・樹木ごとにバラバラな座標Z値を一旦LEVELに変換(移動)
- ・抽出樹木の胸高直径の算出(LEVEL+ α mの高さに任意設定)

※胸高直径を算出するためには、点群からリングデータ（断面近似円）の形成が必要

※実測（毎木調査）値との精度検証が必要

【STEP4】材積算定

- ・STEP2（樹高）とSTEP3（直径）を応用して、丸太材（4 m／本）の材積（ m^3 ／本）を算定
- ・丸太の両端（末口／元口）リングデータの重心から矢高（丸太の曲がり）を評価

【STEP5】資産評価

- ・STEP4（材積算定×矢高評価）に単価（円／ m^3 ）を乗じて資産評価をする。

2 林業フィールド通信網の実証

(1) 目的・内容

スマート林業実現に向けては、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、実現可能な通信機器、及び通話機器の適用検討・実証を行い、林業フィールド通信網の確立を目指す。

① 自営通信網機器の適用検討と実証

林業フィールド（電波途絶地）より、インターネットに接続する通信環境の設計と、適用方法の検討、及び実証。

② 衛星携帯電話網の実証

自営無線通信網と比べ低速な衛星携帯電話網を活用した、遠隔地（クラウド等）とのデータ送受信可否を実証。

③ 音声通話制御機器の実証

自営通信網機器、及び衛星携帯電話網を活用した、林業フィールドから遠隔地間への非常用連絡（通話）の実証。

④ 自営通信網機器の設置台数効率化に向けた実証

林道跨ぐ無線通信の中継可否を確認し、設置台数の効率化を検討。

⑤ 自営通信網機器の設置の容易化に向けた実証

林業関係者自ら設置可能な自営通信網機器の設置器具、及び方向・角度調整を意識せず設置可能な無線機の適用性可否を実証。

(2) 実証の方法、準備

1) 実証試験地

ア) 試験地1 富山県黒部市下立地内

富山県黒部市宇奈月町下立付近の林業現場（図-1）において、起点から終点の林道区間及び林内を通信途絶地と仮定した実証試験エリア（図-2）を設定し、①自営通信網機器、及び③音声制御機器（自営通信網機器活用）の実証試験を実施。



図-1 試験地の位置



図-2 実証試験エリア

イ) 試験地2 富山県南砺市利賀村百瀬付近

富山県南砺市利賀村百瀬付近の林業現場（図-3）において、起点から終点の林道区間及び林内を通信途絶地と仮定した実証試験エリア（図-4）を設定し、②衛星携帯電話網、③音声制御機器（衛星携帯電話網活用）、④設置台数の効率化、及び⑤設置の容易化に向けた実証試験を実施。



図-3 試験地の位置



図-4 実証試験エリア※

2) 実証方法

① 自営通信網機器の適用検討と実証

ア) 無線中継器の設置場所調査

直線見通しが重要な無線中継器の設置ポイントを見極めるため、「起点」から「終点」の林道区間で目視にて確認した。目視の結果、林道の形状から直線見通しが確保できなかったことから中継点を設け設置場所を決定した。

イ) 終点までの通信伝搬（無線通信の中継）の可否調査

「起点」から「終点」までの林道区間に無線中継器（5/60GHz 帯）を三脚にて仮設置（図-5）し、電波の受信信号強度を測定した。また、木々の間隔により電波が遮蔽される可能性があることから、林道区間内で間隔の狭い環境（図-6）を選出し、電波への影響を確認した。



図-5 無線中継器の仮設置



図-6 間隔が狭く電波遮蔽の可能性のある箇所

ウ) 林内での電波調査

林内（伐採等の作業場所）における Wi-Fi エリア化可能な範囲を確認するため、アクセスポイント（2.4/5GHz 帯）を「終点」に林内へ向けて三脚で仮設置（図-7）し、林内での電波受信強度を測定した。また、他の林業フィールドでは三脚設置が難しい場合や、作業進捗に伴う作業者の移動が想定されることから、以下のパターンでの設置、測定を加えて実施した。

設置： 立木をアクセスポイントの架台とした仮設置（図-8）

測定： アクセスポイントより見通しが無い場合（木の裏）での測定（図-9）



図-7 三脚での仮設置



図-8 立木への仮設置



図-9 見通しが無い場所で測定

エ) 林内からのインターネット接続性の調査

「起点」にインターネット接続を可能とする LTE ルータを設置し、自営通信網機器（無線中継器及びアクセスポイント）を介して、林内にてスマートフォンなどを Wi-Fi 接続することで、インターネット接続の可否を確認した。（図-10）

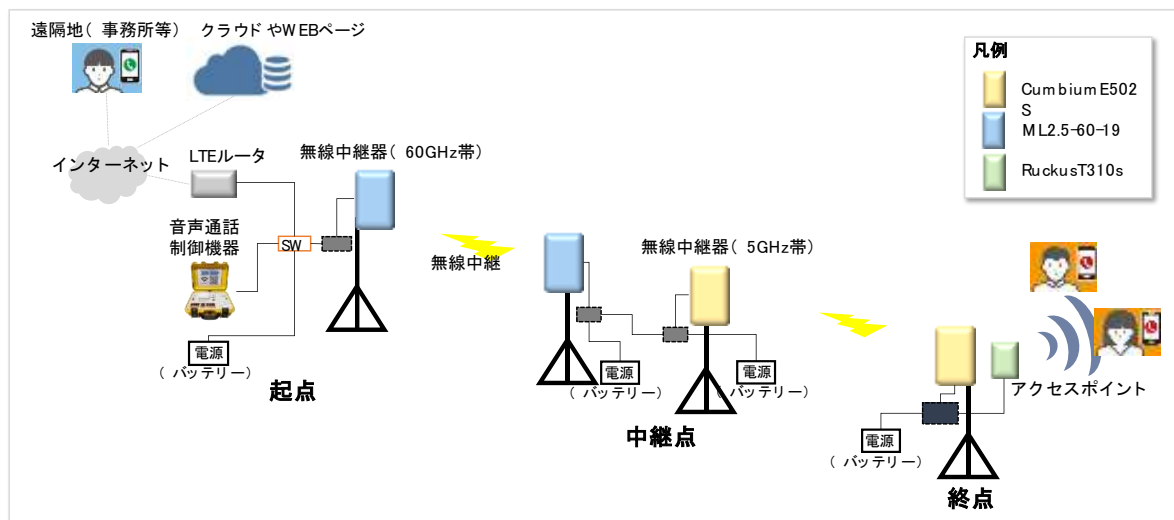


図-10 システム構成（自営通信網機器を活用したインターネット接続及び音声通話構成）

参考 本実証試験で使用した製品

機種	無線中継器		アクセスポイント
製品名	Cambium E502S	igniteNet ML2.5-60-19	RuckusT310s
寸法 (w×D×H)	204×64×300mm(突起含まず)	200×145×225mm	209×260×103mm
重量	約 1.4kg (本体のみ)	約 1.25kg (本体のみ)	約 1.65kg (本体のみ)
最大消費電力	13W	20W	11.86W
周波数	2.4GHz / 5GHz	5GHz / 60GHz	2.4GHz / 5GHz
半値角	30度	2度	120度
アンテナ利得	2.4GHz:12.5dBi / 5GHz:15.9dBi	60GHz:36dBi	2.4GHz:6dBi / 5GHz:9dBi
使用環境/防水性能	動作温度：-30～+65℃ / IP67	動作温度：-30～+55℃ / IP55	動作温度：-40～+65℃ / IP67
製品の特長	<ul style="list-style-type: none"> ・拠点間の通信を確保 ・約 600m の無線中継が可能 ・角度調整が容易 	<ul style="list-style-type: none"> ・ギガクラスの高速度通信が可能 ・約 700m の無線中継が可能 ・角度調整に手間がかかる 	<ul style="list-style-type: none"> ・スマホや PC 等を接続する無線機 ・120度の範囲で接続可能

② 衛星携帯電話網の実証

ア) 衛星携帯電話を活用した、遠隔地とのデータ送受信

「起点」に衛星携帯電話を設置（衛星受信信号強度が最大となる南南西の方角に本体前面パネル角度を調整）し、衛星携帯電話と接続された音声制御機器に Wi-Fi 接続された PC を介して、クラウドへのデータ送受信の可否を確認した。（図-11）

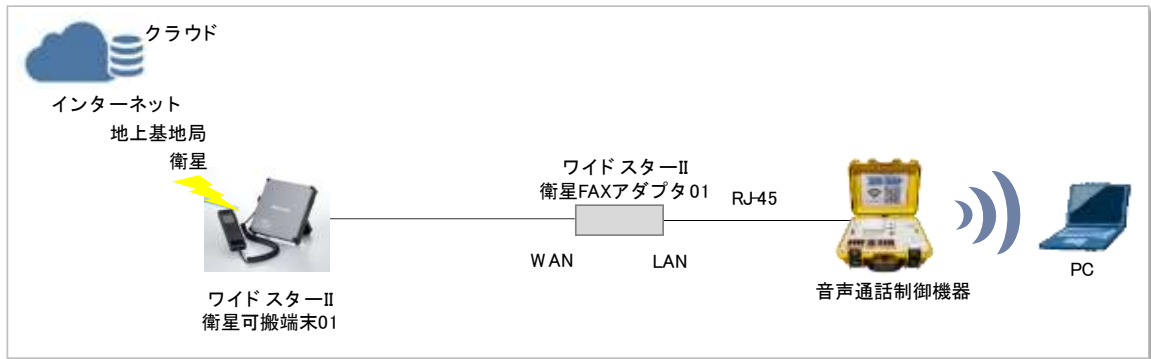


図-11 システム構成（衛星携帯電話網活用のデータ送受信）

参考 本実証試験で使用した製品

機器名	ワイドスターII
衛星構成	N-STAR
衛星高度	36,000km
通信方式	デジタル方式
データレート	音声／8kbps データ（パケット通信）／上り最大 144kbps、下り最大 384kbps
端末機送信出力	2.0W
提供地域	日本全土および沿岸約 200 海里
提供サービス	音声／データ（パケット通信）

③ 音声通話制御機器の実証

ア) 自営通信網機器を活用した内線及び遠隔地への外線通話

林内でスマートフォンをアクセスポイントに Wi-Fi 接続し、自営通信網機器（アクセスポイント及び無線中継器）、音声通話制御機器を介した内線通話、及び LTE ルータを介した遠隔地（事務所）との外線通話の可否を確認した。（図-10）

イ) 衛星携帯電話網を活用した内線電話及び遠隔地への外線通話

起点でスマートフォンを音声通話制御機器に Wi-Fi 接続し、音声通話制御機器を介した内線通話、及び衛星携帯電話を介した遠隔地（事務所）との外線通話の可否を確認した。（図-12）

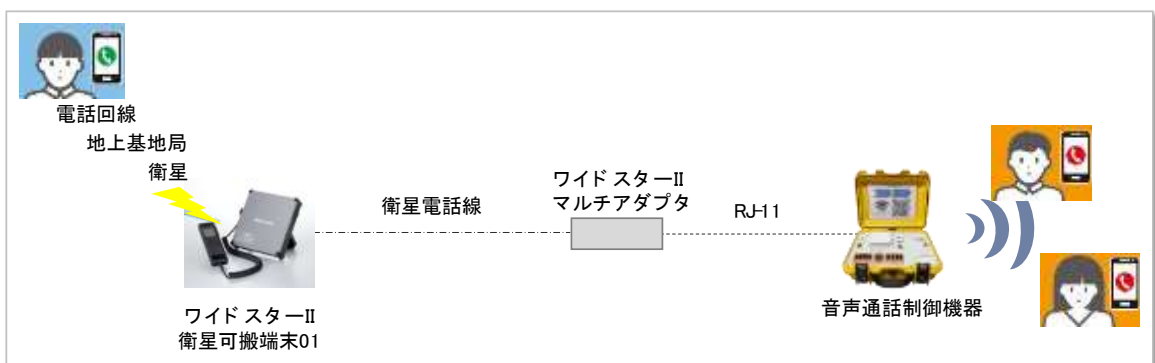


図-12 システム構成（衛星携帯電話網活用）

参考 本実証試験で使用した製品

機器名	音声通話制御機器 (ポータブル IP-PBX)
IP-PBX (通話関連)	内線間通話 外線シームレス発信、外線着信 電話会議 (パスワード有/無各 10 会議室プリセット) ユーザ端末(番号)自動登録 (最大 5,000 端末) 通話時間制限 (通話可能時間: 1~60 分、通話禁止時間: 1~60 分) 100 同時通話
その他 (データ通信)	広域網接続による一般的なネットワークサービス利用 (インターネット HP 閲覧、LINE、メール等)
	ファイル共有 (サーバ容量: 30GB)
スマートフォン	OS: Android Ver.5~ ソフトフォン: 指定 SIP phone (iOS 端末や PC では、予め用意されたソフトフォンへの設定で通話可能)
Wi-Fi AP	802.11 a/b/g/n/ac 2.4 & 5 GHz デュアルバンド (同時利用)
バッテリー	容量: 185Wh (リチウムイオンバッテリー: 50,000mAh / 3.7V) 入力: 16.8V / 2.5A (充電時間: 6~8 時間) 出力: 12V / 2.5A (低電流 (200mA 以下) で自動 OFF)
ケース	外寸: 424X340X173mm 防水性能: 運搬時 (蓋ロック状態) IP65

④ 自営通信網機器の設置台数効率化に向けた実証

ア) 無線中継器の設置場所調査

無線中継器の設置ポイントを「起点」から「終点」の林道を跨ぐ区間(図-13)で目視にて確認し、設置場所を決定した。



図-13 林道を跨ぐ中継区間

イ) 終点までの通信伝搬（無線通信の中継）の可否調査

「起点」から「終点」に無線中継器（5GHz 帯）を仮設置し、電波の受信強度を測定した。

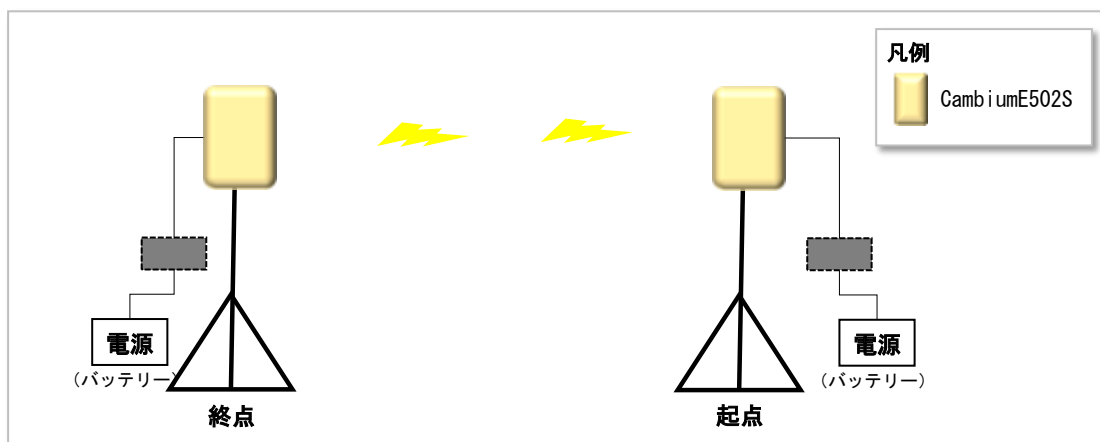


図-14 システム構成（林道を跨ぐ中継区間）

⑤ 自営通信網機器の設置の容易化に向けた実証

ア) 林業関係者自ら設置可能な自営通信網機器の設置器具

「木への取り付け治具」(図-15)、及び林道などで自立する「三脚型仮設架台」(図-16)の2種類の設置器具を利用し無線中継器、アクセスポイントにそれぞれ取り付け適用性の可否を確認した。



図-15 木への取り付け治具



図-16 三脚型仮設架台

イ) 方向・角度調整を意識せず設置可能な無線機

方向・角度調整を意識せずに設置可能な無指向性タイプのアクセスポイントを林内(木への取り付け治具)に設置(図-17)し、林内での電波受信強度の測定から適用性可否を確認した。



図-17 無指向性タイプの設置（写真左の機器：比較用指向性タイプを併設）

参考 本実証試験で使用した製品

機種	アクセスポイント
製品名	Cambium E500
寸法 (W×D×H)	(W) 204 × (H) 300 × (D) 64mm
従量	約 950g (本体のみ)
最大消費電力	13W
周波数	2.4GHz / 5GHz
半値角	水平面内無指向性
アンテナ利得	2.4GHz:5dBi / 5GHz:5dBi
使用環境/防水性能	-30℃～65℃/IP67
製品の特長	<ul style="list-style-type: none"> ・スマホや PC 等の無線クライアントと接続する無線機 ・360 度の範囲で接続可能

(3) 実証データの収集整理

1) 実証データ

① 自営通信網機器の適用検討と実証

ア) 無線中継器の設置場所調査

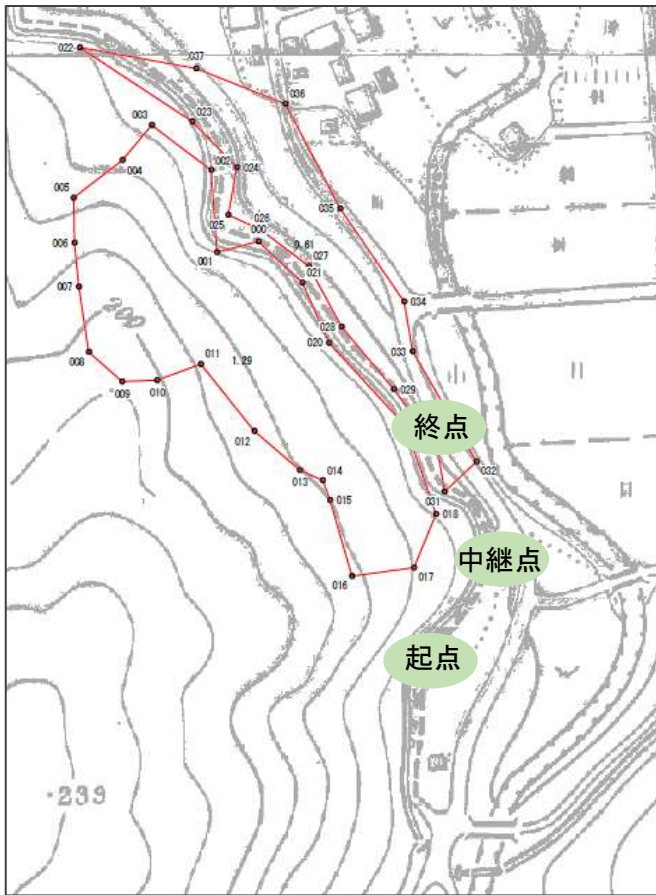


図-18 設置場所



図-19 起点～中継点見通し



図-20 中継点～終点見通し

イ) 終点までの通信伝搬（無線通信の中継）の可否調査

■ 中継回線_受信レベル測定試験 -70dBm 以上であれば良好

試験区間		上流側 RSSI	下流側 RSSI	試験日	距離[m]
上流装置	下流装置	[dBm]	[dBm]		
起点	中継点	-42	-39	5月24日	46
中継点	終点	-56	-56	5月24日	64

参考： 無線中継区間の速度測定結果

試験区間		平均スループット	備考	試験日	リンク方向
上流装置	下流装置	[Mbps]			
起点	終点	122	構築責任範囲	5月24日	up
起点	終点	122	構築責任範囲	5月24日	down

ウ) 林内での電波調査



【補足】 ①見通しが取れる地点であれば、2.4GHz/5GHz帯において、60mを超えた地点でも通信が可能である。
 ②遮蔽物から50cm程度（アクセスポイントから見通しの無い木の真裏）の地点の場合、十分な電波強度でないポイントがある。
 ③アンテナパターン外の地点はパターン内に比べ十分な電波強度ではない。

※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

エ) 林内からのインターネット接続性の調査

試験区間		実施内容	試験日	結果
インターネット	アクセスポイント配下の各種無線クライアント	ビデオ会議動作確認	6月17日	良
インターネット	アクセスポイント配下の各種無線クライアント	Web閲覧	6月17日	良

※複数人同時利用時はビデオ会議やWeb閲覧に遅れがあったが、実際の林業現場の作業人数（2、3名を想定）であれば良好と判定。

参考 インターネット速度測定試験

試験区間		測定結果[Mbps]	試験日	リンク
インターネット	アクセスポイント配下の無線PC	1.35	6月17日	Up
インターネット	アクセスポイント配下の無線PC	19.1	6月17日	Down

※実証試験地のLTE回線速度に起因する測定結果

参考 スループット試験

試験区間		平均スループット [Mbps]	試験日	リンク方向
上流装置	下流装置			
起点	アクセスポイント配下の無線PC	121	6月17日	up
起点	アクセスポイント配下の無線PC	122	6月17日	down
起点	中継点	934	6月17日	up
起点	中継点	781	6月17日	down

② 衛星携帯電話網の実証

衛星携帯電話を用いてクラウドサイトへのアップ/ダウンロードの試験を実施したが以下の通り良好な結果が得られなかった。

- ・衛星通信網においてクラウドサイトへのアクセスは確認できたが、通信遅延が大きく、パケットの損失・再送が頻発し数分待機するも、ログインページ以降の確認ができなかった。(図-20)
- ・待機中で 30 万パケットに到達。継続待機することでアクセスできたことが想定されるが、実現できたとしても費用面で望ましくないことから実証を中断。(図-21)

```

C:\Users\admin>ping 8.8.8.8

8.8.8.8 に ping を送信しています 32 バイトのデータ:
8.8.8.8 からの応答: バイト数 =32 時間 =1046ms TTL=115
8.8.8.8 からの応答: バイト数 =32 時間 =909ms TTL=115
8.8.8.8 からの応答: バイト数 =32 時間 =1018ms TTL=115
8.8.8.8 からの応答: バイト数 =32 時間 =903ms TTL=115

8.8.8.8 の ping 統計:
    パケット数: 送信 = 4、受信 = 4、損失 = 0 (0% の損失)、
ラウンドトリップの遅延時間 (ミリ秒):
    最小 = 903ms、最大 = 1046ms、平均 = 969ms

C:\Users\admin>ping www.google.co.jp

www.google.co.jp [142.251.42.131]に ping を送信しています 32 バイトのデータ:
142.251.42.131 からの応答: バイト数 =32 時間 =1620ms TTL=115
142.251.42.131 からの応答: バイト数 =32 時間 =2652ms TTL=115
要求がタイムアウトしました。
要求がタイムアウトしました。

142.251.42.131 の ping 統計:
    パケット数: 送信 = 4、受信 = 2、損失 = 2 (50% の損失)、
ラウンドトリップの遅延時間 (ミリ秒):
    最小 = 1620ms、最大 = 2652ms、平均 = 2136ms

```

図-20 パケットの損失、遅延



図-21 ワイドスターIIの通信ログ

③ 音声通話制御機器の実証

ア) 自営通信網機器を活用した内線及び遠隔地への外線通話

試験区間	実施内容	試験日	結果
音声	アクセスポイント配下の各種無線クライアント	6月17日	良

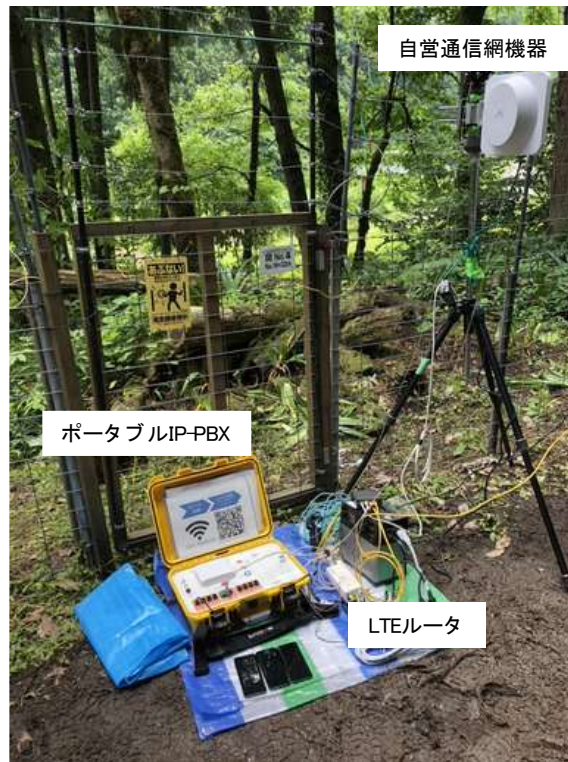


図-22 設置状況（自営通信網機器の活用）

イ) 衛星携帯電話網を活用した内線電話及び遠隔地への外線通話

試験区間	実施内容	試験日	結果
音声	音声通話制御機器配下の各種無線クライアント	10月12日	良



図-23 設置状況（衛星携帯電話網の活用）

④ 自営通信網機器の設置台数効率化に向けた実証

ア) 無線中継器の設置場所調査

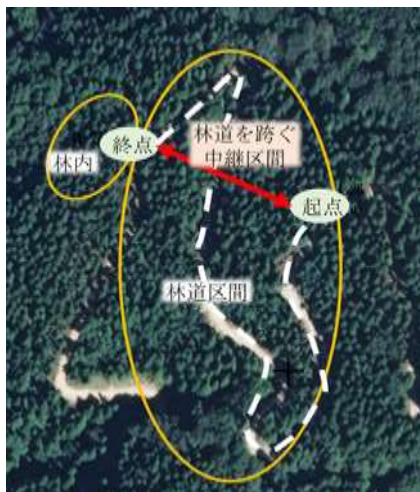


図-24 設置場所



図-25 起点～終点の見通し



図-26 終点～起点の見通し

イ) 終点までの通信伝搬（無線通信の中継）の可否調査

■中継回線_受信レベル測定試験 -70dBm 以上であれば良好

試験区間		上流側 RSSI	下流側 RSSI	試験日	距離 [m]
上流装置	下流装置	[dBm]	[dBm]		
起点	終点	-48	-48	10月12日	90

参考： 無線中継区間の速度測定結果

試験区間		平均スループット	/	試験日	リンク方向
上流装置	下流装置	[Mbps]			
起点	終点	122			
起点	終点	123	10月12日	down	

⑤ 自営通信網機器の設置の容易化に向けた実証

ア) 林業関係者自ら設置可能な自営通信網機器の設置器具

「木への取り付け治具」、及び「三脚型仮設架台」に各無線機を取付け、安定して設置可能であること確認。



図-27 設置状況（設置器具）

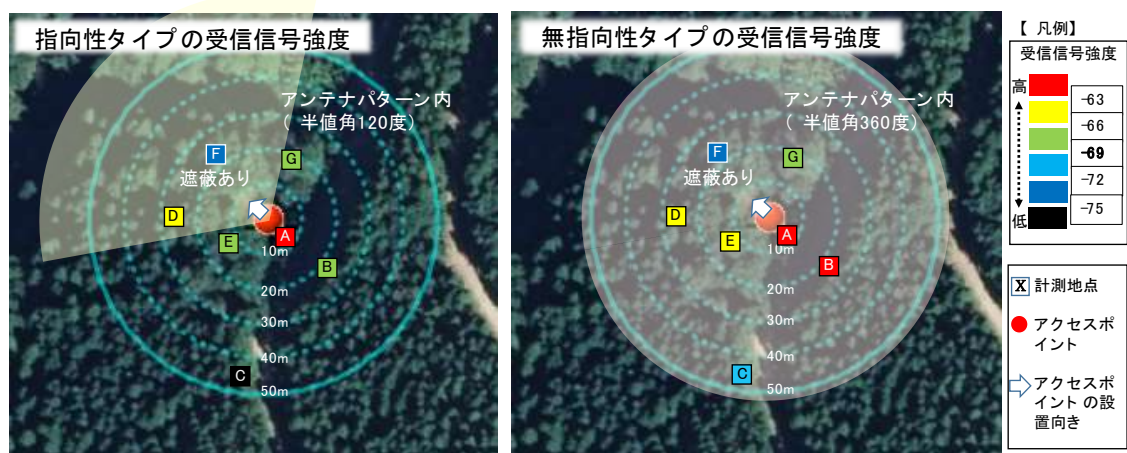
イ) 方向・確度調整を意識せず設置可能な無線機

【2. 4GHz 帯の測定結果】

指向性タイプ： アンテナパターン内は十分な受信信号強度を確認した。

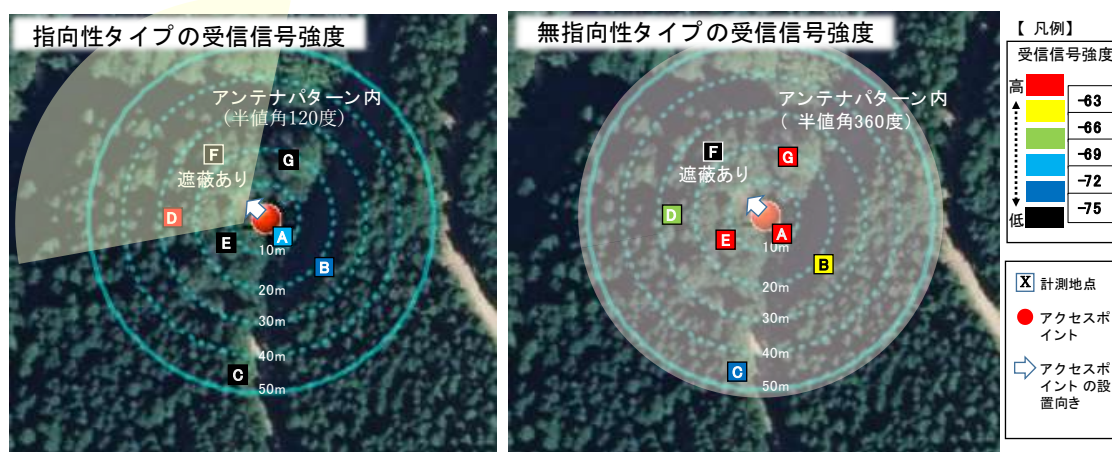
アンテナパターン外は十分な受信信号強度を確認できなかった。

無指向性タイプ： 指向性タイプでカバーできない地点においても十分な受信信号強度を確認した。



【5GHz 帯の測定結果】

- 指向性タイプ： アンテナパターン内は十分な受信信号強度を確認した。
アンテナパターン外は十分な受信信号強度を確認できなかった。
- 無指向性タイプ： 指向性タイプでカバーできない地点においても十分な受信信号強度を確認した。



(4) 実証成果の取りまとめ

1) 全体

① 自営通信網機器の適用検討と実証

屋外無線中継器及びアクセスポイントを用いた自営通信網を構築することで、実証試験地を通信途絶地と仮定したケースにおいてインターネットを利用した通信が可能であることを確認した。試験地の近隣 LTE 網は低速であったものの、林内等からクラウド等を利用することは可能であり、自営無線網機器の通信速度、木々の遮蔽を踏まえた Wi-Fi エリアや無線中継区間等からみて、自営通信網機器は活用可能な技術であると考え。

本結果から、同様のケースにおいて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と考える。

② 衛星携帯電話網の実証

衛星携帯電話を用いたインターネット接続は可能であったが、クラウド等とのデータ通信には適さなかった。パケットの損失が多いため、再送制御が具備されているシステムとの通信は可能であると想定するが、再送による総パケット数の増加に伴い、従量課金型の衛星携帯電話は費用面で望ましくないと考える。

本結果から、衛星携帯電話を活用したクラウド等とのデータ通信は常時利用ではなく、非常時の手段として位置付けておくことが望ましいと考える。

③ 音声通話制御機器の実証

自営通信網機器、及び衛星携帯電話のいずれの通信網でも、森林地帯内/外において内線通話、及び遠隔地との外線通話が可能であることを確認した。

本結果から、音声通話制御機器は林業現場に適した通信網を活用し、どちらの通信網にも柔軟に追加できる機器であり、通信途絶地でも作業者同士の内線連絡や、林業現場と事務所間における連絡体制の確立を実現することができると思う。

④ 自営通信網機器の設置台数効率化に向けた実証

屋外無線中継器を見通しが確保できる林道跨ぎに設置することで、設置台数と設置に伴う稼働を削減できることを確認した。

本結果から、設置場所の決定には作業現場の見通し状況の把握や作業者の慣れなど、今後の課題は残るものの、効率的な適用が可能になると考える。

⑤ 自営通信網機器の設置の容易化に向けた実証

「木への取り付け治具」、及び「三脚型仮設架台」を活用することで、狭い林道などの林業現場特有のフィールド条件においも、安定して設置が可能であることを確認した。

また、「無指向性のアクセスポイント」を活用することで、自営通信網機器の取り付け角度条件などを意識することなく設置ができることを確認した。

本結果から、林業関係者が自ら設置可能であると思う。

2) 自営通信網機器の適用検討

ア) アクセスポイントの適用検討

伐採作業エリアは林道から 40m 以内程度と想定され、「(4) 実証成果のまとめ」①、及び⑤の結果から、指向性/無指向性タイプいずれのアクセスポイントでも適用可能であるが、設置の容易性を鑑みて無指向性タイプのアクセスポイントが望ましいと考える。また、本実証で使用した製品に限定することなく、同等のアンテナ半値角※1 及びアンテナ利得※2 を持つアクセスポイントであれば、同様の結果が期待できる。

※1 半値角：アンテナから放射されている電力がその最大値から半分になるまでの角度範囲。指向性の鋭さを表す。

※2 受信した電波に対しどの程度の強さで出力できるのかを示したもの。数値が大きいほどアンテナの性能は良い。

イ) 無線中継器の適用検討

両中継器とも適用可能であるが、「(4) 実証成果のまとめ」①、及び④の結果から、日々作業場所が変動する作業現場や、林道を跨ぐ無線通信の中継を行うにあたっては作業員自ら柔軟に設置可能な②の中継器が望ましいと考える。また、②に限定することなく同等のアンテナ半値角及びアンテナ利得を持つ無線中継器であれば、同様の結果が期待できる。

適用検討した屋外無線中継器	実証結果
①スループット性能に優れた 60GHz 帯中継器 ・適用機器名： igniteNet ML-2.5-60-19 ・特徴： アンテナ半値角 2 度 ※1 アンテナ利得 60GHz：36dBi ※2	・本ケースに対応可能な中継器であり、十分なスループット性能（700Mbps 以上）であることを確認した。 ・一方で、アンテナ半値角※が 2 度であることから、現場作業者が自ら設置することが困難であると考ええる。
②設置の容易さに優れた 2.4/5GHz 帯中継器 ・適用機器名： Cambium E502S ・特徴： アンテナ半値角 30 度 ※1 アンテナ利得 2.4GHz：12.5dBi 5GHz：15.9dBi ※2	・本ケースに対応可能な中継器であり、十分なスループット性能（100Mbps 以上）であることを確認した。 ・また、アンテナ半値角が 30 度であり、現場作業者が中継先を視認（木々の隙間 1.2m 程度）できれば、自ら容易に設置が可能であると考ええる。

※1 半値角：アンテナから放射されている電力がその最大値から半分になるまでの角度範囲。指向性の鋭さを表す。
 ※2 受信した電波に対しどの程度の強さで出力できるのかを示したもの。数値が大きいほどアンテナの性能は良い。

3) 音声通話制御機器の適用検討

適用検討した音声通話制御機器	実証結果
音声通話制御機器 ・適用機器名： ポータブル IP-PBX ・特徴： 防水ケースによるパッケージ型 本機単体の電話端末（スマホ等）接続 可能なエリアは半径 50m 程度	・iOS/Android 共に内線通話と外線通話が可能であることを確認した。 ・また、自営通信網環境に組込むことで、50m を超えても自営通信網内であれば電話端末を接続、利用可能であることを確認した。

自営通信網機器と合わせて適用することで、広域におよぶ作業エリアでも音声通話が可能である。また、本装置は電源（バッテリー）を含めた音声通話制御に必要な機器一式がケースに格納されており、ケーブル接続と電源入力のみで利用できることから、林業作業者が容易に活用可能な機器と考える。

4) 設置台数の効率化検討

林道沿いに無線中継器を設置した場合と、林道跨ぎで設置した場合の比較は以下の通りであり、林道を跨ぐ無線通信の中継は効率化に有効な設置方法であると考ええる。



図-28 林道沿い設置



図-29 林道跨ぎ設置

項目	林道沿い	林道跨ぎ
無線中継器台数	20 台	2 台
設置のための架台数	11 式	2 式
電源台数	11 台	2 台
現地調査稼働時間	5 時間 -15 分×2 人×10 対向(※3)	2 時間 -1 時間×2 人×1 対向(※1, 3)
無線機キッティング	10 時間 -1 台 30 分×20 台	1 時間 -1 台 30 分×2 台
設営・撤去作業	20 時間 -1 時間×2 人×10 対向	3 時間 -1.5 時間×2 人×1 対向(※2)

機材試算： 85%以上の効率化が可能

稼働試算： 80%以上の効率化が可能

(※1) 林道跨ぎは、林道沿いに比べ 1 対向あたりの見通し確保、設置位置の特定に時間を要する。

(※2) 林道跨ぎは、林道沿いに比べ 1 対向あたりの移動距離が伸びる。

また設置時に見通し確保・確認に時間を要する。

(※3) 事前検討に要する稼働は含まれていない。

(5) 課題等の整理

1) 今後の展望

① 衛星通信サービスの適用検討

近年はより低遅延・大容量伝送が可能な衛星通信サービスが始まりつつあり、適用性の検討をすることで、更なる通信環境の効率化や適用の容易化が期待できる。

② 自営通信網機器の適用検討の効率化

林道を跨ぐ無線通信の中継が有効であることは本実証で明らかとなった。一方で、設置場所の選定には事前現地調査が必要であることから、現場作業者の負担が残る。他のスマート林業技術である赤色立体図や 3D スキャナ等の情報を用いて設計することで、より効率的な検討が可能になると考える。これにより事前現地調査から適用までの一連工程の一層の効率化が期待できる。

※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ー株式会社作成

3 カラーマーキング機能等付ハーベスタの実証

(1) 目的・内容

- 1) 造材仕分け作業の効率化の実証
- 2) ハーベスタ機械内データの適時送信技術の検証

(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



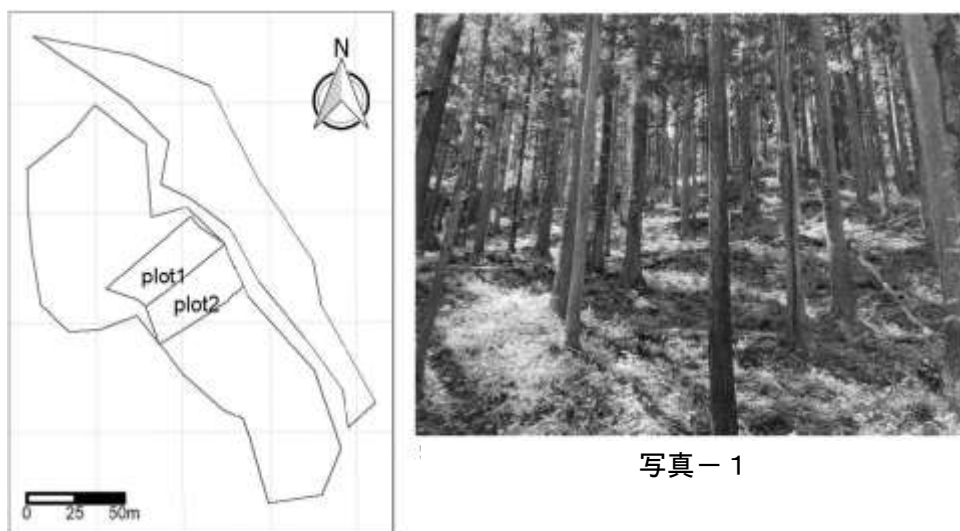
2) 実証試験地

- ・黒部市宇奈月町下立地区
(5月～7月) 造材仕分け作業の効率化の検証
(6月～8月) ハーベスタ機械内データの適時送信技術の検証
- ・南砺市利賀村上百瀬地内
(9月～10月) ハーベスタ機械内データの適時送信技術の検証
- ・南砺市福光地区
(11月～3月予定) ハーベスタ機械内データの適時送信技術の検証

3) 実施方法

① 造材仕分け作業の効率化の検証

造材作業の工程を調査するため、黒部市下立地区 (2.1ha、スギ林) の標準地のプロット1 (0.11ha) とプロット2 (0.12ha) について (図-1) (写真-1) 作業を行った。



写真－1

図－1 調査区の配置（黒部市下立地区）

本調査では品質等級別(A材、B材、C材)に着色を行い、A材を赤、B材を青、C材を無着色とし、造材オペレータがこれを判定した。

マーキング機能使用の有無による作業効率の違いを比較するため、プロット1についてはマーキング機能を使用し、プロット2についてはマーキング機能を使用せずに造材作業を行った。

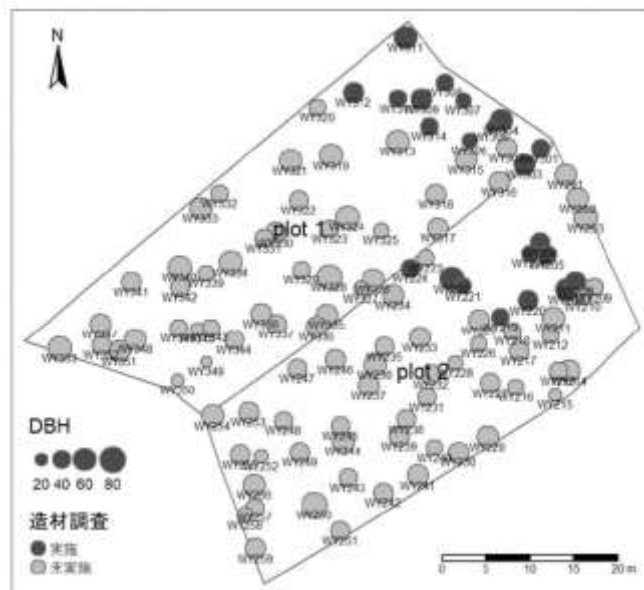
プロット1は2022年4年7月7日に、プロット2は2022年7月15日にそれぞれ作業を実施した。調査対象木の概要および立木位置はそれぞれ表－1および図－2のとおりである。いずれの調査区とも造材作業を行う前にチェーンソーで対象木を伐倒し、グラップルローダーを用いて全木の状態で作業路脇に集積した。その状態から、作業路上でハーベスタが木寄せ、造材、集積、残材処理作業を行った。また、ハーベスタの鋸断可能径を超える大径材が一部にみられ、それらについてはチェーンソーによる造材を行った。

調査は、動画撮影による作業時間分析法により行い、丸太の検知は作業中に随時実施し、末口二乗法により利用材積を算出した。採材長は基本的に4mとしたが、曲がりなどの欠点がある場合には4m未満で採材することもあった。なお、プロット2で生産された丸太は新川森林組合の中間土場(魚津市石垣平地内)に運搬し、グラップルローダーによる仕分けを行い、その作業に要する時間を計測した。

本調査ではマーキング機能使用の有無による造材作業のみの効率を比較するとともに、造材と仕分けを併せた作業(造材・仕分け作業)の効率を比較した。マーキング機能を使用して造材を行った場合はそれにより仕分け作業が完了したものとし、マーキング機能を使用しなかった場合には中間土場での仕分け作業を加え、両者の造材・仕分け作業の効率を比較した。

表－1 調査対象木の概要

マーキング	対象木		樹高 m	平均幹材積 m ³	総材積 m ³
	本	胸高直径 cm			
有り	12	41.3	23.8	1.63	19.6
無し	10	44.2	25.3	1.84	18.4



図－2 調査対象木の位置

② ハーベスタ機械内データの適時送信技術の検証

ZOUZAI ウォッチャーは、ハーベスタが行った造材データの詳細を確認することが出来る。造材データの取得は携帯電話ネットワーク（3G）を経由して定期的にクラウドへアップロードされ、インターネットに繋がったパソコン、タブレットを介しWebブラウザから造材した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）閲覧することができる。それに加えカラーマーキング機能を取り付けたハーベスタでは、玉切り作業時、丸太の末口に2色3種類（赤・青・赤青）のマーキングが可能で造材データのグレードと対応させることが可能である。

それらの特徴を有するZOUZAI ウォッチャーに関し、下記のことを実証する。

- 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についての実証。
- イ) アップロードされた造材データに基づいたZOUZAI ウォッチャーの各機能（下記機能一覧参照）の有効性の実証を行う。

(3) 実証データの収集整理

① 造材仕分け作業の効率化の実証

ア) 利用材積

表-3 にマーキング機能使用の有無別に生産された丸太の材積(利用材積)を示した。マーキング有りとなしの利用材積の合計はほぼ同じであった。ただし、処理した幹数や丸太数はマーキング有りがやや多く、結果的に採材された丸太の平均材積はマーキング有りがマーキング無しよりもやや小さかった。また、使用したハーベスタの玉切り可能最大径は60cmとされているが、現場の運用では、ハーベスタで処理された丸太の最大末口径は40cm(元口径約45cm)であり、それ以上のサイズの丸太はチェーンソーで処理された。

表-3 マーキング有無別の利用材積

使用機械	立木数	丸太本数	利用材積 m ³
マーキング有り			
チェーンソー含む	5	30	13.6
ハーベスタのみ	7	24	5.0
小計	-	12	54
マーキング無し			
チェーンソー含む	2	13	8.4
ハーベスタのみ	8	39	10.0
小計	-	10	52
合計	-	22	106
			37.0

イ) 造材作業時間

マーキング機能使用の有無による造材工程の所要時間を単位作業別に比較した(表-4)。合計作業時間としてはマーキング有りが、無しを約500秒上回ったが、ハーベスタが全幹材の集積箇所と丸太の集積箇所の間を移動する「空移動」に要した時間の差によるところが大きく、オペレータが処理木の品質等級を判定すると考えられる「つかみ」、作業における所要時間の差はほとんどなかった。

表-4 マーキングの有無による造材作業時間の比較

単位作業	作業時間 (秒)	
	マーキング有り	マーキング無し
空移動	982	375
つかみ	429	474
実移動	89	79
造材	1,994	1,940
桧積み	2,091	2,133
末木枝条処理	63	312
連絡	226	71
その他	77	21
合計	5,951	5,405

造材作業時間は処理する幹のサイズに依存することから、マーキングの有無による作業時間の差を合計時間のみを用いて比較することは厳密ではない。そこで、幹当たりの利用材積と作業時間の関係(図-3)からマーキングの有無による作業時間の差を重回帰分析により解析した(表-5)。造材作業時間におけるマーキングの影響は統計的には認められず、オペレータによる品質等級の判定などはマーキングのための機械操作にはほとんど時間を要さないことが示された。

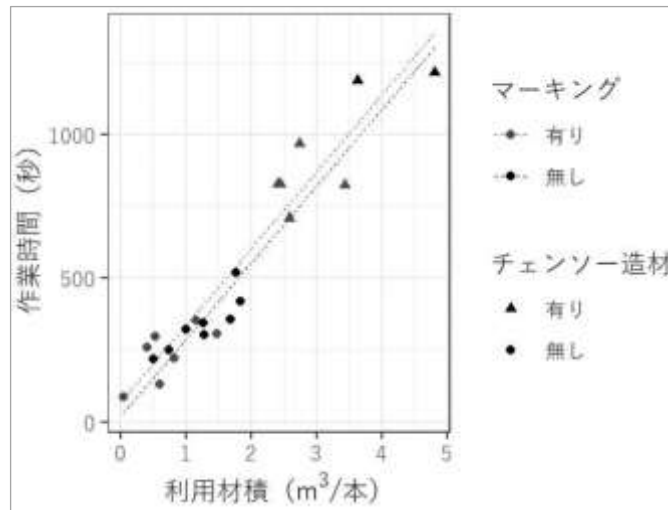


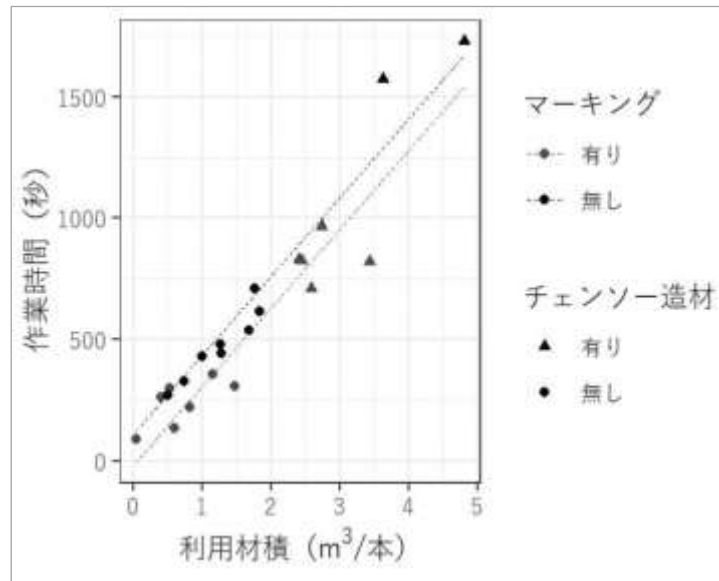
図-3 マーキングの有無による造材作業時間の比較

表-5 造材作業時間と利用材積及びマーキング有無の関係解析の結果

Characteristic	Beta	95% CI ¹	p-value
(Intercept)	73	-11,157	0.11
利用材積	266	228,304	<0.001
マーキング			
有り	-	-	
無し	-50	-140,40	0.3

¹ CI = Confidence Interval

上記の結果は造材作業時間のみの比較であるが、マーキング機能を使用した場合には以降の仕分けは不要となり、使用しなかった場合には土場等での仕分けが必要となる。そこで、造材と仕分けを併せた作業時間と幹当たりの利用材積との関係を示すとともに(図-4)、マーキング機能使用の有無による造材・仕分け作業時間の差を重回帰分析により調べた(表-6)。マーキング機能使用の有無は作業時間に有意に影響し、マーキング機能の使用が造材・仕分け作業時間の短縮につながることを示された。



図－4 利用材積と造材・仕分け作業時間との関係

表－6 造材・仕分け作業と利用材積及びマーキング有無の関係解析の結果

Characteristic	Beta	95% CI ¹	p-value
(Intercept)	-17	-117,82	0.7
利用材積	324	279,369	<0.001
マーキング			
有り	-	-	
無し	130	23,236	0.028

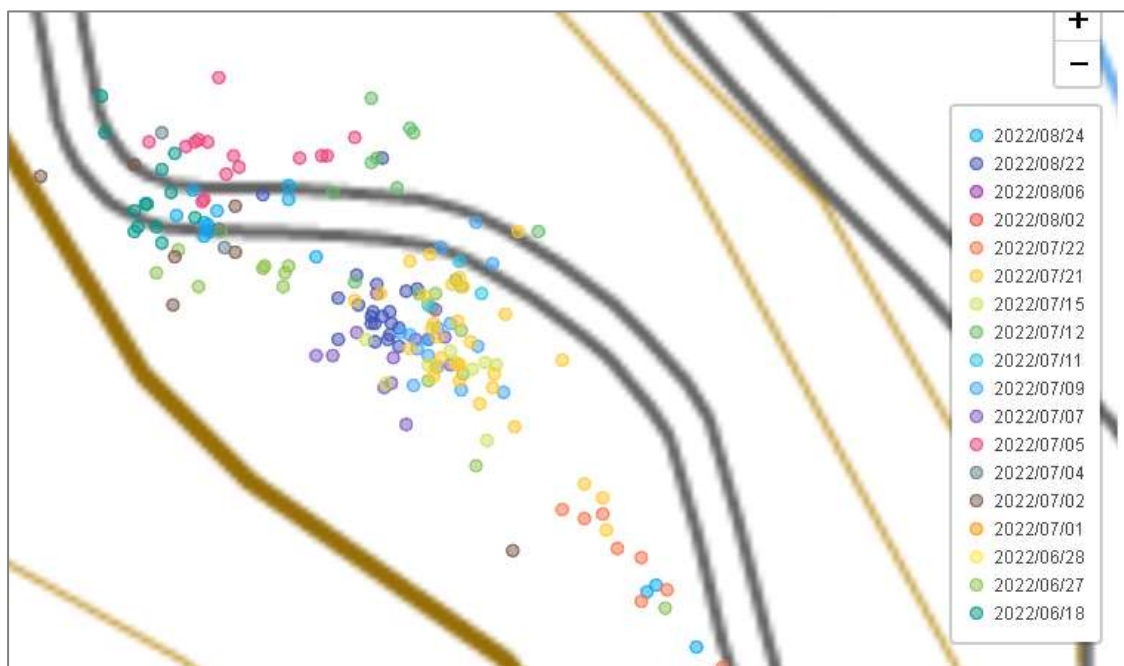
¹ CI = Confidence Interval

②ハーベスタ機械内データの適時送信技術の検証

ア) ZOUZAIウォッチャーの画面の一部 (下立地区の造材データ画面)

丸太No	グレード	末口径(mm) [実測値]		丸太長(cm) [実測値]	材積(m ³) [円錐実体積]		材積(m ³) [末口二乗法]	
		皮上	皮下		皮上	皮下	皮上	皮下
1	* Kval 2	270	270	412	0.2933	0.2933	0.270	0.270
2	* Kval 2	259	259	409	0.2186	0.2186	0.230	0.230
3	* Kval 2	232	232	408	0.1895	0.1895	0.194	0.194
4	* Kval 2	171	171	413	0.1285	0.1285	0.102	0.102
5	* Kval 2	116	116	405	0.0762	0.0762	0.048	0.048
1	* Kval 1	251	251	415	0.2559	0.2559	0.230	0.230

(下立地区の地図画面)



このように、ハーベスタによる造材のデータ、作業箇所が日々確認できる。

イ) データの整理 (現場ごとの造材本数や材積)

(注)・ハーベスタで造材した本数は現場内の立木の一部である

・立木本数と1番玉数が合致しないのは端材を計上していないためである

下立地区

立木本数(本)	玉数(本)	1番玉数(本)	2番玉数(本)	3番玉数(本)	4番玉数(本)	5番玉数(本)
292	1,054	270	241	195	152	90
	6番玉数(本)	7番玉数(本)	8番玉数(本)	9番玉数(本)	10番玉数(本)	11番玉数(本)
	49	22	15	6	6	3
	12番玉数(本)	13番玉数(本)	14番玉数(本)	材積(m ³)		
	3	1	1	268.9		

上百瀬地区

立木本数(本)	玉数(本)	1番玉数(本)	2番玉数(本)	3番玉数(本)	4番玉数(本)	5番玉数(本)
330	932	135	224	196	180	110
	6番玉数(本)	7番玉数(本)	8番玉数(本)	9番玉数(本)	10番玉数(本)	11番玉数(本)
	50	18	9	3	1	2
	12番玉数(本)	13番玉数(本)	14番玉数(本)	材積(m ³)		
	2	1	1	249.0		

福光地区 (R5. 2. 15 伐採分まで)

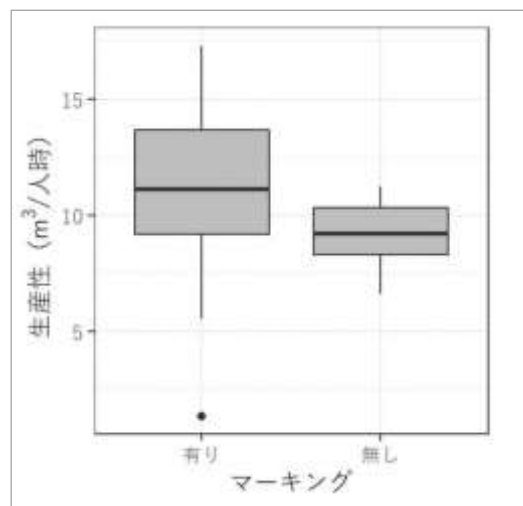
立木本数(本)	玉数(本)	1番玉数(本)	2番玉数(本)	3番玉数(本)	4番玉数(本)	5番玉数(本)
2,137	4,464	1,122	1,172	879	549	341
	6番玉数(本)	7番玉数(本)	8番玉数(本)	9番玉数(本)	10番玉数(本)	11番玉数(本)
	205	96	39	22	13	9
	12番玉数(本)	13番玉数(本)	14番玉数(本)	15番玉数(本)	16番玉数(本)	材積(m ³)
	7	4	2	3	1	876.5

このように、ハーベスタから送信されたデータを利用し、現場ごとの素材生産の数量が把握できる (ただしハーベスタを使って造材した原木に限る)。

(4) 実証結果の取りまとめ

① 造材仕分け作業の効率化の実証

本調査地における造材・仕分け作業の生産性は、マーキング機能を使用しなかった場合は平均 9.2m³/人時(中央値)であったのに対し、マーキング機能を使用すると平均 11.1m³/人時となり、20%程度の生産性の向上が認められた。造材作業のみの生産性はマーキング機能を使用しない方がむしろ高かったことから、土場での仕分け作業の有無が造材・仕分け作業の生産性の両者の差につながったことは言うまでも無い。



図ー5 造材・仕分け作業における生産性の比較

② ハーベスタ機械内データの適時送信技術の実証

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についての実証。

- ・黒部市下立地内；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。
- ・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。
- ・南砺市福光地内；通信環境が良く（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の実証。

- ・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。
特に手造材したデータを手入力出来る機能は非常に良いとの評価を得た。
- ・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。

- ・ Z O U Z A I ウォッチャーの最も適した活用方法は、以下の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以下の2. 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に達した。

1. Z O U Z A I ウォッチャーにおいての日々の進捗確認。
2. 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。

(5) 課題等の整理

① 造材仕分け作業の効率化の実証

マーキング機能の使用有無における造材・仕分け作業に要する経費を算出するにあたり、労務単価は21,000円/日とし、機械損料および燃料費は表-7のとおりとした。

表-7 経費計算に使用した機械損料と燃料費

機械種別	機械価格 円	標準	年間運転	年間	維持	残存率 %	損料率 % ×10 ⁻⁶	損料 円/日	燃料費 円/日
		使用年数 年	標準時間 日	管理費率 %	修理費率 %				
ハーベスタ マーキング有	27,000,000	8	180	9	55	14	1,422	38,382	7,252
ハーベスタ マーキング無	27,570,000	8	180	9	55	14	1,422	39,192	7,252
グラブブル	13,400,000	8	200	9	40	14	1,191	15,961	7,252

造材・仕分け作業に要する単位材積当たり経費の試算結果を表-8に示した。マーキング機能を使用することによって、使用しない場合に比べ、作業経費を単位材積当たり119円縮減できると試算された。マーキング機能の追加によるハーベスタの機械価格の差は比較的小さく、マーキング有りの造材作業経費の増加は単位材積当たり50円程度に過ぎない。これに対し、マーキング無しの場合、土場での仕分け作業として単位材積当たり170円程度の作業経費が必要となる。

表-8 造材・仕分け作業における生産性の比較

マーキング	労務費 円/m ³	機械経費 円/m ³	燃料費 円/m ³	経費計 円/m ³
有	291	557	105	953
無	359	584	129	1,072

マーキング機能付きハーベスタの使用は土場での仕分け作業を省くことができ、生産性の向上と経費の縮減に寄与することを定量的に示すことができた。一般的にハーベスタやプロセッサを用いた造材作業は、伐木や集材などの他の作業に比べ、高い生産性を示すことが多い。このため、他の作業の進捗状況によって手待ちが生じ、機械の稼働率

低下を招くことがしばしばある。このため、システム全体の生産性を考えた場合、造材オペレータがマーキング機能付きハーベスタを使用し、仕分けを担うことには十分な合理性がある。また、末口にマーキングすることによって、丸太の元末の判別が容易になり、検知やはい積みが効率的に行えるという効果もある。一方で、採材前の幹の形状のみから、採材後の丸太の品質等級を正確に判定することには限界があり、土場での仕分けに比べ、仕分け精度が一定程度低下することはやむを得ない。今後、土場での仕分けに比べ、精度がどの程度低下するかを明らかにするとともに、マーキング機能付きハーベスタの使用にあわせた集材から運搬までのより効率的な作業手法について検討する必要がある。

②ハーベスタ機械内データの適時送信技術の実証

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についての課題。

- ・ZOUZAIウォッチャーのシステム上、造材データは概ね15分間で生成されるが、作業中（造材中）に生成されないため、終業時等仕事を終えた際にすぐにエンジンを切ってしてしまうと電源供給が止まり、造材データ生成とそれらデータの送信がされず、当日のうちにデータをアプリで見ることが出来ず、この課題を解消するためには、作業後、エンジンをすぐ切らずにデータ生成及びデータ通信の完了を待ってエンジンを切るなどの配慮が必要でありオペレータの負担増となり不便であることから、改善の必要がある。

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の有効性の実証についての課題。

1. 仕分けの方法を関係各所の共通認識の元、誰にでも分かりやすい標記で運用する必要があり、そのためにZOUZAIウォッチャー運用前に更なる綿密な打合せが必要であることが浮き彫りとなった。
2. 手造材したデータをZOUZAIウォッチャーに手入力出来る機能の他に、CSVデータを編集、そのデータをZOUZAIウォッチャーにアップロードしクラウド内で閲覧することが出来ればより効果的に活用できる可能性があるとの指摘があった。（現在はZOUZAIウォッチャー専用フォーマットのアップロードのみデータの信頼性が担保されている。）
3. ZOUZAIウォッチャーは試作段階のため、上記のようなデータの解析作業が出来ないことがそもそもの課題である。
4. 現状、日々情報の取得はZOUZAIウォッチャーで行うことが出来るがデータ活用については拡張子「.CSV」形式でDLしEXCELやPower BIのような外部ソフト（アプリ）などを用いた加工に頼らざるを得ないが、これらのことが全てZOUZAIウォッチャー上で出来るようになればさらに活用の幅が広がるものと思われる。

4 丸太検知アプリの実証

(1) 目的・内容

林業機械の導入等により原木の生産性は向上しているが、生産量の把握は、1本ずつ人力により検収、手書きで野帳に記入、事業所でパソコン入力、データ化し出材量を把握している。

手作業による生産量の把握には多くの時間を要し、集荷トラックの手配や需要先との情報共有に不測の時間を要し、川上側の原木流通のボトルネックとなっている。

丸太の検収にスマートフォンによる画像検知システムを導入し、素材生産現場における作業の効率化・迅速化を図るため、実際の現場で検証する。

(2) 実証の方法、準備

丸太検知アプリ「iFovea Pro」を用いて丸太検知の作業時間や精度について、従来の人材で行う場合との差を検証する。

対象 B材（ベニヤ工場 搬入材）

時期 9月～11月（試用・練習期間）

- 検証
- ①機械検知に慣れるため、事業体において「iFovea Pro」を用いて機械検知を実施
 - ②手検知と同程度の精度と作業効率を実現するため、使用時の課題や問題点をフィードバックさせ、精度や効率の向上を図る
 - ③手検知と同程度の精度と作業効率を実現できた事業体において、協議会が機械検知と手検知の誤差や作業効率を時間計測などにより検証・記録
 - ④検証結果（精度や効率）を元に、ベニヤ工場と協議・調整

(3) 実証データの収集整理

1) 実証試験地

① 黒部市下立地内（令和4年7月4日）

・「富山県林業イノベーション推進協議会 実証実験現地見学会及び研修会」に併せて実施



② 富山県西部森林組合 中間土場（令和4年8月19日）

- ・丸太検知アプリ「iFovea Pro」の使用方の現地指導（令和4年8月19日）



（右：現場で利用している野帳と材積計算アプリ）

- ・アプリ使用による精度や効率の向上（令和4年9月9日～10月28日）



- ・協議会による検証・記録（令和4年11月30日）



③ 新川森林組合 中間土場（魚津市石垣地内）

- ・丸太検知アプリ「iFovea Pro」の使用方の現地指導（令和4年8月24日）



（写真右：クラウドデータの活用方法を事務所内で指導）

- ・協議会による検証・記録（令和4年12月7日）



2) 計測方法について

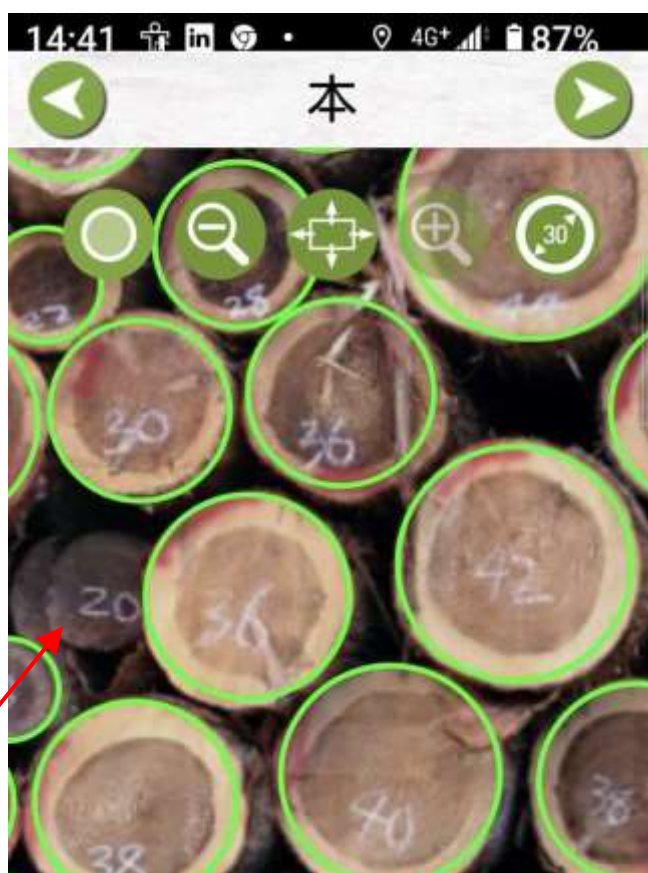
計測方法については以下の3パターンではい積を計測、比較を行った。

- A 従来のメジャーによるはい積計測
- B 現地ではい積を 60%以上のオーバーラップをつけて、小分けにして撮影、後日 iFovea にロードし、「樹皮を含む直径」を元に計測
- C 現地ではい積を 60%以上のオーバーラップをつけて、小分けにして撮影、後日 iFovea にロードし、「樹皮を除く直径」を元に計測

3) iFovea 計測時の特性について

iFovea で計測する場合は、計測に以下の特性がある。

- ア) はい積の前面において奥まって他の丸太の影になってしまっている丸太は計測されづらい (後で手動での修正は可能)



このように写っている丸太は認識されづらい

- イ) 樹皮計算は、実際の樹皮の厚さではなく以下のテーブルより一律で計算している

樹皮付きの直径	直径から差し引く長さ
0~13cm	0cm
14cm~29cm	1cm
30cm 以上	2cm

ウ) iFovea は径級を 1cm 刻みで計測する (小数点以下、四捨五入)

2 c m括約でのリストは FMS (iFovea データ管理 Web サイト) より出力可

直径リスト			
10 cm	3 本	26 cm	12 本
14 cm	2 本	27 cm	13 本
15 cm	5 本	28 cm	13 本
16 cm	3 本	29 cm	6 本
17 cm	6 本	30 cm	15 本
18 cm	5 本	31 cm	8 本
19 cm	2 本	32 cm	4 本
20 cm	4 本	33 cm	17 本
21 cm	9 本	34 cm	9 本
22 cm	7 本	35 cm	9 本
23 cm	12 本	36 cm	6 本
24 cm	13 本	37 cm	5 本

FMS の画面上での表示

(4) 実証成果の取りまとめ

1) 計測時間の比較

実証日3日間で行った丸太検知作業の計測時間について、計測方法別で比較した結果は下表のとおりである。

丸太検知アプリ「iFovea Pro」を用いた丸太検知の作業時間(3日間の作業合計時間)は、従来の人力で検尺・入力作業を行う場合の約57%の短縮化となった。

丸太検知アプリ「iFovea Pro」は、撮影による時間短縮が大きく、修正の時間を合計しても、従来の人力で行う場合より早くできている。

(樹皮除く)

場所・月日	計測方法	検尺・撮影時間	入力・修正時間	計	
黒部市下立地内 (242本) 7月4日	手動	1,800秒	-	1,800秒	73%減
	iFovea	180秒	300秒	480秒	
富山県西部森林組合 中間土場 (42本) 11月30日	手動	295秒	38秒	333秒	19%減
	iFovea	49秒	220秒	269秒	
新川森林組合 中間土場 (180本) 12月7日	手動	945秒	174秒	1,119秒	43%減
	iFovea	216秒	419秒	635秒	
計	手動	3,040秒	212秒	3,252秒	57%減
	iFovea	445秒	939秒	1,384秒	

2) 総本数・材積の比較

各計測方法による総本数・材積を比較した結果は以下のとおりである。

材積については、従来の人力で検尺・入力作業による材積を100とした場合、丸太検知アプリ「iFovea Pro」を用いた丸太検知作業による材積は、101.25%とわずかに多くなった。

今回計測した総本数は2,060本であり、従来の人力で検尺・入力作業による本数の誤り以外、本数に差はでなかった。

場所・月日	計測方法	総本数	修正後総本数	材積
黒部市下立地内 7月4日	手動	242本	242本	83.976 m ³
	iFovea	242本	246本	83.337 m ³
富山県西部森林組合 中間土場 9月9日~10月28日	手動	1,592本	1,592本	362.128 m ³
	iFovea	1,592本	1,592本	371.050 m ³
富山県西部森林組合 中間土場 11月30日	手動	42本	42本	10.836 m ³
	iFovea	42本	42本	11.678 m ³
新川森林組合 中間土場 12月7日	手動	180本	180本	41.590 m ³
	iFovea	180本	180本	38.685 m ³
計	手動	2,056本	2,056本	498.530 m ³
	iFovea	2,056本	2,060本	504.750 m ³

(iFoveaはアプリが計測したデータ(直径1cm刻み)を2cm括約に置き換え直した上で再計算した材積)

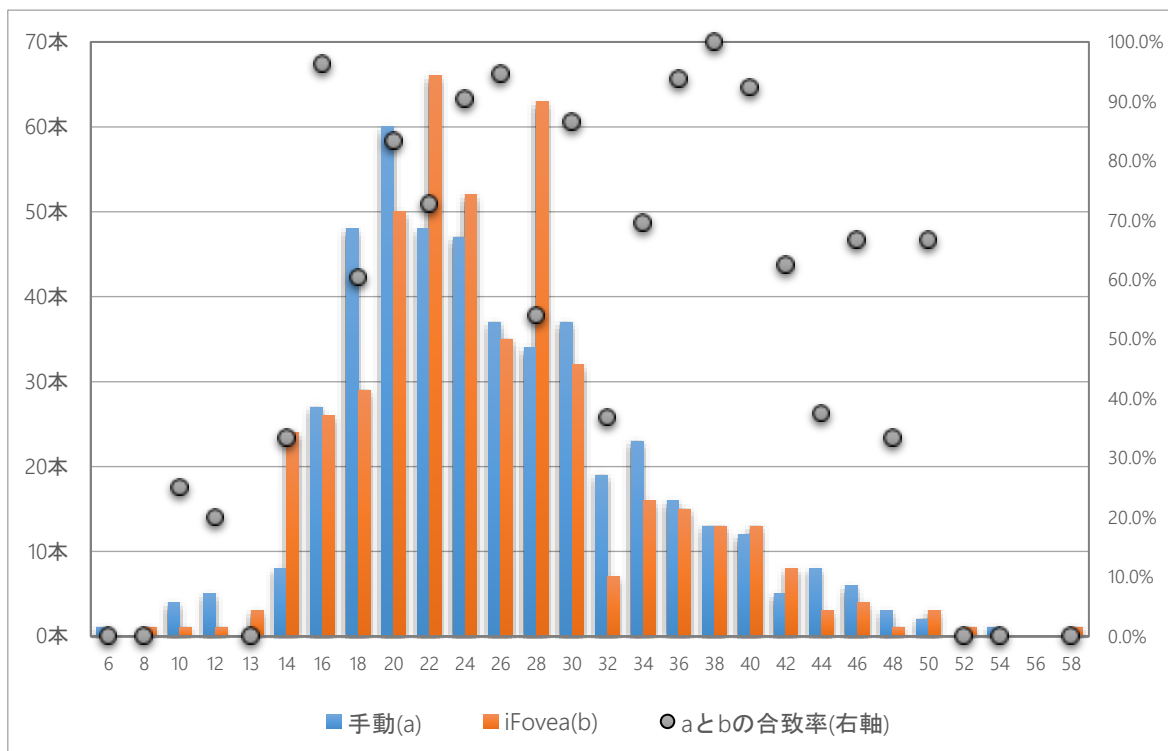
3) 直径別本数の比較

各計測方法による直径別の検出本数は以下のとおりである。

従来の人力で検尺・入力作業で計測した直径と、丸太検知アプリ「iFovea Pro」を用いた丸太検知作業で計測した直径は、7割程度が同じ値となり、残りは±2～4cm程度の差があるものと考えられた。

場所・ 月日	黒部市下立地内 7月4日		富山県西部森林組合 中間土場 11月30日		新川森林組合 中間土場 12月7日		計	
	手動	iFovea	手動	iFovea	手動	iFovea	手動	iFovea
6	1本						1本	0本
8		1本					0本	1本
10	4本	1本					4本	1本
12	5本	1本					5本	1本
13		2本				1本	0本	3本
14	3本	13本			5本	11本	8本	24本
16	13本	4本			14本	22本	27本	26本
18	18本	13本	4本	3本	26本	13本	48本	29本
20	19本	20本	14本	6本	27本	24本	60本	50本
22	20本	24本	6本	10本	22本	32本	48本	66本
24	23本	28本	3本	4本	21本	20本	47本	52本
26	18本	14本	2本	6本	17本	15本	37本	35本
28	16本	38本	3本	3本	15本	22本	34本	63本
30	15本	18本	4本	2本	18本	12本	37本	32本
32	14本	2本	0本	2本	5本	3本	19本	7本
34	16本	12本	2本	1本	5本	3本	23本	16本
36	12本	12本	1本	3本	3本		16本	15本
38	12本	11本	1本	1本		1本	13本	13本
40	8本	13本	2本		2本		12本	13本
42	5本	7本				1本	5本	8本
44	8本	2本		1本			8本	3本
46	6本	4本					6本	4本
48	3本	1本					3本	1本
50	2本	3本					2本	3本
52		1本					0本	1本
54	1本						1本	0本
56							0本	0本
58		1本					0本	1本
計	242本	246本	42本	42本	180本	180本	464本	468本

各計測方法による検出本数と合致率



a と b の合致率は、a と b の差を a と b の大きい方の値で割り返したもの

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

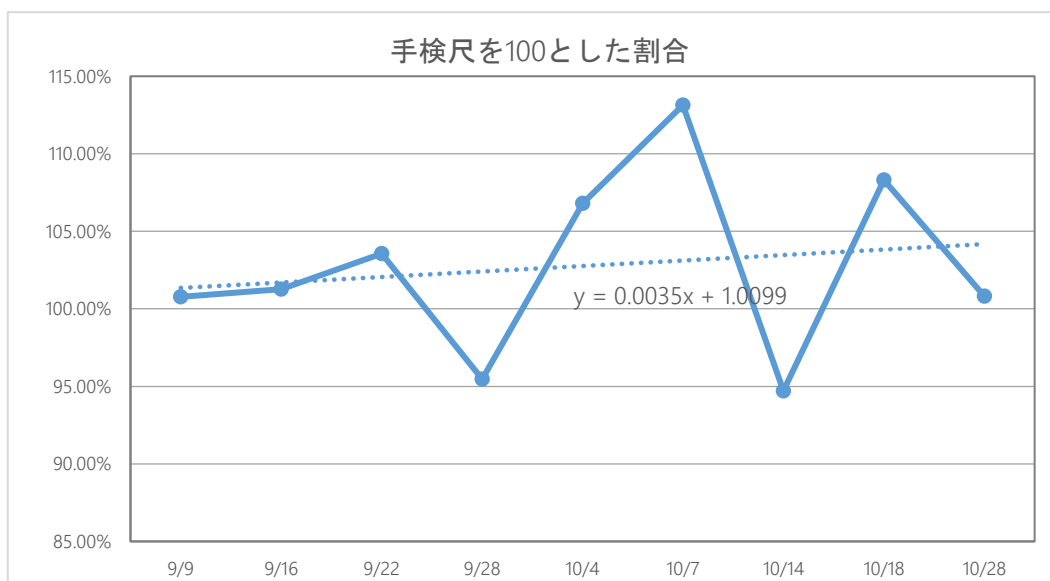
4) アプリ使用による精度の向上

高岡市福岡地内 中間土場 (令和4年9月9日～10月28日)

各計測方法による総本数・材積を比較した結果は以下のとおりである。

約2カ月間の使用においては、精度の向上を示すデータは得られなかった。

出荷日	手検尺A		丸太検知アプリB		差異 (A - B)		手検尺を100とした割合 B1/A1×100%
	材積 (m³) A1	本数 (本)	材積 (m³) B1	本数 (本)	材積 (m³)	本数 (本)	
9月9日	27.000	137	27.210	137	-0.210	0	100.78%
9月16日	58.536	327	59.280	327	-0.744		101.27%
9月22日	53.992	164	55.920	164	-1.928	0	103.57%
9月28日	54.002	217	51.550	217	2.452	0	95.46%
10月4日	54.008	332	57.680	332	-3.672	0	106.80%
10月7日	27.002	175	30.550	175	-3.548	0	113.14%
10月14日	20.494	49	19.410	49	1.084	0	94.71%
10月18日	24.134	61	26.140	61	-2.006	0	108.31%
10月28日	42.960	130	43.310	130	-0.350	0	100.81%
計	362.128	1,592	371.050	1,592	-8.922	0	102.5%



5) 丸太検知アプリ「iFovea Pro」を使用した作業員の意見等

- ・ 人力作業と丸太検知アプリ「iFovea Pro」による本数のカウントに差は無かった。
- ・ 人力作業では本数を数える際に間違えやすく、丸太検知アプリ「iFovea Pro」では何度も数え直しをしなくても良くなる。
- ・ 林ベニヤ用なら丸太検知アプリ「iFovea Pro」も使えると思う。
- ・ 県森連で納品書を取りまとめてもらえると更に楽になる。
- ・ 撮影する際、土場の後ろに積んである桧積まで写り、カウントしてしまうため、修正作業で消すのが面倒である。
- ・ 中間土場では、トラックに積み込める量の桧を予め作るため、末口の揃った桧を撮影するタイミングがあるが、狭い山土場では、末口を揃えることは厳しい。
- ・ 所有者や現場ごとに桧を作る場合もあり、タップ機能や音声入力機能など臨機応変に入力方法を変更できる機能があると良い。



末口を揃え、トラックに積み込める量の桧

(5) 課題等の整理

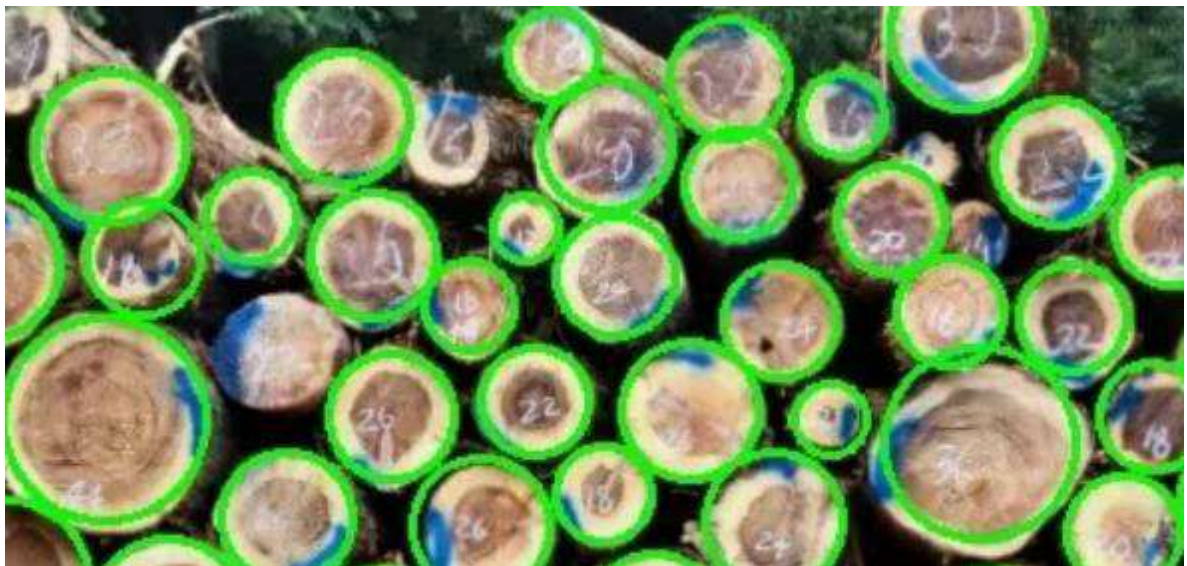
① 計測比較時の注意点

- ・ 手動計測本数と実際のはい積の本数の差異について

黒部市下立地内の手動計測では総本数「242」本だったが、ロードされている認識結果の写真を確認すると、数本認識されていない丸太が写っている。現地で撮影したはい積の通常写真上でそのまま本数をカウントすると「246」本あった。このため、アプリ計測では「246」本を正しい値とした。

はい積 "3" 			
はい積 詳細			
計測日	04.07.2022	材長	4,00 m
会計年度	01.04.2022 - 31.03.2023	はい積幅	13,50 m
計測者	shinrinseiko06@gmail.com	本数 (+加算木)	242 (+0)

<FMS 上の手動計測による本数 (242 本) >



<FMS の認識結果画像上のカウントされていない丸太>

② iFovea 上での認識データ修正

アプリでの計測は以下の手順で行った。

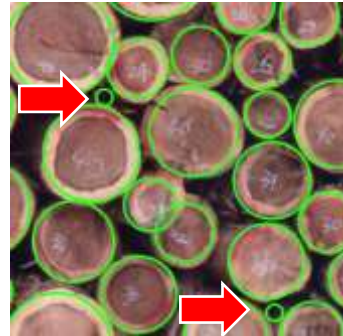
- ア) 現地で 60% のオーバーラップをつけて撮影した連続写真をロード
- イ) まずは、アプリが認識したままで総本数を確認
- ウ) 次に画像を目視で確認し、画像認識の抜け・誤認識を修正

エ) データを保存、FMS より 2cm 括約リストをエクスポートし、各直径の本数・材積を確認 (iFovea 端末上は 1cm 刻みで直径を表示するため)

この修正の際、黒部市下立地内の総本数は画像上から目視で確認できる 246 本とした。



<認識抜け>



<誤認識>

③丸太検知アプリ実装に当たっての注意点

- ・使用場所は、末口を揃えた状態で桟積みされる、中間土場が良い。
- ・作業効率の向上だけでなく、数え間違いや入力ミスを無くせるため、作業員の心理的な負担を軽減できる。
- ・今回の結果から、年間を通じた使用であれば本数や材積の精度に問題は無いと考えられる。
- ・入力方法の工夫など、現場での様々な条件に対応できる臨機応変な機能が付加されると良い。

(6) 今後について

丸太検収にスマートフォンによる画像検知アプリを導入し、現場実証や研修を実施した結果、丸太検知の効率化が認められ、また生産量の精度も高く、県下の林業事業体での実装も可能であると考えられる。

このため、今後は、丸太検知アプリを使用した丸太について、製材工場への試験搬入や関係県の取りまとめ窓口での対応方法の統一など、関係者間での丸太検知アプリの運用に向けた合意形成を進めることを検討する。

5 オーガ付き苗運搬機の実証

(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運搬機導入による植栽作業における生産性の向上や労働負担低減などの効果を検証する。

(2) 実証地及び実証方法

① 実証試験地

実証試験は魚津市東城地内（魚津市 23 林班ほ小班）のスギ人工林伐採跡地で行った（図-1）。電動苗運搬機を用いて植栽の作業効率や労働負担を調査するため、0.23 ha の調査区を設けた。調査区の標高は 550～560m であり、丘陵性山地斜面の一面を占める（写真-1）。



図-1 試験地の位置



写真-1 試験地の状況

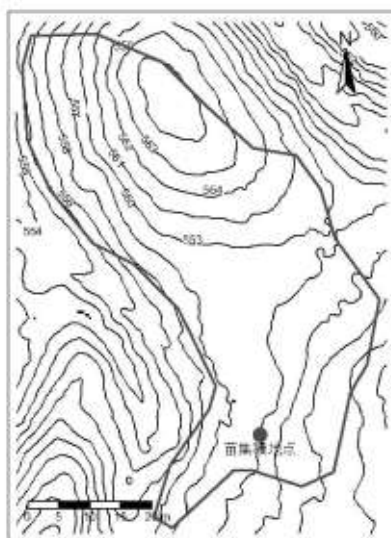


図-2 調査プロット周辺の地形図

② 実証方法

2022年5月23日に電動苗木運搬機を使用した植栽作業の効率と労働負担に関する調査を行った。被験者は作業員A、Bの2名とし（表-1）、1度に50～70本の苗を連続的に植栽し、それをそれぞれ計3回繰り返した。いずれの作業員も、最初の1回目は従来の人力作業による植栽を行い、2回目と3回目は電動苗木運搬機を用いて植栽（以下、運搬機作業）を行った。使用した電動苗木運搬機はベースモデルと呼ばれる植え穴掘り用のオーガを搭載していない苗木運搬に特化した車両であったことから（写真-2）、人力作業および運搬機作業ともに植え穴掘りはあらかじめ別の作業員が行い、調査対象となる作業員は苗運搬と植え付け作業のみを行った。このため、本調査における作業効率や労働負担の測定値には植え穴掘り作業は含まれていない。

表-1 植栽作業員の概要

作業員	性別	年齢	経験年数
A	男	73	40
B	男	45	10



写真-2 苗木運搬機（ベースモデル）

人力作業では背負い式苗木袋を用いて作業道脇のコンテナ苗集積地点から植栽地点まで苗を運搬した。はじめに、苗木袋に30本のコンテナ苗を詰め、植栽地点に運搬した後、苗を1本ずつ取り出し、植え付けを行い、これを2回繰り返して、計60本の苗を一連の作業で植栽した。運搬機作業では、苗集積地点において1度に70本の苗を荷台上に設置された運搬用容器に並べ、植栽地点まで運搬し、一連の作業で計70本の苗を植え付けた。ただし、作業員Aの1回目の運搬機作業のみ（調査番号2）、運搬用容器の代わりに苗木袋を使用し、50本の苗を苗木袋に詰め、それを荷台に載せて運搬し、一連の作業で計50本の苗を植え付けた。なお、植栽間隔は約2.2m（2000本/ha）を基本とした。作業効率を調べるため、苗木袋への苗詰め作業（あるいは運搬用容器への苗並べ作業）の開始から植え付けを終え、作業道脇の苗集積地点に作業員が戻るまでの時間を計測した。また、労働負担を調べるため、作業前に各作業員に腕時計式の心拍計を付けてもらい、作業中の心拍数を記録した。さらに、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-2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ずるかを示す指標となる。

表-2 自覚度と運動強度の対応

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

Karvonen の式

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

$$\text{最大心拍数} = 220 - \text{年齢}$$

(3) 実証成果の取りまとめ (結果及び考察)

① 植栽作業の生産性

植栽作業における工期調査の結果を表-3 に示した。本調査では、植え穴掘りはあらかじめ別の作業員が行ったので、コンテナ苗の袋詰めや運搬容器への投入などの準備、運搬および植え付けなどの作業に要する時間が主に計測された。苗袋にコンテナ苗を詰めて運搬機を使用した場合（調査番号2）を除いて、運搬機作業は人力作業に比べ1.2~1.4倍の生産性（作業時間で2割~3割の削減効果）を示した。運搬機作業では、一度に多くのコンテナ苗を運ぶことができるため、植栽箇所から苗集積地点までの往復回数が減り、そのことにより生産性の向上に寄与したと考えられる。苗袋にコンテナ苗を詰めて運搬機を使用した場合、他の運搬機作業に比べ生産性が低下したのは、運搬機を支持しながら苗袋から苗を取り出すのに手間取ったためである。

表-3 植栽作業の生産性調査結果

調査番号	作業種別	苗数	開始時刻	終了時刻	作業時間 sec	生産性 本/時	1本当り 作業時間 sec/本
作業員A							
1	人力	60	09:32	10:13	2,460	87.8	41
2	運搬車	50	10:23	10:58	2,100	85.7	42
3	運搬車	70	11:05	11:40	2,100	120.0	30
作業員B							
4	人力	60	13:02	13:38	2,160	100.0	36
5	運搬車	70	13:47	14:21	2,040	123.5	29
6	運搬車	70	14:42	15:11	1,740	144.8	25

← 1.36倍 (2→3)
← 27%削減 (42→30)
← 1.23倍 (4→5)
← 19%削減 (36→29)
← 1.44倍 (4→6)
← 30%削減 (36→25)

② 植栽作業中の心拍数の変化

植栽作業中に測定した作業員の心拍数データの概要と作業中の各作業員の心拍数の推移をそれぞれ表-4 と図-3 に示した。作業時間や移動距離は運搬機作業が人力作業を下回

ったが、最大心拍数および平均心拍数ともに運搬機作業が人力作業を上回った。運搬機作業では準備作や植栽地点までの移動を終え、植え付け作業に移ると心拍数が急激に増加し、人力作業における心拍数との差が大きくなった。また、経験年数の長い作業員 A では、人力作業による心拍数の増加幅が比較的小さかったのに対し、運搬機作業における心拍数は明瞭な増加を示した。一方、経験年数の短い作業員 B では、人力作業でも心拍数の増加幅が大きく、運搬機作業との差が作業員 A に比べ小さかった。

表-4 植栽作業における心拍数データの概要

調査番号	作業種別	作業時間 sec	移動距離 m	最小心拍数 bpm	最大心拍数 bpm	平均心拍数 bpm
作業員A						
1	人力	2,421	323	85	119	100
2	運搬車	2,084	183	83	136	113
3	運搬車	1,958	157	77	136	115
小計	—	6,463	663	—	—	—
作業員B						
4	人力	2,134	243	84	144	125
5	運搬車	1,997	107	92	160	132
6	運搬車	1,681	88	103	150	131
小計	—	5,812	437	—	—	—
合計	—	12,275	1,100	—	—	—

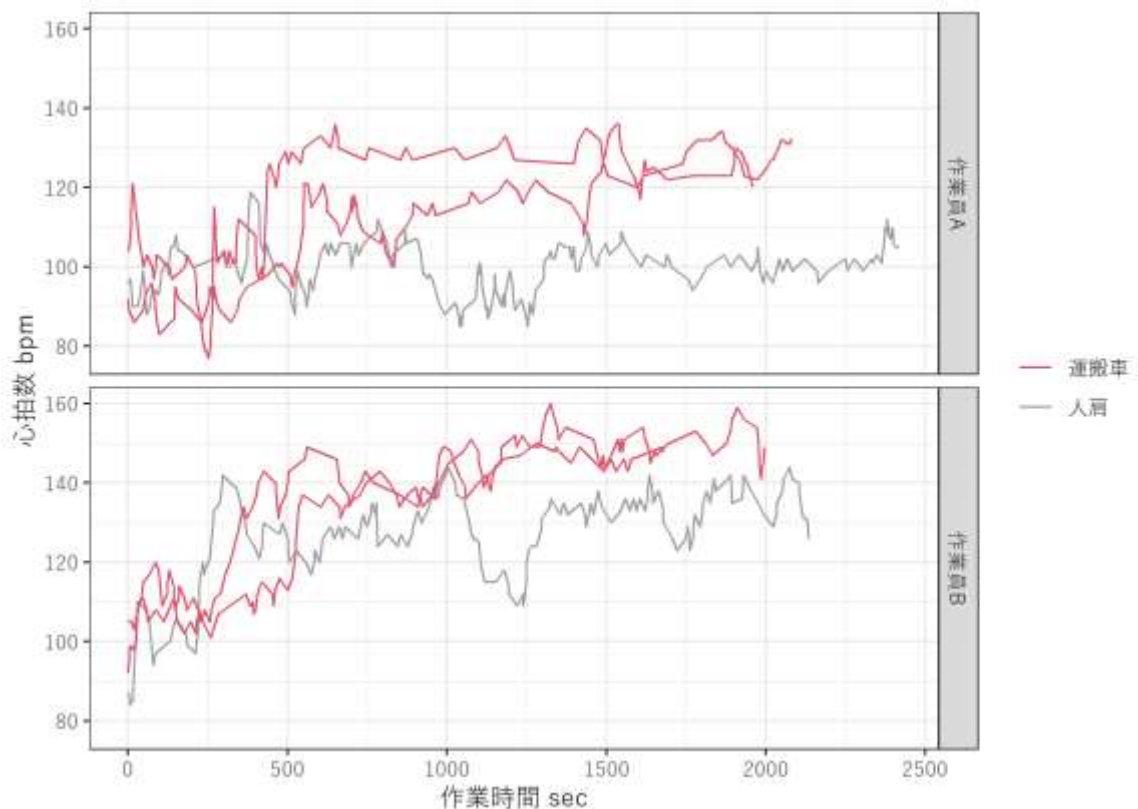


図-3 植栽作業における心拍の推移

③ 運動強度の比較

植栽における運動強度から導いた自覚度の人力作業と運搬機作業の比較を図-3に示した。人力作業では作業員Aが「ややきつい」、「楽に感じる」に該当する時間が80%以上を、作業員Bが「きつい」、「ややきつい」に該当する時間が80%をそれぞれ占め、作業員A、Bともに「かなりきつい」に該当する時間はほとんどなかった。一方、運搬機作業では作業員A、Bともに「かなりきつい」に該当する時間が最も高い割合を占め、「きつい」に該当する時間がそれに次いだ。このように本調査では運搬機導入により植栽作業における運動強度が人力作業に比べ高くなる結果となった。被験者となった作業員の運搬機使用後の意見から、運搬機を片手で保持しながら、空いた手で植え付けを行わなければならないこと（写真-3）、一連の作業が終了するまで、常にハンドルを握り、運搬機の体制を保つ必要があること、傾斜地における運搬機の方向転換にある程度の力が必要となることなどが、労働負担を高めた可能性が考えられた。造林作業実証コンソーシアム（2022）が実施した調査では、植え穴掘り用のオーガが付属した苗木運搬機の導入によって植栽作業における生産性の向上と労働負担の低減を図ることができたとしている。しかし、苗木運搬だけに特化したベースモデルを用いた本調査の結果では、運搬機の導入によって苗木の運搬と植え付け作業の生産性は従来的人力作業に比べ20~40%程度向上するものの、労働負担の低減にはつながらず、むしろ労働負担の大幅な増加が認められた。

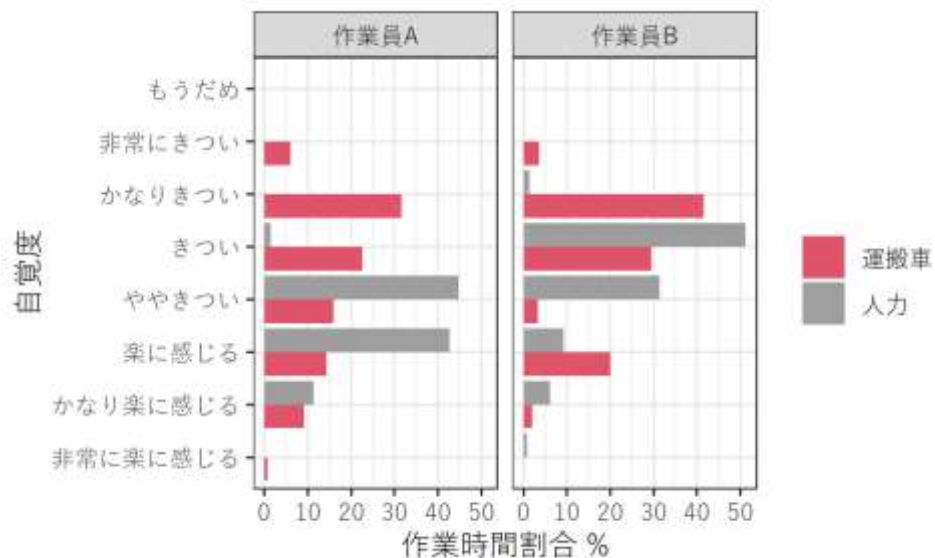


図-4 植栽作業における自覚度の比較



写真-3 運搬機を用いた植栽状況

(4) 課題等の整理

苗木運搬だけを行うベースモデルを用いた場合でも、植栽作業における生産性の向上は認められた。しかし、運搬機を用いると従来の人力作業より運動強度が高くなる傾向があり、労働負担の低減につながらないことが示された。今秋には電動オーガを装着した運搬機が完成するので、労働負担が高い植え穴掘り作業を含め、植栽作業全体をとおした生産性の向上および労働負担の低減効果について改めて調査を実施することとする。また、両手作業を可能にするため、斜面上で運搬機を立てたまま保持するためのスタンドの取り付けおよび積載した苗の取り出しを効率的に行うための荷台の改良などについても検討する予定である。

(5) 今後について

苗木運搬だけを行うベースモデルでは労働負担の軽減を図ることができないことから、オーガ付きの運搬機を用いて植栽作業全体をとおした作業生産及び労働負担について調査を実施する。また両手作業を可能とするため、斜面上で運搬機を立てたまま保持するためのスタンドを取り付けるなどの改良を試みることとなる。

第2章 実用化・実装に向けた検討

1 各実証実験を結びつけた全体での効果測定

現場1、現場2のそれぞれにおいて個々の実証成果を結びつけた（組み合わせた）効果測定を行う。

(1) 各実証実験で得られた効果の整理

1) 森林資源調査に係る地上レーザ活用の効果

(森林資源調査に係る作業の省力化)

- ・ 県営林の主伐売払いを実施する際に必要となる「立木調査」、「丸太材評価」等の森林資源調査において、BLS式を用いることで調査に要する作業人工等の省力化、森林資源解析プログラムソフト導入による効率的な森林資源量の把握が可能となる。それにより、調査コストの低減及び適正な材積評価を行うことにより、林業全体の生産性向上に繋がる。
- ・ 現場1及び現場2の実証結果から、BLS式を用いた場合、毎木調査式に比べ、以下のような効果があると考えられる。
 - ア) 調査にかかる 人工・作業時間について、約6割程度の縮減効果が期待できる。
 - イ) 計測者による評価の差異が発生せず、計測精度の均一化が可能となる。
 - ウ) 立木位置図、帳票 ^(※1) 作成は自動解析となるため、従来の手入力に対し大幅な時間短縮が可能となる。

(※1) 帳票は樹木ごとに、番号を付け、位置情報(XY座標)、玉ごとの等級評価・材積・金額を記入した一覧表であり、従来は手入力で作成しているが、BLS式を用いた場合自動入力で一覧表が作成される。

2) 林業フィールド通信網の確立の効果

- ・ 自営通信網機器の活用により、通信途絶地 ^(※2) の林業現場から 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。

3) カラーマーキング機能付ハーベスタの活用の効果

(造材・仕分け作業の生産性向上、作業効率の向上)

- ・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約 20%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 Z O U Z A I 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) 丸太検知アプリ活用の効果

(計測時間の短縮化、材積把握作業の省力化)

- ・中間土場における平均的なはい積み量（1現場当り 180本程度）に対する丸太検知の作業時間は、従来の人力（手動）による検尺・入力作業に比べ、丸太検知アプリ (iFovea) を用いた場合は約 40%の短縮効果が期待される。
- ・丸太の総本数や材積の把握においても作業の省力化の効果が期待される。


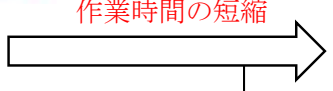
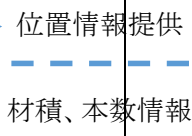

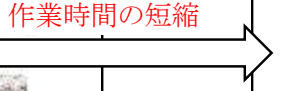

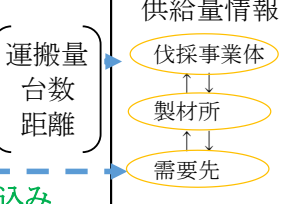
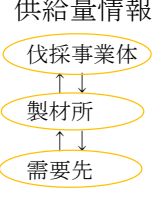
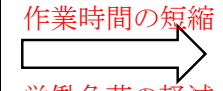

5) オーガ付き苗運搬機の活用の効果

(植栽作業の生産性の向上)

- ・植栽作業において、苗運搬機による作業は人力作業に比べ 1.2～1.4 倍の生産性（作業時間で約 20%～30%の短縮効果）があることが認められた。運搬機作業では、一度に多くのコンテナ苗を運ぶことができるため、植栽箇所から苗集積地点までの往復回数が減り、そのことが時間短縮化に寄与したものと思われる。

R 4年度スマート林業(主伐)における実証結果

凡例 青字：実施事項 赤字：成果が見られたもの 緑字：新たに得られる成果

項目	全体	測量・調査	準備(路網)	伐倒・集材	造材・選別	運材・積込	検尺	運搬	需要先	地拵え	植栽	
業務名称 (作業機械)	取りまとめ	(航空レーザー)	(1) 地上レーザーの実証	(フェラーバンチャー)	(チェーンソー) (グラップル)	(3) ハーベスタ カラーマーキング、造材ウォッチャー	(フォワーダ) (グラップル)	(4) 丸太検知アプリの実証	(トラック) (トレーラー)	各需要先	(グラップル)	(5) オーガ付苗木運搬機の実証
実証目的			毎木調査の効率化・精密化			仕分け作業の効率化、機械内データ適時送信		丸太検取アプリによる検取時間短縮				造林作業の生産性向上、労働負荷の軽減
主な収集データ	材積等	・森林資源 ・樹幹位置 ・地形(DEM)	・樹幹位置 ・幹形状 ・材積		・位置情報	・丸太直径 ・等級、材積 ・材長、本数	・位置情報	・丸太直径 ・等級、材積 ・材長、本数	・運搬量 ・台数 ・距離	・供給量情報 ・需要量情報		・作業時間 ・労働負荷
	時間等		・稼働時間 ・作業人工数	・稼働時間 ・作業人工数	・稼働時間 ・作業人工数	・稼働時間 ・作業人工数	・稼働時間 ・作業人工数	・稼働時間 ・作業人工数			・稼働時間 ・作業人工数	・稼働時間 ・作業人工数 ・心拍数
実証内容 (期待される成果)		 地上レーザー 3D点群データ	 作業時間の短縮	 位置情報提供 材積、本数情報	 ハーベスタ カラーマーキングヘッド 丸太直径、材積、材長、本数	 作業時間の短縮 材積情報共有化	 丸太検知アプリ 丸太直径、等級、材積、材長、本数	 実装見込み 運搬量 台数 距離	 供給量情報 伐採事業体 製材所 需要先		 作業時間の短縮 労働負荷の軽減	
			森林資源情報・位置情報	クラウド上へのデータ蓄積・共有化	等級別造材情報	等級別材積・本数情報	ネットワーク化によるジャストインタイム生産					
林業フィールド通信網	-	(森林クラウド)	 実証機器構成	音声・データ通信環境の改善(電波途絶地の解消) ・林業フィールドよりインターネットに接続する通信環境構築の実証 ・林業フィールドより遠隔地間等への通話環境構築の実証				(森林クラウド)	(森林クラウド)	-	-	
【実証事項等】												
伐採等実証事業体 ・新川森林組合 ・(株)島田木材	-	-	・地上レーザー測量の実施、地上レーザーデータの解析(今回コンサル業務)	・航空レーザー(DEM)データを活用した路網設計	・林業フィールド通信網を使った工程管理、安全管理 ・カラーマーキング機能付きハーベスタを使った造材・選木 ・丸太検知アプリを使った検取の実施			・造材データ等による配車	・森林資源量から木材需要先までの一貫管理	-	・苗木運搬機等を使った再造林	
検証事項等	全工程を通じた検証	-	・形状(ABC材別)の材積予想の検証 ・測量・調査の省力化の検証	-	-	・造材や選木の精度検証 ・マーキングによる成果の検証	-	・検取の精度検証(B材メイン)	-	・丸太情報の流れを検証	-	・作業効率や労働負荷を検証

(2) 各実証実験で得られた効果を結びつけた全体での効果測定

1) 作業時間の削減効果

① 森林資源調査 (地上レーザ)

↓ 作業時間 (時/ha) で約 60%の短縮化

② 造材の仕分け (カラーマーキング機能)

↓ 作業時間 (時/m³) で約 20%の短縮化

③ 造材量の把握・作業管理 (ZOUZAI ウォッチャー)

↓ 日々の造材量の見える化による作業管理の効率化

④ 丸太の総本数や材積の把握 (丸太検知アプリ)

作業時間 (時/180 本) で約 40%の短縮化

⑤ 植栽作業 (オーガ付き苗運搬機)

作業時間 (時/本) で約 20%~30%の短縮化

(地上レーザ)

・位置情報取得による調査精度の向上

(ZOUZAI ウォッチャー)

・造材データの送信による作業状況の見える化

(通信網の確立)

・インターネット接続によるICT活用の実現

・相互間のリアルタイムな音声連絡による現場内移動負担の軽減や緊急連絡体制の確立 (作業環境の向上)

⑦ 通信途絶地における通信網の確立 (通信機材の設置)

2 県内林業事業者での実用化・実装に向けた課題等の整理

全体での効果測定を踏まえ、個々の実証において見つかった課題や、県内林業事業者の実情等を加味しつつ、実用化・実装に向けた課題等を取りまとめる。

1) 森林資源調査における地上レーザの実用化・実装に向けた課題

① 樹木抽出解析の精度と汎用性の向上

レーザ計測した点群データの解析作業において、樹木抽出の精度が低く、また現場による精度の違いも出た。実用化していくためには解析精度を高める必要がある。また現場による精度の違いが出ないように、様々な条件を備えた現場に対応した解析手法を検討し汎用性の高い解析手法を確立する必要がある。

② 樹木抽出解析作業の迅速化と計画的活用

レーザ計測後、データ解析に一定の時間がかかるため、解析作業の迅速化に向けた手法の検討を進めるとともに、伐採作業の事前検討や伐採計画策定にあたり、解析結果を有効に活用できるよう、予め一定の解析時間を想定し、相互に連携し、スケジュール等の調整をしながら計画的に進めていく必要がある。

2) 林業フィールド通信網の実用化・実装に向けた課題

① 衛星通信サービスの適用検討

通信環境の更なる効率化や適用の容易化に向けて、より低遅延・大容量伝送が可能な衛星通信サービス（2022年12月より日本全国で利用できるようになった）の適用性について検討する必要がある。

② 自営通信網機器の適用検討の効率化

林道を跨ぐ無線通信の中継が有効であることは本実証で明らかとなった。一方で、設置場所の選定には事前の現地調査が必要であることから、現場作業者の負担が残る。

こうした負担を軽減するため、他のスマート林業技術である赤色立体図や3Dスキャナ等の情報を活用して事前の現地調査から機器適用までの一連の工程作業の効率化を図るための手法等について検討する必要がある。

3) 造材作業におけるカラーマーキング機能付ハーベスタの実用化・実装に向けた課題

① ZOUZAIウォッチャーの蓄積データの編集・閲覧機能の向上

何番玉のカウント数値が正確でない場合も散見されることから、その原因と対応を検討し、精度・信頼度の向上を図る必要がある。

ZOUZAIウォッチャーの蓄積データをクラウド内で汎用性のあるソフトで容易に閲覧（データ共有）できるように、ソフトの改良が必要である。

② カラーマーキング機能による仕分け精度の向上

カラーマーキングによる等級の仕分け精度の向上を図り、信頼度を高めることが重要である。大口径材(元口径約 45 cm以上)は機械で扱えず手入力が必要であったことから、グラップル機能の向上も必要である。

4) 丸太検知アプリ活用の実用化・実装に向けた課題

① 計測データの共有化のための体制づくり

検知アプリで把握した材積データをクラウド内に蓄積し、林業事業体間や製材工場との出材データの共有化ができる体制整備が必要である。

5) 植栽作業におけるオーガ付き苗運搬機の実用化・実装に向けた課題

① 植栽作業全体を通じた生産性の向上および労働負担の軽減効果についての精査

苗木運搬だけを行うベースモデルでは生産性の向上は認められた。今後さらに電動オーガを装着した運搬機を使って、労働負担が高い植え穴掘作業を含め、植栽作業全体を通じた生産性の向上および労働負担の低減効果について精査する必要がある。

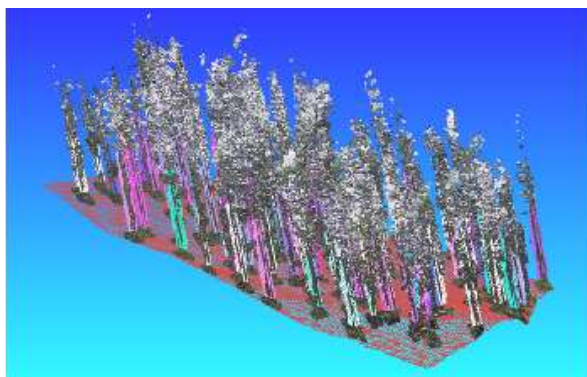
② 運搬機の改良

植栽作業において両手作業を可能にするため、斜面上で運搬機を立てたまま保持するためのスタンドの取り付けおよび積載した苗の取り出しを効率的に行うための荷台の改良などについても検討する必要がある。

3 今後の方向性

1) 地上レーザ計測の実証

- ・地上レーザ計測により取得した点群データの解析精度（本数、直径、材積）の向上に向けて、新たな樹木抽出ツールの適用性の検証
- ・地上レーザ計測で取得した点群データを、伐採作業の事前検討や伐採計画策定に活用する効果を検証



点群データの解析

2) 森林内通信網の実証

- ・2022年12月に日本全国で利用可能となった通信衛星を使うインターネット接続サービス「STARLINK」(スターリンク)^(※1)稼働の適用性について実証
- ・安価に通信網の整備を行えるよう、中継アンテナの設置箇所の検討を地上レーザのデータを活用して実証

(※1) スターリンクとは 高度500キロメートル程度の低い高度を回る衛星を使って通信網を構築した衛星通信サービス。イーロン・マスク氏が率いるスペースXが手掛けている。従来の衛星通信サービスで運用する衛星は最大でも数十基だが、スターリンクではすでに3000基以上の衛星を打ち上げているとみられており、幅広い地域で高速通信を提供できる。



スターリンク衛星通信の仕組み

(出典：日本経済新聞)

3) カラーマーキング付ハーベスタの実証

- ・等級（A材やB材）以外のマーキングによる仕分け（材長や材径別）による有効性や効率化の検証
- ・受信されたハーベスタによる造材データを事業管理や進捗管理などに有効活用する方法を実証



カラーマーキング付ハーベスタによる造材作業

4) 丸太検知アプリの実証

- ・木材流通現場における丸太検知アプリの活用を検証
- ・丸太検知アプリを使用した丸太について製材工場への試験搬入や関係県のとりまとめ窓口での対応方法の統一化など、関係者間での丸太検知アプリの運用について検討



丸太検知アプリの活用

5) オーガ（穴あけ機）付苗運搬機の実証

- ・植え付け位置支持機能を付加した苗運搬機による生産性向上を検証
- ・アウトリガーを取り付けた苗運搬機における労働負担軽減効果の検証
- ・伐採・再造林・保育の連続作業による効率化や労務配分の平準化等の検証



苗運搬機の活用

出典：茨城県森林組合連合会資料

4 県内林業事業者への普及に向けて

県内の森林・林業・木材産業等の関係者が連携して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と富山県林業成長産業化事業等を活用した実装を促進し、林業及び木材産業の振興並びに山村地域の活性化を図ることを目的とし、令和4年度は、①地上レーザ計測等による森林資源量の把握、②林業フィールド通信網による現場情報の共有、③カラーマーキング機能等付ハーベスタによる造材仕分作業の効率化、④スマートフォンを活用した丸太検収システムの活用、⑤オーガ付き苗運搬機による作業負担の低減の実証を行ってきました。

林野庁では、令和元年12月に、林業現場への新技術の導入を加速化するため、イノベーションによる林業の将来像と技術開発の現状、普及に向けた課題等を整理した「林業イノベーション現場実装推進プログラム」を策定し、更に、令和4年7月15日には、現場実装のさらなる加速化に向け、これまでの取組成果等を踏まえ、プログラムのアップデート版を作成し、公表しています。

富山県でもこれらのICT等を活用した取組を参考にしながら、引き続きICTの活用を図るとともに、スマート林業の活用を始めとする、「林業イノベーション」の取組を通じ、デジタル管理・ICTを駆使した林業、安全で高効率な自動化機械による林業、造林コストが低く収穫サイクルが短い林業を定着させることを目指します。将来的には、スマート林業等による林業収益性の飛躍的な向上や、自動化機械により伐採等の危険な作業を根絶することで、3K林業のイメージを払拭し、林業を魅力ある産業にしていきます。

今後は、林業事業者等が実施する木材生産での各作業工程（調査、計画、伐採、採材、検収、運材、在庫管理等）を始めとする林業の現場において、川上～川下までのデータの共有化を図りそれを効果的に活用し、低コストで効率的な林業経営を実現していくことを期待します。



県内林業事業者への普及を図るため、検証業務の内容を分かりやすく整理した資料（A4判2枚程度）を作成する。

（次ページ参照）

(仮称) 富山県のスマート林業の普及に向けて

令和4年度 ICT生産管理システム等実証結果報告【概要版】

■はじめに（背景、目的）

県内の労働人口の減少傾向とともに、林業においても担い手の減少・高齢化、特に造林・保育作業の労働力不足など、多くの課題に直面している中で、持続可能な森林経営と林業・木材産業の成長産業化を図るためには、近年発展目覚ましいICT等の新たな技術を活用した「スマート林業」の推進が不可欠です。

■スマート林業とは

地理空間情報やICT、ロボット等の先端技術を活用し、森林施業の効率化・省力化や需要に応じた木材生産を可能とする林業のことです。

他の産業でも導入が進められているように、林業においてもICT技術を活用し、1人当たりの生産性を向上させるとともに、労働安全の確保、雇用形態の安定化などによる担い手の確保・育成が重要となっています。

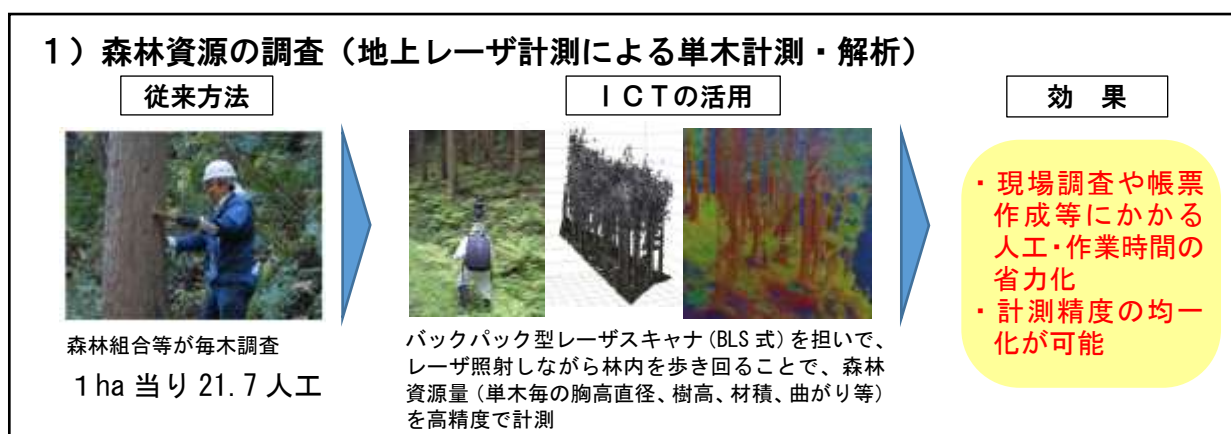
スマート林業では、林業が対象とする計画から造林・育林、伐採・搬出、流通、木材利用など全ての工程でICT等の新たな技術を活用し（各工程の情報をつなぐシステムの構築）、安全で働きやすく、効率的な森林施業と需要に応じた木材の安定供給を図ることを目指しています。

■スマート林業の取組の推進

県内の森林・林業・木材産業等の関係者が連携して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と富山県林業成長産業化事業等を活用した実装を促進し、林業及び木材産業の振興並びに山村地域の活性化を図ります。

こうしたことにより市町村が行う森林の経営管理など森林整備の円滑な実施を支援します。

■ICT等の先端技術の活用による効果



2) 造材・仕分け作業（カラーマーキング付ハーベスタの利用やデータの活用）

従来方法



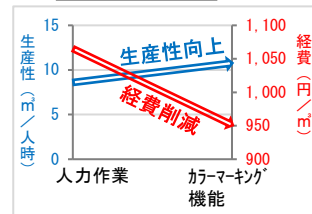
従来方法による、
造材・仕分け作業の時間と経費
1現場当り 9.2 m³/人・時
1,072 円/m³

ICTの活用



マーキング機能付ハーベスタ使用による、
造材・仕分け作業の時間と経費
1現場当り 11.1 m³/人・時
953 円/m³

効果



約 20%の生産性向上
約 30%の経費削減

3) 丸太の検知作業（スマートホン向け丸太検知アプリの利用）

従来方法



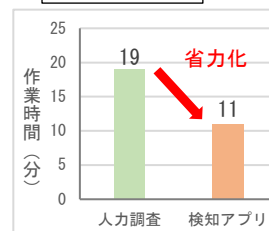
人力による数量調査
野帳から PC へデータ入力
1現場 (180本) 当り約 19分

ICTの活用



スマートホンによる丸太検知アプリを活用し、
一定の距離から撮影、瞬時に材量を把握
1現場 (180本) 当り約 11分

効果



約 40%の省力化

4) 主伐後の再造林作業（苗運搬機の利用）

従来方法



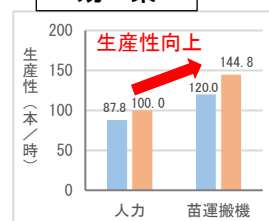
人力による植栽作業の生産性 (本/時)
1現場当り 87.8~100.0 本/時

新技術の活用



運搬機使用による植栽作業の生産性 (本/時)
1現場当り 120.0~144.8 本/時

効果



1.2~1.4 倍の生産性向上

5) 情報の伝達作業（森林内との音声・データ通信の確立）

従来方法

森林内では、緊急時等においても電波が届く場所まで移動して連絡する必要があった。

通信可能場所までの移動時間損失による生産性の低下

ICTの活用



森林内でも、ICT機器等を設置することで、インターネットへの接続による事務所など遠隔地とのデータ送受信、緊急時に音声によるリアルタイムな通話等が可能となる。

効果

- ・インターネット接続による現場情報の収集や作業データ等の送受信が可能
- ・現場内の作業員同士、現場と遠隔地（組合事務所等）間の音声通話が可能

この取り組みは、「森林環境譲与税」を活用しています。

第3章 協議会の運営支援

1 推進協議会、技術担当者会議の検討経過

会議開催日程と議事内容

開催日	会議名等	議事内容
令和4年 4月19日	第1回 富山県林業イノベーション推進協議会	1 基調講演 テーマ：「林業DXに向けて」 講師：鹿児島大学 客員准教授 大野 勝正氏 （アジア航測株式会社 林業DX担当） 2 議題 （1）年間スケジュールについて （2）伐採等実証事業について （3）意見交換
令和4年 4月19日	第1回 スマート林業技術担当者会議	（1）スマート林業技術等の実証について ①地上レーザの実証：(株)新日本コンサルタント ②林業フィールド通信網の実証：NTTAT(株) ③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) ④丸太検知アプリの実証：アジア航測(株) ⑤オーガ付き苗運搬機の実証：県森林研究所 （2）実用化の検証及び技術検証：(株)新日本コンサルタント （3）意見交換
令和4年 7月27日	第2回 スマート林業技術担当者会議	1 林業イノベーション推進協議会の活動状況について ・研修会の開催状況について ・先進地視察の概要について 2 スマート林業技術等の実証状況について （1）地上レーザの実証：(株)新日本コンサルタント （2）林業フィールド通信網の実証：NTTAT(株) （3）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) （4）丸太検知アプリの実証：県森林政策課 （5）オーガ付き苗運搬機の実証：県森林研究所 （6）実用化の検証及び技術検証のとりまとめについて ：(株)新日本コンサルタント 3 意見交換

開催日	会議名等	議事内容
令和4年 11月22日	第2回 富山県林業イノベーション推進協議会	<ol style="list-style-type: none"> 1 林業イノベーション推進協議会の活動状況について ・研修会等の開催状況について 2 スマート林業技術等の実証状況について <ol style="list-style-type: none"> (1) 地上レーザの実証 : (株)新日本コンサルタント (2) 林業フィールド通信網の実証 : NTTAT(株) (3) 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) (4) 丸太検知アプリの実証 : 県森林政策課 (5) オーガ付き苗運搬機の実証 : 県森林研究所 (6) 意見交換 3 令和3年度 決算報告 (旧 富山県林業成長産業化推進協議会)
令和5年 3月16日	第3回 富山県林業イノベーション推進協議会	<ol style="list-style-type: none"> 1 令和4年度スマート林業技術等の実証結果 (中間報告) の概要について 2 令和4年度スマート林業技術等の実証の中間報告内容について <ol style="list-style-type: none"> (1) 地上レーザの実証 : (株)新日本コンサルタント (2) 林業フィールド通信網の実証 : NTTAT(株) (3) 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) (4) 丸太検知アプリの実証 : 県森林政策課 (5) オーガ付き苗運搬機の実証 : 県森林研究所 (6) 意見交換 3 令和5年度計画 (案) について

現地研修会等の開催日程と主な内容

開催日	研修会等	研修の主な内容
令和4年 7月4日	実証実験現地見学会及び研修会	(1) 丸太検知アプリ (iFovea Pro) の活用 講師: アジア航測株式会社 森林・農業ソリューション技術 部 技術部長 大野 勝正氏 (2) 木材加工場 (B材) の機械検知の可否及び協力 (依 頼) について 県森林政策課 主幹 平野雅治 (3) カラーマーキング付ハーベスタ及び造材ウォッチ ャーの見学 実演: 新川森林組合、コマツ富山株式会社
令和4年 9月7日 ～9月8日	スマート林業先進地視 察	1日目 群馬県森林組合連合会視察 渋川県産材センター 2日目 西川地域スマート林業協議会視察 飯能市東吾野地区行政センター
令和4年 11月1日	令和4年度 無花粉ス ギ育苗・植栽講習会 (第 1回) 富山県林業イノ ベーション推進協議会 研修	講義1 スマート林業とは 講師 (平野主幹、県森林政策課) 講義2 電動造林作業の概要など 講師 山口 浩和 (国立研究開発法人森林研究・ 整備機構 森林総合研究所 林業工学研究領 域省力化技術研究室 室長) 実習 コンテナ苗の植栽 (富山市婦中町大瀬谷地内) 講師 山口 浩和 ()

2 富山県林業イノベーション推進協議会の開催概要

(1) 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)	木材全体	
26	(株)新日本コンサルタント	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	新川農林振興センター	林政・普及班長	県出先	
30	富山農林振興センター	林政・普及班長	県出先	
31	高岡農林振興センター	林政・普及班長	県出先	
32	砺波農林振興センター	林政・普及班長	県出先	
33	県森林研究所	副所長	オブザーバー	
34	県木材研究所	副所長	オブザーバー	
35	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	
36	アジア航測株式会社	北陸支店長	オブザーバー	
37	事務局 (県森連)	事務局長 (副会長・専務)		

(2) 議事録
(※別紙参照)



第1回協議会(R4.4.19)



第2回協議会(R411.22)

3 スマート林業技術担当者会議（部会）の開催概要

（1）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	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）	木材全体
3	(株)新日本コンサルタント	空間情報部長	検証事業体
4	コマツ富山(株)	富山支店長	検証事業体
5	NTT アドバンステクノロジー(株)	課長	検証事業体
6	県森林研究所	副所長	オブザーバー
7	県木材研究所	副所長	オブザーバー
8	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
9	アジア航測株式会社	北陸支店長	オブザーバー
10	事務局（県森連）	事務局長（副会長・専務）	

（2）議事録

（※別紙参照）



第1回技術担当者会議（部会）(R4.4.19)



第2回技術担当者会議（部会）(R4.7.27)

4 現地研修会等の開催概要

写真

写真

写真

写真

この取り組みは、「森林環境譲与税」を活用しています。

富山県林業イノベーション推進総合対策事業

【令和5年度予算額 3,482万円】

林業の安全な労働環境の確保と、森林整備の効率化や省力化を進められるスマート林業技術について、前年度の実証結果を検証しながら、引き続き、実証・検証、普及することで、森林経営管理制度に必要な森林整備を推進する。

1 事業の内容

(1) 富山県林業イノベーション推進協議会の開催 (2,000千円)

- ・ 県、市町村、県森連、県木連、素材生産組合ほか、年3回開催

(2) 新技術による業務の効率化 (1,600千円)

- ・ 林内の三次元データを容易に取得できる「マプリア」アプリの導入

(3) ICT林業生産管理システム等の実証事業 (29,216千円)

- ・ 5種の機器等を使用し県内実装モデルとして実証・普及

(4) とやま県産材需給情報マッチング支援事業 (2,000千円)

- ・ 需要情報把握のためのプロモーションの実施

(1) (2) (3)

富山県：富山県林業イノベーション推進協議会へ委託（一部）
[事務局] 富山県森林組合連合会

(4)

とやま県産材需給情報センター(補助)

3 実証機器等

①地上レーザ	②林内通信網	③カラーマーキング付ハーベスタ	④丸太検知アプリ	⑤オーガ付苗運搬機
				

R5林業イノベーション推進総合対策事業のスケジュール(案)

項目	～1月	2月	3月	4月
県	予算折衝 説明資料作成 ・関係機関への根回し ・事業計画、仕様書(案)作成	事業説明会 ・関係機関への説明 ・事業計画(案)説明	契約書作成 ・回議、決済(3/10～)	4/1契約締結 ・県と協議会 ・周辺県との機械検知活用の協議
協議会	確認・内諾 ・事業計画、仕様書(案)作成		リース等契約書作成 3月16日協議会 ・中間報告 ・事業計画(案)承認	4/1契約締結 ・1回協議会開催
会員		確認・内諾	・機械検知の協議	4/1～契約締結 ・協議会とリース会社、検証事業体
実証活動	・主伐等の実証個所の確保 (県東部の森組、県西部組合、島田木材) ・森林組合、民間事業体と調整			準備 ・地上レーザ調査 ・所有者と契約 ・伐採開始
R6～計画	○全体構想検討		R6～内容検討 ・素案検討 関係者等 聞き取り ・1回担当者会議 市町村 要望聞き取り	

項目	5・6月	7・8月	9・10月	11・12月	1・2月	3月
県	概算払い1		概算払い2	概算払い3		概算払い4 検査・清算
協議会	概算払請求		概算払請求	概算払請求		概算払請求 実績報告(最終報告)
会員	・丸太マーキング、検知アプリ、通信の使用で人・機械・丸太の動きを把握・検証等の開始 ・苗運搬機の使用、データ提供・検証等の開始					
実証活動	現場1 → 現場1 植栽	準備 → 現場2 → 現場2 植栽 ・地上レーザ調査 ・所有者と契約 ・伐採開始			準備 → 現場3 → 現場3 植栽 ・地上レーザ調査 ・所有者と契約 ・伐採開始	
R6～計画	R6～内容検討 ・素案作成	要求(案)作成 ・2回担当者会議 市町村 素案提示		R6予算要求 ・新規重点予算要求		・県予算発表