

林野庁補助事業

令和5年度「新しい林業」に向けた林業経営育成対策
のうち経営モデル実証事業

北欧をモデルにした北海道・十勝型機械化林業経営
事業成果報告書

令和6年3月

実証主体

有限会社大坂林業、株式会社渡邊組、有限会社サンエイ緑化、国立研究
開発法人森林研究・整備機構、北海道立総合研究機構森林研究本部、株
式会社フォテク

目 次

I 実証事業の概要

1 事業の名称	1
2 取組の背景	1
3 実証のテーマ	1
4 実証団体の構成	
5 林業経営体、支援機関、実証事業関係者連関図	2
6 実証事業の内容	2
7 実証事業の収支改善目標	4

II 実証事業の実行結果及び課題

1 令和4年度の実施結果及び課題	5
2 令和5年度の実行結果	6

III 今後の事業の展開方向	25
----------------	----

I 実証事業の概要

1 事業の名称

事業の名称は「北欧をモデルにした北海道・十勝型機械化林業経営」である。以下本報告書では基本「十勝モデル」と略称する。

2 取組の背景

伐採作業から再造林・育成に関わるコストの削減や、安全かつ魅力ある「新しい林業」を目指すためには、機械化を推進する新技術の採用や、ICT を駆使した木材の生産および流通・販売のプロセスの最適化が不可欠である。北海道の十勝地域は、その地勢、経営の規模、気候条件が、北欧で採用されている先進技術を取り入れるのに適した環境を有しており、この地で育まれた地域協力の精神と新たな技術を組み合わせることで、「新しい林業」の実例を創出し、技術の普及を目指す。さらに、このモデルを北海道内外に向けて発信し、中心となる拠点を築くことが望まれている。

3 実証のテーマ

北欧では、新しい機械技術と ICT を活用し効率性と低環境負荷を両立させた持続可能な林業が実現されている。これら作業計画から素材生産、流通、再造林、保育に至る、新技術を導入した安全で収益性の高い作業システムを、地形や気候などに類似点が多く機械化に適した北海道・十勝地方のフィールドを活用して構築する。具体的には、以下の最新技術の実証試験を北海道十勝のフィールドにおいて実施することとする。

- ① 生産計画 LiDAR 搭載 UAV を活用した、資源管理・路網開設の省力化
- ② 素材生産・流通 伐採データを ICT 生産管理に活用した素材生産の省力化
- ③ 再造林・保育 植栽作業の機械化と植栽位置情報を活用した保育作業の省力化

4 実証団体の構成

十勝モデルにおける実証団体は、以下の提案メンバー 6 団体に加え、LiDAR 搭載 UAV による調査を担当した大澤木材㈱、機械検知材の受入れ検討を行った㈱サトウ、(有)大坂林業と連携して全体調整や調査などを担当した KITARIN ラボなどで構成される（図 1）。

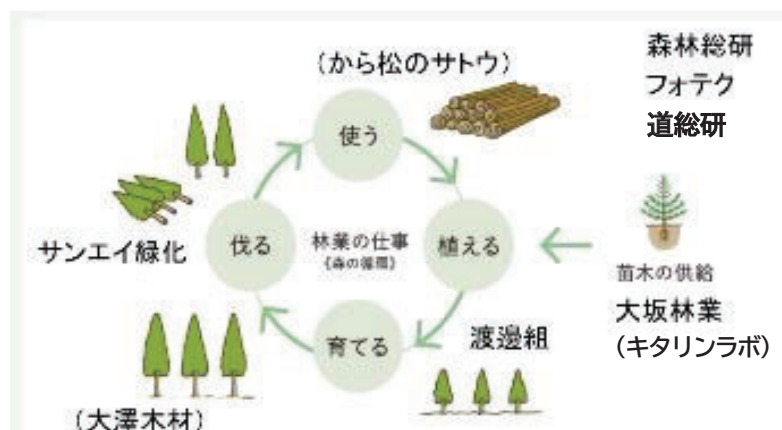


図 1 十勝モデルにおける実証団体

代表林業経営体	有限会社	大坂林業	代表取締役	松村幹了
林業経営体	株式会社	渡邊組	代表取締役	渡邊祐哉
林業経営体	有限会社	サンエイ緑化	代表取締役	邊見秀明
代表支援機関	国立研究開発法人	森林研究・整備機構	理事長	浅野透
支援機関	北海道立	総合研究機構	理事長	小高 咲
支援機関	株式会社	フォテク	代表取締役	小玉哲大

5 林業経営体、支援機関、実証事業関係者連関図

十勝モデルにおける実証団体（林業経営体、支援機関、実証事業関係者）の連関図を以下（図2）に示す。道総研林産試験場は、小型植栽機械の開発実証を担当として今年度から参加している。

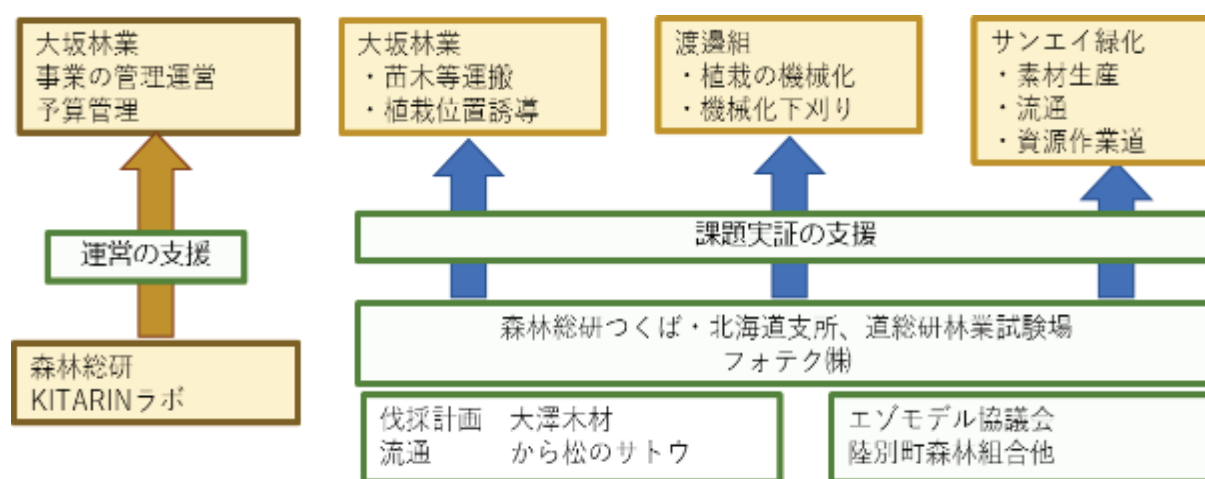


図2 実証事業関係団体

6 実証事業の内容

1) 実施場所

図3に示されている通り、北海道十勝管内における幕別町忠類、大樹町、足寄町芽登、陸別町の4か所を実証拠点として選定し、これらの地域で生産計画の策定、伐採および木材の流通、再造林保育に関する一連の実証試験を実施した。さらに、北海道内の他市町—釧路市、札幌市、美瑛市、旭川市、下川町—および茨城県つくば市等からも支援協力を得る形で、北欧の最新技術の導入を図りながら、十勝地方の地域固有の条件を活かした林業技術の開発と持続可能な林業経営の推進に焦点を当てた。将来的には、この地域で得られた知見と成功例を他の地域にも広げることを目指している。これにより、地域に根差した林業の発展と、幅広い地域への持続可能な林業技術の普及を図っている。



図3 実証事業の実施拠点

2) 事業区分毎の計画内容

① 生産計画

本課題では、LiDAR 搭載 UAV 等を活用した、資源管理・路網開設の省力化に関する「新しい技術」として、以下のような内容の実証を行う。

- (1)標準地調査によって実施している伐採予定林分材積の推定法を、光学カメラを搭載した通常型の UAV による調査に置き換えて、精度の改善と省力化を図る。
- (2)LiDAR 搭載 UAV を用いて、伐採予定地の地形を精度よく表現する 3D モデルを作成する。これにより、従来の大縮尺地形図では捉えられなかった詳細を含め、伐採作業計画の策定に役立てる。
- (3)作業道路線計画の策定にこの 3D モデルを使用する可能性はあるが、現段階では伐採作業計画の精度向上に重点を置く。将来的には、地形情報を活用して効率的な計画を策定することを目指す。
- (4)LiDAR 搭載 UAV の飛行により、伐採地の地形や障害となる地物を把握する。これは、作業道開設における現地踏査の代替として役立ち、計画の精度をさらに高める。

② 素材生産・流通

本課題では、主伐事業の収支や安全性向上と、ICT 生産管理の実践、データを活用した効率的流通を実証する。

- (1)大樹町内民有林における主伐事業で、ICTハーベスタとフォワーダを用いた造材とICT機能によるデータ取得を検証する。
- (2)製材工場からの需要情報に基づいた生産管理を実施し、検証する。これには、多様な採材仕様に応じた生産指示ファイルの活用やカラーマーキング機能の利用が含まれ、山側と製材工場間の合意形成を促進する。
- (3)ICTハーベスタの最適採材機能を活用して採材を最適化し、採算性および生産性を向上させる。
- (4)人力による木材チョークと検尺を省略し、カラーマーキングによる仕分け効率化を検証する。

③ 再造林・保育

本課題では、スウェーデン製自動植付機に植栽位置誘導装置を実装して植栽作業を行い、位置精度と作業能率向上効果を検証する。また、昨年度自動植付機および人力により植栽した現場で、誘導装置を実装した乗用刈払機により下刈り作業を実施し、誤伐防止効果を検証する。

- (1) 大樹町及び陸別町に試験地を設定し、植栽位置誘導装置を実装した自動植付機により植栽作業を行い、作業能率を実装前と比較する。
- (2) 植栽列の位置情報を利用して乗用刈払機による下刈り作業を行い、作業精度と誤伐防止効果を検証する。

7. 実証事業の収支改善目標

1) 生産計画

生産計画に係る実証の収支改善目標は以下の通りである。

- ・ 通常型 UAV により収穫調査経費の従来比 1 割削減
- ・ 3D モデル等を使用して作業道計画を作成することで、作業道計画経費を 1 割削減
- ・ LiDAR 搭載 UAV によって 2) 4) を実施することで踏査経費などの作業道開設経費を 1 割削減

2) 素材生産・流通

素材生産・流通に係る実証の収支改善目標は以下の通りである。

- ・ 完全機械化作業システムにより主伐生産性（皆伐型）の従来比 2 割向上
- ・ 人力検知の省略、仕分け効率化による収益性の従来比 1 割向上
- ・ 山側と製材工場間の合意形成、データの精度を担保した上でのデータによる取引を拡大
- ・ 山側のデータを活用し川下側にもメリットのある流通モデルを構築することで、トータルの流通コスト従来比 1 割削減

3) 再造林・保育

再造林・保育に係る実証の収支改善目標は以下の通りである。

- ・ 自動植付機の償却・維持管理を含めた植栽コストで人力植栽作業を下回る。
- ・ 事前の植栽位置マーキングや現場での苗間測尺なしでの植栽を可能とする。
- ・ 乗用下刈機の償却・維持管理を含めた下刈りコストで人力下刈り作業を下回る。
- ・ 植栽位置情報活用により、下刈り時の誤伐率を半減させる。

II 実証事業の実行結果及び課題

1. 令和4年度の実施結果及び課題

1) 生産計画（資源把握・路網作設）

Lidar 搭載 UAV を用いた森林資源の管理と路網開設の省力化に関する研究では、高精度な森林資源量の把握と地表面・伐採列の抽出を目的としている。DJI MATRICE 300 RTK と Zenmuse L1 センサを使用し、大樹町萌和のカラマツ人工林でデータ取得を行った。この技術により、従来1日かかる毎木調査が10分で完了し、処理・解析には1時間程度で済むなど、作業の大幅な時間短縮と効率化が達成された。点群データからは樹木本数や平均樹高などの精度の高い情報を得ることができ、今後はデータ取得の効率化や精度向上、さらには森林資源把握や作業道作設における路網選定の自動化などが課題として挙げられている。また、立木本数を抽出するシステムの開発にも取り組んでおり、汎用的な UAV による空撮画像から対象人工林の立木本数を抽出する技術が開発されている。

2) 素材生産・流通

大樹町のカラマツ人工林で実施された完全機械化 CTL 作業システムの実証では、ハーベスタとフォワーダを用い、StanForD データ規格を活用して山側と製材工場間の情報共有を目指した。このシステムは、作業指示に基づいて特定サイズの材を生産し、生産された材の種類ごとにカラーマーキングを施し、集材時の識別を容易にした。生産データは hpr ファイルで出力され、テキストファイルとして EXCEL で読み込み可能であるが、データの量が多く、即座の現場利用は難しいとされる。新たに開発された Timber base Cloud を用いて、生産データをオンラインで管理し、Google map 上にマッピングすることで、丸太の移動表示や在庫管理を効率化した。さらに、ハーベスタによる生産データを基に無検知で製材工場に直接輸送し、工場の自動選別機でのデータとの比較を通じて、ICT ハーベスタのデータを取引に活用する可能性を検討した。この結果は、データに基づく取引の実現可能性を示唆しているが、撮影や処理の改善、精度向上のための追加検討が必要である。

3) 再造林・保育

北海道陸別町での実証試験では、スウェーデン製の自動植付機、築水キャニコム社の乗用刈払機、イタリア Seppi 社のクラッシャを使用して、再造林作業の機械化システムを構築し、省力化とコスト削減の効果を検証した。さらに、植栽位置誘導装置を用いることで、植栽位置のマーキングや苗間測尺を不要とし、下刈り時の植栽木の位置把握を

可能にした。この誘導装置は、GNSS 測位により作業員を計画植栽位置に誘導し、植栽作業の効率化と精度向上を図ることができた。誘導装置を含めた植栽方法は、伝統的な人力植栽に比べて作業コストを削減できると同時に、植栽位置の精度も向上させることが確認された。この技術は、造林作業の省力化とコスト削減に寄与し、労働力不足に対する有効な解決策となることが期待される結果を得た。

2. 令和5年度の実行結果

1) 協議会、現地検討会等の開催結果

事業の効率的な運営を目指し、専門分野のアドバイザーやオブザーバーを含めた実証団体による全体協議会を3回実施し、課題に応じて不定期に打合せ等を頻繁に行った。これにより、事業に関する意見交換を活発に行い、プロジェクトの進行をスムーズに進めることができた。さらに、事業の周知と地域ネットワークの構築、新しい技術の普及を目的として、現地検討会を2回開催。また、他の事業が開催するシンポジウムや実演会への積極的な参加を通じて、広報活動を展開した。協議会では、専門分野の大学教員2名をアドバイザーとして選任し、進捗状況や進め方についてのアドバイスを得る体制を整えた。さらに、関連する行政担当者、機械メーカー、ICT技術者等のオブザーバーに参加いただき、外部からの意見や新しい技術情報を積極的に取り入れることができた。

①アドバイザーの選任

本事業について専門的な立場からのアドバイスを頂くため、有識者等からなる2名のアドバイザーを選任した。

委員名	所 属
今富裕樹	東京農業大学地域環境科学部
尾張敏章	東京大学大学院農学生命科学研究科附属北海道演習林

②現地見学会

日時：2023年5月31日、6月1日 9:00～15:00（来場者は時間内に自由に来場）

場所：大樹町蒨和の一般民有林

内容：造林機械の試験風景の見学と質疑応答

- ・海外製植栽機械（Bracke P12.a）
- ・地拵え・下刈り機（クラッシャ、苗木運搬車等）
- ・植栽位置誘導装置（試作段階）

③第1回協議会

日時：2023年6月9日 9:30～12:00

場所：Web 会議（ホストは大坂林業@忠類）

参加：対面 4 名、Web35 名（アドバイザー2 名、林野庁経営課、評価委員など 7 名など）

内容：事業の効率的な推進を図るため、昨年度の実施内容と各課題の本年度実行計画について全員で共有した。

④第 2 回協議会と現地検討会（図 4）

日時：2023 年 8 月 10 日 9:00～15:30

場所：忠類コミュニティセンター（幕別町忠類総合支所）

大樹町民有林(71 林班 14 小班)

○ 第 2 回協議会（忠類コミュニティセンター） 9:30～10:15

(1)参加：33 名（経営モデル参画者およびオブザーバー）

(2)内容：事業の中間報告として、達成状況と今後の予定について全員で共有した。

○ 現地検討会・室内セッション 10:30～12:00

(1)場所：陸別町止若内(渡邊山林)

(2)内容：「十勝モデル」の説明と質疑応答

- ・新しい林業「十勝モデル」の全体像について（大坂林業 松村幹了）
- ・ドローンを利用する生産計画・管理の最新情報（大澤木材 野上一平）
- ・ハーベスタデータの活用方法（森林総研 中澤昌彦）
- ・データの工場への受け入れについて（道総研 対馬俊之）
- ・再造林に関する取り組み（森林総研 山田健）
- ・将来の展望（サンエイ緑化 邊見秀明）

○ 現地検討会・現場見学会 13:30～15:30

- ・LiDAR 搭載 UAV による伐採前地 形把握等の紹介
- ・ハーベスタ 3 機種による造材データの活用方法と立木伐採の実演
- ・クラッシャによる地拵え、下刈りの説明

⑤製材工場見学会と第 3 回協議会

○ 製材工場見学会 10:30～12:00

(1)日時：2024 年 2 月 15 日 13:00～15:00

～新しい林業・経営モデル構築事業～

北欧をモデルにした北海道 十勝型機械化林業経営

林業は今、不確定な需要や人手の不足、再造林の困難さといった厳しい課題に直面しています。しかし、ICTやAIなど新技術の導入により、これらの課題を解決する道筋が見え始めています。

この検討会では、林業庁「新しい林業経営モデル構築」で実施中の「北欧をモデルにした北海道十勝型機械化林業経営」と銘打っている新技術や実証結果を紹介します。ICT技術を取り入れたハーベスタによる伐採から運搬までをスムーズにする稼働、そしてドローンやクラッシャの活用方法など、持続的経営経営の一環の技を紹介します。

持続可能な林業の未来を模る一歩として、ぜひご参加ください。

令和5年8月10日（木） 10:30～15:30

事前申込
の日のみ
無料

●10:30～12:00 室内セッション：忠類コミュニティセンター（幕別町忠類総合支所）
●13:30～15:30 見学会：大樹町民有林(71林班14小班)

【室内セッション】 10:30～12:00

- ・新しい林業「十勝モデル」の全体像について（大坂林業 松村幹了）
- ・ドローンを利用する生産計画・管理の最新情報（大澤木材 野上一平）
- ・ハーベスタデータの活用方法（森林総研 中澤昌彦）
- ・データの工場への受け入れについて（道総研 対馬俊之）
- ・再造林に関する取り組み（森林総研 山田健）
- ・将来の展望（サンエイ緑化 邊見秀明）

【現地見学会】 13:30～15:30

- ・LiDAR搭載UAVによる伐採前地把握等の紹介
- ・3機種ハーベスタによる造材データの活用方法と立木伐採の実演
- ・クラッシャによる地拵え、下刈りの説明

十勝「北欧をモデルにした北海道」十勝型機械化林業経営 実行グループ
共催 十勝総合振興局等共催

図 4 現地検討会の案内チラシ

(2)場所：から松の(株)サトウ本社工場

(3)参加：8名（十勝モデル参画者、東京大学北海道演習林）

○ 第3回協議会

日時：2024年2月16日 9:00～12:00

場所：ホテルグランテラス帯広（Web会議併用）

参加：対面21名、Web14名

内容：本年度に実施した事業の各課題の報告と次年度に向けた方向性の検討

⑥研究発表会等への参加

○ 「産総研北海道センターシンポジウム in 札幌 2023（2024年1月23日、ホテルライフォート札幌）」に参加し、以下のポスター発表を実施

- ・佐々木尚三：「スマート林業の実践とビジョン：十勝モデルプロジェクトと森林デジタルツインによる新しい林業」

⑦雑誌・新聞記事等

○雑誌掲載

- ・対馬俊之「北欧をモデルにした北海道十勝型機械化林業経営」山づくり令和5年度／十勝地域版

⑧学会活動等

- ・山田健、佐々木達也、古家直行、小玉哲大、対馬俊之、渡辺一郎、渡邊祐哉、邊見秀明：自動植付機への植栽位置誘導装置の実装、森林利用学会学術研究発表会講演要旨集、30：12（2023.11）
- ・渡辺一郎、小玉哲大、佐々木達也、古家直行、山田健、渡邊祐哉：位置誘導装置を用いた乗用型刈払い機（山もっとモット）の下刈り作業、第135回日本森林学会（2024.3）で発表予定
- ・佐々木達也、古家直行、渡辺一郎、山田健、小玉哲大、渡邊祐哉：GNSSを利用した苗木の植付け位置への誘導精度、第135回日本森林学会（2024.3）で発表予定

2）令和5年度の実行結果（経過）及び取組の評価と課題

①森林資源把握・路網作設

（1-1）森林資源把握及び路網作設における計画・目標

本事業では前年度同様に Lidar 搭載 UAV を用いて森林資源把握及び地表面・伐列を抽出し路網作設を行い、人による踏査作業を減らし安全かつ効率的に処理・解析の精度及びソフトの検証をすることで業務の省略化を図ること、森林価値の見える化を目的とし実証した。

（1-2）UAV 搭載 LiDAR の森林調査の利点

LiDAR 搭載 UAV の最大の利点は、高い精度と効率性である。森林の構造や生物多様性の評価、地形の計測などさまざまな森林調査に応用されている。特に 3 次元の樹木構造や LiDAR の特性を生かし地形を正確に把握することで林分の密度や高さ、体積などを推定することが可能となる。

使用機材については、UAV: DJI MATRICE 300 RTK、センサ: DJI Zenmuse L1 (Lidar 搭載カメラ)、処理ソフト: DJI Terra、解析ソフト: SCAN X(ローカスブルー株式会社)、QGIS、等である。

データの取得については、サンエイ緑化所有山林約 4ha を上記機体により点群取得し解析した。フライトに関しては調査林分より広範囲 (8ha) を対象とし所要時間 20 分程度で完了した (対地高度 120m: オーバーラップサイドラップともに 75%)。フライトは操縦者 1 名、補助者 1 名の計 2 名で行い、実際に毎木調査を行うには 2 名で 1 日掛かるところを、15 分のフライトで省略化が出来た。

点群処理及び DEM の生成は DJI Terra にて作成、点群は LAS 形式、DEM は tiff 形式でファイル出力を行い解析ソフト及び QGIS へ取り込んだ。

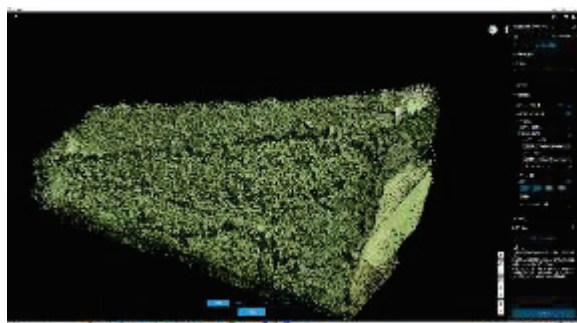


図 5 R4 年度伐採地の 3D 画像



図 6 R5 年度伐採地の 3D 画像

解析作業は SCAN X にデータを取り込み、分類作業、フィルタリングし解析機能を使用し地表面の抽出、等高線の出力、樹木の分類、樹頂点の抽出、樹高、樹冠面積の把握などを行った。

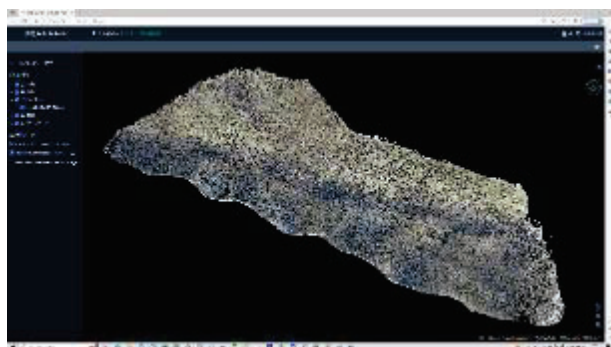


図 7 作業画面

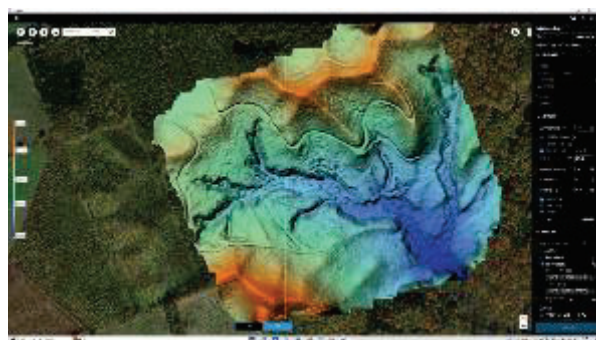


図 8 地表面

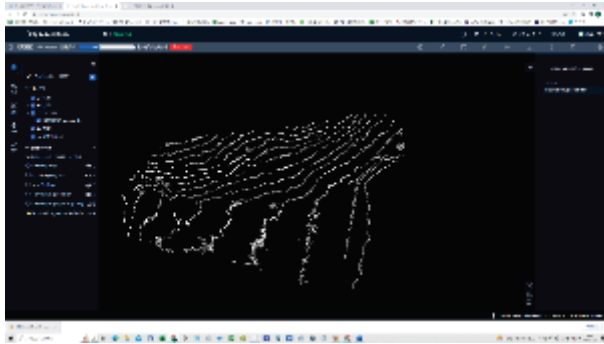


図9 等高線（3m）

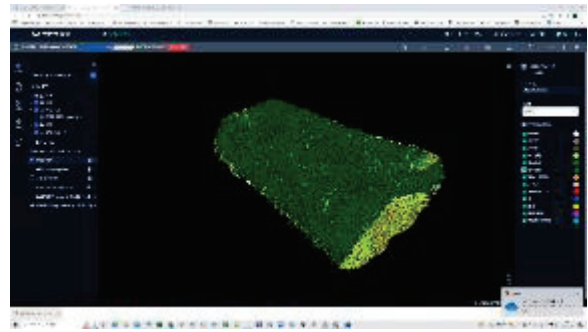


図10 分類

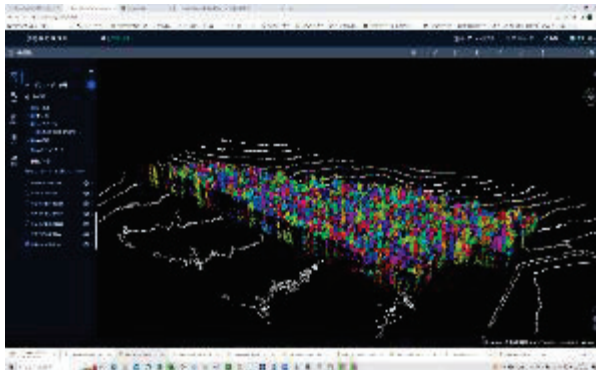


図11 樹木解析

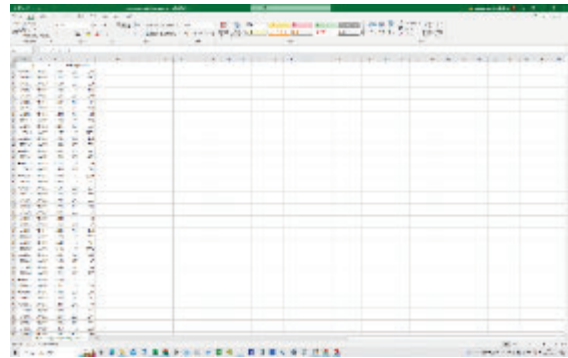


図12 樹木解析後データ

(1-3) 森林資源把握

森林資源の正確な把握は、持続可能な森林管理の基盤であり LiDAR 搭載 UAV を用いることで、森林のおおよその構造や、密度、樹高などの情報を高解像度で得られる。

今回の対象林分はグラウンドトゥルースの現地調査を 1.2ha 程度に絞り 2 名で計測した。樹木本数は現地調査が 142 本に対し SCANX の解析機能は 144 本であり誤差 98% であった。平均樹高は森林簿が 24m に対し SCANX の解析機能は 25.298m であり誤差 5.4% であった。

併せて出材数量の簡易な予測手法を検討した。従来の標準値プロット×面積ではなく、UAV で得られた本数× m^3 廻り（立木丸太材積）で行ったところ 144 m^3 の出材が予測され、伐採後の結果として 142 m^3 の出材結果（ハーベスタ出力データ）が得られた。 m^3 廻りの推定方法は、地域や樹種が限定された場合、経験者の目視により比較的精度高く値を決定できる。さらに、ドローンによって樹高の値が得られることで、その精度は高まる。ただし、今後は地域ごとにデータを蓄積し、樹高から材積を求める式を確立することが必要である。この手法により、適切に m^3 廻りが判断できれば、簡易で迅速な出材予測に必要な情報を LiDAR 搭載 UAV から得られることがわかった。現状では現地踏査に依存している情報を UAV で取得しコンピュータ上で処理・解析することで、現地踏査を大幅に縮減できる可能性がある。

(1-4) 路網作設

地表面のデータから傾斜や等高線を出力できることから、机上での新設路網等の検討に応用できる可能性がある。地表面データから作成した CS 立体図には現在の作業道だけではなく過去の集材路も表現されている。LiDAR から得た伐採樹木の位置と既設路網を GIS 上で重ねあわせ表示することにより、CS 立体図での地形判読の知識と現場での施工力があれば、新設路網の検討は十分に実現できると思われる。



図 13 CS 立体図上に樹木位置を表示



図 14 新設路網の提案

路網作設においては施業形態や森林の種類（保安林等）により法律や規則に沿って計画を立てなければならないが、そのうえで「丈夫で簡易な道」を提案することが必要である。路網は現場作業の効率化に直結するものであり、道を開設できない箇所の把握、既設路網の把握など、LiDAR 搭載 UAV からの情報は極めて有用である。

(1-5) 今後の課題

伐採、地拵え、造林などの作業を担う事業体毎のニーズを再確認し、それに合わせた形で一元データ利用を念頭に実証を行う。併せてデータ取得の効率化や精度を求めたフライトミッションの設定の検証、解析ソフト毎のデータ解析方法の把握、森林簿作成のためのデータの精度などが課題である。

更に本事業では、素材生産業者、製材工場との連携が可能なため、今後は資源および地形データを素材生産現場でリアルタイム活用、その後の地拵え・造林作業でも地形データ共有、というデータ循環サイクルの構築が重要である。

(1-6) 来年度の実証

令和 6 年度の実証では、森林資源把握において本数× m^3 廻りの確からしさを従来の標準地調査やハーベスタデータと比較する。立木材積（単材積）については横方向からのフライトでデータを取得し DBH を試験的に計測する。路網作設では CS 立体図を参考に机上で作業計画を立案、それらのデータと現在位置を表示できる重機による実作業を試みる。造林分野において林内地形（傾斜方向や除地）を反映した植栽計画立案を検討する。

②素材生産・流通

(2-1) 造材データの共有可能な完全機械化 CTL 作業システム

ハーベスタとフォワーダによる完全機械化 CTL (Cut to Length : 短幹材集材) 作業システムの実証を大樹町 71 林班 14 小班、カラマツ人工林で行った。前年度に続き、StanForD (Standard for Forest machine Data communication) を山側と製材工場間でやりとりする情報の核として利用する。StanForD とは、Skogforsk (スウェーデン森林研究所) が開発し普及したものであり、生産管理する者と現場の林業機械との間でやり取りする情報の記述形式を定めたデータ規格として世界標準となってきた。StanForD では、hpr と呼ばれる生産報告ファイルが出力でき生産管理が可能である。hpr には、ベースマシンや作業機、作業現場等の情報の他に、伐採木ごとの情報である Stem および丸太ごとの情報である Log ファイルが内在されている。

ICT や GNSS 等の機能を備え StanForD に完全準拠したハーベスタおよびフォワーダは日本への導入台数がごくわずかであるため、十勝地域での技術普及を考えると、一般に普及しているハーベスタを利用していくことが望ましい。しかし、普及機では StanForD のシステムに則ったファイルの入出力は可能であるものの、位置情報等の付加はされておらず、外との通信も不可である。そこで 2022 年度は、完全機械化 CTL 作業システムにおいて、普及機での IT 化を図るべく、ハーベスタに GNSS を外装し、ハーベスタの移動経路を示すとともに、Stem の時間情報から Log に時間情報と絶対座標を付与し、生産した丸太を Google map 上にマッピングするアプリケーション Timber base Cloud を開発した。また、hpr を解読することにより、一日ごとの生産量と作業時間を取りまとめ、生産性を評価できることを明らかにした。

2023 年度は、日立建機社製建設機械に Waratah 社製 H414 ヘッドを装着したハーベスタとイワフジ社製 U-6C (7.2t 積み) フォワーダを用いた。ハーベスタには、Technion 社製 xLogger の制御システムが搭載されている。ハーベスタには、pin と呼ばれる作業指示ファイルがまずインストールされ、バリュースバッキング、カラーマーキング、リミテーションの機能を使用して、価値が最大化されるよう材の仕分けや生産量が調整される。この他 PONSSE 社製 H6 ヘッドと KETO 社製 K-150 Eco Pro ヘッドを搭載したハーベスタも現地に導入した。フォワーダにはグラップルローダが搭載されていないため、積み込み・積み下ろしの荷役作業には別途グラップル (バケット容量 0.5m³ クラス) を使用した。

作業指示については、通直な一般材 (LogA) 3.65m、3m、やや曲がりを含む合板用材 (LogB) 1.9m、パルプ材 (LogC) 2.4m の 4 種類を採材することとし、3.65m 材は生産量 45m³ でリミテーションをかけた。カラーマーキングは赤→青→赤の順になるようセットした。

ハーベスタで伐木・造材し、カラーマーキングされた材をフォワーダで集材した結果、集材材積 83.9m^3 、作業時間 32,336 秒（休み時間、検知時間等を除く）、集材回数 12 回、集材距離平均 $436\pm 71\text{m}$ （320～552m）であり、集材速度は $9.3\text{m}^3/\text{時}$ であった。hpr を解析した結果は、遅延時間を含む伐木・造材速度が $9.5\text{m}^3/\text{時}$ であった。1 日あたり実働 6 時間、作業速度が集材＜伐木造材の並列作業として、CTL システムの労働生産性を予測した結果、 $28.0\text{m}^3/\text{人日}$ と予測された。また、集材材積は手検知による末口二乗法で求めたが、重量検収の可能性を検討するため、車重計を用いて集材 1 回ごとに空荷荷重および積載荷重を計測し、積載比重（積載質量／積載材積）を求めた（図 15）。積載比重は、平均 0.86 ± 0.04 （ $0.81\sim 0.92$ ） t/m^3 となった。さらに、伐採木 1 本ごとに、全質量、樹高、胸高直径および採材した採材できた丸太の材積と質量等を計測した結果、末方向に番玉が増えるにつれて増加傾向にあるものの、丸太ごとでは平均 0.89 ± 0.16 （ $0.68\sim 1.37$ ） t/m^3 、立木ごとでは平均 0.82 ± 0.02 （ $0.78\sim 0.87$ ） t/m^3 となり、フォワーダの積載比重とほぼ同程度であった（図 16）。したがって、フォワーダやトラック等の積載質量からおおむね誤差 5% 未満で積載材積を予測することができ、生産量の重量検収の可能性をあることを明らかにした。なお、同時にカラマツの重心位置を求めた結果、根元から樹高との高さ割合で 0.28 であり、スギの 0.38（瀧・中澤ら 2019）に比べ低く伐倒し難い樹種であること、伐採木の全質量に対して採材した丸太の幹質量割合が 0.72 であり、伐採木全質量の約 1/4 が林地残材となっていることも明らかにした。

昨年度開発した Timber base Cloud について、地図の重ね合わせ機能、材のソート機能、各社 hpr のインポート機能を追加し、現場での使い勝手が向上するようバージョンアップを行った（図 17）。課題 1 生産計画で作成できる空撮画像、微地形表現図、立木位置図等の GeoTIFF（Tagged Image File Format ファイルにジオリファレンス情報が埋め込まれたパブリックドメインの標準規格メタデータ）をマッピングされた丸太に重ね合わせることができる。

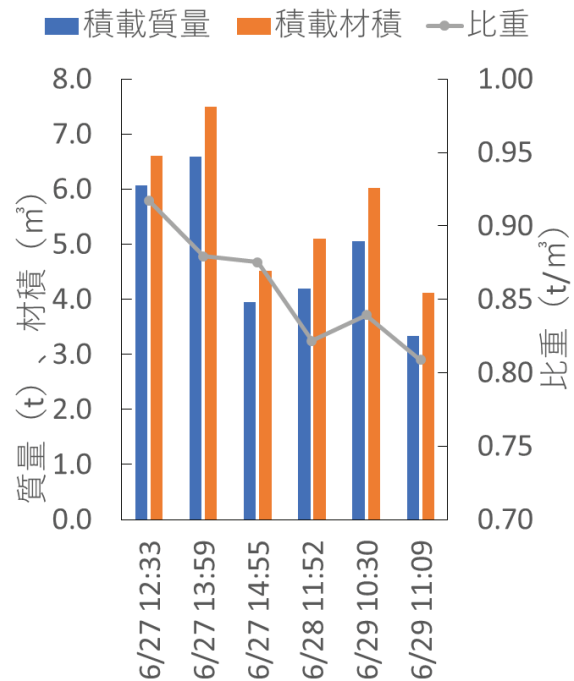


図 15 フォワーダの積載比重

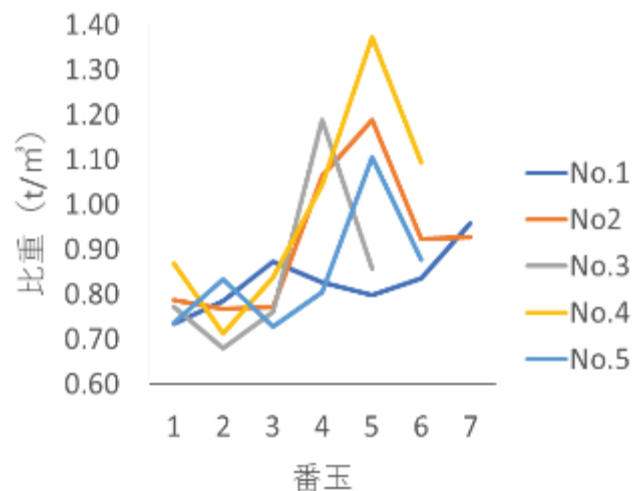


図 16 立木 1 本ごとの丸太比重

今後の課題として、各社ハーベスタデータを含む hpr データの蓄積、ばらつき（季節・立地・樹齢等）を明らかにするための比重データの蓄積、Timber base Cloud におけるハーベスタの作業支援もできるような丸太・経路のリアルタイムマッピング、タブレット端末を搭載してのフォワーダ集材の実作業での検証、林地残材の定量化とマッピングによるバイオマス収穫の可能性の検証等があげられる。

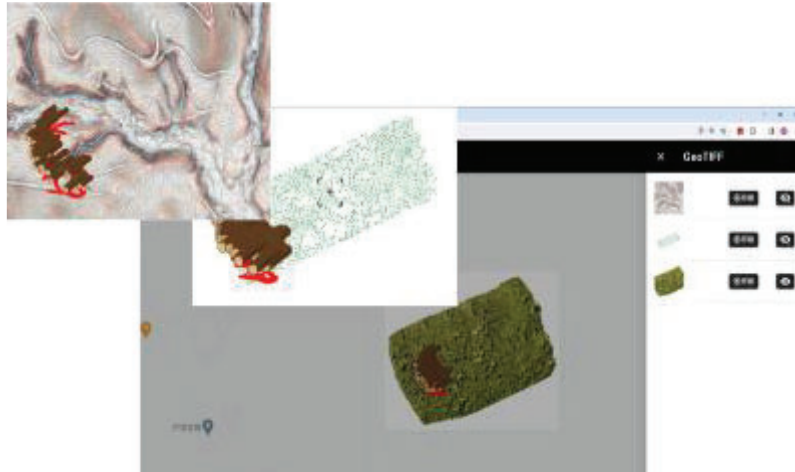


図 17 Timber base Cloud のバージョンアップ例
(地図の重ね合わせ機能)

(2-2) 機械検知材の生産と工場受け入れ

ハーベスタ生産データを素材流通の取引において活用するため、ICT ハーベスタにより生産された一定量の材を製材工場に輸送し、自動選木機で直径階別の本数、材積を求め、ハーベスタの生産データから把握した数量と比較した。また、普及している通常のハーベスタについて同様の比較を行った。

前項（2-1）のカラマツ人工林皆伐地において、前年度と同じ Waratah 社製 H414 ヘッドを装着したハーベスタの生産管理機能を活用した伐採を 2023 年 6 月下旬に実施した。ハーベスタのコンピュータは TECHNION 社の xLogger（バージョン 7.73）であり、生産指示として数量制限（リミテーション機能）をかけ 3.65m の素材（以下、365 材）を 45m³ ×1 セット生産、カラーマーキング機能（専用の水性塗料使用）により末口に赤に色付けし、山土場で他の材と混ざらないようにはい積みした。ハーベスタは末口径を 0.1cm 単位、材長を 1cm 単位で測定し、エクセル形式で出力されたものから、径級階別に末口二乗法により材積を計算した。なお、樹皮の厚さとして末口径 20cm 以上は 20mm、20cm 未満は 10mm を差し引くドイツ式の設定を xLogger 上で行った（バークファンクション）。

2023 年は木材取引の動きが悪く、製材工場への搬入は 9 月下旬にずれ込んだ。協同組合フォレスト十勝（足寄町芽登）の自動選木機に投入し、末口径を赤外線センサ（2 個、90 度の角度で設置、ILC-600 型）により 0.1cm 単位で、材長をコンベアーに設置されたレーザー距離計により 1cm 単位で測定した。皮の厚さについてはあらかじめ用意されている表（直径階別に値を指定可能）により差し引かれ、径級階別に末口二乗法により材積が計算された。

今年度と前年度の Waratah 社製ハーベスタと自動選木機で計算された材積(表1)は、ほぼ変わらず、十分な精度が確保された。表中の予定欄は、設定した数量制限であり、設定のタイミングによりずれが生じることがあるが、現状の商慣行では全く問題にならない程度である。

表1 ハーベスタと自動選木機から計算された材積 (m³)

予定	Hv (a)	自動選木機(b)	測定差 (a/b)
45	43.578	43.550	100.1%
50	52.005	51.608	100.8%
50	51.406	50.586	101.6%
50	50.174	50.185	100.0%
50	50.133	50.967	98.4%

※ 最上段がR5年度、他はR4年度の結果

普及している通常のハーベスタで生産管理が可能かを検討した。対象機種は北海道に多く導入され実績のある KETO-150 Eco (2023 年納車)、コンピュータは EPEC 社の 4W HERMAN (Ver. 1.052) である。このコンピュータで 2012 年に取られたデータでは Ver. 1.04 と記載があり、基本構造は 10 年以上変わっていないと推察される。キャリブレーションは標準的な伐採木を玉切りし、各丸太の指定の位置の皮なし直径を林尺などで測定し入力して較正していく(図 18)。コンピュータに皮厚補正の項目はなく、カラーマーキング機能もない。伐採地(作業エリア)ごとに材積は積算され、一端作業エリアを閉じると、材の追加はできずチェーンソーでの切断はできない(図 19)。伐採地の本数、材積等のデータを厳密に管理する仕組みがとられている。

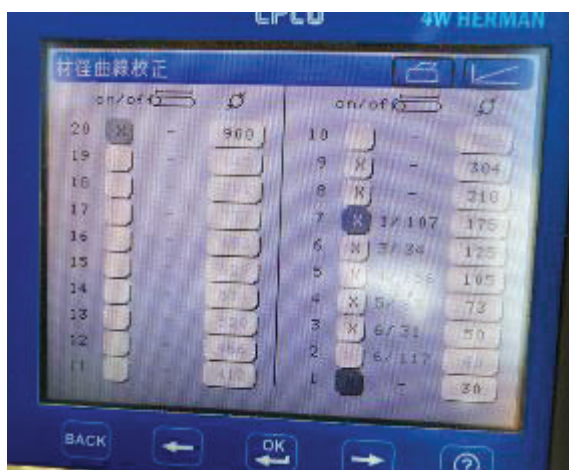


図 18 キャリブレーション画面



図 19 作業エリアを閉じると伐採制限

この普及型のハーベスタには丸太1本1本の材径、材長を記録し出力する機能はない。しかし、100 本分の丸太データを手動で出力する機能(ピースプリントアウト、常時上

書き) をもっており、簡易的なデータ出力は可能である。ここではハーベスタで 365 材が 21m³ と表示された時点までピースプリントアウトを繰り返し、それらの丸太を隔離して巻き立て、自動選木機に投入し材積(末口二乗法)を比較した(表 2)。ハーベスタの表示材積に対し、ピースプリントアウトで出力した材積、さらに自動選木機で測定した材積には大差がなく、ICT ハーベスタの例と比較しても、ほぼ同じ精度で測定がなされていた。適切なキャリブレーションの実施により、通常のハーベスタでも ICT ハーベスタと同様な測定精度が確保される可能性がある。

表 2 通常のハーベスタと自動選木機から計算された材積 (m³)

Hv表示	Hv (a)	自動選木機(b)	測定差 (a/b)
21.320	21.377	21.170	101.0%

*ハーベスタ：ピースプリントアウトで得た末口径を径級に換算、材積を計算。

*自動選木機：フォレスト+勝

ICT ハーベスタを活用するには、数量制限(リミテーション)や、バリューバックングのための価格マトリックスの入力など、作業指示を適切に行う必要がある。StanForD という共通規格があるものの作業指示ファイル(APT、pin)の互換性は完全ではなく、機種ごとに独立した指示が必要となる。これを適切に行えるようオペレータや事業者が技術を習得するには、機械メーカーによる情報提供だけでなく、なんらかの教育機関やサービス提供組織が必要になると考えられる。

(2-3) 製材工場での聞き取り調査

製材工場において寸面(末口に径級を表記したもの)を持たない材が受け入れられるか、どのような対策が必要になるか聞き取り調査を行った。

十勝管内には民間及び森林組合系統合わせて 24 の製材工場があるが、事業所、系列工場を整理すると事業者としては 14 である。そのうち 11 事業者とチップ工場 1 者において調査を行った。調査をおこなった社及び組合のうち、素材生産及び素材商材(他社への販売)を行う者は 6 であった。

11 者の内、原木の仕分け装置を持つのは 2 工場のみで、この 2 工場においても原木仕分け機に原木が乗るのは製材の 3 日から 1 週間前である。すべての製材工場トラック伝票を基に仕入れ伝票が作成され、着検も伝票記載の径級ごとの本数を確認する程度である。現状、どこの工場も人手不足であり、厳密に径級を測るような検査は行われていない。目視でおかしいと判断したものを計測し、修正を求める事が行われている。したがって仕入れの段階で寸面を廃する事に難色を示された。大型工場ほど、冬場の仕入れ時期は納入のトラックが重なり、荷下ろしだけで精いっぱい状況になり細かな確認はできない。

仕入れ後の管理は工場によりまちまちであるが、各工場の基準によって仕分けがなされ保管される。この仕分けでも寸面を参考に行われている。この保管期間中に棚卸の対象になることが多く、その際には寸面が確認され、消えていた場合は再記入される。

製材前におおまかに仕分けされていた桤から材が皮むき機に運搬され、剥皮後径級毎により詳細に仕分けられる。

選木機を有する大型工場では生産する製品ごとに使用する原木の径級・長級が定められており、歩留まりの経験則から何本投入するかも計画化され、分刻みで本数管理された原木が運搬される。製材時に画像解析によって木取りが決定され生産管理が行われるが（図 20、から松のサトウ）、その前の過程では寸面で確認がされている。他の工場は生産計画に基づき皮むき後に選別された原木が投入されるが、木取り等は人の経験による。そのため、測定機器は備えておらず、投入された原木は製材機のハンドルマンが様式に径級毎の本数を記入する事によって管理されている（図 21）。この時見るのは寸面であり、無ければ計測する。製材工場における寸面利用の終点である。



図 20 コンピュータ制御による生産システム



図 21 小規模工場での挽き立て数量の管理

選木機を持つ大型工場は取扱量が多いことから、人力検知でも誤差が発生していることから信用ある取引関係の下でデータによる取引を受け入れる意向はある。

近年新しく設備を更新し、電子データ化に対応した工場も同様である。しかし、寸面を見る作業はあるので、最初の仕分け時などで現状より荒くなる可能性はある。現状で寸面が廃されれば、多くの製材工場は自社で検寸を行い、記入することになる。これは作業の移転に過ぎず、原木単価の切り下げが考えられる。

製材工場側から出た懸念は以下のとおりである。

（寸面廃止の問題）

- ① ハーベスタによる径級計測が人力検知によるものと同じになるのか。末口端の最小径と同様であると言えるのか。
- ② 精度は維持されるのか。監査する仕組みが必要。
- ③ その場で確認できないので、不要な材を返す仕組みが必要。
- ④ 製材工場側で対応するために投資が必要であるが、支援はあるのか。
- ⑤ 全体がこのシステムに移行するのか。

（車毎の伝票が無いことの問題）

- ① 月をまたぐ入荷の場合、月締めを行うのが困難。
- ② 現場と販売先は必ずしも 1 対 1 ではないので、運材上で間違いが発生しても分から

ない。

チップ工場についてはこれまで層積での取引であったのが、ICT ハーベスタデータの活用で実材積に変えることができるという点で利点があると考えられた。

自社で素材生産事業を行う者についても、現状自社内でこのような取り組みはされていなかった。ハーベスタヘッドが測定する材積は、人力測定の 70%程度しか出てこないという話もあり、機能が十分活用されていない状況にあると推測される。

製材原木で寸面を持たない材の取引は国有林のシステム販売材に限定されるようである。この時は国有林の作成した伝票の数字が使用され、運送管理の面でも問題はないと考えられている。

③再造林・保育

北海道陸別町の(株)渡邊組に昨年導入されたスウェーデン製自動植付機(Bracke P12.a)、乗用刈払機(筑水キャニコム 山もっとモット)、森林総研が保有するクラッシャ(Seppi MINI-BMS125)により、再造林作業の機械化システムを構築し、実証調査を行っている。今年度は、陸別町と大樹町に試験地を設定し(図 22)、植栽位置誘導装置を装着した自動植付機で植栽作業の実証試験、道総研林産試験場が開発している小型植栽機で植栽試験を行った。

(1-1)実証試験地

- 1) 陸別町止若内に所在する渡邊組社有林のうち、昨年度地拵えと植栽の実証試験を行った試験地に隣接するカラマツ伐採跡地に新たに 0.4ha の試験地(S 区)を設定した。事前にグラップルで末木枝条を取除く地拵えを行った後に、植栽位置誘導装置を実装した自動植付機による植栽作業を行った。現地は尾根上のほぼ傾斜のない平坦地で、長方形の試験地の長手方向に植栽列を設定した。
- 2) 大樹町萌和に所在するサンエイ緑化社有林の昨年度素材生産実証試験跡地において試験地を設定した。面積 3.8ha の伐跡地の一角に 0.33、0.39、0.35ha の 3 区画(A-1、A-2、A-3 区、図 23)を設けてそれぞれ伐根全数切削を伴うクラッシャ地拵え、通常のクラッシャ地拵え、グラップルレーキ地拵えを行った後、植栽位置誘導装置を実装した自動植付機による植栽作業を行った。現地は平均傾斜約 8 度の緩傾斜地で、傾斜方向に植栽列を設定した。
- 3) 同試験地に地拵え後に植栽位置誘導装置を実装した自動植付機による植栽作業を行うこととした。
- 4) 1)で述べた陸別町止若内に所在する渡邊組社有林の、昨年度地拵えと植栽の実証試験を行った試験地 4 区画を、そのまま乗用刈払機による伐根切削・下刈り試験地とした(図 24)。



図 22 試験地位置図



図 23 大樹町萌和試験地地帯

○植栽位置誘導装置の概要

昨年度、機械植栽の対照として人力植栽を行う際に使用した植栽位置誘導装置を自動植付機用に改良し、実装した。車体に2つ、作業機の苗木落下点上に1つ設置したGNSS受信機の測位データにより車両の位置と向いている方向、作業位置をリアルタイムに算出し、それを運転席のディスプレイ上に予め入力した計画植栽列と重ねて表示して、計画植栽位置と作業位置が一致するようにオペレータが操作しながら植栽するというものである。操作の精度や地表障害物の回避などにより計画位置に正確に植栽できるとは限らないので、植栽と同時に自動的に実際の植栽位置を記録し、この位置情報を事後の下刈りの際に誤伐防止に活用する。乗用刈払機に適用する場合には、

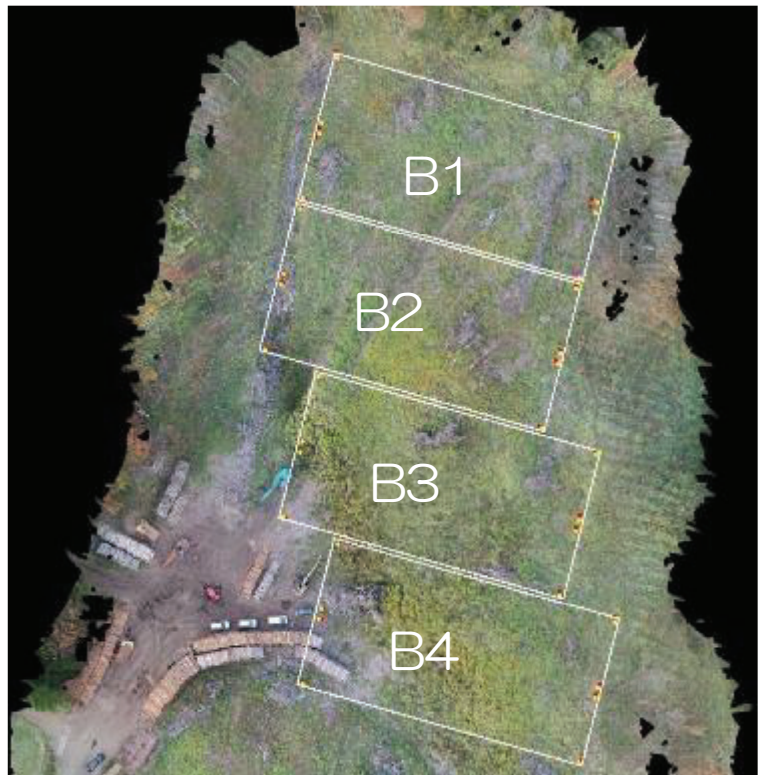


図 24 陸別町止若内の実証試験地

B1～B4まで4つの試験区を設定した。試験区面積はB1～B3が 0.2ha、B4のみ作業土場と重なったため 0.17ha と狭くなっている。

ディスプレイに表示された植栽列とリアルタイムで表示される自車を見ながら、植栽列間を走行して伐根切削・下刈りを実施する。現場実装の容易化を考慮して、GNSS 測位方式は補正用の基準局や別途の補正情報の受信が不要な QZSS 衛星を利用した CLAS 方式とした。

5) 幕別町忠類の大坂林業所有の苗畑において小型植栽機（図 25）による植栽試験を行った。装置は移動のための台車に電動スライドを装備し、スライドの上に穿孔ユニットと植栽ユニ

ットを取り付けた構造をしている。穿孔ユニットと植栽ユニットはそれぞれ独立して上下動できる。

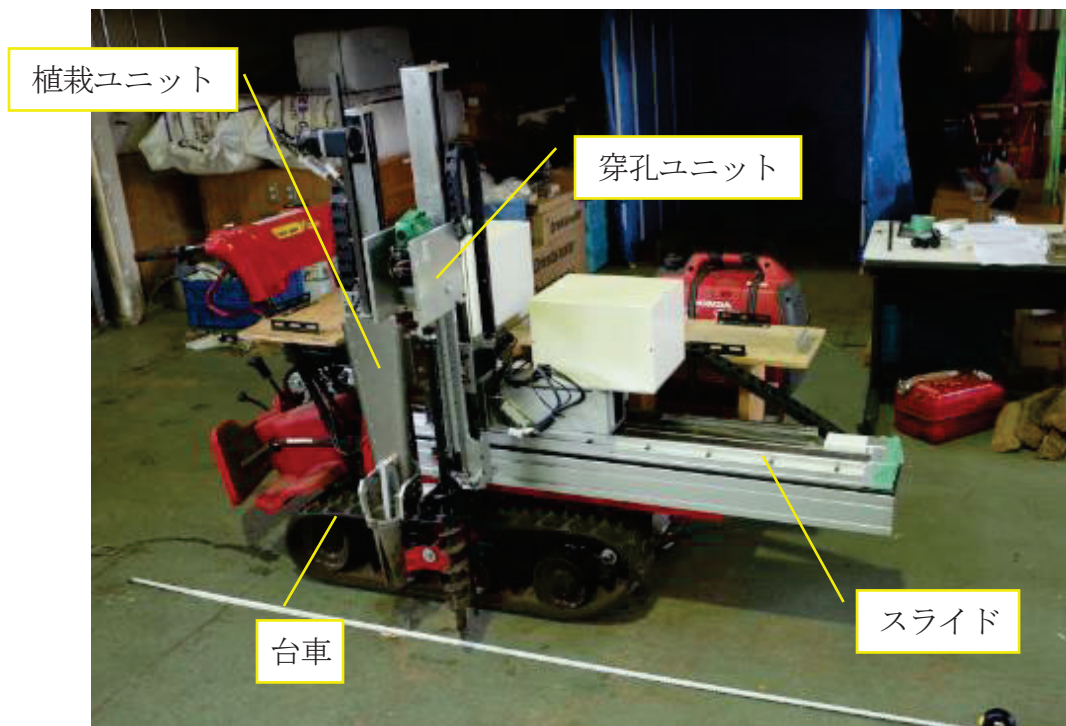


図 25 供試した小型植栽機

(1-2)試験方法

- 1) 陸別町止若内の S 区では、事前にグラップルで末木枝条を取除く地拵えを行った後に、2023 年 5 月 16-17 日に植栽位置誘導装置を実装した自動植付機による植栽作業を行った。
- 2) 大樹町萌和では、2023 年 5 月 23-25 日に以下のような地拵えを行った。A-1 区では、クラッシャにより末木枝条・前生植生を破碎するとともに、全伐根を概ね高さ 5cm まで切削した。昨年度実証試験における伐根全切削区では末木枝条が除去されていて、これまで伐根全数切削と末木枝条の破碎を両立した地拵えを行ったことがなく、その作業工程を知る必要があったためである。A-2 区では伐根切削を伴わない末木枝条・前生植生の破碎のみの通常クラッシャ地拵え、A-3 区ではグラップルレーキによる末木枝条の区画外への除去作業を行った。
- 3) これら 3 区の地拵え跡地に、2023 年 5 月 30 日-6 月 2 日に植栽位置誘導装置を実装した自動植付機で植栽作業を行った。昨年度の自動植付機植栽試験により、要素作業のうち苗木補給工程に改善の余地があると考えられたので、植栽作業時には次の苗木補給地点を予測してそこに電動一輪車に乗せた苗木を待機させ、自動植付機に搭載した苗木を植え終わると速やかに苗木を運搬・補給するという体制をとった。
- 4) 植栽位置誘導装置を装着した乗用刈払機により、陸別町止若内の B2 区では 2022 年 10 月に植栽前列間伐根切削作業を刈払い作業と同時に、また B3 区では 2023 年 6 月 28 日に、B4 区では同年 8 月 22 日に植栽後列間伐根切削作業を下刈り作業と同時に行った。
- 5) 陸別町止若内の B1～B4 試験地では、2023 年 6 月 27-30 日と 8 月 21-24 日の 2 回、植栽位置誘導装置を装着した乗用刈払機で下刈り作業を実施した。誘導装置に記録された植栽列情報にもとづいて列間刈りを行い、その後人力刈払機で苗間補正刈り(仕上刈り)を行った。B3、B4 区には伐根が残っているので、4)に記載したように下刈りと同時に列間伐根切削を行

った。比較のため、全面人力下刈りも実施した。表3に、試験区ごとの地拵え・下刈りの作業スケジュールをまとめた。

表3 実証試験区の作業日程と作業概要

年 月	作業種	使用機械	B 1		B 2	B 3	B 4
2022 年 10/31～11/1	地拵え	クラッシャ	伐根破碎(全面)				
		山もっとモット			伐根破碎(列間)		
2023 年 6/27～30	下刈り	山もっとモット	列間刈り		列間刈り	伐根破碎(列間)	
		肩掛け式刈払機	仕上刈り	全刈り	仕上刈り	仕上刈り	全刈り
2023 年 8/21～24	下刈り	山もっとモット	列間刈り			列間刈り	伐根破碎(列間)
		肩掛け式刈払機	仕上刈り		全刈り	仕上刈り	仕上刈り

* B 1 区は、2022 年 6 月の下刈り作業を半分の面積に分けて、異なる工程で実施した

いずれの試験地でも、植栽の際は事後の下刈りを乗用刈払機で実施することを想定して、従来と同様列間 2.5m、苗間 2m の 2000 本/ha 植えとし、事前に精密測位した基準点をもとに植栽列を配置した。植栽には、大坂林業で育成されたカラマツ 150cc2 号コンテナ苗を使用した。大樹町萌和 A-1、A-2 区のクラッシャ作業、自動植付機の植栽作業、陸別町止若内での自動植付機での植栽作業、乗用刈払機での伐根切削・下刈り作業及び人力補正刈り作業をビデオ撮影し、映像を時間分析して作業工期を算出した。また、測位記録をもとに計画植栽位置に対する実際の植栽位置の精度の検証を行った。

6) 小型植栽機の試験地は、大坂林業所有の旧苗畑であり、緩傾斜(数度以下)で笹が繁茂しているが、大きな石や伐根は存在しない。トドマツコンテナ苗 300cc を用い、地拵えは草刈り機により人力で笹を刈り払った。植栽位置の指示は GPS ナビゲーションを用いた。植栽間隔は列間 2 m、苗間 2 m とし、1 列 13 本、6 列用意した。

(1-3)結果

1) 陸別町止若内における自動植付機の平均植栽作業工期は 25.1sec/本であった(図 26:陸別 2023)。昨年度の誘導装置なしでのデータと比較すると、ブーム操作の要素作業時間が増大して全体の作業時間が長くなった。植栽時に、地表マーキング方式では作業機と地表を注視し続ければよいのに対し、誘導装置使用時には作業機とディスプレイを交互に見る必要があること、誘導装置の使い始めであるが故のオペレータの不慣れなどが要因となっていると考えられる。

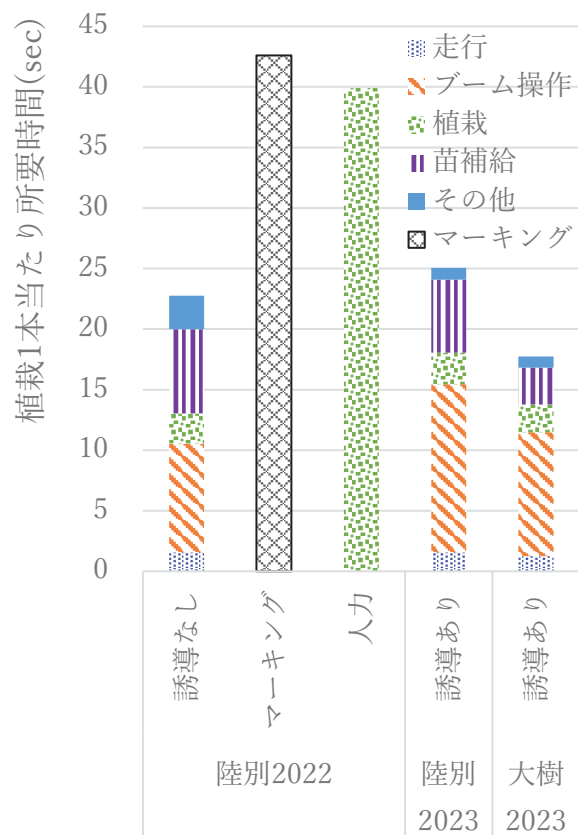


図 26 植栽作業工期

2) 大樹町萌和におけるクラッシャの、伐根全数処理を伴う地拵え作業工程は 33.6h/ha であった(図27)。昨年度、末木枝条除去後の造林地で伐根全数切削を伴うクラッシャ地拵えを行った際に、そのときの伐根処理工程の要素作業時間をそれ以前のクラッシャ地拵えの実績値(下川町)に加算して 32.3h/ha という推定値を提示しているが、それに近い値が得られた。伐根処理を伴わないクラッシャ地拵え作業工程は 19.7h/ha で、これも過去の実績値と同等の値である(図 27)。

3) 大樹町萌和における自動植付機の試験時には、当初誘導装置が不具合を生じたため、正常に稼働した試行のみを作業工程の解析対象とした。A-1 区では不具合下での試行が多く、その後正常に作動するようになって区画ごとの不具合・正常の比率が著しく異なるため、地拵え方法ごと(区画ごと)の比較は行っていない。正常作動時の平均植栽作業工程は 17.8sec/本であった(図 26: 大樹 2023)。オペレータが誘導装置に慣れた時点でもブーム操作時間は地表マーキング方式よりも長くなっているが、苗木補給工程を効率化したことにより、全体の作業工程は昨年度より向上した。また、マーキングや測尺を不要として 1 人作業を可能としたことにより、全体の人工数は大幅に減じることができた(図 26)。

4) 伐根切削作業時間についての要素作業分析結果と作業工程について図 28 に示す。作業工程は、植栽後の 11.8~14.4h/ha に対し、植栽前の方が 20.7h/ha と時間を要した。伐根切削工程は伐根切削数に影響を受けるが、伐根数が植栽前の B2 区よりも植栽後の B3 区、B4 区の方が多いい関わらず、植栽後の工程が高い結果となった。要素作業比率をしてみると、植栽前の方が「刈払い・移動」に多くの時間を割いている傾向がみられ、より効率的な伐根切削姿勢を取るための移動時間が全体の作業工程を押し下げた結果となっ

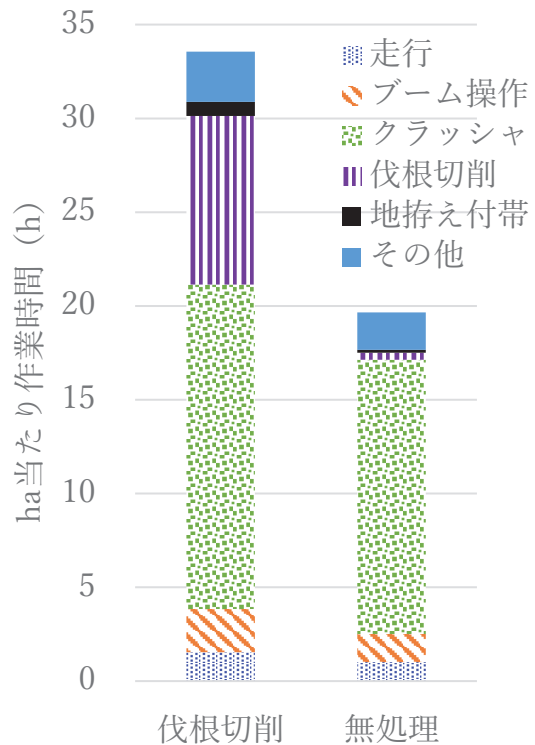


図 27 クラッシャ地拵え作業工程

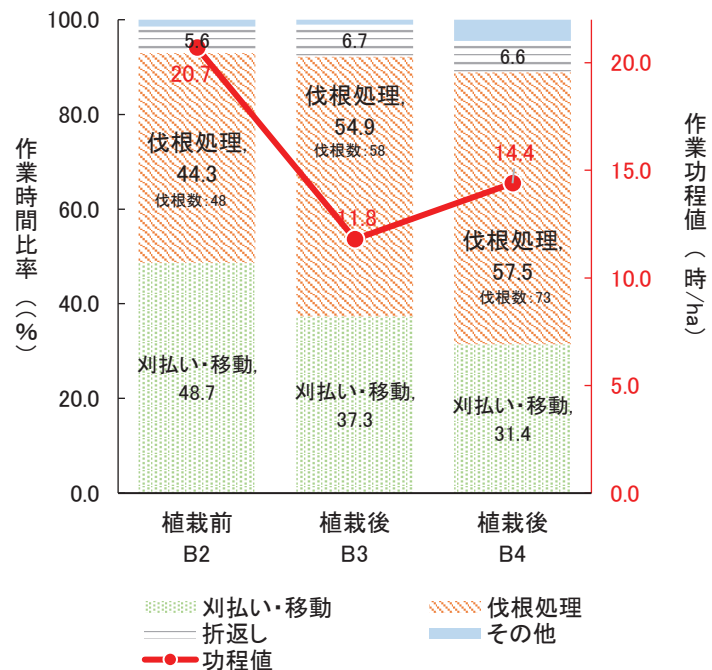


図 28 植栽前後での 乗用刈払機による植栽列間の伐根切削の要素作業比率および作業工程の比較

た。植栽前であっても、伐根切削は植栽列に沿った形で直線的に行った方が効率的であると考えられた。一方位置誘導精度については、植栽後に植栽列間の伐根のみを正確に切削出来ていたことが確認された。

- 5) 乗用刈払機によって列間下刈り(伐根切削を含まない)を実施した後人力刈払機で苗間の補正刈りを実施した場合と、人力刈払機のみで全刈りした場合とを比較した。区画ごとの作業方法とスケジュールは表 3 に示す通りである。表 4 に下刈り作業種ごとの作業工期を示す。乗用刈払機による列間刈りの作業工期は 4.2h/ha となり、乗用刈払機による列間刈りと人力刈払機による仕上げ刈りを合わせたシステム生産性は 11.4h/ha となった。対照となる従来方式の人力刈払機による全刈りの作業工期は既報(渡辺 2018 など)に準じる値だった。乗用刈払機による列間刈りと人力刈払機仕上げ刈りの作業工期は従来方式の全刈りよりも若干高く、機械下刈り導入による省力化効果を示すことができた。

表 4 下刈り作業種ごとの作業工期

下刈り作業種	列間刈り	仕上げ刈り	全刈り
使用機械	乗用刈払機	人力刈払機	人力刈払機
平均工期値 (時/ha)	4.2	7.2	13.7
総作業時間 (時/ha)	11.4		—

表 5 に位置誘導装置を装着した乗用刈払機で列間刈りした際の誤伐率を示す。なお、植栽列の端で発生した誤伐は、切り返し場所が狭小だったため発生したもので、位置誘導装置に起因するものではないためデータからは差し引いた。誤伐は全部で 11 回、0.8%の確率で発生した。そのうち、6 月 B2 区と 8 月 B3 区の誤伐は伐根切削時に、また 6 月 B3 区の誤伐は位置誘導のズレに起因して発生した。植栽後の列間刈り時の伐根切削は、伐根の位置が植栽列側に寄っていた場合に植栽木の誤伐リスクを高める可能性が認められた。位置誘導装置のナビゲートによる誤伐対策として、作業開始時に位置誘導装置の位置ずれを確認して補正することが必要と思われた。

表 5 列間刈りによる誤伐数

作業月	試験区	植栽木の数	誤伐数
6 月	B 2	310	2
	B 3	238	6
8 月	B 1	325	0
	B 3	215	3
	B 4	231	0
	合計	1319	11 (0.8%)

*表中の植栽木の数と実際の植栽本数とは下刈り開始までに消失した植栽木が多数あったため一致しない

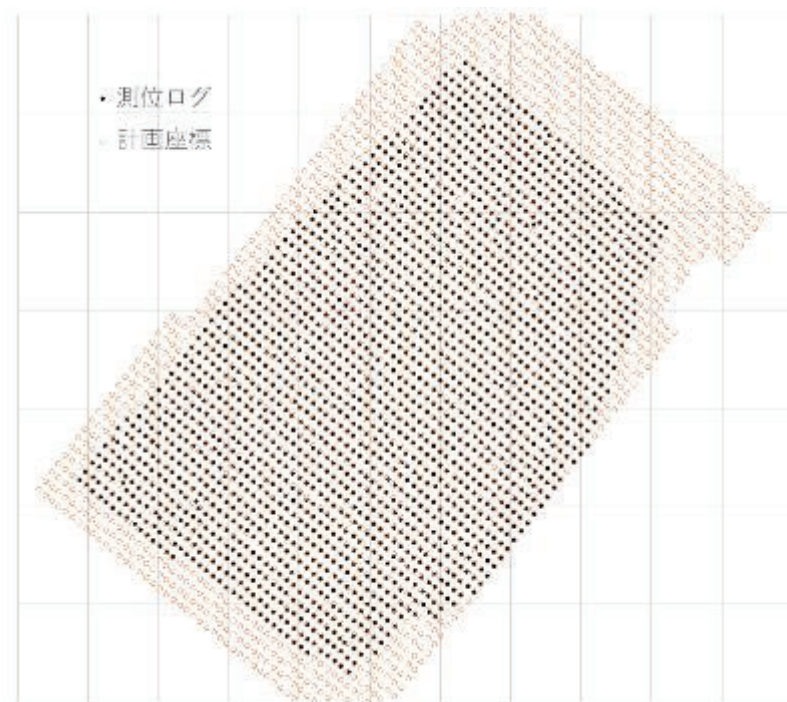


図 29 計画植栽位置と実際の植栽位置

植栽作業時には、誘導装置を用いることにより、概ね植栽計画通りに植栽することができた(図 29)。計画植栽位置と実際の植栽位置の差分の分布は図 30 に示す通りであり、平均値は 0.21m であった。これは、オペレータが植栽計画位置にある岩、伐根などの地物を避けた場合を含む。さらにその値に植栽列からのズレ方向の偏角の正弦を乗じて得られた植栽列からの逸脱量の分布が図 31 であり、平均値は 0.13m であった。事後に車幅 1720mm の乗用刈払機により下刈りを行うとすると、精確に植栽列中央を走行した場合の誤伐率は 1.6% であり、走

行ラインからの逸脱量が大きくなるほど誤伐率は高くなる(図 32)。仮に誤伐率の許容値を 20% とすると、この現場での乗用刈払機の許容される走行ライン逸脱量は 0.18m 程度と推測される。

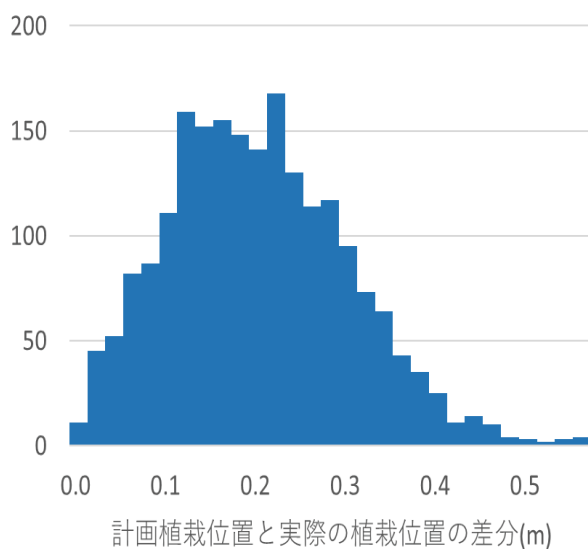


図 30 計画植栽位置と実際の植栽位置の差分のヒストグラム

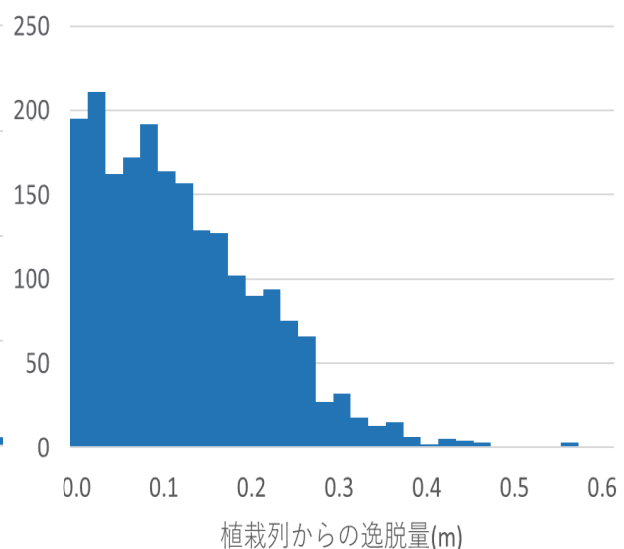


図 31 植栽位置の計画植栽列からの逸脱量のヒストグラム

さらに詳細に位置精度を検証するため、①人力植栽作業者に装着して位置誘導する装置「植付けナビ」(昨年度実施)及び②自動植付機に搭載した誘導装置を使用して植栽した現場において、植栽された苗木位置をトータルステーションで測量し、植栽位置計画座標と比較して誤差を求めた。①については計画植栽位置から半径 20cm 以内に到達すると植栽可能である旨の表示がなされるため、それに従うと誤差は半径 20cm 程度、また作業者に装着していることから、作業者の姿勢による誤差があると予想される。②については植付機本体であるヘッド部分が傾くことによる鉛直方向との誤差があると予想される。また測位方式も異なり、①は RTK、②は CLAS を用いている。その結果、誤伐に影響する植列方向に対して 90 度方向の誤差は、①では 0.002~0.285m、中央値 0.084m、②では 0.001~0.666m、中央値 0.147m と、測位ログから算出したものとはほぼ同等の値が得られた。ただし①については、日が変わると全体的にずれる現象がみられ、その誤差を含めると最大値は 0.441m であった。RTK 固定局は毎日、都度設置しており、それが原因となった可能性がある。今後、ヘッドの傾斜も算入して位置情報を補正し、その精度を再度確かめることが必要である。

クラッシャ地拵えの作業工程は概ね過去データと整合しており、伐根無処理で 20h/ha 程度、伐根全数切削の場合にはそれに 12~14h/ha 程度の加算が標準的な値と考えられる。今年度の作業実績をもとにクラッシャ地拵えコストを試算すると、伐根無処理で 122.4 千円/ha、伐根全数切削で 209.1 千円/ha となり、北海道造林事業標準単価表に令和 5 年度に新設された「バックホー地拵え」の標準単価 230.5 千円/ha と比較すると低コストである。これに加えて、破碎物のマルチ効果による初年度の下刈り(標準単価 120.0 千円/ha)省略・軽減が見込まれるほか、事後の下刈りを車両系機械で行う場合には、地拵え時に伐根全数切削を行えば作業能率向上が期待できる。

自動植付機植栽時に、苗木補給工程の手順を改善したところ、当該要素作業時間が短縮されて作業能率が向上し、機械償却コストも含めた苗木 1 本当たりの植栽コストは昨年度の 44.4 円/本、88.9 千円/ha から今年度は 34.7 円/本、69.4 千円/ha に低減した。標準単価表の人力植栽経費は 92.7 千円/ha となっており、これを大幅に下回る。植栽位置誘導装置を実装してマーキングを不要としたことにより、所要人工数は約 1/3 に削減できた。電動一輪車を使用した苗木の運搬コストは 8.2 千円/ha と見込まれ、標準単価表の 15.2 千円/ha (2000 本/ha 植え)を下回った。

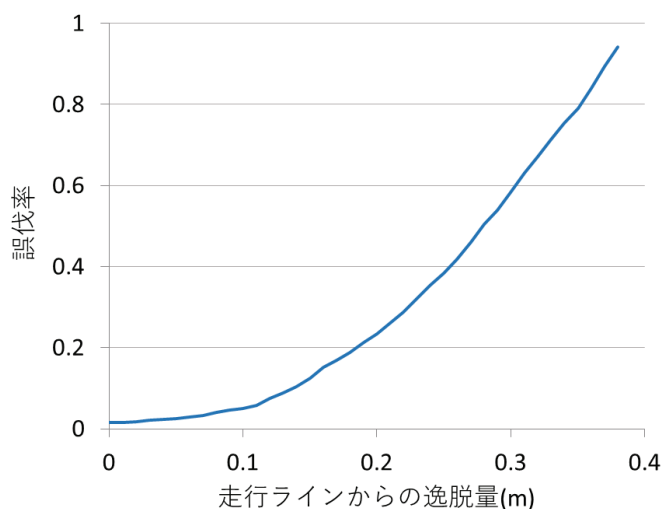


図 32 乗用刈払機の走行ラインからの逸脱量と推定誤伐率

6) 小型植栽機試験の結果、自動1モードの約半数、自動2モードの約1/3で何らかのトラブルが発生した。トラブルなしの植栽についてみると、穿孔に掛かった時間は約12秒、植付に掛かった時間が約8秒であった。しかし、移動を含む1苗あたりの作業時間は用意した2つのモード間で10秒近い差が生じ、自動2モードが優位となった。自動1モードで発生したトラブルは、ほとんどが植栽ユニットの降下時に地面と衝突して生じた過負荷であり、自動2モードで発生したトラブルは、多くが植栽後に苗が穴からはみ出ている、浮き上がり状態であった。

これらの結果から、次の改良が妥当と考えられた。

- a. 植栽ユニットの動作シーケンスを見直し、地面位置センサーの情報をを用いないアルゴリズムとする。具体的には地面到達の判断を上下モータの過負荷で判断する。
- b. 穿孔ユニットのオーガ径を300ccコンテナ苗と150ccコンテナ苗で変更する。300ccコンテナ苗では、オーガ径を80mmとしたい。
- c. 穿孔深さをダイヤルで切り替えられる仕様とする。現在はオーガの送り速度をダイヤルで変更し、植え込み深さ調整はトグルスイッチを用いるが、これを入れ替え、深さをダイヤルで変更し、送り速度を2段階とする。

Ⅲ 今後の事業の展開方向

次年度は、各パート間の連携を一層強化し、LiDAR搭載UAVによって取得した立木情報や地形データを活用して、生産計画における出材量予測や作業路・作業計画の策定、素材生産におけるハーベスタ作業による立木位置と立木材積の更新、再造林においては地形や路網データに即した地拵え・植栽計画の立案、植栽位置情報を用いた下刈り時の誤伐防止などを実施する。加えて、植栽機用に開発中の誘導装置を伐採作業にも適用し、ハーベスタの造材位置情報をフォワーダへの受け渡しによって、Timber base Cloudの位置情報を精緻化し、作業の効率化と安全性の向上を目指す。ハーベスタ作業で更新された立木位置は、伐根位置情報として利用し、地拵え時の伐根破碎作業などに活用することで、技術間の連携を全体的に強化する。さらに、本事業の目標達成に向けて、スマート林業で目標を同じくする他の事業や「新しい林業」の類似課題に取り組んでいる地域との情報意見交換や協力を積極的に行う。

1) 生産計画

LiDAR搭載UAVを用いた伐採計画立案システムを構築し、今年度の実証試験結果を踏まえたさらなる発展を追求する。新たな実証試験地での撮影・解析を進め、データを素材生産や造林に利用する一貫したプロセスの検証を行う。

2) 素材生産・流通

今年度の実証試験結果を基に、ハーベスタデータを全面的に活用する完全機械化作業システムと機械検知材流通システムの構築に取り組む。ハーベスタからフォワーダへの生産情報の利用方法を開発し、機械検知材流通に関する追加の検証事例を提供する。

3) 再造林・保育

今年度の実証試験結果を基に、次年度は省力化と低コスト化を実現するための機械化再造林・保育作業システムの実証を実施する。具体的には、植栽位置誘導装置を使用した箇所で乗用刈払機を活用した下刈り作業や、位置情報を活用した補植手法の模索を進め

る。伐採・収穫方法に適した地拵え方法の選択や、位置情報の一貫した管理を通じて、素材生産と再生林・保育の連携を強化する。また、小型植栽機や人力植栽の位置誘導を含む関連課題への取り組みも引き続き行う。

これらの取り組みを通じて、林業活動の各段階での効率化と精度の向上を図り、コスト削減と安全性の向上を目標とする十勝モデルの構築を進め、他の事業体への普及を目指すため、現地検討会などのイベントを開催する予定である。